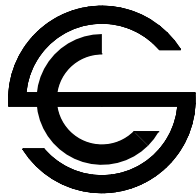


**GEO GROUP s.r.l.**

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 - www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.itPROGETTO URBANISTICO:ARCHITECTURE & DESIGN
ARCH. SARA COLUCCIELLOPROGETTO:**PIANO URBANISTICO ATTUATIVO
COMPARTO "LA CORTE DEL SOLE"
via Gambisa (Soliera)**PROPRIETA' - COMMITTENTI: SOCIETA' AGRICOLA LUGLI IVO S.S.
(soggetti attuatori) METROQUADRO S.R.L.
SILVESTRI PAOLOPROPRIETARIO: COMUNE DI SOLIERAELABORATO:**RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA**TAVOLA:**18**DATA:

FEBBRAIO 2021

SCALA:AGGIORNAMENTO:I COMMITTENTI

IL PROGETTISTA

Comune di Soliera

Provincia di Modena

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

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

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



OGGETTO:

Relazione geologica-geotecnica e sismica a supporto di un progetto di Piano Urbanistico Attuativo, denominato "La Corte del Sole" da realizzarsi in via Gambisa, nel Comune di Soliera (MO)



Dot. Geol. Pier Luigi Dallari

Marzo 2015
Rif. 159/15



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 QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV
= ISO 9001 =

Relazione Tecnica comprendente:

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

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto 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

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

Oggetto:

**Relazione geologica-geotecnica e sismica a supporto
del progetto di un Piano Urbanistico Attuativo
denominato "La Corte del Sole",
da realizzarsi in via Gambisa, comune di Soliera (MO)**

Committenti:

Signor Ivo Lugli, Metroquadro S.r.l., Signor Paolo Silvestri

Indice del contenuto

1.	PREMESSE.....	3
1.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA	4
2.	RELAZIONE GEOLOGICA	5
2.1.	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SITO	5
2.2.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	6
2.2.1	<i>Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....</i>	6
2.3	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	9
3.	RELAZIONE GEOTECNICA	10
3.1.	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	10
3.2.	IPOSTESI DI FONDAZIONI	12
4.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	13
4.1.	SISMICITÀ DELL'AREA.....	13
4.2.	INDAGINI GEOFISICHE	15
4.2.1.	<i>Indagini sismiche con Metodo MASW.....</i>	15
4.2.2	Indagine sismica a rifrazione con metodo dei microtremori (Re.Mi).....	18
4.2.3.	<i>Indagini sismiche passive con Metodo HVSR.....</i>	20
4.3.	CALCOLO DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08	22
4.4	MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico	27
4.5	PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	28
4.6	TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	28
4.7	STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI	34
4.7.2	Cedimenti post-sismici dei terreni incoerenti saturi.....	36
4.8	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	37
5.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	41

Tavole

Tav. n. 1: "Carta corografica",	scala 1: 25.000;
Tav. n. 2: "Carta topografica"	scala 1: 10.000;
Tav. n. 3: "Ripresa aerea generale"	scala grafica;
Tav. n. 4: "Carta della litologia di superficie",	scala 1: 5.000;
Tav. n. 5: "Indagini geognostiche",	scala grafica.
Tav. n. 6: "Vulnerabilità dell'acquifero all'inquinamento"	scala grafica
Tav. n. 7: "Carta dei depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie"	scala grafica
Tav. n. 8: "Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici"	scala grafica
Tav. n. 9: "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali"	scala grafica
Tav. n. 10: "Carta di microzonazione sismica"	scala grafica

Allegati

- N. 1** Prove penetrometriche statiche corredate di interpretazione geotecnica;
- N. 2** Indagini sismiche;
- N. 3** Verifica alla liquefazione.

1. PREMESSE

Su incarico della Committenza e in accordo con lo Studio Tecnico di progettazione, nel mese di Marzo 2015, è stato eseguito il presente studio a supporto del progetto di un Piano Urbanistico Attuativo, denominato "Corte del Sole", da realizzare in via Gambisa, in Comune di Soliera (MO).

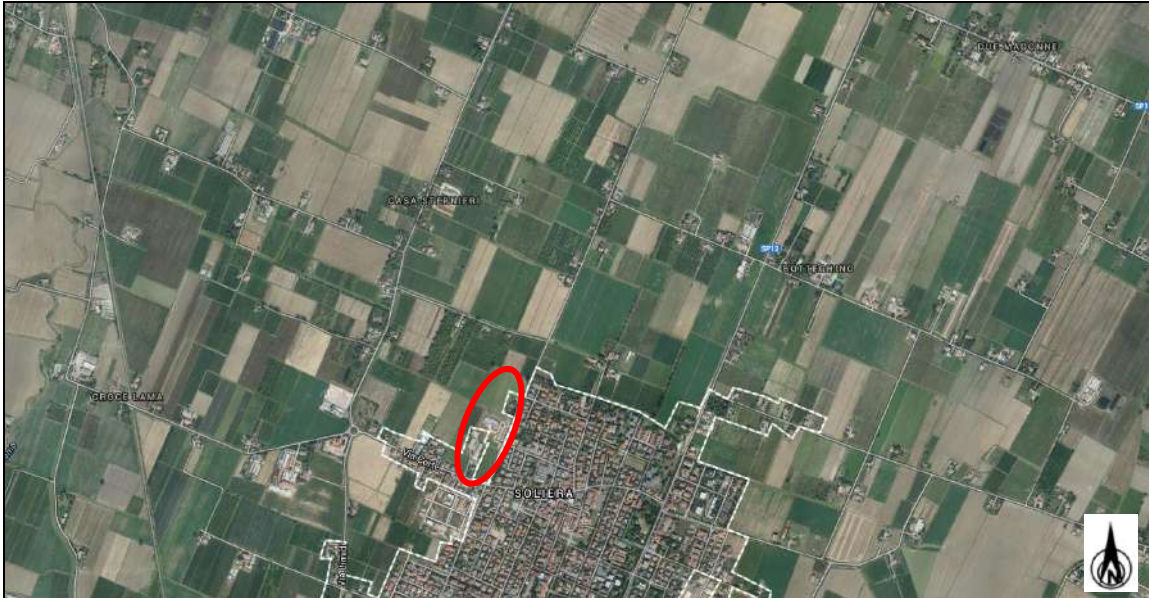


Foto1.1.1: Ripresa satellitare dell'area di interesse, tratta da "Bing Mappa".



Foto1.1.2: Ripresa aerea di dettaglio dell'area di interesse, tratta da "Bing Mappa".

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

L'area oggetto di studi si colloca a nord del centro storico di Soliera, in via Gambisa, nel Comune di Soliera, ad una quota topografica media di circa 24.00 m s.l.m..

L'area in oggetto è sita a nord del centro storico di Soliera, come visibile nella "Carta corografica" (**tav. n. 1**) in scala 1: 25.000, tavola CTR n. 201_NE "Carpì", nella "Carta topografica" (**tav. n. 2**) in scala 1:10.000, sezione CTR n. 201080 "Soliera" e nella "Ripresa fotografica generale dell'area di interesse" (**tav. n. 3**), tratta da Google Earth, che compaiono in allegato.

Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito software ed utilizzando la maglia di punti riportata in **figura 1.1.4** sono le seguenti:

Determinazione dei parametri sismici					
(1)* Coordinate WGS84					
Latitudine	<input type="text" value="44,742313"/>	°	Longitudine	<input type="text" value="10,920295"/>	°
(1)* Coordinate ED50					
Latitudine	<input type="text" value="44,743250"/>	°	Longitudine	<input type="text" value="10,921302"/>	°

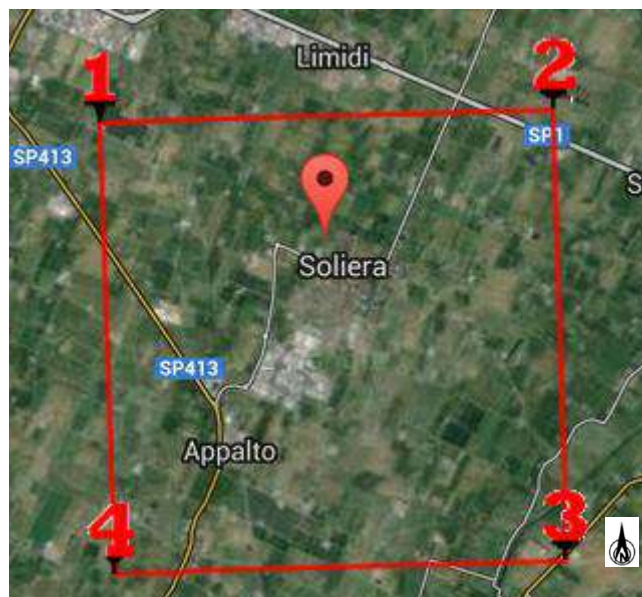


Fig. 1.1.4: Griglia di punti che identificano l'area di interesse, tratta da Geostru Parametri Sismici.

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** la presente relazione tecnica verrà suddivisa nei seguenti ambiti:

1) **RELAZIONE GEOLOGICA** riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08);

2) **RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08);

3) Relazione concernente la "**RISPOSTA SISMICA DEL SITO**" (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) , la verifica dello Stato Limite Ultimo (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08) e la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008).

4) **MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA** ai sensi della Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SITO

Da quanto si evince dalla "Carta della litologia di superficie", scala 1: 5.000, (**tav. n. 4**) nell'area oggetto di studi affiora la seguente litologia:

Successione Neogenico-Quaternaria del Margine Appenninico Padano

- **AES8 – Subsistema di Ravenna:** Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. *Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni)*. Tale subsistema si trova in litofacies limosa nel lotto in oggetto e in gran parte dell'area circostante.

Nell'area mancano evidenze geomorfologiche degne di nota, è stata fondamentale modificata dall'azione fluviale dei numerosi corsi d'acqua che scorrono come scoli o canali nella zona, per lo più a scopo irriguo. L'area è completamente pianeggiante con una leggera inclinazione in direzione nord-est in concordanza con l'andamento della Pianura Padana.

Dalla consultazione della **Tav. n.6** "Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale", tratta dall'omonima tavola del PTCP Provincia di Modena e visibile in allegato, si evince che la zona in studio ricade in un'area interessata da litologia limosa con profondità del tetto delle ghiaie e sabbie superiore a 100 m. Siamo in presenza di un acquifero libero e di un **grado di permeabilità molto basso**.

2.2. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPT, eseguite in data 05/03/2015;**
- **n. 2 indagini sismiche MASW, eseguite in data 06/03/2015;**
- **n. 2 indagini sismiche Re.Mi., eseguite in data 06/03/2015;**
- **n.2 indagini sismiche passive HVSR, eseguite in data 06/03/2015.**

Sono inoltre state prese in considerazione altre 3 CPT eseguite dal Nostro Studio nell'anno 2010 per la vicina lottizzazione di via I° Maggio, visibili in allegato n. 1.

In allegato n. 1 sono presenti anche i grafici e i tabulati relativi alle prove penetrometriche statiche CPT (anno 2015) corredate di interpretazione geotecnica. L'ubicazione di tali indagini è visibile nella tav. n. 5 che compare in allegato. Nell'allegato n. 2 sono invece visibili le indagini sismiche MASW, Re.Mi. e HVSR.

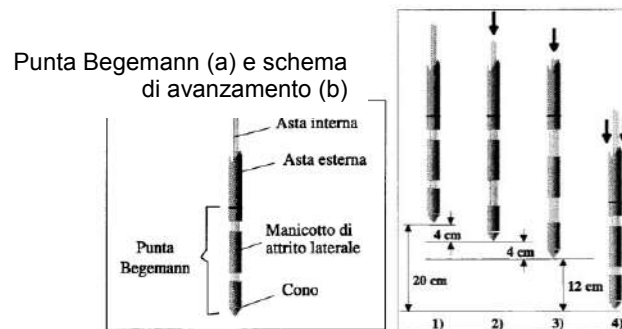
2.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Nell'area di interesse sono state eseguite, in data 05/03/2015, **n. 2 prove penetrometriche statiche CPT**, spinte entrambe fino alla profondità di – 20.00 m.

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	100 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	Rp (resistenza alla punta)
	RI (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm²
Angolo alla punta	60°



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 all'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 (Rp);
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale (RI);
- 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 (Rt).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza (Rp) tenuto conto della superficie di infissione di circa 10 cm². 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 (Area Manicotto Laterale) = 150 cm²

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

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

Metodo di Begemann:

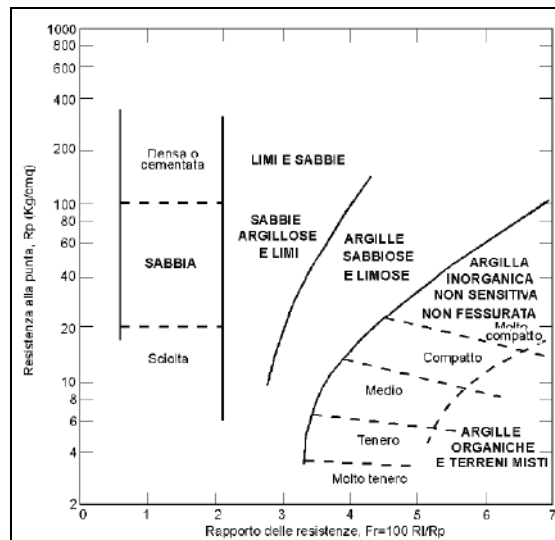
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra Rp e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

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

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

Metodo di Schmertmann:

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



2.3 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

CPT eseguite nell'anno 2015

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle prove penetrometriche eseguite in data 05/03/2015 illustrate nell'**allegato n. 1**, si può riassumere quanto segue:

- le due prove penetrometriche CPT eseguite hanno rilevato una discreta omogeneità litostratigrafica sia in senso verticale che orizzontale;
- Si rileva, nella CPT n. 1 un primo strato di **argilla limosa a media consistenza** fino alla profondità di circa - 2.20 m da p.c., livello che nella CPT n. 2 si approfondisce fino a - 4.00 m da p.c. ($0.98 \text{ MPa} < \mathbf{R_p} < 1.67 \text{ MPa}$), seguito da un **livello coesivo a medio-scarso consistenza** ($0.49 \text{ MPa} < \mathbf{R_p} < 1.37 \text{ MPa}$) fino alla profondità di circa - 12.00 m da p.c. nella CPT n 1 e fino a - 8.20 m da p.c. Da qui fino a - 12.80 m da p.c. nella CPT n. 2 si rileva uno strato di **argilla limosa a media consistenza** ($1.08 \text{ MPa} < \mathbf{R_p} < 1.86 \text{ MPa}$). Nella CPT n. 1 da -12.00 m da p.c. si ha un **livello di argille limose consistenti** fino a -15.00 m da p.c., livello che nella CPT n. 2 si ferma a - 14.00 m da p.c. ($1.76 \text{ MPa} < \mathbf{R_p} < 3.04 \text{ MPa}$). Alle profondità ora esposte si rileva in entrambe le CPT uno **strato di sabbia sciolta** nella CPT n. 2 e **da sciolta a mediamente addensata** nella CPT n. 1, che si approfondisce fino a - 14.80 m da p.c. nella CPT n. 2 e fino a -17.40 m da p.c. nella CPT n. 1 ($2.25 \text{ MPa} < \mathbf{R_p} < 6.86 \text{ MPa}$ e $\mathbf{D_r}\%$ variabile da 12 a 50). Da qui a fondo foro in entrambe le CPT si rileva un **livello di argille consistenti** ($2.25 \text{ MPa} < \mathbf{R_p} < 3.23 \text{ MPa}$);
- Per quanto riguarda il grado di consolidazione dei materiali coesivi, è stata rinvenuta la presenza di terreni sovraconsolidati **SC** (con $\text{OCR} > 4$) fino a - 6.00/7.60 m dal p.c., seguiti da terreni leggermente consolidati **LC** ($2 < \text{OCR} < 4$) e qualche straterello appartenente a terreni normalconsolidati **NC** ($1 < \text{OCR} < 2$) fino a fondo foro.
- Al termine delle prove penetrometriche è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno dei fori di sondaggio. La quota si attesta pari a:

N° Prova	D _w (05/03/2015)
CPT 1	-0.30 m da p.c.
CPT 2	Foro chiuso

La quota di soggiacenza è riferita ad un periodo di intensissime precipitazioni e quindi non è attendibile, la reale soggiacenza della falda freatica, ricavata da innumerevoli lavori eseguiti nella zona può essere ascrivibile a $D_w = - 2.00$ m da p.c. attuale.

CPT eseguite nell'anno 2010 in via I° Maggio

Le n. 3 CPT prese in considerazione, eseguite nell'anno 2010 nella vicina area via I° Maggio, spinte tutte a $- 12.00$ m da p.c., sono molto simili a quelle eseguite in sito per il presente PUA in progetto.

- Si rileva in tutte le tre CPT n. 1 un primo strato di **argilla limosa a media consistenza** fino alla profondità di circa $- 1.20/1.80$ m da p.c., ($0.98 \text{ MPa} < R_p < 1.37 \text{ MPa}$), seguito da un **livello coesivo a medio-scarso consistenza** ($0.49 \text{ MPa} < R_p < 1.27 \text{ MPa}$) fino alla profondità di circa $- 8.60$ (CPT n. 86 e n. 89) e fino a $- 4.40$ m da p.c. nella CPT n. 90. Da qui fino a fondo foro nelle CPT n. 86 e n. 90 e fino a $- 10.80$ m da p.c. nella CPT n. 89 si rileva uno strato di **argilla limosa a media consistenza** ($1.08 \text{ MPa} < R_p < 1.76 \text{ MPa}$). Nella CPT n. 89 da -12.00 m da p.c. a fondo foro si ha un **livello di argille limose a scarsa consistenza** ($0.59 \text{ MPa} < R_p < 0.88 \text{ MPa}$);

3. RELAZIONE GEOTECNICA

3.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per un futuro progetto edificatorio.

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini sopracitate, illustrate nell'**allegato n. 1** e precedentemente descritte, è stato possibile estrapolare il seguente modello geotecnico 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/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² ≈ 50.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² ≈ 5.0 kN/m ²
				M_0	45.0 kg/cm ² ≈ 4500 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
2	2.20 – 12.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a medio- scarsa consistenza	γ	1750 kg/m ³ ≈ 17.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/m ³ ≈ 20.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.40 kg/cm ² ≈ 40.0 kN/m ²
				C'_k	0.04 kg/cm ² ≈ 4.0 kN/m ²
				M_0	30.0 kg/cm ² ≈ 3000 kN/m ²
				E_s	56.0 kg/cm ² ≈ 5600 kN/m ²
				ϕ_k	20°
3	12.00 – 15.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa consistente	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ ≈ 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.80 kg/cm ² ≈ 80.0 kN/m ²
				C'_k	0.08 kg/cm ² ≈ 8.0 kN/m ²
				M_0	60.0 kg/cm ² ≈ 6000 kN/m ²
				E_s	112.0 kg/cm ² ≈ 11200 kN/m ²
				ϕ_k	25°
4	15.00 – 17.40 m da p.c.		Sabbia limosa da sciolta a mediamente addensata	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ ≈ 21.50 kN/m ³
				Dr	35 %
				E_s	150.0 kg/cm ² ≈ 15000 kN/m ²
				ϕ_k	30°
				v	0.30
				5	17.40 – 20.00 m da p.c.
γ'	2200 kg/m ³ ≈ 22.00 kN/m ³				
C_{uk}	0.90 kg/cm ² ≈ 90.0 kN/m ²				
C'_k	0.09 kg/cm ² ≈ 9.0 kN/m ²				
M_0	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²				
E_s	126.0 kg/cm ² ≈ 12600 kN/m ²				
ϕ_k	25°				
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
			v	=	modulo di Poisson
			E_s	=	modulo elastico
ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico			

Si riportano di seguito le referenze bibliografiche e le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici sopra riportati:

γ' = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno [Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982]

C_{uk} = coesione non drenata (terreni coesivi) [Formula di Lunne & Eide]

D_r = densità relativa (terreni granulari) [Schmertmann 1976]

M_0 = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973]

E = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimov 1974]

ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari) [Meyerhof 1956/1976, sabbie limose]

ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni coesivi) [prove di laboratorio CID da Noi eseguite su analoghi litotipi presso Nostro laboratorio certificato dal "Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n.1845" per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce, categoria A].

3.2. IPOTESI DI FONDAZIONI

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche eseguite in sito si può fornire una prima ipotesi di fondazione per un eventuale futuro fabbricato da realizzare all'interno del PUA "La Corte del Sole". Ipotizzando fondazioni di tipo nastriforme in c.a., approfondite a $D = - 1.00 \text{ m}$ da p.c. attuale, si potrà considerare valida una portata ammissibile pari a $Q_{amm} = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100.0 \text{ kN/m}^2$.

Comunque, in fase attuativa, si dovrà approfondire il presente studio, eseguendo puntuali indagini per ogni singolo fabbricato in progetto, in numero adeguato relativamente all'intervento e, solo allora, sulla base di tali dati ricavati dalle indagini, si potranno fornire con precisione indicazioni relative alla tipologia e dimensioni delle fondazioni e procedere al calcolo dei cedimenti e degli SLU.

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

4.1. SISMICITÀ DELL'AREA

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

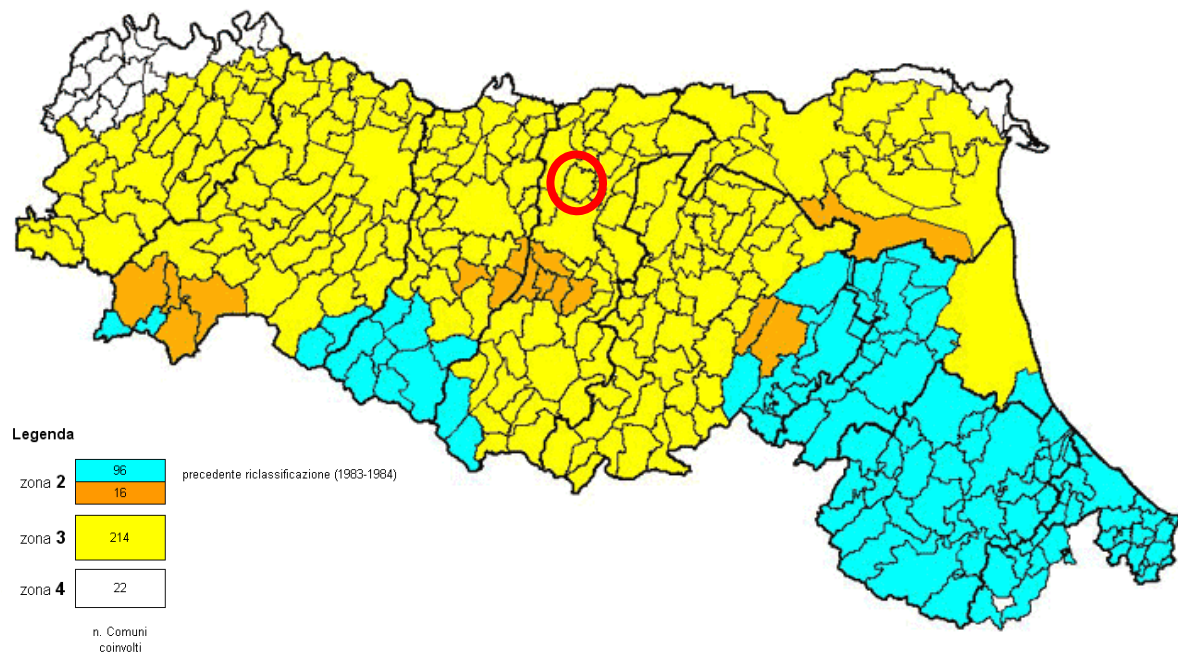


Fig. 4.1: Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna ed ubicazione del territorio comunale di Soliera (MO).

Sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici, sopracitata, secondo le indagini geofisiche eseguite in sito 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).*

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

coordinate geografiche (Sistema di riferimento **ED50**): Latitudine: 44.743250°, Longitudine 10.921302°, tale parametro è risultato pari ad **a_g attesa = 0.157 $_g$**

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,045	2,489	0,252
Danno (SLD)	50	0,056	2,506	0,267
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,157	2,573	0,272
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,209	2,524	0,279
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,015	0,055	0,089
kv	0,006	0,008	0,028	0,045

Tab. 4.1: Parametri sismici per l'area di interesse desunti dal programma *GEO STRU PS Parametri Sismici*

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

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

dove:

Fo = Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.573**;

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

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

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

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

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

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

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

4.2. INDAGINI GEOFISICHE

Per la classificazione sismica dell'area di studio, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 2 indagini sismiche MASW;**
- **n. 2 indagini sismiche Re.Mi.;**
- **n. 2 indagini sismiche passive HVSr.**

Nell'allegato n. 2 sono visibili i grafici e i risultati delle indagini sismiche MASW, Re.Mi. e HVSr.

4.2.1. Indagini sismiche con Metodo MASW.

Per potere classificare l'area da un punto di vista sismico, come richiesto dal D.M. 14 Gennaio 2008, sono state eseguite in sito **n. 2 indagini sismiche con tecnica MASW**.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando 24 geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW (Multichannel Analysis of Surface**

Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs).

I dati sono stati registrati mediante un sismografo GEODE della Geometrics a 24 canali. La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica MASW per la determinazione dello spettro di velocità tramite l'inversione della curva di dispersione, con l'utilizzo del *software winMASW 4.3*.

La procedura MASW può quindi sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

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

Le elaborazioni presenti in **Allegato n. 2**, restituiscono dei grafici che riportano la curva di dispersione del segnale, dalla cui inversione è stato calcolato il Modello "Sismo – Stratigrafico", espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs), con un'immagine a colori che mostra i valori di lettura delle velocità/frequenza ed il profilo delle velocità delle onde di taglio con l'indicazione della V_{s30} calcolata, espressa in metri/secondo.

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

MASW 1	$V_{s30} = 221\text{m/s}$	Categoria C
MASW 2	$V_{s30} = 218\text{m/s}$	Categoria C

Quindi, secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**) e in base ai dati ottenuti dalle indagini geofisiche sopracitate (**Allegato n. 2**), si conferma l'appartenenza del terreno di fondazione indagato alla **categoria C**.



Foto.4.2.1 e 4.2.2: Ripresa fotografica dello stendimento sismico MASW 1 e MASW 2 eseguiti



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Esempio: Profondità = (Lunghezza stendimento / 4 ÷ 3) = (120 ml / 4 ÷ 3) = 30÷40 ml

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

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

Modalità operative

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

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

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

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

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

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

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

RE.MI 1	$V_{s30} = 228$ m/s	Categoria C
RE.MI 2	$V_{s30} = 265$ m/s	Categoria C

Quindi, secondo la classificazione del suolo, secondo le indicazioni del D.M. 14 Gennaio 2008 e in base ai risultati ottenuti dalle indagini geofisiche Re.Mi. si classifica il terreno di fondazione del lotto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI V_{s30}

COMPRESI TRA **180 M/S** E **360 M/S** (OVVERO CON VALORI DI **$15 < N_{SPT,30} < 50$** NEI TERRENI A GRANA GROSSA E **$70 < Cu_{30} < 250$ KPA** NEI TERRENI A GRANA FINA)".



Foto 4.2.2.1- 4.2.2.2 Stendimento sismico per indagine Re.Mi. 1 e 2



4.2.3. Indagini sismiche passive con Metodo HVSR.

In data **06/06/2014** sono state eseguite presso l'area in studio **n. 2 indagini sismiche passive HVSR – Metodo di Nakamura.**

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

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

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

La tecnica **HVSR** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un **sismometro digitale** della ditta *Sara Electronics* di Perugia modello **SR04HS**, che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatto a tali misurazioni.

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

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

riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. E' possibile calcolare la **Vs30** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.

- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione delle indagini sismiche HVSR non è stato riscontrato nessun picco di frequenza caratteristico del sito.

4.3. CALCOLO 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_{Ff})	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** R_d 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:

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

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

- a_{MAX} (ag/g): **0.275g** (relativa a SLV ; $T_r = 475$ anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno K_h : **0.077**

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 un futuro ipotetico fabbricato, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

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

2) Approccio 2 - combinazione 1 (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:

**IPTESI di FABBRICATO - 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	1.23 kg/cm ² ≈ 123 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: $\text{tg } \varphi'd = \text{tg } \varphi'k / 1.25$, dove $\varphi'd$ 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 e tenendo conto anche della coesione efficace, secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'ipotetico fabbricato, uno stato limite ultimo pari a:

IPOTESI di FABBRICATO - 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 ≈ 121 kN/m ²

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker) A_{max} strata = 0.275g

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	1.13 kg/cm ² ≈ 113 kN/m ²

Utilizzando invece **l'Approccio 2, combinazione (A1+M1+R3)** il carico limite ultimo per l'ipotetico fabbricato, 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:

IPOTESI di FABBRICATO - 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	1.32 kg/cm ² ≈ 132 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: $\text{tg } \varphi'd = \text{tg } \varphi'k / 1.0$, 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, tenendo conto anche della coesione efficace di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

IPOTESI di FABBRICATO - 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 ≈ 155 kN/m ²

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker

$$A_{\max} \text{ strata} = 0.275g$$

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	1.48 kg/cm ² ≈ 148 kN/m ²

4.4 MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico

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

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

E' ormai accertato da numerosi studi a livello internazionale che, a parità di magnitudo e localizzazione della sorgente sismica (ipocentro), terreni a caratteristiche fisico meccaniche diverse subiscono deformazioni di intensità differente. Strumentalmente, ciò è rilevabile attraverso la modifica del moto sismico (*accelerogramma* o *spettro di risposta elastico*) impressa in termini di accelerazione in un dato periodo di tempo. Il moto sismico, impresso alle particelle, si propaga in modo contiguo nel terreno ampliandosi o smorzandosi in funzione del grado di addensamento e viscosità del materiale attraversato, caratterizzandosi per velocità delle onde di taglio (V_{sh}), più veloci tanto più il mezzo attraversato è addensato. Tutto ciò risulta di primaria importanza per un'attenta analisi della risposta sismica locale, al fine di individuare delle aree soggette ad effetti locali e per orientare un'accurata indagine di campagna finalizzata alla definizione delle proprietà di seguito elencate:

Indagine geologica e geomorfologia classica:

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

Studi geofisici specifici:

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

4.5 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

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

Dalla consultazione della tavola 2a 2 "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali" degli Elaborati cartografici di Piano del PTCP vigente per la Provincia di Modena, riportata nella **Tavola n. 9**, redatta sulla base delle **tavole n. 7 e n. 8** visibili in allegato, è emerso che l'area studiata ricade in una zona classificata come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti"

Gli studi richiesti per tale area sono quindi la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico (sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II Livello) e la stima dei cedimenti attesi (approfondimenti di III Livello). Trattandosi però di un PUA, quindi essendo in fase di pianificazione si ritiene opportuno procedere per l'area in studio ad approfondimenti di terzo livello per quanto riguarda tutti gli studi di microzonazione, gli approfondimenti di II livello non sono stati considerati in quanto subordinati al terzo.

