

# Comune di RUBIERA

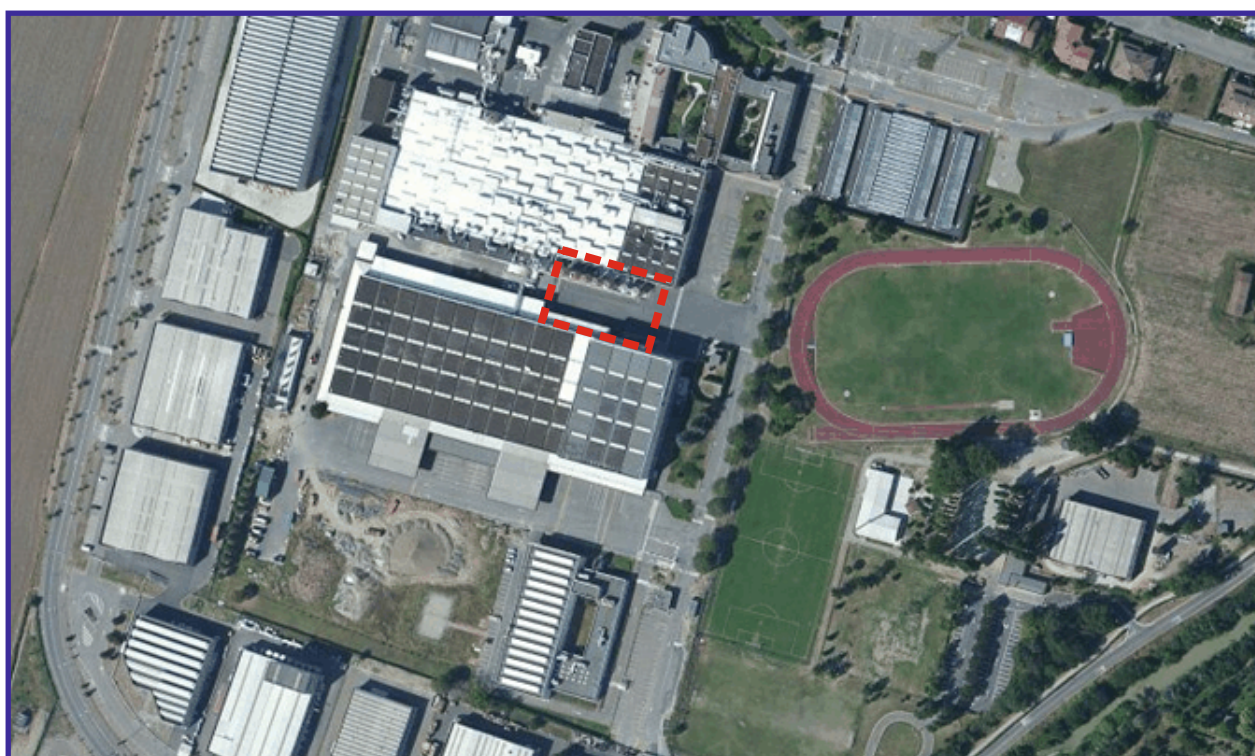
## Provincia di REGGIO EMILIA

COMUNE DI RUBIERA  
(Prov. di Reggio Emilia)  
L'originale del presente documento è pervenuto  
tramite P.E.C. agli atti comunali in data  
13/11/2018 prot. n. 15749

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (6.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (D.M. 14/01/08 - NNTC)



**OGGETTO: Collocazione di n. 2 nuovi silos all'interno dello stabilimento TETRA PAK**  
in v. Resistenza, 53

**COMMITTENTE: TETRA PAK ITALIA**

Ottobre 2013  
Rif. 514/13

ASSOCIATO



**GEO GROUP s.r.l.**  
Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA  
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019  
E-mail: geo.group@libero.it  
P.IVA e C.F. 02981500362  
[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE  
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV  
= UNI EN ISO 9001:2008 =

## Relazione Tecnica comprendente:

**RELAZIONE GEOLOGICA** inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfologici al fine della modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

**RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto, la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la “**RISPOSTA SISMICA DEL SITO**” (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) e la verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) (6.4 del D.M. 14/01/08) al fine della progettazione per azioni sismiche

## **OGGETTO: Collocazione di n. 2 nuovi silos all'interno dello stabilimento TETRA PAK**

posti in v. Resistenza 53, nel Comune di Rubiera (RE)

**COMMITTENTE: TETRA PAK ITALIA**

---

**GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

☒ Via C. Costa, 182 – 41123 Modena – ☎ Tel. 059/3967169 – Fax. 059/5332019 –

✉ e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

## Indice del contenuto

1. Premesse.....	pag. 3
<b>2. Relazione geologica .....</b>	<b>pag. 4</b>
2.1. Geologia e geomorfologia del sito.....	pag. 4
2.2. Indagini geognostiche .....	pag. 5
2.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	pag. 6
2.3. Caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del terreno di fondazione .....	pag. 9
<b>3. Relazione geotecnica .....</b>	<b>pag. 10</b>
3.1. Indagini geognostiche .....	pag. 10
3.2. Modello geotecnico del sottosuolo .....	pag. 10
3.3. Calcolo della capacità portante del palo .....	pag. 12
3.4. Considerazioni conclusive.....	pag. 16
<b>4. Caratterizzazione sismica del sottosuolo .....</b>	<b>pag. 16</b>
4.1. Sismicità dell'area .....	pag. 16
4.2. Indagini geofisiche .....	pag. 20
4.2.1 Indagine sismica a rifrazione – Tecnica MASW .....	pag. 20
4.2.2 Indagine sismica passiva HVSR .....	pag. 21
4.3. Verifica alla liquefazione .....	pag. 23
<b>5. Considerazioni conclusive .....</b>	<b>pag. 27</b>

## Tavole

<b>Tav. n. 1:</b> “Carta corografica”	scala 1: 25.000;
<b>Tav. n. 2:</b> “Carta topografica”	scala 1:10.000;
<b>Tav. n. 3:</b> “Ripresa fotografica aerea dell'area di interesse”	scala grafica;
<b>Tav. n. 4:</b> “Carta della litologia di superficie”	scala grafica;
<b>Tav. n. 5:</b> “Ubicazioni indagini geotecniche”	scala grafica.

## Allegati

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica;  
**ALL. n. 2** Verifiche geotecniche;  
**ALL. n. 3** Indagini geofisiche;  
**ALL. n. 4** Verifica alla liquefazione.

## 1. PREMESSE

Su incarico di TETRA PAK ITALIA, e in accordo con il tecnico progettista, Ing. Gian Battista Paltrinieri, nel mese di Ottobre 2013 è stato eseguito il presente studio geologico-geotecnico e sismico. Lo studio è finalizzato ad accertare le caratteristiche litostratigrafiche e sismiche e definire le proprietà geotecniche del terreno di fondazione in corrispondenza delle aree in cui verranno collocati n. 2 nuovi silos per lo stoccaggio di polietilene.

L'area è posta a sud ovest del centro abitato di Rubiera, come illustrato nella "Carta corografica" (**Tav. n. 1**), in scala 1:25.000, *tavola CTR n. 201\_SO*, nella "Carta topografica" (**Tav. n. 2**) in scala 1:10.000, *sezione CTR n. 201160 – Salvaterra* e nella "Ripresa fotografica aerea dell'area di interesse" (**Tav. n. 3** e nelle figure seguenti), tratta da archivio interattivo di "Google Earth", che compaiono in allegato.



**Figura n. 1.1** – Ripresa fotografica aerea dello stabilimento TETRA PAK tratta da archivio informatico interattivo di "BingMaps".

**GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

📍 Via C. Costa, 182 – 41123 Modena – ☎ Tel. 059/3967169 – Fax. 059/5332019 –

✉ e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

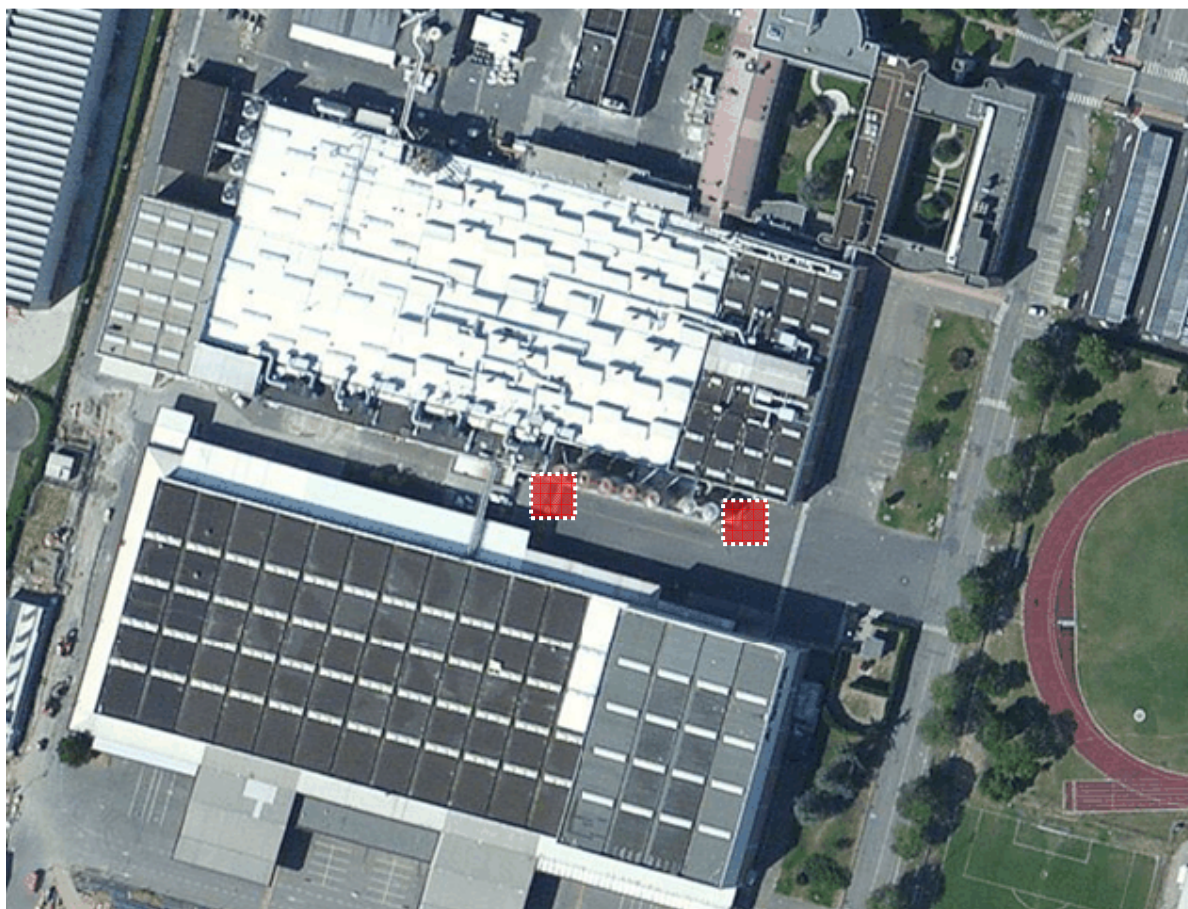


Figura n. 1.2 – Ubicazione dei n. 2 nuovi silos.

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** il succitato Studio verrà suddiviso nei seguenti ambiti:

- 1) RELAZIONE GEOLOGICA riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08);
- 2) RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08);
- 3) Relazione concernente la “RISPOSTA SISMICA DEL SITO” (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) e la verifica dello Stato Limite Ultimo (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08).

## 2. RELAZIONE GEOLOGICA

### 2.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SITO

L'area in studio è posta a sud ovest del centro abitato di Rubiera (RE). L'area è pianeggiante e ricade ad una quota topografica media di 55 m s.l.m.

**GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

Via C. Costa, 182 – 41123 Modena – Tel. 059/3967169 – Fax. 059/5332019 –

e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

Da quanto si evince dalla “Carta della litologia di superficie”, scala 1: 5.000, (**Tav. n. 4**) tratta dal sito della Regione Emilia Romagna, GEOLOGIA, SISMICA E SUOLI - Cartografia geologica interattiva, nell'area oggetto di studio affiorano litotipi appartenenti alla :

#### **SUCCESSIONE NEOGENICO - QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO**

**AES8a - Unità di Modena** - Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C..

Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

*Post-VI secolo d.C.*

Nell'area mancano evidenze geomorfologiche degne di nota; la zona è pianeggiante e fortemente antropizzata.

Dal punto di vista idrografico si segnala la presenza del torrente Tresinaro che scorre verso sud est, 250 m circa più a sud dello stabilimento.

## **2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE**

In relazione alla litologia individuata dalla cartografia nell'area di studio e in base alla tipologia dell'intervento in progetto, la campagna geognostica è stata espletata mediante le seguenti indagini:

○ <b>N. 2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT;</b>
○ <b>N. 1 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW;</b>
○ <b>N. 1 INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR;</b>

I tabulati e i diagrammi relativi alle prove penetrometriche effettuate in sito, corredate dell'interpretazione geotecnica, sono riportati in **Allegato n. 1**. L'elaborazione delle indagini geofisiche è illustrata nell' **Allegato n. 3**.

### 2.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Nei giorni 01-04/10/2013 sono state eseguite in prossimità delle aree in cui verranno collocati i silos, n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, spinte fino a rifiuto strumentale al tetto delle ghiaie, alla profondità di -18.40/-18.60 m da p.p..

Il penetrometro utilizzato per realizzare le prove è un Gouda da 200 kN di spinta, montato su autocarro gommati a trazione integrale.

Il dispositivo di misura consiste in una centralina di acquisizione digitale. Il segnale elettrico generato dalla cella di pressione durante l'infissione della CPT viene opportunamente condizionato e amplificato dalla centralina di acquisizione e visualizzato su di un display digitale a quattro cifre. Le caratteristiche dello strumento impiegato per i sondaggi sono le seguenti:

Punta meccanica	<b>Begemann</b>
Spinta	<b>200 kN</b>
Intervalli di misura	<b>20 cm</b>
Parametri registrati	<b>R<sub>p</sub> (resistenza alla punta)</b>
	<b>RI (resistenza attrito laterale)</b>
Area punta	<b>10 cm<sup>2</sup></b>
Angolo alla punta	<b>60°</b>

Nell'**Allegato n. 1** sono riportati le tabelle e i grafici riguardanti la prova eseguita, corredata dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

La prova penetrometrica statica CPT ("Cone Penetration Test") viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann. La punta (**Fig. 2.2.1.1**) presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm<sup>2</sup>. Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm<sup>2</sup>.

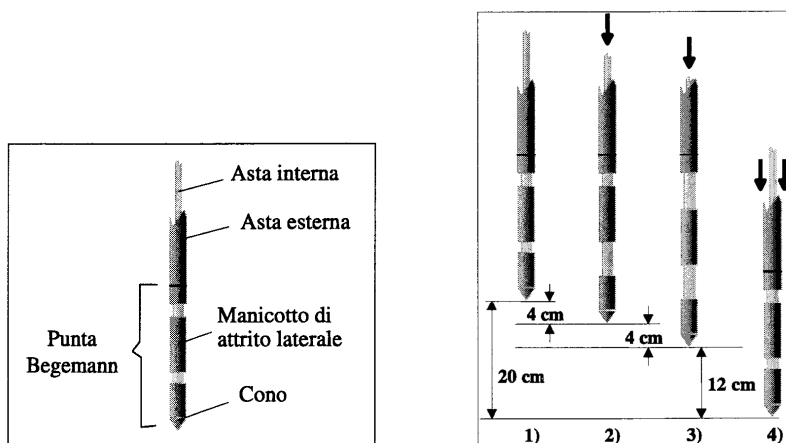


Figura 2.2.1.1 – Punta Begemann (a) e schema di avanzamento (b).

I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e l'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento :

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;
- 2) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm del solo cono; visualizzazione dello sforzo di punta ( $R_p$ );
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale ( $R_l$ );
- 4) spinta esercitata sulle aste esterne con avanzamento di 12 cm e ritorno alla posizione di riposo con punta completamente chiusa; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito + attrito della batteria di aste ( $R_t$ ).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza ( $R_p$ ) tenuto conto della superficie di infissione di circa  $10 \text{ cm}^2$ . Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 ( $R_l$ ).

Ad ogni profondità di misura ( $x$ ), i valori reali della resistenza alla penetrazione della punta " $q_c$ " e dell'attrito laterale locale " $f_s$ " possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$q_c(x) = R_p(x) \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

dove:

$$AP \text{ (Area Punta)} = 10 \text{ cm}^2$$

$$AM \text{ (Area Manicotto Laterale)} = 150 \text{ cm}^2$$



$$f_s(X) = (RI(x+1) - Rp(x+1)) \cdot (AP/AM) = (RI(x+1) - Rp(x+1)) / 15$$

La particolare punta utilizzata per la perforazione "FrictionJacketCone" è servita a determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni investigati: dal rapporto tra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale è infatti possibile risalire, attraverso l'esperienza di **Begemann**, modificata da **Schmertmann** (di seguito descritti), alla granulometria, e di conseguenza alla litologia, dei terreni attraversati dall'indagine.

### **Metodo di Begemann:**

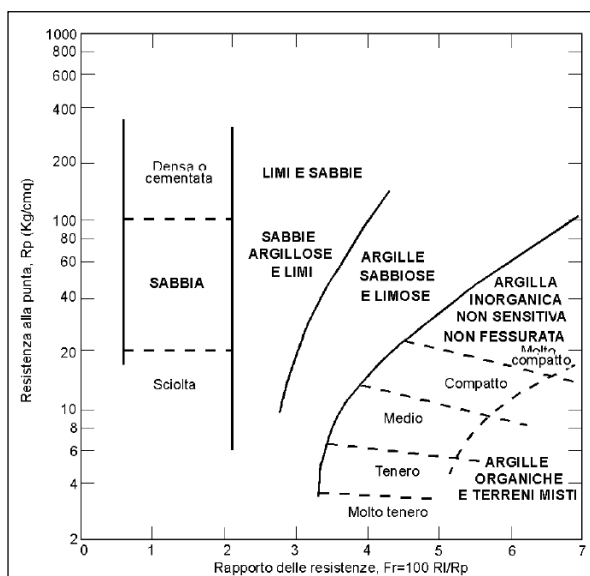
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra Rp e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto Rp/RI	Litologia
$Rp/RI < 15$	Argilla organica e torba
$15 < Rp/RI < 20$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < Rp/RI < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$Rp/RI > 60$	Sabbie o sabbia più ghiaia

Va ricordato che tali correlazioni sono valide solo per terreni immersi in falda.

