

Comune di Medolla

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) e la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008)



OGGETTO:

**Studio del terreno di fondazione
di un'area interessata dalla realizzazione
del Magazzino comunale
del Comune di Medolla (MO),
sito in Via Grande**



Dot. Geol. Pier Luigi Dallari
Dicembre 2013
Rif. 787/13

ASSOCIATO



GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: geo.group@libero.it

P.IVA e C.F. 02981500362

www.geogroupmodena.it



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

Relazione Tecnica comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi 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) e la Verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08), al fine della progettazione per azioni sismiche

Oggetto:

Studio del terreno di fondazione di un'area interessata dalla realizzazione del Magazzino comunale del Comune di Medolla, sito in Via Grande nel Comune di Medolla (MO)

Indice del contenuto

1	PREMESSE	3
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
2	RELAZIONE GEOLOGICA	7
2.1	MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA	7
2.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	7
2.2.1	Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT	7
2.3	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	10
3	RELAZIONE GEOTECNICA	12
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE	12
3.2	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	12
3.3	TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE	13
3.4	VERIFICA DEI CEDIMENTI	14
3.5	MODULO DI SOTTOFONDO	15
4	CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE (CALCOLO DEGLI SLU)	16
4.1	SISMICITÀ DELL'AREA	16
4.2	INDAGINI GEOFISICHE	20
4.2.1	Sismica a rifrazione con metodo MASW	20
4.2.2	Indagine sismica Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura	22
4.3	PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE - VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08	24
4.4	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	29
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	33

Tavole

Tav. n. 1: “Carta Corografica”	scala 1: 25.000
Tav. n. 2: “Carta Topografica”	scala 1: 10.000
Tav. n. 3: “Ripresa fotografica generale dell'area di interesse”	scala grafica
Tav. n. 4: “Carta della litologia di superficie”	scala 1: 100.000
Tav. n. 5: “Planimetria catastale”	scala 1: 2.000
Tav. n. 6: “Ubicazione indagini geognostiche”	scala grafica

Allegati

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica
- ALL. n. 2** Verifiche Geotecniche
- ALL. n. 3** Indagine sismica – tecnica MASW
- ALL. n. 4** Indagine sismica – tecnica HVSr
- ALL. n. 5** Verifica alla liquefazione

L'edificio da destinare a Magazzino comunale sarà edificato nell'area attigua all'attuale localizzazione del magazzino comunale, di cui è prevista la demolizione. Attualmente l'area oggetto di studio è utilizzata come terreno agricolo posto in fregio a Via Grande. Più precisamente tale lotto è individuato al Foglio 12 Mappale 12 (**tav. 5**) del Catasto terreni del Comune di Medolla (MO).

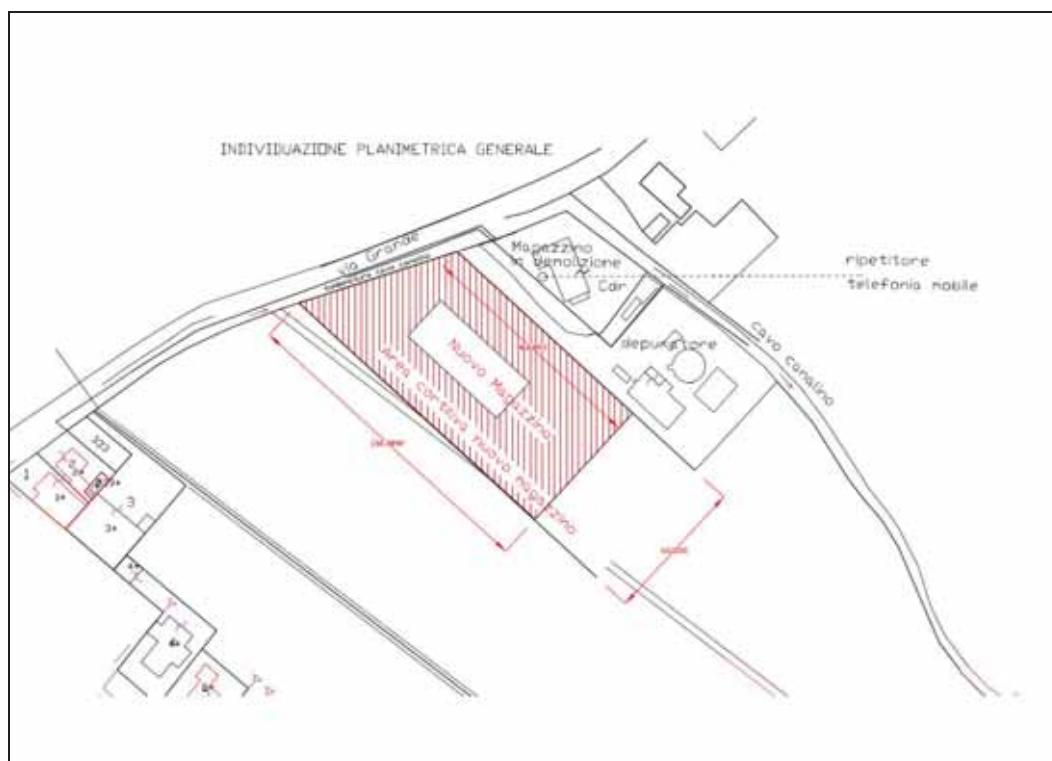


Fig. 1.3: Planimetria generale del fabbricato in oggetto.

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è sita a nord – est del Comune di Medolla (MO), come illustrato nella “Carta corografica”, tavola CTR 184_SO “Mirandola” alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**); nella “Carta topografica” alla scala 1: 10.000, sezioni n°184130 “Medolla” – 184090 “Mirandola” (**tav. n. 2**) e nella “Ripresa fotografica generale dell'area di interesse” (**tav. n. 3**), riportate in allegato.



Fig. 1.4: Inquadramento geografico dell'area di interesse; immagine tratta da Bing maps.

Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito software sono le seguenti:

(1)* Coordinate WGS84	
Lat. <input type="text" value="44,849503"/>	Long. <input type="text" value="11,076927"/>
(1)* Coordinate ED50	
Lat. <input type="text" value="44,850436"/>	Long. <input type="text" value="11,077932"/>

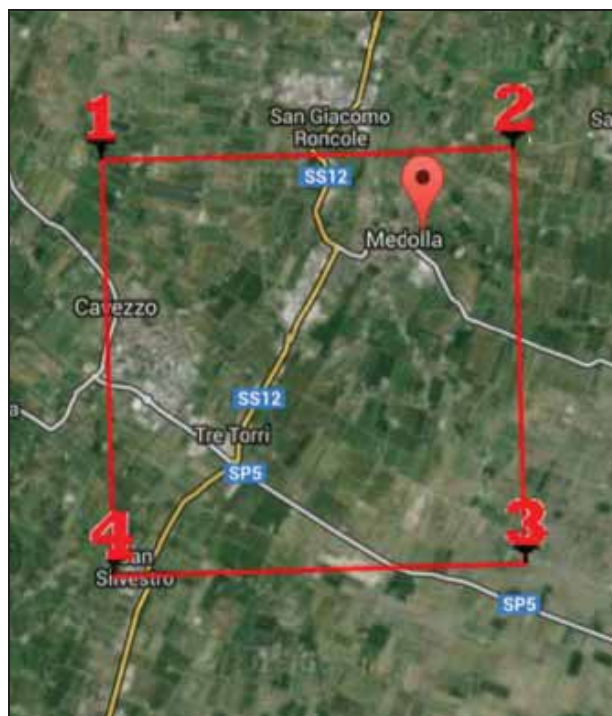


Fig. 1.5: Maglia di punti che identificano l'area di interesse.

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

- 1) **RELAZIONE GEOLOGICA** riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. D.M. 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. D.M. 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).

2 RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA

L'area oggetto di studio è posta a nord – est del Comune di Medolla, in provincia di Modena. L'area è pianeggiante e ricade ad una quota topografica media di 21 m s.l.m. Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella “Carta geologica” (**tav. n. 4**), tratta dalla “Carta geologica d'Italia”, a scala 1.100.000:

- **s**: sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi;
- **a^s**: argille sabbiose e sabbie argillose.

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. 2 prove penetrometriche statiche CPT, eseguite in data 08/05/13;**
- **n. 1 indagine sismica MASW, eseguita in data 15/05/13;**
- **n. 1 indagine sismica passiva HVSR, eseguita in data 15/05/13.**

I diagrammi relativi alla prova penetrometrica CPT eseguita, dotati d'interpretazione geotecnica, sono presenti nell'**allegato n. 1**. Negli **allegati n. 3** e **n. 4** sono visibili i grafici e i risultati dell'indagine sismica MASW e HVSR rispettivamente.

2.2.1 Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT

Nell'area di interesse sono state eseguite, in data 08/05/2013, **n. 2 prove penetrometriche statiche CPT**, spinte fino alla profondità di:

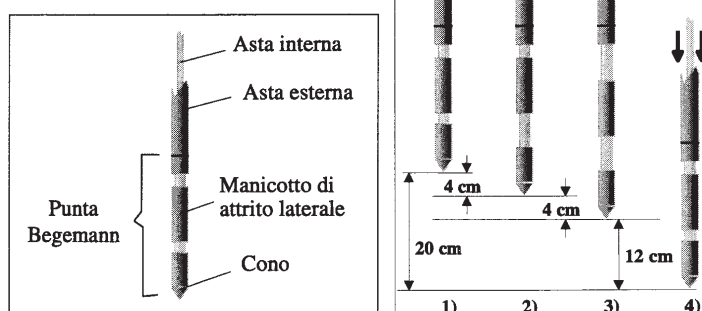
CPT 1	-17.40 m da p.c.
CPT 2	-17.40 m da p.c.

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	Begemann
Spinta	200 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	R_p (resistenza alla punta)
	R_l (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm²
Angolo alla punta	60°

Fig. 2.2: Punta Begemann (a) e schema di avanzamento (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. 2.2**). La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm². I 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^2 . Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 (RI).

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

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

dove:

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

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

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

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:

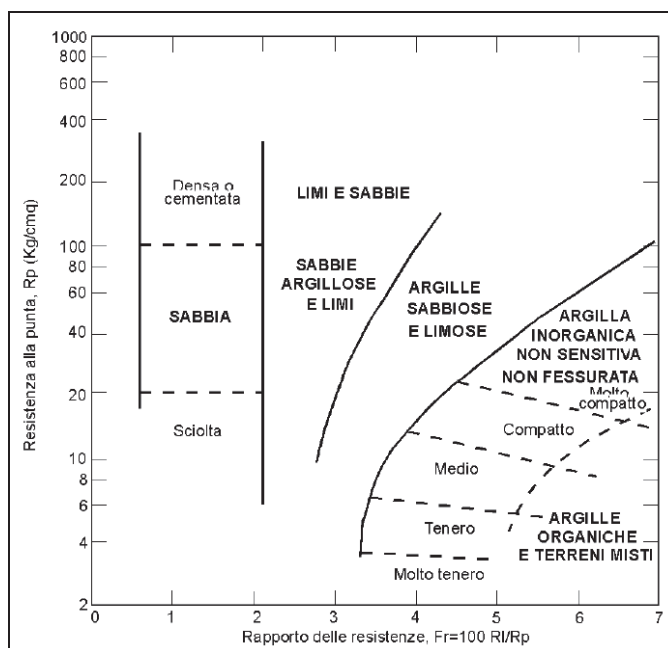
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra R_p e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto R_p/RI	Litologia
$R_p/RI < 15$	Argilla organica e torba
$15 < R_p/RI < 20$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < R_p/RI < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$R_p/RI > 60$	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/R_p**), 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, illustrati nell'**allegato n. 1**, si può riassumere quanto segue:

- al di sotto del primo strato di sottofondo cortilivo, la prova penetrometrica CPT n. 1 eseguita ha rilevato la presenza di un primo strato di **argilla limosa a medio-scarsa consistenza** ($0.59 \text{ MPa} < R_p < 1.47 \text{ MPa}$) fino alla profondità di -8.20 m da p.c.; mentre nella CPT n. 2 si riscontra la presenza di un primo strato di **argilla limosa a media consistenza** ($0.98 \text{ MPa} < R_p < 1.47 \text{ MPa}$), intercalato da livelli sottili di limo sabbioso, fino alla profondità di -2.80 m da p.c., seguito da un livello di **limo sabbioso** ($26 \% < D_r < 44 \%$) fino alla profondità di -4.80 m da p.c. e da uno strato di **argilla limosa a scarsa consistenza** ($0.49 \text{ MPa} < R_p < 0.98 \text{ MPa}$) fino alla profondità di -7.00 m da p.c.. Poi, in entrambe le verticali indagate, si trova uno strato di **argilla limosa a media consistenza** ($0.98 \text{ MPa} < R_p < 1.96 \text{ MPa}$) fino alla quota pari a -10.80 m da p.c. nella CPT n. 1 e fino alla quota di -10.60 m da p.c. nella CPT n. 2. Infine, fino alla massima profondità investigata, si trova uno strato di **argilla da consistente a molto consistente** ($1.47 \text{ MPa} < R_p < 16.37 \text{ MPa}$).

- Per quanto riguarda il **grado di consolidazione dei materiali coesivi**, è stata rinvenuta la presenza di terreni sovraconsolidati **SC** (con $OCR > 4$) fino a -4.60 m da p.c., seguiti da un'alternanza di terreni leggermente sovraconsolidati **LC** ($2 < OCR < 4$) e da terreni sovraconsolidati **SC** (con $OCR > 4$) fino alla massima profondità.
- Al termine delle prove penetrometriche è stato possibile misurare il livello della falda freatica mediante un freatimetro elettroacustico. Il livello piezometrico si attesta alla quota pari a $D_w = -2.00$ m da p.c. in entrambe le verticali indagate.

3 RELAZIONE GEOTECNICA

3.1 INDAGINI GEOTECNICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia dell'intervento in progetto, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geotecniche:

- **n. 2 prove penetrometriche statiche CPT, eseguite in data 08/05/2013.**

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 il futuro progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica dell'indagine geotecnica eseguita, illustrata nell'**allegato n. 1** e precedentemente descritta, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 2.20 m da p.c.	-2.00 m da p.c.	Argilla o argilla limosa mediamente consistente	γ	1800 kg/cm ³ \approx 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/cm ³ \approx 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² \approx 50.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² \approx 5.0 kN/m ²
				M_0	40.0 kg/cm ² \approx 4000 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² \approx 7000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
				ν	0.40
2	2.20 – 8.20 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a medio scarsa consistenza	γ	1750 kg/cm ³ \approx 17.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/cm ³ \approx 20.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.40 kg/cm ² \approx 40.0 kN/m ²
				C'_k	0.04 kg/cm ² \approx 4.0 kN/m ²
				M_0	35.0 kg/cm ² \approx 3500 kN/m ²
				E_s	56.0 kg/cm ² \approx 5600 kN/m ²
				ϕ_k	21°
				ν	0.50
3	8.20 – 11.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa mediamente consistente	γ	1850 kg/cm ³ \approx 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/cm ³ \approx 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.65 kg/cm ² \approx 65.0 kN/m ²
				C'_k	0.065 kg/cm ² \approx 6.5 kN/m ²
				M_0	50.0 kg/cm ² \approx 5000 kN/m ²
				E_s	91.0 kg/cm ² \approx 9100 kN/m ²
				ϕ_k	23°

				v	0.40
4	11.00 – 15.80 m da p.c.		Argilla o argilla limosa consistente	γ	1900 kg/cm ³ ≈ 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/cm ³ ≈ 22.00 kN/m ³
				C _{uk}	1.00 kg/cm ² ≈ 100.0 kN/m ²
				C' _k	0.1 kg/cm ² ≈ 10.0 kN/m ²
				M ₀	90.0 kg/cm ² ≈ 9000 kN/m ²
				E _s	140.0 kg/cm ² ≈ 14000 kN/m ²
				ϕ _k	25°
				v	0.35
5	Da 15.80 m da p.c.		Argilla o argilla limosa molto consistente	γ	1950 kg/cm ³ ≈ 19.50 kN/m ³
				γ'	2250 kg/cm ³ ≈ 22.50 kN/m ³
				C _{uk}	4.00 kg/cm ² ≈ 400.0 kN/m ²
				C' _k	0.4 kg/cm ² ≈ 40.0 kN/m ²
				M ₀	400.0 kg/cm ² ≈ 40000 kN/m ²
				E _s	560.0 kg/cm ² ≈ 56000 kN/m ²
				ϕ _k	27°
				v	0.30
Legenda			γ	=	peso specifico terreno naturale
			γ'	=	peso specifico terreno saturo
			C _{uk}	=	coesione non drenata caratteristica
			C' _k	=	coesione efficace caratteristica
			Dr	=	densità relativa
			M ₀	=	modulo di deformazione edometrico
			E _s	=	modulo elastico
			ϕ _k	=	angolo d'attrito caratteristico

3.3 TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione dell'indagine geognostica eseguita in sito e in relazione alla tipologia dell'intervento in progetto, al fine di verificare la capacità portante del terreno sono state ipotizzate, al solo fine di effettuare il calcolo della capacità portante, **fondazioni superficiali dirette di tipo nastriforme in c.a.**, approfondite alla quota di **D = – 1.00 m** da p.c. attuale.

Per il calcolo della capacità portante del terreno si sono utilizzati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT eseguite. I parametri geotecnici del terreno e le dimensioni delle fondazioni considerate sono riassunti nella seguente tabella:

FONDAZIONI SUPERFICIALI DIRETTE IMPOSTATE SU PLATEA IN C.A.

- larghezza della base	B	=	1.00 m
- lunghezza della fondazione	B ^l	=	5.00 m
- profondità della quota di imposta	D	=	1.00 m da p.c.
- peso specifico terreno naturale sopra falda	γ	=	1800 kg/m ³ \approx 18.00 kN/m ³
- peso specifico terreno saturo	γ'	=	2100 kg/m ³ \approx 21.00 kN/m ³
- coesione non drenata caratteristica	C _{uk}	=	0.50 kg/cm ² \approx 50.0 kN/m ²
- coesione efficace caratteristica	C' _k	=	0.05 kg/cm ² \approx 5.0 kN/m ²
- angolo d'attrito caratteristico	φ_K	=	23°
- modulo di deformazione edometrico	Mo	=	40.0 kg/cm ² \approx 4000 kN/m ²
- modulo elastico	Es	=	70.0 kg/cm ² \approx 7000 kN/m ²
- profondità falda freatica	D	=	- 2.00 m da p.c.
- pendenza del terreno	β	=	\sim 0°
- classe di sismicità	Cs	=	3

I calcoli delle pressioni ammissibili sono stati eseguiti utilizzando l'equazione di **Terzaghi** per **fondazioni superficiali dirette di tipo nastriforme**, con la condizione a breve termine dove **Cu \neq 0** e **$\varphi = 0$** (condizione più gravosa).

