

# Comune di Soliera

## Provincia di Modena

RELAZIONE GEOLOGICA inerente la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. NTC 2018)

RELAZIONE GEOTECNICA relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4. NTC 2018)

ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)



### OGGETTO:

**Caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato industriale ad uso magazzino, in Via Archimede nel Comune di Soliera**



Dot. Geol. Pier Luigi Dallari

Agosto 2023  
Rif. 646/23



**GEO GROUP s.r.l.**  
Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA  
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5960176  
E-mail: info@geogroupmodena.it  
P.IVA e C.F. 02981500362  
[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



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

## RELAZIONE TECNICA

### **RELAZIONE GEOLOGICA**

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018)

### **RELAZIONE GEOTECNICA**

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4.NTC 2018)

### **ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (DGR 476/2021)

### **OGGETTO**

**Caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato industriale ad uso magazzino, in Via Archimede nel Comune di Soliera (MO)**

---

**Rif. n. 646/2023**



UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)

SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F.02981500362

Email: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) Pec: [geo.group@winpec.it](mailto:geo.group@winpec.it) Sito: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)

## INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	Inquadramento geografico.....	4
2.2	Elementi geologici e geomorfologici.....	5
2.3	Inquadramento sismico .....	6
2.4	Inquadramento idrologico.....	7
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	18
3.1	Indagini Geotecniche .....	18
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	18
3.2	Indagini Geofisiche .....	19
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSr) .....	19
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	20
4.1	Pericolosità sismica di base.....	20
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018) .....	22
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato .....	23
4.4	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021) .....	24
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO .....	27
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	27
5.2	Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante .....	27
5.2.1	Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018) .....	28
5.2.2	Verifica dei cedimenti .....	29
5.2.3	Modulo di sottofondo .....	29
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	30

## TAVOLE

**Tav. n. 1:** “Carta Topografica”

scala 1: 5.000

**Tav. n. 2:** “Ripresa Satellitare”

scala 1: 5.000

**Tav. n. 3:** “Ubicazione indagini”

scala 1: 500

## ALLEGATI

**ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT

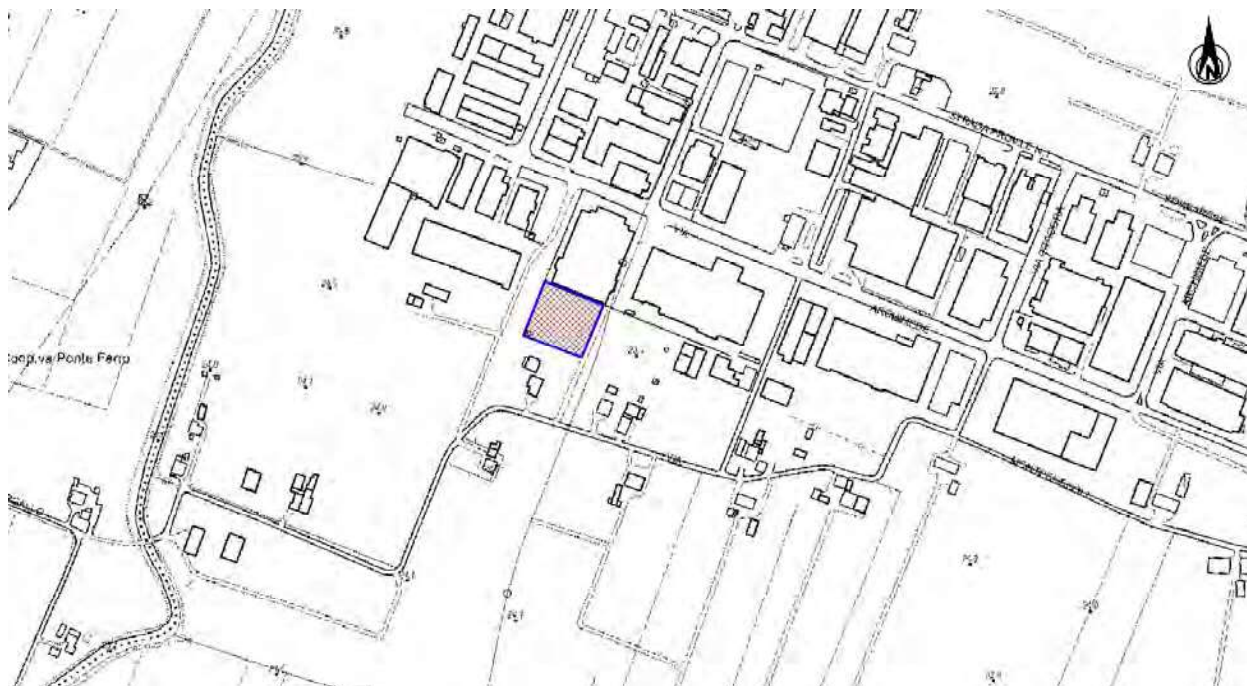
**ALL. n. 2** Verifiche geotecniche

**ALL. n. 3** Indagini sismiche

**ALL. n. 4** Verifica alla liquefazione

# 1 PREMESSE

Nel mese di agosto 2023 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato industriale ad uso magazzino, in Via Archimede nel Comune di Soliera (MO) (Fig.1.1).



**Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio.**

Il presente studio è stato condotto secondo la seguente Normativa Tecnica e documentazione di riferimento:

- **OPCM 3274/2003** - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- **D.M. 17.01.2018** - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP.** - Circolare esplicativa delle NTC 2018;
- **D.G.R. 476/2021**– Aggiornamento dell'“Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019 n. 630.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura, a nord ovest del Comune di Soliera (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.766446	10.908273

Tali coordinate sono state stimate grossomodo al centro del sedime di intervento, e successivamente utilizzate per il calcolo dei parametri della azione sismica di base in relazione al reticolo sismico da INGV.



**Fig.2.1 – Ubicazione geografica del sito in studio.**

Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare la "Carta topografica" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 1) e la "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2).

## 2.2 Elementi geologici e geomorfologici

Dalla consultazione della carta delle coperture, si evidenzia come l'area in studio sia caratterizzata da **argilla**, tipico di un ambiente alluvionale di piana inondabile.

In particolare l'area in studio è caratterizzata dal **Subsistema di Ravenna AES8**, caratterizzata da ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. (Fig. 2.2).



### Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Argilla - Piana alluvionale

Limo - Piana alluvionale

### Coperture quaternarie (10K)

■ AES8 - Subsistema di Ravenna

*Fig.2.2 – Estratto della carta di litologia di superficie.*



## 2.3 Inquadramento sismico

A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Soliera (MO), ed in particolare dalla "Carta di microzonazione sismica FA PGA", un cui estratto è riportato in figura (Fig. 2.3), si nota come l'area in studio ricada in zona stabile suscettibile di amplificazione locale.



### Legenda

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  Fattore di amplificazione della P.C.A 1.5 - 1.6
-  Fattore di amplificazione della P.C.A 1.7 - 1.8

#### Zone instabili per suscettibilità per liquefazioni

-  Fattore di amplificazione della P.C.A 1.5 - 1.6  
Potenziale di liquefazione  $IL > 5$
-  Fattore di amplificazione della P.C.A 1.5 - 1.6  
Potenziale di liquefazione  $2 < IL < 5$
-  Fattore di amplificazione della P.C.A 1.5 - 1.6  
Potenziale di liquefazione  $1 < IL < 2$
-  Fattore di amplificazione della P.C.A 1.7 - 1.8  
Potenziale di liquefazione  $2 < IL < 5$
-  Fattore di amplificazione della P.C.A 1.7 - 1.8  
Potenziale di liquefazione  $1 < IL < 2$

**Fig.2.3 – Estratto della “Carta delle microzonazione sismica FA PGA” – Microzonazione Sismica del Comune di Soliera (MO) – Tav.8.**

## 2.4 Inquadramento idrologico

Il lotto d'interesse, come tutto il territorio comunale di Soliera, è ricompreso nell'**Unità di Paesaggio 7 - Pianura di Carpi Soliera e Campogalliano (figura 2.2)**.

Gli elementi caratterizzanti il territorio sono rappresentati dalle strade principali, poderali e interpoderali, dai canali di scolo disposti lungo gli assi principali della centuriazione, dai tabernacoli agli incroci degli assi, dalle case coloniche, dalle piantate e dai relitti di filari di antico impianto orientati secondo la centuriazione e da altri elementi topografici presenti riconducibili alla divisione agraria romana. Nella zona più a Sud il territorio presenta caratteri in parte analoghi alle zone perifluviali del Secchia.

La morfologia è caratterizzata dalla presenza di due dossi con andamento generale Sud-Nord che attraversano quasi per intero il territorio della U.P. e su cui si dispongono anche alcune importanti aree di concentrazione di materiali archeologici.

I caratteri ambientali sono quelli tipici della pianura coltivata. Sono presenti alcuni centri abitati di un certo rilievo (Carpi, Soliera, Campogalliano). I principali caratteri ambientali sono quelli di una campagna di pregio soprattutto nella porzione meridionale, con alberi isolati di grandi dimensioni (prevalentemente farnie) e numerosi esemplari di filari e piantate. La vegetazione presente lungo i canali é quella tipica delle zone umide di pianura e conferisce un aspetto molto tipico al paesaggio visto lo sviluppo della rete di canali. In alcuni casi a questi è associata la presenza di alberi e arbusti lungo il margine esterno delle sponde. Numerosi elementi residuali quali alberi isolati di grandi dimensioni, siepi e talvolta formazioni arboree lineari, sono sviluppate in corrispondenza di confini di proprietà, dei fossati e nelle vicinanze degli insediamenti storici.

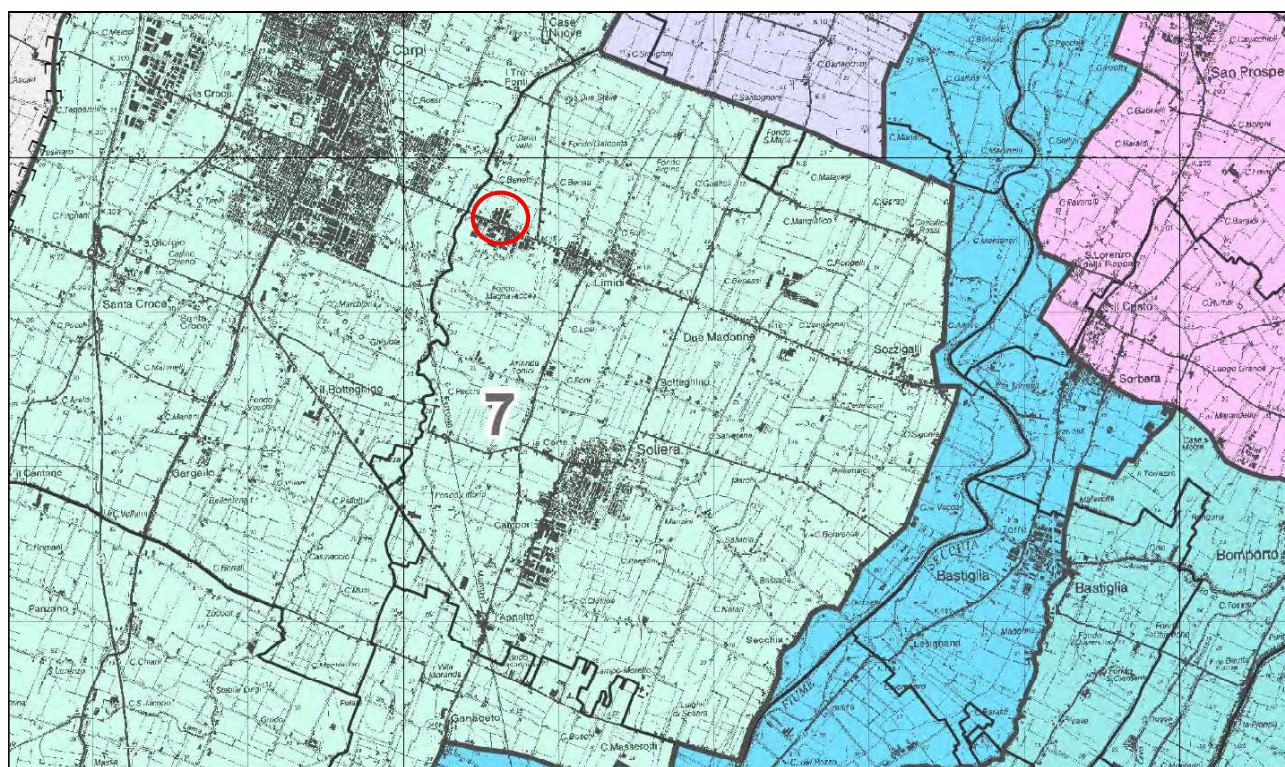
La fauna è quella delle campagne coltivate.

Il sistema insediativo rurale é a carattere sparso e in buono stato di conservazione con diffusione di ville di interesse storico-architettonico.

La viabilità storica si sviluppa secondo maglie regolari dando origine a un reticolo denso e articolato soprattutto in prossimità di Campogalliano.

La U.P. 7 comprende i principali centri urbani di Carpi, Soliera e Campogalliano, oltre a una serie di centri frazionali quali S. Marino, Limidi, Ganaceto, Santa Croce, Sozzigalli.





### Unità di Paesaggio (U.P.)

1	Pianura della bonifica recente
2	Dossi e zone più rilevate nella bassa e media pianura
3	Pianura della bonifica recente nei territori di Novi di Modena e a nord di Carpi
4	Paesaggio perifluviale del fiume Panaro nella fascia di bassa e media pianura
11	Paesaggio perifluviale del fiume Panaro nella prima fascia regimata
16	Paesaggio perifluviale del fiume Panaro in prossimità di Spilamberto e San Cesario sul Panaro
5	Paesaggio perifluviale del fiume Secchia nella fascia di bassa e media pianura
10	Paesaggio perifluviale del fiume Secchia nella prima fascia regimata
12	Paesaggio perifluviale del fiume Secchia nella fascia di alta pianura
6	Media pianura di Ravarino
9	Media pianura di Nonantola e nord di Castelfranco
7	Pianura di Carpi, Soliera e Campogalliano

Fig. 2.4 – Carta delle Unità di Paesaggio, tratta dalla Tav. 7 del PTCP della Provincia di Modena

La **rete idrografica** é costituita prevalentemente da canali di bonifica di varia importanza, sia per uso irriguo, sia di scolo. Fra i maggiori: il **Tresinaro** (che nonostante l'origine naturale in questo tratto assume carattere di notevole artificialità a causa di interventi idraulici), il **cavo Lama** e il **canale dei Mulini**. La rete dei fossati per uso irriguo e di scolo costituisce inoltre una maglia densa e regolare.

L'orientamento produttivo è a prevalente indirizzo viticolo o frutticolo; sono presenti anche allevamenti zootecnici di dimensioni medio/grandi in strutture edilizie recenti.

La maglia poderale presenta caratteri di forte regolarità geometrica.

Il paesaggio agrario, ai margini della zona in cui sono tuttora riconoscibili le tracce della centuriazione romana, risulta fortemente modificato dallo sviluppo di frange urbane e da un cospicuo intreccio di infrastrutture di recente impianto.

Il paesaggio nella zona di Carpi si presenta fortemente caratterizzato dalla presenza di vigneti di tipo tradizionale e di impianti per la raccolta meccanica, oltre alle colture frutticole, rappresentate dalle specie più importanti, con prevalenza del pero.

Le strutture edilizie di servizio, connesse alle attività agricole, quali ricoveri attrezzi/macchine e magazzini di primo stoccaggio, producono un impatto ambientale consistente.

Nell'ambito prossimo al centro di Soliera prevalgono le strutture edilizie di tipo produttivo connesse agli allevamenti bovini.

Per quanto riguarda le principali zone di tutela ai sensi del Piano Paesistico, il territorio della U.P. è interessato per quasi tutto l'ambito dall'impianto storico della centuriazione (art. 41B) e presenta forti tracce di viabilità storica (art. 44A) e alcune aree di interesse archeologico (art. 41A).

L'ambito è anche caratterizzato dall'interesse dei caratteri ambientali degli ambiti fluviali dei principali canali di bonifica (art. 9) e dei Dossi (art. 23A).

Dal punto di vista idraulico l'area d'interesse è gestita dal **Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (fig. 2.4)** e appartiene alla cosiddetta area del **Comprensorio di Pianura**.

Più nel dettaglio essa appartiene all'area omogenea di Bonifica Idraulica della **Bassa Pianura destra Crostolo (fig. 2.6)**.



Fig. 2.5 – Cartografia del comprensorio del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (Tav. 1.1.1 del Piano di Classifica del Marzo 2015)

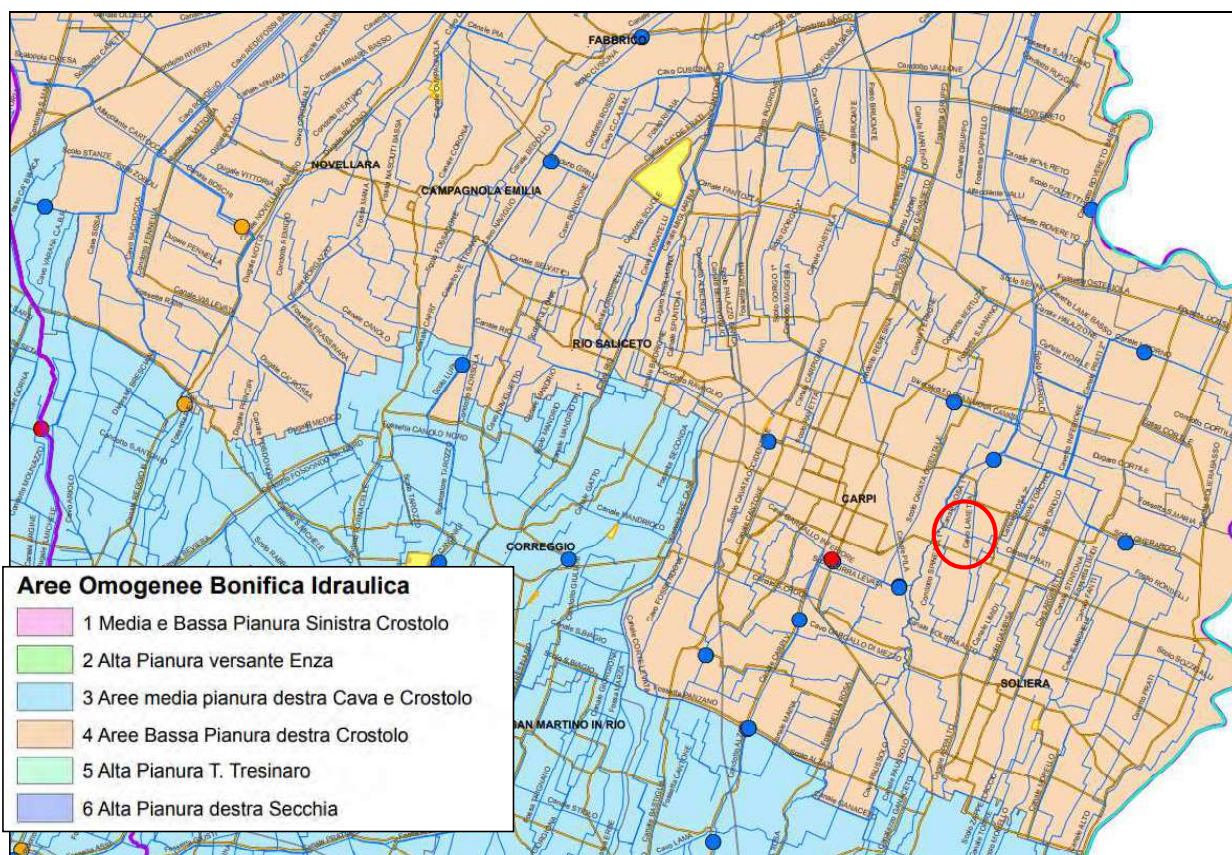
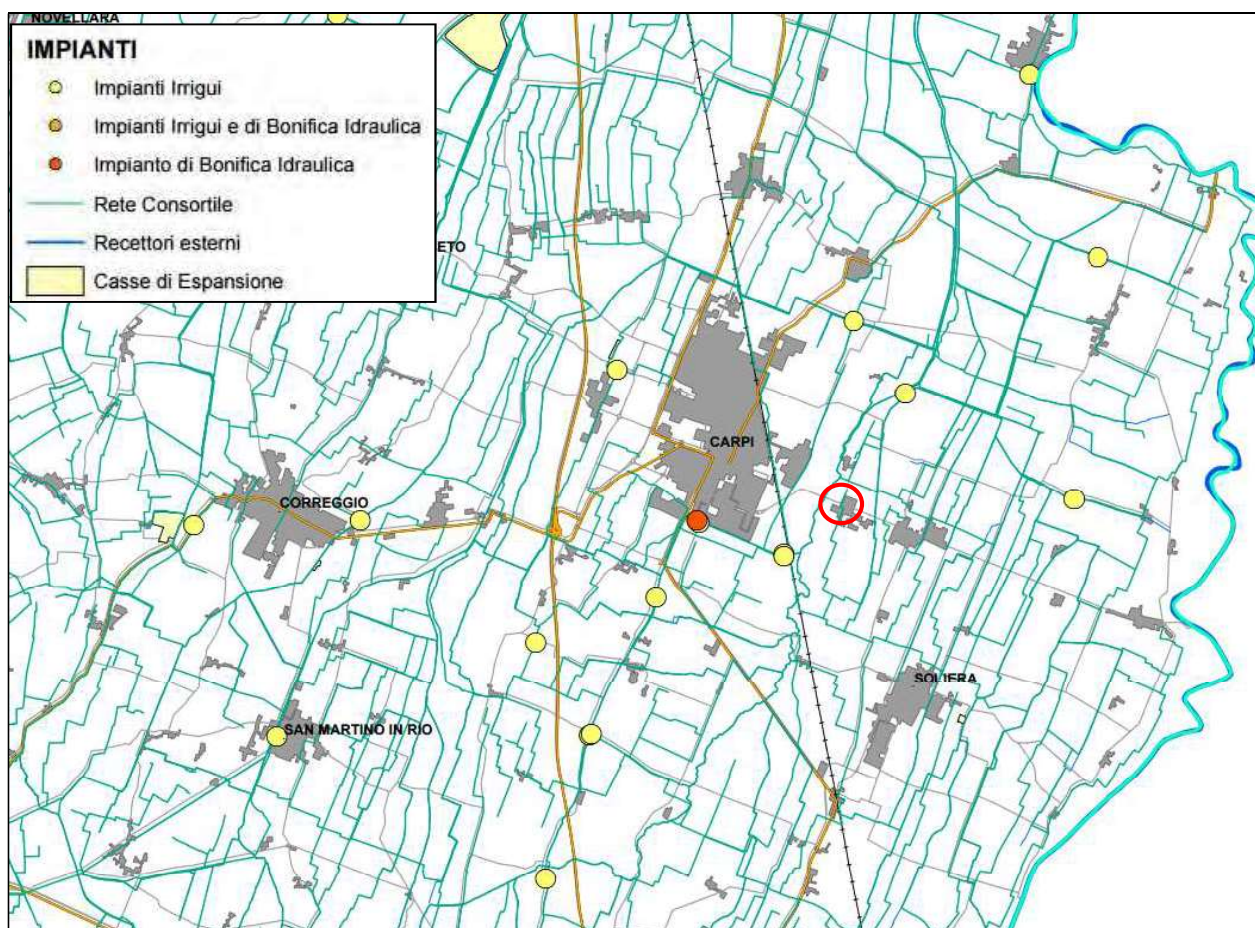


Fig. 2.6 – Aree omogenee bonifica idraulica (Tav. 1.1.5.1 del Piano di Classifica del Marzo 2015)

Localmente i bacini superficiali principali sono suddivisi in microbacini che, tramite una fitta rete di fossi e scoli convogliano i deflussi idrici, relativi alle acque che non si infiltrano nel sottosuolo, nei collettori principali che solcano il territorio, come si vede nella carta di tutti i collettori irrigui facenti parte del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, riportata in **(fig. 2.5)**.

Il reticolo idrografico risulta essere così costituito da canali o cavi che confluiscono principalmente nel **Cavo Lama**, che rappresenta il principale drenaggio dell'area.



**Fig. 2.7** – Cartografia di pianura del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (Tav. 1.1.3 del Piano di Classifica del Marzo 2015)

Dalla consultazione del **PSC del Comune di Soliera**(MO), ed in particolare della tavola 2.2 "Tutele, Vincoli e Territorio urbanizzato", un cui estratto è riportato in **figura 2.1.1**, si nota come l'area d'interesse non ricada in un'area inondabile.