### **Metodo di Schmertmann:**

Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata il rapporto delle resistenze **Fr** (con  $Fr\% = 100 RI/Rp$ ), secondo il grafico seguente:



### **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

Via C. Costa, 182 - 41123 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019 -

e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

## 2.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle prove penetrometriche eseguite, illustrati nell'**Allegato n. 1**, si può riassumere quanto segue:

CPT 1	CPT 2	LITOLOGIA
-2.20 m	-1.80 m	<b>TERRENO DI RIPORTO COSTITUITO DA GHIAIE IN MATRICE LIMOSO SABBIOSA SUPERATO TRAMITE PREFORO CON TRIVELLA MECCANICA NELLA CPT 1 E PRESCAVO NELLA CPT 2</b>
-3.80 m	-6.20 m	<b>LIVELLO ARGILLOSO LIMOSO DI MEDIA CONSISTENZA</b> - I valori di resistenza alla punta Rp sono compresi tra 1.58 e 1.98 MPa nella CPT 1 e tra 1.09 e 1.49 MPa nella CPT 2.
-4.60 m		<b>ARGILLA LIMOSA DI SCARSA CONSISTENZA</b> (Rp compreso tra 0.50 e 0.69 MPa).
-5.80 m		<b>ARGILLA LIMOSA DI MEDIA CONSISTENZA</b> (Rp compreso tra 1.29 e 1.68 MPa).
-8.20 m		<b>ARGILLA LIMOSA DI MEDIO SCARSA CONSISTENZA</b> (Rp compreso tra 0.69 e 1.09 MPa).
-12.60 m	-12.20 m	<b>ARGILLA LIMOSA INTERCALATA DA LIVELLETTI LIMOSO SABBIOSI NELLA CPT 1 E PIÙ MARCATAMENTE SABBIOSA NELLA CPT 2</b> (Rp compreso tra 1.78 e 2.67 MPa).
-15.40 m	-15.20 m	<b>ARGILLA LIMOSA CONSISTENTE</b> (Rp compreso tra 1.39 e 1.98 MPa).
-18.00 m	-18.40 m	<b>ARGILLA LIMOSA MOLTO CONSISTENTE</b> (Rp compreso tra 2.08 e 3.27 MPa nella CPT 1 e tra 2.18 e 2.97 MPa nella CPT 2).
-18.40 m	-18.60 m	<b>GHIAIA SABBIOSA ADDENSATA (DR% COMPRESO TRA 70 E 80%)</b>

Al termine delle prove penetrometriche statiche è stata rilevata la soggiacenza della **FALDA FREATICA LIBERA** all'interno dei fori di sondaggio alle seguenti quote:

CPTU 1	CPTU 2
Non rilevata.	$D_w = -1.70$ m da p.p.

La verifica è stata eseguita mediante freatimetro elettroacustico.

### 3. RELAZIONE GEOTECNICA

#### 3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla litologia individuata dalla cartografia nell'area di studio e in base alla tipologia dell'intervento in progetto, la campagna geognostica è stata espletata mediante le seguenti indagini:

○ <b>N. 2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT;</b>
○ <b>N. 1 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW;</b>
○ <b>N. 1 INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR;</b>

I tabulati e i diagrammi relativi alle prove penetrometriche effettuate in sito, corredate dell'interpretazione geotecnica, sono riportati in **Allegato n. 1**. L'elaborazione delle indagini geofisiche è illustrata nell' **Allegato n. 3**.

#### 3.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per il progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geognostiche, illustrate nell'**Allegato n. 1** e precedentemente descritte, si può fornire il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato.

### MODELLO GEOTECNICO SCHEMATICO

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 2.20 m da p.p.	-1.70 m da p.c.	RIPORTO	$\gamma$	1850 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2150 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
				Dr%	100
				$\phi_k$	35°
				$\nu$	0.30
				Es	500.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 50000 kN/m <sup>2</sup>
2	2.20 – 3.80 m da p.p.		ARGILLA LIMOSA MEDIA CONSISTENZA	$\gamma$	1850 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2150 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.60 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 60.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.06 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 6.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	45.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 4500 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	23°
				$\nu$	0.40
				Es	84.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 8400 kN/m <sup>2</sup>
3	3.80 – 4.40 m da p.p.		ARGILLA LIMOSA A SCARSA CONSISTENZA	$\gamma$	1800 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.30 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 30.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.03 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 3.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	25.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 2500 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	18°
				$\nu$	0.50
				Es	42.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 4200 kN/m <sup>2</sup>
4	4.40 – 5.80 m da p.p.		ARGILLA LIMOSA MEDIA CONSISTENZA	$\gamma$	1850 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2150 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.60 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 60.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.06 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 6.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	45.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 4500 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	23°
				$\nu$	0.40
				Es	84.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 8400 kN/m <sup>2</sup>
5	5.80 – 8.00 m da p.p.		ARGILLA LIMOSA A SCARSA CONSISTENZA	$\gamma$	1800 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/cm <sup>3</sup> $\approx$ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.40 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 40.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.04 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 4.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	35.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 3500 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	20°
				$\nu$	0.45
				Es	56.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 5600 kN/m <sup>2</sup>

#### GEO GROUP s.r.l.

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

Via C. Costa, 182 – 41123 Modena – Tel. 059/3967169 – Fax. 059/5332019 –

e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

6	8.00 – 15.40 m da p.p.	ARGILLA LIMOSA MEDIO ELEVATA CONSISTENZA	$\gamma$	1850 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
			$\gamma'$	2150 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
			$C_{uk}$	0.70 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 70.0 kN/m <sup>2</sup>
			$C'_k$	0.07 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 7.0 kN/m <sup>2</sup>
			$M_0$	50.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 5000 kN/m <sup>2</sup>
			$\phi_k$	23°
			$\nu$	0.40
			$E_s$	98.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 9800 kN/m <sup>2</sup>
7	15.40 – 17.80 m da p.p.	ARGILLA LIMOSA CONSISTENTE	$\gamma$	1900 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 19.00 kN/m <sup>3</sup>
			$\gamma'$	2200 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 22.00 kN/m <sup>3</sup>
			$C_{uk}$	0.80 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 80.0 kN/m <sup>2</sup>
			$C'_k$	0.08 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 8.0 kN/m <sup>2</sup>
			$M_0$	60.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 6000 kN/m <sup>2</sup>
			$\phi_k$	25°
			$\nu$	0.35
			$E_s$	112.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 11200 kN/m <sup>2</sup>
8	17.80 – 25.00 m da p.p.	GHIAIA ADDENSATA	$\gamma$	1950 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 19.50 kN/m <sup>3</sup>
			$\gamma'$	2250 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 22.50 kN/m <sup>3</sup>
			$Dr\%$	70-80
			$\phi_k$	35°
			$\nu$	0.30
			$E_s$	700.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 70000 kN/m <sup>2</sup>

<b>Legenda</b>	$\gamma$	=	peso specifico terreno naturale
	$\gamma'$	=	peso specifico terreno saturo
	$C_{uk}$	=	coesione non drenata caratteristica
	$C'_k$	=	coesione efficace caratteristica
	$Dr$	=	densità relativa
	$M_0$	=	modulo di deformazione edometrico
	$E_s$	=	modulo di deformazione elastico
	$\phi_k$	=	angolo d'attrito caratteristico

### 3.3 CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEI PALI

Per il calcolo della portanza dei pali si utilizzano i parametri geotecnici del terreno emersi dall'elaborazione delle prove geotecniche eseguite in sito e riportati nel §3.2.

La capacità portante limite del singolo palo è stata valutata utilizzando le seguenti formule statiche:

$$Q_{Lim} = Q_p + Q_{Lat}$$

dove:

**GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

Via C. Costa, 182 – 41123 Modena – Tel. 059/3967169 – Fax. 059/5332019 –

e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

**QLim** = portata limite;  
**Qp** = portata di punta;  
**QLat** = portata laterale.

La resistenza laterale del palo in terreni coerenti "QLat" per pali con area della superficie laterale "As" vale relazione:

$$\mathbf{QLat} = \mathbf{ca} \times \mathbf{As}$$

dove:

**ca** = coefficiente di adesione tra terreno e palo. Deriva, tramite relazioni sperimentali, dal valore di coesione non drenata "Cu" e dal tipo di palo.

La **QLat** viene calcolata per via numerica come somma dei contributi delle singole sezioni elementari del palo.

La resistenza alla punta del palo in terreni incoerenti con area di punta Ap è definita dalla seguente espressione:

$$\mathbf{QP} = (\mathbf{Nc} \times \mathbf{c} + \mathbf{Nq} \times \mathbf{\sigma v}) \times \mathbf{Ap}$$

dove :

**c** = coesione;

**σv** = tensione totale alla profondità della punta. La tensione totale a una certa profondità è data dalla somma dei pesi di volume naturale o saturi del terreno moltiplicati per gli spessori degli strati sovrastanti;

**Nq** = fattore dipendente dall'angolo di attrito interno del terreno  $\phi$ ;

**Nc** =  $(Nq-1) \text{ ctg } \phi$  è un fattore di capacità portante correlato direttamente al fattore Nq.

La resistenza laterale del palo "QLat" è calcolata per pali con area della superficie laterale "As" nei terreni incoerenti tramite l'espressione:

$$\mathbf{QLat} = (\mathbf{ca} + \mathbf{m} \times \mathbf{k} \times \mathbf{\sigma v}) \times \mathbf{As}$$

dove:

**ca** = (<coesione) coefficiente di adesione tra palo e terreno;

$\sigma_v$  = tensione totale alla profondità della punta. La tensione totale a una certa profondità è data dalla somma dei pesi di volume naturale o saturi del terreno moltiplicati per gli spessori degli strati sovrastanti;

$m$  = coefficiente di attrito tra palo e terreno;

$k$  = coefficiente di spinta.

Infine il fattore di sicurezza  $F_s$  è dato dall' espressione:

$$F_s = Q_{Lim}/(N + P_p)$$

dove:

$Q_{Lim}$  = carico limite del palo;

$N$  = carico verticale di esercizio;

$P_p$  = peso proprio del palo prodotto dal volume del palo per il peso di volume del calcestruzzo.

\*\*\*

Nelle verifiche sono stati considerati dei **pali trivellati** di diametro compreso tra  $\Phi = 300$  mm e  $\Phi = 600$  mm e di lunghezza pari a  $L = 19.00$  m riferita alla quota di p.p..

Al fine di ottemperare alle **NNTC - D.M. 14/01/2008** sono state effettuate le verifiche dei pali allo stato limite ultimo SLU, utilizzando l'**APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (A1+M1+R3)**.

### **APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (A1+M1+R3)**

#### **COEFFICIENTI PARZIALI PER LE RESISTENZE DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI**

Il **valore di progetto  $R_D$  della resistenza** si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_K$  applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  della seguente tabella:

RESISTENZA	SIMBOLO	PALI TRIVELLATI		
	$\gamma_R$	R1	R2	R3
Base	$\gamma_B$	1,0	1,7	<b>1,35</b>
Laterale in compressione	$\gamma_S$	1,0	1,45	<b>1,15</b>
Totale*	$\gamma_T$	1,0	1,6	<b>1,30</b>
Laterale in trazione	$\gamma_{ST}$	1,0	1,6	<b>1,25</b>

Tab. n. 6.4.II - NNTC – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche

**GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

Via C. Costa, 182 – 41123 Modena – Tel. 059/3967169 – Fax. 059/5332019 –

e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

La **resistenza caratteristica  $R_K$  del singolo palo** può essere dedotta da metodi di calcolo analitici, dove  $R_K$  è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici e mediante l'utilizzo di relazioni empiriche che utilizzano direttamente i risultati di prove penetrometriche in sito.

In questo caso, il valore caratteristico della resistenza  $R_{C,K}$ , è dato dal maggiore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{C,cal}$ , i fattori di correlazione  $\xi$ .

$$R_{C,K} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{C,cal})_{media}}{\xi_3} ; \frac{(R_{C,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad R_{T,K} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3} ; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

N° DI VERTICALI INDAGATE	1	2	3	4	5	7	≥ 10
$\xi_3$	1,70	<b>1,65</b>	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	<b>1,55</b>	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tab. n. 6.4.IV - NNTC – Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

I valori dei coefficienti **R2\*** sono stati ottenuti moltiplicando i coefficienti R2, riportati nella Tabella 6.4.II - NNTC, da applicare alla resistenza caratteristica per ottenere la resistenza di progetto, per il coefficiente  $\xi_3$  della Tabella 6.4.IV - NNTC, in funzione delle verticali indagate, che in questo caso sono **DUE**.

Pertanto i coefficienti adottati per le verifiche all'SLU sono risultati pari a:

RESISTENZA	R3	R3*
Base	1,35	<b>2.23</b>
Laterale in compressione	1,15	<b>1.90</b>
Laterale in trazione	1,25	<b>2.06</b>

Ottenuti da:

$$R3^* \text{ Base} = 1.65 \times 1.35 = 2.23$$

$$R3^* \text{ Laterale in compressione} = 1.65 \times 1.15 = 1.90$$

$$R3^* \text{ Laterale in trazione} = 1.65 \times 1.25 = 2.06$$

I risultati ottenuti sono i seguenti:



### APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (A1+M1+R3)

Lunghezza L	Diametro $\Phi$	Portanza Ammissibile $Q_{amm.}$	Carico limite laterale	Carico ammissibile A TRAZIONE
L = 19.00 m	$\Phi = 300$ mm	694.57 kN	650.15 kN	315.61 kN
	$\Phi = 400$ mm	1070.50 kN	866.87 kN	420.81 kN
	$\Phi = 500$ mm	1261.40 kN	1083.50 kN	525.97 kN
	$\Phi = 600$ mm	1476.70 kN	1300.30 kN	631.21 kN

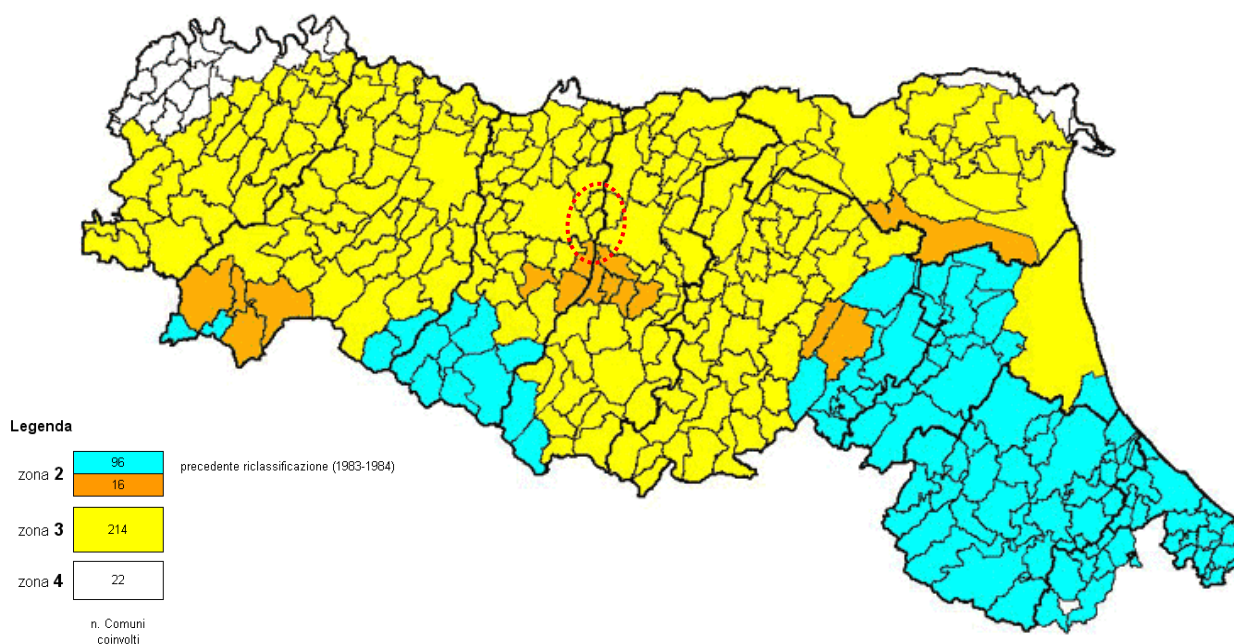
### 3.4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Riassumendo quindi, si evince che, un **palo** di diametro variabile da  $\Phi = 200$  mm a  $\Phi = 600$  mm e di lunghezza pari a  $L = 19.00$  m dall'attuale p.p., verificato agli stati limite ultimi SLU è dotato di una **portanza ammissibile** variabile da  $Q_{amm.} = 694.57$  kN  $\approx 69.46$  ton a  $Q_{amm.} = 1476.70$  kN  $\approx 147.67$  ton utilizzando l'APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (A1+M1+R3). Per tali pali è stata stimata un **carico ammissibile a trazione** compresa tra  $Tr_{amm.} = 315.61$  kN  $\approx 31.56$  ton a  $Tr = 631.21$  kN  $\approx 63.12$  ton

## 4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

### 4.1 SISMICITÀ DELL'AREA

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, **il Comune di Rubiera (RE)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**, indicativa di una zona a bassa sismicità.



**Figura 4.1.1** – Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna, il cerchio rosso indica il Comune di Rubiera (RE).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore delle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (N.N.T.C.), che ha limitato l'importanza della classificazione sismica alla gestione della pianificazione ed al controllo del territorio da parte degli enti pubblici.

Sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008 - N.N.T.C.** per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.644500°, Longitudine 10.775806°, in relazione ad un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 332 anni è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  pari a  $a_{g\text{ attesa}} = 0.140g$ .

