



REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI MODENA
COMUNE DI MIRANDOLA

**AREA IMPIANTISTICA DI VIA BELVEDERE
SITA IN COMUNE DI MIRANDOLA**

**(Impianto discarica per rifiuti speciali non pericolosi - impianto
trattamento fanghi di depurazione - attività di messa in riserva rifiuti
non pericolosi RIF.INT. n. 128/00778780361)
GESTITA DA A.C.R. S.P.A. DI REGGIANI ALBERTINO**

**ISTANZA PAUR E CONTESTUALE RIESAME DI AIA
PER ADOZIONE PIANO DI ADEGUAMENTO/MIGLIORAMENTO
A SEGUITO DELLE BAT UE 2018/1147**

AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE (AIA)

Allegato. n.

Oggetto:

**RELAZIONE
GEOLOGICA E
SISMICA**

Scala:

Elaborazione:

01 | Settembre 2021

| |
|--|
| |
| |
| |
| |
| |

Revisione:

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

Committente:



ACR di Reggiani Albertino SPA
Via Statale Nord, 162 - 41037
Mirandola (MO)
Tel. 0535.615.311
Fax. 0535.615.330
www.acrreggiani.it

ACR S.p.A.
REGGIANI ALBERTINO
[Signature]

Elaborazione:



Geotea s.r.l. - via della Tecnica 57/A4 -
40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel 051
6255377- Fax 051 4998378
e-mail: Info@geoteasrl.it

Dott. Geol. Michele Dall'Omo



[Signature of Michele Dall'Omo]

SOMMARIO

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. | IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO | 3 |
| 2. | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 4 |
| 3. | PREMESSE | 5 |
| 3.1. | Riferimenti cartografici | 5 |
| 4. | CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA | 6 |
| 5. | INDAGINI GEOTECNICHE E SISMICHE DI RIFERIMENTO | 7 |
| 5.1. | Prove Penetrometriche Statiche con Piezocono (CPTU) | 7 |
| 5.1.1. | Stratigrafia verticale indagata | 8 |
| 5.1.2. | Caratterizzazione geotecnica | 9 |
| 5.2. | Indagine Sismica MASW – ReMi e HVSr | 11 |
| 5.2.1. | Indagine MASW | 11 |
| 5.2.2. | Tecnica ReMi | 11 |
| 5.2.3. | Misura a stazione singola HVSr | 11 |
| 5.2.4. | Analisi dei dati ottenuti | 12 |
| 6. | SIMICITA' DELL'AREA | 14 |
| 6.1. | Pericolosità sismica di base | 14 |
| 6.2. | Risposta sismica locale (effetti di sito) | 15 |
| 7. | STUDIO DELLA POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI SEDIMENTI SABBIOSI | 16 |
| 7.1. | Analisi del potenziale di liquefazione | 16 |
| 7.1.1. | Metodo di calcolo | 16 |
| 7.1.2. | Parametri di Input | 16 |
| 7.1.3. | Risultati analisi | 17 |
| 8. | CONCLUSIONI | 18 |



ALLEGATI

Tav. 1 - Ubicazione Indagine, scala 1:5.000

ALLEGATO 1 – Rapporto prove CPTU

ALLEGATO 2 – Rapporto Indagine Sismica

ALLEGATO 3 – Rapporto Analisi del Potenziale di Liquefazione

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Discarica per rifiuti non pericolosi 2b Via Belvedere - Mirandola (MO) |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

1. IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

Note identificative.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del codice numero di commessa interno 21.528 rev. n° 00, del nostro archivio interno.

Direzione indagini e coordinamento lavoro.

Dott. Geol. Michele Dall'Olmo

Redazione del documento.

Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Michele Dall'Olmo

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n. 18 pagine di testo e n. 40 pagine di allegati.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.2019 Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.17 gennaio 2018.

Decreto Ministeriale 17.02.2018

Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 02.02.2009

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.14 gennaio 2008.

Decreto Ministeriale 14.01.2008

Testo Unitario -Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n.36 del 27.07.2007

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita con prove in sito(2002).UNI

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I :Regole Generali .-UNI

Circ. Min. LL.PP. n° 30483 24 Settembre 1988

Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";

Decreto Ministeriale 11 Marzo 1988

"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazioni".

3. PREMESSE

Su incarico della ditta ACR Reggiani S.p.A. sono state effettuate verifiche sismiche e geotecniche ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e della microzonazione sismica del PSC vigente per la discarica di rifiuti non pericolosi 2B sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO).





Figura 1 - Ripresa aerea dell'area oggetto di studio.

Il modello geologico e sismico del sito è stato ottenuto attraverso indagini svolte nel 2006 contenute nella Relazione Geologica a firma del Dott. Roberto Banfi per GGA S.r.l. e quelle eseguite presso la vicina discarica per rifiuti non pericolosi sottocategoria a) della R.I.ECO S.r.l. nel 2016 e nel 2018, che integravano le informazioni contenute nella Relazione Geologica, Idrogeologica, Geotecnica redatta dal dott. Paolo Cestari e dalla Dott.ssa Rita Ballista per il Progetto definitivo di ampliamento della discarica del febbraio 2011.

3.1. Riferimenti cartografici

Da un punto di vista cartografico l'area in oggetto è compreso nei seguenti elaborati tecnici:

- C.T.R. della R.E.R., scala 1:10.000 Sezione n. 184050 "Fossa"
- C.T.R. della R.E.R., scala 1:5.000 Elemento n. 184052 "Fossa Est" (Tav.1 allegata).

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Discarica per rifiuti non pericolosi 2b Via Belvedere - Mirandola (MO) |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA

Come già espresso in precedenza nelle relazioni geologiche redatte tra il 2006 ed il 2019, si opera in un territorio caratterizzato da un potente strato a matrice argillosa, dello spessore di circa 11 metri, a cui fa seguito uno strato di sabbia che contiene un acquifero in pressione, con andamento generale delle acque sotterranee, nell'intorno della zona di studio, verso nord-est.

La sequenza litologica di dettaglio dell'area di interesse, desunta da precedenti indagini, si sintetizza come segue:

- argille compatte sovraconsolidate per essiccamento fino alla profondità di -1.80 m,
- da -1.80 a -4.20 m, argille poco consistenti con probabili livelli organici,
- da -4.20 a -8.80 m argille limose poco compatte,
- da -8.80 a -11.60 m limi argillosi compatti
- da -11.60 a -32.00 m sabbie addensate sede del primo abbondante acquifero sfruttabile locale.

Tale asseto litostratigrafico risulta omogeneo per i siti interessati delle discariche sopramenzionate

L'acquifero confinato presente nella formazione permeabile sottostante la barriera geologica, ad una profondità di circa -11 m dal piano campagna, non interferisce con la discarica, essendo collocato a quote nettamente inferiori e caratterizzato da flussi coerenti con le direttrici dei paleodrenaggi tipici dell'ambiente ipogeo.

5. INDAGINI GEOTECNICHE E SISMICHE DI RIFERIMENTO

Considerata la rilevante omogeneità litostratigrafica osservata, l'indagine di riferimento è consistita nelle seguenti tipologie di prove eseguite presso la vicina discarica della R.I.ECO S.r.l.:

- N°1 Prova Penetrometrica Statica con Piezocono (anno 2018)
- N°1 Indagine geofisica MASW-ReMi e HVSR tramite sismografo e tromografo digitale (anno 2018)

5.1. Prove Penetrometriche Statiche con Piezocono (CPTU)

E' stato utilizzato un penetrometro statico da 200 kN di spinta, montato su autocarro Bremach, munito di punta elettrica e piezocono. La prova penetrometrica con punta elettrica permette di effettuare la registrazione in continuo (passo di lettura pari a 2 cm) dei valori della resistenza alla punta e dell'attrito laterale locale. La punta elettrica ha le stesse dimensioni definite per la punta meccanica: area della punta pari a 10 cm², e area del manicotto laterale pari a 150 cm².

Per registrare anche la pressione neutra dell'acqua del terreno attraversato, la punta elettrica è dotata di un trasduttore di pressione alloggiato nella parte anteriore della sonda e comunicante con l'esterno attraverso un filtro generalmente in bronzo poroso o acciaio sinterizzato. Lo strumento è in questo modo indicato come piezocono (prova CPTU).

Durante l'avanzamento, inoltre, viene misurata l'inclinazione dello strumento mediante 2 sensori inclinometrici biassiali presenti all'interno della sonda stessa.

La punta elettrica con piezocono utilizzata nella presente indagine è identificata con la sigla G1-CPL2IN (TECNOPENTA) e il sistema di acquisizione è identificato con la sigla D1-PEN8 (TECNOPENTA).

L'elaborazione dei dati è stata eseguita mediante il software "CPet-IT v.1.7.6.42 e "Static Probing 2009.6 rev. 150", con interpretazione litologica basata sul metodo di Robertson (1990).

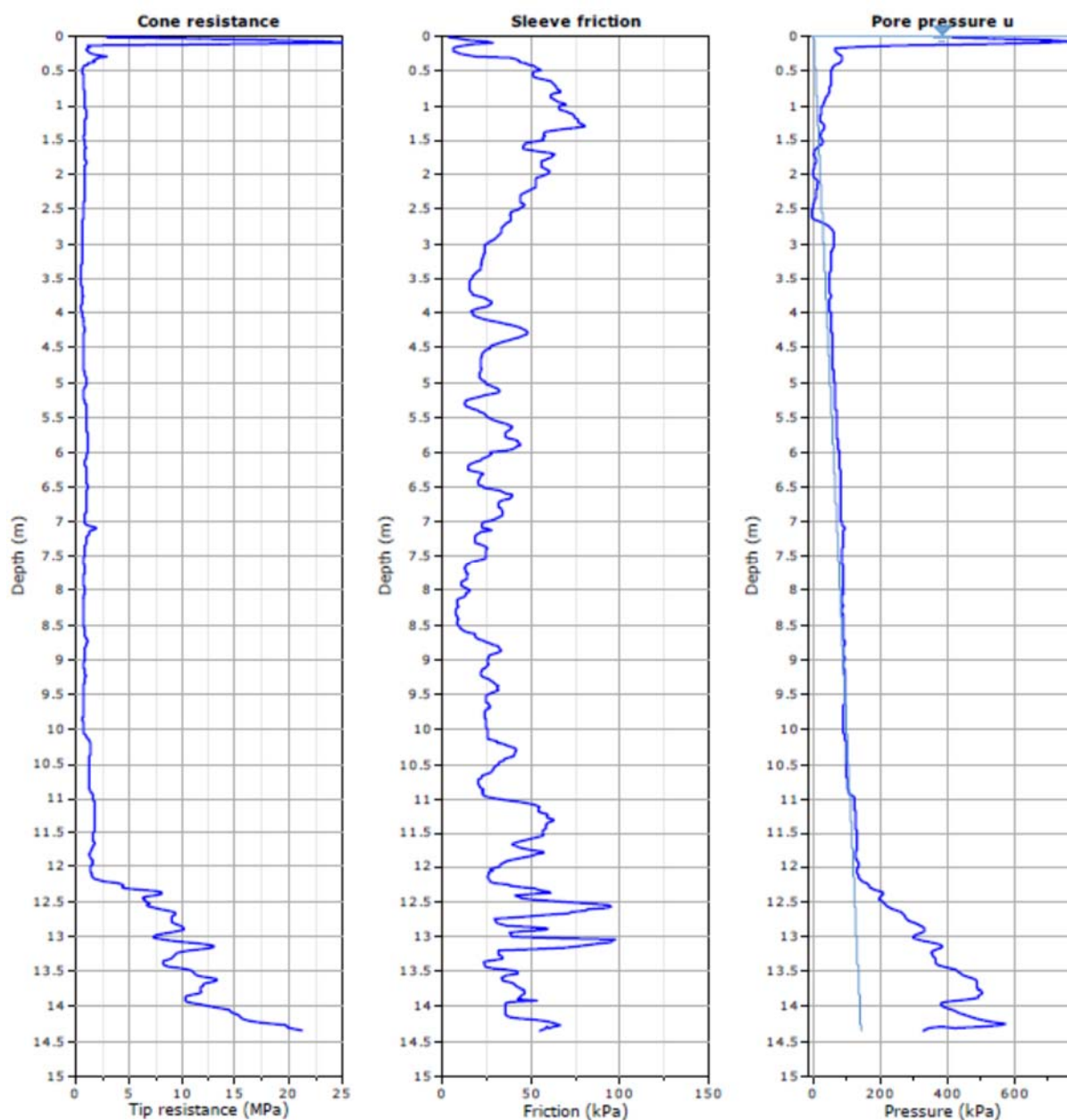


Figura 2 – Penetrometro statico 20t. montato su autocarro Bremach

5.1.1. Stratigrafia verticale indagata

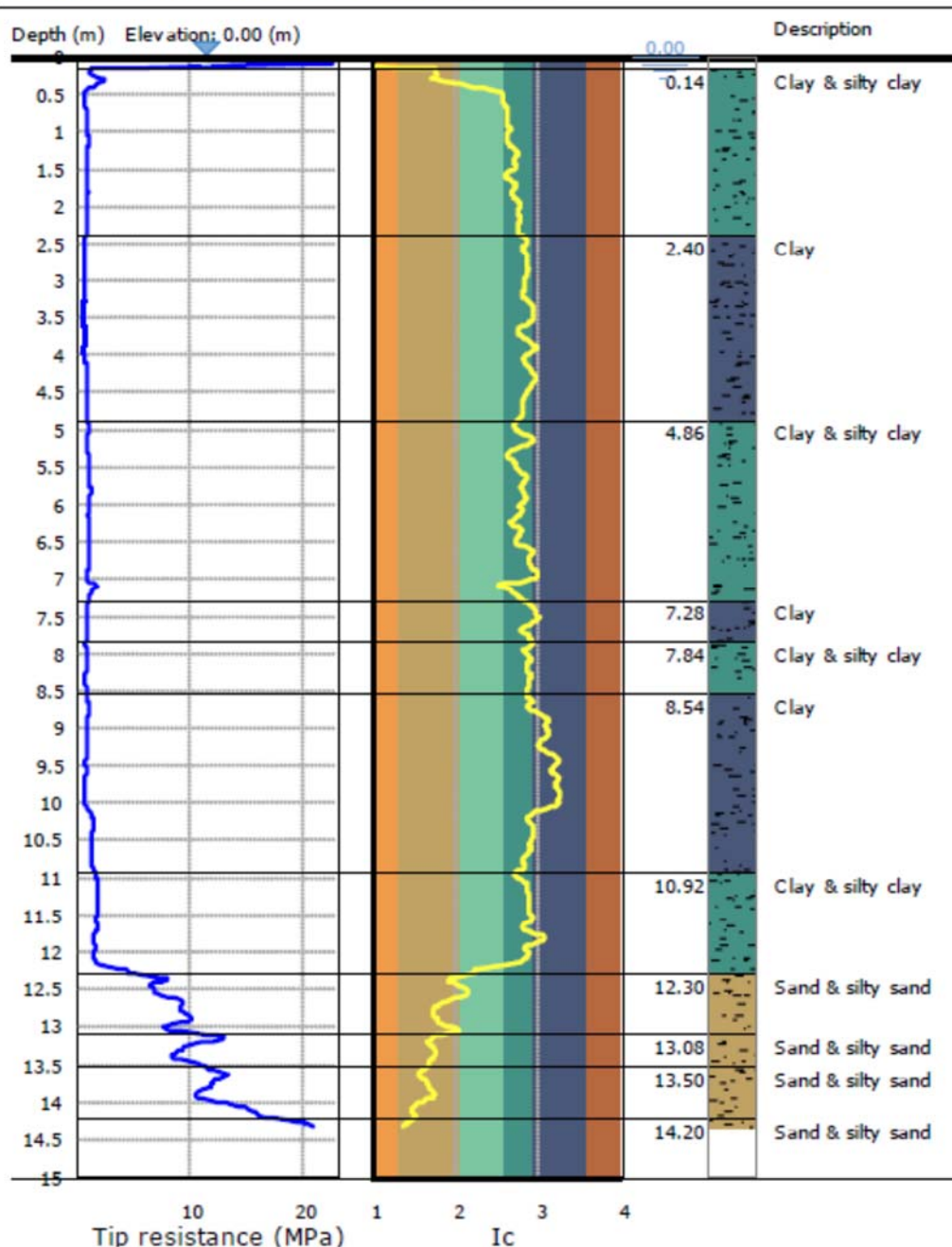
La sequenza stratigrafica rilevata in sede di indagine è caratterizzata dalla presenza di Argille e Limi argillosi di scarsa consistenza, sovraconsolidati per essiccamento entro i primi 2.00 m. circa, la cui alternanza litologica persiste sino a circa -12.30 m. d.p.c., profondità oltre la quale sono presenti sabbie addensate e limi sabbiosi consistenti.

Il livello freatico superficiale non è stato possibile misurarlo, in quanto il foro di prova si è chiuso a circa -0,45 m. dal piano di indagine. Un livello freatico è ipotizzabile, dai dati al piezocono, a partire da circa 12.00 m. di profondità, all'interno dei sedimenti sabbiosi.



Project: 18.134_RIECO S.R.L.

Location: MIRANDOLA (MO) - VIA BELVEDERE



5.1.2. Caratterizzazione geotecnica

Di seguito si riepiloga una schematizzazione dei parametri geotecnici (ampiamente riportati tra gli allegati) assoggettabili ai livelli stratigrafici rilevati.

Dall'analisi della tabella si evidenzia il comportamento spiccatamente coesivo dei primi 12 m. circa di sottosuolo che presenta valori di resistenza al taglio, espressi in funzione della sola coesione non drenata (S_u), variabili nel seguente range di valori medi: $0,45 \text{ kg./cm}^2 \div 1,03 \text{ kg./cm}^2$.



Oltre i 12 m. di profondità le litologie granulari sabbiose, aventi densità relativa stimata 45÷69%, presentano valori di resistenza in termini di angolo di attrito pari a 38°÷42°.

Summary table of mean values

| From depth To depth (m) | Thickness (m) | Permeability (m/s) | SPT _{N60} (blows/30cm) | E _s (MPa) | D _r | Friction angle | Constrained modulus, M (MPa) | Shear modulus, G ₀ (MPa) | Undrained strength, S _u (kPa) | Undrained strength ratio | OCR | Unit weight (kN/m ³) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.14 | 2.26 | 1.30E-07 | 3.8 | 13.9 | 0.0 | 0.0 | 12.4 | 22.0 | 61.1 | 4.0 | 18.3 | 19.0 |
| 2.40 | | (±1.28E-04) | (±0.7) | (±0.6) | (±0.0) | (±0.0) | (±2.6) | (±3.8) | (±5.2) | (±1.5) | (±6.7) | (±0.0) |
| 2.40 | 2.46 | 1.69E-08 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.9 | 21.6 | 45.3 | 1.3 | 6.1 | 19.0 |
| 4.86 | | (±7.03E-09) | (±0.5) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±1.4) | (±3.3) | (±7.0) | (±0.3) | (±1.3) | (±0.0) |
| 4.86 | 2.42 | 2.77E-08 | 4.8 | 28.1 | 0.0 | 0.0 | 13.1 | 29.3 | 66.6 | 1.2 | 5.4 | 19.0 |
| 7.28 | | (±3.10E-08) | (±0.6) | (±28.1) | (±0.0) | (±0.0) | (±2.2) | (±3.6) | (±8.3) | (±0.1) | (±0.7) | (±0.0) |
| 7.28 | 0.56 | 1.27E-08 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.3 | 27.3 | 54.4 | 0.8 | 3.6 | 19.0 |
| 7.84 | | (±6.68E-09) | (±0.5) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±1.4) | (±2.2) | (±4.2) | (±0.1) | (±0.3) | (±0.0) |
| 7.84 | 0.70 | 1.51E-08 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 23.2 | 47.7 | 0.6 | 2.9 | 19.0 |
| 8.54 | | (±3.11E-09) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±1.2) | (±1.6) | (±4.3) | (±0.1) | (±0.3) | (±0.0) |
| 8.54 | 2.38 | 5.13E-09 | 5.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 34.7 | 58.6 | 0.7 | 3.0 | 19.0 |
| 10.92 | | (±8.56E-09) | (±0.8) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±4.4) | (±4.5) | (±17.2) | (±0.2) | (±0.7) | (±0.0) |
| 10.92 | 1.38 | 2.35E-08 | 8.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.4 | 51.5 | 105.5 | 1.0 | 4.6 | 19.0 |
| 12.30 | | (±3.89E-07) | (±1.7) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±11.0) | (±6.1) | (±10.5) | (±0.1) | (±0.5) | (±0.0) |
| 12.30 | 0.78 | 1.18E-05 | 21.1 | 66.0 | 45.3 | 38.0 | 82.6 | 82.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 13.08 | | (±1.71E-05) | (±2.1) | (±7.1) | (±3.8) | (±0.8) | (±9.0) | (±8.9) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |
| 13.08 | 0.42 | 4.68E-05 | 22.8 | 63.7 | 50.0 | 39.0 | 79.8 | 79.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 13.50 | | (±1.66E-05) | (±3.3) | (±10.4) | (±3.8) | (±0.7) | (±13.0) | (±13.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |
| 13.50 | 0.70 | 1.11E-04 | 26.5 | 68.2 | 55.6 | 40.0 | 85.4 | 85.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 14.20 | | (±8.43E-05) | (±2.4) | (±3.3) | (±4.0) | (±0.7) | (±4.1) | (±4.1) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |
| 14.20 | 0.14 | 3.52E-04 | 36.0 | 84.6 | 68.8 | 42.0 | 106.0 | 106.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 14.34 | | (±1.17E-04) | (±1.6) | (±1.9) | (±2.8) | (±0.4) | (±2.4) | (±2.4) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Tab. 1 – Riepilogo parametri geotecnici medi e deviazione standard

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Discarica per rifiuti non pericolosi 2b Via Belvedere - Mirandola (MO) |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

5.2. Indagine Sismica MASW – ReMi e HVSR

5.2.1. Indagine MASW

La procedura MASW si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

1. acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
2. costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase V_r – frequenza ν ;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s .

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori. L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

Mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro di velocità di fase (trasformata di Fourier) dal quale è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale. Si procede quindi alla definizione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S .

5.2.2. Tecnica ReMi

A differenza del convenzionale metodo MASW, il quale prevede l'utilizzo di una sorgente sismica attiva (es: mazza battente), la tecnica Re.Mi. utilizza onde di superficie generate passivamente dall'ambiente circostante. L'origine di questo cosiddetto “rumore di fondo” è sia di tipo naturale (onde oceaniche di marea, perturbazioni atmosferiche) sia di tipo antropico (traffico veicolare, industrie, ferrovie, etc...).