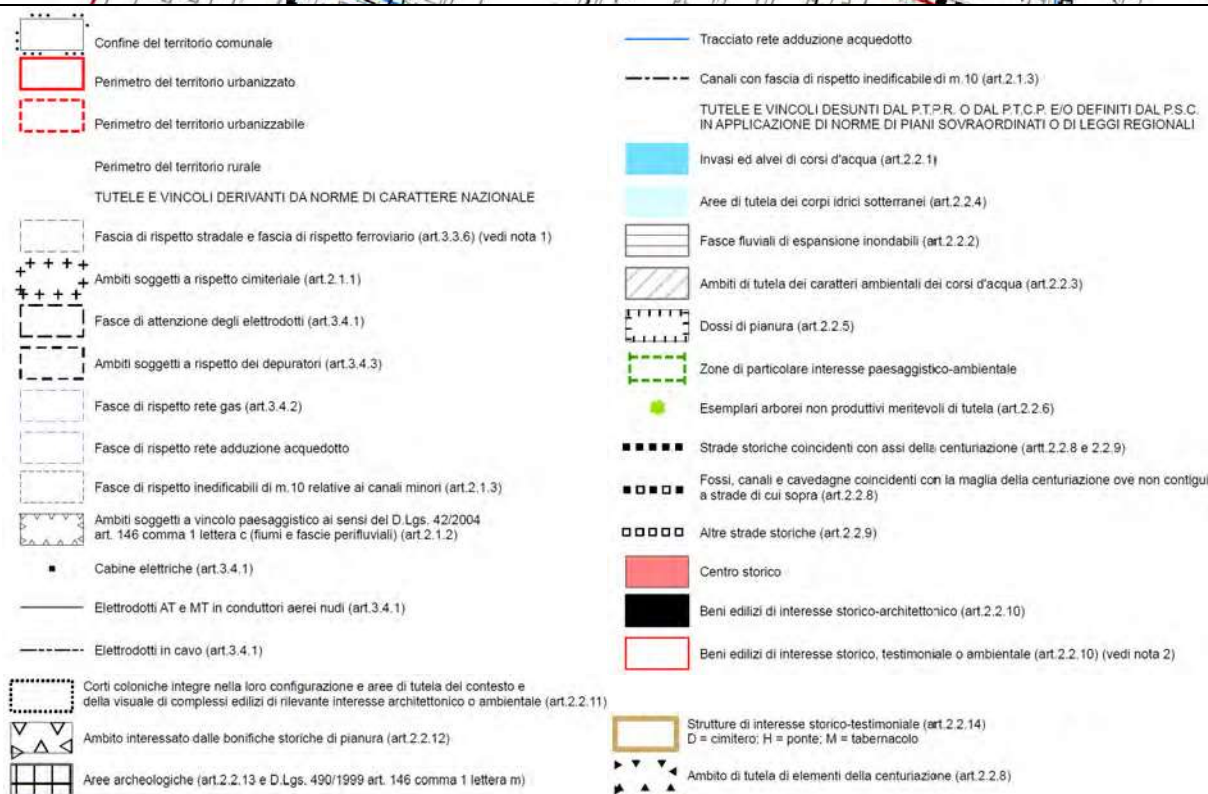
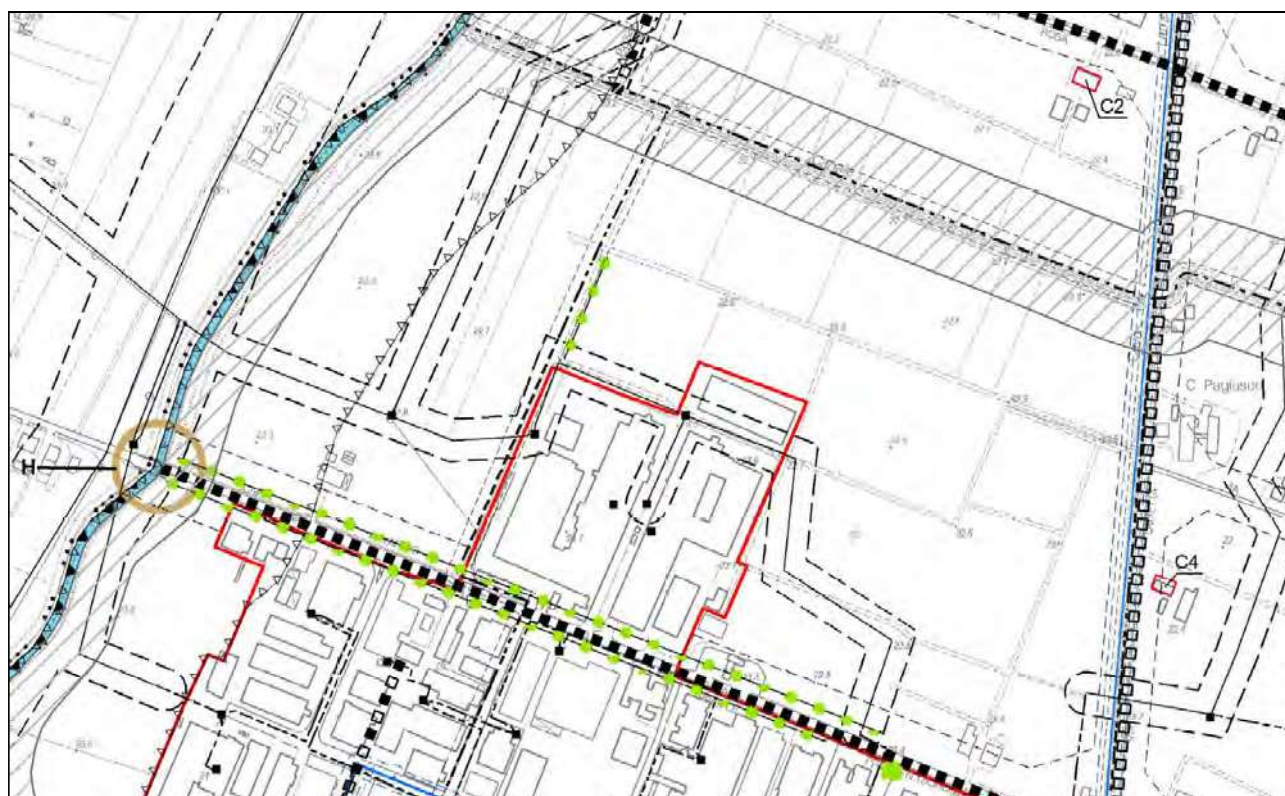


Fig. 2.8 – Estratto della Tav.2.2 del PSC del Comune di Soliera "Tutele, Vincoli e Territorio urbanizzato".

Dalla consultazione del **PTCP della Provincia di Modena** ed in particolare della **Tavola 2\_3\_01 "Rischio idraulico"**, un cui estratto è riportato in **Figura 2.1.2**, l'area ricade in corrispondenza di

un'area classificata "A3 - Aree depresse ad elevata criticità idraulica; aree a rapido scorrimento ad elevata criticità idraulica" di cui all'Art. 11.

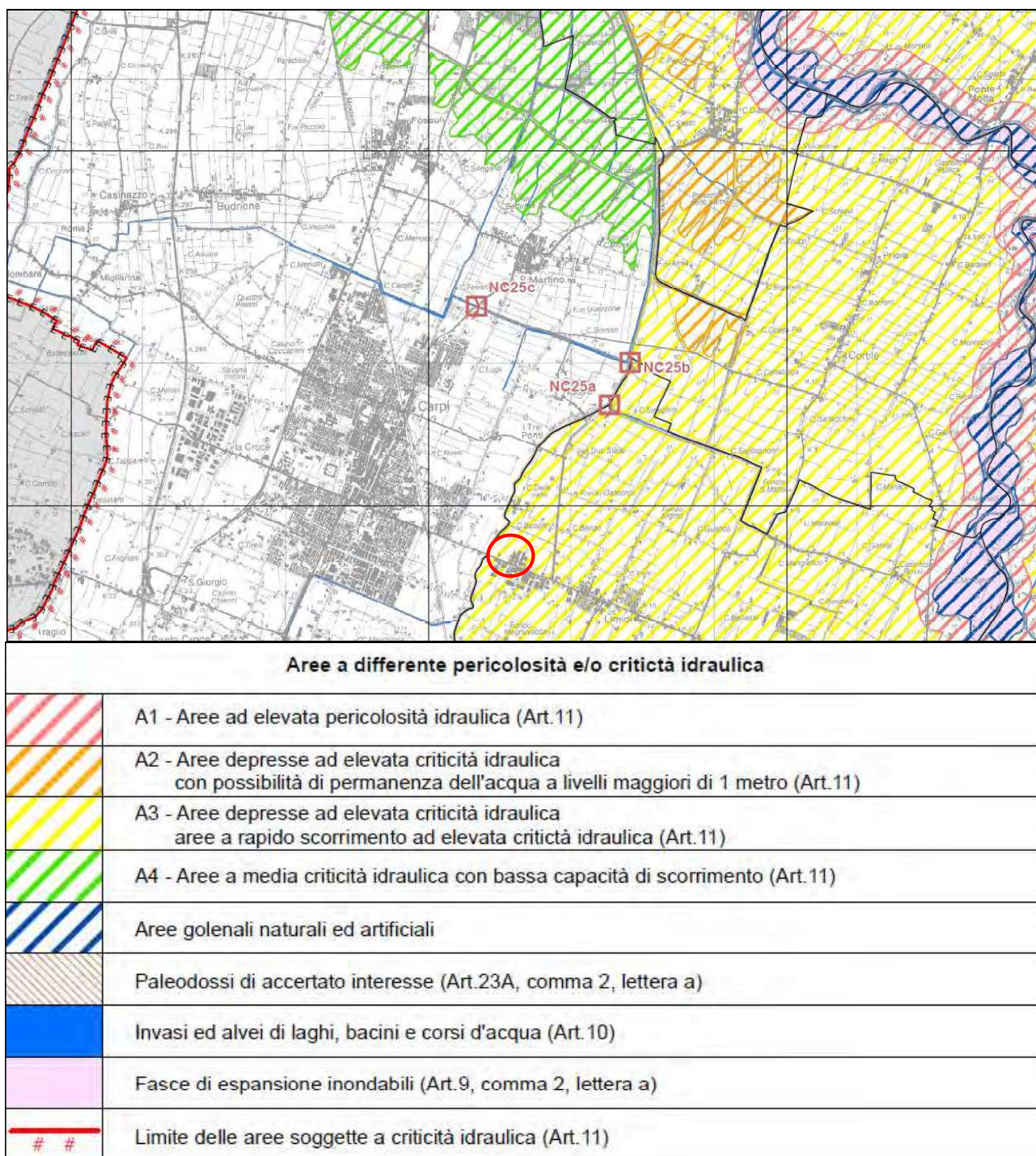
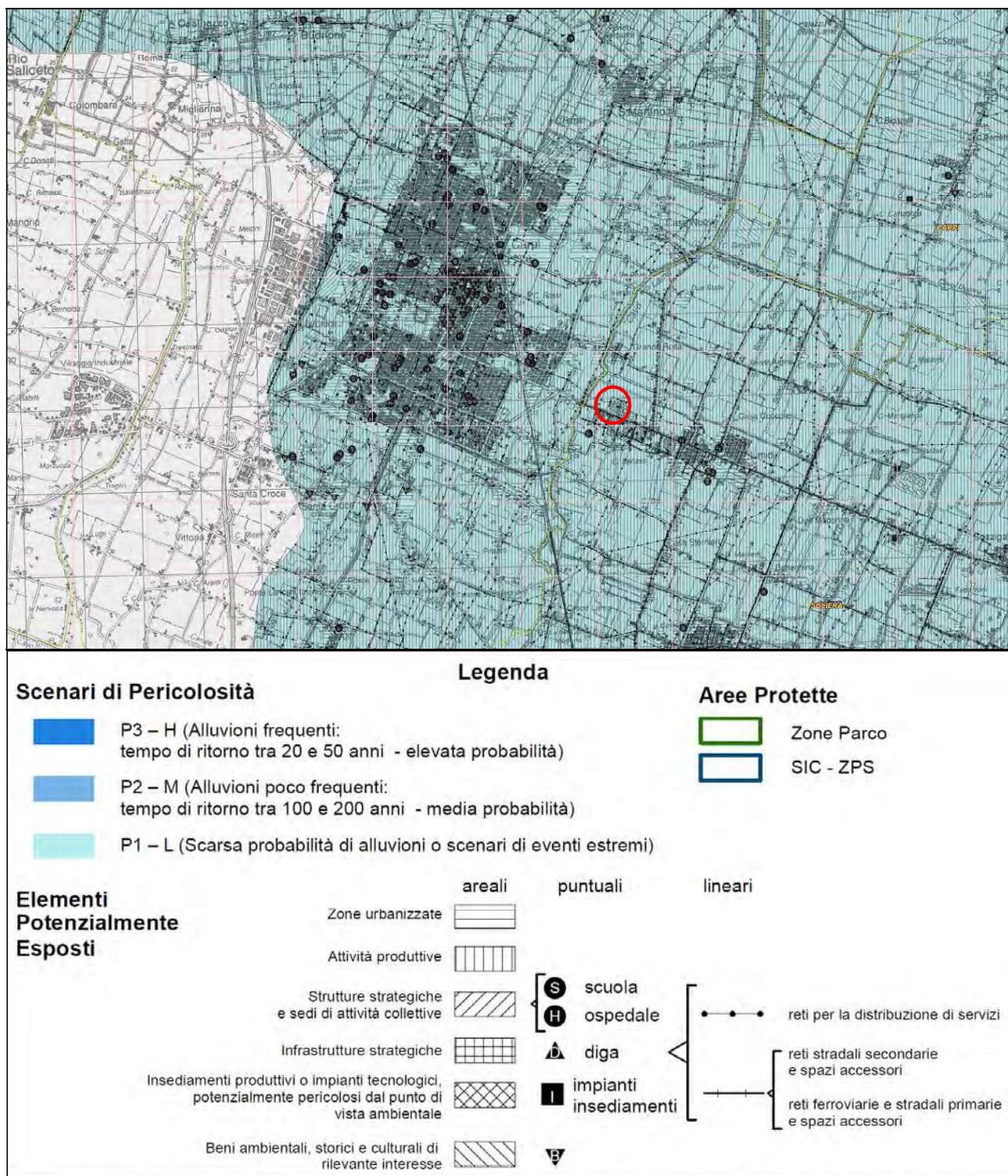


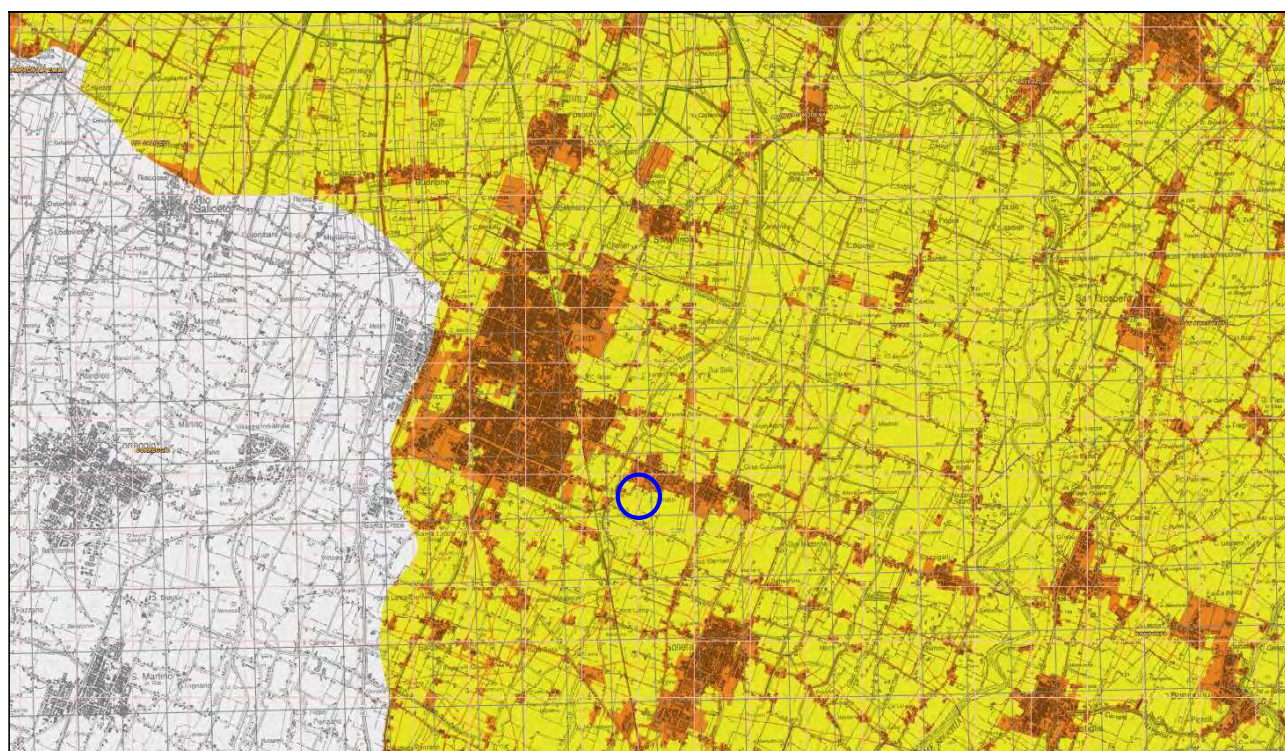
Fig. 2.9 – Estratto dalla Tavola 2\_3\_01 del PCPT della Provincia di Modena "Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica"

Si riportano inoltre le **"Mappe della Pericolosità e del Rischio Alluvioni (Def. 3757/2011 e DGR 1244/2014)"** del **PGRA (Piano Gestione Rischio Alluvioni)** in riferimento al Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano RP ed al Reticolo Secondario di Pianura RSP.

Dalla Mappa riportata in **Figura 2.1.3** emerge come, in riferimento al Reticolo Principale, il sito di interesse ricada all'interno della zona "**P1 - L - Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi**", mentre nell'estratto della carta riportata in **Figura 2.1.4**, la zona viene indicata come appartenente ad una classe di rischio "**R2 - medio**".



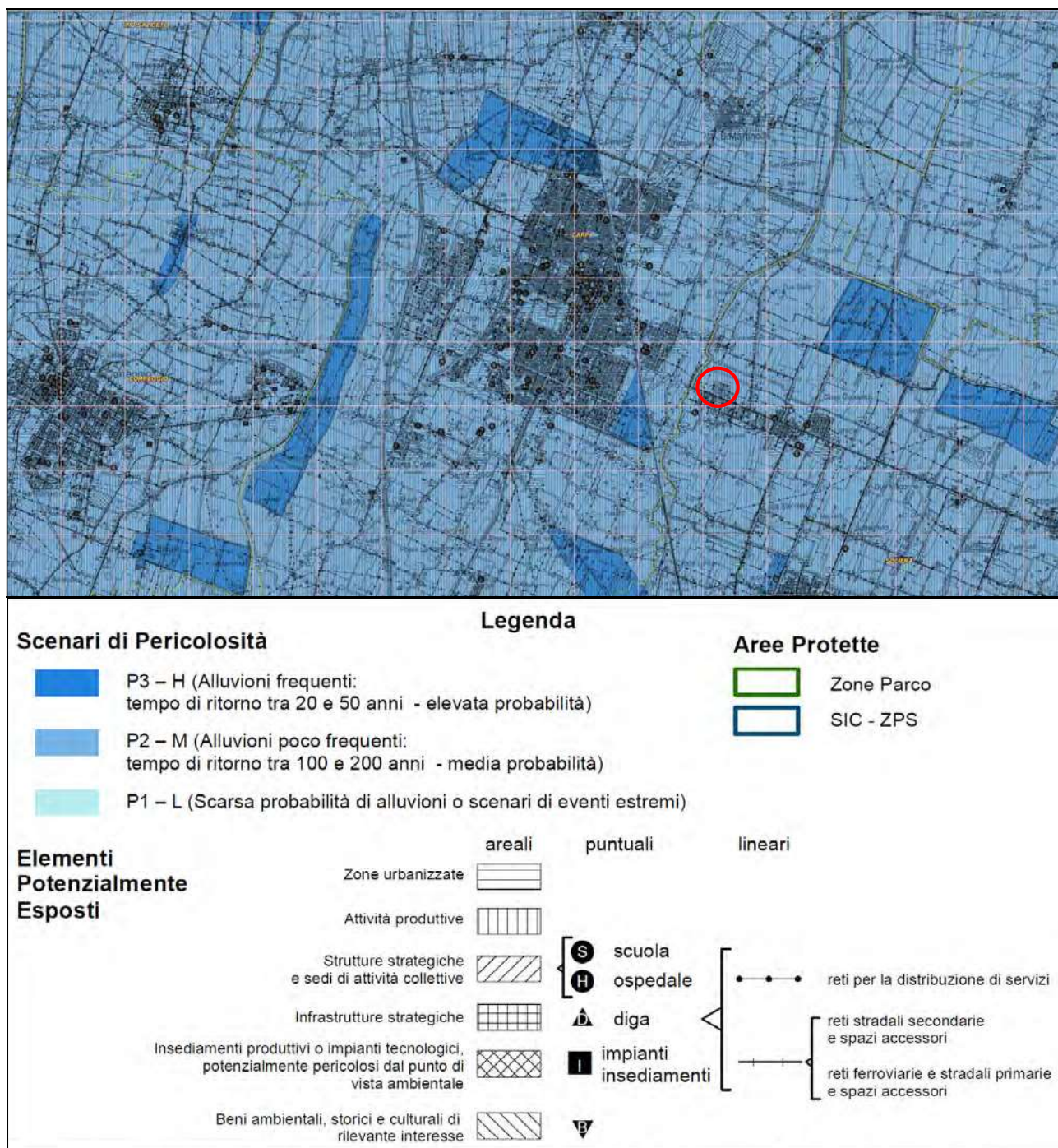
**Fig. 2.10** – Estratto dalla **Mappa della Pericolosità Alluvioni** (Det. 3757/2011 e DGR 1244/2014), in riferimento al Reticolo Principale di Pianura RP



**Fig. 2.11** – Estratto dalla **Mappa del Rischio** (Det. 3757/2011 e DGR 1244/2014), in riferimento al Reticolo Principale di Pianura RP



Per quanto attiene il Reticolo Secondario RSP si riportano nel seguito le **figure 2.1.5 e 2.1.6**, da cui emerge come il sito di intervento ricada entro le scenario di pericolosità "**P2 - M - Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità**", e nella classe di rischio "**R2 - medio**".



**Fig. 2.12** – Estratto dalla **Mappa della Pericolosità Alluvioni** (Def. 3757/2011 e DGR 1244/2014), in riferimento al Reticolo Secondario di Pianura RSP

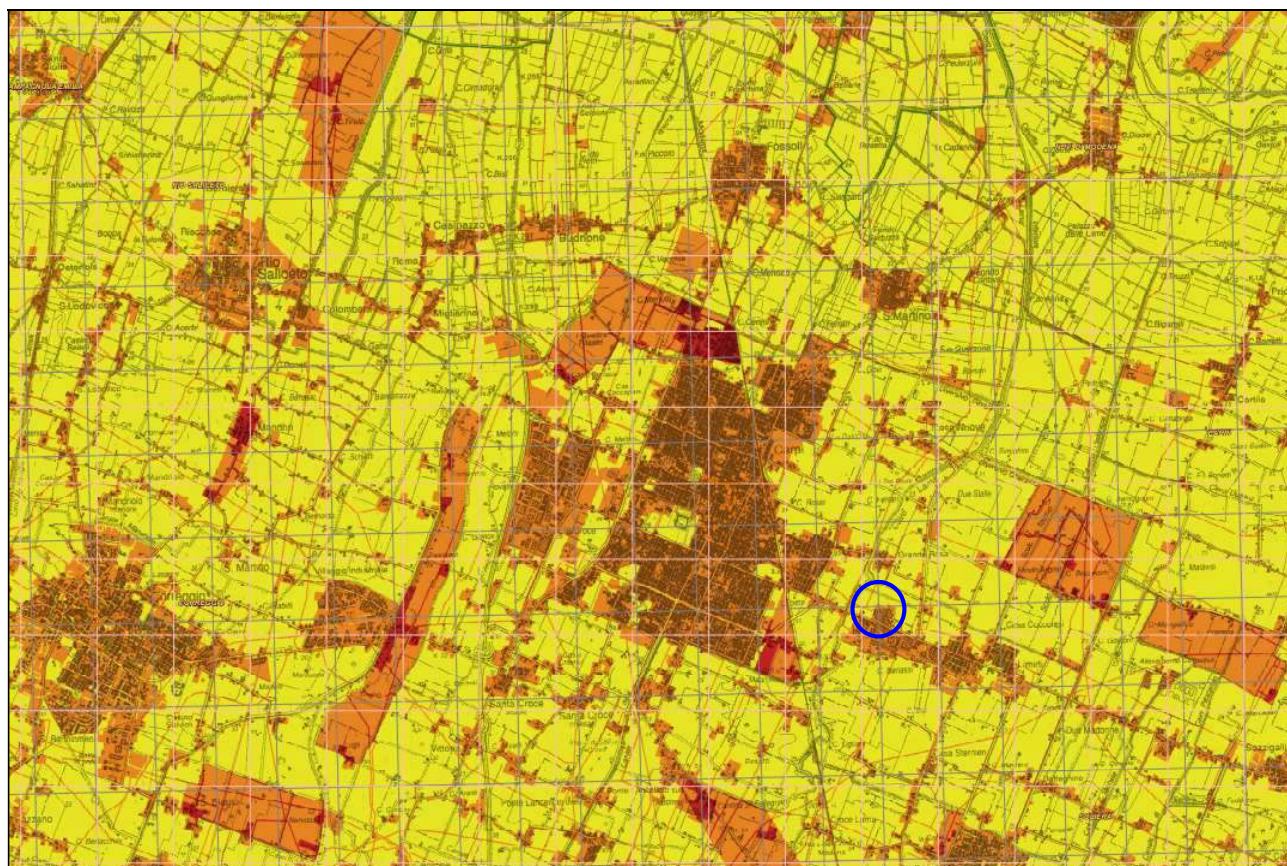


Fig. 2.13 – Estratto dalla **Mappa del Rischio Alluvioni** (Det. 3757/2011 e DGR 1244/2014) in riferimento al Reticolo Secondario di Pianura RSP

## 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 3.1 Indagini Geotecniche

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto, in data 01/08/2023, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.**

Di seguito si riportano i valori di soggiacenza misurati nelle verticali di prova (Tab. 3.1).

Prova	Profondità verticale	Misura falda (m da p.c.)	Data
CPT1	-20.20	-2.20 m da p.c.	01/08/23
CPT2	-20.20	-2.30 m da p.c.	01/08/23

**Tab.3.1 – Valori di soggiacenza**

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'allegato n. 1.

#### 3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Le prove sono state eseguite con un penetrometro Pagani dotato di punta Begemann. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

<b>Spinta</b>	S	200 kN
<b>Punta conica meccanica</b>		
Diametro	Φ	35.7 mm
Area punta	A	10 cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura	α	60°
<b>Manicotto laterale di attrito</b>		
Diametro	Φ	35.7 mm
Altezza	h	133 mm
Area	A	150 cm <sup>2</sup>
<b>Velocità di avanzamento costante</b>	V	2 cm/sec
<b>Intervallo di misura</b>		20 cm

Le prove sono state elaborate mediante un software che restituisce l'interpretazione litologica dei terreni indagati effettuata sulla base del rapporto qc/fs (Begemann, 1965; A.G.I. 1977) e la stima dei parametri geotecnici in condizioni non drenate tramite correlazioni.