Considerando, inoltre, un fattore di sicurezza **Fs = 3** si ottengono i seguenti risultati:

Pressione ammissibile Q_{amm} (Verifica a breve termine Cu \neq 0 e $\varphi = 0$)		
Quota di imposta	Pressione limite	Pressione ammissibile
- 1.00 m da p.c.	3.00 kg/cm ² \approx 300 kN/m ²	1.00 Kg/cm ² \approx 100 kN/m ²

3.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI

È stato eseguito il calcolo della distribuzione delle tensioni indotte al terreno di fondazione dagli interventi in progetto secondo il metodo di Newmark (**Allegato n. 2**).

Il metodo di Newmark si basa sul presupposto che il terreno di fondazione possa essere assimilato ad uno spazio semi-infinito a comportamento perfettamente elastico, omogeneo e isotropo.

Per la verifica dei cedimenti sono stati considerati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche CPT eseguite, ed i carichi applicati sul terreno ipotizzati sono illustrati nella tabella che segue. Tutto ciò premesso, utilizzando il *metodo di calcolo di Steinbrenner per gli strati coesivi*, si sono ottenuti i seguenti risultati:

Calcolo dei cedimenti immediati secondari e di consolidazione	
<p>Quota di imposta D = - 1.00 m da piano campagna</p> <p>Carico applicato sul terreno $\Delta P = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$</p>	
Metodo di calcolo dei cedimenti degli strati coesivi Steinbrenner	
Cedimento della fondazione	S = 2.48 cm
Cedimento totale strati coesivi	S = 2.48 cm
Cedimento totale terreno di fondazione	S = 2.48 cm

3.5 MODULO DI SOTTOFONDO

Il modello di Winkler considera il terreno come formato da una distribuzione di vincoli semplici bilaterali elastici. La relazione che ne regola il comportamento è di tipo lineare tra il cedimento (w) e la pressione di contatto (p): $p = kw$.

Il parametro k è detto costante di sottofondo. Come è noto, k non dipende solo dal terreno, ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e dimensioni della fondazione. Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 \cdot Q_{\text{lim}} \text{ effettivo applicato} \cdot F_c$$

dove $F_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (in cm)}$ e considerando i cedimenti di riferimento ed i carichi applicati al terreno di fondazione ottenuti dalle verifiche geotecniche eseguite, illustrate nell'**Allegato n. 2**, per ciascun intervento si ottengono i valori di costante di Winkler riassunti nella tabella seguente:

Modulo di sottofondo		
Cedimento di riferimento	Carico applicato sul terreno	Costante di Winkler
S = 2.48 cm	$\Delta P = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$	$1.23 \text{ kg/cm}^3 \approx 12300 \text{ kN/m}^3$

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

4.1 SISMICITÀ DELL'AREA

Secondo la classificazione sismica ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008 e successive modifiche, il Comune di **Medolla** (MO) risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

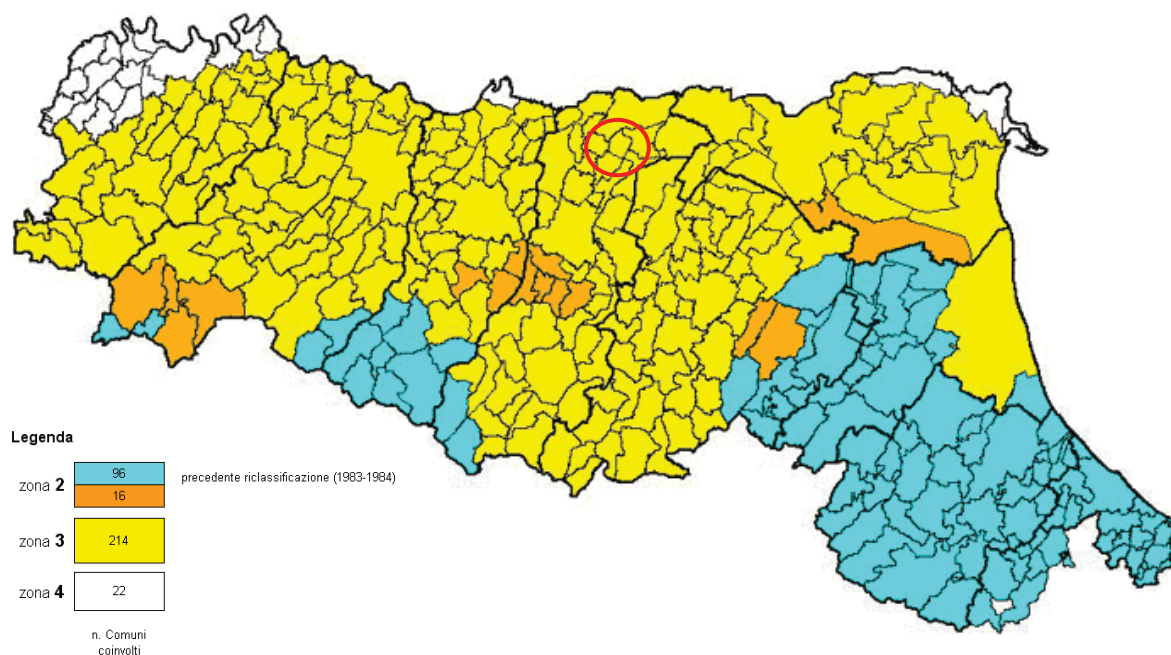


Fig. 4.1: Classificazione sismica ai sensi dell'OPCM 3274 dei comuni della regione Emilia-Romagna ed ubicazione del territorio comunale di Medolla.

Sulla base degli approfondimenti eseguiti, sono state definite le nuove **Norme tecniche delle Costruzioni**, con il **D.M. 14 gennaio 2008**, in cui l'azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche.

Si definisce, quindi, per ogni costruzione, un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.850436°, Longitudine 11.077932°, in relazione ad un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g pari a **$a_{g \text{ attesa}} = 0.149g$** .

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84
 Lat. Long.

(1)* Coordinate ED50
 Lat. Long.

Classe dell'edificio
 Il Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e si

Vita nominale
 (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.039	2.569	0.250
Danno (SLD)	50	0.050	2.494	0.268
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.149	2.588	0.269
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.201	2.535	0.276
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

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

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" (D.M. 14 Gennaio 2008) e tenendo conto dei dati ottenuti dall'**indagine geofisica eseguita in sito**, si classifica il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI V_{s30} COMPRESI TRA **180 M/S** E **360 M/S** (OVVERO CON VALORI DI **15 < N_{SPT,30} > 50** NEI TERRENI A GRANA GROSSA E **70 < C_{u30} > 250 KPA** NEI TERRENI A GRANA FINA)".

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

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

dove:

- F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.588**;
- 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 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.47**.

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

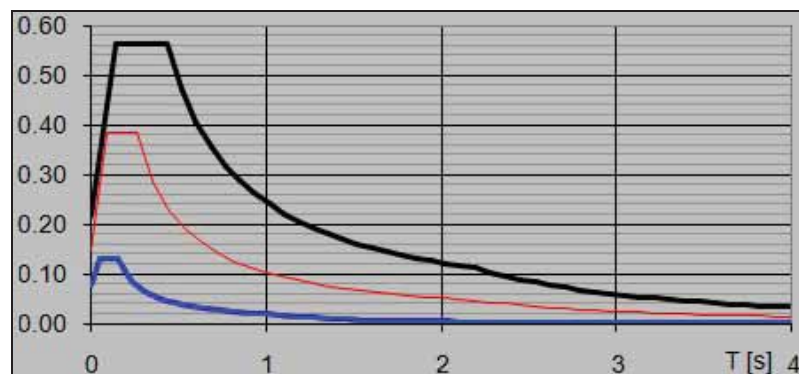
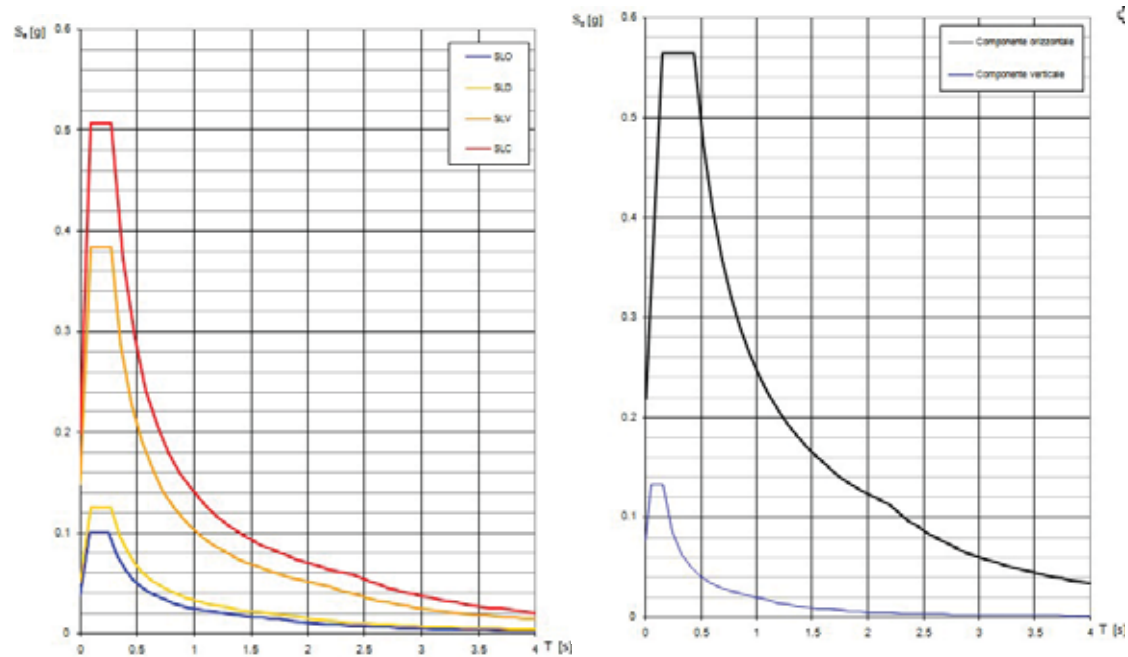
Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq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

Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona di pianura e appartenente, quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico S_T pari a **1.0**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico S_s e del fattore topografico S_T si procede al calcolo dell' accelerazione massima orizzontale A_{max} :

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.149g = 0.219g$$

Spettri di risposta del sito oggetto di studi



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

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 **15/05/2013**, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geofisiche:

- **n.1 indagine sismica, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW);**
- **n. 1 indagine sismica passiva Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura.**

In **Allegato n. 3** e **n. 4** sono presenti i grafici relativi ai risultati ottenuti dall'elaborazione dell'indagine sismica *MASW* e *HVSr* rispettivamente.

4.2.1 Sismica a rifrazione con metodo MASW

Per potere classificare con precisione l'area da un punto di vista sismico, sono state eseguite nell'area in oggetto n.1 indagine sismica con metodo MASW, i cui risultati sono riportati in **Allegato n. 3**.

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. 5.00 m da geofono 1 e 10.00 m da geofono 1) mediante grave da 8,0 kg di massa.

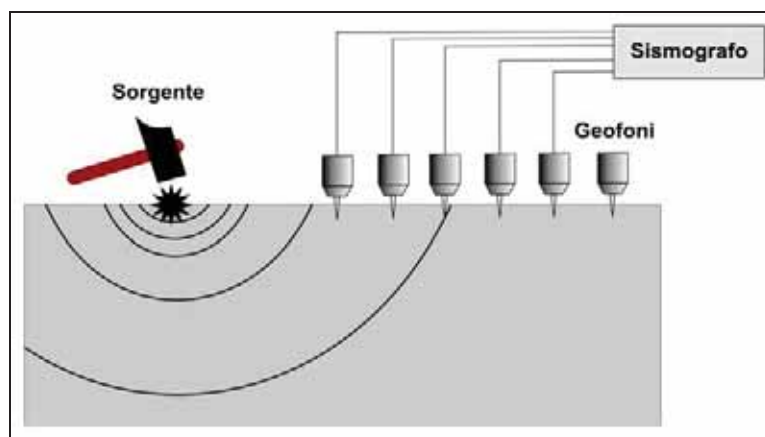


Fig. 3.2.1: Schema di Array lineare e punto energizzante.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. 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 V_s 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 **223 m/s**. 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).*

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

Sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione dell'indagine sismica HVSR non è stato riscontrato nessun picco di frequenza caratteristico del sito.

4.3 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE - 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 γ_F sono indicati nella seguente tabella:

CARICHI	EFFETTO	Coeff. Parziale γ_F (o γ_F)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
⁽¹⁾ 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. 4.3.1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Nella **Tab. n. 4.3.1** il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} = coefficiente parziale del peso proprio della struttura;

γ_{G2} = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_{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 γ_M specificato nella seguente tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera:

Parametro cui applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale γ_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}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_Y	1,00	1,00

Tab. 4.3.2: 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 γ_R relativi al particolare tipo di opera;
- 3) sulla base di misure dirette effettuate su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_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. 4.3.3: Coefficienti parziali γ_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 Terzaghi, i fattori correttivi z:

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

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

- A_{MAX} (ag/g): **0.219_g** (relativa a SLV; $T_r = 475$ anni);
- Coefficiente intensità sismica del terreno K_h : **0.053**.

Nel nostro caso specifico, 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** per l'intervento in progetto, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

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

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

Utilizzando, quindi, **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2)**, lo stato limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni “**non drenate**” dove **$C_u \neq 0$ e $\varphi = 0$** , applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata, secondo la

seguente relazione $C_{ud} = C_{uk} / 1.4$, dove C_{ud} = coesione non drenata di progetto e C_{uk} = coesione non drenata caratteristica, sarà pari a:

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.26 kg/cm ² \approx 126 kN/m ²

Utilizzando sempre **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2 + M2 + R2)** si è calcolato lo stato limite ultimo, in condizioni “drenate”, dove $C' \neq 0$ e $\varphi' \neq 0$, 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: $\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / 1.25$, dove φ'_d è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva il seguente valore ridotto: $\varphi'_d \approx 19^\circ$. Quindi, utilizzando la riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto, uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.21 kg/cm ² \approx 121 kN/m ²

CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.15 kg/cm ² \approx 115 kN/m ²

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

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 2.3
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.35 kg/cm ² \approx 135 kN/m ²

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni “drenate”, dove $C' \neq 0$ e $\varphi' \neq 0$, è stato considerato, sempre seguendo **l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3)** 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: $\tan \varphi'd = \tan \varphi'k / 1.0$, dove $\varphi'd$ è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva, essendo $\varphi'k = \varphi'd$ il seguente valore: $\varphi'd = 23^\circ$. Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 2.3
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.55 kg/cm ² \approx 155 kN/m ²

CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	1.00 m x 5.00 m	1.49 kg/cm ² \approx 149 kN/m ²

4.4 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 mobilitabile 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/s²;
 σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
 σ'_{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 $F_s > 1$;

Δz = 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

Dalla verifica alla liquefazione eseguita per l'area in oggetto secondo il Metodo di Robertson & Wride, considerando la prova penetrometrica CPT n. 2, è stato ottenuto un valore di **$IL = 0.0$** , indice di un **rischio di liquefazione “molto basso”** e il fattore di sicurezza calcolato ed esposto nel grafico (**Allegato n. 5**) è risultato per i potenziali stati liquefacibili sempre **$F_s > 1$** considerando una magnitudo di riferimento **$M = 6$** , una accelerazione massima al suolo **$A_{max} = 0.219g$ (secondo D.M. 14/01/2008)** e considerando la soggiacenza della falda freatica alla profondità di -2.00 m da p.c..

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione, riguardante lo studio di un'area interessata dalla realizzazione del magazzino comunale di Medolla (MO), sito in Via Grande, è stata redatta ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

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). Nel nostro caso specifico, poiché le fondazioni poggiano su uno strato di terreni coesivi, 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 per l'intervento in progetto, 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 ipotizzando fondazioni superficiali dirette di tipo nastriforme in c.a., approfondite alla quota D = - 1.00 m da p.c..**

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	CONDIZIONI DRENATE		CONDIZIONI NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE	
		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE
1.00 kg/cm ² ≈ 100 kN/m ²	1.26 kg/cm ² ≈ 126 kN/m ²	1.21 kg/cm ² ≈ 121 kN/m ²	1.15 kg/cm ² ≈ 115 kN/m ²	1.35 kg/cm ² ≈ 135 kN/m ²	1.55 kg/cm ² ≈ 1.55 N/m ²	1.49 kg/cm ² ≈ 149 kN/m ²

I cedimenti per consolidazione primari e secondari del terreno di fondazione sono risultati modesti e ammissibili per il fabbricato in oggetto. Inoltre tali cedimenti sono da considerarsi già avvenuti in quanto il fabbricato insiste sull'area da diversi anni, infatti i calcoli sopra riportati si riferiscono ad un terreno vergine mai precaricato.

In base alla nuova classificazione sismica, redatta al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale, il Comune di Medolla ricade in **classe 3**.

Sulla base dei risultati ottenuti dall'indagini sismica Masw eseguita in corrispondenza dell'area di studio, è stato ottenuto il seguente valore:

MASW	Vs30 = 223 m/s	categoria C
-------------	-----------------------	--------------------

Secondo la classificazione del suolo della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**) 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).*

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_g in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 475 anni. Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (ED50): Latitudine: 44.850436°, Longitudine 11.077932°, tale parametro è risultato pari ad **$a_{g\text{ attesa}} = 0.149g$** .

Tale valore si riferisce al bedrock; dopo gli opportuni calcoli, si ottiene il seguente valore di **$A_{max} = 0.219g$** .

La verifica alla liquefazione, eseguita secondo il metodo di **Robertson e Wride** ha fornito valore di “**indice di liquefacibilità**” **IL = 0.0**, segno di un **rischio di liquefazione “molto basso”**.

