

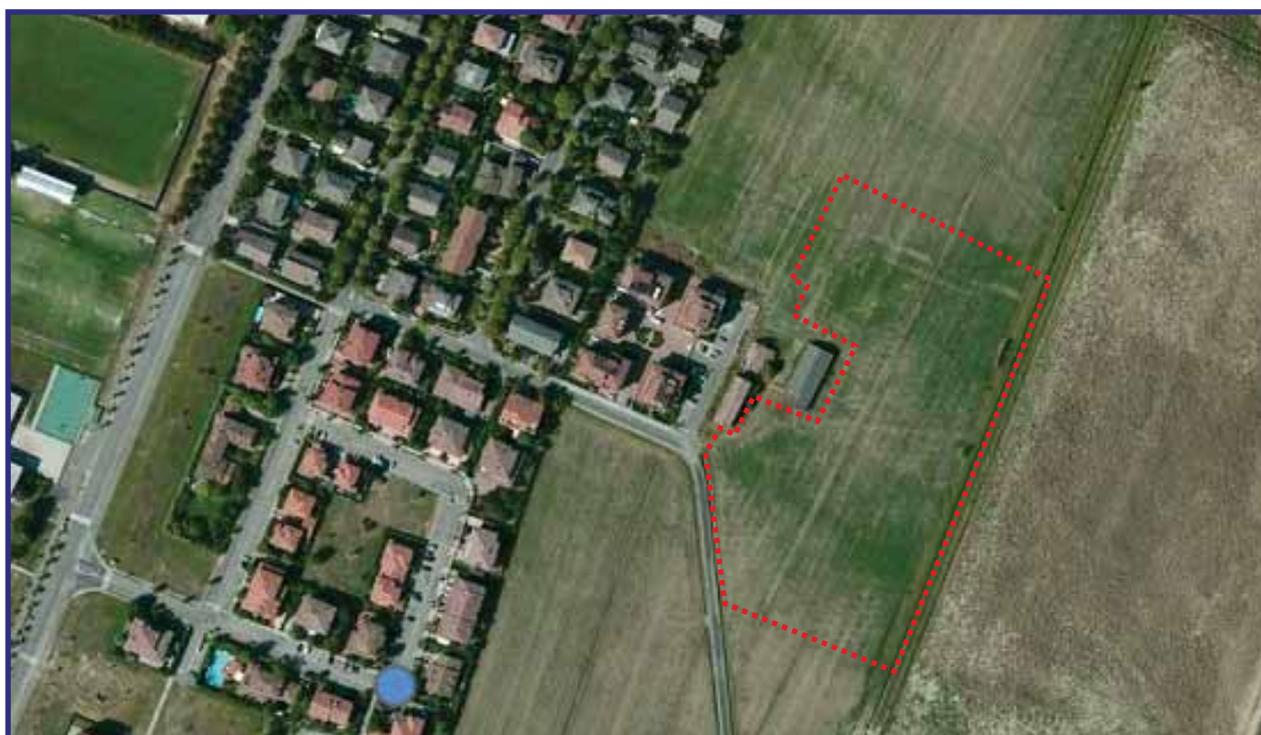
# Comune di Soliera

## Provincia di Modena

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (G.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 (G.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (D.M. 14/01/08 - NNTC), la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008) e a potenziali cedimenti post-sismici e amplificazione litologica nell'ambito di una MICROZONAZIONE SISMICA dell'area (Delibera di Assemblea Legislativa Regionale n.112/2007)



### OGGETTO:

**Studio geologico, geotecnico e sismico inerente lo studio del terreno di fondazione di un'area da destinarsi ad ampliamento della zona residenziale del capoluogo, sita in Via Caduti di Nassiriya**



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari  
Gennaio 2014  
Rif. 778/13

ASSOCIATO



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



**AZIENDA CON SISTEMA  
DI GESTIONE QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV  
= ISO 9001 =**

### Relazione Tecnica comprendente:

**RELAZIONE GEOLOGICA** inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfici 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 e 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), la Verifica agli Stati Limite Ultimi (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08) e la verifica a possibili fenomeni di liquefazione

**MICROZONAZIONE SISMICA** dell'area, ai sensi della Delibera di Assemblea Legislativa n.112/2007, art. 16 – c.1 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”

### Oggetto:

**Studio geologico, geotecnico e sismico inerente lo studio del terreno di fondazione di un'area da destinarsi ad ampliamento della zona residenziale del capoluogo, sita in Via Caduti di Nassiriya nel Comune di Soliera (MO).**

## Indice del contenuto

<b>1</b>	<b>PREMESSE</b> .....	3
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	4
<b>2</b>	<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b> .....	5
2.1	MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA.....	5
2.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	5
2.2.1	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT .....	6
2.3	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE .....	9
<b>3</b>	<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b> .....	11
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE .....	11
3.2	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO .....	11
<b>4</b>	<b>CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE (CALCOLO DEGLI SLU)</b> .....	14
4.1	SISMICITÀ DELL'AREA .....	14
4.2	INDAGINI GEOFISICHE .....	18
4.2.1	Indagine sismica a rifrazione con metodo dei microtremori (Re.Mi) .....	18
4.2.2	Indagine sismica a rifrazione – tecnica MASW.....	21
4.2.3	Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura .....	23
4.3	VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08 .....	25
4.4	MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico.....	30
4.5	PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta delle aree suscettibili di effetti locali.....	31
4.5	SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Valutazione del coefficiente di amplificazione litologica ...	32
4.6	TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Calcolo dei cedimenti post-sismici .....	32
4.6.1	Cedimenti post-sismici dei terreni coesivi .....	33
4.6.2	Cedimenti post-sismici dei terreni incoerenti saturi.....	35
4.7	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE .....	37
<b>5</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b> .....	41

## 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 generale dell'area di interesse”	scala grafica
<b>Tav. n. 4:</b>	“Carta della litologia di superficie”	scala 1: 100.000
<b>Tav. n. 5:</b>	“Indagini geognostiche”	scala grafica
<b>Tav. n. 6:</b>	“Carta dei depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie”	scala grafica
<b>Tav. n. 7:</b>	“Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici”	scala grafica
<b>Tav. n. 8:</b>	“Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali”	scala grafica
<b>Tav. n. 9:</b>	“Carta di microzonazione sismica”	scala grafica

## Allegati

<b>ALL. n. 1</b>	Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica
<b>ALL. n. 2</b>	Indagini sismiche
<b>ALL. n. 3</b>	Verifica alla liquefazione

## 1 PREMESSE

Nei mesi di Dicembre 2013 e di Gennaio 2014, su incarico del Comune di Soliera, è stata eseguita la presente relazione geologica, geotecnica e sismica inerente lo studio del terreno di fondazione di un'area da destinarsi ad ampliamento della zona residenziale del capoluogo, all'interno di una variante al PSC, POC e RUE, sita in Via Caduti di Nassiriya nel Comune di Soliera (MO).



Fig. 1.1: Ripresa aerea dell'area di interesse, tratta da *Bing Mappe*.



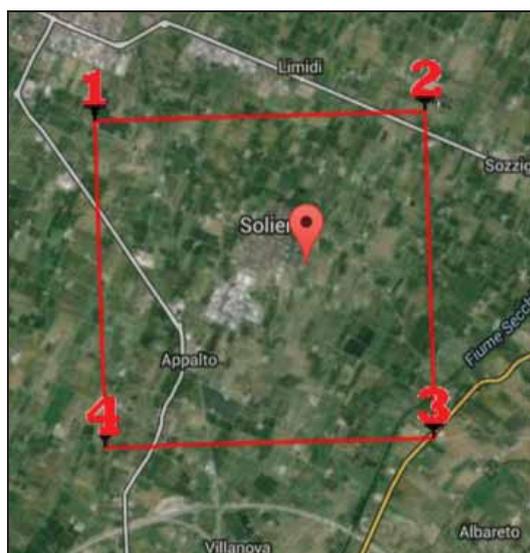
Fig. 1.2: Ripresa fotografica del lotto in oggetto.

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** il presente studio verrà suddiviso nelle seguenti sezioni:

- 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), la verifica dello Stato Limite Ultimo (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08) e la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008).
- 4) **MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA** ai sensi della Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

## 1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è sita ad est del centro abitato del Comune di Soliera (MO), come illustrato nella "Carta corografica", alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**), tavola CTR 201\_NE "Carpì", nella "Carta topografica" alla scala 1: 10.000, sezione (**tav. n. 2**) CTR n°201080 "Soliera", e nella "Ripresa fotografica generale" (**tav. n. 3** e **figg. 1.1** e **1.2**), riportate in allegato. Catastralmente l'area ricade nel FOGLIO 36, MAPPALI 98/99/100/572 del Catasto del Comune di Soliera. Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito software ed utilizzando la maglia di punti riportata in figura 1.3 sono le seguenti:



(1)* Coordinate WGS84	
Lat. <input type="text" value="44,733065"/>	Long. <input type="text" value="10,930543"/>
(1)* Coordinate ED50	
Lat. <input type="text" value="44,734002"/>	Long. <input type="text" value="10,931549"/>

Fig. 1.3: Maglia di punti che identificano l'area di interesse

---

## 2 RELAZIONE GEOLOGICA

---

### 2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA

---

L'area oggetto di studio è collocata in Via Caduti di Nassiriya nel Comune di Soliera (MO), ad una quota topografica media di circa 26.2 m s.l.m..

Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella "Carta della litologia di superficie" (**tav. n. 4**), tratta dalla "Carta geologica e dei suoli", a scala 1:5.000, redatta dal CARG, Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna:

#### **AES8 – Subsistema di Ravenna**

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

*Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni)*. Nell'area in esame affiora la litofacies limosa.

#### **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 in esame affiora la litofacies argillosa.

Nell'area mancano evidenze geomorfologiche degne di nota, la zona è completamente pianeggiante con una leggera inclinazione verso nord-nord est in concordanza con l'andamento generale della Pianura Padana.

---

### 2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

---

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia degli interventi in progetto, la campagna geognostica è stata espletata mediante le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 3 prove penetrometriche statiche CPT, eseguite in data 11/12/2013;**

- **n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo Re.Mi., eseguita in data 11/12/2013;**
- **n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo MASW, eseguita in data 11/12/2013;**
- **n. 2 indagini sismiche passive HVSR, eseguite in data 11/12/2013.**

L'ubicazione delle indagini geotecniche è illustrata nella **tav. n. 5**, riportata in allegato, mentre i diagrammi relativi alle CPT eseguite, dotati d'interpretazione geotecnica, sono presenti nell'**allegato n. 1**; in **allegato n. 2** sono, invece, visibili i grafici e i risultati delle indagini sismiche eseguite.

### 2.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

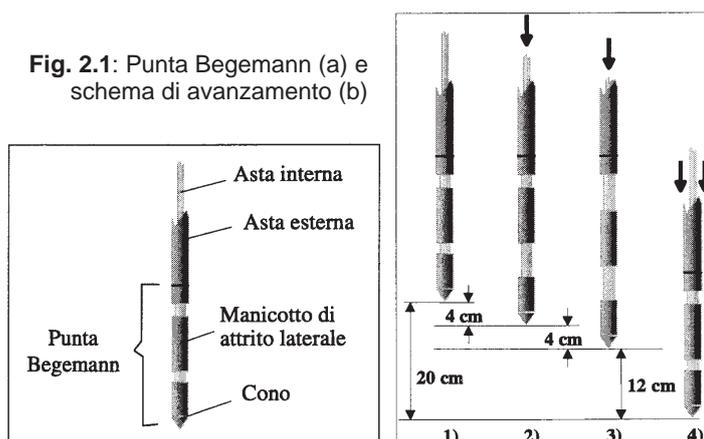
Nell'area di interesse sono state eseguite, in data 11/12/2013, **n. 3 prove penetrometriche statiche CPT**, spinte rispettivamente fino alla profondità di:

<b>CPT 1</b>	<b>-20.00 m da p.c.</b>
<b>CPT 2</b>	<b>-15.00 m da p.c.</b>
<b>CPT 3</b>	<b>-15.00 m da p.c.</b>

Nell'**Allegato n. 1** sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Punta meccanica	<b>Begemann</b>
Spinta	<b>100 kN</b>
Intervalli di misura	<b>20 cm</b>
Parametri registrati	<b>Rp (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>



La prova penetrometrica statica CPT (*Cone Penetration Test*) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann (**fig. 2.1**). La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 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>. 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 (**fig. 2.2**):

- 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 cm<sup>2</sup>. 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 (Area Punta) = 10 cm<sup>2</sup>

AM (Area Manicotto Laterale) = 150 cm<sup>2</sup>

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

La particolare punta utilizzata per la perforazione *Friction Jacket Cone* 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:**

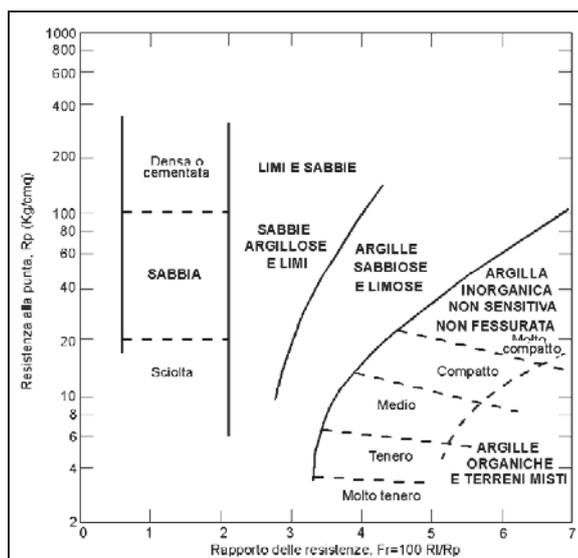
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra Rp e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

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:



## 2.3 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle prove penetrometriche eseguite in sito, illustrate nell'allegato n. 1, si può riassumere quanto segue:

- le prove penetrometriche CPT eseguite hanno rilevato una buona omogeneità litostratigrafica sia in senso verticale che orizzontale.
- Al di sotto del primo strato di sottofondo cortilivo, si rileva un primo strato di **argilla limosa a medio-scarso consistenza** ( $0.59 \text{ MPa} < R_p < 1.76 \text{ MPa}$ ) fino alla profondità di circa -7.40 m da p.c. nella CPT 1, fino a -6.80 m da p.c. nella CPT 2 e fino a -6.20 m da p.c. nella CPT 3; la CPT 2 è intercalata da un sottile livello di **sabbia limosa mediamente addensata** ( $28 \% < Dr < 57 \%$ ) dalla quota pari a -3.60 m da p.c. alla quota pari a -4.40 m da p.c.. Poi si trova un livello di **sabbia limosa sciolta** ( $Dr = 14 \%$ ) nella CPT 1 fino alla quota pari a -7.80 m da p.c. e **sabbia limosa mediamente addensata** ( $21 \% < Dr < 63 \%$ ) nella CPT 2 fino alla quota pari a -7.40 m da p.c. e nella CPT 3 fino alla quota pari a -7.60 m da p.c.. Infine, fino alla massima profondità investigata, si trova uno strato di **argilla limosa a medio scarso consistenza** ( $0.29 \text{ MPa} < R_p < 2.35 \text{ MPa}$ ), intercalato da un livello di **sabbia limosa mediamente addensata** ( $26 \% < Dr < 64 \%$ ) nella CPT 1 dalla quota pari a -17.80 m da p.c. alla quota pari a -18.00 m da p.c., nella CPT 2 dalla quota pari a -11.00 m da p.c. alla quota pari a -12.60 m da p.c. e nella CPT 3 dalla quota pari a -13.00 m da p.c. alla quota pari a -13.80 m da p.c..

- Per quanto riguarda il grado di consolidazione dei materiali coesivi, è stata rinvenuta la presenza di terreni sovraconsolidati **SC** (con  $OCR > 4$ ) fino a  $-4.20$  m dal p.c. nella CPT 1, fino a  $-7.80$  m da p.c. nella CPT 2 e fino a  $-3.80$  m da p.c. nella CPT 3, seguiti da un'alternanza di terreni leggermente sovraconsolidati **LC** ( $2 < OCR < 4$ ), terreni normalconsolidati **NC** ( $1 < OCR < 2$ ) e terreni sovraconsolidati **SC** (con  $OCR > 4$ ) fino a fondo foro.
- Al termine delle prove penetrometriche è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno dei fori di sondaggio. La quota si attesta alla profondità pari a  **$D_w = -1.50$  m da p.c.**

### 3 RELAZIONE GEOTECNICA

#### 3.1 INDAGINI GEOTECNICHE

In relazione alla litologia presente nell'area ed in base al futuro progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geotecniche:

- **n. 3 prove penetrometriche statiche CPT, eseguite in data 11/12/2013**

L'ubicazione delle indagini geotecniche è illustrata nella **tav. n. 5**, riportata in allegato; i diagrammi delle prove penetrometriche CPT, dotati d'interpretazione geotecnica, sono presenti nell'**allegato n. 1**.

#### 3.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per un futuro intervento. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite, illustrate nell'**allegato n. 1** e precedentemente descritte, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 2.40 m da p.c.	- 1.50 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza	$\gamma$	1800 kg/m <sup>3</sup> ≈ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.50 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.05 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 5.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	45.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 4500 kN/m <sup>2</sup>
				$E_s$	70.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 7000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	23°
2	2.40 – 5.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	$\gamma$	1750 kg/m <sup>3</sup> ≈ 17.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2050 kg/m <sup>3</sup> ≈ 20.50 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.35 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 35.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.035 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 3.5 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	30.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 3000 kN/m <sup>2</sup>
				$E_s$	49.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 4900 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	20°
3	5.00 – 6.20 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media consistenza	$\gamma$	18.50 kg/m <sup>3</sup> ≈ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2150 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.60 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 60.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.06 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 6.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	45.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 4500 kN/m <sup>2</sup>
				$E_s$	84.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 8400 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	24°
4	6.20 – 7.60 m da p.c.		Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	$\gamma$	1850 kg/m <sup>3</sup> ≈ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2150 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
				$D_r$	40 %

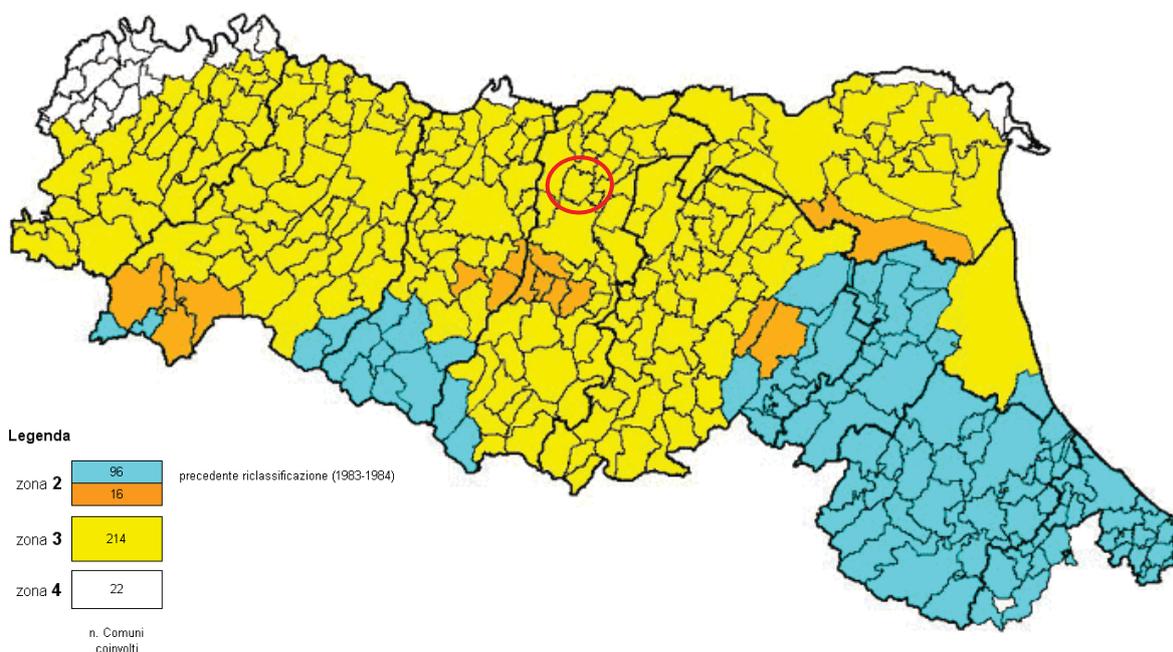
				$E_s$	$90.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 9000 \text{ kN/m}^2$	
				$\phi_k$	$30^\circ$	
				$v$	0.35	
<b>5</b>	7.60 – 8.80 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	$\gamma$	$1750 \text{ kg/m}^3 \approx 17.50 \text{ kN/m}^3$	
				$\gamma'$	$2050 \text{ kg/m}^3 \approx 20.50 \text{ kN/m}^3$	
				$C_{uk}$	$0.35 \text{ kg/cm}^2 \approx 35.0 \text{ kN/m}^2$	
				$C'_k$	$0.035 \text{ kg/cm}^2 \approx 3.5 \text{ kN/m}^2$	
				$Dr$	$30.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 3000 \text{ kN/m}^2$	
				$E_s$	$49.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4900 \text{ kN/m}^2$	
				$\phi_k$	$20^\circ$	
				$v$	0.50	
<b>6</b>	8.80 – 10.20 m da p.c.			Argilla o argilla limosa a media consistenza	$\gamma$	$1800 \text{ kg/m}^3 \approx 18.00 \text{ kN/m}^3$
					$\gamma'$	$2100 \text{ kg/m}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$
					$C_{uk}$	$0.50 \text{ kg/cm}^2 \approx 50.0 \text{ kN/m}^2$
		$C'_k$	$0.05 \text{ kg/cm}^2 \approx 5.0 \text{ kN/m}^2$			
		$M_0$	$45.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4500 \text{ kN/m}^2$			
		$E_s$	$70.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 7000 \text{ kN/m}^2$			
		$\phi_k$	$23^\circ$			
		$v$	0.40			
<b>7</b>	10.20 – 11.80 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	$\gamma$	$1750 \text{ kg/m}^3 \approx 17.50 \text{ kN/m}^3$		
			$\gamma'$	$2050 \text{ kg/m}^3 \approx 20.50 \text{ kN/m}^3$		
			$C_{uk}$	$0.35 \text{ kg/cm}^2 \approx 35.0 \text{ kN/m}^2$		
			$C'_k$	$0.035 \text{ kg/cm}^2 \approx 3.5 \text{ kN/m}^2$		
			$Dr$	$30.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 3000 \text{ kN/m}^2$		
			$E_s$	$49.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4900 \text{ kN/m}^2$		
			$\phi_k$	$20^\circ$		
			$v$	0.50		
<b>8</b>	11.80 – 13.80 m da p.c.	Sabbia o sabbia limosa poco addensata	$\gamma$	$1850 \text{ kg/m}^3 \approx 18.50 \text{ kN/m}^3$		
			$\gamma'$	$2150 \text{ kg/m}^3 \approx 21.50 \text{ kN/m}^3$		
			$Dr$	25 %		
			$E_s$	$60.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 6000 \text{ kN/m}^2$		
			$\phi_k$	$27^\circ$		
			$v$	0.35		
<b>9</b>	13.80 – 17.60 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza	$\gamma$	$1800 \text{ kg/m}^3 \approx 18.00 \text{ kN/m}^3$		
			$\gamma'$	$2100 \text{ kg/m}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$		
			$C_{uk}$	$0.50 \text{ kg/cm}^2 \approx 50.0 \text{ kN/m}^2$		
			$C'_k$	$0.05 \text{ kg/cm}^2 \approx 5.0 \text{ kN/m}^2$		
			$M_0$	$45.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4500 \text{ kN/m}^2$		
			$E_s$	$70.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 7000 \text{ kN/m}^2$		
			$\phi_k$	$23^\circ$		
			$v$	0.40		
<b>10</b>	17.60 – 18.20 m da p.c.	Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	$\gamma$	$1850 \text{ kg/m}^3 \approx 18.50 \text{ kN/m}^3$		
			$\gamma'$	$2150 \text{ kg/m}^3 \approx 21.50 \text{ kN/m}^3$		
			$Dr$	38 %		
			$E_s$	$160.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 16000 \text{ kN/m}^2$		
			$\phi_k$	$31^\circ$		
			$v$	0.35		
<b>11</b>	18.20 – 20.00 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza	$\gamma$	$1800 \text{ kg/m}^3 \approx 18.00 \text{ kN/m}^3$		
			$\gamma'$	$2100 \text{ kg/m}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$		
			$C_{uk}$	$0.50 \text{ kg/cm}^2 \approx 50.0 \text{ kN/m}^2$		
			$C'_k$	$0.05 \text{ kg/cm}^2 \approx 5.0 \text{ kN/m}^2$		
			$M_0$	$45.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4500 \text{ kN/m}^2$		
			$E_s$	$70.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 7000 \text{ kN/m}^2$		
			$\phi_k$	$23^\circ$		
			$v$	0.40		
<b>Legenda</b>			$\gamma$ =	peso specifico terreno naturale		
			$\gamma'$ =	peso specifico terreno saturo		

	<b>C<sub>uk</sub></b> =	<i>coesione non drenata caratteristica</i>
	<b>C'<sub>k</sub></b> =	<i>coesione efficace caratteristica</i>
	<b>Dr</b> =	<i>densità relativa</i>
	<b>M<sub>0</sub></b> =	<i>modulo di deformazione edometrico</i>
	<b>E<sub>s</sub></b> =	<i>modulo elastico</i>
	<b>φ<sub>k</sub></b> =	<i>angolo d'attrito caratteristico</i>

## 4 CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE (CALCOLO DEGLI SLU)

### 4.1 SISMICITÀ DELL'AREA

Con l'entrata in vigore del **D.M. 14/01/2008** recante “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”, il Comune di Soliera (MO) è stato classificato in **classe di sismicità 3**.