#### **Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici**

Coesione non drenata (terreni coesivi) *C<sub>u</sub>*

RACCOMANDAZIONI AGI 1977 – RICCI ET AL. 1974 – MARSLAND ET AL. 1974/1979

Modulo di deformazione non drenato *E<sub>u</sub>*

DUNCAN-BUCHIGANI 1976

Modulo edometrico *M<sub>o</sub>*

SANGLERAT 1972 – MITCHELL/GARDNER 1975 – RICCI ET AL. 1974 – HOLDEN 1973)

Peso unità di volume *γ<sub>sat</sub>* (saturo sotto falda) – *γ* (umido sopra falda)

IN BASE ALLA NATURA LITOLOGICA TERZAGHI-PECK 1967 – BOWELS 1982

Velocità delle onde di taglio *V<sub>s</sub>*

YOSHIDA/MOTONORI 1988

## 3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area in studio, in data 01/08/2023, è stata eseguita in sito la seguente indagine geofisica:

- **n. 1 indagine sismica passiva HVSR**

I risultati delle indagini sismiche sopra citate sono riportati integralmente nell'allegato n. 3.

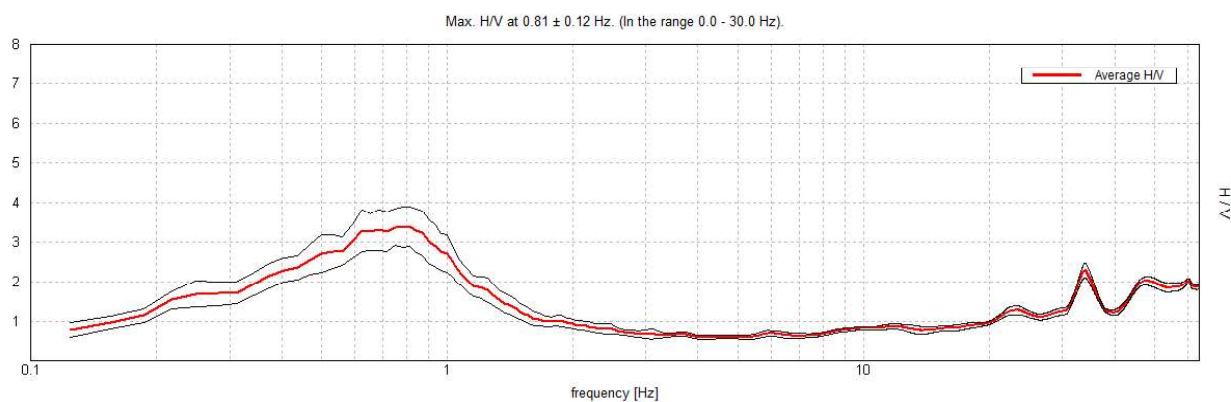
### 3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)

La misura sismica passiva a stazione singola è stata eseguita mediante un tomografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti.

Lo scopo dell'indagine è la misura della frequenza di risonanza del terreno, la quale è legata alla velocità delle onde di taglio Vs nel terreno dalla formula:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove  $h$  è lo spessore dello strato.

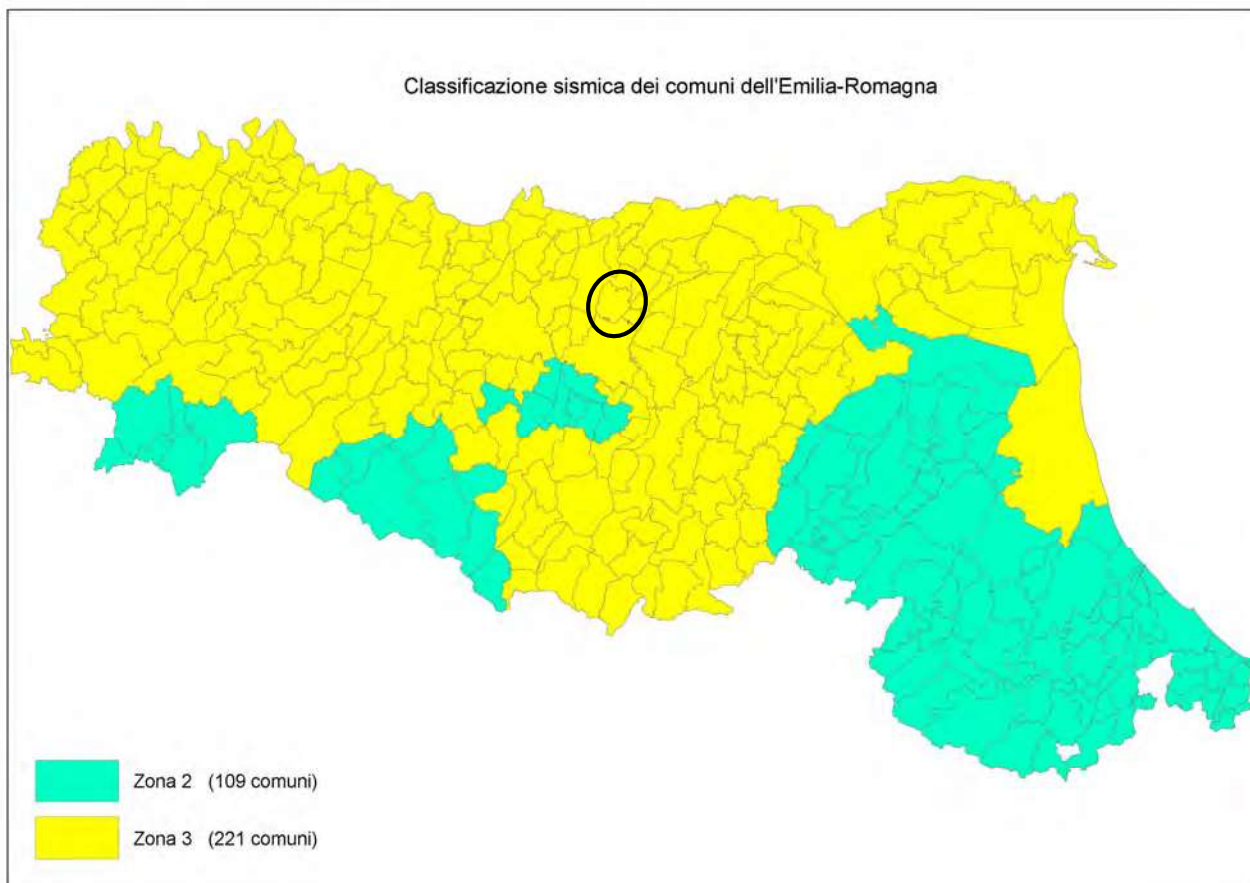


**Fig. 3.1 - Curva HVSR.**

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 4.1 Pericolosità sismica di base

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



**Fig.4.1 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).**

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido 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 sotto (Tab. 4.1).

### Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	$T_c^{-1}$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.043	2.509	0.250
Danno (SLD)	50	0.054	2.508	0.266
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.155	2.585	0.270
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.207	2.525	0.278
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

### Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1      us (m): 0,1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,39
CC Coeff. funz categoria	1,66	1,62	1,62	1,60
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.016	0.054	0.081
kv	0.006	0.008	0.027	0.040
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.633	0.798	2.215	2.820
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

**Tab.4.1 - Tabella riassuntiva dei parametri sismici del sito in esame secondo NTC18.**

## 4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

Per determinare il parametro  $V_{30}$  e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche descritte nel paragrafo precedente. Il valore di  $V_{30}$  si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

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

dove  $H$  è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione dell'indagine sismica HVSR, si sono ottenuti i valori di  $V_{s,30}$  e di frequenza naturale del terreno  $f_0$  riportati nella seguente tabella:

HVSR	0.81 ± 0.12 Hz	
	$V_{s30}$	217 m/s

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla categoria **C**, corrispondente a:

DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**.

### 4.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle NTC 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 NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti dalle indagini geofisiche eseguite in sito, si classifica il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla categoria C.

Si ricava quindi il fattore stratigrafico  $S_s$ , 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;
- $a_g/g$  = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 475 anni/accelerazione di gravità;
- $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione sopra riportata.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si considera un valore di un fattore topografico  $S_T$  sulla base della seguente tabella:

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

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base.

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE			
Tr (anni)	$a_g(g)$	$F_o$	$T_c^*(s)$
475	0.155	2.585	0.270

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI SITO	
$S_s$	$S_T$
1.46	1.00

Si calcola infine per ciascuna area l'accelerazione massima orizzontale  $A_{max}$  con la seguente formula:

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.46 \cdot 1.0 \cdot 0.155 = 0.226g$$



#### 4.4 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021)

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova CPT.

La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

**CRR** è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

**MSF** rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

**K<sub>σ</sub>** è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

**CSR** è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

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

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da  $a_{max}/g$  che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a  $T = 0.00$  s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo  $r_d$ . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove M rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi.

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 476/2021 della Regione Emilia-Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza  $F_L$  è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione IL (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione LPI è stato determinato secondo la seguente formulazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove  $F(z)$  viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia-Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Somnez 2003**:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0 < LPI ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Moderato
5 < LPI ≤ 10	Alto
15 > LPI	Molto alto

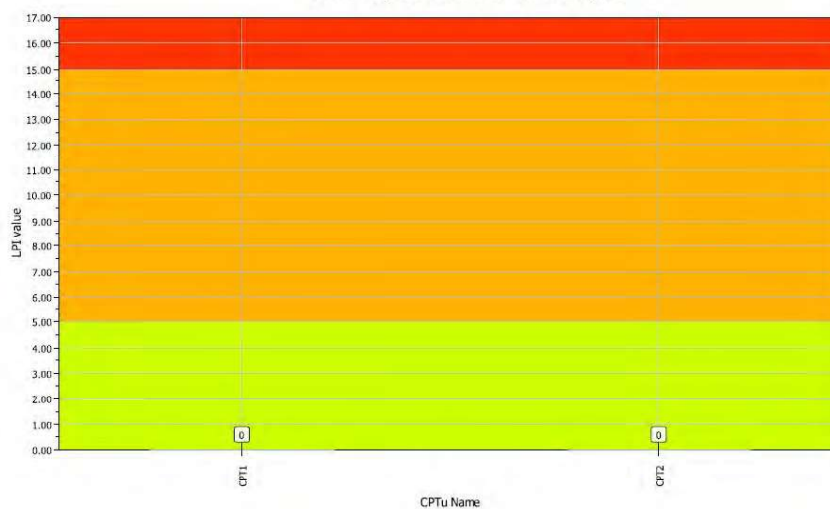
Si illustra successivamente i valori di LPI derivati dalle verticali di prova CPT considerando un'accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.226g$  (calcolata secondo l'approccio semplificato NTC18), la soggiacenza della falda freatica in condizioni sismiche alla profondità  $D_w = -1.00 \text{ m}$  e una magnitudo di riferimento pari a  $M = 6.14$ .

A seguito della verifica, in riferimento alle verticali CPT, è stato ottenuto il seguente valore di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPT1	0.0	MOLTO BASSO
CPT2	0.0	MOLTO BASSO

Project title : Studio del terreno di fondazione  
Location : Soliera, Via Archimede

Overall Liquefaction Potential Index report



## 5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche e litostratigrafiche, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato.

Modello geotecnico medio											
	Profondità	Spessore	Deposito	$\gamma_{NAT} / \gamma_{SAT}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$
<b>A</b>	0.0 – 3.6	3.6	Argilla limosa a medio scarsa consistenza	17.5/19.5	5.0	50.0	/	21	7000	4200	-2.2
<b>B</b>	3.6 – 9.2	5.6	Argilla limosa a media consistenza	18.0/20.0	6.0	60.0	/	23	8400	5000	
<b>C</b>	9.2 – 21.0	11.8	Argilla limosa consistente	18.5/20.5	9.0	90.0	/	25	12600	8300	
	M da p.c.	m	Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo	Coesion e efficace	Coesione non drenata	Densità relativa	Angolo d'attrito efficace di picco	Modulo di Young	Modulo edometrico	Soggiacenza
				(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(%)	(°)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(m da p.c.)

La quota zero del presente modello corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche.

### 5.2 Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante del terreno si sono considerati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione della prova penetrometrica eseguita in sito. Al fine di calcolare la capacità portante del terreno si sono ipotizzate fondazioni superficiali su **plinti**.

Ipotesi fondazione:

larghezza della fondazione	<b>B</b>	=	4.0 m
lunghezza della fondazione	<b>B'</b>	=	4.0 m
profondità della quota di imposta	<b>D</b>	=	-1.5 m da p.c.

**Parametri di resistenza e deformabilità:**

Modello geotecnico medio											
	Profondità	Spessore	Deposito	$\gamma_{NAT} / \gamma_{SAT}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$
<b>A</b>	0.0 – 3.6	3.6	Argilla limosa a medio scarsa consistenza	17.5/19.5	5.0	50.0	/	21	7000	4200	-2.2
	M da p.c.	m	Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo	Coesion e efficace	Coesione non drenata	Densità relativa	Angolo d'attrito efficace di picco	Modulo di Young	Modulo edometrico	Soggiacenza
				(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(%)	(°)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(m da p.c.)

### 5.2.1 Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018)

In relazione a quanto esposto nella normativa tecnica nazionale NTC 2018, si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) di resistenza del terreno (GEO) relativamente alle opere di fondazione in oggetto, di **tipo superficiale**, fornendo il valore di resistenza offerta dal sistema geotecnico ( $R_{dGEO}$ ). Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella Tab. 6.2.II (NTC 2018) e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Le verifiche sono effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

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

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

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

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

- $a_{MAX}$  (ag/g): **0.226g** (NTC 2018, relativa a SLV;  $T_r = 475$  anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno  $K_h$ : 0.054.

La determinazione della resistenza  $R_d$  GEO è stata svolta nella condizione sia a breve che a lungo termine per l'intervento in progetto.

La resistenza  $R_d$  calcolata 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 – CONDIZIONI NON DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU - F.S. = 2.3
D= 1.5 m da p.c.	B= 4.0 m X L= 4.0 m	1.35 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 135 kN/m <sup>2</sup>

La resistenza  $R_d$  calcolata in condizioni "drenate" seguendo l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3), applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione:

$\text{tg}\phi'd = \text{tg}\phi'k / 1,0$ , dove  $\phi'd$  è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva, essendo  $\phi'k = \phi'd$ . Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=- 1.5 m da p.c.	B= 4.0 m X L= 4.0 m	1.65 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 165 kN/m <sup>2</sup>

CONDIZIONE PSEUDO-STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=- 1.5 m da p.c.	B= 4.0 m X L= 4.0 m	1.56 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 156 kN/m <sup>2</sup>

## 5.2.2 Verifica dei cedimenti

È stato eseguito il calcolo del cedimento edometrico del terreno di fondazione mediante il metodo di consolidazione monodimensionale di Terzaghi.

Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico considerato	Cedimento per consolidazione
D=- 1.5 m da p.c.	B= 4.0 m X L= 4.0 m	100 kN/m <sup>2</sup>	2.52 cm

## 5.2.3 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 le dimensioni della fondazione.

Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 * P * F_c,$$

dove  $F_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (cm)}$ ; è stato considerato un cedimento di riferimento pari a  $S=2.52 \text{ cm}$  ed un carico applicato al terreno di fondazione pari a  $P = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$ , il modulo di sottofondo o costante di Winkler è risultato pari a  $K = 1.21 \text{ kg/cm}^3 \approx 12100 \text{ kN/m}^3$ .

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato riassume e illustra le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geotecniche e sismiche relative al volume significativo di sottosuolo a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato industriale ad uso magazzino, in Via Archimede nel Comune di Soliera (MO)

L'elaborato contiene la modellazione geologica, geotecnica e sismica derivante dalla sintesi dei risultati delle analisi e delle indagini eseguite nell'area di interesse a supporto della progettazione ingegneristica delle opere in progetto, in conformità alla normativa nazionale NTC 2018 e relative normative regionali DGR 630/19 e DGR 476/21.

Sulla base dei dati emersi dall'indagine geotecnica eseguita (§ 3.1), si fornisce per il terreno di fondazione indagato, il modello geotecnico medio riportato nel § 5.1 della presente relazione. La quota zero di tale modello corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche.

In relazione a quanto esposto nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni in zona sismica del 2018, si è proceduto alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU). Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le opere di fondazione, 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 il seguente approccio di calcolo:

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

I risultati sono visibili nel § 5.3.1.

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione calcolati agli stati limite ultimi SLU relativamente alle fondazioni ipotizzate e sopra descritte.

Verifica nei confronti degli SLU		
APPROCCIO 2 – COMBINAZIONE 1		
CONDIZIONE NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE	CONDIZIONI SISMICHE DRENATE Paolucci & Pecker
1.35 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 135 kN/m <sup>2</sup>	1.65 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 165 kN/m <sup>2</sup>	1.56 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 156 kN/m <sup>2</sup>

In ottemperanza della normativa tecnica nazionale (NTC 2018) e in accordo con i risultati ottenuti a seguito delle indagini geofisiche espletate per il sito in oggetto è possibile classificare il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalentemente compresi tra **180 m/s** e **360 m/s**.

Per la definizione dell'azione sismica, è stato eseguito l'approccio semplificato delle NTC 2018. Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

ag	Approccio semplificato NTC18	
	FA	Amax (g)
0.155	1.46	0.226

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base delle prove penetrometriche CPT eseguite nel sito in studio, considerando una accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.226g$  (approccio semplificato NTC18), la soggiacenza della falda freatica in condizioni sismiche alla profondità **Dw=-1.0 m da p.c.**, e una magnitudo di riferimento pari a **M=6.14**. Dalle analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita si è ottenuto un valore di LPI corrispondente a un **rischio di liquefazione molto basso** (§ 4.4).

Modena, 3 agosto 2023

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

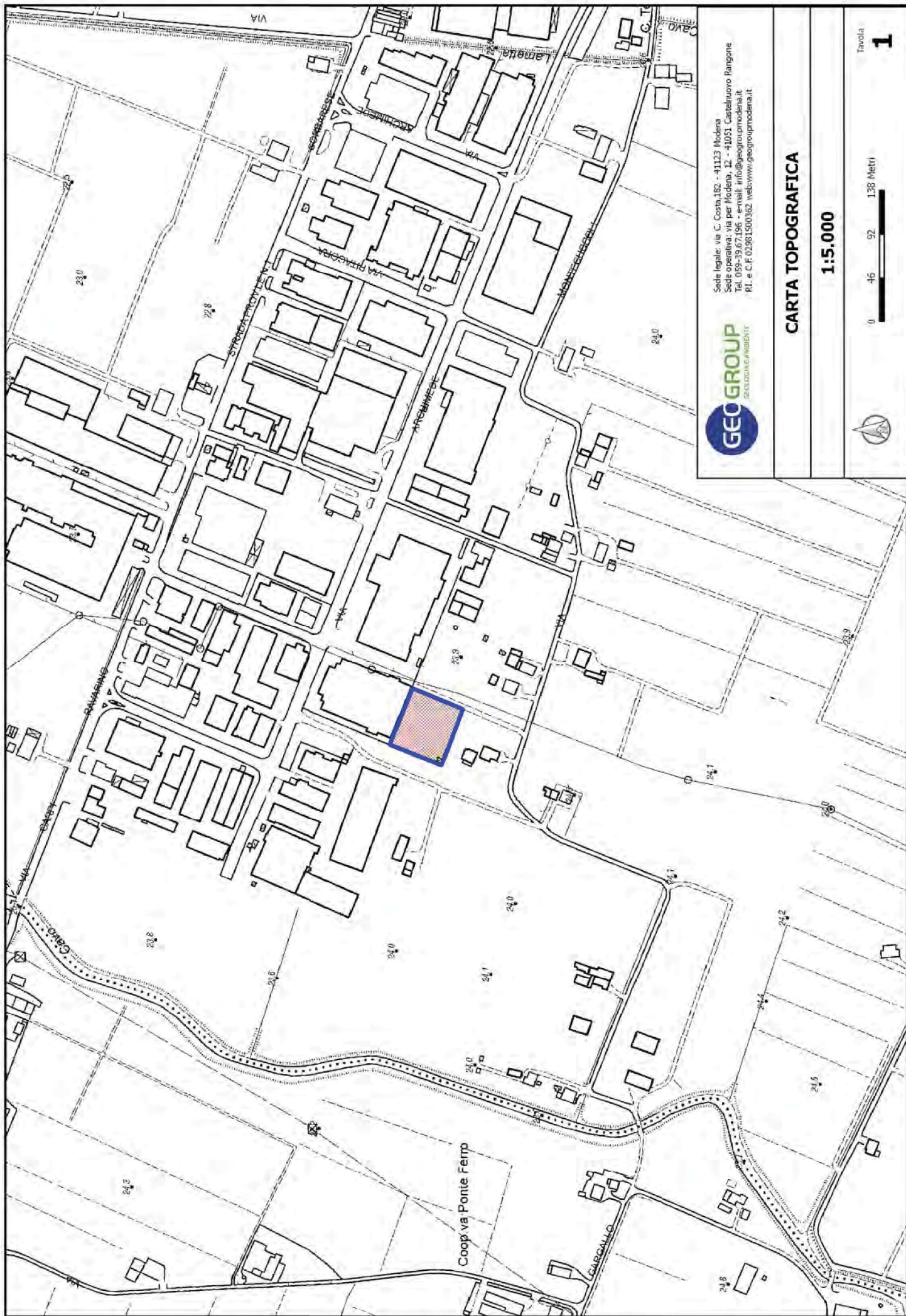




## **GEO GROUP s.r.l.**

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

# ***TAVOLE***



Sede legale: via C. Costa, 182 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castellnuovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it  
P.I. e C.F. 02981500362 web: www.geogroupmodena.it

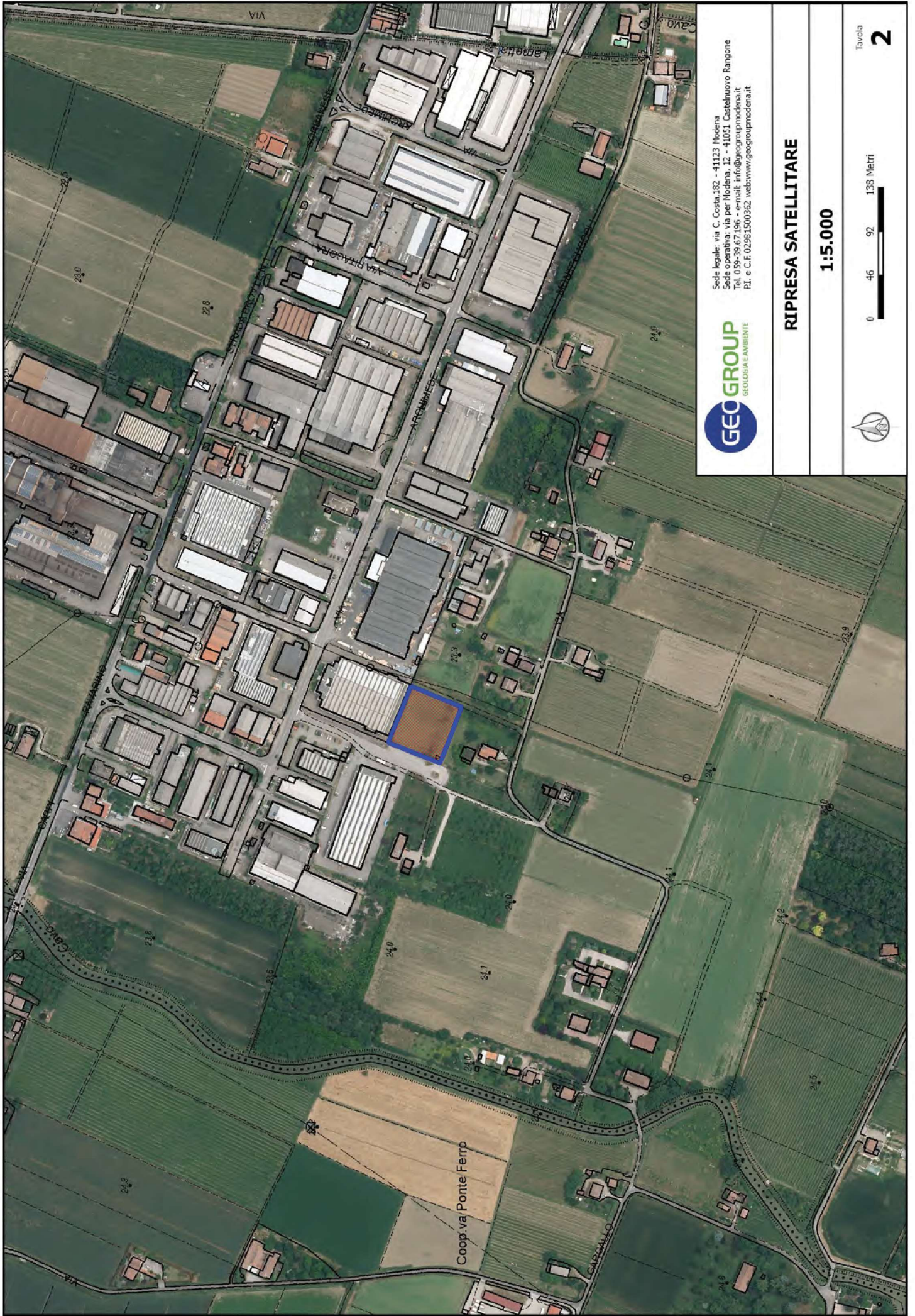
### CARTA TOPOGRAFICA

**1:5.000**



Tavola

**1**



Sede legale: via C. Costa,182 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it  
P.I. e C.F. 02961500362 web:www.geogroupmodena.it

## RIPRESA SATELLITARE

1:5.000



Tavola

2



**Legenda**

-  HVSR
-  CPT



Sede legale: via C. Costa,182 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it  
P.I. e C.F. 02981500362, web:www.geogroupmodena.it

**UBICAZIONE INDAGINI**

**1: 500**

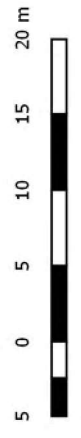


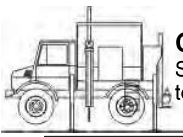
Tavola **3**

## **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

### ***ALLEGATO N° 1***

## ***Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica***



## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:****TG63-200Stat - Pagani - Piacenza**

## 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)

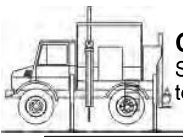
fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$ fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$ fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$ 

- 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 t1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN



## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

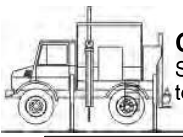
$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON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

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

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

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

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



# LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

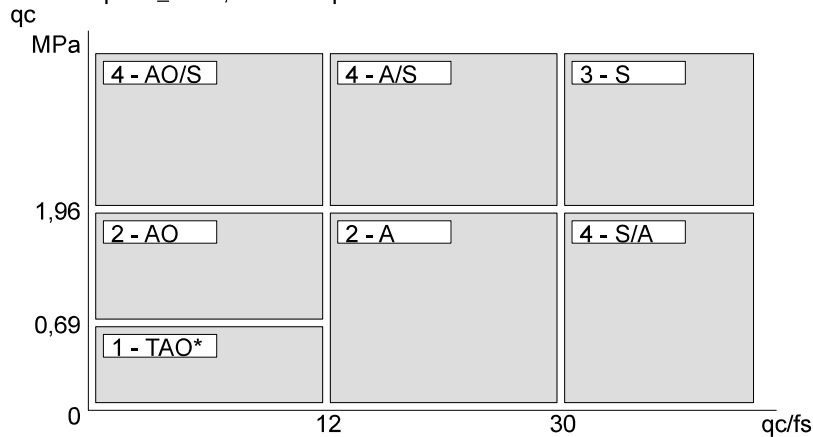
Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 1,96$  MPa : possibili terreni COESIVI

anche se  $(qc / fs) > 30$

$qc \geq 1,96$  MPa : possibili terreni GRANULARI

anche se  $(qc / fs) < 30$

**NATURA LITOLOGICA**

1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.

