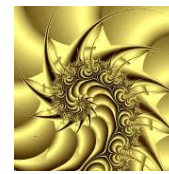




Dr. Geol. Luca Nori - Contrada Pretaro n°6 Francavilla al Mare (CH)
C.F. NROLCU60M07G482G P.IVA: 02452580695
Tel. 085/4549321 Cell. 331-1860026
e_mail: mcco20042004@yahoo.com



Comune di Cento (FE)
"Piano della Ricostruzione - Comune di Cento"
Riqualificazione di area produttiva in area residenziale in località XII
Morelli, Comune di Cento (FE)
Committente: L'Abbazia s.s. di Bruno Cavicchi e C. - via Cento
n.285 - 40017 San Matteo della Decima (BO).



RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

Ai sensi delle 'Specifiche Tecniche' del Comune di Cento, settore lavori pubblici ed assetto del territorio, sportello unico per l'edilizia.

Dr. Geol. Luca Nori
Francavilla al Mare (CH)
21/12/2014



Sommario

PARTE PRIMA: RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	3
PREMESSA	3
UBICAZIONE DEL SITO E NOTIZIE GENERALI	3
INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	5
Relazione dell' Associazione Intercomunale dell'alto Ferrarese.....	5
INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E RISCHIO SISMICO.....	8
PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO – SINTESI QUALITATIVA	14
PARTE SECONDA: RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA NEL SITO	15
DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE E GEOFISICHE.....	15
Indagini e prove eseguite	15
Indagini geotecniche	16
Indagini geofisiche.....	20
VERIFICHE E ANALISI	23
Analisi di risposta sismica locale	23
Analisi del rischio di liquefazione	34
CONCLUSIONI	42
GEOFISICA: MICROTREMORI	44
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA e Indagini	47
ALLEGATI.....	48
Certificati prove in sito	48

PARTE PRIMA: RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

PREMESSA

La presente indagine è stata redatta nell'ambito del piano delle ricostruzione del Comune di Cento ed in conformità a quanto richiesto dal Comune di Cento, FE, nel documento 'Specifiche tecniche relazione geologica-geotecnica e sismica'. In particolare, si farà riferimento all'approfondimento di III° livello richiesto dalla DAL n. 112/2007 della Regione Emilia Romagna, poichè l'ambito oggetto di intervento è compreso in zona potenzialmente suscettibile di liquefazione, secondo lo studio di microzonazione sismica, versione 1.2 del 02/01/2013. Per quanto non contenuto nelle citate Specifiche Tecniche, si farà riferimento alla normativa nazionale vigente in materia: D.M. 14/01/2008, alla relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009 e infine a quanto contenuto nella letteratura tecnica di indubbia autorevolezza.

UBICAZIONE DEL SITO E NOTIZIE GENERALI

Il sito oggetto dell'intervento di riqualificazione è ubicato in località XII Morelli, comune di Cento, FE, tra via Valentino Govoni e via Anita Garibaldi. La riqualificazione comporta il cambio di destinazione d'uso con previsione di realizzazione di edifici residenziali. Il sito è attualmente occupato da edifici produttivi dismessi (ex mattatoio) e piazzali. La perimetrazione dell'area è indicata in figura 1; in figura 2 sono illustrati i sei vertici significativi del perimetro dell'area oggetto di intervento; le coordinate di tali vertici sono riportate in tabella 1 e sono tratte da Google Earth nel sistema WGS484 (corrispondenti al sistema di riferimento ETRS89 nella realizzazione ETRF89).

Nome: V1 Latitudine: 44.792723° Longitudine: 11.289356°	Nome: V2 Latitudine: 44.791950° Longitudine: 11.288834°	Nome: V3 Latitudine: 44.791486° Longitudine: 11.290166°
Nome: V4 Latitudine: 44.791803° Longitudine: 11.290415°	Nome: V5 Latitudine: 44.792015° Longitudine: 11.290225°	Nome: V6 Latitudine: 44.792438° Longitudine: 11.290258°

Tabella 1: coordinate WGS84 del sito (vertici significativi della struttura)

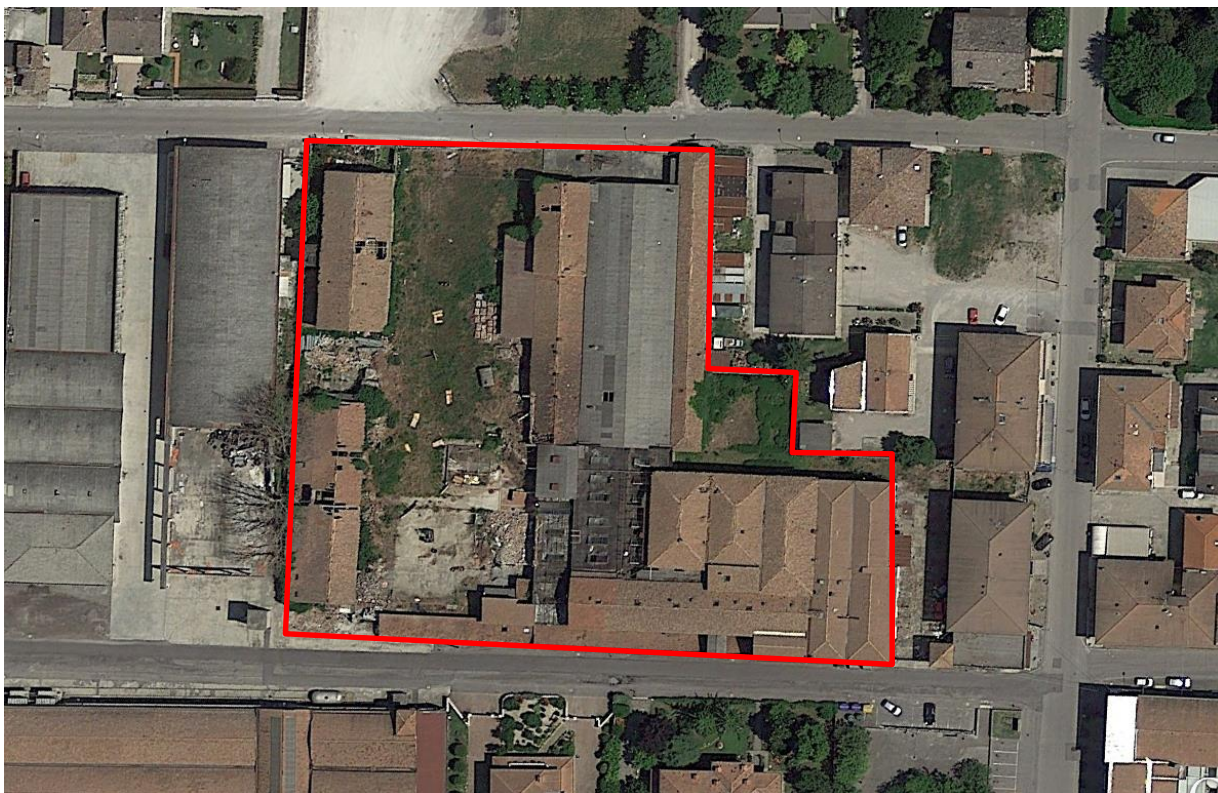


Figura 1 ubicazione del sito con perimetrazione dell'area oggetto di intervento in colore rosso. Base satellitare Google Earth, scala indeterminata, in alto: via Valentino Govoni; in basso: via Anita Garibaldi.



Figura 2 Ubicazione dei 6 vertici significativi del perimetro dell'area oggetto d'intervento; le coordinate di tali vertici sono riportate in tabella 1.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Relazione dell' Associazione Intercomunale dell'alto Ferrarese

Viene di seguito sintetizzato quanto riportato nella relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'Associazione Intercomunale dell'alto Ferrarese, di interesse specifico per l'area da riqualificare e nella cartografia allegata. Per i dettagli si rimanda alla citata relazione. I punti salienti sono i seguenti.

- Il territorio comunale è situato in pianura, con dislivelli tra le varie aree molto modeste; l'abitato di XII Morelli è compreso in gran parte nell'intervallo altimetrico 11.511÷17.267 del modello altimetrico digitale per l'alto ferrarese.
- L'abitato di XII Morelli potrebbe essere ubicato su parte di un paleoalveo dossivo minore, secondo la carta clivometrica dell'alto ferrarese
- L'alto ferrarese in genere è interessato da subsidenza di tipo naturale (meno di 3 mm/anno) e di tipo artificiale (in zone localizzate con estrazione di fluidi dal sottosuolo); nel Comune di Cento è localizzato un massimo nella velocità di subsidenza, pari a 3 cm/anno circa in corrispondenza della conoide alluvionale del fiume Reno. Tali valori diminuiscono

procedendo verso nord e, in corrispondenza dell'abitato di XII, Morelli sono compresi tra 0 e 0.4 cm/anno.

- La caratteristica principale della sismotettonica del bacino ferrarese è il cosiddetto arco ferrarese-romagnolo, elemento strutturale sepolto delimitato esternamente da un gruppo di faglie inverse e sovrascorrimenti che lo separano dalla monoclinale pedealpina. L'arco delle pieghe ferraresi è il più esterno; l'unità principale è la dorsale ferrarese, consistente in pieghe, pieghe-faglie e faglie molto inclinate vergenti verso NNE.
- I sedimenti superficiali della pianura sono stati raggruppati nel supersistema emiliano-romagnolo, suddiviso nel sistema inferiore (AEI) e nel sistema superiore (AES).
- Il territorio del comune di Cento, tra cui l'abitato di XII Morelli, fa parte del sistema AES, dove affiorano depositi alluvionali di canale e di argine.
- Secondo la carta litologica della Regione, scala 1:250000 del 1999, nell'abitato di XII Morelli prevale la litologia sabbiosa (sabbie medie e fini).
- Nella carta dei geomateriali dell'alto ferrarese, l'abitato di XII Morelli sorge su depositi di sabbie medie e fini di qualità mediamente scadente e di spessore limitato (depositi di canale e argine prossimale)
- L'abitato di XII Morelli è attraversato da un corpo meandriforme di ubicazione in gran parte incerta
- Gli acquiferi che possono interessare la località di XII Morelli, nello spessore più superficiale di sedimenti, fanno parte dei seguenti gruppi, dall'alto verso il basso:
 - Complesso acquifero A0-I
 - Complesso acquifero A1-I
 - Complesso acquifero A1-2; nella zona di XII Morelli la superficie piezometrica di tale acquifero è indicata a 3 m s.l.m (da 8.5 a 14 m circa dalla superficie topografica)
- La carta delle isofreatiche della Provincia di Ferrara indica, in corrispondenza dell'abitato di XII Morelli, una quota di 12 m s.l.m.; ciò equivale ad una quota di circa 3 m di profondità dal piano di campagna in corrispondenza del sito; le indagini effettuate, più oltre particolareggiate, hanno posto in rilievo un livello superficiale di falda posto a 1 m circa di profondità dal piano di campagna.
- Il rischio di alluvione è valutato nella carta dell'indice ISI o indice di sofferenza idraulica, nell'ambito dello studio fatto eseguire dall'associazione dei Comuni dell'alto ferrarese. Il sito oggetto della presente relazione è caratterizzato da un indice basso (basso rischio di allagabilità).
- L'abitato di XII Morelli è sito tra il corso del fiume Reno, a SE e quello del fiume Panaro, a nord. Tra l'abitato e i citati corsi d'acqua sono presenti alcuni canali artificiali. Il centro del paese di XII Morelli sorge su una zona di alto relativo, in particolare rispetto alla zona depressa interfluviale posta tra il paese stesso e il fiume Reno, mentre tra l'abitato ed il fiume Panaro esiste una zona meno depressa, mediamente posta ad una quota di 14 m s.l.m., rispetto alla quota media di 15 m che caratterizza il centro del paese. A NW dell'abitato la carta geomorfologica dell'associazione dei Comuni dell'alto ferrarese evidenzia la presenza di un paleoalveo di ubicazione incerta; la stessa carta riporta sabbie medio fini in affioramento nella zona dell'abitato.
- Nella carta altimetrica, almeno per quanto attiene al territorio comunale in direzione del fiume Reno, la colorazione evidenzia la presenza di un alto morfologico relativo in corrispondenza dell'abitato di XII Morelli.
- La carta del rischio potenziale segnala la presenza di una zona depressa o catino (bassi interfluviali) ad est del paese, in corrispondenza della Tenuta Spada. Il paese non è compreso in tale area di basso morfologico.

Seguono alcune illustrazioni tratte dalla cartografia ufficiale.

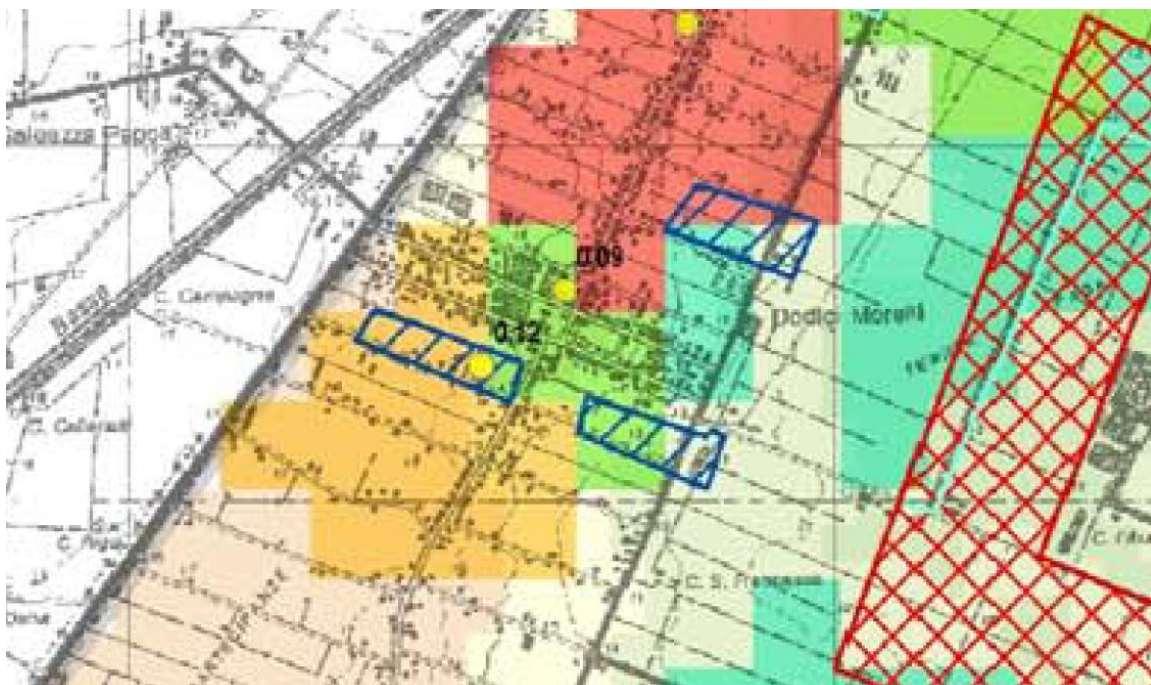


Figura 3 Stralci della Carta dell'indice ISI (indice di sofferenza idraulica); l'area oggetto del presente studio è caratterizzata da basso indice ISI (colore verde), ossia bassa pericolosità di allagamenti

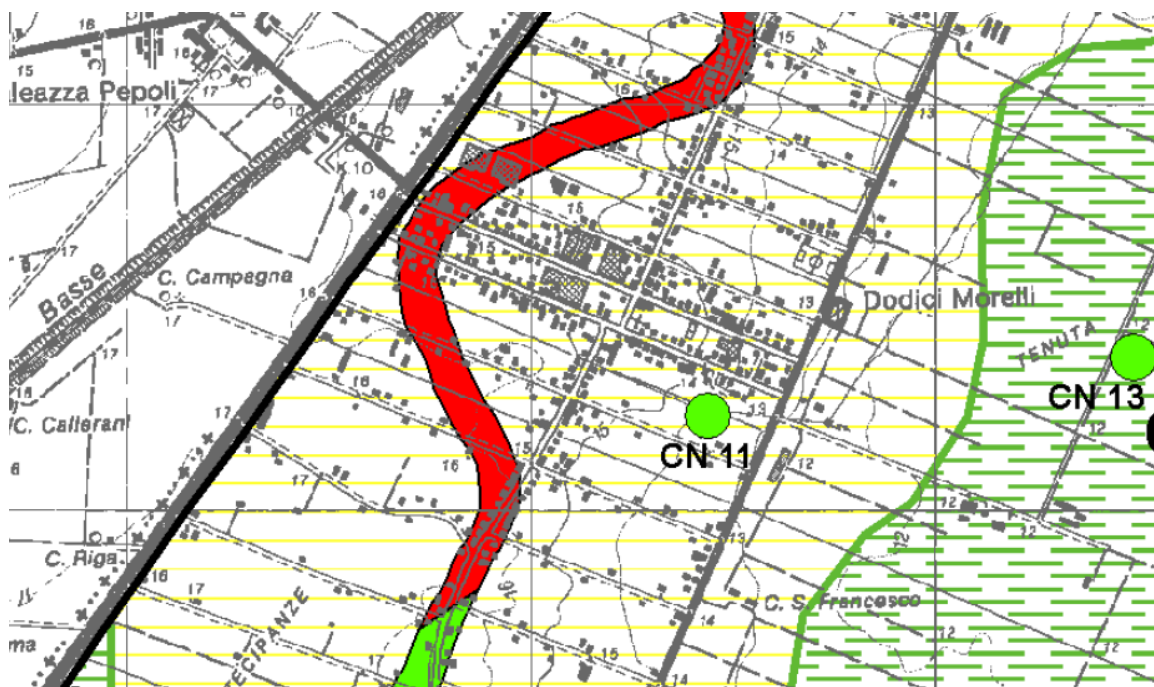


Figura 4 Stralci della Carta geomorfologica, che evidenzia la presenza di un paleoalveo, con andamento in parte incerto (colore rosso) nel margine ovest del paese; in tutto il paese, secondo la carta, la litologia superficiale consiste in sabbie medio-fini

INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E RISCHIO SISMICO

L'area oggetto della presente relazione è stata storicamente interessata da sismicità ricorrente, come è visibile nella seguente figura 7.

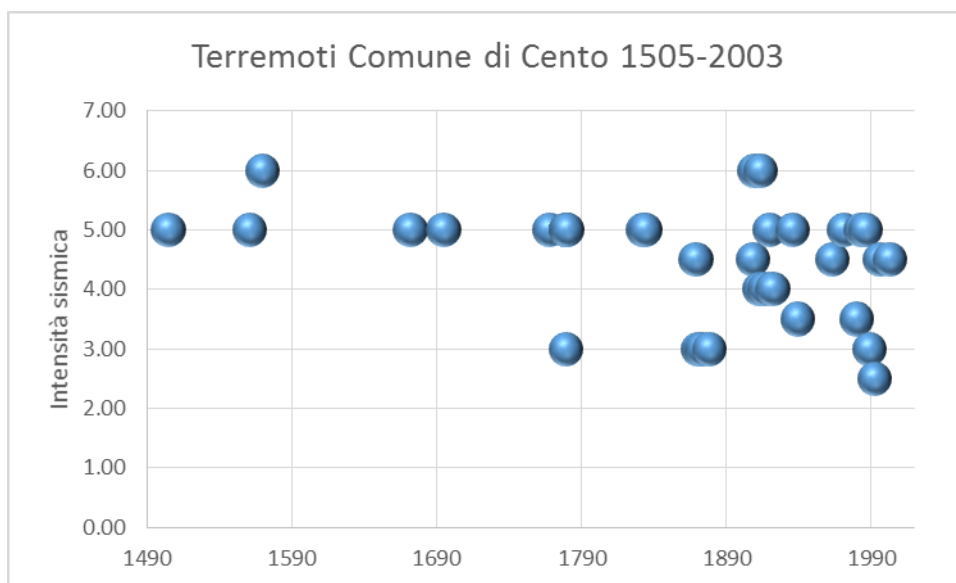


Figura 7: cronologia delle intensità sismiche risentite nel comune di Cento (rielaborazione dei dati tratti dal database INGV BDMI11)

L'area viene inserita dall'INGV (redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dalla OPCM 3274/2003, rapporto conclusivo, 2004 – bozza) nella zona sismotettonica ZS912 (dorsale ferrarese), con M_w variabile da **5.88 a 6.14**. Sempre l'INGV, nella sua 'Mappa della pericolosità sismica', elaborata con modello probabilistico sismotettonico, indica, per il comune di Cento e un sisma con un periodo di ritorno di 475 anni e 10% di probabilità di superamento, un valore di PGA_0 (accelerazione su bedrock) compreso nell'intervallo **0.150-0.175** Ag/g. Tale classificazione comporta una generica, non trascurabile pericolosità sismica. L'effettiva pericolosità sismica dell'area è stata di recente confermata dagli eventi sismici del 20/05/2012 (M_w 5.9) e del 29/05/2012 (M_w 5.7), con $IS=6$ nel comune di Cento.

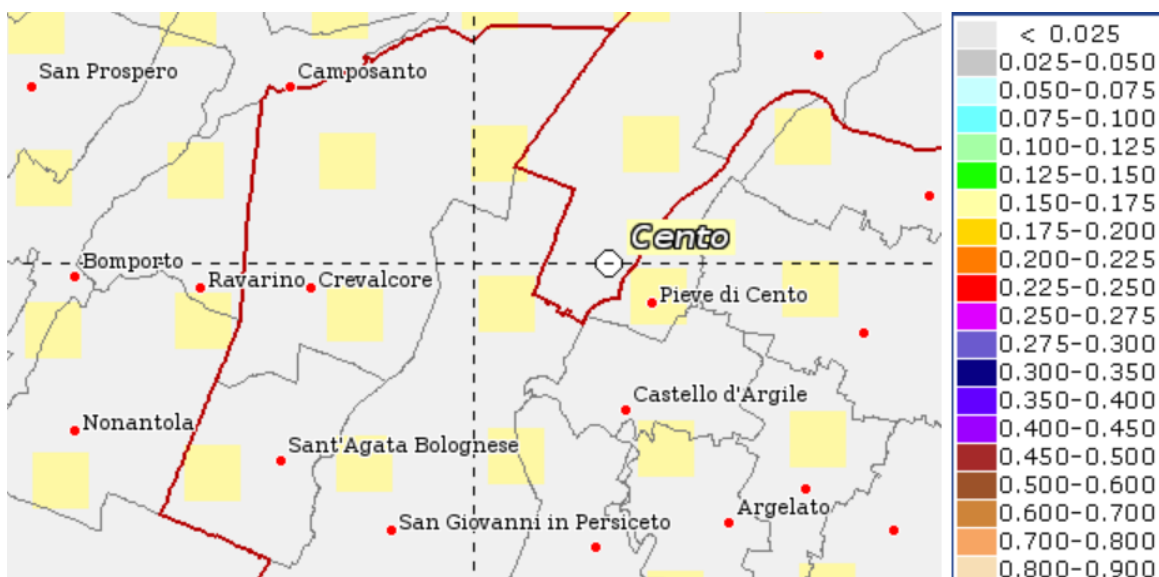


Figura 8 Carta di pericolosità sismica dell'INGV

Nella successiva figura 9 vengono illustrate le sorgenti sismogenetiche attive presenti nell'area secondo il progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), a cura dell'INGV.

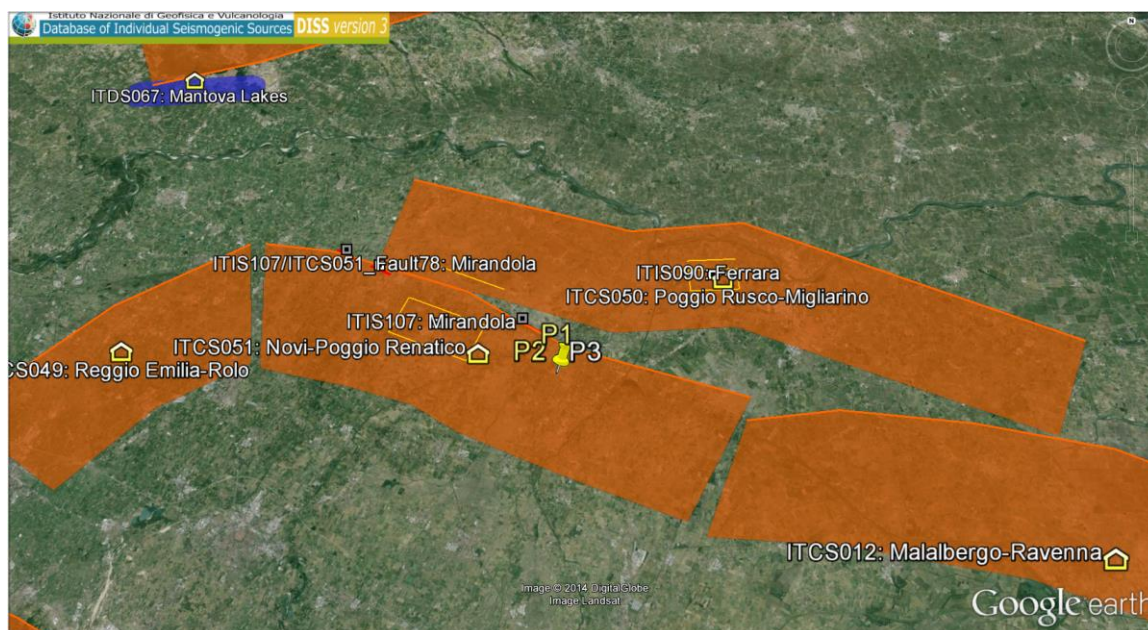




Figura 9: sorgenti sismogenetiche attive nella pianura padana emiliana secondo il catalogo DISS; il segnaposto indica il sito oggetto del presente studio

L'autorevole database delle faglie attive del progetto DISS comprende le seguenti sorgenti sismogenetiche che interessano direttamente l'area in esame:

- **ITIS107-fault78: Mirandola**
- **ITCS051-fault79: Canalazzo di Finale Emilia**

I dettagli inerenti alle citate strutture sono consultabili nel catalogo online DISS e sono riportati per convenienza in questa relazione.

		DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS107 - Mirandola		
Source Info Summary		Commentary		References
				Pictures
General information				
Code	ITIS107			
Name	Mirandola			
Compiled By	Burrato, P., E. Carminati, C. Doglioni and D. Scrocca			
Latest Update	19/09/2007			
Parametric information				
	Parameter	Qual.	Evidence	
Location (Lat/Lon)	44.8396 / 11.1351	OD	Based on geological and geomorphological observations.	
Length (km)	8.7	OD	Based on geological and geomorphological observations.	
Width (km)	5.8	OD	Based on geological and geomorphological observations.	
Min Depth (km)	3.9	LD	Based on geological and seismological data.	
Max Depth (km)	7.6	LD	Based on geological and seismological data.	
Strike (deg)	113	OD	Based on geological and geomorphological observations.	
Dip (deg)	40	LD	Based on surface displacement modeling constrained by subsurface data.	
Rake (deg)	90	EJ	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.	
Slip Per Event (m)	0.45	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).	
Slip Rate (mm/y)	0.25 - 0.5	OD	Based on growth strata analysis.	
Recurrence (y)	900 - 1800	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.	
Magnitude (Mw)	5.9	ER	Inferred from slip rate and average displacement.	
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement			
Associated earthquake				
Latest Eq	Unknown	See "Commentary" for information.		
Penultimate Eq	Unknown	See "Commentary" for information.		
Elapsed Time	-9999	See "Commentary" for information.		
Associated Active Faults or Folds				
#	Type	Name	Reference	
78	Fault	Mirandola	Castaldini et al. [1979]	
79	Fault	Canalazzo di Finale Emilia	Castaldini et al. [1979]	
80	Fault	Concordia	Castaldini et al. [1979]	

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITC S051 - Novi-Poggio Renatico			
Source Info Summary	Commentary		
References	Pictures		
General information			
Code	ITCS051		
Name	Novi-Poggio Renatico		
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano		
Latest Update	30/08/2007		
Parametric information			
	Parameter		
	Qual. Evidence		
Min Depth (km)	3	OD Based on geological data from various authors.	
Max Depth (km)	10	OD Based on macroseismic and geological data from various authors.	
Strike (deg)	95 - 125	OD Based on geological data from various authors.	
Dip (deg)	25 - 45	OD Based on geological data from various authors.	
Rake (deg)	80 - 100	OD Based on geological data from various authors.	
Slip Rate (mm/y)	0.25 - 0.5	OD Based on geological data from Scrocca et al. (2007).	
Max Magnitude (Mw)	5.9	OD Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).	
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement		
Associated Active Faults or Folds			
#	Type	Name	Reference
78	Fault	Mirandola	Castaldini et al. [1979]
79	Fault	Canalazzo di Finale Emilia	Castaldini et al. [1979]
80	Fault	Concordia	Castaldini et al. [1979]

Il database delle faglie capaci ITHACA identifica una traccia di faglia 'capace' o verosimilmente attiva sepolta (linea tratteggiata rossa). La linea di faglia passa proprio al di sotto dell'abitato di XII Morelli.



Figura 10: faglie attive sepolte nel database Ithaca sulle faglie capaci

Dai dati reperiti nella cartografia ufficiale disponibile possiamo aggiungere i seguenti punti riguardanti il rischio sismico.

- La Carta degli effetti di liquefazione della Protezione Civile, aggiornata al 7 giugno 2012, mette in risalto la presenza di fenomeni di liquefazione osservati nell'abitato di XII morelli, a partire da una distanza minore di 100 m dal sito oggetto della presente relazione, in direzione NE.
- Nella carta di microzonazione sismica della Regione Emilia Romagna, il sito è compreso nelle zone suscettibili di amplificazione e liquefazione LQ1 e LQ2; in particolare, sempre secondo la citata cartografia, la porzione più occidentale del sito (LQ1) è caratterizzata dalla presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal p.c., mentre la rimanente sezione (LQ2) è caratterizzata dalla presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal p.c.; il fattore $FPGA$ per entrambi $=1.7$, mentre il fattore $FH_{(0.1+0.5 s)} = 1.9$ e il fattore $FH_{(0.5+1.0 s)} = 2.6$.
- Nella stessa carta di microzonazione regionale, a nord del centro del paese l'indice del potenziale di liquefazione risulta essere elevato, mentre lo stesso indice risulta essere basso ad ovest e ad est del paese.

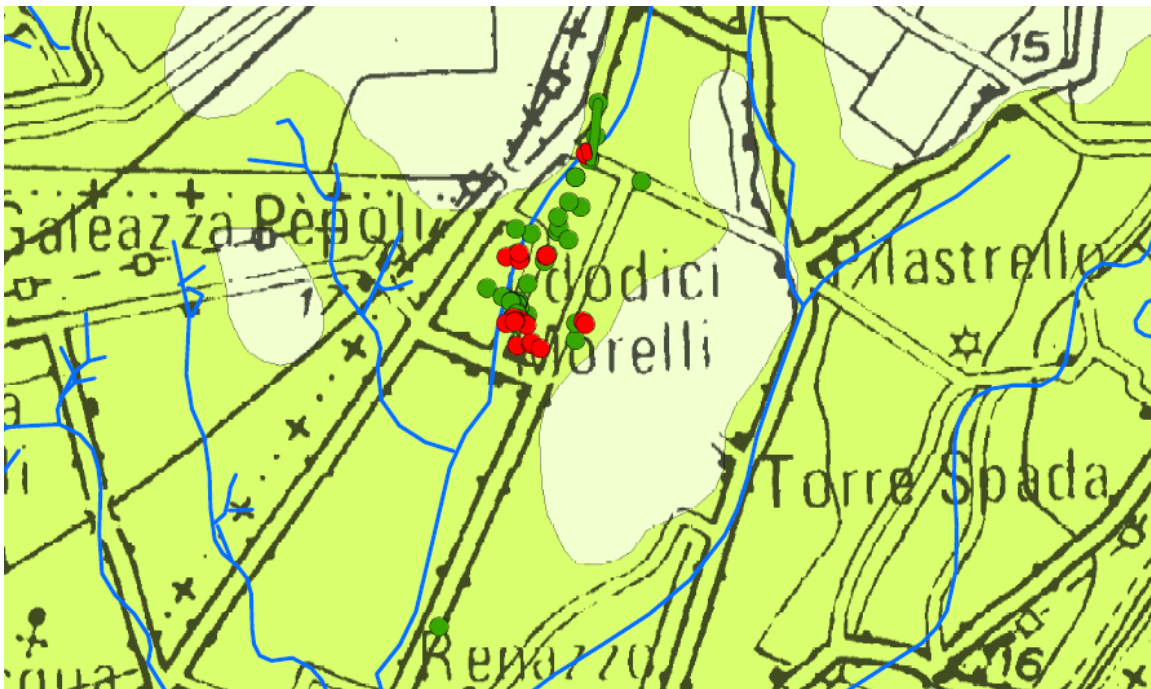


Figura 11 Fenomeni di liquefazione osservati nell'abitato di XII Morelli (dalla Carta degli effetti della liquefazione della Protezione Civile)

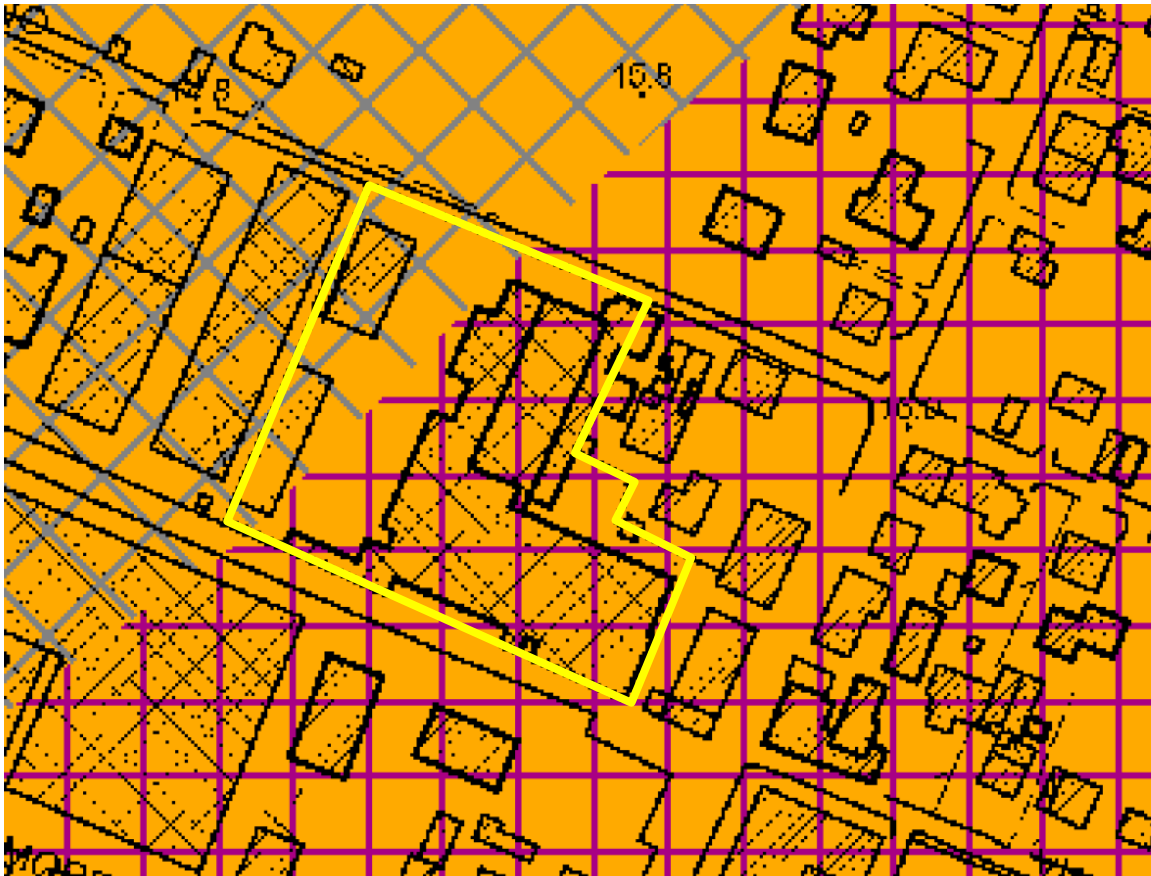


Figura 12 Carta regionale della microzonazione sismica; stralcio che interessa il sito con riportate zone a potenziale rischio di liquefazione; a sinistra, zona LQ1, a destra, zona LQ2. Il sito oggetto del presente studio è perimetrato in giallo.

PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO – SINTESI QUALITATIVA

Alla luce di quanto sopra discusso, è possibile delineare in maniera sintetica gli scenari di pericolosità geologica, idrogeologica e del territorio, attinenti al sito oggetto di intervento, accompagnati da brevi commenti.

Scenario di pericolosità locale	Cartografia ufficiale	Grado di pericolosità attuale	Grado di pericolosità potenziale	Note
Faglie attive – rischio attivazione	DISS	Alto	Alto	Il sito è compreso nell'ambito della struttura attiva ITCS051 del database DISS
Faglie capaci – rischio attivazione	ITHACA	Alto	Alto	Il database ITHACA del Servizio Geologico Nazionale segnala una faglia 'capace' (presumibilmente faglia attiva sepolta) nell'area dell'abitato
Allagamento	Carta dell'indice ISI	Medio-basso	Medio-basso	Indice ISI di sofferenza idraulica basso Ubicazione tra due corsi d'acqua principali ma in zona di alto morfologico relativo
Subsidenza	Carta della subsidenza	Medio-basso	Medio-basso	Valori di subsidenza bassi nell'intorno dell'abitato, da 0 a 4 mm l'anno
Liquefazione	Microzonazione sismica	Alto	Alto	Zona con alto potenziale di liquefazione Fenomeni di liquefazione effettivamente osservati nel centro abitato
Erosione concentrata	-	Non presente	Non ravvisabile	Non esistono fossi di erosione concentrata in prossimità del sito
Cavità	-	Non presente	Non presente	Il rischio non è segnalato nella documentazione ufficiale
Frane, crolli e movimenti di versante	-	Non presente	Non presente	Il sito insiste su zona di pianura

Tabella 2 Sintesi del rischio idrogeologico e del territorio per il sito oggetto di studio

PARTE SECONDA: RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA NEL SITO

DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE E GEOFISICHE

Indagini e prove eseguite

Nel sito oggetto di intervento sono state effettuate le seguenti indagini (si consulti la figura 13 per le relative ubicazioni):

- Indagine geotecnica e geofisica consistente nell'esecuzione di:
 - n° 1 penetrometrie statiche con punta elettrica, cono sismico e piezocono (S-CPTU) spinte a profondità di 30 m dal piano di campagna.
 - n° 2 penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU) spinte a profondità di 20 m dal piano di campagna.
- Indagine geofisica per la caratterizzazione del modello sismico, consistente nell'esecuzione di:
 - n° 3 indagini di geofisica di superficie passiva con misurazione del rapporto H/V delle onde di superficie (metodo dei microtremori di Nakamura).

