



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA e GEOTECNICA SULLE INDAGINI

PROGETTO GEOTERMICO OSTELLATO PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE – (PAUR)



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA e GEOTECNICA SULLE INDAGINI					
<i>Revisione</i>	<i>Documento</i>	<i>Data</i>	<i>Preparato</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>
REV.0		3 APR 2026			



**MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA
E GEOTECNICA SULLE INDAGINI**

03 APRILE
2026



Studio Servizi Tecnici
Settore geologia e ambiente

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE

Via Roma, 10

44021 CODIGORO (Ferrara)

Tel e fax. 0533 / 713798 cell. 335-5240380

E-mail: t.veronese@studio-sst.it

PEC: thomas.veronese@pec.epap.it

MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA e GEOTECNICA SULLE INDAGINI

COMUNE DI OSTELLATO (Fe)

Loc. San Giovanni

Progetto Geotermico di Ostellato, da realizzarsi in via Delle Serre a San Giovanni di Ostellato, comune di Ostellato (Fe).

Committente: **FRI-EL GEOPower S.r.l.**
Sede in: via delle Serre n. 1
44020 San Giovanni di Ostellato (Fe)

Studio S.S.T. Settore Geologia e Ambiente Timbro
Geotecnica; Studio terreni di fondazione; Geomeccanica; Stabilità dei versanti;
Idrogeologia; Rilevamento geologico; Rilievi topografici; Contributi allo Studio di
Impatto Ambientale; Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità
e di realizzazione dei P.R.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di
acquiferi per la tutela e per l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; subirrigazioni.

03 aprile 2026
Thomas Veronese



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

INDICE DEI CONTENUTI

1. PREMESSA	5
NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	6
2. MODELLAZIONE GEOLOGICA	7
2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA	7
2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI	11
2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI	23
2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI	25
3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI	28
3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA	28
<i>Categoria di suolo di fondazione</i>	28
<i>Azioni Sismiche "D.M. 17 gennaio 2018"</i>	34
<i>Magnitudo di progetto</i>	37
3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	38
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI TERRENI GRANULARI	44
4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI	46
4.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	50
5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	54
5.1. ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE SATURE	65



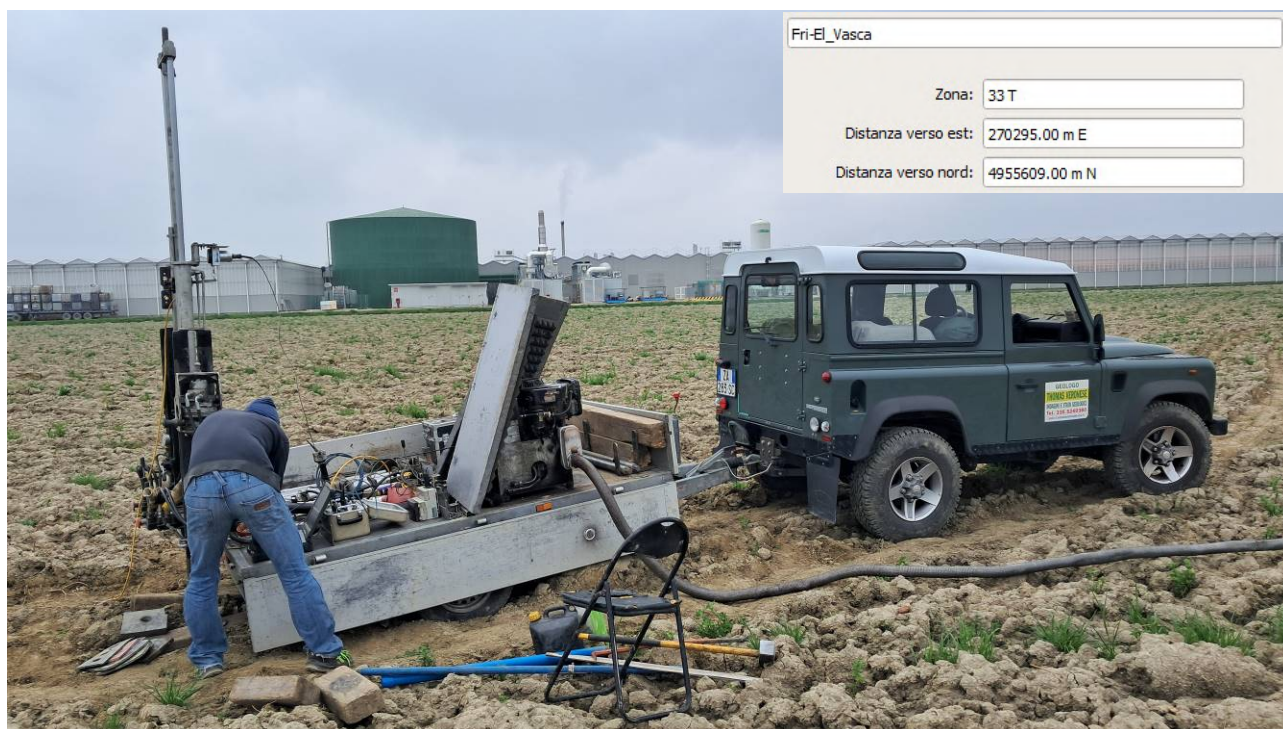
MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

REPORT FOTOGRAFICO



SCPTu1 profondità -36m



CPTu2 profondità -30m da p.c.

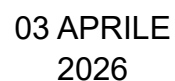


MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026



Acquisizione con prove geofisiche E.S.A.C. e HVSR





MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

Normativa e Raccomandazioni di riferimento

- Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare n. 7/2019 del C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 Gazzetta Ufficiale n. 35/2019 - 11 febbraio 2019.
- Deliberazione della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell'”Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630”.
- Deliberazione della Giunta Regionale 26 aprile 2021, N. 564 integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Art. 22 e 49, L.R. N. 24/2017)"
- Delibera di Giunta Regionale Num. 630 del 29/04/2019, Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r. n. 24/2017).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)”.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)”.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.
- DGR 1300 del 1° agosto 2016: prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione del rischio di alluvioni nel settore urbanistico, ai sensi dell'art. 58 elaborato n. 7 (norme di attuazione) e dell'art. 22 elaborato n. 5 (norme di attuazione) del progetto di variante al PAI e al PAI Delta adottato dal Comitato Istituzionale Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazioni n. 5/2015.

2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA

Nella **FIGURA 2.1** si riporta la sezione geologica passante per Cotignola, Bagnacavallo, Ravenna, Comacchio, Codigoro, Mesola, Chioggia in cui si possono apprezzare gli spessori dei sedimenti del Quaternario sopra i pliocenici, che coincide con il passaggio dai sedimenti sciolti a quelli litificati o pseudolitificati.

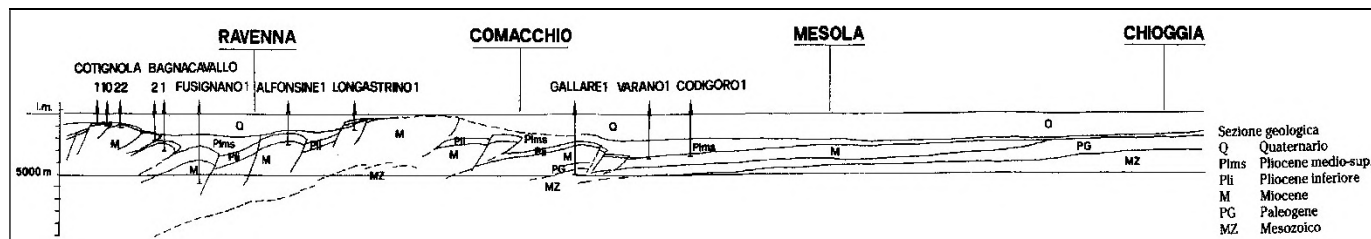
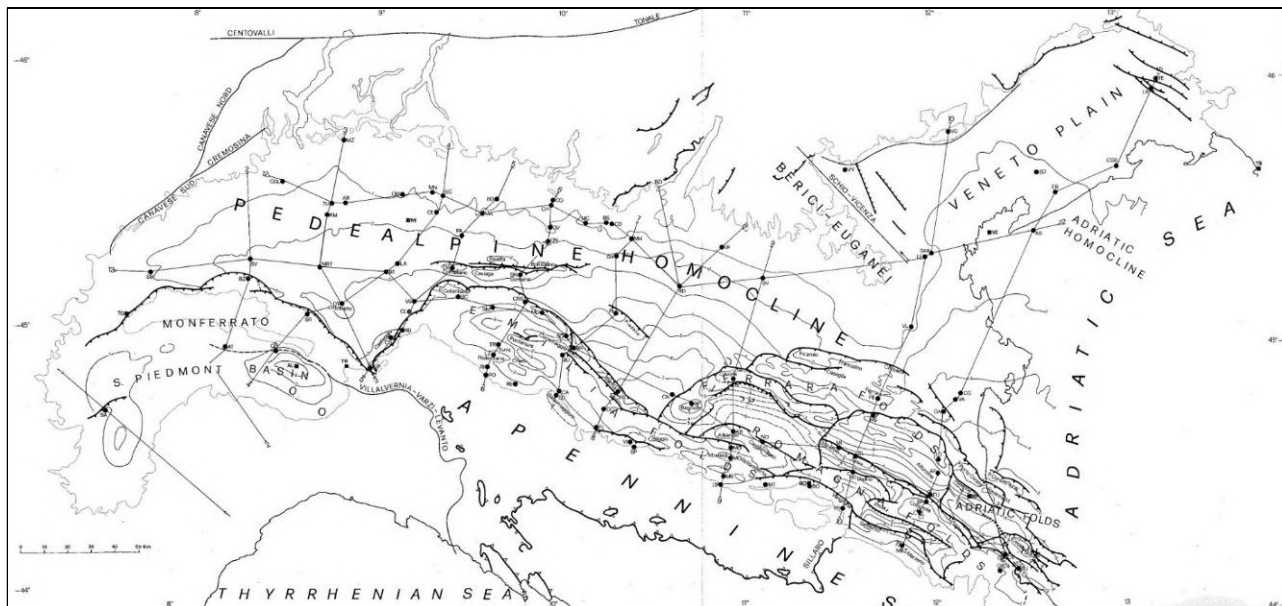
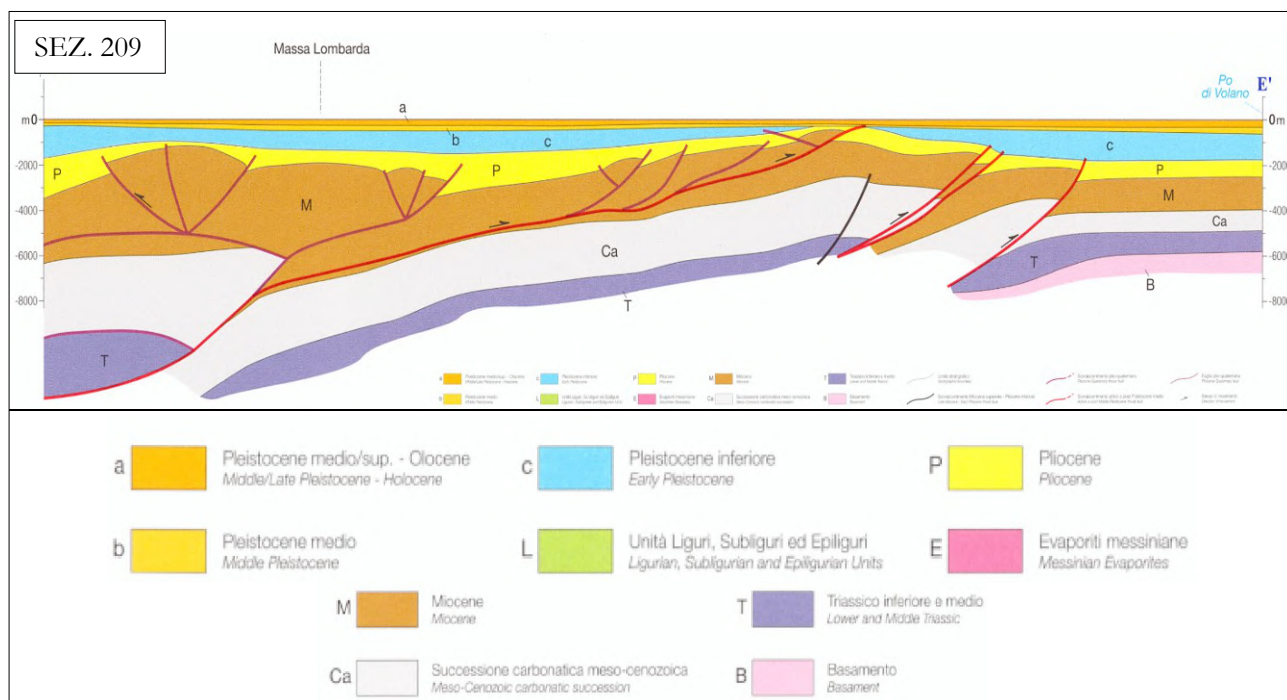


FIGURA 2.1 - Sezione geologica della bassa pianura padana.

Nella **FIGURA 2.2** si riporta una sezione geologica profonda passante nei pressi del sito allo studio, estrapolata dal servizio geologico della Regione Emilia Romagna, la sezione 209, orientata nord-est sud-ovest.



https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/pozzi_ses/index.html

In **FIGURA 2.3** si riporta un'altra sezione geologica passante più in lontananza rispetto al sito, nei pressi di Ostellato, la sezione 95 del progetto C.A.R.G., orientata nord- est sud-ovest, con la Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 300m di profondità.

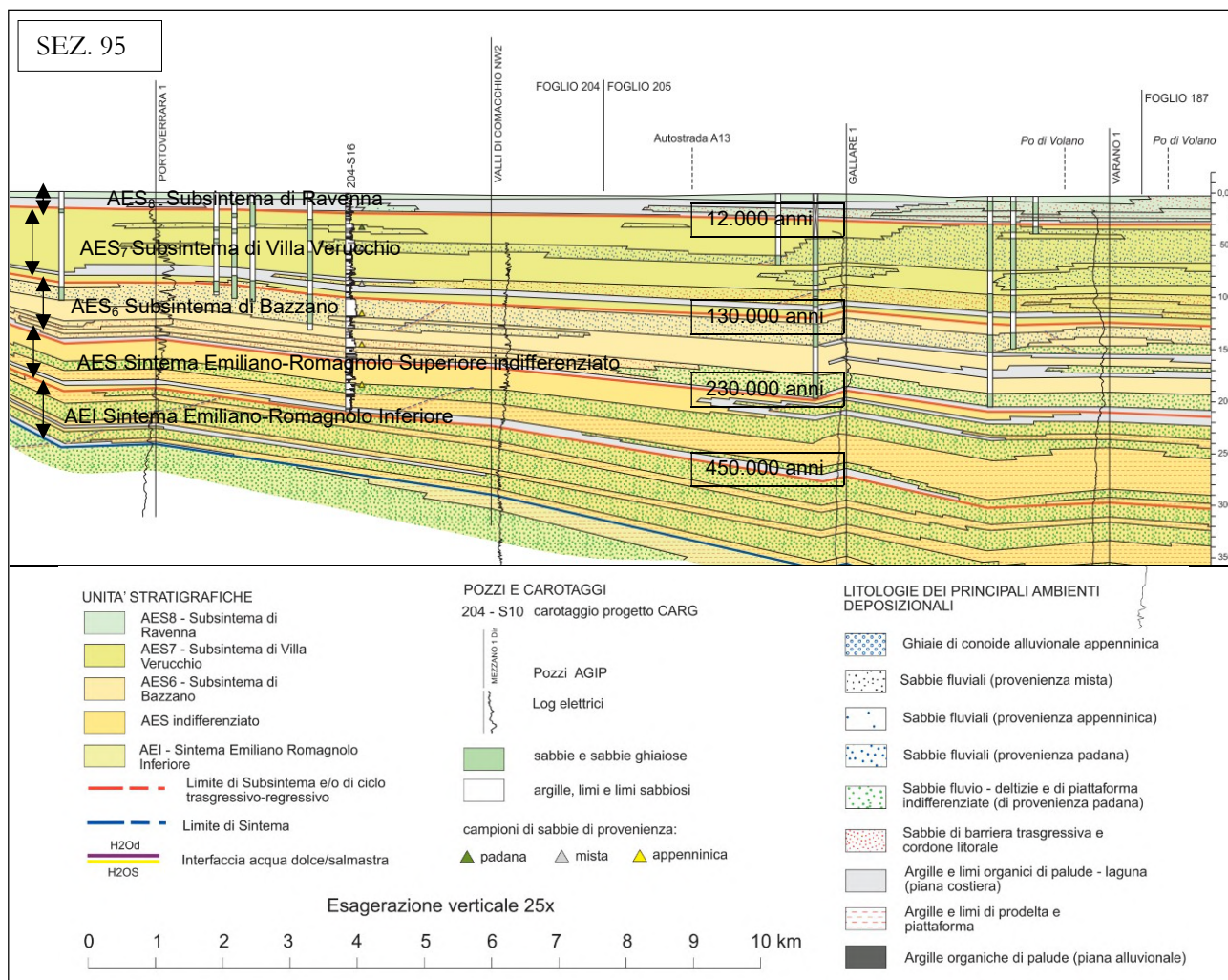


FIGURA 2.3 – Sezione geologica 95.

https://servizi.moka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/pozzi_sez/index.html

Nella **FIGURA 2.4** viene riportata la Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine della attribuzione alla Zona sismica 3, in cui Ostellato è stato inserito nella OPCM 3274/2003.

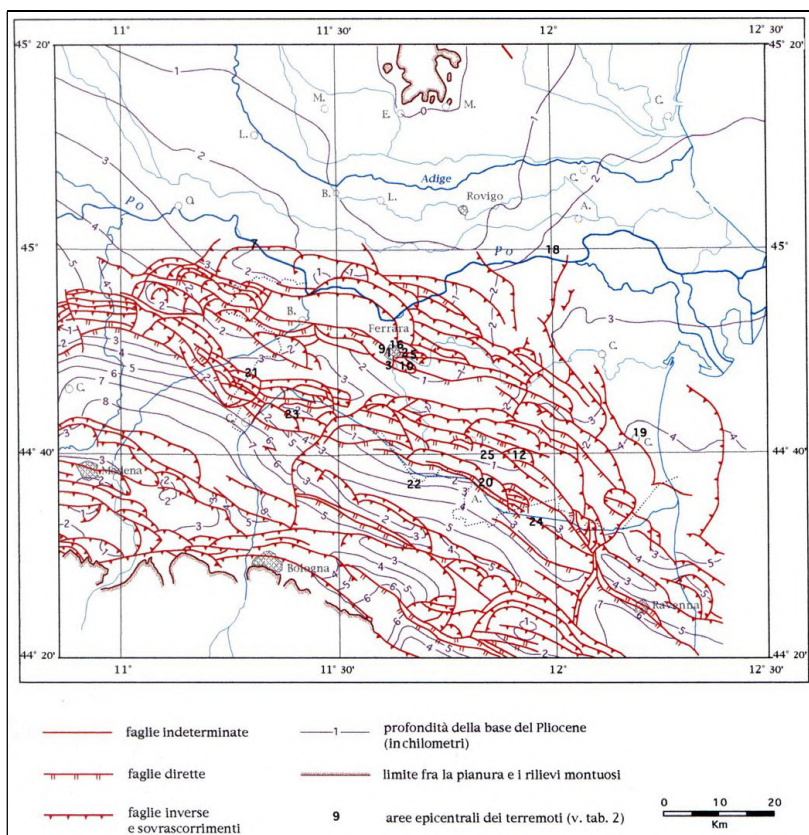


FIGURA 2.4– Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR,1992)

Si fa inoltre presente che quasi tutto il territorio comunale di Ostellato ricade all'interno della zona sismogenetica 912 (**FIGURA 2.5**), in particolare sulla Dorsale Ferrarese, dunque è potenzialmente sede epicentrale di eventi sismici. Il sito allo studio ricade al di fuori della zona sismo genetica Z912.

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di $M = 6,14$.

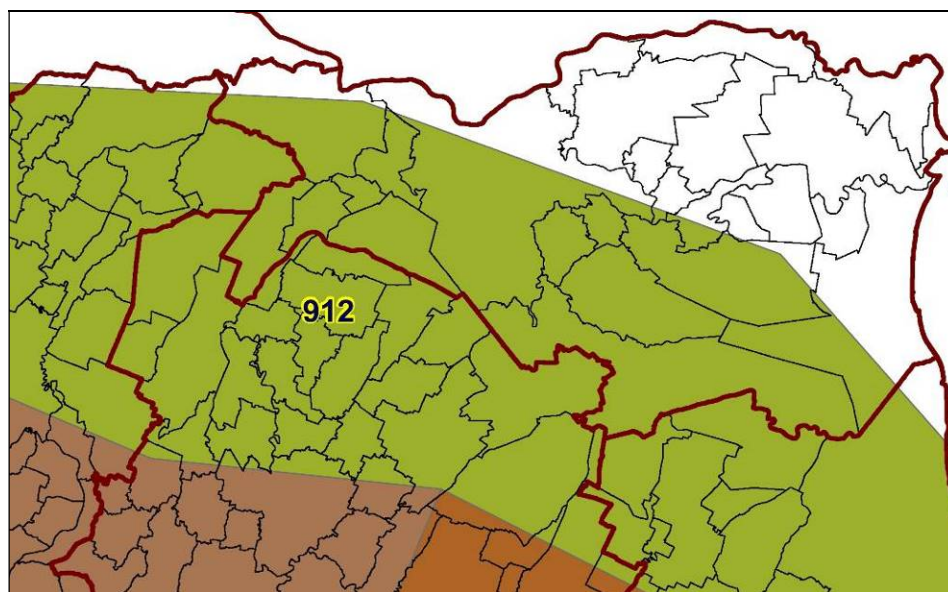


FIGURA 2.4 - Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale

2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

Generalmente i sedimenti che si rilevano a San Giovanni di Ostellato sono di derivazione alluvionale, legati alla presenza del paleoalveo del Padoa-Eridano.

In corrispondenza del paleoalveo del Padoa-Eridano si rilevano prevalentemente depositi di canale e di argine prossimale con sedimenti tipici di alta energia idrodinamica; mentre al di fuori di questa struttura geomorfologica prevalgono i sedimenti di argine distale, caratterizzati da sedimenti argilloso limosi, con possibile presenza di livelli torbosi, talora è possibile rilevare anche banchi sabbiosi di spessori da decimetrici a metrici a diverse profondità.

Considerata la somma urgenza della progettazione dell'opera, si è fatto ricorso inizialmente a dati bibliografici attraverso le numerose indagini realizzate nell'area.

Dati bibliografici:

n. 2 prove CPTU1A e CPTU9A con *rif. U20-18*, eseguite dallo scrivente, spinte rispettivamente fino alla profondità di -30,00 m da p.c. e -20,00 m da p.c., realizzate in corrispondenza delle serre poste a sud

n. 3 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono CPTU della banca dati regionale, spinte tutte fino alla profondità di -36,0 m da p.c., eseguite nell'intorno dell'impianto di progetto.

In **FIGURA 2.5** si riporta una ortofoto satellitare generale con l'ubicazione di tutte le penetrometrie prese a riferimento per questa relazione.



FIGURA 2.5 – Ortofoto dell'area con l'ubicazione delle prove CPTU e dei sondaggi svolti in sito

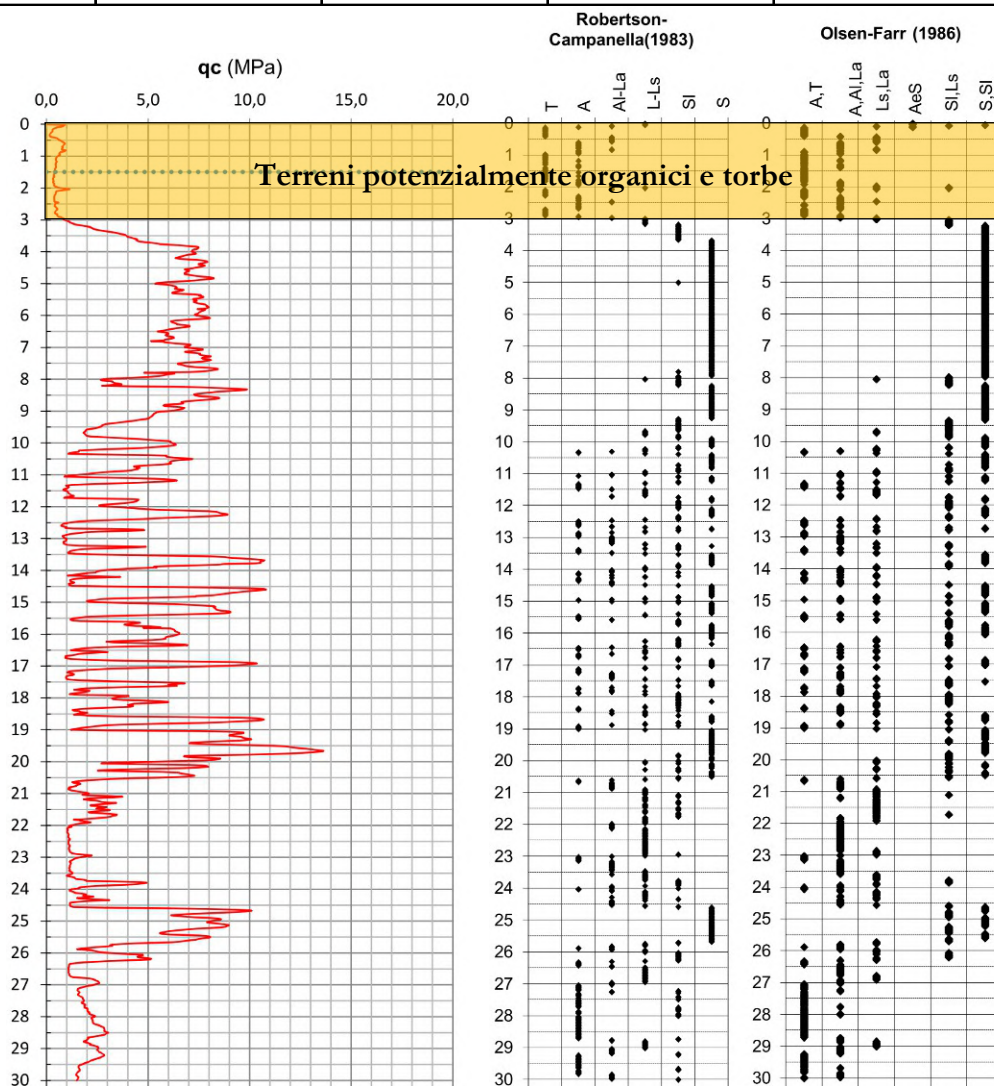


MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica **CPTU1A** con rif. *U20-18* rileva:

DA	A	qcm	litol.	consistenza ed addensamento
m	m	MPa	(-)	(-)
0,0	1,0	0,58	Al-La	moderatamente consistente
1,0	3,0	0,47	A	poco consistente, organica
3,0	9,5	6,20	S	moderatamente addensata
9,5	19,0	4,04	SI	moderatamente addensata
19,0	20,6	7,85	S	moderatamente addensata
20,6	22,0	2,17	L-Ls	poco addensata
22,0	24,6	1,54	Al-La	consistente
24,6	26,3	6,12	S	moderatamente addensata
26,3	30,0	1,99	A	consistente



Diagrammi di resistenza e valutazioni litologiche – CPTU1A rif. U20-18



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica **CPTU9A** con *rif. U20-18* rileva:

DA	A	qcm	litol.	consistenza ed addensamento
m	m	MPa	(-)	(-)
0,0	1,3	1,00	Al-La	consistente
1,3	2,2	0,40	A	poco consistente, organica
2,2	13,6	6,23	S	moderatamente addensata
13,6	18,2	4,81	SI	moderatamente addensata
18,2	20,0	6,91	S	moderatamente addensata

Legenda Litologia

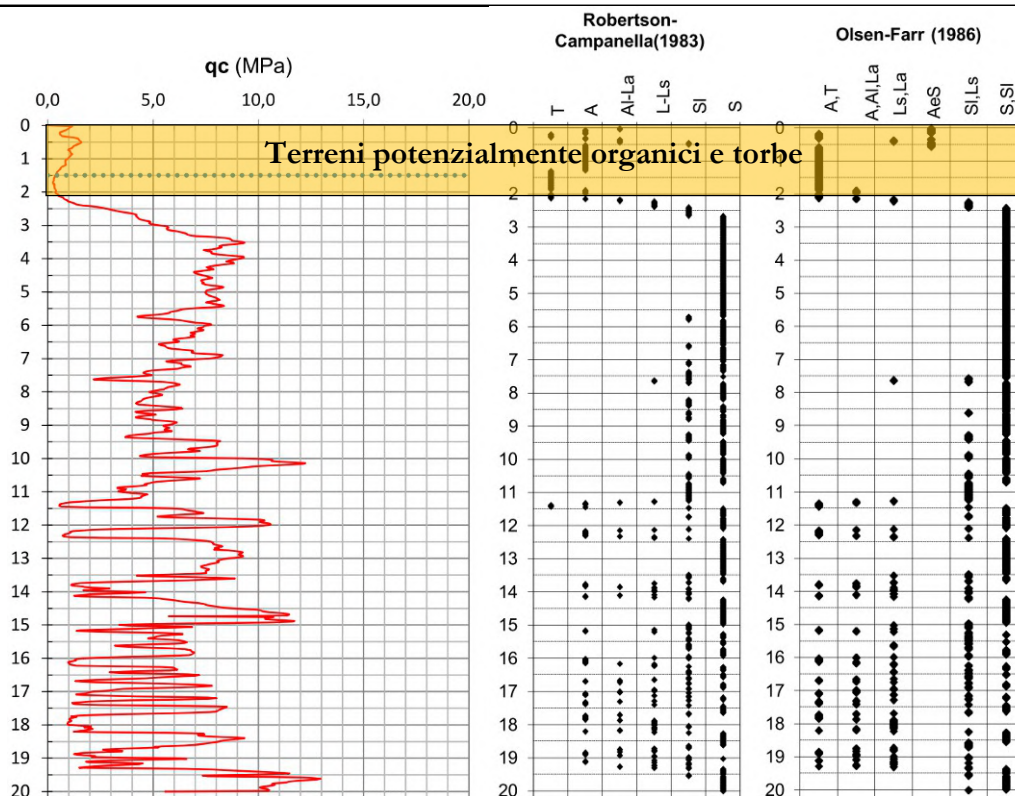
RIP	Riporto
T	Torba
A	Argilla
AL-La	Argilla Limosa - Limo Argilloso
L-Ls	Limo - Limo Sabbioso
SI	Sabbia Limosa
S	Sabbia

TERRENI COESIVI

da 0 MPa a 0,5 MPa - MOLLE E POCO CONSISTENTE
da 0,5 MPa a 1,0 MPa - MODERATAMENTE CONSISTENTE
da 1,0 MPa a 2,0 MPa - CONSISTENTE
da 2,0 MPa a 4,0 MPa - MOLTO CONSISTENTE
maggiore a 4,0 MPa - ESTREMAMENTE CONSISTENTE

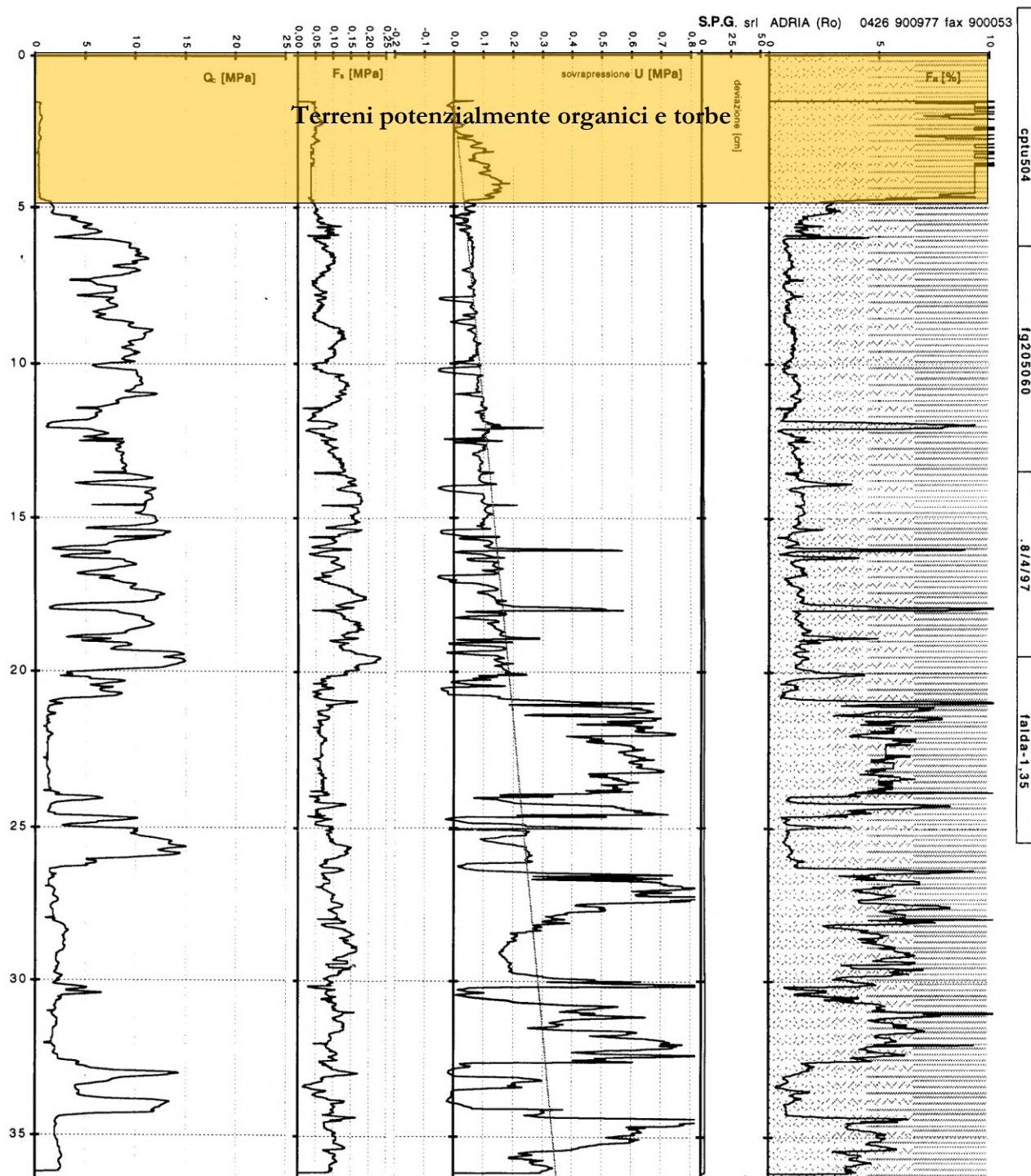
TERRENI GRANULARI

da 0 MPa a 2,0 MPa - SCIOLTE
da 2,0 MPa a 4,0 MPa - POCO ADDENSATA
da 4,0 MPa a 12,0 MPa - MODERATAMENTE ADDENSATA
da 12,0 MPa a 20,0 MPa - ADDENSATA
maggiore a 20,0 MPa - MOLTO ADDENSATA



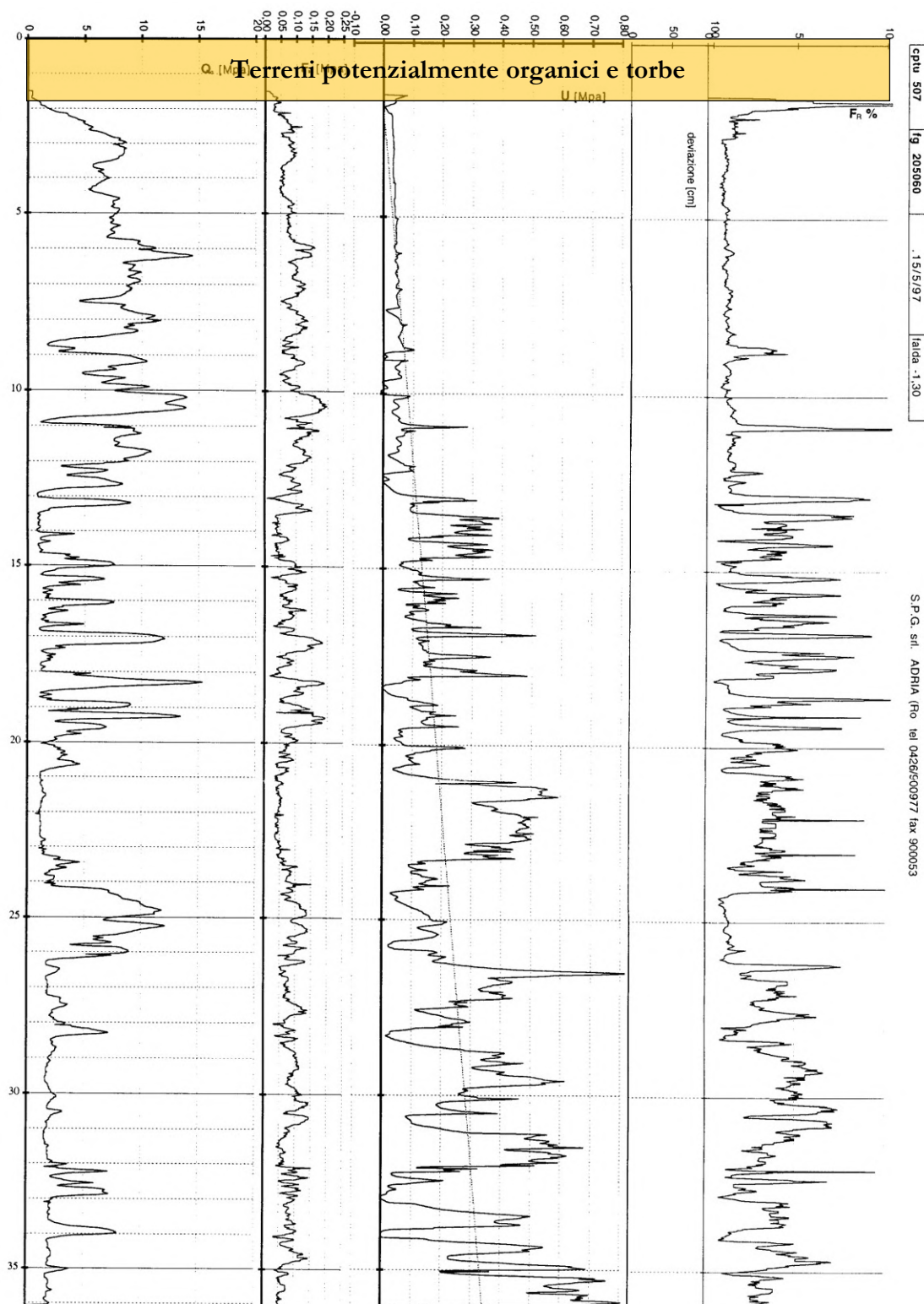
Diagrammi di resistenza e valutazioni litologiche – CPTU9A *rif. U20-18*

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica CPTU con rif. 205060U504 rileva:



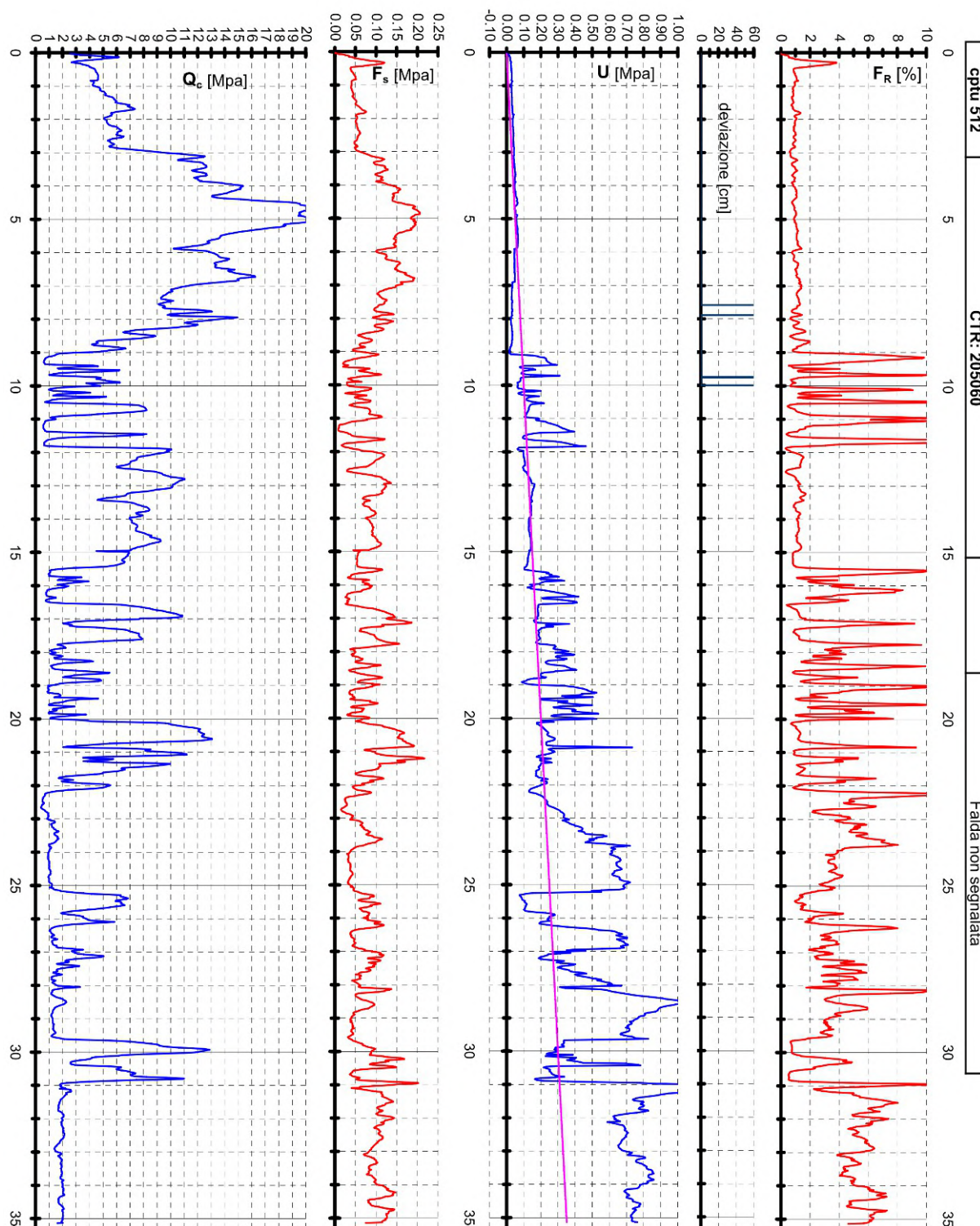
Diagrammi di resistenza- CPTU rif. 205060U504

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica **CPTU** con rif. 205060U507 rileva:



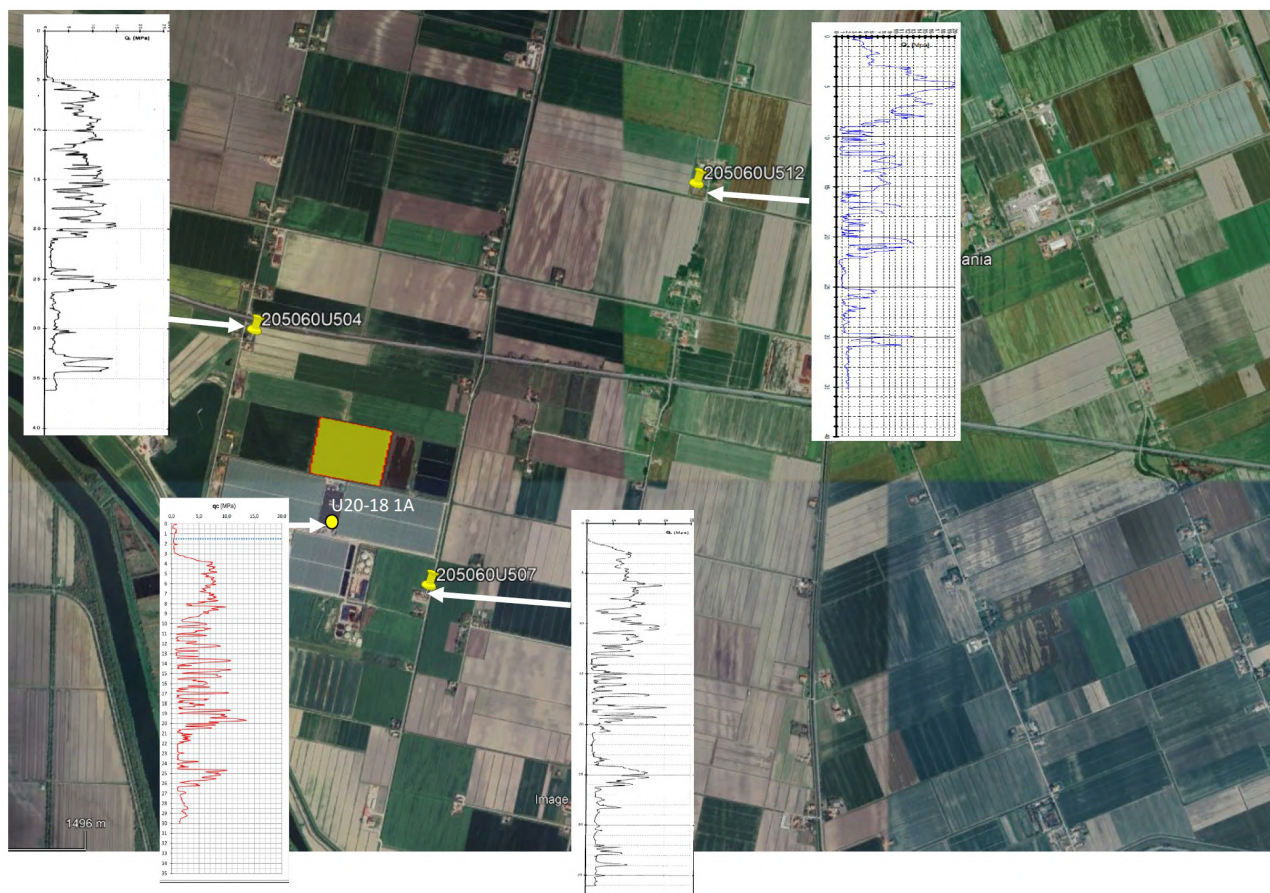
Diagrammi di resistenza- CPTU rif. 205060U507

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica **CPTU** con rif. 205060U512 rileva:



Diagrammi di resistenza – CPTU rif. 205060U512

Mettendo a sistema i diagrammi della resistenza alla punta qc, si ottiene il modello geologico stratigrafico atteso nell'area di intervento.



In giallo è segnata l'area allo studio.

Come si può notare l'area presenta un diverso spessore dello strato di copertura, caratterizzato da terreni coesivi organici. Lo spessore più grande dei terreni coesivi molli è stato rilevato con la prova CPTU con rif. 205060U504, di circa 5,0 m.