2 - COESIVA IN GENERE

3 - GRANULARE

4 - COESIVA / GRANULARE

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

$\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno immerso in falda [ correlaz.:  $\gamma'$  -  $qc$  - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )

$\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )

$C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi) [ correlazioni :  $C_u$  -  $qc$  ]

OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( 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 :  $E'$  -  $qc$  ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )

$M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  -  $qc$  - natura ]  
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )

$D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $D_r$  -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 )]

$\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  -  $qc$  -  $\sigma'_{vo}$  ]

$\emptyset_{Ca}$  - Caquot (1948)

$\emptyset_{Ko}$  - Koppejan (1948)

$\emptyset_{DB}$  - De Beer (1965)

$\emptyset_{Sc}$  - Schmertmann (1978)

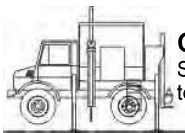
$\emptyset_{DM}$  - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)

$\emptyset_{Me}$  - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)

F.L. = fattore di liquefazione (F.L.1 = Sabbie Pulite, F.L.2 = Sabbie Limose)

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI****CPT****1**

Riferimento

**043-2023**Committente **Studio tecnico**  
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**  
Località **Soliera, Via Archimede**U.M.: **MPa**  
Pagina **1/17**  
ElaboratoData esec. **01/08/2023**  
Falda **-2,20 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0,20	0,00	0,00		0,00	133,00	0		15,20	35,00	70,00		3,43	253,00	14	7,2
0,40	20,00	40,00		1,96	87,00	23	4,4	15,40	37,00	75,00		3,63	253,00	15	6,8
0,60	13,00	26,00		1,27	67,00	19	5,2	15,60	38,00	76,00		3,72	233,00	16	6,1
0,80	10,00	20,00		0,98	87,00	11	8,7	15,80	35,00	70,00		3,43	133,00	26	3,8
<b>1,00</b>	13,00	26,00		1,27	93,00	14	7,2	<b>16,00</b>	20,00	40,00		1,96	147,00	14	7,4
1,20	14,00	28,00		1,37	80,00	18	5,7	16,20	22,00	44,00		2,16	200,00	11	9,1
1,40	12,00	24,00		1,18	53,00	23	4,4	16,40	30,00	60,00		2,94	200,00	15	6,7
1,60	10,00	18,00		0,98	80,00	13	8,0	16,60	30,00	60,00		2,94	167,00	18	5,6
1,80	12,00	24,00		1,18	73,00	16	6,1	16,80	25,00	50,00		2,45	167,00	15	6,7
<b>2,00</b>	11,00	22,00		1,08	93,00	12	8,5	<b>17,00</b>	25,00	50,00		2,45	160,00	16	6,4
2,20	14,00	28,00		1,37	87,00	16	6,2	17,20	24,00	48,00		2,35	133,00	18	5,5
2,40	13,00	26,00		1,27	93,00	14	7,2	17,40	20,00	40,00		1,96	113,00	18	5,7
2,60	14,00	28,00		1,37	93,00	15	6,6	17,60	17,00	34,00		1,67	120,00	14	7,1
2,80	14,00	28,00		1,37	80,00	18	5,7	17,80	17,00	35,00		1,67	127,00	13	7,5
<b>3,00</b>	12,00	24,00		1,18	100,00	12	8,3	<b>18,00</b>	19,00	38,00		1,86	67,00	28	3,5
3,20	15,00	30,00		1,47	107,00	14	7,1	18,20	10,00	20,00		0,98	107,00	9	10,7
3,40	16,00	32,00		1,57	100,00	16	6,3	18,40	16,00	32,00		1,57	133,00	12	8,3
3,60	19,00	34,00		1,86	133,00	14	7,0	18,60	20,00	40,00		1,96	133,00	15	6,7
3,80	20,00	40,00		1,96	120,00	17	6,0	18,80	30,00	50,00		2,94	147,00	20	4,9
<b>4,00</b>	17,00	35,00		1,67	120,00	14	7,1	<b>19,00</b>	23,00	45,00		2,25	167,00	14	7,3
4,20	18,00	36,00		1,76	147,00	12	8,2	19,20	25,00	50,00		2,45	160,00	16	6,4
4,40	22,00	44,00		2,16	127,00	17	5,8	19,40	24,00	48,00		2,35	167,00	14	7,0
4,60	19,00	38,00		1,86	127,00	15	6,7	19,60	25,00	50,00		2,45	173,00	14	6,9
4,80	19,00	38,00		1,86	113,00	17	5,9	19,80	26,00	52,00		2,55	147,00	18	5,7
<b>5,00</b>	17,00	34,00		1,67	160,00	11	9,4	<b>20,00</b>	28,00	50,00		2,74	160,00	18	5,7
5,20	24,00	48,00		2,35	120,00	20	5,0	20,20	24,00	48,00		2,35			
5,40	18,00	36,00		1,76	107,00	17	5,9								
5,60	16,00	32,00		1,57	93,00	17	5,8								
5,80	14,00	28,00		1,37	107,00	13	7,6								
<b>6,00</b>	16,00	32,00		1,57	93,00	17	5,8								
6,20	14,00	28,00		1,37	67,00	21	4,8								
6,40	10,00	20,00		0,98	73,00	14	7,3								
6,60	11,00	22,00		1,08	113,00	10	10,3								
6,80	19,00	36,00		1,86	100,00	19	5,3								
<b>7,00</b>	15,00	30,00		1,47	113,00	13	7,5								
7,20	17,00	34,00		1,67	113,00	15	6,6								
7,40	18,00	35,00		1,76	113,00	16	6,3								
7,60	17,00	34,00		1,67	87,00	20	5,1								
7,80	13,00	26,00		1,27	107,00	12	8,2								
<b>8,00</b>	16,00	32,00		1,57	113,00	14	7,1								
8,20	17,00	34,00		1,67	113,00	15	6,6								
8,40	17,00	34,00		1,67	100,00	17	5,9								
8,60	15,00	30,00		1,47	107,00	14	7,1								
8,80	16,00	32,00		1,57	113,00	14	7,1								
<b>9,00</b>	17,00	34,00		1,67	133,00	13	7,8								
9,20	20,00	40,00		1,96	147,00	14	7,4								
9,40	22,00	44,00		2,16	127,00	17	5,8								
9,60	19,00	38,00		1,86	133,00	14	7,0								
9,80	20,00	40,00		1,96	160,00	13	8,0								
<b>10,00</b>	28,00	52,00		2,74	173,00	16	6,2								
10,20	26,00	52,00		2,55	180,00	14	6,9								
10,40	27,00	54,00		2,65	287,00	9	10,6								
10,60	23,00	66,00		2,25	187,00	12	8,1								
10,80	27,00	55,00		2,65	180,00	15	6,7								
<b>11,00</b>	26,00	53,00		2,55	133,00	20	5,1								
11,20	31,00	51,00		3,04	173,00	18	5,6								
11,40	26,00	52,00		2,55	220,00	12	8,5								
11,60	33,00	66,00		3,23	173,00	19	5,2								
11,80	26,00	52,00		2,55	180,00	14	6,9								
<b>12,00</b>	27,00	54,00		2,65	167,00	16	6,2								
12,20	30,00	55,00		2,94	120,00	25	4,0								
12,40	18,00	36,00		1,76	180,00	10	10,0								
12,60	26,00	53,00		2,55	200,00	13	7,7								
12,80	30,00	60,00		2,94	247,00	12	8,2								
<b>13,00</b>	37,00	74,00		3,63	240,00	15	6,5								
13,20	36,00	72,00		3,53	233,00	15	6,5								
13,40	35,00	70,00		3,43	273,00	13	7,8								
13,60	41,00	82,00		4,02	247,00	17	6,0								
13,80	45,00	82,00		4,41	287,00	16	6,4								
<b>14,00</b>	42,00	85,00		4,12	353,00	12	8,4								
14,20	43,00	96,00		4,21	273,00	16	6,3								
14,40	41,00	82,00		4,02	200,00	21	4,9								
14,60	30,00	60,00		2,94	133,00	23	4,4								
14,80	20,00	40,00		1,96	200,00	10	10,0								
<b>15,00</b>	30,00	60,00		2,94	233,00	13	7,8								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

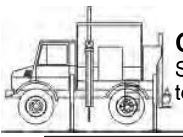
qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

0,20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

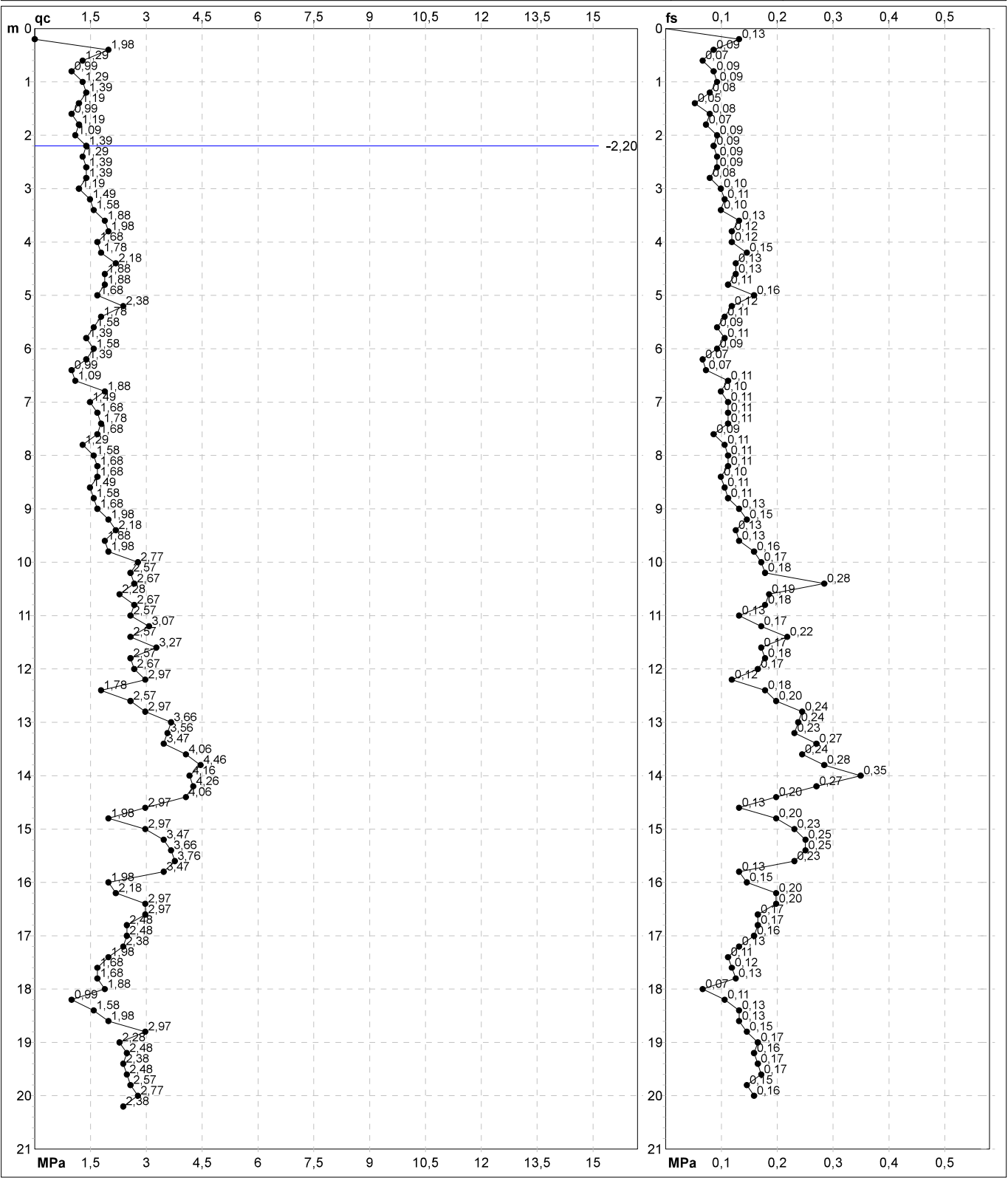
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100



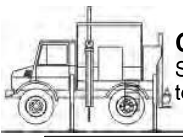
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>043-2023</b>

Committente	<b>Studio tecnico</b>	U.M.:	<b>MPa</b>	Data exec.	01/08/2023
Cantiere	<b>Studio del terreno di fondazione</b>	Scala:	1:105	Quota inizio:	Falda -2,20 m da p.c.
Località	<b>Soliera, Via Archimede</b>	Pagina	2/17	Elaborato	



Penetrometro:	TG63-200Stat	preforo	m
Responsabile:		Corr.astine:	kN/ml
Assistente:		Cod. tip:	



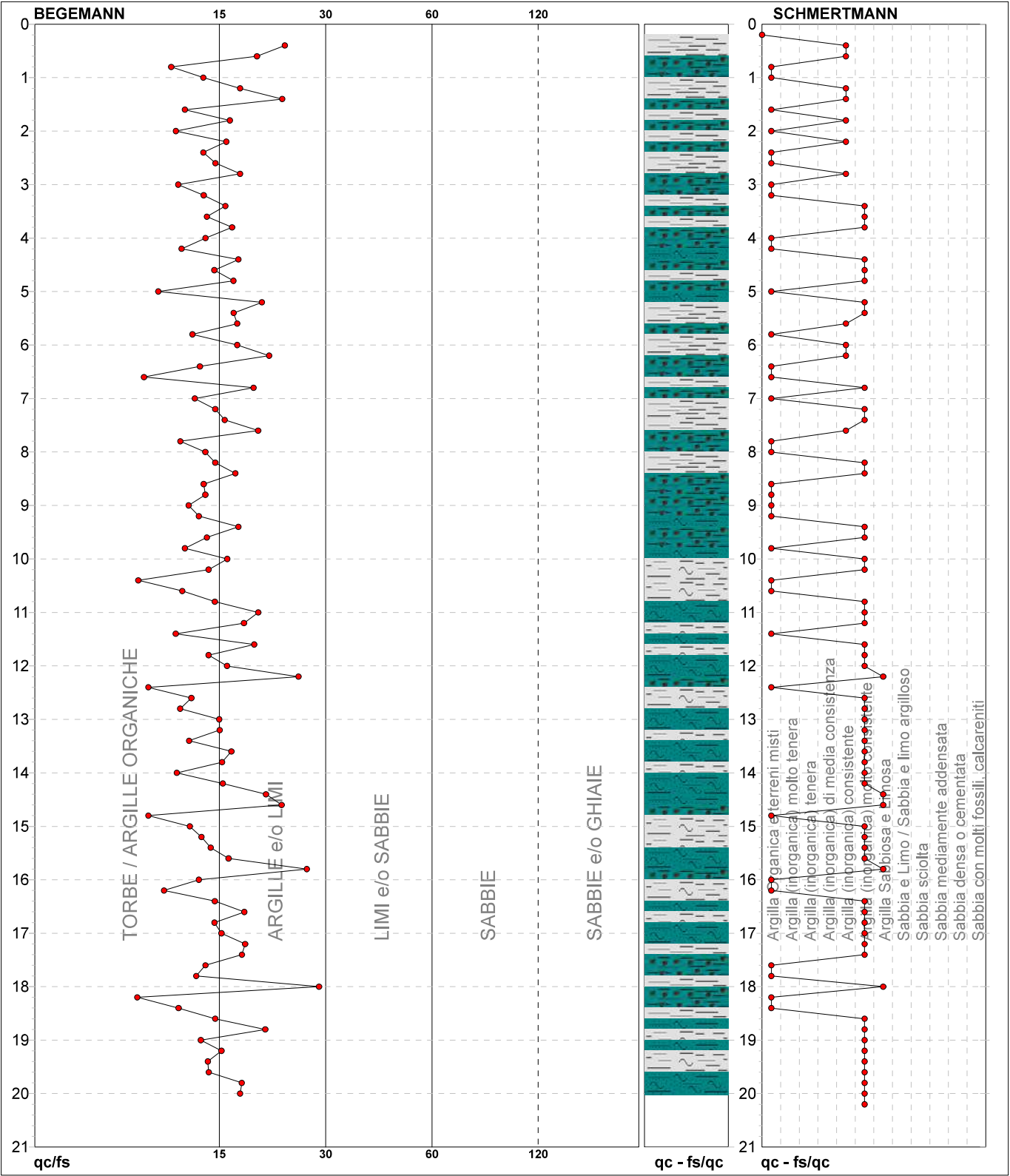
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>043-2023</b>

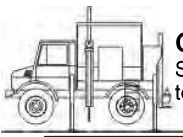
Committente **Studio tecnico**  
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**  
Località **Soliera, Via Archimede**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:105**  
Pagina **3/17**  
Elaborato **Falda -2,20 m da p.c.**



TORBE / ARGILLE OR	51 punti, 50,50%	Argilla Organica e terreni misti	33 punti, 32,67%	Argilla Sabbiosa e Limosa	5 punti, 4,95%
ARGILLE e/o LIMI	49 punti, 48,51%	Argilla (inorganica) consistente	11 punti, 10,89%		
		Argilla (inorganica) molto consistente	50 punti, 49,50%		

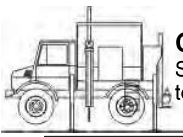


**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA  
PARAMETRI GEOTECNICI****CPT****1**

Riferimento

**043-2023**Committente **Studio tecnico**  
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**  
Località **Soliera, Via Archimede**U.M.: **MPa**Data esec. **01/08/2023**Pagina **4/17**  
ElaboratoFalda **-2,20 m da p.c.****NATURA COESIVA****NATURA GRANULARE**

H	qc	qc/fs	zone	$\gamma'$	$\sigma'_{VO}$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m <sup>3</sup>	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
<b>20,00</b>	2,74	17,50	4	0,96	207,0	194	94,6	2,4	51,0	76,5	8,2	10	32	23	19	18	26	28	4,6	6,9	8,2	-	-
20,20	2,35	-	3	0,86	208,7	183	-	-	-	-	-	5	32	22	18	17	25	28	3,9	5,9	7,1	-	-

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI****CPT****2**

Riferimento

**043-2023**Committente **Studio tecnico**  
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**  
Località **Soliera, Via Archimede**U.M.: **MPa**Data esec. **01/08/2023**Pagina **1/17**  
ElaboratoFalda **-2,30 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	100,00	0		15,20	40,00	65,00		3,92	267,00	15	6,7
0,40	25,00	40,00		2,45	120,00	21	4,8	15,40	40,00	80,00		3,92	253,00	16	6,3
0,60	18,00	36,00		1,76	100,00	18	5,6	15,60	39,00	77,00		3,82	200,00	20	5,1
0,80	15,00	30,00		1,47	67,00	22	4,5	15,80	37,00	67,00		3,63	160,00	23	4,3
<b>1,00</b>	10,00	20,00		0,98	67,00	15	6,7	<b>16,00</b>	24,00	48,00		2,35	167,00	14	7,0
1,20	10,00	20,00		0,98	60,00	17	6,0	16,20	31,00	56,00		3,04	173,00	18	5,6
1,40	9,00	18,00		0,88	73,00	12	8,1	16,40	26,00	52,00		2,55	180,00	14	6,9
1,60	7,00	18,00		0,69	20,00	35	2,9	16,60	27,00	54,00		2,65	173,00	16	6,4
1,80	8,00	11,00		0,78	60,00	13	7,5	16,80	24,00	50,00		2,35	120,00	20	5,0
<b>2,00</b>	11,00	20,00		1,08	73,00	15	6,6	<b>17,00</b>	18,00	36,00		1,76	80,00	23	4,4
2,20	12,00	23,00		1,18	100,00	12	8,3	17,20	28,00	40,00		2,74	133,00	21	4,8
2,40	13,00	28,00		1,27	87,00	15	6,7	17,40	20,00	40,00		1,96	113,00	18	5,7
2,60	14,00	27,00		1,37	53,00	26	3,8	17,60	17,00	34,00		1,67	107,00	16	6,3
2,80	12,00	20,00		1,18	53,00	23	4,4	17,80	16,00	32,00		1,57	140,00	11	8,8
<b>3,00</b>	8,00	16,00		0,78	60,00	13	7,5	<b>18,00</b>	21,00	42,00		2,06	127,00	17	6,0
3,20	9,00	18,00		0,88	60,00	15	6,7	18,20	19,00	38,00		1,86	160,00	12	8,4
3,40	9,00	18,00		0,88	53,00	17	5,9	18,40	24,00	48,00		2,35	167,00	14	7,0
3,60	10,00	18,00		0,98	67,00	15	6,7	18,60	25,00	50,00		2,45	153,00	16	6,1
3,80	12,00	22,00		1,18	73,00	16	6,1	18,80	23,00	46,00		2,25	160,00	14	7,0
<b>4,00</b>	19,00	30,00		1,86	73,00	26	3,8	<b>19,00</b>	24,00	48,00		2,35	167,00	14	7,0
4,20	18,00	29,00		1,76	100,00	18	5,6	19,20	25,00	50,00		2,45	167,00	15	6,7
4,40	15,00	30,00		1,47	113,00	13	7,5	19,40	25,00	50,00		2,45	160,00	16	6,4
4,60	17,00	34,00		1,67	47,00	36	2,8	19,60	24,00	48,00		2,35	173,00	14	7,2
4,80	15,00	22,00		1,47	67,00	22	4,5	19,80	26,00	52,00		2,55	173,00	15	6,7
<b>5,00</b>	20,00	30,00		1,96	100,00	20	5,0	<b>20,00</b>	26,00	52,00		2,55	167,00	16	6,4
5,20	17,00	32,00		1,67	140,00	12	8,2	20,20	25,00	50,00		2,45			
5,40	18,00	39,00		1,76	127,00	14	7,1								
5,60	20,00	39,00		1,96	120,00	17	6,0								
5,80	18,00	36,00		1,76	80,00	23	4,4								
<b>6,00</b>	12,00	24,00		1,18	60,00	20	5,0								
6,20	15,00	24,00		1,47	87,00	17	5,8								
6,40	16,00	29,00		1,57	100,00	16	6,3								
6,60	15,00	30,00		1,47	87,00	17	5,8								
6,80	20,00	33,00		1,96	133,00	15	6,7								
<b>7,00</b>	20,00	40,00		1,96	80,00	25	4,0								
7,20	16,00	28,00		1,57	120,00	13	7,5								
7,40	17,00	35,00		1,67	100,00	17	5,9								
7,60	15,00	30,00		1,47	80,00	19	5,3								
7,80	14,00	26,00		1,37	107,00	13	7,6								
<b>8,00</b>	17,00	33,00		1,67	93,00	18	5,5								
8,20	21,00	35,00		2,06	87,00	24	4,1								
8,40	13,00	26,00		1,27	93,00	14	7,2								
8,60	18,00	32,00		1,76	93,00	19	5,2								
8,80	16,00	30,00		1,57	100,00	16	6,3								
<b>9,00</b>	16,00	31,00		1,57	133,00	12	8,3								
9,20	20,00	40,00		1,96	160,00	13	8,0								
9,40	30,00	54,00		2,94	193,00	16	6,4								
9,60	34,00	63,00		3,33	233,00	15	6,9								
9,80	34,00	69,00		3,33	180,00	19	5,3								
<b>10,00</b>	35,00	62,00		3,43	180,00	19	5,1								
10,20	34,00	61,00		3,33	220,00	15	6,5								
10,40	35,00	68,00		3,43	160,00	22	4,6								
10,60	25,00	49,00		2,45	153,00	16	6,1								
10,80	23,00	46,00		2,25	120,00	19	5,2								
<b>11,00</b>	34,00	52,00		3,33	193,00	18	5,7								
11,20	35,00	64,00		3,43	233,00	15	6,7								
11,40	34,00	69,00		3,33	227,00	15	6,7								
11,60	34,00	68,00		3,33	167,00	20	4,9								
11,80	31,00	56,00		3,04	173,00	18	5,6								
<b>12,00</b>	26,00	52,00		2,55	120,00	22	4,6								
12,20	18,00	36,00		1,76	127,00	14	7,1								
12,40	21,00	40,00		2,06	187,00	11	8,9								
12,60	30,00	58,00		2,94	147,00	20	4,9								
12,80	41,00	63,00		4,02	253,00	16	6,2								
<b>13,00</b>	36,00	74,00		3,53	247,00	15	6,9								
13,20	38,00	75,00		3,72	227,00	17	6,0								
13,40	38,00	72,00		3,72	267,00	14	7,0								
13,60	40,00	80,00		3,92	273,00	15	6,8								
13,80	49,00	90,00		4,80	273,00	18	5,6								
<b>14,00</b>	41,00	82,00		4,02	253,00	16	6,2								
14,20	40,00	78,00		3,92	227,00	18	5,7								
14,40	41,00	75,00		4,02	167,00	25	4,1								
14,60	40,00	65,00		3,92	220,00	18	5,5								
14,80	37,00	70,00		3,63	200,00	19	5,4								
<b>15,00</b>	41,00	71,00		4,02	167,00	25	4,1								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

