



**PROTEZIONE CIVILE**  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



**CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME**

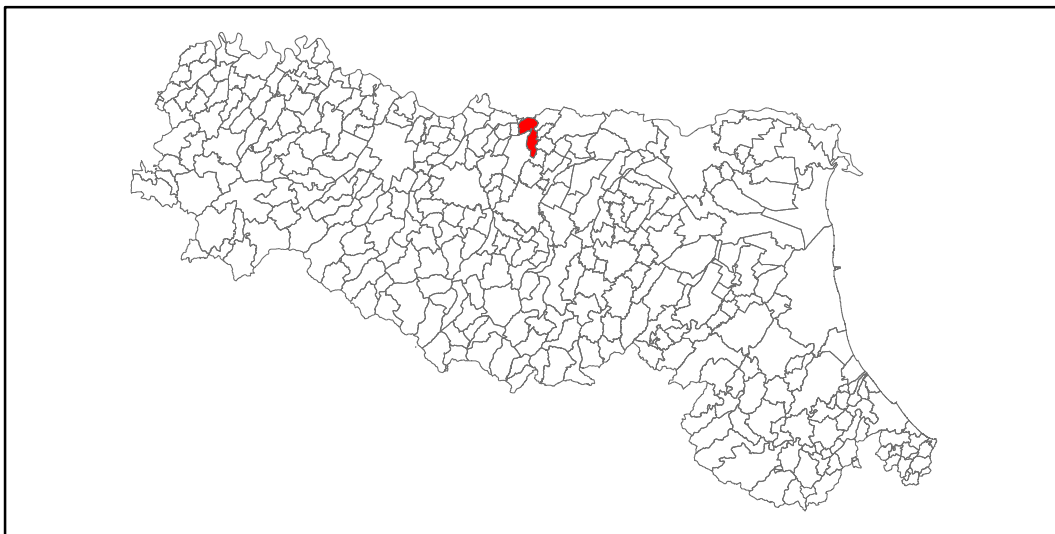
Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia – Romagna

#### Comune di Novi di Modena



Regione	Soggetto realizzatore	Data
<b>Emilia Romagna</b>	<b>Dott. Geol. Giorgio Gasparini</b>	<b>Gennaio 2022</b>

STUDIO GEOLOGICO AMBIENTALE

## **ARKIGEO**

*di Gasparini Dott. Geol. Giorgio*

Via S. Martino 4 - 41030 BASTIGLIA (MO)

Tel. /Fax : 059 – 815262

e-mail : «arkigeo@arkigeo.191.it»

C.F.: GSP GRG 54M14 A959S P. I.V.A.: 02350330367

# **MICROZONAZIONE SISMICA**

**Regione Emilia-Romagna  
Comune di Novi di Modena**

## **RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

### **INDICE RELAZIONE**

1. INTRODUZIONE .....	3
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....	7
2.1. <i>Classificazione sismica</i> .....	7
2.2. <i>Pericolosità sismica</i> .....	12
2.2.1. <i>Pericolosità di base</i> .....	13
2.2.2. <i>Pericolosità locale</i> .....	19
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA .....	22
3.1. <i>Inquadramento tettonico e strutturale</i> .....	22
3.2. <i>Inquadramento stratigrafico-litologico</i> .....	28
3.3. <i>Inquadramento morfologico</i> .....	30
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....	31
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....	32
5.1. <i>Modelli geologici</i> .....	36
6. INTERPRETAZIONE E INCERTEZZE .....	39
6.1. <i>Interpretazioni</i> .....	39
6.1.1. <i>Andamento del Bedrock sismico</i> .....	40
6.2. <i>Incertezze</i> .....	43
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....	46
7.1. <i>Prima fase</i> .....	46
7.2. <i>Seconda fase</i> .....	47



7.2.1. Primo livello di approfondimento.....	47
7.2.2. Secondo livello di approfondimento .....	48
7.2.3. Terzo livello di approfondimento.....	48
7.2.3.1. Premessa.....	48
7.2.3.2. Risposta Sismica Locale (RSL).....	49
7.2.3.3. Microzonazione del pericolo sismico ( <i>H<sub>SM</sub> Hazard Seismic Microzonation</i> ).....	66
7.2.3.4. Rischio di liquefazione.....	70
7.2.3.4.1. Indice di potenziale liquefazione ( <i>IL</i> ) .....	70
7.2.3.4.2. Liquefaction Severety Number ( <i>LSN</i> ) .....	73
7.3. Terza fase.....	73
8. ELABORATI CARTOGRAFICI .....	74
9. RAPPRESENTAZIONE DEL DANNEGGIAMENTO SUBITO DAGLI EDIFICI DI NOVI DI MODENA IN SEGUITO AL SISMA DEL 2012 IN EMILIA-ROMAGNA .....	78
9.1. Premessa.....	78
9.2. Disposizioni normative .....	78
9.3. Rappresentazione del danneggiamento .....	79
10. BIBLIOGRAFIA.....	91
11. ALLEGATI.....	94

## 1. INTRODUZIONE

Vengono qui descritti le ricerche, le analisi e gli elaborati prodotti nell'ambito dello studio finalizzato alla microzonazione sismica del territorio del Comune di Novi di Modena (MO), realizzata con il contributo OCDPC 675/2000, assegnato con Determinazione 21384/2020 del Responsabile del Servizio Geologico, sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, e in collaborazione con l'Amministrazione e con l'Unità Tecnica comunale.

Le indagini e gli studi sono stati condotti conformemente ai contenuti e agli indirizzi della:

- Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 564 del 26 aprile 2021 (*Integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).*
- Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 476 del 12 aprile 2021 (*Aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017) di cui alla delle 29 aprile 2019 n. 630).*
- Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 630 del 29 aprile 2019 (*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).*
- Gruppo di lavoro MS, 2018 "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ).* Versione 1.0. Approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- Gruppo di lavoro MS, 2022 "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni.* Versione 2.0. Approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- Gruppo di lavoro MS, 2008 "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*" approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- *Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (suppl. alla rivista Ingegneria Sismica, 2011).*
- Microzonazione sismica 2013 (Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n. 70 del 13 novembre 2012).
- *Microzonazione sismica – Standard di archiviazione e rappresentazione informatica.* Versione 4.2 (dicembre 2020) - Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907).

Il territorio del Comune di Novi di Modena si estende su una superficie di circa 51,82 Km<sup>2</sup>

nella bassa pianura modenese (Figure 1 e 2) ed è in parte delimitato nella zona SE dal corso del F. Secchia.

Novi confina con i comuni di Moglia (MN), a Nord, di Concordia (MO), Cavezzo (MO) e San Possidonio (MO), a est (Mirandola, San Possidonio e Novi di Modena), di Carpi (MO), a sud e ad ovest, e di Rolo (RE), a ovest. Le quote sul livello del mare sono comprese all'incirca tra 17 e 25 m.

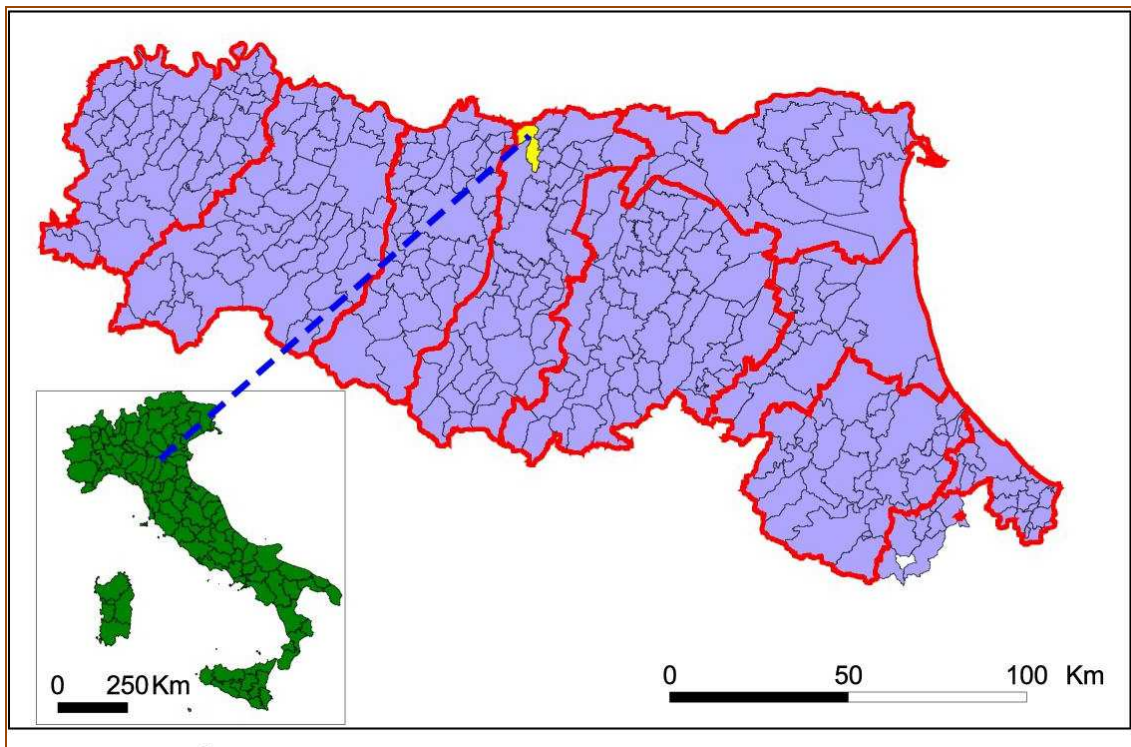


Figura 1 – Inquadramento regionale del territorio del Comune di Novi di Modena.

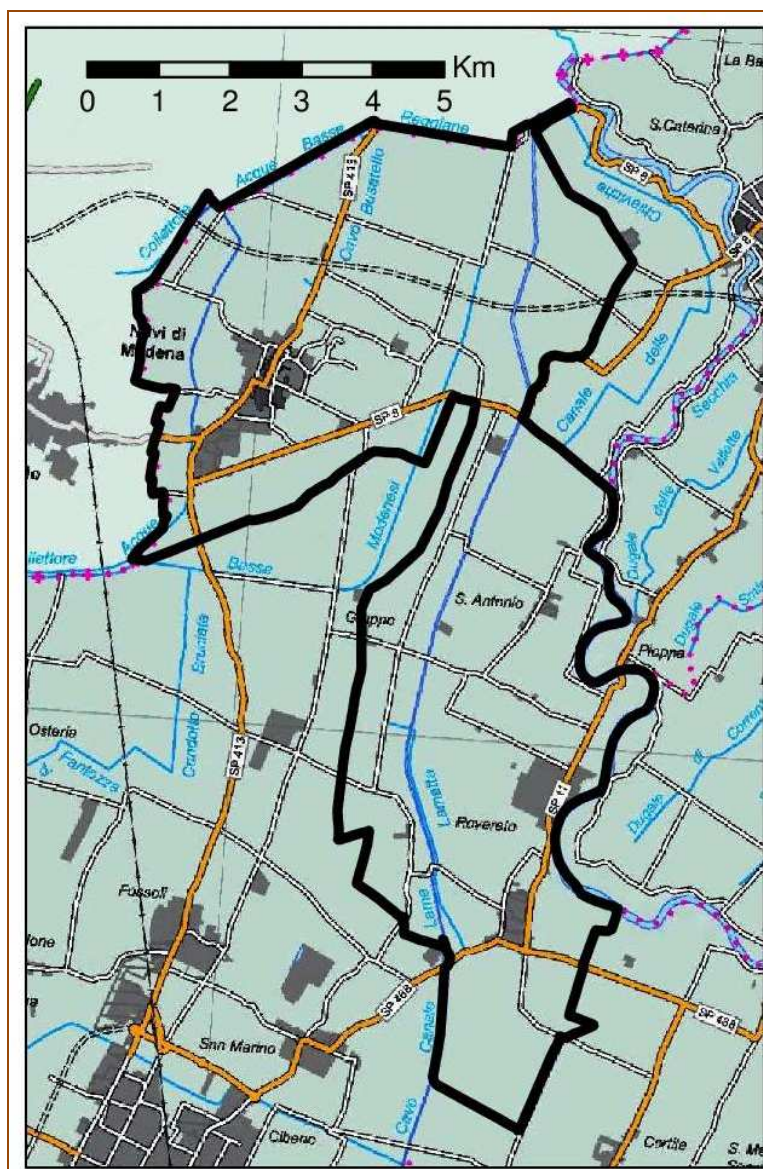


Figura 2 – Comune di Novi di Modena. (Base topografica: estratto con inserti grafici da: Provincia di Modena - Carta del territorio alla scala 1:100.000, versione 2014).

Dal punto di vista cartografico, il territorio comunale è rappresentato nelle Tavole alla scala 1:25.000 della Carta Topografica Regionale nn. 183NE e 183SE e nelle Sezioni alla scala al 10.000 della Carta Tecnica Regionale nn. 183070, 183080, 183110, 183120, 183150 e 183160.

Per la redazione delle tavole cartografiche si è fatto riferimento alla Carta Tecnica Regionale, utilizzando tuttavia non le Sezioni, ma gli elementi alla scala 1:5000, nella versione del 2013 (DBTR2013).

Il presente studio rappresenta l'adeguamento cartografico (con ampliamenti) agli standard di archiviazione informatica e cartografici per la Microzonazione Sismica della Protezione Civile versione 4.2 del dicembre 2020 dello studio che venne condotto dalla Regione Emilia Romagna nel 2013 (Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n. 70 del 13 novembre 2012) a seguito del sisma del maggio-giugno 2012.

Sono state pertanto prese in considerazione sia le indagini che furono utilizzate per il citato

studio regionale, ma anche il gran numero di indagini, reperite presso l'archivio comunale, allegate alle numerose pratiche sismiche presentate all'indomani della sequenza sismica del 2012.

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1. *Classificazione sismica*

Il Comune di Novi è classificato sismico in zona 3 (Figura 3).

La mappa regionale della pericolosità di base (Figura 5, mappa in alto) assegna alla gran parte del territorio di Novi valori dell'accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ )<sup>1</sup> di  $0,125g \div 0,150g$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A di cui al DM 17.01.2018). Solo a una piccola porzione meridionale del territorio sono ascritti<sup>2</sup> valori di  $a_{max}$  di  $0,150g \div 0,175g$ .

La mappa regionale della pericolosità di base realizzata tenendo conto anche delle sorgenti sismogenetiche note (Figura 5, mappa in basso) assegna al comune di Novi valori di  $a_{max}$  relativamente più alti, dell'ordine di  $0,150g \div 0,175g$  e, per la porzione a sud,  $0,175g \div 0,200g$ .

Le registrazioni accelerometriche effettuate durante la sequenza sismica del maggio-giugno 2012 mostrano che i valori indicati nelle mappe di pericolosità di base sono risultati inferiori rispetto allo scuotimento effettivamente avvenuto in corrispondenza di alcune stazioni di misura (Mirandola ad esempio) (Figura 4).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con DM 14 Gennaio 2008 e successivamente aggiornate con DM 17 gennaio 2018, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva solo ai fini progettuali: per ciascuna zona - e quindi territorio comunale - precedentemente veniva infatti fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Dal 1 Luglio 2009 per ogni costruzione ci si deve rifare a un'accelerazione di riferimento di sito individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera.

Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini comunali.

---

<sup>1</sup> In altre sedi è possibile che l'accelerazione massima al suolo sia indicata sia con la sigla  $a_{max}$  ma anche con PGA (peak ground acceleration, lett. accelerazione di picco al suolo).

<sup>2</sup>Nelle medesime condizioni: 10% di eccedenza in 50 anni e suolo di categoria A.



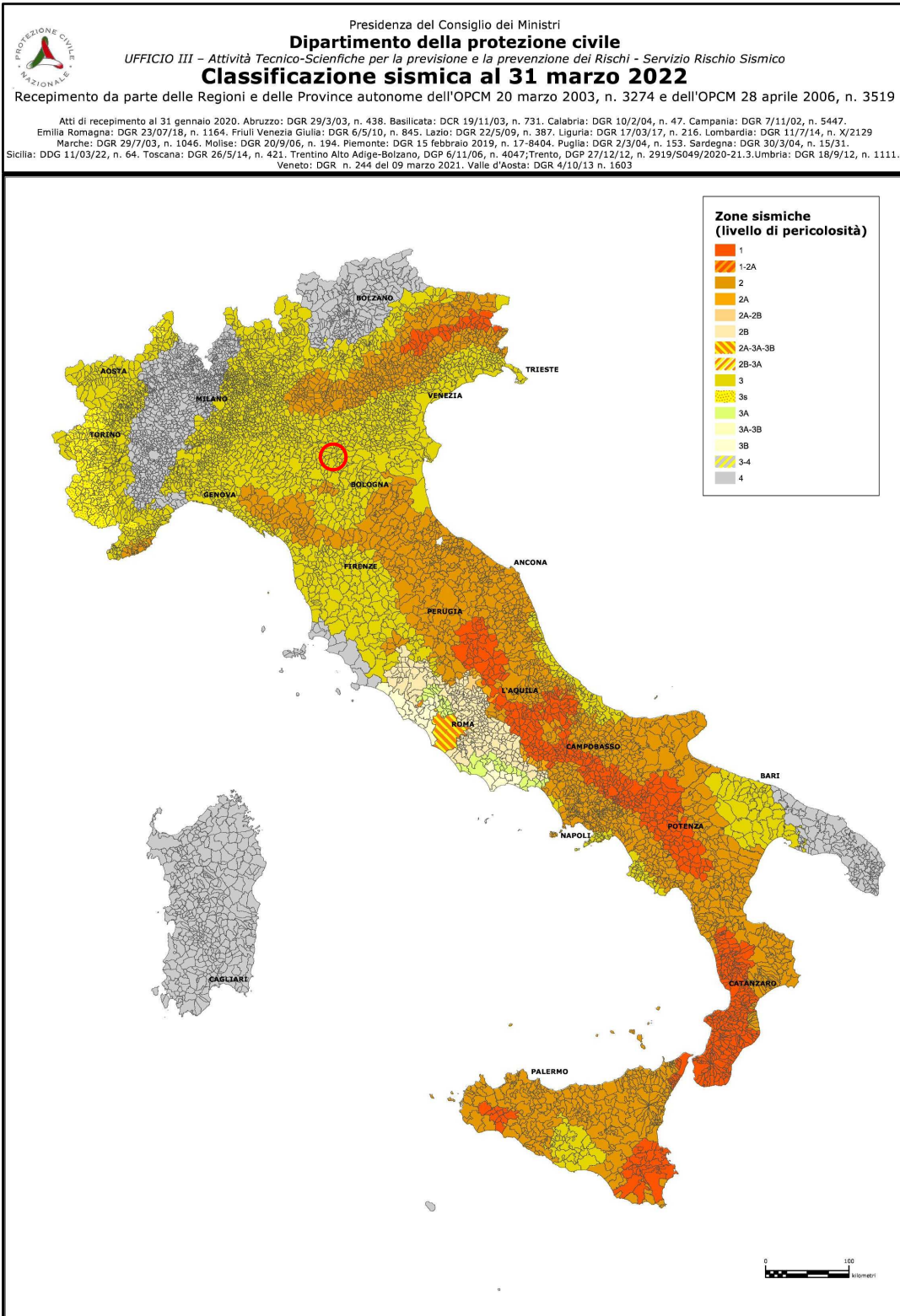


Figura 3 – Classificazione sismica del territorio italiano (Il cerchio rosso individua l'ubicazione dell'area in studio). Fonte: <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico/attivita/classificazione-sismica>

Sigla	Nome stazione	Comune	PGA <sub>max</sub> (PGA/g)	Evento (M <sub>L</sub> )	D
CAS0	Castelmassa	Castelmassa (RG)	130.000 (0.133)	29/5/2012 07.00.03 (5.8)	26.3
CRP	Carpi	Carpi	140.000 (0.143)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	16.0
FIN0	Finale Emilia	Finale Emilia	122.322 (0.125)	23/5/2012 21.41.18 (4.3)	5.1
MOG0	Moglia	Moglia (MN)	240.000 (0.245)	29/5/2012 07.00.03 (5.8)	16.4
			216.634 (0.221)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	9.0
MRN	Mirandola	Mirandola	303.300 (0.309)	20/5/2012 02.03.52 (5.9)	13.2
			205.155 (0.209)	20/5/2012 03.02.50 (4.9)	3.3
			900.000 (0.917)	29/5/2012 07.00.03 (5.8)	3.6
			155.342 (0.158)	29/5/2012 08.27.23 (4.7)	4.4
			197.267 (0.201)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	4.4
			250.960 (0.256)	29/5/2012 11.00.25 (5.2)	9.1
NVL	Novellara	Novellara	134.292 (0.137)	29/5/2012 10.55.57 (5.3)	22.4

Tab. 6.1.2. Stazioni accelerometriche che hanno registrato PGA superiori a  $100 \text{ cm s}^{-2}$  nel corso della crisi sismica del Maggio 2012 (dal Bollettino della Rete Accelerometrica Nazionale a cura del Dipartimento della Protezione Civile. PGA<sub>max</sub> = massima accelerazione del terreno registrata (in  $\text{cm s}^{-2}$  e, tra parentesi, rispetto all'accelerazione di gravità,  $g = 981 \text{ cm s}^{-2}$ ), M<sub>L</sub> = magnitudo del terremoto che ha prodotto la PGA<sub>max</sub>, D = distanza della stazione dall'epicentro (km). La data dell'evento è seguita dal tempo origine della scossa (ora, minuti e secondi).

Figura 4 Stazioni accelerometriche che hanno registrato PGA superiori a  $100 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$  durante la crisi sismica del maggio-giugno 2012 (da Mantovani et alii -2013).

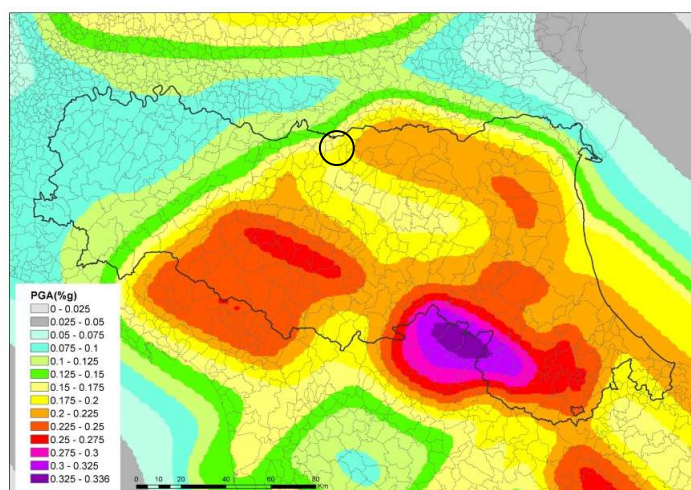
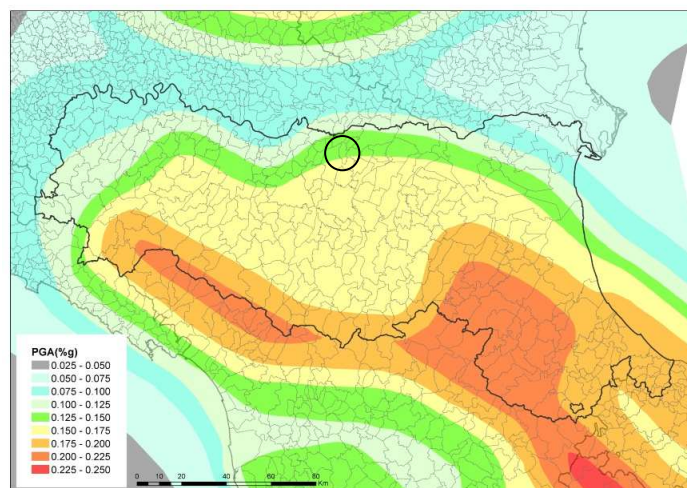


Figura 5 – In alto: Mappa di pericolosità sismica di base MPS04 (OPCM 3519/2006) per l'Emilia-Romagna e aree limitrofe (per TR=475 anni); in basso: Mappa di pericolosità sismica di base per l'Emilia-Romagna e aree limitrofe (per TR=475 anni), elaborata sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismogenetiche (Martelli et al., 2017b). (Fonte di entrambe le immagini: <https://webbook.arpae.it/indicatore/Pericolosit-sismica-di-base-Pb-00001/?espandi=grafici>).

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del Comune) mantiene una sua



utilità, come per il caso della Microzonazione Sismica, a livello di gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli Enti preposti (Regione, Genio Civile, ecc.).

Per quanto riguarda la classificazione sismica, in riferimento agli effetti macrosismici osservati (*Scala Mercalli Cancani Sieberg*), si riporta la carta, per l'Emilia Romagna, delle massime intensità attese dove si può notare che per il Comune di Novi l' $I_{max}$  raggiunge il 7° grado.

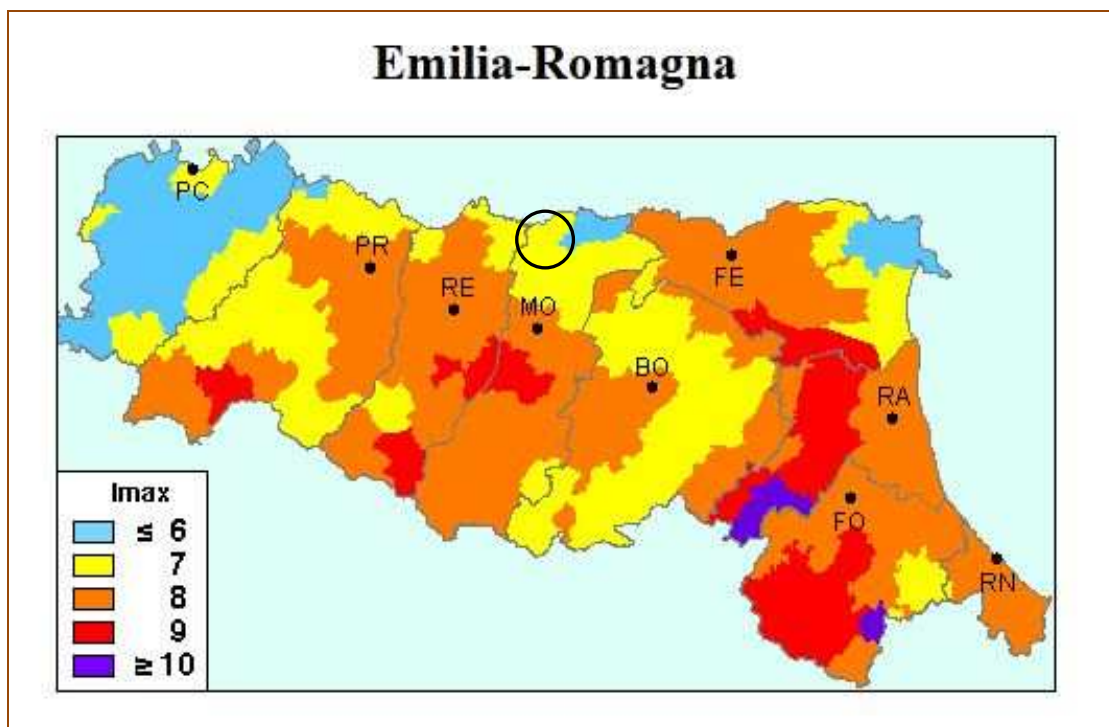


Figura 6 – Massime intensità macrosismiche.