**Fig. 4.1:** Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna ed ubicazione del territorio comunale di Soliera (MO).

Sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici sopracitata, secondo le indagini geofisiche eseguite in situ, si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine di media consistenza 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  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  KPa nei terreni a grana fine).*

Inoltre, sulla base della classificazione nazionale che fa ricadere l'area in esame in **classe 3**, il valore di  $a_g$ , espresso come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in tale classe era pari ad  $a_g = 0.15g$ .

Ora, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” è stato definito, per il sito in studio, un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$ , in relazione ad un tempo di riferimento  $T_R$  stimato di **475 anni (SLV)** e considerando la classe d'uso dell'edificio pari a **II**, per l'area in oggetto, identificata dalle

seguenti coordinate geografiche (Sistema di riferimento **ED50**): Latitudine: 44.734002°, Longitudine 10.931549°, tale parametro è risultato pari ad  **$a_g$  attesa = 0.157g**

Determinazione dei parametri sismici				
(1)* Coordinate WGS84				
Lat.	44,733065	Long.	10,930543	°
(1)* Coordinate ED50				
Lat.	44,734002	Long.	10,931549	°
Classe dell'edificio				
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e si				Cu = 1
Vita nominale				50
(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)				
Interpolazione				Media ponderata
Calcola				
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,045	2,488	0,252
Danno (SLD)	50	0,056	2,506	0,267
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,157	2,572	0,272
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,210	2,525	0,279
Periodo di riferimento per l'azione sismica:		50		

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di  $a_g$  in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico  $S_s$  caratteristico dell'area secondo il NTC 2008 D.M. 14/01/2008 da cui, essendo in classe C si avrà:

$$1,00 \leq S_s = 1,70 - (0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1,50 \quad (4.1)$$

dove:

**Fo** = 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 **2.572**;

**$a_g/g$**  = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **475 anni**/accelerazione di gravità;

**$S_s$**  = Coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione (4.1); per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.46**.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si ricava il fattore topografico ST dalla seguente tabella:

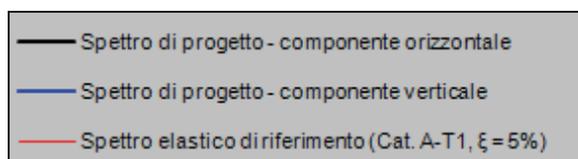
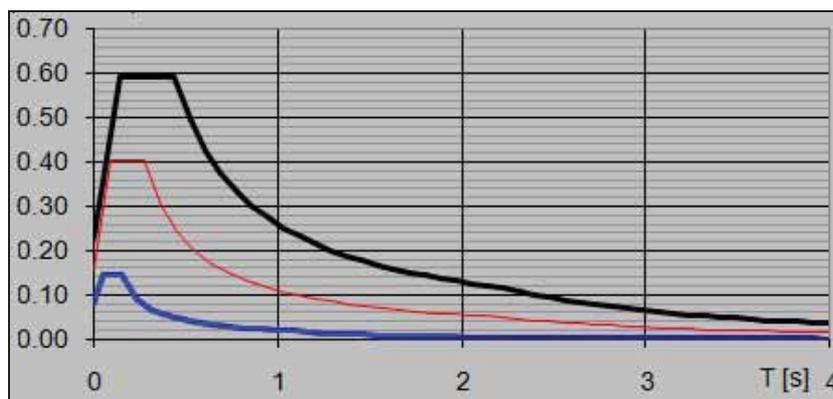
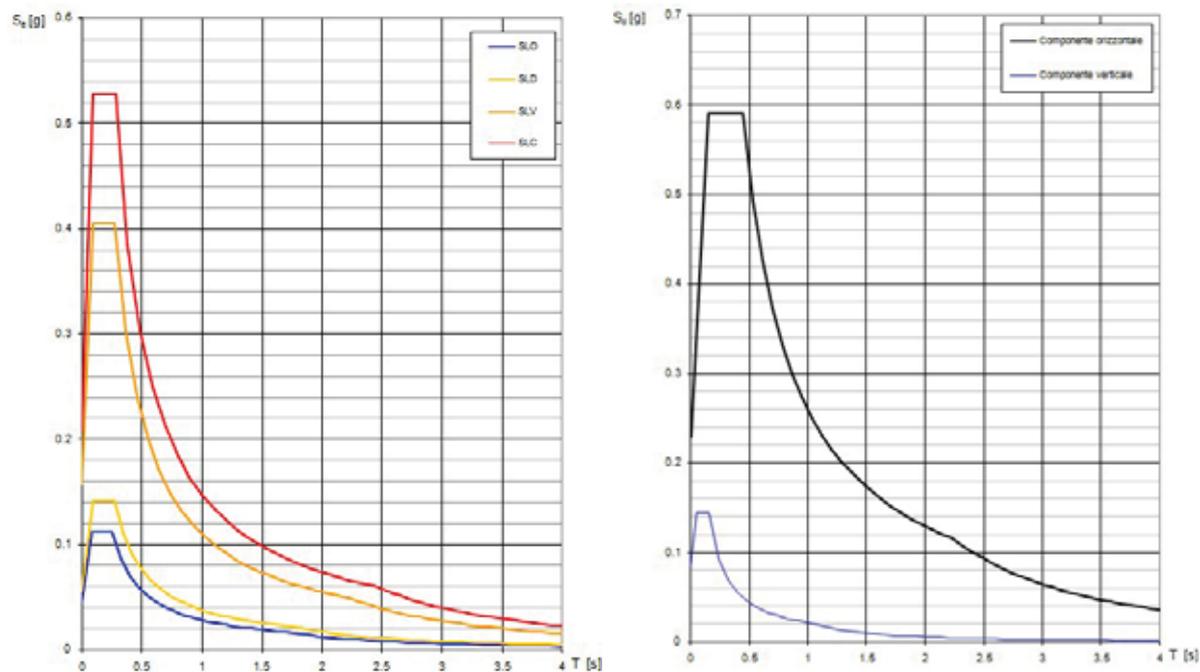
Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata, appartenente alla categoria topografica T1, si ottiene un fattore topografico **ST pari a 1.0**.

In base ai valori del fattore stratigrafico Ss e del fattore topografico St si procede al calcolo dell' accelerazione massima orizzontale  $A_{max}$ :

$$A_{max} = Ss \cdot St \cdot a_g = 1.46 \cdot 1 \cdot 0.157g = 0.229g$$

### Spettri di risposta del sito oggetto di studi



Spettri elastici del sito desunti dal programma Spettri-NTC v.1.0.3

---

## 4.2 INDAGINI GEOFISICHE

---

Per la classificazione sismica dell'area di studio, in data 11/12/2013, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geofisiche:

- **n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo Re.Mi.;**
- **n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo MASW;**
- **n. 2 indagini sismiche passive HVSR.**

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella **Tav. n. 5**, mentre in **Allegato n. 2** sono presenti i grafici relativi ai risultati ottenuti dall'elaborazione dell'indagini sismiche eseguite.

---

### 4.2.1 Indagine sismica a rifrazione con metodo dei microtremori (Re.Mi)

---

La caratterizzazione geotecnica dei terreni dal punto di vista sismico richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo delle velocità delle onde di taglio Vs degli strati del terreno presenti nel sito di studio, fino alla profondità di almeno 30 metri dal piano di posa delle fondazioni.

La normativa, sulla base del suddetto profilo, fornisce una classificazione dei suoli suddivisa nelle tipologie A, B, C, D, E ed S1, S2.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire rilievi in foro di sondaggio meccanico con tecnica down-hole, se si dispone di un foro singolo o cross-hole fra due fori, oppure prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali utilizzando geofoni orizzontali con opportune energizzazioni del terreno o tramite geofoni verticali acquisendo i segnali dei microtremori rifratti ambientali.

Questa tecnica, nota con la sigla Re.Mi. (Refraction Microtremors), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde relative ai rumori sismici locali, rifratte alla superficie.

Nell'approccio teorico si utilizzano le onde superficiali di Rayleigh per la determinazione dei parametri di comportamento meccanico dei terreni a bassi livelli di deformazione, modulo di taglio e coefficiente di smorzamento, e si basa sulle proprietà dispersive che queste onde subiscono durante l'attraversamento di tali terreni.

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde superficiali che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo, e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione "P" e di taglio "S".

In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo dispersivo e vengono definite di pseudo-Rayleigh o di superficie.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza; le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde Rayleigh, *Velocità/frequenza* può essere convertito mediante opportuno software in profilo *Velocità/profondità*.

La metodologia permette di raggiungere livelli di profondità generalmente compresi fra 1/4 e 1/3 della lunghezza dello stendimento dei geofoni.

$$\text{Esempio: Profondità} = (\text{Lunghezza stendimento} / 4 \div 3) = (120 \text{ ml} / 4 \div 3) = 30 \div 40 \text{ ml}$$

Lo studio analitico del metodo Re.Mi. consente di operare favorevolmente in ambienti fortemente inquinati da rumori urbani e/o industriali.

Una volta determinate le velocità delle onde di taglio fino alla massima profondità raggiunta, si calcola una media pesata dei valori delle Vs di ogni strato per una profondità di 30 metri dal piano campagna e con tale parametro è possibile catalogare il sito nella classe di riferimento dell'ordinanza in oggetto.

#### Modalità operative

L'indagine sismica è stata eseguita in sito utilizzando 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 14 Hz fissati al terreno ad intervalli regolari di 5 metri per una lunghezza complessiva dello stendimento pari a 115 metri.

I dati sono stati registrati mediante un sismografo *GEODE Geometrics 24 bit* con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 30 secondi.

Complessivamente sono stati registrati 10 files ad intervalli irregolari nell'arco di circa 1 ora di tempo.

#### Classificazione del terreno in base alle $V_{s,30}$ – D.M. 14/01/2008

L'elaborazione (**Allegato n. 2**) restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione attraverso un'immagine a colori che mostra il profilo delle velocità delle onde di Rayleigh come velocità di fase e frequenza. Analizzando tale grafico si ottiene un modello teorico dell'andamento delle Vs con la profondità fino ad una quota di -30.00 m dal piano di posa delle fondazioni, attraverso la formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_1 \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Tale valore, nell'area indagata, è risultato pari a:

RE.Mi	<b><math>V_{s30} = 224 \text{ m/s}</math></b>	<b>Categoria C</b>
-------	---	--------------------

Quindi, secondo la classificazione del suolo, secondo le indicazioni del D.M. 14 Gennaio 2008 e in base ai risultati ottenuti dall'indagine geofisica Re.Mi. si classifica il terreno di fondazione del lotto 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  $70 < C_{u30} < 250 \text{ kPa}$  NEI TERRENI A GRANA FINA)".



Fig. 4.2: Ripresa fotografica di parte dello stendimento *Re.Mi* eseguito.

#### 4.2.2 Indagine sismica a rifrazione – tecnica MASW

Per potere classificare con precisione l'area da un punto di vista sismico, è stata eseguita nell'area in oggetto n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo MASW, ubicata come riportato nella **tav. n. 5** e i cui risultati sono riportati in **Allegato n. 2**.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando 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 Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 1 secondo. Si effettuano battute poste ad offset diversi (es. 10.00 m da geofono 1 e 5.00 m da geofono 1) mediante grave da 8,0 kg di massa.

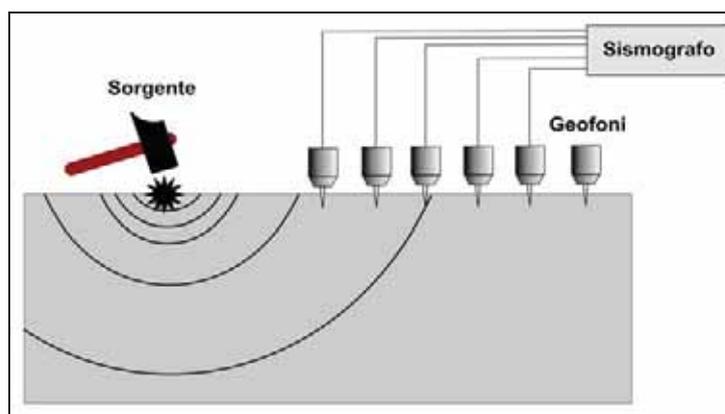


Fig. 4.3: Schema di Array lineare e punto energizzante.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo Vs/profondità. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a circa 35 m di profondità. Dall'indagine è stata ricavata la  $V_{s30}$  desunta dalla formula:

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

Tale valore, nell'area indagata, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione seguendo le indicazioni del **D.M. 14/01/2008**, è risultata pari a:

MASW 1	<b>Vs30 = 213 m/s</b>	<b>categoria C</b>
--------	-----------------------	--------------------

Pertanto secondo la classificazione del suolo, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come appartenente alla **categoria C**, *corrispondente a depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*



Fig. 4.4: Ripresa fotografica di parte dello stendimento Masw.

---

#### 4.2.3 Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (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 dello 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 energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME.

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  $V_s$**  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  **$V_{s30}$**  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.

Sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione delle n. 2 indagini sismiche HVSR eseguite non è stato riscontrato nessun picco di frequenza caratteristico per il sito in studio.

#### 4.3 VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08

In relazione a quanto esposto nel D.M. 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU).

Nelle verifiche agli stati limite si distinguono:

- EQU: stato limite di equilibrio come corpo rigido;
- STR: stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
- GEO: stato limite di resistenza del terreno.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove:  $Ed$  = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni;

$Rd$  = valore di progetto della resistenza del terreno.

Per quanto riguarda le azioni, i relativi coefficienti parziali  $\gamma_F$  sono indicati nella seguente tabella:

CARICHI	EFFETTO	Coeff. Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_F$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti

**Tab. n. 4.1:** Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Nella **Tab. n. 4.1** il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  = coefficiente parziale del peso proprio della struttura;

$\gamma_{G2}$  = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_{Qi}$  = coefficiente parziale delle azioni variabili.

Si precisa che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

La resistenza  $Rd$  del terreno può essere determinata:

- 1) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella

seguinte tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  relativi al particolare tipo di opera:

Parametro cui applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Descrizione	Simbolo			
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_Y$	1,00	1,00

**Tab. 4.2:** Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

- 2) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati delle prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  relativi al particolare tipo di opera;
- 3) sulla base di misure dirette effettuate su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  relativi al particolare tipo di opera.

Si precisa che per le rocce ed i materiali lapidei, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale  $q_u$ , deve essere applicato un coefficiente parziale  $\gamma_{qu} = 1,6$ .

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

La verifica nei confronti degli stati limite ultimi viene effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

- a) SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
  - Collasso per scorrimento sul piano di posa;
  - Stabilità globale.
- b) SLU di tipo strutturale (STR):
  - Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

- Stabilità globale, utilizzando la combinazione “2” (A2+M2+R2) e tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze globali
- c) Le rimanenti verifiche devono essere effettuate seguendo almeno uno dei seguenti approcci (ed utilizzando i valori dei coefficienti parziali):
  - **Approccio 1:** Combinazione 1 (A1+M1+R1)  
Combinazione 2 (A2+M2+R2)
  - **Approccio 2:** Combinazione (A1+M1+R3)

VERIFICA	COEFF.PARZIALE (R1)	COEFF.PARZIALE (R2)	COEFF.PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tab. 4.3: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

### Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma nei riguardi della determinazione del  $q_{lim}$  vengono introdotti, all'interno della formula di Hansen, i fattori correttivi z:

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot K_h \quad z_q = \left(1 - \frac{K_h}{\tan \varphi}\right)^{0.35} \quad z_Y = z_q$$

Dove il  $K_h$  è il coefficiente sismico orizzontale. Le verifiche sono state effettuate considerando quindi i seguenti parametri sismici:

- $a_{MAX}$  (ag/g): **0.229 g** (relativa a SLV;  $T_r = 475$  anni)
- coefficiente intensità sismica del terreno  $K_h$ : **0.055**

Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **future opere di fondazione**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo **SLU sia a breve che a lungo termine** per un ipotetico fabbricato in progetto, **sia in condizioni statiche che pseudostatiche** utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

**1) Approccio 1 - combinazione 2 (A2 + M2 + R2);**

**2) Approccio 2 - combinazione (A1 + M1 + R3).**

**In fase esecutiva si calcoleranno su dati più precisi gli SLU in condizioni statiche e pseudostatiche per ogni singolo fabbricato in progetto.**

L'**Approccio 1** prevede due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti, la prima combinazione **(A1+M1+R1)** è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda

combinazione **(A2+M2+R2)**, da Noi utilizzata, è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico. Il secondo approccio progettuale **Approccio 2**, sempre da Noi utilizzato, prevede un'unica combinazione di gruppi di coefficienti **(A1+M1+R3)** da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Utilizzando quindi l'**Approccio 1** - combinazione **2 (A2+M2+R2)** lo stato limite ultimo nel caso ipotizzato, ottenuto in condizioni **non drenate** ( $C_u \neq 0$  ;  $\varphi = 0$ ), applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la relazione  $C_{u,d} = C_{u,k} / 1.4$  ( $C_{u,d}$  = coesione non drenata di progetto;  $C_{u,k}$  = coesione non drenata caratteristica), sarà pari a:

### CONDIZIONE STATICA

ipotesi di fabbricato residenziale fondazioni nastriformi

#### Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.26 Kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 126 kN/m <sup>2</sup>

Utilizzando sempre l'**Approccio 1**, combinazione **2 (A2+M2+R2)** è stato calcolato lo stato limite ultimo, in condizioni “drenate” ( $C_u \neq 0$  ;  $\varphi \neq 0$ ), considerando un angolo di attrito caratteristico del valore  $\varphi'_k = 23^\circ$ . Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione:  $\text{tg}\varphi'_d = \text{tg}\varphi'_k / 1,25$  ( $\varphi'_d$  = angolo d'attrito di progetto) ne deriva il seguente valore ridotto:  $\varphi'_d \approx 19^\circ$  per l'ipotetico fabbricato. Quindi è stato ottenuto uno stato limite ultimo pari a:

### CONDIZIONE STATICA

ipotesi di fabbricato residenziale fondazioni nastriformi

#### Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.21 Kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 121 kN/m <sup>2</sup>

### CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (PAOLUCCI E PECKER [1997])

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.14 Kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 114 kN/m <sup>2</sup>

Utilizzando invece **l'Approccio 2 - combinazione (A1+M1+R3)** il carico limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni **non drenate** ( $C_u \neq 0$ ;  $\varphi = 0$ ), applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la seguente relazione  $C_{u,d} = C_{u,k} / 1.0$ , per cui si avrà  $C_{u,d} = C_{u,k}$ , sarà pari a:

## CONDIZIONE STATICA

ipotesi di fabbricato residenziale fondazioni nastriformi

### Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.35 Kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 135 kN/m <sup>2</sup>

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni “**drenate**”, sempre seguendo l'**Approccio 2**, combinazione **(A1+M1+R3)**, è stato calcolato lo stato limite ultimo, in condizioni “**drenate**” ( $C_u \neq 0$ ;  $\varphi \neq 0$ ), considerando un angolo di attrito caratteristico del valore  $\varphi'_k = 23^\circ$ . Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione:  $\text{tg}\varphi'_d = \text{tg}\varphi'_k / 1$  ( $\varphi'_d =$  angolo d'attrito di progetto) ne deriva il seguente valore ridotto:  $\varphi'_d \approx 23^\circ$  e **per l'ipotetico fabbricato**. Quindi è stato ottenuto uno stato limite ultimo pari a:

## CONDIZIONE STATICA

ipotesi di fabbricato residenziale fondazioni nastriformi

### Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.55 Kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 155 kN/m <sup>2</sup>

## CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (PAOLUCCI E PECKER [1997])

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.49 Kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 149 kN/m <sup>2</sup>

---

#### 4.4 MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico

---

L'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n.112-oggetto n°2131 del 02/05/2007 ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della LR 20/2000: "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*" e dei suoi allegati.

In tale documento sono forniti i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio con particolare riguardo alla tipologia ed al livello di approfondimento degli studi da effettuare per una migliore definizione della risposta sismica locale.

E' ormai accertato da numerosi studi a livello internazionale che, a parità di magnitudo e localizzazione della sorgente sismica (ipocentro), terreni a caratteristiche fisico meccaniche diverse subiscono deformazioni di intensità differente. Strumentalmente, ciò è rilevabile attraverso la modifica del moto sismico (*accelerogramma* o *spettro di risposta elastico*) impressa in termini di accelerazione in un dato periodo di tempo. Il moto sismico, impresso alle particelle, si propaga in modo contiguo nel terreno ampliandosi o smorzandosi in funzione del grado di addensamento e viscosità del materiale attraversato, caratterizzandosi per velocità delle onde di taglio ( $V_{s,h}$ ), più veloci tanto più il mezzo attraversato è addensato.

Tutto ciò risulta di primaria importanza per un'attenta analisi della risposta sismica locale, al fine di individuare delle aree soggette ad effetti locali e per orientare un'accurata indagine di campagna finalizzata alla definizione delle proprietà di seguito elencate:

Indagine geologica e geomorfologia classica:

- a) stratigrafia delle formazioni superficiali con definizione del contatto tra copertura superficiale e bedrock;
- b) morfologia di dettaglio dell'area con rilievo delle forme lineari o strutturali che possono generare amplificazione del moto sismico.

Studi geofisici specifici:

- c) profili di velocità delle onde sismiche trasversali  $V_s$  e longitudinali dentro le formazioni superficiali.

Recentemente, per la valutazione della **pericolosità sismica di base** si può fare riferimento all'Allegato A4 della Dal. Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2.5.2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione

territoriale e urbanistica” in cui sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) per ogni Comune della Regione.

Secondo tale classificazione il Comune di Soliera presenta un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (cioè per periodo  $T=0$ )  $a_{refg} = 0.158$  (espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità).

E' altresì stato da Noi calcolato, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** “Nuove norme tecniche per le costruzioni” il parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  in relazione ad un tempo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni (SLV), identificato (**sistema ED 50**) dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.734002°, Longitudine 10.931549°, tale parametro è risultato pari ad  $a_{g\ attesa} = 0.157g$ .

---

#### **4.5 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta delle aree suscettibili di effetti locali**

---

Il primo livello di approfondimento raggruppa gli studi e la cartografia di base propedeutica alla redazione della “*Carta degli Effetti Attesi*” in cui sono evidenziate le zone caratterizzate da differenti scenari di pericolosità locale con indicazione degli effetti locali attesi.

Dalla consultazione della tavola 2.2a 01 “Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali” degli Elaborati cartografici di Piano del PTCP del 2009 vigente per la Provincia di Modena, riportata nella **tavola n. 8**, redatta sulla base delle **tavole n. 6 e n. 7** in allegato, è emerso che l'area studiata ricade in una zona classificata come “*Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti*”.

Gli studi richiesti per tali aree sono quindi la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi.

Tenendo conto anche dei recenti eventi sismici che hanno colpito l'area in esame si è reputato giusto procedere ad approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.

#### 4.5 SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Valutazione del coefficiente di amplificazione litologica

Una volta identificati gli scenari che individuano il livello di approfondimento dell'area in oggetto, dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione litologico, quindi sarà necessario effettuare studi di microzonazione sismica di dettaglio del territorio indagato.

A tale scopo è stata redatta la “**Carta di Microzonazione Sismica**” (tav. n. 9) quale sintesi dei risultati delle indagini per la definizione del modello sismostratigrafico e dei profili di velocità di propagazione delle onde di Taglio Vs.