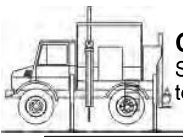
qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

0,20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

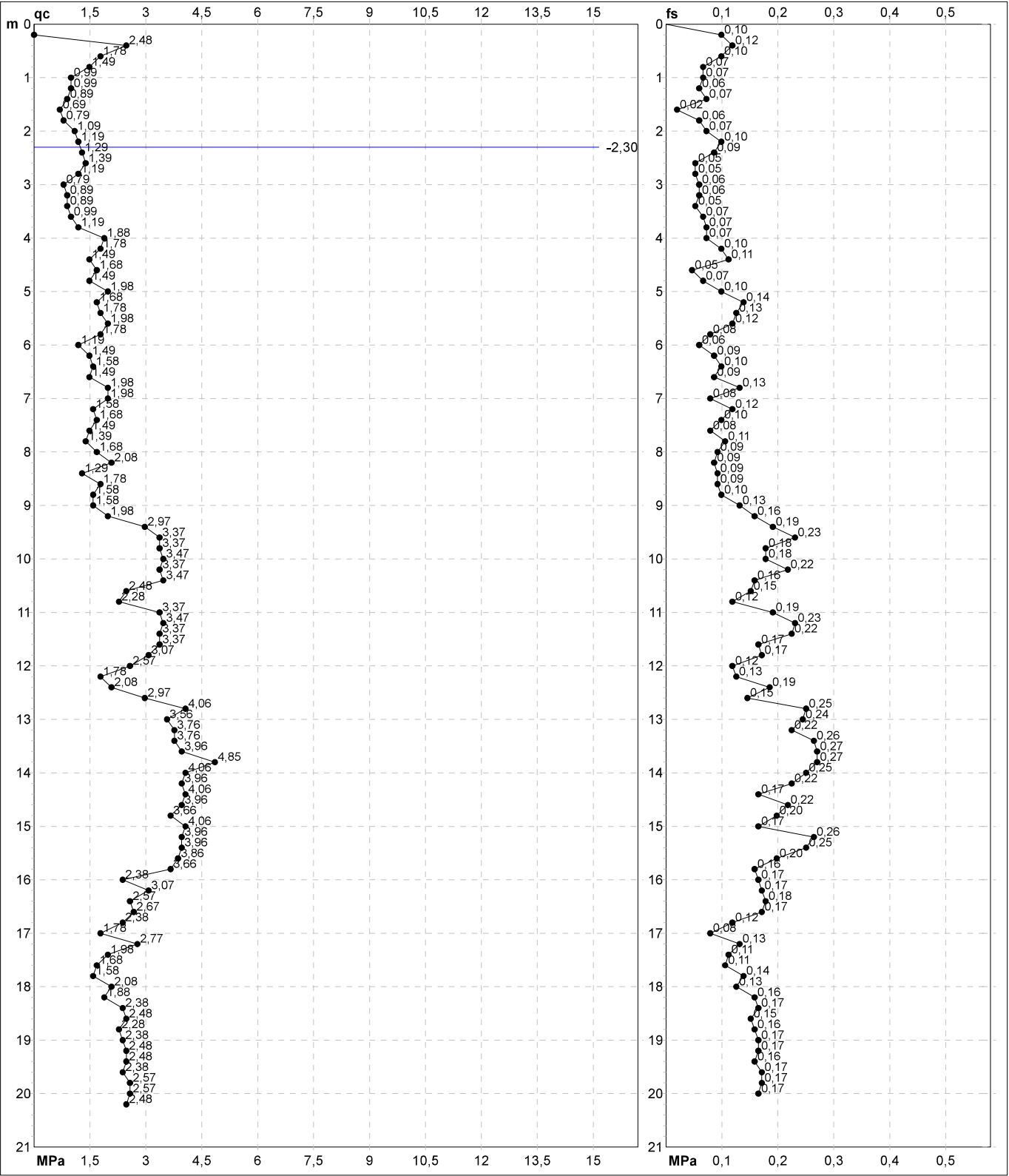


# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

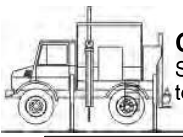
<b>CPT</b>	<b>2</b>
Riferimento	<b>043-2023</b>

Committente **Studio tecnico**  
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**  
 Località **Soliera, Via Archimede**

U.M.: **MPa**      Data exec. **01/08/2023**  
 Scala: **1:105**  
 Pagina **2/17**      Quota inizio:  
 Elaborato      Falda **-2,30 m** da p.c.



		Penetrometro: <b>TG63-200Stat</b>	preforo <b>m</b>
		Responsabile:	Corr.astine: <b>kN/ml</b>
		Assistente:	Cod. tip:



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI LITOLOGIA**

**CPT**

**2**

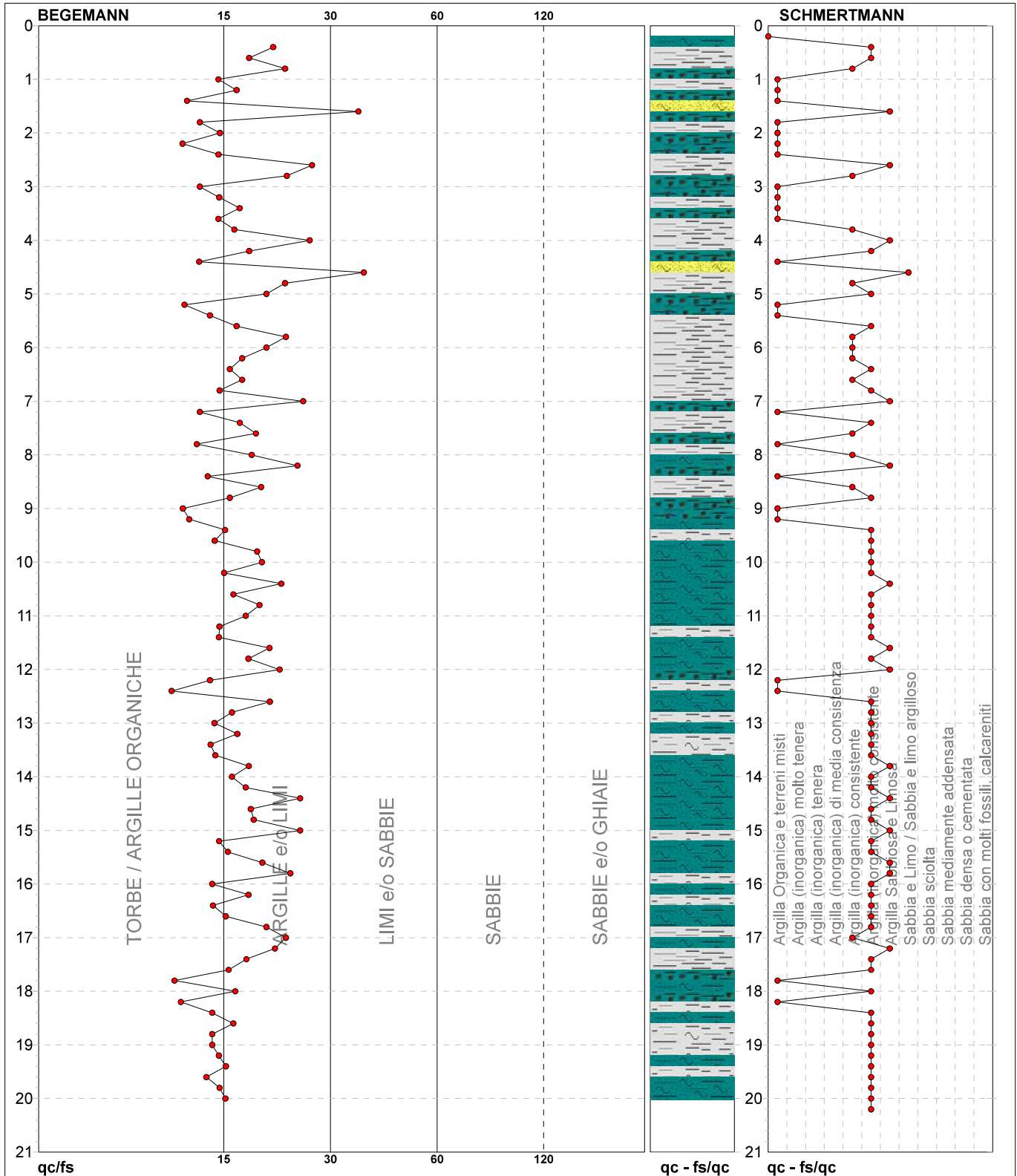
Riferimento

**043-2023**

Committente **Studio tecnico**  
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**  
Località **Soliera, Via Archimede**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:105**  
Pagina **3/17**  
Elaborato

Data exec. **01/08/2023**  
Falda **-2,30 m da p.c.**



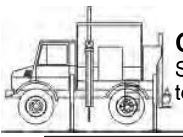
TORBE / ARGILLE OR	34 punti, 33,66%
ARGILLE e/o LIMI	64 punti, 63,37%
LIMI e/o SABBIE	2 punti, 1,98%

Argilla Organica e terreni misti	23 punti, 22,77%
Argilla (inorganica) consistente	12 punti, 11,88%
Argilla (inorganica) molto consistente	49 punti, 48,51%

Argilla Sabbiosa e Limosa	14 punti, 13,86%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	1 punto, 0,99%





**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA  
PARAMETRI GEOTECNICI****CPT****2**

Riferimento

**043-2023**Committente **Studio tecnico**  
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**  
Località **Soliera, Via Archimede**U.M.: **MPa**Data esec. **01/08/2023**Pagina **4/17**  
ElaboratoFalda **-2,30 m da p.c.****NATURA COESIVA****NATURA GRANULARE**

H	qc	qc/fs	zone	$\gamma'$	$\sigma'_{VO}$	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m <sup>3</sup>	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
<b>20,00</b>	2,55	15,57	4	0,95	208,8	189	91,0	2,2	49,8	74,7	7,6	7	32	22	19	18	25	28	4,2	6,4	7,6	--	--
20,20	2,45	--	3	0,86	210,5	186	--	--	--	--	--	6	32	22	19	18	25	28	4,1	6,1	7,4	--	--

## **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***

## DATI GENERALI

Normativa	NTC_2018
Larghezza fondazione	4.0 m
Lunghezza fondazione	4.0 m
Profondità piano di posa	1.5 m
Profondità falda	2.2

## STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coeficiente di coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Coeficiente di coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Descrizione
3.6	17.5	19.5	21.0	5.0	50.0	7000.0	4200.0	A
5.6	18.0	20.0	23.0	6.0	60.0	8400.0	5000.0	B
11.8	18.5	20.5	25.0	9.0	90.0	12600.0	8300.0	C

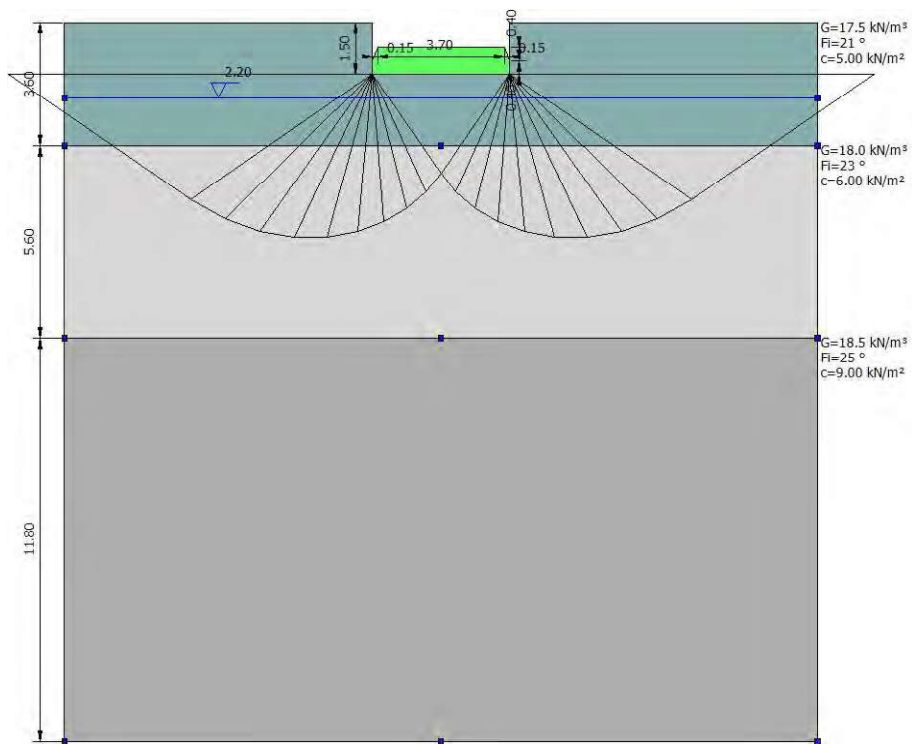
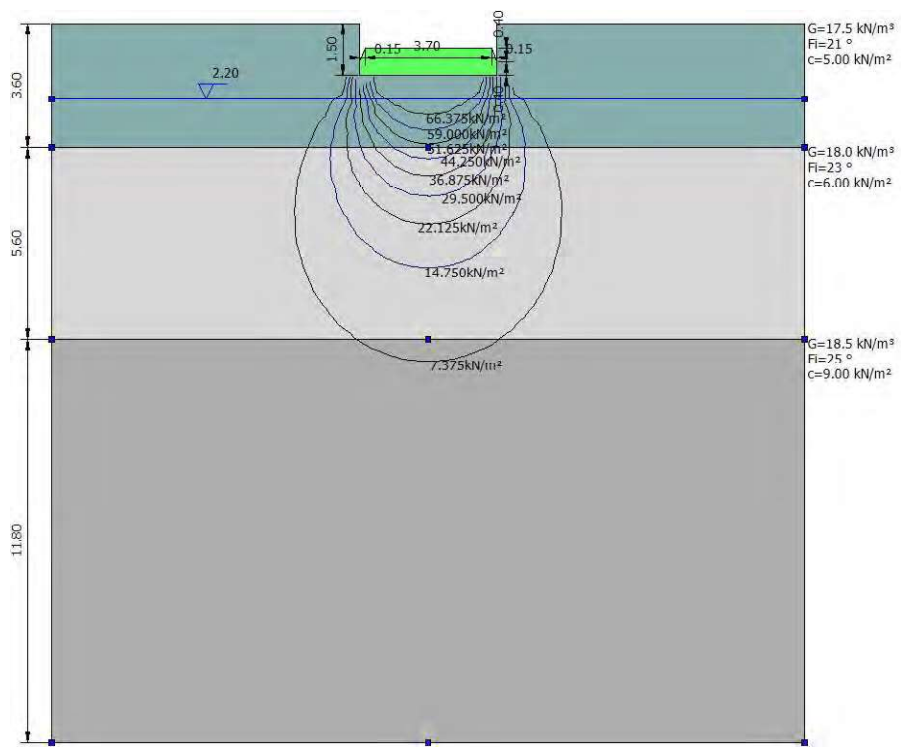
## CEDIMENTI PER OGNI STRATO

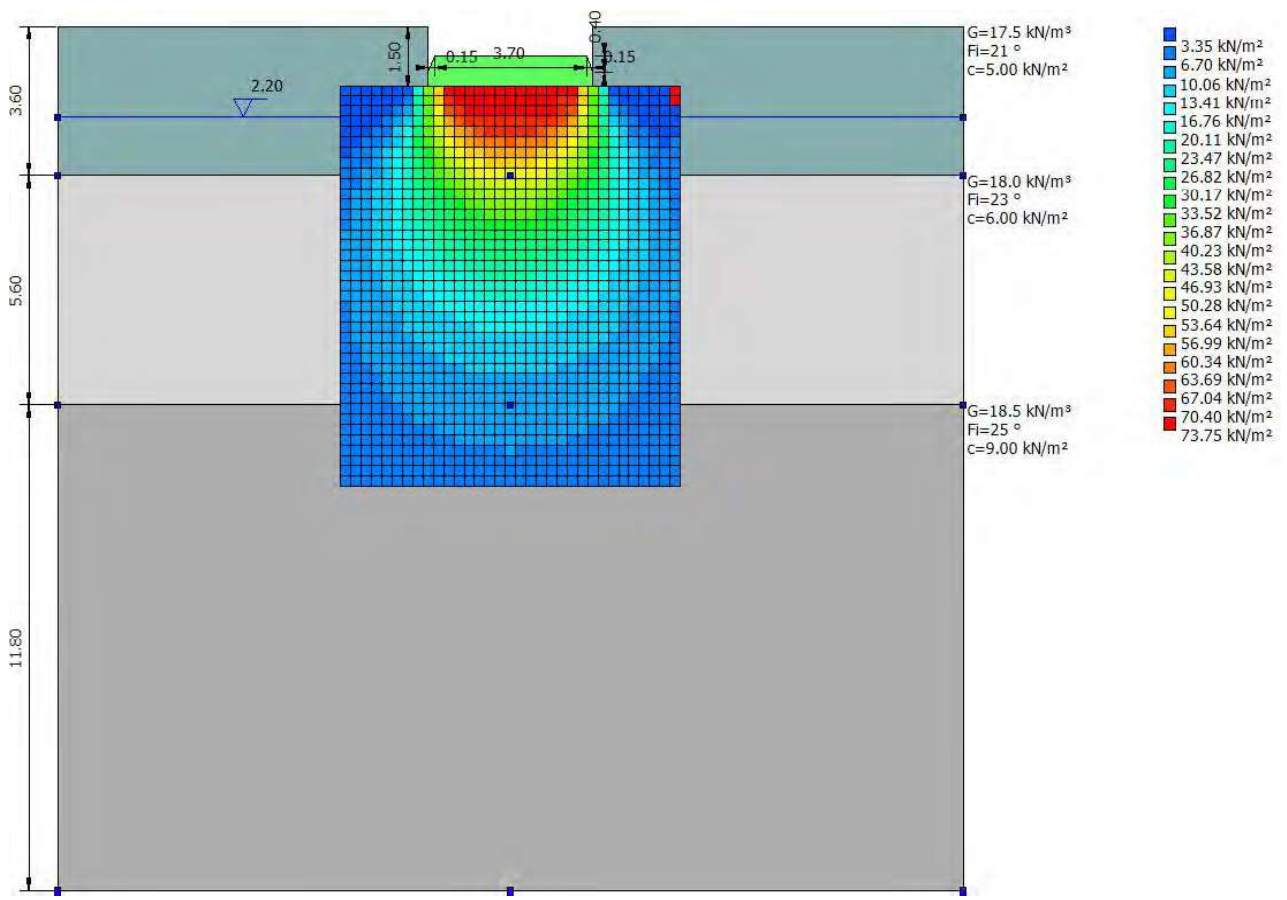
**\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

Pressione normale di progetto	100.0 kN/m <sup>2</sup>
Cedimento totale	2.52 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	2.55	41.893	18.183	Edometrico	0.9092	--	0.9092
2	6.4	80.611	10.973	Edometrico	1.2289	--	1.2289
3	15.1	172.24	2.661	Edometrico	0.3783	--	0.3783





## **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***

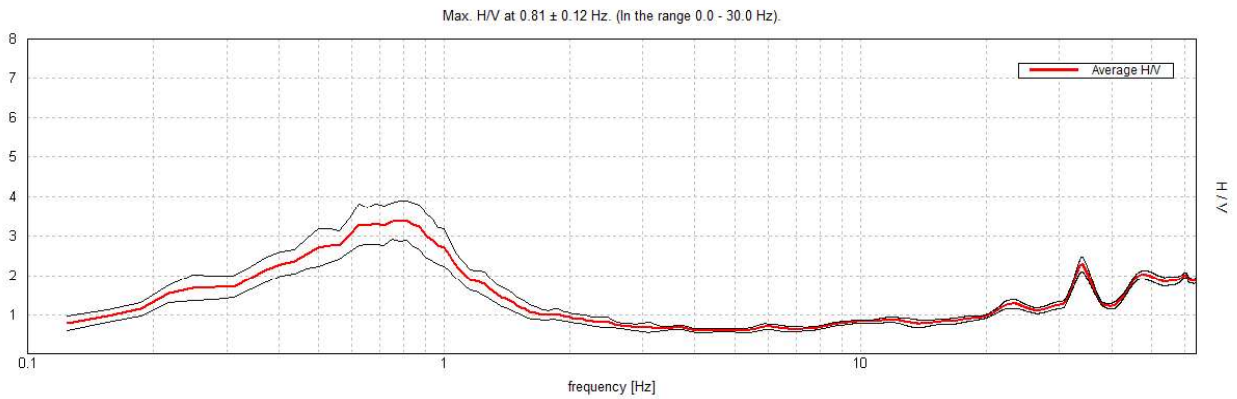
### ***Indagini sismiche***

## SOLIERA, VIA ARCHIMEDE

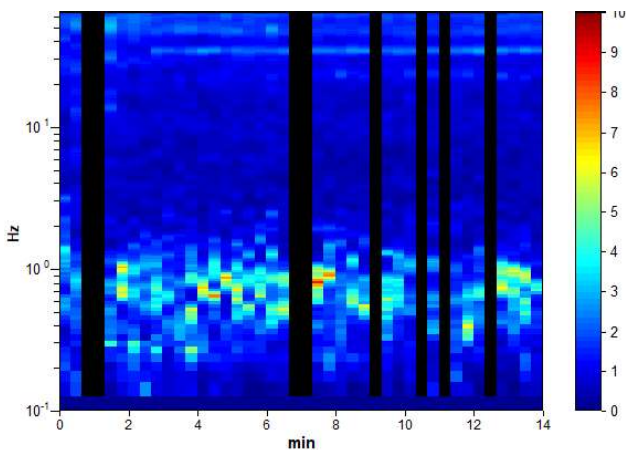
Instrument: TE3-0303/01-17  
 Data format: 32 bit  
 Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 01/08/2023 11:13:59 End recording: 01/08/2023 11:27:59  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

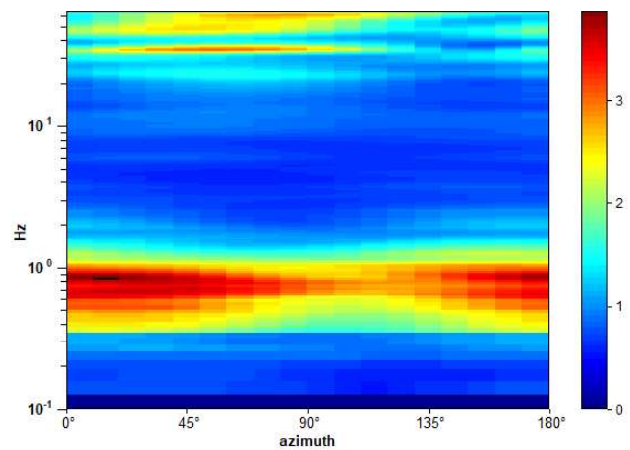
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