Il sito è dunque caratterizzato da uno strato di copertura caratterizzato da argille limose organiche molli e poco consistenti, dello spessore variabile, localmente possono essere presenti anche delle torbe, come rilevato dai sondaggi a coclea bibliografici; successivamente si rilevano sabbie moderatamente addensate.

Durante la redazione della relazione geologica, si è fatto in tempo ad eseguire due prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono (di cui una con sismocono) proprio all'interno del sedime dei futuri interventi.

È stata eseguita una SCPTu a -36m dal p.c. in corrispondenza del futuro Pozzo 2, ed una prova CPTu a -30m in corrispondenza della futura vasca.

Queste sono indagini preliminari e commissionate ed eseguite in tempi molto stretti. Sono inoltre stati acquisiti importanti dati geofisici profondi.

In data 05/03/2026 è stato eseguito uno stendimento geofisico per una prova ESAC al fine di ottenere un profilo di Vs profondo per condurre una analisi di risposta sismica locale. Contestualmente sono state eseguite due prove HVSr.



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026



Ubicazione indagini penetrometriche eseguite a marzo 2026



Profilo sismico ESAC



Prova H/V

angolo profilo ESAC: 44,716138°N 12,097745°E

Tavola 1

Ubicazione indagini penetrometriche eseguite a marzo 2026



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA: CPTU n°:

U12-26 SCPTU1

COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER

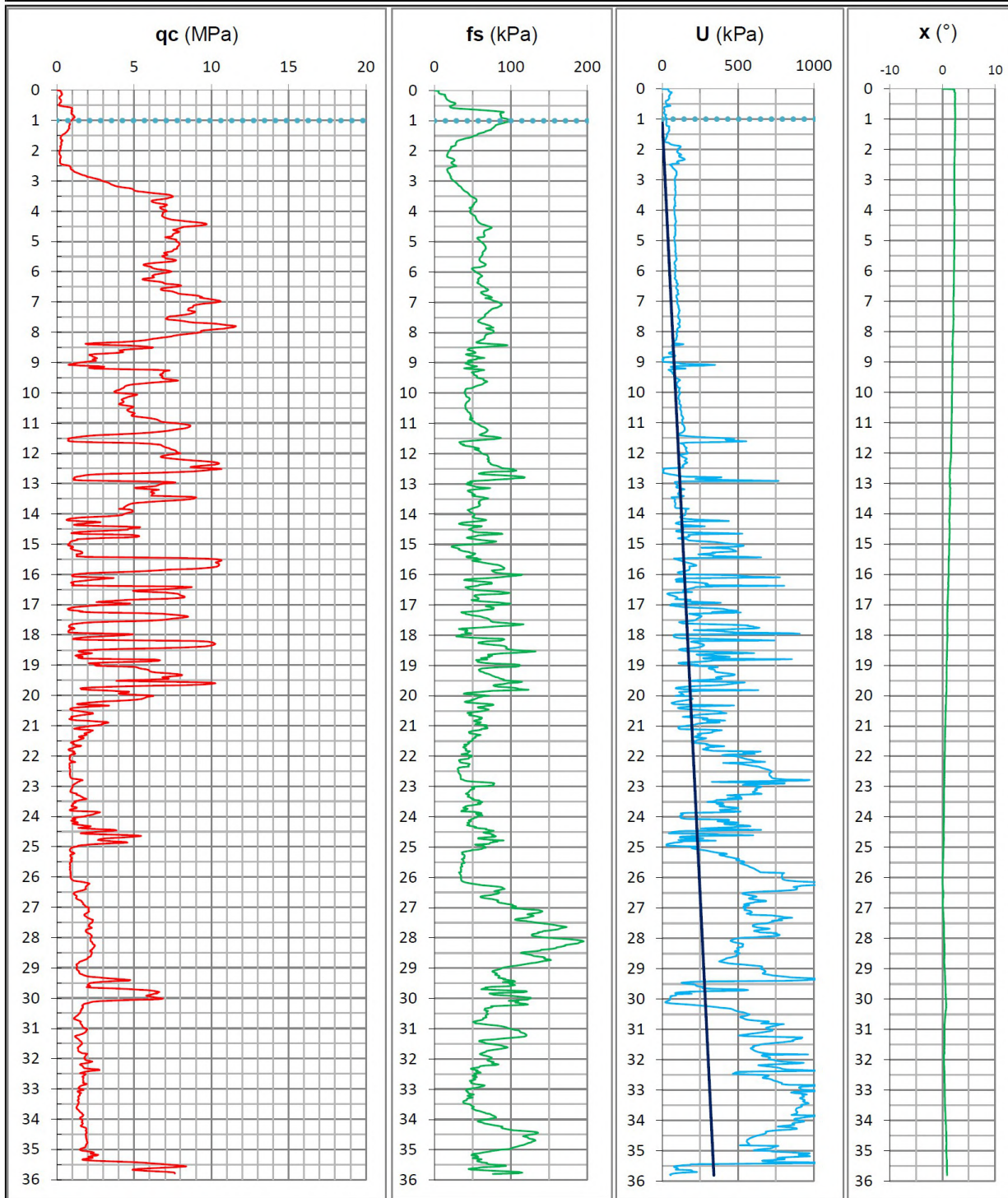
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)

DATA: 04/03/2026

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00

PREFORO (m da p.c.): 0,00



Eseguita nel 2026.



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

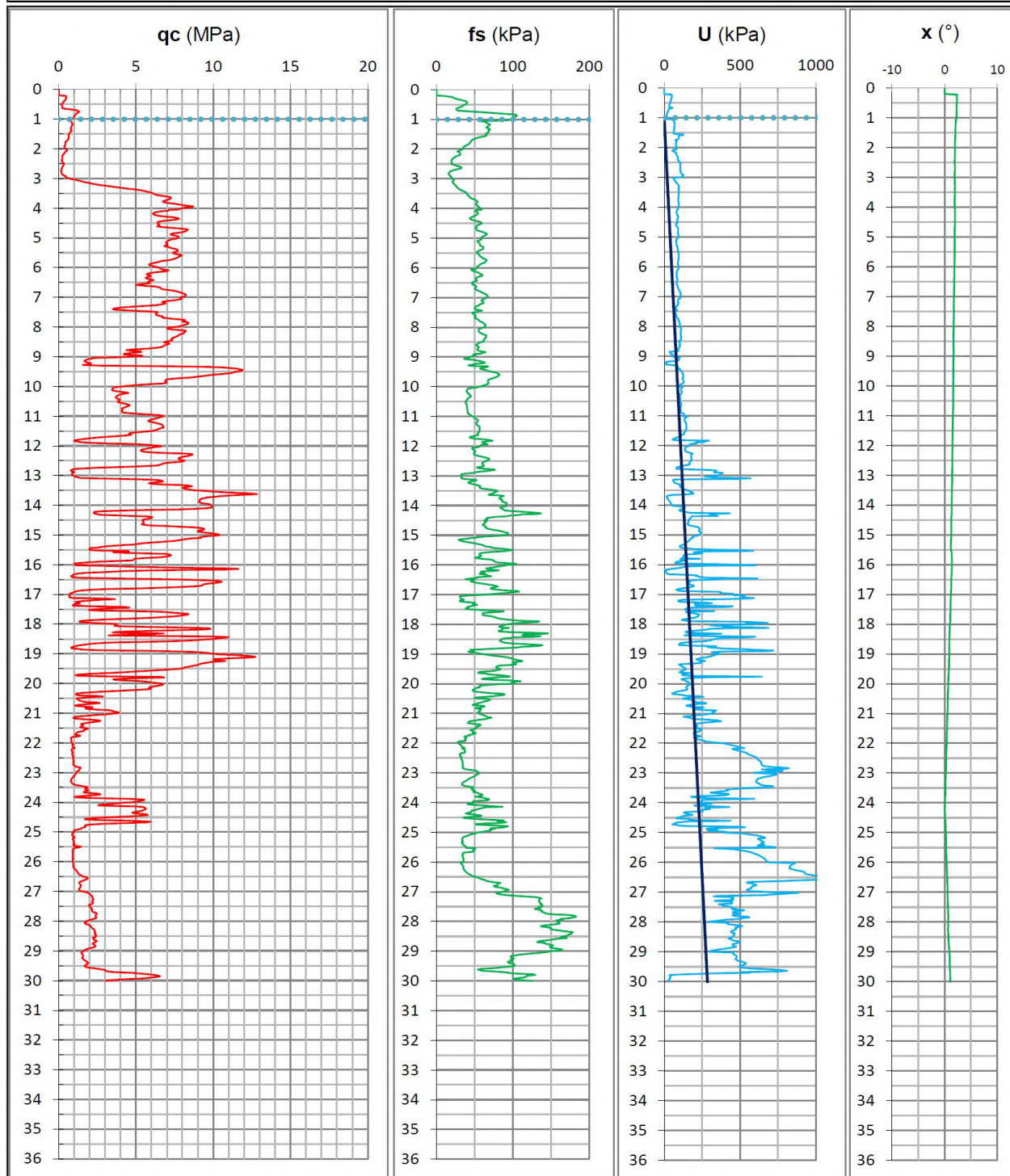
DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE - Via Roma, 10 44021 CODIGORO (Ferrara)

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA: CPTU n°:
U12-26 CPTU2

COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)
DATA: 04/03/2026

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00
PREFORO (m da p.c.): 0,20



Eseguita nel 2026.



MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

03 APRILE
2026

Confronto tra le due prove eseguite sul sito di intervento

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA: CPTU n°:
U12-26 SCPTU1

COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER

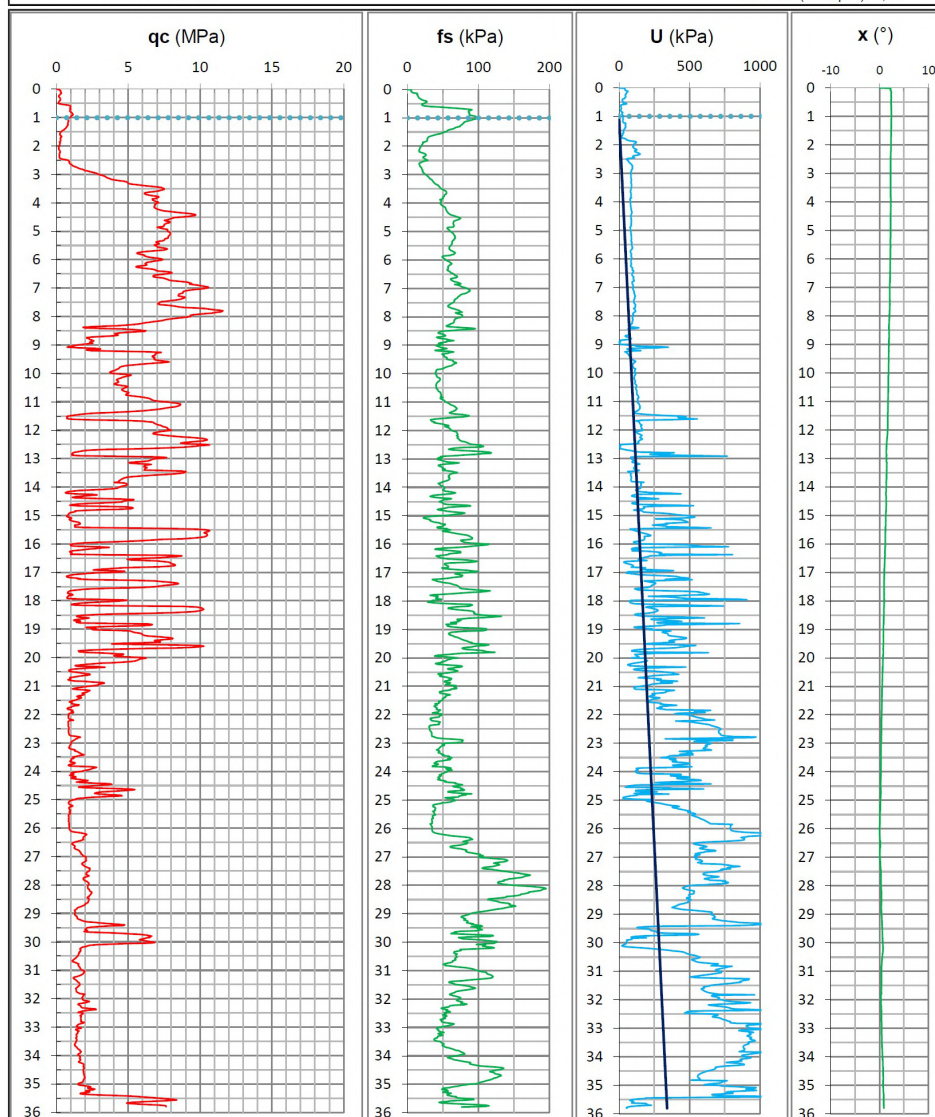
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)

DATA: 04/03/2026

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00

PREFORO (m da p.c.): 0,00



PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA: CPTU n°:
U12-26 CPTU2

COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER

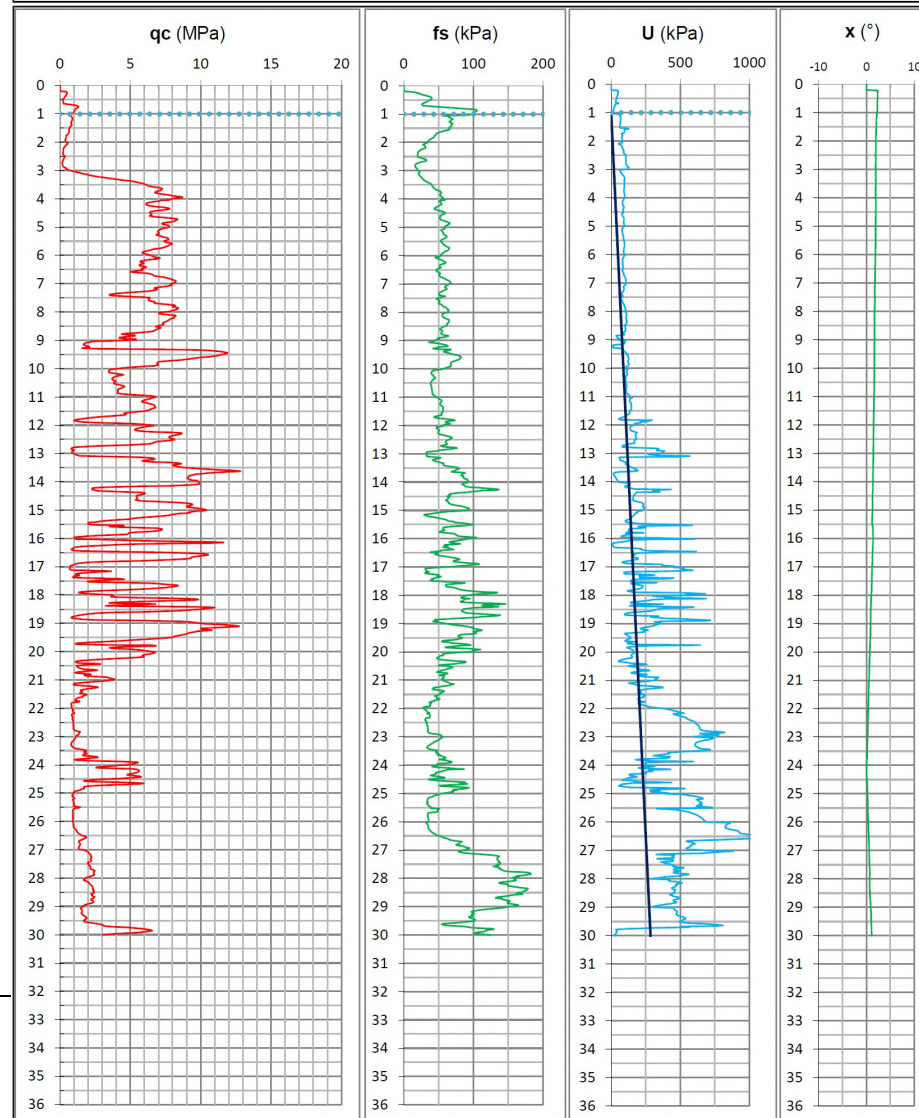
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)

DATA: 04/03/2026

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00

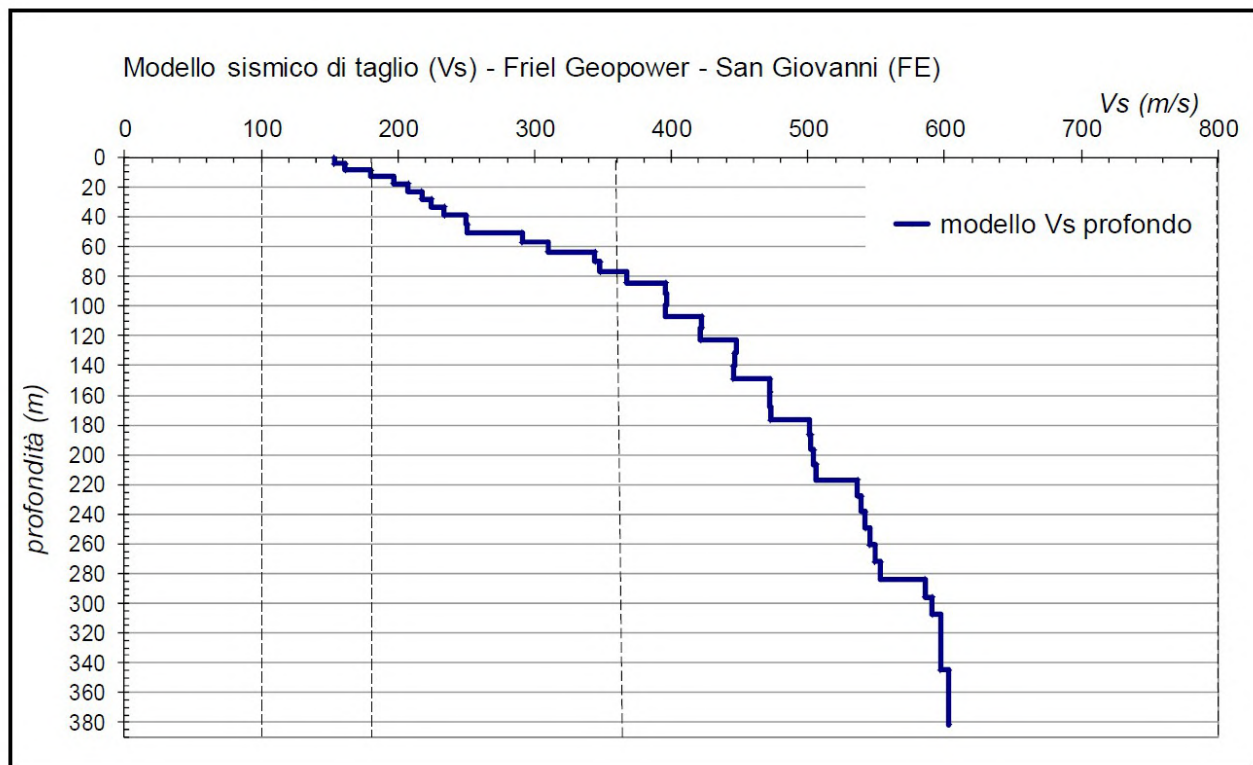
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00

PREFORO (m da p.c.): 0,20



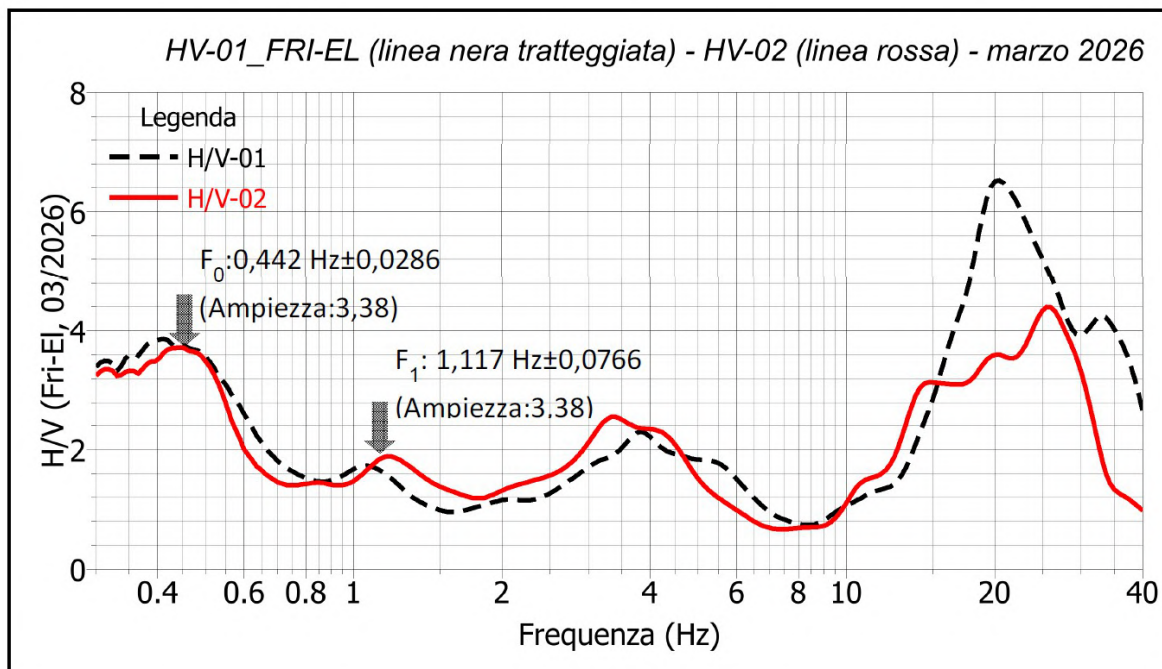
Come si può osservare la situazione rilevata al di sotto dell'area di futuro intervento, con le due indagini, mostra una situazione sostanzialmente omogenea dal punto di vista stratigrafico.

Di seguito si riporta invece il profilo di Vs profondo, al di sotto dell'area allo studio.



profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico.

A seguire i grafici registrati dei rapporti spettrali H/V:



media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo vicino e libero (H/V-01) e (H/V-02) nell'area. Freccia: picchi di frequenza: **F₀**: fondamentale e **F₁**: altra frequenza.

2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area di intervento ricade in un'area geomorfologicamente complessa, in una zona di transizione tra il corso del fiume Padoa-Eridano (poi Pado-Vetere), antica diramazione di quello che è poi diventato l'attuale fiume Po e gli allineamenti di paleodune, che fanno parte di quella serie di linee di costa di età etrusca che da ovest si susseguivano verso est in veloce progressione, alimentate dai sedimenti portati a mare dal fiume Padoa-Eridano. Tali allineamenti di paleodune costieri si susseguono fino all'attuale linea di costa. Appena fuori da tali corsi e allontanandosi dai punti di rotta fluviale tornano a dominare sedimenti argilloso-limosi tipici di ambienti distali dal fiume, a bassa energia idrodinamica. In questa area di delta fluviale, ambienti di sedimentazione diversi si sono frequentemente sovrapposti ed affiancati, con il risultato di avere una forte disomogeneità stratigrafica in senso sia verticale che orizzontale.

Le facies deposizionali che hanno interferito l'un l'altra durante la progradazione dominante della linea di costa (accompagnata da eventi non rari di trasgressione marina), hanno visto ambienti marini, marino-costieri, fluviali, palustri succedersi alternando la deposizione di sedimenti di alta e di bassa energia idrodinamica. Laddove i campi di dune erano meno imponenti, la subsidenza ha avuto tempo in questi ultimi due mila anni di ribassare la sommità delle dune fin sotto il livello del mare, procurando l'allagamento di quelle fasce di territorio. Si sono così formate numerose valli, spesso alimentate da acqua salmastra. In questo nuovo ambiente deposizionale si sono accumulati sottili coltri di sedimenti argilloso-limoso-torboosi, ora rinvenibili sul piano campagna.

In **FIGURA 2.6** viene riportato uno stralcio della *Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara*, dove si può notare come il sito allo studio ricada all'esterno rispetto al paleoalveo del Padoa-Eridano.

Le litologie presenti non possono comunque essere definite senza un'indagine puntuale, poiché sedimenti generalmente fini di esondazione fluviale, e sedimenti generalmente più grossolani di alveo, sono stati sovrapposti, rendendo possibile la presenza di sabbie, o limi, o argille, o torbe, o miscele binarie e ternarie degli stessi, senza il rispetto di regole fisse sulla loro presenza e sulla loro distribuzione geometrica.

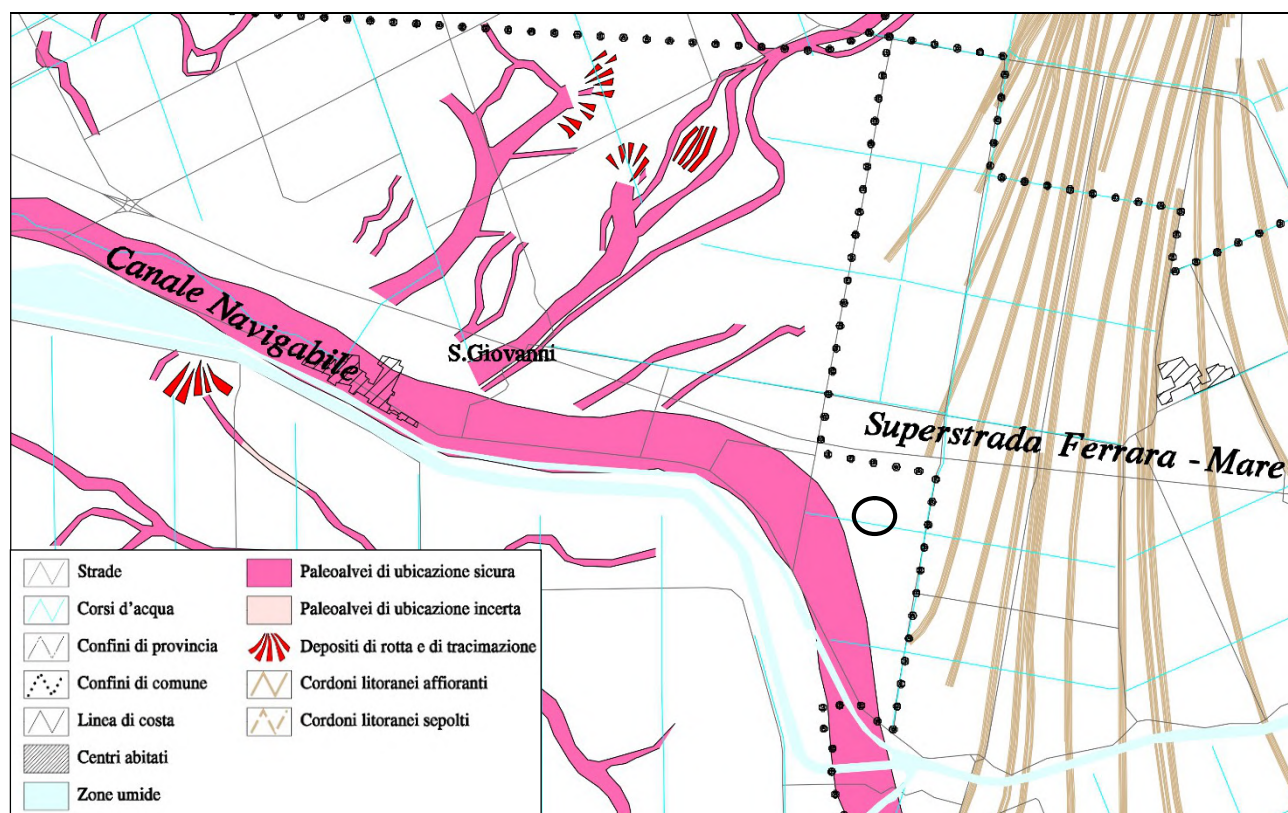


FIGURA 2.6— Stralcio della Carta geomorfologica della provincia di Ferrara.

In **FIGURA 2.7** viene riportato un particolare della *Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara*, con sovrapposizione della C.T.R. della provincia di Ferrara, dove si può notare come il sito allo studio ricada all'esterno rispetto al paleoalveo del Padoa-Eridano.

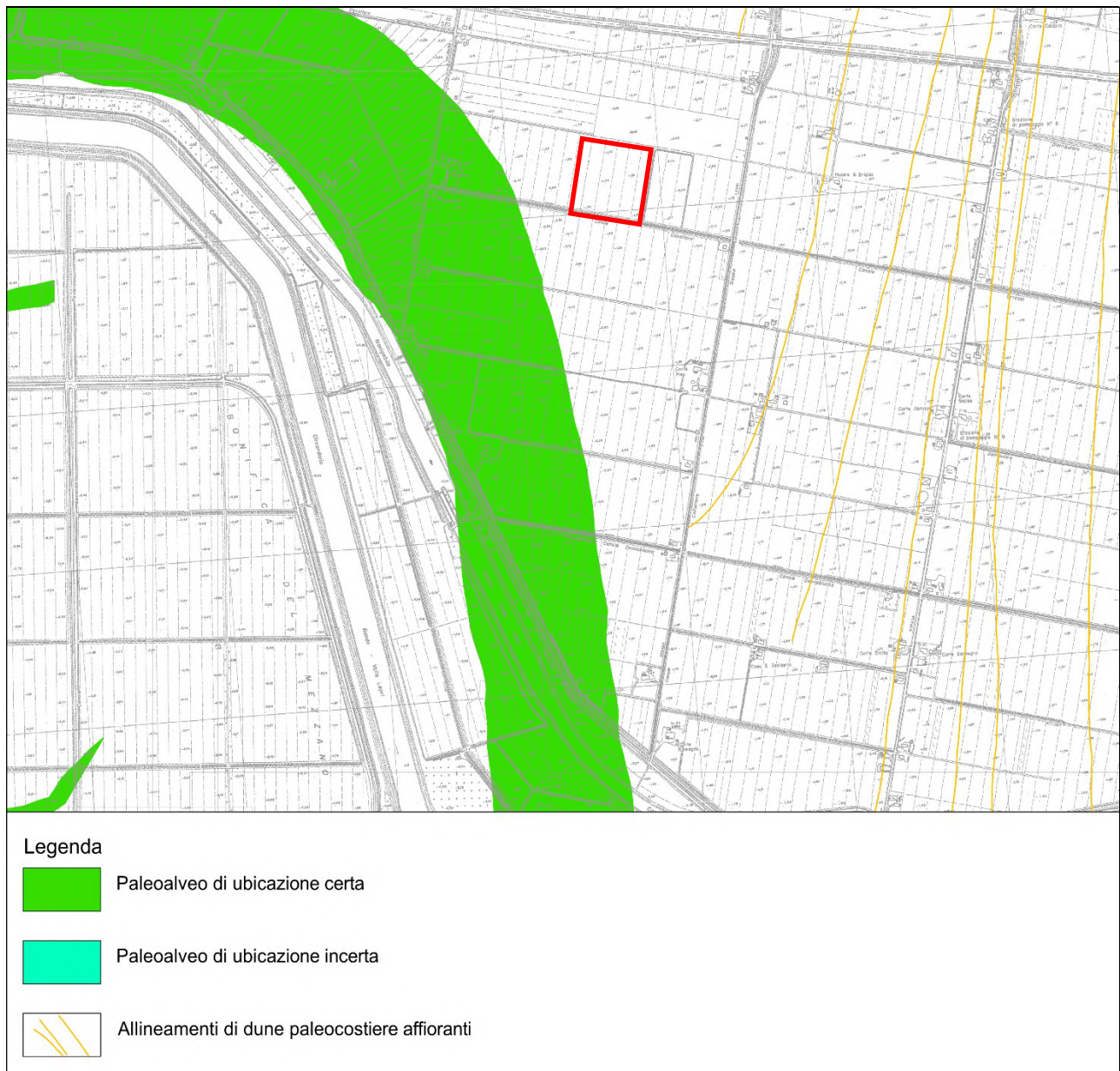


FIGURA 2.7 – Particolare della *Carta geomorfologica della provincia di Ferrara* zoomato sull'impianto

2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU con *rif. U20-18* e nelle prove bibliografiche della banca dati RER.

In **Tabella 2.1** si riportano i valori delle falde freatiche rilevate in sito.

Prova	Data	Falda (m da p.c.)
CPTU1A U20-18	08/05/2018	1,5m
CPTU9A U20-18	30/05/2018	1,5m
CPTU 205060U504	08/04/1997	1,35m
CPTU 205060U507	15/05/1997	1,3m
CPTU 205060U512		Non rilevata
SCPTu1 rif. U12-26	04/06/2026	-1,0m
CPTu2 rif. U12-26	04/06/2026	-1,0m

Tabella 2.1 – *Superficie di falda in m da p.c..*

Tale livello è soggetto ad oscillazioni, che dovrebbero contenersi tra -1m e -1,5m dal p.c., in quanto imposto dal sistema della bonifica.

La falda freatica non va considerata come un qualcosa di statico, ma influenzata da tanti elementi, tra cui la quota topografica e l'andamento delle precipitazioni meteorologiche.

L'area è attraversata da una serie di canalizzazioni di scoli principali e secondari di servizio al sistema della bonifica, che mantiene artificialmente la falda freatica al di sotto del piano campagna, per consentirne le attività agricole. L'irrigazione nell'area avviene per gravità, utilizzando una rete di canali distributori, la cui acqua proviene dal tratto del canale Navigabile, a monte del sostegno (conca) di Valle Lepri.

Nell'area di intervento la circolazione delle acque risulta governata in modo particolare dal Canale Donnabianca e dal Canale Cavallara che dirigono le acque verso il collettore Trebba fino all'impianto idrovoro Torbe.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) per il distretto del fiume Po, adottato nel 2022 non è ancora stato definitivamente approvato a livello nazionale, le mappe di pericolosità associate sono quindi disponibili, ma il piano stesso non ha completato l'iter di approvazione definitivo pertanto di seguito si farà riferimento Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2019, che comunque per l'area di studio non hanno subito modifiche.

In **FIGURA 2.8** si riporta uno stralcio della *Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2019* della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Secondo Ciclo, del **Reticolo Principale** con la mappa della pericolosità e degli elementi esposti della Direttiva Alluvioni, per il Distretto del Fiume Po (**ITN008**).

L'area allo studio risulta caratterizzata da una **fascia di pericolosità P1**, che corrisponde a scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi.

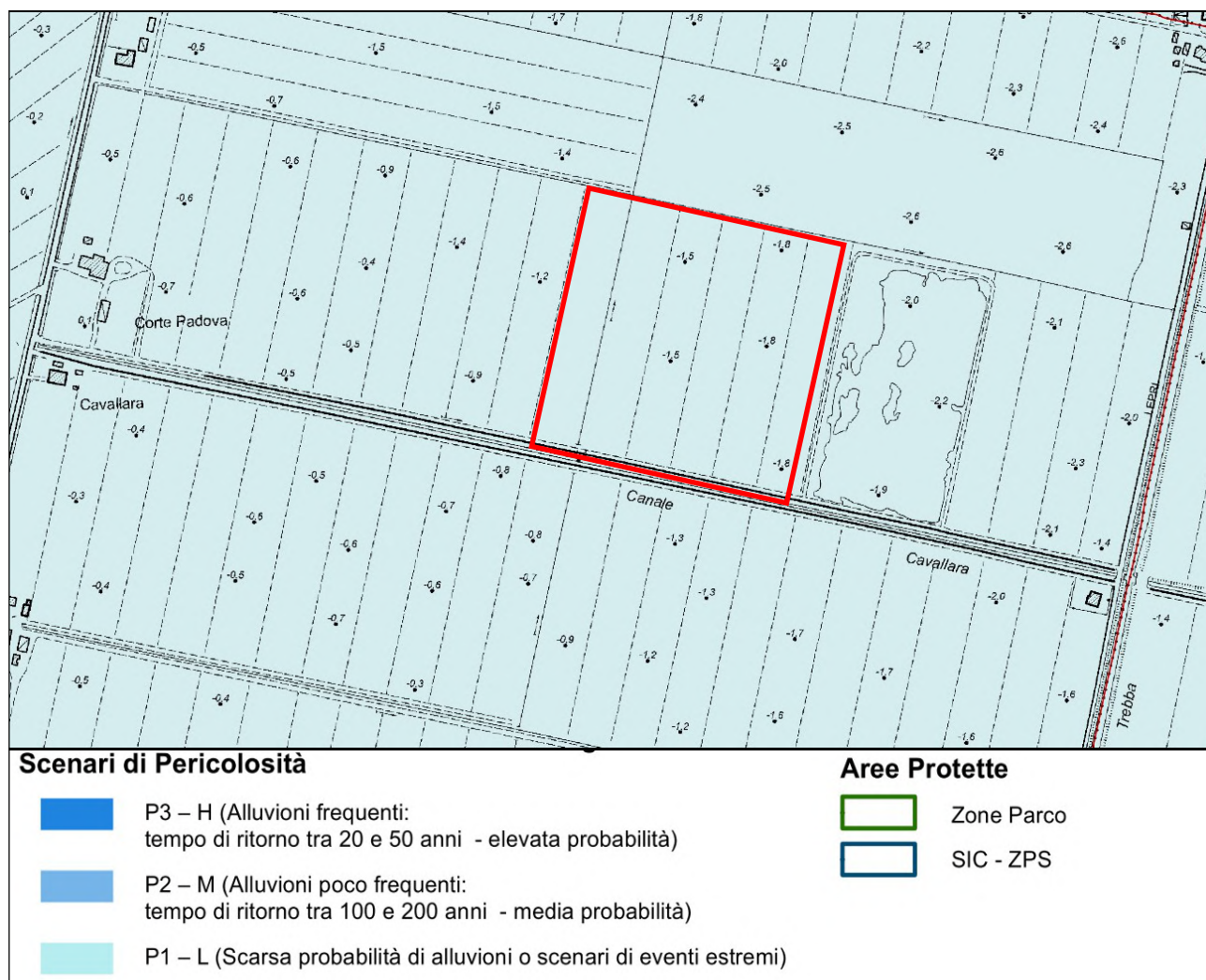


FIGURA 2.8– Mappa di pericolosità R.P. Distretto del Fiume Po (ITN008).
(fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)

In **FIGURA 2.9** si riporta uno stralcio della *Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2019* della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Secondo Ciclo, del **Reticolo Secondario di Pianura** con la mappa della pericolosità e degli elementi esposti della Direttiva Alluvioni, per il Distretto del Fiume Po (**ITN008**).

L'area allo studio risulta caratterizzata da una fascia di pericolosità **P2**, che corrisponde ad alluvioni poco frequenti con tempi di ritorno compresi tra 100 e 200 anni, media probabilità.

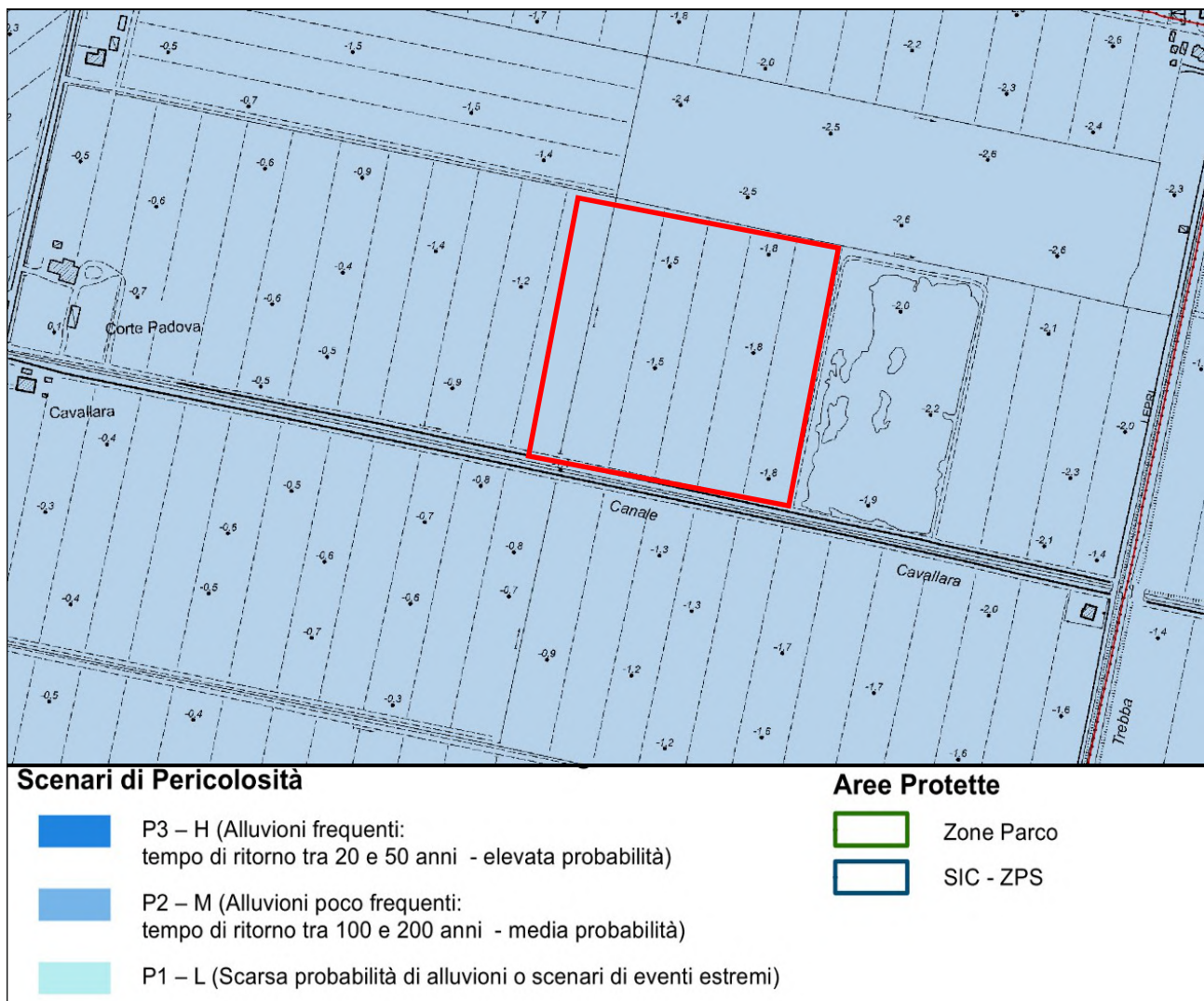


FIGURA 2.15 – Mappa di pericolosità R.S.P. Distretto del Fiume Po (ITN008).
(Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/moka/App/apps/DA/index.html>)

Si faccia dunque riferimento alle prescrizioni contenute nella D.G.R. 1300/2016 “Prime disposizioni regionali concernenti l’attuazione del Piano di Gestione del Rischio di alluvioni nel settore urbanistico, ai sensi dell’Art. 58 elaborato n. 7 (Norme di attuazione) e dell’art. 22 elaborato n. 5 (Norme di attuazione) del progetto di Variante al PAI e al PAI DELTA adottato dal Comitato Istituzionale Autorità di Bacino del Fiume Po con Deliberazione n. 5/2015”.

3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

“La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell’Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d’Arda e Bologna, l’arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

Gli eventi del maggio 2012 hanno avuto magnitudo massima di 5,90.

Categoria di suolo di fondazione

La categoria di suolo dipende dal valore di V_{s30} . Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell’onda di taglio “S” nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1):

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

dove,

V_{s30} : velocità media ponderata delle onde di taglio “S”,

h_i : spessore dello strato i -esimo,

v_i : velocità delle onde di taglio “S” nello strato i -esimo.

Il valore di V_{s30} viene misurato attraverso l’esecuzione di una prova in foro, tipo down hole, con l’ausilio di un cono sismico. La prova penetrometrica SCPTu1 rif. U12-26 ha raggiunto quota -36m dal p.c., mentre le battute per la misura delle velocità delle onde di taglio è stata eseguita fino a -30m dal p.c., per la difficoltà di leggere il segnale oltre quella profondità.

Si ricorda che la V_{s30} va calcolata dal piano di posa della fondazione.

La prova consiste nell’inserire sulla punta elettrica della prova penetrometrica elettrica dei ricevitori (geofoni) che con opportuna strumentazione e una sorgente di onde in superficie possono essere misurati, a profondità diverse, in questo caso ad ogni metro di profondità (fino alla profondità di -30 m da p.c.), i tempi di arrivo delle onde sismiche fra la superficie (sorgente) ed i ricevitori (in profondità), analogamente a quanto avviene con il metodo geofisico cosiddetto “downhole”.

La punta utilizzata prende il nome di Piezocono G1-CPL2IN (**FIGURA 3.1**).

In base ai tempi di arrivo conoscendo la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si può calcolare la velocità delle onde sismiche ed in particolare delle onde di taglio (V_s).

Durante la realizzazione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con *ref. U12-26* sono state realizzate letture dirette dei tempi di arrivo delle onde di taglio S ad intervalli regolari fino alla profondità di -30,0 m da p.c..

Attraverso questo strumento è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde S alla profondità di 30 metri (V_{s30}).

