



**Autorità di Sistema Portuale
del Mar Adriatico Centro Settentrionale**

**APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA,
ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO
TERMINAL IN PENISOLA TRATTATOLI E RIUTILIZZO DEL
MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007
I FASE**

PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO

**RELAZIONE GEOLOGICA
(Allegato 9 - Verifica liquefazione)**

FILE

1114.GEO.A - Allegato9

CODICE

1114.GEO.A.All9

SCALA

Rev.	Data	Causale
0	Set. 2015	Emissione
1		
2		
3		

**AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL
MARE ADRIATICO CENTRO SETTENTRIONALE**

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
IL DIRETTORE TECNICO
(Ing. Fabio Maletti)**



**MINISTERO INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER
LE OPERE PUBBLICHE PER LA LOMBARDIA
E L'EMILIA ROMAGNA**

**IL RESPONSABILE DELLA REVISIONE
DELLA PROGETTAZIONE
(Ing. Francesco Caldani)**



**PORTO DI
RAVENNA**



GEOstudi srl

Laboratorio Geotecnico – Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI – SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 246/93, Art. 8 - Circolare n. 349/99
Concessione N. 52497 – SETTORE A (prove di laboratorio sui terreni) e SETTORE C (prove in sito)

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification



AUTORITA' PORTUALE DI RAVENNA

PORTO DI RAVENNA
LAVORI E SERVIZI AFFERENTI LE INDAGINI GEOTECNICHE E
GEOLOGICHE DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLE
OPERE IN ATTUAZIONE DEL PRP VIGENTE DEL 2007



GEOSTUDI srl
Via San Salvador 3
00040 Pomezia (RM)
tel. +39 06 91306630 - 06 91603317

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

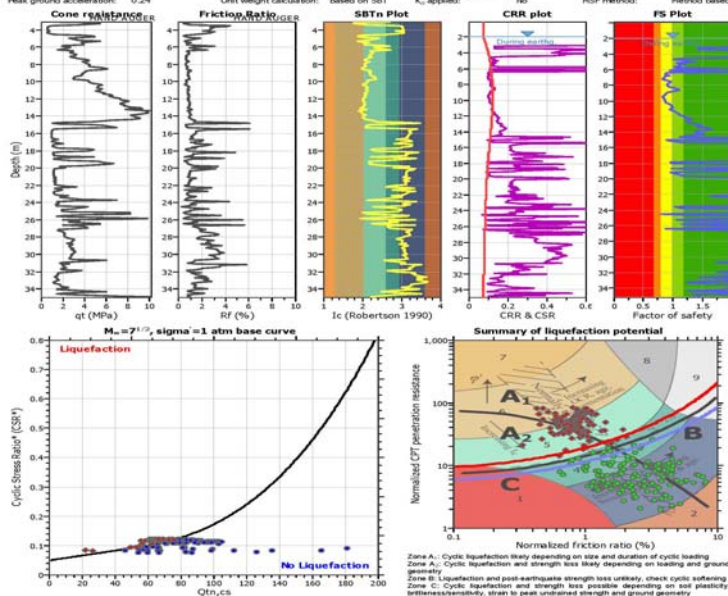
Project title : PORT HUB

Location : PORTO DI RAVENNA

CPT file : CPTU37_14

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	All soils
Probe correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earth):	2.00 m	Fill height:	N/A	applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1.60	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_u applied:	No	MSF method:	Method based



CLiq v.1.7.6.34 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 06/02/2015, 17:04:37
Project file: \\Dcgeostudi\avori\AVORI 2014\93_14_RAVENNA\LIQFEA\LIQFEA CPTU12.clg

VERIFICA DELLA STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA
LIQUEFAZIONE
ALLEGATO 9

ALLEGATO 9 - Verifica della stabilità nei confronti della liquefazione

1. Liquefazione

Con il termine liquefazione del terreno si intende la diminuzione della resistenza del terreno stesso a seguito del raggiungimento del limite di fluidità.

Questo fenomeno si produce a causa dei movimenti ciclici che avvengono durante un sisma che producono un accumulo della pressione interstiziale di un terreno granulare saturo (ghiaia, sabbia e limo non coesivo), provocandone una diminuzione della resistenza al taglio.

Naturalmente questo fenomeno si determina nel corso di eventi sismici particolarmente intensi ed in presenza di terreni incoerenti "sabbie monogranulari", poco addensate e sotto falda.

Le figure seguenti esprimono la liquefazione potenziale sulla base della resistenza penetrometrica misurata sul sito in quattro posizioni scelte lungo lo sviluppo del porto canale di Ravenna, cioè in prossimità delle prove penetrometriche CPTU12/14, CPTU14/14, CPTU 20/14, CPTU37/14.

La verifica di liquefazione, è stata eseguita con secondo il metodo semplificato di Robertson e Wride (1998). Nell'area la falda freatica è stata posta alla profondità di **1,5 m** dal p.c. attuale. Con l'indagine geognostiche eseguite non sono state evidenziate le disomogeneità stratigrafiche orizzontali. Il calcolo del coefficiente di sicurezza F_s individua con $F_s < 1,0$ indica la possibilità che avvenga la liquefazione, mentre $F_s > 1,0$ esclude la possibilità del fenomeno.

La verifica è stata articolata secondo le seguenti fasi:

Determinazione dei parametri necessari ai calcoli, dall'elaborazione della prova penetrometrica statica; nello specifico si tratta delle resistenze di punta **qc** e laterale **fs**, della pressione atmosferica **Pa**, della tensione litostatica totale σ_{v0} e tensione litostatica efficace σ'_{v0} .

Definizione del tipo di suolo attraverso l'indice I_c (Robertson e Wride, 1998), definito come:

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^{2,0,5}]$$

$$\text{Con: } Q = [(q_c - \sigma'_{V0}) / P_a] * [(P_a / \sigma'_{V0})]^n$$

$$F = [f_s / (q_c - \sigma'_{V0})] * 100\%$$

Calcolo della resistenza conica normalizzata Q, con adeguato esponente n (nel caso in esame pari a 0,5).

Calcolo della resistenza penetrometrica statica normalizzata qc1N

$$(q_{c1N}) = C_q * (q_c / P_a)$$

Con $C_q = (P_a / \sigma'_{V0})^n$, in cui n è l'esponente utilizzato per calcolare Ic.

Trasformazione della resistenza penetrometrica statica normalizzata qc1N in resistenza penetrometrica statica normalizzata equivalente a sabbia pulita (qc1N)CS attraverso la relazione:

$$(q_{c1N})_{CS} = K_c * (q_{c1N})$$

In cui Kc, nel caso $I_c > 1,64$

rispetta la seguente equazione, proposta da Robertson e Wride (1998):

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

Calcolo della capacità del terreno di resistere alla liquefazione, CRRM, a partire dalla definizione della resistenza a liquefazione per un terremoto di magnitudo 7,5 (CRR7,5), dalla definizione del fattore di correzione della Magnitudo MSF (da Idriss, 1995):

$$CRR_{7,5} = 93 [(q_{c1N})_{CS} / 1000]^3 + 0,08 MSF = 10^{0,99} / M^{1,13} \quad CRRM = CRR_{7,5} MSF$$

Dove M è la magnitudine di riferimento per l'area di intervento (nel caso specifico è stata usata la magnitudine

M = 5.6

Correzione della CRRM in CRReq per il fattore K_α (funzione della topografia) e K_σ (funzione della pressione litostatica efficace). $CRReq = CRRM K_\alpha K_\sigma$

Calcolo del fattore di sicurezza a liquefazione come rapporto tra la capacità di resistenza a liquefazione e la Domanda richiesta per il sito in esame:

$$F_s \text{ liq} = CRReq / CSR$$

In cui: $CSR = 0,65 (a_{max} / g) * (\sigma'_{V0} / \sigma'_{V0}) * r_d$

In cui, a sua volta l'accelerazione massima è stata scelta pari $a_{max} = 0.244$

I risultati della verifica a liquefazione è stata effettuata attraverso il software Cliq v. 1.5.1.26 della Geologismiki Geotechnical Engineers Serrai In particolare:

I fattori di sicurezza F_s , calcolati ogni 10 cm, risultano in alcuni casi inferiori ad 1 ($F_s < 1$) mostrando una locale suscettibilità dei terreni alla liquefazione. Questo evento si manifesta più frequentemente fra 8-10 m di profondità, cioè alla base del primo strato sabbioso limoso.

Il grafico "Summary of liquefaction potential" in cui sono plottate le coppie di punti rapporto d'attrito normalizzato-resistenza conica normalizzata, mostra che, complessivamente, molti punti ricadono a cavallo tra le aree A1 e B. In particolare la maggior parte dei punti ricade in Area B (liquefazione e perdita di resistenza post-sismica improbabile), anche se occorrerebbero prove specifiche per la verifica del rammollimento ciclico; la restante parte delle coppie di valori ricade in zona A1, in cui il potenziale a liquefazione dipende dall'entità e durata del carico ciclico.

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

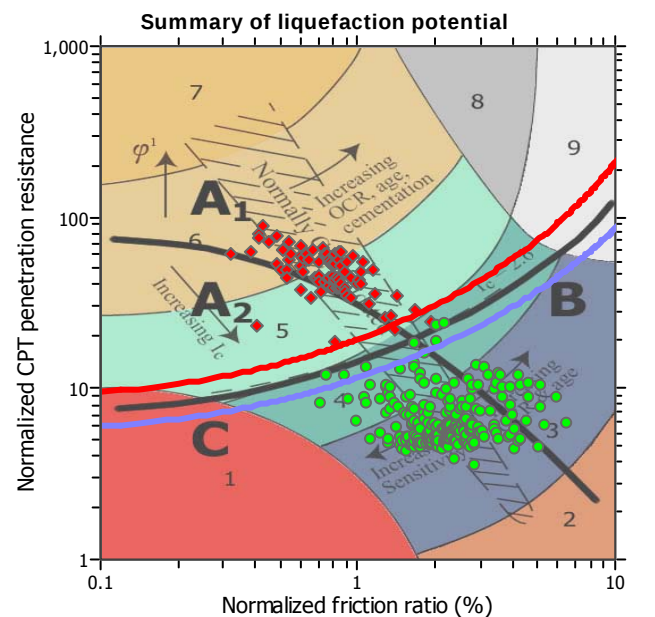
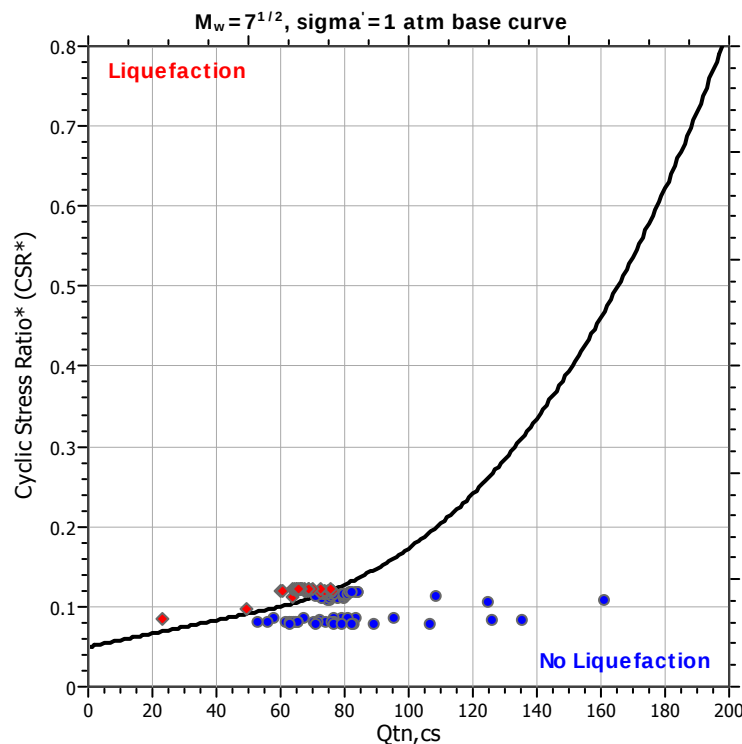
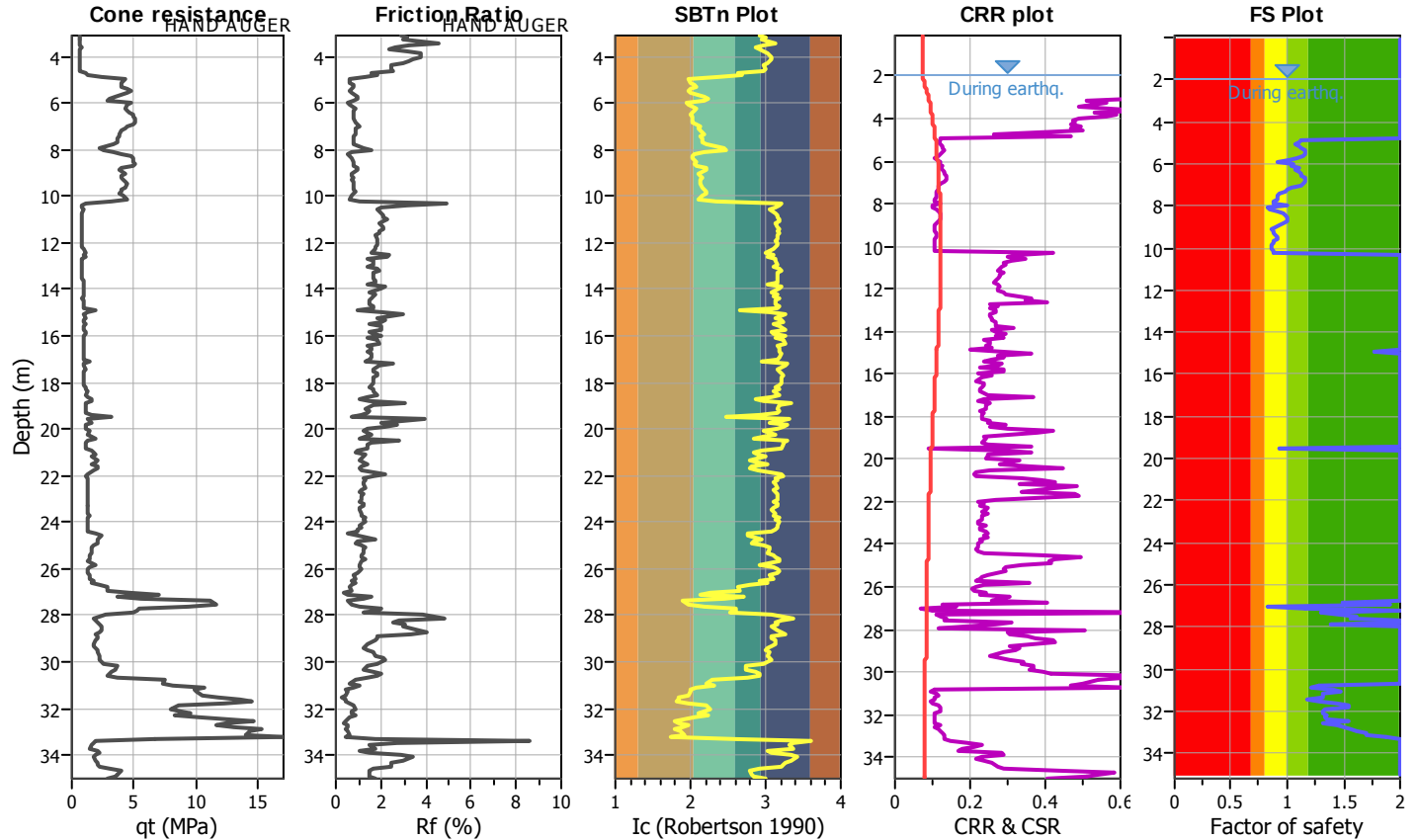
Project title : PORT HUB

Location : PORTO DI RAVENNA

CPT file : CPTU12_14

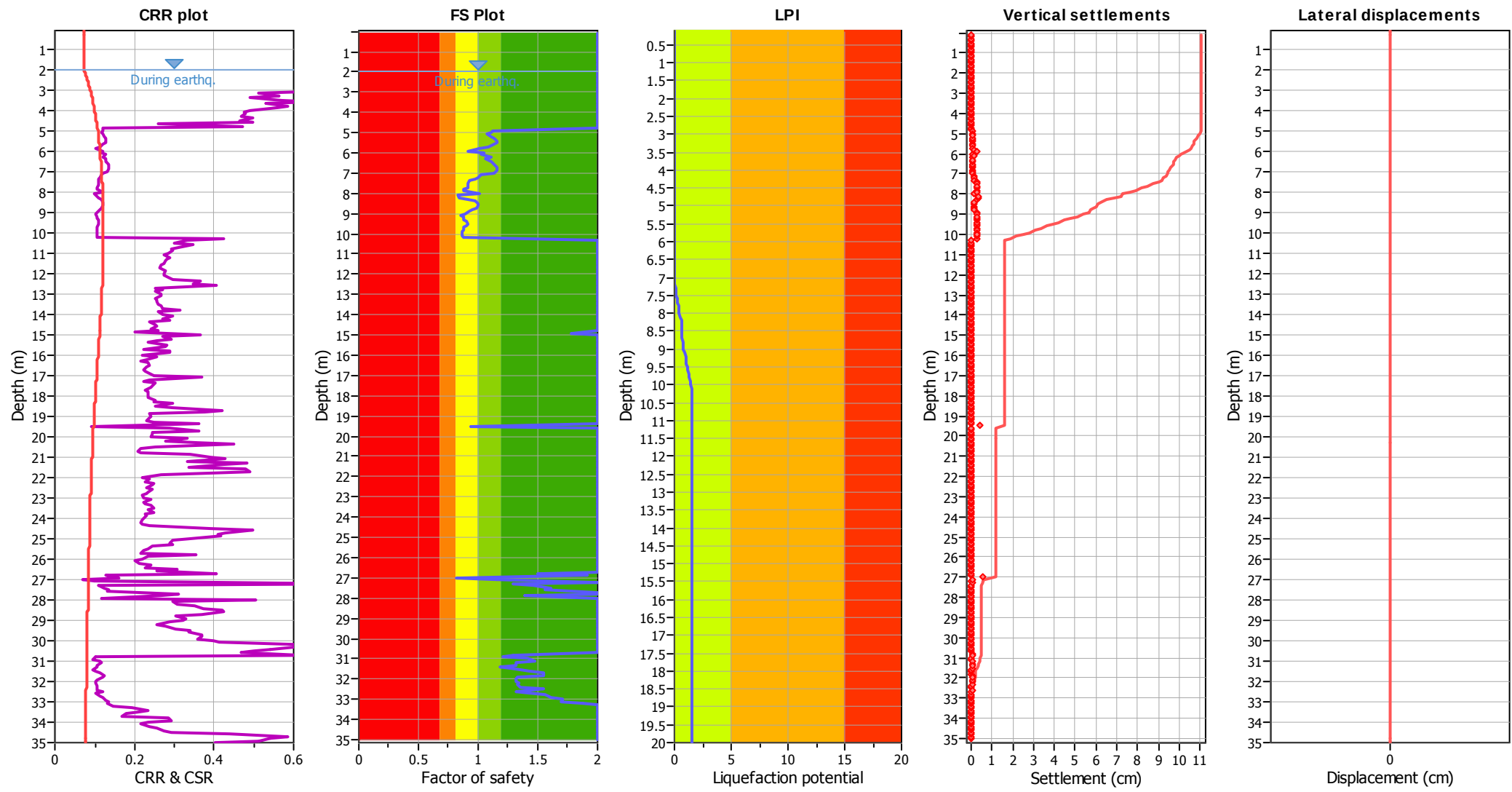
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	5.60	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	No		



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	5.60	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 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
Light 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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

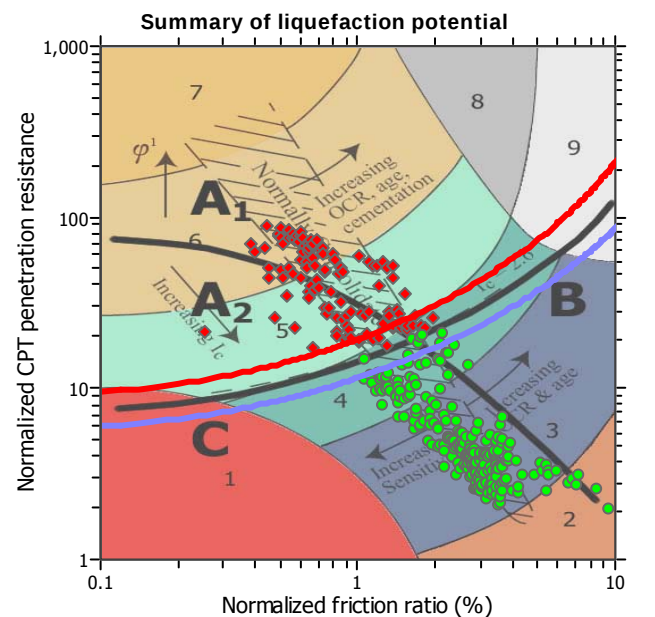
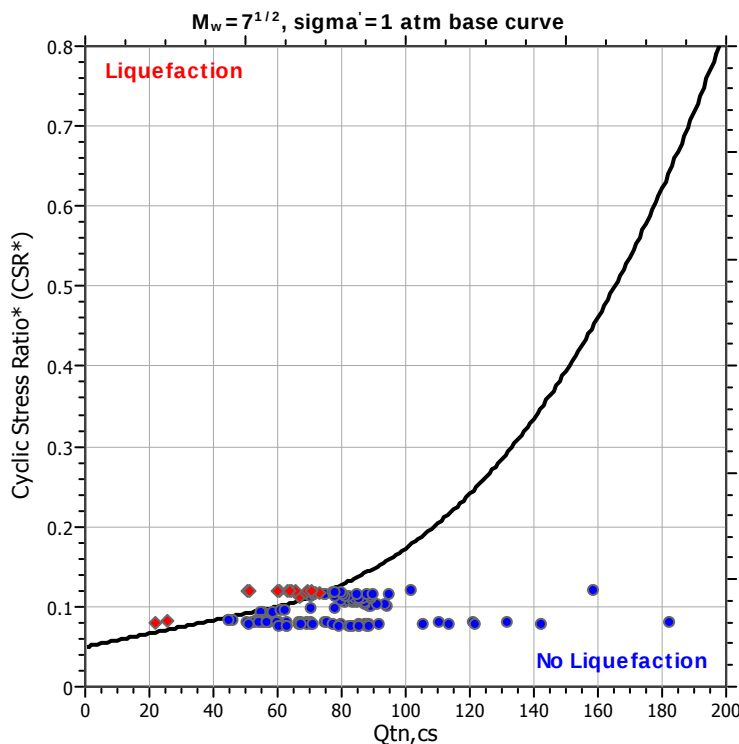
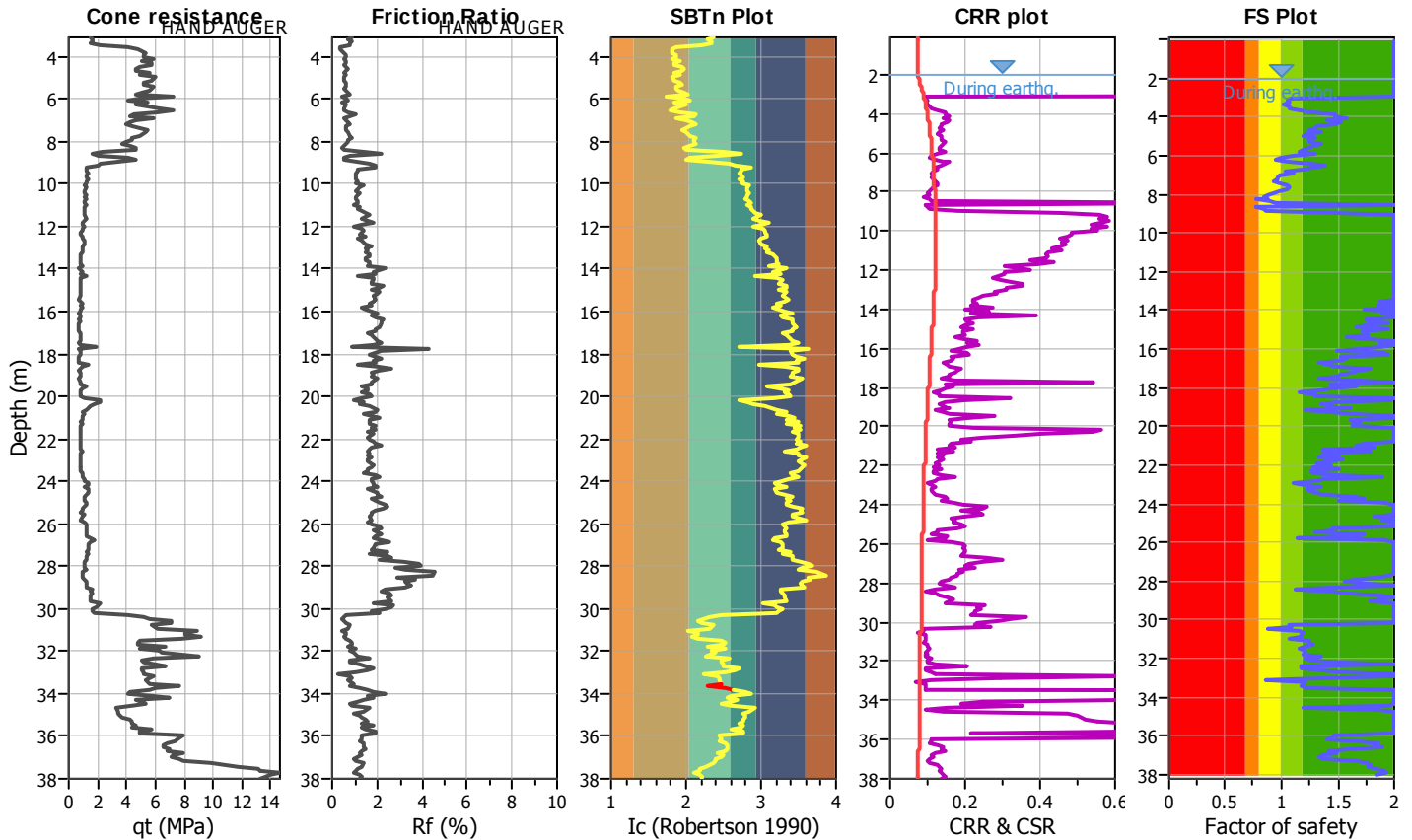
Project title : PORT HUB

Location : PORTO DI RAVENNA

CPT file : CPTU14_14

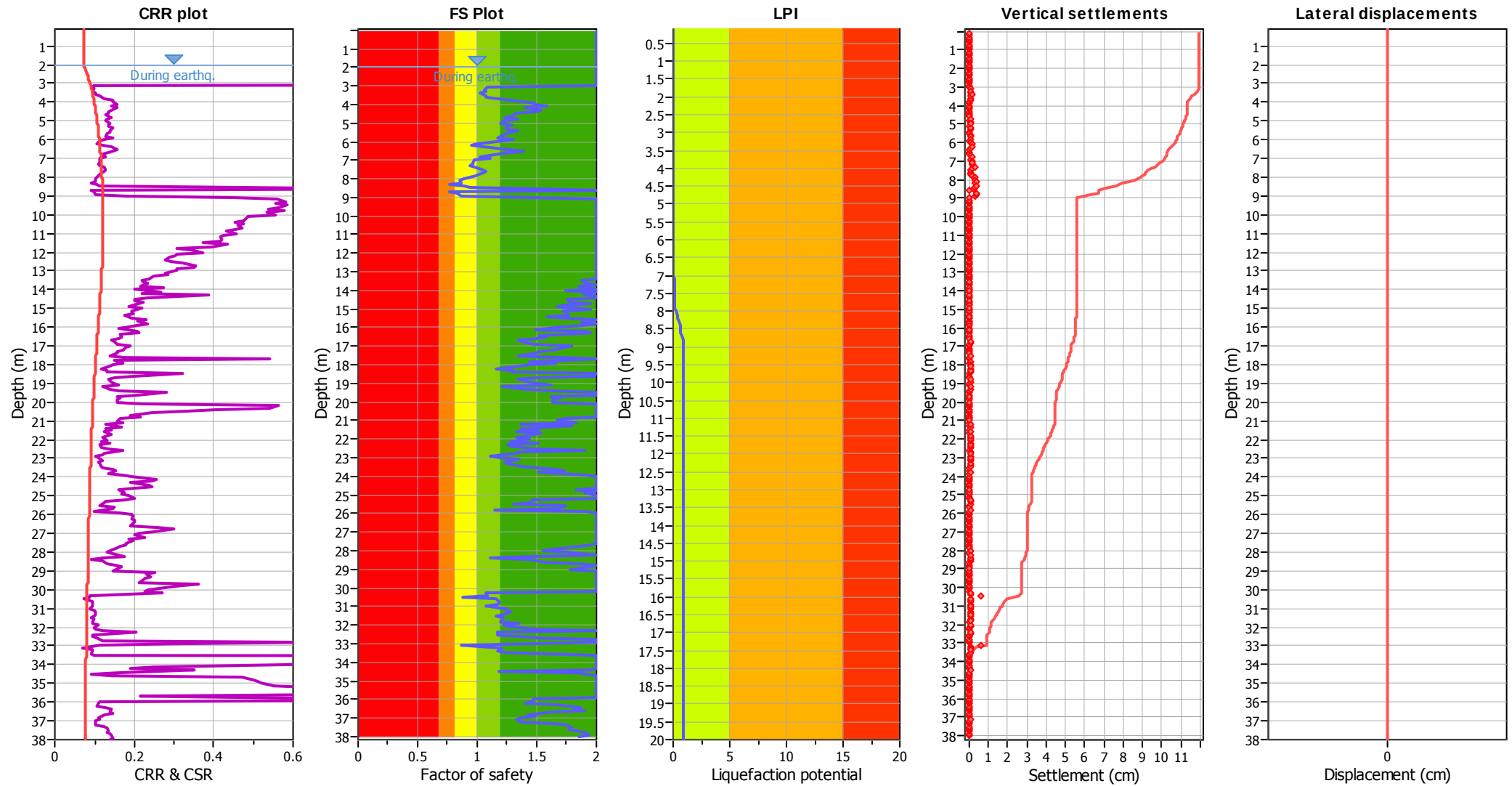
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.60	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	No	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.60	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 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
Light 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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

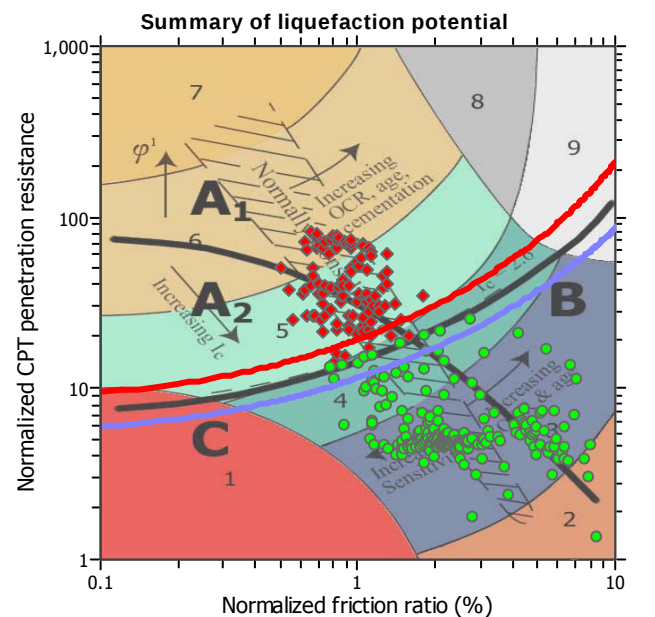
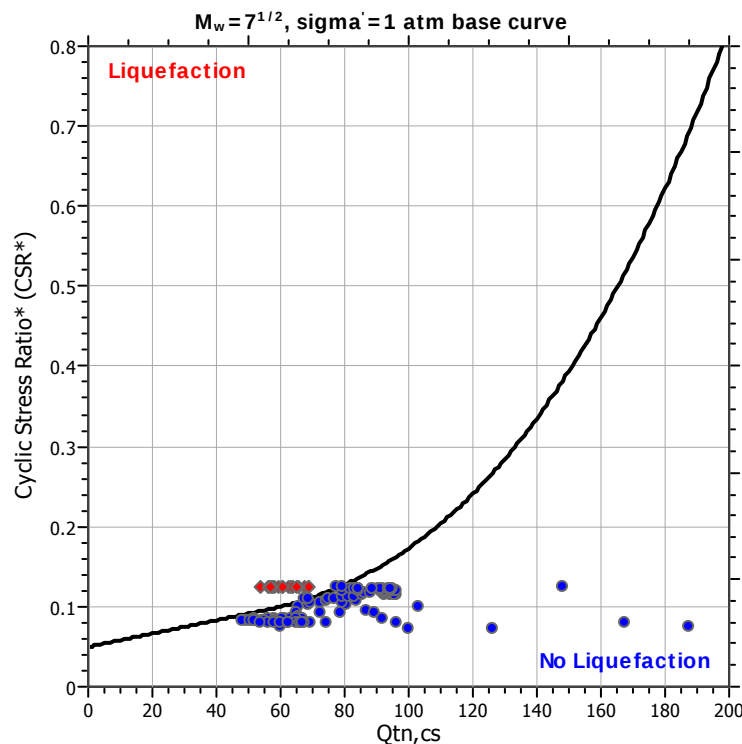
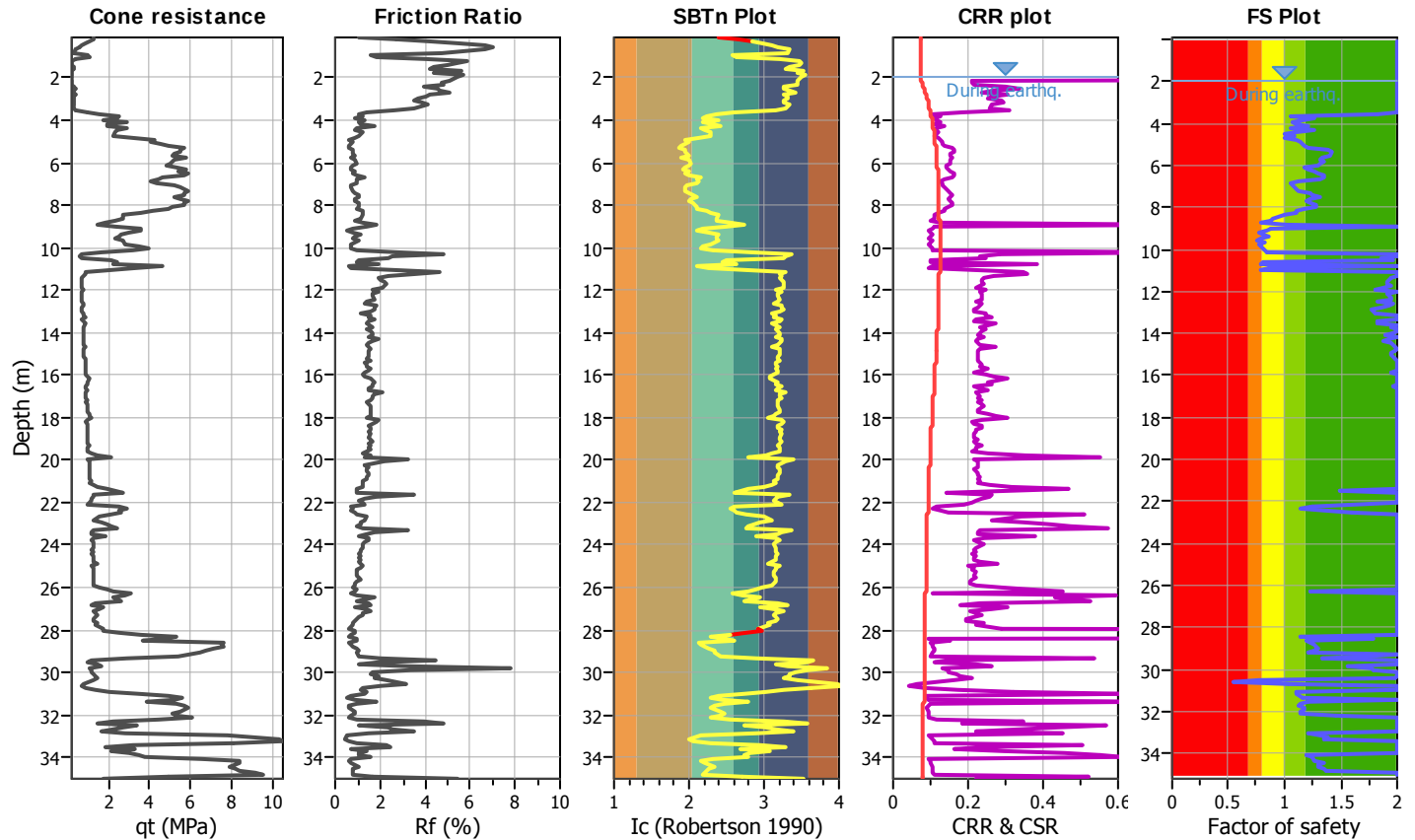
Project title : PORT HUB

Location : PORTO DI RAVENNA

CPT file : CPTU20_14

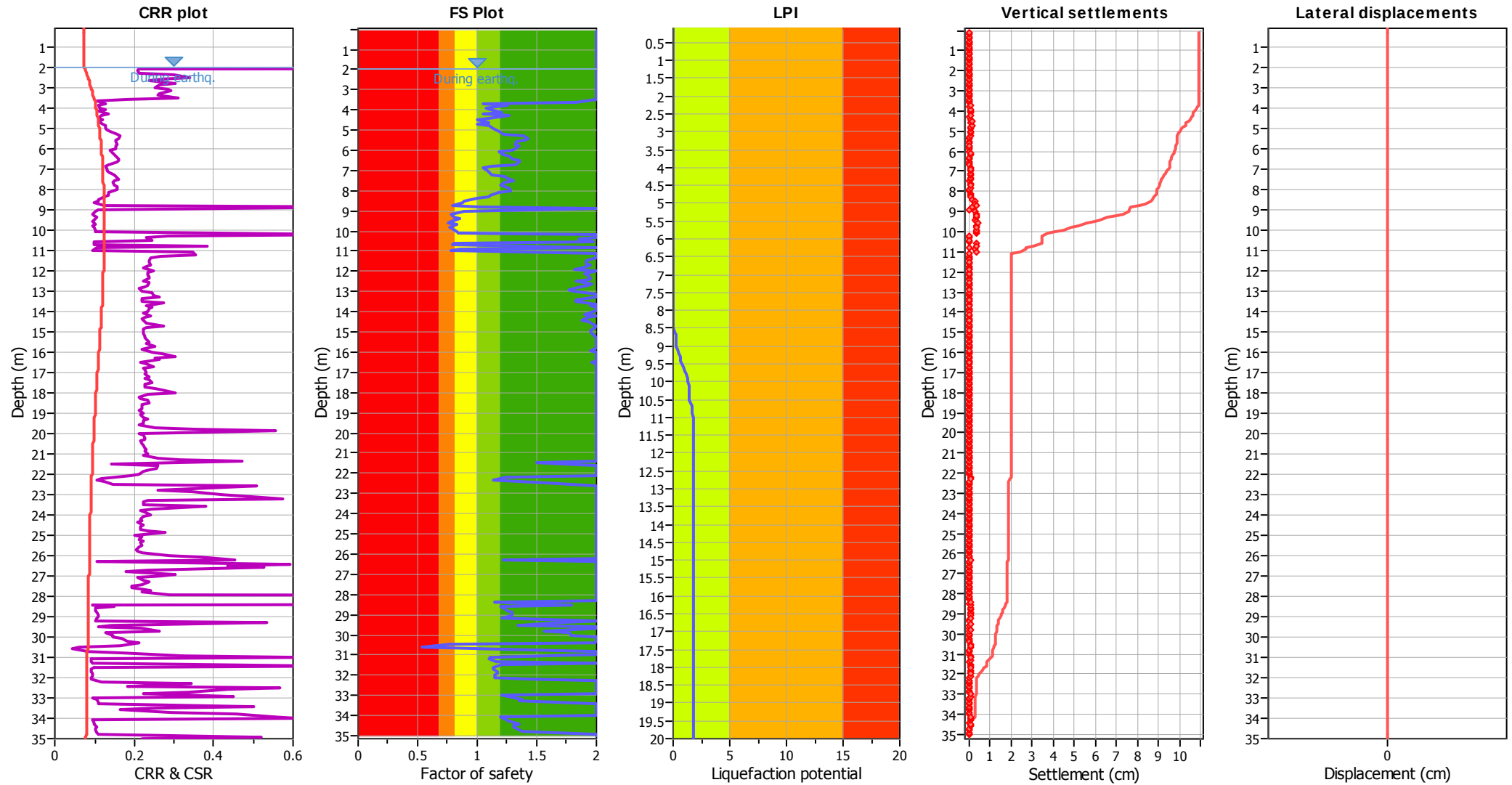
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.60	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	No	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_0 applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.60	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 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
Light 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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

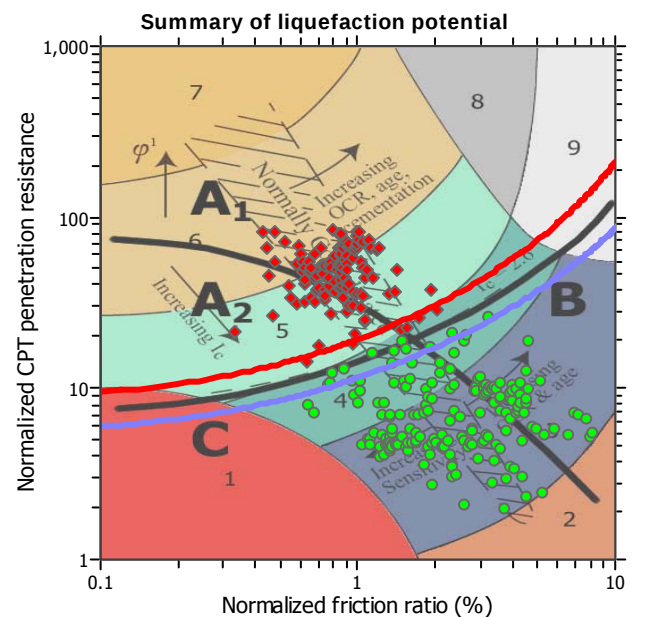
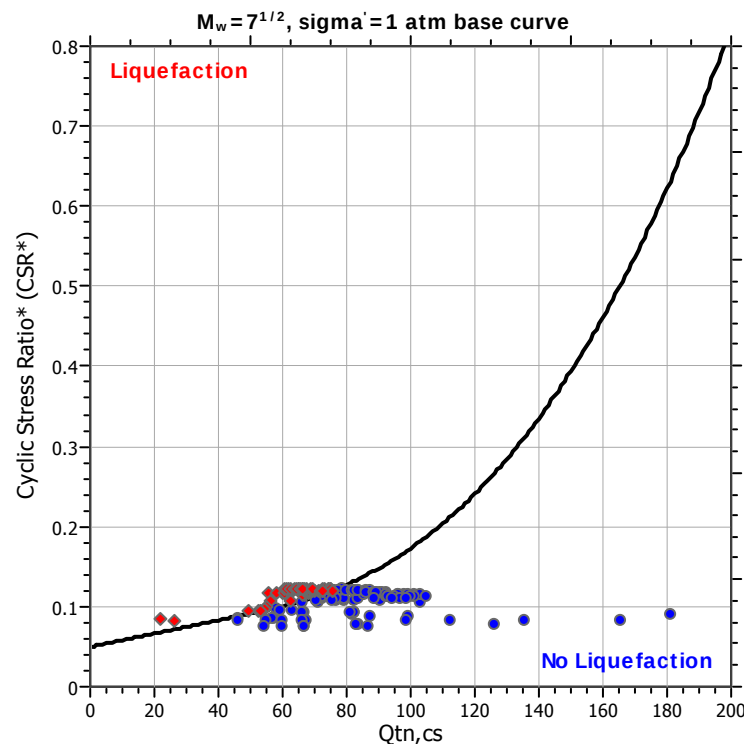
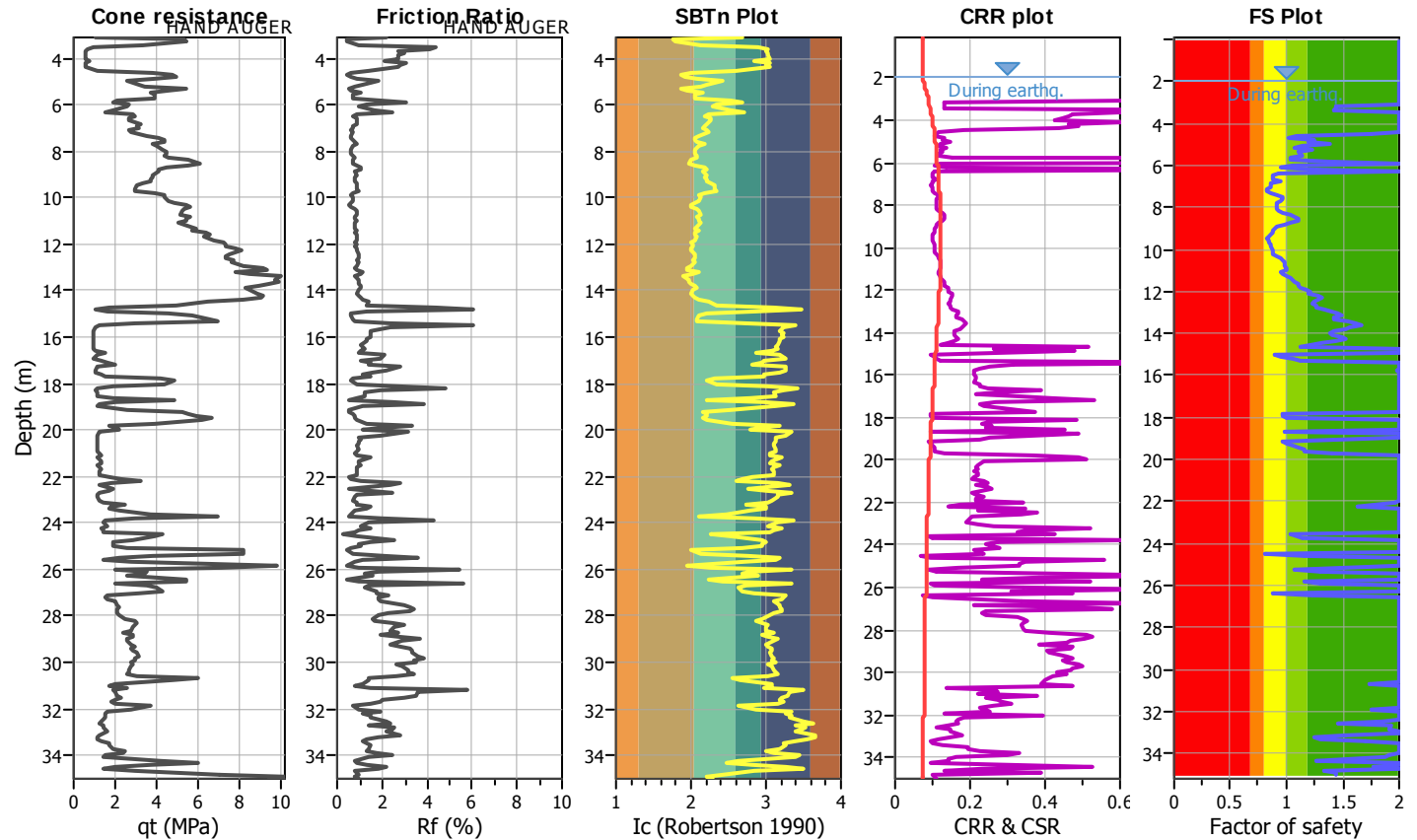
Project title : PORT HUB

Location : PORTO DI RAVENNA

CPT file : CPTU37_14

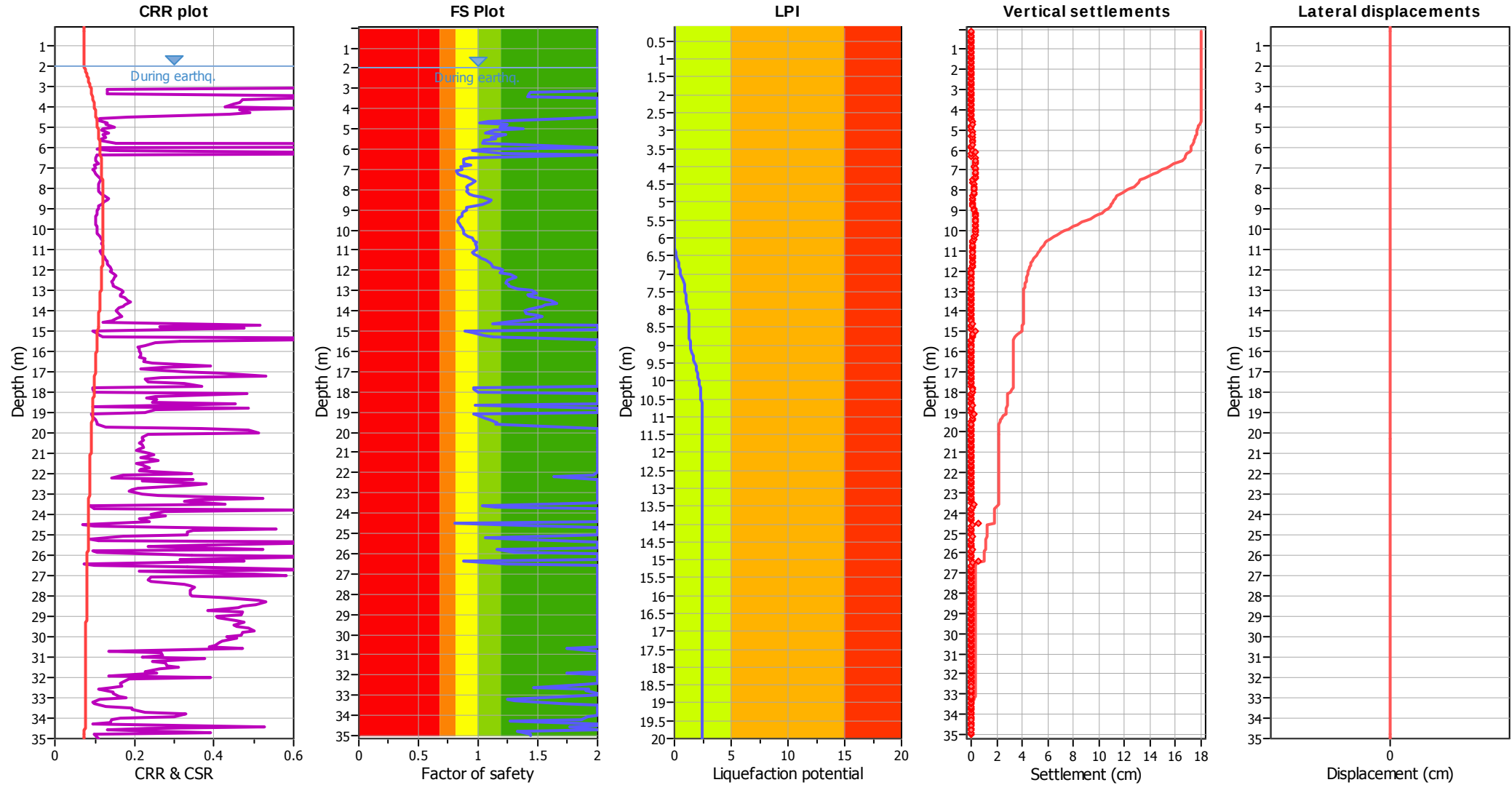
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.60	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	No	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	5.60	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 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
Light 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

Per quanto riguarda la quantificazione del potenziale a liquefazione (I_L o LPI), si ricorda che questo è formulabile come segue:

In cui: z è la profondità dal p.c.,

$w(z) = 10^{-0,5z}$ $F(z) = 1 - F_s$ se $F_s \leq 1$; $F(z) = 0$ se $F_s > 1$ (con F_s = fattore di sicurezza a liquefazione)

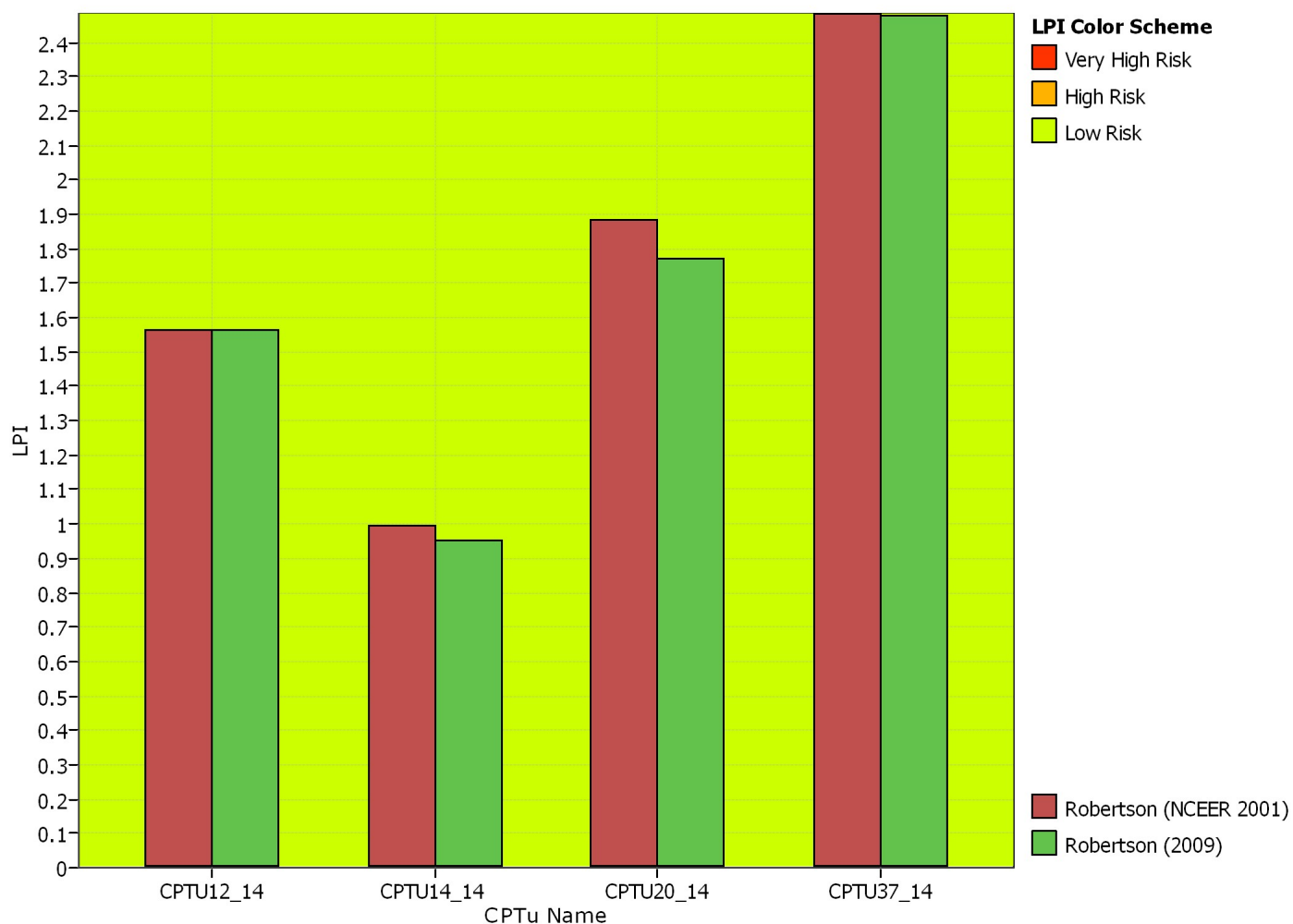
Dai valori risultanti di I_L si può stimare il rischio a liquefazione così come segue:

$0 < I_L \leq 5$ il rischio di liquefazione è basso	
$5 < I_L \leq 15$ il rischio di liquefazione è elevato	
$I_L > 15$ il rischio di liquefazione è estremamente elevato	
$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$	

E nel caso specifico, poiché la cumulata dei singoli I_L fornisce un valore complessivo pari a $I_L = 2.5$ che corrisponde ad un rischio basso.

Visti i risultati ottenuti con la verifica semplificata, sarà opportuno approfondire l'argomento in sede di redazione della relazione geotecnica per la parte specialistica attinente la parte sismica.

Overall Parametric Assessment Method



:: CPT main liquefaction parameters details ::

CPT Name	Earthquake Mag.	Earthquake Accel.	GWT in situ (m)	GWT earthq. (m)
CPTU12_14	5.60	0.24	2.00	2.00
CPTU14_14	5.60	0.24	2.00	2.00
CPTU20_14	5.60	0.24	2.00	2.00
CPTU37_14	5.60	0.24	2.00	2.00