L'utilizzo di profili di geofoni a geometria lineare, genera il problema della sovrastima della velocità di fase (velocità apparente) nello spettro di velocità che si ottiene dall'elaborazione dei dati. La velocità apparente nello spettro deriva dal fatto che la direzione di propagazione delle onde (rumore di fondo) non necessariamente è parallela allo stendimento di geofoni. Per questo motivo la pratica comune prevede che il picking sulla curva di dispersione sperimentale venga eseguito non in corrispondenza del massimo di energia, ma in corrispondenza del bordo inferiore.

Il metodo Re.Mi. eseguito nel presente studio ha sfruttato la stessa geometria di profilo utilizzata per il metodo MASW. Solitamente il campionamento complessivo è della durata di qualche minuto.

5.2.3. Misura a stazione singola HVSR

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, “TROMINO ENGY” (Micromed S.p.A.)

dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. La misura è stata poi ripetuta per controllo. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla (Micromed S.p.A.).

5.2.4. Analisi dei dati ottenuti

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini di campagna è stato redatto il seguente modello del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S:

| Profondità base strato (m) | Spessore (m) | Vs (m/s) |
|----------------------------|--------------|----------|
| 2.00 | 2.00 | 130 |
| 4.00 | 2.00 | 155 |
| 7.00 | 3.00 | 140 |
| 17.00 | 10.00 | 200 |
| 47.00 | 30.00 | 300 |
| 117.00 | 70.00 | 450 |
| inf. | inf. | 650 |

Tab. 2 - Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato con tecnica HVSR

Come riportato nel capitolo 3.2.2 delle NTC, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel paragrafo 7.11.3 delle NTC. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$



dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido,

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Discarica per rifiuti non pericolosi 2b Via Belvedere - Mirandola (MO) |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. II delle NTC, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

Considerato che nei primi 30 m di sottosuolo non è stato riconosciuto un substrato costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s., la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$.

La velocità media equivalente delle onde di taglio S nei primi 30 m di profondità ($V_{s,30}$), con riferimento alla quota del piano campagna su cui è stato eseguito il profilo, risulta pari a **210 m/s**. Pertanto, unicamente in riferimento ai valori riportati in tabella e al valore di V_{s30} ottenuto dal profilo sismico, è possibile collocare il **sottosuolo in classe C**.

Nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (V_s) caratteristici di terreni a consistenza nel complesso media.

La curva HVSR ottenuta sperimentalmente è caratterizzata da deboli amplificazioni locali del moto del suolo per risonanza stratigrafica a basso contrasto d'impedenza. **Il picco di amplificazione si registra in bassa frequenza a circa 0.9-1.0 Hz (Ampiezza picco ≈ 2).**

In fase di progettazione sarà compito del tecnico progettista confrontare il periodo fondamentale di vibrazione delle opere di progetto con la curva HVSR sopra descritta. Questo confronto è determinante al fine di evitare il fenomeno di doppia risonanza terreno-struttura (si veda in allegato il rapporto dettagliato dell'indagine sismica effettuata).

6. SIMICITA' DELL'AREA

6.1. Pericolosità sismica di base

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 la stima della pericolosità sismica è definita mediante un approccio sito dipendente e non più mediante un criterio zona dipendente. Uguale approccio è stato adottato nell'aggiornamento delle norme con il D.M. 17/01/2018.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite previsti nelle NTC, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base", chiamata d'ora in poi pericolosità sismica, del sito. Essa viene espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g su suolo rigido orizzontale di riferimento e costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica del sito in esame viene definita a partire dalle sue coordinate geografiche (Coordinate WGS84 - Lat.44.916218; Lon.11.055579) e da quelle relative ai 4 nodi del reticolo (reticolo di riferimento INGV) all'interno del quale ricade l'area in studio.

| SITO | ID | LAT (°) | LON(°) | Distanza (m) |
|--------------------------------|-------|-----------|-----------|--------------|
| Via Belvedere - Mirandola (MO) | - | 44,917149 | 11,056586 | - |
| NODO 1 | 14950 | 44,9094 | 11,0210 | 3041,417 |
| NODO 2 | 14951 | 44,9108 | 11,0915 | 2786,976 |
| NODO 3 | 14729 | 44,9608 | 11,0895 | 5369,457 |
| NODO 4 | 14728 | 44,9593 | 11,0190 | 5504,136 |

Tab. 3 - Coordinate geografiche del sito in esame e dei nodi di riferimento espresse in ED50.



Considerando la discarica per rifiuti non pericolosi ricadente in una classe d'uso III, avente coefficiente $C_U=1.5$ vita nominale $V_N = 50$ anni, e periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N \times C_U = 75$ anni, l'azione sismica per il sito in esame è definita sulla base della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g per ciascun stato limite ultimo e di esercizio:

| Stati limite | | P_{VR} (%) | T_R (anni) | a_g (g) | F_0 (adm) | T_c^* (s) |
|--------------|-----|-----------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|
| SLE | SLO | 81 | 45 | 0,042 | 2,557 | 0,263 |
| | SLD | 63 | 75 | 0,054 | 2,512 | 0,277 |
| SLU | SLV | 10 | 712 | 0,149 | 2,571 | 0,277 |
| | SLC | 5 | 1462 | 0,199 | 2,520 | 0,284 |

Tab. 4 - Parametri sismici ottenuti considerando $V_R = 50$ anni ($C_U = 1.5$; Classe d'uso III)

Dove:

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento;

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Discarica per rifiuti non pericolosi 2b Via Belvedere - Mirandola (MO) |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

T_R = periodo di ritorno dell'azione sismica;

a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

6.2. Risposta sismica locale (effetti di sito)

Sulla base dei dati ottenuti dall'indagine sismica, tramite metodo semplificato (vedi Cap. 5.2.4), avendo determinato una categoria di suolo tipo C, ed un coefficiente di amplificazione topografica $S_t = 1$, è possibile definire l'azione sismica per il sito in esame:

| Stati limite | | Ss (-) | Cc (-) | S_T (-) | Kh (-) | Kv (-) | Amax (m/s ²) | Beta (-) |
|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| SLE | SLO | 1.500 | 1.630 | 1.000 | 0.013 | 0.006 | 0.620 | 0.200 |
| | SLD | 1.500 | 1.600 | 1.000 | 0.016 | 0.008 | 0.792 | 0.200 |
| SLU | SLV | 1.470 | 1.600 | 1.000 | 0.053 | 0.026 | 2.154 | 0.240 |
| | SLC | 1.400 | 1.590 | 1.000 | 0.067 | 0.033 | 2.731 | 0.240 |

Tab.5 - Coefficienti sismici del sito – in evidenza i coefficienti relativi allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita

SS = coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Cc = coefficiente funzione della categoria di suolo

$S = SS \times S_T$



Amax = accelerazione massima attesa nel sito

Beta = coefficiente di riduzione

Kh = coefficiente sismico orizzontale

Kv = coefficiente sismico verticale

I coefficienti Kh e Kv sono riportati già ridotti del coefficiente Beta.

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Discarica per rifiuti non pericolosi 2b Via Belvedere - Mirandola (MO) |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

7. STUDIO DELLA POTENZIALE LIQUEFAZIONE DEI SEDIMENTI SABBIOSI

7.1. Analisi del potenziale di liquefazione

7.1.1. Metodo di calcolo

Lungo la verticale d'indagine eseguita sono stati individuati alcuni orizzonti di terreno incoerente, meno addensato e sotto falda e su questi in particolare è stata eseguita la stima dell'Indice di Potenziale Liquefazione (LPI o I_L) secondo il metodo di Boulanger & Idriss (2014). Il metodo consente preliminarmente di discriminare gli intervalli a prevalente "tessitura argillosa", e quindi con ogni probabilità non liquefacibili, dagli intervalli a prevalente "tessitura sabbiosa" e pertanto potenzialmente soggetti a liquefazione in caso di sollecitazioni dinamiche cicliche, ed è basato sul parametro di comportamento del terreno I_c :

I livelli di terreno caratterizzati da valori dell'indice di comportamento $I_c < 2.6$ sono da considerarsi a comportamento geotecnico incoerente e pertanto potenzialmente suscettibili alla liquefazione in caso di sisma con magnitudo > 5 .

In corrispondenza di tali livelli è stato determinato il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione.

Per la valutazione della stabilità nei confronti della liquefazione dei depositi sabbiosi individuati, si utilizzano metodi semplificati che si basano sul rapporto che intercorre tra la resistenza ciclica disponibile del terreno e la sollecitazione ciclica indotta dal terremoto.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione $FS = CRR / CSR$ dove CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (*Cyclic Stress Ratio*) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

In letteratura scientifica esistono alcune metodologie semplificate che consentono, anche se con marcate approssimazioni, di valutare il livello di rischio connesso al verificarsi del fenomeno della liquefazione attraverso l'introduzione dell'**Indice del Potenziale di Liquefazione LPI (Liquefaction Potential Index) definito dalla seguente relazione (Iwasaki, 1982):**

$$LPI = \int_0^{20} F(z) w(z) dz$$

7.1.2. Parametri di Input

Nel presente studio la verifica a liquefazione è stata condotta ipotizzando:

- Magnitudo M_w : 6.14 (valore massimo rilevato per il terremoto dell'Emilia del 2012);
- PGA: pari a 0.20 g;
- Metodo applicato: Boulanger & Idriss (2014)
- Valore di MSF (fattore correttivo magnitudo): 1.43 (per $M_w=6.14$);
- F_s limite: 1.00;
- Profondità falda: a scopo cautelativo -1.00 m dal piano di campagna.

7.1.3. Risultati analisi

Indice di Potenziale Liquefazione LPI ottenuto con $M = 6.14$ e $PGA = 0.20g$:



Avendo ottenuto un valore di **LPI = 0.729**, considerando la classificazione proposta da Iwasaki (1992):



LPI = 0 rischio nullo

0 < LPI < 5 = rischio basso

5 < LPI < 15 = rischio elevato

LPI > 15 = rischio molto elevato

Si può affermare che per l'area indagata, il rischio di potenziale liquefazione dei sedimenti sabbiosi è molto basso.

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Discarica per rifiuti non pericolosi 2b Via Belvedere - Mirandola (MO) |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

8. CONCLUSIONI

Le diverse campagne di indagini svolte hanno consentito di delineare una stratigrafia costituita principalmente da alternanze di strati di Argille e Limi argillosi fino a -12.30 m. dal piano di indagine, al di sotto dei quali, fino alla profondità indagata di -15 m., sono presenti Sabbie e Limi sabbiosi addensati.

Il primo livello freatico, non è stato rilevato direttamente, ma dai dati del piezocono potrebbe attestarsi intorno ai -2.70 m., si tratterebbe tuttavia di acque superficiali sospese e non di una vera e propria falda continua, che potrebbe invece avere sede entro i livelli sabbiosi più profondi (-12.50 m.), come già rilevato in precedenza.

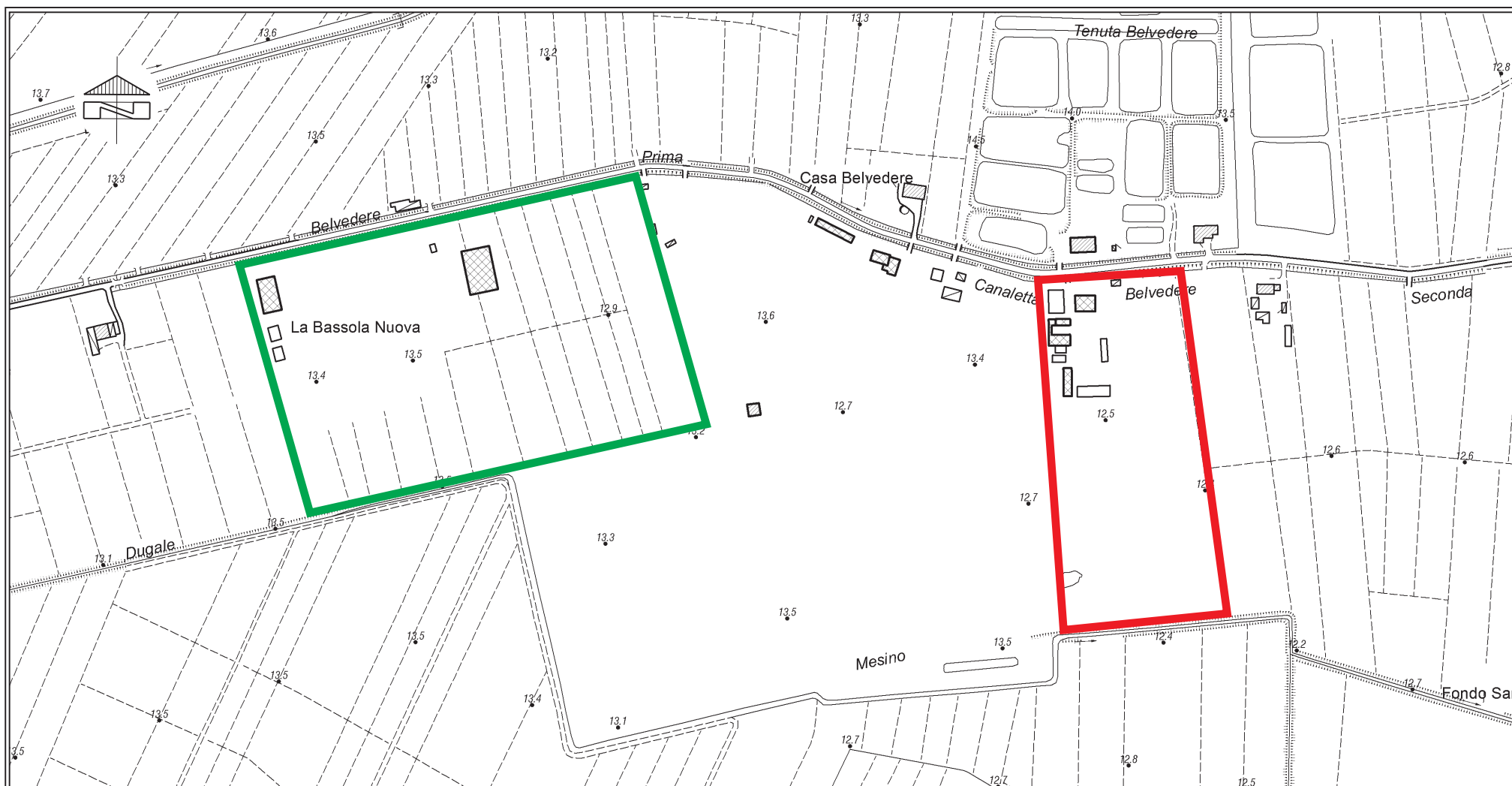
In merito alla verifica alla liquefazione, i cui esiti numerici evidenziano un bassissimo rischio al verificarsi di tale fenomeno, appare evidente come il valore di LPI sia regolato fondamentalmente dallo strato sabbioso e sabbioso limoso presente tra -12 e -14 m di profondità lungo tutto il lotto indagato. Tenuto conto del ragguardevole spessore (>10m.) dei sedimenti argillosi e limoso argillosi, sovrastanti, si sottolinea la pressoché totale assenza del rischio di liquefazione, per quanto attiene la verticale indagata.

In conclusione, coerentemente con quanto già riscontrato in sede di precedenti valutazioni, possiamo confermare che dall'indagine eseguita non si rinvenivano criticità geologiche, geotecniche e sismiche che interessino la discarica per rifiuti non pericolosi.

San Lazzaro di Savena (BO), 09/11/2021.

Dott. Geol. Michele Dall'Olmo





Discarica per rifiuti non pericolosi sottocategoria a) - R.I.ECO S.r.l.



Discarica per rifiuti non pericolosi 2.b - ACR Reggiani S.p.A.



GEOTEA
Geologia Territorio Ambiente

PR.: 21.528

Committente:
ACR Reggiani S.p.A.