I relativi dettagli sono riportati in allegato alla presente relazione.

Sono inoltre stati considerati, nella definizione del modello geotecnico e soprattutto del modello sismico, alcuni dati provenienti presenti nel pubblico dominio e opportunamente citati quando pertinente.

Il suddetto programma di indagini è risultato essere adeguato e sufficiente per ottenere un modello geotecnico e sismico congruo con l'assetto litostratigrafico e sismotettonico della zona.

Nella seguente figura sono mostrate le ubicazioni dei rilievi; ogni rilievo corrisponde ad una prova penetrometrica ed una misurazione dei microtremori, effettuati a brevissima distanza l'uno dall'altro. Le ubicazioni vengono denominate P1, P2, P3 e hanno le coordinate WGS84 riportate nella seguente tabella.

Nome: P1	Nome: P2	Nome: P3
Latitudine: 44.792130°	Latitudine: 44.792500°	Latitudine: 44.791961°
Longitudine: 11.289212°	Longitudine: 11.289743°	Longitudine: 11.289912°

Tabella 3: coordinate delle prove geotecniche e sismiche

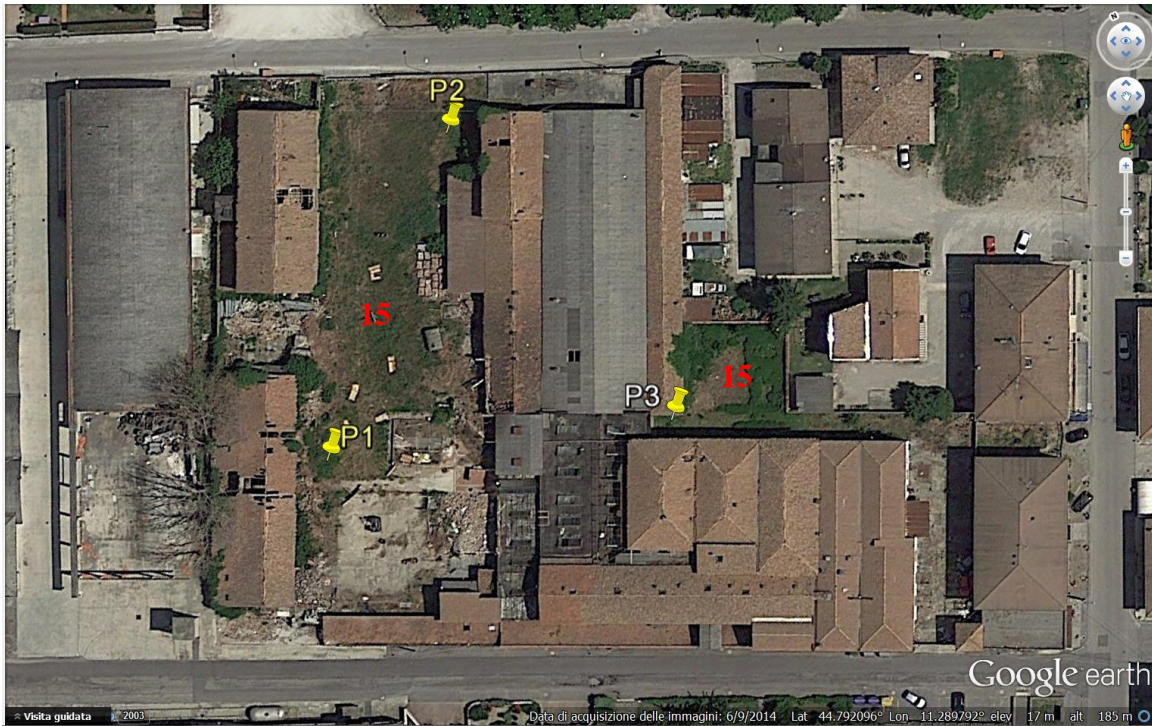


Figura 13:ubicazione indagini (segnaposto giallo) e quota del piano campagna (numeri in rosso). Ogni ubicazione corrisponde ad una coppia di indagini CPTU e HVSR; in corrispondenza della P2 è stata effettuata una prova S-CPTU (CPTU con cono sismico).

Indagini geotecniche

Nelle successive figure sono illustrate le resistenze normalizzate alla punta in corrispondenza delle 3 verticali indagate, nonché l'interpretazione litologica effettuata dal programma CLiq v1.7, utilizzato in questa sede a scopi di interpretazione litostratigrafica e di verifica della liquefazione. Risulta evidente che il sottosuolo del sito è discretamente omogeneo lateralmente ed è possibile delineare 3 principali strati omogenei:

1. **Strato omogeneo 1**, spesso da 6 m (P1 e P2) a 7 m (P3) circa, costituito da intercalazioni di limo sabbioso, prevalentemente e argilla limosa, in proporzioni variabili. La resistenza alla punta Q_t è variabile da 3 a 38 ata (atmosfera tecniche assolute) nel complesso, con media pari a 13 ata. La parte più superficiale, di spessore pari a 0.5 m circa, è costituita in parte da materiale di riporto granulare.
2. **Strato omogeneo 2**, spesso da 13 m (P1) a 12 m (P2 e P3) circa, costituito da litotipo argilloso-limoso poco permeabile, con poche e sottili intercalazioni più permeabili. La resistenza alla punta Q_t è mediamente pari a 12 ata circa.
3. **Strato omogeneo 3**, spesso 11 m nella verticale P2, costituito prevalentemente da sabbia e limo con permeabilità relativamente elevata. La parte più superficiale di questo strato è stata intercettata anche nelle verticali P1 e P3. La resistenza alla punta è variabile da 20 a 150 ata (atmosfera tecniche assolute) nel complesso, con media ubicata nella regione di 60÷70 ata circa.

Al di sotto dello strato omogeneo 3, a 29 m circa di profondità dal piano di campagna, è visibile un orizzonte a comportamento prevalentemente coesivo, tuttavia non è noto il suo spessore poiché la prova è stata terminata a 30 m.

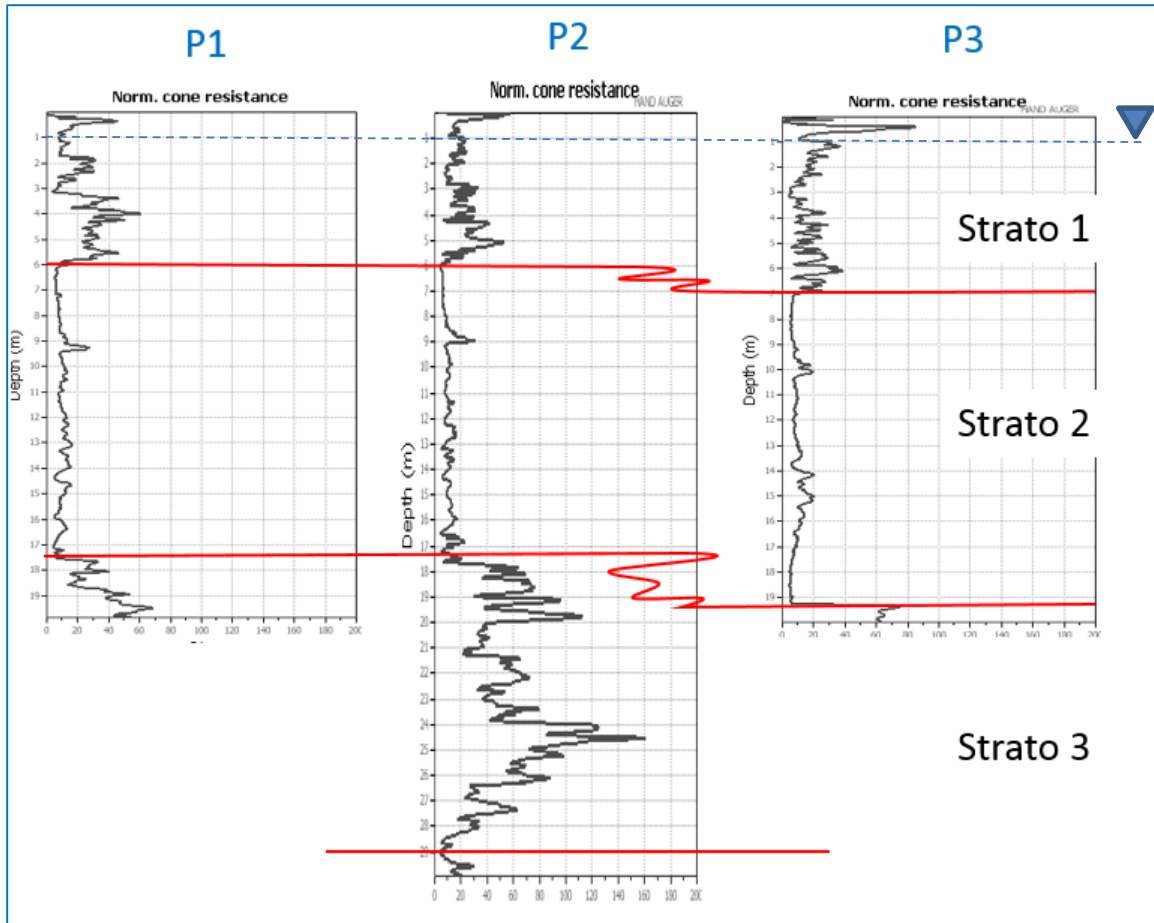


Figura 13: modellazione geotecnica basata sulla resistenza normalizzata alla punta $Q_{tn}=(q_t-\sigma_{v0})/\sigma'_{v0}$

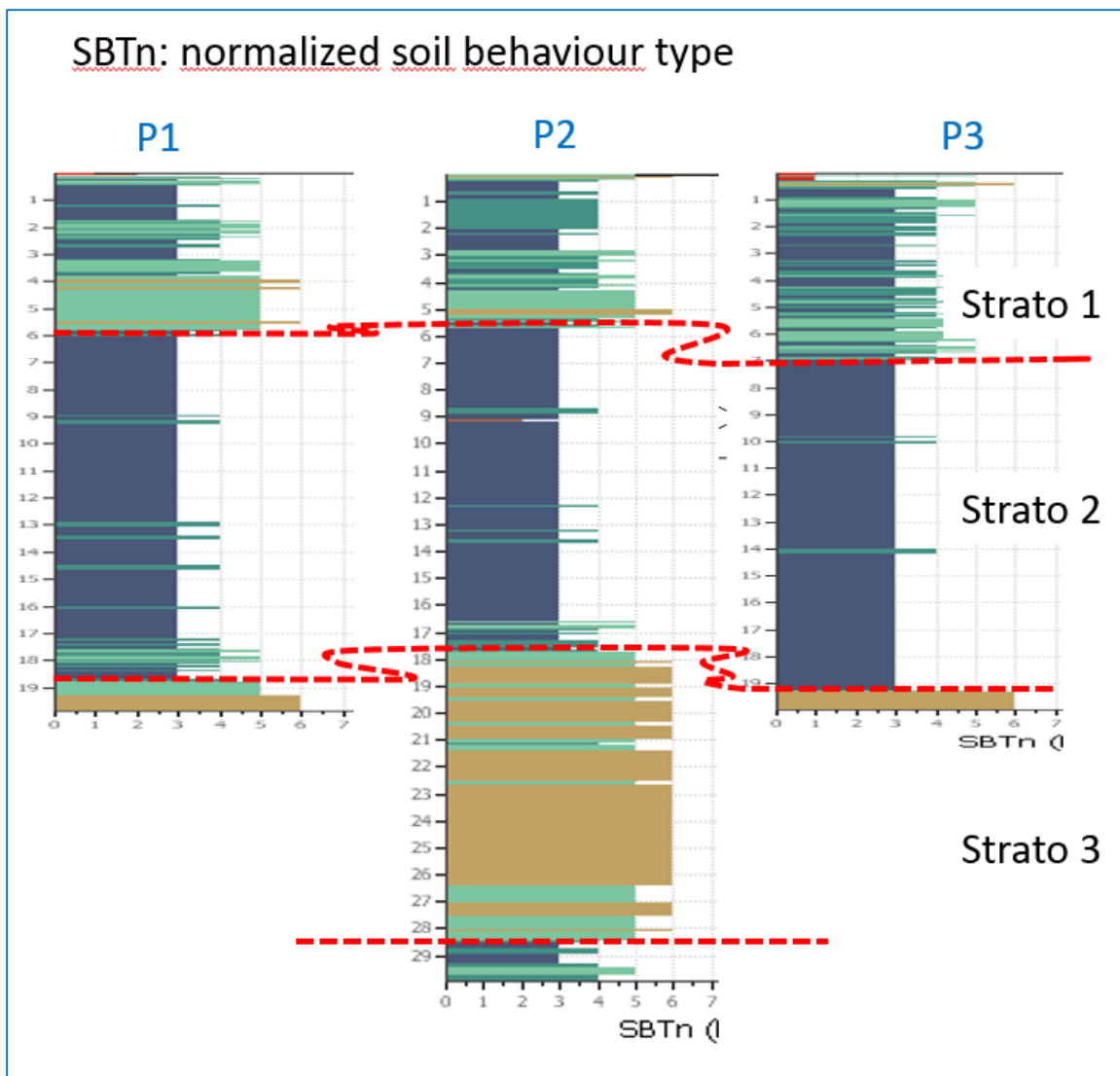


Figura 14: modellazione geotecnica basata sull'indice SBTn; la modellazione risulta essere molto simile alla precedente basata sull'indice Qtn.

Nella successiva figura sono sovrapposti i dati di alcuni parametri significativi normalizzati, come resistenza alla punta, friction ratio, sovrappressioni e SBTn. Risulta evidente che, nel complesso, il sito può essere definito lateralmente omogeneo. Nel dettaglio, come è visibile nella figura 15 nella quale è stato escluso il profilo della prova P3, le proprietà lungo le verticali P1 e P2 sono quasi perfettamente sovrapponibili, mentre la verticale P3 si discosta leggermente dalle precedenti.

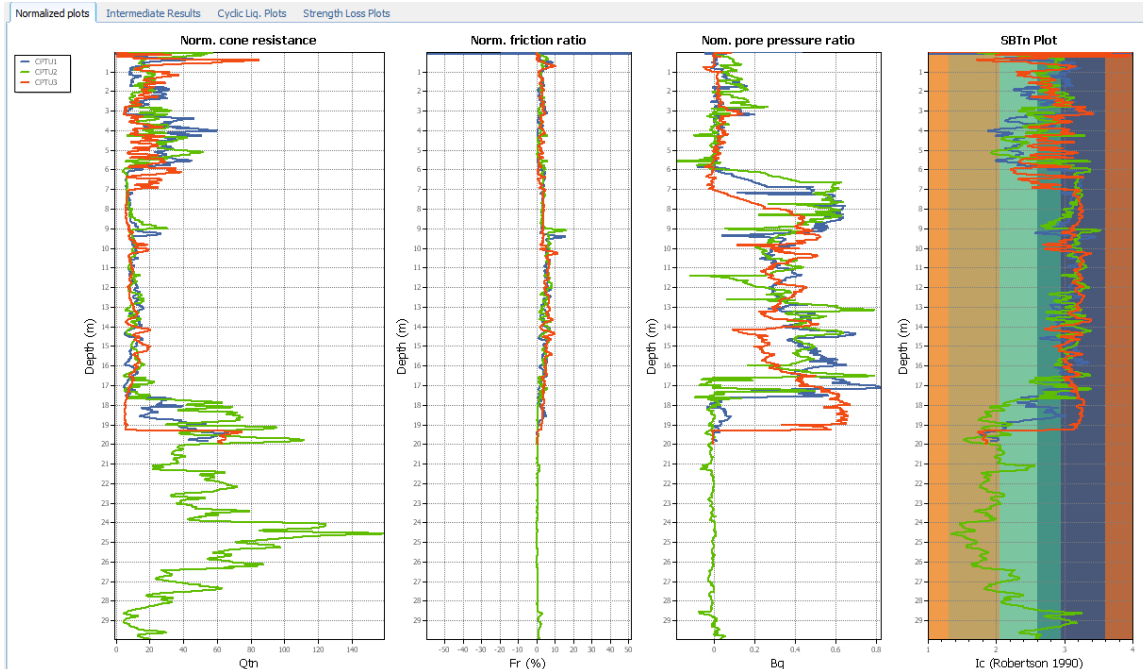


Figura 14: analisi comparativa dei dati relativi alle 3 penetrometrie eseguite

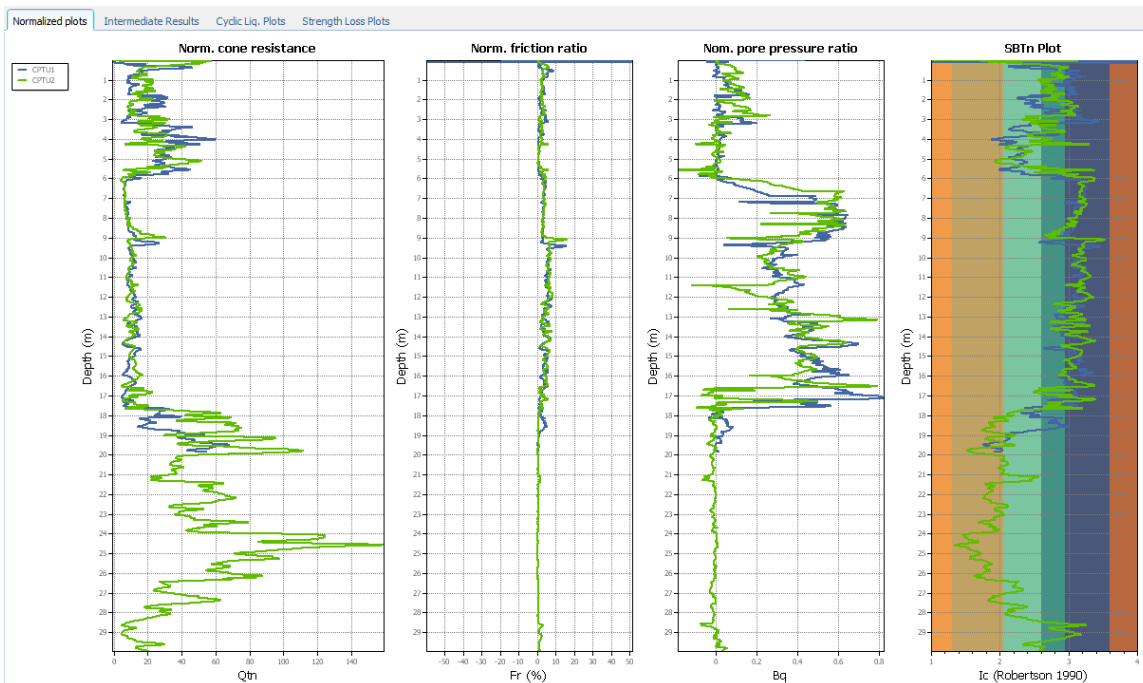


Figura 15: analisi comparativa relativa alle sole penetrometrie P1 e P2, le quali mostrano una buona sovrapposibilità (strato omogeneo)

Indagini geofisiche

In corrispondenza della verticale P2 è stato effettuato un rilievo con cono sismico; i dettagli sono presenti nell'allegato specifico. Il profilo della Vs elaborato è illustrato nel seguente grafico.

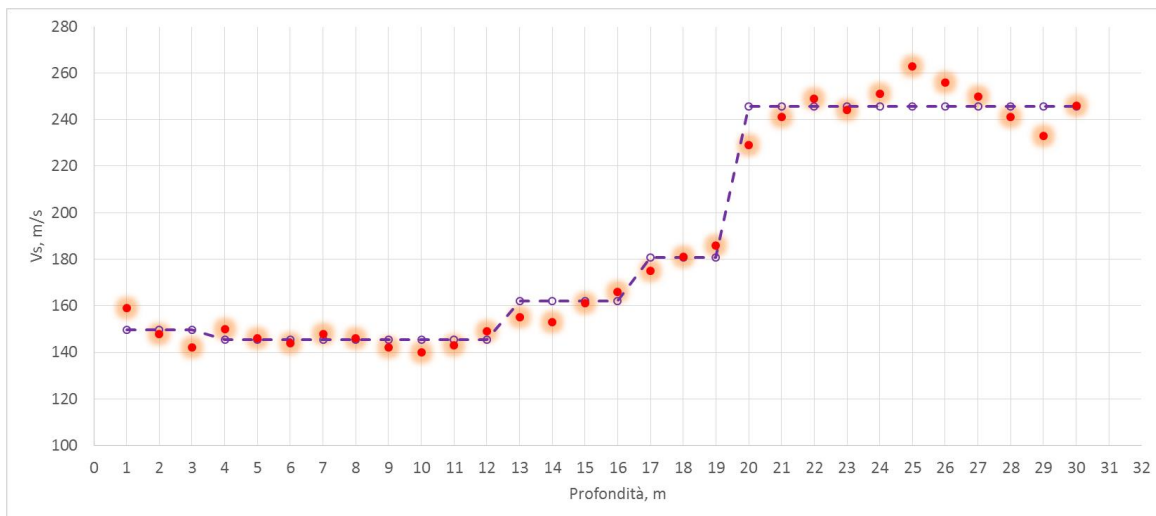


Figura 16: valori di Vs misurati con cono sismico in corrispondenza della verticale di prova P2

Il profilo della Vs può essere sintetizzato nella seguente maniera:

1. Strato superficiale di spessore pari a 12 m circa, con Vs variabile da 160 a 140 m/s circa, con trend leggermente decrescente con l'aumentare della profondità.
2. Strato di transizione con trend crescente con l'aumentare della profondità e Vs variabile da 150 a 185 m/s circa.
3. Strato corrispondente all'orizzonte sabbioso, con Vs variabile da 230 a 260 m/s circa e valore medio pari a 246 m/s.

I risultati delle misurazioni con i microtremori pongono in evidenza un sottosuolo sismicamente omogeneo nel complesso, come è visibile nel successivo grafico, dove viene illustrata la sovrapposizione dei 3 segnali (media \pm deviazione standard).

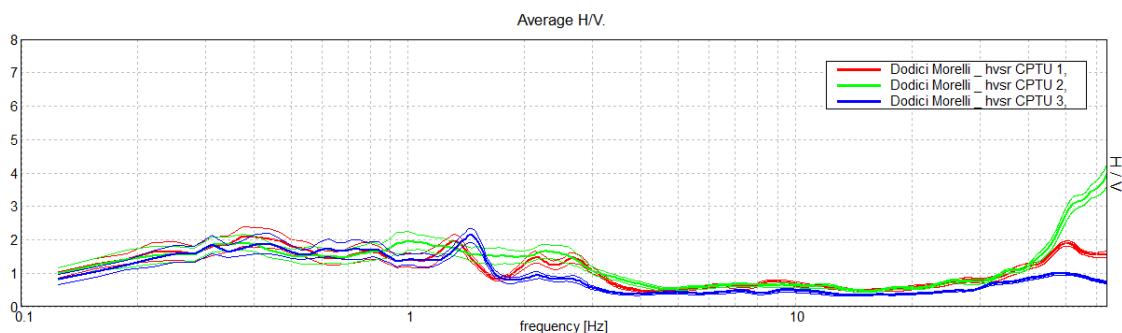


Figura 17: sovrapposizione degli spettri H/V misurati nelle tre verticali di prova

In particolare, il picco (di rapporto H/V variabile) tra 2 e 3 Hz è comune alle tre misurazioni, quantunque nella prove P1 e P2 si tratti di un doppio picco; tale segnale si riferisce verosimilmente al contrasto di

impedenza tra lo strato 2 e lo strato 3 del modello geotecnico. Il picco ad 1 Hz è visibile solo nella prova P2, mentre nella P1 e nella P2 si osserva un picco pronunciato in corrispondenza di 1.5÷1.6 Hz circa.

Nell'intorno di 0.4 Hz infine, si osserva un picco comune alle tre misurazioni, che suggerisce un riflettore profondo. Le osservazioni sono congrue nel complesso con quelle effettuate, quantunque ad una certa distanza dal sito, da tecnici della Regione Umbria¹ e riportate nelle successive figure.

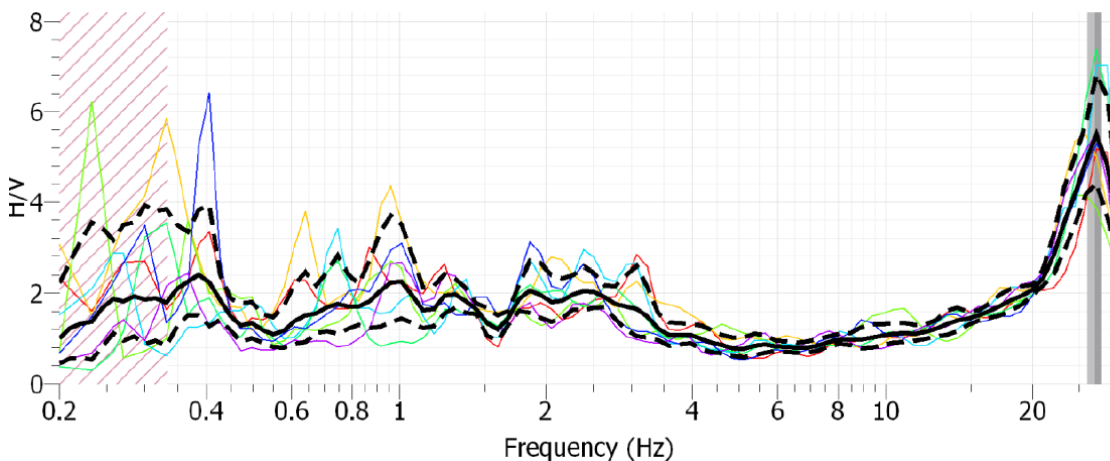


Figura 18: misurazione del rapporto H/V effettuata dalla regione Umbria nei dintorni dell'abitato di XII Morelli (indagine HVSR-AB), a NW del sito oggetto di intervento

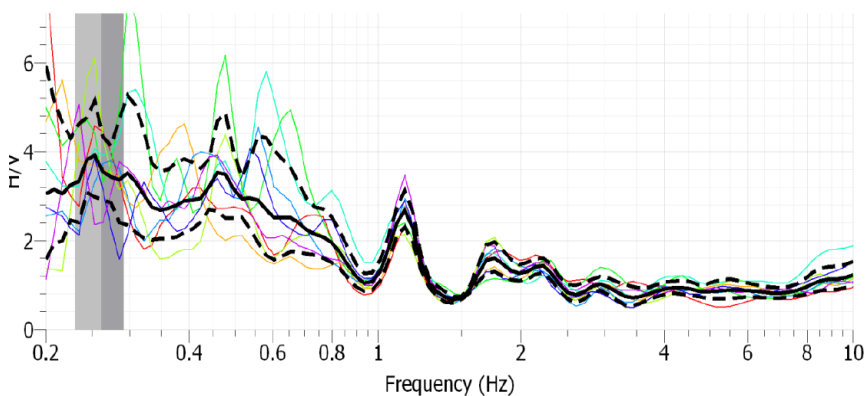
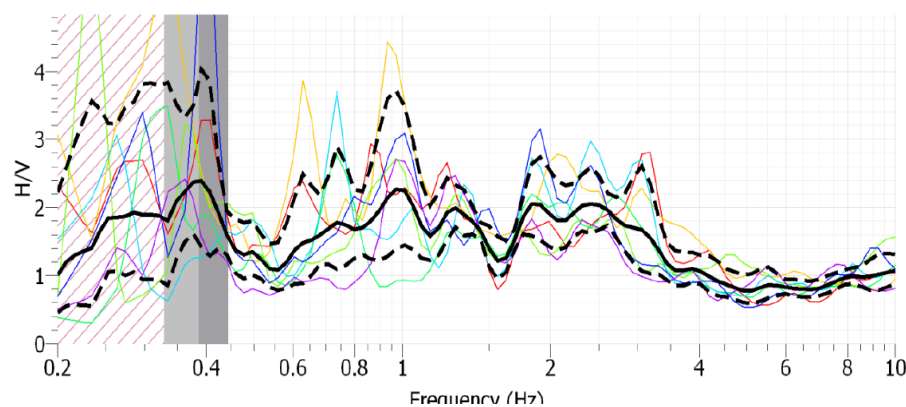


Figura 19 Ulteriore misurazione del rapporto H/V effettuata dalla regione Umbria nei dintorni dell'abitato di XII Morelli (indagine HVSR-CD), a SW del sito oggetto di intervento

¹ Boscherini, Motti, Siciliani, Arcaleni, Tardioli: Caratterizzazione Sismica di Sito 12 Morelli, Cento, FE, 25/06/2012.

I dati dei microtremori rilevati nella verticale P2 sono stati utilizzati per ricavare, tramite procedimento di inversione ancorata ai risultati del cono sismico nei 30 m più superficiali, un profilo degli strati più profondi, da utilizzare nell'analisi di risposta sismica locale, assieme alle indicazioni fornite dalle sezioni stratigrafiche della Regione Emilia Romagna.

Nella seguente figura è illustrato il grafico dell'inversione, nelle successive figure sono illustrati i parametri utilizzati nell'inversione stessa.

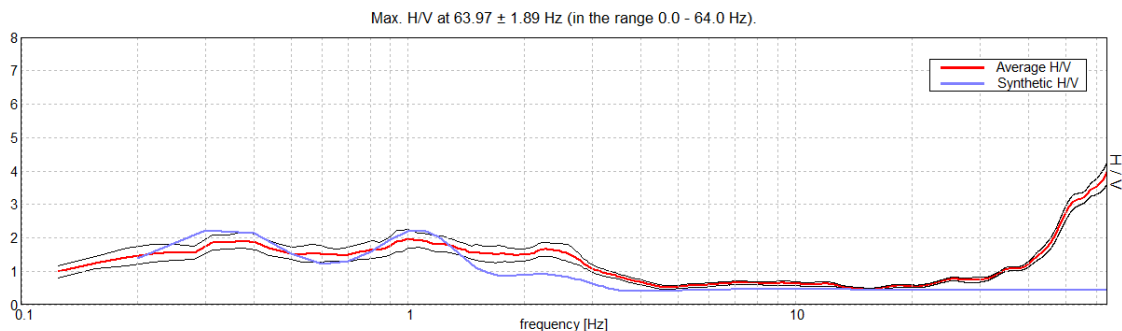


Figura 20 Inversione del segnale HVSR in corrispondenza della verticale P2

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	150	0.40
12.00	9.00	145	0.40
16.00	4.00	162	0.40
19.00	3.00	181	0.40
64.00	45.00	245	0.40
264.00	200.00	420	0.40
464.00	200.00	620	0.35
664.00	200.00	700	0.35
inf.	inf.	750	0.35

Vs(0.0-30.0)=178m/s

	Thickn. [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Pois.	Dens. [t/m ³]
1	3	367	150	0.40	1.65
2	9	355	145	0.40	1.7
3	4	397	162	0.40	1.75
4	3	443	181	0.40	1.75
5	45	600	245	0.40	2
6	200	1029	420	0.40	2
7	200	1291	620	0.35	2.2
8	200	1457	700	0.35	2.2
9	0	1561	750	0.35	2.3

Figura 21: Parametri dell'inversione

Il precedente modello, è congruo con quanto riportato nella sezione geologica 065 della cartografia regionale, che interessa l'area in esame. Dalla stessa si evidenzia il cospicuo spessore dei sedimenti

appartenenti al quaternario continentale. Nel modello sismico utilizzato in questa sede per svolgere le analisi numeriche di RSL, la velocità delle Vs è stata fatta incrementare piuttosto gradualmente a partire dal contrasto di profondità sito a 264 m, con Vs pari a 620 m/s, mentre a 664 m la Vs è stata stimata essere pari a 750 m/s. Si rammenta che, secondo il punto C7.113.1.2.1 del NTC08: “Sono assimilabili ad un substrato rigido strati di terreno molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio maggiori di 700-800 m/s”.

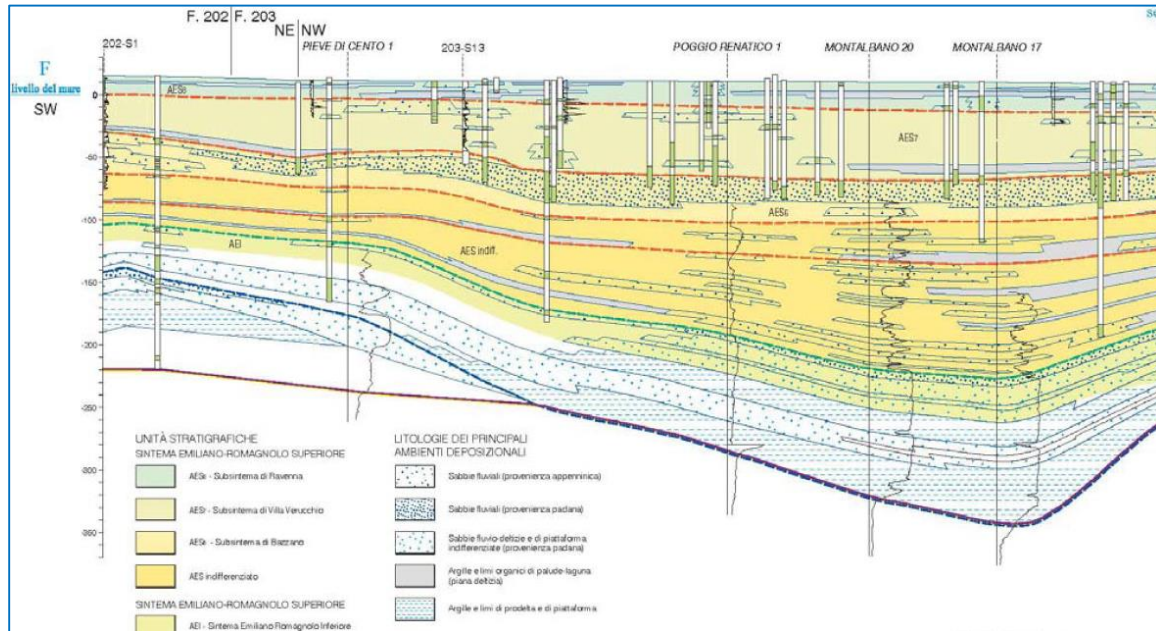


Figura 22 Sezione geologica 065 della cartografia regionale

VERIFICHE E ANALISI

Analisi di risposta sismica locale

L'analisi è stata effettuata con il software 1D in tensioni totali 'STRATA' sviluppato da Rathje e Kottke, 2008 e sponsorizzato dal PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) della University of California, Berkeley. L'analisi è stata effettuata in condizioni lineari elastiche (LE) e equivalenti lineari (EQL) ed è finalizzata alla determinazione dei parametri richiesti dalla DAL 112/2007, allegato 3. L'analisi è consistita nelle seguenti fasi.

1. Scelta del modello sismostratigrafico in base alle considerazioni espone nel precedente sezione
2. Acquisizione dei tre moti di input relativi al comune di Cento, in base a quanto riportato nell'allegato 4 della Delibera dell'Assemblea legislativa regionale n. 112/2007 (DAL 112/2007). I moti risultano già scalati ad una $PGA_0 = PGA_{ref}$ pari a **0.157** [g].
3. Costruzione del modello sismostratigrafico, con inserimento delle proprietà dei singoli strati.
4. Esecuzione dell'analisi in condizioni LE (elastiche lineari), ossia con G e D costanti. Ciò ha permesso di verificare e calibrare il modello sulla base delle misure di microtremori, per le quali valgono condizioni LE.
5. Esecuzione dell'analisi in condizioni EQL (equivalenti lineari), ossia considerando la degradazione del modulo di taglio e la variazione del rapporto di smorzamento con il livello deformativo.
6. Analisi della funzione di trasferimento dell'accelerazione, ossia la funzione di amplificazione

7. Determinazione degli spettri di risposta
8. Analisi del rapporto spettrale tra spettro in pseudoaccelerazione al bedrock e medesimo spettro in superficie; determinazione del fattore di amplificazione spettrale PGA/PGA_0 , ossia del rapporto tra amplificazione spettrale in superficie e al bedrock in corrispondenza del periodo $T=0$.
9. Determinazione del rapporto tra le intensità di Housner in superficie e al bedrock SI/SI_0 in corrispondenza di determinati intervalli di velocità.

Scelta del modello sismostratigrafico

Come già esposto in precedenza, il modello è stato scelto sulla base dei seguenti fattori:

- Conoscenze dell'assetto geologico e stratigrafico
- Misurazioni della V_s tramite cono sismico effettuate nel sito fino a 30 m di profondità dal p.c.
- Misurazioni dei microtremori in corrispondenza delle tre verticali di indagine P1, P2 e P3 e inversione vincolata del segnale in corrispondenza della verticale P2

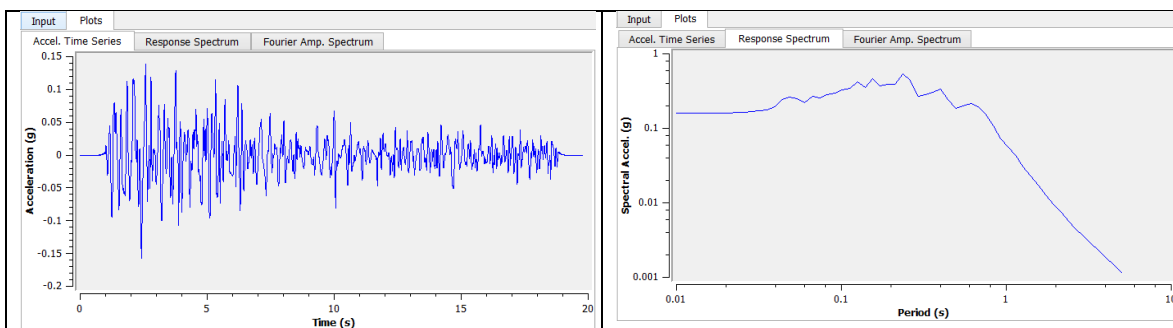
I risultati sono stati giudicati sufficientemente congrui nel complesso, quantunque la modellazione della parte più profonda sia afflitta da una notevole incertezza, che verrà comunque inclusa nel modello finale con analisi probabilistica.

Acquisizione dei 3 moti di input

Nella seguente figura sono illustrate le caratteristiche della tripletta di accelerogrammi regionali di riferimento relativi al territorio comunale di Cento.