4.6 TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 e in accordo con quanto esposto nella Dal. 112/2007 della Regione Emilia Romagna, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno **studio di risposta sismica locale, secondo il III livello di approfondimento**. Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 del D.M. 14/01/2008, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente. Tale analisi è svolta per ottemperare a ciò che è richiesto dalla normativa nazionale vigente (NNTC 2008), la normativa regionale dell'Emilia Romagna (D.a.l. n° 112/2007).

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali, al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato

di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo G_{max} o dalla corrispondente velocità massima V_{max} , dal valore dello smorzamento D , dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G / G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (\mathbf{G}) e dallo smorzamento (\mathbf{D}). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato (u) è funzione della profondità (z) e del tempo (t):

$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore k^* risulta dipendente dal modulo di taglio (G), dal grado di smorzamento (D) e dalla densità del terreno (ρ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$
$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}$$
$$G^* = G \left(1 - 2D^2 + i2D \sqrt{1 - D^2} \right) \simeq G(1 + i2D)$$

Dove G^* e v_s^* rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.

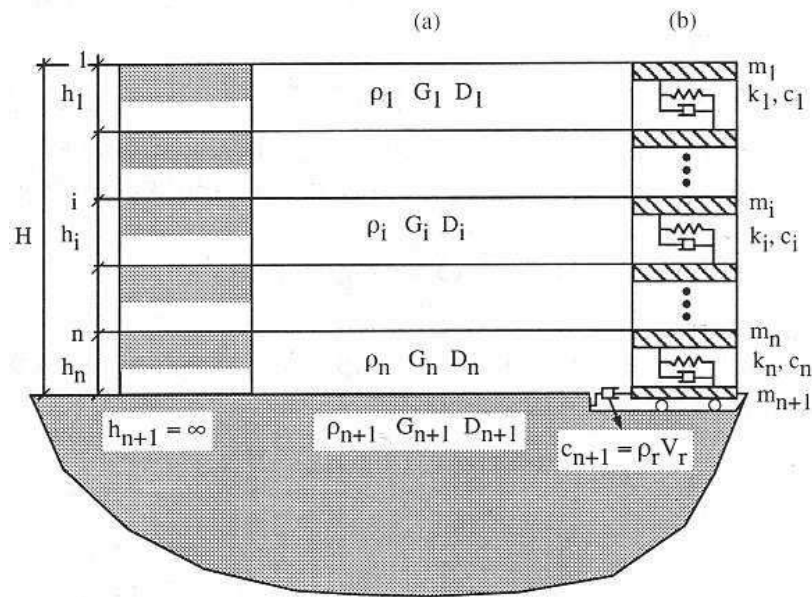


Fig. 4.6.1 – Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove MASW e REMI che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Non disponendo di dati geofisici profondi, utili all'identificazione diretta del luogo definito "bedrock sismico" dal quale il segnale sismico subisce amplificazione, è stata considerata cautelativamente una quota di -100.00 m da p.c. attuale. Sulla scorta di ciò l'analisi RSL verrà sviluppata facendo amplificare i n. 3 segnali di riferimento selezionati a una profondità di -100.00 m da p.c..

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale $\gamma(\%)$. Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

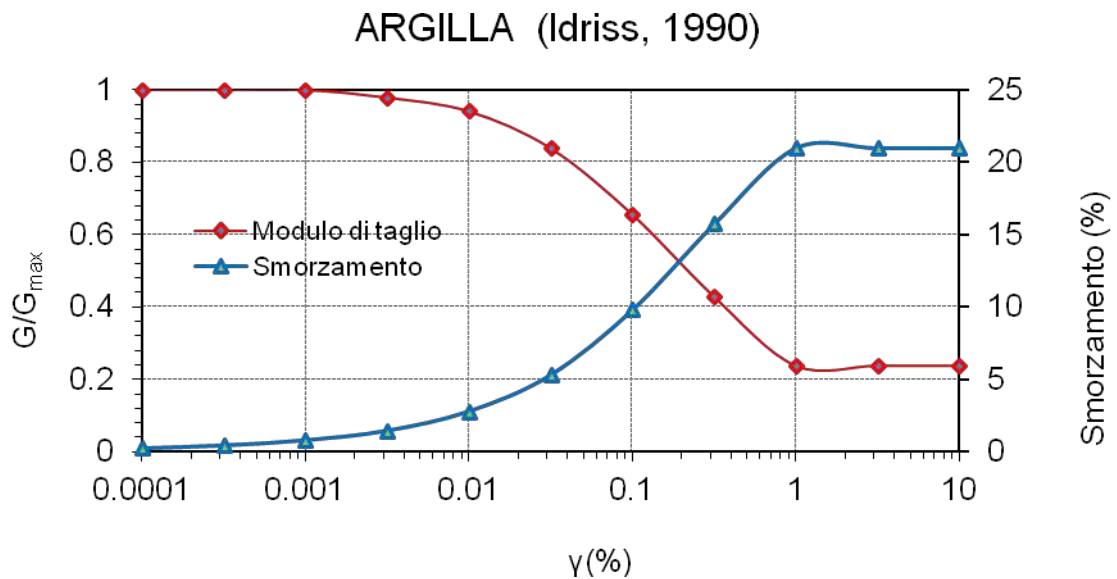


Fig. 4.6.2 – Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto

Trattandosi di una verifica a monte di una fase pianificatoria, in accordo con quanto esposto nella DAL 112/07, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 3 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV, scalati per il Comune di Castelvetro di Modena e forniti dalla Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico e Sismico dei Suoli).

RISULTATI OTTENUTI

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.

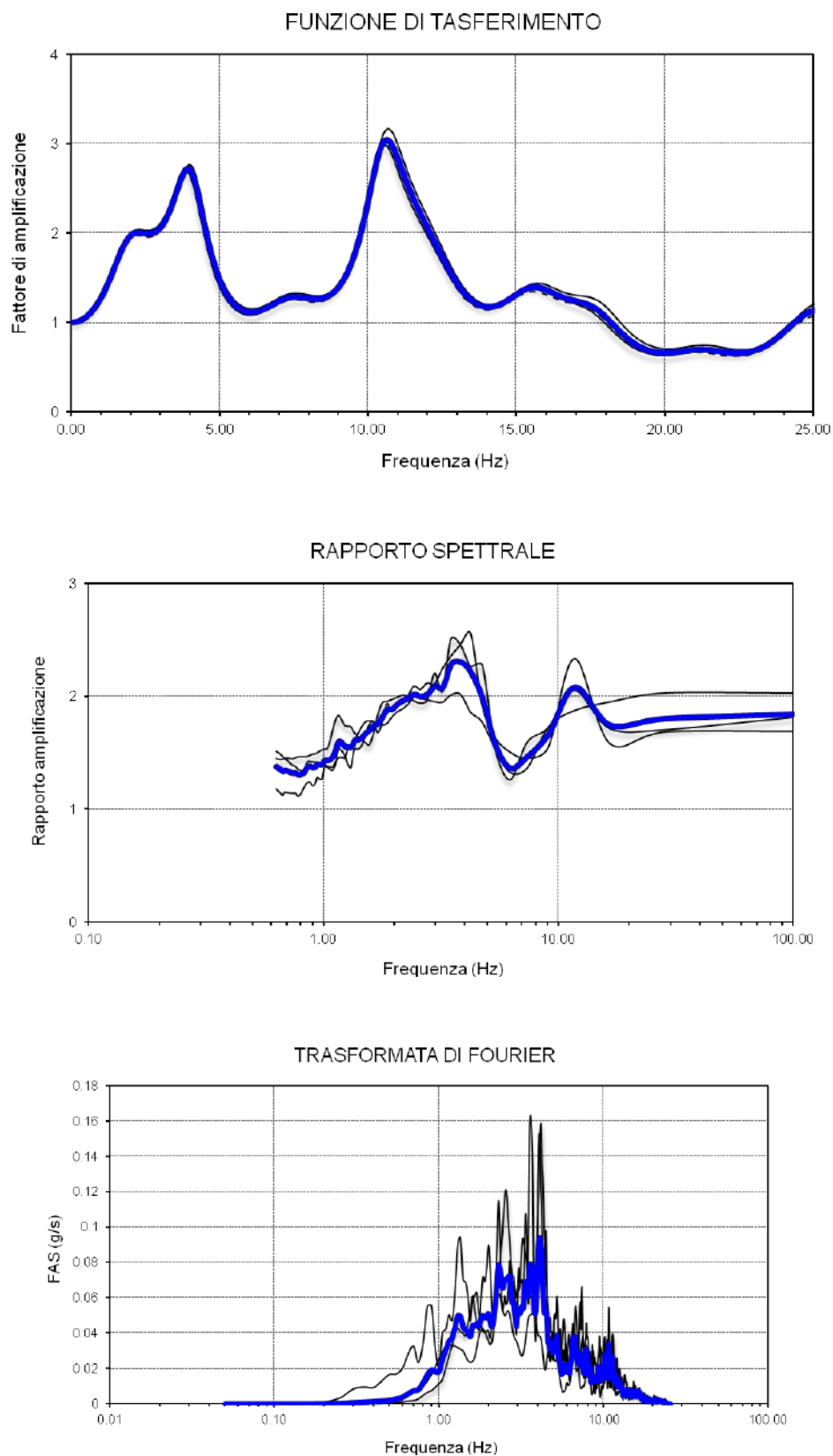


Fig. 4.6.3 – In alto: funzione FTT, funzione FT e rapporto spettrale di amplificazione.

Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:

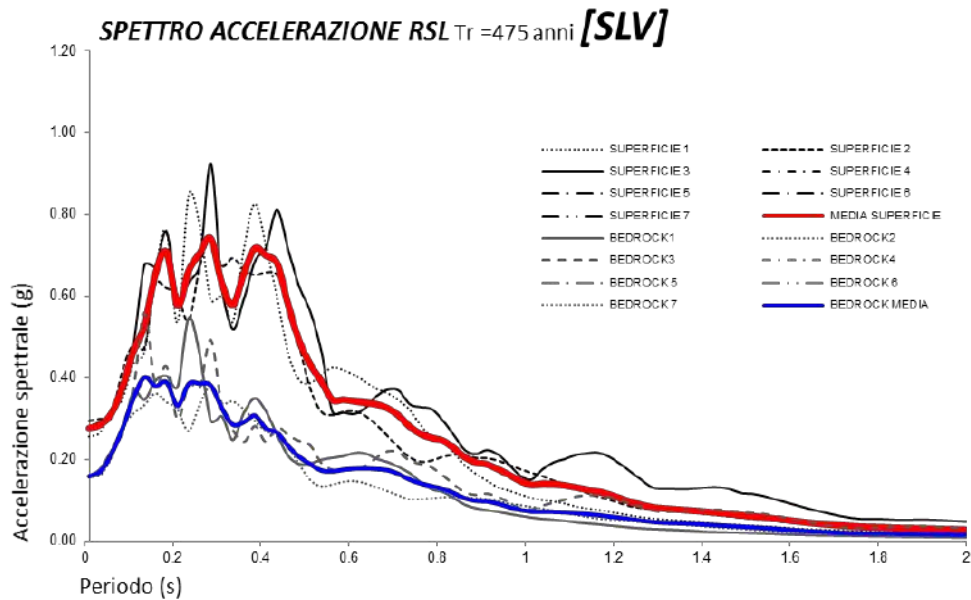


Fig. 4.6.4 – Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)

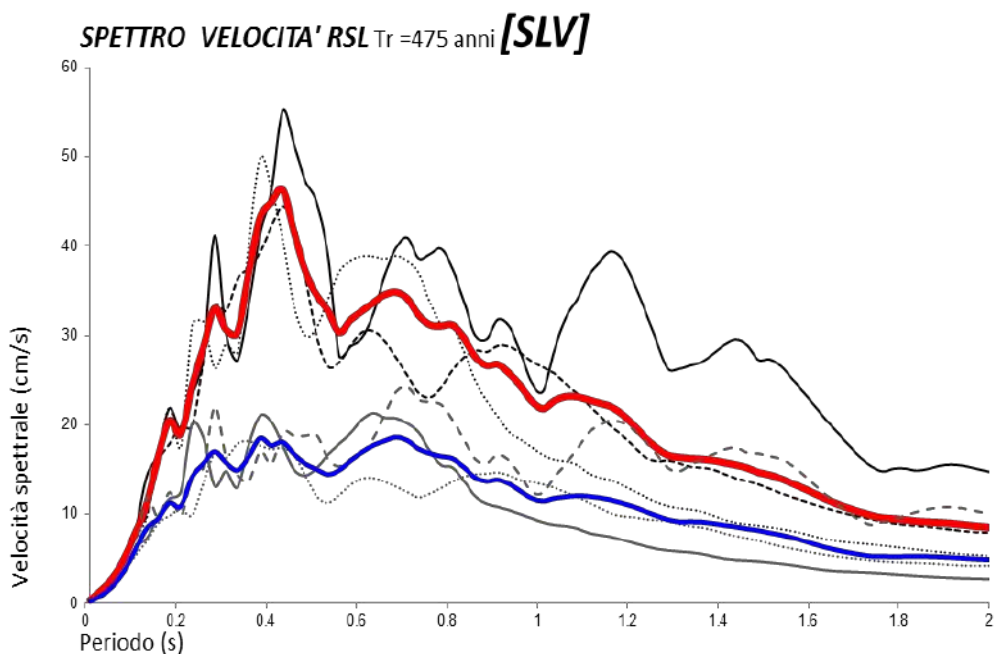


Fig. 4.6.5 – Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)

A seguito delle risultanze dello studio RSL svolto si definiscono i seguenti parametri sismici caratteristici del sito analizzato:

	PGA ₀ (g)	FA PGA	FA SI (0.00 < T(s) < 0.50)	FA SI (0.50 < T(s) < 1.00)	PGA (g)
SLV	0.158	1.74	2.56	1.92	0.275

Sulla scorta di quanto appena descritto l'accelerazione da utilizzare ai fini dell'identificazione dell'azione sismica di riferimento è pari a **0.275 g**.

4.7 STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 e in accordo con la D.a.l 112/2007 della Regione Emilia Romagna, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno **studio di microzonazione sismica con III livello di approfondimento per quanto riguarda la valutazione dei cedimenti post sismici** dell'area di interesse.

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

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

I cedimenti post-sismici sono stati calcolati secondo quanto descritto nell'All. n. 3 della D.a.l. n. 112/2007. Per tale stima sono state considerate le n. 2 prove CPT eseguite in corrispondenza del sito in oggetto.

4.7.1 Cedimenti post-sismici dei terreni coesivi

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

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

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

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

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

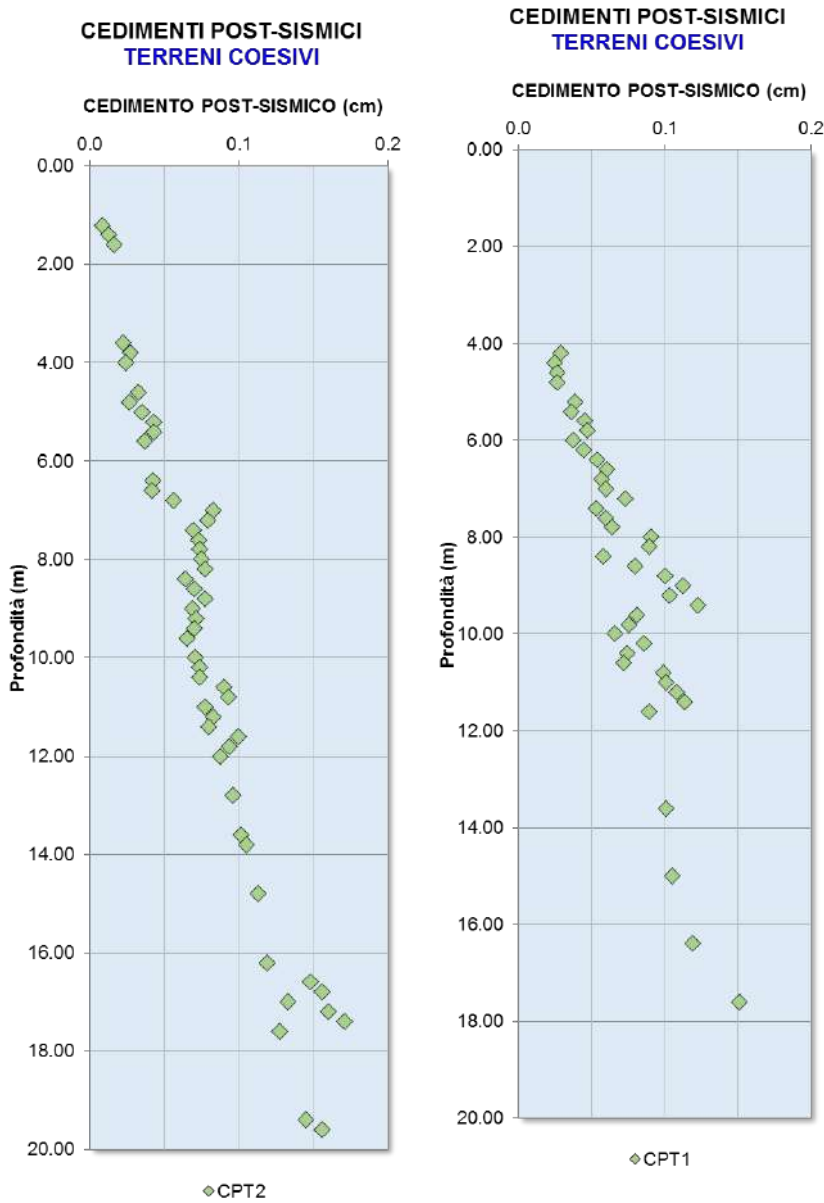
La stima dei cedimenti è stata svolta considerando le n. 2 verticali relative alle CPT eseguite in corrispondenza dell'area in oggetto. Per lo svolgimento del calcolo la superficie piezometrica è stata considerata a D = - 2.00 m da p.c.. Per quanto riguarda l'azione sismica, è stato considerato il valore di PGA di 0.275 g, derivato dall'analisi svolta mediante il codice di calcolo STRATA. Come descritto nel All. n. 3, contenuto nella D.a.I. n. 112/2007, la stima è stata svolta solamente per i **livelli coesivi** molto soffici ($c_u \leq 70$ kPa) e plastici ($I_p \geq 30$ %).

Si riportano successivamente i valori di cedimenti post-sismici, relativi ai terreni a natura coesiva, calcolati per ciascuna indagine CPT:

CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI COESIVI

CPT 1	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	3.074* * (calcolati su una verticale di 20.00 m)
CPT 2	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	4.188* * (calcolati su una verticale di 20.00 m)

Tab. 4.7.1 – Sommatoria dei cedimenti post-sismici totali, calcolati per ciascuna verticale di prova considerata



-Graf. 4.7.2 – Grafico dei valori di cedimenti post-sismici, calcolati per ogni step (0.20 cm) di lettura

4.7.2 Cedimenti post-sismici dei terreni incoerenti saturi

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

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

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

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

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

Data l'assenza di livelli granulari nel sottosuolo indagato si è ritenuto non necessario eseguire la stima dei cedimenti dei livelli granulari saturi.

4.8 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 CPTU, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione di terreni sotto falda in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di "**Robertson e Wride**".

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

a_{\max}	= accelerazione sismica massima;
g	= accelerazione di gravità = 980.7 cm/s ² ;
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** mobilata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$R = 0.883 \left[\frac{q_{c1n}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50 \text{ e}$$

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

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≤5	Basso
5<IL≤15	Alto
15<IL	Molto alto

La verifica a liquefazione è stata eseguita considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14**, un'accelerazione massima orizzontale (calcolata con Strata) **A_{max} = 0.275_g** (sulla base delle N.N.T.C) e la soggiacenza della falda freatica alla quota **D_w = - 2.00 m** da p.c..

La verifica, eseguita su entrambe le verticali di prova delle CPT eseguite, ha fornito il valore dell'indice **IL** di liquefazione pari a:

CPT	IL
CPT n. 1	IL = 0.0 rischio di liquefazione molto basso
CPT n. 2	IL = 0.0 rischio di liquefazione molto basso

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione, stilata ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", è stata redatta a supporto del progetto di un Piano Urbanistico Attuativo, denominato "Corte del Sole", da realizzare in via Gambisa, in Comune di Soliera (MO).

Ai sensi della D.A.L. della Regione Emilia Romagna n.112/2007 si sono eseguiti gli studi di microzonazione sismica dell'area con **approfondimenti di III livello**, essendo in fase di pianificazione.

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini geognostiche eseguite in sito si possono dare indicazioni preliminari per i futuri fabbricati da realizzare.

A tal fine si è fatta un'ipotesi di fabbricato tipo con **fondazioni nastriformi** approfondite a quota di **D = - 1.00 m da p.c.**, tenendo conto dei parametri geotecnici del primo strato del modello geotecnico schematico medio (paragrafo 3.1), si potrà considerare valida una portata ammissibile pari a **Qamm = 1.00 kg/cm² ≈ 100.0 kN/m² ..**

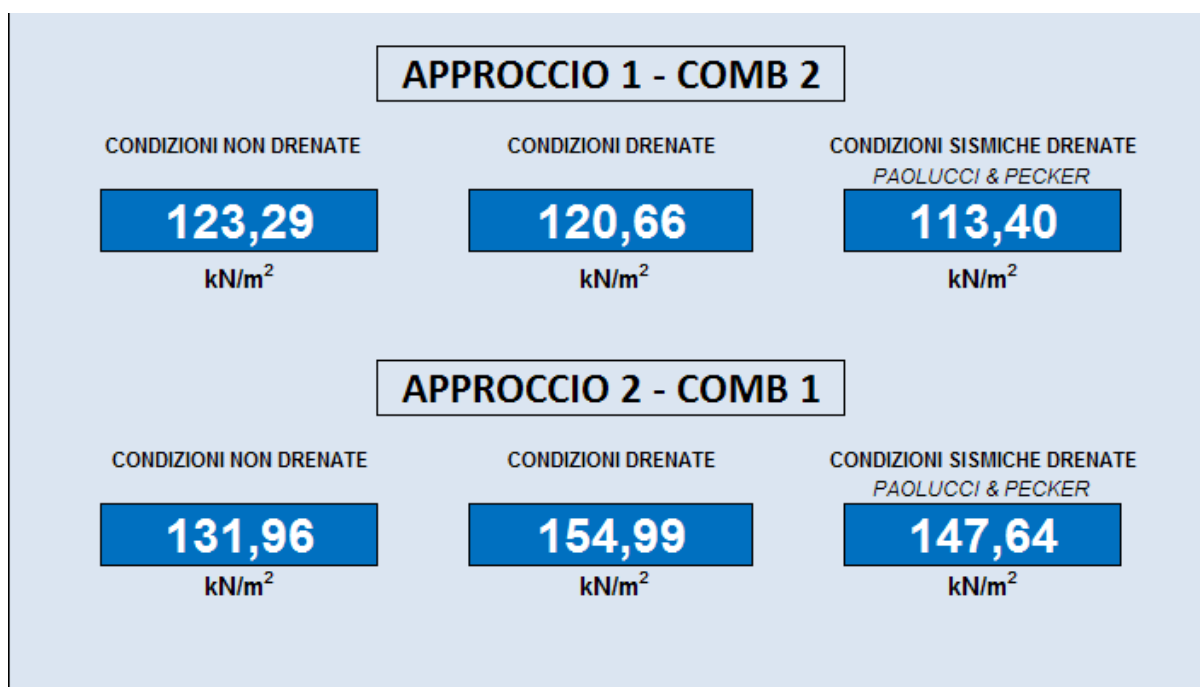
In fase esecutiva dovranno essere eseguite per ogni singolo fabbricato ulteriori e puntuali indagini geotecniche corredate delle successive relazioni geologiche e geotecniche necessarie per determinare con precisione la portata ammissibile, i cedimenti e gli SLU.

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 ad una **preliminare verifica** nei confronti degli stati limite ultimi (SLU). Per quanto riguarda le **opere di fondazione ipotizzate**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo SLU **sia a breve che a lungo termine** determinato **sia in condizioni statiche che pseudostatiche** (PAOLUCCI E PECKER [1997]) per un ipotetico futuro fabbricato tipo, 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 agli stati limite ultimi **SLU**, considerando la **A_{max}** ottenuta con **STRATA** pari a **a_{MAX} STRATA = 0.275 g**, per ipotesi di fondazioni nastriformi in c.a. approfondite a **D = - 1.00 m da p.c.**



Le indagini sismiche MASW e Re.Mi. hanno permesso di determinare la velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 35 m, restituendo i seguenti valori:

MASW 1	Vs30 = 221 m/s	categoria C
MASW 2	Vs30 = 218 m/s	categoria C
Re.Mi 1	Vs30 = 228 m/s	categoria C
Re.Mi 2	Vs30 = 265 m/s	categoria C

Gli spettri H/V ottenuti dall'elaborazione delle n. 3 indagini sismiche passive HVSR eseguite in sito non hanno evidenziato alcuna frequenza caratteristica di sito

In base ai risultati sopra esposti e in conformità con la nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14 Gennaio 2008), si classifica il terreno di fondazione in esame come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero con valori di $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Ora, 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 V_R stimato di 475 anni, per l'area in oggetto, identificata dalle

seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.743250°, Longitudine 10.921302°, tale parametro è risultato pari ad **a_g attesa = 0.157 g**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al bedrock, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s caratteristico dell'area secondo il NTC 2008 D.M. 14/01/2008 da cui, essendo il sito in classe **C** si avrà, dopo gli opportuni calcoli, in base ai valori del fattore stratigrafico e del fattore topografico ottenuti, un' accelerazione massima orizzontale **$A_{max} = 0.229g$** .

Si sono, inoltre, per il motivo precedentemente esposto, eseguiti gli studi di microzonazione sismica, ai sensi della D.A.L. della Regione Emilia Romagna n.112/2007, con **approfondimenti di III livello** per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico. Per ottemperare ai riferimenti normativi citati è stata eseguita una risposta sismica locale (RSL), come indicato § 7.11.3 del D.M. 14/01/2008, mediante analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente mediante software considerando il codice di calcolo STRATA. I risultati sono esposti nel paragrafo 4.2.2 e di seguito riassunti, considerando un modello continuo lineare equivalente:

	PGA ₀ (g)	FA PGA	FA SI (0.00 < T(s) < 0.50)	FA SI (0.50 < T(s) < 1.00)	PGA (g)
SLV	0.158	1.74	2.56	1.92	0.275

Sulla scorta di quanto appena descritto l'accelerazione da utilizzare ai fini dell'identificazione dell'azione sismica di riferimento è pari a **0.275 g**.

La verifica alla liquefazione, eseguita secondo il metodo di **Robertson e Wride** su entrambe le verticali di prova delle CPT, ha fornito valore di "indice di liquefacibilità" **IL = 0.0** segno di un **rischio di liquefazione "basso"**.