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

Modena, 18 Dicembre 2013

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

Tavola CTR n° 184 SO *Mirandola*



Tav. n. 1 "Carta Corografica"
Scala 1: 25000



Legenda

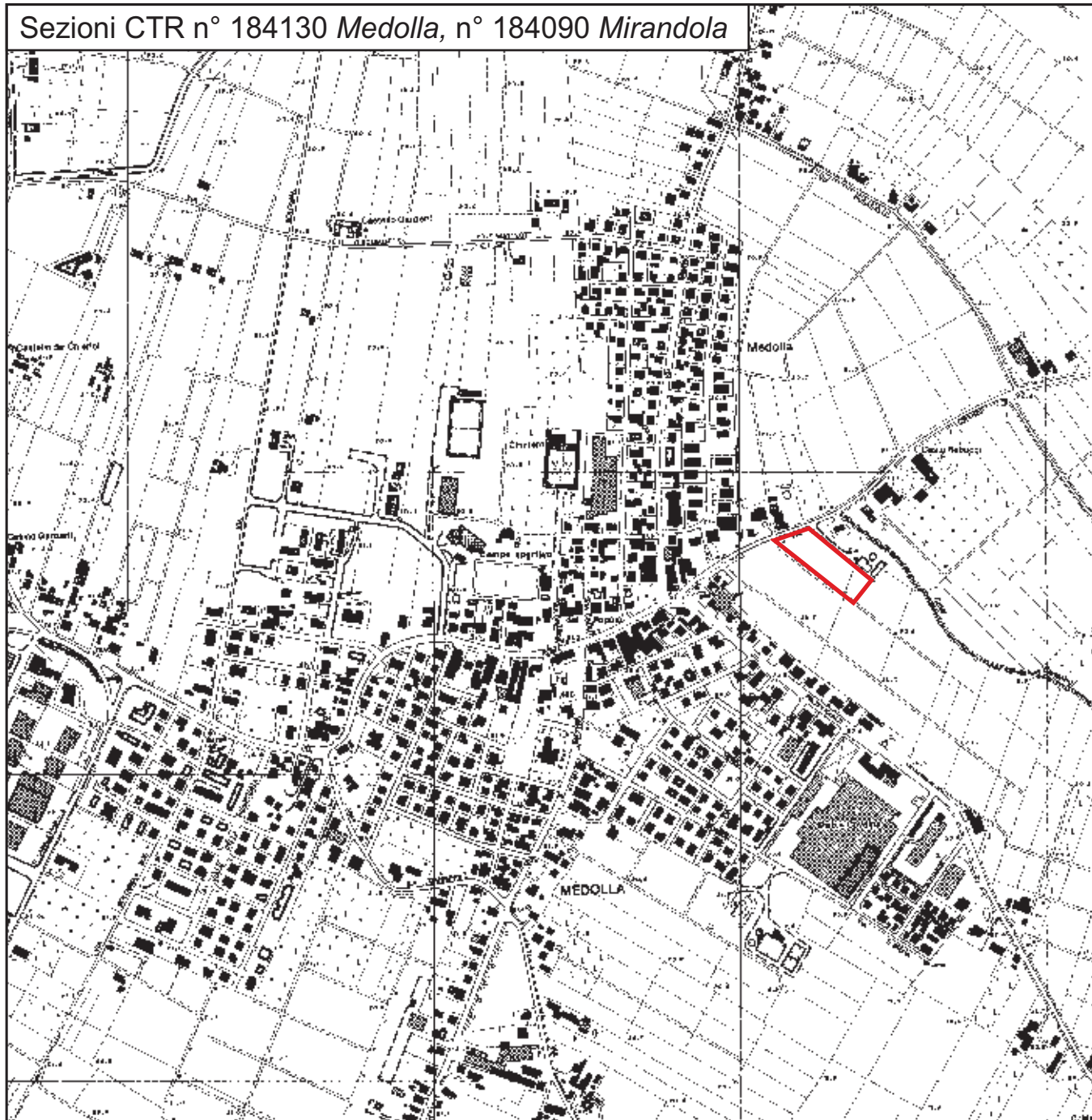


Area di interesse

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

Sezioni CTR n° 184130 *Medolla*, n° 184090 *Mirandola*



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 “Bing Maps”)

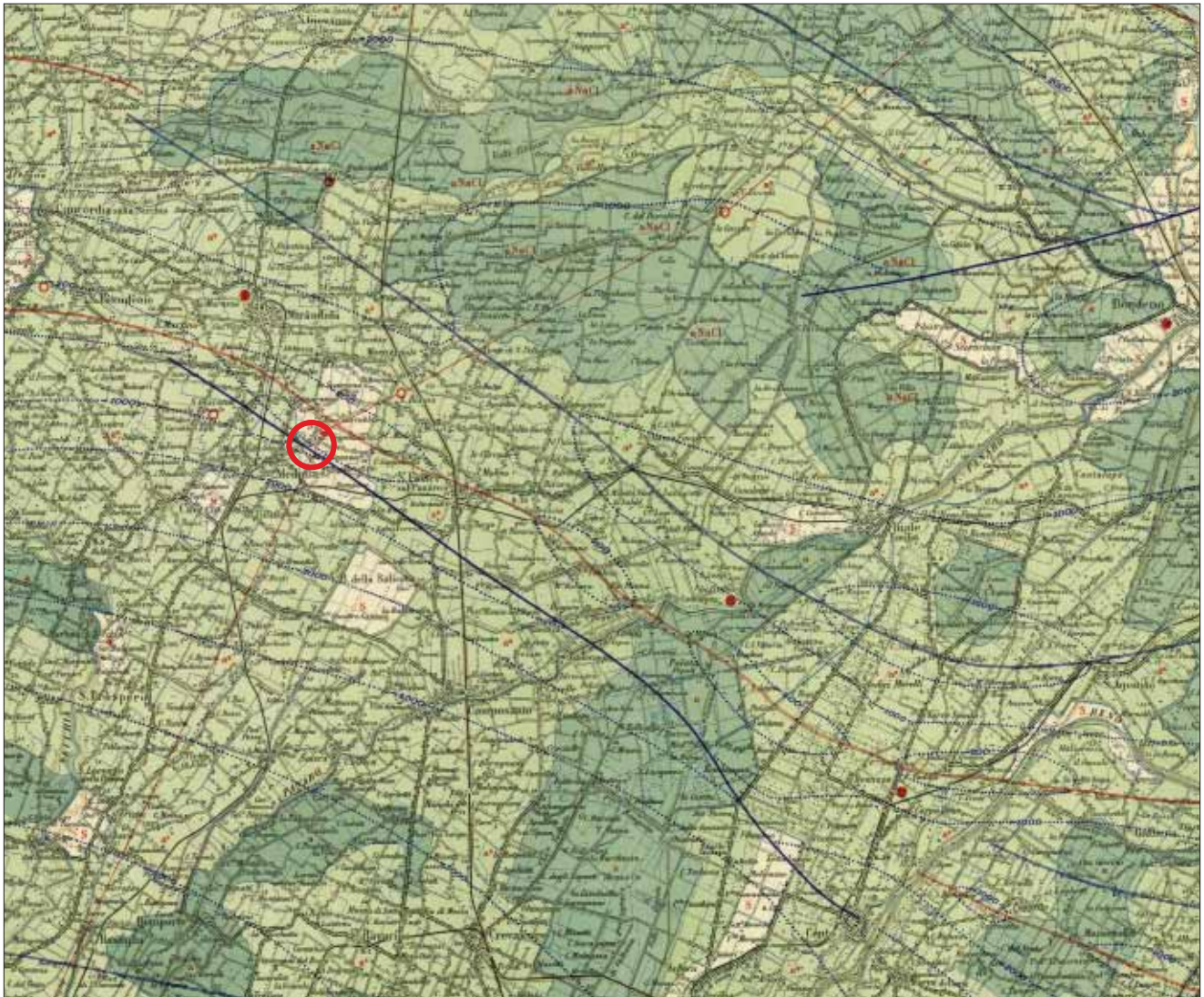
Scala grafica



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: 100000



Legenda



Area di interesse

Litologia di superficie



S-Sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi



a^s-argille sabbiose e sabbie argillose

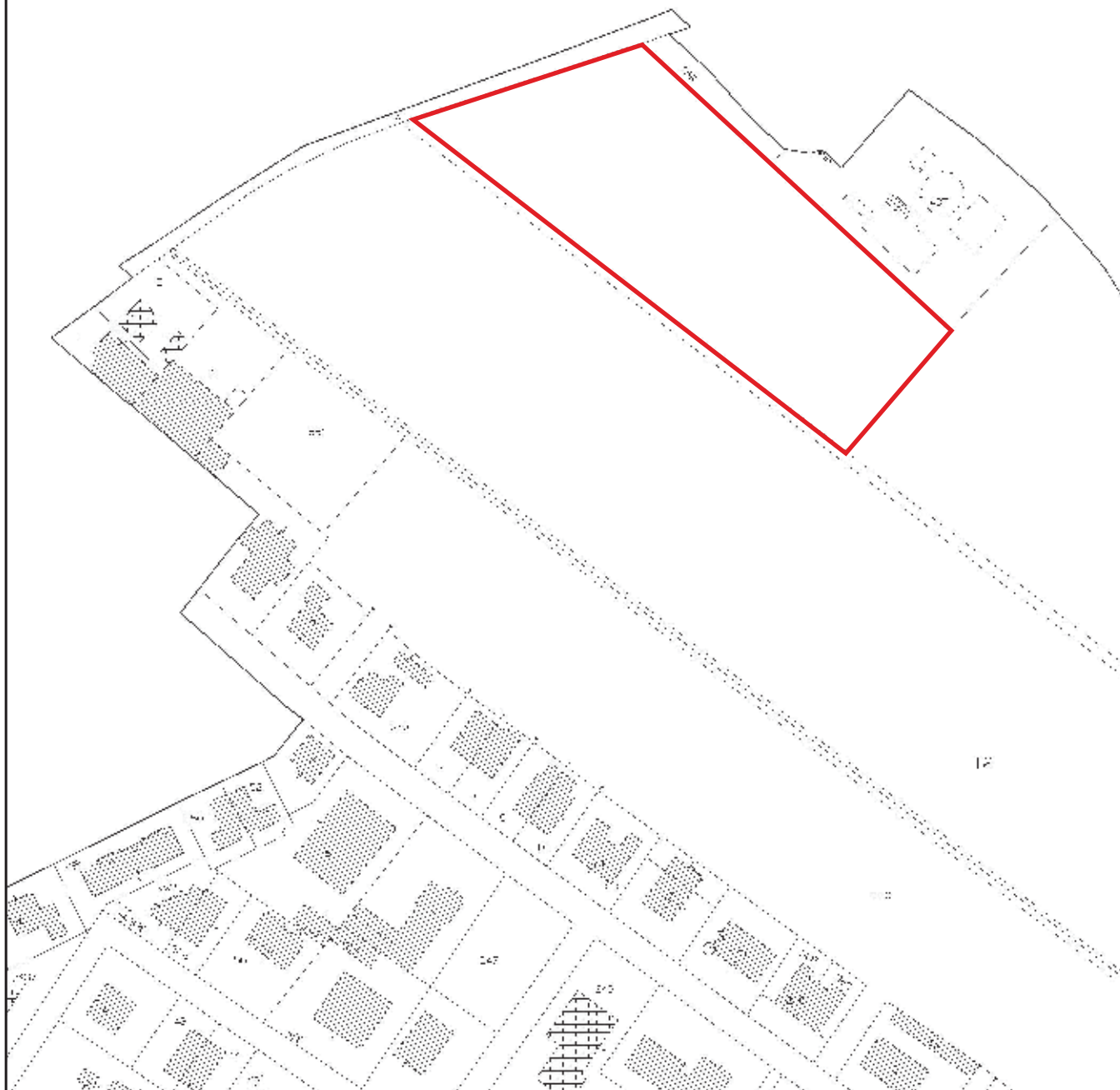


a-argille e terreni prevalentemente argillosi

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

Foglio 12 - Mappale 12



Tav. n. 5 “Planimetria catastale”

Scala 1:2000



Legenda



Area di interesse

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:
GOUDA 200 kN -

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

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

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

CONVERSIONI

$1 \text{ kN (kiloNewton)} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t}$
 $1 \text{ MN (megaNewton)} = 1.000 \text{ kN} = 1.000.000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$
 $1 \text{ kPa (kiloPascal)} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$
 $1 \text{ MPa (megaPascal)} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1.000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$
 $1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ MPa}$
 $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$

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 $FR = (f_s / q_c) \%$:

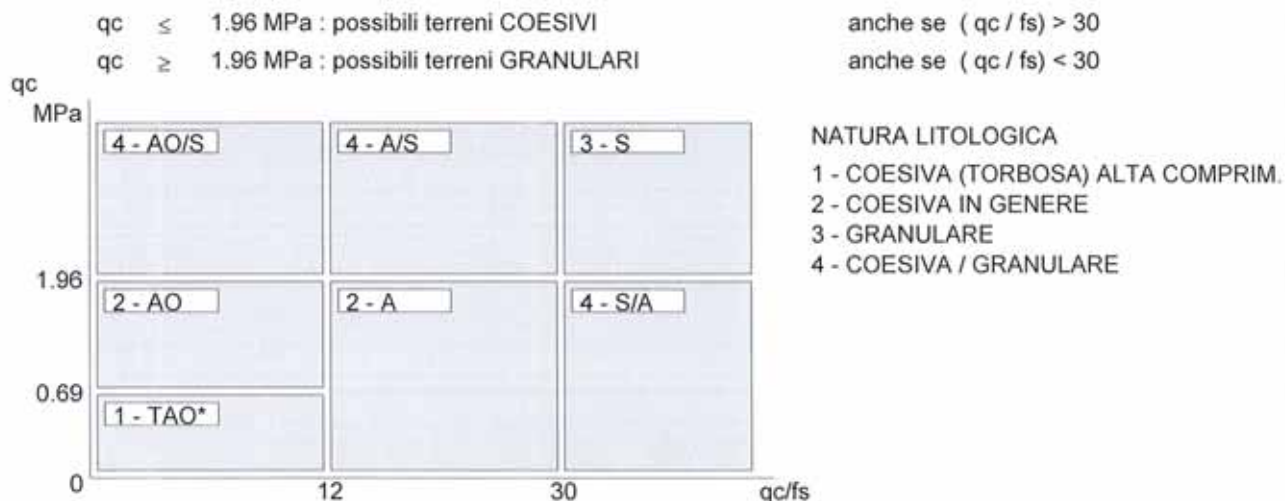
- AO	= argilla organica e terreni misti
- Att	= argilla (inorganica) molto tenera
- At	= argilla (inorganica) tenera
- Am	= argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	= argilla (inorganica) consistente
- Acc	= argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	= argilla sabbiosa e limosa
- SAL	= sabbia 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.

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

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



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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p - $I_p = \text{ind.plast.}$]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- \emptyset' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : \emptyset' - Dr - q_c - σ'_{vo})
 \emptyset_{Ca} - Caquot (1948) \emptyset_{Ko} - Koppejan (1948)
 \emptyset_{DB} - De Beer (1965) \emptyset_{Sc} - Schmertmann (1978)
 \emptyset_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) \emptyset_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità) (Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g) - Dr]
- Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

1

referimento

176-2013

certificato n°

4296

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Medolla, via grande**

U.M.: **MPa** Data esec.: **08/05/2013**
Pagina: **1/4** Data certificato: **09/05/2013**
Elaborato: Falda: **-2.00 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	133.00	0		15.20	92.00	116.00		9.02	247.00	37	2.7
0.40	35.00	55.00		3.43	93.00	38	2.7	15.40	68.00	105.00		6.66	447.00	15	6.6
0.60	30.00	44.00		2.94	220.00	14	7.3	15.60	73.00	140.00		7.15	380.00	19	5.2
0.80	15.00	48.00		1.47	127.00	12	8.5	15.80	150.00	207.00		14.70	547.00	27	3.6
1.00	11.00	30.00		1.08	120.00	9	10.9	16.00	130.00	212.00		12.74	460.00	28	3.5
1.20	10.00	28.00		0.98	80.00	13	8.0	16.20	147.00	216.00		14.41	553.00	27	3.8
1.40	13.00	25.00		1.27	60.00	22	4.6	16.40	147.00	230.00		14.41	553.00	27	3.8
1.60	10.00	19.00		0.98	80.00	13	8.0	16.60	144.00	227.00		14.11	493.00	29	3.4
1.80	7.00	19.00		0.69	40.00	18	5.7	16.80	142.00	216.00		13.92	507.00	28	3.6
2.00	10.00	16.00		0.98	20.00	50	2.0	17.00	140.00	216.00		13.72	547.00	26	3.9
2.20	11.00	14.00		1.08	47.00	23	4.3	17.20	139.00	221.00		13.62	600.00	23	4.3
2.40	8.00	15.00		0.78	67.00	12	8.4	17.40	153.00	243.00		14.99			
2.60	6.00	16.00		0.59	53.00	11	8.8								
2.80	7.00	15.00		0.69	20.00	35	2.9								
3.00	8.00	11.00		0.78	47.00	17	5.9								
3.20	13.00	20.00		1.27	47.00	28	3.6								
3.40	14.00	21.00		1.37	73.00	19	5.2								
3.60	8.00	19.00		0.78	53.00	15	6.6								
3.80	8.00	16.00		0.78	40.00	20	5.0								
4.00	10.00	16.00		0.98	53.00	19	5.3								
4.20	10.00	18.00		0.98	73.00	14	7.3								
4.40	9.00	20.00		0.88	60.00	15	6.7								
4.60	11.00	20.00		1.08	53.00	21	4.8								
4.80	7.00	15.00		0.69	33.00	21	4.7								
5.00	11.00	16.00		1.08	33.00	33	3.0								
5.20	7.00	12.00		0.69	33.00	21	4.7								
5.40	8.00	13.00		0.78	53.00	15	6.6								
5.60	13.00	21.00		1.27	60.00	22	4.6								
5.80	9.00	18.00		0.88	40.00	23	4.4								
6.00	8.00	14.00		0.78	33.00	24	4.1								
6.20	8.00	13.00		0.78	53.00	15	6.6								
6.40	7.00	15.00		0.69	67.00	10	9.6								
6.60	9.00	19.00		0.88	47.00	19	5.2								
6.80	7.00	14.00		0.69	33.00	21	4.7								
7.00	7.00	12.00		0.69	40.00	18	5.7								
7.20	10.00	16.00		0.98	40.00	25	4.0								
7.40	13.00	19.00		1.27	47.00	28	3.6								
7.60	8.00	15.00		0.78	47.00	17	5.9								
7.80	8.00	15.00		0.78	47.00	17	5.9								
8.00	9.00	16.00		0.88	53.00	17	5.9								
8.20	8.00	16.00		0.78	67.00	12	8.4								
8.40	14.00	24.00		1.37	93.00	15	6.6								
8.60	15.00	29.00		1.47	73.00	21	4.9								
8.80	15.00	26.00		1.47	67.00	22	4.5								
9.00	14.00	24.00		1.37	67.00	21	4.8								
9.20	15.00	25.00		1.47	80.00	19	5.3								
9.40	11.00	23.00		1.08	60.00	18	5.5								
9.60	15.00	24.00		1.47	80.00	19	5.3								
9.80	15.00	27.00		1.47	80.00	19	5.3								
10.00	16.00	28.00		1.57	53.00	30	3.3								
10.20	18.00	26.00		1.76	73.00	25	4.1								
10.40	19.00	30.00		1.86	113.00	17	5.9								
10.60	20.00	37.00		1.96	113.00	18	5.7								
10.80	20.00	37.00		1.96	113.00	18	5.7								
11.00	24.00	41.00		2.35	120.00	20	5.0								
11.20	21.00	39.00		2.06	120.00	18	5.7								
11.40	20.00	38.00		1.96	47.00	43	2.4								
11.60	18.00	25.00		1.76	140.00	13	7.8								
11.80	27.00	48.00		2.65	140.00	19	5.2								
12.00	21.00	42.00		2.06	113.00	19	5.4								
12.20	25.00	42.00		2.45	107.00	23	4.3								
12.40	23.00	39.00		2.25	207.00	11	9.0								
12.60	38.00	69.00		3.72	240.00	16	6.3								
12.80	39.00	75.00		3.82	247.00	16	6.3								
13.00	52.00	89.00		5.10	260.00	20	5.0								
13.20	26.00	65.00		2.55	200.00	13	7.7								
13.40	40.00	70.00		3.92	153.00	26	3.8								
13.60	37.00	60.00		3.63	227.00	16	6.1								
13.80	37.00	71.00		3.63	167.00	22	4.5								
14.00	46.00	71.00		4.51	240.00	19	5.2								
14.20	36.00	72.00		3.53	167.00	22	4.6								
14.40	20.00	45.00		1.96	160.00	13	8.0								
14.60	18.00	42.00		1.76	133.00	14	7.4								
14.80	19.00	39.00		1.86	127.00	15	6.7								
15.00	25.00	44.00		2.45	160.00	16	6.4								