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> Cento038004\000046xa_038004Cento.xy		Outcrop	0.16	7.11	1.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> Cento038004\000126xa_038004Cento.xy		Outcrop	0.16	8.96	1.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> Cento038004\000354xa_038004Cento.xy		Outcrop	0.16	7.75	1.00

Figura 23 Tripletta di moti di input da normativa regionale



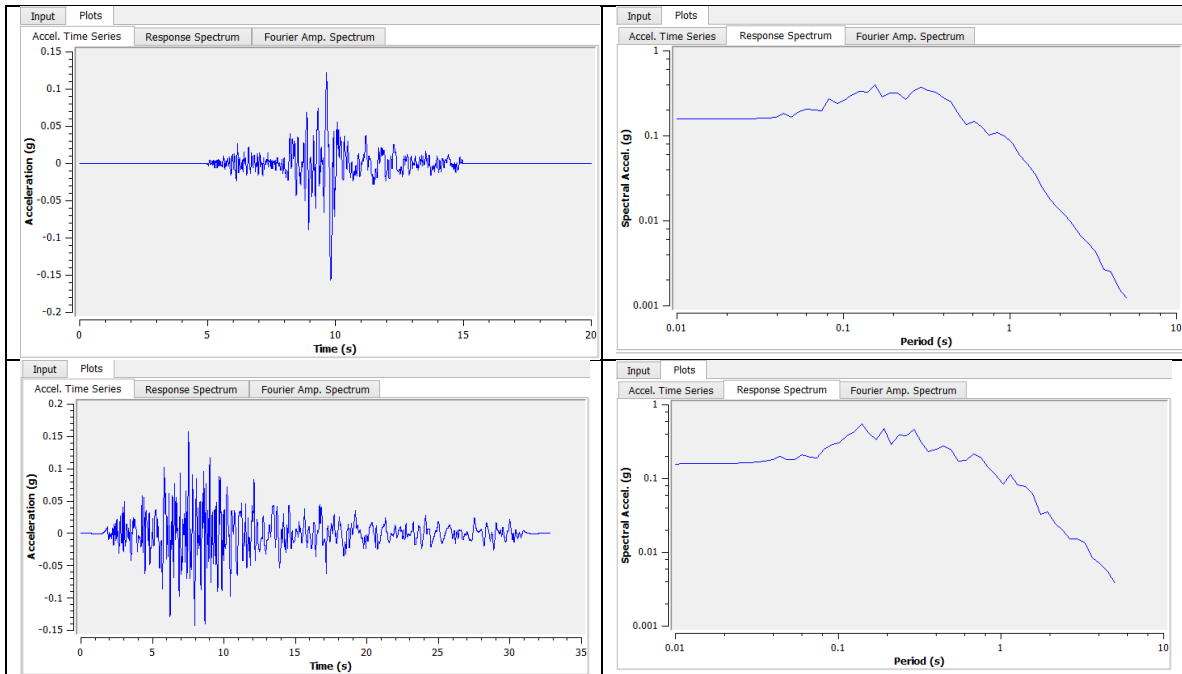


Figura 24: caratteristiche dei moti di input regionali

Costruzione del modello sismostratigrafico

Si riportano nelle successive figure le caratteristiche del modello deterministico utilizzato nell'analisi preliminare in condizioni LE.

Soil Types			
	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Damping (%)
1	Silt-clay	16.20	5.00
2	Clay	17.50	5.00
3	Sand	17.50	5.00
4	clay2	18.00	5.00
5	clay3	20.00	5.00
6	clay4	22.00	5.00
7	clay5	22.00	5.00

Bedrock Layer	
Unit weight:	23.00 kN/m ³
Damping:	1.00 %

Water Table Depth	
Depth:	0.90 m

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Silt-clay	150.00
2	3.00	6.00	Silt-clay	145.00
3	9.00	3.00	Clay	145.00
4	12.00	3.00	Clay	162.00
5	15.00	4.00	Clay	181.00
6	19.00	10.00	Sand	245.00
7	29.00	35.00	clay2	245.00
8	64.00	200.00	clay3	420.00
9	264.00	200.00	clay4	620.00
10	464.00	200.00	clay5	700.00
11	664.00	Half-Space	Bedrock	750.00

Figura 25 modello di RSL LE

Esecuzione dell'analisi in condizioni LE

È stata effettuata un'analisi preliminare di RSL di tipo deterministica in condizioni LE. Sulla base dell'analisi comparativa tra la funzione di amplificazione da RSL in condizioni LE (mostrata nella successiva figura) e dell'evidenza sperimentale fornita dalla misura dei microtremori, si conclude che il modello teorico è ragionevolmente aderente all'evidenza empirica. Si procede pertanto ad effettuare l'analisi in condizioni EQL, ossia trattando il terreno come un mezzo le cui proprietà meccaniche sono in funzione del livello deformativo.

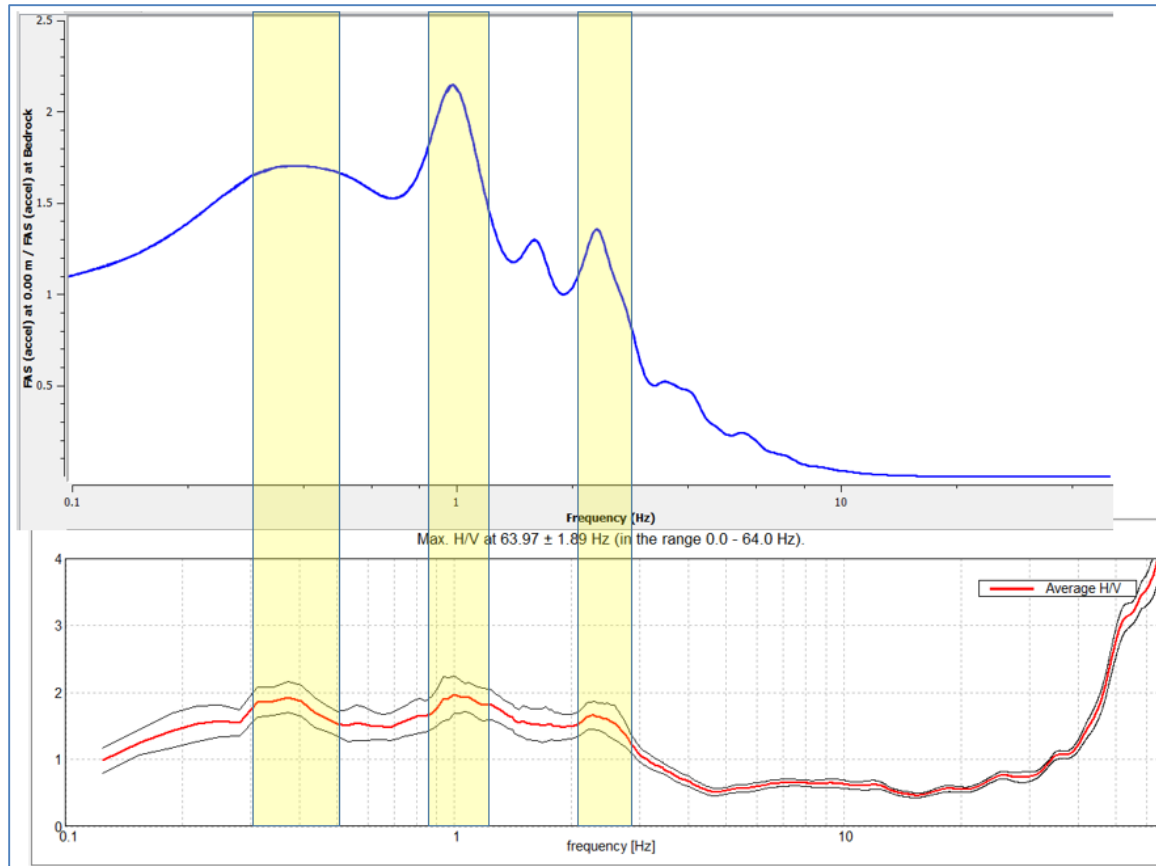


Figura 26 analisi comparativa tra spettro dei microtremori, in basso, e funzione di amplificazione da RSL in condizioni lineari elastiche.

Esecuzione dell'analisi in condizioni EQL

L'analisi è stata svolta in maniera probabilistica, ossia considerando le incertezze della V_s strato per strato e considerando inoltre le incertezze nelle proprietà non lineari del terreno, nello spessore degli strati ed infine nella profondità del bedrock.

La prima fase dell'analisi in condizioni EQL consiste nella determinazione delle leggi nonlineari di dipendenza tra modulo di rigidità e livello deformativo e tra rapporto di smorzamento e livello deformativo. La scelta è stata effettuata adottando il database di Darendeli 2001, incorporato nel programma STRATA. Il database permette di costruire un modello coerente con la realtà, considerando alcune proprietà del terreno, quali l'indice di plasticità e le condizioni tensionali esistenti. In particolare, è stata adottata la seguente strategia:

- Per strati che esibiscono un comportamento prevalentemente attritivo:
 - $PI=0$,
 - $OCR=1$
 - $\sigma'_v = \sigma'_v$ calcolato a metà dello strato.
- Per strati che esibiscono un comportamento prevalentemente coesivo:
 - Per strati superficiali:
 - $PI = 41\%$, come risulta dal campione prelevato a nell'intervallo 7.5÷8.0 m in occasione delle indagini effettuate per il plesso scolastico di XII Morelli, a distanza non elevata dal sito oggetto di questa relazione

- OCR=1
- $\sigma'_v = \sigma'_v$ calcolato a metà dello strato.
- Per strati relativamente profondi:
 - PI=35%, ipotizzando un maggiore grado di consolidazione e in linea con le conoscenze empiriche relative alla tipologia di terreni limoso-argillosi presenti nel territorio
 - OCR=1
 - $\sigma'_v = \sigma'_v$ calcolato a metà dello strato.
- Per strati maggiormente profondi (oltre i 100 m):
 - PI=35%, ipotizzando un maggiore grado di consolidazione e in linea con le conoscenze empiriche relative alla tipologia di terreni limoso-argillosi presenti nel territorio
 - OCR=3 (stima orientativa basata su considerazioni geologiche)
 - $\sigma'_v = \sigma'_v$ calcolato a metà dello strato.

Analisi della funzione di trasferimento dell'accelerazione

L'analisi è stata eseguita con simulazione tramite metodo Montecarlo, con 334 realizzazioni ogni moto di input ed un totale di 1002 realizzazioni. I dati relativi ai parametri probabilistici illustrati nella seguente figura.

Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	3.00	Silt-clay	150.00	<input checked="" type="checkbox"/> 100.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	3.00	6.00	Silt-clay	145.00	<input checked="" type="checkbox"/> 100.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	9.00	3.00	Clay	145.00	<input checked="" type="checkbox"/> 100.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	12.00	3.00	Clay	162.00	<input checked="" type="checkbox"/> 120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 220.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	15.00	4.00	Clay	181.00	<input checked="" type="checkbox"/> 140.00	<input checked="" type="checkbox"/> 240.00	<input checked="" type="checkbox"/>
6	19.00	10.00	Sand	245.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/>
7	29.00	35.00	clay2	245.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/>
8	64.00	200.00	clay3	420.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/>
9	264.00	200.00	clay4	620.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
10	464.00	200.00	clay5	700.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/>
11	664.00	Half-Space	Bedrock	750.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/> 900.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Layer Thickness Variation Parameters	
Parameters:	Custom
Layer rate model:	$\lambda(d) = a(d + b)^c$
Coefficient (a):	1.98
Initial (b):	10.86
Exponent (c):	-0.20
Bedrock Depth Variation Parameters	
Distribution:	Uniform
Standard deviation:	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> Minimum depth to bedrock:	400.00
<input checked="" type="checkbox"/> Maximum depth to bedrock:	1000.00

Figura 27 modello probabilistico di RSL in condizioni EQL

I profili iniziale e finale (post degradazione) dell'analisi sono i seguenti.

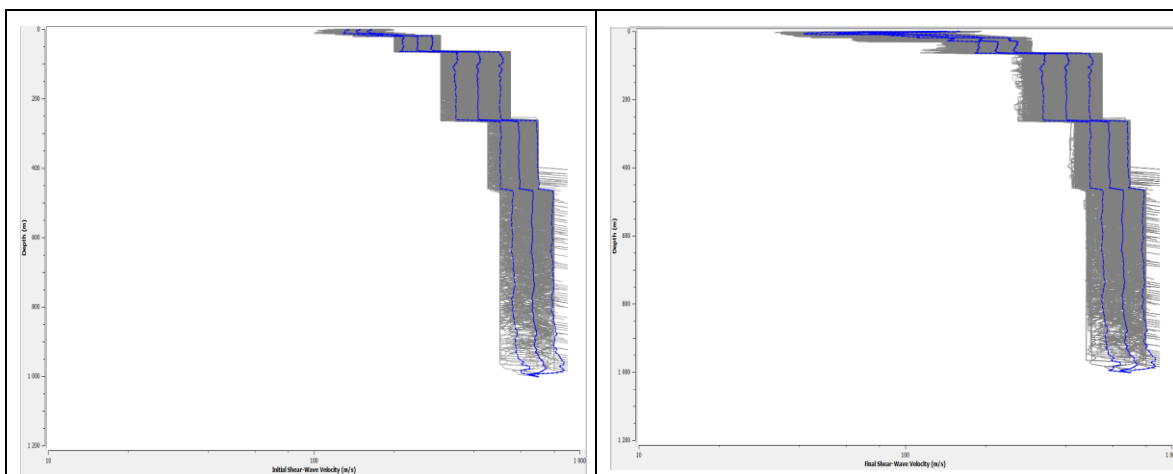


Figura 28 profili della Vs iniziale, a sinistra e finale o post-degradazione, a destra

Il rapporto di smorzamento è stato limitato ad un valore massimo del 15% per limitare eventuali fenomeni di overdamping alle alte frequenze. Questo in accordo con le prescrizioni delle linee guida US NRC². Il coefficiente di correlazione tra G/G_0 e D è stato posto uguale a -1 (perfetta correlazione negativa). Per il bedrock è stato assunto $D = 1\%$ e costante.

Nella seguente figura sono riportate le curve delle proprietà non lineari per i primi 2 strati

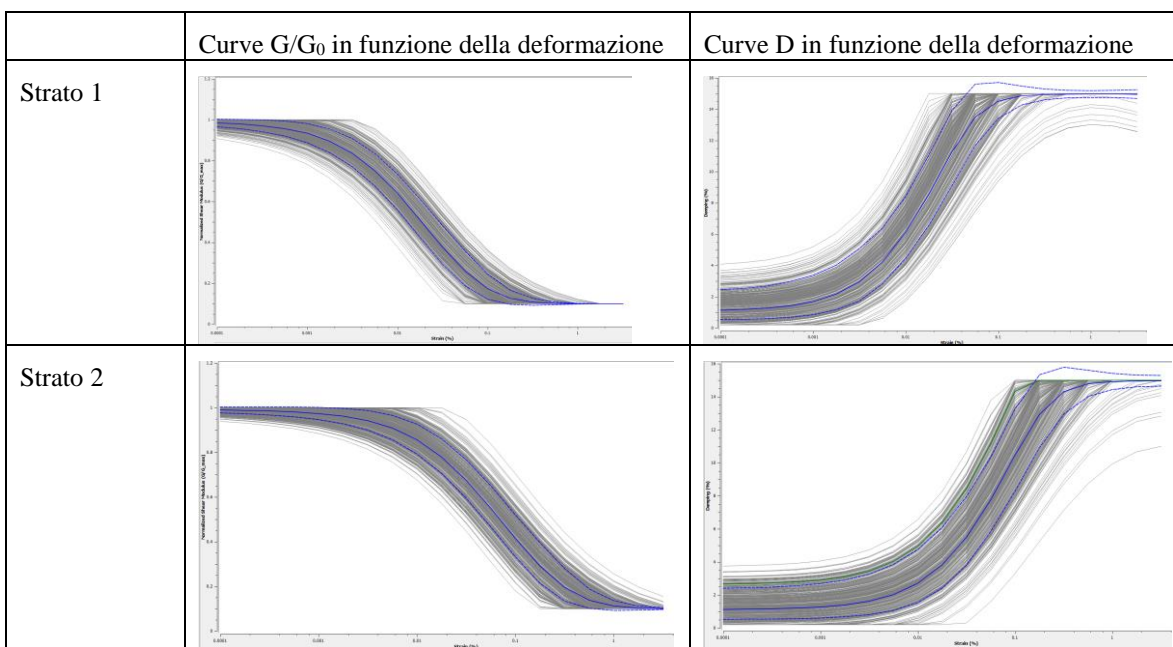


Figura 29: curve delle proprietà lineari per i primi 2 strati omogenei; il D max è stato vincolato al 15%

La funzione di amplificazione nel range di frequenza 0.1÷24 Hz è illustrata nel seguente grafico. Per frequenze maggiori di 2.9 Hz il rapporto medio è minore dell'unità, ossia si ha amplificazione negativa o riduzione dell'accelerazione in superficie rispetto al bedrock. La riduzione avviene sempre per valori di frequenza > 5.5 Hz. Il picco di amplificazione che domina la funzione è ubicato in corrispondenza di 0.85 Hz.

² U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of nuclear regulatory research, *Regulatory guide 1.208 A Performance Based Approach To Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion*, March 2007

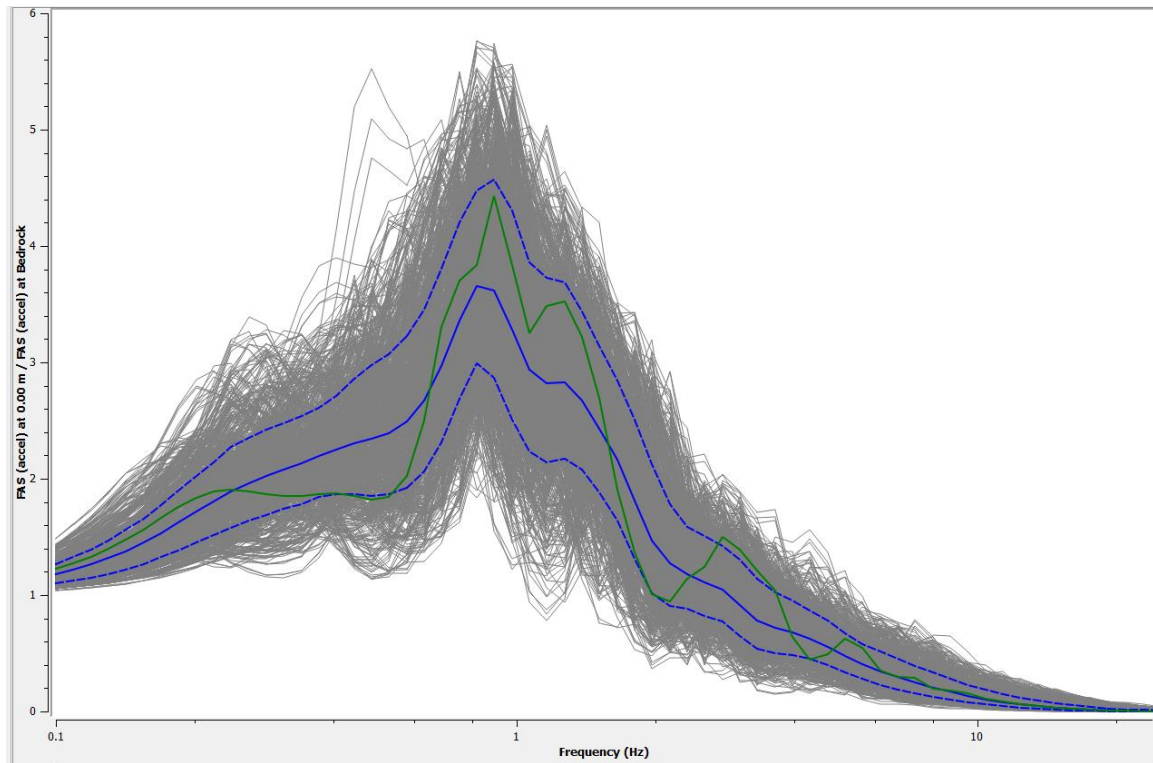


Figura 30 Funzione di amplificazione probabilistica (1002 realizzazioni); le linee blu rappresentano la mediana e la mediana \pm deviazione standard

Spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento; analisi del rapporto spettrale tra spettro in pseudoaccelerazione al bedrock e medesimo spettro in superficie e determinazione del fattore di amplificazione spettrale PGA/PGA_0

I valori mediani degli spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento sono illustrati nella successiva figura.

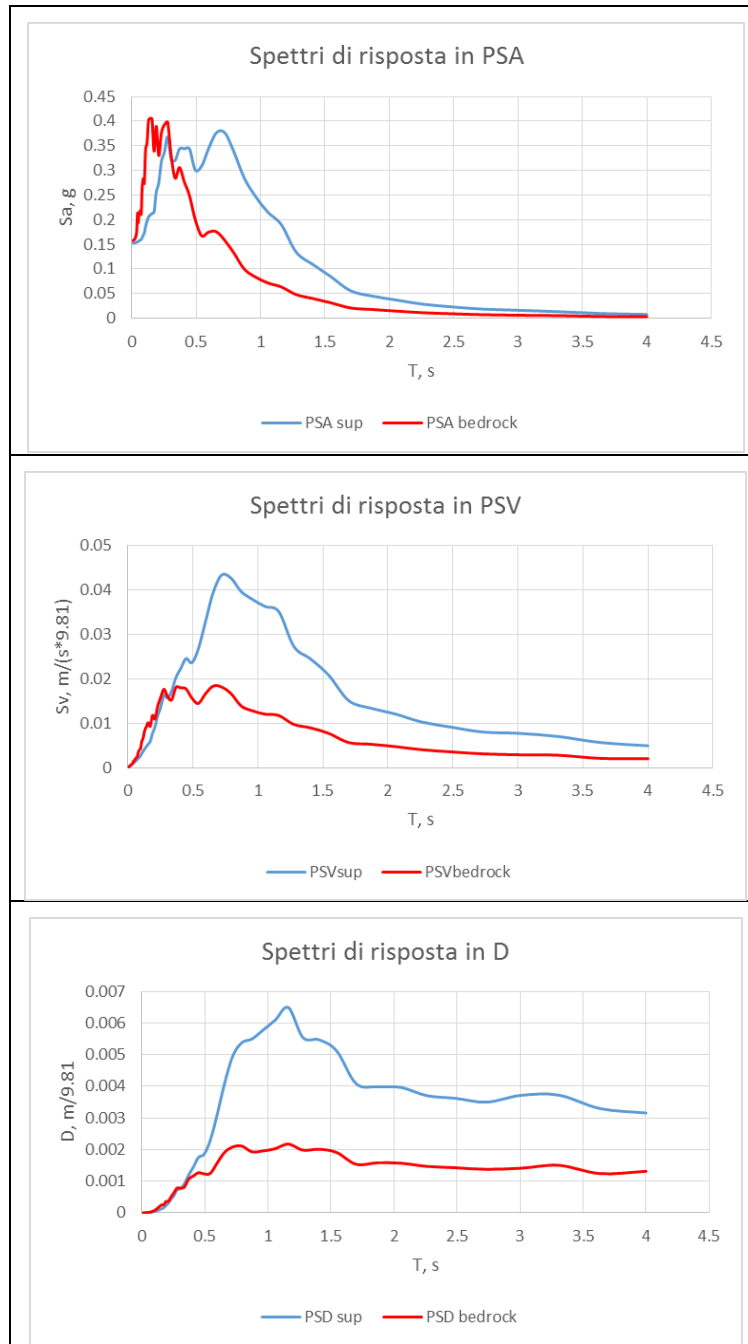


Figura 31: spettri di risposta in pseudoaccelerazione, pseudovelocità e spostamento

Il rapporto spettrale tra spettro di risposta in pseudoaccelerazione tra superficie e bedrock è illustrato nella seguente figura; è evidente la elevata amplificazione spettrale alla frequenza di 1 Hz, mentre ai bassi periodi esiste un rapporto spettrale più contenuto e talora minore anche dell'unità.

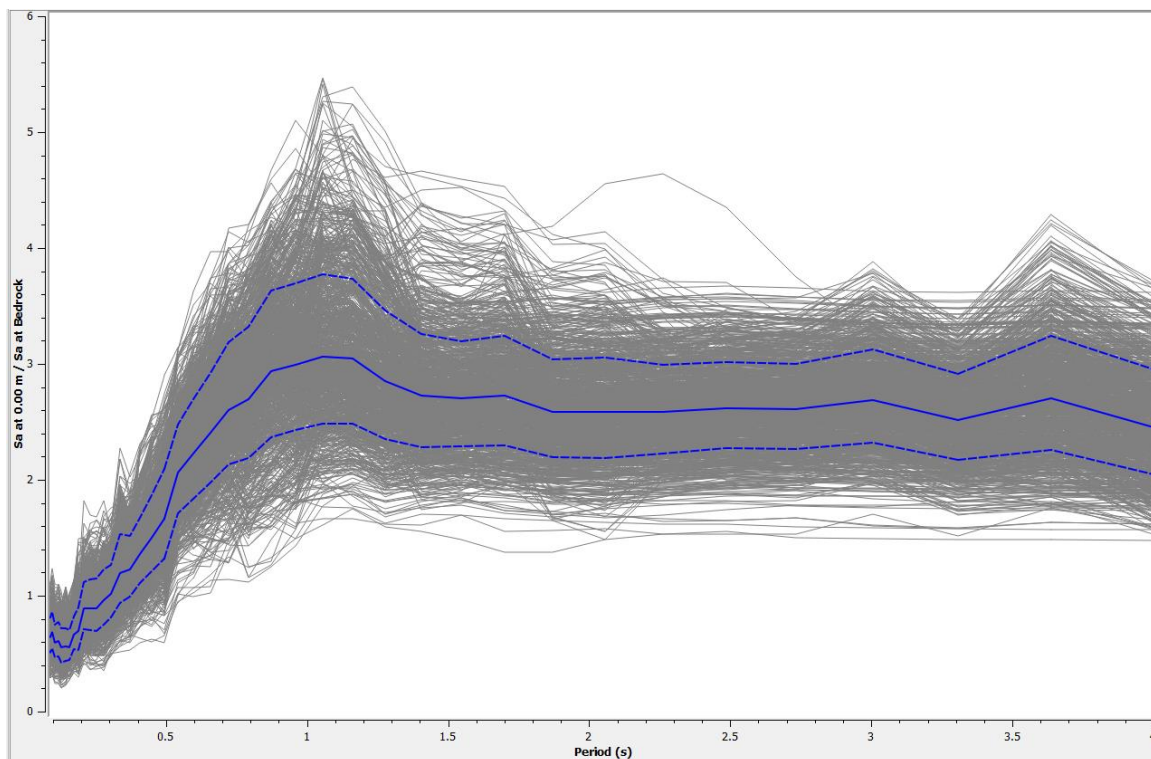


Figura 32 Rapporto spettrale tra PSA in superficie e al bedrock

Per quanto è attinente agli scopi della presente relazione, i valori di interesse sono riportati nella seguente tabella.

Tabella dei valori di spectral ratio alla frequenza di 0.01 Hz, assimilabili al rapporto PGA/PGA_0	
PGA/PGA ₀ medio	1.062
PGA/PGA ₀ medio + deviazione standard	1.295
PGA/PGA ₀ 95° percentile	1.438
PGA/PGA ₀ 99° percentile	1.620

Tabella 4: valori PGA/PGA_0 secondo l'analisi di RSL effettuata

Nella carta di microzonazione ufficiale, il fattore di amplificazione FPGA nel sito varia da 1.5 a 1.7. Assumendo cautelativamente il valore massimo di 1.7 tale valore di PGA/PGA_0 risulta essere superiore al valore molto cautelativo del 99° percentile di PGA/PGA_0 risultante dalla RSL.

Pertanto, il valore di PGA da utilizzare nella analisi di liquefazione sarà pari a $PGA_0 * FPGA_0 = 0.157 * 1.7 = 0.267$

Determinazione del rapporto tra le intensità spettrali di Housner in superficie e al bedrock SI/SI_0 in corrispondenza di determinati intervalli di velocità.

L'intensità spettrale di Housner SI consiste nell'integrale definito della funzione rappresentata dallo spettro di risposta in (pseudo) velocità. SI/SI_0 è il rapporto fra i detti integrali in superficie e al bedrock, richiesto

dalla normativa regionale negli intervalli temporali di 0.1÷0.5s e 0.5÷1.0s. I due spettri (mediana) sono illustrati nella seguente figura (smorzamento 5%).

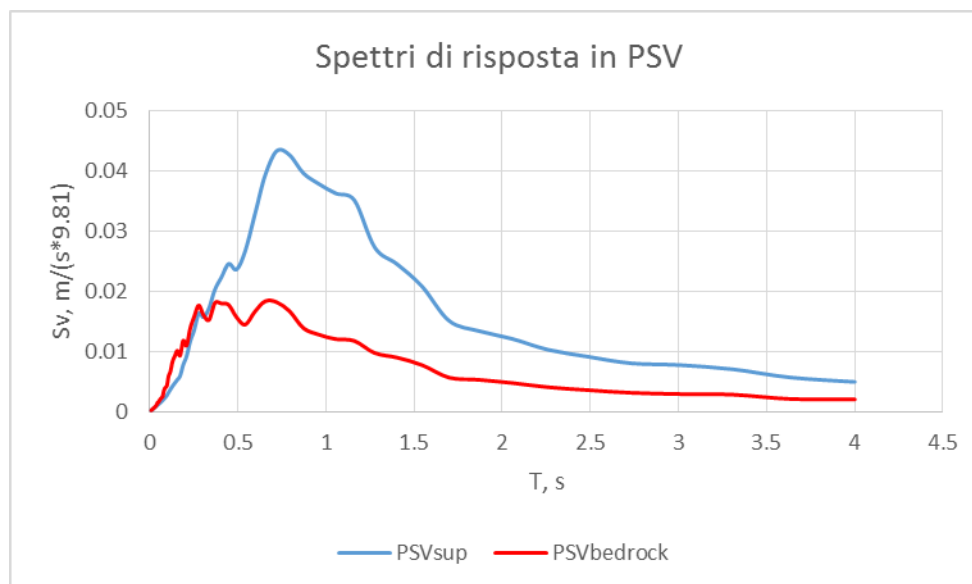


Figura 33 spettri di risposta in pseudovelocità in superficie e al bedrock

Risultano i seguenti rapporti di IS:

- **IS/IS₀ (0.1÷0.5s) = 1.03**
- **IS/IS₀ (0.5÷1.0s) = 2.34**

Nello studio di microzonazione sismica della Regione Emilia Romagna i valori massimi dei rapporti spettrali per il sito in esame, definiti con gli abachi ex DAL 112/2007, sono i seguenti:

- **FAH (0.1÷0.5s) = 1.9**
- **FAH (0.5÷1.0s) = 2.6**

Circa il modello litostratigrafico adottato (figura 27), la litologia profonda consiste in litotipo coesivo al quale è stato assegnato un valore dell'indice di plasticità $PI \neq 0$. Per studiare la variazione nell'amplificazione sismica al variare del litotipo a profondità > 29 , non indagate direttamente, sono state eseguite analisi deterministiche nelle seguenti condizioni:

1. Prevalenza di strati coesivi come in figura 27.
2. Alternanza di strati incoerenti ($PI=0$) e coesivi.
3. Prevalenza di strati incoerenti ($PI=0$).

I risultati sono visibili nel grafico della successiva figura 34. In particolare, risulta che il modello adottato nella verifica probabilistica in precedenza illustrata, con prevalenza di strati coesivi, è quello maggiormente cautelativo nel complesso, in particolare in corrispondenza del picco di 0.85 Hz e nell'intorno dello stesso.

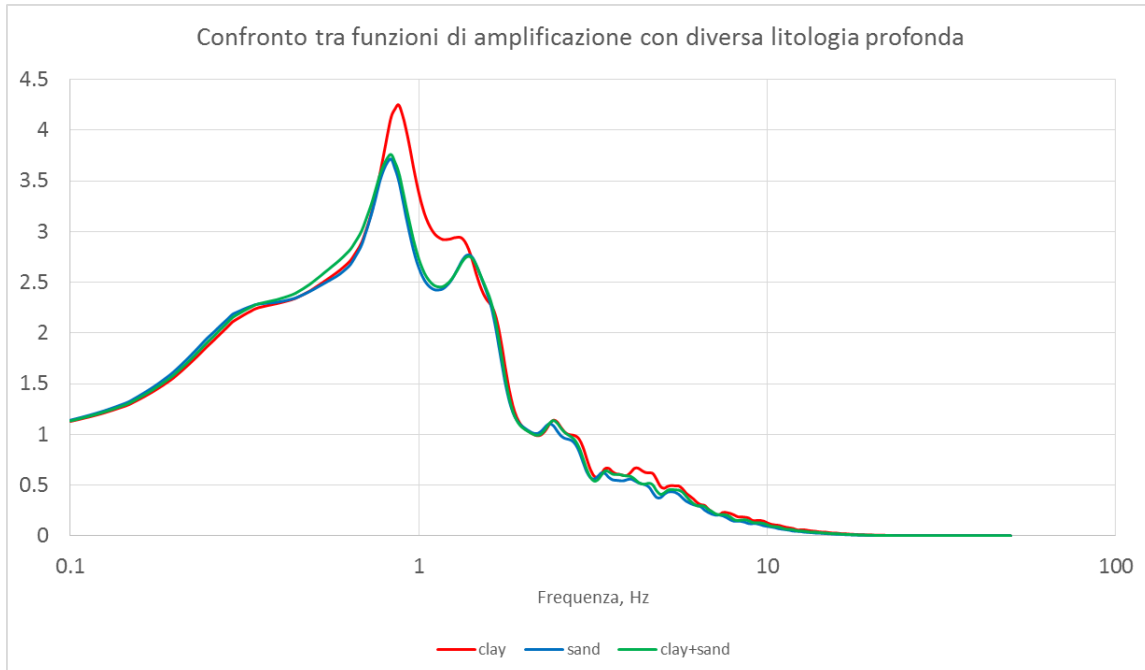


Figura 34 Funzioni di amplificazione deterministiche con diverse componenti litologiche nella successione profonda

Analisi del rischio di liquefazione

L'analisi è stata effettuata mediante il software CLiq v1.7 della Geologismiki, codice di calcolo che soddisfa i requisiti richiesti nelle specifiche tecniche del comune di Cento. I dati di input sono stati ricavati da una prova S-CPTU, spinta alla profondità di 30 m dal p.c. e due prove CPTU, spinte ognuna alla profondità di 20 m dal p.c. L'ubicazione delle prove è stata dettagliata nella specifica sezione.

Come richiesto dalla DAL n. 112/2007, i parametri PGA, Mw e profondità della falda sono stati determinati come segue:

- Mw (magnitudo momento): valore costante pari a **6.14**
- PGA: massimo tra valore risultante dall'analisi di RSL e valore risultante dalla moltiplicazione della PGA_0 o PGA_{refg} e dal fattore di amplificazione FAPGA riportato nello studio regionale di microzonazione sismica; in particolare, $PGA_{max} = PGA_0 * FAPGA = 0.157 * 1.7 = \mathbf{0.267\ g}$
- Profondità della falda: tale parametro è stato determinato misurando con sonda freaticometrica il livello dell'acqua nei fori delle indagini eseguite nel mese di dicembre 2014; il livello è risultato variare da 0.9 a 1.1 m dal p.c. ed è stato adottato il valore più cautelativo, pari a **0.9 m**. In condizioni dinamiche (earthquake GWT) è stato adottato il livello di 0.5 m dal p.c.

Nella carta delle isofreatiche della Provincia di Ferrara, la quota della falda freatica in corrispondenza del sito è pari a 12 m s.l.m. Ciò corrisponde ad una profondità di 3 m circa dal p.c.

Il valore misurato pari a 0.9 m può pertanto essere interpretato come valore cautelativo, corrispondente verosimilmente alla soggiacenza minima della falda; le analisi verranno comunque effettuate anche con falda prossima al piano di campagna (0.5 m), per ottenere un valore di upper bound dell'indice di liquefazione e dei cedimenti sismici.