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

Modena, 11 Marzo 2015

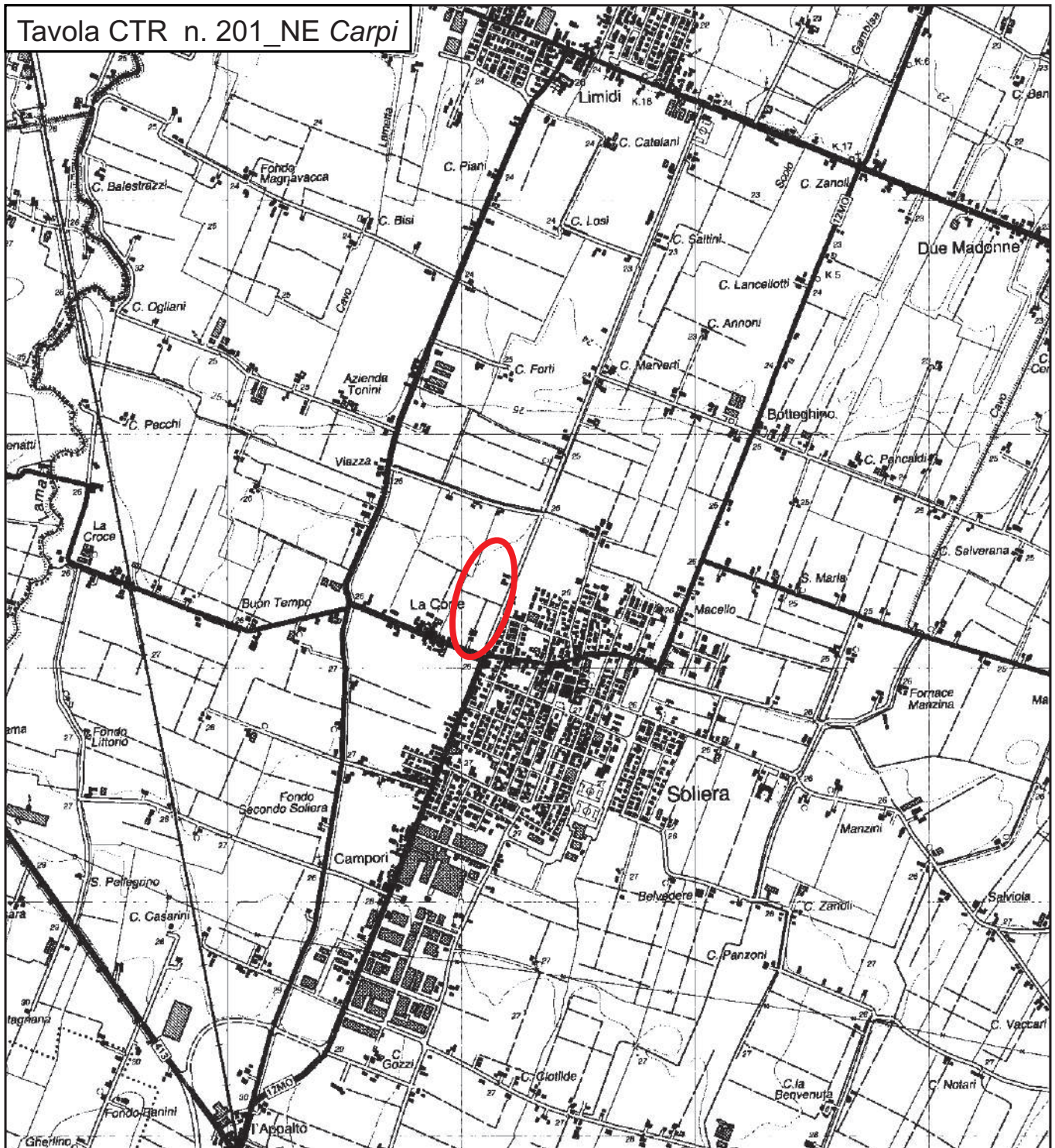
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



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. 201_NE Carpi



Tav. n. 1 "Carta Corografica"

Scala 1: 25000



Legenda

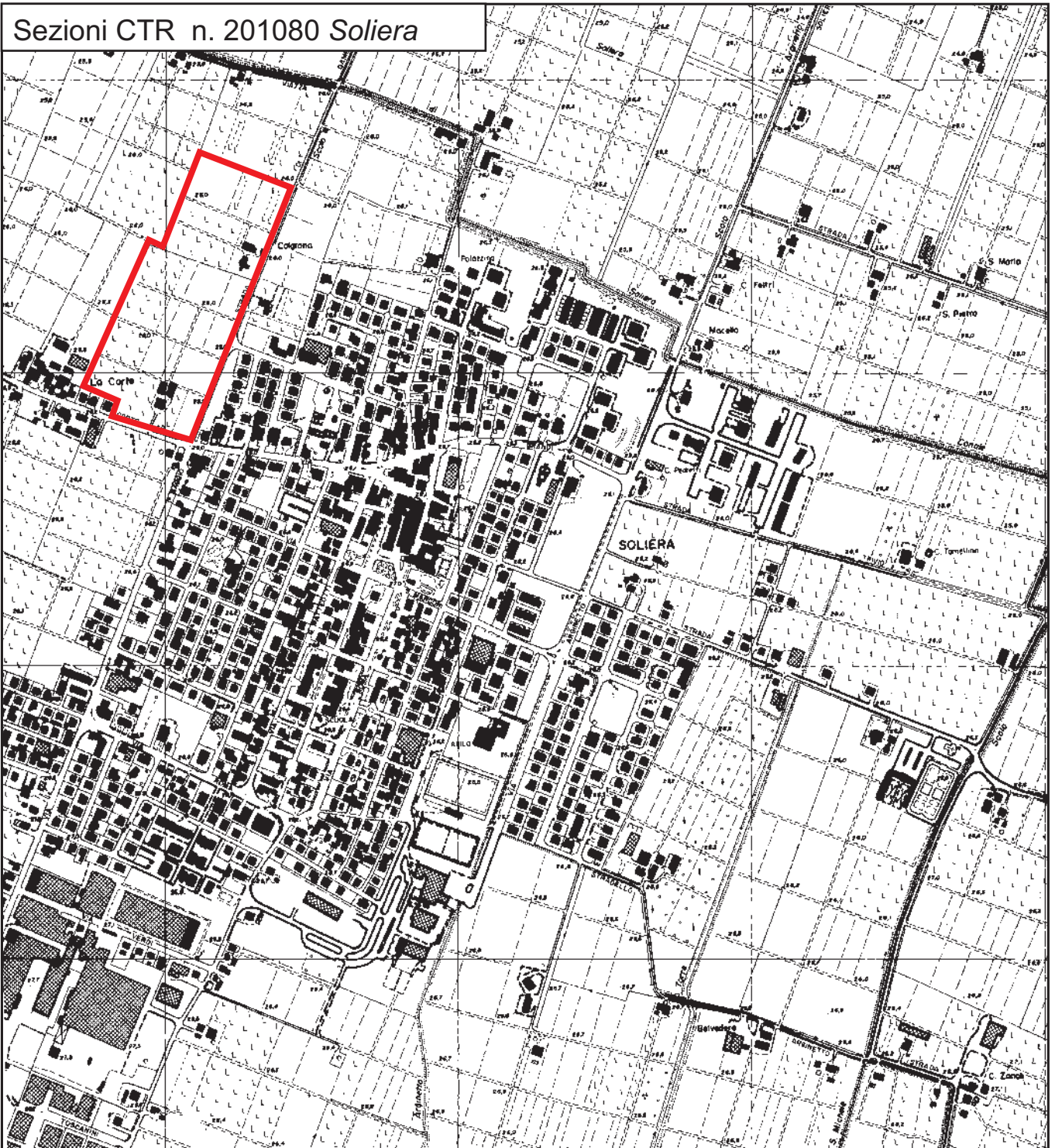


Area di interesse

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. 201080 Soliera



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



Legenda



Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

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



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

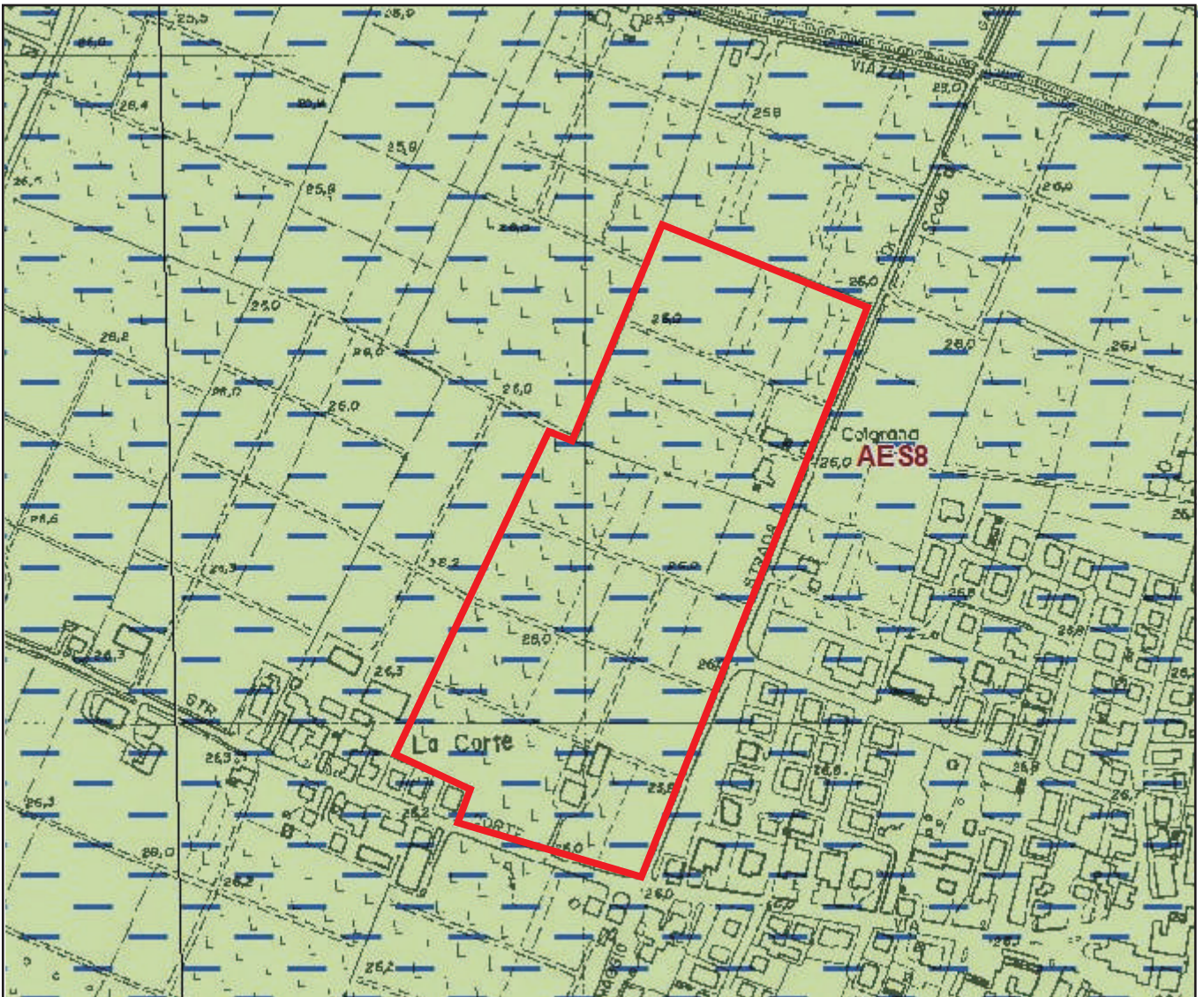
(tratta da “Bing Mapped”)
Scala grafica



Area oggetto di studio

GEO GROUP s.r.l.

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



Tav. n. 4 "Carta della litologia di superficie"

Scala 1: 5000



Legenda



Area di interesse

Ambiente deposizionale e litologia affiorante



Limo - Piana alluvionale

Successione neogenico-quadernaria del margine
appenninico padano



AES8 - Subsystema di Ravenna

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

GEO GROUP s.r.l.

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



Tav. n. 5 - "Ubicazione indagini geognostiche"

Scala grafica



prova penetrometrica CPT



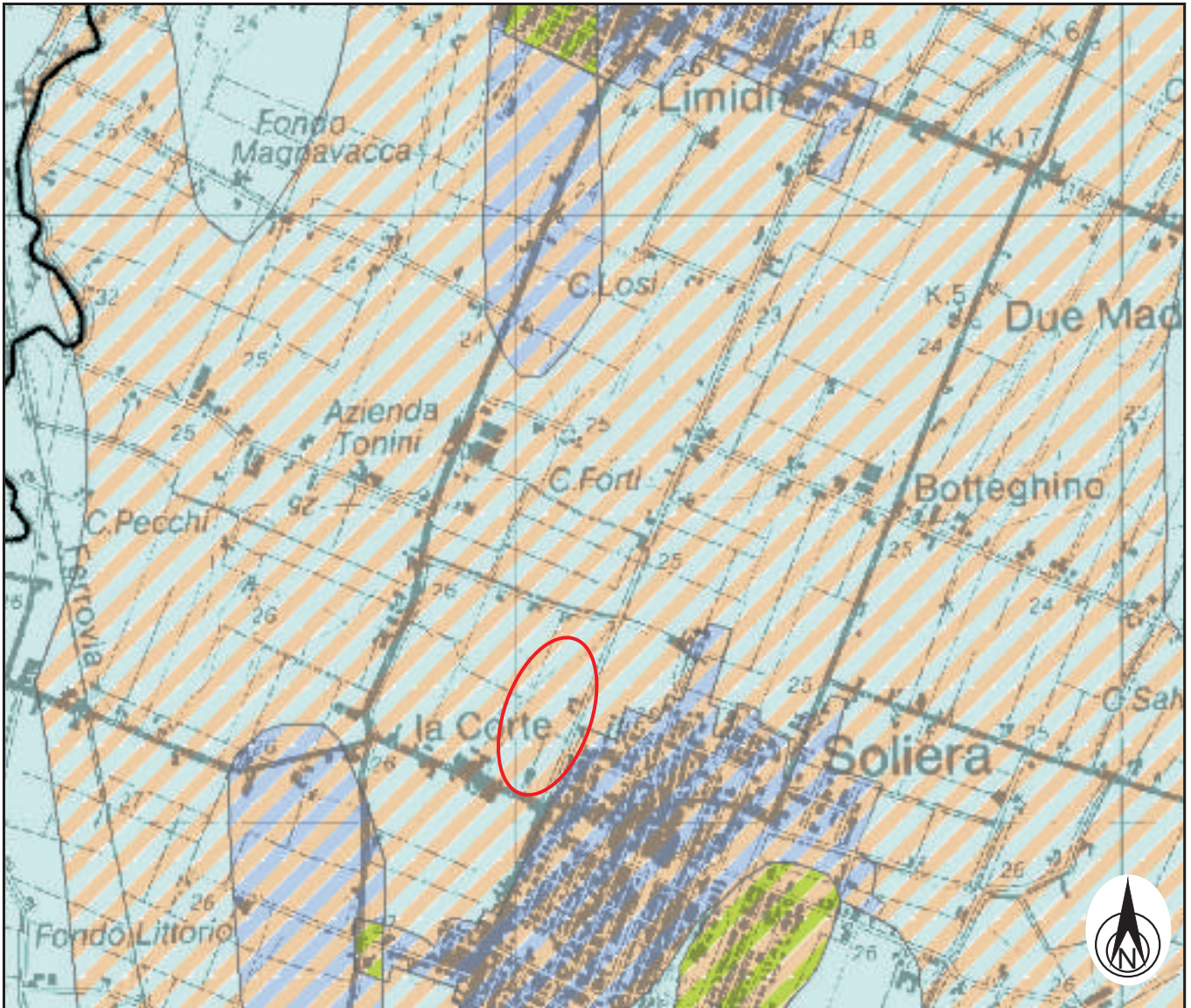
Indagine sismica
passiva HVSR



Indagine sismica MASW
indagine sismica Re.Mi.

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



* GRADO DI VULNERABILITA'						LITOLOGIA SUPERFICIE	PROFONDITA' TETTO GHIAIE E SABBIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO	CAPACITA' ATTENUAZIONE SUOLO
EE	E	A	M	B	BB				
						- Zona di MEDIA PIANURA: Area caratterizzata da assenza di acquiferi significativi, nella quale sono presenti livelli di ghiaia solamente al di sotto dei 100 m di profondità* e di sabbia al di sotto dei 25 m di profondità*			
						(**) Paleovali recenti e depositi di rotta, sede di acquiferi sospesi.			
						limo	> 100	libero	AM
						sabbia	> 100	libero	AM
						limo	> 100	libero	B
						sabbia	> 100	libero	B
						argilla	> 10	libero/confinato	AM
						limo	> 10	libero/confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	confinato	A
						argilla	> 10	libero/confinato	B
						argilla e/o limo	< 10	libero	AM
						limo	> 10	libero/confinato	MB
						argilla e/o limo	< 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	confinato	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	B

Alvei fluviali dispersi

* EE = Estremamente Elevato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso BB = Molto Basso

Per le zone di 'MEDIA-ALTA PIANURA' si prende in considerazione il tetto della ghiaia.
Per la zona di 'BASSA PIANURA' si prende in considerazione il tetto delle sabbie.

Tav. n. 6

Tav. 3.1.1 "Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale"

Scala grafica

CLASSI DI SENSIBILITA'

1 = EE + E
2 = A + M

ELEMENTI IDROGEOLOGICI



Rete idrografica principale e aree con faldo affiorante



Limite collinare



Area di interesse

Tratta da:



GEO GROUP s.r.l.

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



Tav. n. 7

“QC Tav. 3_1 - Carta dei depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie”

Scala grafica

Legenda

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

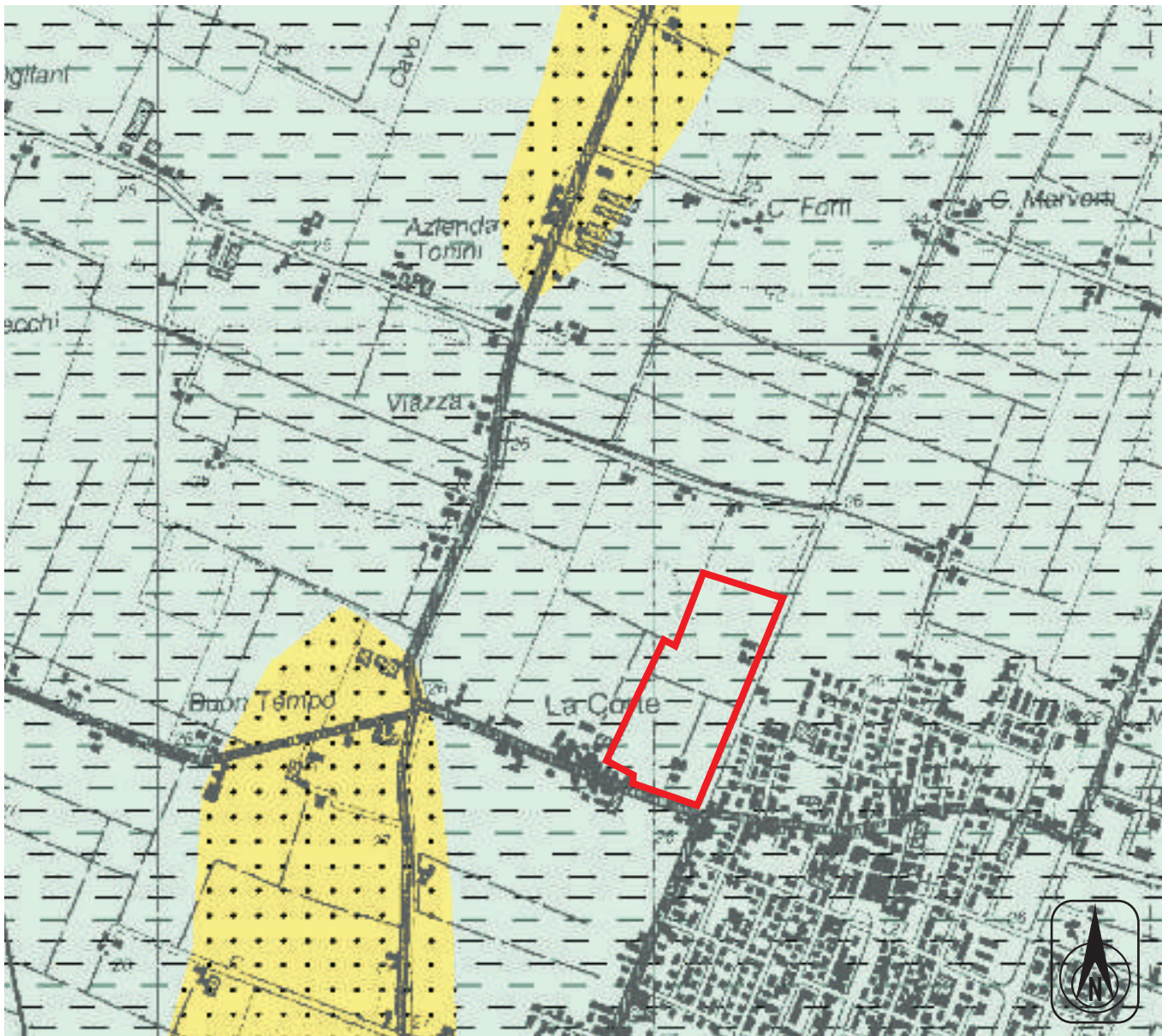
Area di interesse

Tratta da:



GEO GROUP s.r.l.

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








Tav. n. 8

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

Scala grafica

Legenda

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

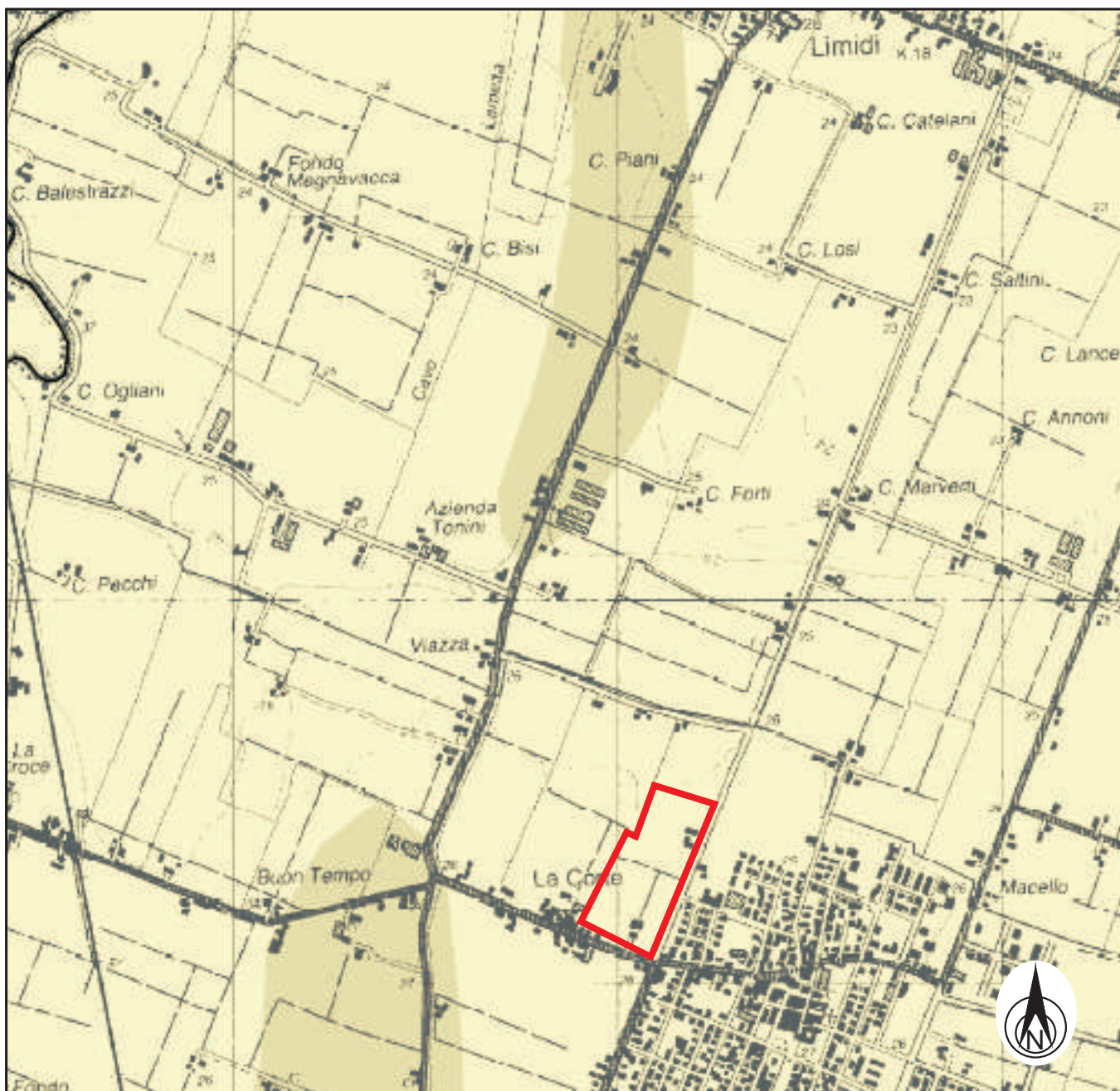
 Area di interesse

Tratta da:



GEO GROUP s.r.l.

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




Tav. n. 9

Tav. 2.2a 1 "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali"

Scala grafica

Legenda

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

 Area di interesse

Tratta da:



GEO GROUP s.r.l.

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

Tav. n. 10 "Carta di Microzonazione Sismica"

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

**Carta di
Microzonazione Sismica**

Scala grafica

3° livello di approfondimento

L.R. 20/2000 D.G.R. 112

Microarea indagata mediante
n. 2 indagini sismiche MASW-Vs30 = **221/218m/s**
n. 2 indagini sismiche Re.Mi.-Vs30 = **228/265 m/s**

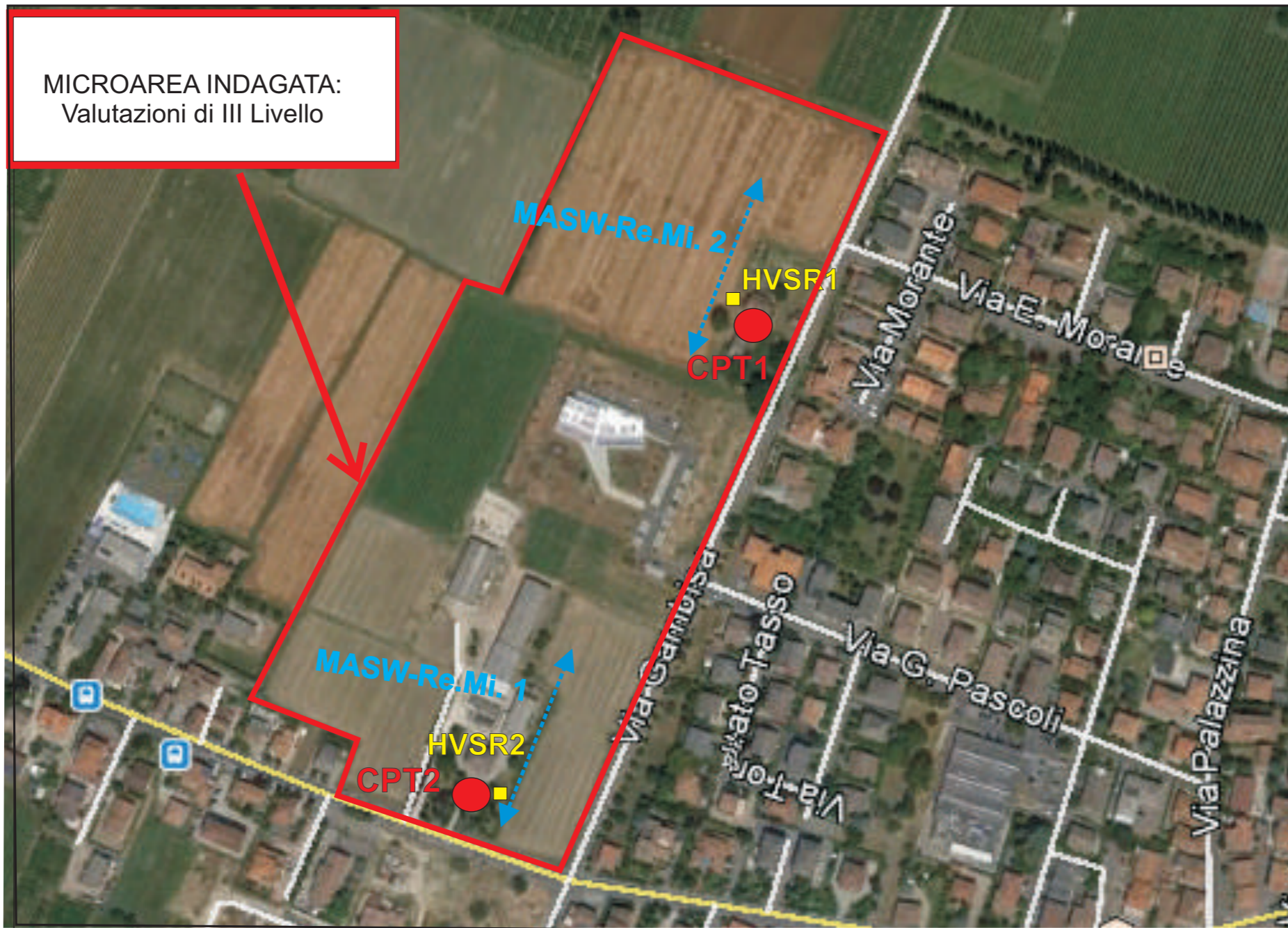
III livello di approfondimento

PGA di rif. per territorio Castelvetro = 0.158

PGA da modello simulato STRATA = **0.275**

PGA ₀ (g)	FPGA	FASI (0.00 < T(s) < 0.50)	FASI (0.50 < T(s) < 1.00)	PGA(g)
0.158	1.74	2.56	1.92	0.275

CPT 1	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	3.074*
* (calcolati su una verticale di 20.00 m)	
CPT 2	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	4.188*
* (calcolati su una verticale di 20.00 m)	



MICROAREA INDAGATA:
Valutazioni di III Livello

legenda INDAGINI ESEGUITE

- Prove penetrometriche statiche CPT (anno 2015)
- ↔ Indagini sismiche Re.Mi. e MASW
- Indagine sismica passiva HVSR



(tratta da "Bing Maps")
Scala grafica

GEO GROUP s.r.l.