(1)* Coordinate WGS84	
Lat. <input type="text" value="44.643559"/>	Long. <input type="text" value="10.774798"/>
(1)* Coordinate ED50	
Lat. <input type="text" value="44.644500"/>	Long. <input type="text" value="10.775806"/>
Classe dell'edificio	
<input type="text" value="I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli..."/>	Cu = 0.7
Vita nominale	<input type="text" value="50"/>
<small>(Opere provvisorie &lt;=10, Opere ordinarie &gt;=50, Grandi opere &gt;=100)</small>	
Interpolazione	<input type="text" value="Media ponderat"/>
<input type="button" value="Calcola"/>	

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0,050	2,473	0,252
Danno (SLD)	35	0,053	2,480	0,256
Salvaguardia vita (SLV)	332	0,140	2,384	0,288
Prevenzione collasso (SLC)	682	0,183	2,385	0,300
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

**Tabella 4.1.1** – Tabelle dei parametri sismici desunti dal programma "Parametri Sismici" di GEO STRU.

L'accelerazione orizzontale di picco attesa  $a_g$  è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (suolo categoria A) e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione  $a_g$  rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri che  $F_0$  e  $T_c^*$  dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della**

**categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" (D.M. 14 Gennaio 2008) e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito** si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI  $V_{s30}$  COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI  $15 < N_{SPT,30} < 50$  NEI TERRENI A GRANA GROSSA E  $70 < CU_{30} < 250$  kPA NEI TERRENI A GRANA FINA)".

Si ricava quindi il **fattore stratigrafico  $S_s$** , caratteristico del sito secondo le N.N.T.C. - D.M. 14/01/2008, mediante la seguente relazione, valida suoli in classe **C**:

$$1.00 \leq S_s = 1.70 - (0.60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.50 \quad (4.1.1)$$

dove:

$F_o$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.384**;

$a_g/g$  = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 332 anni/accelerazione di gravità;

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.50**;

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico  $S_T$  dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore topografico $S_T$
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona di pianura e appartenente, quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico **S<sub>T</sub>** pari a **1.0**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico **S<sub>S</sub>** e del fattore topografico **S<sub>T</sub>** si procede al calcolo dell' accelerazione massima orizzontale **A<sub>max</sub>**:

$$A_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.50 \cdot 1.0 \cdot 0.140g = 0.210 g \quad (4.1.2)$$

## 4.2 INDAGINI GEOFISICHE

Per caratterizzare l'area da un punto di vista sismico sono state eseguite in sito alcune indagini geofisiche. Tali indagini consistono in:

- **N. 1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE CON TECNICA MASW;**
- **N. 1 INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR.**

I risultati di tali indagini sono riportati nell'**Allegato n. 3**.

### 4.2.1 Indagine sismica a rifrazione – Tecnica MASW

Per potere classificare l'area da un punto di vista sismico, come richiesto dal D.M. 14 Gennaio 2008, è stata eseguita in sito **n. 1 indagine sismica a rifrazione con tecnica MASW**.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando 24 geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**, permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs).

**I dati sono stati registrati mediante un sismografo GEODE della Geometrics a 24 canali.** La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di

fondazione ha utilizzato la tecnica MASW per la determinazione dello spettro di velocità tramite l'inversione della curva di dispersione, con l'utilizzo del *software winMASW 4.3*.

La procedura MASW può quindi sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- Acquisizione dei dati di campo;
- Estrazione della curva di dispersione;
- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs, che descrive la variazione di Vs con la profondità.

#### **Determinazione del parametro $V_{s30}$ ai sensi del D.M. 14/01/2008**

Le elaborazioni presenti in **Allegato n. 3**, restituiscono dei grafici che riportano la curva di dispersione del segnale, dalla cui inversione è stato calcolato il Modello "Sismo – Stratigrafico", espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs), con un'immagine a colori che mostra i valori di lettura delle velocità/frequenza ed il profilo delle velocità delle onde di taglio con l'indicazione della  $V_{s30}$  calcolata, espressa in metri/secondo.

Tali valori, nell'area indagata, per la classificazione sismica del terreno di fondazione, seguendo le indicazioni del D.M. 14 Gennaio 2008, sono risultati pari a:

<b>MASW</b>	<b><math>V_{s30} = 295</math> m/s</b>	<b>Categoria C</b>
-------------	---------------------------------------	--------------------

Quindi, secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**) e in base ai dati ottenuti dall'indagine geofisica sopracitata (**Allegato n. 3**), si conferma l'appartenenza del terreno di fondazione indagato alla **categoria C**.

Si precisa che l'elaborazione ha tenuto conto dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche statiche CPT e dei dati litostratigrafici ricavati dalla stratigrafia di alcuni pozzi della zona (da Cartografia geologica della Regione Emilia Romagna), che in particolare confermano la continuità fino a – 30 m da p.c. del livello ghiaioso sabbioso addensato individuato nelle prove a partire da -17.80 m da p.c.

#### **4.2.2 Indagine sismica passiva HVSR – Metodo di Nakamura**

In data **01/10/2013** è stata eseguita presso l'area in studio **n. 1 indagine sismica passiva HVSR – Metodo di Nakamura**.

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura)** è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di **risonanza di sito**. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica delle **spettro H/V**, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato.

La tecnica dei rapporti spettrali (**HVSR**) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta **progettazione di edifici antisismici**. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua **versatilità** poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSR** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un **sismometro digitale** della ditta *Sara Electronics* di Perugia modello **SRO4HS**, che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatto a tali misurazioni.

I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSR sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.

- La **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'**affidabilità del risultato**, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. E' possibile calcolare la **Vs30** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

È stato individuato un picco del rapporto H/V alla frequenza di  $5.75 \text{ Hz} \pm 0.30 \text{ Hz}$  non verificato secondo i criteri imposti dal progetto Sesame 2006.

#### 4.3 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

---

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i **depositi sabbiosi saturi** e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana). Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di

---

#### GEO GROUP s.r.l.

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

📍 Via C. Costa, 182 – 41123 Modena – ☎ Tel. 059/3967169 – Fax. 059/5332019 –

✉ e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Si osserva inoltre che, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione e che maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il **grado di addensamento** del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la **distribuzione**, la **forma delle particelle** e il **grado di uniformità** influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la **storia delle sollecitazioni sismiche**, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di ri-liquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione dei dati ottenuti da prove penetrometriche statiche CPT, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione di terreni sotto falda, in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di "**Robertson e Wride**".

I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la **resistenza al taglio mobilabile nello strato ( R )** e lo **sforzo tangenziale indotto dal sisma ( T )**. In pratica si avrà:

$$FS = \frac{R}{T}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza  $F_s$  sarà minore di 1.

La grandezza **T** dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica massima al suolo e magnitudo di progetto). **R** è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche.

La grandezza **T** viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} \right) \cdot r_d \left( \frac{1}{MSF} \right)$$

dove:

$a_{\max}$	= accelerazione sismica massima;
$g$	= accelerazione di gravità = 980.7 cm/s <sup>2</sup> ;
$\sigma_{v0}$	= pressione verticale totale alla profondità $z$ dal p.c.;
$\sigma_{v0}'$	= pressione verticale efficace alla profondità $z$ dal p.c.;
$r_d$	= coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema: $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m
MSF	= coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Il metodo di **Robertson e Wride** permette di correlare la resistenza al taglio **R** mobilata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

---

#### GEO GROUP s.r.l.

Indagini geologiche, geofisiche e ambientali - Consulenze geologiche e geotecniche

Via C. Costa, 182 - 41123 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019 -

e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

$$R = 0.833 \cdot \left[ \frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} + 0.05 \right] \text{ per } (q_{c1n})_{cs} < 50;$$

$$R = 93 \cdot \left[ \frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \text{ per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

La grandezza  $(q_{c1n})_{cs}$  rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente.

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia  $F_s > 1$ .

### Calcolo dell'indice di liquefacibilità

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione **IL**. Tale indice viene definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z) \cdot \Delta z$$

dove:

$n$  = numero degli intervalli di calcolo di  $F_s$  lungo la verticale;

$F$  =  $1 - F_s$  per  $F_s \leq 1$  e  $F = 0$  per  $F_s > 1$ ;

$\Delta z$  = spessore dell'intervallo di calcolo;

$W(z)$  =  $10 - 0,5z$ , con  $z$  = profondità di calcolo (massimo 20 m).

In base al valore di IL ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

IL	Rischio di liquefazione
IL=0	Molto basso
0 < IL ≤ 5	Basso
5 < IL ≤ 15	Alto
15 < IL	Molto alto

Nel nostro caso la verifica a liquefazione è stata eseguita, in via cautelativa, considerando una magnitudo di riferimento  $M = 6.14$ , corrispondente alla magnitudo attesa per la zona di Rubiera secondo la zonazione ZS9 di INGV, un'accelerazione massima orizzontale  $A_{max} =$

0.210<sub>g</sub> (calcolata sulla base delle N.N.T.C) e considerando la falda freatica ad una quota  $D_w = -1.70$  m da p.c..

La verifica è stata svolta sulla verticale di prova della CPT n. 2 che ha evidenziato spessori più potenti di sabbie limose.

Nella verifica è stato ottenuto il seguente valore di indice di liquefazione IL:

CPT	IL	Rischio di liquefazione
2	0.3	Rischio basso

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio geologico - geotecnico e sismico è stato redatto a supporto di un progetto che prevede l'installazione di n. 2 nuovi silos per lo stoccaggio di polietilene.

Sulla base dei dati emersi dalle indagini geotecniche eseguite in sito, si fornisce per il terreno di fondazione del fabbricato in oggetto, il **modello geotecnico** medio riportato nel *paragrafo 3.2* della presente relazione.

Per l'intervento in progetto è stato ipotizzato l'utilizzo di **pali trivellati** immersi nel livello ghiaioso addensato rilevato a partire da -16.00 m da p.p..

Riassumendo, è stato ottenuto che, un palo di diametro variabile da  $\Phi = 200$  mm a  $\Phi = 600$  mm e di lunghezza pari a  $L = 19.00$  m dall'attuale p.p., verificato agli stati limite ultimi SLU è dotato di una **portanza ammissibile** variabile da  $Q_{amm.} = 694.57$  kN  $\approx 69.46$  ton a  $Q_{amm.} = 1476.70$  kN  $\approx 147.67$  ton utilizzando l'APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (A1+M1+R3).

Per tali pali è stata stimata un **carico ammissibile a trazione** compresa tra  $Tr_{amm.} = 315.61$  kN  $\approx 31.56$  ton a  $Tr = 631.21$  kN  $\approx 63.12$  ton

**Si consiglia** di utilizzare durante la realizzazione dei pali, tubi di rivestimento per i primi 3.00/4.00 m dalla superfici, al fine di non danneggiare le fondazioni esistenti limitrofe.

La **caratterizzazione sismica** del sito condotta sulla base delle indagini geofisiche effettuate nel lotto, ha permesso di determinare che:

- mediante le indagini geofisiche è stato possibile ricavare la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità  $V_{s30}$ , i valori ricavati sono i seguenti:

MASW	$V_{s30} = 295 \text{ m/s}$	categoria C
------	-----------------------------	-------------

- sulla base delle N.N.T.C. e tenendo conto dei dati ottenuti dalle indagini geofisiche eseguite in sito, si classifica il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente “DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI  $V_{s30}$  COMPRESI TRA **180 M/S** E **360 M/S** (OVVERO CON VALORI DI **15 < N<sub>SPT,30</sub> < 50** NEI TERRENI A GRANA GROSSA E **70 < CU<sub>30</sub> < 250 KPA** NEI TERRENI A GRANA FINA)”.
  - secondo quanto indicato dalle N.N.T.C. per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera. Per l'area in oggetto identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.644500°, Longitudine 10.775806°, in relazione ad un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 332 anni è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  pari a  $a_{g \text{ attesa}} = 0.140g$ .

Per la definizione dell'azione sismica:

- secondo l'approccio previsto dalle **N.N.T.C.**, definite l'amplificazione stratigrafica e topografica in funzione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche del sito, l'accelerazione massima al suolo è risultata pari a  $A_{max} = 0.210g$ .

La verifica a **liquefazione** è stata eseguita, in via cautelativa, considerando una magnitudo di riferimento  $M = 6.14$ , corrispondente alla magnitudo attesa per la zona di Rubiera secondo la zonazione ZS9 di INGV, un'accelerazione massima orizzontale  $A_{max} = 0.210g$  (calcolata sulla base delle N.N.T.C) e considerando la falda freatica ad una quota  $D_w = - 1.70 \text{ m}$  da p.c..

La verifica è stata svolta sulla verticale di prova della CPT n. 2 che ha evidenziato spessori più potenti di sabbie limose.

Nella verifica è stato ottenuto il seguente valore di indice di liquefazione IL:

CPT	IL	Rischio di liquefazione
2	<b>0.3</b>	Rischio basso

A disposizione per ulteriori chiarimenti,

**Modena, 09 Ottobre 2013**

**Dott. Geol. Pierluigi Dallari**

# **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

**TAVOLE**

---

# GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019 - E-mail: geo.group@libero.it

## Tavola C.T.R. n. 201\_SO



Tav. n. 1 "Carta Corografica"

Scala 1: 25000



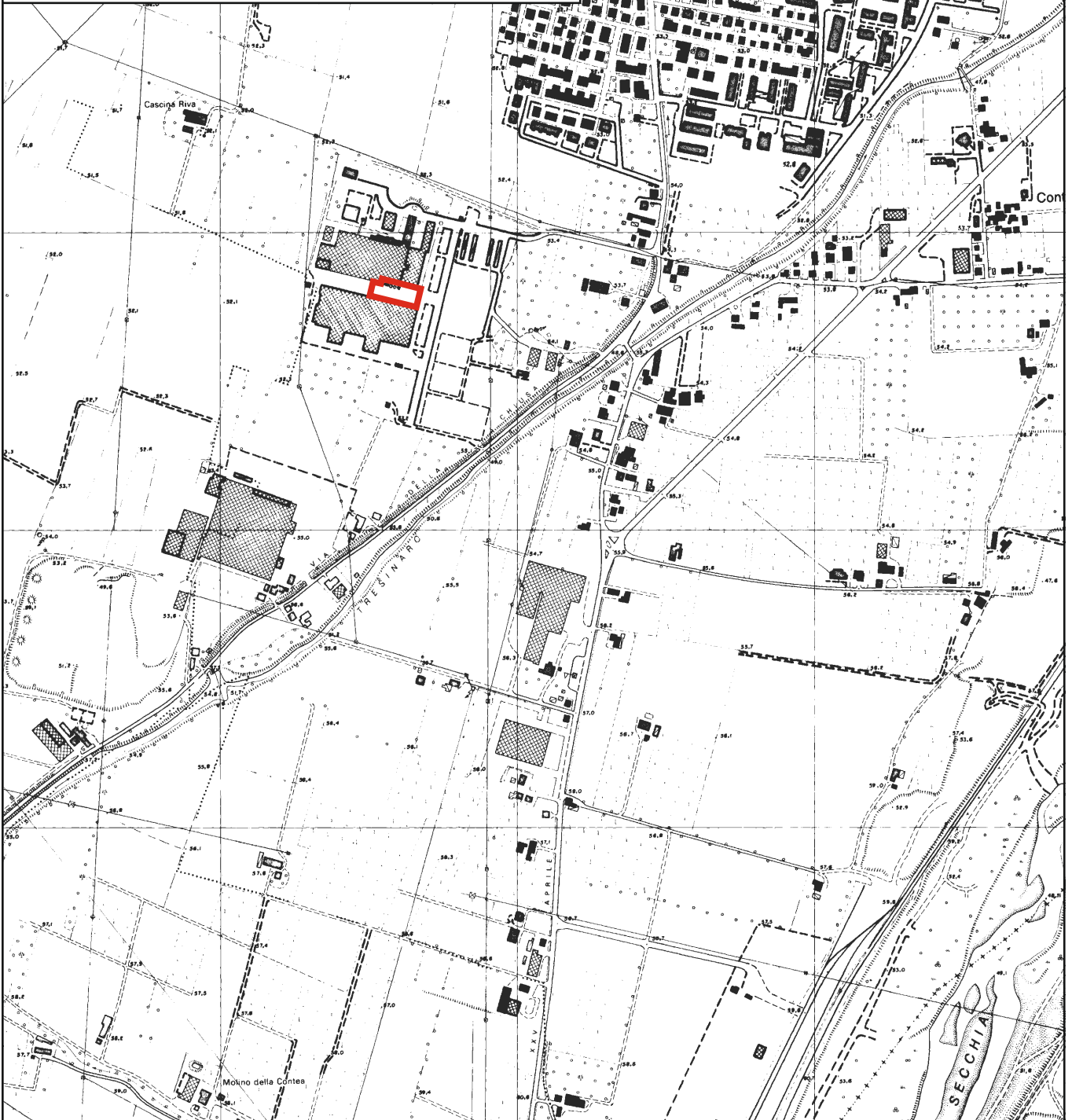
Area di interesse



# GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it

## Sezione C.T.R. n. 201140 Salvaterra



Tav. n. 2 "Carta topografica"