### H/V TIME HISTORY

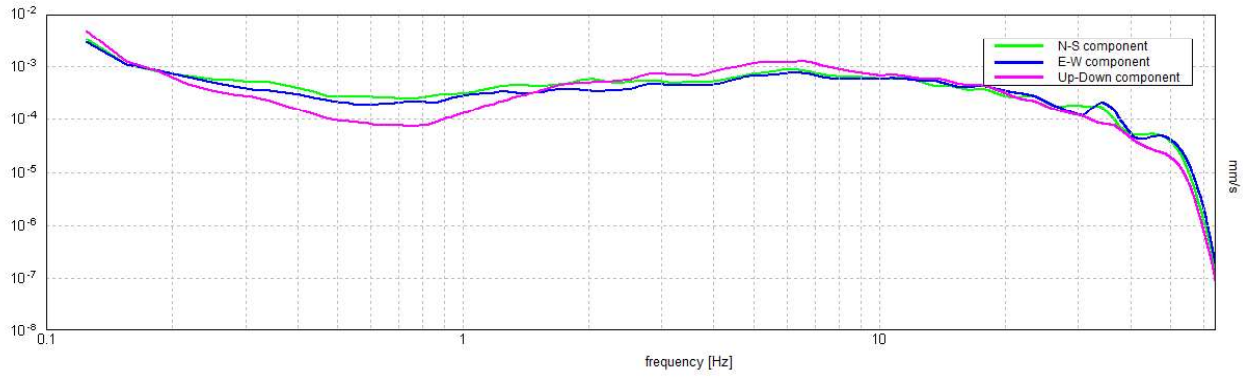


### DIRECTIONAL H/V

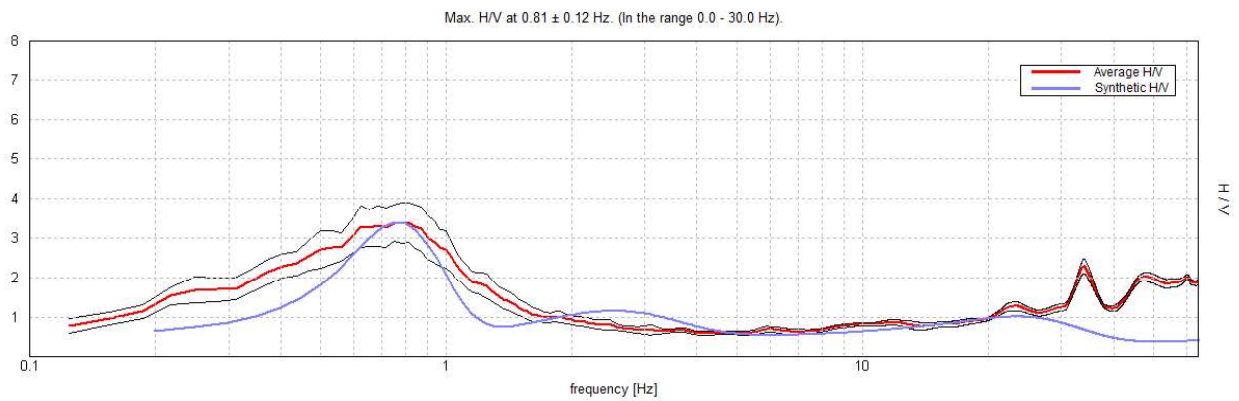




### SINGLE COMPONENT SPECTRA

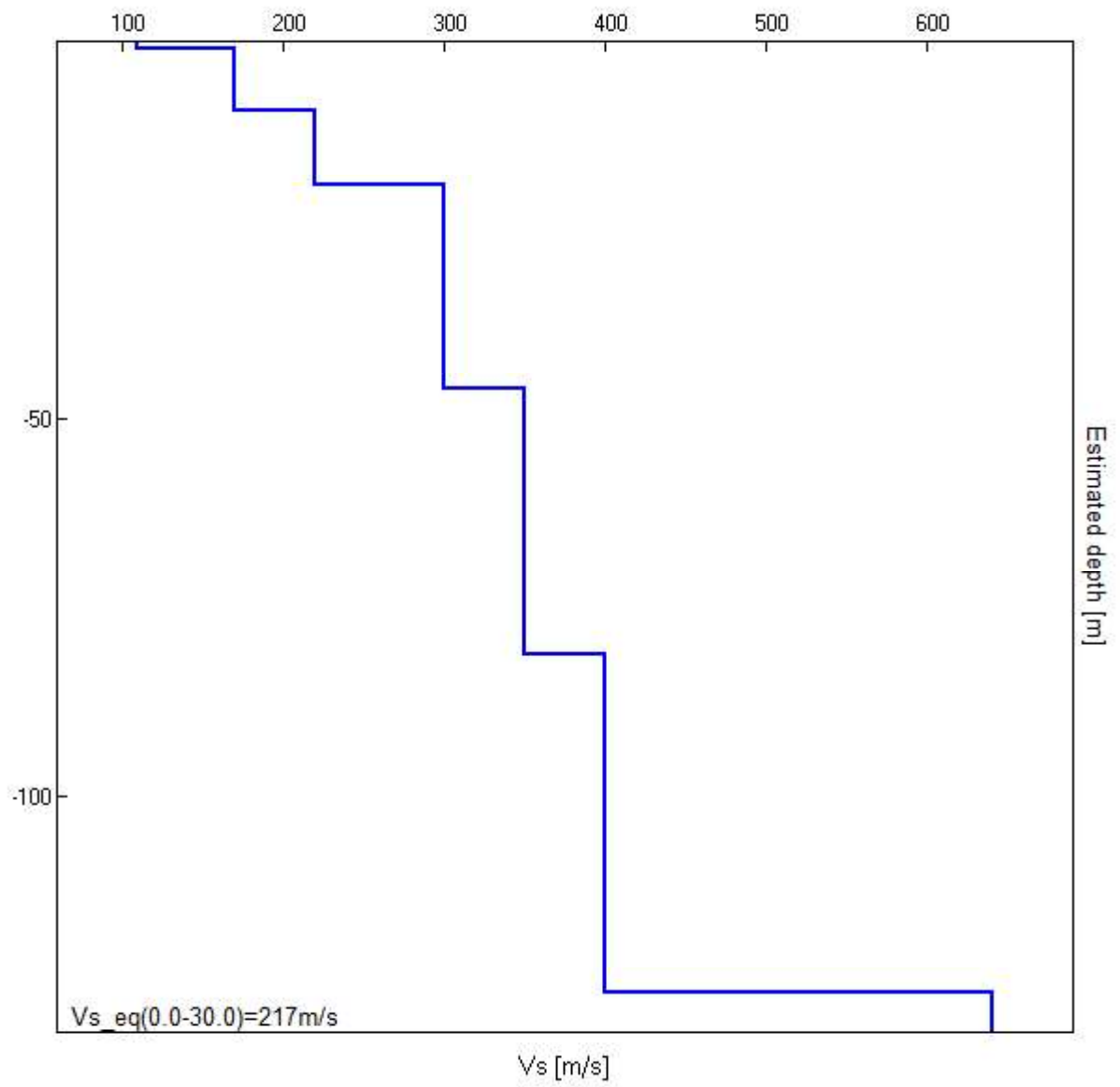


## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	110	0.44
9.00	8.00	170	0.43
19.00	10.00	220	0.43
46.00	27.00	300	0.42
81.00	35.00	350	0.42
126.00	45.00	400	0.42
inf.	inf.	640	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=217\text{m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $0.81 \pm 0.12$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.81 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$552.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.219 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.313 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$3.40 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.15171  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.12326 < 0.12188$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.5033 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## **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***

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

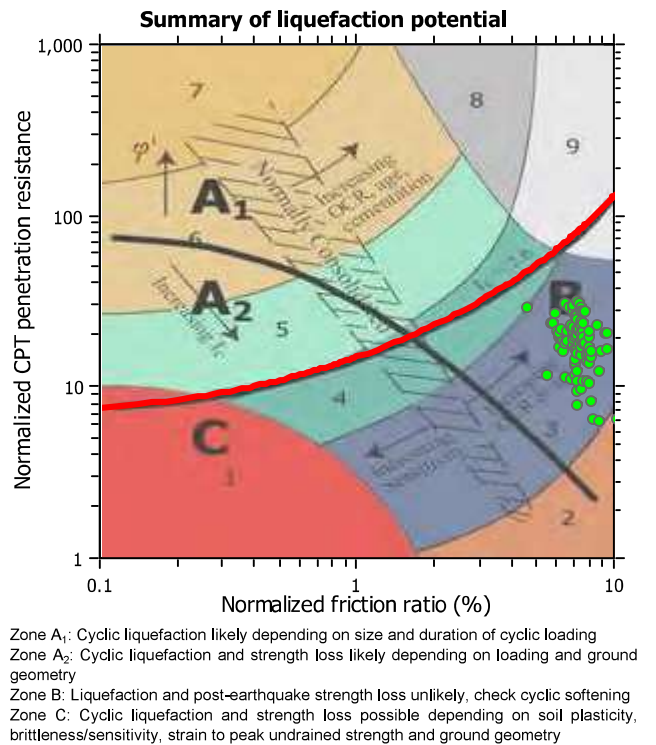
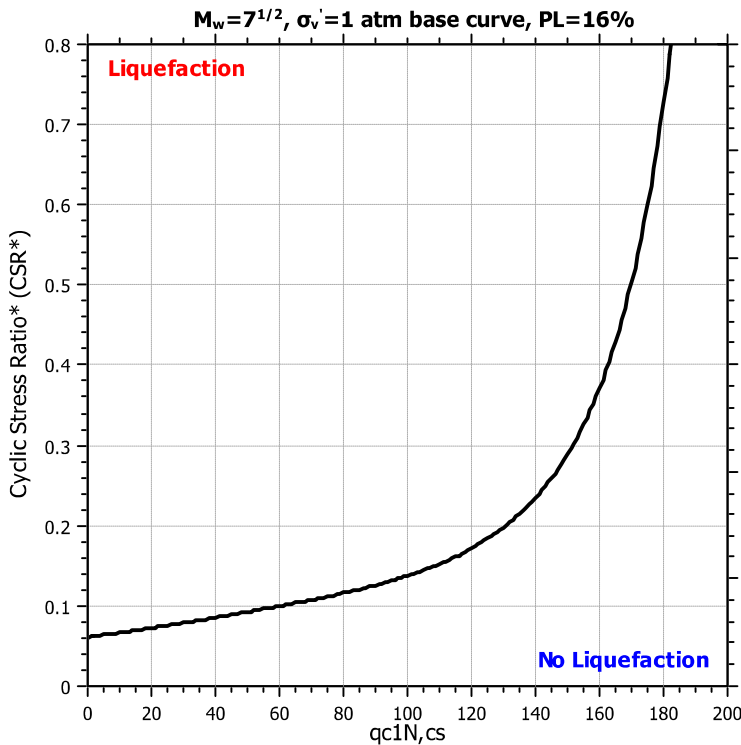
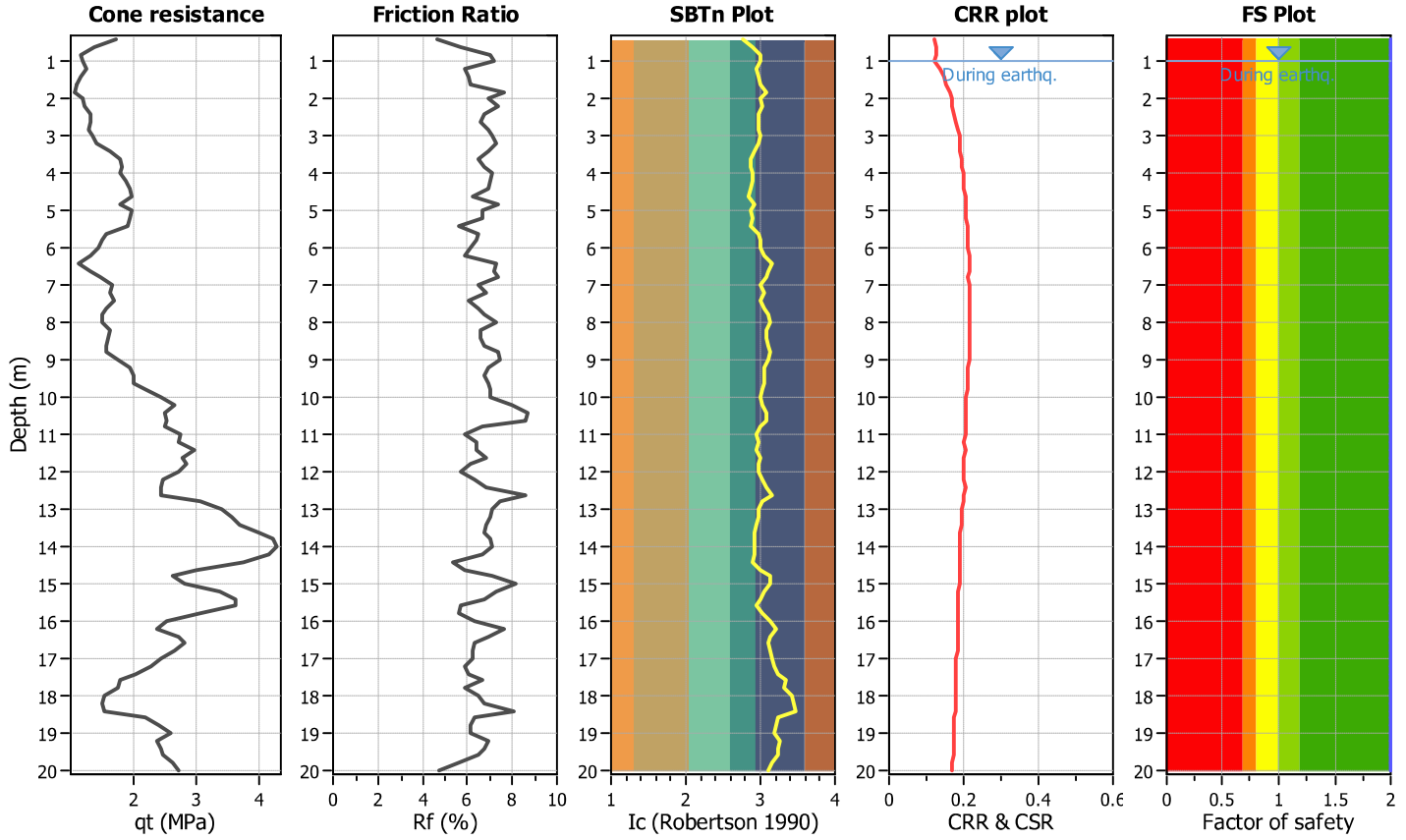
**Project title : Studio del terreno di fondazione**

**Location : Soliera, Via Archimede**

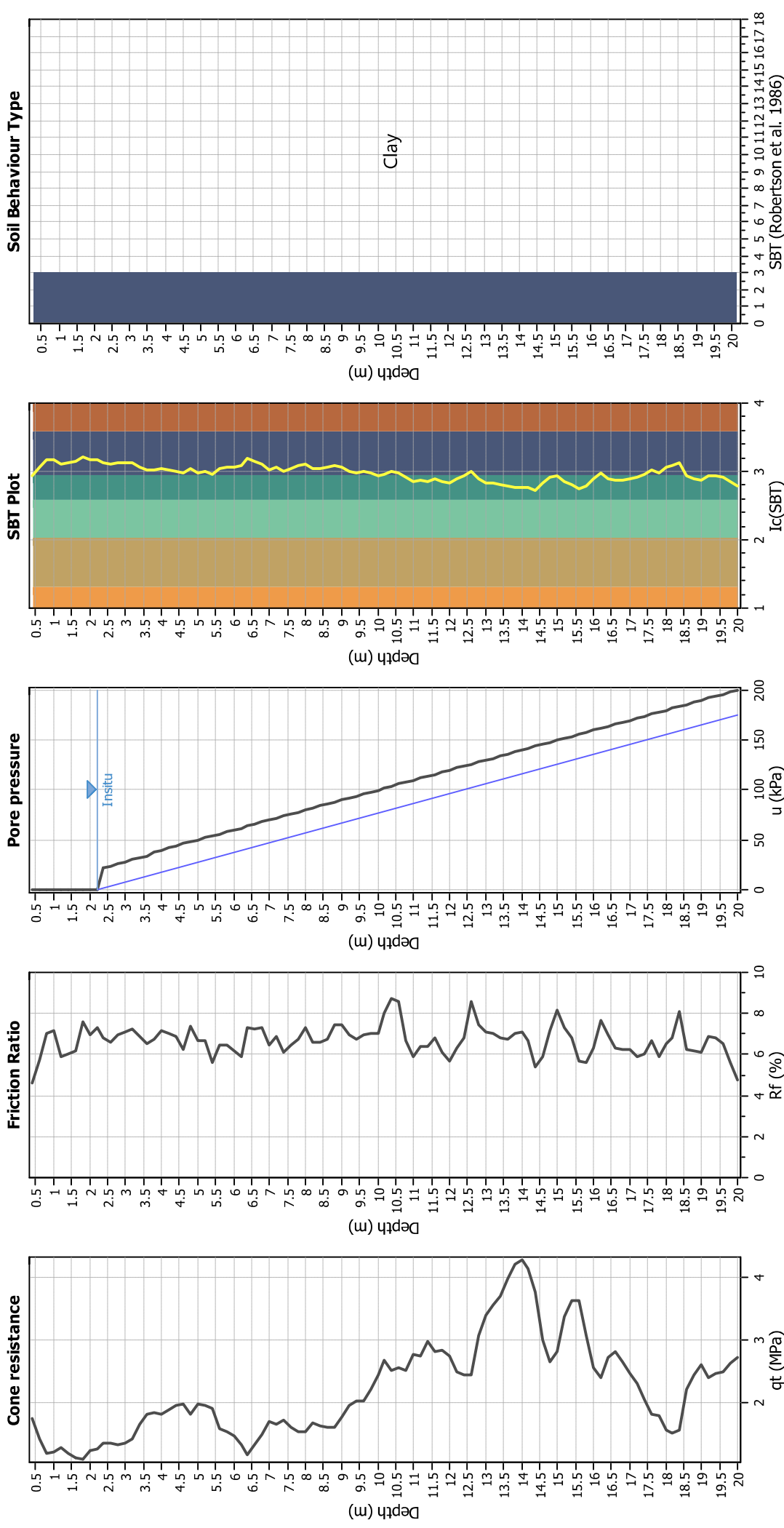
**CPT file : CPT1**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.20 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_g$ applied:	Yes		



### CPT basic interpretation plots



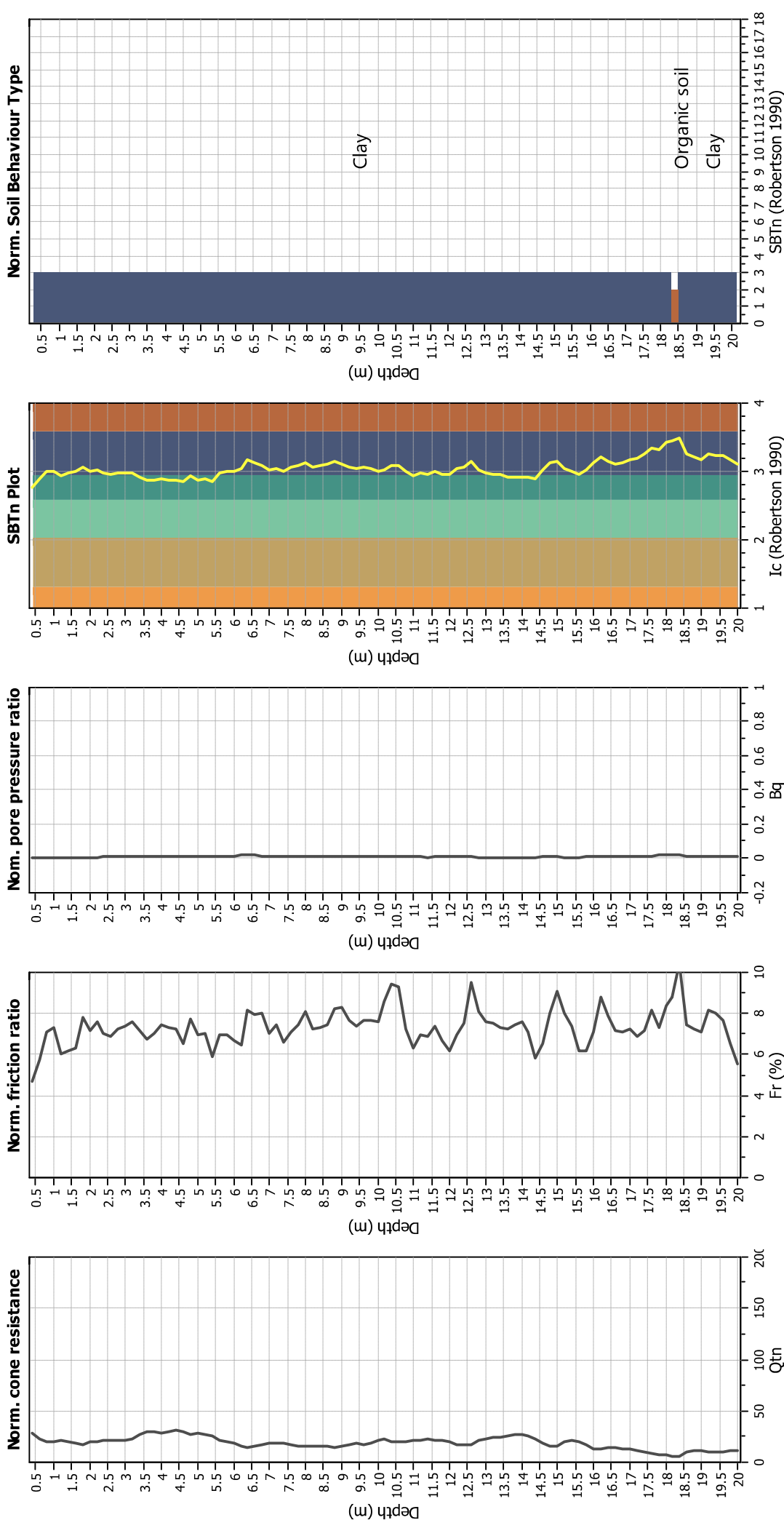
### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GW (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>v</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

### 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

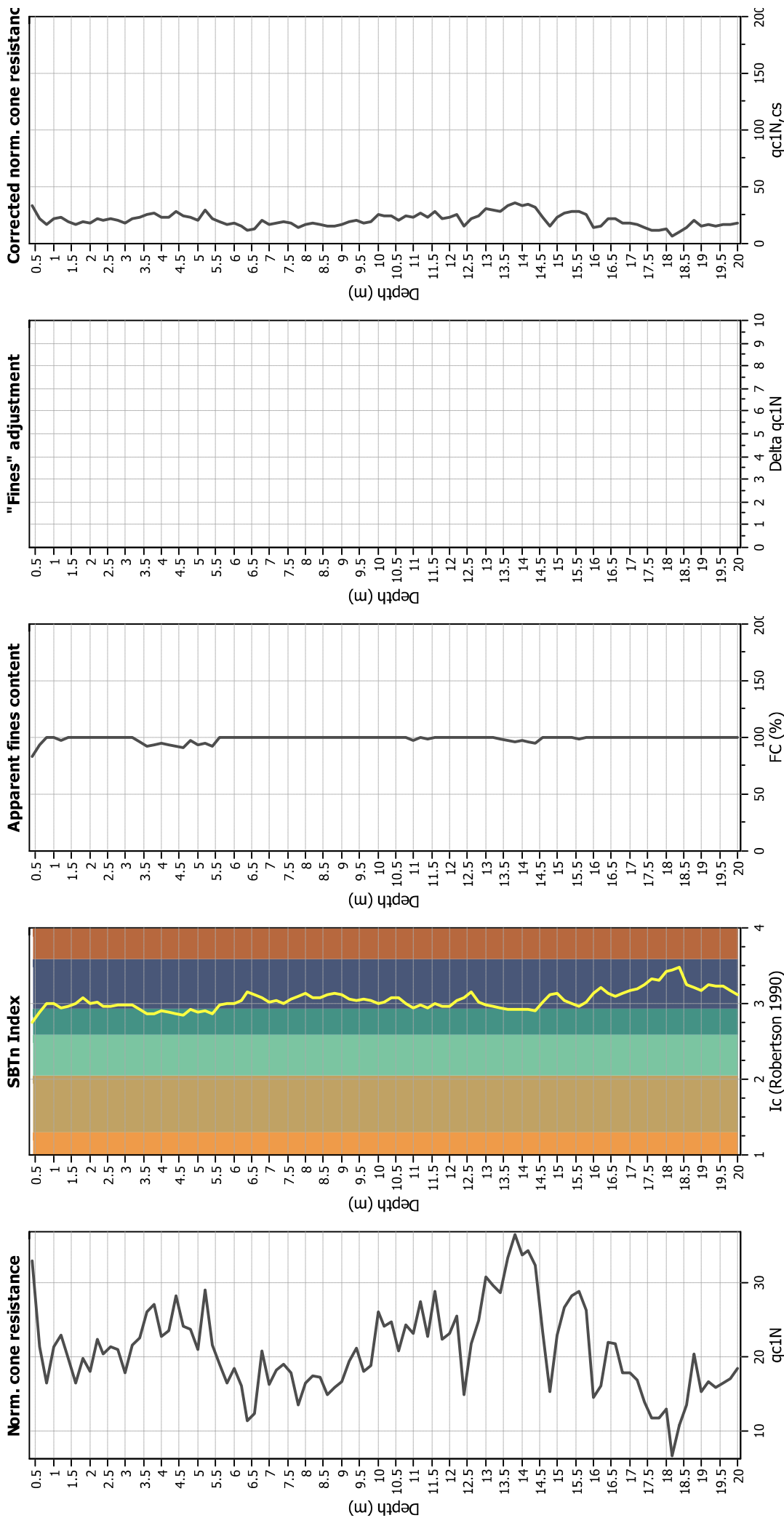
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWL (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### 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