Novembre 2021

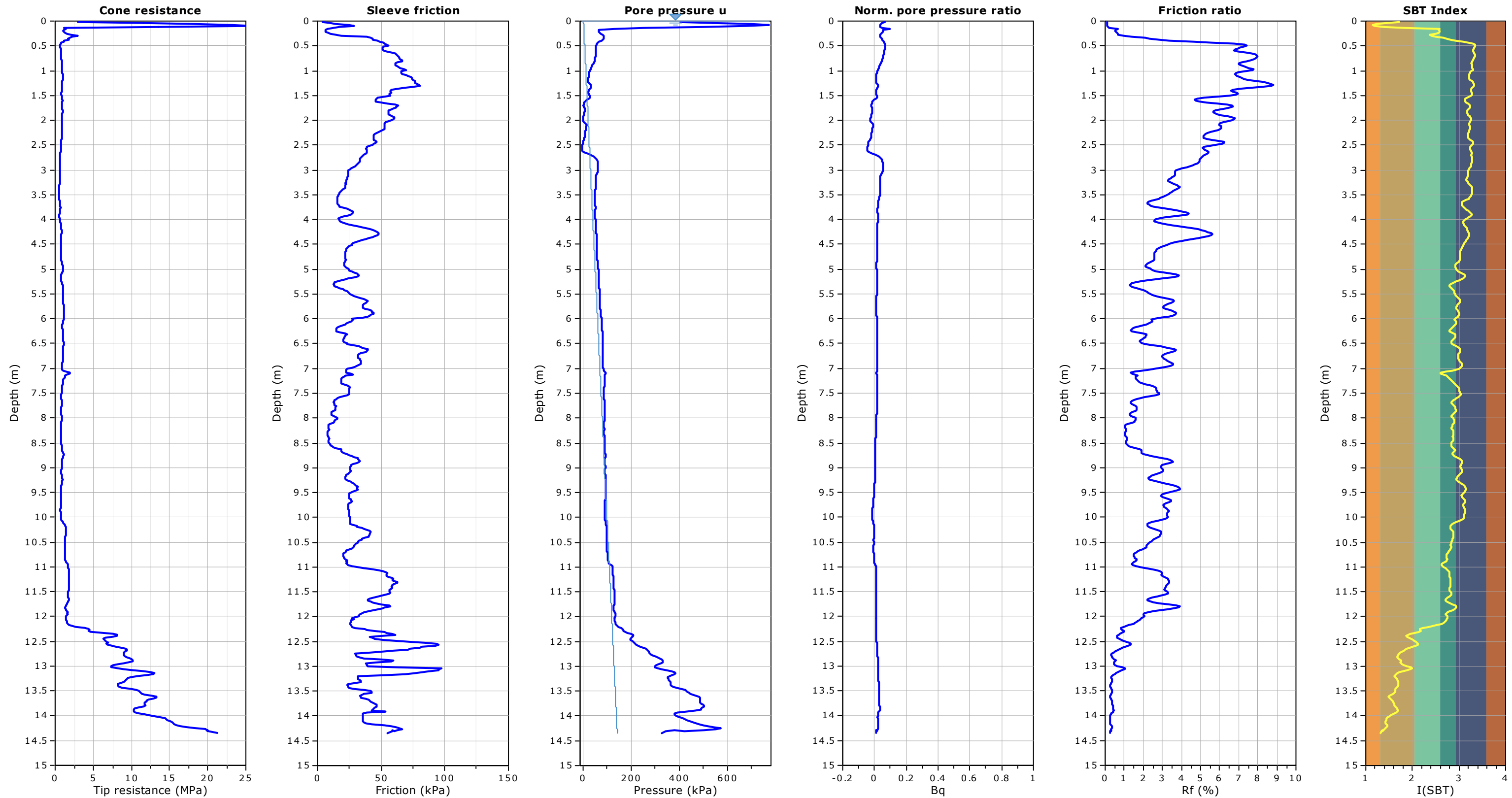
Scala 1:5000

TAV. 1

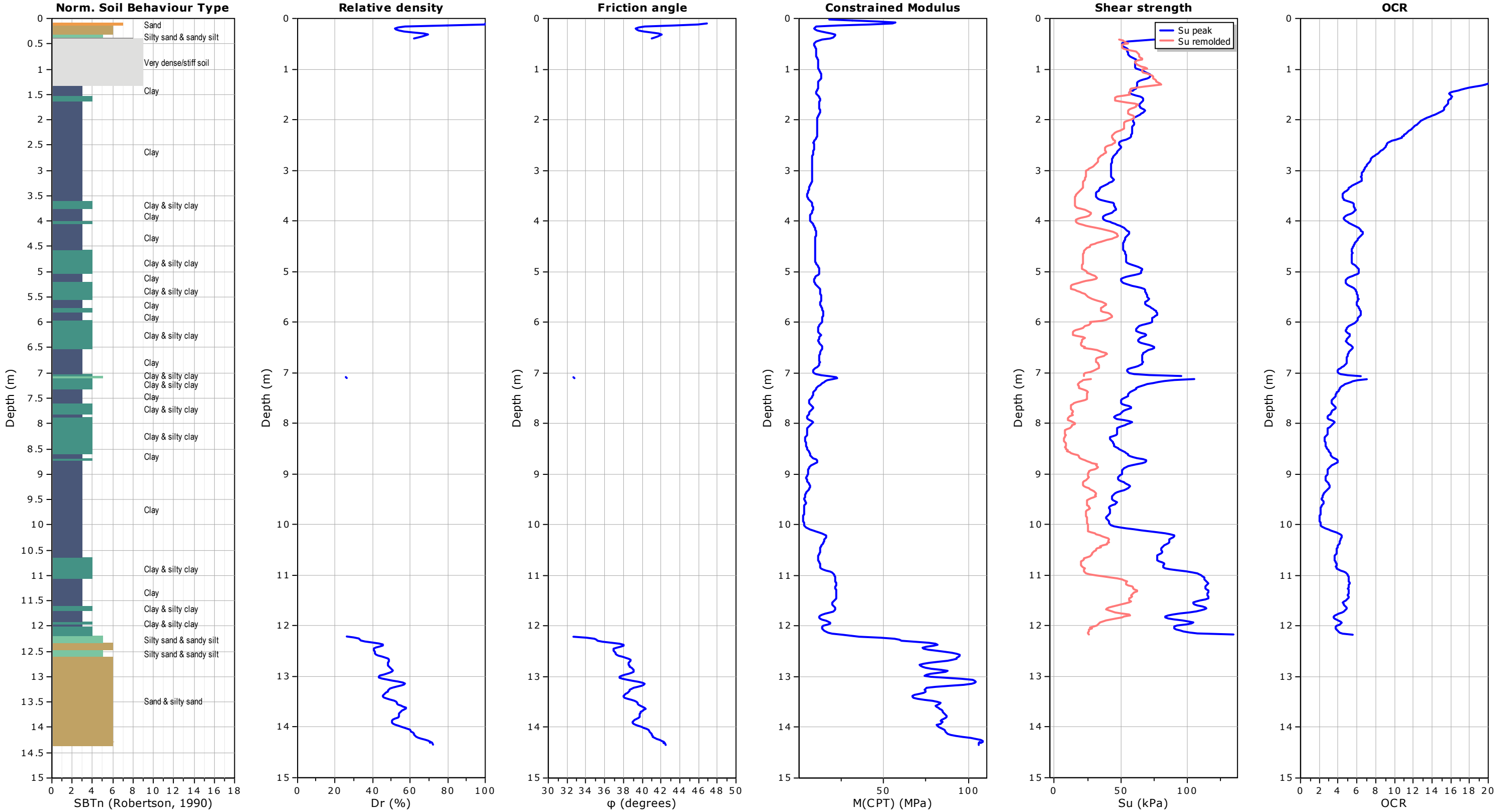
Ubicazione
indagine

ALLEGATO 1

Rapporto Prove CPTU

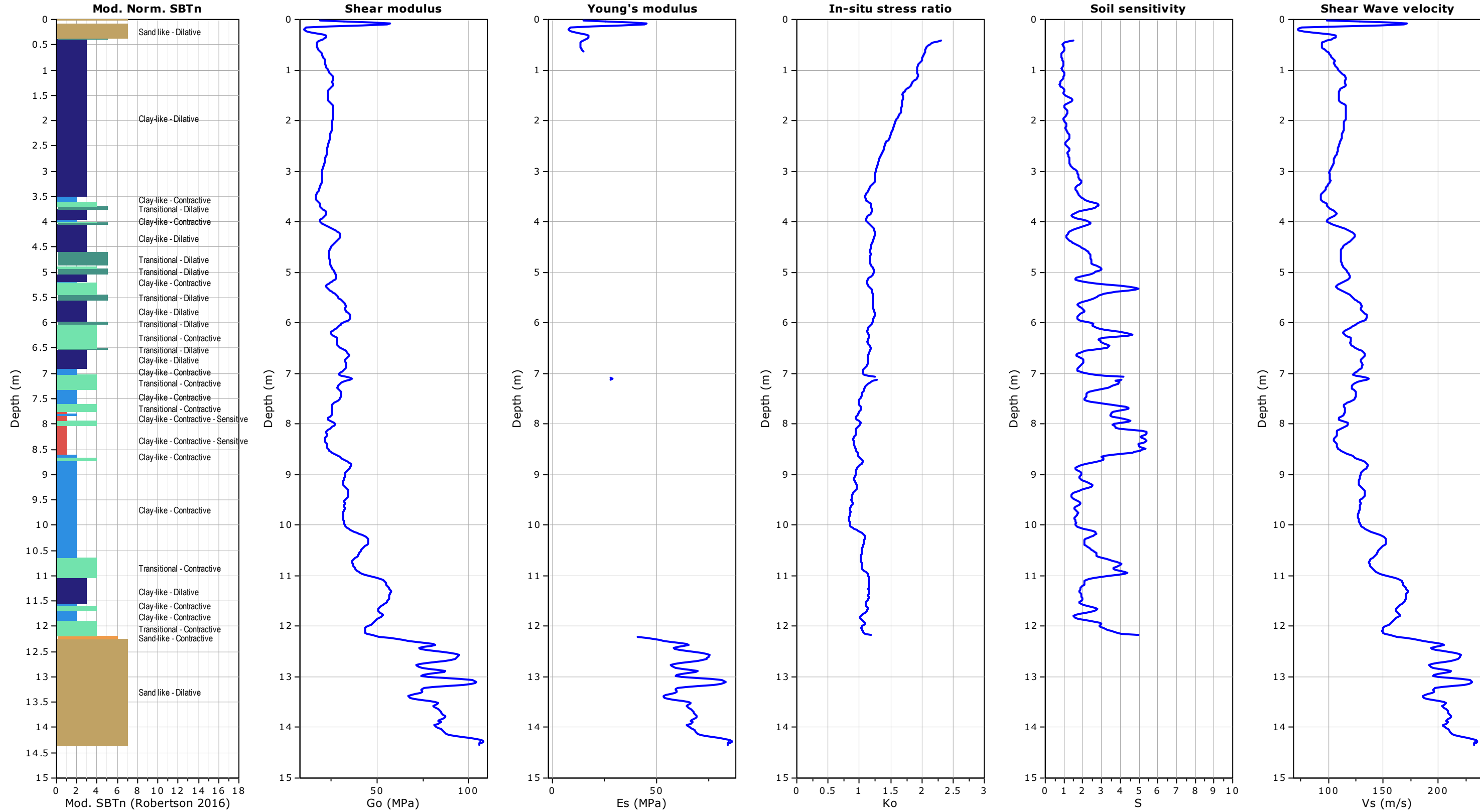


Project: 18.134_RIECO S.R.L.
Location: MIRANDOLA (MO) - VIA BELVEDERE



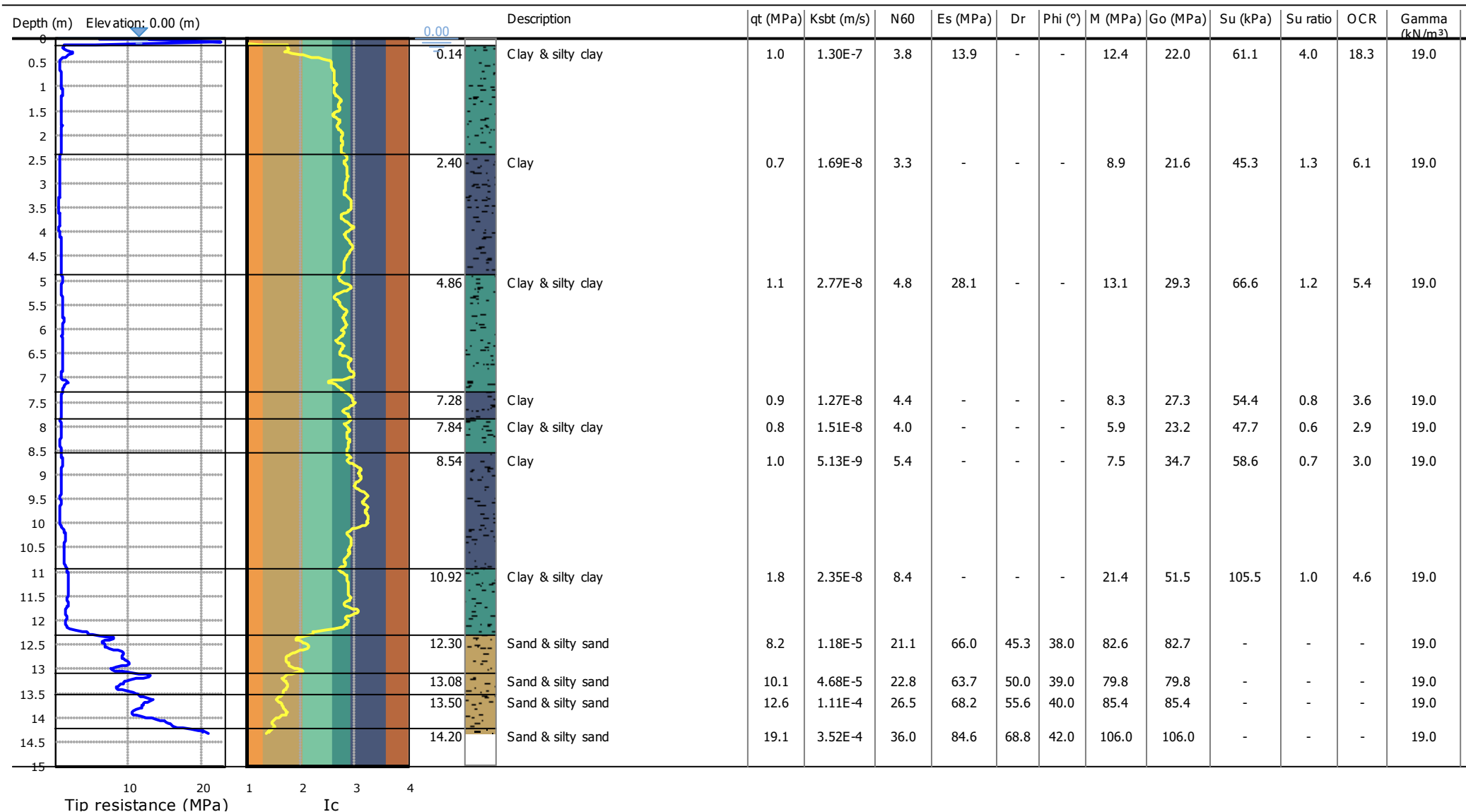
Project: 18.134_RIECO S.R.L.

Location: MIRANDOLA (MO) - VIA BELVEDERE



Project: 18.134_RIECO S.R.L.

Location: MIRANDOLA (MO) - VIA BELVEDERE



Project: 18.134_RIECO S.R.L.

Location: MIRANDOLA (MO) - VIA BELVEDERE

Summary table of mean values

| From depth To depth (m) | Thickness (m) | Permeability (m/s) | SPT _{N60} (blows/30cm) | E _s (MPa) | D _r | Friction angle | Constrained modulus, M (MPa) | Shear modulus, G ₀ (MPa) | Undrained strength, S _u (kPa) | Undrained strength ratio | OCR | Unit weight (kN/m ³) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.14 | 2.26 | 1.30E-07 | 3.8 | 13.9 | 0.0 | 0.0 | 12.4 | 22.0 | 61.1 | 4.0 | 18.3 | 19.0 |
| 2.40 | | (±1.28E-04) | (±0.7) | (±0.6) | (±0.0) | (±0.0) | (±2.6) | (±3.8) | (±5.2) | (±1.5) | (±6.7) | (±0.0) |
| 2.40 | 2.46 | 1.69E-08 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.9 | 21.6 | 45.3 | 1.3 | 6.1 | 19.0 |
| 4.86 | | (±7.03E-09) | (±0.5) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±1.4) | (±3.3) | (±7.0) | (±0.3) | (±1.3) | (±0.0) |
| 4.86 | 2.42 | 2.77E-08 | 4.8 | 28.1 | 0.0 | 0.0 | 13.1 | 29.3 | 66.6 | 1.2 | 5.4 | 19.0 |
| 7.28 | | (±3.10E-08) | (±0.6) | (±28.1) | (±0.0) | (±0.0) | (±2.2) | (±3.6) | (±8.3) | (±0.1) | (±0.7) | (±0.0) |
| 7.28 | 0.56 | 1.27E-08 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.3 | 27.3 | 54.4 | 0.8 | 3.6 | 19.0 |
| 7.84 | | (±6.68E-09) | (±0.5) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±1.4) | (±2.2) | (±4.2) | (±0.1) | (±0.3) | (±0.0) |
| 7.84 | 0.70 | 1.51E-08 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 23.2 | 47.7 | 0.6 | 2.9 | 19.0 |
| 8.54 | | (±3.11E-09) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±1.2) | (±1.6) | (±4.3) | (±0.1) | (±0.3) | (±0.0) |
| 8.54 | 2.38 | 5.13E-09 | 5.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 34.7 | 58.6 | 0.7 | 3.0 | 19.0 |
| 10.92 | | (±8.56E-09) | (±0.8) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±4.4) | (±4.5) | (±17.2) | (±0.2) | (±0.7) | (±0.0) |
| 10.92 | 1.38 | 2.35E-08 | 8.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.4 | 51.5 | 105.5 | 1.0 | 4.6 | 19.0 |
| 12.30 | | (±3.89E-07) | (±1.7) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±11.0) | (±6.1) | (±10.5) | (±0.1) | (±0.5) | (±0.0) |
| 12.30 | 0.78 | 1.18E-05 | 21.1 | 66.0 | 45.3 | 38.0 | 82.6 | 82.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 13.08 | | (±1.71E-05) | (±2.1) | (±7.1) | (±3.8) | (±0.8) | (±9.0) | (±8.9) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |
| 13.08 | 0.42 | 4.68E-05 | 22.8 | 63.7 | 50.0 | 39.0 | 79.8 | 79.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 13.50 | | (±1.66E-05) | (±3.3) | (±10.4) | (±3.8) | (±0.7) | (±13.0) | (±13.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |
| 13.50 | 0.70 | 1.11E-04 | 26.5 | 68.2 | 55.6 | 40.0 | 85.4 | 85.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 14.20 | | (±8.43E-05) | (±2.4) | (±3.3) | (±4.0) | (±0.7) | (±4.1) | (±4.1) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |
| 14.20 | 0.14 | 3.52E-04 | 36.0 | 84.6 | 68.8 | 42.0 | 106.0 | 106.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 |
| 14.34 | | (±1.17E-04) | (±1.6) | (±1.9) | (±2.8) | (±0.4) | (±2.4) | (±2.4) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) |

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

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, D_r (%) ::

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

:: 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 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

(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., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

ALLEGATO 2

Rapporto Indagine Sismica MASW – ReMi - HVSR

COMUNE DI MIRANDOLA

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI MODENA

***Determinazione della categoria di suolo di fondazione
eseguita sulla base della velocità equivalente di
propagazione delle onde di taglio S ($V_{s,eq}$) dei terreni
costituenti l'area sita in via Belvedere (discarica RIECO)***



GEOTEA SRL

Via della Tecnica 57/A4

40068 San Lazzaro di Savena (BO)

Tel 0516255377 – Cell 349 7846581

Fax 0514998378

E-mail geotea.srl@database.it



Committente: RIECO SRL

Dott. Geol. Stefano Maggi

Data indagine 03/05/2018

Commessa 18.134

MOD PROD06 B REV01

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| SOMMARIO..... | |
| 2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO | 3 |
| 3 PREMESSE | 4 |
| 4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI | 5 |
| 4.1 Introduzione generale | 5 |
| 4.2 Tecnica MASW | 6 |
| 4.3 Tecnica Re.Mi. | 7 |
| 4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata | 7 |
| 5 Risultati indagine | 8 |
| 5.1 TECNICA IN ARRAY | 8 |
| 5.2 TECNICA HVSR | 9 |
| 6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO | 11 |
| 7 CONCLUSIONI | 12 |

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- ☐ Il presente documento viene identificato con il numero 18.134 rev. n° 0;
- ☐ Le indagini e il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. Stefano Maggi;
- ☐ Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Stefano Maggi in data 03/05/2018;
- ☐ Il documento si compone di n° 12 fogli

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

3 PREMESSE

Presso l'area sita in via Belvedere, presso la discarica RIECO nel comune di Mirandola (MO), in data 03/05/2018 è stata effettuata un'indagine geofisica mediante prova in array con tecnica *MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)*, Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) e misura a stazione singola con tecnica *HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S (V_s ,eq), in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 17 gennaio 2018.

La presente indagine geofisica è consistita in:

- N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
- N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSr (HVSr1)

Per quanto riguarda la prova in array l'acquisizione è stata effettuata mediante sismografo digitale modello Dolang 24 canali 24 bit. La misura a stazione singola è stata eseguita con tromografo digitale modello Tromino® Engy.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Introduzione generale

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di *Rayleigh* ($P+S_v$), si conoscono le onde di *Love* (Sh) e le onde di *Lamb*. Le onde di *Rayleigh* rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) P e onde di taglio verticali S_v ogniqualevolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde R si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo *Rayleigh* per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio V_s è giustificato da una serie di fattori:

- ❑ La percentuale di energia convertita in onde R è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde P (7%) e onde S (26%);
- ❑ il metodo d'analisi basato sulle onde R non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- ❑ buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- ❑ la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla V_p (velocità delle onde di compressione P) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della V_s che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- ❑ la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

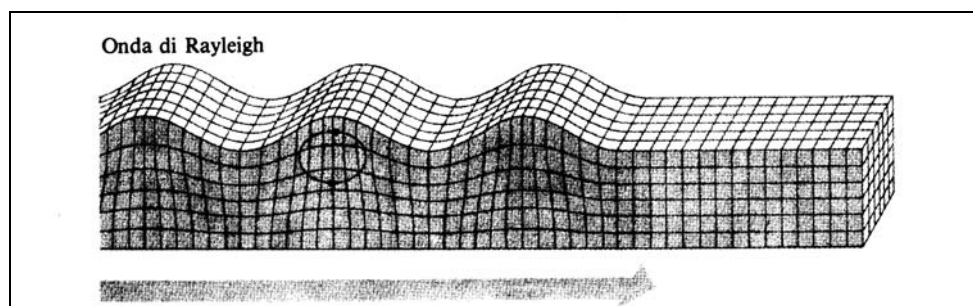


Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde R questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$). Inoltre, la velocità delle onde R (V_r) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

4.2 Tecnica MASW

La procedura MASW si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase V_r – frequenza ν ;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s .

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

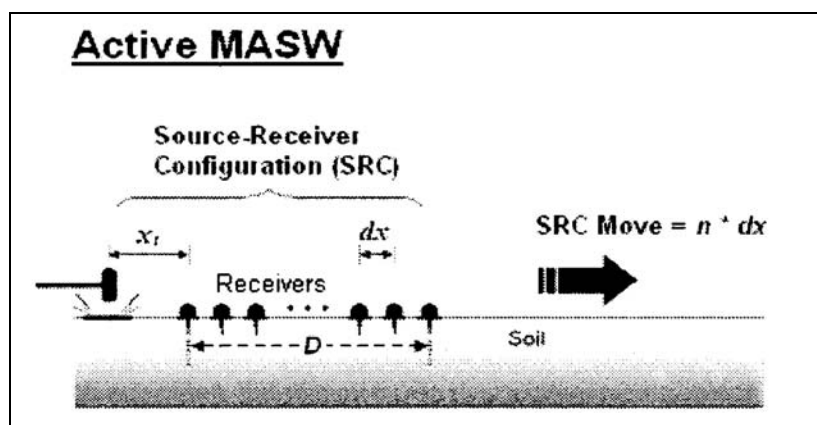


Figura 2 - MASW : stendimento lineare e sorgente attiva

Mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro di velocità di fase (trasformata di Fourier) dal quale è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale. Si procede quindi alla definizione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S .

L'elaborazione dei dati acquisiti, avvenuta mediante software Grilla, è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

4.3 *Tecnica Re.Mi.*

A differenza del convenzionale metodo MASW, il quale prevede l'utilizzo di una sorgente sismica attiva (es: mazza battente), la tecnica Re.Mi. utilizza onde di superficie generate passivamente dall'ambiente circostante. L'origine di questo cosiddetto "rumore di fondo" è sia di tipo naturale (onde oceaniche di marea, perturbazioni atmosferiche) sia di tipo antropico (traffico veicolare, industrie, ferrovie, etc...).

L'utilizzo di profili di geofoni a geometria lineare, genera il problema della sovrastima della velocità di fase (velocità apparente) nello spettro di velocità che si ottiene dall'elaborazione dei dati. La velocità apparente nello spettro deriva dal fatto che la direzione di propagazione delle onde (rumore di fondo) non necessariamente è parallela allo stendimento di geofoni. Per questo motivo la pratica comune prevede che il picking sulla curva di dispersione sperimentale venga eseguito non in corrispondenza del massimo di energia, ma in corrispondenza del bordo inferiore.

Il metodo Re.Mi. eseguito nel presente studio ha sfruttato la stessa geometria di profilo utilizzata per il metodo MASW. Solitamente il campionamento complessivo è della durata di qualche minuto.

4.4 *Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata*

Il metodo *HVSr* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGy" (*Micromed S.p.A.*) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a $\sim 1.5 \text{ mm/s}$); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

5 RISULTATI INDAGINE

5.1 TECNICA IN ARRAY

Strumentazione utilizzata.....Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
 Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz).....6
 Spaziatura tra i geofoni.....4.00 m
 Frequenza di campionamento.....2.000 Hz (MASW) – 250 Hz (Re.Mi.)
 Lunghezza traccia acquisita.....2 sec (MASW) – 64 sec (Re.Mi.)
 Sorgente.....caduta grave e rumore ambientale

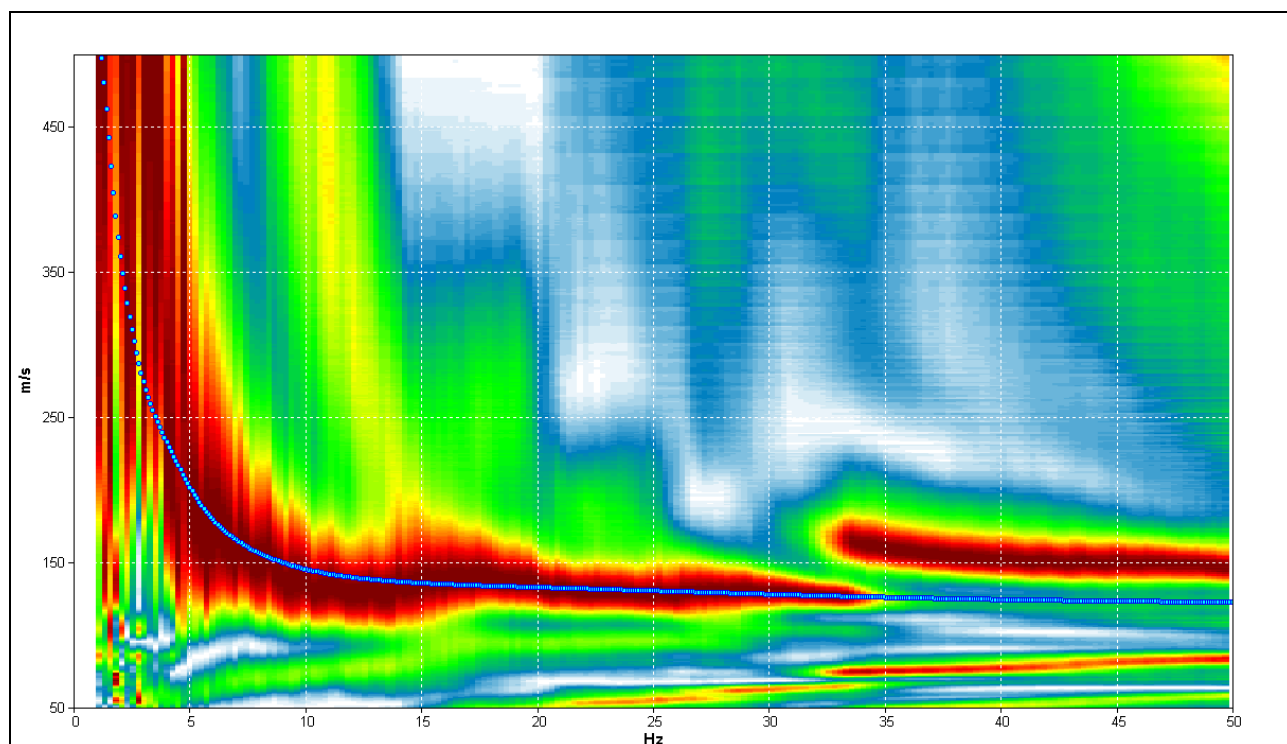


Figura 3 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW-Re.Mi. mediante sismografo digitale Dolang. In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