Scala 1: 10000



Area di interesse

## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



### Tav. n. 3 “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”

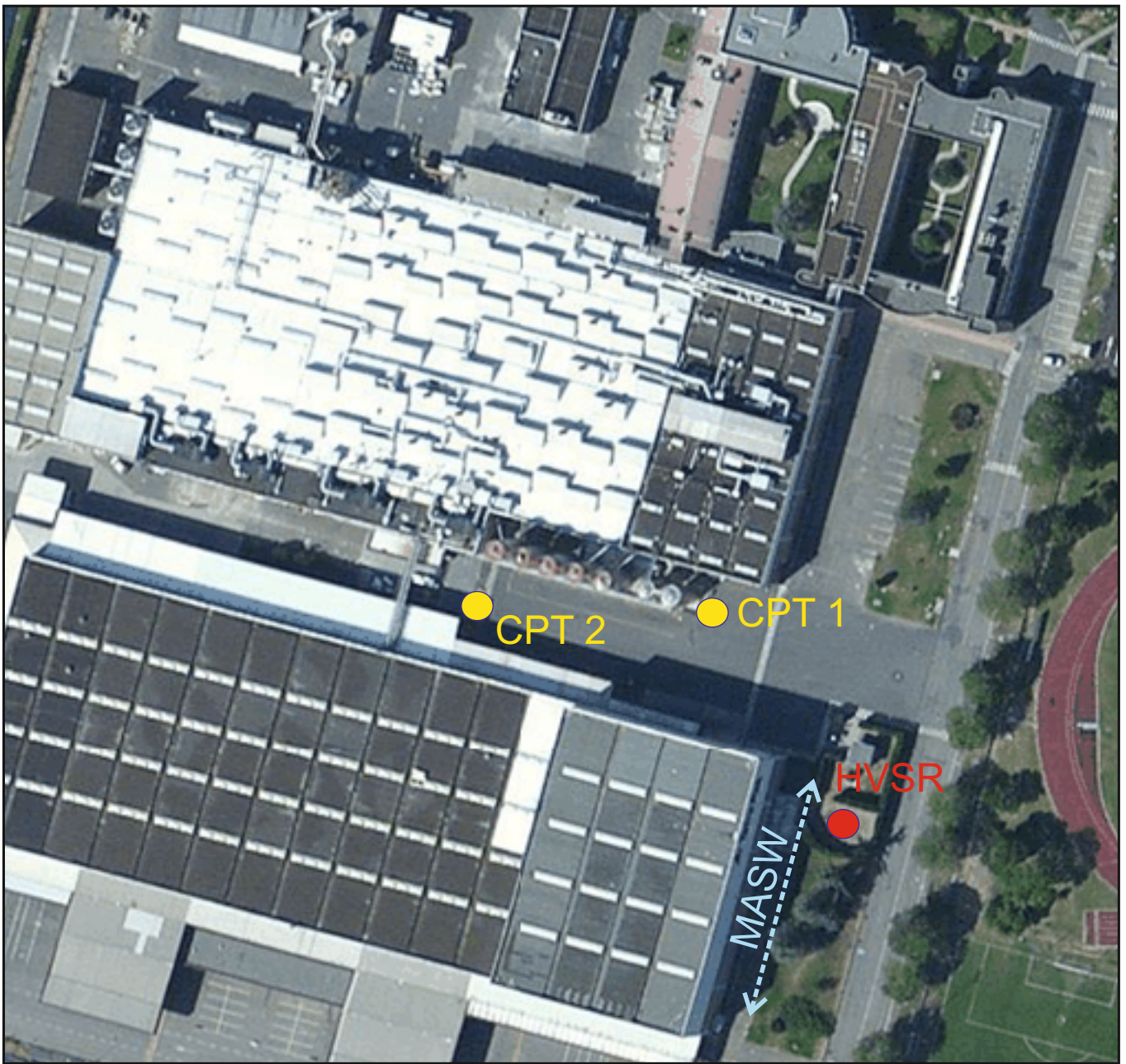
(tratta da “Google Maps”)  
Scala grafica



Area oggetto di studio

## GEO GROUP s.r.l.




Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



### Tav. n. 6 “Ubicazione indagini geognostiche”

Scala grafica

#### Legenda

-  Prove penetrometriche statiche CPT
-  Indagine sismica passiva HVSR
-  Indagine sismica MASW



# **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

## **ALLEGATO N° 1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT CORREDATE DI INTERPRETAZIONE GEOTECNICA**

---

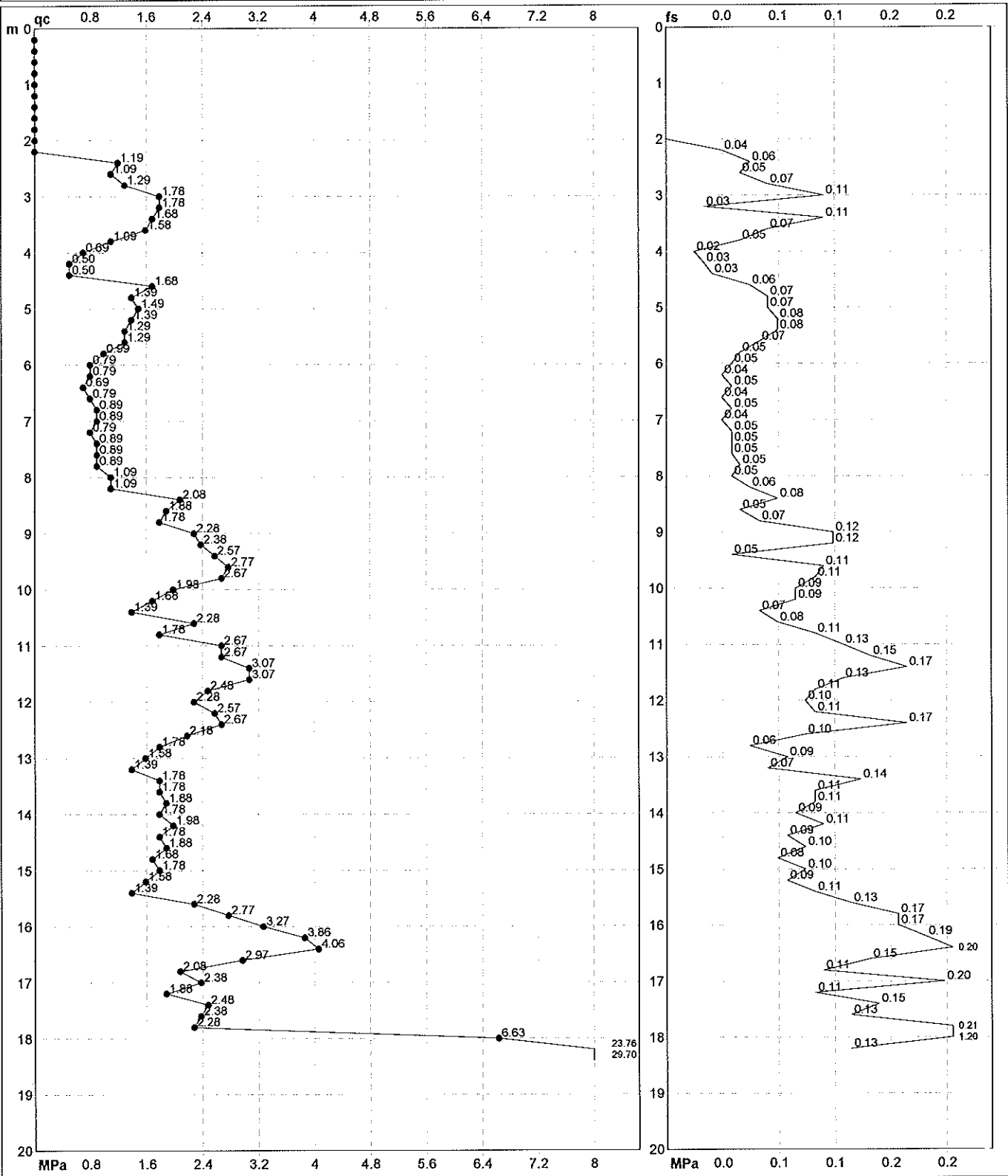


# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	522-2013
certificato n°	4627

Committente: Studio tecnico	U.M.: MPa	Data exec.: 01/10/2013
Cantiere: Studio terreno di fondazione	Scala: 1:100	Data certificato: 07/10/2013
Località: Rubiera, Tetra Pak	Pagina: 2/4	Falda:
	Elaborato:	



Penetrometro: GOUDA 200 kN	Preforo: -2.20 m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Corr.astine: kN/ml

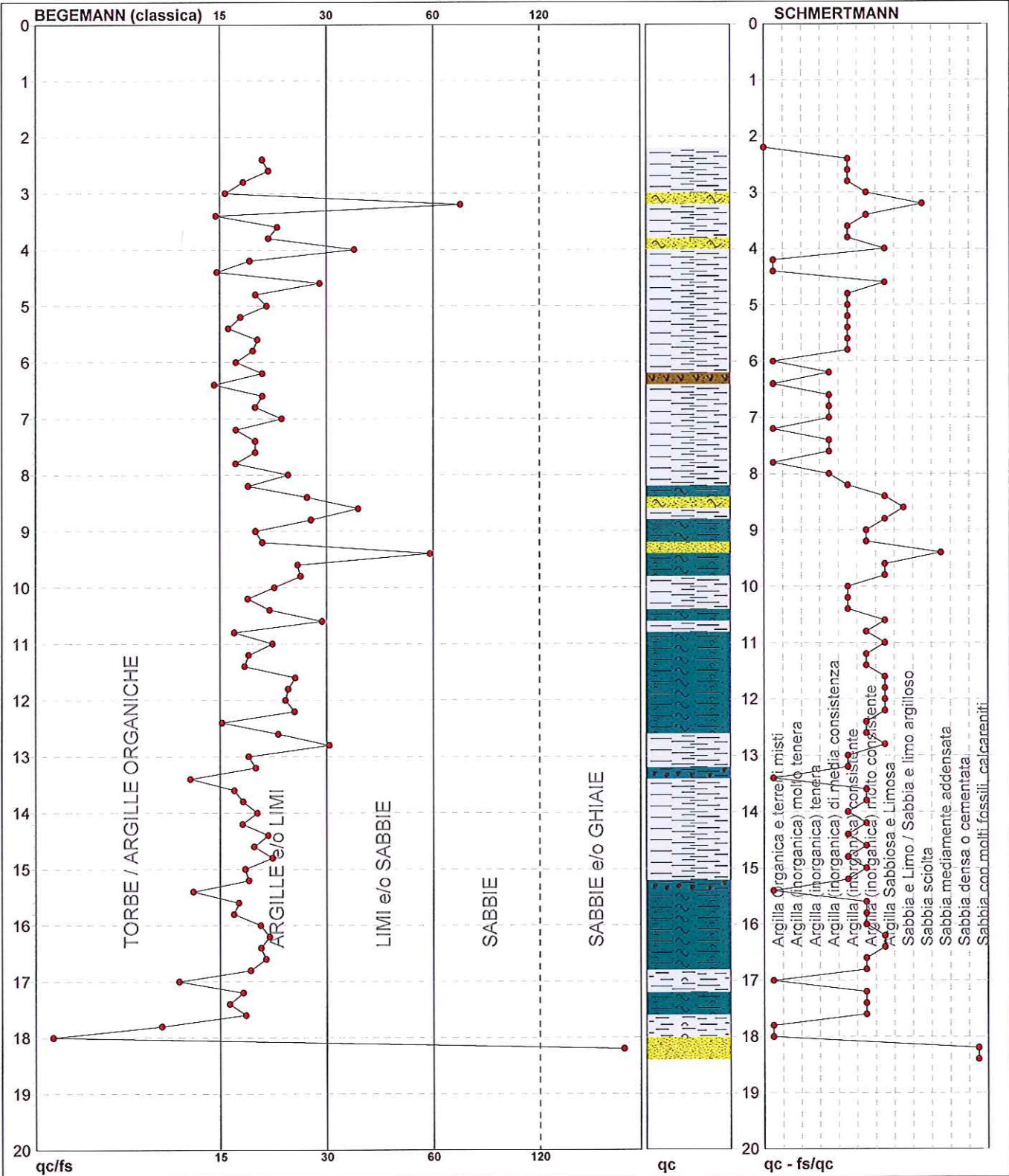
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>522-2013</b>
certificato n°	4627

Committente: Studio tecnico  
Cantiere: Studio terreno di fondazione  
Località: Rubiera, Tetra Pak

U.M.: MPa      Data eseg.: 01/10/2013  
Scala: 1:100  
Pagina: 3/4      Data certificato: 07/10/2013  
Elaborato:      Falda:



Torbe / Argille org. :	17 punti, 17.17%	Argilla Organica e terreni misti:	11 punti, 11.11%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	15 punti, 15.15%
Argille e/o Limi :	69 punti, 69.70%	Argilla (inorganica) media consist.:	7 punti, 7.07%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	1 punto, 1.01%
Limi e/o Sabbie :	3 punti, 3.03%	Argilla (inorganica) consistente:	21 punti, 21.21%	Sabbia sciolta:	1 punto, 1.01%
Sabbie:	1 punti, 1.01%	Argilla (inorganica) molto consist.:	22 punti, 22.22%	Sabbia mediamente addensata:	1 punto, 1.01%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1.01%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punto, 1.01%





<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	referimento	522-2013
	certificato n°	4633
<b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>		

Committente: Studio tecnico	U.M.: MPa	Data esec.: 04/10/2013
Cantiere: Studio terreno di fondazione	Pagina: 1/4	Data certificato: 09/10/2013
Località: Rubiera, Tetra Pak	Elaborato:	Falda: -1.70 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	0.00			15.20	17.00	32.00		1.67	93.00	18	5.5
0.40	0.00	0.00		0.00	0.00			15.40	23.00	37.00		2.25	127.00	18	5.5
0.60	0.00	0.00		0.00	0.00			15.60	26.00	45.00		2.55	147.00	18	5.7
0.80	0.00	0.00		0.00	0.00			15.80	28.00	50.00		2.74	147.00	19	5.3
1.00	0.00	0.00		0.00	0.00			16.00	31.00	53.00		3.04	147.00	21	4.7
1.20	0.00	0.00		0.00	0.00			16.20	27.00	49.00		2.65	133.00	20	4.9
1.40	0.00	0.00		0.00	0.00			16.40	30.00	50.00		2.94	180.00	17	6.0
1.60	0.00	0.00		0.00	0.00			16.60	30.00	57.00		2.94	107.00	28	3.6
1.80	0.00	0.00		0.00	60.00	0		16.80	18.00	34.00		1.76	113.00	16	6.3
2.00	11.00	20.00		1.08	73.00	15	6.6	17.00	22.00	39.00		2.16	113.00	19	5.1
2.20	13.00	24.00		1.27	60.00	22	4.6	17.20	24.00	41.00		2.35	120.00	20	5.0
2.40	8.00	17.00		0.78	60.00	13	7.5	17.40	24.00	42.00		2.35	140.00	17	5.8
2.60	10.00	19.00		0.98	47.00	21	4.7	17.60	29.00	50.00		2.84	133.00	22	4.6
2.80	11.00	18.00		1.08	53.00	21	4.8	17.80	22.00	42.00		2.16	100.00	22	4.5
3.00	16.00	24.00		1.57	47.00	34	2.9	18.00	20.00	35.00		1.96	93.00	22	4.7
3.20	16.00	23.00		1.57	53.00	30	3.3	18.20	18.00	32.00		1.76	260.00	7	14.4
3.40	15.00	23.00		1.47	47.00	32	3.1	18.40	24.00	63.00		2.35	200.00	12	8.3
3.60	13.00	20.00		1.27	40.00	33	3.1	18.60	200.00	230.00		19.60			
3.80	11.00	17.00		1.08	47.00	23	4.3								
4.00	11.00	18.00		1.08	27.00	41	2.5								
4.20	14.00	18.00		1.37	27.00	52	1.9								
4.40	14.00	18.00		1.37	60.00	23	4.3								
4.60	15.00	24.00		1.47	40.00	38	2.7								
4.80	12.00	18.00		1.18	40.00	30	3.3								
5.00	11.00	17.00		1.08	40.00	28	3.6								
5.20	10.00	16.00		0.98	27.00	37	2.7								
5.40	12.00	16.00		1.18	47.00	26	3.9								
5.60	11.00	18.00		1.08	47.00	23	4.3								
5.80	11.00	18.00		1.08	33.00	33	3.0								
6.00	11.00	16.00		1.08	40.00	28	3.6								
6.20	11.00	17.00		1.08	67.00	16	6.1								
6.40	18.00	28.00		1.76	67.00	27	3.7								
6.60	21.00	31.00		2.06	67.00	31	3.2								
6.80	23.00	33.00		2.25	87.00	26	3.8								
7.00	26.00	39.00		2.55	60.00	43	2.3								
7.20	28.00	37.00		2.74	80.00	35	2.9								
7.40	28.00	40.00		2.74	67.00	42	2.4								
7.60	26.00	36.00		2.55	60.00	43	2.3								
7.80	27.00	36.00		2.65	60.00	45	2.2								
8.00	25.00	34.00		2.45	53.00	47	2.1								
8.20	25.00	33.00		2.45	60.00	42	2.4								
8.40	28.00	37.00		2.74	53.00	53	1.9								
8.60	15.00	23.00		1.47	67.00	22	4.5								
8.80	23.00	33.00		2.25	80.00	29	3.5								
9.00	24.00	36.00		2.35	73.00	33	3.0								
9.20	26.00	37.00		2.55	67.00	39	2.6								
9.40	30.00	40.00		2.94	80.00	38	2.7								
9.60	25.00	37.00		2.45	73.00	34	2.9								
9.80	26.00	37.00		2.55	87.00	30	3.3								
10.00	17.00	30.00		1.67	67.00	25	3.9								
10.20	16.00	26.00		1.57	80.00	20	5.0								
10.40	15.00	27.00		1.47	87.00	17	5.8								
10.60	18.00	31.00		1.76	93.00	19	5.2								
10.80	21.00	35.00		2.06	107.00	20	5.1								
11.00	24.00	40.00		2.35	120.00	20	5.0								
11.20	30.00	48.00		2.94	120.00	25	4.0								
11.40	31.00	49.00		3.04	127.00	24	4.1								
11.60	30.00	49.00		2.94	120.00	25	4.0								
11.80	27.00	45.00		2.65	87.00	31	3.2								
12.00	22.00	35.00		2.16	93.00	24	4.2								
12.20	13.00	27.00		1.27	73.00	18	5.6								
12.40	12.00	23.00		1.18	73.00	16	6.1								
12.60	16.00	27.00		1.57	73.00	22	4.6								
12.80	13.00	24.00		1.27	40.00	33	3.1								
13.00	23.00	29.00		2.25	53.00	43	2.3								
13.20	15.00	23.00		1.47	80.00	19	5.3								
13.40	14.00	26.00		1.37	80.00	18	5.7								
13.60	15.00	27.00		1.47	80.00	19	5.3								
13.80	18.00	30.00		1.76	93.00	19	5.2								
14.00	18.00	32.00		1.76	100.00	18	5.6								
14.20	16.00	31.00		1.57	107.00	15	6.7								
14.40	20.00	36.00		1.96	113.00	18	5.7								
14.60	18.00	35.00		1.76	93.00	19	5.2								
14.80	15.00	29.00		1.47	80.00	19	5.3								
15.00	17.00	29.00		1.67	100.00	17	5.9								

H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	0.20 m sopra quota qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