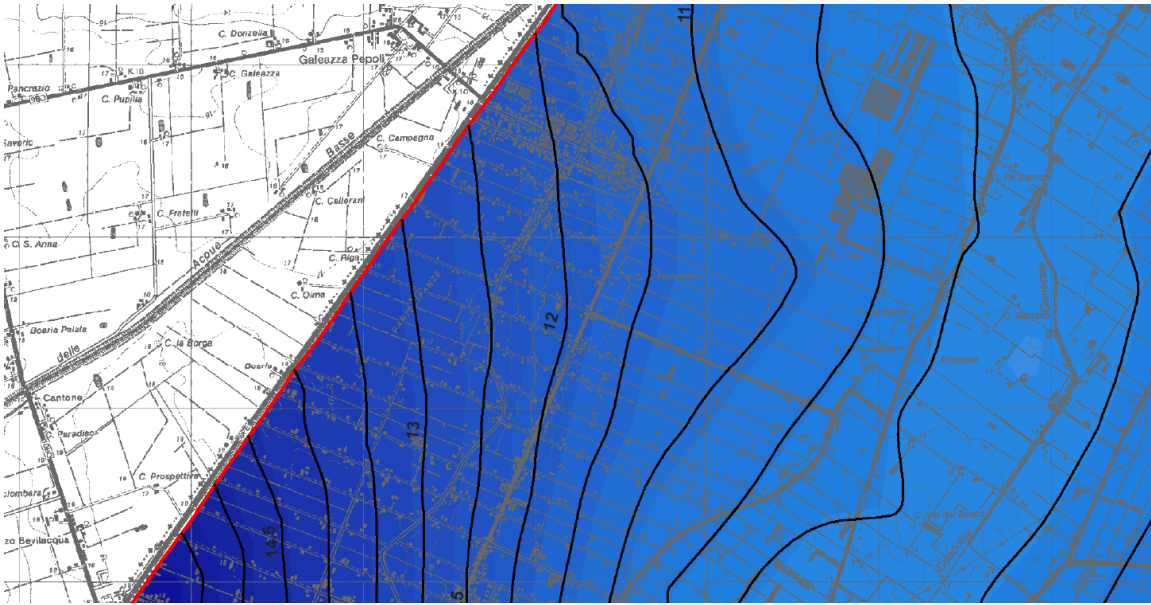
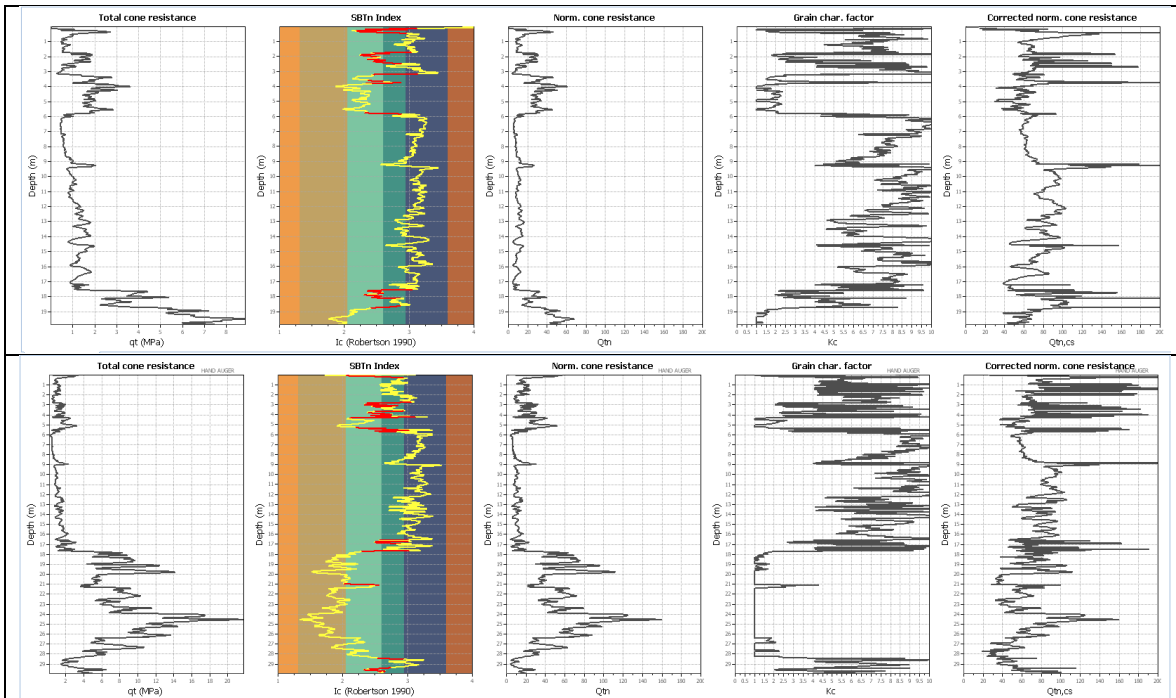


Figura 35 Carta delle isofreatiche dell'associazione dei comuni dell'alto ferrarese

Risultati liquefazione ciclica

Si riportano di seguito i grafici relativi ai risultati intermedi dell'analisi per le tre verticali (secondo Robertson, 2009):



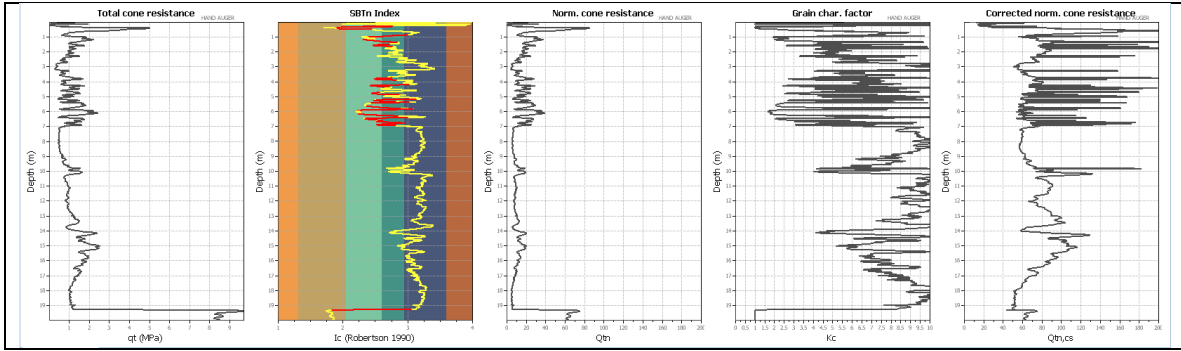


Figura 36 risultati preliminari dell'analisi della liquefazione nelle 3 verticali

I grafici relativi ai risultati finali dell'analisi sono riportati di seguito relativamente alle tre verticali (secondo robertson, 2009):

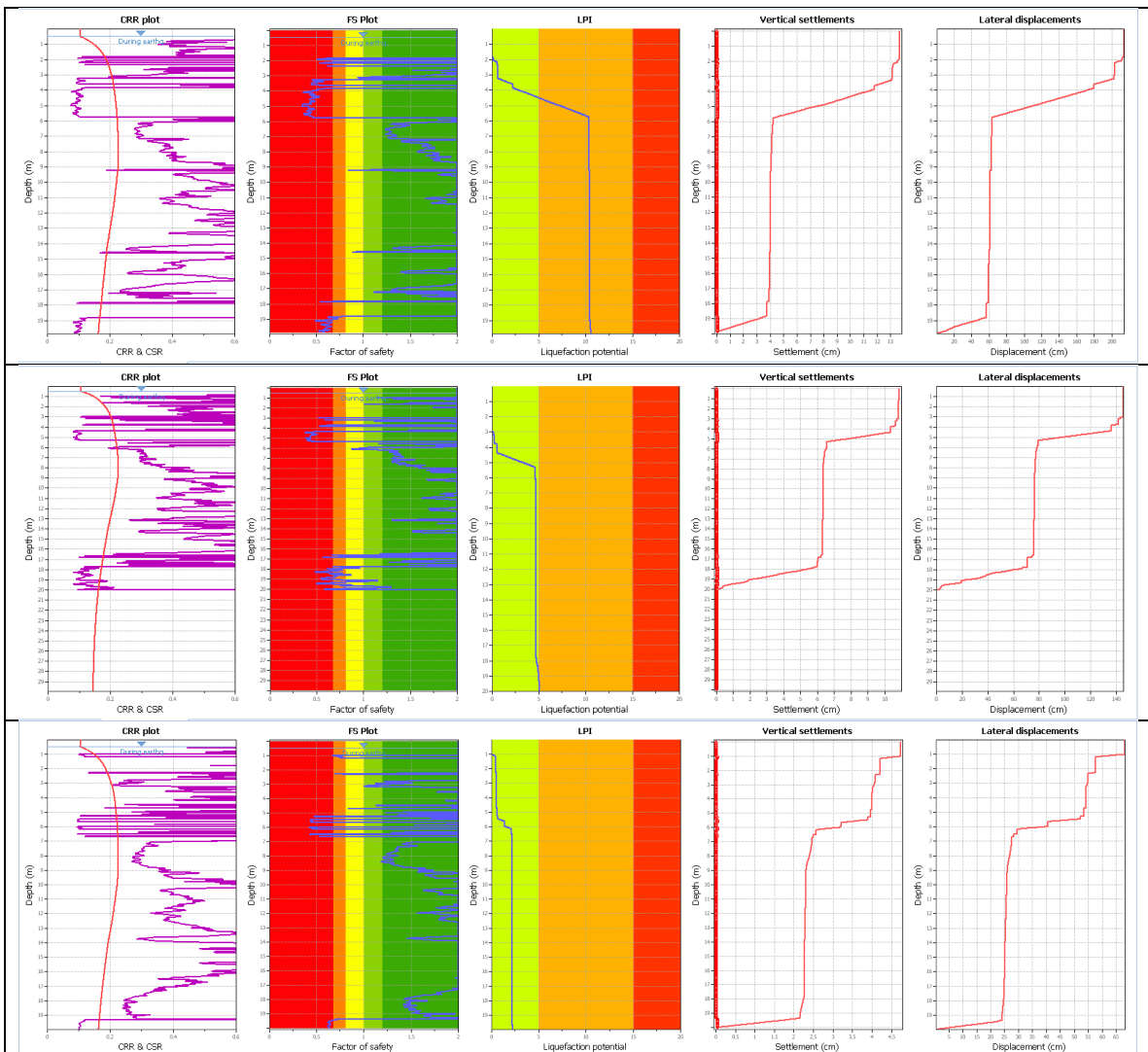


Figura 37 risultati finali dell'analisi della liquefazione nelle 3 verticali

Risultati indice LPI

L'indice del potenziale di liquefazione di Iwasaki (indice LPI) viene fornito in maniera comparativa per 5 diverse modalità di calcolo secondo i seguenti autori:

- Robertson, NCEER 2001
- Robertson, 2009
- Idriss & Boulanger, 2008
- Moss et al., 2006
- Boulanger & Idriss, 2014

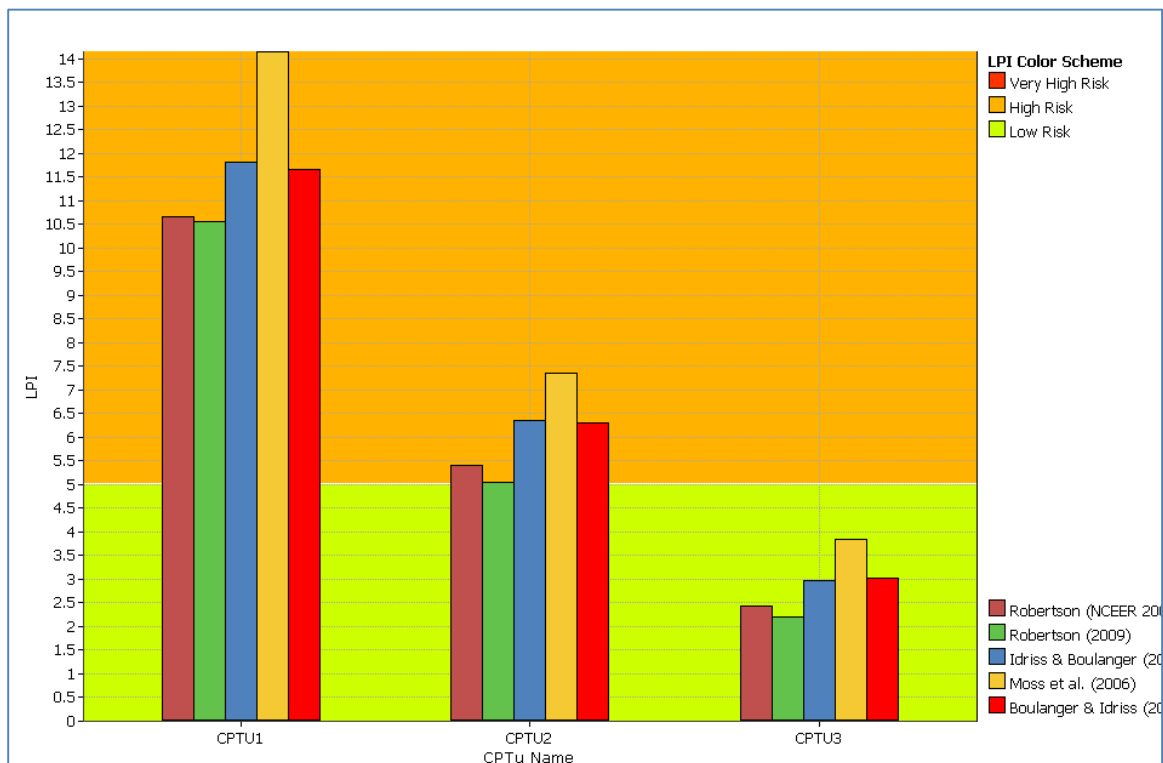


Figura 38 indici LPI secondo i vari autori in corrispondenza delle 3 verticali di indagine

Dall'analisi comparativa risulta che, nel complesso, le verticali P1 e P2 esibiscono un elevato rischio di liquefazione, mentre la verticale P3 esibisce un rischio basso. Nella verticale P2 il rischio può risultare alto o basso, secondo il grado di cautela adottato nelle analisi, in particolare secondo il livello della falda.

La stessa analisi comparativa con i 5 diversi metodi viene presentata per quanto attiene ai cedimenti sismici verticali.

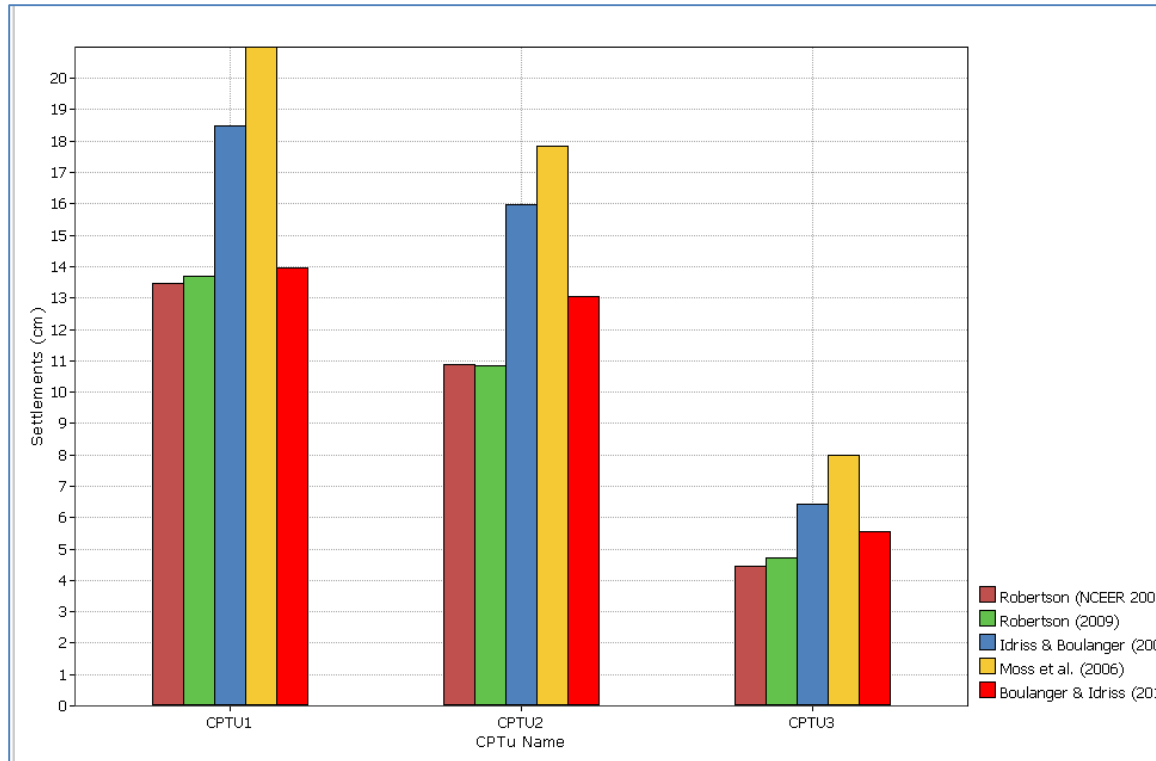


Figura 39 cedimenti sismici verticali secondo i vari autori in corrispondenza delle 3 verticali di indagine

I valori calcolati dal programma per le varie verticali sono i seguenti, rispecchiando all'incirca i risultati dell'indice LPI.

- Verticale P1: cedimenti attesi da 13 a 21 cm (13÷21 intervallo di maggiore frequenza)
- Verticale P2: cedimenti attesi da 11 a 18 cm (11÷18 intervallo di maggiore frequenza)
- Verticale P3: cedimenti attesi da 4 a 8 cm (4÷8 intervallo di maggiore frequenza).

Vengono inoltre illustrati i valori probabilistici dei cedimenti in campo libero secondo Zhang, 2004. Da questo risulta che i valori medi nelle tre verticali P1, P2 e P3 sono pari rispettivamente a 14 cm, 10 cm e 4 cm circa; i grafici permettono di quantificare anche le probabilità di superamento dei valori dei cedimenti plausibili.

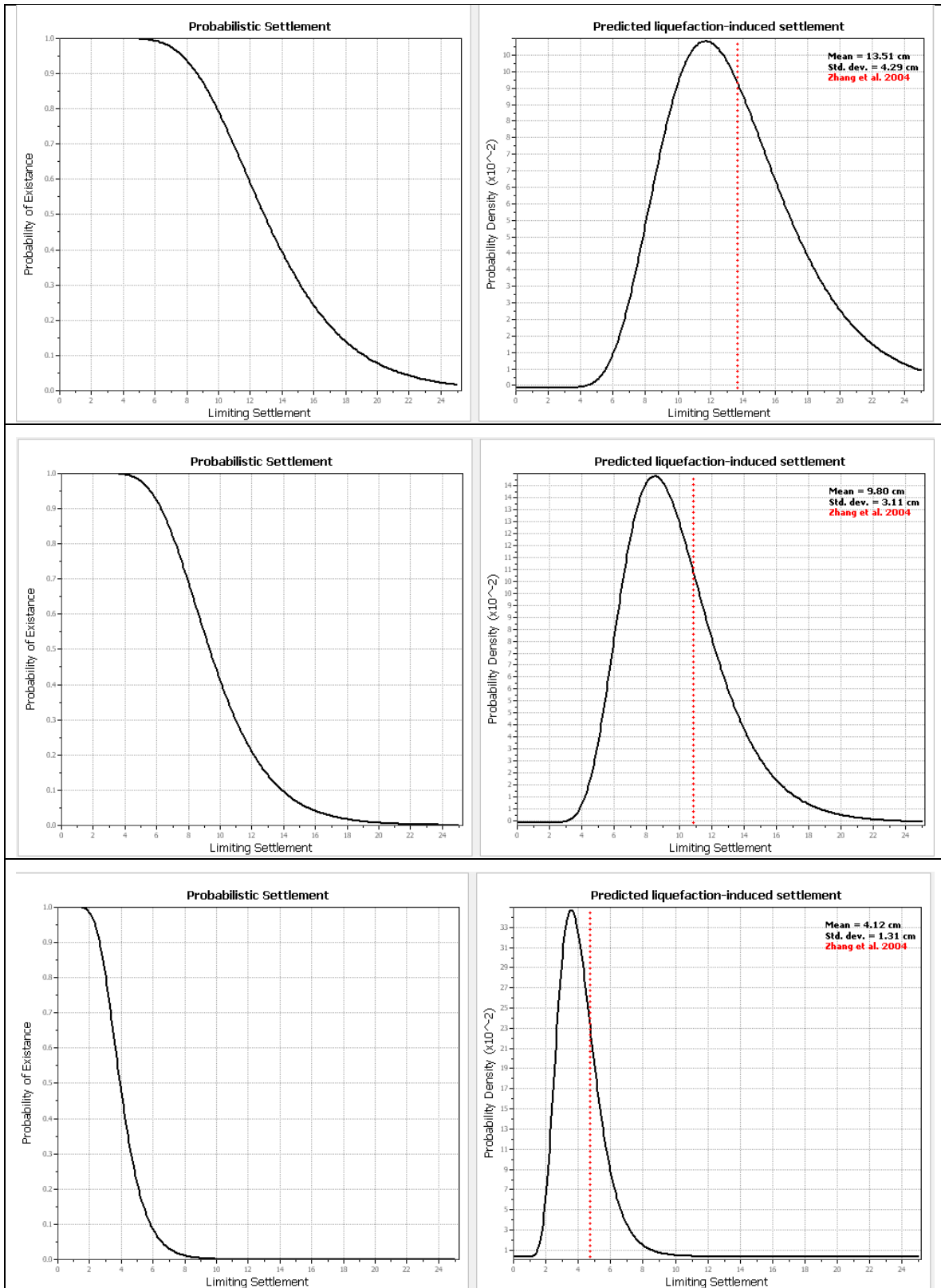


Figura 40 Analisi probabilistica dei cedimenti sismici in corrispondenza delle tre verticali; dall'alto: P1, P2, P3.

Infine, si conclude con una'analisi della sensibilità dell'indice LPI al livello della falda, livello che è stato portato in profondità, nei calcoli, fino ad un valore massimo di 3 m dal p.c. In corrispondenza di tale livello la verticale 1 risulta ancora nel complesso a rischio elevato, la verticale 2 risulta a rischio basso; la verticale 3 risulta sempre essere a rischio di liquefazione basso. Tali considerazioni sono sintetizzate nella successiva figura 41.

In conclusione, il rischio concreto di liquefazione che le indagini hanno evidenziato, per almeno parte del sito oggetto di studio, è coerente con le osservazioni di fenomeni di liquefazione avvenuti durante il sisma del 2012 e anche con quanto accertato nel corso delle analisi effettuate relativamente al plesso scolastico dell'abitato di XII Morelli. Il rischio è causato principalmente dai livelli limoso-sabbiosi rinvenuti nei primi 6 m di profondità e dall'ubicazione prossima alla superficie della falda freatica.

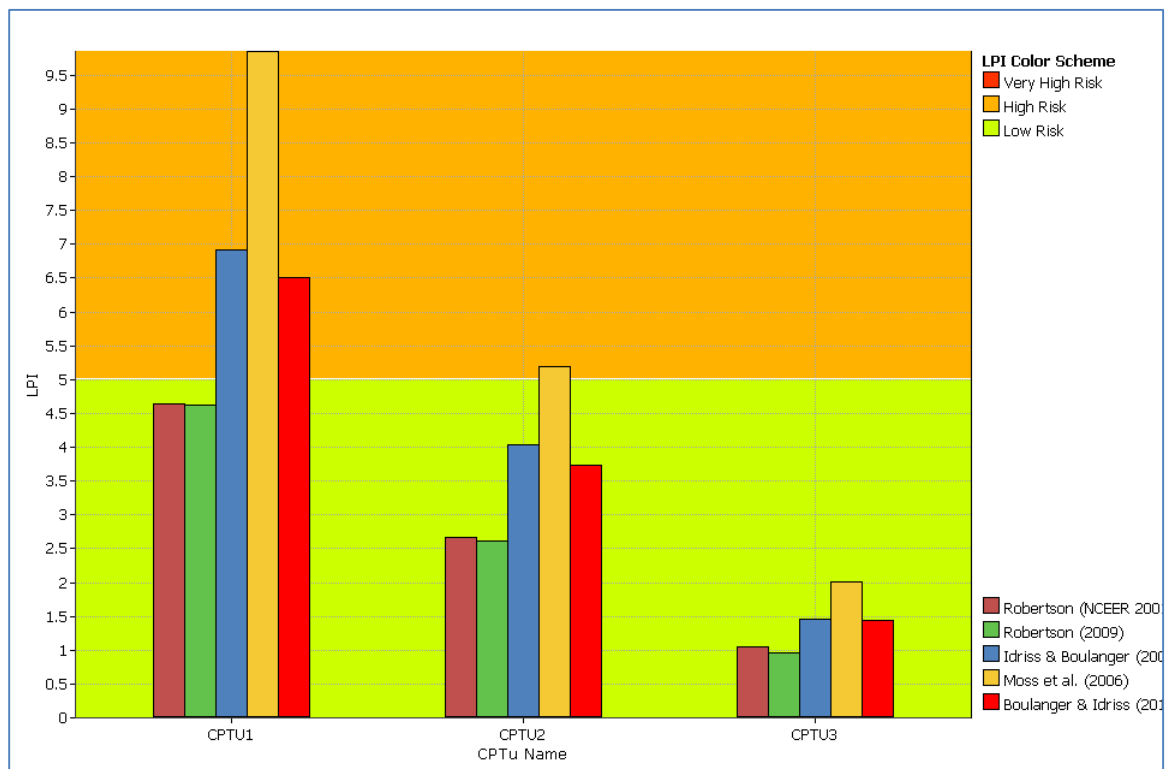


Figura 41 Valore dell'indice LPI con livello statico e dinamico della falda pari a -3 m dal piano di campagna.

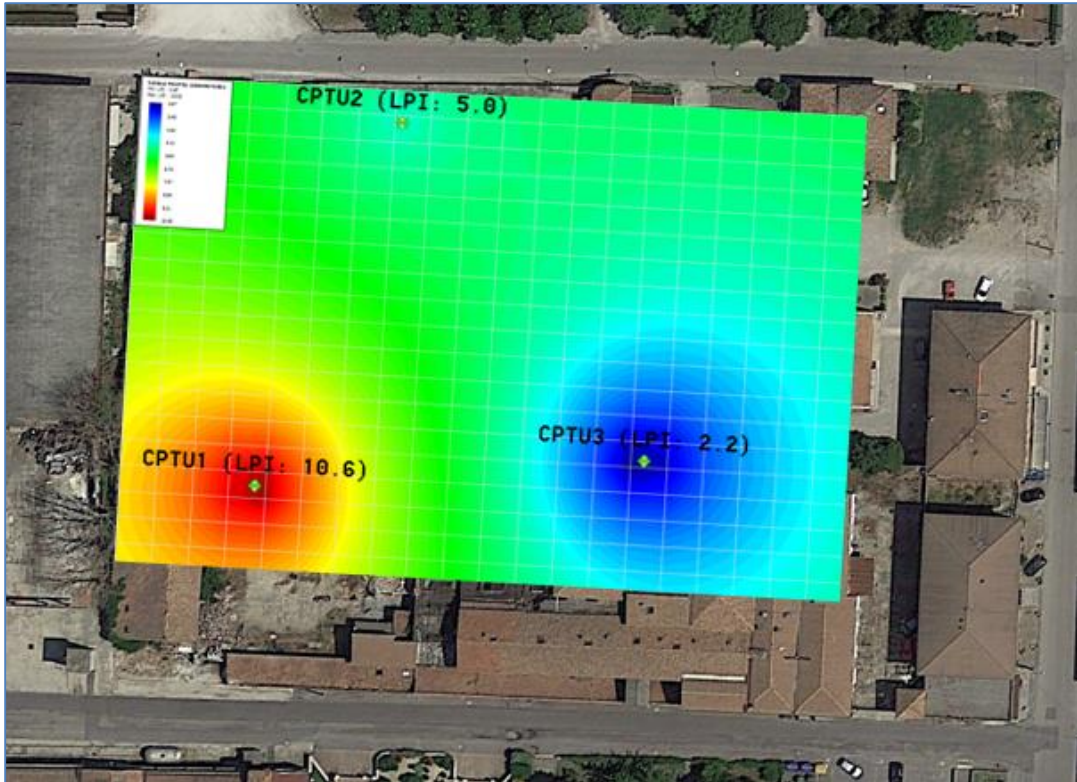


Figura 42: overlay delle isolinee di LPI in corrispondenza del sito

CONCLUSIONI

La presente relazione ha come oggetto il piano di riqualificazione dell'area produttiva sita tra via Govoni e via Garibaldi, località XII Morelli, in area residenziale, nell'ambito del piano della ricostruzione del Comune di Cento. Alla luce di quanto in precedenza illustrato, si possono esprimere le seguenti considerazioni conclusive.

- Sono stati individuati gli scenari di pericolosità idrogeologica e del territorio relativamente al sito; in particolare, gli scenari di pericolosità sismica e pericolosità di liquefazione (correlata quest'ultima alla pericolosità sismica) sono risultati essere presenti in misura elevata. Gli scenari allagamento e subsidenza, invece, sono risultati essere presenti in misura medio-bassa.
- È stata effettuata una campagna di indagini consistente in n.1 prova S-CPTU spinta alla profondità di 30 m dal p.c., n.2 prove CPTU spinte ognuna alla profondità di 20 m dal p.c. e n. 3 prove di sismica passiva con rilievo dei microtremori ambientali. Le ubicazioni delle prove sono indicate nel testo, i dettagli in merito sono descritti negli allegati specifici.
- Il sottosuolo nel sito può essere verticalmente modellato con 3 strati omogenei; dall'alto, il primo limoso sabbioso, il secondo argilloso-limoso, il terzo sabbioso-limoso; lateralmente, il sottosuolo esibisce nel complesso una certa omogeneità litologica e meccanica; l'omogeneità è maggiore per le verticali P1 e P2.
- È stato intercettato un acquifero superficiale alla profondità di 1 m circa dal p.c., in tutte le verticali di prova.
- Relativamente alla risposta sismica locale e alla verifica del rischio di liquefazione, è stato seguito il 3° livello di approfondimento della DAL n.112/2007.
- È stata eseguita un'analisi numerica di risposta sismica locale 1D con i tre moti di input regionali relativi al Comune di Cento. L'analisi è stata eseguita dapprima in condizioni LE, confrontando la funzione di amplificazione con lo spettro H/V misurato nella verticale P2. È stata poi eseguita un'analisi di tipo probabilistico con 1002 realizzazioni di output, in condizioni EQL, variando la V_s , lo spessore degli strati, le proprietà non lineari dei terreni e la profondità del bedrock. I risultati dell'analisi hanno posto in rilievo una considerevole amplificazione sismica in corrispondenza di 0.85 Hz. Per quanto attiene all'amplificazione spettrale, questa presenta un picco in corrispondenza del valore di 1 Hz.
- L'amplificazione spettrale al periodo $T=0$ risulta essere minore della FPGA massima evidenziata nel sito dagli studi regionali di microzonazione sismica; pertanto, per la verifica della liquefazione è stato utilizzato il valore di $PGA=0.267$ g.
- La verifica del rischio di liquefazione effettuata secondo 5 diversi autori mediante l'indice PLI di Iwasaki ha messo in risalto quanto segue:
 - a. In corrispondenza della verticale P1 esiste sempre, nel complesso, rischio elevato di liquefazione, a parte per condizioni di soggiacenza della falda minori di 3 m dal p.c.
 - b. In corrispondenza della verticale P2 il rischio di liquefazione è in funzione della soggiacenza della falda; nelle condizioni cautelative adottate, con profondità statica della falda pari a 1 m dal p.c. e profondità dinamica pari a 0.5 m, il rischio di liquefazione risulta essere elevato. Con profondità della falda pari a 2 m il rischio diventa basso
 - c. In corrispondenza della verticale P3 il rischio risulta sempre essere basso.
- Il valore dei cedimenti sismici calcolato secondo 5 diversi autori varia da 5 cm mediamente nella verticale P3 a oltre 15 cm mediamente in corrispondenza della verticale P1.
- La presente relazione, essendo specificamente finalizzata alla caratterizzazione dell'area dal punto di vista dello sviluppo urbanistico, non contiene una completa elaborazione dei parametri geotecnici con i loro valori caratteristici; tale elaborazione sarà eventualmente fornita, se richiesto, nella fase esecutiva del progetto.

Dr. Geol. Luca Nori
Francavilla al Mare (CH)
21/12/2014

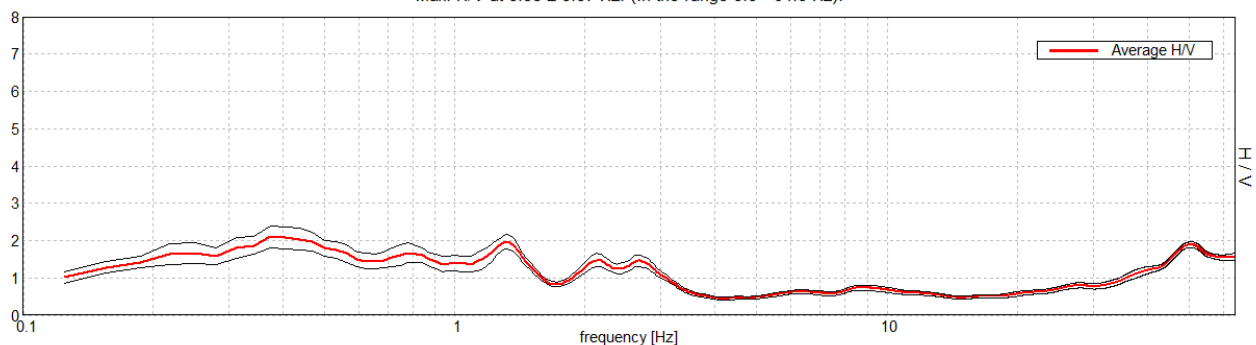


GEOFISICA: MICROTREMORI
XII MORELLI, CENTO_FE, P1

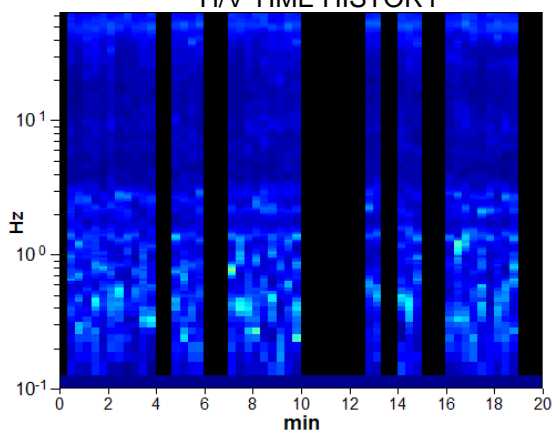
Start recording: 16/12/14 10:03:39	End recording: 16/12/14 10:23:40
Trace length: 0h20'00".	Analyzed 63% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz	Smoothing type: Triangular window
Window size: 20 s	Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

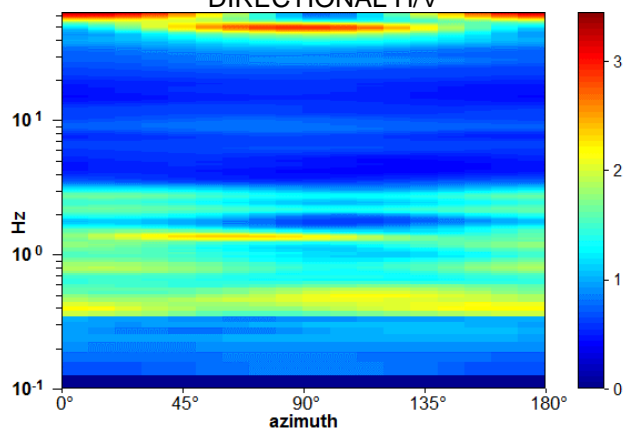
Max. H/V at 0.38 ± 0.07 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



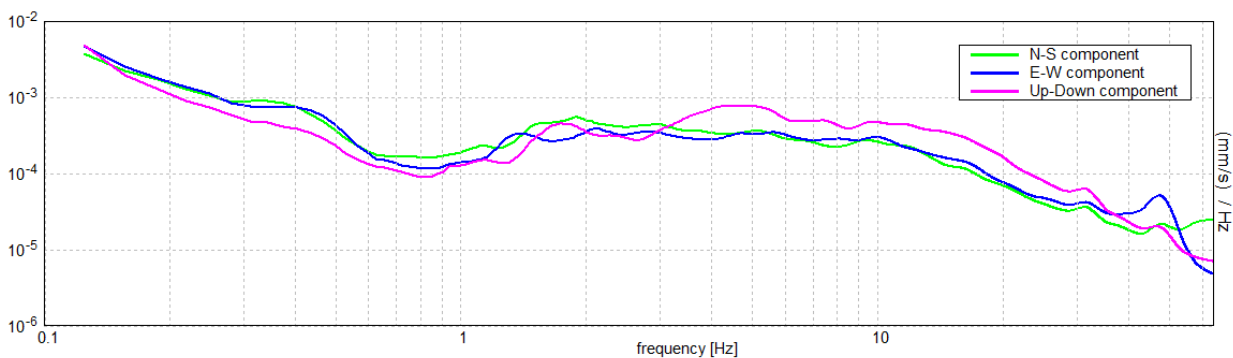
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

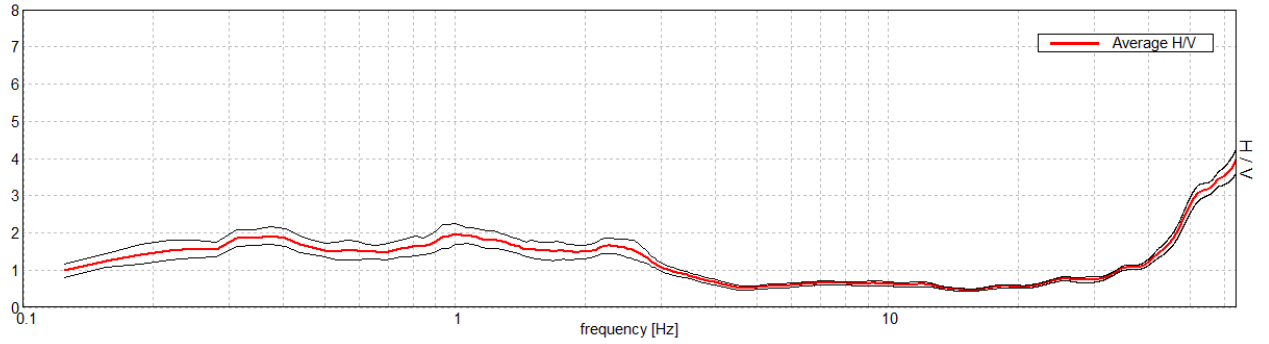


XII MORELLI, CENTO_FE, P 2

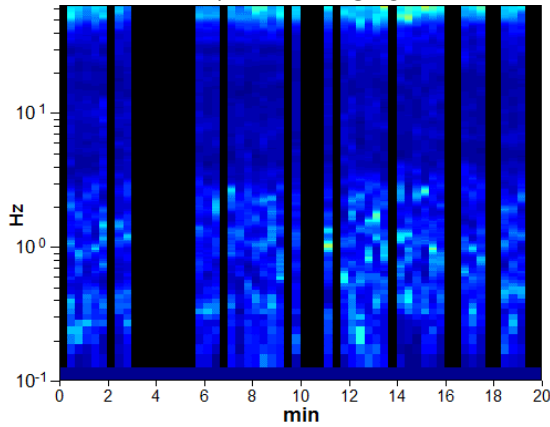
Start recording: 16/12/14 13:28:27	End recording: 16/12/14 13:48:28
Trace length: 0h20'00".	Analyzed 62% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz	Smoothing type: Triangular window
Window size: 20 s	Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

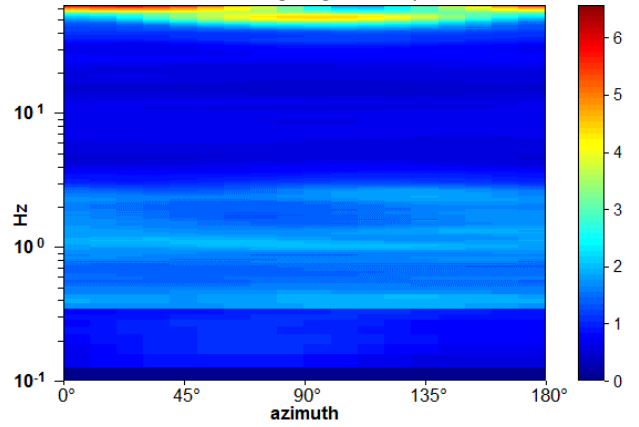
Max. H/V at 63.97 ± 1.89 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



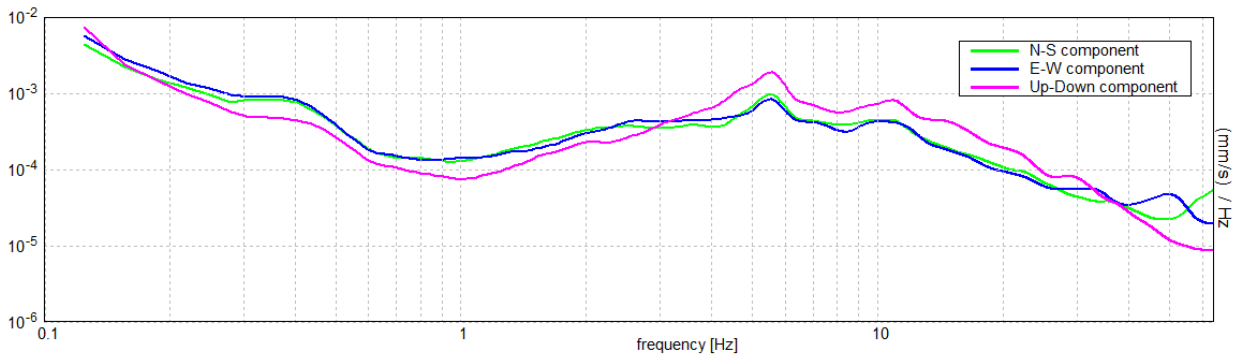
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