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

ALLEGATO N° 1

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

CORREDATE DI INTERPRETAZIONE GEOTECNICA

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
Pagani TG63-100 -

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

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

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

CONVERSIONI

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

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

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

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

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

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

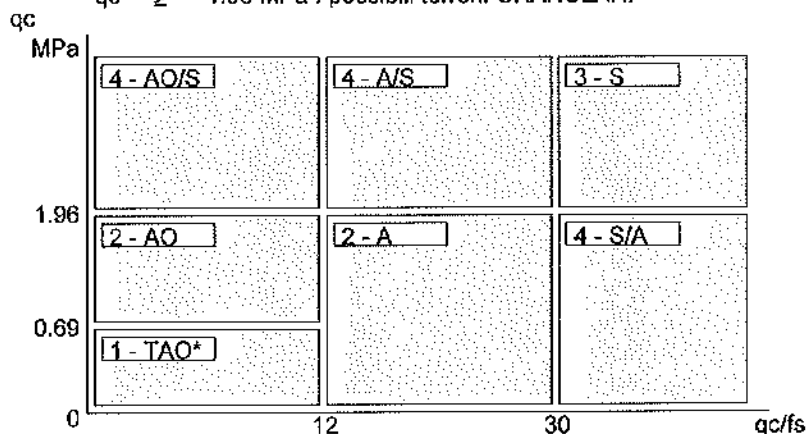
Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

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

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

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

$qc \leq 1.96$ MPa : possibili terreni COESIVI anche se $(qc / fs) > 30$
 $qc \geq 1.96$ MPa : possibili terreni GRANULARI anche se $(qc / fs) < 30$



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

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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - qc - 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 - qc]
- 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 = 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' - qc]
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - qc - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - Rp - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - qc - σ'_{vo})
 ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{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
	riferimento	506-2015
	certificato n°	06654

Committente: Studio tecnico	U.M.: MPa	Data esec.: 05/03/2015
Cantiere: Studio terreno di fondazione	Pagina: 1/4	Data certificato: 06/03/2015
Località: Soliera, via Gambisa	Elaborato:	Falda: -0.30 m da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	15.00	40.00		1.47	60.00	25	4.0	15.20	25.00	38.00		2.45	127.00	20	5.1
0.40	10.00	19.00		0.98	67.00	15	6.7	15.40	35.00	54.00		3.43	107.00	33	3.1
0.60	7.00	17.00		0.89	47.00	15	6.7	15.60	69.00	85.00		6.76	113.00	61	1.6
0.80	9.00	16.00		0.88	80.00	11	8.9	15.80	50.00	87.00		4.90	87.00	57	1.7
1.00	22.00	34.00		2.16	107.00	21	4.9	16.00	23.00	36.00		2.25	80.00	29	3.5
1.20	20.00	36.00		1.98	100.00	20	5.0	16.20	18.00	30.00		1.76	113.00	16	6.3
1.40	20.00	35.00		1.98	113.00	18	5.7	16.40	17.00	34.00		1.67	100.00	17	5.9
1.60	20.00	37.00		1.96	127.00	16	6.4	16.60	18.00	33.00		1.76	120.00	15	6.7
1.80	15.00	34.00		1.47	80.00	19	5.3	16.80	56.00	77.00		5.78	113.00	52	1.9
2.00	12.00	24.00		1.18	53.00	23	4.4	17.00	64.00	81.00		6.27	133.00	46	2.1
2.20	12.00	20.00		1.18	47.00	26	3.9	17.20	70.00	90.00		6.88	173.00	40	2.5
2.40	7.00	14.00		0.69	40.00	18	5.7	17.40	30.00	56.00		2.94	60.00	50	2.0
2.60	5.00	11.00		0.49	40.00	13	8.0	17.60	14.00	23.00		1.37	107.00	13	7.8
2.80	9.00	15.00		0.88	40.00	23	4.4	17.80	18.00	34.00		1.76	113.00	16	6.3
3.00	9.00	15.00		0.88	40.00	23	4.4	18.00	23.00	40.00		2.25	120.00	19	5.2
3.20	8.00	14.00		0.78	47.00	17	5.9	18.20	24.00	42.00		2.35	153.00	16	6.4
3.40	10.00	17.00		0.98	47.00	21	4.7	18.40	27.00	50.00		2.85	167.00	16	6.2
3.60	9.00	16.00		0.88	53.00	17	5.9	18.60	28.00	53.00		2.74	173.00	16	6.2
3.80	8.00	16.00		0.78	53.00	15	6.6	18.80	29.00	55.00		2.84	153.00	19	5.3
4.00	9.00	17.00		0.88	47.00	19	5.2	19.00	27.00	60.00		2.65	140.00	19	5.2
4.20	10.00	17.00		0.98	47.00	21	4.7	19.20	25.00	46.00		2.45	160.00	16	6.4
4.40	15.00	22.00		1.47	87.00	22	4.5	19.40	28.00	52.00		2.74	180.00	16	6.4
4.60	14.00	24.00		1.37	60.00	23	4.3	19.60	33.00	60.00		3.23	200.00	17	6.1
4.80	15.00	24.00		1.47	60.00	25	4.0	19.80	22.00	52.00		2.16	167.00	13	7.6
5.00	16.00	25.00		1.57	67.00	24	4.2	20.00	15.00	40.00		1.47	0.00	13	0.0
5.20	11.00	21.00		1.08	80.00	14	7.3								
5.40	12.00	24.00		1.18	60.00	20	5.0								
5.60	9.00	18.00		0.88	53.00	17	5.9								
5.80	9.00	17.00		0.88	53.00	17	5.9								
6.00	13.00	21.00		1.27	47.00	26	3.6								
6.20	11.00	18.00		1.08	53.00	21	4.8								
6.40	9.00	17.00		0.88	53.00	17	5.9								
6.60	8.00	18.00		0.78	53.00	15	8.6								
6.80	9.00	17.00		0.88	47.00	19	5.2								
7.00	9.00	18.00		0.88	53.00	17	5.9								
7.20	8.00	16.00		0.78	93.00	9	11.6								
7.40	13.00	27.00		1.27	87.00	15	6.7								
7.60	11.00	24.00		1.08	67.00	16	6.1								
7.80	10.00	20.00		0.98	53.00	19	5.3								
8.00	6.00	14.00		0.59	47.00	13	7.8								
8.20	7.00	14.00		0.69	67.00	10	9.6								
8.40	13.00	23.00		1.27	53.00	25	4.1								
8.60	9.00	17.00		0.88	67.00	13	7.4								
8.80	6.00	16.00		0.59	40.00	15	6.7								
9.00	5.00	11.00		0.49	33.00	15	6.6								
9.20	6.00	11.00		0.59	33.00	18	5.5								
9.40	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
9.60	10.00	16.00		0.98	47.00	21	4.7								
9.80	12.00	19.00		1.18	60.00	20	5.0								
10.00	15.00	24.00		1.47	60.00	25	4.0								
10.20	11.00	20.00		1.08	67.00	16	6.1								
10.40	14.00	24.00		1.37	67.00	21	4.8								
10.60	15.00	25.00		1.47	67.00	22	4.5								
10.80	10.00	20.00		0.98	67.00	15	6.7								
11.00	10.00	20.00		0.98	67.00	15	6.7								
11.20	9.00	19.00		0.88	53.00	17	5.9								
11.40	9.00	17.00		0.88	67.00	13	7.4								
11.60	14.00	24.00		1.37	100.00	14	7.1								
11.80	19.00	34.00		1.86	100.00	19	5.3								
12.00	17.00	32.00		1.67	140.00	12	8.2								
12.20	22.00	43.00		2.16	147.00	15	6.7								
12.40	26.00	48.00		2.55	167.00	16	6.4								
12.60	28.00	53.00		2.74	167.00	17	6.0								
12.80	29.00	54.00		2.84	140.00	21	4.8								
13.00	20.00	41.00		1.96	133.00	15	6.7								
13.20	22.00	42.00		2.16	140.00	16	6.4								
13.40	22.00	43.00		2.16	140.00	16	6.4								
13.60	16.00	37.00		1.57	120.00	13	7.5								
13.80	17.00	35.00		1.67	127.00	13	7.5								
14.00	18.00	37.00		1.78	113.00	16	6.3								
14.20	23.00	40.00		2.25	127.00	18	5.5								
14.40	23.00	42.00		2.25	140.00	16	6.1								
14.60	21.00	42.00		2.06	133.00	16	6.3								
14.80	21.00	41.00		2.06	127.00	17	6.0								
15.00	17.00	36.00		1.67	87.00	20	5.1								

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 alla stessa quota di qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

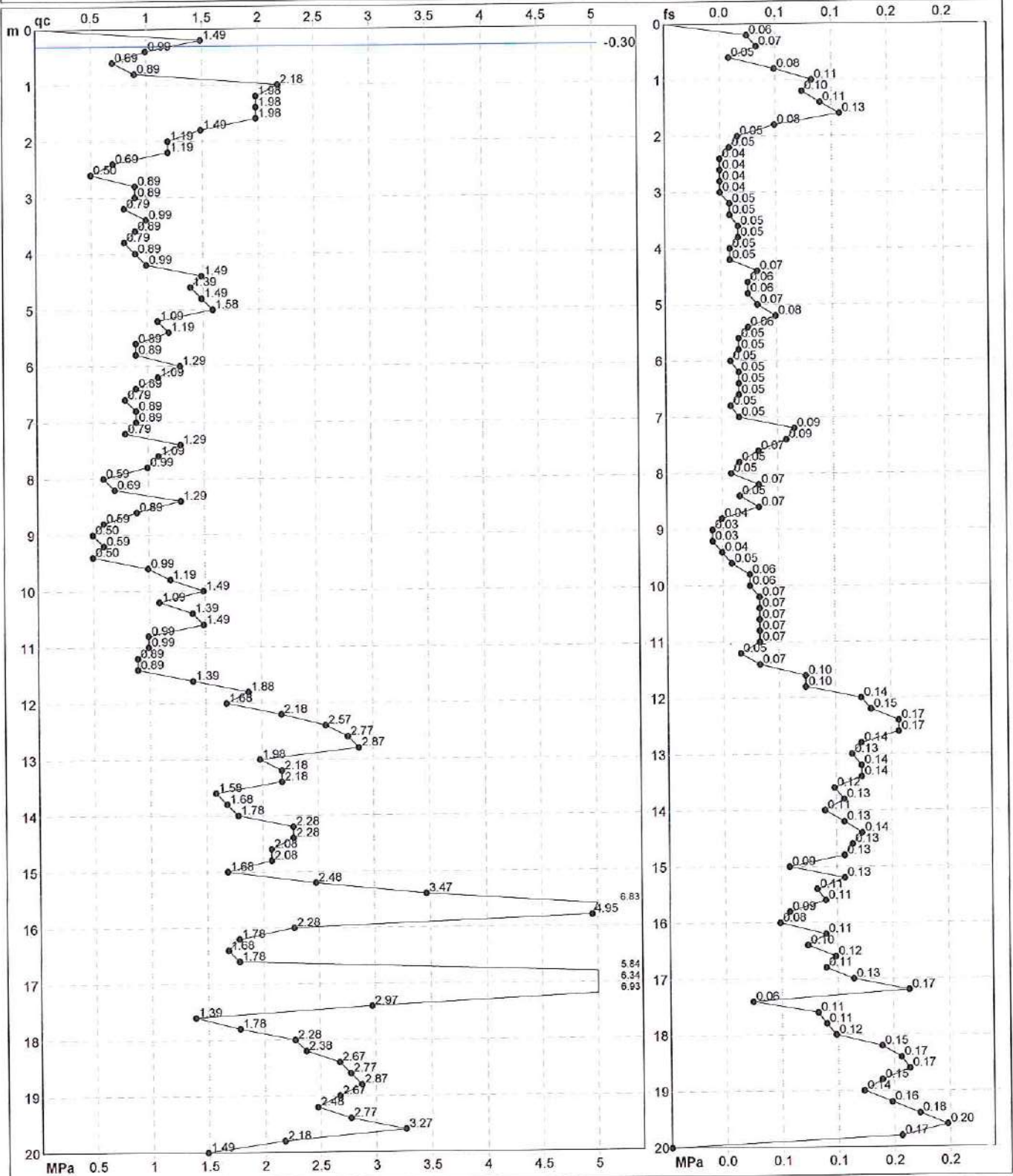
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	1
riferimento	506-2015
certificato n°	06654

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

U.M.: **MPa** Data exec.: **05/03/2015**
Scala: **1:100**
Pagina: **2/4** Data certificato: **06/03/2015**
Elaborato: Falda: **-0.30 m d.p.c.**



Penetrometro: Pagani TG83-100	Proforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Corr.astine: kN/ml

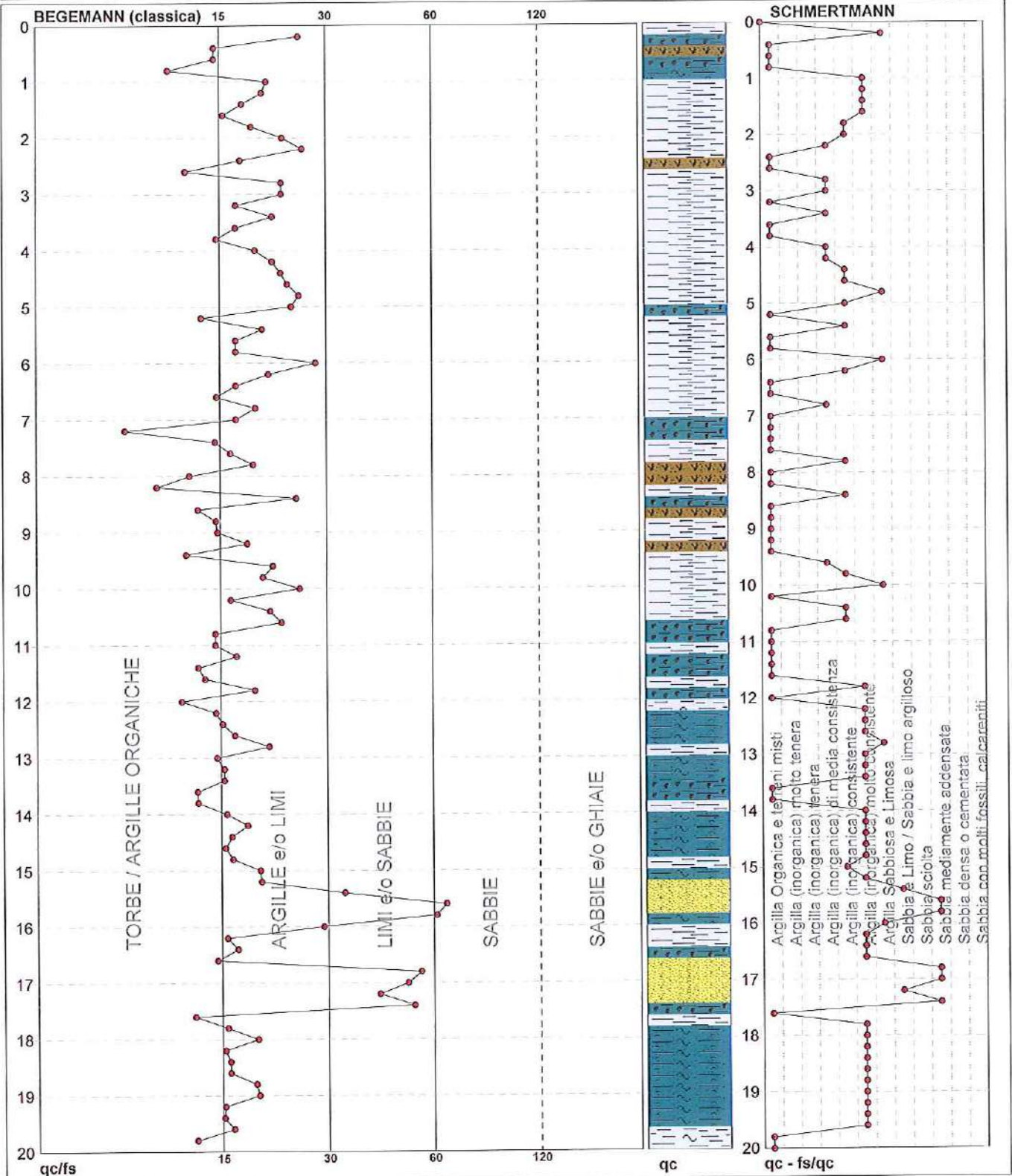
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	506-2015
certificato n°	06654

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

U.M.: **MPa** Data eseg.: **05/03/2015**
Scala: **1:100**
Pagina: **3/4** Data certificato: **06/03/2015**
Elaborato: Falda: **-0.30 m da p.c.**



Torbe / Argille org :	24 punti, 24.24%	Argilla Organica e terreni misti:	35 punti, 35.35%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	6 punti, 6.06%
Argille e/o Limi :	69 punti, 69.70%	Argilla (inorganica) media consist.:	8 punti, 8.08%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	2 punti, 2.02%
Limi e/o Sabbie :	6 punti, 6.06%	Argilla (inorganica) consistente:	13 punti, 13.13%	Sabbia mediamente addensata:	5 punti, 5.05%
Sabbie:	1 punti, 1.01%	Argilla (inorganica) molto consist.:	30 punti, 30.30%		

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	2
	riferimento	506-2015
	certificato n°	06655

Committente: Studio tecnico	U.M.: MPa	Data esec.: 05/03/2015
Cantiere: Studio terreno di fondazione	Pagina: 1/4	Data certificato: 06/03/2015
Località: Soliera, via Gambisa	Elaborato:	Falda: Non rilevata

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	0.00	0.00		0.00	67.00	0		15.20	25.00	43.00		2.45	167.00	15	6.7
0.40	10.00	20.00		0.98	73.00	14	7.3	15.40	35.00	60.00		3.43	180.00	19	5.1
0.60	11.00	22.00		1.08	100.00	11	9.1	15.60	27.00	54.00		2.65	160.00	17	5.9
0.80	13.00	28.00		1.27	107.00	12	8.2	15.80	24.00	48.00		2.35	140.00	17	5.8
1.00	11.00	27.00		1.08	87.00	13	7.9	16.00	24.00	45.00		2.35	127.00	19	5.3
1.20	13.00	26.00		1.27	73.00	18	5.8	16.20	17.00	38.00		1.67	113.00	15	6.6
1.40	12.00	23.00		1.18	73.00	16	6.1	16.40	19.00	38.00		1.86	73.00	26	3.8
1.60	12.00	23.00		1.18	67.00	18	5.6	16.60	12.00	23.00		1.18	67.00	18	5.6
1.80	17.00	27.00		1.87	67.00	25	3.9	16.80	11.00	21.00		1.08	53.00	21	4.8
2.00	10.00	20.00		0.98	60.00	17	6.0	17.00	14.00	22.00		1.37	53.00	28	3.8
2.20	13.00	22.00		1.27	60.00	22	4.6	17.20	11.00	19.00		1.08	53.00	21	4.8
2.40	11.00	20.00		1.08	53.00	21	4.8	17.40	10.00	18.00		0.98	47.00	21	4.7
2.60	12.00	20.00		1.18	73.00	16	6.1	17.60	17.00	24.00		1.67	87.00	20	5.1
2.80	14.00	25.00		1.37	67.00	21	4.8	17.80	23.00	38.00		2.25	133.00	17	5.8
3.00	13.00	23.00		1.27	67.00	19	5.2	18.00	25.00	45.00		2.45	120.00	21	4.8
3.20	17.00	27.00		1.67	73.00	23	4.3	18.20	28.00	46.00		2.74	153.00	18	5.5
3.40	15.00	28.00		1.47	87.00	17	5.8	18.40	27.00	50.00		2.65	180.00	17	5.9
3.60	12.00	25.00		1.18	60.00	20	5.0	18.60	23.00	47.00		2.25	160.00	14	7.0
3.80	10.00	19.00		0.98	67.00	15	6.7	18.80	19.00	43.00		1.86	140.00	14	7.4
4.00	12.00	22.00		1.18	47.00	26	3.9	19.00	29.00	50.00		2.84	147.00	20	5.1
4.20	9.00	16.00		0.88	47.00	19	5.2	19.20	24.00	46.00		2.35	160.00	16	6.7
4.40	7.00	14.00		0.69	53.00	13	7.8	19.40	17.00	41.00		1.67	93.00	18	5.5
4.60	11.00	18.00		1.08	73.00	15	6.8	19.60	16.00	30.00		1.57	107.00	15	6.7
4.80	15.00	26.00		1.47	60.00	25	4.0	19.80	21.00	37.00		2.06	107.00	20	5.1
5.00	11.00	20.00		1.08	60.00	18	5.5	20.60	17.00	33.00		1.67			
5.20	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4								
5.40	9.00	19.00		0.88	53.00	17	5.9								
5.60	14.00	22.00		1.37	107.00	13	7.8								
5.80	20.00	36.00		1.96	87.00	23	4.4								
6.00	18.00	31.00		1.76	80.00	23	4.4								
6.20	17.00	29.00		1.67	60.00	28	3.5								
6.40	13.00	22.00		1.27	67.00	19	5.2								
6.60	14.00	24.00		1.37	67.00	21	4.8								
6.80	9.00	19.00		0.88	47.00	19	5.2								
7.00	5.00	12.00		0.49	40.00	13	8.0								
7.20	6.00	12.00		0.59	47.00	13	7.8								
7.40	8.00	15.00		0.78	53.00	15	6.6								
7.60	8.00	16.00		0.78	60.00	13	7.5								
7.80	8.00	17.00		0.78	53.00	15	6.6								
8.00	8.00	16.00		0.78	47.00	17	5.9								
8.20	8.00	15.00		0.78	47.00	17	5.9								
8.40	12.00	19.00		1.18	73.00	16	6.1								
8.60	11.00	22.00		1.08	73.00	15	6.6								
8.80	10.00	21.00		0.98	73.00	14	7.3								
9.00	13.00	24.00		1.27	100.00	13	7.7								
9.20	13.00	28.00		1.27	107.00	12	8.2								
9.40	13.00	29.00		1.27	80.00	16	6.2								
9.60	18.00	28.00		1.57	120.00	13	7.5								
9.80	18.00	36.00		1.76	127.00	14	7.1								
10.00	16.00	34.00		1.47	107.00	14	7.1								
10.20	14.00	30.00		1.37	80.00	18	5.7								
10.40	14.00	26.00		1.37	67.00	21	4.8								
10.60	11.00	21.00		1.08	67.00	16	6.1								
10.80	11.00	21.00		1.08	73.00	15	6.6								
11.00	15.00	26.00		1.47	80.00	19	5.3								
11.20	14.00	26.00		1.37	80.00	18	5.7								
11.40	15.00	27.00		1.47	73.00	21	4.9								
11.60	11.00	22.00		1.08	80.00	18	5.5								
11.80	13.00	22.00		1.27	80.00	16	6.2								
12.00	15.00	27.00		1.47	93.00	16	6.2								
12.20	19.00	33.00		1.86	120.00	16	6.3								
12.40	22.00	40.00		2.16	133.00	17	6.0								
12.60	18.00	38.00		1.76	100.00	18	5.6								
12.80	15.00	30.00		1.47	100.00	15	6.7								
13.00	25.00	40.00		2.45	153.00	16	6.1								
13.20	27.00	50.00		2.65	160.00	17	5.9								
13.40	19.00	43.00		1.86	87.00	22	4.6								
13.60	15.00	28.00		1.47	87.00	17	5.8								
13.80	15.00	28.00		1.47	100.00	15	6.7								
14.00	21.00	36.00		2.06	80.00	26	3.8								
14.20	23.00	35.00		2.25	73.00	32	3.2								
14.40	36.00	47.00		3.53	67.00	64	1.9								
14.60	31.00	41.00		3.04	100.00	31	3.2								
14.80	15.00	30.00		1.47	87.00	17	5.8								
15.00	23.00	36.00		2.25	120.00	19	5.2								

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

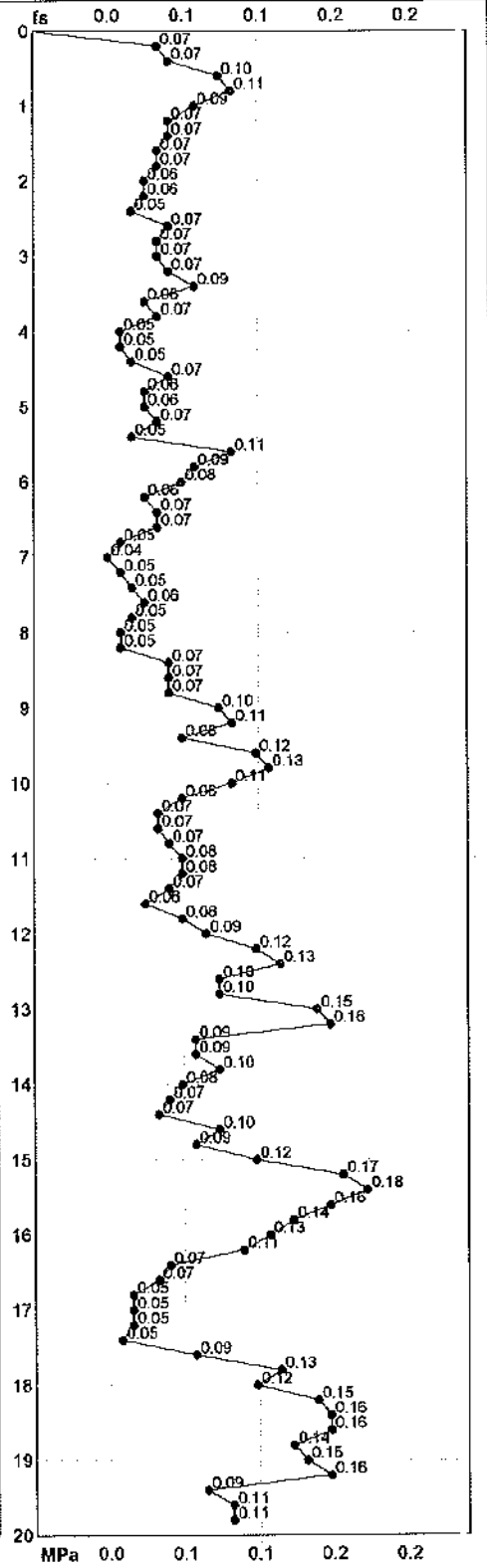
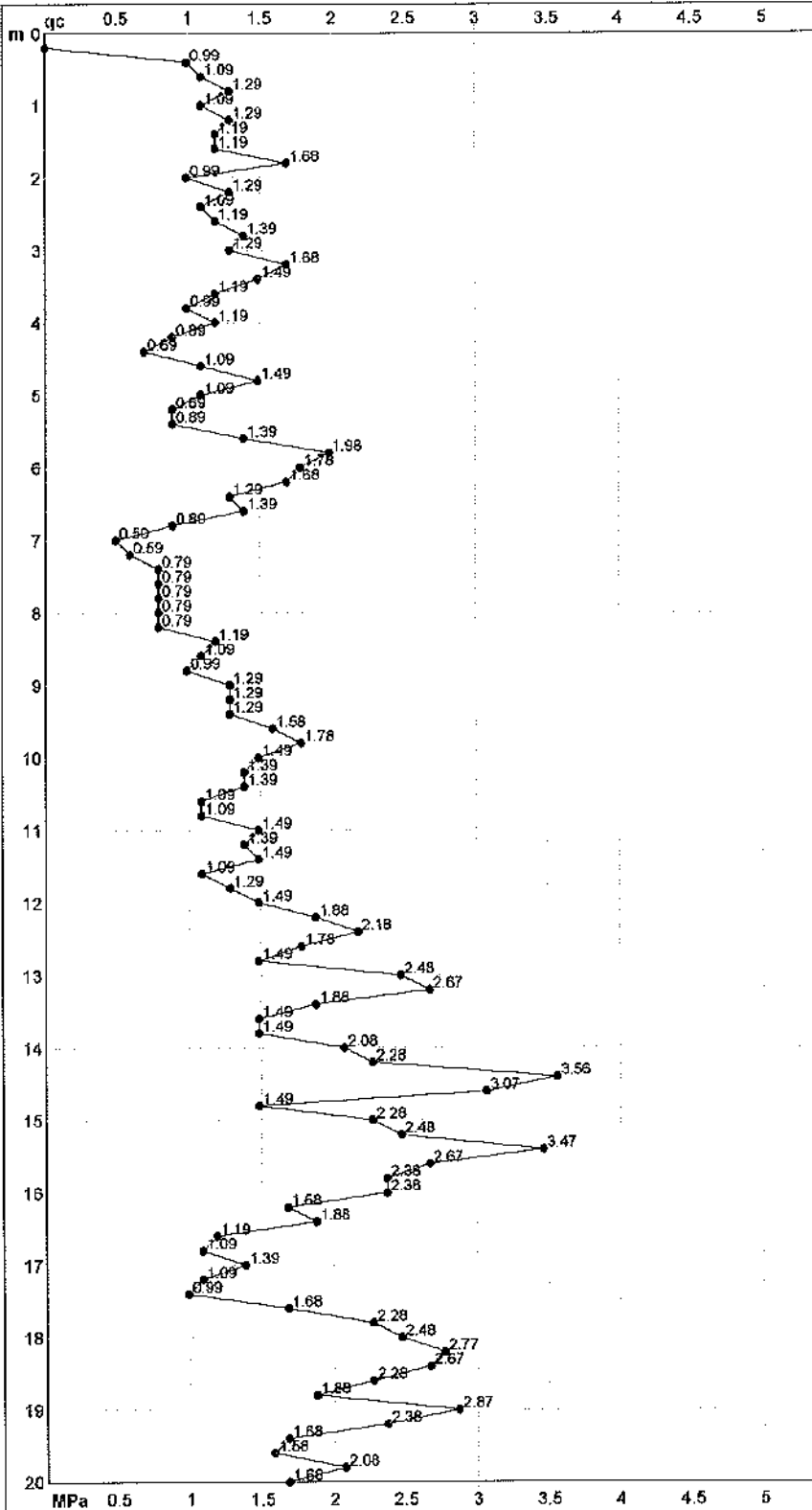
qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	2
riferimento	506-2015
certificato n°	06655

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

U.M.: **MPa** Data esec.: **05/03/2015**
Scala: **1:100**
Pagina: **2/4** Data certificato: **06/03/2015**
Elaborato: Falda: **Non rilevata**