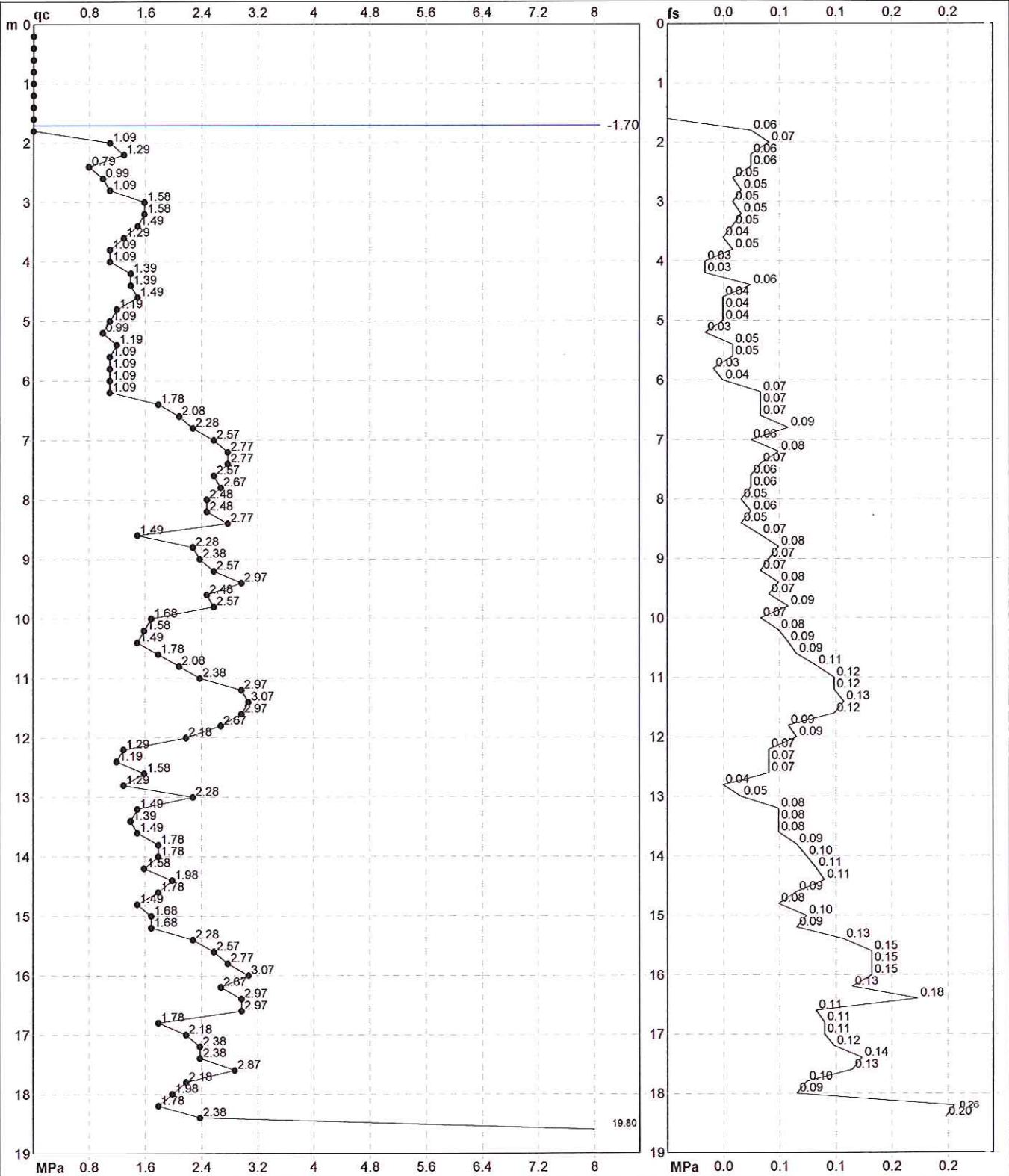
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
riferimento	522-2013
certificato n°	4633

Committente: Studio tecnico  
Cantiere: Studio terreno di fondazione  
Località: Rubiera, Tetra Pak

U.M.: MPa      Data exec.: 04/10/2013  
Scala: 1:95  
Pagina: 2/4      Data certificato: 09/10/2013  
Elaborato:      Falda: -1.70 m da p.c.



Penetrometro: GOUDA 200 kN	Preforo: -1.80 m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Corr.astine: kN/ml

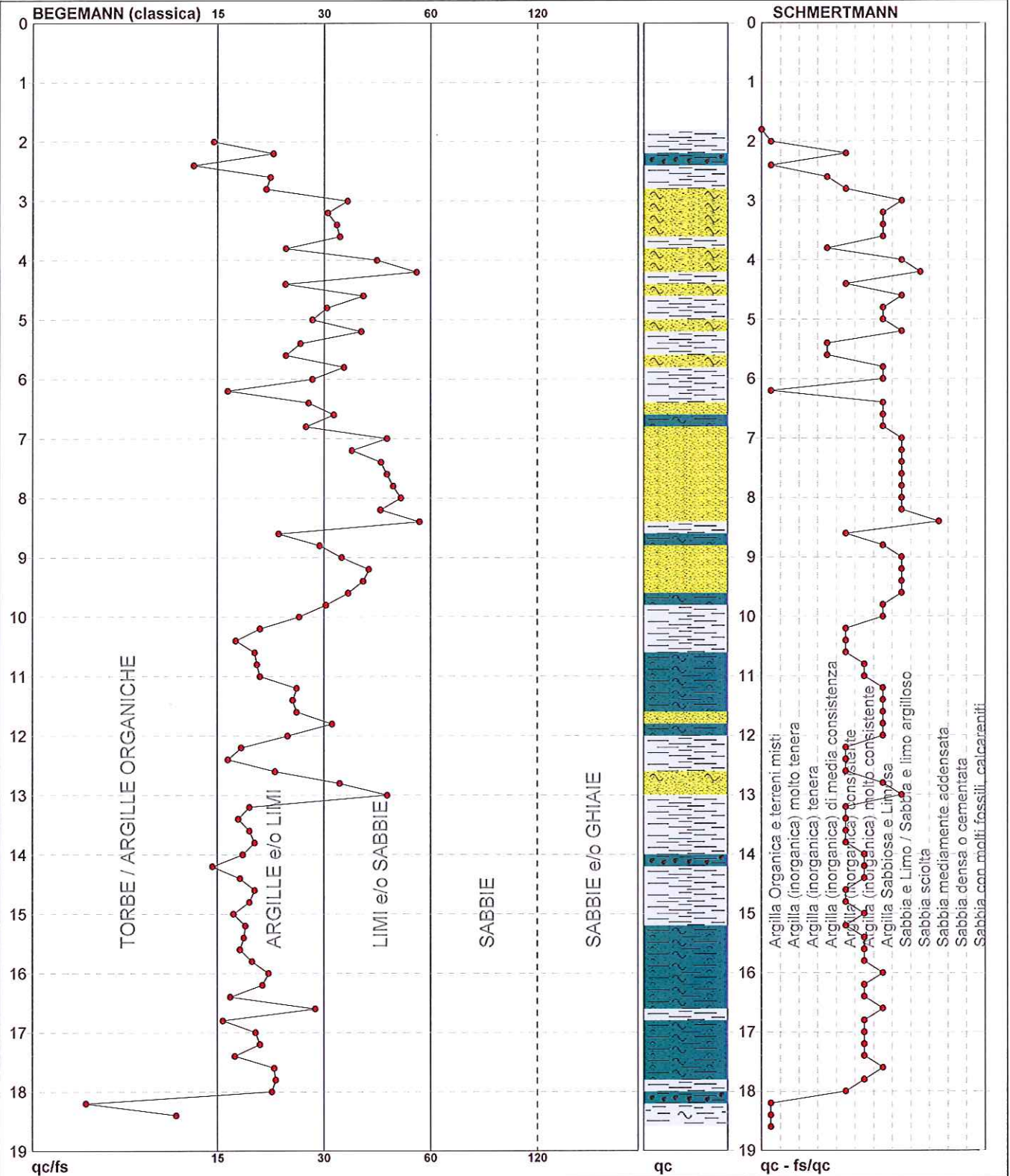
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
riferimento	<b>522-2013</b>
certificato n°	4633

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Rubiera, Tetra Pak**

U.M.: **MPa**      Data eseg.: **04/10/2013**  
Scala: **1:95**  
Pagina: **3/4**      Data certificato: **09/10/2013**  
Elaborato:      Falda: **-1.70 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	13 punti, 13.83%	Argilla Organica e terreni misti:	5 punti, 5.32%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	22 punti, 23.40%
Argille e/o Limi :	54 punti, 57.45%	Argilla (inorganica) media consist.:	4 punti, 4.26%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg. :	16 punti, 17.02%
Limi e/o Sabbie :	25 punti, 26.60%	Argilla (inorganica) consistente:	18 punti, 19.15%	Sabbia sciolta:	1 punti, 1.06%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	16 punti, 17.02%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1.06%



## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**GOUDA 200 kN -**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm/sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione  $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$   
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S \text{ (Kg)}$ , corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $CT$ .

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta.

### CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),  
ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Alt = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

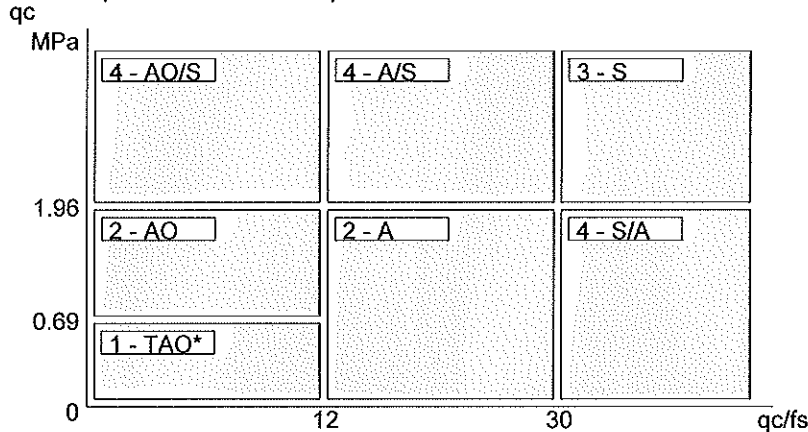
- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 1.96$  MPa : possibili terreni COESIVI  
 $qc \geq 1.96$  MPa : possibili terreni GRANULARI

anche se (  $qc / fs$  ) > 30  
anche se (  $qc / fs$  ) < 30



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

### PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  -  $qc$  - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $Cu$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $Cu$  -  $qc$  ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $Cu$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $Eu$  = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [ correl. :  $Eu$  -  $Cu$  - OCR -  $lp$   $lp$ = ind.plast.]  
 $Eu_{50}$  -  $Eu_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  -  $qc$  ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )
- $Mo$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $Mo$  -  $qc$  - natura]  
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $Dr$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $Dr$  -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 ) ]
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $Dr$  -  $qc$  -  $\sigma'_{vo}$  )  
 $\emptyset'_{Ca}$  - Caquot (1948)  $\emptyset'_{Ko}$  - Koppejan (1948)  
 $\emptyset'_{DB}$  - De Beer (1965)  $\emptyset'_{Sc}$  - Schmertmann (1978)  
 $\emptyset'_{DM}$  - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)  $\emptyset'_{Me}$  - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
(  $g$  = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : ( $A_{max}/g$ ) -  $Dr$  ]
- $Vs$  = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )

# **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

## **ALLEGATO N° 2** **VERIFICHE GEOTECNICHE**

---



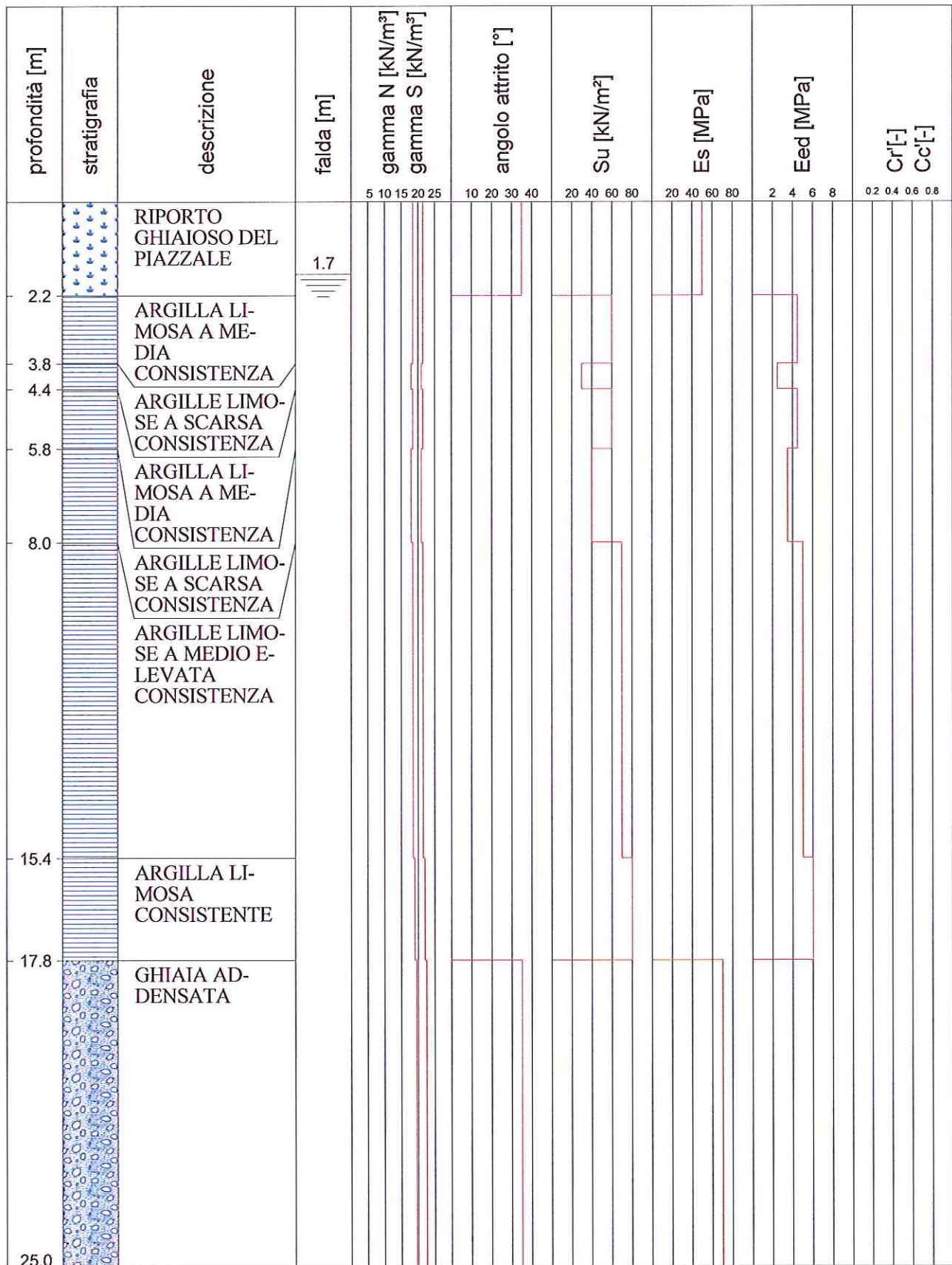
# REALIZZAZIONE DI NUOVI SILOS

TETRAPAK

PORTATA PALI TRIVELLATI diam. 300 - 600 mm

Condizione sismica APP 2 A1-M1-R3

## DESCRIZIONE STRATIGRAFICO-GEOTECNICA



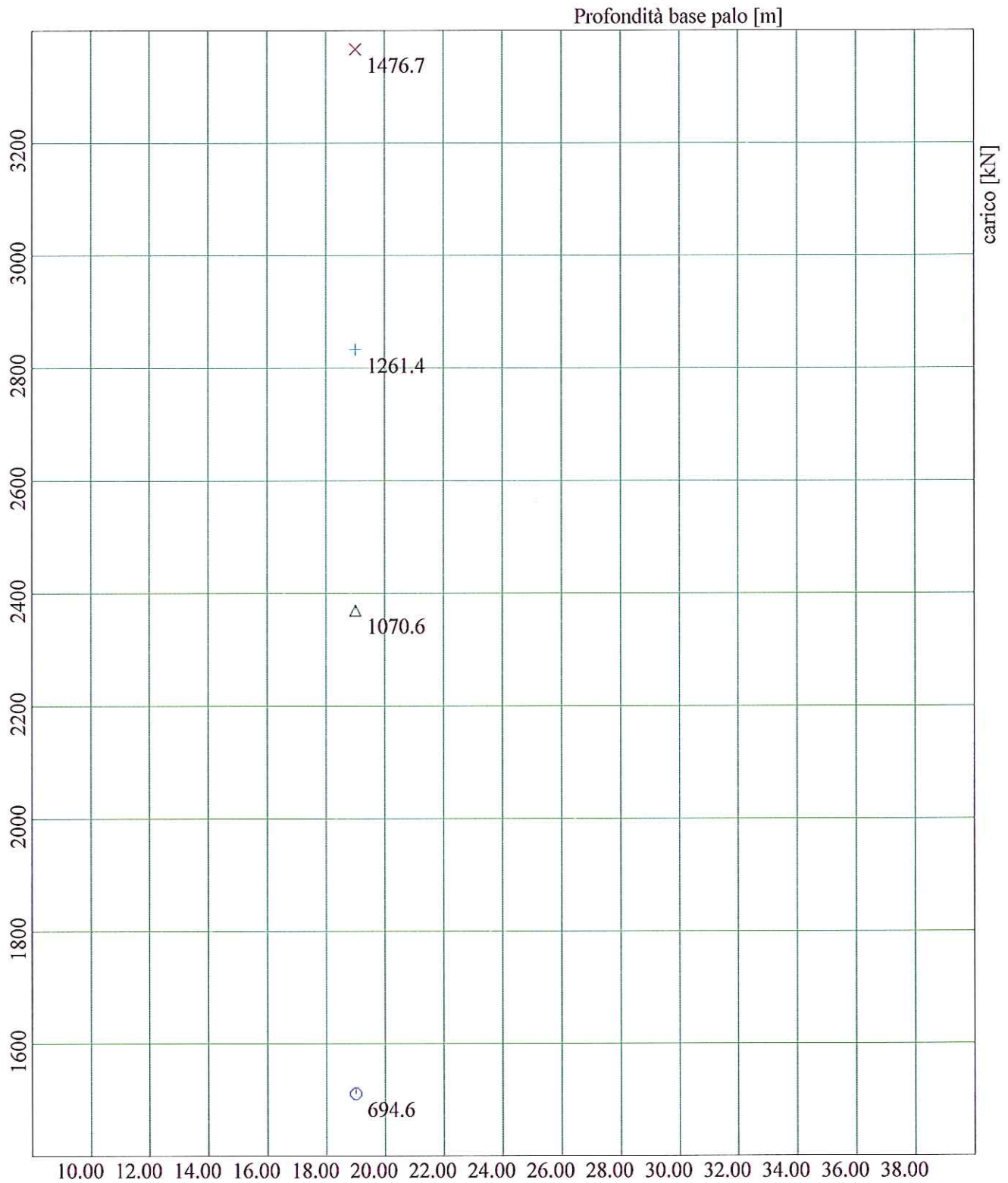
# REALIZZAZIONE DI NUOVI SILOS

TETRAPAK

PORTATA PALI TRIVELLATI diam. 300 - 600 mm

Condizione sismica APP 2 A1-M1-R3

## CARICHI LIMITE E CARICHI AMMISSIBILI



⊙ Diametro = .3 m

△ Diametro = .4 m

+ Diametro = .5 m

× Diametro = .6 m

CAPACITA' PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE

REALIZZAZIONE DI NUOVI SILOS  
TETRAPAK

PORTATA PALI TRIVELLATI diam. 300 - 600 mm  
Condizione sismica APP 2 A1-M1-R3

Profondità falda: 1.70 [m] da p.c.