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

CPT

1

referimento

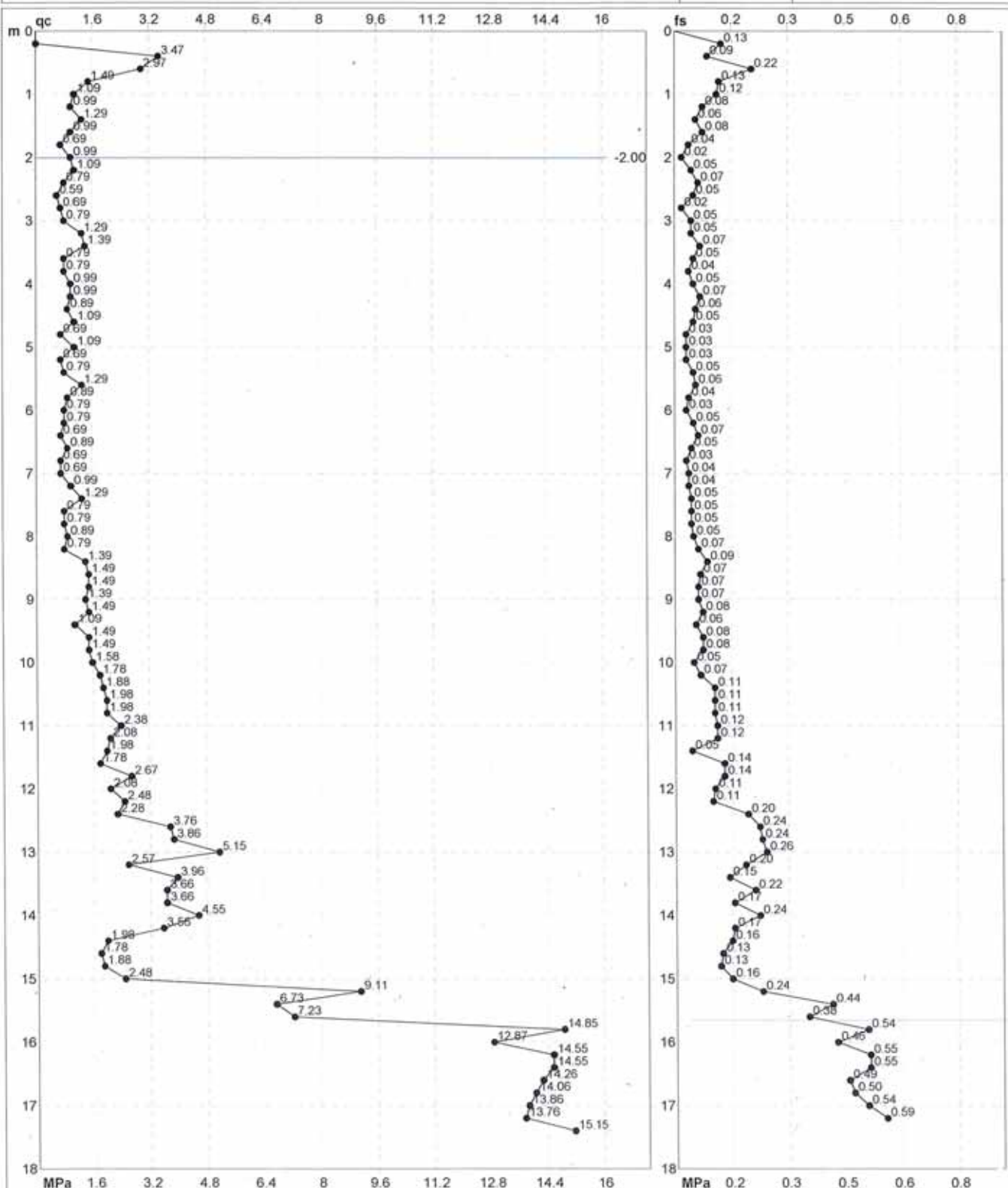
176-2013

certificato n°

4296

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Medolla, via grande**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:90**
Pagina: **2/4**
Elaborato:
Data esecuzione: **08/05/2013**
Data certificato: **09/05/2013**
Falda: **-2.00 m** da p.c.



Penetrometro: **GOUDA 200 kN**
Responsabile:
Assistente:

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

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

1

referimento

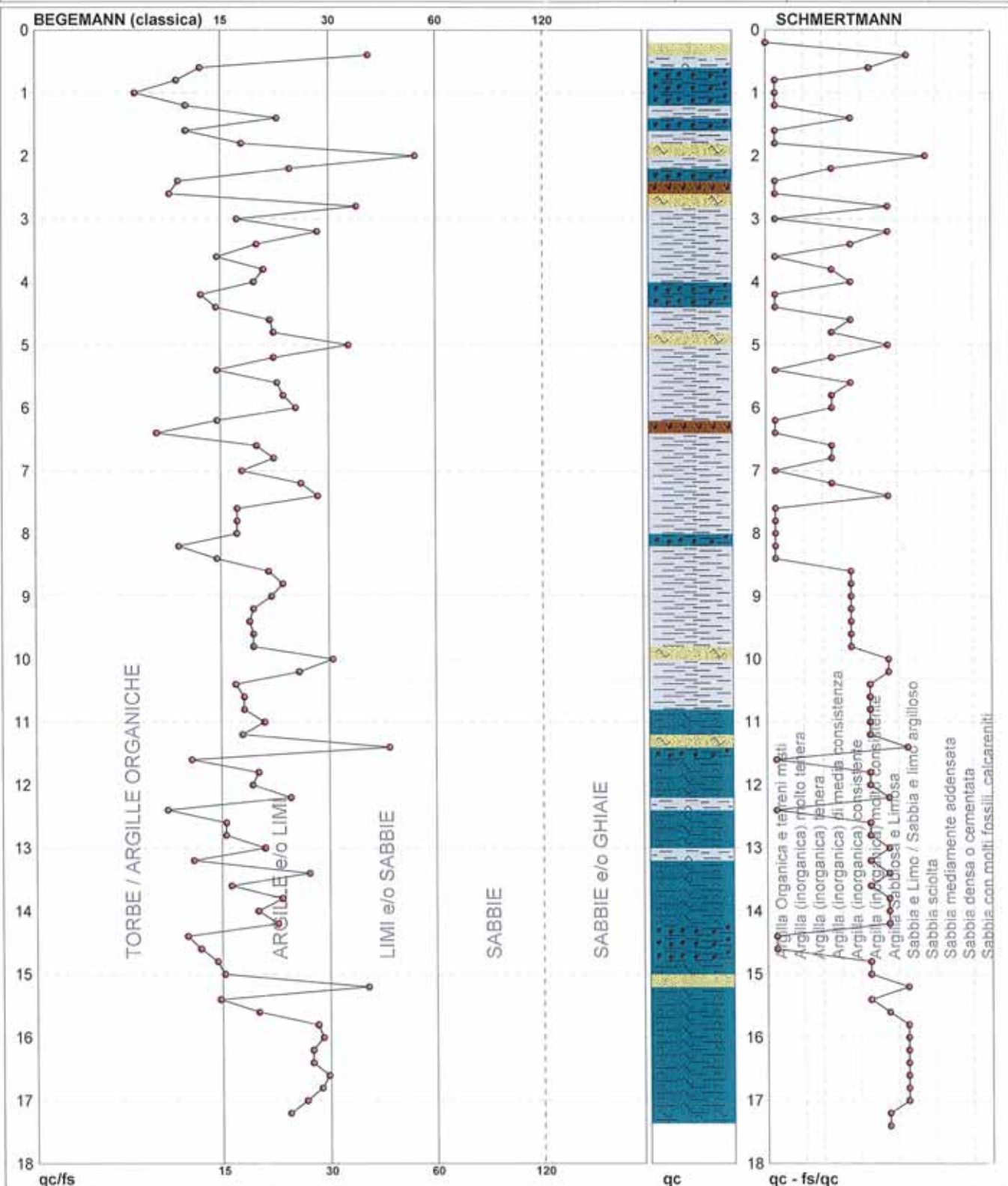
176-2013

certificato n°

4296

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Medolla, via grande**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:90**
Pagina: **3/4**
Elaborato:
Data esec.: **08/05/2013**
Data certificato: **09/05/2013**
Falda: **-2.00 m** da p.c.



Torbe / Argille org. : 18 punti, 20.22%
Argille e/o Limi : 61 punti, 68.54%
Limi e/o Sabbie : 7 punti, 7.87%

Argilla Organica e terreni misti: 24 punti, 26.97%
Argilla (inorganica) media consist.: 9 punti, 10.11%
Argilla (inorganica) consistente: 12 punti, 13.48%
Argilla (inorganica) molto consist.: 15 punti, 16.85%

Argilla Sabbiosa e Limosa: 14 punti, 15.73%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.: 10 punti, 11.24%
Sabbia sciolta: 1 punto, 1.12%

Argilla Organica e terreni misti: 24 punti, 26.97%
Argilla (inorganica) molto tenera: 9 punti, 10.11%
Argilla (inorganica) tenera: 12 punti, 13.48%
Argilla (inorganica) di media consistenza: 15 punti, 16.85%
Argilla (inorganica) consistente: 14 punti, 15.73%
Argilla (inorganica) molto consistente: 10 punti, 11.24%
Argilla Sabbiosa e Limosa: 1 punto, 1.12%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

1

riferimento

176-2013

certificato n°

4296

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Medolla, via grande**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **08/05/2013**
Pagina: **4/4** Data certificato: **09/05/2013**
Elaborato: **Falda: -2.00 m da p.c.**

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ^* U/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ_{Sc} (°)	ϕ_{Ca} (°)	ϕ_{Ko} (°)	ϕ_{DB} (°)	ϕ_{DM} (°)	ϕ_{Me} (°)	F.L. U.M.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	--	--		1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	3.43	37.63		1.89	7.3	211	--	--	--	--	--	--	99	46	40	38	35	44	29	2.00	5.7	8.6	10.3
0.60	2.94	13.64		1.96	11.2	199	98.0	94.9	16.7	25.0	8.8	84	45	37	35	32	41	29	--	--	4.9	7.4	8.8
0.80	1.47	11.81		1.95	15.0	154	65.3	39.6	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.08	9.17		1.91	18.7	137	52.6	22.8	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.98	12.50		1.90	22.5	132	49.0	16.7	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	1.27	21.67		1.93	26.2	145	59.3	17.4	10.1	15.1	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	0.98	12.50		1.90	30.0	132	49.0	11.6	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	0.69	17.50		1.84	33.6	115	34.3	6.5	8.7	13.0	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.98	50.00		0.86	35.3	132	49.0	9.5	8.5	12.7	3.9	18	39	26	23	22	30	26	--	1.6	2.5	2.9	--
2.20	1.08	23.40		0.91	37.0	137	52.6	9.7	9.0	13.5	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.78	11.94		0.86	38.7	121	39.2	6.4	10.1	15.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.59	11.32		0.46	39.6	109	29.4	4.3	2.0	3.0	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.69	35.00		0.83	41.3	115	34.3	5.0	11.4	17.1	3.2	2	38	24	20	19	27	26	--	1.1	1.7	2.1	--
3.00	0.78	17.02		0.86	42.9	121	39.2	5.6	11.6	17.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1.27	27.66		0.93	44.8	145	59.3	8.9	10.6	15.9	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1.37	19.18		0.94	46.6	150	62.4	9.0	11.1	16.6	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.78	15.09		0.86	48.3	121	39.2	4.8	13.4	20.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0.78	20.00		0.86	50.0	121	39.2	4.6	13.9	20.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.98	18.87		0.90	51.7	132	49.0	5.9	13.8	20.7	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.98	13.70		0.90	53.5	132	49.0	5.6	14.4	21.6	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.88	15.00		0.88	55.2	127	44.1	4.7	15.3	23.0	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1.08	20.75		0.91	57.0	137	52.6	5.7	15.3	23.0	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.69	21.21		0.84	58.7	115	34.3	3.2	16.3	24.5	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1.08	33.33		0.87	60.4	137	52.6	5.3	16.5	24.8	4.2	8	39	24	21	20	27	26	--	1.8	2.7	3.2	--
5.20	0.69	21.21		0.84	62.0	115	34.3	3.0	16.9	25.4	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.78	15.09		0.86	63.7	121	39.2	3.4	17.9	26.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	1.27	21.67		0.93	65.5	145	59.3	5.5	17.7	26.6	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.88	22.50		0.88	67.2	127	44.1	3.7	19.0	28.5	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.78	24.24		0.86	68.9	121	39.2	3.1	19.0	28.5	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.78	15.09		0.86	70.6	121	39.2	3.0	19.3	29.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.69	10.45		0.46	71.5	115	34.3	2.5	3.8	5.7	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.88	19.15		0.88	73.2	127	44.1	3.3	20.5	30.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.69	21.21		0.84	74.9	115	34.3	2.4	18.5	27.7	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.69	17.50		0.84	76.5	115	34.3	2.3	18.6	27.9	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.98	25.00		0.90	78.3	132	49.0	3.5	22.1	33.1	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	1.27	27.66		0.93	80.1	145	59.3	4.3	22.4	33.6	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	0.78	17.02		0.86	81.8	121	39.2	2.5	20.8	31.2	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	0.78	17.02		0.86	83.5	121	39.2	2.4	20.9	31.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	0.88	16.98		0.88	85.2	127	44.1	2.8	22.6	33.9	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	0.78	11.94		0.86	86.9	121	39.2	2.3	21.2	31.8	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	1.37	15.05		0.94	88.7	150	62.4	4.0	24.8	37.1	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	1.47	20.55		0.95	90.6	154	65.3	4.2	25.3	38.0	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	1.47	22.39		0.95	92.5	154	65.3	4.1	25.8	38.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	1.37	20.90		0.94	94.3	150	62.4	3.7	26.6	39.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	1.47	18.75		0.95	96.2	154	65.3	3.9	27.0	40.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	1.08	18.33		0.91	98.0	137	52.6	2.9	26.4	39.6	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	1.47	18.75		0.95	99.8	154	65.3	3.7	28.2	42.3	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	1.47	18.75		0.95	101.7	154	65.3	3.6	28.7	43.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	1.57	30.19		0.90	103.4	157	68.2	3.7	29.2	43.8	5.1	8	39	23	20	19	26	27	--	2.6	3.9	4.7	--
10.20	1.76	24.66		0.98	105.4	164	73.5	4.0	29.4	44.1	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	1.86	16.81		0.99	107.3	168	76.0	4.1	30.0	44.9	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	1.96	17.70		0.93	109.1	171	78.4	4.2	30.5	45.7	5.9	14	39	24	21	20	27	27	--	3.3	4.9	5.9	--
10.80	1.96	17.70		0.93	110.9	171	78.4	4.1	31.0	46.4	5.9	14	39	24	21	20	27	27	--	3.3	4.9	5.9	--
11.00	2.35	20.00		0.94	112.8	183	87.1	4.5	31.4	47.2	7.1	20	40	25	22	20	28	28	--	3.9	5.9	7.1	--
11.20	2.06	17.50		0.93	114.6	174	80.7	4.1	32.0	48.0	6.2	15	39	24	21	20	27	27	--	3.4	5.1	6.2	--
11.40	1.96	42.55		0.93	116.4	171	78.4	3.8	32.7	49.1	5.9	12	39	24	20	19	27	27	--	3.3	4.9	5.9	--
11.60	1.76	12.86		0.98	118.3	164	73.5	3.5	33.3	50.0	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	2.65	19.29		0.95	120.2	192	92.8	4.5	33.5	50.3	7.9	22	40	25	22	21	29	28	--	4.4	6.6	7.9	--
12.00	2.06	18.58		0.93	122.0	174	80.7	3.7	34.4	51.6	6.2	13	39	24	20	19	27	27	--	3.4	5.1	6.2	--
12.20	2.45	23.36		0.94	123.9	186	89.1	4.2	34.6	51.9	7.4	19	39	25	21	20	28	28	--	4.1	6.1	7.4	--
12.40	2.25	11.11		0.94	125.7	180	85.1	3.9	35.3	53.0	6.8	15	39	24	21	20	27						