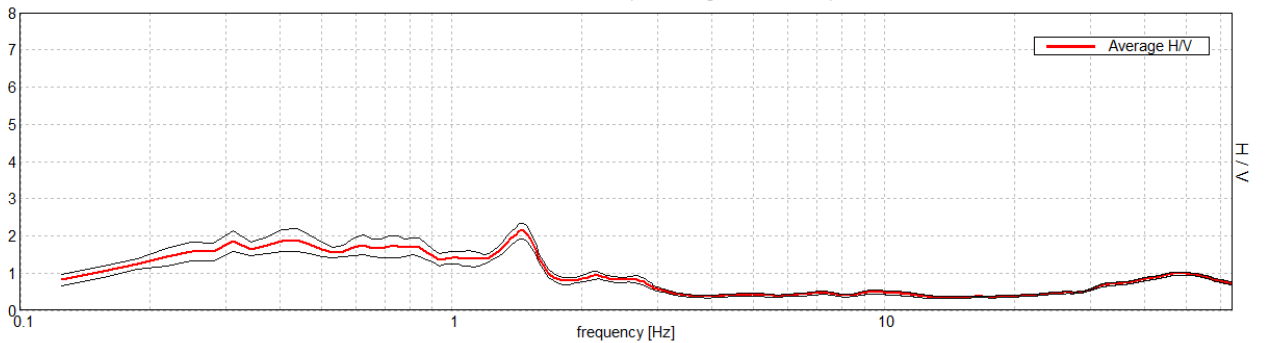


XII MORELLI, CENTO_FE, P3

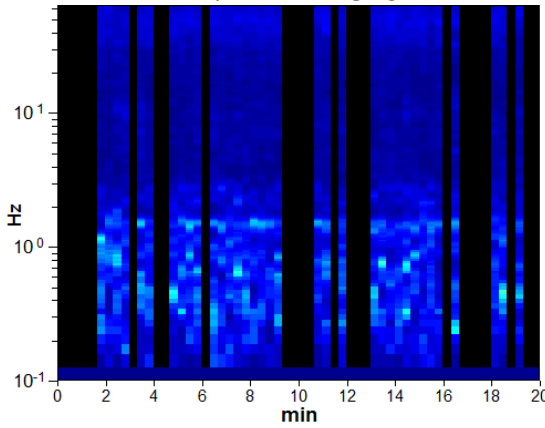
Start recording: 16/12/14 10:06:46	End recording: 16/12/14 10:26:47
Trace length: 0h20'00".	Analyzed 58% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz	Smoothing type: Triangular window
Window size: 20 s	Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

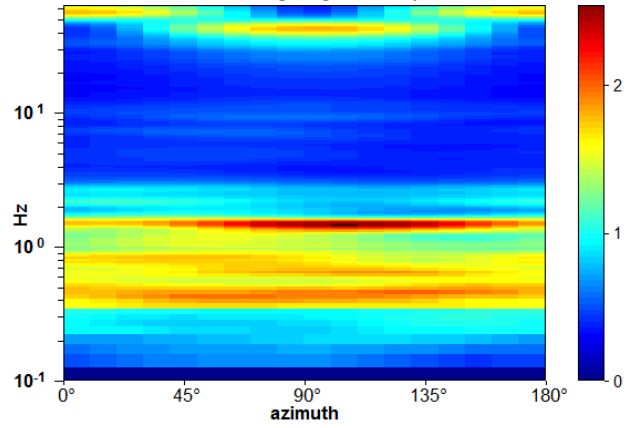
Max. H/V at 1.47 ± 0.43 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



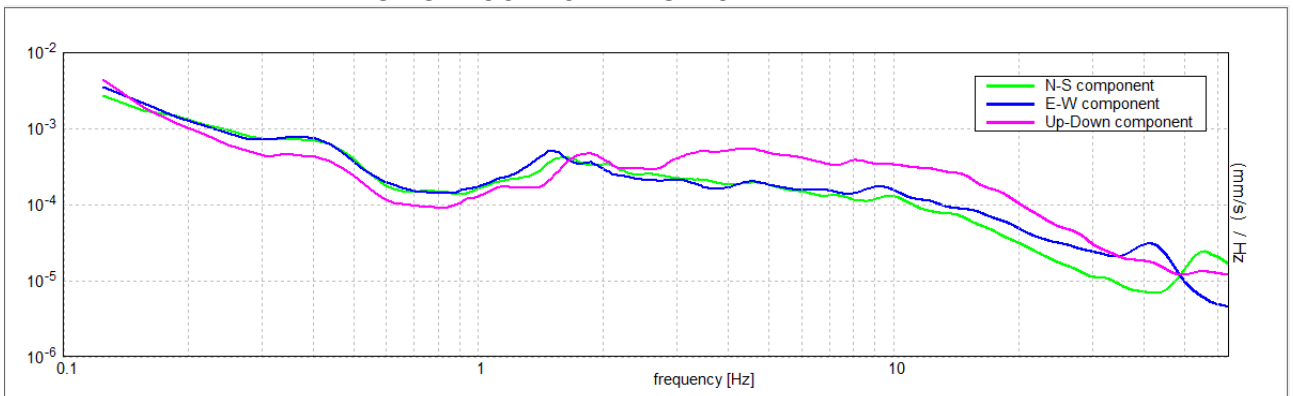
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

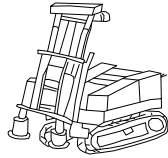


DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA e Indagini



ALLEGATI

Certificati prove in sito



INTERGEO s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

Località:

Cento (FE) - Dodici Morelli - Via V. Godoni

Oggetto:

Relazione di indagine geofisica eseguita con “Cono Sismico”

Data:

Dicembre 2014

PREMESSA

Il giorno 16/12/2014 a Cento (FE) - Dodici Morelli - Via V. Godoni è stata eseguita un'indagine geofisica al fine di determinare, in una prima fase la velocità delle onde di taglio (V_s) e delle onde di compressione (V_p) per ogni metro di terreno, poi successivamente ricavare il parametro richiesto V_{s30} .

L'indagine è stata effettuata utilizzando un cono sismico all'interno del foro della prova penetrometrica statica CPTU 2, precedentemente spinta fino alla profondità di 30 mt. dal piano campagna.

La prova sismica è stata effettuata utilizzando un cono sismico, composto da una punta di acciaio cementato, all'interno del quale sono posizionati i 3 ricevitori idonei a registrare le vibrazioni prodotte dall'impulso generato in superficie.

Con la determinazione delle onde di taglio (V_s) e delle onde di compressione (V_p) e la loro elaborazione vengono ricavati i moduli e parametri che caratterizzano il terreno.

1. Normativa Sismica

Con la determinazione delle onde di taglio V_s e utilizzando l'apposita formula sotto indicata, si ottiene un valore denominato V_{s30} che permette di caratterizzare il terreno indagato ed inserirlo in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per V_{s30} si indica la velocità media di propagazione delle onde V_s (onde di taglio) calcolata con:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

2. Prova penetrometrica con cono sismico

L'esecuzione dell'indagine geofisica è avvenuta all'interno del foro in cui è stata precedentemente effettuata la prova penetrometrica statica CPTU 2.

Il cono sismico viene calato all'interno del foro e, ad ogni metro, vengono effettuate due energizzazioni per registrare i tempi d'arrivo delle onde P ed S.

Il cono sismico (fig.1) è realizzato in acciaio cementato; al suo interno sono posizionati tre geofoni orientati secondo gli assi $x - y - z$ al fine di ricevere le onde di taglio (S) e onde di compressione (P).



fig.1

Il cono viene collegato, attraverso un cavo elettrico, con l'unità di acquisizione (fig.2) posta in superficie, le cui caratteristiche tecniche sono le seguenti:



Sismografo PASI 16S24P; Ambiente Operativo Windows Xp; Numero canali 24; Display a colori LCD touch screen; Supporto di memorizzazione Hard-Disk 80Gb; Temperatura di funzionamento 0°-55° C; Umidità 5%-90%;

fig.2

In adiacenza al foro è stata posizionata la sorgente energizzante; essa è costituita da un maglio di 8 kg che colpendo un blocco di legno verticalmente e trasversalmente, genera onde di compressione (P) e onde di taglio (S).

Dall'elaborazione dei tempi d'arrivo delle onde alle varie profondità, si ricavano i valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche (V_p e V_s) del sottosuolo indagato (allegati 1 e 2).

Successivamente da tali valori vengono determinati i seguenti parametri del terreno (allegati 1 e 2).

- Coefficiente di Poisson ν
- Peso di Volume γ_{din} ton/mc
- Modulo di Elasticità dinamico E_{din} kg/cmq
- Modulo di taglio dinamico G_{din} kg/cmq
- Modulo di Compressibilità dinamico K_{din} Kg/cmq

che sono stati ricavati dalle seguenti formule:

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad \nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

$$\text{Peso di Volume} \quad \gamma_{din} = 0,51 \cdot V_p^{0,19} \quad \text{ton/mc.}$$

$$\text{Densità Geofisica} \quad \delta_{din} = \frac{y}{g} \quad \text{m/sec.}$$

$$\text{Modulo di Elasticità dinamico} \quad E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad \text{kg/cmq.}$$

$$\text{Modulo di Taglio dinamico} \quad G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad \text{kg/cmq.}$$

$$\text{Modulodi Compressibilità dinamico} \quad K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1-2\nu)} \quad \text{kg/cmq.}$$

3. Conclusioni

Dai valori dei tempi d'arrivo delle onde acquisite nell'indagine geofisica, sono state poi calcolate le velocità delle onde P e onde S.

Dai risultati ottenuti il valore V_{s30} è uguale a 178 m/sec.

La velocità V_{s30} è stata calcolata nello spessore compreso tra - 0.0 ÷ 30.0 mt dal p.c.

Allegati :

Allegati 1 e 2 : grafici e tabulati delle velocità delle onde P, onde S e vari parametri elastici dinamici.

Profondità di calcolo	V_{s30} m/sec.
0,00-30,00mt.	178

Cantiere: Cento (FE) - Dodici Morelli - Via V- Godoni

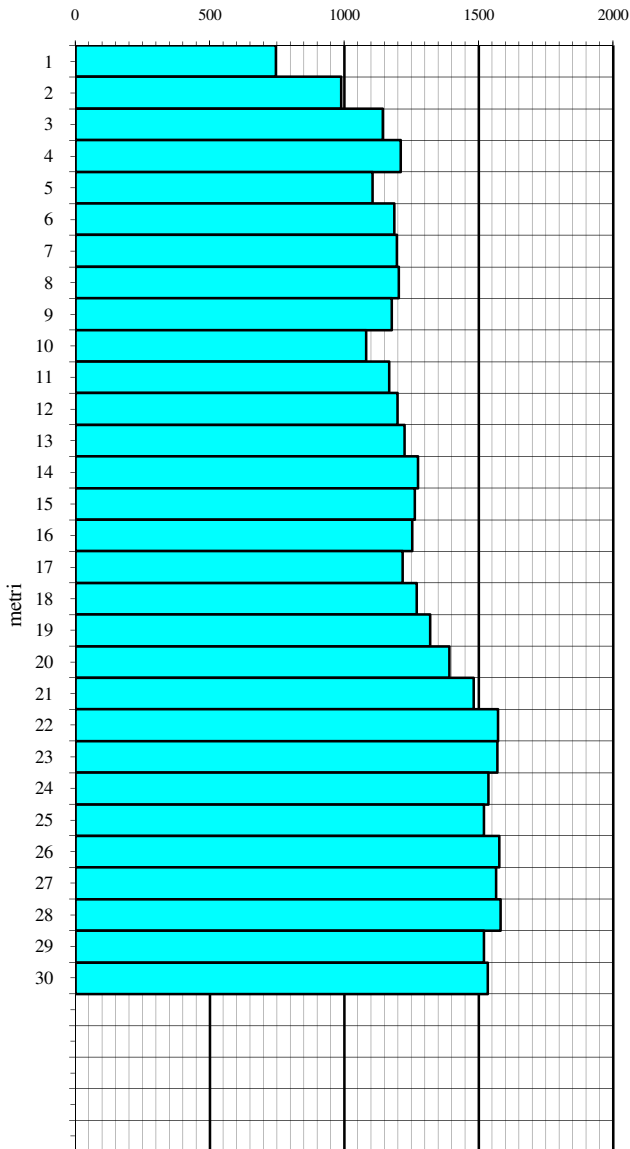
Data: 16/12/2014

Sismocono n.: 1

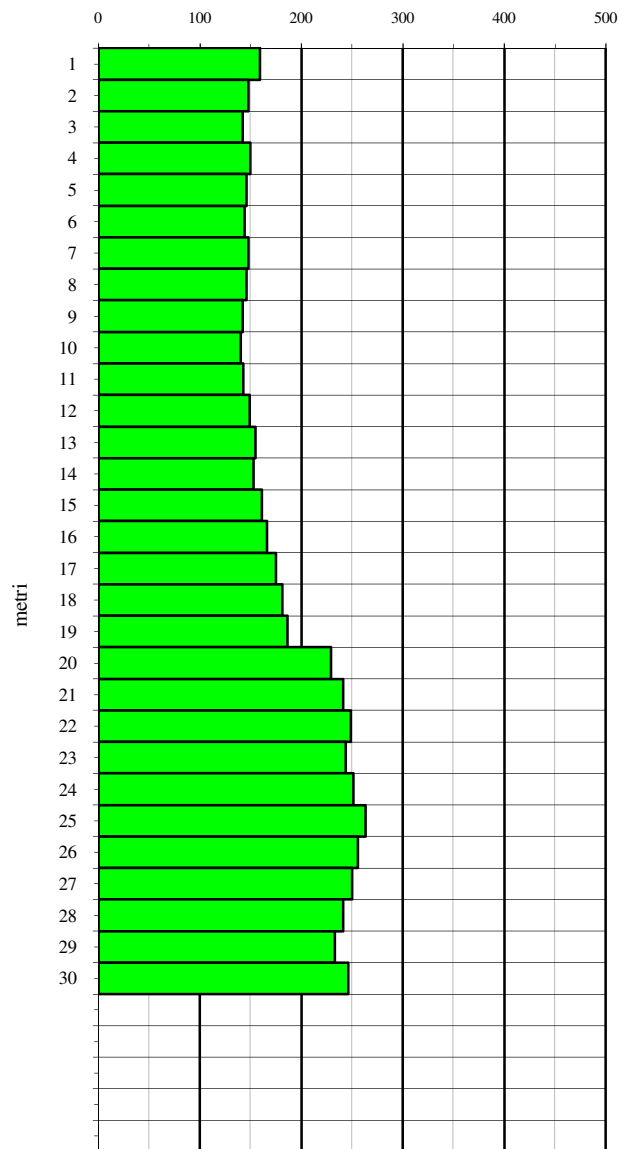
INTERGEO s.r.l. - Servizi Geologici

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

Velocità onde P (m/sec.) - onde di compressione



Velocità onde S (m/sec.) - onde di taglio



$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30m superiori.

$V_{S30} = 178$ m/sec.

Cantiere: Cento (FE) - Dodici Morelli - Via V- Godoni

Data: 16/12/2014

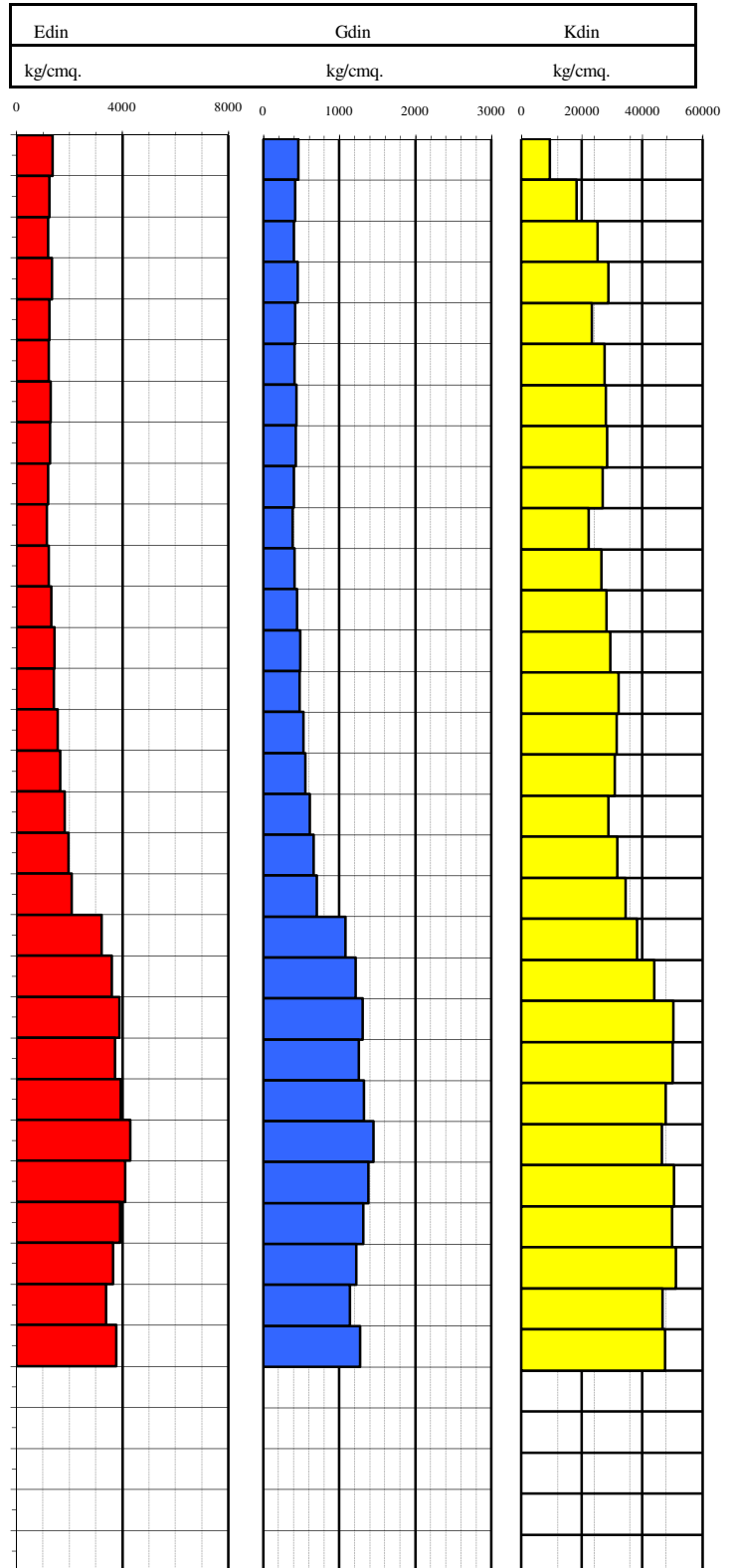
Sismocono n.: 1

INTERGEO s.r.l. - Servizi Geologici

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

prof.	Vp	Vs	v	y	Edin	Gdin	Kdin
mt.	m./sec.	m./sec.		T/mc.	kg/cmq.	kg/cmq.	kg/cmq.

1	745	159	0.48	1.79	1365	462	9531
2	988	148	0.49	1.89	1258	423	18267
3	1142	142	0.49	1.94	1193	400	25327
4	1210	150	0.49	1.96	1346	451	28751
5	1104	146	0.49	1.93	1252	420	23453
6	1186	144	0.49	1.96	1236	414	27540
7	1195	148	0.49	1.96	1307	438	27977
8	1203	146	0.49	1.96	1274	427	28413
9	1176	142	0.49	1.95	1200	402	27040
10	1080	140	0.49	1.92	1147	385	22372
11	1166	143	0.49	1.95	1215	407	26523
12	1198	149	0.49	1.96	1326	444	28126
13	1224	155	0.49	1.97	1440	483	29458
14	1275	153	0.49	1.98	1415	474	32284
15	1262	161	0.49	1.98	1563	524	31487
16	1253	166	0.49	1.98	1658	556	30944
17	1217	175	0.49	1.97	1831	615	28906
18	1269	181	0.49	1.98	1975	663	31694
19	1320	186	0.49	2.00	2101	705	34574
20	1391	229	0.49	2.02	3209	1080	38392
21	1480	241	0.49	2.04	3597	1210	44013
22	1571	249	0.49	2.06	3885	1306	50254
23	1568	244	0.49	2.06	3730	1254	50107
24	1536	251	0.49	2.06	3929	1322	47731
25	1520	263	0.48	2.05	4300	1448	46440
26	1577	256	0.49	2.07	4108	1382	50590
27	1565	250	0.49	2.06	3913	1316	49808
28	1582	241	0.49	2.07	3647	1225	51163
29	1519	233	0.49	2.05	3382	1136	46786
30	1533	246	0.49	2.06	3774	1269	47589



Intergeo srl



INTERGEO s.r.l. - Servizi Geologici
A Socio Unico
Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM
Codice Operatore Economico - SM21197
Tel. 333 2208376
www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 16/12/2014

Site: Dodici Morelli Via V. Godoni - Test: 1

Company information

Name: Intergeo srl
Address: Via Rancaglia 37
Zip code:
City: Serravalle
P.IVA: C.O.E: SM 21197
E-Mail: info@intergeosm.com
Phone number:
Fax number:

Site information

Name: Dodici Morelli Via V. Godoni
Date: 16/12/2014
Commissioner: Nori Luca
Locality:

Test information

Name: 1
Location: 1
Date: 16/12/2014
Prehole mode:
Prehole depth [cm]: 0
Hydrostatic line [cm]: 110
Ground level [m]: 0
Latitude: 44 47.5281 N
Longitude: 11 17.3517 E
Operator:
Comments:
Probe code: MK321

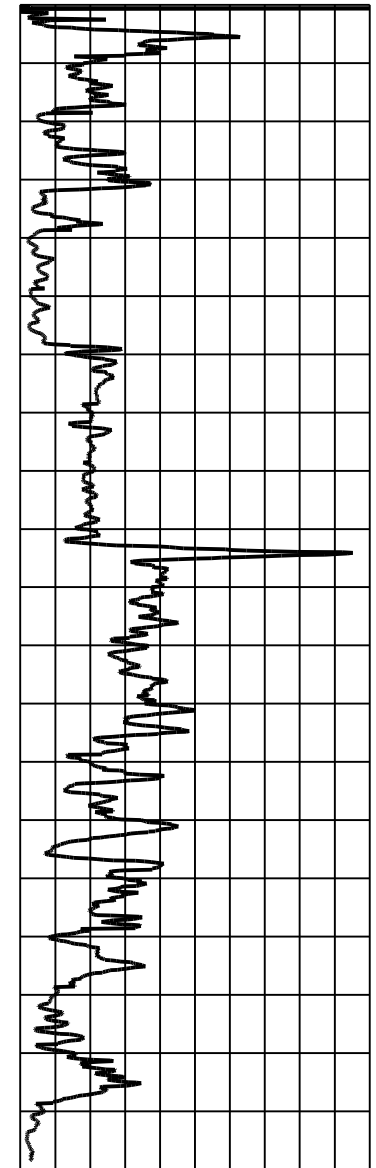
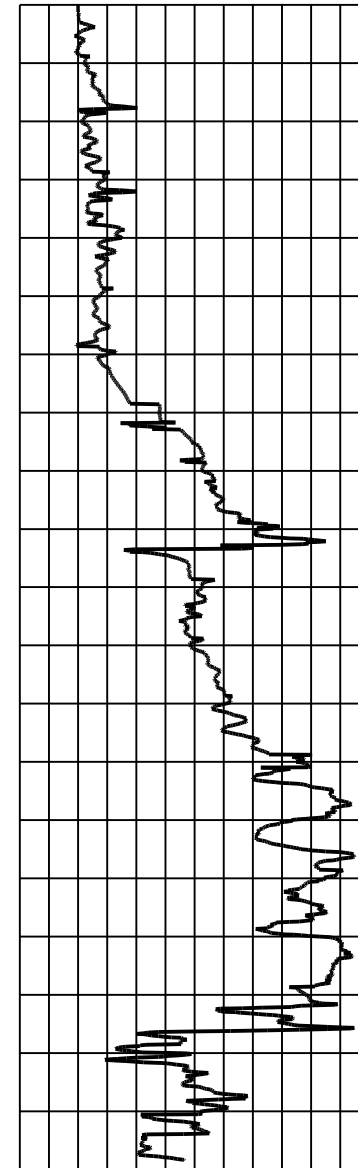
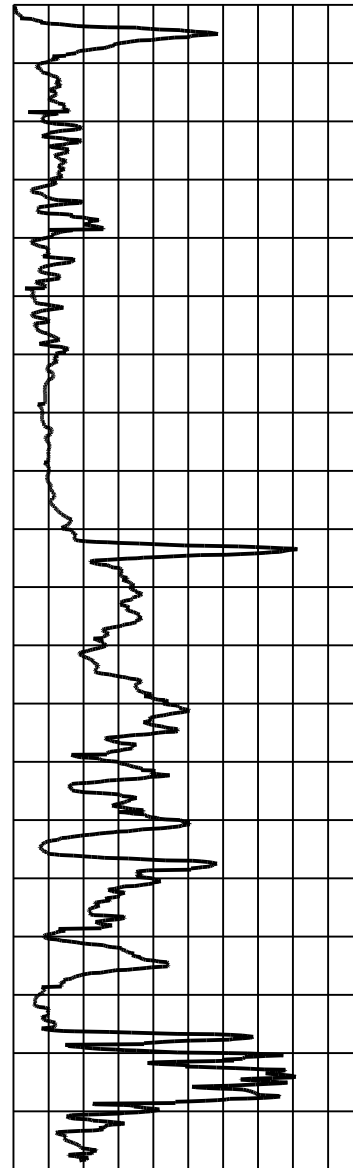
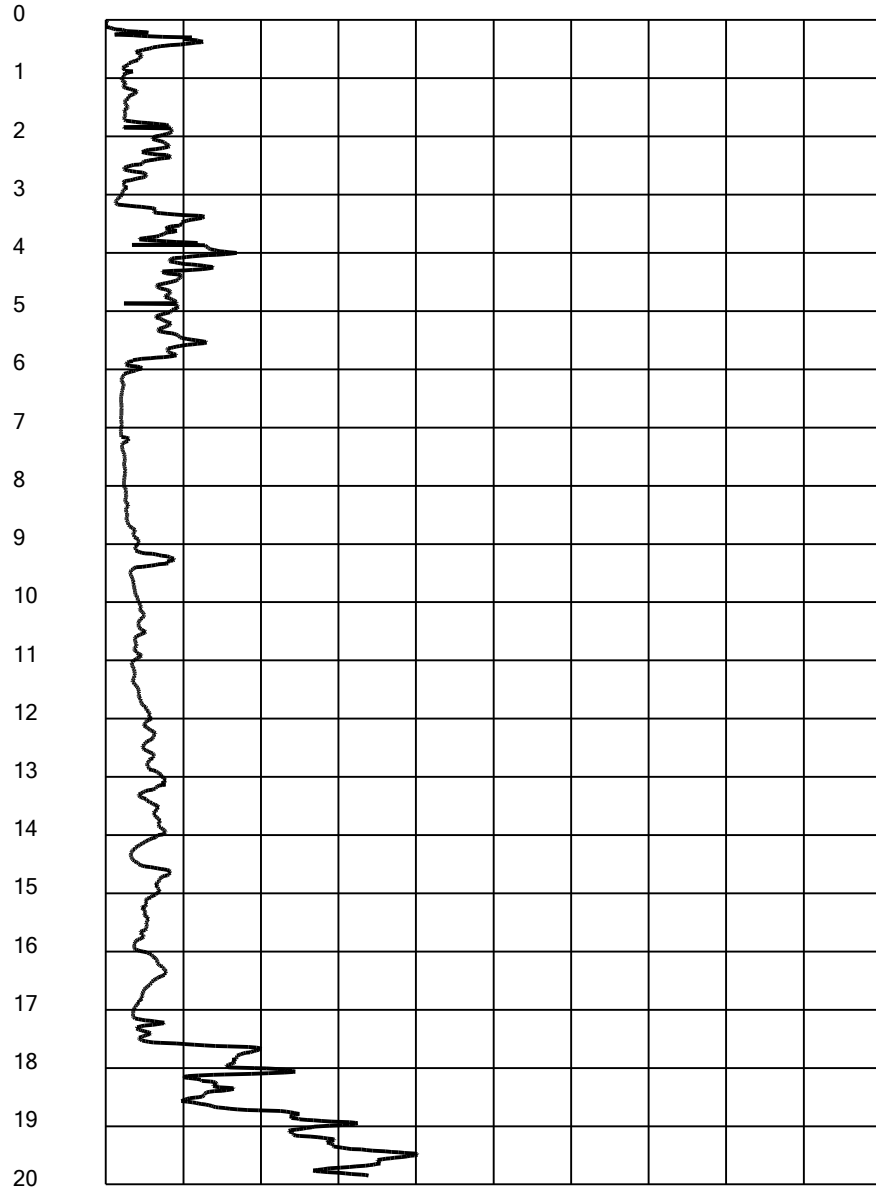


Qc [MPa]
 0 2.2 4.4 6.6 8.8 11 13.2 15.4 17.6 19.8 22

Fs [KPa]
 0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150

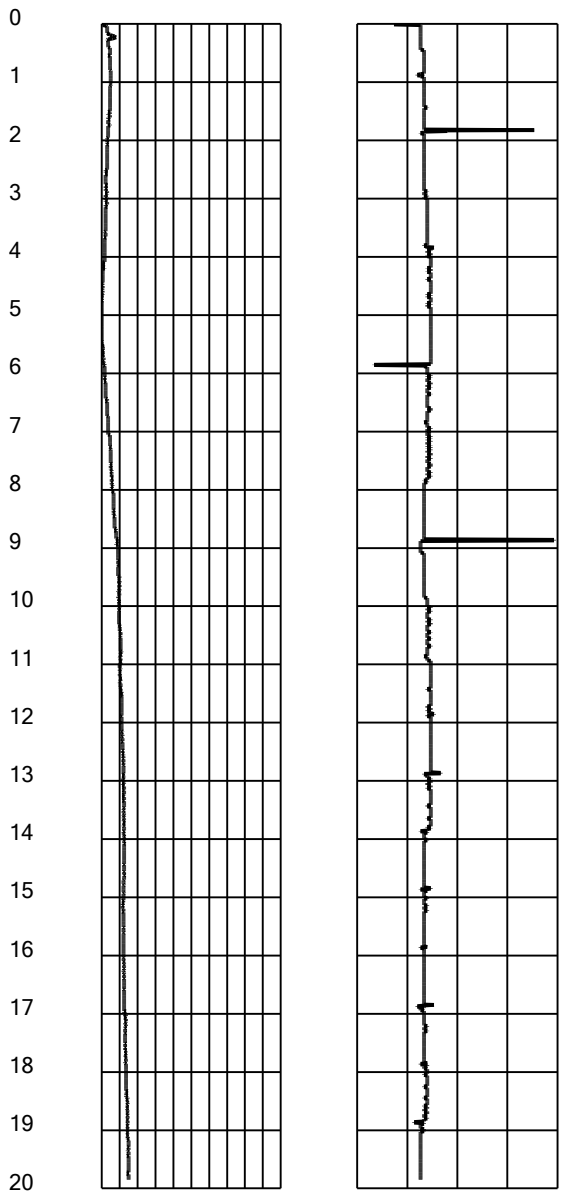
U2 [KPa]
 -200 -100 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

Rf [%]
 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14





Tilt [°] Speed [cm/sec]
 0 1.5 3 4.5 6
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20



Intergeo srl



INTERGEO s.r.l. - Servizi Geologici
A Socio Unico
Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM
Codice Operatore Economico - SM21197
Tel. 333 2208376
www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 16/12/2014

Site: Dodici Morelli Via V. Godoni - Test: 2.

Company information

Name: Intergeo srl

Address: Via Rancaglia 37

Zip code:

City: Serravalle

P.IVA: C.O.E: SM 21197

E-Mail: info@intergeosm.com

Phone number:

Fax number:

Site information

Name: Dodici Morelli Via V. Godoni

Date: 16/12/2014

Commissioner: Nori Luca

Locality:

Test information

Name: 2.

Location: 2

Date: 16/12/2014

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 90

Ground level [m]: 0

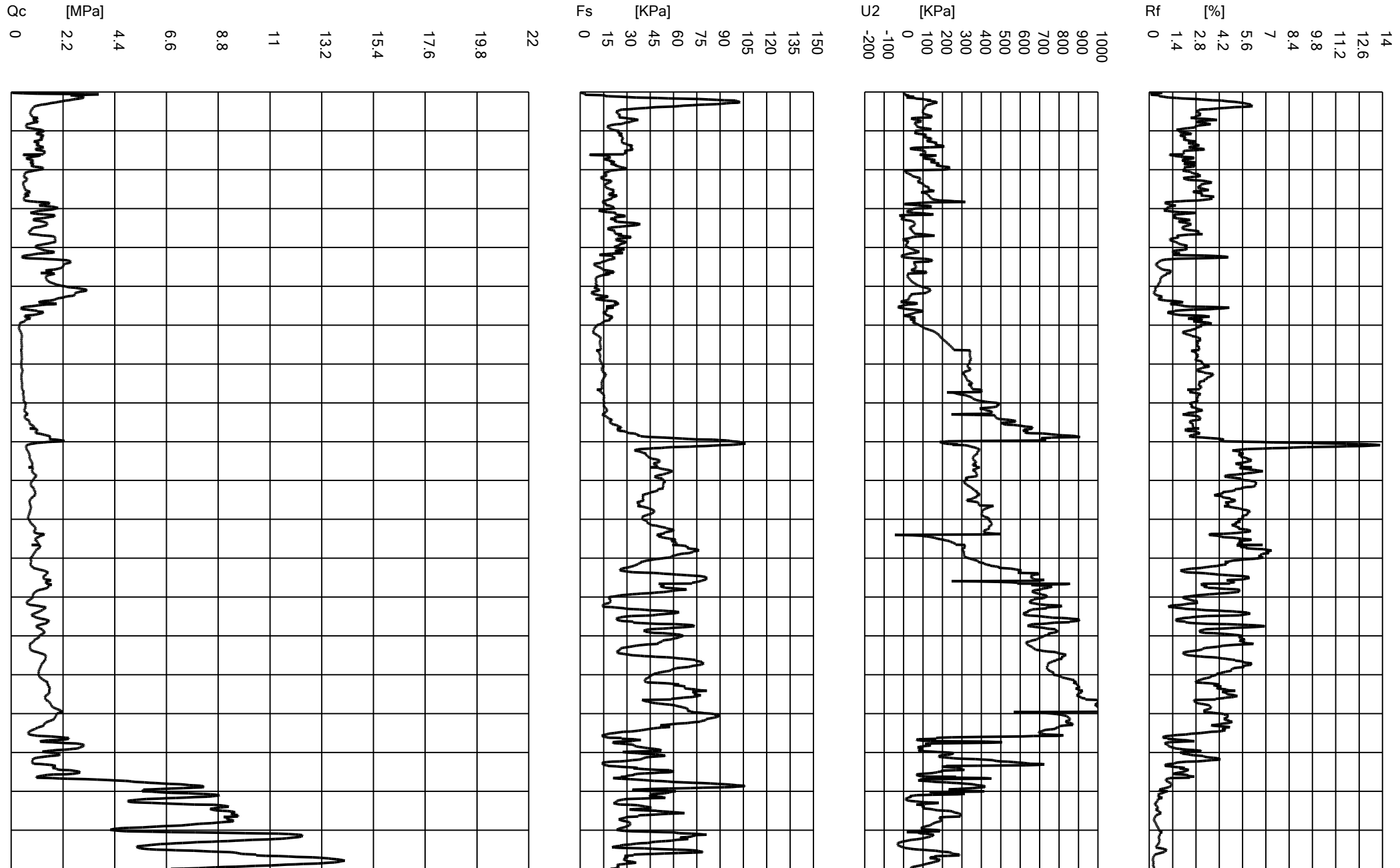
Latitude: 44 47.5506 N

Longitude: 11 17.3800 E

Operator:

Comments:

