

PROVINCIA DI FERRARA

COMUNE DI ARGENTA

*"INDAGINE GEOGNOSTICA SUL TERRENO DI FONDAZIONE DEL
PROGETTO DI PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DA REALIZZARSI IN
LONGASTRINO (FE)-VIA VIOLA "*

RELAZIONE GEOLOGICA-RELAZIONE SISMICA

*-INTEGRAZIONI -AGGIORNAMENTO AL DECRETO DELLA GIUNTA DELLA
REGIONE EMILIA ROMAGNA N. 2193/2015*

COMMITTENTE:

GUERRINI QUARTO

GUERRINI ROSANNA

REDATTO:

Dott. Geol.Oberdan Drapelli

N°938 ORDINE DEI GEOLOGI DELL'EMILIA ROMAGNA

**Allegato alla delibera di Giunta Unione Valli e
Delizie n. 47 del 23.05.2019 "APPROVAZIONE
PUA scheda intervento ANS2(10)-1"**

COPIA CONFORME ai sensi dell'art.23, comma 1 del
D.Lgs. n.82/2005 dell'originale sottoscritto con firma
digitale e memorizzato digitalmente su banca dati
dell'Unione dei Comuni Valli e Delizie (FE).

Il Segretario Generale
D.ssa Rita Crivellari

| | | | | |
|------|---|--------------------------|--|--|
| REV. | 0 | EMISSIONE SETTEMBRE 2017 | | |
| | 1 | | | |

**DRAPELLI DR. OBERDAN –GEOLOGO-
STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE**
48100 RAVENNA, VIA CERCHIO, 57
tel e fax 0544/202700 CELL. 338 8439633
E-MAIL oberdandrapelli@gmail.com
C.F. DRP BDN 68T22 H199Z P.IVA 01442260392

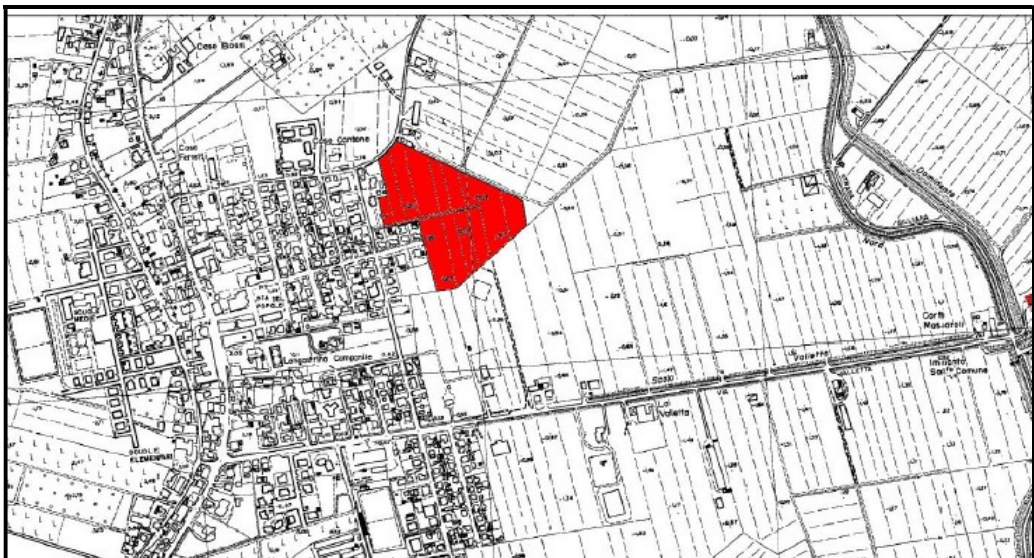
INDICE:

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | PREMESSA..... | 2 |
| 1.1 | RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI..... | 3 |
| 2 | MODELLO GEOLOGICO | 3 |
| 3 | SISMICITA' DELL'AREA | 4 |
| 3.1 | MISURE DIGITALI DEL RUMORE SISMICO ESEGUITE CON IL "TROMINO" – SASW-MASW..... | 7 |
| 3.2 | FATTORI DI AMPLIFICAZIONE..... | 9 |
| 3.3 | STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE | 13 |
| 3.4 | CEDIMENTI POST SISMICI..... | 15 |

1. PREMESSA

Su incarico della committenza, si è redatta la presente relazione a corredo degli adempimenti amministrativi per il progetto di nuova lottizzazione da realizzarsi in Longastrino di Fe, in via Viola. Il presente studio, inteso a verificare l'idoneità dell'area da un punto di vista geologico agli usi proposti, è basato sull'analisi estesa ad un adeguato intorno degli aspetti geomorfologici, litologici, e idrologici in modo da caratterizzare l'area nel suo insieme in quanto rivestono particolare importanza ai fini della futura edificazione. Una volta definiti gli obiettivi dell'indagine, si è proceduto alla raccolta dei dati esistenti in bibliografia ed ai sopralluoghi di campagna. Nel 2010 lo scrivente sempre per lo stesso committente ha eseguito una indagine geognostica con conseguente relazione. Per la redazione della relazione, si è proceduto alla realizzazione di quattro prove penetrometriche statiche spinte ad una profondità di 15.00 metri ed una (la numero 5) andata a rifiuto strumentale alla profondità di 25 metri. Inoltre per la definizione della Vs 30 si è eseguita una indagine geofisica mediante tecnica Masw e mediante Tromino digitale (effettuata dalla ditta Envia di Bologna).

La presente ad integrazione delle precedenti viene realizzata in quanto prima della presentazione del progetto è entrata in vigore la Delibera di Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015, che cambiava sostanzialmente alcune indicazioni in materia di normativa sismica regionale. Pertanto la presente risulta essere semplicemente un adeguamento della relazione già presentata e revisionata come integrazioni alla allora legge vigente nel 2015, e non sono state effettuate indagini in sito aggiuntive.

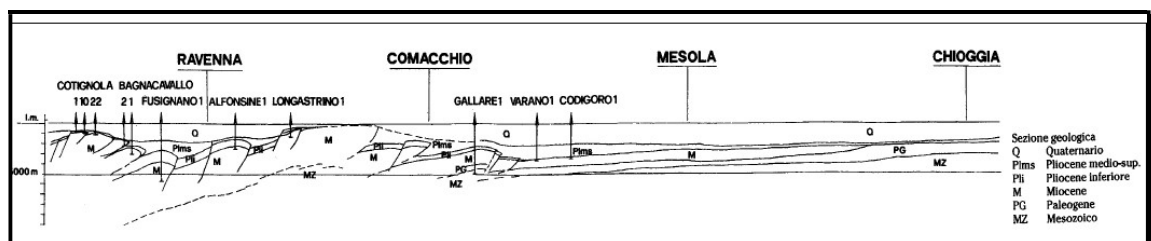


1.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

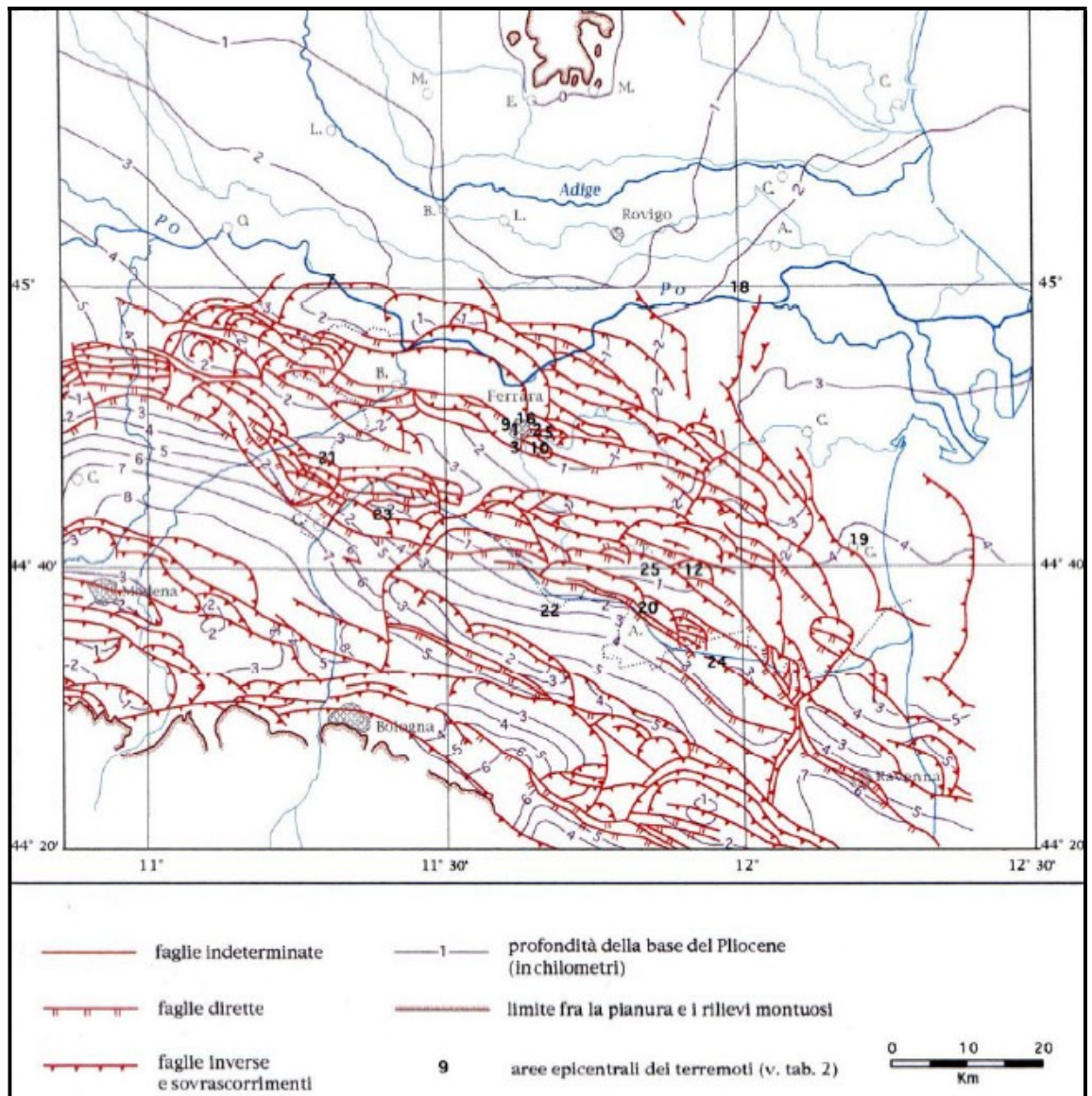
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. n. 30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.
- •Circolare Applicativa n° 617 del 02/02/2009 alle NTC/2008. •Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna “Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico” per gli studi di microzonizzazione sismica.
- •Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 Maggio 2007, N. 112.
- •A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977). •A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)“Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)”. •A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)“Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)”.
- •C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- •Eurocode EC7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- •Eurocode EC8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

2 MODELLO GEOLOGICO

Nella FIGURA 2 si riporta la sezione geologica passante per Cotignola, Bagnacavallo, Ravenna, Comacchio, Codigoro, Mesola, Chioggia in cui si possono apprezzare gli spessori dei sedimenti del Quaternario sopra i pliocenici, che coincide con il passaggio dai sedimenti sciolti a quelli litificati o pseudolitificati.



Nella FIGURA 3 si riporta uno stralcio della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine della nuova attribuzione alla Zona sismica 2, in cui Argenta è stato inserito nella OPCM 3274/2003.



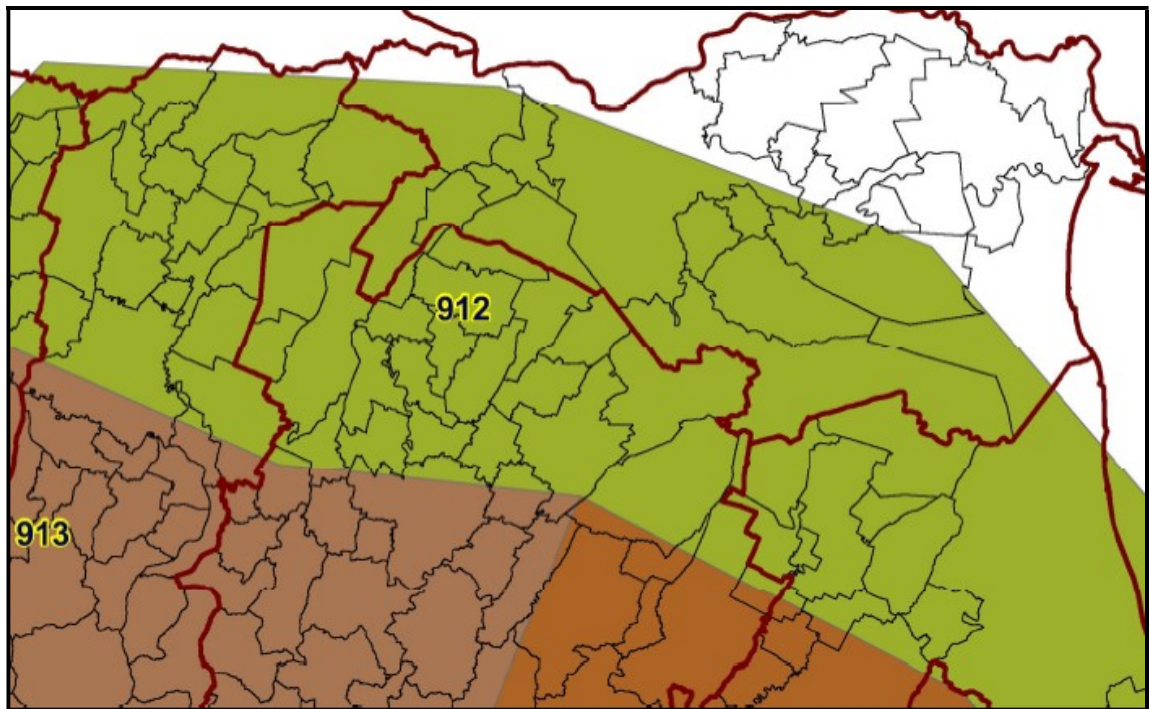
Carta strutturale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1992)

La zona oggetto del presente studio rientra nel settore orientale della Pianura Padana, in prossimità della zona palustre contraddistinta dalle valli di Comacchio. La Pianura Padana si è formata a seguito dell'abbandono dei sedimenti da parte del fiume Po e dei suoi affluenti. La pianura emiliano romagnola è caratterizzata dalla presenza di

sedimenti fini, quelli sabbiosi identificati prevalentemente nei canali e nelle dune costiere, mentre limi ed argille sono caratterizzanti le aree interfluviali, in ragione della bassa energia idrodinamica. L'attuale assetto del territorio è il risultato delle vicissitudini climatiche e geologiche degli ultimi due milioni di anni: le glaciazioni del Quaternario hanno influito sia sulla localizzazione dei detriti trasportati dai fiumi sia sulle fluttuazioni eustatiche, generando importanti regressioni e trasgressioni marine, registrate nei sedimenti quaternari del sottosuolo padano costiero. Il bacino padano è costituito superficialmente da sedimenti Olocenici di piana alluvionale, a cui segue, in profondità, una coltre di sedimenti incoerenti di età Pliocenica e Quaternaria con depositi di vari ambienti deposizionali. L'area, formata da fenomeni di deposizione sedimentaria legati a morfodinamiche di tipo fluviale/deltizio e costiero ha avuto un'evoluzione geologica molto recente. Fino al III secolo dopo Cristo, l'area era sommersa ad eccezione della porzione meridionale costituito dall'apparato deltizio Padòa-Eridano; a partire dall'Alto medio Evo, si assiste alla progradazione dell'apparato deltizio del Volano con la bocca principale che genera l'emersione della zona a formare l'ala meridionale del nuovo apparato costituitosi. Numerosi sono i bacini lagunari e le aree paludose che hanno occupato la zona sin dall'Età del Bronzo, età a cui sono riferibili i primi cordoni litoranei ancora oggi in parte visibili. L'assetto attuale del territorio è comunque dovuto anche all'azione antropica, mediante il convogliamento di svariati alvei fluviali in altri, la costruzione di argini circondariali per difendere i territori dall'ingressione delle acque rimontanti del mare, e le opere di bonifica. Nel valutare le litologie presenti, occorre evidenziare il fatto che in tutta la zona, si è verificata una successione temporale alterna di ambienti deposizionali diversi, determinati dalla fluttuazione della linea di costa e dal suo successivo arretramento verso est; la deposizione che ne consegue è quindi caratterizzata da una generale lenticolarità degli strati che possono variare anche in spazi brevi. Date queste caratteristiche di disomogeneità sia verticale che orizzontale, solo un'analisi puntuale del sito, assicura una dettagliata caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati. La litologia prevalente dell'area è comunque caratterizzata dalla presenza di sabbia fine, a tratti limosa, mediamente addensata tipica dei cordoni di dune parzialmente sepolte come risulta evidente nella carta geomorfologia. Altimetricamente la zona è compresa tra +3 +4 metri sul livello medio del mare.

3 SISMICITA' DELL'AREA

Il Comune di ARGENTA è stato inserito dalla OPCM 3274/2003, come area definita a “rischio sismico” ed inserita in zona 2 con accelerazione pari a **0.25 g secondo la normativa nazionale**. La Regione Emilia Romagna ha emanato “L’Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”. In queste linee di indirizzo si danno i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell’accelerazione di gravità g (arefg), per ogni comune della regione. **Per Argenta si è data una accelerazione di 0.160**. Si fa inoltre presente che tutto il territorio comunale di Argenta ricade all’interno della zona sismogenetica 912. Di conseguenza in questa zona è previsto che si verificano sismi con energie di Magnitudo pari a 6,14.



La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismotettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IXX grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sudorientale, in particolare nell’Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico padano tra la Val d’Arda

e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico" (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

3.1 MISURE DIGITALI DEL RUMORE SISMICO ESEGUITE CON IL "TROMINO" – SASW-MASW

Dall'integrazione delle misure sismiche passive (Tromino) e attive (Masw) è possibile giungere alla valutazione dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse e della Vs30, Il Tromino è uno strumento in grado di misurare i microtremori. Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$V_{s1}$$

$$f_r = \frac{v}{4 \times H}$$

$$4 \times H$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore. Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici. La misurazione attiva delle SASW/MASW, permettono la misurazione della velocità delle onde di Rayleigh, comparabili con la velocità delle onde V_s , attraverso l'esecuzione di sismica attiva. Si utilizza il Tromino come acquisitore e a distanza prefissata lungo uno stendimento lineare si posiziona un Trigger e si energizza il punto. Nel caso specifico è stato realizzato stendimento secondo uno schema X-X con campionature ogni 3 m. Stendimento X (m)= 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51. La calibrazione delle misure dei microtremori e delle misure Masw è stata eseguita in base alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine. La prova eseguita impiegando la suddetta metodologia dei microtremori ha evidenziato, combinata con la MASW, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), correlata ed integrata con le misure attive MASW, una $V_{s30} = 211$ m/s. Nel caso specifico è possibile individuare, in prima analisi, la sottostante frequenza fondamentale per il deposito esaminato, anche se non ben evidenziata dalla curva H/V.

La progettazione e le verifiche del modello sismico delle opere in progetto potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.

Anche se lo spettro nei ns terreni risulta alquanto complesso da identificare in quanto non è presente un picco ben definibile, dalla esperienza si è potuto notare che la frequenza caratteristica del deposito risulta essere (almeno nelle ns pianure) attorno a circa 0.9/1.0 hz.

| Frequenza fondamentale di vibrazione del deposito | |
|---|----------------|
| Frequenza f (hz) | Periodo T(sec) |
| 0.90 | 1.11 |

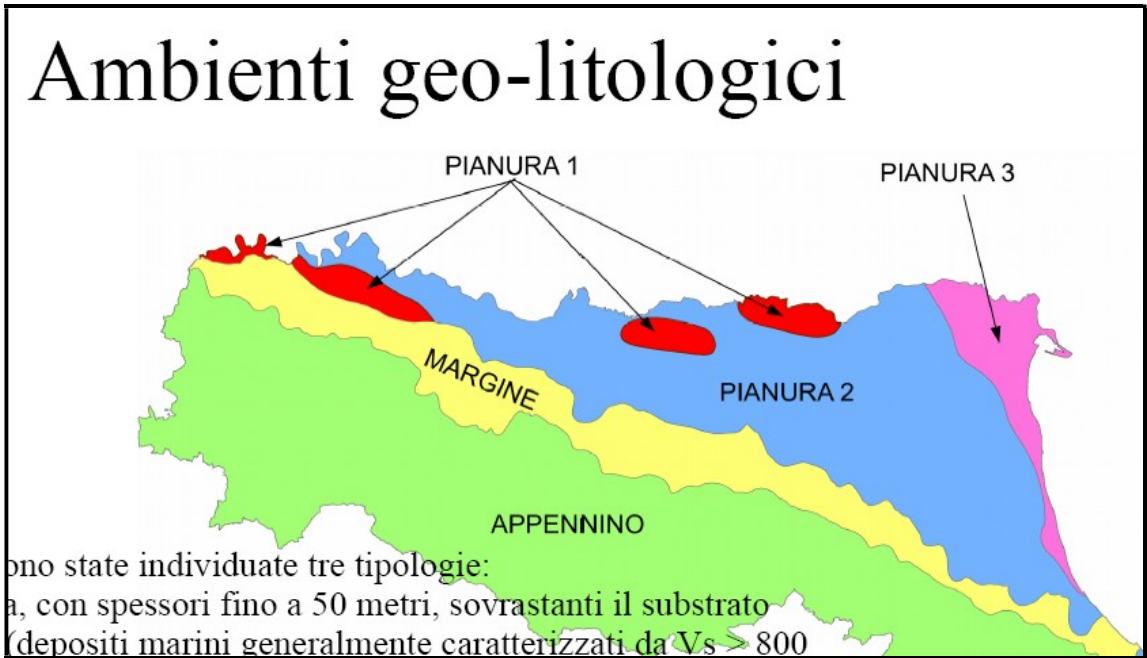
Per quanto riguarda la categoria del suolo di fondazione, secondo la nuova normativa di legge, e in assenza di indagini profonde, il sottosuolo presenta caratteristiche tipiche della categoria "C" aventi una VS30 compresa tra 180 m/sec e 360 m/sec che corrisponde ad un valore di $N_{spt} < 50$ cu < 250 kPa

Questo valore viene calcolato mediante la restituzione dell'indagine geofisica effettuate nei pressi del lotto in esame che ha dato un valore di Vs30 di circa 189 m/sec.

3.2 FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (F.A.) richiesti nell'analisi semplificata devono essere realizzate indagini geotecniche che permettano la definizione dello spessore del deposito di copertura e della profondità del *bedrock* (H) e della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_sH e V_s30) del deposito di copertura. Il fattore di amplificazione è stato determinato ai sensi della Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015. In FIGURA viene mostrata la suddivisione delle zone sismogenetiche, i colori indicano i settori in cui è stato suddiviso il territorio.

Il sito oggetto di studio è collocato in PIANURA 2 e per Vs30 inferiori a 200 m/s la classificazione del DGR 2193/2015 prevede un fattore di amplificazione F.A. pari a 1,7.



PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

Considerando una V_s 30 di inferiore 200 m/sec (come indicato dalla relazione geofisica allegata) si sono ottenuti i seguenti Fattori di Amplificazione:

| $V_{s30}(m/s) \rightarrow$ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| F.A. PGA | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.5 |
| F.A. SI1 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 |
| F.A. SI2 | 3.1 | 3.0 | 2.7 | 2.4 | 2.1 | 2.0 |
| F.A. SI3 | 3.6 | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 2.0 |

Pianura 2. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA, SI1, SI2 e SI3**.

SI1 : $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$
SI2 : $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$
SI3 : $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$

F.A. P.G.A.= 1.7

F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.1s < T_0 < 0.5s = 2.0$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1.0s = 3.1$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1.5s = 3.6$

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 14/01/2008, prevede per il comune di Argenta una accelerazione, su suolo rigido ($V_{s30} > 800 \text{m/sec}$), pari a 0.155 g, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: Fondazioni/Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 44,5965523

longitudine: 12,015685

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 16296 Lat: 44,6257 Lon: 12,0156 Distanza: 3245,535

Sito 2 ID: 16297 Lat: 44,6266 Lon: 12,0858 Distanza: 6478,340

Sito 3 ID: 16517 Lat: 44,5749 Lon: 11,9467 Distanza: 5973,833

Sito 4 ID: 16518 Lat: 44,5757 Lon: 12,0168 Distanza: 2315,998

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: D

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente c_u : 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,044 g

Fo: 2,499

Tc*: 0,261 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

| | | |
|------|-------|--------|
| Tr: | 50 | [anni] |
| ag: | 0,055 | g |
| Fo: | 2,499 | |
| Tc*: | 0,276 | [s] |

Salvaguardia della vita (SLV):

| | | |
|-----------------------------|--------------|----------|
| Probabilità di superamento: | 10 | % |
| Tr: | 475 | [anni] |
| ag: | 0,155 | g |
| Fo: | 2,582 | |
| Tc*: | 0,274 | [s] |

Prevenzione dal collasso (SLC):

| | | |
|-----------------------------|-------|--------|
| Probabilità di superamento: | 5 | % |
| Tr: | 975 | [anni] |
| ag: | 0,208 | g |
| Fo: | 2,525 | |
| Tc*: | 0,281 | [s] |

Coefficienti Sismici**SLO:**

| | |
|-------|-------|
| Ss: | 1,800 |
| Cc: | 2,450 |
| St: | 1,000 |
| Kh: | 0,016 |
| Kv: | 0,008 |
| Amax: | 0,771 |
| Beta: | 0,200 |

SLD:

| | |
|-------|-------|
| Ss: | 1,800 |
| Cc: | 2,380 |
| St: | 1,000 |
| Kh: | 0,020 |
| Kv: | 0,010 |
| Amax: | 0,968 |

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,800

Cc: 2,390

St: 1,000

Kh: 0,067

Kv: 0,034

Amax: 2,744

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,610

Cc: 2,360

St: 1,000

Kh: 0,094

Kv: 0,047

Amax: 3,281

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

$$\underline{A_{max} = a_g * F.A (1.70 \text{ dedotto dalla d.g.r. 2193/2015}) = 0.155 * 1.7 = 0.2635}$$

3.3 STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Durante un terremoto il terreno può essere visto come sottoposto da una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso. In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per produrre la liquefazione del deposito,

poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico. In definitiva, un'elevata magnitudo del sisma e una lunga durata dello stesso rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito a prevalenza sabbiosa. Dall'analisi dei fattori che predispongono un terreno alla liquefazione, tra i quali la granulometria, la profondità del livello potenzialmente liquefacibile, il grado di addensamento dei depositi, in linea generale si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti costituiti da sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile dallo 0 al 25%, si trovano sotto falda, sono da poco a mediamente addensati e si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori a 15 metri). Per la presenza di depositi granulari/incoerenti con spessori > 1,00 m e saturi d'acqua, si ritiene necessario eseguire la verifica a liquefazione. Come indicato nella D.G.R. 2193/2015, tra i metodi semplificati sono raccomandati quelli basati su prove CPT e tra questi in particolare il metodo di Idriss & Boulanger, 2014. Per il presente studio sono state quindi realizzate le verifiche della propensione alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma sulle verticali delle prove penetrometriche statiche eseguite. Per i calcoli è stato utilizzato il programma "Cliq 2.0" della Geologismiki Geotechnical Software, sviluppato in collaborazione con il Prof. Peter Robertson. L'algoritmo di calcolo utilizzato si basa sul metodo di Idriss & Boulanger, 2014. Le analisi eseguite seguono le procedure di riferimento dettate dall'NCEER.. Il potenziale di liquefazione si ottiene eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FSL, definito dal rapporto CRR su CSR. La metodologia utilizzata permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso il confronto tra le caratteristiche granulometriche e di addensamento del deposito, espresse dai valori della resistenza penetrometrica qc normalizzati con lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR e CSR). Il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL è definito dal rapporto: $FSL = CRR \cdot MSF/CSR$ (dove MSF è il coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma).