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

2

referimento

176-2013

certificato n°

4297

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Medolla, via grande**

U.M.: **MPa** Data esec.: **08/05/2013**
Pagina: **1/4** Data certificato: **09/05/2013**
Elaborato: Falda: **-2.00 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	73.00	0		15.20	113.00	180.00		11.07	467.00	24	4.1
0.40	18.00	29.00		1.76	67.00	27	3.7	15.40	135.00	205.00		13.23	573.00	24	4.2
0.60	20.00	30.00		1.96	147.00	14	7.4	15.60	117.00	203.00		11.47	533.00	22	4.6
0.80	10.00	32.00		0.98	147.00	7	14.7	15.80	124.00	204.00		12.15	500.00	25	4.0
1.00	10.00	32.00		0.98	107.00	9	10.7	16.00	132.00	207.00		12.94	560.00	24	4.2
1.20	72.00	88.00		7.06	147.00	49	2.0	16.20	128.00	212.00		12.54	627.00	20	4.9
1.40	55.00	77.00		5.39	240.00	23	4.4	16.40	134.00	228.00		13.13	533.00	25	4.0
1.60	77.00	113.00		7.55	333.00	23	4.3	16.60	127.00	207.00		12.45	707.00	18	5.6
1.80	34.00	84.00		3.33	93.00	37	2.7	16.80	132.00	238.00		12.94	627.00	21	4.8
2.00	23.00	37.00		2.25	87.00	26	3.8	17.00	135.00	229.00		13.23	547.00	25	4.1
2.20	13.00	26.00		1.27	27.00	48	2.1	17.20	167.00	249.00		16.37	740.00	23	4.4
2.40	11.00	15.00		1.08	73.00	15	6.6	17.40	152.00	263.00		14.90			
2.60	15.00	26.00		1.47	60.00	25	4.0								
2.80	15.00	24.00		1.47	60.00	25	4.0								
3.00	15.00	24.00		1.47	40.00	38	2.7								
3.20	18.00	24.00		1.76	40.00	45	2.2								
3.40	19.00	25.00		1.86	47.00	40	2.5								
3.60	25.00	32.00		2.45	33.00	76	1.3								
3.80	23.00	28.00		2.25	20.00	115	0.9								
4.00	29.00	32.00		2.84	53.00	55	1.8								
4.20	10.00	18.00		0.98	67.00	15	6.7								
4.40	15.00	25.00		1.47	60.00	25	4.0								
4.60	25.00	34.00		2.45	47.00	53	1.9								
4.80	7.00	14.00		0.69	20.00	35	2.9								
5.00	5.00	8.00		0.49	40.00	13	8.0								
5.20	8.00	14.00		0.78	27.00	30	3.4								
5.40	9.00	13.00		0.88	47.00	19	5.2								
5.60	9.00	16.00		0.88	47.00	19	5.2								
5.80	7.00	14.00		0.69	40.00	18	5.7								
6.00	6.00	12.00		0.59	33.00	18	5.5								
6.20	6.00	11.00		0.59	33.00	18	5.5								
6.40	10.00	15.00		0.98	47.00	21	4.7								
6.60	10.00	17.00		0.98	40.00	25	4.0								
6.80	7.00	13.00		0.69	20.00	35	2.9								
7.00	8.00	11.00		0.78	33.00	24	4.1								
7.20	12.00	17.00		1.18	40.00	30	3.3								
7.40	17.00	23.00		1.67	93.00	18	5.5								
7.60	15.00	29.00		1.47	87.00	17	5.8								
7.80	14.00	27.00		1.37	60.00	23	4.3								
8.00	14.00	23.00		1.37	100.00	14	7.1								
8.20	14.00	29.00		1.37	93.00	15	6.6								
8.40	14.00	28.00		1.37	80.00	18	5.7								
8.60	17.00	29.00		1.67	73.00	23	4.3								
8.80	15.00	26.00		1.47	67.00	22	4.5								
9.00	10.00	20.00		0.98	60.00	17	6.0								
9.20	11.00	20.00		1.08	53.00	21	4.8								
9.40	13.00	21.00		1.27	73.00	18	5.6								
9.60	12.00	23.00		1.18	40.00	30	3.3								
9.80	14.00	20.00		1.37	67.00	21	4.8								
10.00	12.00	22.00		1.18	60.00	20	5.0								
10.20	12.00	21.00		1.18	73.00	16	6.1								
10.40	13.00	24.00		1.27	60.00	22	4.6								
10.60	16.00	25.00		1.57	67.00	24	4.2								
10.80	25.00	35.00		2.45	87.00	29	3.5								
11.00	33.00	46.00		3.23	160.00	21	4.8								
11.20	33.00	57.00		3.23	133.00	25	4.0								
11.40	30.00	50.00		2.94	127.00	24	4.2								
11.60	25.00	44.00		2.45	100.00	25	4.0								
11.80	23.00	38.00		2.25	93.00	25	4.0								
12.00	15.00	29.00		1.47	87.00	17	5.8								
12.20	20.00	33.00		1.96	87.00	23	4.4								
12.40	33.00	46.00		3.23	187.00	18	5.7								
12.60	30.00	58.00		2.94	127.00	24	4.2								
12.80	38.00	57.00		3.72	187.00	20	4.9								
13.00	30.00	58.00		2.94	153.00	20	5.1								
13.20	34.00	57.00		3.33	133.00	26	3.9								
13.40	33.00	53.00		3.23	173.00	19	5.2								
13.60	20.00	46.00		1.96	107.00	19	5.4								
13.80	16.00	32.00		1.57	93.00	17	5.8								
14.00	18.00	32.00		1.76	113.00	16	6.3								
14.20	21.00	38.00		2.06	133.00	16	6.3								
14.40	24.00	44.00		2.35	133.00	18	5.5								
14.60	40.00	60.00		3.92	160.00	25	4.0								
14.80	71.00	95.00		6.96	220.00	32	3.1								
15.00	120.00	153.00		11.76	447.00	27	3.7								

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

CPT

2

riferimento

176-2013

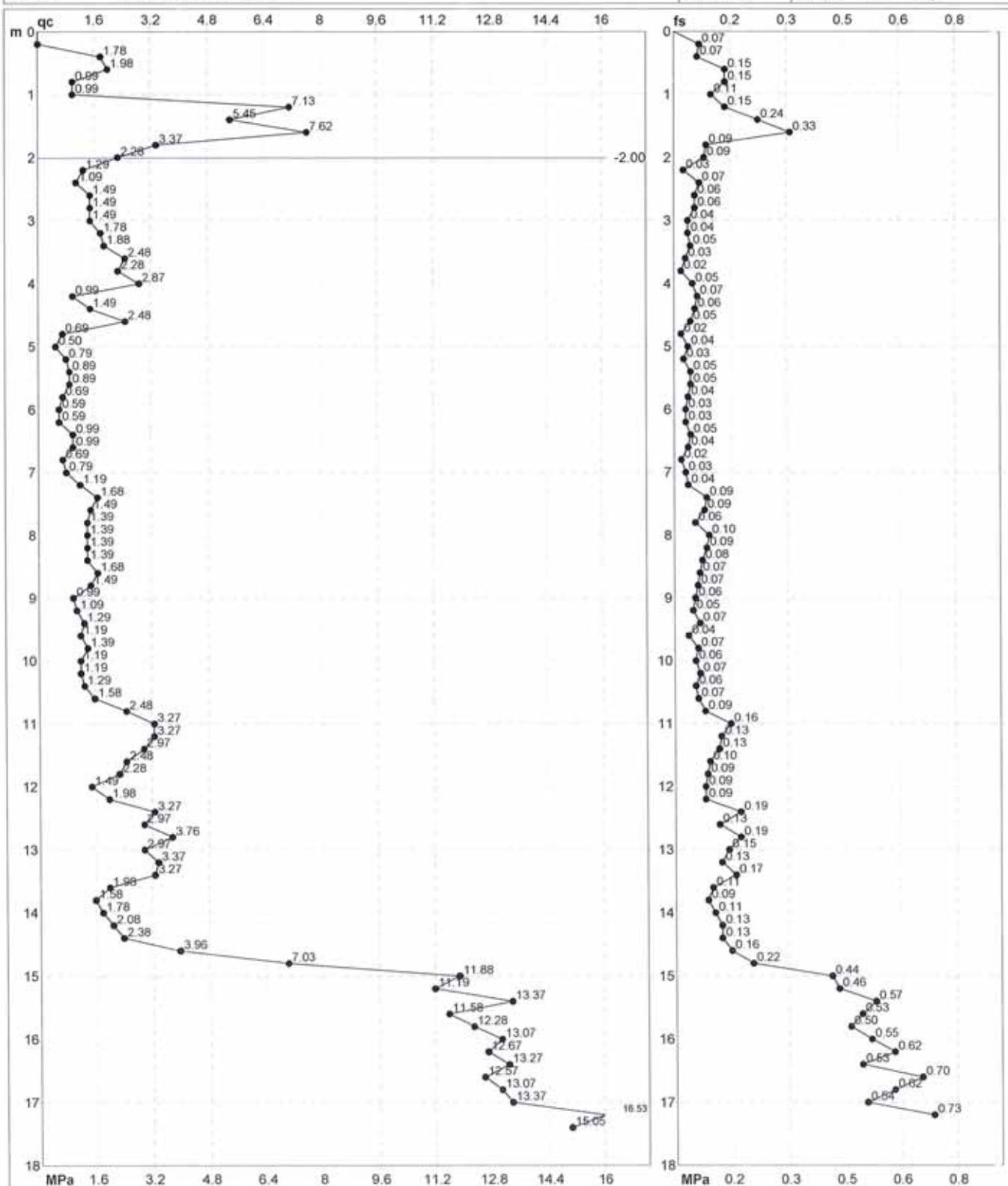
certificato n°

4297

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Medolla, via grande**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:90**
Pagina: **2/4**
Elaborato:

Data esec.: **08/05/2013**
Data certificato: **09/05/2013**
Falda: **-2.00 m da p.c.**



Penetrometro: **GOUDA 200 kN**
Responsabile:
Assistente:

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

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

2

referimento

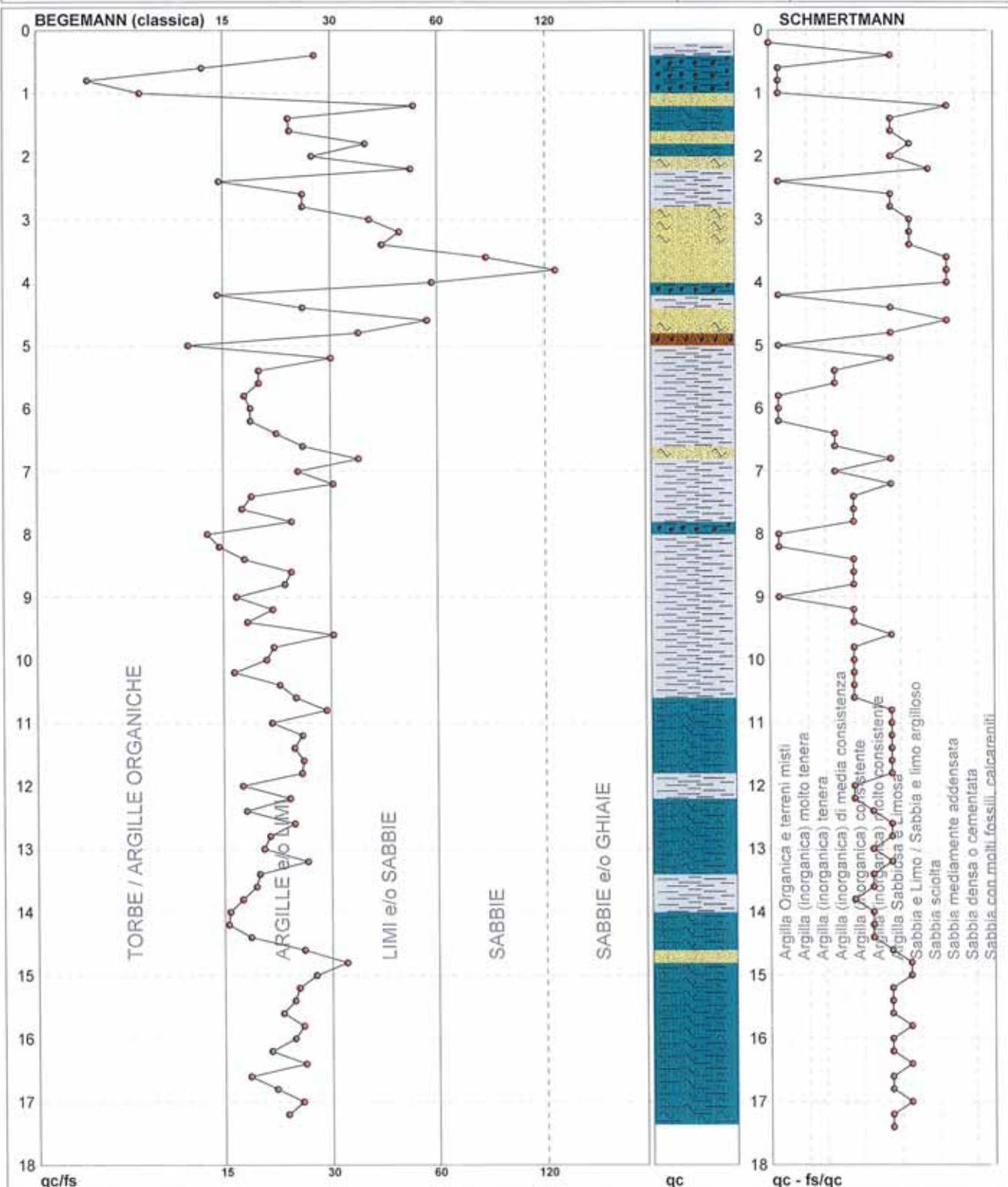
176-2013

certificato n°

4297

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio terreno di fondazione
Località: Medolla, via grande

U.M.: MPa
Scala: 1:90
Pagina: 3/4
Elaborato:
Data eseg.: 08/05/2013
Data certificato: 09/05/2013
Falda: -2.00 m da p.c.



Torbe / Argille org : 7 punti, 7.87%
Argille e/o Limi : 66 punti, 74.16%
Limi e/o Sabbie : 11 punti, 12.36%
Sabbie: 2 punti, 2.25%

Argilla Organica e terreni misti:
Argilla (inorganica) media consist.
Argilla (inorganica) consistente:
Argilla (inorganica) molto consist.:

12 punti, 13.48%
5 punti, 5.62%
16 punti, 17.98%
7 punti, 7.87%

Argilla Sabbiosa e Limosa:
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg :
Sabbia sciolta:
Sabbia mediamente addensata:

30 punti, 33.71%
9 punti, 10.11%
1 punto, 1.12%
5 punti, 5.62%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

2

referimento

176-2013

certificato n°

4297

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio terreno di fondazione
Località: Medolla, via grande

U.M.: MPa Data esec.: 08/05/2013
Pagina: 4/4 Data certificato: 09/05/2013
Elaborato: Falda: -2.00 m da p.c.

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ^* t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ_{Sc} (°)	ϕ_{Ca} (°)	ϕ_{Ko} (°)	ϕ_{DB} (°)	ϕ_{DM} (°)	ϕ_{Me} (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	--	--		1.85	3.6			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	1.76	26.87		1.98	7.5	164	73.5	99.9	12.5	18.7	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	1.96	13.61		1.93	11.3	171	78.4	70.9	13.3	20.0	5.9	69	44	35	33	30	40	27	--	3.3	4.9	5.9	--
0.80	0.98	6.80		1.90	15.0	132	49.0	27.6	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.98	9.35		1.90	18.7	132	49.0	20.9	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	7.06	48.98		1.95	22.6	277	--	--	--	--	--	97	46	38	36	33	42	32	2.00	11.8	17.6	21.2	--
1.40	5.39	22.92		2.01	26.5	251	179.7	68.7	30.5	45.8	16.2	83	45	36	33	31	40	31	--	9.0	13.5	16.2	--
1.60	7.55	23.12		2.03	30.5	284	251.5	87.8	42.8	64.1	22.6	91	45	37	34	32	41	33	--	12.6	18.9	22.6	--
1.80	3.33	36.56		1.89	34.2	209	--	--	--	--	--	61	43	33	30	28	37	29	2.00	5.6	8.3	10.0	--
2.00	2.25	26.44		0.94	36.0	180	85.1	18.4	14.5	21.7	6.8	46	42	30	27	26	34	28	--	3.8	5.6	6.8	--
2.20	1.27	48.15		0.88	37.7	145	59.3	11.0	10.1	15.1	4.6	25	40	27	24	23	31	26	--	2.1	3.2	3.8	--
2.40	1.08	15.07		0.91	39.5	137	52.6	9.0	9.4	14.1	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	1.47	25.00		0.95	41.4	154	65.3	11.1	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	1.47	25.00		0.95	43.2	154	65.3	10.5	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	1.47	37.50		0.89	45.0	154	65.3	10.0	11.1	16.7	4.9	26	40	27	24	22	31	27	--	2.5	3.7	4.4	--
3.20	1.76	45.00		0.91	46.8	164	73.5	11.0	12.5	18.7	5.5	31	40	28	25	23	32	27	--	2.9	4.4	5.3	--
3.40	1.86	40.43		0.92	48.6	168	76.0	11.0	12.9	19.4	5.7	32	41	28	25	23	32	27	--	3.1	4.7	5.6	--
3.60	2.45	75.76		0.86	50.3	186	--	--	--	--	--	41	41	29	26	24	33	28	--	4.1	6.1	7.4	--
3.80	2.25	115.00		0.86	52.0	180	--	--	--	--	--	37	41	28	25	24	32	28	--	3.8	5.6	6.8	--
4.00	2.84	54.72		0.87	53.7	197	--	--	--	--	--	44	42	29	26	25	33	29	--	4.7	7.1	8.5	--
4.20	0.98	14.93		0.90	55.4	132	49.0	5.4	15.1	22.7	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1.47	25.00		0.95	57.3	154	65.3	7.4	14.1	21.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	2.45	53.19		0.86	59.0	186	--	--	--	--	--	37	41	28	25	24	32	28	--	4.1	6.1	7.4	--
4.80	0.69	35.00		0.83	60.6	115	34.3	3.1	16.7	25.0	3.2	--	38	22	18	17	25	26	--	1.1	1.7	2.1	--
5.00	0.49	12.50		0.46	61.5	101	24.5	2.0	2.9	4.4	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.78	29.63		0.86	63.2	121	39.2	3.5	17.8	26.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.88	19.15		0.88	64.9	127	44.1	3.9	18.2	27.4	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.88	19.15		0.88	66.7	127	44.1	3.7	18.8	28.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.69	17.50		0.84	68.3	115	34.3	2.7	17.8	26.7	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.59	18.18		0.82	69.9	109	29.4	2.1	16.3	24.4	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.59	18.18		0.82	71.5	109	29.4	2.1	16.4	24.5	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.98	21.28		0.90	73.3	132	49.0	3.8	20.6	31.0	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.98	25.00		0.90	75.0	132	49.0	3.7	21.2	31.8	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.69	35.00		0.83	76.7	115	34.3	2.3	18.6	27.9	3.2	--	38	21	17	16	25	26	--	1.1	1.7	2.1	--
7.00	0.78	24.24		0.86	78.4	121	39.2	2.6	20.4	30.6	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	1.18	30.00		0.88	80.1	141	56.0	4.0	22.3	33.5	4.4	4	38	23	20	19	26	26	--	2.0	2.9	3.5	--
7.40	1.67	18.28		0.97	82.0	161	70.9	5.2	22.4	33.7	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	1.47	17.24		0.95	83.8	154	65.3	4.6	23.4	35.0	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	1.37	23.33		0.94	85.7	150	62.4	4.2	23.9	35.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	1.37	14.00		0.94	87.5	150	62.4	4.1	24.4	36.7	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	1.37	15.05		0.94	89.4	150	62.4	4.0	24.9	37.4	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	1.37	17.50		0.94	91.2	150	62.4	3.9	25.6	38.4	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	1.67	23.29		0.97	93.1	161	70.9	4.5	26.0	39.0	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	1.47	22.39		0.95	95.0	154	65.3	3.9	26.6	39.9	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	0.98	16.67		0.90	96.7	132	49.0	2.7	25.4	38.0	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	1.08	20.75		0.91	98.5	137	52.6	2.9	26.5	39.8	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	1.27	17.81		0.93	100.3	145	59.3	3.3	28.0	42.0	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	1.18	30.00		0.88	102.1	141	56.0	3.0	27.8	41.7	4.4	--	38	22	19	18	25	26	--	2.0	2.9	3.5	--
9.80	1.37	20.90		0.94	103.9	150	62.4	3.3	29.1	43.7	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	1.18	20.00		0.92	105.7	141	56.0	2.8	28.3	42.5	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	1.18	16.44		0.92	107.5	141	56.0	2.8	28.6	42.9	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	1.27	21.67		0.93	109.3	145	59.3	2.9	29.6	44.4	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	1.57	23.88		0.96	111.2	157	68.2	3.4	31.3	46.9	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	2.45	28.74		0.94	113.1	186	89.1	4.7	31.5	47.2	7.4	21	40	25	22	21	28	28	--	4.1	6.1	7.4	--
11.00	3.23	20.63		0.97	115.0	207	107.8	5.8	30.7	46.1	9.7	30	40	26	23	22	30	29	--	5.4	8.1	9.7	--
11.20	3.23	24.81		0.97	116.9	207	107.8	5.7	31.4	47.1	9.7	30	40	26	23	22	30	29	--	5.4	8.1	9.7	--
11.40	2.94	23.62		0.96	118.8	199	98.0	4.9	32.8	49.3	8.8	26	40	26	22	21	29	29	--	4.9	7.4	8.8	--
11.60	2.45	25.00		0.94	120.6	186	89.1	4.3	33.7	50.5	7.4	19	40	25	21	20	28	28	--	4.1	6.1	7.4	--
11.80	2.25	24.73		0.94	122.5	180	85.1	4.0	34.2	51.3	6.8	16	39	24	21	20	28	28	--	3.8	5.6	6.8	--
12.00	1.47	17.24		0.95	124.3	154	65.3	2.8	33.2	49.8	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20	1.96	22.99		0.93	126.1	171	78.4	3.5	35.5	53.3	5.9	11	39	23	20	19	27						

GEO GROUP s.r.l.