Probe code: MK321



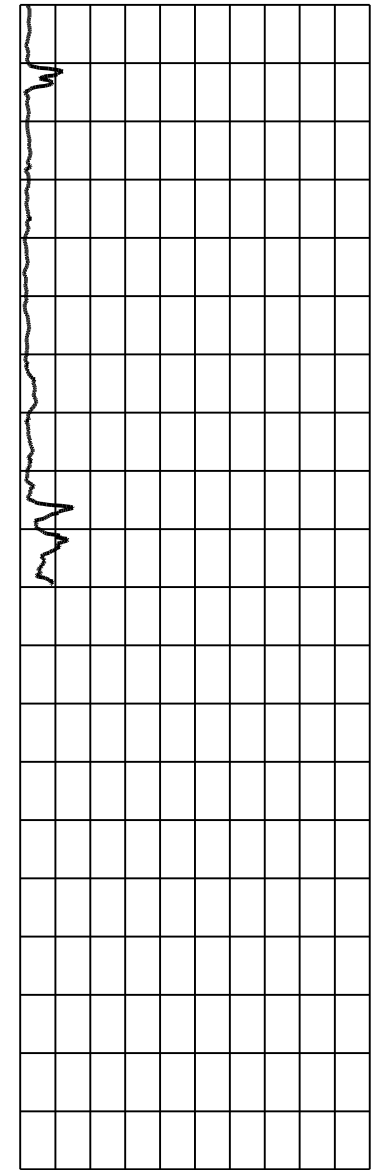
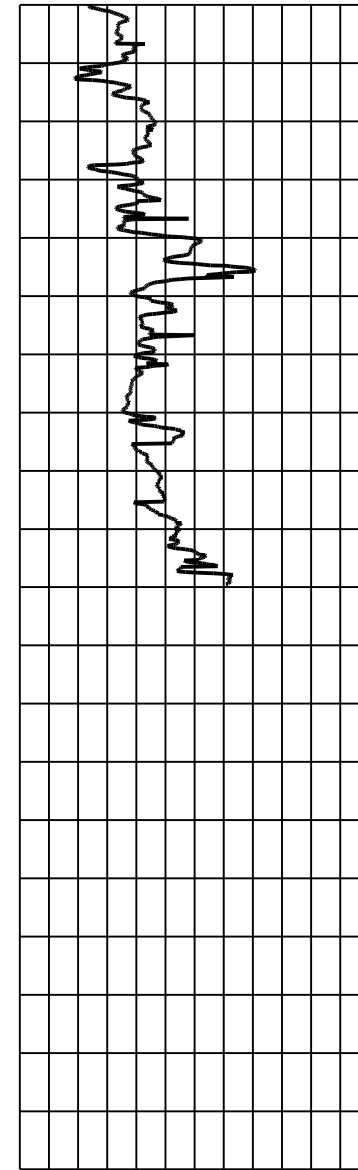
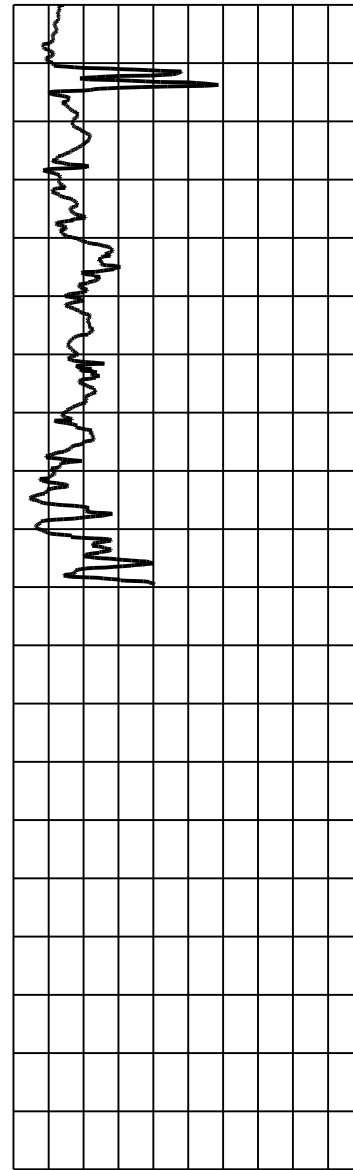
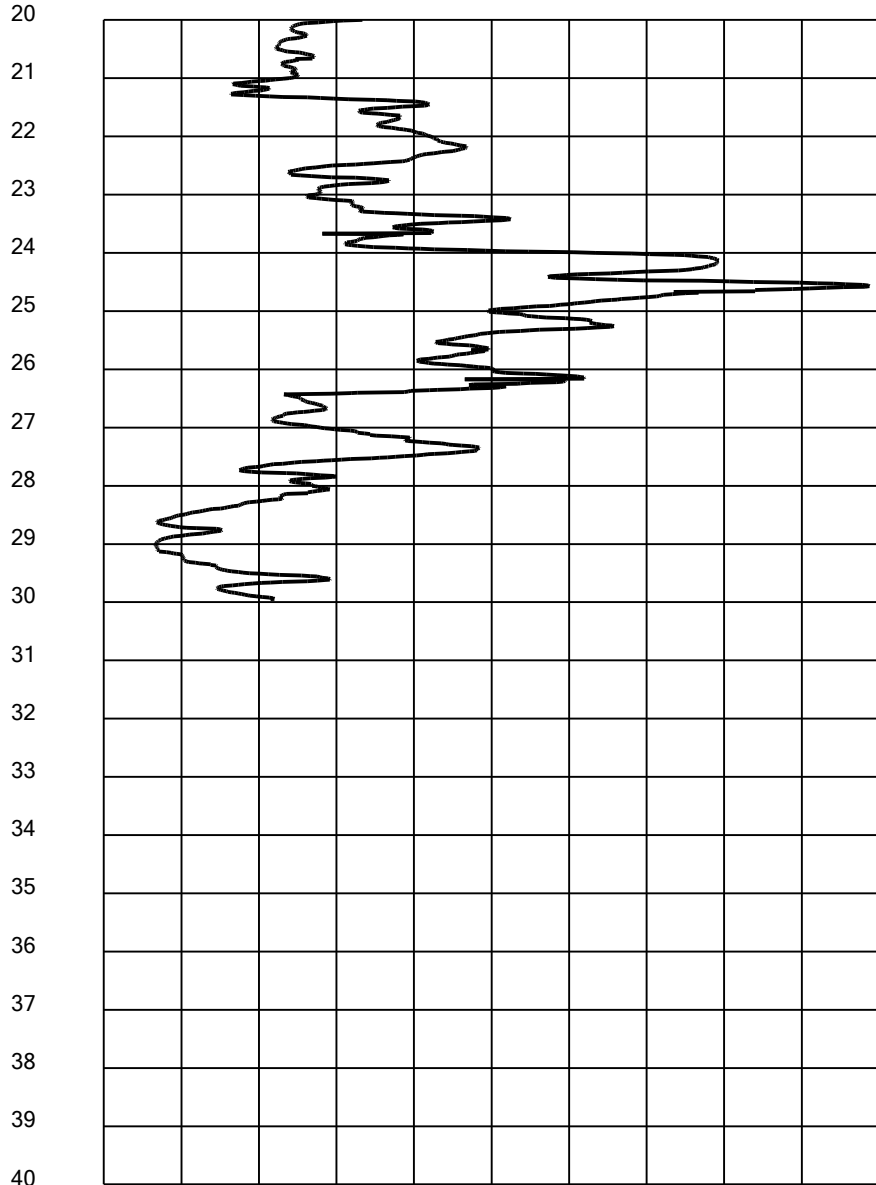


Qc [MPa]
 0 2.2 4.4 6.6 8.8 11 13.2 15.4 17.6 19.8 22

Fs [KPa]
 0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150

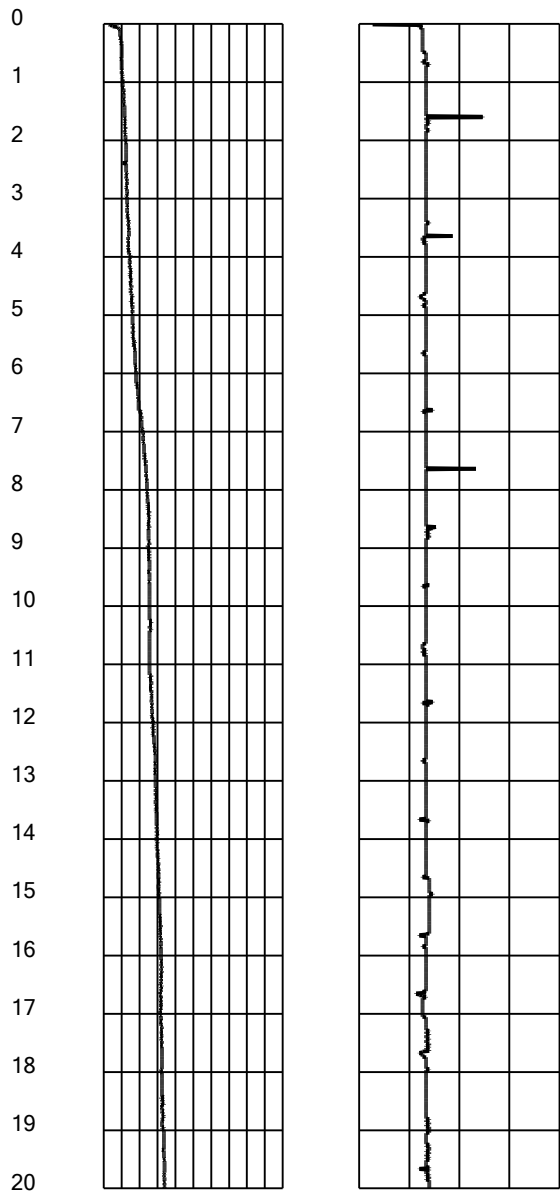
U2 [KPa]
 -200 -100 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

Rf [%]
 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14



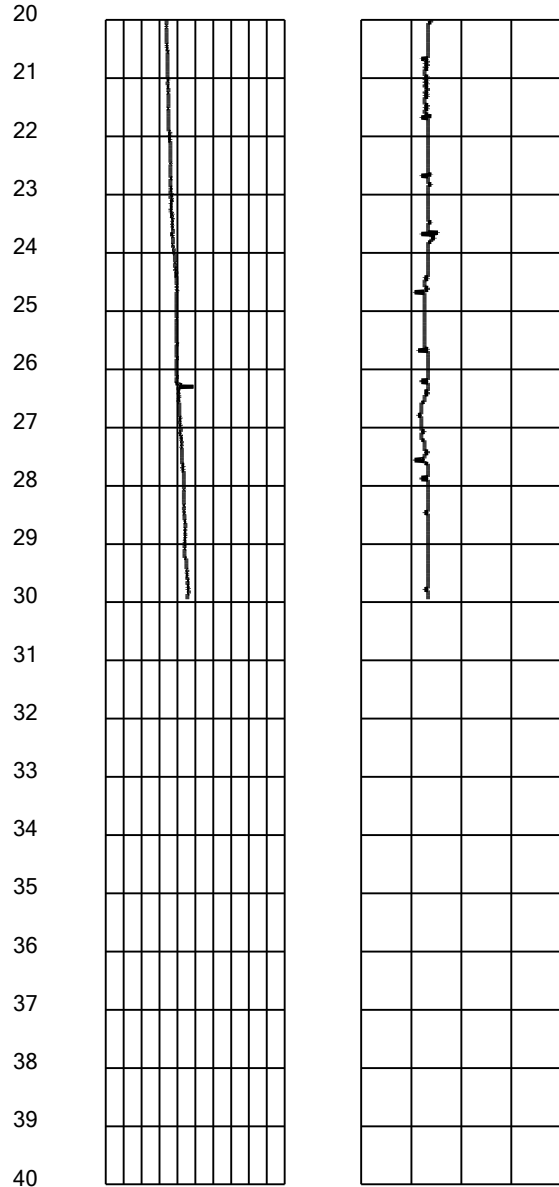


Tilt [°] Speed [cm/sec]
0 1.5 3 4.5 6





Tilt [°] Speed [cm/sec]
0 1.5 3 4.5 6



Intergeo srl



INTERGEO s.r.l. - Servizi Geologici
A Socio Unico
Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM
Codice Operatore Economico - SM21197
Tel. 333 2208376
www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 16/12/2014

Site: Dodici Morelli Via V. Godoni - Test: 3

Company information

Name: Intergeo srl

Address: Via Rancaglia 37

Zip code:

City: Serravalle

P.IVA: C.O.E: SM 21197

E-Mail: info@intergeosm.com

Phone number:

Fax number:

Site information

Name: Dodici Morelli Via V. Godoni

Date: 16/12/2014

Commissioner: Nori Luca

Locality:

Test information

Name: 3

Location: 3

Date: 16/12/2014

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 90

Ground level [m]: 0

Latitude: 44 47.5181 N

Longitude: 11 17.3992 E

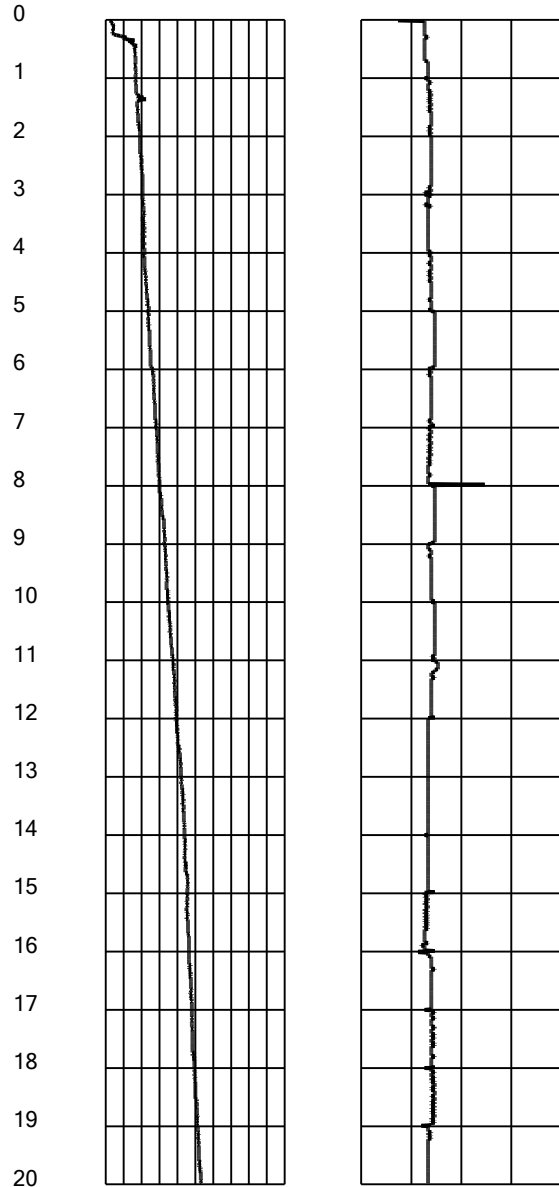
Operator:

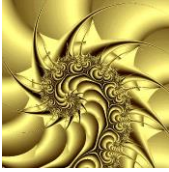
Comments:

Probe code: MK321



Tilt [°] Speed [cm/sec]
0 1.5 3 4.5 6
0 0.00 0.04 0.10 0.14 0.20 0.26 0.32 0.38 0.44 0.50 0.56 0.62 0.68 0.74 0.80 0.86 0.92 0.98 1.04 1.10 1.16 1.22 1.28 1.34 1.40 1.46 1.52 1.58 1.64 1.70 1.76 1.82 1.88 1.94 2.00





Dr. Geol. Luca Nori - Contrada Pretaro n°6 Francavilla al Mare (CH)
C.F. NROLCU60M07G482G P.IVA: 02452580695
Tel. 085/4549321 Cell. 331-1860026
e_mail: mcco20042004@yahoo.com



Comune di Cento (FE)
"Piano della Ricostruzione - Comune di Cento"
Riqualificazione di area produttiva in area residenziale in località XII
Morelli, Comune di Cento (FE)
Committente: L'Abbazia s.s. di Bruno Cavicchi e C. - via Cento
n.285 - 40017 San Matteo della Decima (BO).



REPORT DI SINTESI SULLA VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Dr. Geol. Luca Nori
Francavilla al Mare (CH)
21/12/2014



TABLE OF CONTENTS

CPTU1 results	
Summary data report	1
CPTU2 results	
Summary data report	7
CPTU3 results	
Summary data report	13

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

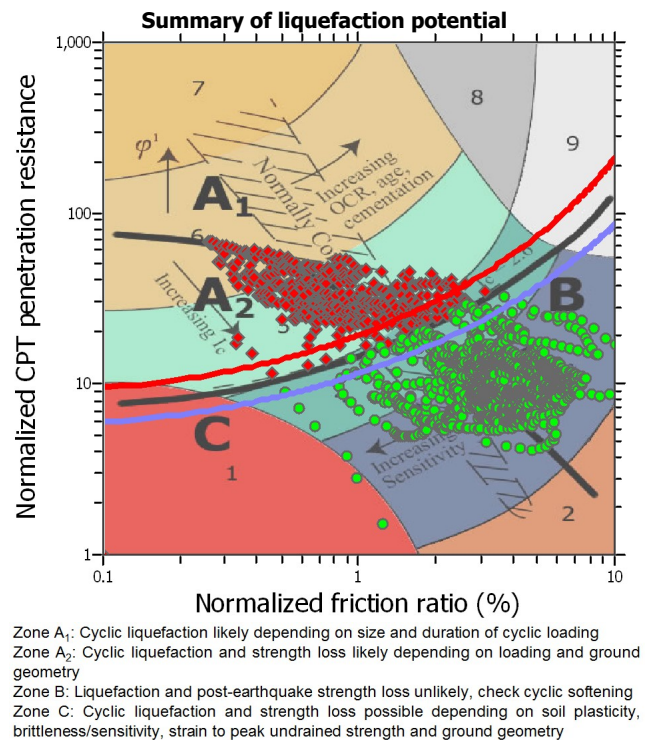
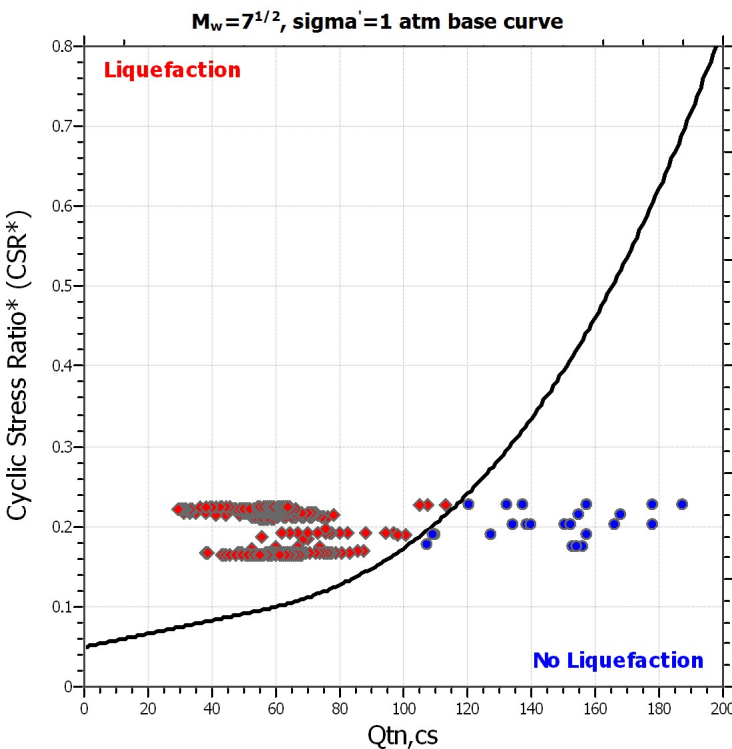
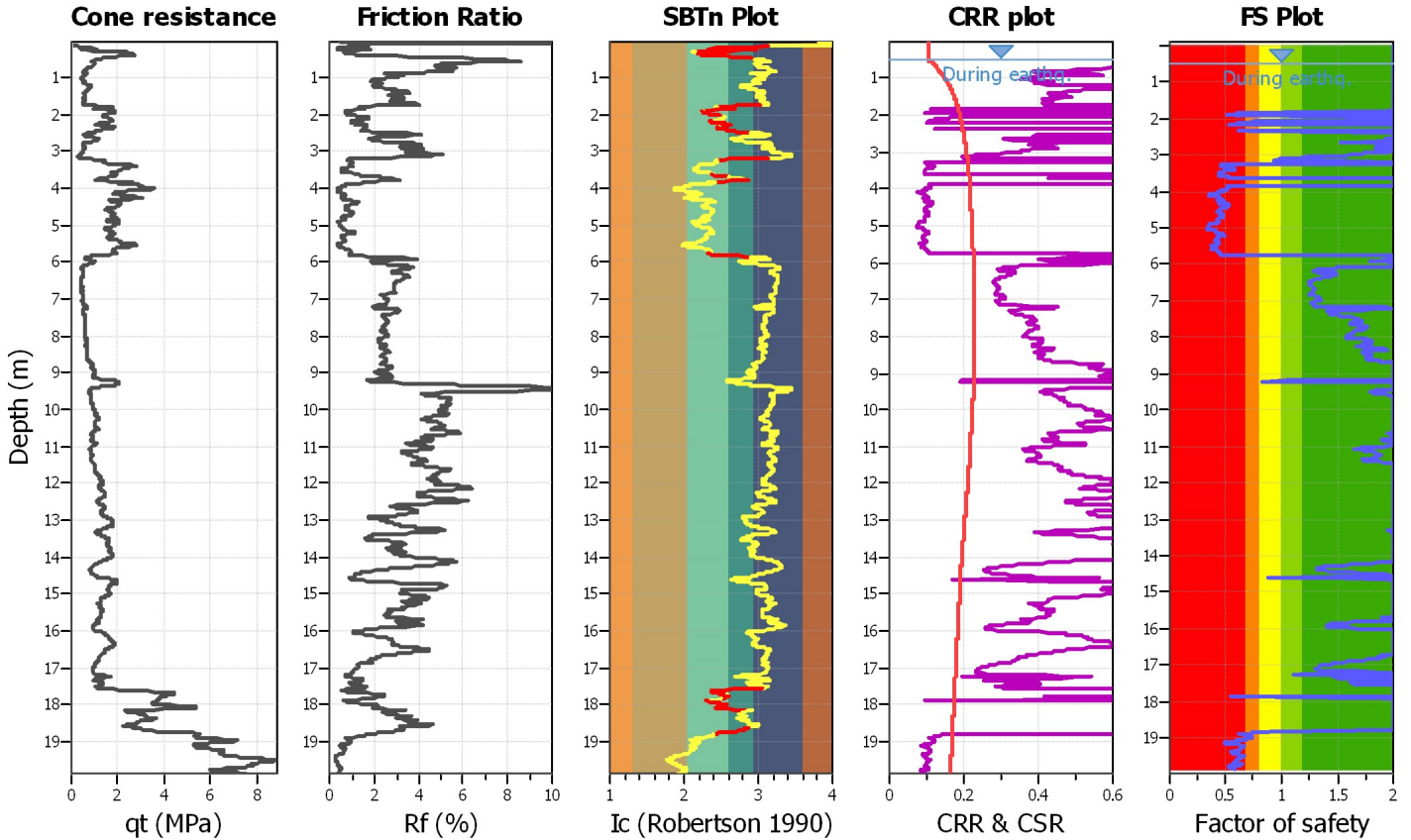
Project title : 12Morelli_I_Cortili

Location : 12Morelli_Cento_FE

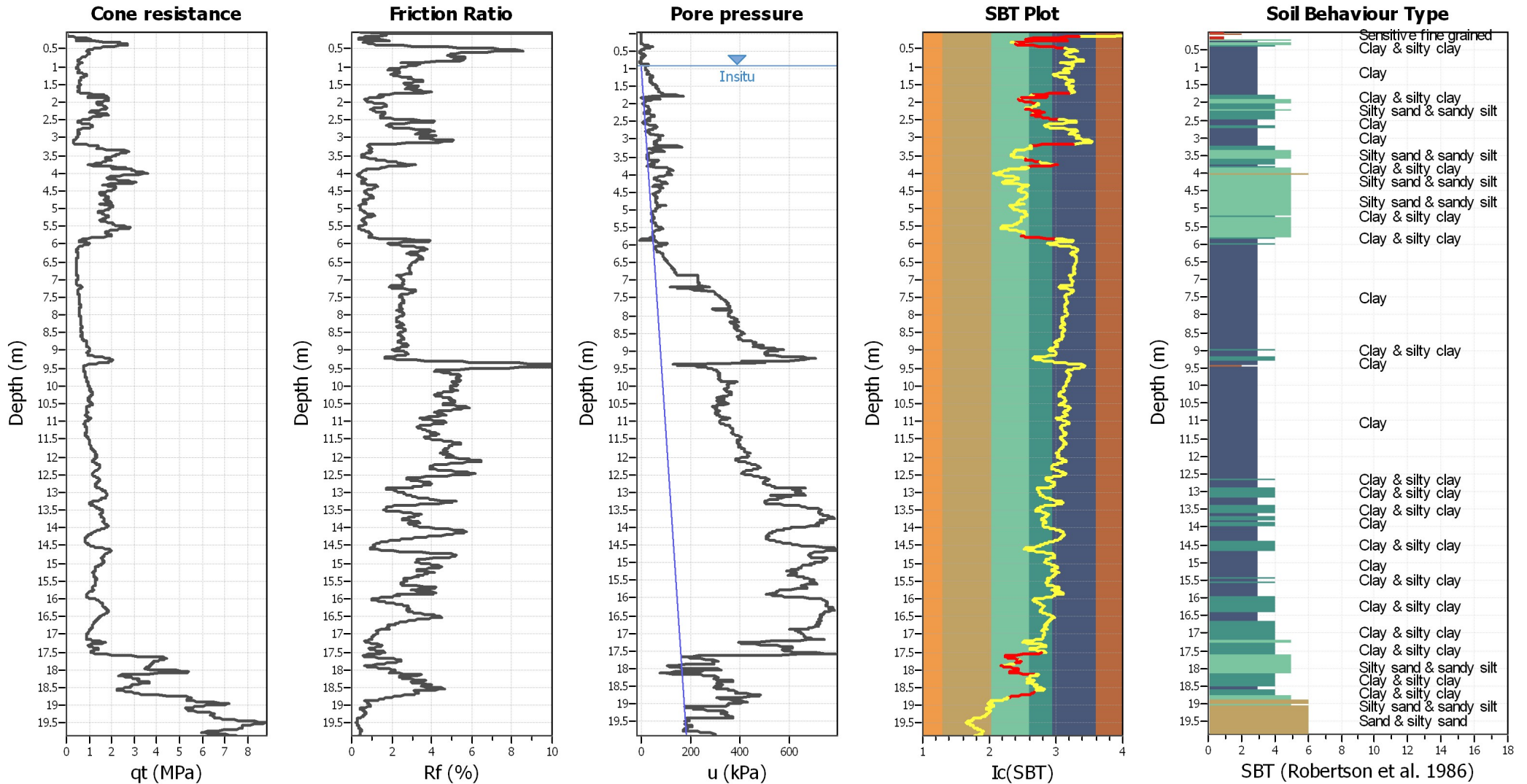
CPT file : CPTU1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	0.90 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	0.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



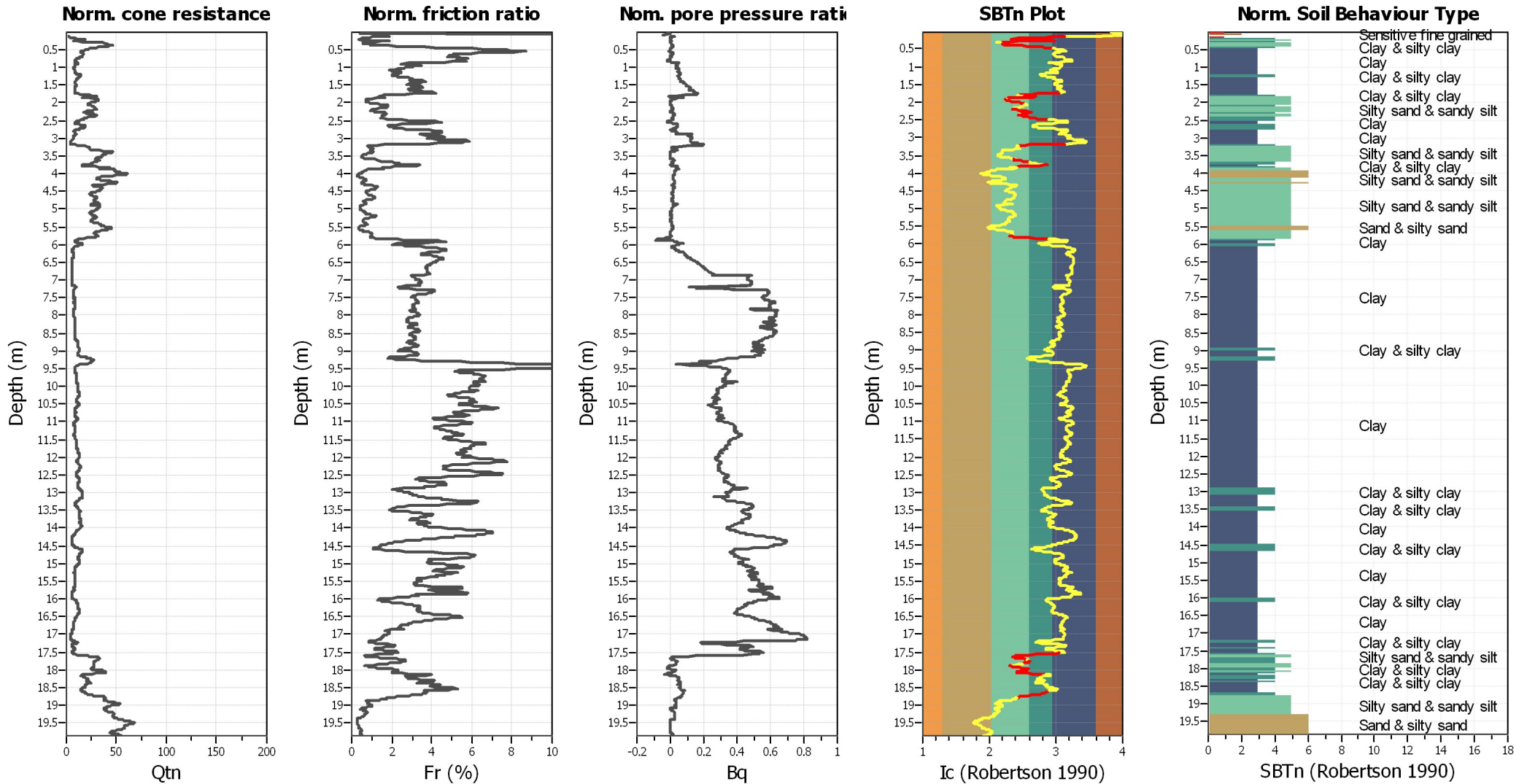
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



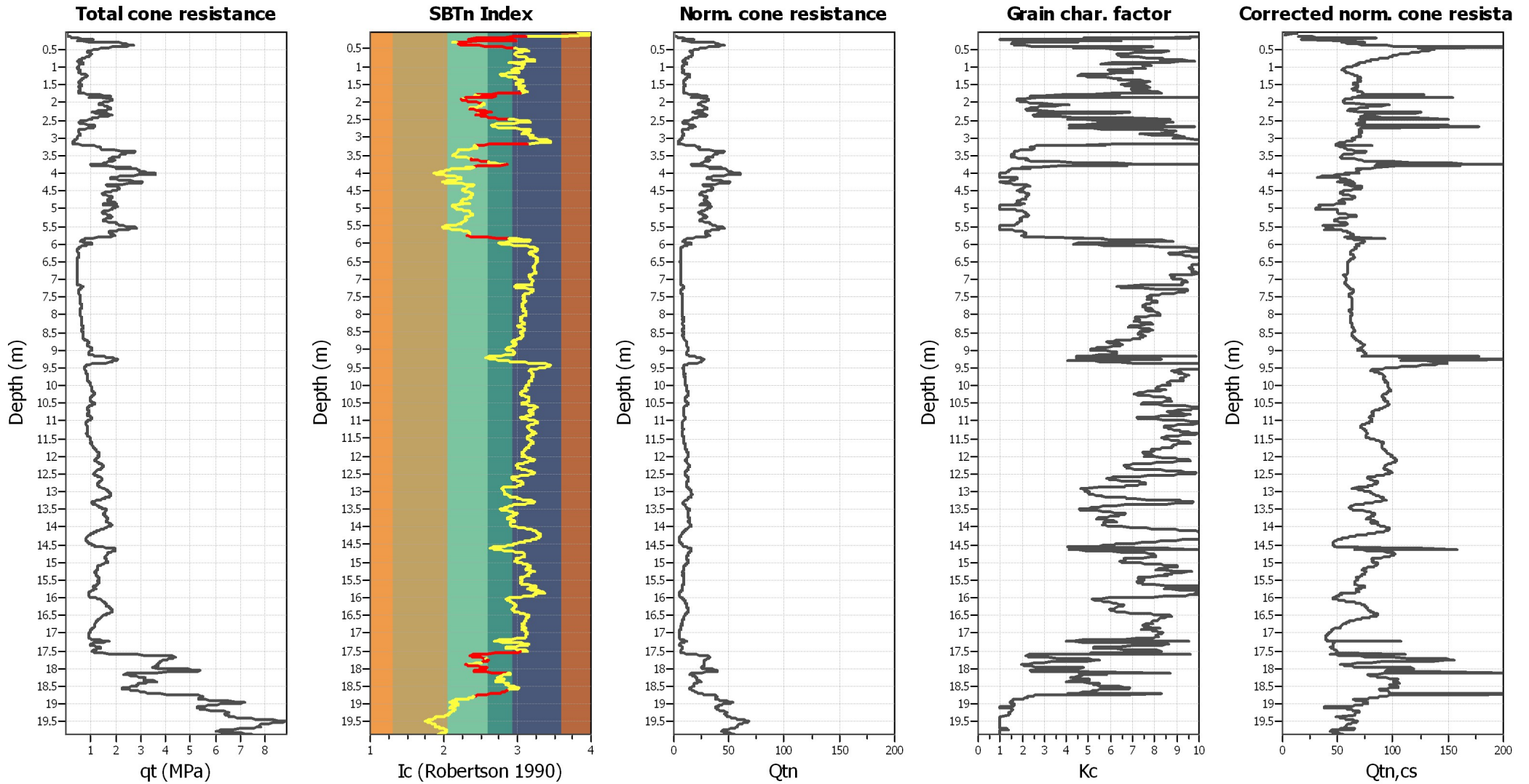
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

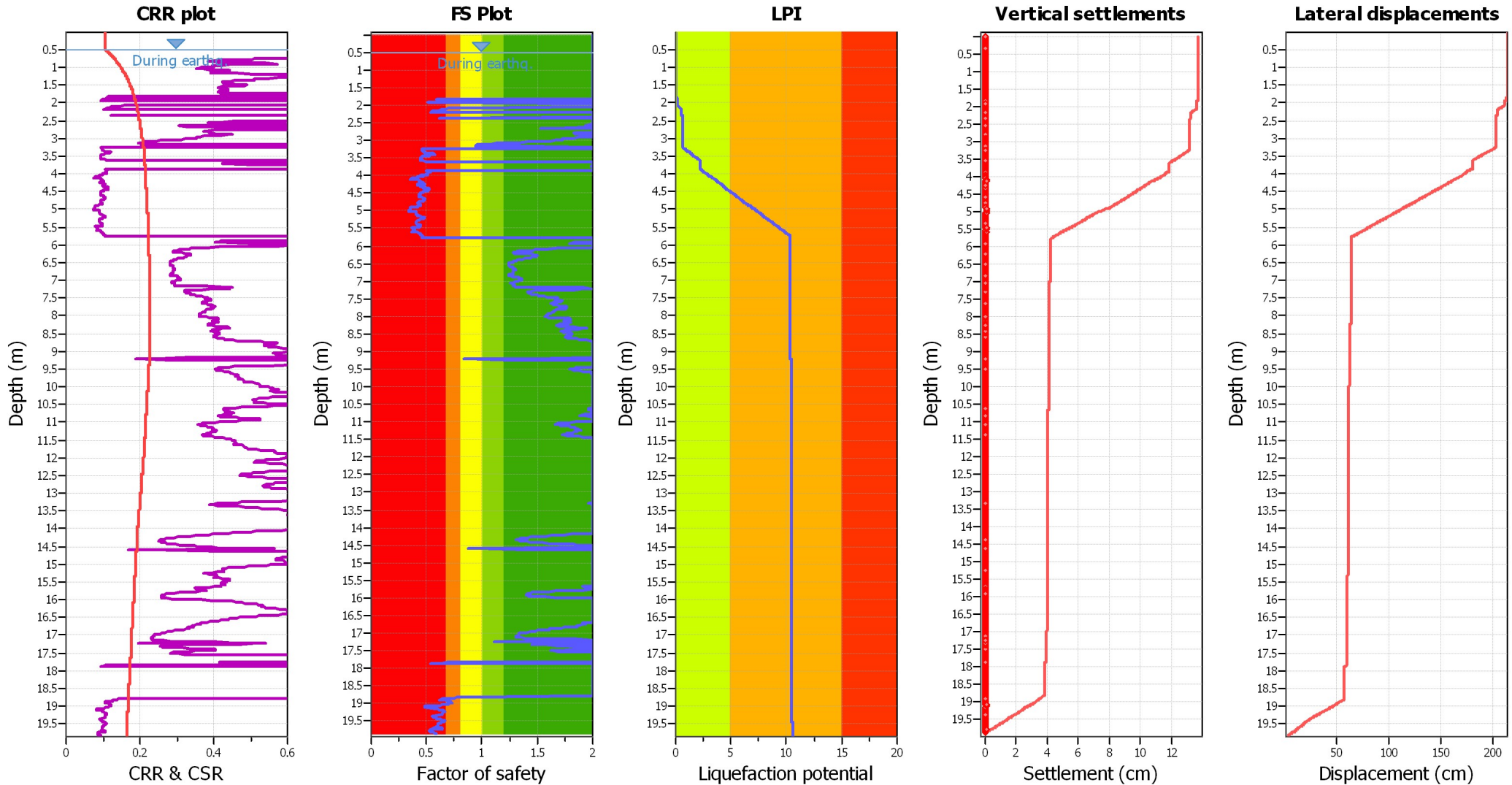
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

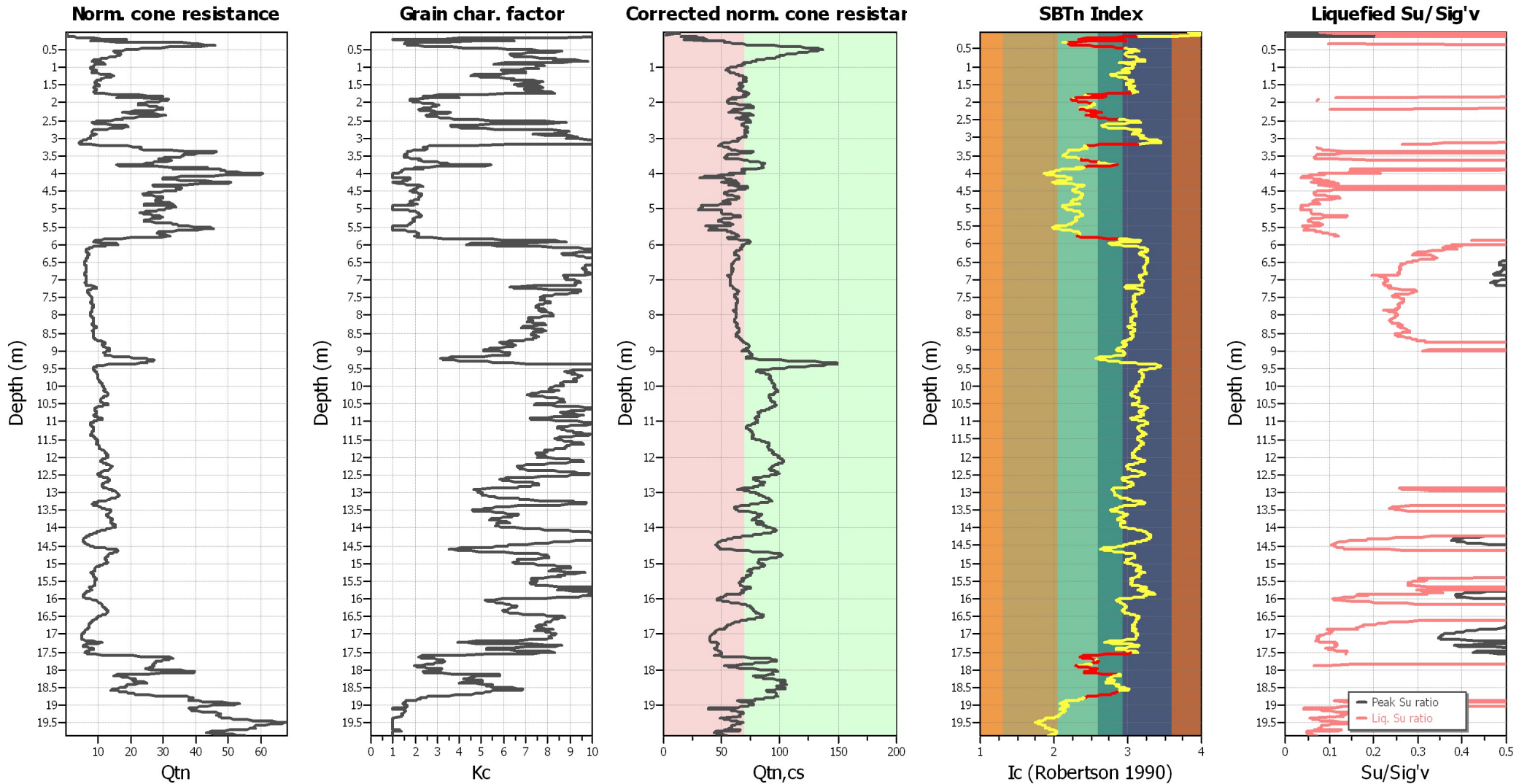
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_c applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