Va segnalato in proposito la proposta avanzata in Mantovani et alii, 2013 dove al territorio di Novi viene attribuito l'VIII° della scala MCS. Si riportano, al riguardo, la mappa dell'Emilia-Romagna con la proposta di riclassificazione per ciascun comune e la relativa tabella tratta dallo studio testé citato (Figure 7 e 8).

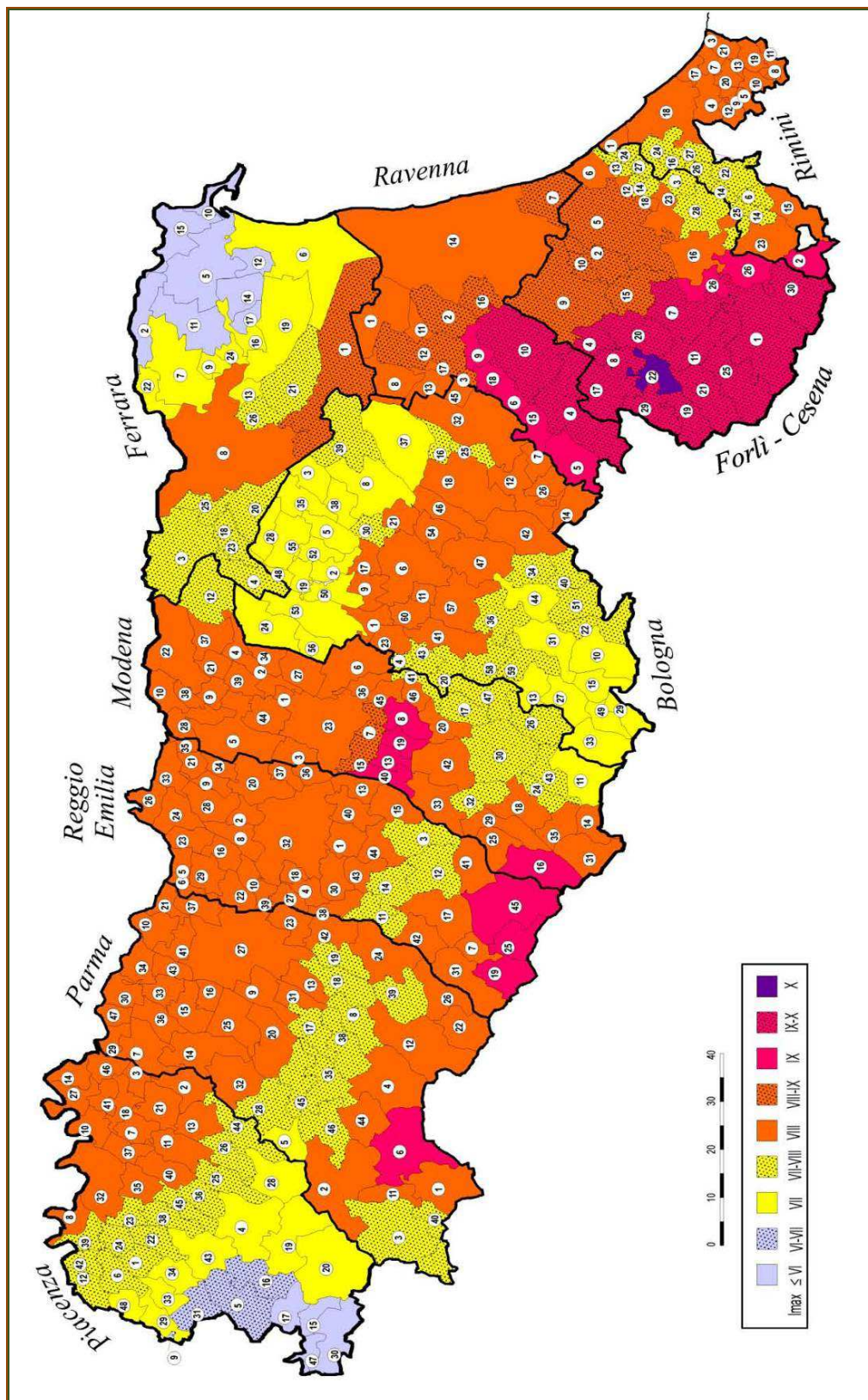


Figura 7 – Proposta di riclassificazione macrosismica della Regione Emilia Romagna da parte di “Mantovani et alii, 2013. Il Comune di Novi è indicato con il n. 28.

MODENA		Intensità massima				Numero di risentimenti (da DBMI11)					
N	Comune	NP	MO	DB	AA	Anno	9≤I<10	8≤I<9	7≤I<8	6≤I<7	5≤I<6
1	Bastiglia	8	7	5	7 <sup>M</sup>	1996					1
2	Bomporto	8	7	5	7 <sup>M</sup>	1971-1996					2
3	Campogalliano	8	8	7	8 <sup>M</sup>	1832			1	4	4
4	Camposanto	8	7	6	7 <sup>M</sup>	1987				1	2
5	Carpi	8	7	7	7-8 <sup>G</sup>	1832-1928			2	11	11
6	Castelfranco Emilia	8	8	6	8 <sup>M</sup>	1929-1874				3	4
7	Castelnuovo Rangone	8-9	8	5-6	8 <sup>M</sup>	1929					3
8	Castelvetro di Modena	9	9	9		1501	1				1
9	Cavezzo	8	7	5-6	7 <sup>M</sup>	1978					3
10	Concordia sulla Secchia	8	7	7	7 <sup>M</sup>	1971			1	1	5
11	Fanano	7	8	7		1740-1914			3	2	
12	Finale Emilia	7-8	7	7	7-8 <sup>I</sup>	1574			1	6	5
13	Fiorano Modenese	9	9	7-8	9 <sup>C</sup>	1501			2	1	1
14	Fiumalbo	8	8	7		1920			1	2	3
15	Formigine	8-9	9	8-9		1501		1		1	2
16	Frassinoro	8	8	8		1920		1	4		4
17	Guiglia	7-8	8	6	7 <sup>M</sup>	1920				1	3
18	Lama Mocogno	8	8	8		1920		1		3	1
19	Maranello	9	9	9		1501	1				4
20	Marano sul Panaro	8	8	7-8		1501			2		
21	Medolla	8	7	6	7-8 <sup>I</sup>	1987				1	2
22	Mirandola	8	≤6	6	7 <sup>M</sup>	1796-1891-1914 1971-1987				5	7
23	Modena	8	8	7-8	8 <sup>M</sup>	1249-1501			6	10	25
24	Montecreto	7-8	8	7-8		1501			2	2	1
25	Montefiorino	8	8	7-8		1920			1		
26	Montese	7-8	7	8		1399		1		2	3
27	Nonantola	8	7	6	8 <sup>G</sup>	1671				1	6
28	Novi di Modena	8	7	5-6	7 <sup>M</sup>	1987-1996					4
29	Palagano	8	8	4-5		2000					
30	Pavullo nel Frignano	7-8	8	7		1920-1937			2	2	3
31	Pievepelago	8	8	8		1920		5	1	2	3
32	Polinago	8	8	7-8		1920			2		1
33	Prignano sulla Secchia	8	8	6		1987				1	1
34	Ravarino	8	7	5	7 <sup>M</sup>	1909					2
35	Riolunato	8	8	6		1740-1904				5	3
36	San Cesario sul Panaro	8	8	5	8 <sup>M</sup>	1996					1
37	San Felice sul Panaro	8	7	6	7 <sup>M</sup>	1796-1987				3	4
38	San Possidonio	8	7	6	7 <sup>M</sup>	1971				1	2
39	San Prospero	8	7	6	7 <sup>M</sup>	1983				1	2
40	Sassuolo	9	9	9		1501	2			6	3
41	Savignano sul Panaro	7-8	8	6	7 <sup>M</sup>	1929				2	3
42	Serramazzoni	8	8	6		1995				1	
43	Sestola	7-8	8	6-7		1740-1920				2	2
44	Soliera	8	7	6	7 <sup>M</sup>	1928				1	6
45	Spilamberto	8	8	5-6	8 <sup>M</sup>	1909					4
46	Vignola	8	8	6	7 <sup>M</sup>	1904-1914-1920 1929-1983				5	5
47	Zocca	7-8	8	7	7 <sup>M</sup>	1869			1	2	4

Tab. 6.1.6. Intensità massima e altre informazioni macrosismiche per i comuni della Provincia di Modena

NP=intensità massima da noi proposta sulla base dei dati macrosismici e delle conoscenze sul quadro tettonico; MO=intensità massima proposta da Molin et alii (1996); DB=Intensità massima ricavata dal catalogo DBMI11 (Locati et alii, 2011); AA=Intensità massima suggerita da altri lavori (G=Guidoboni et alii, 2005; M=Magri e Molin, 1986, vedi Fig. 6.1.1), o da scosse riportate dal catalogo CPTI11 (C=Rovida et alii, 2011; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>) e dal sito [www.ingv.it](http://www.ingv.it) (I). Per ogni comune sono anche riportati l'anno del terremoto che ha prodotto l'intensità massima riportata nel catalogo DBMI11 (Anno) e il numero dei risentimenti per varie fasce di intensità.

Figura 8 – Intensità massima e altre informazioni macrosismiche per i Comuni della Provincia di Modena.

## 2.2. Pericolosità sismica

Il concetto di pericolosità, non solo ristretto al campo sismico, viene definito come la probabilità che un evento “pericoloso” di una certa magnitudo colpisca un dato territorio durante

uno specifico intervallo di tempo.

In coerenza con tale definizione, per stabilire la pericolosità sismica di una certa area, o sito di interesse, occorre:

- fissare un valore di un determinato parametro sismico: magnitudo, scuotimento ; accelerazione, ecc.;
- delimitare il territorio per il quale si vuole definire la pericolosità;
- stabilire un tempo di ritorno dell'evento per il quale si vuole determinare la probabilità di accadimento.

Le numerose ricerche, e soprattutto le osservazioni compiute in occasione di eventi tellurici che nel passato, anche recente, hanno colpito varie regioni del mondo, hanno evidenziato che non sempre esiste una relazione diretta tra i dissesti o i danni causati dal terremoto e l'energia sprigionata dal medesimo.

Si è inoltre osservato che a parità di distanza dall'epicentro, in alcune aree si riscontravano danni maggiori rispetto ad altre.

Si sono poi verificati casi apparentemente paradossali, per i quali il terremoto ha causato danni maggiori a centinaia di chilometri di distanza dall'epicentro, mentre le zone ad esso vicine sono state colpite con effetti meno marcati.

Tale duplice natura della pericolosità sismica viene solitamente espressa attraverso la combinazione di due distinte componenti: la pericolosità di base e la pericolosità locale.

### **2.2.1. Pericolosità di base**

La pericolosità di base (o pericolosità regionale) prescinde dalle caratteristiche locali e dipende esclusivamente dalla sismicità della regione all'interno della quale si colloca il territorio preso in considerazione (in questo caso il territorio comunale di Novi di Modena).

Nel capitolo precedente, relativo alla "Classificazione sismica", si è già dato conto dell'attribuzione quantitativa di legge della pericolosità sismica di base.

Si richiamano ora, visto il loro interesse, i dati e le mappe più significative utilizzate, nel procedimento probabilistico di analisi della pericolosità sismica (PSHA), per la costruzione delle mappe di pericolosità. Tale metodologia è quella ufficialmente adottata dagli Enti di Ricerca.

Per quanto riguarda la **sismicità** è stata caratterizzata la distribuzione temporale (ricorrenza, spaziale e di magnitudo dei terremoti tramite catalogo tenendo conto del periodo di completezza di quest'ultimo.

Senza pretese di esaustività riteniamo interessante, in questa sede, riportare la "storia sismica" del Comune di Novi così come viene descritta nello specifico sito web dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (Figure 9 e 10).



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3-4	1901	01	20	06	30		Bassa modenese	10	4	3.68
3-4	1901	01	20	06	34	20	Bassa modenese	12	5	4.11
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4	1928	06	13	08			Carpi	35	6	4.67
5	1978	12	25	22	53	41	Bassa modenese	28	5	4.39
4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	850	6-7	5.04
2	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
5	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
5-6	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
4-5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
5-6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
3-4	1996	10	26	04	56	0	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
3	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
3	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
4	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	1997	05	12	22	13	0	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
3-4	1998	02	21	02	21	0	Pianura emiliana	104	5	3.93
3-4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	18	22	23	0	Frignana	186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
7-8	2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90

Figura 9 – Storia Sismica del Comune di Novi di Modena (ripreso da: [https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/query_place/))

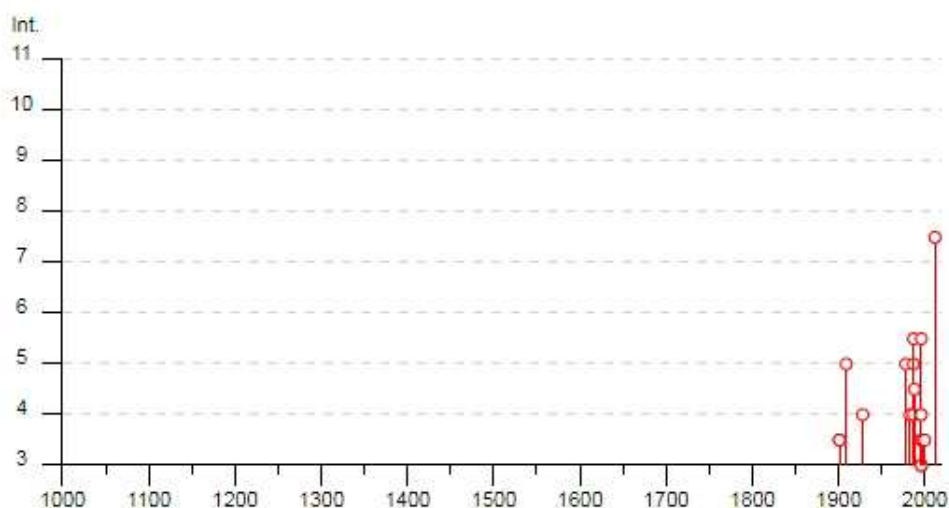


Figura 10 – “Storia sismica” Comune di Novi di Modena Secchia. (ripreso da: [https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/query_place/))

A tali dati occorre aggiungere la ben nota storia sismica recente: gli eventi del maggio-giugno 2012 (Figura 4).

Per quanto riguarda le **sorgenti** sono state caratterizzate le faglie attive attraverso parametri

che ne riassumono il comportamento (zone sismiche). A tale proposito si riportano:

1) un estratto, dal “Geoportale Nazionale” del Ministero dell’Ambiente, della mappa delle zone sismiche (Figura 11) (tratta da “Rapporto Conclusivo della zonazione sismogenetica ZS9 - Appendice 2” (Marzo 2004), del Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa di Pericolosità Sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) dalla quale, per la zona riguardante il Comune in oggetto e cioè la n. 912, si possono dedurre i seguenti valori massimi della magnitudo momento ( $M_w$  max).

➤ 912 “Dorsale Ferrarese”  $M_w = 6,14$  (Figura 11);

2) un estratto, della mappa delle “Sorgenti sismogenetiche” (Figura 12) tratto dal “Database of Individual Seismogenetic Sources – 3.3 (DISS3.3)”, dal quale si possono segnalare, per l’area di interesse, le seguenti sorgenti:

- ITCS051 Carpi-Poggio Renatico (sorgente sismica composta) (all’interno della quale ricade il territorio di Novi di Modena);
- ITCS103 Finale Emilia-Mirabello (sorgente sismica composta);
- ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino (sorgente sismica composta);
- ITS134 Finale Emilia (sorgente sismogenetica individuale);
- ITSC049 Campegine-Correggio (sorgente sismica composta).

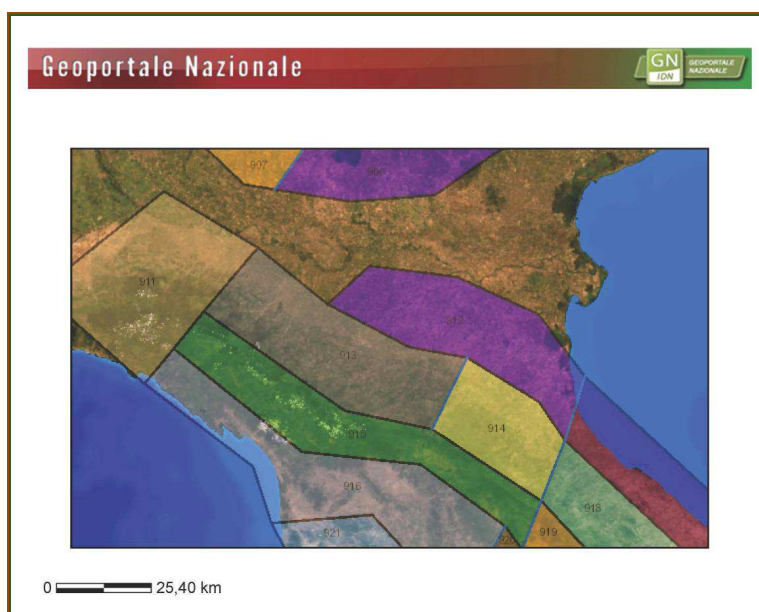


Figura 11 – Mappa zone sismiche.

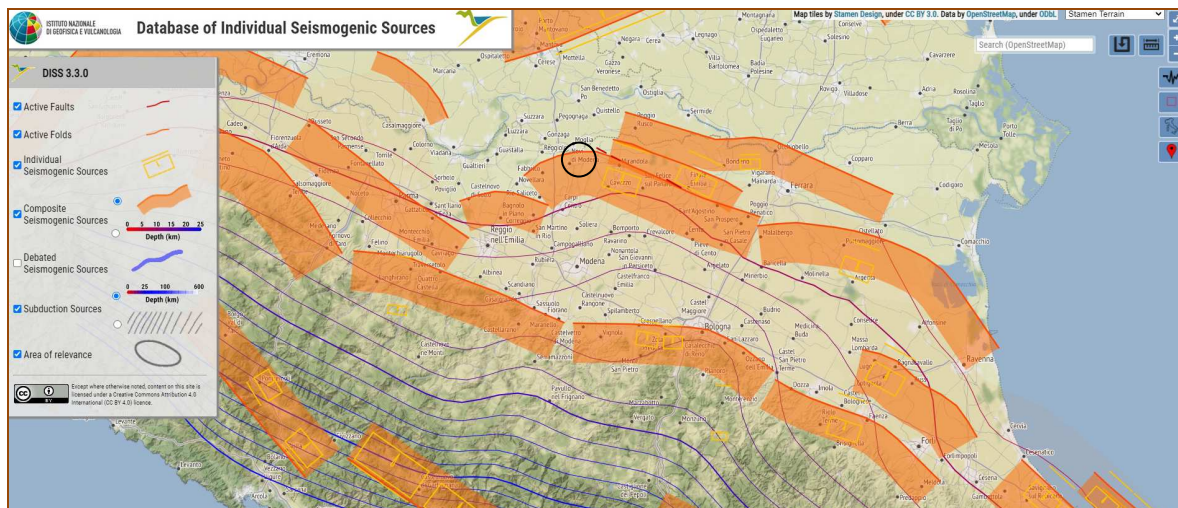


Figura 12 – Estratto mappa “Sorgenti sismogenetiche”.

Tale approccio metodologico ufficiale (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment – PSHA*) è stato criticato da Mantovani et alii (2013) che ne propongono un altro, presentando una organizzazione delle zone sismogenetiche diversa di cui se ne riporta di seguito un estratto:

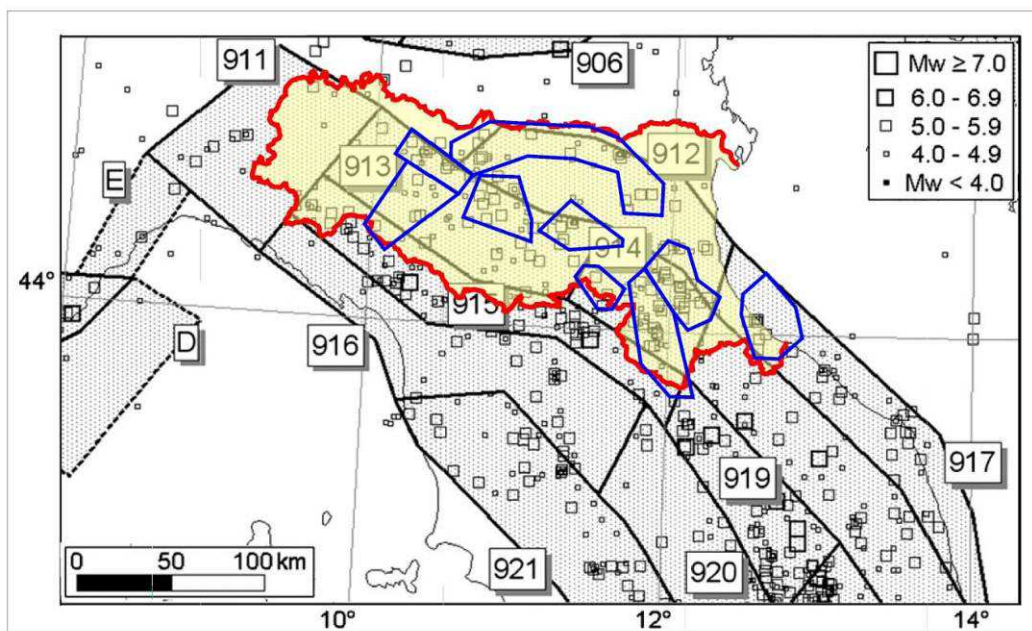
... omissis ...

Tra le altre zone esposte spiccano la fascia pedemontana a sud di Modena e Reggio Emilia e l'Alto Appennino reggiano e parmense. Una bassa pericolosità ( $I_{max} < 6$ ) è invece assegnata alla provincia di Piacenza, al settore ferrarese del Delta del Po ed alla parte nord-orientale del Modenese. Quest'ultima zona, peraltro, costituisce parte dell'area colpita dai terremoti del Maggio 2012, ove è stata stimata una  $I_{max} = 7-8$  MCS (Galli et alii, 2012).

... omissis ...

Nell'ambito delle procedure probabilistiche è comunque opportuno distinguere tra due approcci assai diversi, come descritto nel quadro tracciato da Gomez Capera et alii (2010), cui si rimanda per ulteriori approfondimenti e per i numerosi riferimenti. Il primo tipo di approccio (e.g. Slejko et alii, 1998) stima l'intensità massima mediante la procedura PSHA, che prevede una serie di operazioni, come la scelta della base di dati (catalogo sismico), la definizione di zone sismogenetiche, l'analisi di completezza del catalogo, la stima del tasso di sismicità e dei parametri della relazione Gutenberg-Richter e la scelta di funzioni di attenuazione dell'intensità macrosismica con la distanza epicentrale (e.g. Gomez Capera, 2006; Gomez Capera et alii, 2008). E' evidente che i punti deboli della procedura PSHA (discussi in Mantovani et alii, 2011) interessano anche la valutazione probabilistica dell' $I_{max}$ . Basti ricordare che la suddetta procedura ipotizza la sostanziale casualità dei terremoti e la completa indipendenza tra le sorgenti sismiche, nonostante che le faglie responsabili siano fratture in un mezzo solido (la crosta terrestre) e quindi meccanicamente connesse l'un l'altra (e.g., Stein, 1999; Scholz e Gupta, 2000; Steacy et alii, 2005). C'è inoltre il problema cruciale della zonazione sismogenetica adottata (Meletti et alii, 2000, 2008), che per l'Appennino settentrionale prevede pochi e vasti settori molto allungati in senso NO-SE e quindi scarsamente rappresentativi della reale distribuzione spaziale delle strutture sismogenetiche. La figura 6.2.2 mette in evidenza questo aspetto per l'Emilia-Romagna, confrontando la più recente zonazione adottata per la metodologia PSHA (ZS9 di Meletti et alii, 2008) con le zone sismogenetiche da noi proposte e descritte nel capitolo 5 di questa pubblicazione. Altri problemi della metodologia PSHA sono discussi da Castanos e Lomnitz (2000), Klugel (2007) e soprattutto Stein et alii (2012), i quali mettono in evidenza che le carte di PSHA hanno ripetutamente sottostimato lo scuotimento sismico nelle zone del mondo colpite di recente da forti terremoti (e.g., Algeria 2003, Marocco 2004, Cina 2008, Haiti 2010, Nuova Zelanda 2010 e Giappone 2011). Il secondo tipo di procedura probabilistica (e.g., Albarello et alii, 2002), definito come “approccio di sito”, consiste invece nell'analisi statistica della storia sismica (risentimenti documentati) di ciascuna delle località italiane considerate (di solito i capoluoghi comunali). Il principale merito di questo tipo di approccio, come descritto da Gomez Capera et alii (2010), è quello di evitare gli artifici e le difficoltà connesse con la procedura PSHA, rimanendo legato al dato primario, ossia il risentimento (danneggiamento) registrato nelle cronache storiche. C'è però da considerare che tale impostazione incorpora nella stima di  $I_{max}$  le incertezze e incompletezze della documentazione macrosismica e che, essendo unicamente basata sulla storia sismica, non prende in considerazione il fatto che possono esistere ulteriori sorgenti sismiche oltre a quelle attivate dai terremoti storici conosciuti. Informazione che il nostro approccio tenta di ricavare dalle conoscenze attualmente disponibili sull'assetto sismotettonico della regione italiana, e in particolare dell'Appennino settentrionale e Val Padana.





**Fig. 6.2.2.** Zone sismogenetiche dell'Italia centro-settentrionale previste dalla zonazione ZS9 (Meletti et alii, 2008), adottata per il calcolo della pericolosità sismica secondo la procedura PSHA (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). In rosso è riportato il confine dell'Emilia-Romagna. I contorni blu identificano le 9 zone sismiche descritte nel capitolo 5, mettendo in evidenza la scarsa compatibilità delle zone ZS9 con la configurazione delle principali strutture sismogenetiche di questa regione.

... omissis ....

Si riporta inoltre, sempre degli stessi autori citati, la definizione della zona sismogenetica n. 9 "Dorsale Ferrarese" riguardante direttamente anche il Comune di Novi di Modena (Figura 13).



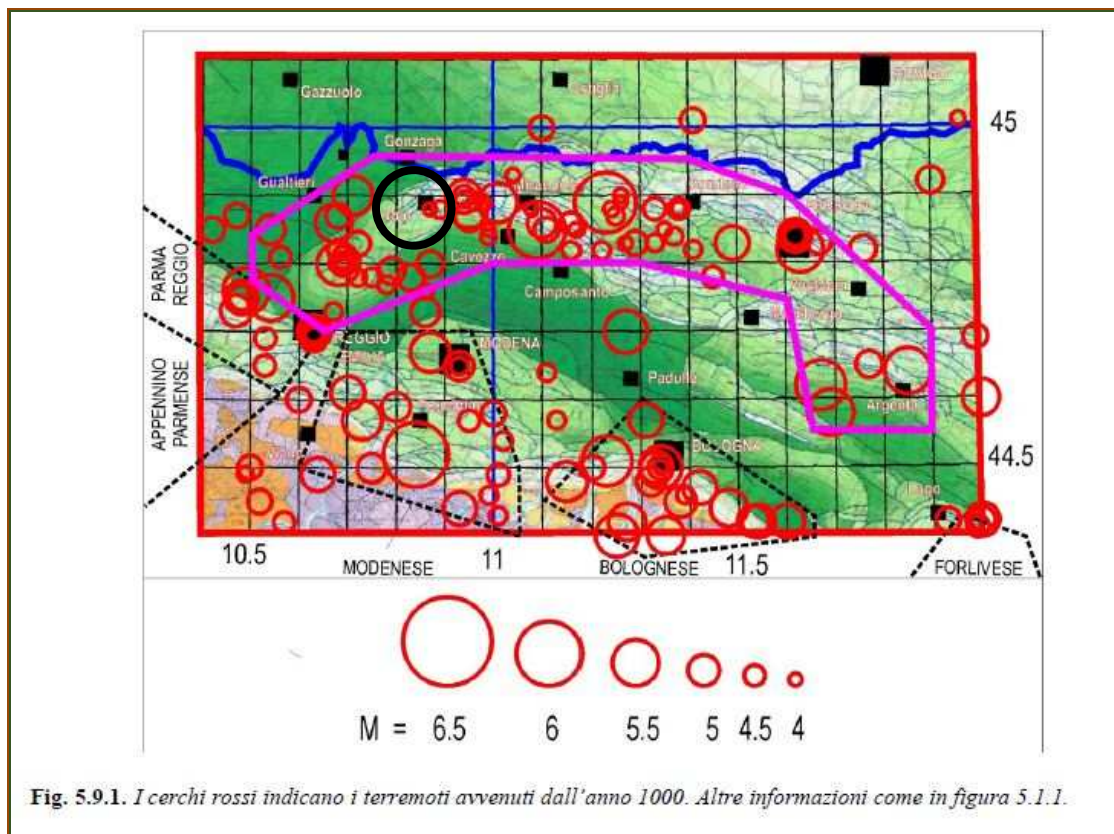
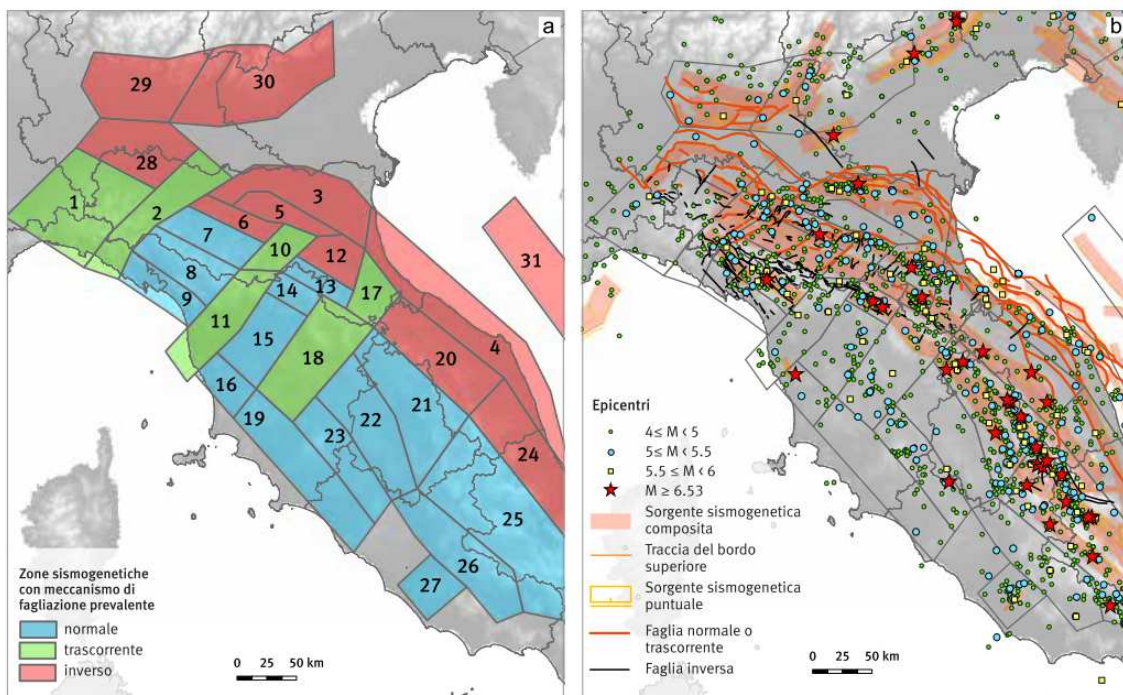


Fig. 5.9.1. I cerchi rossi indicano i terremoti avvenuti dall'anno 1000. Altre informazioni come in figura 5.1.1.

Figura 13 – Definizione zona sismogenetica n. 9 “Dorsale Ferrarese” (da Mantovani et al. 2013, con inserimento grafico). Il cerchio nero individua l’ubicazione del Comune di Novi di Modena.

Nella Figura 14 si riporta invece una proposta di zonizzazione sismogenetica ancor più recente (Martelli et al., 2017a e 2017b) che mira a tenere conto sia dei dati sismologici che geologici. In particolare si fa riferimento al riconoscimento di alcuni settori trasversali (fasce ad andamento antiappenninico) caratterizzati anche da cinematismi di tipo trascorrente. Il comune di Novi, secondo tale classificazione, si colloca nella zona sismogenetica 3, caratterizzata da tettonica prevalentemente compressiva, terremoti ad ipocentro tra 5 e 15 Km e magnitudo attorno al valore 6 (Figura 14).



N.	Orientazione delle principali faglie attive	Geometrie principali (secondarie)	Profondità ipocentrale	$M_{max}$	
				Oss.	Calc.
1	NE-SW?	Trascorrente	?	5,7	5,93 +/- 0,25
2	NE-SW (S/45-60)	Trascorrente (Inversa)	5-30	5,5	5,71 +/- 0,29
3	S-SSW/45	Inversa	5-15	6,1	5,94 +/- 0,24
4	SW/30	Inversa	5-15	6,1	6,16 +/- 0,21
5	S-SSW/15-30	Inversa	15-35	5,5	6,00 +/- 0,53

Figura 14 – Proposta di zonazione sismogenetica per l’Appennino settentrionale e la Pianura Padana centrale e orientale (a sinistra in alto); Dati di riferimento (a destra in basso); Caratteristiche delle zone 1, 2, 4, e 5. Il territorio comunale di Concordia ricade entro la Zona 3, caratterizzata principalmente da meccanismi cinematici di tipo inverso (zona in compressione) e profondità ipocentrali dell’ordine dei 5-15 Km (Estratto da Martelli et al 2017a).

### 2.2.2. Pericolosità locale

La pericolosità locale dipende dai fattori geologici e morfologici locali. Il medesimo evento sismico può essere pertanto risentito in maniera diversa in settori distinti dello stesso territorio, anche a parità di tipologia edilizia (così detto effetto a “macchie di leopardo”).

La pericolosità locale è quella componente della pericolosità sismica che tiene conto dei fattori locali che, in caso di terremoto, possono dare luogo a instabilità e/o ad amplificazione dello scuotimento.

Sulla base delle più recenti normative e indirizzi si assume come pericolosità sismica di base per gli studi di microzonazione sismica il terremoto con probabilità di accadimento pari a uno (certezza probabilistica) in un intervallo di tempo di 475 anni<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Alcuni studiosi (ad es. Wang & Ormsbee, 2005) criticano tali scelte che sono comunque entrate a far parte dell’impianto normativo di numerosi paesi e regioni del mondo. Con argomentazioni fisico-matematiche viene infatti evidenziato che l’incertezza nella determinazione della pericolosità sismica può essere molto grande, tanto che l’assegnazione di un determinato valore di pericolosità può essere affetta da un errore elevato.

Ciò corrisponde a una probabilità di accadimento del 10% su 50 anni.

\* \* \*

Per descrivere la pericolosità del terremoto di riferimento si possono utilizzare varie grandezze quali ad esempio:

- il valore atteso di accelerazione massima al suolo PGA (*peak ground acceleration*) o  $a_{max}$ , già introdotto nel paragrafo 2.1;
- lo spettro di risposta elastico (che può essere definito in accelerazione, in velocità o in spostamento);
- l'Intensità di Housner;
- altri parametri.

Le grandezze elencate vengono solitamente utilizzate per esprimere il valore della pericolosità di base per l'intero territorio considerato (comunale o anche più grande). Esse descrivono il "terremoto di riferimento" definito su base statistica, analizzando la serie storica degli eventi sismici avvenuti nell'area in studio o nella regione che la comprende.

Gli stessi parametri possono essere utilizzati, attraverso vari procedimenti più o meno rigorosi, anche per valutare qualitativamente e/o quantitativamente gli effetti sismici di sito che possono variare all'interno del territorio considerato in relazione alle differenti caratteristiche morfologiche e litotecniche locali.

Il dato della pericolosità di base è di norma riferito a un contesto litologico e morfologico ideale, riassumibile in un "sito di riferimento" pianeggiante con substrato roccioso (o comunque, per definizione, rigido) affiorante o subaffiorante (con assenza di copertura soffice di spessore significativo).

Tali condizioni non corrispondono quasi mai al contesto reale del sito o del territorio per il quale si vuole valutare la pericolosità sismica.

Basta ad esempio la presenza di una copertura detritica o di un suolo soffice di alcuni m di spessore, perché vi sia la possibilità che, in caso di scossa tellurica, si verifichino degli effetti locali di amplificazione dello scuotimento e che quindi la pericolosità sismica locale risulti (in termini di magnitudo locale) più alta della pericolosità di base.

Attraverso valutazioni quali-quantitative è possibile stimare localmente il potenziale di incremento del risentimento sismico, utilizzando le stesse grandezze (PGA, Spettro di risposta elastico, Intensità di Housner o intensità spettrale SI) e quindi calcolare l'eventuale fattore di amplificazione, rapportando il risultato ottenuto con quello del sito di riferimento al quale viene attribuita la pericolosità di base (ad es. attraverso i rapporti  $PGA/PGA_0$ ,  $SI/SI_0$ , ...).

Il fattore di amplificazione non è altro che il valore del rapporto tra la grandezza che esprime la pericolosità al sito (comprensiva quindi degli effetti locali) e il valore attribuito al sito di riferimento e cioè quello definito dalla pericolosità di base.

Nella progettazione e nella pianificazione territoriali la pericolosità di base (o pericolosità

regionale), essendo un parametro che non può essere modificato, perché dipende solamente dalla sismicità naturale dell'area, può essere tenuta in considerazione a livello delle prescrizioni normative. Essa infatti è quasi sempre applicabile su area vasta (territorio comunale o a una grande sua parte) senza differenze particolarmente marcate all'interno di settori anche molto estesi.

Si tratta di fatto di un dato da assumere tal quale nella progettazione.

I risultati dell'analisi della pericolosità locale, proprio perché indirizzati a riconoscere quelle situazioni territoriali per le quali la pericolosità sismica si discosta dal valore regionale, possono essere presi come riferimento per indirizzare non solo gli aspetti normativi e d'indirizzo per l'uso di un territorio, ma anche le scelte urbanistiche.

La pericolosità locale dipende infatti dalle caratteristiche del sito e può variare fortemente a seconda del variare delle condizioni morfologiche e litologiche. Già a livello dell'intero territorio comunale è possibile riconoscere settori caratterizzati da pericolosità locale più alta rispetto ad altri meno pericolosi (Microzonazione di primo livello: identificazione delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica o MOPS)

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1. *Inquadramento tettonico e strutturale*

Il territorio del Comune di Novi è posto nella zona centrale del bacino subsidente padano nel quale l'attività tettonica ha controllato e controlla la sedimentazione per lo meno da alcuni milioni di anni (Pliocene-Pleistocene e attuale).

Da un punto di vista strutturale, il Comune è situato a cavallo del così detto sistema delle *Pieghe Ferraresi* (noto anche come *Dorsale Ferrarese*) (Figure 14 e 15) in corrispondenza della zona in cui tale fascio di strutture passa da un andamento circa antiappenninico (rampe laterali, SO-NE) ad un andamento circa appenninico (rampe frontali NNO-SSE) (Figure 14 e 15).

Nella pianura emiliana il condizionamento strutturale determinato da tali grandi elementi tettonici (e sismogenetici) ha avuto come principale conseguenza che l'entità degli spessori di sedimenti marini pliocenici e pleistocenici, e anche di quelli continentali pleistocenici e olocenici, sia fortemente variabile, con valori minimi dell'ordine del centinaio di m (o localmente inferiori) in coincidenza delle culminazioni delle dorsali e fino anche a diverse migliaia di metri, in corrispondenza dei bassi strutturali (sinclinali<sup>4</sup>).

Trovandosi il territorio comunale a cavallo di un sistema di strutture che determinano la presenza di un "alto strutturale" sepolto, si verifica che la profondità del così detto *bedrock* sismico (terreni o rocce caratterizzate da una maggiore rigidità rispetto la successione sedimentaria sovrastante) si ponga a profondità variabile dai meno di 100 m (ad esempio nella zona del capoluogo) a oltre 150 m di profondità (ad esempio nei settori più meridionali del territorio comunale).

---

<sup>4</sup> Lo spessore dei sedimenti continentali tende ad assottigliarsi fino ad annullarsi procedendo verso sud (verso l'area collinare) nella zona di alta pianura.



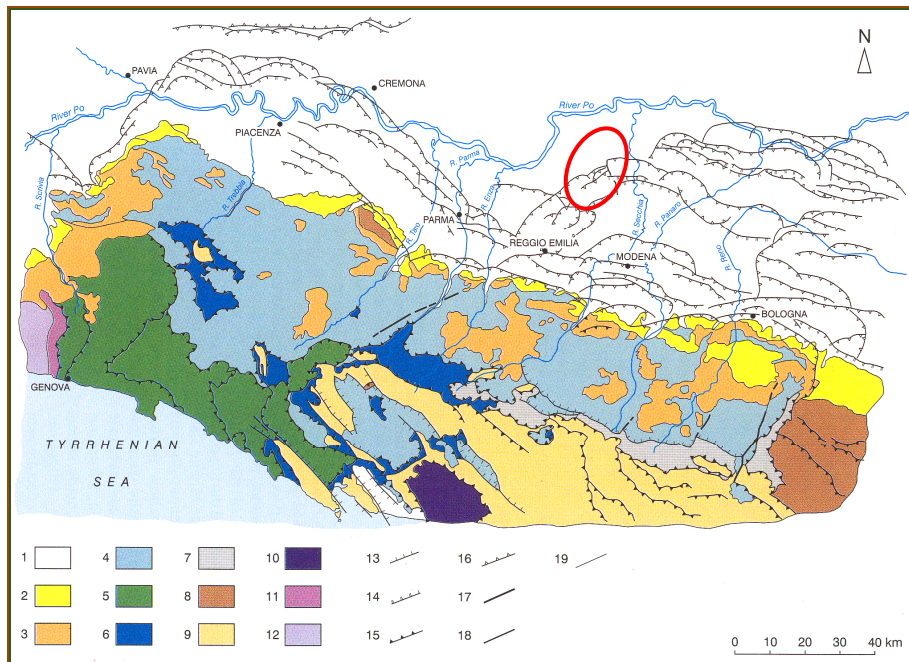


Figura 15 - Carta geologica schematica dell'Appennino Settentrionale (Estratto da Bettelli & De Nardo, 2001). LEGENDA: 1) depositi quaternari; 2) Depositi marini del Miocene Sup.-Pleistocene; 3) Successione epiligure; 4) Unità liguri esterne; 5) Unità liguri interne; 6) Unità subliguri; 7) Unità tettonica Sestola-Vidiciatico e Melange di Firenzuola; 8) Unità umbro-romagnole; 9) Unità toscane; 10) Unità metamorfiche toscane; 11) Zona Sestri-Voltaggio; 12) Gruppo di Voltri; 13) Faglie dirette; 14) Faglie dirette (nel sottosuolo); 15) Faglie inverse e sovrascorrimenti; 16) Faglie inverse (nel sottosuolo); 17) Faglie trascorrenti, di strappo o di trasferimento; 18) Faglie ad alto angolo a cinematica ignota (nel sottosuolo); 19) Limiti litologici. L'ovale a bordo rosso individua la posizione del Comune di Novi.

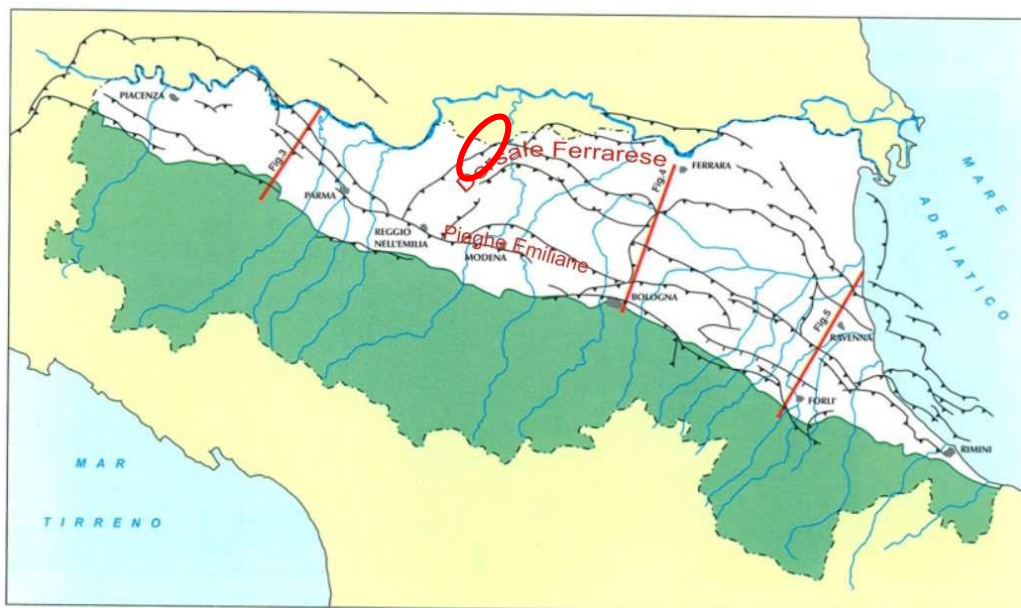


Figura 16 – Principali strutture sepolte della Pianura Emiliano-Romagnola. (Estratto con modifiche da Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998). L'ovale a bordo rosso indica la posizione del Comune di Novi.

La catena appenninica (considerando sia la sua parte emersa che quella sepolta nel sottosuolo padano) risulta attualmente ancora in evoluzione, come mostrano con la loro attività sismica le strutture tettoniche che hanno controllato la sedimentazione nel bacino padano, dislocando (mentre venivano depositati i sedimenti) anche le unità marine plio-pleistoceniche (che affiorano nei pressi del margine pedecollinare o sono state individuate nelle perforazioni in

pianura) e i depositi continentali del Pleistocene che affiorano principalmente nelle valli o che formano il sottosuolo della pianura.

Tale attività sismogenetica si localizza in settori specifici della catena montuosa (Martelli, 2011):

- 1) nell'alto Appennino, soprattutto in corrispondenza del crinale principale;
- 2) nel basso Appennino, principalmente nell'area pedemontana;
- 3) in pianura, in corrispondenza delle strutture tettoniche sepolte (così dette Pieghe Emiliane e Pieghe Ferraresi) (Figure 13, 14, 15, 16 e 17) fino a nord del corso del fiume Po.

Dati geologici, morfologici e strutturali mostrano che il settore romagnolo dell'Appennino Settentrionale (a est della Linea del Sillaro) risulta più sollevato rispetto al settore emiliano (Martelli, 2011).

I dati gps confermerebbero l'attuale sollevamento differenziale della catena in diminuzione relativa da est verso ovest<sup>5</sup> (Martelli, 2011).

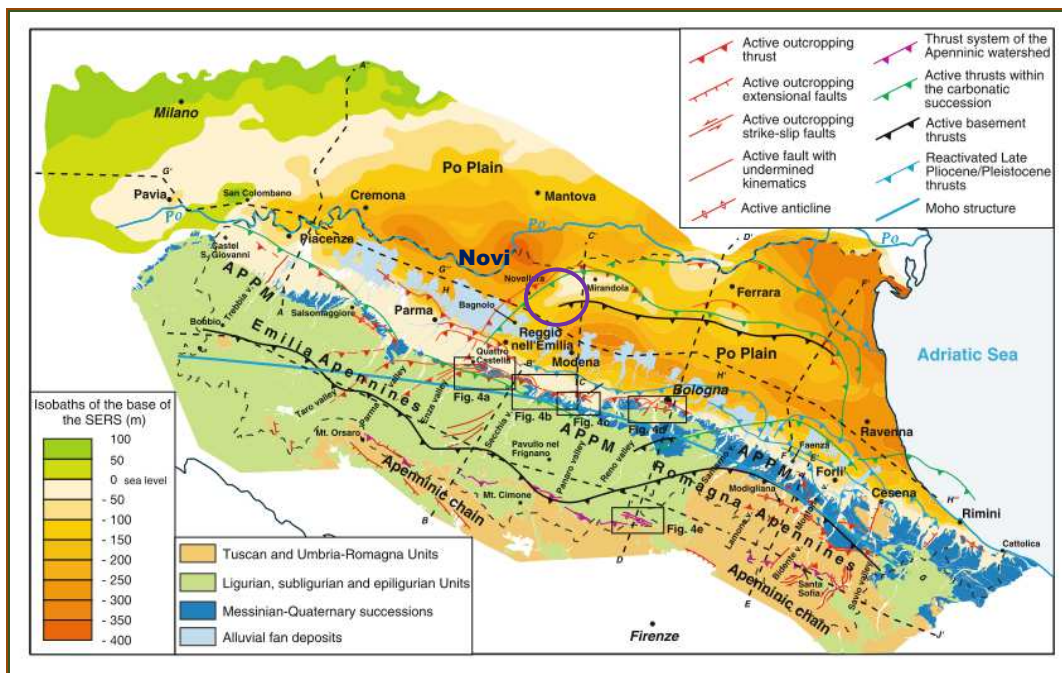


Figura 17 – Strutture tettoniche attive del settore padano dell'Appennino Settentrionale (estratto da Boccaletti et al., 2011 con inserimento grafico).

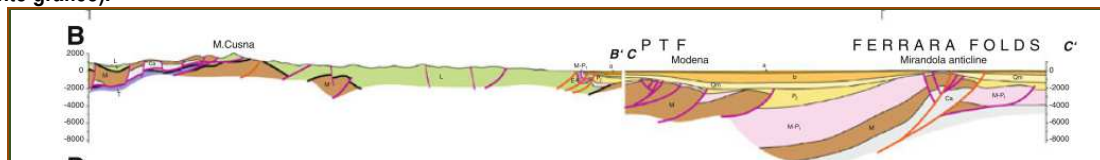


Figura 18 – Sezioni geologiche attraverso l'Appennino Settentrionale fino a comprendere i settori sepolti della catena in Pianura Padana (per l'ubicazione si veda la Figura 17) (estratto da Boccaletti et al., 2011).

Nel settore di alta montagna (presso il crinale principale) i dati sismologici mostrano meccanismi focali sia di tipo estensionale che di tipo compressivo, con i primi localizzati a profondità relativamente basse (entro 12-15 Km) rispetto i secondi (generalmente oltre i 20 km)

<sup>5</sup> Velocità di sollevamento crostale relativamente più alte per i settori orientali della catena (Martelli, 2011).

(Boccaletti et al., 2004 e 2010; Catalogo dei meccanismi dei terremoti mediterranei RCMT, <http://www.bo.ingv.it/RCMT/>).

La zona pede-appenninica è caratterizzata da meccanismi focali di tipo prevalentemente compressivo (Boccaletti et al., 2004; 2011) che si concentrano in una fascia nella quale le evidenze geologiche di attività tettonica sono evidenti (dislocazione di depositi continentali, modifiche del reticolo idrografico, scarpate strutturali; ecc.) Ghiselli e Martelli, 1997; Boccaletti et al., 2004; Boccaletti et al., 2011; Martelli, 2011) e che è riconducibile a un sistema di strutture di accavallamento che nel complesso formano il così detto *Fronte di Accavallamento Pedemontano* (*Piedmont Thrust Front*, Boccaletti et al., 1985).

Per quanto riguarda i settori della pianura, dove le conoscenze geologiche profonde sono legate principalmente agli studi per la ricerca petrolifera (Pieri & Groppi, 1981), le strutture che mostrano maggiori dislocazioni recenti sono le *Pieghe Emiliane*, l'arco delle *Pieghe Ferraresi* e le *Pieghe Adriatiche* (Figure 14, 15 e 16) (Martelli, 2011), come confermato sia dalle recenti sequenze sismiche del 2012 (che hanno interessato con i loro effetti anche il territorio di Novi di Modena: Figure 16, 18, 19 e 20), sia da altri eventi sismici, anche forti e con magnitudo che ha raggiunto e/o superato il valore 5, avvenuti negli ultimi 30-40 anni (Figure 19 e 20).

\* \* \*

La sequenza sismica del Maggio-Giugno 2012 viene interpretata come dovuta alla mobilitazione di due strutture di fronte di accavallamento tettonico grossomodo parallele l'una all'altra (Figure 19 e 20) oppure come la mobilitazione in punti diversi (e anche a profondità diverse) della superficie di scollamento basale nella quale secondo alcune interpretazioni convergono tutti i fronti di accavallamento che nel loro complesso formano l'arco delle Pieghe Ferraresi (Figure 17, 18, 19 e 20).

Al di là delle diverse interpretazioni, la sequenza sismica del 2012 evidenzia che le strutture sepolte della pianura emiliano-romagnola sono sismicamente attive. Con la loro attività tettonica hanno condizionato non solo la deposizione sedimentaria durante il Pliocene (la profondità della base dei depositi marini pliocenici presenta differenze di quota anche dell'ordine di diverse migliaia di metri a seconda della posizione relativa (in corrispondenza di una cresta di culmine o di un bacino), ma probabilmente anche durante tutto il Pleistocene, fino ai giorni nostri, con effetti diretti sull'andamento del reticolo idrografico superficiale (Burrato et al., 2003).

Tale osservazione troverebbe conferma anche nell'assetto del primo sottosuolo del territorio comunale di Novi dove, in linea generale, si riscontra la presenza di sabbie padane medio-grossolane lateralmente continue, ascrivibili alla deposizione da parte del fiume Po, a profondità tendenzialmente decrescente spostandosi da nord verso sud.

Il sollevamento relativo determinatosi in corrispondenza della "Dorsale Ferrarese", avrebbe progressivamente spostato verso nord la sedimentazione del Po lasciando campo libero alla sedimentazione dei corsi d'acqua appenninici (il Secchia ad esempio), così che si può verificare



che le sabbie padane tendono ad approfondirsi verso sud con locali fenomeni di interdigitazione con i sedimenti di pertinenza appenninica tanto che risulta alquanto difficoltoso definire con precisione nel sottosuolo la fascia di passaggio tra il dominio dei sedimenti padani e quello dei sedimenti appenninici.

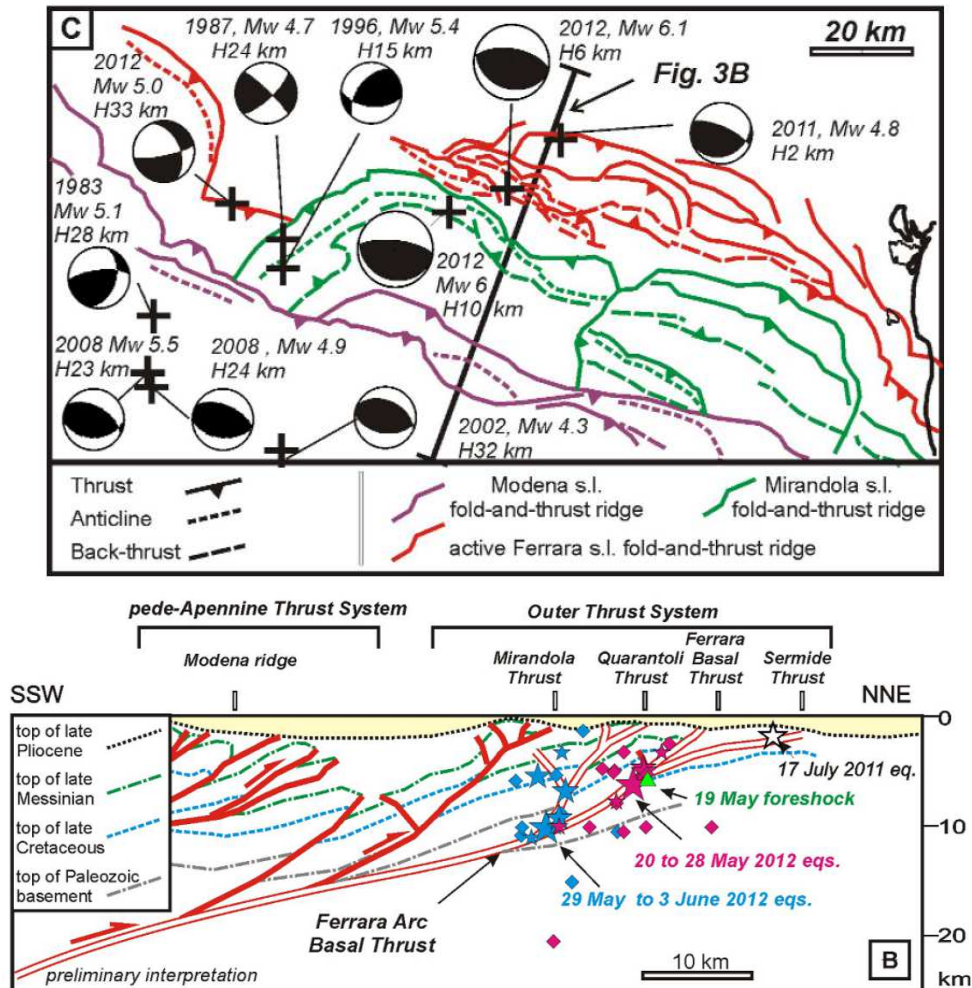


Figura 19 – Quadro sismotettonico della pianura emiliano-romagnola, con indicazione della posizione epicentrale e della risoluzione focale dei principali eventi sismici avvenuti nelle ultime decine di anni, e sezione sismotettonica interpretativa della sequenza sismica del Maggio-Giugno 2012 (da Lavecchia et al., 2012). Per non limitare la leggibilità delle figure non viene riportata la localizzazione del Comune di Carpi che, nella mappa, si posizionerebbe sostanzialmente sul simbolo della risoluzione focale dell'evento sismico del 2012 al quale, nella figura, viene attribuita una Mw di 6 e una profondità epicentrale di 10 km.

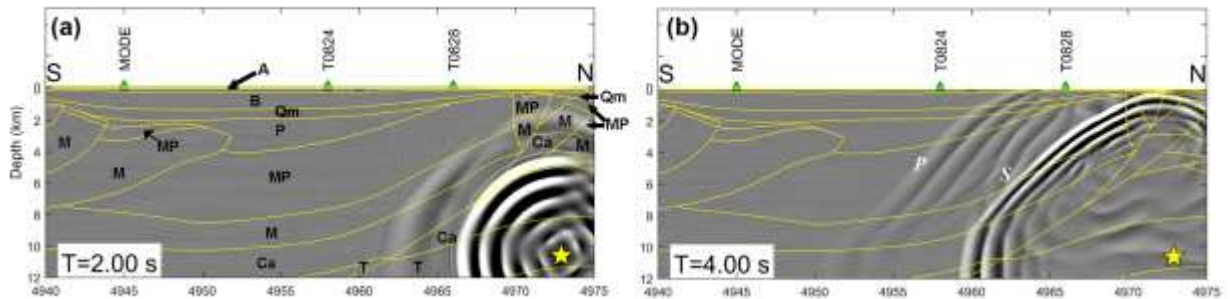
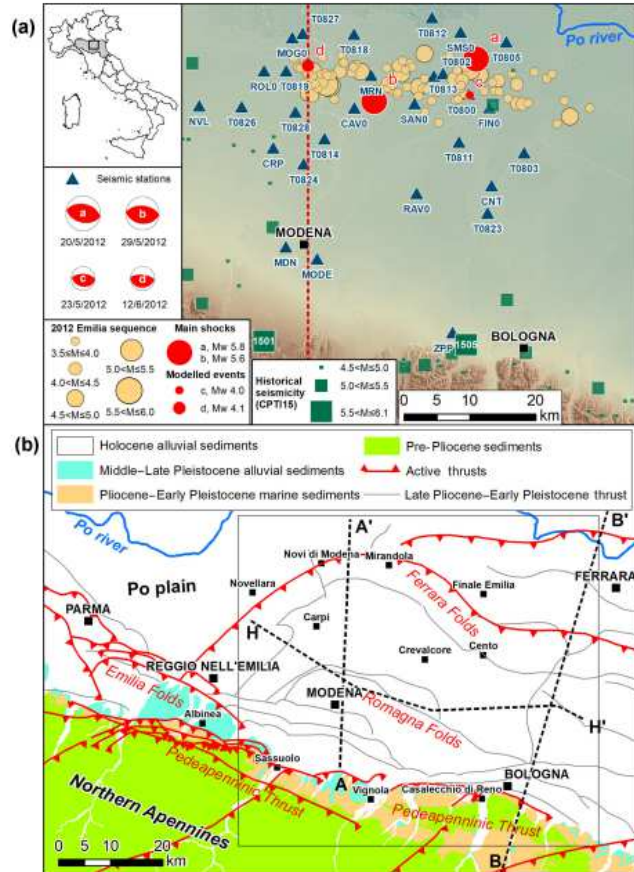


Figura 20 – In alto: sismicità storica (a) e strutture geologiche principali (b) della pianura emiliana centrale. In basso: sezione AA' con simulazione numerica del campo sismico della scossa del 2012 (tempi a 2 e a 4 secondi dall'evento). La stella gialla individua l'ipocentro a circa 11 Km di profondità (Estratto da Klin et al. 2019).

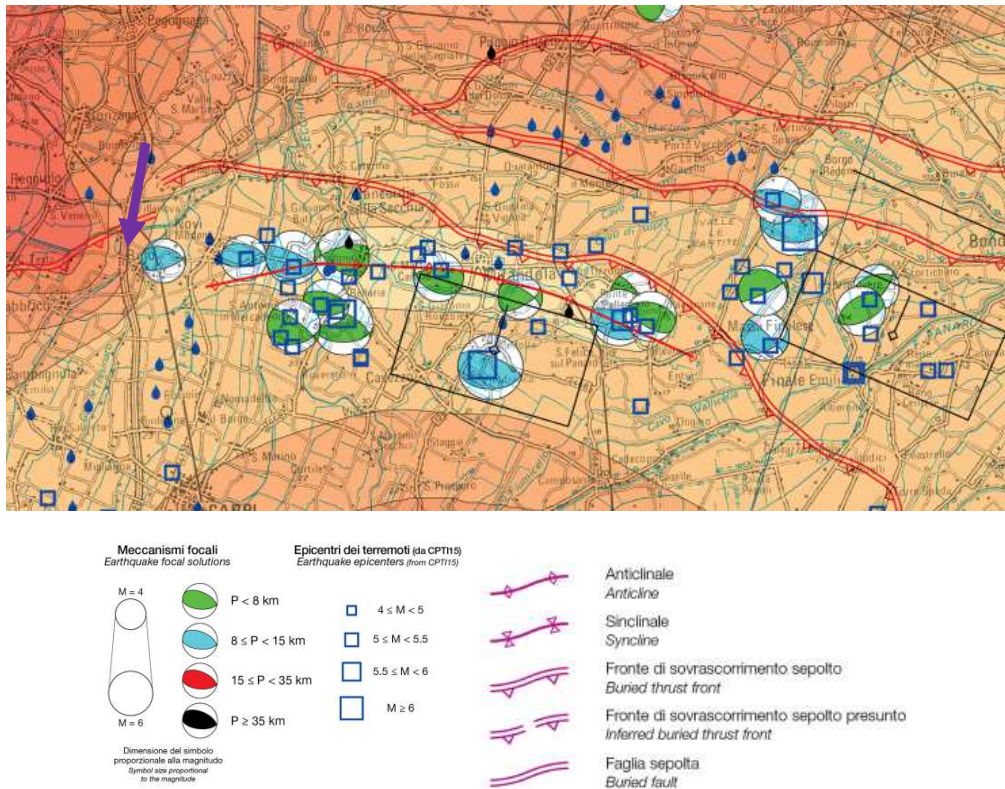


Figura 21 – Estratto da AA.VV.-2017-“Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (con inserimento grafico). La freccia viola indica l’ubicazione del capoluogo comunale del Comune di Novi di Modena.

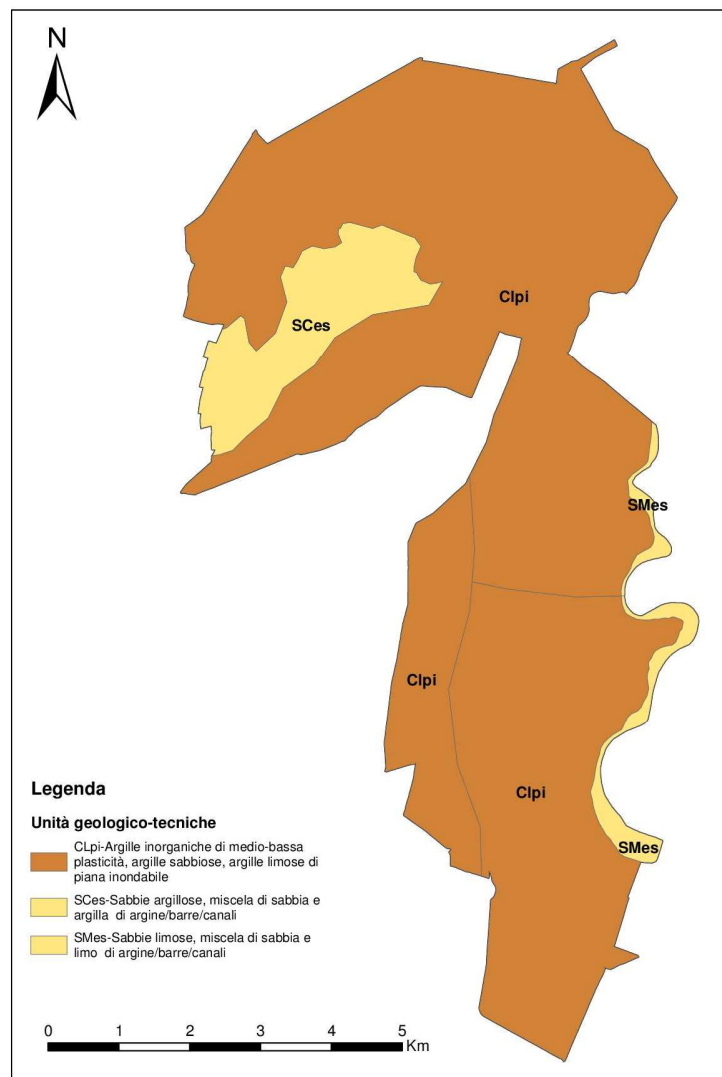
### 3.2. Inquadramento stratigrafico-litologico

Il primo sottosuolo del comune di Novi (da 0 a circa 20 m da p.c.) può essere descritto come formato dalla sovrapposizione di due successioni sedimentarie ascrivibili a due domini diversi:

- dominio appenninico (Fiume Secchia e suoi paleoaffluenti di sinistra) caratterizzato da sedimenti tendenzialmente fini (argille e limi) all’interno dei quali possono essere presenti corpi e strati sabbiosi lenticolari, da pochi decimetri fino a diversi metri di spessore. Localmente il primo sottosuolo presenta sabbie prevalenti sulla componente limo-argillosa. Sono presenti sabbie, in spessori cumulo plurimetrico, ad esempio in corrispondenza del dosso arginato del Secchia, delle golene esterne, nonché in diversi settori del capoluogo (forse per la presenza di un paleoalveo). Da segnalare inoltre il fatto che le sabbie di pertinenza appenninica a luoghi risultano, seppure prevalenti sulle peliti, discontinue lateralmente e apparentemente con correlabili con la presenza di paleoalvei, dossi o meandri abbandonati;
- dominio padano (fiume Po), caratterizzato da sedimenti sabbiosi prevalenti, con spessori dell’ordine da decametrici a pluridecametrici, posti al di sotto dei sedimenti appenninici coi quali localmente possono amalgamarsi. Tali sedimenti medio-grossolani sono distinguibili in una porzione relativamente meno addensata (circa tra 10 e 20 m di profondità a seconda della collocazione che sovrasta delle sabbie molto addensate che non infrequentemente presentano una resistenza tale da comportare il rifiuto strumentale alla penetrazione in



occasione dei sondaggi penetrometrici (CPT, CPTU o CPTE). Le sabbie padane mostrano pertanto un diagramma penetrometrico, con valori della resistenza alla punta decisamente superiori rispetto alle sabbie appenniniche: il primo orizzonte di alcuni m di spessore ha come detto valori di  $R_p$ , seppure molto alti (4-6MPa), sensibilmente più bassi rispetto alle sabbie sottostanti che spesso sono caratterizzate da valori di  $R_p$  superiori ai 10 MPa o più alti (fino al rifiuto fissato a valori di resistenza di 50 MPa).



**Figura 22 – Carta Geologico-Tecnica (ridotta e semplificata dalla tavola omonima). Le zone che presentano sedimenti grossolani sono solo quelle dell'alveo del Secchia e delle aree limitrofe ad esso, nonché la zona del capoluogo.**

Non è chiaro se la transizione verticale tra i due domini sia brusca o graduale (ad esempio per alternanza), anche se i dati geognostici sembrerebbero suggerire la prima. Come invece già accennato, la transizione laterale tra i due domini sembrerebbe acclarata dai dati disponibile. Verso sud, le sabbie padane tendono infatti a suddividersi in corpi separati alteranti a terreni argillosi, probabilmente di origine appenninica.

### ***3.3. Inquadramento morfologico***

Novi di Modena è un comune della bassa pianura con le quote s.l.m. variano entro un intervallo di poco meno una decina di metri tra la zona meridionale e quella settentrionale. Elemento morfologico dominante è il dosso arginato del Fiume Secchia che si eleva rispetto la campagna circostante a quote superiori di circa 6-10 m, ma che è presente solo nel settore SE del territorio comunale.

Conseguenza diretta di tale assetto morfo-altimetrico è che il drenaggio delle acque superficiali è necessariamente demandato ai canali di bonifica (rete idrografica delle "Acque basse") e le uniche acque che scorrono naturalmente verso "valle" sono le così dette "acque alte" del Fiume Secchia di provenienza esterna al Comune e che scorrono, come detto, a una quota di diversi metri più alta rispetto il resto del territorio circostante.

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per la redazione dello studio di microzonazione sismica di Novi di Modena ci si è avvalsi dei dati geologici e sismici deducibili da un articolato e voluminoso insieme di fonti d'informazione che, per gran parte, sono state fornite dallo stesso Comune di Novi e dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Molte delle indagini erano contenute nella Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna che aveva anche curato la redazione della microzonazione sismica "di emergenza" all'indomani della sequenza sismica del maggio-giugno 2012.

A tale già grande mole di dati si sono poi aggiunti quelli che sono stati reperiti all'interno pratiche sismiche presentate da privati e imprese, sempre successivamente al terremoto del 2012.

Si tratta di diverse decine d'indagini (soprattutto prove penetrometriche CPT e indagini geofisiche) realizzate con lo scopo di definire i modelli geologici e geofisici locali.

È stata pertanto approntata una banca dati geognostici che consta di poco più di 600 prove e sondaggi di campagna e di laboratorio, per la gran parte puntuali (circa l'85%), ma anche lineari, tutti geolocalizzati e ciascuno associato a un "file" contenente la scansione dei dati relativi alla prova medesima.

Si contano pertanto, tra le altre:

- 307 prove penetrometriche statiche (CPT);
- 30 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) e 28 con punta elettrica (CPTe);
- 12 stratigrafie di pozzi per acqua e 20 sondaggi a carotaggio continuo.

A queste indagini si geognostiche si aggiungono anche diverse indagini geofisiche tra le quali:

- 1 indagine cross-hole;
- 1 indagine down-hole;
- 2 indagine attiva con cono sismico;
- 99 rilievi sismici attivi in onde di superficie (MASW);
- 102 misure di rumore ambientale a stazione singola (HVSr).

Per una visione d'insieme della posizione e distribuzione delle singole prove geognostiche e indagini si rimanda alla consultazione della carta specifica (Carta delle Indagini), nella quale è indicata la localizzazione di ogni singolo dato puntuale e/o lineare. Tutte le prove (sia di tipo meccanico che geofisiche) sono state raccolte in un data base informatico conforme alla versione 4.2 degli standard di archiviazione e rappresentazione informatica stabiliti dalla Protezione Civile.

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

È stata condotta un'analisi comparata delle informazioni stratigrafiche, litologiche e sedimentarie deducibili:

- dalle carte e dalle sezioni geologiche pubblicate (ad esempio, le informazioni reperibili sui vari siti web tematici curati dal Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia-Romagna: sito della carta geologica, sito delle sezioni geologiche, sito dedicato all'idrogeologia, ecc.);
- da osservazioni puntuali occasionali (scavi, trincee, ecc.);
- dalle indagini geognostiche (prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi e indagini geofisiche) raccolte con la collaborazione dell'Ufficio tecnico Comunale e/o mutate dalla Banca Dati Geognostici di Pianura della Regione Emilia-Romagna, fornita dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale.

Sono state anche redatte quattro sezioni geologiche interpretative, orientate grossomodo secondo direttrici est-ovest (sezione 1) e sud-nord (Sezioni 2, 3 e 4) che descrivono l'andamento latero-verticale dei diversi corpi litologici individuabili nel sottosuolo attraverso la correlazione interpretativa delle stratigrafie dei sondaggi e dei diagrammi penetrometrici.

La finalità di tale lavoro era di interpretare l'architettura stratigrafico-strutturale del sottosuolo, riconoscendo quegli areali con caratteristiche simili e descrivibili attraverso il medesimo modello geologico.

Una parte del lavoro è consistita inoltre nella valutazione della presenza di pronunciati spessori cumulati di sedimenti sabbiosi nei primi 20 m di sottosuolo, per una prima valutazione dell'eventuale presenza di condizioni predisponenti il fenomeno della liquefazione dei sedimenti sabbiosi che durante la sequenza sismica del maggio-giugno 2012 è stato particolarmente attivo in diversi comuni posti ad est rispetto Novi (ad es. Concordia, Cavezzo, San Felice, Finale, Mirandola, in Provincia di Modena e, più lontano, San Carlo e Mirabello, in Provincia di Ferrara).

Il lavoro di interpretazione stratigrafica è stato condotto a scala dell'intera Unione Comunale Terre d'Argine, al fine di definire un quadro stratigrafico del primo sottosuolo che prescindesse dai confini amministrativi e per poter tener conto delle informazioni disponibili anche nei comuni adiacenti, superando il vincolo territoriale della scala comunale. Ciò ha permesso di definire un insieme di un totale di 28 stratigrafie tipo che sono sufficienti a descrivere il sottosuolo dell'intera Unione Comunale e che nelle zone di confine tra due comuni attigui risultano comuni ad entrambe le municipalità. Tale approccio interpretativo si è di fatto dato l'obiettivo di superare le problematiche che spesso sorgono nel confrontare cartografie di comuni attigui che, soprattutto quando prodotte da gruppi di lavoro diversi, tendono a presentare incongruenze sia a livello di limiti tra unità affioranti in entrambi i comuni che di vera e propria interpretazione del modello stratigrafico.

Le stratigrafie tipo sono numerate progressivamente da 1 a 28.

Una conseguenza fondamentale di tale approccio è che, a seconda del comune

appartenente all'Unione Comunale che si prende in considerazione (Novi di Modena, Carpi, Soliera o Campogalliano) solo alcune delle 28 stratigrafie tipo sono necessarie per descriverne il sottosuolo, per cui le codifiche numeriche identificative delle MOPS presenti in un determinato comune possono non essere progressive come evidenziato nella tabella che segue).

MOPS codice	Novi	Carpi	Soliera	Campogalliano
30502001	30502001			
30502002	30502002			
30502003	30502003	30502003		
30502004	30502004			
30502005	30502005			
30502006	30502006	30502006		
2007	2007			
30502008	30502008	2007		
30502009	30502009			
30502010	30502010	30502010		
30502011	30502011			
30502012	30502012	30502012		
2013	2013	2013	2013	
30502014		30502014		
2015		2015		
30502016		30502016	30502016	
2017		2017	2017	2017
30502018		30502018		30502018
30502019		30502019		
30502020		30502020	30502020	
2021			2021	
30502022			30502022	
2023			2023	
30502024			30502024	
30502025			30502025	
30502026				30502026
2027				2027
30502028				30502028

A tale proposito il Comune di Novi fa eccezione in quanto, come evidenziato in tabella, i codici identificativi delle MOPS sono progressivi dal n. 1 al n. 13 senza soluzione di continuità. Ciò è dovuto al fatto che nell'assegnazione dei codici numerici progressivi si è proceduto da nord verso sud, iniziando proprio dal Comune di Novi di Modena.

Come già si è descritto nel capitolo 3.2, il sottosuolo di Novi può essere quasi tutto schematizzato come formato da due insiemi sedimentari ascrivibili al dominio appenninico, terreni più superficiali, e al dominio padano, sedimenti posti al di sotto di quelli appenninici.

Lo spessore dei sedimenti appenninici risulta mediamente dell'ordine di circa 10-12 m, ma è piuttosto variabile e localmente può risultare minore di 10 m e in altri luoghi superiore a 15 m. In linea tendenziale muovendosi da nord verso sud la profondità del tetto dei sedimenti padani tende ad aumentare. Nei settori più meridionali del territorio comunale l'interpretazione dei dati puntuali suggerisce una progressiva commistione coi sedimenti di pertinenza appenninica, con le sabbie padane che tendono ad interdigitarsi ai sedimenti prevalentemente pelitici appenninici.

Il quadro stratigrafico testé descritto ha come conseguenza che gli areali nei quali la probabilità di incontrare corpi e strati sabbiosi nei primi 10-15 m di spessore sia minima sono solo



quelli a sud, dove i dati disponibili evidenziano che i sedimenti di origine appenninica sono pressoché quasi ovunque di natura argillosa e argilloso-limosa. Altrove la presenza di strati sabbiosi è pressoché ubiquitaria anche se lo spessore non sempre è rilevante.

Se si tiene poi conto del fatto che dai dati da pozzi, sondaggi e fori penetrometrici si deduce la presenza quasi ubiquitaria di acque di falda a profondità inferiori a 3-4 metri, con conseguente saturazione dei sedimenti sabbiosi, si ha come conseguenza che, con esclusione dei già citati settori meridionali, tutto il territorio comunale andrebbe classificato (al primo livello di approfondimento della Microzonazione sismica) come “Zone di attenzione per liquefazione”.

I dati del monitoraggio condotti da ARPAE confermano i valori di soggiacenza della falda freatica indicati in precedenza (Figura 23).

Comparando le varie stratigrafie e i diagrammi penetrometrici sono state definite sei stratigrafie tipo per descrivere il primo sottosuolo del Comune di Novi di Modena fino alla profondità di circa 30-40 m.

Il territorio tuttavia è posto in corrispondenza di un alto strutturale sepolto: la Dorsale Ferrarese (capitolo 3.1). Ciò ha come conseguenza che nella fascia territoriale che comprende il capoluogo il così detto *bedrock* è posto a profondità inferiori a 100 m, mentre subito a nord e subito a sud esso si trova a profondità compresa tra 100 e 150 m, mentre nella parte più meridionale scende a profondità ancora maggiori.

Se vuole quindi tenere conto sia della stratigrafia delle prime decine di metri dal piano campagna (descrivibile attraverso 6 stratigrafie tipo) sia della profondità del *bedrock*, occorre definire una zonazione del territorio che distingua le aree con *bedrock* a meno di 100m, le aree con *bedrock* compreso tra 100 m e 150 m e le aree nelle quali la profondità del *bedrock* supera i 150 m.

Tenendo conto di tali distinzioni si verifica che sono necessari 13 modelli geologici per descrivere il sottosuolo del territorio comunale, alcuni dei quali a coppie o terne (MOPS1 e MOPS8; MOPS2 e MOPS9; MOPS3, MOPS10 e MOPS 11; MOPS4, MOPS5 e MOPS12, MOPS7 e MOPS13) presentano il medesimo modello geologico entro i primi 40 m, ma si distinguono per le diverse profondità del *bedrock* sismico<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Qualora fossero disponibili dati stratigrafici più profondi (oltre i 40 m) sarebbe probabilmente possibile discriminare tra le coppie, o terne, di MOPS su base stratigrafica e non solo considerando la profondità del *bedrock* sismico.

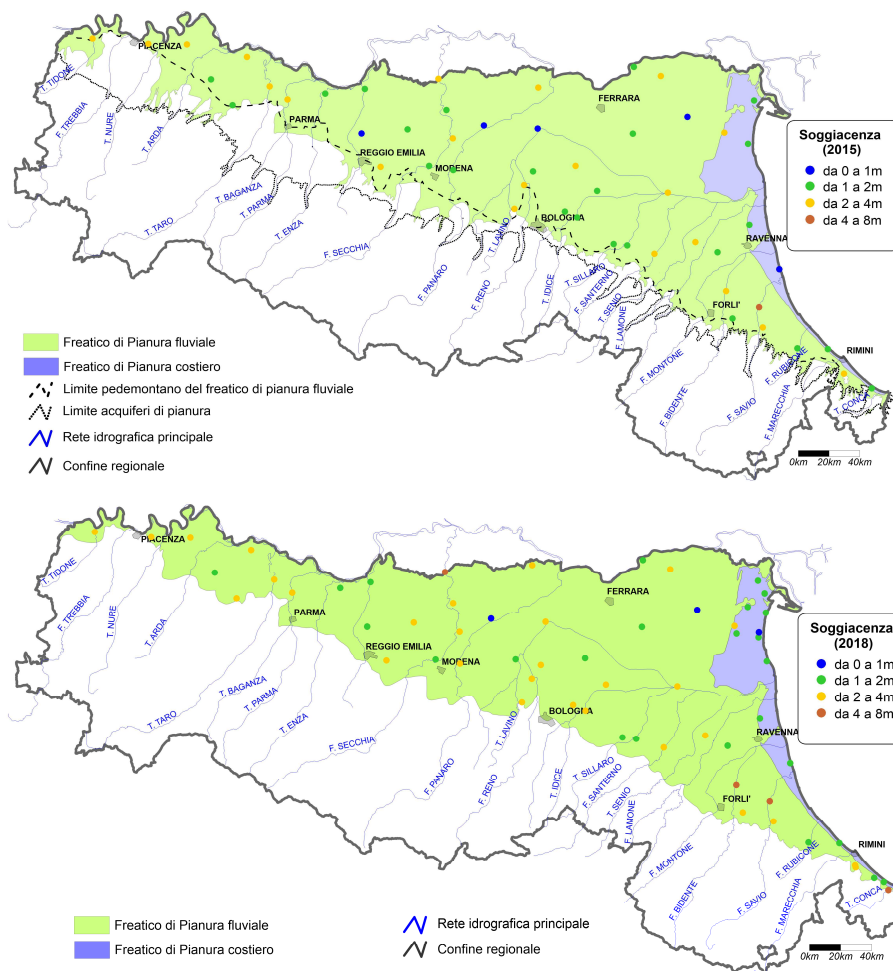


Figura 23 – Monitoraggio della soggiacenza degli acquiferi freatici di pianura fluviale e costiero (sunto dei dati relativi al 2015 e al 2018) (estratto da: <https://webbook.arpae.it/indicatore/Livello-delle-acque-sotterranee-00001/?espandi=grafici>)

Sulla base di tali modelli geologici il territorio di Novi è stato suddiviso in zone utilizzate per la “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” (Figura 24).

Come già detto, i tredici modelli geologici sono stati definiti tenendo conto:

- di dati puntuali (sondaggi e prove penetrometriche);
- di analisi di tipo “estensivo” (morfologia, unità litologiche e geologiche di superficie, assetto topografico, ecc.).

Si tratta quindi di strumenti che descrivono non puntualmente ma diffusamente le caratteristiche medie del sottosuolo comunale e pertanto ognuno di essi può presentare una certa variabilità negli spessori dei diversi orizzonti (che localmente possono risultare anche al di fuori dei *range* indicati) (Figura 25).

Ciò può avere come conseguenza che settori il cui sottosuolo è descritto dal medesimo modello geologico possono, a una verifica puntuale, mostrare differenze negli spessori e/o nelle profondità di una o più unità o orizzonti stratigrafici, in quanto l’ambiente sedimentario continentale e in special maniera quello fluviale può presentare variazioni anche repentine delle condizioni di accumulo e/o di erosione dei materiali trasportati dai flussi delle correnti fluviali in relazione al regime idraulico, ma anche ad eventi accidentali (tracimazioni e rotte fluviali ad esempio).

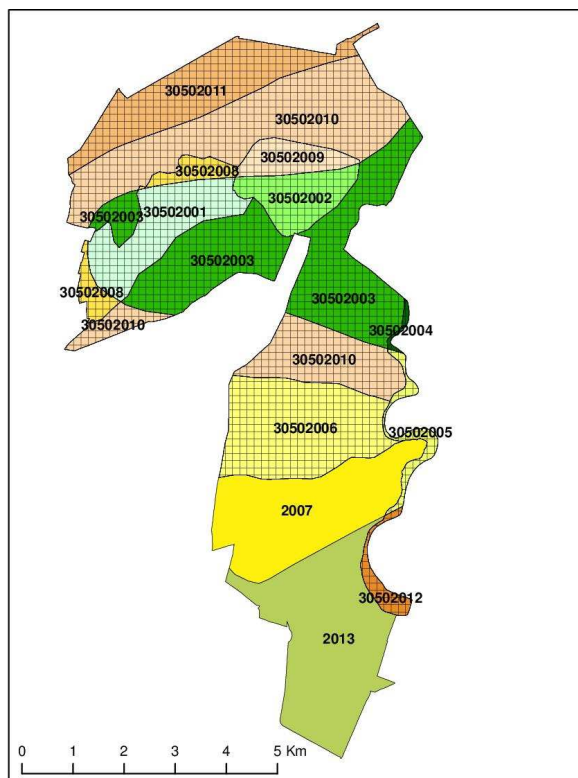


Figura 24 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica con indicate le sigle identificative dei modelli geologici di cui alla Figura 25 (Ridotto e semplificato a partire dalla tavola omonima. I codici numerici preceduti da 3050 sono riferiti a quelle microzone nel cui sottosuolo è stata ravvisata la presenza di corpi sabbiosi sotto falda (zone suscettibili di instabilità per liquefazione delle sabbie). Le ultime due cifre del codice corrispondono ai codici numerici identificativi di ciascuna MOPS (ad esempio: 2013 corrisponde al codice del modello geologico MOPS13).

### 5.1. Modelli geologici

Come già accennato, l'analisi dei dati stratigrafici congiunta con la realizzazione delle sezioni geologiche interpretative (allegato n. 1), unitamente ai dati di geologia di superficie (Carta geologico-tecnica, Carta geologica regionale, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 e altre carte tematiche), hanno permesso di delineare un quadro interpretativo sufficientemente dettagliato dell'architettura del primo sottosuolo, fino a una profondità di circa 30-40 m. È stato così possibile il tracciamento in sezione delle principali interfacce stratigrafiche ascrivibili ai passaggi tra unità a limiti inconformi, così come definiti per la pianura emiliano-romagnola dai geologi regionali: subsistema di Ravenna (con la sua porzione più superficiale denominata unità di Modena) e subsistema di Villa Verucchio (unità di Vignola e unità di Niviano).

In via interpretativa si ritiene qui che i depositi superficiali prevalentemente limo argillosi di pertinenza appenninica siano da ascrivere al così detto subsistema di Ravenna.

Le sabbie padane, che si rinvennero a profondità diversa potrebbero essere assegnate in via interpretativa al sottostante subsistema di Villa Verucchio (unità di Vignola), anche in accordo con la sezione idrogeologica n. 3 (Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, 1998) nella quale tali corpi sabbiosi sono attribuiti al complesso acquifero A1.

\* \* \*

Come già accennato, sono stati definiti 13 modelli geologici che tengono conto sia delle

stratigrafie tipo, a partire dalla superficie fino a circa 40 m da p.c., sia della profondità del *bedrock* (minore di 100 m, compresa tra 100 e 150 m o superiore a 150 m) (Figura 24).

Le stratigrafie schematiche riportate nella Figura 24 descrivono in maniera sintetica tali modelli geologici di riferimento per la distinzione delle MOPS (Figura 23). Indicativamente ogni modello stratigrafico è dato da due unità informali, delle quali, come già detto, la prima (unità A) è di pertinenza appenninica, mentre la seconda (unità B) è di pertinenza padana:

- unità A, superficiale di spessore e granulometria variabili (tendenzialmente fine per le MOPS 7 e 13); mista fine/grossolano per le altre MOPS);
- unità B sottostante all'unità A, data da sabbie da fini a grossolane e con spessori di alcune decine di metri, lateralmente continua, sebbene la profondità del passaggio alla sovrastante unità A vari di diversi metri tra un settore e l'altro del territorio comunale, con tendenza a passaggio per alternanza (con interdigitazioni reciproche) nei settori posti più a sud.

**MOPS1 (30502001) e MOPS 8 (30502001):** Si tratta dei modelli geologici ascrivibili al settore ad andamento circa SO-NE sul quale è insediato il capoluogo (Figura 23). La presenza di corpi sabbiosi di spessore anche plurimetrico, a bassa profondità, oltre che l'andamento a direzione antiappenniniche, suggerirebbero la possibilità che tale areale coincida con un antico corso fluviale, di un probabile affluente del Secchia. La deposizione di sedimenti fini più recenti avrebbe mascherato una probabile paleo-morfologia a dosso fluviale.

**MOPS2 (30502002) e MOPS 9 (30502009):** L'areale caratterizzato da tali modelli geologici si sviluppa pressoché in continuità (verso NE) con il precedente (Figura 23). La presenza di sedimenti sabbiosi è lievemente meno superficiali (a partire da circa 8 m dal p.c.) ma spesso in continuità con le sabbie padane.

**MOPS3 (30502003), MOPS10 (30502010) e MOPS11 (30502011):** con esclusione degli areali descritti in precedenza, questi modelli geologici rappresentano la parte settentrionale del territorio comunale che si estende grossomodo dal confine con concordia, ad est, con le Province di Mantova e Reggio Emilia a nord e ad ovest. Il sottosuolo è caratterizzato da una stratigrafia sostanzialmente dicotomica, con peliti appenniniche fino a circa 11 m che sovrastano sabbie padane di spessore plurimetrico alle quali si intercalano radi strati pelitici.

MOPS1				Bedrock Sismico < 100 m				MOPS8				100 m < Bedrock Sismico < 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	8	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	8	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
2	8	SM	Sabbie e sabbie limose	2	8	SM	Sabbie e sabbie limose	2	8	SM	Sabbie e sabbie limose	2	8	SM	Sabbie e sabbie limose
8	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	8	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	8	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	8	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
12	20	SM	Sabbie e sabbie limose	12	20	SM	Sabbie e sabbie limose	12	20	SM	Sabbie e sabbie limose	12	20	SM	Sabbie e sabbie limose
20	24	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	20	24	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	20	24	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	20	24	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
24	25	SM	Sabbie e sabbie limose	24	25	SM	Sabbie e sabbie limose	24	25	SM	Sabbie e sabbie limose	24	25	SM	Sabbie e sabbie limose
25	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	25	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	25	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	25	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
32	40	SM	Sabbie e sabbie limose	32	40	SM	Sabbie e sabbie limose	32	40	SM	Sabbie e sabbie limose	32	40	SM	Sabbie e sabbie limose

MOPS2				Bedrock Sismico < 100 m				MOPS9				100 m < Bedrock Sismico < 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	8	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	8	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	8	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	8	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
8	35	SM	Sabbie e sabbie limose	8	35	SM	Sabbie e sabbie limose	8	35	SM	Sabbie e sabbie limose	8	35	SM	Sabbie e sabbie limose
35	40	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	35	40	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	35	40	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	35	40	CL	Argille, argille limose e limi argillosi

MOPS3				Bedrock Sismico < 100 m				MOPS10				100 m < Bedrock Sismico < 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	11	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	11	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	11	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	11	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
11	30	SM	Sabbie e sabbie limose	11	30	SM	Sabbie e sabbie limose	11	30	SM	Sabbie e sabbie limose	11	30	SM	Sabbie e sabbie limose
30	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	30	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	30	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	30	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
32	40	SM	Sabbie e sabbie limose	32	40	SM	Sabbie e sabbie limose	32	40	SM	Sabbie e sabbie limose	32	40	SM	Sabbie e sabbie limose

MOPS11				Bedrock Sismico > 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	11	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	11	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
11	30	SM	Sabbie e sabbie limose	11	30	SM	Sabbie e sabbie limose
30	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	30	32	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
32	40	SM	Sabbie e sabbie limose	32	40	SM	Sabbie e sabbie limose

MOPS4				Bedrock Sismico < 100 m				MOPS5				100 m < Bedrock Sismico < 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
2	6	SM	Sabbie e sabbie limose	2	6	SM	Sabbie e sabbie limose	2	6	SM	Sabbie e sabbie limose	2	6	SM	Sabbie e sabbie limose
6	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	6	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	6	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	6	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
12	50	SM	Sabbie e sabbie limose	12	50	SM	Sabbie e sabbie limose	12	50	SM	Sabbie e sabbie limose	12	50	SM	Sabbie e sabbie limose

MOPS12				Bedrock Sismico > 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	2	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
2	6	SM	Sabbie e sabbie limose	2	6	SM	Sabbie e sabbie limose
6	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	6	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
12	50	SM	Sabbie e sabbie limose	12	50	SM	Sabbie e sabbie limose

MOPS6				100 m < Bedrock Sismico < 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	6	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	6	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
6	30	SM	Sabbie e sabbie limose	6	30	SM	Sabbie e sabbie limose

MOPS7				100 m < Bedrock Sismico < 150 m				MOPS13				Bedrock Sismico > 150 m			
Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione	Tetto	Base	Sigla Litologica	Descrizione
0	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	0	12	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
12	13	SM	Sabbie e sabbie limose	12	13	SM	Sabbie e sabbie limose	12	13	SM	Sabbie e sabbie limose	12	13	SM	Sabbie e sabbie limose
13	19	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	13	19	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	13	19	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	13	19	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
19	21	SM	Sabbie e sabbie limose	19	21	SM	Sabbie e sabbie limose	19	21	SM	Sabbie e sabbie limose	19	21	SM	Sabbie e sabbie limose
21	35	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	21	35	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	21	35	CL	Argille, argille limose e limi argillosi	21	35	CL	Argille, argille limose e limi argillosi
35	50	SM	Sabbie e sabbie limose	35	50	SM	Sabbie e sabbie limose	35	50	SM	Sabbie e sabbie limose	35	50	SM	Sabbie e sabbie limose

Figura 25 – Modelli geologici.

**MOPS4 (30502004), MOPS5 (30502005) e MOPS12 (30502021):** Si tratta di aree relativamente piccole, adiacenti al dosso fluviale arginato del Fiume Secchia, corrispondenti ad antiche golene e a meandri abbandonati (Figura 23) o coincidenti con gli attuali argini e alveo.

**MOPS6 (30502006):** tale zona corrisponde alla parte centrale del territorio comunale (Figura 23) che si caratterizza per la presenza di sabbie a relativamente bassa profondità (Figura 24)

**MOPS7 (2007) e MOPS13 (2007):** Coincidono con i settori più a sud del territorio comunale caratterizzati dall'apparente assenza di sedimenti sabbiosi a bassa profondità e dall'approfondimento del tetto delle sabbie padane nonché dalla loro interdigitazione con i sedimenti pelitici appenninici



## 6. INTERPRETAZIONE E INCERTEZZE

### 6.1. Interpretazioni

I dati disponibili e quelli di nuova acquisizione, per lo più di natura puntuale, hanno richiesto un notevole sforzo d'interpretazione e omogeneizzazione.

Si è inoltre reso necessario valorizzare certi dati, ritenuti “soggettivamente” di qualità migliore, rispetto ad altri:

- sia per l'accuratezza delle informazioni contenute;
- sia per la maggiore estensione della verticale indagata che ha permesso di definire un modello stratigrafico puntuale fino a profondità maggiori, rispetto alle profondità usualmente raggiunte dalle indagini standard;
- sia anche per la maggiore chiarezza nell'esporre le informazioni.

Indicativamente, il grado d'interpretazione è stato diverso a seconda del lavoro o dell'elaborato da approntare.

Per la “Carta geologico-tecnica”, si è fatto riferimento alle carte pubblicate, alle sezioni geologiche, ma soprattutto al confronto comparato e alla correlazione tra dati geognostici puntuali.

Per le sezioni geologiche si è cercato di dare un'interpretazione di tipo stratigrafico-ambientale ai sondaggi e alle prove penetrometriche tipo CPTU, ritenute ormai più affidabili rispetto le CPT<sup>7</sup>, al fine di riconoscere i limiti tra le unità stratigrafiche principali.

Per la Carta MOPS l'interpretazione dei dati penetrometrici ha comportato anche la valutazione (fortemente interpretativa, perché basata sia sull'assunzione di correlazioni empiriche che sull'assunzione di valori discriminanti di percentuali di spessore) degli spessori cumulati di terreni sabbiosi e terreni soffici, la cui esistenza è stata valutata sulla base rispettivamente del valore del rapporto  $R_p/R_I$  e della correlazione empirica tra valore di resistenza alla punta e coesione non drenata. Particolare attenzione si è posta nel cercare di rendere coerenti i passaggi all'analogia carta dei comuni confinanti (Concordia e Carpi).

Per quanto riguarda le carte delle indagini, delle frequenze e delle velocità, non si è dovuto procedere a interpretazioni particolari dei dati, in quanto questi sono stati semplicemente geolocalizzati e riportati, sebbene occorra precisare che per quanto attiene la frequenza di sito e le velocità  $V_{s30}$ , il processo d'interpretazione sta a monte del risultato finale (determinazione del picco di frequenza  $H/V$  e sua attribuzione a cause stratigrafiche; determinazione della curva di dispersione delle onde di superficie, *picking* e relativa modellazione, ecc.)<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> Si è dovuto comunque fare ricorso anche alle CPT per la non omogenea distribuzione e per il numero relativamente minore di CPTU/CPTE disponibili.

<sup>8</sup> In banca dati è presente un unico dato relativo ad un rilievo sismico elaborato attraverso metodologie del tipo “Full Waveform Inversion” (Dal Moro, 2019) che mirano a ridurre fortemente la componente interpretativa e soggettiva dal processo di elaborazione degli spettri di velocità.

### 6.1.1. *Andamento del Bedrock sismico*

L'andamento del bedrock sismico non è di semplice definizione anche perché, ai fini della sicurezza sismica, e cioè della valutazione dello scuotimento sismico in superficie, assumono rilevanza i principali contrasti d'impedenza sismica che non necessariamente coincidono con il passaggio a rocce dotate di velocità delle onde di taglio pari a  $V_s > 800$  m/s.

A tale proposito avendo a disposizione pochi dati utili fra quelli disponibili nel sito web della "Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna" descritti alla Tab. 1, ci si è avvalsi di studi e pubblicazioni precedenti nei quali sono presenti indicazioni interpretative inerenti il bedrock sismico.

Si fa riferimento in particolare a:

- Sezione 026- Sez3 RER-ENI1998;
- Sezione 052 Progetto Carg;
- Sezione 107 Progetto bonifica distretto ceramico Modena-Reggio;
- Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe. Martelli L. et Alii 2017;
- *Combining passive-geophysical and stratigraphic data for a preliminary mapping of the Po Plain (Northern Italy) seismic bedrock*. Mascandola C. et Alii 2017;
- *Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring*. Mascandola C. et Alii 2018;
- *Assessment of seismic bedrock in deep alluvial plains. Case studies the Emilia-Romagna plain*. Martelli L. in Geosciences 2021
- Carta delle MOPS della MS del Comune di Novi di Modena relativa all'"*Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n. 70 del 13 novembre 2012*", dove viene distinto il substrato a profondità < di 120 m, dall'abitato di Rovereto compreso e zone a Nord dello stesso, ed a profondità > di 120 m per la rimanente parte comunale, posta a sud di Rovereto (Figure 26 e 26bis).

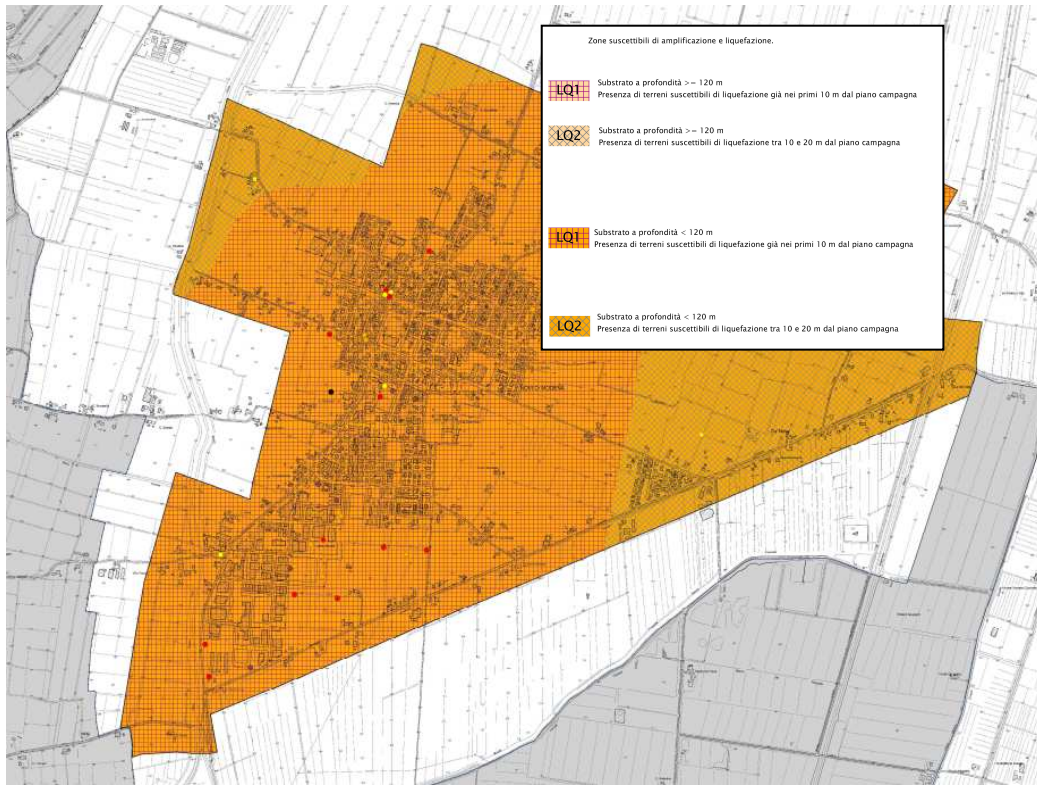


Figura 26- Estratto della Carta delle MOPS della MS sismica Ordinanza 2012 (non in scala).

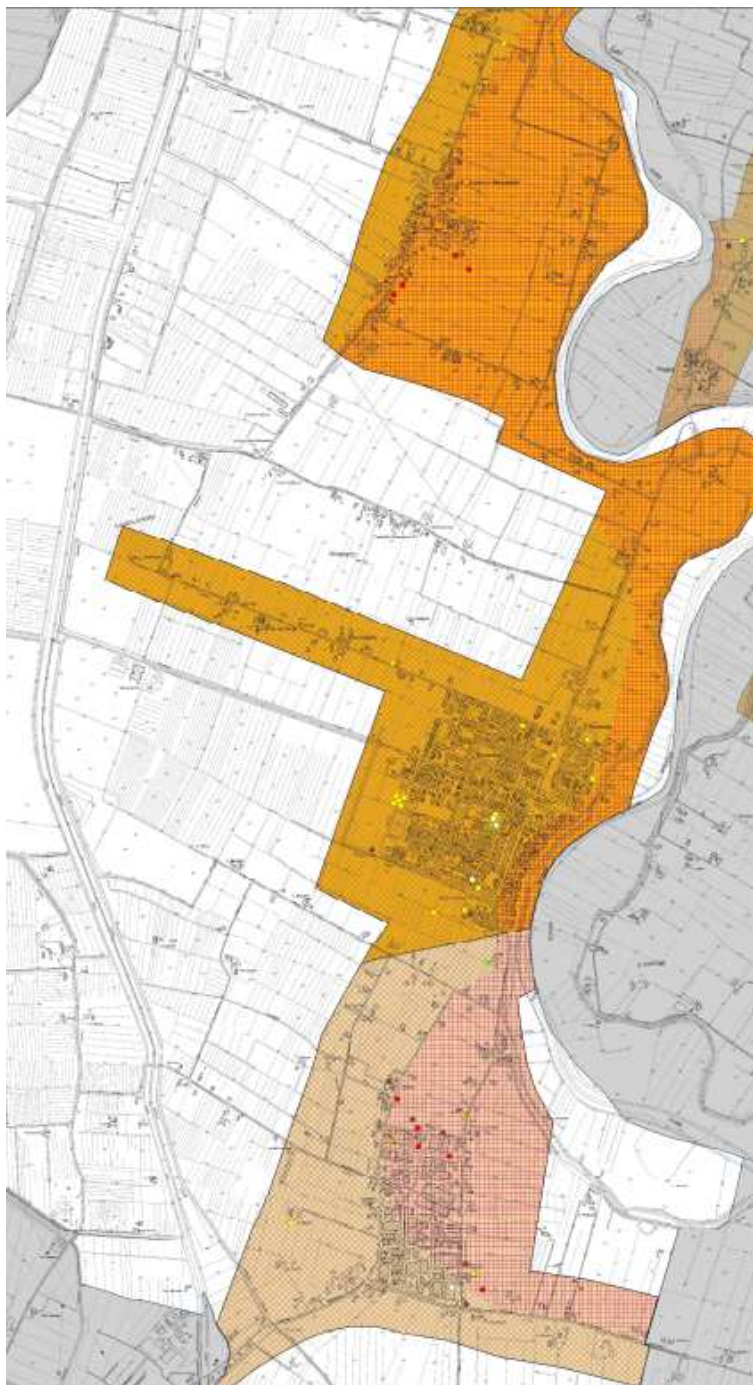


Figura 26bis Estratto della Carta delle MOPS della MS sismica Ordinanza 2012 (non in scala) (legenda riportata nella figura precedente).

L'interpretazione di tali elementi ha portato a confermare un andamento del *bedrock* sismico che vede il capoluogo, e il territorio ad Est verso Concordia, posto in corrispondenza della "culminazione" dell'anticlinale, mentre la fascia che la borda, a nord, sud ed ovest del capoluogo, risulta in moderato declivio centrifugo almeno fino al confine comunale.

La documentazione richiamata descrive in modo solo indicativo e non univoco l'andamento del *bedrock* e quindi permangono dubbi interpretativi sullo stesso; si è comunque avanzata un'ipotesi di lavoro che suddivide il territorio del Comune di Novi di Modena in sei parti appartenenti a tre diverse classi di profondità del Bedrock: la prima parte da 50 a 100 m



(capoluogo); la seconda, terza e quarta parte da 100 a 150 m (Rovereto); la quinta e la sesta parte da 150 a 200 (Figura 27).

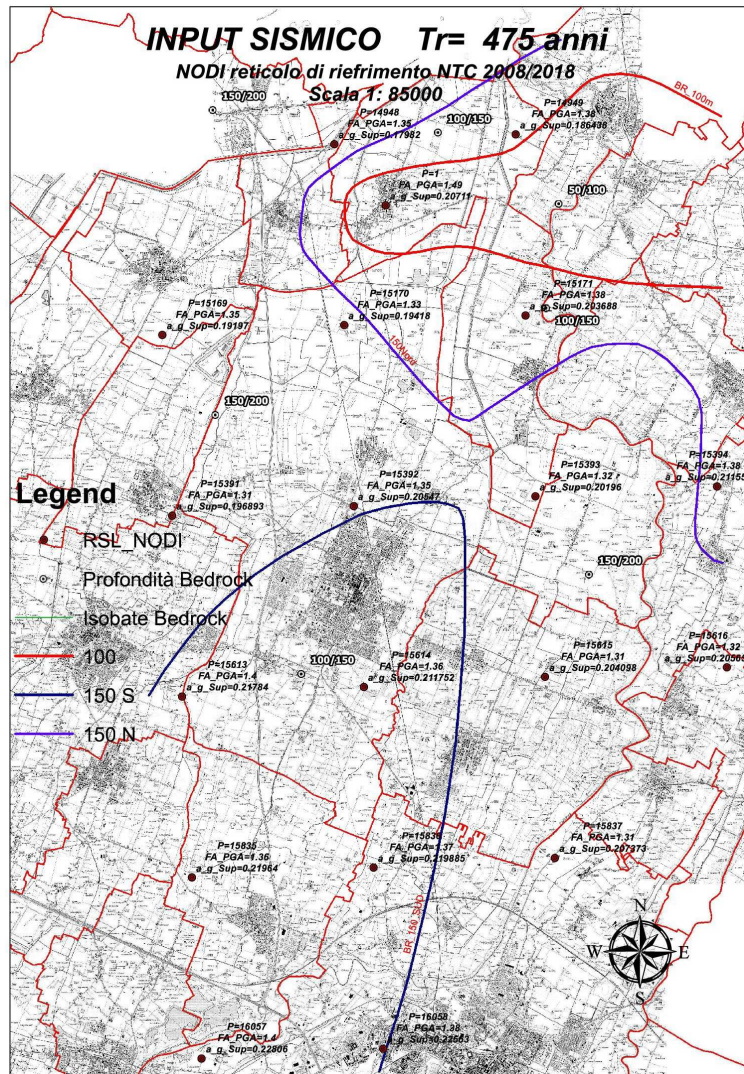


Figura 27- Isobate dell'andamento del Bedrock con misure espresse in m dal pdc e ubicazione delle verticali in corrispondenza delle quali sono state eseguite le analisi di risposta sismica locale (Fuori scala).

## 6.2. Incertezze

Come qualsiasi studio a scala territoriale basato sulla comparazione di dati puntuali (o tutt'al più rilevati lungo una disposizione lineare o bidimensionale di sensori, che comunque copre un'estensione limitata) e su analisi di tipo estensivo (morfologica, topografica, litologica, paleo ambientale, ...) la maggiore o minore densità nella distribuzione delle informazioni condiziona fortemente il grado d'incertezza nonché di coerenza interpretativa. Già la collocazione in un ambiente di pianura che può presentare repentine variazioni laterali, nonché verticali, delle caratteristiche stratigrafiche, contribuisce a introdurre un'incertezza interpretativa difficilmente quantificabile.

Tale variabilità dell'ambiente di pianura non sempre si riflette in variazioni delle caratteristiche "sismiche" del sottosuolo: uno strato di sabbia, anche plurimetrico, all'interno di una



successione prevalentemente pelitica può non essere distinguibile per mezzo del metodo geosismico, in quanto non sempre “contrastata” in maniera significativa con sedimenti più fini.

Anche una carta geologica, seppure di dettaglio, riporta pochi dati oggettivi (l'ubicazione degli affioramenti, gli assetti stratigrafici nell'ipotesi che il rilievo non sia stato affetto da errore e che la polarità fosse evidentemente chiara, ecc.), mentre per gran parte costituisce un documento di lavoro e d'interpretazione “soggettiva”, basata su ipotesi che hanno lo scopo di rendere conto dei dati pressoché puntuali e di inquadrarli in una visione generale.

Considerate tali premesse, potrebbe risultare alquanto opinabile pretendere un'assoluta validità e affidabilità per un modello geologico su tutto l'areale per il quale è stato definito, se non facendo riferimento a una descrizione per caratteristiche medie.

Si è pertanto sempre cercato un compromesso tra conoscenze stratigrafiche e litologico-tecniche legate, in alcuni casi, a pochi dati puntuali (analisi puntuale) e coerenza con il contesto geologico all'intorno (analisi estensiva).

Come già accennato le fonti dati principali sono state:

- per le informazioni geognostiche puntuali (prove penetrometriche, sondaggi a carotaggio e indagini geofisiche) l'archivio comunale e quello regionale;
- per le informazioni geologico cartografiche i siti web specifici che fanno capo all'Ufficio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna;
- altre informazioni sono state mutate dal PTCP della Provincia di Modena, nonché dalle indagini e documenti allegati al vigente Strumento Urbanistico Locale, e soprattutto alle numerose pratiche sismiche presentate all'indomani della sequenza sismica del maggio-giugno 2012.

I dati geognostici non sono uniformemente distribuiti sul territorio comunale, ma si concentrano laddove, per iniziativa pubblica o privata, si sono attuati interventi di realizzazione e/o sistemazione urbanistico-edilizia.

\* \* \*

Al di là delle problematiche relative alla distribuzione spaziale delle indagini disponibili, occorre puntualizzare alcuni elementi relativi alla rappresentatività e affidabilità delle informazioni:

- le stratigrafie ricavate da sondaggi a carotaggio continuo non sono molte e principalmente si concentrano lungo il tracciato della prevista “Autostrada Cispadana” nonché in alcuni siti presso il capoluogo (sondaggio profondo realizzato dalla Regione Emilia-Romagna, ad esempio).
- per le prove penetrometriche a punta meccanica si hanno informazioni molto varie: in alcuni casi mancano le caratteristiche della strumentazione di prova; spesso è presente il grafico della  $R_p$  o della  $R_p$  e della  $R_l$ ; le unità di misura non sono sempre omogenee ( $\text{kg/cm}^2$ ; MPa per la resistenza alla punta e KPa per quella laterale);
- le prove penetrometriche CPTU appaiono più apportatrici di contenuti, anche perché normalmente sono di più recente realizzazione;
- spesso risulta difficile correlare dati puntuali (prove penetrometriche, stratigrafie, ecc) anche

distanti pochi metri l'uno dall'altro, sia per effettive cause geologiche (variazioni laterali di facies e degli spessori) sia per le soprarichiamate disomogeneità presenti nella documentazione disponibile, tanto che a volte si ravvisano delle apparenti incongruenze tra dati puntuali distanti poche decine di metri, o anche meno;

- le indagini geofisiche reperite in archivio, non sempre sono complete. A volte mancano i dati originali, sismogrammi o spettri di velocità; più spesso non sono presenti informazioni relative alla geometria della stesa e ai parametri di acquisizione; pressoché sempre non si hanno indicazioni relative alla fase interpretativa (se sia stato adottato un approccio d'inversione automatica dei dati ovvero di modellazione diretta supportata dalle conoscenze geologiche locali derivanti da indagini geognostiche, rilevamento diretto e cartografie tematiche). Nel complesso, volendo dare una valutazione soggettiva<sup>9</sup> ai contenuti informativi delle indagini geofisiche reperite in archivio (non al risultato finale dell'interpretazione) la gran parte delle indagini presenta una valutazione di media qualità: la maggioranza delle indagini geofisiche contiene infatti informazioni non complete, ma comunque sufficienti ad essere annoverate con un giudizio Medio.

---

<sup>9</sup> Le indagini sismiche in onde di superficie, attive e passive, sono state valutate per il contenuto informativo che apportavano con un giudizio sintetico (Buono, Medio, Scarso) basato esclusivamente sul fatto che fossero disponibili almeno 5 informazioni su 7 (Buono) o 3 su 7 (Medio) tra le seguenti: geometria della stesa e parametri di acquisizione; sismogrammi, spettro di velocità, picking della curva di dispersione; modello di profilo verticale di velocità, scostamento statistico tra modello e dati; correlazione tra indagine geofisica e dati geologici disponibili. Per le indagini a rifrazione sono stati considerati i seguenti criteri: sismogrammi, dromocrone, geometria della stesa e parametri di acquisizione e modello sismostratigrafico (giudizio Buono in presenza di almeno 3 delle quattro informazioni; giudizio Medio per disponibilità di almeno sismogrammi-o dromocrone- e modello sismostratigrafico). Per le indagini a stazione singola si è fatto riferimento alla presenza delle seguenti informazioni: grafico H/V, spettro delle singole componenti, parametri di acquisizione; parametri di elaborazione, grafico direzionalità e modello di profilo verticale di velocità (Buono per compresenza di tutte e 6 le informazioni, Medio per compresenza di 5 informazioni su 6).

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Come già accennato nel capitolo 1, i principali riferimenti che sono stati presi come guida per l'espletamento del presente studio sono stati:

- Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 564 del 26 aprile 2021 (*Integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).*
- Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 476 del 12 aprile 2021 (*Aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017) di cui alla delle 29 aprile 2019 n. 630).*
- Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 630 del 29 aprile 2019 (*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).*
- Gruppo di lavoro MS, 2018 "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ).* Versione 1.0. Approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- Gruppo di lavoro MS, 2022 "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni.* Versione 2.0. Approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- Gruppo di lavoro Ms, 2008 "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*" approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- *Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (suppl. alla rivista Ingegneria Sismica, 2011).*
- Microzonazione sismica 2013 (Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n. 70 del 13 novembre 2012).

Sostanzialmente il lavoro si è articolato su tre fasi, non pienamente slegate l'una dall'altra, ma in parziale sovrapposizione.

### 7.1. Prima fase

Nella PRIMA FASE si è proceduto:

- alla raccolta sistematica dei dati disponibili, principalmente presso il Comune di Novi di Modena e la Regione Emilia-Romagna, la quale ha fornito lo studio di microzonazione sismica eseguito all'indomani della sequenza sismica del 2012 e le proprie banche dati. Ogni singolo dato è stato localizzato in cartografia e ne è stato preparato (quando non già esistente) un *file*

(in formato .pdf) contenente i diagrammi, le tabelle e tutto ciò che fosse utile per una lettura e interpretazione delle informazioni derivanti dall'indagine specifica;

- alla sistematizzazione dei dati raccolti all'interno di una struttura SIT e di una banca dati (organizzata secondo le linee guida della Protezione Civile, Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2);
- a una prima valutazione della distribuzione e delle informazioni disponibili derivanti dai dati raccolti (sia stratigrafici, ma anche di natura più specificatamente geofisica) con lo scopo di verificare l'eventuale presenza di areali per i quali non vi fossero informazioni e conoscenze relative al sottosuolo.
- elaborazione di una *Carta delle indagini* (elaborata secondo gli standard cartografici stabiliti dalla Protezione Civile) sulla quale sono state ubicate tutte le indagini da archivio, puntuali e lineari, e dalla quale sono state poi ottenute delle carte derivate quali la *Carta delle frequenze* e la *Carta delle velocità* (la cui elaborazione è prevista dalle Direttive Regionali), nonché per valutare (analisi di primo livello) la potenziale presenza di terreni sabbiosi (condizione predisponente il fenomeno della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche).

## **7.2. Seconda fase**

Nella SECONDA FASE dello studio si è proceduto all'analisi e interpretazione dei dati (si veda il capitolo 4 per una descrizione delle indagini disponibili e il capitolo 6 per una descrizione delle problematiche interpretative e delle incertezze insite nella base informativa) con lo scopo di definire oltre che i modelli geologici del sottosuolo anche l'andamento spaziale di certe grandezze e parametri (profili verticali della velocità delle onde S, valori del VS30, valori della frequenza di sito, stima della profondità del così detto *bedrock* sismico o meglio dei principali contrasti d'impedenza), nonché verificare l'esistenza di aree nelle quali vi fossero le condizioni predisponenti per instabilità da liquefazione dei terreni granulari sotto falda.

Questa fase dello studio ha previsto pertanto analisi e studi che rientrano sia nel primo che nel secondo che nel terzo livello di approfondimento previsti dalle Delibere 564/2021, 476/2021 e 630/2019 a livello regionale e dai Criteri nazionali della Protezione Civile.

### **7.2.1. Primo livello di approfondimento**

Nell'ambito degli studi del primo livello di approfondimento sono state affrontate le tematiche relative a:

- analisi dell'assetto geologico di inquadramento regionale e comprensione del modello geologico a grande scala fino oltre i 100 m di profondità, descritto attraverso le sezioni geologiche e le colonne stratigrafiche esemplificative dei modelli geologici relativi alle diverse MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica);
- litologia di superficie (Carta Geologico-Tecnica) per descrivere le caratteristiche litologiche,

- sedimentarie e granulometriche del primo sottosuolo (entro 2-3 m da p.c.). A tale proposito occorre rimarcare come l'andamento della litologia di superficie non rispecchi sempre la composizione del sottosuolo immediatamente più profondo;
- valutazione della presenza di terreni sabbiosi sotto falda (fattore predisponente il fenomeno della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche).
  - realizzazione di quattro sezioni geologiche interpretative, finalizzate a una migliore comprensione dell'assetto stratigrafico e strutturale del sottosuolo. Di tali documenti e dei loro contenuti si è già parlato nei capitoli precedenti ai quali si rimanda;
  - definizione dei modelli geologici. Dalla valutazione comparata di tutti i dati ed elaborati disponibili, compresi quelli realizzati per l'occasione (carta geologico-tecnica, sezioni geologiche, banca dati e carta delle indagini, ecc.) si è pervenuti alla definizione dei modelli geologici che descrivono il sottosuolo di tutto il territorio comunale, tenendo conto sia della stratigrafia delle prime decine di metri a partire dal p.c. sia della profondità del *bedrock* che risulta meno profondo in una fascia, comprendente anche il capoluogo) che si estende dapprima secondo una direttrice SO-NE e poi O-E (verso Concordia). Si rimanda al capitolo 5 per una descrizione più dettagliata dei modelli geologici e delle modalità che hanno portato alla loro definizione;
  - predisposizione della cosiddetta "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" che descrive il territorio sulla base dei modelli geologici e dell'esistenza delle condizioni locali predisponenti il fenomeno della liquefazione.

### **7.2.2. Secondo livello di approfondimento**

Non sono state eseguite valutazioni di secondo livello in quanto si è optato di valutare al terzo livello le aree di studio

### **7.2.3. Terzo livello di approfondimento**

#### **7.2.3.1. Premessa**

Le aree considerate per tale analisi approfondita coincidono con:

- il Territorio Urbanizzato e Urbanizzabile la cui perimetrazione è stata fornita dall'UT comunale;
- una fascia all'intorno del perimetro del territorio urbanizzato/urbanizzabile<sup>10</sup>;
- una fascia di territorio orientata all'incirca ovest-est che comprende l'areale nel quale si colloca il tracciato progettuale della strada "Cispadana" la cui realizzazione è prevista negli anni a venire.

Come evidenziato nei capitoli precedenti, l'analisi preliminare delle verticali penetrometriche

---

<sup>10</sup> La fascia all'intorno del territorio urbano/urbanizzabile è stata delimitata considerando un "buffer" della profondità di 50 m che è stato localmente ridotto quando esso andava ad interferire con settori territoriali specifici esclusi dalla possibilità di urbanizzazione (zona fluviale).



e delle stratigrafie disponibili ha messo in evidenza che, con l'esclusione dei settori più a sud, nel resto (e nella gran parte) del territorio comunale si riconosce la presenza di terreni sabbiosi sotto falda entro la profondità di 15-20 m, condizione potenzialmente prodromica per il fenomeno della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche. Tali areali sono stati pertanto classificati nella Carta delle MOPS (analisi di primo livello) come "Zone di attenzione per liquefazione".

#### **7.2.3.2. Risposta Sismica Locale (RSL)**

Il presente studio fa parte di quello più generale che riguarda i quattro Comuni dell'Unione delle Terre d'Argine (Campogalliano, Carpi Soliera e Novi di Modena). L'indagine di base è stata effettuata sull'intero territorio dell'Unione per poi esporre i risultati singolarmente per ogni Comune (in questo caso il Comune di Novi di Modena).

Per la caratterizzazione sismostratigrafica si è fatto ricorso al reticolo di riferimento considerato dalle NTC 18 (DM 17/01/2018) ed in particolare a n° 18 nodi dello stesso in quanto significativi dell'areale di interesse.

A tali nodi sono associati i segnali sismici di nostro riferimento, allegati alla DGR 476 del 12/04/2021.

In particolare si tratta dei seguenti nodi, oltre ad una verticale posta nel centro abitato del capoluogo di Novi dove è presente una indagine ESAC della RER con individuazione del Bedrock sismico (Figura 27):

*ID 14948; ID 14949;*

*ID 15169; ID 15170; ID 15171;*

*ID 15391; ID 15392; ID 15393; ID 15394;*

*ID 15613; ID 15614; ID 15615; ID 15616;*

*ID 15835; ID 15836; ID 15837;*

*ID 16057; ID16058;*

*Verticale "Novi centro"*

Sono stati quindi raccolti e selezionati per ogni verticale i dati geofisici, geotecnici e stratigrafici più significativi di quelli presenti e disponibili.

Per quanto riguarda le verticali di interesse relative al Comune di Novi, i riferimenti stratigrafici, delle velocità delle onde di taglio Vs e per l'individuazione del Bedrock sismico sono riportati nelle tabelle 1; le curve dinamiche di rigidità e di smorzamento (G/Gmax e D) e i pesi di volume assunti, sono indicati nelle tabelle 2 rispettivamente per le seguenti verticali: ID 14948; ID 14949; ID 15170; ID 15171; ID 15393; "Novi centro".

Tabella 1 - Riferimenti documentali per i modelli.

	Stratigrafia e Vs	Bedrock sismico
ID 14948	183070B003; 183070P422; 183070P621; 183110N001.	Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe. Martelli L. et Alii 2017; Sezione 026- Sez3 RER-ENI1998; Combining passive-geophysical and stratigraphic data for a preliminary mapping of the Po Plain (Northern Italy) seismic bedrock. Mascandola C. et Alii 2017; Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring. Mascandola C. et Alii 2018; ESAC Novi Centro.
ID 14949	183080B003; 183110N001; 183080P416; E8D407706850_pozzo Lombardia;	
ID 15170	183110N001; 183150P633;	
ID 15171	183120P603; 183120P604; 183120B010; 183120R016;	
ID 15392	183150P601; HVSR_ViaWatt; SCPTU_ViaWatt;	
ID 15393	201030R010; 183150P607; 183160P610;	
Novi Centro	183110N001; 183110P607.	

P = pozzi e sondaggio stratigrafico; k = REMI; B = SCPTU; N = ESAC; R = HVSR; F = Sondaggio stratigrafico

Tabella 2\_1 – 14948 Curve dinamiche e Pesì di volume

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output Specification					Compute					Results				
Soil Types																																		
Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model		Damping Model																														
1	Limo con Argilla	18.00	LimoConArgilla_Mirandola4		LimoConArgilla_Mirandola4																													
2	Sabbia Limosa	17.50	SabbiaLimosa_S.Carlo		SabbiaLimosa_S.Carlo																													
3	Sabbia	18.00	Idriss (1990), Sand		Idriss (1990), Sand																													
4	Ghiaie	19.00	Ghiaie (Lomb)		Ghiaie (Lomb)																													
5	Sabbia_2	18.50	Idriss (1990), Sand		Idriss (1990), Sand																													
6	Sabbia_3	19.00	Idriss (1990), Sand		Idriss (1990), Sand																													
7	Limo con Argilla_1	20.00	LimoConArgilla_Mirandola4		LimoConArgilla_Mirandola4																													
8	Sabbia_5	20.50	Idriss (1990), Sand		Idriss (1990), Sand																													
9	Limo con Argilla_2	21.00	LimoConArgilla_Mirandola4		LimoConArgilla_Mirandola4																													
10	Sabbia_6	21.50	Idriss (1990), Sand		Idriss (1990), Sand																													

**Tabella 2\_2 – 14949 Curve dinamiche e Pesì di volume**

General Settings		Soil Types	Soil Profile	Motion(s)	Output Specification	Compute	Results
Soil Types							
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model			
1	Argilla limosa	18.50	Argilla Limosa S.Carlo	Argilla Limosa S.Carlo			
2	Sabbia limosa	18.00	SabbiaLimosa_S.Carlo	SabbiaLimosa_S.Carlo			
3	Limi sabbiosi	18.50	Limi Sabbiosi /Lomb)	Limi Sabbiosi (Lomb)			
4	Sabbie	19.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand			
5	Sabbie con ghiaia	19.00	Sabbie (Lomb)	Sabbie (Lomb)			
6	Limo con argilla	18.50	LimoConArgilla_PoggioR7	LimoConArgilla_PoggioR7			
7	Sabbie3	19.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand			
8	Sabbie con ghiaia	20.00	Sabbie (Lomb)	Sabbie (Lomb)			
9	Limo con argilla_M	20.50	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			

**Tabella 2\_3 – 15170 Curve dinamiche e Pesì di volume**

General Settings		Soil Types	Soil Profile	Motion(s)	Output Specification	Compute	Results
Soil Types							
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model			
1	Limo con argilla M	18.00	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			
2	Limi sabbiosi	18.50	Limi Sabbiosi /Lomb)	Limi Sabbiosi (Lomb)			
3	Limo con argilla M1	18.50	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			
4	Limi con argilla M2	19.00	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			
5	Sabbie	19.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand			
6	Sabbie 2	20.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand			
7	Limi con argilla M3	21.00	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			
8	Limi con argilla M4	21.50	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			

**Tabella 2\_4 – 15171 Curve dinamiche e Pesì di volume**

General Settings		Soil Types	Soil Profile	Motion(s)	Output Specification	Compute	Results
Soil Types							
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model			
1	Sabbia limosa	18.00	SabbiaLimosa_S.Carlo	SabbiaLimosa_S.Carlo			
2	Argilla limosa	17.50	Argilla Limosa S.Carlo	Argilla Limosa S.Carlo			
3	Limo con argilla M	18.50	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			
4	Sabbia limosa 1	18.50	SabbiaLimosa_S.Carlo	SabbiaLimosa_S.Carlo			
5	Limo con argilla M1	19.00	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			
6	Sabbie	19.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand			
7	Limi con argilla M3	20.00	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			
8	Limi con argilla M4	21.00	LimoConArgilla_Mirandola4	LimoConArgilla_Mirandola4			

**Tabella 2\_5 – 15393 Curve dinamiche e Pesì di volume**

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output Specification					Compute					Results				
Soil Types																																		
Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model				Damping Model																												
1	Limo con argilla M	18.00	LimoConArgilla_Mirandola4				LimoConArgilla_Mirandola4																											
2	Sabbie	18.50	Idriss (1990), Sand				Idriss (1990), Sand																											
3	Limo con argilla M1	19.00	LimoConArgilla_Mirandola4				LimoConArgilla_Mirandola4																											
4	Sabbie 1	19.50	Idriss (1990), Sand				Idriss (1990), Sand																											
5	Limo con argilla M2	20.00	LimoConArgilla_Mirandola4				LimoConArgilla_Mirandola4																											
6	Sabbie 2	21.50	Idriss (1990), Sand				Idriss (1990), Sand																											
7	Limo con argilla M3	21.50	LimoConArgilla_Mirandola4				LimoConArgilla_Mirandola4																											

**Tabella 2\_6 – Novi centro Curve dinamiche e Pesì di volume**

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output Specification					Compute					Results				
Soil Types																																		
Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model				Damping Model																												
1	Limo con Argilla	17.00	LimoConArgilla_Mirandola4				LimoConArgilla_Mirandola4																											
2	Limi sabbiosi	16.50	Limi Sabbiosi /Lomb)				Limi Sabbiosi (Lomb)																											
3	Sabbie	17.50	Idriss (1990), Sand				Idriss (1990), Sand																											
4	Argille limose	18.00	Argilla Limosa S.Carlo				Argilla Limosa S.Carlo																											
5	Limo con Argilla_1	18.50	LimoConArgilla_Mirandola4				LimoConArgilla_Mirandola4																											
6	Sabbie_1	19.50	Idriss (1990), Sand				Idriss (1990), Sand																											
7	Limo con Argilla_2	20.00	LimoConArgilla_Mirandola4				LimoConArgilla_Mirandola4																											
8	Sabbie limose	21.00	SabbiaLimosa_S.Carlo				SabbiaLimosa_S.Carlo																											

In sintesi si espongono di seguito (Tabb. 3) i profili dei modelli utilizzati, per le verticali prima descritte.

L'assegnazione di tali verticali al territorio di Novi è stato effettuato sulla base areale delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in riferimento alle profondità del Bedrock sismico (migliore similitudine fra verticale e MOPS) nonché vicinanza fra verticale e MOPS stessa (Figura 28).



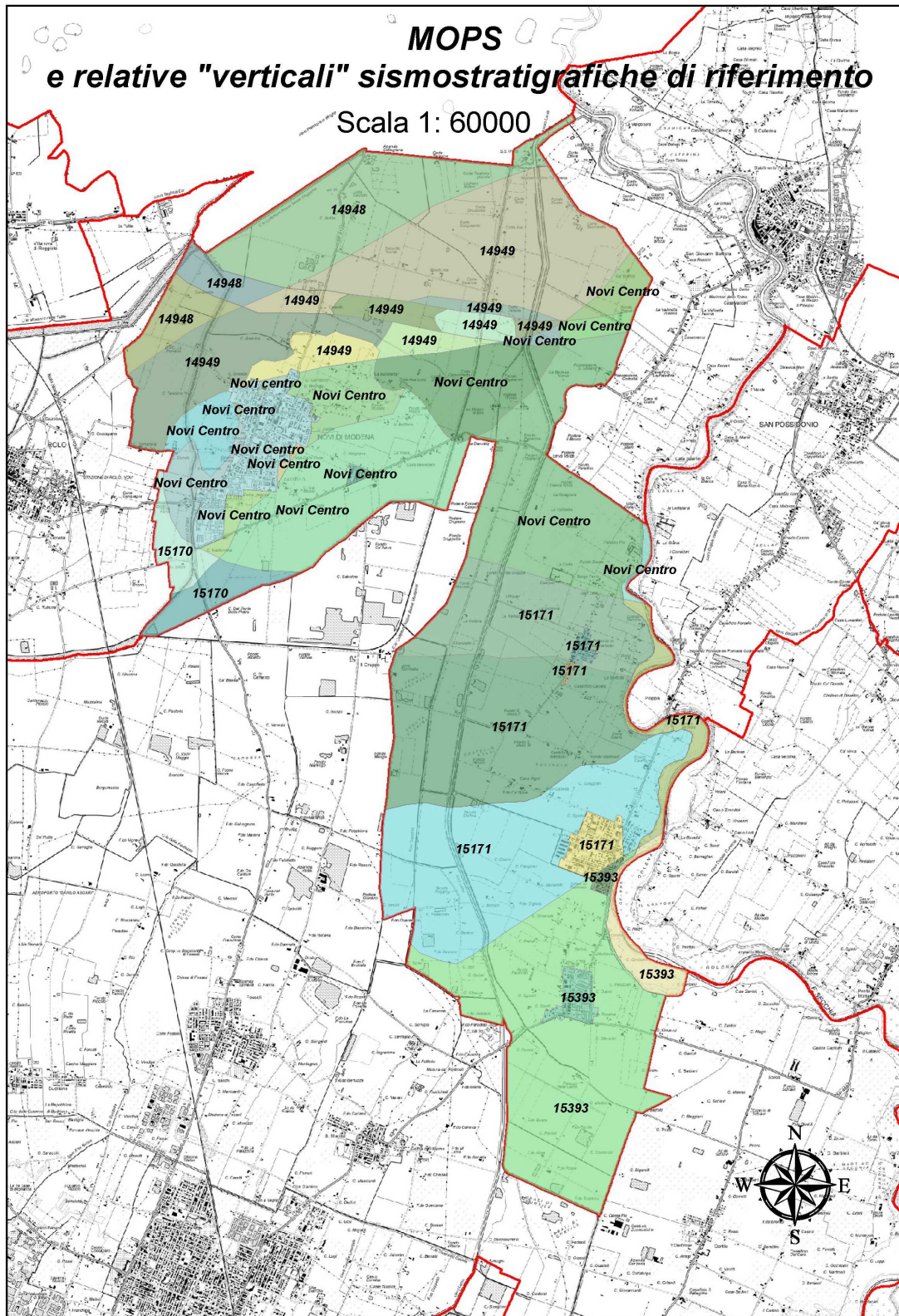


Figura 28- MOPS con indicate le "verticali" sismostratigrafiche di riferimento (Fuori scala).



Tabella 3\_1 – Modello 14948

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output				
Site Profile																								
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type		Vs (m/s)																			
1	0.00	4.50	Limo con Argilla		160.00																			
2	4.50	2.40	Sabbia Limosa		170.00																			
3	6.90	2.10	Sabbia		170.00																			
4	9.00	2.50	Ghiaie		180.00																			
5	11.50	5.50	Sabbia		200.00																			
6	17.00	10.00	Sabbia_2		220.00																			
7	27.00	23.00	Sabbia_3		300.00																			
8	50.00	20.00	Sabbia_3		350.00																			
9	70.00	24.00	Limo con Argilla_1		350.00																			
10	94.00	16.00	Sabbia_5		400.00																			
11	110.00	20.00	Limo con Argilla_2		400.00																			
12	130.00	25.00	Sabbia_6		450.00																			
13	155.00	Half-Space	Bedrock		850.00																			

Tabella 3\_2 – Modello 14949

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output				
Site Profile																								
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type		Vs (m/s)																			
1	0.00	4.00	Argilla limosa		160.00																			
2	4.00	1.30	Sabbia limosa		170.00																			
3	5.30	4.70	Argilla limosa		180.00																			
4	10.00	1.50	Limi sabbiosi		220.00																			
5	11.50	8.50	Sabbie		250.00																			
6	20.00	3.50	Sabbie con ghiaia		290.00																			
7	23.50	10.20	Sabbie		290.00																			
8	33.70	0.80	Limo con argilla		300.00																			
9	34.50	10.50	Sabbie		413.00																			
10	45.00	5.00	Sabbie3		450.00																			
11	50.00	30.00	Sabbie3		413.00																			
12	80.00	10.00	Sabbie con ghiaia		470.00																			
13	90.00	10.00	Limo con argilla_M		500.00																			
14	100.00	Half-Space	Bedrock		820.00																			

Tabella 3\_3 – Modello 15170

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output S				
Site Profile																								
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type		Vs (m/s)																			
1	0.00	4.00	Limo con argilla M		132.00																			
2	4.00	3.00	Limi sabbiosi		172.00																			
3	7.00	8.20	Limo con argilla M1		198.00																			
4	15.20	0.80	Limi sabbiosi		190.00																			
5	16.00	10.50	Limi con argilla M2		170.00																			
6	26.50	3.50	Sabbie		262.00																			
7	30.00	15.00	Sabbie		290.00																			
8	45.00	9.00	Sabbie 2		370.00																			
9	54.00	25.00	Limi con argilla M3		420.00																			
10	79.00	71.00	Limi con argilla M4		550.00																			
11	150.00	Half-Space	Bedrock		800.00																			

Tabella 3\_4 – Modello 15171

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output S				
Site Profile																								
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type		Vs (m/s)																			
1	0.00	7.00	Sabbia limosa		180.00																			
2	7.00	6.00	Argilla limosa		140.00																			
3	13.00	4.00	Limo con argilla M		300.00																			
4	17.00	22.00	Sabbia limosa 1		270.00																			
5	39.00	8.50	Limo con argilla M1		350.00																			
6	47.50	1.00	Sabbie		380.00																			
7	48.50	9.50	Limo con argilla M1		370.00																			
8	58.00	7.00	Sabbie		380.00																			
9	65.00	35.00	Limi con argilla M3		370.00																			
10	100.00	20.00	Limi con argilla M4		560.00																			
11	120.00	Half-Space	Bedrock		800.00																			

Tabella 3\_5 – Modello 15393

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output S				
Site Profile																								
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type		Vs (m/s)																			
1	0.00	6.00	Limo con argilla M		174.00																			
2	6.00	2.00	Sabbie		225.00																			
3	8.00	42.00	Limo con argilla M1		275.00																			
4	50.00	7.00	Sabbie 1		420.00																			
5	57.00	61.00	Limo con argilla M2		380.00																			
6	118.00	3.00	Sabbie 2		480.00																			
7	121.00	16.00	Limo con argilla M3		550.00																			
8	137.00	3.00	Sabbie 2		650.00																			
9	140.00	30.00	Limo con argilla M3		600.00																			
10	170.00	Half-Space	Bedrock		800.00																			

Tabella 3\_6 – Modello Novi Centro

General Settings					Soil Types					Soil Profile					Motion(s)					Output S				
Site Profile																								
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type		Vs (m/s)																			
1	0.00	2.00	Limo con Argilla		140.00																			
2	2.00	14.00	Limi sabbiosi		170.00																			
3	16.00	7.00	Sabbie		180.00																			
4	23.00	10.00	Argille limose		292.00																			
5	33.00	9.00	Limo con Argilla_1		443.00																			
6	42.00	14.00	Sabbie_1		445.00																			
7	56.00	15.00	Limo con Argilla_2		445.00																			
8	71.00	10.00	Sabbie limose		445.00																			
9	81.00	Half-Space	Bedrock		950.00																			

Per la valutazione del moto sismico in superficie, si procederà implementando il **codice di calcolo 1D** (ricorrendone nel nostro caso le condizioni di validità) **STRATA** (*was written da Albert*

Kottke working with Professor Ellen Rathie at Teh University of Texas at Austin – Version alpha, revision 381).

Per quanto riguarda i segnali sismici di riferimento, come già anticipato ad inizio capitolo, sono stati utilizzati quelli allegati alla DGR n. 476 del 12/04/2021 della RER, riferiti a un tempo di ritorno di 475 anni scalati poi con i valori della pericolosità sismica di base:

	14948	14949	15170	15171	15393	Novi centro
$a_{base}$ (g)	0.1332	0.1351	0.15	0.1476	0.153	0.139

In particolare tali input sismici, espressi in termini di un Gruppo di n. 7 accelerogrammi spettrocompatibili agli spettri delle NTC2018, sono riferiti a n. 5 nodi del reticolo di riferimento considerati nelle NTC2018 (D:M: 17/01/2018), più volte richiamati, oltre ad una verticale significativa definita in corrispondenza del capoluogo: ID 14948; ID 14949; ID 15170; ID 15171; ID 15393; “Novi centro” (Figure 27 e 28).

Sono stati quindi calcolati gli spettri di risposta in accelerazione al *bedrock* (Figure 29, 30, 31, 32, 33 e 34) e in superficie (Figure 35, 36, 37, 38, 39 e 40), nonché il loro confronto mediante il rapporto spettrale in accelerazione (Figure 41, 42, 43, 44, 45 e 46).