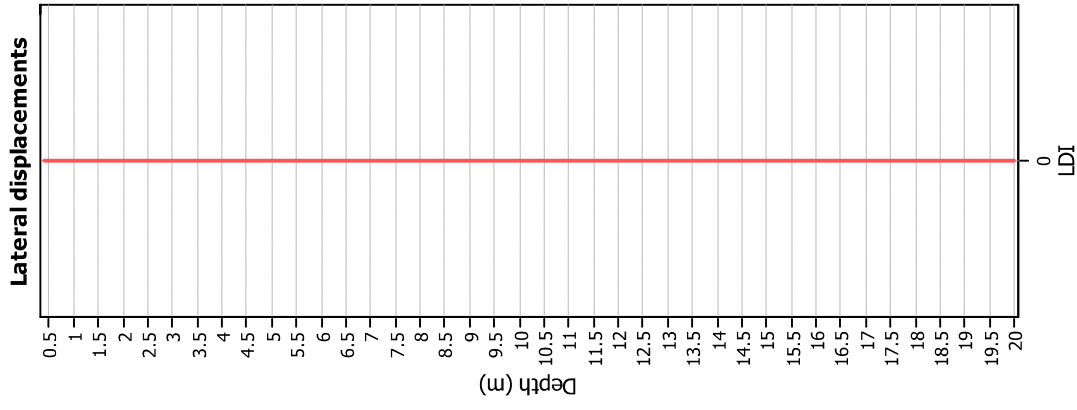
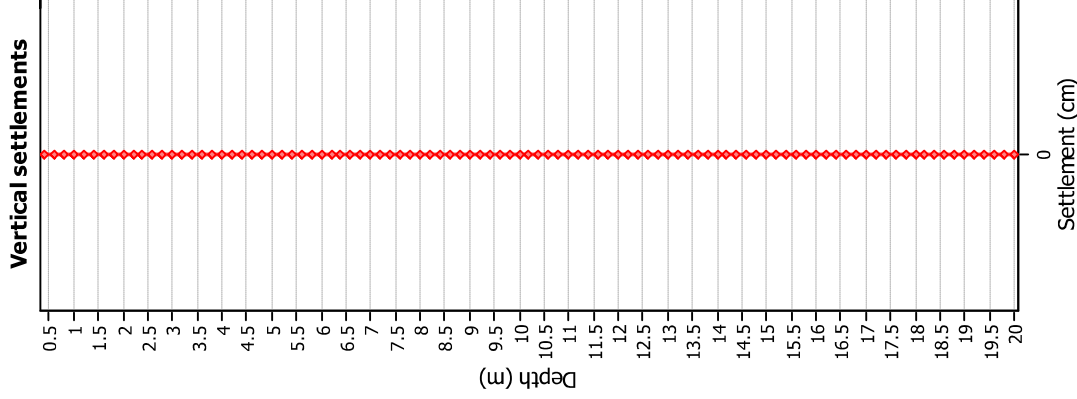
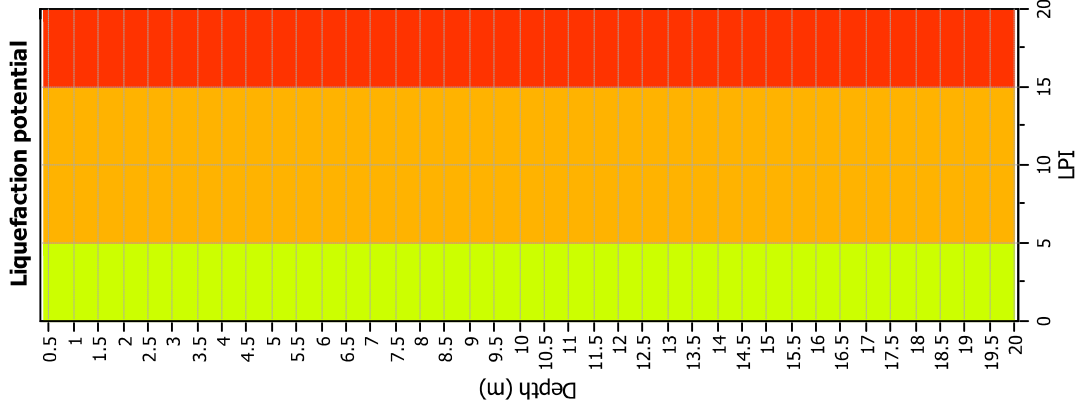
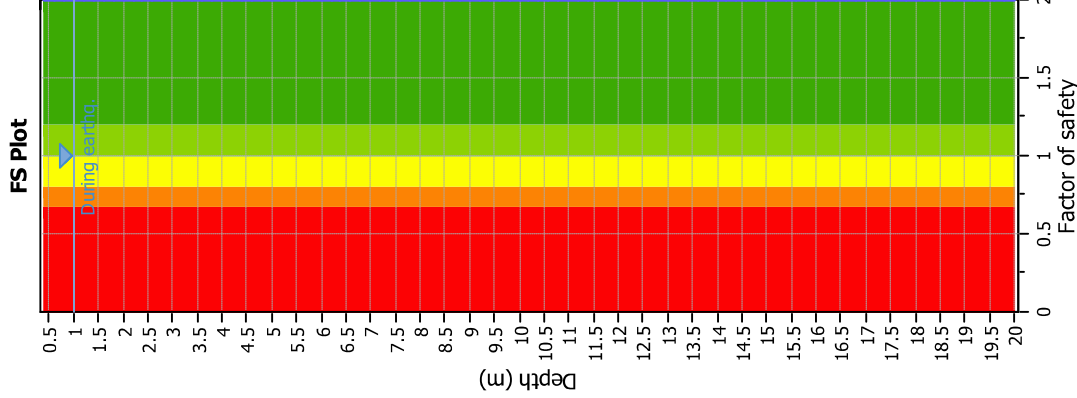
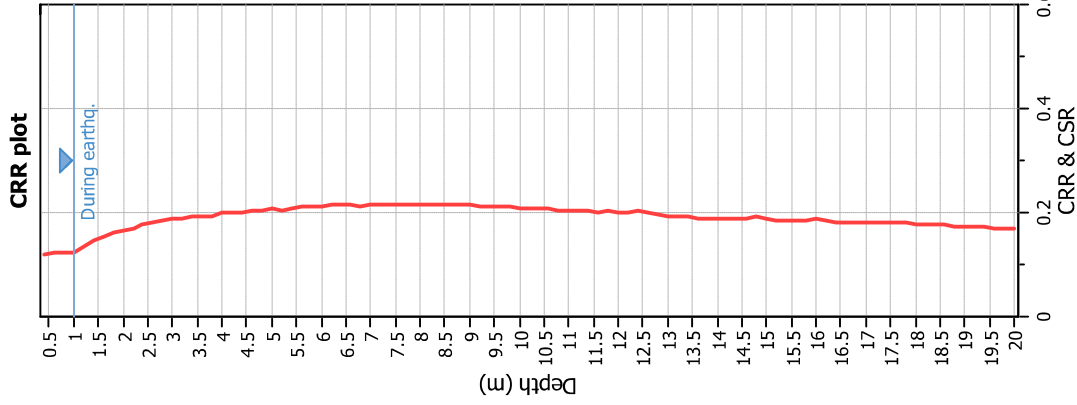
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.20 m	Limit depth:	N/A
Depth to GWT (earthq.):	1.00 m		
Average results interval:	3		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on Ic value  
 Earthquake magnitude  $M_w$ : 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.23  
 Depth to water table (insitu): 2.20 m

Depth to GW (earthq.): 1.00 m  
 Average results interval: 3  
 Ic 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  
 $K_r$  applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: No  
 Limit depth: N/A

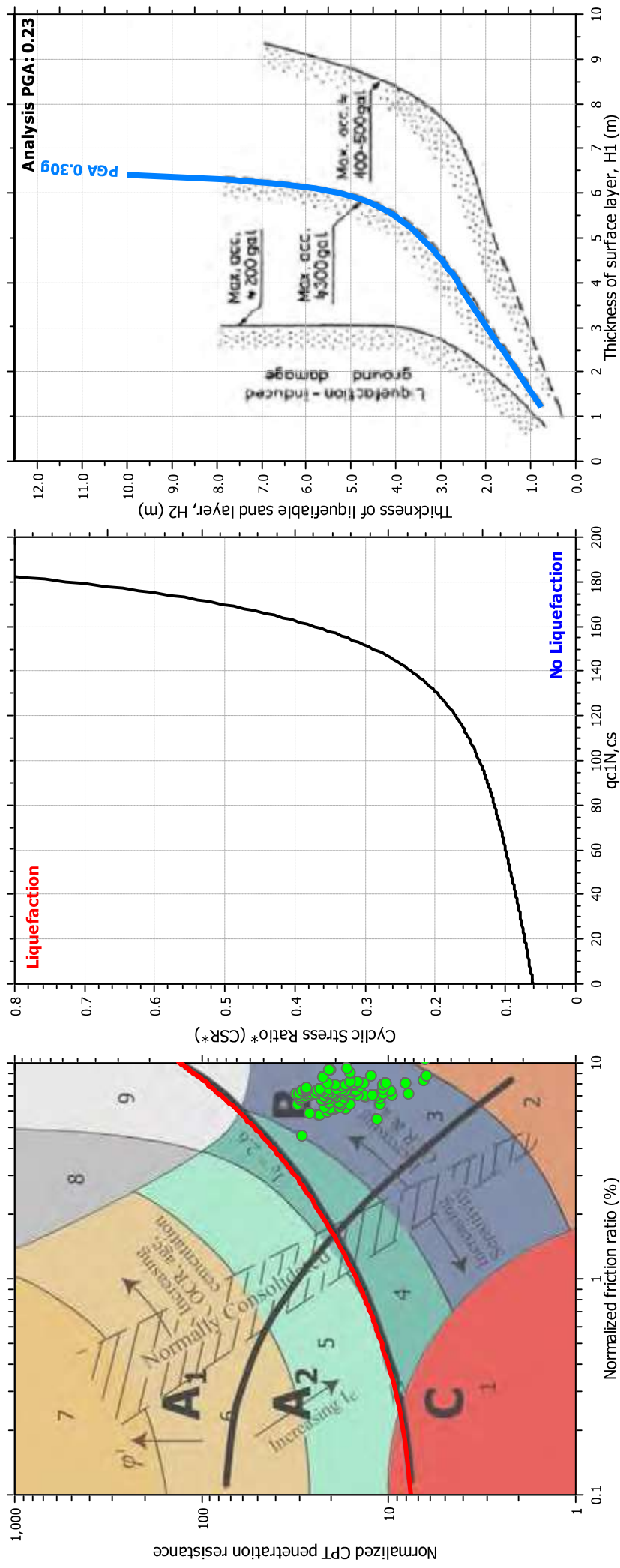
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk

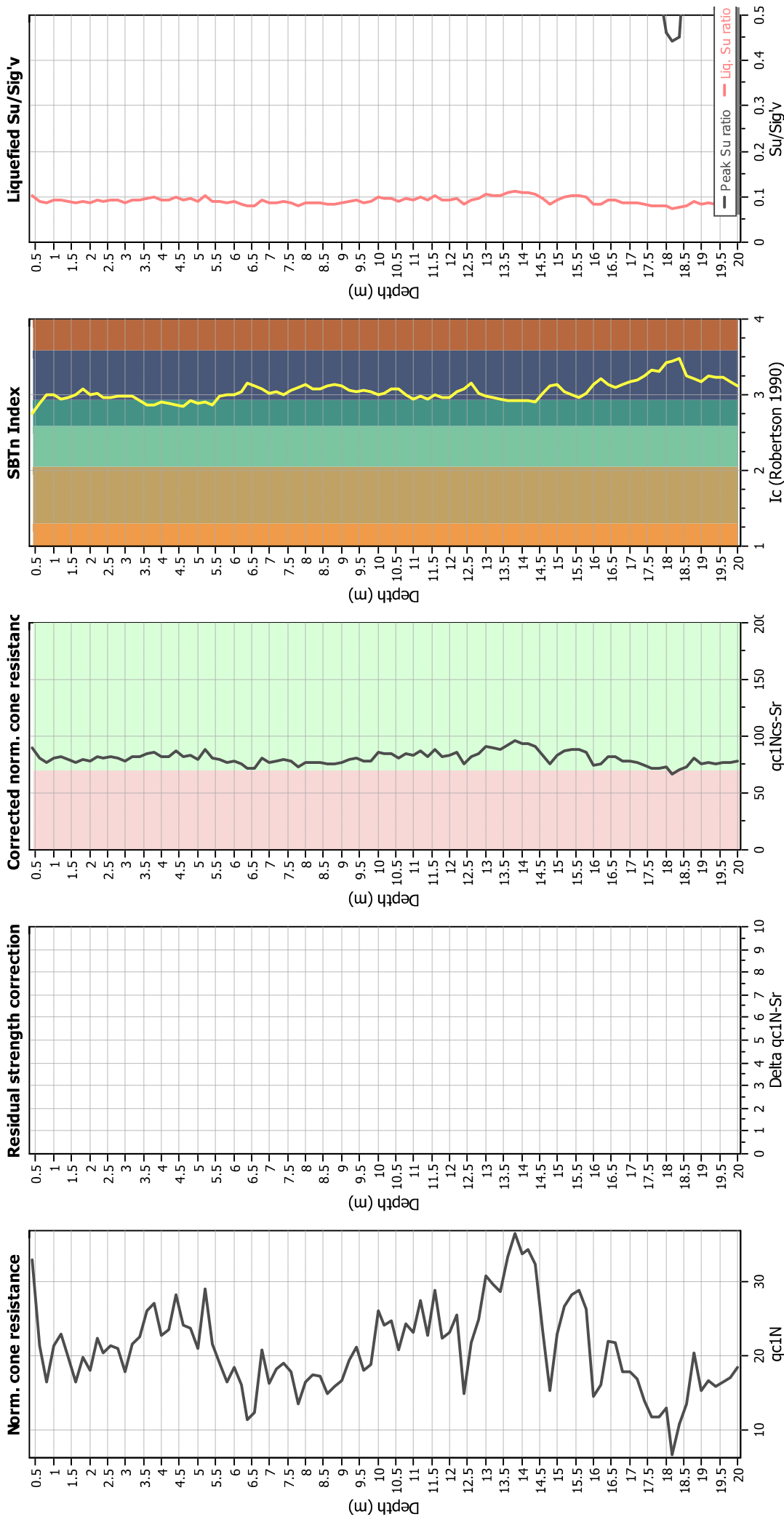
### Liquefaction analysis summary plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $i_c$ value	$i_c$ cut-off value:	2.60	$K_r$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

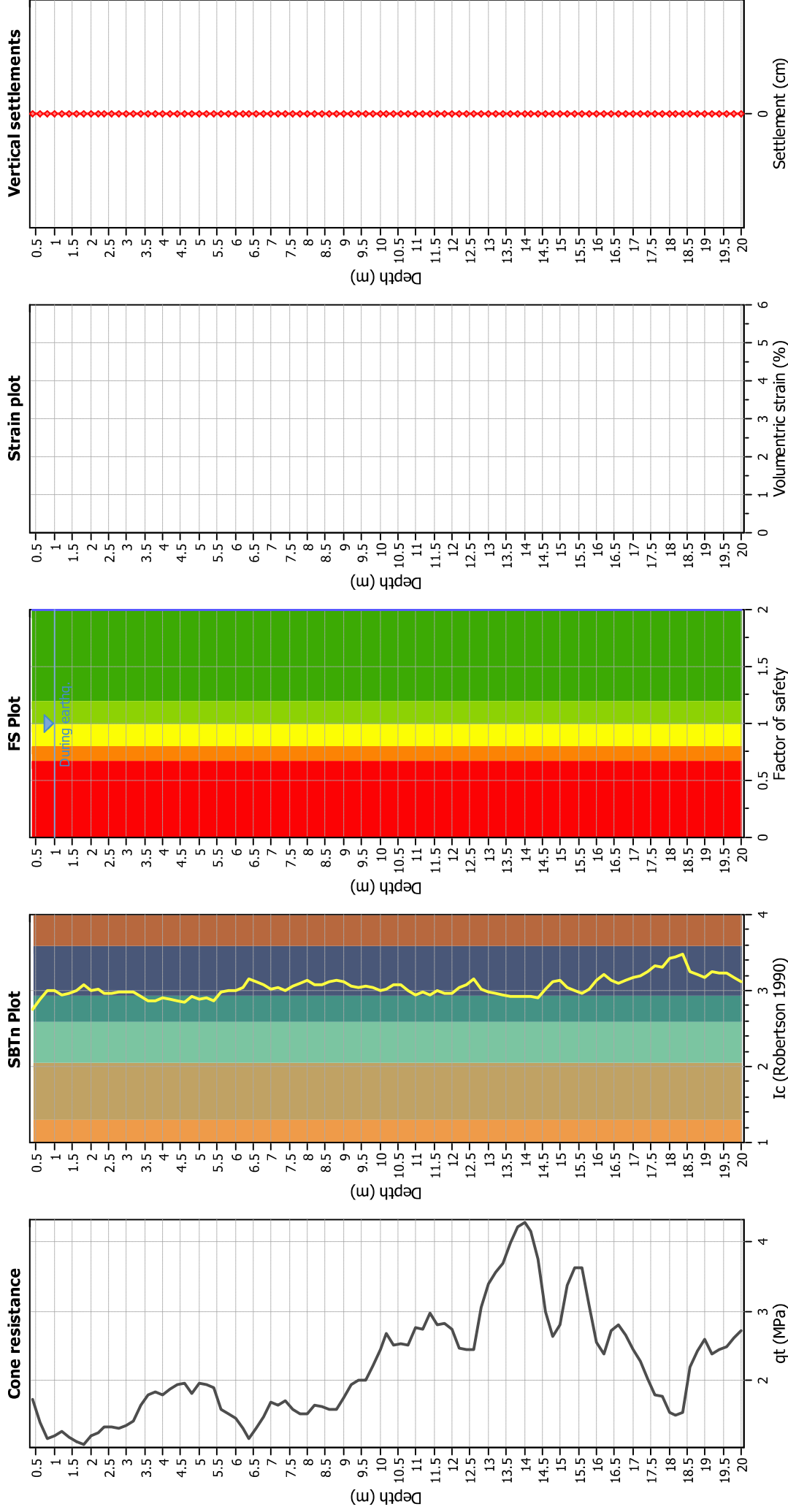
### Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.20 m	Limit depth:	N/A
Depth to GWT (earthq.):	1.00 m		
Average results interval:	3		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

### Estimation of post-earthquake settlements



**Abbreviations**

- q<sub>t</sub>: Total cone resistance (cone resistance q<sub>c</sub> corrected for pore water effects)
- I<sub>c</sub>: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against Liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

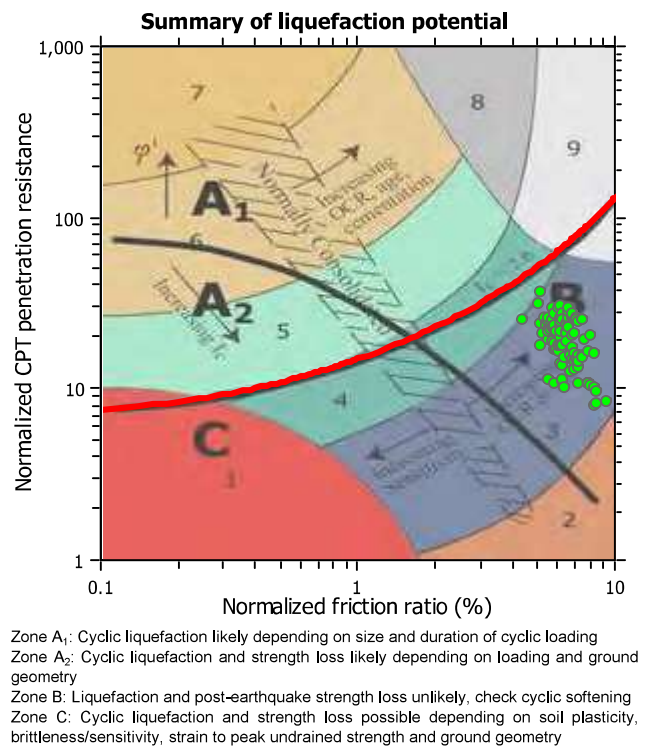
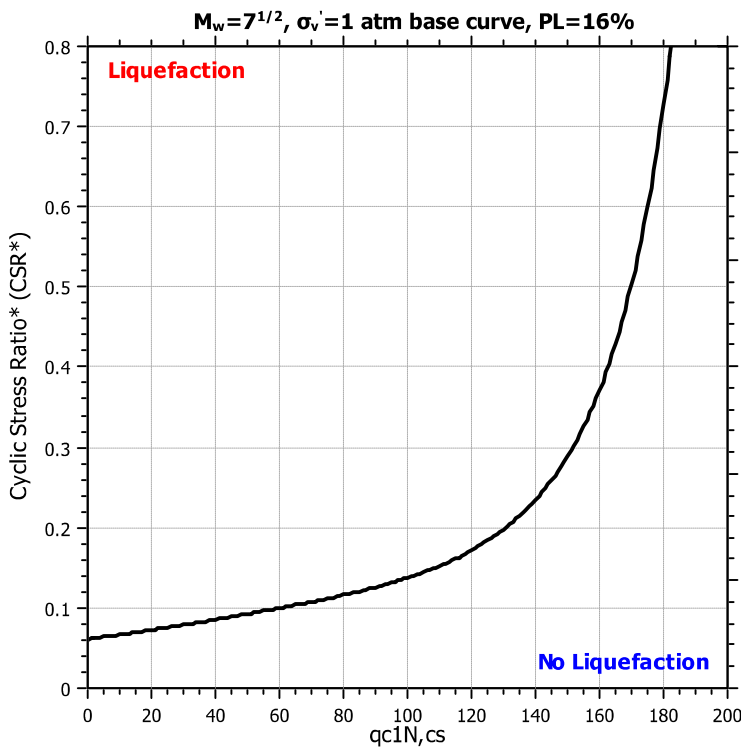
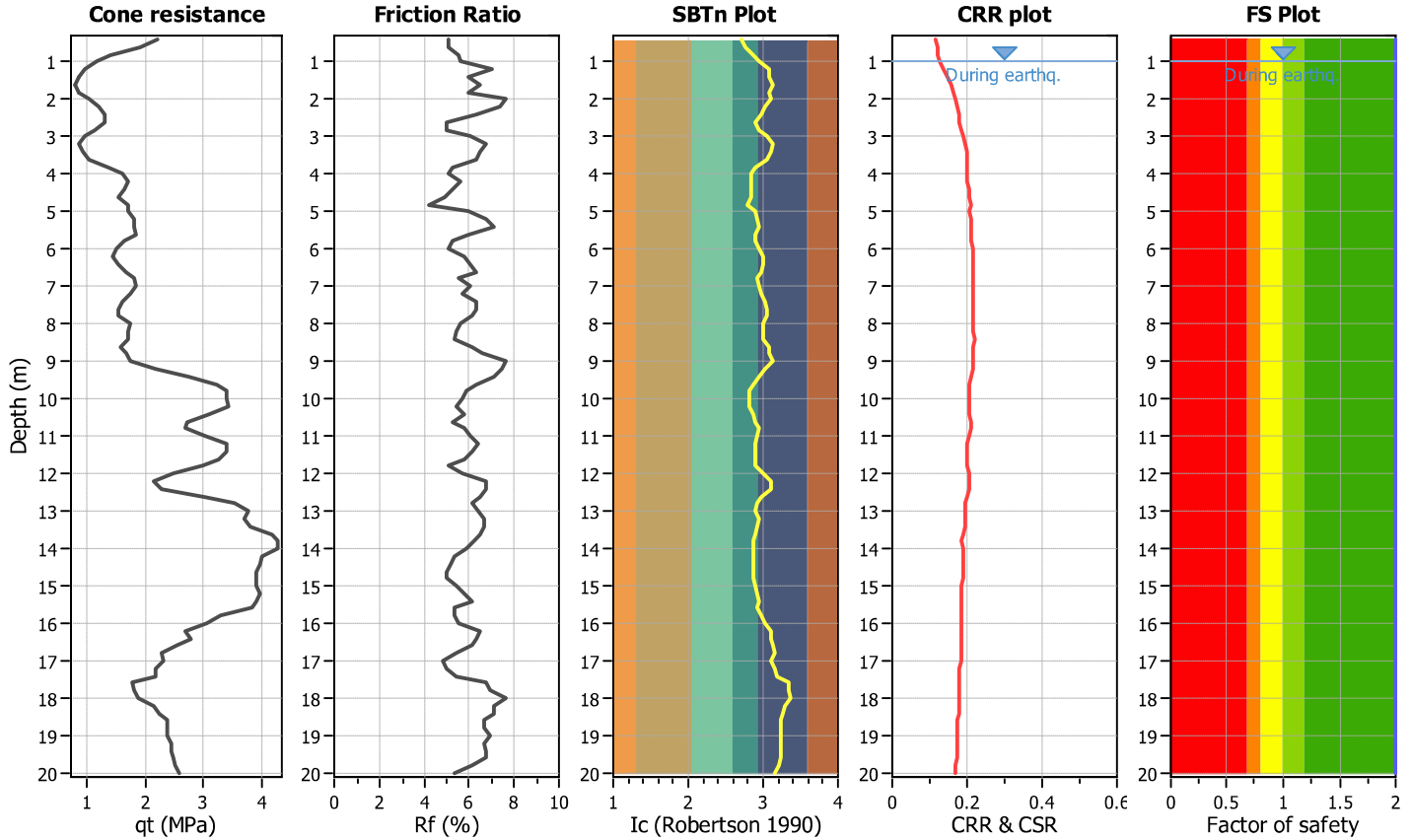
**Project title : Studio del terreno di fondazione**

**Location : Soliera, Via Archimede**

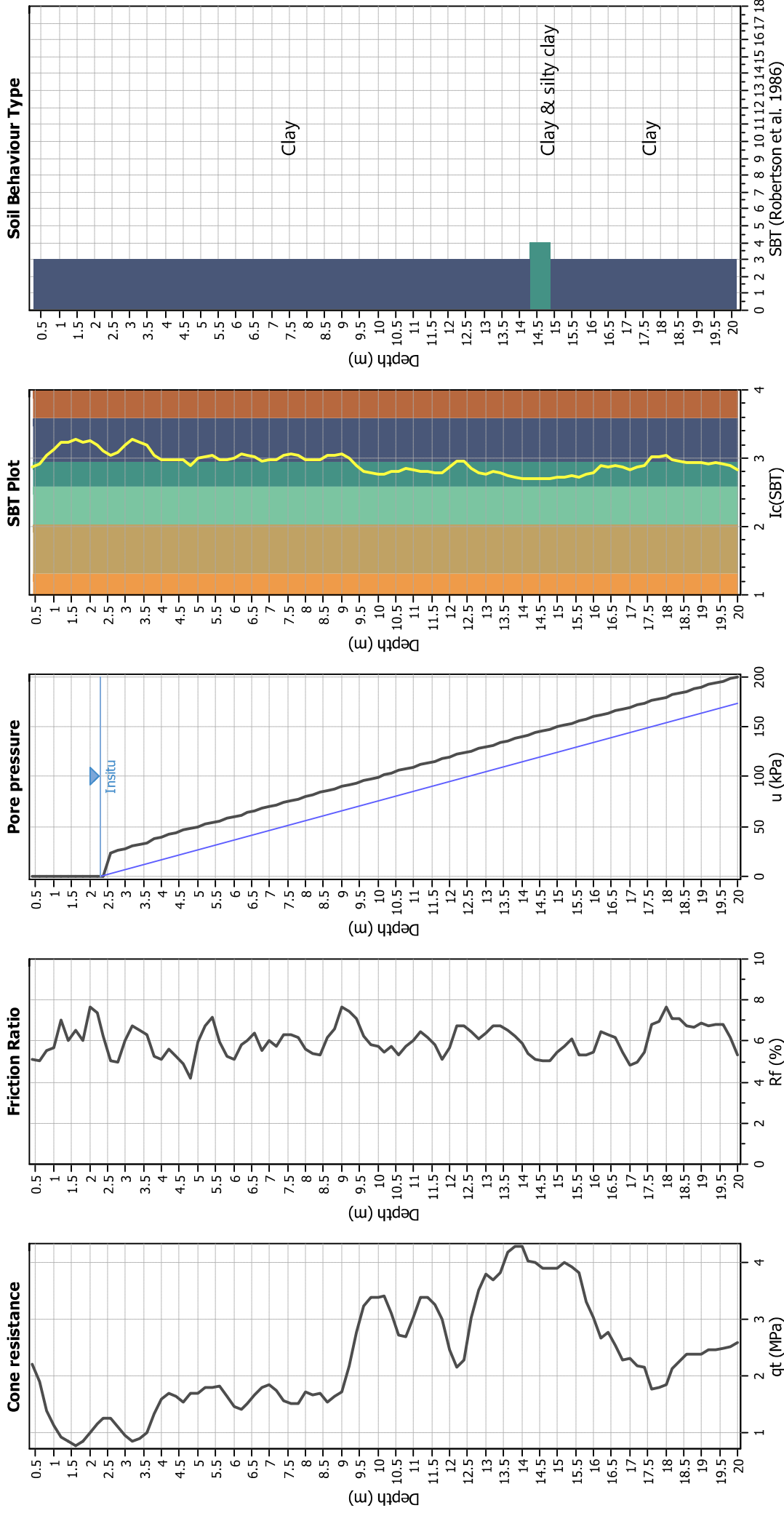
**CPT file : CPT2**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_g$ applied:	Yes		