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

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

2

riferimento

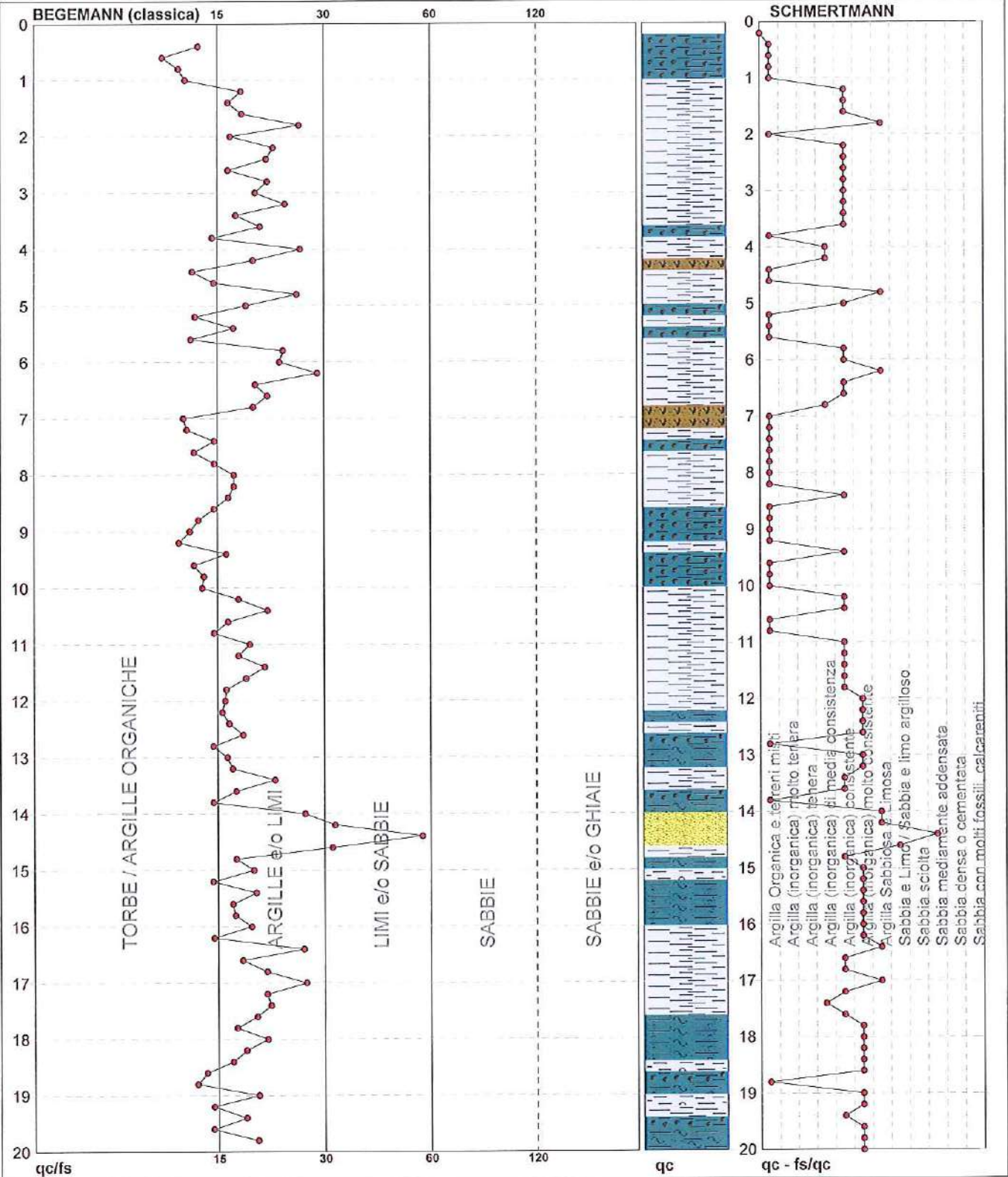
506-2015

certificato n°

06655

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

U.M.: **MPa** Data eseg.: **05/03/2015**
Scala: **1:100** Data certificato: **06/03/2015**
Pagina: **3/4** Falda: **Non rilevata**
Elaborato:



Torbe / Argille org. :	25 punti, 25.25%	Argilla Organica e terreni misti:	30 punti, 30.30%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	7 punti, 7.07%
Argilla e/o Limi :	71 punti, 71.72%	Argilla (inorganica) media consist.:	4 punti, 4.04%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	1 punto, 1.01%
Limi e/o Sabbie :	3 punti, 3.03%	Argilla (inorganica) consistente:	33 punti, 33.33%	Sabbia mediamente addensata:	1 punto, 1.01%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	22 punti, 22.22%		

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

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT (ANNO 2010) CORREDATE DI INTERPRETAZIONE GEOTECNICA

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	89
	riferimento	289-2014
	certificato n°	6104

Committente: Comune di Soliera	U.M.: MPa	Data esec.: 28/05/2010
Cantiere:	Pagina: 1/4	Data certificato: 10/09/2014
Località: Sollera, Via Primo Maggio	Elaborato:	Falda: -1.50 m da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	0.00	0.00		0.00	0.00										
0.40	0.00	0.00		0.00	47.00	0									
0.80	15.00	22.00		1.47	93.00	16	6.2								
0.80	14.00	28.00		1.37	107.00	13	7.6								
1.00	12.00	28.00		1.18	87.00	14	7.3								
1.20	11.00	24.00		1.08	67.00	16	6.1								
1.40	8.00	18.00		0.78	67.00	12	8.4								
1.60	9.00	19.00		0.88	67.00	13	7.4								
1.80	9.00	19.00		0.88	60.00	15	6.7								
2.00	11.00	20.00		1.08	60.00	18	5.5								
2.20	17.00	26.00		1.67	67.00	25	3.9								
2.40	11.00	21.00		1.08	53.00	21	4.8								
2.60	11.00	19.00		1.08	67.00	16	6.1								
2.80	13.00	23.00		1.27	73.00	18	5.6								
3.00	13.00	24.00		1.27	67.00	19	5.2								
3.20	12.00	22.00		1.18	60.00	20	5.0								
3.40	6.00	15.00		0.59	33.00	18	5.5								
3.60	8.00	13.00		0.78	40.00	20	5.0								
3.80	7.00	13.00		0.69	53.00	13	7.6								
4.00	7.00	15.00		0.69	33.00	21	4.7								
4.20	11.00	16.00		1.08	67.00	16	6.1								
4.40	9.00	19.00		0.88	60.00	15	6.7								
4.60	9.00	18.00		0.88	33.00	27	3.7								
4.80	19.00	24.00		1.66	73.00	28	3.8								
5.00	14.00	25.00		1.37	67.00	21	4.8								
5.20	9.00	19.00		0.88	40.00	23	4.4								
5.40	10.00	16.00		0.98	40.00	25	4.0								
5.60	13.00	19.00		1.27	60.00	22	4.6								
5.80	14.00	23.00		1.37	60.00	23	4.3								
6.00	11.00	20.00		1.08	73.00	15	6.6								
6.20	10.00	21.00		0.98	60.00	17	6.0								
6.40	8.00	17.00		0.78	53.00	15	6.6								
6.60	8.00	16.00		0.78	40.00	20	5.0								
6.80	10.00	16.00		0.98	67.00	15	6.7								
7.00	15.00	25.00		1.47	100.00	15	6.7								
7.20	8.00	23.00		0.78	53.00	15	6.6								
7.40	14.00	22.00		1.37	60.00	23	4.3								
7.60	9.00	18.00		0.88	40.00	23	4.4								
7.80	9.00	15.00		0.88	53.00	17	5.9								
8.00	8.00	16.00		0.78	33.00	24	4.1								
8.20	7.00	12.00		0.69	40.00	18	5.7								
8.40	9.00	15.00		0.88	47.00	19	5.2								
8.60	12.00	19.00		1.18	60.00	20	5.0								
8.80	10.00	19.00		0.98	60.00	17	6.0								
9.00	11.00	20.00		1.08	60.00	18	5.5								
9.20	13.00	22.00		1.27	73.00	18	5.6								
9.40	15.00	26.00		1.47	87.00	17	5.8								
9.60	15.00	28.00		1.47	113.00	13	7.5								
9.80	19.00	36.00		1.66	140.00	14	7.4								
10.00	16.00	37.00		1.57	147.00	11	9.2								
10.20	19.00	41.00		1.66	133.00	14	7.0								
10.40	21.00	41.00		2.06	133.00	16	6.3								
10.60	17.00	37.00		1.67	107.00	16	6.3								
10.80	16.00	32.00		1.57	100.00	16	6.3								
11.00	8.00	23.00		0.78	60.00	13	7.5								
11.20	7.00	16.00		0.69	47.00	15	6.7								
11.40	6.00	13.00		0.59	27.00	22	4.5								
11.60	9.00	13.00		0.88	47.00	19	5.2								
11.80	8.00	15.00		0.78	53.00	15	6.6								
12.00	8.00	16.00		0.78											

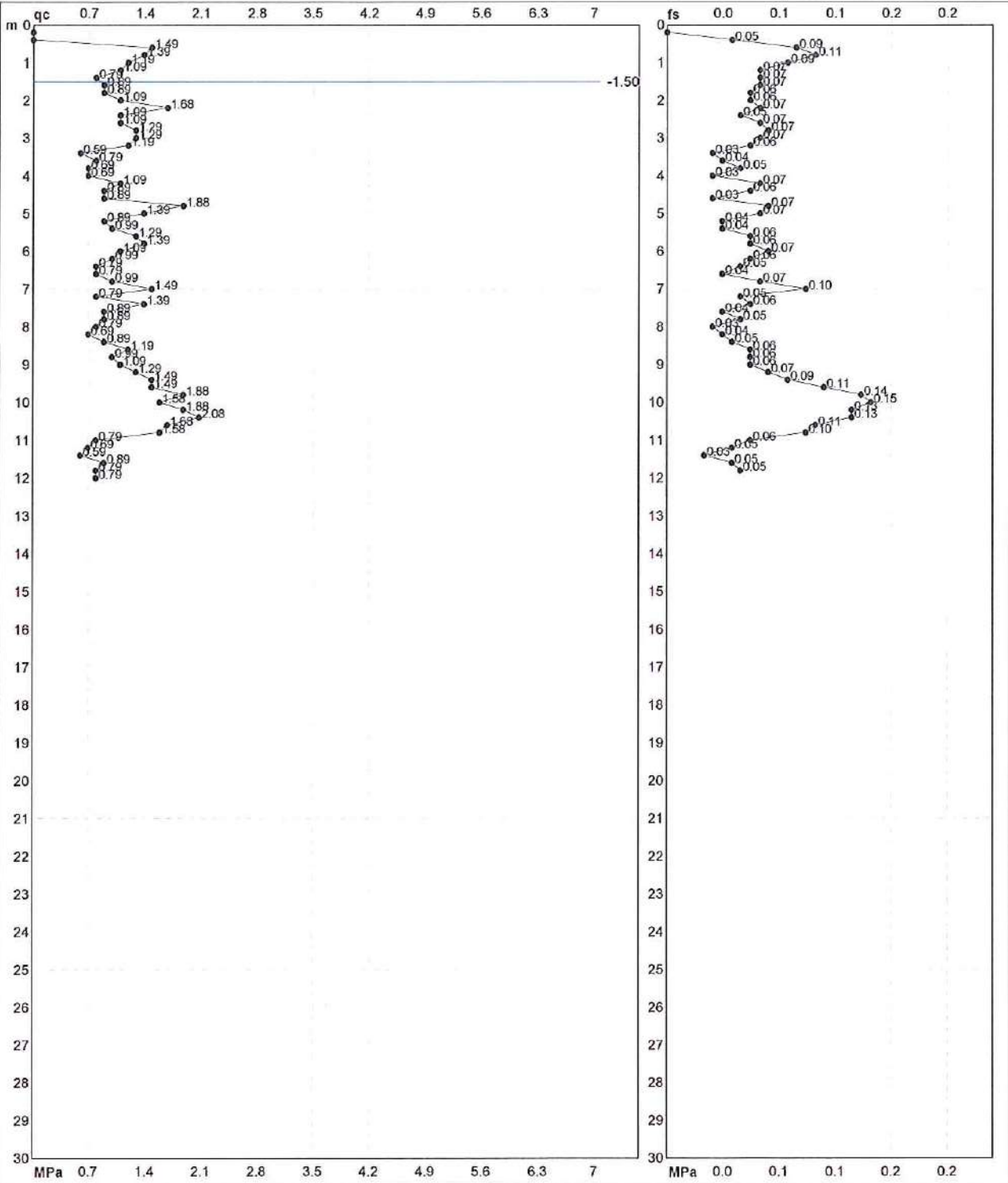
H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	0.20 m sopra quota qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schnerfmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	89
riferimento	289-2014
certificato n°	6104

Committente: **Comune di Soliera**
Cantiere: **c**
Località: **Soliera, Via Primo Maggio**

U.M.: **MPa** Data esec.: **28/05/2010**
Scala: **1:150**
Pagina: **2/4** Data cartella: **28/05/2010**
Elaborato: Felda: **-1.50 m** da p.c.



Penetrometro: **TG63-200**
Responsabile:
Assistente:

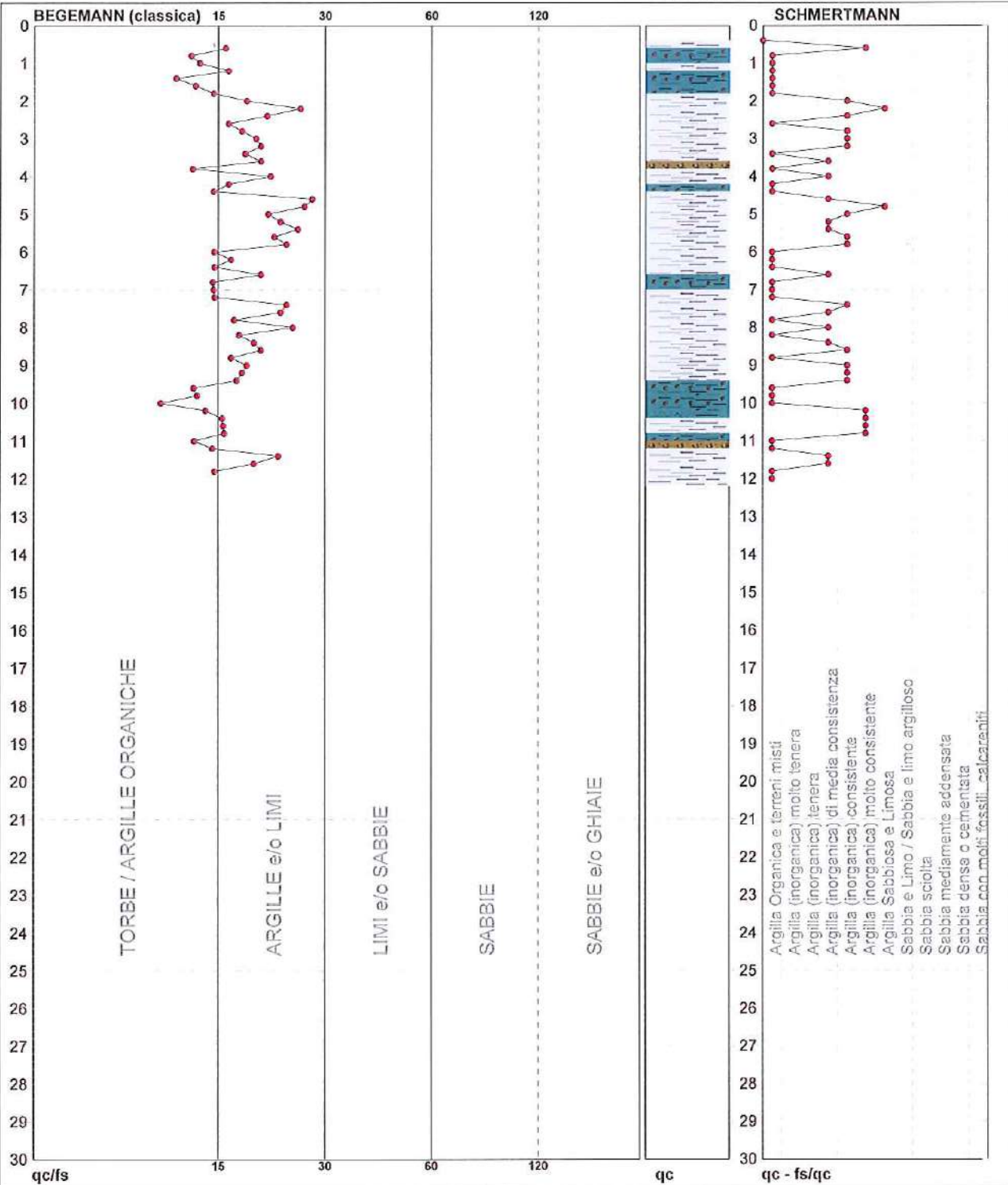
Preforo: **m**
Corr.astine: **kN/ml**
Corr.astine: **kN/ml**

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	89
riferimento	289-2014
certificato n°	6104

Committente: **Comune di Soliera**
Cantiere:
Località: **Soliera, Via Primo Maggio**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **28/05/2010**
Scala: **1:150**
Pagina: **3/4** Data certificato: **10/09/2014**
Elaborato: Falda: **-1.50 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	17 punti, 11.41%	Argilla Organica e terreni misti:	26 punti, 17.45%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	2 punti, 1.34%
Argille e/o Limi :	42 punti, 28.19%	Argilla (inorganica) media consist.:	11 punti, 7.38%		
		Argilla (inorganica) consistente:	13 punti, 8.72%		
		Argilla (inorganica) molto consist.:	5 punti, 3.36%		

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	90
	riferimento	289-2014
	certificato n°	6106

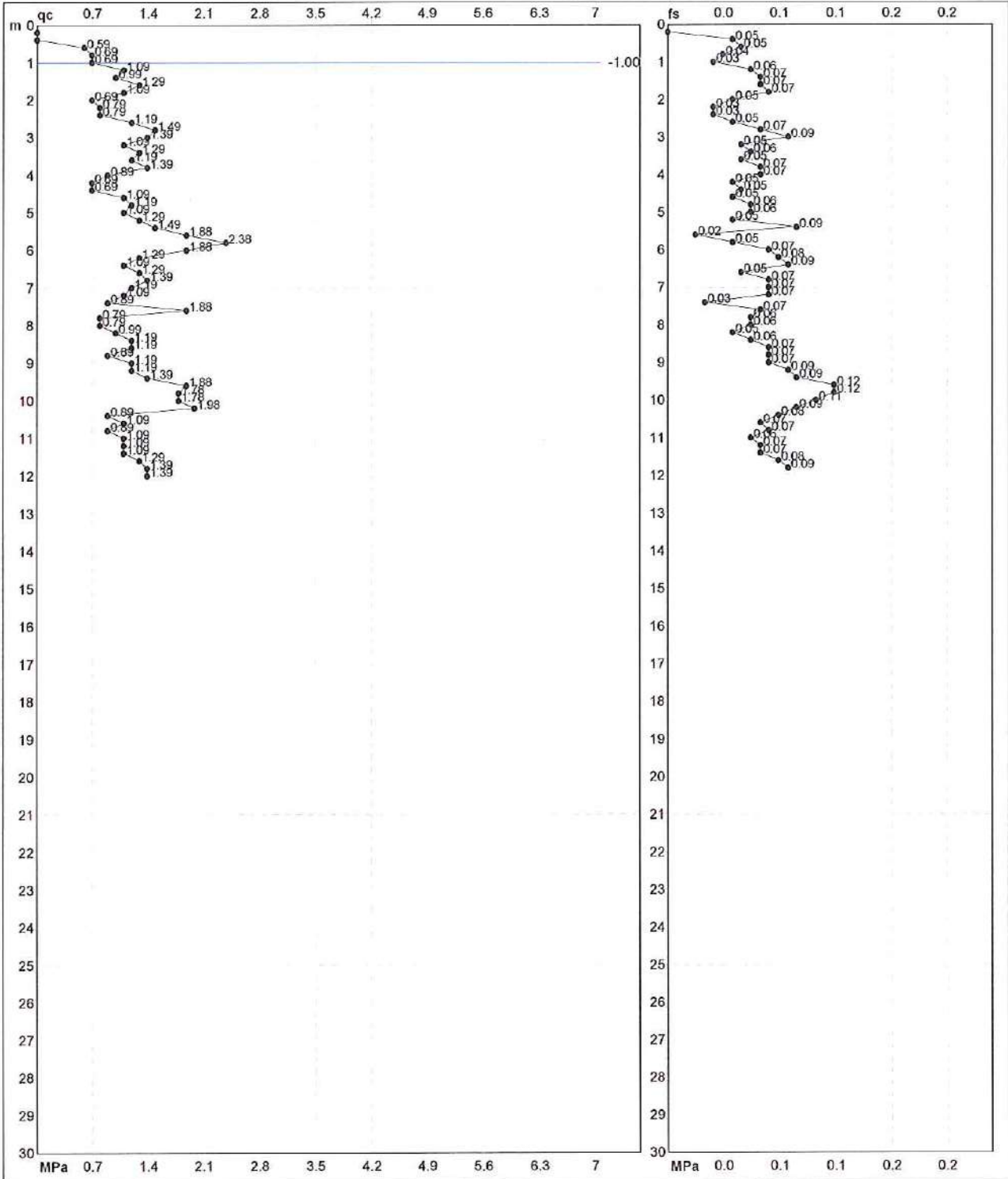
Committente: Comune di Sollera	U.M.: MPa	Data esec.: 28/05/2010
Cantiere:	Pagina: 1/4	Data certificato: 10/09/2014
Località: Sollera, Via Primo Maggio	Elaborato:	Falda: -1.00 m da p.c.

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	0.00										
0.40	0.00	0.00		0.00	47.00	0									
0.60	6.00	13.00		0.59	53.00	11	8.8								
0.80	7.00	15.00		0.69	40.00	18	5.7								
1.00	7.00	13.00		0.69	33.00	21	4.7								
1.20	11.00	16.00		1.08	60.00	18	5.5								
1.40	10.00	19.00		0.98	67.00	15	6.7								
1.60	13.00	23.00		1.27	67.00	19	5.2								
1.80	11.00	21.00		1.08	73.00	15	6.6								
2.00	7.00	18.00		0.69	47.00	15	6.7								
2.20	8.00	15.00		0.78	33.00	24	4.1								
2.40	8.00	13.00		0.78	33.00	24	4.1								
2.60	12.00	17.00		1.18	47.00	26	3.9								
2.80	15.00	22.00		1.47	67.00	22	4.5								
3.00	14.00	24.00		1.37	87.00	16	6.2								
3.20	11.00	24.00		1.08	53.00	21	4.8								
3.40	13.00	21.00		1.27	60.00	22	4.6								
3.60	12.00	21.00		1.18	53.00	23	4.4								
3.80	14.00	22.00		1.37	67.00	21	4.8								
4.00	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4								
4.20	7.00	17.00		0.69	47.00	15	6.7								
4.40	7.00	14.00		0.69	53.00	13	7.6								
4.60	11.00	19.00		1.08	47.00	23	4.3								
4.80	12.00	19.00		1.18	60.00	20	5.0								
5.00	11.00	20.00		1.08	60.00	18	5.5								
5.20	13.00	22.00		1.27	47.00	28	3.6								
5.40	15.00	22.00		1.47	93.00	16	6.2								
5.60	19.00	33.00		1.88	20.00	95	1.1								
5.80	24.00	27.00		2.35	47.00	51	2.0								
6.00	19.00	26.00		1.88	73.00	26	3.8								
6.20	13.00	24.00		1.27	80.00	16	6.2								
6.40	11.00	23.00		1.08	87.00	13	7.9								
6.60	13.00	26.00		1.27	53.00	25	4.1								
6.80	14.00	22.00		1.37	73.00	19	5.2								
7.00	12.00	23.00		1.18	73.00	16	6.1								
7.20	11.00	22.00		1.08	73.00	15	6.6								
7.40	9.00	20.00		0.88	27.00	33	3.0								
7.60	19.00	23.00		1.88	67.00	28	3.5								
7.80	8.00	18.00		0.78	80.00	13	7.5								
8.00	8.00	17.00		0.78	80.00	13	7.5								
8.20	10.00	19.00		0.98	47.00	21	4.7								
8.40	12.00	19.00		1.18	60.00	20	5.0								
8.60	12.00	21.00		1.18	73.00	16	6.1								
8.80	9.00	20.00		0.88	73.00	12	8.1								
9.00	12.00	23.00		1.18	73.00	16	6.1								
9.20	12.00	23.00		1.18	87.00	14	7.3								
9.40	14.00	27.00		1.37	93.00	15	6.6								
9.60	19.00	33.00		1.86	120.00	16	6.3								
9.80	18.00	36.00		1.76	120.00	15	6.7								
10.00	18.00	36.00		1.76	107.00	17	5.9								
10.20	20.00	36.00		1.98	93.00	22	4.7								
10.40	9.00	23.00		0.88	80.00	11	8.9								
10.60	11.00	23.00		1.08	87.00	16	6.1								
10.80	9.00	19.00		0.88	73.00	12	8.1								
11.00	11.00	22.00		1.08	60.00	18	5.5								
11.20	11.00	20.00		1.08	87.00	16	6.1								
11.40	11.00	21.00		1.08	87.00	16	6.1								
11.60	13.00	23.00		1.27	80.00	16	6.2								
11.80	14.00	26.00		1.37	87.00	16	6.2								
12.00	14.00	27.00		1.37											

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

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA	CPT	90
	riferimento	289-2014
	certificato n°	6106

Committente: Comune di Solleria Cantiere: Località: Solleria, Via Primo Maggio	U.M.: MPa Scala: 1:150 Pagina: 2/4 Elaborato:	Data exec.: 28/05/2010 Data certificato: 10/09/2014 Falda: -1.00 m da p.c.
--	---	---



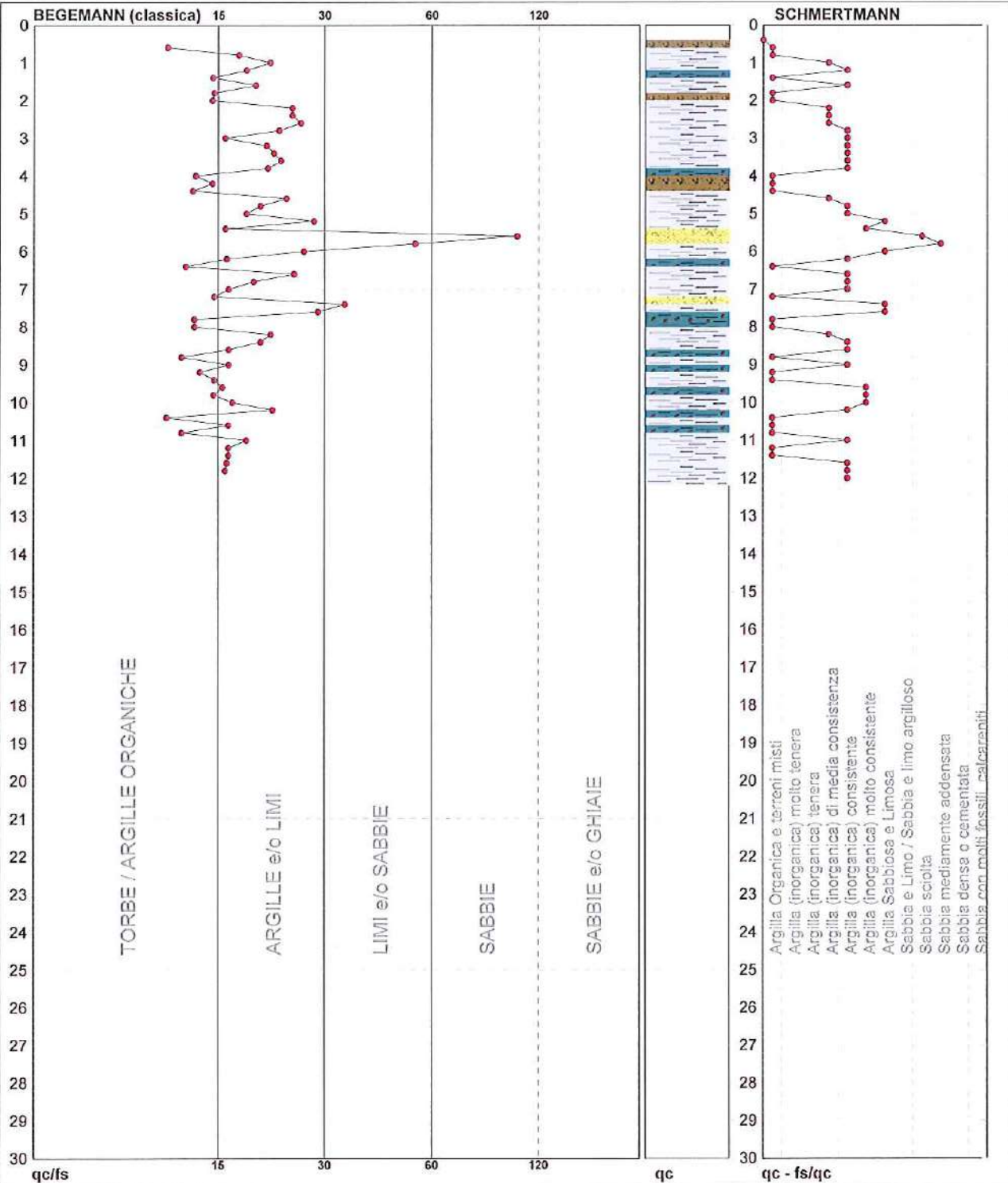
	Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kN/ml Corr.astine: kN/ml
--	---	---

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	90
riferimento	289-2014
certificato n°	6106

Committente: **Comune di Soliera**
Cantiere:
Località: **Soliera, Via Primo Maggio**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:150**
Pagina: **3/4**
Elaborato:
Data eseg.: **28/05/2010**
Data certificato: **10/09/2014**
Falda: **-1.00 m da p.c.**



Torbe / Argille org :	16 punti, 10.74%	Argilla Organica e terreni misti:	20 punti, 13.42%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	4 punti, 2.68%
Argille e/o Limi :	40 punti, 26.85%	Argilla (inorganica) media consist:	6 punti, 4.03%	Sabbia sciolta:	1 punto, 0.67%
Limi e/o Sabbie :	2 punti, 1.34%	Argilla (inorganica) consistente:	21 punti, 14.09%	Sabbia mediamente addensata:	1 punto, 0.67%
Sabbie:	1 punti, 0.67%	Argilla (inorganica) molto consist:	4 punti, 2.68%		

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	86
	riferimento	289-2014
	certificato n°	6101

Committente: Comune di Sollera	U.M.: MPa	Data exec.: 28/05/2010
Cantiere:	Pagina: 1/4	Data certificato: 10/09/2014
Località: Sollera, Via Primo Maggio	Elaborato:	Falda: -1.05 m d.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	47.00	0									
0.40	8.00	15.00		0.78	60.00	13	7.5								
0.60	10.00	19.00		0.98	80.00	13	8.0								
0.80	12.00	24.00		1.18	93.00	13	7.8								
1.00	14.00	28.00		1.37	93.00	15	6.6								
1.20	14.00	28.00		1.37	27.00	52	1.9								
1.40	11.00	15.00		1.08	93.00	12	8.5								
1.50	11.00	25.00		1.08	73.00	15	6.6								
1.80	11.00	22.00		1.08	73.00	15	6.6								
2.00	9.00	20.00		0.88	60.00	15	6.7								
2.20	8.00	17.00		0.78	47.00	17	5.9								
2.40	8.00	15.00		0.78	40.00	20	5.0								
2.50	12.00	18.00		1.18	53.00	23	4.4								
2.80	18.00	25.00		1.76	93.00	19	5.2								
3.00	10.00	24.00		0.98	73.00	14	7.3								
3.20	11.00	22.00		1.08	60.00	18	5.5								
3.40	13.00	22.00		1.27	67.00	19	5.2								
3.60	10.00	20.00		0.98	60.00	17	6.0								
3.80	9.00	18.00		0.88	60.00	15	6.7								
4.00	9.00	18.00		0.88	67.00	10	9.7								
4.20	7.00	20.00		0.69	60.00	12	8.6								
4.40	10.00	19.00		0.98	60.00	17	6.0								
4.60	9.00	18.00		0.88	60.00	15	6.7								
4.80	13.00	22.00		1.27	93.00	14	7.2								
5.00	16.00	30.00		1.57	67.00	24	4.2								
5.20	32.00	42.00		3.14	133.00	24	4.2								
5.40	24.00	44.00		2.35	73.00	33	3.0								
5.60	19.00	30.00		1.86	60.00	32	3.2								
5.80	11.00	20.00		1.08	60.00	18	5.5								
6.00	10.00	19.00		0.98	53.00	19	5.3								
6.20	10.00	18.00		0.98	33.00	30	3.3								
6.40	7.00	12.00		0.69	33.00	21	4.7								
6.60	5.00	10.00		0.49	60.00	8	12.0								
6.80	11.00	20.00		1.08	33.00	33	3.0								
7.00	13.00	18.00		1.27	47.00	28	3.8								
7.20	6.00	13.00		0.59	33.00	18	5.5								
7.40	5.00	10.00		0.49	27.00	19	5.4								
7.60	5.00	9.00		0.49	33.00	15	6.8								
7.80	15.00	20.00		1.47	60.00	25	4.0								
8.00	10.00	18.00		0.98	60.00	17	6.0								
8.20	6.00	17.00		0.78	40.00	20	5.0								
8.40	9.00	15.00		0.88	60.00	15	6.7								
8.60	9.00	18.00		0.88	53.00	17	5.9								
8.80	10.00	18.00		0.98	60.00	17	6.0								
9.00	11.00	20.00		1.08	67.00	16	6.1								
9.20	13.00	23.00		1.27	80.00	16	6.2								
9.40	18.00	30.00		1.76	120.00	15	6.7								
9.60	16.00	34.00		1.57	113.00	14	7.1								
9.80	15.00	32.00		1.47	93.00	16	6.2								
10.00	16.00	30.00		1.57	93.00	17	5.8								
10.20	14.00	28.00		1.37	93.00	15	6.6								
10.40	12.00	26.00		1.18	73.00	16	6.1								
10.60	10.00	21.00		0.98	73.00	14	7.3								
10.80	11.00	22.00		1.08	120.00	9	10.9								
11.00	16.00	34.00		1.57	100.00	16	6.3								
11.20	15.00	30.00		1.47	87.00	17	5.8								
11.40	14.00	27.00		1.37	67.00	21	4.8								
11.60	11.00	21.00		1.08	67.00	16	6.1								
11.80	10.00	20.00		0.98	93.00	11	9.3								
12.00	16.00	30.00		1.57											

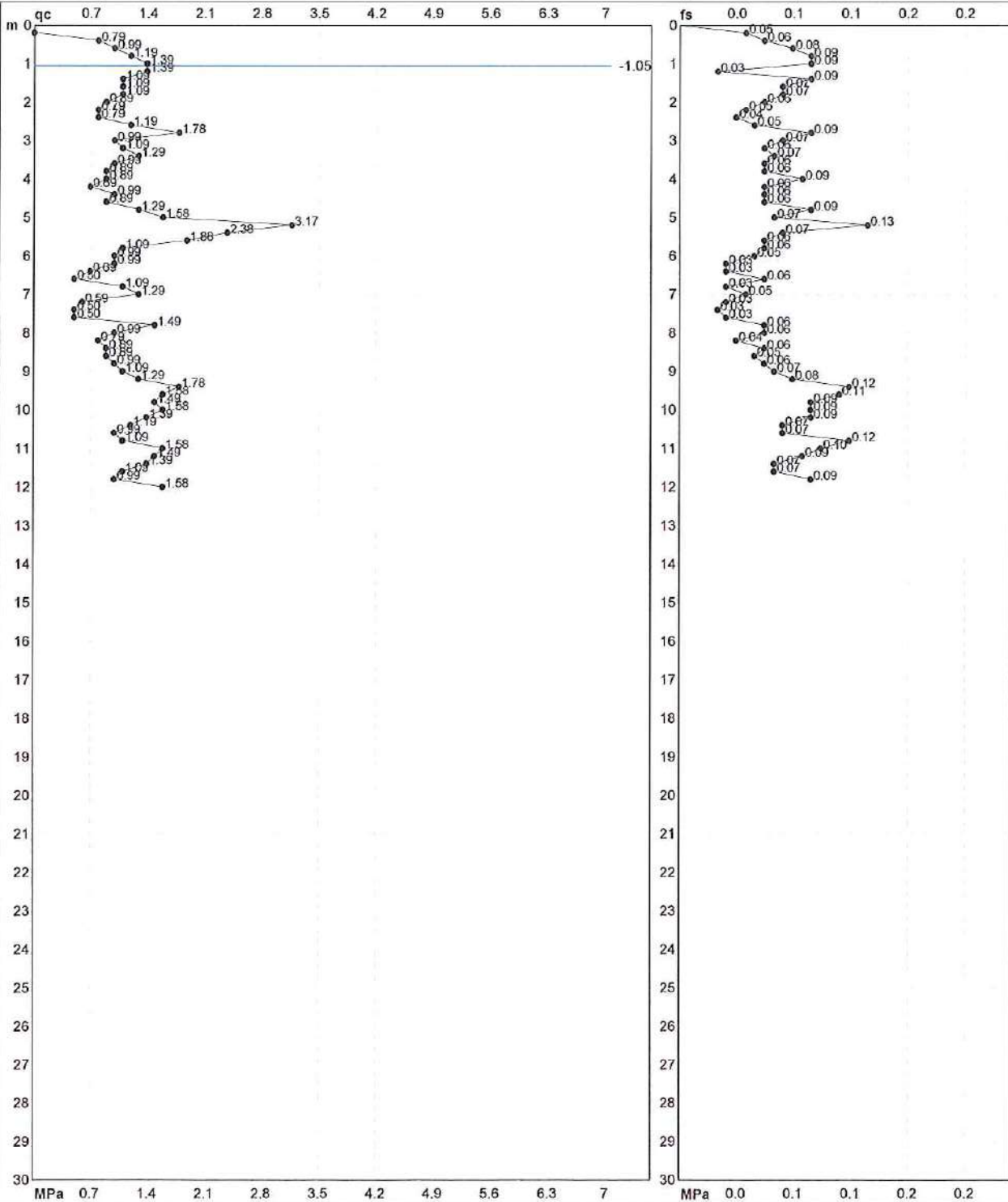
H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	0.20 m sopra quota qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	86
riferimento	289-2014
certificato n°	6101

Committente: **Comune di Sollera**
Cantiere: **1**
Località: **Sollera, Via Primo Maggio**

U.M.: **MPa** Data exec.: **28/05/2010**
Scala: **1:150**
Pagina: **2/4** Data di inizio: **10/09/2014**
Elaborato: Falda: **-1.05 m** da p.c.



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

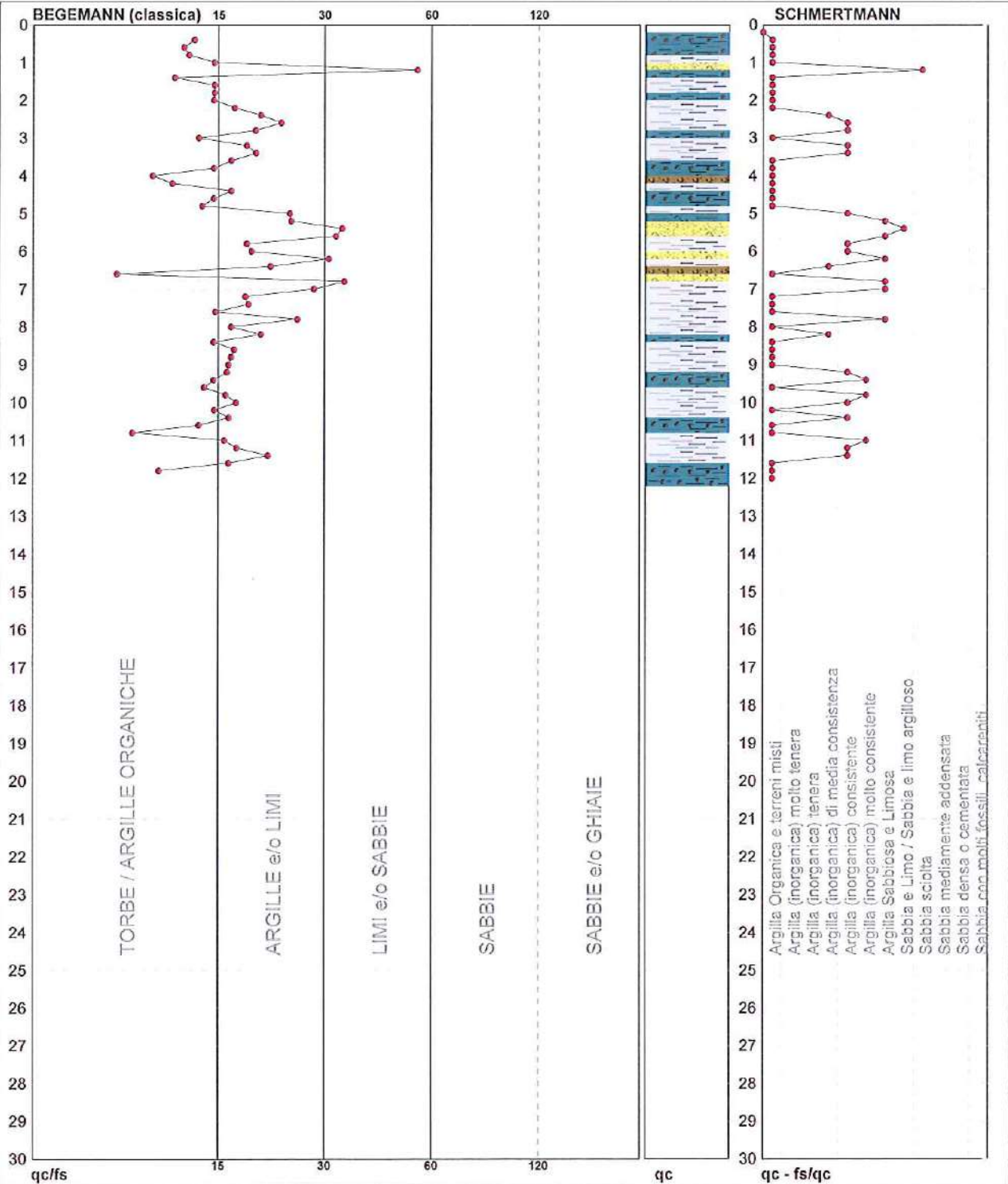
Preforo: **m**
Corr.astine: **kN/ml**
Corr.astine: **kN/ml**

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	86
riferimento	289-2014
certificato n°	6101

Committente: **Comune di Sollera**
Cantiere:
Località: **Sollera, Via Primo Maggio**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:150**
Pagina: **3/4**
Elaborato:
Data exec.: **28/05/2010**
Data certificato: **10/09/2014**
Felda: **-1.05 m da p.c.**



Torbe / Argilla org :	19 punti, 12.75%	Argilla Organica e terreni misti:	32 punti, 21.48%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	6 punti, 4.03%
Argille e/o Limi :	35 punti, 23.49%	Argilla (inorganica) media consist.:	3 punti, 2.01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg :	1 punti, 0.67%
Limi e/o Sabbie :	5 punti, 3.36%	Argilla (inorganica) consistente:	12 punti, 8.05%	Sabbia sciolta:	1 punti, 0.67%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	3 punti, 2.01%		

GEO GROUP s.r.l.

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

ALLEGATO N° 2 **INDAGINI SISMICHE E DETERMINAZIONE DELLE VS₃₀**

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

INDAGINI SISMICHE CON METODO MASW



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

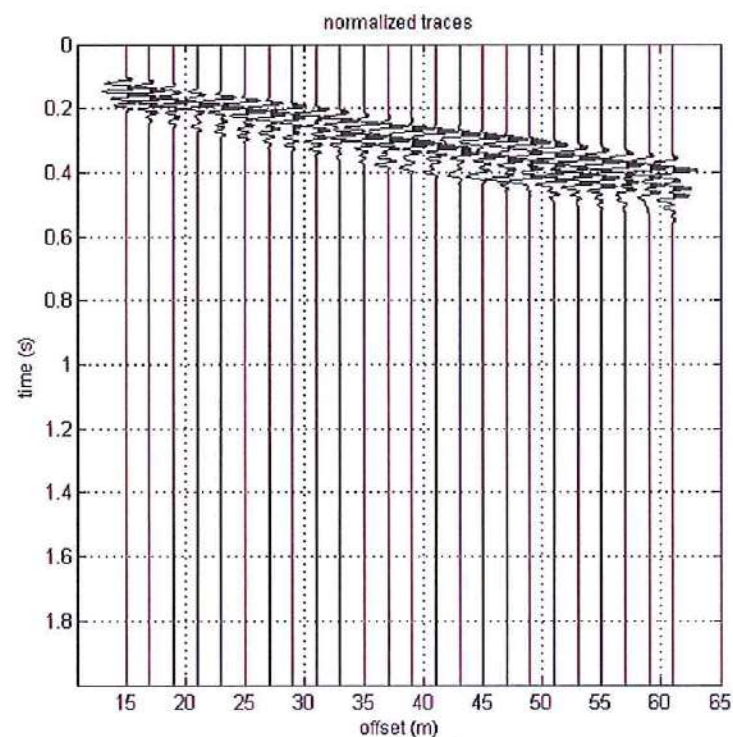
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

Cantiere: Soliera, Via Gambisa
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani, Dott. Gregorio Brigo
Data: 06/03/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott.ssa Sonia Gilioli
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Rif. 159/15
Masw n.1



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

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

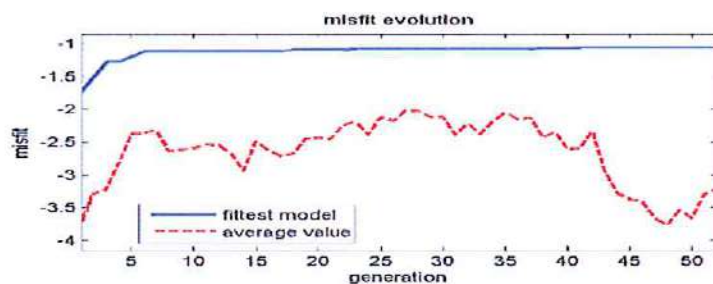
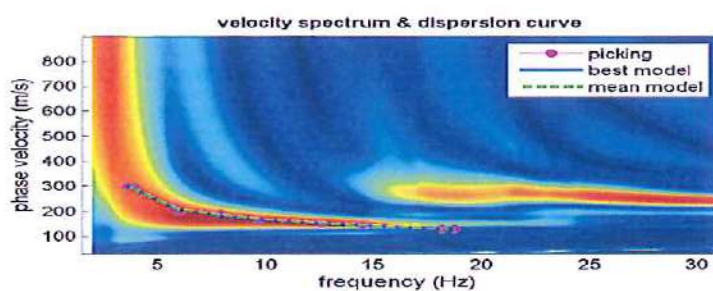
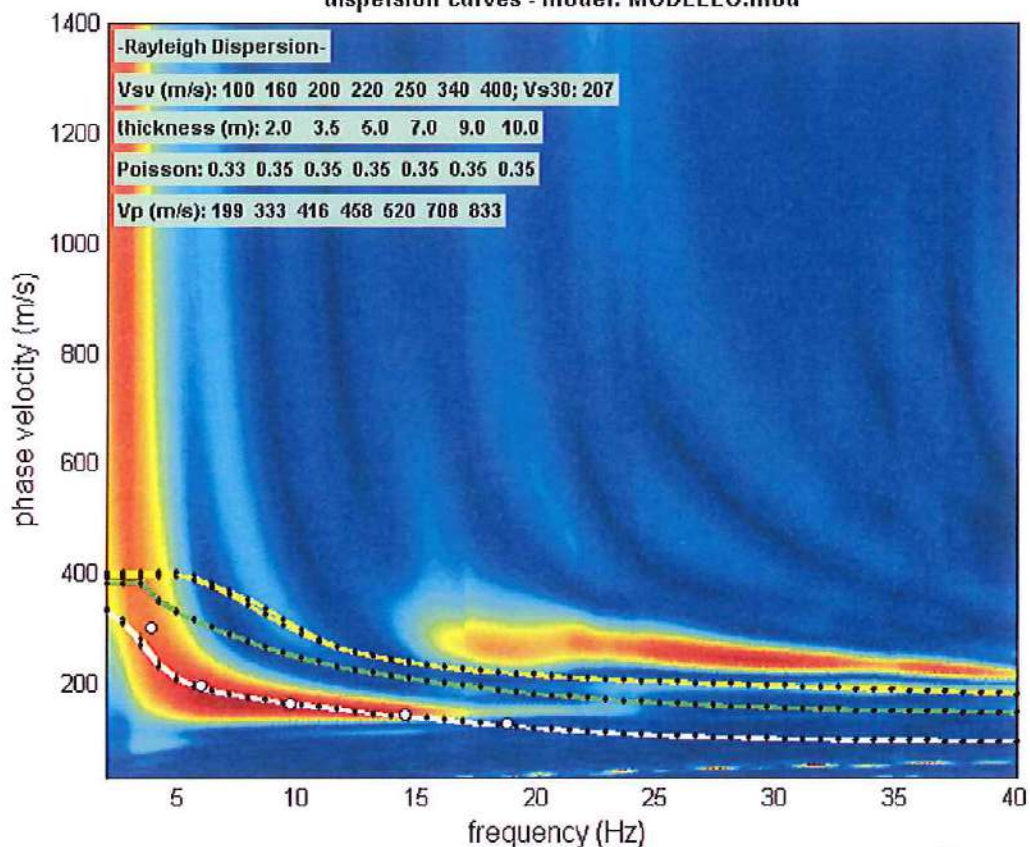
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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

dispersion curves - model: MODELLO.mod



www.winmasw.com



GEO GROUP s.r.l.

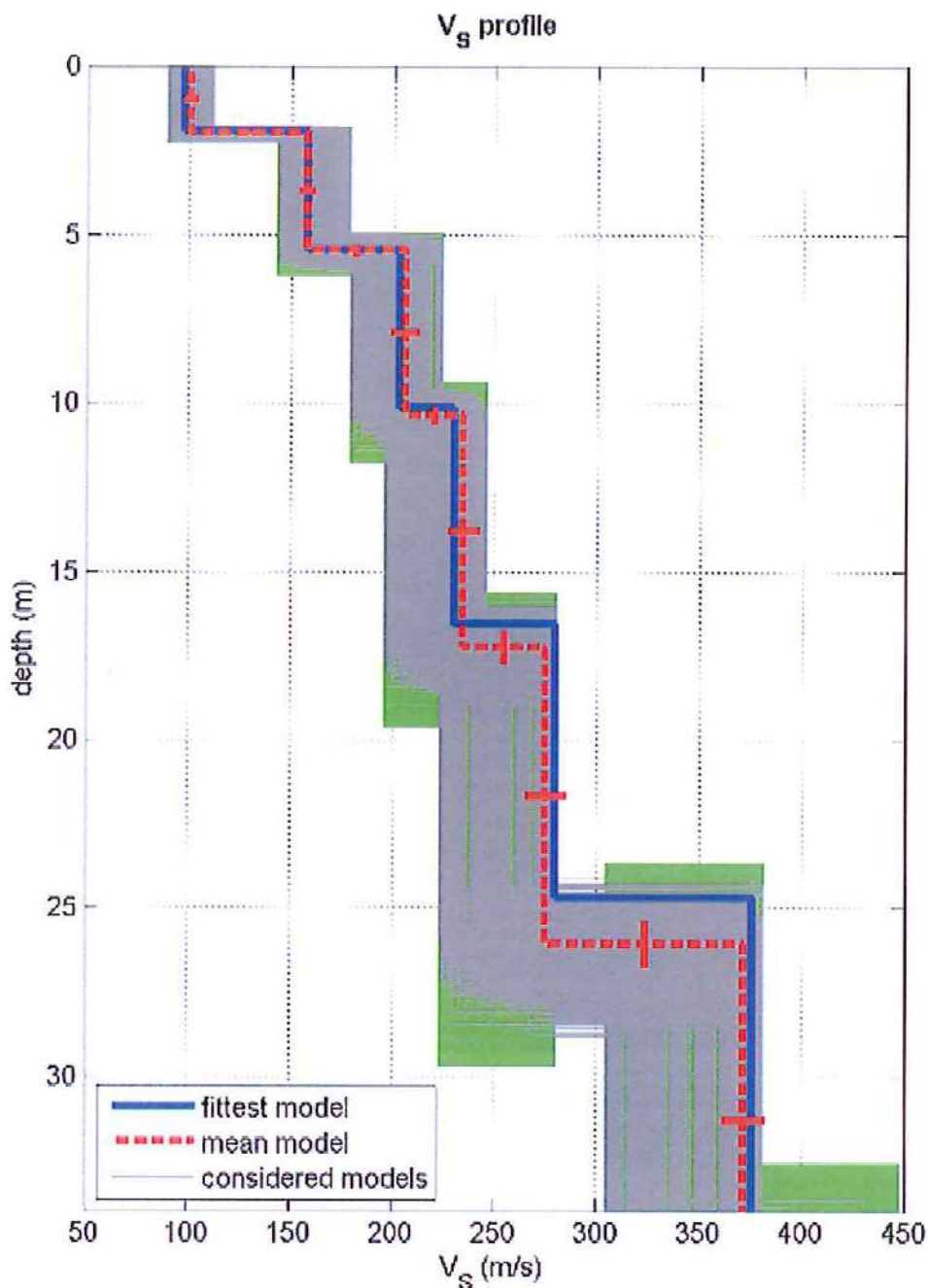
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

MODELLO V_{s30} DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 321_5.dat

dispersion curve: pick.cdp

V_{s30} (best model): 221 m/s

V_{s30} (mean model): 218 m/s

half-space

BEST MODEL
 $V_{s30} = 221$ m/s



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

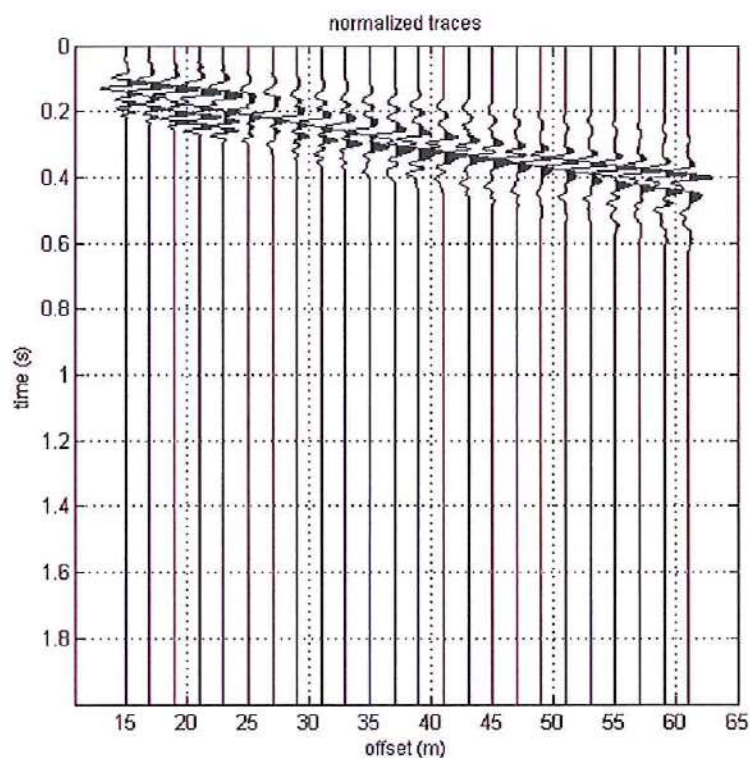
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

Cantiere: Soliera, Via Gambisa
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani, Dott. Gregorio Brigo
Data: 06/03/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott.ssa Sonia Gilioli
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Rif. 159/15
Masw n.2



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

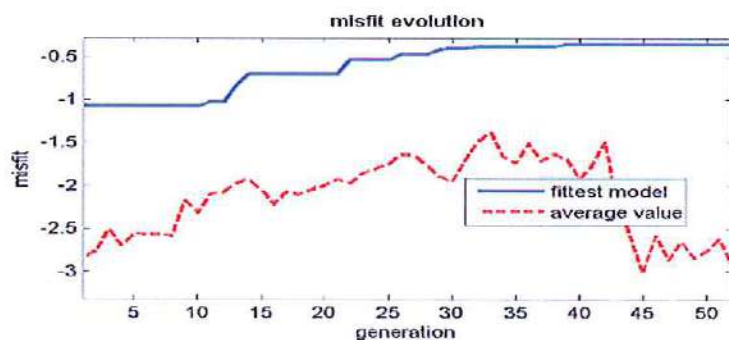
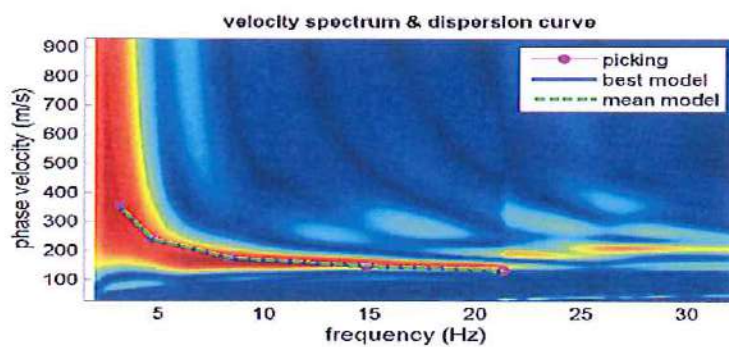
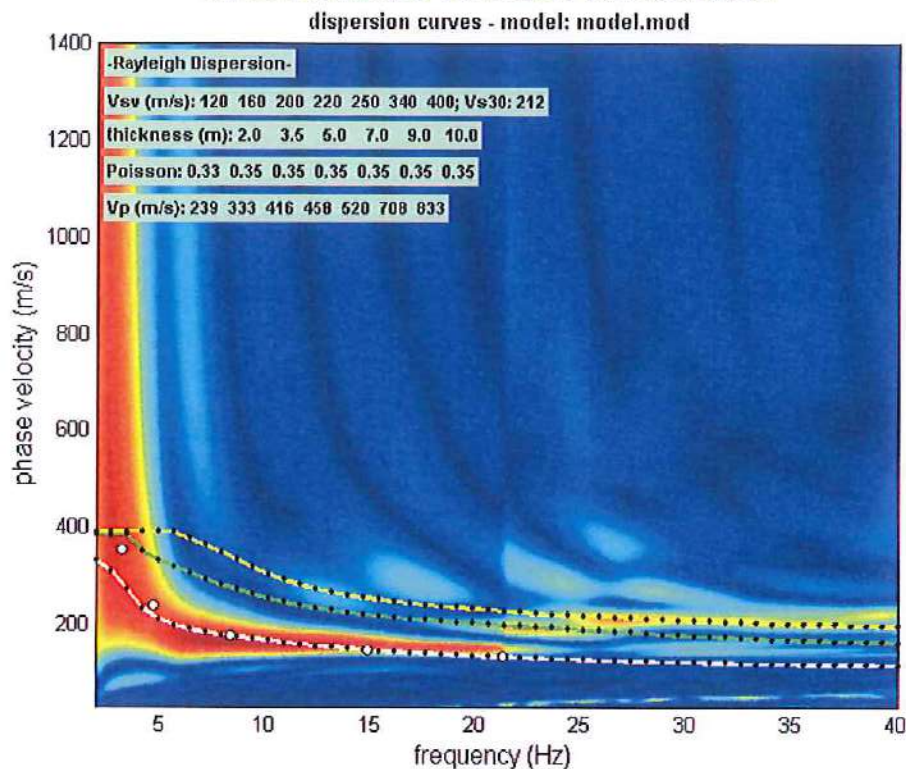
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

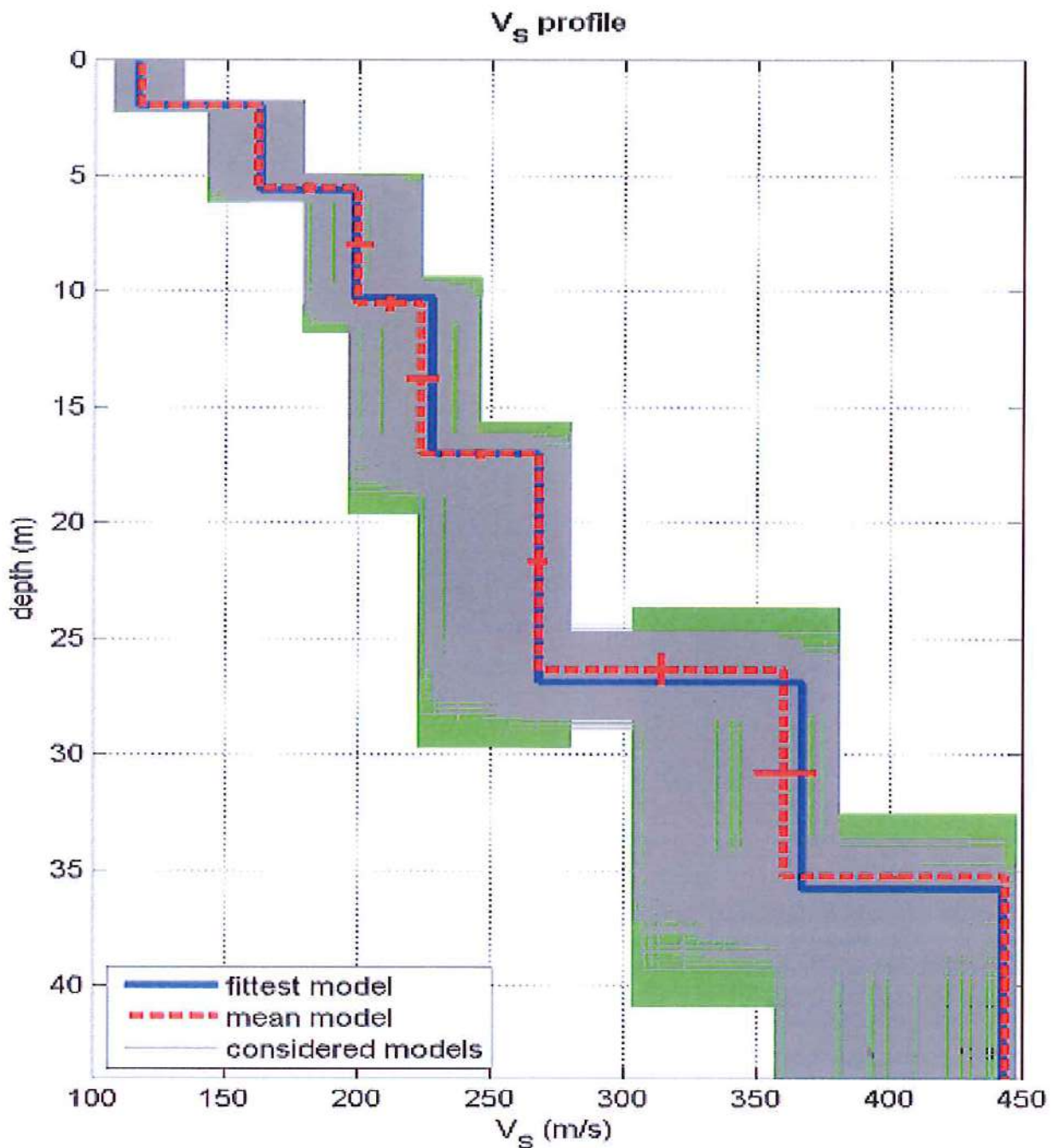
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO V_{s30} DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 345₁.5.dat

dispersion curve: pick.cdp

V_{s30} (best model): 218 m/s

V_{s30} (mean model): 218 m/s

BEST MODEL
 $V_{s30} = 218$ 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

INDAGINI SISMICHE CON METODO RE.MI.



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

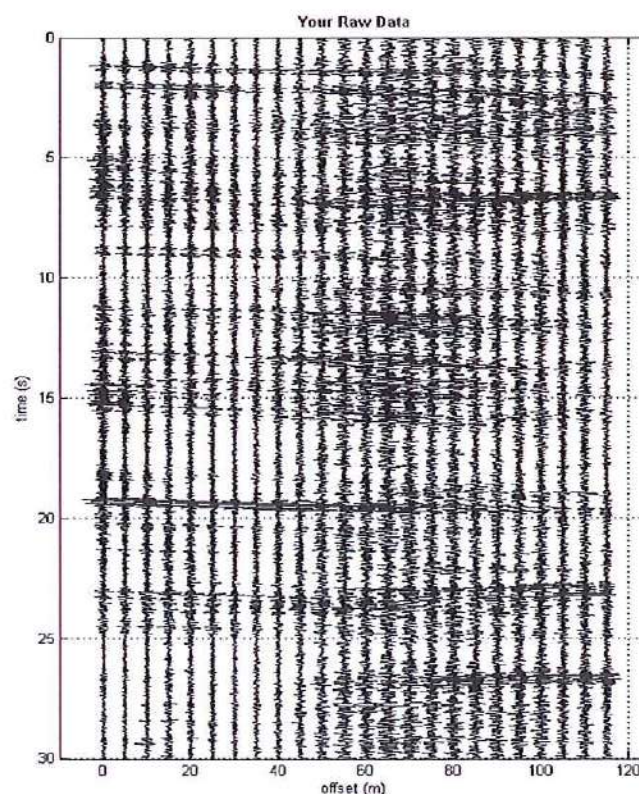
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA ReMI

Cantiere: Soliera, Via Gambisa
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani, Dott. Gregorio Brigo
Data: 06/03/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott.ssa Sonia Gilioli
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Rif. 159/15
Re.Mi n.1



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

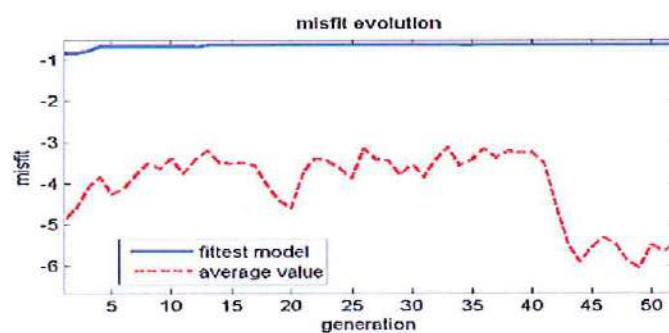
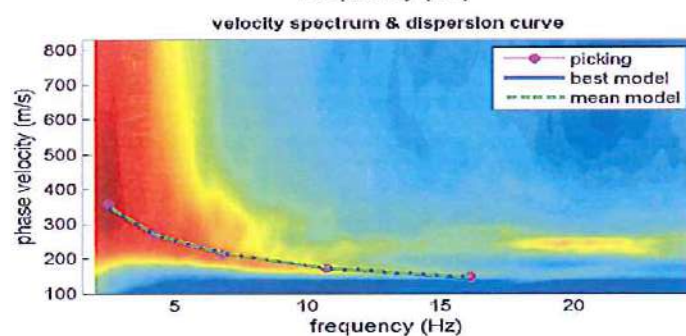
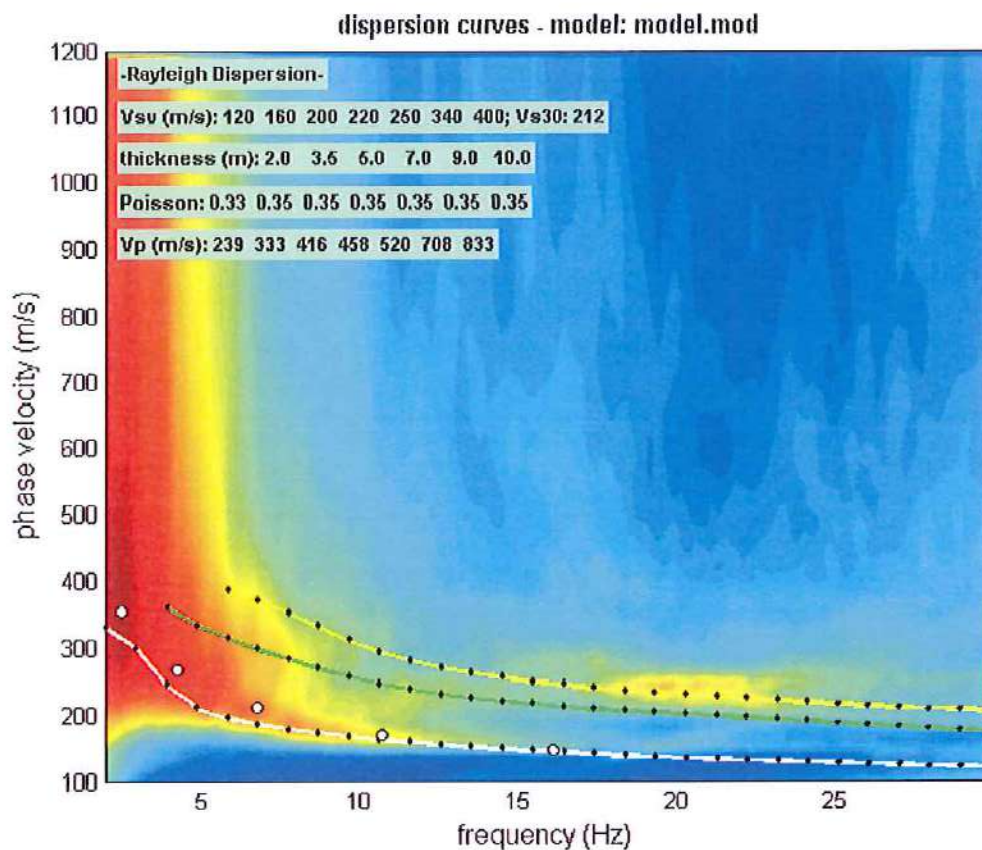
Sede Legale: via C. Costa, 182 - 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

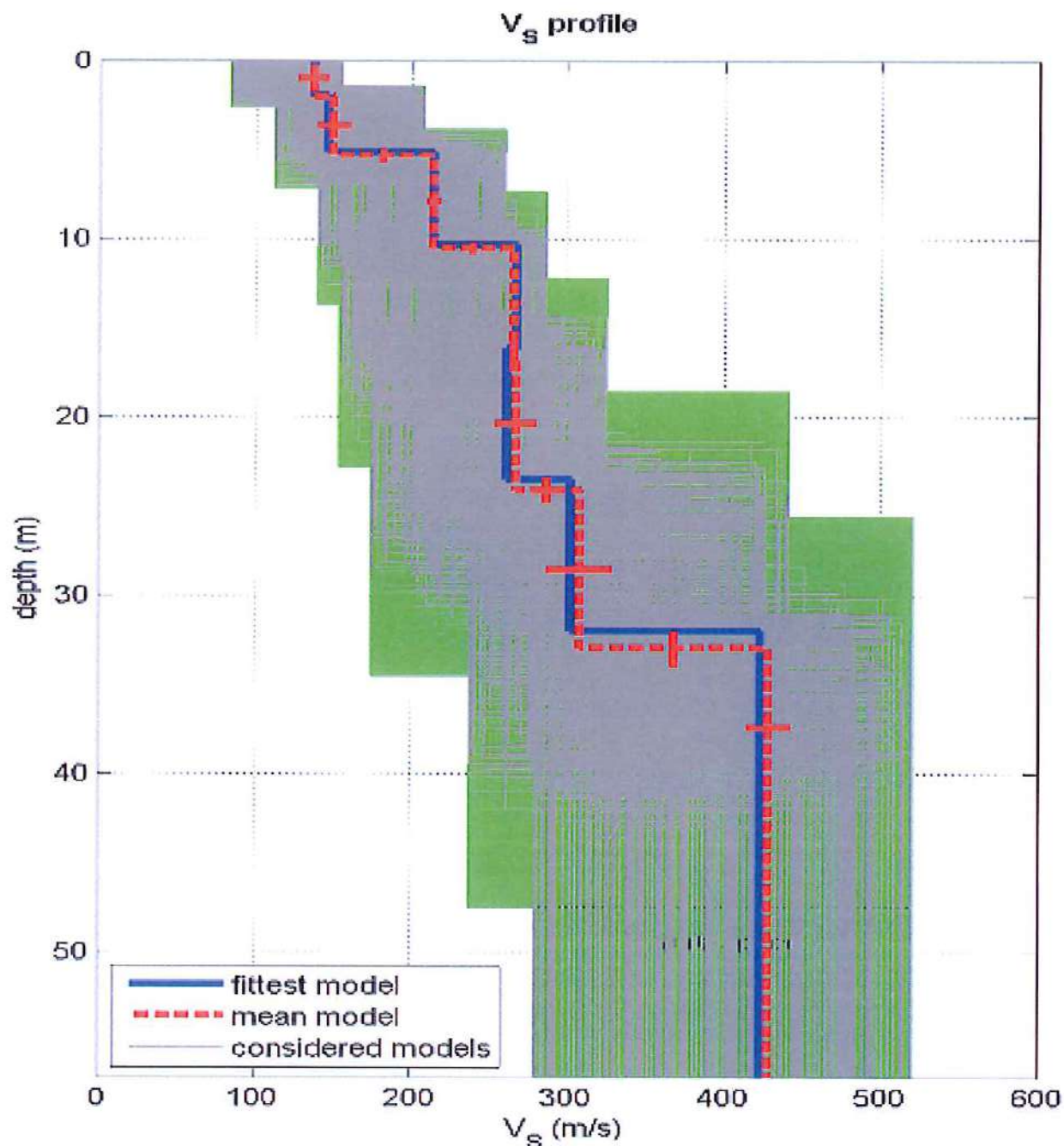
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE ReMI ESEGUITA



dataset: spettro.mat

dispersion curve: pick.cdp

Vs30 (best model): 228 m/s

Vs30 (mean model): 229 m/s

BEST MODEL
Vs30 = 228 m/s



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.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it

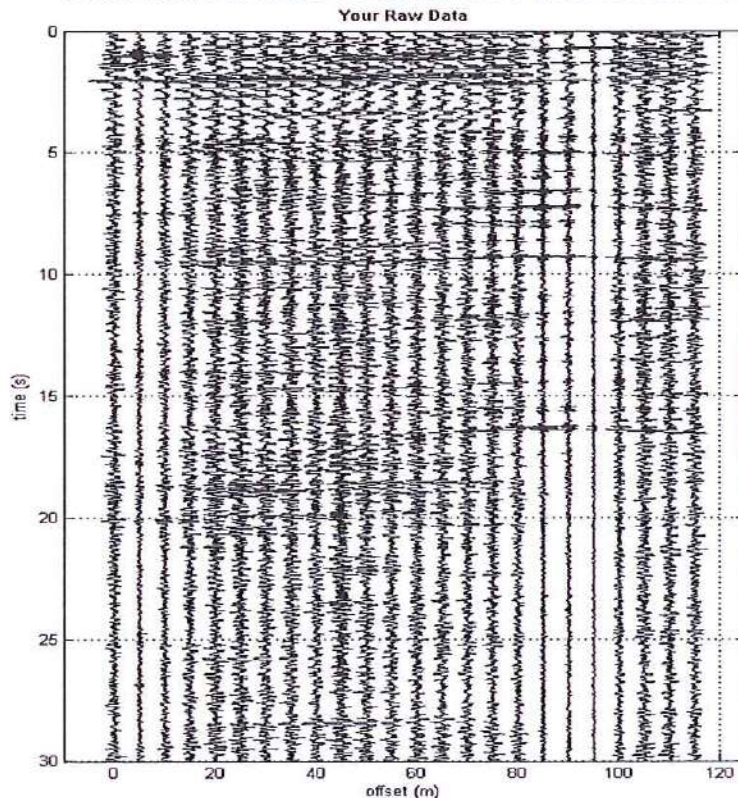
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA ReMI

Cantiere: Soliera, Via Gambisa
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani, Dott. Gregorio Brigo
Data: 06/03/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott.ssa Sonia Gilioli
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Rif. 159/15
Re.Mi n.2



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

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

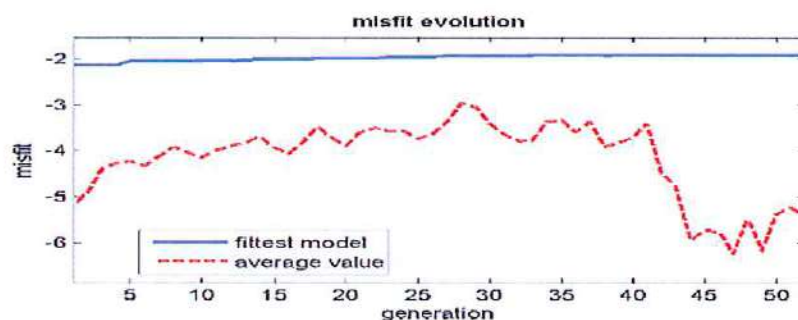
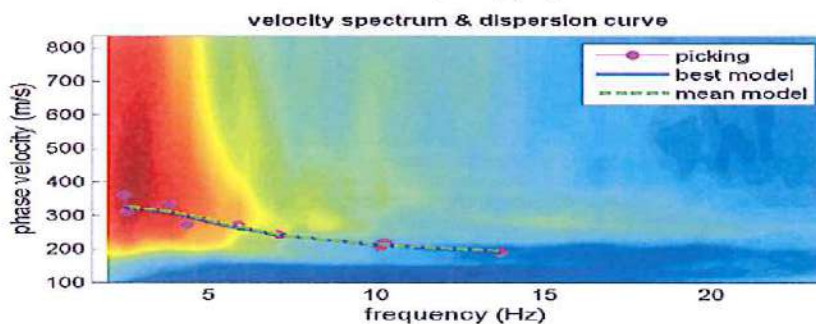
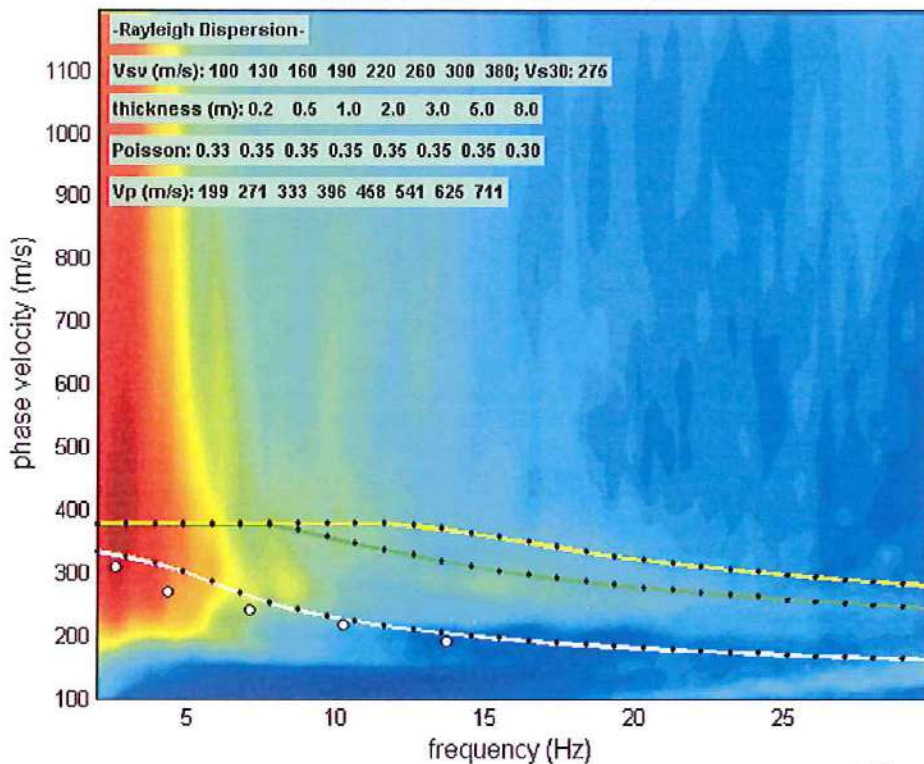
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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

dispersion curves - model: model.mod



www.winmasw.com



GEO GROUP s.r.l.

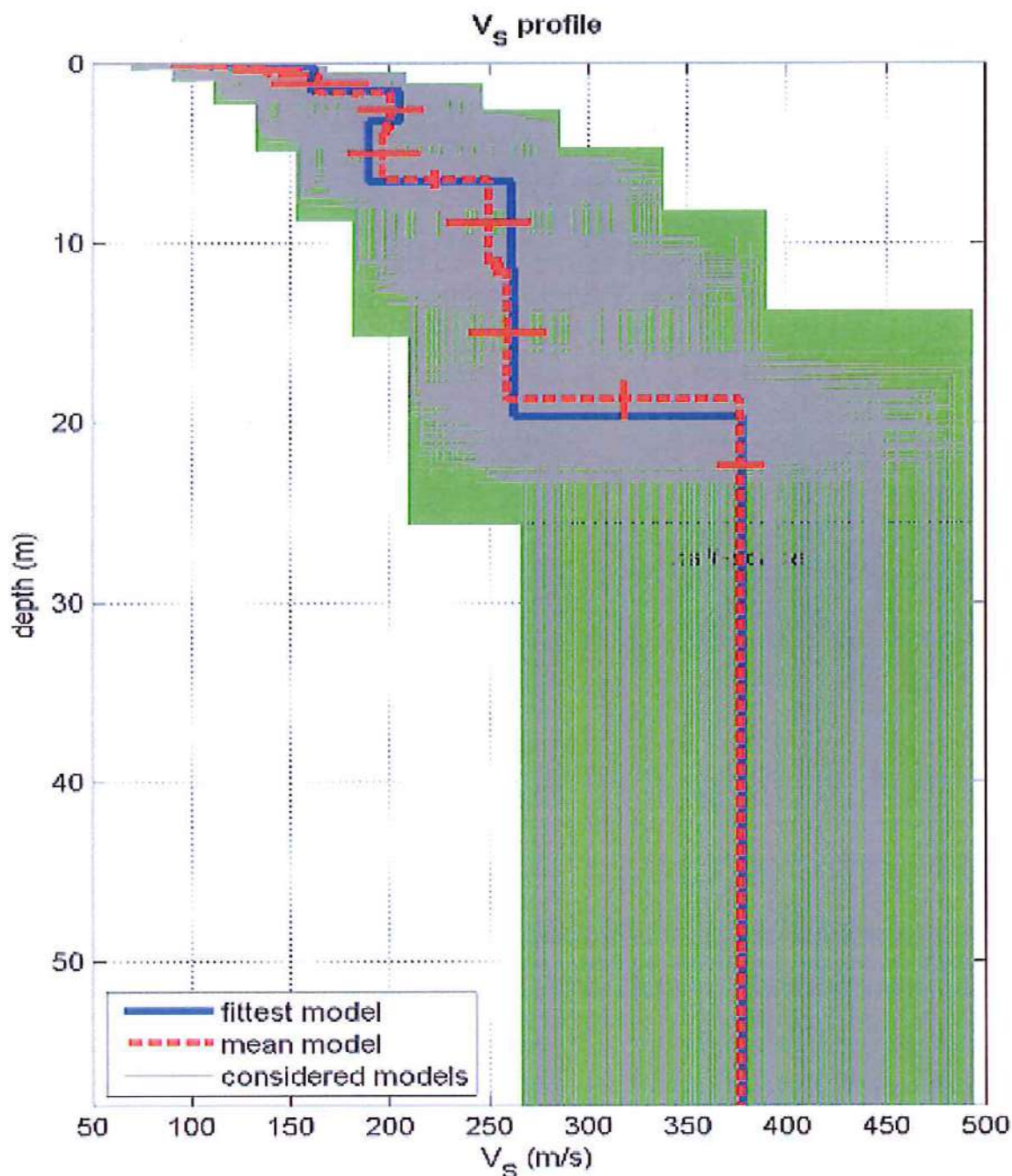
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE ReMI ESEGUITA



dataset: spettro.mat

dispersion curve: pick.cdp

Vs30 (best model): 265 m/s

Vs30 (mean model): 264 m/s

BEST MODEL
Vs30 = 265 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

INDAGINI SISMICHE PASSIVE 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

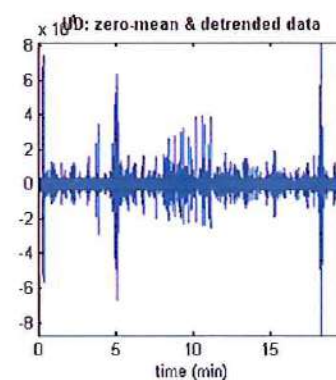
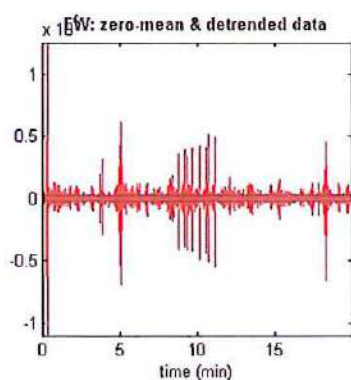
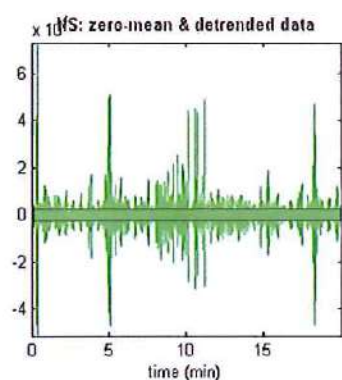
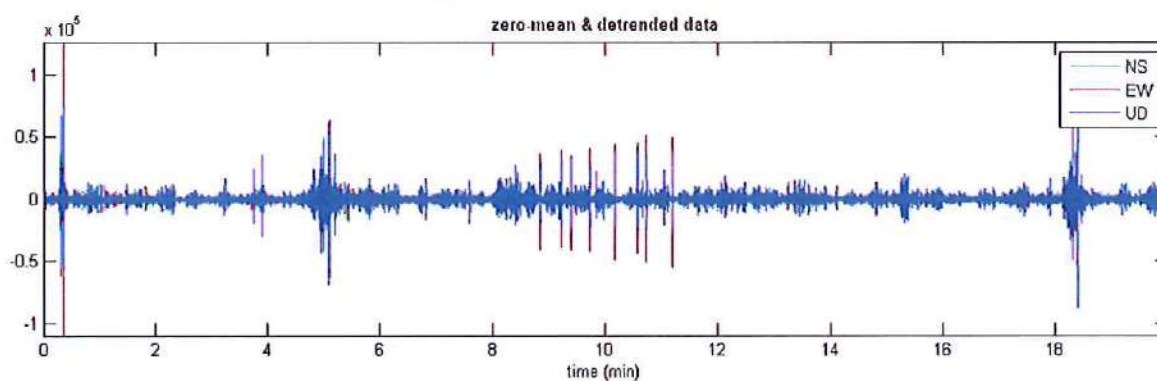
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA HVSR

Cantiere: Soliera, Via Gambisa
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani, Dott. Gregorio Brigo
Data: 06/03/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott.ssa Sonia Gilioli
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Rif. 159/15
HVSR n.1



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

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

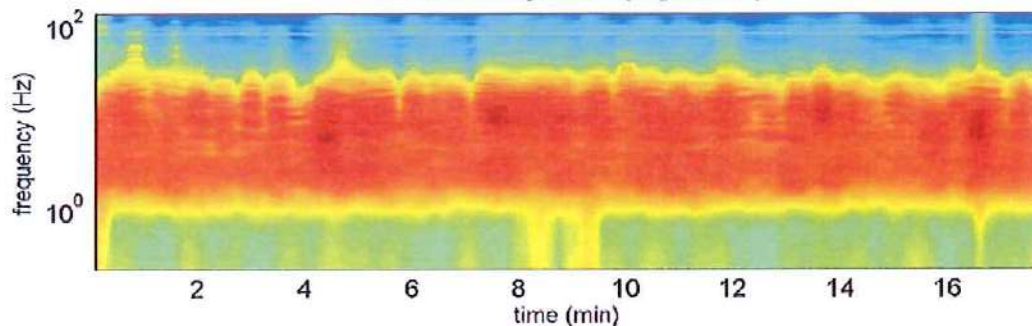
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

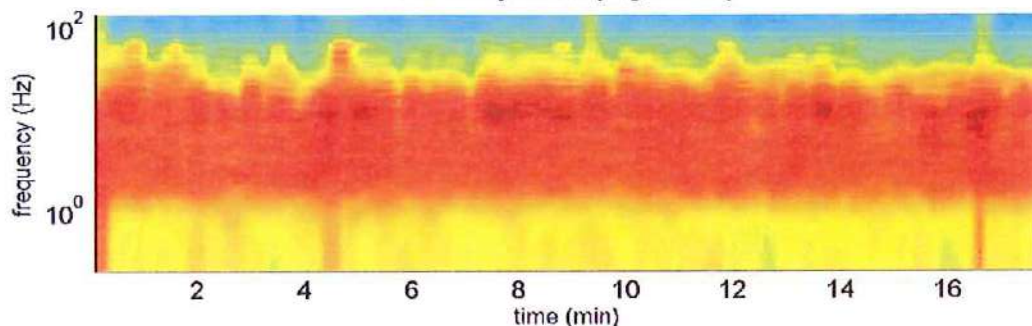
p.IVA e C.F. 02981500362 - www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it

PERSISTENZA HVSR

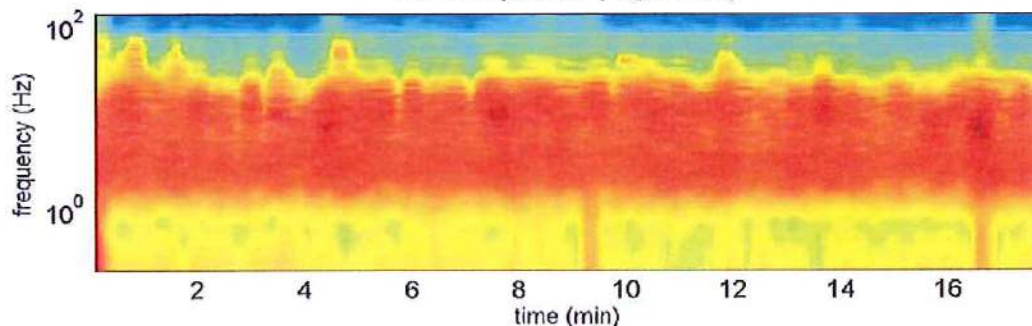
vertical component (logarithm)



NS component (logarithm)

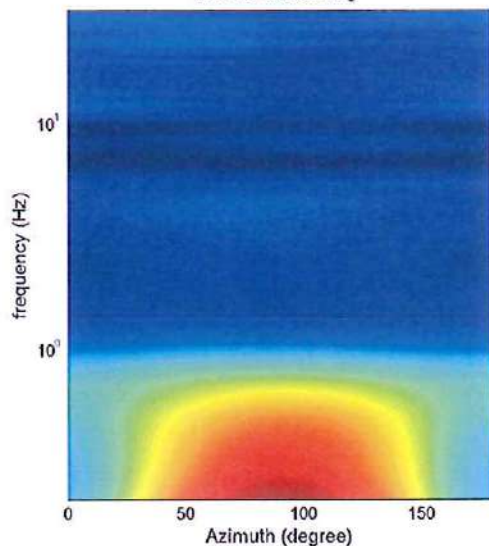


EW component (logarithm)



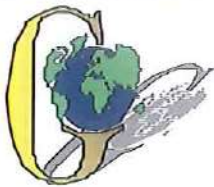
DIREZIONALITA' HVSR

HVSR: directivity



HVSR: directivity





GEO GROUP s.r.l.