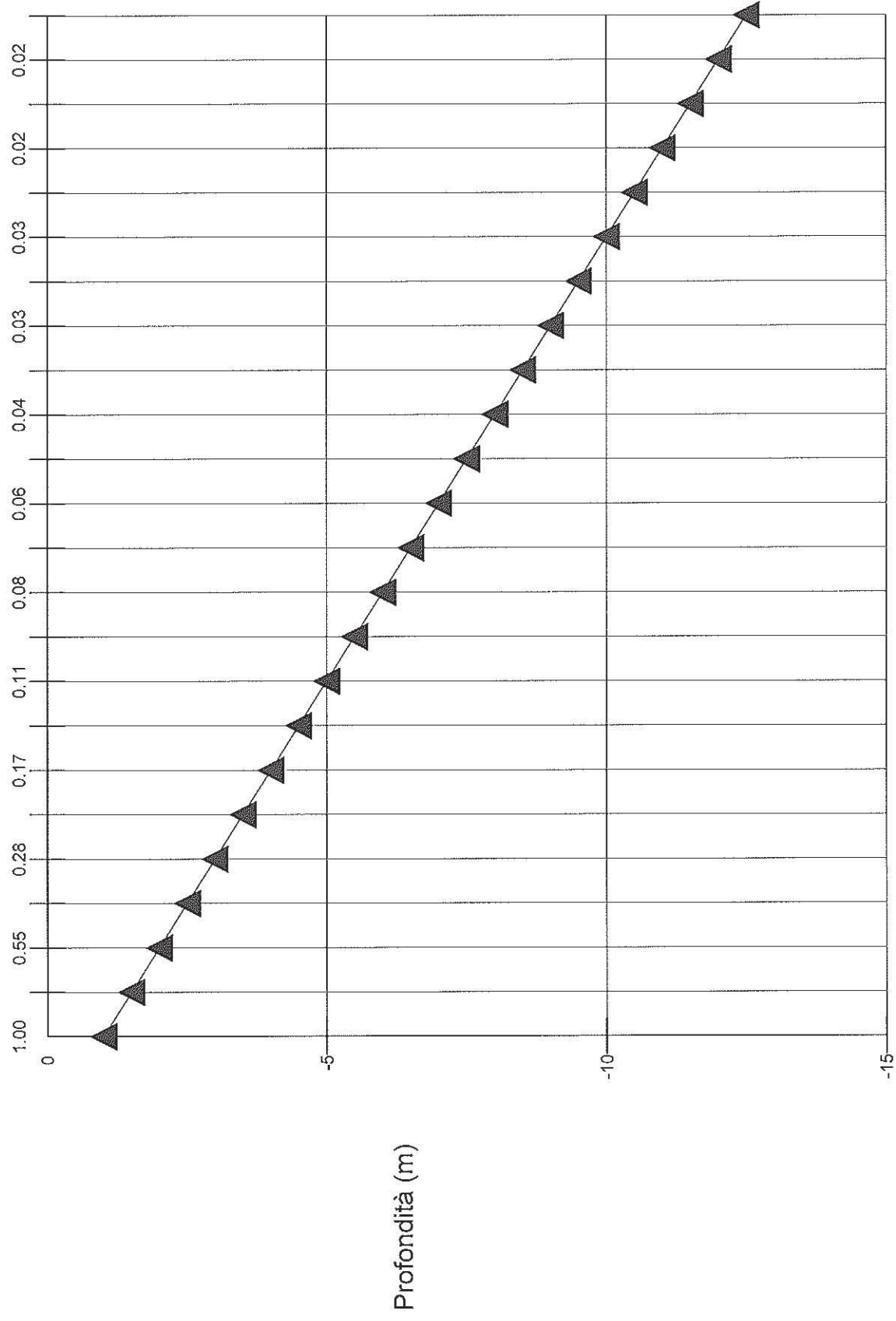
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 2

Verifiche geotecniche

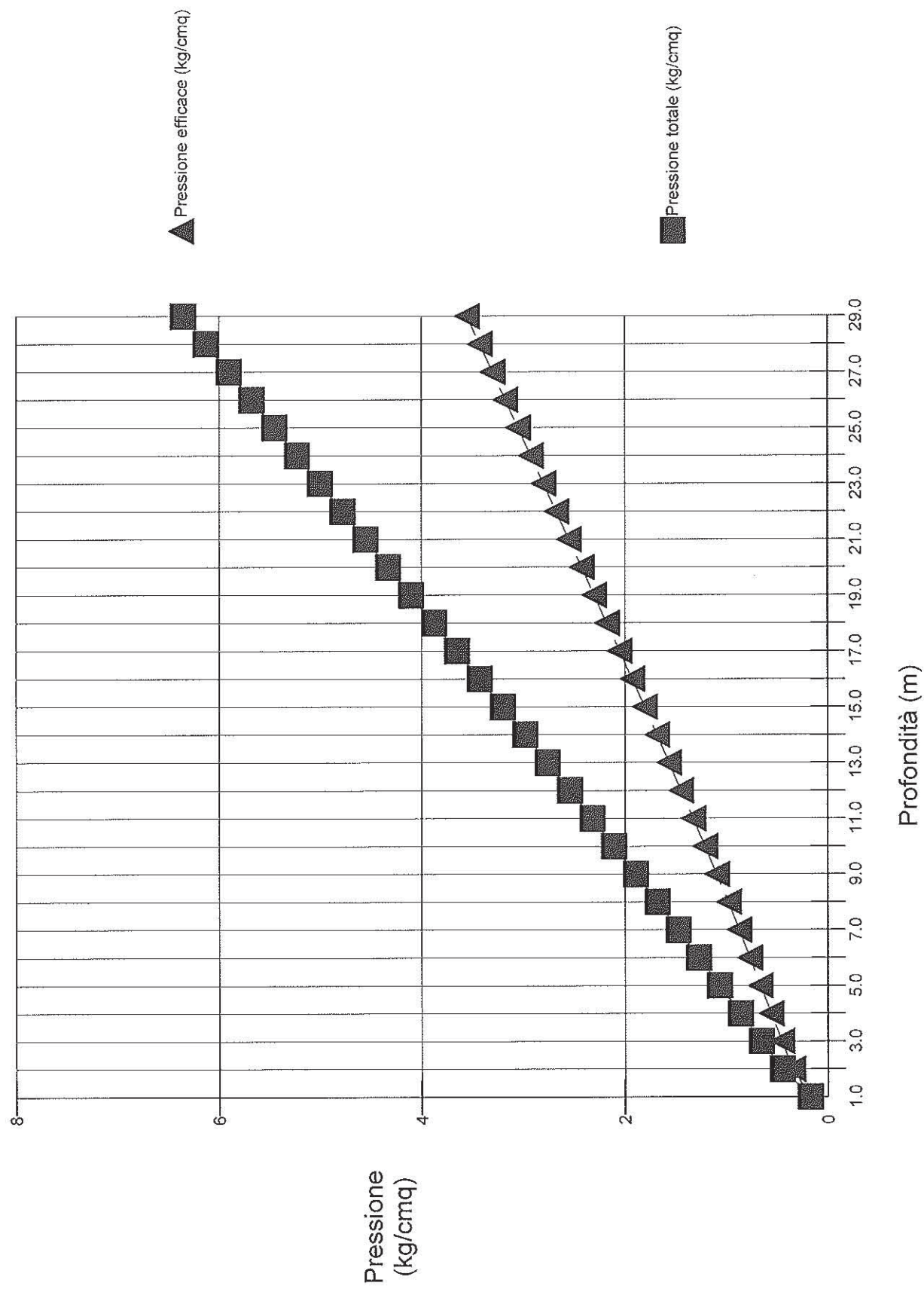
SEZIONE GEOTEKNICA MEDIA		Comittente: MEDOLLA (MO) Località: MACAZZINO COMUNALE Data:				
N.1						
Falda (m): 2.0		Note:				
Tipologia fondazione: pilina						
Legenda: Φ_{hi} = raggio d'attacco - $C(\text{kg/cm}^2)$ = coesione - $E(\text{kg/cm}^2)$ = modulo di deformazione $P_v(\text{kg/cm}^2)$ = peso di volume naturale						
H (m)	H ₂ O	Descrizione	Phi (°)	C (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	P _v (kg/cm ²)
0.0		Argilla o argilla limosa mediamente consistente.	0	0.5	40.0	1736.4
2.2						
		Argilla o argilla limosa a medio scarsa consistenza.	0	0.4	35.0	1050.0
3.2		Argilla o argilla limosa mediamente consistente.	0	0.7	50.0	1150.0
11.0		Argilla o argilla limosa consistente.	0	1.0	90.0	1200.0
15.3		Argilla o argilla limosa molto consistente.	0	4.0	400.0	1250.0

Andamento delle sollecitazioni: criterio di Newmark



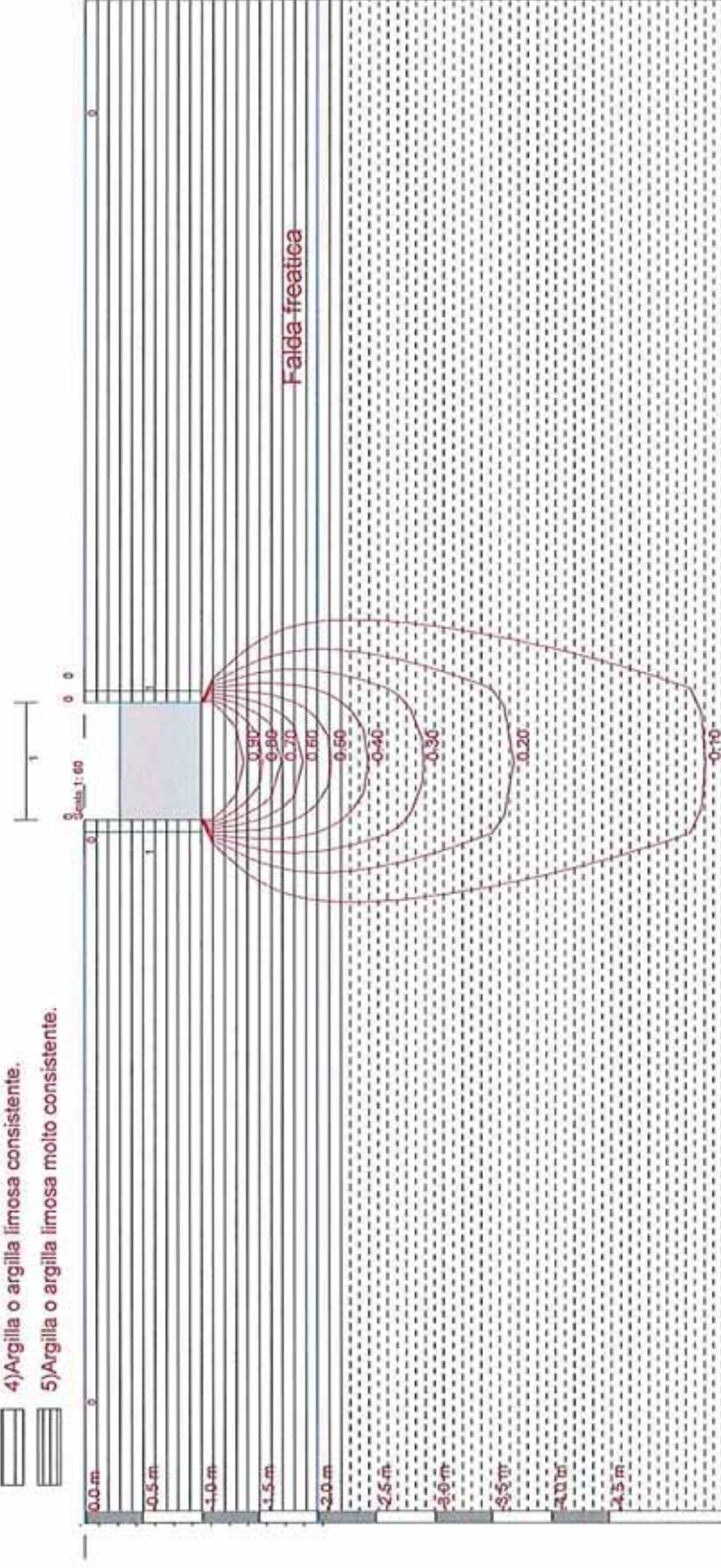
Sovraccarico (kg/cm²)

Andamento della pressione totale ed efficace del terreno



- 1) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 2) Argilla o argilla limosa a medio scarsa consistenza.
- 3) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 4) Argilla o argilla limosa consistente.
- 5) Argilla o argilla limosa molto consistente.

Tensioni indotte met. Newmark



DATI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE

Tipologia della fondazione: nastriformi
Geometria della fondazione:
Larghezza della base (m):1.00
Lunghezza della fondazione (m):5.00
Eccentricità della base - lato corto (m):0.00
Eccentricità della base - lato lungo (m):0.00
Profondità di posa - lato destro (m):1.00
Profondità di posa - lato sinistro (m):1.00
Profondità dello scavo - lato destro (m):0.00
Profondità dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato destro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Inclinazione del pendio - lato a valle (°):0
Inclinazione del pendio - lato a monte (°):0
Inclinazione della base - lato corto (°):0
Inclinazione della base - lato lungo (°):0
Inclinazione del carico - lato corto (°):0
Inclinazione del carico - lato lungo (°):0
Fondazione di tipo:elastica
Densità del calcestruzzo (kg/mc):2500.00

FALDA

Profilo della falda

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-2.00
2	16.00	-2.00

STRATIGRAFIA

Profilo strato n. 1

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	0.00
2	0.00	0.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	-1.00
6	1.00	-1.00
7	1.00	0.00
8	1.00	0.00
9	1.00	0.00
10	7.00	0.00

Strato n. 1 - Descrizione: Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
Densità relativa Dr(%): 0
Angolo d'attrito Phi(°):0.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1800.00

Gamma saturo (kg/mc):2100.00
 Coesione (kg/cm²):0.50
 Mod.deformazione (kg/cm²):40.00
 Indice vuoti:0.00
 O.C.R.:2.00
 Indice compr.princ.:0.00
 Indice compr.sec.:0.00
 Indice ricompr.:0.00
 Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
 Coef.di Poisson:0.40
 R.Q.D.(%):0.00
 Nspt medio:0
 Rp(kg/cm²):0.00

Profilo strato n. 2

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-2.20
2	16.00	-2.20

Strato n. 2 - Descrizione: Argilla o argilla limosa a medio scarsa consistenza.

Densità relativa Dr(%): 0
 Angolo d'attrito Phi(°):0.00
 Gamma sopra falda (kg/mc):1750.00
 Gamma saturo (kg/mc):2050.00
 Coesione (kg/cm²):0.40
 Mod.deformazione (kg/cm²):35.00
 Indice vuoti:0.00
 O.C.R.:1.00
 Indice compr.princ.:0.00
 Indice compr.sec.:0.00
 Indice ricompr.:0.00
 Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
 Coef.di Poisson:0.50
 R.Q.D.(%):0.00
 Nspt medio:0
 Rp(kg/cm²):4.00

Profilo strato n. 3

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-8.20
2	16.00	-8.20

Strato n. 3 - Descrizione: Argilla o argilla limosa mediamente consistente.

Densità relativa Dr(%): 0
 Angolo d'attrito Phi(°):0.00
 Gamma sopra falda (kg/mc):1850.00
 Gamma saturo (kg/mc):2150.00
 Coesione (kg/cm²):0.65
 Mod.deformazione (kg/cm²):50.00

Indice vuoti:0.00
 O.C.R.:2.00
 Indice compr.princ.:0.00
 Indice compr.sec.:0.00
 Indice ricompr.:0.00
 Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
 Coef.di Poisson:0.40
 R.Q.D.(%):0.00
 Nspt medio:0
 Rp(kg/cmq):0.12

Profilo strato n. 4

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-11.00
2	16.00	-11.00

Strato n. 4 - Descrizione: Argilla o argilla limosa consistente.

Densità relativa Dr(%): 0
 Angolo d'attrito Phi(°):0.00
 Gamma sopra falda (kg/mc):1900.00
 Gamma saturo (kg/mc):2200.00
 Coesione (kg/cm²):1.00
 Mod.deformazione (kg/cm²):90.00
 Indice vuoti:0.00
 O.C.R.:3.00
 Indice compr.princ.:0.00
 Indice compr.sec.:0.00
 Indice ricompr.:0.00
 Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
 Coef.di Poisson:0.30
 R.Q.D.(%):0.00
 Nspt medio:0
 Rp(kg/cm²):0.00

Profilo strato n. 5

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-15.80
2	16.00	-15.80

Strato n. 5 - Descrizione: Argilla o argilla limosa molto consistente.