5.2 TECNICA HVSR

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 03/05/2018

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

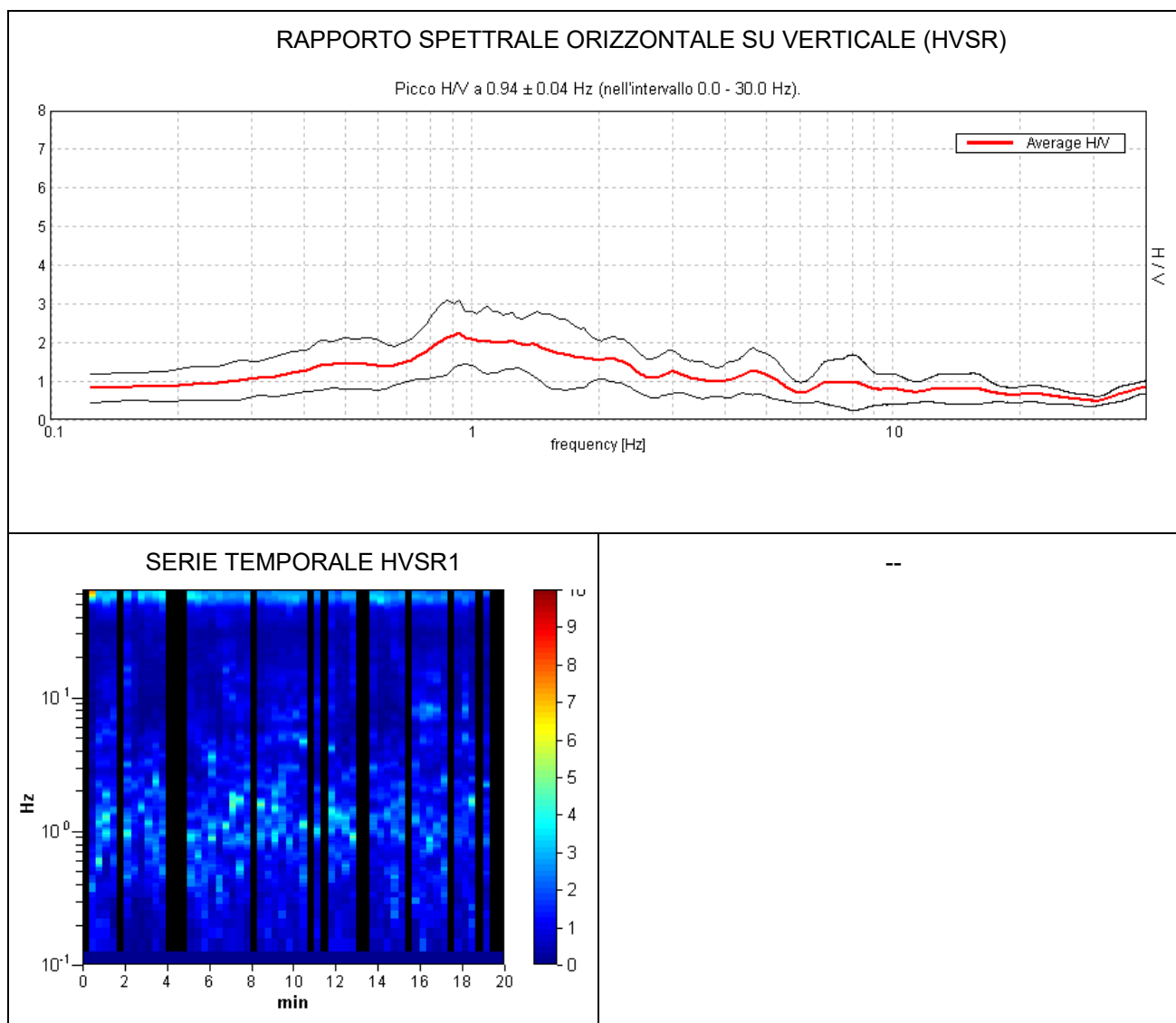


Figura 4 - Curva H/V (HVSR) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSr1

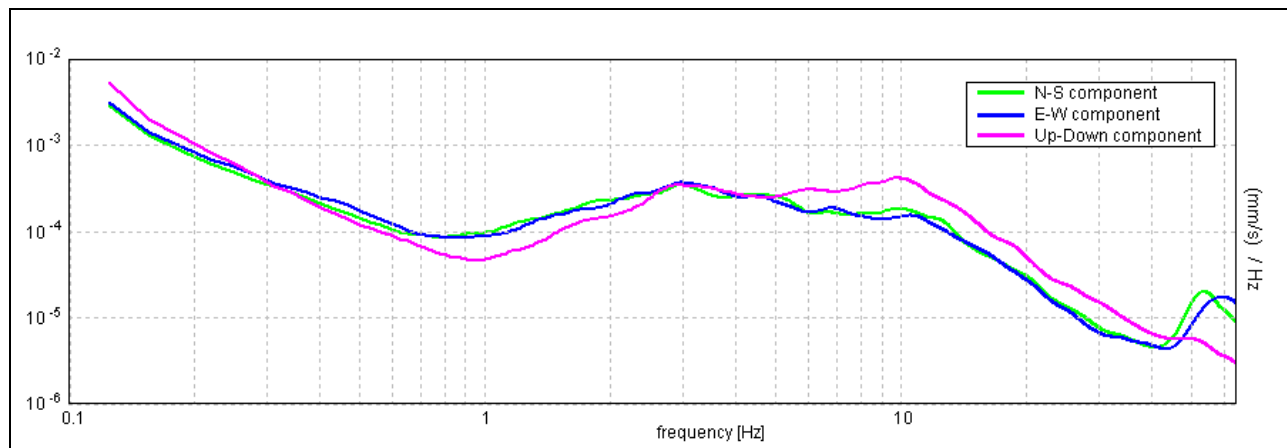


Figura 5 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

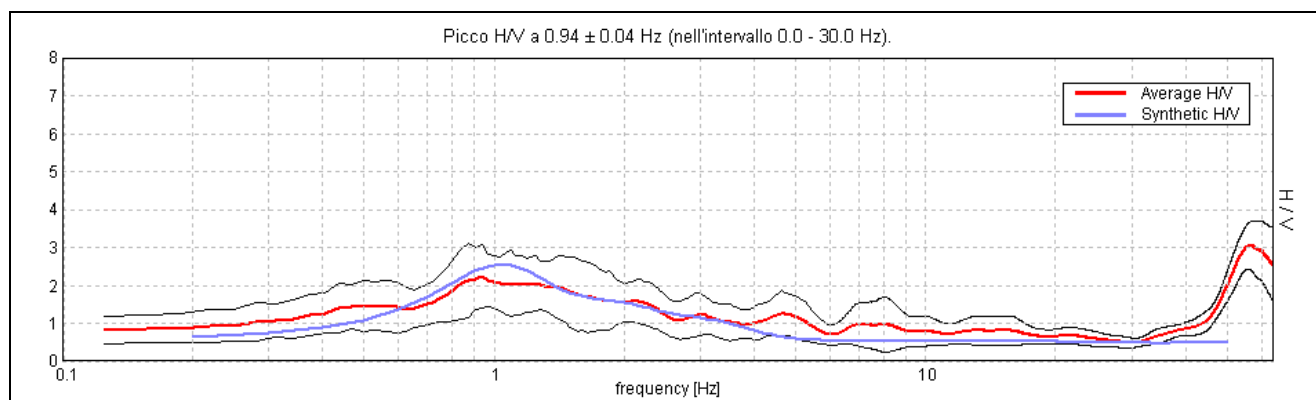


Figura 6 - confronto tra curva HVSr1 sperimentale registrata nel sito (scelta per il fit congiunto con prova MASW-Re.Mi.) e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto tra prova **MASW-Re.Mi.** e misura **HVSr1**):

| Profondità base strato (m) | Spessore (m) | Vs (m/s) |
|----------------------------|--------------|----------|
| 2.00 | 2.00 | 130 |
| 4.00 | 2.00 | 155 |
| 7.00 | 3.00 | 140 |
| 17.00 | 10.00 | 200 |
| 47.00 | 30.00 | 300 |
| 117.00 | 70.00 | 450 |
| inf. | inf. | 650 |

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

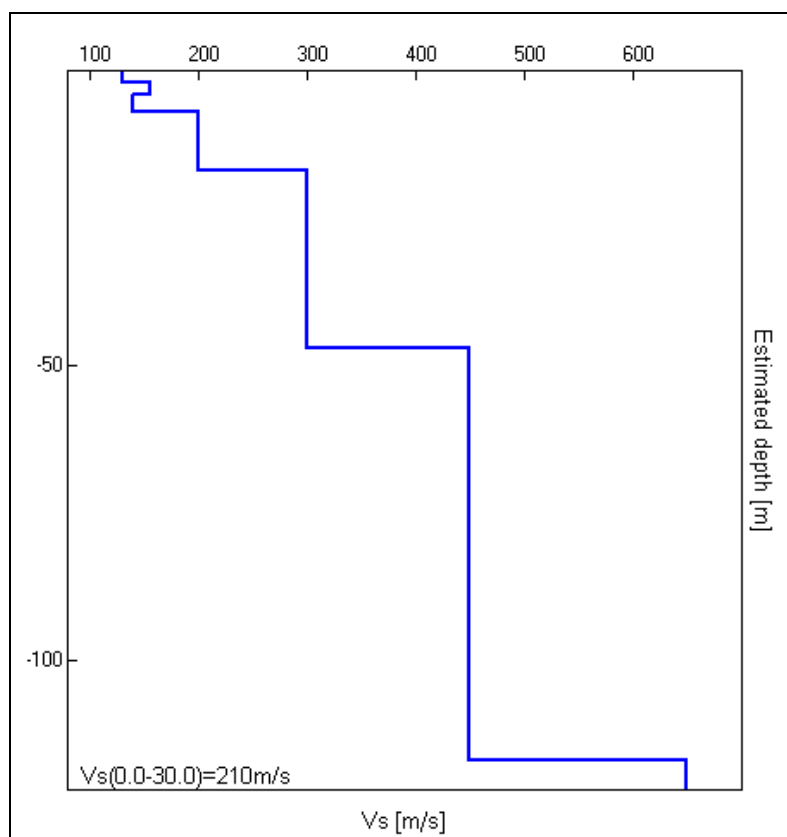


Figura 7 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW-Re.Mi. e tecnica HVSr

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Belvedere nel comune di Mirandola (MO) – Discarica RIECO.

7 CONCLUSIONI

L'analisi congiunta MASW-Re.Mi.-HVSR ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, sia di individuare la presenza di contrasti d'impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

Vs,eq=Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stata eseguita l'indagine geofisica.....210

Nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (Vs) caratteristici di terreni a consistenza nel complesso media.

La curva HVSR ottenuta sperimentalmente è caratterizzata da deboli amplificazioni locali del moto del suolo per risonanza stratigrafica a basso contrasto d'impedenza. Il picco di amplificazione si registra in bassa frequenza a circa 0.9-1.0 Hz (Ampiezza picco ≈ 2).

La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 17 gennaio 2018.

San Lazzaro di Savena, 08/05/2018



ALLEGATO 3

Rapporto Analisi del Potenziale di Liquefazione

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

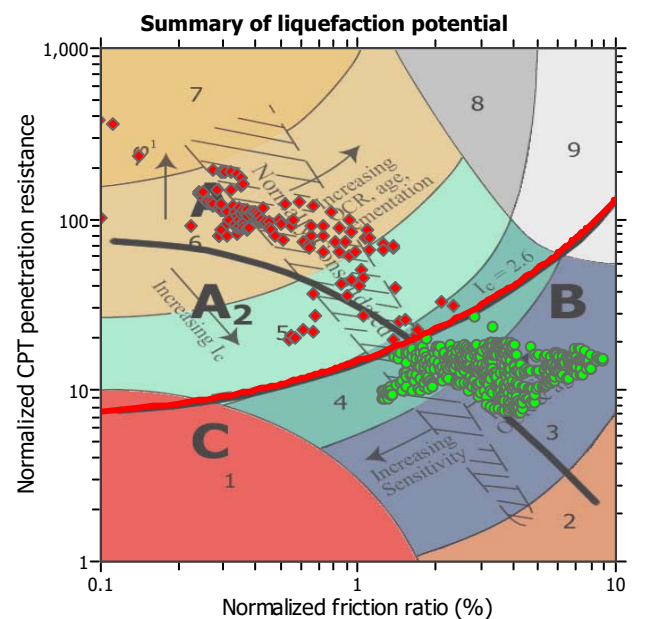
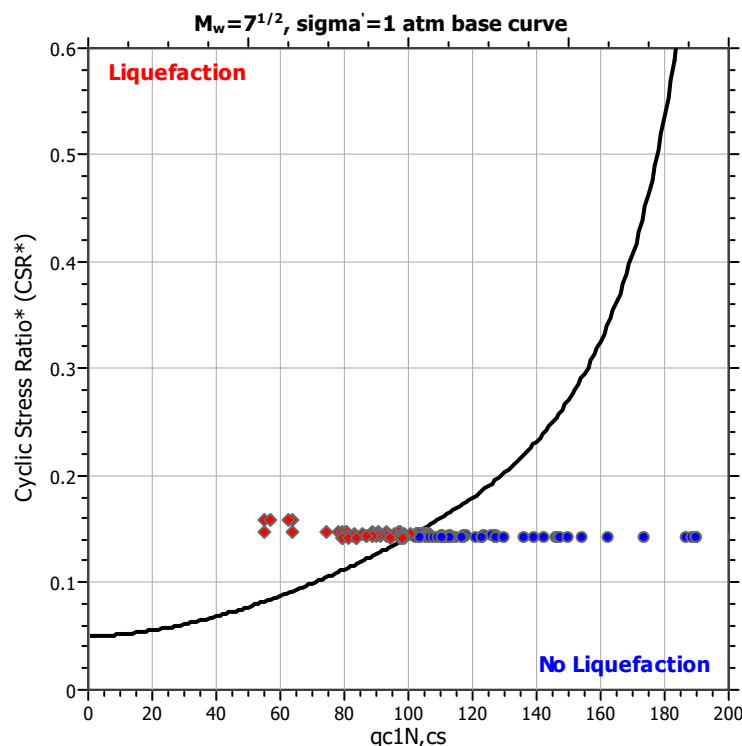
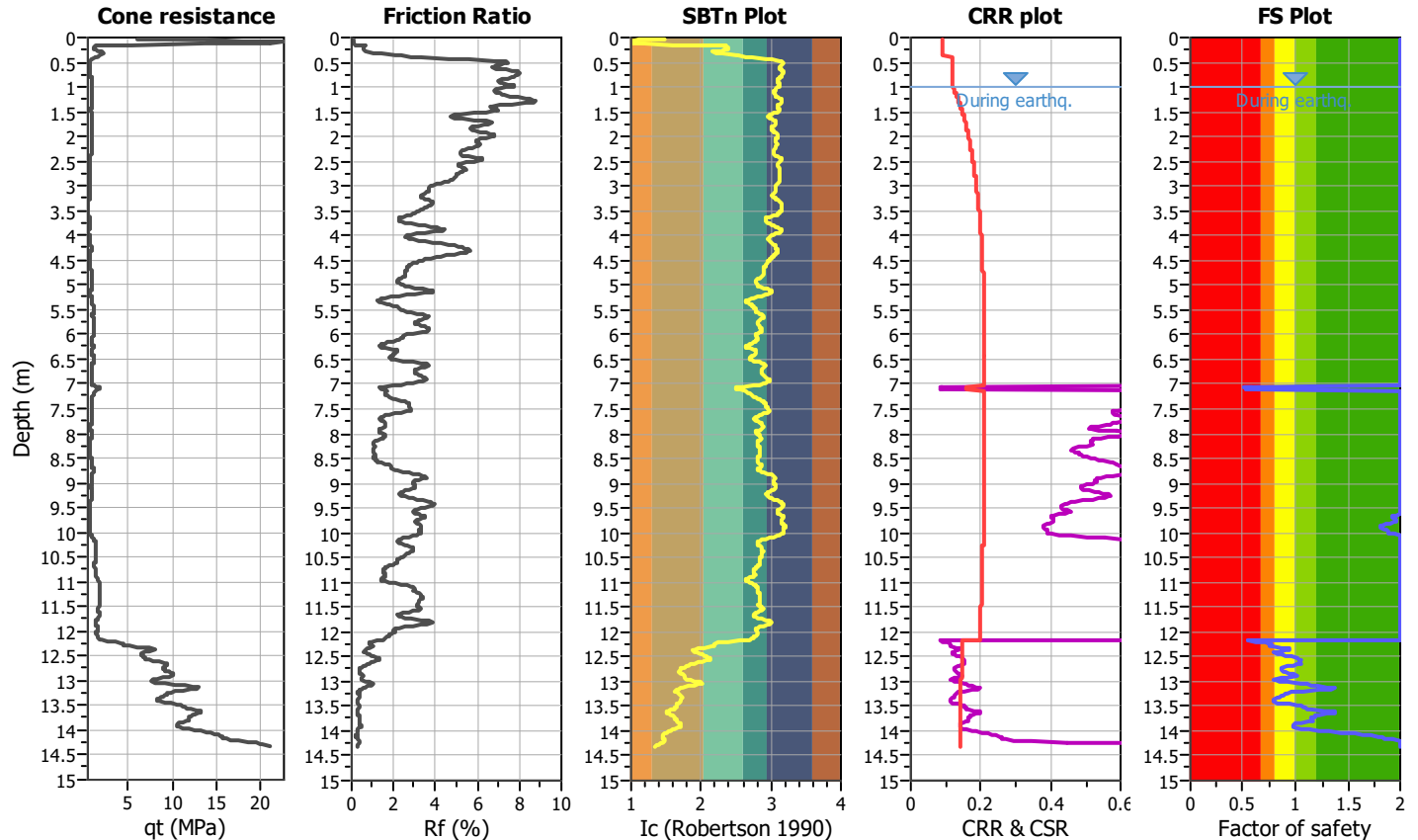
Project title : 18.134_RIECO S.R.L.

Location : MIRANDOLA (MO) - VIA BELVEDERE

CPT file : Basic results

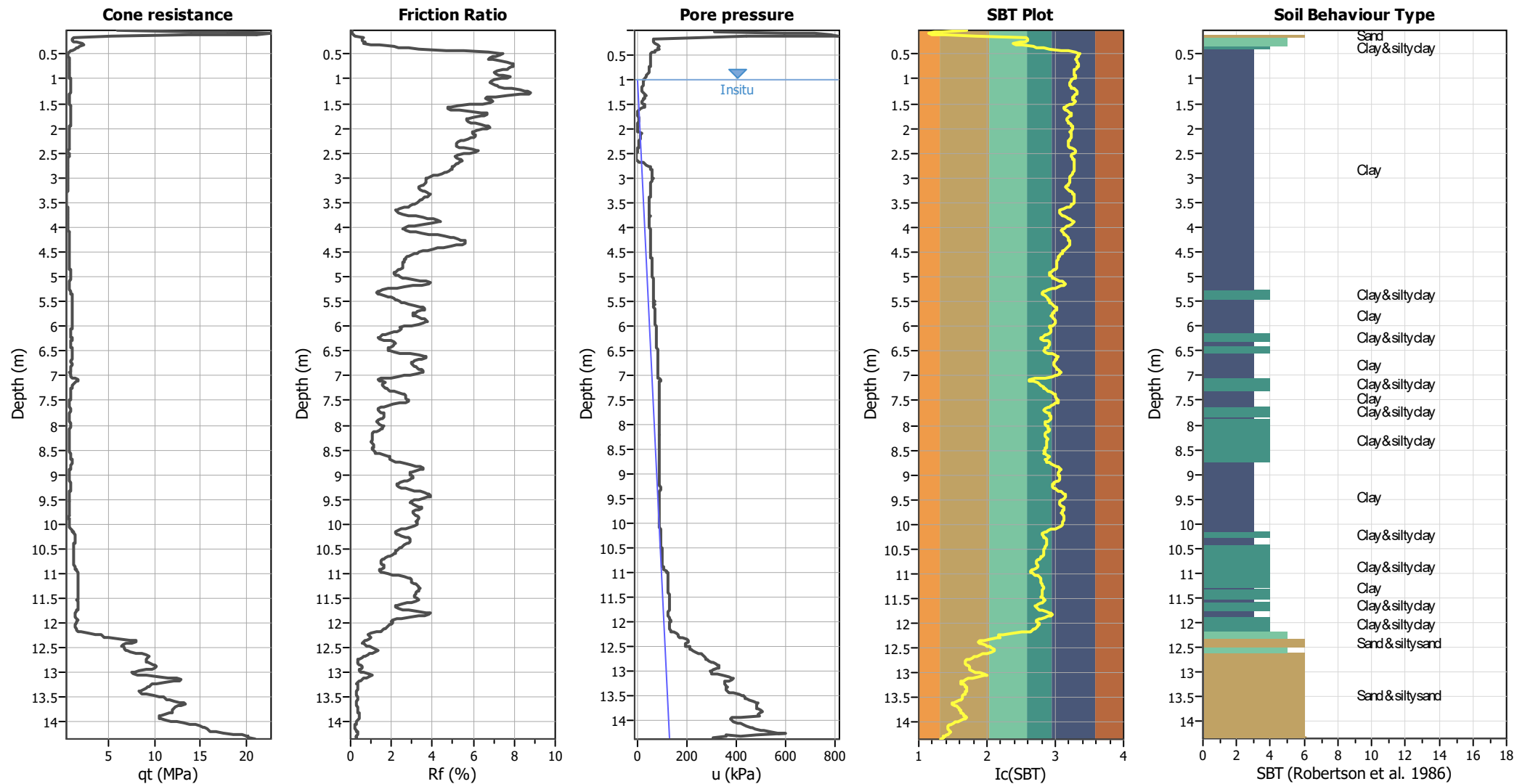
Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|-------------|
| 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: | Sand & Clay |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth applied: | Yes |
| Earthquake magnitude M_w : | 6.14 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | Limit depth: | 15.00 m |
| Peak ground acceleration: | 0.20 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_0 applied: | Yes | | |



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

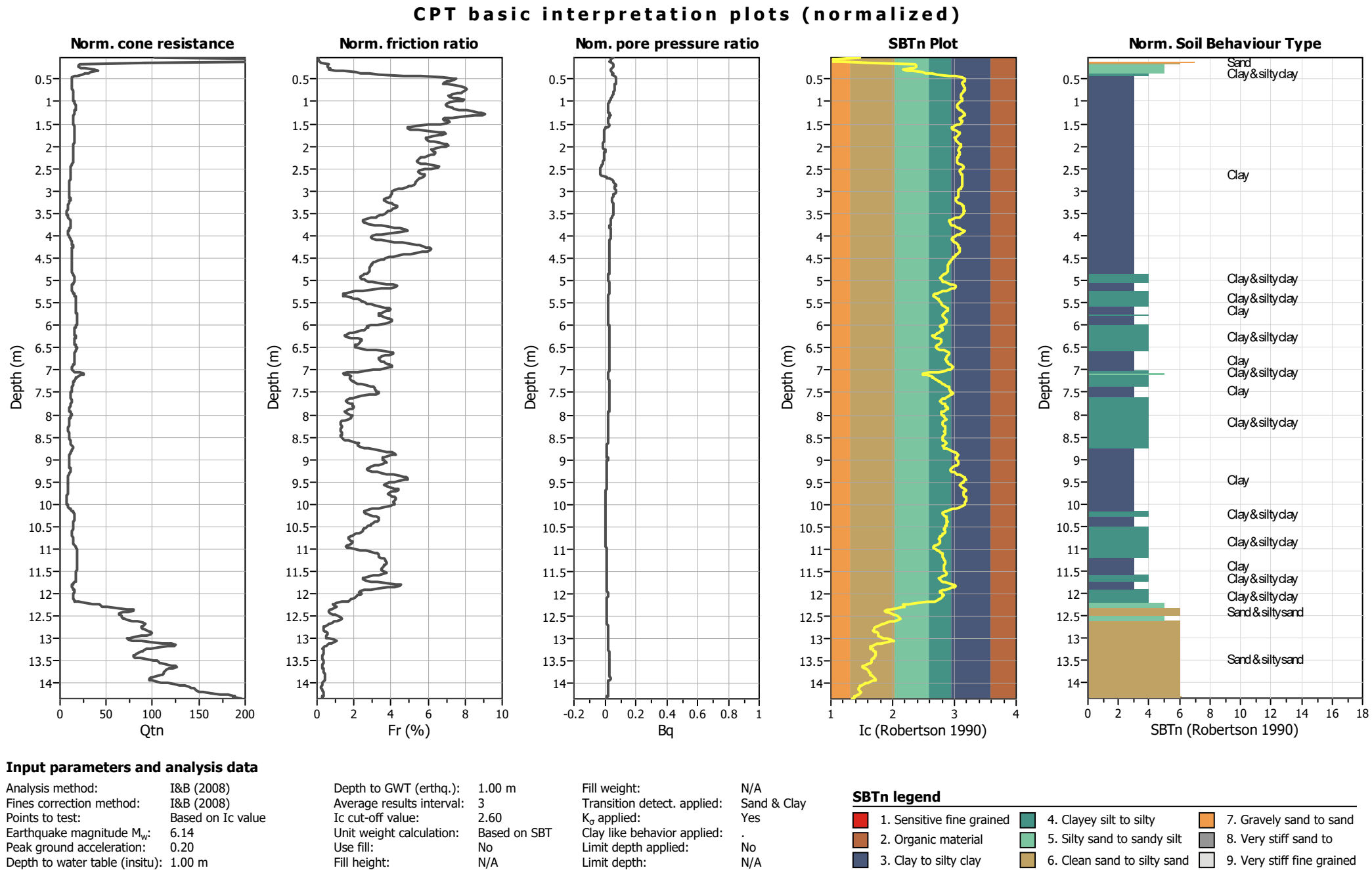


Input parameters and analysis data

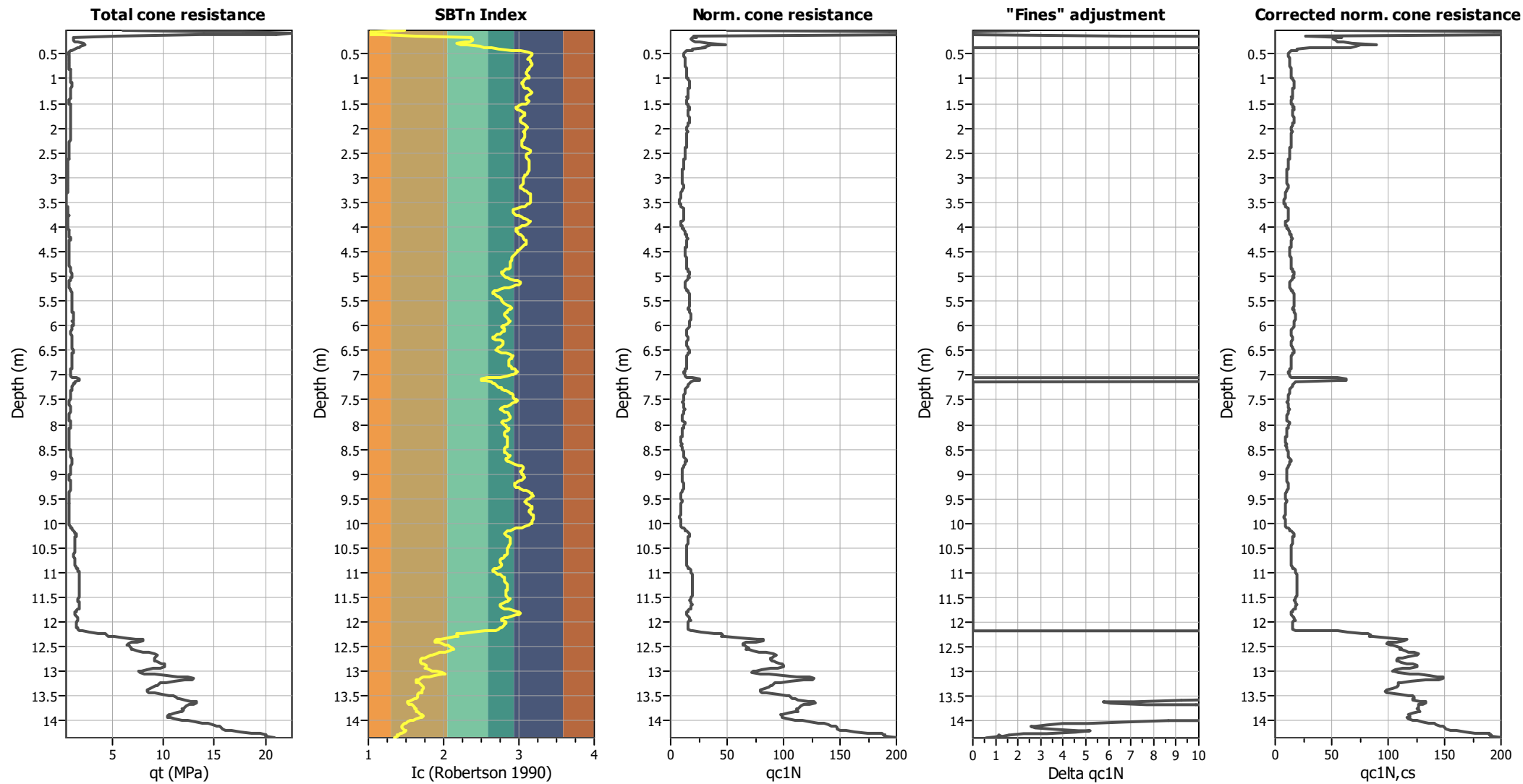
| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|-------------|
| Analysis method: | I&B (2008) | Depth to GWT (erthq.): | 1.00 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | I&B (2008) | Average results interval: | 3 | Transition detect. applied: | Sand & Clay |
| 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: | . |
| Peak ground acceleration: | 0.20 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 1.00 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 |



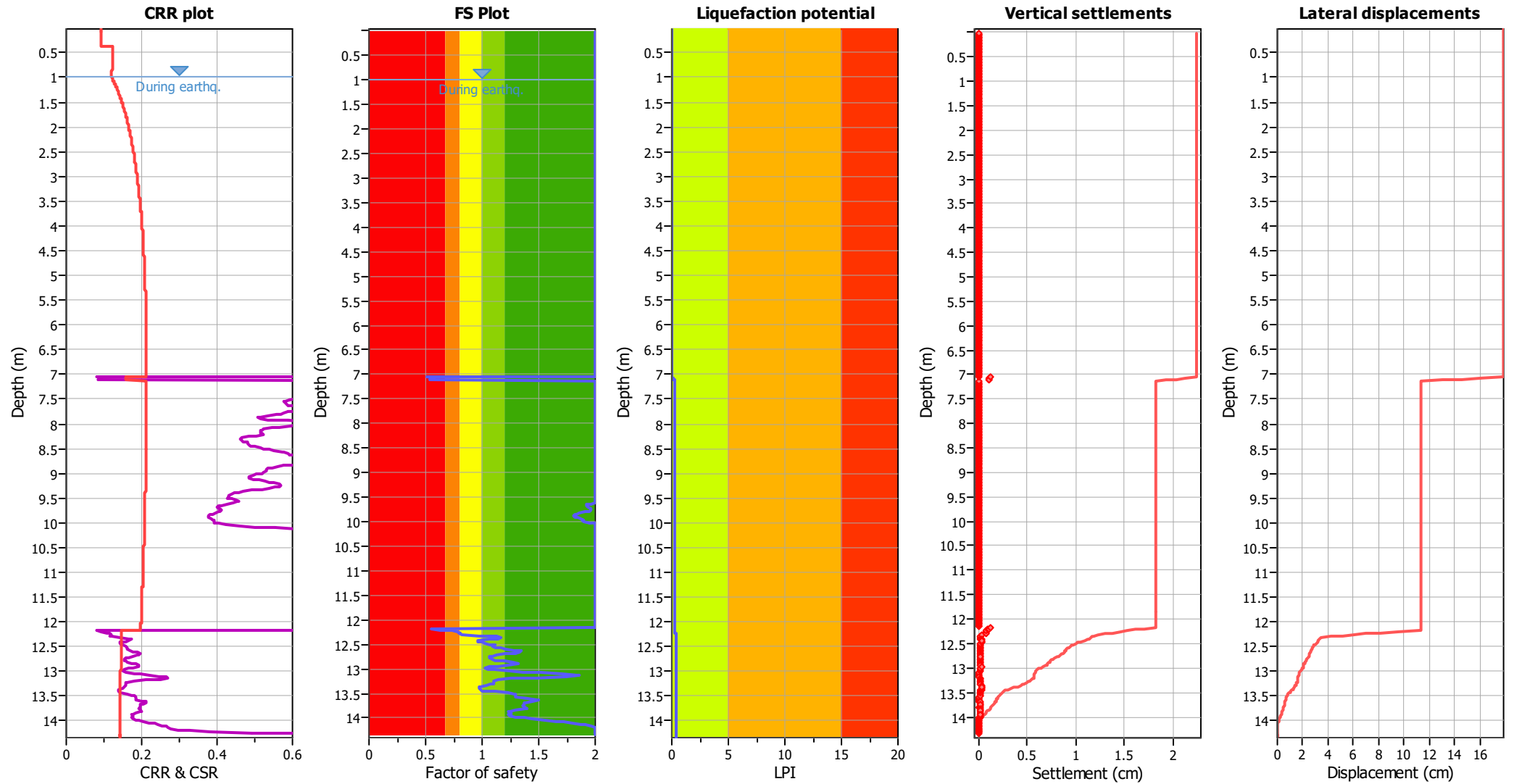
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|-------------|
| Analysis method: | I&B (2008) | Depth to GWT (erthq.): | 1.00 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | I&B (2008) | Average results interval: | 3 | Transition detect. applied: | Sand & Clay |
| 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: | . |
| Peak ground acceleration: | 0.20 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 1.00 m | Fill height: | N/A | Limit depth: | N/A |

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|-------------|
| Analysis method: | I&B (2008) | Depth to GWT (earthq.): | 1.00 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | I&B (2008) | Average results interval: | 3 | Transition detect. applied: | Sand & Clay |
| Points to test: | Based on Ic value | Ic cut-off value: | 2.60 | K _σ applied: | Yes |
| Earthquake magnitude M _w : | 6.14 | Unit weight calculation: | Based on SBT | Clay like behavior applied: | . |
| Peak ground acceleration: | 0.20 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 1.00 m | Fill height: | N/A | Limit depth: | N/A |

F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liquefaction are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 0.02 | 2.00 | 0.00 | 9.99 | 0.02 | 0.00 | 0.04 | 2.00 | 0.00 | 9.98 | 0.02 | 0.00 |
| 0.06 | 2.00 | 0.00 | 9.97 | 0.02 | 0.00 | 0.08 | 2.00 | 0.00 | 9.96 | 0.02 | 0.00 |
| 0.10 | 2.00 | 0.00 | 9.95 | 0.02 | 0.00 | 0.12 | 2.00 | 0.00 | 9.94 | 0.02 | 0.00 |
| 0.14 | 2.00 | 0.00 | 9.93 | 0.02 | 0.00 | 0.16 | 2.00 | 0.00 | 9.92 | 0.02 | 0.00 |
| 0.18 | 2.00 | 0.00 | 9.91 | 0.02 | 0.00 | 0.20 | 2.00 | 0.00 | 9.90 | 0.02 | 0.00 |
| 0.22 | 2.00 | 0.00 | 9.89 | 0.02 | 0.00 | 0.24 | 2.00 | 0.00 | 9.88 | 0.02 | 0.00 |
| 0.26 | 2.00 | 0.00 | 9.87 | 0.02 | 0.00 | 0.28 | 2.00 | 0.00 | 9.86 | 0.02 | 0.00 |
| 0.30 | 2.00 | 0.00 | 9.85 | 0.02 | 0.00 | 0.32 | 2.00 | 0.00 | 9.84 | 0.02 | 0.00 |
| 0.34 | 2.00 | 0.00 | 9.83 | 0.02 | 0.00 | 0.36 | 2.00 | 0.00 | 9.82 | 0.02 | 0.00 |
| 0.38 | 2.00 | 0.00 | 9.81 | 0.02 | 0.00 | 0.40 | 2.00 | 0.00 | 9.80 | 0.02 | 0.00 |
| 0.42 | 2.00 | 0.00 | 9.79 | 0.02 | 0.00 | 0.44 | 2.00 | 0.00 | 9.78 | 0.02 | 0.00 |
| 0.46 | 2.00 | 0.00 | 9.77 | 0.02 | 0.00 | 0.48 | 2.00 | 0.00 | 9.76 | 0.02 | 0.00 |
| 0.50 | 2.00 | 0.00 | 9.75 | 0.02 | 0.00 | 0.52 | 2.00 | 0.00 | 9.74 | 0.02 | 0.00 |
| 0.54 | 2.00 | 0.00 | 9.73 | 0.02 | 0.00 | 0.56 | 2.00 | 0.00 | 9.72 | 0.02 | 0.00 |
| 0.58 | 2.00 | 0.00 | 9.71 | 0.02 | 0.00 | 0.60 | 2.00 | 0.00 | 9.70 | 0.02 | 0.00 |
| 0.62 | 2.00 | 0.00 | 9.69 | 0.02 | 0.00 | 0.64 | 2.00 | 0.00 | 9.68 | 0.02 | 0.00 |
| 0.66 | 2.00 | 0.00 | 9.67 | 0.02 | 0.00 | 0.68 | 2.00 | 0.00 | 9.66 | 0.02 | 0.00 |
| 0.70 | 2.00 | 0.00 | 9.65 | 0.02 | 0.00 | 0.72 | 2.00 | 0.00 | 9.64 | 0.02 | 0.00 |
| 0.74 | 2.00 | 0.00 | 9.63 | 0.02 | 0.00 | 0.76 | 2.00 | 0.00 | 9.62 | 0.02 | 0.00 |
| 0.78 | 2.00 | 0.00 | 9.61 | 0.02 | 0.00 | 0.80 | 2.00 | 0.00 | 9.60 | 0.02 | 0.00 |
| 0.82 | 2.00 | 0.00 | 9.59 | 0.02 | 0.00 | 0.84 | 2.00 | 0.00 | 9.58 | 0.02 | 0.00 |
| 0.86 | 2.00 | 0.00 | 9.57 | 0.02 | 0.00 | 0.88 | 2.00 | 0.00 | 9.56 | 0.02 | 0.00 |
| 0.90 | 2.00 | 0.00 | 9.55 | 0.02 | 0.00 | 0.92 | 2.00 | 0.00 | 9.54 | 0.02 | 0.00 |
| 0.94 | 2.00 | 0.00 | 9.53 | 0.02 | 0.00 | 0.96 | 2.00 | 0.00 | 9.52 | 0.02 | 0.00 |
| 0.98 | 2.00 | 0.00 | 9.51 | 0.02 | 0.00 | 1.00 | 2.00 | 0.00 | 9.50 | 0.02 | 0.00 |
| 1.02 | 2.00 | 0.00 | 9.49 | 0.02 | 0.00 | 1.04 | 2.00 | 0.00 | 9.48 | 0.02 | 0.00 |
| 1.06 | 2.00 | 0.00 | 9.47 | 0.02 | 0.00 | 1.08 | 2.00 | 0.00 | 9.46 | 0.02 | 0.00 |
| 1.10 | 2.00 | 0.00 | 9.45 | 0.02 | 0.00 | 1.12 | 2.00 | 0.00 | 9.44 | 0.02 | 0.00 |
| 1.14 | 2.00 | 0.00 | 9.43 | 0.02 | 0.00 | 1.16 | 2.00 | 0.00 | 9.42 | 0.02 | 0.00 |
| 1.18 | 2.00 | 0.00 | 9.41 | 0.02 | 0.00 | 1.20 | 2.00 | 0.00 | 9.40 | 0.02 | 0.00 |
| 1.22 | 2.00 | 0.00 | 9.39 | 0.02 | 0.00 | 1.24 | 2.00 | 0.00 | 9.38 | 0.02 | 0.00 |
| 1.26 | 2.00 | 0.00 | 9.37 | 0.02 | 0.00 | 1.28 | 2.00 | 0.00 | 9.36 | 0.02 | 0.00 |
| 1.30 | 2.00 | 0.00 | 9.35 | 0.02 | 0.00 | 1.32 | 2.00 | 0.00 | 9.34 | 0.02 | 0.00 |
| 1.34 | 2.00 | 0.00 | 9.33 | 0.02 | 0.00 | 1.36 | 2.00 | 0.00 | 9.32 | 0.02 | 0.00 |
| 1.38 | 2.00 | 0.00 | 9.31 | 0.02 | 0.00 | 1.40 | 2.00 | 0.00 | 9.30 | 0.02 | 0.00 |
| 1.42 | 2.00 | 0.00 | 9.29 | 0.02 | 0.00 | 1.44 | 2.00 | 0.00 | 9.28 | 0.02 | 0.00 |
| 1.46 | 2.00 | 0.00 | 9.27 | 0.02 | 0.00 | 1.48 | 2.00 | 0.00 | 9.26 | 0.02 | 0.00 |
| 1.50 | 2.00 | 0.00 | 9.25 | 0.02 | 0.00 | 1.52 | 2.00 | 0.00 | 9.24 | 0.02 | 0.00 |
| 1.54 | 2.00 | 0.00 | 9.23 | 0.02 | 0.00 | 1.56 | 2.00 | 0.00 | 9.22 | 0.02 | 0.00 |
| 1.58 | 2.00 | 0.00 | 9.21 | 0.02 | 0.00 | 1.60 | 2.00 | 0.00 | 9.20 | 0.02 | 0.00 |
| 1.62 | 2.00 | 0.00 | 9.19 | 0.02 | 0.00 | 1.64 | 2.00 | 0.00 | 9.18 | 0.02 | 0.00 |
| 1.66 | 2.00 | 0.00 | 9.17 | 0.02 | 0.00 | 1.68 | 2.00 | 0.00 | 9.16 | 0.02 | 0.00 |
| 1.70 | 2.00 | 0.00 | 9.15 | 0.02 | 0.00 | 1.72 | 2.00 | 0.00 | 9.14 | 0.02 | 0.00 |
| 1.74 | 2.00 | 0.00 | 9.13 | 0.02 | 0.00 | 1.76 | 2.00 | 0.00 | 9.12 | 0.02 | 0.00 |
| 1.78 | 2.00 | 0.00 | 9.11 | 0.02 | 0.00 | 1.80 | 2.00 | 0.00 | 9.10 | 0.02 | 0.00 |
| 1.82 | 2.00 | 0.00 | 9.09 | 0.02 | 0.00 | 1.84 | 2.00 | 0.00 | 9.08 | 0.02 | 0.00 |
| 1.86 | 2.00 | 0.00 | 9.07 | 0.02 | 0.00 | 1.88 | 2.00 | 0.00 | 9.06 | 0.02 | 0.00 |
| 1.90 | 2.00 | 0.00 | 9.05 | 0.02 | 0.00 | 1.92 | 2.00 | 0.00 | 9.04 | 0.02 | 0.00 |

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| 1.94 | 2.00 | 0.00 | 9.03 | 0.02 | 0.00 | 1.96 | 2.00 | 0.00 | 9.02 | 0.02 | 0.00 |
| 1.98 | 2.00 | 0.00 | 9.01 | 0.02 | 0.00 | 2.00 | 2.00 | 0.00 | 9.00 | 0.02 | 0.00 |
| 2.02 | 2.00 | 0.00 | 8.99 | 0.02 | 0.00 | 2.04 | 2.00 | 0.00 | 8.98 | 0.02 | 0.00 |
| 2.06 | 2.00 | 0.00 | 8.97 | 0.02 | 0.00 | 2.08 | 2.00 | 0.00 | 8.96 | 0.02 | 0.00 |
| 2.10 | 2.00 | 0.00 | 8.95 | 0.02 | 0.00 | 2.12 | 2.00 | 0.00 | 8.94 | 0.02 | 0.00 |
| 2.14 | 2.00 | 0.00 | 8.93 | 0.02 | 0.00 | 2.16 | 2.00 | 0.00 | 8.92 | 0.02 | 0.00 |
| 2.18 | 2.00 | 0.00 | 8.91 | 0.02 | 0.00 | 2.20 | 2.00 | 0.00 | 8.90 | 0.02 | 0.00 |
| 2.22 | 2.00 | 0.00 | 8.89 | 0.02 | 0.00 | 2.24 | 2.00 | 0.00 | 8.88 | 0.02 | 0.00 |
| 2.26 | 2.00 | 0.00 | 8.87 | 0.02 | 0.00 | 2.28 | 2.00 | 0.00 | 8.86 | 0.02 | 0.00 |
| 2.30 | 2.00 | 0.00 | 8.85 | 0.02 | 0.00 | 2.32 | 2.00 | 0.00 | 8.84 | 0.02 | 0.00 |
| 2.34 | 2.00 | 0.00 | 8.83 | 0.02 | 0.00 | 2.36 | 2.00 | 0.00 | 8.82 | 0.02 | 0.00 |
| 2.38 | 2.00 | 0.00 | 8.81 | 0.02 | 0.00 | 2.40 | 2.00 | 0.00 | 8.80 | 0.02 | 0.00 |
| 2.42 | 2.00 | 0.00 | 8.79 | 0.02 | 0.00 | 2.44 | 2.00 | 0.00 | 8.78 | 0.02 | 0.00 |
| 2.46 | 2.00 | 0.00 | 8.77 | 0.02 | 0.00 | 2.48 | 2.00 | 0.00 | 8.76 | 0.02 | 0.00 |
| 2.50 | 2.00 | 0.00 | 8.75 | 0.02 | 0.00 | 2.52 | 2.00 | 0.00 | 8.74 | 0.02 | 0.00 |
| 2.54 | 2.00 | 0.00 | 8.73 | 0.02 | 0.00 | 2.56 | 2.00 | 0.00 | 8.72 | 0.02 | 0.00 |
| 2.58 | 2.00 | 0.00 | 8.71 | 0.02 | 0.00 | 2.60 | 2.00 | 0.00 | 8.70 | 0.02 | 0.00 |
| 2.62 | 2.00 | 0.00 | 8.69 | 0.02 | 0.00 | 2.64 | 2.00 | 0.00 | 8.68 | 0.02 | 0.00 |
| 2.66 | 2.00 | 0.00 | 8.67 | 0.02 | 0.00 | 2.68 | 2.00 | 0.00 | 8.66 | 0.02 | 0.00 |
| 2.70 | 2.00 | 0.00 | 8.65 | 0.02 | 0.00 | 2.72 | 2.00 | 0.00 | 8.64 | 0.02 | 0.00 |
| 2.74 | 2.00 | 0.00 | 8.63 | 0.02 | 0.00 | 2.76 | 2.00 | 0.00 | 8.62 | 0.02 | 0.00 |
| 2.78 | 2.00 | 0.00 | 8.61 | 0.02 | 0.00 | 2.80 | 2.00 | 0.00 | 8.60 | 0.02 | 0.00 |
| 2.82 | 2.00 | 0.00 | 8.59 | 0.02 | 0.00 | 2.84 | 2.00 | 0.00 | 8.58 | 0.02 | 0.00 |
| 2.86 | 2.00 | 0.00 | 8.57 | 0.02 | 0.00 | 2.88 | 2.00 | 0.00 | 8.56 | 0.02 | 0.00 |
| 2.90 | 2.00 | 0.00 | 8.55 | 0.02 | 0.00 | 2.92 | 2.00 | 0.00 | 8.54 | 0.02 | 0.00 |
| 2.94 | 2.00 | 0.00 | 8.53 | 0.02 | 0.00 | 2.96 | 2.00 | 0.00 | 8.52 | 0.02 | 0.00 |
| 2.98 | 2.00 | 0.00 | 8.51 | 0.02 | 0.00 | 3.00 | 2.00 | 0.00 | 8.50 | 0.02 | 0.00 |
| 3.02 | 2.00 | 0.00 | 8.49 | 0.02 | 0.00 | 3.04 | 2.00 | 0.00 | 8.48 | 0.02 | 0.00 |
| 3.06 | 2.00 | 0.00 | 8.47 | 0.02 | 0.00 | 3.08 | 2.00 | 0.00 | 8.46 | 0.02 | 0.00 |
| 3.10 | 2.00 | 0.00 | 8.45 | 0.02 | 0.00 | 3.12 | 2.00 | 0.00 | 8.44 | 0.02 | 0.00 |
| 3.14 | 2.00 | 0.00 | 8.43 | 0.02 | 0.00 | 3.16 | 2.00 | 0.00 | 8.42 | 0.02 | 0.00 |
| 3.18 | 2.00 | 0.00 | 8.41 | 0.02 | 0.00 | 3.20 | 2.00 | 0.00 | 8.40 | 0.02 | 0.00 |
| 3.22 | 2.00 | 0.00 | 8.39 | 0.02 | 0.00 | 3.24 | 2.00 | 0.00 | 8.38 | 0.02 | 0.00 |
| 3.26 | 2.00 | 0.00 | 8.37 | 0.02 | 0.00 | 3.28 | 2.00 | 0.00 | 8.36 | 0.02 | 0.00 |
| 3.30 | 2.00 | 0.00 | 8.35 | 0.02 | 0.00 | 3.32 | 2.00 | 0.00 | 8.34 | 0.02 | 0.00 |
| 3.34 | 2.00 | 0.00 | 8.33 | 0.02 | 0.00 | 3.36 | 2.00 | 0.00 | 8.32 | 0.02 | 0.00 |
| 3.38 | 2.00 | 0.00 | 8.31 | 0.02 | 0.00 | 3.40 | 2.00 | 0.00 | 8.30 | 0.02 | 0.00 |
| 3.42 | 2.00 | 0.00 | 8.29 | 0.02 | 0.00 | 3.44 | 2.00 | 0.00 | 8.28 | 0.02 | 0.00 |
| 3.46 | 2.00 | 0.00 | 8.27 | 0.02 | 0.00 | 3.48 | 2.00 | 0.00 | 8.26 | 0.02 | 0.00 |
| 3.50 | 2.00 | 0.00 | 8.25 | 0.02 | 0.00 | 3.52 | 2.00 | 0.00 | 8.24 | 0.02 | 0.00 |
| 3.54 | 2.00 | 0.00 | 8.23 | 0.02 | 0.00 | 3.56 | 2.00 | 0.00 | 8.22 | 0.02 | 0.00 |
| 3.58 | 2.00 | 0.00 | 8.21 | 0.02 | 0.00 | 3.60 | 2.00 | 0.00 | 8.20 | 0.02 | 0.00 |
| 3.62 | 2.00 | 0.00 | 8.19 | 0.02 | 0.00 | 3.64 | 2.00 | 0.00 | 8.18 | 0.02 | 0.00 |
| 3.66 | 2.00 | 0.00 | 8.17 | 0.02 | 0.00 | 3.68 | 2.00 | 0.00 | 8.16 | 0.02 | 0.00 |
| 3.70 | 2.00 | 0.00 | 8.15 | 0.02 | 0.00 | 3.72 | 2.00 | 0.00 | 8.14 | 0.02 | 0.00 |
| 3.74 | 2.00 | 0.00 | 8.13 | 0.02 | 0.00 | 3.76 | 2.00 | 0.00 | 8.12 | 0.02 | 0.00 |
| 3.78 | 2.00 | 0.00 | 8.11 | 0.02 | 0.00 | 3.80 | 2.00 | 0.00 | 8.10 | 0.02 | 0.00 |
| 3.82 | 2.00 | 0.00 | 8.09 | 0.02 | 0.00 | 3.84 | 2.00 | 0.00 | 8.08 | 0.02 | 0.00 |

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| 3.86 | 2.00 | 0.00 | 8.07 | 0.02 | 0.00 | 3.88 | 2.00 | 0.00 | 8.06 | 0.02 | 0.00 |
| 3.90 | 2.00 | 0.00 | 8.05 | 0.02 | 0.00 | 3.92 | 2.00 | 0.00 | 8.04 | 0.02 | 0.00 |
| 3.94 | 2.00 | 0.00 | 8.03 | 0.02 | 0.00 | 3.96 | 2.00 | 0.00 | 8.02 | 0.02 | 0.00 |
| 3.98 | 2.00 | 0.00 | 8.01 | 0.02 | 0.00 | 4.00 | 2.00 | 0.00 | 8.00 | 0.02 | 0.00 |
| 4.02 | 2.00 | 0.00 | 7.99 | 0.02 | 0.00 | 4.04 | 2.00 | 0.00 | 7.98 | 0.02 | 0.00 |
| 4.06 | 2.00 | 0.00 | 7.97 | 0.02 | 0.00 | 4.08 | 2.00 | 0.00 | 7.96 | 0.02 | 0.00 |
| 4.10 | 2.00 | 0.00 | 7.95 | 0.02 | 0.00 | 4.12 | 2.00 | 0.00 | 7.94 | 0.02 | 0.00 |
| 4.14 | 2.00 | 0.00 | 7.93 | 0.02 | 0.00 | 4.16 | 2.00 | 0.00 | 7.92 | 0.02 | 0.00 |
| 4.18 | 2.00 | 0.00 | 7.91 | 0.02 | 0.00 | 4.20 | 2.00 | 0.00 | 7.90 | 0.02 | 0.00 |
| 4.22 | 2.00 | 0.00 | 7.89 | 0.02 | 0.00 | 4.24 | 2.00 | 0.00 | 7.88 | 0.02 | 0.00 |
| 4.26 | 2.00 | 0.00 | 7.87 | 0.02 | 0.00 | 4.28 | 2.00 | 0.00 | 7.86 | 0.02 | 0.00 |
| 4.30 | 2.00 | 0.00 | 7.85 | 0.02 | 0.00 | 4.32 | 2.00 | 0.00 | 7.84 | 0.02 | 0.00 |
| 4.34 | 2.00 | 0.00 | 7.83 | 0.02 | 0.00 | 4.36 | 2.00 | 0.00 | 7.82 | 0.02 | 0.00 |
| 4.38 | 2.00 | 0.00 | 7.81 | 0.02 | 0.00 | 4.40 | 2.00 | 0.00 | 7.80 | 0.02 | 0.00 |
| 4.42 | 2.00 | 0.00 | 7.79 | 0.02 | 0.00 | 4.44 | 2.00 | 0.00 | 7.78 | 0.02 | 0.00 |
| 4.46 | 2.00 | 0.00 | 7.77 | 0.02 | 0.00 | 4.48 | 2.00 | 0.00 | 7.76 | 0.02 | 0.00 |
| 4.50 | 2.00 | 0.00 | 7.75 | 0.02 | 0.00 | 4.52 | 2.00 | 0.00 | 7.74 | 0.02 | 0.00 |
| 4.54 | 2.00 | 0.00 | 7.73 | 0.02 | 0.00 | 4.56 | 2.00 | 0.00 | 7.72 | 0.02 | 0.00 |
| 4.58 | 2.00 | 0.00 | 7.71 | 0.02 | 0.00 | 4.60 | 2.00 | 0.00 | 7.70 | 0.02 | 0.00 |
| 4.62 | 2.00 | 0.00 | 7.69 | 0.02 | 0.00 | 4.64 | 2.00 | 0.00 | 7.68 | 0.02 | 0.00 |
| 4.66 | 2.00 | 0.00 | 7.67 | 0.02 | 0.00 | 4.68 | 2.00 | 0.00 | 7.66 | 0.02 | 0.00 |
| 4.70 | 2.00 | 0.00 | 7.65 | 0.02 | 0.00 | 4.72 | 2.00 | 0.00 | 7.64 | 0.02 | 0.00 |
| 4.74 | 2.00 | 0.00 | 7.63 | 0.02 | 0.00 | 4.76 | 2.00 | 0.00 | 7.62 | 0.02 | 0.00 |
| 4.78 | 2.00 | 0.00 | 7.61 | 0.02 | 0.00 | 4.80 | 2.00 | 0.00 | 7.60 | 0.02 | 0.00 |
| 4.82 | 2.00 | 0.00 | 7.59 | 0.02 | 0.00 | 4.84 | 2.00 | 0.00 | 7.58 | 0.02 | 0.00 |
| 4.86 | 2.00 | 0.00 | 7.57 | 0.02 | 0.00 | 4.88 | 2.00 | 0.00 | 7.56 | 0.02 | 0.00 |
| 4.90 | 2.00 | 0.00 | 7.55 | 0.02 | 0.00 | 4.92 | 2.00 | 0.00 | 7.54 | 0.02 | 0.00 |
| 4.94 | 2.00 | 0.00 | 7.53 | 0.02 | 0.00 | 4.96 | 2.00 | 0.00 | 7.52 | 0.02 | 0.00 |
| 4.98 | 2.00 | 0.00 | 7.51 | 0.02 | 0.00 | 5.00 | 2.00 | 0.00 | 7.50 | 0.02 | 0.00 |
| 5.02 | 2.00 | 0.00 | 7.49 | 0.02 | 0.00 | 5.04 | 2.00 | 0.00 | 7.48 | 0.02 | 0.00 |
| 5.06 | 2.00 | 0.00 | 7.47 | 0.02 | 0.00 | 5.08 | 2.00 | 0.00 | 7.46 | 0.02 | 0.00 |
| 5.10 | 2.00 | 0.00 | 7.45 | 0.02 | 0.00 | 5.12 | 2.00 | 0.00 | 7.44 | 0.02 | 0.00 |
| 5.14 | 2.00 | 0.00 | 7.43 | 0.02 | 0.00 | 5.16 | 2.00 | 0.00 | 7.42 | 0.02 | 0.00 |
| 5.18 | 2.00 | 0.00 | 7.41 | 0.02 | 0.00 | 5.20 | 2.00 | 0.00 | 7.40 | 0.02 | 0.00 |
| 5.22 | 2.00 | 0.00 | 7.39 | 0.02 | 0.00 | 5.24 | 2.00 | 0.00 | 7.38 | 0.02 | 0.00 |
| 5.26 | 2.00 | 0.00 | 7.37 | 0.02 | 0.00 | 5.28 | 2.00 | 0.00 | 7.36 | 0.02 | 0.00 |
| 5.30 | 2.00 | 0.00 | 7.35 | 0.02 | 0.00 | 5.32 | 2.00 | 0.00 | 7.34 | 0.02 | 0.00 |
| 5.34 | 2.00 | 0.00 | 7.33 | 0.02 | 0.00 | 5.36 | 2.00 | 0.00 | 7.32 | 0.02 | 0.00 |
| 5.38 | 2.00 | 0.00 | 7.31 | 0.02 | 0.00 | 5.40 | 2.00 | 0.00 | 7.30 | 0.02 | 0.00 |
| 5.42 | 2.00 | 0.00 | 7.29 | 0.02 | 0.00 | 5.44 | 2.00 | 0.00 | 7.28 | 0.02 | 0.00 |
| 5.46 | 2.00 | 0.00 | 7.27 | 0.02 | 0.00 | 5.48 | 2.00 | 0.00 | 7.26 | 0.02 | 0.00 |
| 5.50 | 2.00 | 0.00 | 7.25 | 0.02 | 0.00 | 5.52 | 2.00 | 0.00 | 7.24 | 0.02 | 0.00 |
| 5.54 | 2.00 | 0.00 | 7.23 | 0.02 | 0.00 | 5.56 | 2.00 | 0.00 | 7.22 | 0.02 | 0.00 |
| 5.58 | 2.00 | 0.00 | 7.21 | 0.02 | 0.00 | 5.60 | 2.00 | 0.00 | 7.20 | 0.02 | 0.00 |
| 5.62 | 2.00 | 0.00 | 7.19 | 0.02 | 0.00 | 5.64 | 2.00 | 0.00 | 7.18 | 0.02 | 0.00 |
| 5.66 | 2.00 | 0.00 | 7.17 | 0.02 | 0.00 | 5.68 | 2.00 | 0.00 | 7.16 | 0.02 | 0.00 |
| 5.70 | 2.00 | 0.00 | 7.15 | 0.02 | 0.00 | 5.72 | 2.00 | 0.00 | 7.14 | 0.02 | 0.00 |
| 5.74 | 2.00 | 0.00 | 7.13 | 0.02 | 0.00 | 5.76 | 2.00 | 0.00 | 7.12 | 0.02 | 0.00 |

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| 5.78 | 2.00 | 0.00 | 7.11 | 0.02 | 0.00 | 5.80 | 2.00 | 0.00 | 7.10 | 0.02 | 0.00 |
| 5.82 | 2.00 | 0.00 | 7.09 | 0.02 | 0.00 | 5.84 | 2.00 | 0.00 | 7.08 | 0.02 | 0.00 |
| 5.86 | 2.00 | 0.00 | 7.07 | 0.02 | 0.00 | 5.88 | 2.00 | 0.00 | 7.06 | 0.02 | 0.00 |
| 5.90 | 2.00 | 0.00 | 7.05 | 0.02 | 0.00 | 5.92 | 2.00 | 0.00 | 7.04 | 0.02 | 0.00 |
| 5.94 | 2.00 | 0.00 | 7.03 | 0.02 | 0.00 | 5.96 | 2.00 | 0.00 | 7.02 | 0.02 | 0.00 |
| 5.98 | 2.00 | 0.00 | 7.01 | 0.02 | 0.00 | 6.00 | 2.00 | 0.00 | 7.00 | 0.02 | 0.00 |
| 6.02 | 2.00 | 0.00 | 6.99 | 0.02 | 0.00 | 6.04 | 2.00 | 0.00 | 6.98 | 0.02 | 0.00 |
| 6.06 | 2.00 | 0.00 | 6.97 | 0.02 | 0.00 | 6.08 | 2.00 | 0.00 | 6.96 | 0.02 | 0.00 |
| 6.10 | 2.00 | 0.00 | 6.95 | 0.02 | 0.00 | 6.12 | 2.00 | 0.00 | 6.94 | 0.02 | 0.00 |
| 6.14 | 2.00 | 0.00 | 6.93 | 0.02 | 0.00 | 6.16 | 2.00 | 0.00 | 6.92 | 0.02 | 0.00 |
| 6.18 | 2.00 | 0.00 | 6.91 | 0.02 | 0.00 | 6.20 | 2.00 | 0.00 | 6.90 | 0.02 | 0.00 |
| 6.22 | 2.00 | 0.00 | 6.89 | 0.02 | 0.00 | 6.24 | 2.00 | 0.00 | 6.88 | 0.02 | 0.00 |
| 6.26 | 2.00 | 0.00 | 6.87 | 0.02 | 0.00 | 6.28 | 2.00 | 0.00 | 6.86 | 0.02 | 0.00 |
| 6.30 | 2.00 | 0.00 | 6.85 | 0.02 | 0.00 | 6.32 | 2.00 | 0.00 | 6.84 | 0.02 | 0.00 |
| 6.34 | 2.00 | 0.00 | 6.83 | 0.02 | 0.00 | 6.36 | 2.00 | 0.00 | 6.82 | 0.02 | 0.00 |
| 6.38 | 2.00 | 0.00 | 6.81 | 0.02 | 0.00 | 6.40 | 2.00 | 0.00 | 6.80 | 0.02 | 0.00 |
| 6.42 | 2.00 | 0.00 | 6.79 | 0.02 | 0.00 | 6.44 | 2.00 | 0.00 | 6.78 | 0.02 | 0.00 |
| 6.46 | 2.00 | 0.00 | 6.77 | 0.02 | 0.00 | 6.48 | 2.00 | 0.00 | 6.76 | 0.02 | 0.00 |
| 6.50 | 2.00 | 0.00 | 6.75 | 0.02 | 0.00 | 6.52 | 2.00 | 0.00 | 6.74 | 0.02 | 0.00 |
| 6.54 | 2.00 | 0.00 | 6.73 | 0.02 | 0.00 | 6.56 | 2.00 | 0.00 | 6.72 | 0.02 | 0.00 |
| 6.58 | 2.00 | 0.00 | 6.71 | 0.02 | 0.00 | 6.60 | 2.00 | 0.00 | 6.70 | 0.02 | 0.00 |
| 6.62 | 2.00 | 0.00 | 6.69 | 0.02 | 0.00 | 6.64 | 2.00 | 0.00 | 6.68 | 0.02 | 0.00 |
| 6.66 | 2.00 | 0.00 | 6.67 | 0.02 | 0.00 | 6.68 | 2.00 | 0.00 | 6.66 | 0.02 | 0.00 |
| 6.70 | 2.00 | 0.00 | 6.65 | 0.02 | 0.00 | 6.72 | 2.00 | 0.00 | 6.64 | 0.02 | 0.00 |
| 6.74 | 2.00 | 0.00 | 6.63 | 0.02 | 0.00 | 6.76 | 2.00 | 0.00 | 6.62 | 0.02 | 0.00 |
| 6.78 | 2.00 | 0.00 | 6.61 | 0.02 | 0.00 | 6.80 | 2.00 | 0.00 | 6.60 | 0.02 | 0.00 |
| 6.82 | 2.00 | 0.00 | 6.59 | 0.02 | 0.00 | 6.84 | 2.00 | 0.00 | 6.58 | 0.02 | 0.00 |
| 6.86 | 2.00 | 0.00 | 6.57 | 0.02 | 0.00 | 6.88 | 2.00 | 0.00 | 6.56 | 0.02 | 0.00 |
| 6.90 | 2.00 | 0.00 | 6.55 | 0.02 | 0.00 | 6.92 | 2.00 | 0.00 | 6.54 | 0.02 | 0.00 |
| 6.94 | 2.00 | 0.00 | 6.53 | 0.02 | 0.00 | 6.96 | 2.00 | 0.00 | 6.52 | 0.02 | 0.00 |
| 6.98 | 2.00 | 0.00 | 6.51 | 0.02 | 0.00 | 7.00 | 2.00 | 0.00 | 6.50 | 0.02 | 0.00 |
| 7.02 | 2.00 | 0.00 | 6.49 | 0.02 | 0.00 | 7.04 | 2.00 | 0.00 | 6.48 | 0.02 | 0.00 |
| 7.06 | 0.52 | 0.48 | 6.47 | 0.02 | 0.06 | 7.08 | 0.58 | 0.42 | 6.46 | 0.02 | 0.05 |
| 7.10 | 0.57 | 0.43 | 6.45 | 0.02 | 0.06 | 7.12 | 0.53 | 0.47 | 6.44 | 0.02 | 0.06 |
| 7.14 | 2.00 | 0.00 | 6.43 | 0.02 | 0.00 | 7.16 | 2.00 | 0.00 | 6.42 | 0.02 | 0.00 |
| 7.18 | 2.00 | 0.00 | 6.41 | 0.02 | 0.00 | 7.20 | 2.00 | 0.00 | 6.40 | 0.02 | 0.00 |
| 7.22 | 2.00 | 0.00 | 6.39 | 0.02 | 0.00 | 7.24 | 2.00 | 0.00 | 6.38 | 0.02 | 0.00 |
| 7.26 | 2.00 | 0.00 | 6.37 | 0.02 | 0.00 | 7.28 | 2.00 | 0.00 | 6.36 | 0.02 | 0.00 |
| 7.30 | 2.00 | 0.00 | 6.35 | 0.02 | 0.00 | 7.32 | 2.00 | 0.00 | 6.34 | 0.02 | 0.00 |
| 7.34 | 2.00 | 0.00 | 6.33 | 0.02 | 0.00 | 7.36 | 2.00 | 0.00 | 6.32 | 0.02 | 0.00 |
| 7.38 | 2.00 | 0.00 | 6.31 | 0.02 | 0.00 | 7.40 | 2.00 | 0.00 | 6.30 | 0.02 | 0.00 |
| 7.42 | 2.00 | 0.00 | 6.29 | 0.02 | 0.00 | 7.44 | 2.00 | 0.00 | 6.28 | 0.02 | 0.00 |
| 7.46 | 2.00 | 0.00 | 6.27 | 0.02 | 0.00 | 7.48 | 2.00 | 0.00 | 6.26 | 0.02 | 0.00 |
| 7.50 | 2.00 | 0.00 | 6.25 | 0.02 | 0.00 | 7.52 | 2.00 | 0.00 | 6.24 | 0.02 | 0.00 |
| 7.54 | 2.00 | 0.00 | 6.23 | 0.02 | 0.00 | 7.56 | 2.00 | 0.00 | 6.22 | 0.02 | 0.00 |
| 7.58 | 2.00 | 0.00 | 6.21 | 0.02 | 0.00 | 7.60 | 2.00 | 0.00 | 6.20 | 0.02 | 0.00 |
| 7.62 | 2.00 | 0.00 | 6.19 | 0.02 | 0.00 | 7.64 | 2.00 | 0.00 | 6.18 | 0.02 | 0.00 |
| 7.66 | 2.00 | 0.00 | 6.17 | 0.02 | 0.00 | 7.68 | 2.00 | 0.00 | 6.16 | 0.02 | 0.00 |

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| 7.70 | 2.00 | 0.00 | 6.15 | 0.02 | 0.00 | 7.72 | 2.00 | 0.00 | 6.14 | 0.02 | 0.00 |
| 7.74 | 2.00 | 0.00 | 6.13 | 0.02 | 0.00 | 7.76 | 2.00 | 0.00 | 6.12 | 0.02 | 0.00 |
| 7.78 | 2.00 | 0.00 | 6.11 | 0.02 | 0.00 | 7.80 | 2.00 | 0.00 | 6.10 | 0.02 | 0.00 |
| 7.82 | 2.00 | 0.00 | 6.09 | 0.02 | 0.00 | 7.84 | 2.00 | 0.00 | 6.08 | 0.02 | 0.00 |
| 7.86 | 2.00 | 0.00 | 6.07 | 0.02 | 0.00 | 7.88 | 2.00 | 0.00 | 6.06 | 0.02 | 0.00 |
| 7.90 | 2.00 | 0.00 | 6.05 | 0.02 | 0.00 | 7.92 | 2.00 | 0.00 | 6.04 | 0.02 | 0.00 |
| 7.94 | 2.00 | 0.00 | 6.03 | 0.02 | 0.00 | 7.96 | 2.00 | 0.00 | 6.02 | 0.02 | 0.00 |
| 7.98 | 2.00 | 0.00 | 6.01 | 0.02 | 0.00 | 8.00 | 2.00 | 0.00 | 6.00 | 0.02 | 0.00 |
| 8.02 | 2.00 | 0.00 | 5.99 | 0.02 | 0.00 | 8.04 | 2.00 | 0.00 | 5.98 | 0.02 | 0.00 |
| 8.06 | 2.00 | 0.00 | 5.97 | 0.02 | 0.00 | 8.08 | 2.00 | 0.00 | 5.96 | 0.02 | 0.00 |
| 8.10 | 2.00 | 0.00 | 5.95 | 0.02 | 0.00 | 8.12 | 2.00 | 0.00 | 5.94 | 0.02 | 0.00 |
| 8.14 | 2.00 | 0.00 | 5.93 | 0.02 | 0.00 | 8.16 | 2.00 | 0.00 | 5.92 | 0.02 | 0.00 |
| 8.18 | 2.00 | 0.00 | 5.91 | 0.02 | 0.00 | 8.20 | 2.00 | 0.00 | 5.90 | 0.02 | 0.00 |
| 8.22 | 2.00 | 0.00 | 5.89 | 0.02 | 0.00 | 8.24 | 2.00 | 0.00 | 5.88 | 0.02 | 0.00 |
| 8.26 | 2.00 | 0.00 | 5.87 | 0.02 | 0.00 | 8.28 | 2.00 | 0.00 | 5.86 | 0.02 | 0.00 |
| 8.30 | 2.00 | 0.00 | 5.85 | 0.02 | 0.00 | 8.32 | 2.00 | 0.00 | 5.84 | 0.02 | 0.00 |
| 8.34 | 2.00 | 0.00 | 5.83 | 0.02 | 0.00 | 8.36 | 2.00 | 0.00 | 5.82 | 0.02 | 0.00 |
| 8.38 | 2.00 | 0.00 | 5.81 | 0.02 | 0.00 | 8.40 | 2.00 | 0.00 | 5.80 | 0.02 | 0.00 |
| 8.42 | 2.00 | 0.00 | 5.79 | 0.02 | 0.00 | 8.44 | 2.00 | 0.00 | 5.78 | 0.02 | 0.00 |
| 8.46 | 2.00 | 0.00 | 5.77 | 0.02 | 0.00 | 8.48 | 2.00 | 0.00 | 5.76 | 0.02 | 0.00 |
| 8.50 | 2.00 | 0.00 | 5.75 | 0.02 | 0.00 | 8.52 | 2.00 | 0.00 | 5.74 | 0.02 | 0.00 |
| 8.54 | 2.00 | 0.00 | 5.73 | 0.02 | 0.00 | 8.56 | 2.00 | 0.00 | 5.72 | 0.02 | 0.00 |
| 8.58 | 2.00 | 0.00 | 5.71 | 0.02 | 0.00 | 8.60 | 2.00 | 0.00 | 5.70 | 0.02 | 0.00 |
| 8.62 | 2.00 | 0.00 | 5.69 | 0.02 | 0.00 | 8.64 | 2.00 | 0.00 | 5.68 | 0.02 | 0.00 |
| 8.66 | 2.00 | 0.00 | 5.67 | 0.02 | 0.00 | 8.68 | 2.00 | 0.00 | 5.66 | 0.02 | 0.00 |
| 8.70 | 2.00 | 0.00 | 5.65 | 0.02 | 0.00 | 8.72 | 2.00 | 0.00 | 5.64 | 0.02 | 0.00 |
| 8.74 | 2.00 | 0.00 | 5.63 | 0.02 | 0.00 | 8.76 | 2.00 | 0.00 | 5.62 | 0.02 | 0.00 |
| 8.78 | 2.00 | 0.00 | 5.61 | 0.02 | 0.00 | 8.80 | 2.00 | 0.00 | 5.60 | 0.02 | 0.00 |
| 8.82 | 2.00 | 0.00 | 5.59 | 0.02 | 0.00 | 8.84 | 2.00 | 0.00 | 5.58 | 0.02 | 0.00 |
| 8.86 | 2.00 | 0.00 | 5.57 | 0.02 | 0.00 | 8.88 | 2.00 | 0.00 | 5.56 | 0.02 | 0.00 |
| 8.90 | 2.00 | 0.00 | 5.55 | 0.02 | 0.00 | 8.92 | 2.00 | 0.00 | 5.54 | 0.02 | 0.00 |
| 8.94 | 2.00 | 0.00 | 5.53 | 0.02 | 0.00 | 8.96 | 2.00 | 0.00 | 5.52 | 0.02 | 0.00 |
| 8.98 | 2.00 | 0.00 | 5.51 | 0.02 | 0.00 | 9.00 | 2.00 | 0.00 | 5.50 | 0.02 | 0.00 |
| 9.02 | 2.00 | 0.00 | 5.49 | 0.02 | 0.00 | 9.04 | 2.00 | 0.00 | 5.48 | 0.02 | 0.00 |
| 9.06 | 2.00 | 0.00 | 5.47 | 0.02 | 0.00 | 9.08 | 2.00 | 0.00 | 5.46 | 0.02 | 0.00 |
| 9.10 | 2.00 | 0.00 | 5.45 | 0.02 | 0.00 | 9.12 | 2.00 | 0.00 | 5.44 | 0.02 | 0.00 |
| 9.14 | 2.00 | 0.00 | 5.43 | 0.02 | 0.00 | 9.16 | 2.00 | 0.00 | 5.42 | 0.02 | 0.00 |
| 9.18 | 2.00 | 0.00 | 5.41 | 0.02 | 0.00 | 9.20 | 2.00 | 0.00 | 5.40 | 0.02 | 0.00 |
| 9.22 | 2.00 | 0.00 | 5.39 | 0.02 | 0.00 | 9.24 | 2.00 | 0.00 | 5.38 | 0.02 | 0.00 |
| 9.26 | 2.00 | 0.00 | 5.37 | 0.02 | 0.00 | 9.28 | 2.00 | 0.00 | 5.36 | 0.02 | 0.00 |
| 9.30 | 2.00 | 0.00 | 5.35 | 0.02 | 0.00 | 9.32 | 2.00 | 0.00 | 5.34 | 0.02 | 0.00 |
| 9.34 | 2.00 | 0.00 | 5.33 | 0.02 | 0.00 | 9.36 | 2.00 | 0.00 | 5.32 | 0.02 | 0.00 |
| 9.38 | 2.00 | 0.00 | 5.31 | 0.02 | 0.00 | 9.40 | 2.00 | 0.00 | 5.30 | 0.02 | 0.00 |
| 9.42 | 2.00 | 0.00 | 5.29 | 0.02 | 0.00 | 9.44 | 2.00 | 0.00 | 5.28 | 0.02 | 0.00 |
| 9.46 | 2.00 | 0.00 | 5.27 | 0.02 | 0.00 | 9.48 | 2.00 | 0.00 | 5.26 | 0.02 | 0.00 |
| 9.50 | 2.00 | 0.00 | 5.25 | 0.02 | 0.00 | 9.52 | 2.00 | 0.00 | 5.24 | 0.02 | 0.00 |
| 9.54 | 2.00 | 0.00 | 5.23 | 0.02 | 0.00 | 9.56 | 2.00 | 0.00 | 5.22 | 0.02 | 0.00 |
| 9.58 | 2.00 | 0.00 | 5.21 | 0.02 | 0.00 | 9.60 | 2.00 | 0.00 | 5.20 | 0.02 | 0.00 |

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| 9.62 | 2.00 | 0.00 | 5.19 | 0.02 | 0.00 | 9.64 | 1.96 | 0.00 | 5.18 | 0.02 | 0.00 |
| 9.66 | 1.93 | 0.00 | 5.17 | 0.02 | 0.00 | 9.68 | 1.92 | 0.00 | 5.16 | 0.02 | 0.00 |
| 9.70 | 1.94 | 0.00 | 5.15 | 0.02 | 0.00 | 9.72 | 1.96 | 0.00 | 5.14 | 0.02 | 0.00 |
| 9.74 | 1.97 | 0.00 | 5.13 | 0.02 | 0.00 | 9.76 | 1.96 | 0.00 | 5.12 | 0.02 | 0.00 |
| 9.78 | 1.95 | 0.00 | 5.11 | 0.02 | 0.00 | 9.80 | 1.91 | 0.00 | 5.10 | 0.02 | 0.00 |
| 9.82 | 1.87 | 0.00 | 5.09 | 0.02 | 0.00 | 9.84 | 1.83 | 0.00 | 5.08 | 0.02 | 0.00 |
| 9.86 | 1.82 | 0.00 | 5.07 | 0.02 | 0.00 | 9.88 | 1.81 | 0.00 | 5.06 | 0.02 | 0.00 |
| 9.90 | 1.82 | 0.00 | 5.05 | 0.02 | 0.00 | 9.92 | 1.85 | 0.00 | 5.04 | 0.02 | 0.00 |
| 9.94 | 1.87 | 0.00 | 5.03 | 0.02 | 0.00 | 9.96 | 1.89 | 0.00 | 5.02 | 0.02 | 0.00 |
| 9.98 | 1.89 | 0.00 | 5.01 | 0.02 | 0.00 | 10.00 | 1.89 | 0.00 | 5.00 | 0.02 | 0.00 |
| 10.02 | 1.94 | 0.00 | 4.99 | 0.02 | 0.00 | 10.04 | 2.00 | 0.00 | 4.98 | 0.02 | 0.00 |
| 10.06 | 2.00 | 0.00 | 4.97 | 0.02 | 0.00 | 10.08 | 2.00 | 0.00 | 4.96 | 0.02 | 0.00 |
| 10.10 | 2.00 | 0.00 | 4.95 | 0.02 | 0.00 | 10.12 | 2.00 | 0.00 | 4.94 | 0.02 | 0.00 |
| 10.14 | 2.00 | 0.00 | 4.93 | 0.02 | 0.00 | 10.16 | 2.00 | 0.00 | 4.92 | 0.02 | 0.00 |
| 10.18 | 2.00 | 0.00 | 4.91 | 0.02 | 0.00 | 10.20 | 2.00 | 0.00 | 4.90 | 0.02 | 0.00 |
| 10.22 | 2.00 | 0.00 | 4.89 | 0.02 | 0.00 | 10.24 | 2.00 | 0.00 | 4.88 | 0.02 | 0.00 |
| 10.26 | 2.00 | 0.00 | 4.87 | 0.02 | 0.00 | 10.28 | 2.00 | 0.00 | 4.86 | 0.02 | 0.00 |
| 10.30 | 2.00 | 0.00 | 4.85 | 0.02 | 0.00 | 10.32 | 2.00 | 0.00 | 4.84 | 0.02 | 0.00 |
| 10.34 | 2.00 | 0.00 | 4.83 | 0.02 | 0.00 | 10.36 | 2.00 | 0.00 | 4.82 | 0.02 | 0.00 |
| 10.38 | 2.00 | 0.00 | 4.81 | 0.02 | 0.00 | 10.40 | 2.00 | 0.00 | 4.80 | 0.02 | 0.00 |
| 10.42 | 2.00 | 0.00 | 4.79 | 0.02 | 0.00 | 10.44 | 2.00 | 0.00 | 4.78 | 0.02 | 0.00 |
| 10.46 | 2.00 | 0.00 | 4.77 | 0.02 | 0.00 | 10.48 | 2.00 | 0.00 | 4.76 | 0.02 | 0.00 |
| 10.50 | 2.00 | 0.00 | 4.75 | 0.02 | 0.00 | 10.52 | 2.00 | 0.00 | 4.74 | 0.02 | 0.00 |
| 10.54 | 2.00 | 0.00 | 4.73 | 0.02 | 0.00 | 10.56 | 2.00 | 0.00 | 4.72 | 0.02 | 0.00 |
| 10.58 | 2.00 | 0.00 | 4.71 | 0.02 | 0.00 | 10.60 | 2.00 | 0.00 | 4.70 | 0.02 | 0.00 |
| 10.62 | 2.00 | 0.00 | 4.69 | 0.02 | 0.00 | 10.64 | 2.00 | 0.00 | 4.68 | 0.02 | 0.00 |
| 10.66 | 2.00 | 0.00 | 4.67 | 0.02 | 0.00 | 10.68 | 2.00 | 0.00 | 4.66 | 0.02 | 0.00 |
| 10.70 | 2.00 | 0.00 | 4.65 | 0.02 | 0.00 | 10.72 | 2.00 | 0.00 | 4.64 | 0.02 | 0.00 |
| 10.74 | 2.00 | 0.00 | 4.63 | 0.02 | 0.00 | 10.76 | 2.00 | 0.00 | 4.62 | 0.02 | 0.00 |
| 10.78 | 2.00 | 0.00 | 4.61 | 0.02 | 0.00 | 10.80 | 2.00 | 0.00 | 4.60 | 0.02 | 0.00 |
| 10.82 | 2.00 | 0.00 | 4.59 | 0.02 | 0.00 | 10.84 | 2.00 | 0.00 | 4.58 | 0.02 | 0.00 |
| 10.86 | 2.00 | 0.00 | 4.57 | 0.02 | 0.00 | 10.88 | 2.00 | 0.00 | 4.56 | 0.02 | 0.00 |
| 10.90 | 2.00 | 0.00 | 4.55 | 0.02 | 0.00 | 10.92 | 2.00 | 0.00 | 4.54 | 0.02 | 0.00 |
| 10.94 | 2.00 | 0.00 | 4.53 | 0.02 | 0.00 | 10.96 | 2.00 | 0.00 | 4.52 | 0.02 | 0.00 |
| 10.98 | 2.00 | 0.00 | 4.51 | 0.02 | 0.00 | 11.00 | 2.00 | 0.00 | 4.50 | 0.02 | 0.00 |
| 11.02 | 2.00 | 0.00 | 4.49 | 0.02 | 0.00 | 11.04 | 2.00 | 0.00 | 4.48 | 0.02 | 0.00 |
| 11.06 | 2.00 | 0.00 | 4.47 | 0.02 | 0.00 | 11.08 | 2.00 | 0.00 | 4.46 | 0.02 | 0.00 |
| 11.10 | 2.00 | 0.00 | 4.45 | 0.02 | 0.00 | 11.12 | 2.00 | 0.00 | 4.44 | 0.02 | 0.00 |
| 11.14 | 2.00 | 0.00 | 4.43 | 0.02 | 0.00 | 11.16 | 2.00 | 0.00 | 4.42 | 0.02 | 0.00 |
| 11.18 | 2.00 | 0.00 | 4.41 | 0.02 | 0.00 | 11.20 | 2.00 | 0.00 | 4.40 | 0.02 | 0.00 |
| 11.22 | 2.00 | 0.00 | 4.39 | 0.02 | 0.00 | 11.24 | 2.00 | 0.00 | 4.38 | 0.02 | 0.00 |
| 11.26 | 2.00 | 0.00 | 4.37 | 0.02 | 0.00 | 11.28 | 2.00 | 0.00 | 4.36 | 0.02 | 0.00 |
| 11.30 | 2.00 | 0.00 | 4.35 | 0.02 | 0.00 | 11.32 | 2.00 | 0.00 | 4.34 | 0.02 | 0.00 |
| 11.34 | 2.00 | 0.00 | 4.33 | 0.02 | 0.00 | 11.36 | 2.00 | 0.00 | 4.32 | 0.02 | 0.00 |
| 11.38 | 2.00 | 0.00 | 4.31 | 0.02 | 0.00 | 11.40 | 2.00 | 0.00 | 4.30 | 0.02 | 0.00 |
| 11.42 | 2.00 | 0.00 | 4.29 | 0.02 | 0.00 | 11.44 | 2.00 | 0.00 | 4.28 | 0.02 | 0.00 |
| 11.46 | 2.00 | 0.00 | 4.27 | 0.02 | 0.00 | 11.48 | 2.00 | 0.00 | 4.26 | 0.02 | 0.00 |
| 11.50 | 2.00 | 0.00 | 4.25 | 0.02 | 0.00 | 11.52 | 2.00 | 0.00 | 4.24 | 0.02 | 0.00 |

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| 11.54 | 2.00 | 0.00 | 4.23 | 0.02 | 0.00 | 11.56 | 2.00 | 0.00 | 4.22 | 0.02 | 0.00 |
| 11.58 | 2.00 | 0.00 | 4.21 | 0.02 | 0.00 | 11.60 | 2.00 | 0.00 | 4.20 | 0.02 | 0.00 |
| 11.62 | 2.00 | 0.00 | 4.19 | 0.02 | 0.00 | 11.64 | 2.00 | 0.00 | 4.18 | 0.02 | 0.00 |
| 11.66 | 2.00 | 0.00 | 4.17 | 0.02 | 0.00 | 11.68 | 2.00 | 0.00 | 4.16 | 0.02 | 0.00 |
| 11.70 | 2.00 | 0.00 | 4.15 | 0.02 | 0.00 | 11.72 | 2.00 | 0.00 | 4.14 | 0.02 | 0.00 |
| 11.74 | 2.00 | 0.00 | 4.13 | 0.02 | 0.00 | 11.76 | 2.00 | 0.00 | 4.12 | 0.02 | 0.00 |
| 11.78 | 2.00 | 0.00 | 4.11 | 0.02 | 0.00 | 11.80 | 2.00 | 0.00 | 4.10 | 0.02 | 0.00 |
| 11.82 | 2.00 | 0.00 | 4.09 | 0.02 | 0.00 | 11.84 | 2.00 | 0.00 | 4.08 | 0.02 | 0.00 |
| 11.86 | 2.00 | 0.00 | 4.07 | 0.02 | 0.00 | 11.88 | 2.00 | 0.00 | 4.06 | 0.02 | 0.00 |
| 11.90 | 2.00 | 0.00 | 4.05 | 0.02 | 0.00 | 11.92 | 2.00 | 0.00 | 4.04 | 0.02 | 0.00 |
| 11.94 | 2.00 | 0.00 | 4.03 | 0.02 | 0.00 | 11.96 | 2.00 | 0.00 | 4.02 | 0.02 | 0.00 |
| 11.98 | 2.00 | 0.00 | 4.01 | 0.02 | 0.00 | 12.00 | 2.00 | 0.00 | 4.00 | 0.02 | 0.00 |
| 12.02 | 2.00 | 0.00 | 3.99 | 0.02 | 0.00 | 12.04 | 2.00 | 0.00 | 3.98 | 0.02 | 0.00 |
| 12.06 | 2.00 | 0.00 | 3.97 | 0.02 | 0.00 | 12.08 | 2.00 | 0.00 | 3.96 | 0.02 | 0.00 |
| 12.10 | 2.00 | 0.00 | 3.95 | 0.02 | 0.00 | 12.12 | 2.00 | 0.00 | 3.94 | 0.02 | 0.00 |
| 12.14 | 2.00 | 0.00 | 3.93 | 0.02 | 0.00 | 12.16 | 2.00 | 0.00 | 3.92 | 0.02 | 0.00 |
| 12.18 | 0.55 | 0.45 | 3.91 | 0.02 | 0.03 | 12.20 | 0.63 | 0.37 | 3.90 | 0.02 | 0.03 |
| 12.22 | 0.74 | 0.26 | 3.89 | 0.02 | 0.02 | 12.24 | 0.79 | 0.21 | 3.88 | 0.02 | 0.02 |
| 12.26 | 0.81 | 0.19 | 3.87 | 0.02 | 0.01 | 12.28 | 0.80 | 0.20 | 3.86 | 0.02 | 0.02 |
| 12.30 | 0.82 | 0.18 | 3.85 | 0.02 | 0.01 | 12.32 | 0.97 | 0.03 | 3.84 | 0.02 | 0.00 |
| 12.34 | 1.13 | 0.00 | 3.83 | 0.02 | 0.00 | 12.36 | 1.17 | 0.00 | 3.82 | 0.02 | 0.00 |
| 12.38 | 1.14 | 0.00 | 3.81 | 0.02 | 0.00 | 12.40 | 1.07 | 0.00 | 3.80 | 0.02 | 0.00 |
| 12.42 | 0.97 | 0.03 | 3.79 | 0.02 | 0.00 | 12.44 | 0.96 | 0.04 | 3.78 | 0.02 | 0.00 |
| 12.46 | 1.00 | 0.00 | 3.77 | 0.02 | 0.00 | 12.48 | 1.02 | 0.00 | 3.76 | 0.02 | 0.00 |
| 12.50 | 1.07 | 0.00 | 3.75 | 0.02 | 0.00 | 12.52 | 1.11 | 0.00 | 3.74 | 0.02 | 0.00 |
| 12.54 | 1.09 | 0.00 | 3.73 | 0.02 | 0.00 | 12.56 | 1.12 | 0.00 | 3.72 | 0.02 | 0.00 |
| 12.58 | 1.17 | 0.00 | 3.71 | 0.02 | 0.00 | 12.60 | 1.21 | 0.00 | 3.70 | 0.02 | 0.00 |
| 12.62 | 1.28 | 0.00 | 3.69 | 0.02 | 0.00 | 12.64 | 1.34 | 0.00 | 3.68 | 0.02 | 0.00 |
| 12.66 | 1.33 | 0.00 | 3.67 | 0.02 | 0.00 | 12.68 | 1.29 | 0.00 | 3.66 | 0.02 | 0.00 |
| 12.70 | 1.21 | 0.00 | 3.65 | 0.02 | 0.00 | 12.72 | 1.13 | 0.00 | 3.64 | 0.02 | 0.00 |
| 12.74 | 1.09 | 0.00 | 3.63 | 0.02 | 0.00 | 12.76 | 1.07 | 0.00 | 3.62 | 0.02 | 0.00 |
| 12.78 | 1.07 | 0.00 | 3.61 | 0.02 | 0.00 | 12.80 | 1.09 | 0.00 | 3.60 | 0.02 | 0.00 |
| 12.82 | 1.12 | 0.00 | 3.59 | 0.02 | 0.00 | 12.84 | 1.19 | 0.00 | 3.58 | 0.02 | 0.00 |
| 12.86 | 1.27 | 0.00 | 3.57 | 0.02 | 0.00 | 12.88 | 1.32 | 0.00 | 3.56 | 0.02 | 0.00 |
| 12.90 | 1.32 | 0.00 | 3.55 | 0.02 | 0.00 | 12.92 | 1.23 | 0.00 | 3.54 | 0.02 | 0.00 |
| 12.94 | 1.14 | 0.00 | 3.53 | 0.02 | 0.00 | 12.96 | 1.06 | 0.00 | 3.52 | 0.02 | 0.00 |
| 12.98 | 1.03 | 0.00 | 3.51 | 0.02 | 0.00 | 13.00 | 1.05 | 0.00 | 3.50 | 0.02 | 0.00 |
| 13.02 | 1.10 | 0.00 | 3.49 | 0.02 | 0.00 | 13.04 | 1.25 | 0.00 | 3.48 | 0.02 | 0.00 |
| 13.06 | 1.35 | 0.00 | 3.47 | 0.02 | 0.00 | 13.08 | 1.52 | 0.00 | 3.46 | 0.02 | 0.00 |
| 13.10 | 1.70 | 0.00 | 3.45 | 0.02 | 0.00 | 13.12 | 1.84 | 0.00 | 3.44 | 0.02 | 0.00 |
| 13.14 | 1.86 | 0.00 | 3.43 | 0.02 | 0.00 | 13.16 | 1.74 | 0.00 | 3.42 | 0.02 | 0.00 |
| 13.18 | 1.48 | 0.00 | 3.41 | 0.02 | 0.00 | 13.20 | 1.26 | 0.00 | 3.40 | 0.02 | 0.00 |
| 13.22 | 1.14 | 0.00 | 3.39 | 0.02 | 0.00 | 13.24 | 1.11 | 0.00 | 3.38 | 0.02 | 0.00 |
| 13.26 | 1.10 | 0.00 | 3.37 | 0.02 | 0.00 | 13.28 | 1.11 | 0.00 | 3.36 | 0.02 | 0.00 |
| 13.30 | 1.10 | 0.00 | 3.35 | 0.02 | 0.00 | 13.32 | 1.08 | 0.00 | 3.34 | 0.02 | 0.00 |
| 13.34 | 1.04 | 0.00 | 3.33 | 0.02 | 0.00 | 13.36 | 0.98 | 0.02 | 3.32 | 0.02 | 0.00 |
| 13.38 | 0.98 | 0.02 | 3.31 | 0.02 | 0.00 | 13.40 | 0.98 | 0.02 | 3.30 | 0.02 | 0.00 |
| 13.42 | 0.99 | 0.01 | 3.29 | 0.02 | 0.00 | 13.44 | 1.00 | 0.00 | 3.28 | 0.02 | 0.00 |

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| 13.46 | 1.12 | 0.00 | 3.27 | 0.02 | 0.00 | 13.48 | 1.23 | 0.00 | 3.26 | 0.02 | 0.00 |
| 13.50 | 1.28 | 0.00 | 3.25 | 0.02 | 0.00 | 13.52 | 1.30 | 0.00 | 3.24 | 0.02 | 0.00 |
| 13.54 | 1.30 | 0.00 | 3.23 | 0.02 | 0.00 | 13.56 | 1.29 | 0.00 | 3.22 | 0.02 | 0.00 |
| 13.58 | 1.29 | 0.00 | 3.21 | 0.02 | 0.00 | 13.60 | 1.40 | 0.00 | 3.20 | 0.02 | 0.00 |
| 13.62 | 1.49 | 0.00 | 3.19 | 0.02 | 0.00 | 13.64 | 1.50 | 0.00 | 3.18 | 0.02 | 0.00 |
| 13.66 | 1.44 | 0.00 | 3.17 | 0.02 | 0.00 | 13.68 | 1.38 | 0.00 | 3.16 | 0.02 | 0.00 |
| 13.70 | 1.37 | 0.00 | 3.15 | 0.02 | 0.00 | 13.72 | 1.37 | 0.00 | 3.14 | 0.02 | 0.00 |
| 13.74 | 1.36 | 0.00 | 3.13 | 0.02 | 0.00 | 13.76 | 1.37 | 0.00 | 3.12 | 0.02 | 0.00 |
| 13.78 | 1.37 | 0.00 | 3.11 | 0.02 | 0.00 | 13.80 | 1.40 | 0.00 | 3.10 | 0.02 | 0.00 |
| 13.82 | 1.38 | 0.00 | 3.09 | 0.02 | 0.00 | 13.84 | 1.30 | 0.00 | 3.08 | 0.02 | 0.00 |
| 13.86 | 1.24 | 0.00 | 3.07 | 0.02 | 0.00 | 13.88 | 1.23 | 0.00 | 3.06 | 0.02 | 0.00 |
| 13.90 | 1.26 | 0.00 | 3.05 | 0.02 | 0.00 | 13.92 | 1.25 | 0.00 | 3.04 | 0.02 | 0.00 |
| 13.94 | 1.23 | 0.00 | 3.03 | 0.02 | 0.00 | 13.96 | 1.25 | 0.00 | 3.02 | 0.02 | 0.00 |
| 13.98 | 1.30 | 0.00 | 3.01 | 0.02 | 0.00 | 14.00 | 1.37 | 0.00 | 3.00 | 0.02 | 0.00 |
| 14.02 | 1.44 | 0.00 | 2.99 | 0.02 | 0.00 | 14.04 | 1.55 | 0.00 | 2.98 | 0.02 | 0.00 |
| 14.06 | 1.66 | 0.00 | 2.97 | 0.02 | 0.00 | 14.08 | 1.72 | 0.00 | 2.96 | 0.02 | 0.00 |
| 14.10 | 1.79 | 0.00 | 2.95 | 0.02 | 0.00 | 14.12 | 1.88 | 0.00 | 2.94 | 0.02 | 0.00 |
| 14.14 | 1.91 | 0.00 | 2.93 | 0.02 | 0.00 | 14.16 | 1.96 | 0.00 | 2.92 | 0.02 | 0.00 |
| 14.18 | 2.00 | 0.00 | 2.91 | 0.02 | 0.00 | 14.20 | 2.00 | 0.00 | 2.90 | 0.02 | 0.00 |
| 14.22 | 2.00 | 0.00 | 2.89 | 0.02 | 0.00 | 14.24 | 2.00 | 0.00 | 2.88 | 0.02 | 0.00 |
| 14.26 | 2.00 | 0.00 | 2.87 | 0.02 | 0.00 | 14.28 | 2.00 | 0.00 | 2.86 | 0.02 | 0.00 |
| 14.30 | 2.00 | 0.00 | 2.85 | 0.02 | 0.00 | 14.28 | 2.00 | 0.00 | 2.86 | 0.02 | 0.00 |
| 14.30 | 2.00 | 0.00 | 2.85 | 0.02 | 0.00 | 14.34 | 2.00 | 0.00 | 2.83 | 0.04 | 0.00 |

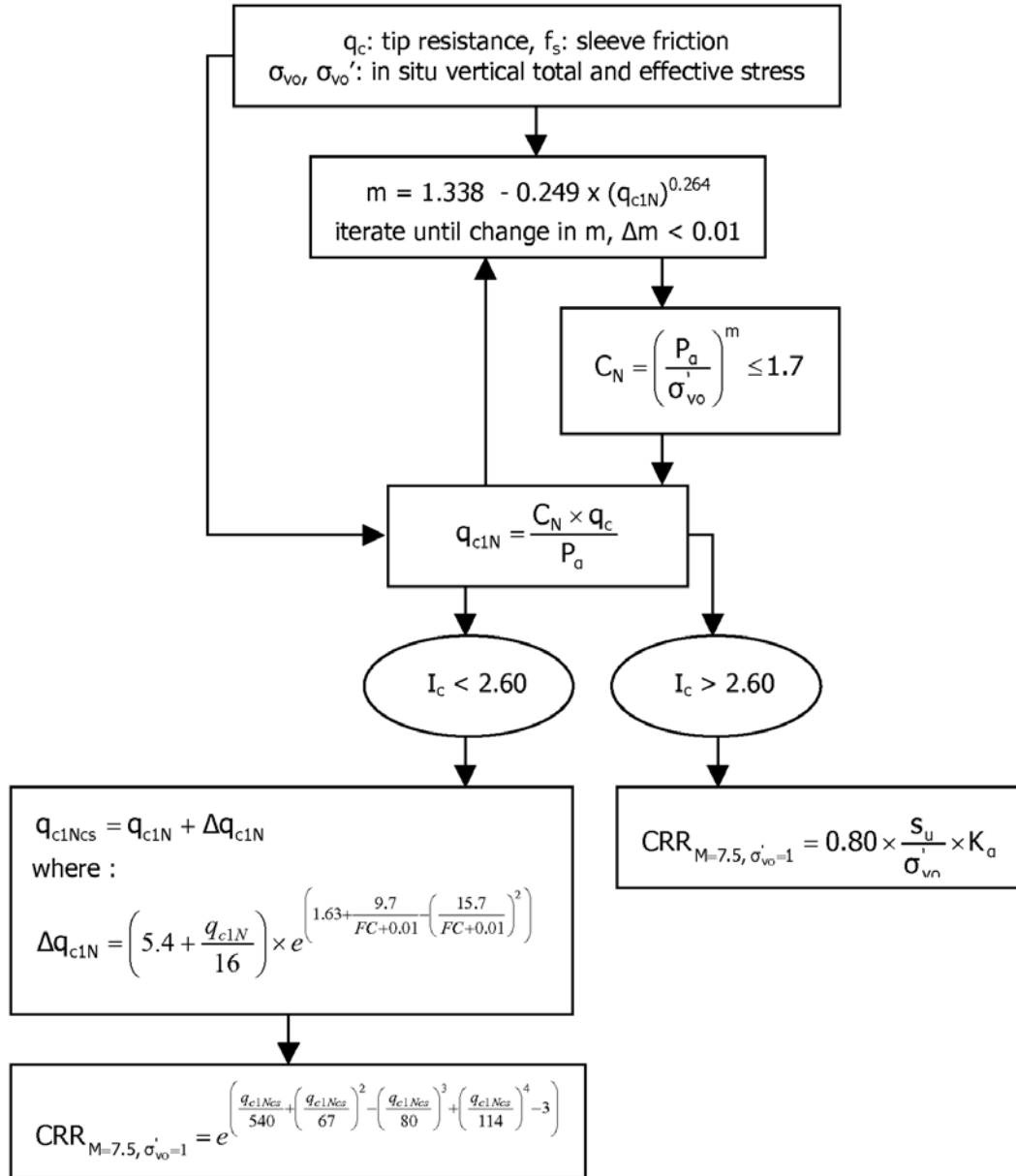
Overall liquefaction potential: 0.39

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

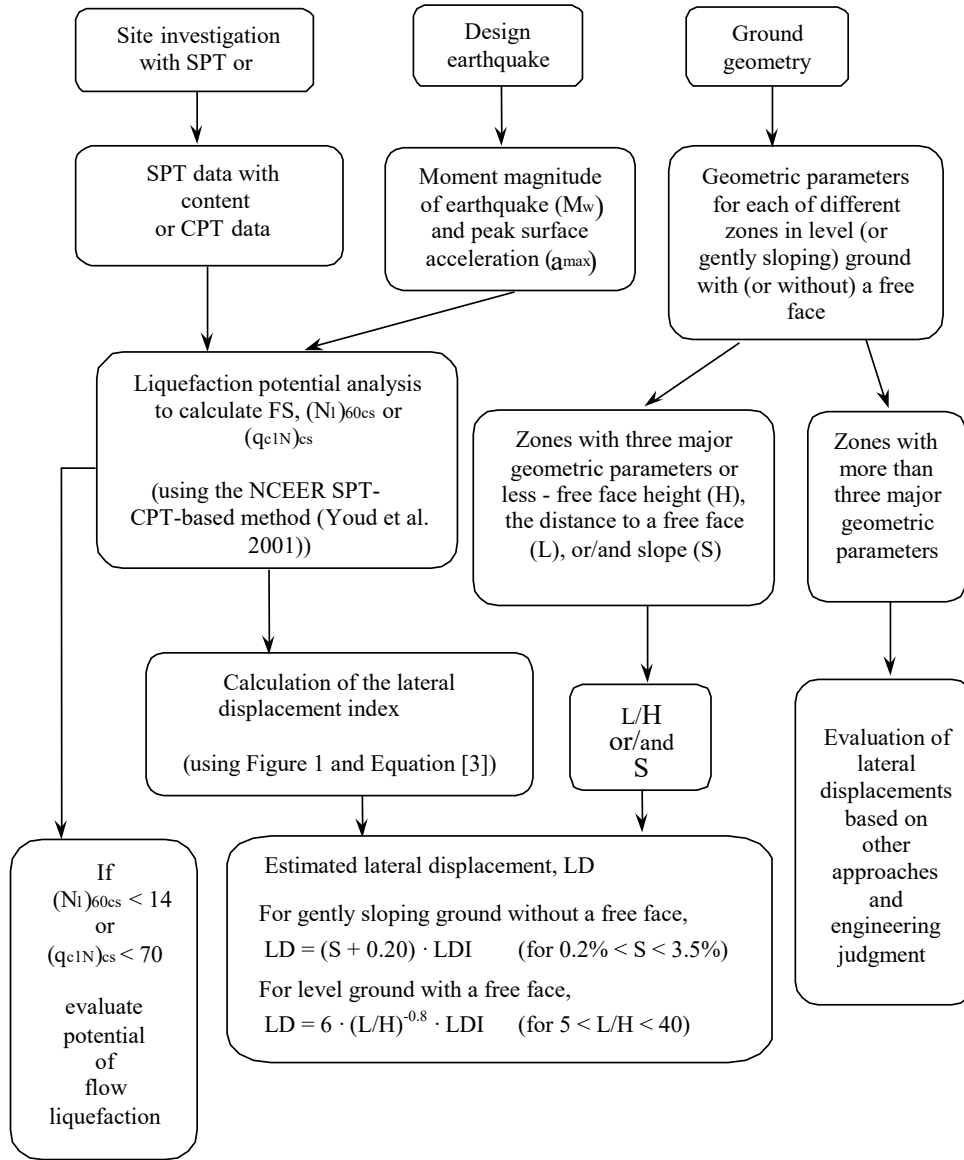
Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
 F_L: 1 - FS
 w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
 d_z: Layer thickness (m)
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

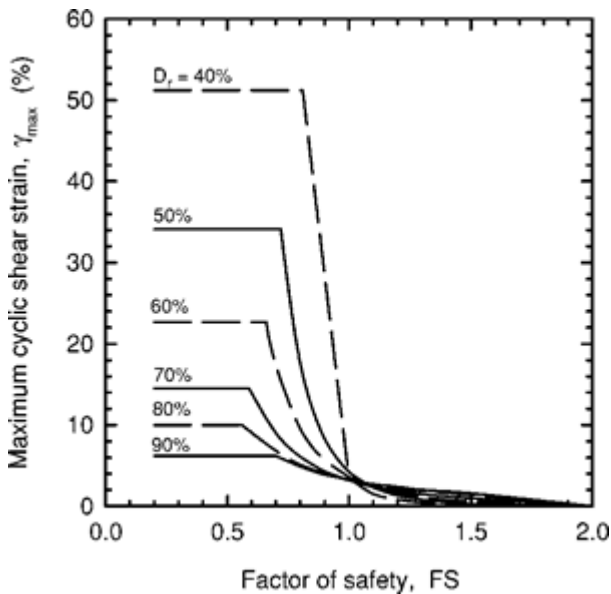
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Idriss & Boulanger (2008)



Procedure for the evaluation of liquefaction-induced lateral spreading displacements



¹ Flow chart illustrating major steps in estimating liquefaction-induced lateral spreading displacements using the proposed approach



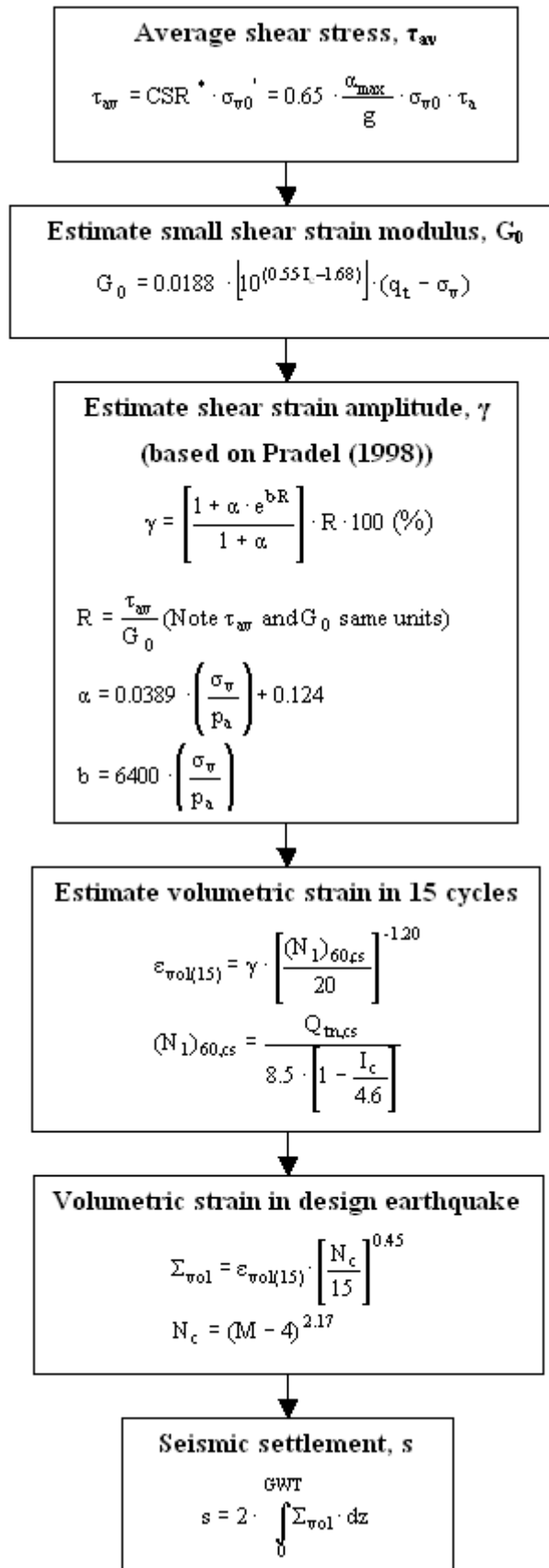
¹ Figure 1

$$LDI = \int_0^{Z_{max}} \gamma_{max} dz$$

¹ Equation [3]

¹ "Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground", G. Zhang, P.K. Robertson, and R.W.I. Brachman

Procedure for the estimation of seismic induced settlements in dry sands



Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, Symposium in honor of professor I. M. Idriss, San Diego, CA

Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

Calculation of the Liquefaction Potential Index (LPI) is used to interpret the liquefaction assessment calculations in terms of severity over depth. The calculation procedure is based on the methodology developed by Iwasaki (1982) and is adopted by AFPS.

To estimate the severity of liquefaction extent at a given site, LPI is calculated based on the following equation:

$$\mathbf{LPI} = \int_0^{20} (10 - 0,5_z) \times F_L \times d_z$$

where:

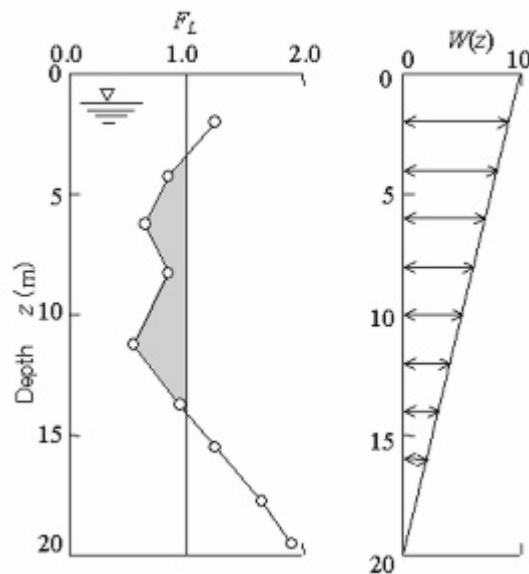
$F_L = 1 - F.S.$ when F.S. less than 1

$F_L = 0$ when F.S. greater than 1

z depth of measurement in meters

Values of LPI range between zero (0) when no test point is characterized as liquefiable and 100 when all points are characterized as susceptible to liquefaction. Iwasaki proposed four (4) discrete categories based on the numeric value of LPI:

- $LPI = 0$: Liquefaction risk is very low
- $0 < LPI \leq 5$: Liquefaction risk is low
- $5 < LPI \leq 15$: Liquefaction risk is high
- $LPI > 15$: Liquefaction risk is very high



Graphical presentation of the LPI calculation procedure

References

- Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M 1997. Cone penetration testing in geotechnical practice, E & FN Spon Routledge, 352 p, ISBN 0-7514-0393-8.
- Boulanger, R.W. and Idriss, I. M., 2007. Evaluation of Cyclic Softening in Silts and Clays. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering June, Vol. 133, No. 6 pp 641-652
- Robertson, P.K. and Cabal, K.L., 2007, Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Available at no cost at <http://www.geologismiki.gr/>
- Robertson, P.K. 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27 (1), 151-8.
- Robertson, P.K. and Wride, C.E., 1998. Cyclic Liquefaction and its Evaluation based on the CPT Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35, August.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833
- Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2002, Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180
- Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2004, Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, 861-871
- Pradel, D., 1998, Procedure to Evaluate Earthquake-Induced Settlements in Dry Sandy Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 4, 364-368
- Iwasaki, T., 1986, Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 1, 2-70
- P.K. Robertson, 2009, Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, No. 11, pp 1337-1355
- P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009
- Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, *Symposium in honor of professor I. M. Idriss*, SAN diego, CA
- R. E. S. Moss, R. B. Seed, R. E. Kayen, J. P. Stewart, A. Der Kiureghian, K. O. Cetin, CPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of In Situ Seismic Soil Liquefaction Potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 8, August 1, 2006