- $FS_L > 1,2$ **liquefazione assente**

Si segnala che, nel caso specifico, alcuni livelli degli strati considerati presentano fattori di sicurezza inferiore a 1; pertanto, per maggiore dettaglio, si è proceduto alla Valutazione dell'indice del potenziale di liquefazione I_L secondo quanto riportato

nell'Allegato A3 della Delibera dell'Assemblea legislativa n. 112 – Oggetto n. 2131 del 2 Maggio 2007, modificato dalla DGR 2193-2015 allegato A3.

Il rischio di liquefazione in base ai valori di tale indice risulta essere:

- $I_L = 0$ → NON LIQUEFACIBILE ($F_l > 1.2$)
 $0 < I_L \leq 2$ → RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "BASSO"
 $2 < I_L \leq 5$ → RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "MODERATO"
 $5 < I_L \leq 15$ → RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "ALTO"
 $I_L > 15$ → RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "MOLTO ALTO"

L'indice del potenziale di liquefazione, I_L è definito dalla seguente relazione:

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

in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$; ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale:

$$F = 1 - FL \text{ se } FL \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } FL > 1.0$$

dove FL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

I parametri di ingresso sono i seguenti:

Magnitudo = 6.14; $a_{max} = 0.2635$

Dallo sviluppo dei calcoli attraverso il software CLIQ, si ottiene un valore di $I_L = 3.13$ consente, nel caso specifico, di attribuire al sito in questione un **rischio di liquefazione MODERATO**.

3.4 CEDIMENTI POST SISMICI

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è affetta da notevoli incertezze. I valori che si ottengono applicando le procedure nel seguito descritte devono intendersi solo orientativi. Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero l'integrale della deformazione del terreno in direzione verticale, o anche la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati. In condizioni edometriche, ovvero in presenza di strati di terreno orizzontali ed omogenei, e con tensione costante in direzione orizzontale, le deformazioni laterali sono nulle e pertanto la deformazione verticale coincide con la deformazione volumetrica. Per semplicità e con approssimazione accettabile, salvo casi di morfologia con forti pendenze e stratigrafie molto variabili in direzione orizzontale, per la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si può fare riferimento alle condizioni edometriche.

Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi. Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione:

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i :$$

in cui ε_{vi} è la deformazione volumetrica (e verticale) dello strato i-esimo e Δz_i il suo spessore. I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche (e quindi verticali) di:

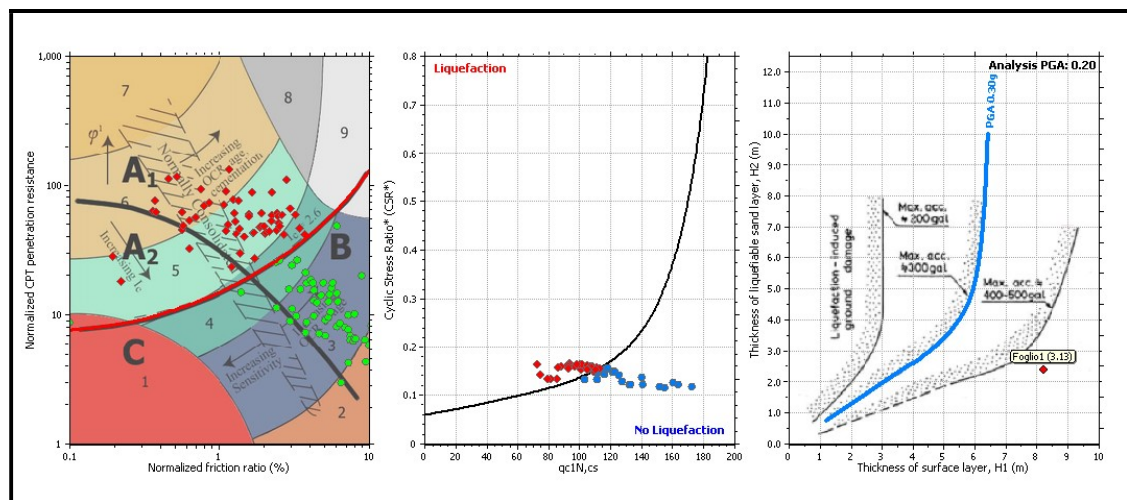
- B1. terreni granulari saturi,
- B2. terreni granulari insaturi,
- B3. terreni coesivi soffici.

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi molli possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche. I risultati devono essere riportati in una carta di microzonazione dei cedimenti indotti dall'azione sismica ove, oltre alla perimetrazione delle zone dell'area in studio, devono essere localizzate le verticali esplorate ed a ciascuna di esse deve essere associato il valore del cedimento totale stimato. Qualora il cedimento totale sia dovuto a più di uno dei meccanismi in precedenza elencati, dovrà essere specificato il valore di ciascuno dei tre contributi. Sono nel seguito descritti alcuni metodi di stima dei cedimenti basati sui risultati di prove in sito e/o di laboratorio.

3.4.1 CEDIMENTI POST SISMICI TERRENI GRANULARI

Lo stesso software esegue il calcolo dei cedimenti post sismici attesi secondo il metodo proposto da Zhang ed al. (2002), calcolando per tutti i livelli che hanno un fattore di sicurezza inferiore a 2. In condizioni di sisma vi possono essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi e che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti fini poco coesivi.

Nell'ultimo decennio sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento “non drenato”), provocate da perdite di resistenza. Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine “cyclic softening” (Idriss & Boulanger, 2014). Per la stima dei cedimenti post sisma, si è proceduto alla verifica basata sulla classificazione di comportamento di tutti i terreni proposta da Robertson (1990; 2009). La figura in allegato propone il diagramma (Qtn-F) di classificazione nel quale si distinguono le zone di potenziale liquefazione e/o di “cyclic softening”. Le zone A1 e A2 corrispondono ai sedimenti di bassa coesione attribuibili a comportamento granulare e suscettibili di liquefazione ciclica, in particolare i sedimenti che ricadono nella zona A2 risultano più suscettibili a perdite anche significative di resistenza in caso di sisma; le Zone B e C ($I_c > 2,6$) corrispondono invece ai terreni coesivi a comportamento argilloso ed entrambi sensibili a “cyclic softening”, in particolare i sedimenti che ricadono nella zona C risultano più suscettibili a perdite di resistenza post-sisma. Limi non plastici saturi spesso cadono nella zona C, tuttavia, il loro CRR è fortemente controllato dalla coesione non drenata c_u .



Nella medesima figura è riportato, inoltre, il plottaggio dei risultati dell'indagine CPT: si evince che i sedimenti a comportamento granulare ($I_c > 2,60$), si distribuiscono quasi totalmente nel campo A1 (sabbie – da sabbie pulite a sabbie limose). I depositi fini ricadono prevalentemente nella zona B. La verifica ha tenuto conto di un livello piezometrico in caso di sisma pari a -1.90 m e considerando che nei primi 20 metri sono preponderanti i depositi sabbioso limosi, l'analisi dei cedimenti è stata impostata esclusivamente sulle tessiture granulari in condizioni sature. I risultati cumulativi dei cedimenti indotti da sisma sono anch'essi stati calcolati attraverso il software Clig v.

della Geologismiki Geotechnical Software e riportati graficamente in allegato: in sintesi, si sono ottenuti valori di cedimento pari a **7.51 cm**.

3.4.2 CEDIMENTI POST SISMICI TERRENI COESIVI

Come indicato nel DGR 2193/2015 la verifica ed il calcolo del cedimento post sismico, viene effettuato nei depositi coesivi soffici con una coesione non drenata **cu < 70 kPa**, caratterizzati inoltre da una Vs < 180 m/s e risulta significativo qualora il rapporto tra l'incremento delle pressioni interstiziali e della tensione efficace sia maggiore uguale a 3 (**$\Delta u/\sigma'_0 > 3$**), con un indice di plasticità ed un incremento delle pressioni interstiziali del 30 %. Durante l'azione sismica di riferimento, la deformazione volumetrica (e verticale) e quindi l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto può essere stimata con l'equazione (Yasuhara e Andersen, 1991).

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha \cdot C_r}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{p_0}} \right)$$

Dove

Cr = indice di ricomprensione che si assume pari all'indice di rigonfiamento in presenza di prove edometriche oppure calcolato in maniera empirica nel seguente modo:

$$C_c = 0.0348 + 0.0162 I_p (0.30) \text{ ne consegue } \mathbf{Cr = 0.225 C_c = 0.008923}$$

α = 1.50 coefficiente empirico che tiene conto della storia del carico ciclico

e₀=indice dei vuoti naturali dell'argilla

$\Delta u/\sigma'_0 = r_u$ = rapporto tra l' incremento delle pressioni interstiziali e della tensione efficace e risulta essere (Matsui et al., 1980):

$$r_u = \frac{\Delta u}{p_0} = \beta \cdot \left[\log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} \right]$$

Dove:

β ≅ 0.45 è un coefficiente sperimentale,

γ_{max} è la deformazione di taglio massima in semplice ampiezza indotta dal terremoto, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{\max} = \frac{a_{\max}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{\max} , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidità iniziale $G_0 (= \rho \cdot VS^2)$, utilizzando la legge di variazione $G(\gamma)/G_0$ ottenuta con prove dinamiche di laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili. γ_v è la deformazione di soglia volumetrica, determinabile con prove dinamiche di laboratorio, o in prima approssimazione con la relazione empirica (Matsui et al. 1980): $\gamma_v = A (OCR-1) + B$ in cui OCR è il rapporto di sovraconsolidazione e A e B sono coefficienti sperimentali che, in assenza di determinazione diretta, possono essere stimati in funzione dell'indice di plasticità, IP.

Tabella 1 - Valori suggeriti per i coefficienti A e B

| Ip (%) | A | B |
|--------|---------------------|---------------------|
| 20 | $0.4 \cdot 10^{-3}$ | $0.6 \cdot 10^{-3}$ |
| 40 | $1.2 \cdot 10^{-3}$ | $1.1 \cdot 10^{-3}$ |
| 55 | $2.5 \cdot 10^{-3}$ | $1.2 \cdot 10^{-3}$ |

Nel nostro caso gli strati potenzialmente soggetti al fenomeno di cedimento post sisma risultano essere 3 nella verticale e risultano essere le seguenti:

Strato 1 da m 1.80-4.60 m $H'=2.80$

Strato 2 da m 9.20-11.80 m $H'=2.60$

Strato 3 da m 12.80-13.40 m $H'=0.60$

CALCOLO DEL CEDIMENTO POST SISMICO

$$\Delta H = H \frac{\alpha \cdot Cr}{1 + e_o} \log (1/(1-ru))$$

Per il calcolo si assume

$\sigma'_0 = 0.36$ kg/cmq strato 1; $\sigma'_0 = 0.51$ kg/cmq strato 2; $\sigma'_0 = 0.89$ kg/cmq strato 3

$e_0 = 0.95$ (dedotto da indagini limitrofe); $C_r = 0.225$ $C_c = 0.008923$

Strato 1 da m 1.80-4.60 m

$H' = 280$ cm

$ru = \Delta u / \sigma'_0 = 0.59$

$\sigma'_0 = 0.36$ kg/cmq

$e_0 = 0.95$ (dedotto da indagini limitrofe)

$C_r = 0.225$ $C_c = 0.008923$

$\Delta H = 280 * (1.50 * 0.03966) / (1 + 0.95) * \ln 1 / (1 - 0.58) = 1.66$ cm

Strato 2 da m 9.20-11.80 m

$H' = 260$ cm

$ru = \Delta u / \sigma'_0 = 0.73$

$\sigma'_0 = 0.51$ kg/cmq

$e_0 = 0.95$ (dedotto da indagini limitrofe)

$C_r = 0.225$ $C_c = 0.008923$

$\Delta H = 260 * (1.50 * 0.03966) / (1 + 0.95) * \ln 1 / (1 - 0.73) = 2.31$ cm

Strato 3 da m 12.80-13.40 m

$H' = 60$ cm

$ru = \Delta u / \sigma'_0 = 0.81$

$\sigma'_0 = 0.89$ kg/cmq

$e_0 = 0.95$ (dedotto da indagini limitrofe)

$C_r = 0.225$ $C_c = 0.008923$

$\Delta H = 60 * (1.50 * 0.03966) / (1 + 0.95) * \ln 1 / (1 - 0.81) = 0.68$ cm

$\Delta H_{tot} = 4.65$ cm

3.4.3 CEDIMENTI POST SISMICI TOTALI

Il calcolo dei cedimenti post sismici come indicato nella D.G.R. 2193/2015 è stato effettuato calcolando i cedimenti sia dei livelli potenzialmente liquefacibili in caso di sisma in terreni granulari, sia per i terreni coesivi (per i terreni con le caratteristiche indicate nella delibera).

Il cedimento totale viene quindi ad essere la somma dei due cedimenti e risulta essere:

$\Delta H = 7.51$ cm terreni granulari

$\Delta H = 4.65$ cm terreni coesivi

$\Delta H_{tot} = 12.16$ cm

Per quanto riguarda l'ubicazione dell'area in esame e delle indagini svolte si rimanda alla Relazione Geologica inerente al progetto edilizio e relativi allegati e integrazioni a corredo.

TABLE OF CONTENTS

| | |
|--|-----------|
| Foglio1 results | |
| Summary data report | 1 |
| Input field data | 8 |
| Cyclic stress resistance results | 11 |
| Cyclic resistance ratio results | 14 |
| Liquefaction potential index data | 17 |
| Vertical settlements summary report | 19 |
| Vertical settlements data report | 20 |
| Strength loss data report | 22 |

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

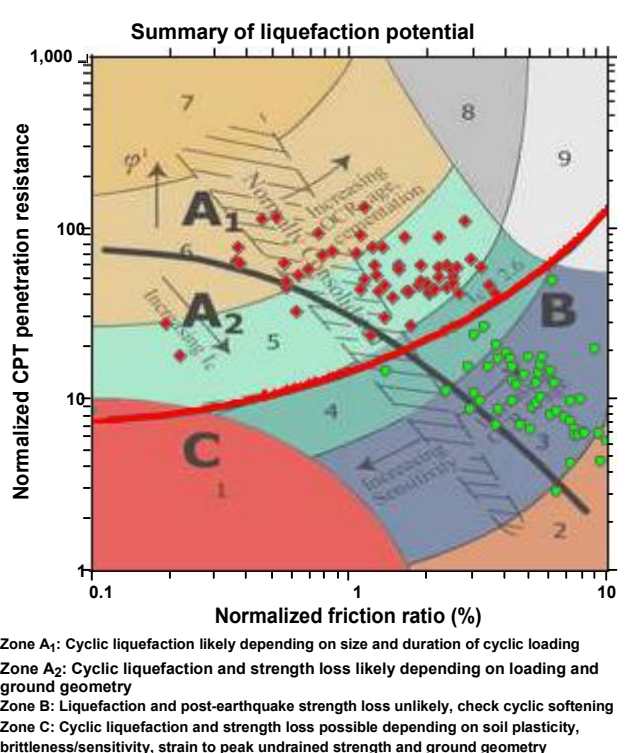
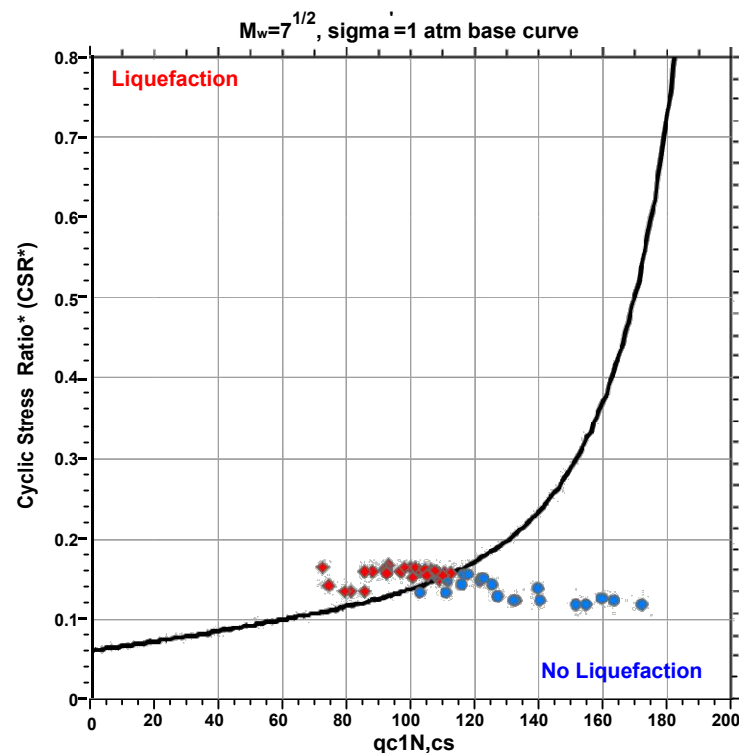
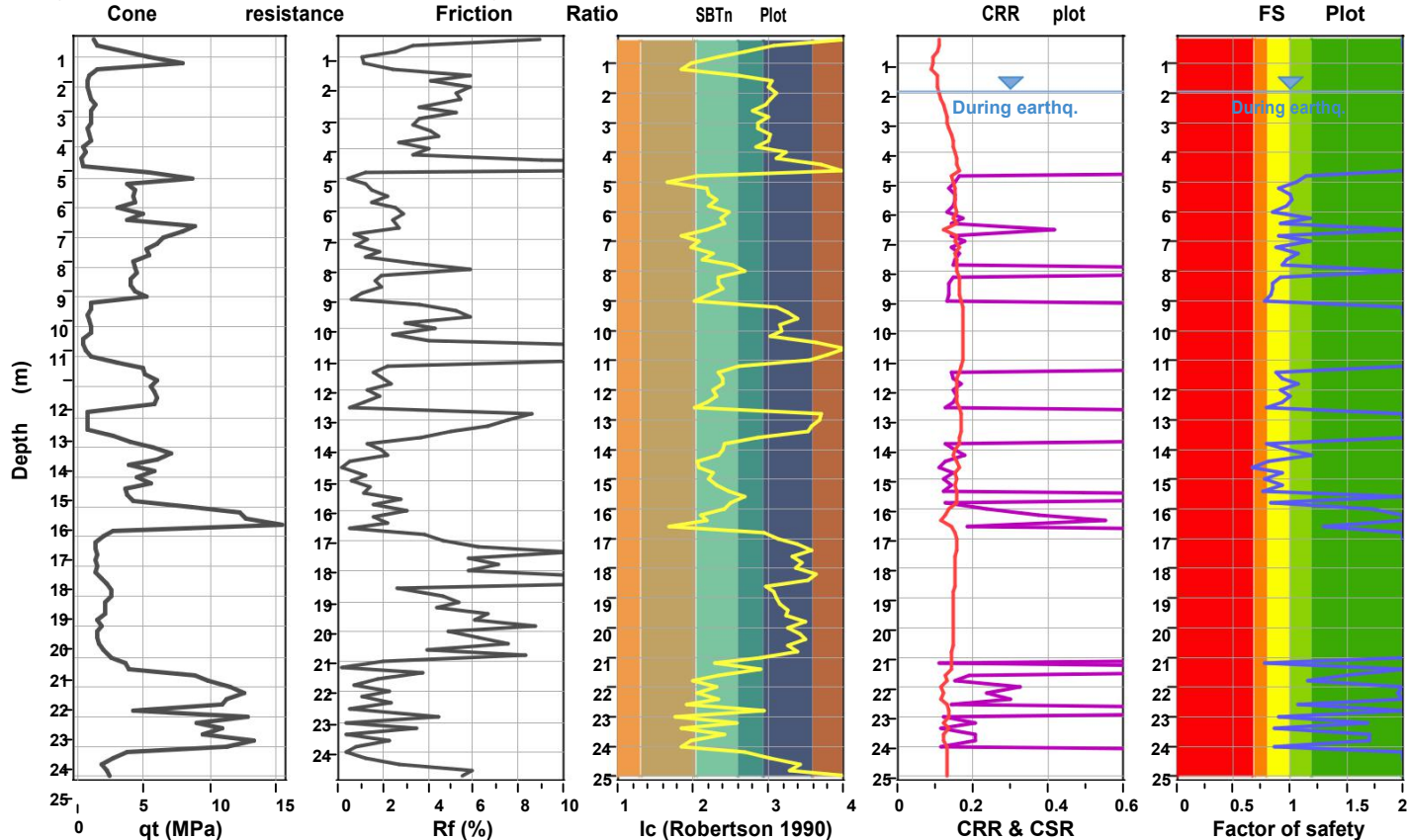
Project title :

Location :

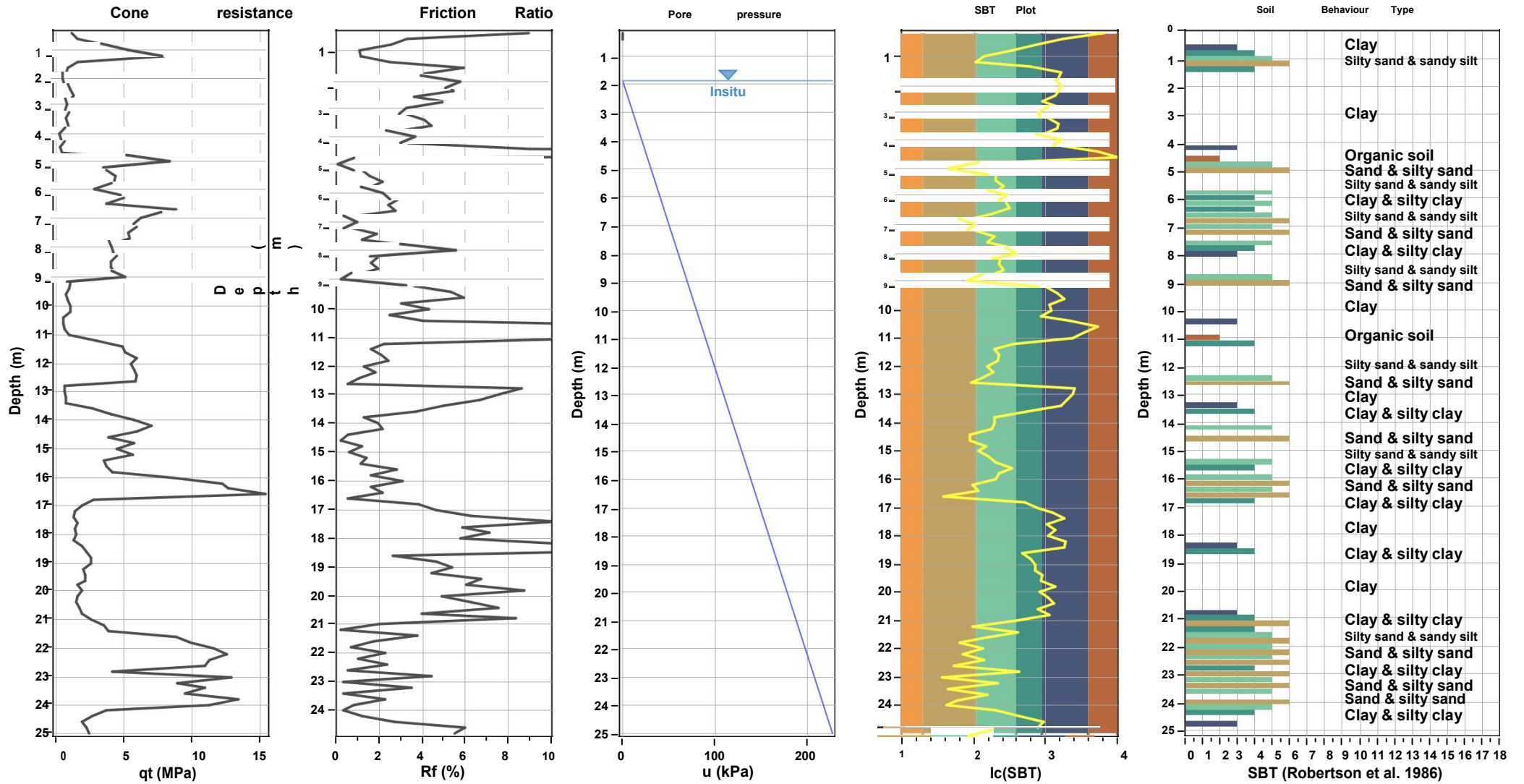
CPT file : Foglio1

Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|-----------------------------|------------|
| Analysis method: | B&I (2014) | G.W.T. (in-situ): | 1.90 m | Use fill: | No | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Fines correction method: | B&I (2014) | G.W.T. (earthq.): | 1.90 m | Fill height: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 1 | Fill weight: | N/A | Limit depth: | N/A |
| Earthquake magnitude M_w : | 6.14 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | MSF method: | Method |
| Peak ground acceleration: | 0.26 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_σ applied: | Yes | FS Plot | |



CPT basic interpretation plots



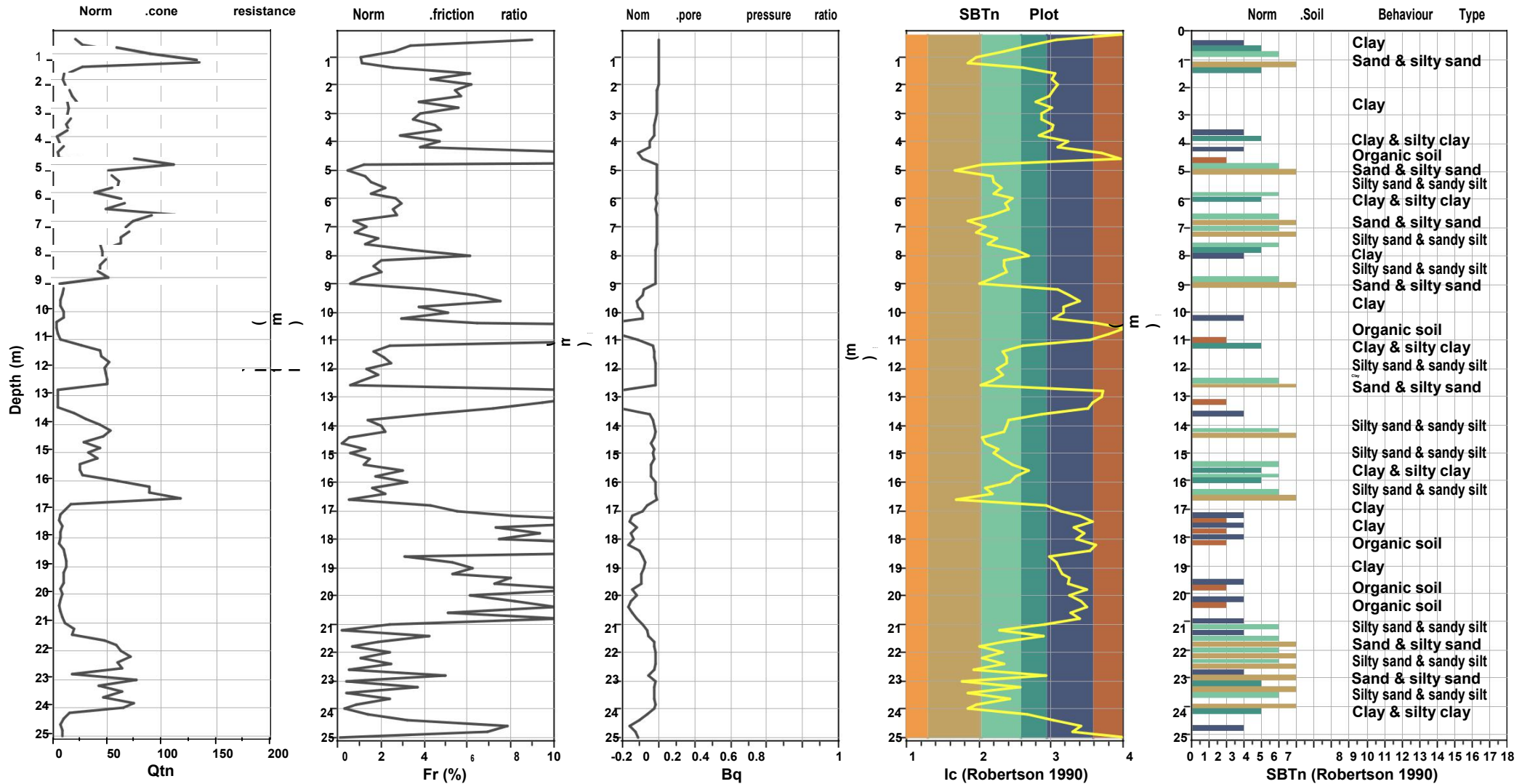
Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method: | B&I (2014) | Depth to GWT (erthq.): | 1.90 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | B&I (2014) | Average results interval: | 1 | 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 : | 6.14 | Unit weight calculation: | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration: | 0.26 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 1.90 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)



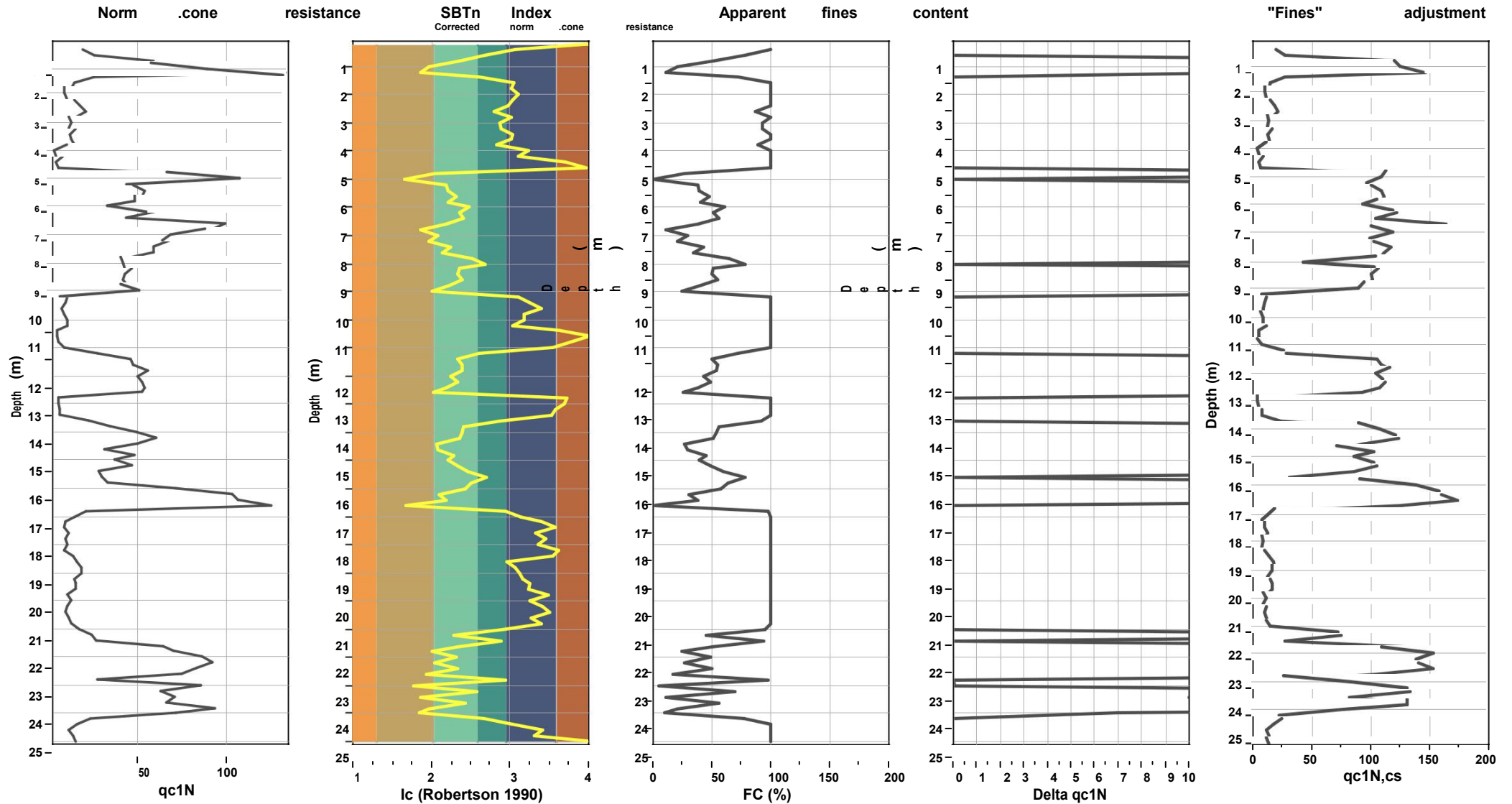
Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method: | B&I (2014) | Depth to GWT (erthq.): | 1.90 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | B&I (2014) | Average results interval: | 1 | 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 : | 6.14 | Unit weight calculation: | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration: | 0.26 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 1.90 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 |

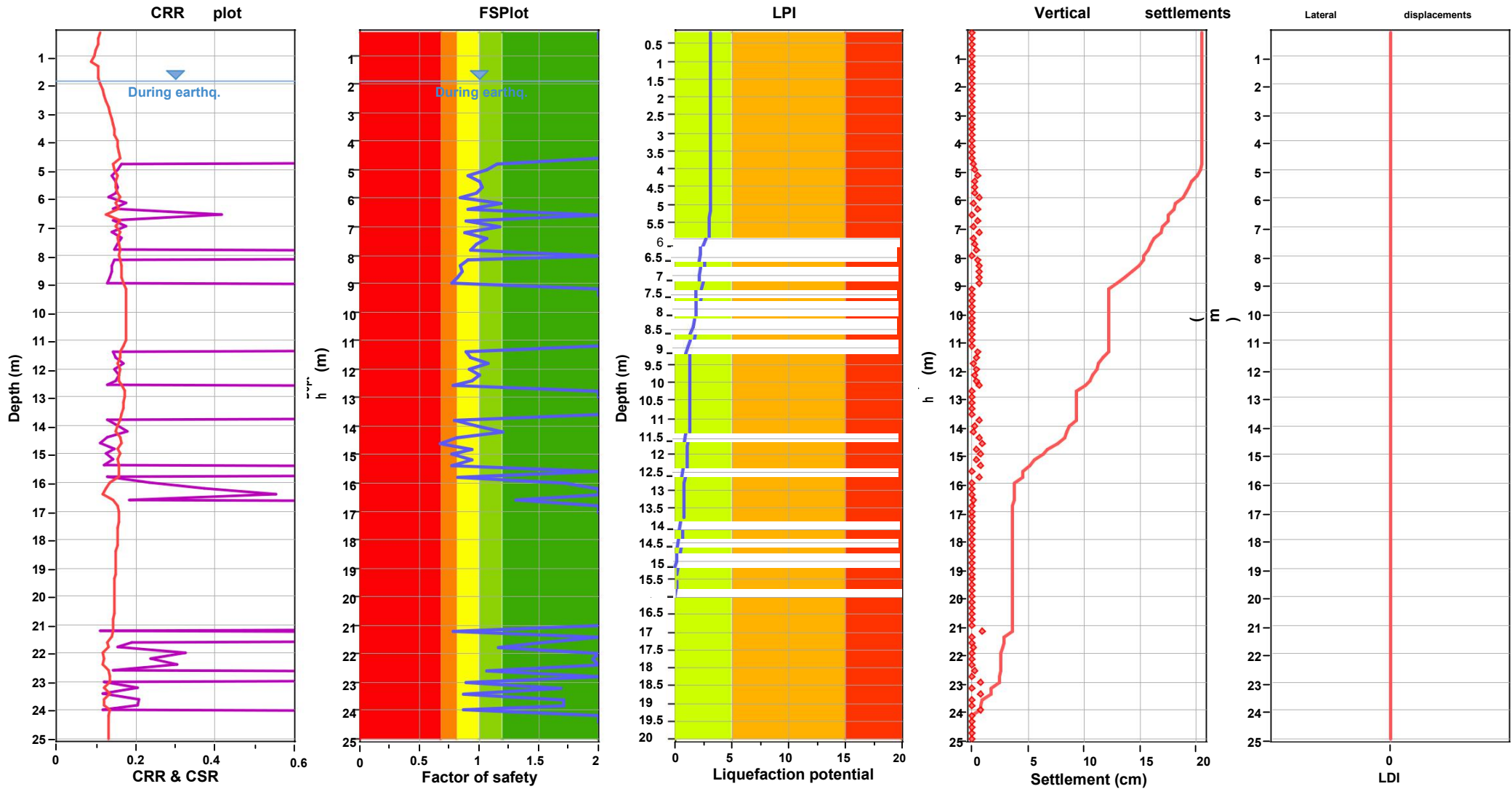
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method: | B&I (2014) | Depth to GWT (erthq.): | 1.90 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | B&I (2014) | Average results interval: | 1 | Transition detect. applied: | No |
| Points to test: | Based on lc value | lc cut-off value: | 2.60 | K _σ applied: | Yes |
| Earthquake magnitude M _w : | 6.14 | Unit weight calculation: | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration: | 0.26 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 1.90 m | Fill height: | N/A | Limit depth: | N/A |

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)
 Fines correction method: B&I (2014)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.26
 Depth to water table (insitu): 1.90 m

Depth to GWT (earthq.): 1.90 m
 Average results interval: 1
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

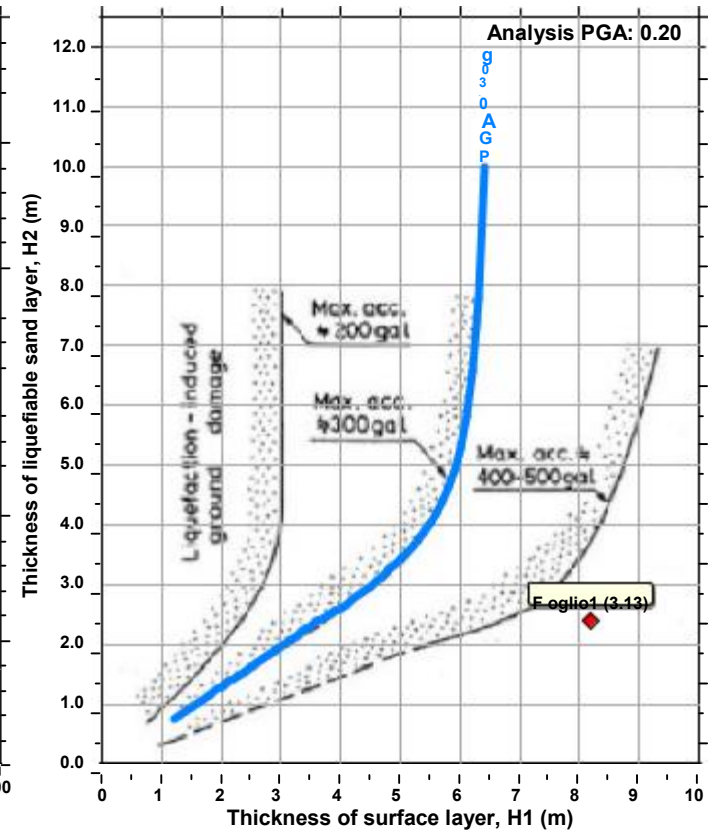
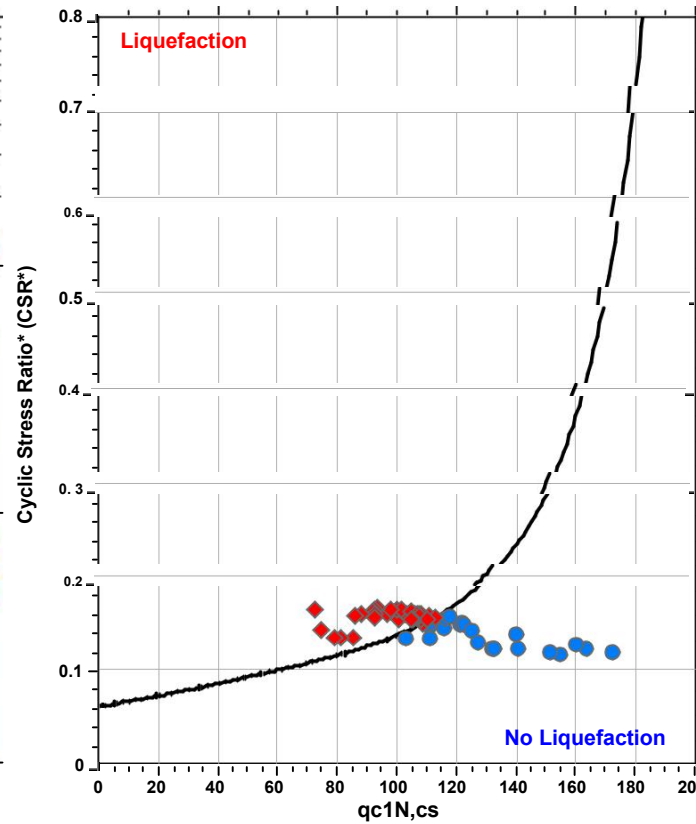
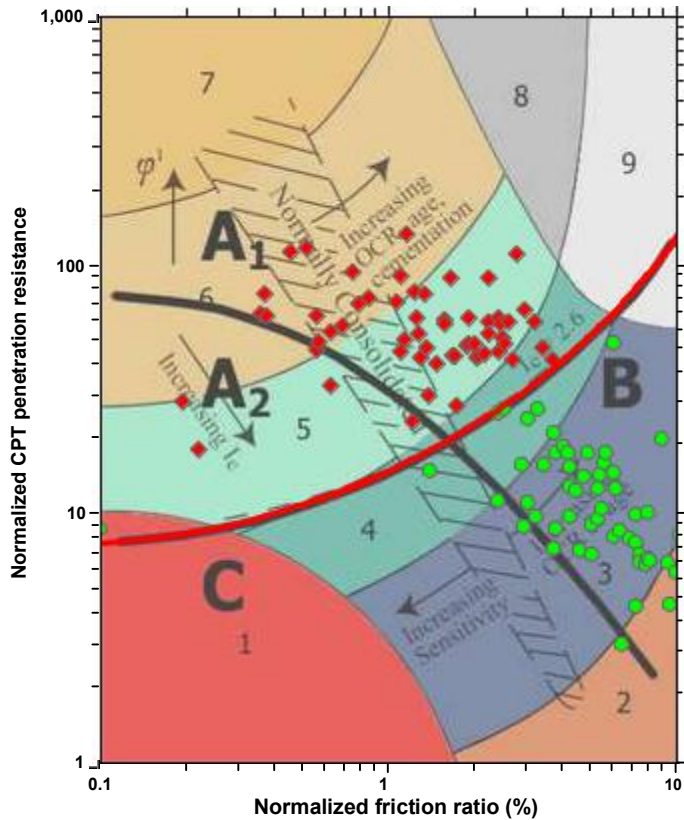
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

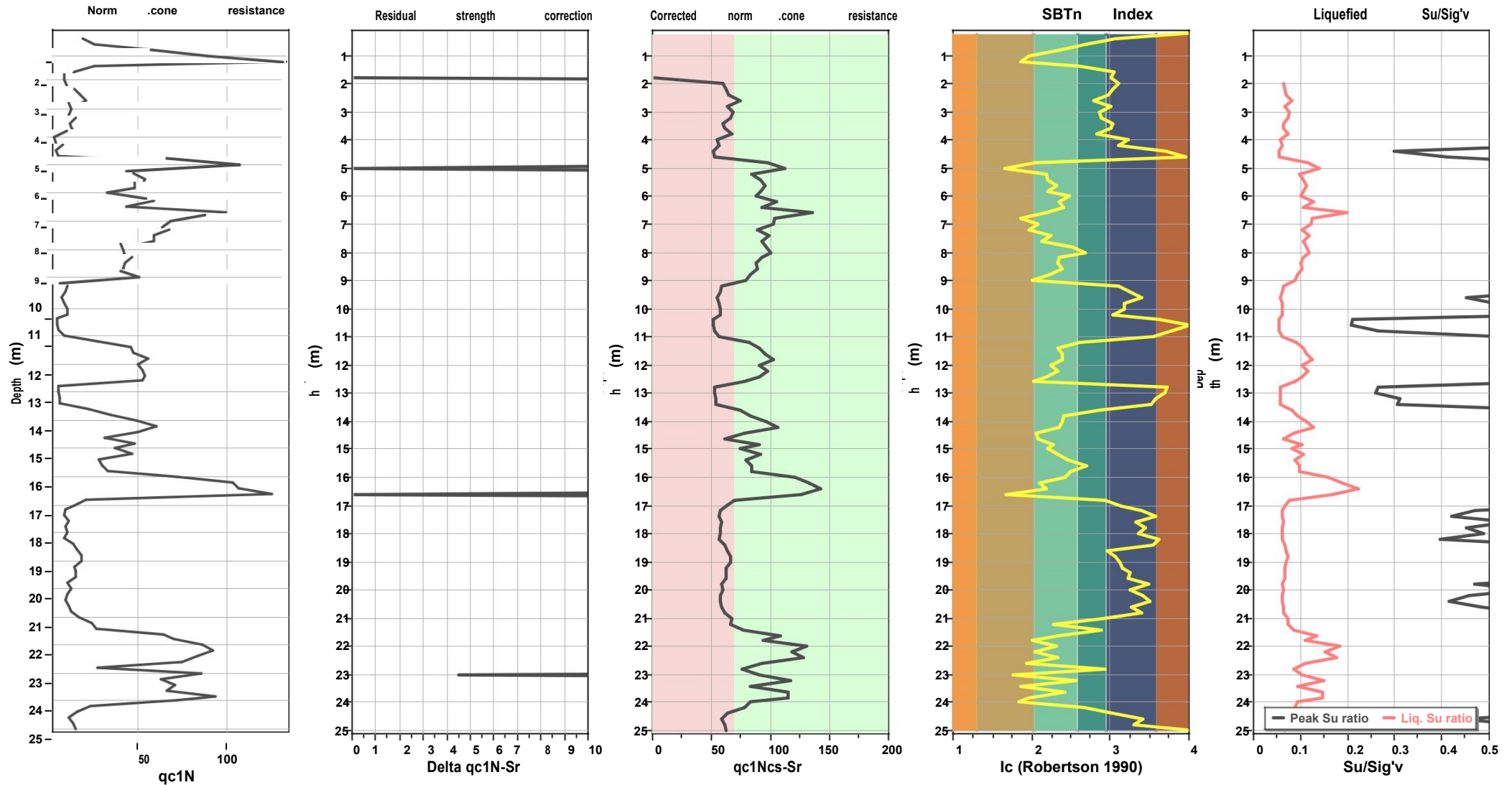
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method: | B&I (2014) | Depth to GWT (erthq.): | 1.90 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | B&I (2014) | Average results interval: | 1 | Transition detect. applied: | No |
| Points to test: | Based on I_c value | I_c cut-off value: | 2.60 | K_σ applied: | Yes |
| Earthquake magnitude M_w : | 6.14 | Unit weight calculation: | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration: | 0.26 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 1.90 m | Fill height: | N/A | Limit depth: | N/A |

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



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)
 Fines correction method: B&I (2014)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.26
 Depth to water table (insitu): 1.90 m

Depth to GWT (erthq.): 1.90 m
 Average results interval: 1
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_G applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 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 | 0.00 | 51.99 | 0.00 | 100.00 | 19.00 |
| 2 | 0.40 | 1.18 | 104.97 | 0.00 | 63.47 | 18.40 |
| 3 | 0.60 | 1.57 | 51.99 | 0.00 | 39.85 | 17.71 |
| 4 | 0.80 | 3.53 | 91.23 | 0.00 | 24.54 | 18.66 |
| 5 | 1.00 | 5.40 | 58.86 | 0.00 | 12.03 | 18.32 |
| 6 | 1.20 | 7.95 | 91.23 | 0.00 | 9.32 | 18.97 |
| 7 | 1.40 | 1.57 | 39.24 | 0.00 | 36.18 | 17.38 |
| 8 | 1.60 | 0.88 | 51.99 | 0.00 | 62.42 | 17.49 |
| 9 | 1.80 | 0.78 | 32.37 | 0.00 | 58.72 | 16.89 |
| 10 | 2.00 | 0.78 | 46.11 | 0.00 | 65.73 | 17.30 |
| 11 | 2.20 | 0.88 | 46.11 | 0.00 | 60.58 | 17.35 |
| 12 | 2.40 | 1.08 | 58.86 | 0.00 | 56.76 | 17.70 |
| 13 | 2.60 | 1.28 | 46.11 | 0.00 | 46.02 | 17.49 |
| 14 | 2.80 | 0.98 | 51.99 | 0.00 | 58.76 | 17.53 |
| 15 | 3.00 | 1.08 | 39.24 | 0.00 | 49.93 | 17.24 |
| 16 | 3.20 | 0.98 | 32.37 | 0.00 | 50.64 | 16.98 |
| 17 | 3.40 | 0.78 | 32.37 | 0.00 | 60.28 | 16.89 |
| 18 | 3.60 | 0.88 | 39.24 | 0.00 | 58.73 | 17.16 |
| 19 | 3.80 | 0.98 | 26.49 | 0.00 | 47.88 | 16.75 |
| 20 | 4.00 | 0.49 | 19.62 | 0.00 | 75.11 | 16.14 |
| 21 | 4.20 | 0.59 | 19.62 | 0.00 | 65.74 | 16.21 |
| 22 | 4.40 | 0.29 | 26.49 | 0.00 | 100.00 | 16.29 |
| 23 | 4.60 | 0.39 | 137.34 | 0.00 | 100.00 | 18.29 |
| 24 | 4.80 | 5.40 | 65.73 | 0.00 | 14.39 | 18.45 |
| 25 | 5.00 | 8.63 | 39.24 | 0.00 | 5.00 | 18.04 |
| 26 | 5.20 | 3.73 | 46.11 | 0.00 | 18.67 | 17.90 |
| 27 | 5.40 | 4.32 | 65.73 | 0.00 | 19.03 | 18.36 |
| 28 | 5.60 | 4.22 | 91.23 | 0.00 | 22.91 | 18.73 |
| 29 | 5.80 | 4.32 | 65.73 | 0.00 | 19.49 | 18.36 |
| 30 | 6.00 | 3.04 | 78.48 | 0.00 | 29.74 | 18.43 |
| 31 | 6.20 | 5.00 | 144.21 | 0.00 | 24.82 | 19.32 |
| 32 | 6.40 | 3.73 | 91.23 | 0.00 | 26.91 | 18.68 |
| 33 | 6.60 | 8.83 | 242.31 | 0.00 | 18.70 | 20.14 |
| 34 | 6.80 | 7.95 | 58.86 | 0.00 | 9.34 | 18.47 |
| 35 | 7.00 | 6.47 | 85.35 | 0.00 | 15.19 | 18.82 |
| 36 | 7.20 | 5.98 | 46.11 | 0.00 | 12.27 | 18.08 |
| 37 | 7.40 | 5.30 | 98.10 | 0.00 | 20.73 | 18.90 |
| 38 | 7.60 | 5.40 | 65.73 | 0.00 | 16.93 | 18.45 |
| 39 | 7.80 | 4.12 | 137.34 | 0.00 | 31.33 | 19.19 |
| 40 | 8.00 | 4.32 | 255.06 | 0.00 | 39.56 | 19.92 |
| 41 | 8.20 | 4.41 | 85.35 | 0.00 | 24.33 | 18.67 |
| 42 | 8.40 | 4.02 | 65.73 | 0.00 | 24.06 | 18.34 |
| 43 | 8.60 | 4.02 | 78.48 | 0.00 | 26.17 | 18.54 |
| 44 | 8.80 | 4.32 | 46.11 | 0.00 | 19.58 | 17.96 |
| 45 | 9.00 | 5.30 | 32.37 | 0.00 | 13.35 | 17.63 |
| 46 | 9.20 | 1.08 | 39.24 | 0.00 | 65.36 | 17.24 |
| 47 | 9.40 | 0.98 | 51.99 | 0.00 | 77.00 | 17.53 |
| 48 | 9.60 | 0.78 | 46.11 | 0.00 | 89.31 | 17.30 |

| :: 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 | 0.88 | 26.49 | 0.00 | 70.73 | 16.71 |
| 50 | 10.00 | 1.08 | 46.11 | 0.00 | 70.77 | 17.42 |
| 51 | 10.20 | 1.08 | 26.49 | 0.00 | 61.07 | 16.79 |
| 52 | 10.40 | 0.49 | 19.62 | 0.00 | 100.00 | 16.14 |
| 53 | 10.60 | 0.49 | 85.35 | 0.00 | 100.00 | 17.83 |
| 54 | 10.80 | 0.59 | 65.73 | 0.00 | 100.00 | 17.60 |
| 55 | 11.00 | 0.98 | 117.72 | 0.00 | 100.00 | 18.47 |
| 56 | 11.20 | 2.94 | 65.73 | 0.00 | 36.02 | 18.22 |
| 57 | 11.40 | 4.91 | 78.48 | 0.00 | 23.78 | 18.62 |
| 58 | 11.60 | 5.10 | 104.97 | 0.00 | 26.18 | 18.97 |
| 59 | 11.80 | 5.98 | 144.21 | 0.00 | 25.96 | 19.39 |
| 60 | 12.00 | 5.49 | 71.61 | 0.00 | 20.73 | 18.55 |
| 61 | 12.20 | 5.79 | 104.97 | 0.00 | 23.53 | 19.01 |
| 62 | 12.40 | 5.98 | 65.73 | 0.00 | 18.38 | 18.49 |
| 63 | 12.60 | 5.89 | 32.37 | 0.00 | 13.69 | 17.67 |
| 64 | 12.80 | 0.69 | 58.86 | 0.00 | 100.00 | 17.53 |
| 65 | 13.00 | 0.69 | 51.99 | 0.00 | 100.00 | 17.39 |
| 66 | 13.20 | 0.78 | 51.99 | 0.00 | 100.00 | 17.44 |
| 67 | 13.40 | 0.78 | 39.24 | 0.00 | 100.00 | 17.12 |
| 68 | 13.60 | 2.65 | 98.10 | 0.00 | 49.73 | 18.64 |
| 69 | 13.80 | 4.02 | 51.99 | 0.00 | 26.87 | 18.07 |
| 70 | 14.00 | 5.69 | 110.85 | 0.00 | 26.02 | 19.07 |
| 71 | 14.20 | 6.97 | 150.09 | 0.00 | 24.43 | 19.50 |
| 72 | 14.40 | 5.98 | 32.37 | 0.00 | 14.40 | 17.67 |
| 73 | 14.60 | 3.83 | 6.87 | 0.00 | 5.00 | 15.72 |
| 74 | 14.80 | 5.79 | 71.61 | 0.00 | 21.55 | 18.57 |
| 75 | 15.00 | 4.51 | 26.49 | 0.00 | 19.11 | 17.33 |
| 76 | 15.20 | 5.59 | 78.48 | 0.00 | 23.61 | 18.67 |
| 77 | 15.40 | 3.53 | 39.24 | 0.00 | 29.19 | 17.69 |
| 78 | 15.60 | 3.73 | 104.97 | 0.00 | 40.22 | 18.85 |
| 79 | 15.80 | 4.12 | 65.73 | 0.00 | 30.73 | 18.35 |
| 80 | 16.00 | 8.63 | 267.81 | 0.00 | 27.29 | 20.24 |
| 81 | 16.20 | 12.26 | 196.20 | 0.00 | 15.59 | 20.02 |
| 82 | 16.40 | 12.65 | 274.68 | 0.00 | 18.44 | 20.42 |
| 83 | 16.60 | 15.40 | 78.48 | 0.00 | 5.83 | 19.06 |
| 84 | 16.80 | 2.75 | 104.97 | 0.00 | 54.41 | 18.73 |
| 85 | 17.00 | 1.96 | 91.23 | 0.00 | 68.54 | 18.44 |
| 86 | 17.20 | 1.37 | 85.35 | 0.00 | 89.48 | 18.22 |
| 87 | 17.40 | 1.28 | 130.47 | 0.00 | 100.00 | 18.68 |
| 88 | 17.60 | 1.57 | 91.23 | 0.00 | 83.01 | 18.35 |
| 89 | 17.80 | 1.37 | 98.10 | 0.00 | 94.50 | 18.38 |
| 90 | 18.00 | 1.47 | 85.35 | 0.00 | 86.67 | 18.25 |
| 91 | 18.20 | 1.28 | 137.34 | 0.00 | 100.00 | 18.74 |
| 92 | 18.40 | 1.86 | 281.55 | 0.00 | 100.00 | 19.71 |
| 93 | 18.60 | 2.26 | 58.86 | 0.00 | 56.24 | 17.99 |
| 94 | 18.80 | 2.55 | 117.72 | 0.00 | 63.07 | 18.83 |
| 95 | 19.00 | 2.55 | 137.34 | 0.00 | 66.49 | 19.01 |
| 96 | 19.20 | 2.06 | 91.23 | 0.00 | 69.92 | 18.46 |

| :: 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 | 2.16 | 144.21 | 0.00 | 77.50 | 19.00 |
| 98 | 19.60 | 2.16 | 130.47 | 0.00 | 75.61 | 18.89 |
| 99 | 19.80 | 1.57 | 137.34 | 0.00 | 98.43 | 18.82 |
| 100 | 20.00 | 1.86 | 91.23 | 0.00 | 77.26 | 18.42 |
| 101 | 20.20 | 1.57 | 98.10 | 0.00 | 90.72 | 18.44 |
| 102 | 20.40 | 1.47 | 110.85 | 0.00 | 100.00 | 18.55 |
| 103 | 20.60 | 1.67 | 65.73 | 0.00 | 78.39 | 18.00 |
| 104 | 20.80 | 1.96 | 163.83 | 0.00 | 89.26 | 19.11 |
| 105 | 21.00 | 2.55 | 51.99 | 0.00 | 52.21 | 17.89 |
| 106 | 21.20 | 3.53 | 6.87 | 0.00 | 5.00 | 15.69 |
| 107 | 21.40 | 3.83 | 144.21 | 0.00 | 51.54 | 19.22 |
| 108 | 21.60 | 8.83 | 156.96 | 0.00 | 23.77 | 19.64 |
| 109 | 21.80 | 9.91 | 65.73 | 0.00 | 13.26 | 18.68 |
| 110 | 22.00 | 11.58 | 267.81 | 0.00 | 23.25 | 20.36 |
| 111 | 22.20 | 12.56 | 130.47 | 0.00 | 14.11 | 19.56 |
| 112 | 22.40 | 11.28 | 267.81 | 0.00 | 24.19 | 20.35 |
| 113 | 22.60 | 10.89 | 58.86 | 0.00 | 11.19 | 18.59 |
| 114 | 22.80 | 4.12 | 183.45 | 0.00 | 54.30 | 19.53 |
| 115 | 23.00 | 12.85 | 46.11 | 0.00 | 5.00 | 18.37 |
| 116 | 23.20 | 8.93 | 313.92 | 0.00 | 34.11 | 20.44 |
| 117 | 23.40 | 10.89 | 39.24 | 0.00 | 5.00 | 18.12 |
| 118 | 23.60 | 9.42 | 215.82 | 0.00 | 27.27 | 20.03 |
| 119 | 23.80 | 13.34 | 110.85 | 0.00 | 12.32 | 19.40 |
| 120 | 24.00 | 11.28 | 39.24 | 0.00 | 5.00 | 18.14 |
| 121 | 24.20 | 3.73 | 46.11 | 0.00 | 39.04 | 17.90 |
| 122 | 24.40 | 2.65 | 71.61 | 0.00 | 60.22 | 18.27 |
| 123 | 24.60 | 1.86 | 110.85 | 0.00 | 90.68 | 18.64 |
| 124 | 24.80 | 2.26 | 124.59 | 0.00 | 80.81 | 18.85 |
| 125 | 25.00 | 2.45 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 13.73 |

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 | 3.80 | 0.00 | 3.80 | 1.00 | 0.130 | 1.43 | 0.091 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 2 | 0.40 | 7.48 | 0.00 | 7.48 | 1.00 | 0.130 | 1.43 | 0.091 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 3 | 0.60 | 11.02 | 0.00 | 11.02 | 1.00 | 0.130 | 1.43 | 0.091 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 4 | 0.80 | 14.75 | 0.00 | 14.75 | 1.00 | 0.130 | 1.43 | 0.091 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 5 | 1.00 | 18.42 | 0.00 | 18.42 | 0.99 | 0.129 | 1.43 | 0.090 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 6 | 1.20 | 22.21 | 0.00 | 22.21 | 0.99 | 0.129 | 1.43 | 0.090 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 7 | 1.40 | 25.69 | 0.00 | 25.69 | 0.99 | 0.128 | 1.43 | 0.090 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 8 | 1.60 | 29.19 | 0.00 | 29.19 | 0.99 | 0.128 | 1.43 | 0.090 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 9 | 1.80 | 32.57 | 0.00 | 32.57 | 0.98 | 0.128 | 1.43 | 0.089 | 1.10 | 1.00 | 2.000 | No |
| 10 | 2.00 | 36.03 | 0.98 | 35.05 | 0.98 | 0.131 | 1.43 | 0.092 | 1.09 | 1.00 | 0.111 | No |
| 11 | 2.20 | 39.50 | 2.94 | 36.55 | 0.98 | 0.137 | 1.43 | 0.096 | 1.09 | 1.00 | 0.116 | No |
| 12 | 2.40 | 43.04 | 4.91 | 38.13 | 0.97 | 0.143 | 1.43 | 0.100 | 1.09 | 1.00 | 0.120 | No |
| 13 | 2.60 | 46.53 | 6.87 | 39.67 | 0.97 | 0.148 | 1.43 | 0.103 | 1.09 | 1.00 | 0.124 | No |
| 14 | 2.80 | 50.04 | 8.83 | 41.21 | 0.97 | 0.152 | 1.43 | 0.107 | 1.08 | 1.00 | 0.130 | No |
| 15 | 3.00 | 53.49 | 10.79 | 42.70 | 0.96 | 0.157 | 1.43 | 0.110 | 1.08 | 1.00 | 0.134 | No |
| 16 | 3.20 | 56.88 | 12.75 | 44.13 | 0.96 | 0.161 | 1.43 | 0.112 | 1.07 | 1.00 | 0.138 | No |
| 17 | 3.40 | 60.26 | 14.72 | 45.55 | 0.95 | 0.164 | 1.43 | 0.115 | 1.07 | 1.00 | 0.142 | No |
| 18 | 3.60 | 63.69 | 16.68 | 47.02 | 0.95 | 0.167 | 1.43 | 0.117 | 1.07 | 1.00 | 0.145 | No |
| 19 | 3.80 | 67.04 | 18.64 | 48.41 | 0.95 | 0.170 | 1.43 | 0.119 | 1.06 | 1.00 | 0.148 | No |
| 20 | 4.00 | 70.27 | 20.60 | 49.67 | 0.94 | 0.173 | 1.43 | 0.121 | 1.06 | 1.00 | 0.153 | No |
| 21 | 4.20 | 73.51 | 22.56 | 50.95 | 0.94 | 0.176 | 1.43 | 0.123 | 1.06 | 1.00 | 0.155 | No |
| 22 | 4.40 | 76.77 | 24.53 | 52.25 | 0.93 | 0.179 | 1.43 | 0.125 | 1.05 | 1.00 | 0.159 | No |
| 23 | 4.60 | 80.43 | 26.49 | 53.94 | 0.93 | 0.180 | 1.43 | 0.126 | 1.05 | 1.00 | 0.161 | No |
| 24 | 4.80 | 84.12 | 28.45 | 55.67 | 0.93 | 0.182 | 1.43 | 0.127 | 1.07 | 1.00 | 0.142 | No |
| 25 | 5.00 | 87.73 | 30.41 | 57.32 | 0.92 | 0.183 | 1.43 | 0.128 | 1.07 | 1.00 | 0.146 | No |
| 26 | 5.20 | 91.31 | 32.37 | 58.93 | 0.92 | 0.185 | 1.43 | 0.129 | 1.06 | 1.00 | 0.153 | No |
| 27 | 5.40 | 94.98 | 34.34 | 60.64 | 0.91 | 0.186 | 1.43 | 0.130 | 1.06 | 1.00 | 0.151 | No |
| 28 | 5.60 | 98.73 | 36.30 | 62.43 | 0.91 | 0.187 | 1.43 | 0.131 | 1.06 | 1.00 | 0.151 | No |
| 29 | 5.80 | 102.40 | 38.26 | 64.14 | 0.91 | 0.188 | 1.43 | 0.131 | 1.05 | 1.00 | 0.153 | No |
| 30 | 6.00 | 106.09 | 40.22 | 65.86 | 0.90 | 0.189 | 1.43 | 0.132 | 1.04 | 1.00 | 0.160 | No |
| 31 | 6.20 | 109.95 | 42.18 | 67.77 | 0.90 | 0.189 | 1.43 | 0.132 | 1.05 | 1.00 | 0.148 | No |
| 32 | 6.40 | 113.69 | 44.15 | 69.54 | 0.89 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.04 | 1.00 | 0.158 | No |
| 33 | 6.60 | 117.71 | 46.11 | 71.61 | 0.89 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.06 | 1.00 | 0.123 | No |
| 34 | 6.80 | 121.41 | 48.07 | 73.34 | 0.88 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.04 | 1.00 | 0.160 | No |
| 35 | 7.00 | 125.17 | 50.03 | 75.14 | 0.88 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.04 | 1.00 | 0.151 | No |
| 36 | 7.20 | 128.79 | 51.99 | 76.80 | 0.87 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.03 | 1.00 | 0.161 | No |
| 37 | 7.40 | 132.57 | 53.96 | 78.61 | 0.87 | 0.191 | 1.43 | 0.133 | 1.03 | 1.00 | 0.155 | No |
| 38 | 7.60 | 136.26 | 55.92 | 80.34 | 0.86 | 0.191 | 1.43 | 0.133 | 1.03 | 1.00 | 0.158 | No |
| 39 | 7.80 | 140.10 | 57.88 | 82.22 | 0.86 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.02 | 1.00 | 0.160 | No |
| 40 | 8.00 | 144.08 | 59.84 | 84.24 | 0.86 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.02 | 1.00 | 0.158 | No |
| 41 | 8.20 | 147.82 | 61.80 | 86.01 | 0.85 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.02 | 1.00 | 0.161 | No |
| 42 | 8.40 | 151.48 | 63.77 | 87.72 | 0.85 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.02 | 1.00 | 0.164 | No |
| 43 | 8.60 | 155.19 | 65.73 | 89.46 | 0.84 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.01 | 1.00 | 0.164 | No |
| 44 | 8.80 | 158.78 | 67.69 | 91.09 | 0.84 | 0.190 | 1.43 | 0.133 | 1.01 | 1.00 | 0.165 | No |
| 45 | 9.00 | 162.31 | 69.65 | 92.66 | 0.83 | 0.189 | 1.43 | 0.133 | 1.01 | 1.00 | 0.167 | No |
| 46 | 9.20 | 165.76 | 71.61 | 94.14 | 0.83 | 0.189 | 1.43 | 0.132 | 1.01 | 1.00 | 0.175 | No |
| 47 | 9.40 | 169.26 | 73.58 | 95.69 | 0.82 | 0.189 | 1.43 | 0.132 | 1.00 | 1.00 | 0.175 | No |
| 48 | 9.60 | 172.72 | 75.54 | 97.18 | 0.82 | 0.189 | 1.43 | 0.132 | 1.00 | 1.00 | 0.175 | 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 | 176.06 | 77.50 | 98.56 | 0.81 | 0.189 | 1.43 | 0.132 | 1.00 | 1.00 | 0.175 | No |
| 50 | 10.00 | 179.55 | 79.46 | 100.09 | 0.81 | 0.188 | 1.43 | 0.132 | 1.00 | 1.00 | 0.175 | No |
| 51 | 10.20 | 182.91 | 81.42 | 101.48 | 0.80 | 0.188 | 1.43 | 0.132 | 1.00 | 1.00 | 0.175 | No |
| 52 | 10.40 | 186.13 | 83.39 | 102.75 | 0.80 | 0.188 | 1.43 | 0.132 | 1.00 | 1.00 | 0.176 | No |
| 53 | 10.60 | 189.70 | 85.35 | 104.35 | 0.79 | 0.188 | 1.43 | 0.131 | 1.00 | 1.00 | 0.176 | No |
| 54 | 10.80 | 193.22 | 87.31 | 105.91 | 0.79 | 0.187 | 1.43 | 0.131 | 1.00 | 1.00 | 0.175 | No |
| 55 | 11.00 | 196.91 | 89.27 | 107.64 | 0.78 | 0.186 | 1.43 | 0.130 | 1.00 | 1.00 | 0.174 | No |
| 56 | 11.20 | 200.56 | 91.23 | 109.32 | 0.78 | 0.186 | 1.43 | 0.130 | 0.99 | 1.00 | 0.169 | No |
| 57 | 11.40 | 204.28 | 93.19 | 111.08 | 0.77 | 0.185 | 1.43 | 0.130 | 0.99 | 1.00 | 0.162 | No |
| 58 | 11.60 | 208.07 | 95.16 | 112.91 | 0.77 | 0.184 | 1.43 | 0.129 | 0.99 | 1.00 | 0.160 | No |
| 59 | 11.80 | 211.95 | 97.12 | 114.83 | 0.76 | 0.184 | 1.43 | 0.128 | 0.98 | 1.00 | 0.155 | No |
| 60 | 12.00 | 215.66 | 99.08 | 116.58 | 0.76 | 0.183 | 1.43 | 0.128 | 0.98 | 1.00 | 0.160 | No |
| 61 | 12.20 | 219.46 | 101.04 | 118.42 | 0.76 | 0.182 | 1.43 | 0.127 | 0.98 | 1.00 | 0.157 | No |
| 62 | 12.40 | 223.16 | 103.01 | 120.16 | 0.75 | 0.181 | 1.43 | 0.127 | 0.98 | 1.00 | 0.159 | No |
| 63 | 12.60 | 226.70 | 104.97 | 121.73 | 0.75 | 0.181 | 1.43 | 0.126 | 0.98 | 1.00 | 0.164 | No |
| 64 | 12.80 | 230.20 | 106.93 | 123.27 | 0.74 | 0.180 | 1.43 | 0.126 | 0.98 | 1.00 | 0.171 | No |
| 65 | 13.00 | 233.68 | 108.89 | 124.79 | 0.74 | 0.179 | 1.43 | 0.126 | 0.98 | 1.00 | 0.170 | No |
| 66 | 13.20 | 237.17 | 110.85 | 126.31 | 0.73 | 0.179 | 1.43 | 0.125 | 0.98 | 1.00 | 0.170 | No |
| 67 | 13.40 | 240.59 | 112.82 | 127.78 | 0.73 | 0.178 | 1.43 | 0.125 | 0.98 | 1.00 | 0.169 | No |
| 68 | 13.60 | 244.32 | 114.78 | 129.54 | 0.72 | 0.177 | 1.43 | 0.124 | 0.98 | 1.00 | 0.165 | No |
| 69 | 13.80 | 247.93 | 116.74 | 131.19 | 0.72 | 0.176 | 1.43 | 0.123 | 0.97 | 1.00 | 0.162 | No |
| 70 | 14.00 | 251.75 | 118.70 | 133.04 | 0.71 | 0.175 | 1.43 | 0.123 | 0.97 | 1.00 | 0.155 | No |
| 71 | 14.20 | 255.64 | 120.66 | 134.98 | 0.71 | 0.175 | 1.43 | 0.122 | 0.96 | 1.00 | 0.149 | No |
| 72 | 14.40 | 259.18 | 122.63 | 136.55 | 0.70 | 0.174 | 1.43 | 0.122 | 0.97 | 1.00 | 0.160 | No |
| 73 | 14.60 | 262.32 | 124.59 | 137.74 | 0.70 | 0.173 | 1.43 | 0.121 | 0.97 | 1.00 | 0.164 | No |
| 74 | 14.80 | 266.04 | 126.55 | 139.49 | 0.70 | 0.172 | 1.43 | 0.121 | 0.96 | 1.00 | 0.155 | No |
| 75 | 15.00 | 269.50 | 128.51 | 140.99 | 0.69 | 0.172 | 1.43 | 0.120 | 0.97 | 1.00 | 0.160 | No |
| 76 | 15.20 | 273.24 | 130.47 | 142.77 | 0.69 | 0.171 | 1.43 | 0.120 | 0.96 | 1.00 | 0.154 | No |
| 77 | 15.40 | 276.78 | 132.44 | 144.34 | 0.68 | 0.170 | 1.43 | 0.119 | 0.97 | 1.00 | 0.159 | No |
| 78 | 15.60 | 280.55 | 134.40 | 146.15 | 0.68 | 0.169 | 1.43 | 0.118 | 0.96 | 1.00 | 0.157 | No |
| 79 | 15.80 | 284.21 | 136.36 | 147.86 | 0.67 | 0.168 | 1.43 | 0.118 | 0.96 | 1.00 | 0.156 | No |
| 80 | 16.00 | 288.26 | 138.32 | 149.94 | 0.67 | 0.167 | 1.43 | 0.117 | 0.94 | 1.00 | 0.136 | No |
| 81 | 16.20 | 292.27 | 140.28 | 151.99 | 0.66 | 0.166 | 1.43 | 0.116 | 0.93 | 1.00 | 0.125 | No |
| 82 | 16.40 | 296.35 | 142.25 | 154.11 | 0.66 | 0.165 | 1.43 | 0.116 | 0.92 | 1.00 | 0.118 | No |
| 83 | 16.60 | 300.16 | 144.21 | 155.96 | 0.66 | 0.164 | 1.43 | 0.115 | 0.94 | 1.00 | 0.142 | No |
| 84 | 16.80 | 303.91 | 146.17 | 157.74 | 0.65 | 0.163 | 1.43 | 0.114 | 0.96 | 1.00 | 0.155 | No |
| 85 | 17.00 | 307.60 | 148.13 | 159.47 | 0.65 | 0.163 | 1.43 | 0.114 | 0.96 | 1.00 | 0.156 | No |
| 86 | 17.20 | 311.24 | 150.09 | 161.15 | 0.64 | 0.162 | 1.43 | 0.113 | 0.96 | 1.00 | 0.156 | No |
| 87 | 17.40 | 314.98 | 152.06 | 162.92 | 0.64 | 0.161 | 1.43 | 0.113 | 0.96 | 1.00 | 0.156 | No |
| 88 | 17.60 | 318.65 | 154.02 | 164.63 | 0.64 | 0.160 | 1.43 | 0.112 | 0.96 | 1.00 | 0.155 | No |
| 89 | 17.80 | 322.33 | 155.98 | 166.35 | 0.63 | 0.159 | 1.43 | 0.111 | 0.96 | 1.00 | 0.154 | No |
| 90 | 18.00 | 325.98 | 157.94 | 168.04 | 0.63 | 0.158 | 1.43 | 0.111 | 0.96 | 1.00 | 0.153 | No |
| 91 | 18.20 | 329.72 | 159.90 | 169.82 | 0.62 | 0.158 | 1.43 | 0.110 | 0.96 | 1.00 | 0.153 | No |
| 92 | 18.40 | 333.67 | 161.87 | 171.80 | 0.62 | 0.157 | 1.43 | 0.110 | 0.96 | 1.00 | 0.151 | No |
| 93 | 18.60 | 337.27 | 163.83 | 173.44 | 0.62 | 0.156 | 1.43 | 0.109 | 0.95 | 1.00 | 0.150 | No |
| 94 | 18.80 | 341.03 | 165.79 | 175.24 | 0.61 | 0.155 | 1.43 | 0.108 | 0.95 | 1.00 | 0.149 | No |
| 95 | 19.00 | 344.83 | 167.75 | 177.08 | 0.61 | 0.154 | 1.43 | 0.108 | 0.95 | 1.00 | 0.149 | No |
| 96 | 19.20 | 348.53 | 169.71 | 178.81 | 0.61 | 0.153 | 1.43 | 0.107 | 0.95 | 1.00 | 0.149 | 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 | 352.33 | 171.68 | 180.65 | 0.60 | 0.152 | 1.43 | 0.107 | 0.95 | 1.00 | 0.148 | No |
| 98 | 19.60 | 356.10 | 173.64 | 182.47 | 0.60 | 0.152 | 1.43 | 0.106 | 0.95 | 1.00 | 0.147 | No |
| 99 | 19.80 | 359.87 | 175.60 | 184.27 | 0.59 | 0.151 | 1.43 | 0.106 | 0.95 | 1.00 | 0.147 | No |
| 100 | 20.00 | 363.55 | 177.56 | 185.99 | 0.59 | 0.150 | 1.43 | 0.105 | 0.95 | 1.00 | 0.146 | No |
| 101 | 20.20 | 367.24 | 179.52 | 187.72 | 0.59 | 0.149 | 1.43 | 0.105 | 0.95 | 1.00 | 0.146 | No |
| 102 | 20.40 | 370.95 | 181.49 | 189.46 | 0.58 | 0.149 | 1.43 | 0.104 | 0.95 | 1.00 | 0.146 | No |
| 103 | 20.60 | 374.55 | 183.45 | 191.10 | 0.58 | 0.148 | 1.43 | 0.104 | 0.95 | 1.00 | 0.145 | No |
| 104 | 20.80 | 378.37 | 185.41 | 192.96 | 0.58 | 0.147 | 1.43 | 0.103 | 0.95 | 1.00 | 0.144 | No |
| 105 | 21.00 | 381.95 | 187.37 | 194.58 | 0.57 | 0.146 | 1.43 | 0.102 | 0.94 | 1.00 | 0.143 | No |
| 106 | 21.20 | 385.09 | 189.33 | 195.75 | 0.57 | 0.146 | 1.43 | 0.102 | 0.94 | 1.00 | 0.142 | No |
| 107 | 21.40 | 388.93 | 191.30 | 197.64 | 0.57 | 0.145 | 1.43 | 0.102 | 0.94 | 1.00 | 0.140 | No |
| 108 | 21.60 | 392.86 | 193.26 | 199.60 | 0.56 | 0.144 | 1.43 | 0.101 | 0.91 | 1.00 | 0.128 | No |
| 109 | 21.80 | 396.59 | 195.22 | 201.38 | 0.56 | 0.144 | 1.43 | 0.101 | 0.92 | 1.00 | 0.133 | No |
| 110 | 22.00 | 400.67 | 197.18 | 203.49 | 0.56 | 0.143 | 1.43 | 0.100 | 0.88 | 1.00 | 0.116 | No |
| 111 | 22.20 | 404.58 | 199.14 | 205.44 | 0.55 | 0.142 | 1.43 | 0.099 | 0.90 | 1.00 | 0.122 | No |
| 112 | 22.40 | 408.65 | 201.11 | 207.54 | 0.55 | 0.141 | 1.43 | 0.099 | 0.88 | 1.00 | 0.117 | No |
| 113 | 22.60 | 412.37 | 203.07 | 209.30 | 0.55 | 0.141 | 1.43 | 0.098 | 0.92 | 1.00 | 0.133 | No |
| 114 | 22.80 | 416.27 | 205.03 | 211.24 | 0.55 | 0.140 | 1.43 | 0.098 | 0.93 | 1.00 | 0.135 | No |
| 115 | 23.00 | 419.95 | 206.99 | 212.96 | 0.54 | 0.139 | 1.43 | 0.097 | 0.93 | 1.00 | 0.135 | No |
| 116 | 23.20 | 424.03 | 208.95 | 215.08 | 0.54 | 0.138 | 1.43 | 0.097 | 0.90 | 1.00 | 0.122 | No |
| 117 | 23.40 | 427.66 | 210.92 | 216.74 | 0.54 | 0.138 | 1.43 | 0.096 | 0.93 | 1.00 | 0.135 | No |
| 118 | 23.60 | 431.67 | 212.88 | 218.79 | 0.53 | 0.137 | 1.43 | 0.096 | 0.89 | 1.00 | 0.121 | No |
| 119 | 23.80 | 435.54 | 214.84 | 220.71 | 0.53 | 0.136 | 1.43 | 0.096 | 0.89 | 1.00 | 0.121 | No |
| 120 | 24.00 | 439.17 | 216.80 | 222.37 | 0.53 | 0.136 | 1.43 | 0.095 | 0.93 | 1.00 | 0.134 | No |
| 121 | 24.20 | 442.75 | 218.76 | 223.99 | 0.53 | 0.135 | 1.43 | 0.095 | 0.93 | 1.00 | 0.133 | No |
| 122 | 24.40 | 446.41 | 220.73 | 225.68 | 0.52 | 0.135 | 1.43 | 0.094 | 0.93 | 1.00 | 0.133 | No |
| 123 | 24.60 | 450.14 | 222.69 | 227.45 | 0.52 | 0.134 | 1.43 | 0.094 | 0.93 | 1.00 | 0.133 | No |
| 124 | 24.80 | 453.91 | 224.65 | 229.26 | 0.52 | 0.134 | 1.43 | 0.094 | 0.93 | 1.00 | 0.133 | No |
| 125 | 25.00 | 456.65 | 226.61 | 230.04 | 0.52 | 0.133 | 1.43 | 0.093 | 0.93 | 1.00 | 0.132 | 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 _t (MPa) | FC (%) | l _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 | 0.00 | 100.00 | 4.06 | 0.62 | 1.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 2 | 0.40 | 1.18 | 100.00 | 3.07 | 0.55 | 1.70 | 19.75 | 0.00 | 19.75 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 3 | 0.60 | 1.57 | 78.08 | 2.69 | 0.53 | 1.70 | 26.33 | 0.00 | 26.33 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 4 | 0.80 | 3.53 | 51.26 | 2.35 | 0.45 | 1.70 | 59.25 | 62.24 | 121.49 | 4.000 | No | No | 2.00 |
| 5 | 1.00 | 5.40 | 20.23 | 1.97 | 0.44 | 1.70 | 90.52 | 36.27 | 126.79 | 4.000 | No | No | 2.00 |
| 6 | 1.20 | 7.95 | 11.35 | 1.85 | 0.41 | 1.70 | 133.32 | 13.02 | 146.34 | 4.000 | No | No | 2.00 |
| 7 | 1.40 | 1.57 | 72.34 | 2.62 | 0.53 | 1.70 | 26.33 | 0.00 | 26.33 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 8 | 1.60 | 0.88 | 100.00 | 3.06 | 0.56 | 1.70 | 14.81 | 0.00 | 14.81 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 9 | 1.80 | 0.78 | 100.00 | 3.00 | 0.57 | 1.70 | 13.17 | 0.00 | 13.17 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 10 | 2.00 | 0.78 | 100.00 | 3.10 | 0.57 | 1.70 | 13.17 | 0.00 | 13.17 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 11 | 2.20 | 0.88 | 100.00 | 3.03 | 0.56 | 1.70 | 14.81 | 0.00 | 14.81 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 12 | 2.40 | 1.08 | 100.00 | 2.97 | 0.55 | 1.70 | 18.10 | 0.00 | 18.10 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 13 | 2.60 | 1.28 | 87.03 | 2.80 | 0.55 | 1.67 | 20.99 | 0.00 | 20.99 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 14 | 2.80 | 0.98 | 100.00 | 3.00 | 0.56 | 1.65 | 16.02 | 0.00 | 16.02 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 15 | 3.00 | 1.08 | 92.31 | 2.87 | 0.56 | 1.62 | 17.24 | 0.00 | 17.24 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 16 | 3.20 | 0.98 | 93.25 | 2.88 | 0.56 | 1.60 | 15.46 | 0.00 | 15.46 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 17 | 3.40 | 0.78 | 100.00 | 3.03 | 0.57 | 1.58 | 12.25 | 0.00 | 12.25 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 18 | 3.60 | 0.88 | 100.00 | 3.00 | 0.57 | 1.55 | 13.49 | 0.00 | 13.49 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 19 | 3.80 | 0.98 | 89.58 | 2.83 | 0.57 | 1.52 | 14.72 | 0.00 | 14.72 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 20 | 4.00 | 0.49 | 100.00 | 3.23 | 0.59 | 1.53 | 7.39 | 0.00 | 7.39 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 21 | 4.20 | 0.59 | 100.00 | 3.10 | 0.59 | 1.50 | 8.70 | 0.00 | 8.70 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 22 | 4.40 | 0.29 | 100.00 | 3.71 | 0.61 | 1.49 | 4.34 | 0.00 | 4.34 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 23 | 4.60 | 0.39 | 100.00 | 3.97 | 0.60 | 1.46 | 5.65 | 0.00 | 5.65 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 24 | 4.80 | 5.40 | 27.14 | 2.05 | 0.46 | 1.32 | 70.34 | 45.76 | 116.10 | 0.163 | No | No | 1.15 |
| 25 | 5.00 | 8.63 | 0.00 | 1.67 | 0.47 | 1.31 | 111.61 | 0.00 | 111.61 | 0.155 | No | No | 1.06 |
| 26 | 5.20 | 3.73 | 38.22 | 2.19 | 0.50 | 1.31 | 48.16 | 52.33 | 100.49 | 0.138 | No | No | 0.90 |
| 27 | 5.40 | 4.32 | 39.09 | 2.20 | 0.48 | 1.28 | 54.48 | 54.45 | 108.93 | 0.150 | No | No | 1.00 |
| 28 | 5.60 | 4.22 | 47.83 | 2.31 | 0.47 | 1.26 | 52.38 | 58.92 | 111.30 | 0.154 | No | No | 1.02 |
| 29 | 5.80 | 4.32 | 40.17 | 2.21 | 0.48 | 1.25 | 53.08 | 54.85 | 107.93 | 0.149 | No | No | 0.97 |
| 30 | 6.00 | 3.04 | 61.30 | 2.48 | 0.51 | 1.24 | 37.31 | 59.52 | 96.84 | 0.133 | No | No | 0.84 |
| 31 | 6.20 | 5.00 | 51.81 | 2.36 | 0.45 | 1.20 | 59.26 | 62.47 | 121.73 | 0.175 | No | No | 1.18 |
| 32 | 6.40 | 3.73 | 55.97 | 2.41 | 0.49 | 1.20 | 44.23 | 59.90 | 104.13 | 0.143 | No | No | 0.91 |
| 33 | 6.60 | 8.83 | 38.30 | 2.19 | 0.38 | 1.14 | 99.48 | 64.51 | 163.98 | 0.417 | No | No | 2.00 |
| 34 | 6.80 | 7.95 | 11.42 | 1.86 | 0.49 | 1.17 | 91.89 | 11.46 | 103.35 | 0.142 | No | No | 0.89 |
| 35 | 7.00 | 6.47 | 29.35 | 2.08 | 0.45 | 1.14 | 73.15 | 49.29 | 122.44 | 0.177 | No | No | 1.18 |
| 36 | 7.20 | 5.98 | 20.98 | 1.97 | 0.49 | 1.15 | 67.70 | 34.69 | 102.39 | 0.141 | No | No | 0.87 |
| 37 | 7.40 | 5.30 | 43.04 | 2.25 | 0.46 | 1.12 | 58.80 | 58.04 | 116.84 | 0.165 | No | No | 1.06 |
| 38 | 7.60 | 5.40 | 33.90 | 2.14 | 0.48 | 1.12 | 59.46 | 51.39 | 110.84 | 0.154 | No | No | 0.97 |
| 39 | 7.80 | 4.12 | 64.16 | 2.51 | 0.48 | 1.11 | 44.97 | 62.42 | 107.39 | 0.148 | No | No | 0.92 |
| 40 | 8.00 | 4.32 | 77.65 | 2.68 | 0.47 | 1.09 | 46.48 | 0.00 | 46.48 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 41 | 8.20 | 4.41 | 50.82 | 2.35 | 0.49 | 1.08 | 47.17 | 58.84 | 106.01 | 0.146 | No | No | 0.90 |
| 42 | 8.40 | 4.02 | 50.26 | 2.34 | 0.50 | 1.07 | 42.65 | 57.41 | 100.06 | 0.138 | No | No | 0.84 |
| 43 | 8.60 | 4.02 | 54.53 | 2.39 | 0.50 | 1.06 | 42.22 | 58.87 | 101.09 | 0.139 | No | No | 0.85 |
| 44 | 8.80 | 4.32 | 40.39 | 2.22 | 0.50 | 1.05 | 44.94 | 53.01 | 97.96 | 0.135 | No | No | 0.82 |
| 45 | 9.00 | 5.30 | 24.16 | 2.01 | 0.51 | 1.05 | 54.74 | 38.46 | 93.20 | 0.129 | No | No | 0.77 |
| 46 | 9.20 | 1.08 | 100.00 | 3.10 | 0.58 | 1.04 | 11.11 | 0.00 | 11.11 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 47 | 9.40 | 0.98 | 100.00 | 3.25 | 0.58 | 1.03 | 10.01 | 0.00 | 10.01 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 48 | 9.60 | 0.78 | 100.00 | 3.40 | 0.59 | 1.02 | 7.94 | 0.00 | 7.94 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |

| :: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|----------------------|--------|----------------|------|----------------|------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|------|
| Point ID | Depth (m) | q _t (MPa) | FC (%) | l _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 | 0.88 | 100.00 | 3.17 | 0.59 | 1.02 | 8.86 | 0.00 | 8.86 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 50 | 10.00 | 1.08 | 100.00 | 3.17 | 0.58 | 1.01 | 10.73 | 0.00 | 10.73 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 51 | 10.20 | 1.08 | 100.00 | 3.04 | 0.58 | 1.00 | 10.64 | 0.00 | 10.64 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 52 | 10.40 | 0.49 | 100.00 | 3.62 | 0.60 | 0.99 | 4.80 | 0.00 | 4.80 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 53 | 10.60 | 0.49 | 100.00 | 4.03 | 0.60 | 0.98 | 4.76 | 0.00 | 4.76 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 54 | 10.80 | 0.59 | 100.00 | 3.79 | 0.60 | 0.97 | 5.66 | 0.00 | 5.66 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 55 | 11.00 | 0.98 | 100.00 | 3.54 | 0.58 | 0.97 | 9.35 | 0.00 | 9.35 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 56 | 11.20 | 2.94 | 72.07 | 2.61 | 0.53 | 0.96 | 27.90 | 0.00 | 27.90 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 57 | 11.40 | 4.91 | 49.68 | 2.33 | 0.49 | 0.96 | 46.28 | 58.13 | 104.41 | 0.143 | No | No | 0.88 |
| 58 | 11.60 | 5.10 | 54.54 | 2.39 | 0.48 | 0.95 | 47.79 | 60.39 | 108.19 | 0.149 | No | No | 0.93 |
| 59 | 11.80 | 5.98 | 54.11 | 2.39 | 0.46 | 0.94 | 55.75 | 62.41 | 118.16 | 0.167 | No | No | 1.08 |
| 60 | 12.00 | 5.49 | 43.03 | 2.25 | 0.48 | 0.93 | 50.66 | 56.00 | 106.67 | 0.147 | No | No | 0.92 |
| 61 | 12.20 | 5.79 | 49.14 | 2.33 | 0.47 | 0.93 | 53.08 | 59.69 | 112.77 | 0.157 | No | No | 1.00 |
| 62 | 12.40 | 5.98 | 37.53 | 2.18 | 0.48 | 0.92 | 54.40 | 53.29 | 107.70 | 0.148 | No | No | 0.93 |
| 63 | 12.60 | 5.89 | 25.15 | 2.03 | 0.52 | 0.91 | 52.85 | 39.66 | 92.51 | 0.128 | No | No | 0.78 |
| 64 | 12.80 | 0.69 | 100.00 | 3.72 | 0.60 | 0.89 | 6.03 | 0.00 | 6.03 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 65 | 13.00 | 0.69 | 100.00 | 3.70 | 0.60 | 0.88 | 5.98 | 0.00 | 5.98 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 66 | 13.20 | 0.78 | 100.00 | 3.59 | 0.60 | 0.88 | 6.79 | 0.00 | 6.79 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 67 | 13.40 | 0.78 | 100.00 | 3.52 | 0.60 | 0.87 | 6.75 | 0.00 | 6.75 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 68 | 13.60 | 2.65 | 92.05 | 2.86 | 0.54 | 0.88 | 22.90 | 0.00 | 22.90 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 69 | 13.80 | 4.02 | 55.89 | 2.41 | 0.52 | 0.88 | 34.74 | 57.27 | 92.00 | 0.128 | No | No | 0.79 |
| 70 | 14.00 | 5.69 | 54.23 | 2.39 | 0.48 | 0.88 | 49.32 | 60.70 | 110.02 | 0.152 | No | No | 0.98 |
| 71 | 14.20 | 6.97 | 51.02 | 2.35 | 0.45 | 0.88 | 60.39 | 62.44 | 122.84 | 0.178 | No | No | 1.20 |
| 72 | 14.40 | 5.98 | 27.16 | 2.05 | 0.51 | 0.86 | 50.65 | 42.09 | 92.74 | 0.129 | No | No | 0.81 |
| 73 | 14.60 | 3.83 | 29.34 | 2.08 | 0.57 | 0.84 | 31.74 | 41.01 | 72.75 | 0.110 | No | No | 0.67 |
| 74 | 14.80 | 5.79 | 44.87 | 2.27 | 0.49 | 0.86 | 48.90 | 56.56 | 105.46 | 0.145 | No | No | 0.94 |
| 75 | 15.00 | 4.51 | 39.29 | 2.20 | 0.53 | 0.84 | 37.43 | 50.51 | 87.94 | 0.124 | No | No | 0.77 |
| 76 | 15.20 | 5.59 | 49.31 | 2.33 | 0.49 | 0.85 | 46.69 | 58.08 | 104.77 | 0.144 | No | No | 0.94 |
| 77 | 15.40 | 3.53 | 60.29 | 2.47 | 0.53 | 0.83 | 28.88 | 56.89 | 85.76 | 0.121 | No | No | 0.76 |
| 78 | 15.60 | 3.73 | 78.65 | 2.70 | 0.52 | 0.83 | 30.43 | 0.00 | 30.43 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 79 | 15.80 | 4.12 | 63.09 | 2.50 | 0.52 | 0.82 | 33.46 | 58.88 | 92.34 | 0.128 | No | No | 0.82 |
| 80 | 16.00 | 8.63 | 56.71 | 2.42 | 0.42 | 0.85 | 72.26 | 67.87 | 140.13 | 0.235 | No | No | 1.72 |
| 81 | 16.20 | 12.26 | 30.40 | 2.09 | 0.39 | 0.85 | 103.43 | 56.80 | 160.22 | 0.374 | No | No | 2.00 |
| 82 | 16.40 | 12.65 | 37.67 | 2.18 | 0.37 | 0.86 | 107.01 | 65.71 | 172.72 | 0.553 | No | No | 2.00 |
| 83 | 16.60 | 15.40 | 0.00 | 1.68 | 0.45 | 0.82 | 125.35 | 0.00 | 125.35 | 0.184 | No | No | 1.30 |
| 84 | 16.80 | 2.75 | 98.05 | 2.94 | 0.54 | 0.79 | 21.33 | 0.00 | 21.33 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 85 | 17.00 | 1.96 | 100.00 | 3.14 | 0.56 | 0.77 | 15.00 | 0.00 | 15.00 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 86 | 17.20 | 1.37 | 100.00 | 3.40 | 0.58 | 0.76 | 10.35 | 0.00 | 10.35 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 87 | 17.40 | 1.28 | 100.00 | 3.58 | 0.58 | 0.76 | 9.54 | 0.00 | 9.54 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 88 | 17.60 | 1.57 | 100.00 | 3.32 | 0.58 | 0.76 | 11.71 | 0.00 | 11.71 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 89 | 17.80 | 1.37 | 100.00 | 3.45 | 0.58 | 0.75 | 10.16 | 0.00 | 10.16 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 90 | 18.00 | 1.47 | 100.00 | 3.37 | 0.58 | 0.75 | 10.84 | 0.00 | 10.84 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 91 | 18.20 | 1.28 | 100.00 | 3.62 | 0.58 | 0.74 | 9.30 | 0.00 | 9.30 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 92 | 18.40 | 1.86 | 100.00 | 3.54 | 0.57 | 0.74 | 13.63 | 0.00 | 13.63 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 93 | 18.60 | 2.26 | 100.00 | 2.97 | 0.56 | 0.74 | 16.50 | 0.00 | 16.50 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 94 | 18.80 | 2.55 | 100.00 | 3.07 | 0.55 | 0.74 | 18.62 | 0.00 | 18.62 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 95 | 19.00 | 2.55 | 100.00 | 3.11 | 0.55 | 0.74 | 18.51 | 0.00 | 18.51 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 96 | 19.20 | 2.06 | 100.00 | 3.16 | 0.56 | 0.73 | 14.76 | 0.00 | 14.76 | 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 | 2.16 | 100.00 | 3.26 | 0.56 | 0.72 | 15.39 | 0.00 | 15.39 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 98 | 19.60 | 2.16 | 100.00 | 3.23 | 0.56 | 0.72 | 15.30 | 0.00 | 15.30 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 99 | 19.80 | 1.57 | 100.00 | 3.49 | 0.58 | 0.71 | 10.96 | 0.00 | 10.96 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 100 | 20.00 | 1.86 | 100.00 | 3.25 | 0.57 | 0.71 | 13.01 | 0.00 | 13.01 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 101 | 20.20 | 1.57 | 100.00 | 3.41 | 0.58 | 0.70 | 10.84 | 0.00 | 10.84 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 102 | 20.40 | 1.47 | 100.00 | 3.50 | 0.58 | 0.69 | 10.09 | 0.00 | 10.09 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 103 | 20.60 | 1.67 | 100.00 | 3.27 | 0.58 | 0.69 | 11.41 | 0.00 | 11.41 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 104 | 20.80 | 1.96 | 100.00 | 3.40 | 0.57 | 0.69 | 13.42 | 0.00 | 13.42 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 105 | 21.00 | 2.55 | 95.27 | 2.90 | 0.56 | 0.70 | 17.52 | 0.00 | 17.52 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 106 | 21.20 | 3.53 | 45.40 | 2.28 | 0.56 | 0.69 | 24.10 | 50.50 | 74.60 | 0.111 | No | No | 0.78 |
| 107 | 21.40 | 3.83 | 94.41 | 2.89 | 0.53 | 0.70 | 26.58 | 0.00 | 26.58 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 108 | 21.60 | 8.83 | 49.65 | 2.33 | 0.44 | 0.74 | 64.52 | 62.94 | 127.46 | 0.190 | No | No | 1.49 |
| 109 | 21.80 | 9.91 | 23.92 | 2.01 | 0.47 | 0.72 | 70.59 | 40.70 | 111.30 | 0.154 | No | No | 1.16 |
| 110 | 22.00 | 11.58 | 48.55 | 2.32 | 0.40 | 0.76 | 86.72 | 68.24 | 154.96 | 0.325 | No | No | 2.00 |
| 111 | 22.20 | 12.56 | 26.35 | 2.04 | 0.42 | 0.74 | 92.08 | 48.57 | 140.65 | 0.238 | No | No | 1.95 |
| 112 | 22.40 | 11.28 | 50.52 | 2.34 | 0.40 | 0.75 | 83.56 | 68.39 | 151.95 | 0.302 | No | No | 2.00 |
| 113 | 22.60 | 10.89 | 17.59 | 1.93 | 0.49 | 0.70 | 75.19 | 27.90 | 103.09 | 0.142 | No | No | 1.07 |
| 114 | 22.80 | 4.12 | 97.91 | 2.94 | 0.52 | 0.68 | 27.73 | 0.00 | 27.73 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 115 | 23.00 | 12.85 | 4.48 | 1.77 | 0.53 | 0.67 | 85.47 | 0.06 | 85.52 | 0.121 | No | No | 0.89 |
| 116 | 23.20 | 8.93 | 68.94 | 2.57 | 0.43 | 0.72 | 63.54 | 68.89 | 132.43 | 0.205 | No | No | 1.68 |
| 117 | 23.40 | 10.89 | 11.20 | 1.85 | 0.54 | 0.66 | 71.14 | 9.99 | 81.13 | 0.117 | No | No | 0.87 |
| 118 | 23.60 | 9.42 | 56.67 | 2.42 | 0.43 | 0.72 | 66.57 | 66.29 | 132.86 | 0.207 | No | No | 1.70 |
| 119 | 23.80 | 13.34 | 21.11 | 1.98 | 0.43 | 0.71 | 93.89 | 38.77 | 132.66 | 0.206 | No | No | 1.70 |
| 120 | 24.00 | 11.28 | 10.02 | 1.84 | 0.55 | 0.65 | 72.44 | 6.96 | 79.40 | 0.115 | No | No | 0.86 |
| 121 | 24.20 | 3.73 | 76.84 | 2.67 | 0.54 | 0.65 | 23.99 | 0.00 | 23.99 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 122 | 24.40 | 2.65 | 100.00 | 3.03 | 0.56 | 0.64 | 16.73 | 0.00 | 16.73 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 123 | 24.60 | 1.86 | 100.00 | 3.41 | 0.58 | 0.63 | 11.54 | 0.00 | 11.54 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 124 | 24.80 | 2.26 | 100.00 | 3.30 | 0.57 | 0.63 | 14.02 | 0.00 | 14.02 | 4.000 | No | Yes | 2.00 |
| 125 | 25.00 | 2.45 | 100.00 | 4.06 | 0.56 | 0.63 | 15.26 | 0.00 | 15.26 | 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 | FL | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | FL | 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 | 1.15 | 0.00 | 7.60 | 0.20 | 0.00 |
| 5.00 | 1.06 | 0.00 | 7.50 | 0.20 | 0.00 | 5.20 | 0.90 | 0.10 | 7.40 | 0.20 | 0.15 |
| 5.40 | 1.00 | 0.00 | 7.30 | 0.20 | 0.00 | 5.60 | 1.02 | 0.00 | 7.20 | 0.20 | 0.00 |
| 5.80 | 0.97 | 0.03 | 7.10 | 0.20 | 0.04 | 6.00 | 0.84 | 0.16 | 7.00 | 0.20 | 0.23 |
| 6.20 | 1.18 | 0.00 | 6.90 | 0.20 | 0.00 | 6.40 | 0.91 | 0.09 | 6.80 | 0.20 | 0.13 |
| 6.60 | 2.00 | 0.00 | 6.70 | 0.20 | 0.00 | 6.80 | 0.89 | 0.11 | 6.60 | 0.20 | 0.15 |
| 7.00 | 1.18 | 0.00 | 6.50 | 0.20 | 0.00 | 7.20 | 0.87 | 0.13 | 6.40 | 0.20 | 0.16 |
| 7.40 | 1.06 | 0.00 | 6.30 | 0.20 | 0.00 | 7.60 | 0.97 | 0.03 | 6.20 | 0.20 | 0.04 |
| 7.80 | 0.92 | 0.08 | 6.10 | 0.20 | 0.09 | 8.00 | 2.00 | 0.00 | 6.00 | 0.20 | 0.00 |
| 8.20 | 0.90 | 0.10 | 5.90 | 0.20 | 0.11 | 8.40 | 0.84 | 0.16 | 5.80 | 0.20 | 0.19 |
| 8.60 | 0.85 | 0.15 | 5.70 | 0.20 | 0.17 | 8.80 | 0.82 | 0.18 | 5.60 | 0.20 | 0.21 |
| 9.00 | 0.77 | 0.23 | 5.50 | 0.20 | 0.25 | 9.20 | 2.00 | 0.00 | 5.40 | 0.20 | 0.00 |
| 9.40 | 2.00 | 0.00 | 5.30 | 0.20 | 0.00 | 9.60 | 2.00 | 0.00 | 5.20 | 0.20 | 0.00 |
| 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 | 2.00 | 0.00 | 4.90 | 0.20 | 0.00 | 10.40 | 2.00 | 0.00 | 4.80 | 0.20 | 0.00 |
| 10.60 | 2.00 | 0.00 | 4.70 | 0.20 | 0.00 | 10.80 | 2.00 | 0.00 | 4.60 | 0.20 | 0.00 |
| 11.00 | 2.00 | 0.00 | 4.50 | 0.20 | 0.00 | 11.20 | 2.00 | 0.00 | 4.40 | 0.20 | 0.00 |
| 11.40 | 0.88 | 0.12 | 4.30 | 0.20 | 0.10 | 11.60 | 0.93 | 0.07 | 4.20 | 0.20 | 0.06 |
| 11.80 | 1.08 | 0.00 | 4.10 | 0.20 | 0.00 | 12.00 | 0.92 | 0.08 | 4.00 | 0.20 | 0.07 |
| 12.20 | 1.00 | 0.00 | 3.90 | 0.20 | 0.00 | 12.40 | 0.93 | 0.07 | 3.80 | 0.20 | 0.05 |
| 12.60 | 0.78 | 0.22 | 3.70 | 0.20 | 0.16 | 12.80 | 2.00 | 0.00 | 3.60 | 0.20 | 0.00 |
| 13.00 | 2.00 | 0.00 | 3.50 | 0.20 | 0.00 | 13.20 | 2.00 | 0.00 | 3.40 | 0.20 | 0.00 |
| 13.40 | 2.00 | 0.00 | 3.30 | 0.20 | 0.00 | 13.60 | 2.00 | 0.00 | 3.20 | 0.20 | 0.00 |
| 13.80 | 0.79 | 0.21 | 3.10 | 0.20 | 0.13 | 14.00 | 0.98 | 0.02 | 3.00 | 0.20 | 0.01 |
| 14.20 | 1.20 | 0.00 | 2.90 | 0.20 | 0.00 | 14.40 | 0.81 | 0.19 | 2.80 | 0.20 | 0.11 |
| 14.60 | 0.67 | 0.33 | 2.70 | 0.20 | 0.18 | 14.80 | 0.94 | 0.06 | 2.60 | 0.20 | 0.03 |
| 15.00 | 0.77 | 0.23 | 2.50 | 0.20 | 0.11 | 15.20 | 0.94 | 0.06 | 2.40 | 0.20 | 0.03 |
| 15.40 | 0.76 | 0.24 | 2.30 | 0.20 | 0.11 | 15.60 | 2.00 | 0.00 | 2.20 | 0.20 | 0.00 |
| 15.80 | 0.82 | 0.18 | 2.10 | 0.20 | 0.07 | 16.00 | 1.72 | 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 | 1.30 | 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 | FL | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | FL | 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 |
| 20.20 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.40 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20.60 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.80 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.20 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21.40 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.60 | 1.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21.80 | 1.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 22.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 22.20 | 1.95 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 22.40 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 22.60 | 1.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 22.80 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 23.00 | 0.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.20 | 1.68 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 23.40 | 0.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.60 | 1.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 23.80 | 1.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.00 | 0.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 24.20 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.40 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 24.60 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.80 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 25.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | |

Overall liquefaction potential: 3.13

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

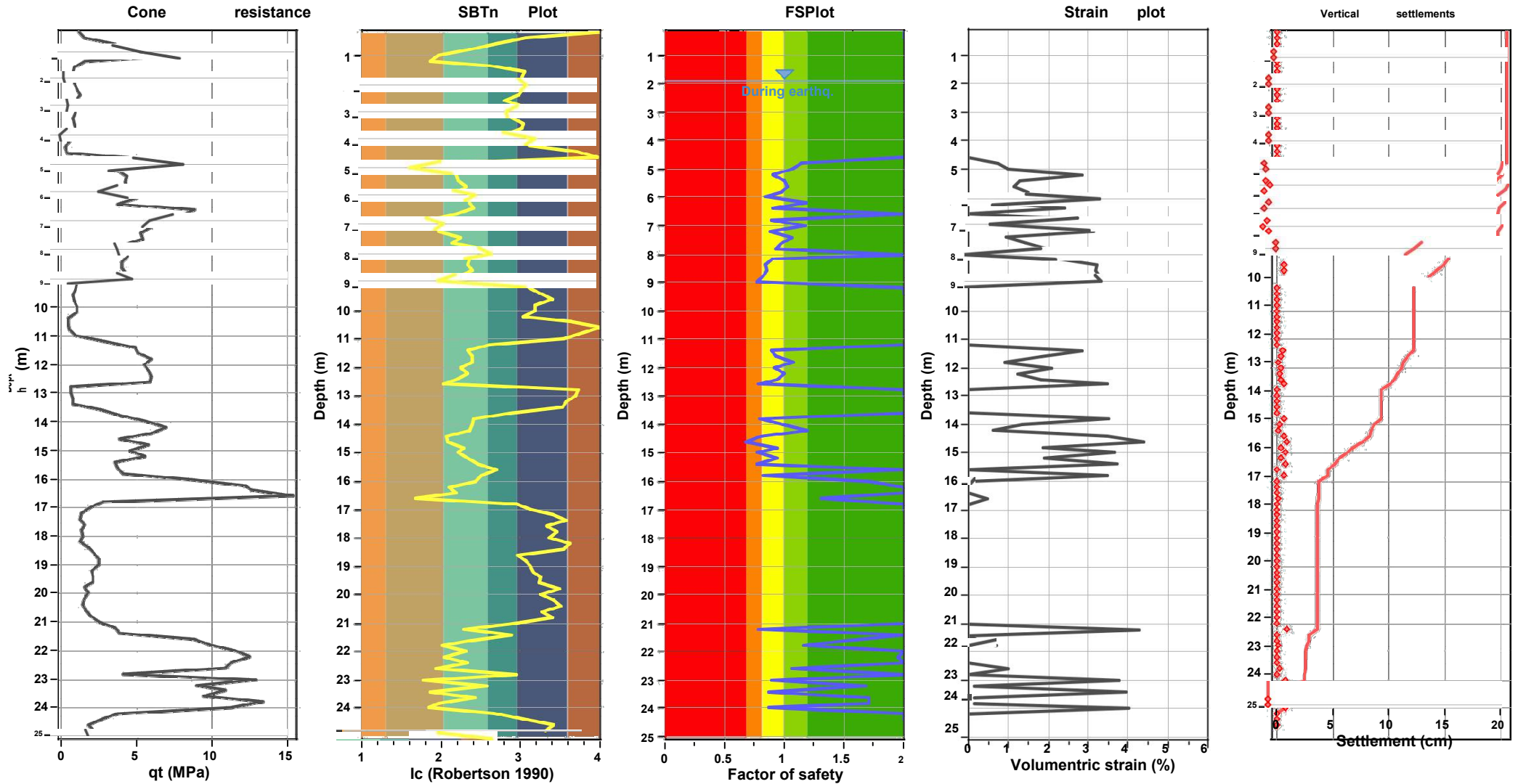
FS: Calculated factor of safety for test point

FL: 1 - FS

w_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

- q_c: 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 | 13.17 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 2.20 | 14.81 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 2.40 | 18.10 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 2.60 | 20.99 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 2.80 | 16.02 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 3.00 | 17.24 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 3.20 | 15.46 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 3.40 | 12.25 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 3.60 | 13.49 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 3.80 | 14.72 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 4.00 | 7.39 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 4.20 | 8.70 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 4.40 | 4.34 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 4.60 | 5.65 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 4.80 | 116.10 | 1.15 | 0.73 | 1.00 | 0.15 | 5.00 | 111.61 | 1.06 | 0.99 | 1.00 | 0.20 |
| 5.20 | 100.49 | 0.90 | 2.87 | 1.00 | 0.57 | 5.40 | 108.93 | 1.00 | 1.29 | 1.00 | 0.26 |
| 5.60 | 111.30 | 1.02 | 1.14 | 1.00 | 0.23 | 5.80 | 107.93 | 0.97 | 1.50 | 1.00 | 0.30 |
| 6.00 | 96.84 | 0.84 | 3.32 | 1.00 | 0.66 | 6.20 | 121.73 | 1.18 | 0.65 | 1.00 | 0.13 |
| 6.40 | 104.13 | 0.91 | 2.42 | 1.00 | 0.48 | 6.60 | 163.98 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 6.80 | 103.35 | 0.89 | 2.85 | 1.00 | 0.57 | 7.00 | 122.44 | 1.18 | 0.66 | 1.00 | 0.13 |
| 7.20 | 102.39 | 0.87 | 3.14 | 1.00 | 0.63 | 7.40 | 116.84 | 1.06 | 0.95 | 1.00 | 0.19 |
| 7.60 | 110.84 | 0.97 | 1.44 | 1.00 | 0.29 | 7.80 | 107.39 | 0.92 | 1.95 | 1.00 | 0.39 |
| 8.00 | 46.48 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 8.20 | 106.01 | 0.90 | 2.29 | 1.00 | 0.46 |
| 8.40 | 100.06 | 0.84 | 3.21 | 1.00 | 0.64 | 8.60 | 101.09 | 0.85 | 3.18 | 1.00 | 0.64 |
| 8.80 | 97.96 | 0.82 | 3.28 | 1.00 | 0.66 | 9.00 | 93.20 | 0.77 | 3.45 | 1.00 | 0.69 |
| 9.20 | 11.11 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 9.40 | 10.01 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 9.60 | 7.94 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 9.80 | 8.86 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 10.00 | 10.73 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 10.20 | 10.64 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 10.40 | 4.80 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 10.60 | 4.76 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 10.80 | 5.66 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 11.00 | 9.35 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 11.20 | 27.90 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 11.40 | 104.41 | 0.88 | 2.84 | 1.00 | 0.57 |
| 11.60 | 108.19 | 0.93 | 1.84 | 1.00 | 0.37 | 11.80 | 118.16 | 1.08 | 0.90 | 1.00 | 0.18 |
| 12.00 | 106.67 | 0.92 | 2.07 | 1.00 | 0.41 | 12.20 | 112.77 | 1.00 | 1.24 | 1.00 | 0.25 |
| 12.40 | 107.70 | 0.93 | 1.82 | 1.00 | 0.36 | 12.60 | 92.51 | 0.78 | 3.48 | 1.00 | 0.70 |
| 12.80 | 6.03 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 13.00 | 5.98 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 13.20 | 6.79 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 13.40 | 6.75 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 13.60 | 22.90 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 13.80 | 92.00 | 0.79 | 3.50 | 1.00 | 0.70 |
| 14.00 | 110.02 | 0.98 | 1.37 | 1.00 | 0.27 | 14.20 | 122.84 | 1.20 | 0.62 | 1.00 | 0.12 |
| 14.40 | 92.74 | 0.81 | 3.47 | 1.00 | 0.69 | 14.60 | 72.75 | 0.67 | 4.39 | 1.00 | 0.88 |
| 14.80 | 105.46 | 0.94 | 1.87 | 1.00 | 0.37 | 15.00 | 87.94 | 0.77 | 3.66 | 1.00 | 0.73 |
| 15.20 | 104.77 | 0.94 | 1.92 | 1.00 | 0.38 | 15.40 | 85.76 | 0.76 | 3.75 | 1.00 | 0.75 |
| 15.60 | 30.43 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 15.80 | 92.34 | 0.82 | 3.48 | 1.00 | 0.70 |
| 16.00 | 140.13 | 1.72 | 0.13 | 1.00 | 0.03 | 16.20 | 160.22 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 16.40 | 172.72 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 16.60 | 125.35 | 1.30 | 0.46 | 1.00 | 0.09 |
| 16.80 | 21.33 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 17.00 | 15.00 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 17.20 | 10.35 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 17.40 | 9.54 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 17.60 | 11.71 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 17.80 | 10.16 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 18.00 | 10.84 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 18.20 | 9.30 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 18.40 | 13.63 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 18.60 | 16.50 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 18.80 | 18.62 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 19.00 | 18.51 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 19.20 | 14.76 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 19.40 | 15.39 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 19.60 | 15.30 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 19.80 | 10.96 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 20.00 | 13.01 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 20.20 | 10.84 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 20.40 | 10.09 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 20.60 | 11.41 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 20.80 | 13.42 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 21.00 | 17.52 | 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) |
|-----------|---------------------|------|--------------------|------|-----------------|-----------|---------------------|------|--------------------|------|-----------------|
| 21.20 | 74.60 | 0.78 | 4.29 | 1.00 | 0.86 | 21.40 | 26.58 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 21.60 | 127.46 | 1.49 | 0.28 | 1.00 | 0.06 | 21.80 | 111.30 | 1.16 | 0.69 | 1.00 | 0.14 |
| 22.00 | 154.96 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 22.20 | 140.65 | 1.95 | 0.02 | 1.00 | 0.00 |
| 22.40 | 151.95 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 22.60 | 103.09 | 1.07 | 0.99 | 1.00 | 0.20 |
| 22.80 | 27.73 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 23.00 | 85.52 | 0.89 | 3.76 | 1.00 | 0.75 |
| 23.20 | 132.43 | 1.68 | 0.15 | 1.00 | 0.03 | 23.40 | 81.13 | 0.87 | 3.96 | 1.00 | 0.79 |
| 23.60 | 132.86 | 1.70 | 0.13 | 1.00 | 0.03 | 23.80 | 132.66 | 1.70 | 0.13 | 1.00 | 0.03 |
| 24.00 | 79.40 | 0.86 | 4.04 | 1.00 | 0.81 | 24.20 | 23.99 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 24.40 | 16.73 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 24.60 | 11.54 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 24.80 | 14.02 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 25.00 | 15.26 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |

Total estimated settlement: 7.51

Abbreviations

| | |
|----------------------|--|
| Q _{tn,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 |

:: 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 | 0.00 | -1.00 | 26.61 | -26.61 | 4.06 | N/A | N/A |
| 0.40 | 1.18 | 19.89 | 7.58 | 150.75 | 3.07 | N/A | N/A |
| 0.60 | 1.57 | 26.50 | 3.91 | 103.69 | 2.69 | N/A | N/A |
| 0.80 | 3.53 | 59.79 | 2.13 | 127.42 | 2.35 | N/A | N/A |
| 1.00 | 5.40 | 91.41 | 1.26 | 114.93 | 1.97 | N/A | N/A |
| 1.20 | 7.95 | 134.71 | 1.15 | 154.73 | 1.85 | N/A | N/A |
| 1.40 | 1.57 | 26.25 | 3.43 | 90.05 | 2.62 | N/A | N/A |
| 1.60 | 0.88 | 14.51 | 7.40 | 107.45 | 3.06 | N/A | N/A |
| 1.80 | 0.78 | 12.79 | 6.78 | 86.75 | 3.00 | N/A | N/A |
| 2.00 | 0.78 | 12.73 | 7.97 | 101.46 | 3.10 | 0.07 | 1.53 |
| 2.20 | 0.88 | 14.34 | 7.09 | 101.69 | 3.03 | 0.07 | 1.65 |
| 2.40 | 1.08 | 17.61 | 6.46 | 113.79 | 2.97 | 0.07 | 1.94 |
| 2.60 | 1.28 | 20.89 | 4.79 | 100.01 | 2.80 | 0.08 | 2.21 |
| 2.80 | 0.98 | 15.83 | 6.79 | 107.46 | 3.00 | 0.07 | 1.61 |
| 3.00 | 1.08 | 17.44 | 5.38 | 93.75 | 2.87 | 0.08 | 1.72 |
| 3.20 | 0.98 | 15.71 | 5.49 | 86.20 | 2.88 | 0.07 | 1.50 |
| 3.40 | 0.78 | 12.32 | 7.04 | 86.75 | 3.03 | 0.06 | 1.14 |
| 3.60 | 0.88 | 13.93 | 6.79 | 94.50 | 3.00 | 0.07 | 1.24 |
| 3.80 | 0.98 | 15.54 | 5.06 | 78.70 | 2.83 | 0.07 | 1.35 |
| 4.00 | 0.49 | 7.14 | 9.63 | 68.79 | 3.23 | 0.06 | 0.60 |
| 4.20 | 0.59 | 8.76 | 7.97 | 69.80 | 3.10 | 0.06 | 0.72 |
| 4.40 | 0.29 | 3.70 | 18.18 | 67.24 | 3.71 | 0.05 | 0.30 |
| 4.60 | 0.39 | 5.30 | 24.23 | 128.49 | 3.97 | 0.06 | 0.41 |
| 4.80 | 5.40 | 78.15 | 1.37 | 107.37 | 2.05 | 0.11 | 0.79 |
| 5.00 | 8.63 | 113.72 | 1.00 | 113.72 | 1.67 | 0.14 | 0.85 |
| 5.20 | 3.73 | 53.04 | 1.64 | 87.15 | 2.19 | 0.10 | 0.74 |
| 5.40 | 4.32 | 60.48 | 1.67 | 100.98 | 2.20 | 0.11 | 0.76 |
| 5.60 | 4.22 | 58.97 | 1.98 | 116.92 | 2.31 | 0.11 | 0.76 |
| 5.80 | 4.32 | 58.17 | 1.70 | 99.09 | 2.21 | 0.11 | 0.75 |
| 6.00 | 3.04 | 41.47 | 2.66 | 110.44 | 2.48 | 0.10 | 0.71 |
| 6.20 | 5.00 | 66.36 | 2.16 | 143.14 | 2.36 | 0.13 | 0.77 |
| 6.40 | 3.73 | 48.40 | 2.36 | 114.34 | 2.41 | 0.11 | 0.73 |
| 6.60 | 8.83 | 110.82 | 1.65 | 182.36 | 2.19 | 0.20 | 0.84 |
| 6.80 | 7.95 | 94.06 | 1.15 | 108.10 | 1.86 | 0.13 | 0.82 |
| 7.00 | 6.47 | 77.11 | 1.42 | 109.39 | 2.08 | 0.12 | 0.79 |
| 7.20 | 5.98 | 69.35 | 1.27 | 87.95 | 1.97 | 0.10 | 0.78 |
| 7.40 | 5.30 | 61.82 | 1.80 | 111.24 | 2.25 | 0.12 | 0.76 |
| 7.60 | 5.40 | 61.36 | 1.52 | 93.53 | 2.14 | 0.11 | 0.76 |
| 7.80 | 4.12 | 47.00 | 2.84 | 133.61 | 2.51 | 0.11 | 0.73 |
| 8.00 | 4.32 | 48.81 | 3.87 | 189.11 | 2.68 | 0.12 | 3.54 |
| 8.20 | 4.41 | 48.04 | 2.11 | 101.45 | 2.35 | 0.11 | 0.73 |
| 8.40 | 4.02 | 42.90 | 2.09 | 89.51 | 2.34 | 0.10 | 0.71 |
| 8.60 | 4.02 | 42.30 | 2.29 | 96.82 | 2.39 | 0.10 | 0.71 |
| 8.80 | 4.32 | 44.55 | 1.71 | 76.19 | 2.22 | 0.09 | 0.72 |
| 9.00 | 5.30 | 54.02 | 1.32 | 71.28 | 2.01 | 0.09 | 0.74 |
| 9.20 | 1.08 | 9.70 | 7.91 | 76.70 | 3.10 | 0.06 | 0.69 |
| 9.40 | 0.98 | 8.48 | 9.97 | 84.59 | 3.25 | 0.06 | 0.61 |
| 9.60 | 0.78 | 6.30 | 12.26 | 77.18 | 3.40 | 0.06 | 0.45 |

| :: 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 | 0.88 | 7.17 | 8.85 | 63.43 | 3.17 | 0.06 | 0.51 |
| 10.00 | 1.08 | 8.99 | 8.85 | 79.56 | 3.17 | 0.06 | 0.64 |
| 10.20 | 1.08 | 8.83 | 7.18 | 63.37 | 3.04 | 0.06 | 0.63 |
| 10.40 | 0.49 | 2.96 | 16.40 | 48.59 | 3.62 | 0.06 | 0.21 |
| 10.60 | 0.49 | 2.88 | 25.71 | 74.12 | 4.03 | 0.06 | 0.21 |
| 10.80 | 0.59 | 3.73 | 19.99 | 74.62 | 3.79 | 0.06 | 0.27 |
| 11.00 | 0.98 | 7.28 | 14.86 | 108.26 | 3.54 | 0.06 | 0.52 |
| 11.20 | 2.94 | 25.31 | 3.41 | 86.31 | 2.61 | 0.09 | 1.79 |
| 11.40 | 4.91 | 43.24 | 2.06 | 89.11 | 2.33 | 0.11 | 0.72 |
| 11.60 | 5.10 | 44.30 | 2.29 | 101.41 | 2.39 | 0.11 | 0.72 |
| 11.80 | 5.98 | 51.55 | 2.27 | 116.88 | 2.39 | 0.12 | 0.74 |
| 12.00 | 5.49 | 46.93 | 1.80 | 84.44 | 2.25 | 0.11 | 0.73 |
| 12.20 | 5.79 | 48.67 | 2.04 | 99.18 | 2.33 | 0.12 | 0.73 |
| 12.40 | 5.98 | 50.28 | 1.62 | 81.59 | 2.18 | 0.10 | 0.73 |
| 12.60 | 5.89 | 49.48 | 1.34 | 66.14 | 2.03 | 0.09 | 0.73 |
| 12.80 | 0.69 | 3.70 | 18.50 | 68.52 | 3.72 | 0.06 | 0.26 |
| 13.00 | 0.69 | 3.63 | 17.98 | 65.26 | 3.70 | 0.06 | 0.26 |
| 13.20 | 0.78 | 4.34 | 15.70 | 68.09 | 3.59 | 0.06 | 0.31 |
| 13.40 | 0.78 | 4.26 | 14.45 | 61.54 | 3.52 | 0.06 | 0.30 |
| 13.60 | 2.65 | 18.56 | 5.35 | 99.23 | 2.86 | 0.08 | 1.33 |
| 13.80 | 4.02 | 30.09 | 2.36 | 70.97 | 2.41 | 0.09 | 0.67 |
| 14.00 | 5.69 | 42.94 | 2.27 | 97.62 | 2.39 | 0.11 | 0.71 |
| 14.20 | 6.97 | 52.57 | 2.12 | 111.48 | 2.35 | 0.13 | 0.74 |
| 14.40 | 5.98 | 46.03 | 1.37 | 63.25 | 2.05 | 0.09 | 0.72 |
| 14.60 | 3.83 | 28.38 | 1.00 | 28.38 | 2.08 | 0.07 | 0.66 |
| 14.80 | 5.79 | 42.50 | 1.87 | 79.31 | 2.27 | 0.10 | 0.71 |
| 15.00 | 4.51 | 32.68 | 1.68 | 54.76 | 2.20 | 0.08 | 0.68 |
| 15.20 | 5.59 | 39.87 | 2.04 | 81.53 | 2.33 | 0.11 | 0.71 |
| 15.40 | 3.53 | 23.72 | 2.60 | 61.74 | 2.47 | 0.09 | 0.64 |
| 15.60 | 3.73 | 24.04 | 3.96 | 95.30 | 2.70 | 0.10 | 1.68 |
| 15.80 | 4.12 | 27.22 | 2.77 | 75.51 | 2.50 | 0.10 | 0.66 |
| 16.00 | 8.63 | 59.19 | 2.40 | 142.15 | 2.42 | 0.16 | 0.76 |
| 16.20 | 12.26 | 88.43 | 1.44 | 127.47 | 2.09 | 0.19 | 0.81 |
| 16.40 | 12.65 | 89.01 | 1.63 | 144.82 | 2.18 | 0.22 | 0.81 |
| 16.60 | 15.40 | 117.22 | 1.03 | 120.45 | 1.68 | 0.17 | 0.85 |
| 16.80 | 2.75 | 15.49 | 6.08 | 94.18 | 2.94 | 0.08 | 1.11 |
| 17.00 | 1.96 | 10.37 | 8.46 | 87.77 | 3.14 | 0.07 | 0.74 |
| 17.20 | 1.37 | 6.59 | 12.29 | 80.99 | 3.40 | 0.06 | 0.47 |
| 17.40 | 1.28 | 5.89 | 15.62 | 92.09 | 3.58 | 0.06 | 0.42 |
| 17.60 | 1.57 | 7.60 | 11.08 | 84.15 | 3.32 | 0.06 | 0.54 |
| 17.80 | 1.37 | 6.32 | 13.24 | 83.65 | 3.45 | 0.06 | 0.45 |
| 18.00 | 1.47 | 6.82 | 11.76 | 80.16 | 3.37 | 0.06 | 0.49 |
| 18.20 | 1.28 | 5.57 | 16.37 | 91.15 | 3.62 | 0.06 | 0.40 |
| 18.40 | 1.86 | 8.91 | 14.82 | 131.98 | 3.54 | 0.07 | 0.64 |
| 18.60 | 2.26 | 11.06 | 6.38 | 70.55 | 2.97 | 0.07 | 0.79 |
| 18.80 | 2.55 | 12.61 | 7.51 | 94.73 | 3.07 | 0.07 | 0.90 |
| 19.00 | 2.55 | 12.46 | 8.10 | 100.91 | 3.11 | 0.07 | 0.89 |
| 19.20 | 2.06 | 9.57 | 8.70 | 83.29 | 3.16 | 0.07 | 0.68 |

| :: Strength loss calculation (Idriss & Boulanger (2008)) :: (continued) | | | | | | | |
|---|----------|-----------------|----------------|--------------------|----------------|---|--|
| Depth (m) | qt (MPa) | Q _{tn} | K _c | Q _{tn,cs} | I _c | S _{u(liq)/σ^t_v} | S _{u(peak)/σ^t_v} |
| 19.40 | 2.16 | 10.00 | 10.06 | 100.59 | 3.26 | 0.07 | 0.71 |
| 19.60 | 2.16 | 9.88 | 9.72 | 95.99 | 3.23 | 0.07 | 0.71 |
| 19.80 | 1.57 | 6.57 | 13.99 | 91.86 | 3.49 | 0.06 | 0.47 |
| 20.00 | 1.86 | 8.07 | 10.02 | 80.82 | 3.25 | 0.06 | 0.58 |
| 20.20 | 1.57 | 6.41 | 12.52 | 80.21 | 3.41 | 0.06 | 0.46 |
| 20.40 | 1.47 | 5.81 | 14.13 | 82.05 | 3.50 | 0.06 | 0.41 |
| 20.60 | 1.67 | 6.77 | 10.23 | 69.19 | 3.27 | 0.06 | 0.48 |
| 20.80 | 1.96 | 8.21 | 12.24 | 100.49 | 3.40 | 0.07 | 0.59 |
| 21.00 | 2.55 | 11.15 | 5.73 | 63.88 | 2.90 | 0.07 | 0.80 |
| 21.20 | 3.53 | 18.18 | 1.00 | 18.18 | 2.28 | 0.07 | 0.61 |
| 21.40 | 3.83 | 17.39 | 5.63 | 97.85 | 2.89 | 0.09 | 1.24 |
| 21.60 | 8.83 | 47.25 | 2.06 | 97.30 | 2.33 | 0.13 | 0.73 |
| 21.80 | 9.91 | 57.57 | 1.32 | 75.72 | 2.01 | 0.11 | 0.75 |
| 22.00 | 11.58 | 61.73 | 2.01 | 124.22 | 2.32 | 0.18 | 0.76 |
| 22.20 | 12.56 | 71.80 | 1.36 | 97.55 | 2.04 | 0.15 | 0.78 |
| 22.40 | 11.28 | 58.58 | 2.10 | 122.91 | 2.34 | 0.18 | 0.75 |
| 22.60 | 10.89 | 62.88 | 1.22 | 76.77 | 1.93 | 0.11 | 0.76 |
| 22.80 | 4.12 | 17.53 | 6.06 | 106.31 | 2.94 | 0.08 | 1.25 |
| 23.00 | 12.85 | 77.17 | 1.00 | 77.17 | 1.77 | 0.10 | 0.79 |
| 23.20 | 8.93 | 41.43 | 3.17 | 131.44 | 2.57 | 0.15 | 0.71 |
| 23.40 | 10.89 | 62.56 | 1.00 | 62.56 | 1.85 | 0.09 | 0.76 |
| 23.60 | 9.42 | 45.05 | 2.40 | 108.11 | 2.42 | 0.15 | 0.72 |
| 23.80 | 13.34 | 73.35 | 1.27 | 93.19 | 1.98 | 0.15 | 0.78 |
| 24.00 | 11.28 | 63.89 | 1.00 | 63.89 | 1.84 | 0.09 | 0.77 |
| 24.20 | 3.73 | 14.90 | 3.80 | 56.67 | 2.67 | 0.09 | 1.05 |
| 24.40 | 2.65 | 9.76 | 7.03 | 68.63 | 3.03 | 0.07 | 0.70 |
| 24.60 | 1.86 | 6.22 | 12.51 | 77.78 | 3.41 | 0.06 | 0.44 |
| 24.80 | 2.26 | 7.86 | 10.67 | 83.88 | 3.30 | 0.07 | 0.56 |
| 25.00 | 2.45 | 8.68 | 26.61 | 230.83 | 4.06 | 0.07 | 0.62 |

Abbreviations

| | |
|--|---|
| qt: | 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)/σ^t_v} : | Calculated liquefied undrained strength ratio |
| S _{u(peak)/σ^t_v} : | Calculated peak undrained strength ratio |

**Indagine MASW per la valutazione
del parametro Vs30**

località
Longastrino, Argenta (FE)

data
26 gennaio 2010

RELAZIONE TECNICA

TIMBRO E FIRMA

envia environmental aid
di Paolo Durante & C. s.a.s.
Via Provinciale, s/n
64012 - S. Onofrio (TE)
P.Iva 01653250678

COMMITTENTE

SPETT.LE GEOLOG S.R.L.
VIA CERCHIO, 57
48100 - RAVENNA

INDICE

| | | |
|----|------------------------------------|---|
| 1. | Premessa | 2 |
| 2. | Normativa di riferimento | 2 |
| 3. | Il metodo MASW | 3 |
| 4. | Risultati dell'indagine MASW | 5 |
| 5. | Bibliografia | 6 |

ELENCO ALLEGATI

Allegato 1- Documentazione fotografica

Allegato 2- Sismogrammi

Allegato 3- Curve di dispersione apparente

Allegato 4- Velocità onde S in funzione della profondità

1. Premessa

Su richiesta della società Geolog s.r.l. è stata effettuata un'indagine sismica di tipo MASW presso un'area sita in località Longastrino, nel Comune di Argenta (FE), al fine di valutare il parametro Vs30 caratteristico dell'area, ovvero la media pesata delle velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di profondità dal piano campagna, come prescritto dall'art. 3.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008.

Di seguito verrà brevemente illustrato il parametro indagato, il metodo di acquisizione dei dati e l'elaborazione degli stessi; verranno poi discussi i risultati ottenuti, attribuendo quindi al suolo in questione una classe di appartenenza secondo il D.M. 14/01/2008.

2. Normativa di riferimento

Il D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" prevede che, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (cfr. tabella 1). Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio S entro i primi 30 metri di profondità dal piano fondale. La stima della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, il sito può essere classificato sulla base dei valori di N_{SPT} o della C_u. La tabella sotto riportata, oltre a una breve descrizione delle classi di sottosuolo, indica gli intervalli dei tre parametri che individuano ciascuna di esse.

| | Descrizione del profilo stratigrafico | Parametri | | |
|----------|---|---------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | | Vs30 (m/s) | N _{SPT,30} (colpi/30 cm) | C _{u,30} (kPa) |
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m. | > 800 | - | - |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto 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 360 e 800 m/s (ovvero N _{SPT,30} >50 nei terreni a grana grossa e C _{u,30} >250 kPa nei terreni a grana fina) | 360-800 | > 50 | > 250 |
| C | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o | 180-360 | 15-50 | 70-250 |

| | | | | |
|-----------|--|-------|------|-------|
| | terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina) | | | |
| D | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina) | < 180 | < 15 | < 70 |
| E | Terreni dei sottosuoli tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s) | | | |
| S1 | Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche. | < 100 | - | 10-20 |
| S2 | Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o di qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti. | | | |

Tabella 1 – Classificazione dei suoli secondo il D.M. 14 gennaio 2008 "Testo Unico, Norme Tecniche per le Costruzioni".

Il valore del parametro V_{s30} , secondo la normativa, è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n h_i / v_i} \text{ m/s}$$

Dove h_i e v_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale di n strati presenti nei 30 metri al di sotto del piano fondale.

3. Il metodo **MASW**

Per mezzo della tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park et al., 1999), e quindi dello studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi nelle indagini sismiche (sia per ampiezza relativa che per durata del segnale), è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S. Le onde superficiali sono onde sismiche che si propagano parallelamente alla superficie del terreno, la cui ampiezza diminuisce esponenzialmente con la profondità e la cui energia si propaga in una fascia superficiale corrispondente a circa una lunghezza d'onda λ . In un mezzo reale, caratterizzato da proprietà meccaniche variabili con la

profondità, le onde superficiali, in funzione di λ , penetrano strati con diverse caratteristiche e quindi la loro propagazione ne risulta influenzata in termini di velocità e tempi di arrivo: onde con λ differente si propagano a velocità di fase c_f differente e pertanto si separano lungo il loro tragitto. Tale fenomeno è noto come dispersione.

L'idea su cui si fonda il metodo MASW, come altre metodologie che analizzano le onde superficiali, è quella di utilizzare il fenomeno della dispersione per derivare informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di taglio. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza (c_f-f), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda; nel presente studio è applicata un procedimento che prevede una trasformata tempo di ritardo – slowness ($\tau-p$) e una trasformata di Fourier dal dominio τ a quello della frequenza. Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza-slowness o frequenza-velocità di fase (la slowness è infatti il reciproco della velocità). Dato che le onde superficiali mostrano le ampiezze e le durate maggiori nel dominio spazio-tempo, anche nel dominio frequenza-velocità di fase, i massimi dello spettro saranno relativi alle differenti frequenze con cui si propagano le onde superficiali stesse. Dall'estrazione delle coppie frequenza-velocità di fase corrispondenti ai massimi d'intensità dello spettro si deriva la curva di dispersione sperimentale. In realtà, l'interpretazione degli spettri risulta spesso complicata dall'intrecciarsi dei modi superiori rispetto a quello fondamentale e/o alla generazione e propagazione di onde guidate. Un miglioramento nell'interpretazione degli spettri può essere ottenuto dalla comparazione tra spettro osservato e, in sovrapposizione, le curve di dispersione teoriche per i diversi modi di un modello ritenuto plausibile per l'area in esame (Dal Moro, 2008). Generalmente quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale risulta predominante a tutte le frequenze. Tuttavia esistono diverse stratigrafie, con strati rigidi compresi tra strati soffici o strati soffici compresi tra strati rigidi o con variazioni brusche di rigidità con la profondità, in cui i modi superiori al primo diventano predominanti in certi intervalli di frequenza (Roma, 2006). Per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione per ottenere un modello delle

proprietà fisiche del sottosuolo. Nell'elaborazione dei dati acquisiti nella campagna di indagine di cui all'oggetto della presente relazione si sono utilizzati due differenti programmi di inversione - SWAMI del Georgia Institute of Technology e WaveEq della Geometrics - allo scopo di non fornire una stima univoca, ma di effettuare un confronto tra diverse procedure di calcolo.

4. Risultati dell'indagine MASW

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro Vs30 è stato utilizzato un sismografo "Echo 24/2002" a 24 canali prodotto da Ambrogeo (Piacenza) connesso a 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz, interspaziati tra loro di 3 m per un totale di 69 m (vedi documentazione fotografica in allegato 1). I dati sono stati acquisiti e salvati da un PC portatile alimentato a batteria.

La sorgente sismica utilizzata è una mazza battente di 8 kg, posta ad una distanza di 10 m dal geofono 24. I sismogrammi registrati da ognuno dei geofoni sono riportati in allegato 2. Lo spettro frequenza-velocità di fase e la curva di dispersione ottenuta dalla procedura di elaborazione sono riportati in allegato 3; sono sovrimposti allo spettro il picking del modo fondamentale (crocette nere), le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale (linea continua in magenta) e dei modi superiori (linee tratteggiate in nero) per il modello statisticamente migliore ottenuto dall'inversione.

Come si evince dal profilo delle velocità riportato in allegato 4, il **valore del parametro Vs30** è stato stimato pari a **165.1±10.3 m/s** con il programma WaveEq e **156.6±4.3 m/s** con il programma SWAMI. Ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 14/01/2008, il sottosuolo in oggetto può essere classificato come di **categoria D**, unicamente sulla base del parametro Vs30. Il progettista, definite le condizioni specifiche del sito e delle strutture, dovrà valutare se approfondire l'indagine per la definizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica mediante studi specifici sulla risposta sismica locale, come indicato all'art. 7.11.3 del D.M. 14/01/2008.

Bologna, 26 gennaio 2010

envia environmental aid
di Paolo Durante & C. s.a.s.
Via Provinciale, s/n
64012 S. Onofrio (TE)
P.Iva 01653250678

5. Bibliografia

Dal Moro, G., 2008 – Tre divagazioni: il mito dell'inversione, MASW in Friuli, esempio di studio congiunto MASW-rifrazione - Giornata di studio sul "Monitoraggio dinamico per la valutazione della sicurezza sismica dei ponti", Centro Internazionale di Scienze Meccaniche (CISM), Udine, 18 aprile 2008.

PARK, C.B., MILLER, R.D., and XIA J., 1999- Multichannel Analysis of surface waves - Geophysics, 64, 800-808.

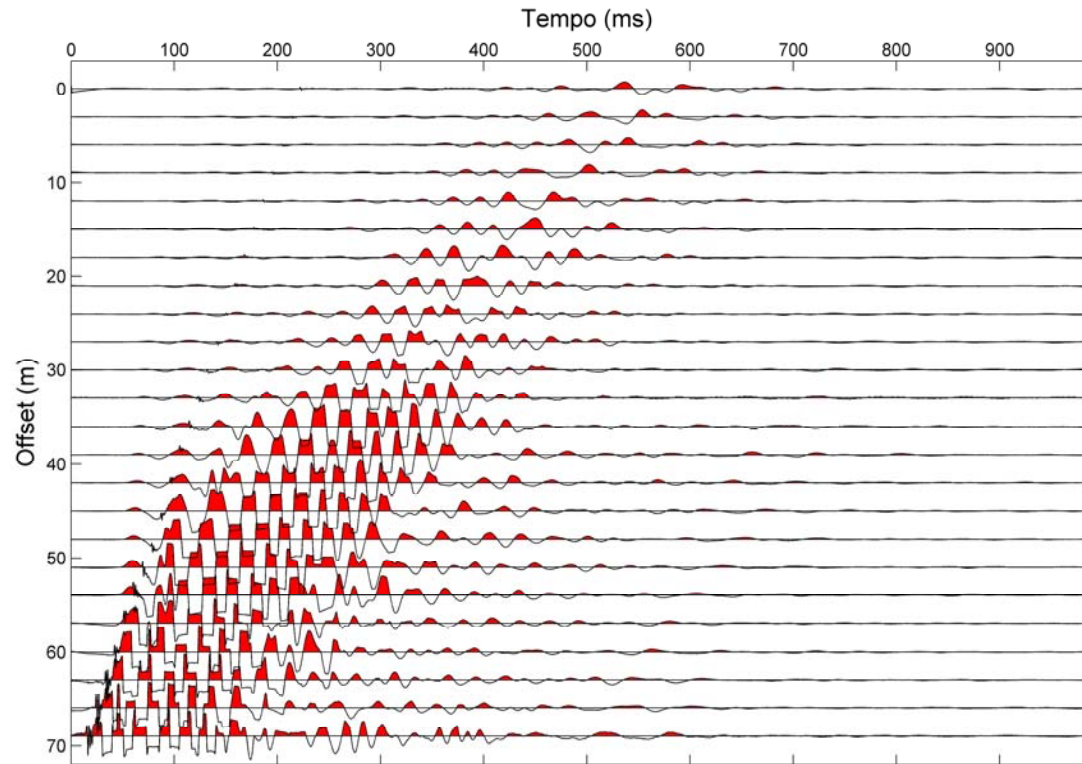
ROMA, V., 2006 – Caratterizzazione sismica dei suoli con Il metodo MASW (Multichannel Analysis of surface waves)- http://www.masw.it/downloads/Opuscolo_MASW_22_Gen_2007.pdf.

Allegato 1 – Documentazione fotografica



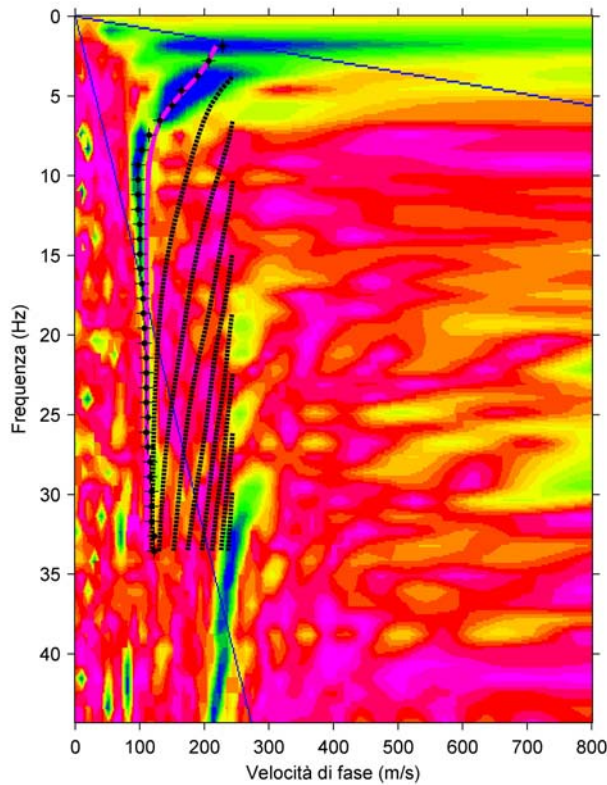
Foto 1 – Profilo sismico

Allegato 2 - Sismogrammi



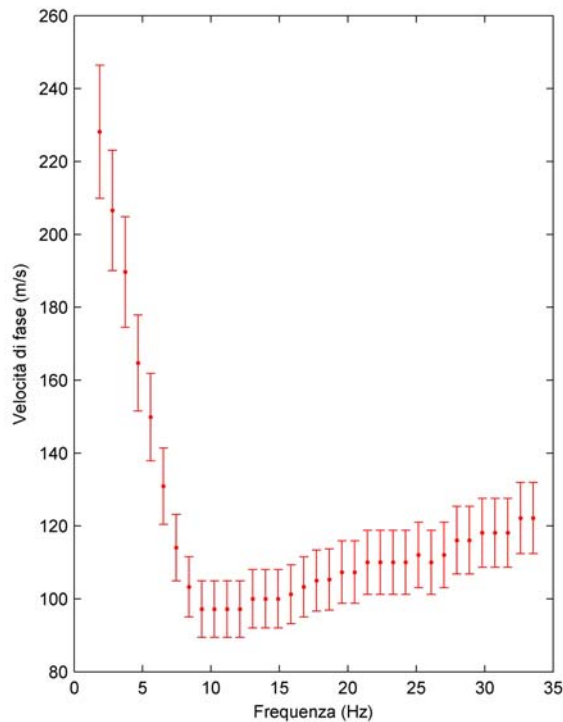
Sismogrammi acquisiti dai 24 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 10 m dal geofono 24
La spaziatura tra i geofoni è di 3 m.

Allegato 3 – Curve di dispersione apparente

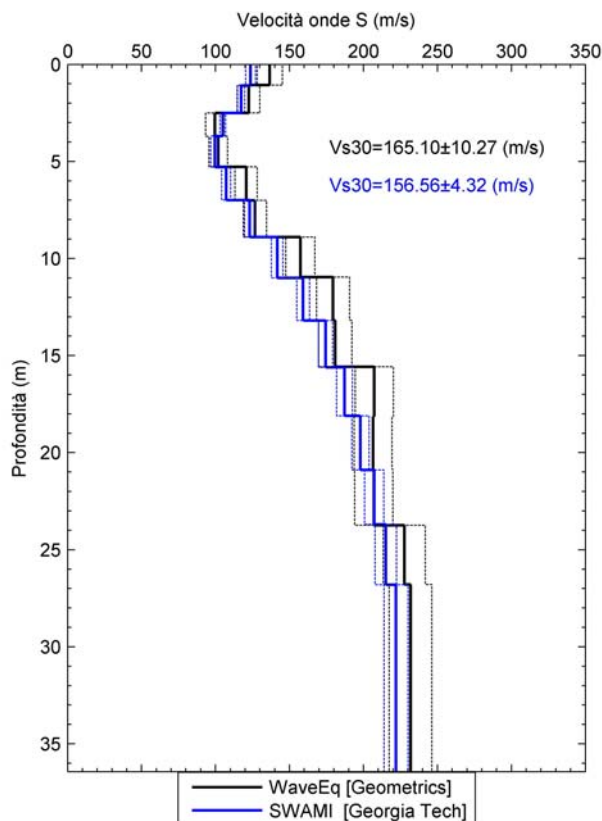


in alto: Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrimposti allo spettro sono il picking del modo fondamentale (crocette nere) e le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale (linea continua in magenta) e dei modi superiori (linee tratteggiate in nero).

in basso: Curva di dispersione apparente delle onde superficiali: rappresenta la velocità di fase associata ai massimi di densità spettrale per ogni frequenza delle onde superficiali.



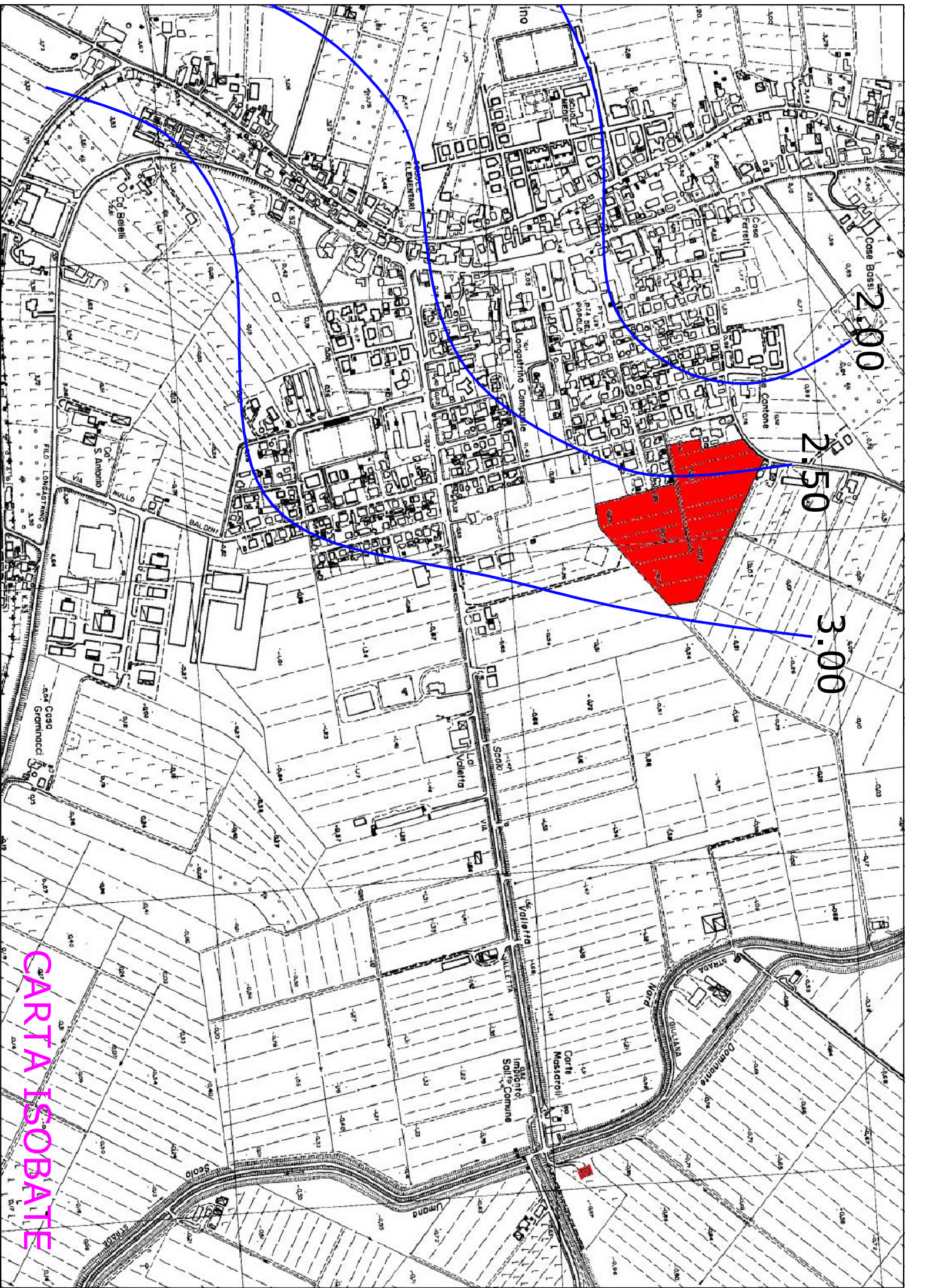
Allegato 4 – Velocità onde S in funzione della profondità



Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità da Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). In nero sono riportati i valori ottenuti con il programma WaveEq (G e o m e t r i c s) comprensivi della deviazione standard (tratteggio in nero). In blu sono invece rappresentati i valori derivati con il programma SWAMI (Georgia Institute of Technology) e le relative deviazione standard (tratteggio in blu).

Valori di velocità delle onde S alle diverse profondità. La prima colonna riporta la profondità del tetto dello strato considerato e la seconda quella del letto. La terza e la quarta contengono velocità e deviazione standard ottenute utilizzando WaveEq. Nella quinta e nella sesta colonna quelle stimate attraverso SWAMI.

| Prof. Tetto (m) | Prof. Letto (m) | Vs WaveEq (m/s) | DvSt WaveEq (m/s) | Vs SWAMI (m/s) | DvSt SWAMI (m/s) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|------------------|
| 0.0 | 1.1 | 136.7 | 8.5 | 123.7 | 3.3 |
| 1.1 | 2.5 | 122.4 | 7.6 | 117.3 | 2.6 |
| 2.5 | 3.7 | 99.6 | 6.2 | 104.9 | 1.9 |
| 3.7 | 5.3 | 101.9 | 6.3 | 99.5 | 2.7 |
| 5.3 | 7.0 | 120.7 | 7.5 | 107.2 | 3.1 |
| 7.0 | 8.9 | 126.7 | 7.9 | 123.1 | 3.5 |
| 8.9 | 11.0 | 157.4 | 9.8 | 141.7 | 3.9 |
| 11.0 | 13.2 | 179.4 | 11.2 | 159.2 | 4.3 |
| 13.2 | 15.6 | 181.0 | 11.3 | 174.4 | 4.8 |
| 15.6 | 18.1 | 207.3 | 12.9 | 187.2 | 5.3 |
| 18.1 | 20.9 | 206.5 | 12.8 | 198.0 | 5.8 |
| 20.9 | 23.7 | 207.0 | 12.9 | 207.3 | 6.5 |
| 23.7 | 26.8 | 227.6 | 14.2 | 215.1 | 7.3 |
| 26.8 | 36.4 | 231.8 | 14.4 | 222.0 | 8.1 |



2.50

2.75

3.00

CARTA ISOBATE



UBICAZIONE INDAGINI IN SITU

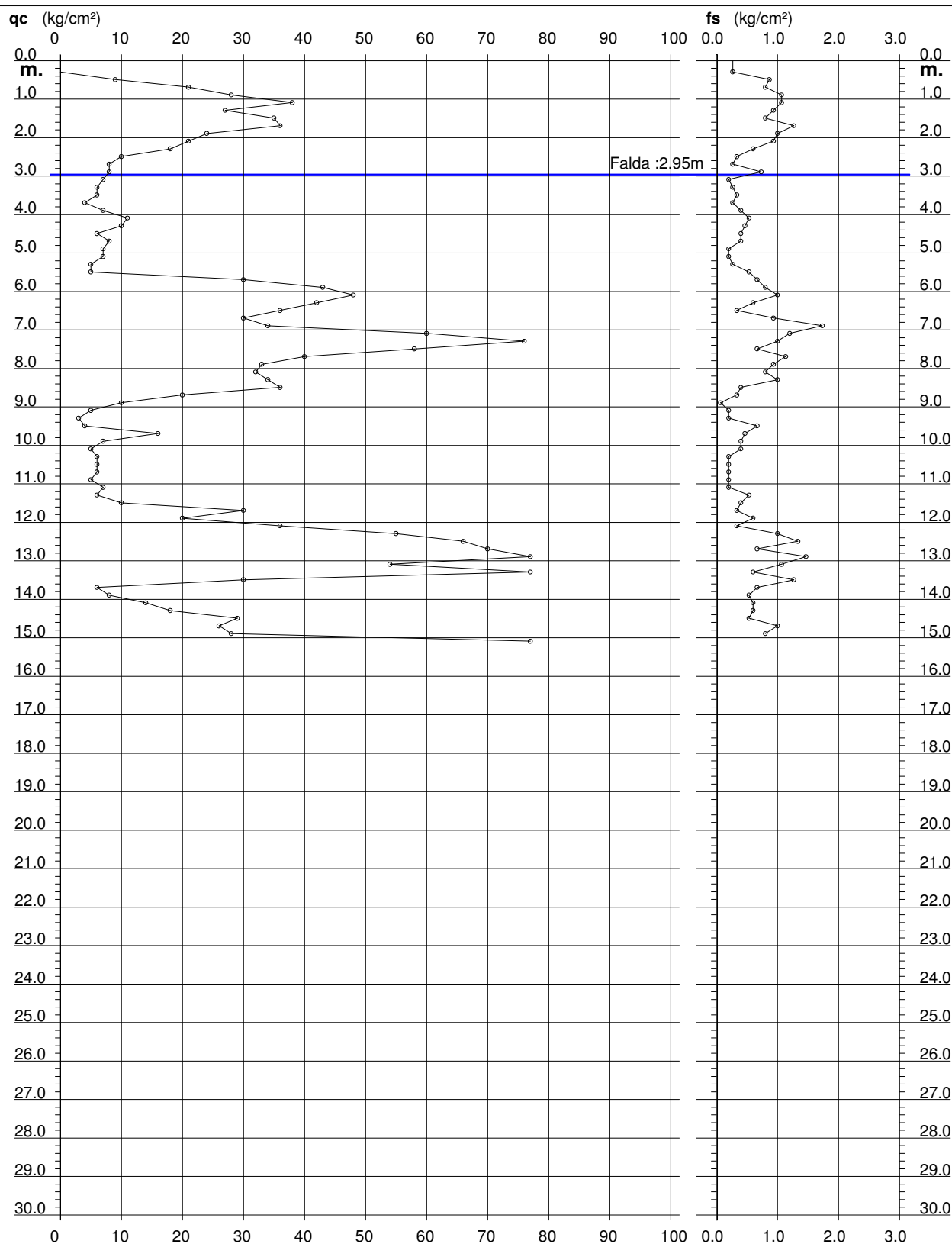
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
- lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
- località : LONGASTRINO-FE-

- data : 19/01/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2.95 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



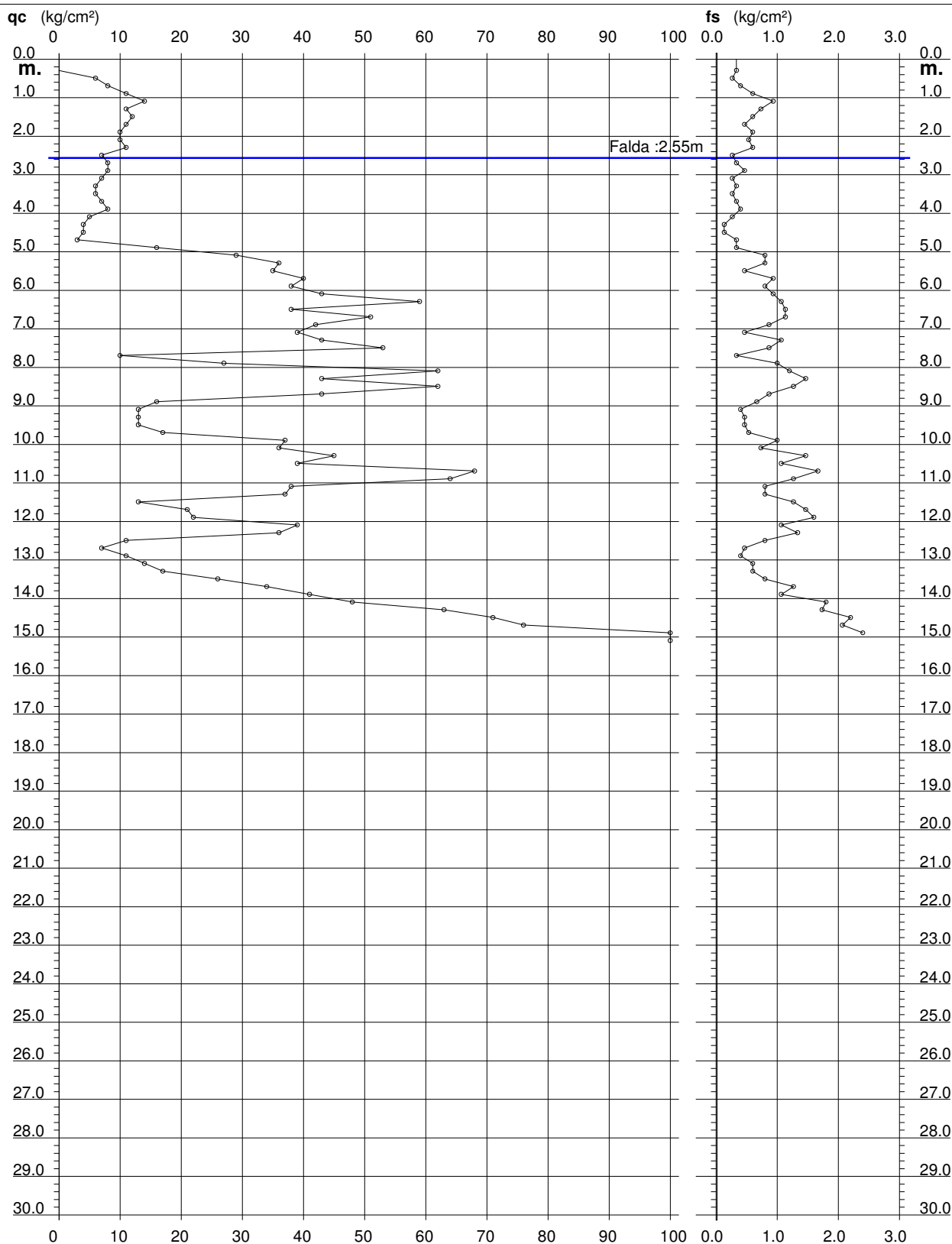
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
- lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
- località : LONGASTRINO-FE-

- data : 19/01/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2.55 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



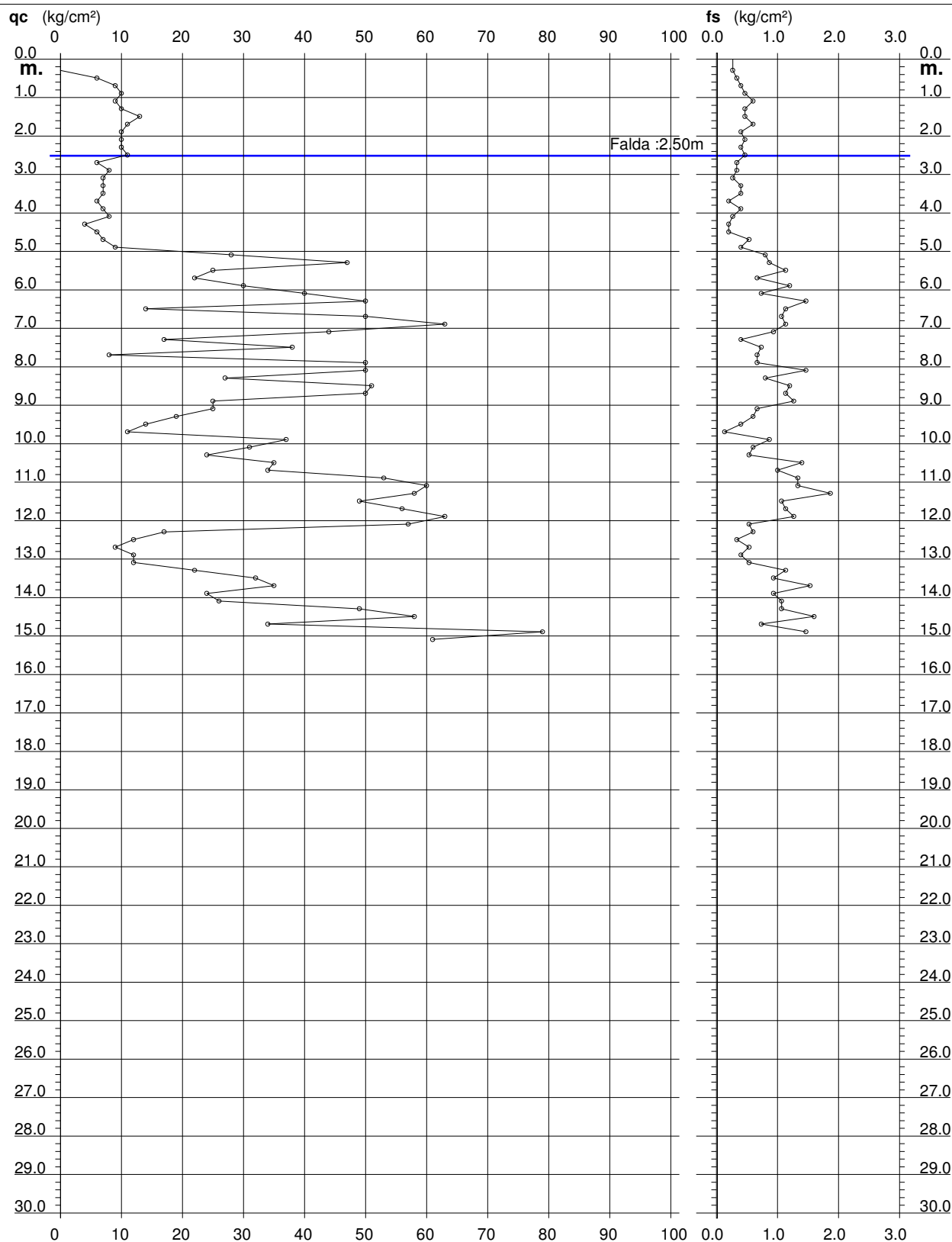
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
- lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
- località : LONGASTRINO-FE-

- data : 19/01/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2.50 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



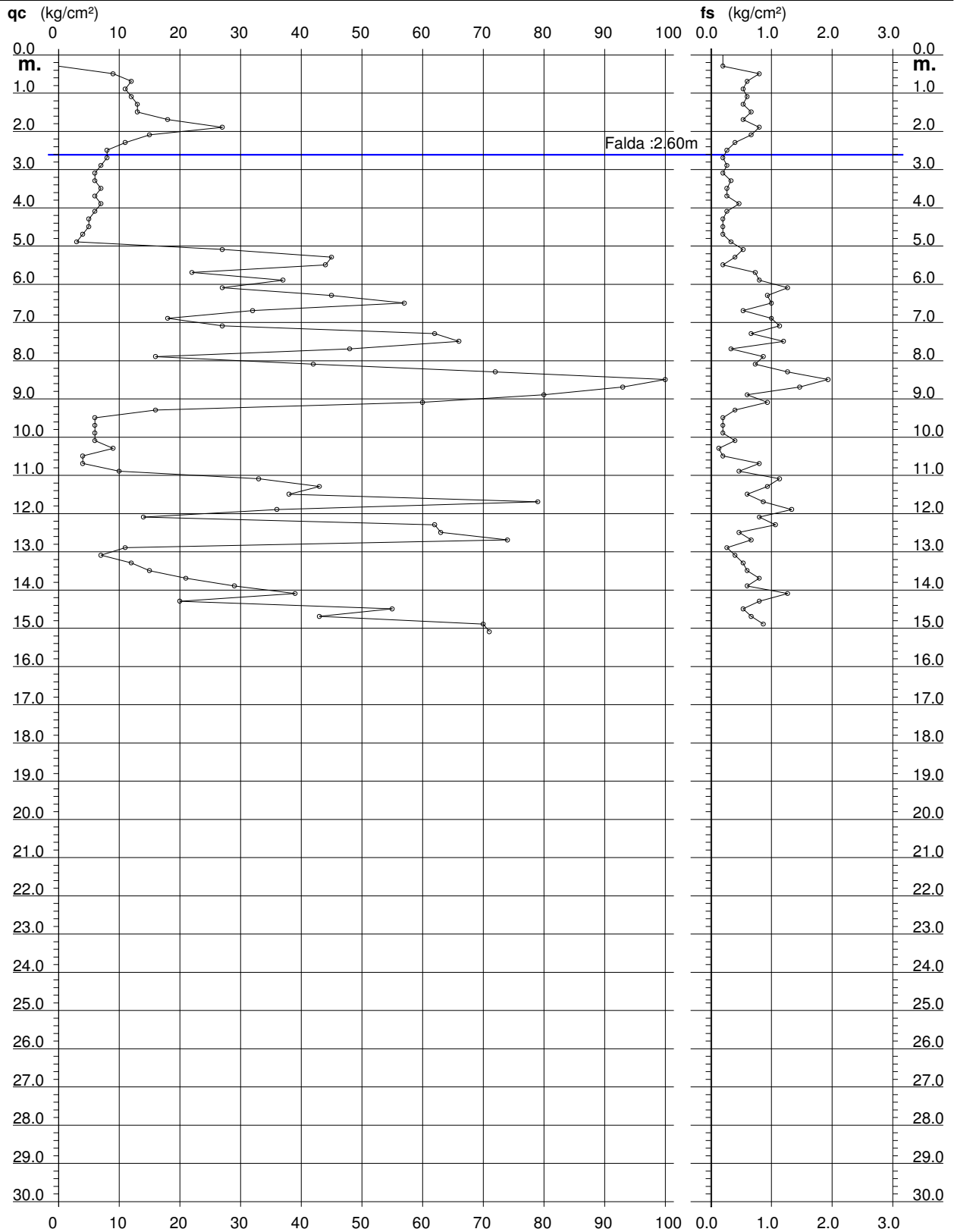
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
- lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
- località : LONGASTRINO-FE-

- data : 19/01/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2.60 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



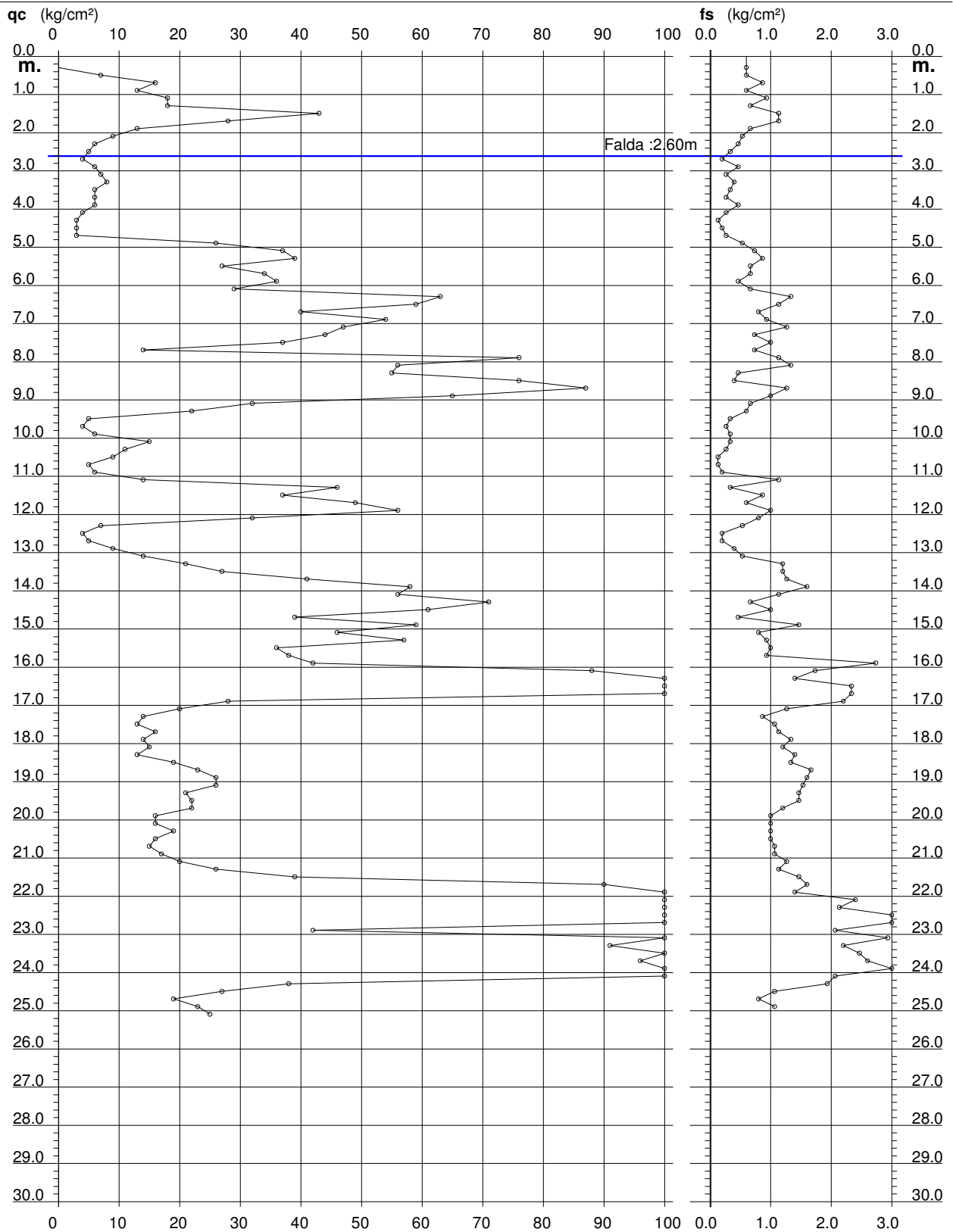
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
- lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
- località : LONGASTRINO-FE-

- data : 19/01/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2.60 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



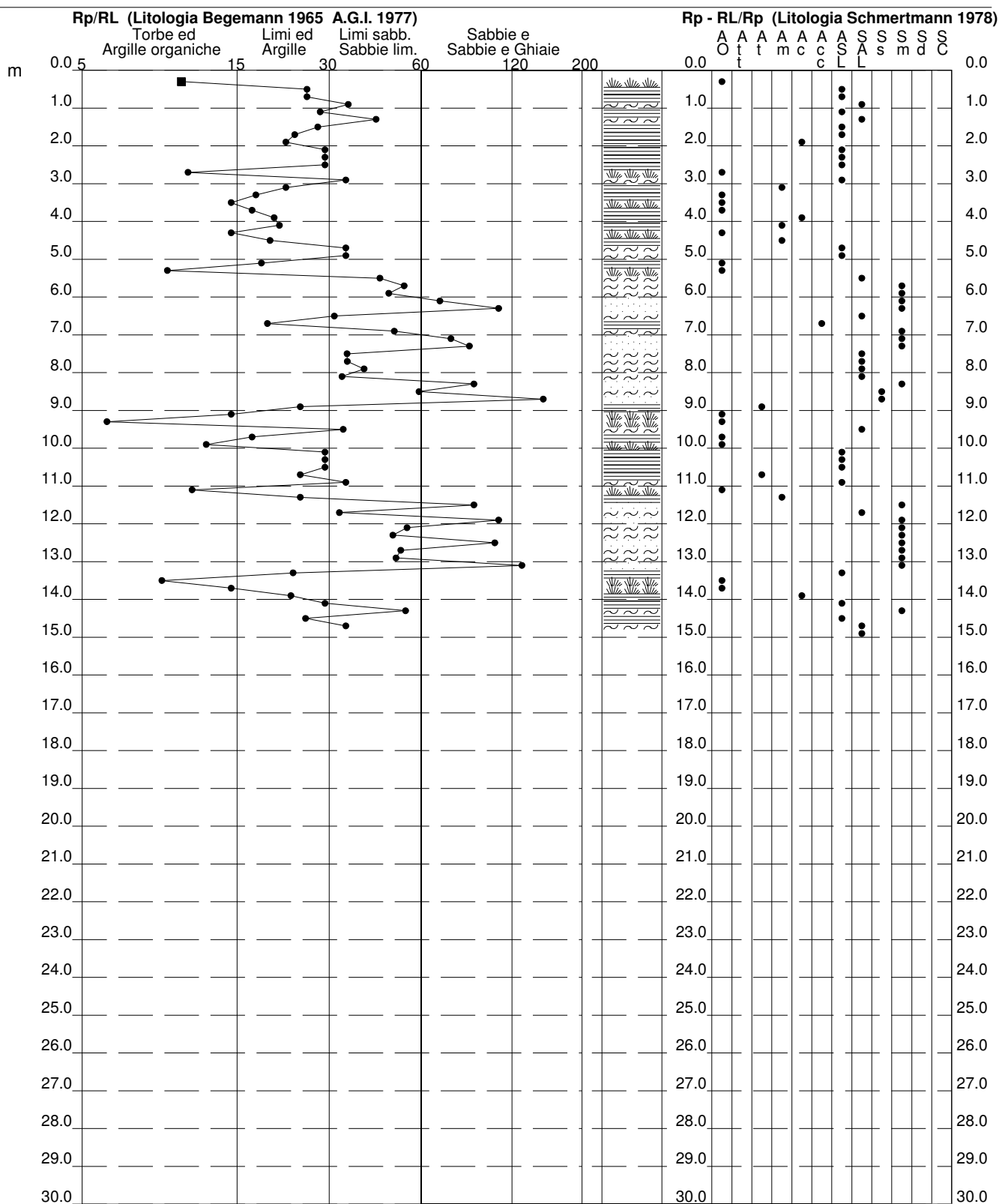
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
 - lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
 - località : LONGASTRINO-FE-
 - note :

- data : 19/01/2010
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2.95 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 150



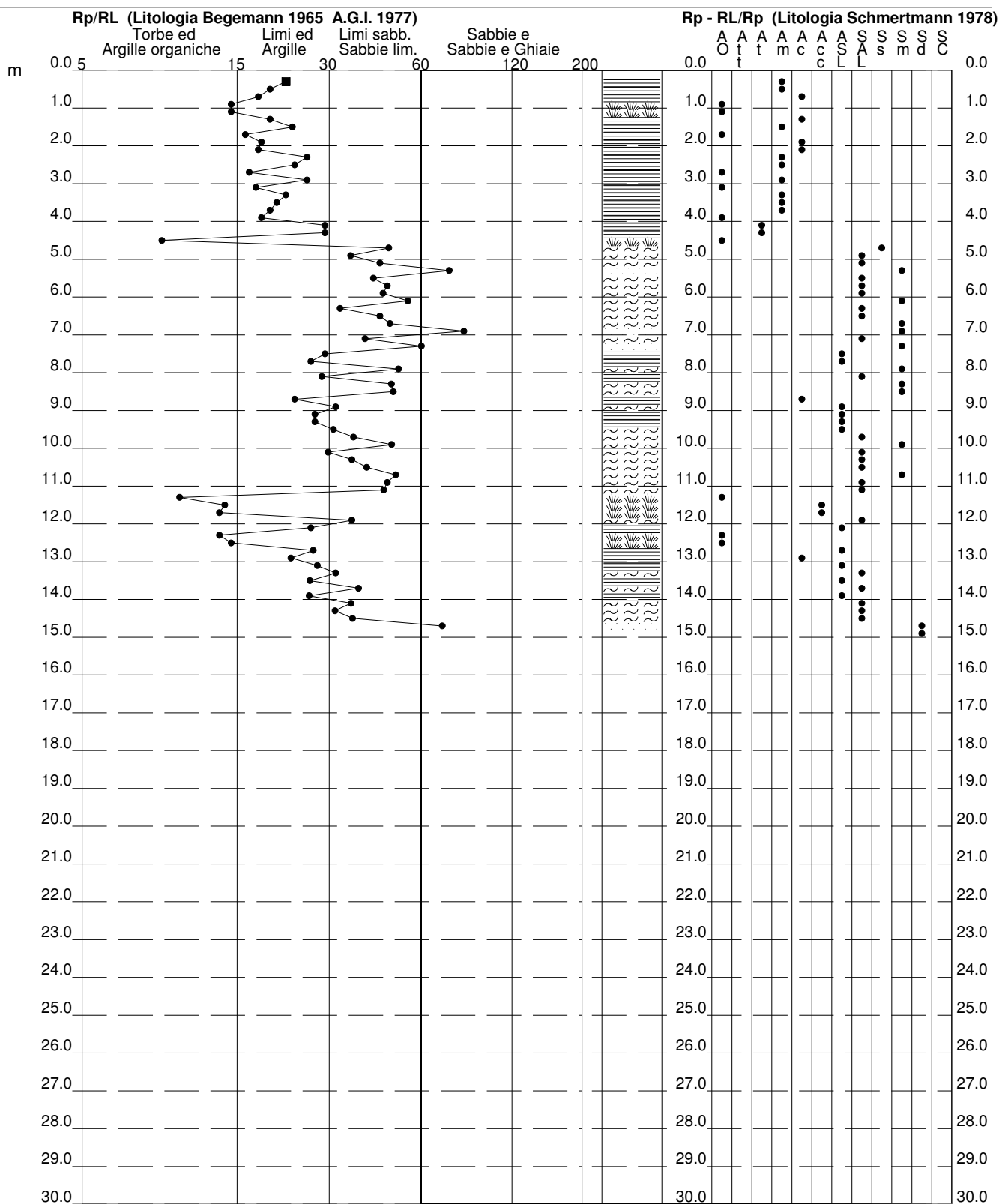
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
 - lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
 - località : LONGASTRINO-FE-
 - note :

- data : 19/01/2010
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2.55 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 150



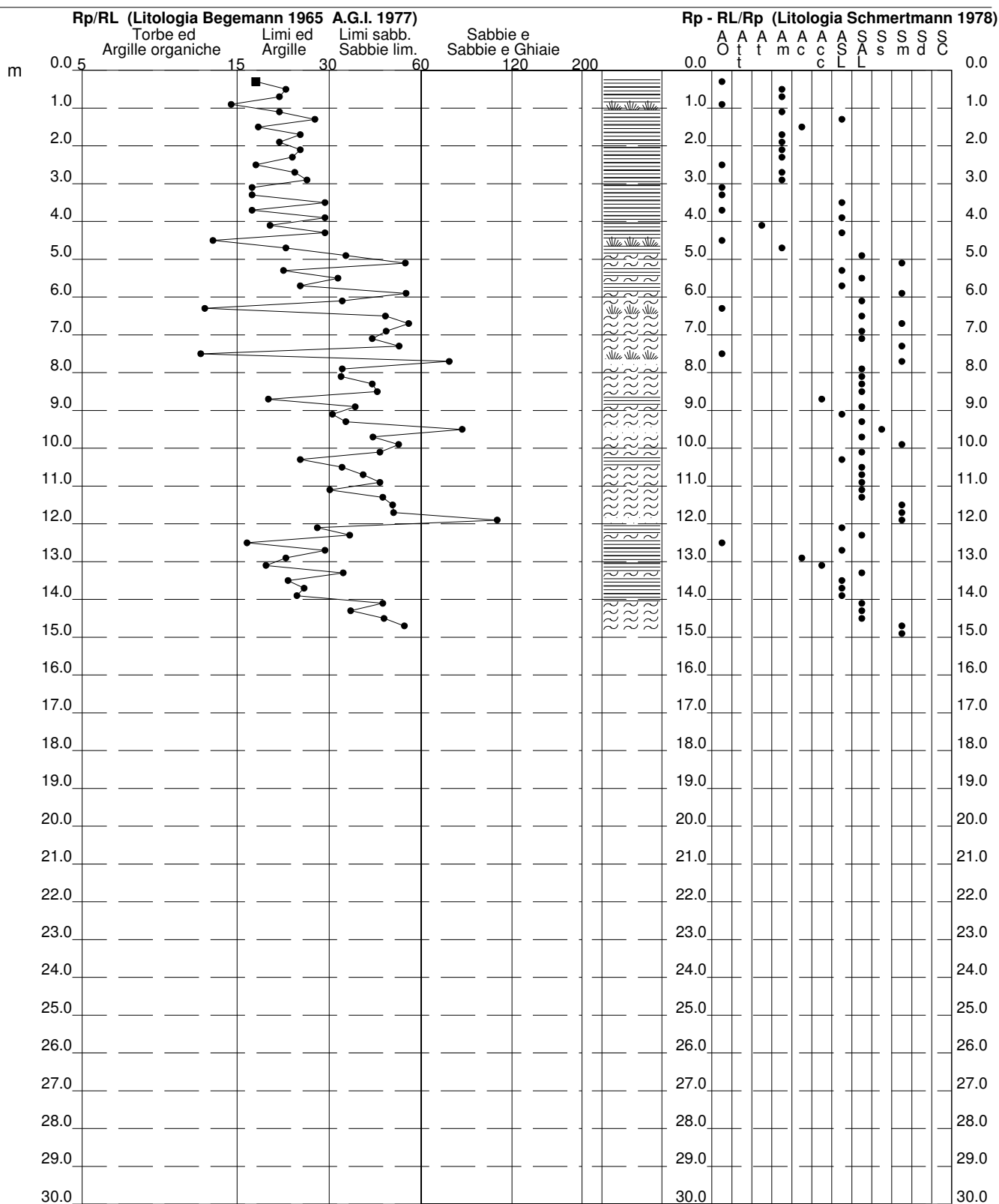
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 4

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
- lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
- località : LONGASTRINO-FE-
- note :

- data : 19/01/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2.50 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



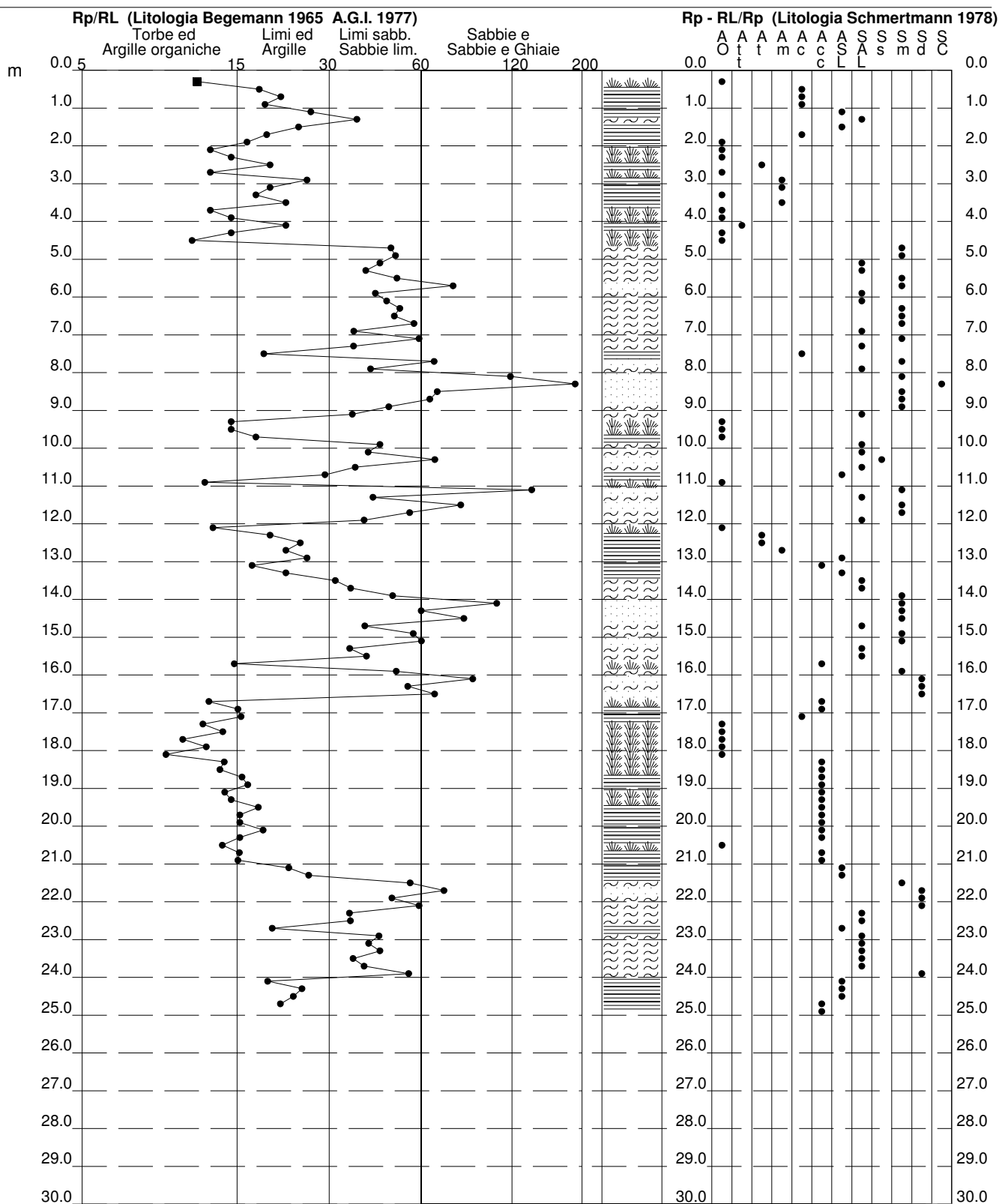
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
 - lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
 - località : LONGASTRINO-FE-
 - note :

- data : 19/01/2010
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2.60 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 150



**PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 2

2.01PG05-049

- committente : GUERRINI QUARTO E ROSANNA
- lavoro : NUOVA URBANIZZAZIONE
- località : LONGASTRINO-FE-
- note :

- data : 19/01/2010
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2.60 m da quota inizio
- pagina : 2

| Prof. m | qc kg/cm ² | qc/fs (-) | Natura Litol. | Y' t/m ³ | d'vo kg/cm ² | Cu kg/cm ² | OCR (-) | NATURA COESIVA | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------|--------------|------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----|-----|-----|-----|----|----|
| | | | | | | | | Eu50 kg/cm ² | Eu25 kg/cm ² | Mo kg/cm ² | Dr % | ø1s (°) | ø2s (°) | ø3s (°) | ø4s (°) | ødm (°) | ømy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm ² | E'25 kg/cm ² | Mo kg/cm ² | | | | | | |
| 20.20 | 19 | 19 | 2//// | 0.99 | 2.00 | 0.78 | 1.9 | 437 | 656 | 58 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 20.40 | 16 | 16 | 2//// | 0.96 | 2.02 | 0.70 | 1.7 | 401 | 602 | 52 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 20.60 | 15 | 14 | 2//// | 0.95 | 2.03 | 0.67 | 1.6 | 387 | 581 | 50 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 20.80 | 17 | 16 | 2//// | 0.97 | 2.05 | 0.72 | 1.7 | 416 | 624 | 54 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 21.00 | 20 | 16 | 4:/:/ | 0.93 | 2.07 | 0.80 | 1.9 | 452 | 678 | 60 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 27 | -- | -- | -- | -- | -- | 33 | 50 | 60 | -- | |
| 21.20 | 26 | 23 | 4:/:/ | 0.95 | 2.09 | 0.93 | 2.3 | 505 | 758 | 78 | 8 | 29 | 32 | 35 | 39 | 25 | 28 | 0.017 | -- | -- | -- | -- | 43 | 65 | 78 | -- | |
| 21.40 | 39 | 27 | 4:/:/ | 1.00 | 2.11 | 1.30 | 3.4 | 594 | 891 | 117 | 21 | 31 | 34 | 37 | 40 | 28 | 30 | 0.041 | -- | -- | -- | -- | 65 | 98 | 117 | -- | |
| 21.60 | 90 | 56 | 3:~:~ | 0.98 | 2.13 | -- | -- | -- | -- | -- | 50 | 35 | 37 | 40 | 42 | 32 | 33 | 0.104 | -- | -- | -- | -- | 150 | 225 | 270 | -- | |
| 21.80 | 101 | 72 | 3:~:~ | 1.00 | 2.15 | -- | -- | -- | -- | -- | 54 | 36 | 38 | 40 | 42 | 33 | 34 | 0.113 | -- | -- | -- | -- | 168 | 253 | 303 | -- | |
| 22.00 | 118 | 49 | 3:~:~ | 1.03 | 2.17 | -- | -- | -- | -- | -- | 59 | 36 | 38 | 40 | 43 | 34 | 35 | 0.127 | -- | -- | -- | -- | 197 | 295 | 354 | -- | |
| 22.20 | 128 | 60 | 3:~:~ | 1.04 | 2.19 | -- | -- | -- | -- | -- | 61 | 37 | 39 | 41 | 43 | 34 | 35 | 0.134 | -- | -- | -- | -- | 213 | 320 | 384 | -- | |
| 22.40 | 115 | 36 | 3:~:~ | 1.02 | 2.21 | -- | -- | -- | -- | -- | 57 | 36 | 38 | 40 | 43 | 33 | 35 | 0.123 | -- | -- | -- | -- | 192 | 288 | 345 | -- | |
| 22.60 | 111 | 36 | 3:~:~ | 1.02 | 2.23 | -- | -- | -- | -- | -- | 56 | 36 | 38 | 40 | 42 | 33 | 34 | 0.120 | -- | -- | -- | -- | 185 | 278 | 333 | -- | |
| 22.80 | 42 | 20 | 4:/:/ | 1.00 | 2.25 | 1.40 | 3.5 | 635 | 952 | 126 | 22 | 31 | 34 | 37 | 40 | 28 | 30 | 0.042 | -- | -- | -- | -- | 70 | 105 | 126 | -- | |
| 23.00 | 131 | 45 | 3:~:~ | 1.05 | 2.27 | -- | -- | -- | -- | -- | 61 | 37 | 39 | 41 | 43 | 34 | 35 | 0.134 | -- | -- | -- | -- | 218 | 328 | 393 | -- | |
| 23.20 | 91 | 41 | 3:~:~ | 0.99 | 2.29 | -- | -- | -- | -- | -- | 48 | 35 | 37 | 39 | 42 | 32 | 33 | 0.100 | -- | -- | -- | -- | 152 | 228 | 273 | -- | |
| 23.40 | 111 | 45 | 3:~:~ | 1.02 | 2.31 | -- | -- | -- | -- | -- | 55 | 36 | 38 | 40 | 42 | 33 | 34 | 0.117 | -- | -- | -- | -- | 185 | 278 | 333 | -- | |
| 23.60 | 96 | 37 | 3:~:~ | 0.99 | 2.33 | -- | -- | -- | -- | -- | 50 | 35 | 37 | 40 | 42 | 32 | 34 | 0.104 | -- | -- | -- | -- | 160 | 240 | 288 | -- | |
| 23.80 | 136 | 40 | 3:~:~ | 1.05 | 2.35 | -- | -- | -- | -- | -- | 62 | 37 | 39 | 41 | 43 | 34 | 35 | 0.135 | -- | -- | -- | -- | 227 | 340 | 408 | -- | |
| 24.00 | 115 | 56 | 3:~:~ | 1.02 | 2.38 | -- | -- | -- | -- | -- | 56 | 36 | 38 | 40 | 42 | 33 | 35 | 0.119 | -- | -- | -- | -- | 192 | 288 | 345 | -- | |
| 24.20 | 38 | 20 | 4:/:/ | 0.99 | 2.40 | 1.27 | 2.8 | 641 | 962 | 114 | 17 | 30 | 33 | 36 | 39 | 27 | 30 | 0.033 | -- | -- | -- | -- | 63 | 95 | 114 | -- | |
| 24.40 | 27 | 25 | 4:/:/ | 0.95 | 2.41 | 0.95 | 1.9 | 533 | 800 | 81 | 5 | 29 | 32 | 35 | 38 | 25 | 28 | 0.013 | -- | -- | -- | -- | 45 | 68 | 81 | -- | |
| 24.60 | 19 | 24 | 2//// | 0.99 | 2.43 | 0.78 | 1.5 | 452 | 678 | 58 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | |
| 24.80 | 23 | 22 | 4:/:/ | 0.94 | 2.45 | 0.87 | 1.7 | 498 | 748 | 69 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 28 | -- | -- | -- | -- | -- | 38 | 58 | 69 | -- | |
| 25.00 | 25 | -- | 4:/:/ | 0.94 | 2.47 | 0.91 | 1.8 | 518 | 778 | 75 | 2 | 28 | 32 | 35 | 38 | 25 | 28 | 0.006 | -- | -- | -- | -- | 42 | 63 | 75 | -- | |