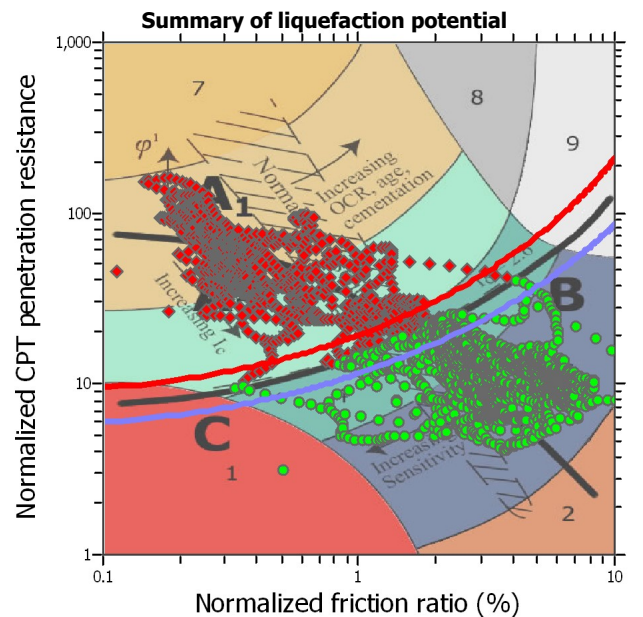
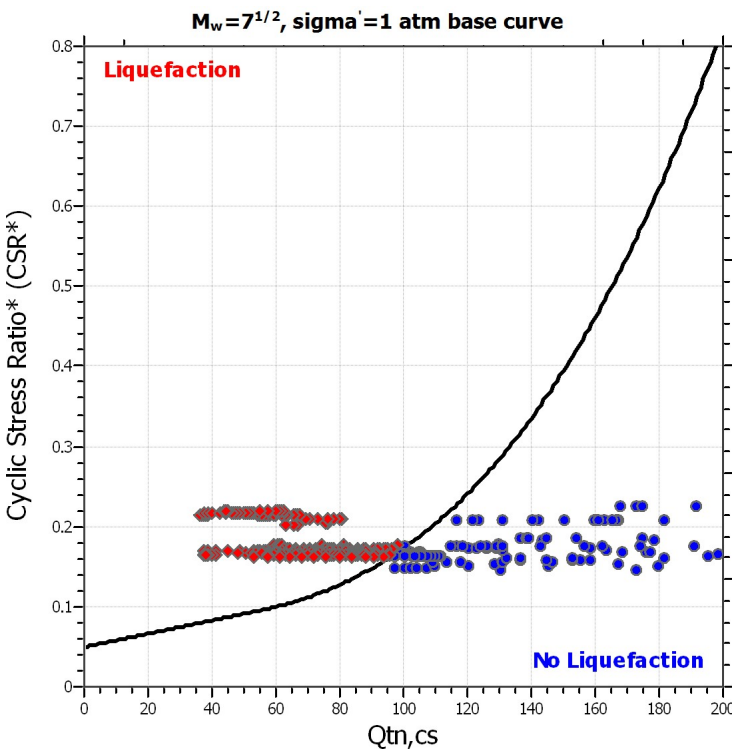
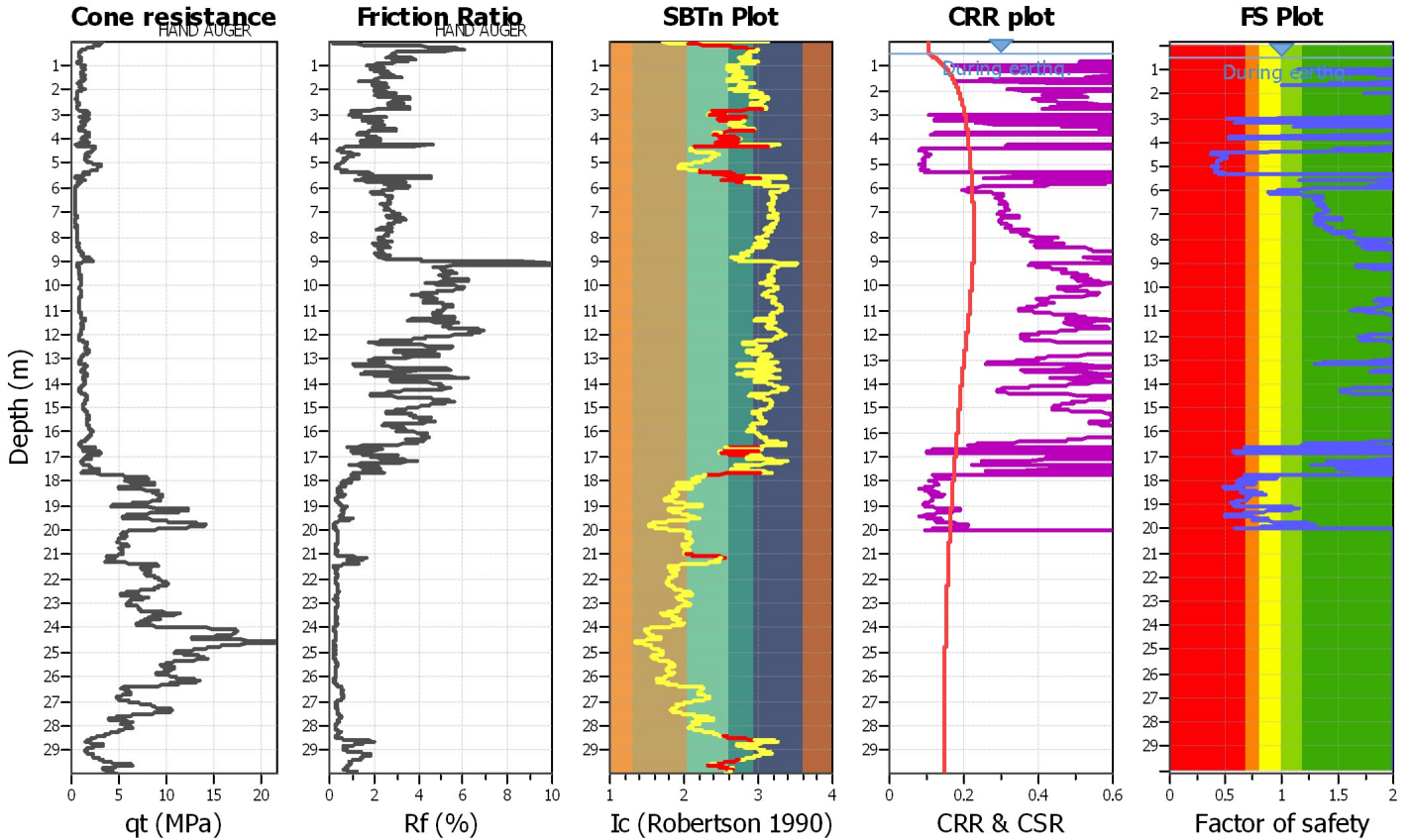
Project title : 12Morelli_I_Cortili

Location : 12Morelli_Cento_FE

CPT file : CPTU2

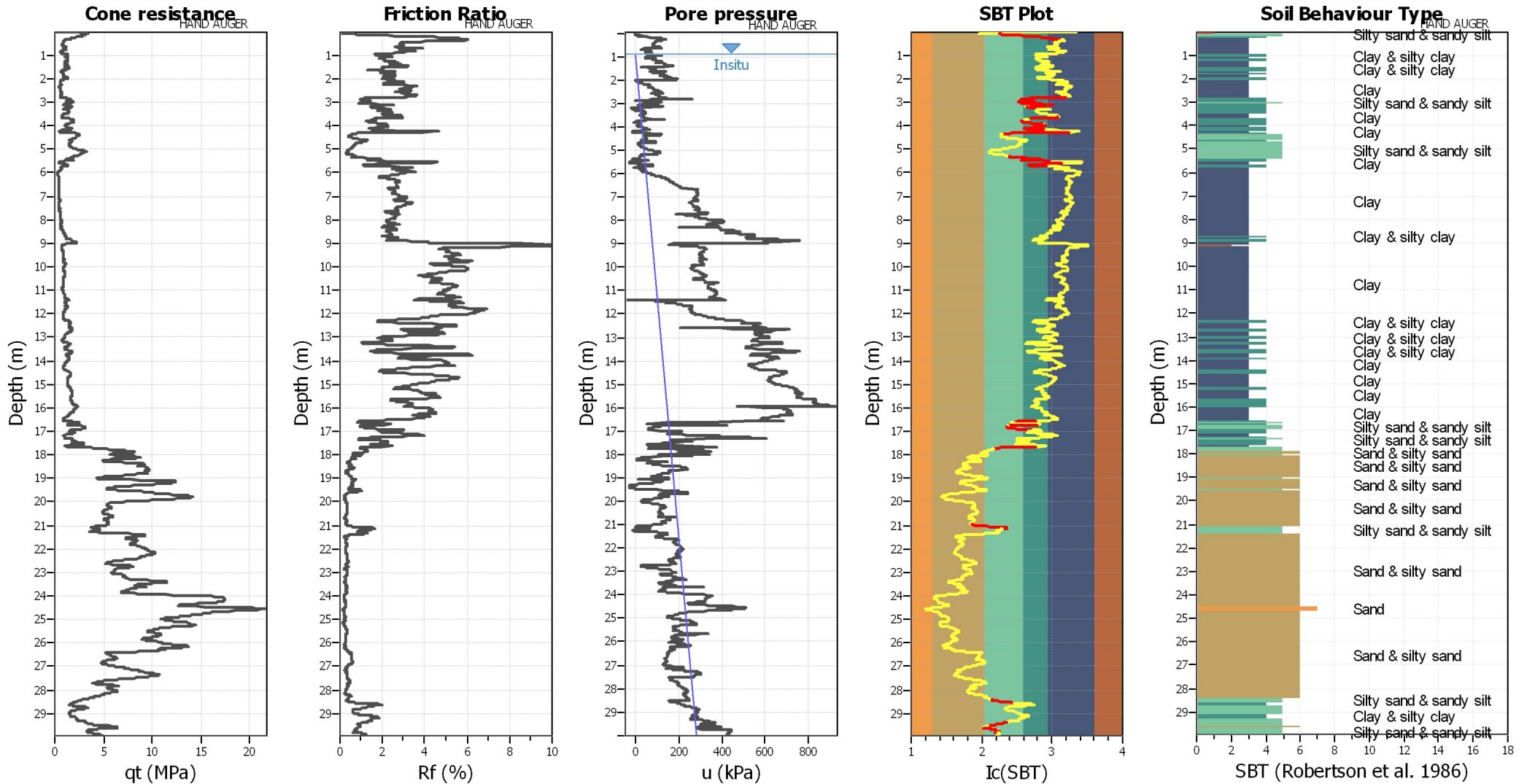
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	0.90 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	0.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



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

CPT basic interpretation plots



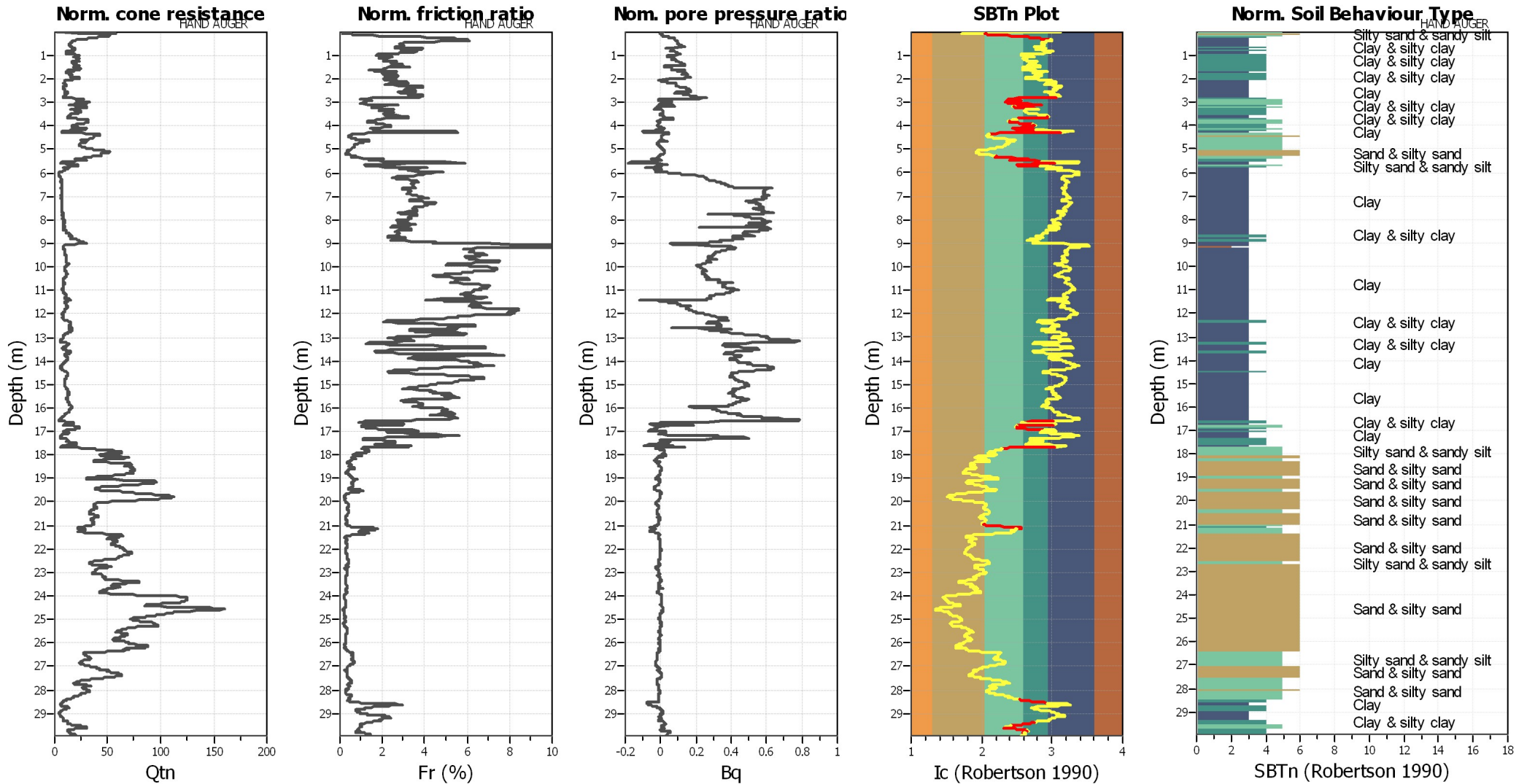
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



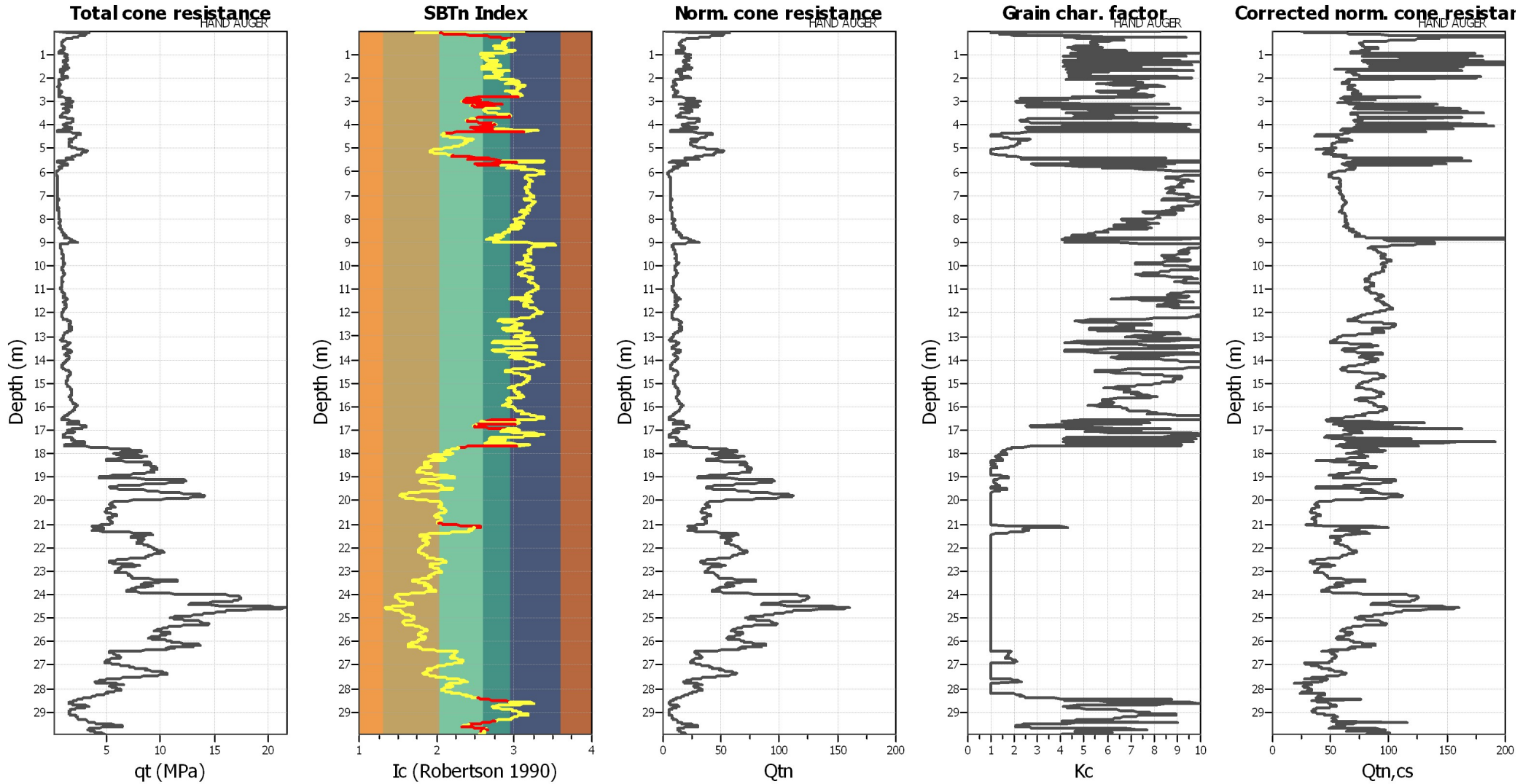
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

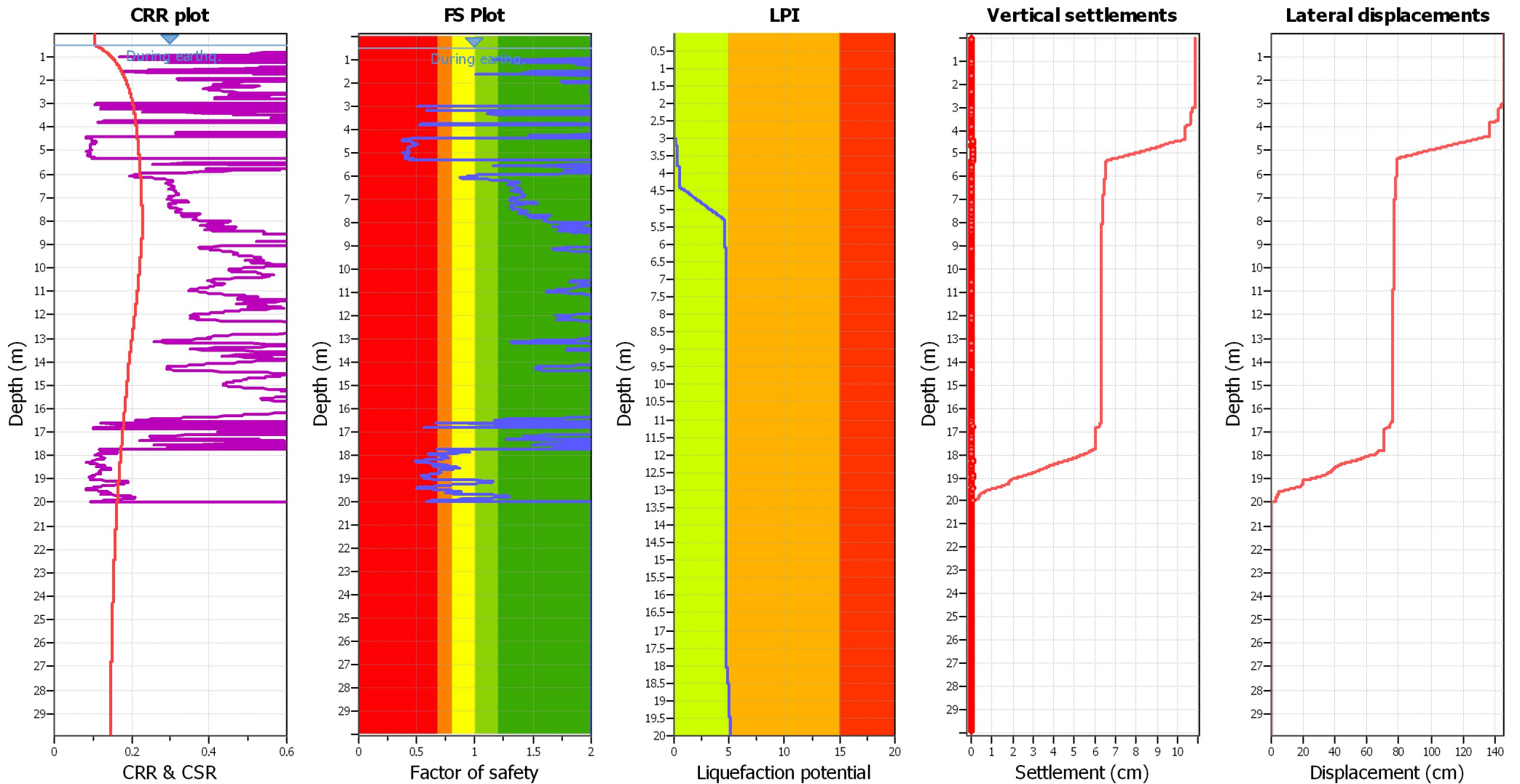
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

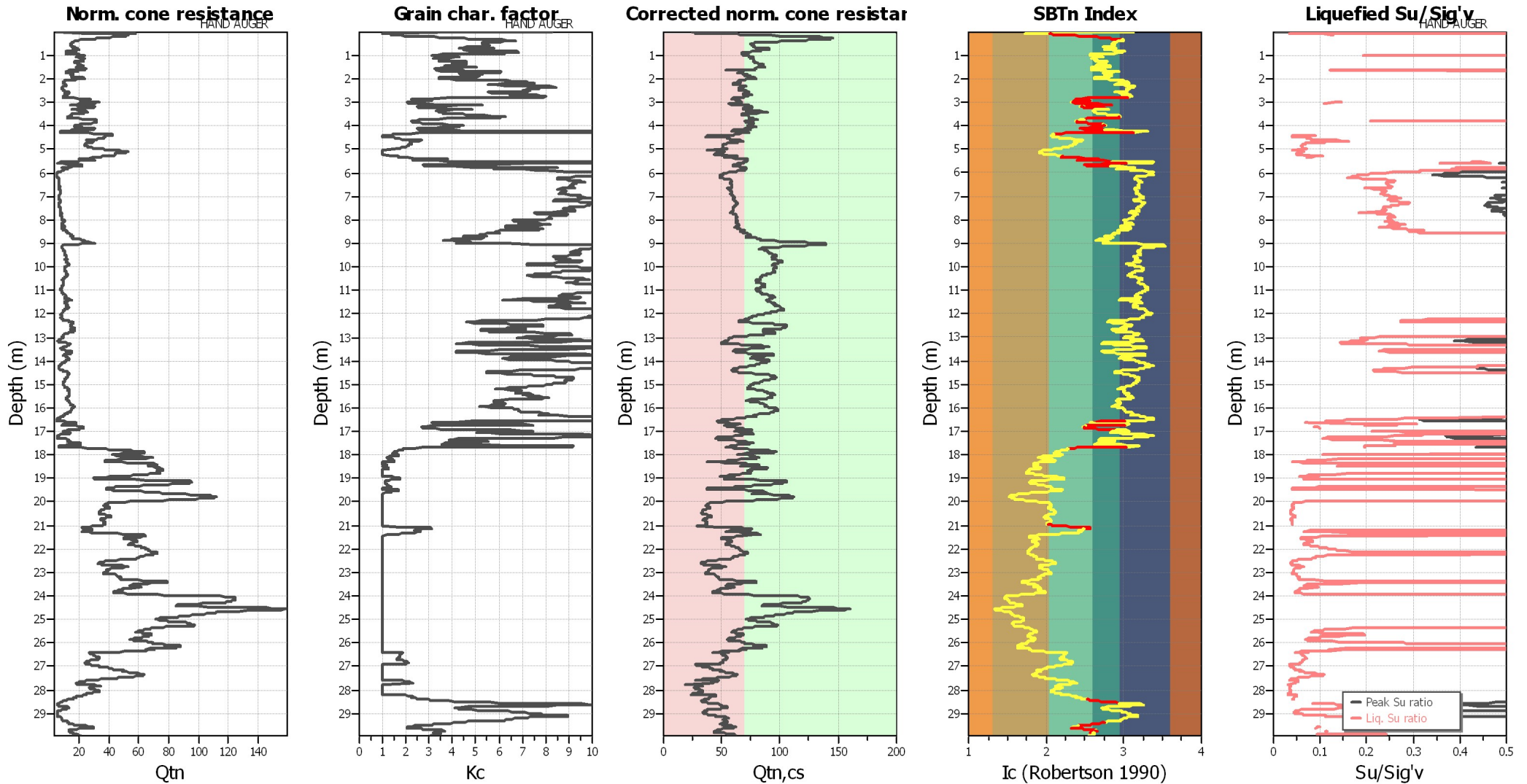
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_a applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

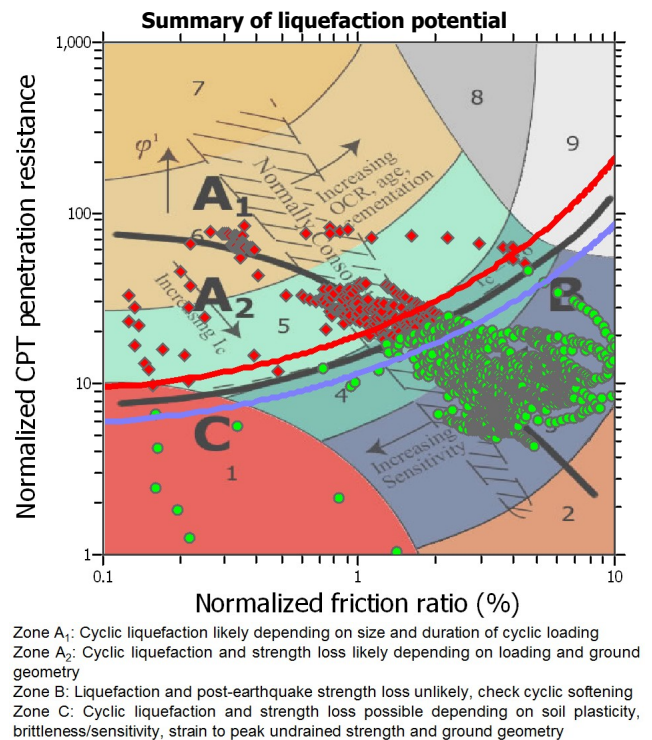
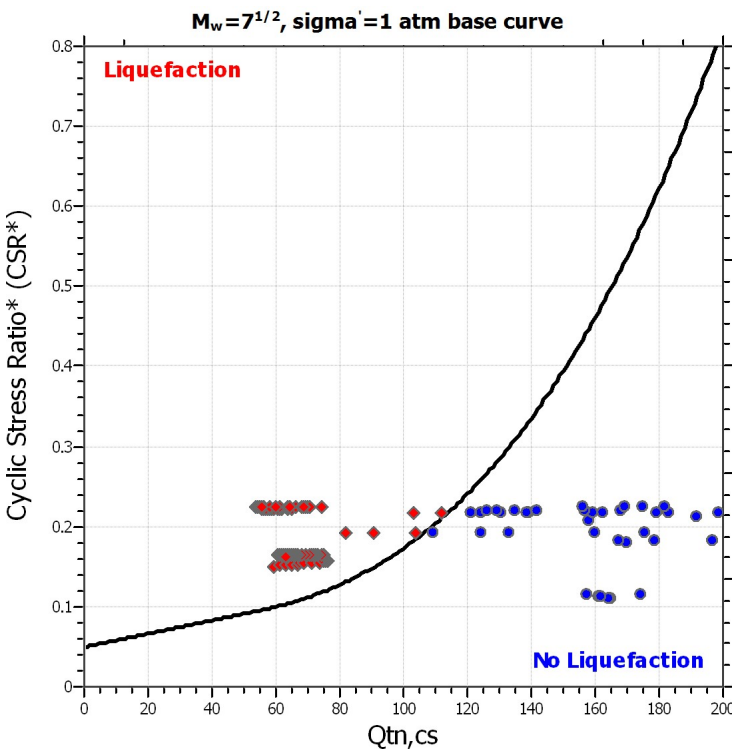
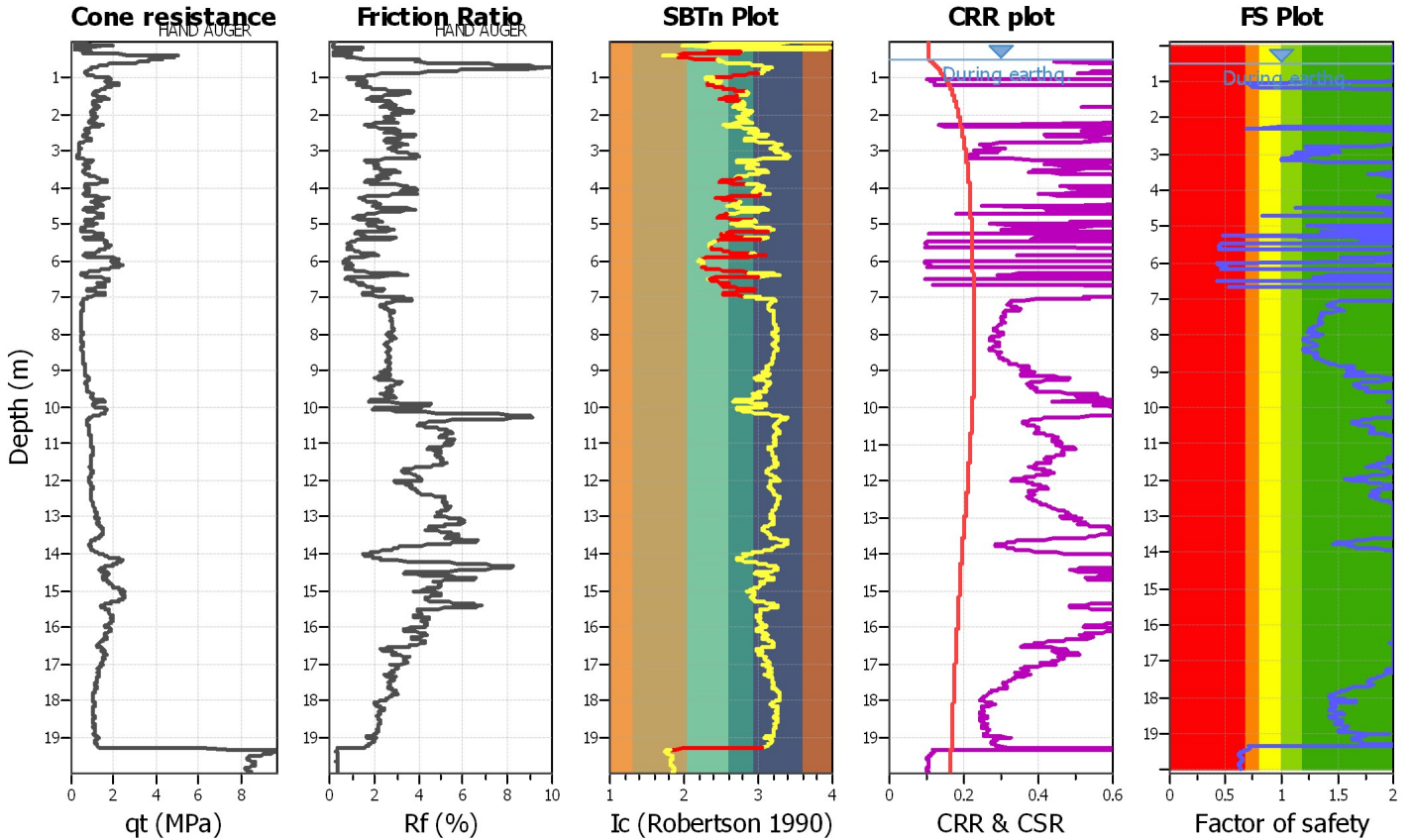
Project title : 12Morelli_I_Cortili

Location : 12Morelli_Cento_FE

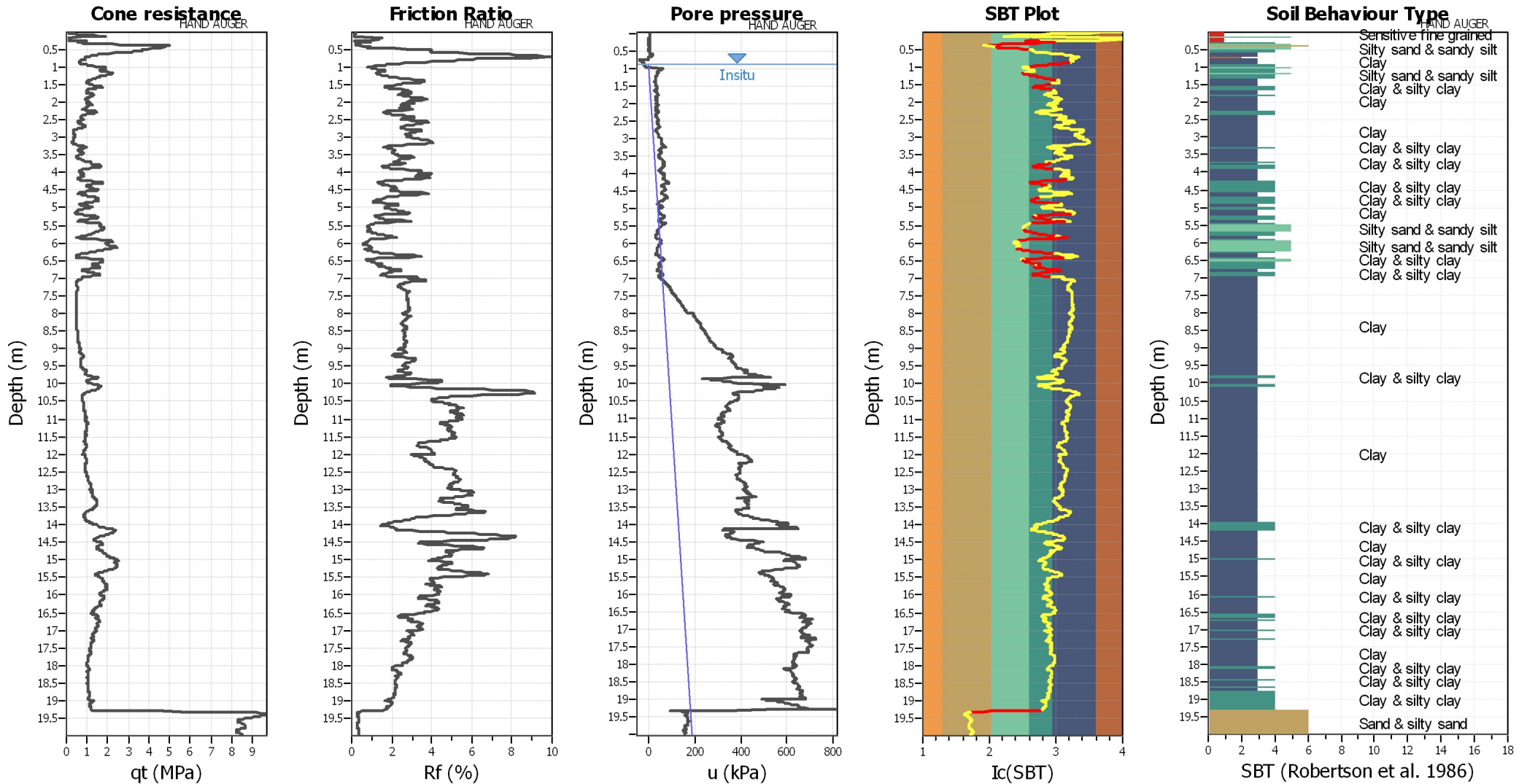
CPT file : CPTU3

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	0.90 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	0.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