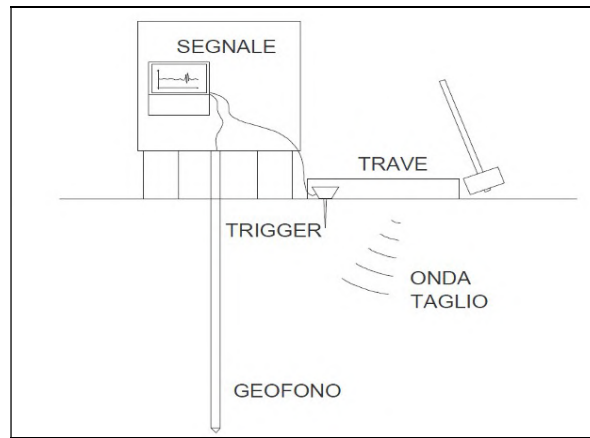
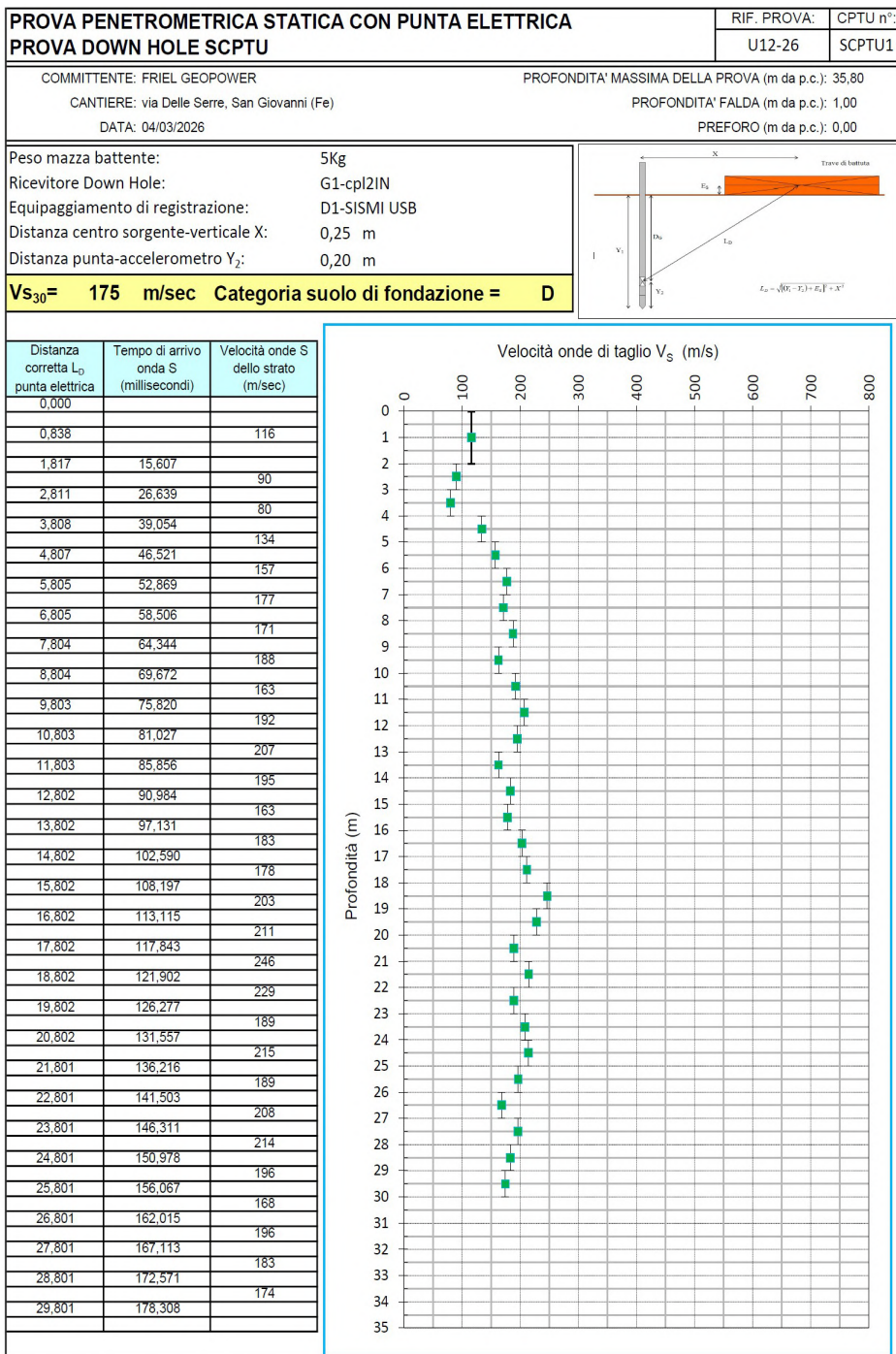


FIGURA 3.1 – Rappresentazione grafica della prova penetrometrica con piezocono sismico



Il valore di V_{s30} calcolato risulta: $V_{s30} = 175$ m/s e quindi la Categoria di suolo è D.

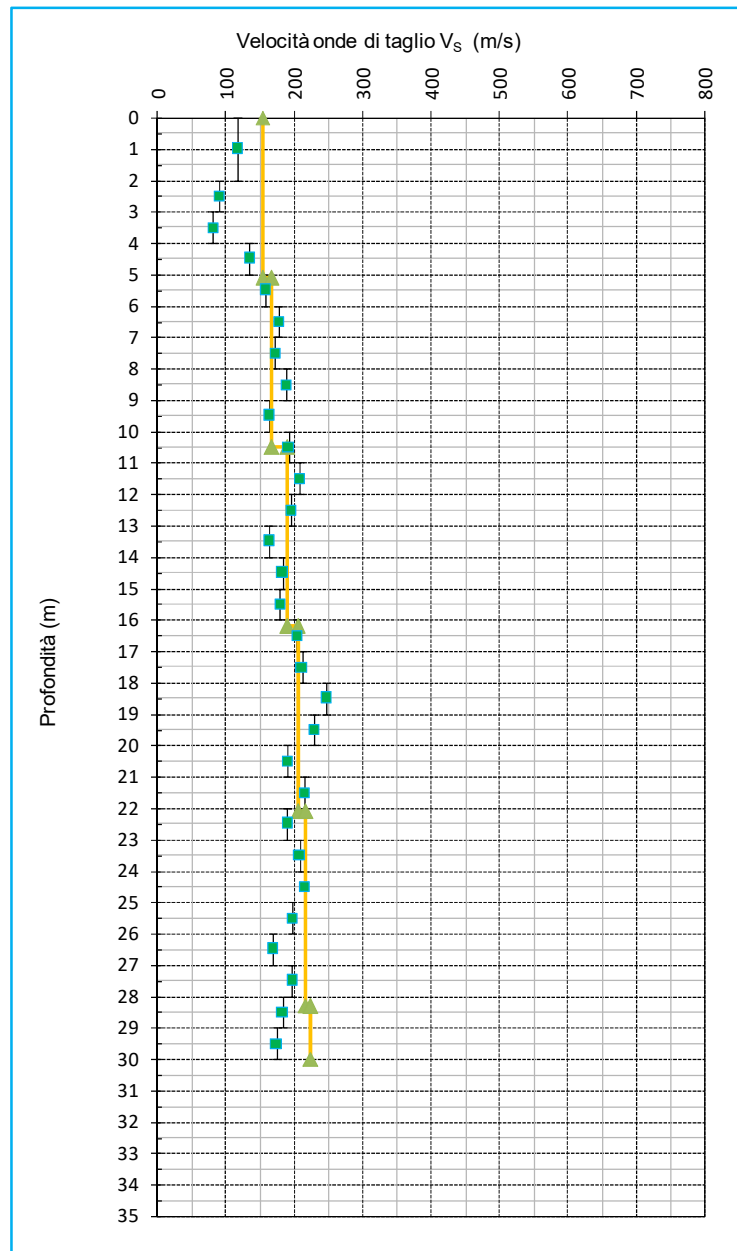
Tale valore v'è assunto con uno scarto di $\pm 10\%$, come per tutti i metodi di acquisizione di tale parametro.

$V_{s30} = 175$ m/s Categoria di suolo D

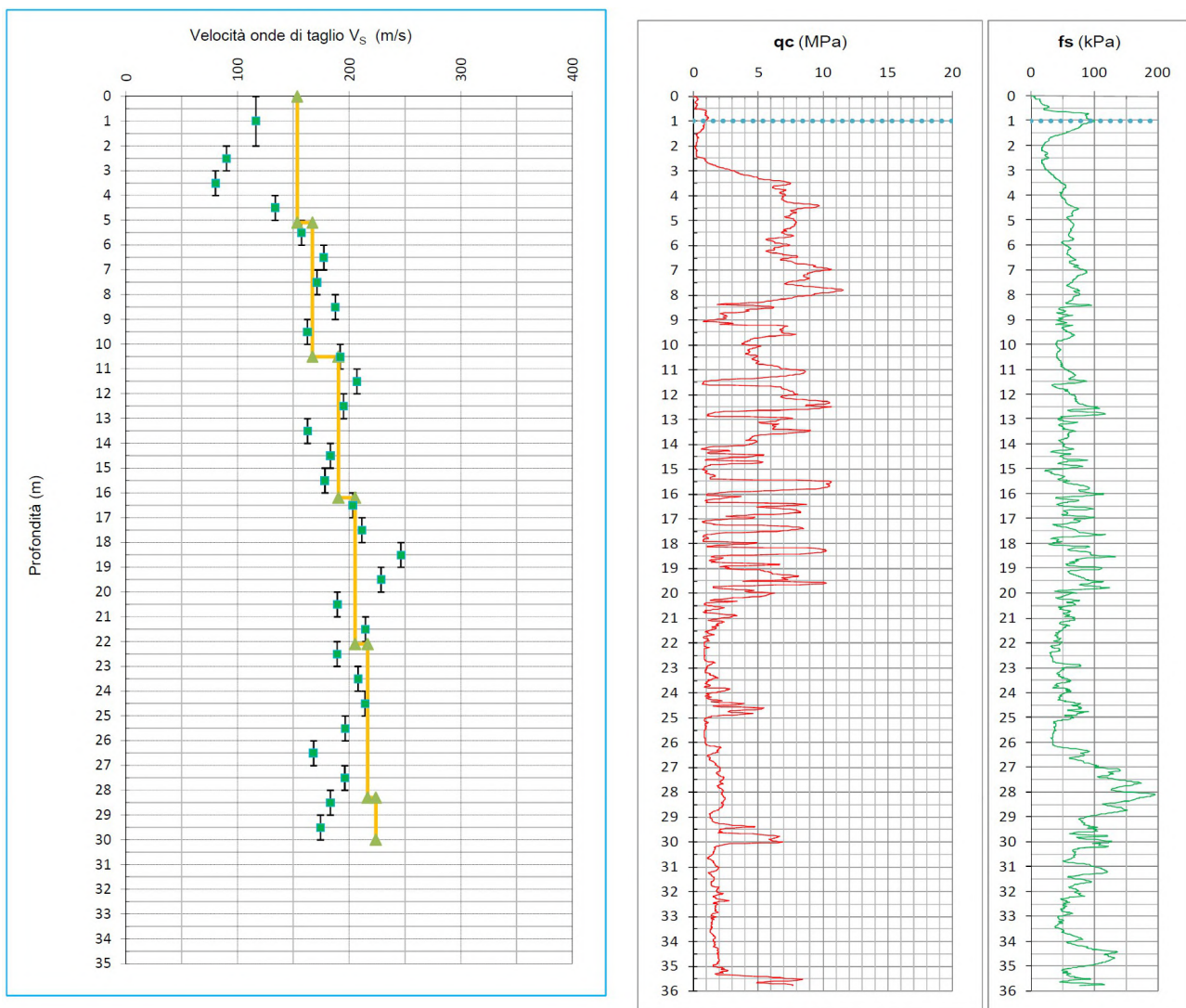
Attraverso una prova ESAC eseguita in sito dalla ditta Teamgeofisica.ceg si è in grado di fare il calcolo della V_{s30} anche attraverso il metodo di acquisizione in passivo. Il risultato che si ottiene è il seguente:

da (m da pc)	a (m da pc)	hi	vsi	hi/vsi
0	5,1	5,1	153,5	0,0332248
5,1	10,5	5,4	167,1	0,032316
10,5	16,2	5,7	190,5	0,0299213
16,2	22,1	5,9	205,3	0,0287384
22,1	28,3	6,2	216,7	0,028611
28,3	30	1,7	224	0,0075893
			hi/vi=	0,1604007
$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{hi}{vi}} = 187 \quad \text{m/sec}$				

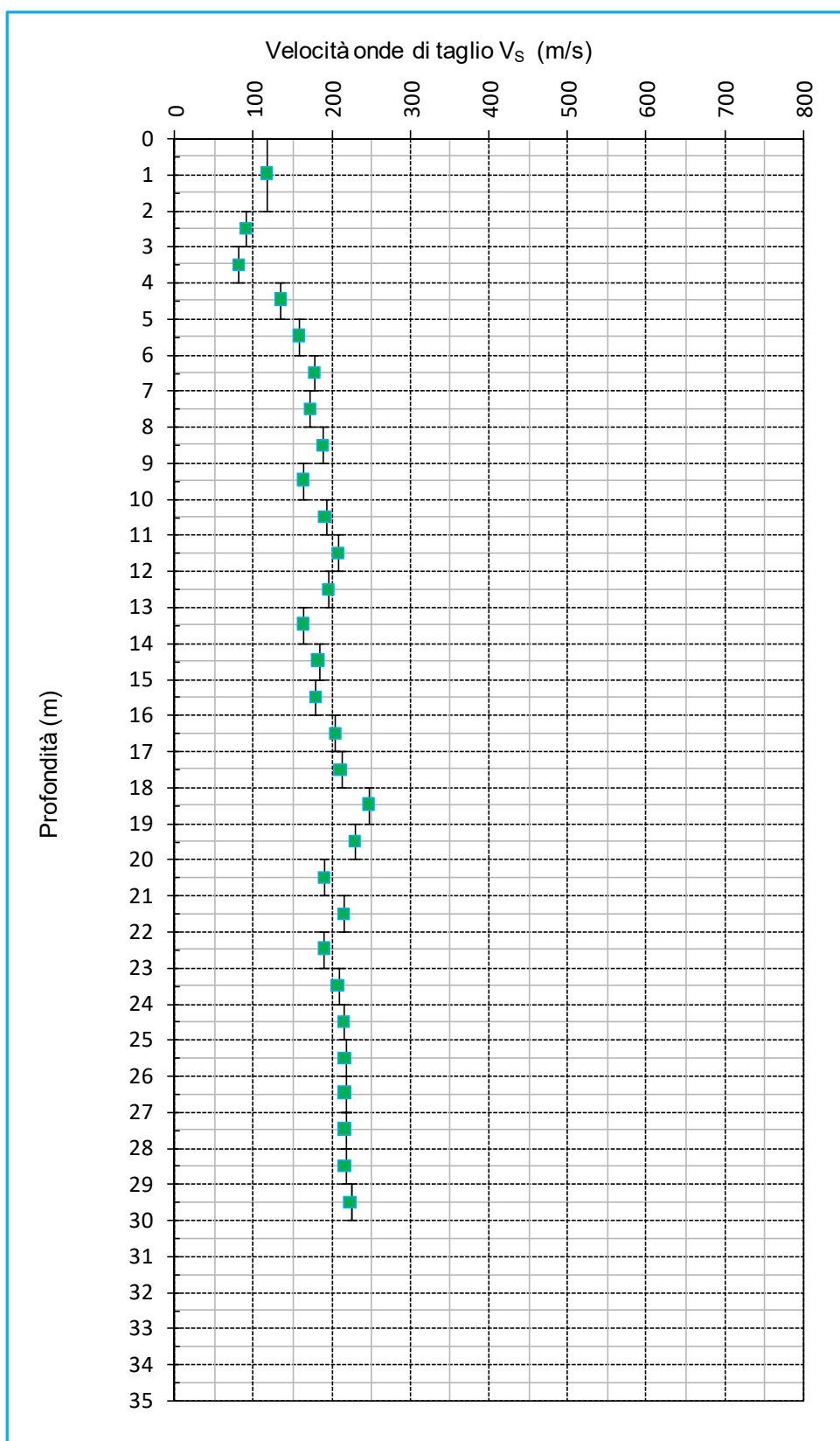
Nel grafico che segue si sovrappongono i profili di V_s ricavati con energizzazione attiva (prova in down hole con cono sismico) e con energizzazione in passivo attraverso registrazione dei microtremori (prova ESAC di superficie). Come si può notare vi è una buona corrispondenza.



Le differenze principali sono nei primi metri, dove i fanghi molli di ambiente vallivo, che compongono le coperture sopra le sabbie di battigia sembrano sfuggire alla prova in passivo. Altra significativa differenza è sul fondo della prova, da -26m a -30m, dove obiettivamente, confrontando il profilo di V_s con i diagrammi delle resistenze, sembra più affidabile la misura in passivo, in quanto il cono sismico, a quelle profondità, con tutto il rumore di fondo dell'azienda, dava molte difficoltà di lettura.



Il profilo definitivo adottato nelle analisi successive sarà dunque il seguente:



Profilo di V_s di dettaglio dei primi 30m di profondità

Azioni Sismiche "D.M. 17 gennaio 2018"

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 17/01/2018, attribuisce a questa zona del comune di Ostellato un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente all'intervallo 0,100 – 0,125, con $T=0$, su suolo rigido ($V_{s30}>800\text{m/sec}$) e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale.

In **FIGURA 3.2**, si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

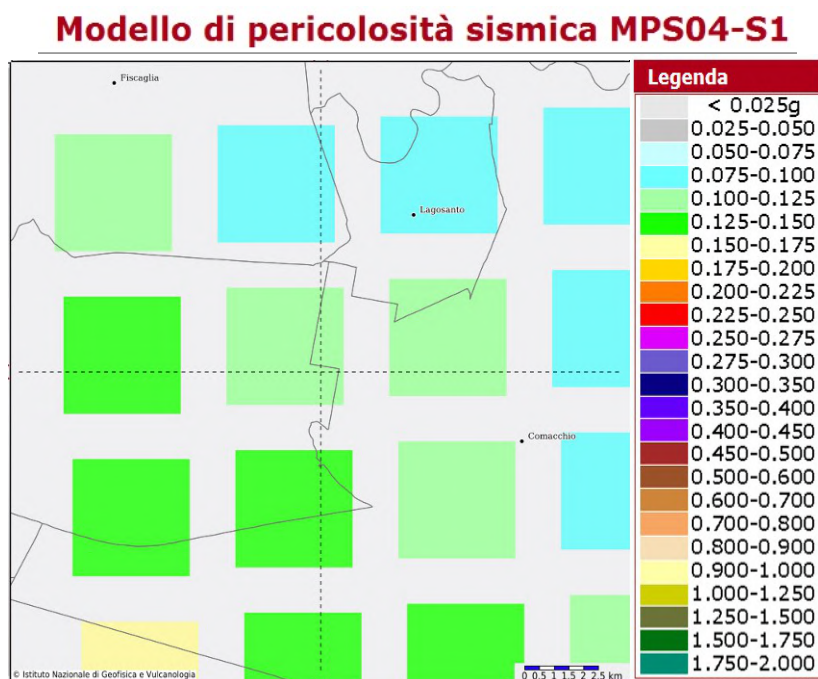


FIGURA 3.2 – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Per la scelta della strategia di progettazione, il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, *le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di a_g , F_o e T^*_C necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nella **Tabella 3.2** tratta dalla normativa si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi Stati Limite a cui si può spingere la progettazione. In questo caso si propone lo Stato Limite di Salvaguardia della vita, ma sarà responsabilità del progettista scegliere lo stato limite più consono in base alla tipologia di progetto.

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3.2 - Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio “sito dipendente”. Come indicato nell’Allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, recepito dal nuovo D.M. 2018, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali (ag , F_0 e T^*c) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (**FIGURA 3.3**).

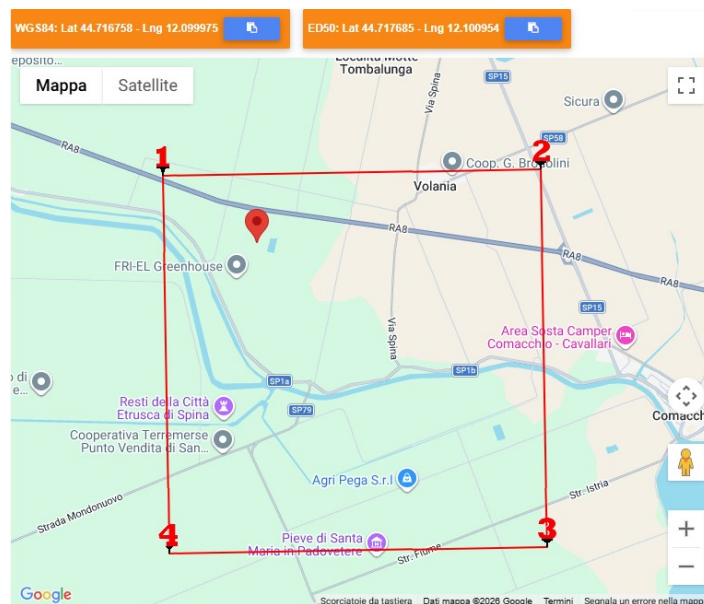


FIGURA 3.3 – Vertici della griglia di riferimento

Si valutano i parametri spettrali ag , F_0 e T^*c per il sito di progetto (approccio “sito-dipendente”) a titolo esemplificativo considerando l’amplificazione stratigrafica e topografica (**T1**) (Cap. 3.2.3 del D.M. 2018) la categoria del sottosuolo (**D**) e la classe d’uso della costruzione (**II**) (Cap. 2.4.2 del D.M. 2018).

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,717532
longitudine: 12,100934
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 15853	Lat: 44,7266	Lon: 12,0834	Distanza: 1710,828
Sito 2	ID: 15854	Lat: 44,7274	Lon: 12,1538	Distanza: 4314,388
Sito 3	ID: 16076	Lat: 44,6774	Lon: 12,1549	Distanza: 6173,995
Sito 4	ID: 16075	Lat: 44,6766	Lon: 12,0846	Distanza: 4732,493

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: D
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,035 g
Fo: 2,535
Tc*: 0,252 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,043 g
Fo: 2,530
Tc*: 0,280 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,114 g
Fo: 2,584
Tc*: 0,284 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,151 g
Fo: 2,587
Tc*: 0,286 [s]

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

SLO:

Ss: 1,800
Cc: 2,490
St: 1,000
Kh: 0,011
Kv: 0,006
Amax: 0,625
Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,800
Cc: 2,360
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,760

Beta: 0,180
SLV:
Ss: 1,800
Cc: 2,350
St: 1,000
Kh: 0,049
Kv: 0,025
Amax: 2,019
Beta: 0,240
SLC:
Ss: 1,800
Cc: 2,340
St: 1,000
Kh: 0,065
Kv: 0,033
Amax: 2,660
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru:

Coordinate WGS84

latitudine: 44.716605

longitudine: 12.099955

Magnitudo di progetto

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona 912 il valore di $M = 6,14$. Nei tempi storici erano stati stimati eventi con magnitudo di 5,60. Conservativamente lo scrivente adotterà per le analisi della liquefazione delle sabbie la magnitudo di 6,14.

Magnitudo di progetto M = 6,14 Mw
--

Nella **FIGURA 3.4** sono riportati i sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici relativamente recenti.

Comune	Lat.	Lon.	Imax	Mw
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
BONDENO	44.88857	11.41666	8	5,6
CENTO	44.72685	11.28937	7	5,2
CODIGORO	44.83096	12.10568	<= 6	4,8
COMACCHIO	44.69444	12.18290	7	5,2
COPPARO	44.89391	11.82986	8	5,6
FERRARA	44.83559	11.61842	8	5,6
FORMIGNANA	44.84187	11.85894	8	5,6
JOLANDA DI SAVOIA	44.88518	11.97726	7	5,2
LAGOSANTO	44.76249	12.13965	7	5,2
MASI TORELLO	44.79369	11.79704	8	5,6
MASSA FISCAGLIA	44.80818	12.01334	7	5,2
MESOLA	44.92060	12.23033	<= 6	4,8
MIGLIARINO	44.77058	11.93149	8	5,6
MIRABELLO	44.82534	11.46031	8	5,6
OSTELLATO	44.74516	11.94085	8	5,6
POGGIO RENATICO	44.76571	11.48392	8	5,6
PORTOMAGGIOR	44.69759	11.80509	8	5,6
RO	44.94634	11.76146	8	5,6
SANT'AGOSTINO	44.79258	11.38519	8	5,6
VIGARANO MAINARDA	44.84191	11.49759	8	5,6
VOGHIERA	44.75737	11.75011	8	5,6
TRESIGALLO	44.81771	11.89393	8	5,6
GORO	44.85334	12.30076	<= 6	4,8
MIGLIARO	44.79835	11.97311	7	5,2
Mw=0,430Imax+2.182				

FIGURA 3.4: Sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici relativamente recenti

3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza. Vale comunque la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area non si verificherà un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, la verifica di almeno una di queste circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo di momento Mw inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;
3. Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità PI>10;
- $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
- $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella **FIGURA 3.5** da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna.
6. Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di M>7.

7. Un ulteriore motivo di esclusione dalla verifica di liquefazione è dato dal valore della **densità relativa** Dr del deposito. Gibbs ha eseguito diversi studi su risultati di vari autori stabilendo che una densità relativa pari a 70% è valore limite tra terreni liquefacibili e non liquefacibili (*Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile* di Nunziante Marino, Maggioli Editore, 2006), di conseguenza tutti i terreni con $Dr > 70\%$ vengono automaticamente esclusi dalla verifica alla liquefazione.

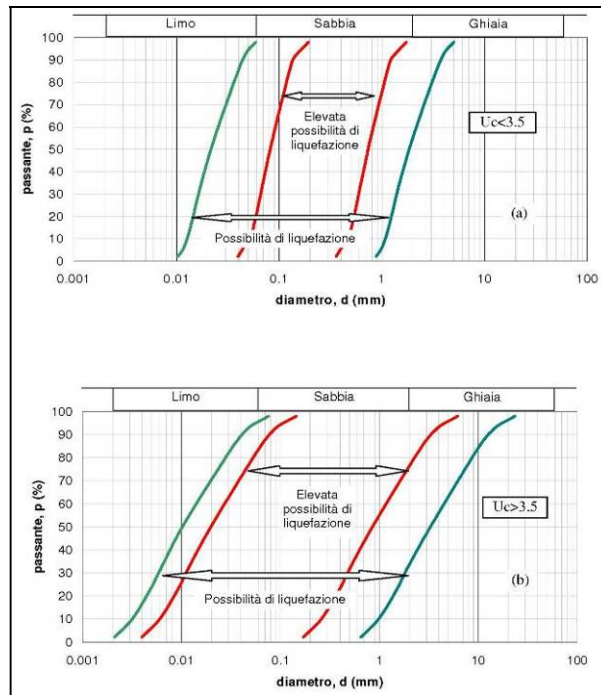


FIGURA 3.5 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno

Il D.M. 17/01/2018 ha riassunto in questi 4 punti i casi in cui non è prevista liquefazione:

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo che analizzando ogni strato da 2 cm individuato dalle prove CPTU, ne verifica la potenzialità di liquefazione.

Ai fini del calcolo sono state considerate le 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono SCPTU1 e CPTU2 con rif. U12-26, spinte rispettivamente fino alla profondità di -36,00 m da p.c. e -30,00 m da p.c., realizzate in corrispondenza del pozzo 2 e della vasca.

Per questo calcolo si è considerata una magnitudo di 6,14 e un'accelerazione di progetto di 0,20g

Utilizzando i dati di input visualizzati in **FIGURA 3.6**, se ne deduce che nell'area di studio il fenomeno della liquefazione non è un effetto di sito atteso.

Dott. Geol.
Thomas Veronese
SST Studi Servizi Tecnici

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE
Via Roma, 10, 44021, Codigoro (Fe)
Tel e fax. 0533 / 713798 – cell. 335. 5240380
E-mail: t.veronese@studio-sst.it

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

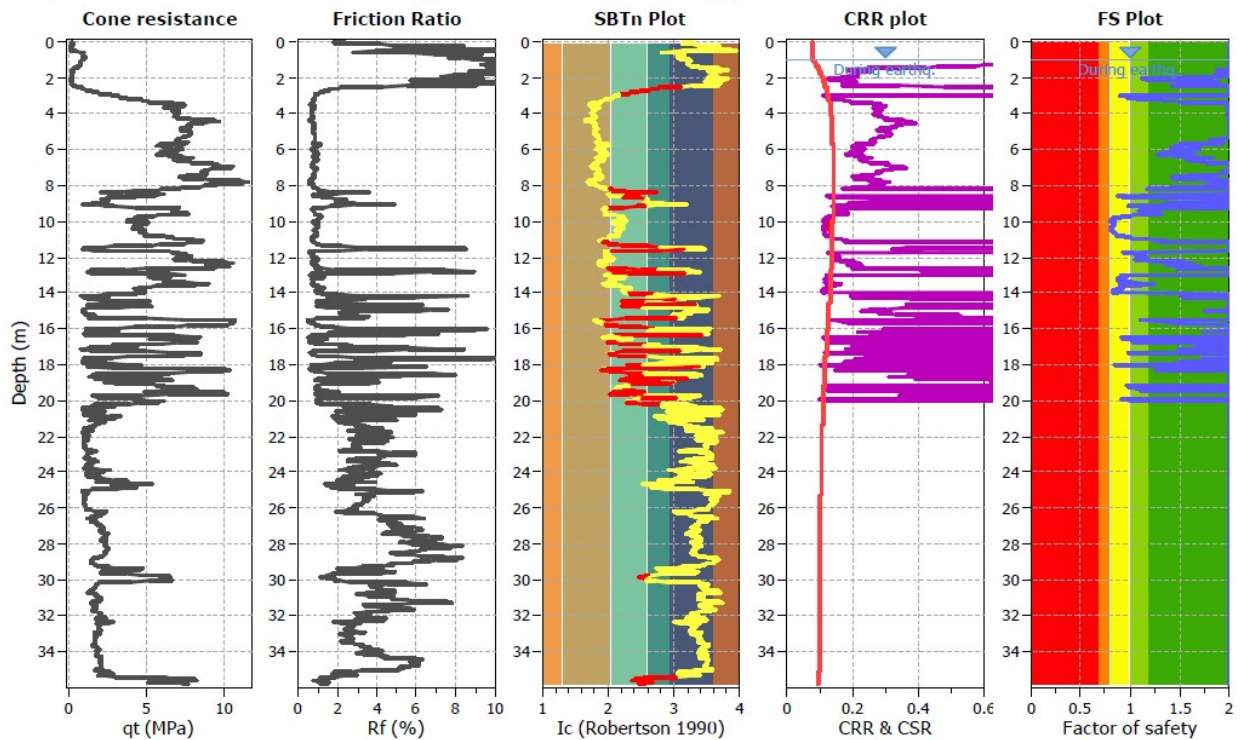
Project title : Friel Serre

Location : San Giovanni di Ostellato FE

CPT file : rif. U12-26 CPTU1 San Giovanni

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U12-26 CPTU1 San Giovanni

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
34.58	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.60	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.62	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.64	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.66	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.68	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.70	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.72	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.74	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.76	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.78	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.80	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	34.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
34.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.42	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.44	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.46	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.48	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.50	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.52	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.54	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.56	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.58	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.60	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.62	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.64	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.66	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.68	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.70	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.72	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.74	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.76	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
35.78	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	35.80	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00

Overall liquefaction potential: 1.35

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low
LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
F_L: 1 - FS
w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
d_z: Layer thickness (m)
LPI: Liquefaction potential index value for test point

Dott. Geol.
Thomas Veronese
SST Studi Servizi Tecnici

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE
Via Roma, 10, 44021, Codigoro (Fe)
Tel e fax. 0533 / 713798 – cell. 335. 5240380
E-mail: t.veronese@studio-sst.it

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

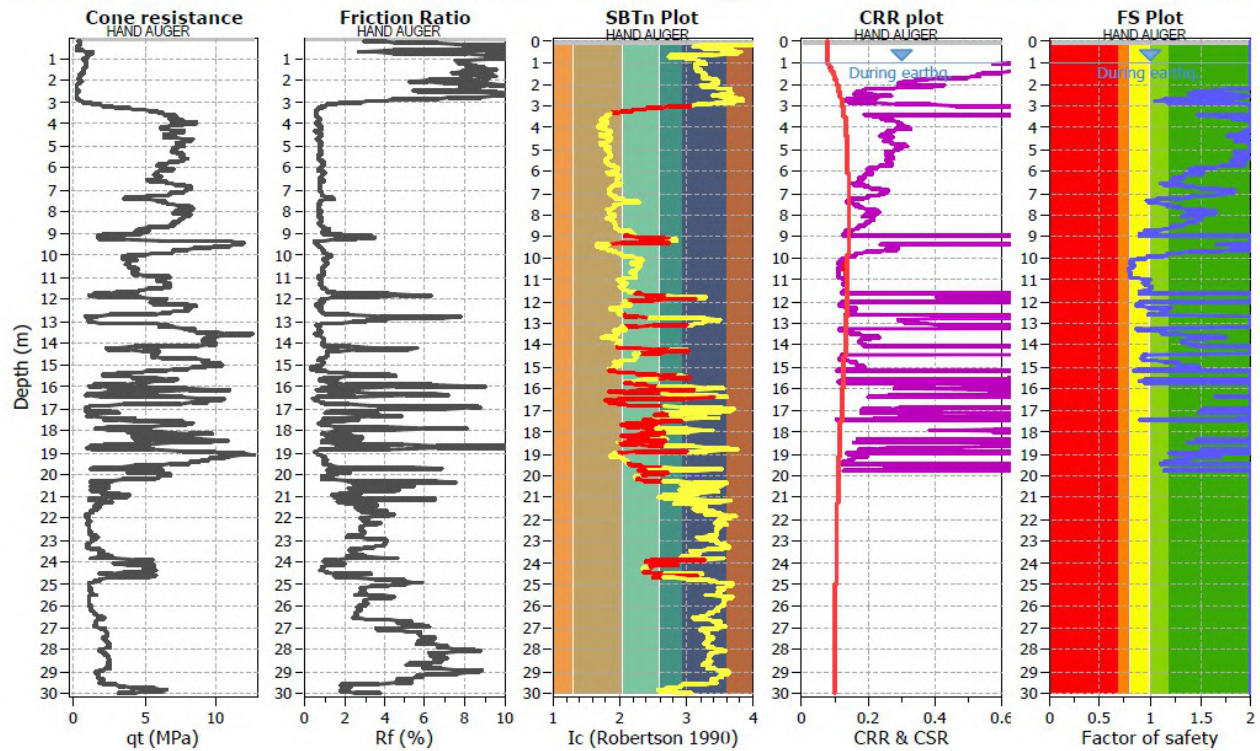
Project title : Friel Serre

Location : San Giovanni di Ostellato

CPT file : rif. U12-26 CPTU2 San Giovanni

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_a applied:	Yes	MSF method:	Method based



:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
28.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.42	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.44	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.46	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.48	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.50	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.52	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.54	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.56	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.58	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.60	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.62	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.64	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.66	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.68	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.70	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.72	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.74	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.76	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.78	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.80	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	30.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Overall liquefaction potential: 1.28											

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low
LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
F_L: 1 - FS
w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
d_z: Layer thickness (m)
LPI: Liquefaction potential index value for test point

Dei calcoli effettuati si riporta solo la sintesi dei risultati finali.

Inoltre è stato verificato l'indice del potenziale di liquefazione, I_L , definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z è la profondità dal piano di campagna in metri e $w(z)=10-0.5z$

Ad una quota z il fattore $F(z)=F$ vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

dove F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Con il software si calcola nei primi 20,00 m, il valore del potenziale di liquefazione per tutti gli strati incoerenti. In base alla **Tabella 3.3** e **3.4** si può affermare che i terreni hanno un indice di liquefazione **basso** e quindi non sono liquefacibili per la prova realizzata in sito, se sollecitate da un sisma di $M_w=6,14$ e con una accelerazione di progetto P.G.A. pari a 0,20g.

Potenziale Liquefazione I_{PL}	Classificazione
$I_{PL} = 0$	<i>Non liquefacibile</i>
$0 < I_{PL} \leq 2$	<i>Basso</i>
$2 < I_{PL} \leq 5$	<i>Moderato</i>
$5 < I_{PL} \leq 15$	<i>Alto</i>
$I_{PL} \geq 15$	<i>Molto Alto</i>

Tabella 3.3 – Classificazione indice potenziale liquefazione

Prove	Potenziale Liquefazione I_{PL}
CPTU1A	1,35
CPTU9A	1,28

Tabella 3.4 – Indice potenziale liquefazione

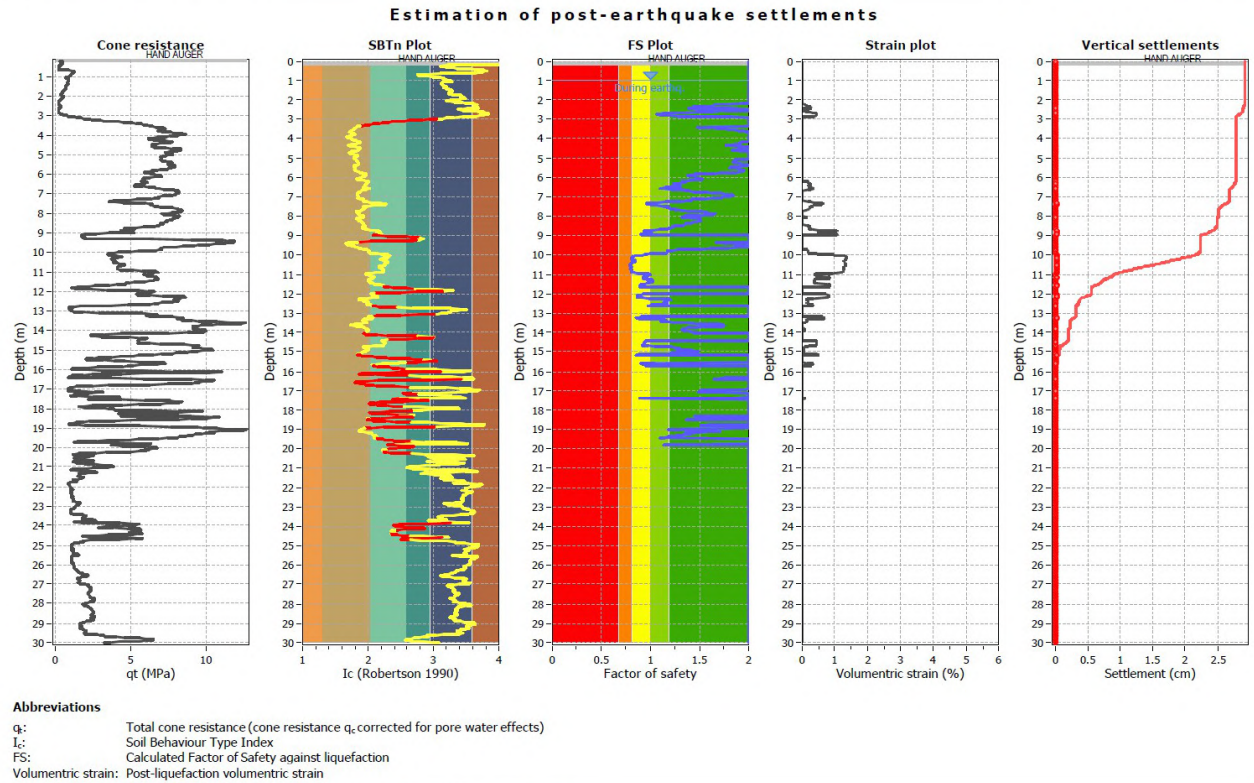
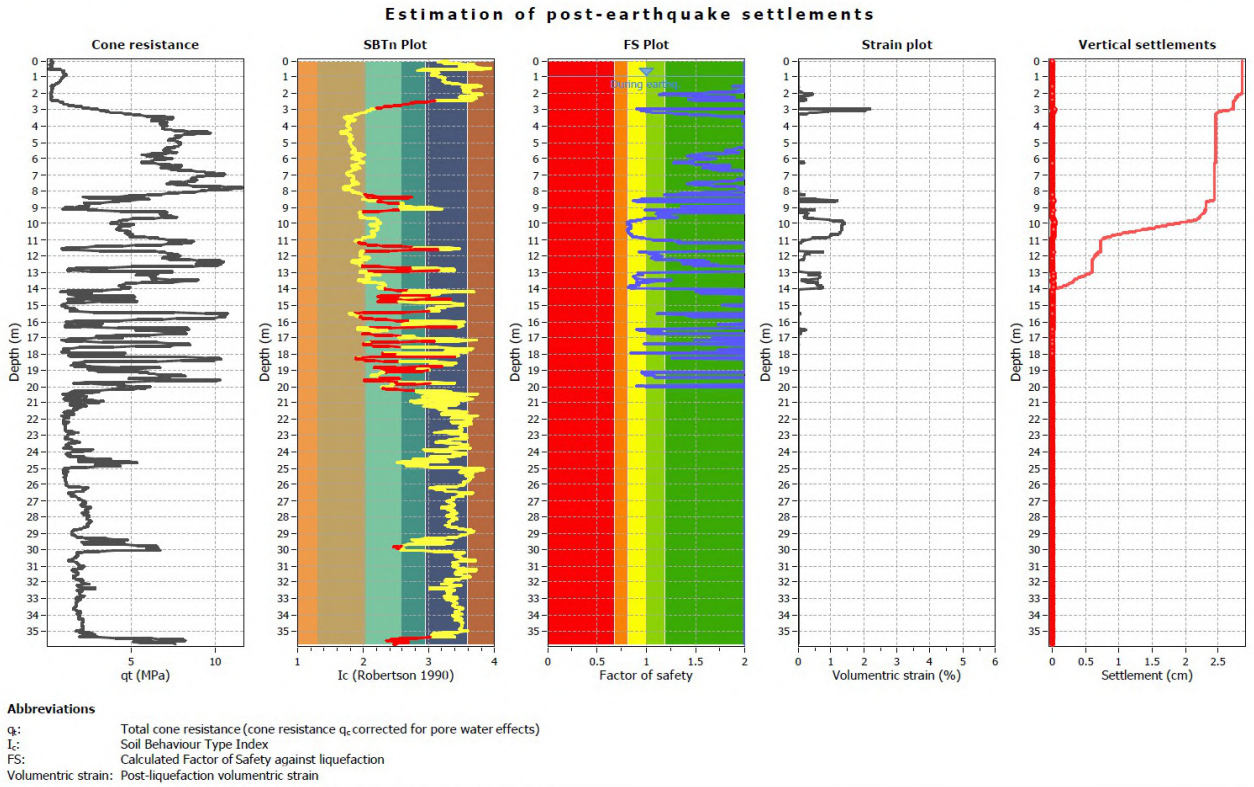
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI TERRENI GRANULARI

Dell'elaborazione completa dei cedimenti post sismici si riporta solo il risultato finale; sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con le 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU1A e CPTU9A con *rif. U20-18*, spinte rispettivamente fino alla profondità di -30,00 m da p.c. e -20,00 m da p.c., realizzate in corrispondenza delle serre poste a sud.

Dalle elaborazioni informatiche, si ricava che con una Magnitudo di progetto di 6,14 ed una accelerazione P.G.A. di 0,17g, solo alcuni dei livelli hanno il fattore di resistenza alla liquefazione superiore a 1,00, determinando cedimenti post sismici nei terreni granulari riportati in **Tabella 3.5**.

Prove	Cedimenti postsismici (cm)
CPTU1A	2,86
CPTU9A	2,91

Tabella 3.5 – Cedimenti post-sismici



4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

Uno dei motivi di pericolosità geologica del territorio, deriva in questi luoghi, dall'interazione tra opere di fondazione e terreni compressibili, su cui le costruzioni in elevazione possono creare condizioni di instabilità del complesso opera-terreno.

Si rende quindi necessario fare alcune valutazioni per verificare le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione, utilizzando in via indicativa, i dati derivabili dalle indagini specifiche eseguite per la modellazione geologica. Sono dunque state prese in considerazione le due indagini eseguite nel sito di intervento.

In **FIGURA 4.1** si riporta una ortofoto satellitare generale con l'ubicazione delle penetrometrie da cui si ricavano le valutazioni litologiche ed i parametri geotecnici per strati pseudomogenei.

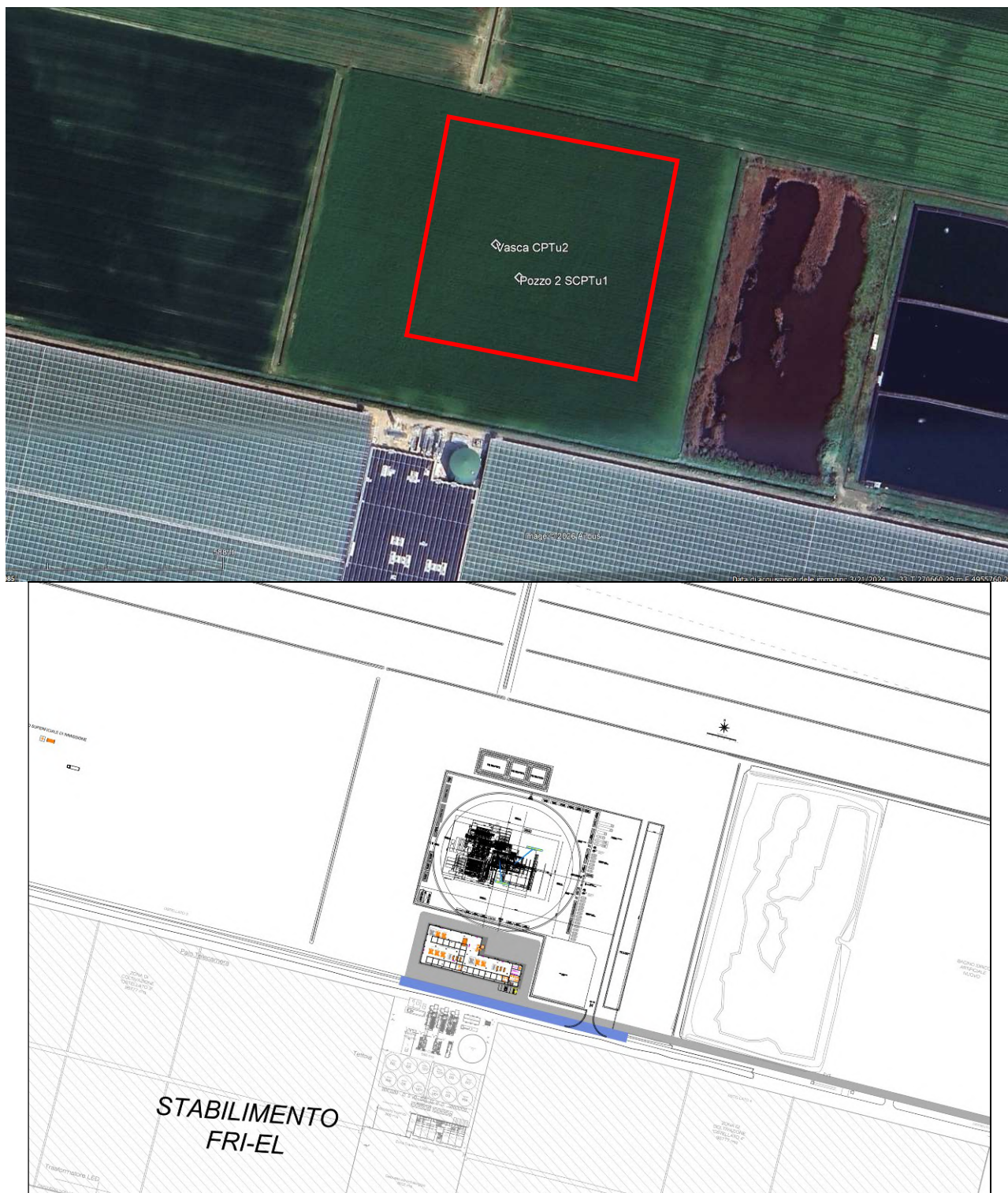
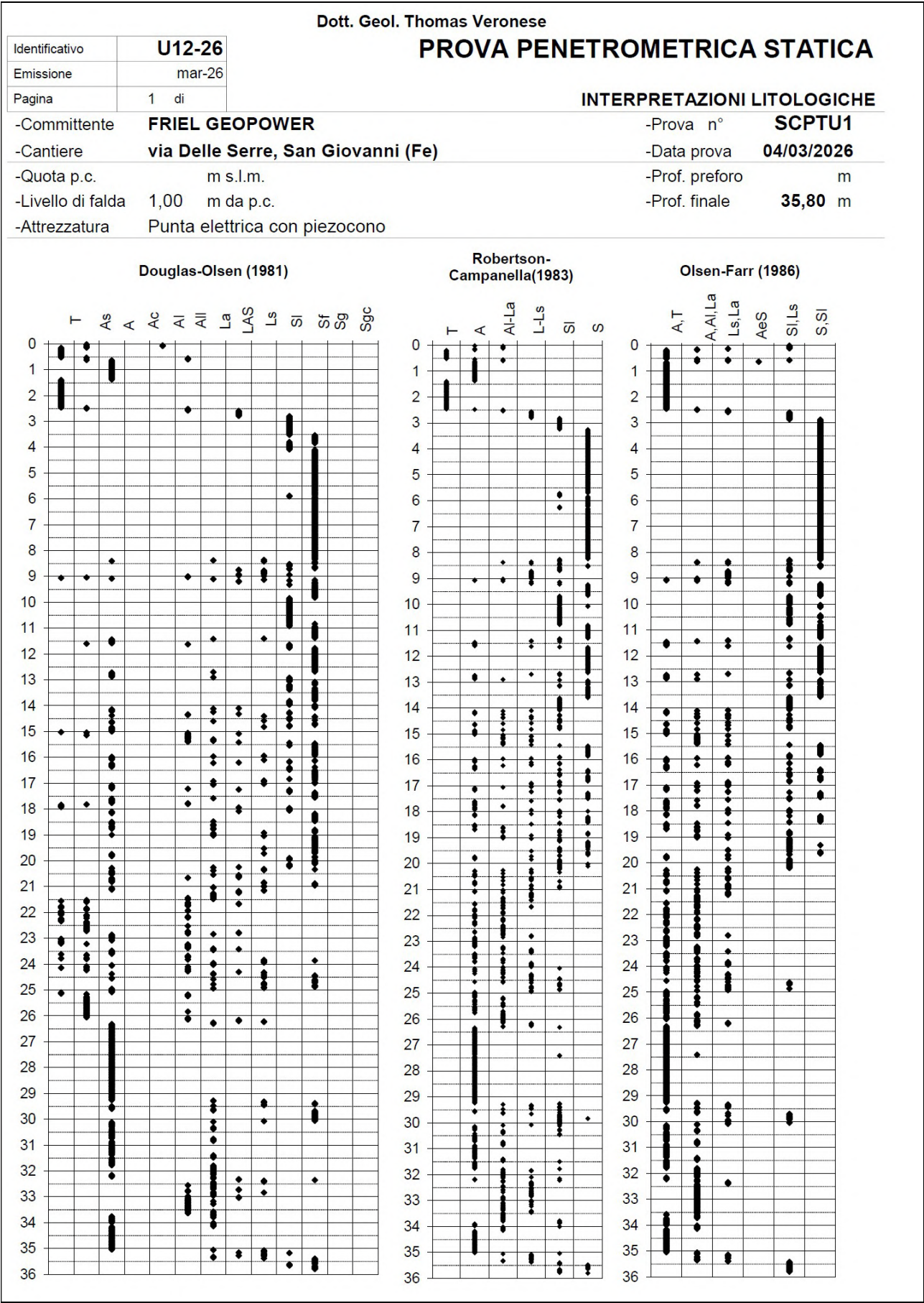


FIGURA 4.1– Ortofoto dell'area con l'ubicazione delle prove CPTU

Negli Allegati sono inserite, per le CPTU eseguite, le seguenti schede: a) valori di campagna, b) diagrammi di resistenza, b) valutazioni litologiche, c) tabelle parametri geotecnici.

Le valutazioni litologiche sono descritte nelle seguenti elaborazioni:



Dott. Geol. Thomas Veronese

PROVA PENETROMETRICA STATICA

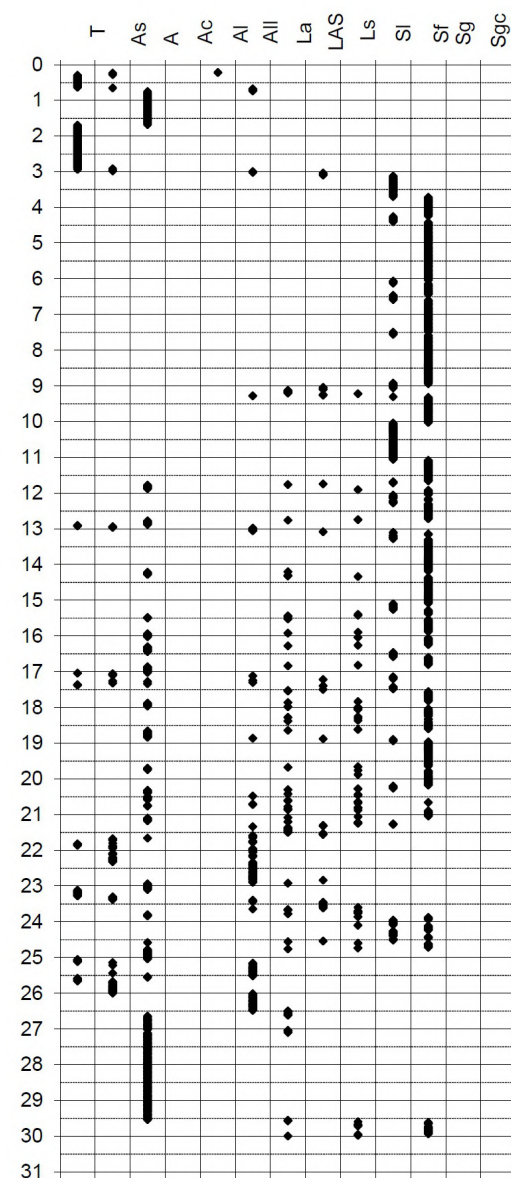
Identificativo	U12-26
Emissione	mar-26
Pagina	1 di

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

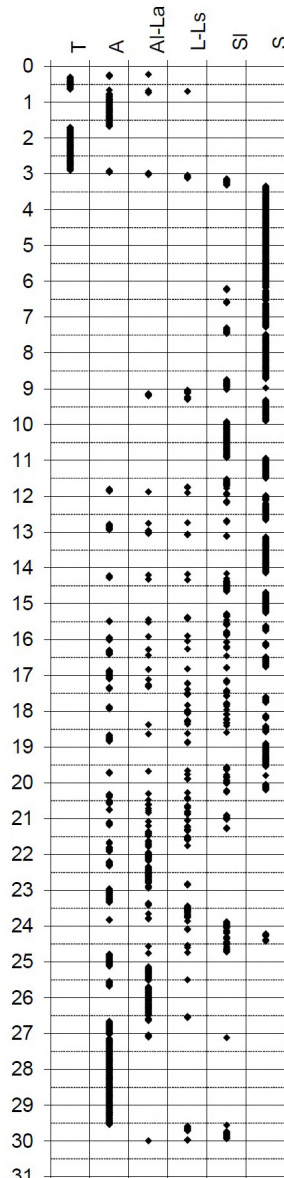
-Committente **FRIEL GEOWPOWER**
-Cantiere **via Delle Serre, San Giovanni (Fe)**
-Quota p.c. m s.l.m.
-Livello di falda 1,00 m da p.c.
-Attrezzatura Punta elettrica con piezocono

-Prova n° **CPTU2**
-Data prova **04/03/2026**
-Prof. preforo **0,20 m**
-Prof. finale **30,00 m**

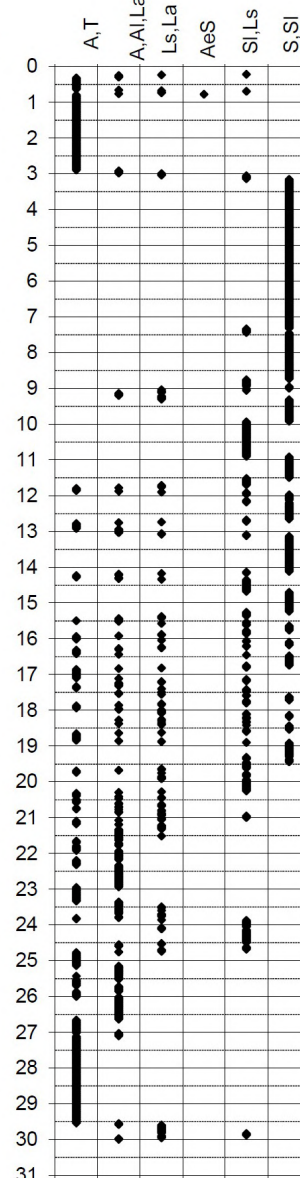
Douglas-Olsen (1981)



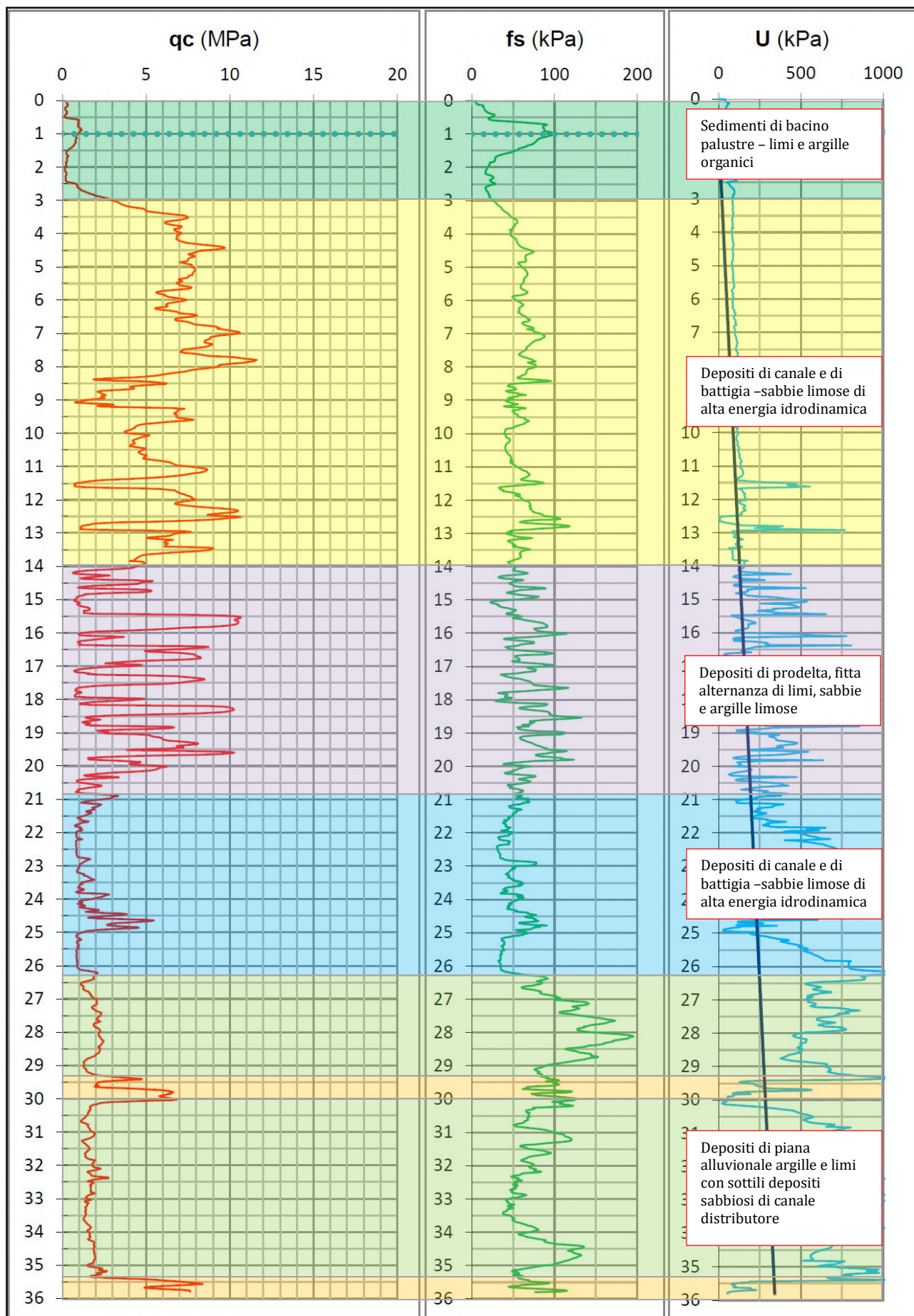
Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



Come si può notare i primi 3m di terreni sono potenzialmente di natura organica, essendosi sedimentati in ambiente di palude, bonificati all'inizio del XX secolo. Seguono sedimenti sabbiosi di paleoalveo fluviale legati alla presenza dell'estinto Padoa Eridanus. Al di sotto delle sabbie di paleoalveo sono presenti sedimenti di transizione tra ambiente di battigia e sedimenti di prodelta deltizio di mare poco profondo. Al di sotto seguono i fanghi marini. Intorno ai 29-30m di profondità si passa a sedimenti coesivi di ambiente alluvionale continentale con qualche passaggio di sottili livelli sabbiosi di canale distributore.



4.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

L'esecuzione della prova penetrometrica è avvenuta con un Penetrometro Statico con punta elettrica con piezocono CPTU dotato di dispositivo di spinta da 15t.

Si allegano i diagrammi delle resistenze dal cui confronto si possono evincere le differenze di comportamento dei terreni nei vari strati incontrati; le interpretazioni litologiche, in base alle valutazioni stratigrafiche fornite da Douglas-Olsen (1981), Robertson-Campanella (1983) e Olsen-Farr (1986).

Le caratteristiche geotecniche dei terreni ricavate dai risultati della penetrometria statica sono riportate in tabella parametri geotecnici.

Nelle tabelle viene fatta distinzione fra i terreni di natura coesiva e quelli di natura granulare.

Per i terreni di natura coesiva vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro q_c (Mpa), la resistenza laterale F_s (MPa), il peso di volume γ' (kN/m³), la coesione non drenata C_u (kPa), il grado di sovraconsolidazione OCR, dei moduli di deformazione non drenati E_{u50} (MPa) corrispondenti rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50 e 25 %, del modulo di deformazione edometrico M_o (Mpa).

Per i terreni di natura granulare vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro q_c (MPa), la resistenza laterale F_s (MPa), la densità relativa D_r (%), dell'angolo di attrito interno efficace ϕ' (°), i moduli di deformazione drenati E'_{25} (MPa) e del modulo di deformazione edometrico M_o (MPa).

Nella **Tabella 4.1** si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con le 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono SCPTu1 e CPTU2 con *rif. U12-26*.

Dott. Geol. Thomas Veronese

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U12-26
Emissione	mar-26
Pagina	1 di 0

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	FRIEL GEOPOWER	-Prova n°	SCPTU1
-Cantiere	via Delle Serre, San Giovanni (Fe)	-Data prova	04/03/2026
-Quota p.c.	0,00 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,00 m
-Livello di falda	1,00 m da p.c.	-Prof. finale	35,80 m

							MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
DA	A	qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	Cu	OCR	OCR	M ₀	Eu50	CR	Dr	FI' _{DM}	FI' _{Bottom}	FI'Schm.				E'25	M ₀
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m3	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)	(%)	(°)	(°)	(°)				MPa	MPa
0,5	1,5	0,81	0,07	0,02	Al-La	18,00	47	18	9	3,22	7,566	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,5	2,5	0,26	0,03	0,07	T	13,00	14	4	5	0,48	1,322	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	
2,5	8,2	6,95	0,06	0,05	S	20,00	-	-	-	-	-	-	66	37	33	37	39	41	43	17,66	28,16
8,2	9,1	3,45	0,06	0,00	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	28	32	28	32	35	37	40	9,60	15,37
9,1	14,8	5,35	0,06	0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	41	33	30	34	36	39	41	14,83	23,70
14,8	15,5	2,01	0,05	0,21	Al-La	18,00	56	2	5	4,33	28,45	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15,5	20,2	4,91	0,07	0,10	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	36	31	28	33	35	38	41	15,98	25,48
20,2	24,3	1,37	0,05	0,21	Al-La	18,00	58	2	5	4,64	31,79	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24,3	25,0	2,94	0,07	0,00	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	26	24	28	32	35	38	8,70	13,92
25,0	26,0	0,91	0,04	0,28	A	17,50	31	1	3	3,77	18,67	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,0	29,2	1,83	0,12	0,37	Al-La	18,00	81	2	5	5,73	44,02	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,2	30,1	4,09	0,10	0,06	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	25	30	33	36	39	12,01	19,21
30,1	35,4	1,69	0,07	0,42	Al-La	18,00	76	1	4	5,37	43,69	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35,4	35,8	6,50	0,08	-0,14	S	20,00	-	-	-	-	-	-	23	29	26	31	34	37	40	16,26	26,02

Dott. Geol. Thomas Veronese

Identificativo	U12-26
Emissione	mar-26
Pagina	1 di 0

PROVA PENETROMETRICA STATICA

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	FRIEL GEOPOWER	-Prova n°	CPTU2
-Cantiere	via Delle Serre, San Giovanni (Fe)	-Data prova	04/03/2026
-Quota p.c.	0,00 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,20 m
-Livello di falda	1,00 m da p.c.	-Prof. finale	30,00 m

MATERIALI COESIVI							MATERIALI GRANULARI														
DA	A	qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	Cu (qc)	OCR (qc)	OCR (U)	M ₀	Eu50	CR	Dr	FI _{DM}	FI _{Bottom}	FI _{Schm.}				E'25	M ₀
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m3	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)	(%)	(°)	(°)	(°)				MPa	MPa
0,5	1,7	0,77	0,06	0,04	Al-La	18,00	44	16	8	3,14	7,284	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,7	3,0	0,34	0,03	0,08	T	13,00	18	4	5	0,65	1,722	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	
3,0	9,0	6,56	0,05	0,04	S	20,00	-	-	-	-	-	-	62	37	33	37	39	41	43	16,50	26,41
9,0	13,1	5,17	0,05	0,04	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	41	33	30	34	36	38	41	14,49	23,00
13,1	16,0	6,83	0,07	0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	45	33	30	34	37	39	42	18,47	29,35
16,0	21,2	4,74	0,07	0,06	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	36	31	28	32	35	38	40	16,14	25,57
21,2	22,0	1,42	0,05	0,04	Al-La	18,00	62	2	9	4,70	33,78	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,0	23,5	1,02	0,04	0,40	A	17,50	41	1	3	4,00	24,26	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23,5	25,0	3,30	0,06	0,04	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	24	29	32	35	39	10,02	16,04
25,0	26,3	0,97	0,04	0,42	A	17,50	35	1	2	3,90	20,83	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,3	29,5	1,93	0,12	0,27	Al-La	18,00	88	2	6	5,96	47,84	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,5	30,0	4,05	0,10	0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	24	29	33	35	39	11,29	18,07

Parametri misurati in sito

qc	resistenza alla punta (MPa)	fs	attrito laterale (MPa)
deltaU	incremento di pressione neutra (MPa)	litol.	Litologia
Peso Vol	peso di volume (kN/m ³)		

Parametri derivati per correlazioni - Terreni coesivi

Cu	Coesione non drenata (kPa)	OCR	Rapporto di sovra consolidazione
Mo	Modulo edometrico (MPa)	CR	rapporto di compressione
Eu ₅₀	Modulo di deformazione non drenato (50% mobilitazione sforzo deviatorico) (MPa)		

Parametri derivati per correlazioni - Terreni granulari

Dr	densità relativa	Fi _{Schm}	angolo di resistenza al taglio Schmertmann
Fi _{Bottom}	angolo di resistenza al taglio Bolton		
E'25	modulo di deformazione in condizioni drenate		
Mo	Modulo edometrico (MPa)		

Tabella 4.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

Si consideri che le strutture geomorfologiche legate agli allineamenti di paleodune costiere, hanno orientamento nord-sud. Esse sono interrotte dal paleoalveo del Padoa Eridanus, che invece ha orientamento

ovest-est. Essendo stata una zona di foce del paleo fiume, è ovvio che in queste zone il confine tra le sabbie del paleoalveo e quello delle sabbie marino costiere è molto labile ed indefinito.

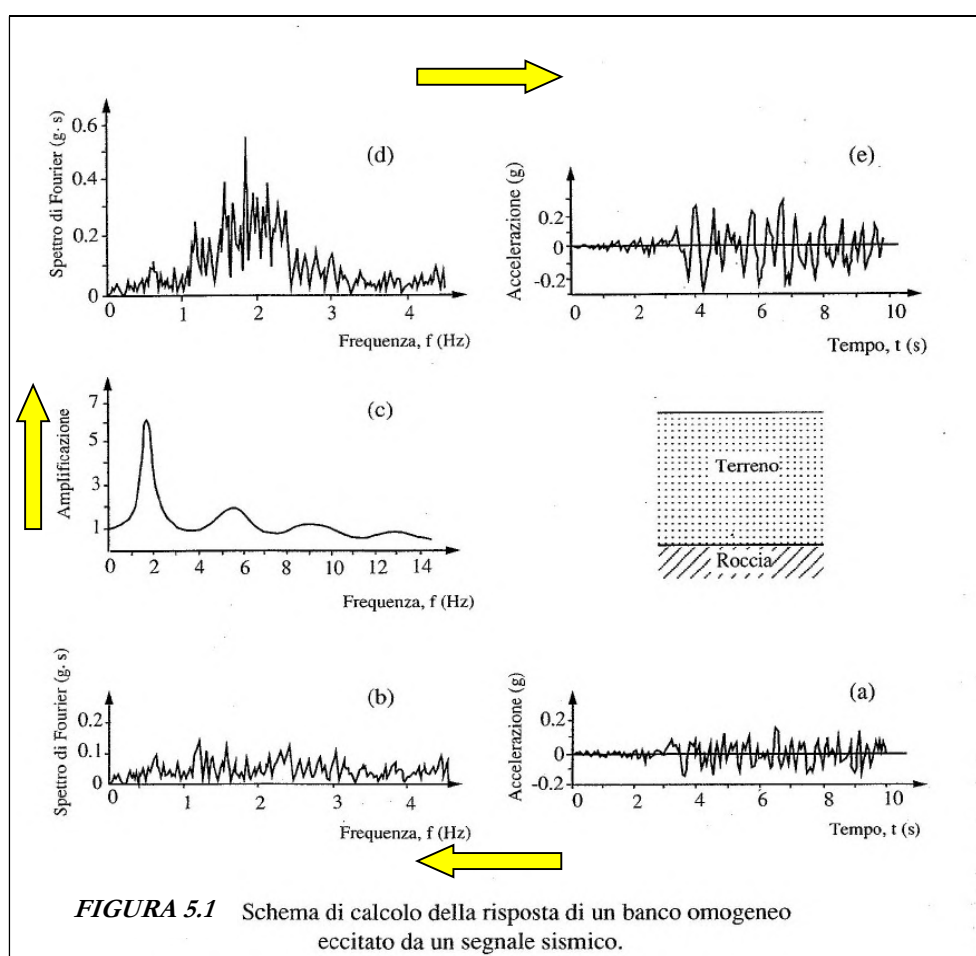
Va posta molta attenzione allo strato coesivo di copertura in quanto lo spessore è variabile e presenta scarse caratteristiche geotecniche e quindi forte attitudine a comprimersi. Sono presenti anche livelli torbosi spesso subito al tetto delle sabbie di paleoalveo.

Con le indagini geognostiche non si indagano tutti i punti sotto il sedime dell'area di progetto. Quindi, in fase di esecuzione degli scavi per la realizzazione delle fondazioni, è bene che la direzione lavori verifichi la coerenza tra ciò che emerge nelle trincee di scavo con quanto rilevato e previsto nella relazione geologica.

5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La funzione di amplificazione di un sito fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto "filtrante" di un deposito di terreno sulle onde sismiche. Essa mette in evidenza in quale campo di frequenze la presenza del terreno può indurre effetti significativi di amplificazione del moto sismico incidente o, viceversa, se tali effetti possano addirittura tradursi in un'attenuazione delle ampiezze in superficie.

La conoscenza della sola funzione di amplificazione non è comunque sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie di un deposito. In termini applicativi, scopo finale di un'analisi di risposta sismica locale è infatti quello di disporre di uno spettro di risposta dell'accelerazione (associato ad un terremoto presunto ed ad un dato fattore di smorzamento strutturale), che includa realisticamente l'effetto di amplificazione del sottosuolo. Ciò premesso la funzione di amplificazione (o meglio la funzione di trasferimento) rappresenta comunque un indispensabile elemento per determinare il moto in superficie. Si riporta di seguito lo schema del processo che porta alla determinazione del moto sismico alla superficie di un deposito di terreno su basamento roccioso, a cui è applicata l'eccitazione sismica rappresentata, anziché da un'onda armonica stazionaria, da un moto irregolare come nel caso di un sisma reale.



Nel caso allo studio è stata ricostruita la sequenza stratigrafica fino al bed-rock sismico, attribuendo ad ogni strato i valori di peso di volume, di V_s e attribuendo delle curve di decadimento del modulo G_0 espresse come rapporto G/G_0 in funzione dello sforzo di taglio e delle curve di smorzamento D sempre in funzione del diverso stato di sforzo di taglio.

Il modello stratigrafico e geofisico dalla superficie, fino alla profondità del bedrock, sulla base dei dati riportati in questa relazione, è il seguente:

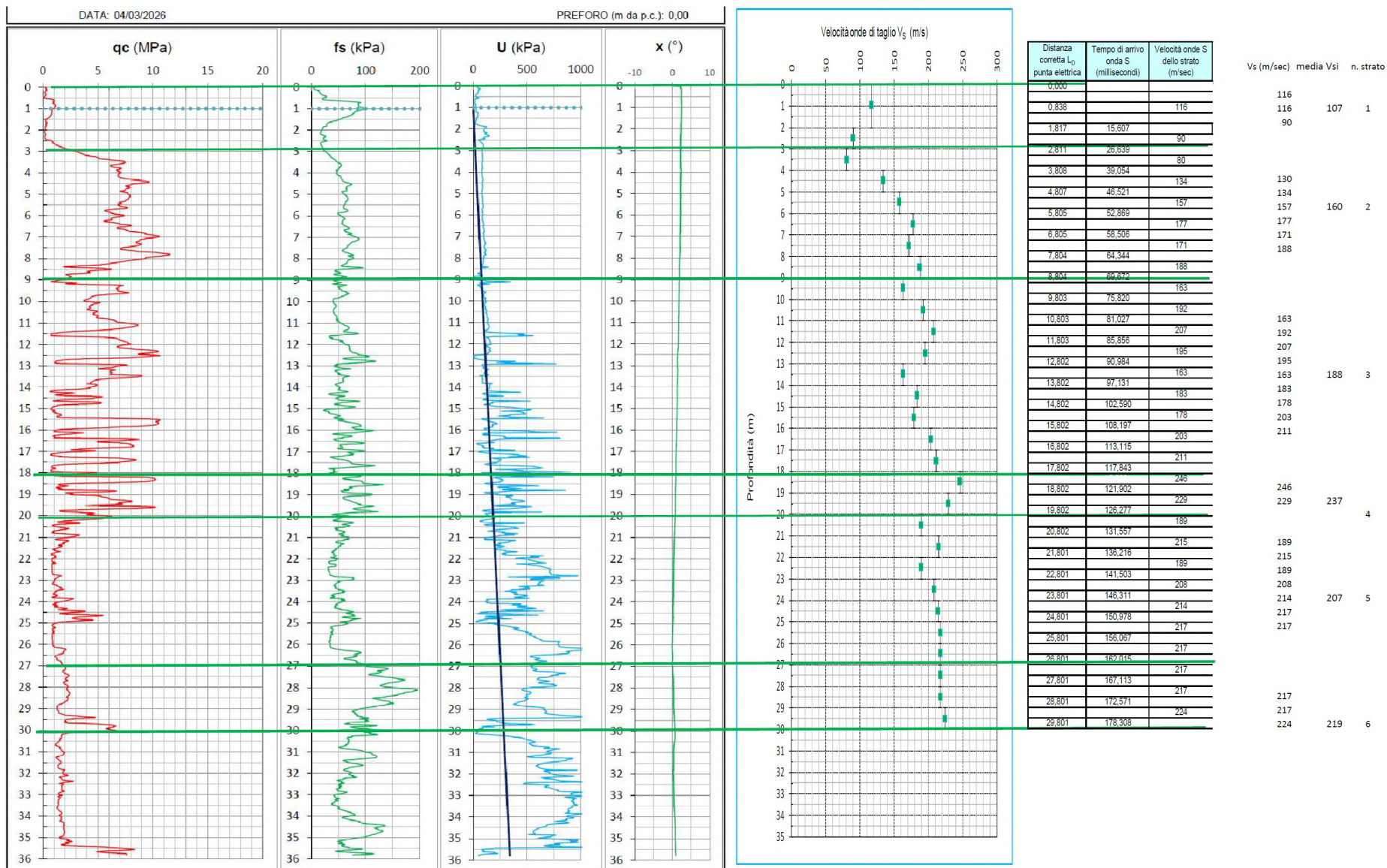


FIGURA 5.2 - modello stratigrafico e sismico dei primi 30metri.

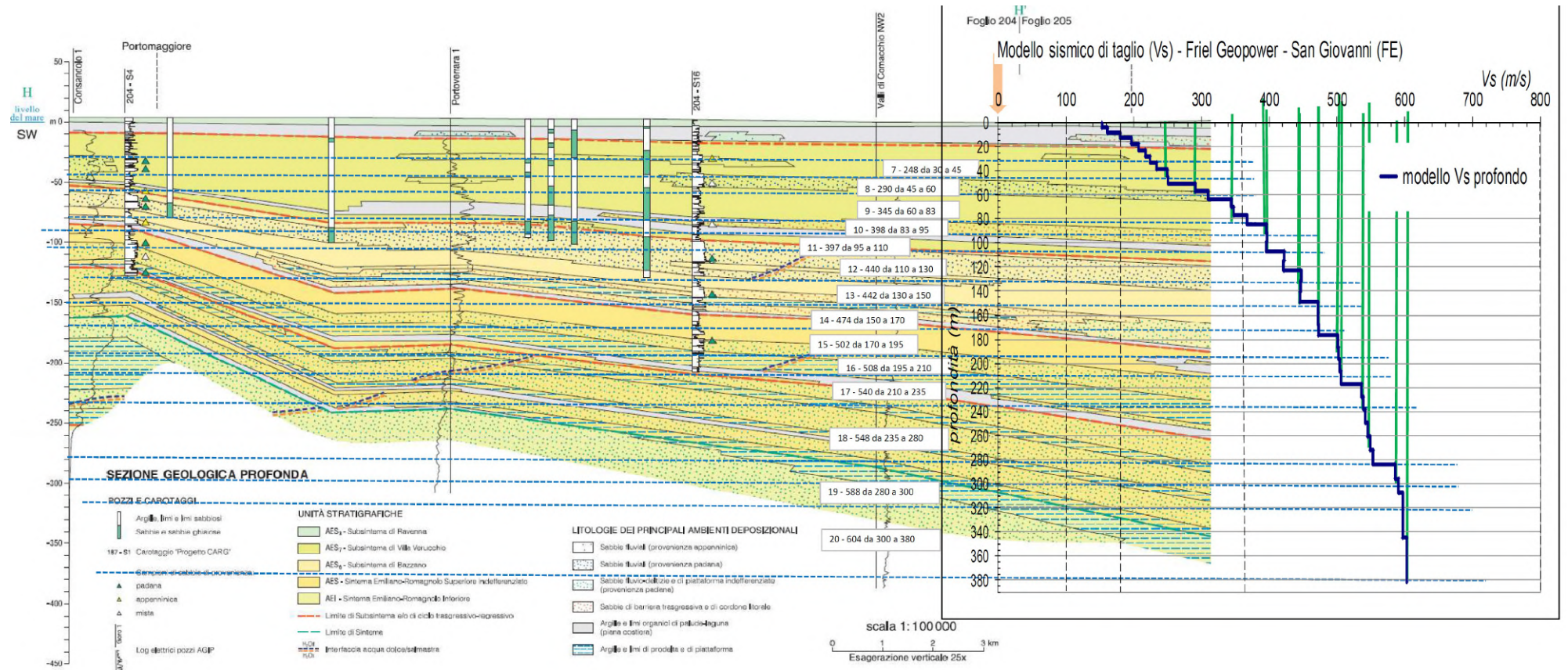


FIGURA 5.2 bis - modello stratigrafico profondo e modello geofisico profondo adottato per l'analisi di risposta sismica locale.

Ora invece si riportano le schermate con evidenziati i dati di Input per l'analisi di RSL, eseguita con il software STRATA.

E:\DA FARE MARZO 2026\San Giovanni di Ostellato FRI-EL FRIEL Serre San Giovanni Ostellato tris.strata* - Strata

File Edit Tools Window Help

General Settings | Soil Types | Soil Profile | Motion(s) | Output Specification | Compute | Results

Project

Title: RSL Friel

Notes:

Filename prefix:

Units: Metric ☐ Note: only changes labels and gravity, no unit conversion.

☒ Save motion data within the input file.

Type of Analysis

Method: Equivalent Linear (EQL)

Approach: Time Series

☐ Vary the properties

Site Property Variation

Number of realizations: 100

☒ Only use profiles that converge

☐ Vary the nonlinear properties

-- shear modulus reduction curve

-- damping ratio curve

-- damping of the bedrock

☐ Vary the site profile

-- shear-wave velocity

-- layer thickness

-- depth to bedrock

☐ Specify seed number: 42

Calculation Parameters

Error tolerance: 2.0 %

Maximum number of iterations: 20

Effective strain ratio: 0.65

Layer Discretization

Maximum frequency: 20 Hz

Wavelength fraction: 0.20

☐ Disable auto-discretization

Strata

Strata input fields are locked in a read-only state. To edit the fields you must unlock the input by clicking on the lock button in the upper left portion of the window. Unlocking Strata will delete all results.

☐ Stop reminding me.

OK

E:\DA FARE MARZO 2026\San Giovanni di Ostellato FRI-EL GEOPOWER S.r.l\FRIEL Serre con ESAC\FRIEL Serre San Giovanni Ostellato IP 50.strata - Strata

File Edit Tools Window Help

General Settings | Soil Types | Soil Profile | Motion(s) | Output Specification | Compute | Results

Soil Types

Name	Unit Weight (kN/m³)	G/G_max Model	Damping Model	Damp. Limit (%)	Notes
1	17.00	Copertura AL Migliarino	Copertura AL Migliarino	0.5	
2	18.50	Sabbie L di battaglia	Sabbie L di battaglia	0.5	
3	19.00	LAS di prodelta	LAS di prodelta	0.5	
4	19.00	Sabbie L di battaglia	Sabbie L di battaglia	0.5	
5	18.00	Fanghi marini	Fanghi marini	0.5	
6	17.50	Alluvioni AL pleistoceniche	Alluvioni AL pleistoceniche	0.5	
7	18.50	Alluvioni AL pleistoceniche	Alluvioni AL pleistoceniche	0.5	
8	19.50	EPRI (93), 120-250 ft	EPRI (93), 120-250 ft	0.5	
9	19.00	EPRI (93), PI=50	EPRI (93), PI=50	0.5	
10	20.00	EPRI (93), 120-250 ft	EPRI (93), 120-250 ft	0.5	
11	19.00	EPRI (93), PI=50	EPRI (93), PI=50	0.5	
12	20.50	EPRI (93), 250-500 ft	EPRI (93), 250-500 ft	0.5	
13	19.50	EPRI (93), PI=50	EPRI (93), PI=30	0.5	
14	20.50	EPRI (93), 500-1000 ft	EPRI (93), 500-1000 ft	0.5	
15	20.00	EPRI (93), PI=50	EPRI (93), PI=30	0.5	
16	21.00	EPRI (93), 500-1000 ft	EPRI (93), 500-1000 ft	0.5	
17	20.50	EPRI (93), PI=50	EPRI (93), PI=30	0.5	
18	21.00	EPRI (93), 500-1000 ft	EPRI (93), 500-1000 ft	0.5	
19	21.00	EPRI (93), PI=50	EPRI (93), PI=50	0.5	
20	21.50	EPRI (93), 500-1000 ft	EPRI (93), 500-1000 ft	0.5	

Bedrock Layer

Unit weight: 22.00 kN/m³

Damping: 0.50 %

Water Table Depth

Depth: 1.00 m

Darendeli and Stokoe Model Parameters

Mean effective stress: 0.10 atm

Plasticity Index: 0

Over-consolidation ratio: 1.00

Excitation frequency: 0.1 Hz

Number of cycles: 1

Nonlinear Property

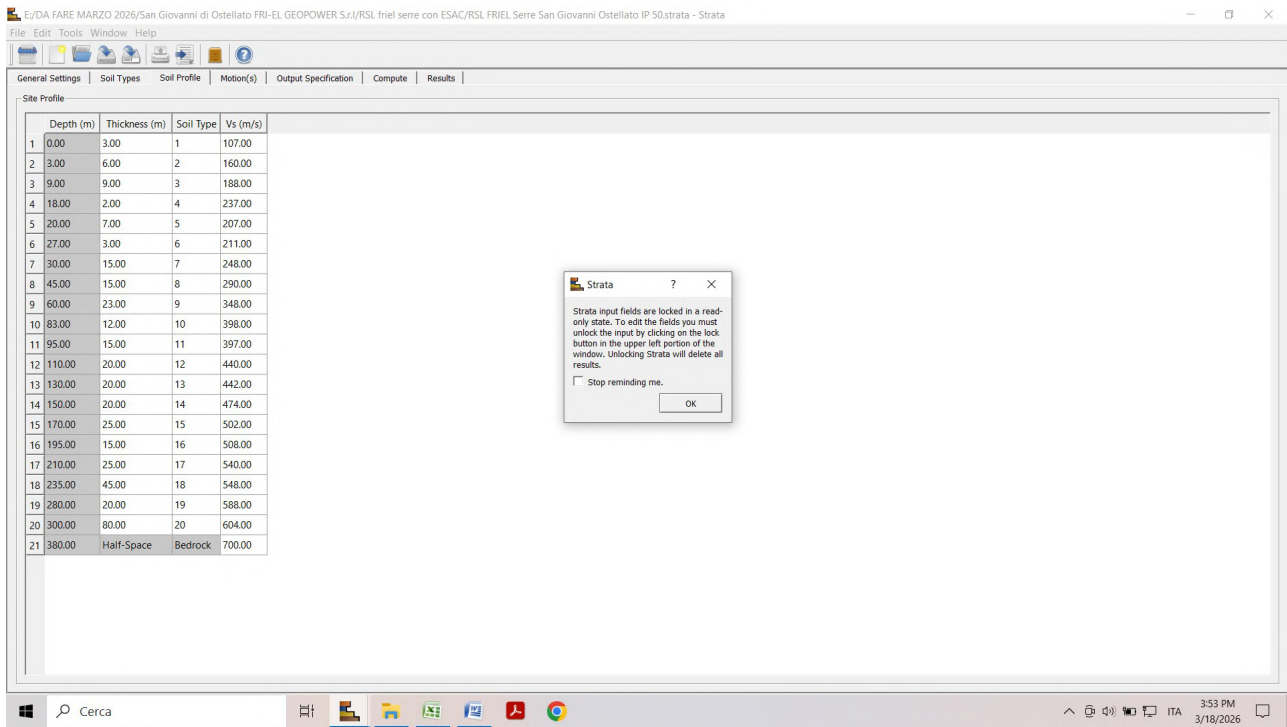
Strain (%)	G/Gmax
1 1.00e-04	1.000
2 1.78e-04	1.000
3 3.16e-04	1.000
4 5.62e-04	1.000
5 1.00e-03	1.000
6 1.78e-03	1.000
7 3.16e-03	0.996
8 5.62e-03	0.981
9 1.00e-02	0.951
10 1.78e-02	0.897
11 3.16e-02	0.821
12 5.62e-02	0.714
13 1.00e-01	0.585
14 1.78e-01	0.451
15 3.16e-01	0.330
16 5.62e-01	0.224
17 1.00e+00	0.153

Strata

Strata input fields are locked in a read-only state. To edit the fields you must unlock the input by clicking on the lock button in the upper left portion of the window. Unlocking Strata will delete all results.

☐ Stop reminding me.

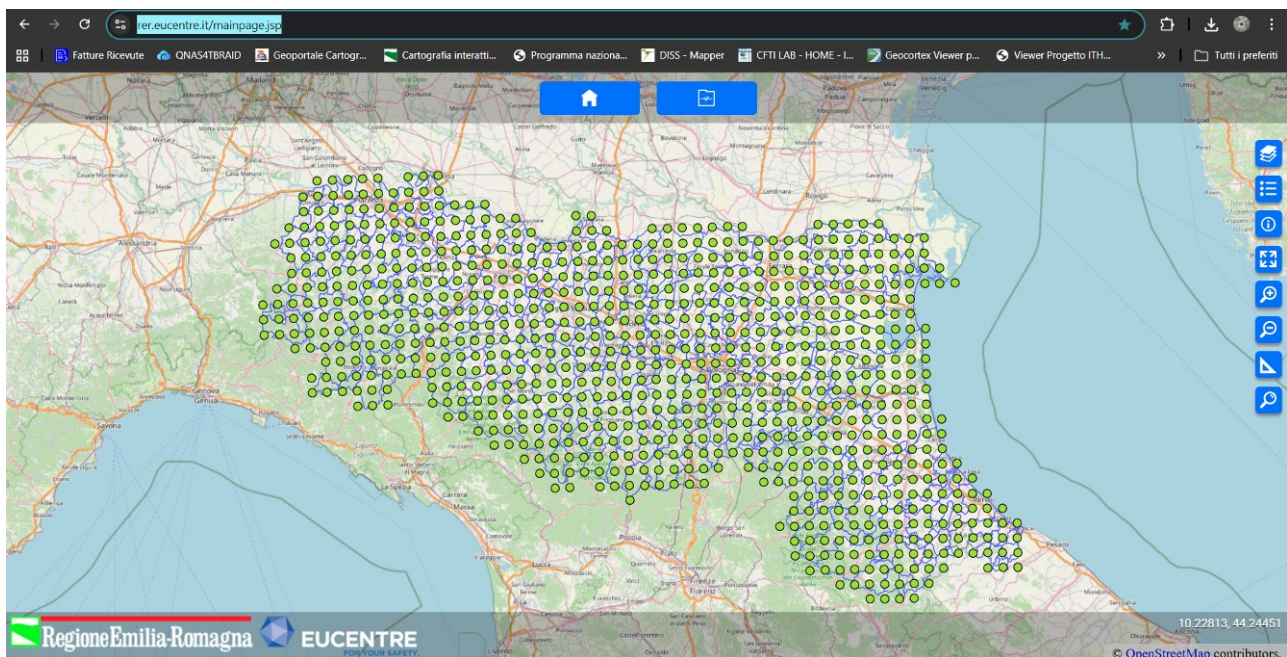
OK



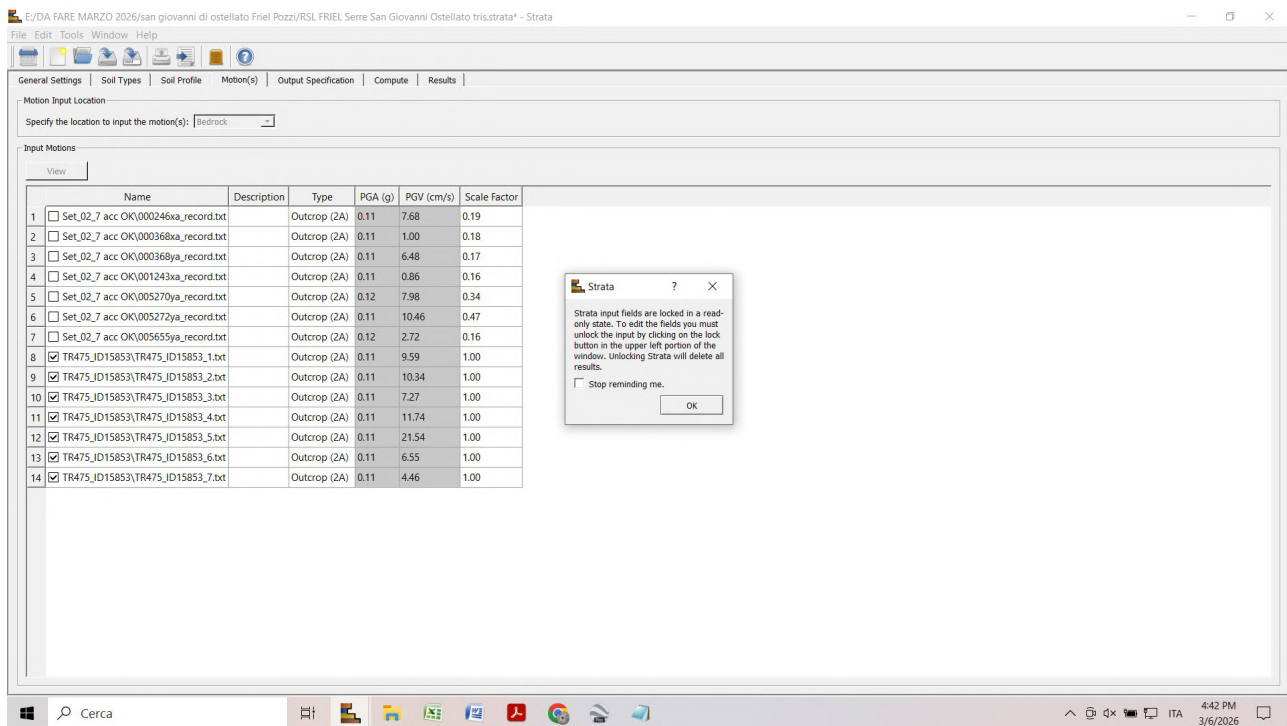
Per la definizione del moto sismico al bedrock si ricorre ad un gruppo di sette accelerogrammi spettrocompatibili forniti dal servizio sismico della Regione Emilia Romagna e scalati al valore di 0,114g. Si rammenta che l'analisi viene condotta per un tempo di ritorno di $T_R=475$ anni, per costruzione indicata dai progettisti di classe d'uso II, $C_U=1,5$ e $V_N \geq 50$ anni. L'analisi che si conduce è di tipo lineare equivalente (EQL).

La falda freatica viene assunta a -1,0m dal piano campagna.

Si forniscono i dati dei 7 accelerogrammi estratti, con i criteri di estrazione applicati.



<https://rer.eucentre.it/mainpage.jsp>

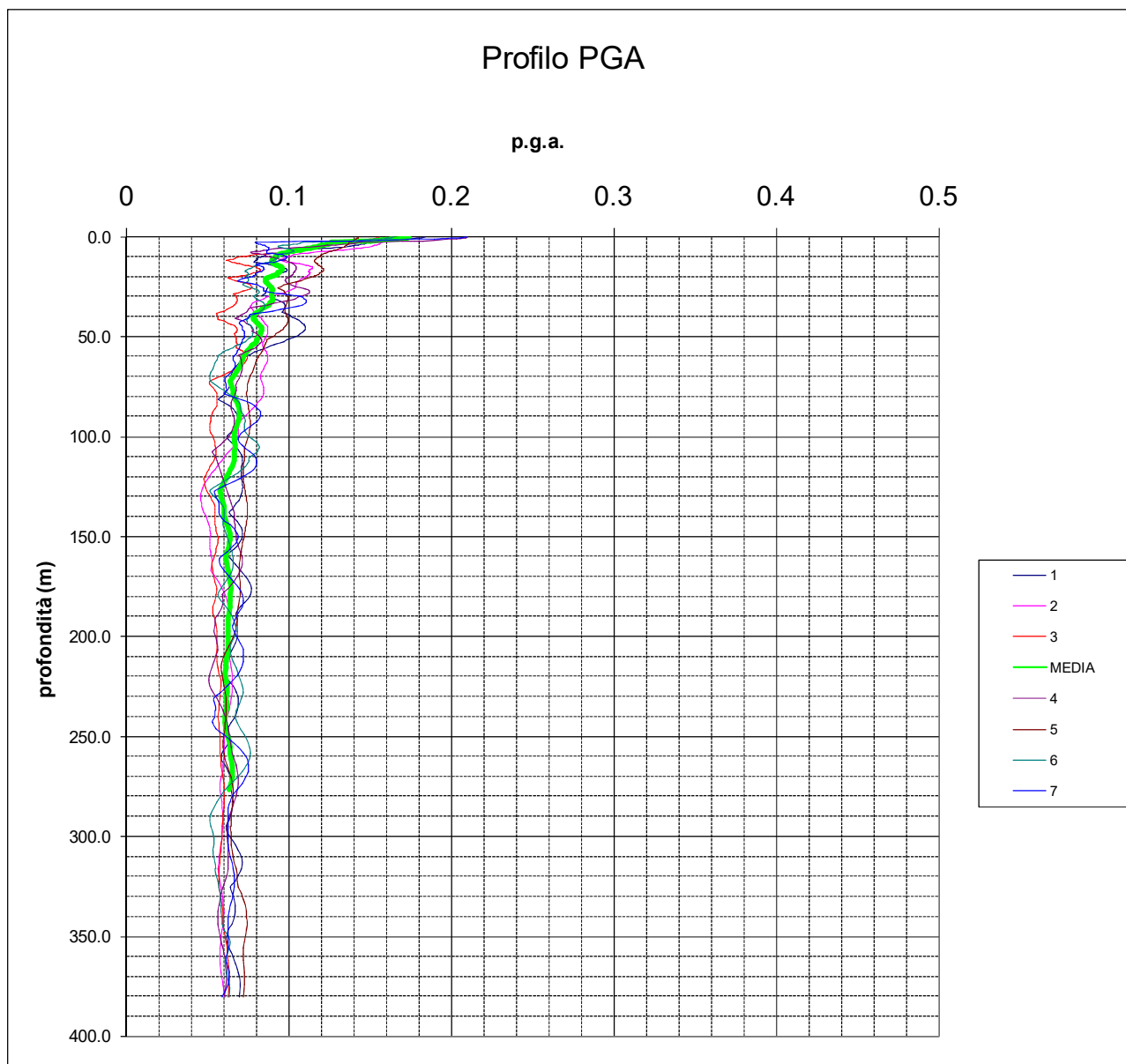


Utilizzando il codice STRATA, con una analisi di tipo equivalente lineare, si ottengono i risultati riportati di seguito.

Nel grafico che segue è riportato profilo di PGA medio, ricavato dall'analisi dei 7 accelerogrammi, dal bedrock fino al piano campagna. Come si può notare negli ultimi 30metri, i processi amplificativi prevalgono su quelli dissipativi e si ha una amplificazione dell'accelerazione. In superficie si ottengono i seguenti valori di PGA:

$$F.A.=0,174/0,114=1,53$$

falda	1		F.A.
		P.G.A. bedrock	0.114
		P.G.A. superficie accelerg 1	0.184
		P.G.A. superficie accelerg 2	0.163
		P.G.A. superficie accelerg 3	0.156
		P.G.A. superficie accelerg 4	0.210
		P.G.A. superficie accelerg 5	0.143
		P.G.A. superficie accelerg 6	0.164
		P.G.A. superficie accelerg 7	0.210
		P.G.A. superficie Strata Media	0.174
			1.53



Nel sito sono state eseguite da parte della ditta TeamGeofisica.ceg delle misure di HVSR, per cui è possibile determinare anche i modi di vibrare della colonna di terreno su cui è previsto l'intervento.

Di seguito si riportano i grafici dei rapporti spettrali H/V

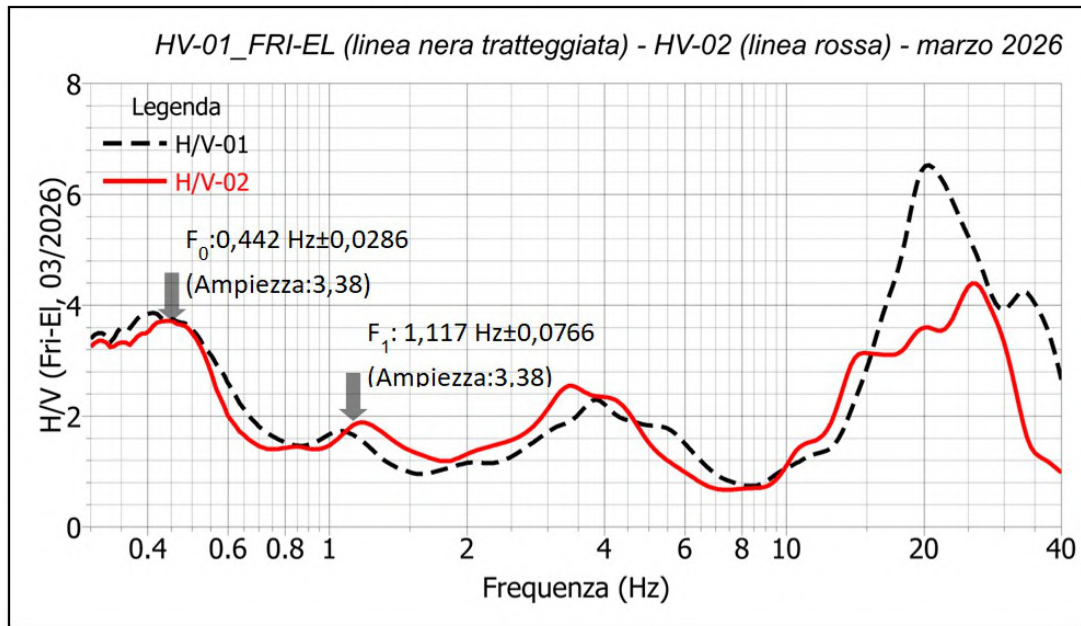


Figura 9. media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo vicino e libero (H/V-01) e (H/V-02) nell'area. Freccia: picchi di frequenza: F_0 : fondamentale e F_1 : altra frequenza.

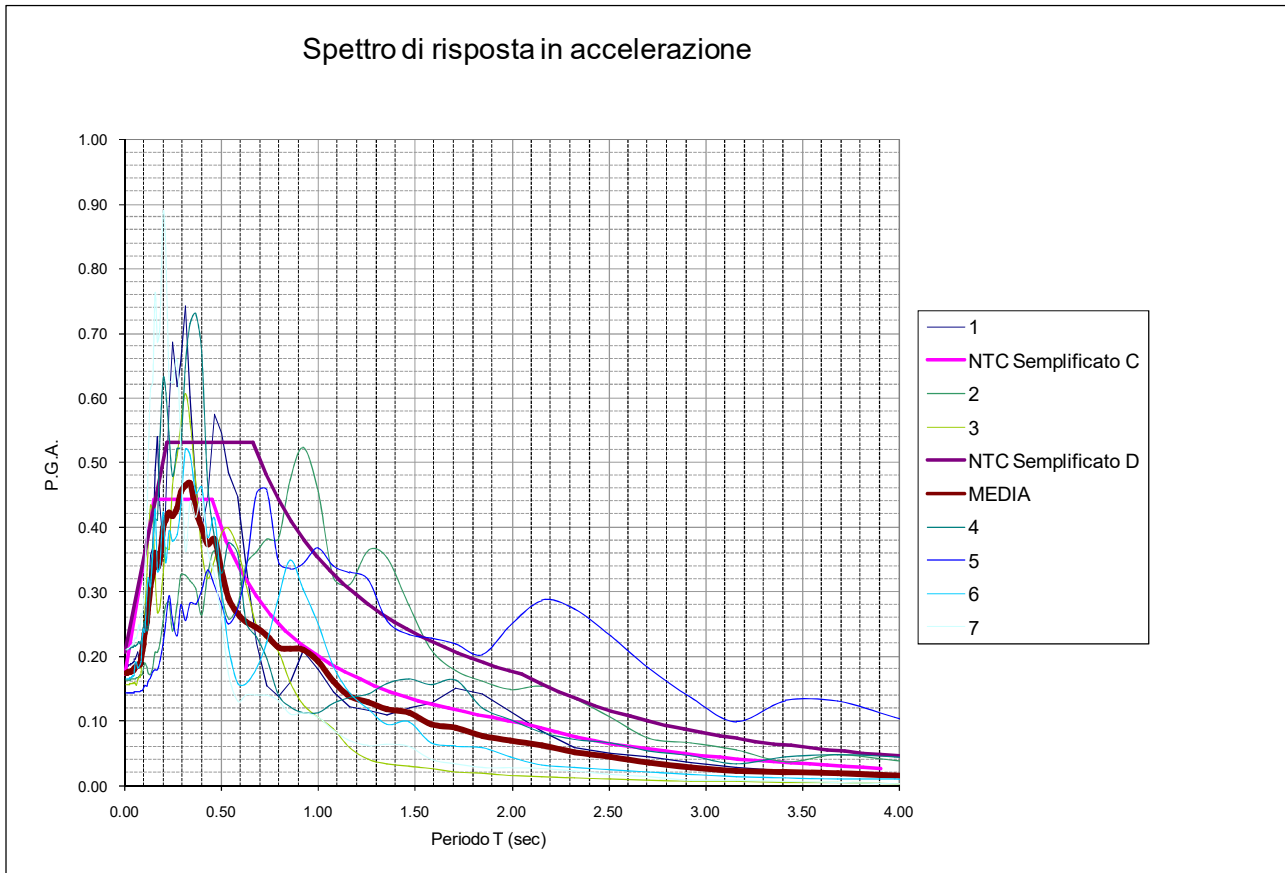
Tabella 4: picchi di frequenze di risonanza fondamentale di risonanza ottenute dalle prove HVSR.

prova H/V	Frequenza (Hz)	Valore Frequenza	Periodo T_0 (sec)	Ampiezza (A)
Località: (Fri-El), San Giovanni, Ostellato (FE)				
01	F_0	$0,433 \pm 0,0399$	2,217	3,05
	F_1	$1,065 \pm 0,077$	0,939	1,73
02	F_0	$0,451 \pm 0,0174$	2,217	3,71
	F_1	$1,169 \pm 0,0761$	0,855	1,89
media	F_0	$0,442 \pm 0,0286$	2,262	3,38
media	F_1	$1,117 \pm 0,0766$	0,895	1,81
*prova effettuata in campo libero e quasi vicino.				

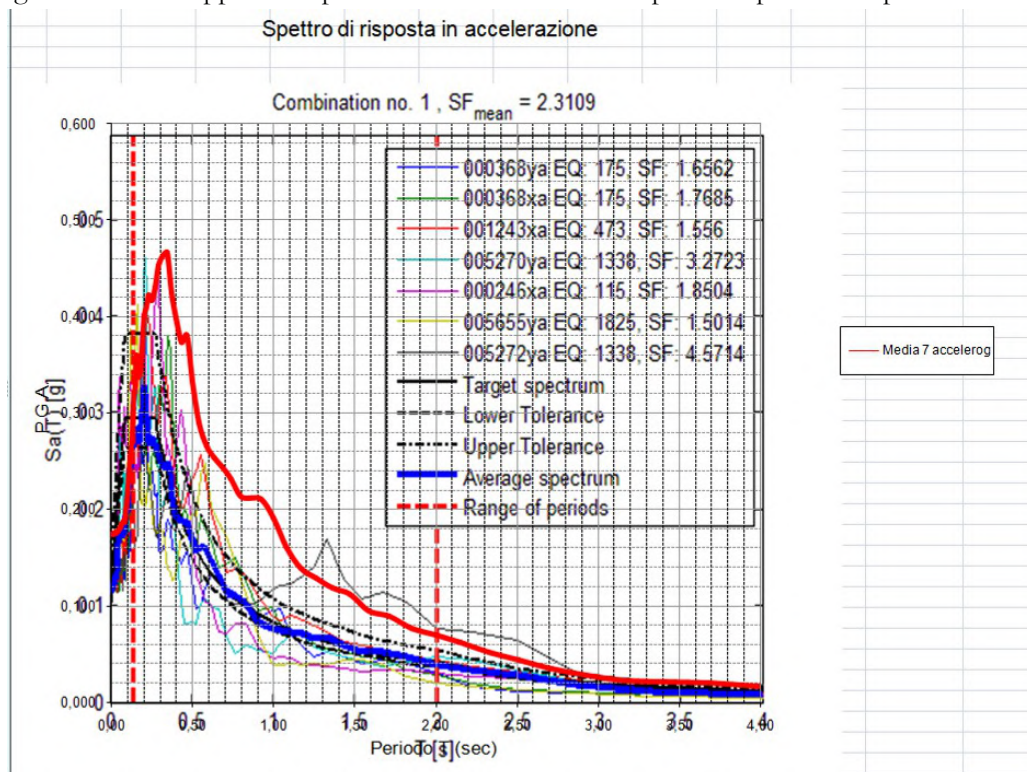
I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

- la frequenza di risonanza fondamentale con rapporto H/V medio di 3,38, tipica dei siti investigati è denominata F_0 (Tabella 4), risulta essere pari a:
 - 0,442 Hz (periodo di risonanza medio: 2,262 secondi). Questo valore suggerisce la presenza di una discontinuità elastica collocata a circa 284 ± 10 m come risulta dal modello sismico di V_s (Fig. 7).
- Un secondo picco di frequenza con rapporto H/V medio ($H/V=1,81$) dei siti investigati è denominata F_1 (Tabella 4), risulta essere pari a:
 - 1,117 Hz (periodo di risonanza medio: 0,895 secondi) per il sito oggetto di studio. Questo valore suggerisce la presenza di una discontinuità elastica collocata a circa 177 ± 10 m come risulta dal modello sismico di V_s (Fig. 7).

Si riporta ora lo spettro in accelerazione medio ricavato dalla analisi di RSL condotta con i 7 accelerogrammi.



Di seguito sono sovrapposti lo spettro in accelerazione di output e lo spettro di input.



Come si può notare lo spettro medio è molto ben contenuto dallo spettro semplificato della categoria di suolo di fondazione C. Si rimarca il fatto che lo spettro medio è stato derivato dalla analisi condotta con il gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili forniti dal Servizio Sismico della regione Emilia Romagna.

Di seguito i dati tabellari che disegnano lo spettro di OUTPUT.

	accelerg 1	accelerg 2	accelerg 3	accelerg 4	accelerg 5	accelerg 6	accelerg 7	MEDIA
0.01	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.16	0.21	0.174
0.01	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.16	0.21	0.174
0.01	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.16	0.21	0.174
0.01	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.16	0.21	0.174
0.01	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.16	0.21	0.175
0.01	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.16	0.21	0.175
0.02	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.16	0.21	0.175
0.02	0.18	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.175
0.02	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.175
0.02	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.175
0.02	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.175
0.03	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.175
0.03	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.176
0.03	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.176
0.03	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.21	0.176
0.03	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.22	0.176
0.04	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.22	0.177
0.04	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.22	0.177
0.04	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.22	0.178
0.05	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.22	0.178
0.05	0.19	0.16	0.16	0.21	0.14	0.17	0.22	0.179
0.05	0.19	0.17	0.16	0.22	0.14	0.18	0.22	0.181
0.06	0.19	0.17	0.16	0.22	0.14	0.19	0.23	0.183
0.06	0.20	0.17	0.16	0.22	0.14	0.19	0.23	0.184
0.07	0.21	0.17	0.16	0.22	0.14	0.18	0.24	0.186
0.07	0.20	0.17	0.17	0.22	0.15	0.18	0.25	0.187
0.08	0.19	0.17	0.17	0.22	0.15	0.19	0.24	0.187
0.09	0.22	0.17	0.18	0.22	0.15	0.19	0.27	0.196
0.09	0.23	0.17	0.21	0.23	0.15	0.23	0.26	0.207
0.10	0.23	0.18	0.23	0.25	0.15	0.24	0.28	0.219
0.11	0.26	0.19	0.26	0.25	0.15	0.24	0.33	0.235
0.12	0.25	0.18	0.33	0.24	0.15	0.30	0.41	0.254
0.13	0.28	0.17	0.37	0.25	0.16	0.32	0.50	0.274
0.14	0.36	0.17	0.43	0.31	0.17	0.31	0.61	0.307
0.15	0.37	0.18	0.42	0.37	0.18	0.36	0.62	0.329
0.16	0.49	0.21	0.33	0.41	0.18	0.43	0.76	0.360
0.17	0.54	0.21	0.27	0.41	0.18	0.33	0.69	0.337
0.18	0.43	0.22	0.27	0.53	0.19	0.34	0.71	0.349
0.20	0.37	0.26	0.33	0.63	0.22	0.42	0.89	0.399
0.22	0.43	0.28	0.37	0.61	0.25	0.34	0.84	0.410
0.23	0.59	0.28	0.37	0.54	0.29	0.39	0.63	0.422
0.25	0.68	0.24	0.47	0.48	0.26	0.38	0.62	0.417
0.27	0.62	0.28	0.51	0.52	0.23	0.39	0.66	0.430
0.29	0.65	0.32	0.56	0.52	0.28	0.43	0.52	0.453
0.32	0.74	0.32	0.61	0.65	0.26	0.52	0.36	0.463
0.34	0.60	0.32	0.56	0.71	0.28	0.51	0.44	0.467
0.37	0.46	0.30	0.47	0.73	0.28	0.45	0.41	0.425
0.40	0.40	0.26	0.36	0.67	0.30	0.46	0.45	0.398
0.43	0.44	0.32	0.32	0.47	0.33	0.38	0.37	0.373
0.46	0.57	0.36	0.35	0.38	0.31	0.41	0.33	0.380
0.50	0.55	0.30	0.39	0.33	0.28	0.30	0.26	0.333
0.54	0.48	0.26	0.40	0.38	0.25	0.21	0.17	0.290
0.58	0.45	0.28	0.37	0.36	0.28	0.16	0.13	0.265
0.63	0.34	0.34	0.31	0.25	0.34	0.16	0.14	0.254
0.68	0.22	0.36	0.25	0.23	0.45	0.18	0.14	0.244
0.74	0.15	0.38	0.23	0.20	0.46	0.22	0.14	0.232
0.79	0.14	0.38	0.21	0.14	0.35	0.29	0.13	0.214
0.86	0.16	0.47	0.16	0.12	0.34	0.35	0.11	0.212
0.93	0.21	0.52	0.13	0.11	0.34	0.30	0.11	0.210
1.00	0.18	0.45	0.11	0.11	0.37	0.25	0.11	0.191
1.08	0.14	0.32	0.09	0.13	0.34	0.18	0.09	0.161
1.17	0.12	0.31	0.06	0.14	0.33	0.14	0.07	0.138
1.26	0.12	0.36	0.04	0.14	0.32	0.12	0.06	0.128
1.36	0.11	0.35	0.03	0.16	0.25	0.09	0.06	0.118
1.47	0.12	0.28	0.03	0.16	0.23	0.10	0.06	0.112
1.58	0.13	0.21	0.03	0.16	0.23	0.07	0.04	0.094
1.71	0.15	0.18	0.02	0.16	0.22	0.06	0.03	0.089
1.85	0.14	0.16	0.02	0.12	0.20	0.06	0.03	0.077
2.00	0.12	0.15	0.02	0.10	0.25	0.04	0.03	0.069
2.15	0.08	0.15	0.01	0.08	0.29	0.03	0.03	0.062
2.33	0.06	0.13	0.01	0.07	0.27	0.03	0.02	0.052
2.51	0.05	0.10	0.01	0.07	0.23	0.02	0.02	0.044
2.71	0.04	0.07	0.01	0.05	0.18	0.02	0.01	0.035
2.93	0.04	0.07	0.01	0.05	0.14	0.02	0.01	0.028
3.16	0.03	0.05	0.01	0.03	0.10	0.01	0.01	0.022
3.41	0.02	0.04	0.00	0.04	0.13	0.01	0.01	0.021
3.69	0.02	0.05	0.00	0.05	0.13	0.01	0.00	0.020
3.98	0.01	0.04	0.00	0.04	0.10	0.01	0.00	0.016

Di seguito invece i valori degli spettri semplificati che si otterrebbero dalle categorie di suolo sismico C e D.

NTC2008 C		NTC2008 D	
0.000	0.171	0.000	0.205
0.151	0.442	0.222	0.531
0.452	0.442	0.666	0.531
0.528	0.378	0.732	0.483
0.605	0.330	0.798	0.443
0.681	0.293	0.865	0.409
0.757	0.264	0.931	0.380
0.834	0.240	0.997	0.355
0.910	0.219	1.063	0.332
0.987	0.202	1.130	0.313
1.063	0.188	1.196	0.296
1.140	0.175	1.262	0.280
1.216	0.164	1.328	0.266
1.292	0.155	1.394	0.253
1.369	0.146	1.461	0.242
1.445	0.138	1.527	0.232
1.522	0.131	1.593	0.222
1.598	0.125	1.659	0.213
1.674	0.119	1.726	0.205
1.751	0.114	1.792	0.197
1.827	0.109	1.858	0.190
1.904	0.105	1.924	0.184
1.980	0.101	1.990	0.178
2.057	0.097	2.057	0.172
2.149	0.089	2.149	0.157
2.242	0.082	2.242	0.145
2.334	0.075	2.334	0.133
2.427	0.070	2.427	0.123
2.519	0.065	2.519	0.115
2.612	0.060	2.612	0.107
2.704	0.056	2.704	0.099
2.797	0.053	2.797	0.093
2.889	0.049	2.889	0.087
2.982	0.046	2.982	0.082
3.075	0.043	3.075	0.077
3.167	0.041	3.167	0.072
3.260	0.039	3.260	0.068
3.352	0.037	3.352	0.065
3.445	0.035	3.445	0.061
3.537	0.033	3.537	0.058
3.630	0.031	3.630	0.055
3.722	0.030	3.722	0.052
3.815	0.028	3.815	0.050
3.907	0.027	3.907	0.048
4.000	0.026	4.000	0.045

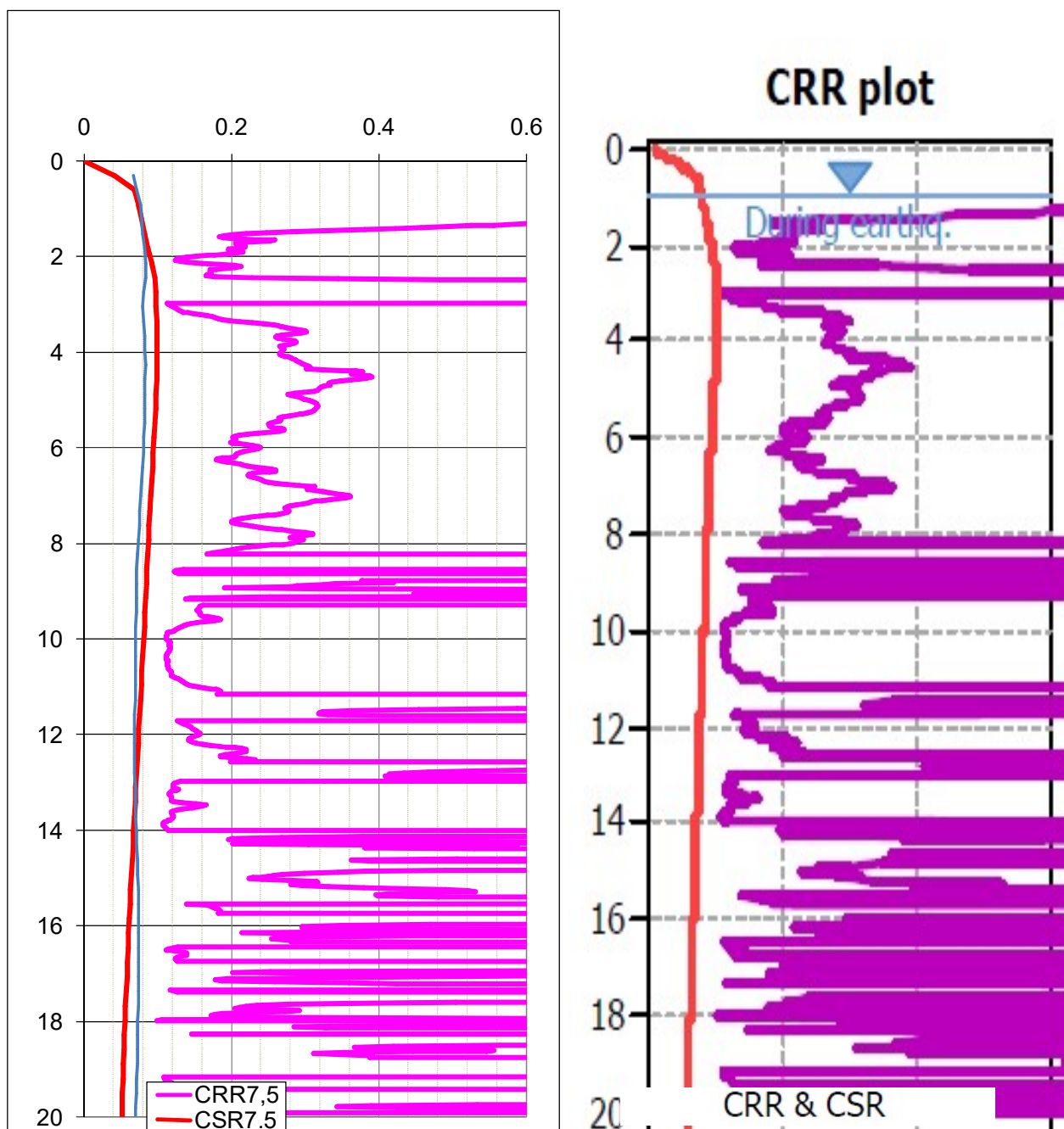
Questi dati andranno valutati in sede progettuale degli edifici, anche in base allo smorzamento che può derivare dalla rigidezza della struttura che si andrà a progettare o a valutare, ovvero in base al suo fattore di struttura q . Le valutazioni a cui si è pervenuti in questo studio sono per un $q=1$ (ovvero per un coefficiente di smorzamento ξ del 5%). Lo strutturista potrà effettuare una RSL più vicina alla realtà in quanto potrà tenere conto anche del fattore di struttura.

5.1. ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE SATURE

Nel sito la presenza di sabbie nei primi 20m, al di sotto della quota di falda, è significativo. Nella parte precedente della relazione si sono utilizzate le accelerazioni sismiche di superficie con i fattori di amplificazione sismica stratigrafica ricavati dagli spettri semplificati di categoria D, ovvero si è tenuto conto solo della Vs30. Nel capitolo 5 invece si è sviluppato uno studio specifico di analisi di risposta sismica locale, che andrà affinato dopo che saranno fornite le interpretazioni dei nuovi dati geofisici acquisiti nel sito di intervento il giorno 5 marzo 2026.

Di seguito si è diagrammata nella figura la curva della CSR (sforzo di taglio indotto dal sisma, stimato dallo scrivente in funzione della PGA ricavata per ogni profondità), la CSR ricavata da Strata (SRP) e la CRR (resistenza offerta dal deposito agli sforzi di taglio indotti dal sisma).

E' possibile così visualizzare le porzioni di terreno che hanno fattore di resistenza alla liquefazione inferiori ad 1, e risultano trascurabili.



$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{\sigma_{max s}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

PGA		prof (m)	sigma totale	sigma eff	CSR	MSF	CSR _{7,5 a mano}	Prof. (m)	SRP	0.65 SRP=CSR	MSF	CSR _{7,5}
	MEDIA	0.00	0.00	0		1.67		0	0	0	1.67	0
0.00	0.174	0.30	5.18	5.1816	0.113	1.67	0.068	0.3048	0.10599	0.068893586	1.67	0.041254
0.30	0.174	0.61	10.36	9.82579558	0.118	1.67	0.071	0.6096	0.177974	0.115683321	1.67	0.069271
0.61	0.173	0.91	15.54	13.5128621	0.128	1.67	0.076	0.9144	0.189385	0.12310044	1.67	0.073713
0.91	0.171	1.22	20.73	17.1999287	0.131	1.67	0.079	1.2192	0.200786	0.130510969	1.67	0.07815
1.22	0.167	1.52	25.91	20.7693154	0.132	1.67	0.079	1.524	0.212192	0.137924527	1.67	0.08259
1.52	0.163	1.83	31.09	22.9618485	0.138	1.67	0.083	1.8288	0.223712	0.145412707	1.67	0.087073
1.83	0.157	2.13	36.27	25.1543816	0.141	1.67	0.084	2.1336	0.235172	0.152861904	1.67	0.091534
2.13	0.150	2.44	41.45	27.3469146	0.139	1.67	0.084	2.4384	0.24658	0.160277125	1.67	0.095974
2.44	0.142	2.74	46.85	29.7583277	0.135	1.67	0.081	2.7432	0.250429	0.16277886	1.67	0.097472
2.74	0.132	3.05	52.31	32.2251808	0.134	1.67	0.080	3.048	0.252314	0.164004283	1.67	0.098206
3.05	0.127	3.35	57.77	34.6920339	0.136	1.67	0.081	3.3528	0.254136	0.165188603	1.67	0.098915
3.35	0.126	3.66	63.22	37.158887	0.138	1.67	0.082	3.6576	0.255894	0.16633115	1.67	0.099599
3.66	0.125	3.96	68.80	39.75318	0.139	1.67	0.083	3.9624	0.255578	0.166125806	1.67	0.099477
3.96	0.123	4.27	74.44	42.4029131	0.139	1.67	0.083	4.2672	0.254317	0.16530596	1.67	0.098986
4.27	0.122	4.57	80.08	45.0526462	0.139	1.67	0.083	4.572	0.252979	0.16443637	1.67	0.098465
4.57	0.120	4.88	85.72	47.7023793	0.138	1.67	0.083	4.8768	0.25156	0.163513985	1.67	0.097913
4.88	0.118	5.18	91.36	50.3521124	0.138	1.67	0.083	5.1816	0.250054	0.162535321	1.67	0.097327
5.18	0.117	5.49	97.00	53.0018454	0.137	1.67	0.082	5.4884	0.247519	0.160887404	1.67	0.09634
5.49	0.115	5.79	102.64	55.6515785	0.136	1.67	0.081	5.7912	0.24465	0.159022209	1.67	0.095223
5.79	0.113	6.10	108.28	58.3013116	0.134	1.67	0.081	6.096	0.241717	0.157116016	1.67	0.094081
6.10	0.111	6.40	113.91	60.9510447	0.132	1.67	0.079	6.4008	0.238716	0.155165668	1.67	0.092914
6.40	0.109	6.71	119.55	63.6007778	0.131	1.67	0.078	6.7056	0.235642	0.153167537	1.67	0.091717
6.71	0.107	7.01	125.19	66.2505108	0.129	1.67	0.077	7.0104	0.232866	0.151363049	1.67	0.090637
7.01	0.105	7.32	130.83	68.9002439	0.127	1.67	0.076	7.3152	0.230137	0.14958914	1.67	0.089574
7.32	0.103	7.62	136.47	71.549977	0.125	1.67	0.075	7.62	0.227395	0.147807003	1.67	0.088507
7.62	0.101	7.92	142.11	74.1997101	0.123	1.67	0.074	7.9248	0.224641	0.146016349	1.67	0.087435
7.92	0.099	8.23	147.75	76.8494432	0.121	1.67	0.073	8.2296	0.221872	0.144216872	1.67	0.086357
8.23	0.097	8.53	153.46	79.5767399	0.120	1.67	0.072	8.5344	0.219623	0.142755241	1.67	0.085482
8.53	0.096	8.84	159.19	82.3096002	0.118	1.67	0.071	8.8392	0.217405	0.141313083	1.67	0.084619
8.84	0.094	9.14	164.91	85.0424606	0.118	1.67	0.071	9.144	0.215178	0.139865462	1.67	0.083752
9.14	0.094	9.45	170.63	87.7753209	0.118	1.67	0.071	9.4488	0.212942	0.138412187	1.67	0.082882
9.45	0.093	9.75	176.35	90.5081813	0.118	1.67	0.070	9.7536	0.210697	0.136953056	1.67	0.082008
9.75	0.092	10.06	182.11	93.2770416	0.117	1.67	0.070	10.0584	0.208243	0.135357861	1.67	0.081053
10.06	0.092	10.36	187.90	96.0791747	0.117	1.67	0.070	10.3632	0.205593	0.13363526	1.67	0.080021
10.36	0.092	10.67	193.69	98.8813078	0.117	1.67	0.070	10.668	0.20293	0.13190473	1.67	0.078985
10.67	0.092	10.97	199.48	101.683441	0.116	1.67	0.070	10.9728	0.200255	0.130165848	1.67	0.077944
10.97	0.091	11.28	205.27	104.485574	0.116	1.67	0.069	11.2776	0.197566	0.128418158	1.67	0.076897
11.28	0.091	11.58	211.07	107.287707	0.116	1.67	0.069	11.5824	0.194863	0.126661166	1.67	0.075845
11.58	0.090	11.89	216.86	110.09894	0.115	1.67	0.069	11.8872	0.192178	0.124915948	1.67	0.0748
11.89	0.090	12.19	222.65	112.891973	0.115	1.67	0.069	12.192	0.1895	0.123175227	1.67	0.073758
12.19	0.090	12.50	228.44	115.694106	0.115	1.67	0.069	12.4968	0.186808	0.121425328	1.67	0.07271
12.50	0.090	12.80	234.23	118.496239	0.116	1.67	0.069	12.8016	0.184101	0.119665839	1.67	0.071656
12.80	0.090	13.11	240.02	121.298372	0.116	1.67	0.070	13.1064	0.181379	0.117896312	1.67	0.070597
13.11	0.091	13.41	245.81	124.100506	0.117	1.67	0.070	13.4112	0.17864	0.116116266	1.67	0.069531
13.41	0.091	13.72	251.60	126.902639	0.118	1.67	0.071	13.716	0.176059	0.114438302	1.67	0.068526
13.72	0.091	14.02	257.40	129.704772	0.118	1.67	0.071	14.0208	0.17354	0.112800793	1.67	0.067545
14.02	0.092	14.33	263.19	132.506905	0.120	1.67	0.072	14.3256	0.171012	0.111157921	1.67	0.066562
14.33	0.093	14.63	268.98	135.309038	0.121	1.67	0.072	14.6304	0.168476	0.109509452	1.67	0.065575
14.63	0.094	14.94	274.77	138.111171	0.122	1.67	0.073	14.9352	0.165931	0.107855136	1.67	0.064584
14.94	0.095	15.24	280.56	140.913304	0.123	1.67	0.074	15.24	0.163376	0.106194707	1.67	0.06359
15.24	0.095	15.54	286.35	143.715437	0.124	1.67	0.074	15.5448	0.161057	0.104686908	1.67	0.062687
15.54	0.096	15.85	292.14	146.51757	0.124	1.67	0.075	15.8496	0.158792	0.103214722	1.67	0.061805
15.85	0.096	16.15	297.93	149.319703	0.125	1.67	0.075	16.1544	0.156522	0.101739389	1.67	0.060922
16.15	0.096	16.46	303.72	152.121836	0.125	1.67	0.075	16.4592	0.154247	0.100260761	1.67	0.060036
16.46	0.096	16.76	309.52	154.923969	0.124	1.67	0.075	16.764	0.151967	0.098778683	1.67	0.059149
16.76	0.096	17.07	315.31	157.728102	0.124	1.67	0.074	17.0688	0.149682	0.097292988	1.67	0.058259
17.07	0.095	17.37	321.10	160.528236	0.123	1.67	0.074	17.3736	0.147519	0.095887494	1.67	0.057418
17.37	0.095	17.68	326.89	163.330369	0.123	1.67	0.074	17.6784	0.145368	0.094489303	1.67	0.05658
17.68	0.095	17.98	332.68	166.132502	0.122	1.67	0.073	17.9832	0.143214	0.093088838	1.67	0.055742
17.98	0.094	18.29	338.47	168.934635	0.122	1.67	0.073	18.288	0.141055	0.091686007	1.67	0.054902
18.29	0.093	18.59	344.26	171.736768	0.121	1.67	0.073	18.5928	0.138893	0.090280714	1.67	0.05406
18.59	0.093	18.90	350.05	174.538901	0.121	1.67	0.072	18.8976	0.136727	0.088872856	1.67	0.053217
18.90	0.093	19.20	355.75	177.246581	0.120	1.67	0.072	19.2024	0.135346	0.087975038	1.67	0.05268
19.20	0.092	19.51	361.40	179.906474	0.119	1.67	0.071	19.5072	0.134354	0.087329969	1.67	0.052293
19.51	0.091	19.81	367.05	182.566367	0.118	1.67	0.071	19.812	0.13335	0.086677392	1.67	0.051903
19.81	0.090	20.12	372.70	185.22626	0.117	1.67	0.070	20.1168	0.132334	0.086017218	1.67	0.051507

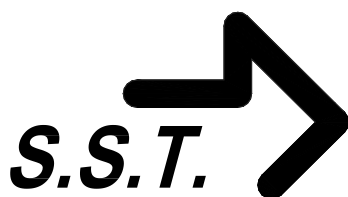
Come si può notare, il problema della liquefazione delle sabbie non è atteso per eventi sismici con tempo di ritorno di 475 anni. L'analisi con i metodi semplificati, è la più gravosa e si mantiene sempre entro valori accettabili. Affinando gli studi il problema perde di significatività e non è atteso.

tabella riassuntiva			
Analisi con Spettri Semplificati NTC2018 suolo categoria D			
	IPL	cedimento S (cm)	
SCPTu1	1.35	2.86	
CPTu2	1.28	2.91	
Analisi con studi specifici di RSL e rd			
	IPL	cedimento S (cm)	
SCPTu1	0.45	1.9	
CPTu2	0.46	1.88	
Analisi con studi specifici di RSL e CSR _{7,5} da RSL			
	IPL	cedimento S (cm)	
SCPTu1	0.00	0.14	
CPTu2	0.00	0.09	

Codigoro, li 03/04/2026



Dott. Geologo Thomas Veronese



*Studio Servizi Tecnici
Settore geologia e ambiente*

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE

Via Roma, 10

44021 CODIGORO (Ferrara)

Tel e fax. 0533 / 713798 cell 335-5240380

E-mail: t.veronese@studio-sst.it

PROGETTO GEOTERMICO OSTELLATO PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE – (PAUR)

Prove penetrometriche statiche

Studio SST- Settore Geologia e Ambiente

Geotecnica; Studio terreni di fondazione; subirrigazioni; Definizione dell'assetto geologico, geomorfologico, geodinamico e idrogeologico del territorio; Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità e di realizzazione dei P.U.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di acquiferi per la tutela e per l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; Gestione e pianificazione territoriale.

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA																				RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA																				U12-26		SCPTU1		
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80														
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00														
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,00														
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °
0,02	0,22	5,97	40,67	2,26	1,82	0,28	27,38	52,00	2,32	3,62	6,48	55,10	82,00	2,26	5,42	7,12	63,13	90,67	2,22	7,22	8,50	75,78	108,67	2,08
0,04	0,24	5,08	41,33	2,22	1,84	0,27	25,26	64,00	2,31	3,64	6,20	55,21	81,33	2,27	5,44	7,17	62,79	90,67	2,22	7,24	8,52	74,22	110,67	2,10
0,06	0,29	5,52	44,00	2,28	1,86	0,21	21,60	80,67	2,31	3,66	6,13	55,20	82,67	2,26	5,46	6,99	61,90	89,33	2,22	7,26	8,48	73,78	110,67	2,10
0,08	0,30	5,41	44,00	2,26	1,88	0,26	22,49	114,00	2,32	3,68	6,13	54,42	84,00	2,26	5,48	6,82	61,57	88,67	2,22	7,28	8,52	72,44	112,00	2,10
0,10	0,28	6,52	52,00	2,26	1,90	0,26	21,94	122,00	2,33	3,70	6,20	53,31	84,67	2,24	5,50	6,83	61,12	90,00	2,23	7,30	8,76	71,44	114,67	2,09
0,12	0,33	7,97	63,33	2,33	1,92	0,26	21,27	122,67	2,33	3,72	6,37	52,30	85,33	2,26	5,52	6,97	60,34	92,00	2,22	7,32	8,96	70,77	114,67	2,08
0,14	0,35	13,97	62,67	2,40	1,94	0,22	20,71	117,33	2,34	3,74	6,60	51,97	85,33	2,24	5,54	7,02	59,45	92,00	2,24	7,34	8,93	70,32	112,00	2,10
0,16	0,30	14,19	56,67	2,41	1,96	0,22	20,27	114,00	2,34	3,76	6,89	51,96	86,00	2,24	5,56	7,05	59,01	92,00	2,23	7,36	8,81	68,87	111,33	2,09
0,18	0,28	13,30	53,33	2,39	1,98	0,21	20,16	104,00	2,32	3,78	7,11	50,74	86,00	2,27	5,58	7,28	59,12	94,00	2,23	7,38	8,73	67,76	111,33	2,08
0,20	0,24	14,41	51,33	2,42	2,00	0,19	19,49	104,67	2,33	3,80	7,13	49,84	85,33	2,26	5,60	7,59	59,22	96,00	2,23	7,40	8,57	66,87	110,67	2,09
0,22	0,18	14,85	47,33	2,38	2,02	0,17	18,83	105,33	2,32	3,82	6,97	50,18	84,00	2,26	5,62	7,72	59,11	95,33	2,23	7,42	8,30	65,87	108,67	2,10
0,24	0,16	15,19	46,00	2,40	2,04	0,16	18,16	104,00	2,32	3,84	7,00	50,39	84,67	2,26	5,64	7,66	60,11	93,33	2,22	7,44	7,98	66,31	107,33	2,10
0,26	0,17	15,52	45,33	2,38	2,06	0,15	17,71	98,00	2,32	3,86	6,67	48,36	89,33	2,31	5,66	7,47	61,00	92,00	2,22	7,46	7,66	66,20	105,33	2,11
0,28	0,18	16,08	46,00	2,38	2,08	0,16	17,71	100,00	2,32	3,88	6,76	45,69	81,33	2,30	5,68	7,07	62,78	88,00	2,22	7,48	7,31	65,31	103,33	2,10
0,30	0,22	16,52	47,33	2,38	2,10	0,16	17,49	103,33	2,33	3,90	6,69	47,14	78,67	2,31	5,70	6,58	63,89	84,67	2,22	7,50	7,17	64,08	104,67	2,10
0,32	0,27	17,52	47,33	2,41	2,12	0,17	16,71	105,33	2,32	3,92	6,76	48,14	78,67	2,30	5,72	6,11	65,33	82,00	2,19	7,52	7,17	63,30	108,00	2,10
0,34	0,28	18,85	42,67	2,41	2,14	0,20	16,60	114,67	2,32	3,94	6,87	47,47	79,33	2,33	5,74	5,79	67,22	80,67	2,20	7,54	7,06	61,52	107,33	2,10
0,36	0,27	20,30	40,00	2,39	2,16	0,22	16,71	124,67	2,31	3,96	7,01	47,14	81,33	2,30	5,76	5,60	67,55	80,67	2,20	7,56	7,06	60,41	108,67	2,10
0,38	0,28	21,97	37,33	2,40	2,18	0,26	16,60	127,33	2,32	3,98	7,10	46,91	81,33	2,31	5,78	5,60	66,32	82,67	2,19	7,58	7,24	58,96	112,00	2,11
0,40	0,26	24,63	24,00	2,38	2,20	0,27	16,71	111,33	2,32	4,00	7,10	46,91	82,00	2,31	5,80	5,72	65,32	85,33	2,19	7,60	7,64	57,74	116,00	2,11
0,42	0,20	27,41	22,67	2,39	2,22	0,26	19,04	112,67	2,32	4,02	7,00	46,47	81,33	2,30	5,82	5,92	62,77	86,67	2,19	7,62	8,03	57,07	118,00	2,10
0,44	0,18	27,63	22,67	2,38	2,24	0,24	22,04	112,67	2,29	4,04	6,87	46,80	81,33	2,30	5,84	6,12	60,21	89,33	2,22	7,64	8,33	57,07	117,33	2,08
0,46	0,15	26,52	24,00	2,38	2,26	0,21	24,38	123,33	2,29	4,06	6,86	47,91	82,00	2,30	5,86	6,12	51,45	88,67	2,20	7,66	8,53	58,96	115,33	2,10
0,48	0,14	24,41	27,33	2,39	2,28	0,21	25,71	134,00	2,30	4,08	6,87	48,80	82,00	2,29	5,88	6,25	49,01	84,67	2,20	7,68	8,92	60,73	114,67	2,10
0,50	0,14	22,41	27,33	2,38	2,30	0,20	26,26	144,67	2,29	4,10	6,87	50,02	82,67	2,30	5,90	6,31	49,01	84,67	2,20	7,70	9,64	62,62	115,33	2,06
0,52	0,22	20,19	28,00	2,36	2,32	0,20	26,26	149,33	2,28	4,12	6,82	51,13	82,67	2,30	5,92	6,55	50,23	86,00	2,22	7,72	10,33	65,73	112,00	2,08
0,54	0,48	20,63	52,00	2,34	2,34	0,21	25,26	147,33	2,28	4,14	6,80	52,46	82,67	2,31	5,94	6,90	50,90	89,33	2,20	7,74	10,64	67,84	104,00	2,06
0,56	0,82	21,19	55,33	2,36	2,36	0,21	23,60	134,00	2,28	4,16	6,80	53,57	84,00	2,30	5,96	7,21	52,23	90,67	2,19	7,76	10,95	70,84	107,33	2,08
0,58	0,95	23,63	38,67	2,36	2,38	0,21	22,15	106,67	2,29	4,18	6,87	53,90	84,67	2,30	5,98	7,38	53,46	90,67	2,19	7,78	11,42	73,28	112,67	2,08
0,60	0,98	32,97	14,67	2,39	2,40	0,21	21,93	99,33	2,27	4,20	6,93	54,12	84,67	2,29	6,00	7,42	54,57	90,00	2,19	7,80	11,59	74,17	116,00	2,06
0,62	0,99	42,97	12,67	2,40	2,42	0,22	23,04	98,00	2,27	4,22	7,00	54,34	85,33	2,30	6,02	7,28	55,23	88,67	2,19	7,82	11,52	75,51	117,33	2,06
0,64	0,97	55,30	12,67	2,38	2,44	0,26	24,26	100,00	2,26	4,24	7,15	54,89	86,00	2,29	6,04	6,96	56,79	86,67	2,18	7,84	11,42	77,50	118,67	2,05
0,66	0,95	67,08	12,67	2,40	2,46	0,39	25,81	110,67	2,26	4,26	7,29	55,11	86,00	2,27	6,06	6,71	58,90	85,33	2,18	7,86	11,00	67,67	114,67	2,04
0,68	0,95	77,97	14,67	2,40	2,48	0,67	28,03	68,00	2,26	4,28	7,46	55,33	86,67	2,27	6,08	6,48	59,90	84,67	2,18	7,88	10,82	69,11	106,67	2,02
0,70	1,00	87,52	16,67	2,39	2,50	0,79	28,70	51,33	2,27	4,30	7,75	56,11	88,00	2,27	6,10	6,31	60,79	84,67	2,18	7,90	10,40	72,56	102,67	2,04
0,72	0,97	91,19	18,00	2,40	2,52	0,85	25,25	56,67	2,27	4,32	8,09	56,77	88,67	2,28	6,12	6,23	62,57	84,67	2,18	7,92	9,93	75,79	100,00	2,02
0,74	0,94	88,75	16,67	2,39	2,54	0,89	22,36	62,00	2,26	4,34	8,47	57,21	90,00	2,28	6,14	6,17	62,57	85,33	2,18	7,94	9,48	77,45	98,00	2,02
0,76	0,93	86,30	14,67	2,40	2,56	0,90	19,91	64,67	2,26	4,36	8,93	58,10	92,00	2,29	6,16	6,24	61,45	88,00	2,17	7,96	9,31	77,45	100,00	2,02
0,78	0,94	86,30	12,00	2,41	2,58	0,89	17,91	67,33	2,26	4,38	9,35	59,21	92,00	2,28	6,18	6,30	59,79	88,67	2,18	7,98	9,35	77,34	103,33	2,00
0,80	0,98	85,97	12,00	2,39																				

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA															U12-26		SCPTU1		
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80									
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00									
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,00									
Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.
(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°
9,02	1,30	40,59	58,67	1,90	10,82	5,73	48,03	138,00	1,75	12,62	7,79	66,89	7,33	1,42	14,42	4,47	60,71	282,00	1,35
9,04	1,07	43,37	118,67	1,90	10,84	6,08	50,36	137,33	1,74	12,64	6,54	61,56	10,00	1,40	14,44	5,40	51,05	124,67	1,34
9,06	0,81	45,70	119,33	1,89	10,86	6,27	46,28	140,00	1,74	12,66	4,99	58,00	9,33	1,42	14,46	5,33	49,83	140,00	1,35
9,08	0,75	47,93	276,00	1,88	10,88	6,44	46,84	140,00	1,73	12,68	3,40	62,89	30,00	1,42	14,48	4,84	47,49	128,67	1,34
9,10	1,48	50,70	350,67	1,89	10,90	6,54	48,17	130,67	1,74	12,70	2,40	76,11	50,00	1,39	14,50	4,60	44,83	132,67	1,36
9,12	2,67	55,93	280,67	1,89	10,92	6,63	49,84	132,67	1,74	12,72	1,89	88,66	69,33	1,39	14,52	4,61	46,27	141,33	1,38
9,14	3,08	51,15	82,67	1,89	10,94	6,69	51,73	133,33	1,73	12,74	1,68	103,11	97,33	1,40	14,54	4,05	49,50	122,67	1,36
9,16	2,72	46,81	56,67	1,89	10,96	6,80	52,62	134,00	1,73	12,76	1,44	114,32	110,67	1,39	14,56	3,01	50,50	93,33	1,35
9,18	2,08	38,81	63,33	1,87	10,98	7,11	53,17	134,67	1,73	12,78	1,25	118,21	149,33	1,40	14,58	2,19	51,27	92,00	1,36
9,20	2,35	44,15	94,00	1,89	11,00	7,52	54,39	134,67	1,74	12,80	1,12	117,54	391,33	1,39	14,60	1,49	57,39	102,67	1,38
9,22	4,15	60,37	155,33	1,89	11,02	7,93	56,17	133,33	1,71	12,82	1,12	104,87	359,33	1,39	14,62	1,09	74,27	160,00	1,36
9,24	6,44	65,37	75,33	1,90	11,04	8,28	57,72	130,67	1,73	12,84	1,06	97,54	321,33	1,39	14,64	0,93	87,83	373,33	1,36
9,26	7,30	58,93	42,00	1,89	11,06	8,49	59,17	134,67	1,73	12,86	1,20	80,79	219,33	1,42	14,66	1,58	89,27	530,00	1,35
9,28	7,10	57,71	52,00	1,89	11,08	8,63	60,17	140,67	1,71	12,88	1,08	70,91	320,00	1,42	14,68	3,68	72,05	243,33	1,34
9,30	6,94	50,59	55,33	1,88	11,10	8,66	61,72	143,33	1,74	12,90	1,64	53,57	516,67	1,42	14,70	4,89	57,72	173,33	1,35
9,32	6,90	48,82	60,00	1,88	11,12	8,61	63,61	144,00	1,71	12,92	4,36	46,91	769,33	1,42	14,72	5,26	55,61	180,00	1,35
9,34	6,85	50,26	66,00	1,87	11,14	8,52	65,83	146,67	1,73	12,94	7,11	49,36	136,00	1,40	14,74	5,34	52,50	180,00	1,34
9,36	6,87	51,82	69,33	1,87	11,16	8,39	67,28	148,00	1,73	12,96	7,68	43,36	84,00	1,42	14,76	5,20	45,83	176,67	1,35
9,38	6,74	51,59	67,33	1,88	11,18	8,19	67,83	148,00	1,71	12,98	7,43	49,13	86,00	1,40	14,78	4,42	42,39	154,67	1,35
9,40	6,66	51,93	72,00	1,88	11,20	7,91	69,05	148,00	1,73	13,00	6,97	42,02	86,67	1,40	14,80	3,05	45,39	118,67	1,34
9,42	6,67	53,59	78,00	1,86	11,22	7,63	69,60	148,00	1,70	13,02	6,72	42,36	90,00	1,42	14,82	2,07	52,61	104,00	1,35
9,44	6,83	55,82	78,67	1,86	11,24	7,40	70,05	148,67	1,70	13,04	6,59	45,69	96,00	1,42	14,84	1,30	55,09	160,00	1,30
9,46	6,85	56,04	78,67	1,85	11,26	7,12	68,71	147,33	1,70	13,06	6,53	49,36	100,67	1,42	14,86	1,32	62,64	169,33	1,33
9,48	6,78	55,37	81,33	1,87	11,28	6,75	68,16	144,00	1,70	13,08	6,38	52,25	103,33	1,40	14,88	1,15	72,64	172,67	1,30
9,50	6,83	56,48	85,33	1,85	11,30	6,42	66,71	140,00	1,70	13,10	6,09	54,80	100,67	1,38	14,90	0,99	81,09	221,33	1,31
9,52	6,83	60,71	89,33	1,86	11,32	5,98	65,04	136,00	1,70	13,12	5,48	63,47	92,00	1,43	14,92	0,90	77,53	303,33	1,30
9,54	7,03	64,48	96,00	1,86	11,34	5,31	62,82	126,67	1,71	13,14	5,04	73,25	96,67	1,48	14,94	0,85	73,64	349,33	1,31
9,56	7,36	63,93	104,00	1,86	11,36	4,48	61,04	116,00	1,70	13,16	5,15	67,14	110,67	1,49	14,96	0,83	65,75	384,67	1,30
9,58	7,72	64,70	112,00	1,87	11,38	3,60	59,26	110,00	1,70	13,18	6,01	54,58	136,00	1,50	14,98	0,81	58,53	414,00	1,30
9,60	7,85	67,81	118,00	1,86	11,40	2,78	61,59	106,67	1,69	13,20	6,61	47,03	148,00	1,47	15,00	0,73	46,98	471,33	1,30
9,62	7,48	69,37	112,67	1,86	11,42	2,16	68,70	110,67	1,69	13,22	6,37	43,58	127,33	1,48	15,02	0,71	34,09	498,00	1,30
9,64	6,84	67,92	106,67	1,84	11,44	1,72	76,81	151,33	1,69	13,24	6,14	43,92	112,67	1,46	15,04	0,73	26,64	526,67	1,29
9,66	6,27	65,70	103,33	1,85	11,46	1,39	82,47	195,33	1,69	13,26	6,12	45,47	112,67	1,45	15,06	0,86	23,42	538,67	1,27
9,68	5,80	64,25	100,67	1,85	11,48	1,08	87,25	262,67	1,69	13,28	6,08	48,70	117,33	1,47	15,08	1,03	22,42	518,67	1,26
9,70	5,36	63,36	98,00	1,84	11,50	0,81	84,36	330,00	1,70	13,30	6,26	49,14	115,33	1,47	15,10	1,05	25,42	420,00	1,26
9,72	5,00	61,70	97,33	1,85	11,52	0,72	77,91	427,33	1,68	13,32	6,32	50,58	108,00	1,50	15,12	0,98	29,64	258,00	1,26
9,74	4,71	59,14	96,67	1,84	11,54	0,76	68,68	476,67	1,69	13,34	6,19	49,36	104,00	1,48	15,14	0,88	32,87	400,00	1,27
9,76	4,53	56,14	96,67	1,84	11,56	0,76	58,68	417,33	1,69	13,36	6,15	53,47	107,33	1,47	15,16	0,94	31,31	439,33	1,26
9,78	4,42	53,58	98,00	1,85	11,58	0,72	47,46	429,33	1,69	13,38	6,18	49,36	108,67	1,48	15,18	1,04	32,53	460,67	1,29
9,80	4,38	52,13	100,67	1,83	11,60	0,84	38,02	491,33	1,68	13,40	6,10	50,47	116,00	1,47	15,20	1,16	34,98	469,33	1,26
9,82	4,36	50,25	103,33	1,83	11,62	1,23	32,46	556,67	1,68	13,42	7,29	57,36	144,67	1,44	15,22	1,33	37,42	482,67	1,26
9,84	4,33	48,68	104,00	1,84	11,64	2,68	33,35	413,33	1,68	13,44	8,76	64,03	136,00	1,46	15,24	1,52	42,98	490,00	1,26
9,86	4,19	41,93	118,67	1,82	11,66	5,04	34,13	170,00	1,66	13,46	9,03	65,69	62,67	1,48	15,26	1,62	46,31	436,67	1,26
9,88	4,14	40,81	116,00	1,82	11,68	6,00	34,12	120,00	1,69	13,48	8,93	70,69	66,00	1,45	15,28	1,65	46,42	331,33	1,27
9,90	4,03	40,59	114,00	1,83	11,70	6,38	38,79	134,00	1,68	13,50	8,86	66,25	78,67	1,45	15,30	1,65	53,53	350,00	1,26
9,92	3,90	40,48	112,00	1,82	11,72	6,72	37,01	143,33	1,66	13,52	8,59	62,13	82,00	1,47	15,32	1,50	53,09	288,00	1,26
9,94	3,79	40,15	110,67	1,82	11,74	6,78	40,79	144,00	1,66	13,54	8,19	60,69	86,00	1,43	15,34	1,27			

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA														RIF. PROVA:		CPTU n°:			
LETTURE DI CAMPAGNA														U12-26		SCPTU1			
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80									
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00									
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,00									
Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.
(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°
18,02	4,03	30,10	74,67	0,94	19,82	2,22	109,93	634,67	0,77	21,62	1,05	38,78	292,67	0,46	23,42	1,94	49,15	443,33	0,29
18,04	3,17	28,54	78,00	0,94	19,84	3,39	75,76	248,00	0,75	21,64	1,23	41,56	340,67	0,46	23,44	1,70	50,82	356,67	0,29
18,06	2,40	36,32	78,00	0,95	19,86	4,07	66,54	178,67	0,76	21,66	1,57	42,00	410,67	0,47	23,46	1,47	58,70	355,33	0,30
18,08	1,83	48,10	92,00	0,94	19,88	4,67	56,87	111,33	0,75	21,68	1,51	38,89	371,33	0,46	23,48	1,34	59,81	339,33	0,30
18,10	1,44	66,54	110,00	0,94	19,90	4,64	44,54	123,33	0,74	21,70	1,24	37,67	308,67	0,47	23,50	1,13	61,15	296,67	0,31
18,12	1,09	88,87	234,00	0,94	19,92	4,17	40,32	122,00	0,74	21,72	1,06	39,12	288,67	0,46	23,52	1,16	62,92	394,67	0,28
18,14	1,03	91,76	385,33	0,94	19,94	3,99	38,32	129,33	0,72	21,74	1,05	40,34	305,33	0,46	23,54	1,22	56,92	405,33	0,29
18,16	1,72	89,43	550,00	0,92	19,96	4,40	49,98	142,00	0,71	21,76	0,86	41,78	267,33	0,46	23,56	1,06	60,81	358,67	0,29
18,18	5,40	86,76	741,33	0,94	19,98	5,30	62,10	139,33	0,69	21,78	0,76	42,12	277,33	0,46	23,58	1,02	60,03	376,00	0,31
18,20	8,80	69,21	211,33	0,91	20,00	5,99	71,98	86,00	0,69	21,80	0,76	40,78	306,67	0,46	23,60	1,04	53,70	394,67	0,31
18,22	9,75	64,87	189,33	0,90	20,02	6,26	63,53	192,67	0,69	21,82	0,80	42,01	340,67	0,46	23,62	1,05	49,26	408,67	0,29
18,24	9,97	58,10	208,00	0,90	20,04	5,93	61,76	185,33	0,70	21,84	1,05	46,81	651,33	0,43	23,64	0,95	43,70	377,33	0,29
18,26	10,15	57,54	231,33	0,87	20,06	5,77	57,42	186,00	0,69	21,86	1,14	44,92	592,67	0,43	23,66	0,95	40,15	396,00	0,28
18,28	10,21	62,65	248,67	0,90	20,08	5,69	55,87	195,33	0,68	21,88	1,05	44,03	534,00	0,42	23,68	1,11	41,03	466,00	0,31
18,30	10,26	70,21	265,33	0,87	20,10	5,61	53,65	202,00	0,67	21,90	1,05	44,03	569,33	0,42	23,70	1,29	37,59	502,67	0,30
18,32	10,21	78,21	276,67	0,90	20,12	5,49	51,98	196,67	0,68	21,92	1,19	38,15	612,67	0,42	23,72	1,30	40,37	500,67	0,30
18,34	10,08	85,76	276,67	0,87	20,14	5,15	48,20	173,33	0,66	21,94	1,16	35,37	440,00	0,42	23,74	1,20	43,70	445,33	0,30
18,36	9,88	91,76	270,67	0,90	20,16	4,61	49,42	145,33	0,67	21,96	0,93	43,03	394,00	0,42	23,76	0,95	42,70	380,67	0,28
18,38	9,56	93,42	261,33	0,89	20,18	3,80	42,75	114,67	0,67	21,98	0,84	49,26	456,67	0,42	23,78	0,83	38,48	384,67	0,28
18,40	9,03	94,76	250,00	0,90	20,20	3,06	39,64	90,67	0,67	22,00	0,84	48,81	484,67	0,42	23,80	0,85	35,70	429,33	0,29
18,42	8,16	93,98	225,33	0,89	20,22	2,56	42,09	77,33	0,68	22,02	0,85	47,92	508,00	0,41	23,82	1,12	35,03	518,67	0,29
18,44	6,63	93,64	181,33	0,86	20,24	2,03	49,87	62,67	0,66	22,04	0,83	45,26	520,67	0,41	23,84	2,44	52,27	397,33	0,27
18,46	4,47	95,87	128,67	0,87	20,26	1,64	61,98	66,00	0,67	22,06	0,84	45,26	537,33	0,42	23,86	2,81	57,60	165,33	0,26
18,48	2,88	100,75	111,33	0,86	20,28	1,30	75,75	79,33	0,66	22,08	0,83	45,03	548,67	0,42	23,88	2,64	61,71	122,00	0,28
18,50	2,09	108,75	122,00	0,86	20,30	1,46	77,42	197,33	0,65	22,10	0,83	37,81	569,33	0,40	23,90	2,49	54,16	127,33	0,27
18,52	1,63	124,42	138,00	0,86	20,32	2,86	75,08	476,00	0,64	22,12	0,83	32,59	589,33	0,41	23,92	2,42	56,38	136,67	0,26
18,54	1,39	132,63	215,33	0,86	20,34	3,39	67,97	346,00	0,64	22,14	0,85	32,03	600,67	0,40	23,94	2,29	62,49	127,33	0,26
18,56	1,45	121,96	430,67	0,86	20,36	2,61	64,31	203,33	0,63	22,16	0,90	32,70	620,00	0,38	23,96	2,09	62,83	117,33	0,25
18,58	1,76	108,63	492,00	0,86	20,38	1,79	56,75	133,33	0,64	22,18	1,06	34,03	679,33	0,38	23,98	1,89	56,16	122,67	0,26
18,60	2,29	88,62	607,33	0,85	20,40	1,23	57,42	104,00	0,63	22,20	1,19	33,48	550,67	0,38	24,00	1,74	56,94	126,67	0,26
18,62	2,14	79,51	342,67	0,84	20,42	1,02	65,75	112,00	0,63	22,22	0,96	37,70	402,00	0,38	24,02	1,48	54,49	121,33	0,26
18,64	1,76	70,06	226,00	0,82	20,44	0,87	68,85	154,00	0,62	22,24	0,83	44,37	490,67	0,38	24,04	1,21	51,71	130,00	0,25
18,66	1,39	70,95	241,33	0,84	20,46	0,86	71,19	216,67	0,62	22,26	0,81	46,15	526,00	0,38	24,06	0,99	51,38	163,33	0,25
18,68	1,20	75,72	332,00	0,82	20,48	0,92	68,41	280,67	0,63	22,28	0,81	45,70	554,00	0,38	24,08	1,12	48,38	434,00	0,26
18,70	1,29	70,17	390,00	0,82	20,50	1,11	64,08	333,33	0,63	22,30	0,81	44,59	582,67	0,38	24,10	1,21	47,60	442,67	0,25
18,72	1,68	72,72	446,67	0,82	20,52	1,40	59,30	383,33	0,60	22,32	0,83	44,03	610,00	0,38	24,12	1,13	44,94	399,33	0,25
18,74	1,62	67,05	342,00	0,82	20,54	1,71	50,41	394,00	0,59	22,34	0,84	45,03	635,33	0,38	24,14	0,91	48,05	364,00	0,25
18,76	1,38	91,76	270,67	0,82	20,56	1,97	43,30	380,67	0,59	22,36	0,83	37,15	646,67	0,38	24,16	1,05	46,93	434,67	0,24
18,78	1,70	67,94	281,33	0,82	20,58	2,33	43,30	424,67	0,58	22,38	0,82	32,26	656,67	0,38	24,18	1,28	45,93	504,67	0,24
18,80	4,26	69,38	856,67	0,84	20,60	2,35	48,63	329,33	0,58	22,40	0,82	31,03	674,67	0,38	24,20	1,37	43,05	476,00	0,23
18,82	6,43	54,38	629,33	0,84	20,62	2,08	47,63	254,67	0,59	22,42	0,84	30,37	686,67	0,38	24,22	1,13	44,93	409,33	0,25
18,84	6,68	58,43	336,67	0,82	20,64	1,80	45,52	217,33	0,60	22,44	0,85	30,81	700,67	0,38	24,24	1,01	45,82	414,67	0,23
18,86	6,56	56,32	306,00	0,81	20,66	1,51	48,08	196,67	0,59	22,46	0,85	31,03	708,67	0,36	24,26	1,17	45,49	483,33	0,25
18,88	5,75	56,32	251,33	0,81	20,68	1,26	54,85	178,67	0,58	22,48	0,85	31,59	718,00	0,36	24,28	1,50	42,49	572,00	0,23
18,90	3,81	60,32	155,33	0,81	20,70	0,92	57,85	136,00	0,58	22,50	0,85	31,48	721,33	0,38	24,30	1,81	46,15	582,67	0,22
18,92	2,53	67,21	108,00	0,81	20,72	0,93	62,08	235,33	0,59	22,52	0,87	31,03	718,67	0,37	24,32	2,19	51,38	520,00	0,24
18,94	2,06	79,54</																	

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA																RIF. PROVA:	CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA																U12-26	SCPTU1		
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80									
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00									
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,00									
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °
27,02	2,06	102,37	550,00	0,09	28,70	1,97	145,49	406,00	0,34	30,38	1,62	65,31	486,00	0,63	32,06	1,93	70,05	792,00	0,29
27,04	2,06	112,70	544,67	0,12	28,72	1,91	151,16	395,33	0,34	30,40	1,57	67,31	496,67	0,61	32,08	2,14	73,38	862,67	0,30
27,06	2,07	121,37	543,33	0,11	28,74	1,79	152,60	387,33	0,33	30,42	1,52	70,42	509,33	0,61	32,10	2,30	77,72	934,00	0,30
27,08	2,05	135,92	561,33	0,13	28,76	1,70	144,93	375,33	0,33	30,44	1,55	68,42	538,67	0,59	32,12	2,18	76,61	892,67	0,30
27,10	2,06	138,92	581,33	0,11	28,78	1,58	140,38	397,33	0,34	30,46	1,53	68,31	550,67	0,58	32,14	2,00	75,16	768,00	0,32
27,12	2,06	141,47	588,67	0,12	28,80	1,48	136,60	419,33	0,35	30,48	1,50	68,86	563,33	0,56	32,16	1,76	79,05	670,67	0,32
27,14	2,08	140,36	591,33	0,14	28,82	1,44	132,11	441,33	0,35	30,50	1,50	68,86	576,00	0,56	32,18	1,56	83,94	634,00	0,32
27,16	2,05	138,80	578,67	0,15	28,84	1,42	126,99	485,00	0,36	30,52	1,44	70,19	572,00	0,56	32,20	1,49	80,49	660,00	0,34
27,18	1,96	133,69	557,33	0,14	28,86	1,35	121,88	528,67	0,37	30,54	1,40	68,74	560,67	0,54	32,22	1,56	67,71	706,67	0,34
27,20	1,92	125,46	581,33	0,17	28,88	1,28	116,77	572,34	0,37	30,56	1,37	67,30	539,33	0,52	32,24	1,64	60,38	744,00	0,33
27,22	1,84	121,57	578,67	0,18	28,90	1,25	111,66	616,01	0,38	30,58	1,31	66,96	516,00	0,51	32,26	1,69	59,27	769,33	0,34
27,24	1,77	125,91	722,00	0,18	28,92	1,28	106,55	659,68	0,39	30,60	1,25	67,63	516,67	0,51	32,28	1,72	58,38	782,67	0,33
27,26	1,77	128,35	756,00	0,19	28,94	1,31	101,44	660,00	0,39	30,62	1,21	68,30	528,00	0,51	32,30	1,72	51,38	792,67	0,34
27,28	1,80	130,01	792,67	0,18	28,96	1,30	96,33	656,67	0,39	30,64	1,17	66,74	538,67	0,48	32,32	1,79	47,60	819,33	0,34
27,30	1,87	126,01	801,33	0,18	28,98	1,30	91,22	653,33	0,39	30,66	1,11	63,85	547,33	0,48	32,34	2,18	48,37	952,00	0,35
27,32	1,92	123,23	858,67	0,19	29,00	1,28	88,66	650,00	0,42	30,68	1,09	64,19	564,67	0,46	32,36	2,74	52,70	1073,33	0,37
27,34	1,96	121,12	799,33	0,20	29,02	1,28	86,77	662,67	0,43	30,70	1,14	62,96	604,67	0,46	32,38	2,77	56,93	620,00	0,37
27,36	2,06	112,56	769,33	0,22	29,04	1,27	85,11	672,00	0,43	30,72	1,26	60,41	659,33	0,44	32,40	2,39	54,15	505,33	0,35
27,38	2,15	106,89	766,67	0,19	29,06	1,29	82,33	674,00	0,44	30,74	1,38	57,19	704,00	0,46	32,42	2,01	55,92	482,67	0,37
27,40	2,26	105,44	792,67	0,22	29,08	1,35	78,77	681,33	0,46	30,76	1,47	53,19	700,00	0,43	32,44	1,78	59,70	477,33	0,37
27,42	2,34	108,44	724,00	0,23	29,10	1,41	75,88	682,00	0,44	30,78	1,56	50,63	680,67	0,42	32,46	1,64	60,59	464,67	0,38
27,44	2,29	120,33	738,00	0,24	29,12	1,45	76,11	676,00	0,46	30,80	1,53	53,85	652,67	0,42	32,48	1,50	52,26	572,00	0,38
27,46	2,33	121,88	719,33	0,26	29,14	1,42	78,66	663,33	0,46	30,82	1,53	53,01	604,00	0,38	32,50	1,77	53,26	659,33	0,37
27,48	2,28	128,77	704,00	0,26	29,16	1,45	79,44	664,00	0,47	30,84	1,54	59,24	778,00	0,39	32,52	1,87	54,70	704,67	0,38
27,50	2,29	133,99	690,67	0,24	29,18	1,46	81,99	681,33	0,47	30,86	1,57	65,90	764,00	0,38	32,54	1,81	51,92	697,33	0,37
27,52	2,24	141,32	648,00	0,26	29,20	1,54	80,66	706,67	0,48	30,88	1,60	73,46	744,67	0,38	32,56	1,76	49,59	679,33	0,38
27,54	2,16	148,65	614,67	0,26	29,22	1,63	79,33	726,67	0,48	30,90	1,63	82,46	723,33	0,38	32,58	1,67	54,70	664,00	0,38
27,56	2,11	152,32	600,67	0,26	29,24	1,70	83,55	771,33	0,50	30,92	1,65	87,79	704,67	0,37	32,60	1,65	55,70	666,00	0,38
27,58	2,07	158,21	598,00	0,26	29,26	1,84	84,99	816,00	0,50	30,94	1,65	92,12	685,33	0,38	32,62	1,72	52,70	700,67	0,38
27,60	2,10	161,76	598,00	0,30	29,28	1,95	85,33	848,00	0,50	30,96	1,69	93,79	686,00	0,38	32,64	1,72	51,15	715,33	0,39
27,62	2,06	168,98	617,33	0,30	29,30	2,28	84,33	918,00	0,51	30,98	1,76	96,12	696,67	0,38	32,66	1,71	52,92	727,33	0,39
27,64	2,11	173,31	626,67	0,29	29,32	2,72	83,55	1001,33	0,50	31,00	1,83	99,01	718,67	0,38	32,68	1,69	53,81	732,67	0,39
27,66	2,20	171,42	668,67	0,26	29,34	3,09	89,88	1050,67	0,51	31,02	1,93	101,68	726,67	0,38	32,70	1,69	51,03	752,00	0,38
27,68	2,27	166,08	710,67	0,29	29,36	3,64	93,10	994,00	0,52	31,04	1,98	105,34	726,67	0,39	32,72	1,70	46,37	762,00	0,38
27,70	2,14	163,75	683,33	0,29	29,38	4,18	90,10	913,33	0,52	31,06	1,94	110,01	709,33	0,38	32,74	1,71	47,14	770,67	0,38
27,72	2,00	161,86	638,67	0,29	29,40	4,76	97,33	808,67	0,53	31,08	1,89	111,90	680,67	0,38	32,76	1,73	48,92	789,33	0,39
27,74	1,91	155,30	608,00	0,29	29,42	4,68	103,99	262,67	0,54	31,10	1,88	111,89	653,33	0,38	32,78	1,69	47,92	792,67	0,41
27,76	1,87	148,74	606,00	0,30	29,44	3,75	105,77	170,00	0,55	31,12	1,87	113,12	618,67	0,39	32,80	1,69	48,27	788,67	0,41
27,78	1,88	142,41	636,67	0,32	29,46	3,04	89,44	127,33	0,53	31,14	1,82	115,78	585,33	0,39	32,82	1,78	50,71	840,00	0,42
27,80	1,88	141,63	642,67	0,30	29,48	2,50	97,99	138,00	0,54	31,16	1,75	118,11	556,67	0,38	32,84	1,94	56,16	1119,33	0,42
27,82	1,92	135,44	756,67	0,26	29,50	2,15	102,77	189,33	0,54	31,18	1,66	118,78	532,67	0,39	32,86	1,83	61,60	1009,33	0,42
27,84	1,95	136,55	732,67	0,28	29,52	2,09	98,44	214,00	0,54	31,20	1,54	120,44	505,33	0,38	32,88	1,66	65,93	934,00	0,42
27,86	2,05	132,44	756,00	0,29	29,54	2,07	101,77	221,33	0,56	31,22	1,40	121,00	556,67	0,39	32,90	1,55	64,27	904,00	0,42
27,88	2,14	128,77	774,67	0,29	29,56	1,98	105,77	225,33	0,56	31,24	1,26	119,88	732,67	0,41	32,92	1,48	60,60	902,67	0,42
27,90	2,19	127,44	771,33	0,28	29,58	2,01	101,55	240,00	0,56	31,26	1,17	117,99	926,67	0,39	32,94	1,46	57,27	913,33	0,43
27,92	2,22	127,44	752,67	0,30	29,60	2,18	97,33	280,67	0,55	31,28	1,19	112,99	914,67	0,38	32,96	1,41	52,49	913,33	0,43
27,94	2,26	129,77	668,00	0,30	29,62	2,06	74,43	282,00	0,57	31,30	1,24	103,44	918,67	0,39	32,98	1,40	48,16	918,67	0,43
27,96	2,27	135,10	616,00	0,32	29,64														

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U12-26	SCPTU1

COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER

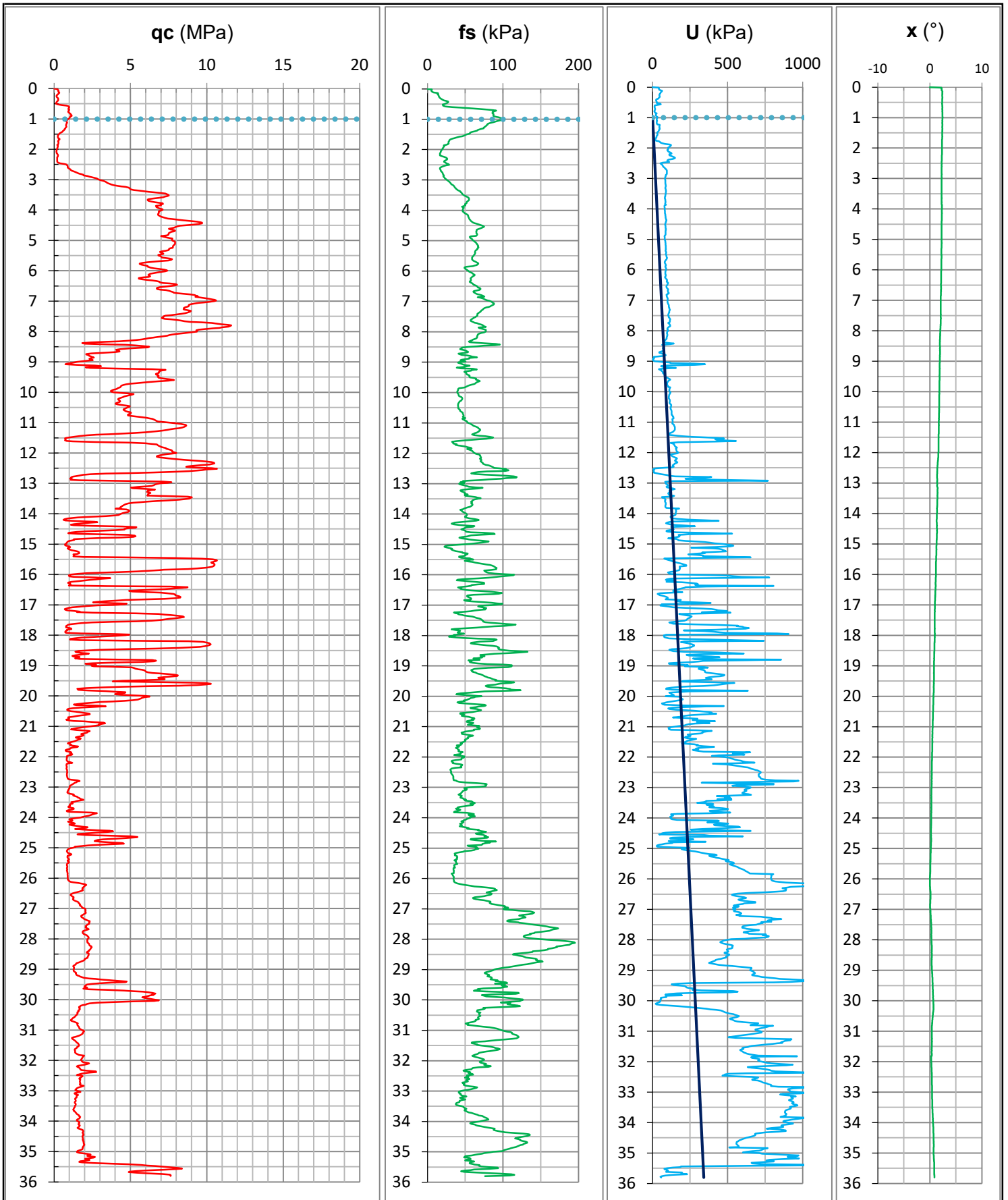
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)

DATA: 04/03/2026

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00

PREFORO (m da p.c.): 0,00



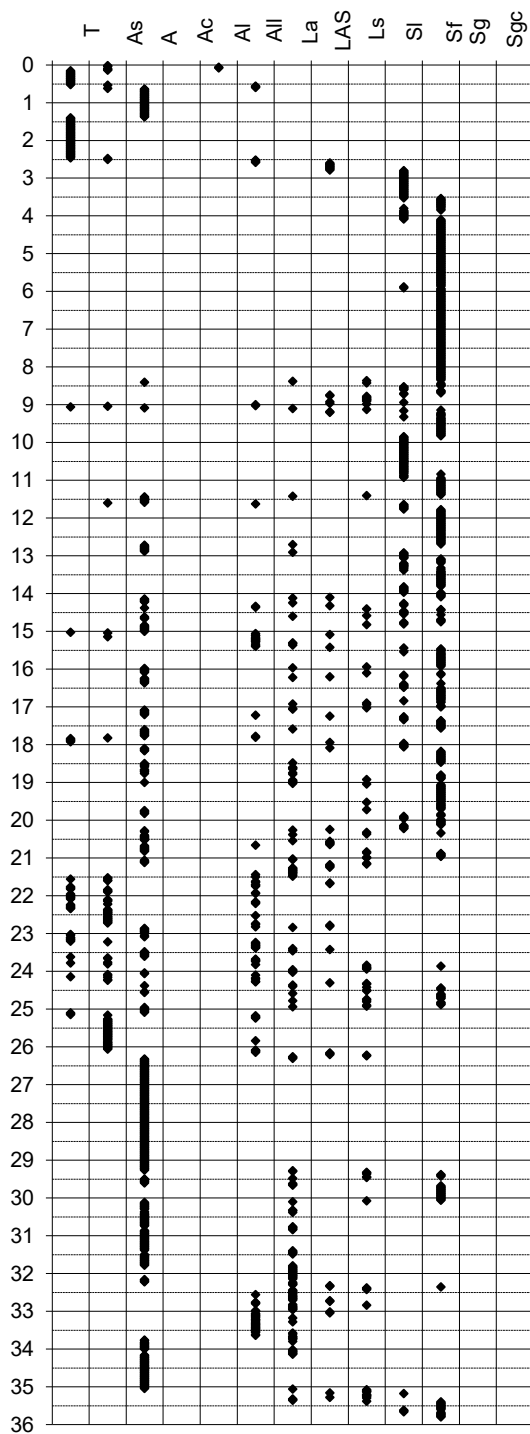
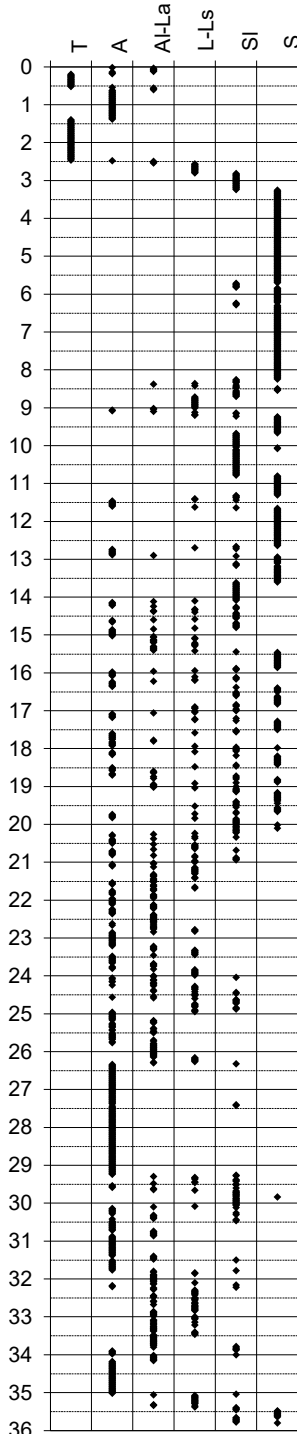
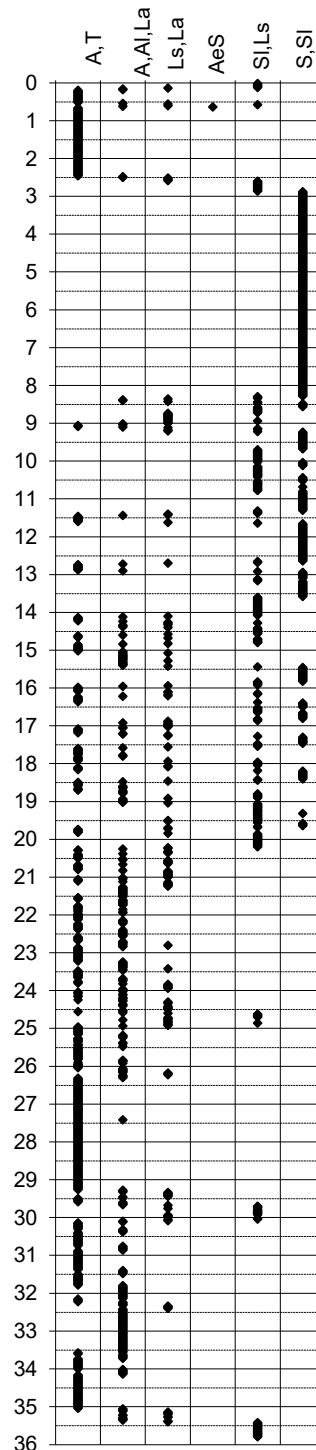
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U12-26
Emissione	mar-26
Pagina	1 di

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente **FRIEL GEOPOWER**
 -Cantiere **via Delle Serre, San Giovanni (Fe)**
 -Quota p.c. m s.l.m.
 -Livello di falda 1,00 m da p.c.
 -Attrezzatura Punta elettrica con piezocono

-Prova n° **SCPTU1**
 -Data prova **04/03/2026**
 -Prof. preforo m
 -Prof. finale **35,80** m

Douglas-Olsen (1981)**Robertson-Campanella(1983)****Olsen-Farr (1986)**

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U12-26
Emissione	mar-26
Pagina	1 di 0

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	FRIEL GEOPOWER	-Prova n°	SCPTU1
-Cantiere	via Delle Serre, San Giovanni (Fe)	-Data prova	04/03/2026
-Quota p.c.	0,00 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,00 m
-Livello di falda	1,00 m da p.c.	-Prof. finale	35,80 m

							MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
DA	A	qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	Cu (qc)	OCR (qc)	OCR (U)	M ₀	Eu50	CR	Dr	FI' _{DM}	FI' _{Bolton}	FI'Schm.				E'25	M ₀
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m3	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)	(%)	(°)	(°)	(°)				MPa	MPa
0,5	1,5	0,81	0,07	0,02	AI-La	18,00	47	18	9	3,22	7,566	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,5	2,5	0,26	0,03	0,07	T	13,00	14	4	5	0,48	1,322	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	
2,5	8,2	6,95	0,06	0,05	S	20,00	-	-	-	-	-	-	66	37	33	37	39	41	43	17,66	28,16
8,2	9,1	3,45	0,06	0,00	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	28	32	28	32	35	37	40	9,60	15,37
9,1	14,8	5,35	0,06	0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	41	33	30	34	36	39	41	14,83	23,70
14,8	15,5	2,01	0,05	0,21	AI-La	18,00	56	2	5	4,33	28,45	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15,5	20,2	4,91	0,07	0,10	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	36	31	28	33	35	38	41	15,98	25,48
20,2	24,3	1,37	0,05	0,21	AI-La	18,00	58	2	5	4,64	31,79	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24,3	25,0	2,94	0,07	0,00	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	26	24	28	32	35	38	8,70	13,92
25,0	26,0	0,91	0,04	0,28	A	17,50	31	1	3	3,77	18,67	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,0	29,2	1,83	0,12	0,37	AI-La	18,00	81	2	5	5,73	44,02	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,2	30,1	4,09	0,10	0,06	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	25	30	33	36	39	12,01	19,21
30,1	35,4	1,69	0,07	0,42	AI-La	18,00	76	1	4	5,37	43,69	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35,4	35,8	6,50	0,08	-0,14	S	20,00	-	-	-	-	-	-	23	29	26	31	34	37	40	16,26	26,02

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA **PROVA DOWN HOLE SCPTU**

RIF. PROVA: CPTU n°:
 U12-26 SCPTU1

COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 35,80

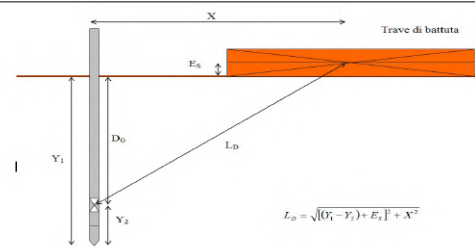
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00

DATA: 04/03/2026

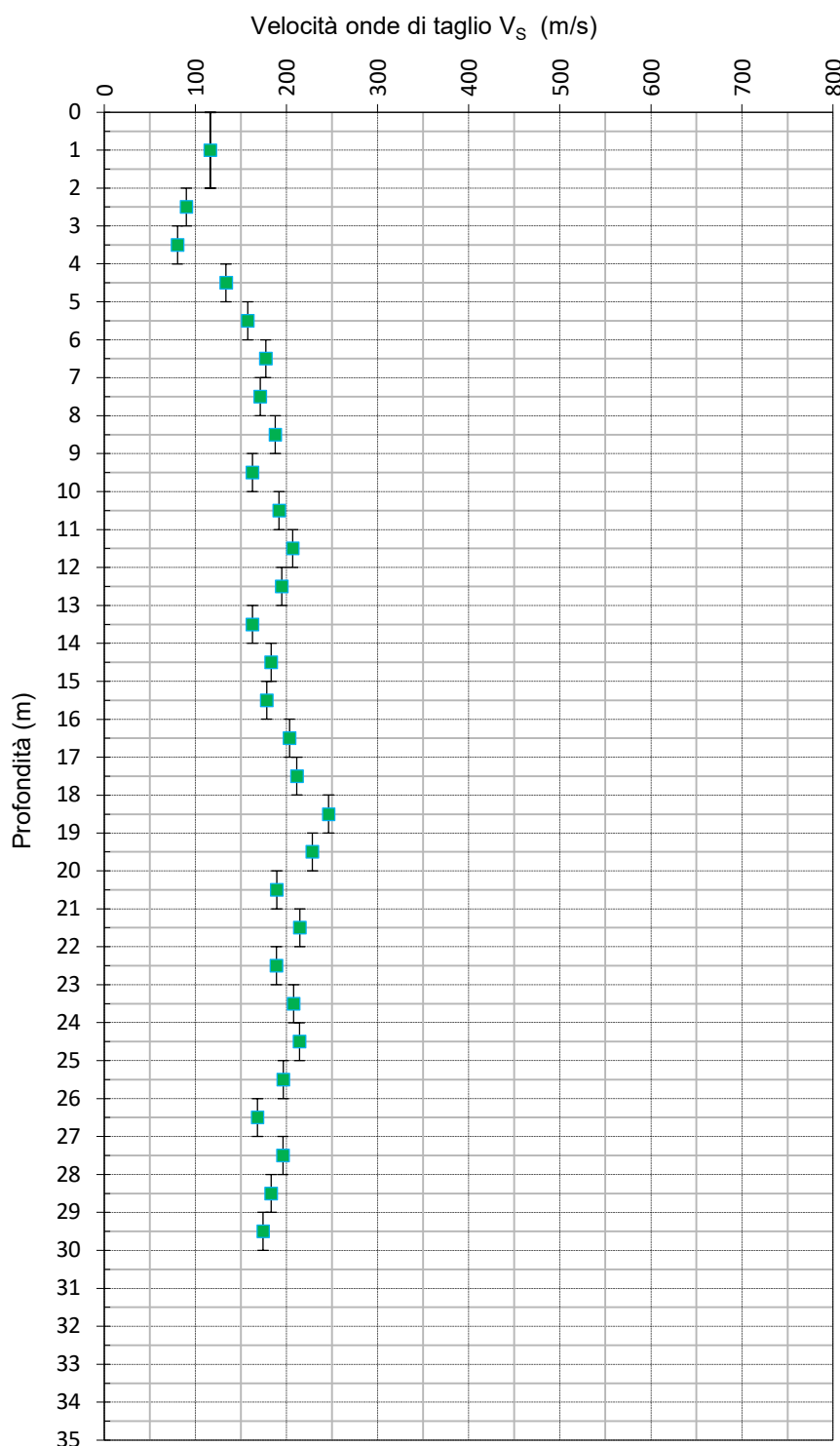
PREFORO (m da p.c.): 0,00

Peso mazza battente: 5Kg
 Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN
 Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB
 Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m
 Distanza punta-accelerometro Y_2 : 0,20 m



$V_{s30} = 175$ m/sec Categoria suolo di fondazione = D

Distanza corretta L_D punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		116
1,817	15,607	90
2,811	26,639	80
3,808	39,054	134
4,807	46,521	157
5,805	52,869	177
6,805	58,506	171
7,804	64,344	188
8,804	69,672	163
9,803	75,820	192
10,803	81,027	207
11,803	85,856	195
12,802	90,984	163
13,802	97,131	183
14,802	102,590	178
15,802	108,197	203
16,802	113,115	211
17,802	117,843	246
18,802	121,902	229
19,802	126,277	189
20,802	131,557	215
21,801	136,216	189
22,801	141,503	208
23,801	146,311	214
24,801	150,978	196
25,801	156,067	168
26,801	162,015	196
27,801	167,113	183
28,801	172,571	174
29,801	178,308	



PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA															U12-26		CPTU2		
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00									
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00									
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,20									
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °
0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,82	0,43	43,43	82,00	1,98	3,62	7,17	43,89	96,67	1,93	5,42	7,72	55,90	90,00	1,93
0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,84	0,44	42,10	78,00	1,98	3,64	7,27	44,66	95,33	1,93	5,44	7,71	54,57	90,67	1,92
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,43	40,32	77,33	1,98	3,66	7,26	45,99	94,00	1,93	5,46	7,61	53,34	90,67	1,91
0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88	0,42	38,99	78,00	1,96	3,68	7,22	47,99	94,00	1,92	5,48	7,47	52,45	90,67	1,92
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,38	37,10	74,67	1,97	3,70	7,16	49,87	93,33	1,93	5,50	7,39	52,90	90,67	1,91
0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92	0,36	36,66	77,33	1,98	3,72	7,02	51,43	93,33	1,93	5,52	7,43	54,56	92,67	1,92
0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94	0,37	35,88	80,67	1,96	3,74	6,88	52,76	92,67	1,93	5,54	7,59	55,01	94,00	1,92
0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	0,39	34,77	81,33	1,97	3,76	6,78	53,75	92,67	1,92	5,56	7,79	55,89	96,00	1,92
0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98	0,42	34,99	82,00	1,97	3,78	6,73	53,86	92,67	1,92	5,58	7,94	56,22	96,67	1,92
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,45	34,77	82,67	1,96	3,80	6,83	53,52	92,67	1,92	5,60	7,97	56,55	96,67	1,91
0,22	0,48	12,48	50,00	2,36	2,02	0,52	33,44	82,67	1,96	3,82	7,06	52,74	94,00	1,92	5,62	7,83	57,89	96,67	1,89
0,24	0,49	17,70	49,33	2,34	2,04	0,54	30,99	84,00	1,96	3,84	7,34	52,30	95,33	1,93	5,64	7,76	59,11	96,67	1,92
0,26	0,50	22,37	50,00	2,32	2,06	0,56	29,22	78,00	1,97	3,86	7,65	52,07	96,67	1,92	5,66	7,70	60,11	96,67	1,89
0,28	0,50	22,59	50,00	2,32	2,08	0,50	27,34	56,67	1,98	3,88	7,84	52,51	96,67	1,91	5,68	7,59	61,33	96,00	1,91
0,30	0,48	24,82	50,00	2,30	2,10	0,44	29,12	55,33	1,98	3,90	8,00	53,06	96,67	1,92	5,70	7,50	63,11	96,00	1,89
0,32	0,46	27,15	49,33	2,33	2,12	0,41	30,34	56,67	1,98	3,92	8,37	54,17	98,00	1,92	5,72	7,38	64,44	96,00	1,90
0,34	0,44	30,82	48,67	2,33	2,14	0,38	31,00	71,33	1,99	3,94	8,71	54,94	98,00	1,93	5,74	7,24	65,66	96,00	1,90
0,36	0,43	34,27	47,33	2,35	2,16	0,36	31,23	74,67	1,98	3,96	8,64	56,05	96,00	1,94	5,76	6,96	65,32	94,00	1,89
0,38	0,38	37,27	46,00	2,31	2,18	0,32	31,34	78,67	1,98	3,98	8,28	57,27	93,33	1,92	5,78	6,67	64,54	92,67	1,89
0,40	0,35	38,93	44,67	2,34	2,20	0,27	31,00	79,33	1,97	4,00	7,99	58,05	92,67	1,92	5,80	6,53	64,10	92,67	1,89
0,42	0,31	40,05	44,00	2,31	2,22	0,25	28,78	79,33	1,97	4,02	7,88	58,82	92,67	1,91	5,82	6,38	63,54	92,00	1,89
0,44	0,30	40,16	42,67	2,32	2,24	0,25	26,45	80,67	1,97	4,04	7,77	59,37	92,67	1,91	5,84	6,20	61,43	92,00	1,89
0,46	0,26	40,38	41,33	2,31	2,26	0,24	24,89	84,00	1,97	4,06	7,10	52,55	92,00	1,96	5,86	6,02	58,98	90,00	1,88
0,48	0,24	39,72	40,67	2,33	2,28	0,24	23,78	86,00	1,96	4,08	7,10	50,32	88,67	1,97	5,88	5,89	57,76	90,00	1,87
0,50	0,20	37,83	38,67	2,33	2,30	0,24	22,34	88,00	1,95	4,10	6,75	51,77	85,33	1,97	5,90	5,84	56,65	90,00	1,87
0,52	0,20	35,72	37,33	2,30	2,32	0,24	21,78	88,67	1,95	4,12	6,45	52,88	82,67	1,96	5,92	5,88	56,09	90,67	1,87
0,54	0,21	34,50	36,67	2,28	2,34	0,24	20,89	92,00	1,96	4,14	6,27	53,66	82,00	1,96	5,94	5,99	55,20	92,67	1,87
0,56	0,23	33,84	36,67	2,30	2,36	0,23	20,11	90,67	1,95	4,16	6,15	54,43	82,00	1,96	5,96	6,17	53,76	93,33	1,87
0,58	0,23	31,73	34,67	2,30	2,38	0,21	20,00	90,00	1,97	4,18	6,10	54,32	82,67	1,96	5,98	6,35	52,53	95,33	1,87
0,60	0,24	29,29	33,33	2,30	2,40	0,21	19,89	90,00	1,96	4,20	6,12	53,76	82,67	1,97	6,00	6,46	52,19	95,33	1,87
0,62	0,24	27,96	32,67	2,30	2,42	0,21	20,22	92,00	1,94	4,22	6,18	52,43	84,00	1,96	6,02	6,52	52,19	96,00	1,85
0,64	0,27	26,52	34,00	2,30	2,44	0,24	20,11	94,00	1,94	4,24	6,28	50,98	85,33	1,97	6,04	6,64	51,86	96,67	1,86
0,66	0,57	25,97	54,67	2,30	2,46	0,27	19,56	99,33	1,94	4,26	6,51	49,10	86,67	1,96	6,06	6,69	45,44	92,00	1,86
0,68	0,89	26,75	50,00	2,30	2,48	0,30	19,56	102,67	1,94	4,28	6,88	47,31	88,67	1,96	6,08	6,99	46,22	90,67	1,84
0,70	1,09	27,86	33,33	2,29	2,50	0,35	19,89	104,00	1,94	4,30	7,28	45,65	90,67	1,96	6,10	7,11	47,88	90,00	1,85
0,72	1,22	33,64	29,33	2,30	2,52	0,36	21,11	107,33	1,94	4,32	7,57	43,87	92,00	1,96	6,12	7,01	50,00	88,67	1,84
0,74	1,32	46,20	27,33	2,28	2,54	0,32	23,67	108,67	1,94	4,34	7,76	43,87	92,00	1,96	6,14	6,62	52,55	86,00	1,85
0,76	1,32	59,32	27,33	2,27	2,56	0,29	26,33	105,33	1,95	4,36	7,80	44,53	92,00	1,96	6,16	6,22	54,77	84,00	1,85
0,78	1,25	71,10	26,67	2,28	2,58	0,26	29,22	105,33	1,94	4,38	7,58	46,42	90,00	1,96	6,18	5,95	56,44	82,00	1,84
0,80	1,20	83,10	24,00	2,27	2,60	0,25	31,55	104,67	1,96	4,40	7,27	49,19	88,67	1,95	6,20	5,76	57,22	81,33	1,86
0,82	1,14	94,44	20,67	2,26	2,62	0,24	32,88	106,67	1,95	4,42	6,96	52,64	86,67	1,95	6,22	5,69	59,11	81,33	1,84
0,84	1,11	103,11	19,33	2,28	2,64	0,23	32,99	107,33	1,96	4,44	6,65	55,52	86,00	1,95	6,24	5,78	60,66	82,67	1,84
0,86	1,07	104,78	18,67	2,27	2,66	0,21	30,99	107,33	1,97	4,46	6,44	57,74	86,00	1,95	6,26	5,92	60,22	84,67	1,85
0,88	1,03	105,34	18,67	2,28	2,68	0,19	27,44	107,33	1,97	4,48	6,38	59,07	86,67	1,94	6,28	5,96	58,44	84,67	1,84
0,90	1,02	104,68	18,00	2,27	2,70	0,18	23,88	107,33	1,96	4,50	6,40	59,52	88,00	1,95	6,30	5,87	55,00	84,00	1,84
0,92	1,02	101,79	16,67	2,27	2,72	0,17	21,43	106,67	1,96	4,52	6,43	58,40	88,67	1,97	6,32	5,70	53,11	82,67	1,84
0,94	0,99	101,79	16,00	2,26	2,74	0,17	19,43	105,33	1,96	4,54	6,49	56,63	88,00	1,95	6,34	5,64	52,11	82,67	1,83
0,96	0,96	100,91	16,00	2,26	2,76	0,17	18,10	106,67	1,96	4,56	6,53	54,85	76,67	1,96	6,36	5,66	51,88	84,00	1,82
0,98	0,93	99,24	16,00	2,27	2,78	0,18	17,43	107,33	1,95										

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA															U12-26		CPTU2		
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00									
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00									
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,20									
Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.
(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°
9,02	3,70	43,07	56,00	1,68	10,82	4,11	40,90	110,00	1,60	12,62	6,67	60,91	169,33	1,47	14,42	6,04	65,97	176,67	1,30
9,04	2,23	41,11	105,33	1,69	10,84	4,11	41,46	110,00	1,60	12,64	6,53	62,03	168,00	1,46	14,44	5,91	66,86	172,67	1,27
9,06	2,17	36,11	101,33	1,69	10,86	4,09	41,12	110,00	1,62	12,66	6,33	62,36	149,33	1,45	14,46	5,72	64,52	168,00	1,27
9,08	1,90	41,89	97,33	1,68	10,88	4,15	40,90	111,33	1,60	12,68	5,80	61,13	121,33	1,47	14,48	5,52	67,08	163,33	1,27
9,10	1,80	49,00	96,00	1,69	10,90	4,46	41,46	114,67	1,60	12,70	4,91	56,02	110,67	1,46	14,50	5,42	61,97	162,00	1,26
9,12	1,73	52,89	95,33	1,68	10,92	5,06	42,68	122,00	1,60	12,72	3,59	53,13	96,67	1,45	14,52	5,42	64,08	161,33	1,29
9,14	1,66	57,67	96,67	1,68	10,94	5,73	43,68	129,33	1,60	12,74	2,29	54,79	84,00	1,45	14,54	5,48	65,86	161,33	1,27
9,16	1,67	60,78	84,67	1,68	10,96	6,37	45,02	133,33	1,60	12,76	1,62	60,35	82,00	1,45	14,56	5,49	63,30	160,00	1,27
9,18	1,77	62,78	38,00	1,68	10,98	6,67	46,23	133,33	1,59	12,78	1,06	75,01	79,33	1,43	14,58	5,51	63,75	159,33	1,26
9,20	1,88	63,34	12,00	1,68	11,00	6,78	47,79	132,00	1,58	12,80	0,89	76,68	162,67	1,45	14,60	5,51	63,19	158,00	1,26
9,22	2,05	56,00	11,33	1,68	11,02	6,73	49,90	130,00	1,59	12,82	0,80	72,12	288,00	1,43	14,62	5,43	61,86	156,00	1,25
9,24	2,11	49,78	14,00	1,66	11,04	6,47	49,37	154,00	1,56	12,84	0,79	65,34	344,67	1,44	14,64	5,36	60,64	154,67	1,26
9,26	1,85	46,67	12,00	1,65	11,06	6,45	49,93	143,33	1,56	12,86	0,89	57,45	343,33	1,43	14,66	5,57	60,97	158,00	1,26
9,28	1,55	41,90	12,67	1,64	11,08	6,30	52,15	139,33	1,56	12,88	1,02	50,34	336,67	1,44	14,68	6,07	63,19	166,67	1,26
9,30	2,44	46,12	42,00	1,66	11,10	6,14	53,71	136,67	1,56	12,90	0,96	48,45	328,67	1,46	14,70	6,93	64,53	184,00	1,26
9,32	6,65	68,12	89,33	1,66	11,12	5,97	54,15	134,67	1,56	12,92	0,88	41,78	388,00	1,45	14,72	7,76	64,19	200,67	1,26
9,34	9,64	65,90	79,33	1,66	11,14	5,86	54,60	134,00	1,56	12,94	0,84	33,78	378,67	1,44	14,74	8,64	63,86	218,67	1,29
9,36	10,69	62,67	85,33	1,66	11,16	5,80	54,04	134,67	1,55	12,96	0,85	32,45	373,33	1,44	14,76	9,12	65,86	228,67	1,27
9,38	11,13	57,45	89,33	1,66	11,18	5,86	53,49	136,67	1,54	12,98	0,89	31,89	368,00	1,43	14,78	9,36	67,08	233,33	1,27
9,40	11,44	57,45	94,00	1,64	11,20	6,02	52,82	140,00	1,54	13,00	0,96	32,67	360,67	1,44	14,80	9,43	71,09	236,00	1,30
9,42	11,67	60,45	98,00	1,64	11,22	6,20	52,26	141,33	1,55	13,02	1,01	33,34	349,33	1,43	14,82	9,40	75,09	234,00	1,30
9,44	11,90	63,90	103,33	1,66	11,24	6,36	52,38	144,00	1,54	13,04	1,13	33,38	267,33	1,45	14,84	9,25	79,31	233,33	1,26
9,46	11,89	66,90	107,33	1,66	11,26	6,54	52,37	144,67	1,55	13,06	1,25	32,93	304,00	1,44	14,86	8,99	84,09	228,00	1,29
9,48	11,75	69,57	110,00	1,68	11,28	6,67	53,04	145,33	1,55	13,08	1,37	32,49	353,33	1,46	14,88	8,99	87,20	230,00	1,30
9,50	11,55	74,01	112,00	1,65	11,30	6,73	53,82	145,33	1,53	13,10	2,42	35,27	570,67	1,44	14,90	9,13	89,76	236,00	1,27
9,52	11,38	76,90	115,33	1,64	11,32	6,72	55,26	145,33	1,53	13,12	4,60	45,82	497,33	1,45	14,92	9,46	93,31	242,67	1,27
9,54	11,23	79,23	118,67	1,66	11,34	6,74	56,26	145,33	1,55	13,14	5,95	52,60	71,33	1,45	14,94	9,82	94,09	244,00	1,27
9,56	10,96	80,79	121,33	1,66	11,36	6,79	56,70	146,67	1,53	13,16	6,56	52,27	57,33	1,43	14,96	10,11	93,53	240,67	1,27
9,58	10,58	82,45	122,00	1,66	11,38	6,79	56,70	147,33	1,52	13,18	6,72	47,27	59,33	1,43	14,98	10,33	93,98	235,33	1,26
9,60	10,18	82,23	123,33	1,64	11,40	6,68	56,70	146,67	1,53	13,20	6,75	43,61	62,00	1,44	15,00	10,43	88,98	230,00	1,29
9,62	9,81	81,56	124,67	1,65	11,42	6,54	56,70	145,33	1,53	13,22	6,49	41,39	63,33	1,44	15,02	10,25	80,42	226,67	1,26
9,64	9,48	80,79	125,33	1,66	11,44	6,44	56,70	145,33	1,53	13,24	6,07	42,39	66,67	1,44	15,04	9,59	64,11	202,00	1,30
9,66	9,19	79,89	126,67	1,66	11,46	6,35	56,70	145,33	1,52	13,26	5,83	44,16	73,33	1,43	15,06	9,35	58,33	192,00	1,27
9,68	8,83	78,22	126,67	1,66	11,48	6,21	56,47	144,67	1,53	13,28	6,06	47,83	82,00	1,43	15,08	9,11	51,44	185,33	1,25
9,70	8,46	75,55	126,67	1,66	11,50	5,96	56,25	142,00	1,52	13,30	6,87	51,94	95,33	1,40	15,10	9,19	43,00	190,00	1,24
9,72	7,97	73,22	124,67	1,66	11,52	5,62	56,14	139,33	1,55	13,32	7,85	54,06	108,00	1,40	15,12	8,60	39,22	177,33	1,21
9,74	7,41	71,22	121,33	1,66	11,54	5,18	55,25	134,67	1,52	13,34	8,42	57,39	108,67	1,42	15,14	8,20	29,67	170,67	1,21
9,76	7,04	68,99	119,33	1,66	11,56	4,76	54,25	132,00	1,52	13,36	8,63	57,50	104,67	1,39	15,16	7,96	29,00	170,00	1,22
9,78	6,93	67,88	122,00	1,64	11,58	4,55	53,69	130,67	1,51	13,38	8,37	56,83	104,00	1,42	15,18	7,76	31,00	166,67	1,22
9,80	6,92	67,54	123,33	1,64	11,60	4,63	54,36	133,33	1,51	13,40	8,06	56,61	107,33	1,40	15,20	7,46	33,89	163,33	1,24
9,82	6,88	67,43	125,33	1,65	11,62	4,72	54,80	132,00	1,52	13,42	7,99	58,94	114,00	1,38	15,22	7,02	38,00	156,67	1,22
9,84	6,96	67,43	128,67	1,66	11,64	4,58	53,46	121,33	1,51	13,44	8,16	63,39	121,33	1,42	15,24	6,52	43,33	151,33	1,22
9,86	6,99	67,76	129,33	1,66	11,66	4,12	50,02	112,67	1,52	13,46	8,33	69,05	128,67	1,39	15,26	5,88	46,89	144,00	1,22
9,88	6,95	68,42	130,00	1,66	11,68	3,55	45,80	104,67	1,50	13,48	8,56	74,83	136,67	1,39	15,28	5,41	51,00	140,00	1,22
9,90	6,69	67,87	127,33	1,66	11,70	2,95	43,79	99,33	1,51	13,50	8,92	79,83	146,67	1,38	15,30	5,12	55,44	138,00	1,22
9,92	6,17	66,31	121,33	1,65	11,72	2,58	44,35	94,00	1,50	13,52	9,46	80,05	158,67	1,38	15,32	4,85	59,11	134,00	1,20
9,94	5,49	64,08	112,67	1,64	11,74	2,18	49,46	82,67	1,50	13,54	9,96	78,05	170,6,						

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA															U12-26		CPTU2		
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00									
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00									
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,20									
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °
18,02	3,62	89,17	477,33	1,01	19,82	5,30	64,43	149,33	0,74	21,62	1,38	47,65	210,67	0,43	23,42	1,12	35,36	671,33	0,15
18,04	3,82	86,61	302,00	0,99	19,84	4,00	59,43	114,00	0,74	21,64	1,22	47,31	196,67	0,43	23,44	1,37	36,92	715,33	0,14
18,06	3,62	84,06	376,00	0,98	19,86	3,51	69,31	117,33	0,72	21,66	1,15	51,87	192,67	0,42	23,46	1,58	42,03	718,00	0,15
18,08	4,16	82,06	396,00	0,98	19,88	3,65	92,76	133,33	0,70	21,68	1,15	49,09	200,00	0,43	23,48	1,85	48,59	659,33	0,15
18,10	5,90	84,28	523,33	0,98	19,90	4,28	103,31	143,33	0,70	21,70	1,11	48,09	199,33	0,43	23,50	1,89	48,25	575,33	0,14
18,12	8,36	95,17	688,67	0,98	19,92	5,20	110,54	145,33	0,68	21,72	1,05	42,98	197,33	0,42	23,52	1,87	45,69	500,67	0,16
18,14	9,68	86,94	398,00	0,96	19,94	5,71	98,98	160,00	0,70	21,74	1,29	43,98	225,33	0,41	23,54	1,70	46,36	424,00	0,17
18,16	9,85	86,61	298,00	0,98	19,96	5,94	98,87	163,33	0,69	21,76	1,41	39,54	244,67	0,42	23,56	1,72	46,25	410,67	0,14
18,18	9,31	85,72	283,33	0,95	19,98	6,33	102,54	161,33	0,67	21,78	1,24	36,43	228,67	0,42	23,58	1,80	48,80	425,33	0,14
18,20	8,18	85,61	248,00	0,95	20,00	6,59	94,87	170,00	0,67	21,80	0,92	38,21	196,00	0,42	23,60	1,93	50,36	402,67	0,14
18,22	6,67	81,39	200,67	0,95	20,02	6,73	79,58	171,33	0,69	21,82	0,81	39,43	196,67	0,42	23,62	1,82	49,36	358,00	0,14
18,24	5,09	81,94	162,00	0,95	20,04	6,76	68,91	164,00	0,68	21,84	0,80	38,76	208,00	0,42	23,64	1,66	47,92	328,00	0,14
18,26	3,86	94,28	139,33	0,94	20,06	6,55	58,25	156,67	0,68	21,86	0,79	37,65	218,67	0,41	23,66	1,60	52,92	303,33	0,14
18,28	3,49	123,17	145,33	0,94	20,08	6,36	55,91	151,33	0,66	21,88	0,81	37,10	236,00	0,41	23,68	1,84	54,92	364,67	0,14
18,30	5,02	146,39	232,00	0,95	20,10	6,16	57,36	147,33	0,67	21,90	0,83	38,32	252,00	0,40	23,70	2,34	55,47	427,33	0,14
18,32	6,81	137,72	377,33	0,94	20,12	5,91	56,70	144,00	0,66	21,92	0,83	38,21	263,33	0,41	23,72	2,67	60,03	425,33	0,14
18,34	5,66	115,39	240,67	0,92	20,14	5,85	51,92	145,33	0,66	21,94	0,82	31,54	275,33	0,38	23,74	2,70	58,69	401,33	0,12
18,36	3,96	112,39	160,00	0,92	20,16	5,98	51,58	150,67	0,67	21,96	0,82	27,99	312,67	0,40	23,76	2,24	60,02	294,00	0,12
18,38	3,22	118,50	133,33	0,91	20,18	5,98	50,70	154,00	0,67	21,98	0,83	27,99	350,00	0,38	23,78	1,71	57,14	220,67	0,11
18,40	5,68	136,27	262,00	0,91	20,20	5,73	48,03	151,33	0,63	22,00	0,87	28,99	387,33	0,38	23,80	1,22	51,14	175,33	0,11
18,42	9,78	124,60	600,00	0,91	20,22	5,01	47,47	134,00	0,66	22,02	0,92	29,79	406,00	0,41	23,82	1,00	58,69	213,33	0,08
18,44	11,00	101,60	547,33	0,91	20,24	4,16	48,47	112,00	0,65	22,04	0,95	30,89	424,67	0,38	23,84	1,25	61,69	322,00	0,08
18,46	10,73	96,38	403,33	0,90	20,26	3,37	49,36	92,67	0,64	22,06	0,90	31,99	443,33	0,37	23,86	2,58	63,91	596,00	0,07
18,48	10,32	86,48	355,33	0,90	20,28	2,54	56,70	74,67	0,64	22,08	0,89	32,68	462,00	0,37	23,88	4,40	69,14	432,67	0,06
18,50	9,98	84,82	335,33	0,90	20,30	1,97	65,03	64,67	0,63	22,10	0,90	33,46	480,67	0,34	23,90	5,45	68,35	250,00	0,06
18,52	9,49	84,70	318,00	0,91	20,32	1,49	74,25	54,67	0,64	22,12	0,90	33,90	486,67	0,37	23,92	5,57	67,13	243,33	0,05
18,54	8,96	83,59	303,33	0,90	20,34	1,16	88,14	52,67	0,64	22,14	0,96	35,01	506,67	0,36	23,94	5,42	54,47	247,33	0,05
18,56	8,23	83,14	283,33	0,90	20,36	1,12	89,58	86,00	0,62	22,16	1,05	37,01	530,67	0,36	23,96	5,27	48,13	252,00	0,05
18,58	6,98	85,03	237,33	0,90	20,38	1,16	87,36	123,33	0,62	22,18	1,00	33,46	449,33	0,36	23,98	5,00	48,13	250,00	0,05
18,60	5,31	86,81	178,67	0,89	20,40	1,35	79,58	141,33	0,63	22,20	0,88	36,24	454,00	0,34	24,00	4,64	49,24	241,33	0,03
18,62	3,70	90,47	133,33	0,90	20,42	2,35	74,58	232,67	0,62	22,22	0,84	37,46	470,00	0,34	24,02	4,07	45,57	318,67	0,05
18,64	2,67	100,03	107,33	0,90	20,44	2,88	62,36	258,67	0,61	22,24	0,84	37,57	484,00	0,34	24,04	3,82	40,68	285,33	0,03
18,66	2,20	111,03	100,67	0,90	20,46	2,10	52,47	186,00	0,63	22,26	0,84	37,57	498,67	0,34	24,06	3,24	41,46	241,33	0,02
18,68	1,84	124,91	100,67	0,89	20,48	1,53	49,81	144,00	0,61	22,28	0,87	37,13	515,33	0,33	24,08	2,64	49,79	199,33	0,02
18,70	1,54	139,02	97,33	0,89	20,50	1,15	64,25	122,00	0,61	22,30	0,89	37,68	532,00	0,32	24,10	2,55	63,68	203,33	0,02
18,72	1,32	134,68	167,33	0,87	20,52	1,20	68,25	154,67	0,62	22,32	0,90	37,24	543,33	0,33	24,12	3,62	72,13	342,00	0,05
18,74	1,13	122,79	344,67	0,87	20,54	1,23	70,70	185,33	0,60	22,34	0,92	31,57	550,00	0,31	24,14	5,00	86,91	432,67	0,05
18,76	0,96	112,39	160,00	0,87	20,56	1,30	67,47	196,00	0,59	22,36	0,88	31,35	549,33	0,31	24,16	5,46	64,57	269,33	0,02
18,78	0,83	105,68	304,00	0,86	20,58	1,39	67,03	197,33	0,61	22,38	0,88	30,79	560,00	0,33	24,18	5,57	61,02	288,00	0,02
18,80	0,80	89,79	349,33	0,86	20,60	1,55	61,14	207,33	0,61	22,40	0,90	30,57	572,00	0,31	24,20	5,63	57,12	302,00	0,02
18,82	0,83	72,68	384,00	0,86	20,62	1,73	59,92	207,33	0,59	22,42	0,92	30,91	583,33	0,31	24,22	5,63	54,24	270,67	0,01
18,84	1,25	58,45	519,33	0,89	20,64	2,41	57,03	272,67	0,58	22,44	0,93	31,57	590,67	0,32	24,24	5,59	51,68	246,67	0,01
18,86	1,57	44,34	597,33	0,87	20,66	2,67	53,14	278,00	0,58	22,46	0,93	32,69	600,00	0,31	24,26	5,52	47,01	254,00	0,02
18,88	2,53	49,67	720,00	0,86	20,68	2,18	53,14	225,33	0,58	22,48	0,94	33,02	608,67	0,31	24,28	5,41	45,79	254,67	0,03
18,90	5,87	48,11	703,33	0,87	20,70	1,67	48,03	185,33	0,58	22,50	0,95	32,57	613,33	0,30	24,30	5,22	46,67	170,67	0,03
18,92	7,84	41,67	410,67	0,87	20,72	1,26	47,81	154,00	0,58	22,52	0,94	32,35	615,33	0,30	24,32	5,00	45,23	130,00	0,03
18,94	8,78	46,22	312,67	0,86	20,74	1,03	61,15	144,67	0,58,										

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA LETTURE DI CAMPAGNA										RIF. PROVA:		CPTU n°:							
										U12-26		CPTU2							
COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00									
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00									
DATA: 04/03/2026										PREFORO (m da p.c.): 0,20									
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °
27,02	1,72	82,69	886,00	0,56	28,70	2,42	132,14	484,67	0,77										
27,04	1,88	78,69	815,33	0,57	28,72	2,30	141,80	468,00	0,78										
27,06	1,94	78,80	749,33	0,57	28,74	2,24	141,36	457,33	0,78										
27,08	2,00	81,80	703,33	0,57	28,76	2,19	144,58	450,00	0,78										
27,10	2,05	87,24	659,33	0,57	28,78	2,26	148,58	453,33	0,79										
27,12	2,06	95,80	373,33	0,57	28,80	2,31	152,58	462,67	0,81										
27,14	2,10	104,13	325,33	0,57	28,82	2,38	151,91	475,33	0,82										
27,16	2,17	115,69	458,00	0,57	28,84	2,38	148,91	464,00	0,83										
27,18	2,19	128,80	454,67	0,58	28,86	2,35	148,80	446,67	0,85										
27,20	2,19	133,46	441,33	0,58	28,88	2,25	149,25	420,67	0,86										
27,22	2,18	137,80	449,33	0,59	28,90	2,12	154,02	390,67	0,87										
27,24	2,23	135,24	454,00	0,59	28,92	1,96	159,57	361,33	0,87										
27,26	2,24	135,35	457,33	0,58	28,94	1,84	164,24	337,33	0,86										
27,28	2,24	134,68	332,67	0,60	28,96	1,74	164,57	318,00	0,88										
27,30	2,17	134,01	340,00	0,60	28,98	1,67	160,57	301,33	0,88										
27,32	2,17	134,46	439,33	0,59	29,00	1,63	149,39	304,00	0,90										
27,34	2,16	134,90	449,33	0,62	29,02	1,57	146,06	454,67	0,90										
27,36	2,22	135,35	448,67	0,61	29,04	1,52	142,72	456,00	0,90										
27,38	2,22	135,78	447,33	0,61	29,06	1,47	134,61	456,00	0,93										
27,40	2,18	137,23	358,00	0,61	29,08	1,49	124,06	458,67	0,92										
27,42	2,16	136,11	392,67	0,61	29,10	1,50	116,17	464,00	0,93										
27,44	2,05	138,56	385,33	0,62	29,12	1,54	107,84	472,67	0,94										
27,46	1,95	139,22	384,00	0,61	29,14	1,56	103,73	478,67	0,95										
27,48	1,98	138,77	435,33	0,64	29,16	1,58	99,06	478,67	0,94										
27,50	2,03	137,55	446,00	0,64	29,18	1,58	97,17	480,00	0,95										
27,52	2,05	133,21	449,33	0,64	29,20	1,56	97,95	475,33	0,95										
27,54	2,06	136,43	444,00	0,65	29,22	1,55	99,62	472,00	0,96										
27,56	2,07	134,76	476,00	0,66	29,24	1,51	101,73	470,00	0,97										
27,58	2,17	128,65	452,67	0,67	29,26	1,55	99,06	474,67	0,96										
27,60	2,15	133,54	528,00	0,67	29,28	1,59	97,17	479,33	0,98										
27,62	2,17	137,20	511,33	0,68	29,30	1,62	99,17	486,00	0,97										
27,64	2,16	138,31	484,67	0,68	29,32	1,68	99,51	504,67	0,98										
27,66	2,16	137,20	457,33	0,68	29,34	1,75	96,95	518,67	0,97										
27,68	2,18	138,42	450,67	0,67	29,36	1,81	93,39	531,33	0,98										
27,70	2,29	141,42	480,67	0,69	29,38	1,85	93,95	538,67	0,98										
27,72	2,44	142,19	504,67	0,68	29,40	1,91	95,17	538,00	0,98										
27,74	2,46	145,52	480,00	0,69	29,42	1,91	99,39	534,00	1,00										
27,76	2,46	153,30	451,33	0,70	29,44	1,85	101,62	519,33	0,98										
27,78	2,41	169,85	451,33	0,70	29,46	1,79	102,62	511,33	0,98										
27,80	2,39	179,63	464,67	0,70	29,48	1,76	101,95	501,33	1,00										
27,82	2,38	181,74	550,67	0,69	29,50	1,68	102,28	492,00	1,00										
27,84	2,37	183,07	563,33	0,70	29,52	1,68	97,62	498,00	0,99										
27,86	2,43	178,96	532,00	0,69	29,54	1,76	86,84	530,00	1,00										
27,88	2,44	176,96	511,33	0,70	29,56	1,86	80,39	572,00	1,02										
27,90	2,41	171,29	486,67	0,69	29,58	2,22	70,73	678,67	1,01										
27,92	2,29	161,73	410,67	0,70	29,60	2,50	57,39	738,00	1,02										
27,94	2,14	165,84	374,00	0,68	29,62	2,79	54,28	777,33	1,02										
27,96	2,04	157,28	344,67	0,69	29,64	2,91	57,28	811,33	1,02										
27,98	1,90	157,94	313,33	0,70	29,66	3,04	60,17	753,33	1,03										
28,00	1,80	160,17	290,67	0,70	29,68	3,06	71,95	509,33	1,03										
28,02	1,80	158,18	426,67	0,65	29,70	3,28	84,40	568,00	1,03										
28,04	1,71	161,07	412,67	0,67	29,72	3,81	93,40	316,67	1,04										
28,06	1,67	161,51	417,33	0,68	29,74	4,69	95,95	254,00	1,05										
28,08	1,69	159,95	429,33	0,69	29,76	5,15	111,29	110,00	1,04										
28,10	1,81	155,07	471,33	0,70	29,78	5,60	125,85	34,67	1,05										
28,12	1,93	147,06	502,00	0,68	29,80	6,03	129,85	40,67	1,06										
28,14	2,02	139,17	516,00	0,68	29,82	6,31	122,85	42,67	1,06										
28,16	2,05	136,51	494,00	0,66	29,84	6,48	117,40	37,33	1,06										
28,18	2,08	139,95	468,00	0,65	29,86	6,57	117,52	41,33	1,06										
28,20	2,10	147,06	472,00	0,67	29,88	6,33	115,40	38,67	1,08										
28,22	2,13	149,95	476,67	0,66	29,90	5,97	109,96	37,33	1,07										
28,24	2,19	148,50	472,67	0,66	29,92	5,61	102,52	35,33	1,08										
28,26	2,24	150,06	461,33	0,65	29,94	4,97	101,18	32,67	1,09										
28,28	2,28	153,72	460,67	0,65	29,96	4,28	105,41	27,33	1,09										
28,30	2,32	159,39	446,67	0,66	29,98	3,61	115,85	22,67	1,09										
28,32	2,34	164,28	441,33	0,67	30,00	3,02	125,18	30,00	1,08										
28,34	2,33	170,83	440,00	0,67															
28,36	2,32	179,05	450,00	0,68															
28,38	2,37	176,50	466,00	0,68															
28,40	2,36	176,60	462,00	0,70															
28,42	2,33	177,05	458,00	0,70															
28,44	2,40	172,71	462,67	0,73															
28,46	2,43	172,04	460,67	0,72															
28,48	2,39	171,60	453,33	0,70															
28,50	2,38	165,82	448,67	0,73															
28,52	2,43	162,93	446,00	0,73															
28,54	2,32	168,48	428,00	0,74															
28,56	2,20	171,04	425,33	0,73															
28,58	2,28	158,04	442,00	0,74															
28,60	2,31	152,81	446,00	0,74															
28,62	2,27	151,14	458,00	0,74															
28,64	2,36	143,92	484,00	0,77															
28,66	2,47	135,81	497,33	0,76															
28,68	2,44	132,58	496,67	0,77															
qc = resist. alla punta (Mpa)										Inc. = inclinazione dalla verticale (°)									
fs = resist. per attrito lat. (kPa)										Diametro punta: 3.57 cm									
U = pressione neutra (kPa)										Area punta: 10 cm ²									
										Punta: Tecnopenta G1 CPL2In									

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U12-26	CPTU2

COMMITTENTE: FRIEL GEOPOWER

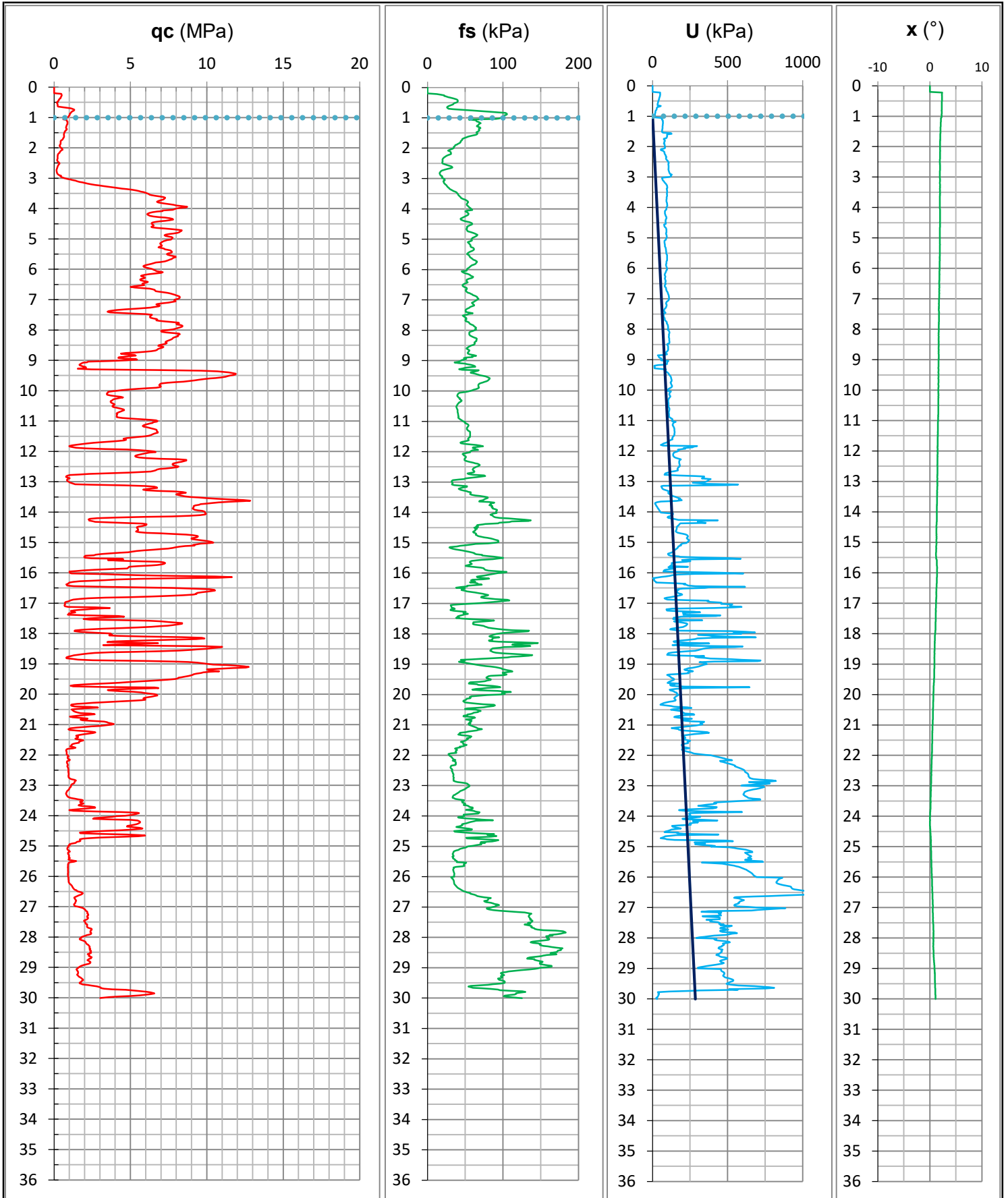
CANTIERE: via Delle Serre, San Giovanni (Fe)

DATA: 04/03/2026

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,00

PREFORO (m da p.c.): 0,20



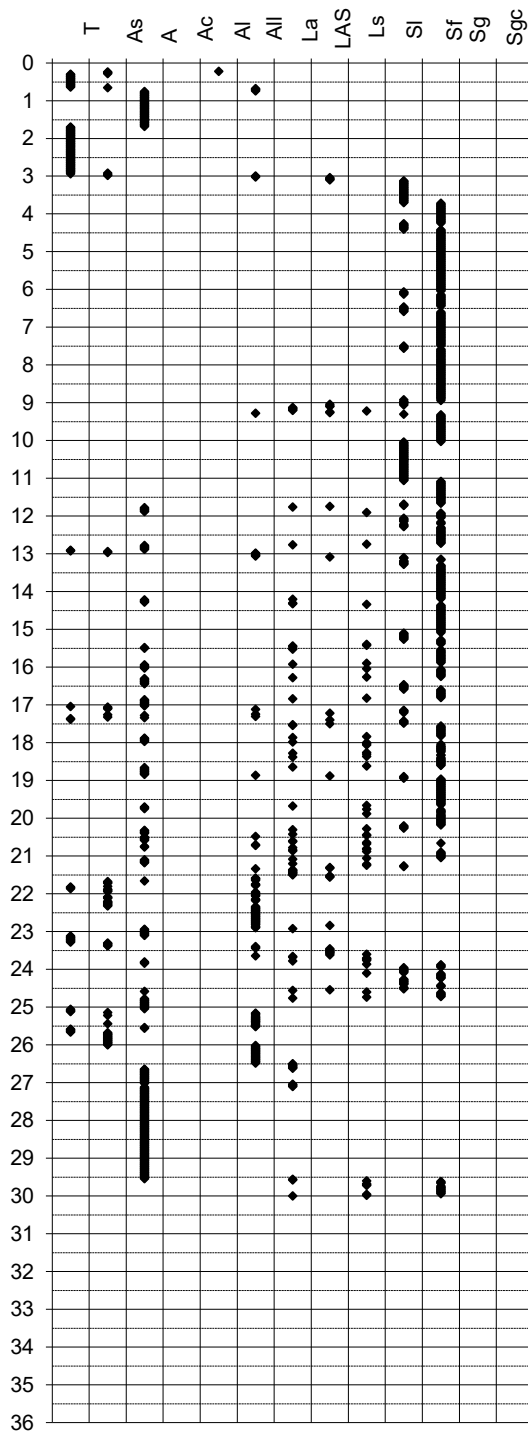
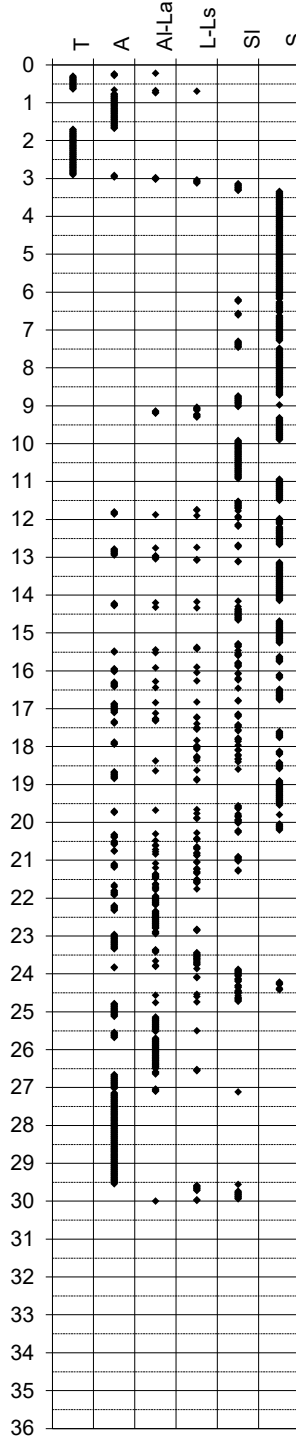
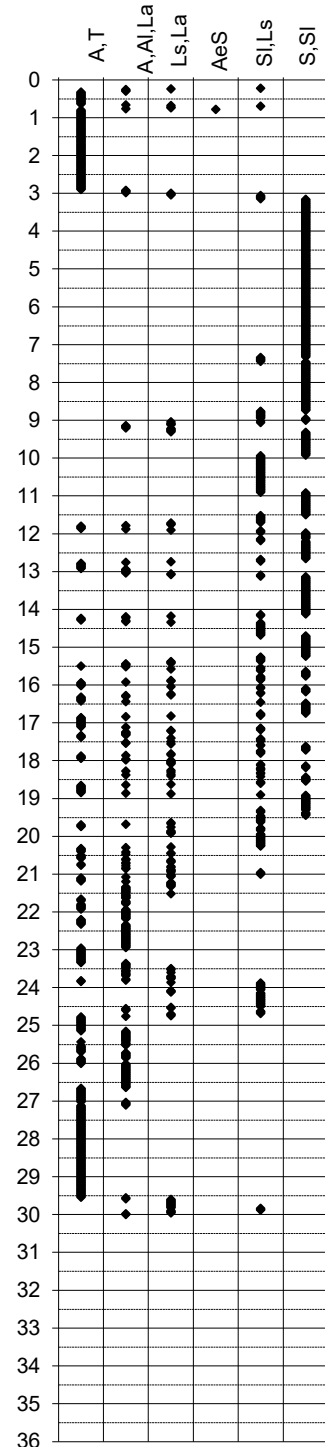
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U12-26
Emissione	mar-26
Pagina	1 di

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente **FRIEL GEOPOWER**
 -Cantiere **via Delle Serre, San Giovanni (Fe)**
 -Quota p.c. m s.l.m.
 -Livello di falda 1,00 m da p.c.
 -Attrezzatura Punta elettrica con piezocono

-Prova n° **CPTU2**
 -Data prova **04/03/2026**
 -Prof. preforo **0,20 m**
 -Prof. finale **30,00 m**

Douglas-Olsen (1981)**Robertson-Campanella(1983)****Olsen-Farr (1986)**

PROVA PENETROMETRICA STATICA

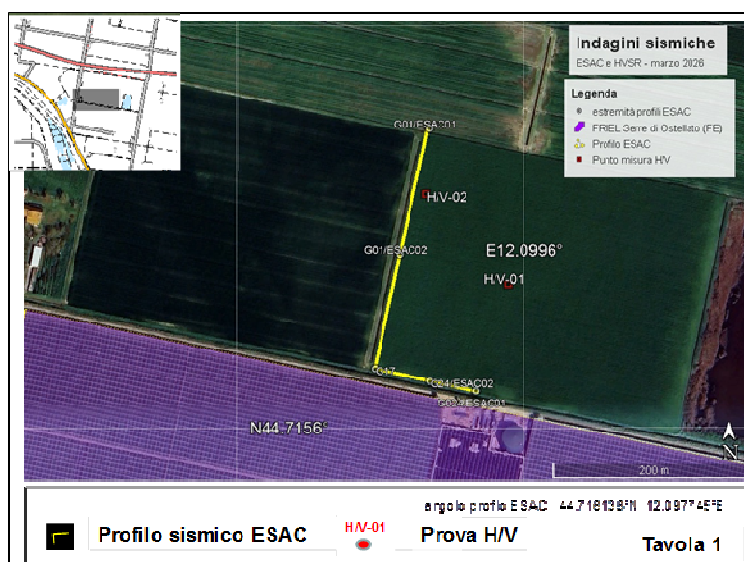
Identificativo	U12-26
Emissione	mar-26
Pagina	1 di 0

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	FRIEL GEOPOWER	-Prova n°	CPTU2
-Cantiere	via Delle Serre, San Giovanni (Fe)	-Data prova	04/03/2026
-Quota p.c.	0,00 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,20 m
-Livello di falda	1,00 m da p.c.	-Prof. finale	30,00 m

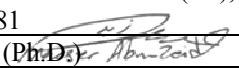
							MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
DA	A	qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	Cu (qc)	OCR (qc)	OCR (U)	M ₀	Eu50	CR	Dr	FI' _{DM}	FI' _{Bolton}	FI'Schm.				E'25	M ₀
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m3	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)	(%)	(°)	(°)	(°)				MPa	MPa
0,5	1,7	0,77	0,06	0,04	Al-La	18,00	44	16	8	3,14	7,284	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,7	3,0	0,34	0,03	0,08	T	13,00	18	4	5	0,65	1,722	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	
3,0	9,0	6,56	0,05	0,04	S	20,00	-	-	-	-	-	-	62	37	33	37	39	41	43	16,50	26,41
9,0	13,1	5,17	0,05	0,04	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	41	33	30	34	36	38	41	14,49	23,00
13,1	16,0	6,83	0,07	0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	45	33	30	34	37	39	42	18,47	29,35
16,0	21,2	4,74	0,07	0,06	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	36	31	28	32	35	38	40	16,14	25,57
21,2	22,0	1,42	0,05	0,04	Al-La	18,00	62	2	9	4,70	33,78	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,0	23,5	1,02	0,04	0,40	A	17,50	41	1	3	4,00	24,26	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23,5	25,0	3,30	0,06	0,04	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	24	29	32	35	39	10,02	16,04
25,0	26,3	0,97	0,04	0,42	A	17,50	35	1	2	3,90	20,83	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,3	29,5	1,93	0,12	0,27	Al-La	18,00	88	2	6	5,96	47,84	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,5	30,0	4,05	0,10	0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	27	24	29	33	35	39	11,29	18,07

Regione EMILIA-ROMAGNA
Provincia di Ferrara
Località di San Giovanni, Comune di Ostellato (FE)



**Indagine sismica con le tecniche della
sismica passiva 'ESAC' e dei microtremori
per la determinazione del profilo profondo di
Vs e la frequenza di risonanza dei terreni di
proprietà della GH Energy srl di Bolzano (BZ)**

marzo 2026

Committente:	Studio Geologo Veronese (Via Roma 10, Codigoro, FE).	t.veronese@studio-sst.it
Elaborazione dati:	TeamGeofisica.CEG - Centro Elaborazione Dati Geofisici, Ferrara. Via G. Fabbri, 342 44124 Ferrara (FE), p.iva 02065560381	nasser.abuzeid@pec.it
Redazione:	Nasser Abu Zeid (Ph.D.) 	Teamgeofisica.ceg@gmail.com
Revisione:	00	16 marzo 2026

**Indagine sismica con le tecniche della sismica passiva 'ESAC' e
dei microtremori per la determinazione del profilo profondo di Vs
e la frequenza di risonanza dei terreni di proprietà della GH
Energy srl di Bolzano (BZ)**

Località di San Giovanni, Comune di Ostellato (FE)



- Relazione Geofisica -
marzo 2026

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	TECNICHE D'INDAGINE	1
2.1.	Sismica passiva (<i>Enhanced Spatial autocorrelation</i> "ESAC")	1
2.2.	Rapporti spettrali (H/V)	4
2.2.1.	Il metodo HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio)	5
3.	ACQUISIZIONE DATI	7
3.1.	Dati ESAC	7
3.2.	Dati H/V	8
4.	ANALISI DATI	9
4.1.	Dati ESAC	9
4.2.	Dati rapporti spettrali (H/V)	11
5.	RISULTATI	11
5.1.	Prova ESAC	11
5.1.	Prove dei rapporti spettrali (H/V)	14
6.	CONCLUSIONI	15
7.	BIBLIOGRAFIA	17
	Appendice A: parametri del modello sismico 1D di Vs	19
	Appendice B: risultati delle singole prove H/V	21

ELENCO DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 1: modello di sottosuolo ad un grado di libertà (SDOF).....	4
Figura 2. Esempio di sismogrammi sperimentali (fril_100.dat e fril_200.dat) acquisiti lungo i profili sismici. Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz.....	7
Figura 3. Geometria delle due antenne sismiche utilizzate. In blu è rappresentato il profilo sismico ESAC-01 e in marrone ESCA-02, mentre il triangolo indica la stazione di misura del rapporto spettrale H/V.....	8
Figura 4: particolare della fase di acquisizione dei microtremori della prov1 "H/V-02" effettuate nell'area. Vista verso S.....	9
Figura 5. Curva di dispersione sperimentale del profilo sismico ottenuta dall'analisi spettrale dei dati (a). In (b) si illustra il buon confronto tra i valori di VR sperimentali e teorici.....	10
Figura 6. Sismogrammi relativi alle due prove H/V (microtremori) effettuate, in campo libero (H/V-01, in alto) e (H/V-02, in basso).....	11
Figura 7. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico.....	13
Figura 8. Il profilo verticale G_{max} (μ : modulo di rigidità dinamica) dell'area indagata dal profilo sismico, ottenuto dal profilo di velocità (V_s) mediante l'equazione $\mu = \rho * V_s^2$	13
Figura 9. media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo vicino e libero (H/V-01) e (H/V-02) nell'area. Freccia: picchi di frequenza: F0 : fondamentale e F1 : altra frequenza.	15
Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici.	7
Tabella 2: dettagli delle prove dei rapporti spettrali 'microtremori' (H/V) effettuate nell'area oggetto dello studio.....	9
Tabella 3. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo.	12
Tabella 4: picchi di frequenze di risonanza fondamentale di risonanza ottenute dalle prove HVSR.	14

Avvertenze

I dati forniti nella presente relazione si riferiscono esclusivamente alla situazione esistente al periodo di indagine.

La precisione dei metodi impiegati è limitata dagli errori sistematici delle procedure di indagine.

L'autore della presente relazione garantisce la riservatezza dei dati e delle informazioni contenute e si riserva, previa autorizzazione del committente dell'indagine, il diritto esclusivo della loro pubblicazione su riviste scientifiche nazionali ed internazionali.

1. PREMESSA

Su incarico dello studio Geologico Veronese di Codigoro (FE) è stata effettuata, in data 05 marzo 2026, una campagna d'indagine geofisica nell'area sita nell'area immediatamente a nord delle serre di GH Energy srl di Bolzano (BZ), sita in località San Giovanni, Comune di Ostellato (FE). Scopo dell'indagine è quello di determinare: (1) la velocità di propagazione delle onde di taglio fino al possibile raggiungimento del substrato simico, eventualmente presente, e (2) di valutare sperimentalmente la frequenza di risonanza dei terreni nell'area oggetto di indagine. A tale fine è stata impiegata la tecnica della sismica passiva ESAC, per la determinazione della sequenza sismica delle onde di taglio lungo un profilo sismico (Tav. 1), e la tecnica dei rapporti spettrali H/V "microtremori" per la determinazione della frequenza (o periodo) di risonanza.

2. TECNICHE D'INDAGINE

2.1. SISMICA PASSIVA (*ENHANCED SPATIAL AUTOCORRELATION* "ESAC")

La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo. Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

- a) onde di volume (P ed S) e
- b) onde superficiali (Rayleigh "R" e Love "L").

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo "S", "R" e "L". Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d'onda risultano polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente, trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Il D.M. del 17 gennaio 2018 dal titolo “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”, impone di classificare i terreni, su cui saranno eseguite opere edili di una certa rilevanza, sulla base del parametro $V_{s,eq}$. La classificazione dei terreni riporta cinque categorie, definite con simbologia alfanumerica da A ad E. A queste classe può essere necessario effettuare ulteriori integrazioni dove si passa alla stima sperimentale in termini quantitativi della risposta sismica dei terreni sottoposti ad un’accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. A questo scopo è stato calcolato il valore del parametro V_{s30} , che rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell’onda di taglio “S” nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1);

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \qquad V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \qquad eq.1$$

dove,

$V_{s,eq}$: velocità media ponderata equivalente di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità del sismo-strato sismico ($V_s \geq 800$ m/s)

$V_{s,30}$: velocità media ponderata delle onde di taglio “S” nei primi 30 metri,

H : profondità del substrato SISMICO (in m), definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s ($H=30$ m nel caso che il substrato sismico superi tale profondità);

h_i : spessore dell’esimo sismo-strato,

v_i : velocità delle onde di taglio “S” nello strato esimo.

Questo valore però non permette di raggiungere la profondità del substrato sismico nell’area che è a profondità maggiore.

Le tecniche geofisiche comunemente utilizzate per la determinazione di tale parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- 1) prove in foro singolo (Down-Hole) o doppio (Cross-Hole),

- 2) sismica di superficie (rifrazione e riflessione) con energizzazione di onde polarizzate (SH),
- 3) tecniche mediante onde superficiali “R” e “L” (SASW, MASW e Microtremori Re.Mi., SPAC, MSPAC ed ESAC).

Le prime richiedono l'esecuzione di un sondaggio per permettere la determinazione del parametro. Le seconde, più costose, forniscono risultati di elevata qualità ma sono facilmente influenzate da rumori antropici che ne degradano le caratteristiche. Le ultime sono realizzate, ad eccezione della tecnica SASW, con procedure operative simili a quelle impiegate nella sismica a rifrazione.

La prova geofisica adottata per questa indagine appartiene alla terza categoria ed è consistita nell'applicazione della tecnica dei microtremori (Autocorrelazione Spaziale Migliorato “ESAC”) che permette di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio “S” e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico - così come definito dalla normativa ($V_s \geq 800 \text{ m/s}$) - coadiuvando contemporaneamente l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica ($V_s^2 \times \rho$) dei terreni investigati.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali “tipo Rayleigh R”, che costituiscono un particolare tipo di onde superficiali trasmesse sulla superficie libera di un mezzo omogeneo ed isotropo, si ricava indirettamente la velocità delle onde di taglio “S” secondo l'equazione

$$V_R = \left(\frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_S \quad eq.2,$$

$$V_R \cong 0.92 \times V_S$$

dove,

V_R : velocità di fase delle onde Rayleigh,

V_S : velocità di propagazione dell'onda di taglio,

ν : rapporto di Poisson.

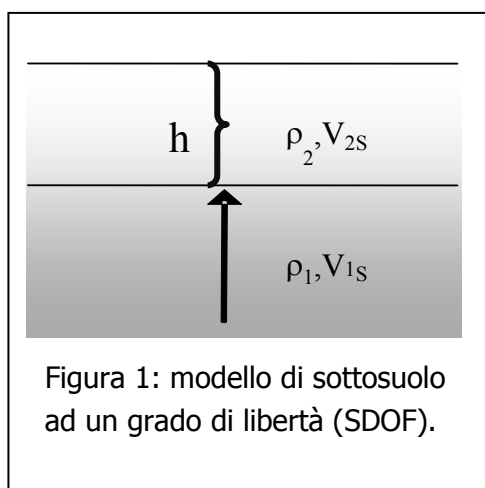
2.2. RAPPORTI SPETTRALI (H/V)

La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo. Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

- c) onde di volume (P ed S) e
- d) onde superficiali (Rayleigh "R" e Love "L").

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo "S", "R" e "L". Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d'onda sono polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Siccome la frequenza di risonanza propria dei terreni dipende dalla sequenza dei contrasti di impedenza elastica presenti nel sottosuolo (cioè dalla profondità) è possibile utilizzare la tecnica dei rapporti spettrali per risalire a tale parametro. Il lavoro fondamentale su questa specifica procedura fu pubblicato da Nakamura nel 1989; per questo motivo è chiamato anche "metodo di Nakamura" (Nakamura, 1989).



2.2.1. Il metodo HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio)

È ben noto che quando un'onda elastica che si propaga nel sottosuolo passando da un mezzo con impedenza acustica/elastica $Z_1 = \rho_1 \cdot v_1$ (dove ρ è la densità e v la velocità di onde di volume P/S rispettivamente) ad un mezzo con impedenza acustica/elastica $Z_2 = \rho_2 \cdot v_2$, se $Z_2 < Z_1$ l'ampiezza dell'onda trasmessa nel secondo mezzo aumenta. Questo fenomeno dipende soltanto dall'angolo d'incidenza e non dalla frequenza per le onde P, cioè tutte le singole componenti sinusoidali dell'onda vengono amplificate nella stessa misura. Per le onde S si dimostra invece che ha luogo un fenomeno di risonanza. Dato un sottosuolo formato da una copertura omogenea elastica di spessore h , poggiante su un substrato rigido (nella pratica un substrato è considerato rigido quando la sua V_{1S} supera 800 m/s), come in Figura 1, tali frequenze di risonanza sono date da (v. p. es. Lanzo e Silvestri, 1999):

$$f_n = \frac{V_{2S}(2n-1)}{4h}, n = 1, 2, \dots, \infty, \quad \text{eq. 3,}$$

Ad esempio, per una copertura elastica spessa 50 m con V_{2S} di 200 m/s (velocità tipica di un sedimento sciolto), $f_1 = 1$ Hz, $f_2 = 3$ Hz e così via. Si tratta di campi di frequenze coincidenti con quelli delle costruzioni. L'ampiezza di oscillazione alle frequenze di risonanza tende all'infinito per un mezzo puramente elastico. È da notare che ciò non avviene mai nella pratica in quanto tutti i mezzi materiali hanno un comportamento visco-elastico. Ciò comporta uno smorzamento progressivo dell'ampiezza trasmessa $A(f_n)$ alla frequenza di risonanza, al crescere di questa, secondo la relazione:

$$A(f) = \frac{2}{(2n-1)} \cdot \frac{G}{\pi^2 \eta f}, \quad \text{eq. 4,}$$

dove, G : il modulo di rigidità, η : il coefficiente di viscosità, f : la frequenza ed n : il numero del modo di vibrazione (cioè armoniche superiori).

Poiché sia le onde di Love che la componente orizzontale delle onde di Rayleigh si formano per interferenza costruttiva delle onde S, quanto detto vale con ottima approssimazione anche per tali onde, purché il sottosuolo sia tabulare, cioè a

strati piano/paralleli. Questo è un fatto particolarmente fortunato perché significa che basta registrare il rumore sismico ambientale, dove è ampiamente prevalente l'energia associata alle onde superficiali, per avere un'informazione precisa (nei limiti summenzionati) delle frequenze di risonanza. Questa, infatti, si ottiene con 3 semplici passaggi:

1. registrando in un punto per un certo tempo le 3 componenti del moto delle particelle del terreno (la verticale $V(t)$ e due orizzontali ortogonali tra loro: $NS(t)$, $EW(t)$) con un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse;
2. calcolandone i rispettivi spettri di Fourier $V(f)$, $EW(f)$ e $NS(f)$ ¹

$$\frac{\sqrt{|NS(f)|^2 + |EW(f)|^2}}{|V(f)|}, \quad \text{eq. 5,}$$

3. facendo il rapporto detto per l'appunto HVSR, acronimo di Horizontal over Vertical Signal Ratio.

Si richiama l'attenzione del lettore su 2 fatti:

1. che non è possibile, conoscendo soltanto la frequenza di risonanza, determinare contemporaneamente la V_s dello strato elastico e la profondità h del substrato rigido: questi due parametri del sottosuolo compaiono in un prodotto, e quindi la loro determinazione è impossibile senza informazioni di altra origine;
2. trattandosi di un metodo statistico, l'ampiezza alla frequenza di risonanza può essere affetta da un ampio margine di incertezza. L'ampiezza effettiva può essere stimata solo utilizzando un segnale deterministico, come quello di un terremoto.

¹ È d'uso indicare con la stessa lettera maiuscola la trasformata di Fourier di una funzione, indicata con la lettera minuscola.

3. ACQUISIZIONE DATI

3.1.DATI ESAC

L'area oggetto di indagine è stata investigata in data 05/03/2026 mediante l'esecuzione di n.2 profili sismici tipo "ESAC" (**Tav. 1**) della lunghezza complessiva di 345m e 172,5m (Tabella 1).

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un sismografo digitale RAS 24 – Seistronix (ABEM, Svezia) con 24 geofoni verticali con frequenza naturale pari a 4,5 Hz, equidistanziati, rispettivamente di 15,0 m e 7,5 m. La lunghezza temporale di ogni registrazione è stata pari a 32 secondi con passo di campionamento di 2 ms. In **Figura 2** è riportato uno esempi di acquisizione composto da 24 tracce sismiche seconda la geometria delle due antenne sismiche utilizzate (**fig. 3**).

Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici.

Sigla	Lunghezza (m)	Passo intergeofonico (m)	Orientazione
Profilo 1	177,5*	7,5	44.716138 °N, 11.097745 °E N-----S+S-----E
Profilo 2	345,00*	15,0	44. 716138 °N, 11. 097745°E N-----S+S-----E
*geometria a forma di L			

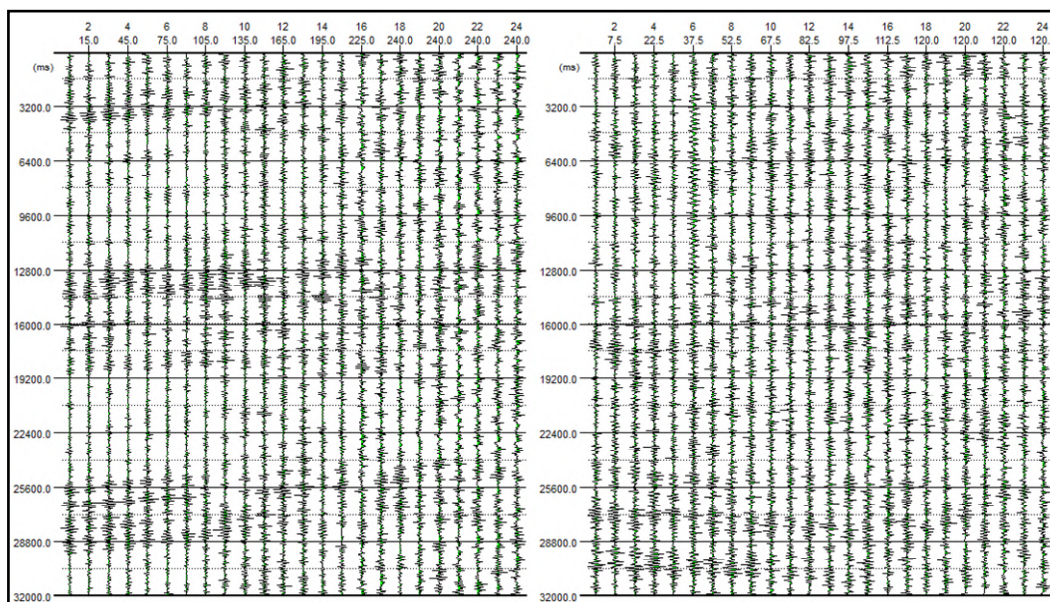


Figura 2. Esempio di sismogrammi sperimentali (fril_100.dat e fril_200.dat) acquisiti lungo i profili sismici. Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz.

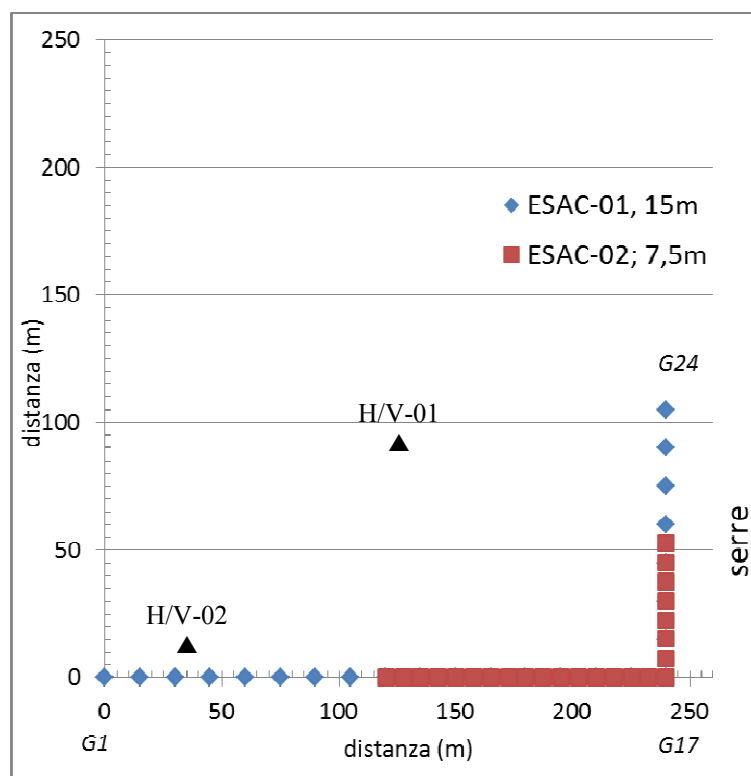


Figura 3. Geometria delle due antenne sismiche utilizzate. In blu è rappresentato il profilo sismico ESAC-01 e in marrone ESAC-02, mentre il triangolo indica la stazione di misura del rapporto spettrale H/V.

3.2.DATI H/V

Il sito oggetto d'indagine è stato investigato, in data 05/03/2026, mediante l'esecuzione di n.2 prove H/V (Tav-1).

Per l'acquisizione dati è stato impiegato un data logger a 24 bit collegato ad un sismometro 3D modello Sensor ([S₃S₂, M.A.E. Apparecchiature Elettroniche srl. di Frosolone, Molise](#)). La lunghezza temporale delle registrazioni è pari a 60 minuti, con passo di campionamento di 250 Hz (in **figura 4** si illustra un particolare della fase di acquisizione dei dati della prova H/V-02, mentre in **Figura 6** si riportano le serie temporali acquisiti (i sismogrammi).

Tabella 2: dettagli delle prove dei rapporti spettrali 'microtremori' (H/V) effettuate nell'area oggetto dello studio.

Sigla	Località	Comune	Durata (min.)	posizione
HV-01	Terreno incolto (campo libero quasi vicino)	Loc. di S. Giovanni, Ostellato (FE)	60	44.716895 °N, 12.099412°E
HV-02	Terreno incolto (campo libero quasi vicino)		60	44.717700°N, 11.098380°E



Figura 4: particolare della fase di acquisizione die microtremori della prov1 "H/V-02" effettuate nell'area. Vista verso S.

4. ANALISI DATI

4.1. DATI ESAC

L'analisi delle tracce sismiche registrate è basata sull'impiego della tecnica di analisi denominata "autocorrelazione spaziale migliorata (ESAC)". Tale tecnica

considera il rumore sismico di essere generato da una distribuzione uniforme di sorgenti (cioè non esistono sorgenti dominanti).

La procedura di analisi è basata sulla teoria elaborata da Aki (1959) secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo effettuate su sensori verticali distribuiti nelle diverse direzioni a parità distanza r da un sensore di riferimento, ha una forma simile a quella della funzione di Bessel di ordine 0. Egli deduce che tale forma (equazione 3) è funzione del valore della velocità di fase (V_R) per ogni copia di frequenza e distanza:

$$\rho(r, \omega_0) = J_0 \left(\frac{\omega r}{c(\omega_0)} \right) \quad eq.6$$

dove,

$\rho(r, \omega_0)$: coefficiente di autocorrelazione

J_0 : funzione di Bessel di tipo I ed ordine zero

$C(\omega_0)$: velocità di fase delle onde Rayleigh in funzione della frequenza

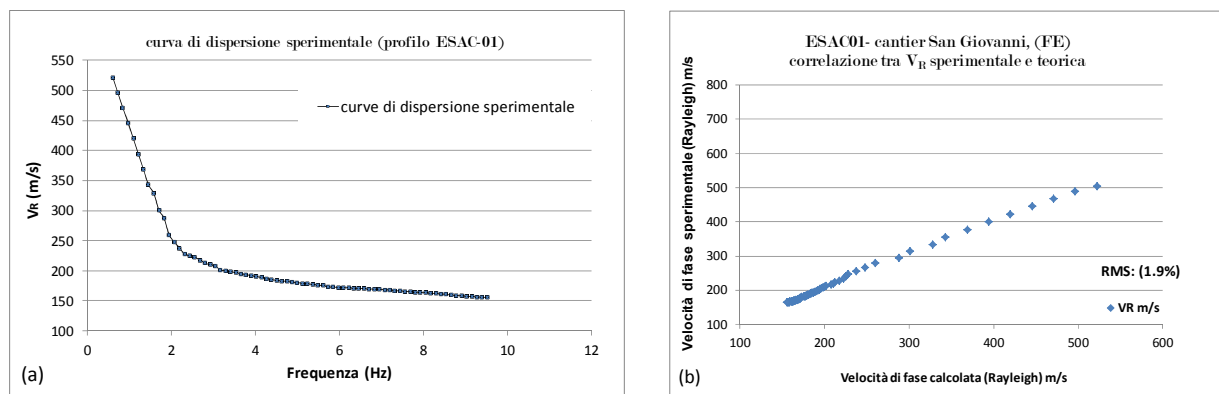


Figura 5. Curva di dispersione sperimentale del profilo sismico ottenuta dall'analisi spettrale dei dati (a). In (b) si illustra il buon confronto tra i valori di V_R sperimentali e teorici.

Il risultato di tale analisi rappresenta il cosiddetto spettro di potenza da cui si ottiene la curva di dispersione sperimentale delle onde "R" (figura 5a) e successivamente, attraverso una procedura di modellazione numerica, la determinazione delle velocità delle onde di taglio "S" (figura 7).

4.2. DATI RAPPORTI SPETTRALI (H/V)

L'analisi delle serie temporali è proceduta seguendo i punti 2 e 3 del paragrafo 2.2.1. La figura 6 illustra le tracce sismiche dei sismogrammi registrati: H/V-01 e H/V-02 (Tav. 1).

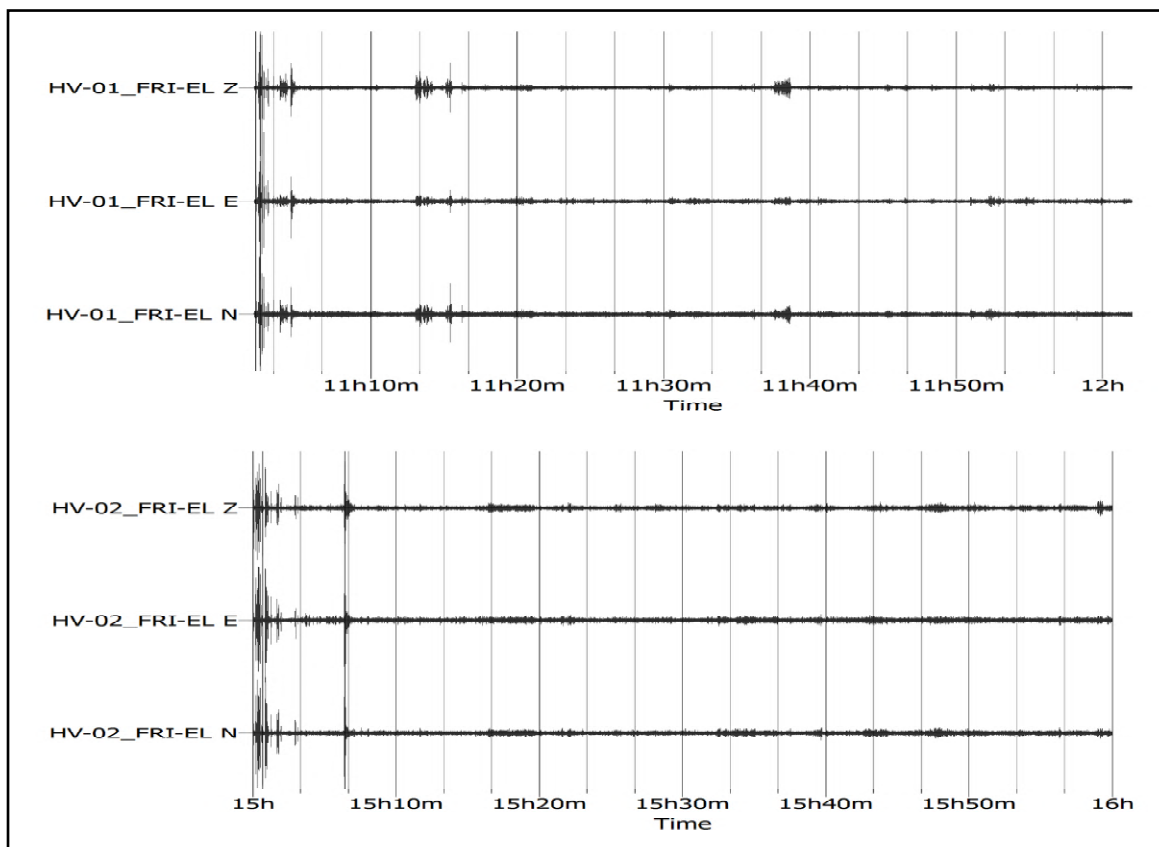


Figura 6. Sismogrammi relativi alle due prove H/V (microtremori) effettuate, in campo libero (H/V-01, in alto) e (H/V-02, in basso).

5. RISULTATI

5.1. PROVA ESAC

Il modello sismico V_s ottenuto dall'interpretazione quantitativa della curva di dispersione (figura 5a) e riportata in **Figura 7**. Il modello numerico fino a 33 metri è riportato in Tabella 3, mentre quello completo fino a 308 m è riportato in

Appendice A. Il modello sismico così ottenuto non ha raggiunto valori attribuibili a substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s), tuttavia alla massima profondità raggiunta (380m) il valore di V_s è pari a 597 m/s.

In figura (8) si riporta l'andamento del profilo di rigidità dinamica (G_0 o G_{\max}) con la profondità.

Tabella 3. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo.

ESAC01/02	PROFILO sismico fino a 308 metri		
	(modello numerico fino a 33 metri è riportato in Appendice A)		
Sismo-strato	Velocità (m/s)	Profondità letto (m)	Spessore (m)
1	153.2	4.1	0.0
2	161.2	8.4	4.3
3	180.0	13.0	4.5
4	196.8	17.7	4.8
5	207.5	22.7	5.0
	217.4	27.9	5.2
6	224.7	33.3	5.4

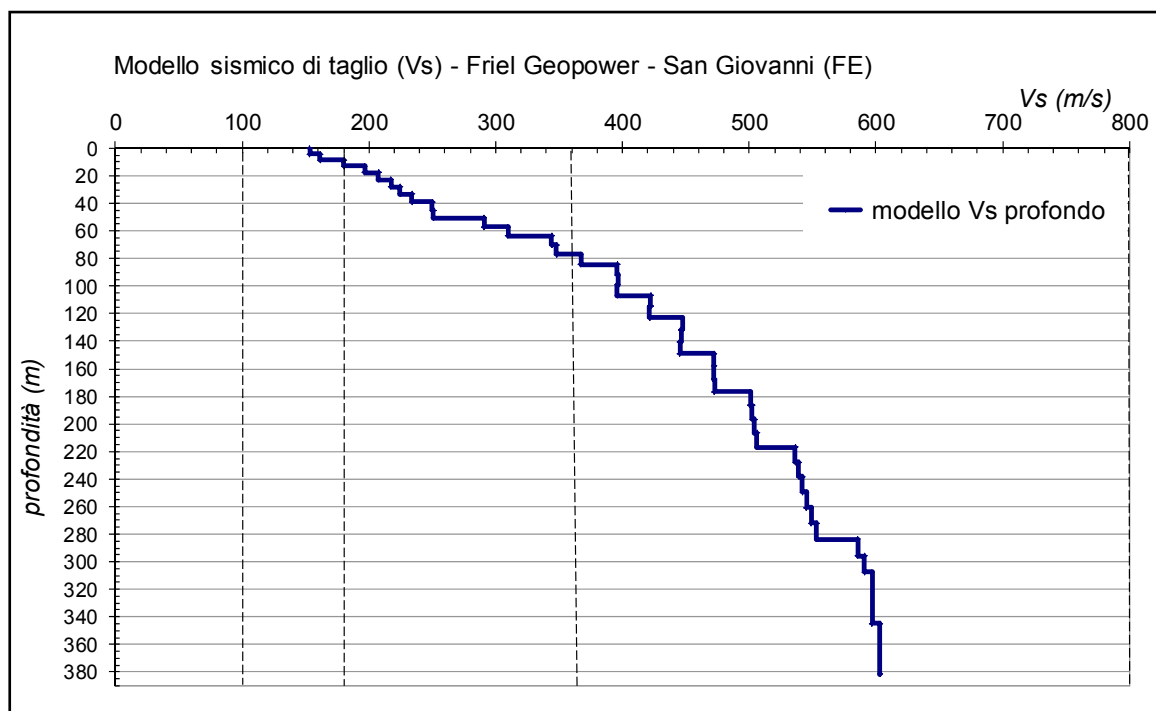


Figura 7. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico.

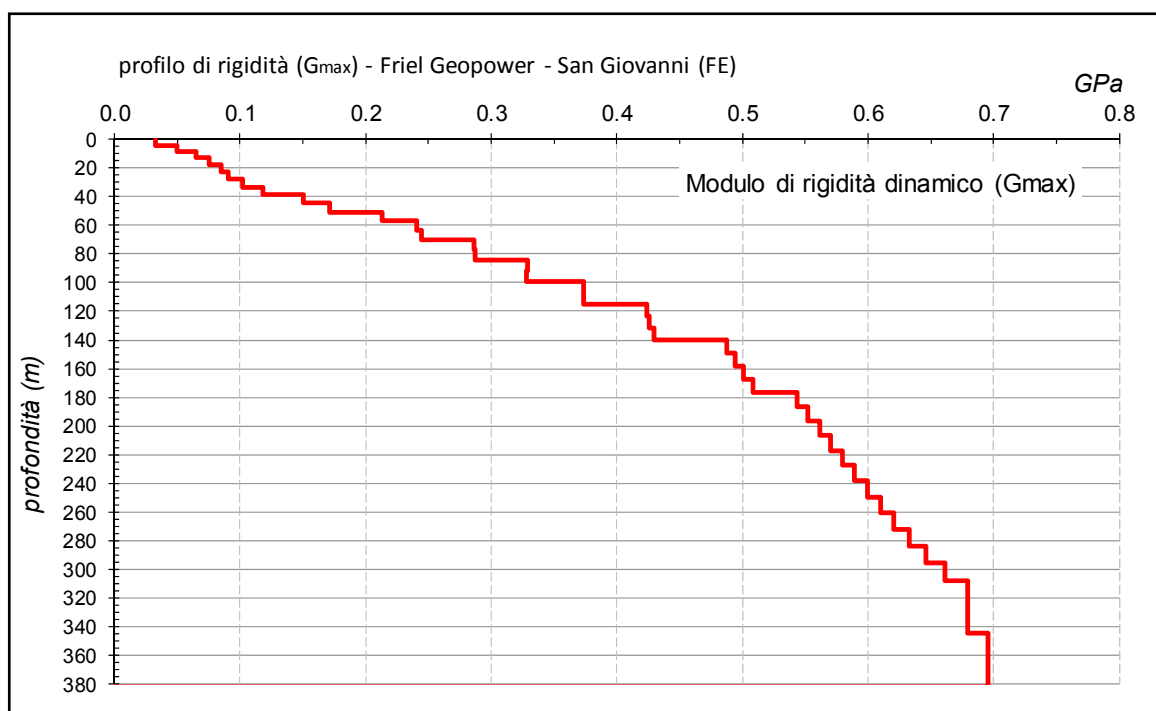


Figura 8. Il profilo verticale G_{\max} (μ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico, ottenuto dal profilo di velocità (Vs) mediante l'equazione $\mu = \rho \cdot Vs^2$.

5.1. PROVE DEI RAPPORTI SPETTRALI (H/V)

I risultati ottenuti, utilizzando il codice di calcolo Geopsy (ver. 2.9, 2015), sono riportati in **Figura 9**, mentre le frequenze di risonanze riscontrate sono riportate in **Tabella 4**. Le curve spettrali medie delle singole prove sono riportate in Appendice B.

Tabella 4: picchi di frequenze di risonanza fondamentale di risonanza ottenute dalle prove HVSr.

prova H/V	Frequenza (Hz)	Valore Frequenza	Periodo T_0 (sec)	Ampiezza (A)
Località: (Fri-El), San Giovanni, Ostellato (FE)				
01	F_0	$0,433 \pm 0,0399$	2,217	3,05
	F_1	$1,065 \pm 0,077$	0,939	1,73
02	F_0	$0,451 \pm 0,0174$	2,217	3,71
	F_1	$1,169 \pm 0,0761$	0,855	1,89
media	F_0	$0,442 \pm 0,0286$	2,262	3,38
media	F_1	$1,117 \pm 0,0766$	0,895	1,81
*prova effettuata in campo libero e quasi vicino.				

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

- ✚ la frequenza di risonanza fondamentale con rapporto H/V medio di 3,38, tipica dei siti investigati è denominata **F_0** (Tabella 4), risulta essere pari a:
 - **0,442 Hz** (periodo di risonanza medio: **2,262 secondi**). Questo valore suggerisce la presenza di una discontinuità elastica collocata a circa **284 ± 10 m** come risulta dal modello sismico di Vs (**Fig. 7**).
- ✚ Un secondo picco di frequenza con rapporto H/V medio ($H/V=1,81$) dei siti investigati è denominata **F_1** (Tabella 4), risulta essere pari a:
 - **1,117 Hz** (periodo di risonanza medio: **0,895 secondi**) per il sito oggetto di studio. Questo valore suggerisce la presenza di una discontinuità elastica collocata a circa **177 ± 10 m** come risulta dal modello sismico di Vs (**Fig. 7**).

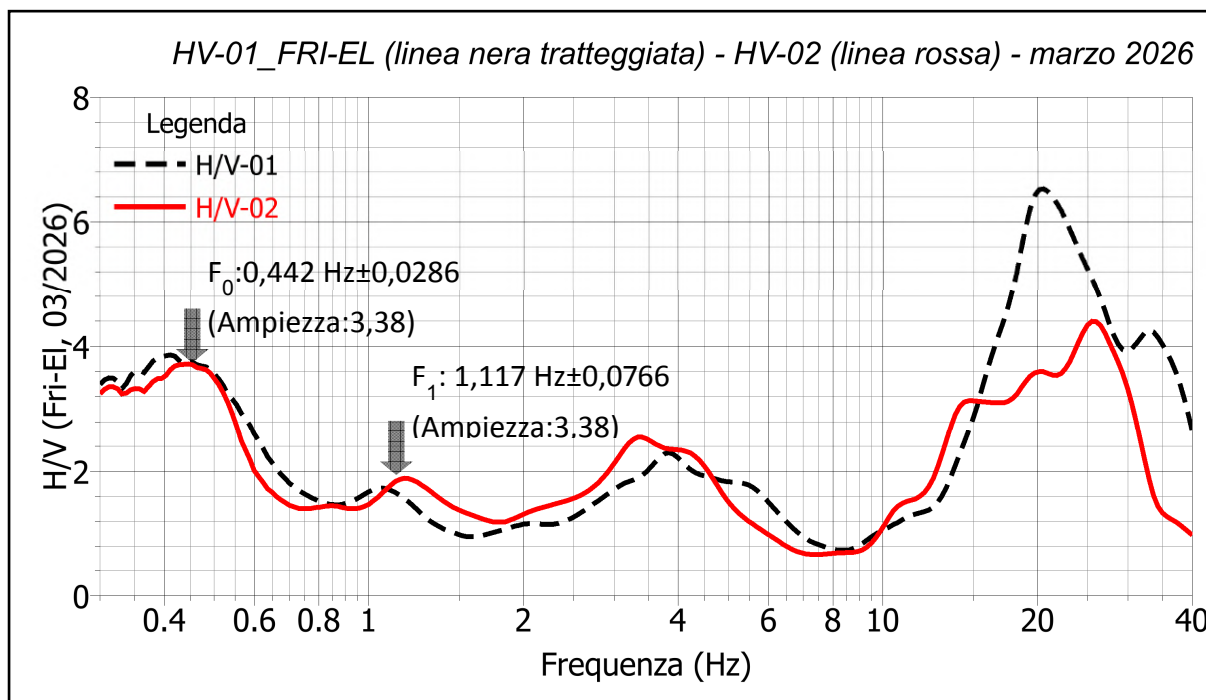


Figura 9. media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo vicino e libero (H/V-01) e (H/V-02) nell'area. Freccia: picchi di frequenza: **F₀**: fondamentale e **F₁**: altra frequenza.

6. CONCLUSIONI

Le indagini geofisiche effettuate in data **05 marzo** mediante l'impiego integrato delle tecniche di microtremore 'ESAC' (per la curva di dispersione) e del rapporto spettrale H/V (tecnica di Nakamura), hanno consentito di ricostruire il modello sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta (circa 308 m) e di determinare la frequenza di risonanza fondamentale del terreno per i siti investigati.

L'analisi del modello sismico evidenzia la presenza di numerosi sismo-strati con valori di velocità delle onde di taglio (V_s) crescenti con la profondità. L'indagine sismica non ha intercettato il substrato sismico, definito come materiale con $V_s \geq$

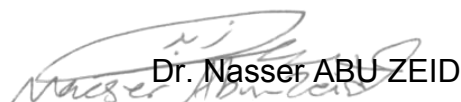
800 m/s. Il valore massimo di Vs ottenuto è pari a 590 m/s alla profondità di 380 m dal piano campagna.

Nella Figura 8 si riporta la variazione con la profondità del modulo di rigidità dinamico (G_{\max} o G_0), ricavato dal corrispondente profilo sismico di taglio Vs. I valori di densità utilizzati per il calcolo sono compresi tra 1.780,0 kg/m³ e 1.900,00 per tutti i sismo-strati, ad eccezione del primo strato superficiale per il quale è stato adottato un valore di 1.400 kg/m³.

L'analisi dei rapporti spettrali H/V (tecnica di Nakamura) ha permesso di determinare le frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni investigati. La frequenza fondamentale di risonanza del sito (f_0) risulta essere pari a un valore medio di 0,442 Hz (periodo $T=2,262$ s). Questo picco, che presenta un'ampiezza del rapporto $H/V > 3$, è da attribuire alla presenza di una discontinuità elastica (contrasto di impedenza elastica) localizzata a una profondità stimata di $284 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$.

È stato inoltre riscontrato un secondo picco di frequenza a 1,117 Hz ($T=0,895$ s), caratterizzato da un'ampiezza del rapporto $H/V < 2$. Questo picco secondario suggerisce la presenza di un contrasto di impedenza minore (discontinuità elastica intermedia) collocato a una profondità stimata di $177 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$.

Tecnico:



Dr. Nasser ABU ZEID

7. BIBLIOGRAFIA

Matlab, 2007b: Codice di calcolo numerico, Mathworks, USA.

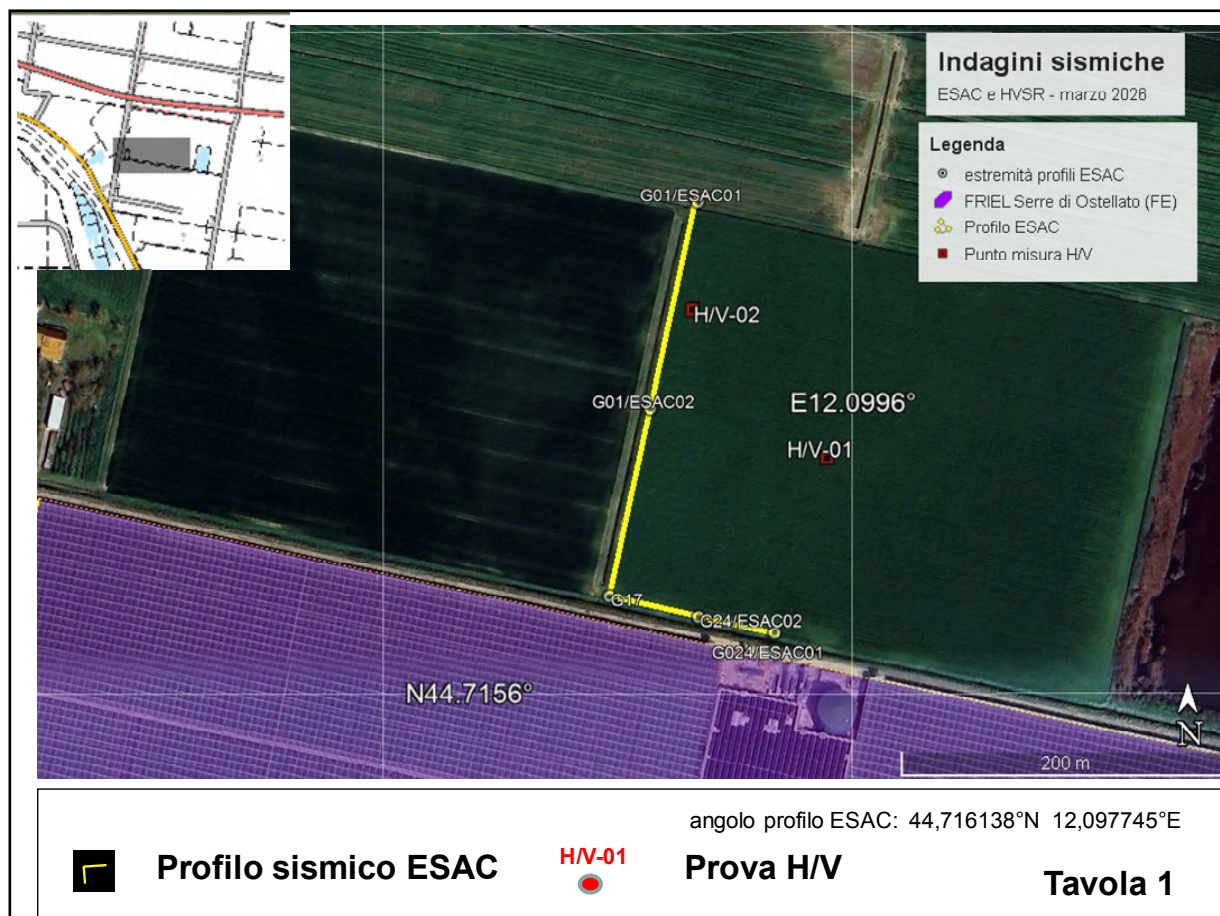
Nakamura Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

McMechan, G. A. e Yedlin, M. J., 1981. *In situ shear wave velocities from spectral analysis of dispersive waves by wave field transformation*. Geophysics, v. 46:869-874.

Lanzo G., Silvestri F., 1999: Risposta sismica locale. Hevelius edizioni, Benevento, pp. 159.

SeisOpt® ReMi, 2006. ReMiv4.0 user's manual. Optim, Inc., N. Virginia, USA, 85 p.

Mappa dell'ubicazione delle indagini sismiche effettuate nell'area. Linea gialla: profili ESAC, cerchio rosso: punto di misura H/V 'microtremori'



Appendice A

ESAC-01/02	PROFILO sismico fino a 308 metri		
Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
1	4.1	153.2	0.0
2	8.4	161.2	4.3
3	13.0	180.0	4.5
4	17.7	196.8	4.8
5	22.7	207.5	5.0
6	27.9	217.4	5.2
7	33.3	224.7	5.4
8	38.9	234.0	5.6
9	44.7	249.9	5.8
10	50.7	251.0	6.0
11	57.0	291.0	6.3
12	63.5	309.8	6.5
13	70.2	344.0	6.7
14	77.1	347.9	6.9
15	84.2	367.0	7.1
16	91.6	396.1	7.3
17	99.1	396.5	7.6
18	106.9	396.0	7.8
19	114.9	422.4	8.0
20	123.1	421.1	8.2
21	131.5	447.3	8.4
22	140.1	446.0	8.6
23	149.0	445.1	8.9
24	158.1	472.2	9.1

25	167.3	472.2	9.3
ESAC-01/02 Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
26	176.8	472.6	9.5
27	186.6	501.1	9.7
28	196.5	502.4	9.9
29	206.6	504.1	10.1
30	217.0	506.1	10.4
31	227.6	536.1	10.6
32	238.4	538.8	10.8
33	249.4	541.9	11.0
34	260.6	545.3	11.2
35	272.1	549.1	11.4
36	283.7	553.3	11.7
37	295.6	585.6	11.9
38	307.7	590.9	12.1
39	-	596.9	-

Appendice B

Curve medie dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate nell'area oggetto di studio.