Sulla base di dati bibliografici raccolti per l'area in oggetto e dei risultati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite in sito (indagini sismiche **Re.Mi. = 224 m/sec e MASW: Vs<sub>30</sub> = 213 m/sec**), premesso che tale area ricade, secondo l'allegato A2 del D.A.L. 112 della L.R. 20/2000, all'interno dell'ambito definito come: “**PIANURA 2**” caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo ( $\geq 100$  m da p.c.), come riportato nella Tavola n. 6, si riportano, per la microarea sismica zonizzata e indagata, i coefficienti di amplificazione sismica così come illustrato nella Tavola n. 9:

##### Da indagini Re.Mi. e MASW:

**F.A. P.G.A. = 1.5**

**F.A. SI (0,1 < T<sub>0</sub> < 0,5) = 1.8**

**F.A. SI (0,5 < T<sub>0</sub> < 1,0) = 2.5**

dove:

- PGA= accelerazione massima orizzontale alla superficie
- SI = indice di Housner
- F.A. P.G.A.= Fattore di amplificazione P.G.A.
- F.A. 0.1-0.5 (intensità spettrale 0.1sec<T<sub>0</sub><0.5sec);
- F.A. 0.5-1.0 (intensità spettrale 0.5sec<T<sub>0</sub><0.1sec)

#### 4.6 TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Calcolo dei cedimenti post-sismici

In accordo con l'art.16, comma 1 della LR 20/2000 “Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio”, in merito a “**Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica**” (Proposta dalla Giunta regionale in data 10 gennaio 2007, n.1), è stata eseguita una **stima dei**

**cedimenti permanenti post-sismici** del terreno di fondazione (**Allegato A3** della sopracitata normativa).

La generazione di sovrappressioni interstiziali durante l'applicazione di carichi ciclici, in condizioni non drenate, provoca all'interno dei terreni una riduzione degli sforzi efficaci. Una volta che il sistema è soggetto a drenaggio, la pressione in eccesso si dissipa e il terreno è soggetto a una variazione dell'indice dei vuoti. Così facendo si generano deformazioni volumetriche negative, che comportano l'instaurarsi di cedimenti permanenti all'interno del terreno stesso.

Per tale motivo, durante input sismico, i terreni subiscono un fenomeno di riconsolidazione dovuta all'applicazione di un carico ciclico. Pertanto, risulta essenziale stimare la potenziale deformazione volumetrica del sottosuolo, considerando l'azione sismica di riferimento.

I cedimenti post-sismici sono stati calcolati secondo quanto descritto nel All. n. 3 della D.a.I. n. 112/2007. Per tale stima sono state considerate le n. 3 prove CPT eseguite in corrispondenza del sito in oggetto.

---

#### **4.6.1 Cedimenti post-sismici dei terreni coesivi**

---

La stima dei cedimenti post-sismici nei terreni coesivi viene eseguita mediante la seguente formula:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} H$$

dove H è l'altezza dello strato e  $\varepsilon_{vr}$  (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica.  $\varepsilon_{vr}$  è stato stima, come da procedura descritta nel All. n. 3 della D.a.I. n. 112/2007, secondo la seguente relazione

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui  $\alpha$  (costante sperimentale) è stata posta uguale a 1, l'indice dei vuoti e il parametro  $C_r$  è stato ricavato dal modulo edometrico, che a sua volta è stato derivato dall'elaborazione delle prove CPT eseguite considerando la relazione di Mitchell e Gardner (1975).

La stima dei cedimenti è stata svolta considerando le n. 3 verticali relative alle CPT eseguite in corrispondenza dell'area in oggetto. Per lo svolgimento del calcolo la superficie piezometrica è stata considerata a -1.50 m da p.c., mentre per quanto riguarda l'azione sismica, è stato considerato il valore di PGA di 0.229 g. Come descritto nel All. n. 3, contenuto nella D.a.I. n. 112/2007, la stima è stata svolta solamente per i livelli coesivi molto soffici ( $c_u \leq 70$  kPa) e plastici ( $I_p \geq 30$  %). Si riportano successivamente i valori di cedimenti post-sismici, relativi ai terreni a natura coesiva, calcolati per ciascuna indagine CPT:

### CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI COESIVI

<b>CPT 1</b>	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	<b>4.521*</b> * (calcolati su una verticale di 20.00 m)
<b>CPT 2</b>	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	<b>2.276*</b> * (calcolati su una verticale di 15.00 m)
<b>CPT 3</b>	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	<b>2.272*</b> * (calcolati su una verticale di 15.00 m)

Tab. 4.4: Sommatoria dei cedimenti post-sismici totali, calcolati per ciascuna verticale di prova considerata.

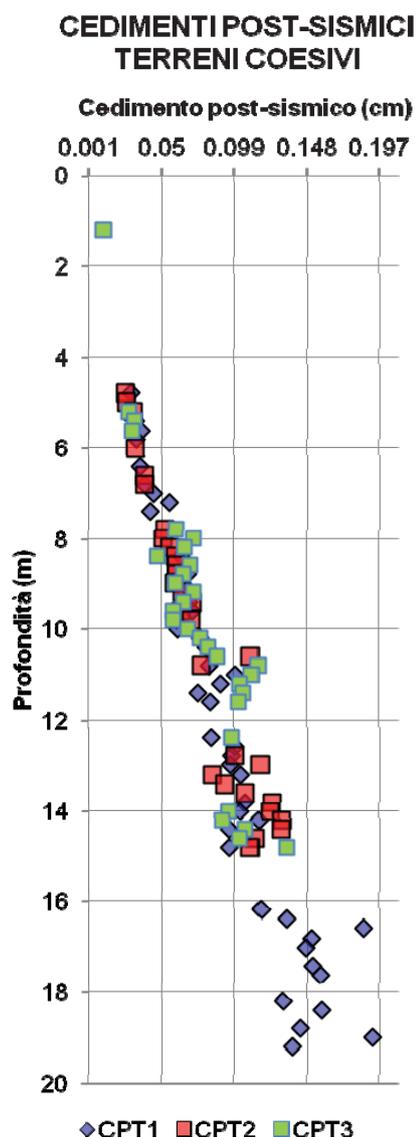


Fig. 4.5: Grafico dei valori di cedimenti post-sismici, calcolati per ogni step (0.20 cm) di lettura

#### 4.6.2 Cedimenti post-sismici dei terreni incoerenti saturi

I cedimenti post-sismici dei terreni granulari viene valutata con l'analoga formula appena descritta:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} H$$

dove H è l'altezza dello strato e  $\varepsilon_{vr}$  (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica.  $\varepsilon_{vr}$  è stato stima, come da procedura descritta nel All. n. 3 della D.a.l. n. 112/2007, secondo la seguente relazione

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui  $\alpha$  (costante sperimentale) è stata posta uguale a 1, l'indice dei vuoti e il parametro  $C_r$  è stato ricavato dal modulo edometrico, che a sua volta è stato derivato dall'elaborazione delle prove CPT eseguite considerando la relazione di Robertson e Campanella (1983).

La stima dei cedimenti è stata svolta considerando le n. 3 verticali relative alle CPT eseguite in corrispondenza dell'area in oggetto. Per lo svolgimento del calcolo la superficie piezometrica è stata considerata a -1.50 m da p.c., mentre per quanto riguarda l'azione sismica, è stato considerato il valore di PGA di 0.229 g.

I cedimenti ottenuti per i livelli incoerenti saturi sono risultati molto esigui, non essendo presenti spessori rilevanti di terreni sabbiosi scarsamente addensati. Si riportano successivamente i valori di cedimenti post-sismici, relativi ai terreni a natura incoerente, calcolati per ciascuna indagine CPT:

### CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI GRANULARI SATURI

<b>CPT 1</b>	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	<b>0.048*</b> * (calcolati su una verticale di 20.00 m)
<b>CPT 2</b>	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	<b>0.068*</b> * (calcolati su una verticale di 15.00 m)
<b>CPT 3</b>	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	<b>0.026*</b> * (calcolati su una verticale di 15.00 m)

Tab. 4.5: Sommatoria dei cedimenti post-sismici totali, calcolati per ciascuna verticale di prova considerata

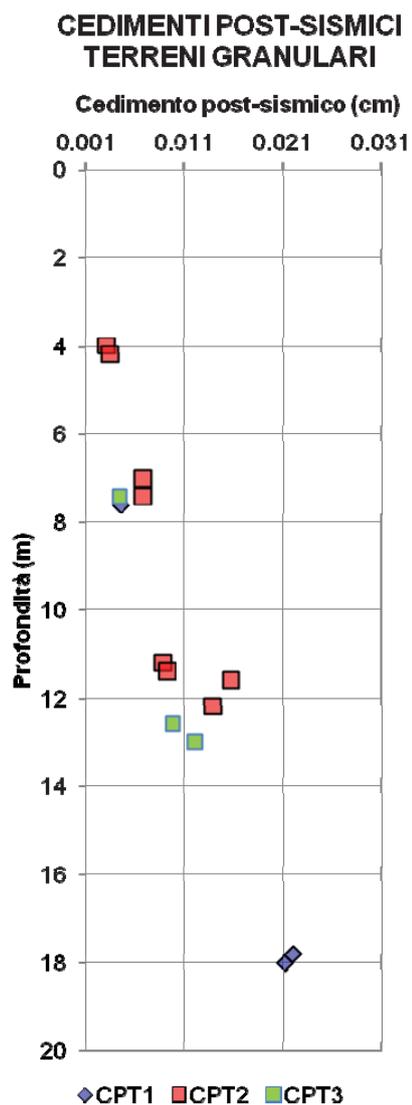


Fig. 4.6: Grafico dei valori di cedimenti post-sismici, calcolati per ogni step (0.20 cm) di lettura

---

## 4.7 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 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. Di conseguenza, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, 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 riliquefazione.

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 di dati 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*.

I dati del sisma di progetto sono stati ricavati attraverso l'analisi probabilistica dei dati del Catalogo Sismico Nazionale.

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:

$$F_s = \frac{R}{T}.$$

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 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:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF};$$

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** mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$R = 0.883 \left[ \frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50 \text{ e}$$
$$R = 93 \left[ \frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

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:

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

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
$0 < IL \leq 5$	Basso
$5 < IL \leq 15$	Alto
$15 < IL$	Molto alto

Nel nostro caso, elaborando i valori risultati dalla CPT n. 1, è stato ottenuto un valore di **IL = 0.4**, indice di un **rischio di liquefazione "basso"**, considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14**, una accelerazione massima al suolo, **A<sub>max</sub> = 0.229 g (secondo D.M. 14/01/2008)** e considerando la soggiacenza della falda freatica alla profondità **Dw = - 1.50 m da p.c..**

## 5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione, redatta ai sensi *del D.M. 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”*, è stata redatta per lo studio del terreno di fondazione di un'area da destinarsi ad ampliamento della zona residenziale, sita in Via Caduti di Nassiriya, nel Comune di Soliera (MO).

Ai sensi della D.A.L. della Regione Emilia Romagna n.112/2007 si sono inoltre eseguiti gli studi di microzonazione sismica dell'area.

Sulla base delle indagini eseguite si possono dare delle prime indicazioni per l'esecuzione delle strutture fondali dei futuri fabbricati. Si potranno utilizzare delle fondazioni dirette superficiali del tipo travi rovesce continue in c.a. o platea generale in c.a.. Ipotizzando tali tipologie si può indicativamente considerare, con piano di posa a **D = -1.00 m** da p.c., e larghezza della fondazione pari a **B = 1.00 m**, una portata ammissibile sul terreno alle T.A. (fattore di sicurezza  $F_s = 3$ ) pari a  **$Q_{amm} = 1.20 \text{ Kg/cm}^2 \approx 120.0 \text{ kN/m}^2$** .

In relazione a quanto esposto nel Testo Unico Nuove Norme Tecniche per le costruzioni in zona sismica, redatto dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti edito nel Gennaio 2008, si è proceduto alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**) per un ipotetico fabbricato. Per quanto riguarda le **opere di fondazione ipotizzate**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo SLU **sia a breve che a lungo termine** determinato **sia in condizioni statiche che pseudostatiche (PAOLUCCI E PECKER [1997])** per l'ipotetico fabbricato considerato, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

**1) Approccio 1 - combinazione 2 (A2 + M2 + R2);**

**2) Approccio 2 - combinazione (A1 + M1 + R3).**

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione sia calcolati alle tensioni ammissibili **TA (con F.S. = 3)** che agli stati limite ultimi **SLU sempre per un ipotetico fabbricato con fondazioni superficiali nastriformi**.

## FABBRICATO RESIDENZIALE – FONDAZIONI NASTRIFORMI

T.A. F.S. = 3	SLU – APPROCCIO 1 (A2 + M2 + R2) – F.S.= 1.8			SLU – APPROCCIO 2 (A1 + M1 + R3) – F.S.= 2.3		
	CONDIZIONI NON DRENATE STATICHE	CONDIZIONI DRENATE		CONDIZIONI NON DRENATE STATICHE	CONDIZIONI DRENATE	
		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE
1.20 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 120 kN/m <sup>2</sup>	1.26 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 126 kN/m <sup>2</sup>	1.21 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 121 kN/m <sup>2</sup>	1.14 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 114 kN/m <sup>2</sup>	1.35 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 135 kN/m <sup>2</sup>	1.55 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 155 N/m <sup>2</sup>	1.49 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 149 kN/m <sup>2</sup>

Tali dati sono puramente indicativi, in quanto in fase esecutiva le indagini già eseguite dovranno essere integrate da indagini puntuali e in numero adeguato per ogni singolo edificio in progetto.

Per effettuare, invece, la caratterizzazione sismica del terreno sono state eseguite n. 1 indagine sismica passiva *Re.Mi*, n.1 indagine sismica con metodo *MASW*, e n. 2 indagini sismiche passive *HVSR* da cui si sono ricavati i risultati esposti di seguito.

Le indagini sismiche *Re.Mi* e *MASW* hanno permesso di determinare la velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m, restituendo i seguenti valori:

Re.Mi.	V <sub>s30</sub> = 224 m/s	categoria C
MASW	V <sub>s30</sub> = 213 m/s	

Per quanto riguarda le n. 2 indagini sismiche passive *HVSR* non è stato riscontrato nessun picco di frequenza caratteristico per il sito oggetto di studio.

In base a tali risultati, e sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**), si classifica il terreno di fondazione in esame 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<sub>s30</sub> 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).*

Inoltre, sulla base della classificazione nazionale che fa ricadere l'area in esame in classe 3, il valore di a<sub>g</sub>, espresso come **frazione dell'accelerazione di gravità g**, da adottare in tale classe era pari ad **a<sub>g</sub> = 0.15g**.

Sempre sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a<sub>g</sub> in

relazione ad un tempo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni; identificato (**sistema ED 50**) dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.734002°, Longitudine 10.931549°, tale parametro è risultato pari ad  $a_g \text{ attesa} = 0.157g$ .

Tale valore di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  si riferisce al *bedrock*; dopo gli opportuni calcoli il valore di  $a_g$  in superficie è risultato:  $A_{\text{max}} = 0.229g$ .

Si sono, inoltre, eseguiti gli studi di microzonazione sismica di secondo e terzo livello, ai sensi della D.A.L. della Regione Emilia Romagna n.112/2007, che hanno portato a determinare che gli approfondimenti richiesti per l'area in esame sono: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico (II livello di approfondimento) e stima dei cedimenti attesi (III livello di approfondimento). Per quanto riguarda la stima dei cedimenti post-sismici (III livello di approfondimento) i risultati ottenuti sono riassunti nel paragrafo 4.6.

La verifiche alla liquefazione, eseguita per la prova penetrometrica statica CPT n.1 eseguita in sito secondo il metodo di **Robertson e Wride**, ha fornito un valore di “**indice di liquefacibilità**”  $IL = 0.4$  segno di un **rischio di liquefazione “basso”**, considerando una magnitudo di riferimento  $M = 6.14$  e la soggiacenza della falda freatica alla profondità  $D_w = -1.50 \text{ m da p.c.}$  (si veda § 4.7).

Pertanto si può concludere che l'area indagata destinata ad ambito residenziale non presenta alcuna criticità da un punto di vista geologico, geotecnico e sismico.

A disposizione per ulteriori chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere distinti saluti.

**Modena, 10 Gennaio 2014**

**Dott. Geol. Pier Luigi 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**

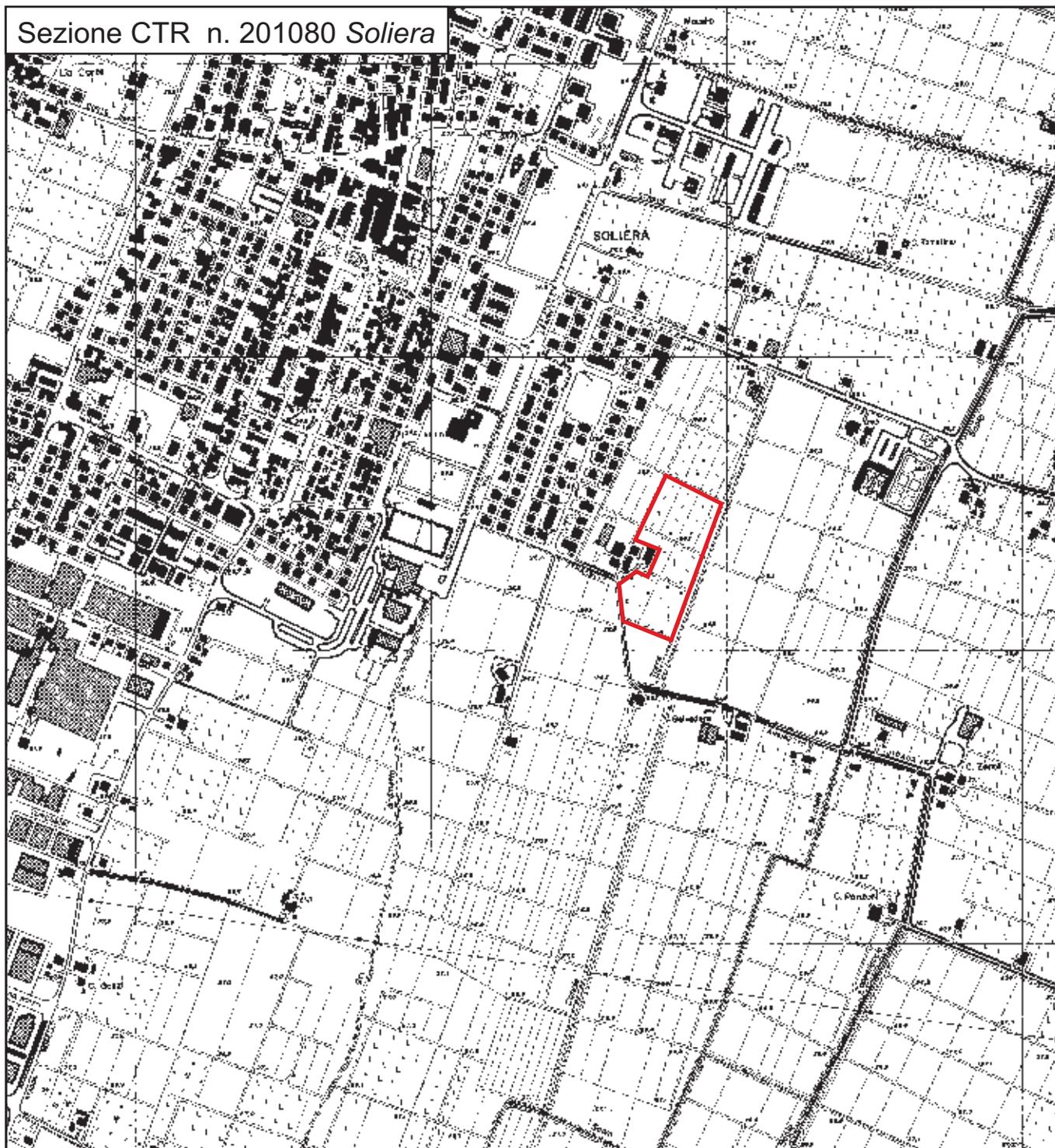
# ***Tavole***



# 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

## Sezione CTR n. 201080 Soliera



Tav. n. 2 "Carta topografica"  
Scala 1: 10000



Legenda



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")

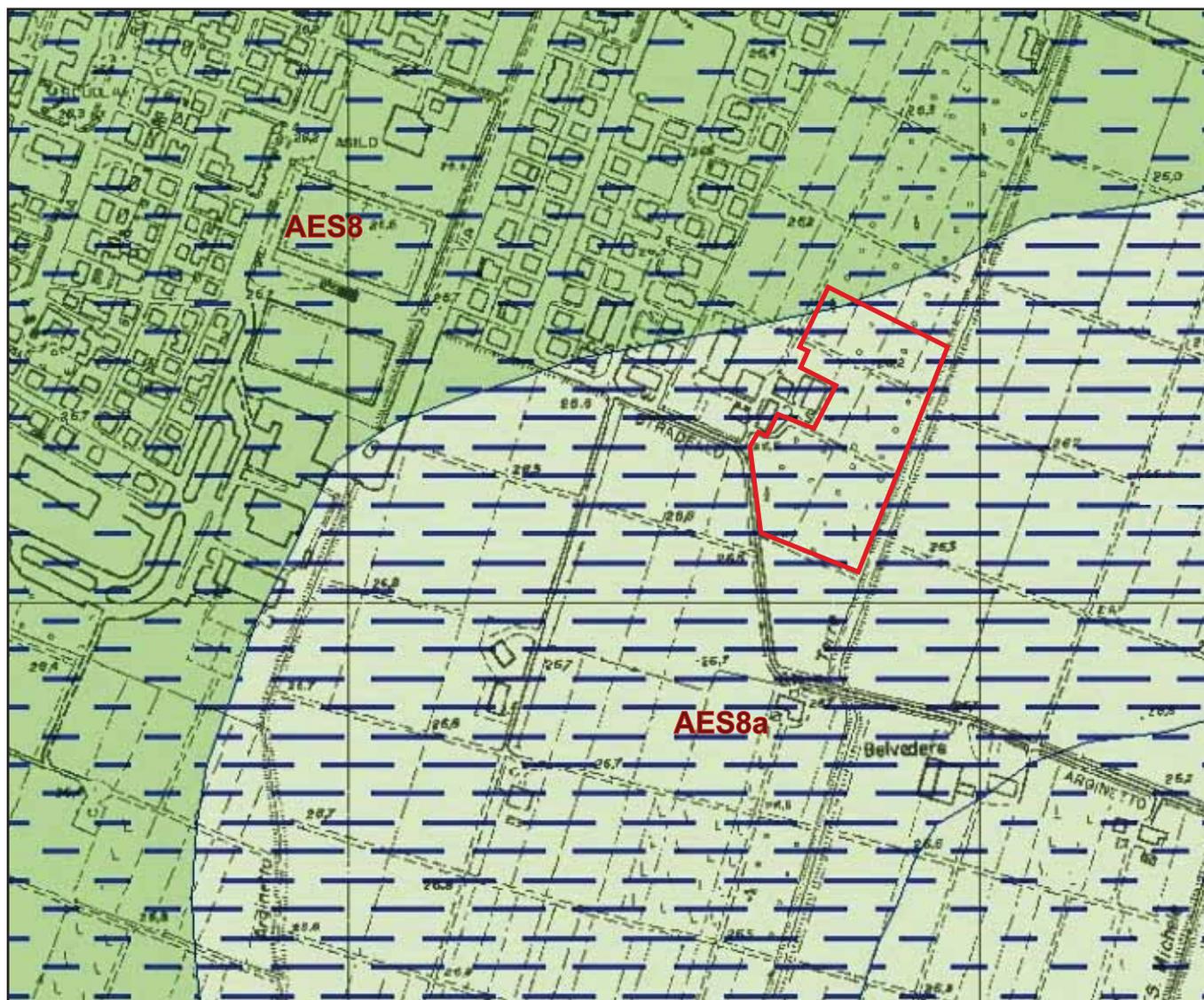
Scala grafica



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. 4 "Carta della litologia di superficie"

Scala 1: 5000



### Legenda



Area di interesse

#### Ambiente deposizionale e litologia affiorante



Limo - Piana alluvionale



Argilla - Piana alluvionale

#### Successione neogenico-quadernaria del margine appenninico padano



##### AES8 - Subsistema di Ravenna

Ghiaie, sabbie e limi organizzate in i terrazzi alluvionali;  
a tetto suoli con basso grado di alterazione.  
Olocene



##### 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.  
Post-VI secolo d.C.

# 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. 5 “Indagini geognostiche”

(tratta da “Google Maps”)