Modalità realizzative del palo: Palo trivellato

DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

n.	prof.[m]	Gn[kN/m <sup>3</sup> ]	Gs[kN/m <sup>3</sup> ]	phi[°]	c'[kN/m <sup>2</sup> ]	Su[kN/m <sup>2</sup> ]	u[kN/m <sup>2</sup> ]
1	2.20	18.50	21.50	35.00	0.00	0.00	0.00
2	3.80	18.50	21.50	0.00	0.00	60.00	0.00
3	4.40	18.00	21.00	0.00	0.00	30.00	0.00
4	5.80	18.50	21.50	0.00	0.00	60.00	0.00
5	8.00	18.00	21.00	0.00	0.00	40.00	0.00
6	15.40	18.50	21.50	0.00	0.00	70.00	0.00
7	17.80	19.00	22.00	0.00	0.00	80.00	0.00
8	25.00	19.50	22.50	35.00	0.00	0.00	0.00

Calcolo effettuato in termini di tensioni totali

Fattore di sicurezza richiesto per la portanza laterale [-]: 1.90  
Fattore di sicurezza richiesto per la portanza di punta [-]: 2.23

---oooOOOooo---

DIAMETRO PALO: 0.30 [m] PROFONDITA' BASE PALO: 19.00 [m]

CALCOLO RESISTENZA DI PUNTA

$$q_p = N_q * q' + N_c * c'$$

Angolo di attrito drenato medio degli strati non coesivi	35.00
Coesione drenata media [kN/m <sup>2</sup> ]	0.00
Tensione verticale efficace [kN/m <sup>2</sup> ]	231.40
Coefficiente N <sub>q</sub> (Terzaghi) [-]	52.62
Coefficiente N <sub>c</sub> [-]	73.72

### CALCOLO RESISTENZA LATERALE

$$q_s = q_a + m * k * q'$$

strato	qt [kN/m <sup>2</sup> ]	m [-]	k [-]	Su [kN/m <sup>2</sup> ]	ca [kN/m <sup>2</sup> ]	Qs [kN]
1	42.20	0.70	0.50	0.00	0.00	14.5
2	76.60	0.00	0.00	60.00	36.00	54.3
3	89.20	0.00	0.00	30.00	24.00	13.6
4	119.30	0.00	0.00	60.00	36.00	47.5
5	165.50	0.00	0.00	40.00	32.00	66.4
6	324.60	0.00	0.00	70.00	42.00	292.9
7	377.40	0.00	0.00	80.00	32.00	72.4
8	404.40	0.70	0.50	0.00	0.00	88.7

qt	sigma tot. letto
m	coeff. attr.
k	coeff. spinta
ca	coeff. adesione

### FATTORI DI SICUREZZA E CARICO AMMISSIBILE

Carico limite punta [kN]	860.70
Carico limite laterale [kN]	650.15
Carico limite totale [kN]	1510.80
CARICO AMMISSIBILE [kN]	694.57

---oooOOOooo---

DIAMETRO PALO: 0.40 [m] PROFONDITA' BASE PALO: 19.00 [m]

### CALCOLO RESISTENZA DI PUNTA

$$q_p = N_q * q + N_c * s_u$$

Angolo di attrito drenato medio degli strati non coesivi	30.26
Coesione non drenata media [kN/m <sup>2</sup> ]	13.33
Tensione verticale totale [kN/m <sup>2</sup> ]	404.40

### CALCOLO RESISTENZA LATERALE

$$q_s = q_a + m * k * q'$$

strato	qt [kN/m <sup>2</sup> ]	m [-]	k [-]	Su [kN/m <sup>2</sup> ]	ca [kN/m <sup>2</sup> ]	Qs [kN]
1	42.20	0.70	0.50	0.00	0.00	19.3
2	76.60	0.00	0.00	60.00	36.00	72.4
3	89.20	0.00	0.00	30.00	24.00	18.1
4	119.30	0.00	0.00	60.00	36.00	63.3
5	165.50	0.00	0.00	40.00	32.00	88.5
6	324.60	0.00	0.00	70.00	42.00	390.6
7	377.40	0.00	0.00	80.00	32.00	96.5
8	404.40	0.70	0.50	0.00	0.00	118.2

qt	sigma tot. letto
m	coeff. attr.
k	coeff. spinta
ca	coeff. adesione

FATTORI DI SICUREZZA E CARICO AMMISSIBILE

Carico limite punta [kN]	1503.00
Carico limite laterale [kN]	866.87
Carico limite totale [kN]	2369.90
CARICO AMMISSIBILE [kN]	1070.50

---oooOOOooo---

DIAMETRO PALO: 0.50 [m] PROFONDITA' BASE PALO: 19.00 [m]

CALCOLO RESISTENZA DI PUNTA

$$q_p = N_q * q + N_c * s_u$$

Angolo di attrito drenato medio degli strati non coesivi	27.18
Coesione non drenata media [kN/m <sup>2</sup> ]	21.33
Tensione verticale totale [kN/m <sup>2</sup> ]	404.40

CALCOLO RESISTENZA LATERALE

$$q_s = q_a + m * k * q'$$

strato	qt [kN/m <sup>2</sup> ]	m [-]	k [-]	Su [kN/m <sup>2</sup> ]	ca [kN/m <sup>2</sup> ]	Qs [kN]
1	42.20	0.70	0.50	0.00	0.00	24.1
2	76.60	0.00	0.00	60.00	36.00	90.5
3	89.20	0.00	0.00	30.00	24.00	22.6
4	119.30	0.00	0.00	60.00	36.00	79.2
5	165.50	0.00	0.00	40.00	32.00	110.6
6	324.60	0.00	0.00	70.00	42.00	488.2
7	377.40	0.00	0.00	80.00	32.00	120.6
8	404.40	0.70	0.50	0.00	0.00	147.8

qt	sigma tot. letto
m	coeff. attr.
k	coeff. spinta
ca	coeff. adesione

FATTORI DI SICUREZZA E CARICO AMMISSIBILE

Carico limite punta [kN]	1749.1
Carico limite laterale [kN]	1083.5
Carico limite totale [kN]	2832.7
CARICO AMMISSIBILE [kN]	1261.4

---oooOOOooo---

DIAMETRO PALO: 0.60 [m] PROFONDITA' BASE PALO: 19.00 [m]

CALCOLO RESISTENZA DI PUNTA

$$q_p = N_q * q + N_c * s_u$$

Angolo di attrito drenato medio degli strati non coesivi	25.02
Coesione non drenata media [kN/m <sup>2</sup> ]	26.67
Tensione verticale totale [kN/m <sup>2</sup> ]	404.40

CALCOLO RESISTENZA LATERALE

$$q_s = q_a + m * k * q'$$

strato	qt [kN/m <sup>2</sup> ]	m [-]	k [-]	Su [kN/m <sup>2</sup> ]	ca [kN/m <sup>2</sup> ]	Qs [kN]
1	42.20	0.70	0.50	0.00	0.00	29.0
2	76.60	0.00	0.00	60.00	36.00	108.6
3	89.20	0.00	0.00	30.00	24.00	27.1
4	119.30	0.00	0.00	60.00	36.00	95.0
5	165.50	0.00	0.00	40.00	32.00	132.7
6	324.60	0.00	0.00	70.00	42.00	585.8
7	377.40	0.00	0.00	80.00	32.00	144.8
8	404.40	0.70	0.50	0.00	0.00	177.3

qt	sigma tot. letto
m	coeff. attr.
k	coeff. spinta
ca	coeff. adesione

FATTORI DI SICUREZZA E CARICO AMMISSIBILE

Carico limite punta [kN]	2066.3
Carico limite laterale [kN]	1300.3
Carico limite totale [kN]	3366.6
CARICO AMMISSIBILE [kN]	1476.7

TABELLA RIASSUNTIVA DEI CARICHI LIMITE

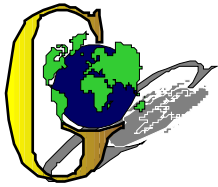
L[m]\D[m]	0.30	0.40	0.50	0.60
19.0	1510.80	2369.90	2832.70	3366.60

## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

## **ALLEGATO N° 3 INDAGINI GEOFISICHE**

---



## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogrouppmodena.it](http://www.geogrouppmodena.it) - e-mail: info@geogrouppmodena.it



# ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

Cantiere : Rubiera, v. Resistenza, 53

Operatori: Dott.ssa Linda Veratti, Ing. Silvia Sernesi

Data: 01/10/2013

Lavoro: Studio del terreno di fondazione

Elaborazione: Dott. Gabriele Ghirardini

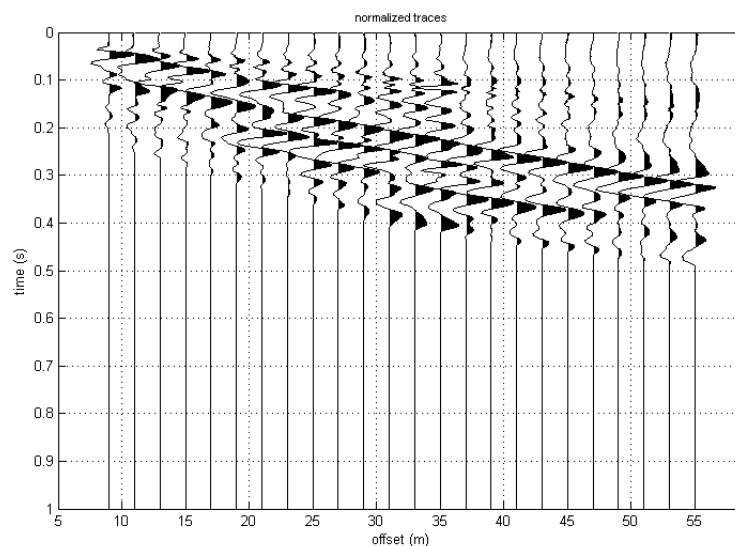
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

CERTIFICATO  
329\_M\_13

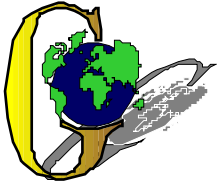


UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO

dataset: 439\_.dat  
sampling: 0.25 ms  
minimum offset: 9 m  
geophone spacing: 2 m







## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

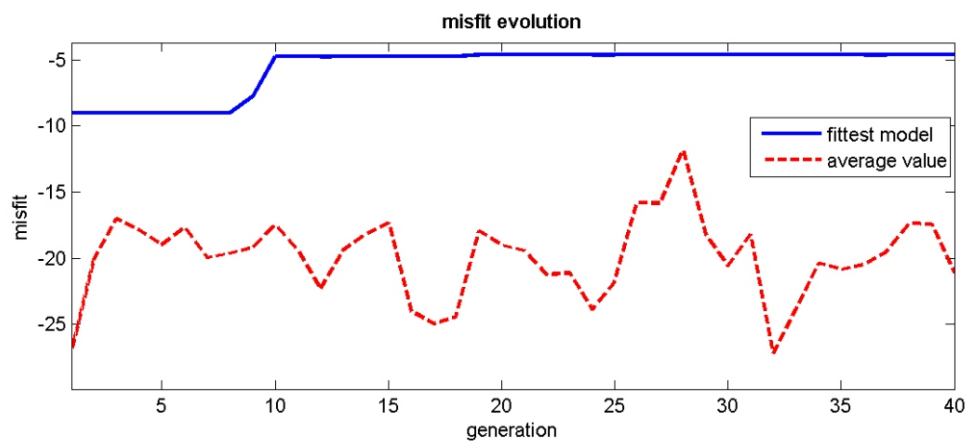
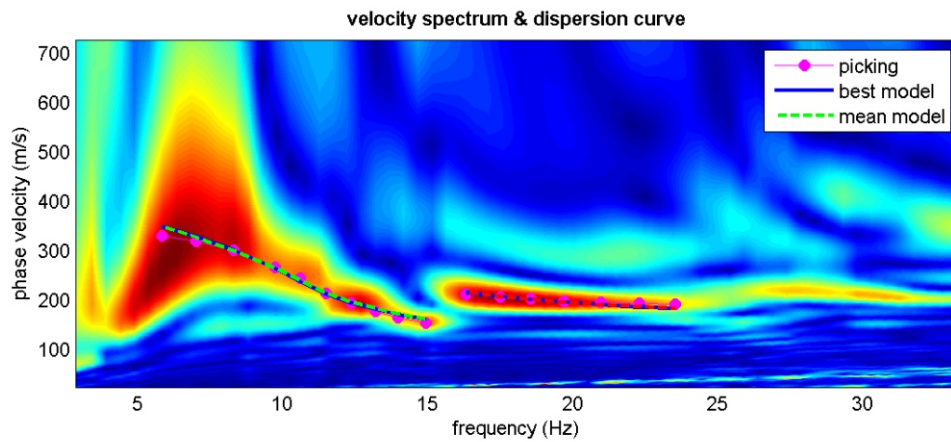
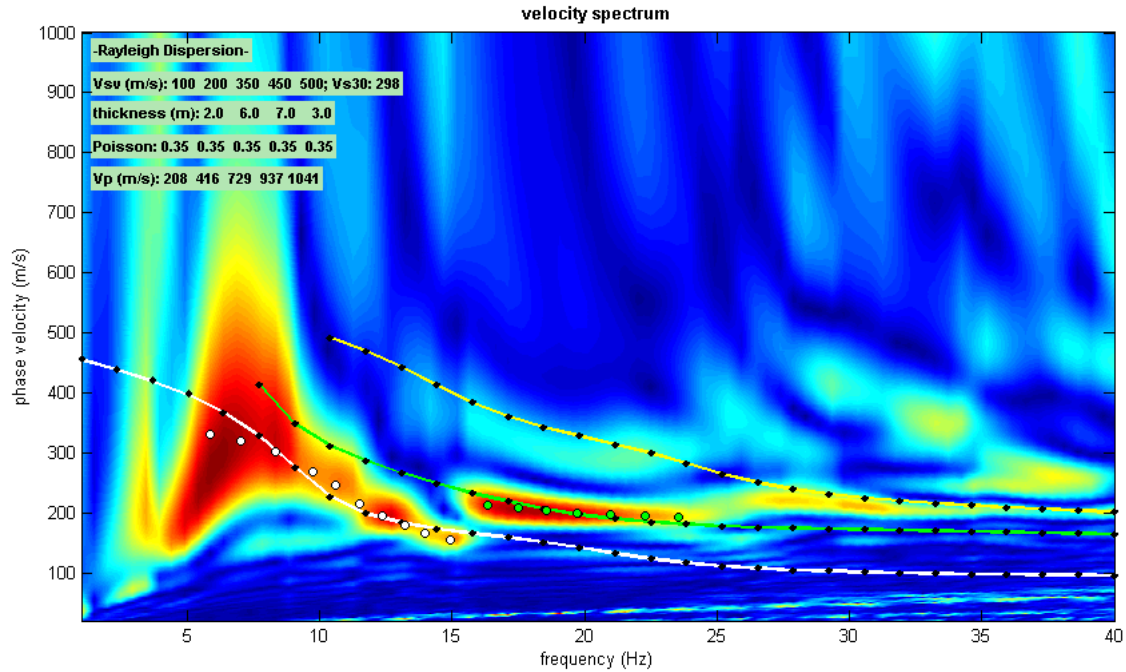
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

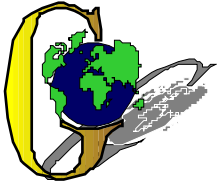
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogrouppmodena.it](http://www.geogrouppmodena.it) - e-mail: info@geogrouppmodena.it



### SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITA' DI FASE, REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE





## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

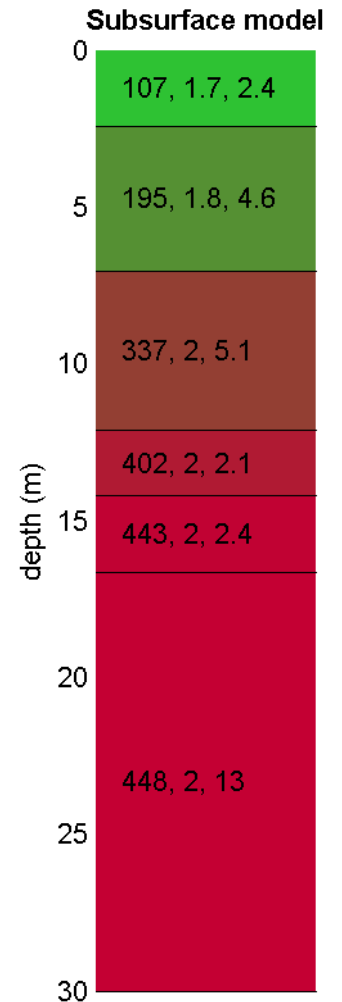
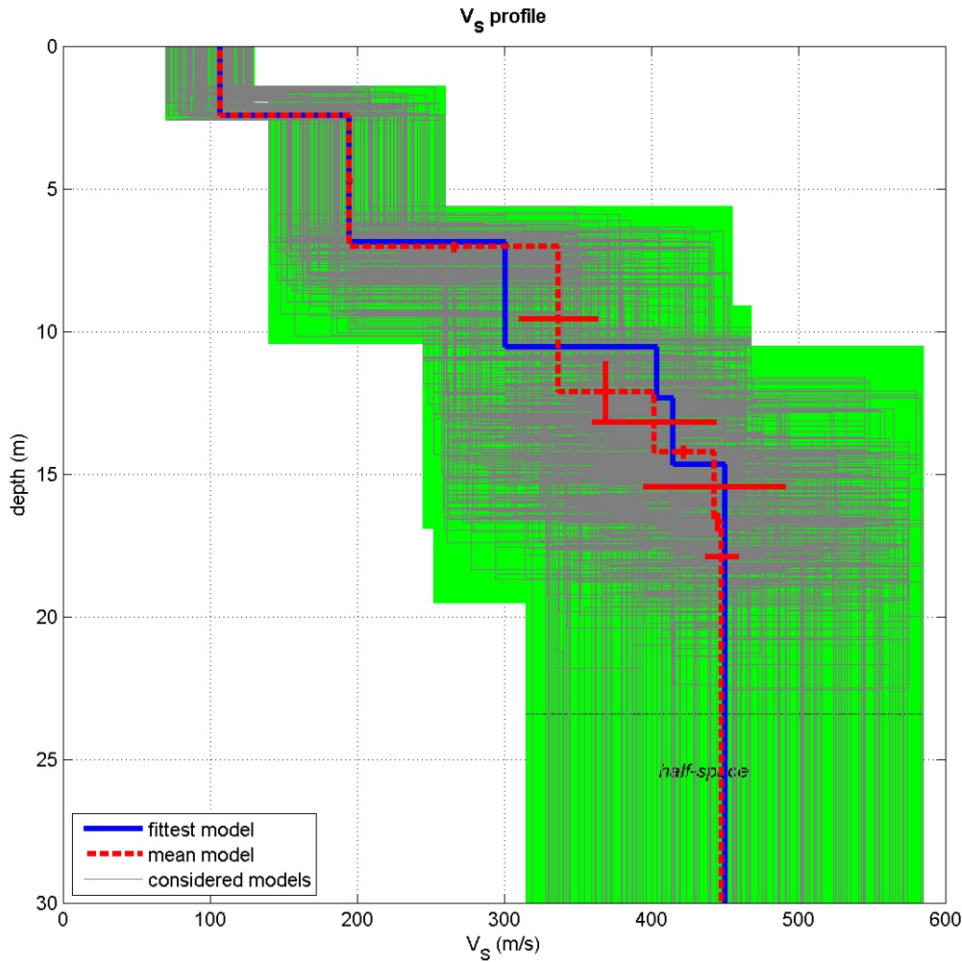
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogrouppmodena.it](http://www.geogrouppmodena.it) - e-mail: info@geogrouppmodena.it



### MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 439<sub>g</sub>.dat

dispersion curve: pick.cdp

Vs30 (best model): 295 m/s

Vs30 (mean model): 294 m/s

**BEST MODEL**  
**Vs30 = 295 m/s**

V<sub>s</sub> density thickness  
(m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)



## **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



# Indagine sismica passiva-tecnica *HVSR*

---

## **Dati generali**

Nome progetto: HVSR 312\_13  
Committente: Studio tecnico  
Cantiere: Studio del terreno di fondazione  
Località: Rubiera  
Operatore: Ing. Silvia Sernesi, Dott.ssa Linda Veratti, Dott. Gabriele Ghirardini  
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari  
Data: 08.10.2013 00:00:00  
Zona:  
Latitudine:  
Longitudine:

## **Tracce in input**

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1210 s  
Frequenza di campionamento: 141.00 Hz  
Numero campioni: 170611  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.



**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

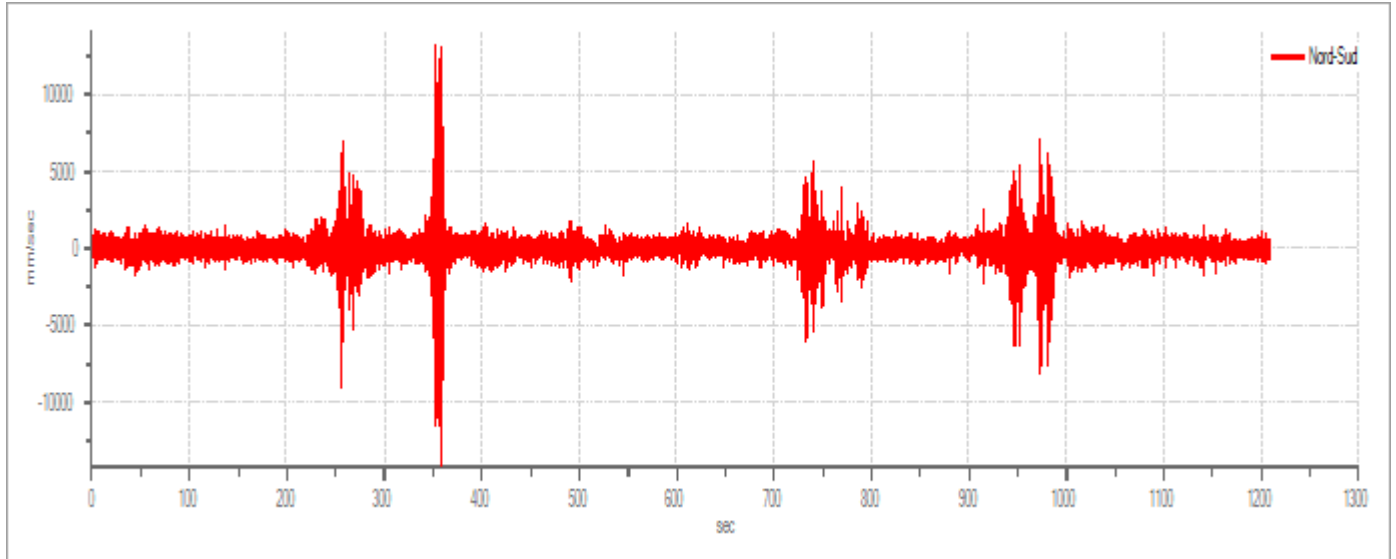
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

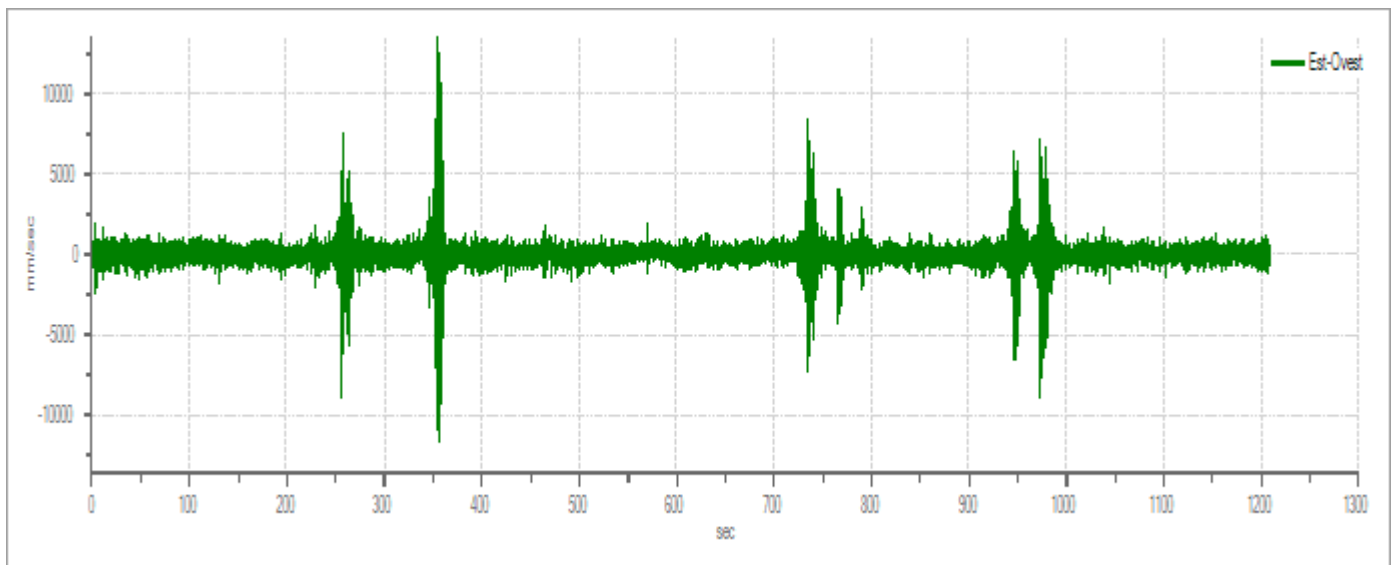
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



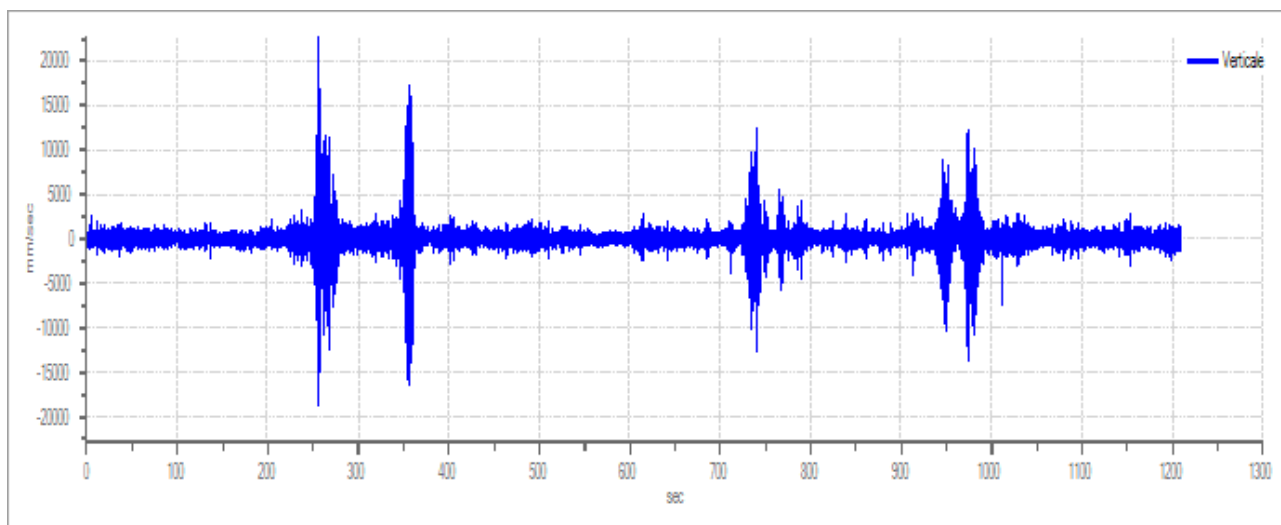
## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 54  
Numero finestre incluse nel calcolo: 54  
Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00



**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

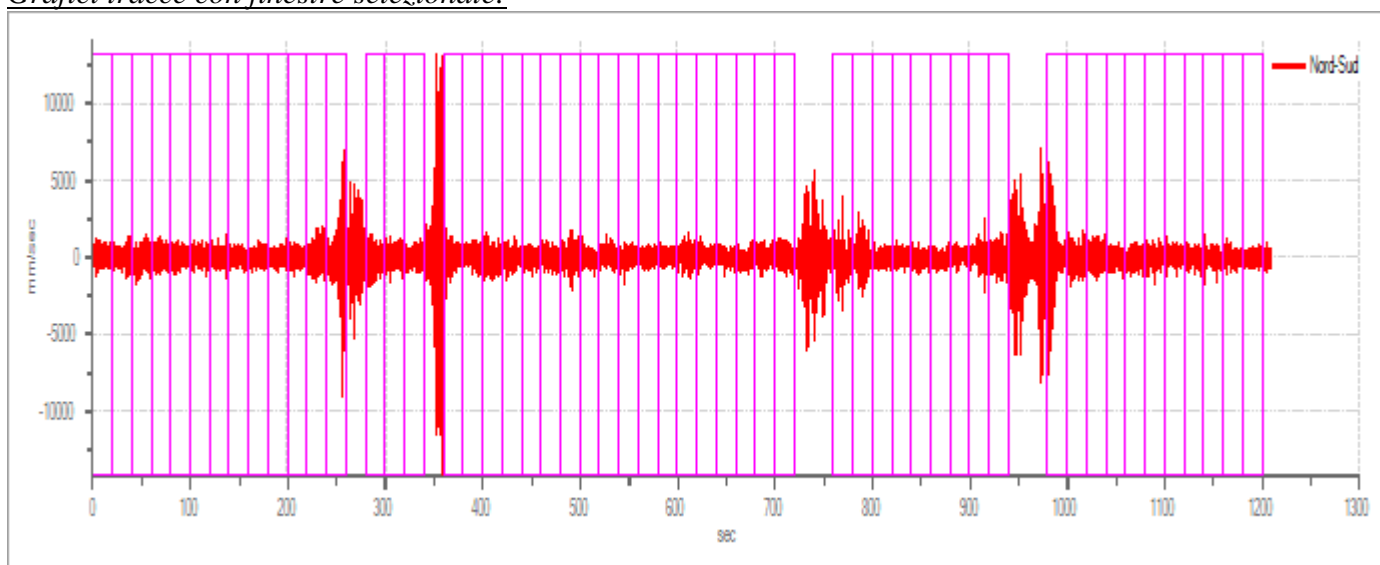
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

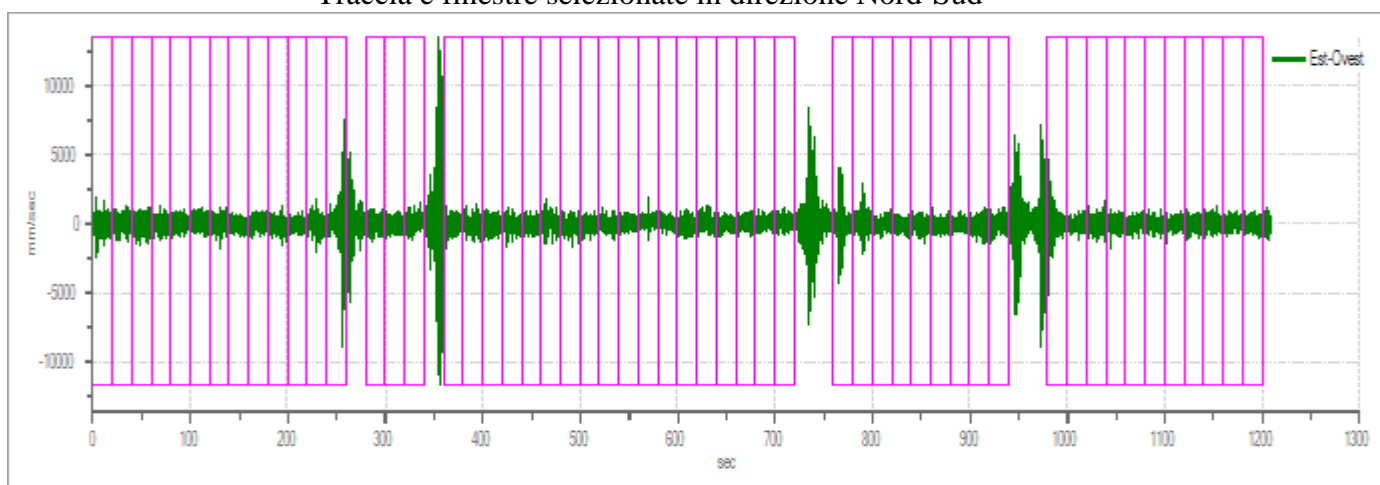
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



*Grafici tracce con finestre selezionate:*



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



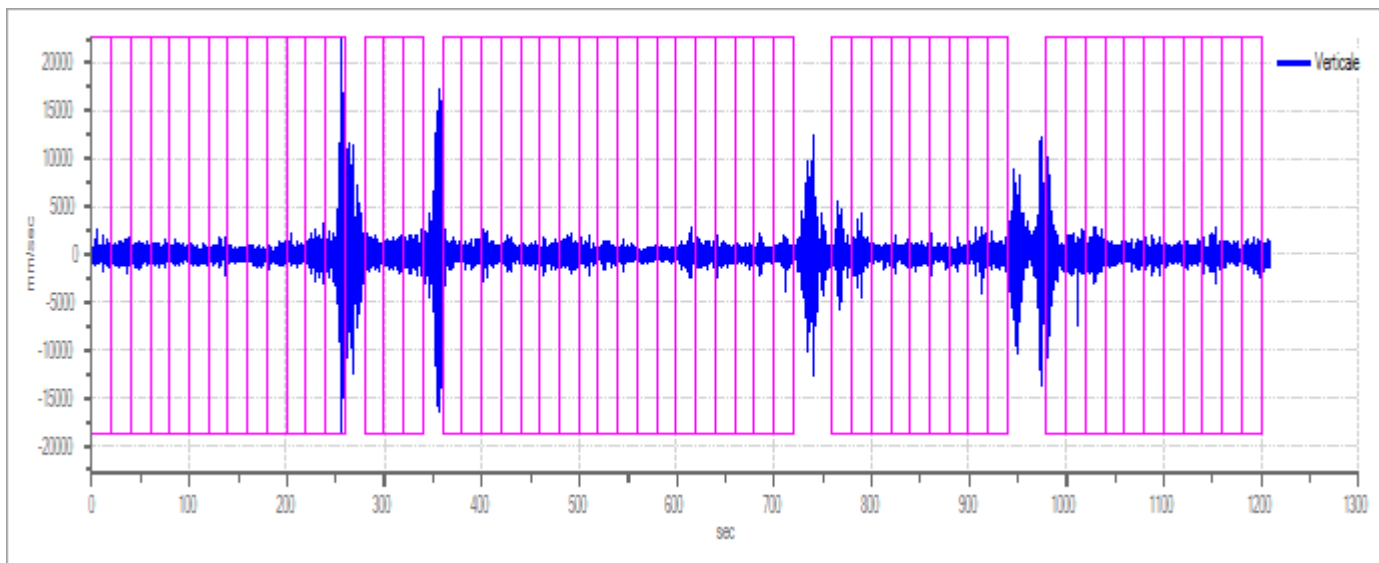
**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