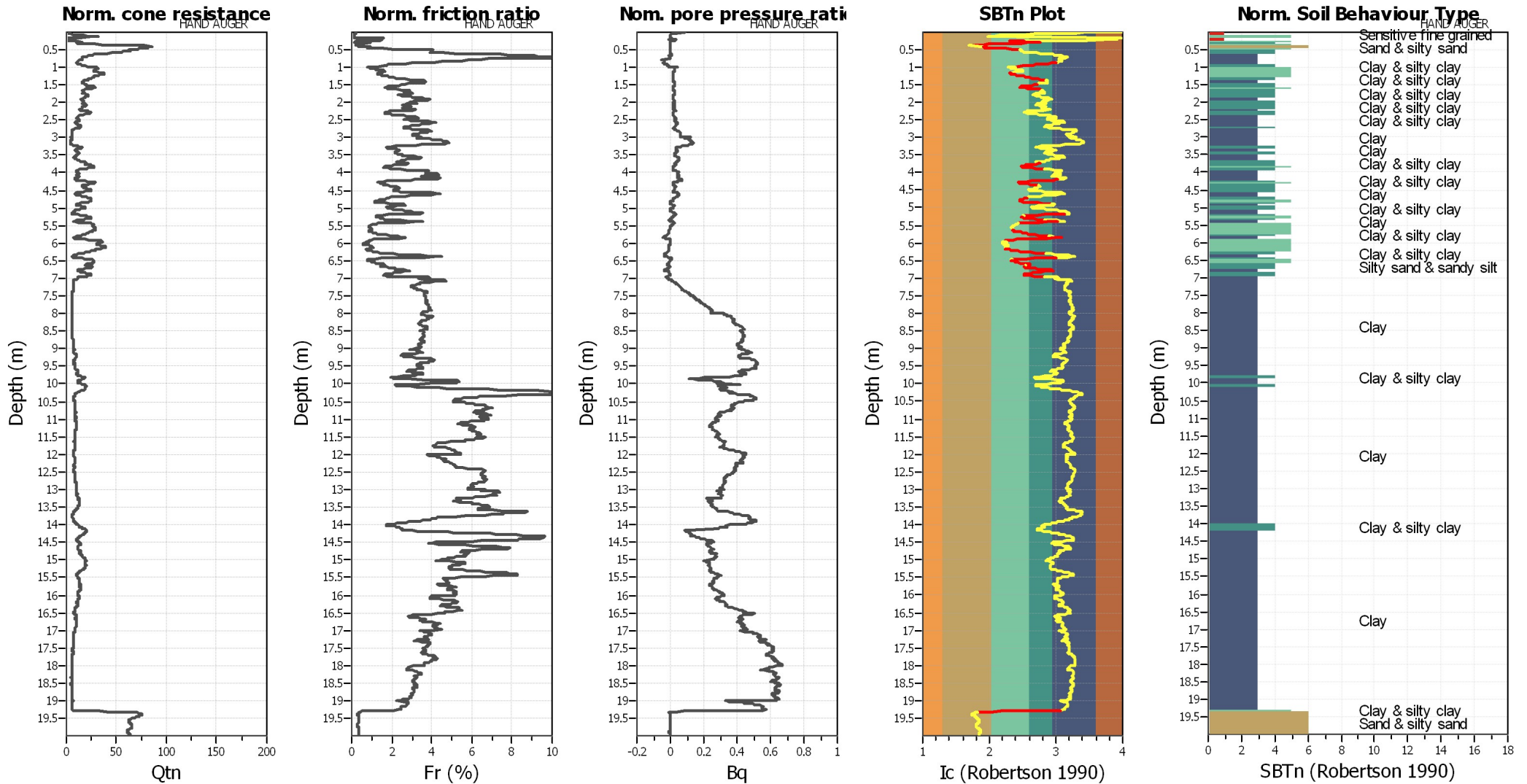
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



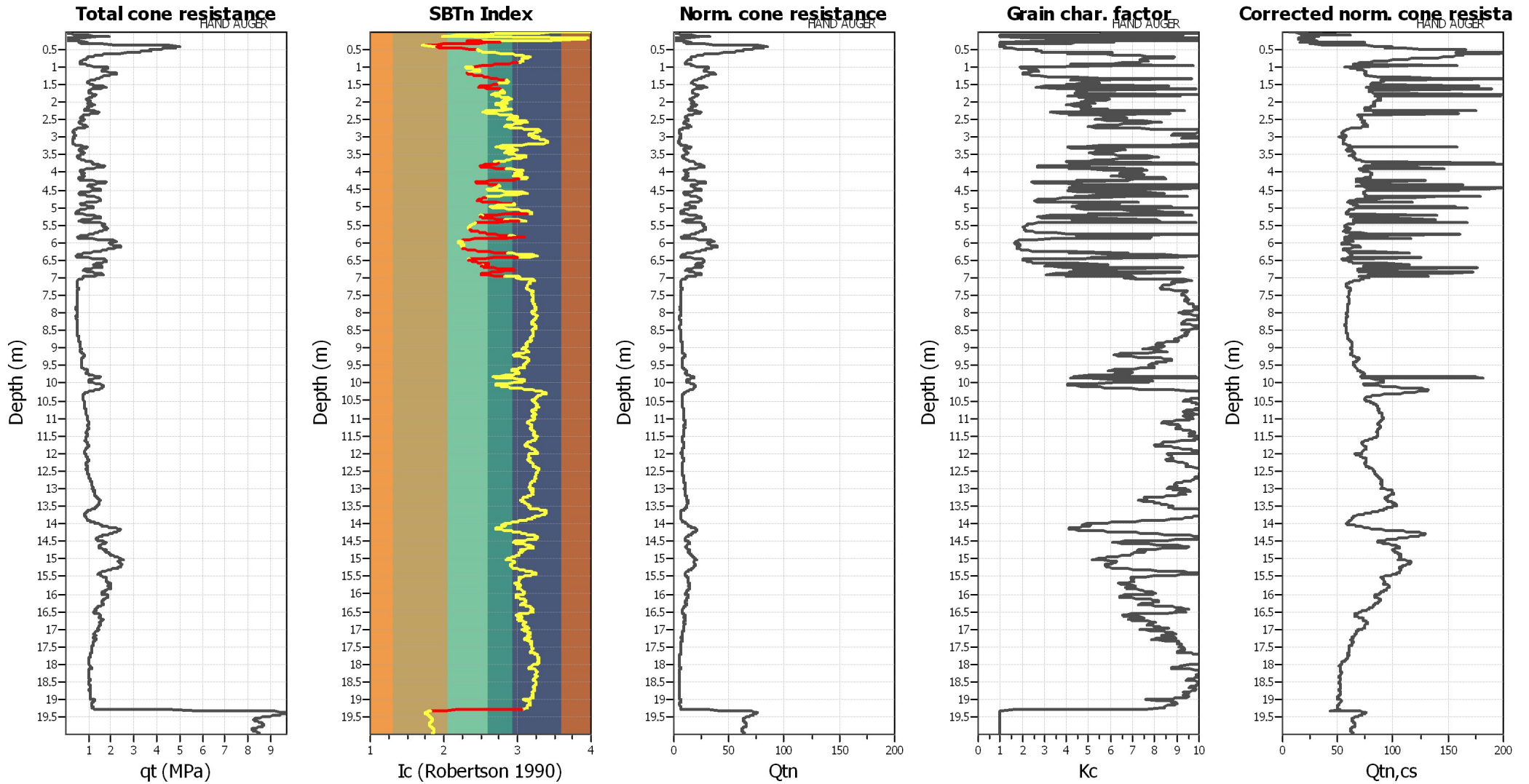
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

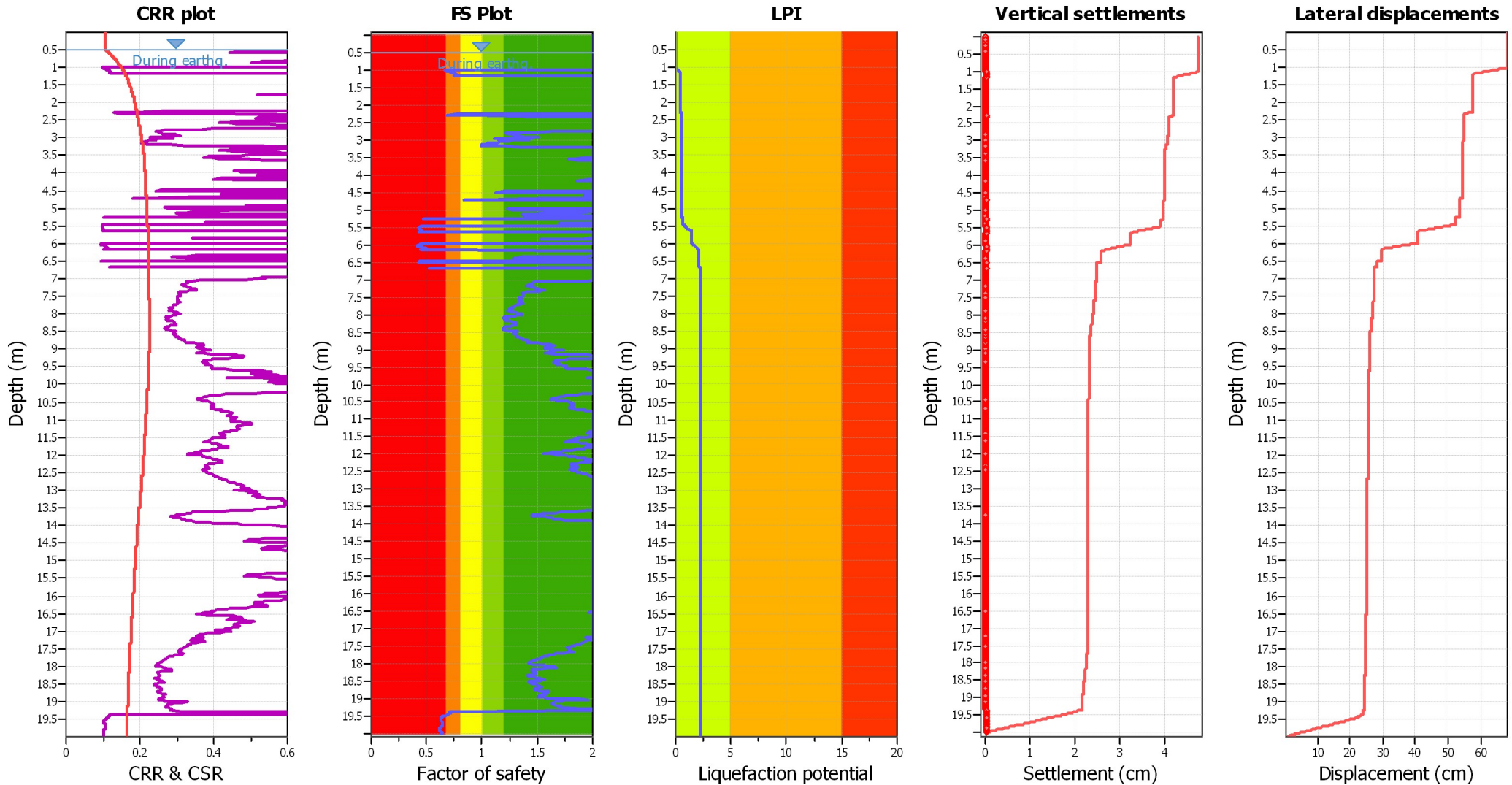
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

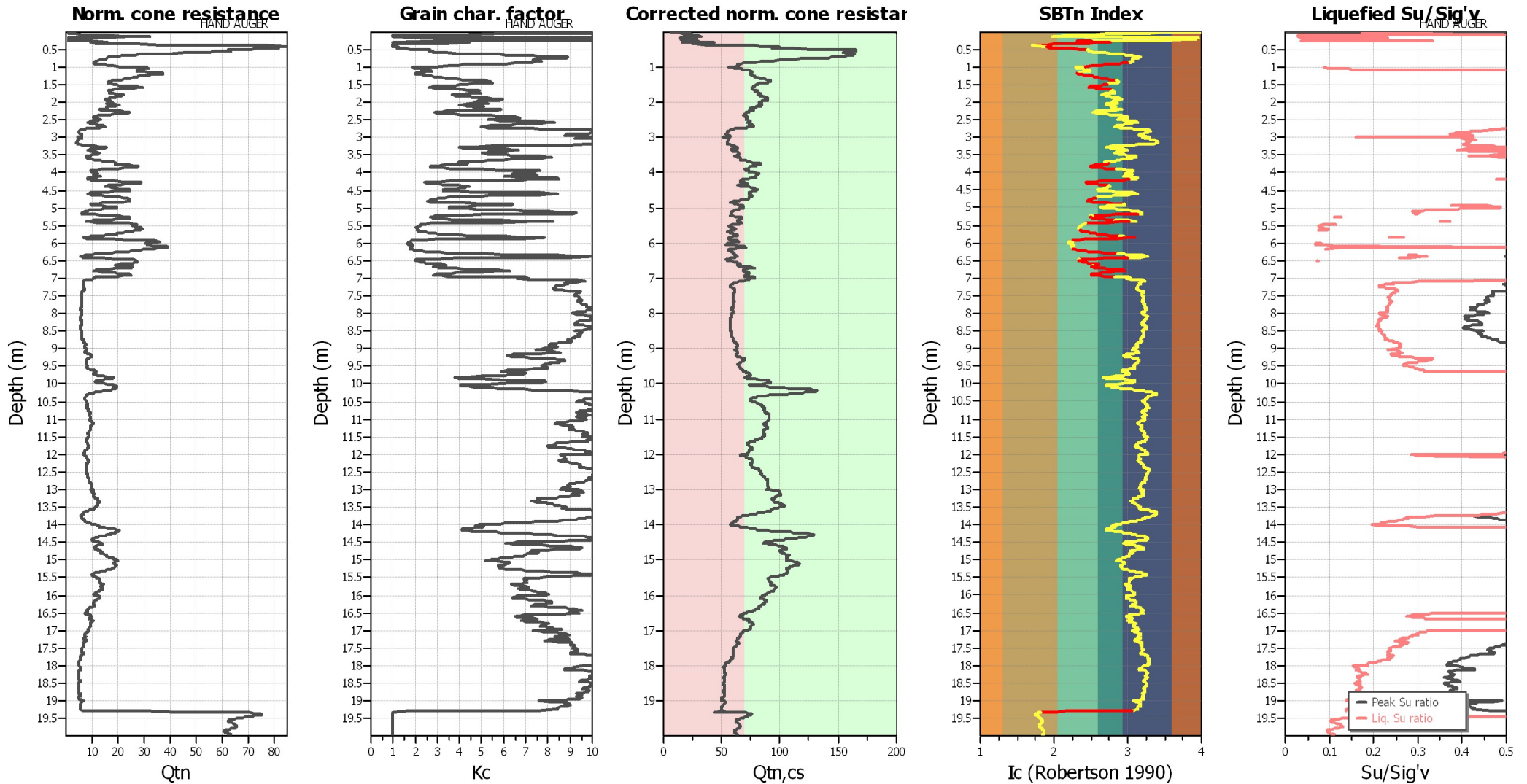
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))

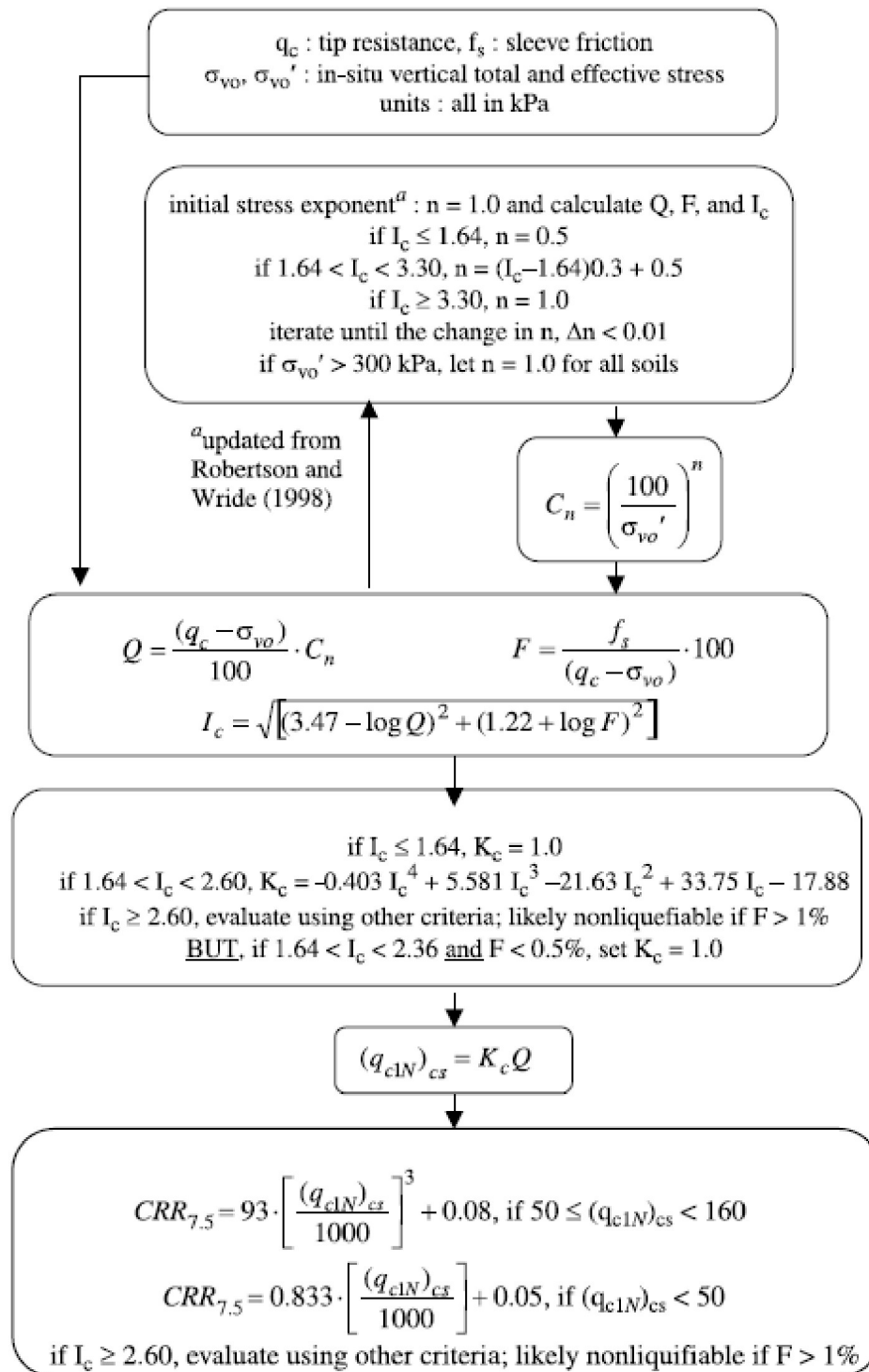


Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	0.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

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

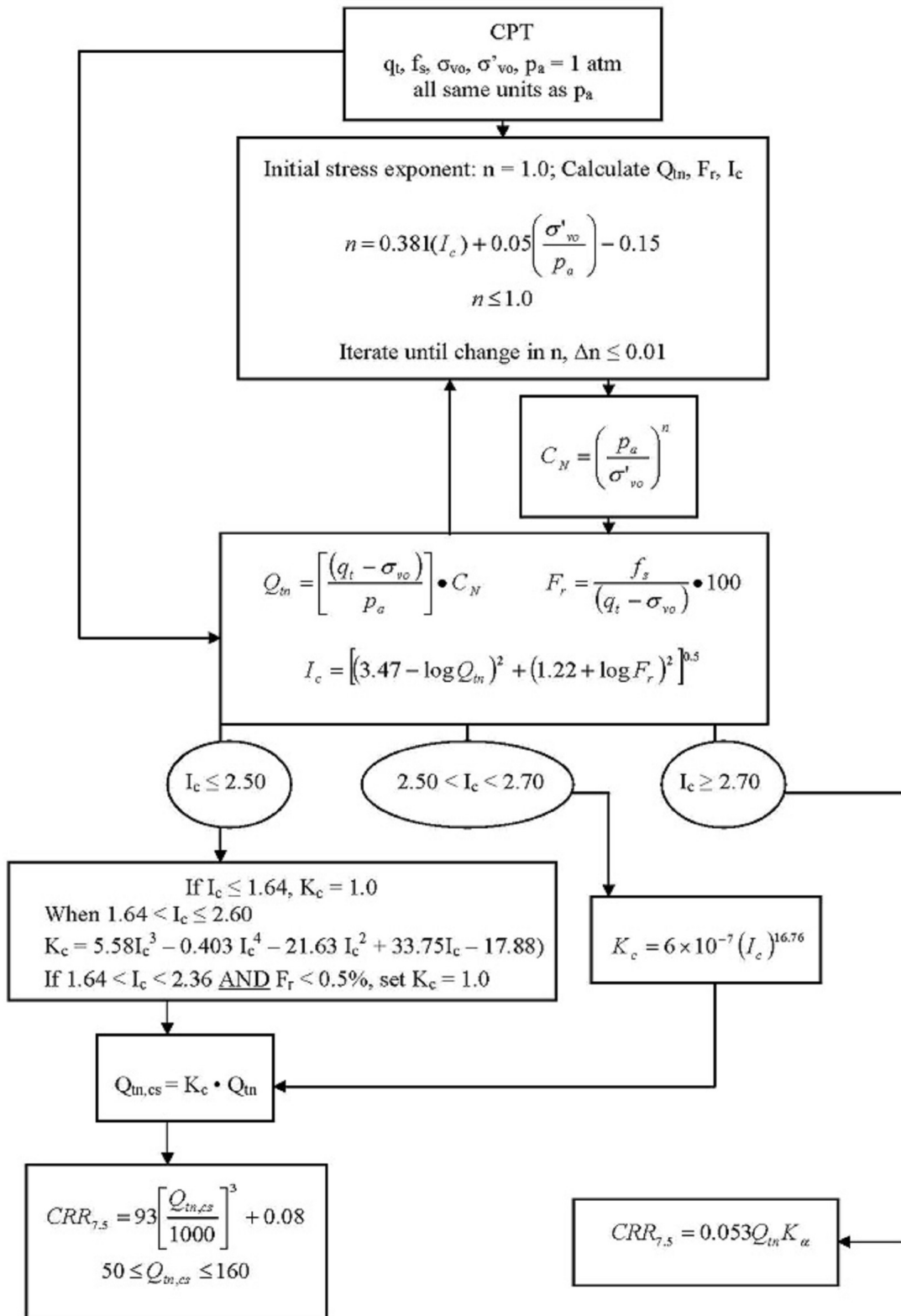
Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. The procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of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



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

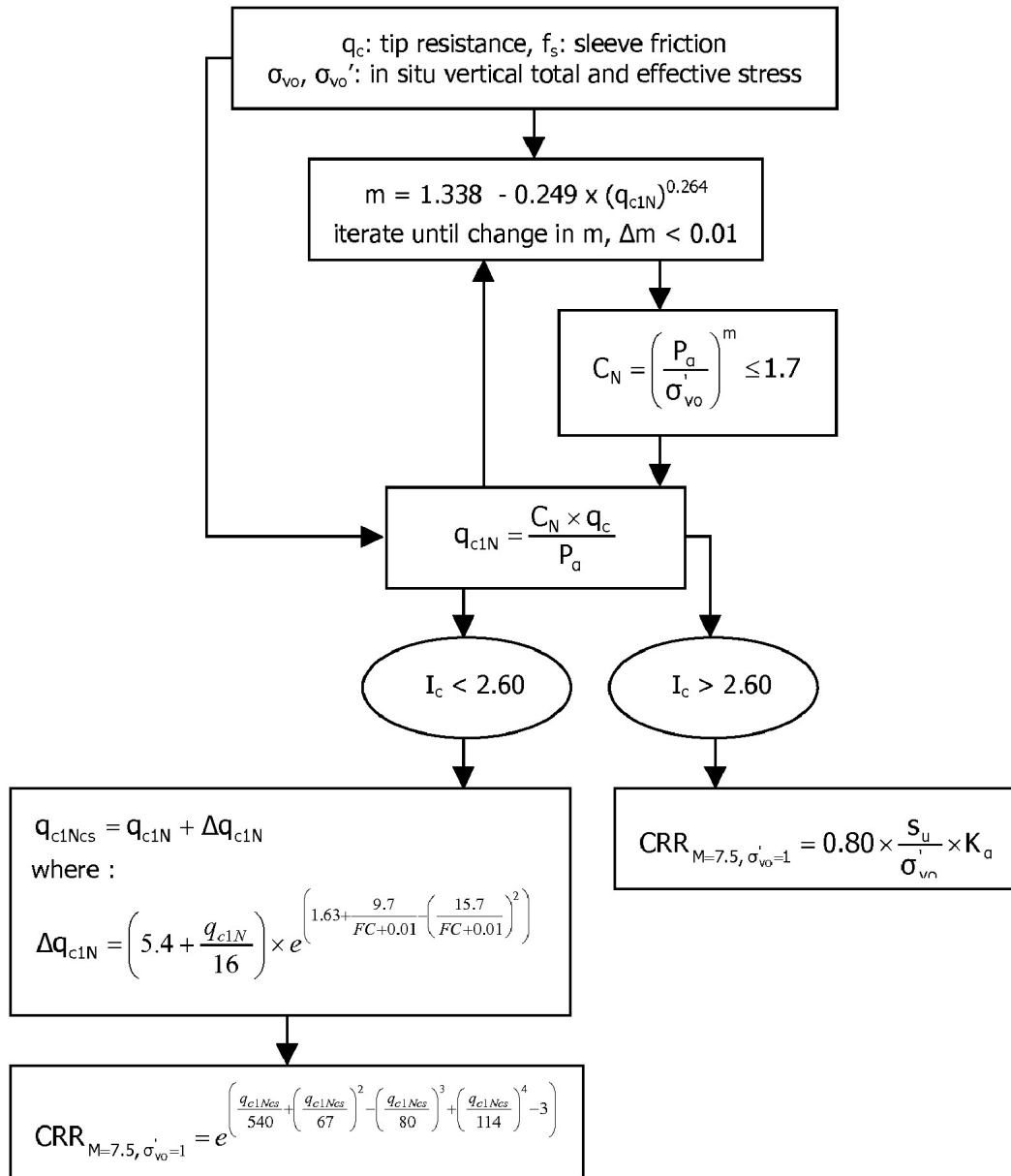
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils), Robertson (2010)

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

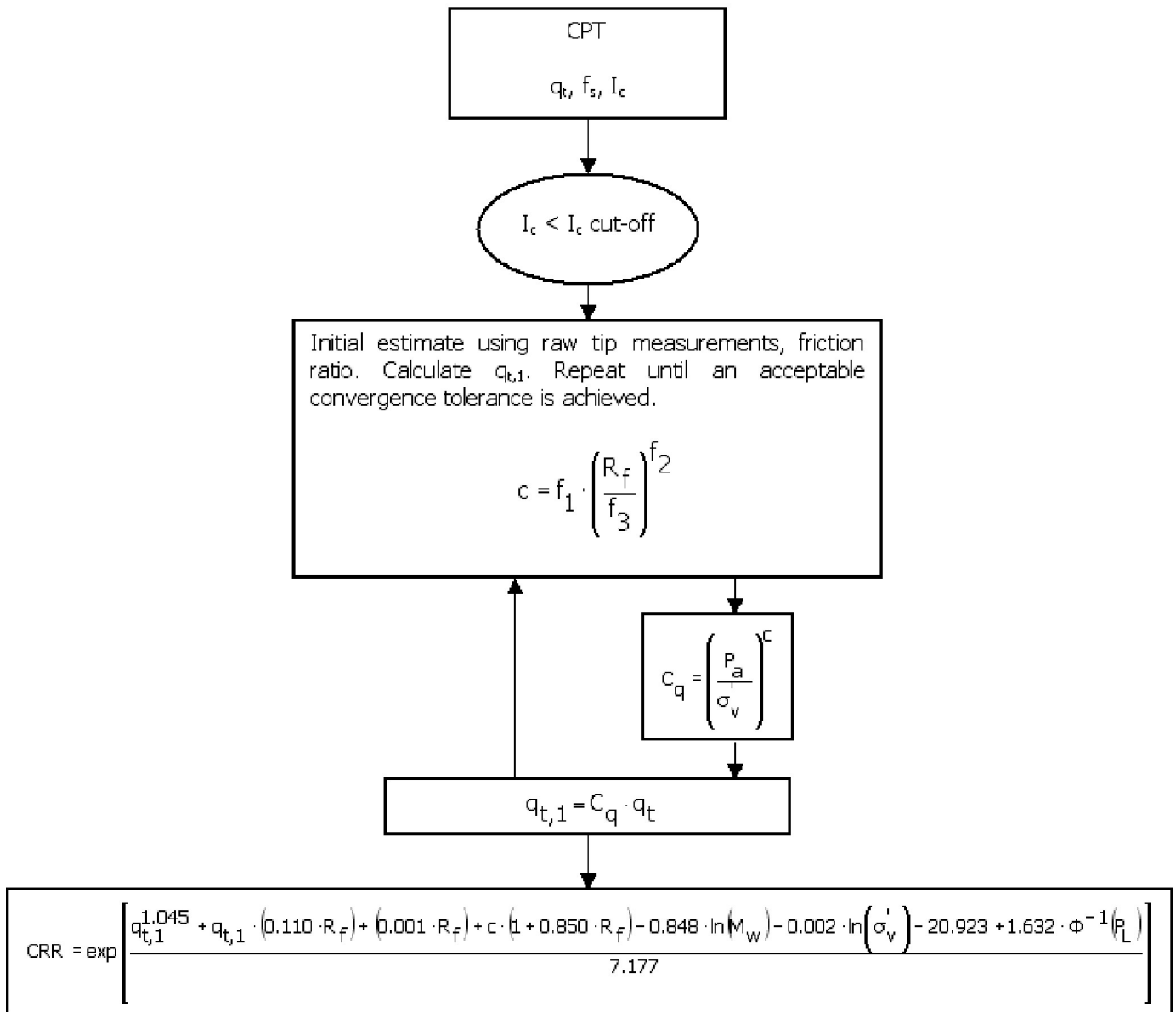


¹ P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

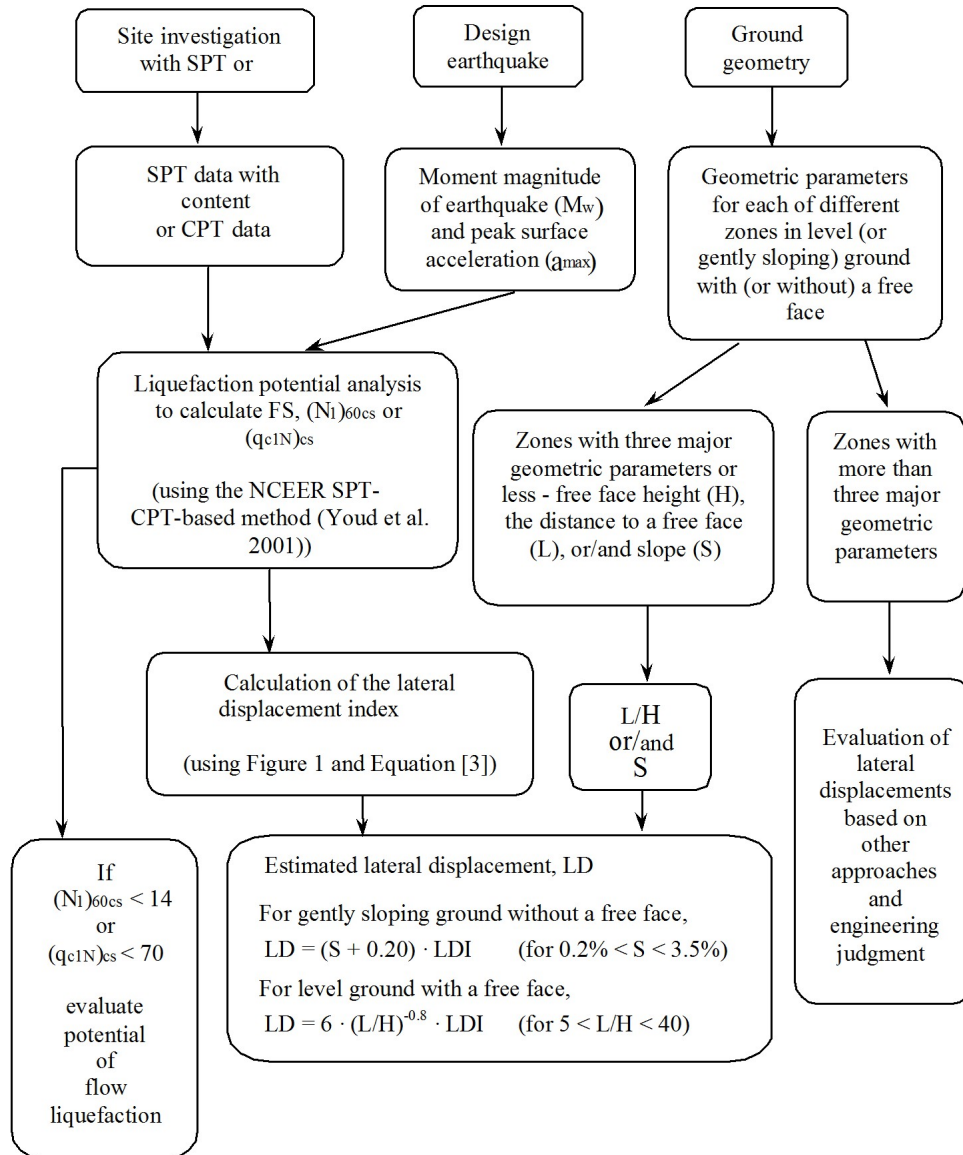
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Idriss & Boulanger (2008)



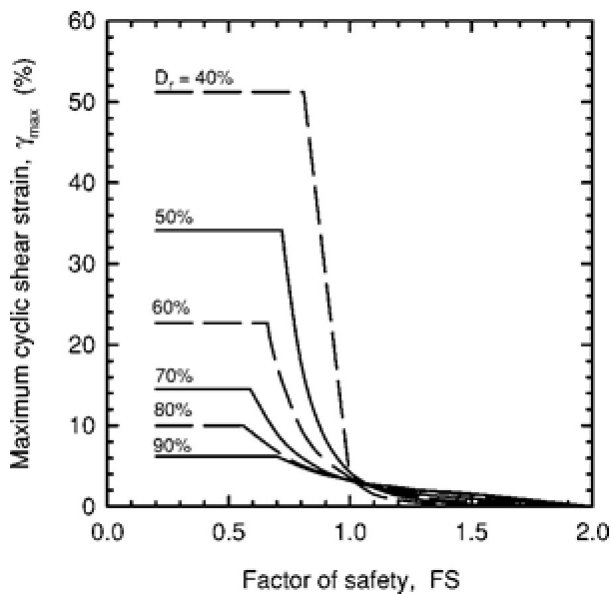
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (sandy soils), Moss et al. (2006)



Procedure for the evaluation of liquefaction-induced lateral spreading displacements



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



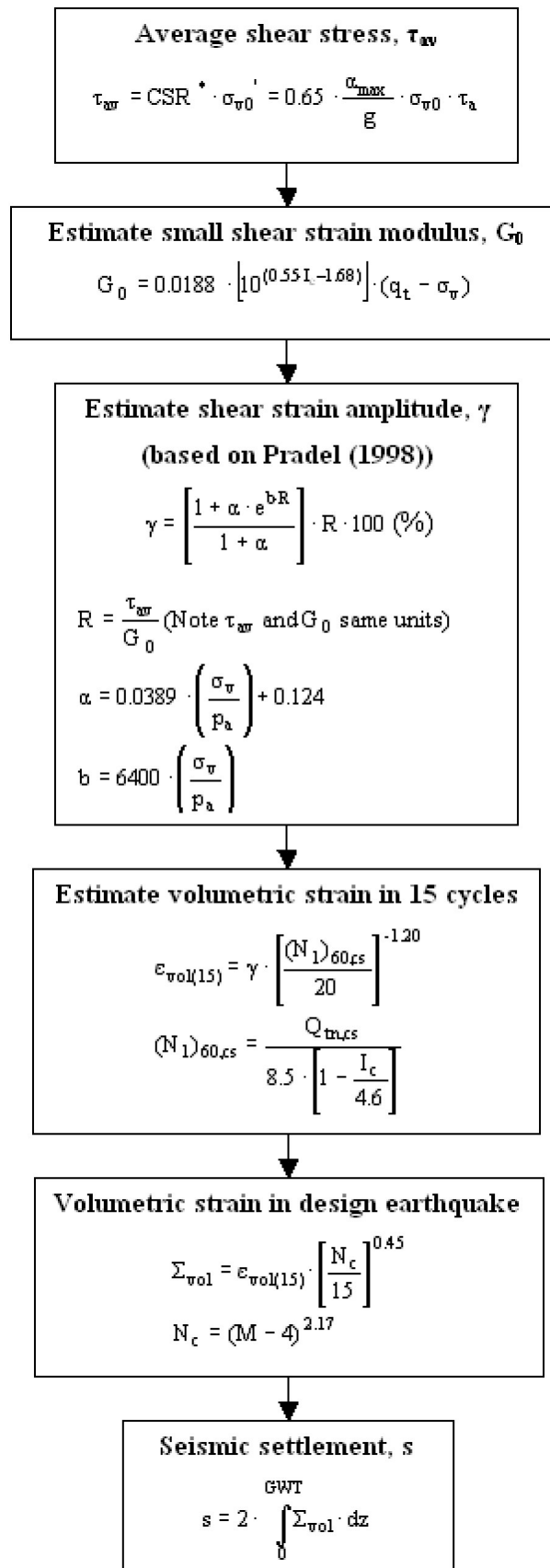
¹ Figure 1

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

¹ Equation [3]

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

Procedure for the estimation of seismic induced settlements in dry sands



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

Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

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

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

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

where:

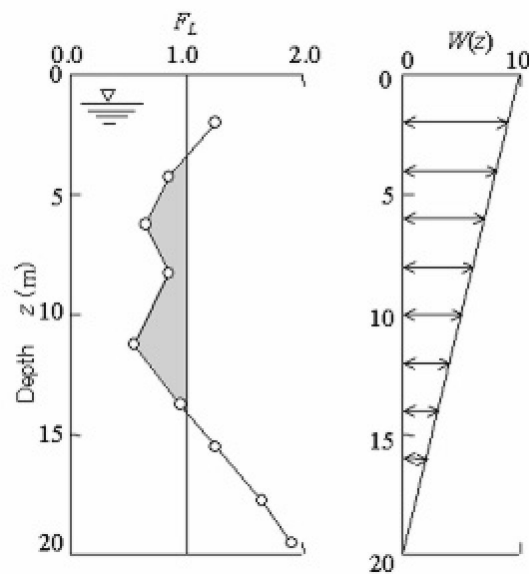
$F_L = 1 - \text{F.S.}$ when F.S. less than 1

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

z depth of measurement in meters

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

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



Graphical presentation of the LPI calculation procedure

References

- Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M 1997. Cone penetration testing in geotechnical practice, E & FN Spon Routledge, 352 p, ISBN 0-7514-0393-8.
- Boulanger, R.W. and Idriss, I. M., 2007. Evaluation of Cyclic Softening in Silts and Clays. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering June, Vol. 133, No. 6 pp 641-652
- Robertson, P.K. and Cabal, K.L., 2007, Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Available at no cost at <http://www.geologismiki.gr/>
- Robertson, P.K. 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27 (1), 151-8.
- Robertson, P.K. and Wride, C.E., 1998. Cyclic Liquefaction and its Evaluation based on the CPT Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35, August.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833
- Zhang, G., Robertson. P.K., Brachman, R., 2002, Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180
- Zhang, G., Robertson. P.K., Brachman, R., 2004, Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, 861-871
- Pradel, D., 1998, Procedure to Evaluate Earthquake-Induced Settlements in Dry Sandy Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 4, 364-368
- Iwasaki, T., 1986, Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 1, 2-70
- Papathanassiou G., 2008, LPI-based approach for calibrating the severity of liquefaction-induced failures and for assessing the probability of liquefaction surface evidence, Eng. Geol. 96:94–104
- P.K. Robertson, 2009, Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, No. 11, pp 1337-1355
- P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009
- Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, *Symposium in honor of professor I. M. Idriss*, SAN diego, CA
- R. E. S. Moss, R. B. Seed, R. E. Kayen, J. P. Stewart, A. Der Kiureghian, K. O. Cetin, CPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of In Situ Seismic Soil Liquefaction Potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 8, August 1, 2006