### CPT basic interpretation plots



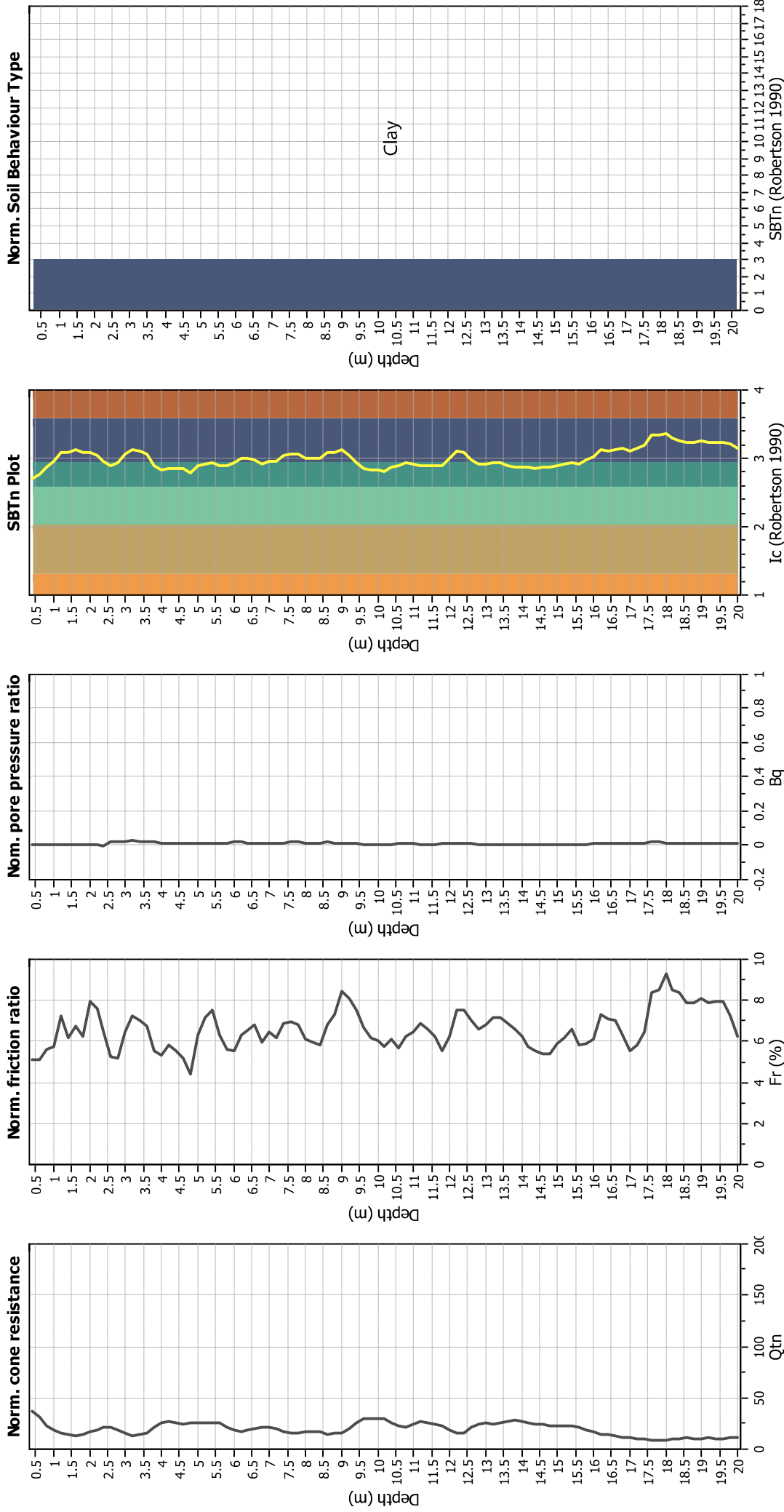
### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_r$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

### 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

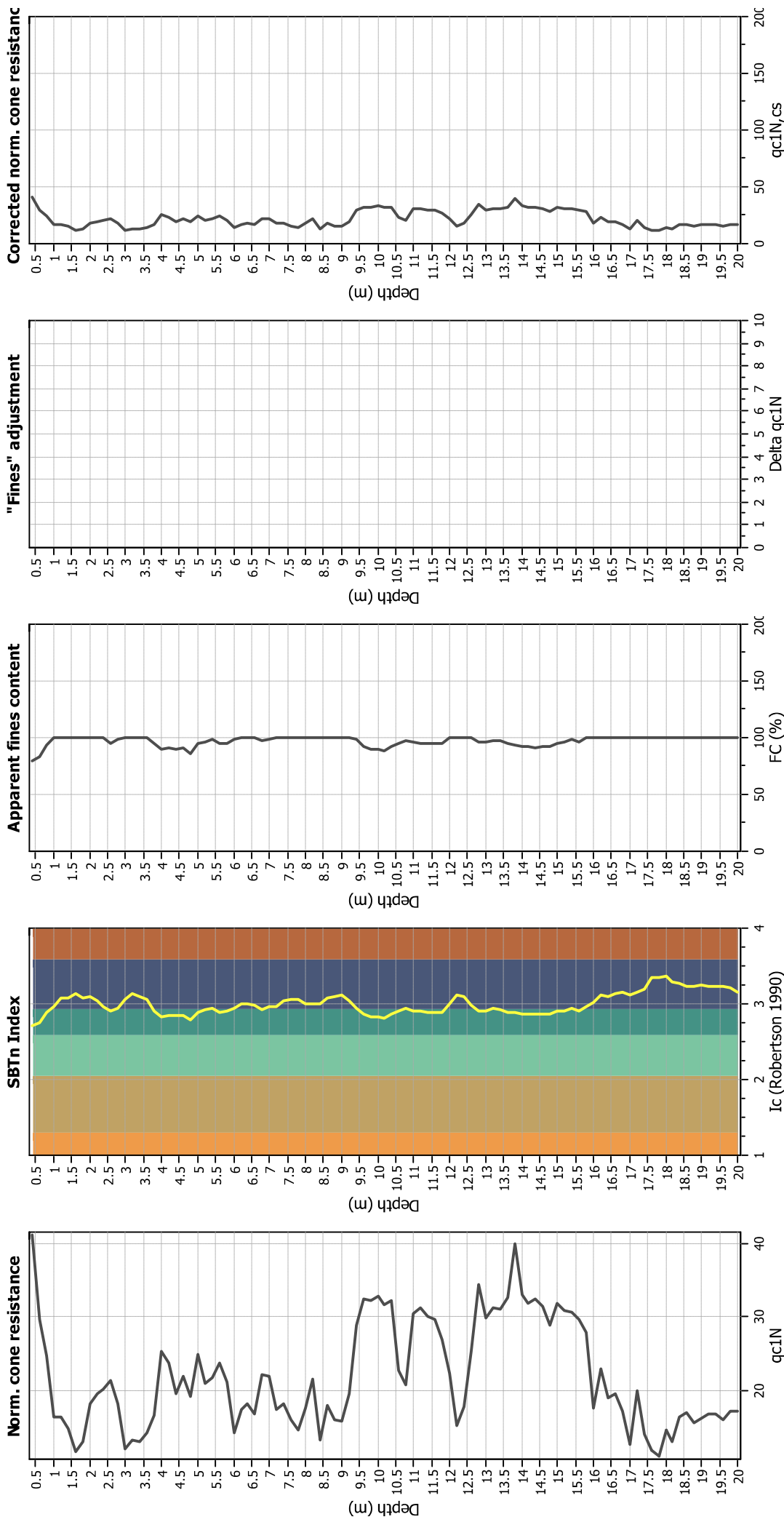
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_p$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### SBTn legend

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



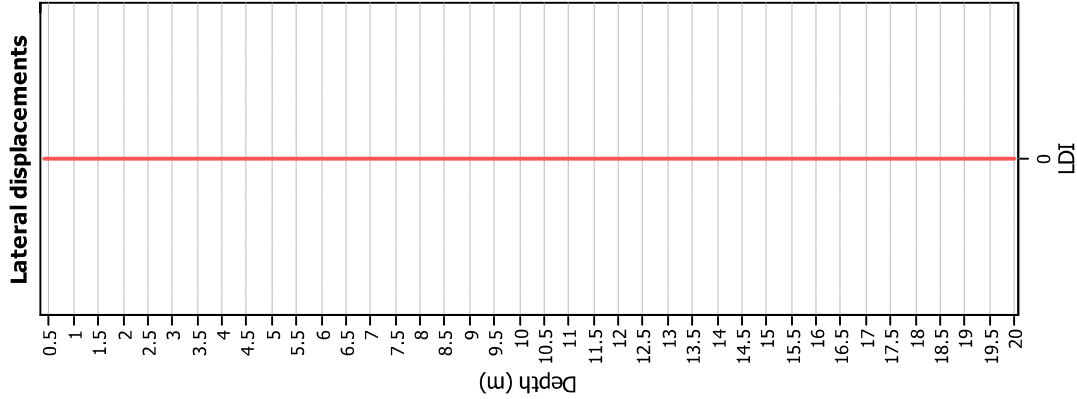
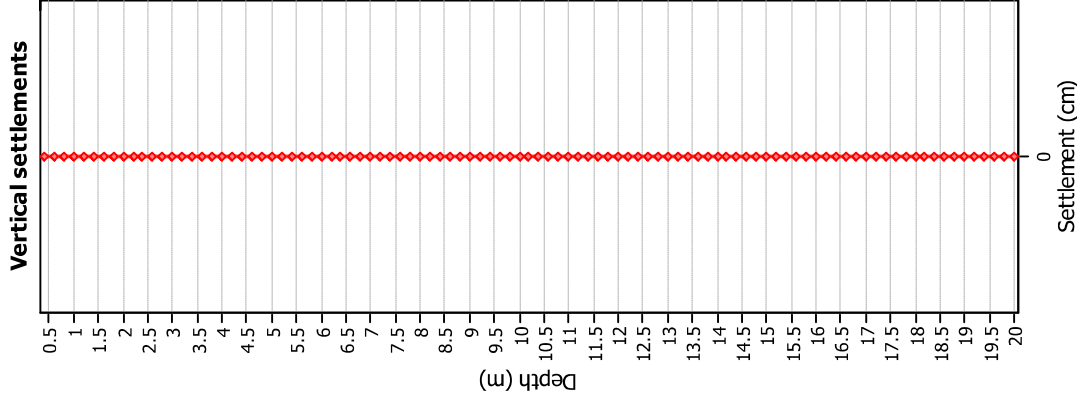
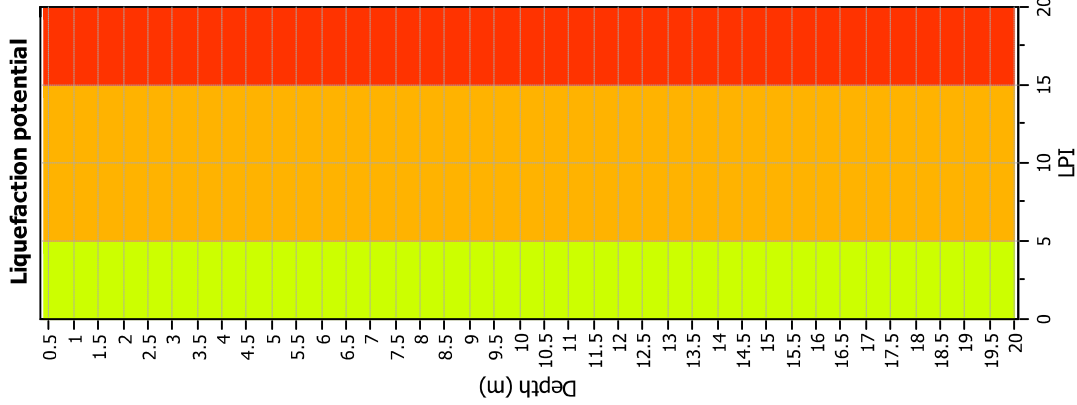
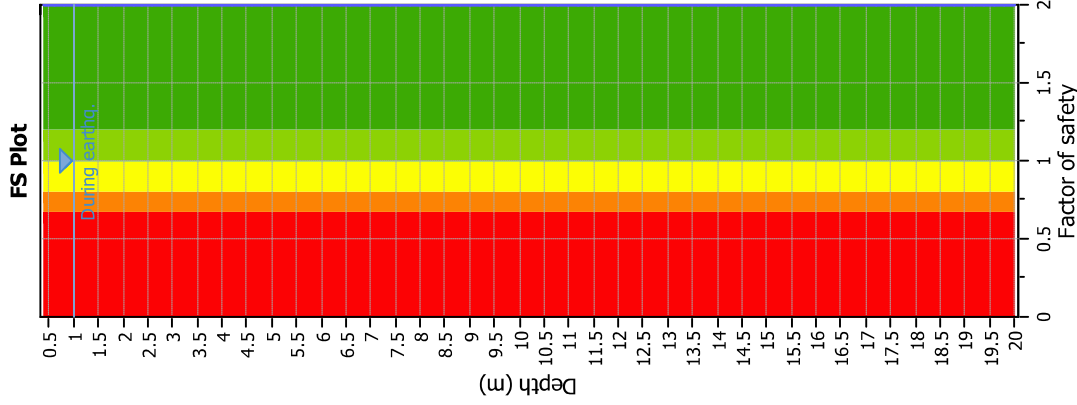
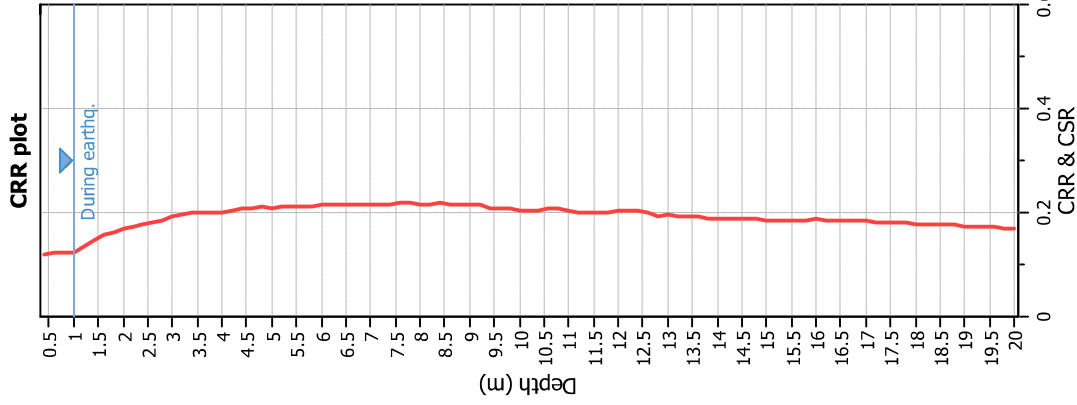
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	N/A
Depth to GWT (earthq.):	1.00 m		
Average results interval:	3		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.23  
 Depth to water table (insitu): 2.30 m

Depth to GW (earthq.): 1.00 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> 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<sub>r</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: No  
 Limit depth: N/A

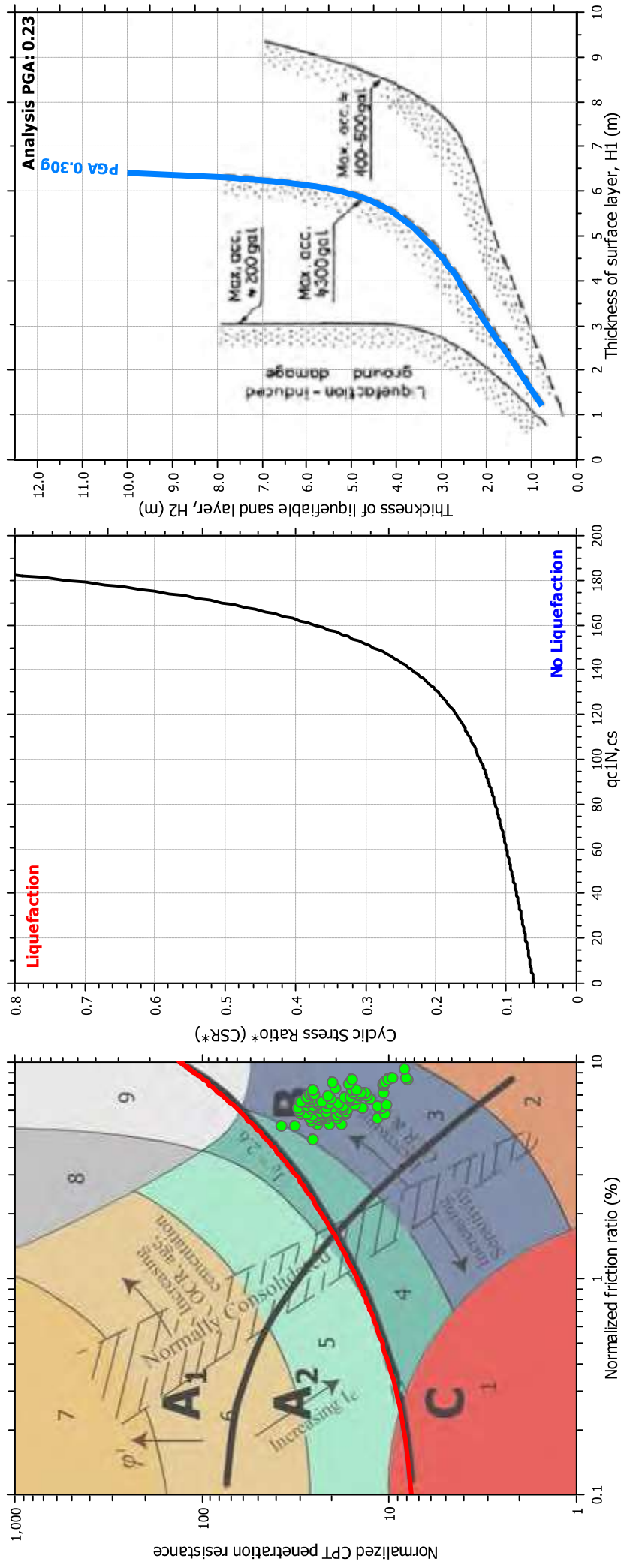
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

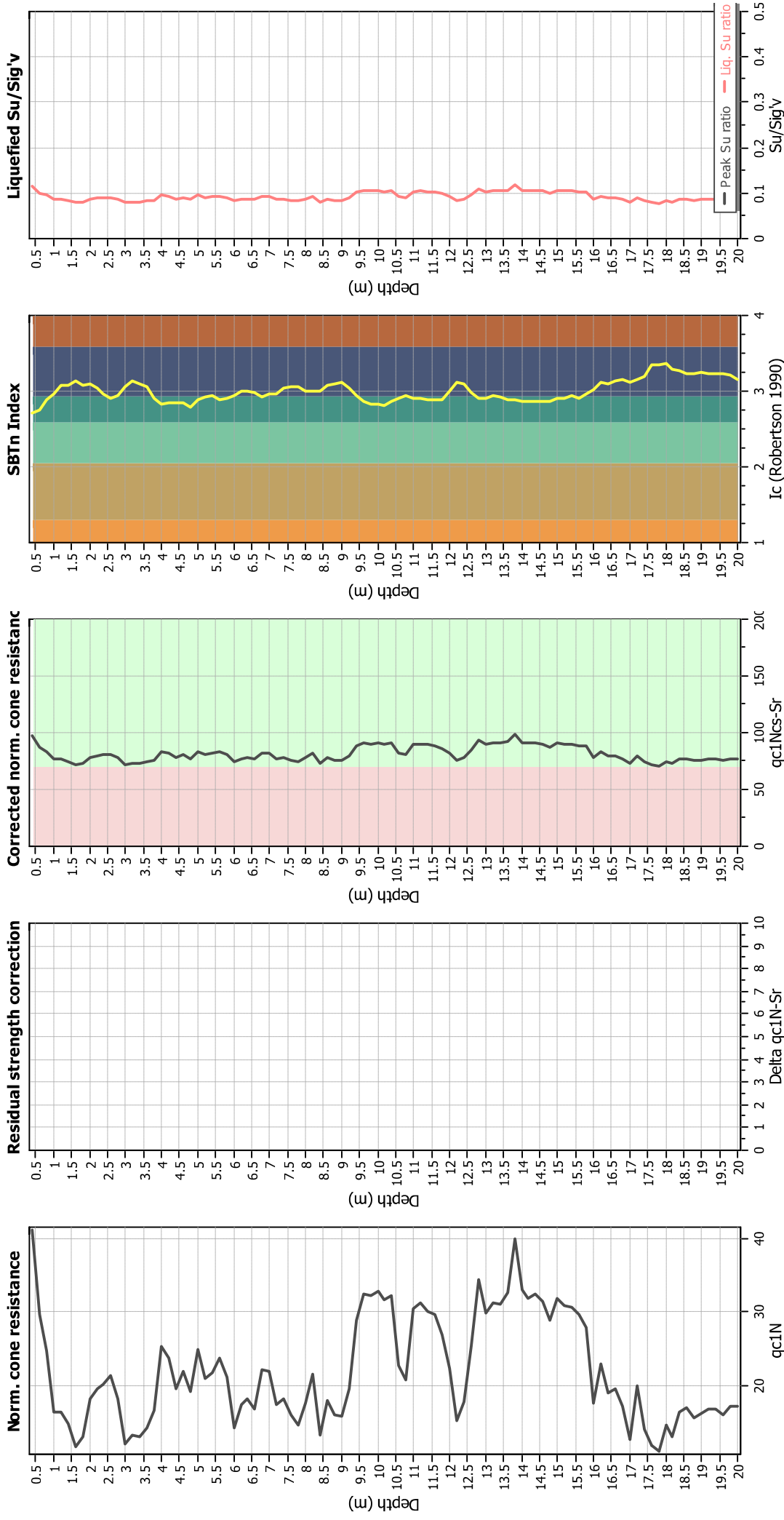
### Liquefaction analysis summary plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_r$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

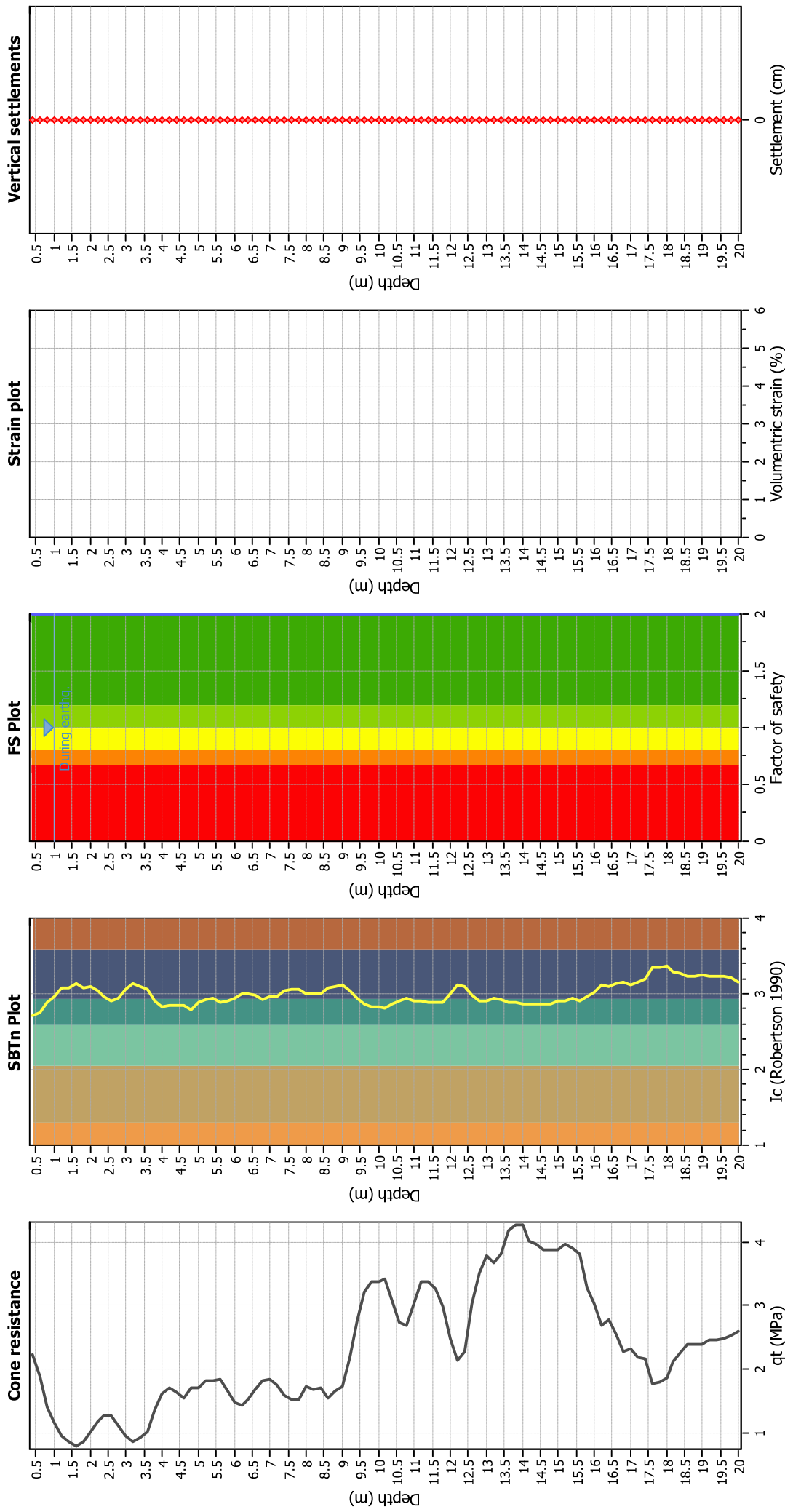
### Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	N/A
Depth to GW (earthq.):	1.00 m		
Average results interval:	3		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

### Estimation of post-earthquake settlements



**Abbreviations**

- $q_t$ : Total cone resistance (cone resistance  $q_c$  corrected for pore water effects)
- $I_c$ : Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against Liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain