

# COMUNE DI PIEVE DI CENTO

Area compresa nell'ambito AR-B del PSC sub ambito E di riqualificazione  
Localita' Capoluogo, Settore Urbano 1 Centro Storico

Piano urbanistico Attuativo (PUA) finalizzato alla localizzazione di una  
medio-piccola struttura di vendita alimentare e non alimentare

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO TECNICO

**Proprieta':**

Coop Reno - Via Panzacchi, 2 - 40016 S.Giorgio di Piano (BO)  
Iscritta all'albo nazionale delle società cooperative al n°  
A102631 – Registro Imprese 03830560375 – P.I.  
01781461205

**I tecnici:**

**Arch. Davide Busi**

**Ing. Riccardo Ricciarelli**

**Dott. Geol. Alberto Filelfi** - Via Manfredi 27 40138 Bologna  
Iscritto all'Albo dei Geologi dell'Emilia-Romagna al n. 1115  
C.F: FLLLRT75C02E655F

N. Protocollo Ufficio Tecnico

OGGETTO TAVOLA:

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

**Suolo - Sottosuolo - Acque**

ELABORATO N. 10

Data

Marzo 2014

# COMUNE DI PIEVE DI CENTO

PROVINCIA DI BOLOGNA

AREA COMPRESA NELL'AMBITO "AR-B" DEL PSC "SUB AMBITO E"  
DI RIQUALIFICAZIONE LOCALITA' CAPOLUOGO,  
SETTORE URBANO 1, CENTRO STORICO

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO (PUA) FINALIZZATO ALLA LOCALIZZAZIONE  
DI UNA MEDIO-PICCOLA STRUTTURA DI VENDITA ALIMENTARE E NON  
ALIMENTARE

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

### SUOLO-SOTTOSUOLO-ACQUE

Committente: COOP RENO

Redazione: Dott. Alberto Filelfi



Spazio per ufficio tecnico



**Dott. Geol. Alberto Filelfi**  
Studio di Geologia Applicata ed Ambientale  
Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna A.P. n°1115

Data  
Marzo 2014

Prot. Int.: RG111403141

## INDICE

<b>1 - INTRODUZIONE.....</b>	<b>1</b>
<b>2 - NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>3 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO.....</b>	<b>2</b>
<b>4 - VINCOLI NORMATIVI DI CARATTERE GEOLOGICO.....</b>	<b>2</b>
<b>5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>3</b>
<b>6 - INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>4</b>
<b>7 - SUOLO E SOTTOSUOLO: ANALISI DEI DATI.....</b>	<b>5</b>
<b>8 - ACQUA: IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>7</b>
<b>9 - STUDIO SISMICO DELL'AREA.....</b>	<b>9</b>
<b>10 - OPERE IN PROGETTO ED ESAME DELLO SCENARIO FUTURO.....</b>	<b>19</b>
<b>11 - CONSIDERAZIONI FINALI.....</b>	<b>20</b>

In allegato:

Tavola 1 - Corografia, scala 1:25.000

Tavola 2 - Inquadramento Territoriale, scala 1:5.000

Tavola 3 - Inquadramento Geologico, scala 1:5.000

Tavola 4 - PSC – Stralcio tavola 1.2b - Inquadramento Idrogeologico, scala 1:25.000

Tavola 5 - PTCP - Stralcio tavola 1 – Pericolosità sismica – Effetti Locali, scala 1:5000

Tavola 6 - PSC - Stralcio tavola 1 – Pericolosità sismica – Effetti Locali, scala 1:5000

Tavola 7 - PSC - Stralcio tavola 2 – Microzonazione sismica semplificata, scala 1:5000

Tavola 8 - Ubicazione indagini geognostiche, scala 1:500

Allegato A – Indagini Geognostiche: tabulati e grafici

Allegato B – Studio geofisico

Allegato C – Verifiche di liquefazione e dei cedimenti post sismici

## 1 - **INTRODUZIONE**

Nella relazione seguente sono presentati i risultati dell'indagine geologica, idrogeologica e sismica effettuata nell'area compresa nell'ambito AR-B del PSC - sub ambito E - di riqualificazione Località' Capoluogo, Settore Urbano 1, Centro Storico.

Scopo dello studio è quello di ricostruire le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche del comparto in modo tale da valutare la fattibilità, dal punto di vista geologico e sismico delle nuove opere in progetto. Lo studio analizzerà in maniera dettagliata anche le componenti SUOLO-SOTTOSUOLO-ACQUE in modo tale da avere tutti gli elementi necessari per procedere con la modifica ai vari strumenti pianificatori (PSC, RUE, POC) secondo gli accordi programmatici tra la Proprietà ed il Comune di Pieve di Cento.

Lo studio è stato impostato nel seguente modo:

- Definizione delle normative di riferimento.
- Consultazione della cartografia tematica dell'area:
  - Carta Geologica di pianura della Regione Emilia-Romagna, scala 1:25.000 (Vedi tav. 2).
  - Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:10.000.
  - Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000.
  - Tavole PTCP – Provincia di Bologna (vedi tavola 5).
  - Tavole PSC Comune di Pieve di Cento (Vedi tav. 6-7).
- Studio geologico del comparto
  - Rilievo di dettaglio dell'area e di un suo significativo intorno per accertare il quadro geologico e geomorfologico generale.
  - Esecuzione di n°3 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) e n°2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.
  - Realizzazione di n°5 trincee esplorative profonde da 2 a 2,5 m per analizzare i terreni superficiali e creare i perfori nel piazzale asfaltato propedeutici alla realizzazione delle prove CPTU e CTP.
  - Consultazione di alcuni dati geognostici e idrogeologici contenuti nel Piano di Caratterizzazione del sito, realizzato nell'aprile 2006 dal Dott. Geol. Michele Dall'Olmo.
  - Ricostruzione del modello geologico del sottosuolo.
- Studio Idrologico ed idrogeologico.
- Studio geofisico del lotto con realizzazione di n°1 MASW e di n°1 misura del rumore ambientale (HVSr).
- Studio di risposta sismica locale (Secondo la metodologia riportata nel III livello di approfondimento del DAL 112/2007).
- Verifiche del potenziale di liquefazione del sito e dei cedimenti post sismici.
- Caratterizzazione dello scenario futuro, individuando e valutando i principali impatti indotti sulla componente nella fase di trasformazione del territorio interessato e nel periodo di vita dei comparti.



## 2 - **NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

- Ordinanza O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Raccomandazioni AGI maggio 1994 “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”.
- Linee guida AGI 2005 “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”.
- Delibera Assemblea Legislativa Regione Emilia Romagna n° 112/2007 - Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”.
- Norme tecniche per le costruzioni: Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008).
- Circolare Cons. Sup. LL.PP. N° 617/2009: Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n° 152 “Norme in materia ambientale”.
- PTCP Provincia di Bologna – Variante al PSC in materia di riduzione del rischio sismico - Delibera del Consiglio provinciale n°57 del 28/10/2013.
- PSC - *Comune di Pieve di Cento*.
- PSC - *Comune di Pieve di Cento - Variante al PSC in materia di Rischio Sismico (2013)*.

## 3 - **INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**

Il comparto è identificato nella seguente cartografia:

- Tavola 202-NE della Carta Tecnica Regionale a scala 1:25.000 (Vedi tav. 1).
- Elemento n° 202082 della Carta Tecnica Regionale a scala 1:5.000 (Vedi tav. 2).

## 4 - **VINCOLI NORMATIVI DI CARATTERE GEOLOGICO**

### ***PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP)***

Il lotto oggetto di studio è inserito nella cartografia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP). Dalla consultazione delle carte tematiche del PTCP si è visto che negli elaborati riguardanti il Rischio Sismico il lotto ricade in un ambito “L1-Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione”. (Vedi tavola 4).

### ***PIANO STRUTTURALE COMUNALE (PSC)***

Nel PSC del Comune di Pieve di Cento, e successive varianti, l'area studiata presenta le seguenti caratteristiche geologiche - idrogeologiche e sismiche:

- **Tessiture superficiali e ambiente deposizionale** (Tav AC 1.1b e Tav. AC 1.5.3 del QC PSC) :  
sabbie di piana alluvionale - depositi di canale del Reno e di argine prossimale.
- **Idrogeologia** (Tav AC 1.2b del QC PSC in forma associata): prima falda con soggiacenza media di circa 3 m. Deflusso sotterraneo verso NNE.

- **Zonizzazione geotecnica**

SS = Zone caratterizzate da terreni di qualità scadente ( $r_p < 1.000$  kPa) sia nel primo (0÷5 m) che nel secondo intervallo considerato (5÷10 m). Possono essere considerate edificabili con le normali tecniche costruttive (fondazioni superficiali a "nastro" - trave rovescia continua legata -) per insediamenti di modesto impegno (pressioni di esercizio non superiori a 10 t/ml). Per edifici anche di normale impegno (pressioni di esercizio di 10÷12 t/ml), possono presentarsi limitazioni dovute sia all'interazione struttura-sedimenti (cedimenti assoluti e differenziali), sia all'entità della pressione di esercizio, tali da richiedere fondazioni particolari.

- **Pericolosità e Microzonazione sismica semplificata (DAL n.112/2007)**

Aree suscettibili di effetti locali (Tav. 1- Variante PSC ) Area L1  $\equiv$  liquefazione potenziale da verificare.

Microzonazione sismica (Tav. 2 Variante PSC)  $\rightarrow$  Zona L1-3  $\equiv$  contesto "Pianura 2"; amplificazione  $FA(Pga) = 1,5$ ,  $FA SI (0,1s \div 0,5s) = 1,8$ ,  $FA SI (0,5s \div 1,0s) = 2,5$ ; liquefazione potenziale da verificare (richiesti approfondimenti di terzo livello).

## 5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il lotto in esame è collocato nella bassa pianura bolognese, nell'estremo SO del centro storico dell'abitato di Pieve di Cento, nei pressi della strada Via Circonvallazione di Ponente. In particolare il comparto studiato si trova ad una quota topografica di 17 m s.l.m. in un contesto urbano dove le forme naturali risultano totalmente nascoste e alterate dalle varie opere di urbanizzazione. In passato, in corrispondenza della circonvallazione del centro storico, sorgeva la cinta muraria che collegava le varie porte di accesso alla cittadina fortificata ed il fossato prospiciente le mura. Da alcune carte storiche consultabili in Comune si vede chiaramente come le mura ed il fossato fossero ancora cartografati nelle mappe del 1881 mentre nelle carte del 1931 non risulta più la presenza di mura e fossato.

Da quel che si evince dalla lettura della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna l'area esaminata è interessata dai depositi quaternari dell'unità di Modena (AES8a). Si tratta di unità costituite essenzialmente da sabbie, limi sabbiosi e limi alternati a depositi grossolani di sabbie e ghiaie, strutturati in corpi canalizzati e lenticolari, e livelli a prevalenza argillosa e limosa disposti in strati piano-paralleli derivanti dall'avvicendamento di diversi

cicli deposizionali e dai cambi di percorso dei corsi d'acqua all'interno delle piane inondabili. Il lasso di tempo entro cui è stata datata la deposizione di questi sedimenti, oscilla tra l'Olocene e l'attuale.

Da quel che si evince dalla lettura della Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna (a cura di R.E.R. – Servizio Sistemi Informativi Geografici – Ufficio Geologico - scala 1:250.000) la zona studiata si trova sopra a *“depositi di Canale e argine prossimale”* costituiti da *“sabbie medie e fini di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi”* (vedi tavola 3).

*Da alcuni studi di caratterizzazione ambientale del lotto, effettuati dal Dott. Geol. Dal Pian e dal Dott. Geol. Mattioli, si evince che in tutta l'area studiata, e verosimilmente anche nelle prime aree limitrofe, è presente in superficie, uno strato spesso da 1,5 ma 2,5 m di terreno di riporto costituito da laterizi, ghiaie, sabbie, fanghi ecc. Tali materiali sono stati sistemati nell'area molti decenni fa, probabilmente per livellare il terreno. Dalle indagini ambientali eseguite dai due professionisti risulta che la qualità delle matrici suolo e sottosuolo risulta conforme agli standard di legge previsti per i siti ad uso commerciale e industriale.*

## **6 - INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Allo scopo di definire puntualmente le caratteristiche geomeccaniche e stratigrafiche dei terreni del comparto sono state realizzate n°3 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU e n°2 prove penetrometriche statiche CPT, ubicate in punti significativi per l'opera in progetto, come riportato nella tavola 8.

Per effettuare le prove CPT/CPTU è stato necessario effettuare dei prefiori con escavatore meccanico profondi mediamente 2 m in quanto in tutta l'area investigata è presente un livello di riporto, spesso da 1,6 a 2,2 m, costituito da inerti, laterizi, mattoni, fanghi, ecc., impermeabili dalle strumentazioni utilizzate.

### ***PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO - CPTU***

Le prove sono state eseguite il giorno 12/02/14 con un penetrometro TGSW03 Pagani dotato di una spinta di 300 kN, montato su camion Unimog.

La prova penetrometrica statica con piezocono, analogamente alla prova statica meccanica CPT, consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm/sec}$ ). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta idraulica, che agisce su una batteria di aste alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica dotata di un dispositivo di registrazione delle resistenze di punta e laterali alla penetrazione, tramite trasduttori elettrici. Inoltre, è posizionato nei pressi della punta un setto poroso a bagno d'olio che consente la misura in continuo della pressione idrostatica dei terreni indagati. I dati vengono registrati con intervalli regolari di 1 cm e trasmessi ad una centralina posta in superficie, tramite un cavo elettrico passante all'interno delle aste.

Le indagini hanno raggiunto le profondità rispettivamente di -20,10 m per la prova CPTU1, -18,22 m per la CPTU2 e -15,02 m per la CPTU3. Le indagini CPTU 1 e 2 avrebbero dovuto raggiungere entrambe la quota di -20 m dal p.c. ma ciò non è stato possibile in quanto nella prova CPTU2 il camion Unimog ha iniziato a sollevarsi da terra già dai -17 m di profondità e gli ancoraggi supplementari non si riuscivano ad invitare nel

terreno a causa dei materiali inerti, spessi circa 2 m, presenti in tutto il lotto. Il sollevamento del camion è stato provocato dal forte attrito laterale sulle aste generato dalle argille presenti oltre i -15 m di profondità.

Le profondità indagate hanno permesso comunque di effettuare la verifica del potenziale di liquefazione del sito in quanto a profondità tra 15 m e 20 m è raro che si verifichino fenomeni di liquefazioni per sismi di media intensità. Oltre i 20 m il fenomeno di liquefazione del terreno non può avvenire per motivi fisici.

#### **PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT**

Le indagini sono state eseguite in data 12/02/2014 con un penetrometro Deep Drill SP100-C.

La prova penetrometrica statica consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2$  cm/sec). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta idraulica, che agisce su una batteria doppia di aste alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo Begemann).

La lettura dei valori di  $Q_c$  (resistenza di punta) –  $f_s$  (resistenza laterale) vengono effettuate mediante un manometro idraulico e vengono registrate ad intervalli regolari di 20 cm.

La prova CPT1 è stata spinta fino a -13,0 m dal p.c. mentre la prova CPT2 è stata spinta fino a -15,0 m dal p.c.

## **7 – SUOLO E SOTTOSUOLO: ANALISI DEI DATI**

### **LITOSTRATIGRAFIA**

Le indagini hanno evidenziato come il sito sia caratterizzato da un'unità di riporto superficiale dello spessore variabile da 1,60 m a 2,20 m costituito da materiali eterogenei (inerti, laterizi, mattoni, fanghi, sabbie, ecc.).

Tale livello è stato studiato dal Dott. Geol. Dall'Olmo nel 2006 nell'ambito di un Piano di Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 dell'area. Le analisi indicano che *“... la qualità delle matrici suolo-sottosuolo risulta conforme agli standard di legge previsti per i siti ad uso commerciale ed industriale”*.

Oltrepassato il livello di riporto superficiale, e fino a circa -4,20÷-5,5 m dal p.c., si incontrano terreni di natura prevalentemente limosa con intercalate lenti decimetriche di sabbie limose ed argille poco consistenti (Unità A). In corrispondenza della sola prova CPTU3 è stata individuata una lente sabbiosa / sabbia limosa addensata tra -4,2 m e -5,5 m di profondità (unità B). Da -5,5÷-5,6 m si individuano terreni mediocri di natura limoso-argillosa con livelli di argille poco consistenti presenti fino al massimo a -7,8 m nella CPTU2. Sotto l'unità C le indagini indicano la presenza di una lente di sabbia limosa con intercalate lenti decimetriche di sabbia, spessa circa 1 m (unità D). Oltre i -7÷-8 m di profondità tutte le indagini individuano una diminuzione della granulometria dei sedimenti (unità E e F) con consistenza variabile da bassa (unità E) a moderata (Unità F).

Nella seguente tabella sono riassunte le principali unità litostratigrafie del comparto:

UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE					
Unità litostratigrafica	Descrizione litologia	Indagine	Profondità (m dal p.c.)	Qc min (Kg/cm <sup>2</sup> )	Qc max (Kg/cm <sup>2</sup> )
TR	Terreno di riporto	CPTU1	Da 0,0 a -1,60	-	-
		CPTU2	Da 0,0 a -2,50	-	-
		CPTU3	Da 0,0 a -2,21	-	-
		CPT1	Da 0,0 a -2,20	-	-
		CPT2	Da 0,0 a -2,20	-	-
A	Limi con intercalati livelli decimetrici di sabbie ed argille	CPTU1	Da -1,60 a -5,27	2	22
		CPTU2	Da -2,50 a -5,54	3	31
		CPTU3	Da -2,21 a -4,20	3	31
		CPT1	Da -2,20 a -5,60	3	24
		CPT2	Da -2,20 a -5,20	3	30
B	Sabbie e sabbie limose da mediamente addensate ad addensate	CPTU3	Da -4,20 a -5,50	15	70
C	Limi ed argille debolmente consistenti con livelli di argille poco consistenti	CPTU1	Da -5,27 a -6,40	4	8
		CPTU2	Da -5,54 a -7,79	5	18
		CPTU3	Da -5,50 a -6,78	4	10
		CPT1	Da -5,60 a -7,00	2	8
		CPT2	Da -5,20 a -6,60	5	10
D	Limi sabbiosi e sabbie limose con livelli decimetrici di sabbia	CPTU1	Da -6,40 a -7,48	6	49
		CPTU2	Da -7,79 a -8,64	8	19
		CPTU3	Da -6,78 a -7,84	6	45
		CPT1	Da -7,00 a -8,00	12	38
		CPT2	Da -6,60 a -7,20	16	18
E	Limi e argille	CPTU1	Da -7,48 a -10,49	4	16
		CPTU2	Da -8,64 a -11,22	7	20
		CPTU3	Da -7,84 a -10,76	5	19
		CPT1	Da -8,00 a -10,60	4	11
		CPT2	Da -7,20 a -11,00	6	40
F	Argille e limi	CPTU1	Da -10,49 a -20,10	9	42
		CPTU2	Da -11,22 a -18,22	10	28
		CPTU3	Da -10,76 a -15,02	10	24
		CPT1	Da -10,60 a -13,00	12	27
		CPT2	Da -11,00 a -15,00	13	38

Tabella 1 : Unità litostratigrafie

**INDICAZIONE SUI PARAMETRI GEOTECNICI**

L'utilizzo delle penetrometrie statiche meccaniche ed elettriche con piezocono ha permesso di ricavare una serie di parametri geotecnici, differenti in base al tipo di comportamento delle unità indagate. In particolare: per terreni a comportamento principalmente coesivo è possibile fornire i valori della coesione non drenata ( $C_u$ ) e del modulo edometrico ( $M_o$ ); per terreni con un comportamento principalmente incoerente, possono essere stimati i valori di angolo d'attrito ( $\phi$ ); per terreni dalla composizione mista, di cui risulta difficoltosa un'univoca definizione del comportamento alla deformazione, vengono stimati tutti i diversi parametri, per poi scegliere quelli che meglio descrivono la situazione reale.

In base ai dati emersi dalle prove, per ogni unità litostratigrafica sono stati ottenuti mediante correlazioni empiriche prese da bibliografia specialistica i parametri geotecnici delle varie unità litostratigrafiche.

PARAMETRI GEOTECNICI										
Unità litostr.	Prova	Profondità (m dal p.c.)	Descrizione litologia	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)		Cu (kg/cm <sup>2</sup> )		Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	
					Terreni incoerenti		Terreni coesivi			
				med	min	max	min	max	min	max
A	CPTU1	Da -1,60 a -5,27	Limi con intercalati livelli decimetrici di sabbie ed argille	1,85	25	28	0,3	0,4	30	50
	CPTU2	Da -2,50 a -5,54								
	CPTU3	Da -2,20 a -4,20								
	CPT1	Da -2,20 a -5,60								
	CPT2	Da -2,20 a -5,20								
B	CPTU3	Da -4,20 a -5,50	Sabbie e sabbie limose	1,85	29	34	-	-	-	-
C	CPTU1	Da -5,27 a -6,40	Limi ed argille debolmente consistenti con livelli di argille poco consistenti	1,8	-	-	0,15	0,3	10	30
	CPTU2	Da -5,54 a -7,79								
	CPTU3	Da -5,50 a -6,78								
	CPT1	Da -5,60 a -7,00								
	CPT2	Da -5,20 a -6,60								
D	CPTU1	Da -6,40 a -7,48	Limi sabbiosi e sabbie limose con livelli decimetrici di sabbia	1,85	28	30	0,6	0,7	40	60
	CPTU2	Da -7,79 a -8,64								
	CPTU3	Da -6,78 a -7,84								
	CPT1	Da -7,00 a -8,00								
	CPT2	Da -6,60 a -7,20								
E	CPTU1	Da -7,48 a -10,49	Limi e argille	1,85	-	-	0,4	0,6	35	40
	CPTU2	Da -8,64 a -11,22								
	CPTU3	Da -7,84 a -10,76								
	CPT1	Da -8,00 a -10,60								
	CPT2	Da -7,20 a -11,00								
F	CPTU1	Da -10,49 a -20,10	Argille e limi	1,85	-	-	0,7	0,9	40	70
	CPTU2	Da -11,22 a -18,22								
	CPTU3	Da -10,76 a -15,02								
	CPT1	Da -10,60 a -13,00								
	CPT2	Da -11,00 a -15,00								

Tabella 2 – Parametri geotecnici estrapolati dalle prove CPT1 e CPT2 (Legenda:  $\gamma$ =peso di volume naturale;  $\phi$ = angolo di attrito; Cu=Coesione non drenante; Mo=Modulo edometrico).

## 8 – ACQUA: IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA

### IDROLOGIA

L'area in oggetto si trova a meno di un chilometro dalla sponda destra del Fiume Reno (Vedi tavola 1 in allegato). Attorno al letto del Fiume, che nei pressi dell'area studiata curva passando da una direzione verso ENE ad un orientamento verso N, sono presenti alti argini di protezione (Vedi tavola 1 in allegato).

## **IDROGEOLOGIA**

Durante le terebrazioni è stato possibile misurare la profondità della quota di falda in corrispondenza dei fori di indagine ed all'interno di due piezometri già esistenti nel piazzale esterno del edificio da demolire (vedi ubicazione in tavola 8). I piezometri esistenti sono ancora funzionanti e ben protetti ( Pz1 – Pozzetto rosso fuori terra e Pz2 - pozzetto carrabile) e raggiungono rispettivamente i -8 m ed i -10 m di profondità.

Nella seguente tabella vengono riportate le profondità del livello freatico rispetto dal piano campagna attuale misurato con un freatimetro OTT KL 10-30:

Indagine	Data lettura	Soggiacenza falda superficiale [m]
CPTU1	12/02/14	-2,10
CPTU2	12/02/14	-2,00
CPTU3	12/02/14	-2,00
CPT1	12/02/14	-1,98
CPT2	12/02/14	-2,00
Pz1	12/02/14	-1,98
Pz2	12/02/14	-2,04

Tabella 3 -Misure piezometriche realizzate nei fori di prova

Si fa presente che il livello di soggiacenza della falda è soggetto a oscillazioni correlabili direttamente con le precipitazioni meteoriche stagionali. Si avranno quindi degli incrementi positivi di quota durante i periodi con intense precipitazioni meteoriche e negativi nei mesi caratterizzati da siccità. Attualmente la falda si attesta vicino ai livelli medio-alti di ricarica, nei periodi siccitosi può abbassarsi anche di 1-2 m.

Dall'esame della Carta dell'Idrografia e delle risorse idropotabili allegata al QC del PSC - Tav AC 1.2b – (vedi tavola 4 in allegato) la prima falda ha una soggiacenza media di circa 3 m con un deflusso sotterraneo verso NNE.

## **CONSERVAZIONE E TUTELA DELLE ACQUE SOTTERRANEE ED ELEMENTI DI POTENZIALE INQUINAMENTO**

Il settore interessato dalle nuove opere è già urbanizzato ed in gran parte occupato da un vecchio edificio industriale attorniato da parcheggi ed aree per lo più asfaltate. Le nuove opere non altereranno in alcun modo la situazione già preesistente pertanto non interferiranno in alcun modo con le risorse idriche tutelate o da tutelare.

La matrice acqua è stata studiata nell'ottobre 2006 dal Dott. Geol. Dal Pian nell'ambito del piano di caratterizzazione del sito e successive integrazioni, ai sensi del D.M. 471/99. In tale studio è stato installato un piezometro tipo norton (PZ2) e si sono effettuati prelievi specifici d'acqua congiunti con ARPA per analizzare la qualità delle acque sotterranee.

I risultati delle analisi indicano che non c'è nessun inquinamento della matrice acqua sotto il sito studiato.



## 9 - STUDIO SISMICO DELL'AREA

### CLASSIFICAZIONE SISMICA

In base alla classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n° 3274, il Comune di Pieve di Cento è inserito in *Zona 3 (Comune a similitudine medio-bassa)*.

### Sismi storici relativi all'area (dal 1000 d.C. al 2006 d.C.)

Il Comune di Pieve di Cento è stato storicamente interessato solo da terremoti di moderata entità con intensità massime comprese tra il VII e VII-VIII grado scala Mercalli (Fonte - Database macrosismico DBM11 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – INGV).

I terremoti più importanti di cui si ha testimonianza storica nell'area di Pieve di Cento / Cento sono venuti nei seguenti anni :

Storia sismica di Cento [44.727, 11.289]				
Numero di eventi: 46				
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I (MCS)	Data	Ax	Np	Io Mw
6	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8 5.46 ±0.25
6	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
5	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25
5	1561 11 24 01:25	Ferrara	5	5-6 4.51 ±0.34
5	1672 04 14 15:45	Riminese	92	8 5.61 ±0.21
5	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10 6.48 ±0.18
5	1768 10 19 23:00	Appennino romagnolo	45	9 5.87 ±0.21
5	1779 06 04 07:00	Bolognese	13	7 5.24 ±0.52
5	1779 06 10 08:35	Bolognese	10	
5	1779 07 14 19:30	Bolognese	17	
5	1780 02 06 04:00	Bolognese	9	6 5.13 ±0.57
5	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8 5.53 ±0.18
5	1834 10 04 19:00	Bolognese	12	6 4.85 ±0.43
5	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
5	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
5	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
4-5	1869 06 25 13:58	Media valle del Reno	18	7-8 5.42 ±0.48
4-5	1908 06 28 03:19	Finale Emilia	15	5 4.27 ±0.53
4-5	1963 04 05 13:49	Finale Emilia	6	4-5 4.09 ±0.34
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
4-5	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09

Fig. 1– INGV – DBM11 - Database macrosismico utilizzato per la compilazione di CPT111.



### ***Sismi recenti relativi all'area (dal 2002 al 2012)***

Il terremoto più recente, con magnitudo  $M_w > 5$ , che ha interessato il Comune di Pieve di Cento è quello del maggio 2012 (ed attualmente in fase di attenuazione) tra le Province di Modena, Ferrara e Bologna con magnitudo dei sismi più significativi di 5,9 e 5,8  $M_w$  (vedi meccanismi focali nella figura sottostante).

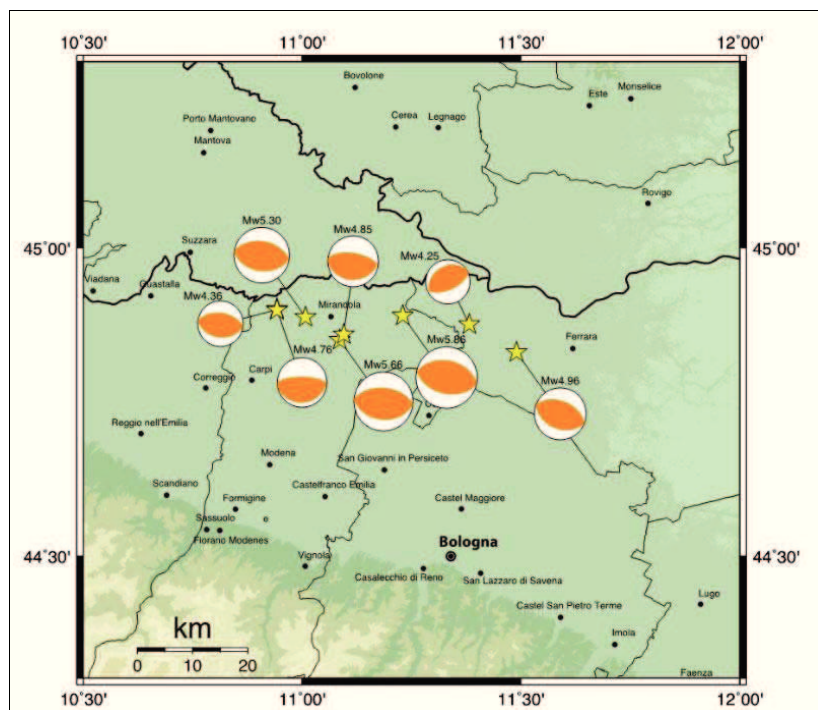


Fig. 2– Sequenza sismica principale ( $M_w > 4$ ) del Maggio 2012 con relativa magnitudo e movimenti focali (Fonte INGV)

### ***Zone sismogenetiche in provincia di Bologna***

Nella figura 3 sono riportate le zone sismogenetiche individuate dall' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sotto l'appennino Emiliano e la pianura padana con relative analisi di pericolosità sismica con approccio probabilistico (Database DISS “Database of Individual Seismogenic Sources” 3.1.1 - INGV 2010).

Le quattro zone sismogenetiche che ricadono sotto la provincia di Bologna sono:

- *La zona dell'alto appennino bolognese (fascia che comprende i Comune di Monghidoro, Monterenzio, Vergato, ecc) con magnitudo massima attesa di 6,2  $M_w$ .*
- *La zona di pedecollina a cavallo di Bologna (fascia che comprende i Comuni di Bologna, Casalecchio, Monteveglio, ecc.) con magnitudo massima attesa di 5,6  $M_w$ .*
- *La zona di pianura a cavallo tra Crevalcore - Pieve di Cento -San Vincenzo di Galliera con magnitudo massima attesa di 5,9  $M_w$  (magnitudo raggiunta dal sisma verificatosi nel maggio 2012).*
- *La zona di pianura a cavallo tra Malalbergo e Molinella con magnitudo massima attesa di 5,6  $M_w$ .*

*Il lotto analizzato ricade nella nei pressi della zona sismogenetica tra Crevalcore - Pieve di Cento - San Vincenzo di Galliera con magnitudo massima attesa di 5,9  $M_w$  (vedi fig. 3).*

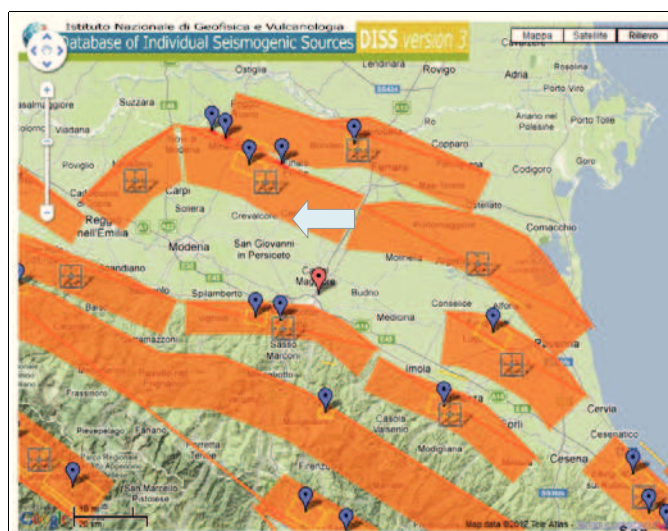


Fig. 3– Zone sismogenetiche pianura padana (Fonte: INGV)

### COORDINATE GEOGRAFICHE DEL SITO

Di seguito sono riportate le coordinate geografiche del sito:

Coordinate geografiche del sito (sistema WGS84)	Latitudine: 44,711875	Longitudine: 11,303985
Coordinate geografiche del sito (ED50)	Latitudine: 44,712809	Longitudine: 11,304982

Tabella 4 – Coordinate geografiche del sito

### CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SITO

Per la ricostruzione del profilo sismo-stratigrafico del sito necessaria per la valutazione della risposta sismica locale e del parametro  $V_{s30}$  si è realizzato uno studio geofisico utilizzando sia misure geofisiche MASW (sismica attiva) che con misure del rumore ambientale – HVSR (sismica passiva).

L'analisi congiunta dei dati delle due misure (vedi allegato B) ha permesso di ricostruire il seguente profilo sismo stratigrafico del lotto:

Strati sismici	Profondità [m]	Vs [m/s]
1	0 – 1.20	210
2	1.20 – 4.00	110
3	4.00 – 11.00	180
4	11.00 – 31.00	250
5	31.00 – 91.00	320
6	91.00 – 391.00	530
7	391.00 – inf.	800

Tabella 5 – Modello sismostratigrafico del sito

Inoltre sono state ricavate le seguenti informazioni di carattere geofisico:

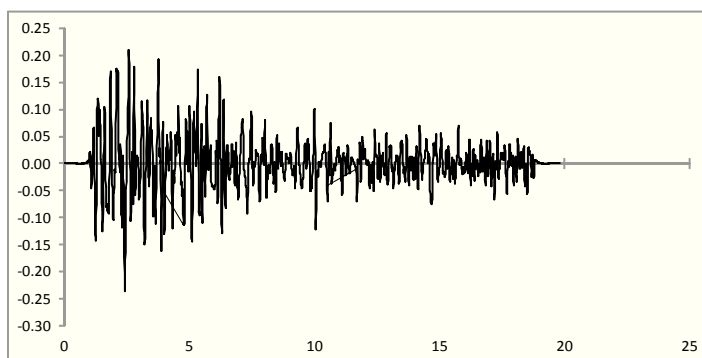
- Il picco principale è posto a 0,88 Hz e presenta un rapporto H/V pari a 1,9.
- Nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (1 Hz ÷ 11 Hz) non si segnalano le frequenze in grado di generare importanti effetti di risonanza nel terreno.
- Il parametro  $V_{s30}$  (0÷30 m) del sito derivante dall'elaborazione della misura, risulta pari a 205 m/s ( $\pm 15\%$ ).

### ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

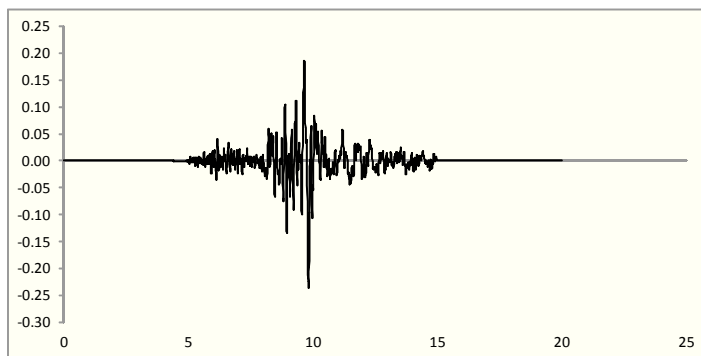
In considerazione della tipologia di intervento in progetto è stata effettuata un'analisi della risposta sismica locale con metodi numerici, attraverso procedure di terzo livello di approfondimento, secondo quanto indicato nell'allegato A3 della DAL n. 112/2007.

Per l'edificio in oggetto si sono utilizzati i dati tecnici forniti dal progettista considerando una classe d'uso III con una vita nominale  $\geq 50$ . Tutti i calcoli sono stati realizzati considerando lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e tenendo come riferimento lo spettro di normativa di una categoria di sottosuolo di tipo C.

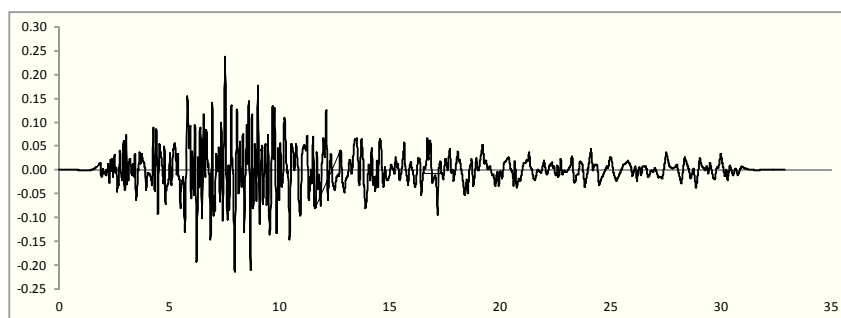
Lo studio è stato svolto utilizzando il software EERA, che permette una modellazione numerica 1D della propagazione dell'onda sismica a partire da segnali sismici di input. In particolare è stato necessario definire i 3 moti di input (terremoto caratteristico al "bedrock"), forniti dalla Regione Emilia-Romagna per il Comune di Pieve di Cento, scalati all'accelerazione massima attesa per il sito in esame. Secondo quanto riportato nell'allegato A4 della DAL n. 112/2007, il Comune di Pieve di Cento ha un'accelerazione massima orizzontale di picco ( $a_g$ ) = 0,158. In considerazione della classe d'uso dell'edificio (classe III) in progetto è stato considerato un coefficiente moltiplicativo CU=1,5, per cui è risultata una  $a_g$  di progetto = 0,237.



Sisma 000046xa scalato per PGA di 0,237



Sisma 000126xa scalato per PGA di 0,237



Sisma 000354xa scalato per PGA di 0,237

Una volta definiti i tre segnali di input, opportunamente scalati, è stato inserito il modello sismico (vedi tabella 5) e geotecnico del sottosuolo (1-D) fino alla profondità del bedrock sismico (-391 m dal p.c.).

Per ogni unità geotecnica dei vari simo strati è stata definita la curva di smorzamento e del modulo di rigidezza utilizzando apposite curve riportate in bibliografia (Seen and Sun, 1989 e Idriss 1990 per le argille; Seed e Idriss 1970 e Idriss 1990 per le sabbie – vedi fig. 5).

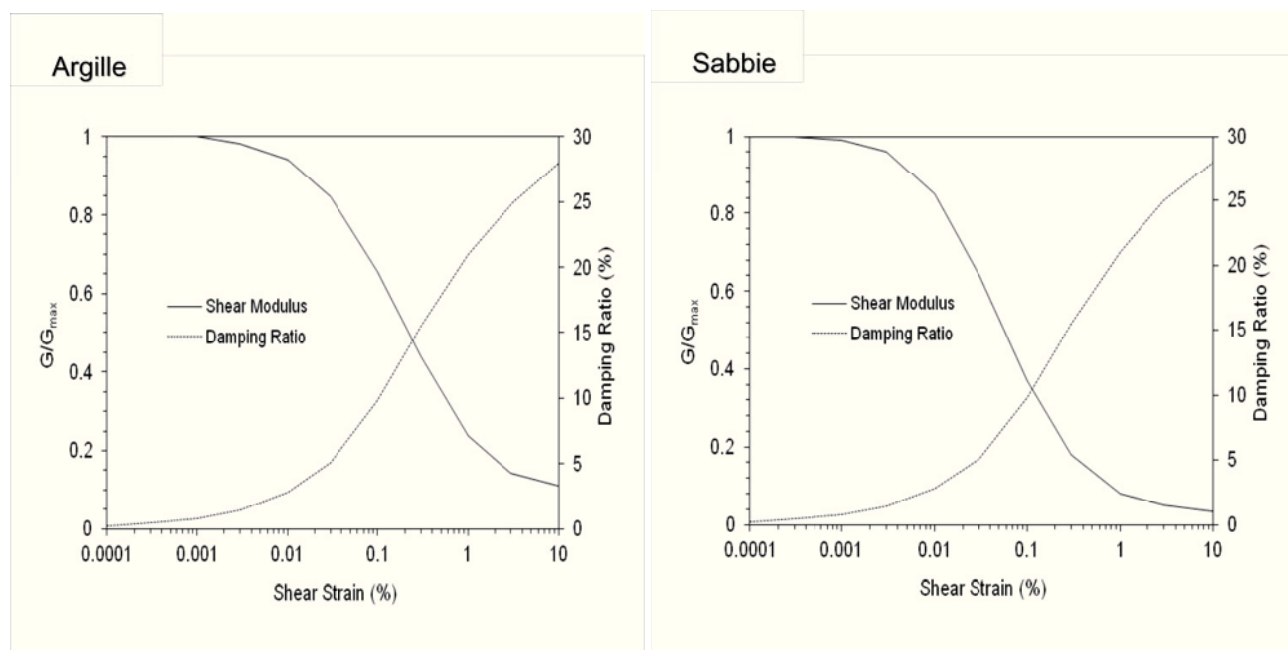


Fig.5 - Grafici delle curve di smorzamento e del modulo di rigidezza (Seen and Sun, 1989 e Idriss 1990 per le argille; Seed e Idriss 1970 e Idriss 1990 per le sabbie).

### **FUNZIONE DI TRASFERIMENTO**

Nella figura 6 è riportato il rapporto atteso tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza, per ogni sisma di input.

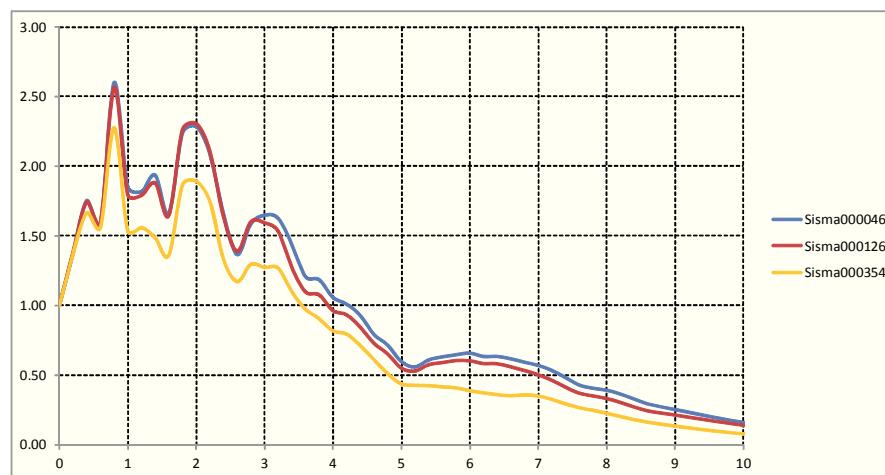


Fig 6 – Funzione di trasferimento (rapporto tra lo spettro del moto in superficie ed al bedrock)

### SPETTRO DI RISPOSTA

Nella figura 7 sono riportati gli spettri di risposta in accelerazione relativi alle modellazioni eseguite per i tre sismi, il relativo valore medio generato dalle tre modellazioni eseguite (curva nera segmentata) e lo spettro di normativa (NTC '08) per un sottosuolo di categoria C allo Stato Limite (SLV). Nella tabella 9 viene riportato anche lo spettro di risposta medio in forma numerica. Dal grafico della figura 12 si osserva come lo spettro di normativa da procedura semplificata fornirebbe valori di accelerazione massima maggiori rispetto a quelli ottenuti. Infatti lo spettro dei valori medi risulta sempre al di sotto della curva di normativa relativa alla categoria di sottosuolo C.



Fig 7 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 3 accelerogrammi di input e la loro media

Periodo [s]	Spettro di risposta	Periodo [s]	Spettro di risposta	Periodo [s]	Spettro di risposta
0.01	0.34	0.51	1.19	2.10	0.12
0.02	0.34	0.52	1.19	2.15	0.11
0.03	0.34	0.53	1.15	2.20	0.11
0.04	0.34	0.54	1.04	2.25	0.11
0.05	0.35	0.55	0.89	2.30	0.12
0.06	0.35	0.56	0.74	2.35	0.12
0.07	0.36	0.57	0.68	2.40	0.12
0.08	0.36	0.58	0.69	2.50	0.12
0.09	0.36	0.60	0.69	2.60	0.13
0.10	0.36	0.62	0.70	2.70	0.15
0.11	0.44	0.64	0.73	2.80	0.17
0.12	0.46	0.66	0.77	2.90	0.18
0.13	0.54	0.68	0.81	3.00	0.20
0.14	0.56	0.70	0.81	3.10	0.20
0.15	0.61	0.72	0.89	3.20	0.18
0.16	0.60	0.74	0.95	3.30	0.16
0.17	0.56	0.76	0.99	3.40	0.14
0.18	0.59	0.78	0.93	3.50	0.12
0.19	0.66	0.80	0.85	3.60	0.10
0.20	0.65	0.82	0.78	3.70	0.09
0.21	0.60	0.84	0.70	3.80	0.07
0.22	0.74	0.86	0.63	3.90	0.06
0.23	0.82	0.88	0.56	4.00	0.05
0.24	0.86	0.90	0.51	4.10	0.05
0.25	0.86	0.92	0.47	4.20	0.04
0.26	0.90	0.94	0.43	4.30	0.04
0.27	1.12	0.96	0.40	4.40	0.03
0.28	1.27	0.98	0.37	4.50	0.03
0.29	1.19	1.00	0.39	4.60	0.03
0.30	0.99	1.05	0.47	4.70	0.03
0.31	0.89	1.10	0.57	4.80	0.03
0.32	0.86	1.15	0.64	4.90	0.03
0.33	0.80	1.20	0.61	5.00	0.03
0.34	0.84	1.25	0.51	5.10	0.02
0.35	0.81	1.30	0.40	5.20	0.02
0.36	0.77	1.35	0.33	5.40	0.02
0.37	0.77	1.40	0.30	5.60	0.02
0.38	0.84	1.45	0.31	5.80	0.02
0.39	0.83	1.50	0.30	6.00	0.01
0.40	0.83	1.55	0.28	6.20	0.01
0.41	1.01	1.60	0.25	6.40	0.01
0.42	1.16	1.65	0.21	6.60	0.01
0.43	1.26	1.70	0.19	6.80	0.01
0.44	1.28	1.75	0.16	7.00	0.01
0.45	1.25	1.80	0.16	7.20	0.01
0.46	1.21	1.85	0.16	7.40	0.01
0.47	1.18	1.90	0.16	7.60	0.01
0.48	1.17	1.95	0.15	7.80	0.01
0.49	1.18	2.00	0.14	8.00	0.01
0.50	1.19	2.05	0.13	8.50	0.01

Tabella 6 – Spettro di risposta medio calcolato per il sito (linea nera tratteggiata in fig. 12)

### FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Di seguito (tab. 7) sono riportati i fattori di amplificazione  $PGA/PGA_0$  e dell'intensità spettrale IS negli intervalli tra 0,1-0,5 s e 0,5-1,0 s, così come previsto nell' "Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica in Emilia-Romagna".

	Sisma000046	Sisma000126	Sisma000354	Valori medi
FA $PGA/PGA_0$	1,64	2,00	1,43	1,69
IS [0,1-0,5 s]	2,17	2,32	2,00	2,16
IS [0,5-1,0 s]	3,09	3,10	3,01	3,07

Tabella 7 – Fattori di amplificazione di PGA e dell'intensità spettrale

### EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA RELATIVI AL SITO

Visto il contesto geomorfologico dell'area, si possono escludere condizioni topografiche che possano amplificare l'azione di un eventuale sisma, per cui si potrà utilizzare una classe topografica T1.

### SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

La liquefazione di un terreno è dovuta alla diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $*(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 8(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e di n Figura 8(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ . ( $U_c$  rapporto  $D_{60}/D_{10}$ , dove  $D_{60}$  e  $D_{10}$  sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).



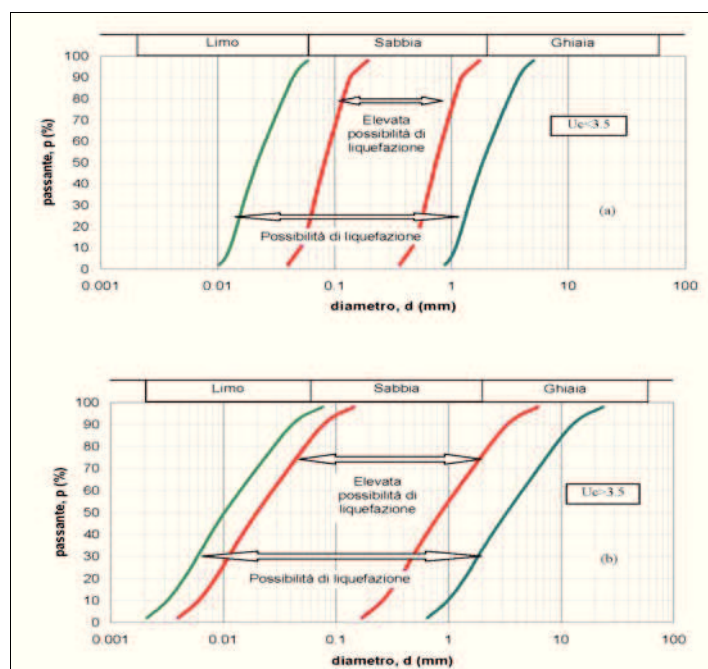


Fig. 8 a/b – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione d per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (da AGI, 2005)

Nell'area in esame sono stati individuati modeste lenti di sabbia /sabbia limosa potenzialmente liquefacibili tra i 4 m ed i 5,5 m (nella sola CPTU3) e tra i 6,5 m e gli 8 m dal p.c. (in quasi tutte le altre prove).

Per verificare il rischio di liquefazione del sito si sono eseguite le analisi semplificate per calcolo del Potenziale Indice di Liquefazione “LPI” da prove CPT con il metodo di Iwasaki et al. (1982) secondo la formula:

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0,5z) \times F_z \times d_z$$

where:  
 $F_z = 1 - F.S.$  when F.S. less than 1  
 $F_z = 0$  when F.S. greater than 1  
 $z$  depth of measurement in meters

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

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

Fig. 9 – Formula e classi di rischio proposte da Iwasaki et al. (1982)

Per l'elaborazione dei dati si è utilizzato il programma C-Liq basato il metodo proposto da Robertson & Wride 1998 (aggiornato dal Dott. Robertson nel 2010) per la verifica semplificata del LPI da prove CPTU.

Il programma calcola il *fattore di liquefazioni* (F.S.) di tutti gli strati sabbiosi e limoso sabbiosi di spessore 20 cm, indicati dalle prove CPT, e fornisce direttamente il LPI di ogni singola verticale.

Le verifiche sono state realizzate considerando un sisma massimo atteso di magnitudo  $M_w=5.9$  (Magnitudo del terremoto massimo atteso nella Zona sismogenetica di Pieve di Cento), una accelerazione attesa



$a_{max}=0,158$  moltiplicata per il fattore di amplificazione FA(PGA) calcolato dall'analisi di risposta sismica locale FA (PGA)=1,7 ed una soggiacenza della falda a -1,0 m dal p.c..

Il calcolo, effettuato su ogni verticale indagata, evidenzia rischi di liquefazione bassi per tutte e tre le prove, con valori di IL compresi tra 0,4 e 4,5 per cui il rischio che si verifichino fenomeni di liquefazione nel sito studiato è molto basso (vedi risultati in fig. 10 ed allegato C).

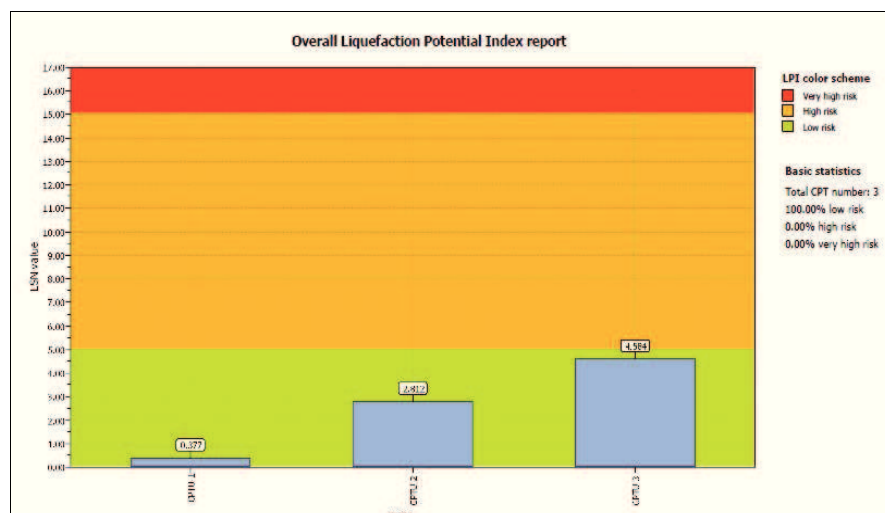


Fig. 10 – Risultati finali calcolo LPI su ogni prova CPTU.

### **CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI**

Sempre utilizzando il programma C-LIQ con le metodologie proposte da Robertson e P.K. and Lisheng, S. (2010) si sono calcolati i cedimenti post sismici per le tre verticali indagate. Il calcolo, effettuato su ogni verticale indagata, evidenzia i seguenti cedimenti post sismici: 1,1 cm (CPTU1); 3,6 cm (CPTU2); 6,0 cm (CPTU3) (vedi risultati in fig. 11 ed allegato C).

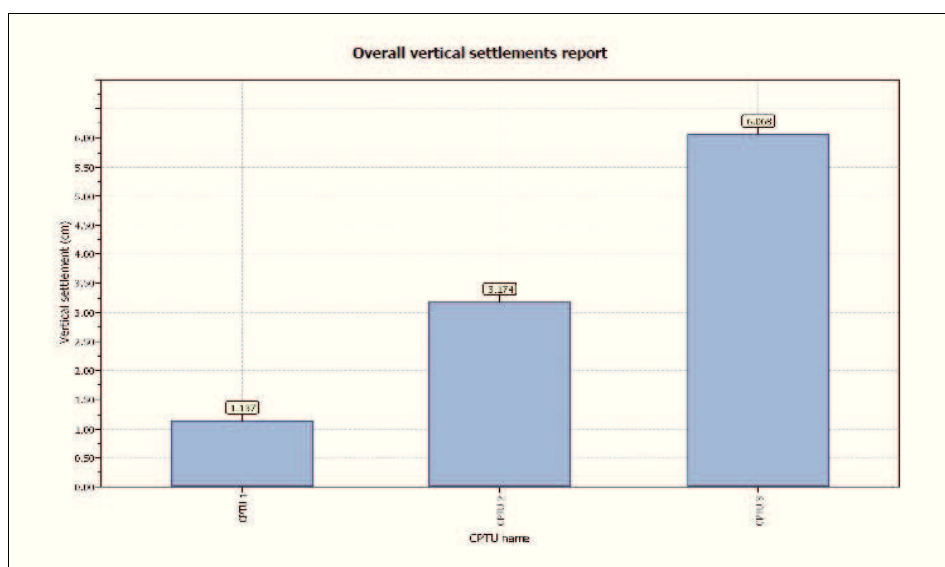


Fig. 11 – Cedimenti post sismici

## **10 - OPERE IN PROGETTO ED ESAME DELLO SCENARIO FUTURO**

### **OPERE IN PROGETTO**

L'area studiata è già ampiamente antropizzata. I principali interventi edificatori riguarderanno principalmente la demolizione del fabbricato industriale esistente con ricostruzione di un nuovo fabbricato adibito a supermercato, la sistemazione dell'area parcheggi già esistente e la sistemazione della viabilità principale con la creazione di una nuova rotatoria. Nell'area parcheggi verrà interrata anche una vasca antincendio da 10 mc lordi.

Il vecchio edificio presenta un piano seminterrato che verrà smantellato e riempito con il materiale proveniente dagli scavi per la posa delle fondazioni. Il nuovo fabbricato non avrà nessun piano interrato e sarà più grande di quello esistente.

A corredo della nuova viabilità verrà realizzata anche una nuova rotatoria con al centro un'isola al centro della quale verrà installato il nuovo palo dell'illuminazione alto circa 14 m.

### **INDICAZIONI SULLA TIPOLOGIA DI FONDAZIONE**

In considerazione della presenza di materiali di riporto eterogenei (contenete inerti, fanghi, sabbie, ghiaie, ecc..) fino a 1,6÷2,2 m di profondità, impostati sopra terreni contraddistinti da caratteristiche geotecniche scadenti fino ad almeno 8-10 m di profondità, occorrerà prevedere l'utilizzo di fondazioni di tipo profondo. Tali fondazioni dovranno essere adottate sicuramente per la struttura mentre per il palo di illuminazione si potrà valutare se conviene utilizzare fondazioni a plinto impostate sotto i materiali di riporto (ad almeno -1,5÷-2,0 m dal p.c.) o fondazioni su pali.

Nella scelta della tipologia di palo o micro-palo di fondazione occorrerà tenere conto che i terreni di riporto nei primi due metri tendono a franare e chiudere i fori di trivellazione e che già da -1,9 m dal p.c. è presente la falda.

Per la cisterna interrata di circa 10 mc (dimensioni 2,5x2x2) si potrà adottare una fondazione superficiale a platea tenendo conto però della spinta idrostatica della falda sottostante.

### **MOVIMENTI TERRA**

L'installazione della cisterna prevederà uno scavo profondo circa 2,8÷3 m che coinvolgerà prevalentemente i terreni di riporto superficiali. In considerazione della natura del terreno di riporto, che franava già nei saggi con escavatore larghi 0,4 m, occorrerà prevedere a protezione delle pareti di scavo l'uso di opere di sostegno provvisorie o permanenti (palancole, paratie di micropali, ecc). Inoltre occorrerà tener presente che il livello medio della falda è - 3 m (vedi tavola 4) ma nei periodi di esecuzione delle prove la falda si attestava a -1,9 m dal p.c., per tale motivo si consiglia di interrare la vasca nei mesi estivi e non nei mesi invernali. Nel caso che si intercetti la falda occorrerà predisporre un efficace sistema di pompe (es. well-point) per abbassare il livello piezometrico attorno allo scavo per il tempo necessario a completare l'opera.

Anche per le opere di fondazione della struttura e del palo dell'illuminazione, nel caso si debba scavare a profondità maggiori di 1,5 m, occorrerà prevedere a protezione delle pareti di scavo l'uso di opere di sostegno provvisorie o permanenti.

I materiali di risulta in esubero dovranno essere trattati secondo le prescrizioni riportate nel Decreto del 10 Agosto 2012 (regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo).

### **POTENZIALI ELEMENTI CONTAMINANTI DEL SUOLO-SOTTOSUOLO**

Il Piano di Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 dell'area, realizzato dal Dott. Geol. Michele Dall'Olmo nel 2006 (ottobre 2006 – acque sotterranee) evidenzia che “... la qualità delle matrici suolo-sottosuolo risulta conforme agli standard di legge previsti per i siti ad uso commerciale ed industriale (aprile 2006)” mentre “...la qualità delle acque analizzate risulta conforme agli standard di legge per tutti i parametri analizzati non evidenziando, dunque, alcun inquinamento a carico della matrice acque sotterranee (Integrazioni Ottobre 2006)”.

La possibilità che si verifichi una contaminazione del suolo e sottosuolo in seguito a sversamenti accidentali da parte dei mezzi d'opera nella fase di cantierizzazione è legata sia ai mezzi adibiti al trasporto del materiale (la cui permanenza nel sito è di durata piuttosto scarsa) che ai mezzi operanti sul sito per la realizzazione delle opere. Tali mezzi potrebbero infatti essere soggetti a perdite di oli lubrificanti, ma si ritiene che tale rischio sia sostanzialmente di scarsa entità, in quanto i mezzi sono sottoposti costantemente a manutenzione ed in ogni caso si tratterebbe di sversamenti di limitata entità. In corso d'opera, l'eventuale perdita potrà essere facilmente individuata dagli operatori ed il limitato volume di materiale contaminato potrà essere facilmente prelevato ed allontanato in accordo con le prescrizioni di normativa. Per quanto riguarda il rifornimento in carburante dei mezzi, esso avverrà utilizzando serbatoi mobili posizionati nell'area di cantiere e dotati di idonei sistemi anti-inquinamento, come prescritto dalla normativa vigente

### **PERIODO DI VITA DELL'AMBITO**

La qualità delle acque superficiali e sotterranee potrà subire impatti derivanti solo dall'eventuale dispersione accidentale e non controllata delle acque nere o di composti chimici derivanti dalle autovetture parcheggiate in esterno in zone non impermeabilizzate (perdite d'olio e carburante, lavaggio delle autovetture con solventi ecc.).

A mitigazione di tale impatto si richiama una manutenzione costante delle rete delle acque bianche e nere e la rimozione e pulizia immediata di qualsiasi sversamento involontario di oli dalle aree di parcheggio.

## **11 - CONSIDERAZIONI FINALI**

Dallo studio geologico è emerso che le aree interessate dalle nuove opere risultano edificabili a patto di rispettare alcune prescrizioni.

In particolare occorrerà prevedere l'utilizzo di fondazioni profonde per la nuova struttura mentre per il palo dell'illuminazione che verrà installato al centro della rotatoria e la vasca interrata si potranno utilizzare fondazioni superficiali.

Per gli scavi più profondi di 1,5 m, occorrerà prevedere l'uso di opere di sostegno provvisorie o permanenti per sostenere i fronti di scavo.

Per scavi con profondità maggiori di 2 m occorrerà tenere presente la possibile presenza della falda nei mesi caratterizzati da intense precipitazioni piovose.

*In conclusione si ritiene che le opere in progetto ed i relativi movimenti terra, realizzati seguendo le prescrizioni esposte precedentemente, risultano dal punto di vista geologico **fattibili**.*

Bologna, lì 14 Marzo 2014

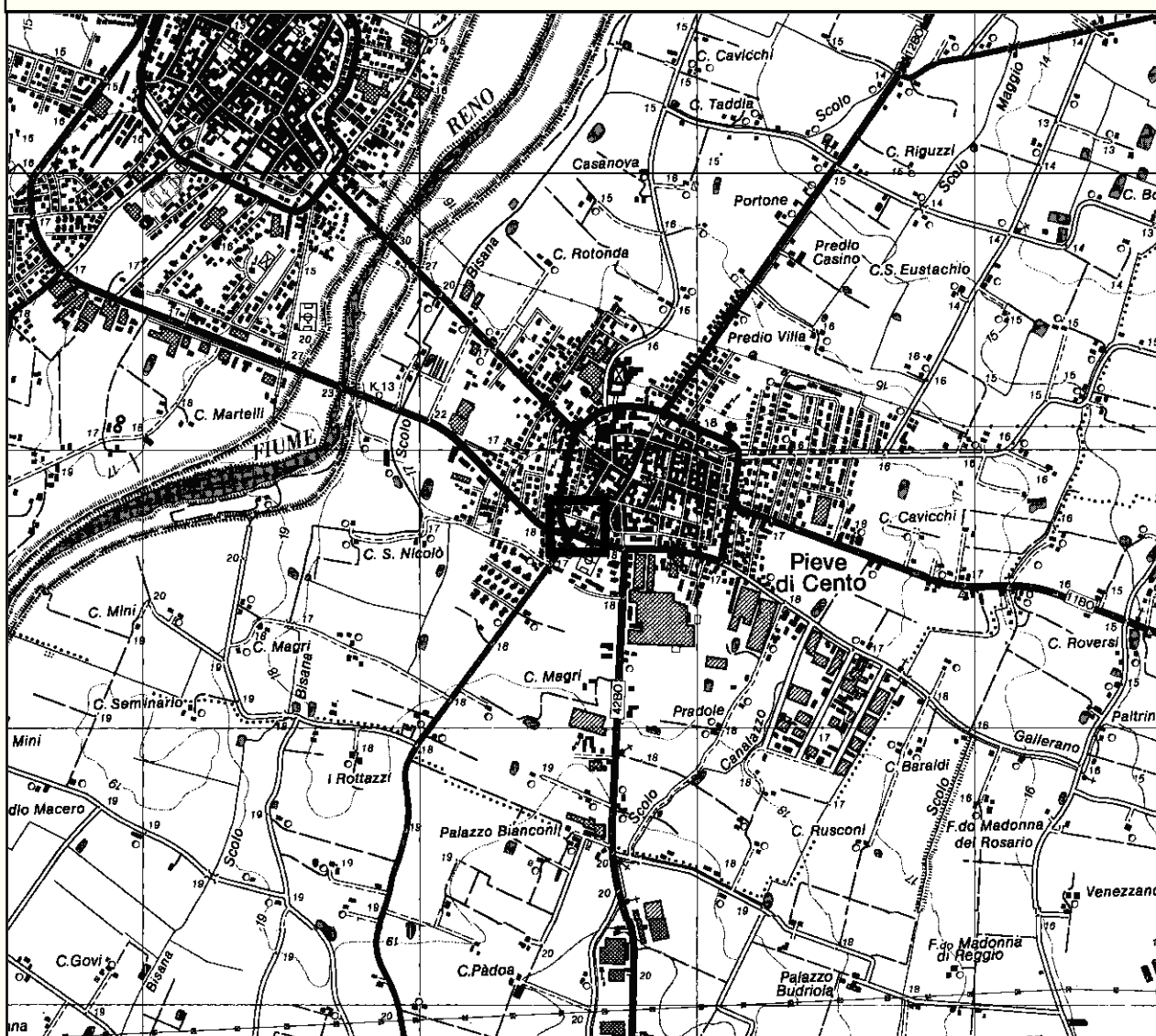


Dott. Geol. Alberto Filelfi  
(O.G.E.R. - SEZ. A - A.P. n°1115)

## COROGRAFIA

Stralcio C.T.R. n° 202-NE e 202-SE

Scala 1:25.000



### Legenda

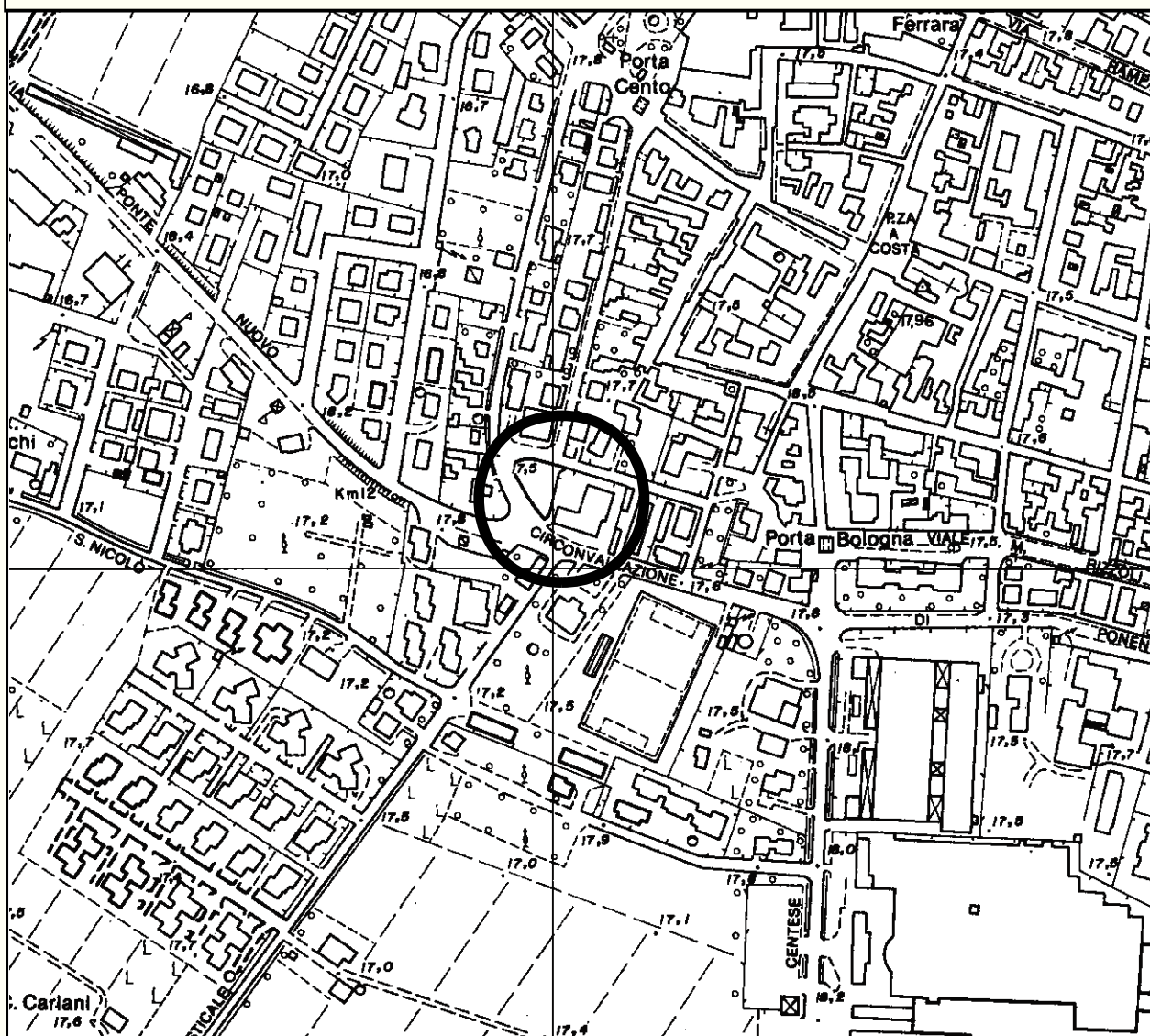


Area in oggetto

## INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Stralcio C.T.R. n° 202082

Scala 1:5.000



### Legenda



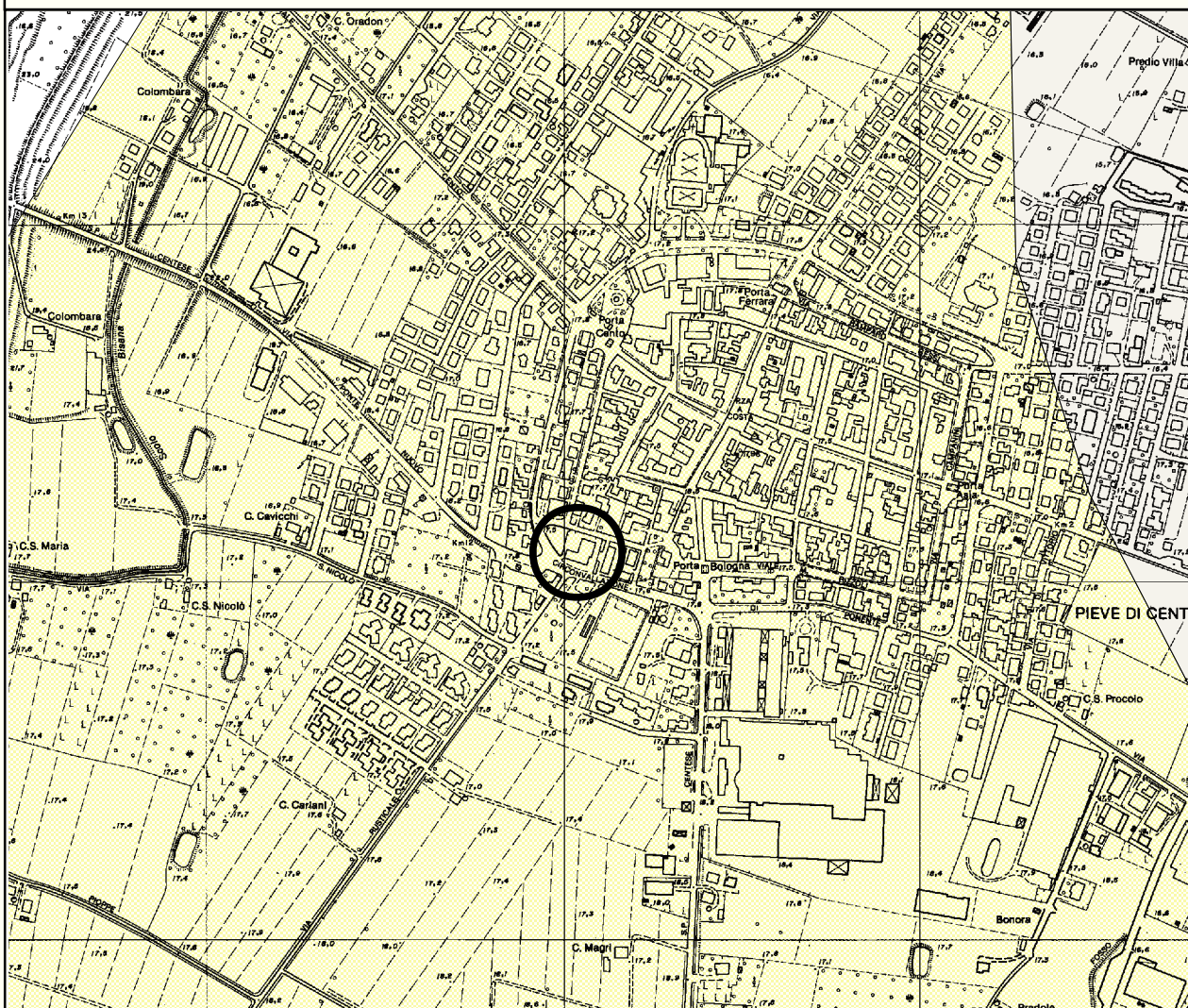
Area in oggetto



# CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA\*

*Sovrapposizione dei tematismi  
alle CTR n° 202080*

Ingrandimento a scala 1:10.000



## Legenda



Area in oggetto



5

Sabbie medie e fini di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale ed argine prossimale.



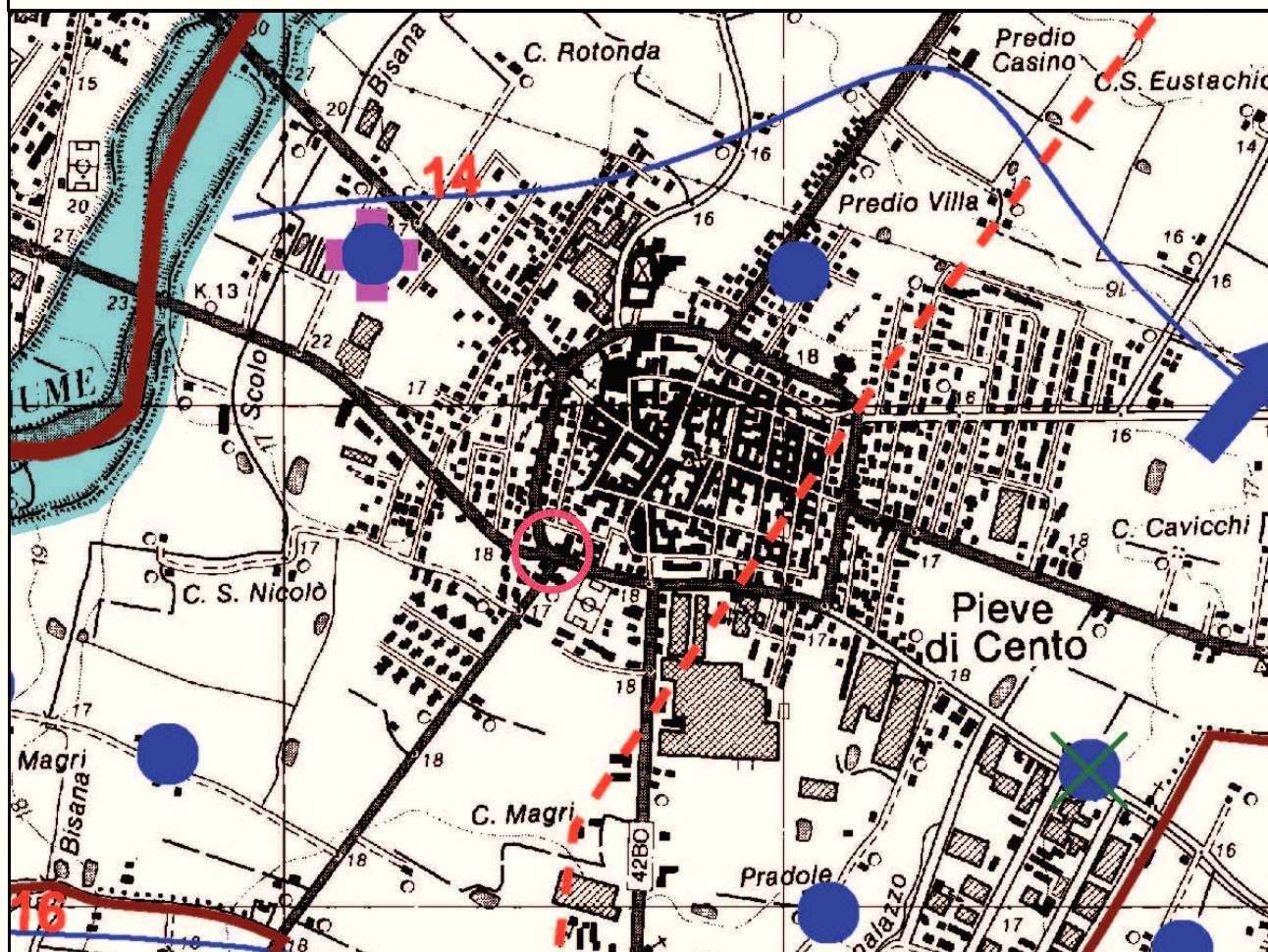
6

Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.

# PSC - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Stralcio Tav. 1.2b del QC del PSC

Scala 1:25.000



Legenda:



Area in oggetto



Pozzi rilevati per elaborazione carta



Isopieza

14

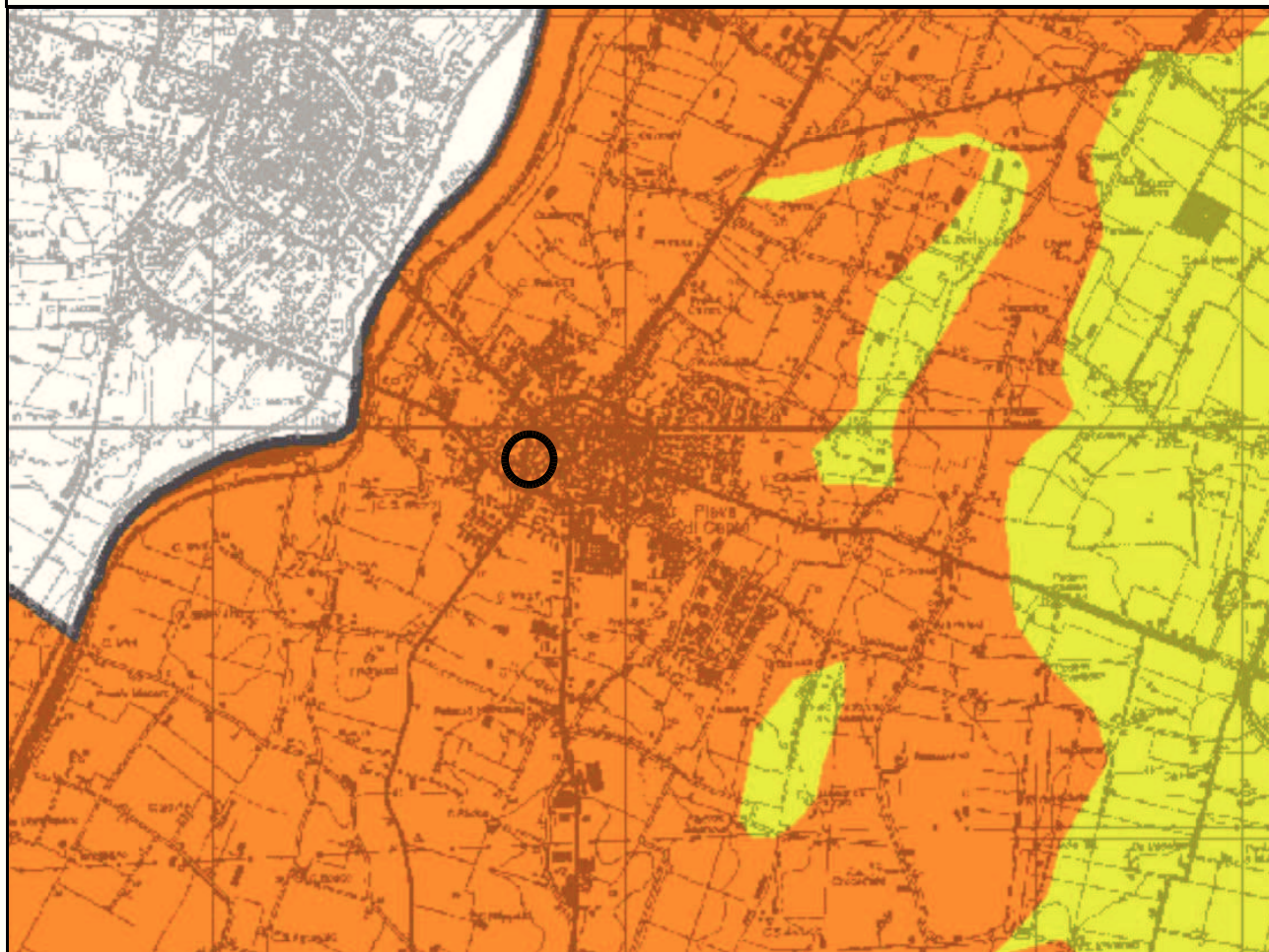
Quota isopieza s.l.m.



## PTCP – Rischio Sismico

Stralcio Tav. 2C – Carta delle aree  
suscettibili di effetti locali – Foglio I

Fuori scala



Legenda:



Area in oggetto



Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione

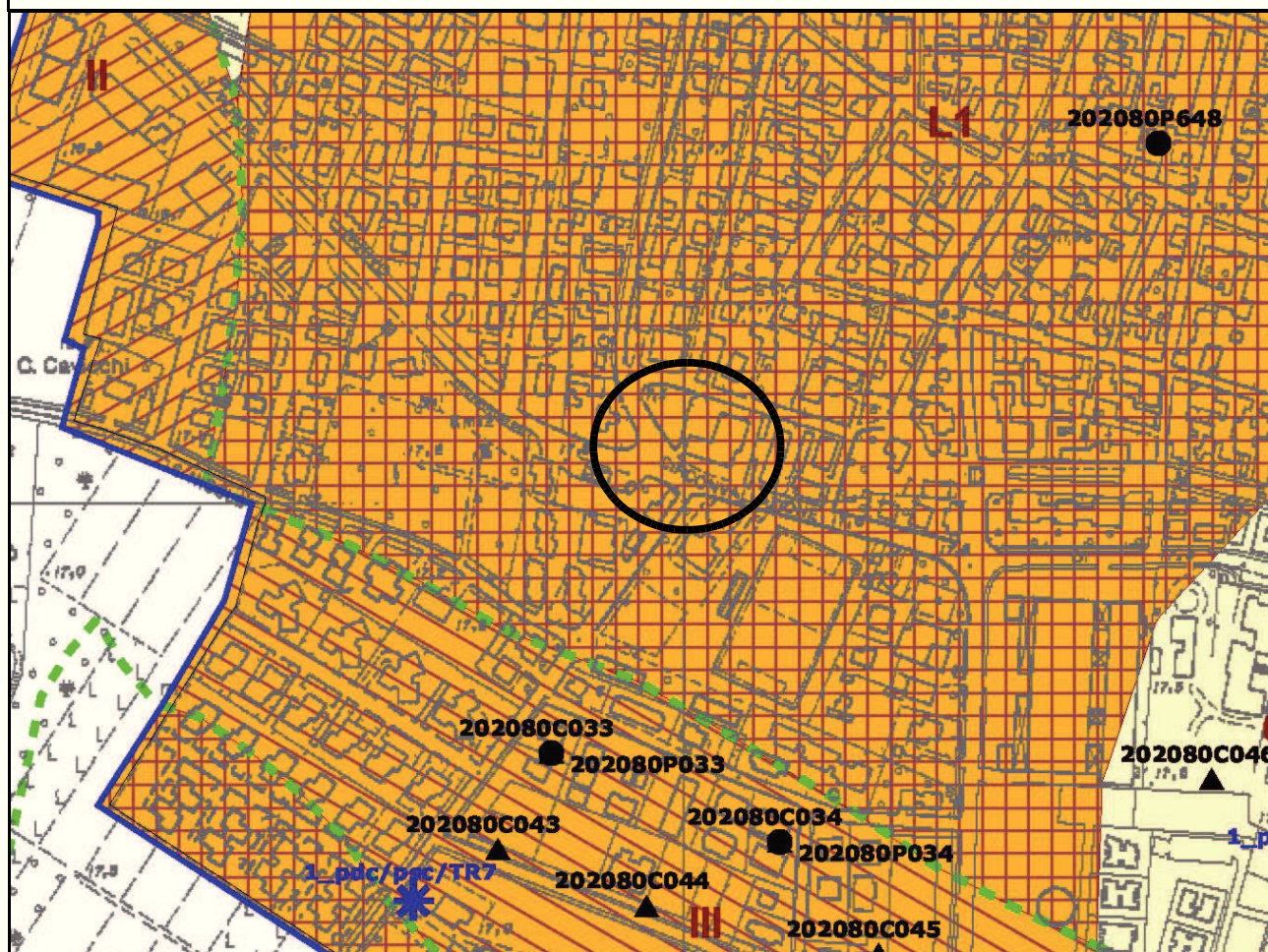








Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti

**PSC - INQUADRAMENTO SISMICO**

Stralcio Tav. 1 - Pericolosità sismica  
Tav. comunale sulle aree suscettibili  
di effetti locali

Scala 1:5.000

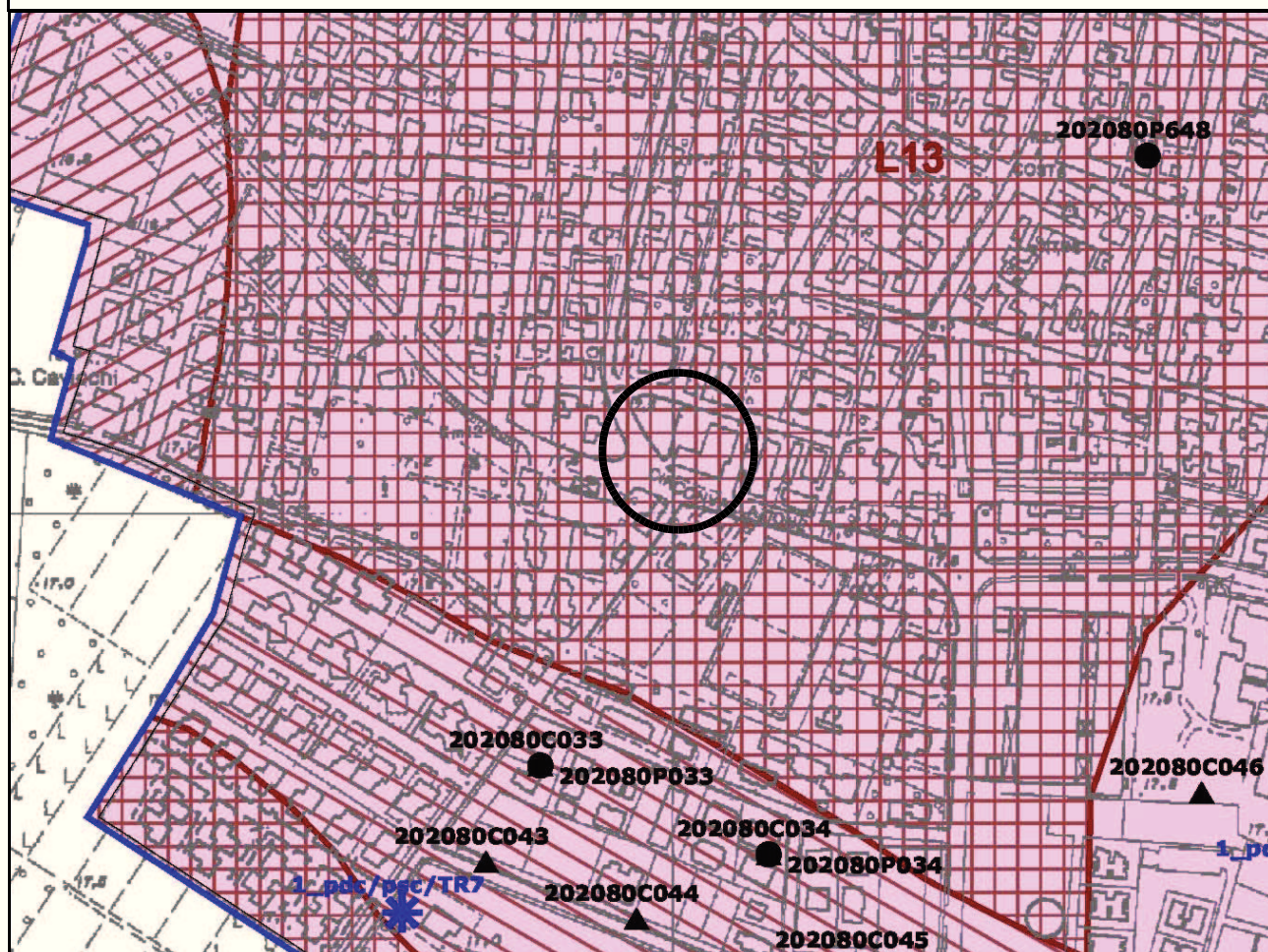
**Legenda:**

-  Area in oggetto
-  Prove CPT dell'archivio della R.E.R.
-  Sondaggi dell'archivio della R.E.R.
-  Registrazioni sismiche HVSR
-  Limite paleoalvei "Reno 1-2"
-  Liquefazione potenziale da verificare



**PSC - INQUADRAMENTO SISMICO**Stralcio Tav. 2 – Microzonazione  
Sismica semplificata

Scala 1:5.000



Legenda:



Area in oggetto

Prove CPT dell'archivio  
della R.E.R.Sondaggi dell'archivio  
della R.E.R.Registrazioni sismiche  
HVSr**L1-3**

Contesto= "PIANURA 2" [ $V_{s30}=200$  m/s]  
Amplificazione =  $FA(Pga)=1,5$   
Liquefazione potenziale da verificare  
(Approfondimenti di III livello)



# ***ALLEGATO A***

## ***INDAGINI GEOGNOSTICHE***

**TABULATI E GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE  
STATICHE CON PUNTA ELETTRICA + PIEZOCONO (CPTU)**

**TABULATI E GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE  
STATICHE CON PUNTA MECCANICA (CPT)**

**GEOLOG s.r.l.**

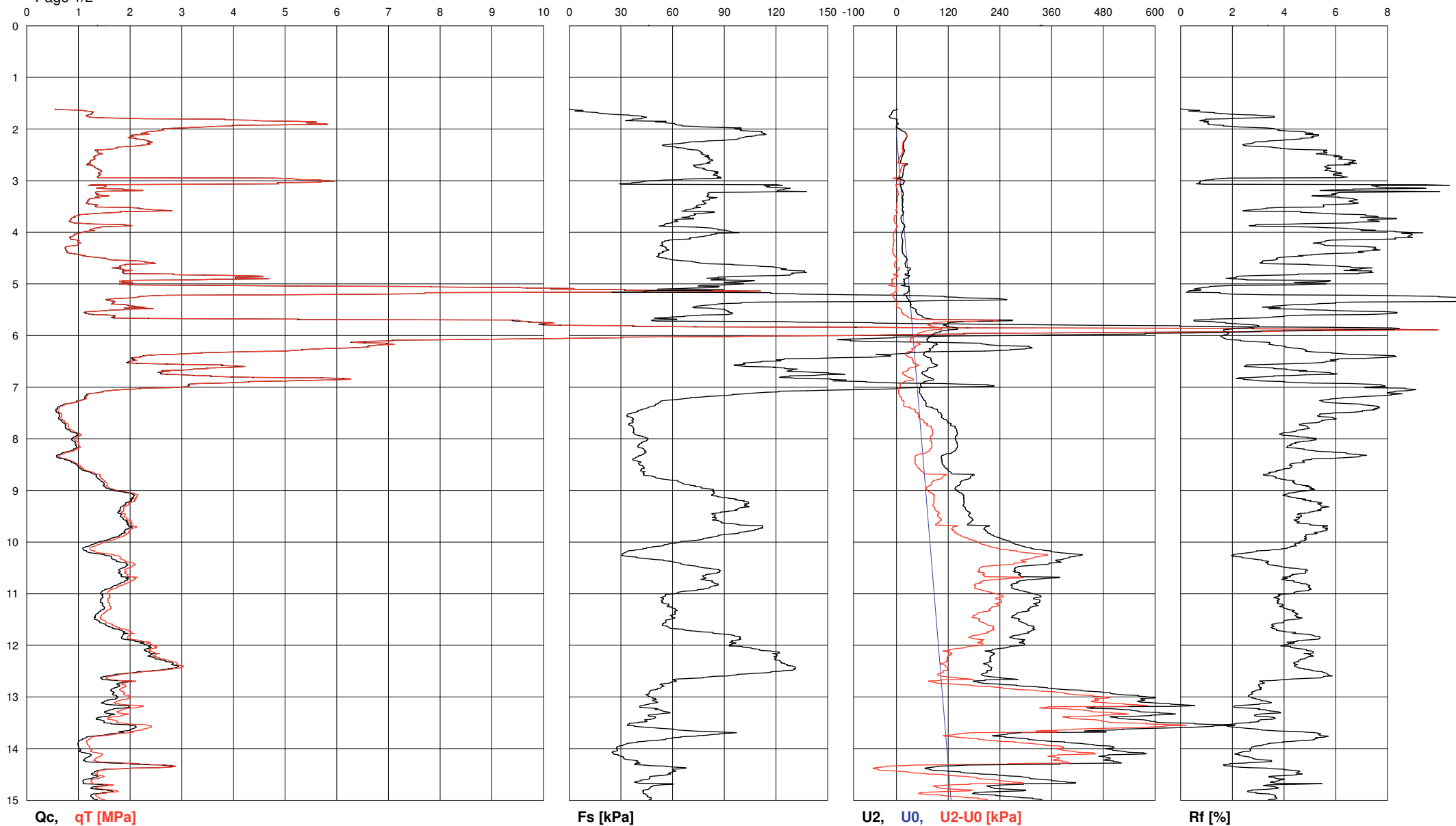
**Commissioner: DOTT. GEOL. A. FILELFI**

Site: PIEVE DI CENTO (BO)  
Locality: VIA CIRCONVALLAZIONE DI PONENTE

Test Location: CPTU1  
Date: 12/02/2014

Abs. quota [cm]: 0  
Prehole [cm]: 160  
Hydrostatic Line [cm]: 210

Page 1/2



**GEOLOG s.r.l.**

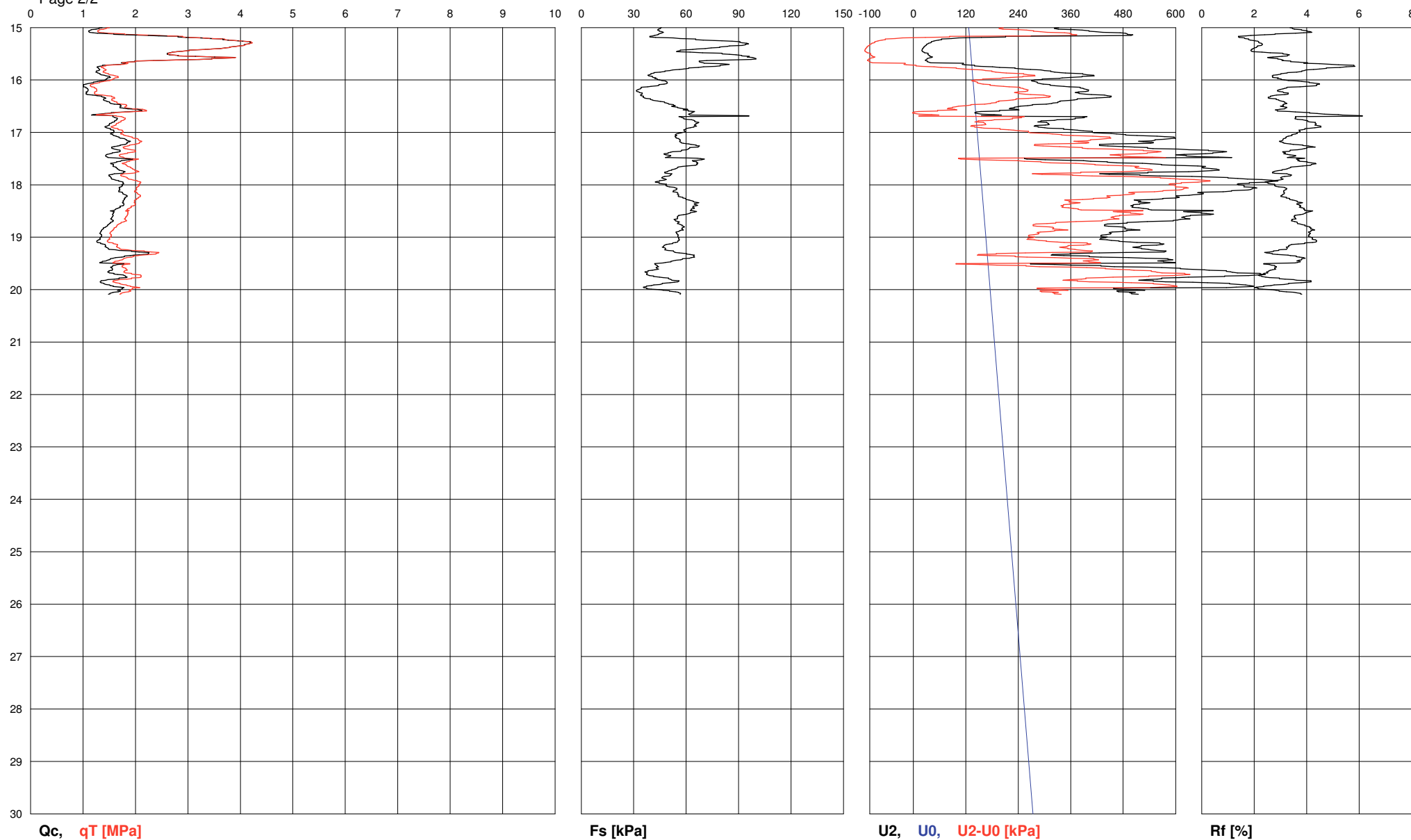
**Commissioner: DOTT. GEOL. A. FILELFI**

Site: PIEVE DI CENTO (BO)  
Locality: VIA CIRCONVALLAZIONE DI PONENTE

Test Location: CPTU1  
Date: 12/02/2014

Abs. quota [cm]: 0  
Prehole [cm]: 160  
Hydrostatic Line [cm]: 210

Page 2/2



**Qc, qT [MPa]**

**Fs [kPa]**

**U2, U0, U2-U0 [kPa]**

**Rf [%]**

**GEOLOG s.r.l.**

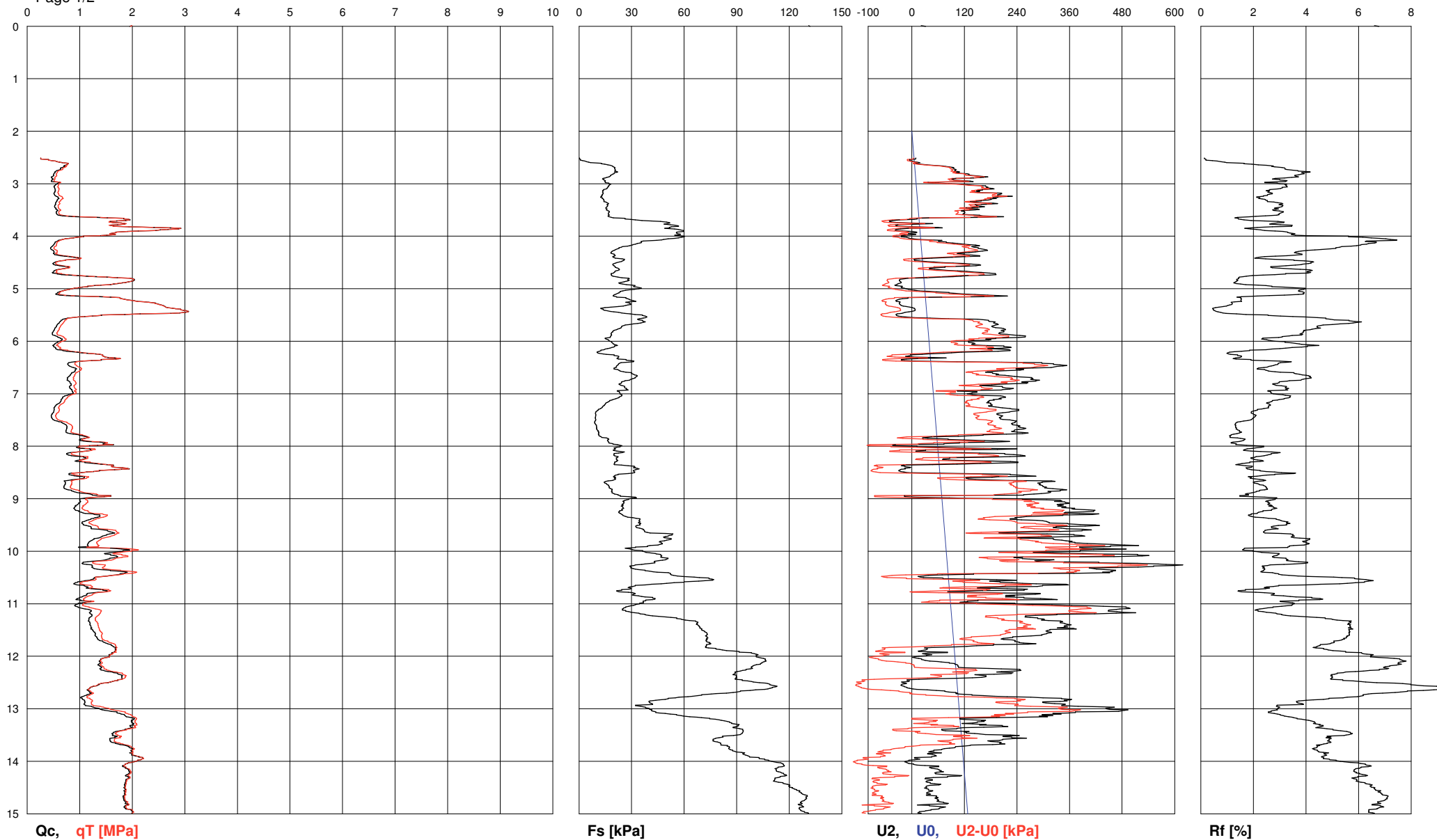
**Commissioner: DOTT. GEOL. A. FILELFI**

Site: PIEVE DI CENTO (BO)  
Locality: VIA CIRCONVALLAZIONE DI PONENTE

Test Location: CPTU2  
Date: 12/02/2014

Abs. quota [cm]: 0  
Prehole [cm]: 250  
Hydrostatic Line [cm]: 200

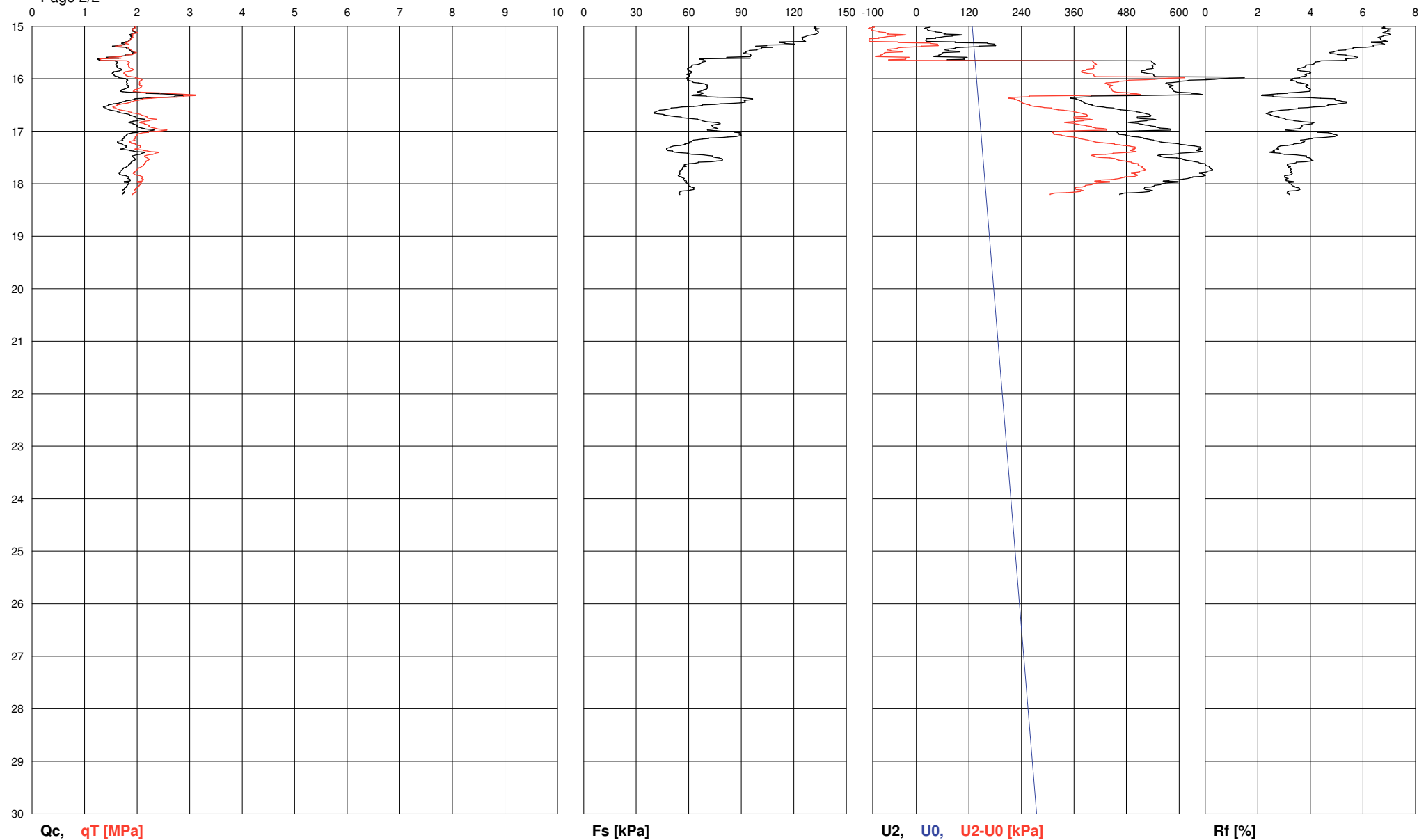
Page 1/2





<b>GEOLOG s.r.l.</b>		<b>Commissioner: DOTT. GEOL. A. FILELFI</b>	
Site: PIEVE DI CENTO (BO)		Test Location: CPTU2	
Locality: VIA CIRCONVALLAZIONE DI PONENTE		Date: 12/02/2014	
		Abs. quota [cm]: 0 Prehole [cm]: 250 Hydrostatic Line [cm]: 200	

Page 2/2



$Q_c$ ,  $q_T$  [MPa]

$F_s$  [kPa]

$U_2$ ,  $U_0$ ,  $U_2 - U_0$  [kPa]

$R_f$  [%]

**GEOLOG s.r.l.**

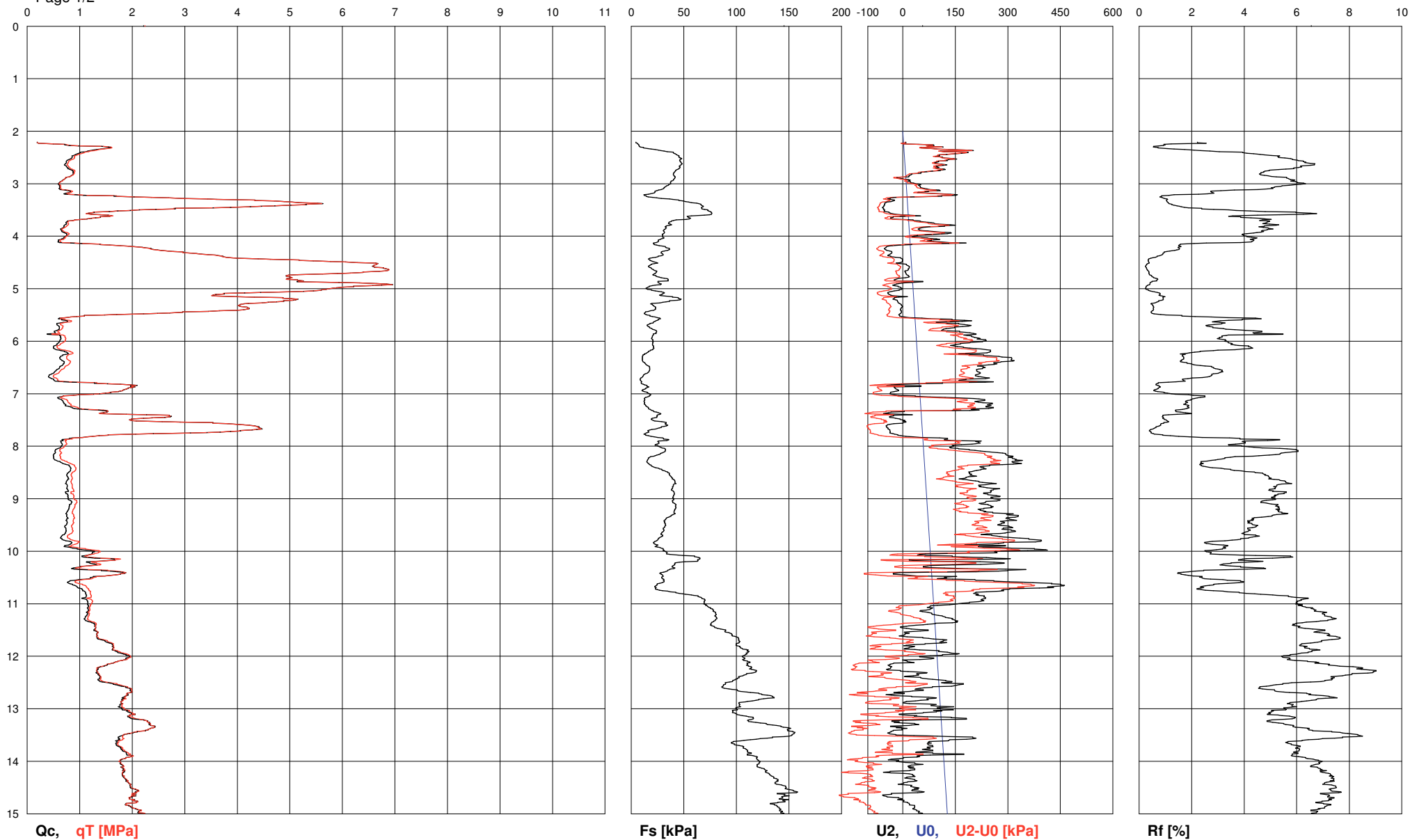
**Commissioner: DOTT. GEOL. A. FILELFI**

Site: PIEVE DI CENTO (BO)  
Locality: VIA CIRCONVALLAZIONE DI PONENTE

Test Location: CPTU3  
Date: 12/02/2014

Abs. quota [cm]: 0  
Prehole [cm]: 220  
Hydrostatic Line [cm]: 200

Page 1/2



**Qc, qT [MPa]**

**Fs [kPa]**

**U2, U0, U2-U0 [kPa]**

**Rf [%]**



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT****1**

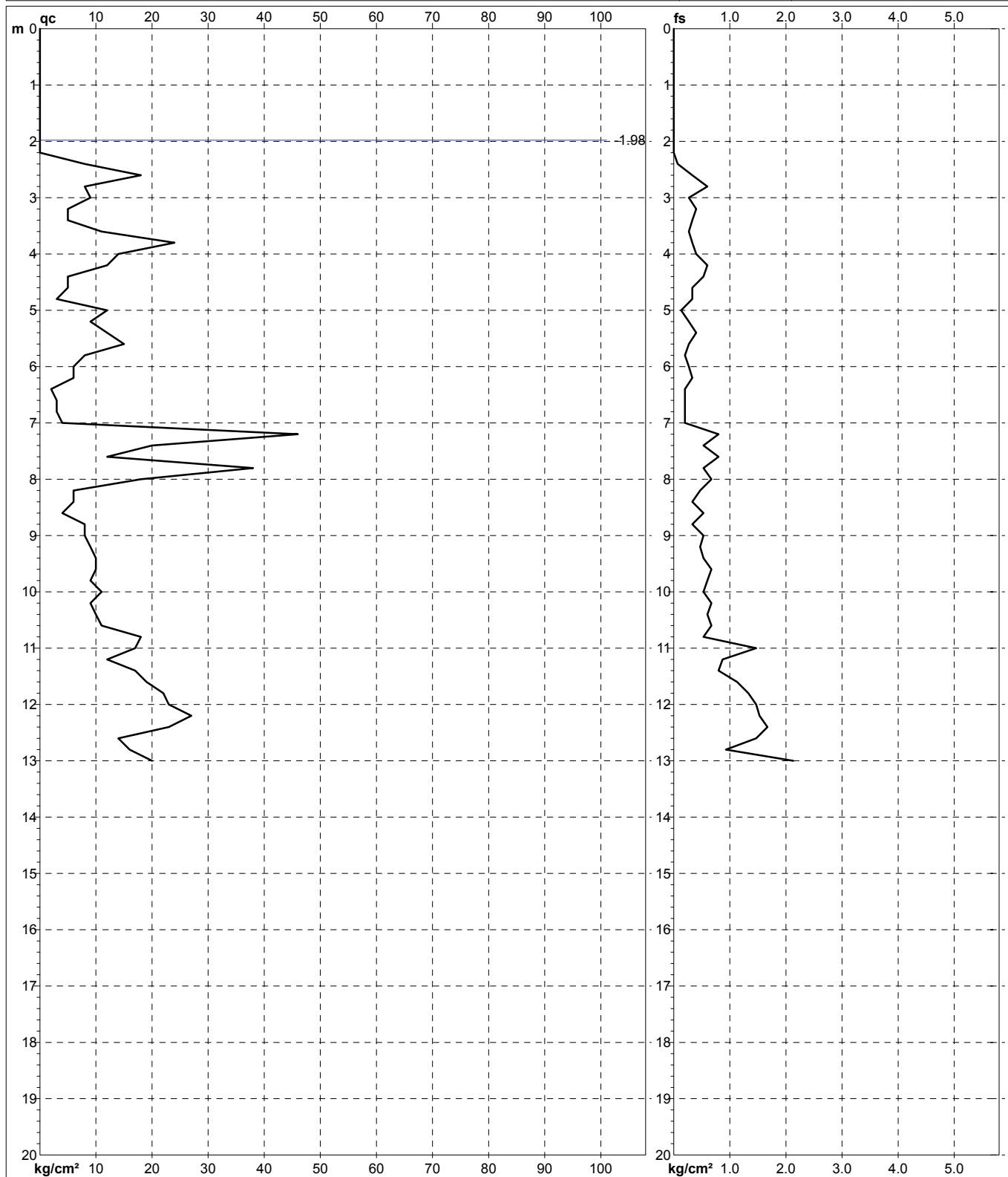
riferimento

**004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
Scala: **1:100**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data esec.: **12/02/2014**  
Quota inizio:  
Falda: **-1.98 m** da p.c.



Penetrometro: SP 100-C  
Responsabile:  
Assistente:

Preforo: -2.20 m  
Corr.astine: kg/ml  
Cod. ISTAT: 037048  
Cod. punta:

nota:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON042



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT****1**

riferimento

**004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm²**Data eseg.: **12/02/2014**Pagina: **1**

Elaborato:

Falda: **-1.98 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.40	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.60	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.80	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.00	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.20	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.40	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.60	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.80	0.0	0.0		0.00	0.00										
2.00	0.0	0.0		0.00	0.00										
2.20	0.0	0.0		0.00	0.00										
2.40	8.0	9.0		8.00	0.07	114	0.9								
2.60	18.0	23.0		18.00	0.33	55	1.8								
2.80	8.0	17.0		8.00	0.60	13	7.5								
3.00	9.0	13.0		9.00	0.27	33	3.0								
3.20	5.0	11.0		5.00	0.40	13	8.0								
3.40	5.0	10.0		5.00	0.33	15	6.6								
3.60	11.0	15.0		11.00	0.27	41	2.5								
3.80	24.0	29.0		24.00	0.33	73	1.4								
4.00	14.0	20.0		14.00	0.40	35	2.9								
4.20	12.0	21.0		12.00	0.60	20	5.0								
4.40	5.0	13.0		5.00	0.53	9	10.6								
4.60	5.0	10.0		5.00	0.33	15	6.6								
4.80	3.0	8.0		3.00	0.33	9	11.0								
5.00	12.0	14.0		12.00	0.13	92	1.1								
5.20	9.0	13.0		9.00	0.27	33	3.0								
5.40	12.0	18.0		12.00	0.40	30	3.3								
5.60	15.0	19.0		15.00	0.27	56	1.8								
5.80	8.0	11.0		8.00	0.20	40	2.5								
6.00	6.0	10.0		6.00	0.27	22	4.5								
6.20	6.0	11.0		6.00	0.33	18	5.5								
6.40	2.0	5.0		2.00	0.20	10	10.0								
6.60	3.0	6.0		3.00	0.20	15	6.7								
6.80	3.0	6.0		3.00	0.20	15	6.7								
7.00	4.0	7.0		4.00	0.20	20	5.0								
7.20	46.0	58.0		46.00	0.80	58	1.7								
7.40	20.0	28.0		20.00	0.53	38	2.7								
7.60	12.0	24.0		12.00	0.80	15	6.7								
7.80	38.0	46.0		38.00	0.53	72	1.4								
8.00	18.0	28.0		18.00	0.67	27	3.7								
8.20	6.0	13.0		6.00	0.47	13	7.8								
8.40	6.0	11.0		6.00	0.33	18	5.5								
8.60	4.0	12.0		4.00	0.53	8	13.3								
8.80	8.0	13.0		8.00	0.33	24	4.1								
9.00	8.0	16.0		8.00	0.53	15	6.6								
9.20	9.0	16.0		9.00	0.47	19	5.2								
9.40	10.0	18.0		10.00	0.53	19	5.3								
9.60	10.0	20.0		10.00	0.67	15	6.7								
9.80	9.0	18.0		9.00	0.60	15	6.7								
10.00	11.0	19.0		11.00	0.53	21	4.8								
10.20	9.0	19.0		9.00	0.67	13	7.4								
10.40	10.0	19.0		10.00	0.60	17	6.0								
10.60	11.0	21.0		11.00	0.67	16	6.1								
10.80	18.0	26.0		18.00	0.53	34	2.9								
11.00	17.0	39.0		17.00	1.47	12	8.6								
11.20	12.0	25.0		12.00	0.87	14	7.3								
11.40	17.0	29.0		17.00	0.80	21	4.7								
11.60	19.0	36.0		19.00	1.13	17	5.9								
11.80	22.0	42.0		22.00	1.33	17	6.0								
12.00	23.0	45.0		23.00	1.47	16	6.4								
12.20	27.0	50.0		27.00	1.53	18	5.7								
12.40	23.0	48.0		23.00	1.67	14	7.3								
12.60	14.0	36.0		14.00	1.47	10	10.5								
12.80	16.0	30.0		16.00	0.93	17	5.8								
13.00	20.0	52.0		20.00	2.13	9	10.7								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata  
alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

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

nota:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON042



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

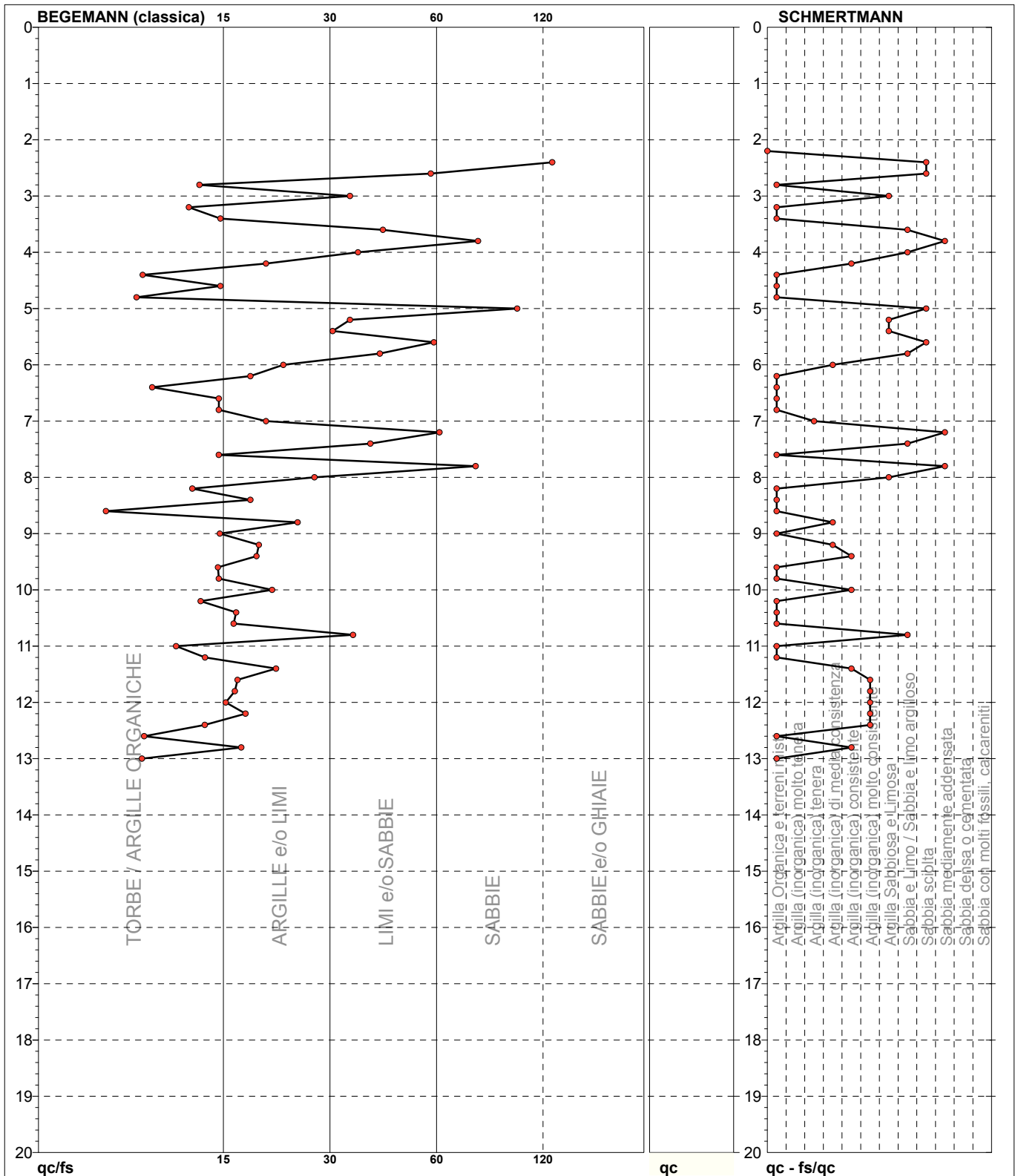
riferimento

**1****004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm²**  
Scala: **1:100**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data eseg.: **12/02/2014**  
Falda: **-1.98 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	64 punti, 64.65%	Argilla Organica e terreni misti:	24 punti, 24.24%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	4 punti, 4.04%
Argille e/o Limi :	22 punti, 22.22%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punto, 1.01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	5 punti, 5.05%
Limi e/o Sabbie :	10 punti, 10.10%	Argilla (inorganica) media consist.:	3 punti, 3.03%	Sabbia sciolta:	4 punti, 4.04%
Sabbie:	4 punti, 4.04%	Argilla (inorganica) consistente:	5 punti, 5.05%	Sabbia mediamente addensata:	3 punti, 3.03%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	5 punti, 5.05%		

nota:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON042



**DOTT. GEOL. ALBERTO FILELFI**  
Via E. Manfredi n°27 - 40138 - Bologna  
Mob.: +39 3356613540 Mail: alberto@afgeo.it

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## PARAMETRI GEOTECNICI

**CPT**

riferimento

**1****004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **12/02/2014**Pagina: **1**Elaborato: **Falda: -1.98 m da p.c.**

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	$\gamma'$ t/m³	$\sigma'_{vo}$ U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE												
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FLs	FLI	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	--	--	???	1.85	0.07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	--	--	???	1.85	0.11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	--	--	???	1.85	0.15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	--	--	???	1.85	0.19	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	--	--	???	1.85	0.22	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	--	--	???	1.85	0.26	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	--	--	???	1.85	0.30	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	--	--	???	1.85	0.33	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	--	--	???	1.85	0.37	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	--	--	???	1.85	0.41	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	8.00	114.29	4	0.84	0.42	121	0.40	5.8	113.1	169.6	35.2	6	32	24	21	20	28	26	0.87	1.33	13.3	20.0	24.0	
2.60	18.00	54.55	4	0.91	0.44	164	0.75	12.2	127.5	191.3	56.2	33	35	28	25	24	32	27	1.03	1.55	30.0	45.0	54.0	
2.80	8.00	13.33	2	0.86	0.46	121	0.40	5.3	125.6	188.3	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	9.00	33.33	4	0.85	0.48	127	0.45	5.8	127.0	190.5	37.8	7	32	24	21	20	28	26	0.80	1.21	15.0	22.5	27.0	
3.20	5.00	12.50	1	0.46	0.49	101	0.25	2.7	26.5	39.8	7.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	5.00	15.15	2	0.80	0.50	101	0.25	2.6	130.3	195.4	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	11.00	40.74	4	0.87	0.52	137	0.54	6.5	133.4	200.1	42.5	12	33	25	22	20	28	26	0.76	1.15	18.3	27.5	33.0	
3.80	24.00	72.73	3	0.86	0.54	183	--	--	--	--	--	38	36	29	26	24	32	28	0.93	1.41	40.0	60.0	72.0	
4.00	14.00	35.00	4	0.89	0.55	150	0.64	7.5	135.8	203.7	48.2	19	34	26	23	21	29	26	0.77	1.16	23.3	35.0	42.0	
4.20	12.00	20.00	2	0.92	0.57	141	0.57	6.3	149.3	224.0	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	5.00	9.43	1	0.46	0.58	101	0.25	2.2	29.3	43.9	7.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	5.00	15.15	2	0.80	0.60	101	0.25	2.1	138.4	207.7	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	3.00	9.09	1	0.46	0.61	84	0.15	1.1	19.4	29.1	4.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	12.00	92.31	4	0.88	0.62	141	0.57	5.6	168.2	252.3	44.6	11	33	24	21	20	28	26	0.68	1.02	20.0	30.0	36.0	
5.20	9.00	33.33	4	0.85	0.64	127	0.45	4.0	178.9	268.3	37.8	--	31	23	20	18	26	26	0.63	0.96	15.0	22.5	27.0	
5.40	12.00	30.00	4	0.88	0.66	141	0.57	5.3	180.2	270.3	44.6	9	32	24	21	20	27	26	0.66	1.00	20.0	30.0	36.0	
5.60	15.00	55.56	4	0.89	0.68	154	0.67	6.2	177.5	266.3	49.5	16	33	25	22	21	29	27	0.68	1.03	25.0	37.5	45.0	
5.80	8.00	40.00	4	0.84	0.69	121	0.40	3.2	192.2	288.3	35.2	--	31	22	19	18	25	26	0.60	0.92	13.3	20.0	24.0	
6.00	6.00	22.22	2	0.82	0.71	109	0.30	2.1	165.7	248.5	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	6.00	18.18	2	0.82	0.73	109	0.30	2.1	166.7	250.0	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	2.00	10.00	1	0.46	0.74	72	0.10	0.5	13.0	19.5	3.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	3.00	15.00	1	0.46	0.74	84	0.15	0.8	19.5	29.3	4.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	3.00	15.00	1	0.46	0.75	84	0.15	0.8	19.5	29.3	4.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	4.00	20.00	2	0.78	0.77	93	0.20	1.2	119.0	178.6	20.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	46.00	57.50	3	0.91	0.79	234	--	--	--	--	--	51	37	30	27	25	34	31	0.90	1.39	76.7	115.0	138.0	
7.40	20.00	37.74	4	0.93	0.81	171	0.80	6.2	210.9	316.3	60.0	22	34	26	22	21	29	27	0.67	1.00	33.3	50.0	60.0	
7.60	12.00	15.00	2	0.92	0.82	141	0.57	4.0	230.3	345.5	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	38.00	71.70	3	0.90	0.84	218	--	--	--	--	--	43	36	29	26	24	33	30	0.81	1.24	63.3	95.0	114.0	
8.00	18.00	26.87	2	0.98	0.86	164	0.75	5.3	235.7	353.5	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	6.00	12.77	1	0.46	0.87	109	0.30	1.7	37.4	56.1	9.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	6.00	18.18	2	0.82	0.89	109	0.30	1.6	173.5	260.3	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	4.00	7.55	1	0.46	0.90	93	0.20	1.0	26.0	39.0	6.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	8.00	24.24	2	0.86	0.91	121	0.40	2.2	218.7	328.0	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	8.00	15.09	2	0.86	0.93	121	0.40	2.2	219.9	329.9	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	9.00	19.15	2	0.88	0.95	127	0.45	2.5	239.4	359.0	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	10.00	18.87	2	0.90	0.97	132	0.50	2.8	256.1	384.2	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	10.00	14.93	2	0.90	0.98	132	0.50	2.7	258.4	387.6	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	9.00	15.00	2	0.88	1.00	127	0.45	2.3	244.1	366.1	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	11.00	20.75	2	0.91	1.02	137	0.54	2.8	272.6	408.9	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	9.00	13.43	2	0.88	1.04	127	0.45	2.2	246.7	370.1	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	10.00	16.67	2	0.90	1.06	132	0.50	2.5	266.1	399.2	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	11.00	16.42	2	0.91	1.07	137	0.54	2.6	279.4	419.1	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	18.00	33.96	4	0.91	1.09	164	0.75	3.9	306.1	459.2	56.2	11	33	24	20	19	27	27	0.61	0.92	30.0	45.0	54.0	
11.00	17.00	11.56	2	0.97	1.11	161	0.72	3.7	313.9	470.9	54.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	12.00	13.79	2	0.92	1.13	141	0.57	2.7	295.9	443.9	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.40	17.00	21.25	2	0.97	1.15	161	0.72	3.5	324.3	486.5	54.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	19.00	16.81	2	0.99	1.17	168	0.78	3.8	329.7	494.6	58.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	22.00	16.54	4	0.93	1.19	177	0.85	4.1	331.7	497.6	66.0	16	33	24	21	20	28	28	0.64	0.97	36.7	55.0	66.0	
12.00	23.00	15.65	4	0.94	1.21	180	0.87	4.2	337.1	505.6	69.0	17	33	24	21	20	28	28	0.65	0.98	38.3	57.5	69.0	
12.20	27.00	17.65	4	0.95	1.23	192	0.95	4.5	341.7	512.6	81.0	22	34	25	22	21	29	28	0.68	1.03	45.0	67.5	81.0	
12.40	23.00	13.77	4	0.94	1.24	180	0.87	4.0	347.1	520.7	69.0	16	33	24	21	20	28	28	0.65	0.98	38.3	57.5	69.0	
12.60	14.00	9.52	2	0.94	1.26	150	0.64	2.7	330.1	495.1	48.2	--	--											



**DOTT. GEOL. ALBERTO FILELFI**  
Via E. Manfredi n°27 - 40138 - Bologna  
Mob.: +39 3356613540 Mail: alberto@afgeo.it

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT**

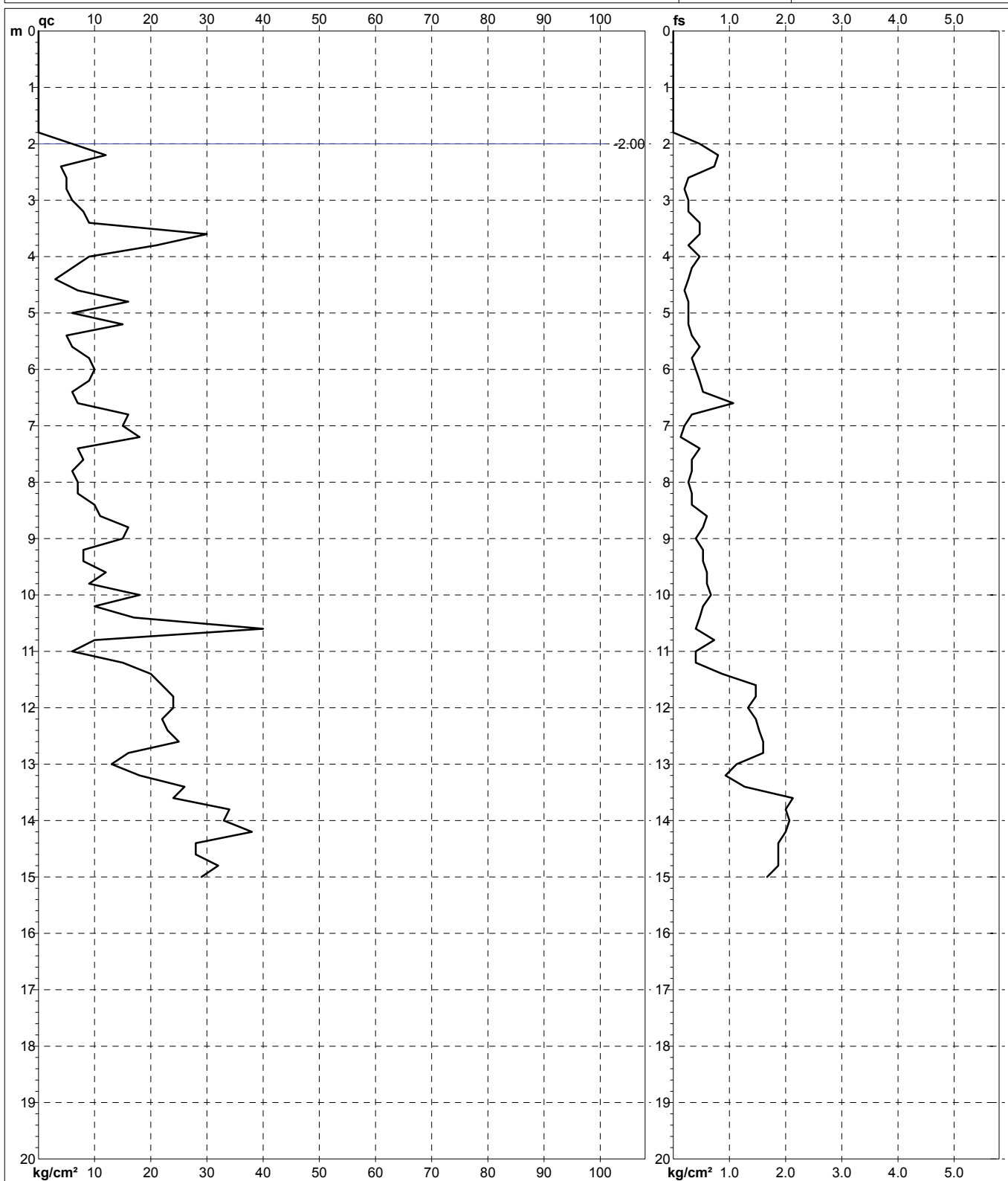
riferimento

**2****004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
Scala: **1:100**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data esec.: **12/02/2014**  
Quota inizio:  
Falda: **-2.00 m** da p.c.



Penetrometro: SP 100-C  
Responsabile:  
Assistente:

Preforo: -1.80 m  
Corr.astine: kg/ml  
Cod.ISTAT: 037048  
Cod. punta:

nota:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON042



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT****2**

riferimento

**004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **12/02/2014**Pagina: **1**

Elaborato:

Falda: **-2.00 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%	m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%
0.20	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.40	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.60	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.80	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.00	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.20	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.40	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.60	0.0	0.0		0.00	0.00										
1.80	0.0	0.0		0.00	0.00										
2.00	6.0	13.0		6.00	0.47	13	7.8								
2.20	12.0	24.0		12.00	0.80	15	6.7								
2.40	4.0	15.0		4.00	0.73	5	18.3								
2.60	5.0	9.0		5.00	0.27	19	5.4								
2.80	5.0	8.0		5.00	0.20	25	4.0								
3.00	6.0	10.0		6.00	0.27	22	4.5								
3.20	8.0	12.0		8.00	0.27	30	3.4								
3.40	9.0	16.0		9.00	0.47	19	5.2								
3.60	30.0	37.0		30.00	0.47	64	1.6								
3.80	21.0	25.0		21.00	0.27	78	1.3								
4.00	9.0	16.0		9.00	0.47	19	5.2								
4.20	6.0	11.0		6.00	0.33	18	5.5								
4.40	3.0	7.0		3.00	0.27	11	9.0								
4.60	7.0	10.0		7.00	0.20	35	2.9								
4.80	16.0	20.0		16.00	0.27	59	1.7								
5.00	6.0	10.0		6.00	0.27	22	4.5								
5.20	15.0	19.0		15.00	0.27	56	1.8								
5.40	5.0	10.0		5.00	0.33	15	6.6								
5.60	6.0	13.0		6.00	0.47	13	7.8								
5.80	9.0	14.0		9.00	0.33	27	3.7								
6.00	10.0	16.0		10.00	0.40	25	4.0								
6.20	9.0	16.0		9.00	0.47	19	5.2								
6.40	6.0	14.0		6.00	0.53	11	8.8								
6.60	7.0	23.0		7.00	1.07	7	15.3								
6.80	16.0	21.0		16.00	0.33	48	2.1								
7.00	15.0	18.0		15.00	0.20	75	1.3								
7.20	18.0	20.0		18.00	0.13	138	0.7								
7.40	7.0	14.0		7.00	0.47	15	6.7								
7.60	8.0	13.0		8.00	0.33	24	4.1								
7.80	6.0	11.0		6.00	0.33	18	5.5								
8.00	7.0	11.0		7.00	0.27	26	3.9								
8.20	7.0	12.0		7.00	0.33	21	4.7								
8.40	10.0	15.0		10.00	0.33	30	3.3								
8.60	11.0	20.0		11.00	0.60	18	5.5								
8.80	16.0	24.0		16.00	0.53	30	3.3								
9.00	15.0	21.0		15.00	0.40	38	2.7								
9.20	8.0	16.0		8.00	0.53	15	6.6								
9.40	8.0	16.0		8.00	0.53	15	6.6								
9.60	12.0	21.0		12.00	0.60	20	5.0								
9.80	9.0	18.0		9.00	0.60	15	6.7								
10.00	18.0	28.0		18.00	0.67	27	3.7								
10.20	10.0	18.0		10.00	0.53	19	5.3								
10.40	17.0	24.0		17.00	0.47	36	2.8								
10.60	40.0	46.0		40.00	0.40	100	1.0								
10.80	10.0	21.0		10.00	0.73	14	7.3								
11.00	6.0	12.0		6.00	0.40	15	6.7								
11.20	15.0	21.0		15.00	0.40	38	2.7								
11.40	20.0	33.0		20.00	0.87	23	4.4								
11.60	22.0	44.0		22.00	1.47	15	6.7								
11.80	24.0	46.0		24.00	1.47	16	6.1								
12.00	24.0	44.0		24.00	1.33	18	5.5								
12.20	22.0	44.0		22.00	1.47	15	6.7								
12.40	23.0	46.0		23.00	1.53	15	6.7								
12.60	25.0	49.0		25.00	1.60	16	6.4								
12.80	16.0	40.0		16.00	1.60	10	10.0								
13.00	13.0	30.0		13.00	1.13	12	8.7								
13.20	18.0	32.0		18.00	0.93	19	5.2								
13.40	26.0	45.0		26.00	1.27	20	4.9								
13.60	24.0	56.0		24.00	2.13	11	8.9								
13.80	34.0	64.0		34.00	2.00	17	5.9								
14.00	33.0	64.0		33.00	2.07	16	6.3								
14.20	38.0	68.0		38.00	2.00	19	5.3								
14.40	28.0	56.0		28.00	1.87	15	6.7								
14.60	28.0	56.0		28.00	1.87	15	6.7								
14.80	32.0	60.0		32.00	1.87	17	5.8								
15.00	29.0	54.0		29.00	1.67	17	5.8								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata

alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

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

nota:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON042





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT****2**

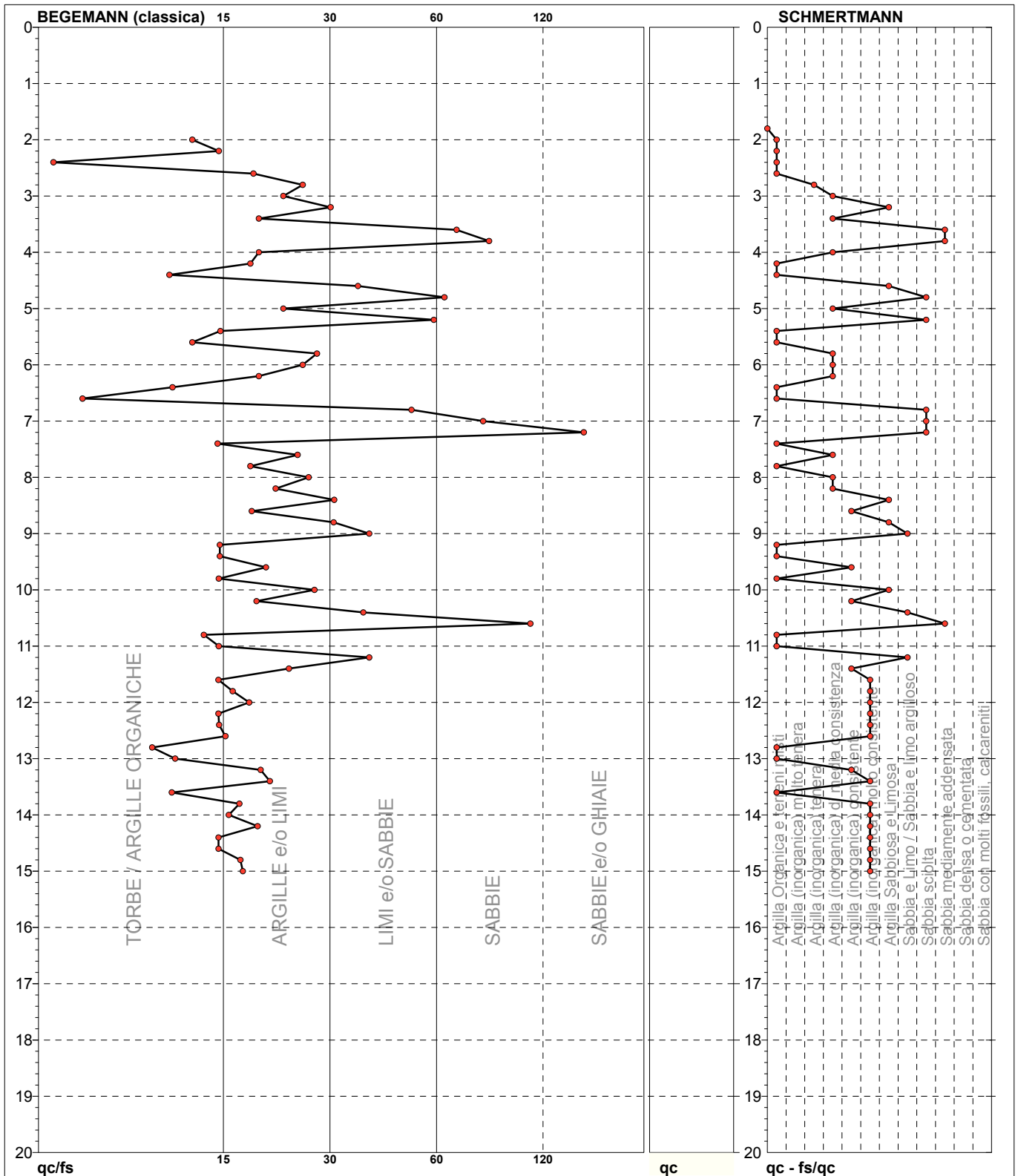
riferimento

**004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm²**  
Scala: **1:100**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data eseg.: **12/02/2014**  
Falda: **-2.00 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	52 punti, 52.53%	Argilla Organica e terreni misti:	20 punti, 20.20%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	5 punti, 5.05%
Argille e/o Limi :	34 punti, 34.34%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 1.01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	3 punti, 3.03%
Limi e/o Sabbie :	9 punti, 9.09%	Argilla (inorganica) media consist.:	10 punti, 10.10%	Sabbia sciolta:	5 punti, 5.05%
Sabbie:	4 punti, 4.04%	Argilla (inorganica) consistente:	5 punti, 5.05%	Sabbia mediamente addensata:	3 punti, 3.03%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1.01%	Argilla (inorganica) molto consist.:	14 punti, 14.14%		

nota:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON042



**DOTT. GEOL. ALBERTO FILELFI**  
Via E. Manfredi n°27 - 40138 - Bologna  
Mob.: +39 3356613540 Mail: alberto@afgeo.it

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## PARAMETRI GEOTECNICI

**CPT**

riferimento

**2****004-2014**

Committente: **Arch. Davide Busi**  
Cantiere: **Via Circonvallazione di Ponente n°14**  
Località: **Pieve di Cento (BO)**

U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **12/02/2014**Pagina: **1**  
Elaborato:Falda: **-2.00 m da p.c.**

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE												
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FLs	FLI	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	--	--	???	1.85	0.07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	--	--	???	1.85	0.11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	--	--	???	1.85	0.15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	--	--	???	1.85	0.19	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	--	--	???	1.85	0.22	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	--	--	???	1.85	0.26	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	--	--	???	1.85	0.30	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	--	--	???	1.85	0.33	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	6.00	12.77	1	0.46	0.34	109	0.30	5.3	18.0	27.0	9.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	12.00	15.00	2	0.92	0.36	141	0.57	11.2	97.1	145.7	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	4.00	5.48	1	0.46	0.37	93	0.20	2.9	20.4	30.6	6.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	5.00	18.52	2	0.80	0.39	101	0.25	3.7	108.9	163.4	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	5.00	25.00	2	0.80	0.40	101	0.25	3.5	113.2	169.8	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	6.00	22.22	2	0.82	0.42	109	0.30	4.1	116.8	175.2	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	8.00	29.63	2	0.86	0.44	121	0.40	5.6	117.2	175.8	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	9.00	19.15	2	0.88	0.45	127	0.45	6.2	118.5	177.7	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	30.00	63.83	3	0.88	0.47	199	--	--	--	--	--	49	37	30	27	26	34	29	1.03	1.60	50.0	75.0	90.0	
3.80	21.00	77.78	3	0.85	0.49	174	--	--	--	--	--	36	36	28	25	24	32	27	0.89	1.34	35.0	52.5	63.0	
4.00	9.00	19.15	2	0.88	0.51	127	0.45	5.4	137.3	205.9	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	6.00	18.18	2	0.82	0.52	109	0.30	3.1	144.4	216.7	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	3.00	11.11	1	0.46	0.53	84	0.15	1.3	19.2	28.8	4.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	7.00	35.00	4	0.83	0.55	115	0.35	3.6	154.5	231.8	32.2	--	31	22	19	18	25	26	0.63	0.96	11.7	17.5	21.0	
4.80	16.00	59.26	4	0.90	0.57	157	0.70	8.1	135.2	202.8	51.8	23	34	26	23	22	30	27	0.73	1.10	26.7	40.0	48.0	
5.00	6.00	22.22	2	0.82	0.58	109	0.30	2.7	153.9	230.8	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	15.00	55.56	4	0.89	0.60	154	0.67	7.2	149.2	223.8	49.5	19	34	26	23	21	29	27	0.70	1.05	25.0	37.5	45.0	
5.40	5.00	15.15	2	0.80	0.62	101	0.25	2.0	139.5	209.3	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	6.00	12.77	1	0.46	0.62	109	0.30	2.5	33.3	50.0	9.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	9.00	27.27	2	0.88	0.64	127	0.45	4.0	179.2	268.9	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	10.00	25.00	2	0.90	0.66	132	0.50	4.4	184.3	276.5	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	9.00	19.15	2	0.88	0.68	127	0.45	3.8	191.2	286.7	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	6.00	11.32	1	0.46	0.69	109	0.30	2.2	34.9	52.3	9.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	7.00	6.54	1	0.46	0.70	115	0.35	2.7	37.8	56.7	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	16.00	48.48	4	0.90	0.71	157	0.70	6.1	188.4	282.6	51.8	17	33	25	22	21	29	27	0.64	0.96	26.7	40.0	48.0	
7.00	15.00	75.00	4	0.89	0.73	154	0.67	5.6	197.8	296.6	49.5	14	33	25	22	20	28	27	0.62	0.94	25.0	37.5	45.0	
7.20	18.00	138.46	4	0.91	0.75	164	0.75	6.3	195.9	293.8	56.2	20	34	26	22	21	29	27	0.65	0.97	30.0	45.0	54.0	
7.40	7.00	14.89	1	0.46	0.76	115	0.35	2.4	39.7	59.6	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	8.00	24.24	2	0.86	0.78	121	0.40	2.7	205.4	308.1	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	6.00	18.18	2	0.82	0.79	109	0.30	1.9	170.1	255.2	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	7.00	25.93	2	0.84	0.81	115	0.35	2.2	192.1	288.2	32.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	7.00	21.21	2	0.84	0.83	115	0.35	2.1	193.2	289.9	32.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	10.00	30.30	4	0.86	0.84	132	0.50	3.3	235.8	353.7	40.0	--	31	22	19	18	25	26	0.55	0.84	16.7	25.0	30.0	
8.60	11.00	18.33	4	0.91	0.86	137	0.54	3.5	243.0	364.6	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	16.00	30.19	4	0.90	0.88	157	0.70	4.7	244.9	367.4	51.8	12	33	24	21	20	27	27	0.59	0.89	26.7	40.0	48.0	
9.00	15.00	37.50	4	0.89	0.90	154	0.67	4.3	250.9	376.4	49.5	9	32	24	20	19	27	27	0.58	0.88	25.0	37.5	45.0	
9.20	8.00	15.09	2	0.86	0.92	121	0.40	2.2	218.8	328.2	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	8.00	15.09	2	0.86	0.93	121	0.40	2.2	220.0	330.0	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	12.00	20.00	2	0.92	0.95	141	0.57	3.3	266.5	399.7	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	9.00	15.00	2	0.88	0.97	127	0.45	2.4	241.2	361.8	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	18.00	26.87	2	0.98	0.99	164	0.75	4.4	275.8	413.8	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	10.00	18.87	2	0.90	1.01	132	0.50	2.6	261.0	391.4	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	17.00	36.17	4	0.91	1.02	161	0.72	4.1	285.9	428.9	54.1	10	33	24	20	19	27	27	0.59	0.90	28.3	42.5	51.0	
10.60	40.00	100.00	3	0.90	1.04	222	--	--	--	--	--	39	36	28	25	23	32	30	0.77	1.17	66.7	100.0	120.0	
10.80	10.00	13.70	2	0.90	1.06	132	0.50	2.5	266.6	399.9	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	6.00	15.00	1	0.46	1.07	109	0.30	1.3	38.5	57.7	9.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	15.00	37.50	4	0.89	1.09	154	0.67	3.4	305.8	458.8	49.5	5	32	23	19	18	26	27	0.58	0.88	25.0	37.5	45.0	
11.40	20.00	22.99	4	0.93	1.11	171	0.80	4.2	308.9	463.4	60.0	14	33	24	21	20	27	27	0.62	0.93	33.3	50.0	60.0	
11.60	22.00	14.97	4	0.93	1.12	177	0.85	4.4	314.0	471.0	66.0	17	33	25	21	20	28	28	0.63	0.96	36.7	55.0	66.0	
11.80	24.00	16.33	4	0.94	1.14	183	0.89	4.6	318.6	477.9	72.0	20	34	25	22	20	28	28	0.65	0.98	40.0	60.0	72.0	
12.00	24.00	18.05	4	0.94	1.16	183	0.89	4.5	324.2	486.4	72.0	19	34	25	22	20	28	28	0.65	0.98	40.0	60.0	72.0	
12.20	22.00	14.97	4	0.93	1.18	177	0.85	4.1	329.8	494.7	66.0	16	33	24	21	20	28	28	0.64	0.96	36.7	55.0	66.0	
12.40	23.00																							



## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

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

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

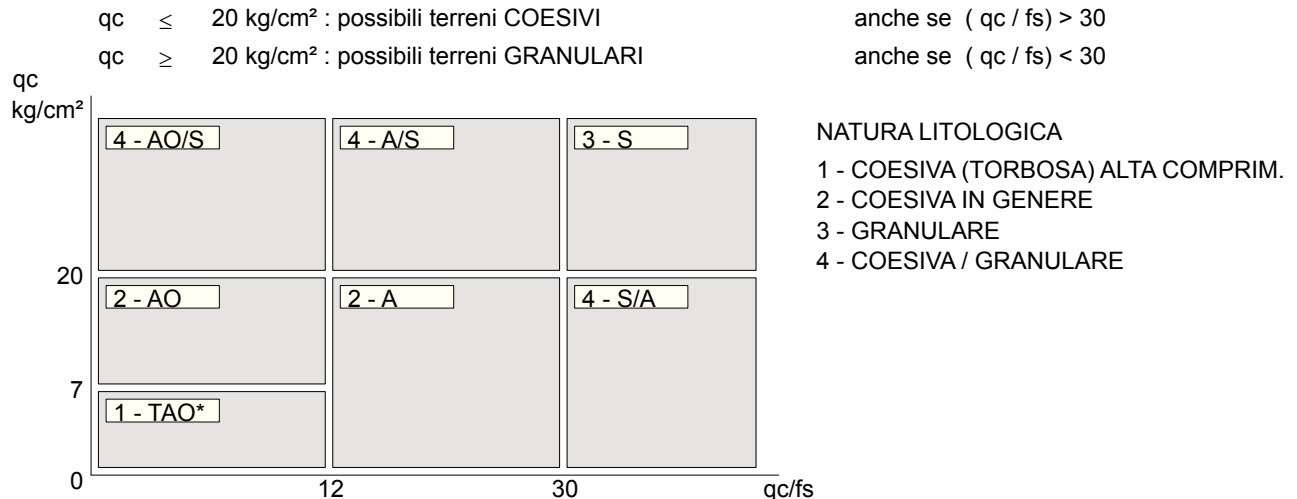
Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

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



## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

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



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

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  -  $qc$  - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  -  $qc$  ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  -  $qc$  ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  -  $qc$  - natura]  
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $D_r$  -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 )]
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  -  $qc$  -  $\sigma'_{vo}$  )  
 $\emptyset'_{Ca}$  - Caquot (1948)  $\emptyset'_{Ko}$  - Koppejan (1948)  
 $\emptyset'_{DB}$  - De Beer (1965)  $\emptyset'_{Sc}$  - Schmertmann (1978)  
 $\emptyset'_{DM}$  - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)  $\emptyset'_{Me}$  - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L.1-2= accelerazione al suolo che può causare liquefazione (1=Sabbie Pulite, 2=Sabbie Limose)  
(  $g$  = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni :  $(A_{max}/g)$  -  $D_r$ ]
- $V_s$  = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )



## LEGENDA VALUTAZIONI SISMICHE INDICAZIONI GENERALI (parte 1)

### INTRODUZIONE

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie, ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove deve essere realizzata la costruzione.

Le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze sul tipo di parametri più significativi e alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica hanno preso avvio a partire dai terremoti di Niigata dell'Alaska (1964).

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento, cui hanno fatto seguito criteri e metodi più raffinati e complessi capaci di tenere conto di un numero di parametri sempre più elevato.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione in termini di pressione effettive della risposta sismica locale e su prove di laboratorio molto sofisticate e complesse.

Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli stati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e quelli indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione.

A tal fine richiedono la precisazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, valutati questi ultimi o con prove dinamiche di laboratorio o con prove in situ.

La loro applicazione richiede quindi:

- la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ e in laboratorio;
- calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte;

Essi sono basati sui concetti di rapporto tensionale ciclico (CSR), che esprime il carico sismico, e di rapporto di resistenza ciclica (CRR), che esprime la capacità del terreno di resistere alla liquefazione.

**Ove si usi il metodo delle correlazioni di campagna, un terreno deve essere considerato suscettibile a liquefazione allorché lo sforzo di taglio generato dal terremoto a una data profondità supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati alla medesima profondità; il livello di sforzo di taglio pari all'80% implica un fattore di sicurezza pari a 1,25**

Metodo di Robertson e Campanella 1998

Tra i metodi semplificati il più noto è quello di Robertson - Campanella, basato sulla conoscenza di pochi parametri geotecnici:

granulometria, resistenza di punta della prova standard CPT, densità relativa, peso di volume.

# ***ALLEGATO B***

## ***STUDIO GEOFISICO***

RELAZIONE TECNICA

- MASW
- HVSR

## **INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....</b>	<b>2</b>
<b>4. PROVA MASW .....</b>	<b>3</b>
<b>5. MISURA DI SISMICA PASSIVA CON TROMOGRAFO DIGITALE .....</b>	<b>4</b>
<b>6. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DA PROVA MASW .....</b>	<b>5</b>
<b>7. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DA SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA .....</b>	<b>7</b>
<b>8. INTERPRETAZIONE COMBINATA DELLE MISURE SISMICHE .....</b>	<b>8</b>
<b>9. PARAMETRO <math>V_{s30}</math> .....</b>	<b>10</b>
<b>10. CONCLUSIONI .....</b>	<b>11</b>

## 1. PREMESSA

Il presente studio ha previsto la realizzazione di una prova MASW abbinata ad un'analisi del microtremore sismico ambientale con tecnica passiva a stazione singola, mediante tromografo digitale portatile TROMINO. Le indagini avevano la finalità di caratterizzare il comparto dal punto di vista sismico e di ricostruire il profilo di velocità delle onde S, necessarie per la classificazione sismica del sito secondo le norme tecniche sulle costruzioni attualmente vigenti (NTC 2008).

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'elaborato è stato eseguito in accordo con le normative di seguito elencate:

- Ordinanza O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- Delibera Assembleare della Regione Emilia Romagna del 2 maggio 2007 - Prog. n° 112 - Oggetto n° 2131: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- Norme tecniche per le costruzioni: D.M. 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008).
- Circolare Cons. Sup.LL.PP. N° 617/2009 del 02-02-2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

## 3. CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per le indagini è stato utilizzato un tromografo digitale portatile TROMINO, prodotto da Micromed S.p.A., nella versione Engineering, al quale è stato collegato un cavo trigger (lunghezza di 50 m) dotato di geofono con puntale con frequenza propria di 4,5 Hz.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche tecniche dello strumento, secondo le indicazioni fornite dalla ditta costruttrice.

SPECIFICHE TECNICHE	
Costruttore	Micromed S.P.A.
Apparato	TROMINO® sistema ultraportatile di acquisizione del rumore sismico
Classificazione	CISPR 11 - EN 55011; Gruppo1 ; Classe B.
Conformità agli standard	EN 55011; IEC 61000-4-2; EC 61000-4-4 ; IEC 61000-4-3
Voltaggio interno	+3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
Numero di canali	3+1 analogici
Amplificatori	tutti canali con input differenziali



<b>Rumore</b>	< 0.5 $\mu$ V r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Impedenza dell'input</b>	10 <sup>6</sup> Ohm
<b>Range di frequenze</b>	DC - 360 Hz
<b>Frequenza di campionamento</b>	16384 Hz per canale
<b>Frequenze di sovracampionamento</b>	32x, 64x, 128x
<b>Conversione A/D</b>	equivalente a 24 bit
<b>Massimo input analogico</b>	51.2 mV (781 nV/digit)
<b>Display grafico</b>	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato
<b>Orologio</b>	interno, permanente con datario e allarme
<b>GPS</b>	12 canali con time-marker (precisione 1 $\mu$ s)
<b>Livella</b>	a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
<b>Registrazione dati</b>	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
<b>Accoppiamento col terreno</b>	su punte e cuscinetto reologico
<b>Condizioni ambientali per l'uso</b>	temperatura - 10 / +70°C / umidità 0-90% senza condensa
<b>Impermeabilità</b>	indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
<b>Sensori</b>	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

**Tabella 1:** Principali specifiche tecniche dello strumento di acquisizione.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le tre componenti spaziali (N-S, E-W e Up-Down), che consentono di acquisizione digitale in alta definizione delle vibrazioni del terreno (ampiezze d'onda inferiori a 10  $\mu$ m), nel campo delle frequenze 0 – 200 Hz. In seguito ad una registrazione di un determinato tempo t, tale segnale digitalizzato viene elaborato tramite un software dedicato, Grilla, il quale esegue un'elaborazione per ognuna delle componenti del moto e ne fornisce i grafici relativi.

#### 4. PROVA MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è un'affidabile ed accreditata metodologia sismica che consente di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo. Tale metodo consiste nell'analisi delle onde di superficie Rayleigh, registrate da una serie di geofoni posizionati a formare uno stendimento. Le usuali e consolidate tecniche di elaborazione delle onde sismiche utilizzano unicamente i tempi di primo arrivo delle onde sismiche di volume indagate (P e S), considerando come "disturbo" la restante parte del segnale caratterizzato dalla presenza delle onde di superficie (Rayleigh e Love). Nuovi studi hanno dimostrato la possibilità di elaborare un modello matematico dall'analisi ed interpretazione di tale "disturbo".

Inoltre, a differenza di tutte le altre tecniche di indagine sismica, i metodi basati sull'analisi delle onde di superficie di Rayleigh non risultano limitati dalle inversioni di velocità ed, essendo la loro propagazione funzione innanzitutto delle onde S e solo in parte legata alla Vp e alla densità del mezzo, risultano un ottimo strumento per la caratterizzazione sismica del sito tramite la ricostruzione del profilo di Vs, come previsto dalla normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008).

La definizione di un modello che consenta di descrivere il profilo sismico del sito, prevede la costruzione di una curva sintetica di dispersione che riesca a riprodurre la curva sperimentale.

Sono però presenti alcune limitazioni dovute a:

- dimensioni dello stendimento;
- tipo di energizzazione;
- limiti di conoscenze del mezzo geologico;
- limitazioni intrinseche della misura.

È fondamentale, ai fini di una corretta interpretazione, la determinazione della profondità di indagine massima raggiunta dalla misura. Per fare ciò si individua la frequenza minima che la curva di dispersione ha raggiunto e si applica la formula elaborata da Stokoe et al. (1994):

$$h_{max} \cong 0,5\lambda_{max}$$

dove:

- $h_{max}$  indica la massima profondità di indagine
- $\lambda_{max}$  indica la massima lunghezza d'onda registrata (ricordando che  $\lambda=v/f$  con  $v$  che corrisponde alla velocità e  $f$  è la frequenza dell'onda).

## 5. MISURA DI SISMICA PASSIVA CON TROMOGRAFO DIGITALE

La sismica tromografica è una tecnica passiva che studia le onde a bassa frequenza e di bassa entità del terreno (microtremori) tramite misure puntuali sul suolo.

Con sofisticati strumenti (tromografi digitali) e specifiche tecniche di analisi dati (tecnica HVSR) è possibile misurare le onde prodotte dal rumore sismico ambientale ed analizzarne la struttura.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spazial Ratio), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) e poi da Nakamura (1989), è quella maggiormente utilizzata. Essa consiste nello studio dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale, per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. È ormai ampiamente riconosciuto in letteratura che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Inoltre si riconosce che le singole componenti del rumore ambientale possono registrare ampie variazioni in funzione dei disturbi naturali e antropici, mentre il rapporto delle componenti orizzontali con la componente verticale risulta stabile, conservando il picco della frequenza di risonanza fondamentale.

La tecnica HVSR può essere applicata in campo geologico per fornire una prospezione geologica del sottosuolo.

In un modello ideale di terreno costituito da due strati (1 e 2) con diversa densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e diverse velocità delle onde S ( $V_{s1}$  e  $V_{s2}$ ) è possibile mettere in relazione la frequenza di risonanza dello strato superficiale con il suo spessore e con la velocità delle onde S al suo interno. Tale relazione è espressa in maniera semplificata dalla seguente formula:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4h}$$

dove:

- $f_r$  è la frequenza di risonanza dello strato 1;
- $V_{s1}$  è la velocità delle onde S nello strato 1;
- $h$  è lo spessore dello strato 1;

Questo metodo, nella sua forma estesa e completa, viene utilizzato per la ricostruzione di modelli multistrato complessi, in grado di fornire parametri fisici del terreno.

Come è possibile notare, all'interno dell'equazione sono presenti tre incognite. Dalla misura tomografica si ottiene unicamente il valore della frequenza di risonanza degli strati ( $f_r$ ), per cui l'equazione risulta indeterminata. È necessario fornire un valore di riferimento ( $V_{s1}$  o  $h$ ), detto "vincolo", che ne consenta la soluzione. Tale valore può giungere da altre indagini o da bibliografia.

## 6. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DA PROVA MASW

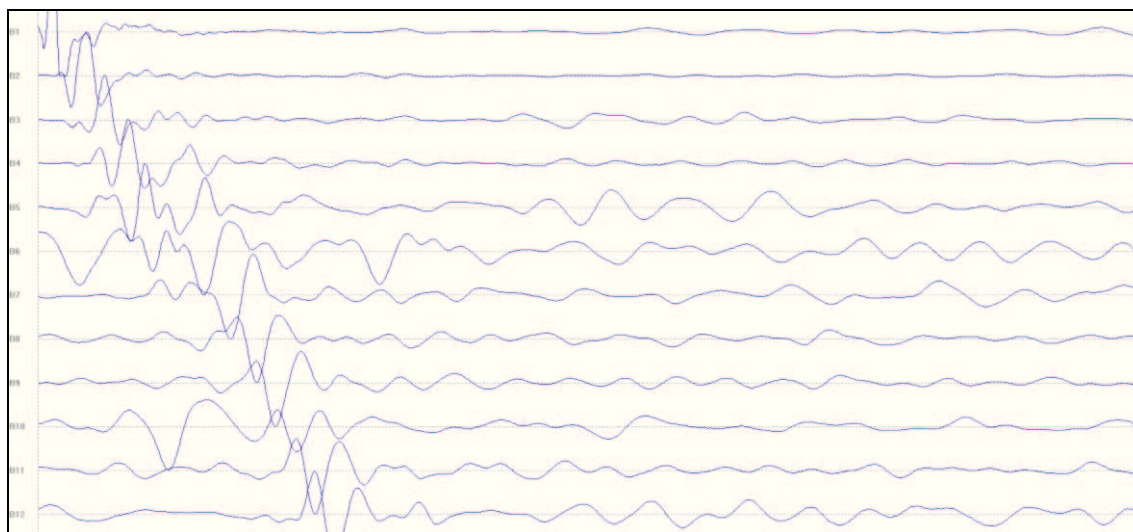
Lo stendimento per la realizzazione della MASW è stato effettuato lungo via Aroldo Taddia in modo tale da risentire meno del traffico veicolare presente sul viale di Circonvallazione di Ponente. La centralina di acquisizione dei dati (Tromino) è stata posizionata nei pressi della prova penetrometrica CPTU1, al di sopra del manto stradale della strada, utilizzando appositi piedini sia per la centralina di registrazione che per il geofono.

In questo caso, in funzione degli spazi a disposizione dell'operatore, è stato realizzato uno stendimento della lunghezza di 37 m. Lo schema di stendimento utilizzato prevede il posizionamento del primo geofono a 1 m dal Tromino e l'interdistanza tra le altre posizioni è di 3 metro. L'energizzazione, ottenuta tramite la tecnica del salto dell'operatore (salto in verticale di circa 30 cm con ricaduta sul posto) è stata effettuata a 3 m di distanza dallo starter lungo l'asse geofono-Tromino.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei principali parametri relativi all'acquisizione dei dati:

<b>M1</b>	
<b>Inizio registrazione</b>	Data 12/02/14 Ore 14:19:38
<b>Lunghezza della traccia</b>	4'12"
<b>Frequenza di campionamento</b>	1024 Hz
<b>N° geofoni</b>	12

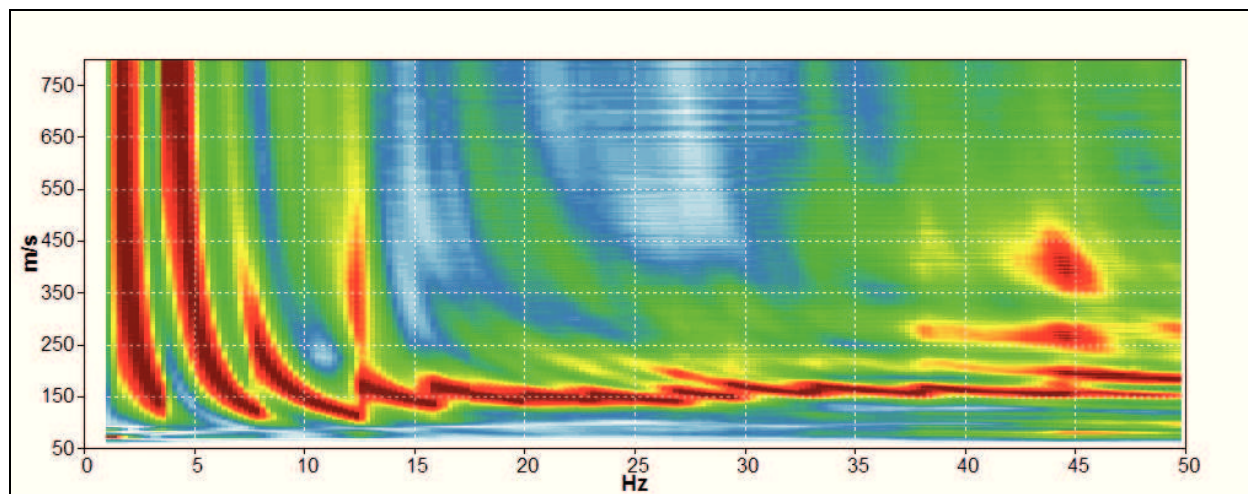
Di seguito si riporta l'immagine relativa ai 12 segnali sismici registrati.



**Fig. 1:** Segnali sismici registrati.

L'elaborazione a computer permette di ottenere un grafico all'interno del quale è possibile riconoscere la curva di dispersione. Essa fornisce con una scala cromatica l'intensità della risonanza delle onde di Rayleigh alle varie frequenze (asse delle ascisse) e la relativa velocità delle onde (asse delle ordinate). A questo punto è possibile procedere con l'interpretazione della misura.

Di seguito si riporta il grafico di dispersione derivante dall'elaborazione della misura:



**Fig. 2:** Curva di dispersione del sito.

Il grafico risultante dalla misura consente lo studio e l'elaborazione dei dati relativi al primo modo di vibrare del terreno, individuato come la curva definita dai colori caldi con velocità e frequenza minore (Fig. 2).

Nel grafico risultano visibile gran parte della curva di dispersione, disturbata in alcuni tratti da modi superiori di vibrare del sito, principalmente di origine antropica (manto stradale, ringhiere, cancelli, pali).

## 7. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DA SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

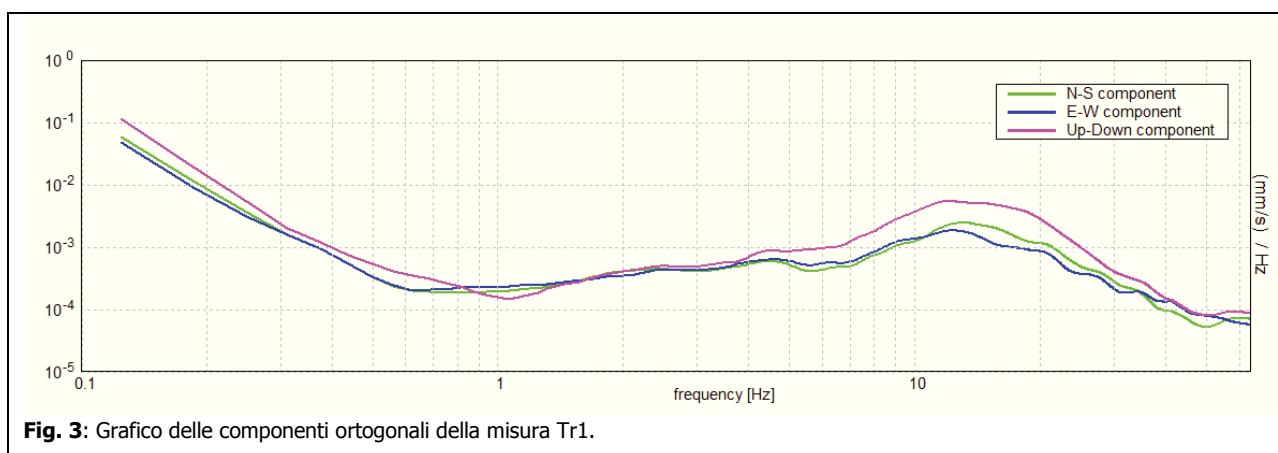
Lo strumento è stato piazzato nella stessa posizione di acquisizione dei dati della misura MASW, nei pressi della prova CPTU1.

Nella tabella seguente viene riportata la descrizione tecnica della misura effettuata:

Tr1	
Inizio registrazione	Data 12/02/14 Ore 15:47:23
Lunghezza della traccia	16'00"
Frequenza di campionamento	128 Hz
Dimensione della finestra di suddivisione del tracciato	12 sec
Percentuale di traccia analizzata	70%
Lisciamento	10%

La misura è stata elaborata in studio mediante il software dedicato Grilla fornito dalla Micromed.

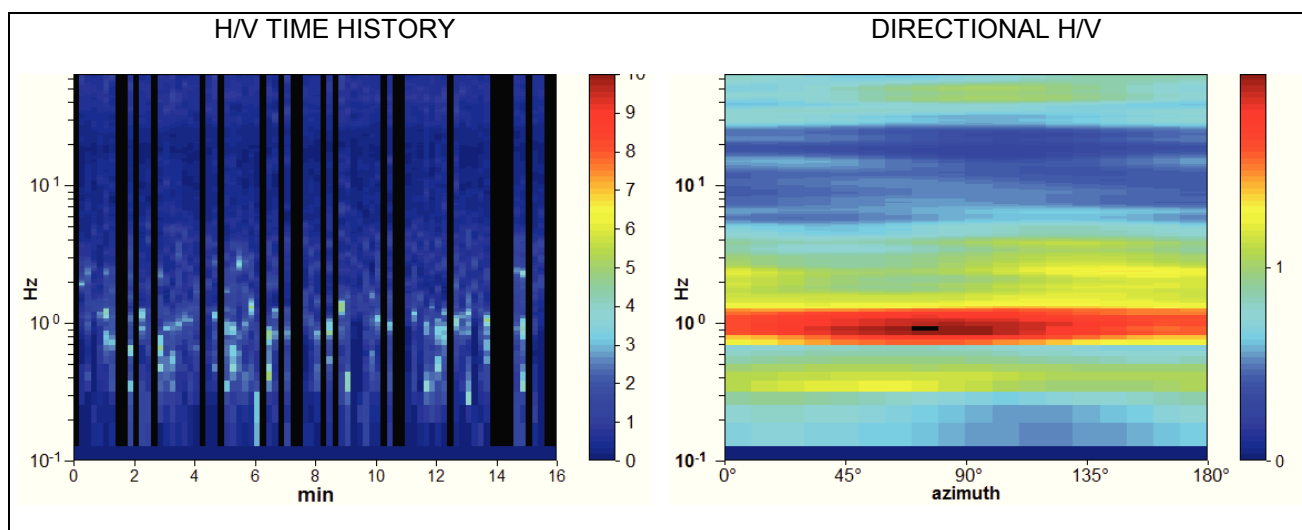
Osservando gli spettri delle singole componenti è possibile notare, dall'andamento uniforme delle tre linee (fig. 3), come la misura sia stata eseguita correttamente, effettuando un buon accoppiamento tra strumento e terreno.



**Fig. 3:** Grafico delle componenti ortogonali della misura Tr1.

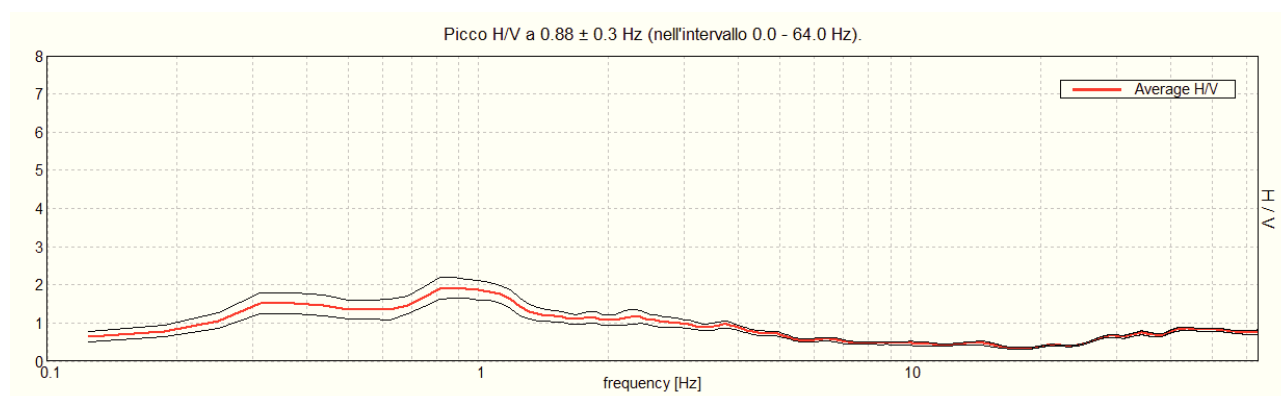
Per procedere con l'interpretazione della misura tomografica eseguita, è stata effettuata una selezione delle finestre da utilizzare per l'analisi, in quanto alcune di esse presentano disturbi che interferiscono e rendono poco chiari i grafici risultanti.

Il grafico "DIRECTIONAL H/V" mostra con una scala cromatica l'intensità dei picchi alle diverse frequenze (ordinate), fornendo una distribuzione spaziale di 180° nell'intorno del punto di misura partendo dal nord (0°).



**Fig. 4:** Grafici della storia HVSr (sinistra) e grafici della HVSr direzionale (destra) relativi alla misura Tr1.

Di seguito si riporta il grafico HVSr derivante dall'elaborazione della misura.



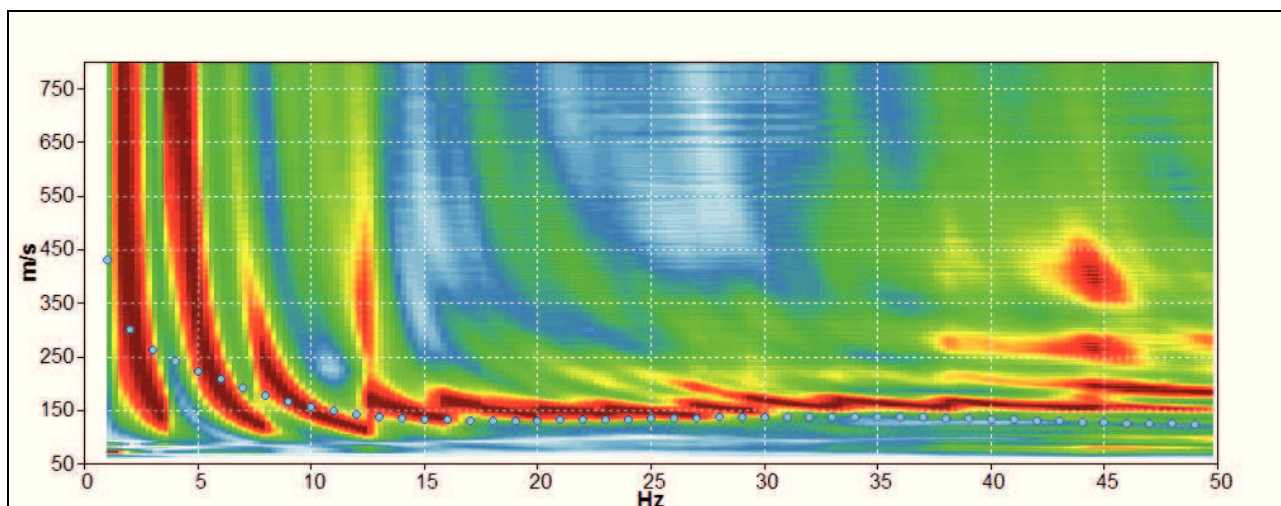
**Fig. 5:** Diagramma HVSr relativo alla misura Tr1.

Il grafico HVSr mostra un sito caratterizzato da modesti picchi di risonanza concentrati per lo più alle frequenze comprese tra 1,2 e 0,2 Hz. Ad alte frequenze è presente un'importante inversione di velocità indicata da un calo della curva HVSr al di sotto del valore di 1 nel rapporto H/V. Tale inversione è dovuta principalmente dai materiali di riporto presenti fino ad almeno 1,2 m di profondità costituiti da materiali eterogeneo con inglobati ghiaie e laterizi.

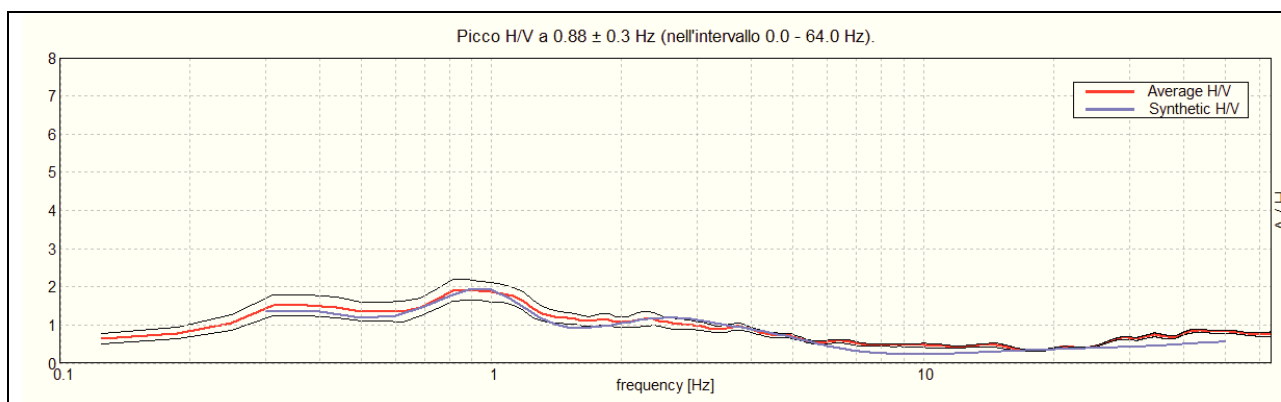
## 8. INTERPRETAZIONE COMBINATA DELLE MISURE SISMICHE

Di seguito viene riportata l'interpretazione congiunta delle due misure sismiche (attiva e passiva) in modo tale da ovviare alla limitata profondità di indagine della prova MASW (profondità significativa raggiunta dalla prova MASW = ~11 m), utilizzando anche come indicazioni i dati forniti dalle indagini geognostiche eseguiti nell'area.





**Fig. 6:** Curva di dispersione del sito e la curva sintetica ricostruita.



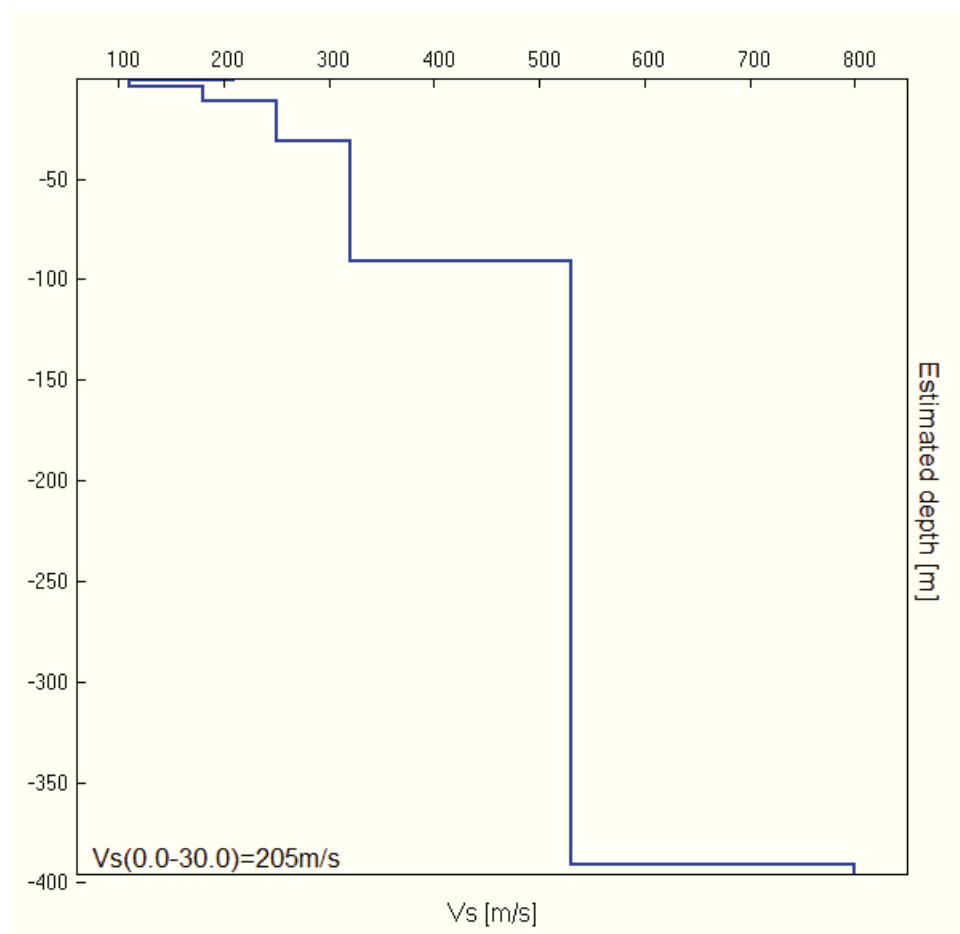
**Fig. 7:** Curva di dispersione del sito e la curva sintetica ricostruita.

Il grafico della curva di dispersione mostra la curva nel tratto iniziale (alte frequenze) con  $V_s$  di circa 210 m/s. Le velocità calano a 110 m/s alla frequenza di 27 Hz corrispondente ad una superficie di strato sismico alla profondità di -1,2 m che si estende fino a -4,0 m. A circa 10 Hz le  $V_s$  si innalzano a 180 m/s. La misura termina a rifiuto alla frequenza di 5 Hz dove la curva di dispersione tende a  $V_s$  infinite. Tale profondità corrisponde ad un contrasto di impedenza a -11,0 m. Oltre tale profondità la creazione del profilo sismico del sito è proceduta con il solo utilizzo della misura HVSR. L'inserimento dello strato a -11,0 m nel profilo sismico determina la creazione di un picco a circa 4 Hz, corrispondente con il picco registrato. In coalescenza è presente un picco a 2,2 Hz con valore di  $H/V$  pari a 1,2, posto nel modello come una superficie a -31,0 m. Il picco principale del sito ha frequenza 0,88 Hz, con  $H/V$  di 1,9, posto dal modello come un passaggio stratigrafico a -91,0 m. Il picco fondamentale ha frequenza 0,3 Hz, con  $H/V$  del valore di 1,6, interpretato come un sismostrato a -391,0 m.

Oltre tale frequenza non sono presenti picchi significativi.

Nella tabella e nel grafico seguenti vengono evidenziati gli strati sismici con le relative velocità delle onde S.

Strati sismici	Profondità [m]	Vs [m/s]
1	0 – 1.20	210
2	1.20 – 4.00	110
3	4.00 – 11.00	180
4	11.00 – 31.00	250
5	31.00 – 91.00	320
6	91.00 – 391.00	530
7	391.00 – inf.	800



## 9. PARAMETRO Vs<sub>30</sub>

Alla luce degli elementi emersi dall'indagine sismica la velocità equivalente Vs<sub>30</sub> di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità riferita al piano campagna della misura risulta:

$$\mathbf{Vs30\ (0.00\div -30.00\ m)\ =\ 205\ m/s\ (\pm 15\%)}$$

Di seguito vengono riportate le Vs30 riferite a piani campagna più profondi:

$$\mathbf{Vs30\ (-0.50\div -30.50\ m)\ =\ 206\ m/s\ (\pm 15\%)}$$

$$\mathbf{Vs_{30} (-1.00 \div -31.00 \text{ m}) = 206 \text{ m/s } (\pm 15\%)}$$

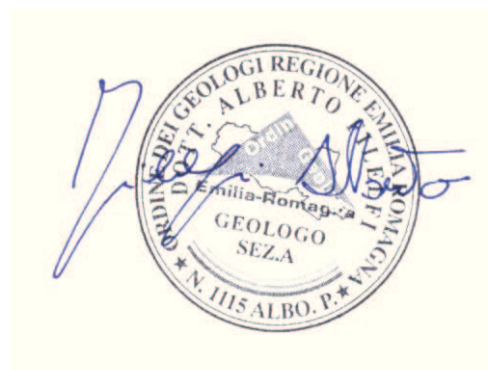
$$\mathbf{Vs_{30} (-1.50 \div -31.50 \text{ m}) = 210 \text{ m/s } (\pm 15\%)}$$

## 10. CONCLUSIONI

In sintesi vengono riportati i risultati dello studio sismico effettuato:

- Il picco principale è posto a 0,88 Hz e presenta un rapporto H/V pari a 1,9.
- Nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (1 Hz ÷ 11 Hz) non si segnalano le frequenze in grado di generare importanti effetti di risonanza nel terreno.
- Il parametro  $V_{s_{30}}$  (0÷30 m) del sito derivante dall'elaborazione della misura effettuata risulta pari a 205 m/s ( $\pm 15\%$ ).

Bologna, 13 Febbraio 2014



Dott. Alberto Filelfi  
(Ordine dei Geologi Emilia Romagna A.P. 1115)

# ***ALLEGATO C***

***VERIFICHE DELL'INDICE DI POTENZIALE  
LIQUEFAZIONE DEL SITO (LPI)***

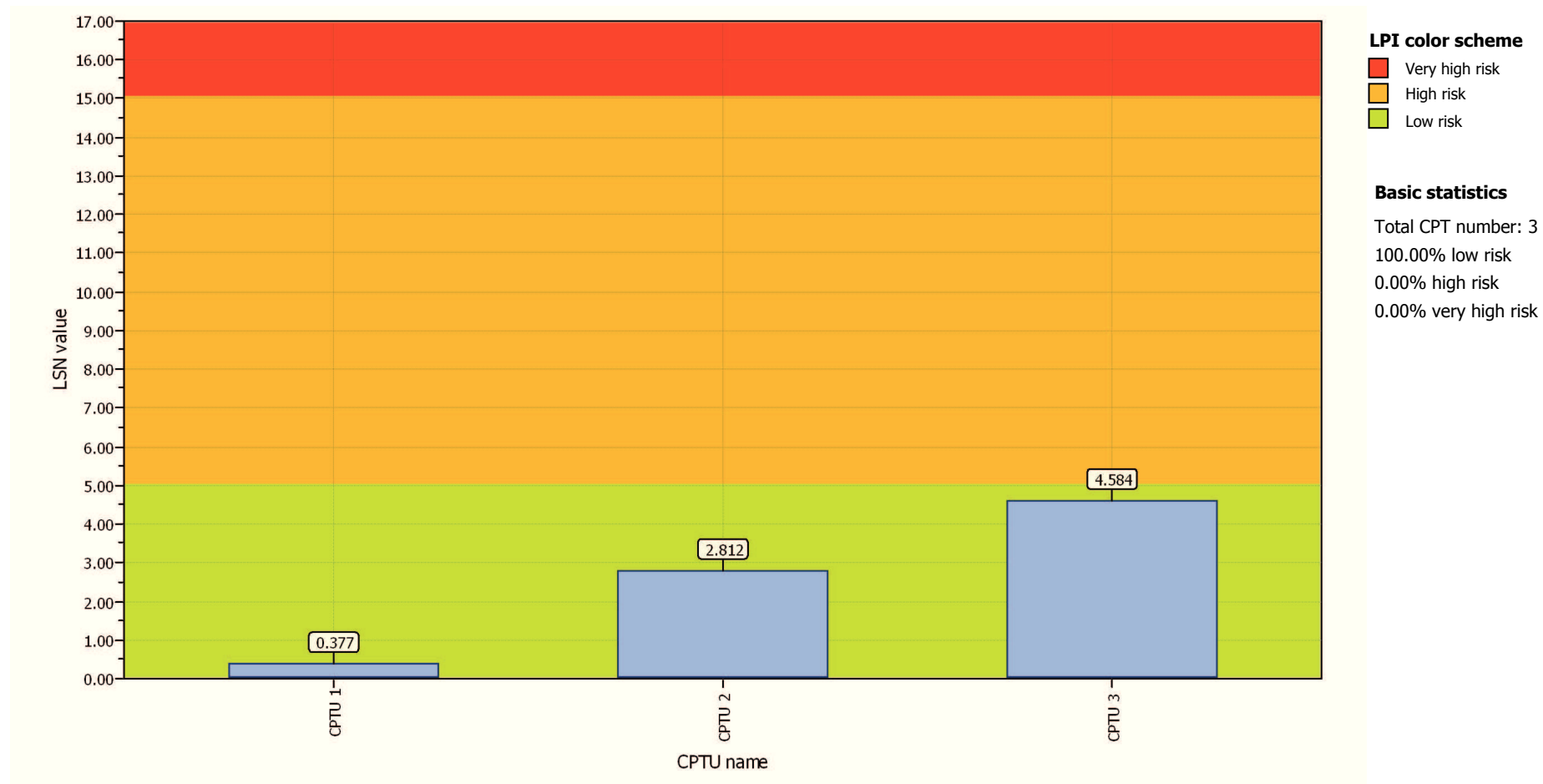
***CALCOLO CEDIMENTI POST SISMICI  
VERTICALI***

- RISULTATI RELAZIONE DI CALCOLO PROGRAMMA CLIQ  
(risultati grafici senza tabelle di calcolo)

**Project title :**

**Location :**

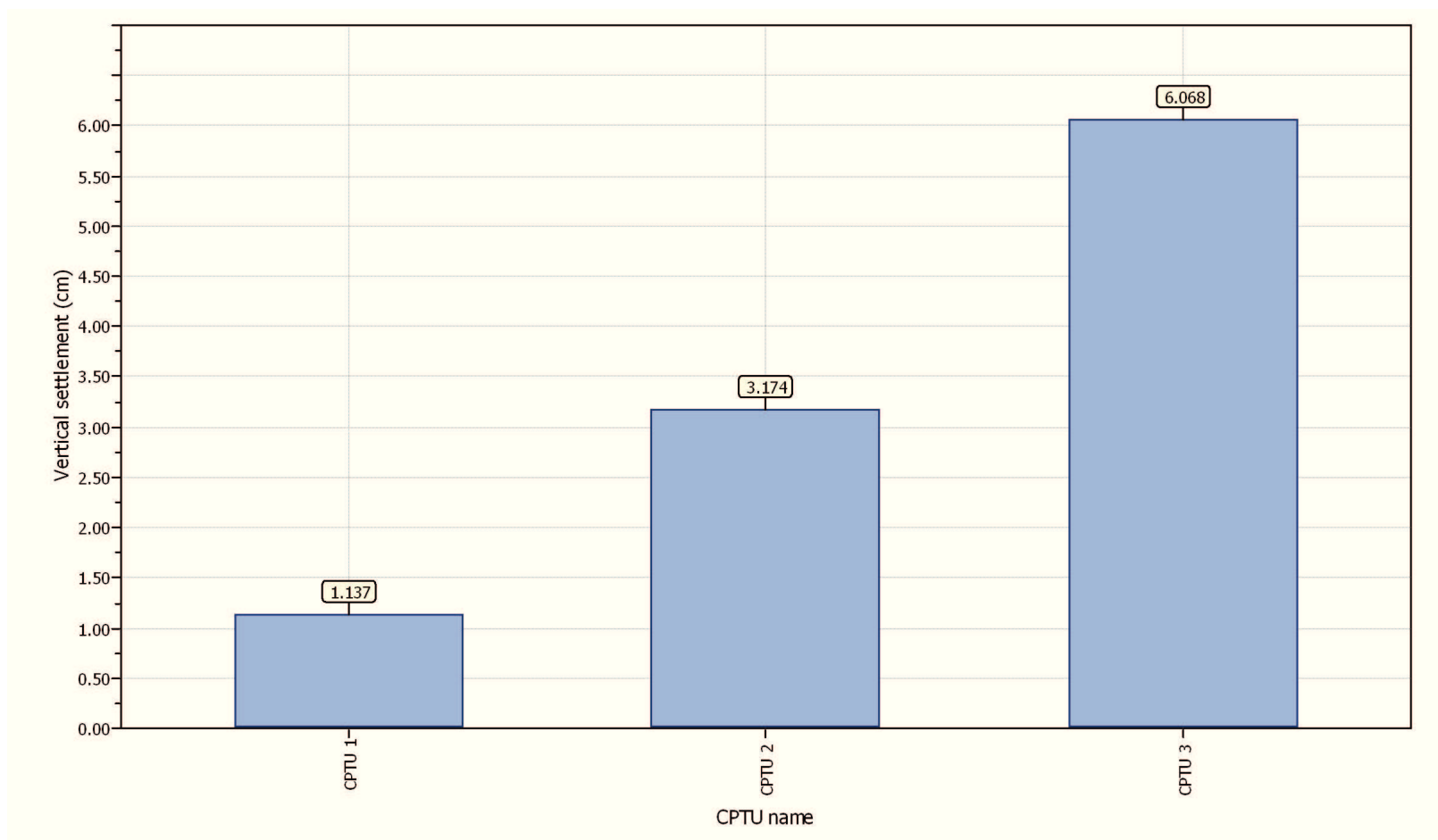
### Overall Liquefaction Potential Index report



**Project title :**

**Location :**

### Overall vertical settlements report



## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

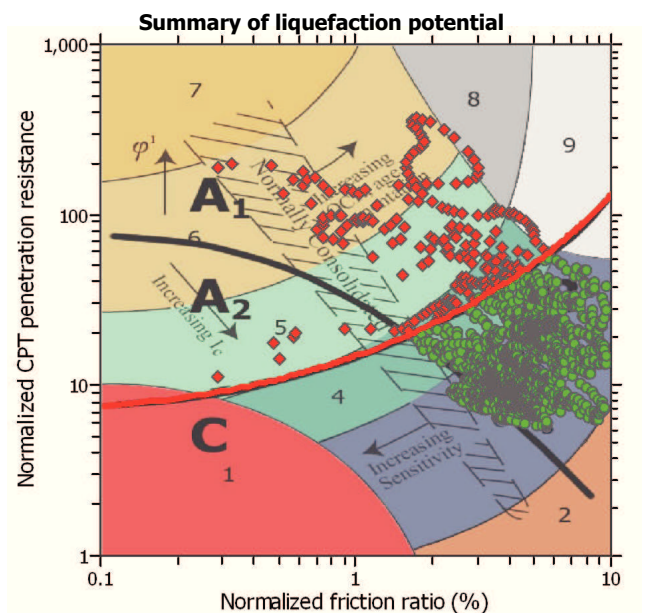
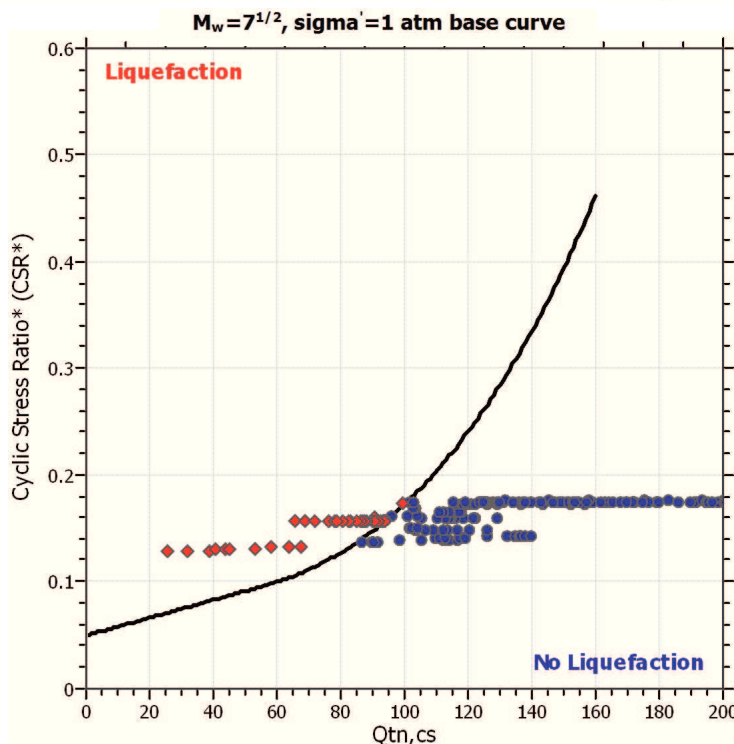
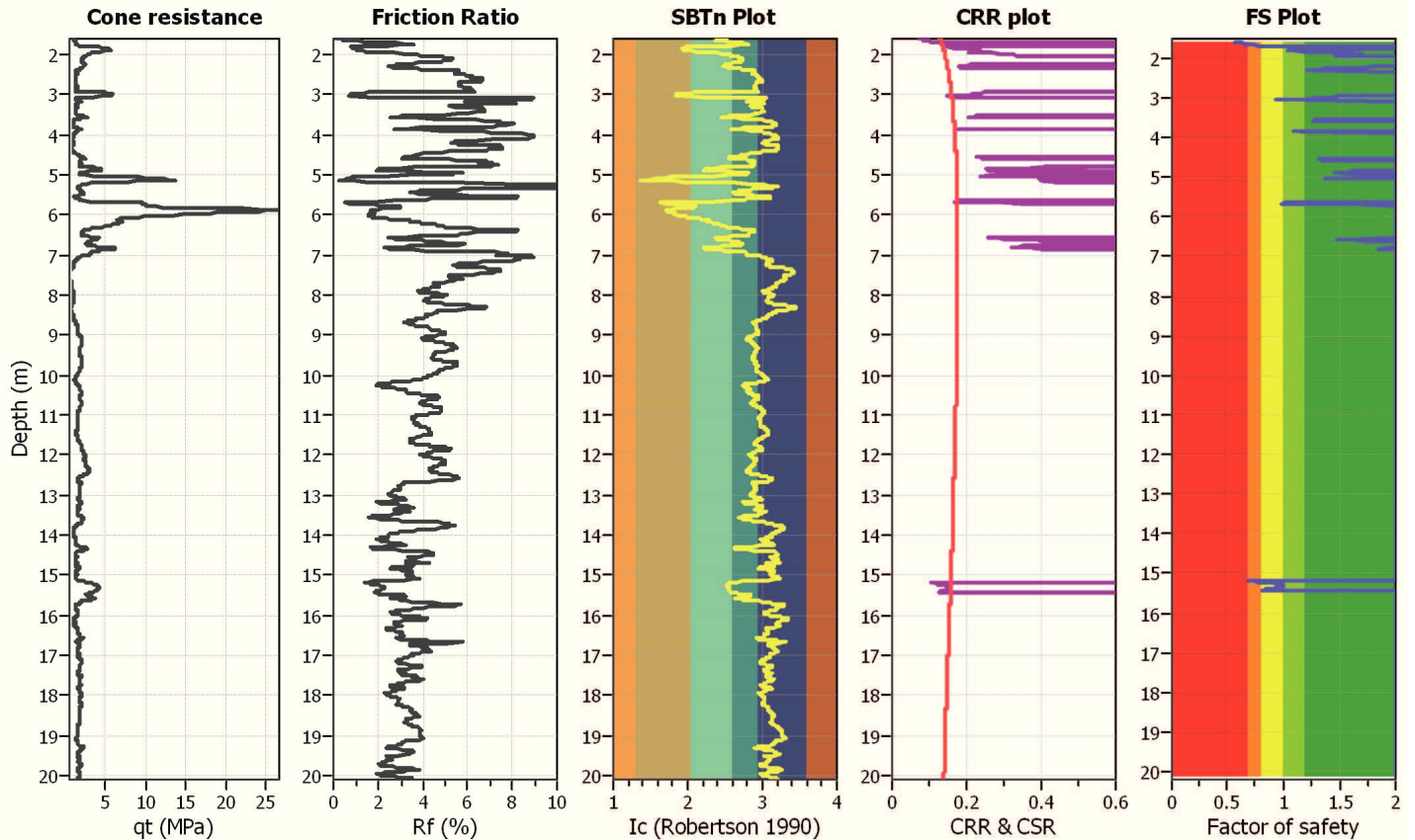
**Project title :**

**Location :**

**CPT file : CPTU 1**

### Input parameters and analysis data

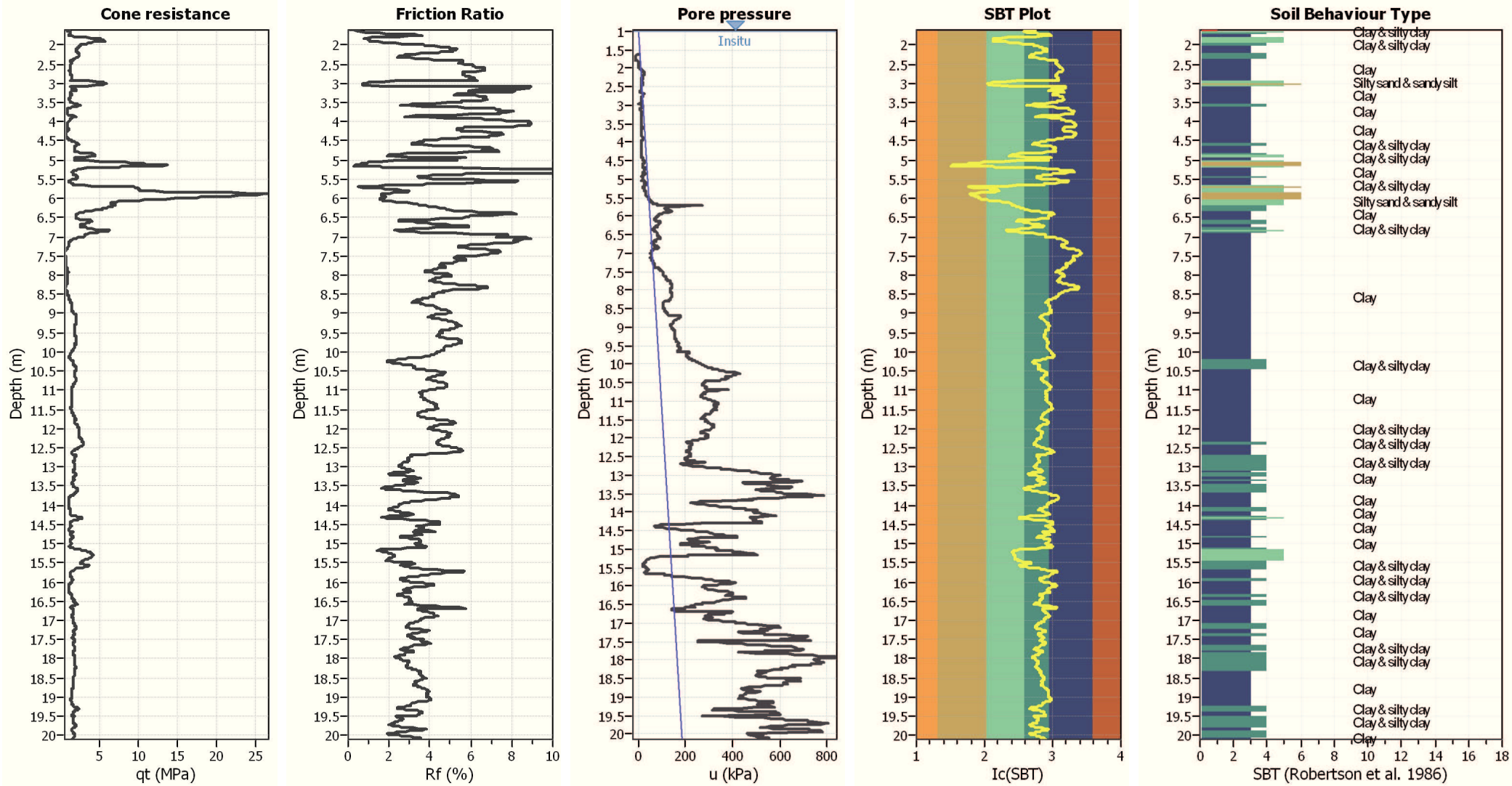
Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.90	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry



CPT basic interpretation plots



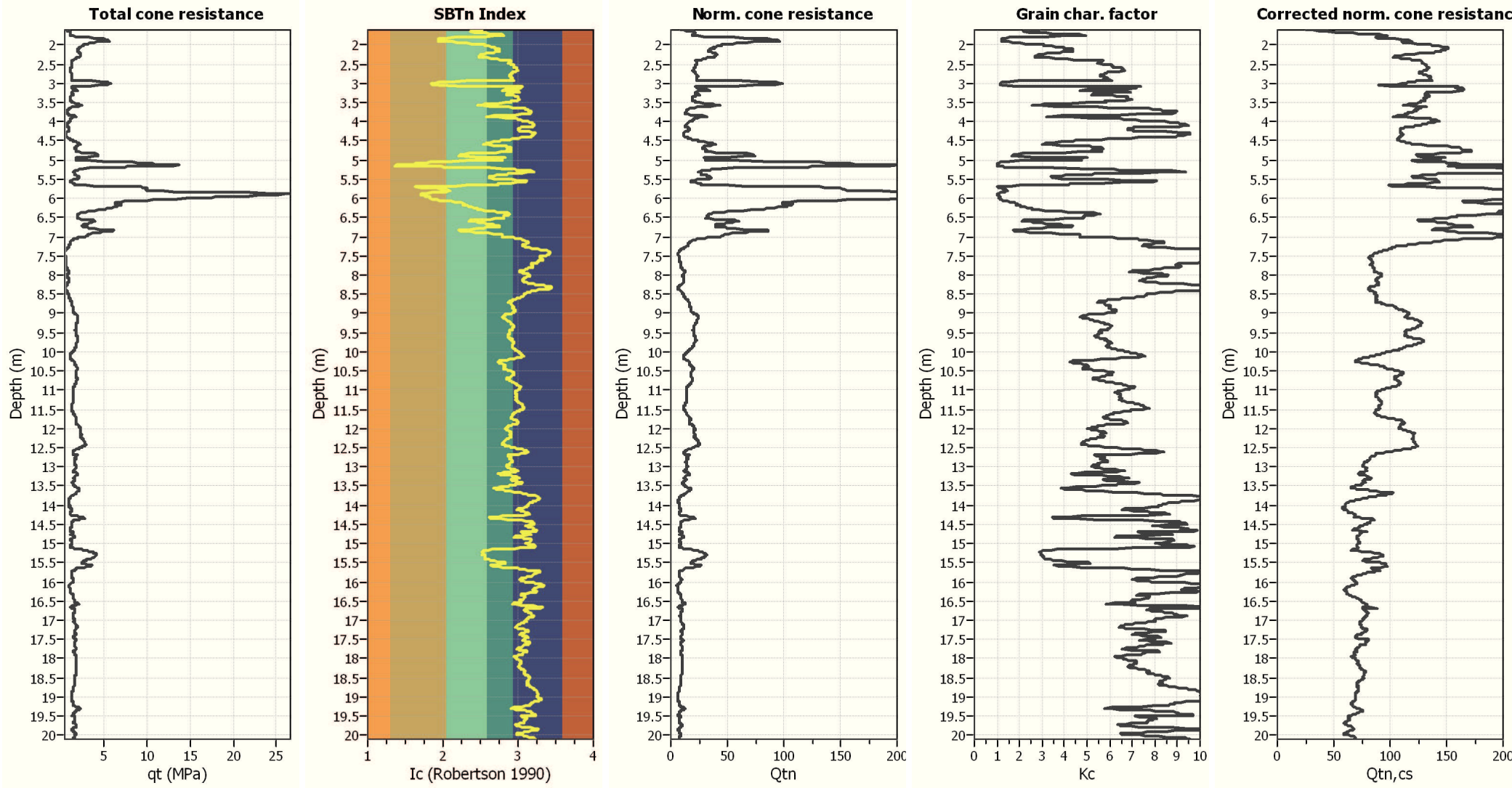
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>0</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

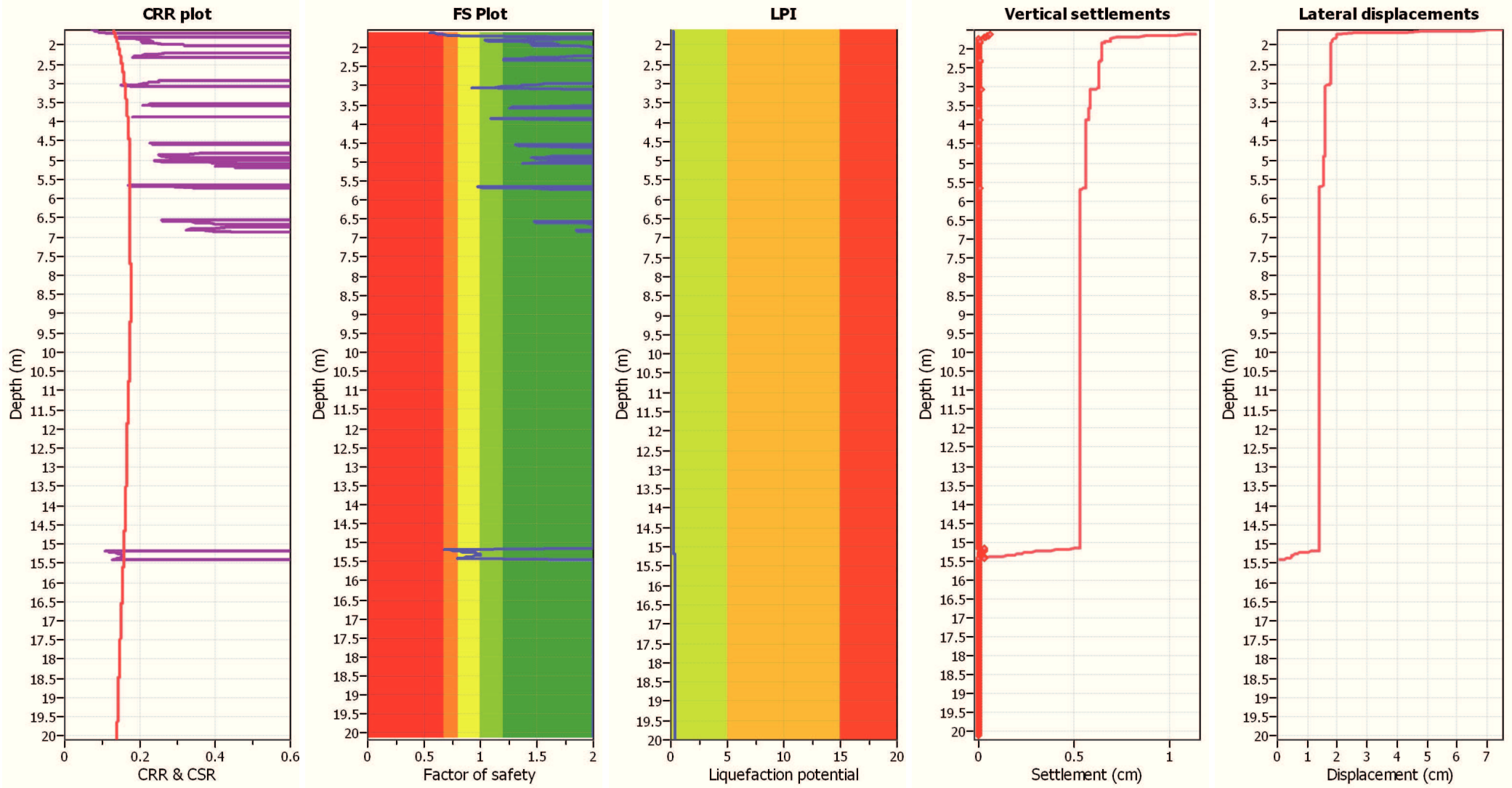
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>g</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>0</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

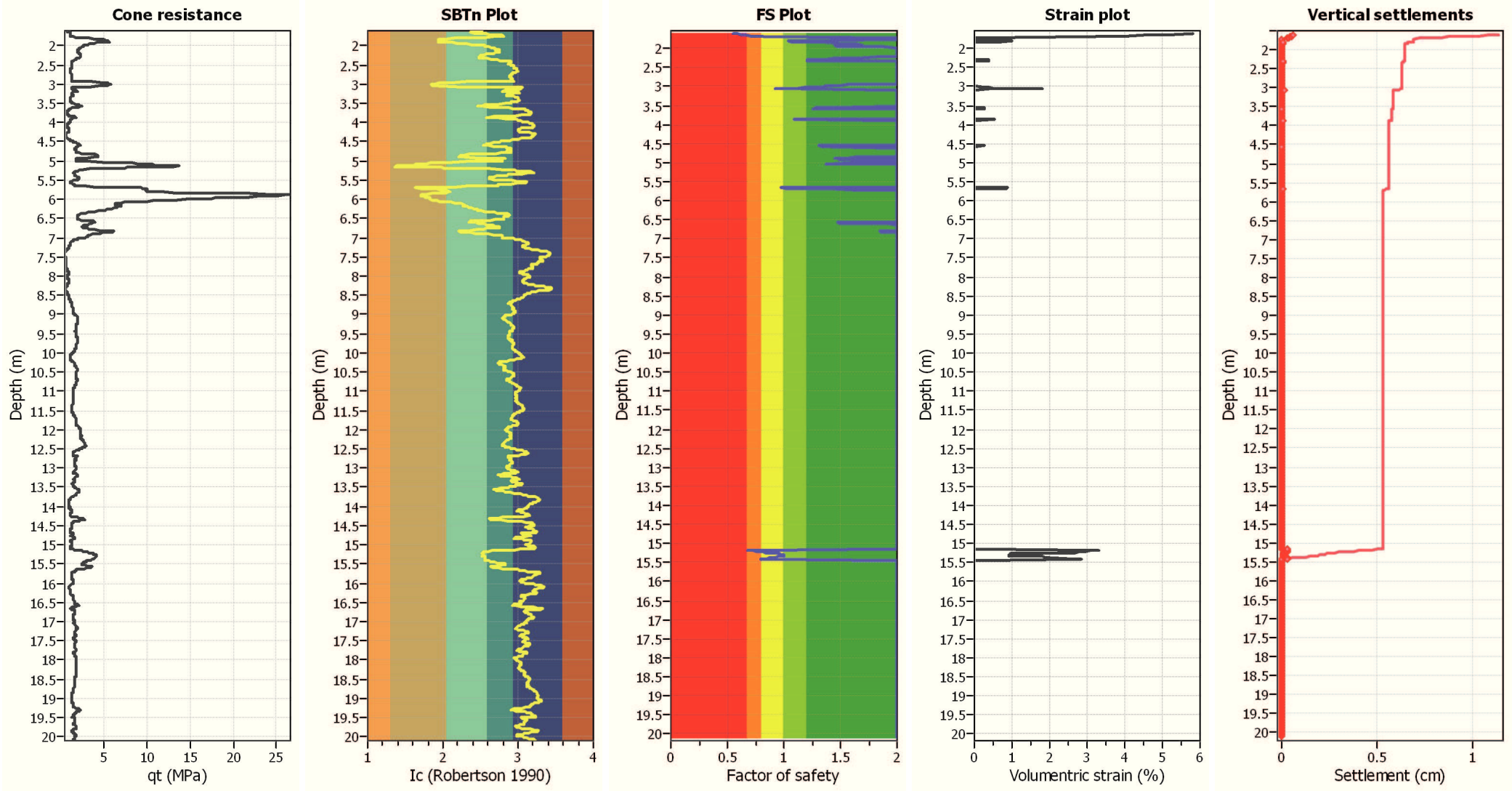
Red	Almost certain it will liquefy
Orange	Very likely to liquefy
Yellow	Liquefaction and no liq. are equally likely
Green	Unlike to liquefy
Dark Green	Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Green	Low risk



Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

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

## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

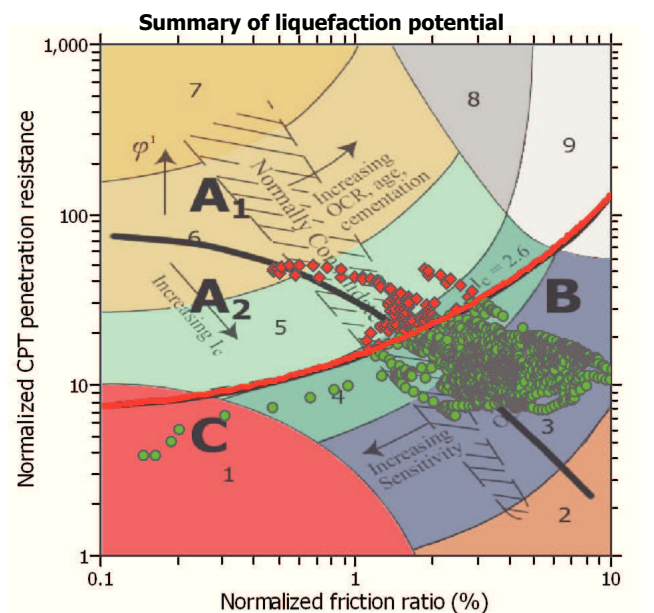
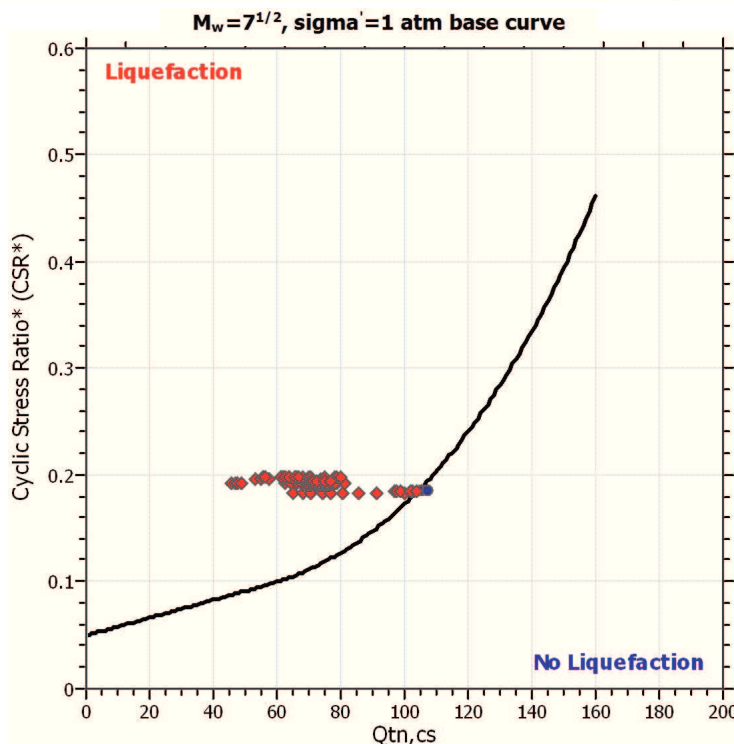
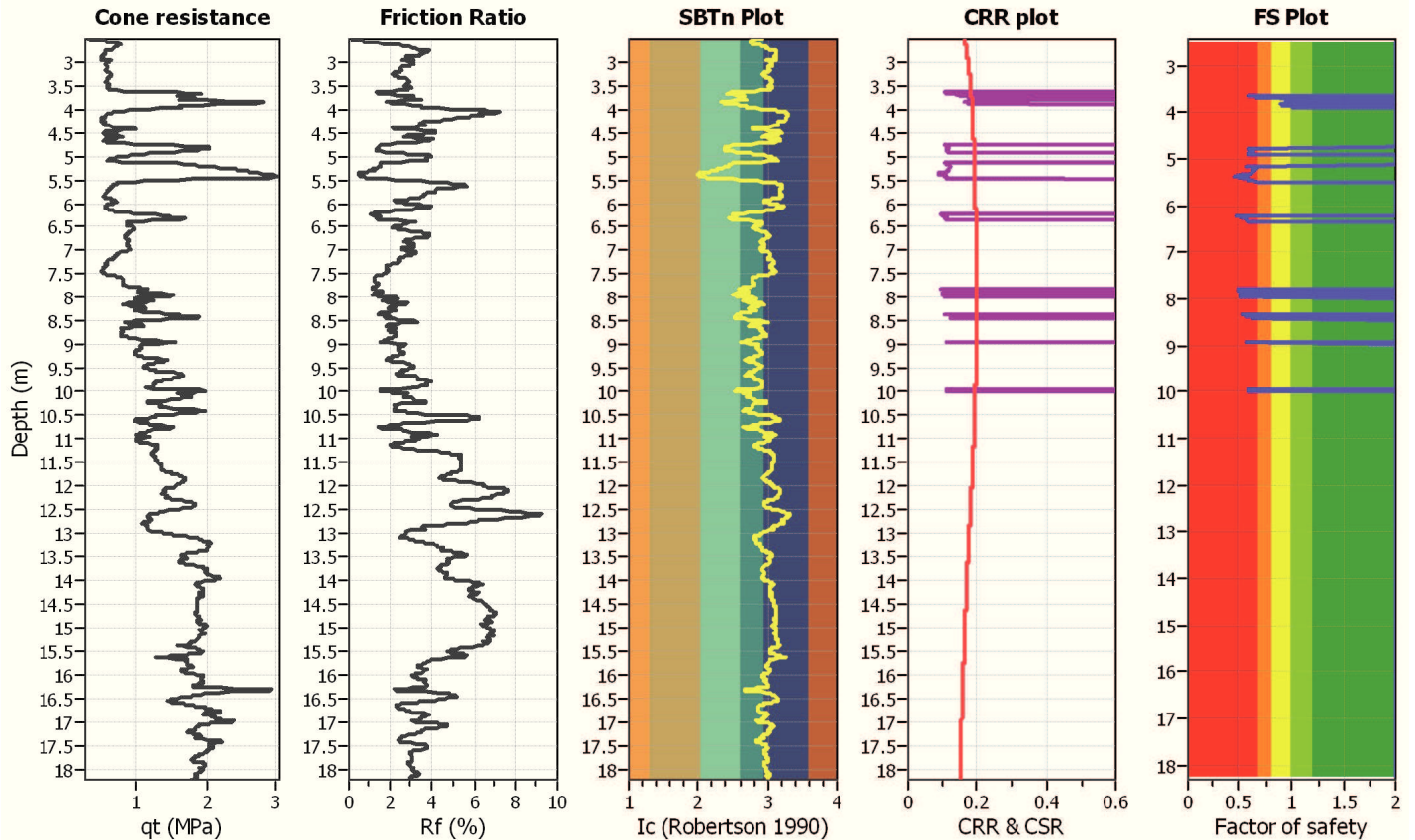
**Project title :**

**Location :**

**CPT file : CPTU 2**

### Input parameters and analysis data

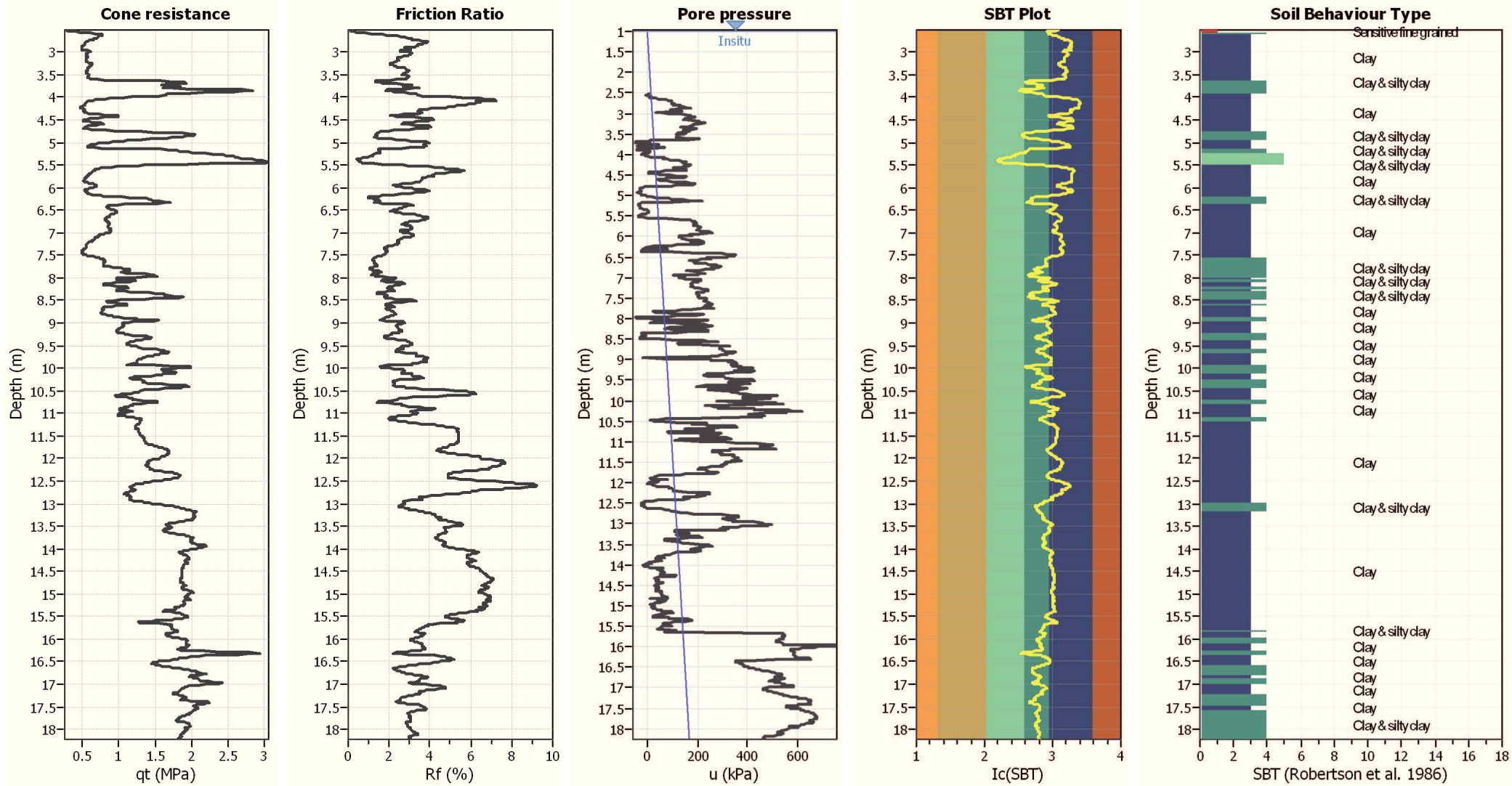
Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.90	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry



CPT basic interpretation plots



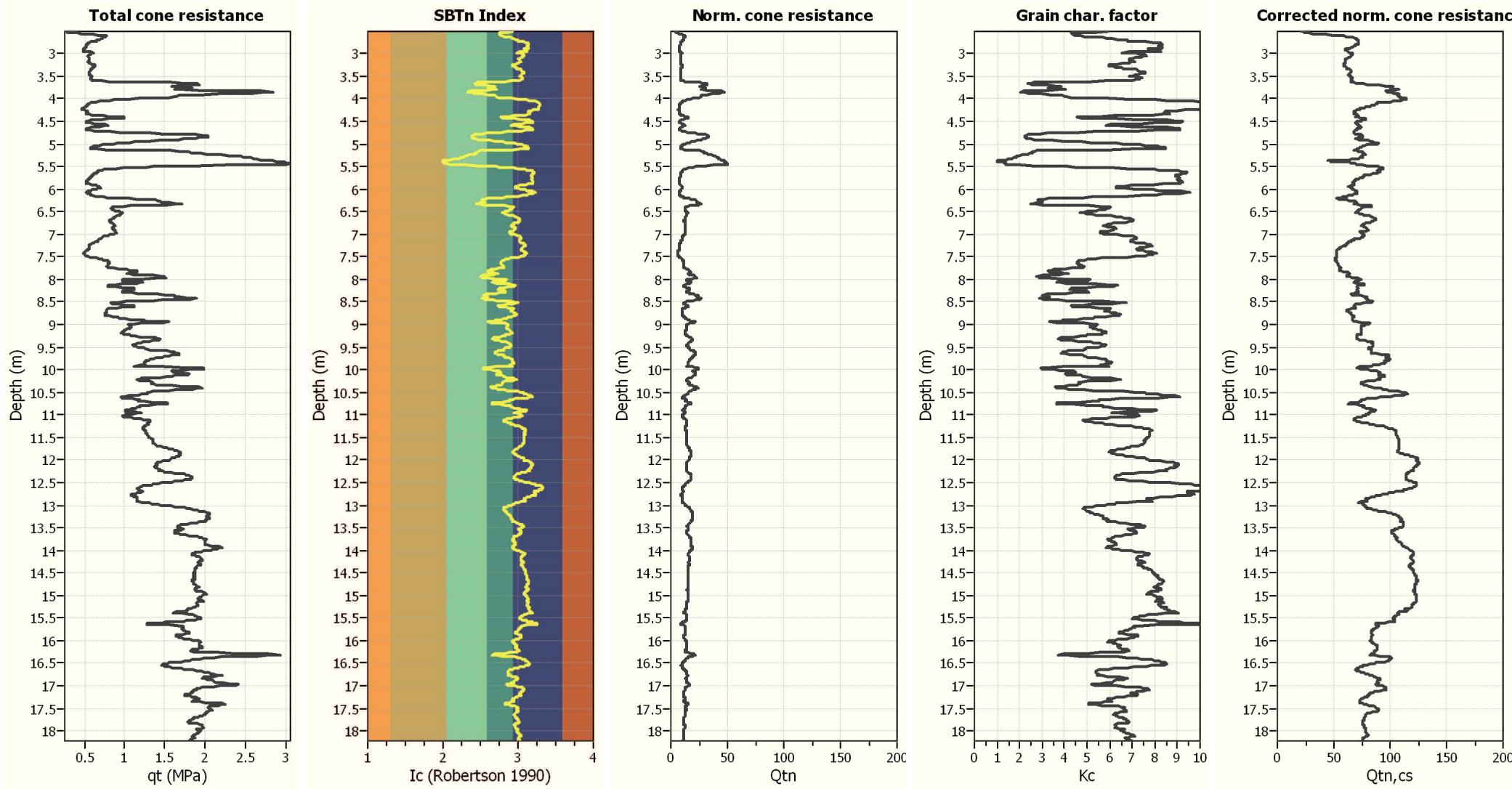
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>g</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)

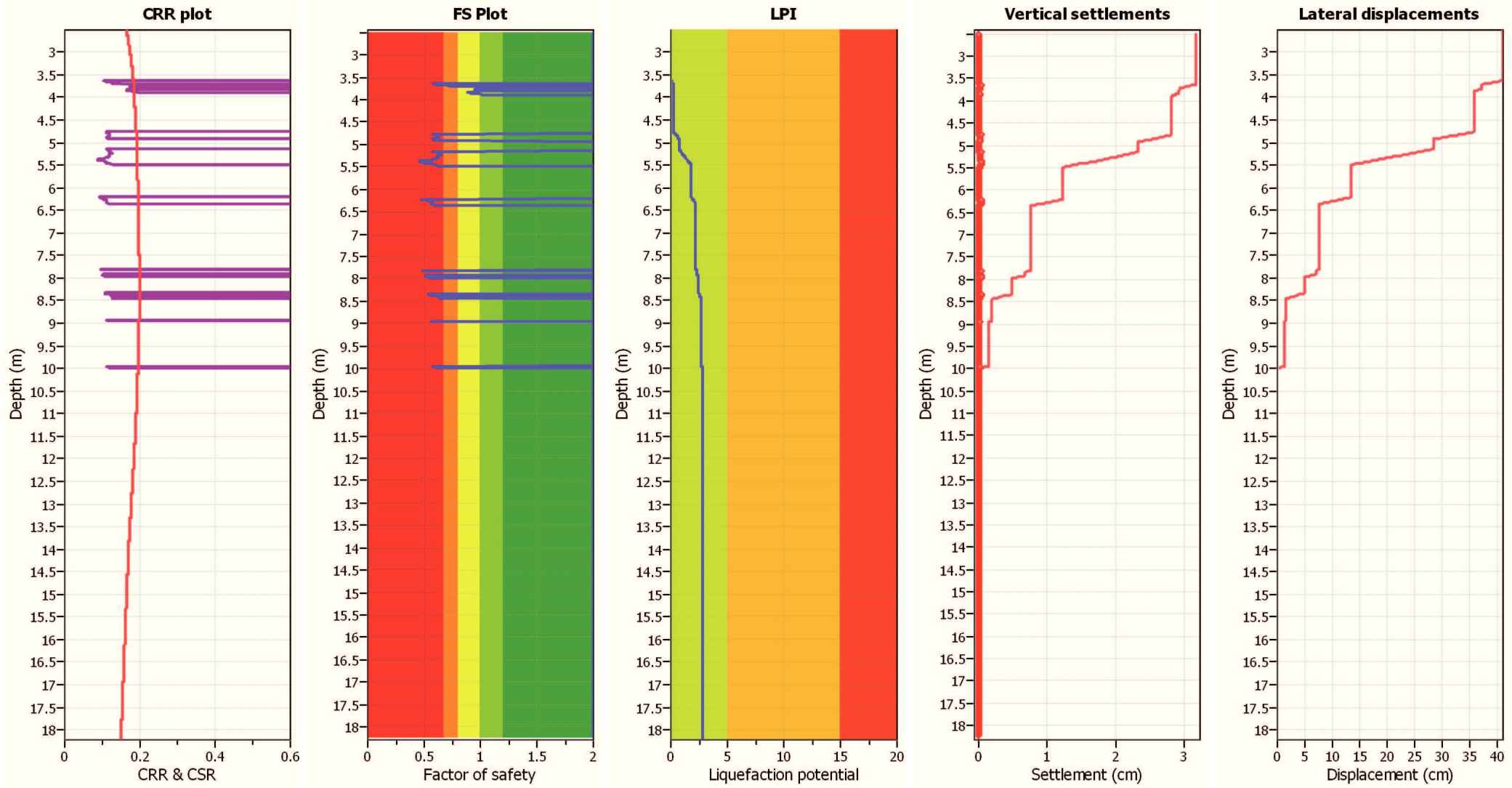


Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>0</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>0</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

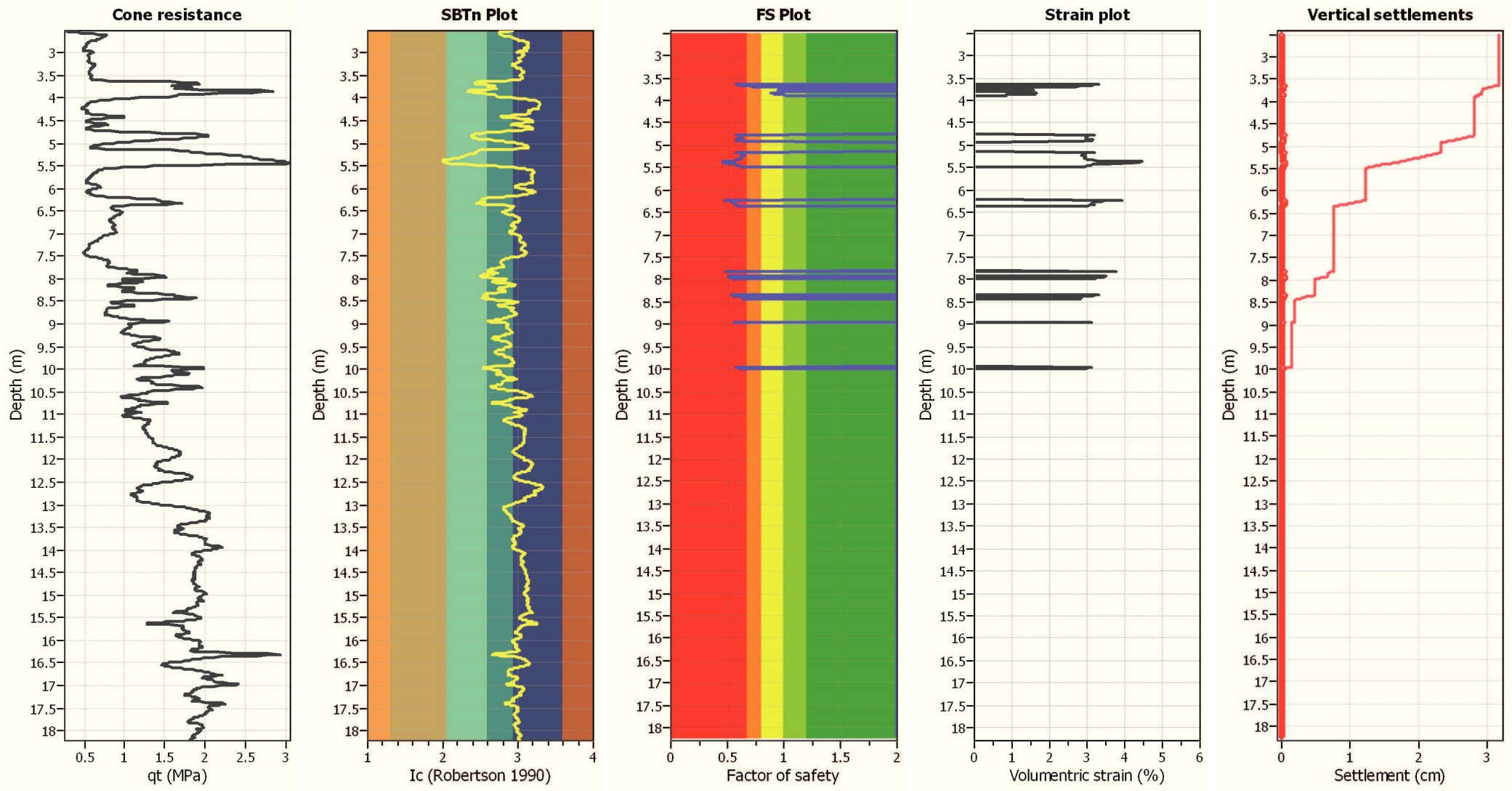
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

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

## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

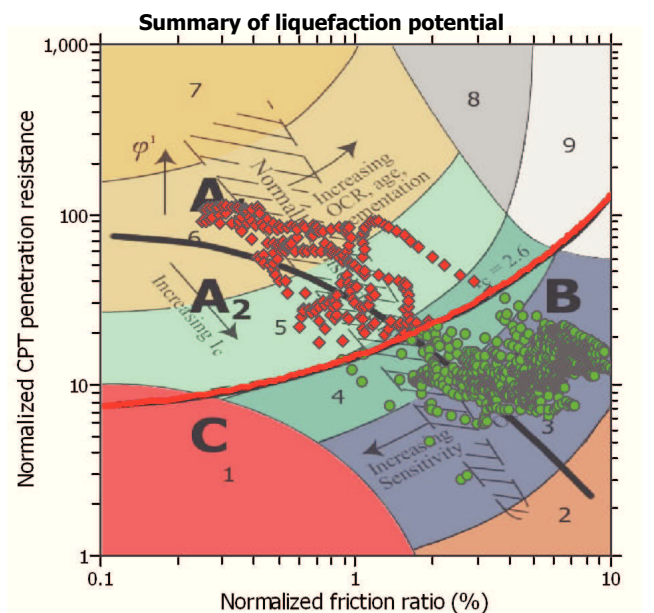
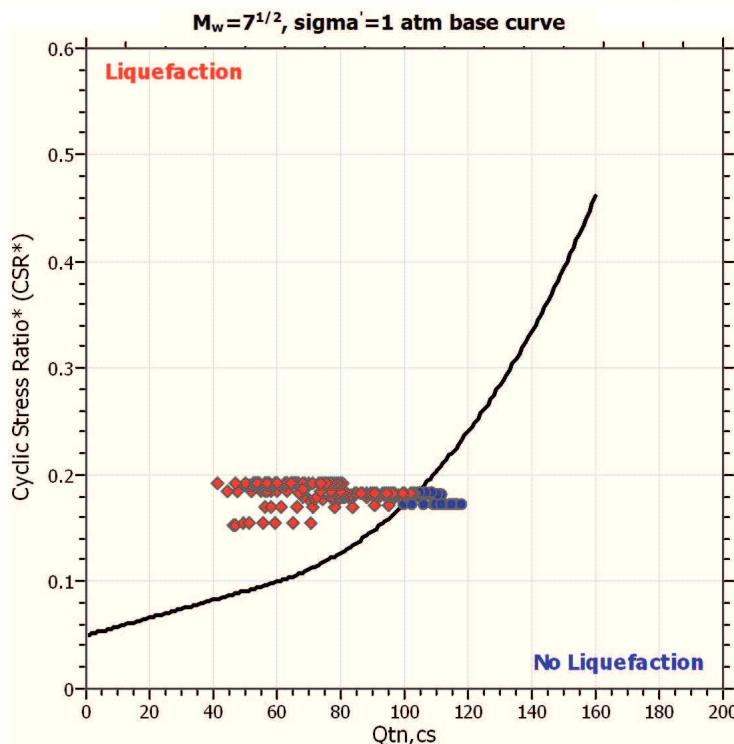
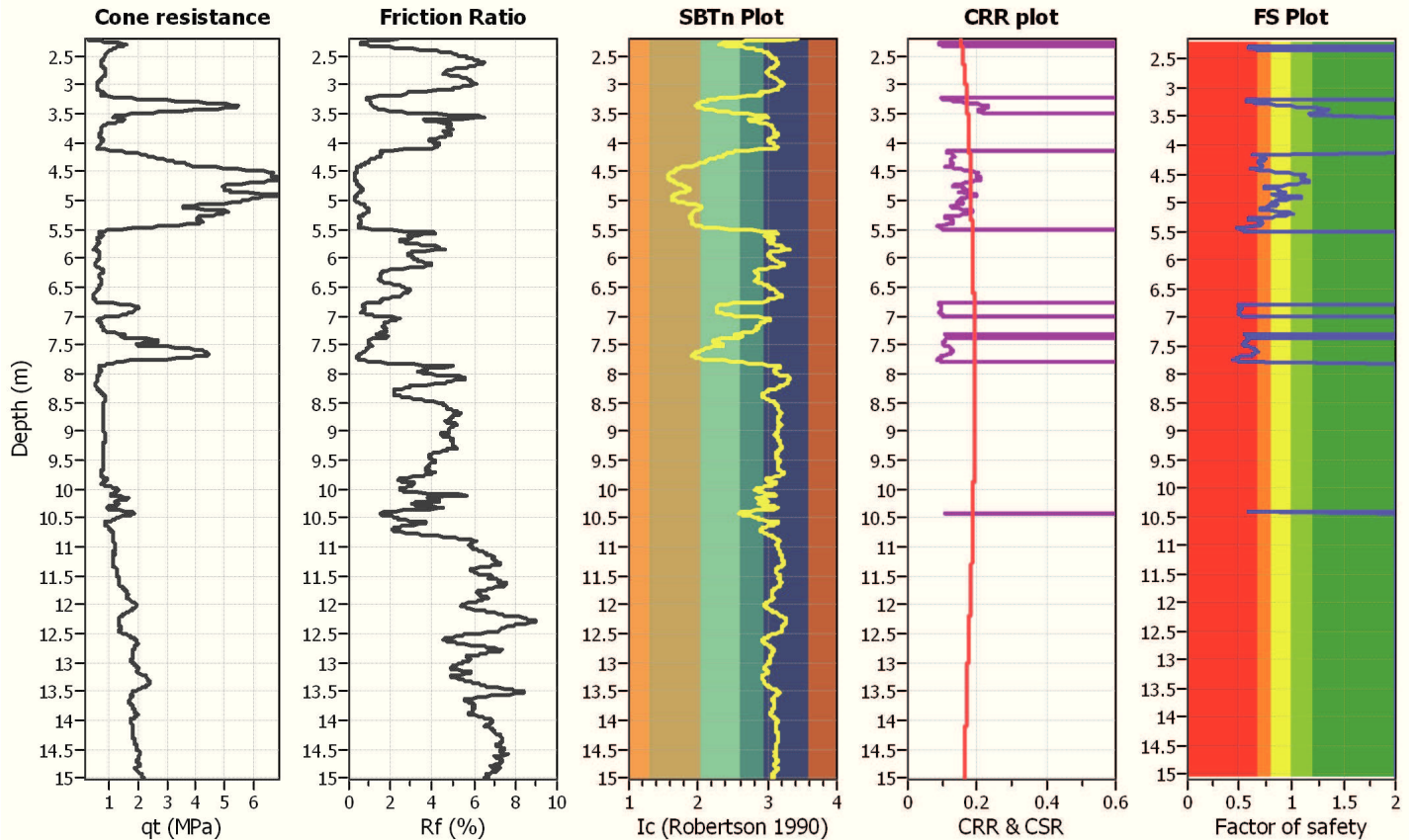
**Project title :**

**Location :**

**CPT file : CPTU 3**

### Input parameters and analysis data

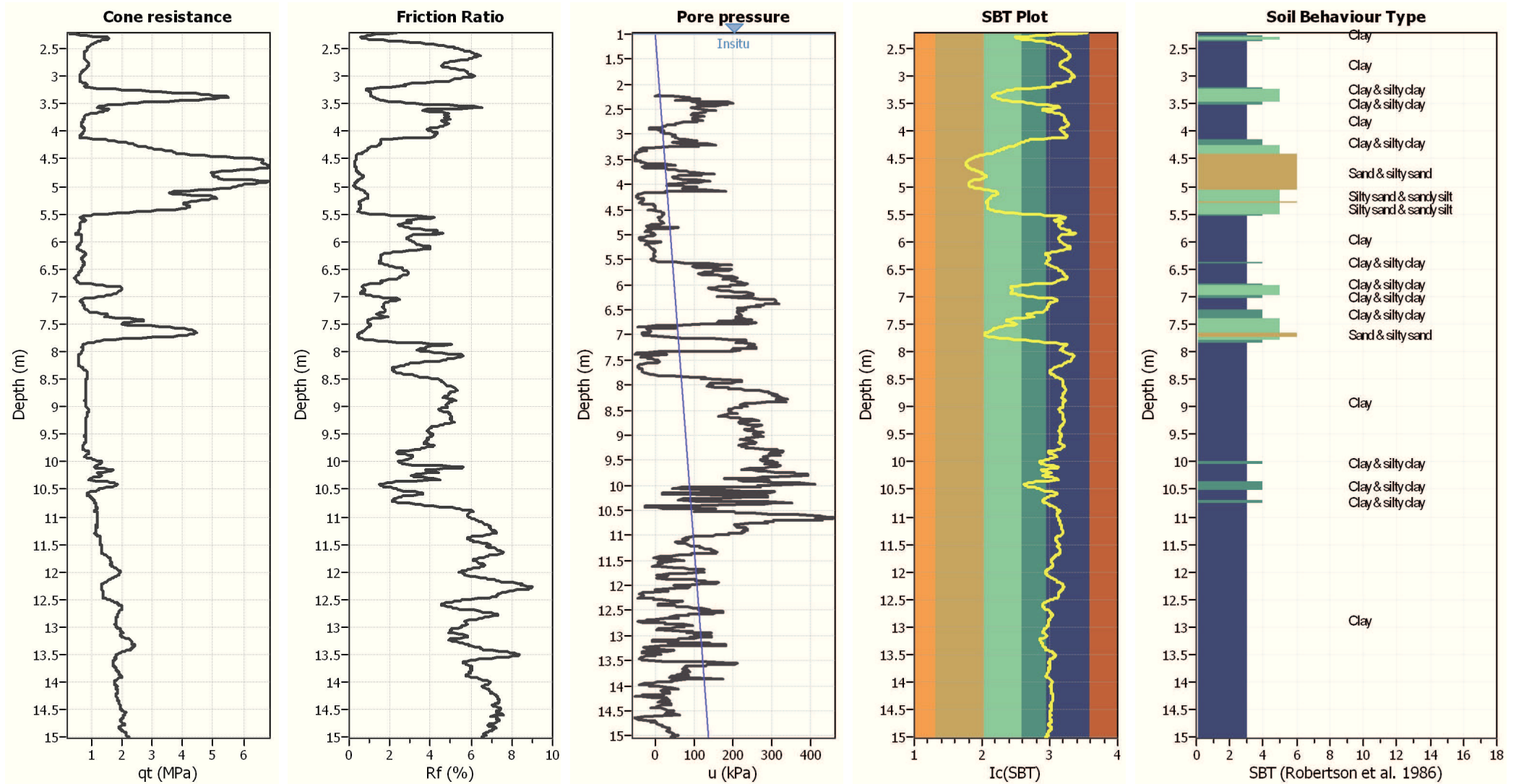
Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.90	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_g$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry



## CPT basic interpretation plots



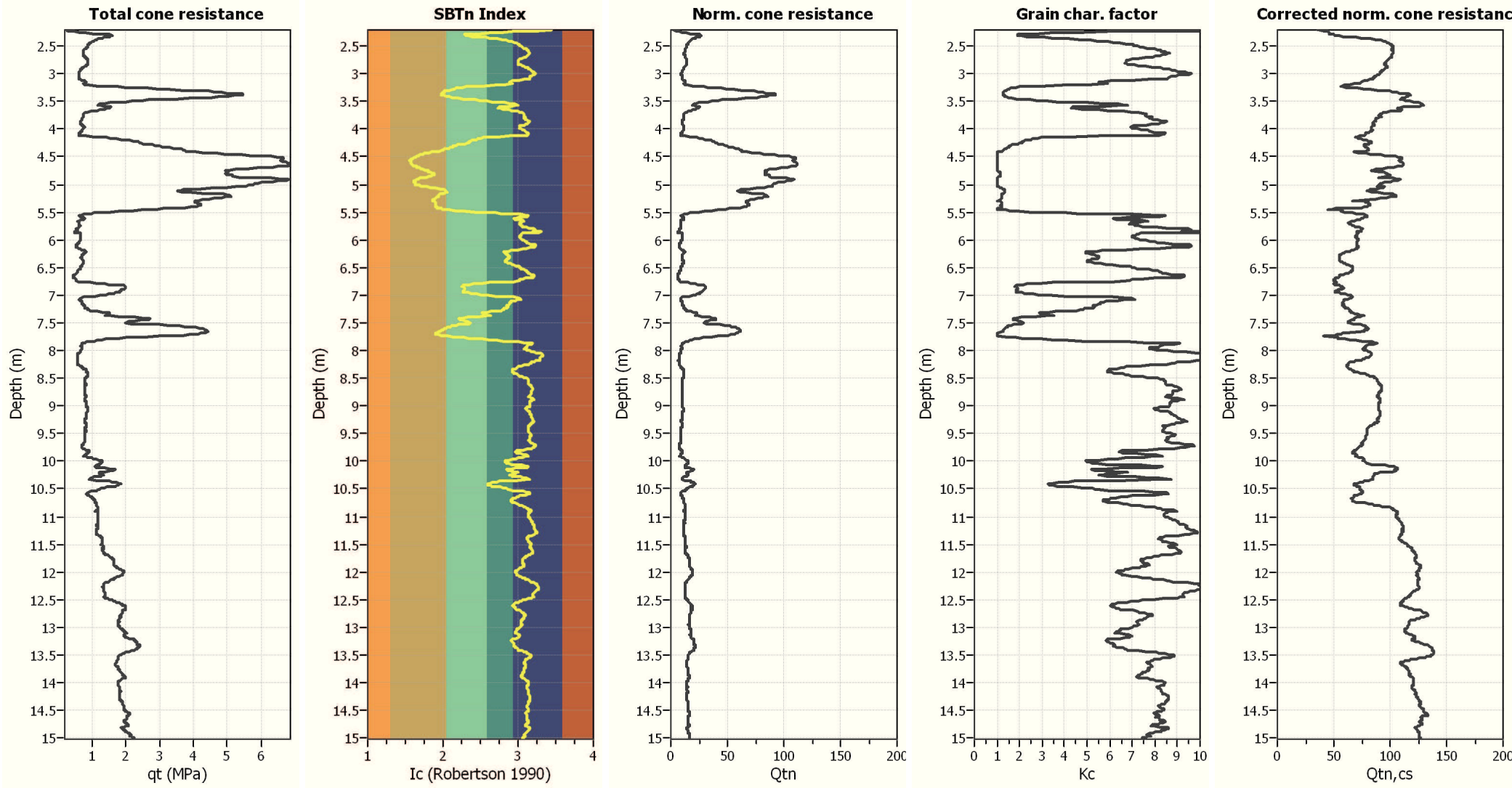
## Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>g</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

## SBT legend

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

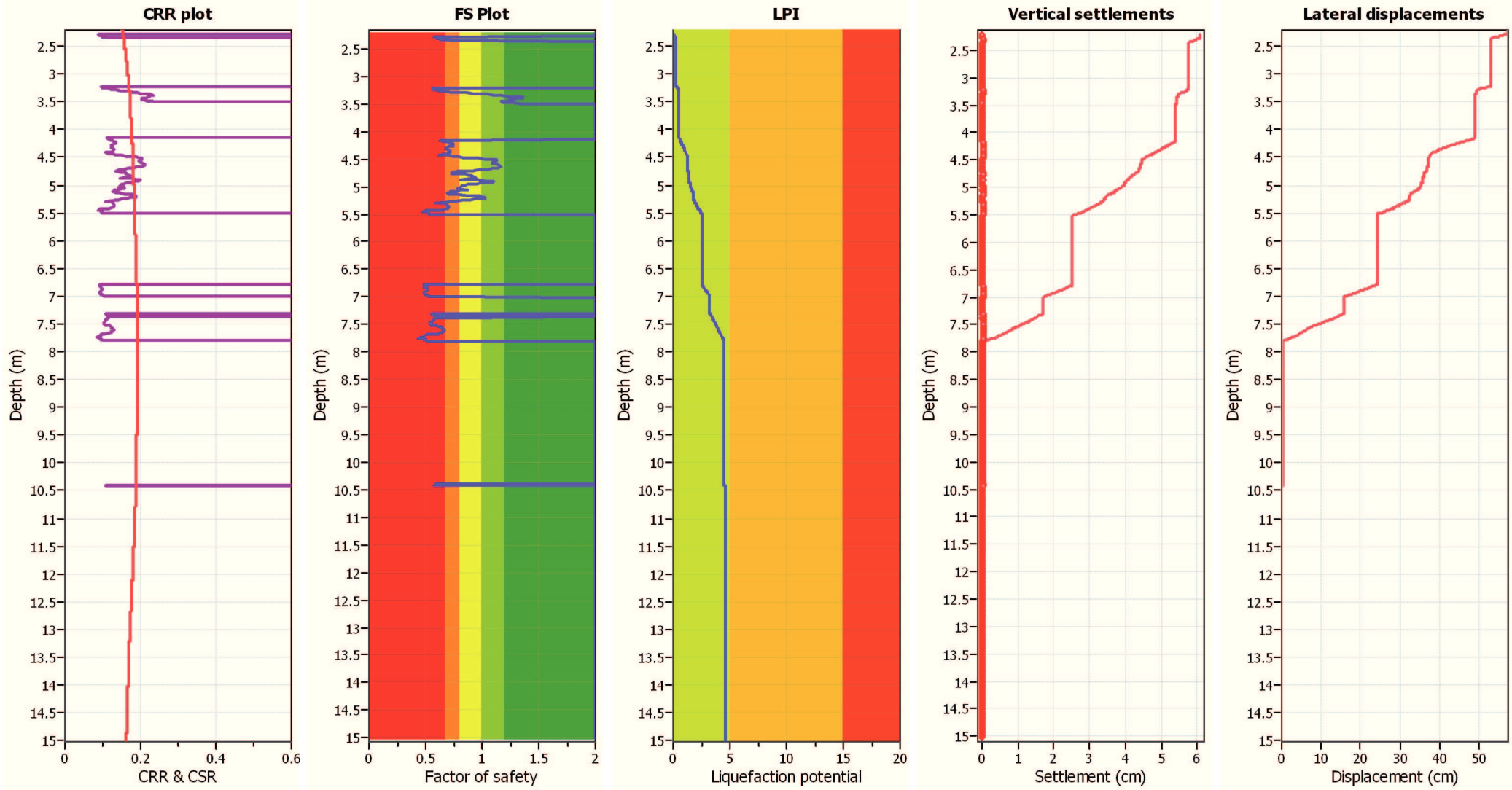
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>g</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>0</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	5.90	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

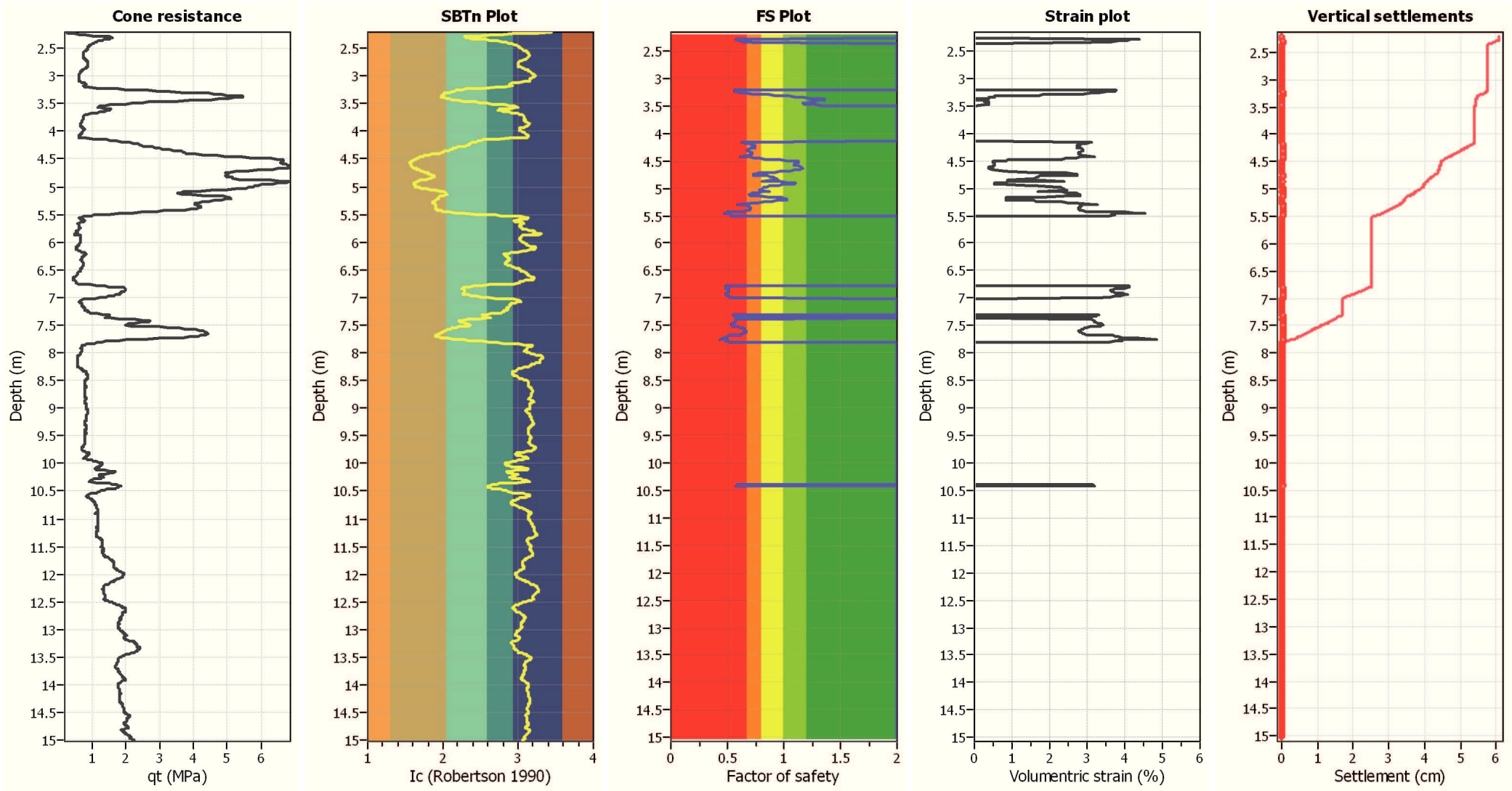
Red	Almost certain it will liquefy
Orange	Very likely to liquefy
Yellow	Liquefaction and no liq. are equally likely
Green	Unlike to liquefy
Dark Green	Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Green	Low risk



Estimation of post-earthquake settlements



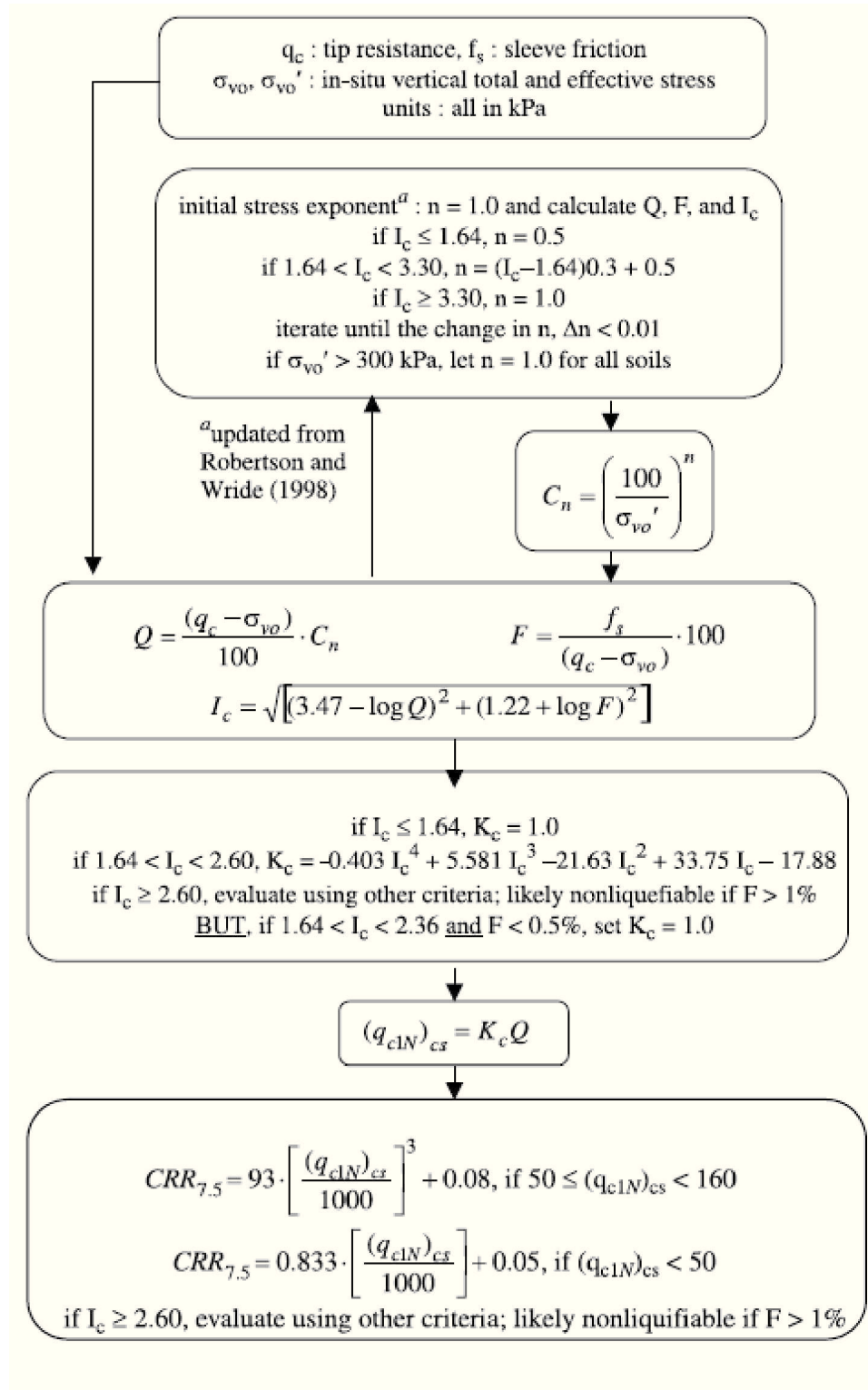
Abbreviations

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



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

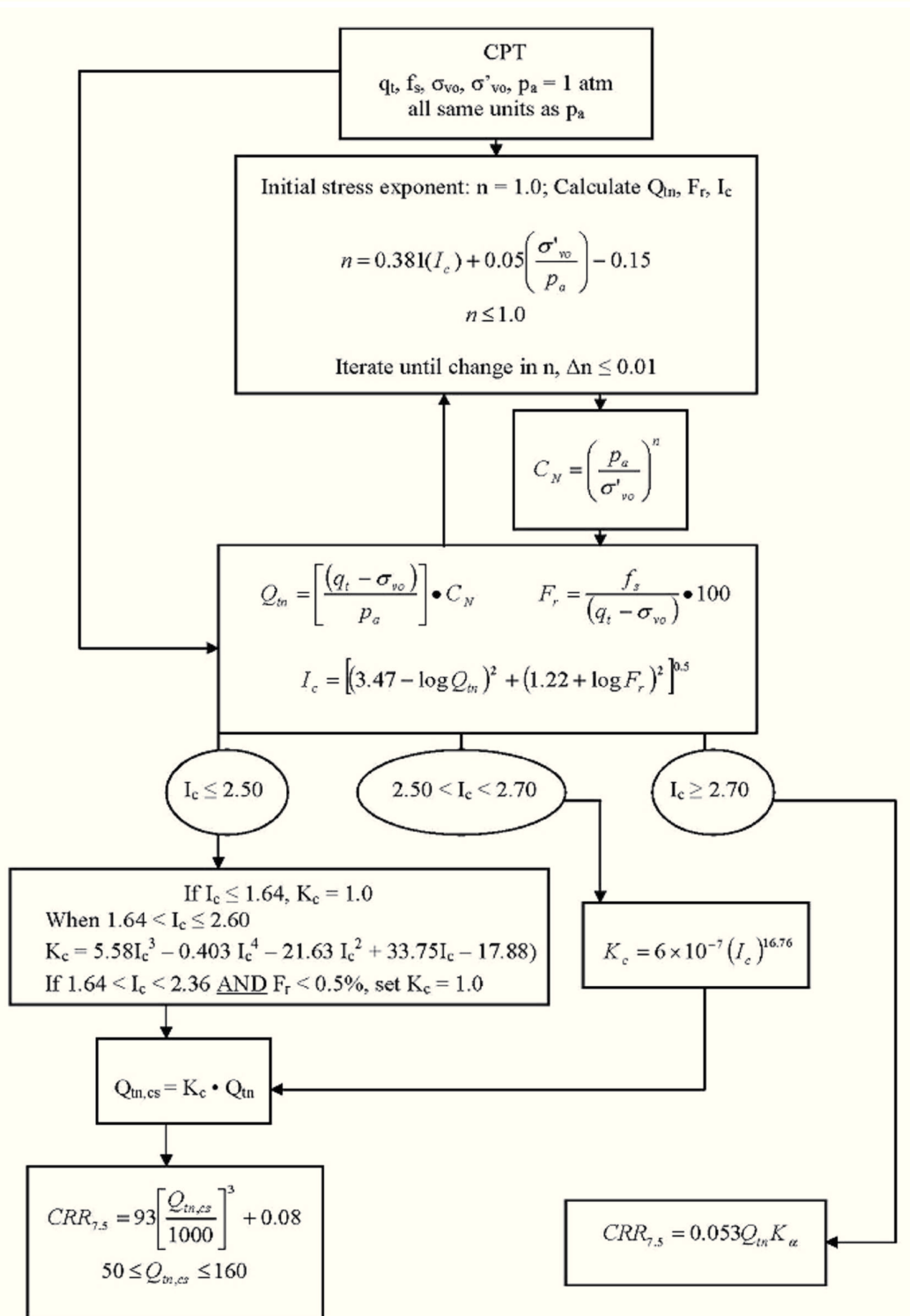
Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. The procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart<sup>1</sup>:



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

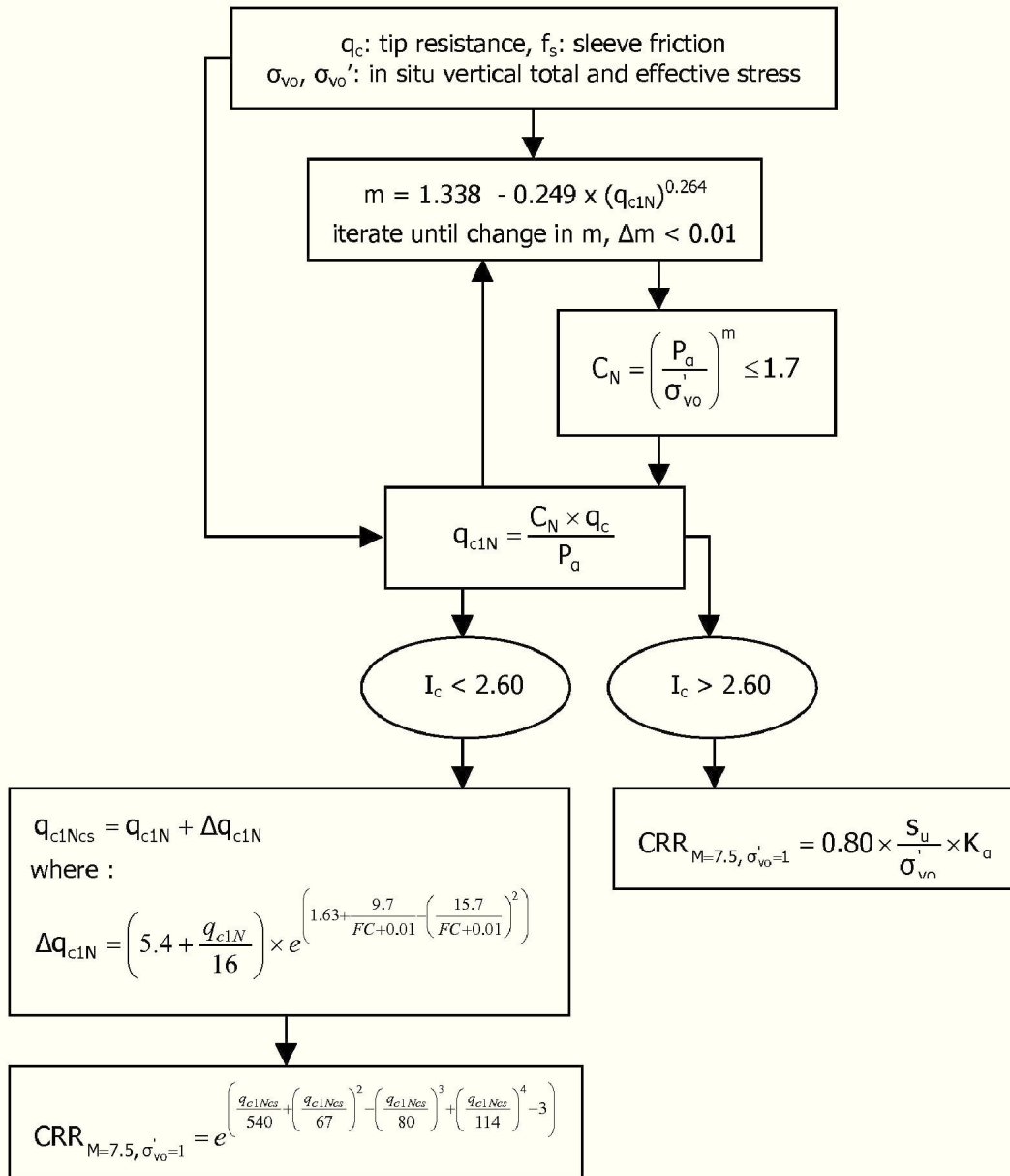
## Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils), Robertson (2010)

Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. This procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart<sup>1</sup>:

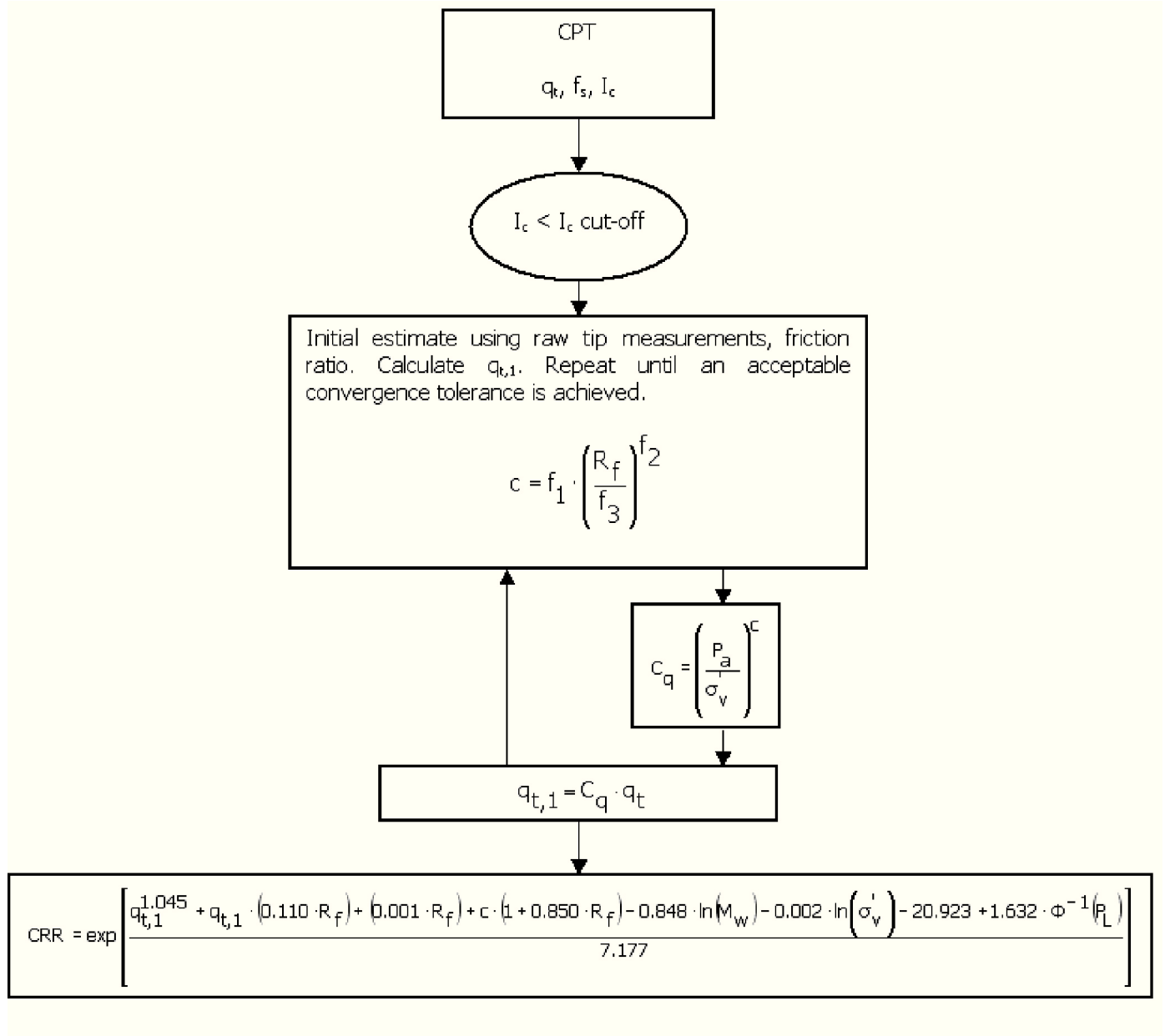


<sup>1</sup> P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

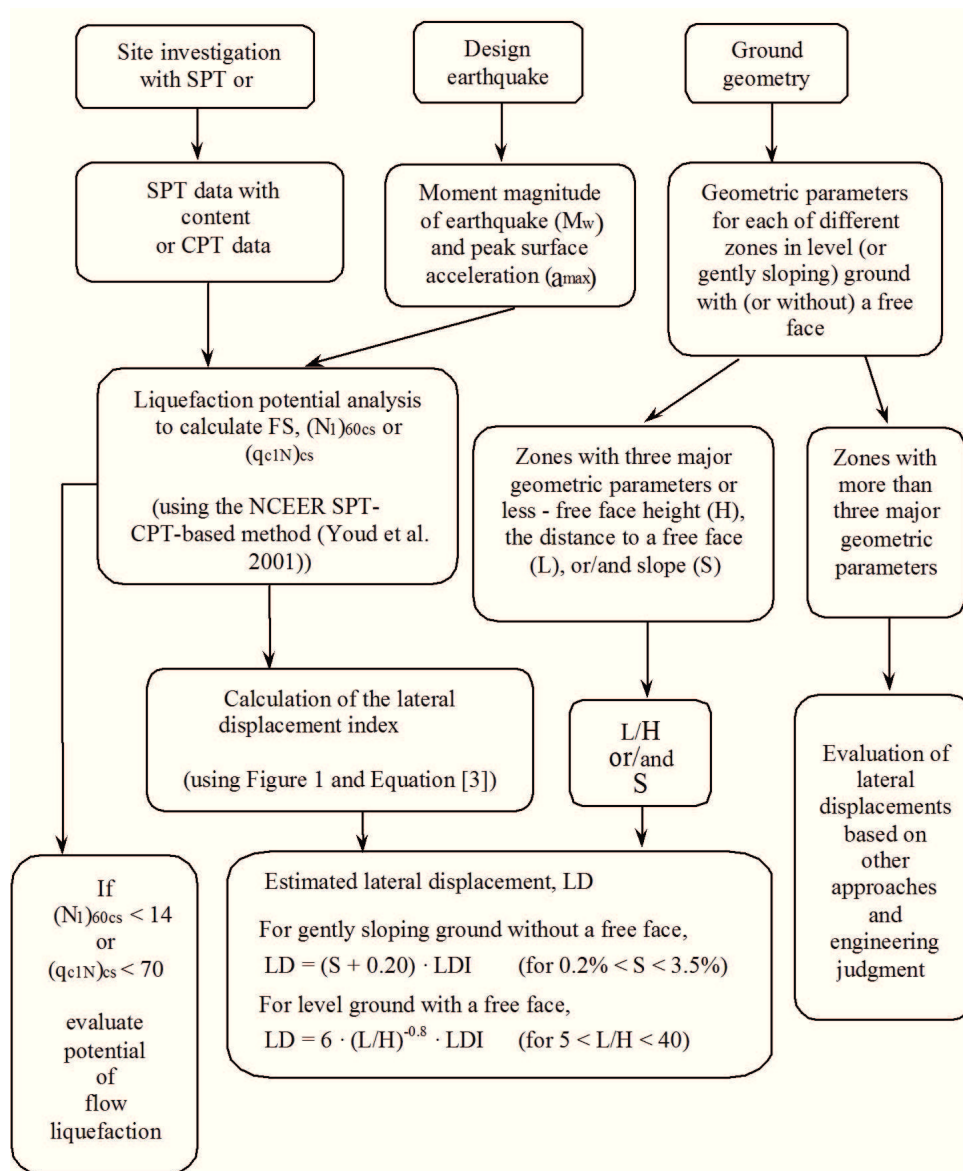
## Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Idriss & Boulanger (2008)



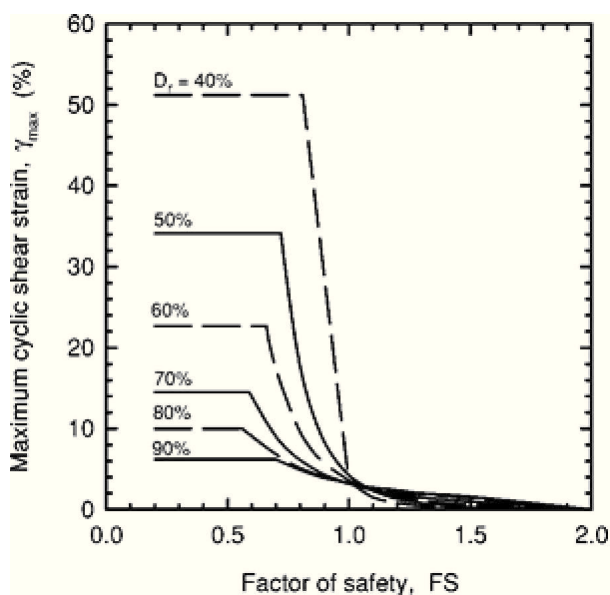
**Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (sandy soils), Moss et al. (2006)**



## Procedure for the evaluation of liquefaction-induced lateral spreading displacements



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



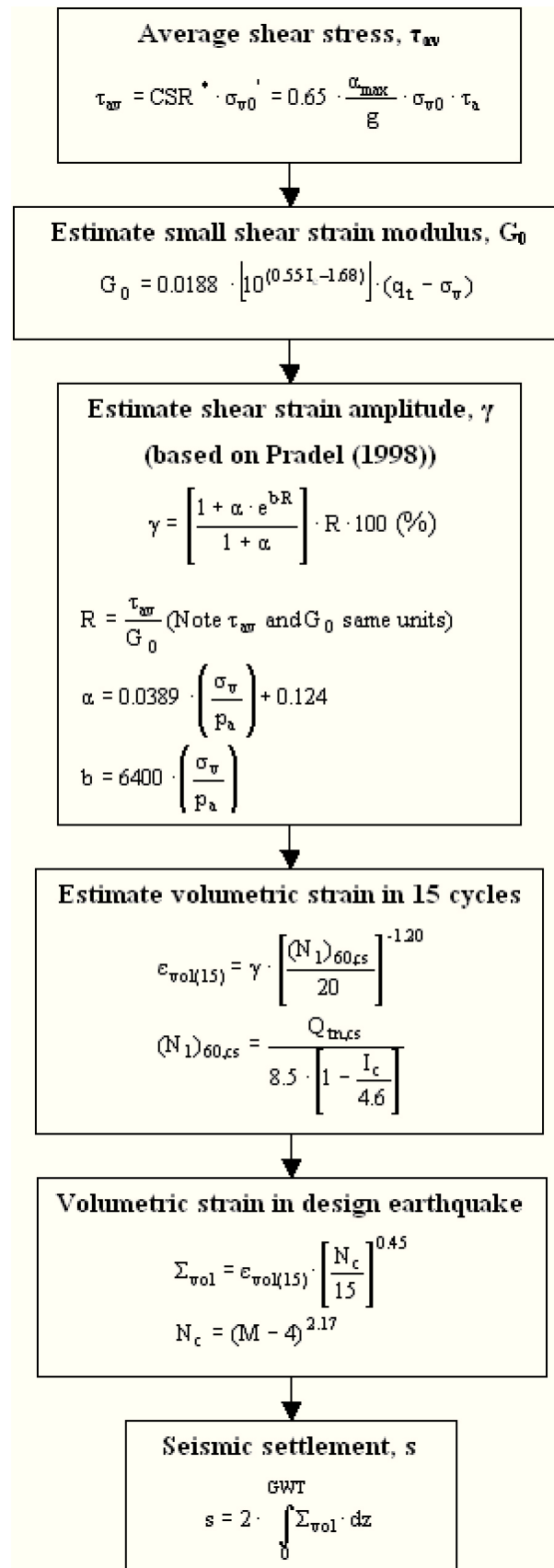
<sup>1</sup> Figure 1

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

<sup>1</sup> Equation [3]

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

## Procedure for the estimation of seismic induced settlements in dry sands



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



## Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

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

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

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

where:

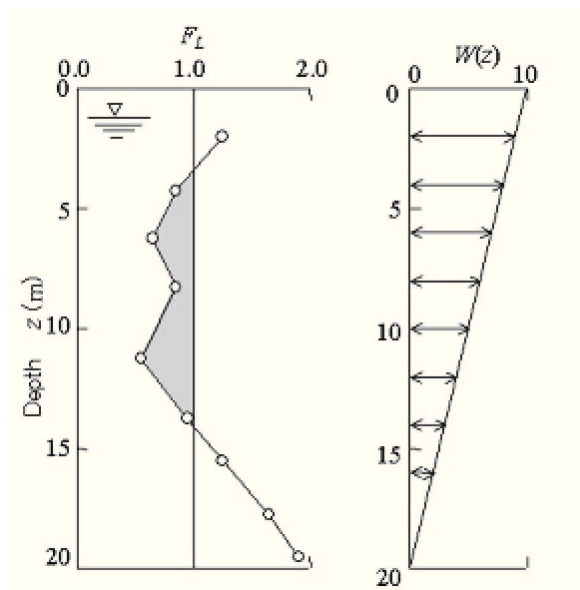
$F_L = 1 - F.S.$  when F.S. less than 1

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

$z$  depth of measurement in meters

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

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



**Graphical presentation of the LPI calculation procedure**

## References

- Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M 1997. Cone penetration testing in geotechnical practice, E & FN Spon Routledge, 352 p, ISBN 0-7514-0393-8.
- Boulanger, R.W. and Idriss, I. M., 2007. Evaluation of Cyclic Softening in Silts and Clays. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering June, Vol. 133, No. 6 pp 641-652
- Robertson, P.K. and Cabal, K.L., 2007, Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Available at no cost at <http://www.geologismiki.gr/>
- Robertson, P.K. 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27 (1), 151-8.
- Robertson, P.K. and Wride, C.E., 1998. Cyclic Liquefaction and its Evaluation based on the CPT Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35, August.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833
- Zhang, G., Robertson. P.K., Brachman, R., 2002, Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180
- Zhang, G., Robertson. P.K., Brachman, R., 2004, Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, 861-871
- Pradel, D., 1998, Procedure to Evaluate Earthquake-Induced Settlements in Dry Sandy Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 4, 364-368
- Iwasaki, T., 1986, Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 1, 2-70
- P.K. Robertson, 2009, Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, No. 11, pp 1337-1355
- P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009
- Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, *Symposium in honor of professor I. M. Idriss*, SAN diego, CA
- R. E. S. Moss, R. B. Seed, R. E. Kayen, J. P. Stewart, A. Der Kiureghian, K. O. Cetin, CPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of In Situ Seismic Soil Liquefaction Potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 8, August 1, 2006
- I. M. Idriss and R. W. Boulanger, Soil liquefaction during earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute MNO-12