

COMUNE DI S. GIORGIO DI PIANO

(Città metropolitana di Bologna)

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO relativo al primo POC "Sub Ambito 4.1"

N° PROT. U.T.:

Proprietà:

GIABER S.r.l.
Via Nazionale, 134
40051 Malalbergo fraz. Altedo (Bo)
cod. fisc. e P.I. 02641631201

Progettazione Generale e Coordinamento:

ARCH. VITTORIO BONVICINI
Via San Mamolo, 155 - 40136 Bologna
studiovittorio.bonvicini@gmail.com

Progettazione reti tecnologiche:

ING. CARLO BAIETTI
Via Mercadante, 4 - 40141 Bologna
c.baietti@prismaing.it

Revisione:

Rev. 01
Rev. 02

Note PUA:

emissione
aggiornamento

Data :

Ottobre 2018
Marzo 2019

Oggetto:

D- ALLEGATI
RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

Elab. :

D.05

Scala :

Cod : 2589

Indice

1 - Normativa di riferimento	2
2 - Premessa	3
3 – Condizioni geologiche e morfologiche	5
4 - Analisi delle cartografie tematiche (PTCP)	6
5. Acque superficiali e sotterranee	7
5.1 Idrologia superficiale	7
5.2 <i>Idrogeologia del sottosuolo</i>	7
6 – Caratteri del primo sottosuolo	7
7 - Modellazione geotecnica	9
8. Risposta sismica locale	10
8.1 <i>Sismicità storica</i>	10
8.2 – <i>Caratterizzazione sismica del sito e categoria del suolo di fondazione</i>	11
9- STUDIO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	11
9.1- <i>Metodologia di studio</i>	11
9.2 - <i>Definizione della Pericolosità Sismica di Base</i>	12
9.3 - <i>Segnale di input</i>	13
9.4 - <i>Profilo di velocità</i>	15
9.5 - <i>Sintesi dei dati di input</i>	16
9.6 - <i>Risultati</i>	16
9.7 – <i>Parametri di amplificazione</i>	21
9.8 - <i>Condizioni topografiche</i>	22
9.9 - <i>Pericolosità sismica</i>	22
10 - Liquefazione dei terreni	23
10.1 - <i>RISULTATI</i>	24
11 – Fattibilità dell'intervento	25

In allegato:

Report misure microtremori ambientali

Riscontri penetrometrici

Report verifica alla liquefazione

1 - Normativa di riferimento

Decreto Ministeriale 17.01.2018 - Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

DGR 2193 del 21/12/2015 - ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO DENOMINATO "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA"

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 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

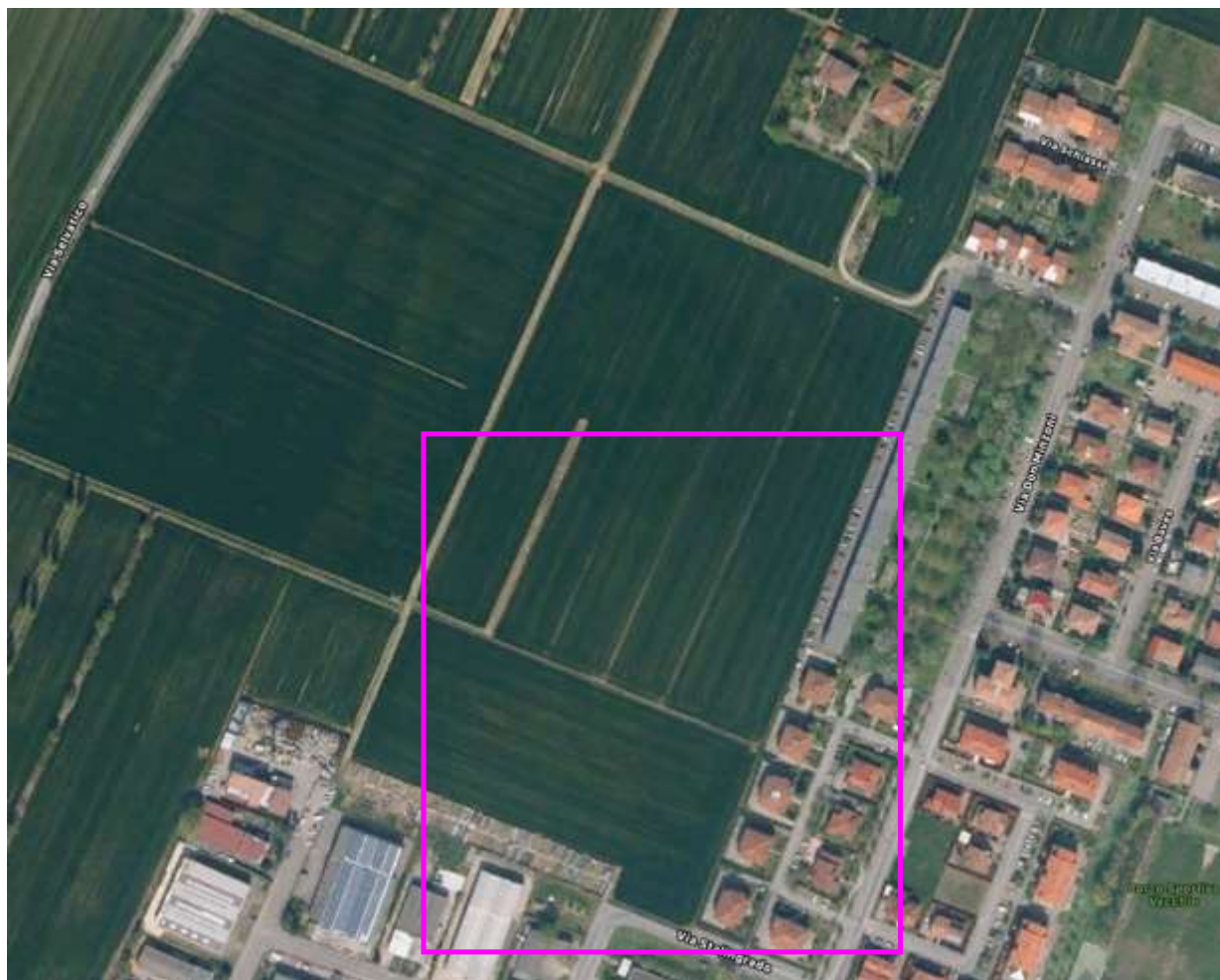
Eurocodice 7.2 (2002) - Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

Eurocodice 7.3 (2002) - Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

PSC Comune di San Giorgio di Piano – Tavole e relazione

2 - Premessa

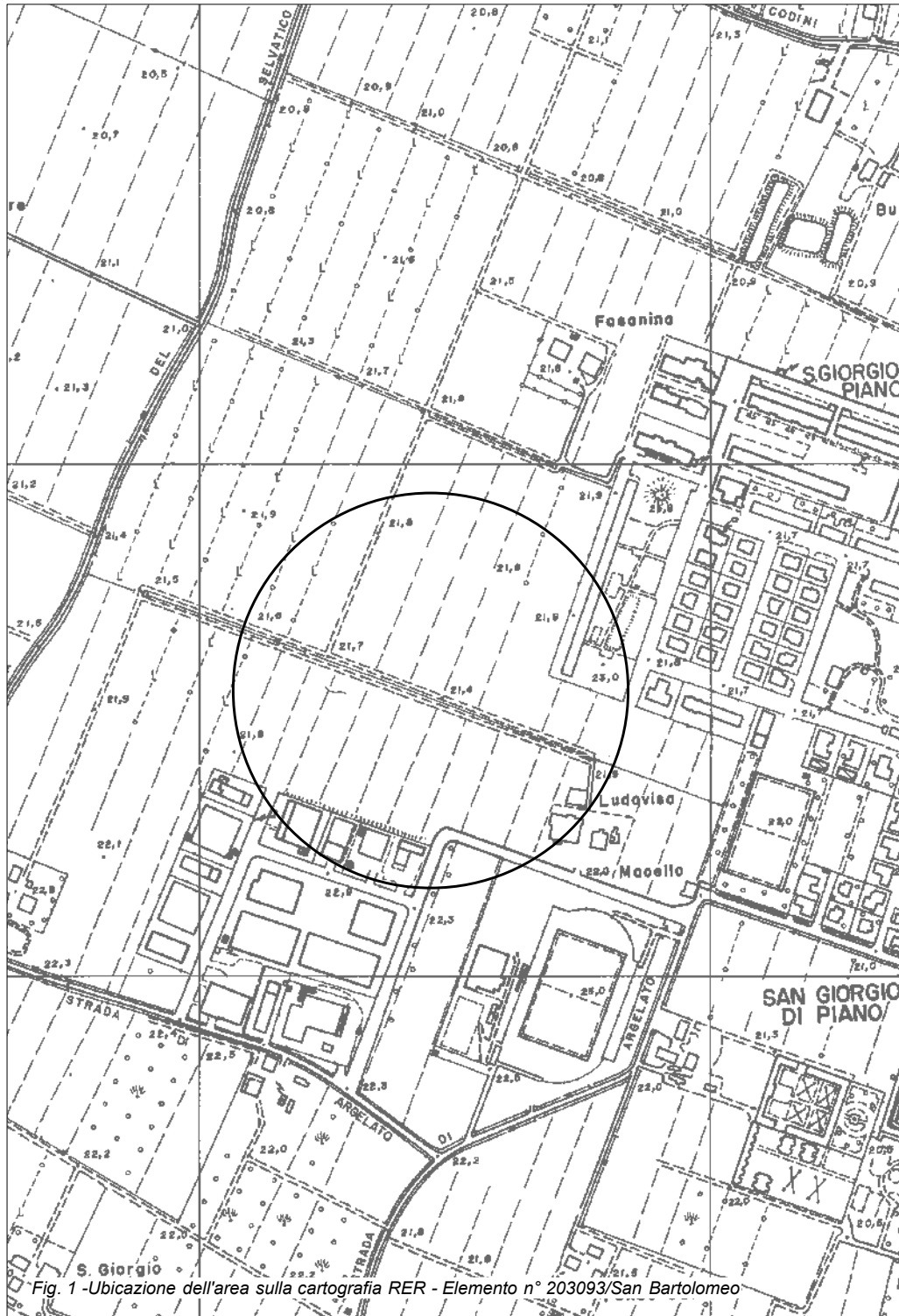
Vengono di seguito esposte le risultanze di uno studio geologico-geotecnico e sismico atto a caratterizzare i terreni di un'area interessata dalla realizzazione di un Piano Urbanistico Attuativo relativo al primo POC "Sub Ambito 4.1" nel territorio comunale di San Giorgio di Piano (**Fig. 1**).



Alla caratterizzazione del primo sottosuolo, sotto i profili stratigrafico, idrologico e geomeccanico si è risaliti effettuando 2 prove penetrometriche e consultando i riscontri penetrometrici e le stratigrafie di sondaggi della banca dati RER.

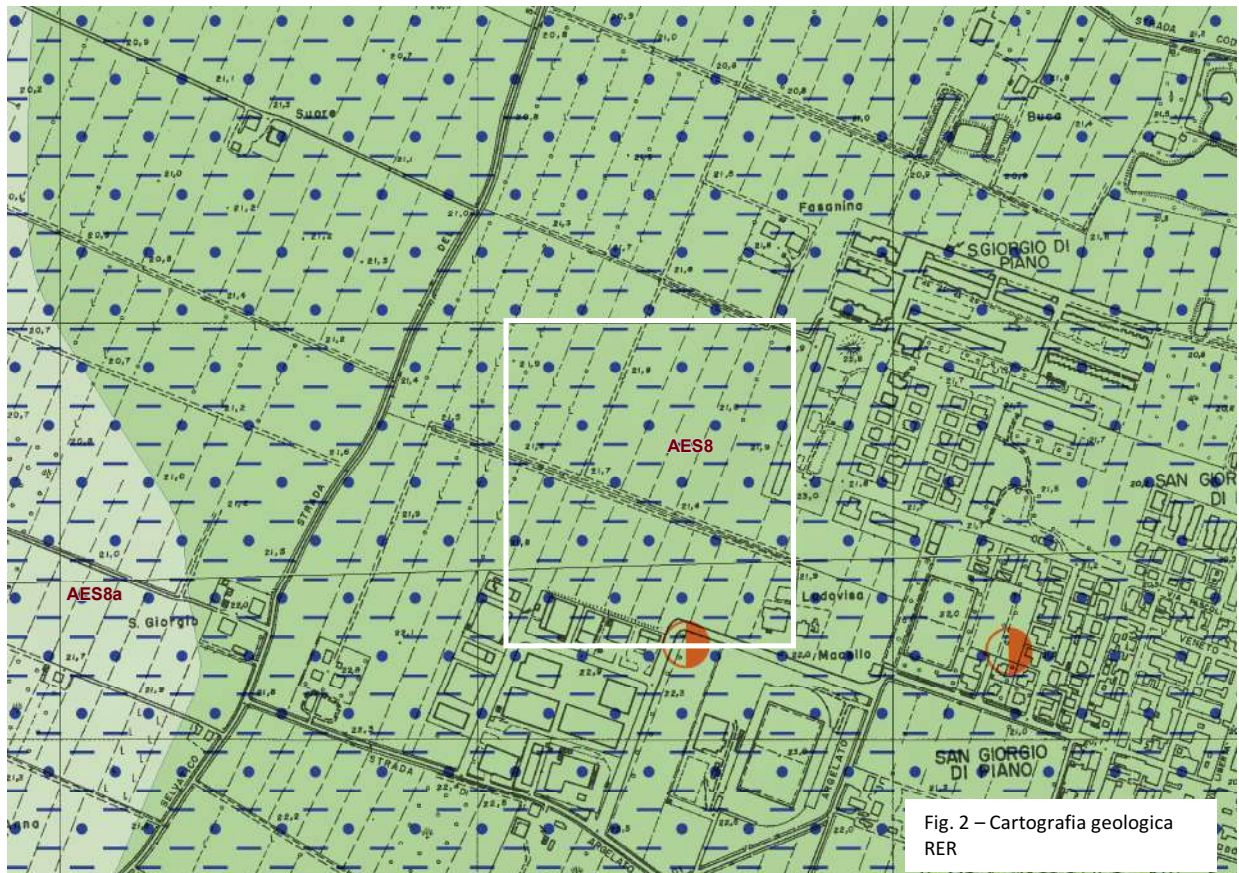
Per la caratterizzazione sismica del sito è stata realizzata un'indagine geofisica, mediante tecnica dei microtremori (Re.Mi.) . La consultazione del sito della Ditta Geostru Software ha permesso l'individuazione dei vari coefficienti e parametri sismici.

Le condizioni morfologiche e la litologia di superficie sono state definite a seguito sopralluoghi.



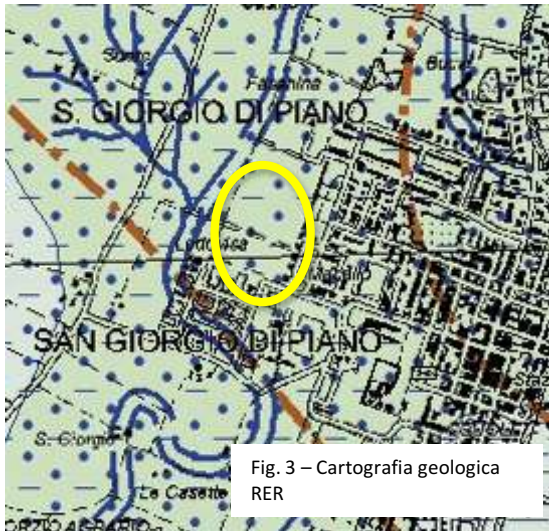
3 – Condizioni geologiche e morfologiche

Dal punto di vista geomorfologico generale, l'area in esame si colloca nel dominio della bassa pianura bolognese caratterizzata da dossi e depressioni, secondo ampie forme irregolari, con pendenza generale verso NNE. Sono presenti materiali alluvionali, di deposizione fluviale, riconducibili ai paleoalvei del Fiume Reno sottoforma di depositi di limi sabbiosi di piana alluvionale ascrivibili al Subsistema di Ravenna (AES 8) della cartografia geologica RER (Fig. 2).



Da un punto di vista litologico siamo in presenza di limi, argille e sabbie con tutti questi termini tra loro combinati secondo rapporti diversi da punto a punto. Non si deve dimenticare infatti che una caratteristica specifica di questi depositi è quella di presentare sostanziali variazioni strutturali e tessiturali in virtù dei processi che hanno regolato la loro messa in posto.

Le acque superficiali convergono nella rete di canali superficiali gestiti dalla Bonifica Renana.



campagna ad andamento pianeggiante (quota \approx 21 m slm).

Sotto il profilo geologico-strutturale va segnalato che l'area fa parte del cosiddetto Appennino sepolto caratterizzato da una serie di faglie e sovrascorrimenti profondi a valenza regionale. Come si evince dallo stralcio di cartografia RER (vedi Figura 3) l'area è ubicata a cavallo di una serie di sovrascorrimenti profondi post-tortoniani con isobata della base del Pliocene posta a -6000 m, a ridosso di una traccia di paleoalveo certo

L'esame morfologico effettuato riferisce di aree agricole coltivate a seminativi al limite di aree urbanizzate con un piano

4 - Analisi delle cartografie tematiche (PTCP)

Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale

La Tavola 2a – “Rischio da frana, assetto versanti e gestione delle acque meteoriche” (vedi stralcio a lato) riporta la zona inserita all'interno di un ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura (artt. 4.8).



La tavola 2c “Rischio sismico: carta delle aree

suscettibili di effetti locali” (vedi stralcio a lato) mostra che l'area oggetto dell'intervento, ai sensi delle Norme di Attuazione del Piano di Coordinamento Provinciale – Variante in materia di riduzione del rischio sismico si trova all'interno di una zona L1: Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione.

5. Acque superficiali e sotterranee

5.1 Idrologia superficiale

Il comparto in esame è idraulicamente connesso con il bacino imbrifero di pianura del Bacino del Fiume “Reno” *normato dall’Art. 20 del PSAI*. (vedi **Figura a lato**).

Le campagne circostanti sono solcate da una fitta rete di fossi di scolo, gestiti dal Consorzio di Bonifica Renana: questi ultimi hanno assicurato nel tempo, e lo fanno anche attualmente, la distribuzione delle acque per i diversi usi e lo sviluppo di un’agricoltura più redditizia.

5.2 Idrogeologia del sottosuolo

I dati idrogeologici noti per questo territorio indicano la presenza di più falde acquifere superficiali, separate da terreni a bassa permeabilità, lateralmente interconnesse a formare un unico acquifero multifalda. La profondità della falda acquifera ad uso idropotabile è ubicata a profondità non inferiori a 50-60 metri dal piano di campagna. A maggiore profondità (circa -200 m dal pdc) compaiono orizzonti sabbiosi di ambiente costiero e marino contenenti acque in pressione, in parte fossili e a ricambio molto lento. I canali di scolo ed i fossi presenti nei dintorni dell’area in esame sono in connessione idraulica con le acque sotterranee più superficiali e durante l’anno possono essere sia drenanti che alimentanti.

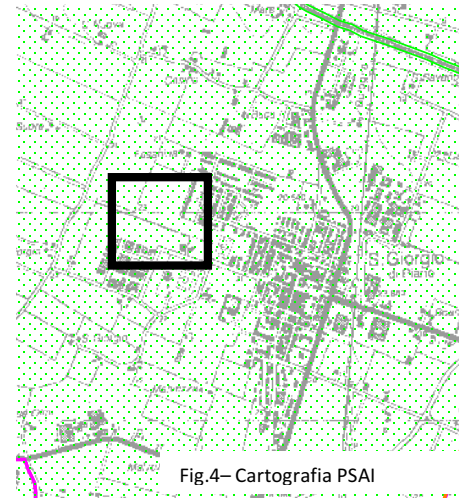
Dalle misure effettuate nei fori di sondaggio si evince la presenza di una falda freatica il cui pelo libero è posto ad una profondità di circa -1,8 m dal pdc. Si tratta di un acquifero superficiale con valori di permeabilità e trasmissività molto variabili e alimentato dai corsi d’acqua, ormai pensili, e dall’infiltrazione delle acque meteoriche. Si fa presente che tale falda è soggetta a forti escursioni stagionali.

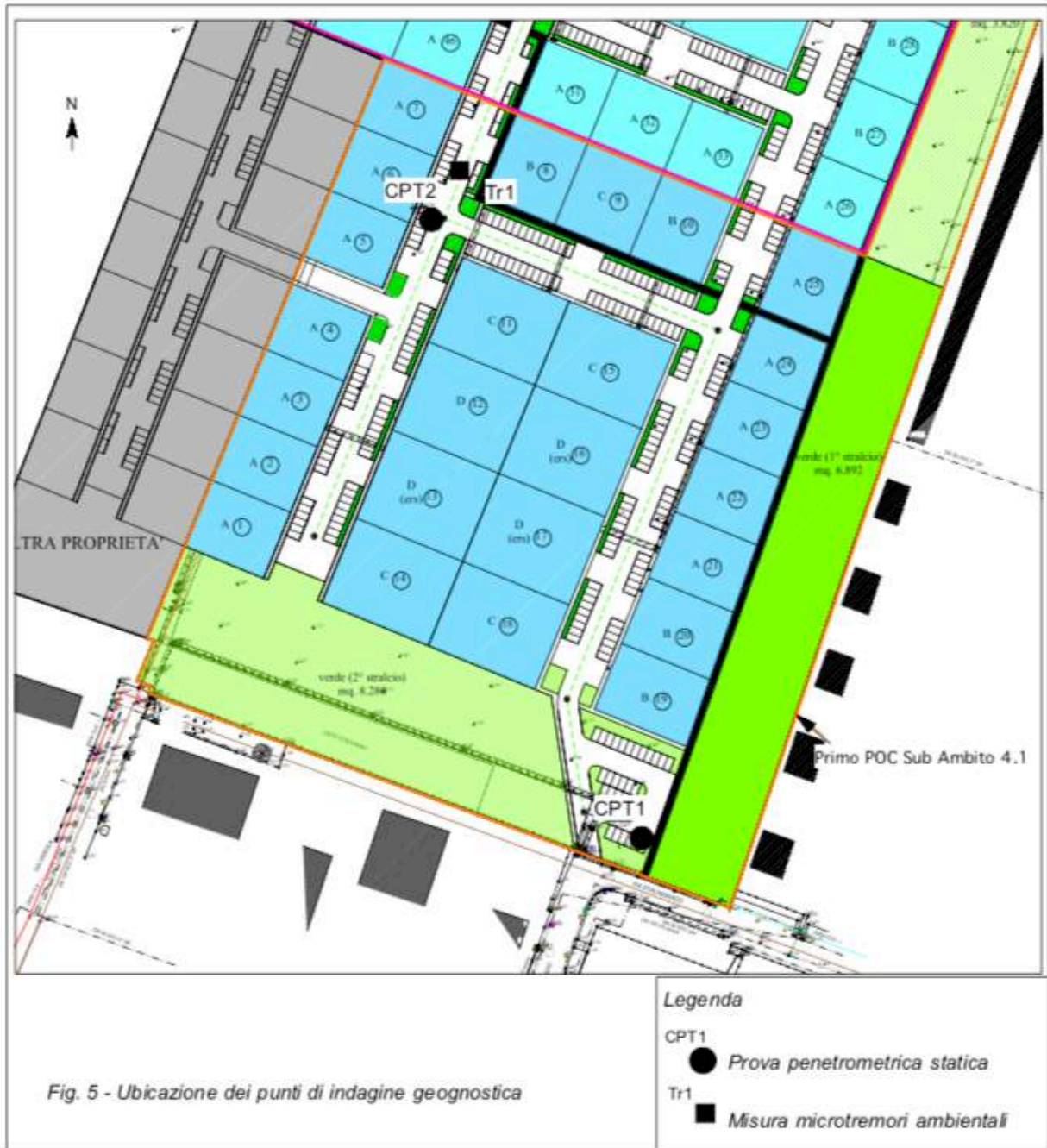
6 – Caratteri del primo sottosuolo

Come da premessa tali caratteri sono stati desunti tramite 2 penetrometrie statiche effettuate dalla Ditta Saverio Tabanelli di Faenza (RA), ubicate all’interno del sedime dell’intervento attuativo (fig. 5).

Per eseguire le prove è stato impiegato un penetrometro statico Pagani tipo GOUDA da 20 t munito di punta a 3 stadi del Begemann. I grafici penetrometrici allegati in calce riportano in forma diagrammatica le variazioni con la profondità della resistenza di punta R_p e dell’attrito laterale R_l , espresse in kg/cm^2 , unitamente ad una classificazione su basi litologiche dei terreni attraversati ricavata sulla scorta delle indicazioni enunciate da Begemann e da Schmertmann.

Solo la prova CPT1 è stata spinta fino ad una profondità massima di -20 m rispetto al p.d.c attuale.





6. 1 – Successione stratigrafica

Nel primo sottosuolo investigato sono presenti terreni alluvionali fini sottoforma di limi argillosi e argille limose a vario grado di consistenza che almeno nella loro porzione superficiale sembrano risentire degli effetti di fenomeni di essiccamento: la presenza della sabbia è sia in forma diffusa che concentrata nell'intervallo tra - 7 e -15 m. In corrispondenza della verticale della CPT2 il contenuto in sabbia è maggiore ed è presente, anche se in forma diffusa, anche più a ridosso del pdc attuale (-2 m).

In base ai riscontri penetrometrici viene schematizzata la seguente stratigrafia di riferimento:

Unità Litostratigrafica	Profondità	Litologia	Rp (kg/cm ²)
A	Da 0 a 1,2 m	Argilla limosa e/o limo argilloso sovraconsolidata	12÷51
B	Da 1,2 a 3,0 m	Argilla limosa e/o limo argilloso a consistenza mediocre. Frazione sabbiosa in forma diffusa	4÷17
C	Da 3 a 4,20 m	Limi sabbiosi e/o sabbie limose poco addensate in matrice argillosa	5÷27
D	Da 4,2 a 7,0 m	Limi argillosi e/o argille limose a vario tenore in sabbia mediamente consistenti con livelli sabbiosi dm	11÷26
E	Da 7,0 a 15,0m	Sabbie limose e/o limi sabbiosi con addensamento da medio a elevato con livelli argillosi dm	16÷95
F	Da 15 a 20,0 m	Limi argillosi e/o argille limose mediamente consistenti	11÷31

7 - Modellazione geotecnica

Sulla scorta delle indagini svolte e delle informazioni acquisite nonché delle correlazioni disponibili in letteratura si riportano i valori caratteristici dei principali parametri geotecnici attribuiti ai litotipi individuati.

Unità litostratigrafica	γ (t/m ³)	Cu_k (kg/cm ²)	C'_k (kg/cm ²)	ϕ'_k (°)	Mo (kg/cm ²)	Eu÷E' (kg/cm ²)
A	1,8	0,75	0,20	21	75	200
B	1,8	0,30	-	19	45	120
C	1,8	0,35	0,05	23	80	55
D	1,8	0,60	0,15	21	47	200
E	1,85	-	-	33	84	60
E	1,8	0,75	0,20	21	60	450

8. Risposta sismica locale

8.1 Sismicità storica

In base alla riclassificazione sismica della Regione Emilia Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 Aprile 2006, n° 3519, il Comune di San Giorgio di Piano rientra in Zona 3. A tale zona risulta assegnato un valore di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a a_g del capoluogo ($T_r = 475$ anni) = 0,161.

L'area studiata ricade nell'ampia zona 912 che rappresenta la fascia più esterna dell'arco appenninico settentrionale: in quest'ultima la sismicità è correlabile alla tettonica attiva del fronte compressivo del margine appenninico sepolto più avanzato che giunge fino all'attuale Po.

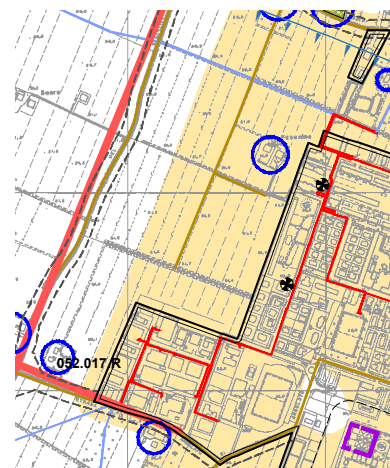
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14

Tabella 6. Valori di Mwmax da DISS2 e CPTI2 (col.3, 4, 5); valori di Mwmax dopo l'applicazione degli intervalli di completezza CO-04.2 (col.6); azioni e valore finale di Mwmax1 (col.7, 8); azioni e valori finali di Mwmax2 (col.9, 10). Le azioni indicano l'aumento (in numero di classi) rispetto ai valori della colonna 6 determinato da:

- a = aumento di 1 classe per convenzione (i) (arrotondamento alla classe superiore);
- b = aumento per convenzione (ii) (adozione dell'evento massimo osservato anche se al di fuori del periodo di completezza);
- c = aumento per motivazioni particolari descritte nel testo;
- d = aumento fino alla classe 6.14 per ragioni di maggiore cautela (vedi testo);
- G = aumento per adeguamento al dato geologico di DISS2.

Il territorio comunale di San Giorgio di Piano non risulta interessato storicamente da epicentri sismici di intensità significativa e si può considerare la pericolosità sismica generale "media".

Nella Tavola dei vincoli comunale (stralcio a lato) il lotto in esame risulta inserito nella classe "aree che richiedono approfondimenti sismici di terzo livello" (campitura arancione)



8.2 – Caratterizzazione sismica del sito e categoria del suolo di fondazione

Per la determinazione della categoria del suolo di fondazione si fa riferimento ad un'analisi sismica mediante un tromografo digitale portatile (TROMINO), progettato specificamente per la registrazione del rumore sismico ambientale, effettuata dal sottoscritto (**Vedi Fig. 5**).

Alla luce della situazione litostratigrafica dell'area e dei dati sismici acquisiti è possibile associare i picchi della curva H/V a discontinuità di cui è nota la profondità, ottenendo una stima delle velocità delle onde di taglio e quindi il parametro Vs30 richiesto dalle norme che è risultato di 274 m/s. Per cui la categoria di suolo di fondazione è la C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s come definita nella Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo delle NTC18.*

9- STUDIO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

9.1- Metodologia di studio

Lo studio della Risposta Sismica Locale viene svolto utilizzando un software per modellazioni numeriche monodimensionali di propagazione dell'onda sismica; in particolare il software STRATA calcola, partendo da una serie di eventi sismici nel dominio del tempo, la risposta lineare equivalente o lineare elastica di un modello del sito oggetto di studio nel dominio delle frequenze. Si tratta, in sintesi, di una moderna implementazione di concetti ben noti di analisi lineare equivalente della risposta di sito. Per maggiori dettagli si rimanda alla descrizione del software STRATA¹.

Per svolgere il calcolo sono necessari:

- Un segnale di input;
- Un profilo di velocità del sottosuolo di indagine;
- Le curve di decadimento del modulo di rigidezza al taglio e di variazione dello smorzamento per i diversi terreni costituenti il sottosuolo in studio.

¹Technical **Manual** for **Strata**. Albert R. Kottke. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. University of Texas, Austin. Ellen M. Rathje. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. University of Texas (https://nees.org/resources/1507/download/Strata_Manual.pdf)

9.2 - Definizione della Pericolosità Sismica di Base

I parametri relativi alla progettazione a cui si può fare riferimento sono:

Vita nominale struttura in progetto	50 [anni]
Coefficiente d'uso	1.0
Periodo di riferimento azione sismica	50 [anni]
Periodo di ritorno azione sismica alla SLV	475 [anni]
Classe d'uso dell'edificio	II

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.047	2.474	0.257
Danno (SLD)	50	0.059	2.508	0.272
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.160	2.573	0.276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.212	2.519	0.283
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Figura 6: parametri legati alla tipologia di progetto oggetto di studio.

Per quanto concerne la definizione del valore di accelerazione sismica di base del sito di progetto (a_g) è necessaria al fine della corretta introduzione dei segnali di input all'interno del software di calcolo. Nella figura 1 viene riportata una parte del report ottenuto con l'elaborazione del servizio software online *Geostru Ps Parametri sismici 2018*.

9.3 - Segnale di input

I segnali scelti come input sismico per il modello di terreno (presentato nei prossimi paragrafi) sono relativi ad eventi con tempo di ritorno pari a 475 anni, ossia con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrispondenti ai parametri imposti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008 e successivi aggiornamenti fino al D.M. 17/01/2018) per le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) nel caso di edifici con vita nominale di 50 anni (coefficiente d'uso $C_u=1.0$) e classe d'uso II.

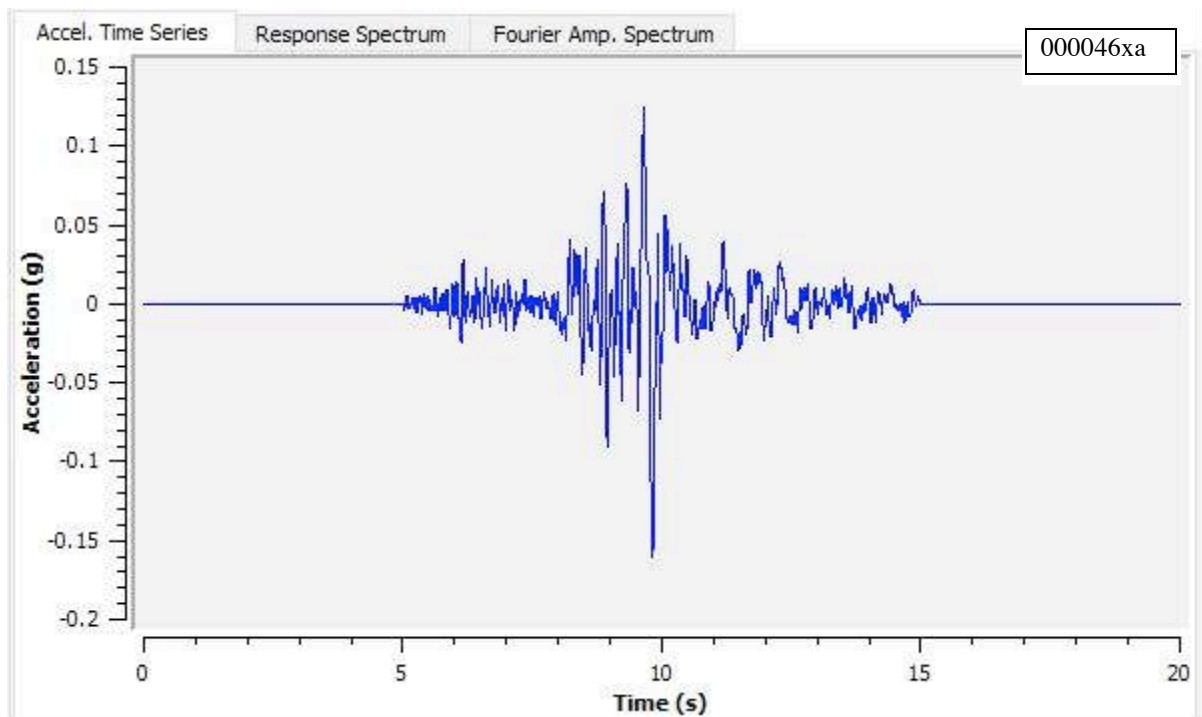
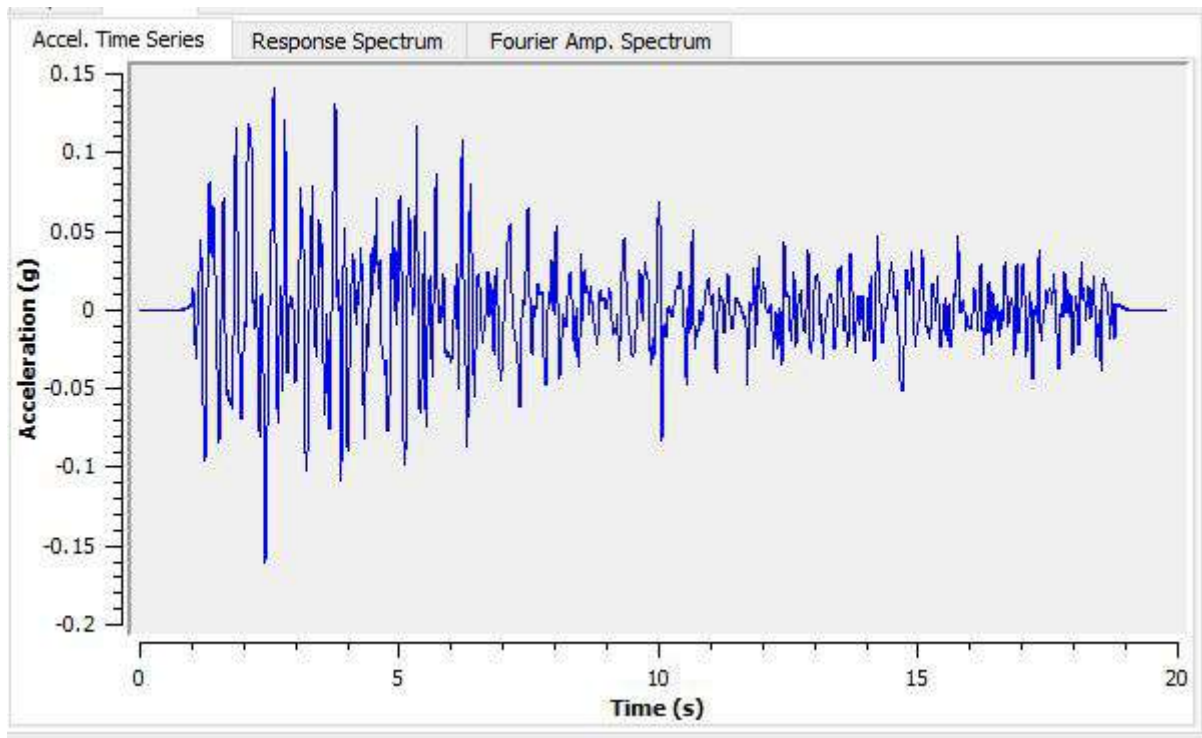
La scelta degli input è ricaduta sugli accelerogrammi resi disponibili dalla Regione Emilia-Romagna, il cui spettro è stato allegato alla nuova Delibera n. 2193 del 2015, in cui sono riportati gli indirizzi per il calcolo della risposta sismica locale, anche se l'atto in sé concerne gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione urbanistica.

Dato che gli accelerogrammi sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A, definita nella tab. 3.2.II delle NTC 2008 (e successivi aggiornamenti), e quindi tarati sullo stesso background progettuale del caso oggetto di studio, si è proceduto all'analisi con questi segnali sismici.

I segnali di riferimento forniti sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database", attraverso una procedura che valuta la similarità tra forma spettrale di riferimento (ovvero uno spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

Il valore di a_{refg} relativo al sito analizzato è stato ottenuto interpolando i valori nei punti della griglia più prossimi al sito in esame. Il moto sismico (periodo di ritorno di 475 anni) in termini di accelerogrammi

relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento per il valore di arefg, ottenuto dall'analisi del sito.



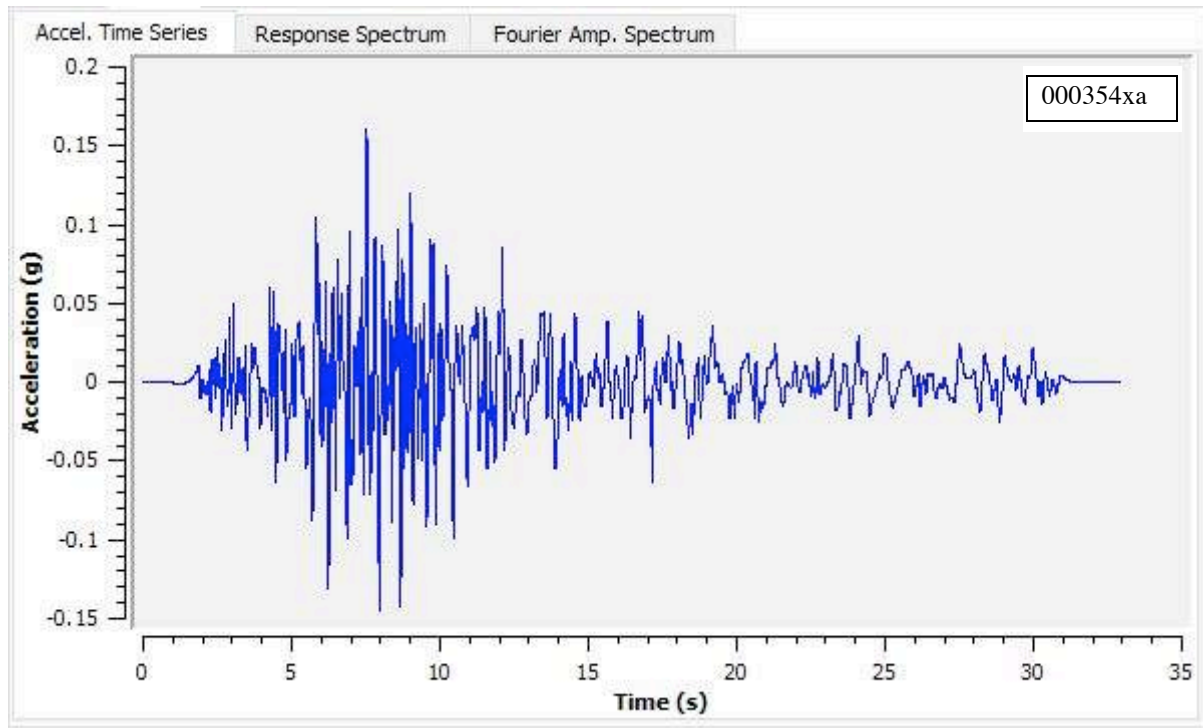


Figura 7: 3 accelerogrammi forniti dalla R.E.R., utilizzati come segnale sismico in input.

9.4 - Profilo di velocità

Il profilo di velocità deriva dall'interpretazione del risultato delle indagini, eseguite a cura dello scrivente in data 26/06/2018, in cui si restituiscono sotto forma di profilo di velocità i risultati delle elaborazioni della prova di sismica con tecnica passiva a stazione singola (HVSR). Si è poi proceduto a consultare il profilo di velocità ottenuto dall'interpretazione dell'indagine sismica, da cui è stato elaborato il parametro Vs30 (visto che il substrato sismico non è stato individuato nei primi 30 metri), in quanto ritenuto maggiormente rappresentativo e fruibile per la ricostruzione della successione nel software per il calcolo di modelli monodimensionali.

Di seguito viene presentato in forma tabellare il profilo utilizzato per le modellazioni monodimensionali.

PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO				
Id. Strato	Profondità	Spessore	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.00	Sabbie superiori	150
2	4.00	4.00	Sabbie superiori	240
3	5.00	50.00	Fini intermedi	290
4	55.00	100.00	Fini inferiori 1	500
5	155.00	30.00	Fini inferiori 2	680
6	185.00	Half-space	Bedrock	800

Tabella 1: Profilo di velocità utilizzato nel software STRATA. Nella colonna delle profondità viene indicata la quota

del tetto dello strato considerato; in "Soil Type" viene indicata la tipologia di materiale (di cui si tratterà nel prossimo paragrafo).

Il modello di terreno è stato ricostruito dall'interpretazione congiunta delle due tipologie d'indagini eseguite in sito. Questa modalità di indagine ha reso possibile la corretta definizione delle velocità delle onde di taglio e delle profondità a cui sono stati registrati i passaggi di impedenza sismica.

9.5 - Sintesi dei dati di input

Al fine di fornire un modello con una migliore approssimazione del quadro sismostratigrafico ricostruito, si è deciso di procedere con una modellazione di tipo "Lineare Equivalente"; questa tipologia di scelta determina le modalità in cui le caratteristiche dei terreni vengono utilizzati per i calcoli. Il modello scelto fa riferimento a parametri variabili al procedere della deformazione per quanto riguarda il modulo di rigidità e lo smorzamento, attraverso delle storie deformative presenti nel database del programma utilizzato per le verifiche.

Per quanto sia difficile trovare delle storie deformative che potessero rappresentare al meglio i materiali indagati, è stato scelto di utilizzare le funzioni presenti nel database del programma, in quanto si ritiene che sarebbe stato un approccio peggiore procedere con una verifica con metodo "lineare elastico", in cui le caratteristiche rimangono costanti al variare della deformazione. Quindi si è preferito presentare un modello di terreno più verosimile dal punto di vista della risposta ad un input dinamico, nel quale è stato effettuato uno studio dell'amplificazione di sito tramite l'indagine sismica (fornendo così un raffronto ai risultati delle modellazioni), piuttosto che optare per un modello affetto da semplificazioni eccessive, come il valore costante dei parametri al progredire della deformazione.

Di seguito in forma tabellare viene riportata la discretizzazione del terreno introdotta nel programma STRATA:

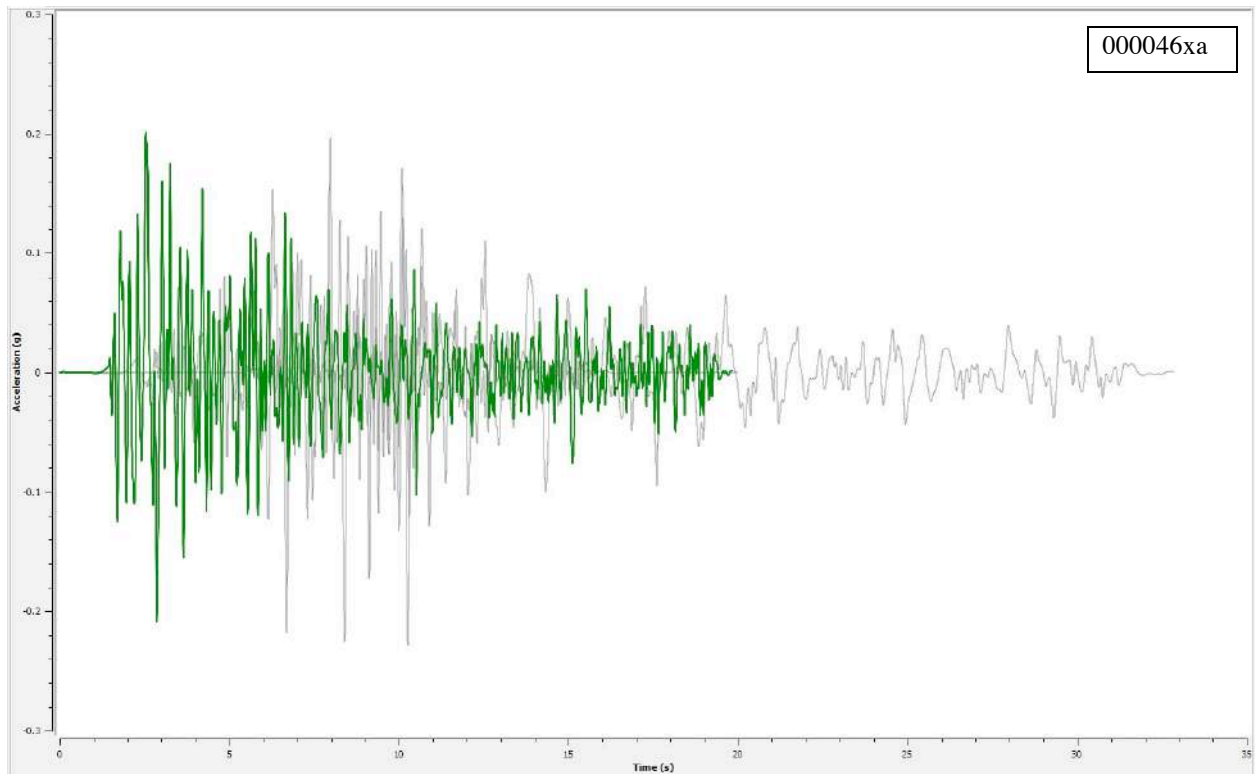
TIPOLOGIA DI TERRENO				
Id. Strato	Nome	Peso dell'unità di volume (kN/m ³)	Decadimento Modulo di rigidità	Aumento smorzamento
1	Sabbie superiori	18.50	Seed & Idriss, Sand Mean	Seed & Idriss, Sand Mean
2	Fini intermedi	18.50	Vucetic & Dobry, PI=50	Vucetic & Dobry, PI=50
3	Fini inferiori 1	20.00	Vucetic & Dobry, PI=100	Vucetic & Dobry, PI=100
4	Fini inferiori 2	20.00	Vucetic & Dobry, PI=200	Vucetic & Dobry, PI=200

Tabella 2: Tipi di terreno utilizzati e discretizzazione del modello sismostratigrafico utilizzato per i calcoli.

9.6 - Risultati

Le analisi monodimensionali sono state svolte utilizzando i tre segnali definiti dalla banca dati della

Regione Emilia Romagna (opportunamente scalati per essere congrui con le accelerazioni del comune in oggetto) con i riferimenti teorici e le caratterizzazioni di sito esposte nelle pagine precedenti. I risultati sono in prima approssimazione sintetizzabili nei sette accelerogrammi definiti di output esposti di seguito, i quali costituiscono la risposta alla quota del piano campagna, in termini di storia temporale delle accelerazioni, allo specifico input imposto al tetto del bedrock sismico.



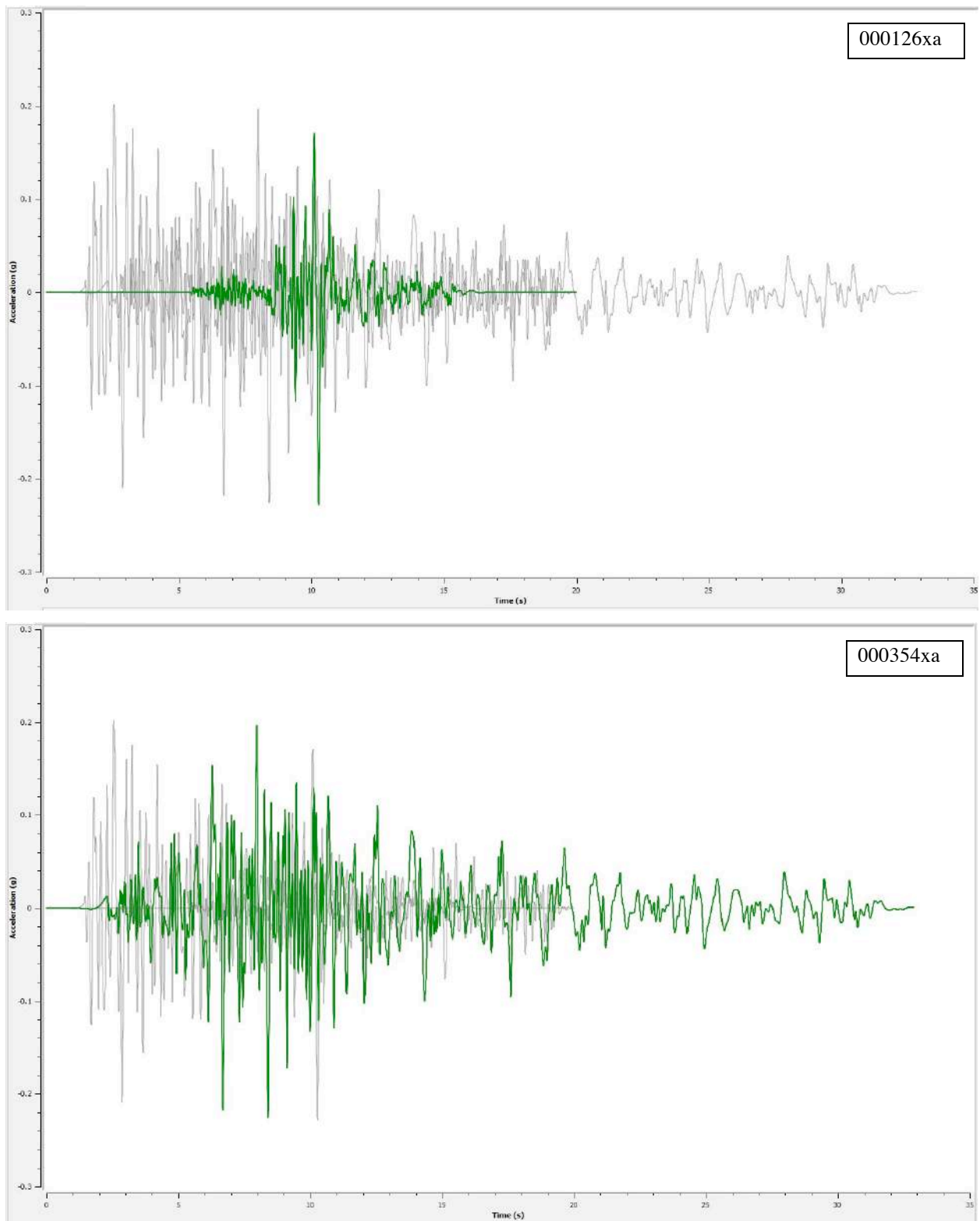


Figura 1: singoli segnali in output ottenuti come risultato del passaggio all'interno del modello di terreno dei segnali di input.

Passando all'analisi dei risultati per quanto concerne lo spettro di risposta, viene espressa dapprima in termini di trasformata di Fourier e quindi in spettro di risposta per un dato smorzamento, che nel caso in questione è variabile e differente per i diversi terreni al di sopra del bedrock, mentre nel substrato sismico è stata imposta come costante, pari all'1%.

Lo spettro di risposta in accelerazione relativo alla modellazione monodimensionale è riportato nella figura seguente. Nel grafico sono stati riportati gli spettri di risposta ottenuti dalla metodologia di calcolo "lineare equivalente", proponendo il confronto con lo spettro delle categorie di sottosuolo C (che sarebbe stata quella da assegnare al sito in esame sulla base della velocità equivalente delle Vs), e la D, derivato dall'applicazione della procedura semplificata delle NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M.14/01/08 ed adottato anche nel successivo aggiornamento) ed elaborato con il Foglio di calcolo "Spettri NTC ver. 1.0.3", reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

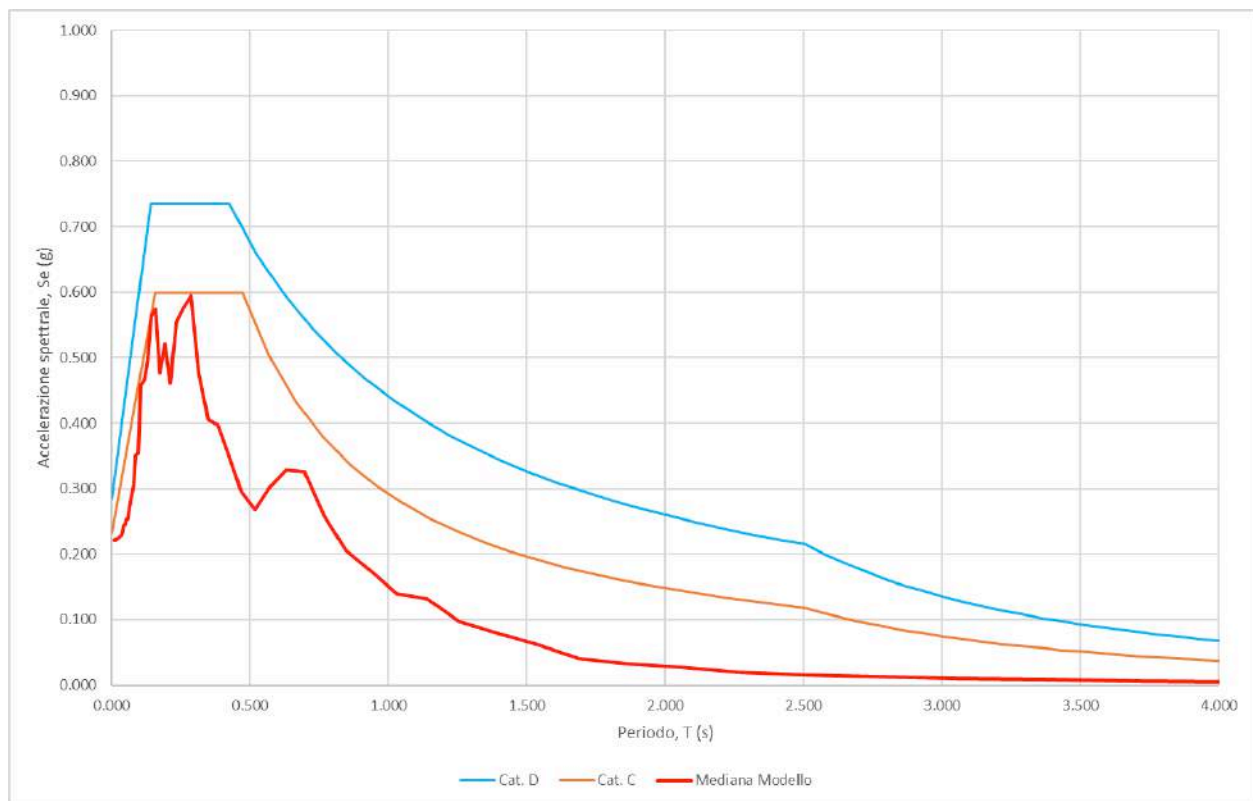


Figura 2: spettro di risposta dal modello "lineare equivalente", indicato come "Mediana Modello", confrontato con gli spettri di normativa delle categorie di sottosuolo C e D.

A partire da quanto riportato nel grafico soprastante, dove sono stati portati al confronto lo spettro di risposta (indicato come "Mediana Modello") con gli spettri di normativa per la classe d'uso di riferimento, tempo di ritorno e categorie di sottosuolo C e D.

Lo spettro di risposta ottenuto per il terreno in esame, calcolata con la metodologia precedentemente esplicitata, ha restituito un risultato abbastanza peculiare, che mostra essenzialmente dei valori confrontabili con lo spettro di normativa della categoria C. Andando nel dettaglio è possibile osservare come lo spettro mostri gli elementi classici di uno spettro di risposta del terreno: una prima parte dello spettro, ai bassi periodi (inferiori 0,5 secondi) in cui la curva si attesta sui valori più alti per poi passare nella fase discendente verso gli alti periodi. Elemento anomalo è rappresentato dalla presenza di un “picco” intermedio posto nei periodi superiori a 0,5 secondi.

In particolare i valori calcolati nel campo di periodo inferiore a 0,3 secondi, la curva calcolata approssima in maniera ottima l’andamento dello spettro della categoria di sottosuolo C, mentre oltre l’andamento delle accelerazioni è ampiamente al di sotto dello spettro di normativa, anche per quanto concerne il picco a 0,7 secondi.

Per cui, in linea generale, non si ritiene errata l’approssimazione della risposta sismica locale calcolata allo spettro di normativa della categoria di sottosuolo C.

Per quantificare la differenza tra lo spettro di normativa e quello calcolato, nella tabella seguente sono riportati il valore di accelerazione di picco definito dalla pericolosità di base (accelerazione su suolo rigido) per la specifica area di studio (PGA_0), la massima accelerazione media risultante dalla modellazione lineare-equivalente (PGA_1) ed il rapporto di amplificazione della PGA (FA_{PGA}).

MODELLAZIONE LINEARE – EQUIVALENTE (EQ)

PGA_0	0,160
PGA_1	0,221
FA_{PGA}	1,381

Di seguito vengono forniti i dati relativi allo spettro di risposta, con rapporto spettrale nella colonna $Se(g)$ e periodo (misurato in secondi) nella colonna T.

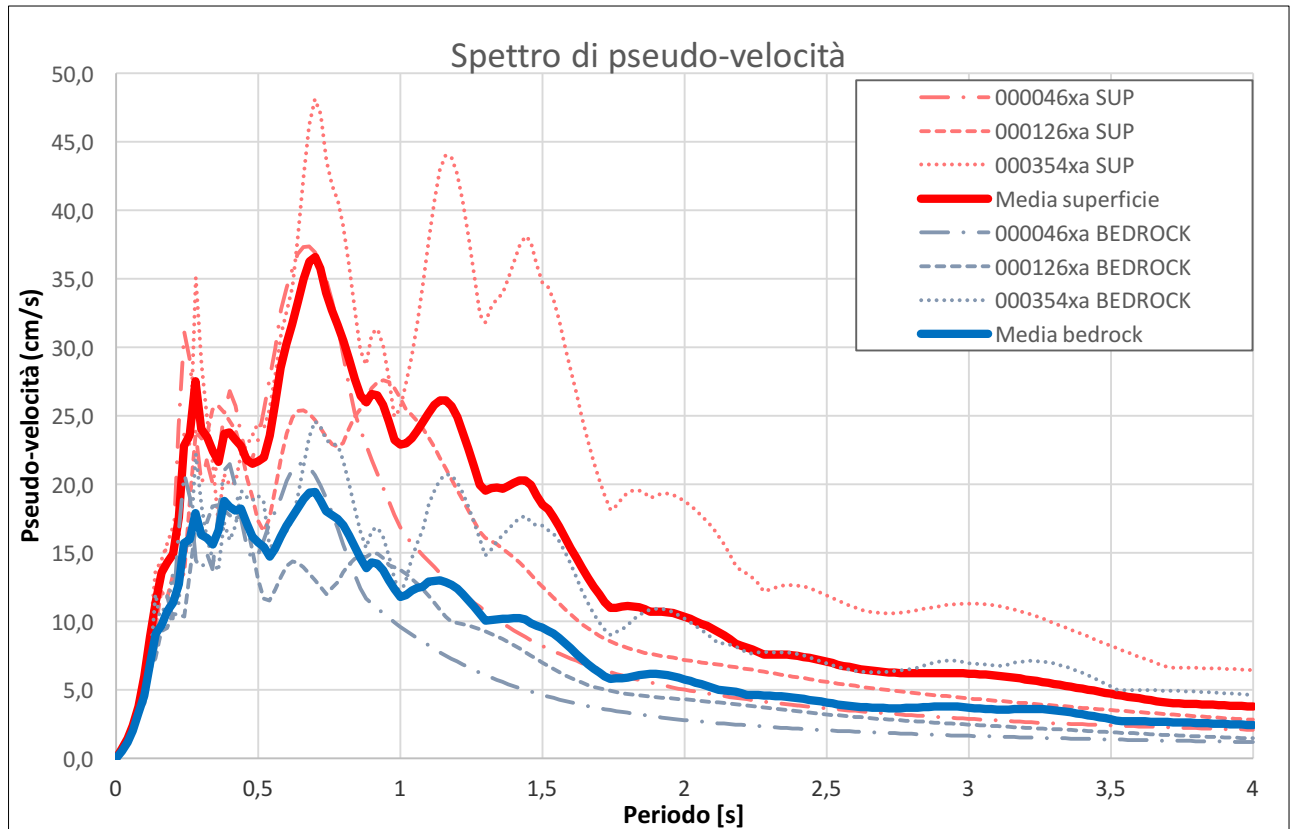
T (s)	Se (g)	T (s)	Se (g)	T (s)	Se (g)	T (s)	Se (g)
0.010	0.221	0.048	0.245	0.235	0.555	1.139	0.132
0.011	0.222	0.053	0.253	0.259	0.576	1.257	0.097
0.012	0.222	0.059	0.253	0.286	0.594	1.387	0.080
0.013	0.222	0.065	0.272	0.316	0.476	1.531	0.062
0.015	0.222	0.072	0.286	0.349	0.405	1.689	0.041
0.016	0.222	0.079	0.306	0.385	0.397	1.864	0.032
0.018	0.223	0.088	0.351	0.425	0.350	2.058	0.027
0.020	0.223	0.097	0.353	0.469	0.295	2.271	0.020
0.022	0.224	0.107	0.458	0.517	0.268	2.507	0.016
0.024	0.224	0.118	0.466	0.571	0.302	2.766	0.013
0.027	0.225	0.130	0.497	0.630	0.328	3.053	0.011
0.030	0.226	0.143	0.563	0.695	0.326	3.370	0.009

0.033	0.228	0.158	0.575	0.767	0.259	3.719	0.006
0.036	0.230	0.175	0.476	0.847	0.206	4.105	0.005
0.040	0.234	0.193	0.522	0.935	0.176	4.530	0.004
0.044	0.244	0.213	0.460	1.032	0.139	5.000	0.003

Tabella 3: punti dello spettro calcolato.

9.7 – Parametri di amplificazione

Qui di seguito vengono forniti i parametri di amplificazione ricavati dall'analisi sismica di III livello e confrontati con quelli forniti dalla Tavola 2 A del PSC.



F.A.		000046xa	000126xa	000354xa	MEDIA
	PGA	1.307	1.426	1.409	1.381
	IS(0,1-0,5)	1.396	1.332	1.351	1.360
	IS(0,5-1,0)	1.782	1.769	1.842	1.802
	IS(0,0-4,0)	1.671	1.689	1.766	2.501

Confronto con la Tavola 2a del PSC (Microzonazione sismica semplificata)

	II-3 – Fattori di amplificazione	MEDIA	Confronto
PGA	1.500	1.381	0.920
IS(0,1-0,5)	1.800	1.360	0.755
IS(0,5-1,0)	2.500	1.802	0.721
IS(0,5-1,5)	-	1.870	-
IS(0,0-4,0)	-	2.501	-

Dal confronto dei dati si evince come i dati ottenuti siano inferiori rispetto a quelli riportati sulla tavola di zonazione.

9.8 - Condizioni topografiche

Per quanto riguarda gli effetti topografici, consultando la tabella 3.2.IV delle NTC, all'area di progetto va attribuita la categoria T1

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

9.9 - Pericolosità sismica

I parametri di pericolosità sismica di seguito riportati si riferiscono al sottosuolo di tipo C ritenuti più cautelativi rispetto all'analisi sismica di III livello vengono ricavati sul sito : *Geostru software* - www.geostru.com

Tipo di elaborazione: Fondazioni NTC 2018

Sito in esame: latitudine: 44,650541 longitudine: 11,367973

Classe: 2 **Vita nominale:** 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16064	Lat: 44,6649	Lon: 11,3121	Distanza: 4704,088
Sito 2	ID: 16065	Lat: 44,6662	Lon: 11,3823	Distanza: 2077,971
Sito 3	ID: 16287	Lat: 44,6162	Lon: 11,3840	Distanza: 4022,517
Sito 4	ID: 16286	Lat: 44,6150	Lon: 11,3138	Distanza: 5831,091

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Probabilità di superamento	Tr:	ag:	Fo:	Tc*:
Operatività SLO:	81%	30 [anni]	0,047 g	2,474	0,257 [s]
Danno SLD:	63%	50 [anni]	0,059 g	2,508	0,272 [s]
Salvaguardia della vita SLV	10%	475 [anni]	0,160 g	2,573	0,276 [s]
Prevenzione al collasso SLC	5%	975 [anni]	0,212 g	2,519	0,283 [s]

Dove

Tr: tempi di ritorno ag: accelerazione orizzontale massima di sito

Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

Tc*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Coefficienti Sismici

	Ss:	Cc:	St:	Kh:	Kv:	Amax (m/s²):	Beta:
SLO:	1,500	1,640	1,000	0,014	0,007	0,697	0,200
SLD:	1,500	1,610	1,000	0,018	0,009	0,862	0,200
SLV	1,450	1,610	1,000	0,056	0,028	2,281	0,240
SLC	1,380	1,590	1,000	0,082	0,041	2,869	0,310

Dove:

Ss: Amplificazione stratigrafica

Cc: Coeff. funz. Categoria

St: Amplificazione topografica

Kh: Coefficiente sismico orizzontale

Kv: Coefficiente sismico verticale

10 - Liquefazione dei terreni

La verifica a liquefazione viene effettuata utilizzando metodi semplificati così come indicato dalla specifica norma regionale nonché negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica prodotti dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza stato-regioni. Per la verifica è stato utilizzato il software Cliq della GeoLogismiki.

Il rischio di liquefazione è funzione di IL secondo lo schema esposto nella tabella seguente:

IL	Rischio di liquefazione
IL = 0	Molto basso
0 < IL ≤ 2	Basso
2 < IL ≤ 5	Moderato
5 < IL ≤ 15	Alto
IL > 15	Molto alto

Per la scelta della magnitudo massima da attribuire per i successivi calcoli l'unico riferimento ufficiale è, a tutt'oggi, il Rapporto Conclusivo prodotto dall'INGV nell'ambito della Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica²; in tabella 6, pagina 38 del suddetto rapporto, vengono riportate le massime magnitudo per le diverse zone sismogenetiche individuate. L'area in studio si colloca nella zona 912 della quale si riportano le caratteristiche in termini di magnitudo attesa:

² Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici.

La magnitudo momento (MW) da applicare alle verifiche alla liquefazione è pertanto 5,91.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14

Tabella 6. Valori di Mwmax da DISS2 e CPTI2 (col.3, 4, 5); valori di Mwmax dopo l'applicazione degli intervalli di completezza CO-04.2 (col.6); azioni e valore finale di Mwmax1 (col.7, 8); azioni e valori finali di Mwmax2 (col.9, 10). Le azioni indicano l'aumento (in numero di classi) rispetto ai valori della colonna 6 determinato da:

- a = aumento di 1 classe per convenzione (i) (arrotondamento alla classe superiore);
- b = aumento per convenzione (ii) (adozione dell'evento massimo osservato anche se al di fuori del periodo di completezza);
- c = aumento per motivazioni particolari descritte nel testo;
- d = aumento fino alla classe 6.14 per ragioni di maggiore cautela (vedi testo);
- G = aumento per adeguamento al dato geologico di DISS2.

10.1 - RISULTATI

Per le verifiche alla liquefazione si è scelto di utilizzare le condizioni più cautelative, inserendo come accelerazione orizzontale il valore di 0,23g.

Le verifiche (B&I 2014) sono state condotte sui risultati della prova penetrometrica CPT1: Il pelo libero della falda acquifera è stato posto ad una profondità di -2 metri.

La sintesi dei calcoli sono sintetizzati nel report allegato, dove sono riportati, diagrammi e risultati delle varie elaborazioni nonché tutte le spiegazioni sui metodi utilizzati per la verifica alla liquefazione, il calcolo dei cedimenti post sismici e delle deformazioni laterali.

In entrambe le prove si registrano fattori inferiori all'unità in livelli pressochè discordanti ; ad essi è associato un potenziale di liquefazione (CPT1=10,01), secondo Iwasaki et alii, alto.

Inoltre il software stesso ha fornito valori di cedimenti post sismici dovuti a liquefazione di 23,82 cm e deformazioni laterali di 2,26 m..

11 – Fattibilità dell'intervento

A seguito dell'indagine, nulla di realmente significativo è emerso che possa scongiurare la realizzazione degli interventi previsti: si esprime parere favorevole alla loro realizzazione.

La realizzazione delle opere di urbanizzazione non comportano particolari problematiche da un punto di vista geologico-tecnico. Per le infrastrutture viarie, parcheggi e piste ciclo pedonali dovrà essere prevista una preventiva fase di scotico (0,4÷0,5 m) ed il riporto di materiali idonei ben compattati in modo da non provocare eventuali cedimenti dei manti stradali. A tal proposito, l'impiego dei terreni francamente pelitici derivati dagli scotichi superficiali può avvenire solo nel caso in cui si proceda ad un loro previo trattamento con legante.

Particolare attenzione dovrà essere posta alla regimazione e all'allontanamento delle acque superficiali per una corretta regolamentazione degli apporti di acque meteoriche in un sistema idrografico delicato che ha assunto una propria individualità solo in tempi relativamente recenti in modo da favorire un loro riuso, del tutto compatibile con le caratteristiche del territorio individuate.

Al termine delle indagini è stata verificata la presenza di acqua a profondità di - 2,0 metri dal pdc: si tratta di un acquifero superficiale con valori di permeabilità e trasmissività molto variabili e alimentato dai corsi d'acqua, ormai pensili, e dall'infiltrazione delle acque meteoriche. Si fa presente che tale falda è soggetta a forti escursioni stagionali.

In ogni caso in fase esecutiva, qualora il progetto preveda la realizzazione di opere interrato o seminterrate, si dovrà accertare nuovamente la presenza di tali livelli idrici e se necessario, provvedere alla depressione artificiale della falda mediante well-points.

La vicinanza del livello di falda con un eventuale piano fondale superficiale impone inoltre adeguate opere di impermeabilizzazione dei muri contro terra e strutture di base adeguatamente dimensionate nei riguardi della sottospinta idrostatica.

In ogni caso risulta necessario, una volta definita l'azione d'esercizio delle opere in progetto, un calcolo dei cedimenti assoluti e differenziali prevedibili, sulla base dei parametri ricavati dalle prove sin qui effettuate in considerazione della presenza di significativi spessori di terreni comprimibili: in fase esecutiva si dovrà inoltre verificare l'omogeneità delle litologie presenti nel primo sottosuolo

L'esecuzione della prospezione sismica effettuata con metodo HVSR ha permesso di ottenere una sezione sismica di sintesi che fornisce per i diversi strati individuati la velocità delle onde S. Sulla base dei risultati dell'indagine è stato possibile attribuire il suolo di fondazione in oggetto alla categoria C: i dati ricavati dall'indagine di III livello sono meno cautelativi considerando questa classe di sottosuolo.

La frequenza fondamentale di risonanza del sito indagato, ricavata dall'analisi delle misure di microtremore a stazione singola eseguite nell'area, risulta compresa tra 0,8 e 1,25 Hz e dovrà essere

messa a confronto con quelle degli edifici in progetto, verificandone la non coincidenza, al fine di evitare pericolosi fenomeni di "doppia risonanza".

Per quanto riguarda il fenomeno della liquefazione il software utilizzato ha fornito un potenziale di liquefazione alto: a detta del sottoscritto, in questo caso tale fenomeno può intendersi ininfluenza. Ad essa, va inoltre aggiunta la scarsa continuità laterale dei vari livelli sabbiosi liquefacibili.

Bologna, Marzo 2019

dott. geol. Beniamino Costantini

Ordine Geologi Abruzzo

n° 132



Allegato

Report misura microtremori

SAN GIORGIO DI PIANO_VIA Stalingrado,

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 26/06/18 11:25:17 End recording: 18/05/18 11:45:18

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

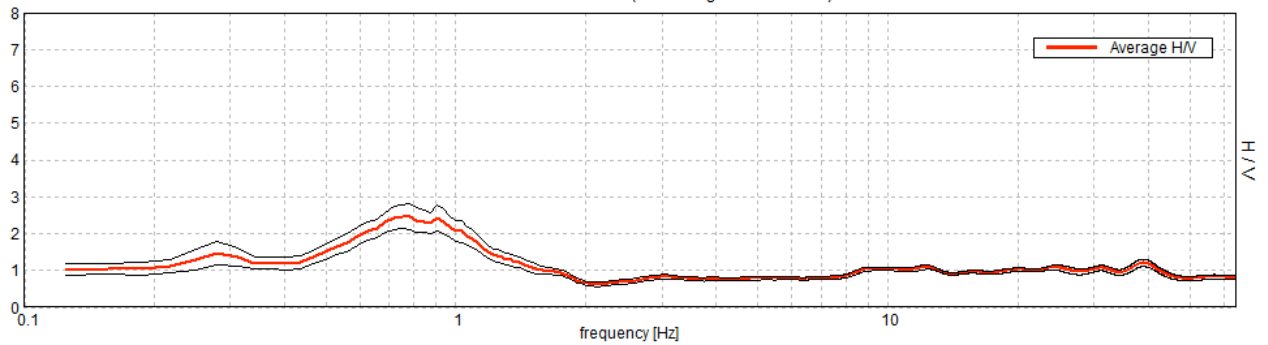
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

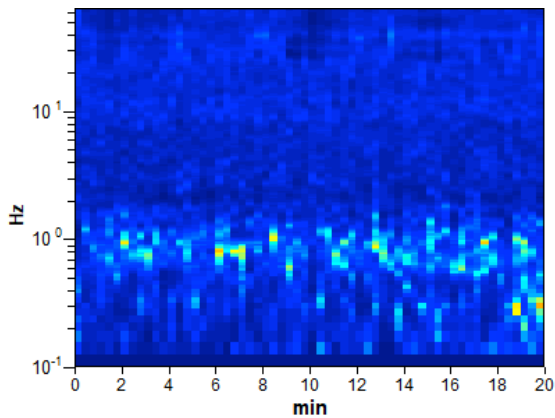
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

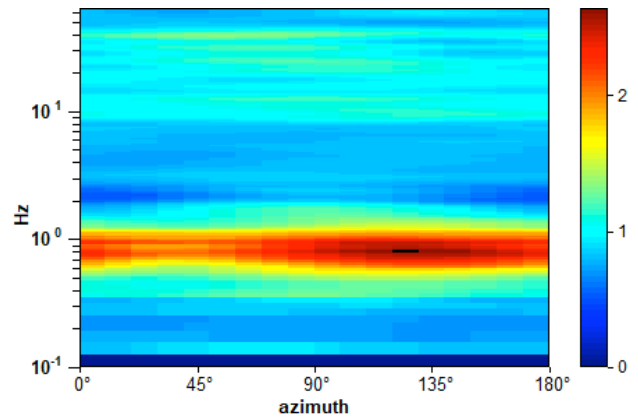
Max. H/V at 0.78 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



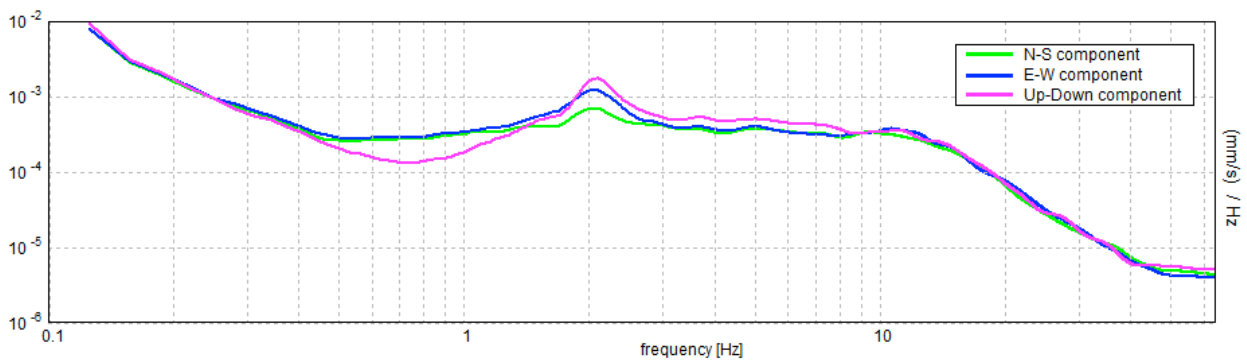
H/V TIME HISTORY



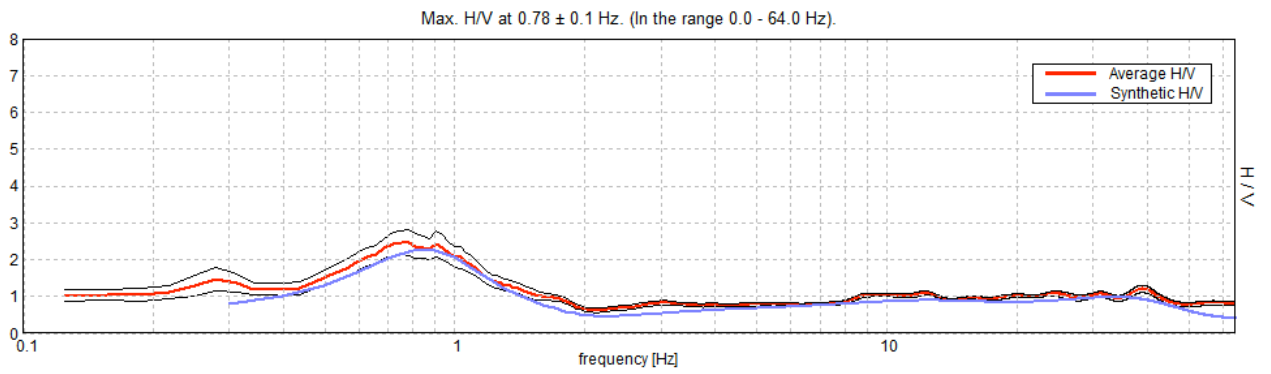
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

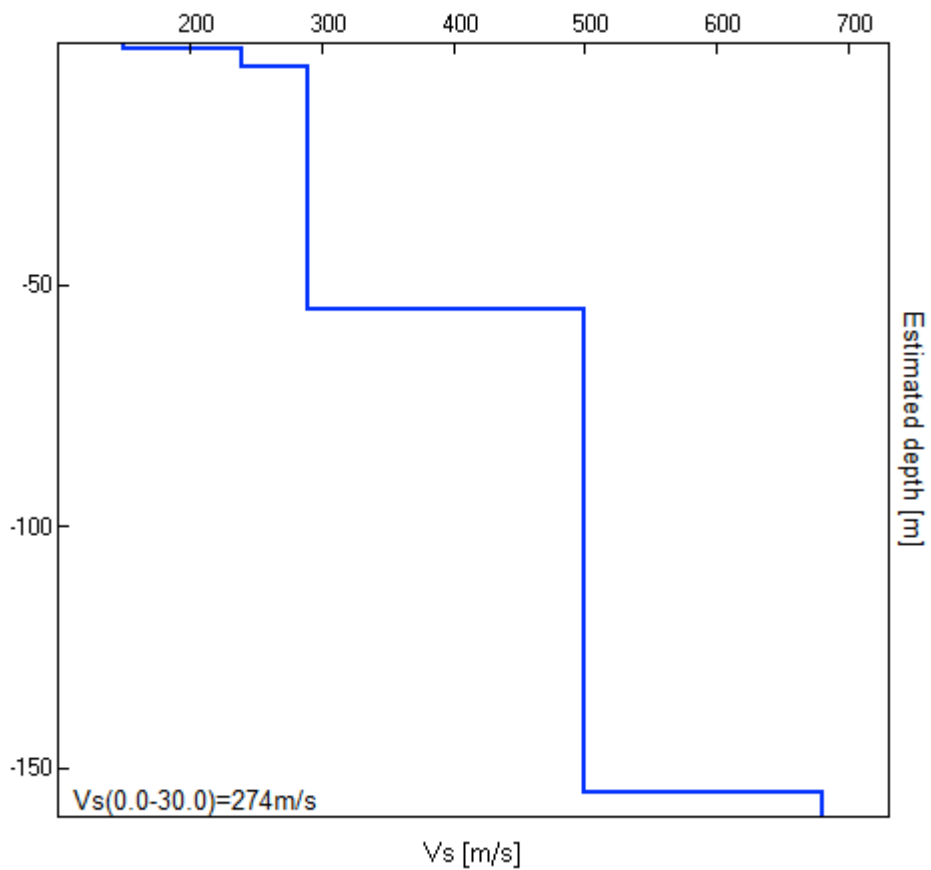


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	150	0.42
5.00	4.00	240	0.42
55.00	50.00	290	0.40
155.00	100.00	500	0.42
inf.	inf.	680	0.40

Vs(0.0-30.0)=274m/s



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

Max. H/V at 0.78 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$937.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 38 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.47 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12607 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09849 < 0.11719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3469 < 2.0$	OK	

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

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

Allegato
Riscontri penetrometrici

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dot. Geol. Beniamino Costantini
 - lavoro :
 - località : S. Giorgio di Piano
 - note :

- data : 26/06/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,80 m da quota inizio
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,73	----	10,20	28,0	36,0	28,0	0,47	60,0
0,40	25,0	36,0	25,0	1,40	18,0	10,40	33,0	40,0	33,0	0,53	62,0
0,60	18,0	39,0	18,0	1,73	10,0	10,60	48,0	56,0	48,0	0,40	120,0
0,80	9,0	35,0	9,0	0,87	10,0	10,80	43,0	49,0	43,0	0,53	81,0
1,00	8,0	21,0	8,0	0,33	24,0	11,00	27,0	35,0	27,0	0,67	40,0
1,20	12,0	17,0	12,0	0,13	90,0	11,20	29,0	39,0	29,0	0,47	62,0
1,40	10,0	12,0	10,0	0,27	37,0	11,40	24,0	31,0	24,0	0,20	120,0
1,60	9,0	13,0	9,0	0,40	22,0	11,60	17,0	20,0	17,0	0,73	23,0
1,80	11,0	17,0	11,0	0,27	41,0	11,80	42,0	53,0	42,0	1,00	42,0
2,00	6,0	10,0	6,0	0,20	30,0	12,00	62,0	77,0	62,0	0,53	116,0
2,20	6,0	9,0	6,0	0,27	22,0	12,20	57,0	65,0	57,0	0,87	66,0
2,40	5,0	9,0	5,0	0,40	12,0	12,40	50,0	63,0	50,0	1,07	47,0
2,60	6,0	12,0	6,0	0,27	22,0	12,60	49,0	65,0	49,0	1,20	41,0
2,80	8,0	12,0	8,0	0,33	24,0	12,80	42,0	60,0	42,0	0,67	63,0
3,00	27,0	32,0	27,0	0,53	51,0	13,00	40,0	50,0	40,0	0,60	67,0
3,20	7,0	15,0	7,0	0,13	52,0	13,20	31,0	40,0	31,0	0,40	77,0
3,40	7,0	9,0	7,0	0,27	26,0	13,40	41,0	47,0	41,0	0,67	61,0
3,60	6,0	10,0	6,0	0,20	30,0	13,60	38,0	48,0	38,0	1,07	36,0
3,80	9,0	12,0	9,0	0,27	34,0	13,80	67,0	83,0	67,0	0,73	91,0
4,00	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0	14,00	70,0	81,0	70,0	0,80	87,0
4,20	5,0	8,0	5,0	0,27	19,0	14,20	95,0	107,0	95,0	1,53	62,0
4,40	12,0	16,0	12,0	0,33	36,0	14,40	66,0	89,0	66,0	0,47	141,0
4,60	18,0	23,0	18,0	0,47	39,0	14,60	79,0	86,0	79,0	1,13	70,0
4,80	19,0	26,0	19,0	0,87	22,0	14,80	76,0	93,0	76,0	1,27	60,0
5,00	19,0	32,0	19,0	0,93	20,0	15,00	72,0	91,0	72,0	0,33	216,0
5,20	15,0	29,0	15,0	0,80	19,0	15,20	41,0	46,0	41,0	1,33	31,0
5,40	12,0	24,0	12,0	0,60	20,0	15,40	11,0	31,0	11,0	0,67	16,0
5,60	11,0	20,0	11,0	0,47	24,0	15,60	10,0	20,0	10,0	0,80	12,0
5,80	13,0	20,0	13,0	0,47	28,0	15,80	15,0	27,0	15,0	0,53	28,0
6,00	13,0	20,0	13,0	0,60	22,0	16,00	17,0	25,0	17,0	0,80	21,0
6,20	13,0	22,0	13,0	0,60	22,0	16,20	19,0	31,0	19,0	1,27	15,0
6,40	11,0	20,0	11,0	0,67	16,0	16,40	23,0	42,0	23,0	1,47	16,0
6,60	11,0	21,0	11,0	0,20	55,0	16,60	22,0	44,0	22,0	1,47	15,0
6,80	37,0	40,0	37,0	0,33	111,0	16,80	26,0	48,0	26,0	1,67	16,0
7,00	35,0	40,0	35,0	0,20	175,0	17,00	33,0	58,0	33,0	2,07	16,0
7,20	27,0	30,0	27,0	0,80	34,0	17,20	31,0	62,0	31,0	1,80	17,0
7,40	28,0	40,0	28,0	0,27	105,0	17,40	28,0	55,0	28,0	1,40	20,0
7,60	42,0	46,0	42,0	0,53	79,0	17,60	13,0	34,0	13,0	0,87	15,0
7,80	41,0	49,0	41,0	0,40	102,0	17,80	11,0	24,0	11,0	0,53	21,0
8,00	44,0	50,0	44,0	0,40	110,0	18,00	15,0	23,0	15,0	0,60	25,0
8,20	59,0	65,0	59,0	0,40	147,0	18,20	24,0	33,0	24,0	0,73	33,0
8,40	62,0	68,0	62,0	0,27	232,0	18,40	16,0	27,0	16,0	0,67	24,0
8,60	53,0	57,0	53,0	0,47	114,0	18,60	17,0	27,0	17,0	0,80	21,0
8,80	45,0	52,0	45,0	0,27	169,0	18,80	18,0	30,0	18,0	0,80	22,0
9,00	44,0	48,0	44,0	0,27	165,0	19,00	17,0	29,0	17,0	0,73	23,0
9,20	43,0	47,0	43,0	0,27	161,0	19,20	16,0	27,0	16,0	0,60	27,0
9,40	32,0	36,0	32,0	0,53	60,0	19,40	16,0	25,0	16,0	0,53	30,0
9,60	35,0	43,0	35,0	0,73	48,0	19,60	14,0	22,0	14,0	0,33	42,0
9,80	27,0	38,0	27,0	1,13	24,0	19,80	15,0	20,0	15,0	0,47	32,0
10,00	18,0	35,0	18,0	0,53	34,0	20,00	17,0	24,0	17,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dot. Geol. Beniamino Costantini
 - lavoro :
 - località : S.Giorgio di Piano
 - note :

- data : 26/06/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,73	----	5,20	18,0	22,0	18,0	0,40	45,0
0,40	51,0	77,0	51,0	1,27	40,0	5,40	19,0	25,0	19,0	0,33	57,0
0,60	43,0	62,0	43,0	3,33	13,0	5,60	21,0	26,0	21,0	0,60	35,0
0,80	30,0	80,0	30,0	3,07	10,0	5,80	17,0	26,0	17,0	0,40	42,0
1,00	17,0	63,0	17,0	1,60	11,0	6,00	19,0	25,0	19,0	0,33	57,0
1,20	12,0	36,0	12,0	1,13	11,0	6,20	26,0	31,0	26,0	0,20	130,0
1,40	8,0	25,0	8,0	0,60	13,0	6,40	19,0	22,0	19,0	0,67	28,0
1,60	7,0	16,0	7,0	0,47	15,0	6,60	22,0	32,0	22,0	0,53	41,0
1,80	6,0	13,0	6,0	0,27	22,0	6,80	25,0	33,0	25,0	0,40	62,0
2,00	6,0	10,0	6,0	0,20	30,0	7,00	25,0	31,0	25,0	0,47	54,0
2,20	5,0	8,0	5,0	0,07	75,0	7,20	27,0	34,0	27,0	0,47	58,0
2,40	8,0	9,0	8,0	0,27	30,0	7,40	34,0	41,0	34,0	0,67	51,0
2,60	4,0	8,0	4,0	0,27	15,0	7,60	33,0	43,0	33,0	0,27	124,0
2,80	7,0	11,0	7,0	0,20	35,0	7,80	36,0	40,0	36,0	0,53	67,0
3,00	9,0	12,0	9,0	0,33	27,0	8,00	26,0	34,0	26,0	0,27	97,0
3,20	11,0	16,0	11,0	0,20	55,0	8,20	24,0	28,0	24,0	0,13	180,0
3,40	16,0	19,0	16,0	0,20	80,0	8,40	33,0	35,0	33,0	0,47	71,0
3,60	10,0	13,0	10,0	0,40	25,0	8,60	37,0	44,0	37,0	1,00	37,0
3,80	8,0	14,0	8,0	0,13	60,0	8,80	33,0	48,0	33,0	0,47	71,0
4,00	11,0	13,0	11,0	0,27	41,0	9,00	33,0	40,0	33,0	0,87	38,0
4,20	8,0	12,0	8,0	0,40	20,0	9,20	38,0	51,0	38,0	0,87	44,0
4,40	13,0	19,0	13,0	0,33	39,0	9,40	19,0	32,0	19,0	0,20	95,0
4,60	14,0	19,0	14,0	0,40	35,0	9,60	37,0	40,0	37,0	0,27	139,0
4,80	17,0	23,0	17,0	0,20	85,0	9,80	35,0	39,0	35,0	0,13	262,0
5,00	18,0	21,0	18,0	0,27	67,0	10,00	37,0	39,0	37,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

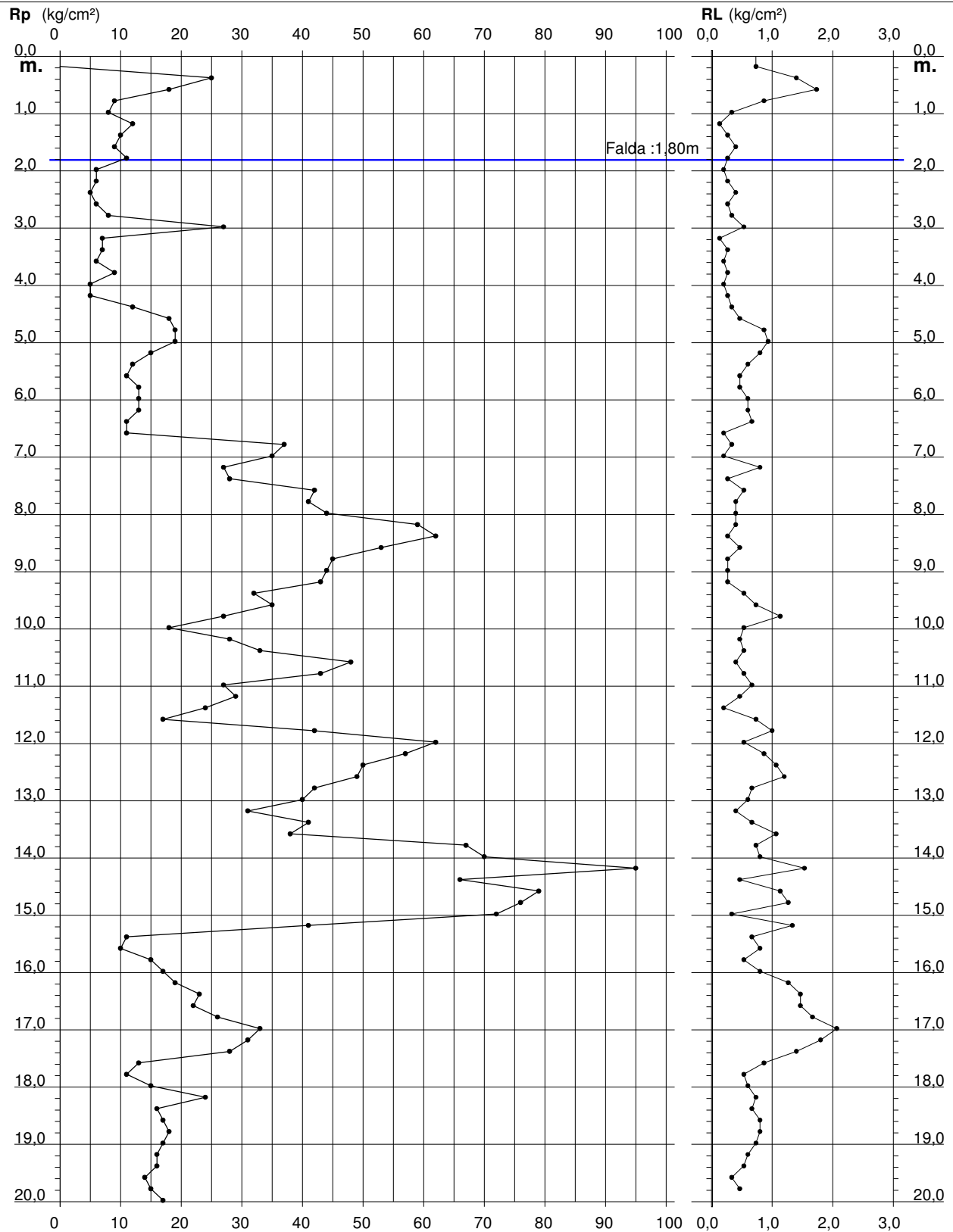
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dot. Geol. Beniamino Costantini
- lavoro :
- località : S. Giorgio di Piano

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,80 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



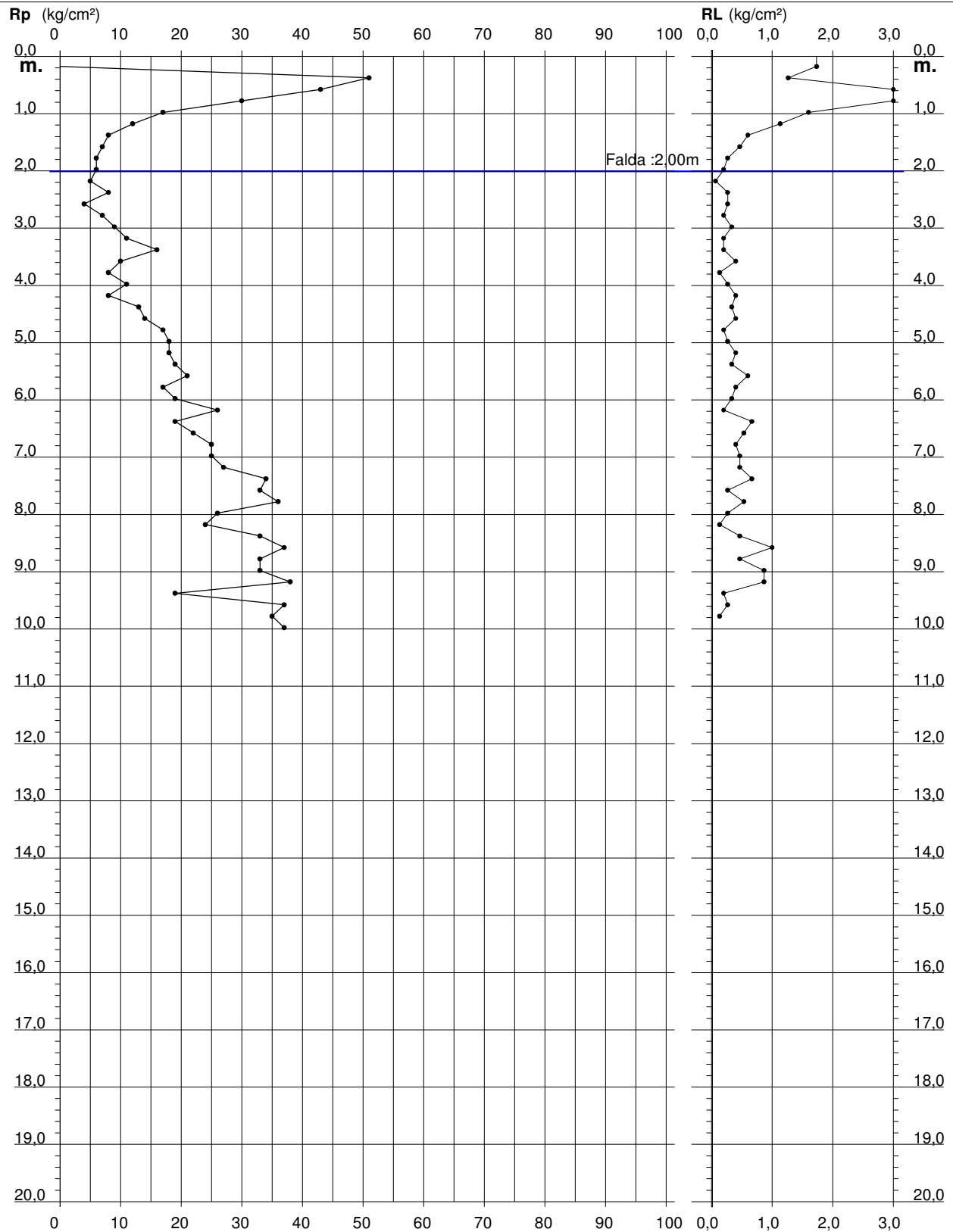
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dot. Geol. Beniamino Costantini
- lavoro :
- località : S.Giorgio di Piano

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



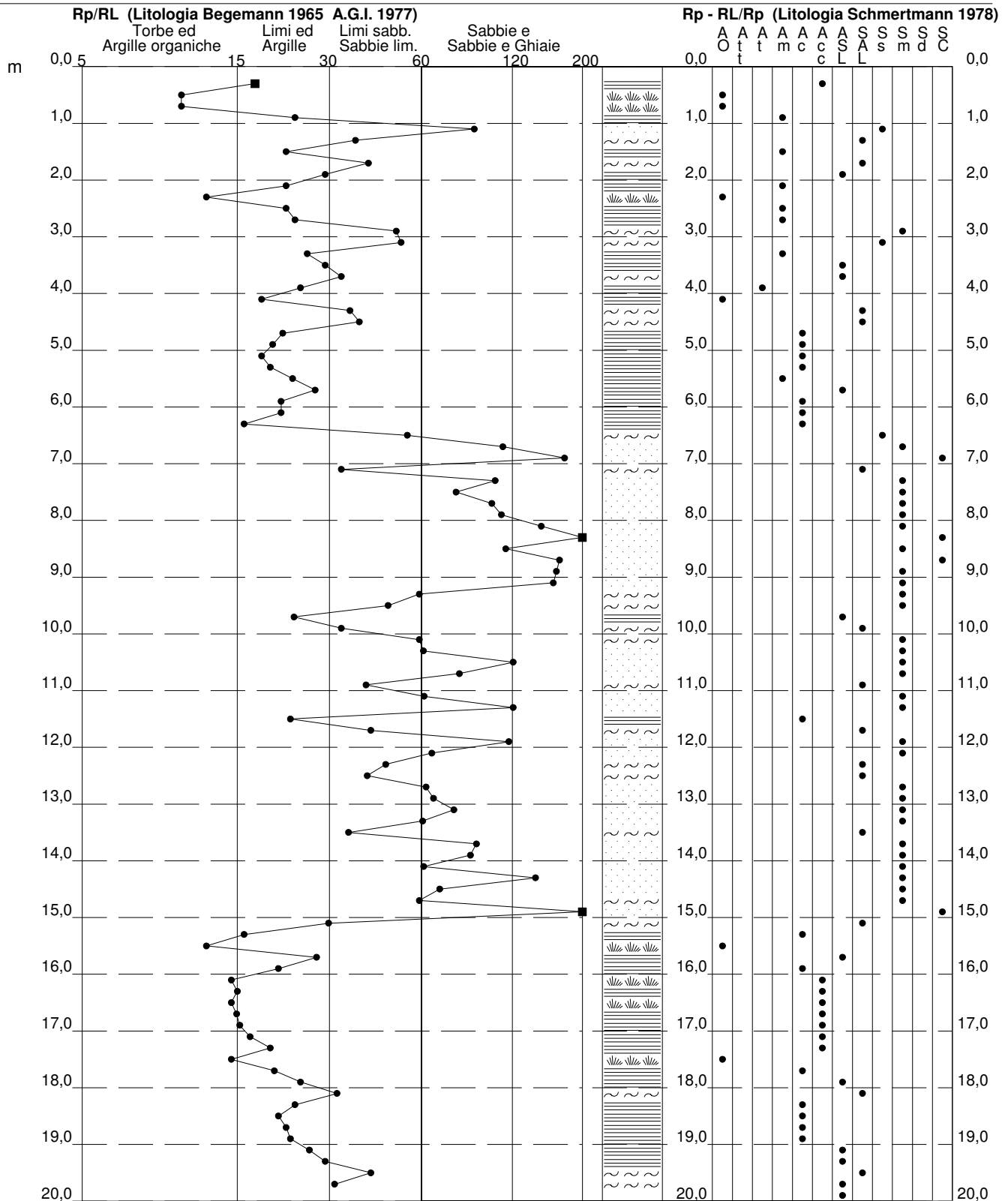
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dot. Geol. Beniamino Costantini
- lavoro :
- località : S. Giorgio di Piano
- note :

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,80 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



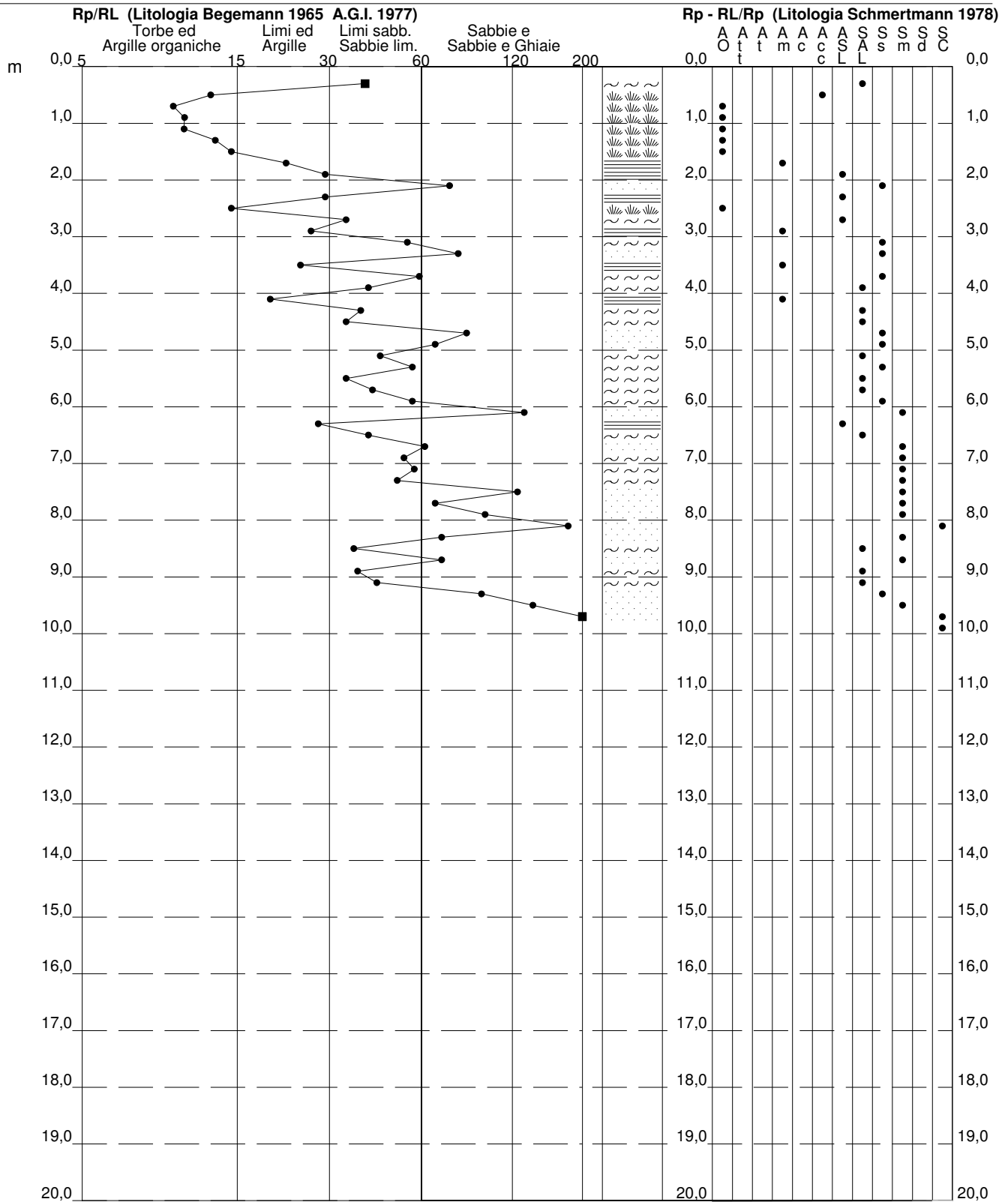
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dot. Geol. Beniamino Costantini
- lavoro :
- località : S.Giorgio di Piano
- note :

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



**PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dot. Geol. Beniamino Costantini
- lavoro :
- località : S. Giorgio di Piano
- note :

- data : 26/06/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,80 m da quota inizio
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/RI (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	omy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	25	18	4/3	1,85	0,07	0,91	99,9	155	232	75	88	40	42	43	45	42	28	0,216	42	63	75	
0,60	18	10	2/III	1,85	0,11	0,75	68,4	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	9	10	2/III	1,85	0,15	0,45	25,2	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	8	24	2/III	1,85	0,19	0,40	16,5	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	12	90	4/3	1,85	0,22	0,57	20,5	97	146	45	36	33	36	38	41	34	26	0,070	20	30	36	
1,40	10	37	4/3	1,85	0,26	0,50	14,3	85	128	40	26	32	34	37	40	32	26	0,049	17	25	30	
1,60	9	22	2/III	1,85	0,30	0,45	10,6	77	115	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	11	41	4/3	0,87	0,31	0,54	12,3	91	137	38	24	31	34	37	40	31	26	0,047	18	28	33	
2,00	6	30	4/3	0,82	0,33	0,30	5,6	89	134	29	2	28	32	35	38	27	26	0,006	10	15	18	
2,20	6	22	2/III	0,82	0,35	0,30	5,3	95	142	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	5	12	1***	0,46	0,36	0,25	4,0	17	26	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	6	22	2/III	0,82	0,37	0,30	4,8	103	155	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	8	24	2/III	0,86	0,39	0,40	6,5	100	150	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	27	51	3:III	0,87	0,41	--	--	--	--	--	49	35	37	39	42	35	28	0,101	45	68	81	
3,20	7	52	4/3	0,83	0,42	0,35	5,0	117	175	32	2	28	31	35	38	27	26	0,004	12	18	21	
3,40	7	26	2/III	0,84	0,44	0,35	4,7	122	183	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	6	30	4/3	0,82	0,46	0,30	3,7	129	193	29	--	28	31	35	38	26	26	--	10	15	18	
3,80	9	34	4/3	0,85	0,47	0,45	5,9	126	189	38	8	29	32	35	39	28	26	0,016	15	23	27	
4,00	5	25	2/III	0,80	0,49	0,25	2,7	129	193	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	5	19	2/III	0,80	0,51	0,25	2,6	131	196	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	12	36	4/3	0,88	0,52	0,57	7,0	131	196	45	15	30	33	36	39	29	26	0,029	20	30	36	
4,60	18	39	4/3	0,91	0,54	0,75	9,4	130	194	56	28	32	35	37	40	31	27	0,054	30	45	54	
4,80	19	22	2/III	0,99	0,56	0,78	9,4	134	201	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,00	19	20	2/III	0,99	0,58	0,78	9,0	138	206	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,20	15	19	2/III	0,95	0,60	0,67	7,2	149	224	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,40	12	20	2/III	0,92	0,62	0,57	5,7	166	249	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	11	24	2/III	0,91	0,64	0,54	5,1	175	263	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,80	13	28	2/III	0,93	0,65	0,60	5,7	176	264	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	13	22	2/III	0,93	0,67	0,60	5,5	182	274	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,20	13	22	2/III	0,93	0,69	0,60	5,3	189	283	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	11	16	2/III	0,91	0,71	0,54	4,4	198	297	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	11	55	4/3	0,87	0,73	0,54	4,3	203	305	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	37	111	3:III	0,89	0,75	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	33	30	0,092	62	93	111	
7,00	35	175	3:III	0,89	0,76	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	33	29	0,086	58	88	105	
7,20	27	34	3:III	0,87	0,78	--	--	--	--	--	33	33	35	38	41	31	28	0,064	45	68	81	
7,40	28	105	3:III	0,87	0,80	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	31	28	0,066	47	70	84	
7,60	42	79	3:III	0,90	0,82	--	--	--	--	--	47	35	37	39	42	33	30	0,097	70	105	126	
7,80	41	102	3:III	0,90	0,83	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	33	30	0,094	68	103	123	
8,00	44	110	3:III	0,91	0,85	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	33	31	0,098	73	110	132	
8,20	59	147	3:III	0,93	0,87	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	35	32	0,123	98	148	177	
8,40	62	232	3:III	0,94	0,89	--	--	--	--	--	58	36	38	40	43	35	32	0,126	103	155	186	
8,60	53	114	3:III	0,92	0,91	--	--	--	--	--	53	35	38	40	42	34	31	0,110	88	133	159	
8,80	45	169	3:III	0,91	0,93	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	33	31	0,095	75	113	135	
9,00	44	165	3:III	0,91	0,94	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	33	31	0,092	73	110	132	
9,20	43	161	3:III	0,91	0,96	--	--	--	--	--	44	34	37	39	42	32	30	0,089	72	108	129	
9,40	32	60	3:III	0,88	0,98	--	--	--	--	--	33	33	35	38	41	31	29	0,065	53	80	96	
9,60	35	48	3:III	0,89	1,00	--	--	--	--	--	36	33	36	38	41	31	29	0,071	58	88	105	
9,80	27	24	4/3	0,95	1,02	0,95	5,7	272	409	81	27	32	34	37	40	30	28	0,051	45	68	81	
10,00	18	34	4/3	0,91	1,03	0,75	4,2	289	434	56	12	30	33	36	39	27	27	0,024	30	45	54	
10,20	28	60	3:III	0,87	1,05	--	--	--	--	--	27	32	34	37	40	30	28	0,052	47	70	84	
10,40	33	62	3:III	0,88	1,07	--	--	--	--	--	32	33	35	38	41	30	29	0,063	55	83	99	
10,60	48	120	3:III	0,91	1,09	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	32	31	0,091	80	120	144	
10,80	43	81	3:III	0,91	1,11	--	--	--	--	--	41	34	36	39	41	32	30	0,081	72	108	129	
11,00	27	40	3:III	0,87	1,12	--	--	--	--	--	24	31	34	37	40	29	28	0,046	45	68	81	
11,20	29	62	3:III	0,87	1,14	--	--	--	--	--	26	32	34	37	40	29	29	0,050	48	73	87	
11,40	24	120	3:III	0,86	1,16	--	--	--	--	--	19	31	34	36	40	28	28	0,037	40	60	72	
11,60	17	23	2/III	0,97	1,18	0,72	3,4	331	497	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11,80	42	142	3:III	0,90	1,20	--	--	--	--	--	38	33	36	38	41	31	30	0,075	70	105	126	
12,00	62	116	3:III	0,94	1,21	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	33	32	0,106	103	155	186	
12,20	57	66	3:III	0,93	1,23	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	33	31	0,098	95	143	171	
12,40	50	47	3:III	0,92	1,25	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	32	31	0,086	83	125	150	
12,60	49	41	3:III	0,92	1,27	--	--	--	--	--	42	34	36	39	41	32	31	0,084	82	123	147	
12,80	42	63	3:III	0,90	1,29	--	--	--	--	--	36	33	36	38	41	31	30	0,071	70	105	126	
13,00	40	67	3:III	0,90	1,31	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	30	30	0,066	67	100	120	
13,20	31	77	3:III	0,88	1,32	--	--	--	--	--	25	31	34	37	40	29	29	0,047	52	78	93	
13,40	41	61	3:III	0,90	1,34	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	30	30	0,067	68	103	123	
13,60	38	36	3:III	0,90	1,36	--	--	--	--	--	31	32	35	38	40	30	30	0,060	63	90	114	
13,80	67	91	3:III	0,95	1,38	--	--	--	--	--	50	35	37	40	42	33	32	0,105	112	168	201	
14,00	70	87	3:III	0,95	1,40	--	--	--	--	--	52	35	37	40	42	33	32	0,108	117	175	210	
14,20	95	62	3:III	0,99	1,42	--	--	--	--	--	52	37	39	41	43	35	34	0,135	158	238	285	
14,40	66	141	3:III	0,94	1,44	--	--	--	--	--	49	35	37	39	42	33	32	0,101	110	165	198	
14,60	79	70	3:III	0,97	1,46	--	--	--	--	--	55	36										

Allegato
Report verificaione alla liquefazione

TABLE OF CONTENTS

CPT1 results	
Summary data report	1
Input field data	7
Cyclic stress resistance results	10
Cyclic resistance ratio results	13
Liquefaction potential index data	16
Vertical settlements summary report	18
Vertical settlements data report	19
Lateral displacements summary report	21
Lateral displacements data report	22
Strength loss data report	25

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

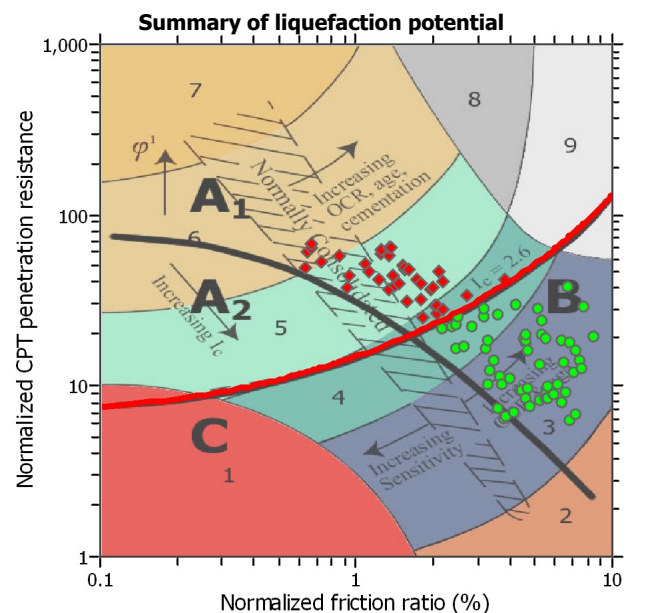
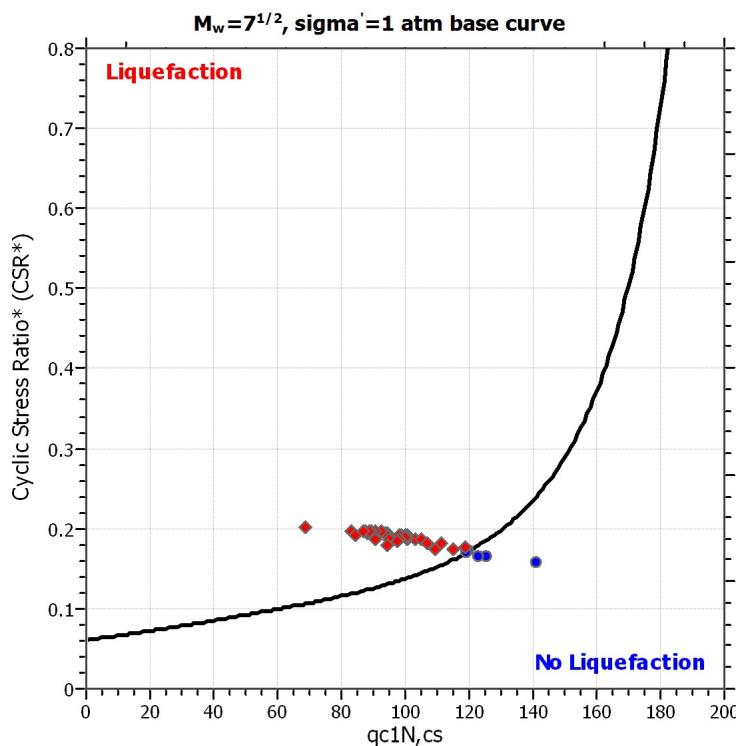
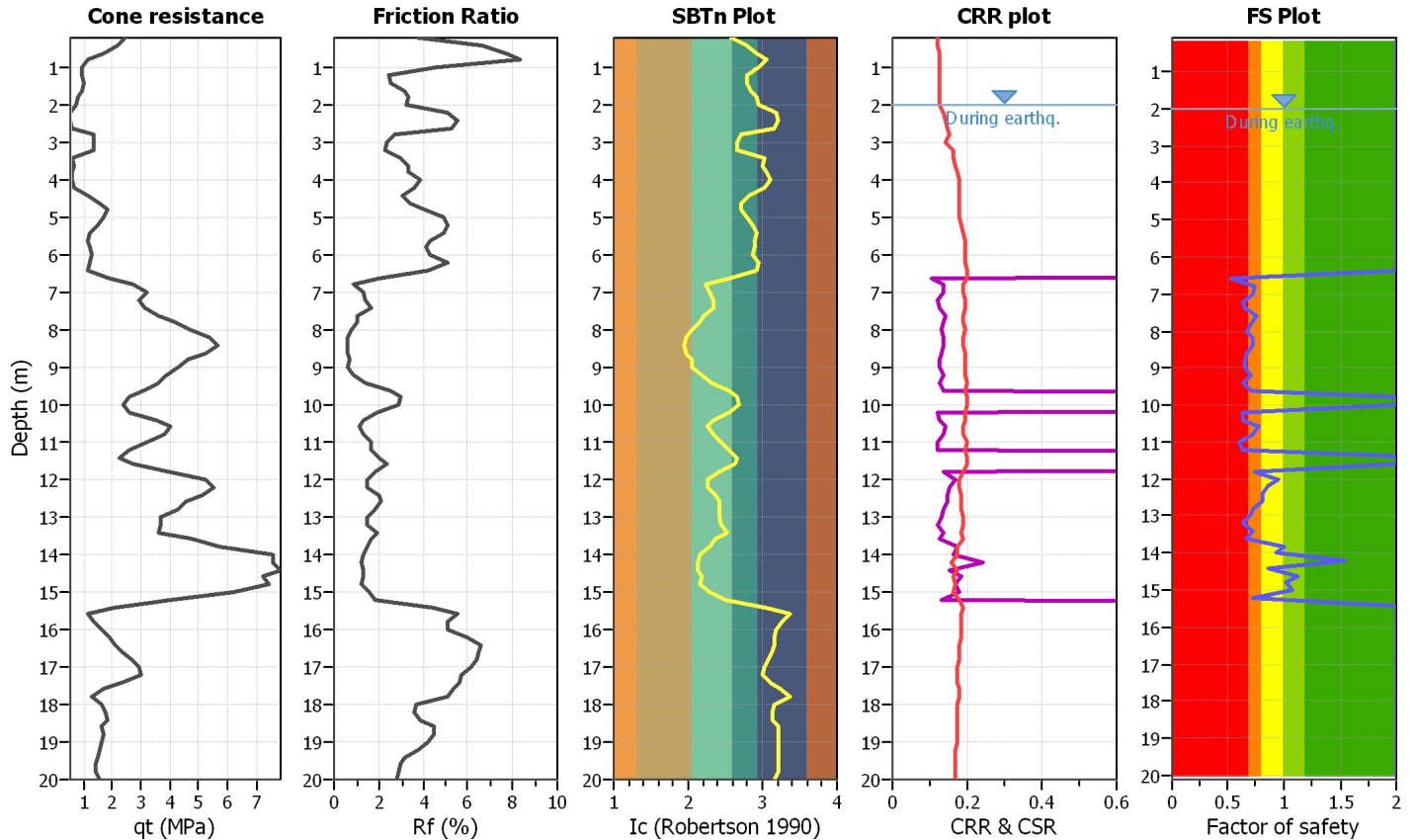
Project title : Piano Urbanistico Attuativo POC Sub ambito

Location : San Giorgio di Piano

CPT file : CPT1

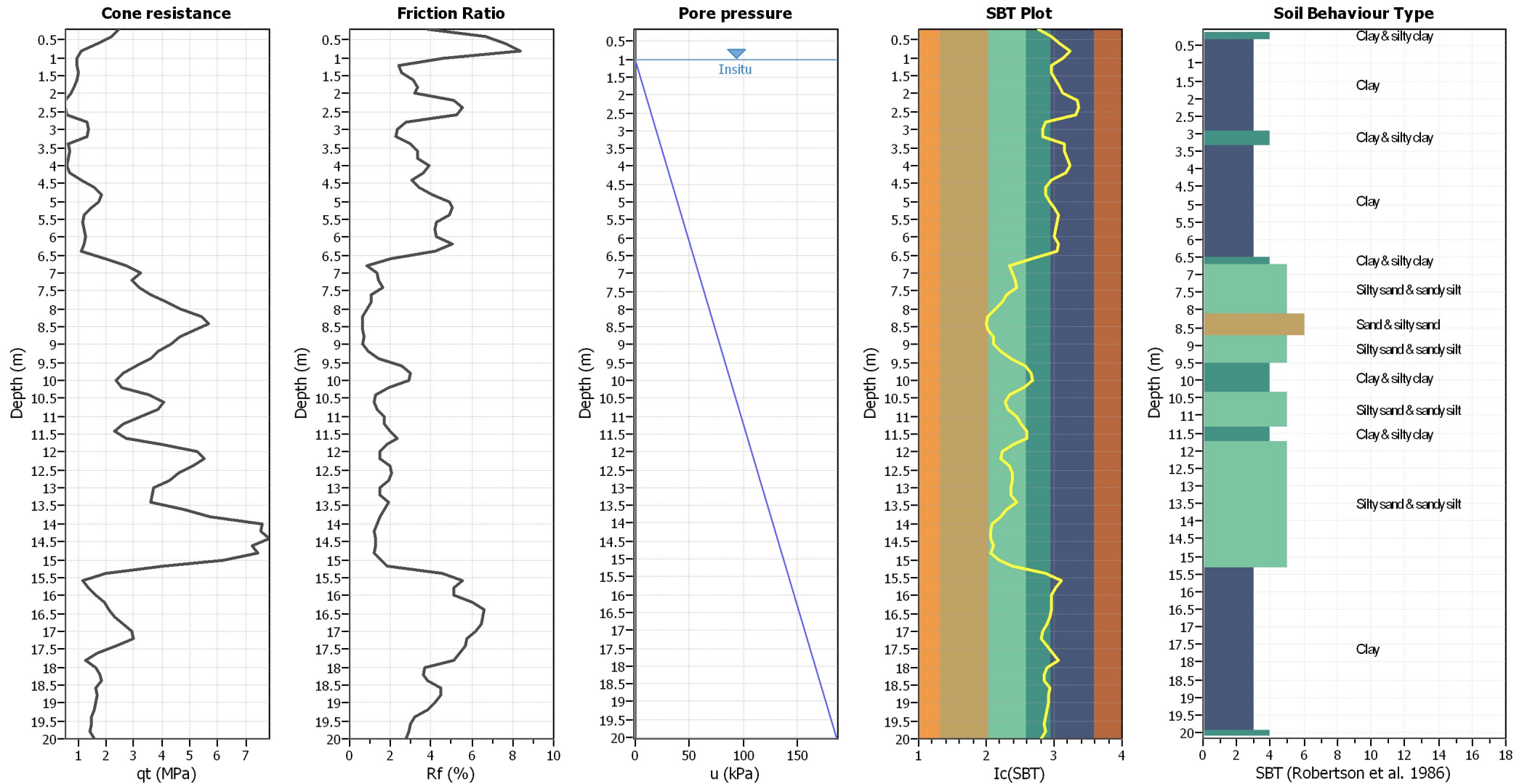
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.92	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

CPT basic interpretation plots



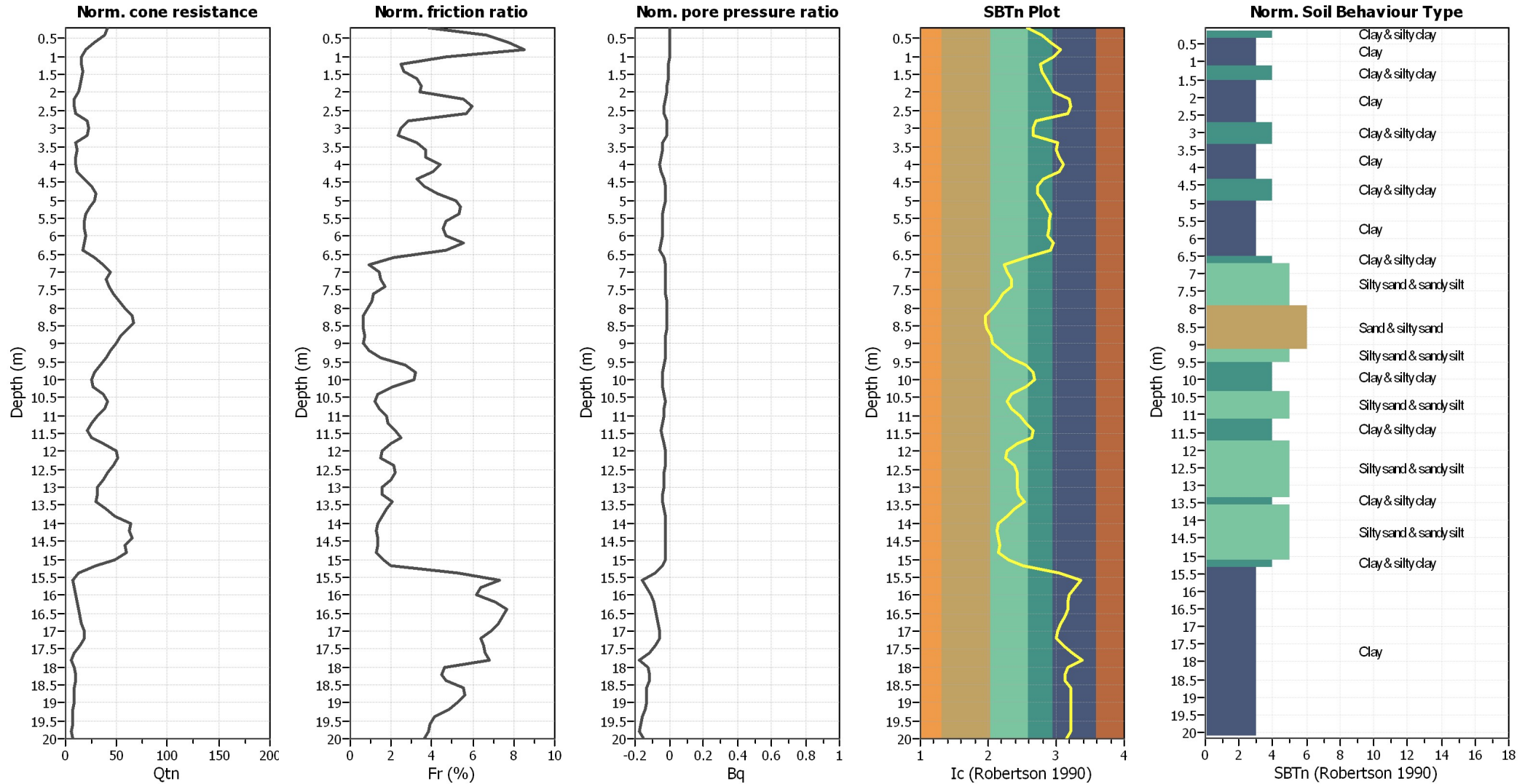
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_G applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	5.92	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.24	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

CPT basic interpretation plots (normalized)



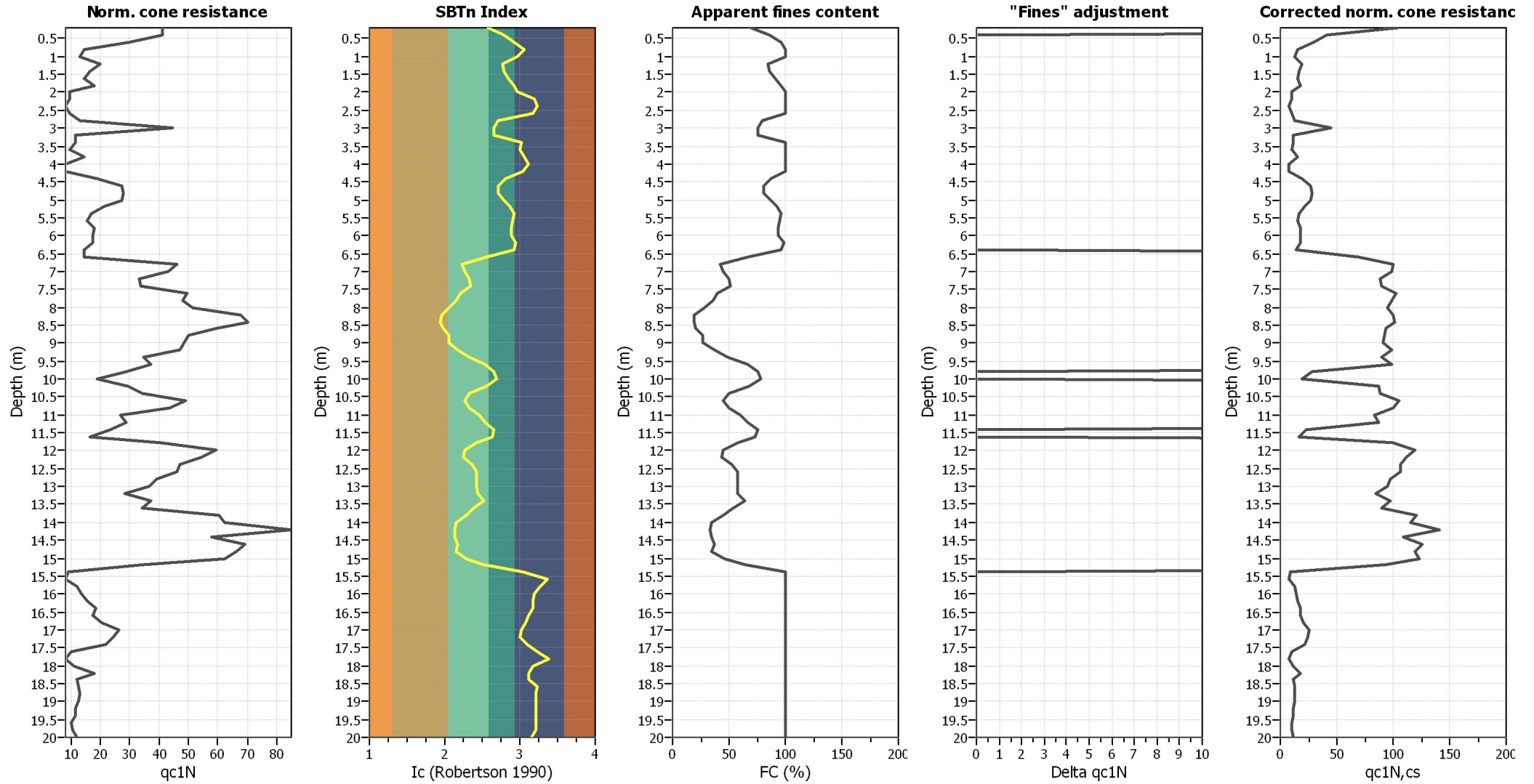
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	5.92	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

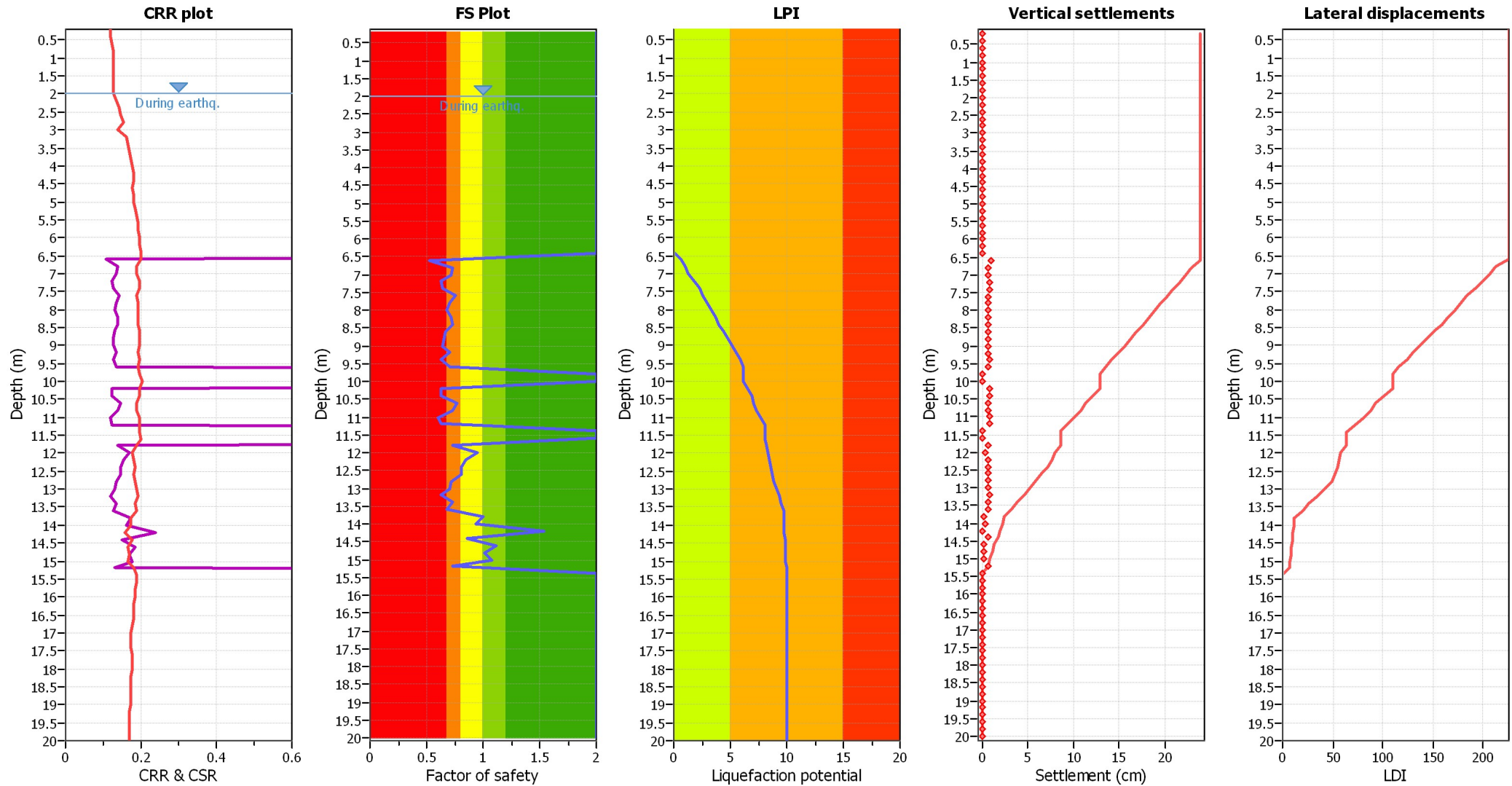
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	5.92	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.24	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:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_f applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	5.92	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

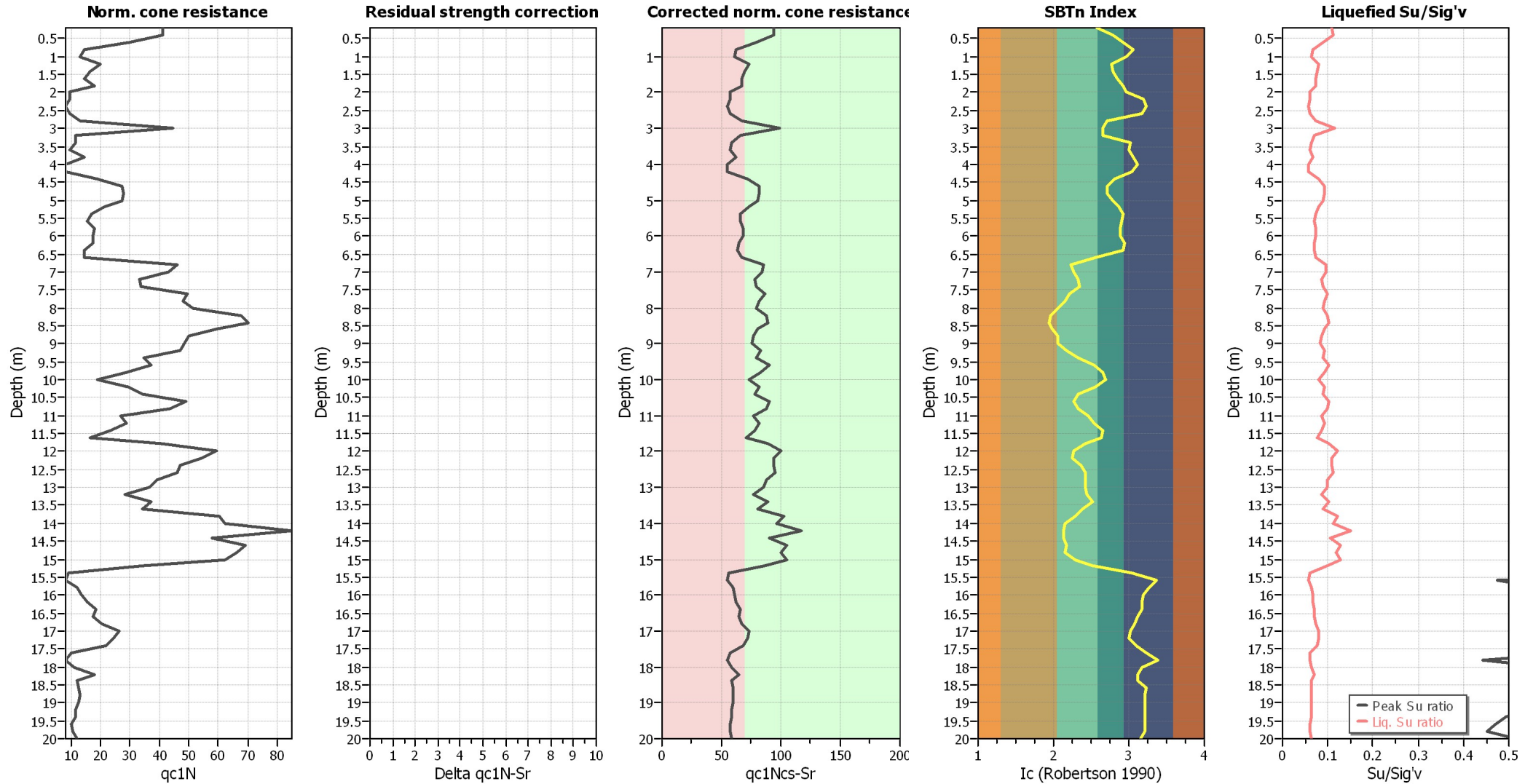
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _G applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	5.92	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.20	2.45	71.59	0.00	34.54	18.55
2	0.40	2.45	137.29	0.00	45.27	19.04
3	0.60	1.77	169.66	0.00	52.93	18.80
4	0.80	0.88	85.32	0.00	63.02	18.29
5	1.00	0.78	32.36	0.00	55.49	17.31
6	1.20	1.18	12.75	0.00	44.65	16.63
7	1.40	0.98	26.48	0.00	44.93	16.75
8	1.60	0.88	39.23	0.00	48.70	16.92
9	1.80	1.08	26.48	0.00	53.13	16.78
10	2.00	0.59	19.61	0.00	55.60	16.54
11	2.20	0.59	26.48	0.00	72.78	16.61
12	2.40	0.49	39.23	0.00	74.71	16.70
13	2.60	0.59	26.48	0.00	70.61	16.82
14	2.80	0.78	32.36	0.00	40.95	17.25
15	3.00	2.65	51.98	0.00	38.39	17.11
16	3.20	0.69	12.75	0.00	38.41	17.03
17	3.40	0.69	26.48	0.00	59.57	16.25
18	3.60	0.59	19.61	0.00	59.10	16.53
19	3.80	0.88	26.48	0.00	61.96	16.38
20	4.00	0.49	19.61	0.00	66.54	16.47
21	4.20	0.49	26.48	0.00	61.12	16.62
22	4.40	1.18	32.36	0.00	46.58	17.13
23	4.60	1.77	46.09	0.00	41.34	17.77
24	4.80	1.86	85.32	0.00	41.57	18.17
25	5.00	1.86	91.20	0.00	45.88	18.31
26	5.20	1.47	78.45	0.00	49.46	18.13
27	5.40	1.18	58.84	0.00	53.36	17.80
28	5.60	1.08	46.09	0.00	52.25	17.56
29	5.80	1.27	46.09	0.00	51.24	17.57
30	6.00	1.27	58.84	0.00	50.60	17.68
31	6.20	1.27	58.84	0.00	55.00	17.79
32	6.40	1.08	65.70	0.00	53.13	17.49
33	6.60	1.08	19.61	0.00	32.91	17.46
34	6.80	3.63	32.36	0.00	20.26	17.02
35	7.00	3.43	19.61	0.00	21.72	17.78
36	7.20	2.65	78.45	0.00	23.66	17.69
37	7.40	2.75	26.48	0.00	24.42	17.98
38	7.60	4.12	51.98	0.00	19.15	17.70
39	7.80	4.02	39.23	0.00	17.52	17.87
40	8.00	4.31	39.23	0.00	14.68	17.80
41	8.20	5.79	39.23	0.00	11.91	17.72
42	8.40	6.08	26.48	0.00	11.60	17.82
43	8.60	5.20	46.09	0.00	12.32	17.64
44	8.80	4.41	26.48	0.00	14.41	17.60
45	9.00	4.31	26.48	0.00	14.44	17.32
46	9.20	4.22	26.48	0.00	18.41	17.60
47	9.40	3.14	51.98	0.00	23.37	17.98
48	9.60	3.43	71.59	0.00	32.75	18.43

:: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
49	9.80	2.65	110.82	0.00	38.09	18.37
50	10.00	1.77	51.98	0.00	39.86	18.20
51	10.20	2.75	46.09	0.00	33.28	17.85
52	10.40	3.24	51.98	0.00	23.86	17.87
53	10.60	4.71	39.23	0.00	21.43	17.97
54	10.80	4.22	51.98	0.00	23.64	18.06
55	11.00	2.65	65.70	0.00	28.85	18.04
56	11.20	2.84	46.09	0.00	32.76	17.70
57	11.40	2.35	19.61	0.00	37.87	17.70
58	11.60	1.67	71.59	0.00	36.74	18.14
59	11.80	4.12	98.07	0.00	27.68	18.46
60	12.00	6.08	51.98	0.00	21.39	18.64
61	12.20	5.59	85.32	0.00	20.74	18.69
62	12.40	4.90	104.93	0.00	25.37	18.94
63	12.60	4.81	117.68	0.00	27.48	18.83
64	12.80	4.12	65.70	0.00	27.67	18.60
65	13.00	3.92	58.84	0.00	27.56	18.09
66	13.20	3.04	39.23	0.00	28.02	18.09
67	13.40	4.02	65.70	0.00	31.65	18.36
68	13.60	3.73	104.93	0.00	25.55	18.64
69	13.80	6.57	71.59	0.00	21.76	18.77
70	14.00	6.86	78.45	0.00	17.23	19.06
71	14.20	9.32	150.04	0.00	16.67	18.96
72	14.40	6.47	46.09	0.00	17.00	19.10
73	14.60	7.75	110.82	0.00	18.07	18.97
74	14.80	7.45	124.54	0.00	17.20	18.92
75	15.00	7.06	32.36	0.00	22.12	18.93
76	15.20	4.02	130.43	0.00	31.20	18.51
77	15.40	1.08	65.70	0.00	61.72	18.45
78	15.60	0.98	78.45	0.00	86.82	17.86
79	15.80	1.47	51.98	0.00	78.58	17.99
80	16.00	1.67	78.45	0.00	71.77	18.29
81	16.20	1.86	124.54	0.00	70.67	18.71
82	16.40	2.26	144.16	0.00	70.43	18.94
83	16.60	2.16	144.16	0.00	67.30	19.08
84	16.80	2.55	163.77	0.00	63.61	19.27
85	17.00	3.24	203.00	0.00	60.16	19.38
86	17.20	3.04	176.52	0.00	58.48	19.33
87	17.40	2.75	137.29	0.00	65.51	18.94
88	17.60	1.27	85.32	0.00	75.96	18.39
89	17.80	1.08	51.98	0.00	87.63	17.89
90	18.00	1.47	58.84	0.00	70.58	17.90
91	18.20	2.35	71.59	0.00	67.03	18.02
92	18.40	1.57	65.70	0.00	67.29	18.14
93	18.60	1.67	78.45	0.00	74.69	18.14
94	18.80	1.77	78.45	0.00	74.48	18.18
95	19.00	1.67	71.59	0.00	74.18	18.06
96	19.20	1.57	58.84	0.00	74.24	17.89

:: Field input data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	u (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
97	19.40	1.57	51.98	0.00	73.70	17.59
98	19.60	1.37	32.36	0.00	73.65	17.48
99	19.80	1.47	46.09	0.00	74.58	17.41
100	20.00	1.67	44.13	0.00	69.84	17.54

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q _c :	Measured cone resistance (MPa)
f _s :	Sleeve friction resistance (kPa)
u:	Pore pressure (kPa)
Fines content:	Percentage of fines in soil (%)
Unit weight:	Bulk soil unit weight (kN/m ³)

:: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data ::

Point ID	Depth (m)	σ_v (kPa)	u_0 (kPa)	σ_v' (kPa)	r_d	CSR	MSF	CSR _{eq}	K_σ	User FS	CSR*	Belongs to transition
1	0.20	3.71	0.00	3.71	1.00	0.156	1.51	0.103	1.10	1.00	2.000	No
2	0.40	7.52	0.00	7.52	1.00	0.156	1.51	0.103	1.10	1.00	2.000	No
3	0.60	11.28	0.00	11.28	1.00	0.156	1.51	0.103	1.10	1.00	2.000	No
4	0.80	14.94	0.00	14.94	1.00	0.156	1.51	0.103	1.10	1.00	2.000	No
5	1.00	18.40	0.00	18.40	0.99	0.155	1.51	0.102	1.10	1.00	2.000	No
6	1.20	21.72	0.00	21.72	0.99	0.155	1.51	0.102	1.10	1.00	2.000	No
7	1.40	25.07	0.00	25.07	0.99	0.154	1.51	0.102	1.10	1.00	2.000	No
8	1.60	28.46	0.00	28.46	0.98	0.153	1.51	0.101	1.10	1.00	2.000	No
9	1.80	31.81	0.00	31.81	0.98	0.153	1.51	0.101	1.10	1.00	2.000	No
10	2.00	35.12	0.00	35.12	0.98	0.152	1.51	0.101	1.09	1.00	2.000	No
11	2.20	38.44	1.96	36.48	0.97	0.160	1.51	0.106	1.08	1.00	0.135	No
12	2.40	41.78	3.92	37.86	0.97	0.167	1.51	0.110	1.08	1.00	0.142	No
13	2.60	45.15	5.89	39.26	0.97	0.173	1.51	0.115	1.08	1.00	0.147	No
14	2.80	48.60	7.85	40.75	0.96	0.179	1.51	0.118	1.08	1.00	0.152	No
15	3.00	52.02	9.81	42.21	0.96	0.184	1.51	0.122	1.10	1.00	0.140	No
16	3.20	55.42	11.77	43.65	0.95	0.189	1.51	0.125	1.07	1.00	0.162	No
17	3.40	58.67	13.73	44.94	0.95	0.194	1.51	0.128	1.07	1.00	0.166	No
18	3.60	61.98	15.70	46.28	0.95	0.198	1.51	0.131	1.06	1.00	0.170	No
19	3.80	65.25	17.66	47.60	0.94	0.201	1.51	0.133	1.07	1.00	0.172	No
20	4.00	68.55	19.62	48.93	0.94	0.205	1.51	0.136	1.06	1.00	0.178	No
21	4.20	71.87	21.58	50.29	0.93	0.208	1.51	0.138	1.06	1.00	0.181	No
22	4.40	75.30	23.54	51.75	0.93	0.211	1.51	0.139	1.06	1.00	0.179	No
23	4.60	78.85	25.51	53.35	0.92	0.213	1.51	0.141	1.06	1.00	0.178	No
24	4.80	82.49	27.47	55.02	0.92	0.215	1.51	0.142	1.06	1.00	0.179	No
25	5.00	86.15	29.43	56.72	0.92	0.217	1.51	0.143	1.06	1.00	0.181	No
26	5.20	89.77	31.39	58.38	0.91	0.219	1.51	0.145	1.05	1.00	0.186	No
27	5.40	93.33	33.35	59.98	0.91	0.220	1.51	0.146	1.05	1.00	0.190	No
28	5.60	96.85	35.32	61.53	0.90	0.222	1.51	0.146	1.04	1.00	0.193	No
29	5.80	100.36	37.28	63.08	0.90	0.223	1.51	0.147	1.04	1.00	0.193	No
30	6.00	103.90	39.24	64.66	0.89	0.224	1.51	0.148	1.04	1.00	0.195	No
31	6.20	107.45	41.20	66.25	0.89	0.225	1.51	0.149	1.04	1.00	0.196	No
32	6.40	110.95	43.16	67.79	0.88	0.226	1.51	0.149	1.03	1.00	0.198	No
33	6.60	114.45	45.13	69.32	0.88	0.226	1.51	0.150	1.03	1.00	0.201	No
34	6.80	117.85	47.09	70.76	0.87	0.227	1.51	0.150	1.04	1.00	0.187	No
35	7.00	121.41	49.05	72.36	0.87	0.228	1.51	0.150	1.04	1.00	0.189	No
36	7.20	124.94	51.01	73.93	0.86	0.228	1.51	0.151	1.03	1.00	0.195	No
37	7.40	128.54	52.97	75.57	0.86	0.228	1.51	0.151	1.03	1.00	0.195	No
38	7.60	132.08	54.94	77.14	0.85	0.228	1.51	0.151	1.03	1.00	0.188	No
39	7.80	135.65	56.90	78.76	0.85	0.228	1.51	0.151	1.03	1.00	0.191	No
40	8.00	139.21	58.86	80.35	0.84	0.228	1.51	0.151	1.02	1.00	0.194	No
41	8.20	142.76	60.82	81.94	0.84	0.228	1.51	0.151	1.02	1.00	0.191	No
42	8.40	146.32	62.78	83.54	0.83	0.228	1.51	0.151	1.02	1.00	0.191	No
43	8.60	149.85	64.75	85.11	0.83	0.228	1.51	0.151	1.02	1.00	0.195	No
44	8.80	153.37	66.71	86.66	0.82	0.228	1.51	0.151	1.02	1.00	0.196	No
45	9.00	156.83	68.67	88.16	0.82	0.227	1.51	0.150	1.01	1.00	0.197	No
46	9.20	160.35	70.63	89.72	0.81	0.227	1.51	0.150	1.01	1.00	0.193	No
47	9.40	163.95	72.59	91.36	0.81	0.227	1.51	0.150	1.01	1.00	0.197	No
48	9.60	167.64	74.56	93.08	0.80	0.226	1.51	0.149	1.01	1.00	0.193	No

:: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	σ_v (kPa)	u_0 (kPa)	σ_v' (kPa)	r_d	CSR	MSF	CSR_{eq}	K_σ	User FS	CSR*	Belongs to transition
49	9.80	171.31	76.52	94.79	0.80	0.225	1.51	0.149	1.01	1.00	0.197	No
50	10.00	174.95	78.48	96.47	0.79	0.225	1.51	0.149	1.00	1.00	0.202	No
51	10.20	178.52	80.44	98.08	0.79	0.224	1.51	0.148	1.00	1.00	0.197	No
52	10.40	182.10	82.40	99.69	0.78	0.223	1.51	0.148	1.00	1.00	0.197	No
53	10.60	185.69	84.37	101.32	0.78	0.223	1.51	0.147	1.00	1.00	0.188	No
54	10.80	189.30	86.33	102.97	0.77	0.222	1.51	0.147	1.00	1.00	0.190	No
55	11.00	192.91	88.29	104.62	0.77	0.221	1.51	0.146	1.00	1.00	0.198	No
56	11.20	196.45	90.25	106.20	0.76	0.220	1.51	0.146	1.00	1.00	0.196	No
57	11.40	199.99	92.21	107.78	0.76	0.220	1.51	0.145	0.99	1.00	0.198	No
58	11.60	203.62	94.18	109.44	0.75	0.219	1.51	0.145	0.99	1.00	0.200	No
59	11.80	207.31	96.14	111.17	0.75	0.218	1.51	0.144	0.99	1.00	0.188	No
60	12.00	211.04	98.10	112.94	0.74	0.217	1.51	0.143	0.99	1.00	0.177	No
61	12.20	214.78	100.06	114.72	0.74	0.216	1.51	0.143	0.99	1.00	0.181	No
62	12.40	218.57	102.02	116.54	0.73	0.215	1.51	0.142	0.98	1.00	0.183	No
63	12.60	222.33	103.99	118.35	0.73	0.214	1.51	0.141	0.98	1.00	0.183	No
64	12.80	226.05	105.95	120.10	0.72	0.213	1.51	0.141	0.98	1.00	0.186	No
65	13.00	229.67	107.91	121.76	0.72	0.212	1.51	0.140	0.98	1.00	0.187	No
66	13.20	233.29	109.87	123.41	0.71	0.211	1.51	0.139	0.98	1.00	0.191	No
67	13.40	236.96	111.83	125.13	0.71	0.210	1.51	0.139	0.98	1.00	0.185	No
68	13.60	240.69	113.80	126.89	0.70	0.209	1.51	0.138	0.98	1.00	0.187	No
69	13.80	244.44	115.76	128.68	0.70	0.207	1.51	0.137	0.97	1.00	0.171	No
70	14.00	248.25	117.72	130.53	0.70	0.206	1.51	0.136	0.97	1.00	0.174	No
71	14.20	252.05	119.68	132.36	0.69	0.205	1.51	0.136	0.96	1.00	0.156	No
72	14.40	255.87	121.64	134.22	0.69	0.204	1.51	0.135	0.97	1.00	0.175	No
73	14.60	259.66	123.61	136.05	0.68	0.203	1.51	0.134	0.96	1.00	0.165	No
74	14.80	263.44	125.57	137.88	0.68	0.202	1.51	0.133	0.96	1.00	0.168	No
75	15.00	267.23	127.53	139.70	0.67	0.200	1.51	0.133	0.96	1.00	0.166	No
76	15.20	270.93	129.49	141.44	0.67	0.199	1.51	0.132	0.97	1.00	0.179	No
77	15.40	274.62	131.45	143.17	0.66	0.198	1.51	0.131	0.97	1.00	0.187	No
78	15.60	278.20	133.42	144.78	0.66	0.197	1.51	0.130	0.97	1.00	0.187	No
79	15.80	281.79	135.38	146.42	0.65	0.196	1.51	0.130	0.97	1.00	0.185	No
80	16.00	285.45	137.34	148.11	0.65	0.195	1.51	0.129	0.97	1.00	0.184	No
81	16.20	289.19	139.30	149.89	0.64	0.194	1.51	0.128	0.97	1.00	0.182	No
82	16.40	292.98	141.26	151.72	0.64	0.193	1.51	0.128	0.96	1.00	0.180	No
83	16.60	296.80	143.23	153.57	0.64	0.192	1.51	0.127	0.96	1.00	0.180	No
84	16.80	300.65	145.19	155.46	0.63	0.191	1.51	0.126	0.96	1.00	0.178	No
85	17.00	304.53	147.15	157.38	0.63	0.189	1.51	0.125	0.96	1.00	0.175	No
86	17.20	308.39	149.11	159.28	0.62	0.188	1.51	0.124	0.96	1.00	0.174	No
87	17.40	312.18	151.07	161.11	0.62	0.187	1.51	0.124	0.96	1.00	0.175	No
88	17.60	315.86	153.04	162.82	0.61	0.186	1.51	0.123	0.96	1.00	0.177	No
89	17.80	319.44	155.00	164.44	0.61	0.185	1.51	0.122	0.96	1.00	0.177	No
90	18.00	323.02	156.96	166.06	0.61	0.184	1.51	0.122	0.96	1.00	0.176	No
91	18.20	326.62	158.92	167.70	0.60	0.183	1.51	0.121	0.96	1.00	0.173	No
92	18.40	330.25	160.88	169.37	0.60	0.182	1.51	0.120	0.96	1.00	0.174	No
93	18.60	333.88	162.85	171.03	0.59	0.181	1.51	0.120	0.96	1.00	0.173	No
94	18.80	337.51	164.81	172.71	0.59	0.180	1.51	0.119	0.95	1.00	0.172	No
95	19.00	341.13	166.77	174.36	0.59	0.179	1.51	0.118	0.95	1.00	0.171	No
96	19.20	344.71	168.73	175.97	0.58	0.178	1.51	0.118	0.95	1.00	0.171	No

:: Cyclic Stress Ratio fully adjusted (CSR*) calculation data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	σ_v (kPa)	u_0 (kPa)	σ_v' (kPa)	r_d	CSR	MSF	CSR_{eq}	K_σ	User FS	CSR*	Belongs to transition
97	19.40	348.22	170.69	177.53	0.58	0.177	1.51	0.117	0.95	1.00	0.170	No
98	19.60	351.72	172.66	179.06	0.58	0.176	1.51	0.117	0.95	1.00	0.170	No
99	19.80	355.20	174.62	180.58	0.57	0.175	1.51	0.116	0.95	1.00	0.169	No
100	20.00	358.71	176.58	182.13	0.57	0.175	1.51	0.115	0.95	1.00	0.168	No

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
σ_v :	Total overburden pressure at test point (kPa)
u_0 :	Water pressure at test point (kPa)
σ_v' :	Effective overburden pressure based on GWT during earthquake (kPa)
r_d :	Nonlinear shear mass factor
CSR:	Cyclic Stress Ratio
MSF:	Magnitude Scaling Factor
CSR_{eq} :	CSR adjusted for M=7.5
K_σ :	Effective overburden stress factor
CSR*:	CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::

Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	FC (%)	I_c	m	C_N	q_{c1N}	Δq_{c1N}	$q_{c1N,cs}$	$CRR_{7.5}$	Belongs to trans. layer	Clay-like behaviour	FS
1	0.20	2.45	69.65	2.58	0.49	1.70	41.13	62.53	103.66	4.000	No	No	2.00
2	0.40	2.22	86.00	2.79	0.48	1.70	41.13	0.00	41.13	4.000	No	Yes	2.00
3	0.60	1.70	96.18	2.91	0.52	1.70	29.62	0.00	29.62	4.000	No	Yes	2.00
4	0.80	1.14	100.00	3.07	0.56	1.70	14.81	0.00	14.81	4.000	No	Yes	2.00
5	1.00	0.95	99.38	2.95	0.57	1.70	13.16	0.00	13.16	4.000	No	Yes	2.00
6	1.20	0.98	85.12	2.78	0.55	1.70	19.74	0.00	19.74	4.000	No	Yes	2.00
7	1.40	1.01	85.52	2.78	0.56	1.70	16.45	0.00	16.45	4.000	No	Yes	2.00
8	1.60	0.98	90.68	2.85	0.57	1.70	14.81	0.00	14.81	4.000	No	Yes	2.00
9	1.80	0.85	96.45	2.92	0.55	1.70	18.10	0.00	18.10	4.000	No	Yes	2.00
10	2.00	0.75	99.52	2.96	0.58	1.70	9.87	0.00	9.87	4.000	No	Yes	2.00
11	2.20	0.56	100.00	3.20	0.58	1.70	9.87	0.00	9.87	4.000	No	Yes	2.00
12	2.40	0.56	100.00	3.22	0.59	1.70	8.23	0.00	8.23	4.000	No	Yes	2.00
13	2.60	0.62	100.00	3.17	0.58	1.70	9.87	0.00	9.87	4.000	No	Yes	2.00
14	2.80	1.34	79.74	2.71	0.58	1.70	13.16	0.00	13.16	4.000	No	Yes	2.00
15	3.00	1.37	75.84	2.66	0.48	1.70	44.42	0.00	44.42	4.000	No	Yes	2.00
16	3.20	1.34	75.88	2.66	0.58	1.70	11.52	0.00	11.52	4.000	No	Yes	2.00
17	3.40	0.65	100.00	3.02	0.58	1.70	11.52	0.00	11.52	4.000	No	Yes	2.00
18	3.60	0.72	100.00	3.01	0.58	1.70	9.87	0.00	9.87	4.000	No	Yes	2.00
19	3.80	0.65	100.00	3.05	0.56	1.70	14.81	0.00	14.81	4.000	No	Yes	2.00
20	4.00	0.62	100.00	3.11	0.59	1.70	8.23	0.00	8.23	4.000	No	Yes	2.00
21	4.20	0.72	100.00	3.04	0.59	1.70	8.23	0.00	8.23	4.000	No	Yes	2.00
22	4.40	1.14	87.81	2.81	0.55	1.63	18.91	0.00	18.91	4.000	No	Yes	2.00
23	4.60	1.60	80.32	2.72	0.53	1.56	27.20	0.00	27.20	4.000	No	Yes	2.00
24	4.80	1.83	80.66	2.72	0.52	1.53	28.08	0.00	28.08	4.000	No	Yes	2.00
25	5.00	1.73	86.84	2.80	0.52	1.50	27.54	0.00	27.54	4.000	No	Yes	2.00
26	5.20	1.50	91.70	2.86	0.54	1.49	21.63	0.00	21.63	4.000	No	Yes	2.00
27	5.40	1.24	96.73	2.92	0.56	1.48	17.17	0.00	17.17	4.000	No	Yes	2.00
28	5.60	1.18	95.32	2.90	0.56	1.46	15.54	0.00	15.54	4.000	No	Yes	2.00
29	5.80	1.21	94.02	2.89	0.55	1.43	17.97	0.00	17.97	4.000	No	Yes	2.00
30	6.00	1.27	93.20	2.88	0.56	1.41	17.69	0.00	17.69	4.000	No	Yes	2.00
31	6.20	1.21	98.77	2.95	0.56	1.38	17.41	0.00	17.41	4.000	No	Yes	2.00
32	6.40	1.14	96.45	2.92	0.57	1.37	14.60	0.00	14.60	4.000	No	Yes	2.00
33	6.60	1.93	66.90	2.55	0.58	1.36	14.47	54.26	68.74	0.106	No	No	0.53
34	6.80	2.71	41.96	2.24	0.50	1.29	46.11	54.26	100.36	0.138	No	No	0.74
35	7.00	3.24	45.24	2.28	0.50	1.27	43.15	55.29	98.44	0.135	No	No	0.72
36	7.20	2.94	49.43	2.33	0.53	1.27	33.25	54.59	87.84	0.123	No	No	0.63
37	7.40	3.17	51.00	2.35	0.52	1.25	33.97	55.39	89.36	0.125	No	No	0.64
38	7.60	3.63	39.37	2.20	0.49	1.22	49.68	53.49	103.17	0.142	No	No	0.75
39	7.80	4.15	35.40	2.16	0.50	1.21	48.14	50.18	98.32	0.135	No	No	0.71
40	8.00	4.71	27.94	2.06	0.51	1.20	51.23	43.21	94.44	0.131	No	No	0.67
41	8.20	5.39	19.86	1.96	0.50	1.18	67.64	32.32	99.95	0.137	No	No	0.72
42	8.40	5.69	18.89	1.95	0.50	1.17	70.26	30.49	100.75	0.138	No	No	0.72
43	8.60	5.23	21.12	1.98	0.51	1.16	59.73	33.83	93.56	0.130	No	No	0.66
44	8.80	4.64	27.20	2.05	0.52	1.15	50.23	42.06	92.29	0.128	No	No	0.65
45	9.00	4.31	27.28	2.05	0.52	1.14	48.67	41.88	90.55	0.126	No	No	0.64
46	9.20	3.89	37.59	2.18	0.50	1.13	46.88	51.58	98.46	0.135	No	No	0.70
47	9.40	3.60	48.82	2.32	0.52	1.12	34.69	54.72	89.42	0.125	No	No	0.63
48	9.60	3.07	66.62	2.55	0.50	1.10	37.38	60.81	98.19	0.135	No	No	0.70

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	FC (%)	I_c	m	C_N	q_{c1N}	Δq_{c1N}	$q_{c1N,cs}$	CRR _{7.5}	Belongs to trans. layer	Clay-like behaviour	FS
49	9.80	2.62	75.37	2.65	0.52	1.10	28.66	0.00	28.66	4.000	No	Yes	2.00
50	10.00	2.39	78.11	2.69	0.56	1.09	19.00	0.00	19.00	4.000	No	Yes	2.00
51	10.20	2.58	67.52	2.56	0.53	1.08	29.14	58.62	87.76	0.123	No	No	0.63
52	10.40	3.56	49.83	2.34	0.52	1.06	34.01	54.95	88.96	0.125	No	No	0.63
53	10.60	4.05	44.62	2.27	0.49	1.05	48.82	56.41	105.23	0.145	No	No	0.77
54	10.80	3.86	49.38	2.33	0.50	1.04	43.39	57.25	100.64	0.138	No	No	0.73
55	11.00	3.24	59.65	2.46	0.54	1.04	27.08	56.22	83.30	0.119	No	No	0.60
56	11.20	2.62	66.64	2.55	0.53	1.03	28.82	58.35	87.16	0.123	No	No	0.63
57	11.40	2.29	75.03	2.65	0.54	1.02	23.66	0.00	23.66	4.000	No	Yes	2.00
58	11.60	2.71	73.24	2.63	0.57	1.01	16.61	0.00	16.61	4.000	No	Yes	2.00
59	11.80	3.96	57.46	2.43	0.50	1.00	40.64	59.37	100.02	0.137	No	No	0.73
60	12.00	5.26	44.52	2.27	0.46	0.99	59.52	59.07	118.59	0.168	No	No	0.95
61	12.20	5.52	43.06	2.25	0.47	0.98	54.27	56.92	111.19	0.154	No	No	0.85
62	12.40	5.10	52.92	2.37	0.48	0.98	47.19	59.65	106.84	0.147	No	No	0.80
63	12.60	4.61	57.07	2.43	0.48	0.97	45.87	60.70	106.58	0.147	No	No	0.80
64	12.80	4.28	57.43	2.43	0.50	0.96	38.95	58.90	97.85	0.135	No	No	0.72
65	13.00	3.69	57.23	2.43	0.51	0.95	36.80	58.24	95.04	0.131	No	No	0.70
66	13.20	3.66	58.11	2.44	0.54	0.94	28.22	56.12	84.34	0.120	No	No	0.63
67	13.40	3.60	64.71	2.52	0.50	0.94	37.18	60.32	97.50	0.134	No	No	0.73
68	13.60	4.77	53.30	2.38	0.52	0.93	34.11	56.25	90.36	0.126	No	No	0.67
69	13.80	5.72	45.33	2.28	0.46	0.93	60.28	59.71	119.99	0.171	No	No	1.00
70	14.00	7.58	34.66	2.15	0.47	0.92	62.44	52.75	115.19	0.161	No	No	0.93
71	14.20	7.55	33.24	2.13	0.42	0.92	84.92	56.31	141.22	0.240	No	No	1.54
72	14.40	7.85	34.08	2.14	0.48	0.91	57.90	51.21	109.11	0.151	No	No	0.86
73	14.60	7.22	36.77	2.17	0.45	0.91	69.31	56.15	125.46	0.185	No	No	1.12
74	14.80	7.42	34.59	2.14	0.46	0.90	66.08	53.50	119.58	0.170	No	No	1.01
75	15.00	6.18	46.13	2.29	0.45	0.89	62.30	60.64	122.94	0.178	No	No	1.08
76	15.20	4.05	63.93	2.51	0.51	0.87	34.71	59.43	94.14	0.130	No	No	0.73
77	15.40	2.03	100.00	3.05	0.59	0.85	9.06	0.00	9.06	4.000	No	Yes	2.00
78	15.60	1.18	100.00	3.37	0.59	0.84	8.17	0.00	8.17	4.000	No	Yes	2.00
79	15.80	1.37	100.00	3.27	0.57	0.84	12.23	0.00	12.23	4.000	No	Yes	2.00
80	16.00	1.67	100.00	3.18	0.57	0.84	13.79	0.00	13.79	4.000	No	Yes	2.00
81	16.20	1.93	100.00	3.17	0.56	0.83	15.33	0.00	15.33	4.000	No	Yes	2.00
82	16.40	2.09	100.00	3.17	0.55	0.83	18.49	0.00	18.49	4.000	No	Yes	2.00
83	16.60	2.32	100.00	3.12	0.55	0.82	17.54	0.00	17.54	4.000	No	Yes	2.00
84	16.80	2.65	100.00	3.07	0.54	0.82	20.66	0.00	20.66	4.000	No	Yes	2.00
85	17.00	2.94	100.00	3.02	0.53	0.82	26.22	0.00	26.22	4.000	No	Yes	2.00
86	17.20	3.01	100.00	3.00	0.53	0.81	24.41	0.00	24.41	4.000	No	Yes	2.00
87	17.40	2.35	100.00	3.10	0.54	0.81	21.83	0.00	21.83	4.000	No	Yes	2.00
88	17.60	1.70	100.00	3.24	0.58	0.79	9.90	0.00	9.90	4.000	No	Yes	2.00
89	17.80	1.27	100.00	3.38	0.59	0.78	8.30	0.00	8.30	4.000	No	Yes	2.00
90	18.00	1.63	100.00	3.17	0.58	0.78	11.31	0.00	11.31	4.000	No	Yes	2.00
91	18.20	1.80	100.00	3.12	0.55	0.78	18.18	0.00	18.18	4.000	No	Yes	2.00
92	18.40	1.86	100.00	3.12	0.57	0.77	11.93	0.00	11.93	4.000	No	Yes	2.00
93	18.60	1.67	100.00	3.22	0.57	0.77	12.61	0.00	12.61	4.000	No	Yes	2.00
94	18.80	1.70	100.00	3.22	0.57	0.76	13.29	0.00	13.29	4.000	No	Yes	2.00
95	19.00	1.67	100.00	3.22	0.57	0.76	12.46	0.00	12.46	4.000	No	Yes	2.00
96	19.20	1.60	100.00	3.22	0.58	0.75	11.65	0.00	11.65	4.000	No	Yes	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued)

Point ID	Depth (m)	q_t (MPa)	FC (%)	I_c	m	C_N	q_{c1N}	Δq_{c1N}	$q_{c1N,cs}$	$CRR_{7.5}$	Belongs to trans. layer	Clay-like behaviour	FS
97	19.40	1.50	100.00	3.21	0.58	0.75	11.58	0.00	11.58	4.000	No	Yes	2.00
98	19.60	1.47	100.00	3.21	0.58	0.74	10.05	0.00	10.05	4.000	No	Yes	2.00
99	19.80	1.44	100.00	3.22	0.58	0.74	10.73	0.00	10.73	4.000	No	Yes	2.00
100	20.00	1.60	100.00	3.16	0.57	0.74	12.13	0.00	12.13	4.000	No	Yes	2.00

Abbreviations

Depth:	Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q_t :	Total cone resistance
FC:	Fines content (%)
I_c :	Soil behavior type index
m:	Stress exponent
C_N :	Overburden correction factor
q_{c1N} :	Normalized and adjusted cone resistance
Δq_{c1N} :	Cone resistance correction factor due to fines
$q_{c1N,cs}$:	Normalized and adjusted cone resistance
$CRR_{7.5}$:	Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$
FS:	Factor of safety against soil liquefaction

:: 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
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	2.00	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	0.53	0.47	6.70	0.20	0.63	6.80	0.74	0.26	6.60	0.20	0.35
7.00	0.72	0.28	6.50	0.20	0.37	7.20	0.63	0.37	6.40	0.20	0.47
7.40	0.64	0.36	6.30	0.20	0.45	7.60	0.75	0.25	6.20	0.20	0.31
7.80	0.71	0.29	6.10	0.20	0.36	8.00	0.67	0.33	6.00	0.20	0.39
8.20	0.72	0.28	5.90	0.20	0.33	8.40	0.72	0.28	5.80	0.20	0.32
8.60	0.66	0.34	5.70	0.20	0.38	8.80	0.65	0.35	5.60	0.20	0.39
9.00	0.64	0.36	5.50	0.20	0.39	9.20	0.70	0.30	5.40	0.20	0.32
9.40	0.63	0.37	5.30	0.20	0.39	9.60	0.70	0.30	5.20	0.20	0.31
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	0.63	0.37	4.90	0.20	0.37	10.40	0.63	0.37	4.80	0.20	0.35
10.60	0.77	0.23	4.70	0.20	0.22	10.80	0.73	0.27	4.60	0.20	0.25
11.00	0.60	0.40	4.50	0.20	0.36	11.20	0.63	0.37	4.40	0.20	0.33
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	0.73	0.27	4.10	0.20	0.22	12.00	0.95	0.05	4.00	0.20	0.04
12.20	0.85	0.15	3.90	0.20	0.12	12.40	0.80	0.20	3.80	0.20	0.15
12.60	0.80	0.20	3.70	0.20	0.15	12.80	0.72	0.28	3.60	0.20	0.20
13.00	0.70	0.30	3.50	0.20	0.21	13.20	0.63	0.37	3.40	0.20	0.25
13.40	0.73	0.27	3.30	0.20	0.18	13.60	0.67	0.33	3.20	0.20	0.21
13.80	1.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	0.93	0.07	3.00	0.20	0.04
14.20	1.54	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	0.86	0.14	2.80	0.20	0.08
14.60	1.12	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	1.01	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	1.08	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	0.73	0.27	2.40	0.20	0.13
15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	2.00	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	2.00	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	2.00	0.00	1.00	0.20	0.00
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	2.00	0.00	0.80	0.20	0.00
18.60	2.00	0.00	0.70	0.20	0.00	18.80	2.00	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	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
19.40	2.00	0.00	0.30	0.20	0.00	19.60	2.00	0.00	0.20	0.20	0.00
19.80	2.00	0.00	0.10	0.20	0.00	20.00	2.00	0.00	0.00	0.20	0.00

Overall liquefaction potential: 10.01

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

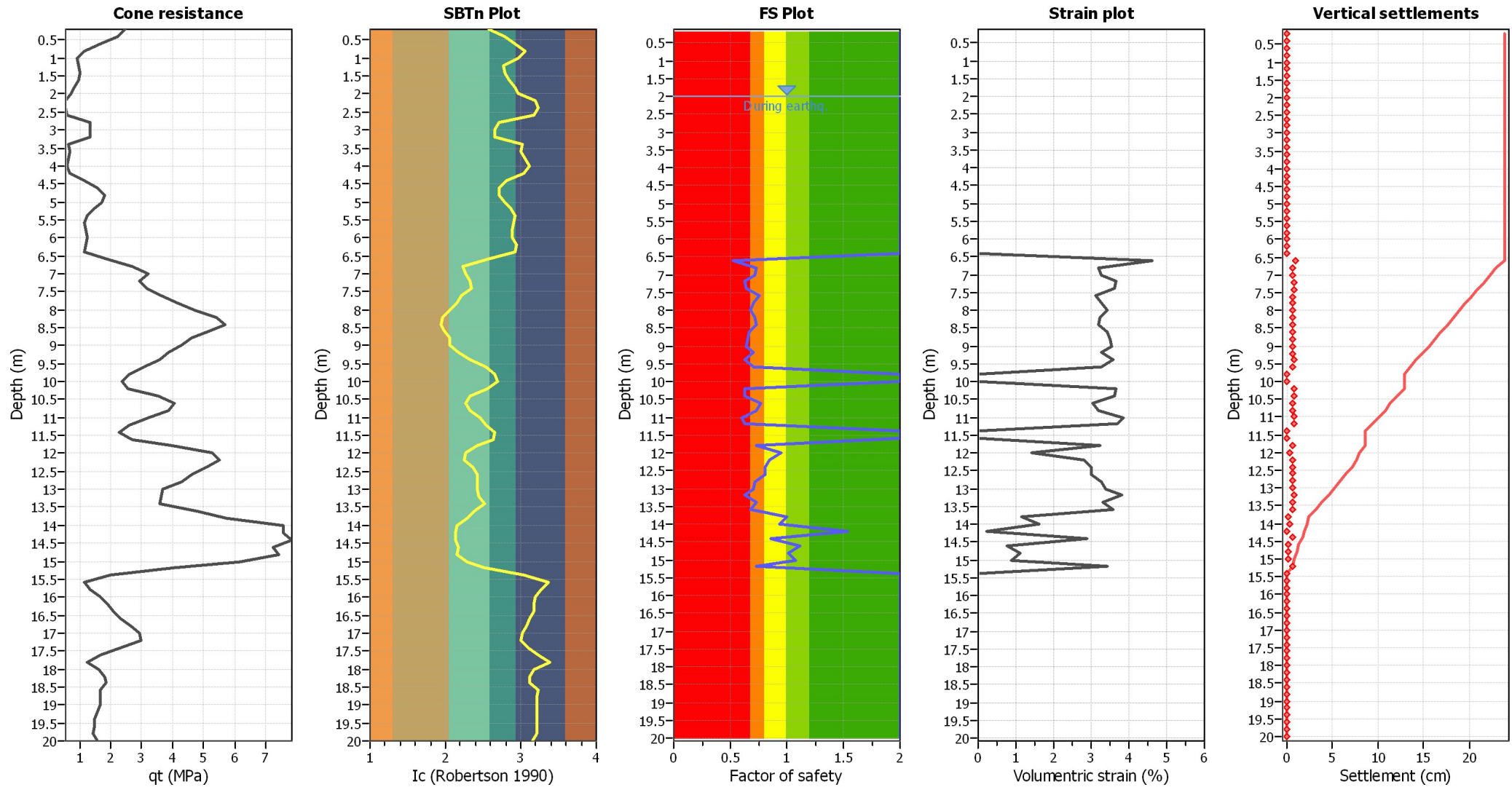
Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point

F_L: 1 - FSw_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depthd_z: Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

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

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction ::											
Depth (m)	q _{c1N,cs}	FS	e _v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	q _{c1N,cs}	FS	e _v (%)	DF	Settlement (cm)
2.00	9.87	2.00	0.00	1.00	0.00	2.20	9.87	2.00	0.00	1.00	0.00
2.40	8.23	2.00	0.00	1.00	0.00	2.60	9.87	2.00	0.00	1.00	0.00
2.80	13.16	2.00	0.00	1.00	0.00	3.00	44.42	2.00	0.00	1.00	0.00
3.20	11.52	2.00	0.00	1.00	0.00	3.40	11.52	2.00	0.00	1.00	0.00
3.60	9.87	2.00	0.00	1.00	0.00	3.80	14.81	2.00	0.00	1.00	0.00
4.00	8.23	2.00	0.00	1.00	0.00	4.20	8.23	2.00	0.00	1.00	0.00
4.40	18.91	2.00	0.00	1.00	0.00	4.60	27.20	2.00	0.00	1.00	0.00
4.80	28.08	2.00	0.00	1.00	0.00	5.00	27.54	2.00	0.00	1.00	0.00
5.20	21.63	2.00	0.00	1.00	0.00	5.40	17.17	2.00	0.00	1.00	0.00
5.60	15.54	2.00	0.00	1.00	0.00	5.80	17.97	2.00	0.00	1.00	0.00
6.00	17.69	2.00	0.00	1.00	0.00	6.20	17.41	2.00	0.00	1.00	0.00
6.40	14.60	2.00	0.00	1.00	0.00	6.60	68.74	0.53	4.63	1.00	0.93
6.80	100.36	0.74	3.20	1.00	0.64	7.00	98.44	0.72	3.26	1.00	0.65
7.20	87.84	0.63	3.66	1.00	0.73	7.40	89.36	0.64	3.60	1.00	0.72
7.60	103.17	0.75	3.11	1.00	0.62	7.80	98.32	0.71	3.27	1.00	0.65
8.00	94.44	0.67	3.40	1.00	0.68	8.20	99.95	0.72	3.21	1.00	0.64
8.40	100.75	0.72	3.19	1.00	0.64	8.60	93.56	0.66	3.44	1.00	0.69
8.80	92.29	0.65	3.48	1.00	0.70	9.00	90.55	0.64	3.55	1.00	0.71
9.20	98.46	0.70	3.26	1.00	0.65	9.40	89.42	0.63	3.60	1.00	0.72
9.60	98.19	0.70	3.27	1.00	0.65	9.80	28.66	2.00	0.00	1.00	0.00
10.00	19.00	2.00	0.00	1.00	0.00	10.20	87.76	0.63	3.66	1.00	0.73
10.40	88.96	0.63	3.61	1.00	0.72	10.60	105.23	0.77	3.05	1.00	0.61
10.80	100.64	0.73	3.19	1.00	0.64	11.00	83.30	0.60	3.86	1.00	0.77
11.20	87.16	0.63	3.69	1.00	0.74	11.40	23.66	2.00	0.00	1.00	0.00
11.60	16.61	2.00	0.00	1.00	0.00	11.80	100.02	0.73	3.21	1.00	0.64
12.00	118.59	0.95	1.42	1.00	0.28	12.20	111.19	0.85	2.81	1.00	0.56
12.40	106.84	0.80	3.00	1.00	0.60	12.60	106.58	0.80	3.01	1.00	0.60
12.80	97.85	0.72	3.28	1.00	0.66	13.00	95.04	0.70	3.38	1.00	0.68
13.20	84.34	0.63	3.81	1.00	0.76	13.40	97.50	0.73	3.30	1.00	0.66
13.60	90.36	0.67	3.56	1.00	0.71	13.80	119.99	1.00	1.16	1.00	0.23
14.00	115.19	0.93	1.62	1.00	0.32	14.20	141.22	1.54	0.24	1.00	0.05
14.40	109.11	0.86	2.88	1.00	0.58	14.60	125.46	1.12	0.78	1.00	0.16
14.80	119.58	1.01	1.11	1.00	0.22	15.00	122.94	1.08	0.89	1.00	0.18
15.20	94.14	0.73	3.42	1.00	0.68	15.40	9.06	2.00	0.00	1.00	0.00
15.60	8.17	2.00	0.00	1.00	0.00	15.80	12.23	2.00	0.00	1.00	0.00
16.00	13.79	2.00	0.00	1.00	0.00	16.20	15.33	2.00	0.00	1.00	0.00
16.40	18.49	2.00	0.00	1.00	0.00	16.60	17.54	2.00	0.00	1.00	0.00
16.80	20.66	2.00	0.00	1.00	0.00	17.00	26.22	2.00	0.00	1.00	0.00
17.20	24.41	2.00	0.00	1.00	0.00	17.40	21.83	2.00	0.00	1.00	0.00
17.60	9.90	2.00	0.00	1.00	0.00	17.80	8.30	2.00	0.00	1.00	0.00
18.00	11.31	2.00	0.00	1.00	0.00	18.20	18.18	2.00	0.00	1.00	0.00
18.40	11.93	2.00	0.00	1.00	0.00	18.60	12.61	2.00	0.00	1.00	0.00
18.80	13.29	2.00	0.00	1.00	0.00	19.00	12.46	2.00	0.00	1.00	0.00
19.20	11.65	2.00	0.00	1.00	0.00	19.40	11.58	2.00	0.00	1.00	0.00
19.60	10.05	2.00	0.00	1.00	0.00	19.80	10.73	2.00	0.00	1.00	0.00
20.00	12.13	2.00	0.00	1.00	0.00						

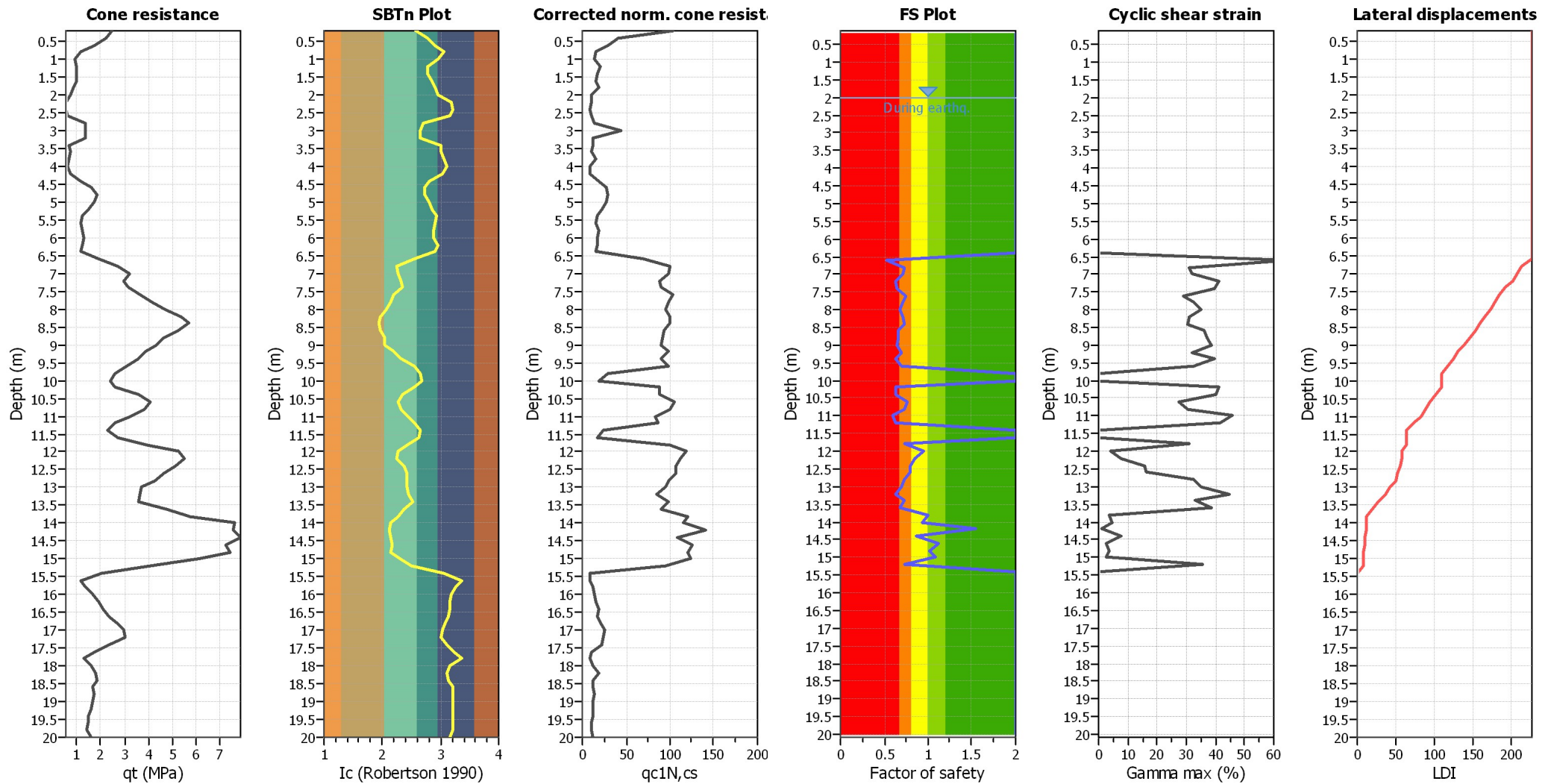
:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)

Depth (m)	$q_{c1N,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$q_{c1N,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
-----------	--------------	----	-----------	----	-----------------	-----------	--------------	----	-----------	----	-----------------

Total estimated settlement: 23.82**Abbreviations**

$Q_{m,cs}$:	Equivalent clean sand normalized cone resistance
FS:	Factor of safety against liquefaction
e_v (%):	Post-liquefaction volumetric strain
DF:	e_v depth weighting factor
Settlement:	Calculated settlement

Estimation of post-earthquake lateral Displacements



Abbreviations

q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
 I_c : Soil Behaviour Type Index
 $q_{c1N,cs}$: Equivalent clean sand normalized CPT total cone resistance

F.S.: Factor of safety
 γ_{max} : Maximum cyclic shear strain
 LDI: Lateral displacement index

:: Lateral displacement index calculation ::

Depth (m)	$q_{c1N,cs}$	Gamma_{lim} (%)	FS	Fa	Gamma_{max} (%)	LDI
2.00	9.87	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
2.20	9.87	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
2.40	8.23	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
2.60	9.87	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
2.80	13.16	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3.00	44.42	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3.20	11.52	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3.40	11.52	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3.60	9.87	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
3.80	14.81	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
4.00	8.23	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
4.20	8.23	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
4.40	18.91	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
4.60	27.20	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
4.80	28.08	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
5.00	27.54	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
5.20	21.63	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
5.40	17.17	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
5.60	15.54	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
5.80	17.97	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
6.00	17.69	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
6.20	17.41	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
6.40	14.60	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
6.60	68.74	0.64	0.53	0.94	0.64	12.90
6.80	100.36	0.31	0.74	0.79	0.31	6.16
7.00	98.44	0.32	0.72	0.81	0.32	6.44
7.20	87.84	0.41	0.63	0.88	0.41	8.23
7.40	89.36	0.40	0.64	0.87	0.40	7.95
7.60	103.17	0.29	0.75	0.77	0.29	5.77
7.80	98.32	0.32	0.71	0.81	0.32	6.46
8.00	94.44	0.35	0.67	0.84	0.35	7.07
8.20	99.95	0.31	0.72	0.79	0.31	6.22
8.40	100.75	0.31	0.72	0.79	0.31	6.10
8.60	93.56	0.36	0.66	0.84	0.36	7.21
8.80	92.29	0.37	0.65	0.85	0.37	7.43
9.00	90.55	0.39	0.64	0.86	0.39	7.73
9.20	98.46	0.32	0.70	0.81	0.32	6.44
9.40	89.42	0.40	0.63	0.87	0.40	7.94
9.60	98.19	0.32	0.70	0.81	0.32	6.48
9.80	28.66	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
10.00	19.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
10.20	87.76	0.41	0.63	0.88	0.41	8.25
10.40	88.96	0.40	0.63	0.87	0.40	8.02
10.60	105.23	0.28	0.77	0.75	0.28	5.50
10.80	100.64	0.31	0.73	0.79	0.31	6.12
11.00	83.30	0.46	0.60	0.90	0.46	9.15
11.20	87.16	0.42	0.63	0.88	0.42	8.36
11.40	23.66	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00

:: Estimation of post-earthquake lateral Displacements :: (continued)

Depth (m)	$q_{c1N,cs}$	Gamma_{lim} (%)	FS	Fa	Gamma_{max} (%)	LDI
11.60	16.61	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
11.80	100.02	0.31	0.73	0.79	0.31	6.21
12.00	118.59	0.20	0.95	0.62	0.04	0.84
12.20	111.19	0.24	0.85	0.69	0.08	1.56
12.40	106.84	0.26	0.80	0.73	0.16	3.20
12.60	106.58	0.27	0.80	0.74	0.16	3.30
12.80	97.85	0.33	0.72	0.81	0.33	6.53
13.00	95.04	0.35	0.70	0.83	0.35	6.97
13.20	84.34	0.45	0.63	0.90	0.45	8.93
13.40	97.50	0.33	0.73	0.81	0.33	6.58
13.60	90.36	0.39	0.67	0.86	0.39	7.77
13.80	119.99	0.19	1.00	0.60	0.03	0.70
14.00	115.19	0.22	0.93	0.65	0.05	0.94
14.20	141.22	0.12	1.54	0.36	0.01	0.18
14.40	109.11	0.25	0.86	0.71	0.08	1.57
14.60	125.46	0.17	1.12	0.54	0.02	0.49
14.80	119.58	0.20	1.01	0.61	0.03	0.67
15.00	122.94	0.18	1.08	0.57	0.03	0.55
15.20	94.14	0.36	0.73	0.84	0.36	7.11
15.40	9.06	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
15.60	8.17	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
15.80	12.23	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
16.00	13.79	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
16.20	15.33	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
16.40	18.49	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
16.60	17.54	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
16.80	20.66	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
17.00	26.22	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
17.20	24.41	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
17.40	21.83	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
17.60	9.90	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
17.80	8.30	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
18.00	11.31	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
18.20	18.18	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
18.40	11.93	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
18.60	12.61	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
18.80	13.29	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
19.00	12.46	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
19.20	11.65	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
19.40	11.58	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
19.60	10.05	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
19.80	10.73	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
20.00	12.13	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00

:: Estimation of post-earthquake lateral Displacements :: (continued)

Depth (m)	$q_{c1N,cs}$	Gamma_{lim} (%)	FS	Fa	Gamma_{max} (%)	LDI
--------------	--------------	-----------------------------	----	----	-----------------------------	-----

Total estimated displacement: 226.03**Abbreviations**

Depth: Depth of test point
 $q_{c1N,cs}$: Adjusted and corrected cone resistance due to fines
 Gamma_{lim} : Limiting shear strain
FS: Calculated factor of safety against liquefaction
Fa:
 Gamma_{max} : Maximum cyclic shear strain
Lat. disp.: Lateral displacement

:: Strength loss calculation Idriss & Boulanger (2008) ::

Depth (m)	q_t (MPa)	Q_{tn}	K_c	$Q_{tn,cs}$	I_c	$S_{u(liq)}/\sigma'_v$	$S_{u(peak)}/\sigma'_v$
0.20	2.45	41.62	3.22	134.20	2.58	0.11	0.71
0.40	2.22	37.66	4.68	176.20	2.79	0.11	21.05
0.60	1.70	28.71	5.84	167.77	2.91	0.09	10.69
0.80	1.14	19.20	7.50	144.05	3.07	0.07	5.40
1.00	0.95	15.80	6.25	98.84	2.95	0.07	3.61
1.20	0.98	16.30	4.59	74.79	2.78	0.08	3.47
1.40	1.01	16.80	4.63	77.77	2.78	0.08	3.34
1.60	0.98	16.19	5.19	84.00	2.85	0.07	3.01
1.80	0.85	13.91	5.88	81.74	2.92	0.07	2.44
2.00	0.75	12.18	6.27	76.43	2.96	0.06	2.02
2.20	0.56	8.79	9.21	81.00	3.20	0.06	1.39
2.40	0.56	8.74	9.56	83.51	3.22	0.06	1.31
2.60	0.62	9.79	8.83	86.41	3.17	0.06	1.40
2.80	1.34	21.96	4.06	89.24	2.71	0.07	2.98
3.00	1.37	22.46	3.72	83.48	2.66	0.12	2.91
3.20	1.34	21.84	3.72	81.28	2.66	0.07	2.71
3.40	0.65	10.12	6.92	70.05	3.02	0.06	1.21
3.60	0.72	11.17	6.85	76.49	3.01	0.06	1.29
3.80	0.65	10.00	7.33	73.29	3.05	0.07	1.11
4.00	0.62	9.39	8.11	76.18	3.11	0.06	1.01
4.20	0.72	11.00	7.18	79.05	3.04	0.06	1.14
4.40	1.14	18.17	4.87	88.50	2.81	0.08	1.82
4.60	1.60	25.89	4.12	106.61	2.72	0.09	2.50
4.80	1.83	29.72	4.15	123.32	2.72	0.09	2.76
5.00	1.73	27.99	4.77	133.42	2.80	0.09	2.51
5.20	1.50	24.04	5.31	127.52	2.86	0.08	2.08
5.40	1.24	19.53	5.91	115.49	2.92	0.07	1.64
5.60	1.18	18.36	5.74	105.35	2.90	0.07	1.49
5.80	1.21	18.86	5.58	105.20	2.89	0.08	1.49
6.00	1.27	19.91	5.48	109.11	2.88	0.08	1.52
6.20	1.21	18.73	6.17	115.68	2.95	0.07	1.39
6.40	1.14	17.56	5.88	103.23	2.92	0.07	1.27
6.60	1.93	28.21	3.03	85.41	2.55	0.07	0.66
6.80	2.71	37.30	1.76	65.74	2.24	0.10	0.70
7.00	3.24	44.27	1.88	83.23	2.28	0.10	0.72
7.20	2.94	39.66	2.05	81.31	2.33	0.09	0.70
7.40	3.17	42.16	2.12	89.36	2.35	0.09	0.71
7.60	3.63	46.55	1.68	78.12	2.20	0.10	0.73
7.80	4.15	52.20	1.56	81.62	2.16	0.09	0.74
8.00	4.71	57.73	1.39	80.21	2.06	0.09	0.75
8.20	5.39	64.57	1.25	80.84	1.96	0.10	0.77
8.40	5.69	67.13	1.24	83.13	1.95	0.10	0.77
8.60	5.23	60.93	1.27	77.41	1.98	0.09	0.76
8.80	4.64	53.55	1.37	73.62	2.05	0.09	0.74
9.00	4.31	48.98	1.38	67.42	2.05	0.08	0.73
9.20	3.89	43.85	1.62	71.24	2.18	0.09	0.72
9.40	3.60	40.20	2.02	81.37	2.32	0.09	0.71
9.60	3.07	34.01	3.01	102.31	2.55	0.10	0.69

:: Strength loss calculation (Idriss & Boulanger (2008)) :: (continued)

Depth (m)	q_t (MPa)	Q_{tn}	K_c	$Q_{tn,cs}$	I_c	$S_{u(liq)}/\sigma'_v$	$S_{u(peak)}/\sigma'_v$
9.80	2.62	28.31	3.68	104.13	2.65	0.09	2.05
10.00	2.39	25.22	3.92	98.74	2.69	0.08	1.82
10.20	2.58	26.79	3.07	82.27	2.56	0.09	0.66
10.40	3.56	36.76	2.07	76.00	2.34	0.09	0.70
10.60	4.05	41.38	1.86	76.83	2.27	0.10	0.71
10.80	3.86	38.77	2.05	79.41	2.33	0.10	0.70
11.00	3.24	31.82	2.57	81.63	2.46	0.09	0.68
11.20	2.62	24.97	3.01	75.15	2.55	0.09	0.65
11.40	2.29	21.28	3.65	77.65	2.65	0.09	1.52
11.60	2.71	25.18	3.50	88.18	2.63	0.08	1.80
11.80	3.96	37.06	2.44	90.51	2.43	0.10	0.70
12.00	5.26	49.34	1.85	91.43	2.27	0.12	0.73
12.20	5.52	51.20	1.80	92.18	2.25	0.11	0.74
12.40	5.10	46.31	2.21	102.31	2.37	0.11	0.72
12.60	4.61	40.99	2.42	99.25	2.43	0.11	0.71
12.80	4.28	37.39	2.44	91.26	2.43	0.10	0.70
13.00	3.69	31.54	2.43	76.64	2.43	0.10	0.68
13.20	3.66	30.81	2.48	76.35	2.44	0.09	0.67
13.40	3.60	29.68	2.88	85.45	2.52	0.10	0.67
13.60	4.77	39.85	2.23	88.78	2.38	0.09	0.71
13.80	5.72	47.87	1.88	90.17	2.28	0.12	0.73
14.00	7.58	63.96	1.54	98.75	2.15	0.11	0.77
14.20	7.55	63.02	1.51	95.02	2.13	0.15	0.76
14.40	7.85	64.75	1.53	99.00	2.14	0.11	0.77
14.60	7.22	58.60	1.60	93.83	2.17	0.13	0.75
14.80	7.42	59.72	1.54	92.10	2.14	0.12	0.76
15.00	6.18	48.11	1.91	92.09	2.29	0.13	0.73
15.20	4.05	29.76	2.83	84.15	2.51	0.10	0.67
15.40	2.03	13.14	7.28	95.70	3.05	0.06	0.94
15.60	1.18	6.66	11.79	78.47	3.37	0.06	0.48
15.80	1.37	7.99	10.26	81.96	3.27	0.06	0.57
16.00	1.67	9.99	9.03	90.22	3.18	0.07	0.71
16.20	1.93	11.70	8.83	103.40	3.17	0.07	0.84
16.40	2.09	12.68	8.79	111.47	3.17	0.07	0.91
16.60	2.32	14.08	8.24	116.05	3.12	0.07	1.01
16.80	2.65	16.11	7.61	122.56	3.07	0.07	1.15
17.00	2.94	17.87	7.02	125.52	3.02	0.08	1.28
17.20	3.01	18.06	6.74	121.76	3.00	0.08	1.29
17.40	2.35	13.49	7.93	107.02	3.10	0.08	0.96
17.60	1.70	9.04	9.78	88.48	3.24	0.06	0.65
17.80	1.27	6.18	11.94	73.76	3.38	0.06	0.44
18.00	1.63	8.39	8.82	74.02	3.17	0.06	0.60
18.20	1.80	9.32	8.19	76.36	3.12	0.07	0.67
18.40	1.86	9.61	8.24	79.17	3.12	0.06	0.69
18.60	1.67	8.27	9.55	79.01	3.22	0.06	0.59
18.80	1.70	8.36	9.52	79.58	3.22	0.07	0.60
19.00	1.67	8.06	9.46	76.25	3.22	0.06	0.58
19.20	1.60	7.57	9.47	71.66	3.22	0.06	0.54

:: Strength loss calculation (Idriss & Boulanger (2008)) :: (continued)

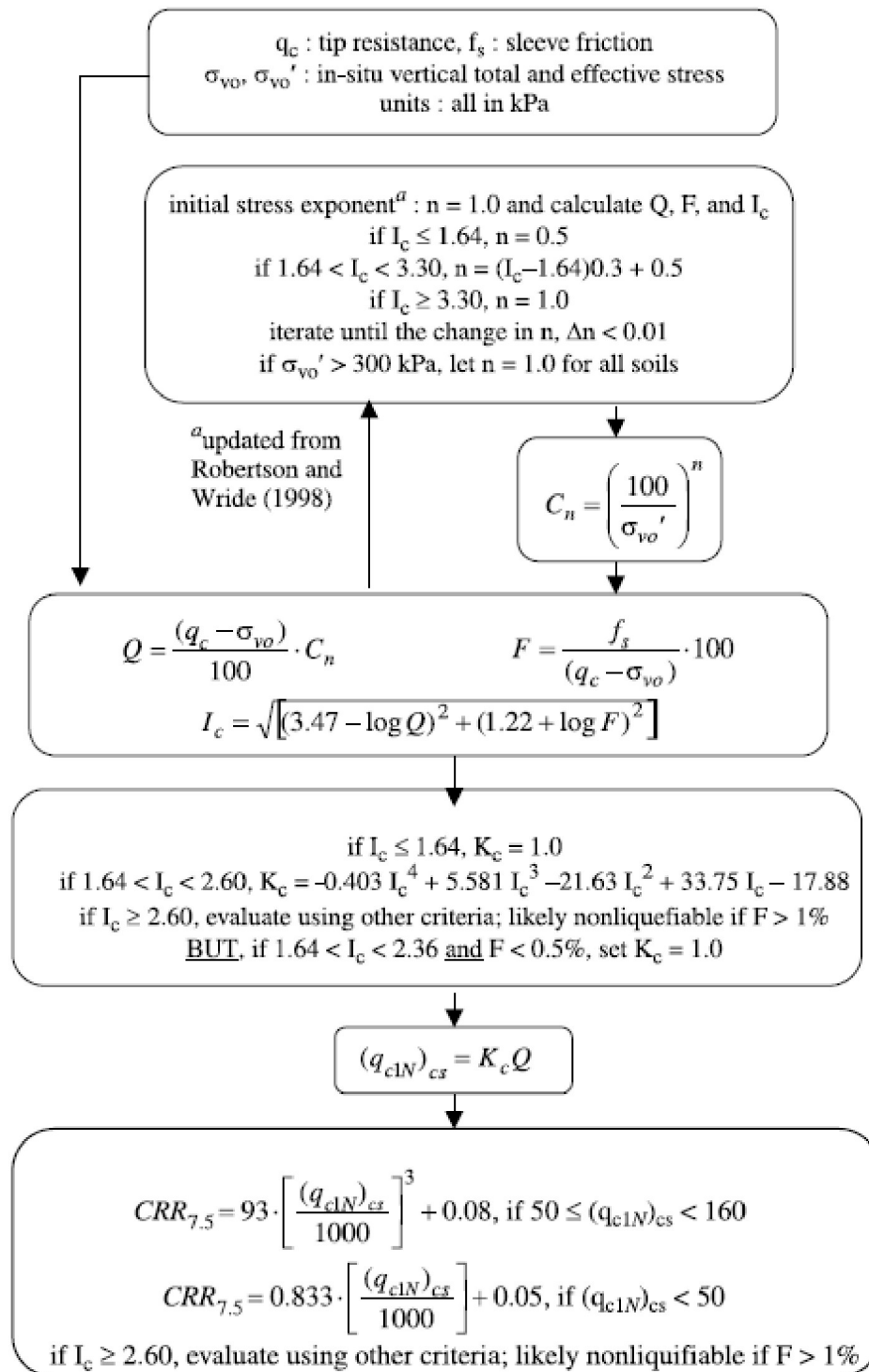
Depth (m)	q_t (MPa)	Q_{tn}	K_c	$Q_{tn,cs}$	I_c	$S_{u(liq)}/\sigma'_v$	$S_{u(peak)}/\sigma'_v$
19.40	1.50	6.89	9.37	64.59	3.21	0.06	0.49
19.60	1.47	6.61	9.37	61.95	3.21	0.06	0.47
19.80	1.44	6.34	9.53	60.47	3.22	0.06	0.45
20.00	1.60	7.21	8.69	62.67	3.16	0.06	0.52

Abbreviations

q_t :	Total cone resistance
K_c :	Cone resistance correction factor due to fines
$Q_{tn,cs}$:	Adjusted and corrected cone resistance due to fines
I_c :	Soil behavior type index
$S_{u(liq)}/\sigma'_v$:	Calculated liquefied undrained strength ratio
$S_{u(peak)}/\sigma'_v$:	Calculated peak undrained strength ratio

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, NCEER (1998)

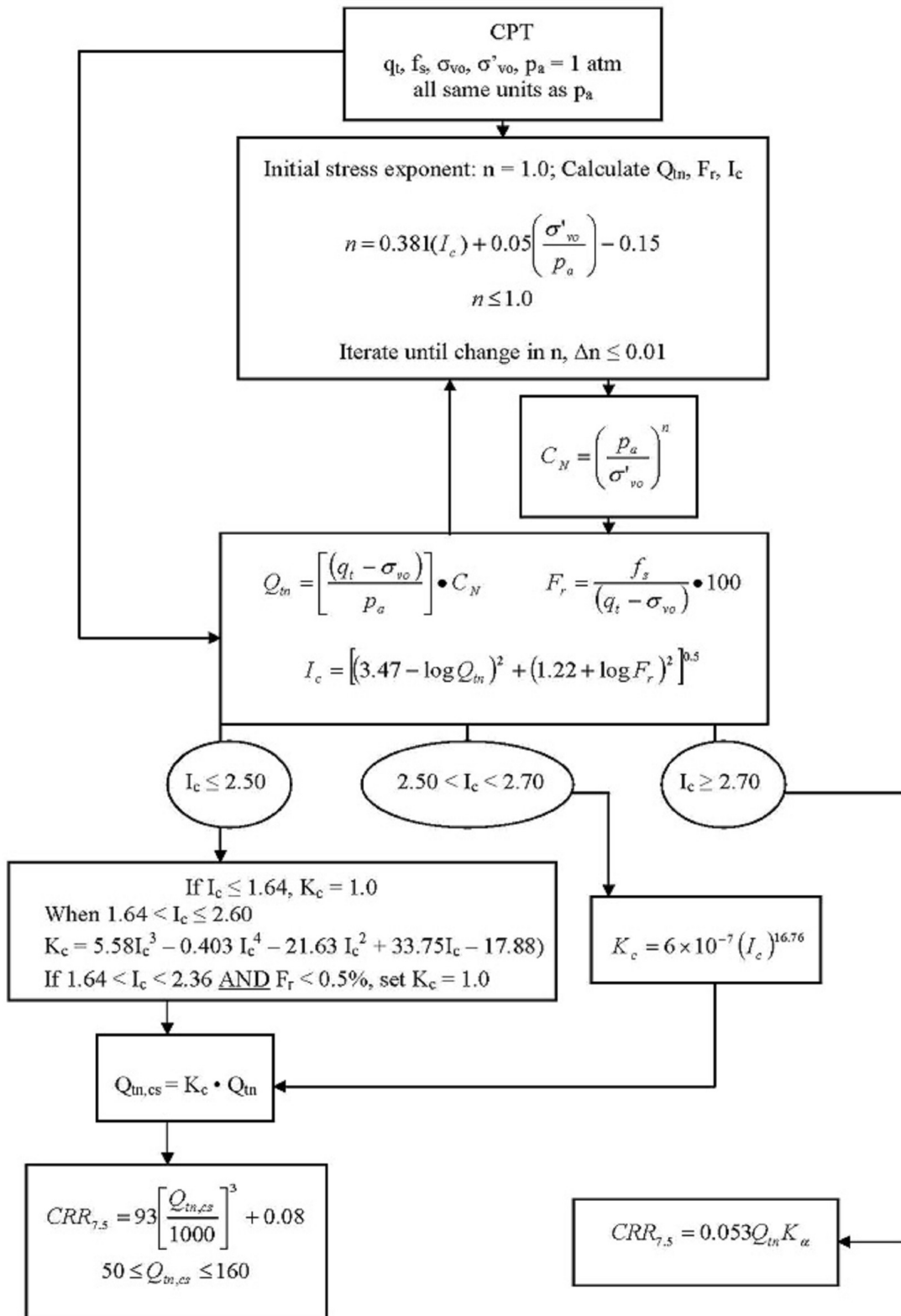
Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. The procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:



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

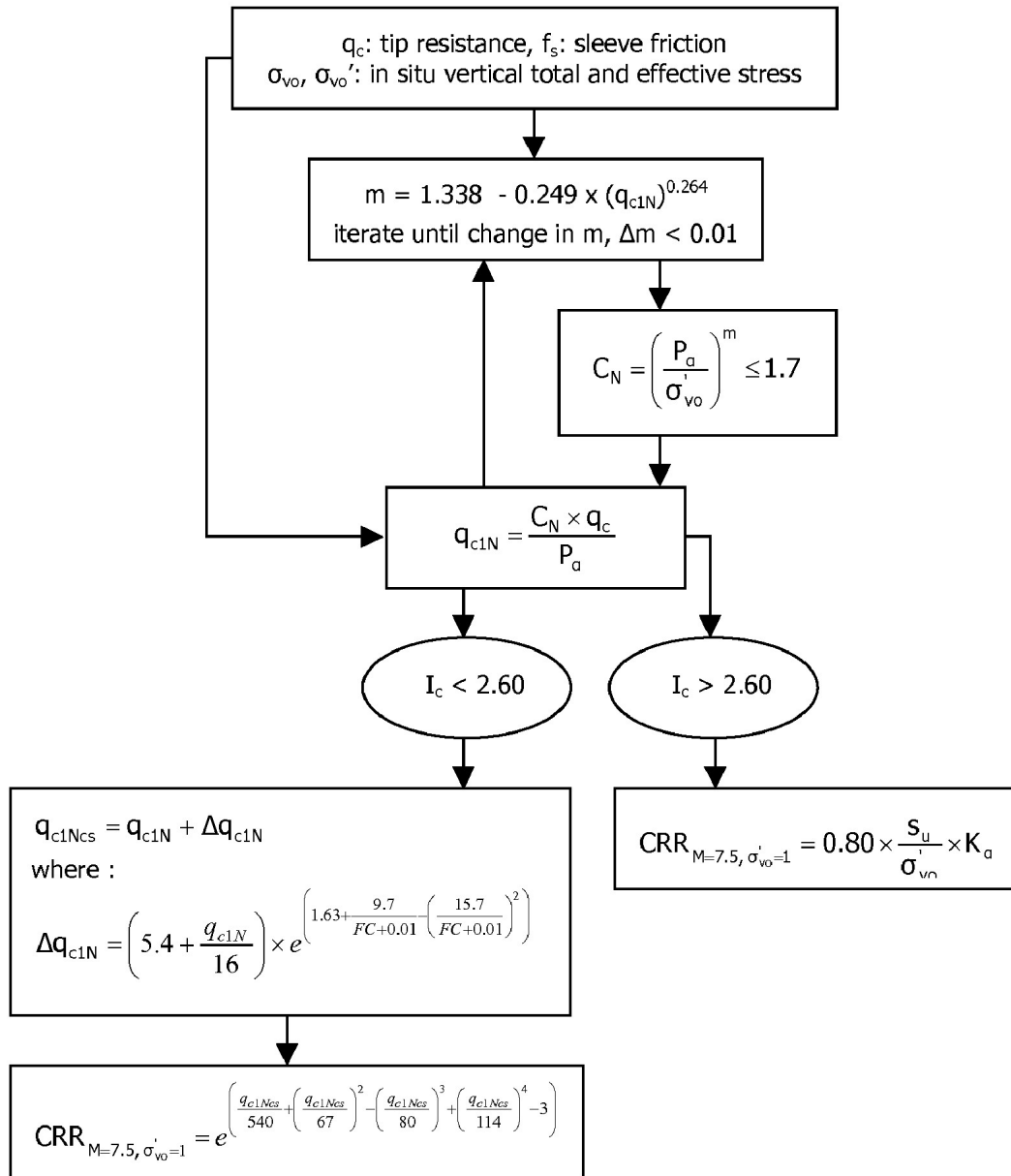
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils), Robertson (2010)

Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. This procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:

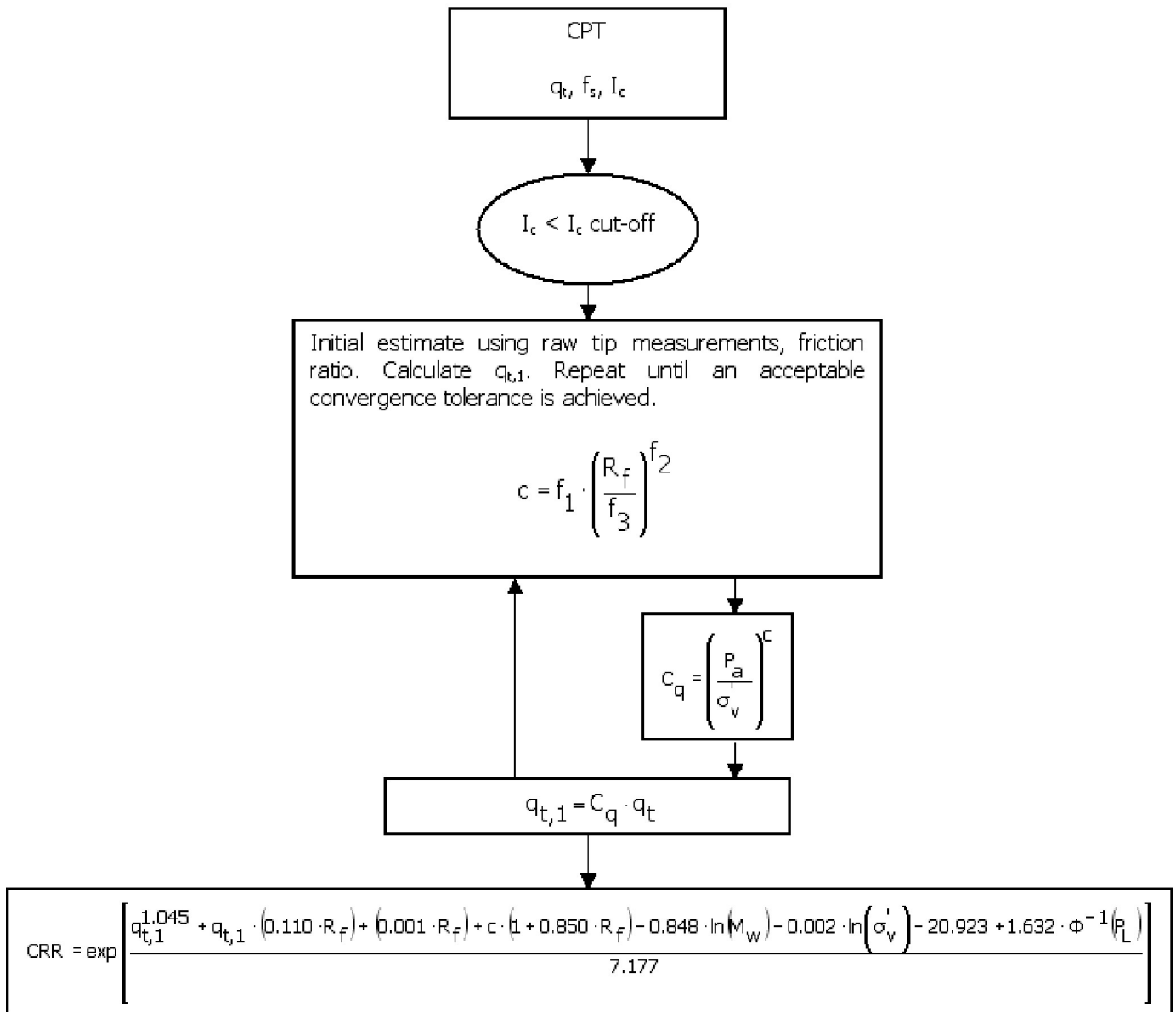


¹ P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

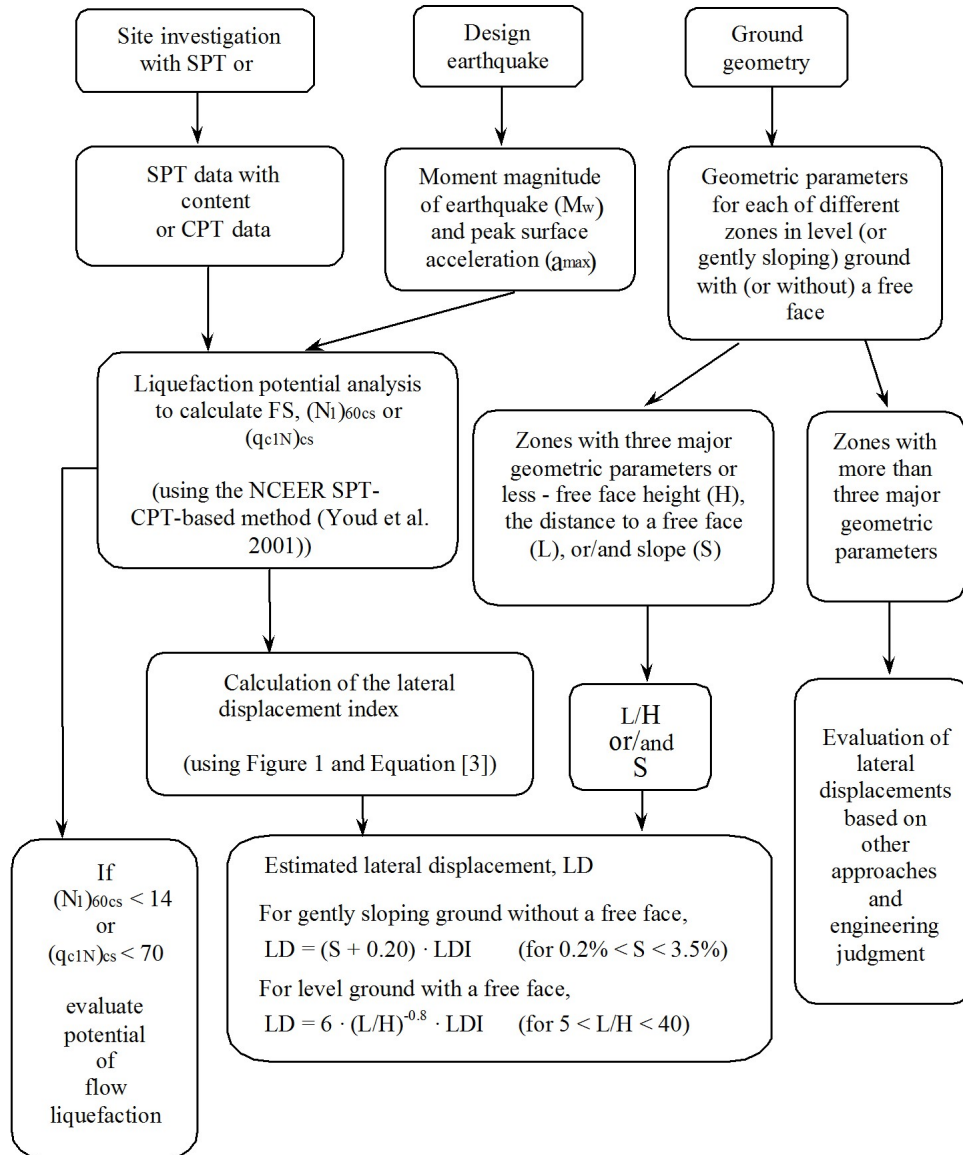
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Idriss & Boulanger (2008)



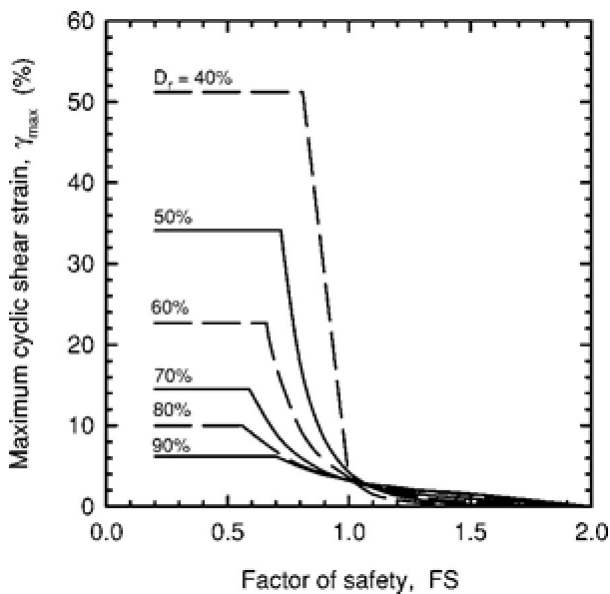
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (sandy soils), Moss et al. (2006)



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



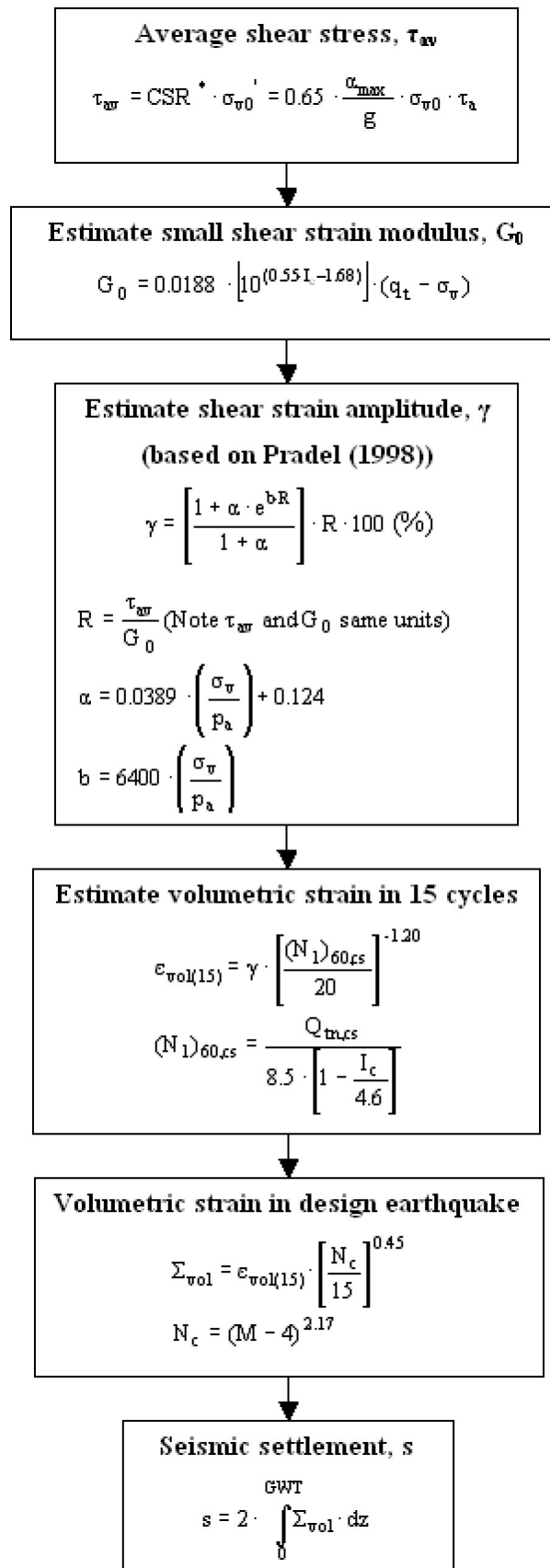
¹ Figure 1

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

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:

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

where:

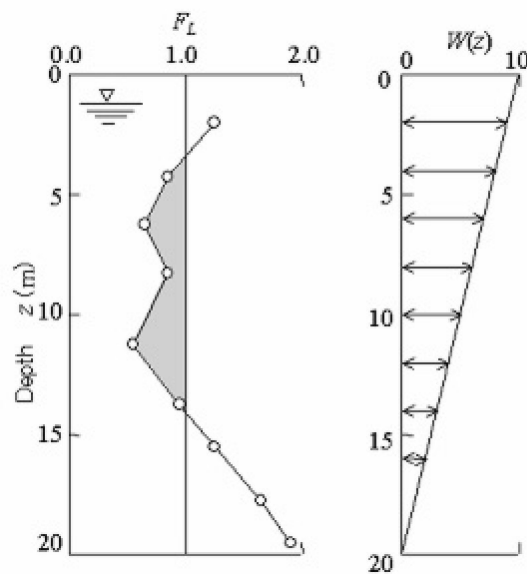
$F_L = 1 - F.S.$ when F.S. less than 1

$F_L = 0$ 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
- $0 < \text{LPI} \leq 5$: Liquefaction risk is low
- $5 < \text{LPI} \leq 15$: 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
- Papathanassiou G., 2008, LPI-based approach for calibrating the severity of liquefaction-induced failures and for assessing the probability of liquefaction surface evidence, Eng. Geol. 96:94-104
- 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