Densità relativa Dr(%): 0
 Angolo d'attrito Phi(°):0.00
 Gamma sopra falda (kg/mc):1950.00
 Gamma saturo (kg/mc):2250.00
 Coesione (kg/cm²):4.00
 Mod.deformazione (kg/cm²):400.00
 Indice vuoti:0.00
 O.C.R.:3.00
 Indice compr.princ.:0.00

Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
Coef.di Poisson:0.30
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cm²):0.00

PORTANZA DELLA FONDAZIONE

Profondità di calcolo:7.50
Criterio di calcolo:Terzaghi
Portanza limite della fondazione (kg/cm²):3.00
Coefficiente di sicurezza:3.00
Portanza ammissibile della fondazione (kg/cm²):1.00
Fattore di portanza Nq:1.00
Fattore di portanza Ng:0.00
Fattore di portanza Nc:5.71
Fattore di forma Sq:1.00
Fattore di forma Sg:1.00
Fattore di forma Sc:1.00
Fattore di approfondimento Dq:1.00
Fattore di approfondimento Dg:1.00
Fattore di approfondimento Dc:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi Iq:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi Ig:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi Ic:1.00
Fattore di inclinazione della base Bq:1.00
Fattore di inclinazione della base Bg:1.00
Fattore di inclinazione della base Bc:1.00
Fattore di pendio Gq:1.00
Fattore di pendio Gg:1.00
Fattore di pendio Gc:1.00
Peso di volume medio sopra il piano di posa (kg/m³):1736.36

CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE

Carico applicato sulla fondazione (kg/cm²) :1.00
Metodo di calcolo strati incoerenti:
Cedimento immediato (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00
Cedimento massimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento minimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento totale degli strati incoerenti (cm):0.00
Metodo di calcolo strati coesivi:Steinbrenner
Cedimento di consolidazione (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00
Cedimento della fondazione (cm):2.48
Cedimento totale degli strati coesivi (cm):2.48
Cedimento totale del terreno di fondazione (cm):2.48

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE

Calcolo del coefficiente di sottofondazione - K di Winkler.

Criterio di calcolo :Bowles

Carico applicato sulla fondazione(kg/cm²):1.00

Cedimento di riferimento(cm):2.48

Coefficiente di sottofondazione (kg/cm²):1.23

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

Indagine sismica MASW



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



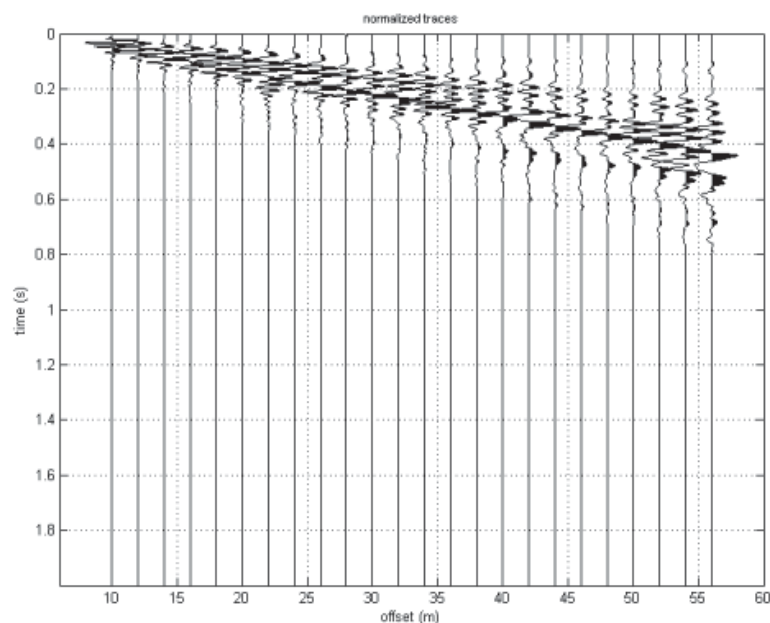
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

Cantiere: Medolla (MO) – Via Grande
Operatori: Dott. Gabriele Ghirardini e Dott. Geol. Emilio Guerzoni
Data: 15/05/13
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott. Ssa Geo.. Monica Mazzoli
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

CERTIFICATO: 162_M_13



DATA INPUT





GEO GROUP s.r.l.

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

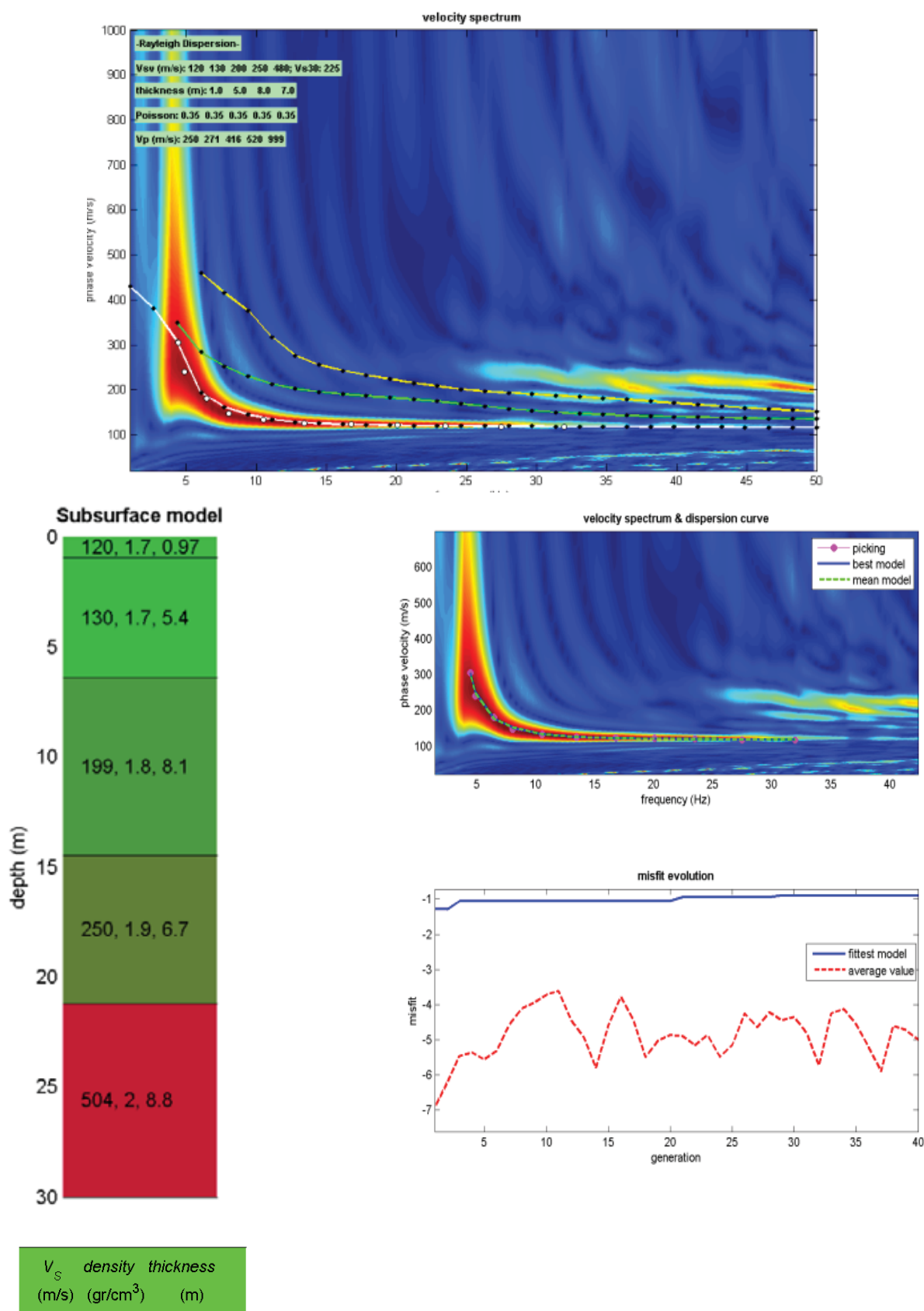
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



ELABORAZIONE





GEO GROUP s.r.l.

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

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

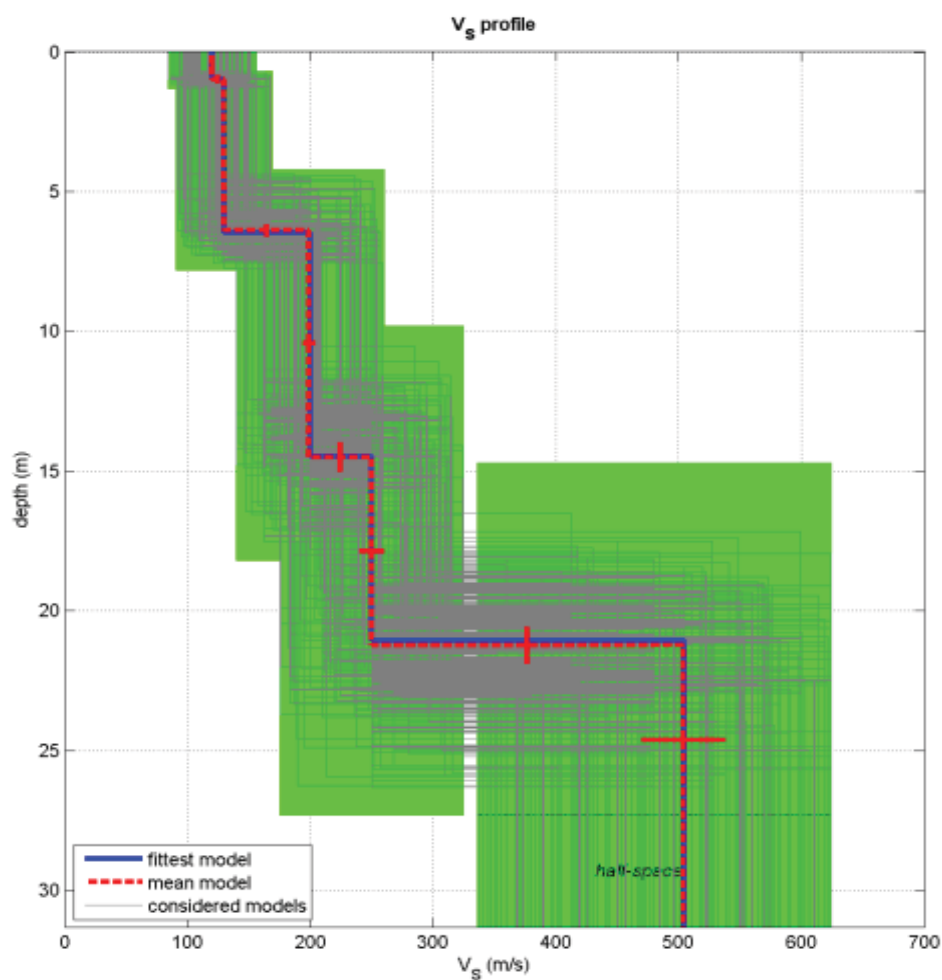
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



[MODELLO FINALE]

$V_{s30} = 223 \text{ m/s}$



dataset: 50.dat

dispersion curve: p1.cdp

V_{s30} (best model): 223 m/s

V_{s30} (mean model): 222 m/s

GEO GROUP s.r.l.

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

ALLEGATO N° 4

Indagine sismica HVSR



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 - e-mail: info@geogroupmodena.it



Dati generali

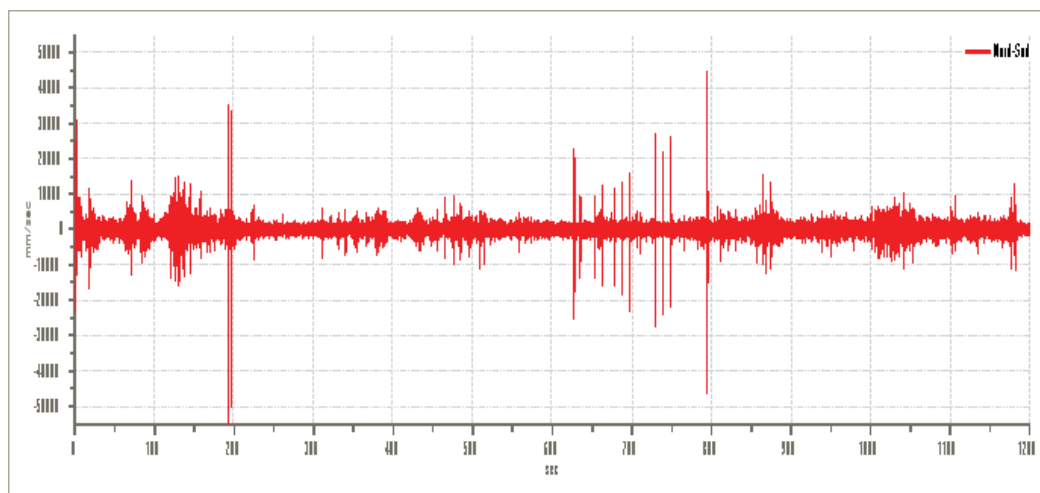
Nome progetto: Riferimento n° 157_13
Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio del terreno di fondazione
Località: Medolla, Via Grande
Operatore: Dott.ssa Linda Veratti
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari
Data: 22/05/2013 0.00.00
Zona: Medolla
Latitudine: 44.850331
Longitudine: 11.078338

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



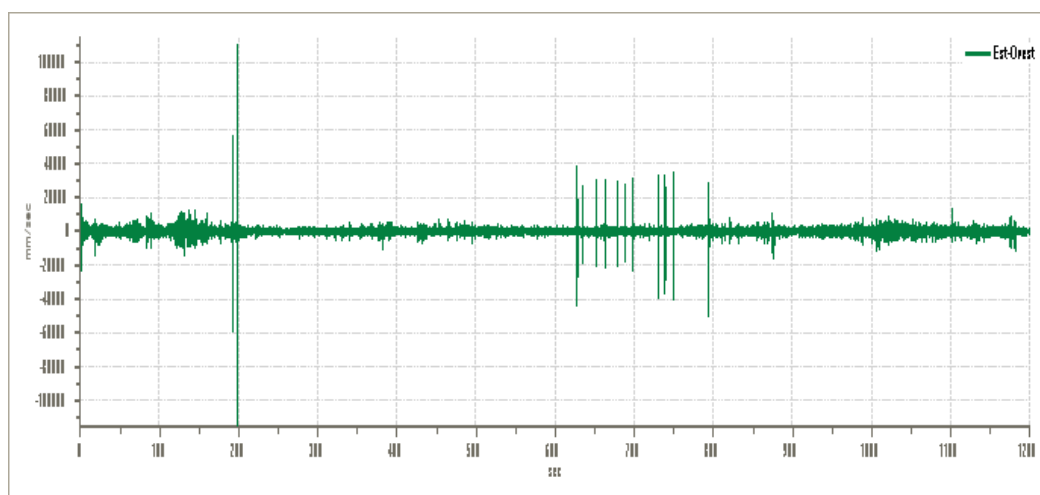
GEO GROUP s.r.l.

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

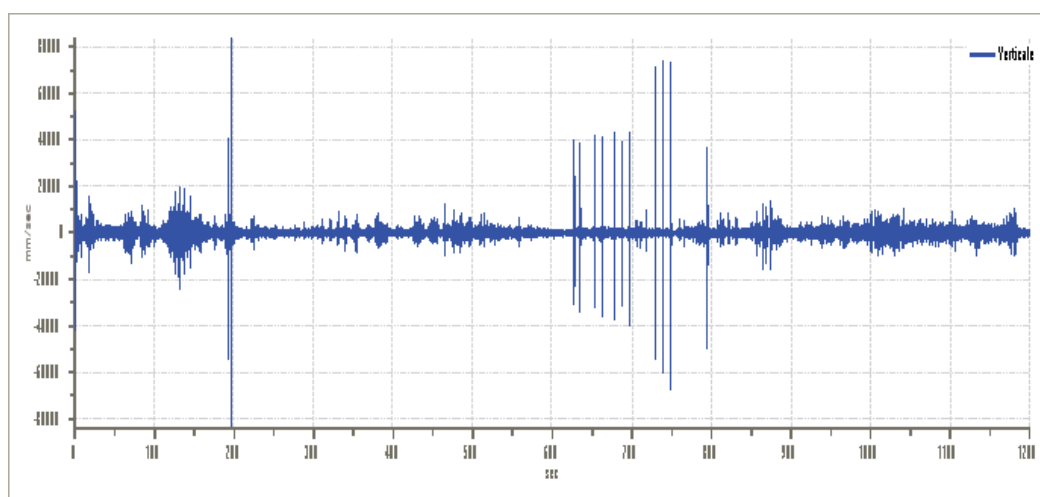
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 35

Numero finestre incluse nel calcolo: 35

Dimensione temporale finestre: 27,307 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

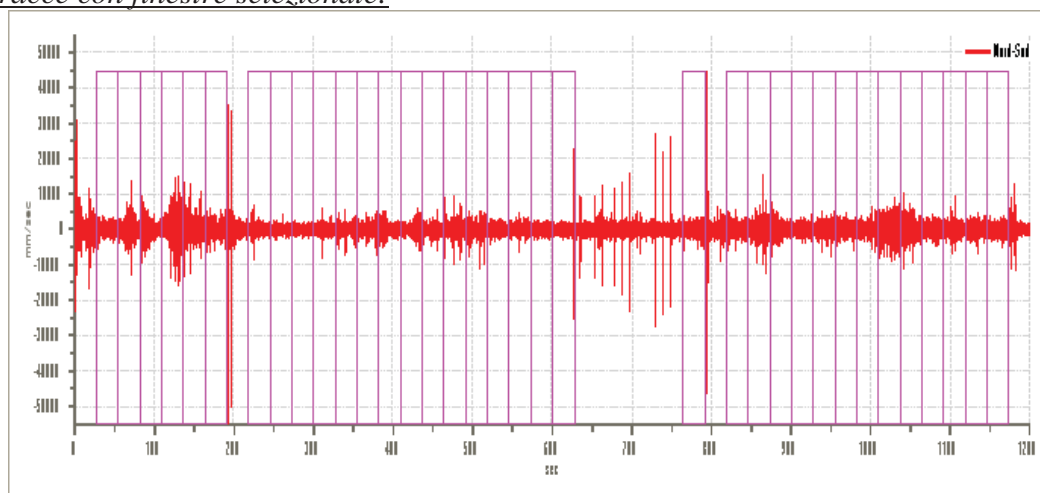
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

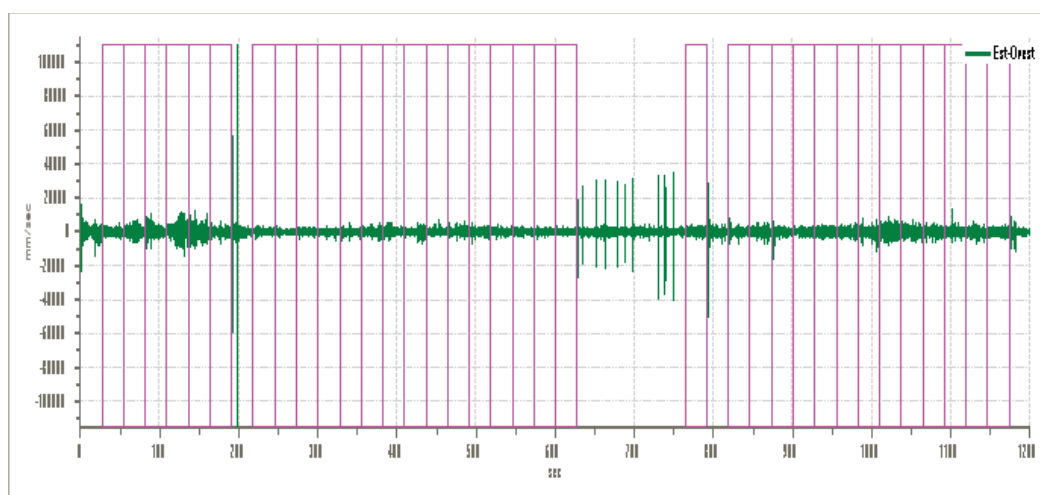
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