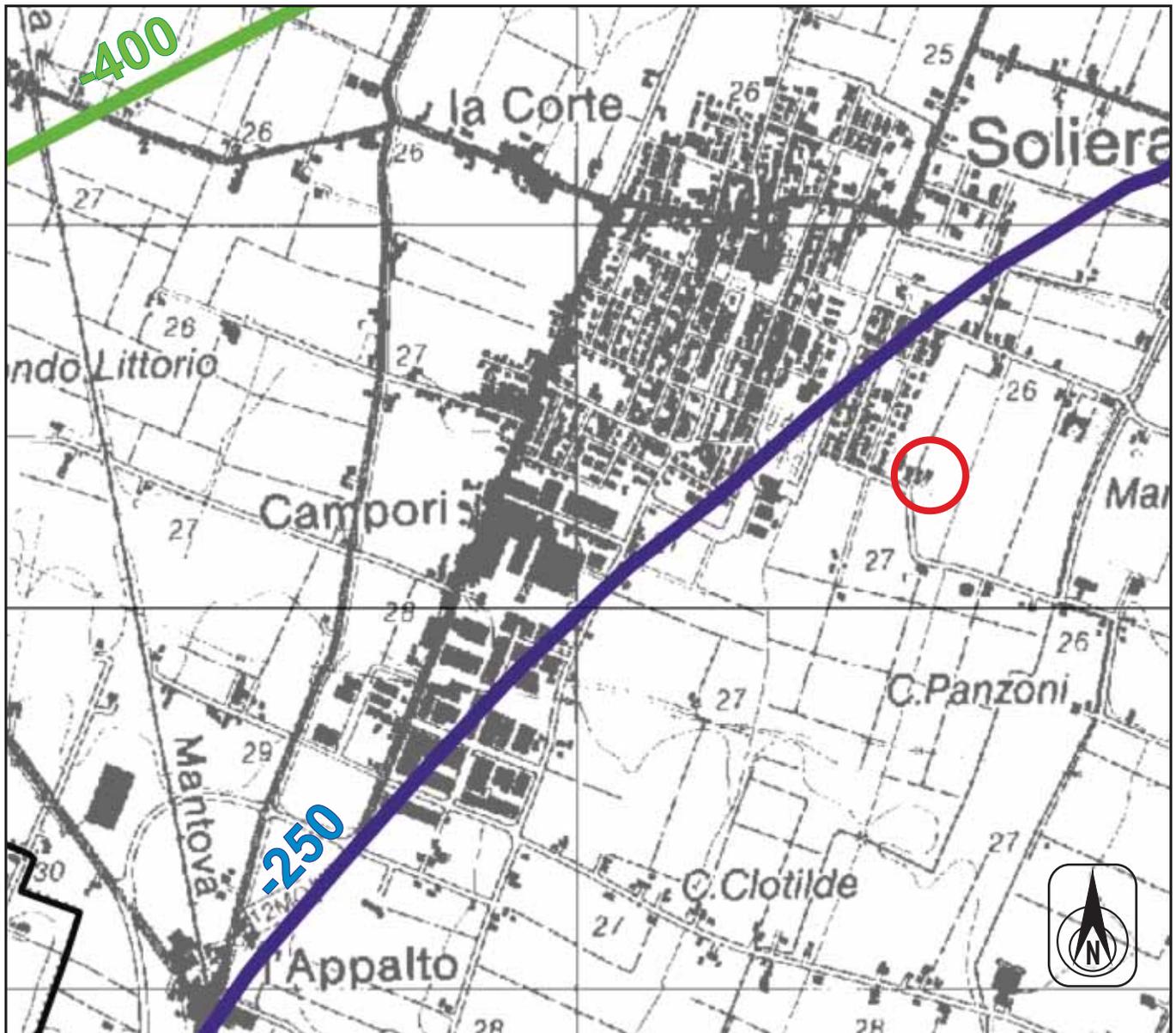
Scala grafica

### Legenda

-  Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT
-  Indagine sismica passiva HVSR
-  Indagine sismica MASW
-  Indagine sismica REMI

# 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

“Quadro Conoscitivo Tav. 3.1 - Carta dei depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie”

Scala grafica

### Legenda

	ghiaie affioranti
	ghiaie
	sucessioni alluvionali prevalentemente fini (argille e limi)
	sabbie
	isobate della superficie superiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base del ciclo alluvionale superiore / tetto del ciclo alluvionale inferiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
	isobate della base dei depositi alluvionali / tetto substrato marino (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)

 Area di interesse

Tratta da:



# 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. 7

“Quadro Conoscitivo Tav. 2a 1 - Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici”

### Legenda

### Scala grafica

Depositi che possono determinare effetti locali	
	<b>ghiaie di conoide</b> effetti attesi: amplificazione; studi: valutazione amplificazione
	<b>sabbie di canale</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi
	<b>limi e argille (peliti) di piana alluvionale</b> effetti attesi: amplificazione, possibili cedimenti; studi: valutazione amplificazione e stima dei cedimenti attesi
	<b>sabbie sepolte del Po</b> effetti attesi: amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti; studi: valutazione amplificazione, stima del rischio di liquefazione e dei cedimenti attesi



Area di interesse

Tratta da:



# 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. 8

Tav. 2.2a 01 "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali"

Scala grafica

### Legenda

7	Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione <i>stud.</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; <i>microzonazione sismica</i> : approfondimenti di II livello.
8	Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti <i>stud.</i> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; <i>microzonazione sismica</i> : sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.



Area di interesse

Tratta da:



## 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. 9 "Carta di Microzonazione Sismica"

L.R. 20/2000 D.A.L. 112/07

**MICROAREA INDAGATA:**  
valutazione del coefficiente di amplificazione  
litologico (II livello) e stima dei cedimenti attesi (III livello)



## Carta di Microzonazione Sismica Scala grafica

2° e 3° livello di approfondimento  
L.R. 20/2000 D.G.R 112

### Microarea indagata mediante:

- n. 1 indagine sismica con metodo MASW
- n. 1 indagine sismica passiva Re.Mi
- n. 2 indagini sismiche passive HVSR

**PIANURA 2:** caratterizzata da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decacimetrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo ( $\geq 100$  m d.p.c.)

### Il livello di approfondimento

#### FATTORE DI AMPLIFICAZIONE F.A. MEDIO

F.A. PGA = 1.5

(PGA accelerazione massima orizz. alla superficie)

F.A. (intensità spettrale  $0.1s < T_0 < 0.5s$ ) = 1.8

F.A. (intensità spettrale  $0.5s < T_0 < 1.0s$ ) = 2.5

### III livello di approfondimento

#### CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI

Terreni coesivi

dH = 4.521 cm (CPT 1)

dH = 2.276 cm (CPT 2)

dH = 2.272 cm (CPT 3)

Terreni granulari

dH = 0.048 cm (CPT 1)

dH = 0.068 cm (CPT 2)

dH = 0.026 cm (CPT 3)

#### Legenda



Prova penetrometrica statica CPT



Indagine sismica metodo Re.Mi.



Indagine sismica metodo MASW



Indagine sismica passiva HVSR



(tratta da "Bing Maps")  
Scala grafica

## **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 CPT corredate di interpretazione geotecnica***

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**Pagani TG63-100 -**

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
- Att = 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.



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

**CPT**

**1**

riferimento **623-2013**

certificato n° **4806**

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Soliera, via Caduti di Nassiriy**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **11/12/2013**  
Pagina: **1/4** Data certificato: **13/12/2013**  
Elaborato: **Falda: -1.50 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	67.00	0		15.20	21.00	38.00		2.06	133.00	16	6.3
0.40	10.00	20.00		0.98	67.00	15	6.7	15.40	24.00	44.00		2.35	127.00	19	5.3
0.60	14.00	24.00		1.37	140.00	10	10.0	15.60	24.00	43.00		2.35	133.00	18	5.5
0.80	18.00	39.00		1.76	167.00	11	9.3	15.80	28.00	48.00		2.74	140.00	20	5.0
1.00	17.00	42.00		1.67	180.00	9	10.6	16.00	19.00	40.00		1.86	107.00	18	5.6
1.20	16.00	43.00		1.57	120.00	13	7.5	16.20	14.00	30.00		1.37	60.00	23	4.3
1.40	12.00	30.00		1.18	80.00	15	6.7	16.40	11.00	20.00		1.08	40.00	28	3.8
1.60	10.00	22.00		0.98	67.00	15	6.7	16.60	7.00	13.00		0.69	40.00	18	5.7
1.80	11.00	21.00		1.08	47.00	23	4.3	16.80	10.00	16.00		0.98	47.00	21	4.7
2.00	13.00	20.00		1.27	53.00	25	4.1	17.00	10.00	17.00		0.98	33.00	30	3.3
2.20	9.00	17.00		0.88	47.00	19	5.2	17.20	11.00	16.00		1.08	27.00	41	2.5
2.40	9.00	16.00		0.88	33.00	27	3.7	17.40	10.00	14.00		0.98	33.00	30	3.3
2.60	9.00	14.00		0.88	40.00	23	4.4	17.60	11.00	16.00		1.08	67.00	16	6.1
2.80	12.00	18.00		1.18	33.00	36	2.8	17.80	58.00	68.00		5.68	67.00	87	1.2
3.00	9.00	14.00		0.88	33.00	27	3.7	18.00	52.00	62.00		5.10	73.00	71	1.4
3.20	8.00	13.00		0.78	33.00	24	4.1	18.20	14.00	25.00		1.37	47.00	30	3.4
3.40	14.00	19.00		1.37	47.00	30	3.4	18.40	12.00	19.00		1.18	73.00	16	6.1
3.60	9.00	16.00		0.88	60.00	15	6.7	18.60	25.00	36.00		2.45	120.00	21	4.8
3.80	9.00	18.00		0.88	40.00	23	4.4	18.80	16.00	34.00		1.57	147.00	11	9.2
4.00	12.00	18.00		1.18	33.00	36	2.8	19.00	10.00	32.00		0.98	93.00	11	9.3
4.20	8.00	13.00		0.78	33.00	24	4.1	19.20	17.00	31.00		1.67	127.00	13	7.5
4.40	7.00	12.00		0.69	40.00	18	5.7	19.40	19.00	38.00		1.86	107.00	18	5.6
4.60	8.00	14.00		0.78	60.00	13	7.5	19.60	24.00	40.00		2.35	133.00	18	5.5
4.80	10.00	19.00		0.98	67.00	15	6.7	19.80	20.00	40.00		1.96	127.00	16	6.4
5.00	9.00	19.00		0.88	53.00	17	5.9	20.00	19.00	38.00		1.86			
5.20	16.00	24.00		1.57	40.00	40	2.5								
5.40	10.00	16.00		0.98	47.00	21	4.7								
5.60	10.00	17.00		0.98	67.00	15	6.7								
5.80	12.00	22.00		1.18	60.00	20	5.0								
6.00	17.00	26.00		1.67	80.00	21	4.7								
6.20	16.00	28.00		1.57	60.00	27	3.8								
6.40	13.00	22.00		1.27	53.00	25	4.1								
6.60	16.00	24.00		1.57	60.00	27	3.8								
6.80	13.00	22.00		1.27	53.00	25	4.1								
7.00	11.00	19.00		1.08	53.00	21	4.8								
7.20	9.00	17.00		0.88	67.00	13	7.4								
7.40	13.00	23.00		1.27	47.00	28	3.6								
7.60	16.00	23.00		1.57	13.00	123	0.8								
7.80	5.00	7.00		0.49	13.00	38	2.6								
8.00	3.00	5.00		0.29	27.00	11	9.0								
8.20	4.00	8.00		0.39	20.00	20	5.0								
8.40	8.00	11.00		0.78	27.00	30	3.4								
8.60	8.00	12.00		0.78	33.00	24	4.1								
8.80	8.00	13.00		0.78	27.00	30	3.4								
9.00	10.00	14.00		0.98	40.00	25	4.0								
9.20	11.00	17.00		1.08	60.00	18	5.5								
9.40	11.00	20.00		1.08	67.00	16	6.1								
9.60	11.00	21.00		1.08	73.00	15	6.6								
9.80	15.00	28.00		1.47	87.00	17	5.8								
10.00	15.00	28.00		1.47	80.00	19	5.3								
10.20	11.00	23.00		1.08	67.00	16	6.1								
10.40	10.00	20.00		0.98	47.00	21	4.7								
10.60	9.00	16.00		0.88	40.00	23	4.4								
10.80	10.00	16.00		0.98	40.00	25	4.0								
11.00	8.00	14.00		0.78	47.00	17	5.9								
11.20	9.00	16.00		0.88	33.00	27	3.7								
11.40	13.00	18.00		1.27	47.00	28	3.6								
11.60	12.00	19.00		1.18	53.00	23	4.4								
11.80	19.00	27.00		1.86	67.00	28	3.5								
12.00	26.00	36.00		2.55	140.00	19	5.4								
12.20	22.00	43.00		2.16	93.00	24	4.2								
12.40	14.00	28.00		1.37	67.00	21	4.8								
12.60	12.00	22.00		1.18	93.00	13	7.8								
12.80	12.00	26.00		1.18	67.00	18	5.6								
13.00	12.00	22.00		1.18	53.00	23	4.4								
13.20	11.00	19.00		1.08	47.00	23	4.3								
13.40	10.00	17.00		0.98	27.00	37	2.7								
13.60	28.00	32.00		2.74	93.00	30	3.3								
13.80	12.00	26.00		1.18	60.00	20	5.0								
14.00	13.00	22.00		1.27	67.00	19	5.2								
14.20	12.00	22.00		1.18	87.00	14	7.3								
14.40	16.00	29.00		1.57	87.00	18	5.4								
14.60	14.00	27.00		1.37	73.00	19	5.2								
14.80	17.00	28.00		1.67	93.00	18	5.5								
15.00	18.00	32.00		1.76	113.00	16	6.3								

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale calcolata  
0.20 m sopra quota qc  
F = rapporto Begemann (qc / fs)  
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

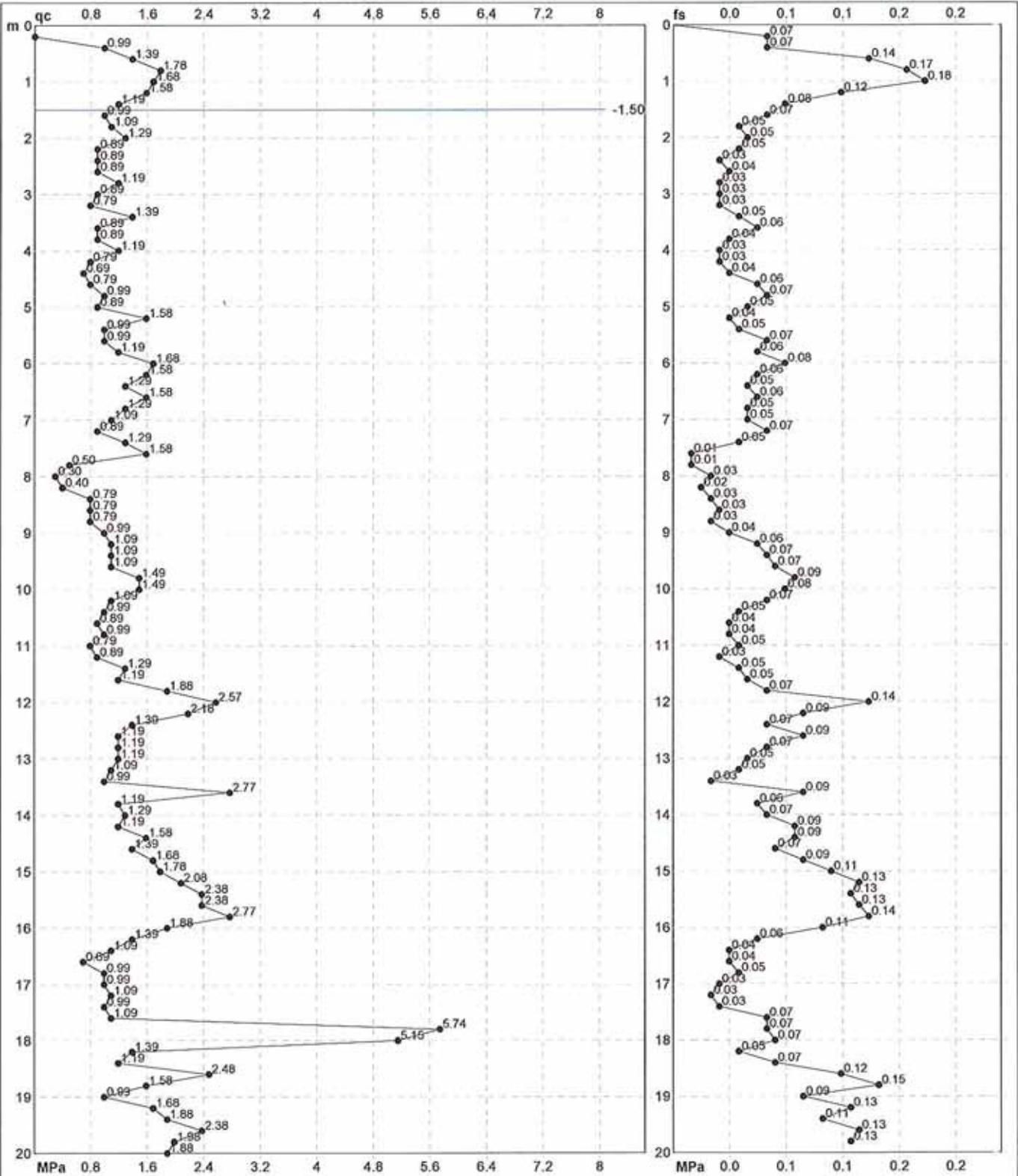
**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>623-2013</b>
certificato n°	<b>4806</b>

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Soliera, via Caduti di Nassiriya**

U.M.: **MPa**    Data exec.: **11/12/2013**  
Scala: **1:100**  
Pagina: **2/4**  
Elaborato:

Data certificato: **13/12/2013**  
Falda: **-1.50 m** da p.c.



Penetrometro: **Pagani TG63-100**  
Responsabile:  
Assistente:

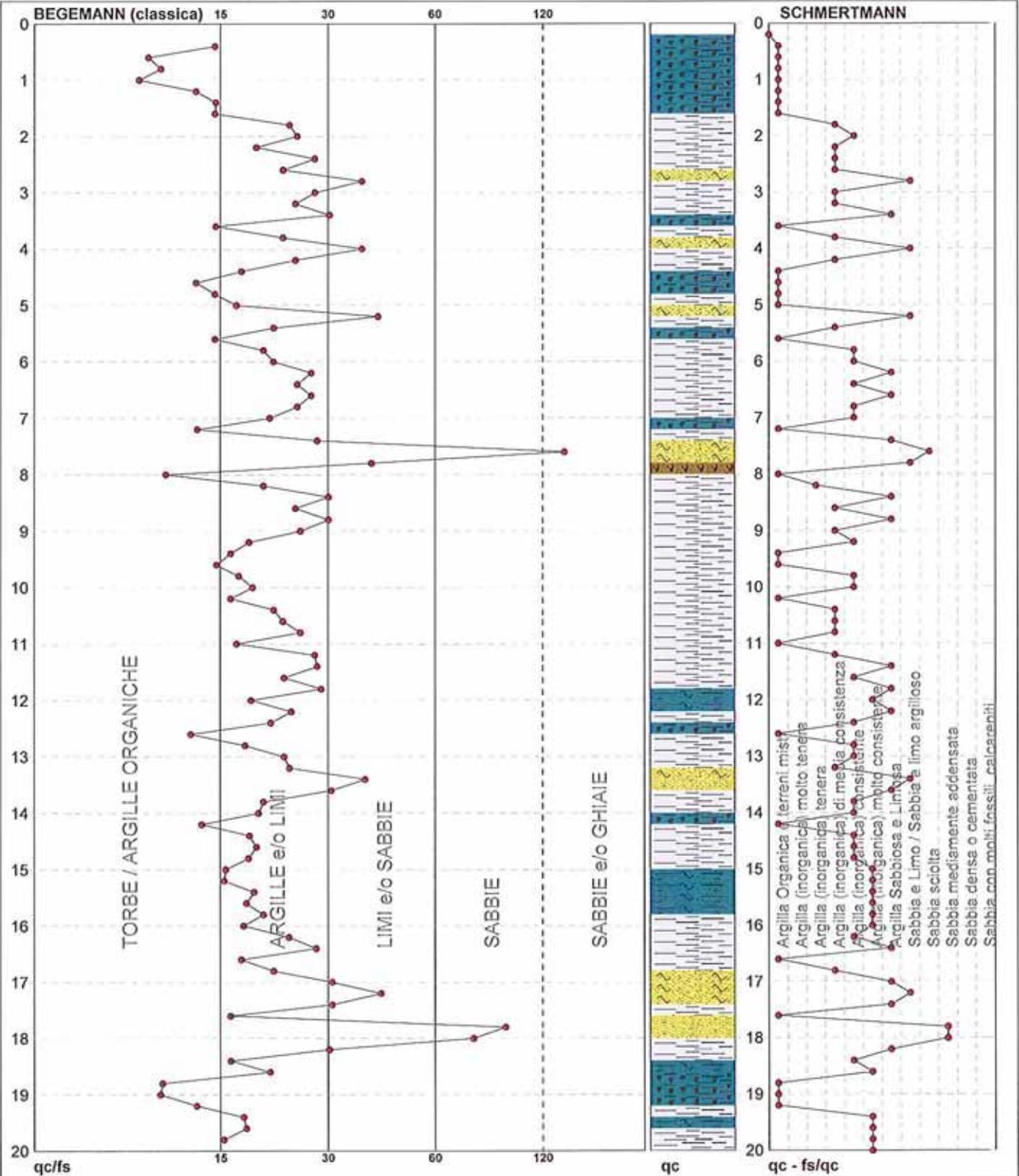
Preforo: **m**  
Corr.astine: **kN/ml**  
Corr.astine: **kN/ml**

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>623-2013</b>
certificato n°	4806

Committente: Studio tecnico  
Cantiere: Studio terreno di fondazione  
Località: Sollera, via Caduti di Nassiriya

U.M.: MPa      Data eseg.: 11/12/2013  
Scala: 1:100  
Pagina: 3/4      Data certificato: 13/12/2013  
Elaborato:      Falda: -1.50 m da p.c.



Torbe / Argille org. :	19 punti, 19.19%	Argilla Organica e terreni misti:	26 punti, 26.26%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	14 punti, 14.14%
Argille e/o Limi :	68 punti, 68.69%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 1.01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 6.06%
Limi e/o Sabbie :	9 punti, 9.09%	Argilla (inorganica) media consist.:	17 punti, 17.17%	Sabbia sciolta:	1 punti, 1.01%
Sabbie:	2 punti, 2.02%	Argilla (inorganica) consistente:	20 punti, 20.20%	Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 2.02%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1.01%	Argilla (inorganica) molto consist.:	11 punti, 11.11%		



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA  
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

**CPT**

**2**

riferimento **623-2013**

certificato n° **4807**

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Soliera, via Caduti di Nassiriya**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **11/12/2013**  
Pagina: **1/4** Data certificato: **13/12/2013**  
Elaborato: Falda: **-1.50 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	33.00		0								
0.40	8.00	13.00		0.78	73.00		11								
0.60	12.00	23.00		1.18	113.00		11								
0.80	16.00	33.00		1.57	113.00		14								
1.00	13.00	30.00		1.27	127.00		10								
1.20	12.00	31.00		1.18	60.00		20								
1.40	8.00	17.00		0.78	47.00		17								
1.60	7.00	14.00		0.69	33.00		21								
1.80	14.00	19.00		1.37	60.00		23								
2.00	10.00	19.00		0.98	93.00		11								
2.20	14.00	28.00		1.37	60.00		23								
2.40	26.00	35.00		2.55	53.00		49								
2.60	10.00	18.00		0.98	53.00		19								
2.80	22.00	30.00		2.16	53.00		42								
3.00	19.00	27.00		1.86	53.00		36								
3.20	11.00	19.00		1.08	53.00		21								
3.40	12.00	20.00		1.18	87.00		14								
3.60	21.00	34.00		2.06	40.00		53								
3.80	38.00	44.00		3.72	20.00		190								
4.00	24.00	27.00		2.35	33.00		73								
4.20	27.00	32.00		2.65	33.00		82								
4.40	18.00	23.00		1.76	47.00		38								
4.60	10.00	17.00		0.98	53.00		19								
4.80	12.00	20.00		1.18	53.00		23								
5.00	12.00	20.00		1.18	47.00		26								
5.20	10.00	17.00		0.98	47.00		21								
5.40	16.00	23.00		1.57	73.00		22								
5.60	17.00	28.00		1.67	47.00		36								
5.80	19.00	26.00		1.86	73.00		26								
6.00	13.00	24.00		1.27	53.00		25								
6.20	16.00	24.00		1.57	53.00		30								
6.40	16.00	24.00		1.57	47.00		34								
6.60	14.00	21.00		1.37	100.00		14								
6.80	13.00	28.00		1.27	53.00		25								
7.00	42.00	50.00		4.12	53.00		79								
7.20	47.00	55.00		4.61	33.00		142								
7.40	37.00	42.00		3.63	53.00		70								
7.60	19.00	27.00		1.86	73.00		26								
7.80	11.00	22.00		1.08	53.00		21								
8.00	12.00	20.00		1.18	60.00		20								
8.20	11.00	20.00		1.08	53.00		21								
8.40	10.00	18.00		0.98	47.00		21								
8.60	11.00	18.00		1.08	60.00		18								
8.80	12.00	21.00		1.18	80.00		15								
9.00	13.00	25.00		1.27	80.00		16								
9.20	12.00	24.00		1.18	80.00		15								
9.40	10.00	22.00		0.98	53.00		19								
9.60	12.00	20.00		1.18	47.00		26								
9.80	11.00	18.00		1.08	53.00		21								
10.00	7.00	15.00		0.69	20.00		35								
10.20	9.00	12.00		0.88	27.00		33								
10.40	9.00	13.00		0.88	20.00		45								
10.60	7.00	10.00		0.69	67.00		10								
10.80	11.00	21.00		1.08	40.00		28								
11.00	8.00	14.00		0.78	13.00		62								
11.20	28.00	30.00		2.74	33.00		85								
11.40	29.00	34.00		2.84	40.00		73								
11.60	74.00	80.00		7.25	73.00		101								
11.80	69.00	80.00		6.76	53.00		130								
12.00	92.00	100.00		9.02	67.00		137								
12.20	55.00	65.00		5.39	60.00		92								
12.40	46.00	55.00		4.51	93.00		49								
12.60	28.00	42.00		2.74	67.00		42								
12.80	12.00	22.00		1.18	73.00		16								
13.00	9.00	20.00		0.88	47.00		19								
13.20	16.00	23.00		1.57	73.00		22								
13.40	15.00	26.00		1.47	93.00		16								
13.60	12.00	26.00		1.18	67.00		18								
13.80	9.00	19.00		0.88	40.00		23								
14.00	9.00	15.00		0.88	33.00		27								
14.20	9.00	14.00		0.88	47.00		19								
14.40	10.00	17.00		0.98	67.00		15								
14.60	13.00	23.00		1.27	80.00		16								
14.80	16.00	28.00		1.57	87.00		18								
15.00	16.00	29.00		1.57											

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale calcolata  
0.20 m sopra quota qc  
F = rapporto Begemann (qc / fs)  
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

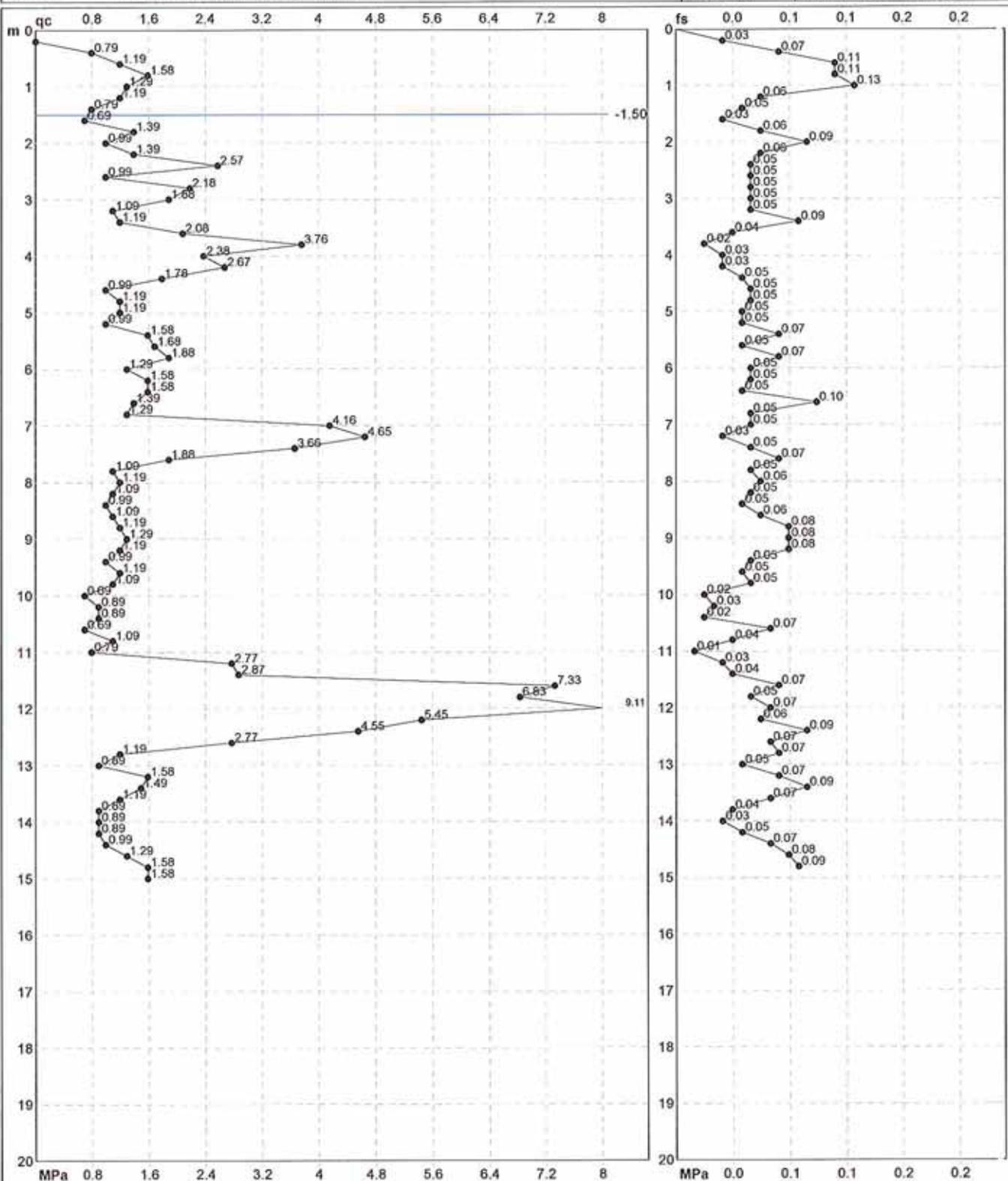
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
riferimento	623-2013
certificato n°	4807

Committente: Studio tecnico  
Cantiere: Studio terreno di fondazione  
Località: Soliera, via Caduti di Nassiriya

U.M.: MPa      Data exec.: 11/12/2013  
Scala: 1:100  
Pagina: 2/4      Data certificato: 13/12/2013  
Elaborato:      Falda: -1.50 m da p.c.



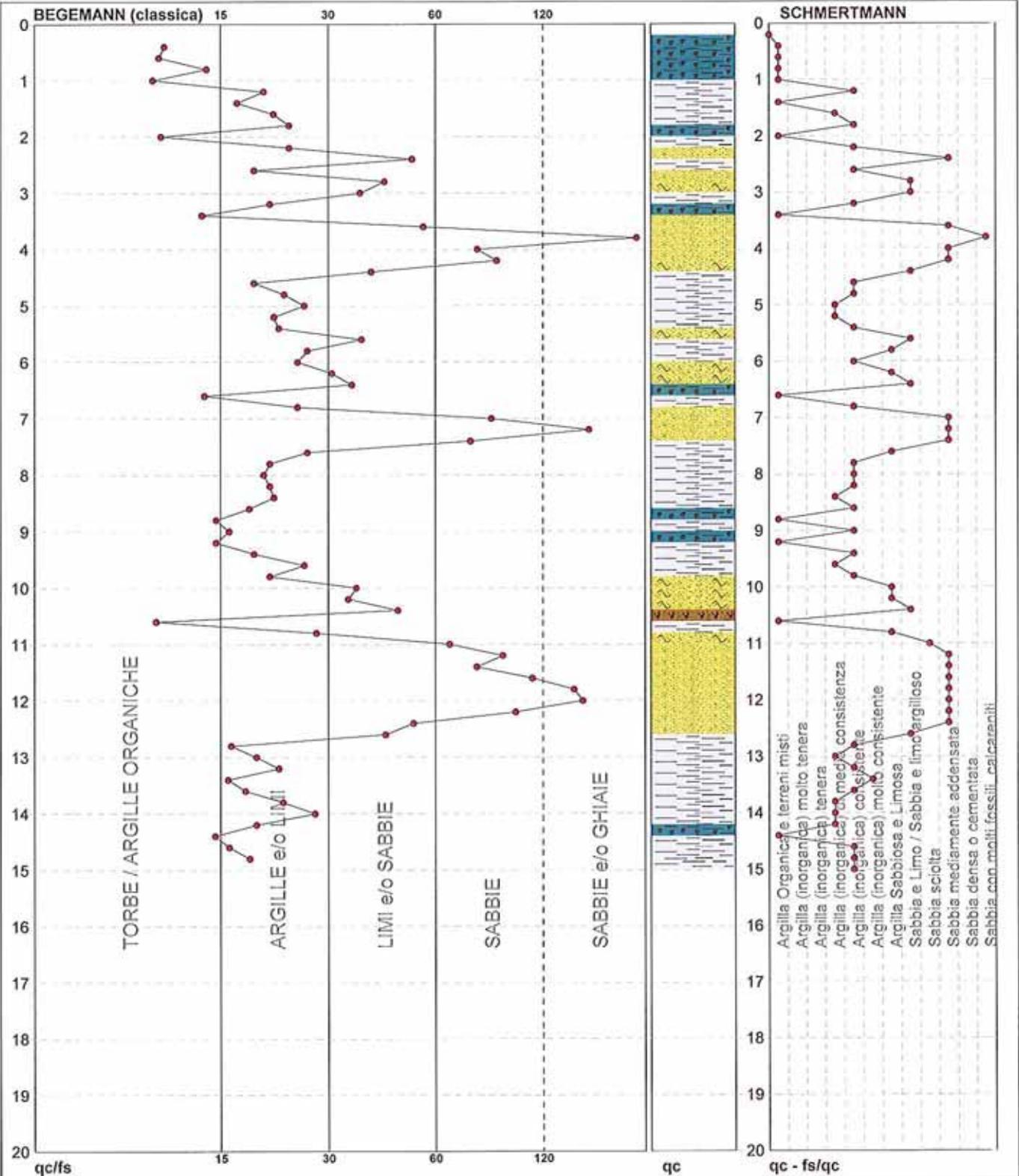
Penetrometro: Pagani TG63-100	Preforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Corr.astine: kN/ml

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
referimento	<b>623-2013</b>
certificato n°	4807

Committente: Studio tecnico  
Cantiere: Studio terreno di fondazione  
Località: Soliera, via Caduti di Nassiriya

U.M.: MPa      Data esec.: 11/12/2013  
Scala: 1:100  
Pagina: 3/4      Data certificato: 13/12/2013  
Elaborato:      Falda: -1.50 m da p.c.



Torbe / Argille org. :	12 punti, 12.12%
Argille e/o Limi :	36 punti, 36.36%
Limi e/o Sabbie :	13 punti, 13.13%
Sabbie :	9 punti, 9.09%
Sabbie e/o Ghiaie :	4 punti, 4.04%

Argilla Organica e terreni misti:	12 punti, 12.12%
Argilla (inorganica) media consist:	9 punti, 9.09%
Argilla (inorganica) consistente:	22 punti, 22.22%
Argilla (inorganica) molto consist:	1 punti, 1.01%

Argilla Sabbiosa e Limosa:	6 punti, 6.06%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	7 punti, 7.07%
Sabbia sciolta:	1 punti, 1.01%
Sabbia mediamente addensata:	14 punti, 14.14%
Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1.01%

Argilla Organica e terreni misti:	12 punti, 12.12%
Argilla (inorganica) molto tenera	9 punti, 9.09%
Argilla (inorganica) tenera	22 punti, 22.22%
Argilla (inorganica) media consistenza	1 punti, 1.01%
Argilla (inorganica) consistente	6 punti, 6.06%
Argilla (inorganica) molto consistente	7 punti, 7.07%
Argilla Sabbiosa e Limosa	1 punti, 1.01%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	14 punti, 14.14%
Sabbia sciolta	1 punti, 1.01%
Sabbia mediamente addensata	14 punti, 14.14%
Sabbia densa o cementata	1 punti, 1.01%
Sabbia con molti fossili, calcareniti	1 punti, 1.01%



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

**CPT**

**3**

riferimento **623-2013**

certificato n° **4808**

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Soliera, via Caduti di Nassiriya**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **11/12/2013**  
Pagina: **1/4** Data certificato: **13/12/2013**  
Elaborato: Falda: **-1.50 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	40.00	0									
0.40	8.00	14.00		0.78	47.00	17	5.9								
0.60	7.00	14.00		0.69	60.00	12	8.6								
0.80	10.00	19.00		0.98	87.00	11	8.7								
1.00	11.00	24.00		1.08	173.00	6	15.7								
1.20	12.00	38.00		1.18	153.00	8	12.8								
1.40	13.00	36.00		1.27	147.00	9	11.3								
1.60	14.00	36.00		1.37	87.00	16	6.2								
1.80	11.00	24.00		1.08	80.00	14	7.3								
2.00	13.00	25.00		1.27	53.00	25	4.1								
2.20	16.00	24.00		1.57	73.00	22	4.6								
2.40	12.00	23.00		1.18	40.00	30	3.3								
2.60	8.00	14.00		0.78	27.00	30	3.4								
2.80	7.00	11.00		0.69	40.00	18	5.7								
3.00	8.00	14.00		0.78	33.00	24	4.1								
3.20	7.00	12.00		0.69	33.00	21	4.7								
3.40	7.00	12.00		0.69	27.00	26	3.9								
3.60	8.00	12.00		0.78	40.00	20	5.0								
3.80	6.00	12.00		0.59	33.00	18	5.5								
4.00	9.00	14.00		0.88	40.00	23	4.4								
4.20	8.00	14.00		0.78	27.00	30	3.4								
4.40	7.00	11.00		0.69	33.00	21	4.7								
4.60	6.00	11.00		0.59	27.00	22	4.5								
4.80	7.00	11.00		0.69	53.00	13	7.6								
5.00	9.00	17.00		0.88	60.00	15	6.7								
5.20	12.00	21.00		1.18	47.00	26	3.9								
5.40	11.00	18.00		1.08	53.00	21	4.8								
5.60	13.00	21.00		1.27	60.00	22	4.6								
5.80	17.00	26.00		1.67	80.00	21	4.7								
6.00	18.00	30.00		1.76	80.00	23	4.4								
6.20	16.00	28.00		1.57	147.00	11	9.2								
6.40	32.00	54.00		3.14	60.00	53	1.9								
6.60	60.00	69.00		5.88	33.00	182	0.6								
6.80	45.00	50.00		4.41	20.00	225	0.4								
7.00	22.00	25.00		2.16	13.00	169	0.6								
7.20	19.00	21.00		1.86	33.00	58	1.7								
7.40	15.00	20.00		1.47	20.00	75	1.3								
7.60	24.00	27.00		2.35	53.00	45	2.2								
7.80	8.00	16.00		0.78	33.00	24	4.1								
8.00	7.00	12.00		0.69	53.00	13	7.6								
8.20	8.00	16.00		0.78	40.00	20	5.0								
8.40	14.00	20.00		1.37	47.00	30	3.4								
8.60	9.00	16.00		0.88	67.00	13	7.4								
8.80	10.00	20.00		0.98	53.00	19	5.3								
9.00	12.00	20.00		1.18	60.00	20	5.0								
9.20	10.00	19.00		0.98	73.00	14	7.3								
9.40	12.00	23.00		1.18	73.00	16	6.1								
9.60	15.00	26.00		1.47	80.00	19	5.3								
9.80	15.00	27.00		1.47	67.00	22	4.5								
10.00	12.00	22.00		1.18	53.00	23	4.4								
10.20	10.00	18.00		0.98	40.00	25	4.0								
10.40	9.00	15.00		0.88	33.00	27	3.7								
10.60	8.00	13.00		0.78	27.00	30	3.4								
10.80	5.00	9.00		0.49	20.00	25	4.0								
11.00	6.00	9.00		0.59	27.00	22	4.5								
11.20	7.00	11.00		0.69	27.00	26	3.9								
11.40	8.00	12.00		0.78	47.00	17	5.9								
11.60	8.00	15.00		0.78	33.00	24	4.1								
11.80	9.00	14.00		0.88	27.00	33	3.0								
12.00	19.00	23.00		1.86	13.00	146	0.7								
12.20	19.00	21.00		1.86	87.00	22	4.6								
12.40	13.00	26.00		1.27	147.00	9	11.3								
12.60	26.00	48.00		2.55	40.00	65	1.5								
12.80	19.00	25.00		1.86	87.00	22	4.6								
13.00	39.00	52.00		3.82	40.00	98	1.0								
13.20	26.00	32.00		2.55	80.00	33	3.1								
13.40	18.00	30.00		1.76	53.00	34	2.9								
13.60	22.00	30.00		2.16	53.00	42	2.4								
13.80	19.00	27.00		1.86	47.00	40	2.5								
14.00	15.00	22.00		1.47	80.00	19	5.3								
14.20	16.00	28.00		1.57	67.00	24	4.2								
14.40	14.00	24.00		1.37	93.00	15	6.6								
14.60	15.00	29.00		1.47	93.00	16	6.2								
14.80	12.00	26.00		1.18	80.00	15	6.7								
15.00	16.00	28.00		1.57											

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
CT = 10.00 costante di trasformazione

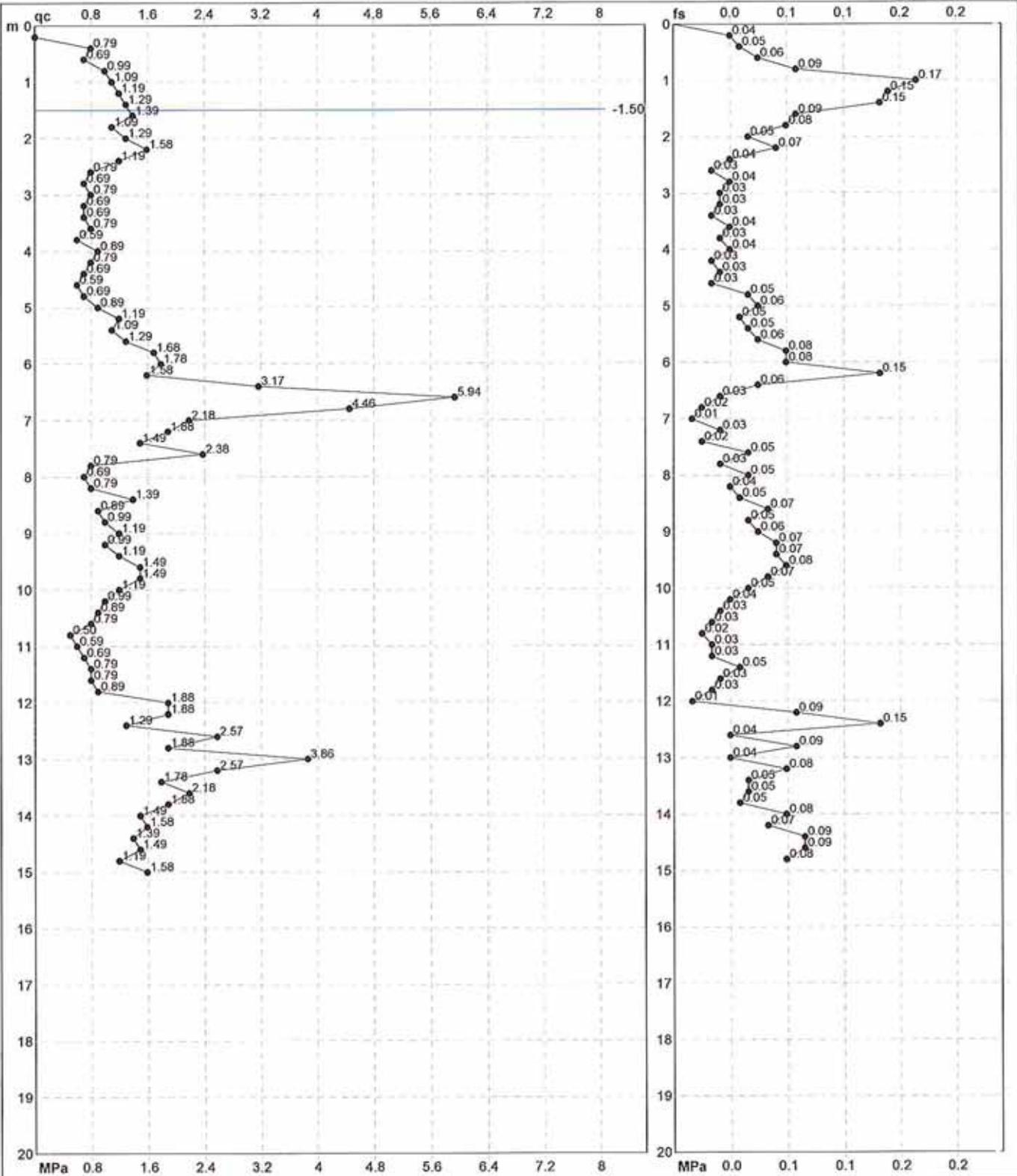
qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale calcolata  
0.20 m sopra quota qc  
F = rapporto Begemann (qc / fs)  
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

<b>CPT</b>	<b>3</b>
riferimento	<b>623-2013</b>
certificato n°	<b>4808</b>

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Soliera, via Caduti di Nassiriya**

U.M.: **MPa**      Data exec.: **11/12/2013**  
Scala: **1:100**  
Pagina: **2/4**      Data certificato: **13/12/2013**  
Elaborato:      Falda: **-1.50 m** da p.c.



Penetrometro: <b>Pagani TG63-100</b>	Preforo: <b>m</b>
Responsabile:	Corr.astine: <b>kN/ml</b>
Assistente:	Corr.astine: <b>kN/ml</b>

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

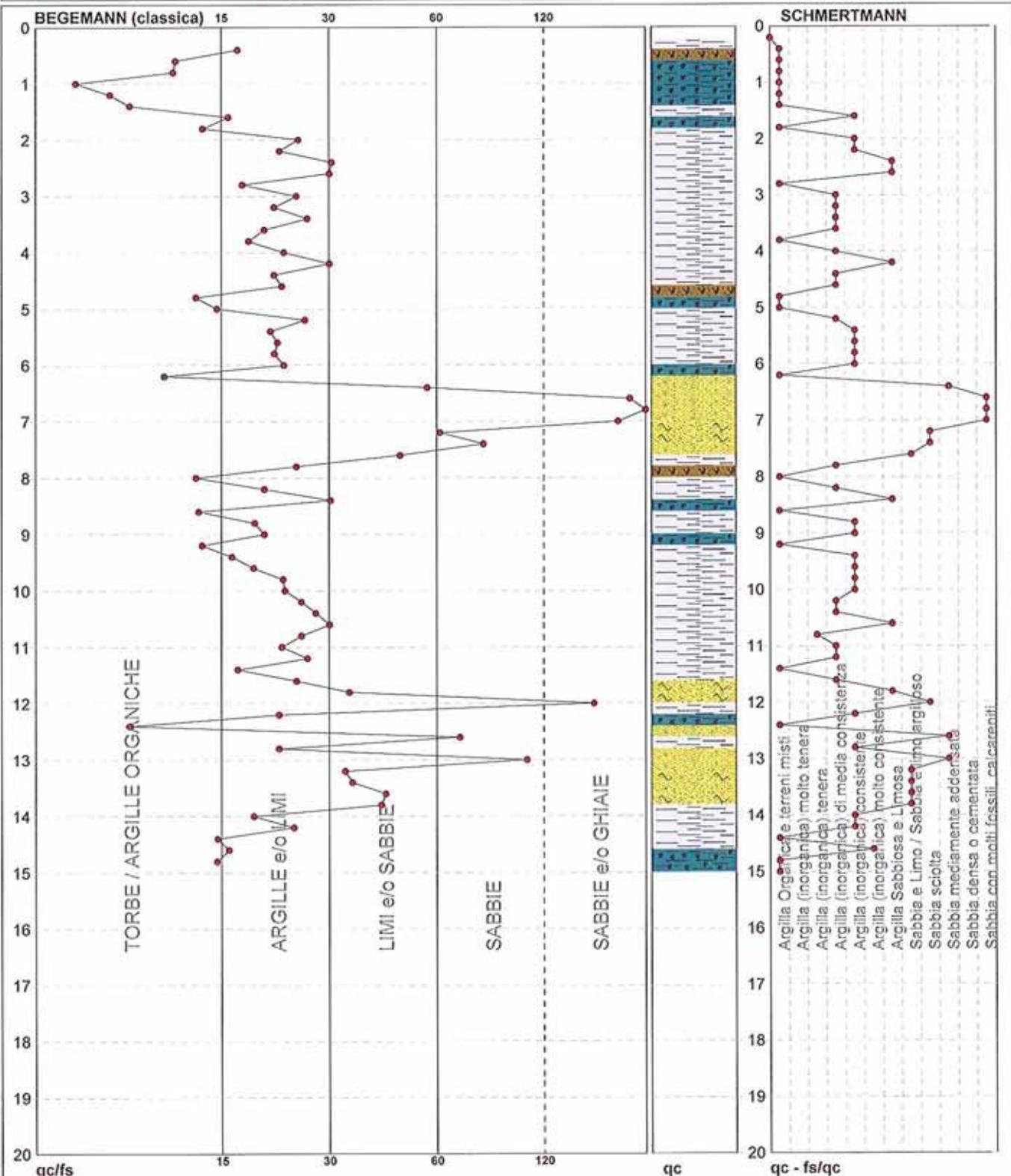
**3**

riferimento **623-2013**

certificato n° **4808**

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Sollera, via Caduti di Nassiriya**

U.M.: **MPa**      Data exec.: **11/12/2013**  
Scala: **1:100**  
Pagina: **3/4**      Data certificato: **13/12/2013**  
Elaborato:      Falda: **-1.50 m** da p.c.



Torbe / Argille org :	15 punti, 15.15%	Argilla Organica e terreni misti:	19 punti, 19.19%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	6 punti, 6.06%
Argille e/o Limi :	44 punti, 44.44%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 1.01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	5 punti, 5.05%
Limi e/o Sabbie :	8 punti, 8.08%	Argilla (inorganica) media consist.:	15 punti, 15.15%	Sabbia sciolta:	3 punti, 3.03%
Sabbie:	3 punti, 3.03%	Argilla (inorganica) consistente:	17 punti, 17.17%	Sabbia mediamente addensata:	3 punti, 3.03%
Sabbie e/o Ghiaie :	4 punti, 4.04%	Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punti, 1.01%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	3 punti, 3.03%



## **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***

### ***Indagini sismiche***

## **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**

### ***Indagine sismica RE.MI***



**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: geo.group@libero.it

## Indagine sismica Re.Mi. n. 1

Pagina 1/3

### RIFERIMENTO **Rif. 778/13**

Committente: **Geo Group Srl**

Località: **Soliera (MO)**

Cantiere: **Via Caduti di Nassiriya**

Data prova: **11/12/2013**

Data emissione rapporto di prova: **19/12/2013**

Lunghezza stendimento (m): **112**

Sostegni in acciaio: **no**

N. geofoni: **24**

Offset geofoni: **5 m**

#### Attrezzatura utilizzata

- Sismografo Geode a 24 canali, le cui caratteristiche compaiono nella scheda allegata;
- N. 24 Geofoni "Geospace" a 4.5 Hz;
- Stendimento di lunghezza 115 m, costituito da 24 geofoni da 4.5 Hz, distanziati 5,0 m.

#### Metodologia di indagine

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno con array lineare, di 24 geofoni a bassa frequenza di risonanza (14 Hz), con tempo di registrazione (15-30s).

Nello specifico si realizza uno stendimento da 115 m, costituito da 24 geofoni da 14 Hz, distanziati 5,0 m, utilizzando un tempo di registrazione pari a 30 secondi, per un totale di 8 campionamenti.

Si sono registrate onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 35 Hz fino a 2 Hz.

L'elaborazione del segnale acquisito in campagna consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica mediante apposito software SeisOptim ReMi Versione 5.0.

#### Norme di riferimento

- ASTM D5777-00 "Standard guide for using refraction method for sub-surfaces investigations";
- Louie J. N. (2001) – "Faster, better: shear-waves velocity to 100 meters depth from refraction microtremors arrays"

#### Eventuali variazioni, aggiunte, esclusioni

-

#### Annotazioni, anomalie riscontrate e/o incertezze nelle misure

Nel corso della prova non si sono riscontrate anomalie nelle misure.

Incertezza associata alle misure: **10%**. Tale valore di incertezza di misura è espresso come due volte lo scarto tipo ( $k=2$ ) corrispondente, nel caso di distribuzione normale, a un livello di confidenza di circa il 95%.

#### RESPONSABILE

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

#### I TECNICI DI CANTIERE

Dott.ssa Linda Veratti e Dott.ssa Annalisa  
Cameroni

#### ELABORAZIONE

Dott.ssa Erika Parmeggiani



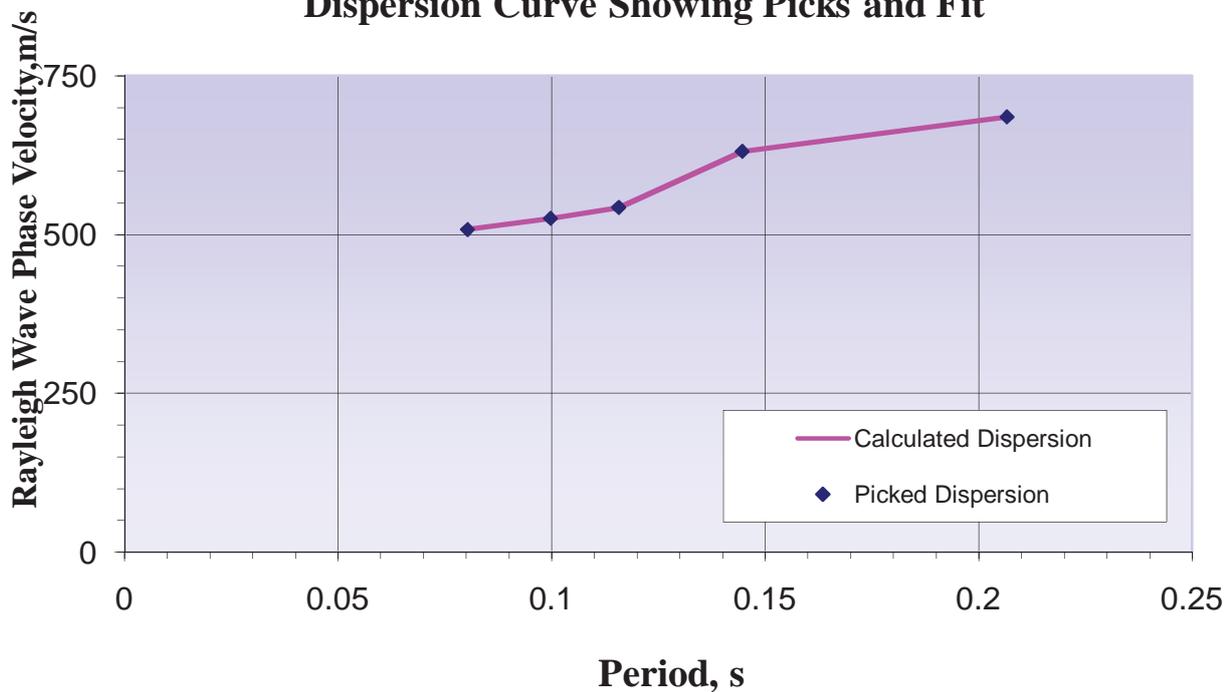
Sede operativa: Via Per Modena n. 12 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax. 059-53.32.019

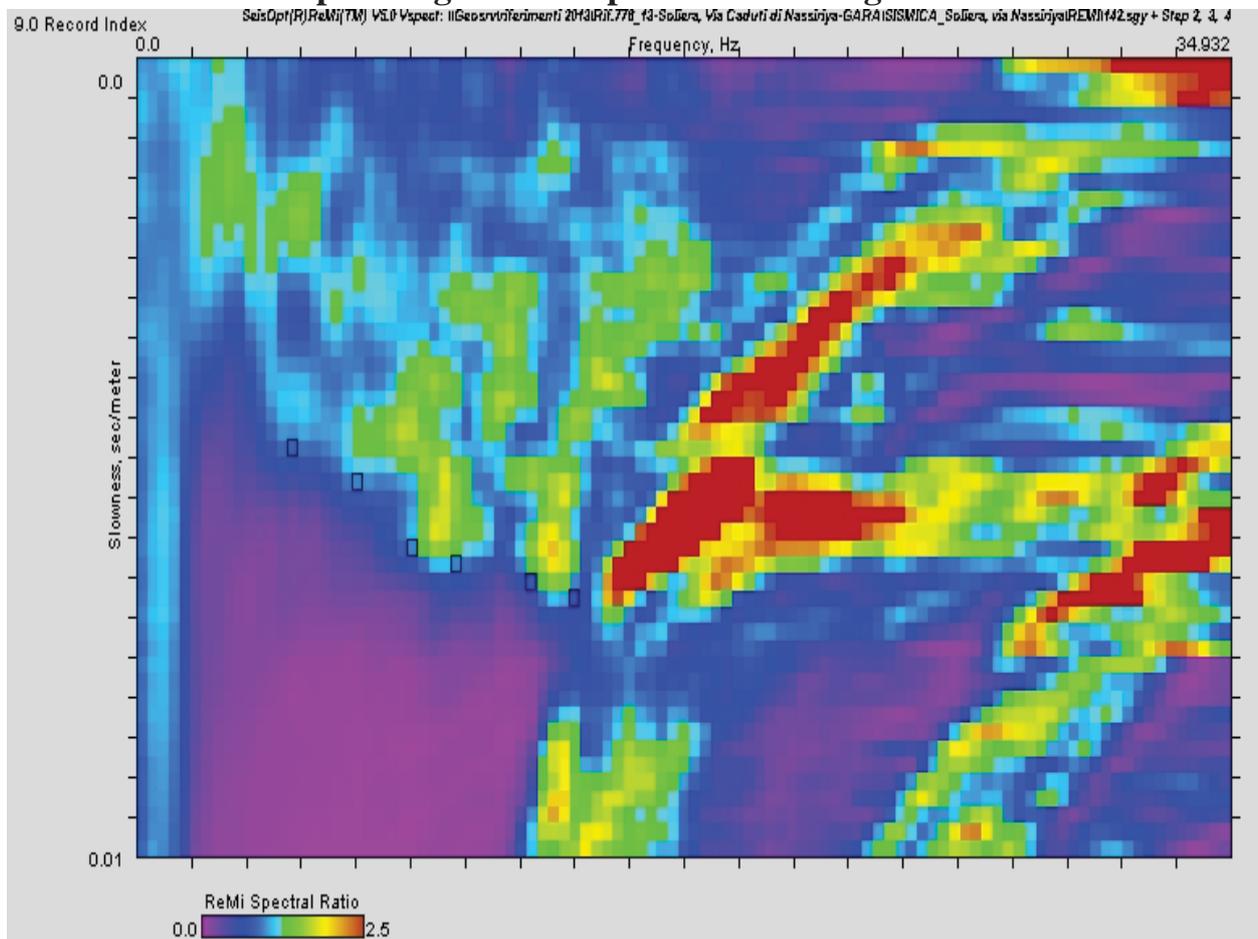
www.geogroupmodena.it - e-mail: geo.group@libero.it

*Soliera (MO), Via Caduti di Nassiriya*

### Dispersion Curve Showing Picks and Fit



### p-f Image with Dispersion Modeling Picks



## **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**

### ***Indagine sismica MASW***



## 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)

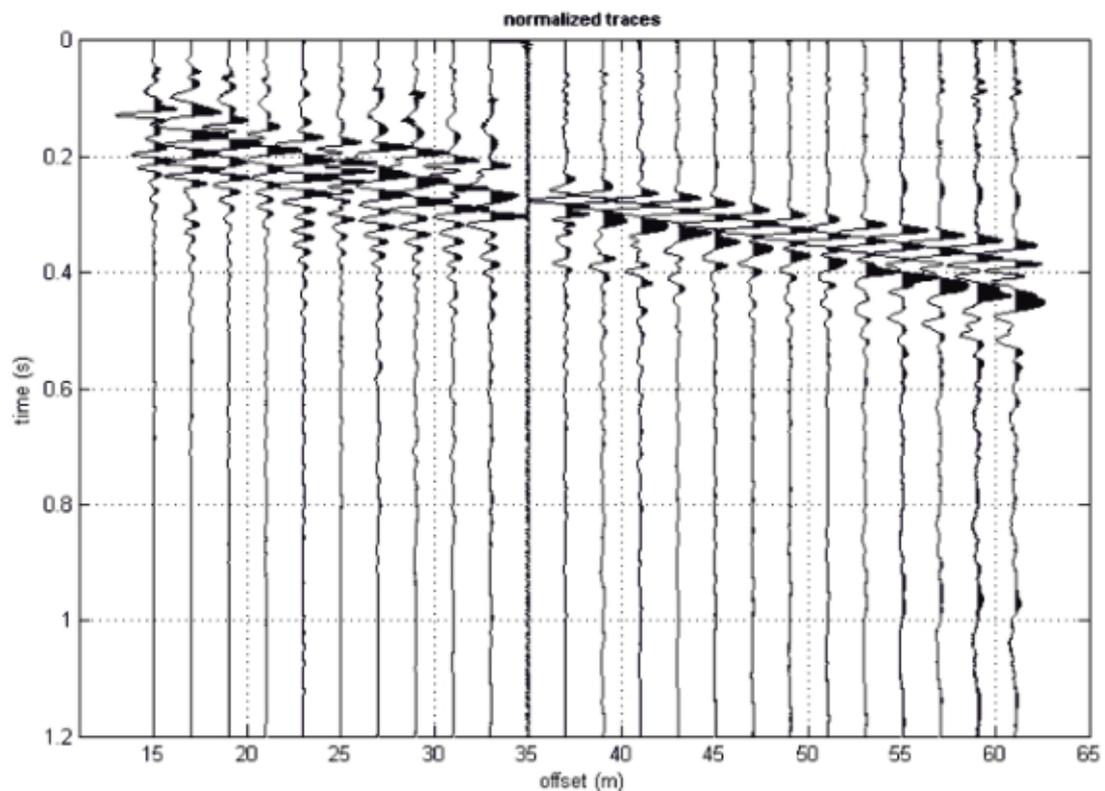
## ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

**Cantiere:** Soliera (MO), Via Caduti di Nassiriya  
**Operatori:** Dott.ssa Linda Veratti e Dott.ssa Annalisa Cameroni  
**Data:** 11/12/2013  
**Lavoro:** Studio del terreno di fondazione  
**Elaborazione:** Dott.ssa Erika Parmeggiani  
**Responsabile:** Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

CERTIFICATO  
407\_M\_13



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





## GEO GROUP s.r.l.

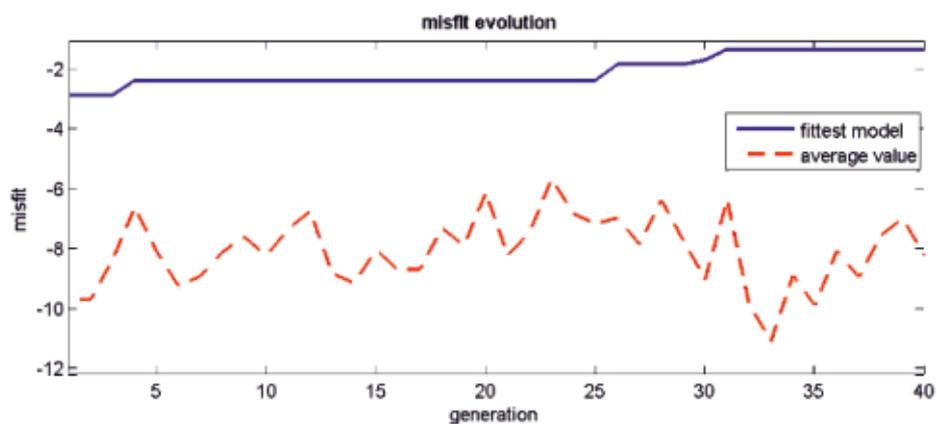
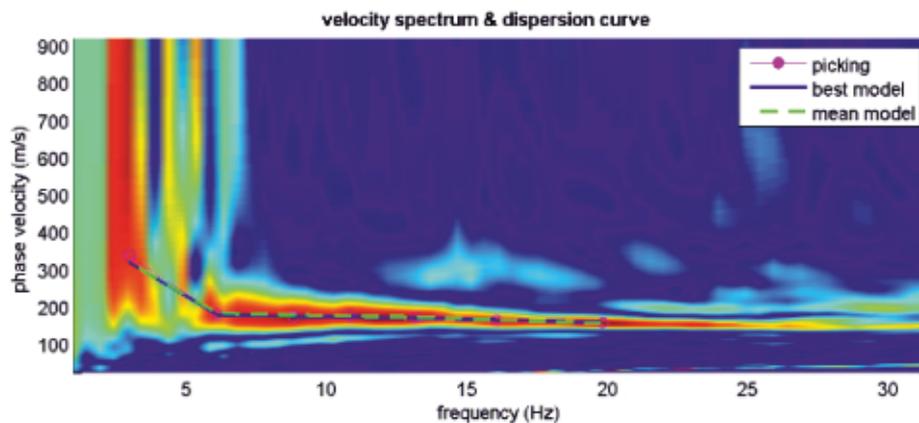
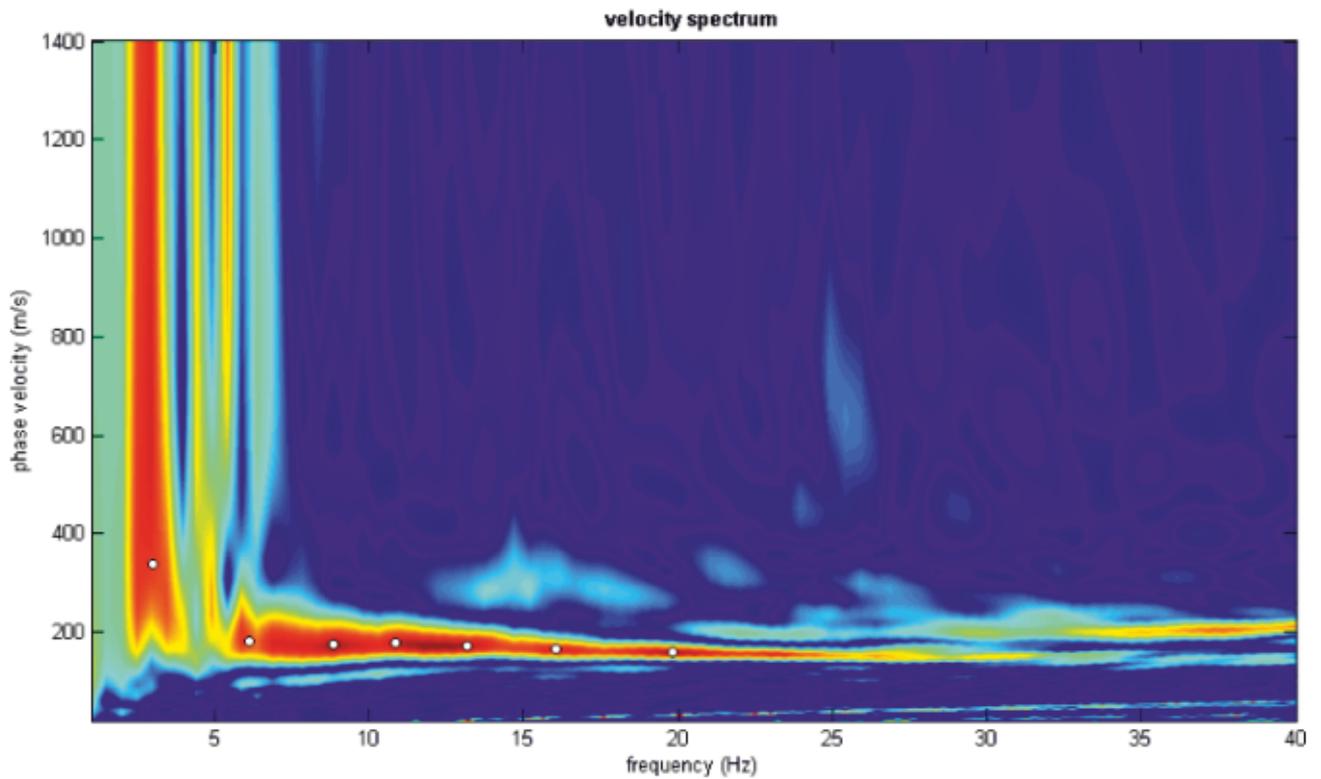
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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.**

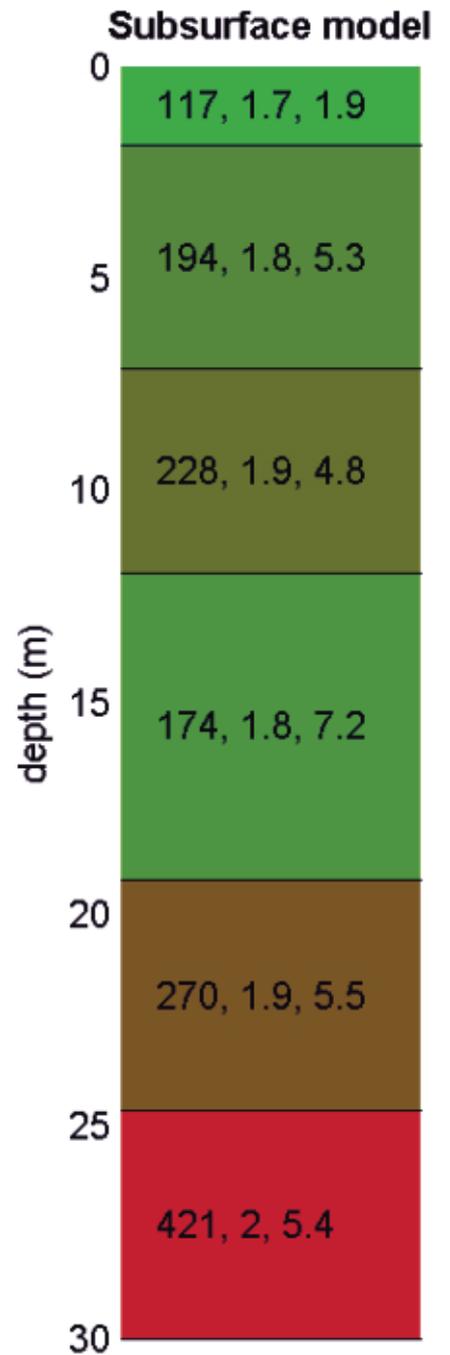
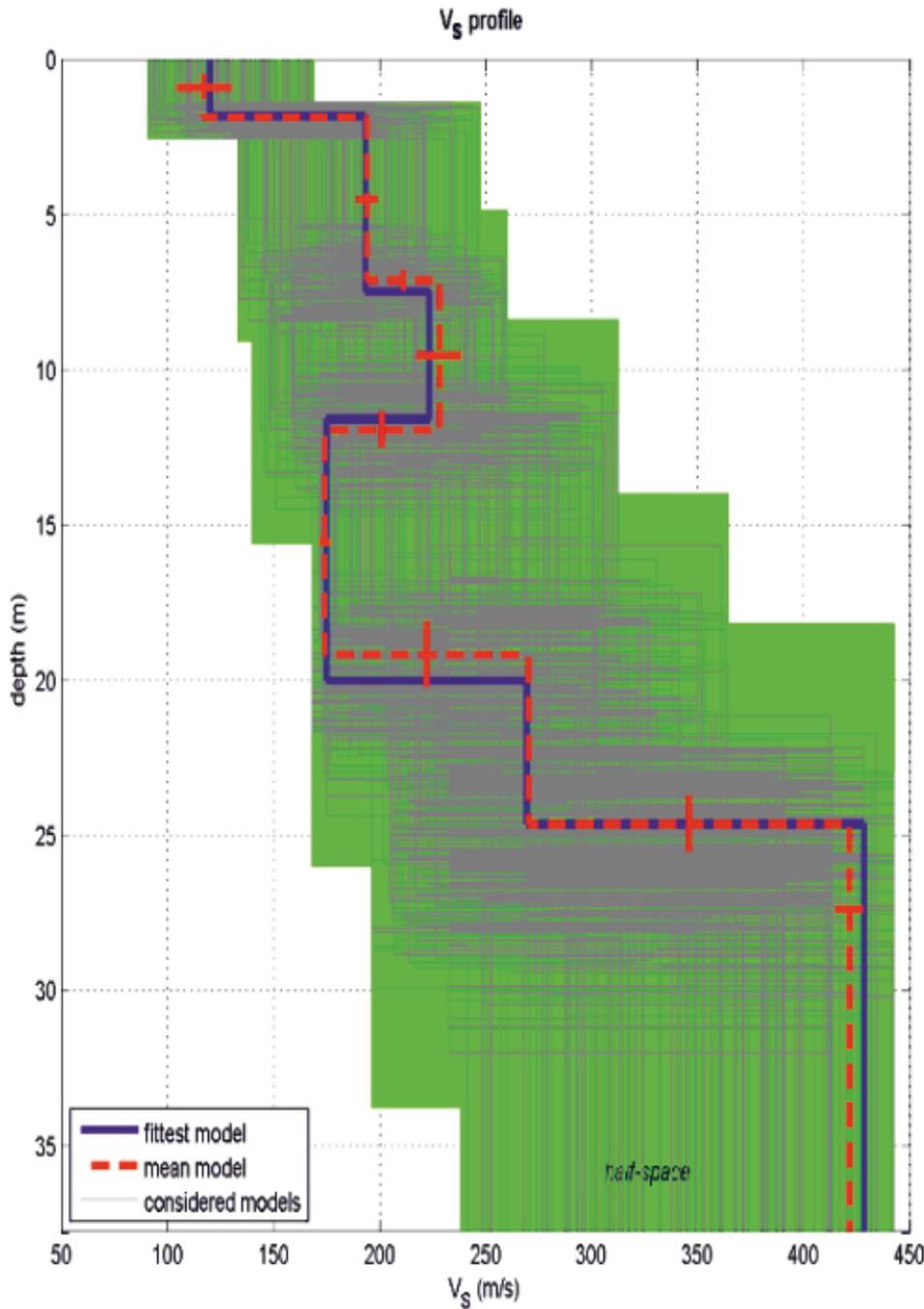
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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**



**BEST MODEL**  
**Vs30 = 213 m/s**

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

## **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**

### ***Indagine sismica HVSR***

## **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**

***Hvsr 1***



## 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

## Dati generali

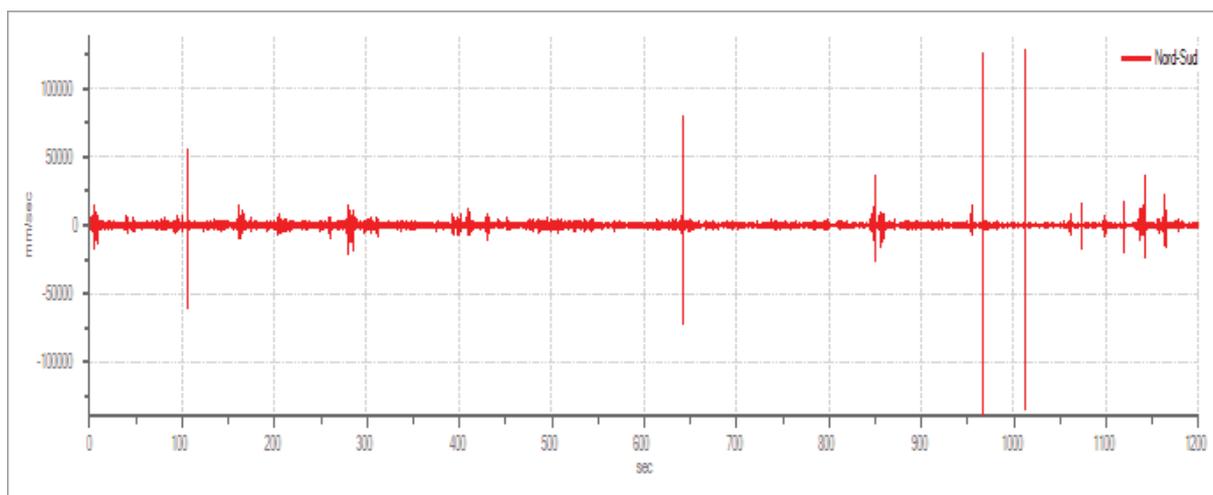
Nome progetto: Riferimento n°367\_13  
Committente: Comune di Soliera  
Cantiere: Studio terreno di fondazione  
Località: Soliera (MO), Via Caduti di Nassiriya  
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani  
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari  
Data: 18/12/2013

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 300,00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



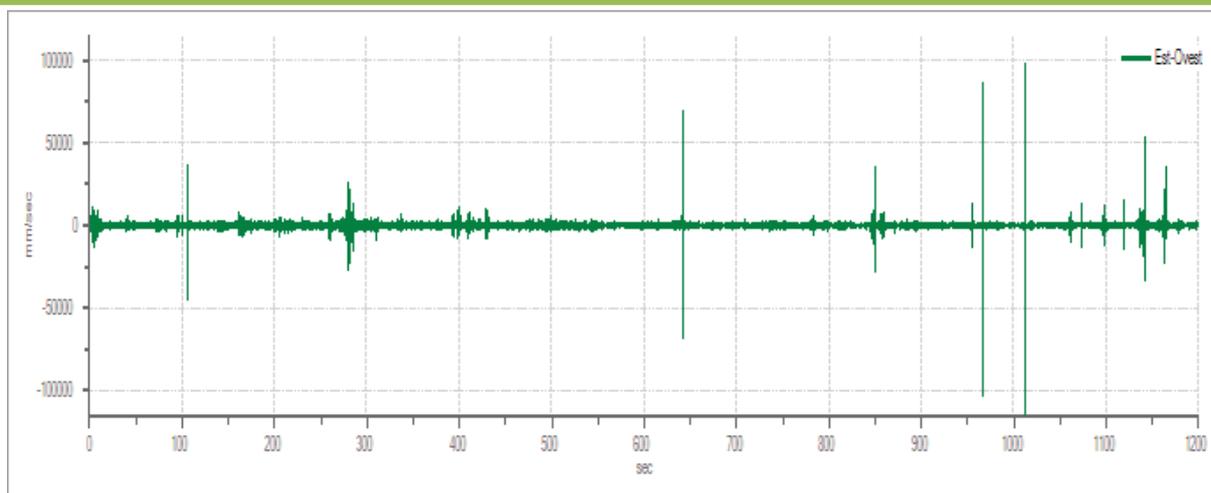
**GEO GROUP s.r.l.**

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

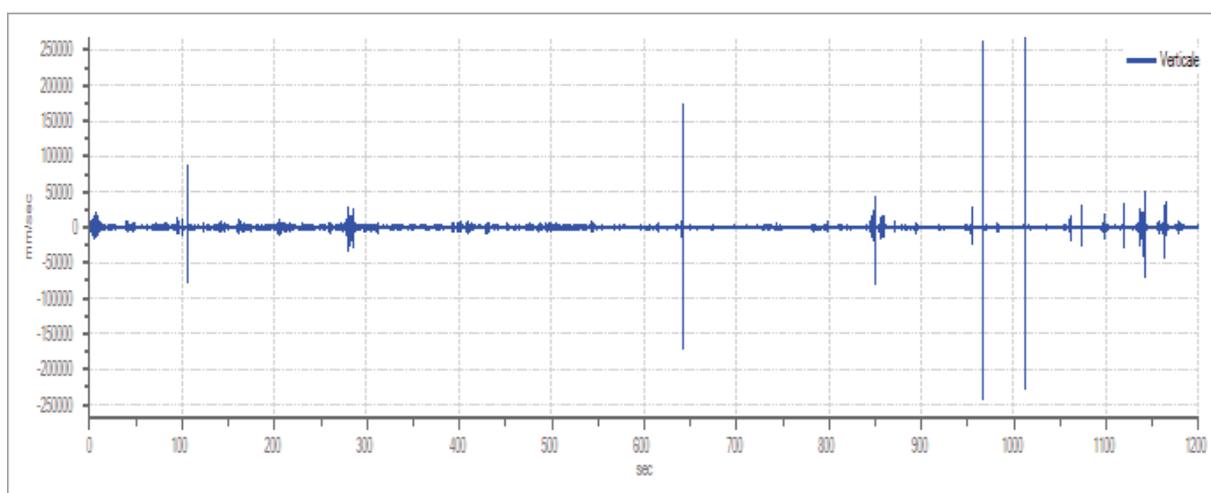
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

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 Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 55  
Numero finestre incluse nel calcolo: 55  
Dimensione temporale finestre: 20,000 s  
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamento: 10,00 %  
Coefficiente di banda: 40,00



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

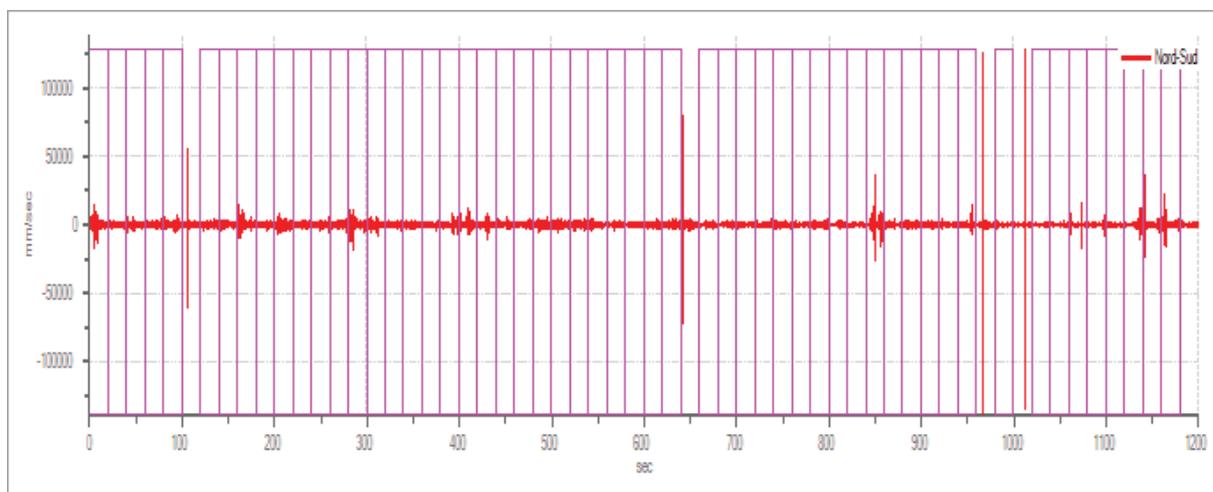
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

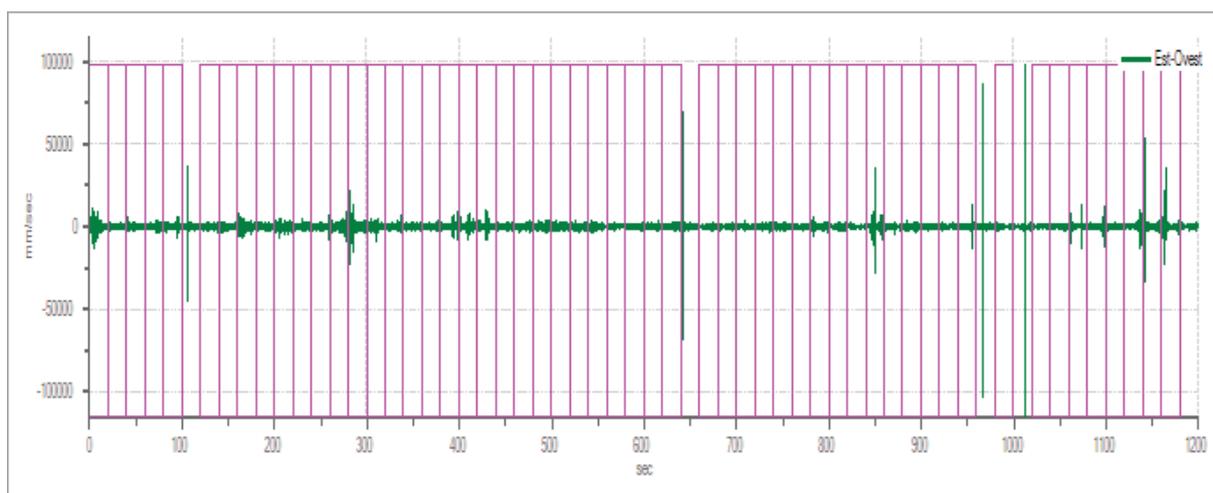
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

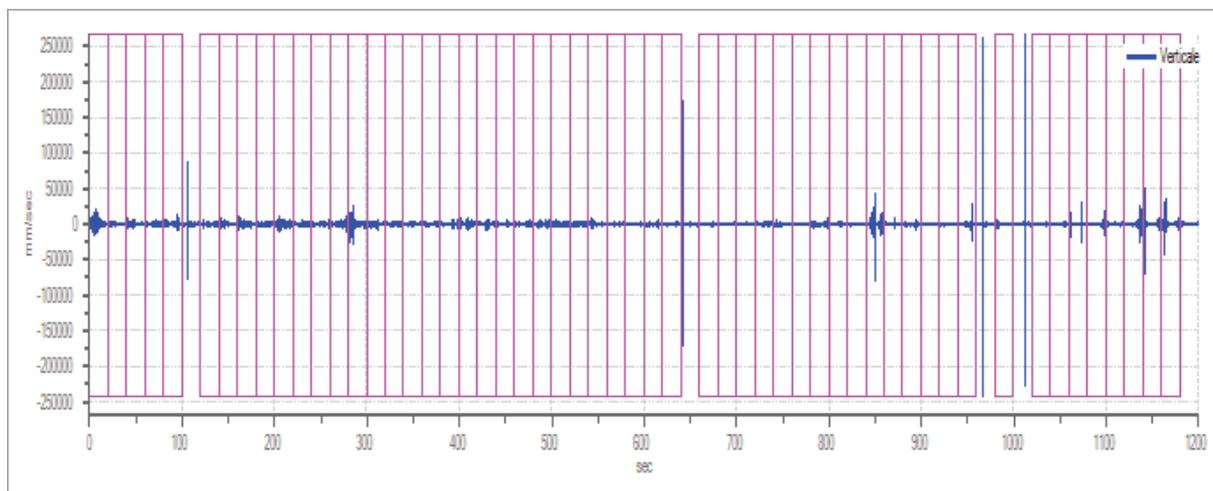
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale



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

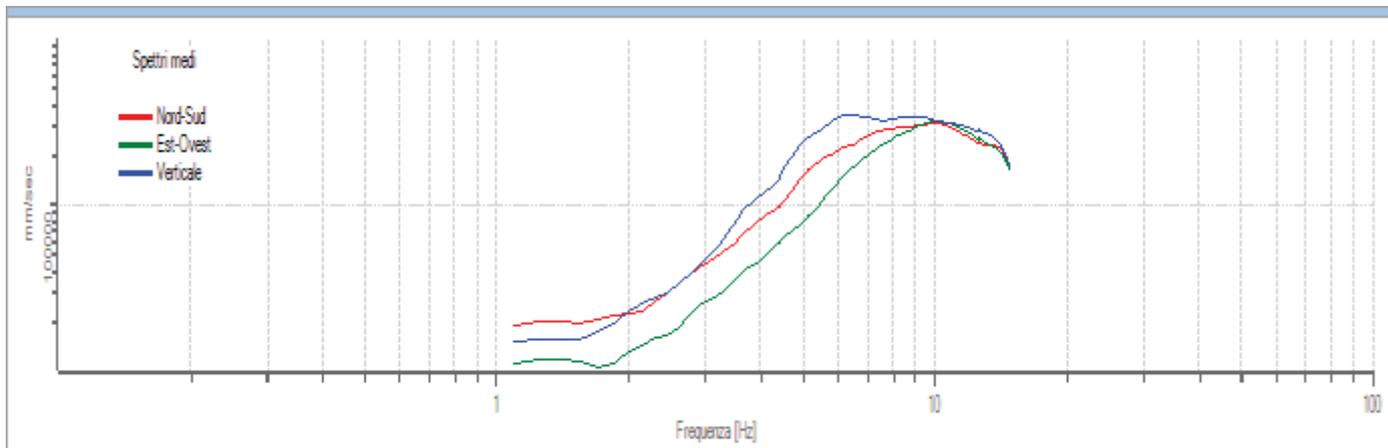
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

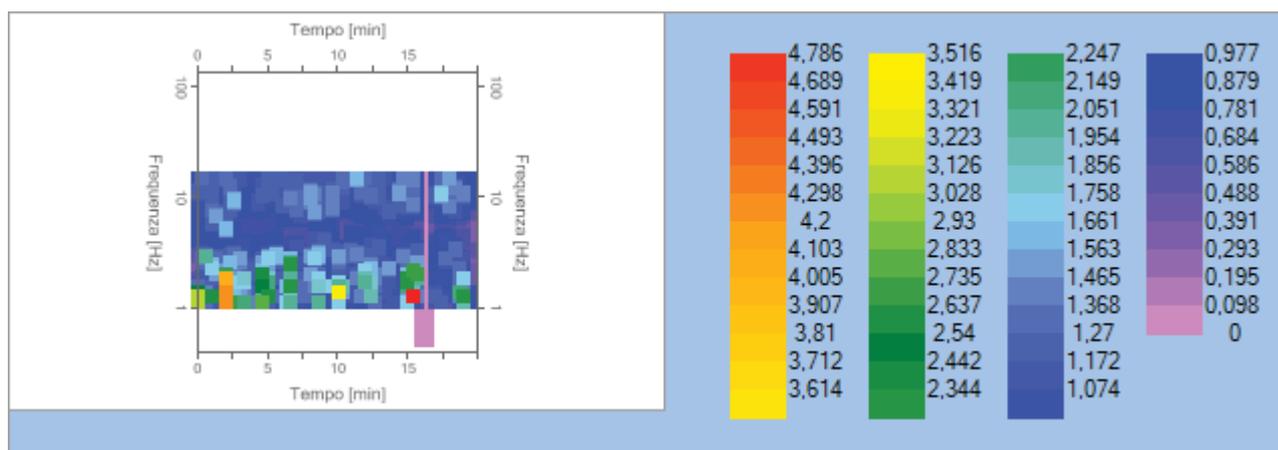
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

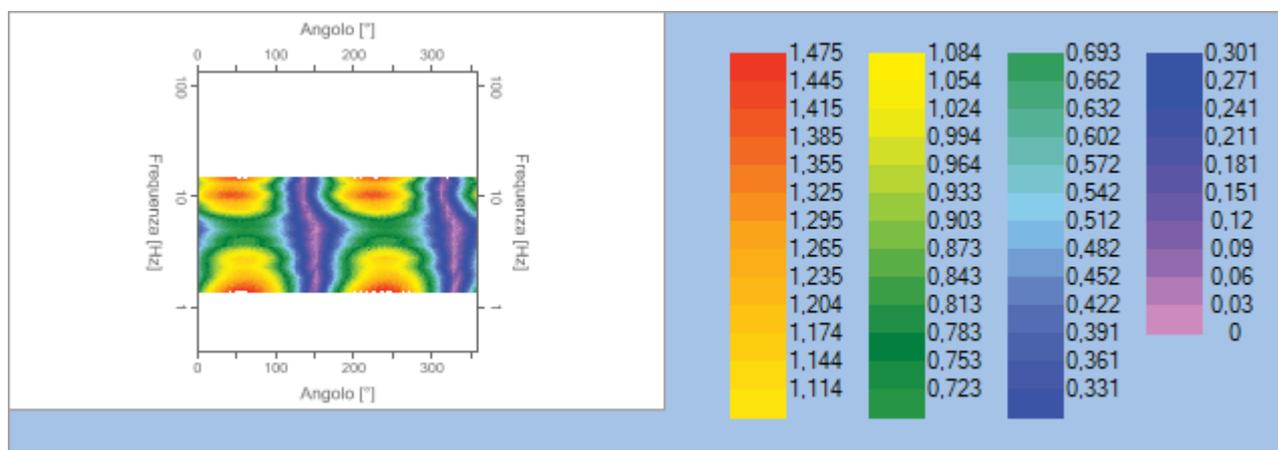
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità 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

## Rapporto spettrale H/V

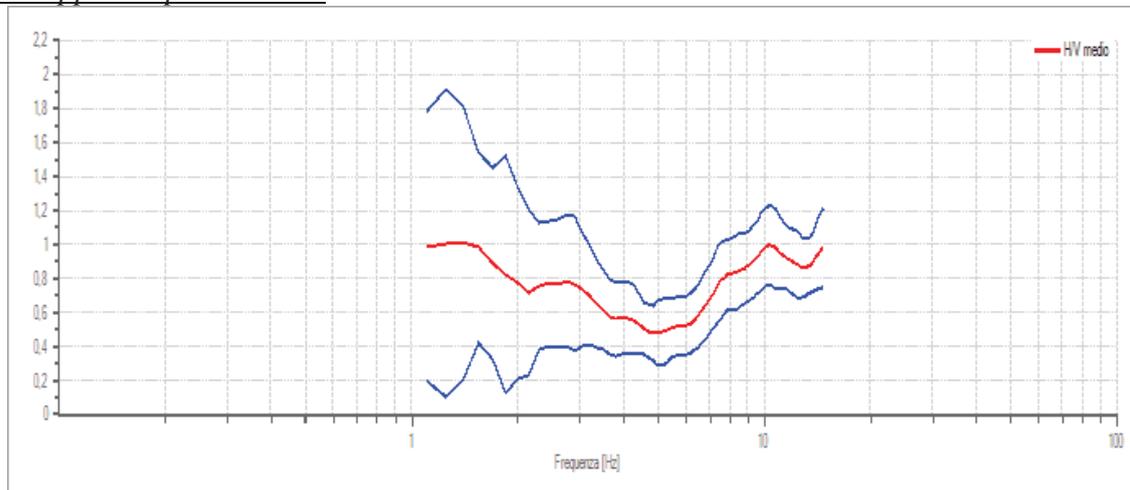
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15,00 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:

**Nessuna frequenza caratteristica di sito.**

### 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**

***Hvsr 2***



## 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

## Dati generali

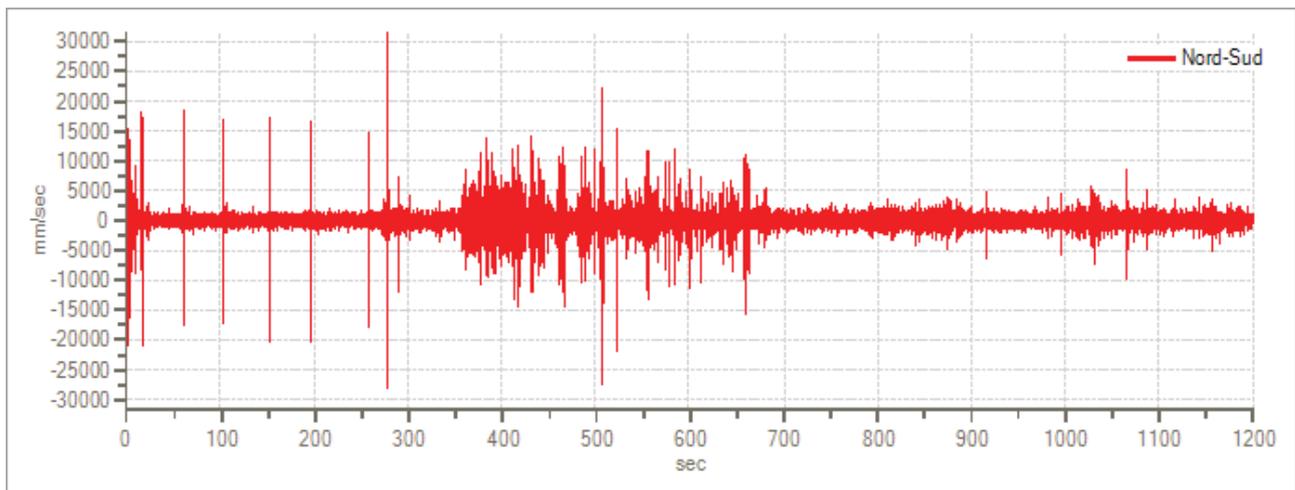
Nome progetto: Riferimento n°368\_13  
Committente: Comune di Soliera  
Cantiere: Studio terreno di fondazione  
Località: Soliera (MO), Via Caduti di Nassiriya  
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani  
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari  
Data: 18/12/2013

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



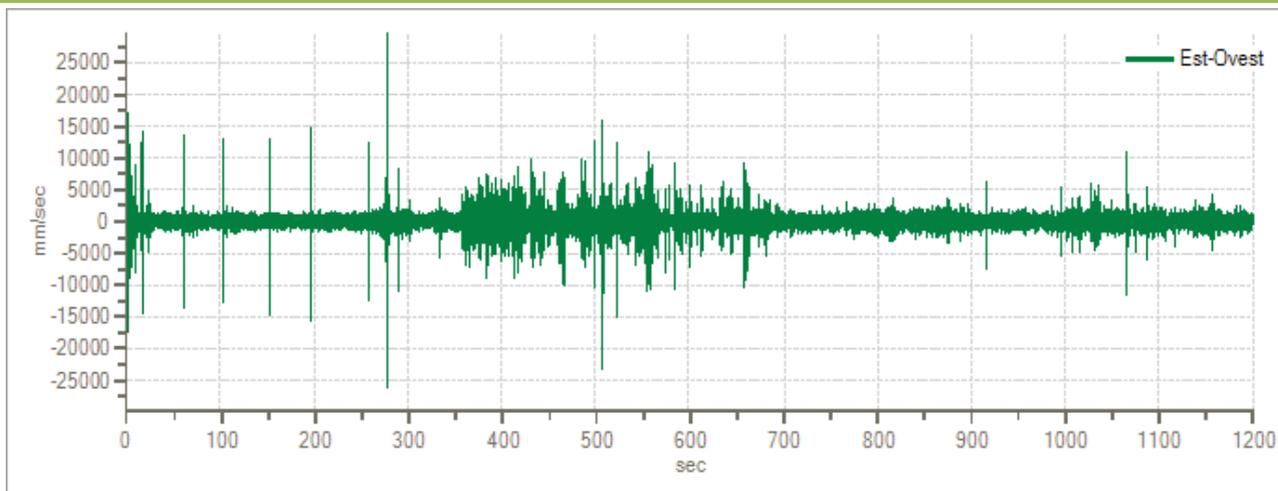
**GEO GROUP s.r.l.**

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

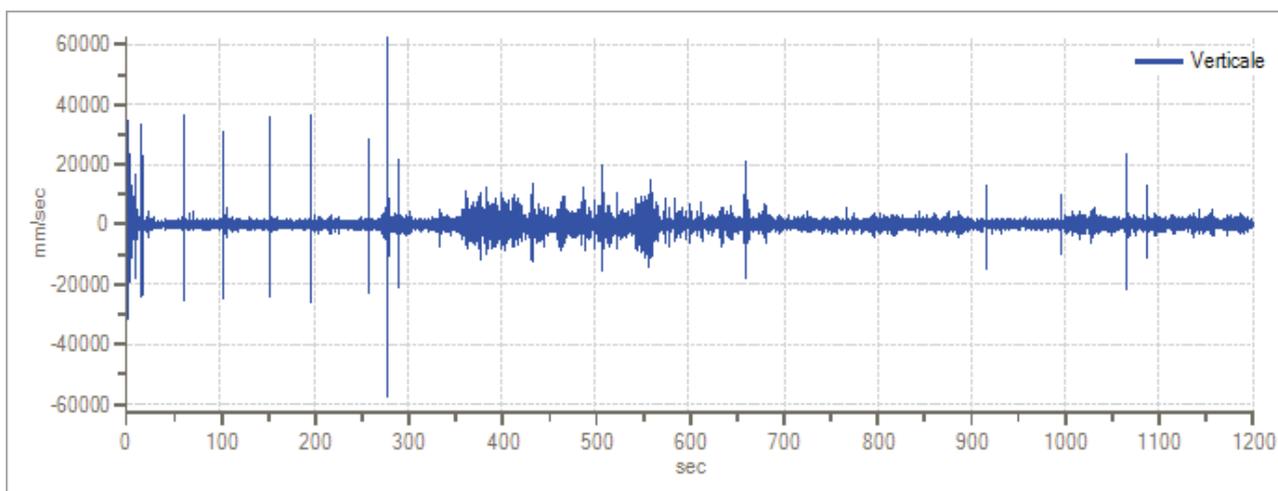
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

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 Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 55  
Numero finestre incluse nel calcolo: 55  
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.**

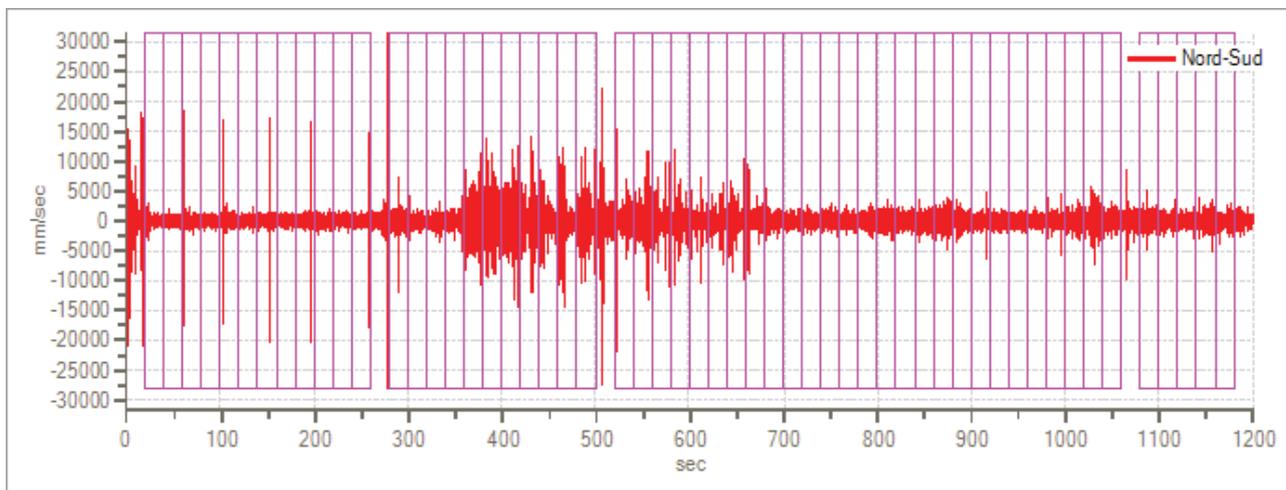
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

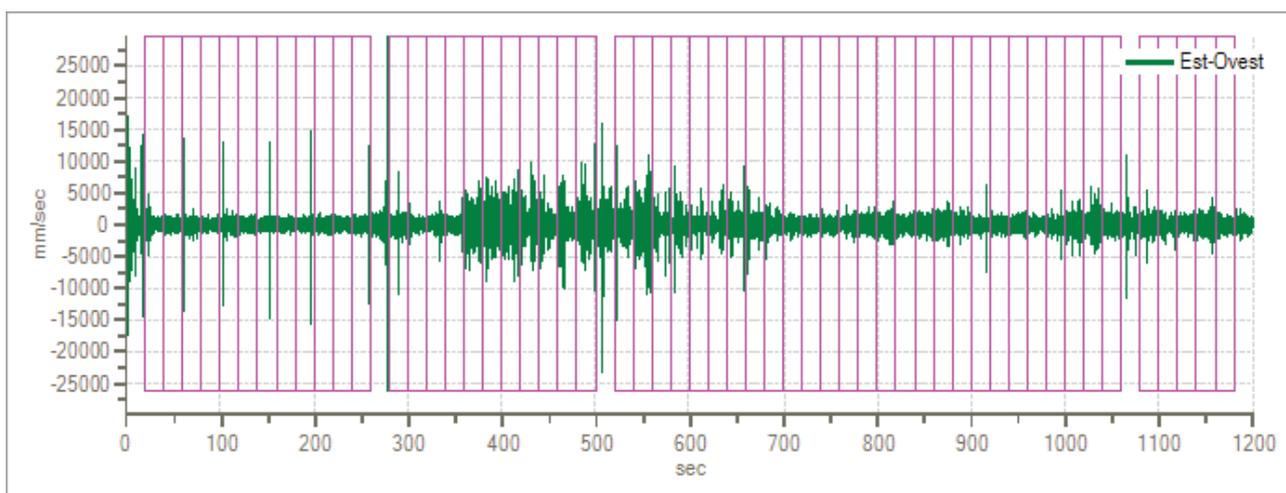
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

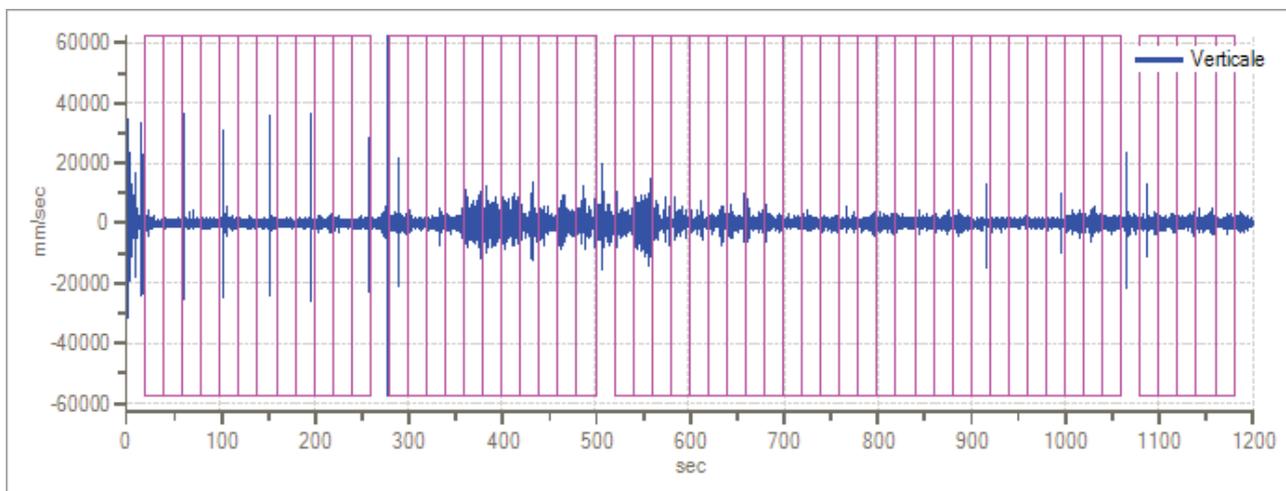
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale



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

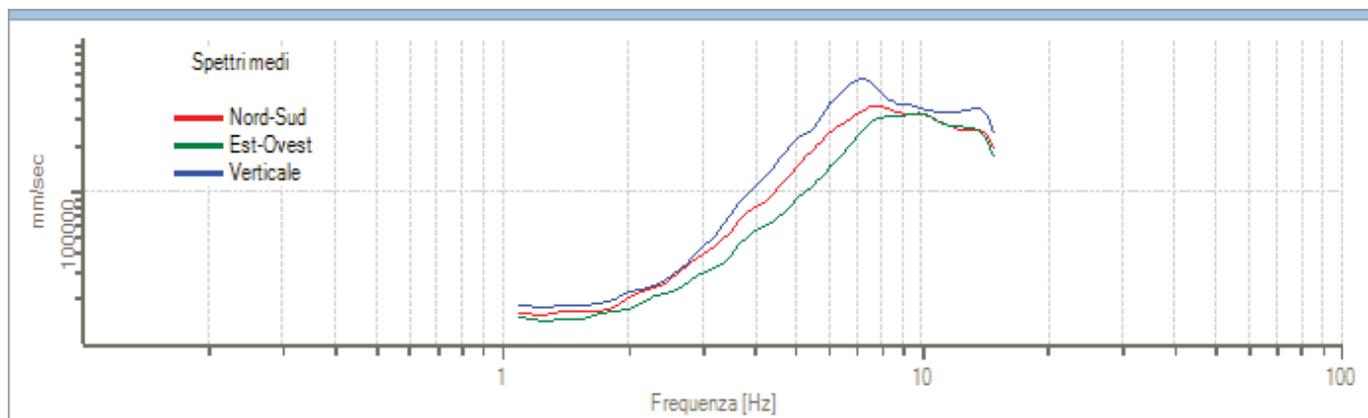
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

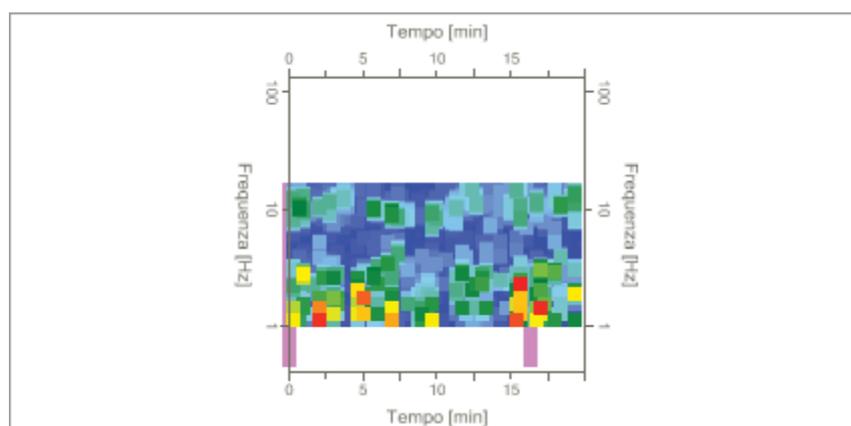
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

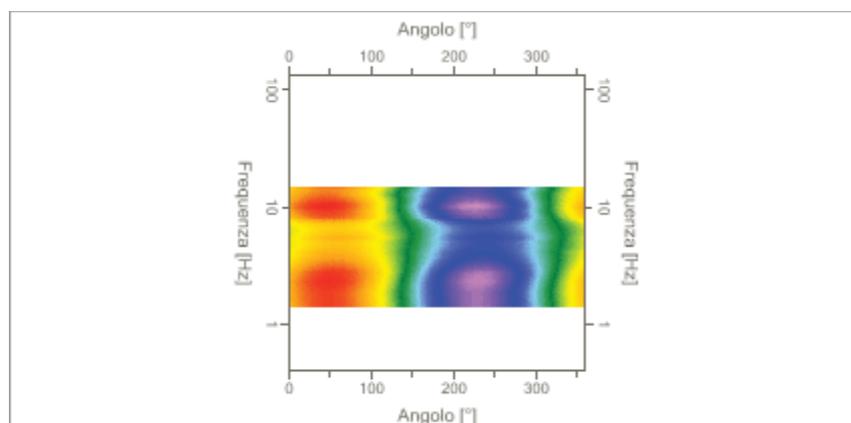
### *Grafici degli spettri*



Spettri medi nelle tre direzioni



Mapa della stazionarietà degli spettri



Mapa della direzionalità 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

## Rapporto spettrale H/V

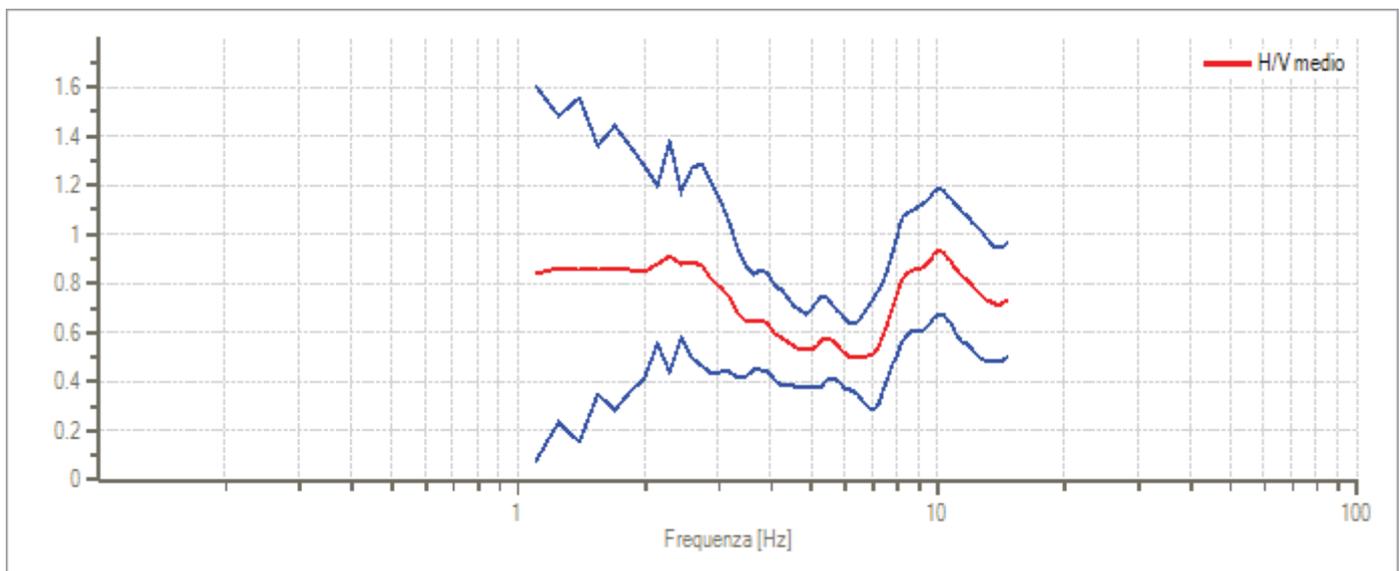
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 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:

**Nessuna frequenza caratteristica di sito.**

### 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 $f_0 > 0.5H$ ; $\sigma_A(f) < 3$ 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
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	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° 3***

### ***Verifica alla liquefazione***



GEO GROUP S.R.L.

Cesare Costa, 182-Modena-0593967169

Committente: Comune di Soliera

Località: Soliera - Via Caduti di Nassiriya

Descrizione: Studio del terreno di fondazione

Note:

Sigla:

**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
0.4	10	0.67	1.8	0.149	0.082	10
0.6	14	1.4	1.8	0.148	0.142	10
0.8	18	1.67	1.8	0.148	0.206	10
1	17	1.8	1.8	0.148	0.187	
1.2	16	1.2	1.8	0.148	0.129	
1.4	12	0.8	1.8	0.147	0.093	
1.6	10	0.67	0.8	0.153	0.082	
1.8	11	0.47	0.8	0.163	0.083	
2	13	0.53	0.8	0.172	0.14	1.57
2.2	9	0.47	0.8	0.18	0.074	
2.4	9	0.33	0.8	0.187	0.073	
2.6	9	0.4	0.8	0.193	0.072	
2.8	12	0.33	0.8	0.199	0.122	1.19
3	9	0.33	0.8	0.204	0.07	
3.2	8	0.33	0.8	0.209	0.067	
3.4	14	0.47	0.8	0.213	0.079	
3.6	9	0.6	0.8	0.217	0.068	
3.8	9	0.4	0.8	0.221	0.067	
4	12	0.33	0.8	0.224	0.072	
4.2	8	0.33	0.8	0.227	0.064	
4.4	7	0.4	0.8	0.23	0.062	
4.6	8	0.6	0.8	0.233	0.063	
4.8	10	0.67	0.8	0.235	0.066	
5	9	0.53	0.8	0.238	0.064	
5.2	16	0.4	0.8	0.24	0.074	
5.4	10	0.47	0.8	0.242	0.065	
5.6	10	0.67	0.8	0.243	0.064	
5.8	12	0.6	0.8	0.245	0.067	
6	17	0.8	0.8	0.247	0.073	
6.2	16	0.6	0.8	0.248	0.071	
6.4	13	0.53	0.8	0.249	0.067	
6.6	16	0.6	0.8	0.251	0.07	
6.8	13	0.53	0.8	0.252	0.066	
7	11	0.53	0.8	0.253	0.063	
7.2	9	0.67	0.8	0.254	0.061	
7.4	13	0.47	0.8	0.255	0.065	
7.6	16	0.13	0.8	0.256	0.09	0.68
7.8	5	0.13	0.8	0.257	0.056	
8	3	0.27	0.8	0.258	0.053	
8.2	4	0.2	0.8	0.258	0.054	
8.4	8	0.27	0.8	0.259	0.058	
8.6	8	0.33	0.8	0.26	0.058	
8.8	8	0.27	0.8	0.26	0.058	

27/12/2013

GEO GROUP s.r.l.  
via C. Costa 182 - 41100 MODENA  
P. IVA 02981500362



# GEO GROUP S.R.L.

Cesare Costa, 182-Modena-0593967169

Profondità (m)	qc(kg/cm <sup>2</sup> )	fs(kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza alla liquefazione R(kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
9	10	0.4	0.8	0.261	0.06	
9.2	11	0.6	0.8	0.261	0.061	
9.4	11	0.67	0.8	0.261	0.06	
9.6	11	0.73	0.8	0.26	0.06	
9.8	15	0.87	0.8	0.26	0.064	
10	15	0.8	0.8	0.259	0.063	
10.2	11	0.67	0.8	0.258	0.06	
10.4	10	0.47	0.8	0.257	0.059	
10.6	9	0.4	0.8	0.257	0.058	
10.8	10	0.4	0.8	0.256	0.058	
11	8	0.47	0.8	0.255	0.057	
11.2	9	0.33	0.8	0.254	0.057	
11.4	13	0.47	0.8	0.253	0.06	
11.6	12	0.53	0.8	0.252	0.059	
11.8	19	0.67	0.8	0.251	0.065	
12	26	1.4	0.8	0.25	0.07	
12.2	22	0.93	0.8	0.249	0.067	
12.4	14	0.67	0.8	0.248	0.06	
12.6	12	0.93	0.8	0.247	0.059	
12.8	12	0.67	0.8	0.246	0.059	
13	12	0.53	0.8	0.245	0.059	
13.2	11	0.47	0.8	0.244	0.058	
13.4	10	0.27	0.8	0.242	0.057	
13.6	28	0.93	0.8	0.241	0.069	
13.8	12	0.6	0.8	0.24	0.058	
14	13	0.67	0.8	0.239	0.059	
14.2	12	0.87	0.8	0.238	0.058	
14.4	16	0.87	0.8	0.236	0.06	
14.6	14	0.73	0.8	0.235	0.059	
14.8	17	0.93	0.8	0.234	0.061	
15	18	1.13	0.9	0.233	0.061	
15.2	21	1.33	0.9	0.231	0.063	
15.4	24	1.27	0.9	0.23	0.065	
15.6	24	1.33	0.9	0.228	0.064	
15.8	28	1.4	0.9	0.227	0.067	
16	19	1.07	0.9	0.225	0.061	
16.2	14	0.6	0.9	0.224	0.058	
16.4	11	0.4	0.9	0.222	0.056	
16.6	7	0.4	0.9	0.221	0.054	
16.8	10	0.47	0.9	0.219	0.056	
17	10	0.33	0.9	0.218	0.056	
17.2	11	0.27	0.9	0.216	0.056	
17.4	10	0.33	0.9	0.215	0.055	
17.6	11	0.67	0.9	0.213	0.056	
17.8	58	0.67	0.9	0.212	0.159	1.45
18	52	0.73	0.9	0.21	0.172	1.59
18.2	14	0.47	0.9	0.209	0.057	
18.4	12	0.73	0.9	0.207	0.056	
18.6	25	1.2	0.9	0.206	0.063	

27/12/2013

GEO GROUP s.r.l.  
via C. Costa, 182 - 41100 MODENA  
P. IVA 02081500362



GEO GROUP S.R.L.

Cesare Costa, 182-Modena-0593967169

Profondità (m)	qc(kg/cm <sup>2</sup> )	fs(kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cm <sup>2</sup> )	Resistenza alla liquefazione R(kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
18.8	16	1.47	0.9	0.204	0.058	
19	10	0.93	1	0.203	0.055	
19.2	17	1.27	1	0.201	0.058	
19.4	19	1.07	1	0.199	0.059	
19.6	24	1.33	1	0.198	0.061	
19.8	20	1.27	1	0.196	0.059	
20	19	1.27	1	0.194	0.059	

Profondità tetto falda(m): 1.5

Profondità base falda(m): 20

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.229

Magnitudo di riferimento= 6.14

Indice di liquefazione=0.4 rischio basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 1.94

Fs = MSF x R / T

27/12/2013

GEO GROUP s.r.l.  
via C. Costa 182 - 41100 MODENA  
P.IVA 02981500362



GEO GROUP S.R.L.

Cesare Costa, 182-Modena-0593967169

Committente: Comune di Soliera

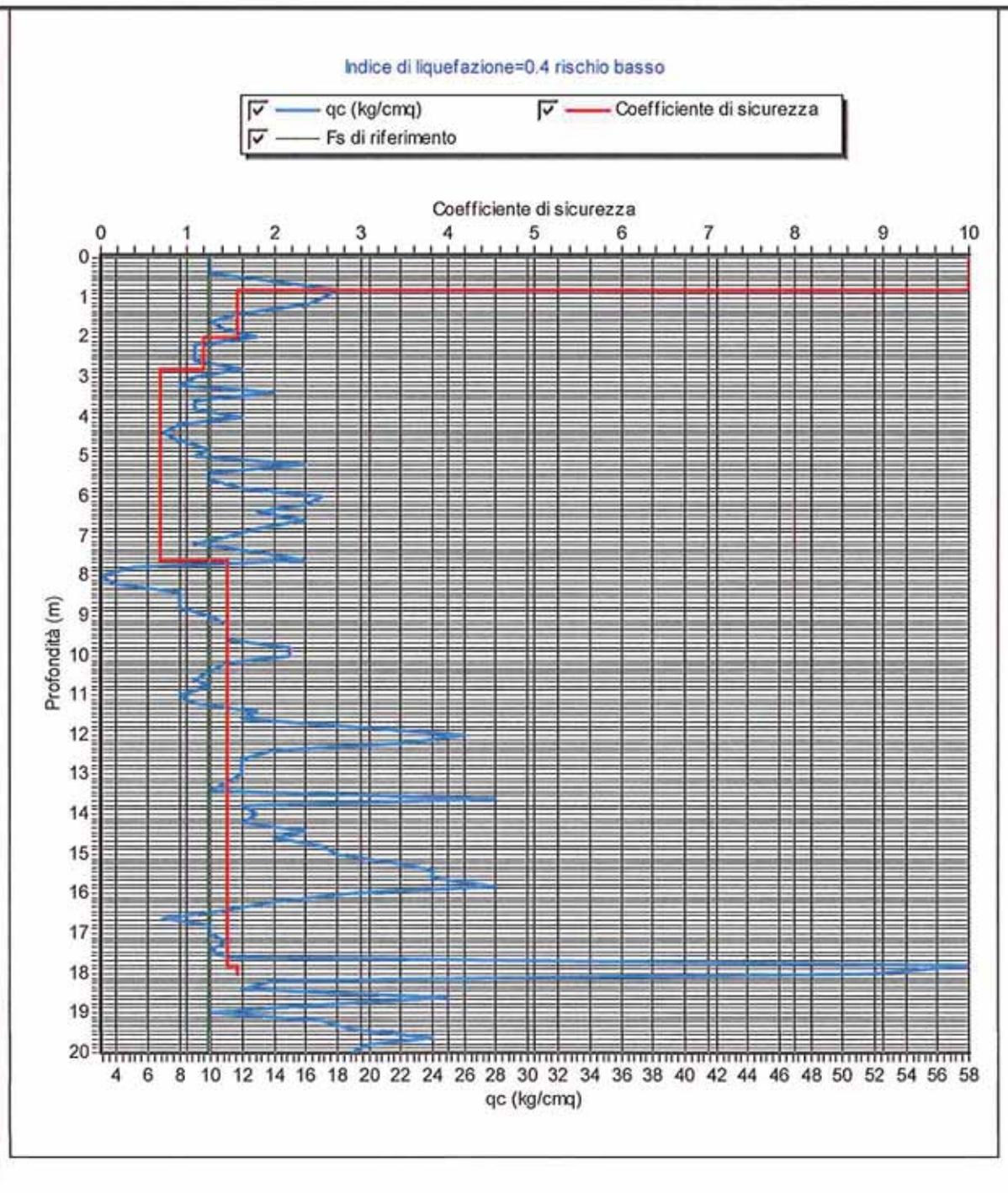
Località: Soliera - Via Caduti di Nassiriya

Descrizione: Studio del terreno di fondazione

Note:

Sigla:

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



Certificato n. del 27/12/2013

Firma:

GEO GROUP s.r.l.  
Via C. Costa, 182 - 41100 MODENA  
P. IVA 02981500362