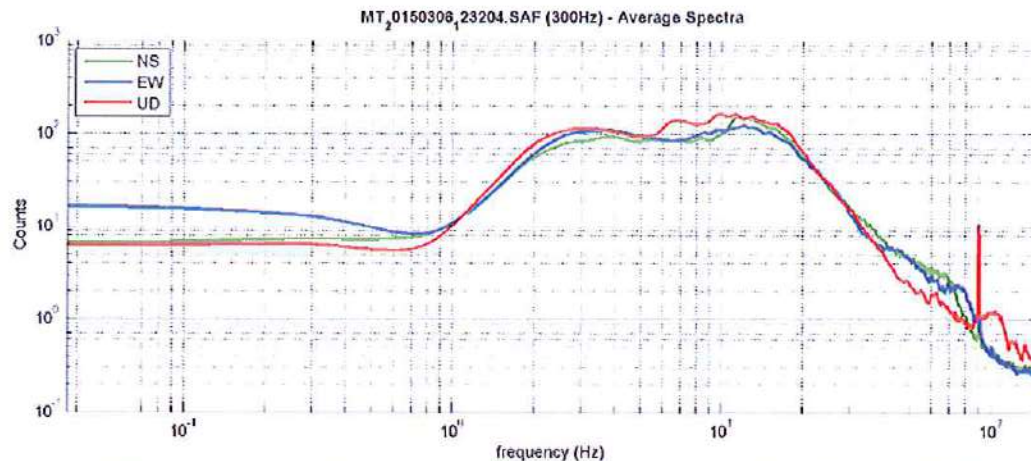
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

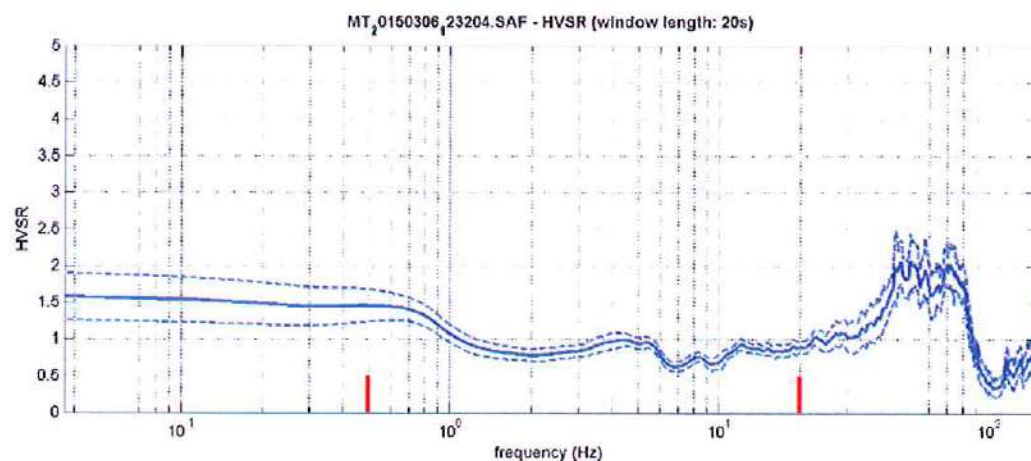
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

VELOCITA' SPETTRALI



RAPPORTO HVSR DERIVATO DALL'ACQUISIZIONE ESEGUITA



FREQUENZA DERIVATA nessun picco stratigrafico rilevato

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [$f_0 > 10 \cdot Lw$]: $0.549 > 0.5$ (OK)
- #2. [$nc > 200$]: $1176 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f^- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f^-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f^+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $1.5 < 2$ (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$]: (NO)
- #5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $4.518 > 0.082$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.217 < 2$ (OK)



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

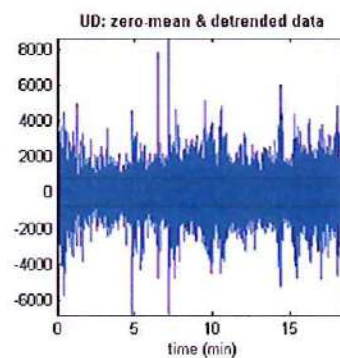
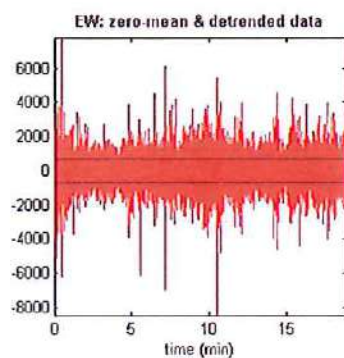
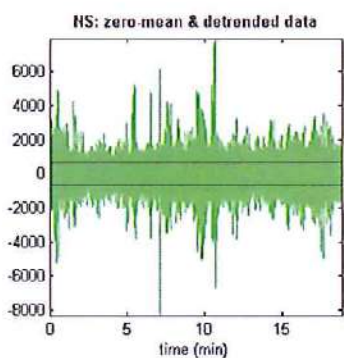
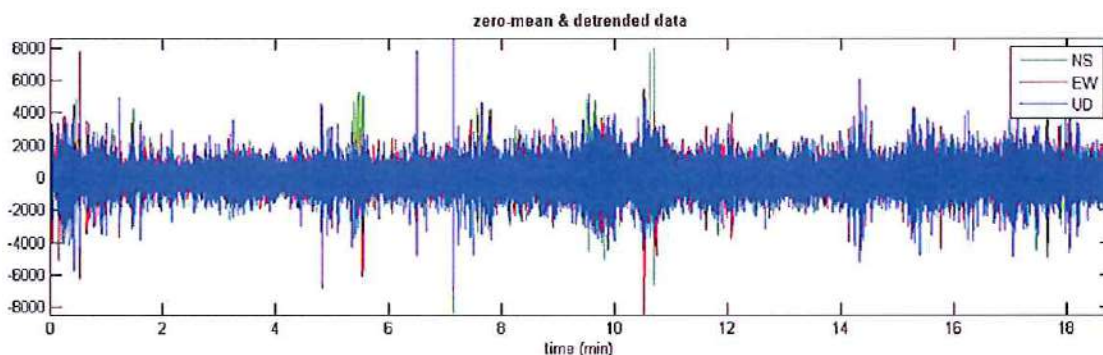
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA HVSR

Cantiere: Soliera, Via Gambisa
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani, Dott. Gregorio Brigo
Data: 06/03/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott.ssa Sonia Gilioli
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Rif. 159/15
HVSR n.2



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

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

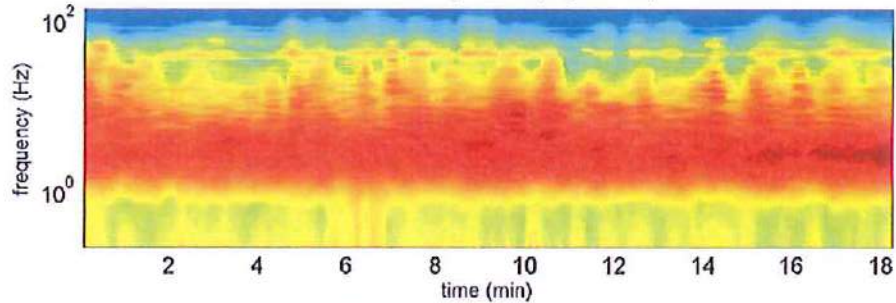
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

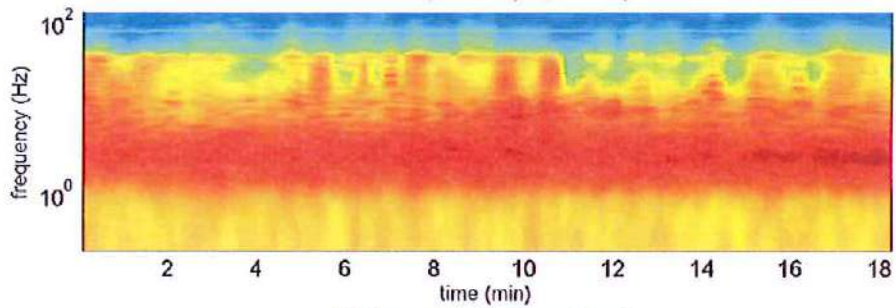
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it

PERSISTENZA HVSR

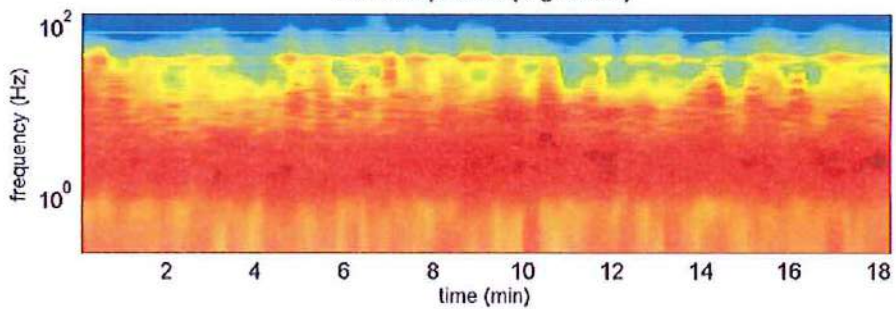
vertical component (logarithm)



NS component (logarithm)

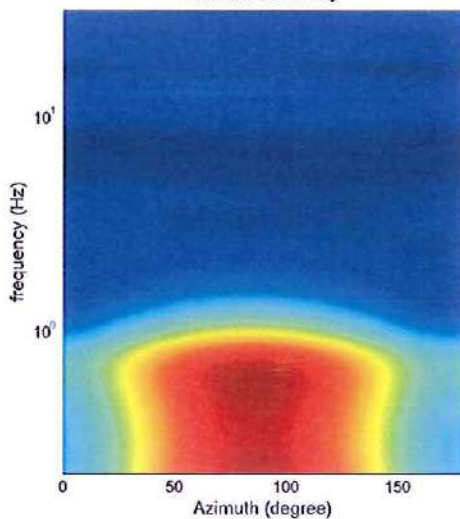


EW component (logarithm)

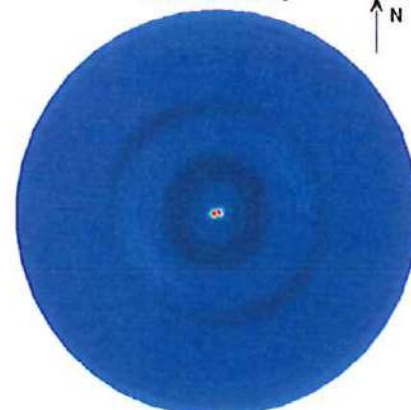


DIREZIONALITA' HVSR

HVSR: directivity



HVSR: directivity





GEO GROUP s.r.l.

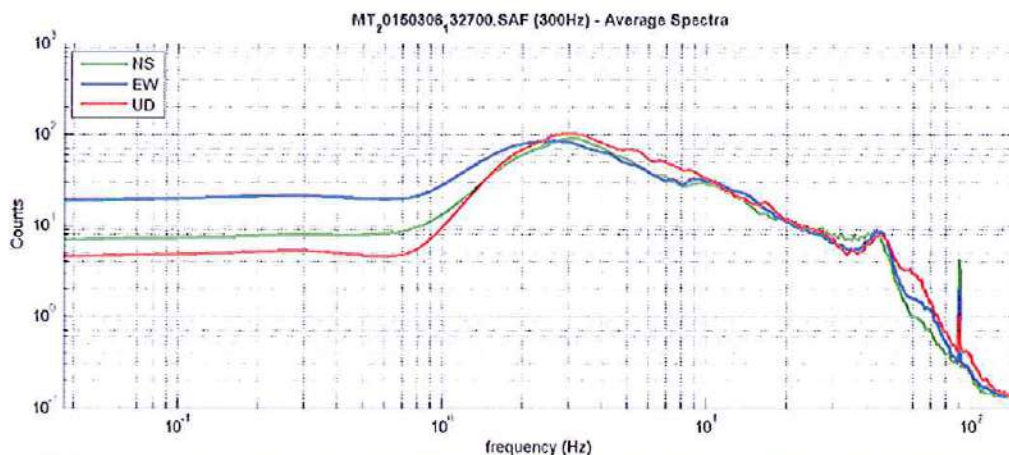
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

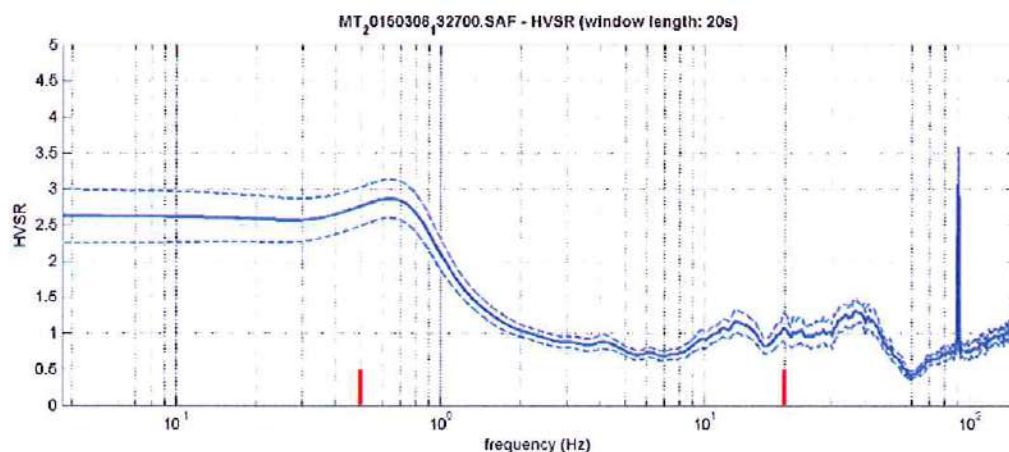
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

VELOCITA' SPETTRALI



RAPPORTO HVSR DERIVATO DALL'ACQUISIZIONE ESEGUITA



FREQUENZA DERIVATA

nessun picco stratigrafico rilevato

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $0.659 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $1451 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: yes, at frequency 0.7Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.9 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)]$: $1.171 > 0.099$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.266 < 2$ (OK)

GEO GROUP s.r.l.

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

ALLEGATO N° 3 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

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

CPT 1



Committente: Studio tecnico

Località: Soliera, via Gambisa

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Note: Falda - 2.00 m da p.c.

Sigla: 01

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

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Gamma (t/mc)	lc	Sforzo indotto dal sisma T	Resistenza alla liquefazione R	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
0.2	15	0.6	1.8	1.9	0.093	0.3	10
0.4	10	0.67	1.8	2.38	0.093	0.087	10
0.6	7	0.47	1.8	2.59	0.093	0.088	10
0.8	9	0.8	1.8	2.71	0.092	0.114	
1	22	1.07	1.8	2.33	0.092	0.213	10
1.2	20	1	1.8	2.42	0.092	0.162	10
1.4	20	1.13	1.8	2.51	0.091	0.212	10
1.6	20	1.27	1.8	2.59	0.091	0.285	10
1.8	15	0.8	1.8	2.65	0.091	0.091	
2	12	0.53	1.8	2.7	0.091	0.079	
2.2	12	0.47	0.8	2.69	0.093	0.077	
2.4	7	0.4	0.8	3	0.097	0.065	
2.6	5	0.4	0.8	3.24	0.101	0.06	
2.8	9	0.4	0.8	2.87	0.104	0.068	
3	9	0.4	0.8	2.89	0.108	0.067	
3.2	8	0.47	0.8	3.02	0.11	0.065	
3.4	10	0.47	0.8	2.89	0.113	0.068	
3.6	9	0.53	0.8	3.01	0.115	0.066	
3.8	8	0.53	0.8	3.1	0.118	0.063	
4	9	0.47	0.8	3	0.12	0.065	
4.2	10	0.47	0.8	2.94	0.121	0.066	
4.4	15	0.67	0.8	2.79	0.123	0.073	
4.6	14	0.6	0.8	2.82	0.125	0.071	
4.8	15	0.6	0.8	2.78	0.126	0.072	
5	16	0.67	0.8	2.78	0.127	0.073	
5.2	11	0.8	0.8	3.09	0.128	0.065	
5.4	12	0.6	0.8	2.96	0.129	0.066	
5.6	9	0.53	0.8	3.13	0.13	0.062	
5.8	9	0.53	0.8	3.14	0.131	0.061	
6	13	0.47	0.8	2.87	0.132	0.066	
6.2	11	0.53	0.8	3.02	0.132	0.063	
6.4	9	0.53	0.8	3.17	0.133	0.061	
6.6	8	0.53	0.8	3.27	0.134	0.059	
6.8	9	0.47	0.8	3.16	0.134	0.06	
7	9	0.53	0.8	3.2	0.134	0.06	
7.2	8	0.93	0.8	3.46	0.135	0.059	
7.4	13	0.87	0.8	3.11	0.135	0.064	
7.6	11	0.67	0.8	3.16	0.135	0.061	
7.8	10	0.53	0.8	3.17	0.135	0.06	
8	6	0.47	0.8	3.53	0.135	0.056	
8.2	7	0.67	0.8	3.51	0.135	0.057	
8.4	13	0.53	0.8	3.01	0.135	0.063	
8.6	9	0.67	0.8	3.34	0.135	0.059	

Certificato n.01 del 12-03-15

Firma



<i>Profondità (m)</i>	<i>qc(kg/cmq)</i>	<i>fs (kg/cmq)</i>	<i>Gamma (t/mc)</i>	<i>Ic</i>	<i>Sforzo indotto dal sisma T</i>	<i>Resistenza alla liquefazione R</i>	<i>Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs</i>
18.6	28	1.73	0.9	3.11	0.11	0.063	
18.8	29	1.53	0.9	3.06	0.11	0.064	
19	27	1.4	0.9	3.09	0.109	0.062	
19.2	25	1.6	0.9	3.18	0.109	0.061	
19.4	28	1.8	0.9	3.14	0.108	0.063	
19.6	33	2	0.9	3.06	0.108	0.065	
19.8	22	1.67	0.9	3.3	0.107	0.06	
20	15	1.67	0.9	3.6	0.107	0.057	

Profondità tetto falda(m): 2

Profondità base falda(m): 20

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.275

Magnitudo di riferimento= 6.14

Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 1.94

Fs = R / T



Committente: Studio tecnico

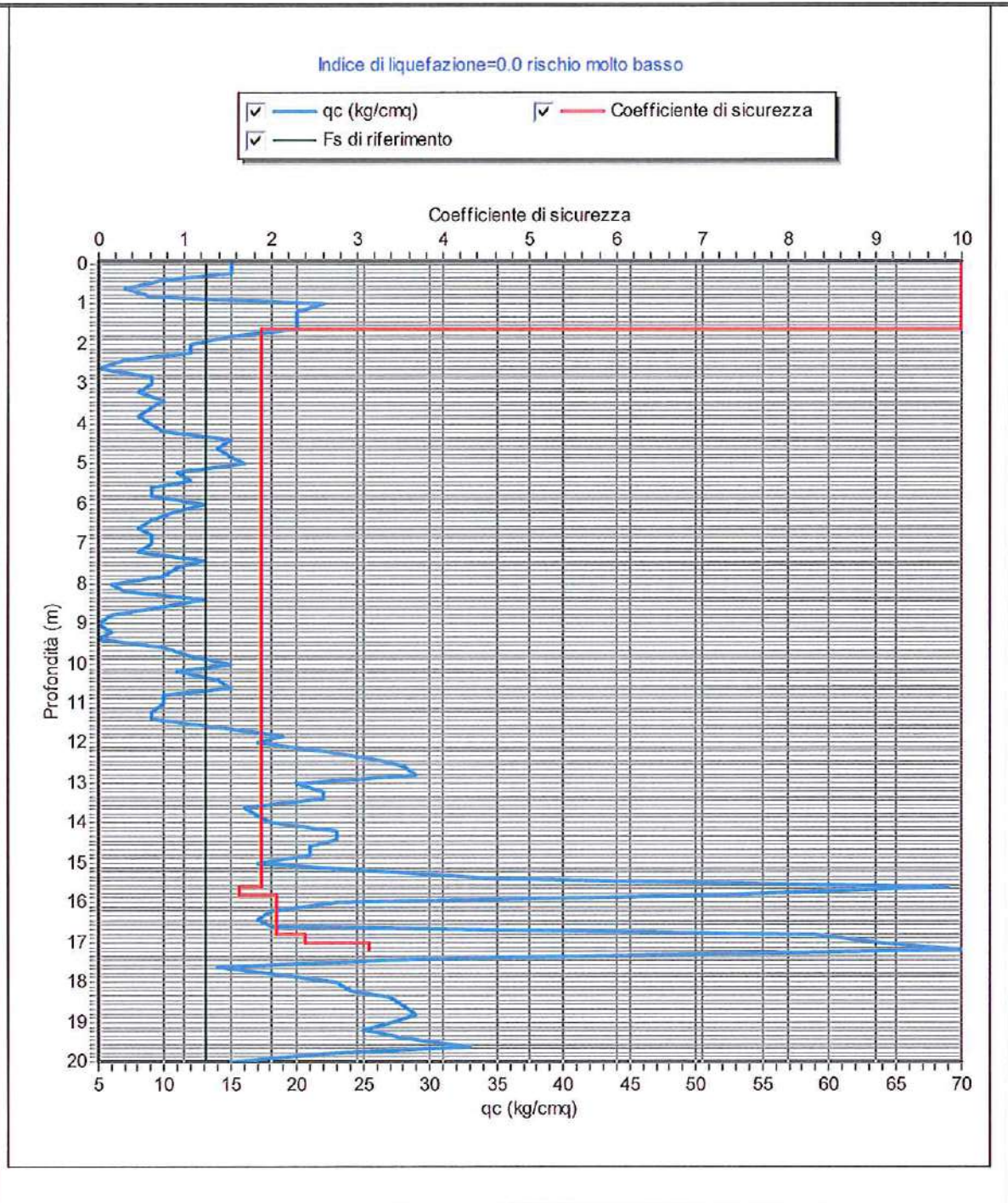
Località: Soliera, via Gambisa

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Note: Falda - 2.00 m da p.c.

Sigla: 01

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



Certificato n.01 del 12-03-15

Firma:

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

CPT 2



Committente: Studio tecnico

Località: Soliera, via Gambisa

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Note: Falda - 2.00 m da p.c.

Sigla: 01

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

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Gamma (t/mc)	lc	Sforzo indotto dal sisma T	Resistenza alla liquefazione R	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
0.2	10	0.67	1.8	2.17	0.093	0.238	10
0.4	10	0.73	1.8	2.41	0.093	0.089	10
0.6	11	1	1.8	2.59	0.093	0.114	10
0.8	13	1.07	1.8	2.59	0.092	0.137	10
1	11	0.87	1.8	2.69	0.092	0.109	
1.2	13	0.73	1.8	2.58	0.092	0.134	10
1.4	12	0.73	1.8	2.68	0.091	0.093	
1.6	12	0.67	1.8	2.7	0.091	0.087	
1.8	17	0.67	1.8	2.52	0.091	0.165	10
2	10	0.6	1.8	2.85	0.091	0.074	
2.2	13	0.6	0.8	2.71	0.093	0.079	
2.4	11	0.53	0.8	2.79	0.097	0.074	
2.6	12	0.73	0.8	2.85	0.101	0.075	
2.8	14	0.67	0.8	2.74	0.104	0.078	
3	13	0.67	0.8	2.8	0.108	0.075	
3.2	17	0.73	0.8	2.67	0.11	0.082	
3.4	15	0.87	0.8	2.81	0.113	0.077	
3.6	12	0.6	0.8	2.86	0.115	0.071	
3.8	10	0.67	0.8	3.02	0.118	0.067	
4	12	0.47	0.8	2.81	0.12	0.07	
4.2	9	0.47	0.8	3.01	0.121	0.064	
4.4	7	0.53	0.8	3.23	0.123	0.061	
4.6	11	0.73	0.8	3.03	0.125	0.066	
4.8	15	0.6	0.8	2.78	0.126	0.072	
5	11	0.6	0.8	3	0.127	0.065	
5.2	9	0.67	0.8	3.17	0.128	0.062	
5.4	9	0.53	0.8	3.12	0.129	0.062	
5.6	14	1.07	0.8	3.04	0.13	0.068	
5.8	20	0.87	0.8	2.75	0.131	0.075	
6	18	0.8	0.8	2.8	0.132	0.072	
6.2	17	0.6	0.8	2.77	0.132	0.071	
6.4	13	0.67	0.8	2.99	0.133	0.065	
6.6	14	0.67	0.8	2.95	0.134	0.066	
6.8	9	0.47	0.8	3.16	0.134	0.06	
7	5	0.4	0.8	3.57	0.134	0.056	
7.2	6	0.47	0.8	3.48	0.135	0.057	
7.4	8	0.53	0.8	3.31	0.135	0.058	
7.6	8	0.6	0.8	3.35	0.135	0.058	
7.8	8	0.53	0.8	3.33	0.135	0.058	
8	8	0.47	0.8	3.3	0.135	0.058	
8.2	8	0.47	0.8	3.31	0.135	0.058	
8.4	12	0.73	0.8	3.15	0.135	0.062	
8.6	11	0.73	0.8	3.22	0.135	0.06	

Certificato n.01 del 12-03-15

Firma



Profondità (m)	q_c (kg/cm q)	f_s (kg/cm q)	Gamma (t/mc)	i_c	Sforzo indotto dal sisma T	Resistenza alla liquefazione R	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione F_s
18.6	23	1.6	0.9	3.23	0.11	0.061	
18.8	19	1.4	0.9	3.34	0.11	0.059	
19	29	1.47	0.9	3.05	0.109	0.063	
19.2	24	1.6	0.9	3.21	0.109	0.061	
19.4	17	0.93	0.9	3.32	0.108	0.058	
19.6	16	1.07	0.9	3.41	0.108	0.057	
19.8	21	1.07	0.9	3.21	0.107	0.059	
20	17	1.07	0.9	3.38	0.107	0.057	

Profondità tetto falda(m): 2

Profondità base falda(m): 20

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.275

Magnitudo di riferimento= 6.14

Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 1.94

$F_s = R / T$



Committente: Studio tecnico

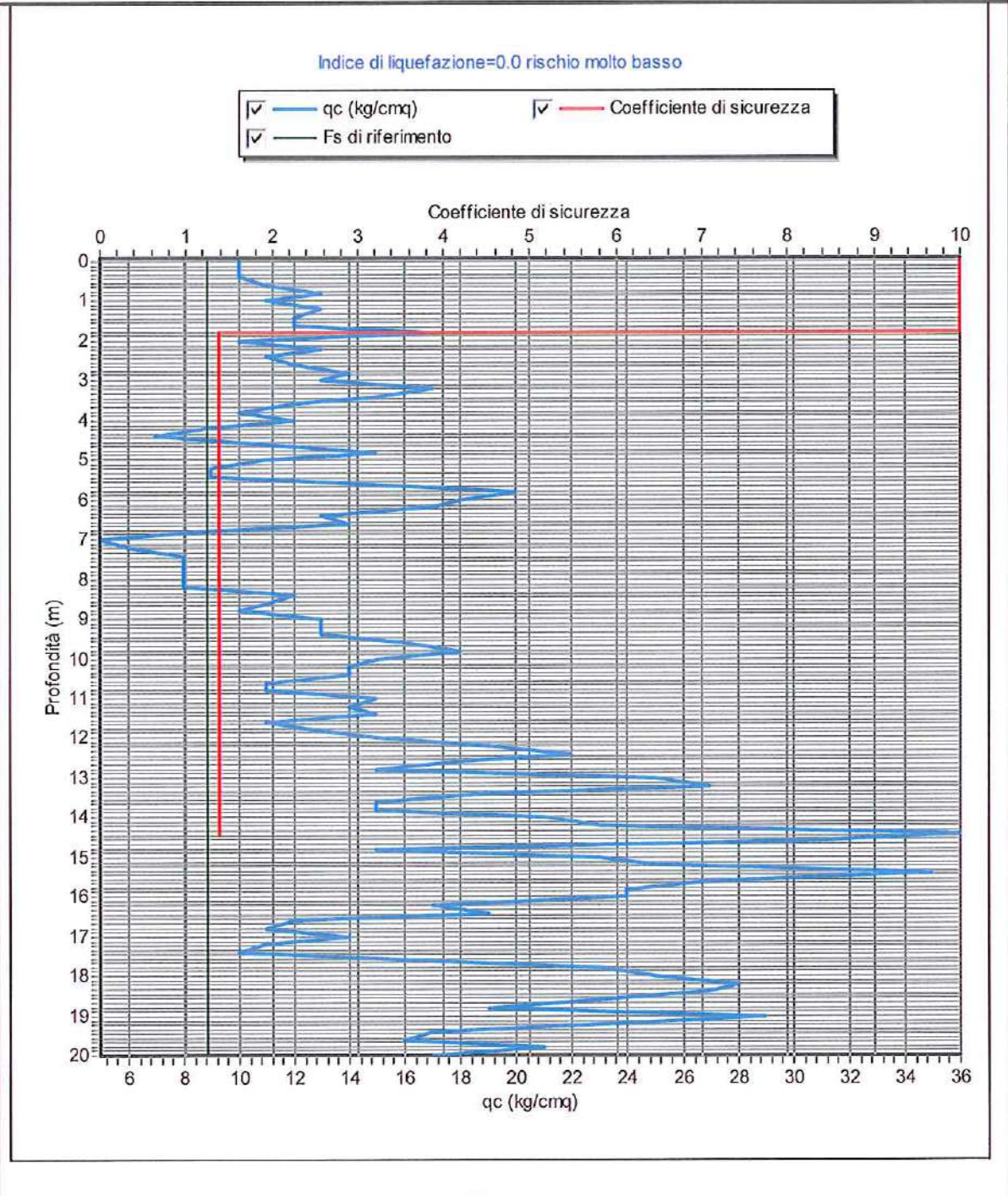
Località: Soliera, via Gambisa

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 12-03-15

Firma: