

Comune di Concordia s/S

Provincia di Modena

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (G.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (G.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (D.M. 14/01/08 - NNTC) la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008)



OGGETTO:

**Studio del terreno di fondazione
inerente la realizzazione di un centro polifunzionale
nel centro sportivo del Comune di Concordia s/S**

Comune di Concordia sulla Secchia



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Febbraio 2016
Rif. 689/14

ASSOCIATO



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



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

Relazione Tecnica comprendente:

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

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

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

Oggetto:

Studio del terreno di fondazione inerente la realizzazione di un centro polifunzionale nel centro sportivo del Comune di Concordia sulla Secchia (MO).

Indice del contenuto

1	PREMESSE	3
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
2	RELAZIONE GEOLOGICA	6
2.1	MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA	6
2.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
2.2.1	Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU	9
2.2.2	Caratteristiche geotecniche e litostratigrafiche del terreno di fondazione	12
2.2.3	Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT	14
2.2.4	Caratteristiche geotecniche e litostratigrafiche del terreno di fondazione	16
3	RELAZIONE GEOTECNICA	18
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE	18
3.2	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	18
3.3	TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE	20
3.4	VERIFICA DEI CEDIMENTI	21
3.5	MODULO DI SOTTOFONDO	22
4	CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE (CALCOLO DEGLI SLU)	23
4.1	SISMICITÀ DELL'AREA	23
4.2	INDAGINI GEOFISICHE	27
4.2.1	Indagine sismica a rifrazione con metodo dei microtremori (<i>Re.Mi.</i>)	27
4.2.1	Indagine sismica con metodo <i>MASW</i>	29
4.2.2	Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (<i>HVSR</i>) – Metodo di Nakamura	31
4.3	MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico	33
4.3.1	PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta delle aree suscettibili di effetti locali	34
4.3.2	STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)	35
4.3	PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE - VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08	45
4.4	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	50
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	56

Tavole

Tav. n. 1: “Carta Corografica”	scala 1: 25.000
Tav. n. 2: “Carta Topografica”	scala 1: 10.000
Tav. n. 3: “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”	scala grafica
Tav. n. 4: “Carta della litologia di superficie”	scala 1: 100.000
Tav. n. 5: “Indagini geognostiche”	scala grafica

Allegati

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

1 PREMESSE

Nel mese di febbraio 2016 è stata eseguita la presente relazione geologica, geotecnica e sismica relativa allo studio del sottosuolo inerente la realizzazione di un centro polifunzionale nel centro sportivo del Comune di Concordia sulla Secchia (MO), in Via Togliatti.



Fig. 1.1: Inquadramento geografico dell'area di interesse; immagine tratta da *Bing Maps*.



Fig. 1.2: Ripresa fotografica dell'area in oggetto.

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è sita a sud est del centro storico del Comune di Concordia s/S (MO), in Via Togliatti, come illustrato nella "Carta corografica", tavole CTR n. 183_NE "*Concordia sulla Secchia*" e n. 184_NO "*Quarantoli*" alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**); nella "Carta topografica" sezione n°183080 "*Concordia sulla Secchia*" alla scala 1: 10.000, (**tav. n. 2**) e nella "Ripresa fotografica generale dell'area di interesse" (**tav. n. 3**), riportate in allegato.



Fig. 1.3: Inquadramento geografico dell'area di interesse; immagine tratta da *Bing Maps*.

Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito software ed utilizzando la maglia di punti riportata in figura 1.4 sono le seguenti:

(1)* Coordinate WGS84	
Lat.	Long.
44.907094 °	10.989188 °
(1)* Coordinate ED50	
Lat.	Long.
44,908026 °	10,990196 °

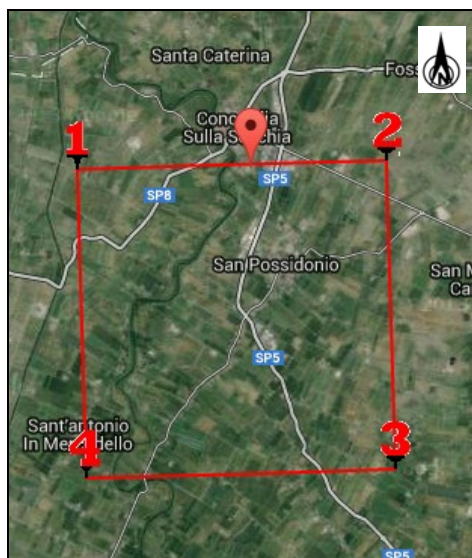


Fig. 1.4: Maglia di punti che identificano l'area di interesse.

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

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

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA

L'area oggetto di studio è posta a sud est del centro storico del Comune di Concordia (MO), in Via Togliatti.

Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella "Carta della litologia di superficie" (tav. n. 4), tratta dalla "Carta geologica d'Italia", FOGLIO 75 "Mirandola" a scala 1: 100.000:

- a^s: argille sabbiose e sabbie argillose.

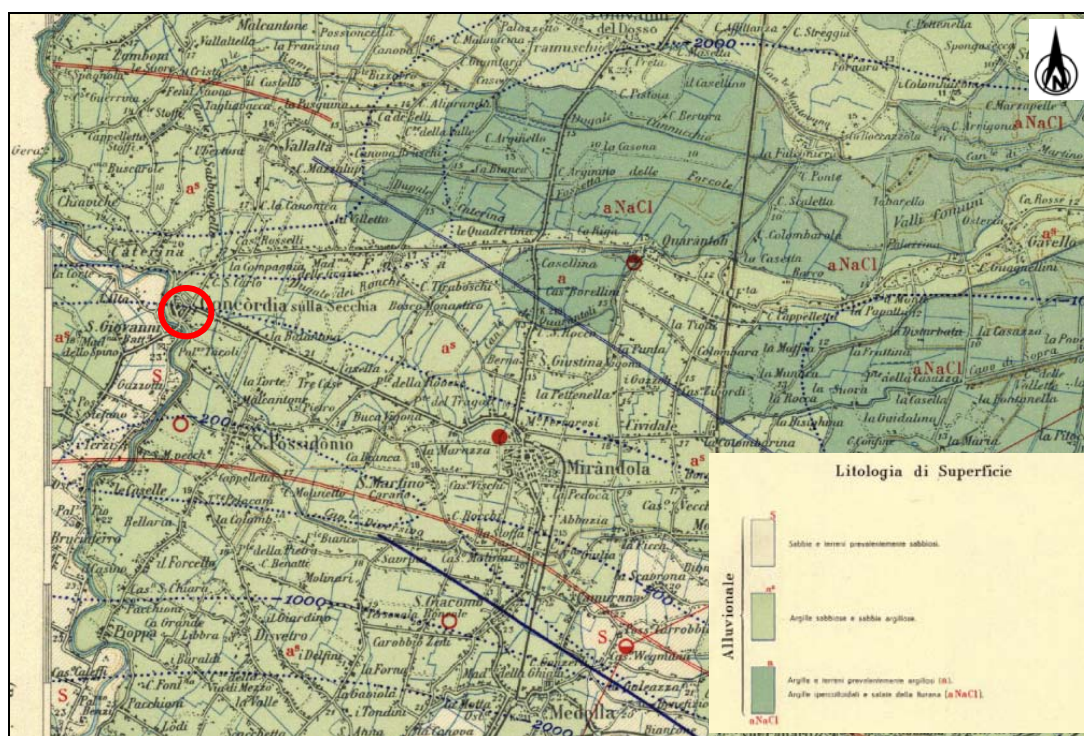
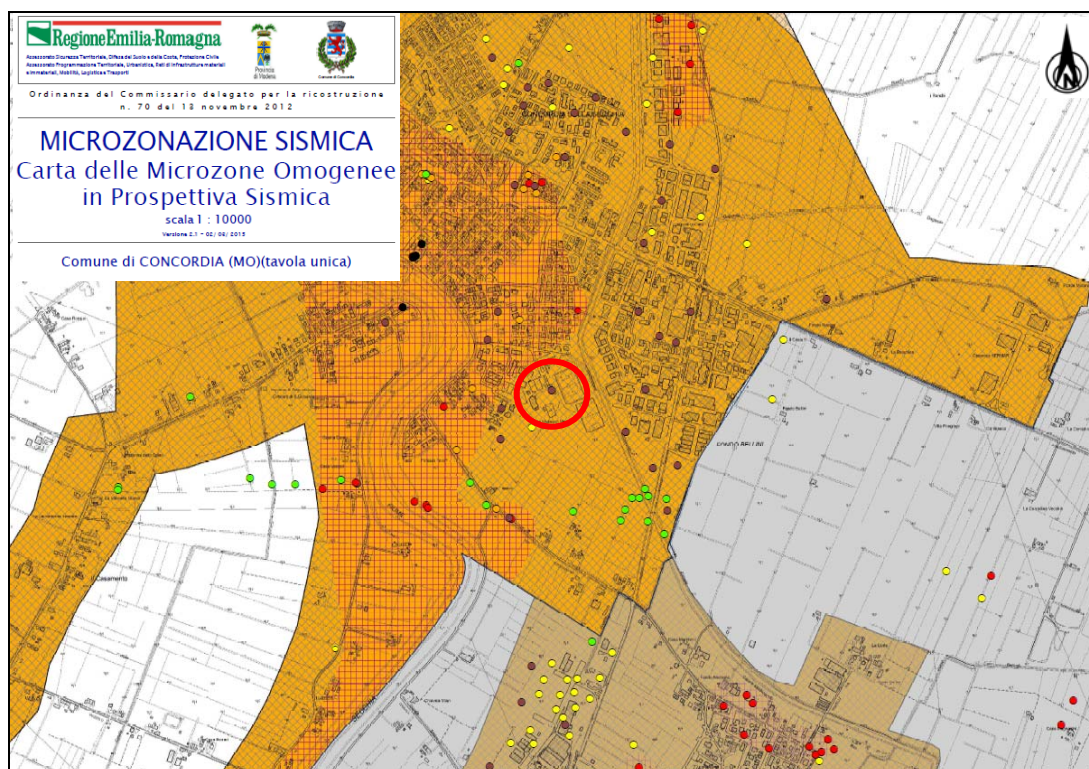


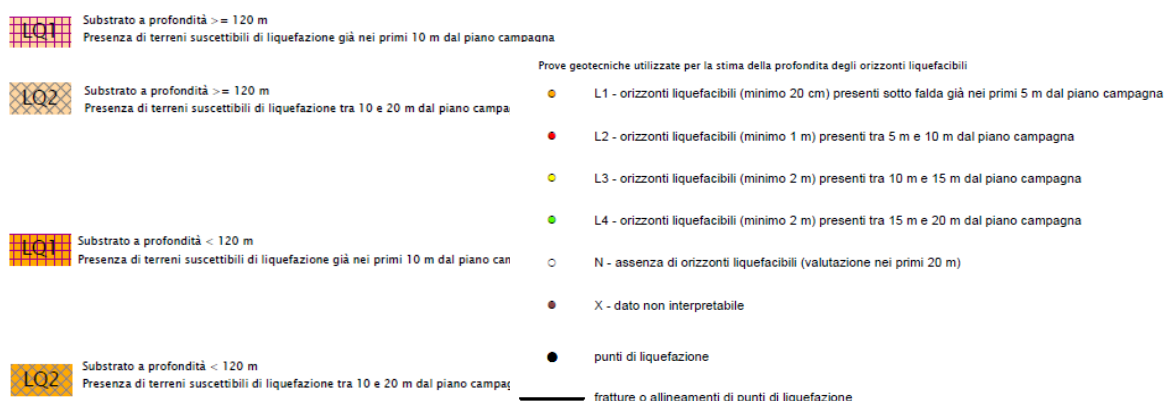
Fig. 2.1: Estratto della "Carta geologica d'Italia", FOGLIO 75 "Mirandola", scala grafica.

L'area oggetto di studio è posta nella bassa pianura modenese, in una zona pianeggiante alla quota topografica media di circa 19.00 m s.l.m..

Di seguito vengono riportati gli estratti di cartografia dell'Ordinanza n.70 del 13/09/2012 redatti dalla Regione Emilia Romagna inerenti l'area in studio.

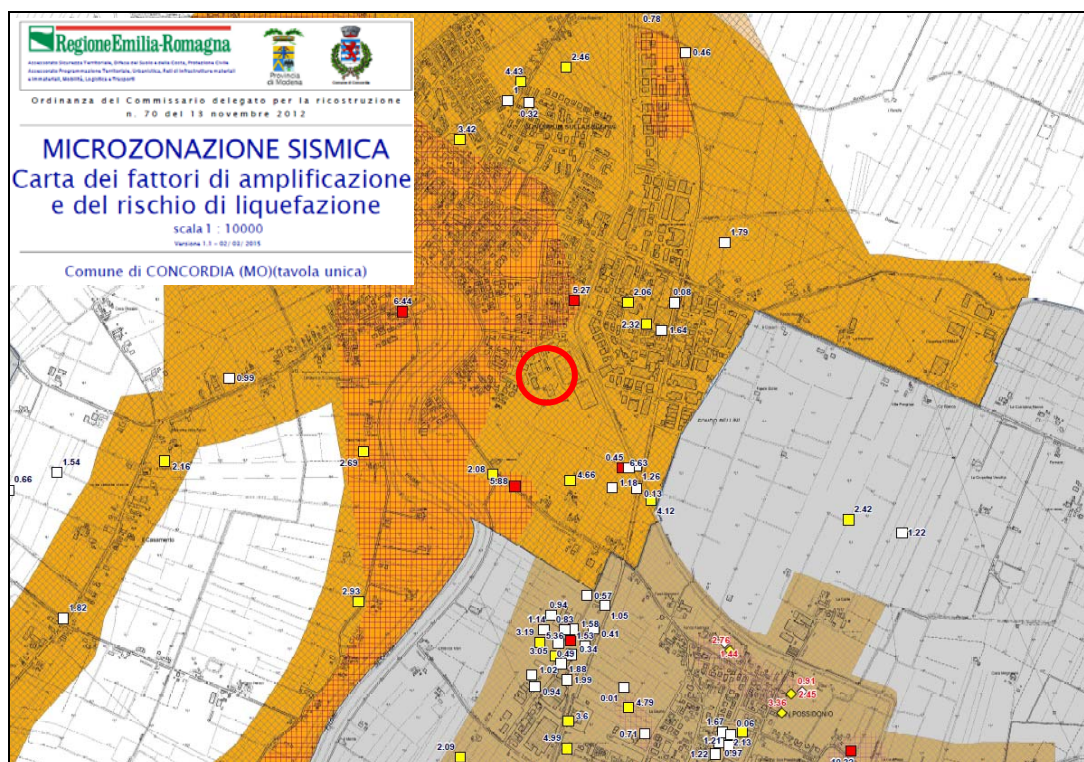


Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.



Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Fig. 2.2: Estratto della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” (versione del 02/03/2015) redatta dalla Regione Emilia Romagna (Ordinanza n.70 del 13/09/2012).



Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.

LQ1 FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

LQ1 FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).

stima IL 10 m		stima IL 15-20 m
1.2	◊	Rischio di liquefazione basso ($0.0 < IL < 2.0$)
2.8	◆	Rischio di liquefazione moderato ($2.0 \leq IL < 5.0$)
5.4	◆	Rischio di liquefazione elevato ($5.0 \leq IL < 15.0$)

Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL

Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Fig. 2.3: Estratto della “Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione” (versione del 02/03/2015) redatta dalla Regione Emilia Romagna (Ordinanza n.70 del 13/09/2012).

Dalla consultazione della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” e della “Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione” (Ordinanza n.70 del 13/09/2012), si evince che l'area in oggetto ricade nella zona **LQ2**, ovvero terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna.

2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

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

- *n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU, eseguita in data 05/12/2014;*
- *n. 3 prove penetrometriche statiche CPT, eseguite in data 05/12/2014;*
- *n. 1 indagine sismica con metodologia Re.Mi., eseguita in data 01/12/14;*
- *n. 1 indagine sismica con metodologia MASW, eseguita in data 01/12/14;*
- *n. 2 indagini sismiche passive HVSr, eseguite in data 01/12/14.*

L'ubicazione delle indagini geognostiche è illustrata nella **tav. n. 5**, riportata in allegato, mentre i diagrammi relativi alle prove penetrometriche CPTU e CPT eseguite, dotati d'interpretazione geotecnica, sono presenti nell'**allegato n. 1**. In **allegato n. 3** sono, invece, visibili i grafici e i risultati delle indagini sismiche eseguite.

2.2.1 Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU

La prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE/U), consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica standard, connessa all'estremità inferiore di una batteria di aste cave, che viene infissa a pressione e velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta idraulico che agisce alla sommità delle aste.

La punta elettrica è strumentata con sensori elettrici e un sistema di trasmissione dei dati in superficie via cavo, che permette l'acquisizione e la registrazione dei dati quasi in continuo, ogni centimetro. I dati misurati durante la prova sono la resistenza totale alla penetrazione Q_t , la resistenza alla penetrazione della punta Q_c e la resistenza laterale del manicotto F_s ; è possibile inoltre monitorare, durante l'esecuzione della prova, alcuni parametri di controllo, quali l'inclinazione rispetto alla verticalità e la velocità di penetrazione del cono.

Una punta elettrica particolare, detta "piezocono", è dotata anche di un dispositivo di misura della pressione, attraverso il quale viene misurata la pressione dell'acqua nei pori del terreno u (CPTU). La pressione che viene misurata è la pressione $u = u_0 + \Delta u$, dove u_0 è la pressione dovuta al livello idrostatico e Δu quella generata dallo sforzo alla penetrazione nel terreno.

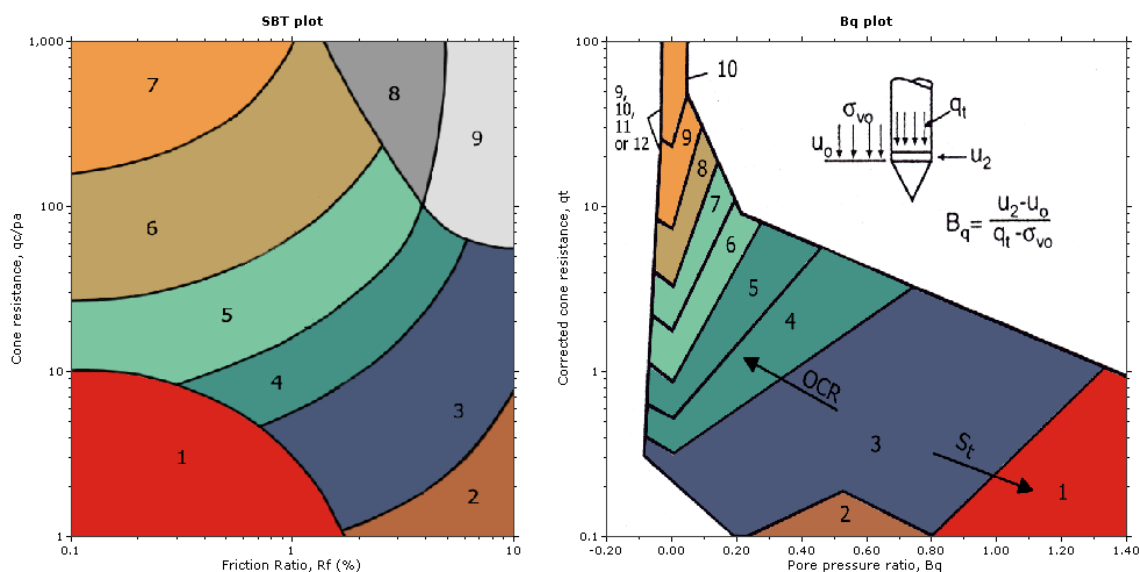
Il piezocono da Noi utilizzato è un Tecno Penta TP CPL2IN ed è dotato di un dispositivo di misura della pressione costituito da un cilindro metallico saturato con grasso, situato poco al di sopra della punta conica. Si riporta di seguito lo schema con le caratteristiche del piezocono utilizzato.

DATI STRUMENTALI DEL PIEZOCONO	
Area punta	10 cm ²
Area interna punta cono	6.6 cm ²
Angolo di apertura punta	60 °
Diametro punta conica meccanica	35.7 mm
Altezza manicotto laterale	13.37 cm
Passo	2 cm
Distanza punta/setto poroso	0.4 cm

Tab. 2.1: Caratteristiche del piezocono utilizzato.

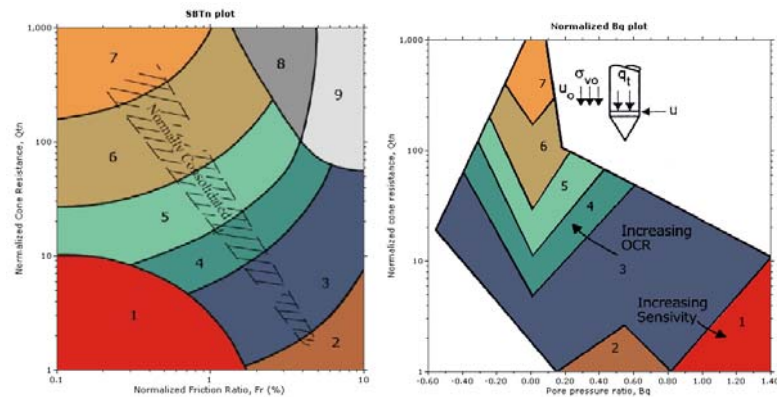
I dati acquisiti sono stati elaborati con software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati e l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica delle prove, sono riportati in **Allegato n. 1**.

La caratterizzazione litostratigrafica del terreno è stata effettuata in funzione delle carte proposte da Robertson, in cui il tipo di comportamento del terreno è definito da tre parametri: q_t , resistenza alla punta corretta, R_f , B_q , nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).



SBT legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |



SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

La ricerca e la disponibilità di numerosi dati ottenuti in camera di calibrazione e in campagna ha prodotto numerose correlazioni tra i dati misurati in sito ed il valore dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni. Il software utilizzato per l'elaborazione della prova utilizza le correlazioni riportate nello schema seguente.

:: Unit Weight, g (kN/m³) :: $g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_b}{p_s}\right) + 1.236 \right)$ where g_w = water unit weight :: Permeability, k (m/s) :: $I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$ $I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$:: N_{SPR} (blows per 30 cm) :: $N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1269 - 0.2017 \cdot I_c}}$ $N_{100} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{2.1269 - 0.2017 \cdot I_c}}$:: Young's Modulus, E_s (MPa) :: $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$ (applicable only to $I_c < I_{c,limit}$) :: Relative Density, Dr (%) :: $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}}$ (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c,limit}$) :: State Parameter, ψ :: $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,ca})$:: Peak drained friction angle, ϕ (°) :: $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$ (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8) :: 1-D constrained modulus, M (MPa) :: If $I_c > 2.20$ $\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$ $\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$ $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$ If $I_c \leq 2.20$ $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) :: $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) :: $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) :: $N_{it} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)$ or user defined $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{it}}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$) :: Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (kPa) :: $S_{u(rem)} = f_s$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$) :: Overconsolidation Ratio, OCR :: $k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25}$ or user defined $OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$) :: In situ Stress Ratio, K_0 :: $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{v0}} \right)$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$) :: Soil Sensitivity, S_t :: $S_t = \frac{N_s}{F_r}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$) :: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) :: $\phi' = 29.5^\circ \cdot B_0^{0.123} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_0 + \log Q_t)$ (applicable for $0.10 < B_0 < 1.00$)
---	--

Fig. 2.1: Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

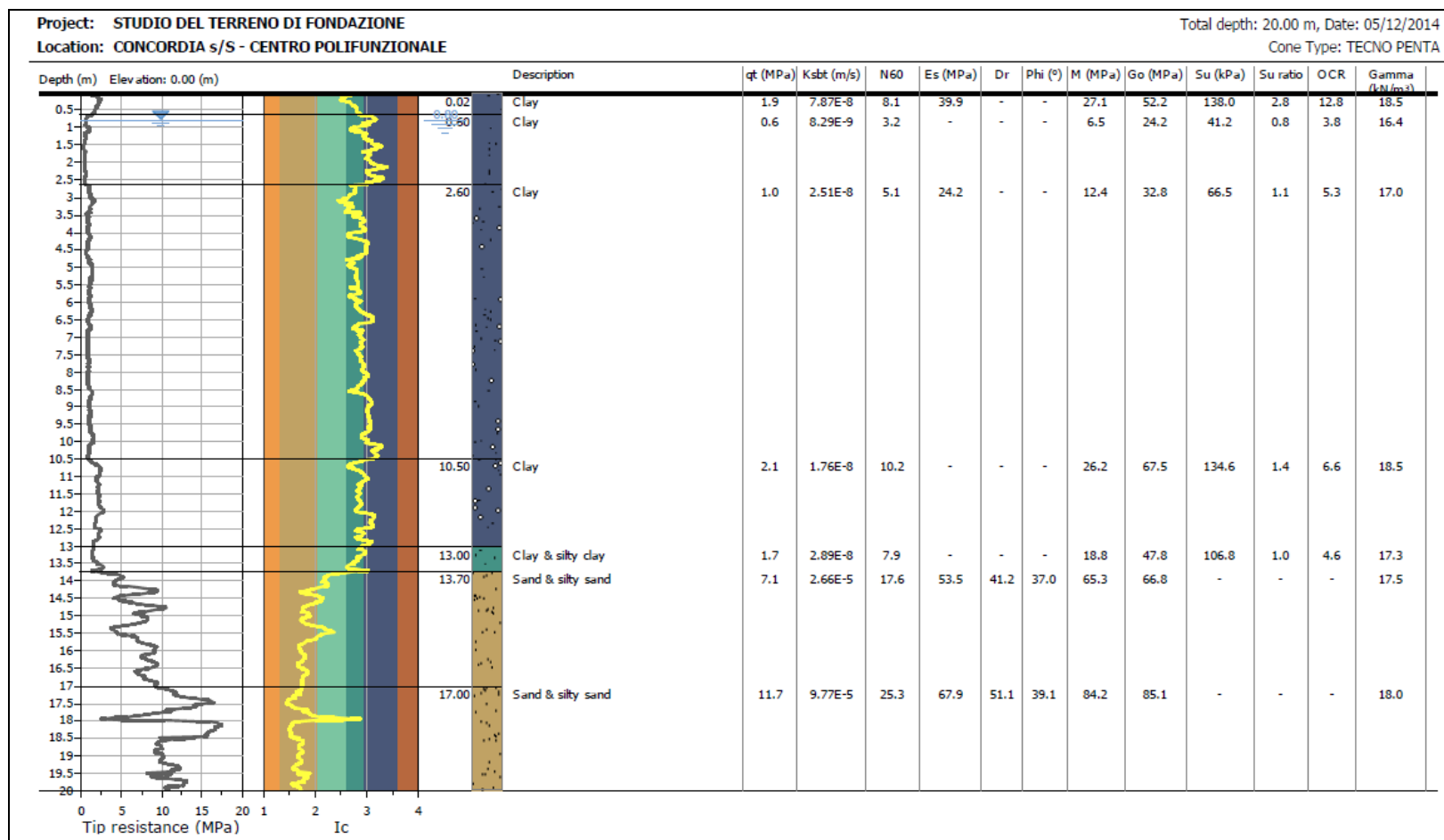
2.2.2 Caratteristiche geotecniche e litostratigrafiche del terreno di fondazione

Nell'area oggetto di studio è stata eseguita, in data 05/12/2014, **n. 1 prova penetrometrica statica elettrica con piezocono CPTU**, spinta fino alla profondità pari a -20.00 m da p.c..

Dall'esecuzione della prova penetrometrica statica con piezocono CPTU, la cui elaborazione è riportata sempre in **allegato n.1**, sono stati rilevati i parametri geotecnici e la litostratigrafia del sottosuolo, visibili nello stesso allegato.

Al termine della prova penetrometrica statica elettrica con piezocono CPTU è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica mediante l'utilizzo di un freatimetro elettroacustico. Il livello della falda freatica si attesta alla quota pari a **$D_w = -0.80$ m da p.c..**

Prova penetrometrica con piezocono CPTU 1



2.2.3 Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT

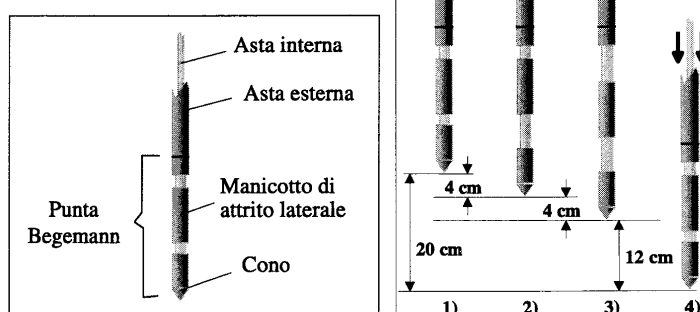
Nell'area di interesse sono state eseguite, in data **05/12/2014**, **n. 3 prove penetrometriche statiche CPT**, spinte fino alla profondità di **-15.00 m** da p.c..

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

Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Punta meccanica	Begemann
Spinta	100 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	R_p (resistenza alla punta)
	R_I (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm²
Angolo alla punta	60°

Fig. 2.2: Punta Begemann (a) e schema di avanzamento (b)



La prova penetrometrica statica CPT (*Cone Penetration Test*) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann (**fig. 2.2**). La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm². I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e l'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento (**fig. 2.2**):

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;

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

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

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

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

dove:

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

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

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

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

Metodo di Begemann:

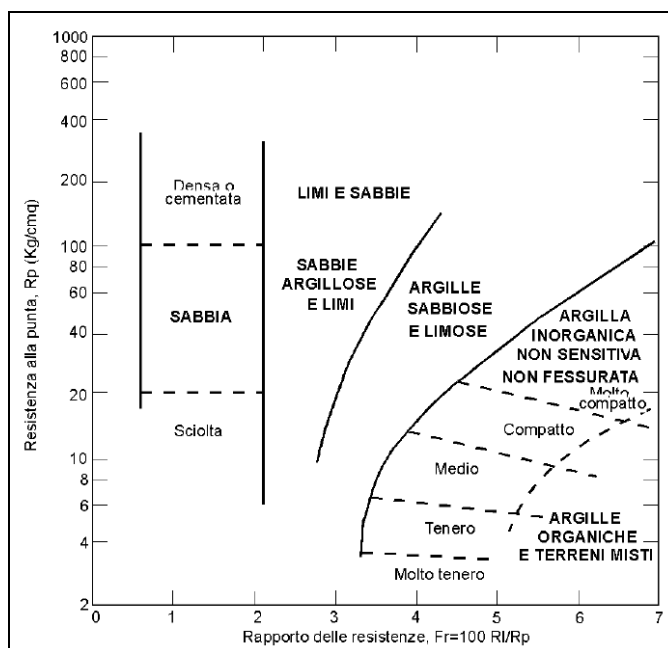
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra R_p e R_l** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto R_p/R_l	Litologia
$R_p/R_l < 15$	Argilla organica e torba
$15 < R_p/R_l < 20$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < R_p/R_l < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$R_p/R_l > 60$	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:



2.2.4 Caratteristiche geotecniche e litostratigrafiche del terreno di fondazione

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

- al di sotto del primo strato di sottofondo cortilivo, le prove penetrometriche hanno rilevato la presenza di un primo strato di **argilla limosa a scarsa consistenza** ($0.29 \text{ MPa} < R_p < 1.08 \text{ MPa}$) fino alla profondità di -10.20 m da p.c. nella CPT 1 e fino alla profondità di -9.20 m da p.c. nella CPT 2 e fino a -10.00 m da p.c. nella CPT 3, seguito da uno strato di **argilla limosa a media consistenza** ($0.88 \text{ MPa} < R_p < 2.84 \text{ MPa}$) fino alla profondità di -13.80 m da p.c. nella CPT 1, di -14.40 m da p.c. nella CPT 2 e di -14.00 m da p.c. nella CPT 3. Infine, fino alla massima profondità investigata pari a -15.00 m da p.c., si trova uno strato di **argilla limosa consistente** ($2.06 \text{ MPa} < R_p < 5.29 \text{ MPa}$).
- Per quanto riguarda il grado di consolidazione dei materiali coesivi nelle prove penetrometriche CPT è stata rinvenuta la presenza di terreni sovraconsolidati **SC**

(con OCR > 4) fino alla quota di -4.60 m da p.c. nella CPT 1, fino alla quota di -3.40 m da p.c. nella CPT 2 e fino alla quota di -4.00 m da p.c. nella CPT 3; seguiti da un'alternanza di terreni leggermente consolidati **LC** ($2 < \text{OCR} < 4$) normalconsolidati **NC** ($1 < \text{OCR} < 2$) e terreni sovraconsolidati **SC** (con OCR > 4) in corrispondenza degli strati coesivi presenti fino alla massima profondità indagata dalla prova, pari a -20.00 m da p.c..

- Al termine delle prove penetrometriche è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica; le misure sono state eseguite mediante un freatimetro elettroacustico. La soggiacenza della falda freatica è risultata alle seguenti profondità:

<i>VERTICALI D'INDAGINE</i>	<i>D_w (05/12/2014)</i>
CPT 1	-0.70 m da p.c.
CPT 2	-0.75 m da p.c.
CPT 3	-0.85 m da p.c.

3 RELAZIONE GEOTECNICA

3.1 INDAGINI GEOTECNICHE

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

- **n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU, eseguita in data 05/12/2014;**
- **n. 3 prove penetrometriche statiche CPT, eseguite in data 05/12/2014.**

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

3.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

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

SEZIONE GEOTECNICA MEDIA

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 10.40 m da p.c.	-1.00 m da p.c.	Argilla o argilla limosa poco consistente	γ	1750 kg/m ³ \approx 17.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/m ³ \approx 20.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.30 kg/cm ² \approx 30.0 kN/m ²
				C'_k	0.03 kg/cm ² \approx 3.0 kN/m ²
				M_0	20.0 kg/cm ² \approx 2000 kN/m ²
				E_s	42.0 kg/cm ² \approx 4200 kN/m ²
				ϕ_k	18°
				v	0.50
2	10.40 – 13.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa mediamente consistente	γ	1800 kg/m ³ \approx 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ \approx 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² \approx 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² \approx 6.0 kN/m ²
				M_0	50.0 kg/cm ² \approx 5000 kN/m ²
				E_s	84.0 kg/cm ² \approx 8400 kN/m ²
				ϕ_k	23°
				v	0.40

3	13.00 – 14.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa consistente	γ	1900 kg/m ³ ≈ 19.00 kN/m ³
				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	80.0 kg/cm ² ≈ 8000 kN/m ²
				E_s	126.0 kg/cm ² ≈ 12600 kN/m ²
				ϕ_k	25°
				v	0.30
4	14.00 – 25.00 m da p.c.		Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	γ	1900 kg/m ³ ≈ 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/m ³ ≈ 22.00 kN/m ³
				Dr	45%
				E_s	500.0 kg/cm ² ≈ 50000 kN/m ²
				ϕ_k	35°
				v	0.30
<u>Legenda</u>			γ =	peso specifico terreno naturale	
			γ' =	peso specifico terreno saturo	
			C_{uk} =	coesione non drenata caratteristica	
			C'_k =	coesione efficace caratteristica	
			Dr =	densità relativa	
			M_0 =	modulo di deformazione edometrico	
			E_s =	modulo elastico	
			ϕ_k =	angolo d'attrito caratteristico	

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]

Dr = 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_s = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimemkov 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]

3.3 TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geognostiche eseguite in sito e in relazione alla tipologia di intervento in progetto, al fine di verificare la capacità portante del terreno **si sono ipotizzate**, al solo fine di effettuare il calcolo della capacità portante, **fondazioni superficiali dirette impostate su platea in c.a.**, approfondite alla quota di **D = – 0.80 m da p.c. attuale**.

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

PLATEA GENERALE IN C.A.

- larghezza della base	B	=	4.00 m
- lunghezza della fondazione	B ^l	=	10.00 m
- profondità della quota di imposta	D	=	0.80 m da p.c.
- peso specifico terreno naturale sopra falda	γ	=	1750 kg/m ³ \approx 17.50 kN/m ³
- peso specifico terreno saturo	γ'	=	2050 kg/m ³ \approx 20.50 kN/m ³
- coesione non drenata caratteristica	C _{uk}	=	0.30 kg/cm ² \approx 30.0 kN/m ²
- coesione efficace caratteristica	C' _k	=	0.03 kg/cm ² \approx 3.0 kN/m ²
- angolo d'attrito caratteristico	φ_K	=	18°
- modulo di deformazione edometrico	M _o	=	20.0 kg/cm ² \approx 2000 kN/m ²
- modulo elastico	E _s	=	42.0 kg/cm ² \approx 4200 kN/m ²
- profondità falda freatica	D	=	-1.00 m da p.c.
- pendenza del terreno	β	=	\sim 0°
- classe di sismicità	C _s	=	3

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

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

Pressione ammissibile Q_{amm} (Verifica a breve termine Cu \neq 0 e $\varphi = 0$)		
Quota di imposta	Pressione limite	Pressione ammissibile
- 0.80 m da p.c.	1.80 kg/cm ² \approx 180 kN/m ²	0.60 Kg/cm ² \approx 60 kN/m ²

3.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI

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

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

Le verifiche dei cedimenti sono state eseguite con il metodo di calcolo di Steinbrenner per gli strati coesivi e con l'utilizzo del software CLiq v. 1.7.1.6 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. Di seguito vengono illustrati i risultati ottenuti dai diversi metodi di calcolo, utilizzando i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche statiche CPTU e CPT eseguite in sito ed i carichi applicati sul terreno ipotizzati.

METODO DI CALCOLO DI STEINBRENNER

CALCOLO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI SECONDARI E DI CONSOLIDAZIONE	
Quota di imposta D = -0.80 m da piano campagna	
Carico applicato sul terreno $\Delta P = 0.60 \text{ kg/cm}^2 \approx 60.0 \text{ kN/m}^2$	
Metodo di calcolo dei cedimenti degli strati coesivi Steinbrenner (CPT 6)	
Cedimento della fondazione	S = 2.81 cm
Cedimento totale strati coesivi	S = 2.81 cm
Cedimento totale terreno di fondazione	S = 2.81 cm

SOFTWARE CLIQ V. 1.7.1.6 PRODOTTO DA GEOLOGISMIKI – GEOTECHNICAL SOFTWARE

CALCOLO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI SECONDARI E DI CONSOLIDAZIONE DA CPTU (Software CLiq v. 1.7.1.6 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software)	
Quota di imposta D = - 0.80 m da piano campagna	
Carico applicato sul terreno $\Delta P = 0.60 \text{ kg/cm}^2 \approx 60 \text{ kN/m}^2$	
Ipotesi: fondazione rigida	
Cedimento primari	S = 2.36 cm
Cedimento secondari	S = 0.25 cm
Cedimento totale terreno di fondazione	S = 2.61 cm
Ipotesi: fondazione elastica	
Cedimento primari	S = 3.35 cm
Cedimento secondari	S = 0.33 cm
Cedimento totale terreno di fondazione	S = 3.67 cm

3.5 MODULO DI SOTTOFONDO

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

Il parametro k è detto costante di sottofondo. Come è noto, k non dipende solo dal terreno, ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e dimensioni della fondazione. Utilizzando la Formula di Bowles (1982):

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

dove $F_c = 2.54 \text{ cm}$ / cedimento della fondazione (in cm) e dove $Q_{\text{lim effettivo applicato}} = 3 \cdot \Delta P$ (incremento di carico sul terreno); quindi, nel nostro caso, $3 \cdot 0.60 \text{ kg/cm}^2 = 3 \cdot 60 \text{ kN/m}^2 = 1.80 \text{ kg/cm}^2 = 180 \text{ kN/m}^2$ e considerando un cedimento di riferimento pari a $S = 2.81 \text{ cm}$, si ottiene il valore di costante di Winkler riassunto nella tabella seguente:

Modulo di sottofondo		
<i>Cedimento di riferimento</i>	<i>Carico applicato sul terreno</i>	<i>Costante di Winkler</i>
$S = 2.81 \text{ cm}$	$\Delta P = 0.60 \text{ kg/cm}^2 \approx 60 \text{ kN/m}^2$	$0.65 \text{ kg/cm}^3 \approx 6500 \text{ kN/m}^3$

In fase esecutiva delle opere da realizzare, se necessario, si calcoleranno su dati progettuali più precisi e aggiornati che ci dovranno essere forniti dalla Direzione Lavori e dal Progettista e Calcolatore delle strutture in c.a., il valore delle pressioni ammissibili, degli stati limite ultimi e dei cedimenti del terreno.

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

4.1 SISMICITÀ DELL'AREA

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il Comune di **Concordia sulla Secchia** (MO) risulta appartenente alla **classe di sismicità 3** (Fig 4.1).

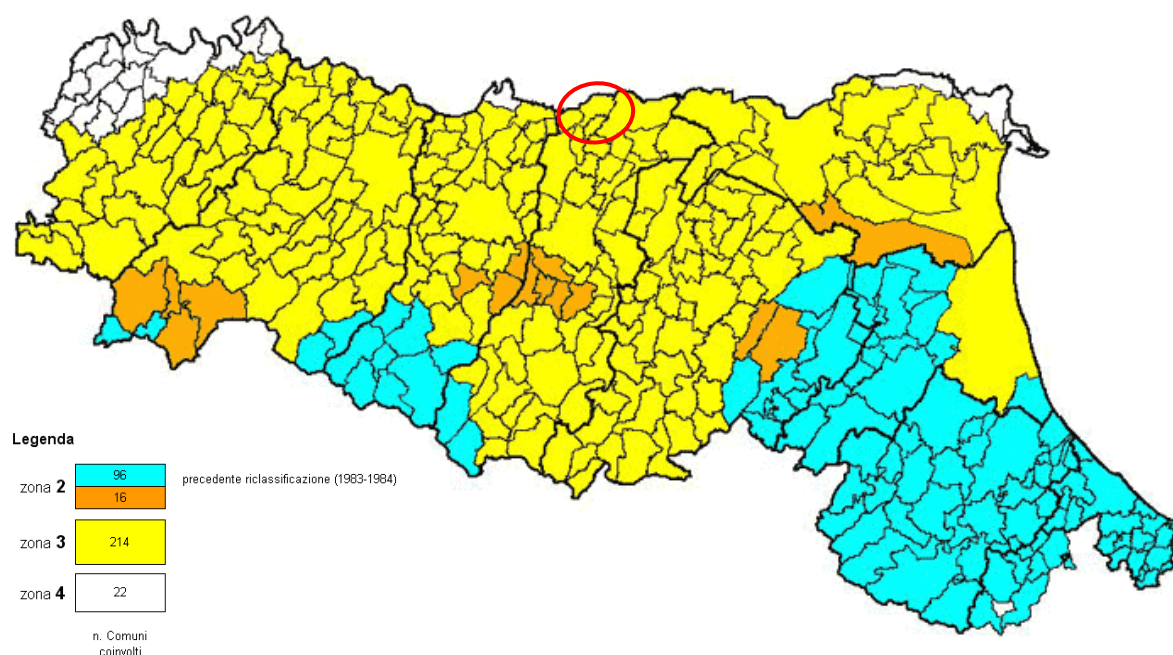


Fig. 4.1: Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna ed ubicazione del territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diverse classi di sismicità è stata poi aggiornata con l'emanazione dell'**Ordinanza PCM 3519/2006**, che, sulla base della Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04), descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro di accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante, divenuta ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale.

Sulla base degli approfondimenti eseguiti in seguito all'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006, sono state definite le nuove **Norme tecniche delle Costruzioni**, con il **D.M. 14 gennaio 2008**, in cui l'azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche. Si definisce, quindi, per ogni costruzione, un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.908026°, Longitudine 10.990196°, considerando una classe dell'edificio **IV**, in relazione ad un periodo di riferimento T_R stimato di **949 anni**, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g pari a **$a_{g\text{ attesa}} = 0.186_g$** .

(1)* Coordinate WGS84 (°)	
Latitudine 44.907094	Longitudine 10.989188
(1)* Coordinate ED50 (°)	
Latitudine 44.908026	Longitudine 10.990196
Classe dell'edificio	
IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...	
$\zeta_u = 2$	
Vita nominale (Opere provvisorie ≤ 10 , Opere ordinarie ≥ 50 , Grandi opere ≥ 100)	50
Interpolazione	Media ponderata
Calcola	

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	60	0,051	2,509	0,271
Danno (SLD)	101	0,067	2,495	0,279
Salvaguardia vita (SLV)	949	0,186	2,539	0,275
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0,247	2,468	0,285
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,020	0,063	0,092
kv	0,008	0,010	0,032	0,046
Amax [m/s²]	0,752	0,979	2,590	3,221
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

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

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

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" (D.M. 14 Gennaio 2008), e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN

GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI V_{s30} COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI **15 < N_{SPT,30} > 50** NEI TERRENI A GRANA GROSSA E **70 < C_{u30} > 250 kPa** NEI TERRENI A GRANA FINA)”.

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

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

dove:

- F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.539**;
- a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **949 anni**/accelerazione di gravità;
- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.42**.

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

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

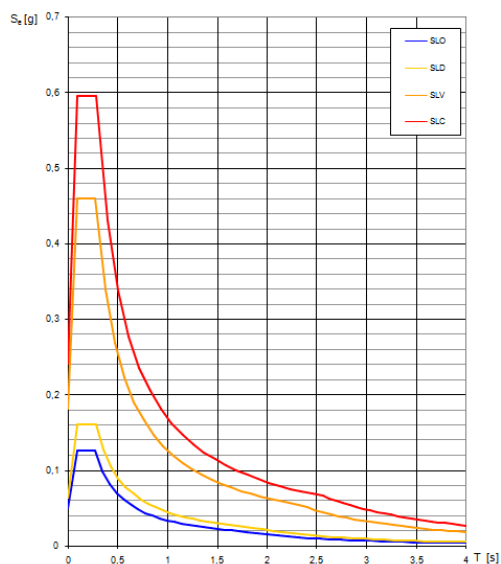
Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona di pianura e appartenente, quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico S_T pari a **1.0**.

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

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.42 \cdot 1.0 \cdot 0.186 g = 0.264 g$$

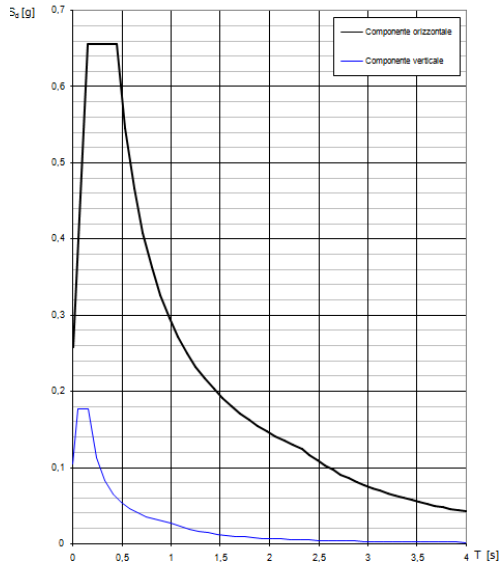
Spettri di risposta del sito oggetto di studi

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

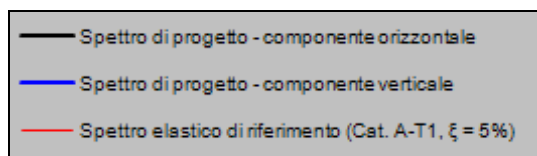
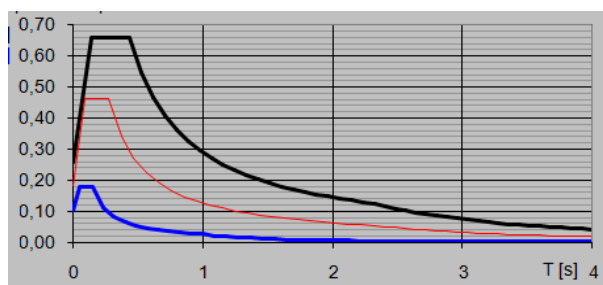


La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limi SLV



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.



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

4.2 INDAGINI GEOFISICHE

Per la classificazione sismica dell'area di studio, in data **01/12/2014**, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 1 indagine sismica con metodo Re.Mi.;**
- **n. 1 indagine sismica con metodo MASW;**
- **n. 2 indagini sismiche passive Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura.**

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella **Tav. n. 5**, mentre in **Allegato n. 3** sono presenti i grafici relativi ai risultati ottenuti dall'elaborazione delle indagini sismiche eseguite.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 4.5 Hz fissati al terreno ad intervalli regolari.

I dati sono stati registrati mediante un sismografo *GEODE Geometrics 24 bit* con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 4 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 30 secondi.

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.	V_{s30} = 219 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 dall'indagine geofisica Re.Mi. si classifica il terreno di fondazione del lotto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a “DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI **V_{s30}** COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI **15 < N_{SPT,30} < 50** NEI TERRENI A GRANA GROSSA E **70 < C_{u30} < 250 kPa** NEI TERRENI A GRANA FINA)”.

4.2.1 Indagine sismica con metodo MASW

Per potere classificare con precisione l'area da un punto di vista sismico, è stata eseguita, nell'area in oggetto, n.1 indagine sismica con metodo MASW, ubicata come riportato nella **Tavola n. 5** e i cui risultati sono riportati in **Allegato n. 3**.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4.5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di “picking” del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la “**curva di dispersione**”, dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 1 secondo. Si effettuano battute poste ad offset diversi mediante grave da 8,0 kg di massa.

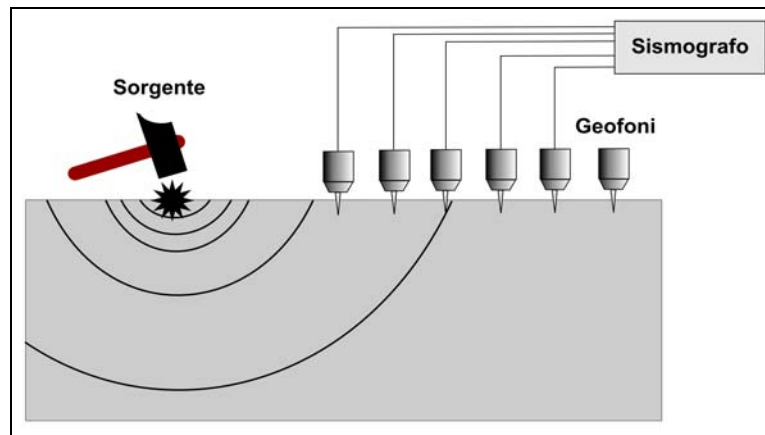


Fig. 4.2: Schema di Array lineare e punto energizzante.

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

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

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

Tale valore, nell'area indagata, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione seguendo le indicazioni del **D.M. 14/01/2008**, è risultata pari a **244 m/s**. Pertanto secondo la classificazione del suolo, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come appartenente alla **categoria C**, *corrispondente a depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

4.2.2 Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSr** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura*) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSr) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSr** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un “velocimetro triassiale” conforme alle norme SESAME.

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

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

- La **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'**affidabilità del risultato**, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. E' possibile calcolare la **V_{s30}** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

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

4.3 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.

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

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

Indagine geologica e geomorfologia classica:

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

Studi geofisici specifici:

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

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

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

Secondo tale classificazione il Comune di Concordia sulla Secchia presenta un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (cioè per periodo $T=0$) **$a_{refg} = 0.127$** (espressa sempre in frazione dell’accelerazione di gravità).

É altresì stato da Noi calcolato, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** “Nuove norme tecniche per le costruzioni” il parametro di accelerazione massima attesa a_g in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 949 anni (SLV), identificato (**sistema ED 50**) dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.908026°, Longitudine 10.990196°, tale parametro è risultato pari ad **$a_{g\text{ attesa}} = 0.186_g$** .

4.3.1 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta delle aree suscettibili di effetti locali

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

Dalla consultazione della tavola 2.2a 02 “Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali” degli Elaborati cartografici di Piano del PTCP del 2009 vigente per la Provincia di Modena, riportata nella **tavola n. 8**, redatta sulla base delle **tavole n. 6** (Quadro conoscitivo - tavola 2 a.2) e **n. 7** (Quadro conoscitivo - tavola 3.1) in allegato, è emerso che l’area studiata ricade in una zona classificata come “*Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione*”.

Gli studi richiesti per tali aree sono quindi la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi (**approfondimenti di III livello**).

Quindi nei paragrafi che seguono vengono illustrati i risultati ottenuti per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi secondo l’approfondimento di terzo livello ai sensi della DAL n. 112 del 02/05/2007 e successiva D.G.R. 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

4.3.2 STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (III 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 D.a.I. 112/2007 e successiva D.G.R. 2193/2015 della Regione Emilia Romagna, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno **studio di risposta sismica locale, secondo 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.I. n° 112/2007/DGR 2193/2015).

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 (**G**) e dallo smorzamento (**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.

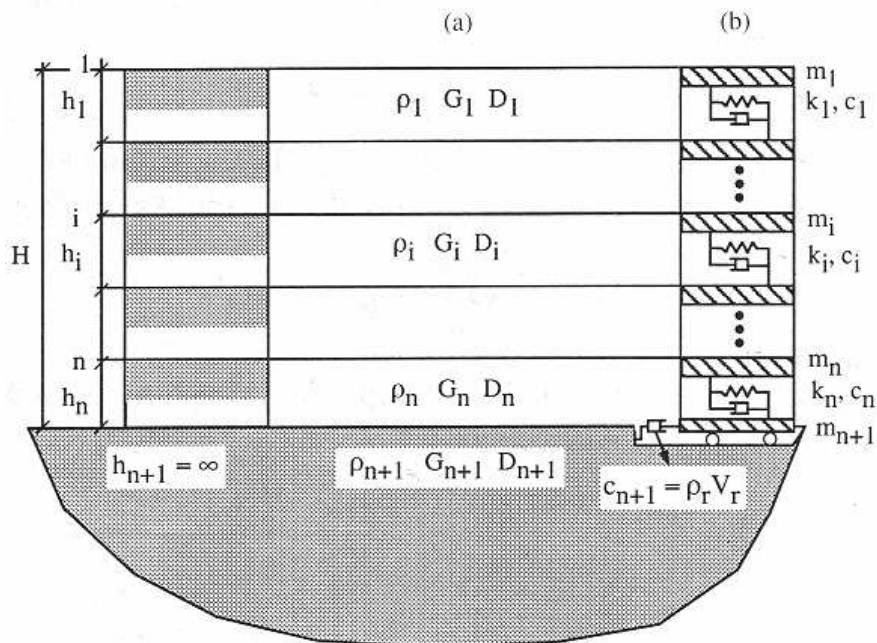


Fig. 4.3: Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove 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. Dalla consultazione della "Carta sismo-tettonica della Regione Emilia Romagna" il Sistema Emiliano Romagnolo

Superiore” (SERS), in corrispondenza dell’abitato di Concordia sulla Secchia risulta cartografato ad una profondità di -50.00 m rispetto al livello medio del mare.

Non disponendo di dati geofisici profondi, utili all’identificazione diretta del luogo definito “bedrock sismico” dal quale il segnale sismico subisce amplificazione, ai fini dell’analisi si considera plausibile considerare la base del SERS come luogo di origine dei fenomeni di amplificazione del moto sismico.

Sulla scorta di ciò l’analisi RSL verrà sviluppata facendo amplificare i n. 7 segnali di riferimento selezionati a una profondità di -60.00 m da p.c.. Per l’unità SERS alla base del modello sintetico considerato si considera cautelativamente un valore di velocità di onde di taglio S pari a 600 m/s.

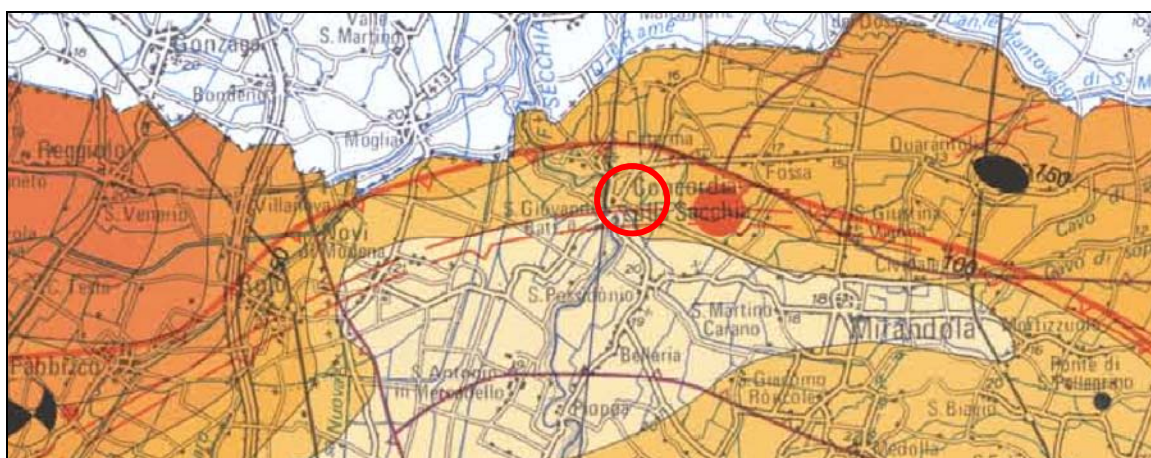


Fig. 4.4: Stralcio della “Carta sismo-tettonica della Regione Emilia Romagna” con indicate le isobate relative alla base del “SERS”.

Interpolando la profondità dell’unità rigida (*bedrock*) e i dati geofisici di superficie, ottenuti dalle indagini MASW e Re.Mi eseguite, si ottiene il seguente modello:

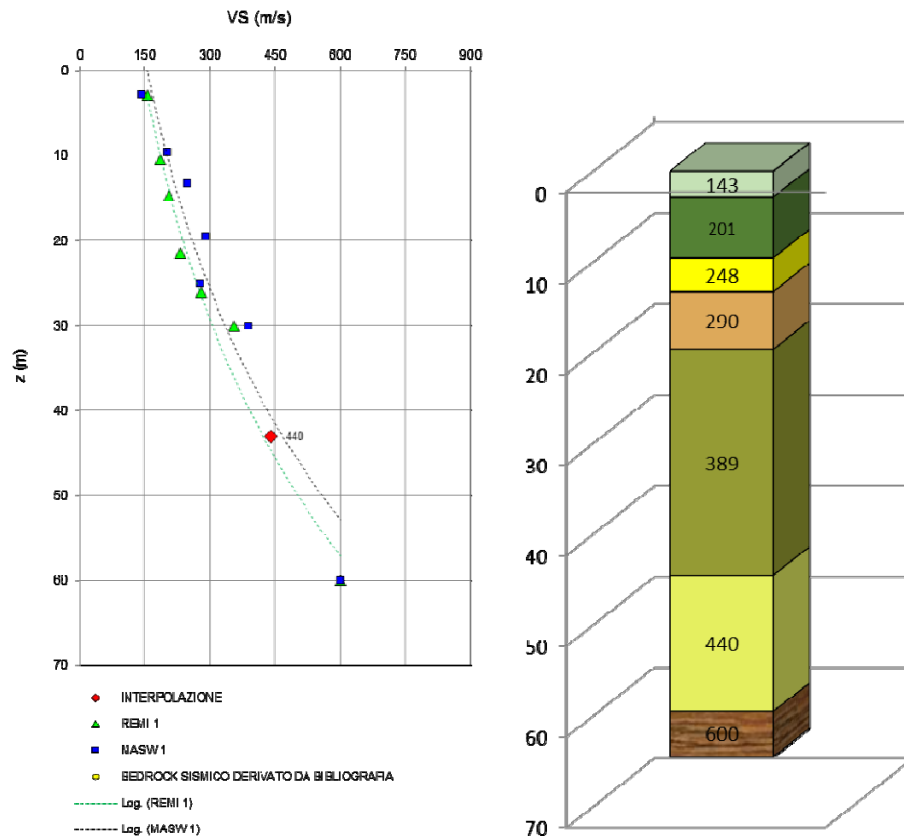


Fig.4.5: A sinistra: Interpolazione dei dati osservati con quelli noti da bibliografia. A destra: Modello di riferimento per l'analisi RSL.

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 γ (%). Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

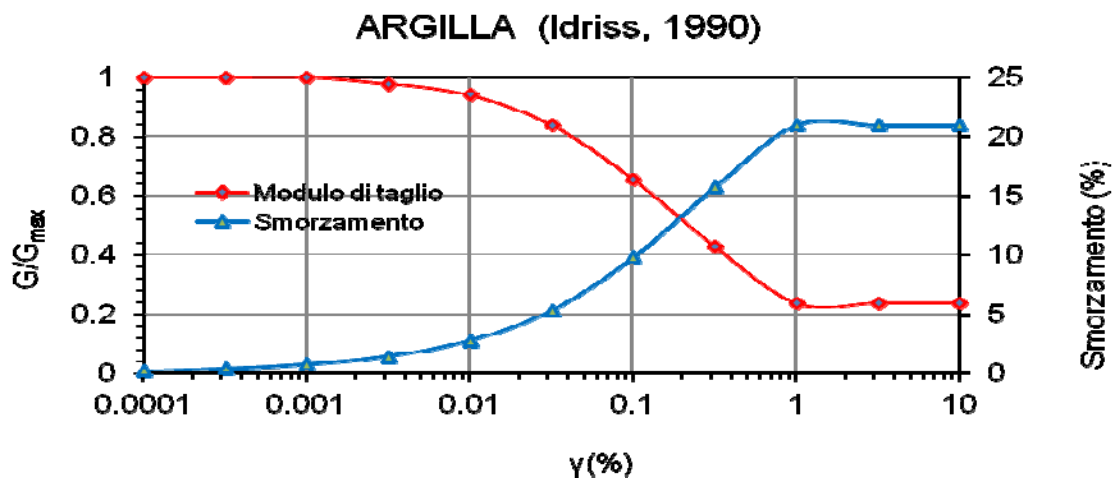


Fig. 4.6: Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

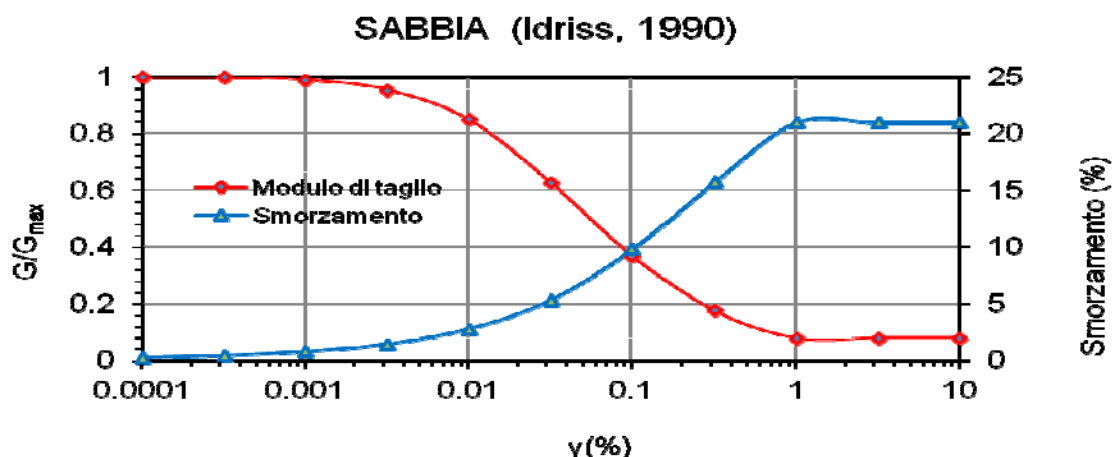


Fig. 4.7: Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei livelli sabbiosi che si rinvenivano nel sottosuolo in oggetto.

Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuale, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 del D.M. 14/01/2008, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell' Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a **IV**, sono stati definiti n.7 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database". Successivamente si illustrano i codici relativi agli accelerogrammi considerati e i relativi valori di accelerazione (g), registrati in funzione del tempo.

STATO LIMITE	N°	CODICE
SLV	1	000055xa_record
	2	000473xa_record
	3	000598xa_record
	4	004674xa_record
	5	005272xa_record
	6	006332xa_record
	7	007142ya_record
STATO LIMITE SALVAGUARDIA VITA [SLV]		

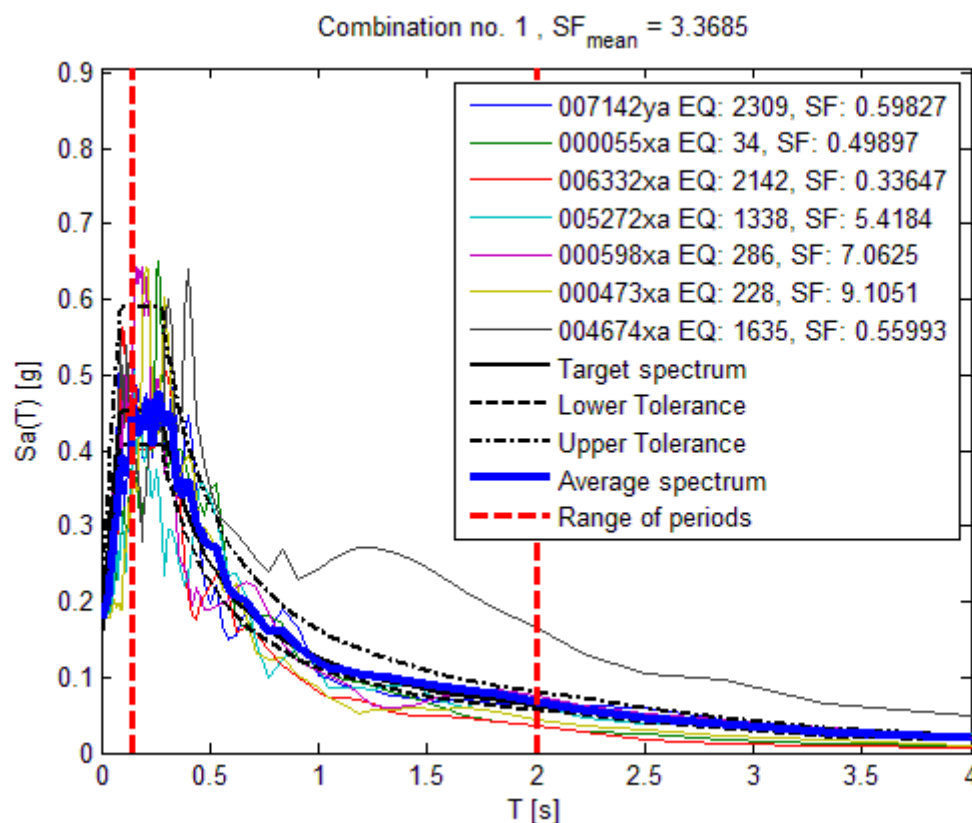


Fig. 4.8: Forme spettrali relative agli accelerogrammi considerati.

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.

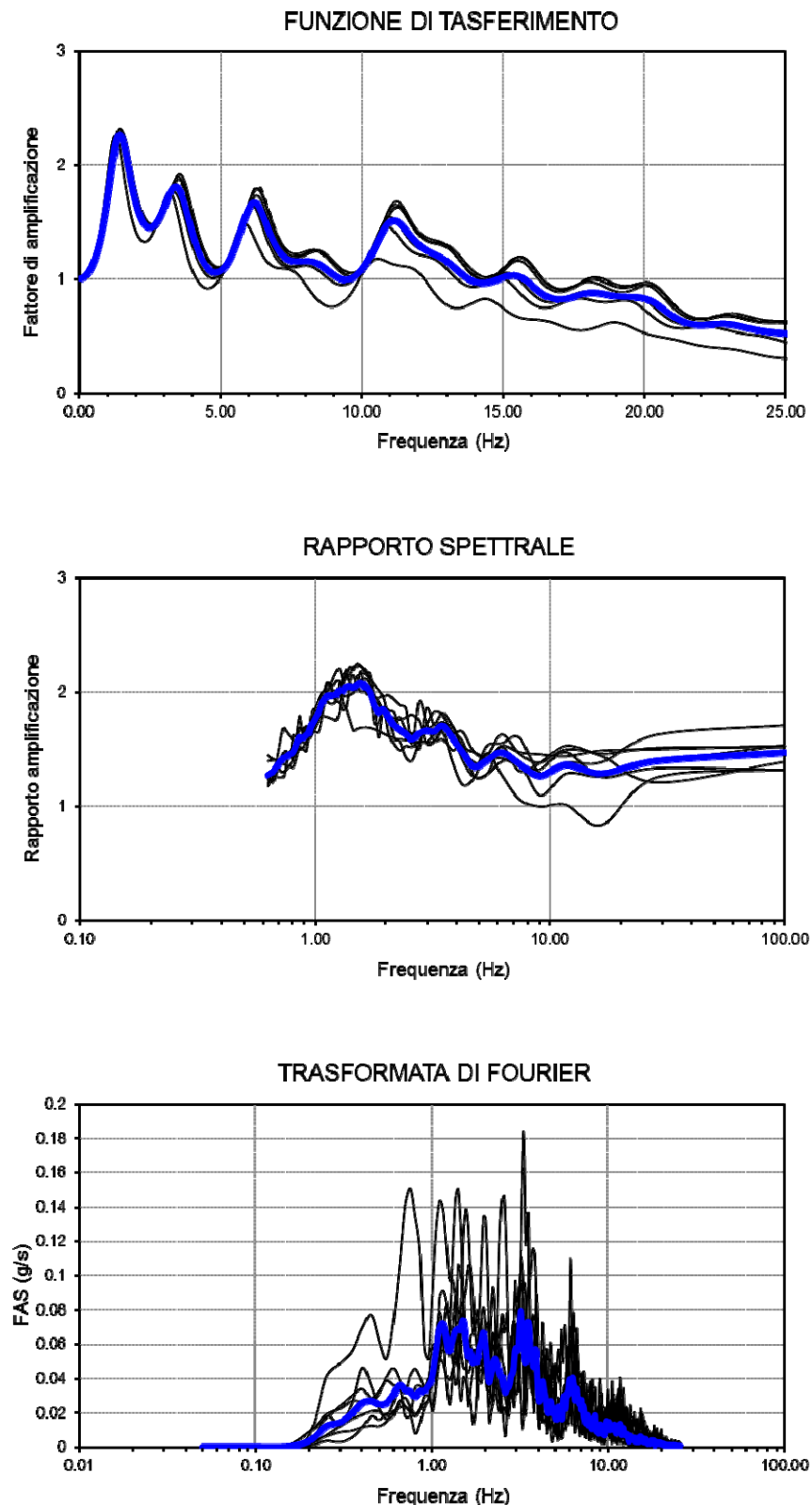


Fig. 4.9: In alto: funzione FTT, funzione FT e rapporto spettrale di amplificazione.

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:

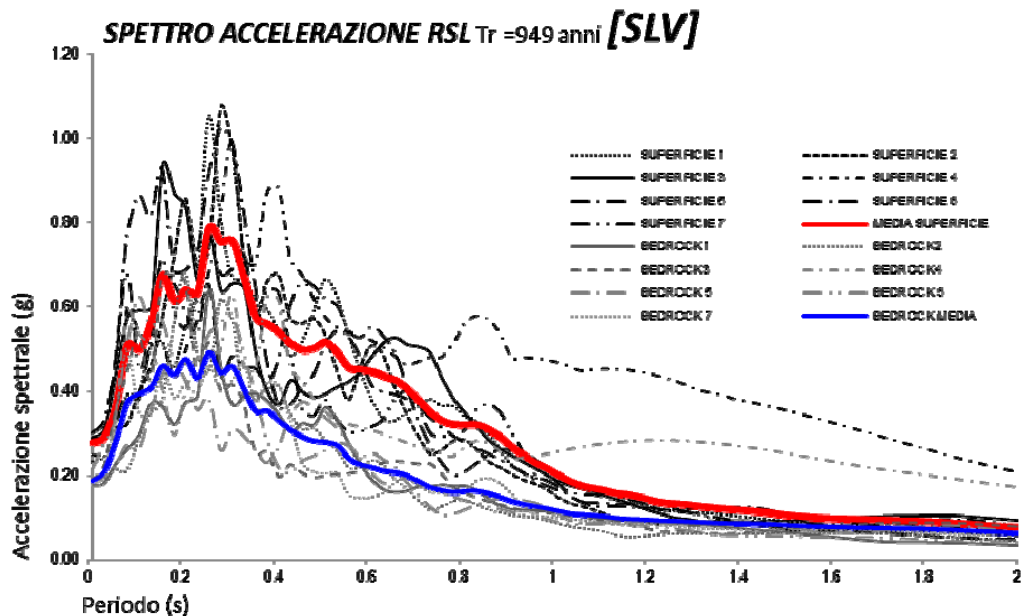


Fig. 4.10: Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 949 anni (SLV).

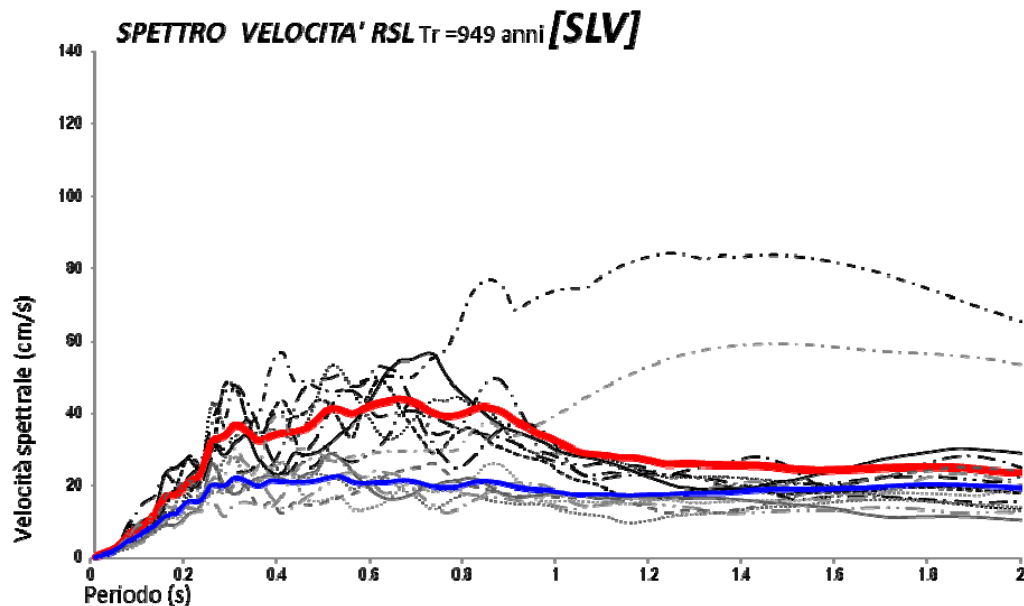


Fig. 4.11: Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 949 anni (SLV).

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA.

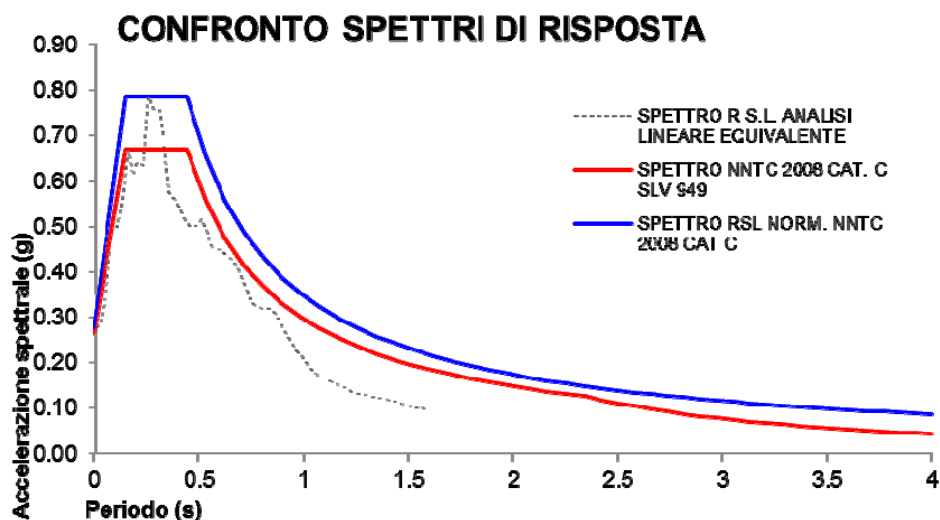


Fig. 4.12: Confronto tra lo spettro di accelerazione calcolato secondo NTC (CAT. C-SLV) (in rosso) e lo spettro di accelerazione normalizzato ottenuto dal calcolo mediante software STRATA (in blu) (SLV).

Da quanto è possibile osservare nelle figure appena riportate, lo spettro calcolato per una categoria di sottosuolo C, sottostima l'azione sismica per il sito in oggetto nella prima porzione dello spettro considerato (Intervallo T(s) compreso tra 0.00 s e 0.44 s). Considerando quindi gli spettri derivanti dall'analisi RSL è possibile definire un' azione sismica maggiore rispetto a quella identificata dall'approccio semplificato NNTC.

Poiché lo spettro generato a seguito dell'analisi svolta non è normalizzato secondo i parametri spettrali NNTC, si propone successivamente una normalizzazione dello spettro RSL calcolato. I parametri che identificano lo spettro normalizzato RSL sono i seguenti:

	Tr	Ag (g)	S	n	T*	f ₀	T _c (Sec)	T _b (Sec)	T _d (Sec)	Amax (g)
SLV	949	0.186	1.49	1	0.275	2.838	0.442	0.147	2.344	0.277

T (s)	Ag	T (s)	Ag
0.000	0.277	2.423	0.143
0.147	0.787	2.502	0.139
0.442	0.787	2.581	0.135
0.533	0.652	2.659	0.131
0.623	0.558	2.738	0.127
0.714	0.487	2.817	0.123
0.805	0.432	2.896	0.120
0.895	0.388	2.975	0.117
0.986	0.353	3.054	0.114
1.076	0.323	3.133	0.111
1.167	0.298	3.211	0.108
1.257	0.277	3.290	0.106
1.348	0.258	3.369	0.103
1.438	0.242	3.448	0.101
1.529	0.227	3.527	0.099
1.620	0.215	3.606	0.096
1.710	0.203	3.685	0.094
1.801	0.193	3.763	0.092
1.891	0.184	3.842	0.090
1.982	0.175	3.921	0.089
2.072	0.168	4.000	0.087
2.163	0.161		
2.253	0.154		
2.344	0.148		

Tab. 4.1: Spettro NNTC normalizzato derivante dall'analisi RSL svolta.

4.3 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE - VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08

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

Nelle verifiche agli stati limite si distinguono:

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

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

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

Rd = valore di progetto della resistenza del terreno.

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

CARICHI	EFFETTO	Coeff. Parziale γ_F (o γ_F)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

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

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

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

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

γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili.

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

La resistenza Rd del terreno può essere determinata:

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

seguente tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera:

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

Tab. 4.2: 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" ($A_2+M_2+R_2$) e tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze globali

c) Le rimanenti verifiche devono essere effettuate seguendo almeno uno dei seguenti approcci (ed utilizzando i valori dei coefficienti parziali):

- **Approccio 1:** Combinazione 1 (A1+M1+R1)
Combinazione 2 (A2+M2+R2)
- **Approccio 2:** Combinazione (A1+M1+R3)

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

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

Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

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

$$z_q = 1 - 0.32 \cdot K_h \quad z_q = \left(1 - \frac{K_h}{\tan \varphi}\right)^{0.25} \quad z_y = z_q$$

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

- **A_{MAX} STRATA (ag/g) = 0.277 g** (relativa a SLV; Tr = 949 anni);
- Coefficiente intensità sismica del terreno **K_h : 0.078** considerando un suolo di categoria C e la succitata A_{max} .

Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **opere di fondazione ipotizzate**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo **SLU sia a breve che a lungo termine** per l'intervento in progetto, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

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

2) Approccio 2 - combinazione 1 (A1 + M1 + R3).

L'**Approccio 1** prevede due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti, la prima combinazione **(A1+M1+R1)** è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione **(A2+M2+R2)**, da Noi utilizzata, è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico. Il secondo approccio progettuale **Approccio 2**, sempre da Noi utilizzato, prevede un'unica combinazione di gruppi di coefficienti **(A1+M1+R3)** da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

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

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 0.80 m da p.c.	4.00 m x 10.00 m	0.76 kg/cm ² \approx 76 kN/m ²

Utilizzando sempre **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2 + M2 + R2)** si è calcolato lo stato limite ultimo, in condizioni “**drenate**”, dove **$C'd \neq 0$ e $\varphi' \neq 0$** , considerando un **angolo di attrito caratteristico** del valore **$\varphi'k = 18^\circ$** e la **coesione efficace del valore $C'k = 0.03$ kg/cm²**. Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione: **$\tan \varphi'd = \tan \varphi'k / 1.25$** e per la coesione efficace secondo la relazione: **$C'd = C'k / 1.25$** dove **$\varphi'd$ è l'angolo d'attrito di progetto** e **$C'd$ è la coesione efficace di progetto**, ne derivano i seguenti valori ridotti: **$\varphi'd = 15^\circ$** e **$C'd = 0.024$ kg/cm²**. Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 0.80 m da p.c.	4.00 m x 10.00 m	0.85 kg/cm ² \approx 85 kN/m ²

CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 0.80 m da p.c.	4.00 m x 10.00 m	0.77 kg/cm ² \approx 77 kN/m ²

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

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 2.3
- 0.80 m da p.c.	4.00 m x 10.00 m	0.81 kg/cm ² \approx 81 kN/m ²

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni “drenate”, dove $C'd \neq 0$ e $\phi' \neq 0$, è stato considerato, sempre seguendo **l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3)** un **angolo di attrito caratteristico** del valore $\phi'k = 18^\circ$ e **la coesione efficace del valore $C'k = 0.03$ kg/cm²**. Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione: $\tan \phi'd = \tan \phi'k / 1.0$ e per la coesione efficace secondo la relazione: $C'd = C'k / 1.00$ dove $\phi'd$ è l'angolo d'attrito di progetto e $C'd$ è la coesione efficace di progetto, ne derivano, essendo $\phi'k = \phi'd$ e $C'k = C'd$, i seguenti valori: $\phi'd = 18^\circ$ e $C'd = 0.03$ kg/cm². Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 2.3
- 0.80 m da p.c.	4.00 m x 10.00 m	1.08 kg/cm ² \approx 108 kN/m ²

CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 0.80 m da p.c.	4.00 m x 10.00 m	1.00 kg/cm ² \approx 100 kN/m ²

4.4 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

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

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

Un **terreno incoerente saturo**, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Di conseguenza, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la **resistenza al taglio mobilizabile 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.

Per l'esecuzione delle verifiche della suscettività del sito al fenomeno di liquefazione sono state considerate le metodologie semplificate proposte da Robertson & Wride (1998) e Idriss & Boulanger (2008).

Il metodo di **Robertson e Wride** (1998) permette di correlare la resistenza al taglio **R** mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche. La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

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

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

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

La metodologia proposta da **Idriss & Boulanger** (2008) si articola nelle seguenti fasi di calcolo:

- definiti di valori di q_c viene calcolato il valore di q_{c1N} attraverso la seguente relazione:

$$q_{c1N} = \frac{C_N \times q_c}{P_a} \quad C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma_{v0}} \right)^m \leq 1.7$$

dove m viene definito per via iterativa tramite la seguente relazione, finché non viene soddisfatta la relazione $\Delta m < 0.01$:

$$m = 1.338 - 0.249 \times (q_{c1N})^{0.264}$$

- Una volta derivato il valore di q_{c1N} si procede al calcolo del parametro I_c .
- Se la condizione di $I_c < 2.60$ risulta essere verificata, allora è possibile calcolare la resistenza ciclica secondo le seguenti relazioni:

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

where :

$$\Delta q_{c1N} = \left(5.4 + \frac{q_{c1N}}{16} \right) \times e^{\left(1.63 + \frac{9.7}{FC+0.01} - \left(\frac{15.7}{FC+0.01} \right)^2 \right)}$$

- Qualora fosse verificata la condizione di $I_c > 2.60$, la resistenza ciclica CRR viene stimata secondo la presente relazione:

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_{v0}=1} = 0.80 \times \frac{s_u}{\sigma'_{vn}} \times K_d$$

- Ottenuto il valore di CRR, si procede alla valutazione e stima dell'azione sismica di riferimento CSR. Il rapporto di tensione ciclica, descrittivo dell'azione sismica ad una determinata profondità, viene valutato attraverso la relazione proposta da Seed e Idriss (1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{maxs}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

Dove A_{max} rappresenta l'accelerazione di picco al suolo, g è l'accelerazione di gravità, σ_v e σ'_v sono le tensioni reostatiche verticali totali e efficaci, r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica.

$$r_d = 1 - 0.012 z$$

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.

In considerazione alle linee guida emesse dalla Regione Emilia Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di potenziale di liquefazione definita da **Sonmez** (2003):

TABELLA 1 – CLASSI DI POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ (2003)	
LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile ($FSL \geq 1.2$)
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 15$	Alto
$15 < LPI$	Molto alto

La verifica alla liquefazione è stata eseguita sulla n. 1 verticale di prova statica elettrica con piezocono CPTU eseguita in sito tramite l'utilizzo del software CLiq v. 1.7.1.6 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software e sulle n. 3 verticali di prova statiche meccaniche CPT tramite il programma LIQUEF della Program Geo.

Dalle verifiche alla liquefazione eseguite per l'area in oggetto sono stati ottenuti i seguenti valori:

<i>Robertson e Wride (1998)</i>		
CPTU 1	IL = 3.198	Rischio moderato
CPT 1	IL = 0.0	Rischio molto basso
CPT 2	IL = 0.0	Rischio molto basso
CPT 3	IL = 0.1	Rischio basso
<i>Idriss e Boulanger (2008)</i>		
CPTU 1	IL = 4.012	Rischio moderato
CPT 1	IL = 0.0	Rischio molto basso
CPT 2	IL = 0.0	Rischio molto basso
CPT 3	IL = 0.2	Rischio basso

I valori ottenuti indicano un rischio di liquefazione “moderato”, “basso” e “molto basso”, considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ e una accelerazione massima al suolo **$A_{max} = 0.277g$** (RSL - III livello DAL 112/2007 e successiva D.G.R. 2193/2015).

I valori di indice di potenziale di liquefazione IL ottenuti dall'elaborazione della prova penetrometrica statica CPTU n. 1 utilizzando il codice di calcolo di *Idriss e Boulanger* e *Robertson e Wride* si possono considerare molto cautelativi e sovrastimati, in quanto lo strato sabbioso mediamente addensato e potenzialmente liquefacibile si attesta in profondità ad una quota compresa tra -14.00 m e 20.00 m da p.c.. Al di sopra di tale strato sabbioso è presente un livello coesivo argilloso limoso impermeabile con spessore pari a 14.00 m.

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione è stata redatta al fine di fornire lo studio del terreno di fondazione inerente la realizzazione di un centro polifunzionale nel centro sportivo del Comune di Concordia sulla Secchia (MO).

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

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

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

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione sia calcolati alle tensioni ammissibili **TA** (con **F.S. = 3**) che agli stati limite ultimi **SLU** ipotizzando **fondazioni superficiali dirette impostate su platea in c.a.**, approfondite alla quota D = - 0.80 m da p.c..

T.A. F.S. = 3	SLU – APPROCCIO 1 (A2 + M2 + R2) – F.S.= 1.8			SLU – APPROCCIO 2 (A1 + M1 + R3) – F.S.= 2.3		
	CONDIZIONI NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE		CONDIZIONI NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE	
		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE
0.60 kg/cm ² ≈ 60 kN/m ²	0.76 kg/cm ² ≈ 76 kN/m ²	0.85 kg/cm ² ≈ 85 kN/m ²	0.77 kg/cm ² ≈ 77 kN/m ²	0.81 kg/cm ² ≈ 81 kN/m ²	1.08 kg/cm ² ≈ 108 N/m ²	1.00 kg/cm ² ≈ 100 kN/m ²

Il calcolo dei cedimenti, considerando un incremento di carico da Noi ipotizzato pari a **ΔP = 0.60 kg/cm² ≈ 60 kN/m²**, ha fornito valori di assestamento per la struttura in esame, pari a **S = 2.81 cm** utilizzando il metodo di calcolo di Steinbrenner e pari a **S = 2.61 cm** e **S = 3.67 cm** tramite l'utilizzo del software CLiq v. 1.7.1.6 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software.

In fase esecutiva delle opere da realizzare, se necessario, si calcoleranno su dati progettuali più precisi e aggiornati che ci dovranno essere forniti dalla Direzione Lavori e dal Progettista e Calcolatore delle strutture in c.a., il valore delle pressioni ammissibili, degli stati limite ultimi e dei cedimenti del terreno.

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

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

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

<i>Re.Mi.</i>	Vs30 = 244 m/s	categoria C
<i>MASW</i>	Vs30 = 219 m/s	

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

Secondo la classificazione del suolo della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**) si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine di media consistenza con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ KPa nei terreni a grana fine).*

L'**azione sismica** è stata valutata sia tramite l'approccio semplificato (D.M. 14/01/2008) previsto dalle N.N.T.C., che tramite lo studio di risposta sismica locale, III livello di approfondimento (DAL 112/07 e successiva D.G.R. 2193/2015 della Regione Emilia Romagna).

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 T_R stimato di 949 anni. Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (ED50): Latitudine: 44.908026°, Longitudine 10.990196°, tale parametro è risultato pari ad **$a_{g\text{ attesa}} = 0.186g$** .

Tale valore si riferisce al bedrock; dopo gli opportuni calcoli, si ottiene il seguente valore di **$A_{max} = 0.264g$** .

Dato che, secondo quanto esposto nelle carte di microzonazione sismica redatte dalla Regione Emilia Romagna, la zona in oggetto ricade su terreni classificabili **LQ2**, caratterizzati dalla presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna, è stata svolta un'analisi di risposta sismica locale **RSL** ai fini dell'identificazione dell'azione sismica di riferimento, secondo l'approfondimento di **III livello (DAL 112/07 – Regione Emilia Romagna)**.

Dall'analisi RSL eseguita, è stato derivato un valore di **$A_{max} = 0.277 g$** , superiore a quello derivabile secondo approccio semplificato NNTC 14/01/2008.

La verifica alla liquefazione è stata eseguita sulla n. 1 verticale di prova statica elettrica con piezocono CPTU eseguita in sito tramite l'utilizzo del software CLiq v. 1.7.1.6 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software e sulle n. 3 verticali di prova statiche meccaniche CPT tramite il programma LIQUEF della Program Geo. I valori ottenuti indicano un rischio di liquefazione “moderato”, “basso” e “molto basso”, considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ e una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.277g$ (RSL - III livello DAL 112/2007 e successiva D.G.R. 2193/2015).

I valori di indice di potenziale di liquefazione IL ottenuti dall'elaborazione della prova penetrometrica statica CPTU n. 1 utilizzando il codice di calcolo di *Idriss e Boulanger* e *Robertson e Wride* si possono considerare molto cautelativi e sovrastimati, in quanto lo strato sabbioso mediamente addensato e potenzialmente liquefacibile si attesta in profondità ad una quota compresa tra -14.00 m e 20.00 m da p.c.. Al di sopra di tale strato sabbioso è presente un livello coesivo argilloso limoso impermeabile con spessore pari a 14.00 m.

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

Modena, 12 febbraio 2016

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



GEO GROUP s.r.l.

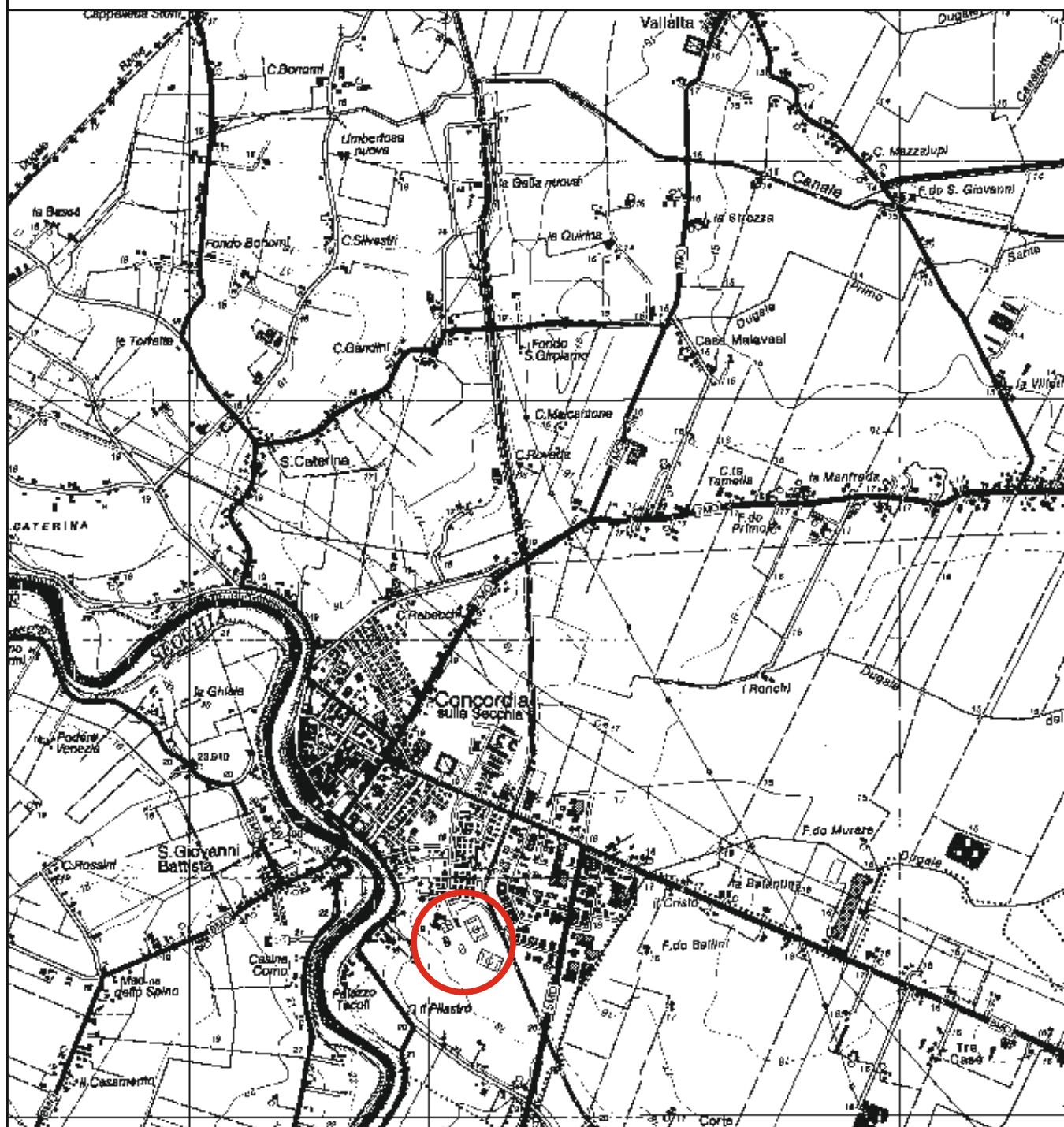
**Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche**

Tavole

GEO GROUP s.r.l.

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

Tavole C.T.R. n. 183_NE e n. 184_NO



Tav. n. 1 “Carta Corografica”

Scala 1: 25000

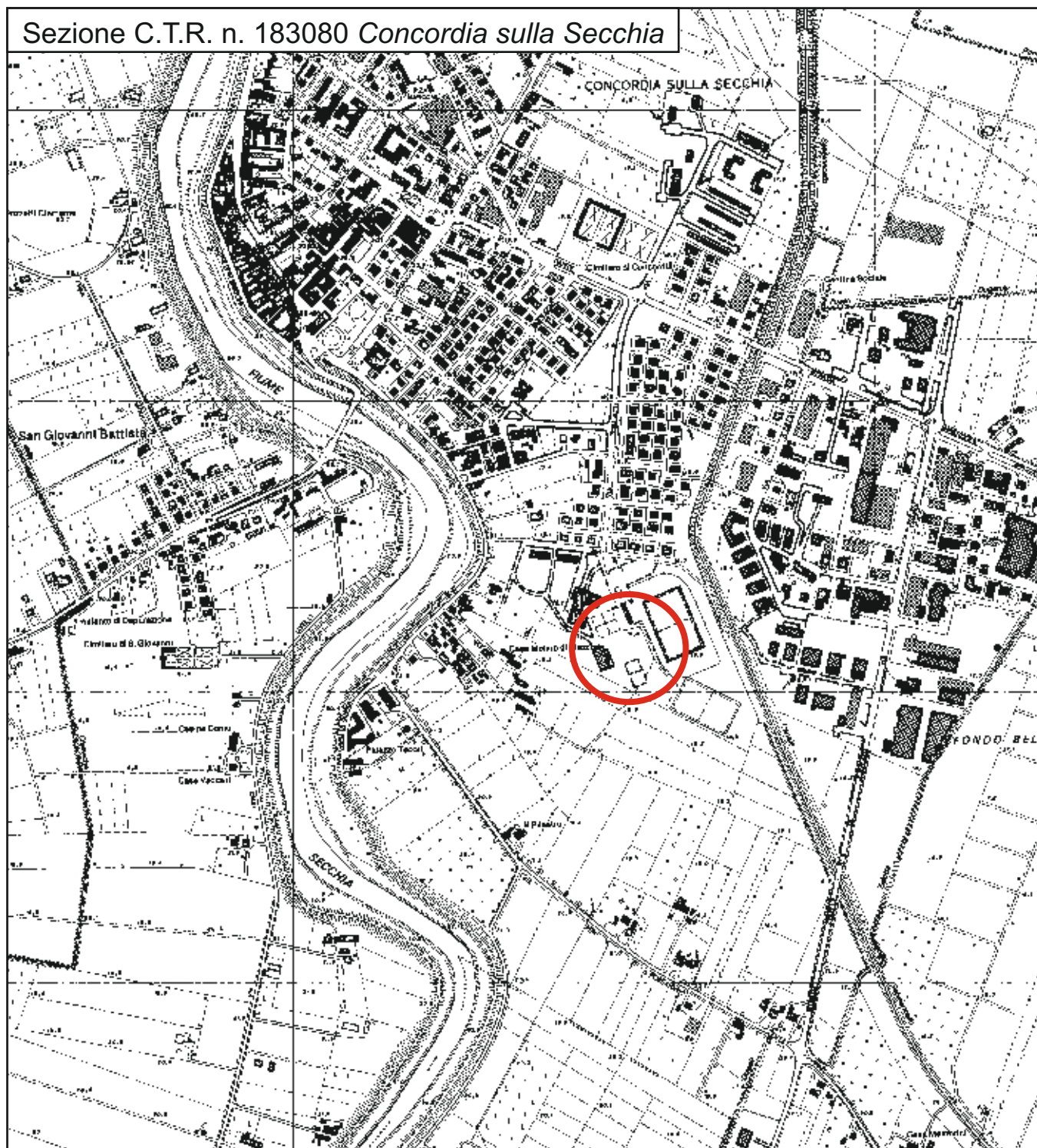


Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

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

Sezione C.T.R. n. 183080 Concordia sulla Secchia



Tav. n. 2 "Carta topografica"

Scala 1: 10000



Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

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



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

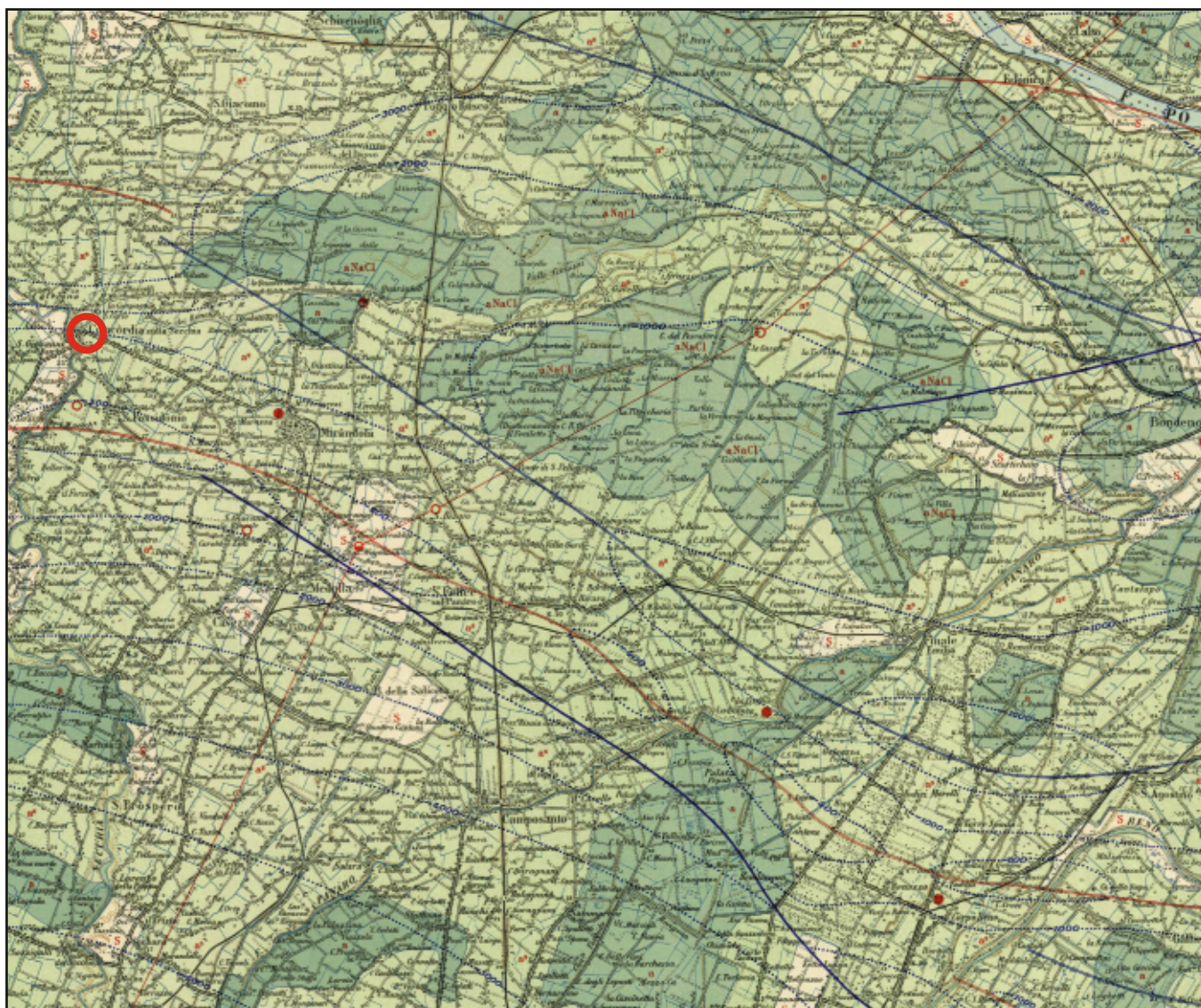
(tratta da “Bing Mappe”)
Scala grafica



Area oggetto di studio

GEO GROUP s.r.l.

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



Tav. n. 4 “Carta della litologia di superficie” Scala 1: 100000

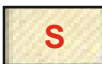


Legenda



Area di interesse

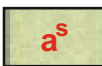
Litologia di superficie



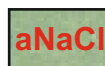
Sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi



Argille e terreni prevalentemente argillosi



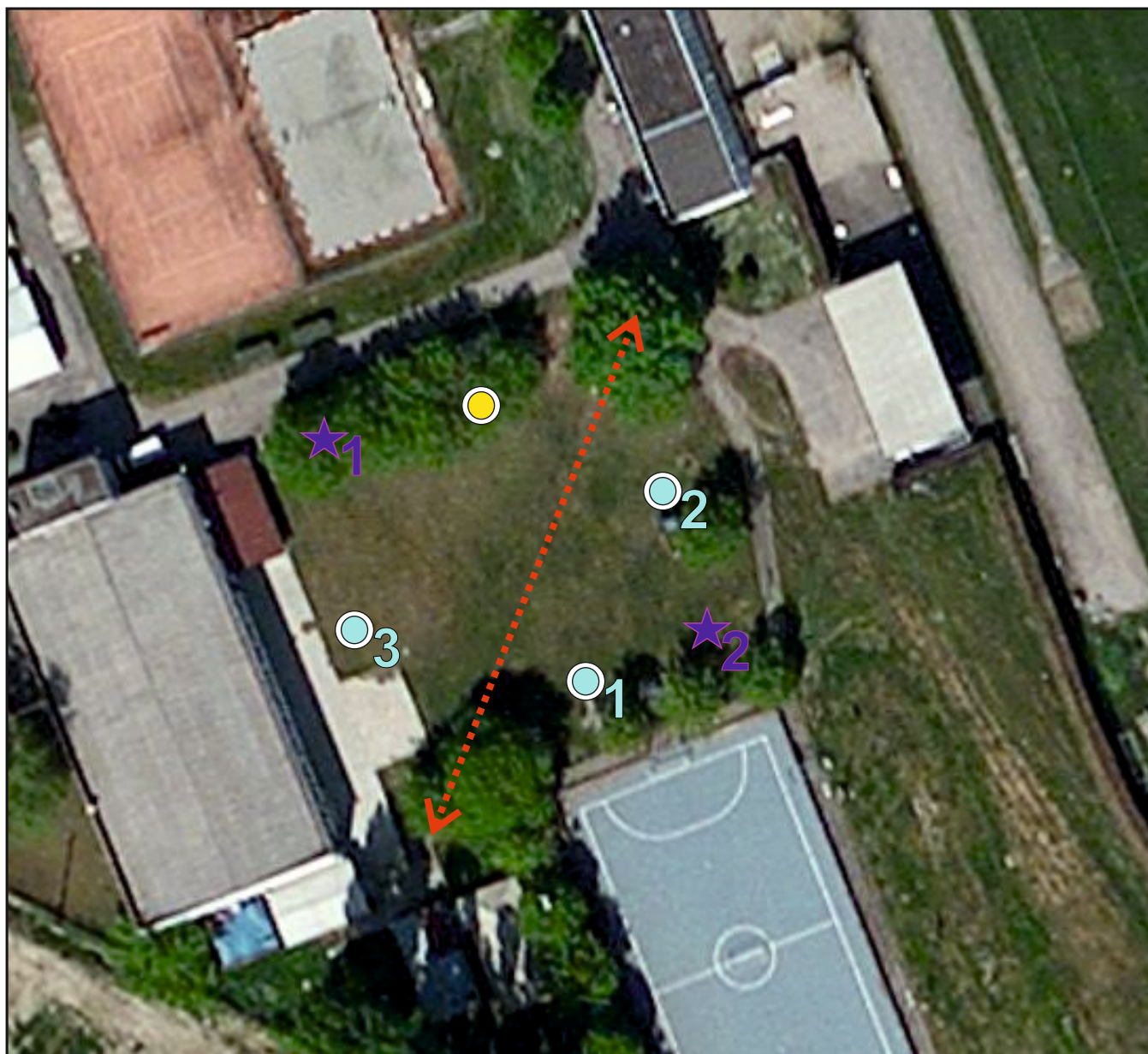
Argille sabbiose e sabbie argillose



Argille ipercolloidali e salaie della Burana

GEO GROUP s.r.l.

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



Tav. n. 5 “Indagini geognostiche”

(tratta da “Bing Mappe”)

Scala grafica

Legenda



Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT



Prova penetrometrica statica elettrica con piezocono CPTU



Indagine sismica passiva HVSr

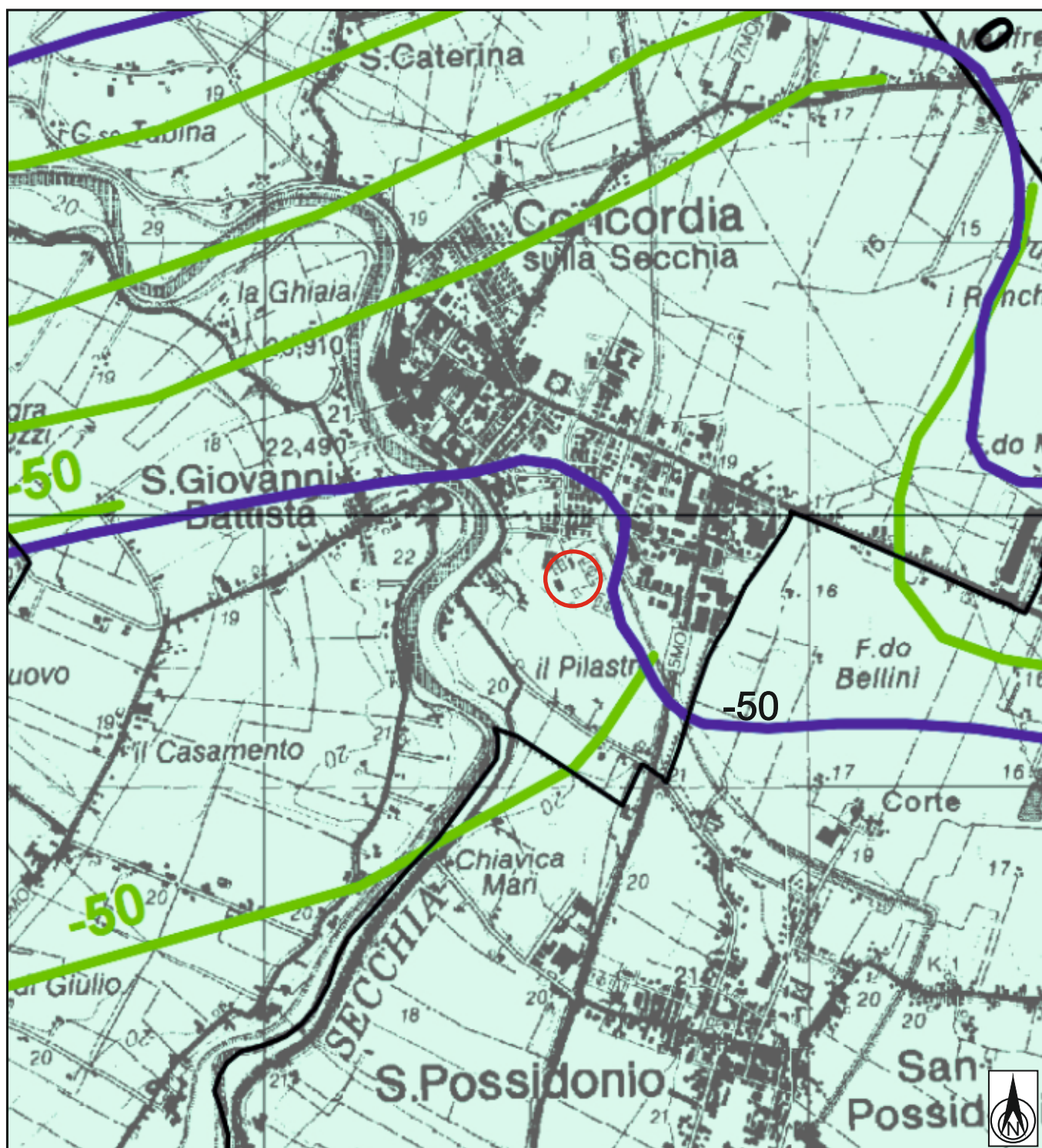


Stendimento sismico

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

181, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/3368245 - Email: geo.group@libero.it



Tav. n. 6 “Carta dei depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie”

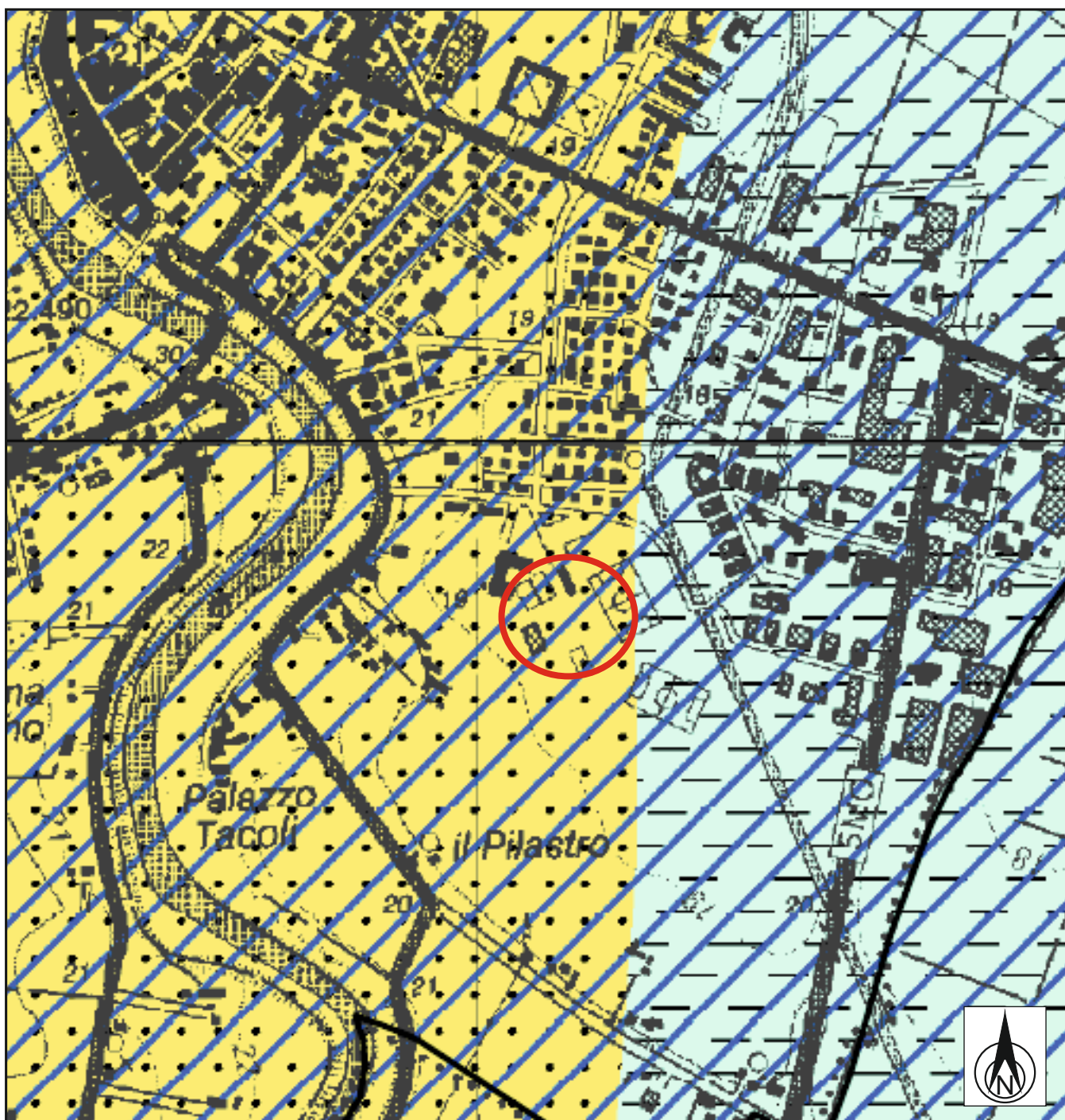
Scala grafica

	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 oggetto di studio

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
181, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/3368245 - Email: geo.group@libero.it



Tav. n. 7 “Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali”

Scala grafica

	ghiale 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 oggetto di studio

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
181, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/3368245 - Email: geo.group@libero.it



Tav. n. 8 “Carta delle aree suscettibili di effetti locali”

Scala grafica

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



Area oggetto di studio

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

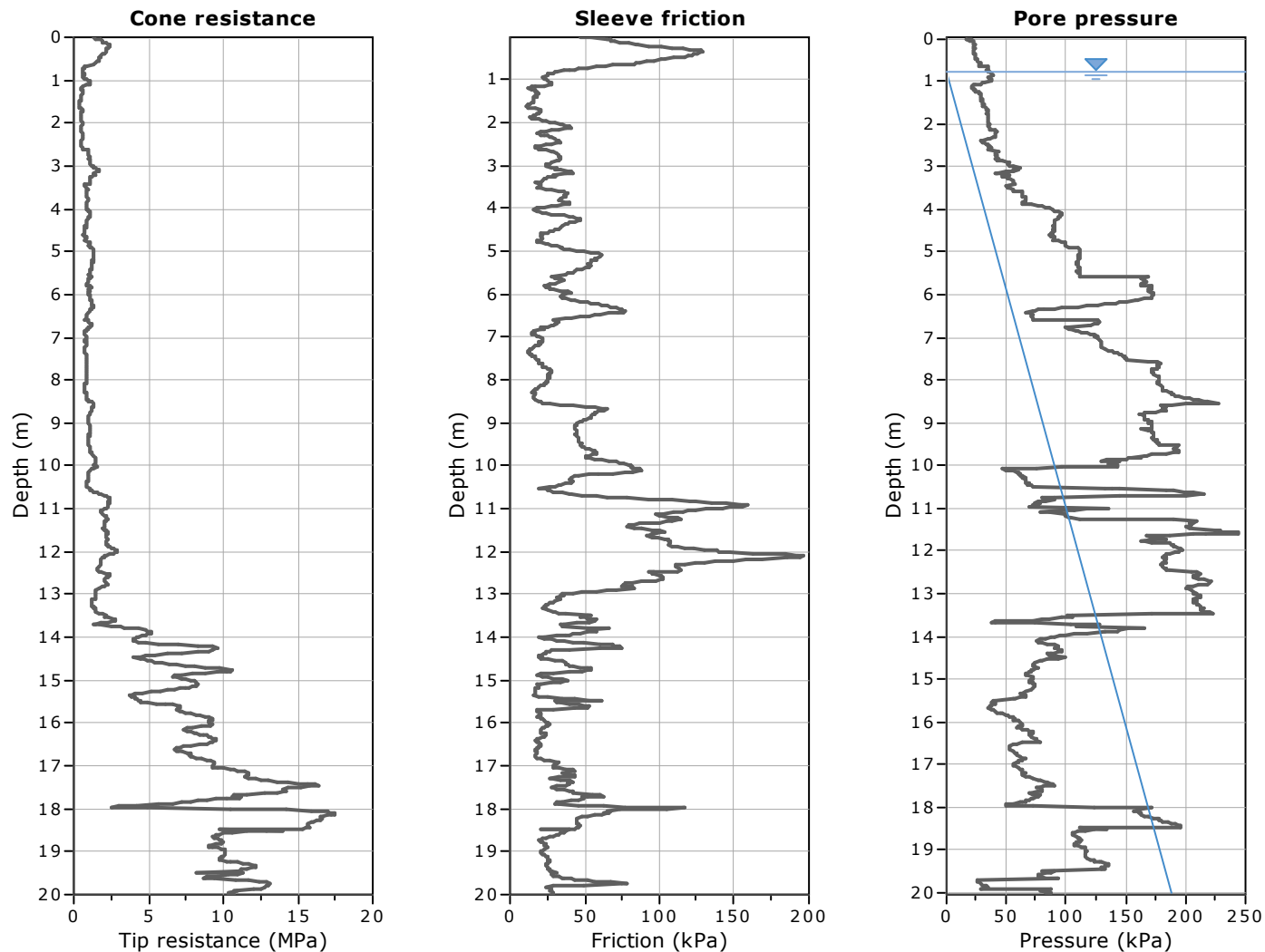
ALLEGATO N° 1

Prove penetrometriche statiche CPT e CPTU corredate di interpretazione geotecnica

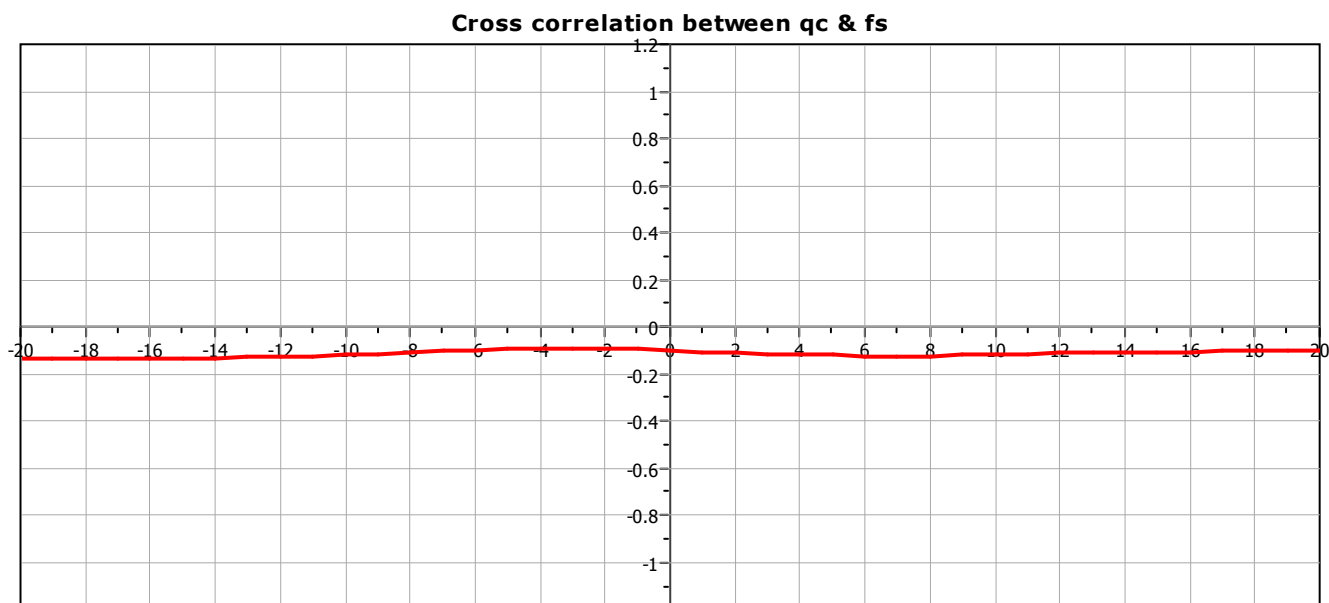
GEO GROUP s.r.l.

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

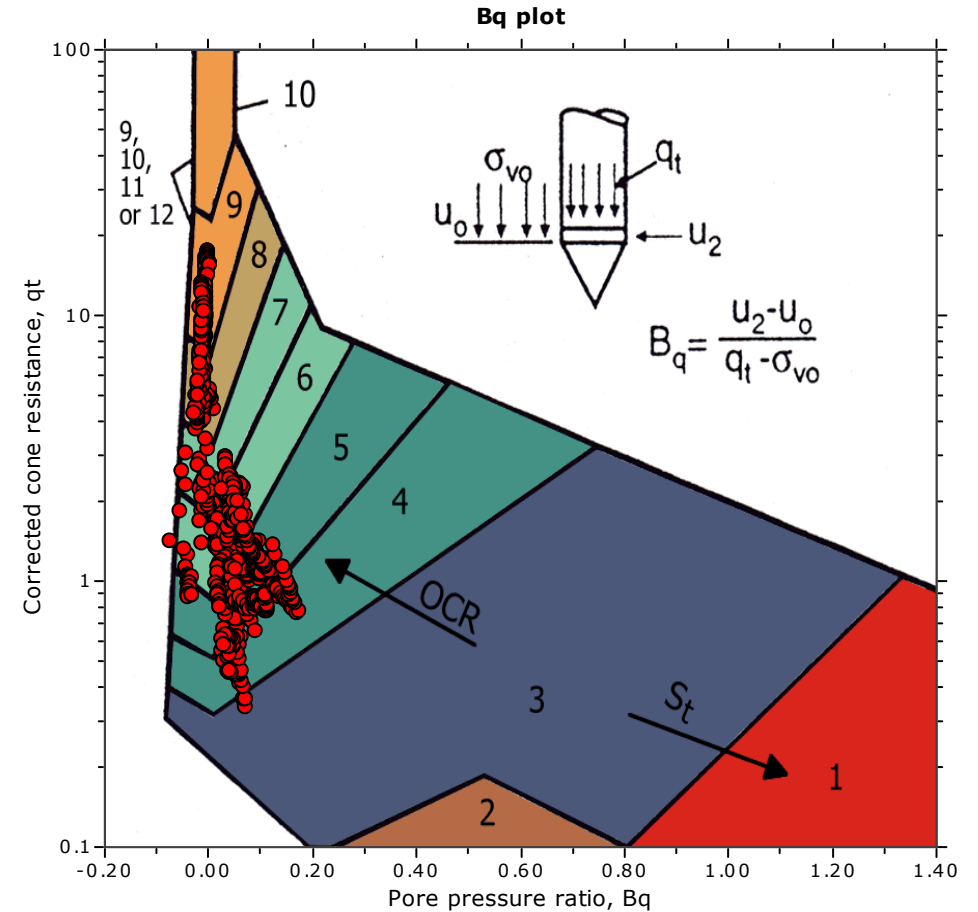
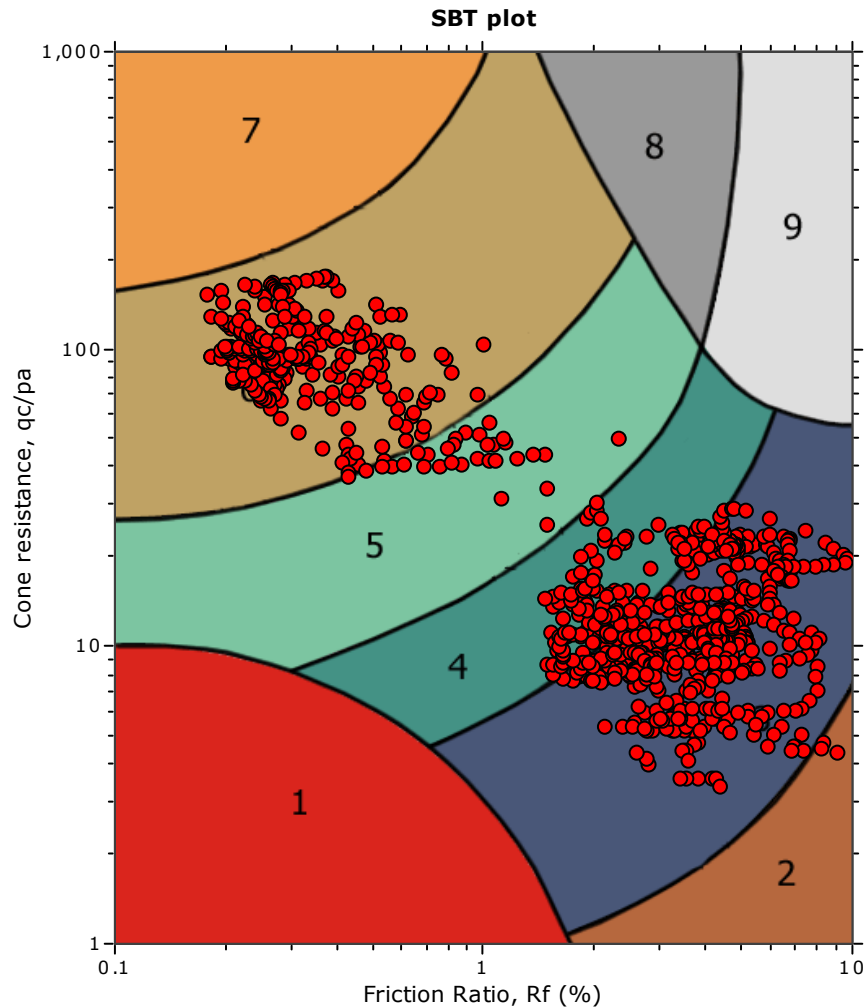
Prove penetrometriche statiche CPTU



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



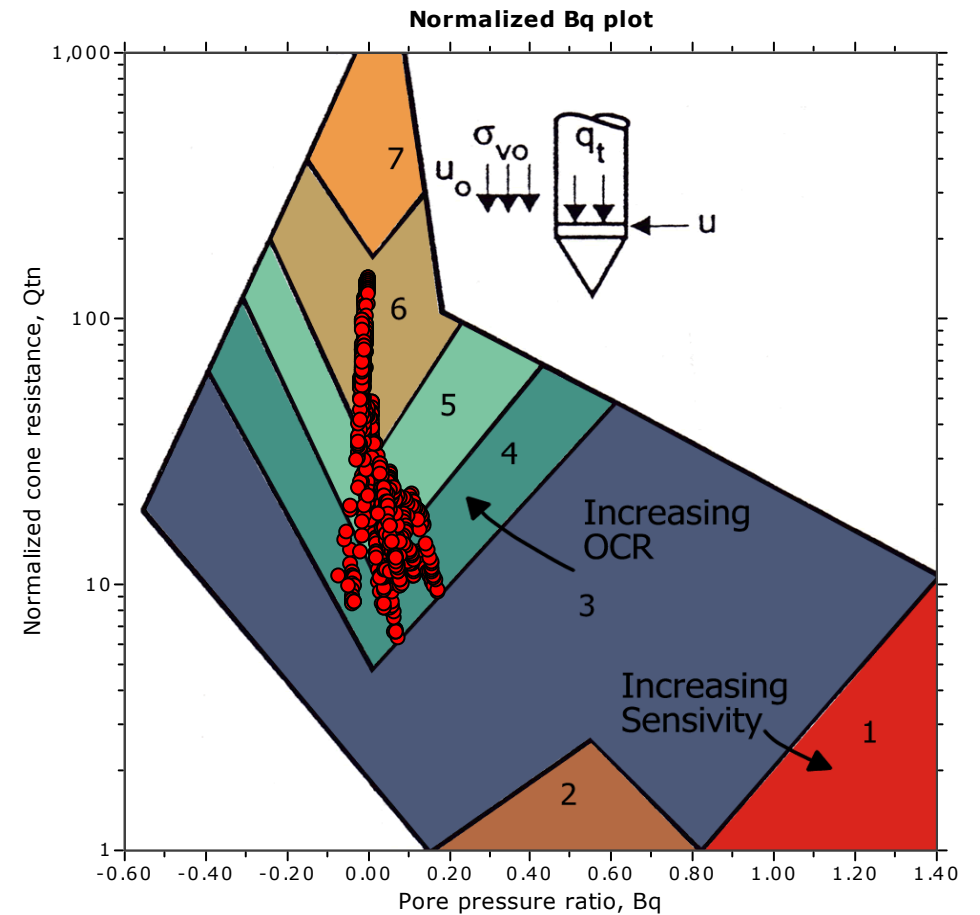
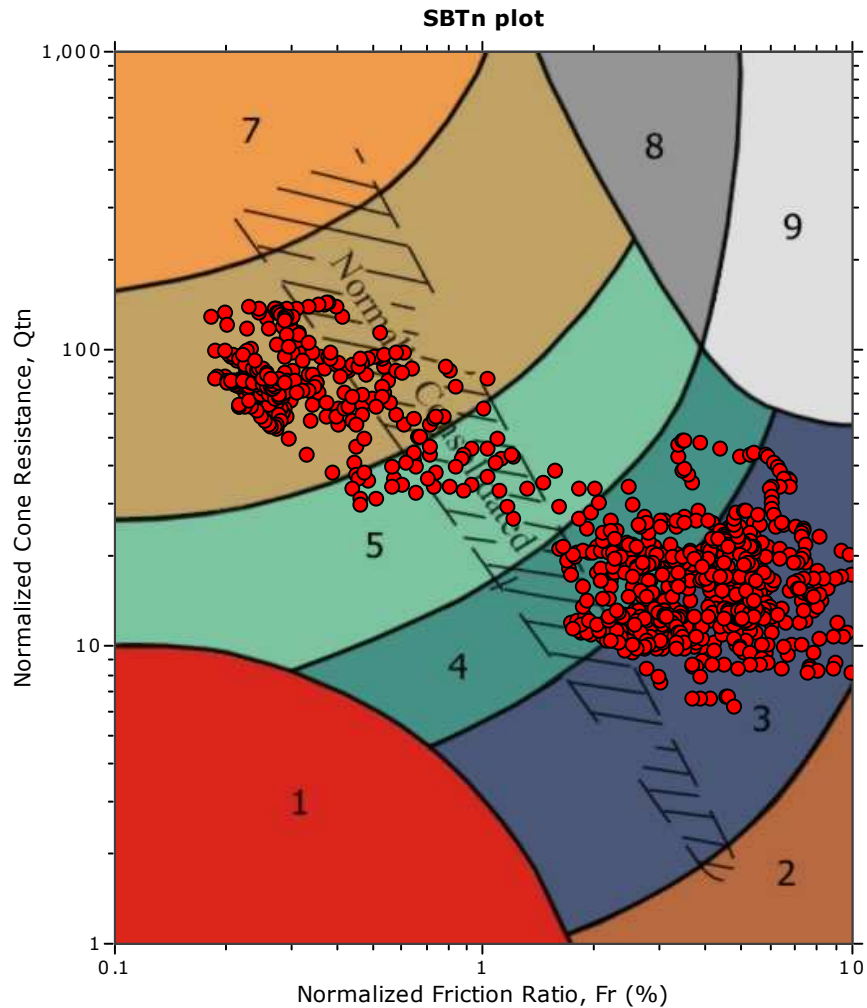
SBT - Bq plots



SBT legend

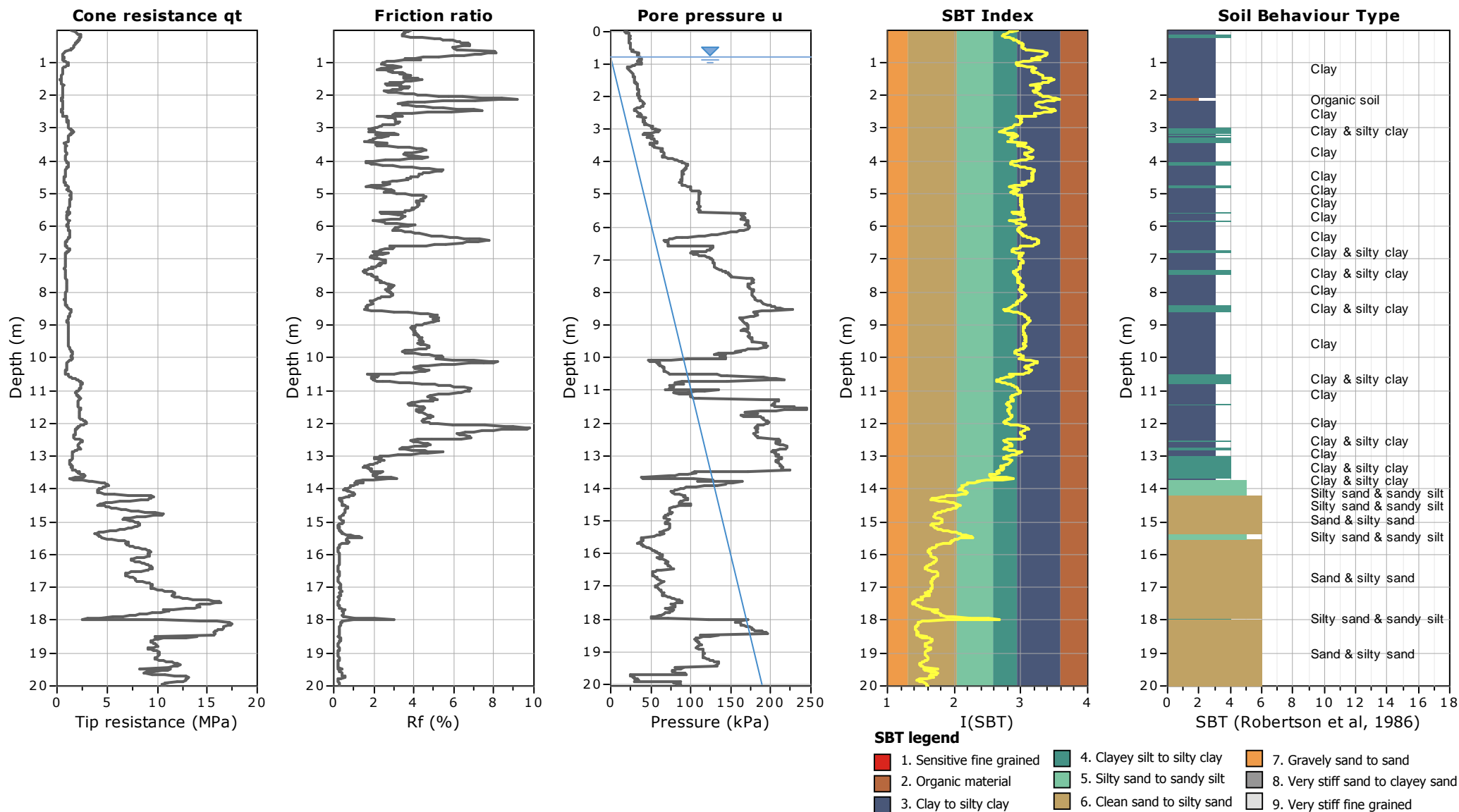
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

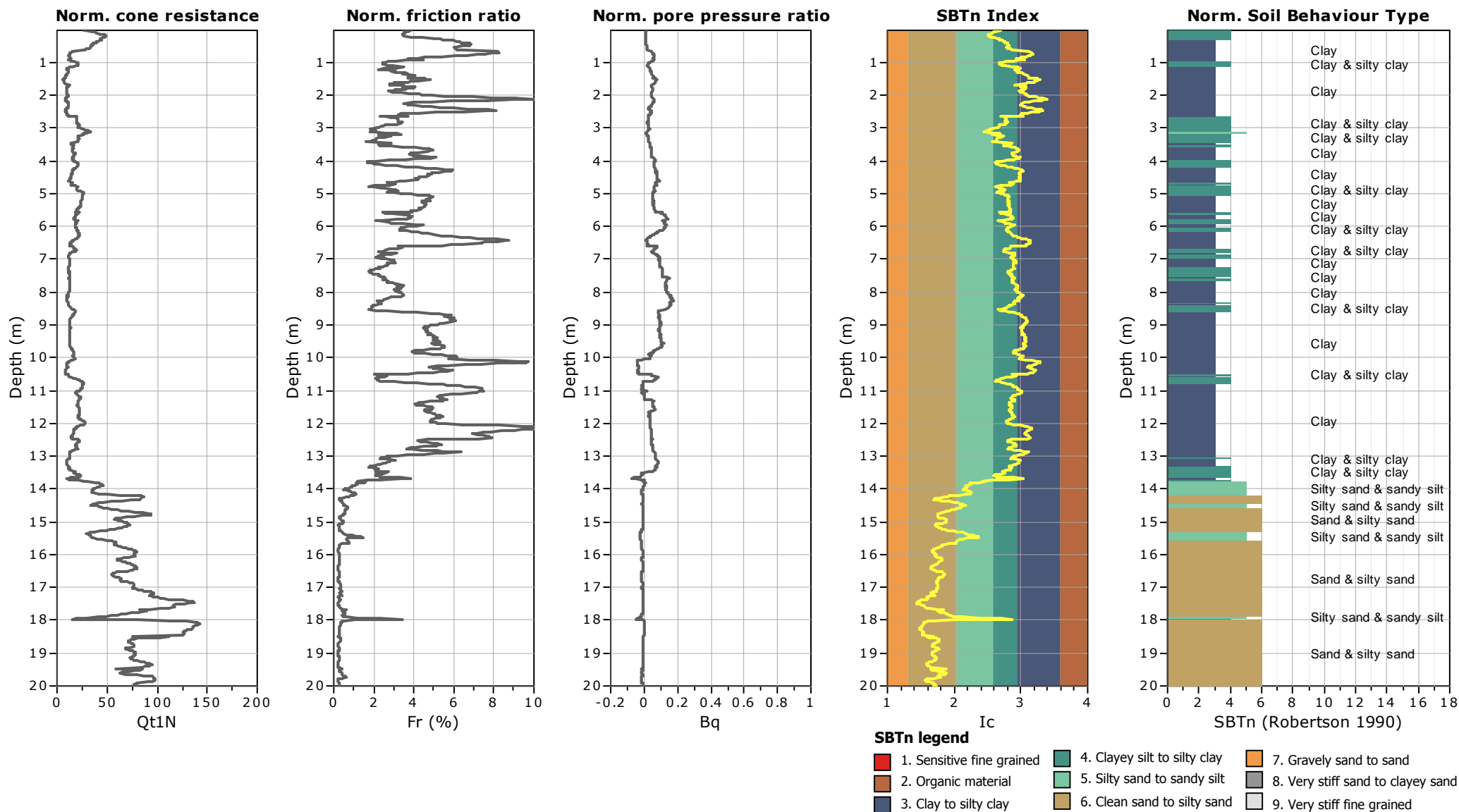
SBT - Bq plots (normalized)

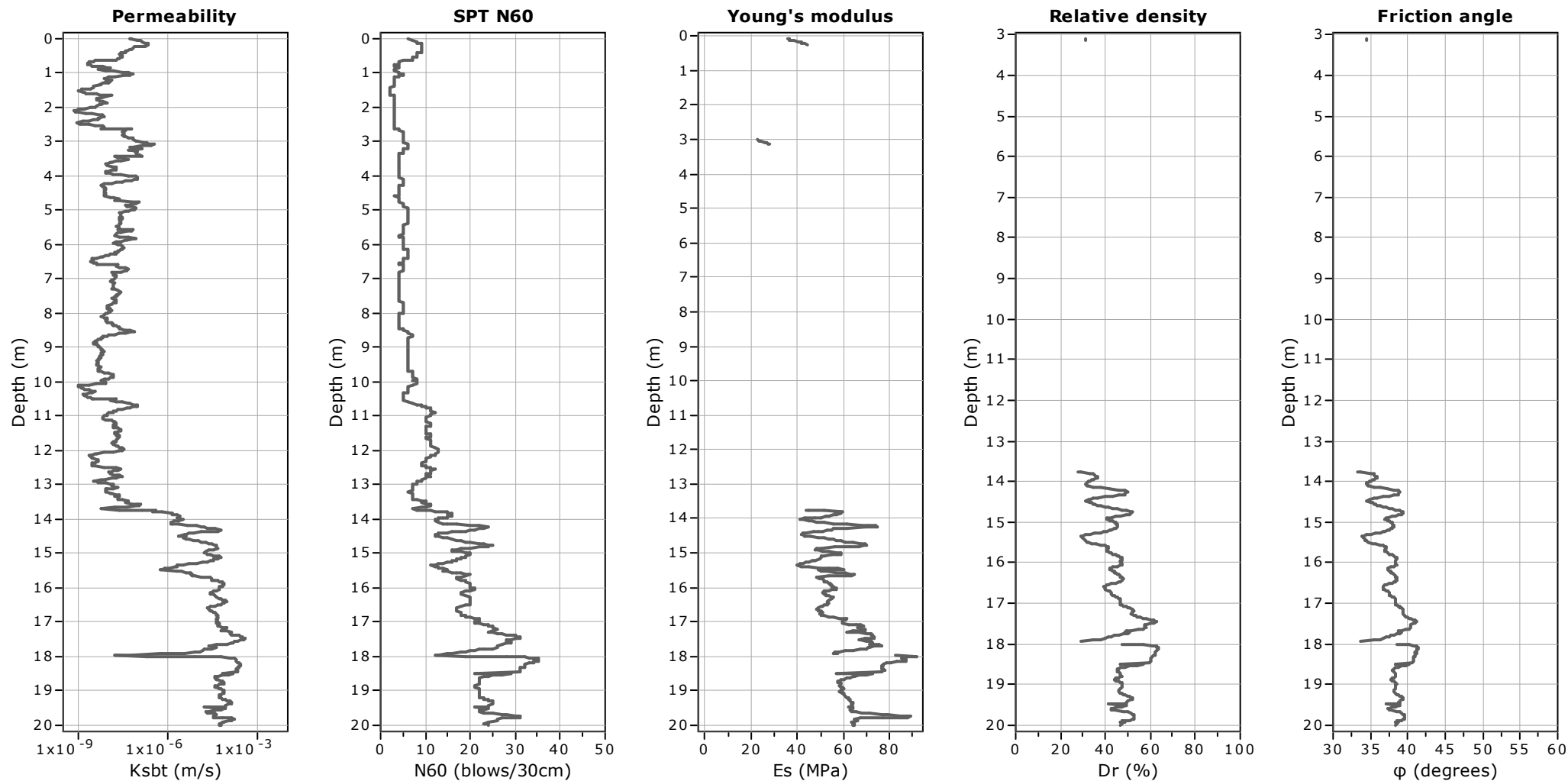


SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |







Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

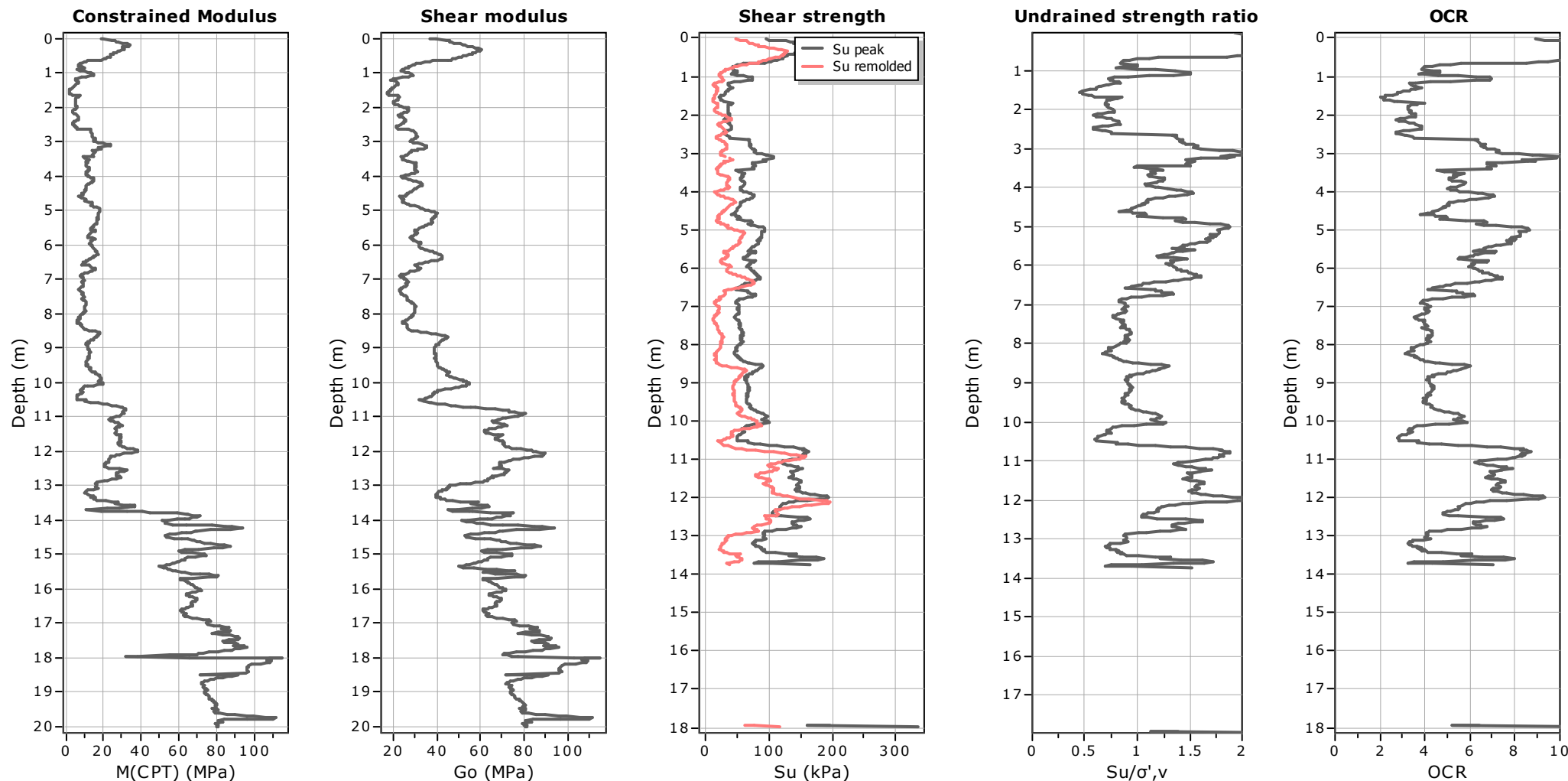
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



Calculation parameters

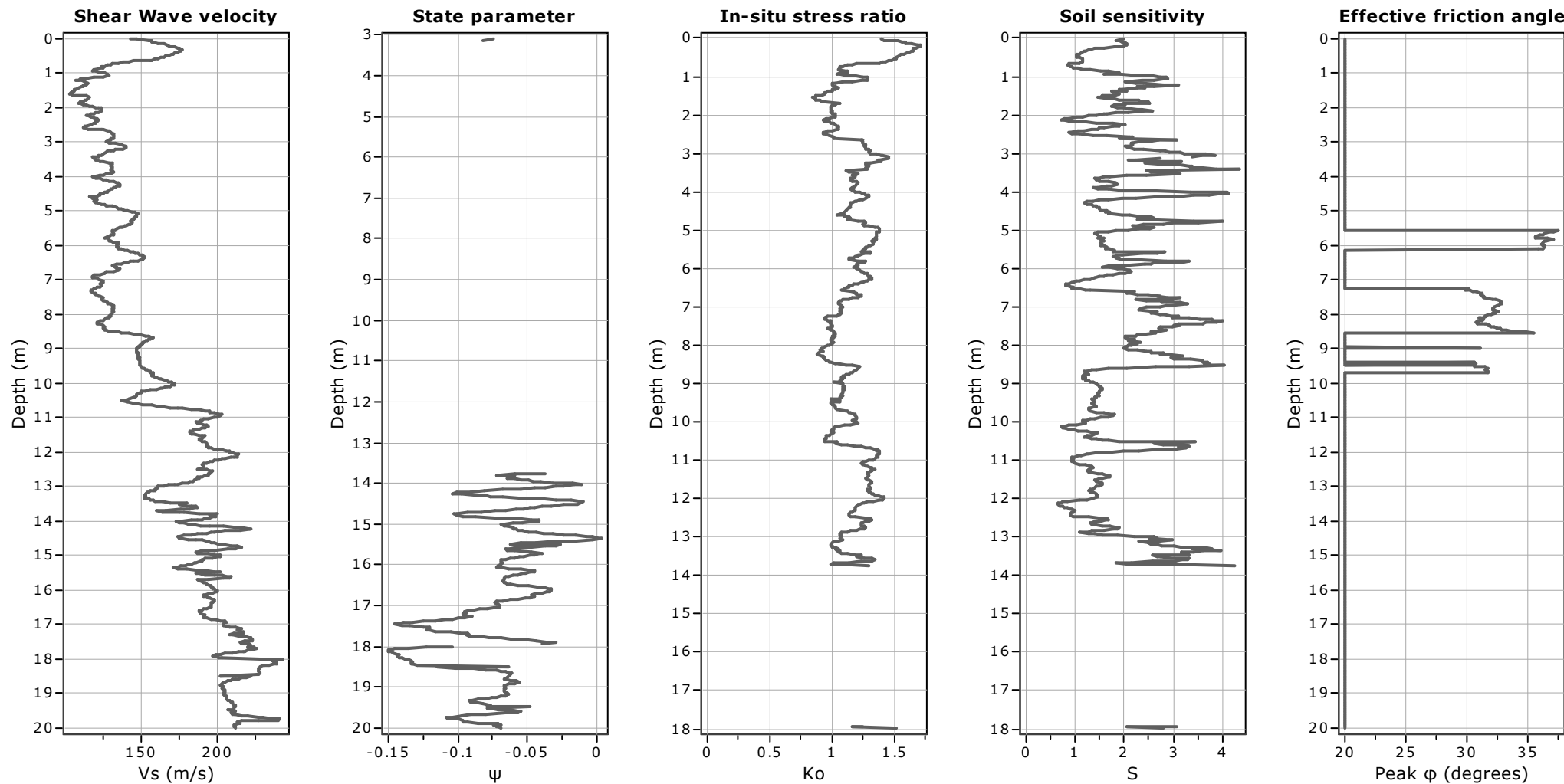
Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c_cutoff}\text{)}$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$$a = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$a = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = a \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

$$M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c_cutoff}\text{)}$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma'_{vo}} \right)$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, July 2010
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

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

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

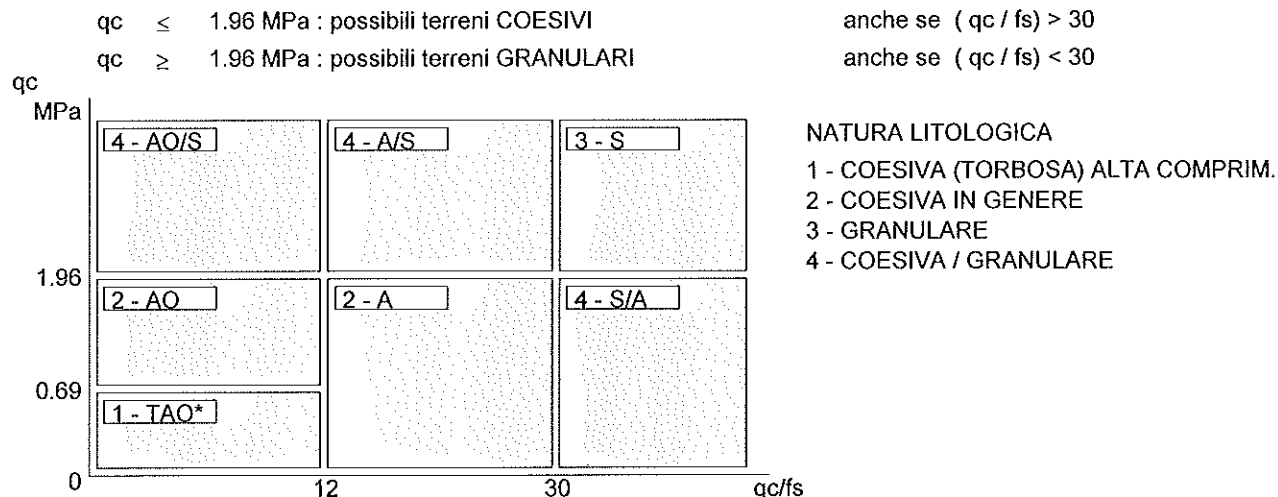
- AO	= argilla organica e terreni misti
- Att	= argilla (inorganica) molto tenera
- At	= argilla (inorganica) tenera
- Am	= argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	= argilla (inorganica) consistente
- Acc	= argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	= argilla sabbiosa e limosa
- SAL	= sabbia 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 q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - q_c - 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 : (A_{max}/g) - D_r]
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

1

riferimento

420-2014

certificato n°

6472

Committente: Comune di Concordia s/S
Cantiere: Nuovo centro polifunzionale
Località: Concordia - Via Togliatti

U.M.: MPa
Pagina: 1/4
Elaborato:

Data esec.: 05/12/2014
Data certificato: 09/12/2014
Falda: -0.70 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	60.00	0									
0.40	10.00	19.00		0.98	67.00	15	6.7								
0.60	11.00	21.00		1.08	73.00	15	6.6								
0.80	11.00	22.00		1.08	60.00	18	5.5								
1.00	7.00	16.00		0.69	27.00	26	3.9								
1.20	4.00	8.00		0.39	20.00	20	5.0								
1.40	3.00	6.00		0.29	27.00	11	9.0								
1.60	4.00	8.00		0.39	27.00	15	6.8								
1.80	4.00	8.00		0.39	20.00	20	5.0								
2.00	3.00	6.00		0.29	27.00	11	9.0								
2.20	3.00	7.00		0.29	27.00	11	9.0								
2.40	4.00	8.00		0.39	33.00	12	8.3								
2.60	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
2.80	5.00	11.00		0.49	40.00	13	8.0								
3.00	6.00	12.00		0.59	33.00	18	5.5								
3.20	6.00	11.00		0.59	40.00	15	6.7								
3.40	7.00	13.00		0.69	33.00	21	4.7								
3.60	6.00	11.00		0.59	33.00	18	5.5								
3.80	5.00	10.00		0.49	33.00	15	6.6								
4.00	5.00	10.00		0.49	33.00	15	6.6								
4.20	5.00	10.00		0.49	33.00	15	6.6								
4.40	6.00	11.00		0.59	53.00	11	8.8								
4.60	8.00	16.00		0.78	40.00	20	5.0								
4.80	5.00	11.00		0.49	53.00	9	10.6								
5.00	6.00	14.00		0.59	40.00	15	6.7								
5.20	5.00	11.00		0.49	47.00	11	9.4								
5.40	7.00	14.00		0.69	60.00	12	8.6								
5.60	9.00	18.00		0.88	40.00	23	4.4								
5.80	6.00	12.00		0.59	47.00	13	7.8								
6.00	6.00	13.00		0.59	47.00	13	7.8								
6.20	7.00	14.00		0.69	40.00	18	5.7								
6.40	7.00	13.00		0.69	53.00	13	7.6								
6.60	8.00	16.00		0.78	53.00	15	6.6								
6.80	6.00	14.00		0.59	67.00	9	11.2								
7.00	8.00	18.00		0.78	33.00	24	4.1								
7.20	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
7.40	5.00	11.00		0.49	33.00	15	6.6								
7.60	5.00	10.00		0.49	27.00	19	5.4								
7.80	4.00	8.00		0.39	33.00	12	8.3								
8.00	5.00	10.00		0.49	20.00	25	4.0								
8.20	4.00	7.00		0.39	27.00	15	6.8								
8.40	5.00	9.00		0.49	40.00	13	8.0								
8.60	6.00	12.00		0.59	40.00	15	6.7								
8.80	5.00	11.00		0.49	47.00	11	9.4								
9.00	6.00	13.00		0.59	53.00	11	8.8								
9.20	9.00	17.00		0.88	60.00	15	6.7								
9.40	9.00	18.00		0.88	60.00	15	6.7								
9.60	8.00	17.00		0.78	67.00	12	8.4								
9.80	9.00	19.00		0.88	60.00	15	6.7								
10.00	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4								
10.20	9.00	19.00		0.88	80.00	11	8.9								
10.40	11.00	23.00		1.08	80.00	14	7.3								
10.60	14.00	26.00		1.37	147.00	10	10.5								
10.80	10.00	32.00		0.98	113.00	9	11.3								
11.00	18.00	35.00		1.76	120.00	15	6.7								
11.20	18.00	36.00		1.76	127.00	14	7.1								
11.40	19.00	38.00		1.86	133.00	14	7.0								
11.60	21.00	41.00		2.06	133.00	16	6.3								
11.80	19.00	39.00		1.86	140.00	14	7.4								
12.00	18.00	39.00		1.76	153.00	12	8.5								
12.20	24.00	47.00		2.35	160.00	15	6.7								
12.40	28.00	52.00		2.74	133.00	21	4.8								
12.60	18.00	38.00		1.76	120.00	15	6.7								
12.80	17.00	35.00		1.67	107.00	16	6.3								
13.00	18.00	34.00		1.76	100.00	18	5.6								
13.20	16.00	31.00		1.57	87.00	18	5.4								
13.40	13.00	26.00		1.27	67.00	19	5.2								
13.60	9.00	19.00		0.88	73.00	12	8.1								
13.80	12.00	23.00		1.18	100.00	12	8.3								
14.00	21.00	36.00		2.06	147.00	14	7.0								
14.20	25.00	47.00		2.45	173.00	14	6.9								
14.40	29.00	55.00		2.84	187.00	16	6.4								
14.60	51.00	79.00		5.00	173.00	29	3.4								
14.80	49.00	75.00		4.80	187.00	26	3.8								
15.00	54.00	82.00		5.29											

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata

0.20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

1

referimento

420-2014

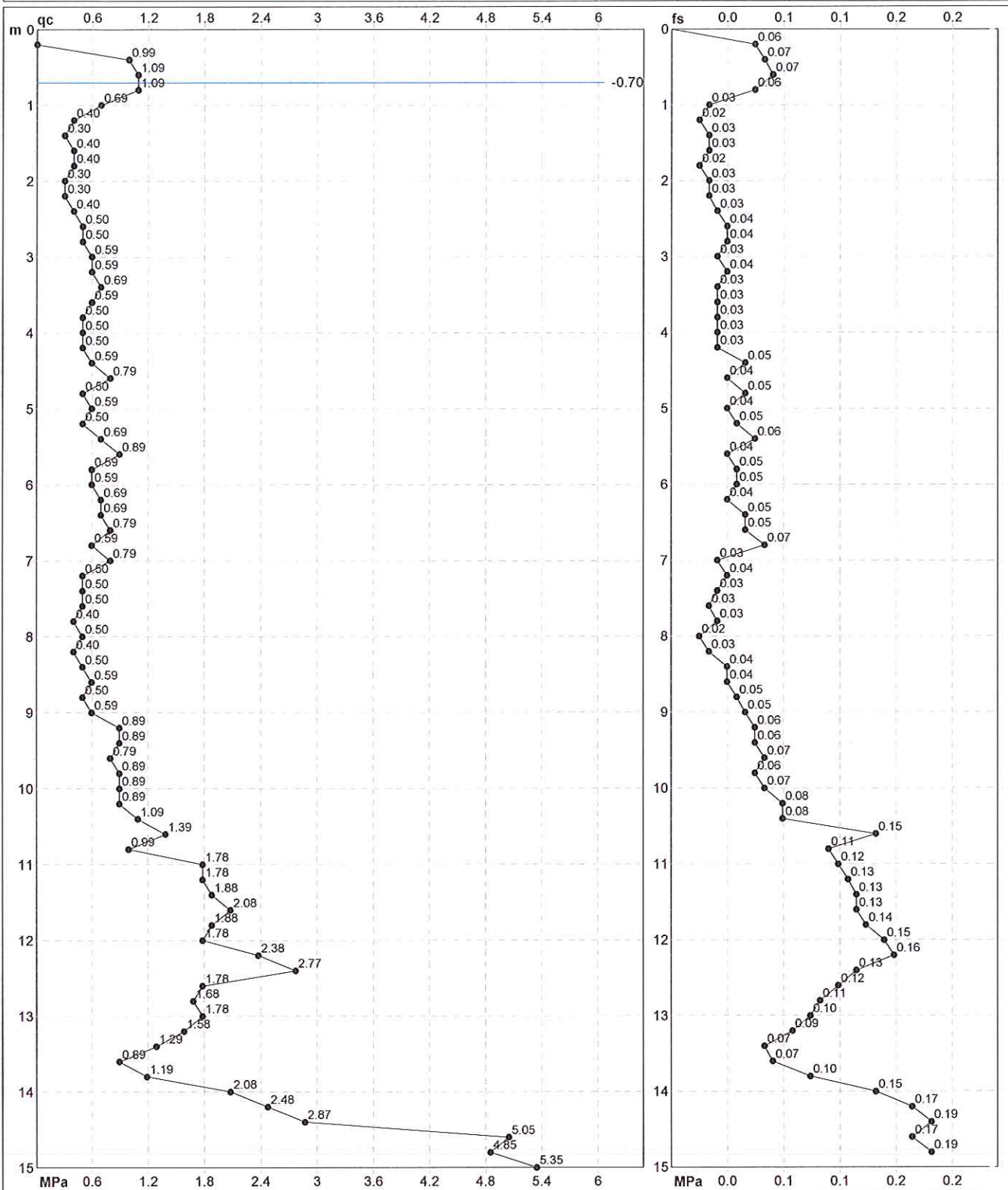
certificato n°

6472

Committente: **Comune di Concordia s/S**
Cantiere: **Nuovo centro polifunzionale**
Località: **Concordia - Via Togliatti**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:75**
Pagina: **2/4**
Elaborato:

Data exec.: **05/12/2014**
Data certificato: **09/12/2014**
Falda: **-0.70 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

1

riferimento

420-2014

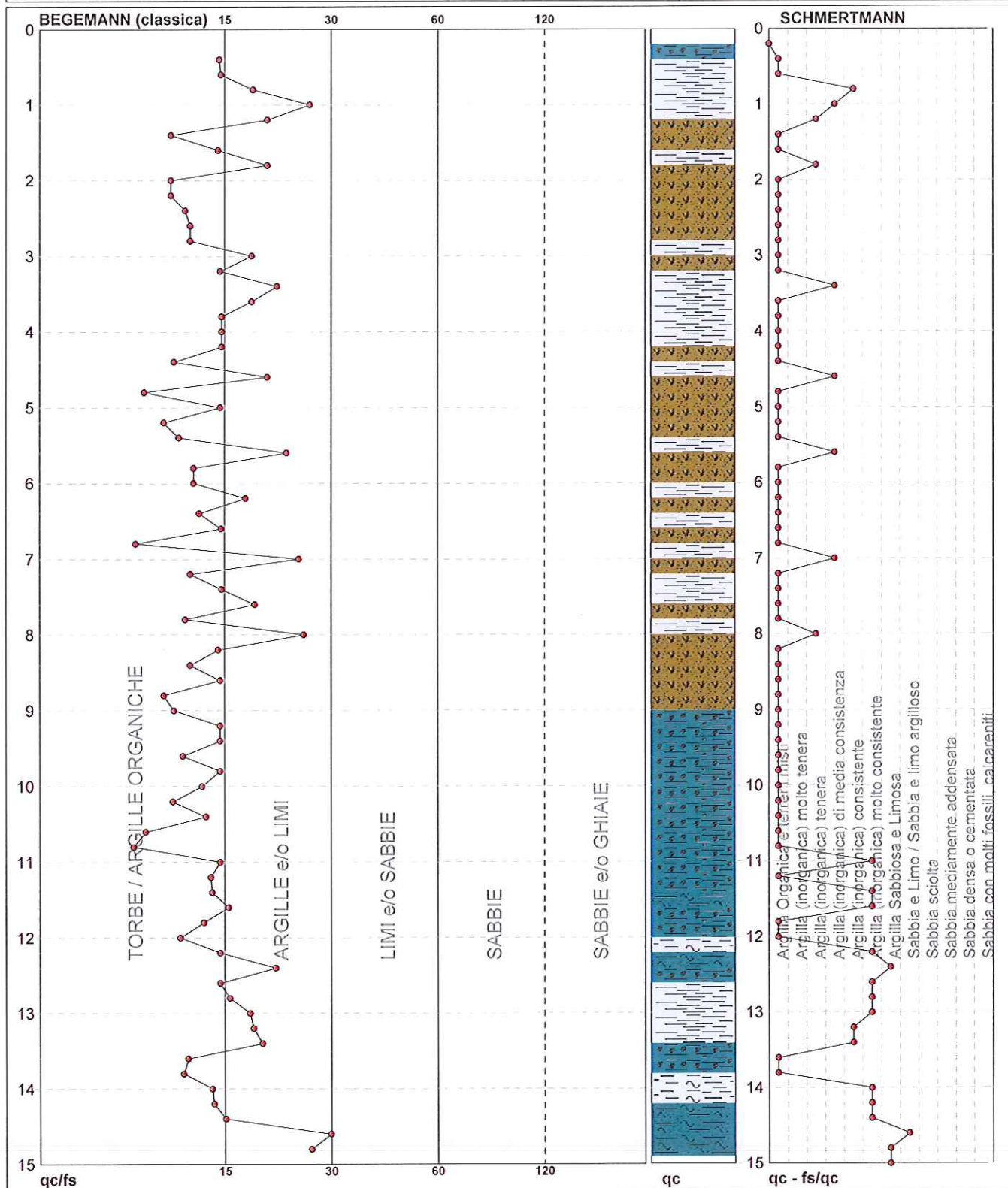
certificato n°

6472

Committente: Comune di Concordia s/S
Cantiere: Nuovo centro polifunzionale
Località: Concordia - Via Togliatti

U.M.: MPa
Scala: 1:75
Pagina: 3/4
Elaborato:

Data esec.: 05/12/2014
Data certificato: 09/12/2014
Falda: -0.70 m da p.c.



Torbe / Argille org. : 46 punti, 62.16%
Argille e/o Limi : 28 punti, 37.84%

Argilla Organica e terreni misti: 49 punti, 66.22%
Argilla (inorganica) tenera: 3 punti, 4.05%
Argilla (inorganica) media consist.: 5 punti, 6.76%
Argilla (inorganica) consistente: 3 punti, 4.05%
Argilla (inorganica) molto consist.: 10 punti, 13.51%

Argilla Sabbiosa e Limosa: 2 punti, 2.70%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.: 1 punti, 1.35%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

riferimento

certificato n°

1

420-2014

6472

Committente: Comune di Concordia s/S
Cantiere: Nuovo centro polifunzionale
Località: Concordia - Via Togliatti

U.M.: MPa Data esec.: 05/12/2014
Pagina: 4/4 Data certificato: 09/12/2014
Elaborato: Falda: -0.70 m da p.c.

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' U/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.		
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	σ_{Sc} (°)	σ_{Ca} (°)	σ_{Ko} (°)	σ_{DB} (°)	σ_{DM} (°)	σ_{Me} (°)									
0.20	--	--		1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	0.98	14.93		1.90	7.4	132	49.0	67.3	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	1.08	15.07		1.91	11.1	137	52.6	43.9	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	1.08	18.33		0.91	12.9	137	52.6	36.4	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.69	25.93		0.84	14.5	115	34.3	18.4	5.8	8.7	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.39	20.00		0.78	16.1	93	19.6	8.1	3.8	5.8	2.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.29	11.11		0.46	17.0	84	14.7	5.3	0.9	1.3	0.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	0.39	14.81		0.46	17.9	93	19.6	7.1	1.0	1.5	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	0.39	20.00		0.78	19.4	93	19.6	6.4	5.0	7.5	2.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.29	11.11		0.46	20.3	84	14.7	4.2	1.0	1.5	0.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.29	11.11		0.46	21.2	84	14.7	4.0	1.0	1.6	0.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.39	12.12		0.46	22.1	93	19.6	5.4	1.2	1.7	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.49	12.50		0.46	23.0	101	24.5	6.8	1.3	1.9	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.49	12.50		0.46	23.9	101	24.5	6.5	1.3	1.9	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.59	18.18		0.82	25.5	109	29.4	7.5	6.2	9.4	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.59	15.00		0.46	26.4	109	29.4	7.2	1.4	2.2	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.69	21.21		0.84	28.0	115	34.3	8.1	6.7	10.1	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.59	18.18		0.82	29.7	109	29.4	6.2	7.8	11.6	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0.49	15.15		0.60	31.2	101	24.5	4.6	8.7	13.0	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.49	15.15		0.60	32.8	101	24.5	4.4	9.2	13.7	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.49	15.15		0.60	34.4	101	24.5	4.1	9.6	14.4	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.59	11.32		0.46	35.3	109	29.4	5.0	1.8	2.7	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.78	20.00		0.86	36.9	121	39.2	6.8	9.4	14.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.49	9.43		0.46	37.8	101	24.5	3.6	2.0	3.0	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.59	15.00		0.46	38.7	109	29.4	4.4	2.0	2.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.49	10.64		0.46	39.7	101	24.5	3.4	2.2	3.2	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.69	11.67		0.46	40.6	115	34.3	5.1	2.1	3.2	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.88	22.50		0.88	42.3	127	44.1	6.6	10.8	16.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.59	12.77		0.46	43.2	109	29.4	3.9	2.2	3.3	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.59	12.77		0.46	44.1	109	29.4	3.8	2.3	3.4	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.69	17.50		0.84	45.7	115	34.3	4.4	12.8	19.1	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.69	13.21		0.46	46.6	115	34.3	4.3	2.3	3.5	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.78	15.09		0.86	48.3	121	39.2	4.8	13.4	20.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.59	8.96		0.46	49.2	109	29.4	3.3	2.7	4.1	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.78	24.24		0.86	50.9	121	39.2	4.5	14.2	21.3	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.49	12.50		0.46	51.8	101	24.5	2.5	2.7	4.1	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	0.49	15.15		0.80	53.4	101	24.5	2.4	13.2	19.8	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	0.49	18.52		0.80	54.9	101	24.5	2.3	13.3	20.0	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	0.39	12.12		0.46	55.8	93	19.6	1.7	2.4	3.6	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	0.49	25.00		0.80	57.4	101	24.5	2.2	13.5	20.2	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	0.39	14.81		0.46	58.3	93	19.6	1.6	2.5	3.7	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	0.49	12.50		0.46	59.2	101	24.5	2.1	2.9	4.4	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	0.59	15.00		0.46	60.1	109	29.4	2.6	3.2	4.8	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	0.49	10.64		0.46	61.0	101	24.5	2.0	2.9	4.4	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	0.59	11.32		0.46	61.9	109	29.4	2.5	3.3	4.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	0.88	15.00		0.88	63.6	127	44.1	4.0	17.8	26.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	0.88	15.00		0.88	65.4	127	44.1	3.8	18.4	27.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	0.78	11.94		0.86	67.1	121	39.2	3.2	18.7	28.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	0.88	15.00		0.88	68.8	127	44.1	3.6	19.4	29.1	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	0.88	13.43		0.88	70.5	127	44.1	3.5	19.9	29.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	0.88	11.25		0.88	72.2	127	44.1	3.4	20.3	30.4	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	1.08	13.75		0.91	74.0	137	52.6	4.1	20.7	31.0	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	1.37	9.52		0.94	75.9	150	62.4	4.9	21.0	31.5	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	0.98	8.85		0.90	77.6	132	49.0	3.5	21.9	32.8	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	1.76	15.00		0.98	79.5	164	73.5	5.7	21.4	32.1	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	1.76	14.17		0.98	81.5	164	73.5	5.5	22.1	33.1	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.40	1.86	14.29		0.99	83.4	168	76.0	5.6	22.5	33.8	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	2.06	15.79		0.93	85.2	174	80.7	5.9	22.7	34.1	6.2	22	40	26	22	21	29	27	--	--	3.4	5.1	6.2	--	--	--	--
11.80	1.86	13.57		0.99	87.2	168	76.0	5.3	23.8	35.7	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00																											

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

2

riferimento

420-2014

certificato n°

6473

Committente: **Comune di Concordia s/S**
Cantiere: **Nuovo centro polifunzionale**
Località: **Concordia - Via Togliatti**

U.M.: **MPa**
Pagina: **1/4**
Elaborato:

Data esec.: **05/12/2014**
Data certificato: **09/12/2014**
Falda: **-0.75 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	47.00	0									
0.40	9.00	16.00		0.88	53.00	17	5.9								
0.60	9.00	17.00		0.88	60.00	15	6.7								
0.80	10.00	19.00		0.98	60.00	17	6.0								
1.00	9.00	18.00		0.88	33.00	27	3.7								
1.20	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
1.40	6.00	12.00		0.59	20.00	30	3.3								
1.60	4.00	7.00		0.39	27.00	15	6.8								
1.80	4.00	8.00		0.39	33.00	12	8.3								
2.00	5.00	10.00		0.49	27.00	19	5.4								
2.20	4.00	8.00		0.39	27.00	15	6.8								
2.40	5.00	9.00		0.49	40.00	13	8.0								
2.60	6.00	12.00		0.59	40.00	15	6.7								
2.80	7.00	13.00		0.69	47.00	15	6.7								
3.00	8.00	15.00		0.78	40.00	20	5.0								
3.20	6.00	12.00		0.59	27.00	22	4.5								
3.40	5.00	9.00		0.49	27.00	19	5.4								
3.60	4.00	8.00		0.39	33.00	12	8.3								
3.80	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
4.00	5.00	11.00		0.49	33.00	15	6.6								
4.20	5.00	10.00		0.49	47.00	11	9.4								
4.40	6.00	13.00		0.59	60.00	10	10.0								
4.60	7.00	16.00		0.69	40.00	18	5.7								
4.80	5.00	11.00		0.49	53.00	9	10.6								
5.00	7.00	15.00		0.69	53.00	13	7.6								
5.20	7.00	15.00		0.69	60.00	12	8.6								
5.40	7.00	16.00		0.69	73.00	10	10.4								
5.60	9.00	20.00		0.88	53.00	17	5.9								
5.80	8.00	16.00		0.78	47.00	17	5.9								
6.00	7.00	14.00		0.69	53.00	13	7.6								
6.20	7.00	15.00		0.69	73.00	10	10.4								
6.40	9.00	20.00		0.88	60.00	15	6.7								
6.60	8.00	17.00		0.78	47.00	17	5.9								
6.80	6.00	13.00		0.59	60.00	10	10.0								
7.00	8.00	17.00		0.78	53.00	15	6.6								
7.20	7.00	15.00		0.69	33.00	21	4.7								
7.40	5.00	10.00		0.49	33.00	15	6.6								
7.60	4.00	9.00		0.39	20.00	20	5.0								
7.80	4.00	7.00		0.39	27.00	15	6.8								
8.00	4.00	8.00		0.39	27.00	15	6.8								
8.20	4.00	8.00		0.39	40.00	10	10.0								
8.40	6.00	12.00		0.59	60.00	10	10.0								
8.60	8.00	17.00		0.78	60.00	13	7.5								
8.80	10.00	19.00		0.98	60.00	17	6.0								
9.00	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4								
9.20	9.00	19.00		0.88	80.00	11	8.9								
9.40	12.00	24.00		1.18	67.00	18	5.6								
9.60	9.00	19.00		0.88	80.00	11	8.9								
9.80	11.00	23.00		1.08	93.00	12	8.5								
10.00	13.00	27.00		1.27	93.00	14	7.2								
10.20	14.00	28.00		1.37	87.00	16	6.2								
10.40	12.00	25.00		1.18	80.00	15	6.7								
10.60	12.00	24.00		1.18	93.00	13	7.8								
10.80	14.00	28.00		1.37	100.00	14	7.1								
11.00	14.00	29.00		1.37	107.00	13	7.6								
11.20	17.00	33.00		1.67	127.00	13	7.5								
11.40	19.00	38.00		1.86	153.00	12	8.1								
11.60	23.00	46.00		2.25	113.00	20	4.9								
11.80	17.00	34.00		1.67	160.00	11	9.4								
12.00	27.00	51.00		2.65	120.00	23	4.4								
12.20	19.00	37.00		1.86	127.00	15	6.7								
12.40	19.00	38.00		1.86	107.00	18	5.6								
12.60	16.00	32.00		1.57	93.00	17	5.8								
12.80	15.00	29.00		1.47	113.00	13	7.5								
13.00	19.00	36.00		1.86	107.00	18	5.6								
13.20	17.00	33.00		1.67	87.00	20	5.1								
13.40	14.00	27.00		1.37	60.00	23	4.3								
13.60	10.00	19.00		0.98	67.00	15	6.7								
13.80	10.00	20.00		0.98	93.00	11	9.3								
14.00	14.00	28.00		1.37	107.00	13	7.6								
14.20	16.00	32.00		1.57	120.00	13	7.5								
14.40	19.00	37.00		1.86	147.00	13	7.7								
14.60	23.00	45.00		2.25	187.00	12	8.1								
14.80	41.00	69.00		4.02	213.00	19	5.2								
15.00	35.00	67.00		3.43											

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

420-2014

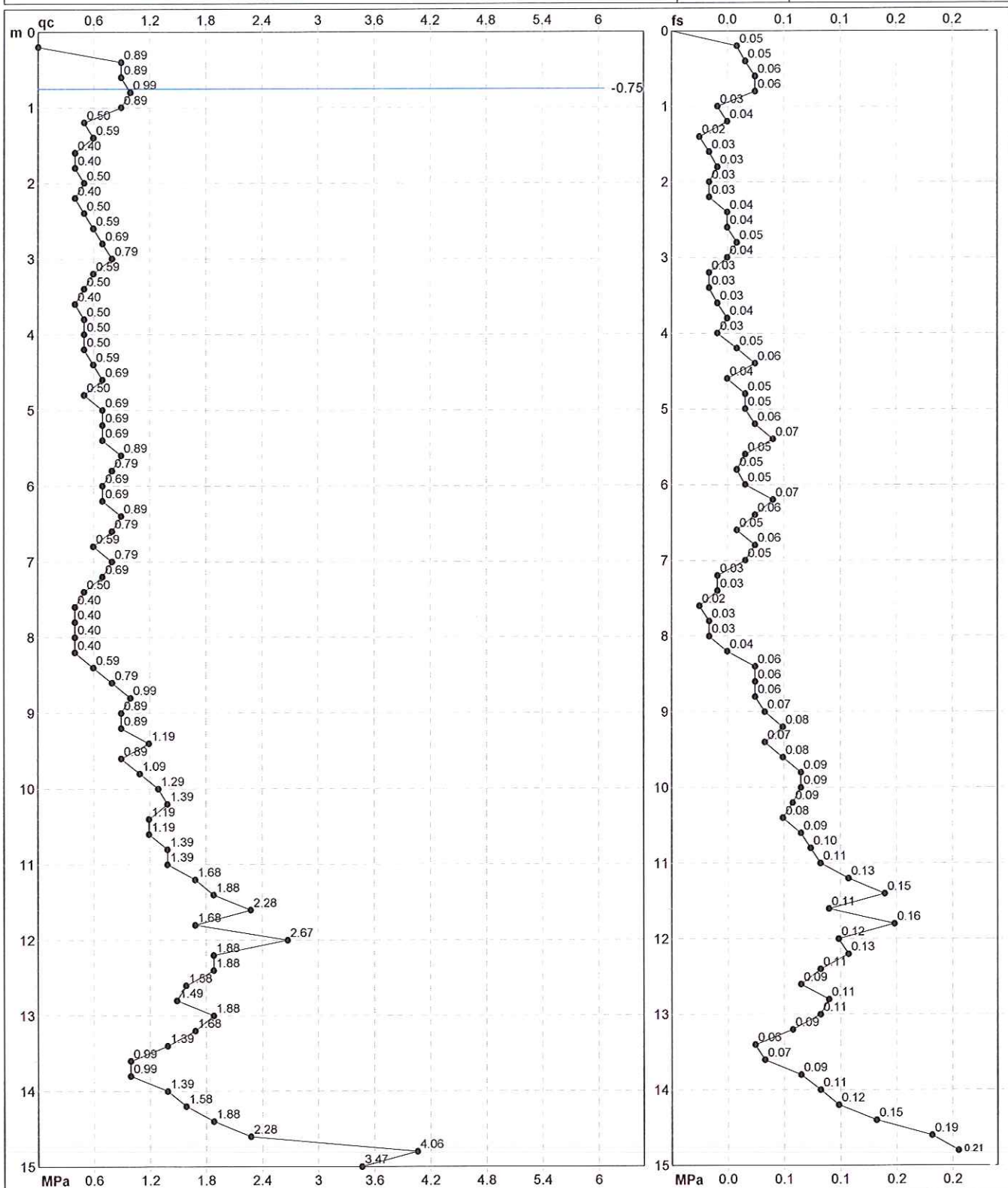
certificato n°

6473

Committente: Comune di Concordia s/S
Cantiere: Nuovo centro polifunzionale
Località: Concordia - Via Togliatti

U.M.: MPa
Scala: 1:75
Pagina: 2/4
Elaborato:

Data esec.: 05/12/2014
Data certificato: 09/12/2014
Falda: -0.75 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

2

riferimento
certificato n°

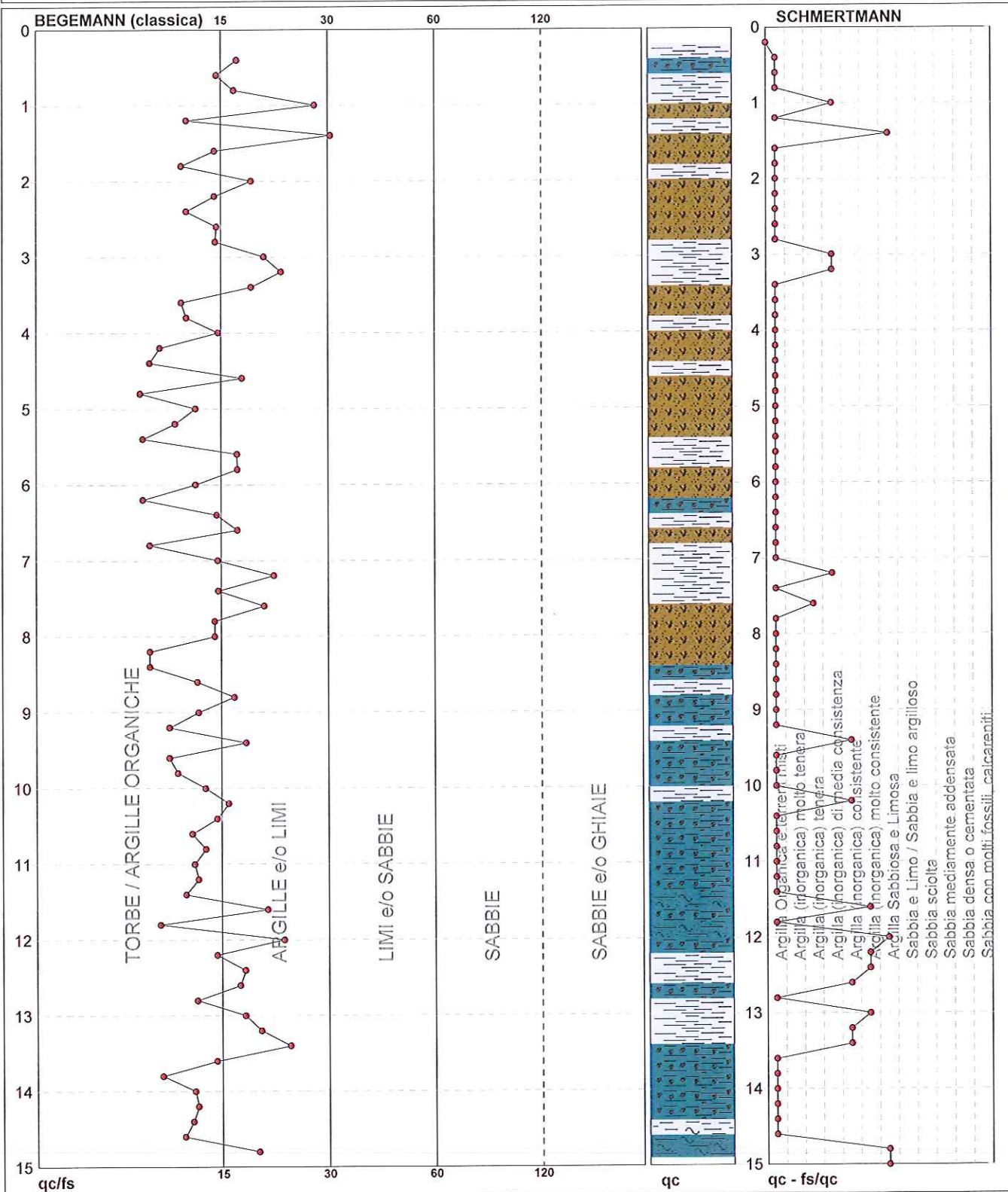
420-2014
6473

Committente: Comune di Concordia s/S
Cantiere: Nuovo centro polifunzionale
Località: Concordia - Via Togliatti

U.M.:
Scala:
Pagina:
Elaborato:

MPa
1:75
3/4

Data esec.: 05/12/2014
Data certificato: 09/12/2014
Falda: -0.75 m da p.c.



Torbe / Argille org. : 46 punti, 62.16%
Argille e/o Limi : 28 punti, 37.84%

Argilla Organica e terreni misti: 56 punti, 75.68%
Argilla (inorganica) tenera: 1 punti, 1.35%
Argilla (inorganica) media consist.: 4 punti, 5.41%
Argilla (inorganica) consistente: 5 punti, 6.76%
Argilla (inorganica) molto consist.: 4 punti, 5.41%

Argilla Sabbiosa e Limosa: 3 punti, 4.05%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

6473

U.M.:	MPa	Data eseg.:	05/12/2014
Pagina:	4/4	Data certificato:	09/12/2014
Elaborato:		Falda:	-0.75 m da p.c.

[illegible]

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

3

referimento

420-2014

certificato n°

6474

Committente: **Comune di Concordia s/S**
Cantiere: **Nuovo centro polifunzionale**
Località: **Concordia - Via Togliatti**

U.M.: **MPa** Data esec.: **05/12/2014**
Pagina: **1/4** Data certificato: **09/12/2014**
Elaborato: **Falda: -0.85 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	40.00	0									
0.40	6.00	12.00		0.59	60.00	10	10.0								
0.60	9.00	18.00		0.88	53.00	17	5.9								
0.80	8.00	16.00		0.78	73.00	11	9.1								
1.00	11.00	22.00		1.08	60.00	18	5.5								
1.20	9.00	18.00		0.88	27.00	33	3.0								
1.40	5.00	9.00		0.49	27.00	19	5.4								
1.60	4.00	8.00		0.39	27.00	15	6.8								
1.80	4.00	8.00		0.39	27.00	15	6.8								
2.00	4.00	8.00		0.39	20.00	20	5.0								
2.20	4.00	7.00		0.39	20.00	20	5.0								
2.40	4.00	7.00		0.39	27.00	15	6.8								
2.60	4.00	8.00		0.39	33.00	12	8.3								
2.80	6.00	11.00		0.59	40.00	15	6.7								
3.00	6.00	12.00		0.59	40.00	15	6.7								
3.20	6.00	12.00		0.59	33.00	18	5.5								
3.40	6.00	11.00		0.59	53.00	11	8.8								
3.60	7.00	15.00		0.69	13.00	54	1.9								
3.80	5.00	7.00		0.49	20.00	25	4.0								
4.00	5.00	8.00		0.49	27.00	19	5.4								
4.20	5.00	9.00		0.49	27.00	19	5.4								
4.40	5.00	9.00		0.49	40.00	13	8.0								
4.60	5.00	11.00		0.49	33.00	15	6.6								
4.80	6.00	11.00		0.59	47.00	13	7.8								
5.00	7.00	14.00		0.69	33.00	21	4.7								
5.20	5.00	10.00		0.49	33.00	15	6.6								
5.40	5.00	10.00		0.49	33.00	15	6.6								
5.60	6.00	11.00		0.59	40.00	15	6.7								
5.80	6.00	12.00		0.59	40.00	15	6.7								
6.00	6.00	12.00		0.59	47.00	13	7.8								
6.20	7.00	14.00		0.69	60.00	12	8.6								
6.40	8.00	17.00		0.78	60.00	13	7.5								
6.60	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4								
6.80	8.00	18.00		0.78	60.00	13	7.5								
7.00	8.00	17.00		0.78	67.00	12	8.4								
7.20	9.00	19.00		0.88	73.00	12	8.1								
7.40	9.00	20.00		0.88	40.00	23	4.4								
7.60	6.00	12.00		0.59	33.00	18	5.5								
7.80	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
8.00	6.00	12.00		0.59	40.00	15	6.7								
8.20	5.00	11.00		0.49	33.00	15	6.6								
8.40	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
8.60	6.00	12.00		0.59	53.00	11	8.8								
8.80	8.00	16.00		0.78	60.00	13	7.5								
9.00	9.00	18.00		0.88	80.00	11	8.9								
9.20	11.00	23.00		1.08	67.00	16	6.1								
9.40	9.00	19.00		0.88	73.00	12	8.1								
9.60	9.00	20.00		0.88	60.00	15	6.7								
9.80	8.00	17.00		0.78	53.00	15	6.6								
10.00	8.00	16.00		0.78	80.00	10	10.0								
10.20	11.00	23.00		1.08	100.00	11	9.1								
10.40	14.00	29.00		1.37	87.00	16	6.2								
10.60	13.00	26.00		1.27	100.00	13	7.7								
10.80	15.00	30.00		1.47	120.00	13	8.0								
11.00	18.00	36.00		1.76	133.00	14	7.4								
11.20	19.00	39.00		1.86	147.00	13	7.7								
11.40	23.00	45.00		2.25	120.00	19	5.2								
11.60	19.00	37.00		1.86	113.00	17	5.9								
11.80	17.00	34.00		1.67	120.00	14	7.1								
12.00	19.00	37.00		1.86	180.00	11	9.5								
12.20	29.00	56.00		2.84	113.00	26	3.9								
12.40	19.00	36.00		1.86	120.00	16	6.3								
12.60	19.00	37.00		1.86	133.00	14	7.0								
12.80	21.00	41.00		2.06	93.00	23	4.4								
13.00	14.00	28.00		1.37	107.00	13	7.6								
13.20	16.00	32.00		1.57	67.00	24	4.2								
13.40	10.00	20.00		0.98	67.00	15	6.7								
13.60	9.00	19.00		0.88	60.00	15	6.7								
13.80	9.00	18.00		0.88	73.00	12	8.1								
14.00	12.00	23.00		1.18	147.00	8	12.3								
14.20	23.00	45.00		2.25	187.00	12	8.1								
14.40	31.00	59.00		3.04	187.00	17	6.0								
14.60	45.00	73.00		4.41	133.00	34	3.0								
14.80	23.00	43.00		2.25	147.00	16	6.4								
15.00	36.00	58.00		3.53											

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

3

riferimento

420-2014

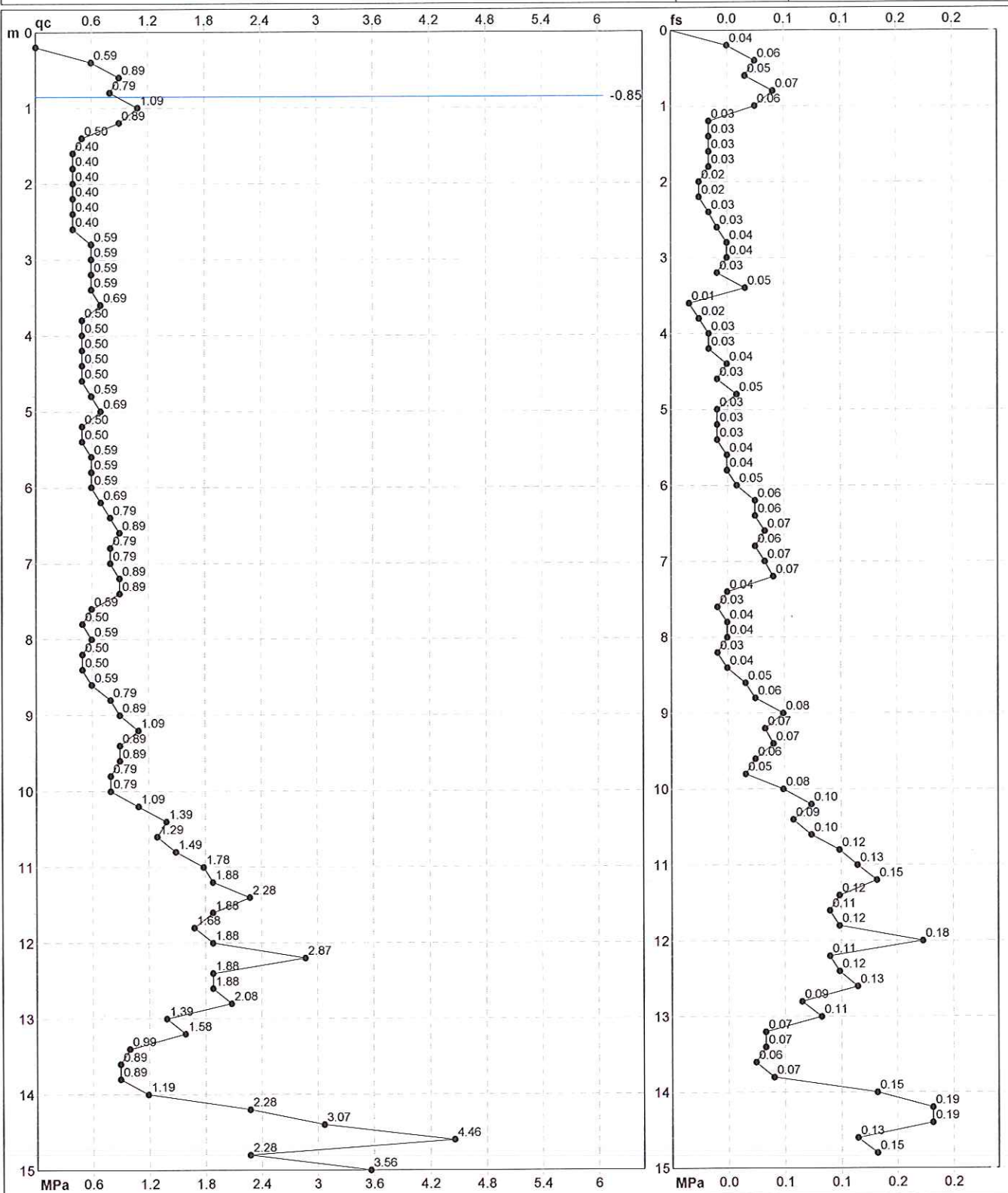
certificato n°

6474

Committente: **Comune di Concordia s/S**
Cantiere: **Nuovo centro polifunzionale**
Località: **Concordia - Via Togliatti**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:75**
Pagina: **2/4**
Elaborato:

Data esec.: **05/12/2014**
Data inizio: **09/12/2014**
Falda: **-0.85 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

3

riferimento

420-2014

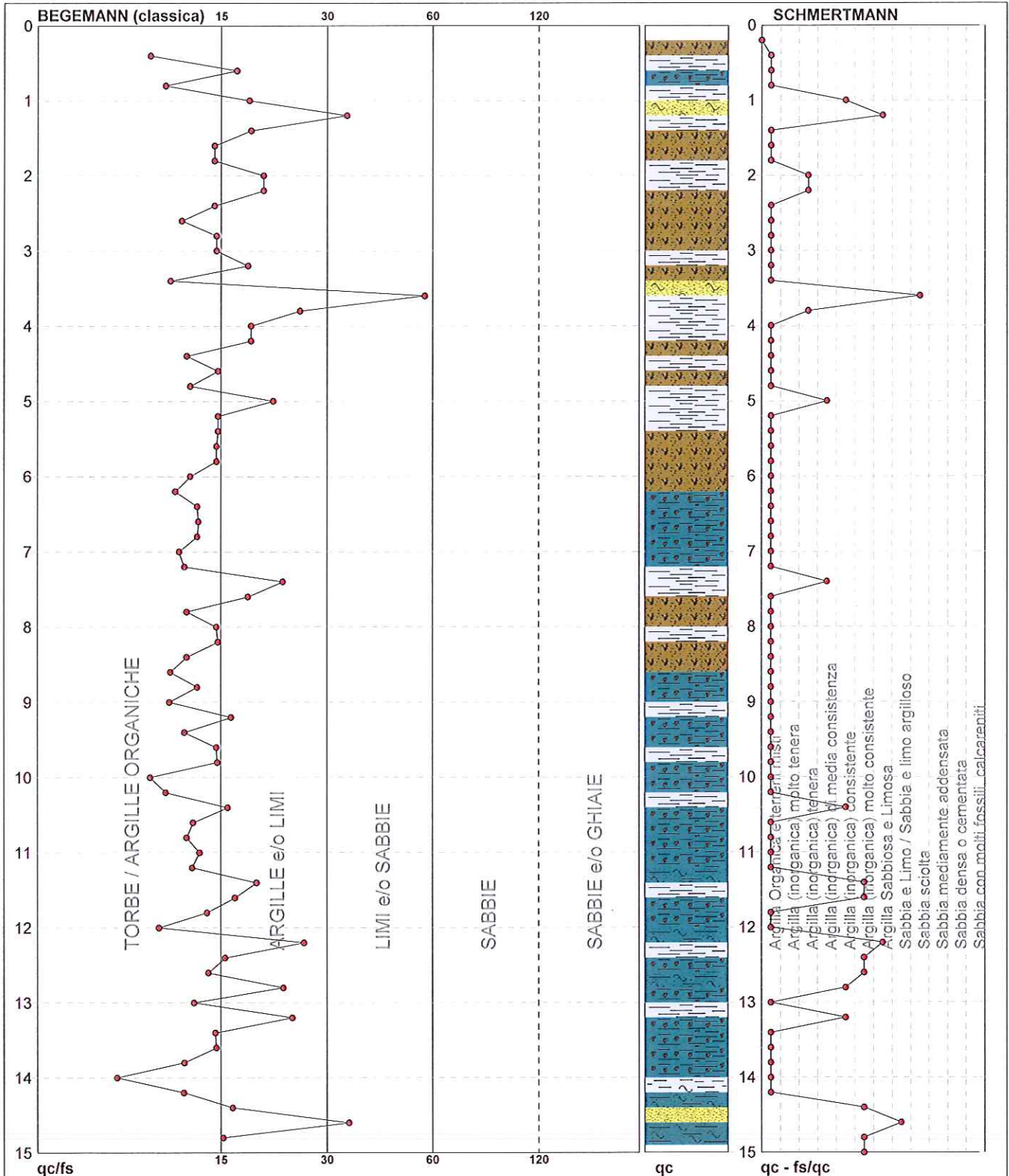
certificato n°

6474

Committente: Comune di Concordia s/S
Cantiere: Nuovo centro polifunzionale
Località: Concordia - Via Togliatti

U.M.: MPa
Scala: 1:75
Pagina: 3/4
Elaborato:

Data esec.: 05/12/2014
Data certificato: 09/12/2014
Falda: -0.85 m da p.c.



Torbe / Argille org. : 44 punti, 59.46%
Argille e/o Limi : 27 punti, 36.49%
Limi e/o Sabbie : 3 punti, 4.05%

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

54 punti, 72.97%
3 punti, 4.05%
2 punti, 2.70%
4 punti, 5.41%
6 punti, 8.11%

Argilla Sabbiosa e Limosa:
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:
Sabbia sciolta:

2 punti, 2.70%
1 punti, 1.35%
1 punti, 1.35%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

6474

Falda: -0.85 m da p.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ_{Sc} (°)	ϕ_{Ca} (°)	ϕ_{Ko} (°)	ϕ_{DB} (°)	ϕ_{DM} (°)	ϕ_{Me} (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	--	--		1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	0.59	10.00		1.46	6.5	109	29.4	41.5	1.2	1.8	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	0.88	16.98		1.88	10.2	127	44.1	39.3	7.5	11.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	0.78	10.96		1.86	13.8	121	39.2	23.1	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.08	18.33		0.91	15.6	137	52.6	28.7	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.88	33.33		0.85	17.3	127	44.1	20.3	7.5	11.2	3.7	32	41	29	26	25	33	26	--	1.5	2.2	2.6	
1.40	0.49	18.52		0.80	18.8	101	24.5	8.7	4.5	6.7	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	0.39	14.81		0.46	19.7	93	19.6	6.2	1.1	1.6	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	0.39	14.81		0.46	20.6	93	19.6	5.9	1.1	1.7	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.39	20.00		0.78	22.2	93	19.6	5.4	6.0	9.1	2.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.39	20.00		0.78	23.7	93	19.6	5.0	6.5	9.8	2.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.39	14.81		0.46	24.6	93	19.6	4.7	1.3	1.9	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.39	12.12		0.46	25.5	93	19.6	4.5	1.3	1.9	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.59	15.00		0.46	26.4	109	29.4	7.2	1.4	2.2	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.59	15.00		0.46	27.3	109	29.4	6.9	1.5	2.2	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.59	18.18		0.82	28.9	109	29.4	6.4	7.5	11.2	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.59	11.32		0.46	29.8	109	29.4	6.2	1.6	2.4	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.69	53.85		0.83	31.4	115	34.3	7.0	7.9	11.8	3.2	8	39	25	22	21	28	26	--	1.1	1.7	2.1	
3.80	0.49	25.00		0.80	33.0	101	24.5	4.3	9.2	13.8	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.49	18.52		0.80	34.6	101	24.5	4.1	9.7	14.5	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.49	18.52		0.60	36.1	101	24.5	3.9	10.2	15.2	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.49	12.50		0.46	37.0	101	24.5	3.7	1.9	2.9	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.49	15.15		0.80	38.6	101	24.5	3.6	10.9	16.3	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.59	12.77		0.46	39.5	109	29.4	4.3	2.0	3.0	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.69	21.21		0.84	41.2	115	34.3	5.0	11.4	17.0	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.49	15.15		0.80	42.7	101	24.5	3.1	11.8	17.7	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.49	15.15		0.80	44.3	101	24.5	3.0	12.1	18.1	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.59	15.00		0.46	45.2	109	29.4	3.7	2.4	3.6	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.59	15.00		0.46	46.1	109	29.4	3.6	2.5	3.7	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.59	12.77		0.46	47.0	109	29.4	3.5	2.5	3.8	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.69	11.67		0.46	47.9	115	34.3	4.1	2.4	3.5	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.78	13.33		0.86	49.6	121	39.2	4.7	13.8	20.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.88	13.43		0.88	51.3	127	44.1	5.2	14.1	21.1	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.78	13.33		0.86	53.0	121	39.2	4.3	14.8	22.2	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.78	11.94		0.86	54.7	121	39.2	4.1	15.3	22.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.88	12.33		0.88	56.4	127	44.1	4.6	15.7	23.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	0.88	22.50		0.88	58.1	127	44.1	4.4	16.2	24.3	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	0.59	18.18		0.82	59.7	109	29.4	2.6	15.4	23.1	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	0.49	12.50		0.46	60.6	101	24.5	2.0	2.9	4.4	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	0.59	15.00		0.46	61.5	109	29.4	2.5	3.3	4.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	0.49	15.15		0.80	63.1	101	24.5	1.9	13.8	20.7	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	0.49	12.50		0.46	64.0	101	24.5	1.9	3.0	4.5	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	0.59	11.32		0.46	64.9	109	29.4	2.3	3.4	5.0	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	0.78	13.33		0.86	66.6	121	39.2	3.2	18.6	27.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	0.88	11.25		0.88	68.3	127	44.1	3.6	19.3	28.9	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	1.08	16.42		0.91	70.1	137	52.6	4.4	19.6	29.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	0.88	12.33		0.88	71.8	127	44.1	3.4	20.2	30.3	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	0.88	15.00		0.88	73.6	127	44.1	3.3	20.6	30.9	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	0.78	15.09		0.86	75.2	121	39.2	2.8	20.0	30.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	0.78	10.00		0.86	76.9	121	39.2	2.7	20.2	30.3	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	1.08	11.00		0.91	78.7	137	52.6	3.8	22.2	33.3	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	1.37	16.09		0.94	80.6	150	62.4	4.6	22.4	33.7	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	1.27	13.00		0.93	82.4	145	59.3	4.2	23.0	34.5	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	1.47	12.50		0.95	84.2	154	65.3	4.6	23.5	35.2	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	1.76	13.53		0.98	86.2	164	73.5	5.1	23.7	35.5	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	1.86	12.93		0.99	88.1	168	76.0	5.2	24.1	36.2	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.40	2.25	19.17		0.94	89.9	180	85.1	5.9	24.0	36.0	6.8	24	40	26	23	21	29	28	--	3.8	5.8	6.8	
11.60	1.86	16.81		0.99	91.9	168	76.0	5.0	25.4	38.1	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	1.67	14.17		0.97	93.8	161	70.9	4.4	26.2	39.3	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00	1.86	10.56		0.99	95.7	168	76.0	4.7	26.6	39.9	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20	2.84	25.66		0.96	97.6	197	96.3	6.2	25.6	38.4	8.5	30	40	27	23	22	30	29	--	4.7	7.1	8.5	
12.40	1.86	15.83		0.99	99.5	168	76.0	4.5	27.8	41.6	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.60	1.86	14.29		0.99	101.5	168	76.0	4.4	28.3	42.5	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.80	2.06	22.58		0.93	103.3	174	80.7	4.6	28.8	43.1	6.2	17	39	25	21	20	28	27	--	3.4	5.1	6.2	
13.00	1.37	13.08		0.94	105.1	150	62.4	3.3	29.4	44.1	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.20	1.57	23.88		0.96	107.0	157	68.2	3.6	30.2	45.3	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.40	0.98	14.93		0.90	108.8	132	49.0	2.3	26.5	39.8	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.60	0.88	15.00		0.88	110.5	127	44.1	2.0	24.7	37.1	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.80	0.88	12.33		0.88	112.2	127	44.1	2.0	24.8	37.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14.00	1.18	8.16		0.92	114.0	141	56.0	2.6	29.4	44.1	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14.20	2.25	12.30		0.94	115.9	180	85.1	4.3	32.4	48.5	6.8	17	39	25	21	20	28	28	--	3.8	5.6	6.8	
14.40	3.04	16.58		0.97	117.8	202	101.3	5.2	32.3	48.4	9.1	27	40	26	23	21	29	29	--	5.1	7.6	9.1	
14.60	4.41	33.83		0.91	119.6	232	--	--	--	--	--	40	41										

GEO GROUP s.r.l.

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

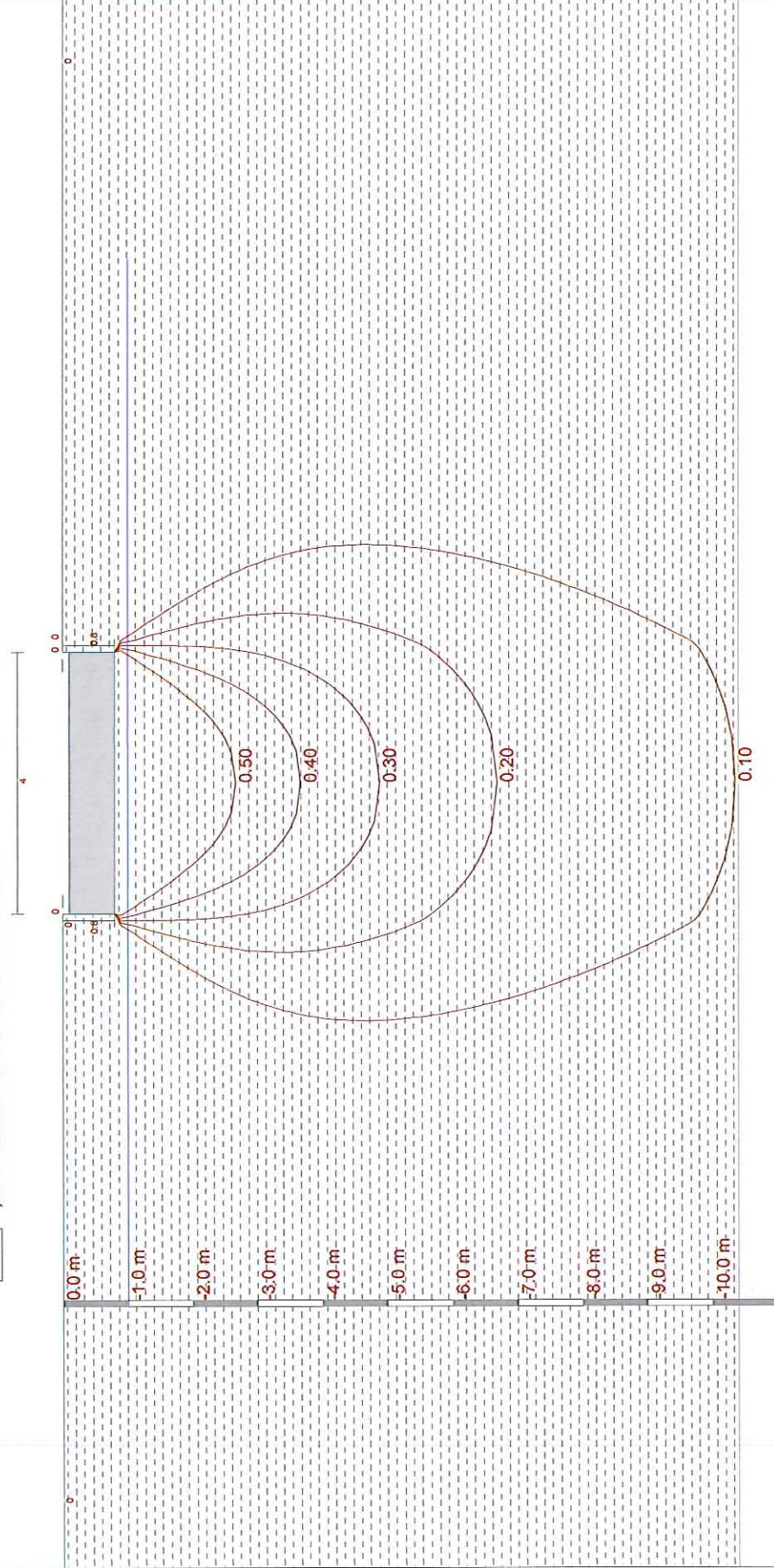
ALLEGATO N° 2

Verifiche geotecniche

N.1	SEZIONE GEOTECNICA MEDIA		Commitente: Località: CONCORDIA S/S - VIA TOGLIATTI Data: NUOVO CENTRO POLIFUNZIONALE					
Falda (m): 1.0		Note:						
Tipologia fondazione: platea								
Legenda: $\Phi_i(^{\circ})$ =angolo d'attrito - $C(kg/cm^2)$ =coesione - $E(kg/cm^2)$ =modulo di deformazione $P_v(kg/m^2)$ =peso di volume naturale								
H(m)				Descrizione	$\Phi_i(^{\circ})$	C (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	P_v (kg/m ²)
0.0	0.0			Argilla o argilla limosa poco consistente.	0	0.3	20.0	1117.3
1.0								
2.0								
3.0								
4.0								
5.0								
6.0								
7.0								
8.0								
9.0								
10.0								
11.0	10.4			Argilla o argilla limosa mediamente consistente.	0	0.6	50.0	1100.0
12.0								
13.0	13.0			Argilla o argilla limosa consistente.	0	0.9	80.0	1200.0
14.0	14.0							
15.0								
16.0								
17.0								
18.0								
19.0								
20.0				Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	35	0.0	500.0	1200.0
21.0								
22.0								
23.0								
24.0								
25.0								

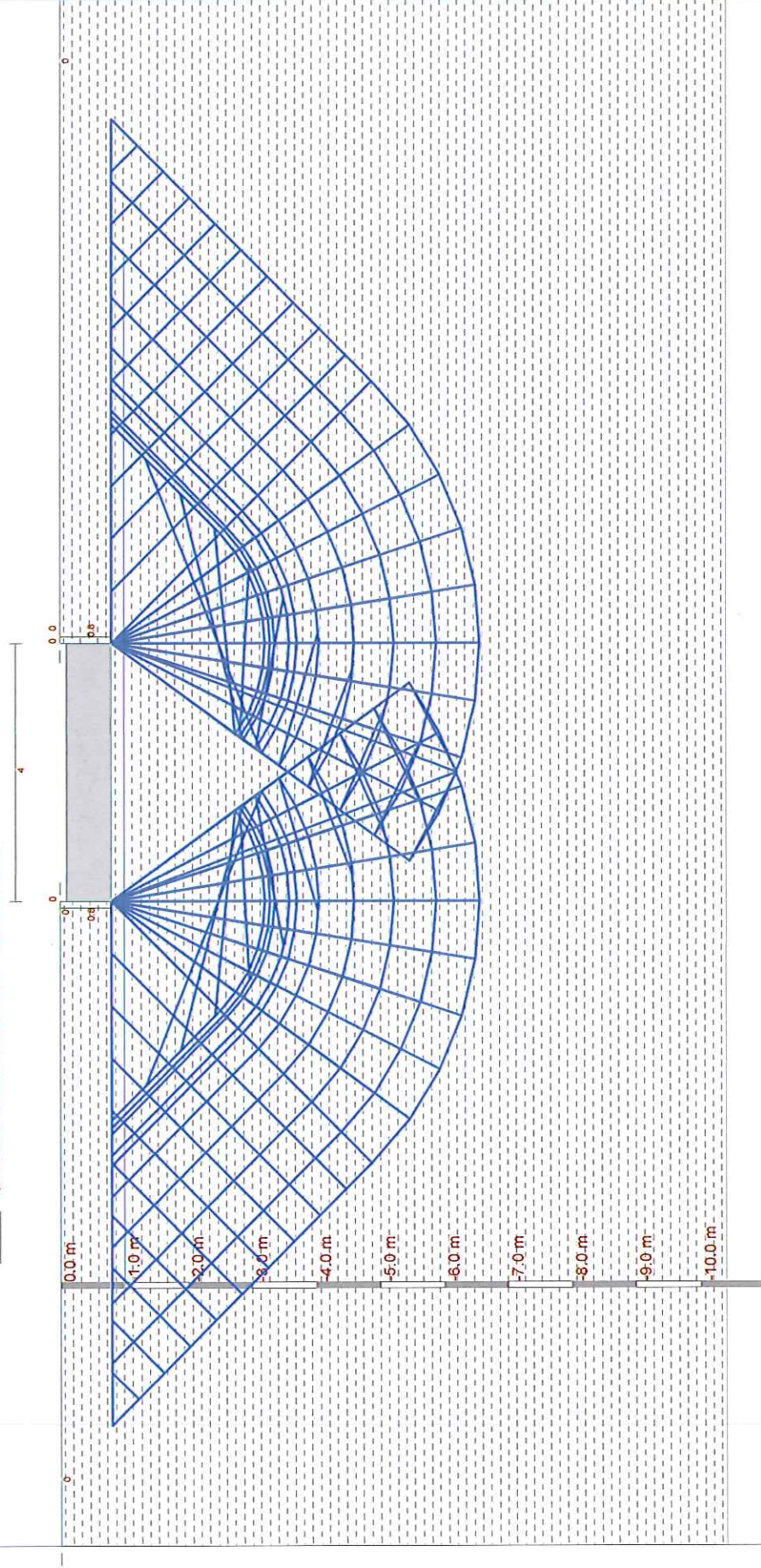
- 1) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- 2) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 3) Argilla o argilla limosa consistente.
- 4) Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata

Tensioni indotte met. Newmark

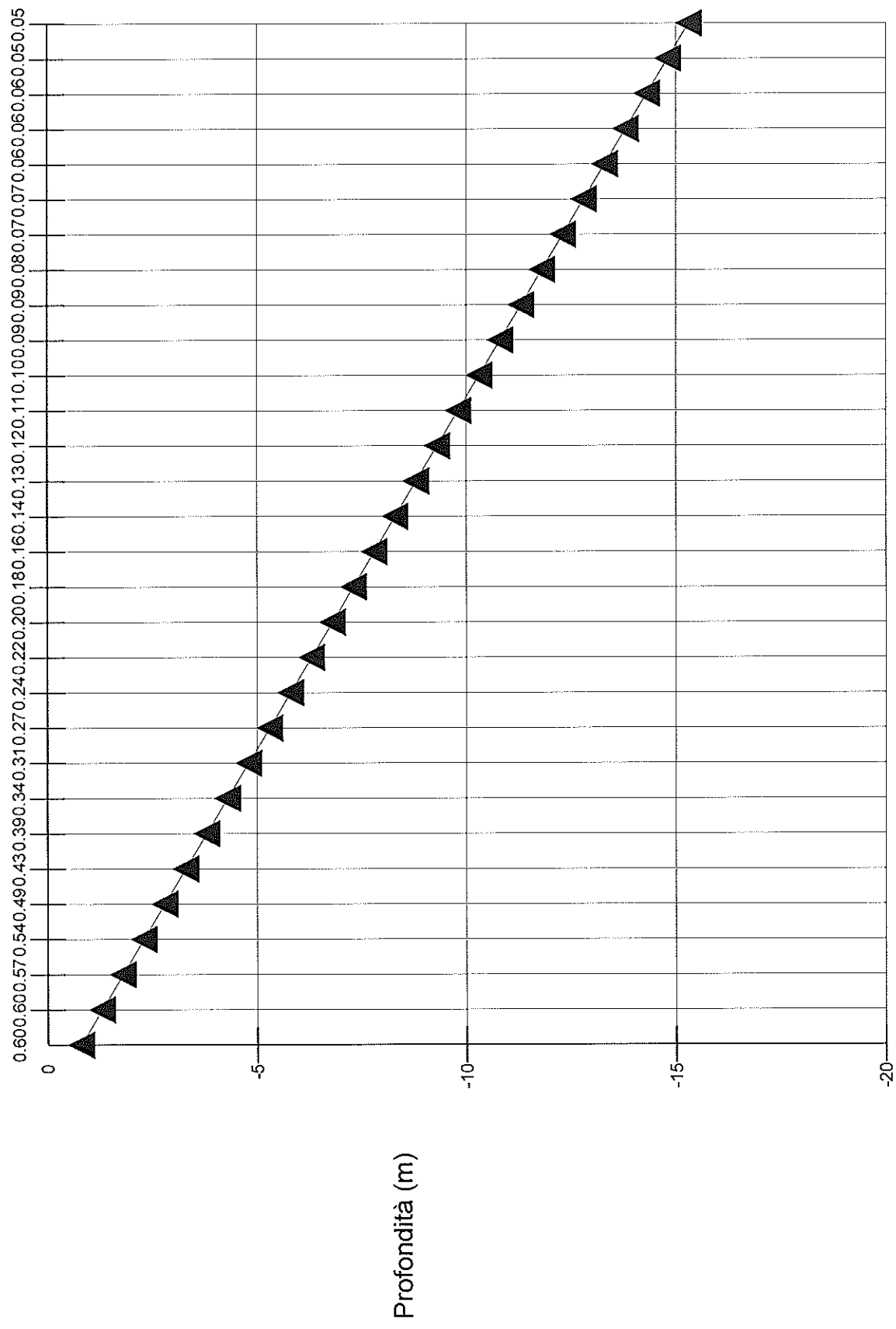


- 1) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- 2) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 3) Argilla o argilla limosa consistente.
- 4) Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata

Cuneo di portanza

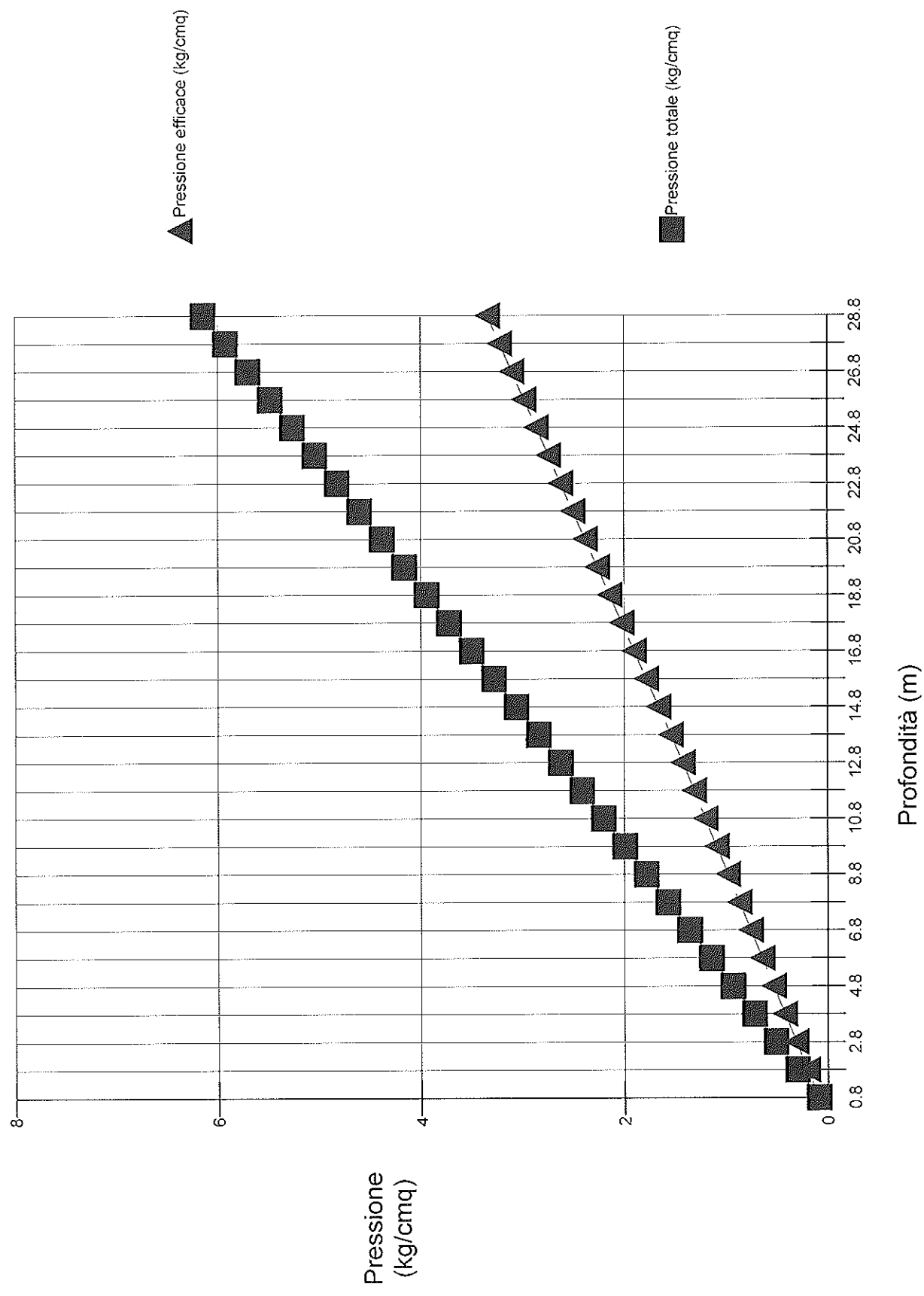


Andamento delle sollecitazioni: criterio di Newmark



Sovraccarico (kg/cm²)

Andamento della pressione totale ed efficace del terreno



DATI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE

Tipologia della fondazione:platea
Geometria della fondazione:
Larghezza della base (m):4.00
Lunghezza della fondazione (m):10.00
Eccentricità della base - lato corto (m):0.00
Eccentricità della base - lato lungo (m):0.00
Profondità di posa - lato destro (m):0.80
Profondità di posa - lato sinistro (m):0.80
Profondità dello scavo - lato destro (m):0.00
Profondità dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato destro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Inclinazione del pendio - lato a valle (°):0
Inclinazione del pendio - lato a monte (°):0
Inclinazione della base - lato corto (°):0
Inclinazione della base - lato lungo (°):0
Inclinazione del carico - lato corto (°):0
Inclinazione del carico - lato lungo (°):0
Fondazione di tipo:elastica
Densità del calcestruzzo (kg/mc):2500.00

FALDA

Profilo della falda

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-1.00
2	10.00	-1.00

STRATIGRAFIA

Profilo strato n. 1

N	X (m)	Y(m)
1	-10.00	0.00
2	0.00	0.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	-0.80
6	4.00	-0.80
7	4.00	0.00
8	4.00	0.00
9	4.00	0.00
10	14.00	0.00

Strato n. 1 - Descrizione: Argilla o argilla limosa poco consistente.

Densità relativa Dr(%): 0
Angolo d'attrito Phi(°):0.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1750.00
Gamma saturo (kg/mc):2050.00
Coesione (kg/cm²):0.30
Mod.deformazione (kg/cm²):20.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:1.00
Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
Coef.di Poisson:0.50
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cm²):0.00

Profilo strato n. 2

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-10.40
2	10.00	-10.40

Strato n. 2 - Descrizione: Argilla o argilla limosa mediamente consistente.

Densità relativa Dr(%): 0
Angolo d'attrito Phi(°):0.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1800.00
Gamma saturo (kg/mc):2100.00
Coesione (kg/cm²):0.60
Mod.deformazione (kg/cm²):50.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:2.00
Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
Coef.di Poisson:0.40
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cm²):0.00

Profilo strato n. 3

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-13.00
2	10.00	-13.00

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

Densità relativa $Dr(\%)$: 0
Angolo d'attrito $\Phi(^{\circ})$:0.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1900.00
Gamma saturo (kg/mc):2200.00
Coesione (kg/cm²):0.90
Mod.deformazione (kg/cm²):80.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:3.00
Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
Coef.di Poisson:0.30
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cm²):0.00

Profilo strato n. 4

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-14.00
2	10.00	-14.00

Strato n. 4 - Descrizione: Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata

Densità relativa $Dr(\%)$: 45
Angolo d'attrito $\Phi(^{\circ})$:35.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1900.00
Gamma saturo (kg/mc):2200.00
Coesione (kg/cm²):0.00
Mod.deformazione (kg/cm²):500.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:1.00
Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
Coef.di Poisson:0.30
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cm²):0.00

PORTANZA DELLA FONDAZIONE

Profondità di calcolo:5.39
Criterio di calcolo:Terzaghi
Portanza limite della fondazione (kg/cm²):1.80
Coefficiente di sicurezza:3.00
Portanza ammissibile della fondazione (kg/cm²):0.60
Fattore di portanza N_q:1.00
Fattore di portanza N_g:0.00
Fattore di portanza N_c:5.71
Fattore di forma S_q:1.00
Fattore di forma S_g:1.00
Fattore di forma S_c:1.00
Fattore di approfondimento D_q:1.00
Fattore di approfondimento D_g:1.00
Fattore di approfondimento D_c:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi I_q:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi I_g:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi I_c:1.00
Fattore di inclinazione della base B_q:1.00
Fattore di inclinazione della base B_g:1.00
Fattore di inclinazione della base B_c:1.00
Fattore di pendio G_q:1.00
Fattore di pendio G_g:1.00
Fattore di pendio G_c:1.00
Peso di volume medio sopra il piano di posa (kg/mc):1117.31

CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE

Carico applicato sulla fondazione (kg/cm²) :0.60
Metodo di calcolo strati incoerenti:
Cedimento immediato (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00
Cedimento massimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento minimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento totale degli strati incoerenti (cm):0.00
Metodo di calcolo strati coesivi:Steinbrenner
Cedimento di consolidazione (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00
Cedimento della fondazione (cm):2.81
Cedimento totale degli strati coesivi (cm):2.81
Cedimento totale del terreno di fondazione (cm):2.81

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE

Calcolo del coefficiente di sottofondazione - K di Winkler.

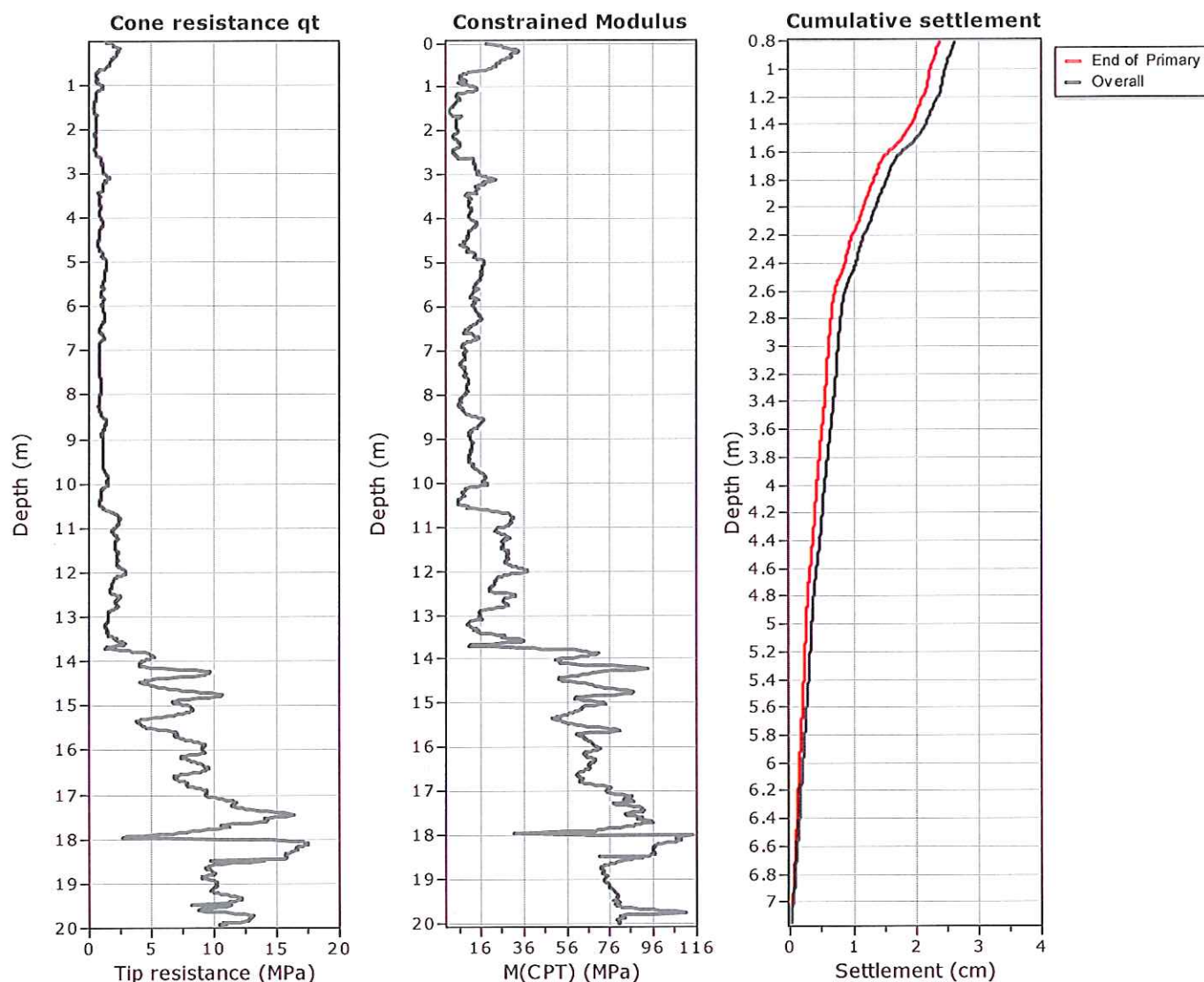
Criterio di calcolo :Bowles

Carico applicato sulla fondazione(kg/cm²):0.60

Cedimento di riferimento(cm):2.81

Coefficiente di sottofondazione (kg/cm²):0.65

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Calculation properties

Footing type: Rectangular
 Footing width: 4.00 (m)
 L/B: 2
 Footing pressure: 60.00 (kPa)
 Embedment depth: 0.80 (m)
 Footing is rigid: Yes
 Remove excavation load: No
 Apply 20% rule: Yes
 Calculate secondary settlements: Yes
 Time period for second. settlements: 12 months

* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

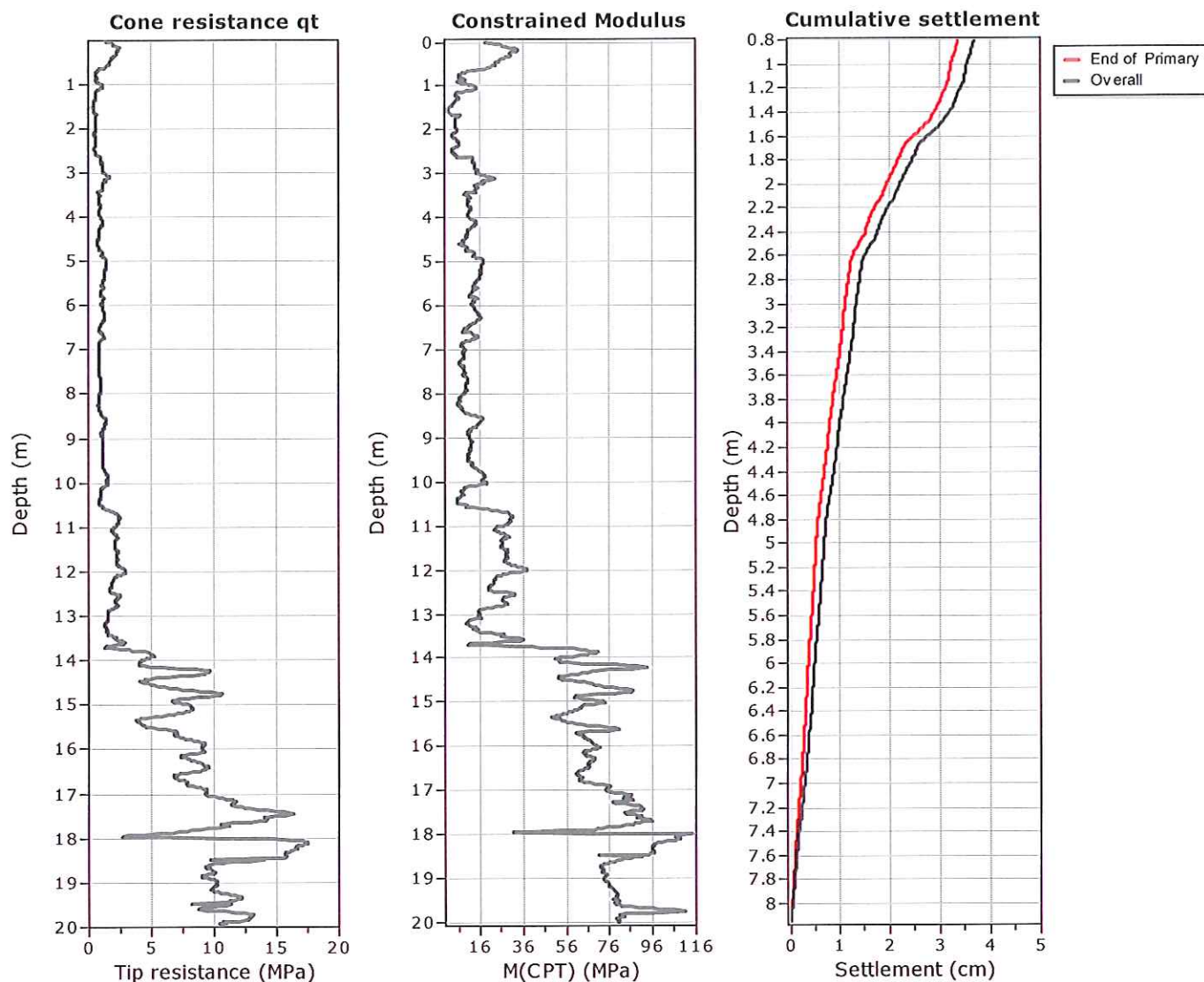
:: Tabular results ::

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	$M_{(CPT)}$ (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
316	7.10	7.12	0.02	6.31	11.81	8.51	0.20	0.003	0.001	0.004
317	7.12	7.14	0.02	6.33	11.77	8.97	0.20	0.003	0.001	0.004
318	7.14	7.16	0.02	6.35	11.73	9.45	0.20	0.002	0.001	0.004

Total primary settlement: 2.36**Total secondary settlement: 0.25****Total calculated settlement: 2.61****Abbreviations**

Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
$M_{(CPT)}$:	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Calculation properties

Footing type: Rectangular

Footing width: 4.00 (m)

L/B: 2

Footing pressure: 60.00 (kPa)

Embedment depth: 0.80 (m)

Footing is rigid: No

Remove excavation load: No

Apply 20% rule: Yes

Calculate secondary settlements: Yes

Time period for second. settlements: 12 months

* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

:: Tabular results ::

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M _(CPT) (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
361	8.00	8.02	0.02	7.21	13.43	9.03	0.22	0.003	0.002	0.005
362	8.02	8.04	0.02	7.23	13.37	8.49	0.22	0.003	0.002	0.005
363	8.04	8.06	0.02	7.25	13.31	7.97	0.22	0.003	0.002	0.005
364	8.06	8.08	0.02	7.27	13.26	7.95	0.22	0.003	0.002	0.005
365	8.08	8.10	0.02	7.29	13.20	7.49	0.22	0.004	0.002	0.005
366	8.10	8.12	0.02	7.31	13.14	6.77	0.22	0.004	0.002	0.006
367	8.12	8.14	0.02	7.33	13.09	6.77	0.22	0.004	0.002	0.006
368	8.14	8.16	0.02	7.35	13.03	6.75	0.22	0.004	0.002	0.006

Total primary settlement: 3.35**Total secondary settlement: 0.33****Total calculated settlement: 3.67****Abbreviations**

Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
M _(CPT) :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep

GEO GROUP s.r.l.

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

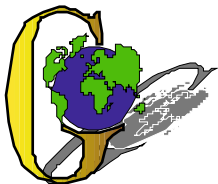
ALLEGATO N° 3

Indagini sismiche

GEO GROUP s.r.l.

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

Indagine sismica RE.MI



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

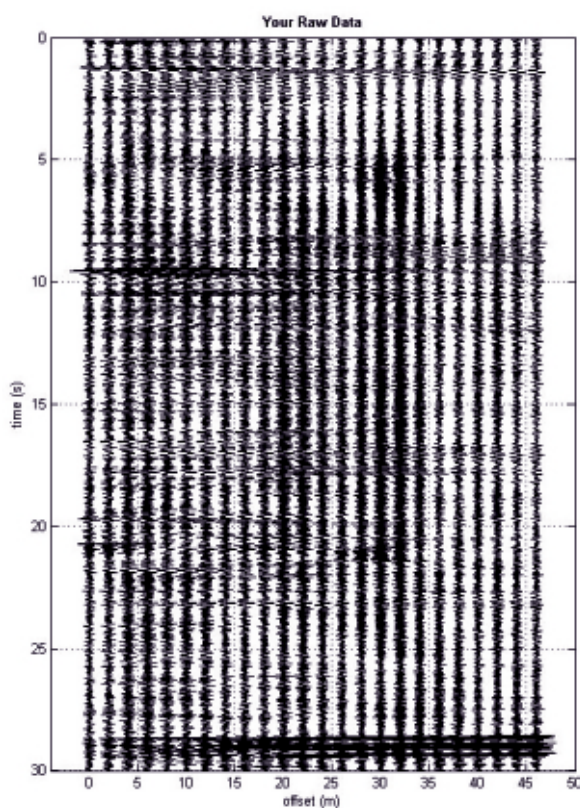
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA Re.Mi.

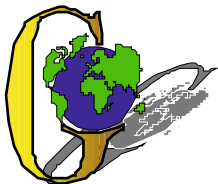
Cantiere: Concordia, Via Togliatti
Operatori: Dott.ssa Linda Veratti e Dott. Luca Pattuzzi
Data: 01/12/2014
Lavoro: Nuovo centro polifunzionale
Elaborazione: Dott.ssa Linda Veratti
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

**Re.Mi.
Rif. 689/14**



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

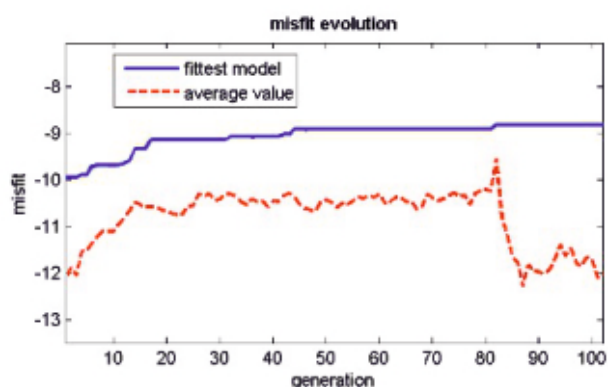
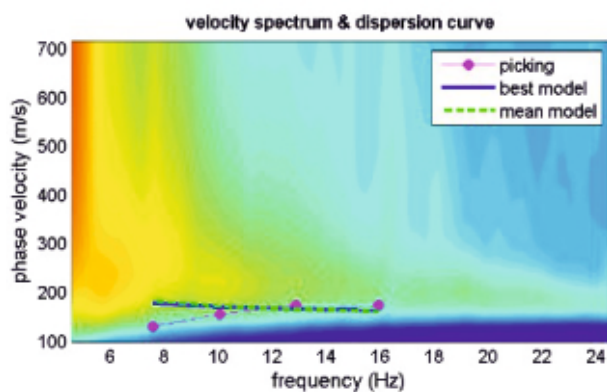
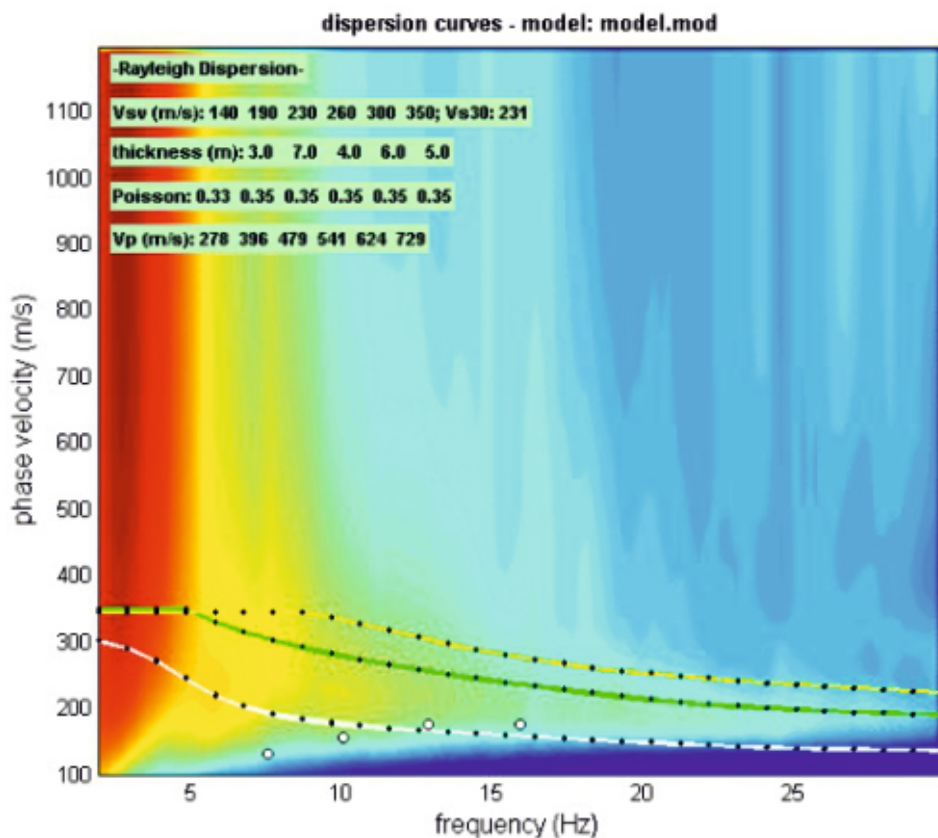
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

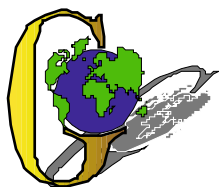
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

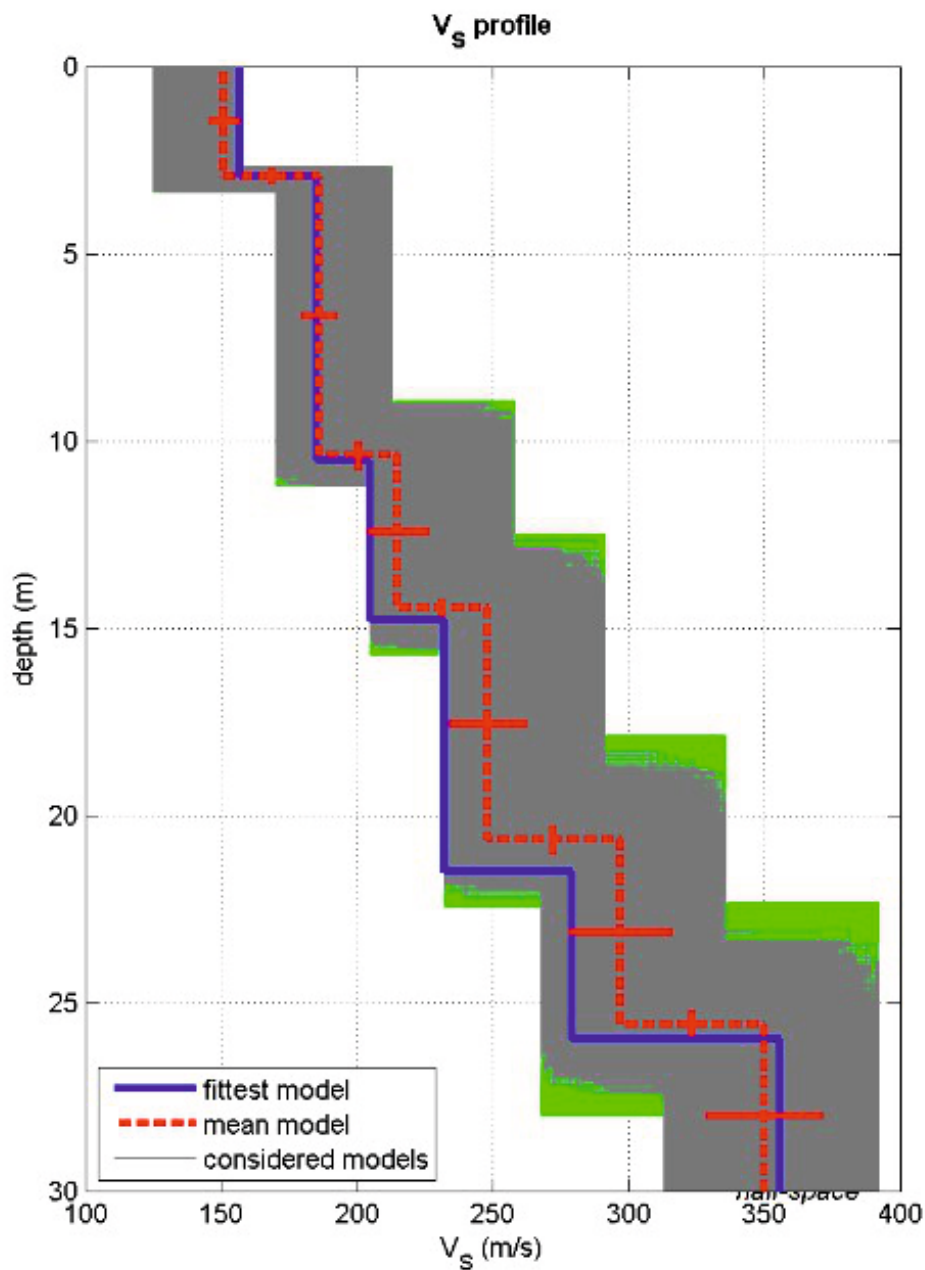
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE ReMI ESEGUITA



dataset: spettro.mat

dispersion curve: picking.cdp

Vs30 (best model): 219 m/s

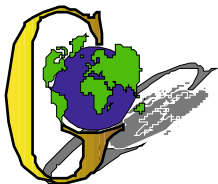
Vs30 (mean model): 226 m/s

BEST MODEL
Vs30 = 219 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

Indagine sismica MASW



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

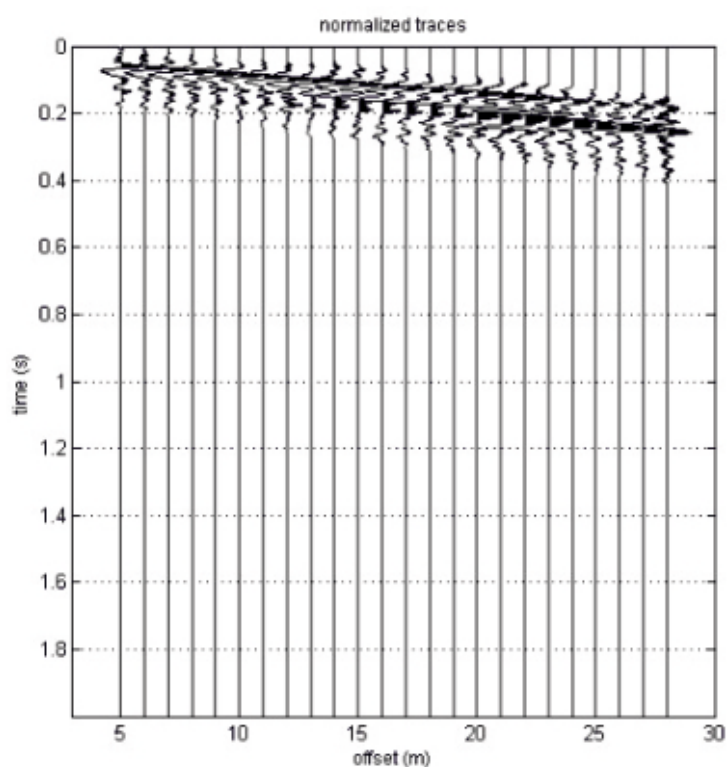
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

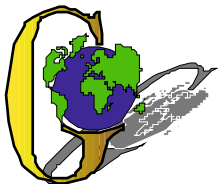
Cantiere: Concordia, Via Togliatti
Operatori: Dott.ssa Linda Veratti e Dott. Luca Pattuzzi
Data: 01/12/2014
Lavoro: Nuovo centro polifunzionale
Elaborazione: Dott.ssa Linda Veratti
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

MASW
Rif. 689/14



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

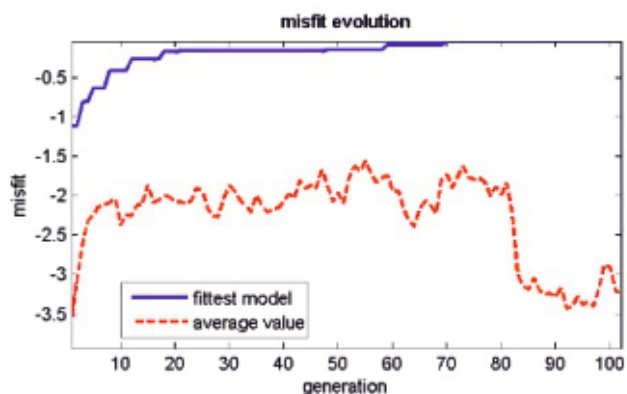
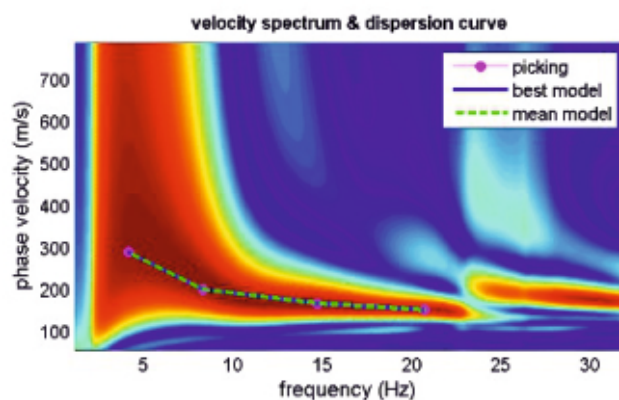
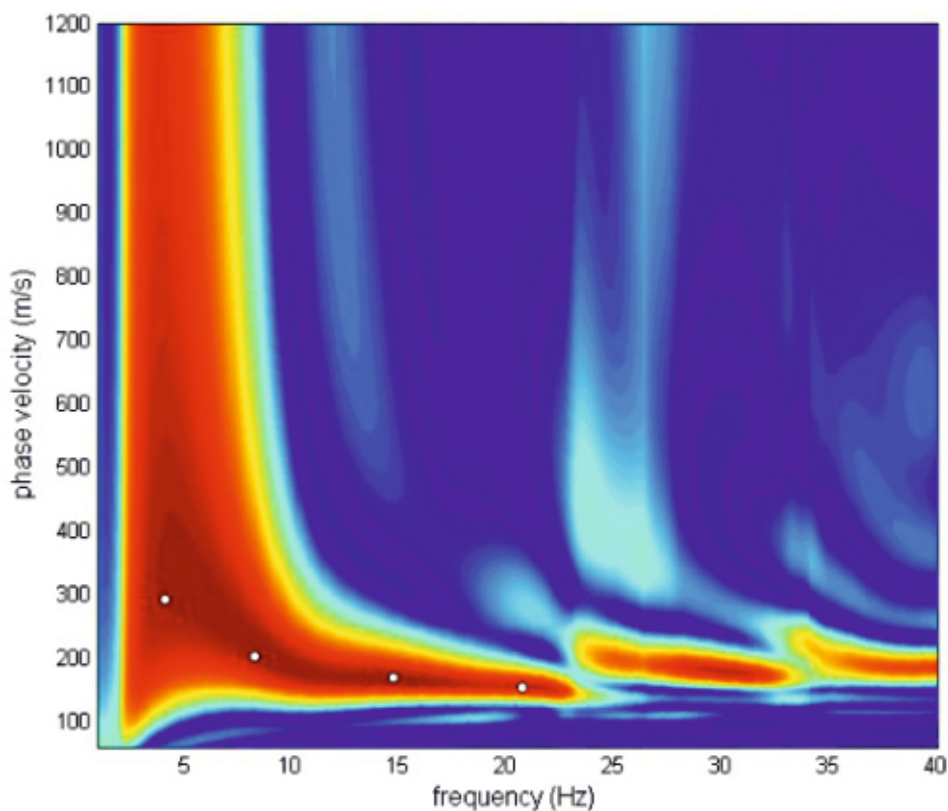
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

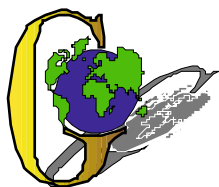
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

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





GEO GROUP s.r.l.

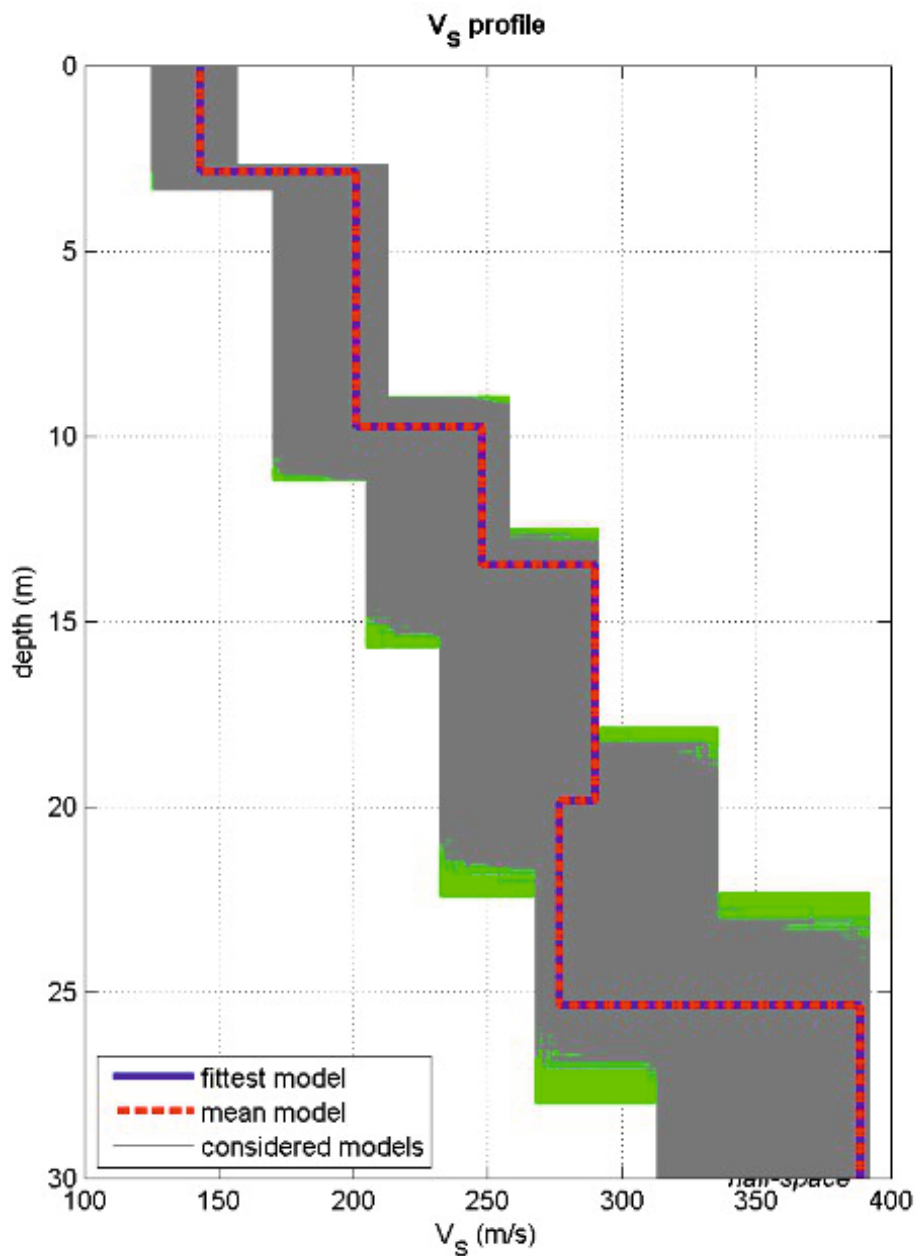
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 1279.dat

dispersion curve: pick.cdp

Vs30 (best model): 244 m/s

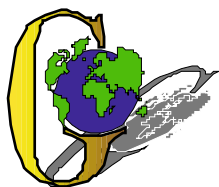
Vs30 (mean model): 244 m/s

BEST MODEL
Vs30 = 244 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**

Indagine sismica HVSR



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

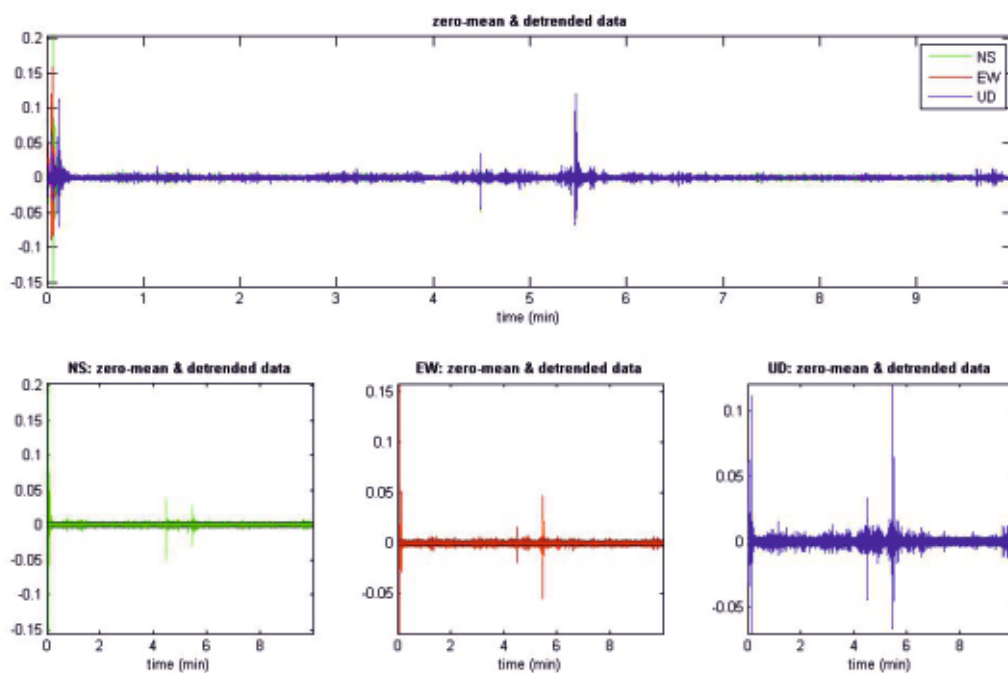
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA HVSR

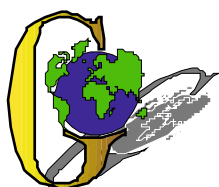
Cantiere: Concordia s/S – Via Togliatti
Operatori: Dott. Luca Pattuzzi e Dott.ssa Linda Veratti
Data: 01/12/2014
Lavoro: Nuovo centro polifunzionale
Elaborazione: Dott.ssa Linda Veratti
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

HVSR 1
Rif. 689/14



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

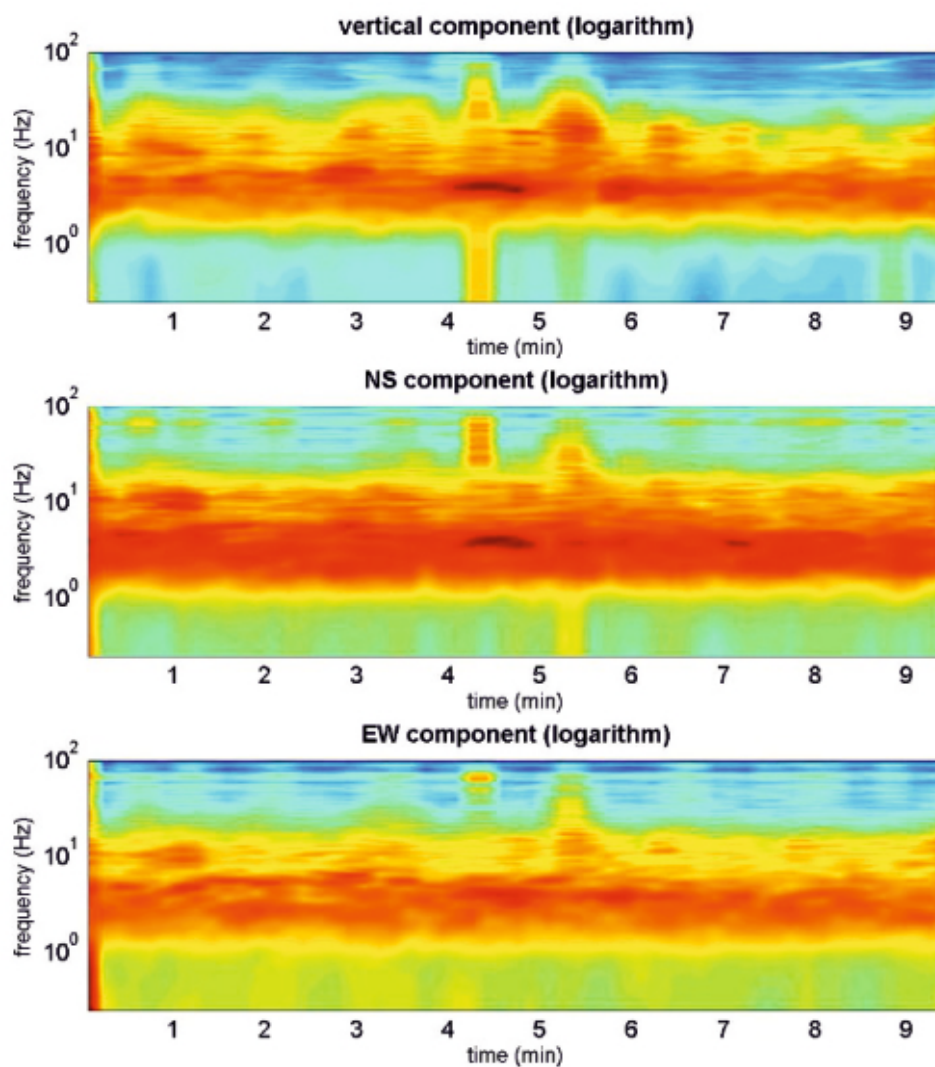
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

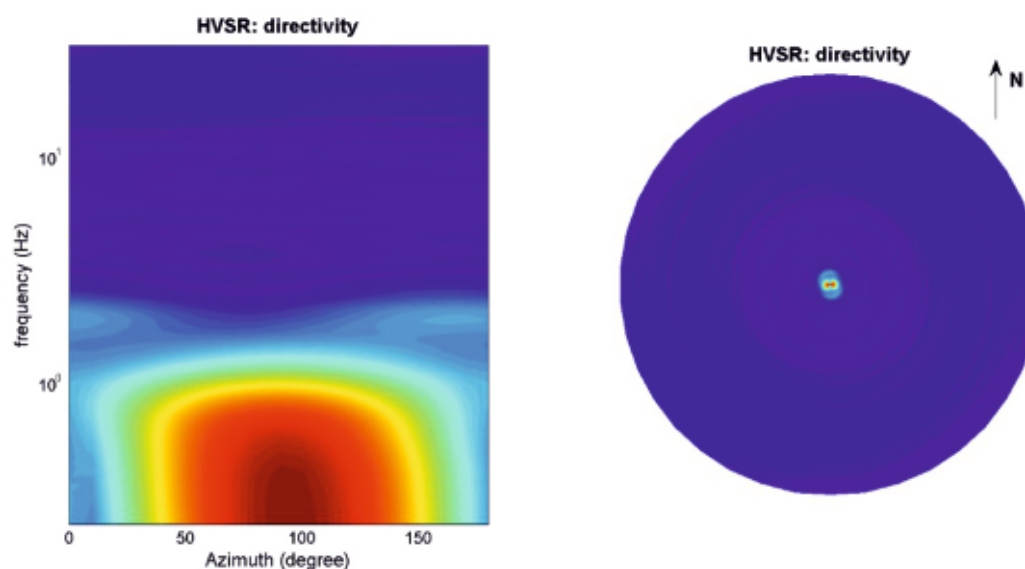
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

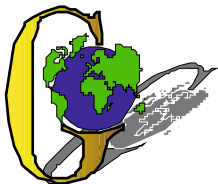
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

PERSISTENZA HVSR



DIREZIONALITA' HVSR





GEO GROUP s.r.l.

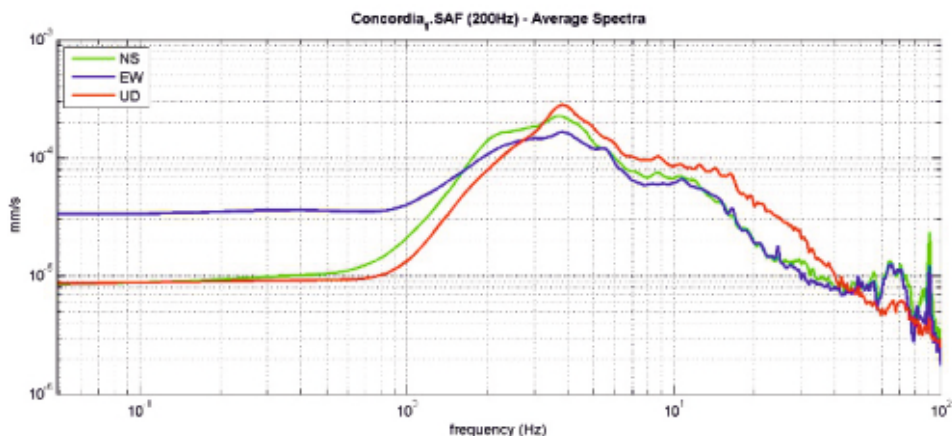
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

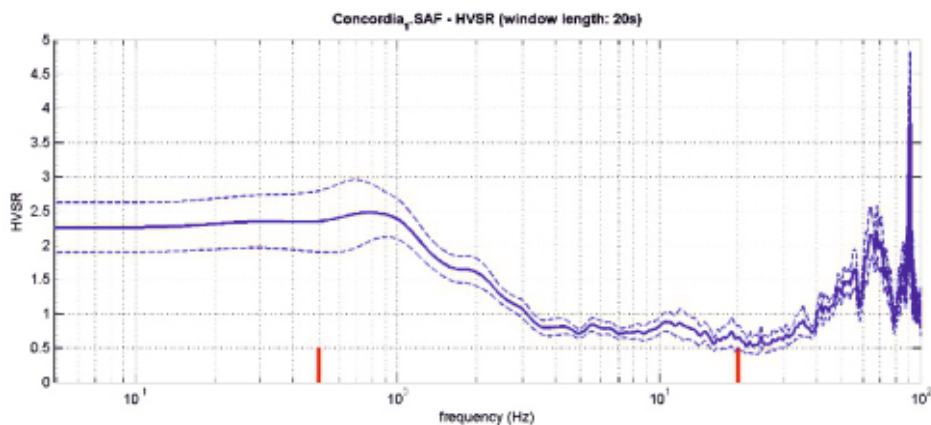
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

VELOCITA' SPETTRALI



RAPPORTO HVSR DERIVATO DALL'ACQUISIZIONE ESEGUITA



FREQUENZA DERIVATA

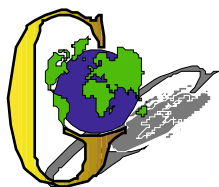
nessun picco stratigrafico rilevato

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

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $0.830 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $947 > 200$ (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 0.8Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.5 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)]$: $1.570 > 0.125$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.427 < 2$ (OK)



GEO GROUP s.r.l.

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

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

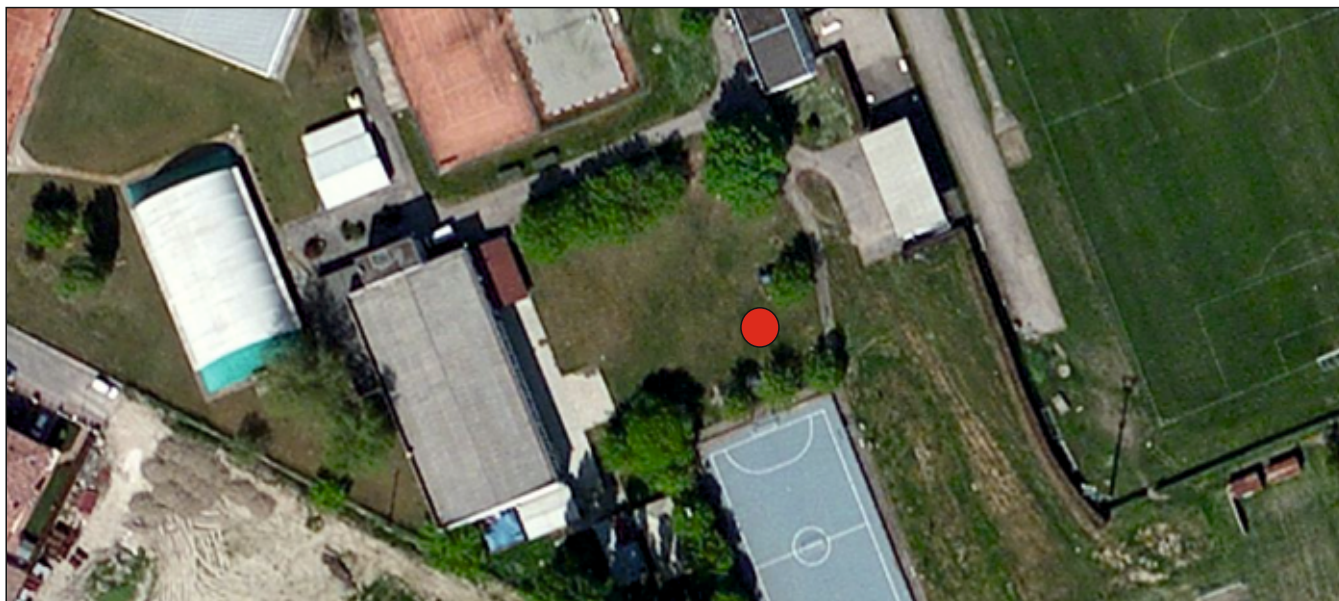
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

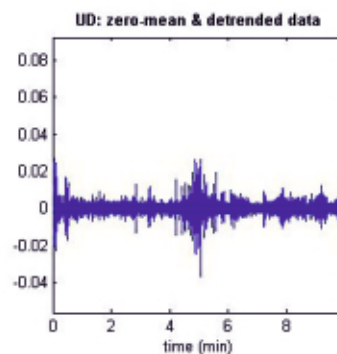
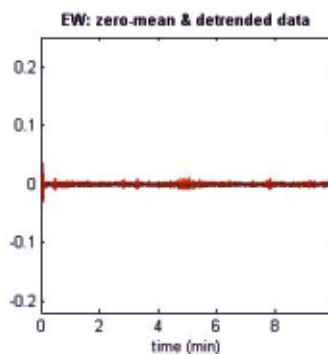
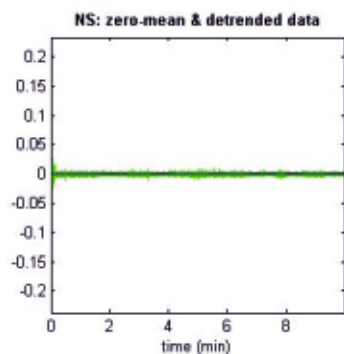
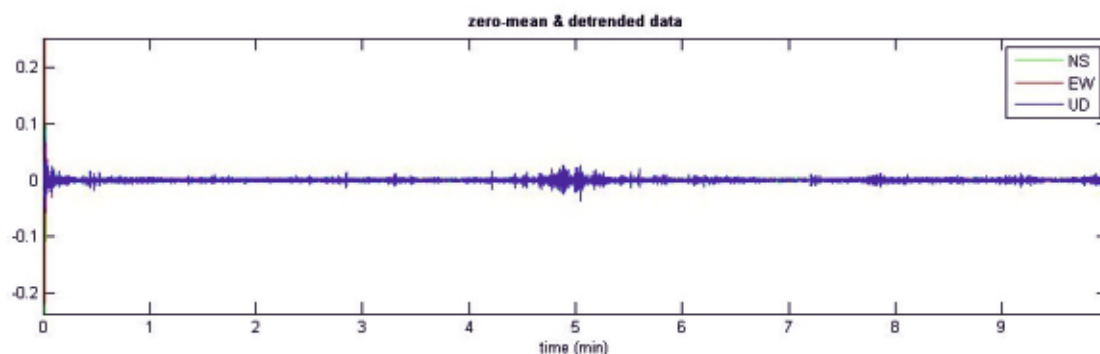
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA HVSR

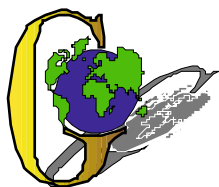
Cantiere: Concordia s/S – Via Togliatti
Operatori: Dott. Luca Pattuzzi e Dott.ssa Linda Veratti
Data: 01/12/2014
Lavoro: Nuovo centro polifunzionale
Elaborazione: Dott.ssa Linda Veratti
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

HVSR 2
Rif. 689/14



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

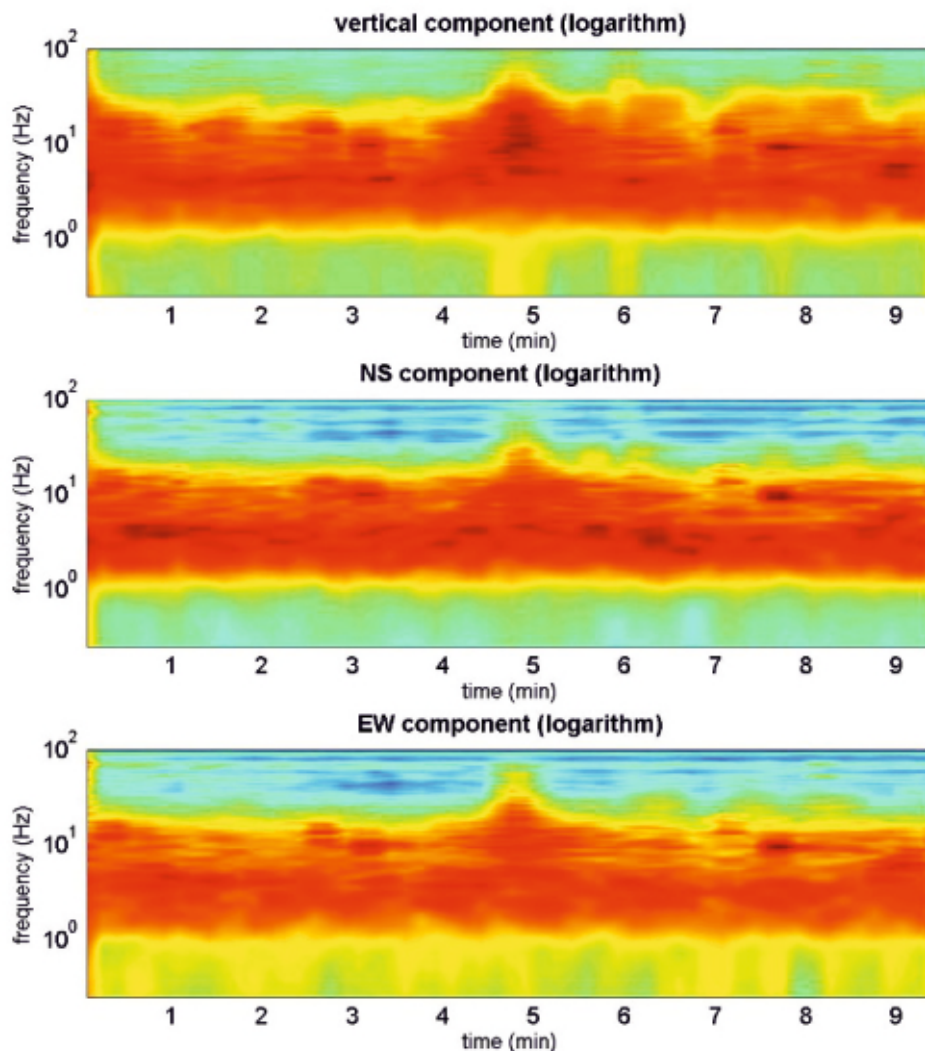
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

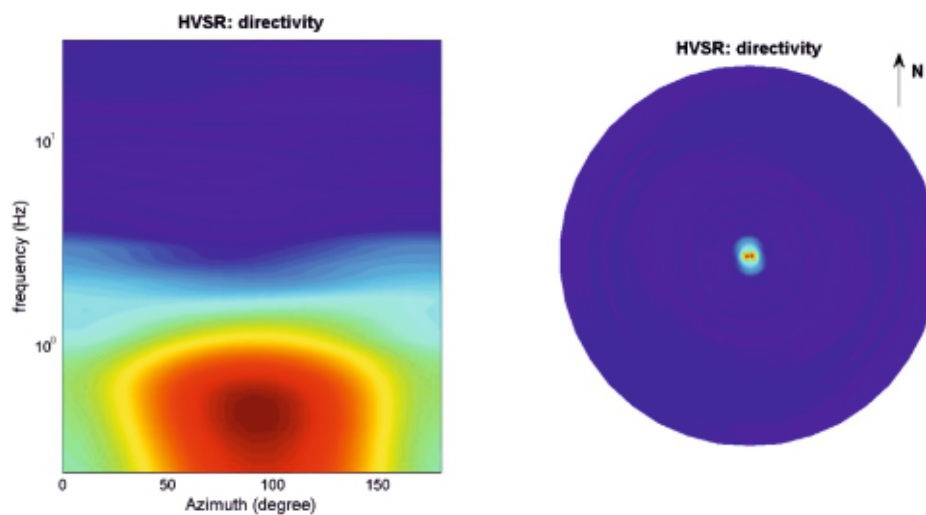
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

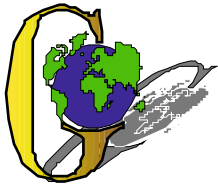
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

PERSISTENZA HVSR



DIREZIONALITA' HVSR





GEO GROUP s.r.l.

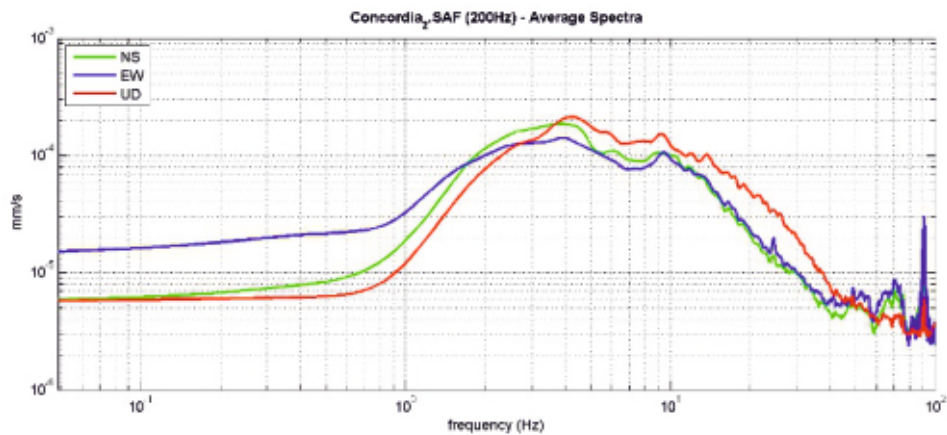
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

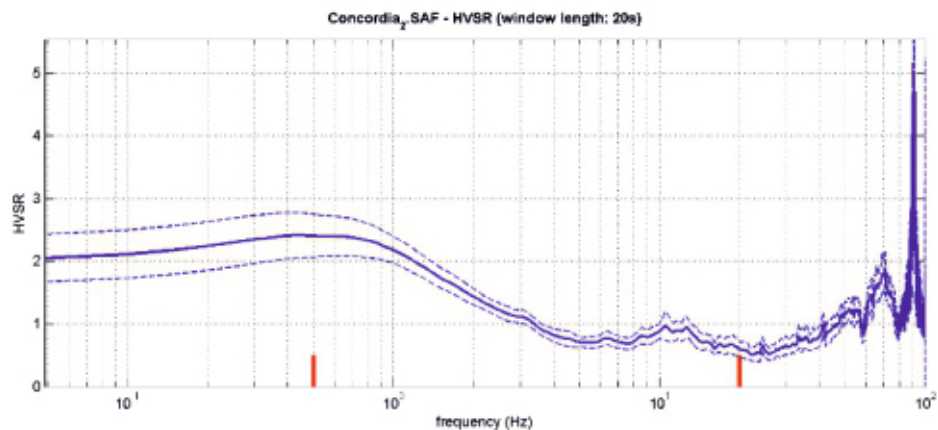
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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. $[f_0 > 10/Lw]$: $0.537 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $613 > 200$ (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. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.4 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)]$: $2.224 > 0.081$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.346 < 2$ (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° 4

Verifica alla 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**

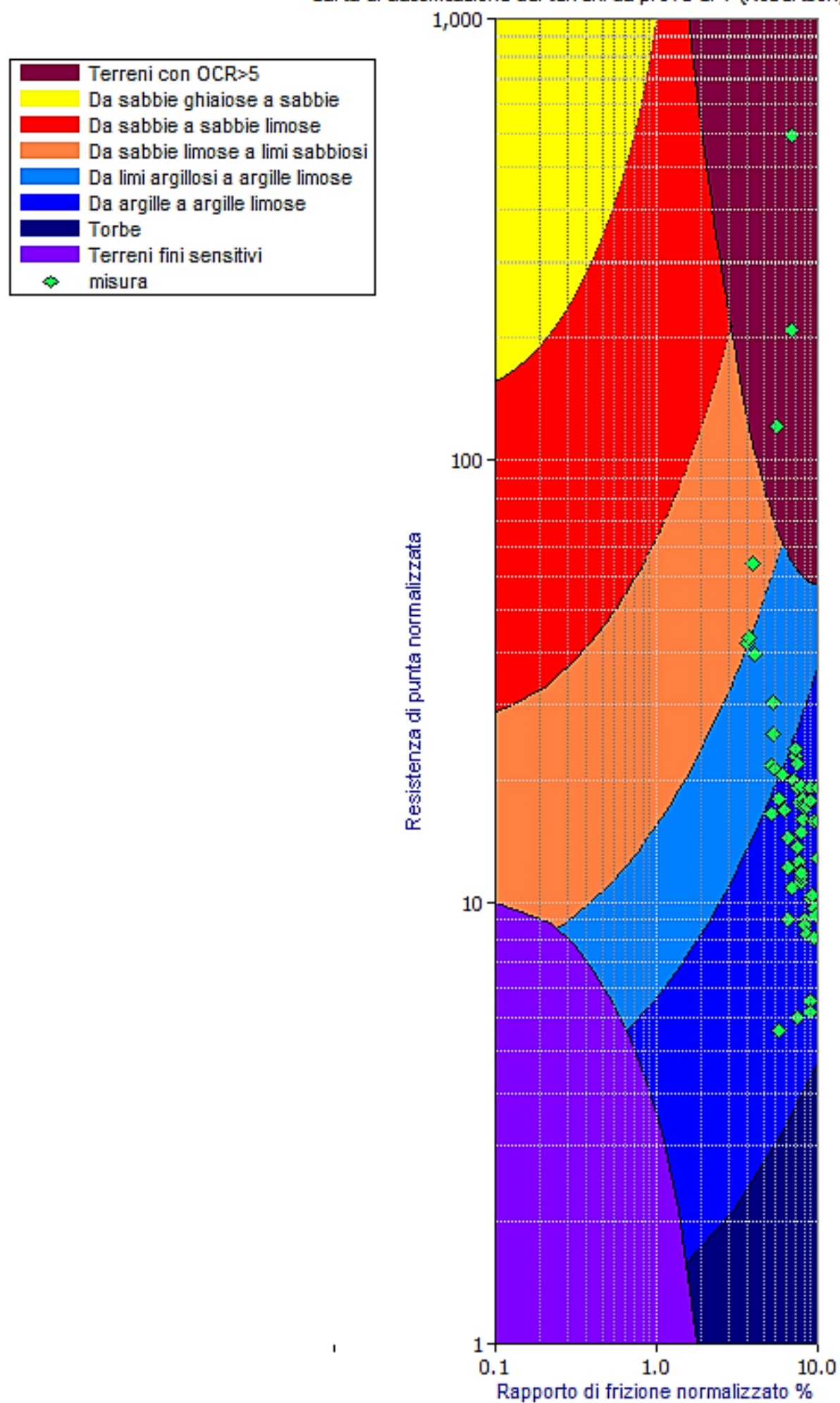
CPT 1

GEO GROUP s.r.l.

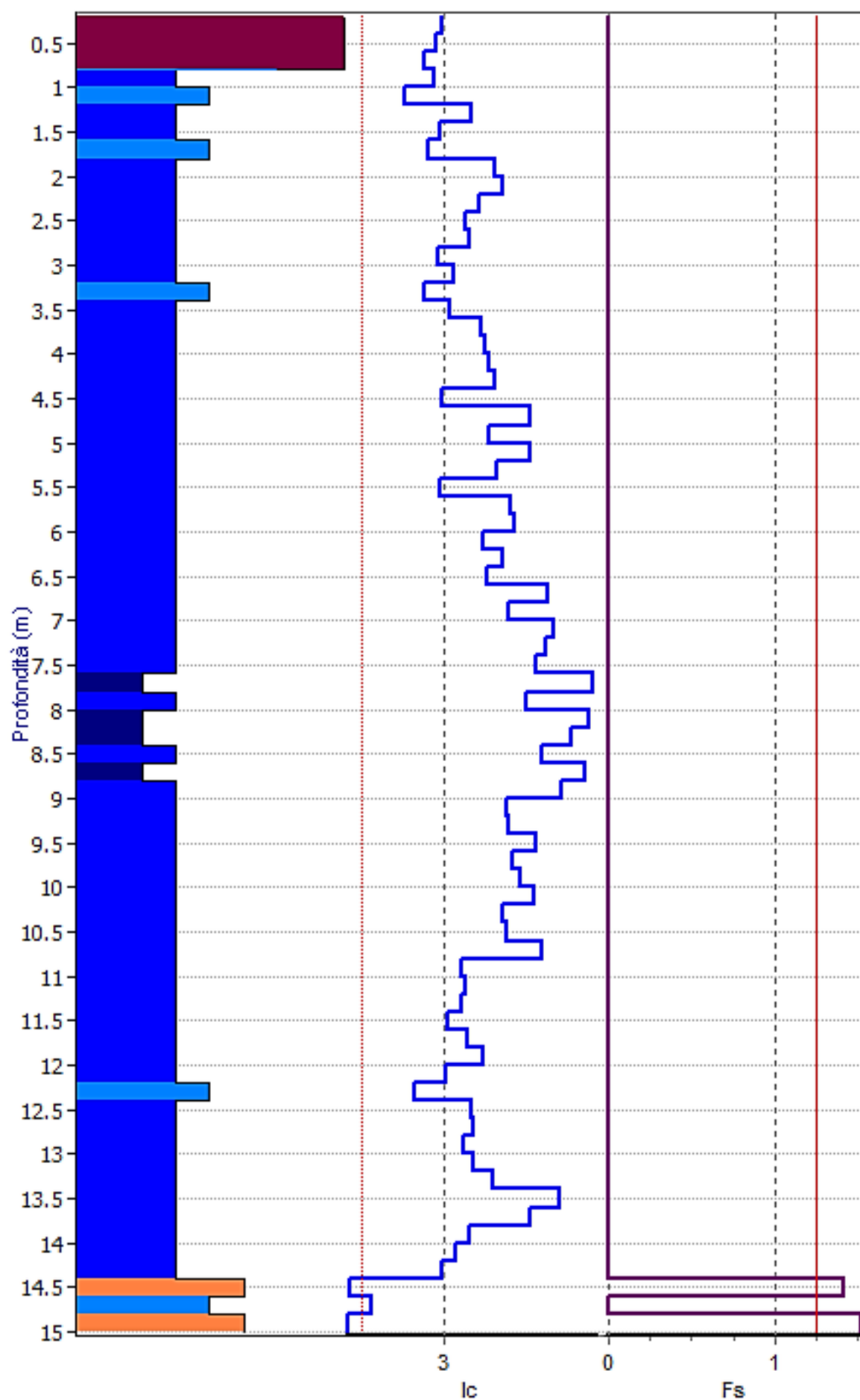
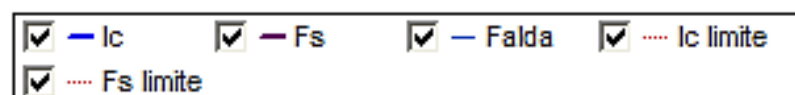
**Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche**

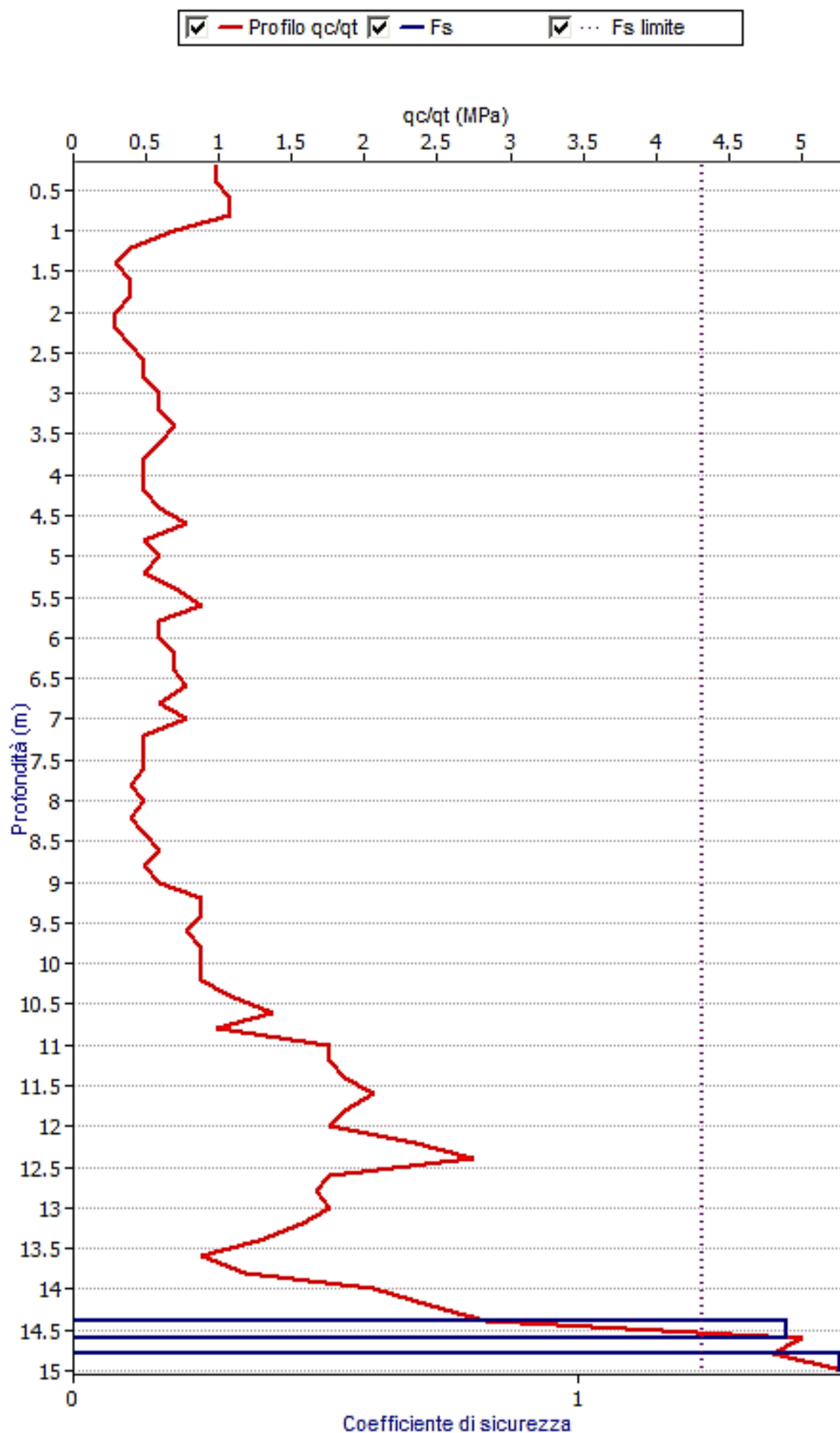
Idriss e Boulanger

Carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Robertson, 1990)

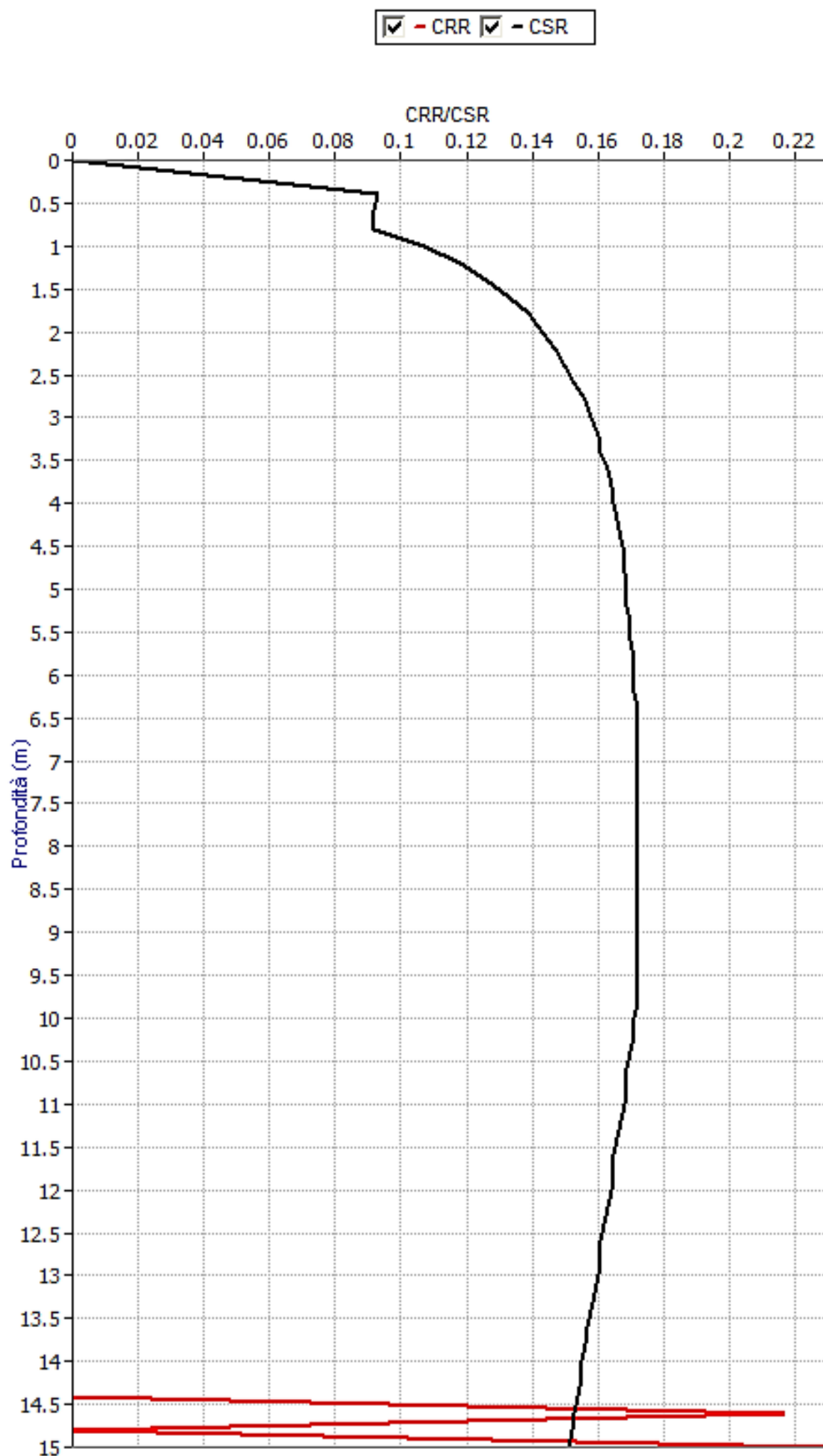


Andamento di Ic e Fs





Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

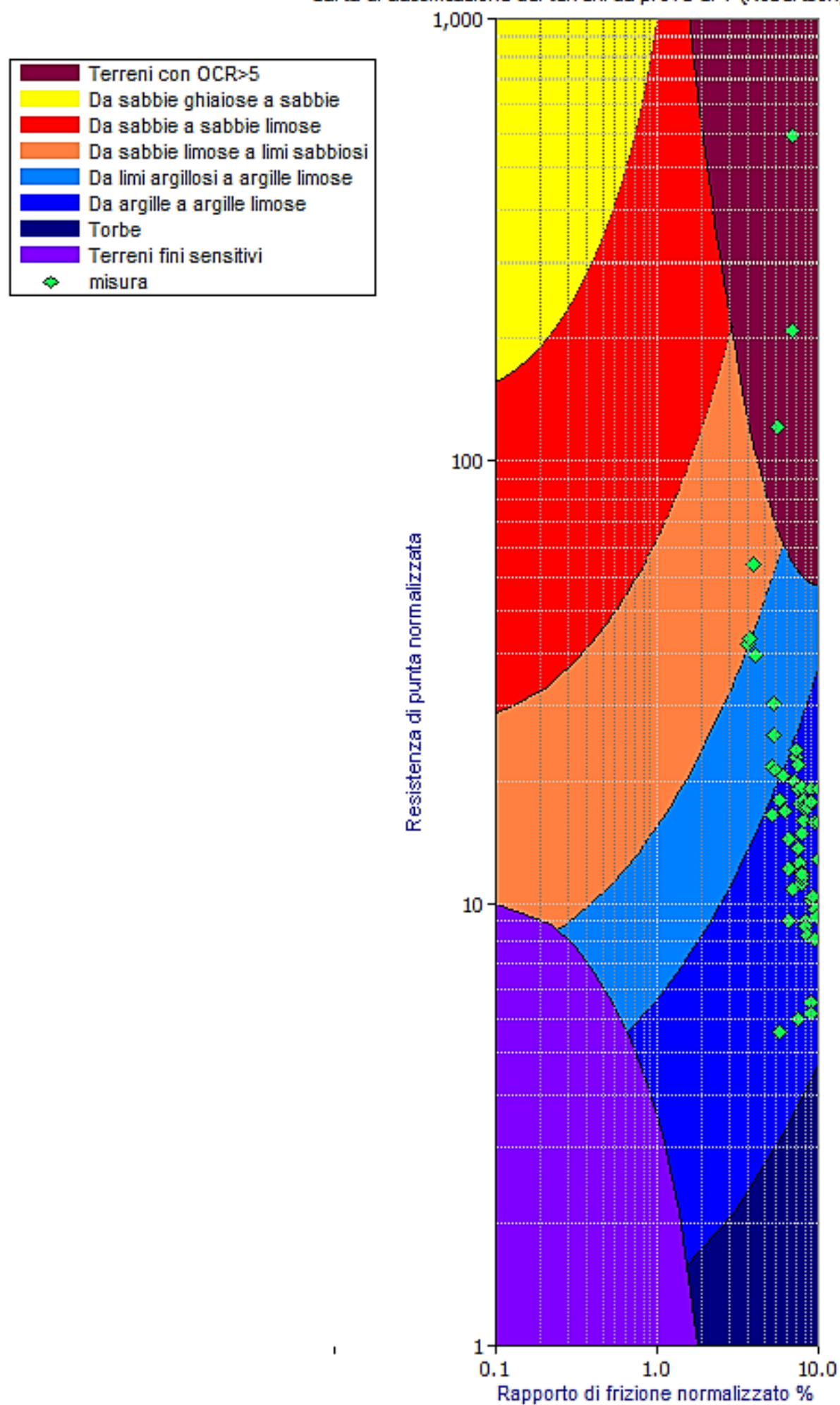


GEO GROUP s.r.l.

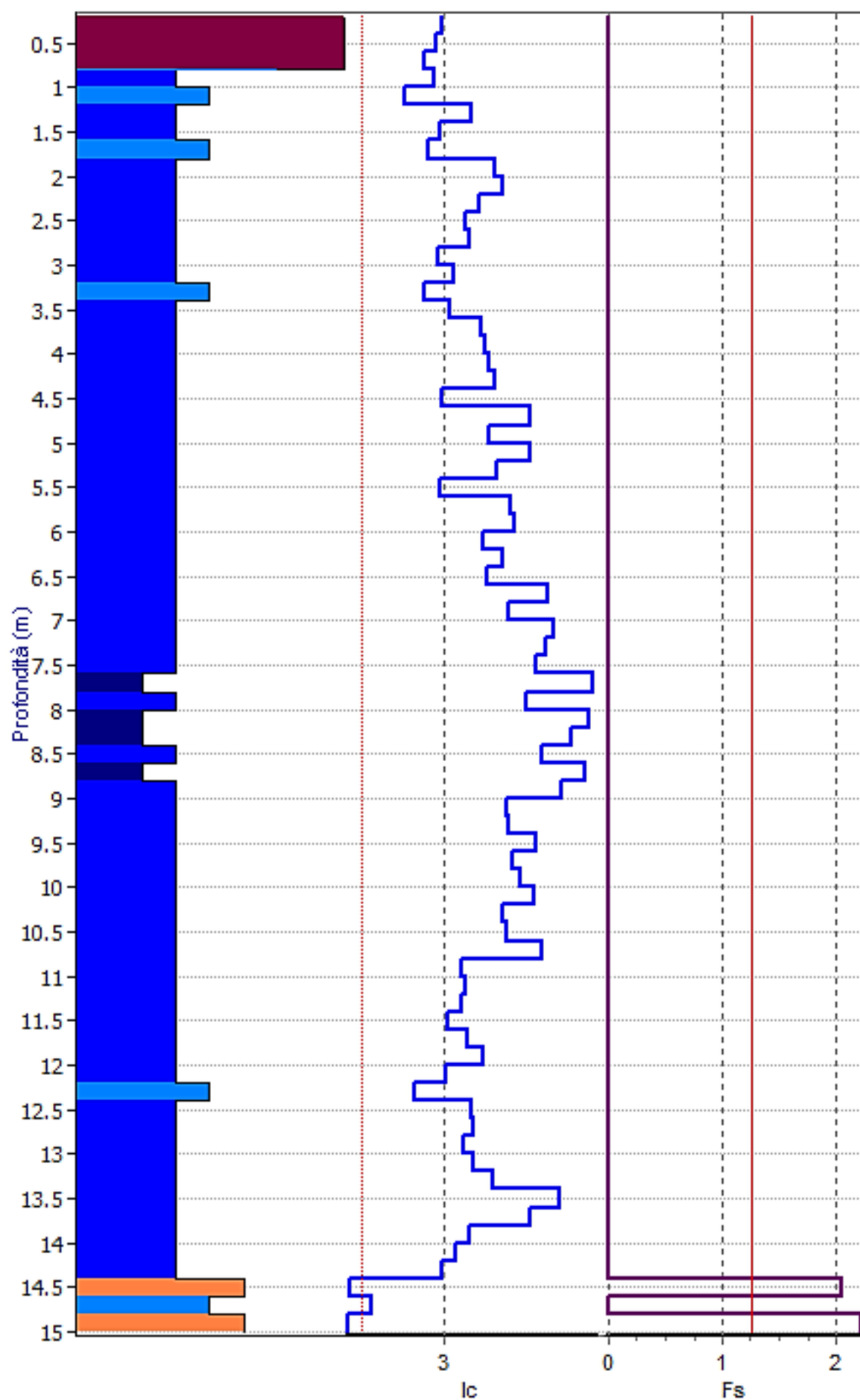
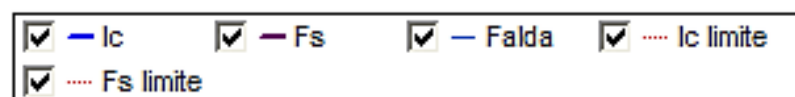
**Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche**

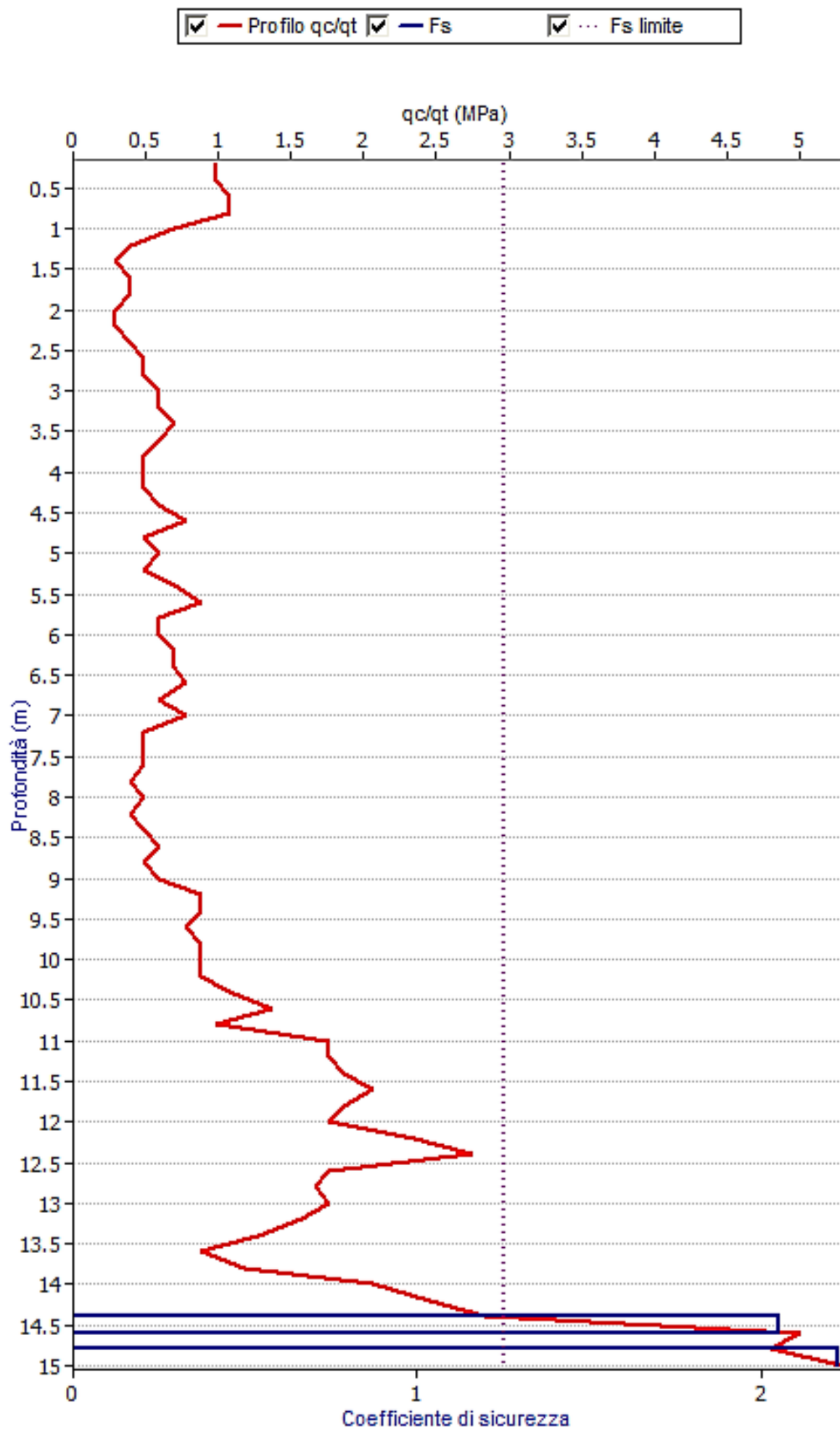
Robertson e Wride

Carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Robertson, 1990)

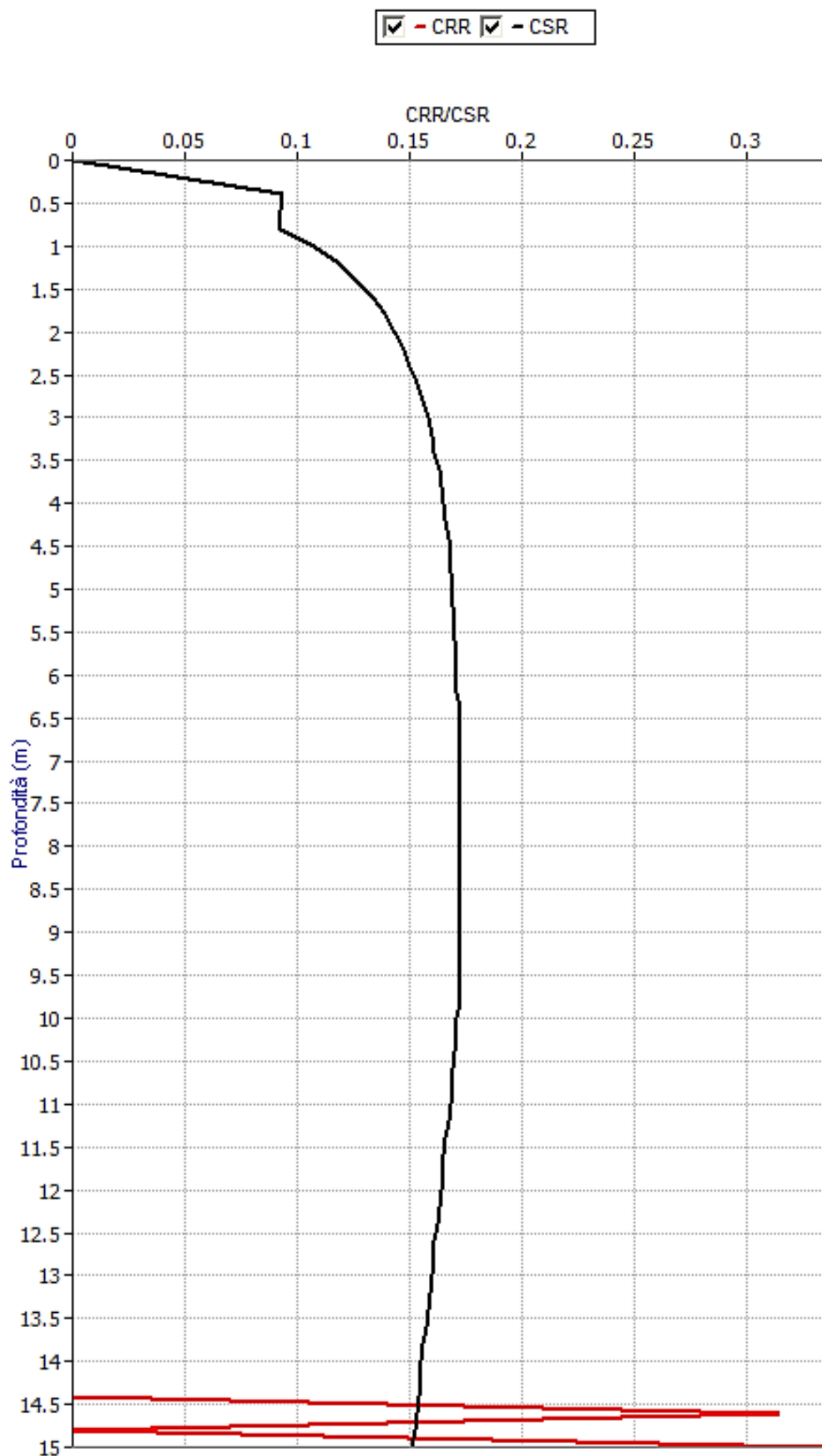


Andamento di Ic e Fs





Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso



GEO GROUP s.r.l.

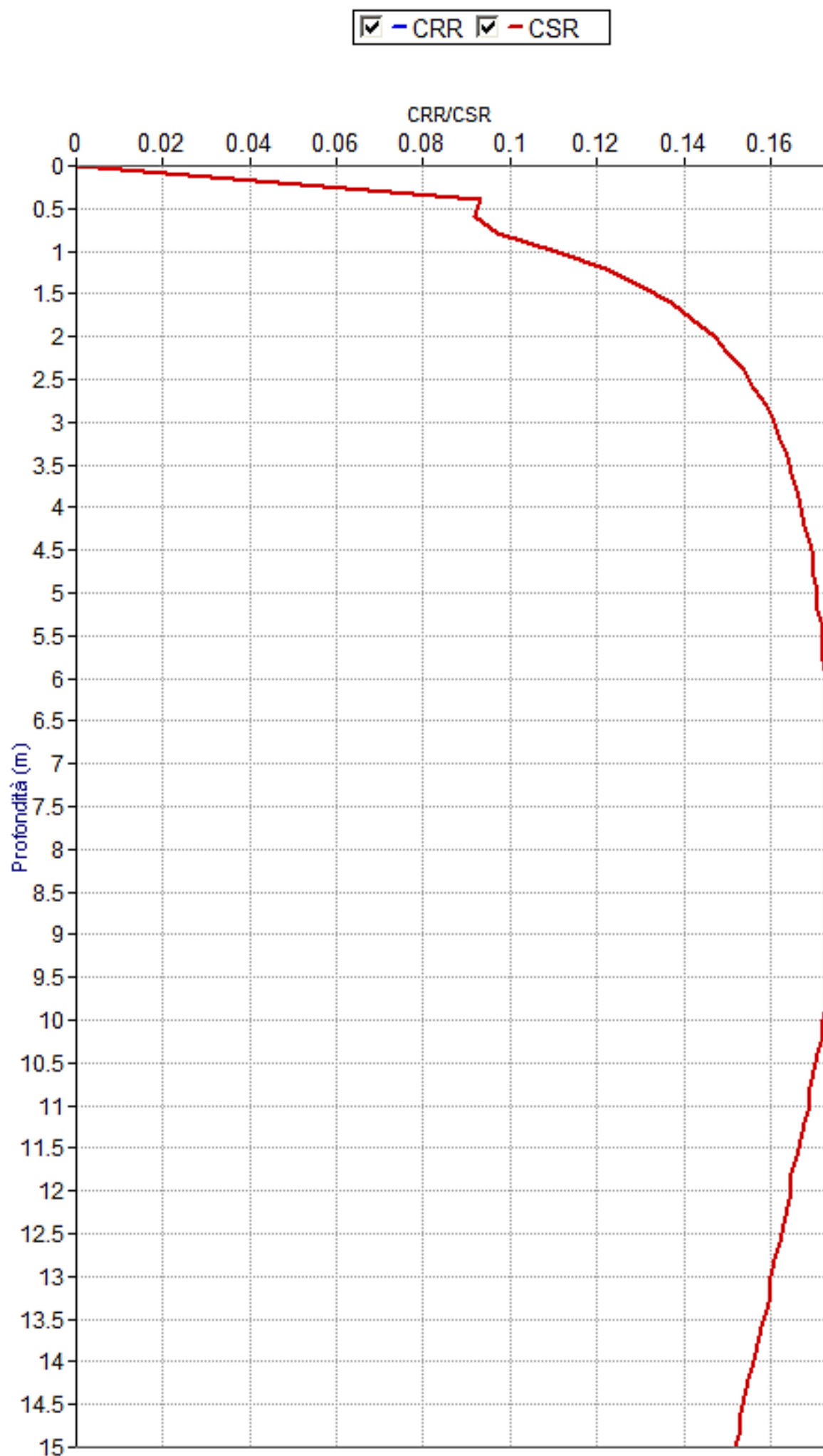
**Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche**

CPT 2

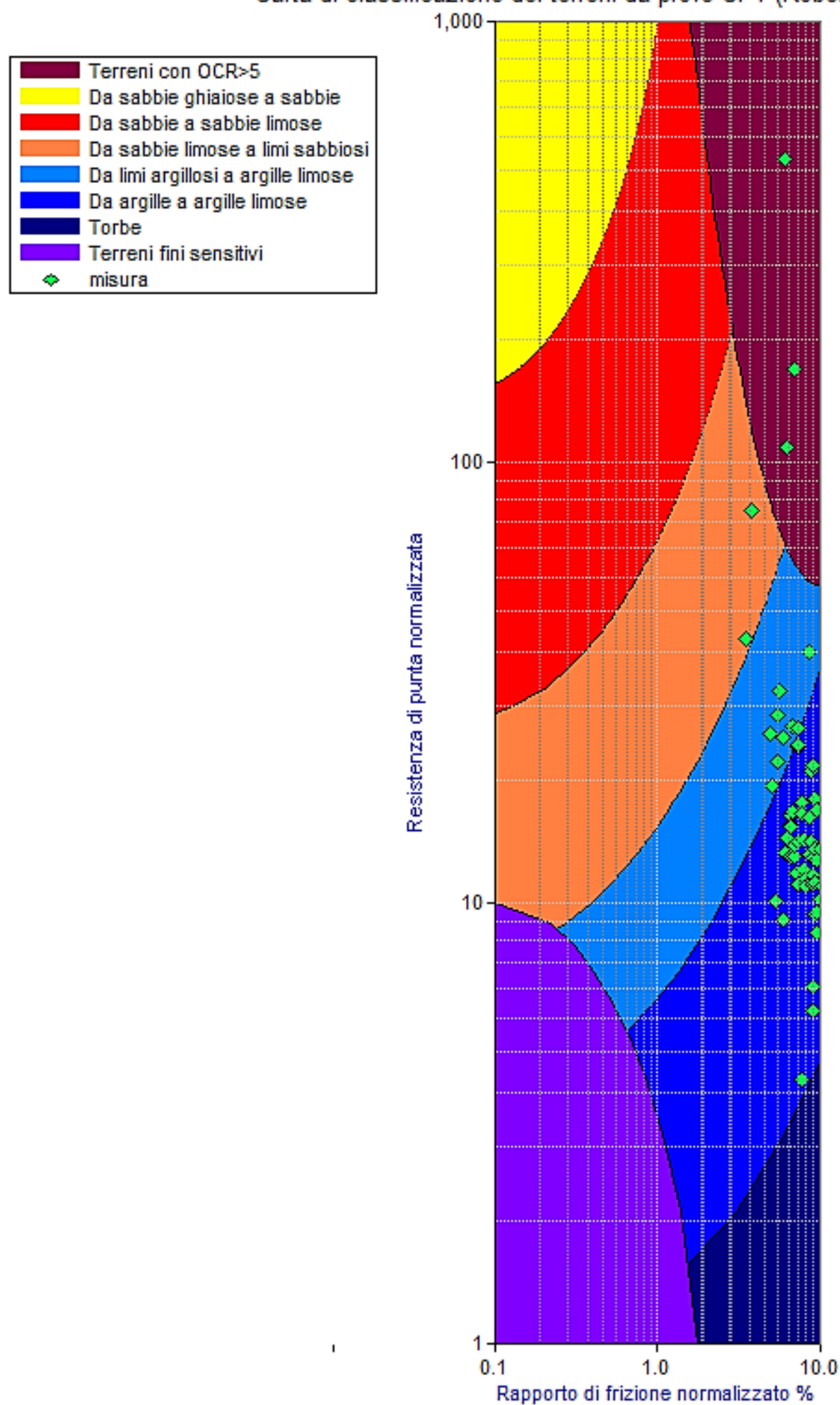
GEO GROUP s.r.l.

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

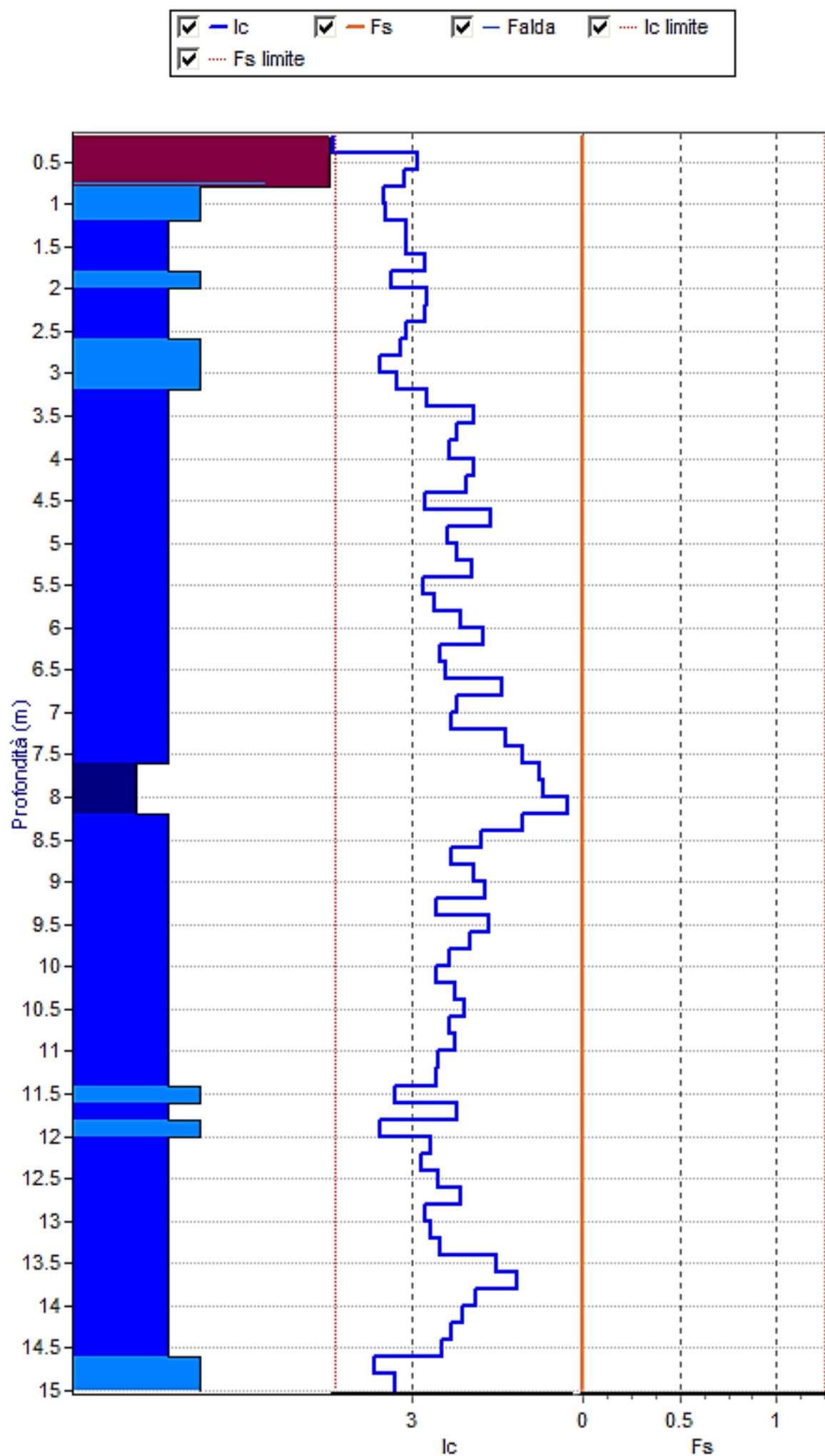
Idriss e Boulanger



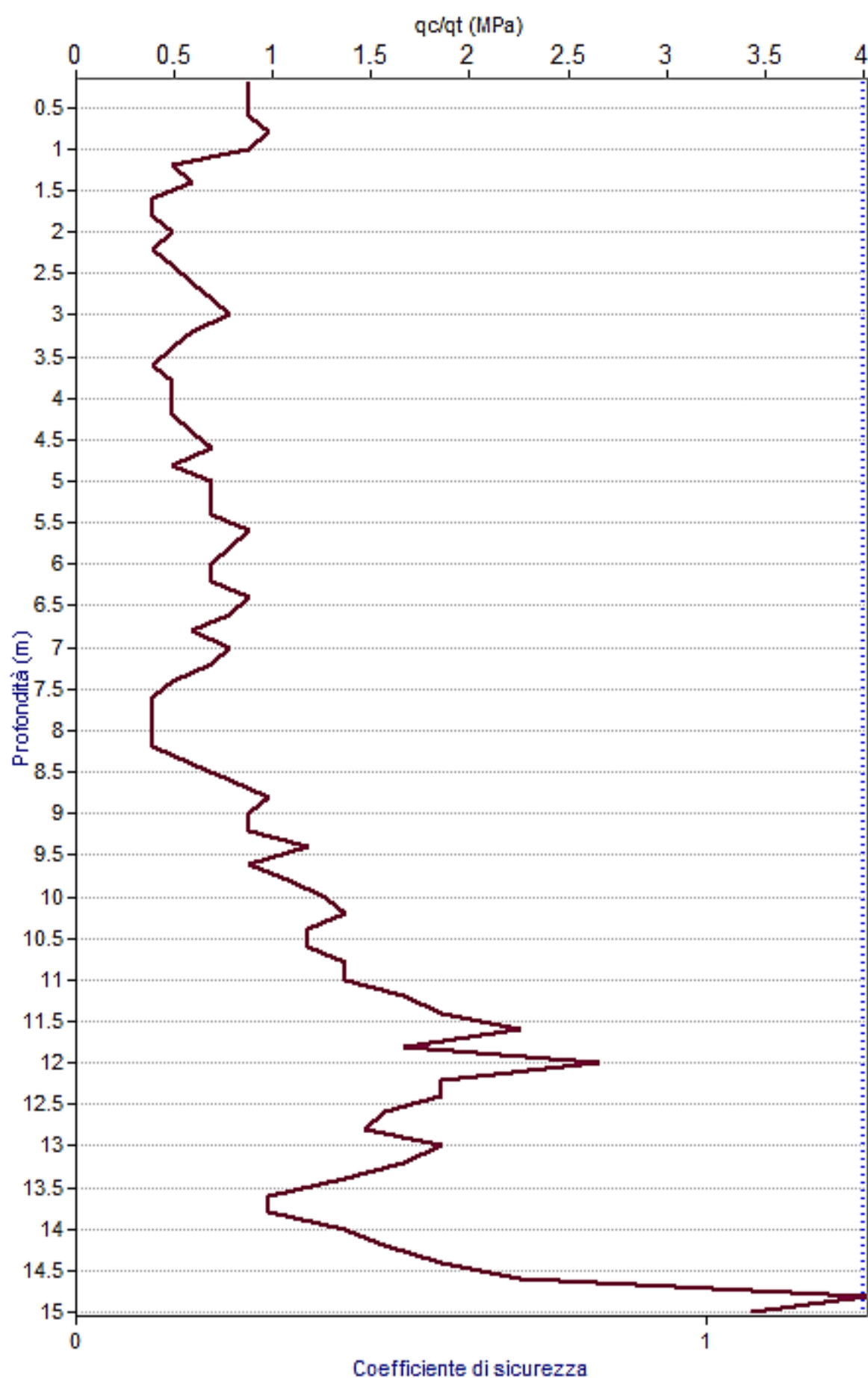
Carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Roberts)



Andamento di I_c e F_s



☒ Profilo qc/qt ☒ Fs ☒ Fs limite

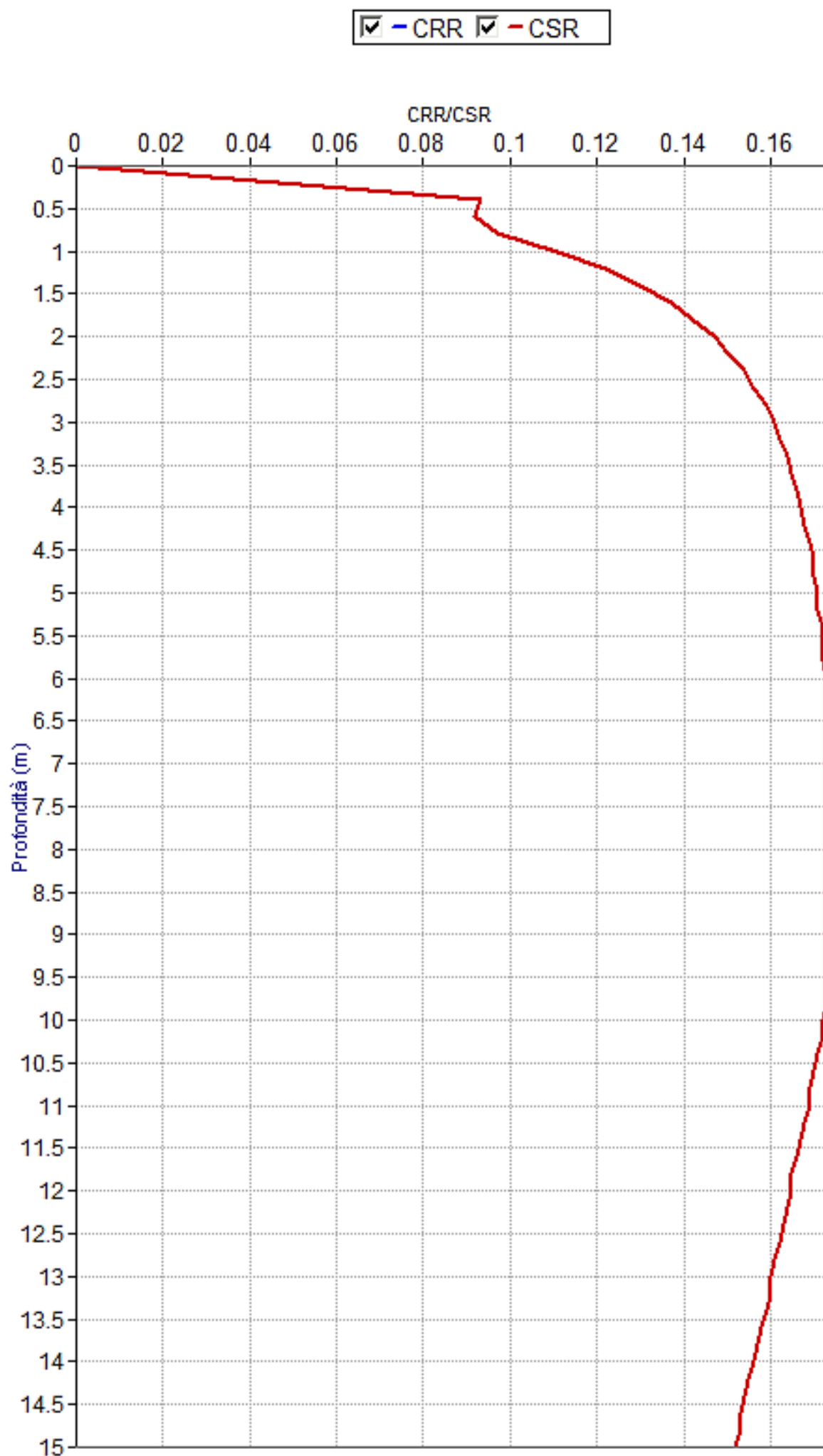


Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

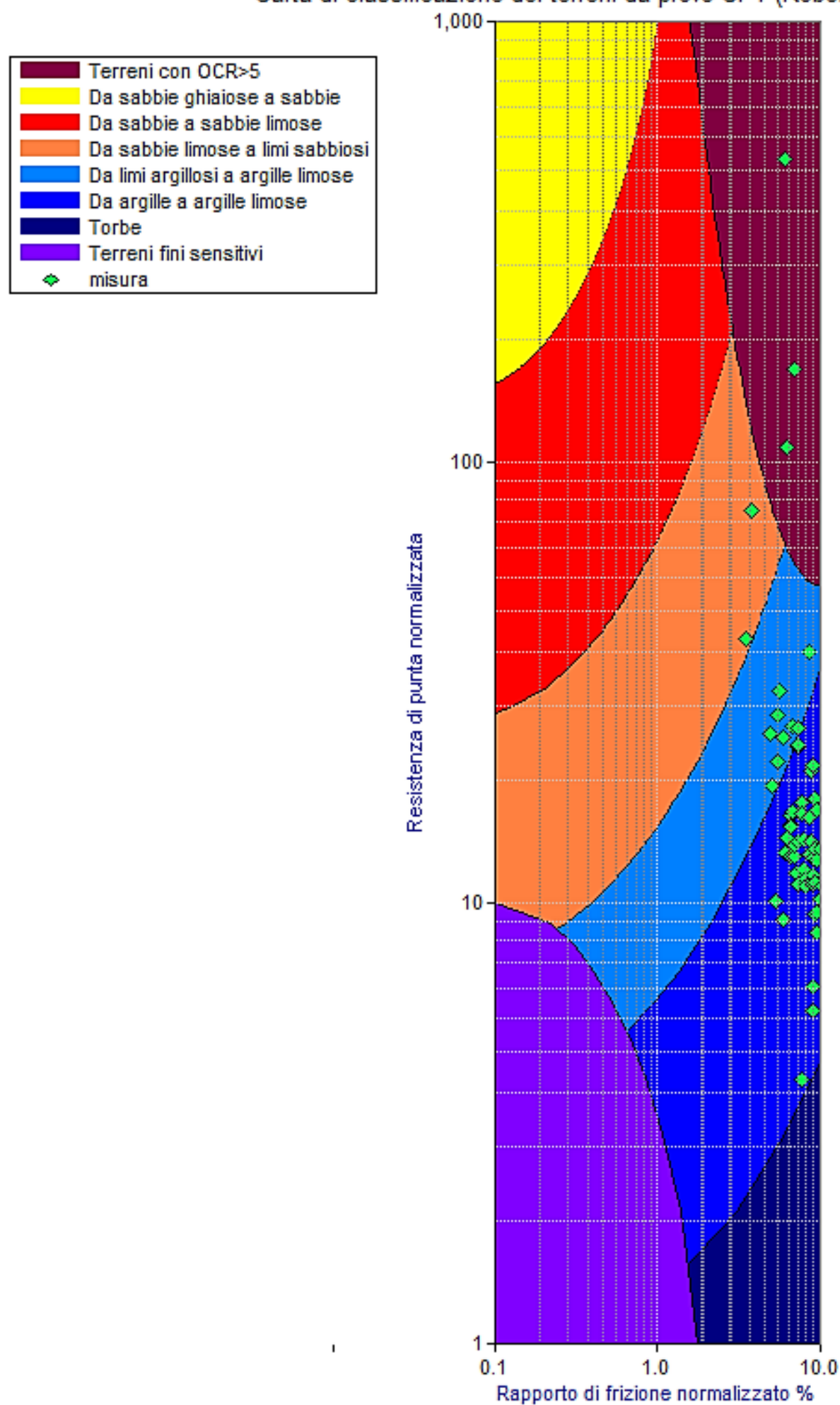
GEO GROUP s.r.l.

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

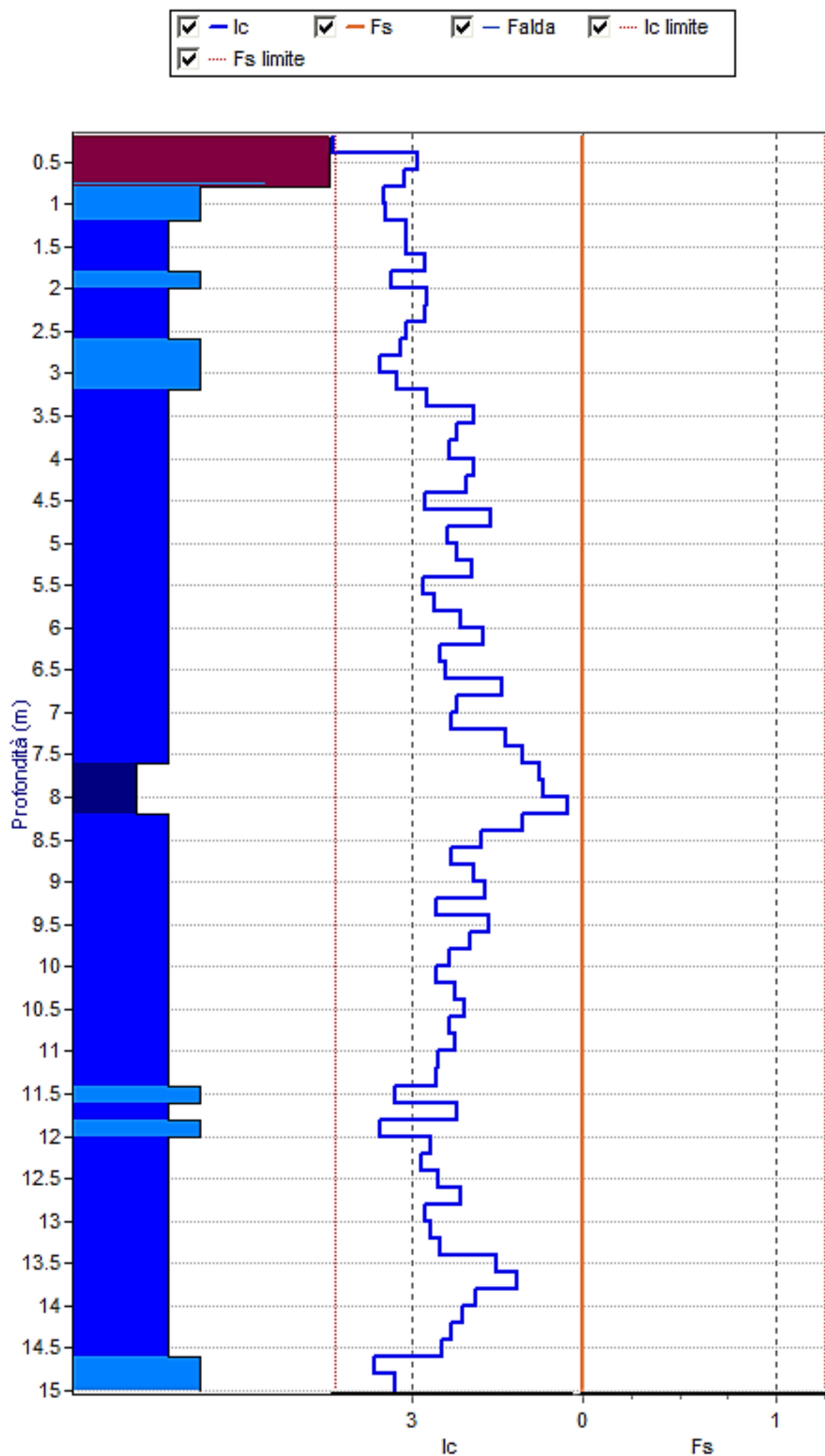
Robertson e Wride



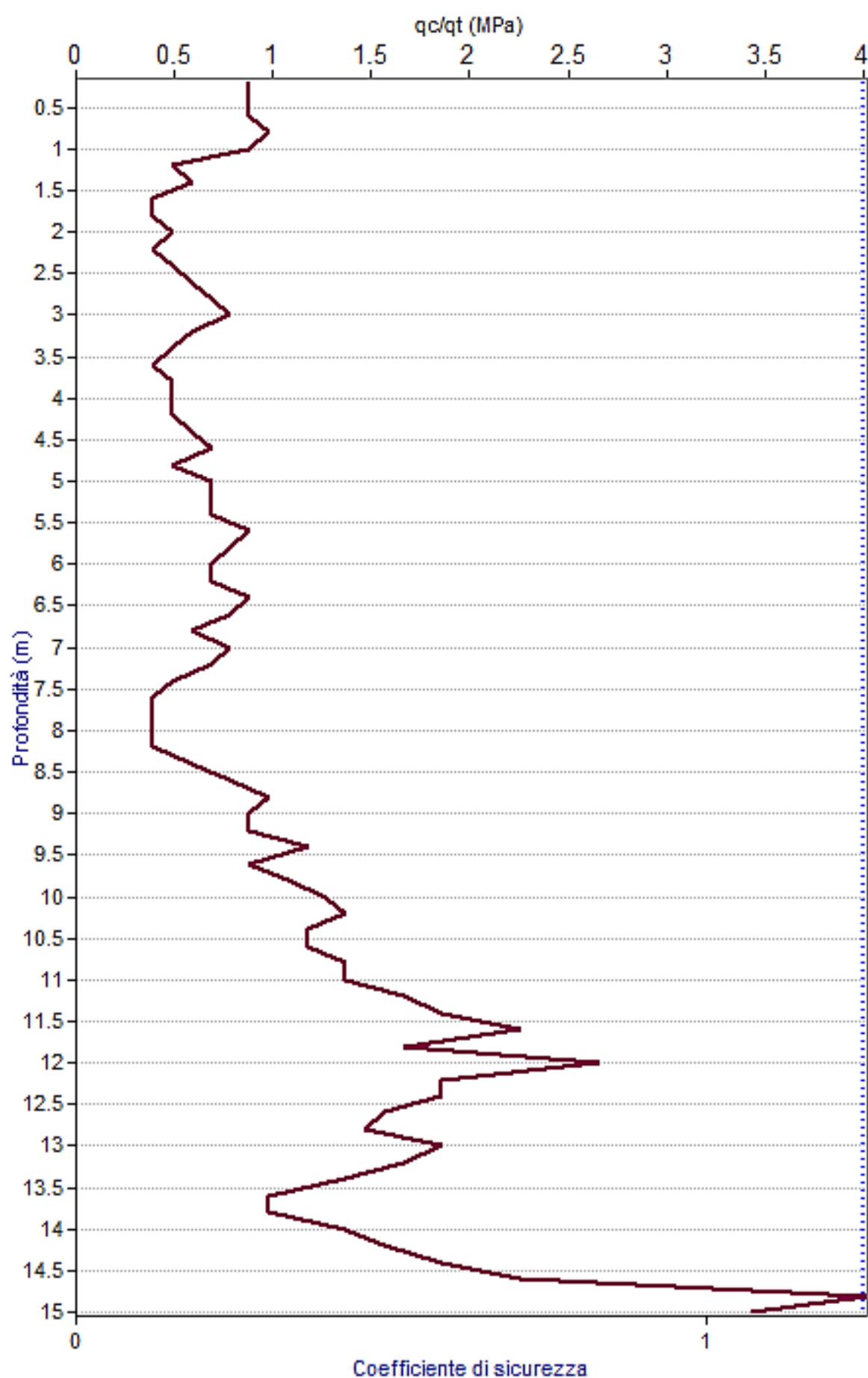
Carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Roberts)



Andamento di I_c e F_s



☒ Profilo qc/qt ☒ Fs ☒ Fs limite



Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

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**

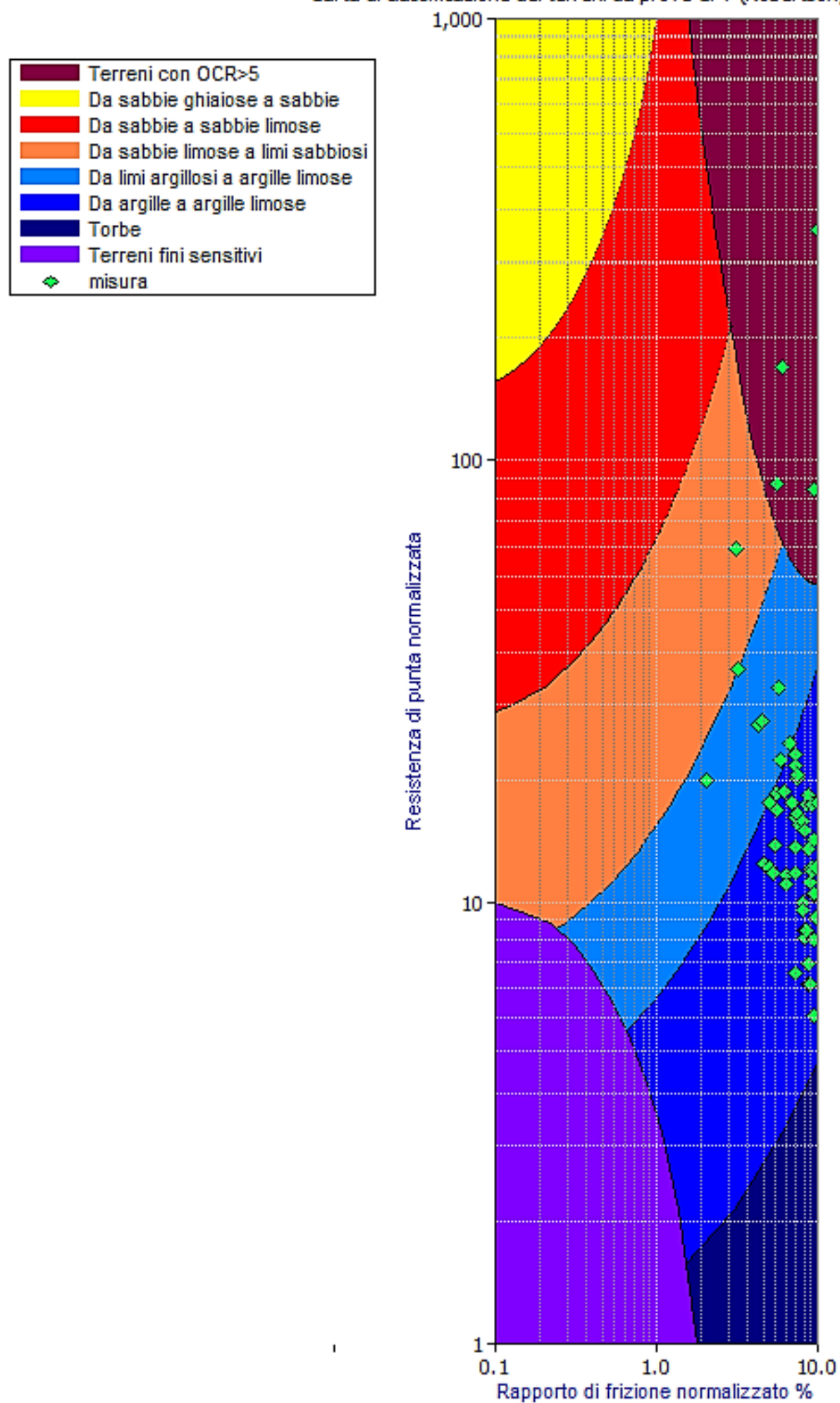
CPT 3

GEO GROUP s.r.l.

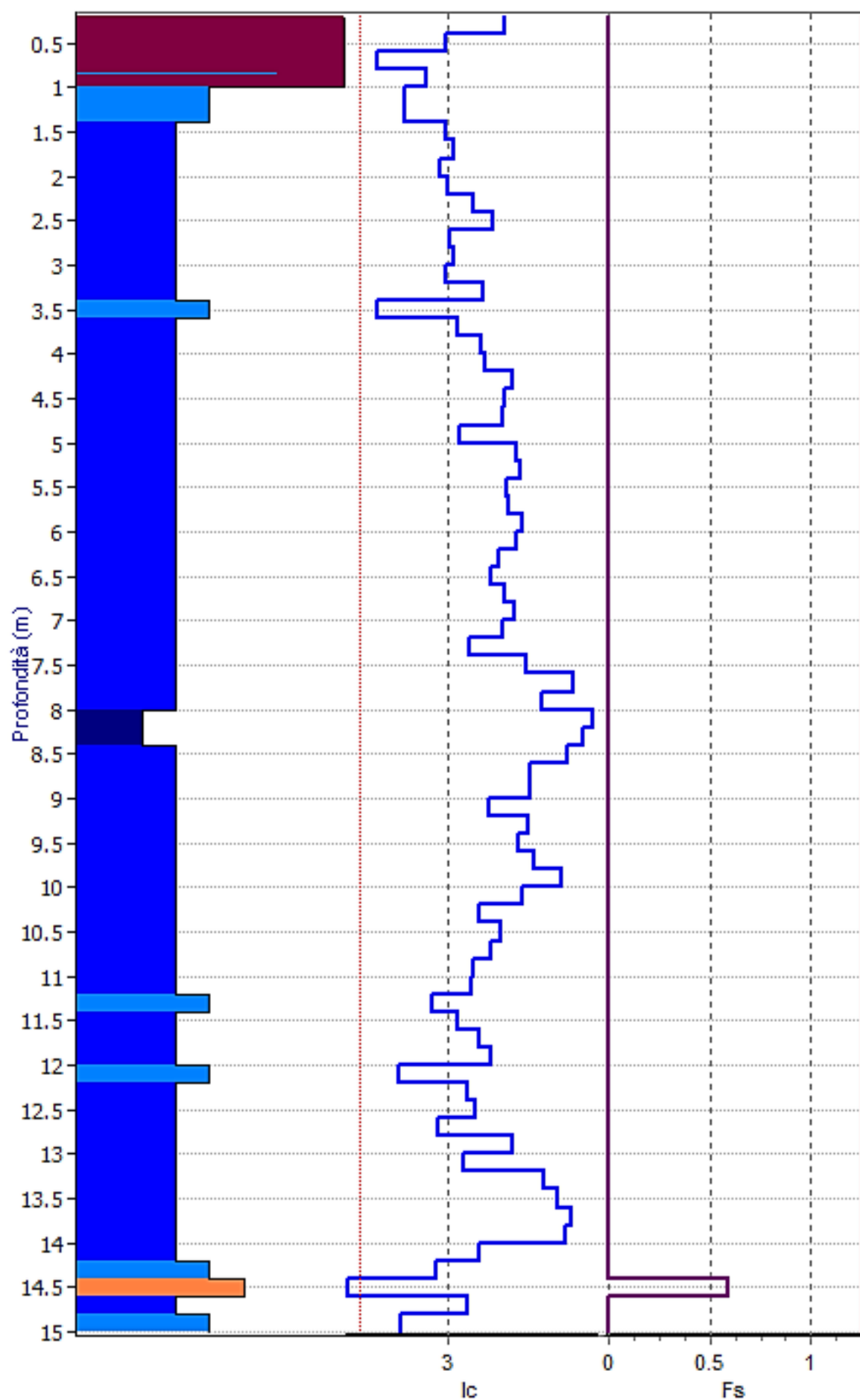
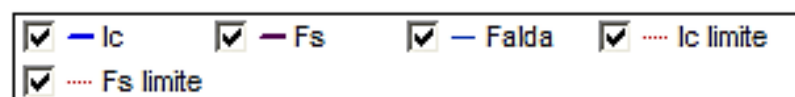
**Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche**

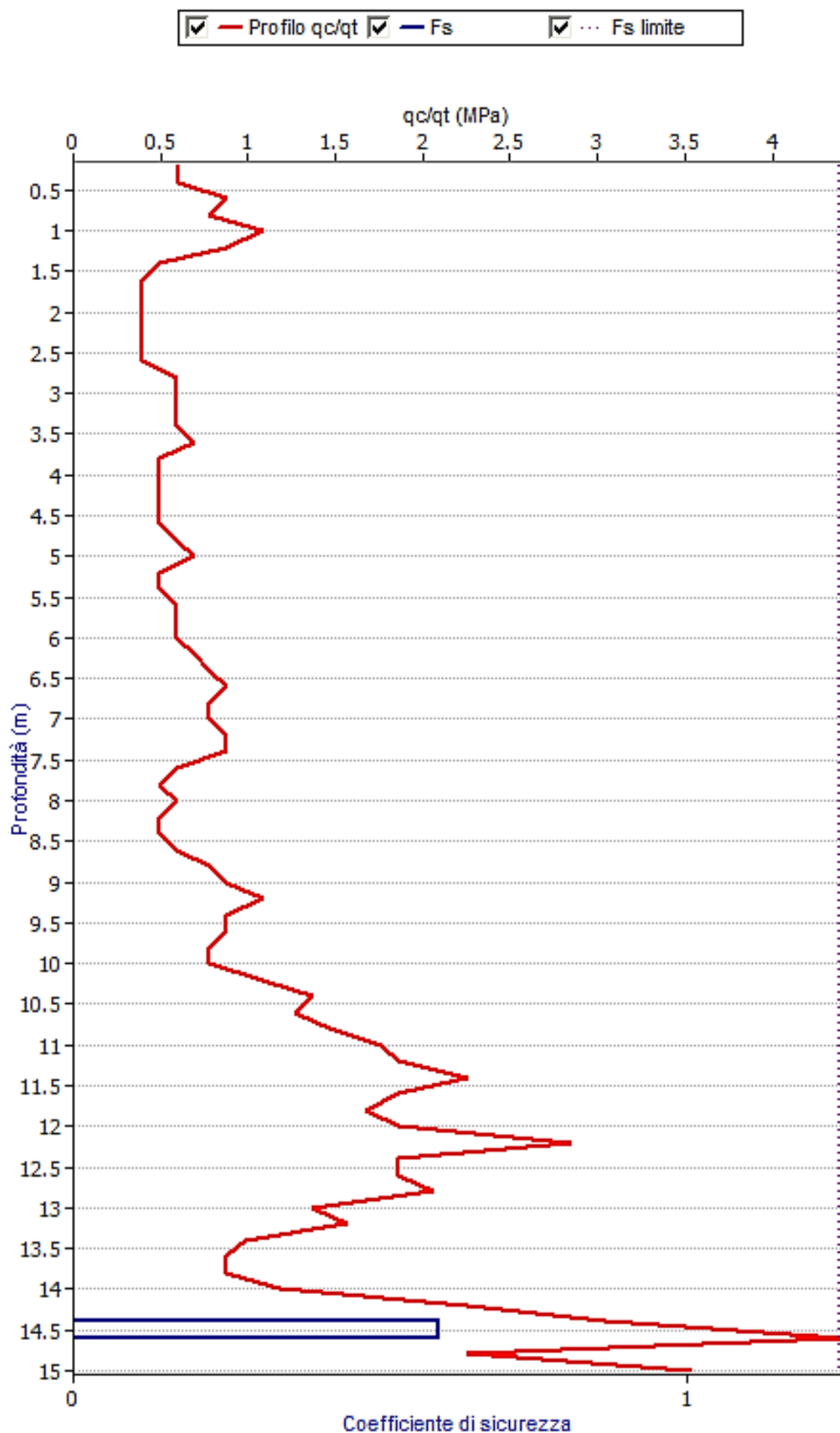
Idriss e Boulanger

Carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Robertson, 1990)

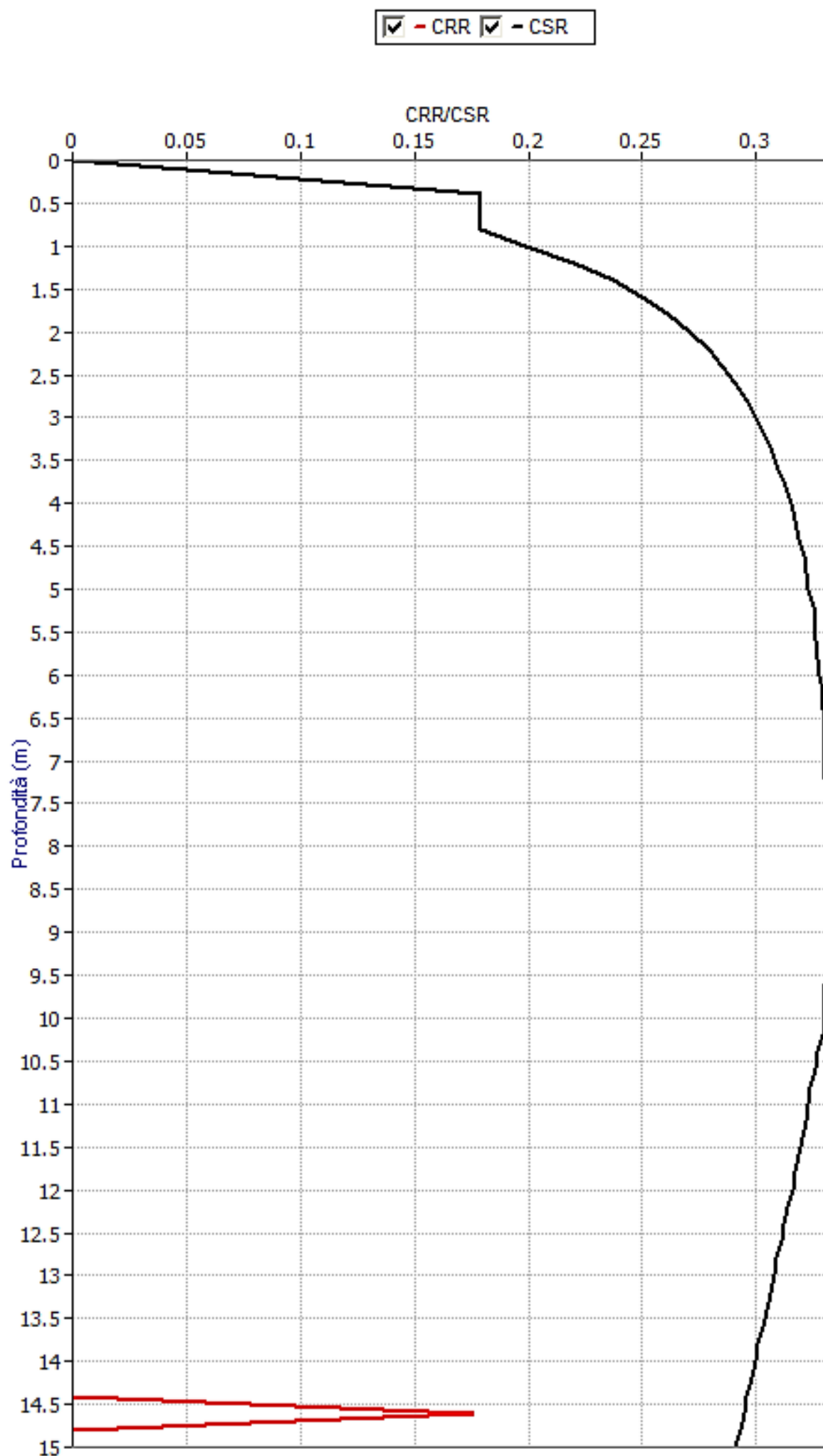


Andamento di Ic e Fs





Indice di liquefazione=0.2 rischio basso

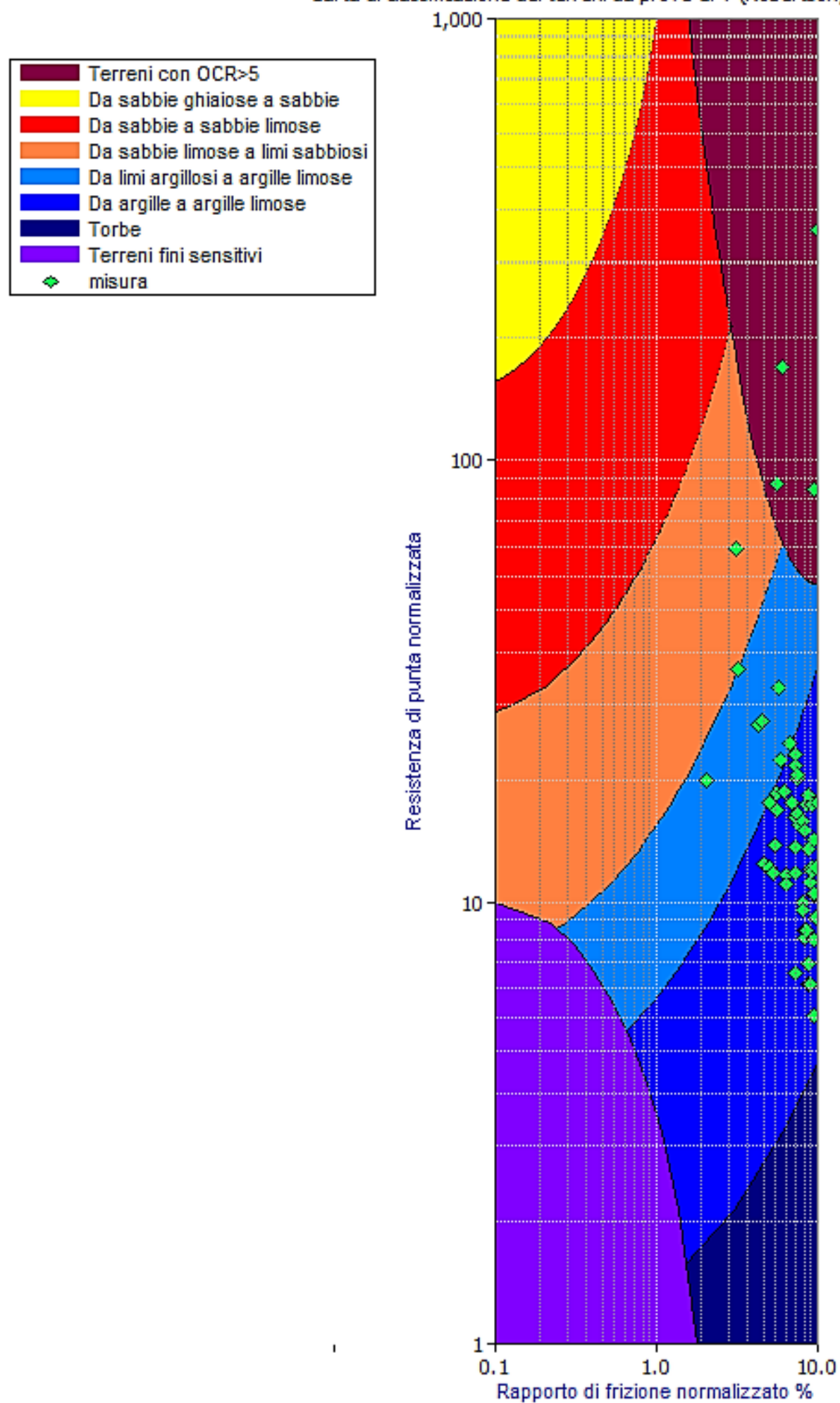


GEO GROUP s.r.l.

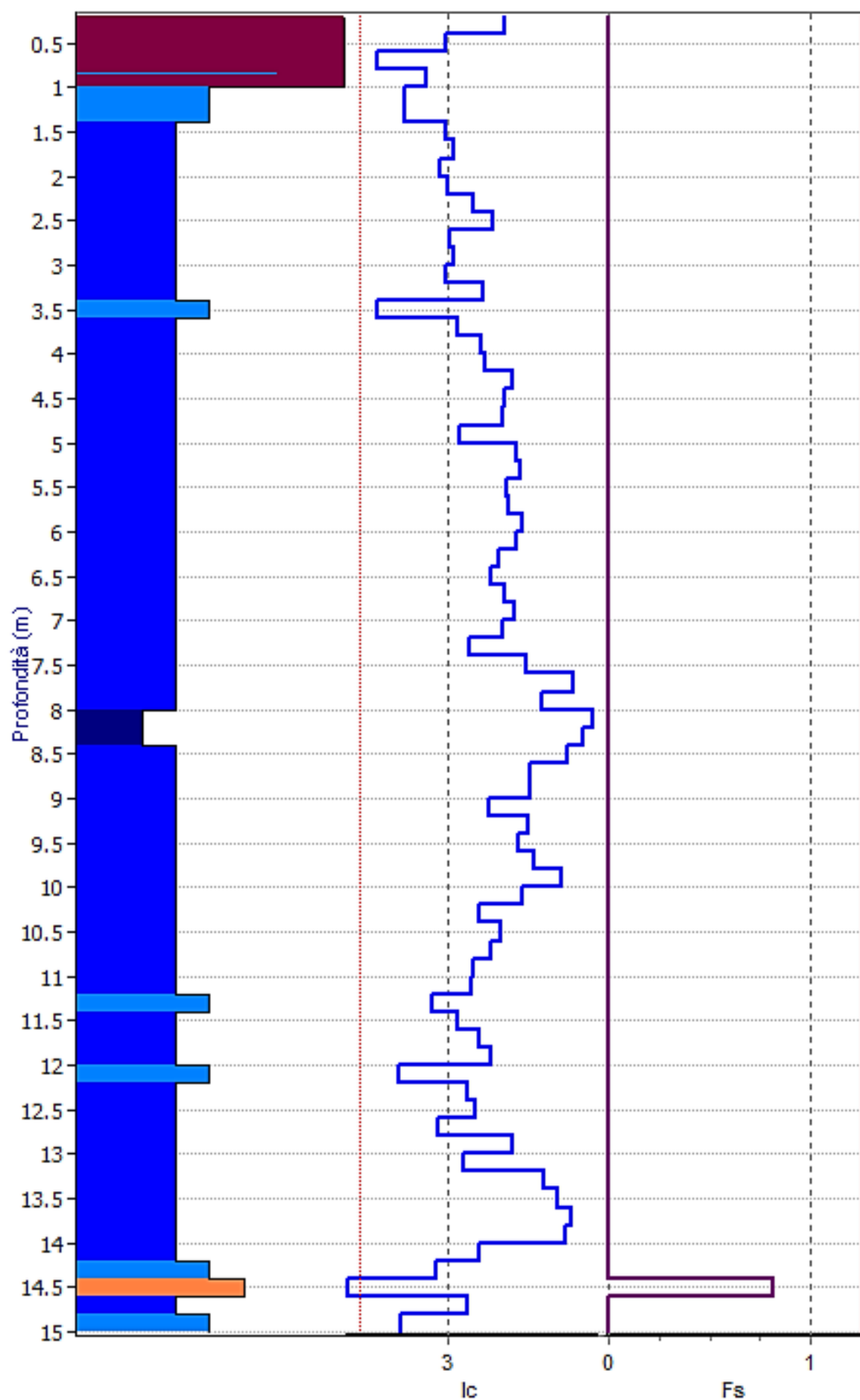
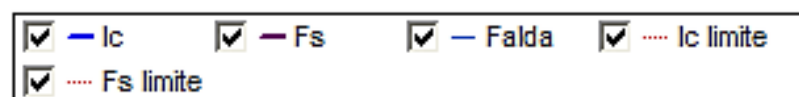
**Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche**

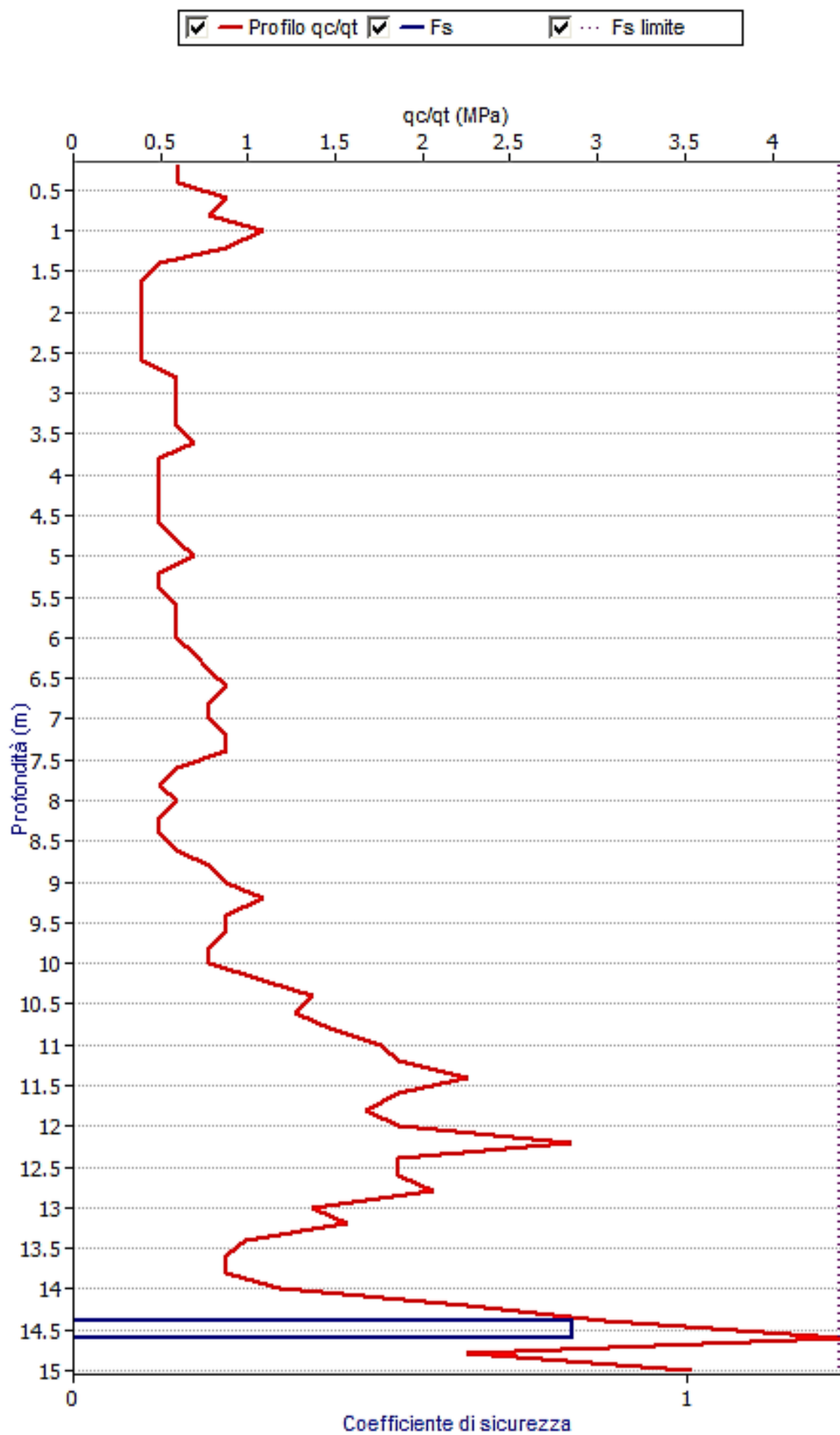
Robertson e Wride

Carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Robertson, 1990)

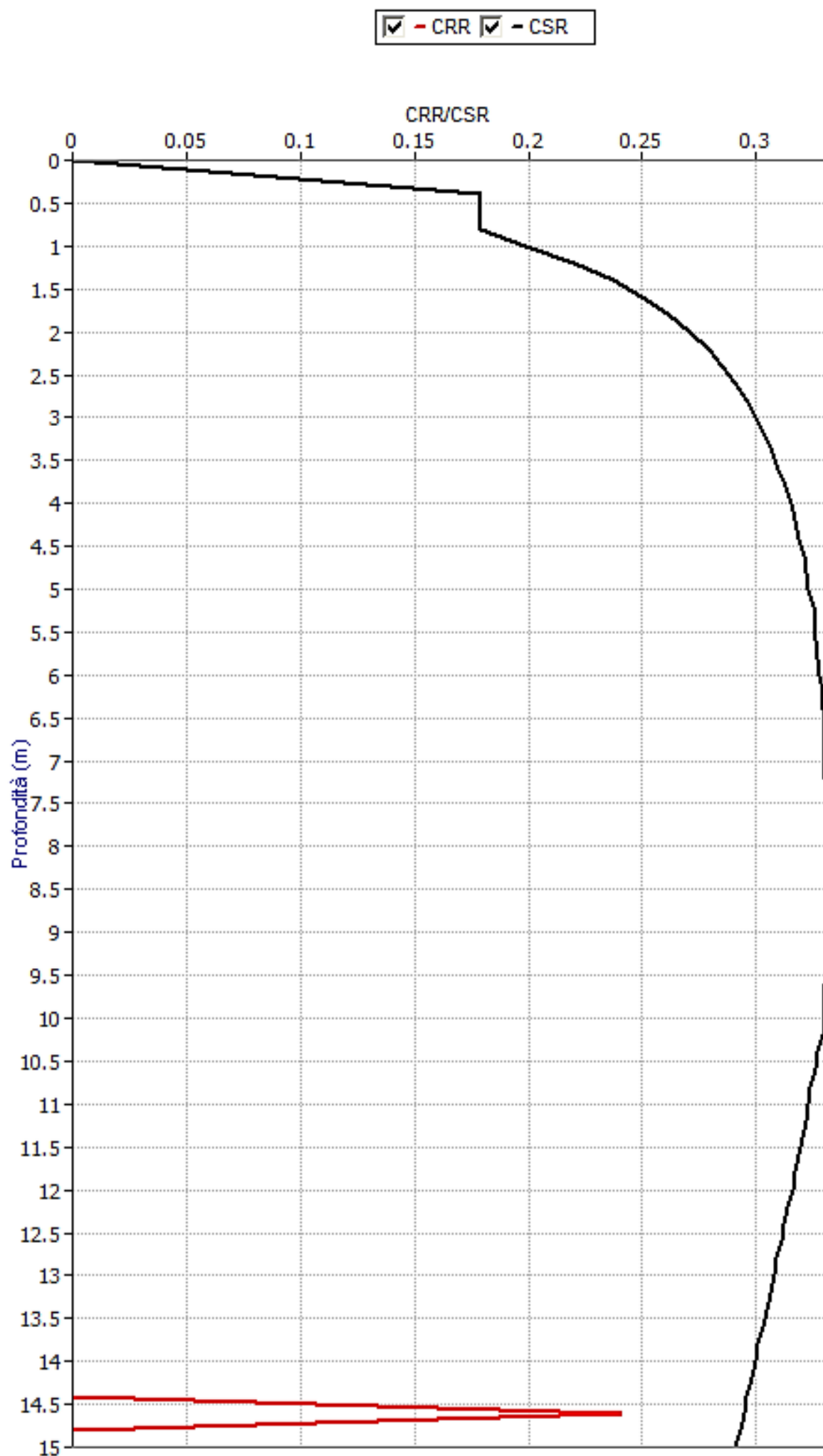


Andamento di Ic e Fs





Indice di liquefazione=0.1 rischio basso



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**

CPTU



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

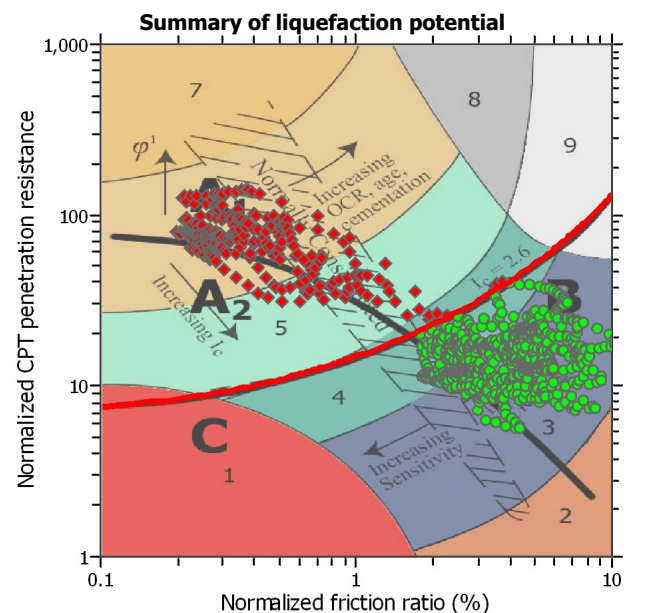
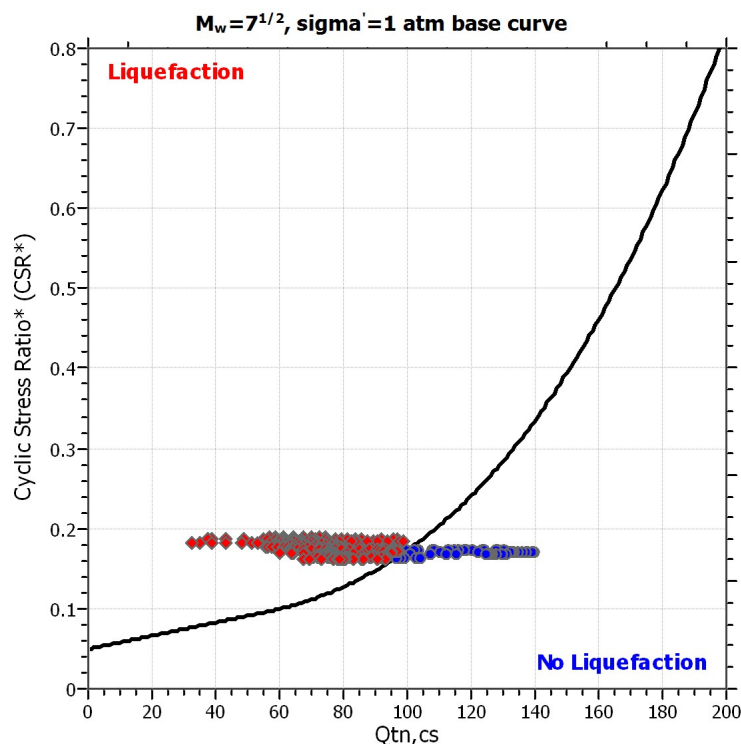
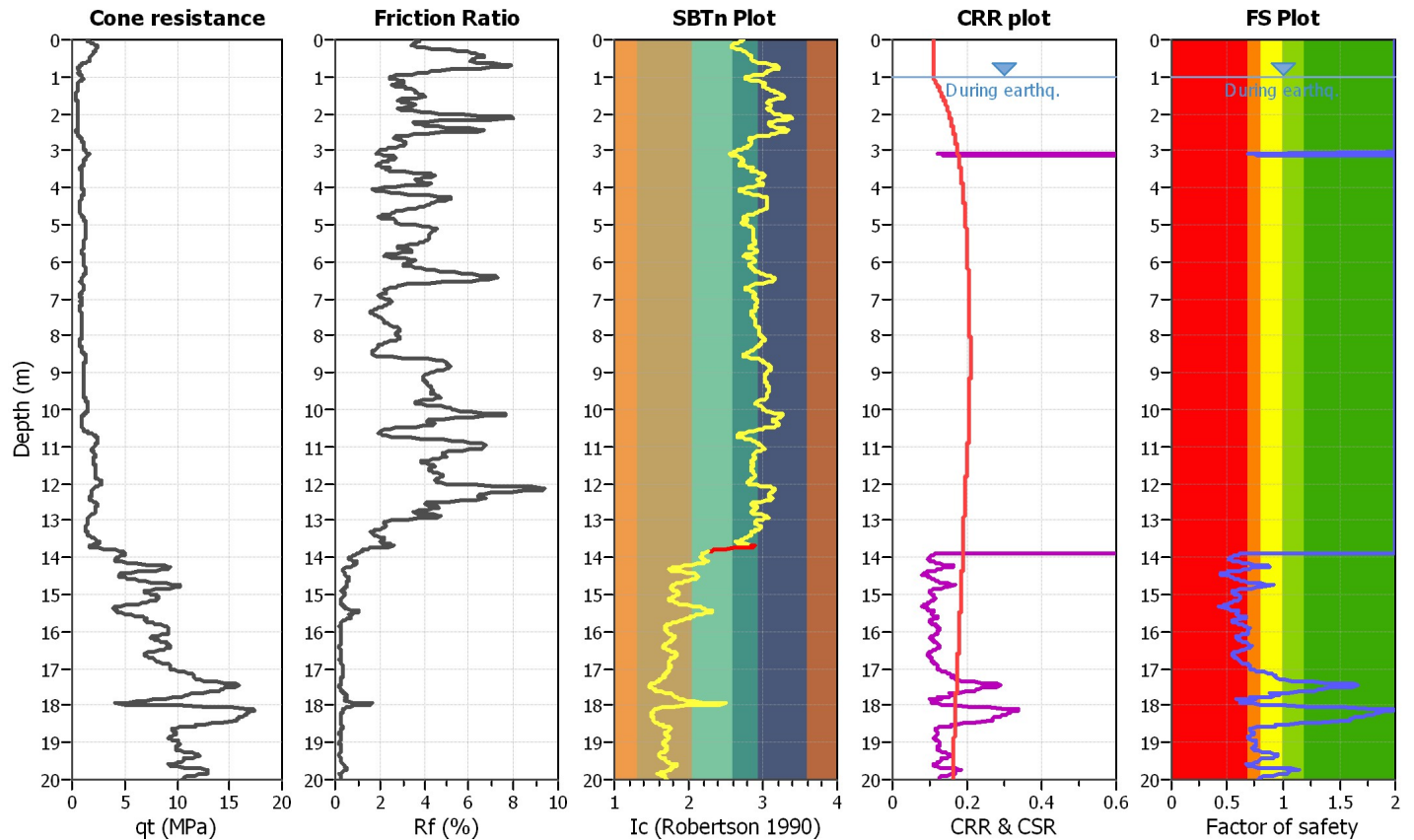
Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CONCORDIA s/S - CENTRO POLIFUNZIONALE

CPT file : CPT-01 R&W

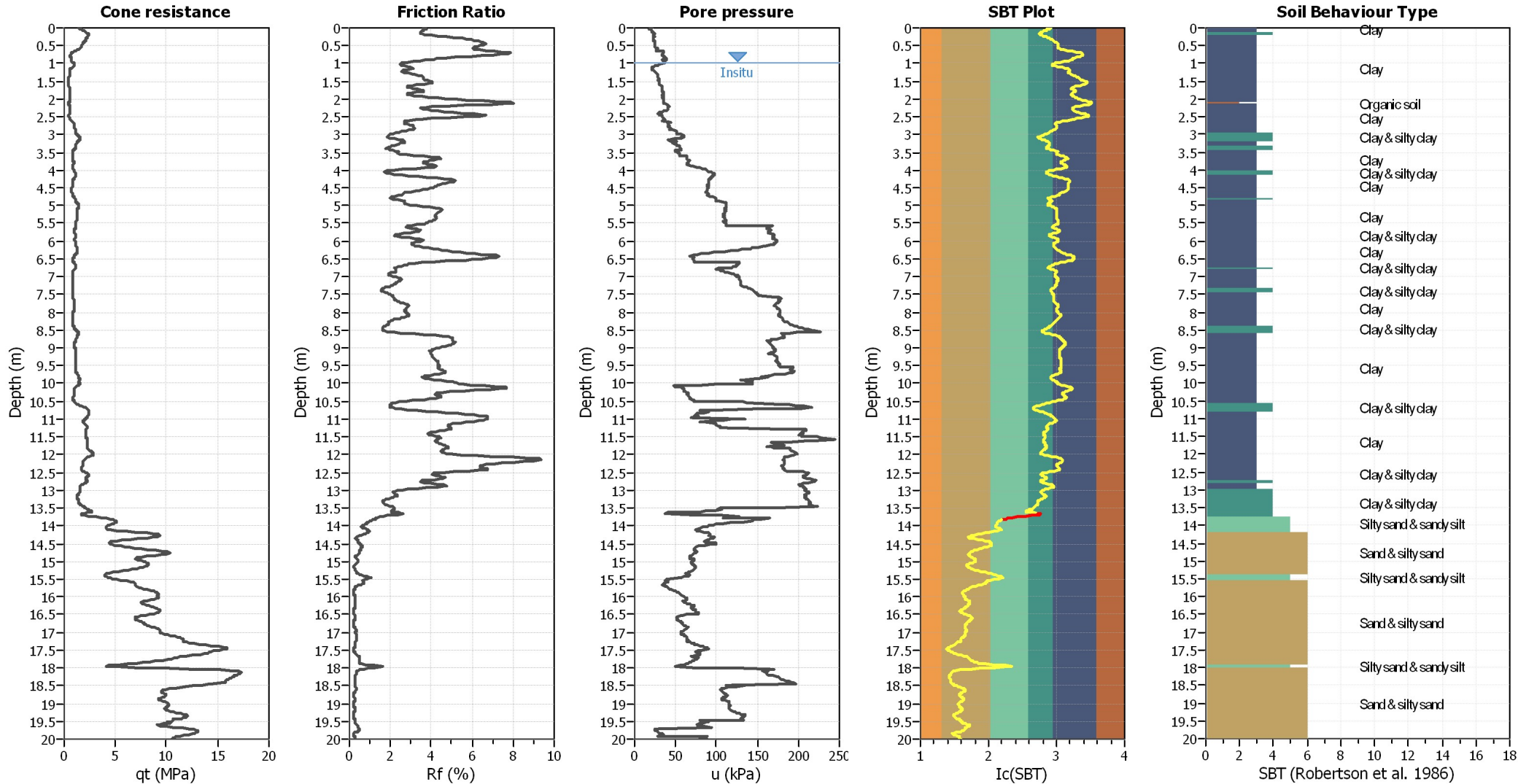
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	5	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.28	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



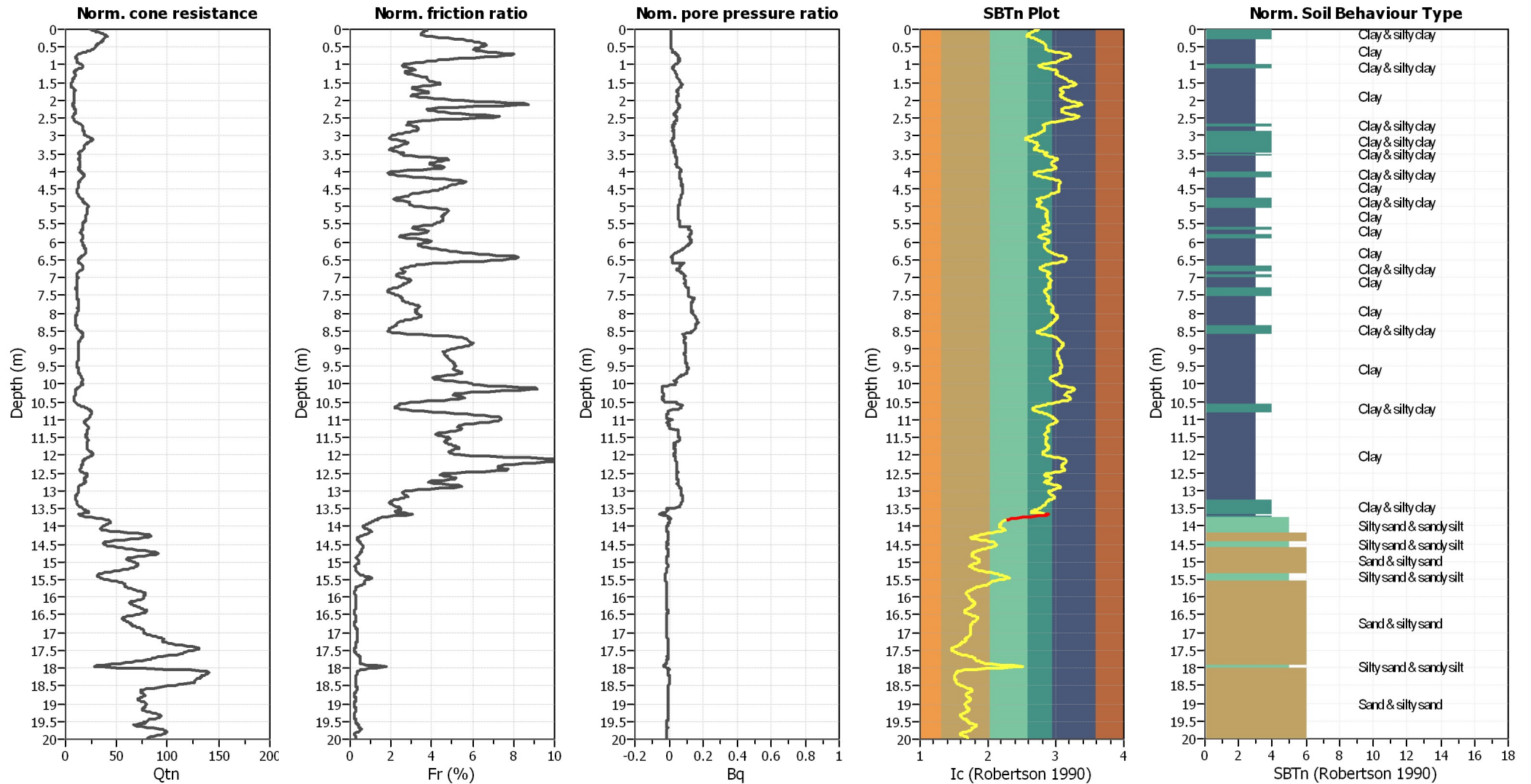
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

CPT basic interpretation plots (normalized)



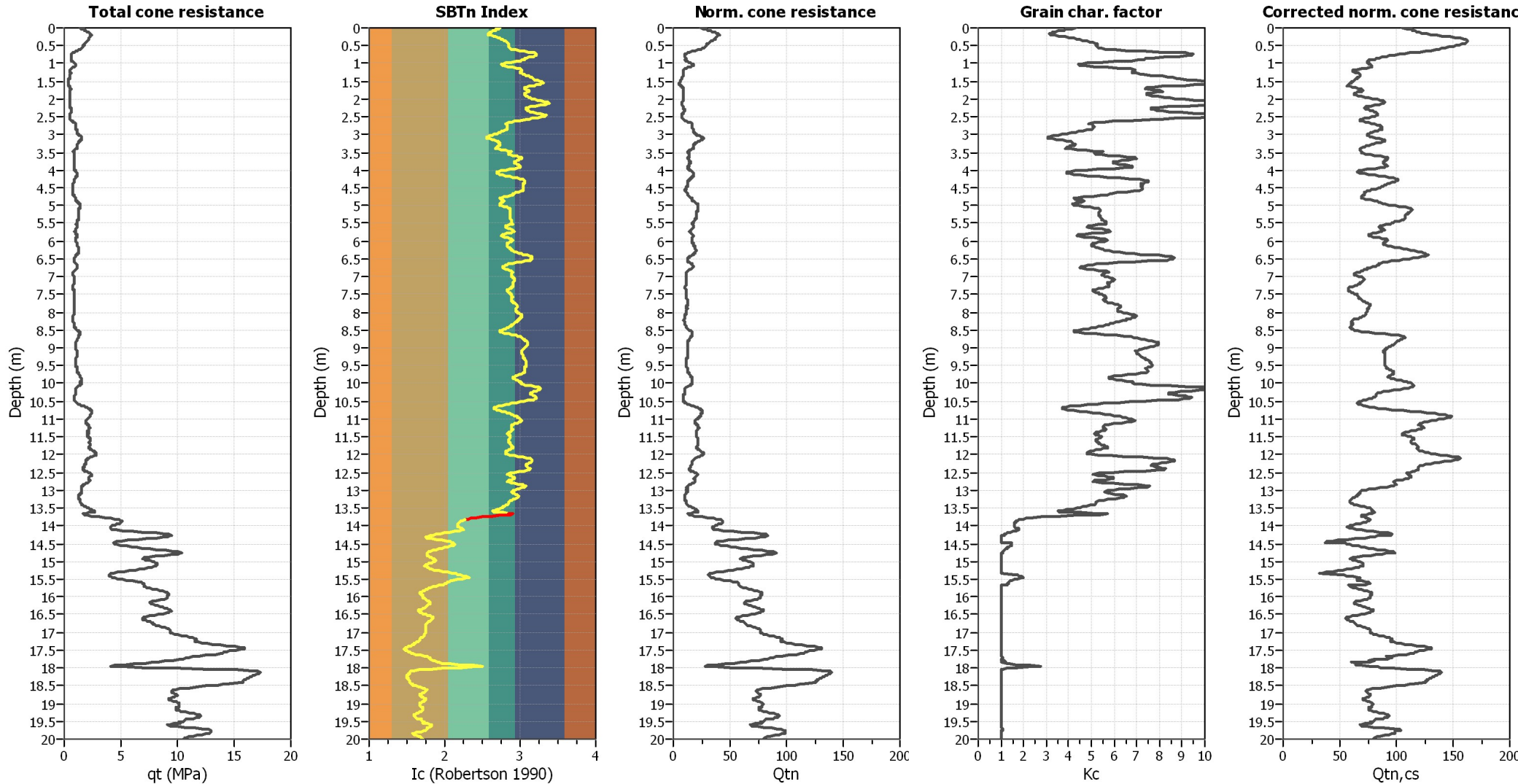
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

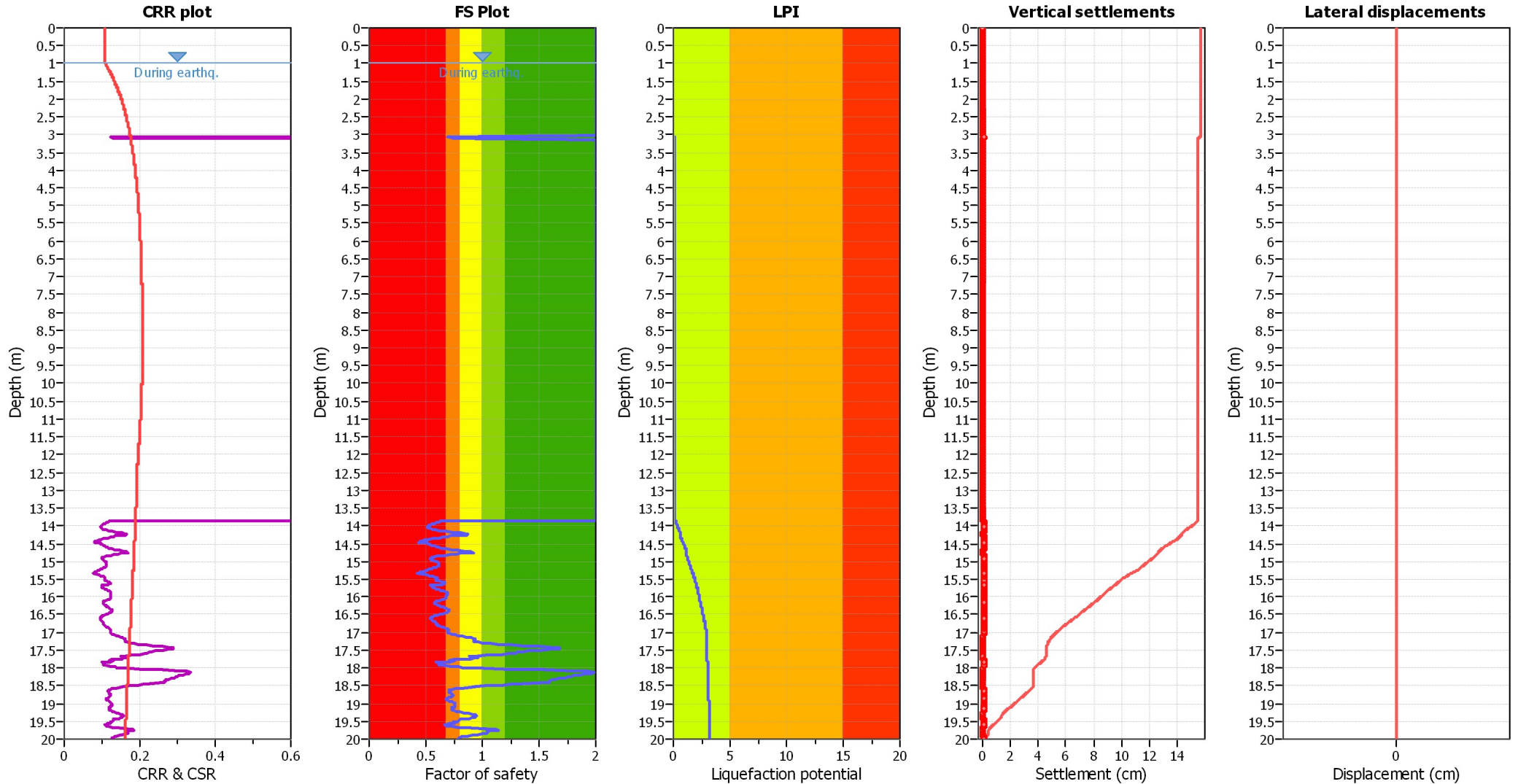
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

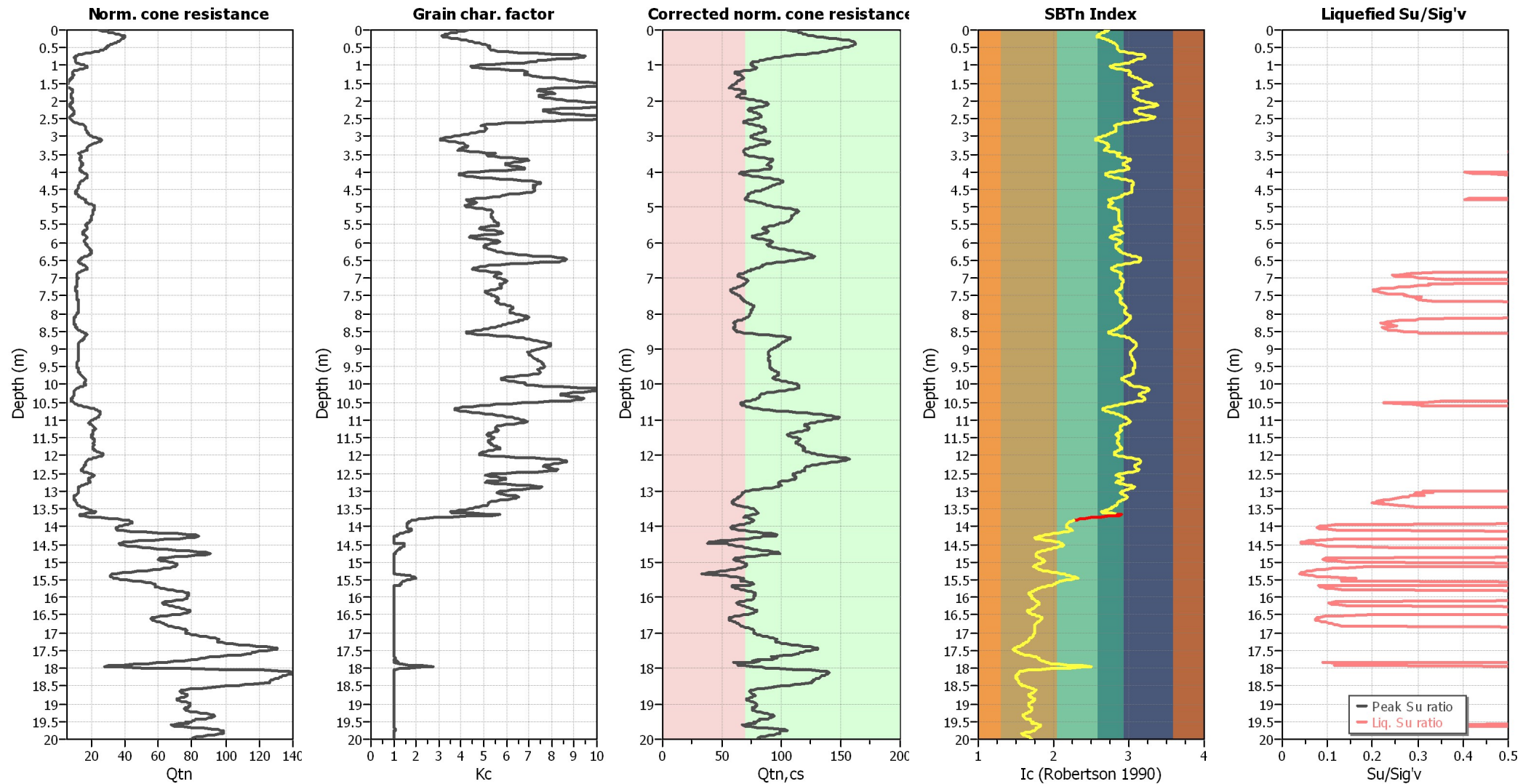
F.S. color scheme

Red	Almost certain it will liquefy
Orange	Very likely to liquefy
Yellow	Liquefaction and no liq. are equally likely
Green	Unlike to liquefy
Dark Green	Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_g applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

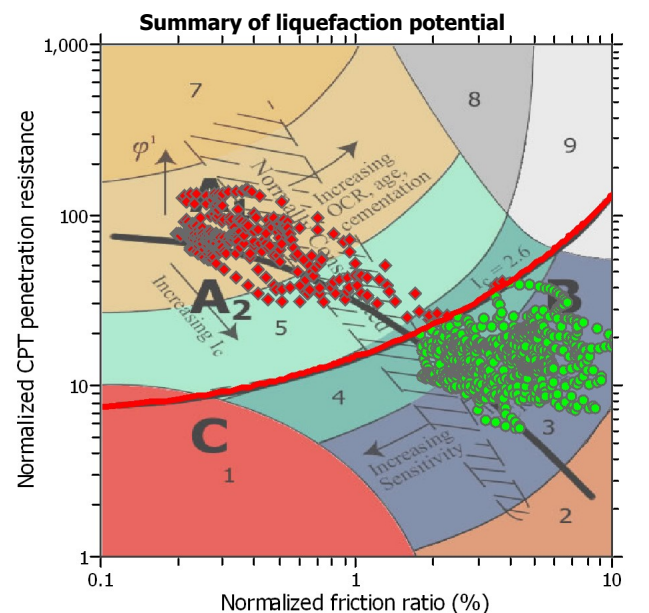
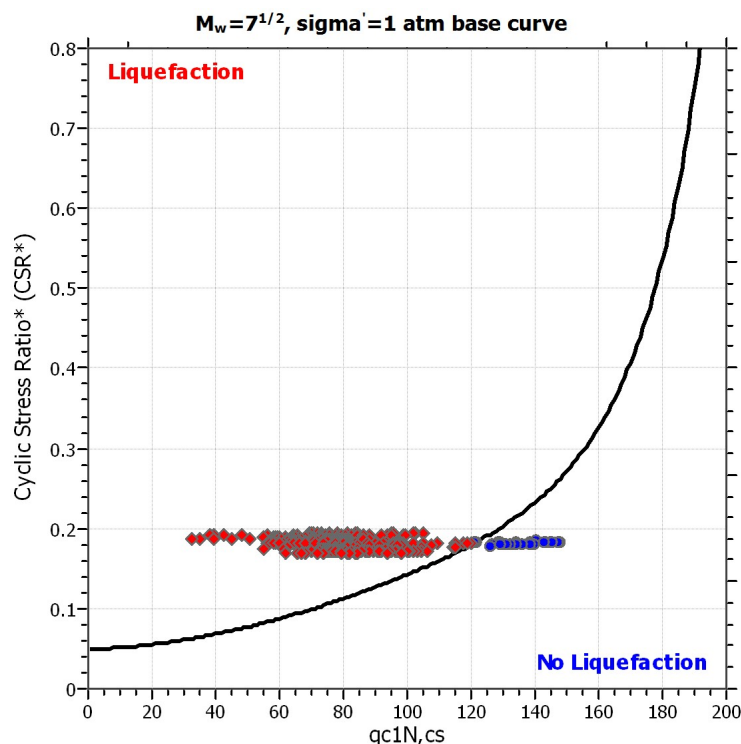
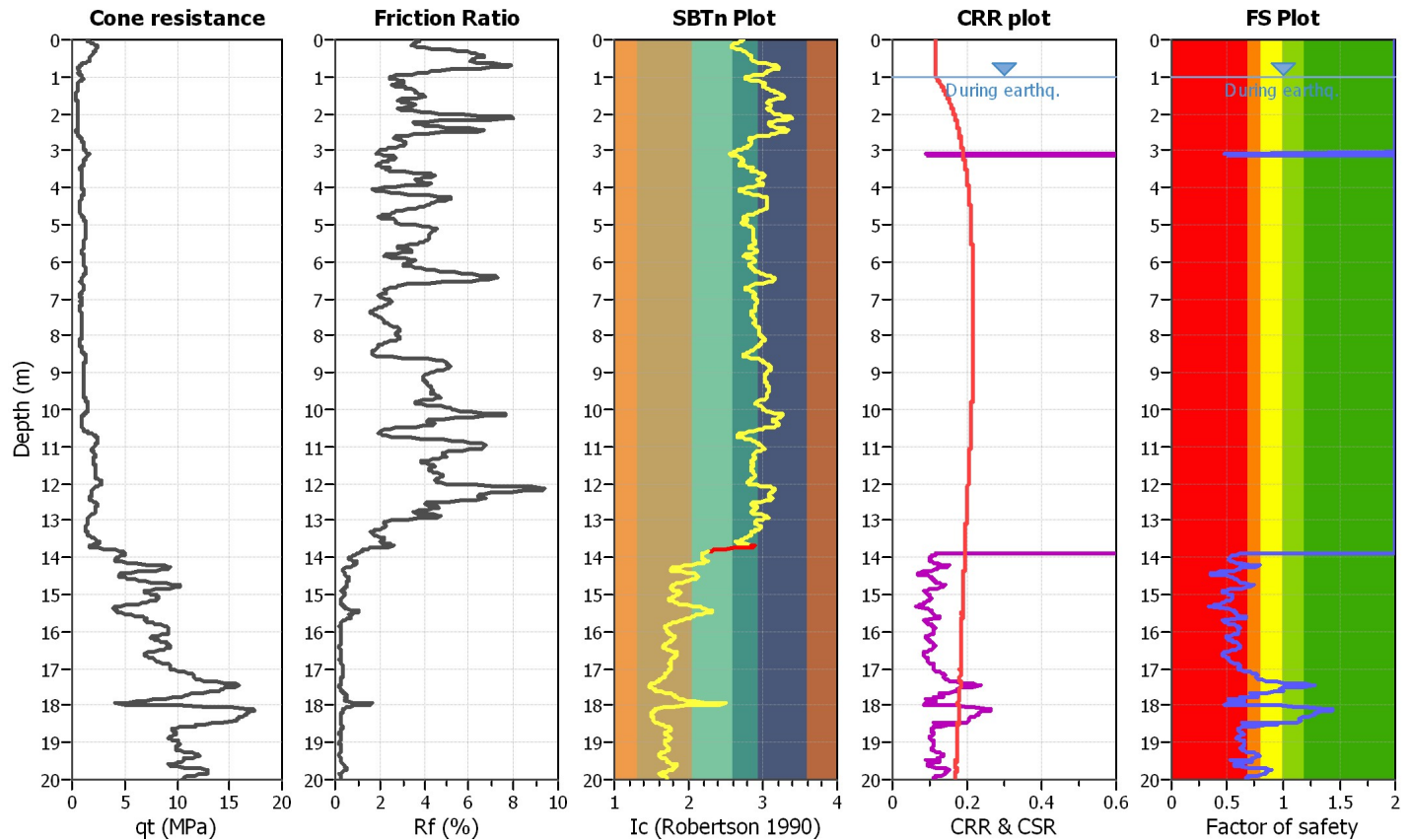
Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CONCORDIA s/S - CENTRO POLIFUNZIONALE

CPT file : CPT-01 I&B

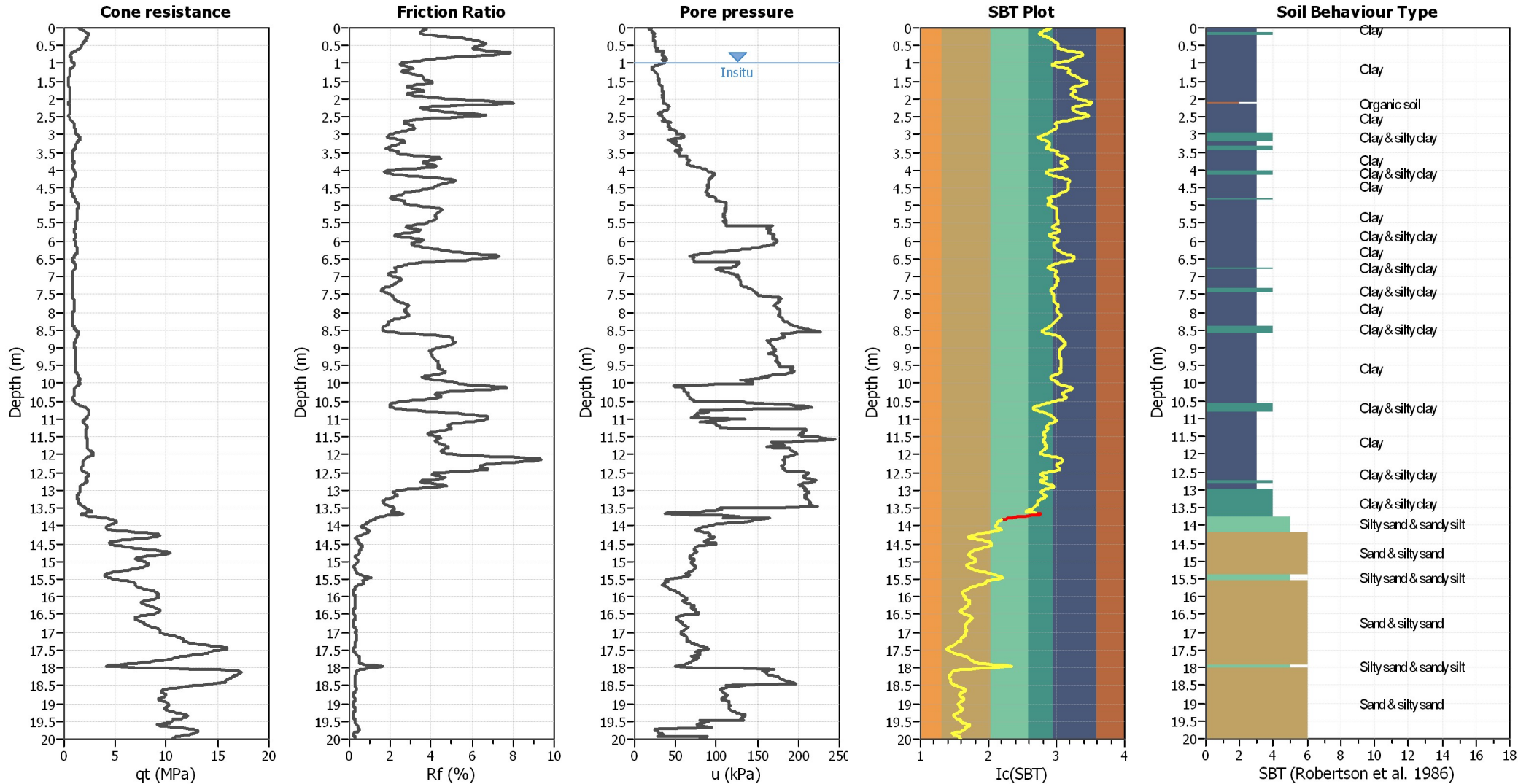
Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	R&W (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	5	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.28	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



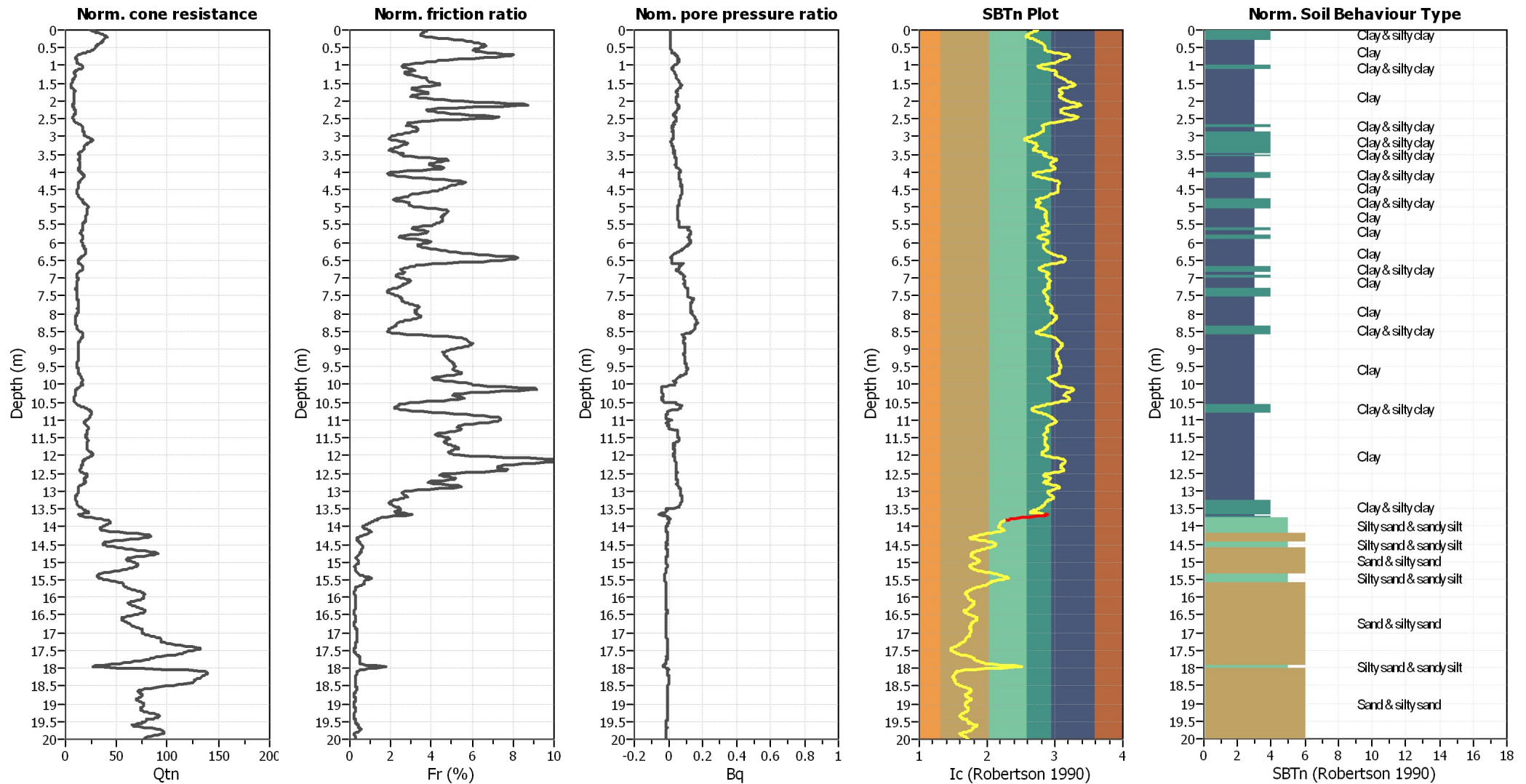
Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _G applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

CPT basic interpretation plots (normalized)



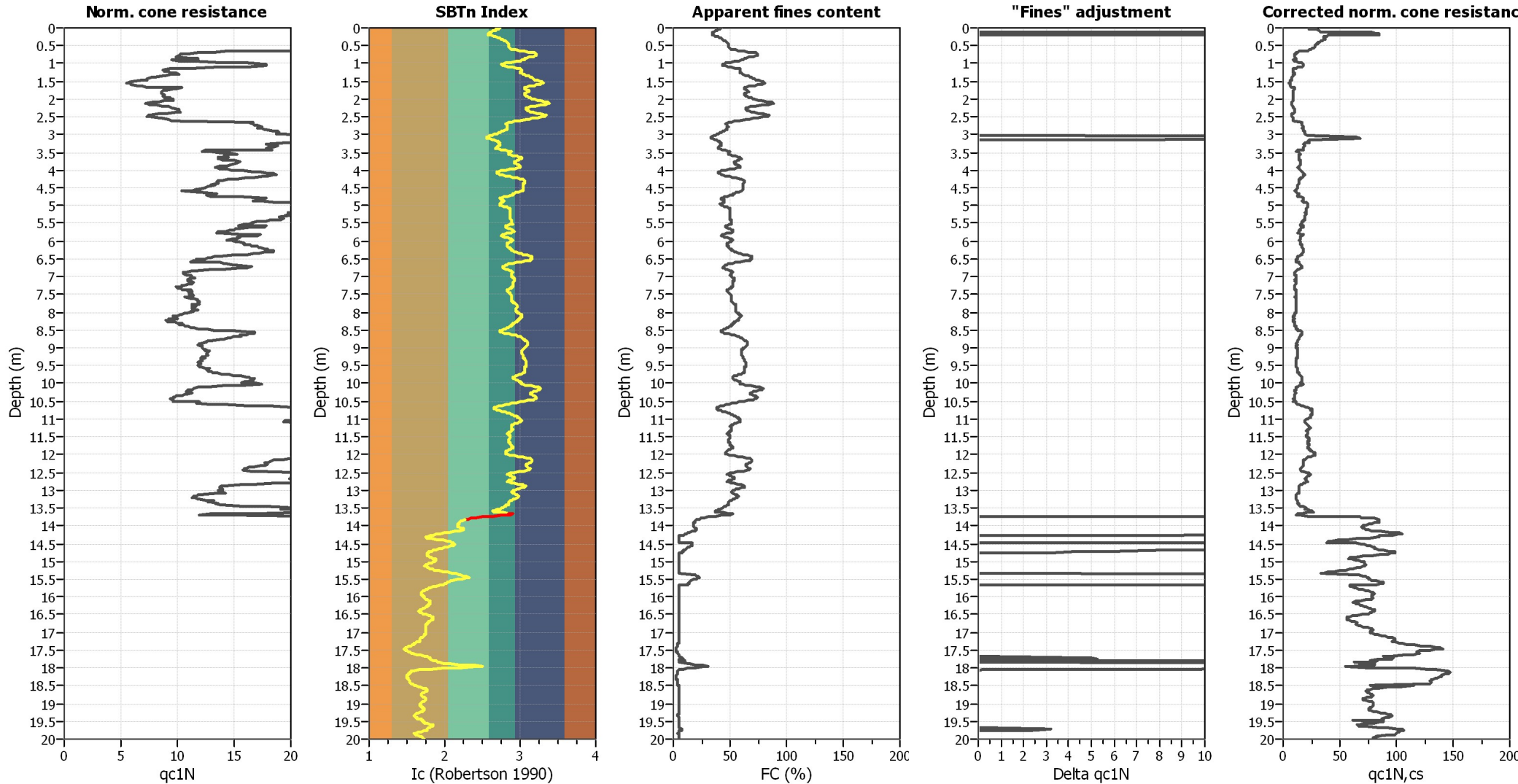
Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _G applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

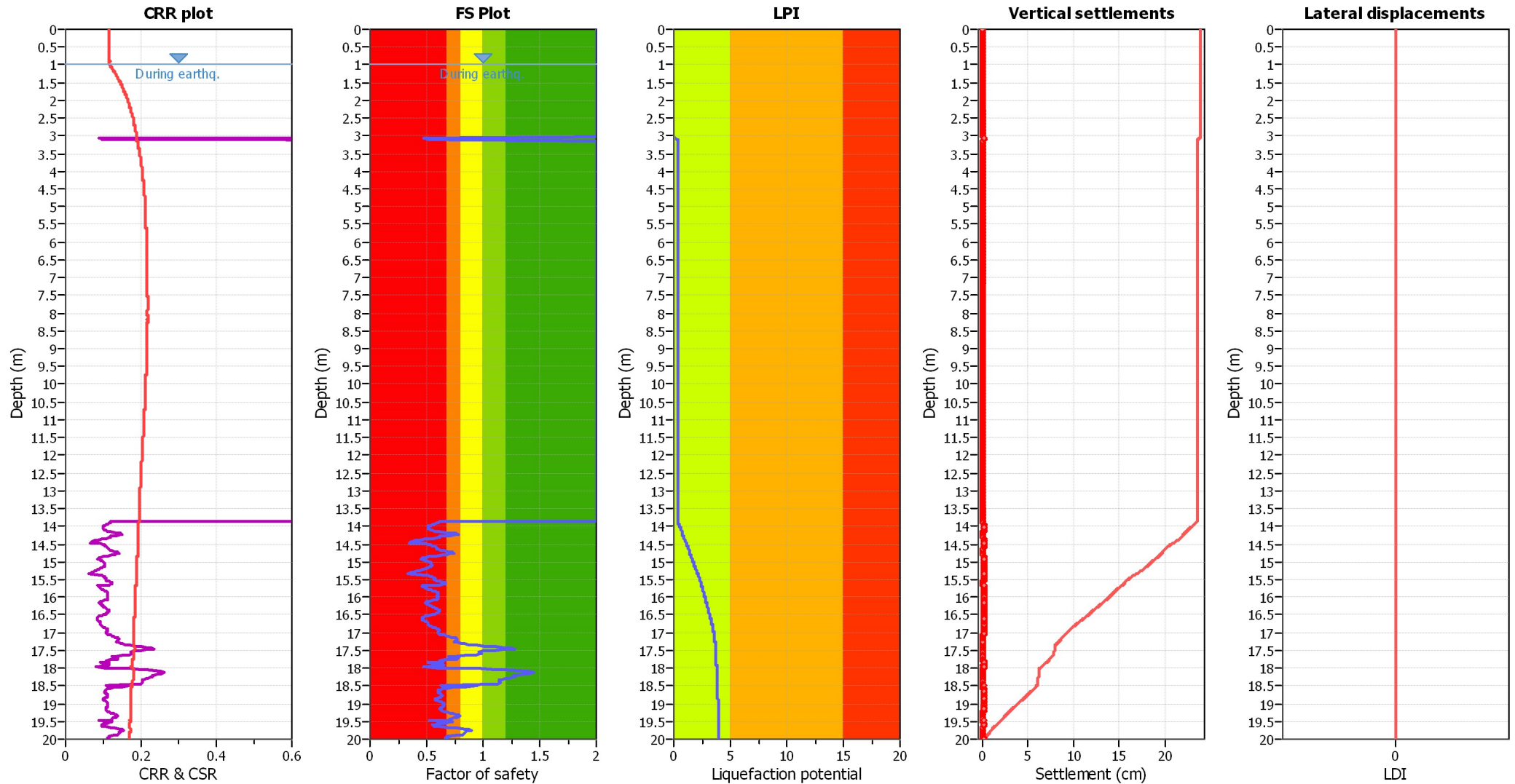
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _G applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: I&B (2008)
 Fines correction method: R&W (1998)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.28
 Depth to water table (insitu): 1.00 m

Depth to GWT (erthq.): 1.00 m
 Average results interval: 5
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_g applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

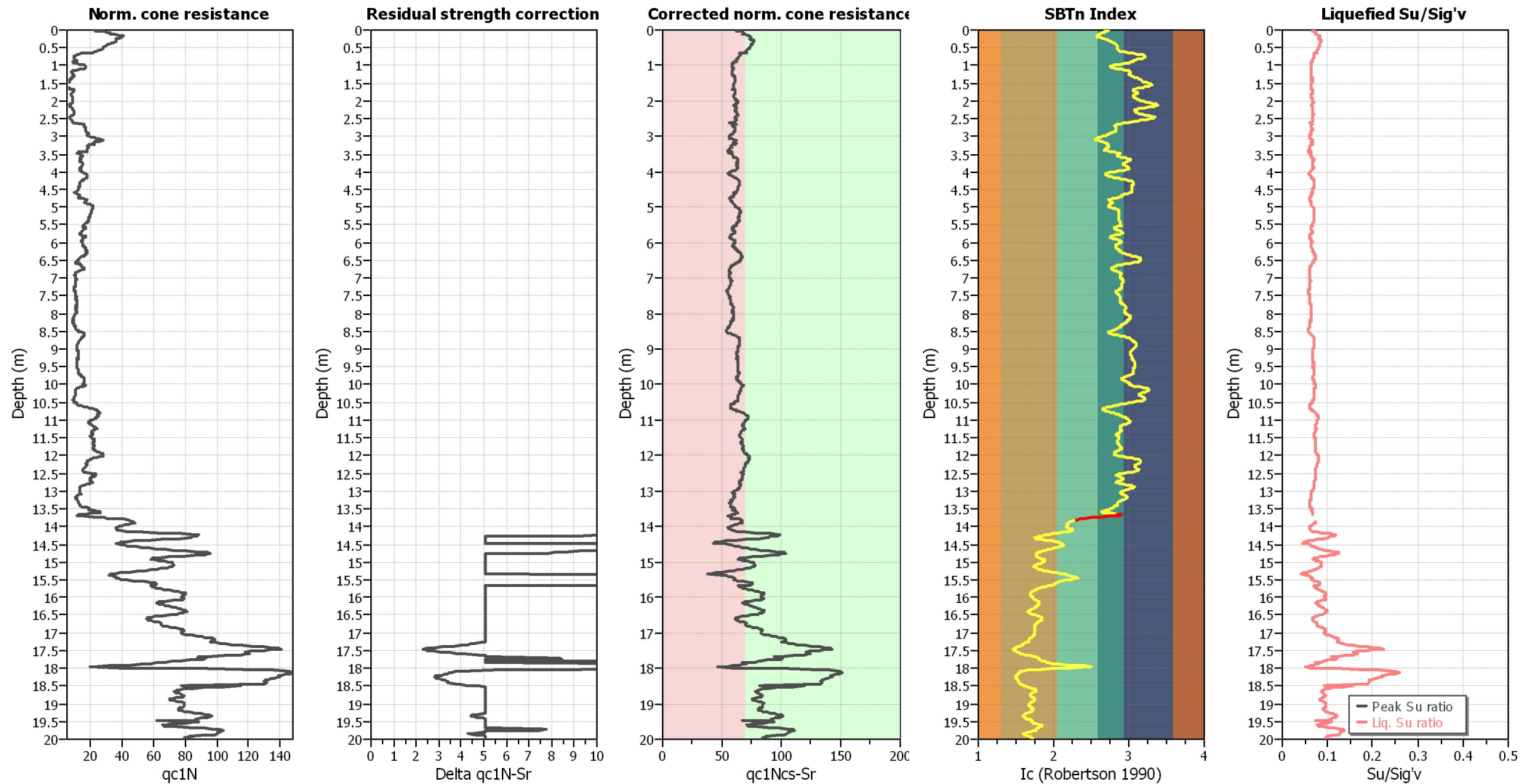
F.S. color scheme

■ Almost certain it will liquefy
■ Very likely to liquefy
■ Liquefaction and no liq. are equally likely
■ Unlike to liquefy
■ Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

■ Very high risk
■ High risk
■ Low risk

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	5	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_G applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m