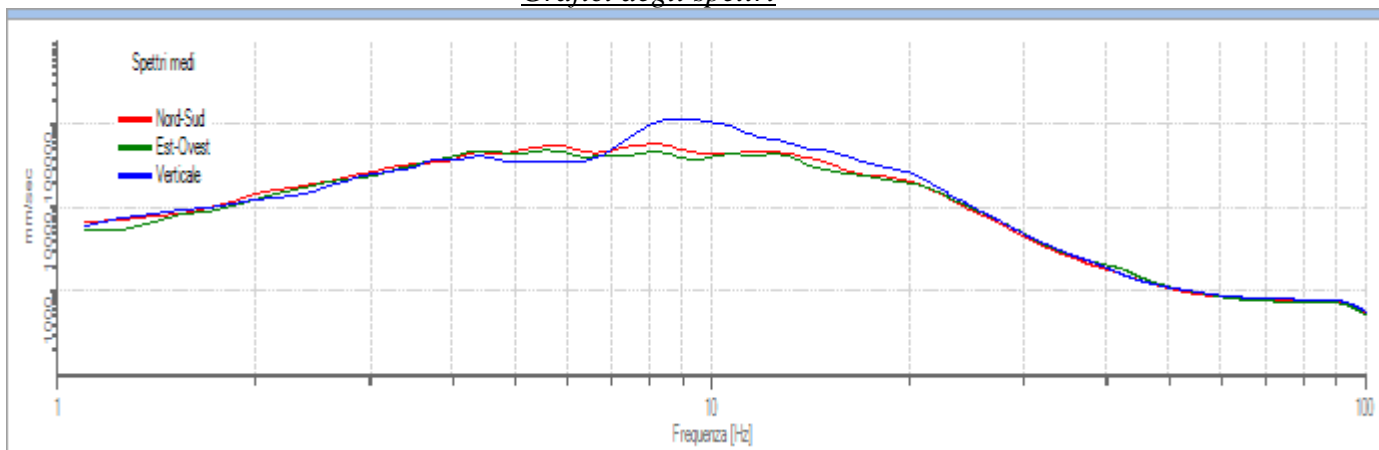
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

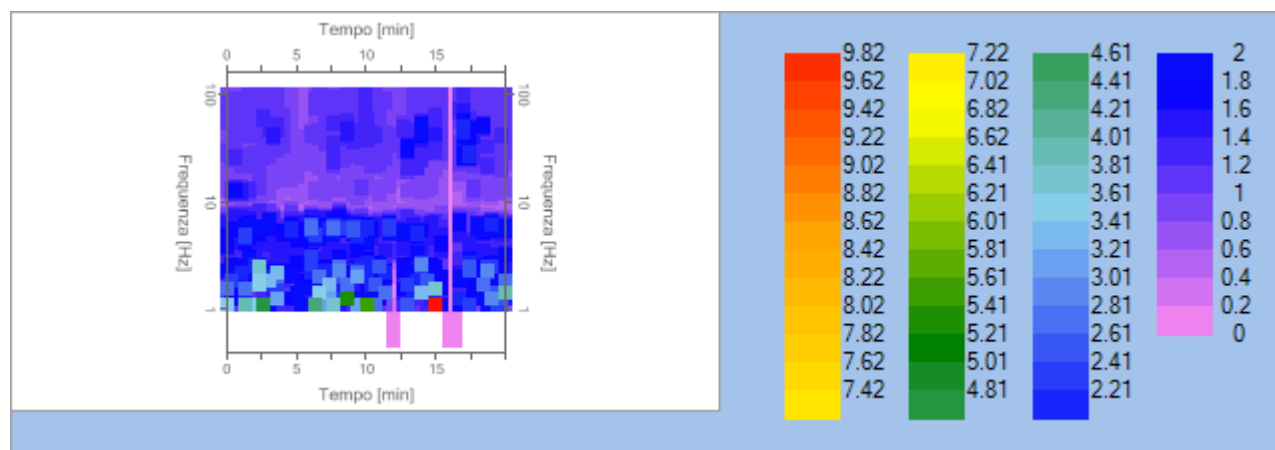


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

*Grafici degli spettri*



Spettri medi nelle tre direzioni



Mapa della stazionarietà degli spettri



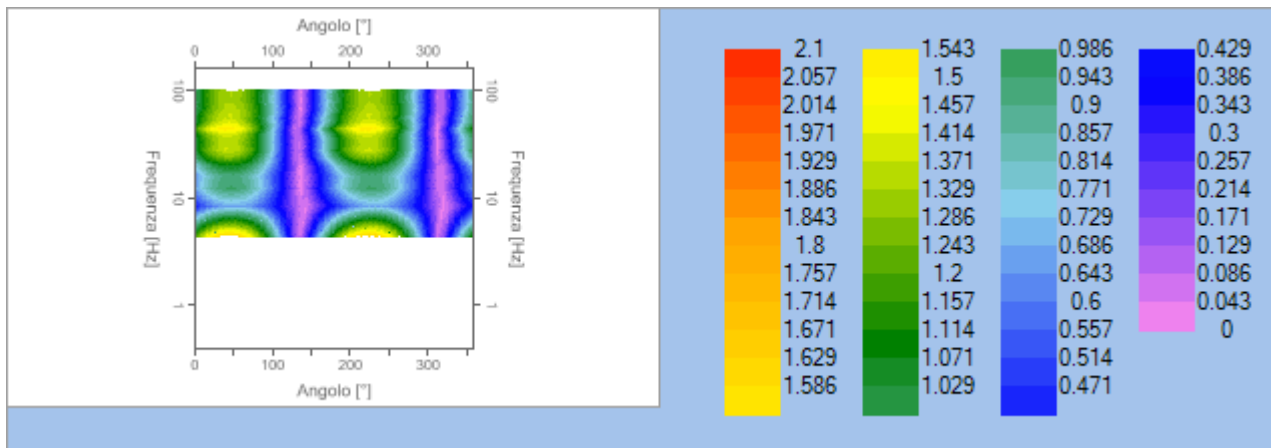
## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	100.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 5.75 Hz  $\pm$ 0.30 Hz  
(NON VERIFICATO SECONDO I CRITERI SESAME 2006)





**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

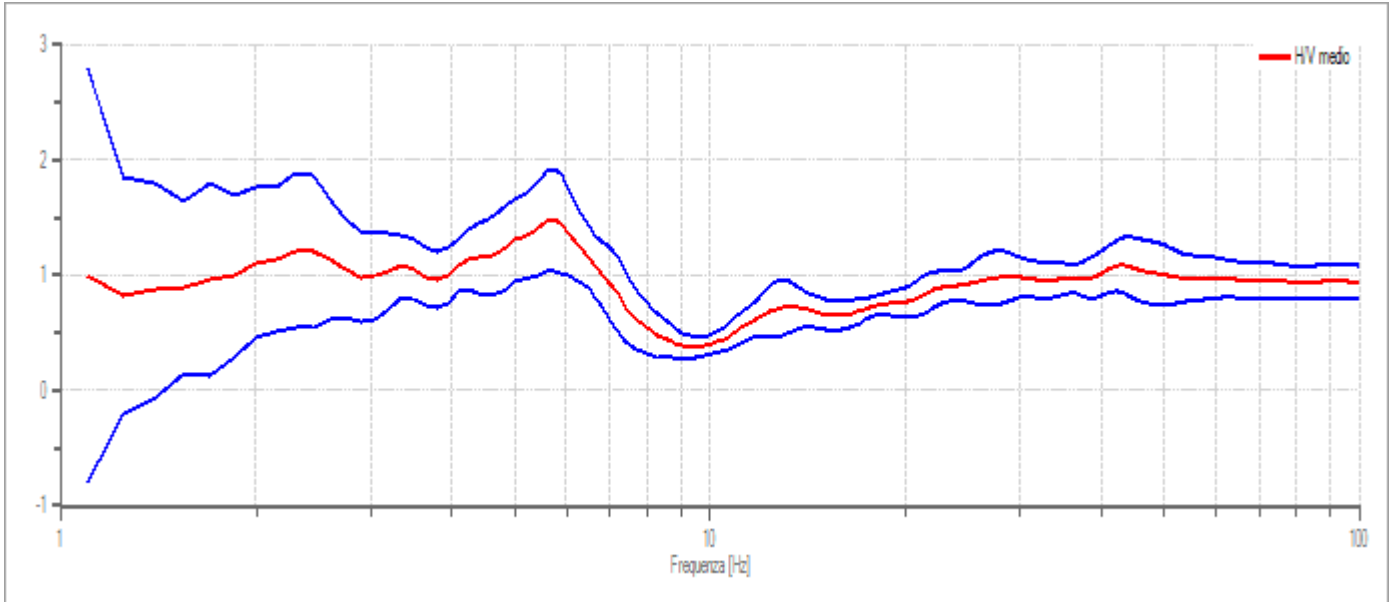
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

## **ALLEGATO N° 4** **VERIFICA A LIQUEFAZIONE**

---



**GEO GROUP**

Via Per Modena, 12-Castelnuovo Rangone-059 3967169

Committente: Studio tecnico

Località: Rubiera, Tetra Pak

Note: Falda -1.70 m da p.c.

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Sigla: 02

**Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)**

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs(kg/cmq)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
2	11	0.73	0.8	0.135	0.095	10
2.2	13	0.6	0.8	0.142	0.109	1.48
2.4	8	0.6	0.8	0.156	0.086	
2.6	10	0.47	0.8	0.167	0.092	
2.8	11	0.53	0.8	0.177	0.092	
3	16	0.47	0.8	0.185	0.114	1.19
3.2	16	0.53	0.8	0.192	0.122	1.22
3.4	15	0.47	0.8	0.199	0.119	1.16
3.6	13	0.4	0.8	0.204	0.116	1.1
3.8	11	0.47	0.8	0.209	0.081	
4	11	0.27	0.8	0.213	0.106	0.96
4.2	14	0.27	0.8	0.217	0.097	0.86
4.4	14	0.6	0.8	0.22	0.084	
4.6	15	0.4	0.8	0.223	0.134	1.16
4.8	12	0.4	0.8	0.226	0.077	
5	11	0.4	0.8	0.229	0.073	
5.2	10	0.27	0.8	0.231	0.07	
5.4	12	0.47	0.8	0.233	0.074	
5.6	11	0.47	0.8	0.235	0.071	
5.8	11	0.33	0.8	0.236	0.07	
6	11	0.4	0.8	0.238	0.069	
6.2	11	0.67	0.8	0.239	0.069	
6.4	18	0.67	0.8	0.241	0.08	
6.6	21	0.67	0.8	0.242	0.196	1.56
6.8	23	0.87	0.8	0.243	0.248	1.97
7	26	0.6	0.8	0.244	0.135	1.07
7.2	28	0.8	0.8	0.245	0.164	1.3
7.4	28	0.67	0.8	0.246	0.144	1.14
7.6	26	0.6	0.8	0.247	0.137	1.07
7.8	27	0.6	0.8	0.247	0.137	1.07
8	25	0.53	0.8	0.248	0.129	1.01
8.2	25	0.6	0.8	0.249	0.14	1.09
8.4	28	0.53	0.8	0.249	0.128	0.99
8.6	15	0.67	0.8	0.25	0.068	
8.8	23	0.8	0.8	0.25	0.078	
9	24	0.73	0.8	0.25	0.078	
9.2	26	0.67	0.8	0.251	0.154	1.19
9.4	30	0.8	0.8	0.25	0.172	1.33
9.6	25	0.73	0.8	0.25	0.077	
9.8	26	0.87	0.8	0.249	0.078	
10	17	0.67	0.8	0.248	0.068	
10.2	16	0.8	0.9	0.247	0.066	
10.4	15	0.87	0.9	0.246	0.065	

Certificato n.02 del 08/10/2013

Firma

**GEO GROUP s.r.l.**  
via Per Modena, 12  
41051 Castelnuovo R. (Mo)



## GEO GROUP

Via Per Modena, 12-Castelnuovo Rangone-059 3967169

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs(kg/cmq)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
10.6	18	0.93	0.9	0.245	0.068	
10.8	21	1.07	0.9	0.243	0.07	
11	24	1.2	0.9	0.242	0.073	
11.2	30	1.2	0.9	0.241	0.078	
11.4	31	1.27	0.9	0.24	0.078	
11.6	30	1.2	0.9	0.239	0.077	
11.8	27	0.87	0.9	0.237	0.074	
12	22	0.93	0.9	0.236	0.069	
12.2	13	0.73	0.9	0.235	0.061	
12.4	12	0.73	0.9	0.233	0.06	
12.6	16	0.73	0.9	0.232	0.063	
12.8	13	0.4	0.9	0.231	0.06	
13	23	0.53	0.9	0.23	0.068	
13.2	15	0.8	0.9	0.228	0.062	
13.4	14	0.8	0.9	0.227	0.061	
13.6	15	0.8	0.9	0.226	0.061	
13.8	18	0.93	0.9	0.224	0.063	
14	18	1	0.9	0.223	0.063	
14.2	16	1.07	0.9	0.222	0.061	
14.4	20	1.13	0.9	0.22	0.064	
14.6	18	0.93	0.9	0.219	0.062	
14.8	15	0.8	0.9	0.217	0.06	
15	17	1	0.9	0.216	0.061	
15.2	17	0.93	0.9	0.215	0.061	
15.4	23	1.27	0.9	0.213	0.065	
15.6	26	1.47	0.9	0.212	0.067	
15.8	28	1.47	0.9	0.211	0.068	
16	31	1.47	0.9	0.209	0.069	
16.2	27	1.33	0.9	0.208	0.067	
16.4	30	1.8	0.9	0.206	0.068	
16.6	30	1.07	0.9	0.205	0.068	
16.8	18	1.13	0.9	0.204	0.061	
17	22	1.13	0.9	0.202	0.063	
17.2	24	1.2	0.9	0.201	0.064	
17.4	24	1.4	0.9	0.199	0.064	
17.6	29	1.33	0.9	0.198	0.066	
17.8	22	1	0.9	0.196	0.062	
18	20	0.93	0.9	0.195	0.061	
18.2	18	2.6	0.9	0.194	0.06	
18.4	24	2	0.9	0.192	0.063	
20	200	2	0.9	0.186	0.621	6.47

Certificato n.02 del 08/10/2013

Firma

GEO GROUP s.r.l.  
Via Per Modena, 12  
41051 Castelnuovo R. (Mo)



## GEO GROUP

Via Per Modena, 12-Castelnuovo Rangone-059 3967169

Profondità (m)	$q_c$ (kg/cmq)	$f_s$ (kg/cmq)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione $F_s$
----------------	----------------	----------------	-------------	------------------------------------	--	---

Profondità tetto falda(m): 1.7

Profondità base falda(m): 20

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.21

Magnitudo di riferimento= 6.14

**Indice di liquefazione=0.3 rischio basso**

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 1.94

**$F_s = MSF \times R / T$**



GEO GROUP

Via Per Modena, 12-Castelnuovo Rangone-059 3967169

Committente: Studio tecnico

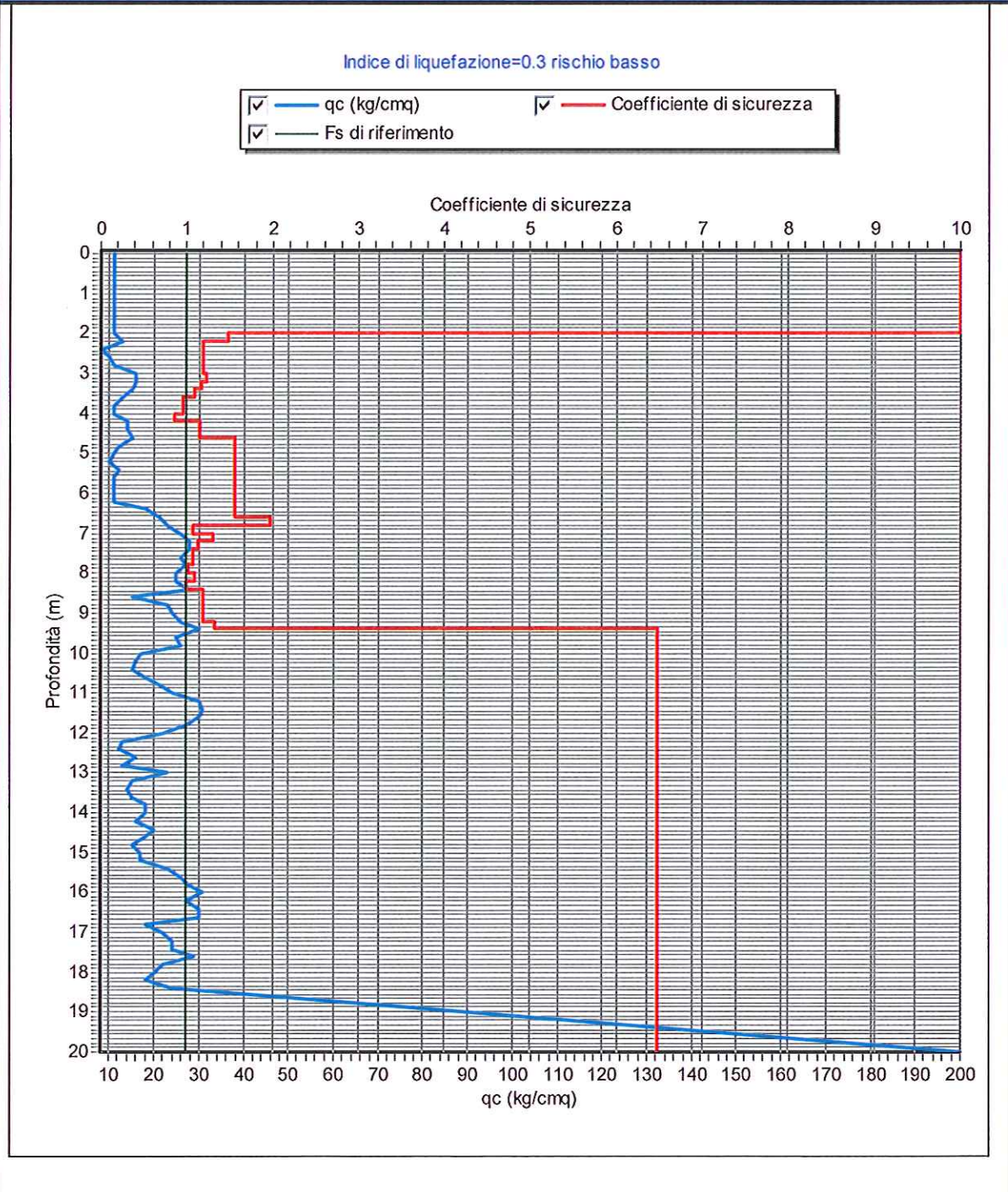
Località: Rubiera, Tetra Pak

Note: Falda -1.70 m da p.c.

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Sigla: 02

**Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)**



Certificato n.02 del 08/10/2013

Firma:

GEO GROUP s.r.l.  
via Per Modena, 12  
41051 Castelnuovo R. (Mo)