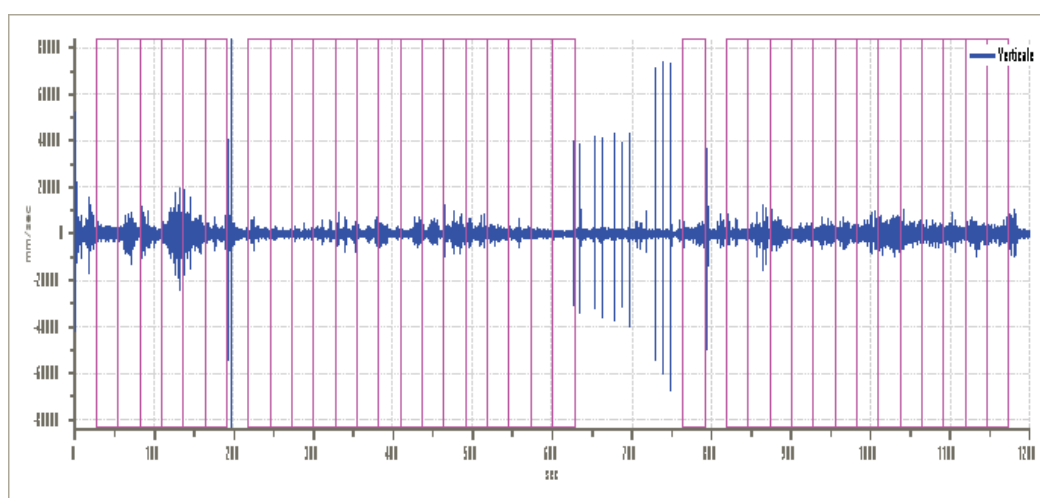
Grafici tracce con finestre selezionate:



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

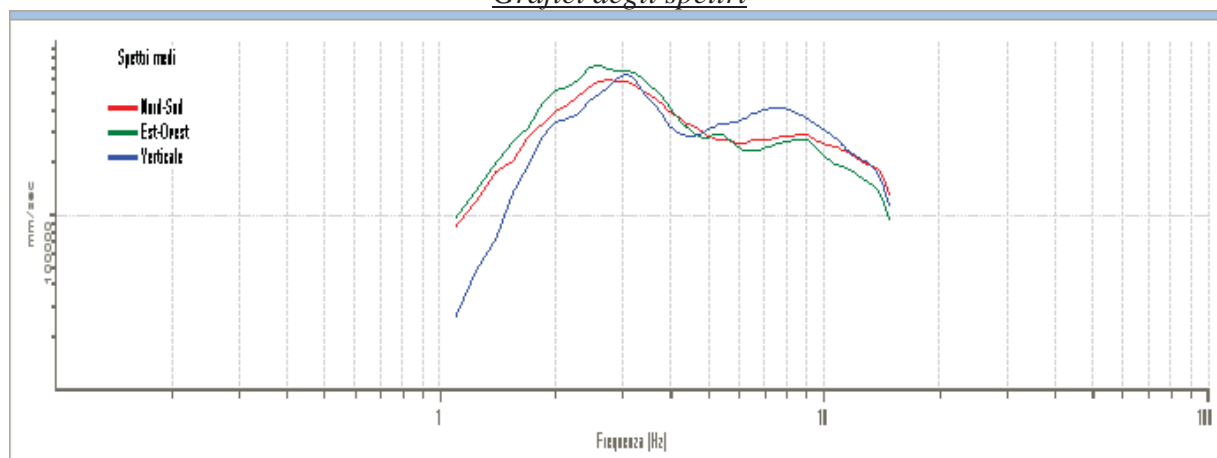
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

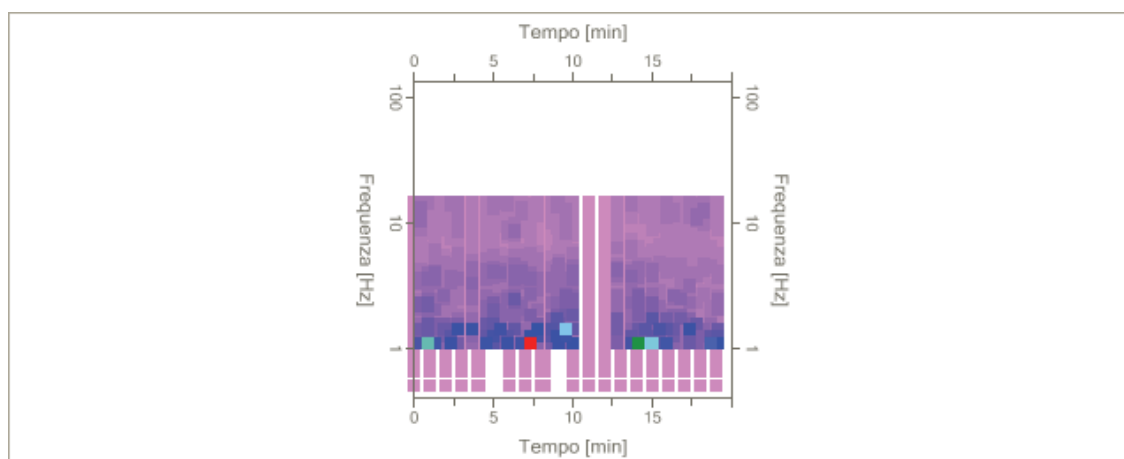
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



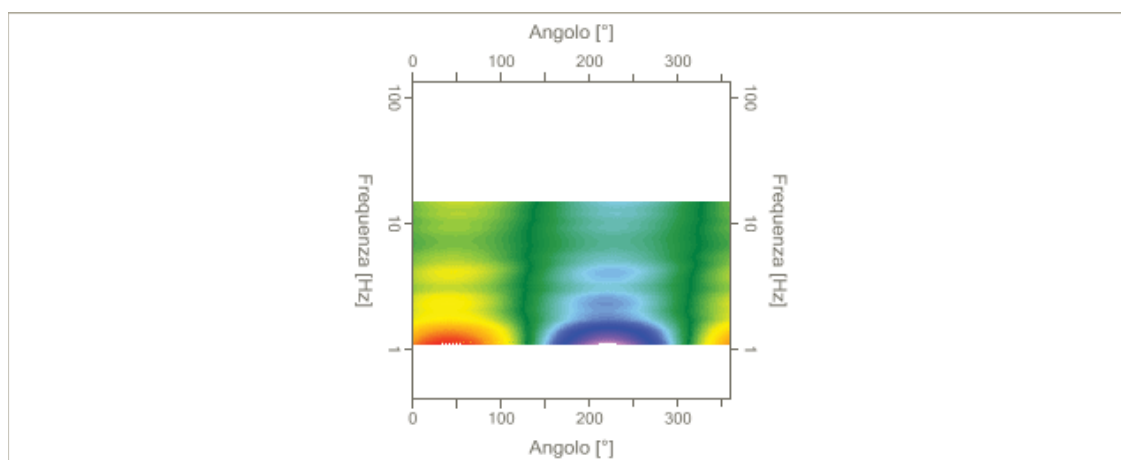
Grafici degli spettri



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 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



Rapporto spettrale H/V

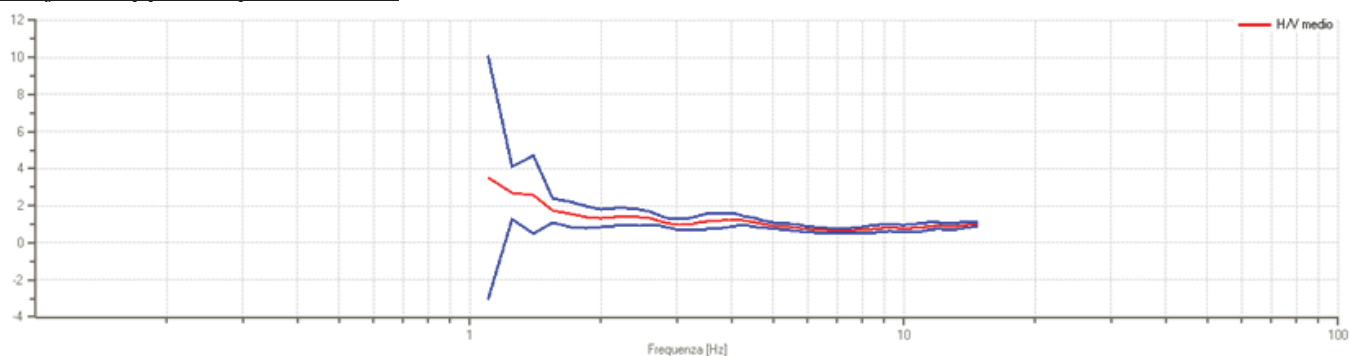
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamo::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamo:	10,00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: nessun picco stratigrafico rilevato

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
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Non superato

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° 5

Verifica alla liquefazione



Geo Group s.r.l.

Via Cesare Costa n.182-Modena -

Committente: Studio tecnico

Località: Medolla, via Grande

Note: Falda -2,00 m da p.c.

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Sigla: 01

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

Profondità (m)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cm ²)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cm ²)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
0.4	18	0.67	1.8	0.142	0.232	3.4
0.6	20	1.47	1.8	0.142	0.144	2.11
0.8	10	1.47	1.8	0.142	0.126	
1	10	1.07	1.8	0.141	0.102	
1.2	72	1.47	1.8	0.141	0.595	8.8
1.4	55	2.4	1.8	0.141	0.619	9.18
1.6	77	3.33	1.8	0.141	1.075	15.96
1.8	34	0.93	1.8	0.14	0.176	2.61
2	23	0.87	1.8	0.14	0.222	3.3
2.2	13	0.27	0.8	0.144	0.111	1.61
2.4	11	0.73	0.8	0.151	0.074	
2.6	15	0.6	0.8	0.157	0.081	
2.8	15	0.6	0.8	0.163	0.08	
3	15	0.4	0.8	0.168	0.14	1.74
3.2	18	0.4	0.8	0.173	0.11	1.33
3.4	19	0.47	0.8	0.178	0.118	1.39
3.6	25	0.33	0.8	0.182	0.102	1.18
3.8	23	0.2	0.8	0.186	0.093	1.04
4	29	0.53	0.8	0.189	0.122	1.35
4.2	10	0.67	0.8	0.193	0.066	
4.4	15	0.6	0.8	0.196	0.073	
4.6	25	0.47	0.8	0.199	0.118	1.24
4.8	7	0.2	0.8	0.202	0.06	
5	5	0.4	0.8	0.204	0.057	
5.2	8	0.27	0.8	0.207	0.061	
5.4	9	0.47	0.8	0.209	0.062	
5.6	9	0.47	0.8	0.211	0.062	
5.8	7	0.4	0.8	0.213	0.059	
6	6	0.33	0.8	0.215	0.057	
6.2	6	0.33	0.8	0.217	0.057	
6.4	10	0.47	0.8	0.218	0.062	
6.6	10	0.4	0.8	0.22	0.062	
6.8	7	0.2	0.8	0.221	0.058	
7	8	0.33	0.8	0.223	0.059	
7.2	12	0.4	0.8	0.224	0.063	
7.4	17	0.93	0.8	0.225	0.068	
7.6	15	0.87	0.8	0.226	0.066	
7.8	14	0.6	0.8	0.228	0.064	
8	14	1	0.8	0.229	0.064	
8.2	14	0.93	0.8	0.23	0.064	
8.4	14	0.8	0.8	0.231	0.063	
8.6	17	0.73	0.8	0.231	0.066	
8.8	15	0.67	0.8	0.232	0.064	

Certificato n.01 del 21/05/2013

Firma

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



Geo Group s.r.l.

Via Cesare Costa n.182-Modena -

Profondità (m)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cm ²)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cm ²)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
9	10	0.6	0.8	0.233	0.059	
9.2	11	0.53	0.8	0.234	0.06	
9.4	13	0.73	0.8	0.234	0.061	
9.6	12	0.4	0.8	0.233	0.06	
9.8	14	0.67	0.8	0.233	0.062	
10	12	0.6	0.8	0.233	0.06	
10.2	12	0.73	0.9	0.232	0.06	
10.4	13	0.6	0.9	0.231	0.061	
10.6	16	0.67	0.9	0.231	0.063	
10.8	25	0.87	0.9	0.23	0.07	
11	33	1.6	0.9	0.229	0.075	
11.2	33	1.33	0.9	0.228	0.075	
11.4	30	1.27	0.9	0.228	0.072	
11.6	25	1	0.9	0.227	0.068	
11.8	23	0.93	0.9	0.226	0.067	
12	15	0.87	0.9	0.225	0.061	
12.2	20	0.87	0.9	0.224	0.064	
12.4	33	1.87	0.9	0.223	0.073	
12.6	30	1.27	0.9	0.222	0.07	
12.8	38	1.87	0.9	0.221	0.075	
13	30	1.53	0.9	0.22	0.07	
13.2	34	1.33	0.9	0.219	0.072	
13.4	33	1.73	0.9	0.218	0.071	
13.6	20	1.07	0.9	0.217	0.063	
13.8	16	0.93	0.9	0.216	0.06	
14	18	1.13	0.9	0.215	0.061	
14.2	21	1.33	0.9	0.214	0.063	
14.4	24	1.33	0.9	0.213	0.064	
14.6	40	1.6	0.9	0.212	0.074	
14.8	71	2.2	0.9	0.211	0.468	4.64
15	120	4.47	0.9	0.209	1.127	11.24
15.2	113	4.67	0.9	0.208	1.235	12.38
15.4	135	5.73	0.9	0.207	1.644	16.58
15.6	117	5.33	0.9	0.206	1.527	15.49
15.8	124	5	0.9	0.205	1.345	13.72
16	132	5.6	0.9	0.204	1.595	16.36
16.2	128	6.27	0.9	0.202	1.962	20.25
16.4	134	5.33	0.9	0.201	1.464	15.2
16.6	127	7.07	0.9	0.2	2.443	25.52
16.8	132	6.27	0.9	0.199	1.944	20.43
17	135	5.47	0.9	0.197	1.528	16.16
17.2	167	7.4	0.9	0.196	2.407	25.62
17.4	152		0.9			

Certificato n.01 del 21/05/2013

Firma

GEO GROUP s.r.l.
via C. Costa, 182 - 41100 MODENA
P. IVA 02987500362



Geo Group s.r.l.

Via Cesare Costa n.182-Modena -

Profondità (m)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cm ²)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cm ²)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
----------------	-------------------------	-------------------------	-------------	---	---	--

Profondità tetto falda(m): 2

Profondità base falda(m): 17.4

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.219

Magnitudo di riferimento= 6

Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 2.09

Fs = MSF x R / T

Certificato n.01 del 21/05/2013

Firma

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



Geo Group s.r.l.

Via Cesare Costa n.182-Modena -

Committente: Studio tecnico

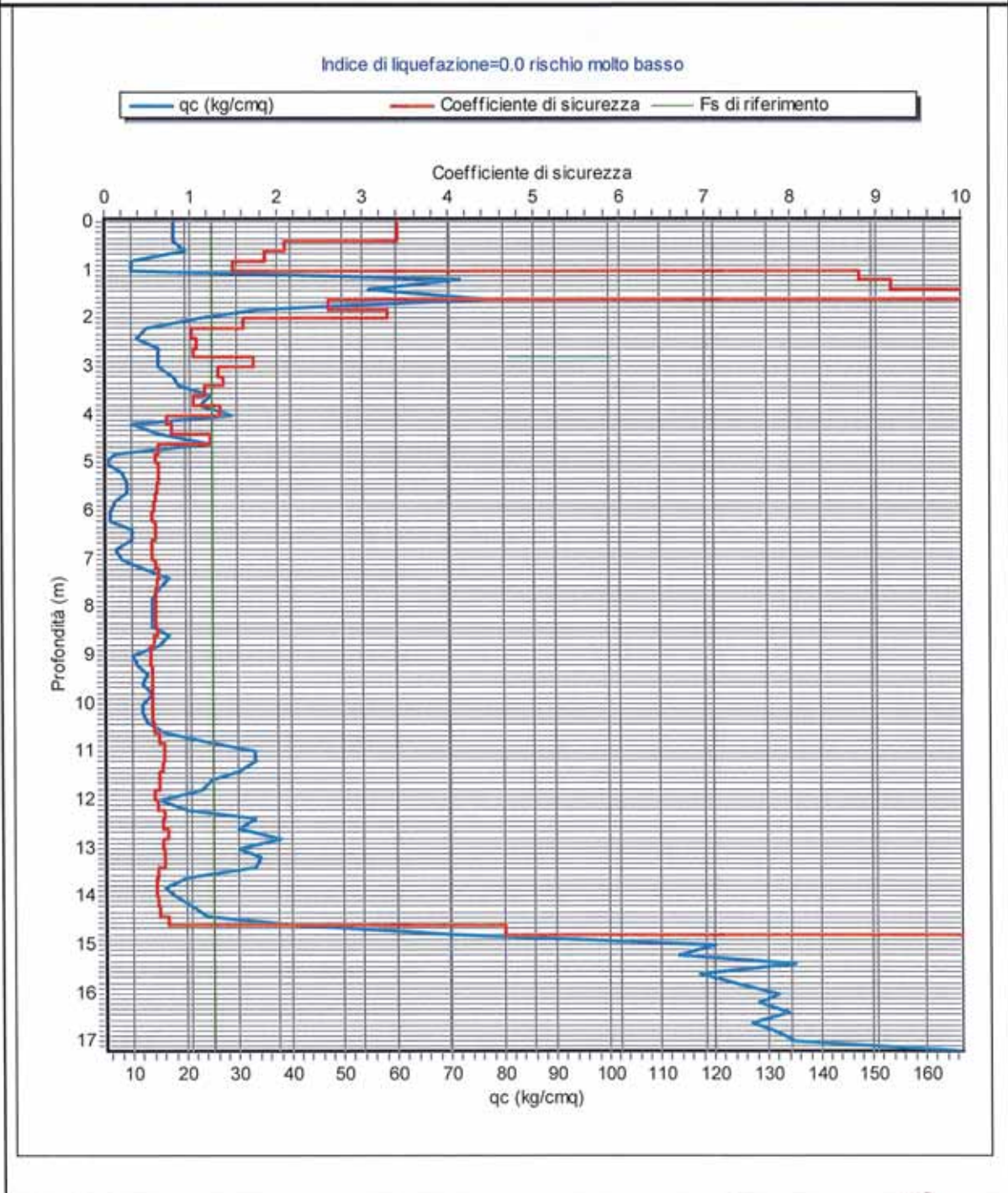
Località: Medolla, via Grande

Note: Falda -2,00 m da p.c.

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Sigla: 01

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



Certificato n.01 del 21/05/2013

Firma:

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