



Idrogea
servizi S.r.l.
Società di Ingegneria



Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse STUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E DI COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA

Storia delle revisioni Fornitore

Rev.	Data	descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato
02	21/07/2022	Modificato a seguito variazione del tracciato MT	Dott.ssa M. Bombetti	Dr. Geol. L. Osculati	Dr. Geol. A. Uggeri
01	06/08/2021	Modificato a seguito sorveglianza Terna	Dott.ssa M. Bombetti	Dr. Geol. D. Fantoni	Dr. Geol. D. Fantoni
00	27/07/2021	Prima emissione	Dr. Geol. N. Bistacchi	Dr. Geol. A. Uggeri	Dr. Geol. A. Uggeri
Codice Elaborato Fornitore		 	Dr. Geol. A. Uggeri 		
RUDR21003B2132236_rev02					

MOTIVO DELL'INVIO:



PER ACCETTAZIONE



PER INFORMAZIONE

CODIFICA ELABORATO

RUDR21003B2132236



T E R N A G R O U P

Questo documento contiene informazioni di proprietà Terna Rete Italia S.p.A. e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Terna Rete Italia S.p.A.

This document contains information proprietary to Terna Rete Italia S.p.A. and it will have to be used exclusively for the purposes for which it has been furnished. Whichever shape of spreading or reproduction without the written permission of Terna Rete Italia S.p.A. is prohibiit.

 <p>T E R N A G R O U P</p>	STUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E DI COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >

Sommario

1	PREMESSA.....	2
2	MOTIVAZIONE OPERA.....	3
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
4	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	6
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	8
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	11
7	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO.....	13
8	TIPOLOGIA E UBICAZIONE DELLE INDAGINI EFFETTUATE.....	16
9	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE.....	17
10	INDAGINI GEOTECNICHE PER LA PARAMETRIZZAZIONE DEI TERRENI.....	28
10.1	Prove CPTU.....	28
10.1.1	CPTU 01.....	32
10.1.2	CPTU 02.....	34
10.1.3	CPTU 03.....	36
10.1.4	CPTU 04.....	38
10.1.5	CPTU 05.....	40
10.1.6	Sintesi delle prove CPTU.....	41
10.2	Prove SPT in Foro.....	42
10.3	Prove di laboratorio geotecnico.....	45
10.3.1	Campioni di terreno rimaneggiato.....	46
10.3.2	Campioni di terreno indisturbato (prova di compressibilità edometrica e prova di taglio CD).....	48
10.4	Giudizio Geotecnico e Modello Geotecnico Qualitativo.....	54
11	INQUADRAMENTO SISMICO.....	55
11.1	Classificazione sismica locale.....	56
11.2	Indagini eseguite.....	57
11.2.1	Indagine geofisica MASW: descrizione del metodo di indagine e della strumentazione utilizzata.....	57
11.2.1	Analisi di secondo livello per la definizione dei fattori di amplificazione (D.G.R. 630/2019).....	67
11.2.2	Indagini Geoelettriche 2D Multielettrodo - ERT.....	70
12	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA SITO SPECIFICA ED ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA.....	76
12.1	Valutazione della pericolosità geologica.....	76
12.1.1	Pericolosità geomorfologica.....	76
12.1.2	Pericolosità sismica.....	77
12.1.3	Pericolosità idrogeologica: valutazioni sulla vulnerabilità della falda.....	77
12.1.4	Pericolosità idraulica: valutazione sugli aspetti idraulici.....	77
12.2	Conclusioni.....	77
13	STABILITA' DEGLI SCAVI.....	79
14	MOVIMENTO TERRE.....	80
15	CONCLUSIONI.....	81

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	

Tavole

Tavola 1 – Stratigrafie Geotecniche

Tavola 2 – Sezioni Geologico-Tecniche

Tavola 3 – Sezioni Indagini ERT

ALLEGATI

Allegato 1. – Elaborati prove penetrometriche statiche CPTU

Allegato 2. – Rapporti di prova campioni rimaneggiati

Allegato 3. – Rapporti di prova campioni indisturbati

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  UNI EN ISO 9001:2008  ISO 9001 - Cert. N. 81810
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

1 PREMESSA

Nel contesto del Contratto Quadro n° 6000002800 l'A.T.I. Eurogeo - Idrogea Servizi -Tecnoln è stata incaricata da Terna Rete Italia S.p.A. (Terna a seguire) di eseguire le indagini geologico-tecniche a supporto del progetto definitivo per la realizzazione della Stazione elettrica 132 kV di Poggio Renatico (FE) e dei raccordi alla linea 132 kV "Ferrara Sud - Altedo", nonché della limitrofa stazione utente e del cavo MT di collegamento alla Centrale SNAM di Poggio Renatico (FE).

La società Terna – Rete Elettrica Nazionale S.p.a. è la società responsabile in Italia della trasmissione e del dispacciamento dell'energia elettrica sulla rete ad alta (AT) ed altissima tensione (AAT) ai sensi del Decreto del Ministero delle Attività Produttive del 20 aprile 2005 (Concessione).

TERNA, nell'espletamento del servizio dato in concessione, persegue i seguenti obiettivi generali:

- assicurare che il servizio sia erogato con carattere di sicurezza, affidabilità e continuità nel breve, medio e lungo periodo, secondo le condizioni previste nella suddetta concessione e nel rispetto degli atti di indirizzo emanati dal Ministero e dalle direttive impartite dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas;
- deliberare gli interventi volti ad assicurare l'efficienza e lo sviluppo del sistema di trasmissione di energia elettrica nel territorio nazionale e realizzare gli stessi;
- garantire l'imparzialità e neutralità del servizio di trasmissione e dispacciamento al fine di assicurare l'accesso paritario a tutti gli utilizzatori;
- concorrere a promuovere, nell'ambito delle sue competenze e responsabilità, la tutela dell'ambiente e la sicurezza degli impianti.

TERNA pertanto, nell'ambito dei suoi compiti istituzionali, intende realizzare per tramite della Società Terna Rete Italia S.p.A. (Società del Gruppo Terna costituita con atto del Notaio Luca Troili Reg. 18372/8920 del 23/02/2021), il progetto denominato **"Nuova S/E RTN 132 kV di Poggio Renatico e raccordi alla RTN ed opere connesse"**.

L'esigenza di cui sopra deriva dalla necessità di garantire una soluzione di connessione alla RTN chiesta dalla società Snam Rete Gas (codice pratica 202000214) dell'impianto di compressione di Poggio Renatico (FE) per una potenza pari a 20 MW in prelievo.

Le opere alle quali si riferisce il progetto di cui sopra sono:

- La Stazione Elettrica RTN di Smistamento a 132 kV di Poggio Renatico;
- I raccordi aerei per il collegamento in entra-esci della Stazione Elettrica di cui sopra alla linea RTN a 132 kV "Altedo-Ferrara Sud", prevista dal piano di Sviluppo Terna e già autorizzata con Decreto Interministeriale n. 239/EL – 240/303/2020 del 2 marzo 2020 inerente il "Riassetto della Rete di Trasmissione Nazionale nell'area tra Colunga e Ferrara" il cui termine di realizzazione previsto è per gli inizi del 2023.

Le indagini sono state realizzate conformemente alle linee guida riportate nella specifica tecnica fornita dal committente oltre che alla normativa di riferimento (NTC 18).

Il presente documento costituisce lo studio Geologico-tecnico finalizzato alla ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo, ovvero, all'identificazione delle unità litotecniche che caratterizzano l'intera area di intervento e il volume significativo del terreno sottostante le fondazioni.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02>	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>

2 MOTIVAZIONE OPERA

La pianificazione della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) è effettuata da Terna al fine di perseguire gli obiettivi indicati dal Disciplinare di Concessione e dal D.lgs. 93/2011 per le attività di trasmissione e dispacciamento. L'art. 9 del Disciplinare di Concessione prevede la predisposizione del Piano di Sviluppo decennale contenente le linee di sviluppo della RTN definite sulla base delle richieste di connessione alla RTN formulate dagli aventi diritto. Peraltro, tra gli obiettivi è previsto il garantire l'imparzialità e la neutralità del servizio al fine di assicurare l'accesso paritario a tutti gli utilizzatori, senza compromettere la continuità del servizio.

In questo ambito, ai sensi del Codice di Rete, Snam Rete Gas S.p.A., ha formulato richiesta di connessione alla Rete di Trasmissione Elettrica Nazionale (RTN) per un impianto corrispondente ad unità di consumo pari a 20 MW, presso il Comune di Poggio Renatico (FE), con codice pratica 202000214 e Terna ha rilasciato apposita Soluzione di Connessione (STMG) per una potenza di 20 MW in prelievo, accettata dal richiedente, prevedendo per l'impianto Snam Rete Gas il collegamento in antenna a 132 kV con la nuova stazione elettrica RTN a 132 kV, da inserire in entra-esce alla linea RTN a 132 kV "Altedo – Ferrara Sud" prevista dal piano di Sviluppo Terna e già autorizzata con Decreto Interministeriale n. 239/EL240/303/2020 del 2 marzo 2020, il cui termine di realizzazione previsto è per gli inizi del 2023.

L'impianto Snam Rete Gas, che non è oggetto del presente PTO, comprenderà una Sotto-Stazione Elettrica 132/15 kV ubicata in adiacenza alla Stazione Elettrica RTN e i collegamenti in cavo 15 kV interrati per l'alimentazione dei nuovi elettrocompressori previsti nella Centrale di Snam Rete Gas.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di indagine è ubicata nella porzione nord-orientale dell'Emilia Romagna, nella provincia di Ferrara ed interessa il territorio comunale di Poggio Renatico.

Il sito è collocato in una porzione di terreno morfologicamente pianeggiante, avente quote lievemente degradanti verso sud e comprese tra 10 e 8 m s.l.m., in un ambito a basso grado di antropizzazione e ad uso prevalentemente agricolo.

L'area individuata per la Stazione Elettrica RTN (il cui utilizzo è previsto anche per la Sottostazione Elettrica utente prevista in adiacenza) e per il collegamento MT interrato, è un'area pianeggiante coltivata principalmente a erba medica, nelle cui vicinanze vi è la presenza di singole abitazioni e edifici rurali.

Nelle figure seguenti si riporta l'ubicazione dell'area di progetto.

 <p>T E R N A G R O U P</p>	<p align="center">STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO</p> <p align="center">Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse</p>	 <p>Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria</p>
<p>Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 ></p> <p align="right">Rev. < 02 ></p>	<p>Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 ></p> <p align="right">Rev. < 02 ></p>	

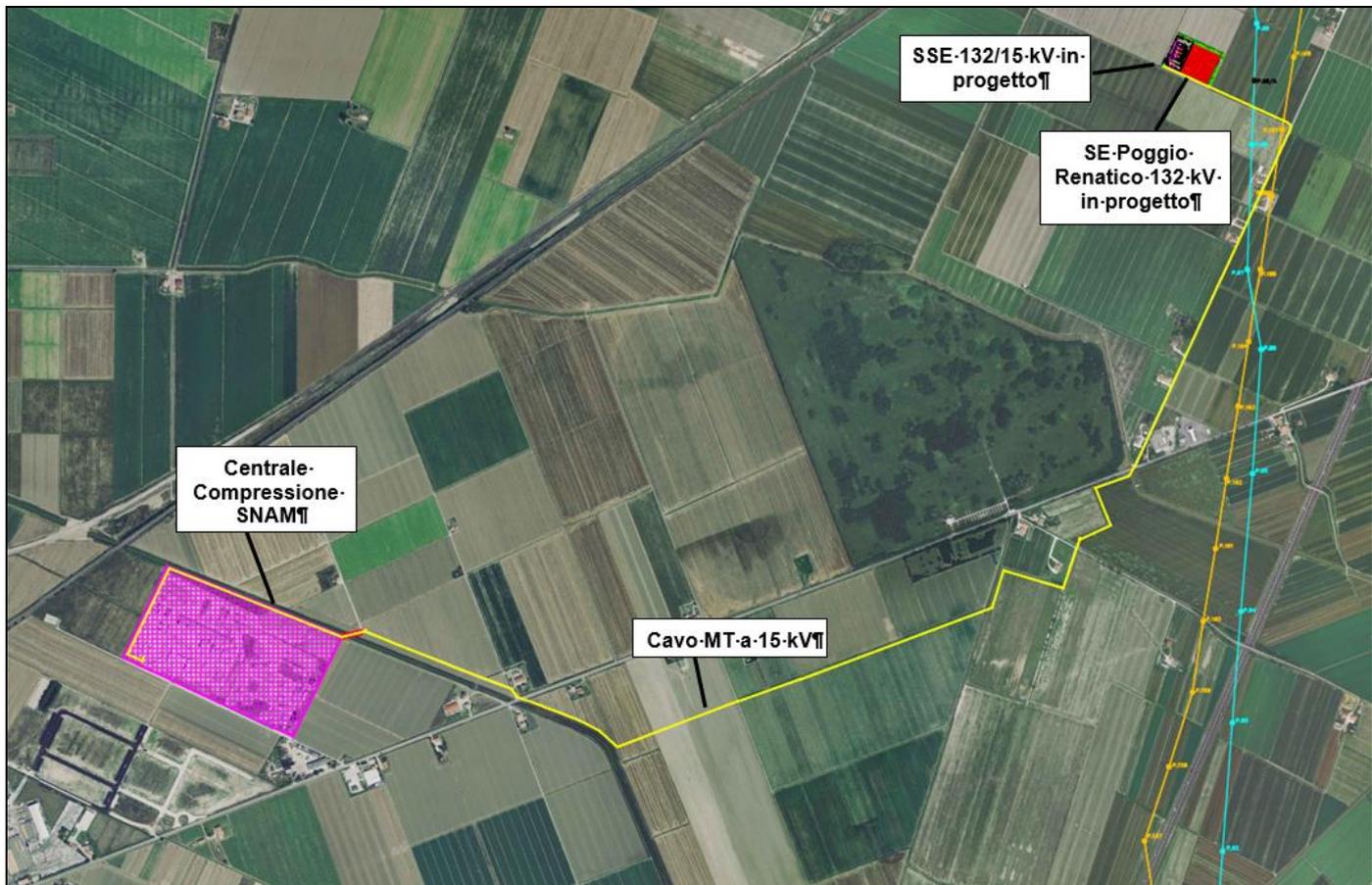


Figura 1 - Vista complessiva dell'area di progetto su base ortofoto (Google Earth).

Codifica Elaborato Terna:

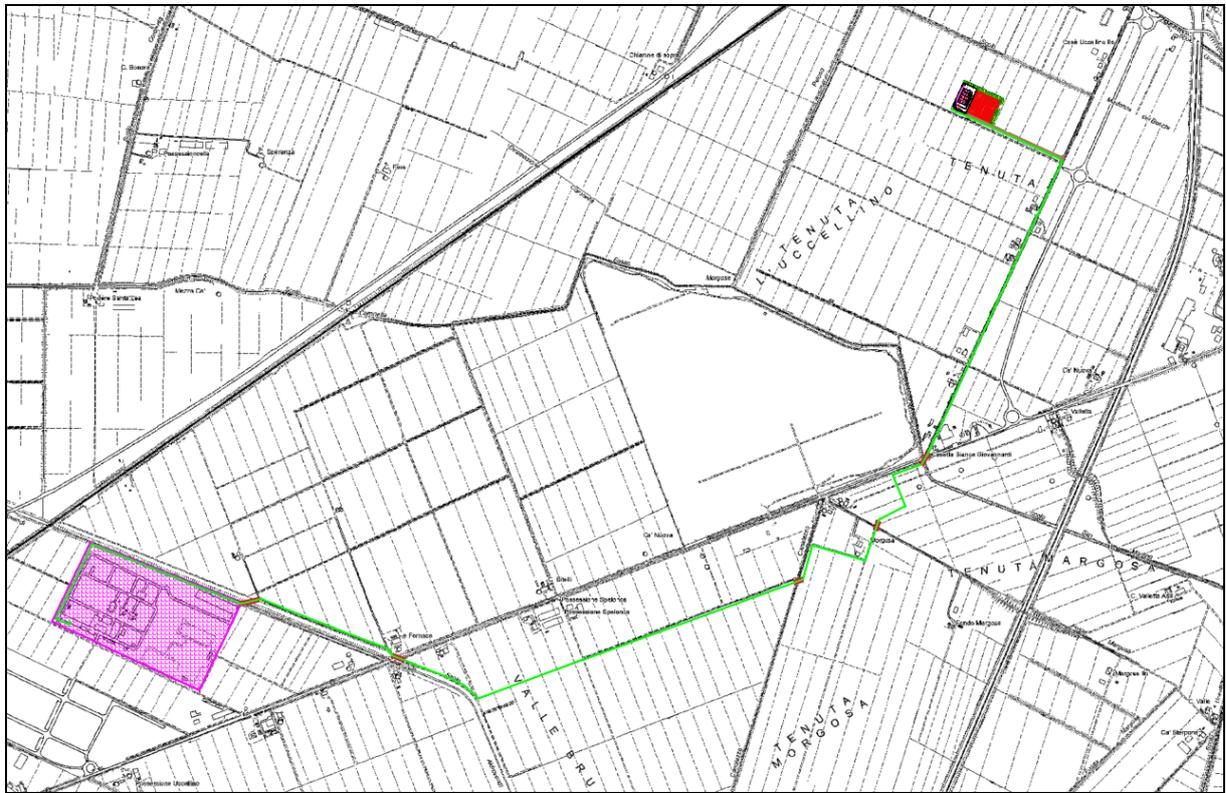
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|  | Centrale di Compressione Gas di Poggio Renatico (Gestore SNAM Rete Gas) |  | Cavidotto MT 15 kV in progetto (Spingi-tubo o TOC) |
|  | Nuova Stazione Elettrica (SE) RTN 132 kV |  | Opere di mitigazione |
|  | Sottostazione utente (SSE) 132/15 kV in progetto |  | Viabilità di collegamento in progetto |
|  | Cavidotto MT 15 kV in progetto | | |

Figura 2 - Vista complessiva dell'area di progetto su base CTR.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02>	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La soluzione di ubicazione adottata per la nuova Stazione Elettrica tiene conto delle esigenze tecniche di connessione alla rete elettrica nazionale e allo stesso tempo presenta i seguenti aspetti positivi:

- L'area prevista è di estensione ridotta, grazie ad un layout elettromeccanico compatto ed è sufficiente anche per la Sottostazione Elettrica dell'Utente prevista adiacente;
- Risultano contenute le lunghezze dei raccordi aerei alla linea 132 kV Altedo – Ferrara Sud;
- Risultano particolarmente corti e agevoli i collegamenti aerei con la Sottostazione utente, essendo essa adiacente.

L'area di intervento confina su tutti i lati con terreni agricoli con eccezione del lato ovest adiacente alla Sotto Stazione Utente Snam Rete Gas.

L'area di intervento ha un'estensione complessiva di circa 11000 mq destinati alla Stazione Elettrica RTN e alla viabilità di accesso.

Lungo la recinzione lato Sud, lato viabilità di accesso, si realizzerà l'edificio "P.to di consegna MT-TLC" per l'attestazione delle linee in media tensione di alimentazione dei servizi ausiliari di stazione e, inoltre, per l'attestazione delle linee dei vettori di telecomunicazione; l'edificio avrà accesso lato interno stazione per Terna e consentirà anche l'accesso dall'esterno, per l'utilizzo, da parte dei rispettivi gestori, dei servizi di alimentazione MT e vettori TLC.

Si evidenzia che la nuova Stazione Elettrica sarà telecondotta e che quindi la presenza di personale sarà necessaria solo in caso di interventi di manutenzione e per la conduzione in locale in caso di perdita del sistema di teletrasmissione. Il transito sulla strada d'accesso sarà quindi limitato e non continuo.

La nuova Stazione Elettrica di Poggio Renatico sarà una stazione della RTN del tipo unificato Terna con isolamento in aria, in singola sbarra, con conduttori e apparecchiature a 132 kV, con installazione all'aperto.

Lo stato di progetto della stazione è rappresentato nello "Schema unifilare stato di progetto" DUDR21003B2131935 e nella "Planimetria elettromeccanica" DUDR21003B2132465.

La stazione a 132 kV sarà costituita da:

- n° 1 sistema a singola sbarra comprensivo di TV e sezionatori di terra;
- n° 2 stalli linea aerea per l'arrivo elettrodotta per il collegamento della Stazione Elettrica in entra-esce alla linea 132 kV Altedo – Ferrara Sud;
- n° 1 stallo linea aerea per il collegamento della Sottostazione Elettrica utente;
- n° 2 passi sbarre disponibili per un eventuale futuro stallo.

Ogni "Stallo linea" sarà equipaggiato con sezionatori di sbarra, interruttore, sezionatore di linea con lame di terra, scaricatori, TV e TA per protezioni e misure.

All'interno dell'impianto è prevista la realizzazione di n. 5 edifici per le apparecchiature della stazione elettrica e gli impianti antincendio. Gli edifici saranno realizzati con dei prefabbricati con struttura portante costituita da pilastri e travi prefabbricate in c.a. e le coperture saranno opportunamente coibentate ed impermeabilizzate.

La stazione sarà inoltre dotata di un opportuno sistema di smaltimento delle acque meteoriche costituita da pozzetti di raccolta con caditoie tra loro interconnesse. Le aree in corrispondenza delle apparecchiature elettriche AT saranno realizzati con superfici drenanti ricoperte a pietrisco riducendo così le quantità d'acqua conferite ai ricettori.

Le acque meteoriche, dopo essere raccolte e trattate in una vasca di laminazione (con degrassatore) opportunamente dimensionata, verranno convogliate nella rete di smaltimento comunale (se presente) o nel corpo recettore individuato a nord della stazione previa esecuzione della verifica d'idoneità idraulica.

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



-  Centrale di Compressione Gas di Poggio Renatico (Gestore SNAM Rete Gas)
-  Nuova Stazione Elettrica (SE) RTN 132 kV
-  Sottostazione utente (SSE) 132/15 kV in progetto
-  Cavidotto MT 15 kV in progetto
-  Cavidotto MT 15 kV in progetto (Spingi-tubo o TOC)
-  Opere di mitigazione
-  Viabilità di collegamento in progetto

Figura 3 – Planimetria delle nuove opere in progetto per la Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico-strutturale, l'area d'interesse ricade nel settore centro meridionale della Pianura Padana. Questo ampio bacino sedimentario, la cui genesi ha avuto inizio nel Terziario (65 milioni di anni fa), costituisce l'avanfossa della catena Alpina, a Nord, e del margine settentrionale degli Appennini, a Sud. La sua evoluzione geologico-strutturale è riconducibile alle dinamiche orogenetiche che hanno portato alla formazione delle suddette catene montuose ed all'accumulo di ingenti quantità di materiali sciolti che hanno generato i depositi di piana alluvionale che costituiscono la pianura. Evidenza di tale condizione è data dalla presenza, al di sotto del materasso alluvionale, di una serie di pieghe e faglie con direzione NNW-SSE, WNW-ESE e N-S prodotte dalla tettonica compressiva che ha generato i rilievi montuosi. In particolare, in questo settore della pianura, si osservano le strutture afferenti al così detto "Arco delle pieghe ferraresi e romagnole", come evidente nella sezione geologica riportata in Figura 4).

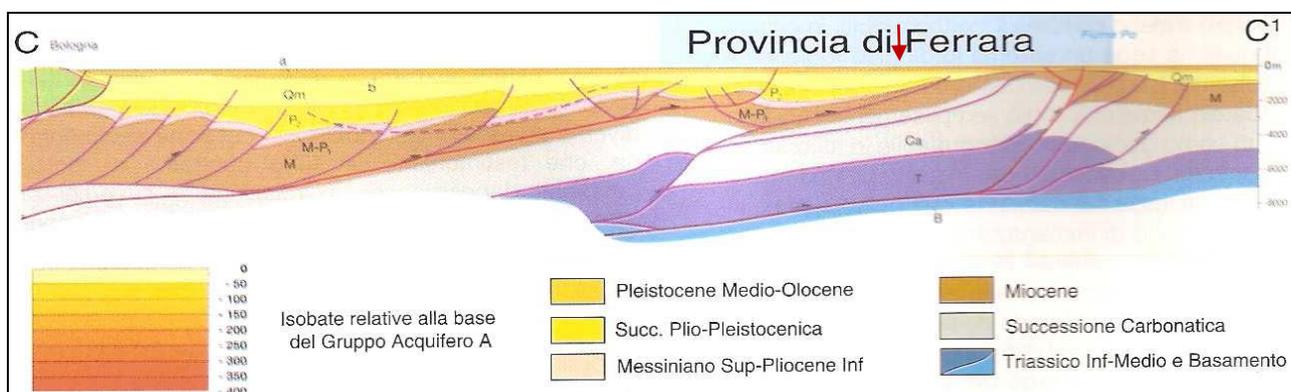


Figura 4 - Sezione geologica interpretativa dell'area di interesse (Fonte: RER e CNR 2002). La freccia rossa evidenzia indicativamente l'ubicazione dell'area di interesse.

In questo contesto di pianura sono individuabili aree a litologia relativamente grossolana (sabbia e ghiaie), legate ad ambienti sedimentari ad energia abbastanza elevata (paleoalvei) che generano fasce divaganti coincidenti spesso con zone di alto morfologico e aree a litologia relativamente fine (limi e argille), che definiscono settori di bassa energia, a sedimentazione lenta, che corrispondono ad ambienti palustri.

Lo spessore dei sedimenti, in questo settore della pianura, è significativo e mediamente compreso tra 200 m, in corrispondenza di alti strutturali, e più di 1000 m, nelle zone più marginali degradanti verso la costa adriatica.

Dal punto di vista litostratigrafico i sedimenti costituenti la pianura possono essere suddivisi in due distinte unità strutturali principali:

- **Unità Profonda:** costituita da sedimenti del Messiniano e Pliocene inferiore. Si tratta di una sequenza stratigrafica formata in prevalenza da termini conglomeratici, arenacei, marnosi, argillosi e calcarei concordanti tra loro e deformati secondo pieghe e faglie orientate NW-SE;
- **Unità Superiore:** costituita da sedimenti del Pliocene medio-superiore e del Quaternario in trasgressione e discordanza con i sedimenti dell'Unità Profonda. Si tratta di una sequenza stratigrafica, sia di ambiente marino che continentale, formata in prevalenza da termini sabbiosi, argillosi e, localmente, torbosi.

A queste due unità si aggiunge la Successione Sedimentaria Superficiale, formatasi negli ultimi 10'000 anni, che costituisce i termini più recenti direttamente interessati dalle indagini condotte nell'ambito della presente relazione.

Essi fanno parte della successione post-evaporitica del margine padano-adriatico e derivano dalla complessa relazione fra il fiume Po a Nord, i fiumi appenninici a Sud ed il Mare Adriatico ad Est. Sono raggruppati nel Supersistema Emiliano-Romagnolo a sua volta suddiviso in Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) secondo il criterio di classificazione delle litologie e degli ambienti deposizionali sintetizzato nella tabella seguente.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02>	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>

DEPOSITI ALLUVIONALI	Terrazzo, conoide e pianura alluvionale	- ghiaie e sabbie di riempimento di canale fluviale - sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale - argille e limi di piana inondabile - argille, limi e sabbie di tracimazione fluviale indifferenziata
DEPOSITI DELTIZI E LITORALI	Piana deltizia	- sabbie e limi di canale distributore, argine e rotta - argille e limi di area d'intercanale - argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice
	Fronte deltizia e piana di sabbia	- sabbie di cordone litorale e duna eolica - argille e limi di retrocordone
DEPOSITI MARINI	Depositi di prodelta e piattaforma	- argille, limi e sabbie di prodelta e transizione alla piattaforma

Questo metodo consente di caratterizzare sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione litologica (ghiaie, sabbie, alternanza di sabbie e limi, ecc.) sia dell'ambiente in cui si sono depositi (alluvionale di canale, deltizio di area interdistributrice, ecc) permettendo di distinguere fra loro litologie in prima approssimazione simili, ma con geometrie e relazioni laterali e verticali dei corpi geologici molto diverse, in base al contesto sedimentario in cui si sono originati.

Poiché il limite inferiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo non affiora nell'area ed il limite superiore coincide col piano topografico, i depositi di superficie cartografati (riportati in Figura 4) si riferiscono interamente al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Si distinguono pertanto depositi alluvionali che passano verso est a depositi deltizi e marini organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. In tale contesto, il territorio dell'Alto Ferrarese, è in prevalenza caratterizzato da depositi di piana alluvionale e da depositi di canale fluviale e di argine.

In tale contesto, l'area di interesse è caratterizzata da:

- Facies deposizionali corrispondenti ad argini distali che formano corpi a geometria allungata subparalleli agli assi fluviali, che possono divenire più complessi quando diverse aree interfluviali si saldano fra loro costituendo le chiusure di depositi di argine, canale e rotta dei corsi d'acqua appenninici. Questi depositi passano lateralmente a depositi di argine, canale e rotta fluviale con contatti graduali o a depositi di canale distributore con contatti netti. Si tratta di limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso argillose intercalate, in strati di spessore decimetrico;
- Sedimenti di area interfluviale e depositi di palude. Si tratta di depositi costituiti da argille e, in minor misura, da limi variamente arricchiti in sostanza organica in strati mediamente sottili alternati ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata o assente. La sostanza organica può essere presente in lamine millimetriche, come frammenti vegetali o essere diffusa nell'argilla. Talora sono presenti diffusi fenomeni di bioturbazione che obliterano le strutture sedimentarie interne. Gli orizzonti più sottili sono interpretati come depositi di palude effimera entro un'associazione di facies di piana inondabile non drenata. Gli orizzonti più spessi e più estesi arealmente sono interpretati come vere e proprie paludi d'acqua dolce di area interfluviale. Lo spessore complessivo dell'associazione di facies varia da pochi decimetri a qualche metro. Questi corpi passano lateralmente e verticalmente a depositi di tracimazione fluviale in contatto da graduale a netto. Verso la piana costiera passano, con contatto graduale, a depositi organici di palude-laguna. L'area in esame, secondo la cartografia a disposizione ricade in questo ultimo settore ed è caratterizzata da prevalenza di depositi a granulometria fine con presenza di materia organica e locali resti di conchiglie.

Nella figura seguente si riporta un estratto della "Carta delle Litologie di Superficie" del Piano Strutturale Comunale Associato dell'Associazione Intercomunale Alto Ferrarese con indicazione delle aree d'interesse.

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

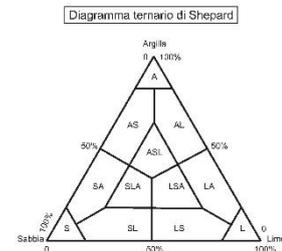
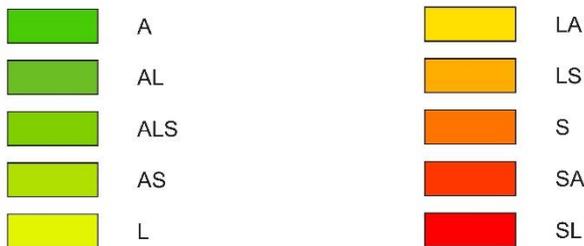


Figura 5 – Estratto della “Carta delle Litologie di Superficie” del Piano Strutturale Comunale Associato dell’Associazione Intercomunale Alto Ferrarese.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >

6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico l'assetto dell'area in esame è strettamente connesso al modello genetico della sua formazione ed in particolare all'evoluzione del sistema idrografico, condizionato a sua volta dai caratteri climatici e dalle strutture geologiche del sottosuolo. Infatti, l'attuale morfologia superficiale della pianura è direttamente riconducibile all'evoluzione dei corsi d'acqua che la caratterizzano mentre, solo in profondità, si possono osservare le strutture geomorfologiche più antiche, un tempo affioranti, ribassate dalla subsidenza di questo settore della pianura e ricoperte da spesse coltri di sedimenti caratteristiche di diversi ambienti deposizionali in funzione delle dinamiche tettoniche, di mutamenti climatici e di divagazione dei corsi d'acqua. L'altitudine è compresa tra un massimo di 23.35 m s.l.m. (nel Comune di Cento) ed un minimo di 4.4 m s.l.m. (nel Comune di Bondeno).

In tale contesto le principali forme, prevalentemente relitte (non rilevabili sulle carte topografiche e non riconoscibili sul posto), sono costituite da:

- **Paleoalvei:** rappresentano gli antichi alvei dei corsi d'acqua ormai ricoperti e/o abbandonati ed hanno una morfologia relativamente varia, prevalentemente meandriforme. I paleoalvei sono distinguibili in:
 - Paleoalvei Non Dossivi o Secondari, prevalentemente sepolti e privi di dislivello rispetto ai terreni adiacenti;
 - Paleoalvei Dossivi, prevalentemente rilevati rispetto ai terreni adiacenti e caratterizzati da fenomeni di inversione del rilievo, riconducibili a fenomeni di subsidenza differenziale;
- **Depositi di Tracimazione:** raccordano morfologicamente i paleoalvei dossivi con le basse pianure circostanti e sono costituite in prevalenza da sabbie limose, limi e limi argillosi a seconda della distanza dagli argini da cui sono tracimate le acque;
- **Rotta Fluviale:** si tratta di depositi di forma triangolare costituiti da linee sottili sinuose derivanti dal formarsi e dal canalizzarsi di corsi d'acqua temporanei. Generano depositi di materiali diversi in funzione della distanza dal vertice (punto di rotta dell'argine);
- **Scarpate Morfologiche:** coincidono ad aree di transizione tra ambienti deposizionali differenti e sono spesso coincidenti con tratti di argine fluviale ove è ancora riconoscibile il dislivello tra paleoalvei dossivi e bacini interfluviali;
- **Catini Interfluviali:** consistono in aree relativamente estese delimitate da paleoalvei sia principali che minori. Sono caratterizzate da sedimenti da fini a finissimi e talvolta presentano tracce di materia organica

L'area in esame risulta pressoché priva di elementi geomorfologici caratteristici, ad eccezione di un paleoalveo ubicato nel settore settentrionale dell'area e del reticolo di rogge e scoli ad uso irriguo. Di seguito si riporta un estratto della carta geomorfologica dell'area d'interesse con evidenza delle principali forme geomorfologiche presenti.

Codifica Elaborato Terna:

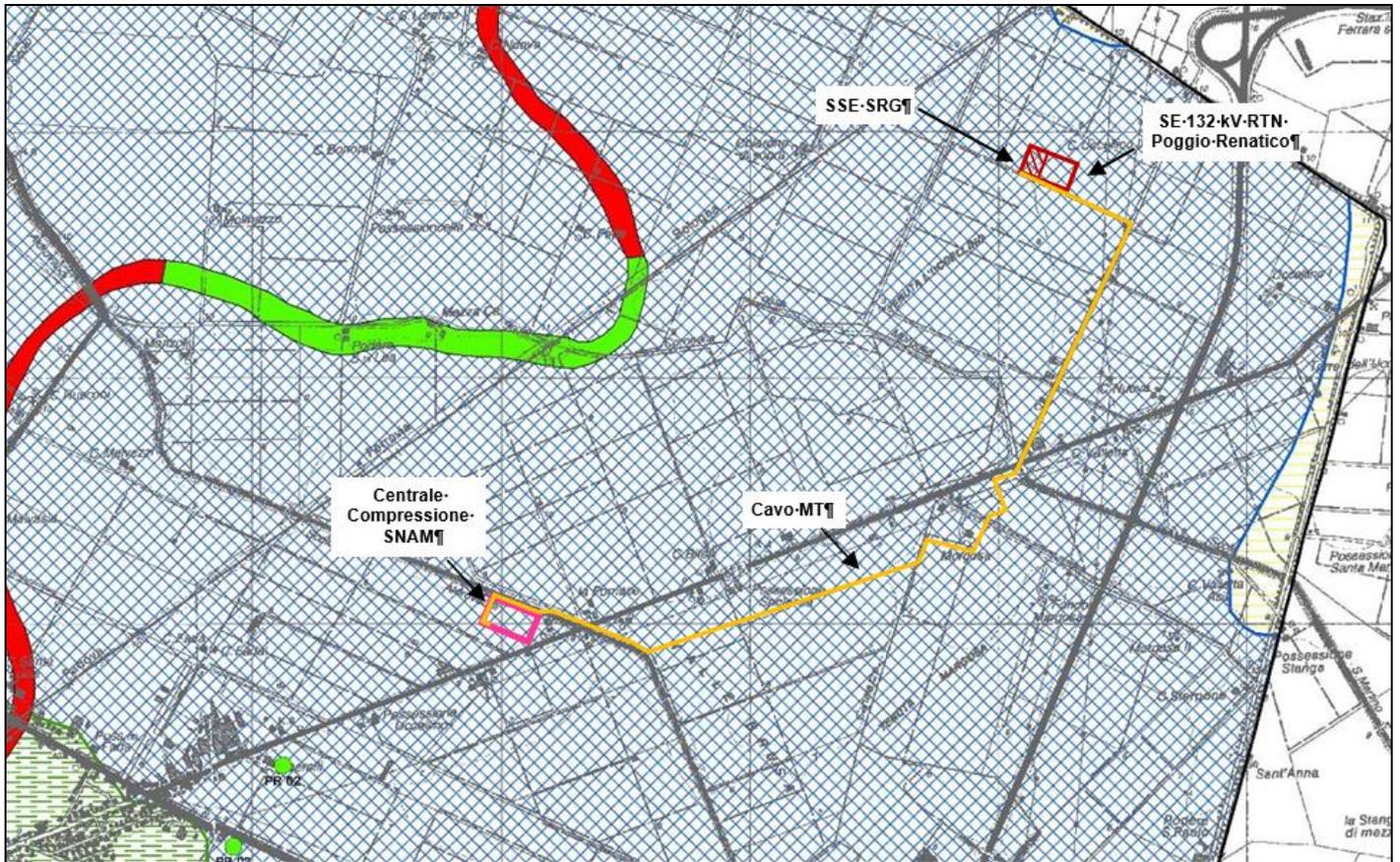
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Elementi geomorfologici:

- Paleoalvei di ubicazione sicura
- Paleoalvei di ubicazione incerta
- Depositi di rotta e trascinazione

Geologia di pianura - depositi di piana alluvionale:

- 5 - Sabbie medie e fini
- 6 - Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime
- 9 - Argille limose, argille e limi argillosi

Figura 6 – Estratto della “Carta Geomorfologica” del Piano Strutturale Comunale Associato dell’Associazione Intercomunale Alto Ferrarese.

Ad integrazione di quanto sopra di seguito si analizzano i principali caratteri dei fenomeni di subsidenza che caratterizzano l’area dell’Alto Ferrarese. In questo settore della pianura la subsidenza è legata a fenomeni naturali e antropici ed ha un valore medio pari a ca. 0.3 cm/anno.

La componente naturale della subsidenza è riconducibile al costipamento dei sedimenti più recenti non litificati, alla risposta isostatica della crosta al variare dei carichi superficiali ed a fenomeni tettonici in atto legati all’evoluzione della Catena Appenninica.

La componente antropica è invece riconducibile a:

- abbassamento del livello piezometrico delle falde più superficiali a causa dell’emungimento delle acque con portate superiori alla naturale capacità di ricarica degli acquiferi;
- prosciugamenti di zone umide e/o abbassamenti del livello delle falde freatiche per operazioni di bonifica o di sistemazione agraria;
- variazioni del chimismo delle acque sotterranee (in particolare del grado di salinità), che determinano fenomeni elettrochimici capaci di indurre riduzioni di volume nei minerali argillosi.

	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

7 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

La circolazione delle acque superficiali nell'area dell'Alto Ferrarese è caratterizzata da una fitta rete di canali di scolo e rogge di gestione delle acque superficiali della pianura e da alcuni corsi d'acqua provenienti dalle pendici degli appennini, di cui quello più prossimo all'area di interesse è il Fiume Reno. I canali di scolo hanno prevalente origine antropica, sono utilizzati prevalentemente per scopi irrigui e ad essi si collega una fitta rete di canali secondari a servizio delle aree agricole.

In particolare nell'area di interesse sono presenti alcuni scoli tra cui i principali sono lo Scolo Peloso e lo Scolo Circondariale San Martino, che corrono rispettivamente a in direzione NE-SW e NW-SE e sono ubicati a NW e a S-SW dell'area di stazione e lo Scolo Principale Superiore che corre in direzione NW-SE a NE dell'area della Centrale SRG e del collegamento MT interrato (Figura 7).

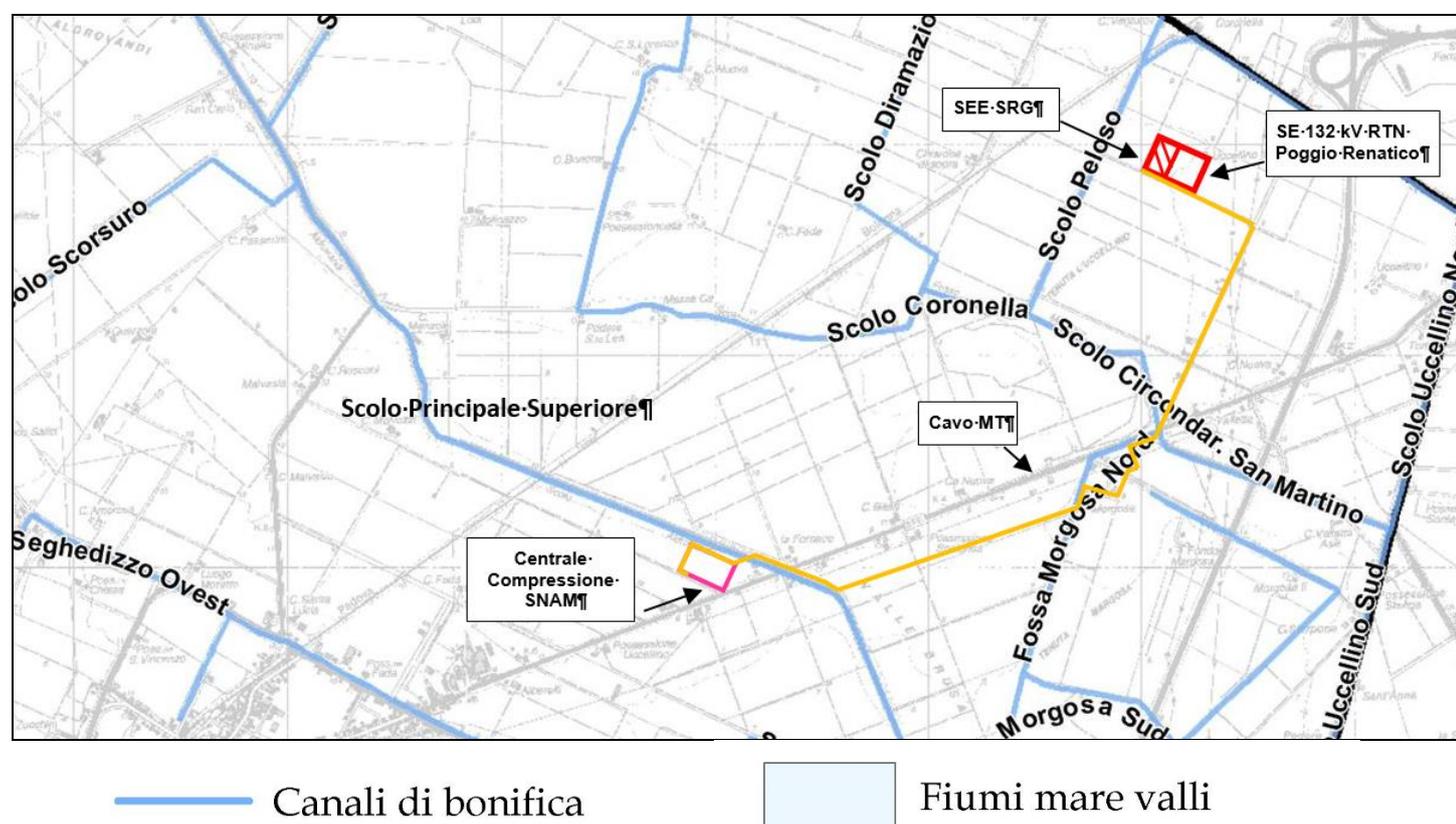


Figura 7 – Estratto della “Carta Idrografica del Territorio Intercomunale” del Piano di Emergenza Intercomunale di Protezione Civile dell’Associazione Intercomunale Alto Ferrarese.

Dal punto di vista idrogeologico l'area dell'Alto Ferrarese è suddivisibile in tre gruppi acquiferi (denominati dall'alto al basso A, B e C), separati fra loro tramite l'interposizione di importanti acquitardi. All'interno di ciascuno di essi sono poi distinguibili delle unità idrostratigrafiche gerarchicamente inferiori, denominate complessi acquiferi, sulla base del loro spessore, della continuità ed estensione areale e del volume complessivo. (ENI-AGIP, 1988). I tre Gruppi Acquiferi siano separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, che isolano perfettamente i diversi sistemi di circolazione e quindi le risorse allocate nei diversi Gruppi Acquiferi cosicché ciascuno di essi è caratterizzato da un differente stato quali/quantitativo

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

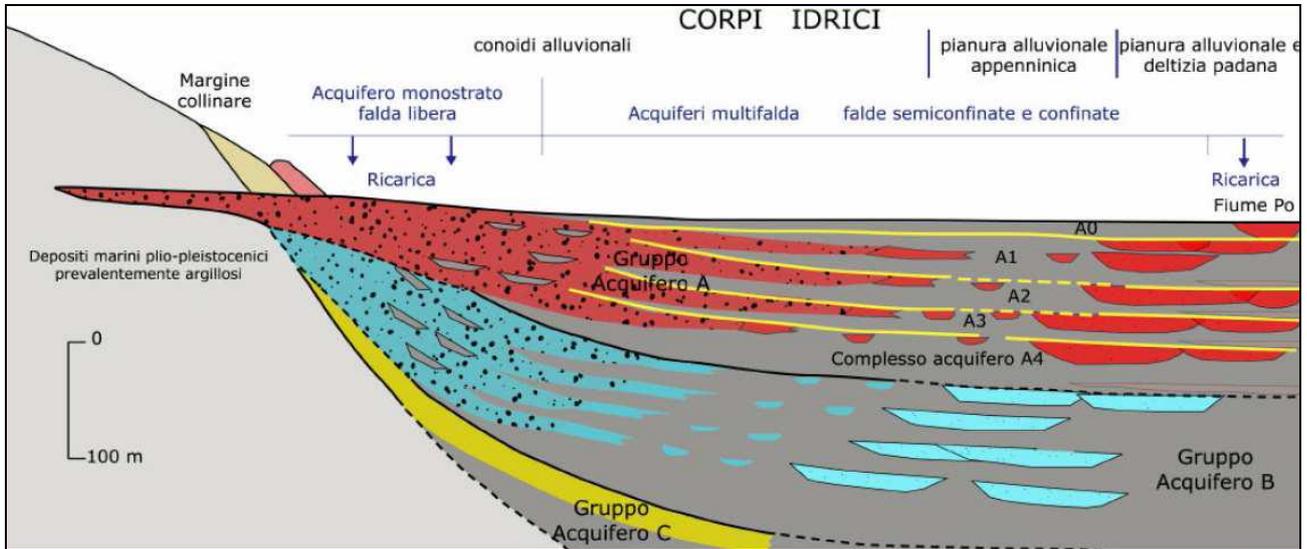


Figura 8 – Distribuzione schematica dei corpi idrici, e delle unità idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola.

Dal punto di vista litologico, gli acquiferi individuati sono essenzialmente distinguibili in due tipi differenti:

- Nel settore Sud della pianura emiliano-romagnola sono prevalentemente costituiti da ghiaie di pertinenza appenninica depositatesi allo sbocco in pianura che formano dei grossi corpi ghiaiosi sovrapposti gli uni agli altri per alcune centinaia di metri di spessore (conoidi);
- Nel settore Nord sono costituiti in prevalenza da sabbie che il Po ha depositato lungo il suo percorso e nel suo apparato deltizio (pianura alluvionale).

Nell'area dell'Alto Ferrarese sono presenti acquiferi di piana alluvionale costituiti quasi esclusivamente da sabbie grossolane e medie. Nonostante complessivamente vi sia una elevata percentuale di depositi sabbioso-grossolani, la circolazione idrica all'interno di questi depositi è complessivamente ridotta. Nella seguente tabella vengono riportati i principali parametri idraulici dei diversi Gruppi Acquiferi, in corrispondenza dell'Alto Ferrarese.

Gruppo Acquifero A	Gruppo Acquifero B	Gruppo Acquifero C
	Pianura Alluvionale ad alimentazione appenninica (zona di Bologna) $K_m = 10^{-5} \text{ m/s}$ $S_{sm} = 10^{-5} \text{ m}^{-1}$	Delta-conoide distale ad alimentazione appenninica (zona di Ferrara) $K_m = 10^{-5} \text{ m/s}$ Delta-conoide distale ad alimentazione appenninica (zona Bologna) $K_m = 10^{-4} \text{ m/s}$ $S_{sm} = 10^{-6} \text{ m}^{-1}$
Riempimenti di Canali del delta del paleo Po (fascia Modena-Ferrara) $K_m = 10^{-4} \text{ m/s}$ $S_{sm} = 10^{-5} \text{ m}^{-1}$	Piana deltizia del paleoPo (zona di Bologna) $K_m = 10^{-4} \text{ m/s}$ $S_{sm} = 10^{-4} \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$	
	Lobi deltizi distali del paleo Po (zona di Ferrara) $n_e = 32 - 44\%$.	Lobi deltizi del paleo Po (zona di Bologna) $K_m = 10^{-5} \text{ m/s}$ $S_{sm} = 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ $n = 34\%$

 <p>T E R N A G R O U P</p>	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

In particolare, ai fini del presente studio, si analizzano di seguito le principali caratteristiche del Gruppo Acquifero A, quello più superficiale che in parte sarà interessato dalle opere in progetto.

Il Gruppo Acquifero A è suddiviso in 5 Unità Idrostratigrafiche principali denominate Complessi Acquiferi di cui quello di interesse è il Complesso Acquifero A0 (l'acquifero freatico).

Questo complesso è costituito prevalentemente da corpi sabbiosi nastriformi. Spesso questi depositi sabbiosi sono circondati da livelli di argille e limi di piana deltizia o di palude/laguna che costituiscono l'acquitrando del sistema acquifero A0. Nella parte sommitale di questo complesso è contenuta la falda libera superficiale, essa è caratterizzata da un gradiente piezometrico compreso tra 0.05 % e 0.15 % e si attesta a pochi metri da p.c.. La direzione di flusso è indicativamente SO-NE con locali deviazioni, come nel caso dell'area d'interesse, dove assume un andamento NO-SE.

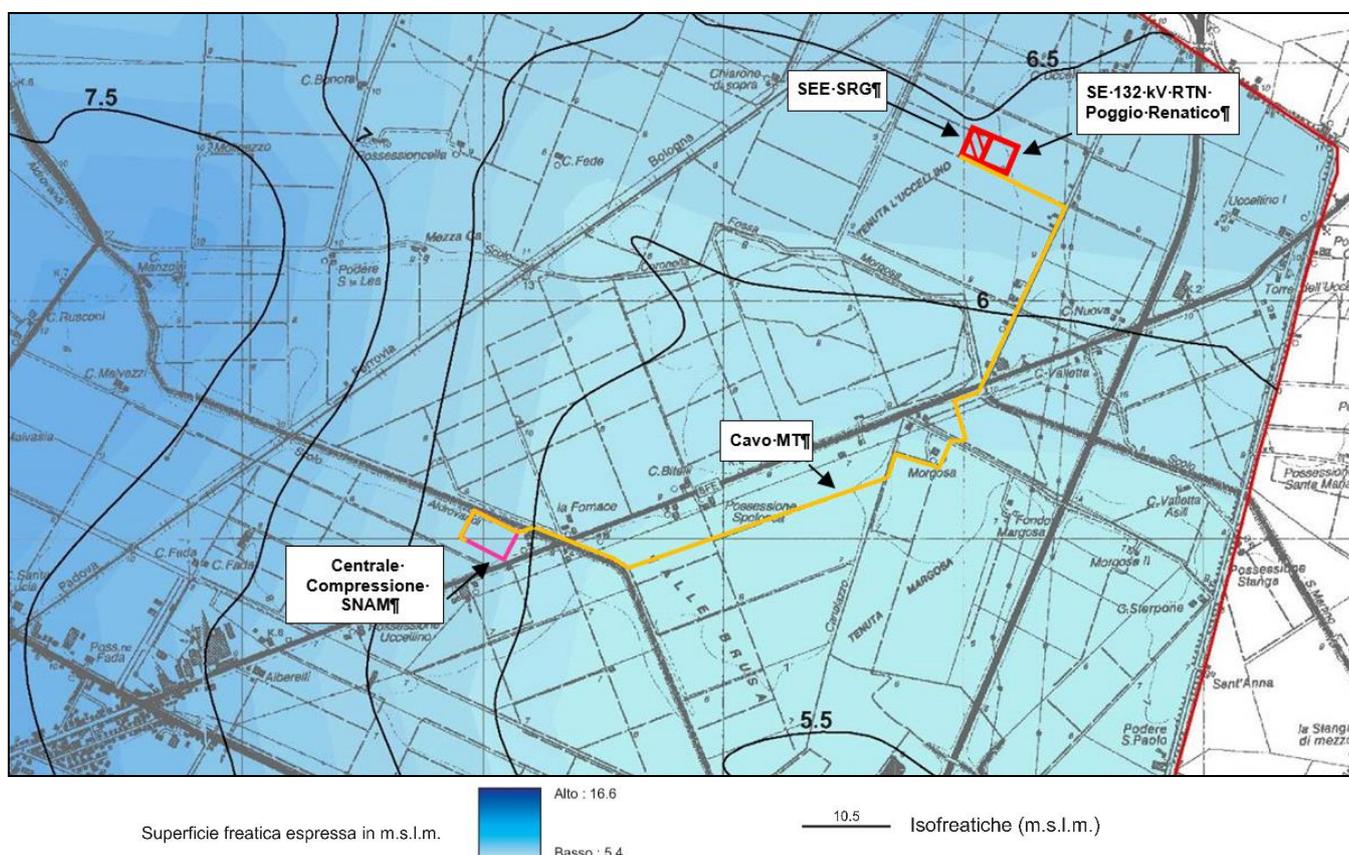


Figura 9 – Estratto della “Carta della Superficie Freatica” del Piano Strutturale Comunale Associato dell’Associazione Intercomunale Alto Ferrarese.

In particolare nell’ambito delle indagini effettuate, sono state svolte misurazioni della soggiacenza della falda, in corrispondenza di 3 punti di sondaggio, allestiti a piezometro al termine delle perforazioni, che è risultata variabile da 2,15 a 2,40 m.

In tabella si riportano i valori misurati nella campagna eseguita nei mesi di giugno-luglio 2021.

ID Sondaggio	Soggiacenza falda (m da p.c.)	Data misurazione
S01	2,15	30/06/2021
S04	2,35	01/07/2021
S05	2,40	01/07/2021

Tali valori sono stati misurati in condizioni di meteo asciutto, in seguito a un periodo di fenomeni piovosi di lieve entità (6 mm in 7 giorni) avvenuti nella settimana antecedente.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	Rev. < 02 >

8 TIPOLOGIA E UBICAZIONE DELLE INDAGINI EFFETTUATE

Per la definizione delle caratteristiche idrogeologiche, litologiche, geotecniche e sismiche sito specifiche sono stati eseguiti:

- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a 20 m di profondità da piano campagna e realizzati mediante l'ausilio di una sonda cingolata, dotata di un sistema di rotazione a secco;
- n. 5 prove penetrometriche statiche continue (CPTU) realizzate mediante penetrometro statico Pagani TG-63-200, spinte fino alla profondità di 20 m da piano campagna;
- n. 6 stendimenti sismici (4 indagini MASW e 2 geoelettriche)
- prelievo di n. 10 campioni di terreno indisturbato e n.10 campioni di terreno rimaneggiato per definire le caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati;
- allestimento, al termine delle prove, di piezometri in corrispondenza di 3 dei sondaggi eseguiti (denominati S01-S04-S05).

In particolare, l'ubicazione delle indagini viene riportata nella figura seguente.



Figura 10 - Ubicazione indagini; in rosso viene delimitata l'area oggetto di studio.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >

9 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOLOGICHE

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati realizzati mediante l'ausilio di una sonda cingolata dotata di un sistema di rotazione a secco. La perforazione è stata effettuata con un carotiere da 127 mm seguito da un rivestimento da 152 mm. Tutti i sondaggi sono stati spinti sino alla profondità di 20 m da p.c..



Figura 11 - Strumentazione per realizzazione sondaggi.

I terreni estratti sono stati riposti in apposite cassette catalogatrici in plastica per permetterne la descrizione stratigrafica ed il campionamento geotecnico.

Di seguito si riportano i risultati stratigrafici dei sondaggi eseguiti durante la campagna di caratterizzazione geologico-geotecnica svolta nei mesi di Giugno e Luglio 2021, insieme alla relativa documentazione fotografica.

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

Sondaggio 1

Modalità indagine	Sondaggio verticale	 <p>Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m</p>
Data	26-28/06/2021	
Profondità raggiunta	20.0 m da p.c.	
Livello di Falda (m da p.c.)	2,15	 <p>Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m</p>
Campioni Prelevati: A: Ambientale GT: Geotecnico	S01 (5.5-6.0) -GT S01 (6.0-6.5) – GT S01 (8.5-9.0) -GT S01 (12.0-12.5) -GT S01 (0.0-1.0) – A S01 (1.0-2.0) – A S01 (2.0-3.0) - A	
 <p>Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m</p>	 <p>Cassetta 4: 15.0 – 20.0 m</p>	

Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0-4.5	Limo argilloso color nocciola
4.5-9	Alternanze di argilla limosa compatta e limo argilloso, color grigio chiaro con locali intercalazioni di materiale torboso
9-10	Limi debolmente argillosi
10-15.6	Alternanze di argilla limosa color grigio-azzurro con rari e sparsi resti conchigliari e limi argillosi color grigio, localmente torbosi
15.6-18.5	Limi da debolmente a localmente argillosi, color grigio chiaro-nocciola

Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	Rev. < 02 >
-----------------------------------------------------------------	--------------------------	-----------------------------------------------------------------------------	--------------------------

18.5-19.8	Limi da argillosi a sabbiosi, color grigio chiaro nocciola
19.8-20.0	Sabbie fini limose, color grigio

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

Sondaggio 2

Modalità indagine	Sondaggio verticale	 <p align="center">Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m</p>
Data	24-25/06/2021	
Profondità raggiunta	20.0 m da p.c.	
Livello di Falda (m da p.c.)	-	
Campioni Prelevati: A: Ambientale GT: Geotecnico	S02 (6.0-6.5) -GT S02 (9.5-10.0) – GT S02 (12.0-12.5) -GT S02 (15.5-16.0) -GT S02 (0.0-1.0) – A S02 (1.0-2.0) – A S02 (2.0-3.0) - A	 <p align="center">Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m</p>
 <p align="center">Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m</p>		 <p align="center">Cassetta 4: 15.0 – 20.0 m</p>

Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0.0-3.2	Limi argillosi color marrone chiaro
3.2-5.0	Argille da debolmente a limose color grigio chiaro-nocciola
5.0-15.5	Limi da debolmente a localmente argillosi, colore da grigio scuro a grigio chiaro; presenza di livelli torbosi tra 5 a 6 m
15.6-16.8	Limi sabbiosi color grigio chiaro
16.8-19.6	Limi da sabbiosi a localmente argillosi color grigio chiaro-nocciola

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

19.6-20.0

Sabbie fini limose color grigio chiaro nocciola

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

Sondaggio 3

Modalità indagine	Sondaggio verticale	 <p>Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m</p>
Data	25-26/06/2021	
Profondità raggiunta	20.0 m da p.c.	
Livello di Falda (m da p.c.)	-	
Campioni Prelevati: A: Ambientale GT: Geotecnico	S03 (6.0-6.5) -GT S03 (7.5-8.0) – GT S03 (12.0-12.5) -GT S03 (13.5-14.0) -GT S03 (0.0-1.0) – A S03 (1.0-2.0) – A S03 (2.0-3.0) - A	 <p>Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m</p>
 <p>Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m</p>	 <p>Cassetta 4: 15.0 – 20.0 m</p>	

Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0.0-2.8	Limi argillosi color nocciola
2.8-5.0	Alternanze di limi argillosi ed argille limose color nocciola
5.0-10.0	Alternanze di limi argillosi ed argille limose color grigio con livelli a torba tra 5.5 e 5.8m e rari e sparsi resti conchigliari
10.0-18.2	Limi da debolmente a localmente argillosi color grigio con livelli torbosi tra 14.3 e 14.8 m

Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	Rev. < 02 >
-----------------------------------------------------------------	--------------------------	-----------------------------------------------------------------------------	--------------------------

18.2-18.8	Limi sabbiosi color grigio-nocciola
18.8-20.0	Limi argillosi colore grigio chiaro

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

Sondaggio 4

Modalità indagine	Sondaggio verticale	 <p align="center">Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m</p>
Data	29-30/06/2021	
Profondità raggiunta	20.0 m da p.c.	
Livello di Falda (m da p.c.)	2,35	
Campioni Prelevati: A: Ambientale GT: Geotecnico	S04 (6.00-6.50) – GT S04 (9.0-9.5) -GT S04 (12.0-12.5) -GT S04 (14.5-15.0) -GT S04 (0.0-1.0) – A S04 (1.0-2.0) – A S04 (2.0-3.0) - A	 <p align="center">Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m</p>
 <p align="center">Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m</p>		 <p align="center">Cassetta 4: 15.0 – 20.0 m</p>

Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0.0-3.4	Limi argillosi color nocciola
3.4-9.0	Alternanze di limi argillosi ed argille limose color grigio, con locali e limitati livelli torbosi tra 5 e 6.5 m
9.0-10.0	Limi debolmente argillosi color grigio scuro
10.0-15.3	Alternanze di limi argillosi ed argille limose color grigio scuro
15.3-16.7	Limi sabbiosi passanti a sabbie limose color grigio chiaro

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	

16.7-19.6	Alternanza di limi sabbiosi ed argille limoso-sabbiose di colore da grigio chiaro a nocciola
19.6-20.0	Sabbie medio-fini color nocciola

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

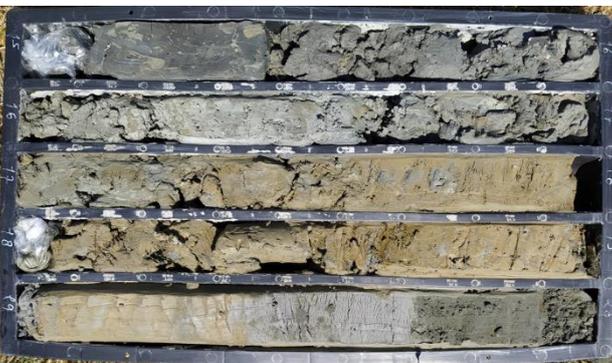
Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

Sondaggio 5

Modalità indagine	Sondaggio verticale	
Data	30/06-1/07/2021	
Profondità raggiunta	20.0 m da p.c.	Cassetta 1: 0.0 – 5.0 m
Livello di Falda (m da p.c.)	2,40	
Campioni Prelevati: A: Ambientale GT: Geotecnico	S05 (4.0-4.5) -GT S05 (6.00-6.50) – GT S05 (11.0-11.5) -GT S05 (12.0-12.5) -GT S05 (0.0-1.0) – A S05 (1.0-2.0) – A S05 (1.0-3.0) - A	
		Cassetta 2: 5.0 – 10.0 m
		Cassetta 3: 10.0 – 15.0 m
		
		Cassetta 4: 15.0 – 20.0 m

Profondità (m da p.c.)	Descrizione stratigrafica
0.0-3.6	Limo da debolmente ad argilloso, color grigio nocciola
3.6-8.5	Alternanze di limi argillosi ed argille limose di colore grigio con rari e sparsi resti conchigliari
8.5-10.0	Limi da debolmente a localmente argillosi, colore da nocciola a grigio
10.0-15.5	Alternanze di argille limose e limi argillosi, con locali livelli torbosi tra 13.6 e 13.8 m
15.5-17.6	Limi debolmente sabbioso-argillosi di colore da grigio a nocciola

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	

17.6-19.7	Alternanza di limi argilloso-sabbiosi e limi argillosi colore da grigio nocciola a grigio
19.7-20.0	Limi sabbiosi passanti a sabbie medio-fini grigie

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	
Rev. < 02>	Rev. < 02>	

10 INDAGINI GEOTECNICHE PER LA PARAMETRIZZAZIONE DEI TERRENI

La caratterizzazione geotecnica delle aree ove verrà installata la nuova stazione elettrica è stata effettuata tramite l'esecuzione di:

- prove penetrometriche statiche con misura delle sovrappressioni neutre CPTU, 5 in totale, in corrispondenza dei punti denominati CPTU01, CPTU02, CPTU03, CPTU04, CPTU05;
- prove SPT, 30 in totale, in corrispondenza dei sondaggi S01, S02, S03, S04 e S05;
- 20 prove geotecniche di laboratorio. 5 prove edometriche, 5 prove di taglio e 10 analisi granulometriche.

Di seguito vengono presentate le metodologie utilizzate ed i risultati ottenuti.

10.1 Prove CPTU

Sono state eseguite n°5 prove penetrometriche dinamiche con piezocono per la caratterizzazione dei terreni del sottosuolo e la determinazione delle pressioni neutre agenti alle diverse profondità.

Di seguito si riporta l'ubicazione delle prove effettuate e le relative profondità di indagine.

N.	ID Prova	Profondità (m da p.c.)
1	CPTU 01	20.03
2	CPTU 02	20.02
3	CPTU 03	20.00
4	CPTU 04	20.01
5	CPTU 05	20.01

Le prove sono state condotte mediante l'utilizzo di un penetrometro statico Pagani TG 63-200 capace di esercitare una spinta massima di 20 ton. Il sistema è semovente e dotato di cingoli gommati (Figura 12), inoltre è autoacorante, attraverso due elicoidi che vengono avvitate nel terreno, al fine di assicurare un adeguato contrasto alla spinta esercitata.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	



Figura 12 - Penetrometro statico Pagani

Le prove CPTU (Cone Penetration Test, inserite nelle norme ASTM D.3441-86 Ed.3441-94, nonché nelle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana), consiste nella misura della resistenza di penetrazione di una punta conica di dimensioni standard.

La profondità di penetrazione nel terreno è funzione della natura del terreno e della possibilità di spinta del penetrometro impiegato; ghiaia e inclusi litici grossolani costituiscono normalmente un ostacolo alla penetrazione, inducendo, talvolta, valori anomali nelle misure.

Per la realizzazione delle prove CPT-U è stato utilizzato un piezocono (Figura 13) costituito da una punta elettrica strumentata come segue:

- Strain gauges per la misura della resistenza alla punta (q_c) e dell'attrito laterale (f_s);
- filtro poroso trasduttore di pressione, per la misura della pressione dell'acqua interstiziale (U_2);
- sensori inclinometrici per la misura della deviazione della punta dalla verticale.

	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	
Rev. < 02 >	Rev. < 02 >	

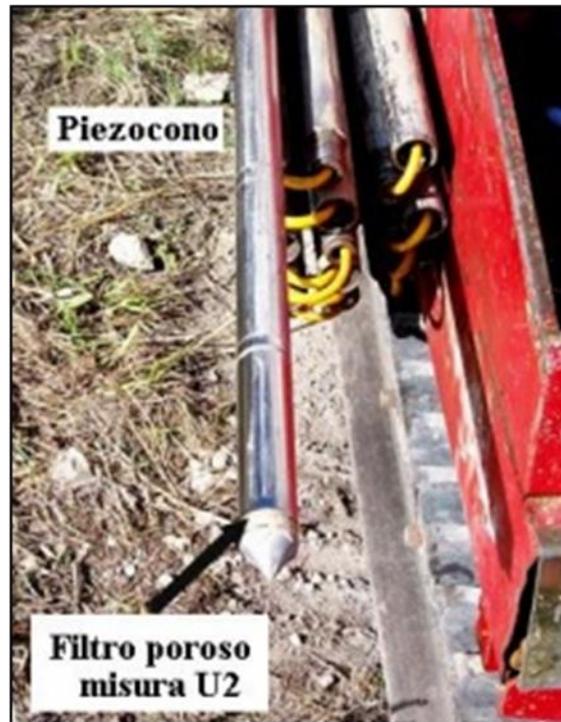


Figura 13 – Piezocono.

Prima di eseguire ciascuna prova, si è proceduto alla saturazione della punta attraverso immersione della stessa e dei suoi componenti in una vaschetta contenente olio silconico; si è poi proceduto alla disareazione del filtro poroso e del cono, cioè dello spazio immediatamente adiacente al trasduttore di pressione, all'assemblaggio del cono e del filtro, ed alla protezione della punta disareata fino al contatto con l'acqua nel foro, mediante una guaina di protezione.

Il piezocono impiegato presenta le seguenti caratteristiche:

Angolo di apertura cono	60°
Diametro	36 mm
Sezione di spinta	10 cmq
Superficie laterale	150 cmq
Peso	3.5 kg
Lunghezza	855 mm

Il sistema è completato da una centralina che alimenta i sensori installati sulla punta, ne riceve, amplifica e decodifica i segnali trasformandoli in unità ingegneristiche e li trasmette ad una unità di registrazione provvista di un sistema per la visualizzazione dei grafici in tempo reale, da un encoder, collegato meccanicamente al dispositivo di spinta, che fornisce il parametro profondità e da un sistema di registrazione e memorizzazione delle prove direttamente in cantiere.

Le prove sono state eseguite ad una velocità di infissione costante pari a 20 mm/s \pm 5 mm/s. Gli esiti delle prove eseguite, nonché i grafici ottenuti sono riportati nelle figure seguenti.

Si rimanda all'**Allegato 1** per gli elaborati delle prove realizzate.

 <p>Terna energy Solutions T E R N A G R O U P</p>	<p align="center">STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO</p> <p align="center">Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse</p>	 <p>Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria</p>
<p>Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 ></p>	<p>Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 ></p>	<p>Rev. < 02 ></p>

In totale sono state eseguite 5 prove CPTU fino a 20 m di profondità da piano campagna, la cui ubicazione è riportata nella figura seguente.



Figura 14 - Ubicazione delle prove penetrometriche statiche CPTU

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

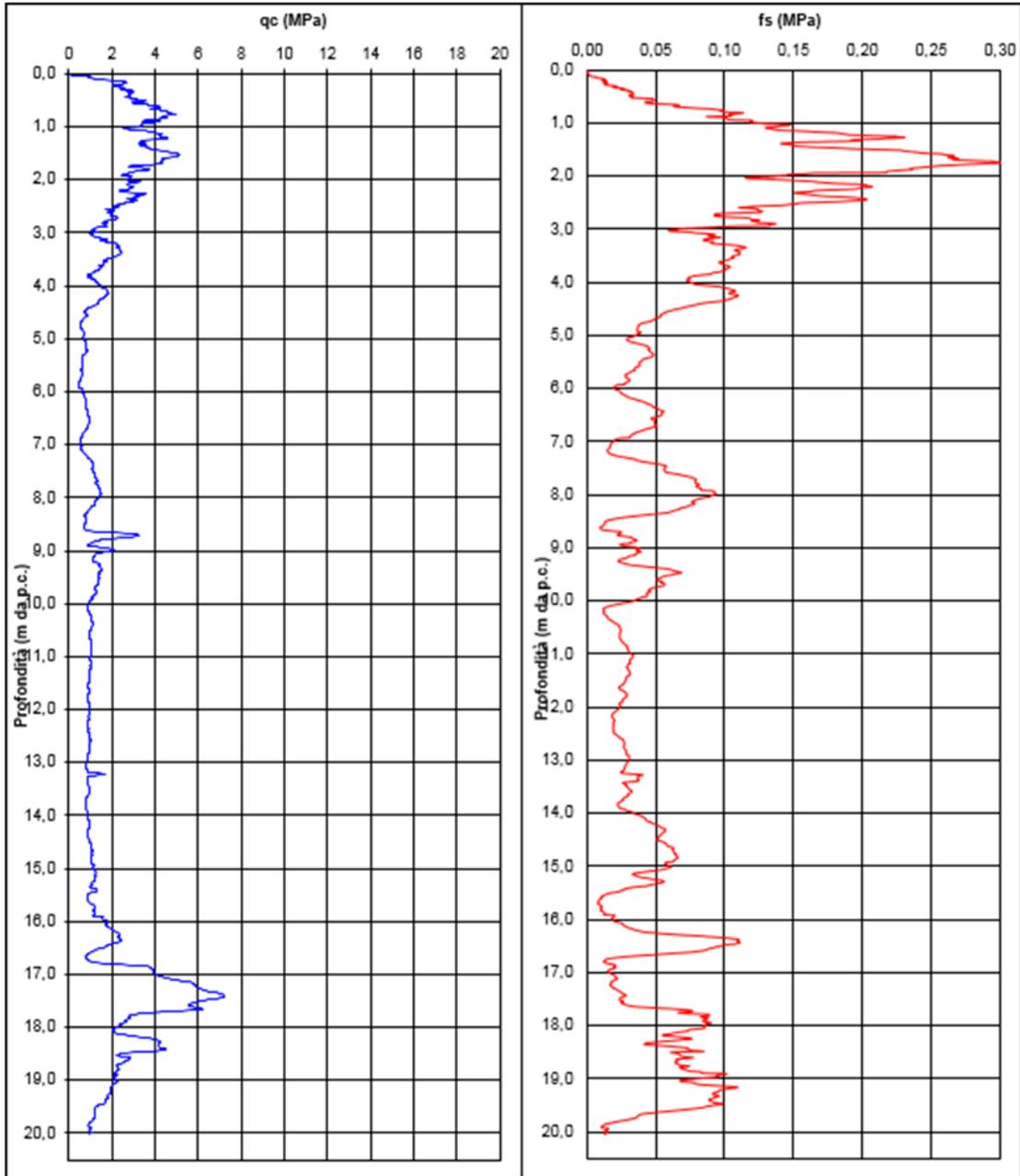
Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

10.1.1 CPTU 01



Codifica Elaborato Terna:

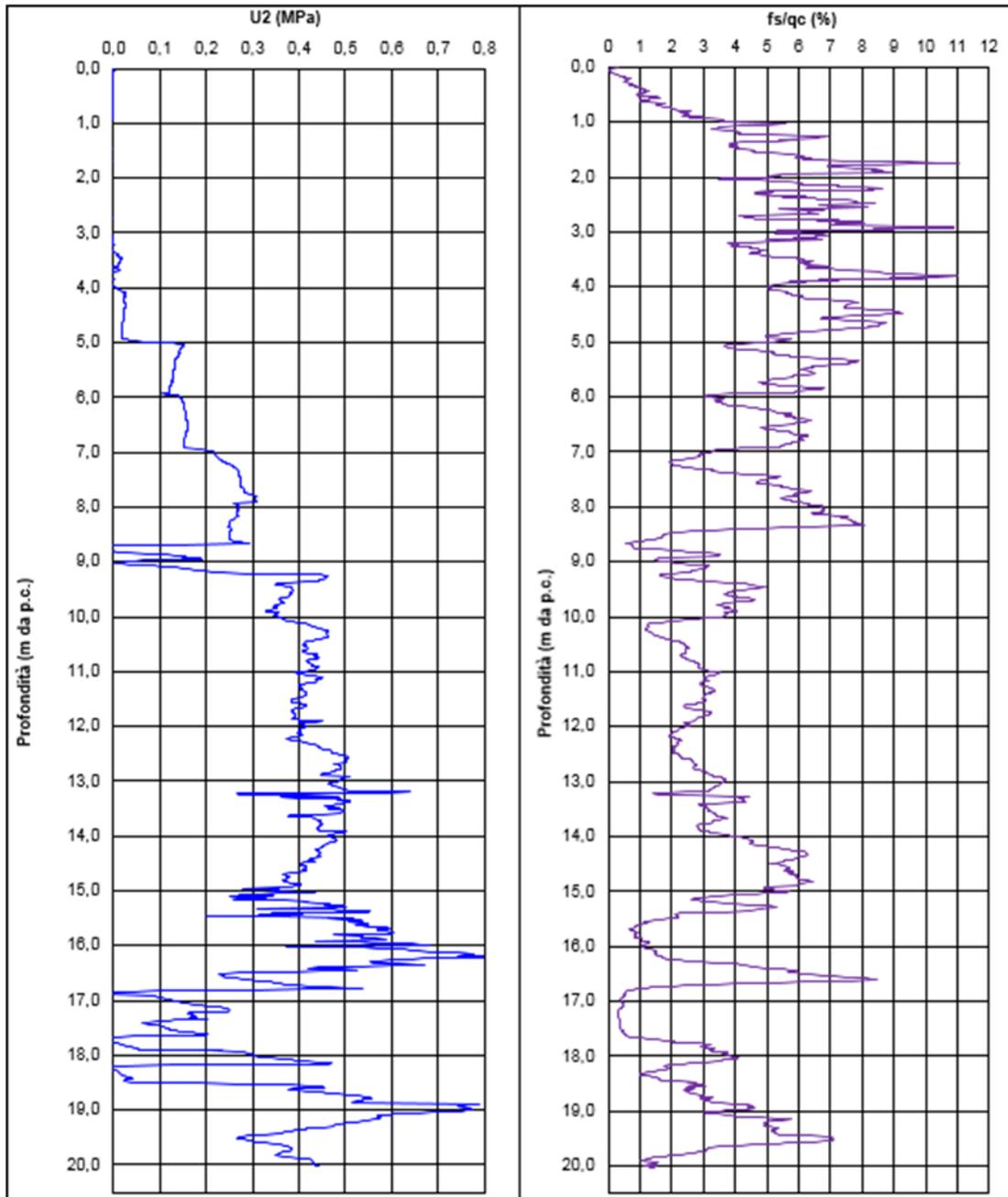
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

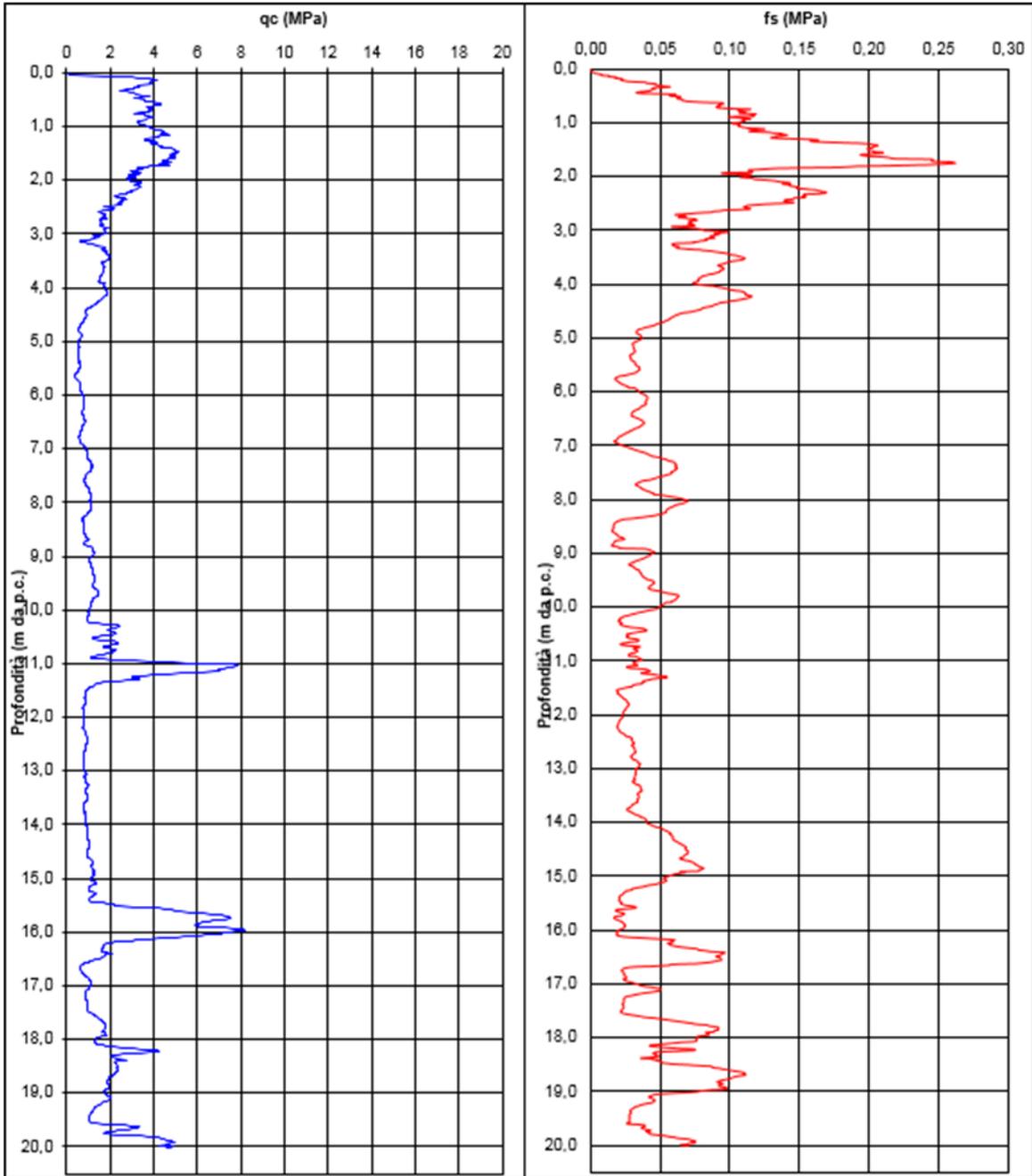
Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

10.1.2 CPTU 02



Codifica Elaborato Terna:

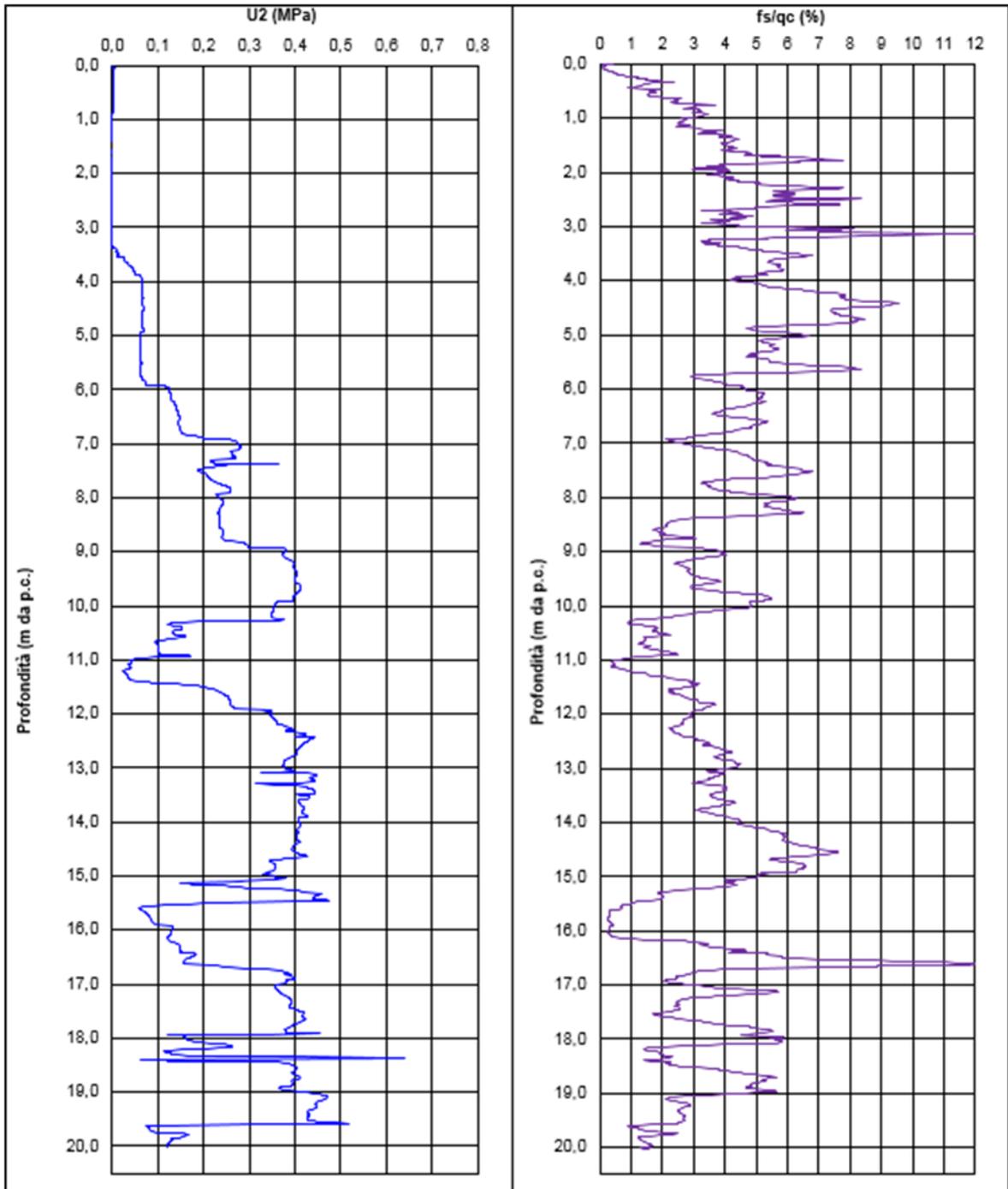
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

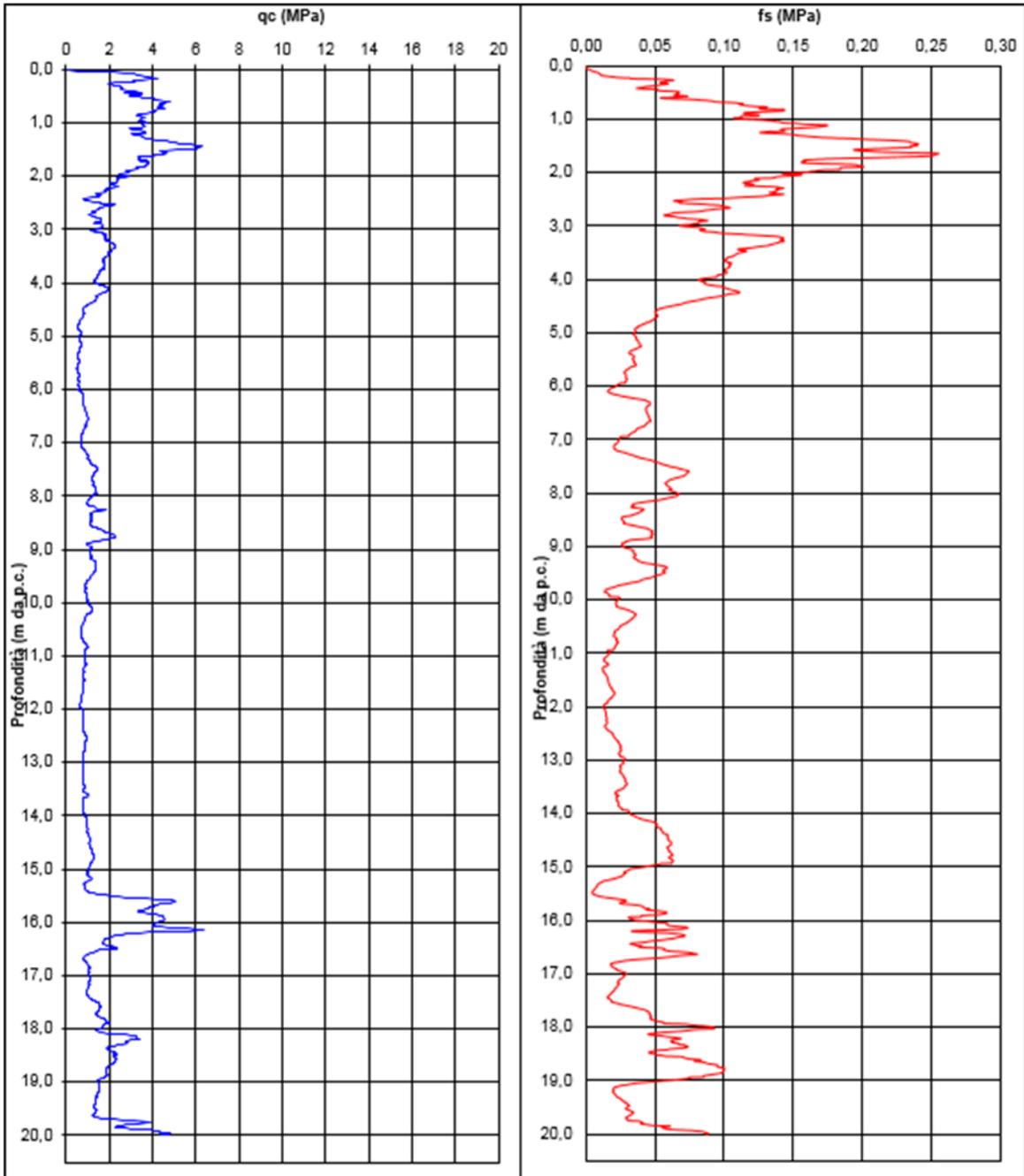
Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

10.1.3 CPTU 03



Codifica Elaborato Terna:

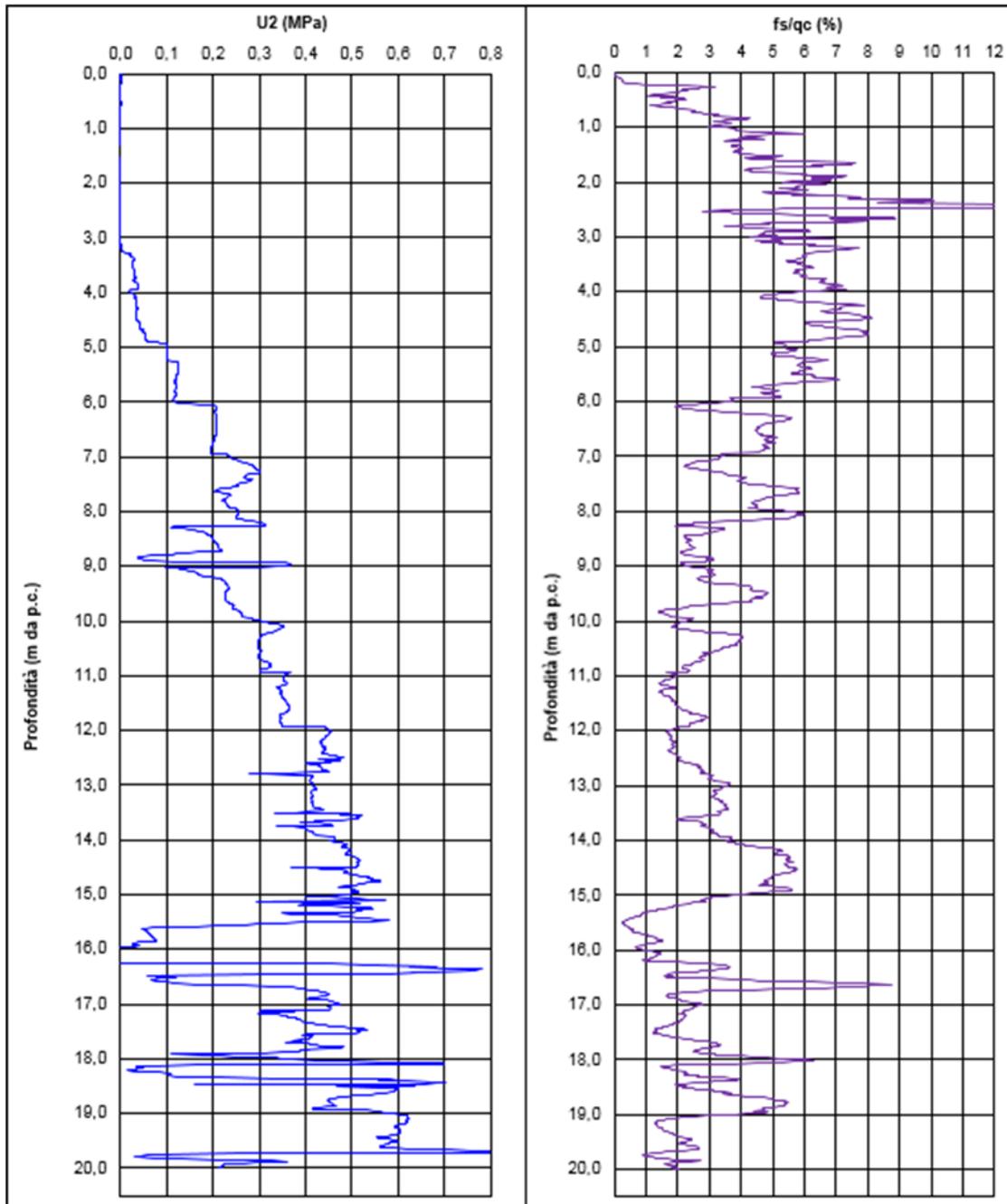
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

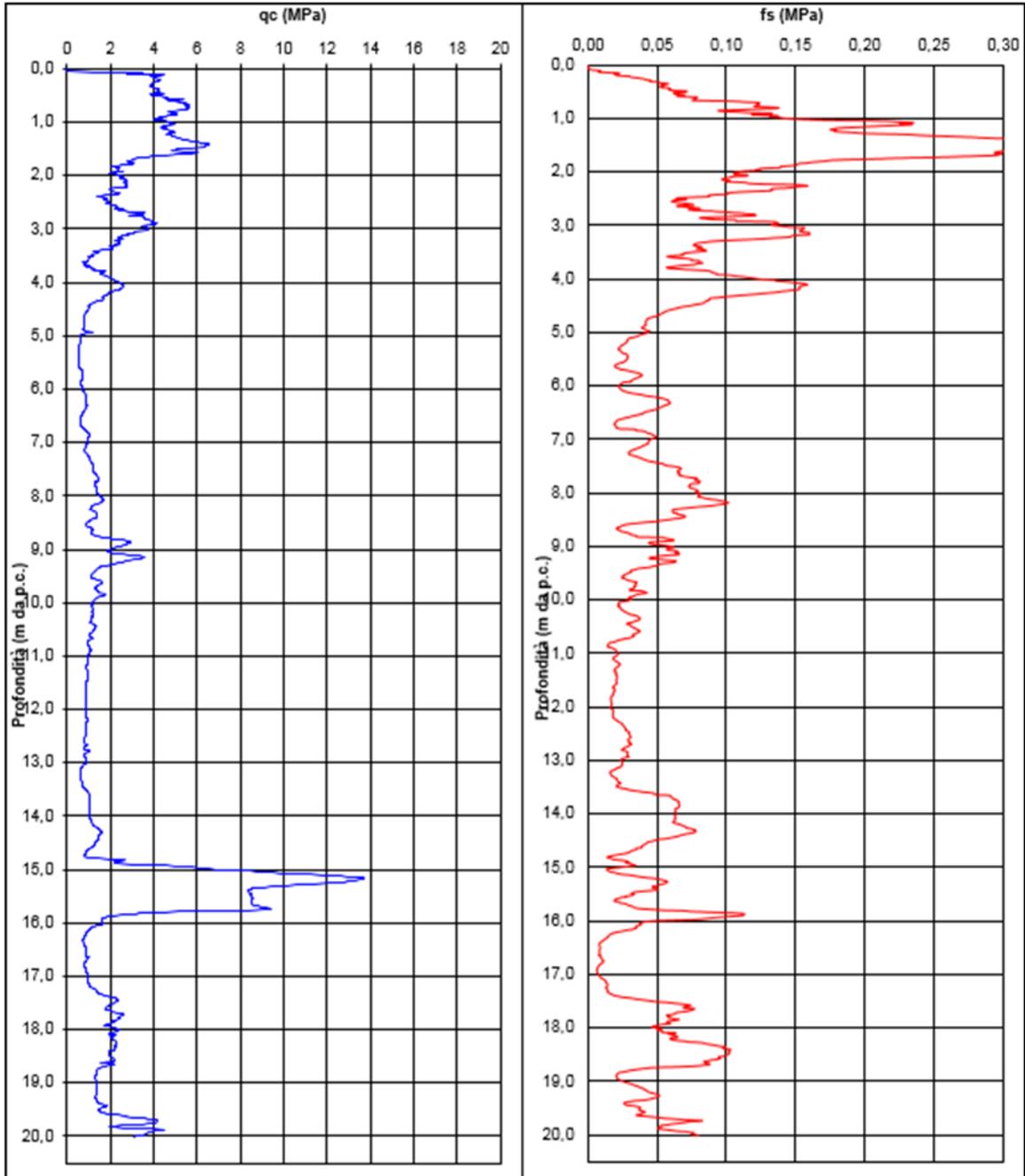
Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

10.1.4 CPTU 04



Codifica Elaborato Terna:

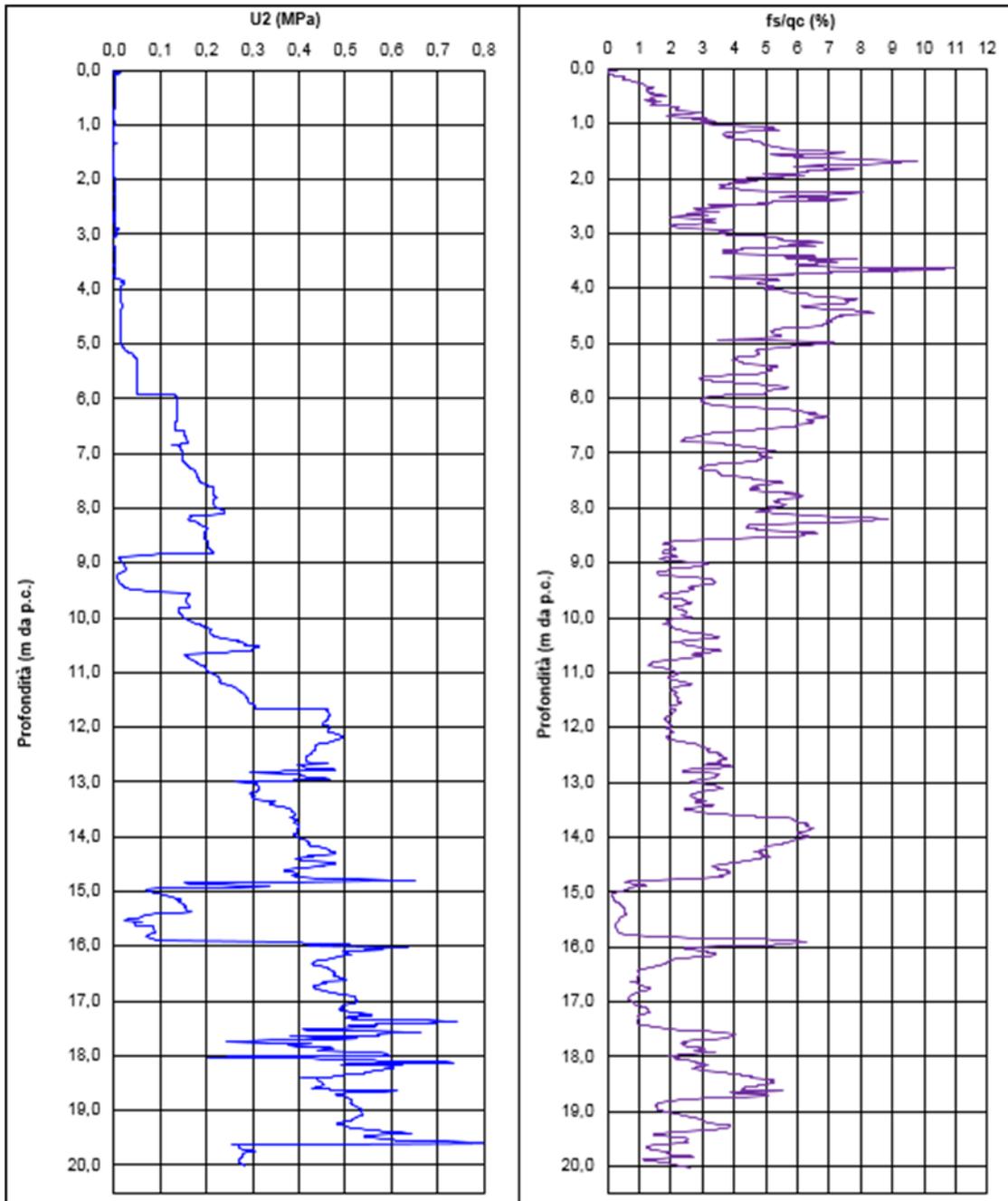
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

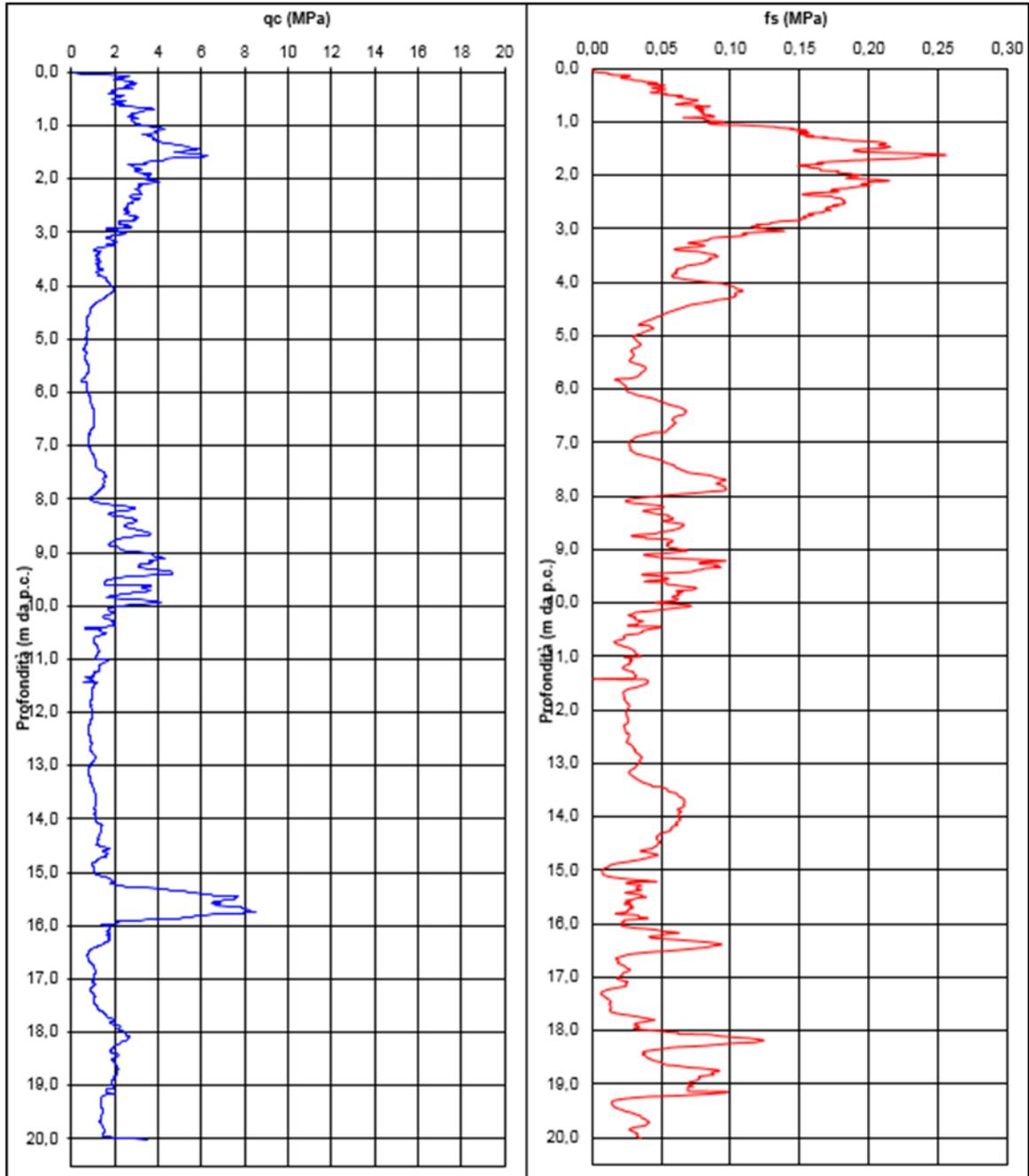
Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

10.1.5 CPTU 05



Codifica Elaborato Terna:

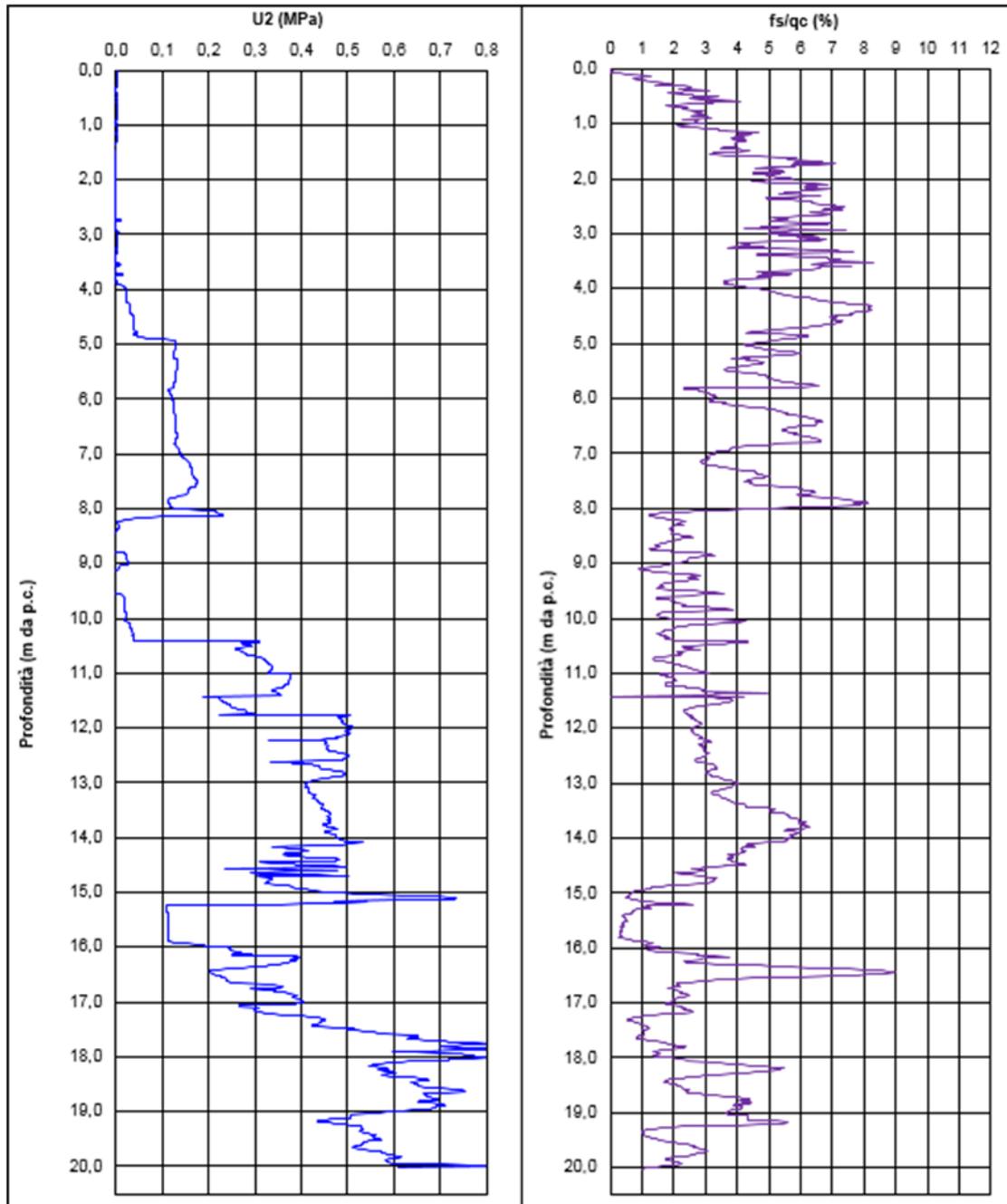
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



10.1.6 Sintesi delle prove CPTU

Le prove eseguite, entro i primi 20 m da p.c., hanno evidenziato valori di Resistenza alla Punta (Q_c) compresi tra 0.0 MPa e 14.0 MPa e valori di Resistenza Laterale (F_s) compresi tra 0 Mpa e 0.36 Mpa.

Dall'analisi dei grafici, ottenuti dai valori acquisiti durante le prove, si evidenzia in tutti i casi una stratigrafia omogenea caratterizzata dalla prevalenza di termini fini, quali limi ed argille, con intercalazioni sabbiose di limitato spessore, in accordo con quanto riportato dalla bibliografia relativa alla zona di indagine e dalle risultanze ottenute dai sondaggi e dalle prove SPT eseguite durante la medesima campagna di caratterizzazione.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	Rev. < 02 >

I valori più elevati di Q_c nei primi 2-3 metri di terreni incontrati in corrispondenza di ogni prova, sono probabilmente da riferire alla presenza di materiale rimaneggiato più grossolano (limo-sabbioso) rispetto a quanto rinvenuto a profondità maggiore.

10.2 Prove SPT in Foro

Le prove SPT (Standard Penetration Test) consistono nell'infissione a percussione nel terreno, mediante un apposito maglio e per un dato avanzamento, uno speciale campionatore o una punta conica (a seconda della granulometria del materiale testato), determinando così la resistenza meccanica del terreno alla penetrazione.

Per la descrizione dell'attrezzatura e della prova si rimanda alle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana (Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche, 1977) e dell'Associazione Geotecnica Internazionale (ISSMFE).

In totale sono state eseguite 30 prove SPT, 6 in corrispondenza di ogni verticale di sondaggio effettuate.

Nella tabella seguente si riportano la profondità di esecuzione delle singole prove, il numero di colpi per avanzamento (15 cm) ed il numero di N_{SPT30} .

ID Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	SPT	N SPT
S01	3.0	4-4-5	9
	6.5	4-5-4	9
	9.0	3-3-4	7
	12.5	3-4-4	8
	15	5-5-4	9
	18	2-4-5	9
S02	3.0	4-5-4	9
	6.5	2-4-4	8
	9.0	4-3-4	7
	12.5	3-4-5	9
	15	10-8-2	10
	18	3-3-3	6
S03	3.0	3-4-5	9
	6.5	2-3-4	7
	9.0	4-3-3	6
	12.5	3-4-4	8
	15	4-4-2	6
	18	5-6-7	13
S04	3.0	4-3-4	7
	6.5	3-2-3	5
	9.0	3-4-4	8
	12.5	3-3-4	7
	15	3-4-5	9
	18	4-4-5	9
S05	3.0	5-5-6	11
	6.5	2-2-4	6
	9.0	3-3-3	6
	12.5	3-4-5	9
	15	3-4-4	8
	18	3-5-4	9

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO		  		
	Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse		 		
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >			Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>		
Rev. < 02>			Rev. < 02>		

I dati desunti dalle prove SPT effettuate sono stati interpretati tramite l'utilizzo di un foglio di calcolo che tiene conto delle principali correlazioni note in bibliografia sulla base delle quali sono stati definiti i principali parametri geotecnici del terreno come di seguito riportato.

ID Sondaggio	Prof. Prova SPT	Litotipo		Coesione non drenata (Kpa)	Densità relativa (%)	Modulo elastico (Mpa)	Angolo di attrito interno (°)	Modulo edometrico (Mpa)	Modulo di taglio (Mpa)
S01	3.0	LA	I	n.c.	38.73	4.5	26.6	7.8	6.3
	6.5	AL	C	67.0	n.c.	n.c.	n.c.	6.0	8.4
	9.0	LdA	I	n.c.	36.51	4.2	26.0	6.6	5.7
	12.5	AL	C	60.3	n.c.	n.c.	n.c.	5.4	7.8
	15.0	AL	C	73.7	n.c.	n.c.	n.c.	6.6	9.1
	18.0	LdA	I	n.c.	44.72	5.5	28.4	8.0	7.8
S02	3.0	LA	I	n.c.	38.73	4.5	26.6	7.0	6.3
	6.5	LdA/LA	I	n.c.	36.51	4.2	26.0	6.6	5.7
	9.0	LdA/LA	I	n.c.	36.51	4.2	26.0	6.6	5.7
	12.5	LdA/LA	I	n.c.	40.82	4.8	27.2	7.3	6.8
	15.0	LdA/LA	I	n.c.	44.72	5.5	28.4	8.0	7.8
	18.0	LSA	I	n.c.	36.51	4.2	26.0	6.6	5.7
S03	3.0	LA/AL	I	n.c.	38.73	4.5	26.6	7.0	6.3
	6.5	LA/AL	I	n.c.	34.16	3.9	25.2	6.3	5.2
	9.0	LA/AL	I	n.c.	31.62	3.5	24.5	5.9	4.6
	12.5	LdA/LA	I	n.c.	38.73	4.5	26.6	7.0	6.3
	15.0	LdA/LA	I	n.c.	34.16	3.9	25.2	6.3	5.2
	18.0	LdA/LA	I	n.c.	53.23	7.1	31.0	9.8	10.2
S04	3.0	LA/AL	I	n.c.	34.16	3.9	25.2	6.3	5.2
	6.5	LA/AL	I	n.c.	28.87	3.2	23.7	5.6	4.0
	9.0	LdA	I	n.c.	36.51	4.2	26.0	6.6	5.7
	12.5	LA/AL	I	n.c.	36.51	4.2	26.0	6.6	5.7
	15.0	LA/AL	I	n.c.	40.82	4.8	27.2	7.3	6.8
	18.0	LSA	I	n.c.	42.82	5.1	27.8	7.7	7.3
S05	3.0	LdA/LA	I	n.c.	42.82	5.1	27.8	7.7	7.3
	6.5	LA/AL	I	n.c.	31.62	3.5	24.5	5.9	4.6
	9.0	LdA	I	n.c.	31.62	3.5	24.5	5.9	4.6
	12.5	AL/LA	I	n.c.	40.82	4.8	27.2	7.3	6.8
	15.0	AL/LA	I	n.c.	38.73	4.5	26.6	7.0	6.3
	18.0	LAS/LA	I	n.c.	42.82	5.1	27.8	7.7	7.3

Correlazioni utilizzate per la definizione dei parametri geotecnici del terreno:

Litologia		Coesione non drenata	Densità relativa	Modulo elastico	Angolo di attrito interno	Modulo edometrico	Modulo di taglio
AL	C	Terzaghi	n.c.	n.c.	n.c.	Stroudt 2	Ohsaki
LA	I	n.c.	Skempton (1986)	Webb 2	Road Bridge	Menzenbach e Malcev 1	Ohsaki 2
LdA	I	n.c.	Skempton (1986)	Webb 2	Road Bridge	Menzenbach e Malcev 1	Ohsaki 2
LSA	I	n.c.	Skempton (1986)	Webb 2	Road Bridge	Menzenbach e Malcev 1	Ohsaki 2
LA/AL	I	n.c.	Skempton (1986)	Webb 2	Road Bridge	Menzenbach e Malcev 1	Ohsaki 2

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 > Rev. < 02>	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02> Rev. < 02>	

AL/LA	I	n.c.	Skempton (1986)	Webb 2	Road Bridge	Menzenbach e Malcev 1	Ohsaki 2
Legenda Litologie AL: Argilla Limosa LA: Limo Argilloso LdA: Limo debolmente Argilloso LSA: Limo Sabbioso-Argilloso S: Sabbia A: Argilla L: Limo C: Coesivo I: Incoerente							

I valori di SPT ottenuti rispecchiano le caratteristiche dei terreni attraversati, evidenziando una limitata eterogeneità verticale dei dati. Essi rivelano qualità geotecniche dei terreni di fondazioni mediocri.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	

10.3 Prove di laboratorio geotecnico

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto sono stati prelevati:

- N. 10 campioni di terreno rimaneggiato;
- N. 10 campioni di terreno indisturbato.

Sono stati prelevati n. 4 campioni per verticale di sondaggio di cui due rimaneggiati, prelevati direttamente dalle cassette catalogatrici al termine delle attività di perforazione, e due indisturbati, prelevati con Campionatore Shelby direttamente in foro.

La profondità dei campioni rimaneggiati è stata scelta sulla base delle variazioni litologiche riscontrate durante le indagini, mentre i campioni indisturbati sono stati prelevati alle quote di 6.0-6.5 m e 12.0-12.5 m in funzione della tipologia e del dimensionamento delle opere previste.

La tabella seguente riporta i dati relativi ai campioni prelevati.

ID Sostegno	ID Campione	Profondità (m da p.c.)	Tipologia
1	Sond_01	6.00-6.50	Indisturbato
	Sond_01	12.00-12.50	Indisturbato
	Sond_01	5.50-6.00	Rimaneggiato
	Sond_01	8.50-9.00	Rimaneggiato
2	Sond_02	6.00-6.50	Indisturbato
	Sond_02	12.00-12.50	Indisturbato
	Sond_02	9.50-10.00	Rimaneggiato
	Sond_02	15.50-16.00	Rimaneggiato
3	Sond_03	6.00-6.50	Indisturbato
	Sond_03	12.00-12.50	Indisturbato
	Sond_03	7.50-8.00	Rimaneggiato
	Sond_03	13.50-14.00	Rimaneggiato
4	Sond_04	6.00-6.50	Indisturbato
	Sond_04	12.00-12.50	Indisturbato
	Sond_04	9.00-9.50	Rimaneggiato
	Sond_04	14.50-15.00	Rimaneggiato
5	Sond_05	6.00-6.50	Indisturbato
	Sond_05	12.00-12.50	Indisturbato
	Sond_05	4.00-4.50	Rimaneggiato
	Sond_05	11.0-11.5	Rimaneggiato

Sui campioni di terreno rimaneggiato sono state seguite le seguenti analisi di laboratorio:

- granulometria;
- limiti di consistenza;
- peso di volume naturale;

Sui campioni di terreno indisturbato sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- prova di compressibilità edometrica, sui campioni prelevati tra 6.00-6.50 m;
- prova di taglio diretto, sui campioni prelevati tra 12.00-12.50 m;

 Ternaenergy Solutions <small>T E R N A G R O U P</small>	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO	   Idrogea <small>Servizi S.r.l.</small> <small>Società di Ingegneria</small>  	
	Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse		
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >		Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	
Rev. < 02>		Rev. < 02>	

10.3.1 Campioni di terreno rimaneggiato

Le analisi granulometriche sono state eseguite per vagliatura e sedimentazione secondo la metodologia prevista dalla normativa ASTM D422-07.

Nelle seguenti tabelle sono riportati, in maniera schematica, i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati. La documentazione completa (Rapporti di Prova) è contenuta in **Allegato 2**.

ID Sample		Sond_01-CR1	Sond_01-CR2
Profondità (m da p.c.)		5.50-6.00	8.50-9.00
Analisi per Setacciatura			
Ciottoli	$\phi > 75.0$ mm		
Ghiaia g	$19.0 < \phi < 75.0$	4.0 %	
Ghiaia f	$7.45 < \phi < 19.0$	4.15 %	
Sabbia g	$2.0 < \phi < 4.75$	0.62 %	0.12 %
Sabbia m	$0.425 < \phi < 2.0$	0.59 %	0.58 %
Sabbia f	$0.0075 < \phi < 0.425$	1.02 %	10.32 %
Limo + Argilla	$\phi < 0.0075$	89.61 %	88.98 %
Limo	$0.005 < \phi < 0.0075$	19.16 %	62.98 %
Argilla	$\phi < 0.005$	70.61 %	26.00 %
Classificazione ASTM		MH o OH	CL o OL
Limiti di Consistenza			
Limite di liquidità WL		70 %	35 %
Limite di plasticità WP		36 %	24 %
Indice di plasticità IP		34 %	11 %

ID Sample		Sond_02-CR1	Sond_02-CR2
Profondità (m da p.c.)		9.50-10.00	15.50-16.00
Analisi per Setacciatura			
Ciottoli	$\phi > 75.0$ mm		
Ghiaia g	$19.0 < \phi < 75.0$		
Ghiaia f	$7.45 < \phi < 19.0$		4.49 %
Sabbia g	$2.0 < \phi < 4.75$	0.05 %	0.53 %
Sabbia m	$0.425 < \phi < 2.0$	1.14 %	1.59 %
Sabbia f	$0.0075 < \phi < 0.425$	1.93 %	17.44 %
Limo + Argilla	$\phi < 0.0075$	96.89 %	75.95 %
Limo	$0.005 < \phi < 0.0075$	64.27 %	48.76 %
Argilla	$\phi < 0.005$	32.62 %	27.19 %
Classificazione ASTM		ML o OL	CL o OL
Limiti di Consistenza			
Limite di liquidità WL		48 %	36 %
Limite di plasticità WP		29 %	22 %
Indice di plasticità IP		19 %	14 %

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

ID Sample		Sond_03-CR1	Sond_03-CR2
Profondità (m da p.c.)		7.50-8.00	13.50-14.00
Analisi per Setacciatura			
Ciottoli	$\phi > 75.0$ mm		
Ghiaia g	$19.0 < \phi < 75.0$		21.19 %
Ghiaia f	$7.45 < \phi < 19.0$	1.12 %	0.53 %
Sabbia g	$2.0 < \phi < 4.75$	0.06 %	0.38 %
Sabbia m	$0.425 < \phi < 2.0$	0.23 %	0.68 %
Sabbia f	$0.0075 < \phi < 0.425$	3.05 %	1.75 %
Limo + Argilla	$\phi < 0.0075$	95.54 %	75.47 %
Limo	$0.005 < \phi < 0.0075$	42.18 %	30.71 %
Argilla	$\phi < 0.005$	53.36 %	44.75 %
Classificazione ASTM		CL o OL	MH o OH
Limiti di Consistenza			
Limite di liquidità WL		40 %	53 %
Limite di plasticità WP		23 %	32 %
Indice di plasticità IP		17 %	21 %

ID Sample		Sond_04-CR1	Sond_04-CR2
Profondità (m da p.c.)		9.00-9.50	14.50-15.00
Analisi per Setacciatura			
Ciottoli	$\phi > 75.0$ mm		
Ghiaia g	$19.0 < \phi < 75.0$		
Ghiaia f	$7.45 < \phi < 19.0$		
Sabbia g	$2.0 < \phi < 4.75$		0.33 %
Sabbia m	$0.425 < \phi < 2.0$		0.38 %
Sabbia f	$0.0075 < \phi < 0.425$	27.09 %	0.94 %
Limo + Argilla	$\phi < 0.0075$	72.73 %	98.35 %
Limo	$0.005 < \phi < 0.0075$	59.83 %	18.65 %
Argilla	$\phi < 0.005$	12.90 %	79.70 %
Classificazione ASTM		ML o OL	MH o OH
Limiti di Consistenza			
Limite di liquidità WL		34 %	113 %
Limite di plasticità WP		24 %	69 %
Indice di plasticità IP		10 %	44 %

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	

ID Sample		Sond_05-CR1	Sond_05-CR2
Profondità (m da p.c.)		4.00-4.50	11.00-11.50
Analisi per Setacciatura			
Ciottoli	$\phi > 75.0$ mm		
Ghiaia g	$19.0 < \phi < 75.0$		
Ghiaia f	$7.45 < \phi < 19.0$		
Sabbia g	$2.0 < \phi < 4.75$	0.25 %	0.11 %
Sabbia m	$0.425 < \phi < 2.0$	0.25 %	0.56 %
Sabbia f	$0.0075 < \phi < 0.425$	0.25 %	13.31 %
Limo + Argilla	$\phi < 0.0075$	99.26 %	86.02 %
Limo	$0.005 < \phi < 0.0075$	20.75 %	61.32 %
Argilla	$\phi < 0.005$	78.51 %	24.70 %
Classificazione ASTM		MH o OH	CL o OL
Limiti di Consistenza			
Limite di liquidità WL		68 %	31 %
Limite di plasticità WP		39 %	22 %
Indice di plasticità IP		29 %	9 %

I risultati delle indagini di laboratorio condotte sui dieci campioni rimaneggiati rispecchiano quanto evidenziato dalle indagini SPT e dalla ricostruzione stratigrafica delle carote di terreno. In particolare i risultati evidenziano una classificazione che va dai limi alle argille con locali livelli debolmente sabbiosi.

10.3.2 Campioni di terreno indisturbato (*prova di compressibilità edometrica e prova di taglio CD*)

Nelle seguenti tabelle sono riportati, in maniera schematica, i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati prelevati ad una profondità di 6.00-6.50 m e 12.00-12.50 m da p.c.

La documentazione completa (Rapporti di Prova) è contenuta in **Allegato 3**.

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

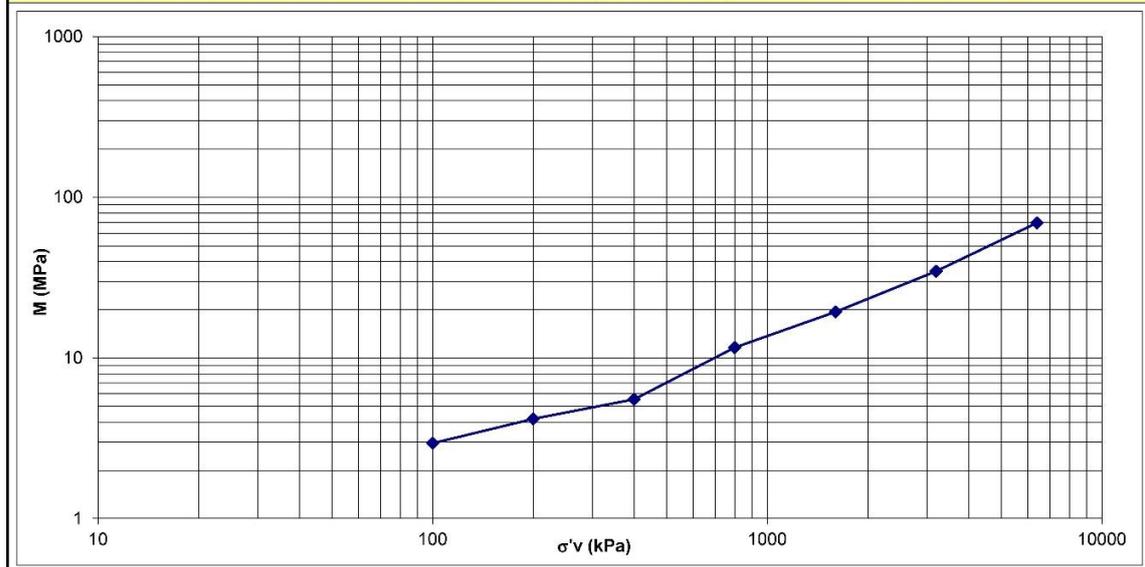
Rev. < 02 >

Sondaggio S01 – Campione S01 (6.0-6.5m) – Prova Edometrica

PROVA EDOMETRICA A GRADINI DI CARICO (ASTM D2435) Tabella riassuntiva

Passo	σ'_v [kPa]	ε [%]	e [-]	M [MPa]	C_v [cmq/sec]	K [m/sec]	C_α [%]	a_v [MPa-1]
1	12,5	7,615	0,581					
2	25	8,466	0,566	1,46842	7,17E-04	4,79E-10		
3	50	9,937	0,541	1,69924	9,30E-04	5,37E-10		
4	100	11,635	0,512	2,94549	5,32E-04	1,77E-10		
5	200	14,024	0,471	4,18526	5,66E-04	1,33E-10		
6	400	17,635	0,409	5,53858	6,56E-04	1,16E-10		
7	800	21,080	0,350	11,61227	5,62E-04	4,75E-11		
8	1600	25,215	0,280	19,34617	4,28E-04	2,17E-11		
9	3200	29,830	0,201	34,67431	4,17E-04	1,18E-11		
10	6400	34,435	0,122	69,48047	4,95E-04	6,99E-12		
11	1600	33,655	0,135					
12	400	31,335	0,175					
13	100	28,425	0,225					

Grafico di confronto tra la pressione verticale applicata σ'_v (kPa) e il modulo edometrico M



Sondaggio S01 – Campione S01 (12.0-12.5m) – Prova di Taglio

Provino	H_0 mm	A_0 cm ²	γ		W_0 %	W_f %	σ normale [kPa]	τ di picco [kPa]	Sh mm	Velocità mm/min	c' picco = kPa	ϕ' picco = °
			γ_n Mg/mc	γ_d Mg/mc								
T1	19,76	28,29	1,52	0,91	67,59	67,31	150,0	72,10	7,10	0,01	19,53	19,71
T2	19,76	28,29	1,75	1,17	49,34	45,64	250,0	111,40	3,53	0,01		
T3	19,76	28,29	1,63	1,03	58,44	54,82	350,0	143,74	7,02	0,01		

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

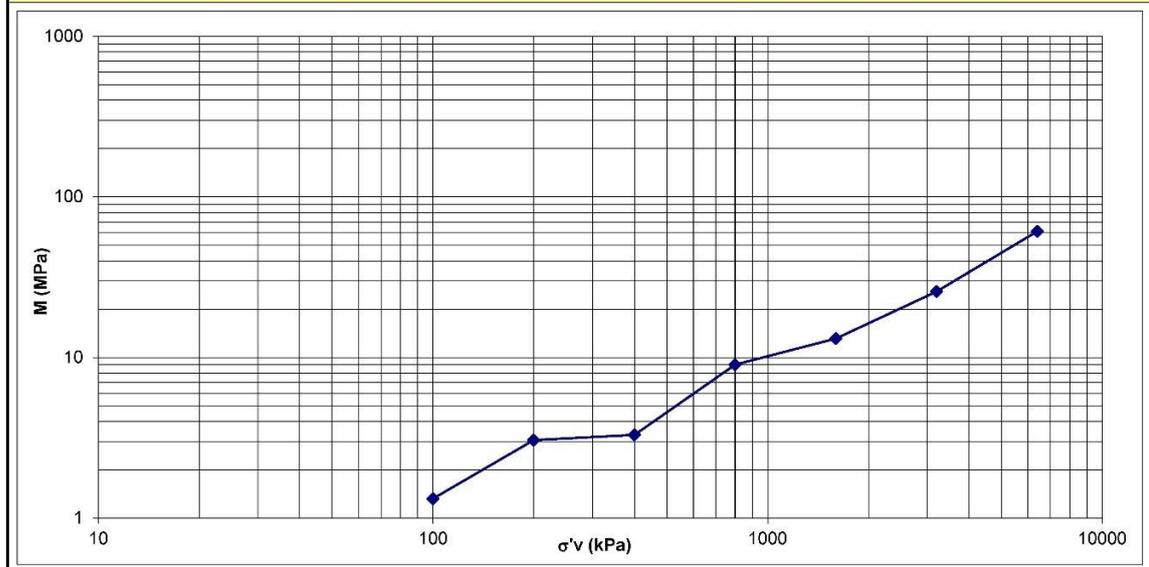
Rev. < 02 >

Sondaggio S02 – Campione S02 (6.0-6.5m) – Prova Edometrica

PROVA EDOMETRICA A GRADINI DI CARICO (ASTM D2435) Tabella riassuntiva

Passo	σ'_v [kPa]	ε [%]	e [-]	M [MPa]	C_v [cmq/sec]	K [m/sec]	C_α [%]	a_v [MPa-1]
1	12,5	2,485	1,153					
2	25	2,824	1,146	3,68938	8,05E-04	2,14E-10		
3	50	4,244	1,114	1,76046	1,05E-03	5,86E-10		
4	100	8,036	1,031	1,31862	4,95E-04	3,68E-10		
5	200	11,316	0,958	3,04886	6,08E-04	1,96E-10		
6	400	17,385	0,824	3,29520	7,04E-04	2,10E-10		
7	800	21,817	0,726	9,02552	5,56E-04	6,04E-11		
8	1600	27,913	0,592	13,12426	4,08E-04	3,05E-11		
9	3200	34,139	0,454	25,69886	3,52E-04	1,34E-11		
10	6400	39,373	0,339	61,14145	3,02E-04	4,84E-12		
11	1600	38,441	0,359					
12	400	35,996	0,413					
13	100	32,889	0,482					

Grafico di confronto tra la pressione verticale applicata σ'_v (kPa) e il modulo edometrico M



Sondaggio S02 – Campione S02 (12.0-12.5m) – Prova di Taglio

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - INVILUPPO A ROTTURA $\tau - \sigma$

Provino	H_0	A_0	γ_n	γ_d	W_0	W_f	σ normale	τ di picco	Sh	Velocità	c' picco = kPa	ϕ' picco = °
	mm	cm ²	Mg/mc	Mg/mc	%	%	[kPa]	[kPa]	mm	mm/min		
T1	19,76	28,29	1,51	0,81	85,43	75,64	150,0	59,83	2,16	0,01	11,14	17,91
T2	19,76	28,29	1,50	0,79	89,52	71,06	250,0	91,54	3,07	0,01		
T3	19,76	28,29	1,51	0,80	89,37	60,60	350,0	124,47	9,93	0,01		

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

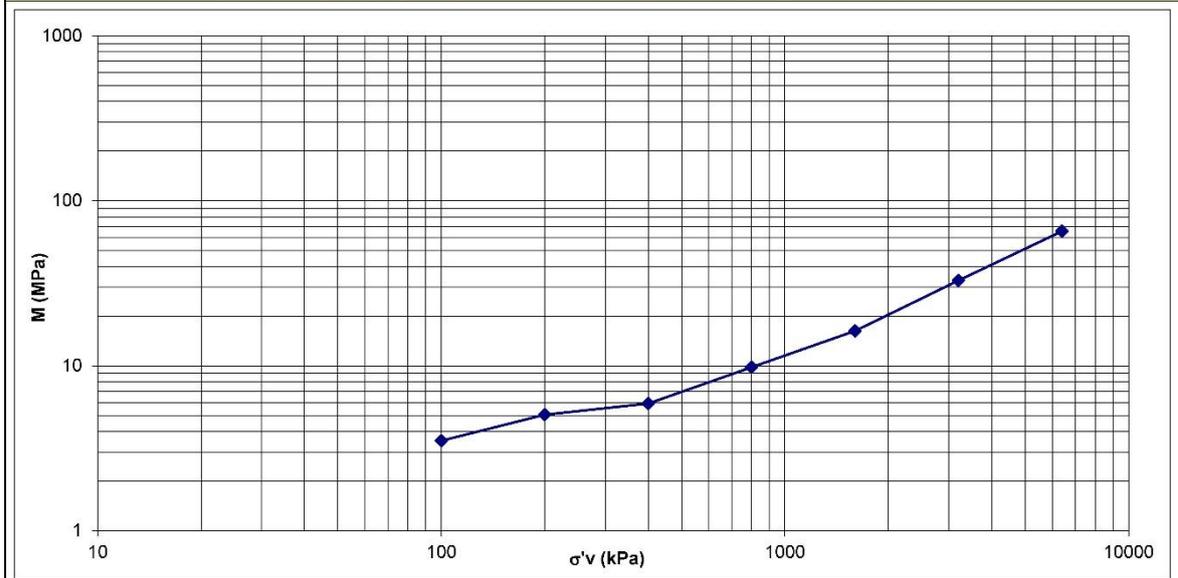
Rev. < 02 >

Sondaggio S03 – Campione S03 (6.0-6.5m) – Prova Edometrica

PROVA EDOMETRICA A GRADINI DI CARICO (ASTM D2435) Tabella riassuntiva

Passo	σ'_v [kPa]	ε [%]	e [-]	M [MPa]	C_v [cmq/sec]	K [m/sec]	C_α [%]	a_v [MPa-1]
1	12,5	0,580	0,729					
2	25	1,289	0,717	1,76264	8,31E-04	4,62E-10		
3	50	1,966	0,705	3,69609	2,99E-04	7,93E-11		
4	100	3,390	0,680	3,50915	4,24E-04	1,18E-10		
5	200	5,373	0,646	5,04395	1,14E-03	2,22E-10		
6	400	8,762	0,587	5,90057	1,34E-03	2,23E-10		
7	800	12,839	0,516	9,81127	1,17E-03	1,17E-10		
8	1600	17,754	0,431	16,27780	2,44E-03	1,47E-10		
9	3200	22,608	0,346	32,96385	8,87E-04	2,64E-11		
10	6400	27,492	0,261	65,51970	4,15E-04	6,22E-12		
11	1600	26,345	0,281					
12	400	23,150	0,337					
13	100	17,870	0,429					

Grafico di confronto tra la pressione verticale applicata σ'_v (kPa) e il modulo edometrico M



Sondaggio S03 – Campione S03 (12.0-12.5m) – Prova di Taglio

Provino	H_0	A_0	γ_n	γ_d	W_0	W_f	σ normale	τ di picco	Sh	Velocità	c' picco =	ϕ' picco =
	mm	cm ²	Mg/mc	Mg/mc	%	%	[kPa]	[kPa]	mm	mm/min	kPa	°
T1	19,76	28,29	2,04	1,43	43,15	28,64	150,0	119,91	1,58	0,01	60,73	21,70
T2	19,76	28,29	2,05	1,43	43,08	28,89	250,0	161,28	6,38	0,01		
T3	19,76	28,29	2,06	1,44	43,39	29,55	350,0	199,50	4,55	0,01		

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

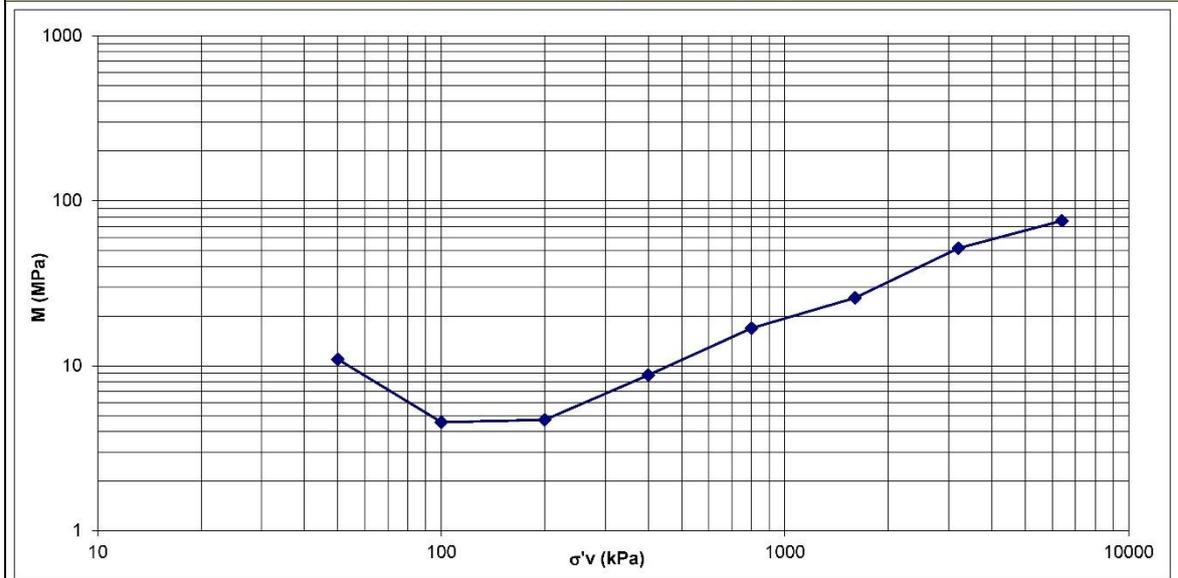
Rev. < 02 >

Sondaggio S04 – Campione S04 (6.0-6.5m) – Prova Edometrica

PROVA EDOMETRICA A GRADINI DI CARICO (ASTM D2435) Tabella riassuntiva

Passo	σ'_v [kPa]	ε [%]	e [-]	M [MPa]	C_v [cmq/sec]	K [m/sec]	C_α [%]	a_v [MPa-1]
1	12,5	0,095	1,120	rig				
2	25	0,115	1,120	rig				
3	50	0,344	1,115	10,93748	4,02E-03	3,61E-10		
4	100	1,443	1,092	4,54750	5,92E-04	1,28E-10		
5	200	3,570	1,046	4,70115	4,46E-04	9,32E-11		
6	400	5,850	0,998	8,77251	1,05E-03	1,17E-10		
7	800	8,212	0,948	16,93423	9,52E-04	5,51E-11		
8	1600	11,310	0,882	25,82431	1,95E-03	7,40E-11		
9	3200	14,407	0,816	51,65658	6,53E-03	1,24E-10		
10	6400	18,626	0,727	75,86018	7,65E-04	9,89E-12		
11	1600	18,347	0,733					
12	400	17,227	0,757					
13	100	16,647	0,769					

Grafico di confronto tra la pressione verticale applicata σ'_v (kPa) e il modulo edometrico M



Sondaggio S04 – Campione S04 (12.0-12.5m) – Prova di Taglio

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - INVILUPPO A ROTTURA $\tau - \sigma$

Provino	H_0	A_0	γ_n	γ_d	W_0	W_f	σ normale	τ di picco	Sh	Velocità	c' picco =	ϕ' picco =
	mm	cm ²	Mg/mc	Mg/mc	%	%	[kPa]	[kPa]	mm	mm/min	kPa	°
T1	19,76	28,29	1,60	0,90	76,64	65,58	150,0	71,88	8,21	0,01		
T2	19,76	28,29	1,59	0,90	77,64	67,01	250,0	107,20	4,78	0,01	20,98	18,87
T3	19,76	28,29	1,59	0,86	83,88	68,54	350,0	140,26	6,25	0,01		

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

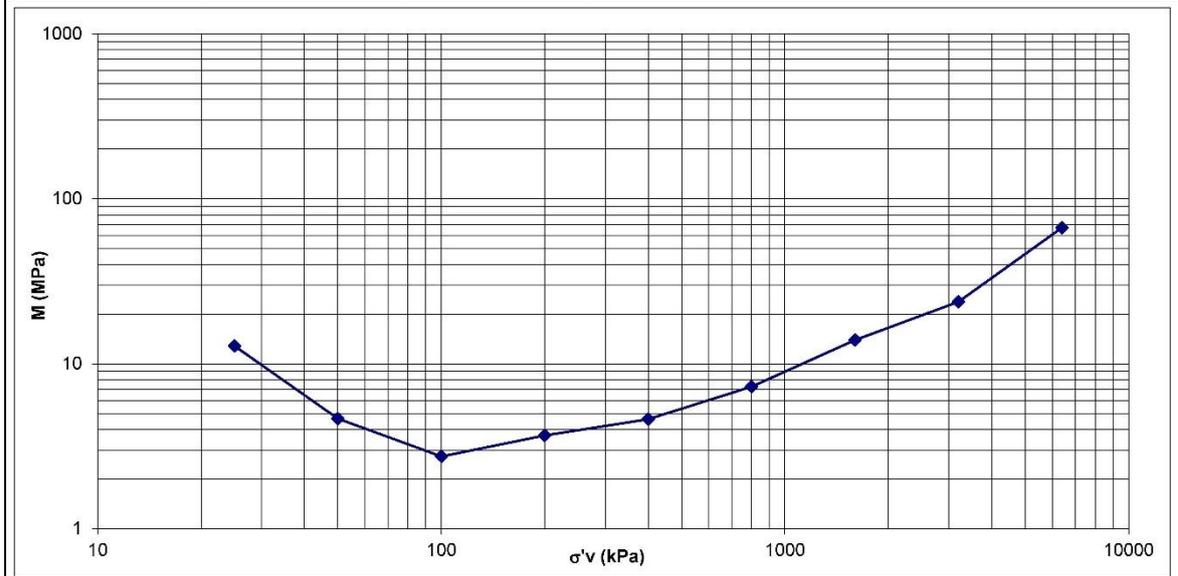
Rev. < 02 >

Sondaggio S05 – Campione S05 (6.0-6.5m) – Prova Edometrica

PROVA EDOMETRICA A GRADINI DI CARICO (ASTM D2435) Tabella riassuntiva

Passo	σ'_v [kPa]	ε [%]	e	M [MPa]	C_v [cmq/sec]	K [m/sec]	C_α [%]	a_v [MPa-1]
1	12,5	0,170	1,130	rig				
2	25	0,268	1,128	12,82040	2,39E-03	1,83E-10		
3	50	0,806	1,116	4,64578	4,73E-04	9,99E-11		
4	100	2,631	1,077	2,73948	2,75E-04	9,84E-11		
5	200	5,352	1,019	3,67515	1,59E-04	4,25E-11		
6	400	9,684	0,927	4,61605	1,34E-04	2,85E-11		
7	800	15,180	0,810	7,27917	1,11E-04	1,50E-11		
8	1600	20,913	0,687	13,95318	1,31E-04	9,18E-12		
9	3200	27,634	0,544	23,80476	1,21E-04	5,00E-12		
10	6400	32,412	0,442	66,97784	9,41E-05	1,38E-12		
11	1600	30,200	0,489					
12	400	27,810	0,540					
13	100	25,470	0,590					

Grafico di confronto tra la pressione verticale applicata σ'_v (kPa) e il modulo edometrico M



Sondaggio S05 – Campione S05 (12.0-12.5m) – Prova di Taglio

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - INVILUPPO A ROTTURA $\tau - \sigma$

Provino	H_0	A_0	γ_n	γ_d	W_0	W_f	σ normale	τ di picco	Sh	Velocità	c' picco =	ϕ' picco =
	mm	cm ²	Mg/mc	Mg/mc	%	%	[kPa]	[kPa]	mm	mm/min	kPa	°
T1	19,76	28,29	1,79	1,23	45,43	40,48	150,0	77,86	2,60	0,01	8,71	24,84
T2	19,76	28,29	1,79	1,22	46,09	40,91	250,0	124,98	3,69	0,01		
T3	19,76	28,29	1,79	1,24	43,67	40,25	350,0	170,47	2,43	0,01		

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO		  Idrogea servizi S.r.l. 	
	Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse		Società di Ingegneria	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >		Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>		Rev. < 02>

I risultati ottenuti sui 10 campioni indisturbati hanno evidenziato la presenza di terreni prevalentemente limoso-argillosi, con subordinata sabbia e livelli centimetrici di torba intorno a 12.5 m.

Il peso di volume naturale è compreso tra 1.51 e 2.43 Mg/m³,

Sui campioni indisturbati, all'apertura delle fustelle, sono inoltre stati eseguiti dei test con Pocket Penetrometer, che hanno evidenziato valori di deformazione monoassiale compresi tra 0.5 e 12.5 kg/cm², e test con Vane Test, che hanno evidenziato valori di deformazione monoassiale compresi tra 0.4 e 3.8 kg/cm².

10.4 Giudizio Geotecnico e Modello Geotecnico Qualitativo

Sulla base dei dati contenuti nel P.S.A. del Comune di Poggio Renatico, che classificano i terreni in oggetto come terreni con qualità geotecniche da scarse a medie, e sulla base delle indagini eseguite, che evidenziano caratteristiche geotecniche in linea con quanto contenuto nel P.S.A., è possibile affermare che i terreni oggetto di indagine hanno caratteristiche geotecniche da Scarse a Mediocri in miglioramento con l'aumentare della profondità.

Nella tabella seguente si riporta il modello geotecnico qualitativo dei terreni suddivisa per macro unità. Le unità sono state suddivise in base alle loro caratteristiche granulometriche, di colore (ambiente/evento deposizionale) ed in base alle loro caratteristiche geotecniche principali (angolo di attrito e densità relativa).

Unità Geologica	Profondità Letto Min-Max (m da p.c.)	Descrizione Litologica Sintetica	Parametri Geotecnici Medi		Qualità Geotecnica
LA AL/LA AdL	4.5 - 5.0 m	Alternanze di limi argillosi e argille limose con locali lenti di argille debolmente limose e limi debolmente argillosi, colore grigio nocciola	NSPT30 Densità relativa (%) Angolo di attrito interno (°)	9.0 38.7 26.6°	Scarsa Mediocre
LA/AL LdA LS LdSA	10.0 - 20.0 m	Alternanze di limi argillosi e argille limose con locali lenti limi debolmente argillosi, limi sabbiosi e limi debolmente sabbiosi-argillosi, colore grigio	NSPT30 Densità relativa (%) Angolo di attrito interno (°)	8.0 35.7 25.8°	Scarsa Mediocre
LA/AL ALS LS/SL	> 10.0 m	Alternanze di limi argillosi e argille limose con locali lenti argille limoso-sabbiose, limi sabbiosi e sabbie limose, colore nocciola	NSPT30 Densità relativa (%) Angolo di attrito interno (°)	8.0 40.3 27.4°	Mediocre

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	Rev. < 02 >

11 INQUADRAMENTO SISMICO

Al fine di ottenere la classificazione sismica dei terreni di fondazione, in corrispondenza delle aree interessate dalle opere in progetto sono state eseguite un totale di n.6 indagini sismiche, 4 profili MASW e 2 geoelettriche.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità di esecuzione e le interpretazioni delle misure sperimentali, mentre di seguito si riporta l'ubicazione delle prospezioni geofisiche effettuate.

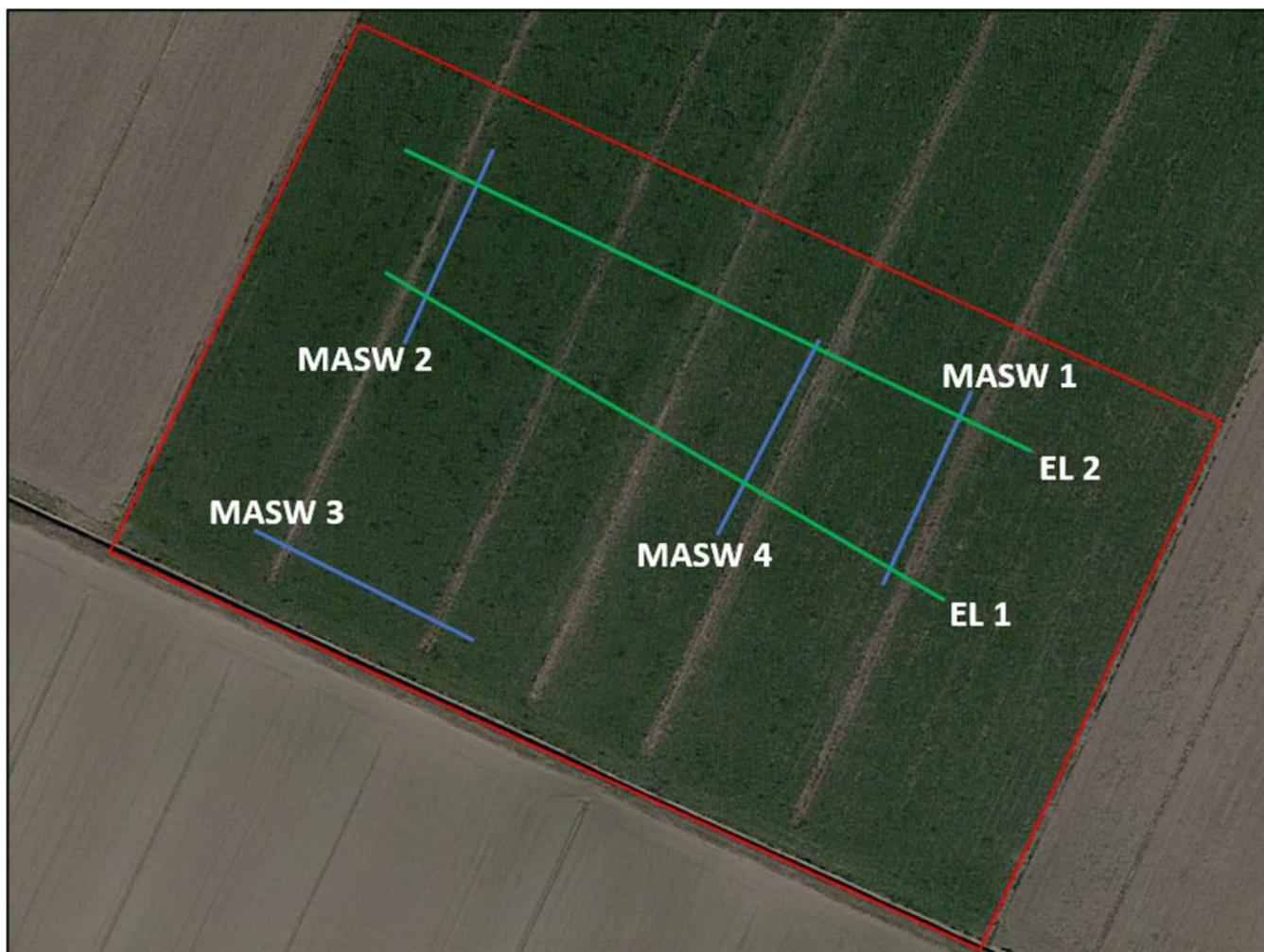


Figura 15 - Ubicazione indagini sismiche; in rosso l'area di indagine, in azzurro l'indagine MASW e in verde l'indagine con prospezione geoelettrica

 <p>T E R N A G R O U P</p>	<p align="center">STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO</p> <p align="center">Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse</p>	 <p>Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria</p>
<p>Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 ></p>	<p>Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 ></p>	<p>Rev. < 02 ></p>

11.1 Classificazione sismica locale

L'area del comune di Poggio Renatico, ai sensi della Delibera della Giunta Regionale n. 67 del 3 dicembre 2003 e della Delibera della Giunta Regionale n.1164 del 23 luglio 2018 è caratterizzata da sismicità media, ricadendo in **Zona Sismica 3**.

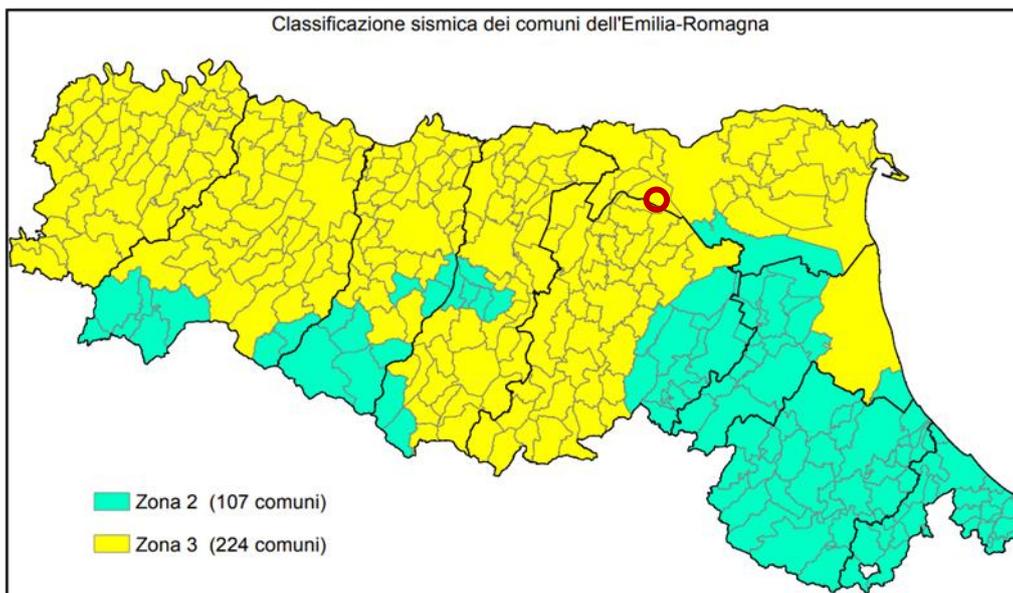


Figura 16 - Classificazione sismica della Emilia Romagna; in rosso l'area di interesse, in giallo la Zona Sismica 3.

In Figura 17 è rappresentata la Mappa di Pericolosità Sismica (O.P.C.M. 3519/2006) relativa al territorio dell'Emilia Romagna. La Mappa è attinente alla distribuzione dei valori stimati di accelerazione (a_g) su bedrock sismico in condizioni di topografia pianeggiante per un periodo di ritorno di 475 anni e relativi al valore mediano (50mo percentile).

Essa illustra, per il territorio comunale di Poggio Renatico, valori di accelerazione sismica (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità g) compresi tra 0.150 e 0.175 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).



Figura 17 - Mappa della Pericolosità Sismica del comune di Poggio Renatico (Fonte: Portale INGV).

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	Rev. < 02 >

11.2 Indagini eseguite

La campagna di prospezione è consistita nell'esecuzione di n.6 profili sismici, di cui:

- n.4 profili sismici con metodologia MASW (M1-M4);
- n.2 stendimenti geoelettrici con elaborazione tomografica (EL1 e EL2)

I lavori di prospezione si sono svolti nella giornata di mercoledì 30/06/2021.

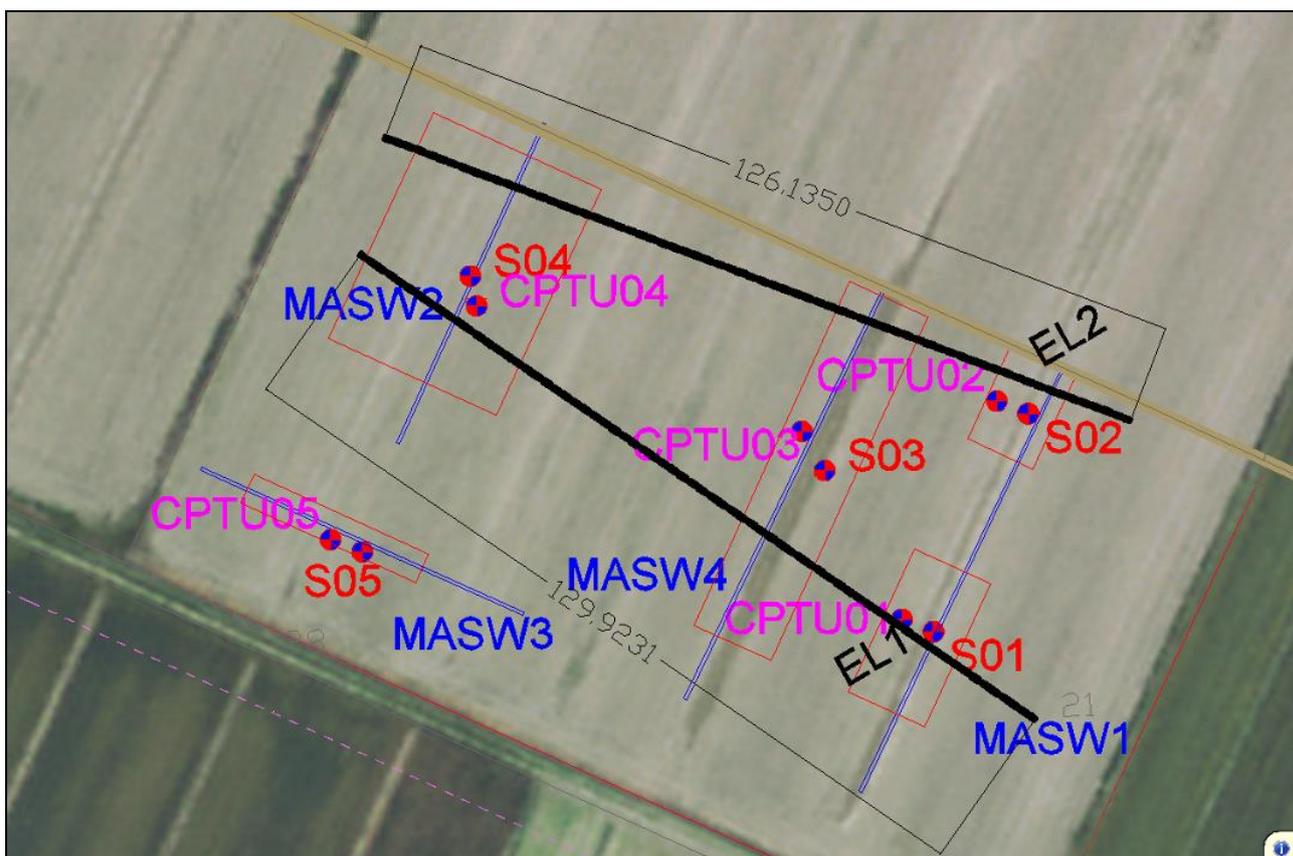


Figura 18 - Ubicazione Indagini geofisiche.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità di esecuzione e le interpretazioni delle misure sperimentali.

11.2.1 Indagine geofisica MASW: descrizione del metodo di indagine e della strumentazione utilizzata

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park C.B. et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki D.J., 1999; Park C.B., Miller R.D., 2006; Roma V., 2006):

- 1) Nel "metodo attivo" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	

- 2) Nel “metodo passivo” lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali)

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell’andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L’analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.5 m per tutte le aree indagate (la configurazione geometrica adottata è stata dettata sia dalle condizioni logistiche che dalla necessità di ricostruire al meglio lo spettro di velocità delle onde superficiali di Rayleigh). Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell’esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 12 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti (“Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, Park C.B. et al., 2005; Dal Moro G., 2008; Dal Moro G., 2012).

Terminata l’indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva) acquisendo in totale 10 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata nell’acquisizione delle prove MASW (attiva e passiva):

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	Sismografo GEOMETRICS “GEODE” a 24 bit
24	Geofoni verticali	“Geospace” con $f_0= 4.5$ Hz
1	Cavo sismico	L = 60 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Figura 19 - Vista dello stendimento MASW M1.



Figura 20 - Vista dello stendimento MASW M2.

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Figura 21 - Vista dello stendimento MASW M3.



Figura 22 - Vista dello stendimento MASW M4.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02>	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>

11.2.1.1 Elaborazione dei dati

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (SurfSeis 5.0 della Kansas University, Park C. B., 2016). Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde".

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (si vedano le curve di dispersione riportate di seguito). Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dall'inversione delle curve di dispersione (relative al "modo fondamentale" delle onde superficiali di Rayleigh) si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, ciascuno rappresentativo dell'area investigata.

MASW_M1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.7	85	0.7
2	0.9	95	1.6
3	1.1	106	2.7
4	1.4	111	4.0
5	1.7	125	5.7
6	2.1	142	7.9
7	2.7	157	10.5
8	3.3	198	13.9
9	4.2	226	18.0
10	5.2	233	23.2
11	6.5	317	29.7
12	6.3	440	36.0

Tabella 1: Modello sismico monodimensionale – MASW M1.

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02>

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02>

Rev. < 02>

MASW_M2			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.7	85	0.7
2	0.8	78	1.5
3	1.0	105	2.5
4	1.3	109	3.8
5	1.6	116	5.4
6	2.0	129	7.4
7	2.5	143	9.9
8	3.1	193	13.1
9	3.9	229	17.0
10	4.9	238	21.9
11	7.1	315	29.1
12	7.0	435	36.0

Tabella 2: Modello sismico monodimensionale – MASW M2.

MASW_M3			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.7	84	0.7
2	0.8	89	1.5
3	1.1	95	2.6
4	1.3	112	3.9
5	1.6	137	5.5
6	2.1	99	7.6
7	2.6	171	10.1
8	3.2	220	13.3
9	4.0	221	17.4
10	5.0	231	22.4
11	6.3	311	28.6
12	7.4	433	36.0

Tabella 3: Modello sismico monodimensionale – MASW M3.

MASW_M4			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.7	89	0.7
2	0.9	95	1.6
3	1.1	107	2.6
4	1.4	105	4.0
5	1.7	123	5.7
6	2.1	173	7.8
7	2.6	155	10.5
8	3.3	143	13.8
9	4.1	240	17.9
10	5.2	298	23.1
11	6.5	321	29.5
12	6.5	436	36.0

Tabella 4: Modello sismico monodimensionale – MASW M4.

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

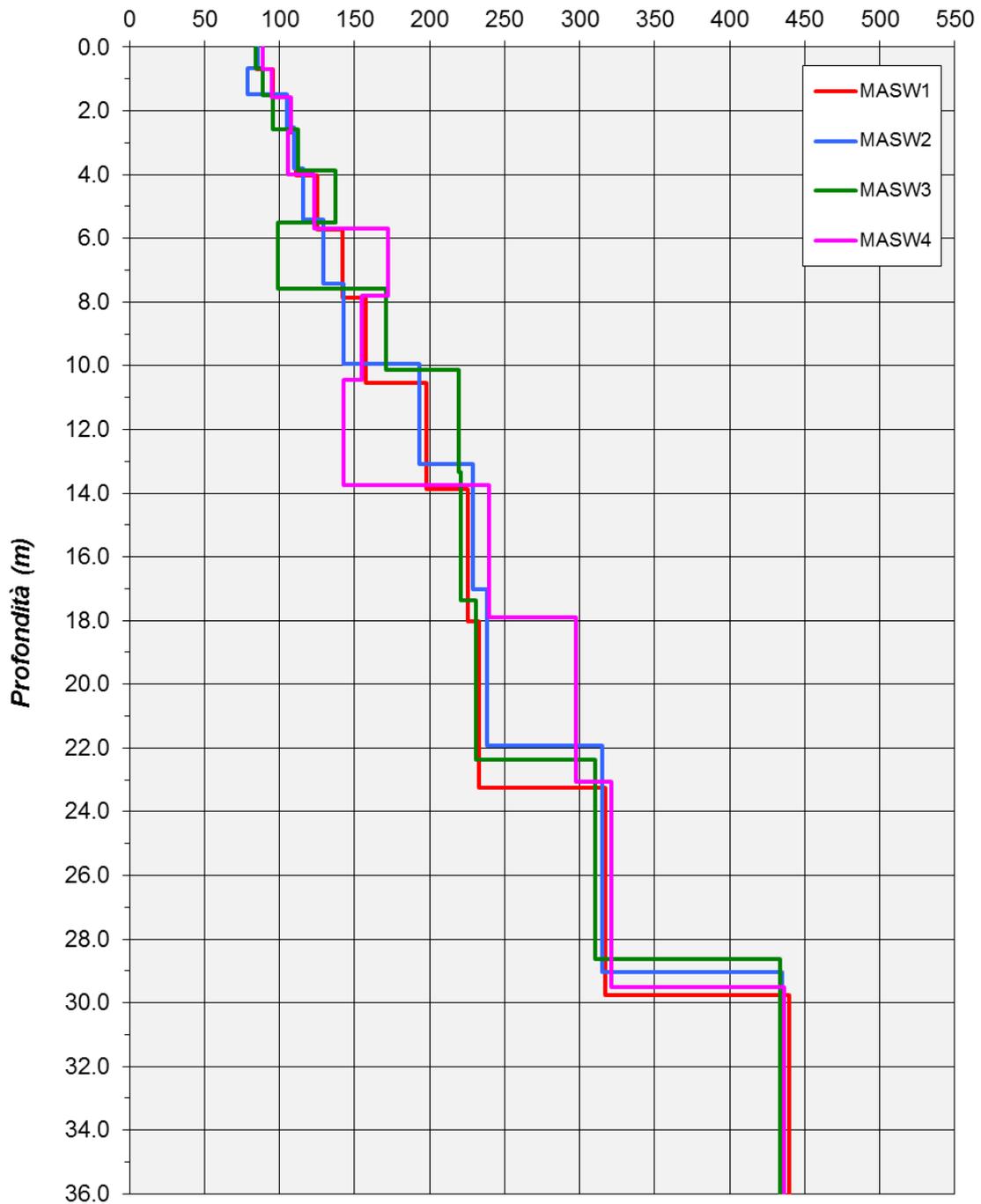
Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

Nella figura seguente si riporta il grafico di raffronto tra la velocità delle onde S rispetto alla profondità relative alle 3 indagini MASW eseguite. I valori ottenuti, seppure con leggeri scostamenti locali, risultano sostanzialmente paragonabili e concordanti tra loro.

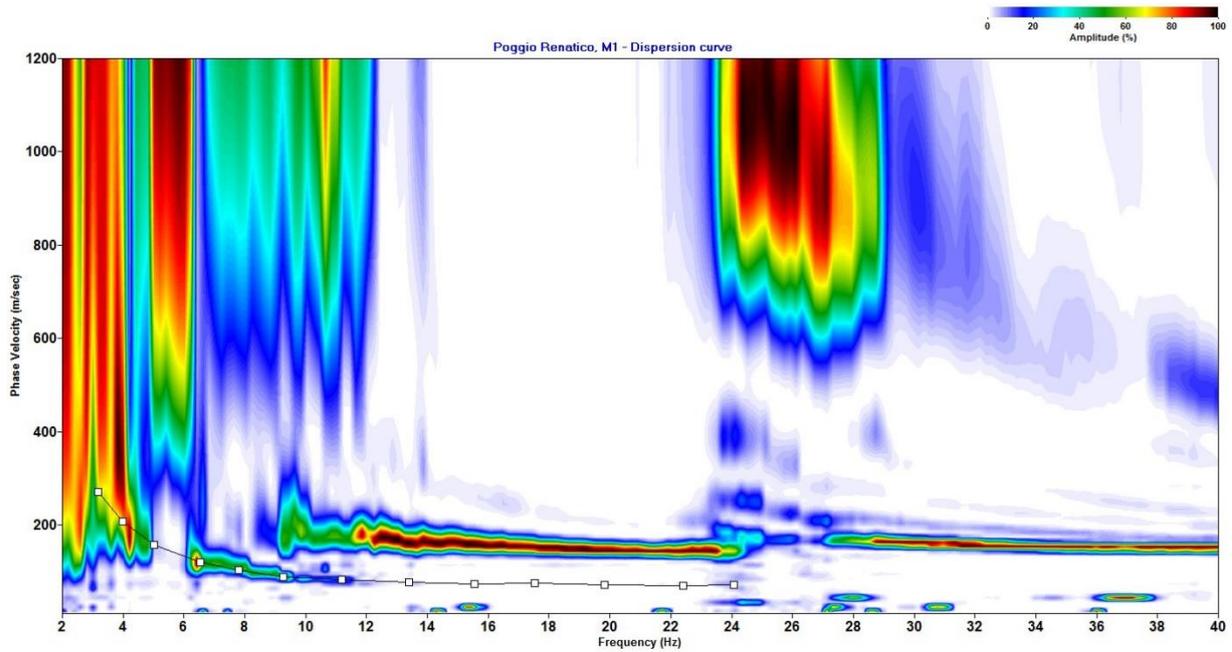
Velocità onde S (m/sec)



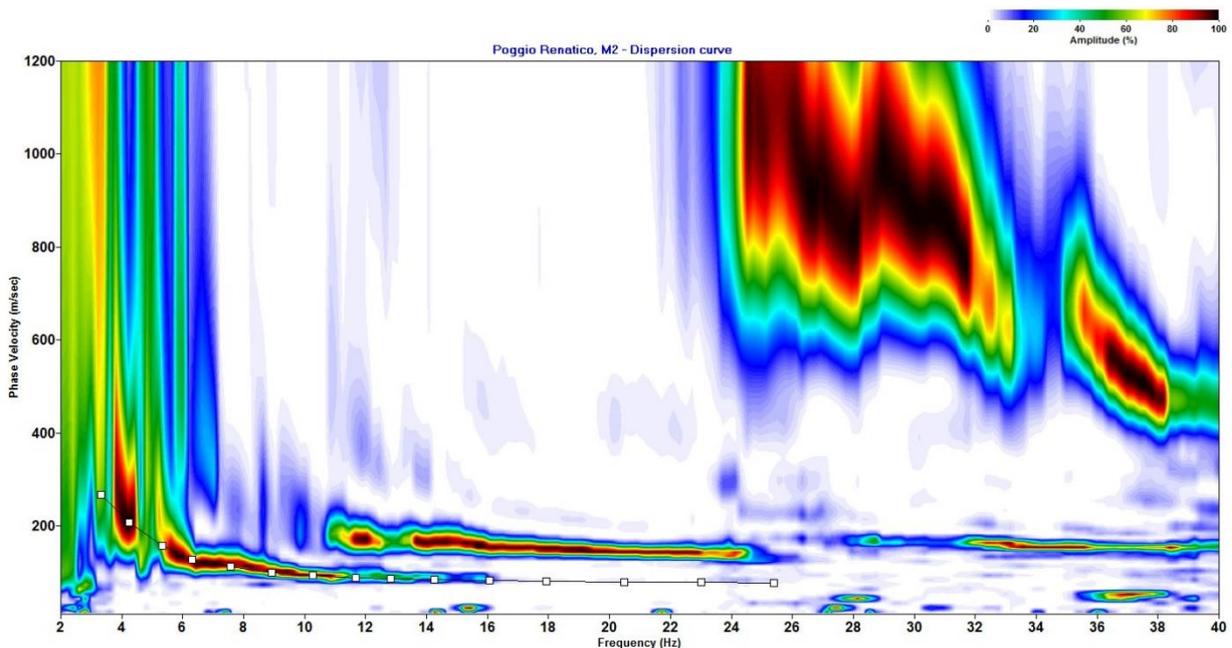
 <p>T E R N A G R O U P</p>	<p align="center">STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO</p> <p align="center">Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse</p>	 <p>Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria</p>
<p>Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 ></p>	<p>Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 ></p>	
<p>Rev. < 02 ></p>	<p>Rev. < 02 ></p>	

Le seguenti figure riportano le curve di dispersione e picking relative alle 3 indagini MASW eseguite. Come per il grafico relativo al rapporto velocità Onde S/profondità, le curve ottenute risultano concordanti tra loro.

MASW 1 - CURVA DI DISPERSIONE e PICKING



MASW 2 - CURVA DI DISPERSIONE e PICKING



MASW 3 - CURVA DI DISPERSIONE e PICKING

Codifica Elaborato Terna:

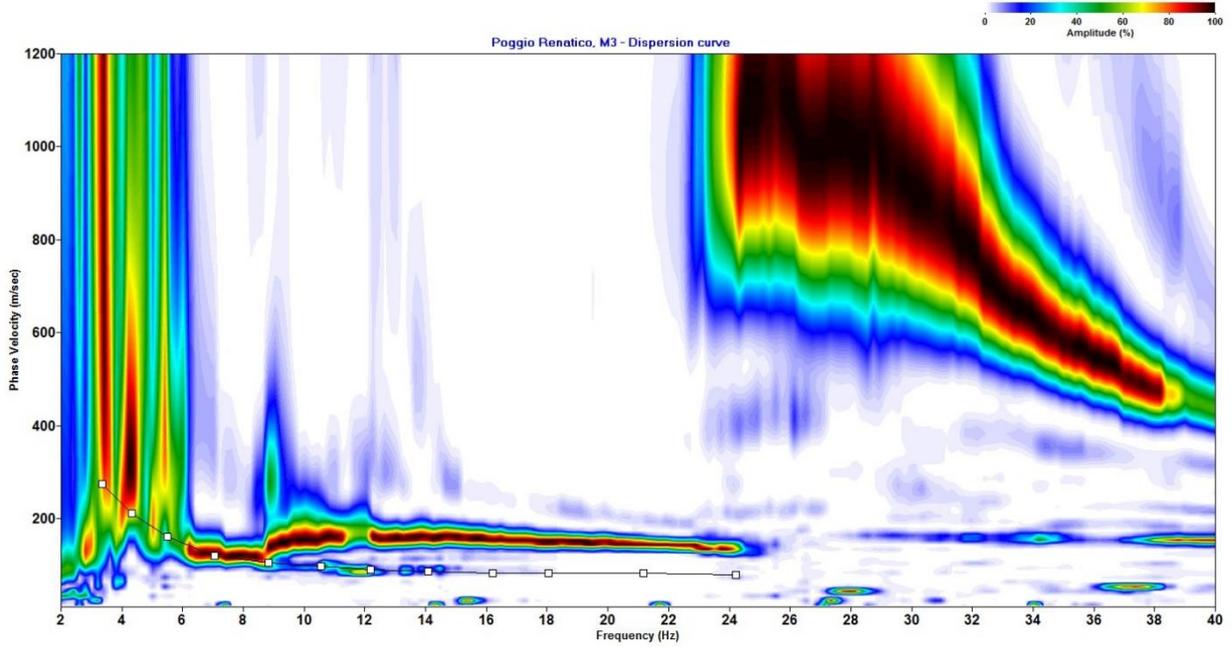
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

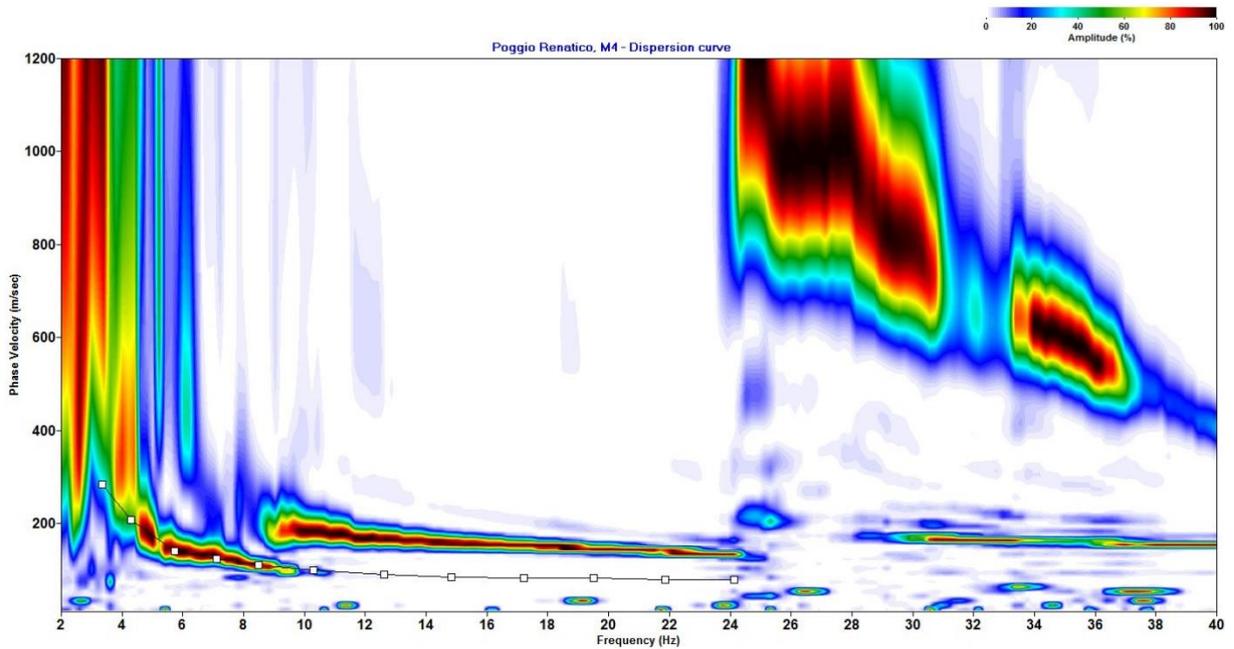
Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



MASW 4 - CURVA DI DISPERSIONE e PICKING



 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >

11.2.1.2 Calcolo delle $V_{s,eq}$ e definizione della categoria di sottosuolo

A partire dal modello sismico monodimensionale ricostruito attraverso l'indagine geofisica effettuata, è possibile calcolare il valore delle $V_{s,eq}$ che rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità del bedrock sismico H (substrato con $V_s > 800$ m/s). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro $V_{s,30}$ ottenuto ponendo $H=30$ m nella seguente equazione, (D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni", di cui si riporta l'estratto del capitolo 3.2.2 a fine paragrafo):

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, N il numero di strati e H la profondità del substrato con $V_s > 800$ m/s.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti valori (si è assunta come quota di calcolo [q.r.] il piano di esecuzione dello stendimento sismico coincidente con l'attuale p.c.):

Profondità di posa delle fondazioni da q.r. [m]	VS,eq [m/s]				Categoria sottosuolo
	MASW 1	MASW2	MASW 3	MASW 4	
0.0	182	181	181	185	C
1.0	193	192	192	196	C
2.0	203	204	203	206	C
3.0	213	214	214	217	C

Nella seguente tabella si riporta la definizione della categoria di sottosuolo, definita secondo il D.M. 17.01.2018, ottenuta sulla base delle risultanze delle 3 indagini MASW eseguite. Queste evidenziano una categoria C relativamente alla possibile quota di imposta delle fondazioni, variabile a seconda della tipologia.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	

Categoria	Descrizione
A	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m</u>
B	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</u>
C	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</u>
D	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</u>
E	<u>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</u>

11.2.1 Analisi di secondo livello per la definizione dei fattori di amplificazione (D.G.R. 630/2019)

Poiché sulla base degli scenari individuati dallo studio della microzonazione sismica riportate nelle carte delle MOPS del Comune di Poggio Renatico, l'area d'interesse ricade in Classe A1 - Zona suscettibile di amplificazione - Substrato a profondità ≥ 120 m, si è proceduto, come previsto, all'esecuzione di un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) secondo quanto previsto dalla D.G.R. 630/2019:

“a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività $\leq 15^\circ$, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità sismica locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso tabelle e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio.”

Codifica Elaborato Terna:

< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >

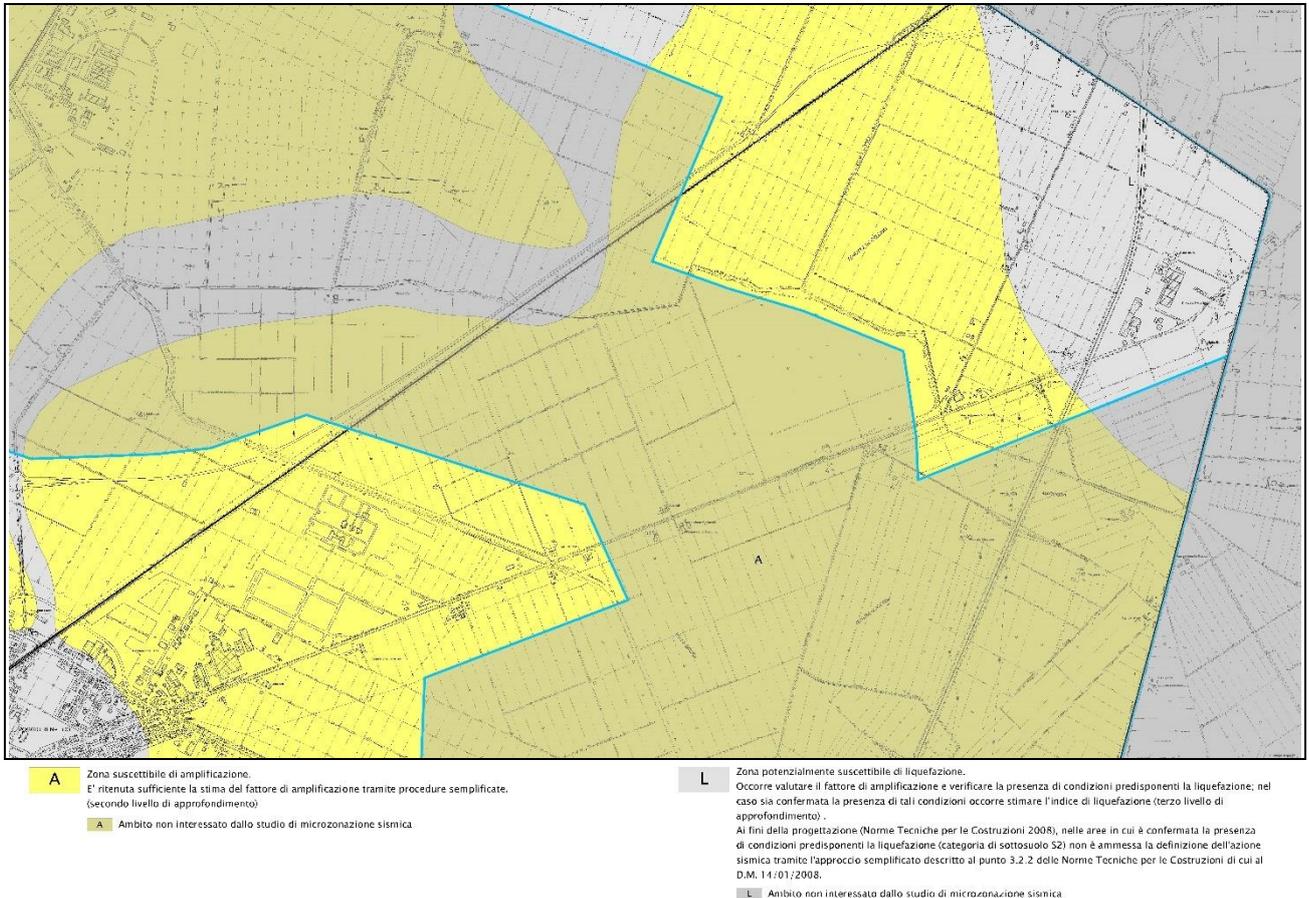


Figura 23 – Estratto della Carta delle MOPS del Comune di Poggio Renatico.

Pertanto, secondo quanto sopra esposto, è stata eseguita l'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) per la definizione dei Fattori di Amplificazione (FA) dell'area d'interesse.

I FA rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, espresso con i parametri sotto indicati, valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A. Quest'ultimo è definito nella tabella 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2018), come segue:

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

I FA riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno TR=475 anni, con smorzamento $\zeta=5\%$, e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA);

- intensità spettrale $SA = \int_{T_2}^{T_1} A(T, \zeta) dT$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	T1	T2
SA1	0.1 s	0.5 s
SA2	0.4 s	0.8 s
SA3	0.7 s	1.1 s
SA4*	0.5 s	1.5 s

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria	
	Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >

- intensità spettrale $SI = \int_{T2}^{T1} V(T, \zeta) dT$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	T1	T2
SI1	0.1 s	0.5 s
SI2	0.5 s	1.0 s
SI3*	0.5 s	1.5 s

A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA

Per la pianura e la costa sono stati individuati diversi ambienti caratterizzati da differenti caratteristiche litostratigrafiche, in particolare da diversa profondità dell'orizzonte che costituisce il substrato rigido, che in pianura non sempre coincide con l'orizzonte caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s.

Secondo quanto riportato nelle MOPS del Comune di Poggio Renatico, l'area in esame ricade in Classe A1 - Zona suscettibile di amplificazione - Substrato a profondità ≥ 120 m e pertanto, per il calcolo dei FA si è proceduto utilizzando la seguente categoria:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

Vs₃₀ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5

Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs₃₀ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5
SA2	2.7	2.7	2.4	2.1	1.9	1.8
SA3	3.3	3.2	2.8	2.5	2.3	2.1
SA4	3.3	3.1	2.7	2.4	2.1	1.9

Fattore di Amplificazione **SA1** ($0.1s \leq T \leq 0.5s$), **SA2** ($0.4s \leq T \leq 0.8s$), **SA3** ($0.7s \leq T \leq 1.1s$), **SA4** ($0.5s \leq T \leq 1.5s$)

Vs₃₀ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Fattore di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T \leq 0.5s$), **SI2** ($0.5s \leq T \leq 1.0s$), **SI3** ($0.5s \leq T \leq 1.5s$)

Sulla base delle conoscenze attuali relativamente alla quota di imposta delle opere in progetto, per il calcolo dei FA si è deciso di utilizzare il valore di $V_{s,eq}$ relativo ad una quota di imposta pari ad 1.0 m da p.c.. Nella tabella seguente si riportano i valori ottenuti secondo quanto previsto dalla D.G.R. 630/2019.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	

Profondità di posa delle fondazioni da q.r. [m]	V _{s,eq} [m/s]			
	MASW 1	MASW 2	MASW 3	MASW 4
V _{s,eq} [m/s] a 1.0 m da p.c.	193	192	192	196
Fattori di Amplificazione				
PGA	1.7	1.7	1.7	1.7
SA1	1.8	1.8	1.8	1.8
SA2	2.7	2.7	2.7	2.7
SA3	3.2	3.2	3.2	3.2
SA4	3.1	3.1	3.1	3.1
SI1	2.0	2.0	2.0	2.0
SI2	3.0	3.0	3.0	3.0
SI3	3.3	3.3	3.3	3.3

Si precisa che, poiché l'area d'interesse è pianeggiante e conseguentemente il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, la valutazione degli effetti topografici è da ritenersi trascurabile (cfr. Punto A2.2 - Allegato A2 – D.G.R. 630/2019).

11.2.2 Indagini Geoelettriche 2D Multielettrodo – ERT

Al fine di valutare la geometria del terreno sino ad una profondità di ca. 30.0 m da p.c. sono stati eseguiti 2 stendimenti geoelettrici 2D multielettrodo (ERT).

Le indagini geoelettriche consentono, attraverso misure effettuate in superficie, di individuare corpi a diversa capacità di conduzione elettrica la quale dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche del mezzo attraversato e dalla natura dei fluidi esistenti (es. acqua, grado di saturazione, ecc...): la sezione geoelettrica fornisce dunque una visione del sottosuolo sia per ciò che riguarda la tipologia dei terreni e sia relativamente alla loro disposizione spaziale (profondità e continuità areale).

Tramite l'elaborazione tomografica, è possibile definire con elevato dettaglio ogni disomogeneità presente nella porzione di sottosuolo investigato come eterogeneità, contatti litologici tra materiali differenti, cavità, manufatti antropici, sottoservizi, ecc.

Le sezioni geoelettriche multipolari vengono realizzate misurando i valori del campo elettrico in corrispondenza di un allineamento di elettrodi di misura equispaziati posti in superficie.

Il campo elettrico viene generato da una coppia di elettrodi (AB - dipolo di immissione) ed un altro dipolo di elettrodi (MN - dipolo di ricezione) misura la differenza di potenziale. Entrambi i dipoli vengono spostati automaticamente lungo l'allineamento di elettrodi: la sezione geoelettrica fornisce quindi una sezione verticale del terreno mediante una molteplicità di valori di resistività apparente riportabili su una maglia regolare.

La resistività apparente è definita come rapporto fra la differenza di potenziale al dipolo di misura e la corrente immessa al dipolo di corrente, rapporto che viene moltiplicato per un opportuno fattore geometrico dipendente dalla posizione reciproca degli elettrodi.

Ogni unità litologica presenta un ampio campo di variabilità dei propri valori di resistività (vedi tabella 6) che dipendono dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e, per rocce litoidi, dal grado di fratturazione. Nel caso di depositi sciolti la resistività dipende dalla composizione granulometrica, dai fluidi in essi contenuti e dal quantitativo in sali disciolti.

Codifica Elaborato Terna:

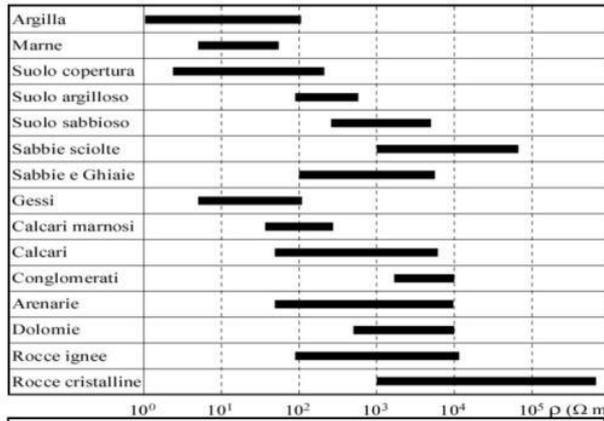
< RUDR21003B2132236 >

Rev. < 02 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

< RUDR21003B2132236_rev02 >

Rev. < 02 >



Tab. 1 – Valori indicativi di resistività (Ohm-m) di alcuni litotipi.

LITOTIPO	ρ (Ω m)	ϕ (%)
Acqua	10+100	-
Acqua di mare	2+3	-
Arenarie	200+5000	7+30
Argille	1+50	40+70
Calcari	300+10000	2+30
Detrito alluvionale	50+1000	15+60
Dolomie	500+10000	2+20
Sabbie e Ghiaie	70+700	30+60
Graniti	1000+20000	0.2+0.8
Marne	100+500	8+15
Piroclastiti	50+600	15+60
Rocce ignee	100+10000	30+10
Suolo di copertura	10+200	60+90
Tufi	150+900	10+40

Tab. 2 – Valori indicativi di resistività (Ohm-m) e di porosità (%) di alcuni litotipi.

Tabella 6: Valori di resistività tipici di terreni e rocce.

L'acquisizione dei dati viene gestita completamente da un'apposita strumentazione in grado di acquisire 64 canali simultaneamente (georesistimetro TIGRE della società Allied Associates Geophysical LTD). La strumentazione utilizzata permette di acquisire un elevato numero di combinazioni di quadripoli traslati automaticamente lungo il profilo secondo una sequenza opportunamente impostata dal software di gestione. Per l'esecuzione dei profili geoelettrici si è optato per la modalità di acquisizione tipo Wenner-Schlumberger (Figura 24).

Il dispositivo Wenner-Schlumberger consente, rispetto ad altre configurazioni, di avere maggiore capacità risolutiva nel caso di strutture con sviluppo sia orizzontale che verticale, oltre al fatto che la profondità d'indagine risulta essere maggiore di circa un 10% rispetto al metodo Wenner.

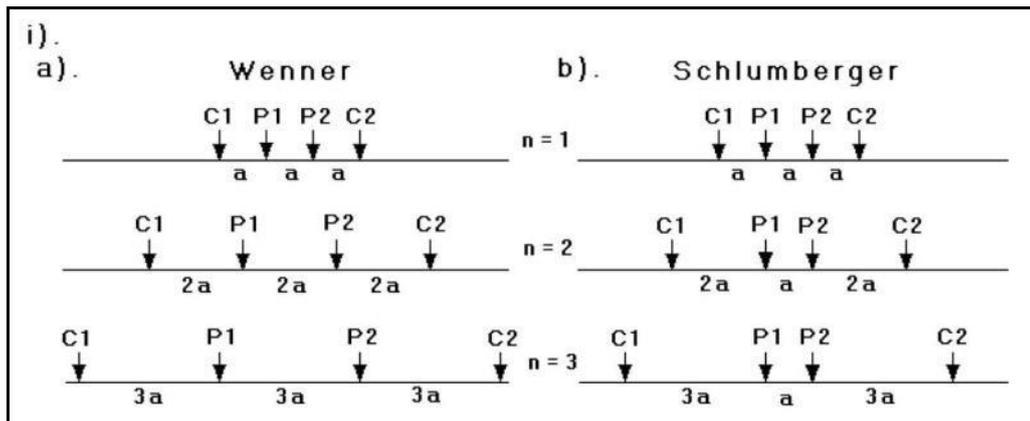


Figura 24 - Schema di realizzazione di misure tipo Wenner e Schlumberger.

La sequenza delle misure e dei quadripoli che costituiscono il profilo vengono impostate con uno specifico programma (ImagerPro 2006) che consente inoltre di selezionare la tipologia di configurazione per lo sviluppo della prospezione, definendo i differenti livelli di misura necessari per il raggiungimento della profondità di investigazione richiesta.

Una volta determinato lo schema di ciascun profilo, l'intensità di corrente e la differenza di potenziale sono misurate successivamente in maniera automatica, secondo lo schema precedentemente caricato all'interno dello strumento di registrazione. Una unità remota, permette quindi di alternare in maniera automatica tra gli elettrodi di correnti e quelle di potenziale.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

La fase preliminare all'inizio della prova, consiste nella misura della resistenza di contatto per ciascun elettrodo, verificando in questo modo la corretta ubicazione di ciascun picchetto ed evitare misure con errori sistematici.

L'acquisizione della resistività apparente del terreno per ciascuna configurazione elettrodica, si ottiene attraverso una serie di letture, in cui si effettua in modo automatico una inversione della polarità della corrente elettrica. Nel presente studio l'inversione di polarità è stata impostata tra un minimo di 3 ad un massimo di 4 cicli.

L'affidabilità della misura finale per ciascun quadripolo è definita grazie al valore di deviazione standard del campione. In ciascuna configurazione elettrodica, il georesistivimetro calcola in automatico tale deviazione standard dei valori misurati.

Se il tale valore risulta superiore ad una soglia pre-impostata (nel presente lavoro pari al 5%), lo strumento procede a ripetere fino a 4 volte la misurazione fino a raggiungere un valore di deviazione inferiore alla soglia.

Una volta portato a termine l'acquisizione di campagna, i dati sperimentali di ciascun profilo vengono salvati nella memoria del computer.

In assenza di disturbi superficiali, il georesistivimetro è in grado di fornire una buona mappatura dei valori di resistività nel sottosuolo correlabili a variazioni litologiche naturali e/o artificiali fino a profondità massime che dipendono dal metodo di misurazione utilizzato (polo-dipolo, dipolo-dipolo, Wenner, Schlumberger, etc...), dalla spaziatura degli elettrodi e dalla lunghezza della sezione.



Figura 25 - Vista della strumentazione utilizzata.

11.2.2.1 Caratteristiche specifiche dei profili effettuati

Nella seguente tabella 7 si riportano le caratteristiche specifiche dei profili geoelettrici: la configurazione geometrica è stata impostata tenendo conto degli obiettivi di investigazione stabiliti.

ID Profilo	Numero elettrodi	Spaziatura elettrodi [m]	Lunghezza stendimento [m]	Metodologia
EL1	64	2.0	126	Wenner-Schlumberger
EL2	64	2.0	126	Wenner-Schlumberger

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

Tabella 7: Caratteristiche specifiche dei profili ERT effettuati.



Figura 26 - Vista del profilo geoelettrico ERT1.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	
Rev. < 02>	Rev. < 02>	



Figura 27 - Vista del profilo geoelettrico ERT2.

11.2.2.2 Elaborazione ed interpretazione dei dati

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati acquisiti è stata effettuata utilizzando il software RES2DINV (v.3.58) della società Geotomo. Il programma di elaborazione permette la determinazione di una sezione di resistività bidimensionale del sottosuolo (sezione dal modello di inversione) dai dati acquisiti in campagna (pseudosezione di resistività apparente misurata). Viene utilizzato un modello di inversione basato sul metodo dei minimi quadrati che, sfruttando un procedimento ad iterazioni successive, permette l'analisi di un elevato numero di punti e di elettrodi.

L'elaborazione è necessaria, in quanto i valori di resistività ricavati in sito (resistività apparente) riproducono solo approssimativamente ed in modo distorto le condizioni reali del sottosuolo, fornendo il valore della resistività per ciascun punto investigato; questo valore puntuale viene interpolato rispetto a quelli circostanti mediante il procedimento d'inversione tomografico per ottenere informazioni bidimensionali. Il programma tramite la procedura di inversione elabora, a partire dalle resistività apparenti misurate, una sezione delle resistività reali.

In Figura 28 si riporta lo schema tipo di una elaborazione (in particolare quella relativa alla linea ERT1) che costituisce il risultato finale della procedura di inversione che, a partire dalle resistività apparenti misurate (pannello in alto), produce una sezione delle resistività reali (pannello in basso).

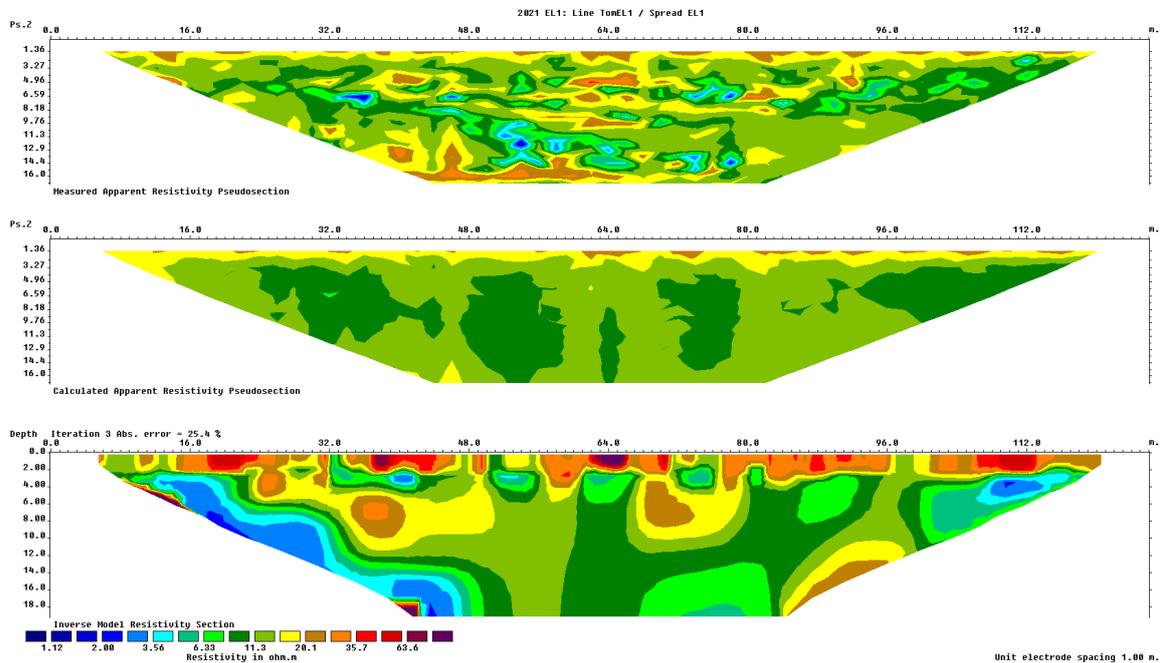


Figura 28 - Schema-tipo di elaborazione di una sezione elettrica tomografica (EL1).

11.2.2.3 Esiti indagini ERT

Le tomografie, riportate in Tavola 3, rappresentano i valori di resistività elettrica in $\Omega \cdot m$ con una scala colorimetrica che va dal blu (bassa resistività) al rosso-viola (media resistività).

Dall'elaborazione delle sezioni ERT è possibile riconoscere la presenza di 2 principali unità elettro-stratigrafiche, così suddivisibili sulla base del valore della resistività:

- **Unità A:** caratterizzata da valori di resistività compresi tra 25 e 60 $\Omega \cdot m$; può essere associata a depositi limoso-sabbiosi. Mediamente si estende fino a circa 2-3 m di profondità da p.c.;
- **Unità B:** caratterizzata da valori di resistività compresi tra 5 e 25 $\Omega \cdot m$; può essere associata a depositi prevalentemente limoso-argillosi a tratti deb. sabbiosi. Locali valori più bassi di resistività possono essere associati alla presenza di una maggiore frazione argillosa mentre i valori più alti alla presenza di una frazione sabbiosa.

L'analisi delle tomografie evidenzia locali lenti di materiali a maggiore contenuto di sabbie anche all'interno dell'Unità B come evidente nella porzione centrale della Sezione EL1 dove sono presenti due grosse lenti a probabile composizione sabbiosa.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

12 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA SITO SPECIFICA ED ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA

Sulla base di quanto esposto nei precedenti capitoli, di seguito si riporta la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito comprendente la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, come dedotti dalla documentazione a disposizione e dagli esiti delle indagini eseguite in sito.

Caratterizzazione e Modellazione Geologica Sito Specifica	
Ubicazione dell'Area	L'area di studio è ubicata in una zona pianeggiante a prevalente uso agricolo ad una quota approssimativa di ca. 10 m s.l.m.
Superficie dell'Area	L'area della nuova Stazione Elettrica di Poggio Renatico ha una superficie complessiva di circa 11000 m ²
Inquadramento Geomorfologico	<p>Piana alluvionale coincidente con il settore Nord della pianura emiliano-romagnola. È compresa tra gli alvei del Fiume Po, verso Nord, del Fiume Reno, verso Sud, dall'asse degli Appennino Settentrionale, verso Est, e dal Mar Adriatico, verso Ovest. Dal punto di vista planoaltimetrico, il settore di pianura oggetto di studio ha un andamento relativamente omogeneo ed una quota media prossima a 10 m s.l.m..</p> <p>L'area risulta priva di evidenze geomorfologiche attive e/o potenziali.</p> <p>Propensione al dissesto: bassa</p>
Inquadramento Geologico/Tecnico	<p>Depositi a granulometria fine (argille, limi e subordinate sabbie) di piana alluvionale e/ di canale e di argine fluviale.</p> <p>Coesione: Terreni coesivi teneri</p> <p>Caratteristiche geotecniche: da scarse a mediocri</p>
Inquadramento Idrogeologico	Depositi alluvionali a permeabilità medio-bassa. Il flusso idrico sotterraneo è localmente orientato NW-SE, superficie freatica si attesta ad una profondità di ca. 2/4 m da p.c. ed il gradiente idraulico è compreso tra 0.05% e 0.15% a seconda dei settori.
Inquadramento Sismico	Classificazione Sismica Regionale: Zona Sismica 3 (OPCM 3519/2006)

12.1 Valutazione della pericolosità geologica

Di seguito si riportano le valutazioni sulla pericolosità geologica (in s.l.) secondo quanto previsto dalla specifica tecnica TERNA (PC31357A_B1860551 rev.00) come deducibili dalla documentazione a disposizione e degli esiti delle indagini eseguite in sito nel mese di Giugno 2021.

12.1.1 Pericolosità geomorfologica

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in esame ricade in un ambito di pianura alluvionale sub-pianeggiante. La piana è in prevalenza costituita da depositi alluvionali a granulometria fine costituiti da materiali granulari in prevalenza fluviali a tessitura prevalentemente limoso argillosa con subordinata sabbia più o meno addensati.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	Rev. < 02>

I materiali granulari limoso argillosi hanno buone caratteristiche geotecniche da scarsa a mediocre ed una bassa propensione al dissesto.

Infatti in questo settore della piana, secondo i dati a disposizione (P.S.A., PAI, PTCP, IFFI), non sono noti fenomeni di dissesto in atto e/o quiescenti.

Al fine di consentire al progettista la corretta valutazione della risposta sismica locale di seguito si riporta la categoria topografica di riferimento, definita secondo il D.M. 17.01.2018, per l'area d'interesse:

Categoria T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

12.1.2 Pericolosità sismica

L'area in esame, ai sensi del OPCM n. 3274/2003 e della DGR n. 1435 /2003 e della successiva D.G.R. 1164/2018 della Regione Emilia Romagna, è stata classificata come Zona Sismica 3. Questa classe è caratterizzata valori di picco di accelerazione orizzontale (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, pari a $0,05 < a_g \leq 0,15$.

Sulla base delle indagini sismiche eseguite e della documentazione a disposizione (Studio di Microzonazione Sismica della Regione Emilia Romagna - Comune di Poggio Renatico) sono stati definiti i seguenti parametri sismici sito specifici:

- I valori di $V_{S,eq}$ dedotti dalle indagini indicano per i terreni investigati una **categoria di suolo C**;
- I terreni in esame non sono soggetti a fenomeni di liquefazione in condizioni sismiche.

12.1.3 Pericolosità idrogeologica: valutazioni sulla vulnerabilità della falda.

L'area d'interesse, dal punto di vista idrogeologico, ricade in un contesto di piana alluvionale caratterizzato da uno spesso materasso alluvionale a medio-bassa permeabilità.

La superficie freatica, in questo settore, si attesta ad una profondità indicativa (P.S.A. comunale) pari a ca. 4 m, con direzione generale NW-SE. Tale dato risulta leggermente divergente con le misurazioni effettuate in campo che hanno evidenziato, per i sondaggi S01, S04 e S05, una soggiacenza della falda compresa tra 2.15 m (S01) e 2.40 m (S05) da p.c..

In considerazione della soggiacenza della falda, si prevedono interferenze potenzialmente significative con le fondazioni delle opere in progetto.

Secondo i criteri base per la definizione della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei (Legenda Unificata per le Carte della Vulnerabilità degli Acquiferi - Civita 1990). L'area in esame ricade in un settore caratterizzato da vulnerabilità Alta.

12.1.4 Pericolosità idraulica: valutazione sugli aspetti idraulici.

Nell'area in esame, è presente un sistema idrografico caratterizzato dalla presenza di una rete idrografica minore costituita da scoli afferenti al sistema di bonifica che da canali irrigui di collegamento.

La documentazione non evidenzia la presenza di aree caratterizzate da potenziale rischio idraulico per inondazioni e/o alluvioni entro un buffer di 200 m dall'area d'interesse.

Pertanto, si ritiene che non sussistano fattori di rischio di carattere idraulico.

12.2 Conclusioni

In conclusione si ritiene che:

- non sussistono potenziali rischi di carattere geologico-geomorfologico che possano mettere direttamente o indirettamente in pericolo l'incolumità dell'opera in progetto;
- non sussistono condizioni di carattere sismico che possano indicare la non compatibilità dell'opera con l'assetto sismico locale;

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	

- sotto l'aspetto idrogeologico non si ritiene che vi sia incompatibilità con la realizzazione dell'opera. Le indagini e le verifiche effettuate hanno riscontrato un alto grado di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero determinato principalmente dalla ridotta soggiacenza della falda (circa 2 m da p.c.) che verosimilmente interferirà con le opere fondazionali (sulla base degli elaborati progettuali forniti dalla Committenza). Ciò determina l'esigenza che tale contesto venga tenuto nella debita considerazione sia in fase di progettazione e sia di realizzazione delle opere.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	   Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria  
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >

13 STABILITA' DEGLI SCAVI

Il progetto prevede la realizzazione di fondazioni superficiali in calcestruzzo armato (gettate in opera o di tipo prefabbricato), con scavi per la posa delle medesime, in relazione ai valori di angolo d'attrito desunti dalle indagini eseguite, occorrerà sagomare opportunamente i fronti di scavo secondo i valori di angolo d'attrito desunti dalle prove, compresi tra 25.2° e 27.8° alle ipotetiche quote di posa delle fondazioni, in modo da garantire le necessarie condizioni di sicurezza.

Qualora si dovesse optare per delle fondazioni su plinto, laddove eventualmente necessario, si dovranno predisporre opportuni accorgimenti per l'asportazione dell'acqua di falda/accumulo all'interno degli scavi che, oltre a causare problematiche di maturazione delle miscele cementizie utilizzate, potrebbe anche causare fenomeni di instabilità delle scarpate.

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Rev. < 02 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >

14 MOVIMENTO TERRE

Al fine di caratterizzare i terreni potenzialmente oggetto di movimentazioni sono stati prelevati n° 19 campioni di terreno inviati ad analisi presso laboratorio chimico specializzato. I campioni sono stati prelevati direttamente dalle cassette dei 5 sondaggi e dei 2 microsondaggi realizzati alle seguenti profondità standard: 0.0-1.0 m, 1.0-2.0 m e 2.0-3.0 m per i sondaggi e 0.0-1.0 m e 1.0-2.0 m per i microsondaggi.

I campioni prelevati sono stati analizzati presso laboratorio chimico certificato (Hydrae S.r.l.) al fine di valutarne l'eventuale riutilizzo in sito per la determinazione analitica dei seguenti parametri:

- Metalli: As, Cd, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, Cr VI, Cr tot.;
- Idrocarburi C>12;
- Amianto;

Sulla base delle risultanze analitiche, tutti i 19 campioni di terreno prelevati ed analizzati nel corso delle indagini sono risultati conformi alle CSC di riferimento per "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" (Colonna A - Tabella 1 - Allegato 5 - Parte IV , -Titolo V - D.Lgs. 152/06. Pertanto sulla base di quanto sopra è possibile prevedere, nei termini di legge, il riutilizzo in sito dei terreni escavati in corso d'opera.

In aggiunta ai campioni sopra descritti, al fine di consentire l'eventuale invio ad impianti di recupero/smaltimento autorizzato di terreni eccedenti i volumi di riutilizzo calcolati a progetto, sono stati prelevati n. 4 campioni da sottoporre a pre-caratterizzazione, e conseguente classificazione, ai fini della gestione dei terreni come rifiuti nel rispetto della vigente normativa di settore.

In particolare i campioni sono ostati sottoposti alle seguenti analisi:

- Caratterizzazione analitica per attribuzione codice CER, al fine di verificarne la non pericolosità e quindi l'ammissibilità in discarica per lo smaltimento;
- Prova di eluizione, finalizzata ad accertare il rispetto delle concentrazioni soglia di contaminazione delle acque sotterranee e ad accertare la possibilità di avvio ad impianto di recupero

Sulla scorta dei risultati delle analisi condotte sul rifiuto tal quale, tutti i campioni prelevati dal sito in oggetto sono classificabili con codice EER 170504 "Terre e Rocce diverse da quelle di cui alla voce 170503" e risultano idonei ad essere gestiti come rifiuto non pericoloso secondo il D.M. 27/09/2010 (D.Lgs. 152/06 art. 182).

Inoltre, sulla base delle risultanze analitiche condotte sull'eluato, i campioni analizzati sono risultati inoltre conformi ai limiti per il recupero (D.M. 05/02/98 All.3) e pertanto il rifiuto può essere avviato, nel rispetto dei criteri di cui all'art- 179 del Dlgs 152/06 e s.m.i. a IDONEO IMPIANTO AUTORIZZATO.

I risultati delle analisi e le considerazioni relative agli aspetti di movimentazione terre, compreso l'eventuale riutilizzo/smaltimento, sono riportati nella relazione specifica redatta dalla scrivente "Caratterizzazione delle Terre e Rocce da Scavo in Fase di Progettazione Definitiva" (C.E. TERNA RUDR21003B2132570).

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02>	

15 CONCLUSIONI

Nella presente relazione tecnica sono descritti i risultati delle indagini di caratterizzazione geologico/geotecnica a supporto del progetto per la realizzazione della nuova Stazione elettrica 132 kV di Poggio Renatico (FE) e dei raccordi alla linea 132 kV "Ferrara Sud - Altedo", nonché della limitrofa stazione utente e del cavo MT di collegamento alla Centrale SNAM di Poggio Renatico (FE). In particolare la presente contiene ed illustra gli esiti delle indagini eseguite nel mese di Giugno 2020.

Le opere previste ricadono in Comune di Poggio Renatico (FE) e consistono nella realizzazione della nuova Stazione elettrica 132 kV di Poggio Renatico (FE) e dei raccordi alla linea 132 kV "Ferrara Sud - Altedo", nonché della limitrofa stazione utente e del cavo MT di collegamento alla Centrale SNAM di Poggio Renatico (FE).

Nello specifico di seguito si riporta una breve sintesi delle attività realizzate e di quanto rilevato:

- In corrispondenza dell'area della costruenda Stazione Elettrica sono stati realizzati n. 5 sondaggi, spinti sino a 20.0 m da p.c.. L'analisi delle stratigrafie ottenute ha permesso di ricostruire la seguente stratigrafia di massima:
 0.0 – 20.0 m: Alternanza di livelli limoso-argillosi e argilloso-limosi con locali intercalazioni di livelli sabbiosi a partire da 15.0 m da p.c.;
- In corrispondenza dei sondaggi S01, S04 e S05 sono stati installati 3 piezometri a tubo aperto. L'esecuzione di una misura freaticometrica ha evidenziato una soggiacenza della falda (dato di giugno 2021) pari a 2.15 m (S01), 2.35 m (S04) e 2.40 m (S05) da p.c.;
- Al fine di meglio determinare le caratteristiche granulometriche del terreno sono stati prelevati n. 10 campioni di terreno disturbato per l'esecuzione di analisi granulometriche. I risultati delle analisi hanno sostanzialmente confermato la stratigrafia sopra descritta;
- Al fine di meglio determinare le caratteristiche geotecniche del terreno sono stati prelevati n. 10 campioni di terreno indisturbato per l'esecuzione di prove edometriche (5) e prove di taglio (5). I risultati delle analisi hanno evidenziato caratteristiche geotecniche da scarse a mediocri con miglioramento dei valori all'aumentare della profondità;
- Per ognuna delle verticali di sondaggio sono state eseguite n. 6 prove SPT alle seguenti profondità da p.c.: 3.0 m, 6.5 m, 9.0 m, 12.5 m, 15.0 m e 18.0 m. L'analisi dei dati ha evidenziato caratteristiche del terreno da scarse a mediocri alle quote investigate in accordo con quanto dedotto dalle informazioni stratigrafiche e con quanto contenuto nella bibliografia tecnica a disposizione (P.S.A. del Comune di Poggio Renatico);
- In aggiunta alle prove SPT sono state eseguite n. 5 prove CPTU spinte fino 20.0 m da p.c. che hanno evidenziato caratteristiche geotecniche da scarse a mediocri lungo l'intera verticale di prova.
- L'unione dei dati dedotti dalle prove SPT, dalle prove CPTU e dalle analisi di laboratorio sui campioni indisturbati ha permesso di ricostruire le seguenti caratteristiche geotecniche medie per i terreni investigati come di seguito riportati.

Unità Geologica	Profondità Letto Min-Max (m da p.c.)	Descrizione Litologica Sintetica	Parametri Geotecnici Medi		Qualità Geotecnica
LA AL/LA AdL	4.5 - 5.0 m	Alternanze di limi argillosi e argille limose con locali lenti di argille debolmente limose e limi debolmente argillosi, colore grigio nocciola	NSPT30	9.0	Scarsa Mediocre
			Densità relativa (%)	38.7	
			Angolo di attrito interno (°)	26.6°	

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO	   Idrogea servizi S.r.l.   Società di Ingegneria	
	Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse		
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >		Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	
Rev. < 02 >		Rev. < 02 >	

Unità Geologica	Profondità Letto Min-Max (m da p.c.)	Descrizione Litologica Sintetica	Parametri Geotecnici Medi		Qualità Geotecnica
LA/AL LdA LS LdSA	10.0 - 20.0 m	Alternanze di limi argillosi e argille limose con locali lenti limi debolmente argillosi, limi sabbiosi e limi debolmente sabbiosi-argillosi, colore grigio	NSPT30 Densità relativa (%) Angolo di attrito interno (°)	8.0 35.7 25.8°	Scarsa Mediocre
LA/AL ALS LS/SL	> 10.0 m	Alternanze di limi argillosi e argille limose con locali lenti argille limoso-sabbiose, limi sabbiosi e sabbie limose, colore nocciola	NSPT30 Densità relativa (%) Angolo di attrito interno (°)	8.0 40.3 27.4°	Mediocre

- Al fine di valutare la geometria del terreno sino ad una profondità di ca. 20 m da p.c. sono stati eseguiti 2 stendimenti geoelettrici 2D multielettrodo (ERT) orientati parallelamente ai confini dell'area d'indagine. Le due indagini, le cui risultanze sono riportate in Tavola 2, hanno sostanzialmente confermato la stratigrafia di massima individuata in fase di sondaggio permettendo la suddivisione di due differenti unità come di seguito descritte:
 - Unità A: caratterizzata da valori di resistività compresi tra 25 e 60 $\Omega \cdot m$; può essere associata a depositi limoso-sabbiosi. Mediamente si estende fino a circa 2-3 m di profondità da p.c.;
 - Unità B: caratterizzata da valori di resistività compresi tra 5 e 25 $\Omega \cdot m$; può essere associata a depositi prevalentemente limoso-argillosi a tratti deb. sabbiosi. Valori più bassi di resistività possono essere associati alla presenza di una maggiore frazione argillosa mentre i valori più alti alla presenza di una frazione sabbiosa.

In considerazione della soggiacenza della falda, che si attesta ad una profondità media di 2.30 m da p.c., il passaggio tra le due Unità A e B identificate potrebbe coincidere con il limite tra terreni saturi e terreni insaturi. Tale ipotesi risulta in linea con i valori di resistività calcolati per le due unità.

- Al fine di determinare i parametri sismici del terreno sono state realizzate n. 4 indagini sismiche tipo MASW e successivamente, in quanto l'area d'interesse ricade in Classe A1 - Zona suscettibile di amplificazione - Substrato a profondità ≥ 120 m, come previsto dalla normativa locale sono stati definiti i Fattori di Amplificazione Sismica Locale che hanno permesso di definire i seguenti valori:
 - I valori di $V_{s,eq}$ dedotti dalle indagini indicano per i terreni investigati una **categoria di suolo C**;
 - I terreni in esame evidenziano i seguenti Fattori di Amplificazione Sismica (FA):

Profondità di posa delle fondazioni da q.r. [m]	$V_{s,eq}$ [m/s]			
	MASW 1	MASW2	MASW 3	MASW 4
$V_{s,eq}$ [m/s] a 1.0 m da p.c.	193	192	192	196
Fattori di Amplificazione				
PGA	1.7	1.7	1.7	1.7
SA1	1.8	1.8	1.8	1.8
SA2	2.7	2.7	2.7	2.7
SA3	3.2	3.2	3.2	3.2
SA4	3.1	3.1	3.1	3.1
SI1	2.0	2.0	2.0	2.0
SI2	3.0	3.0	3.0	3.0
SI3	3.3	3.3	3.3	3.3

 T E R N A G R O U P	STUDIO GEOLOGICO/GEOTECNICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO Stazione Elettrica 132 kV Poggio Renatico (FE) e Raccordi alla RTN ed Opere Connesse	 Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria
Codifica Elaborato Terna: < RUDR21003B2132236 >	Codifica Elaborato <Fornitore>: < RUDR21003B2132236_rev02 >	

In conclusione, sulla scorta di quanto sopra esposto, è possibile affermare che i caratteri geologici del sottosuolo non presentano controindicazioni all'esecuzione del progetto purché nel dimensionamento delle opere di fondazione vengano tenuti in considerazione i parametri desunti dall'indagine geotecnica.

Data la ridotta soggiacenza della falda si consiglia, in fase di scavo, di predisporre opportuni accorgimenti per l'allontanamento dell'acqua di accumulo all'interno degli scavi che, oltre a causare problematiche di maturazione delle miscele cementizie utilizzate, potrebbe causare fenomeni di instabilità delle scarpate (erosione al piede e sottoescavazione).

Varese, 21/07/2022

Dott. Geol. A. Uggeri