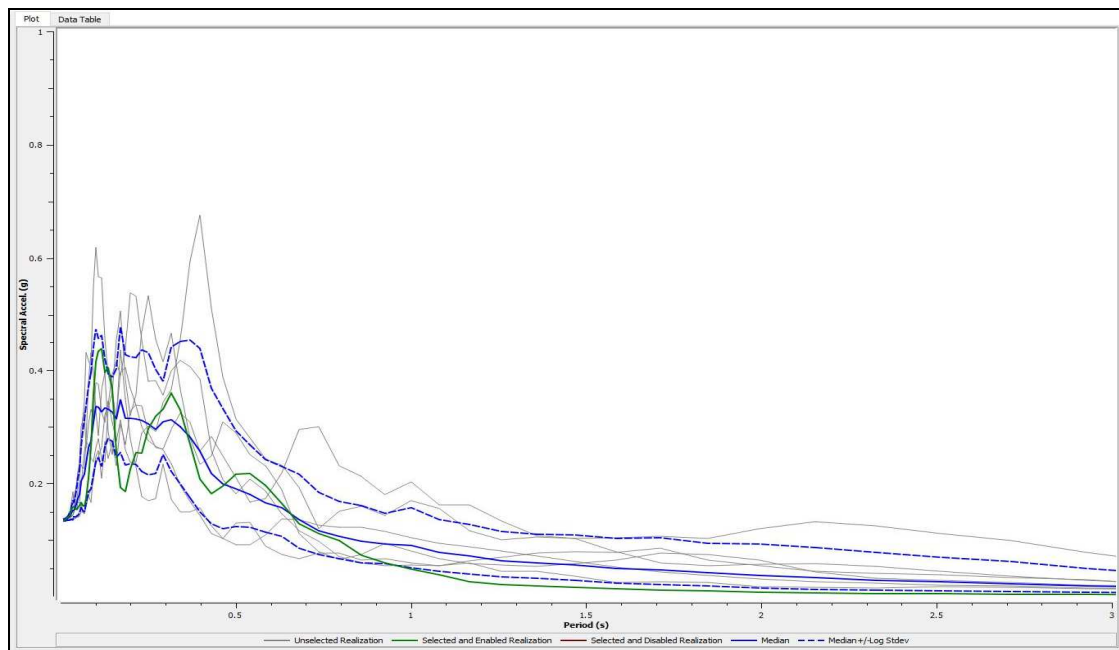


Figura 29-14948 Spettro di risposta in accelerazione al Bedrock

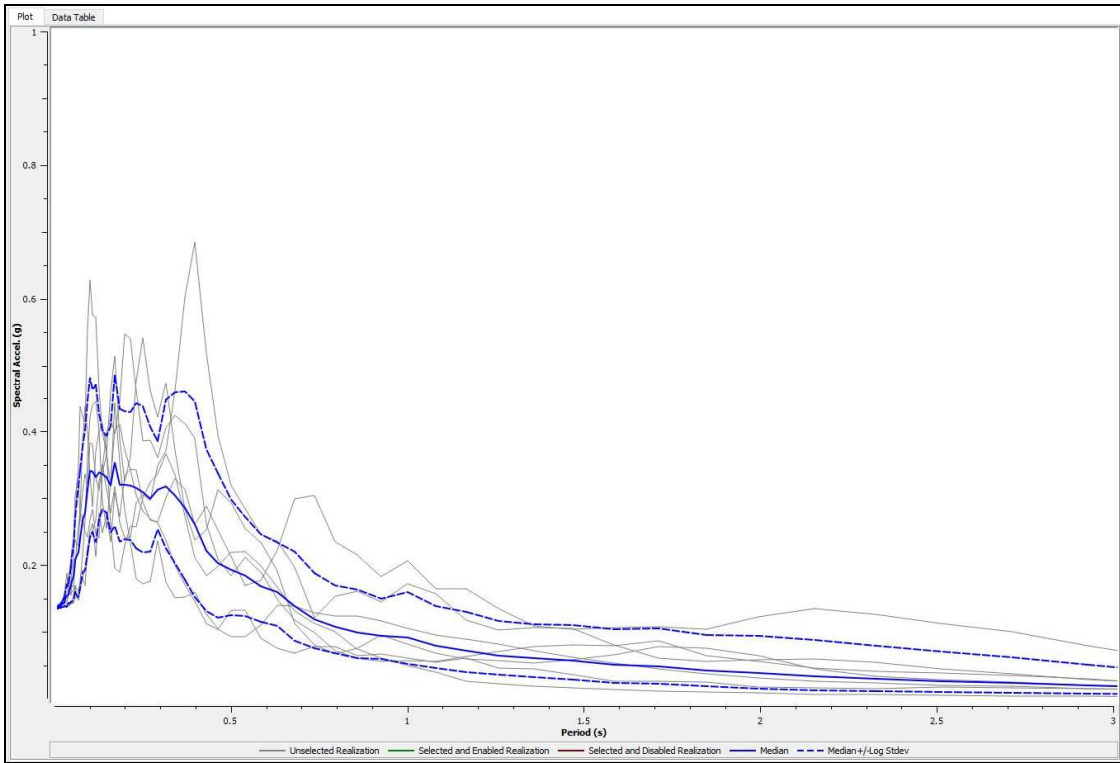


Figura 30-14949 Spettro di risposta in accelerazione al Bedrock

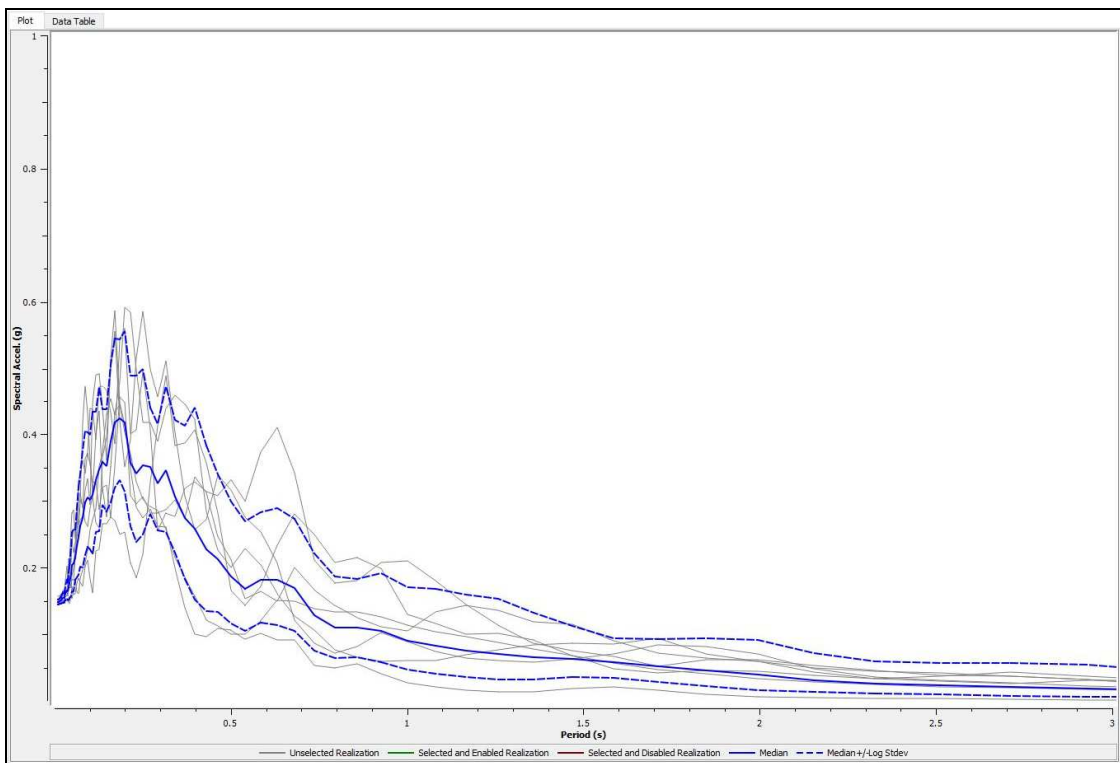


Figura 31-15170 Spettro di risposta in accelerazione al Bedrock



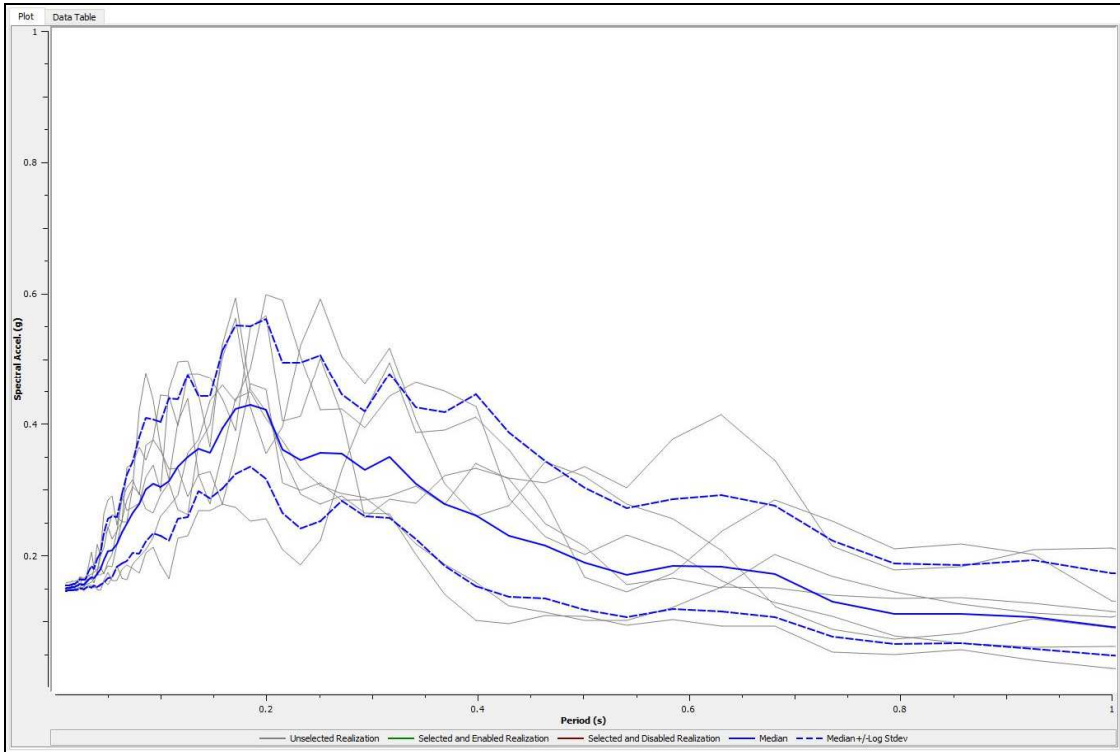


Figura 32-15171 Spettro di risposta in accelerazione al Bedrock

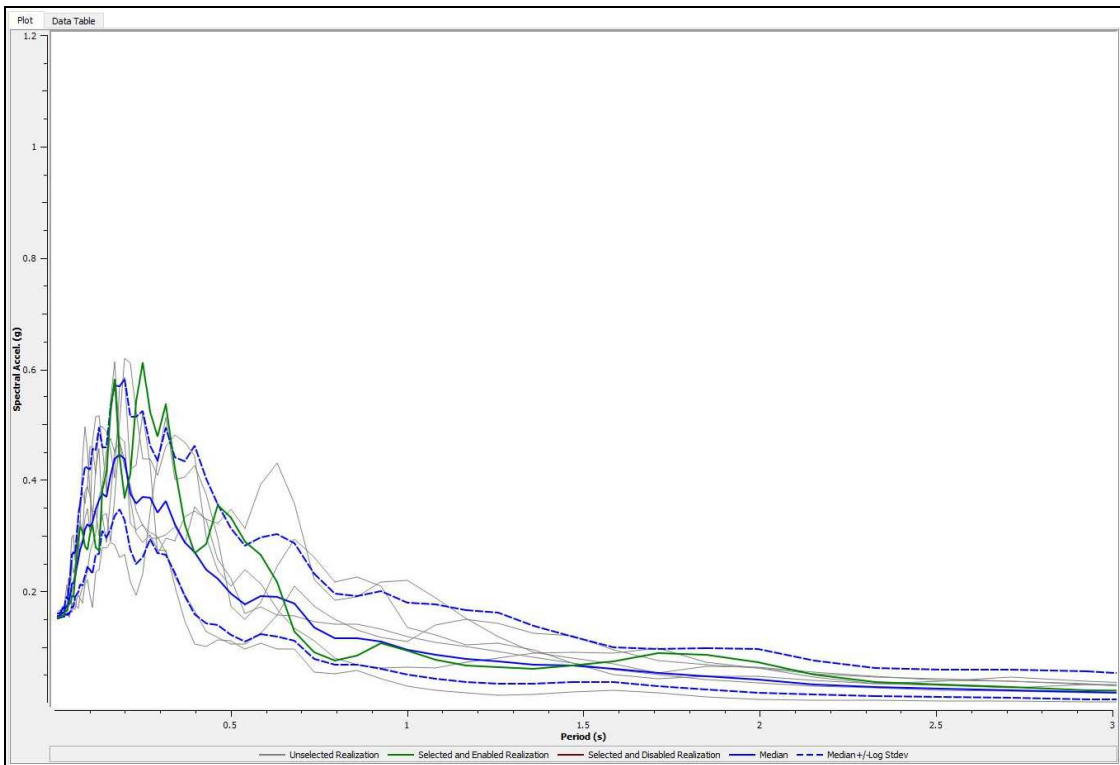


Figura 33-15393 Spettro di risposta in accelerazione al Bedrock

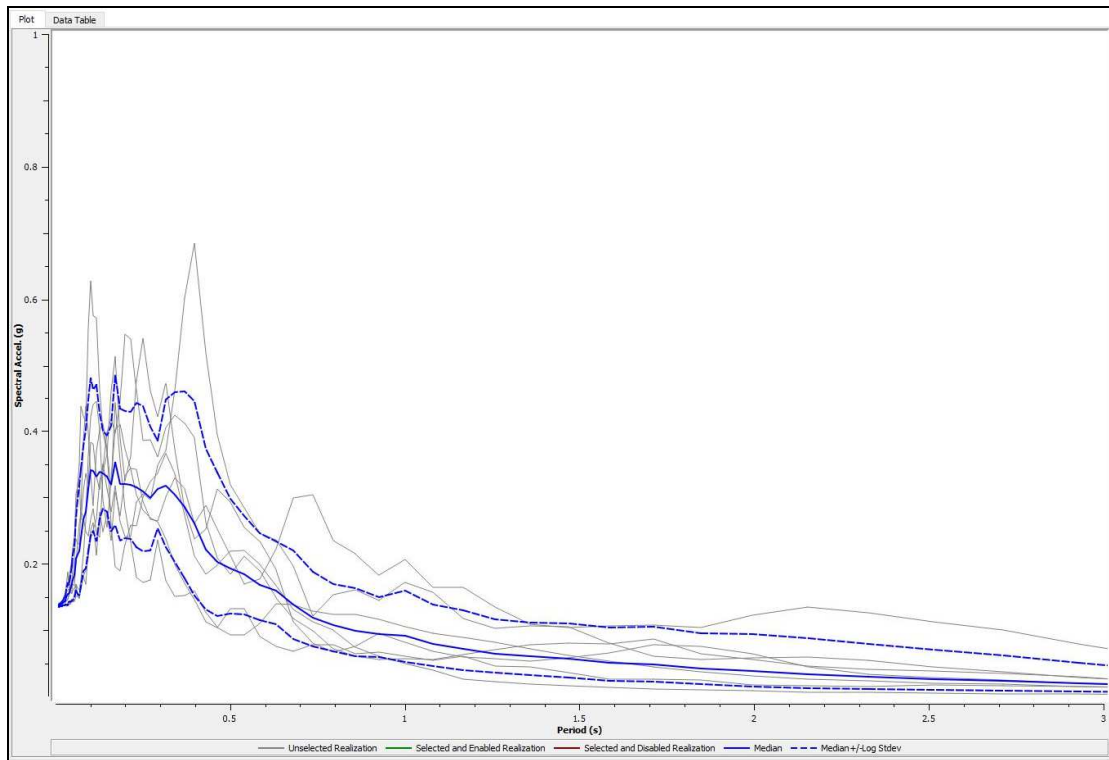


Figura 34-Novi Centro Spettro di risposta in accelerazione al Bedrock

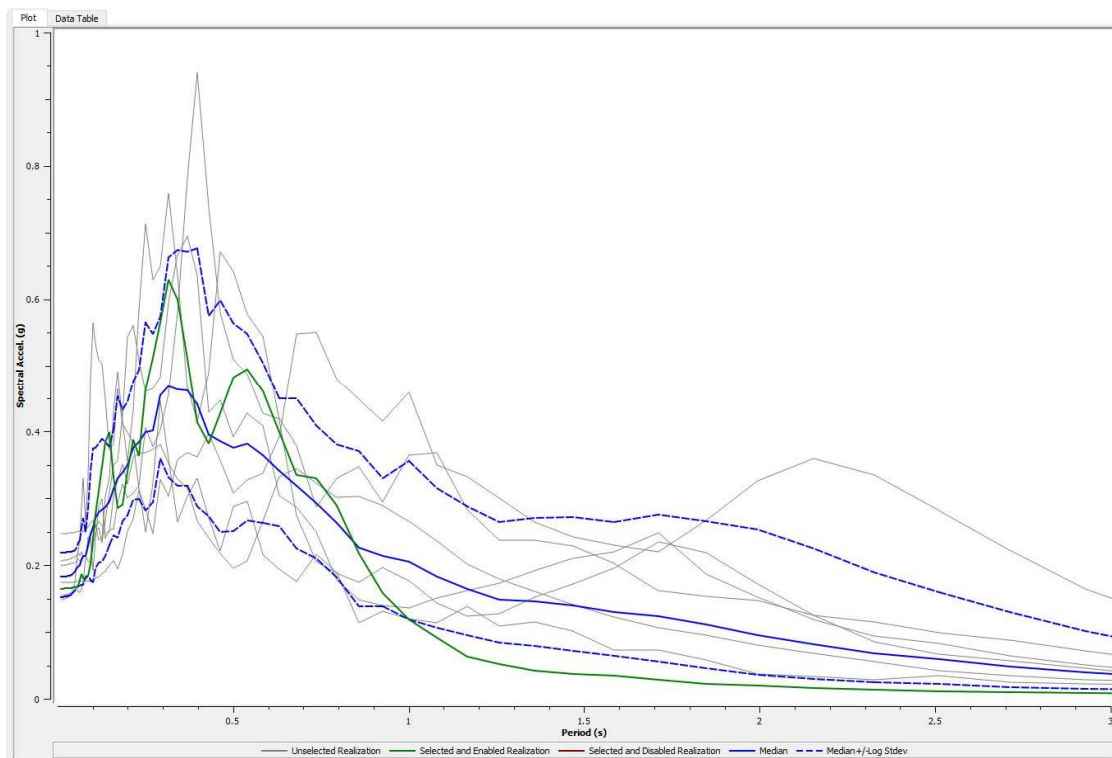


Figura 35-14948 Spettro di risposta in accelerazione in superficie

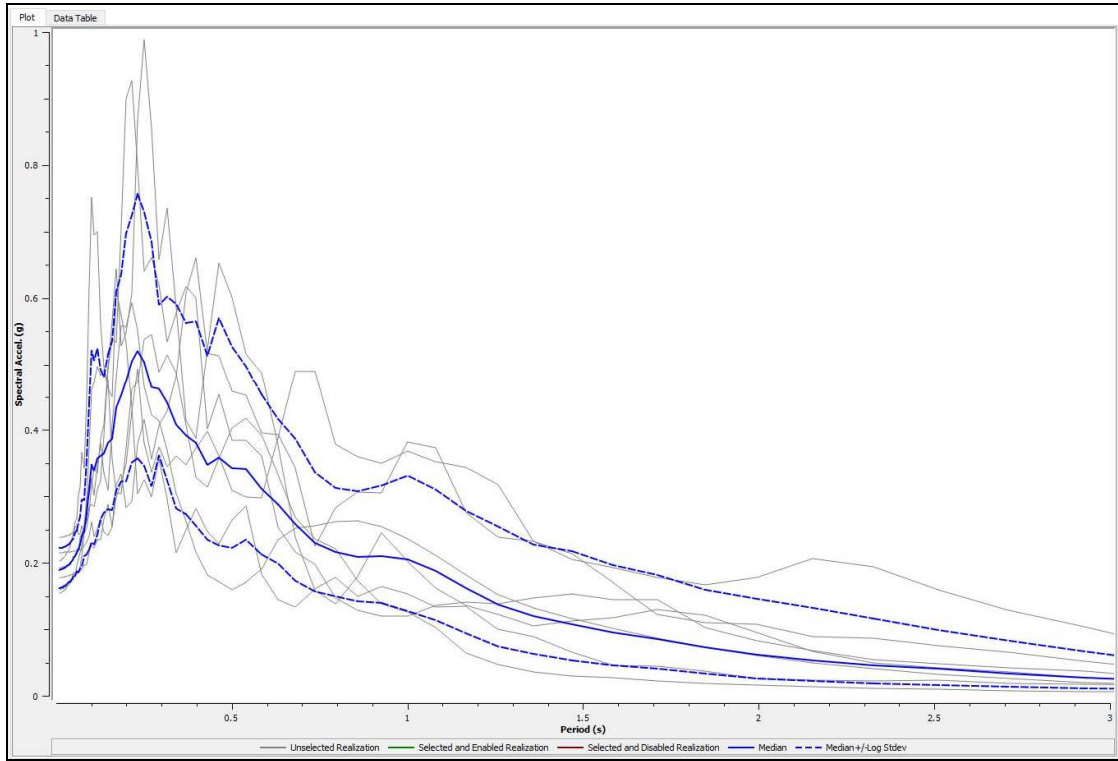


Figura 36-14949 Spettro di risposta in accelerazione in superficie

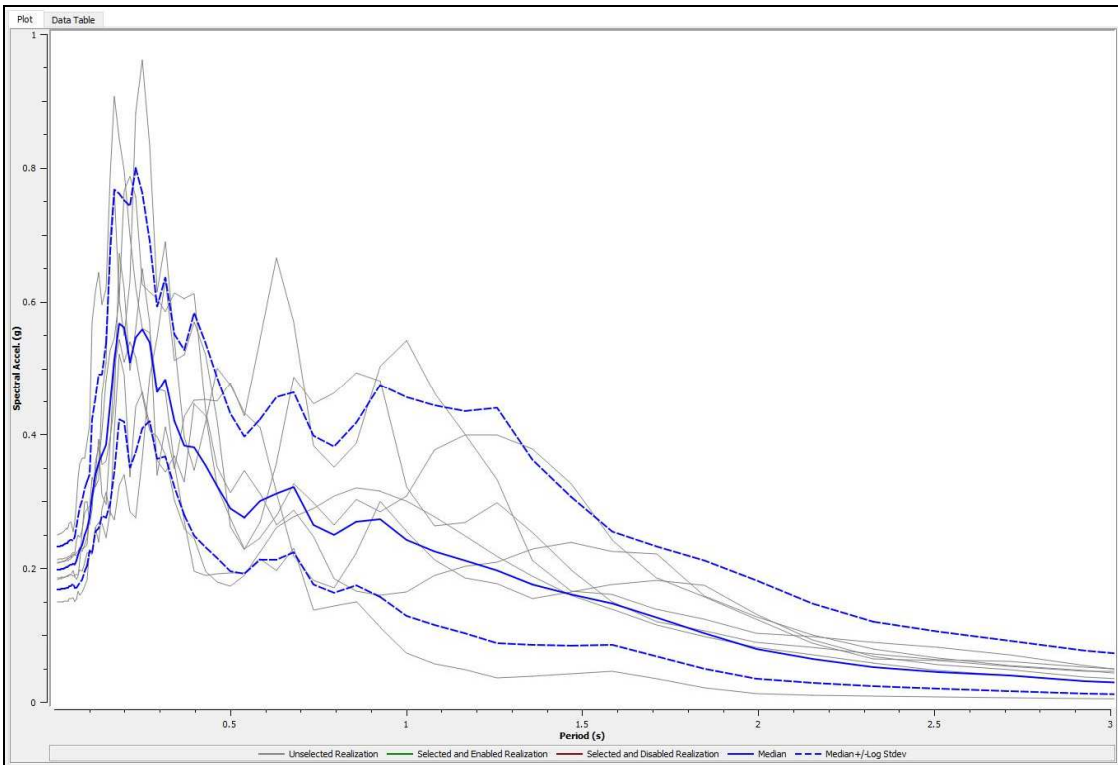


Figura 37-15170 Spettro di risposta in accelerazione in superficie

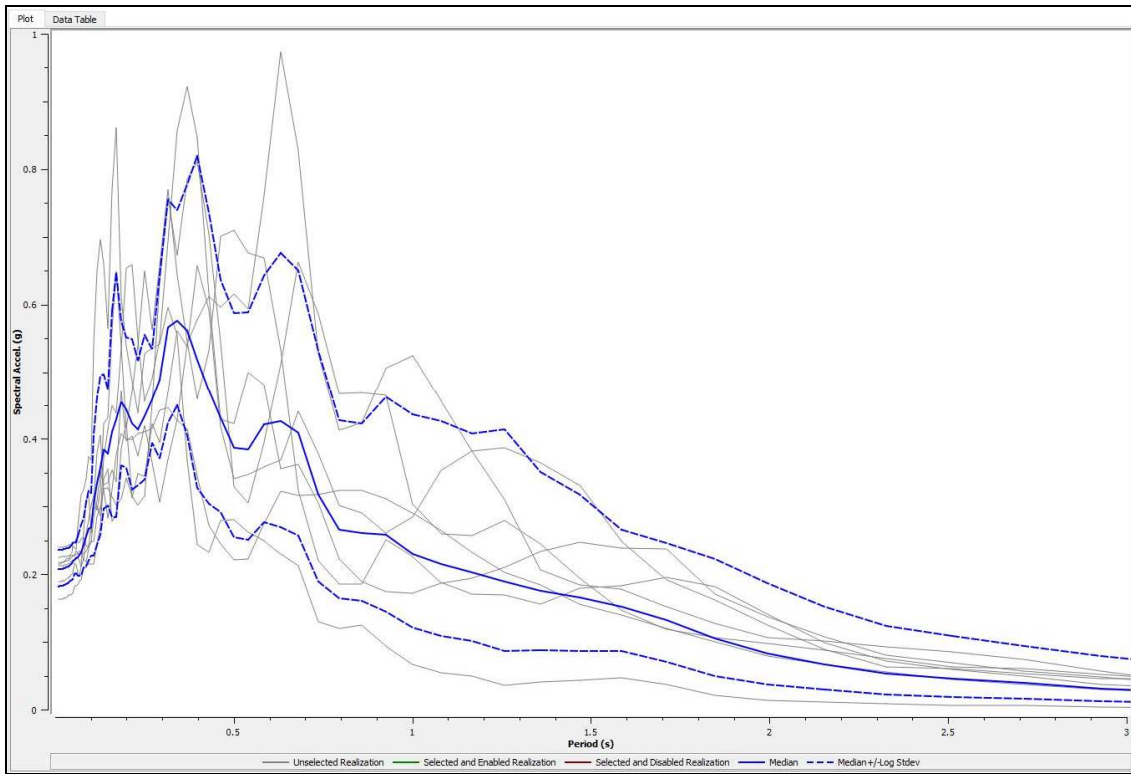


Figura 38-15171 Spettro di risposta in accelerazione in superficie

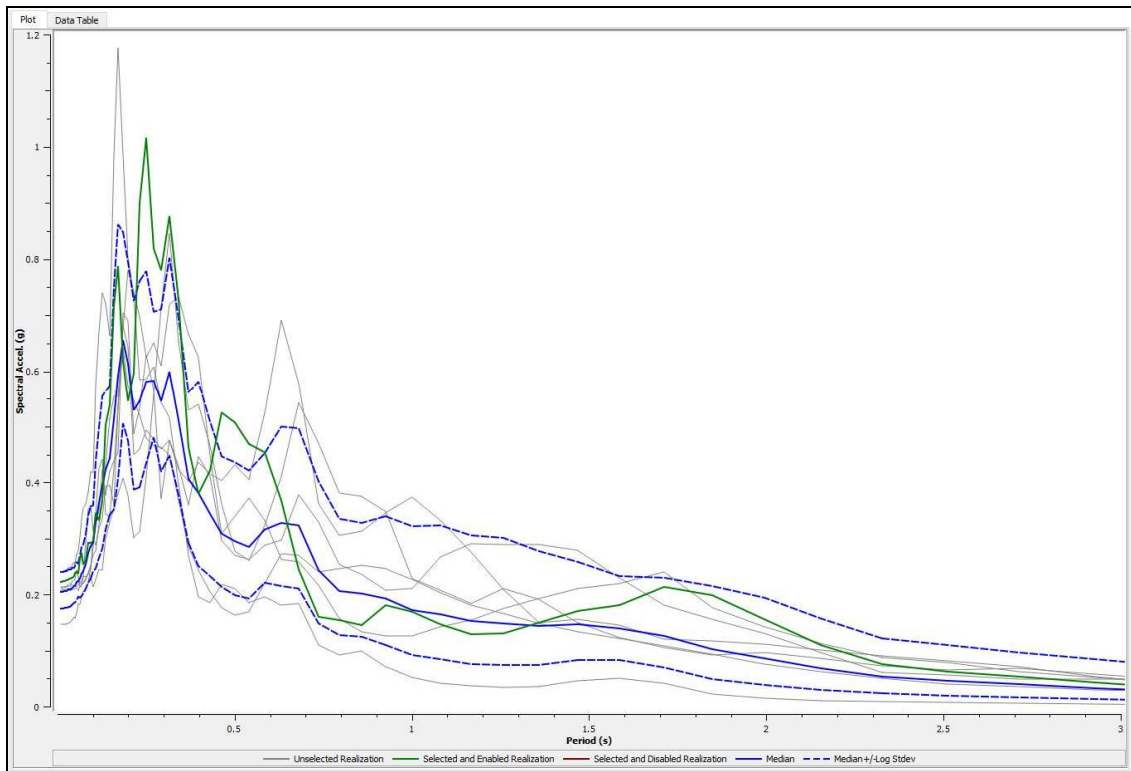


Figura 39-15393 Spettro di risposta in accelerazione in superficie

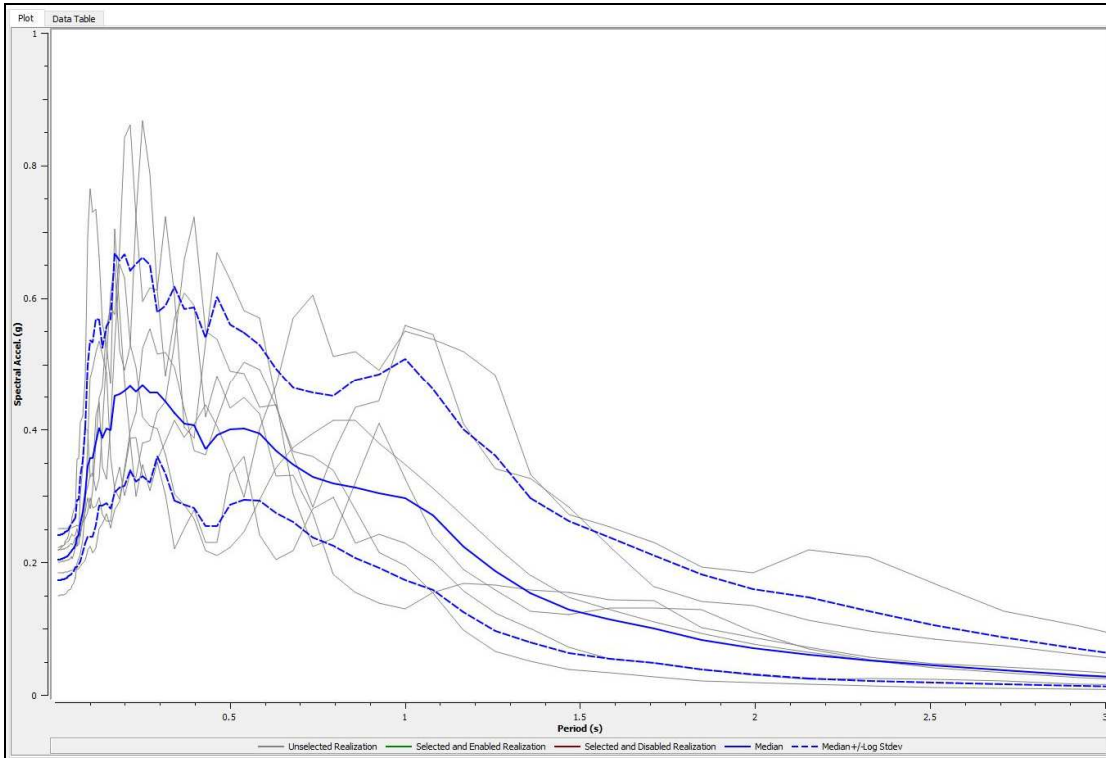


Figura 40-Novi centro Spettro di risposta in accelerazione in superficie

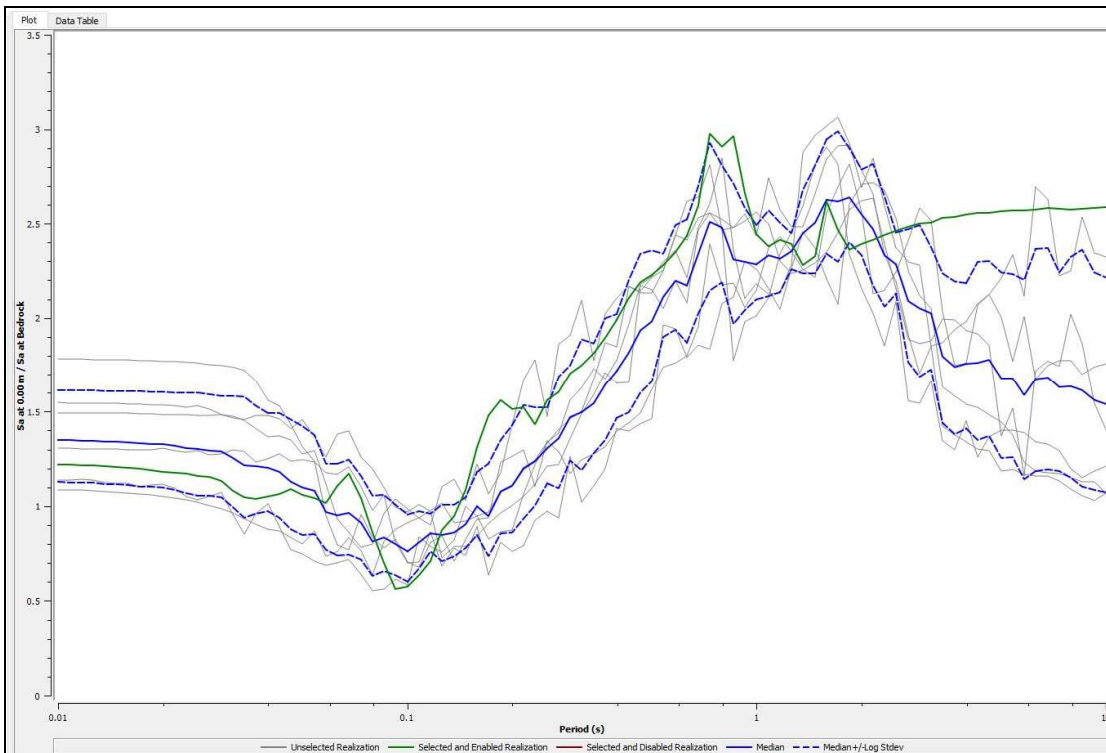


Figura 41- Rapporto spettrale in accelerazione Bedrock/Superficie in 14948



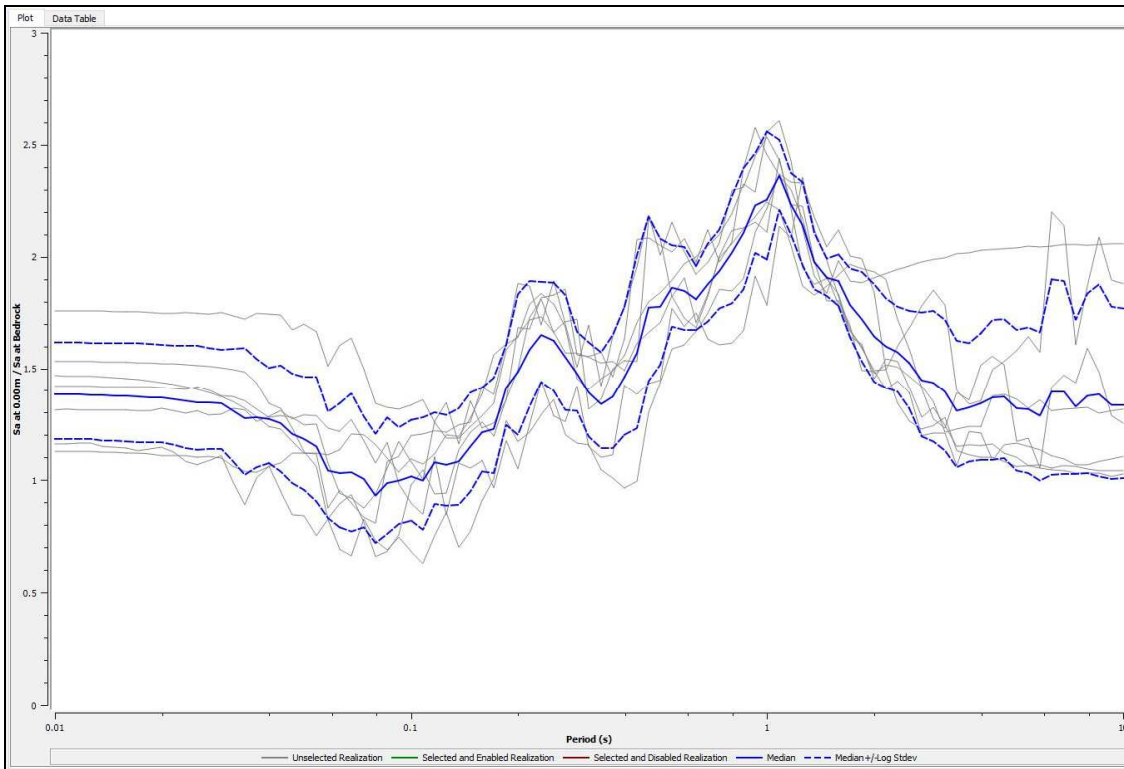


Figura 42- Rapporto spettrale in accelerazione Bedrock/Superficie in 14949

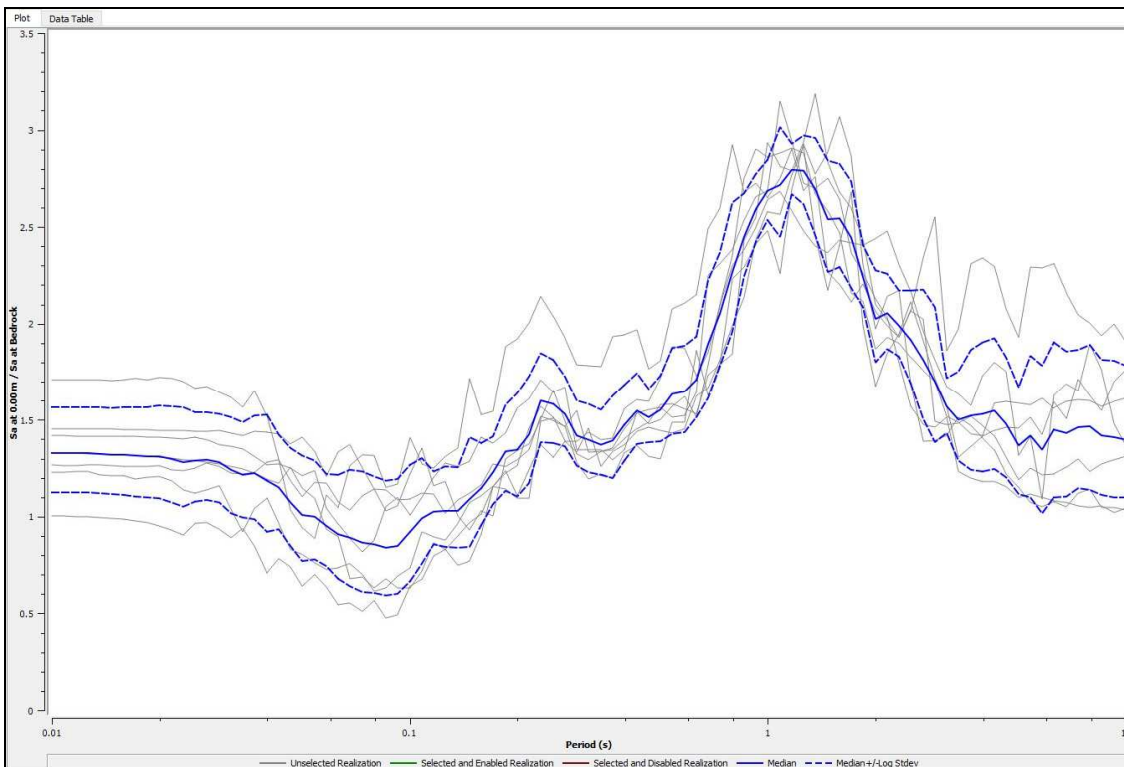


Figura 43- Rapporto spettrale in accelerazione Bedrock/Superficie in 15170

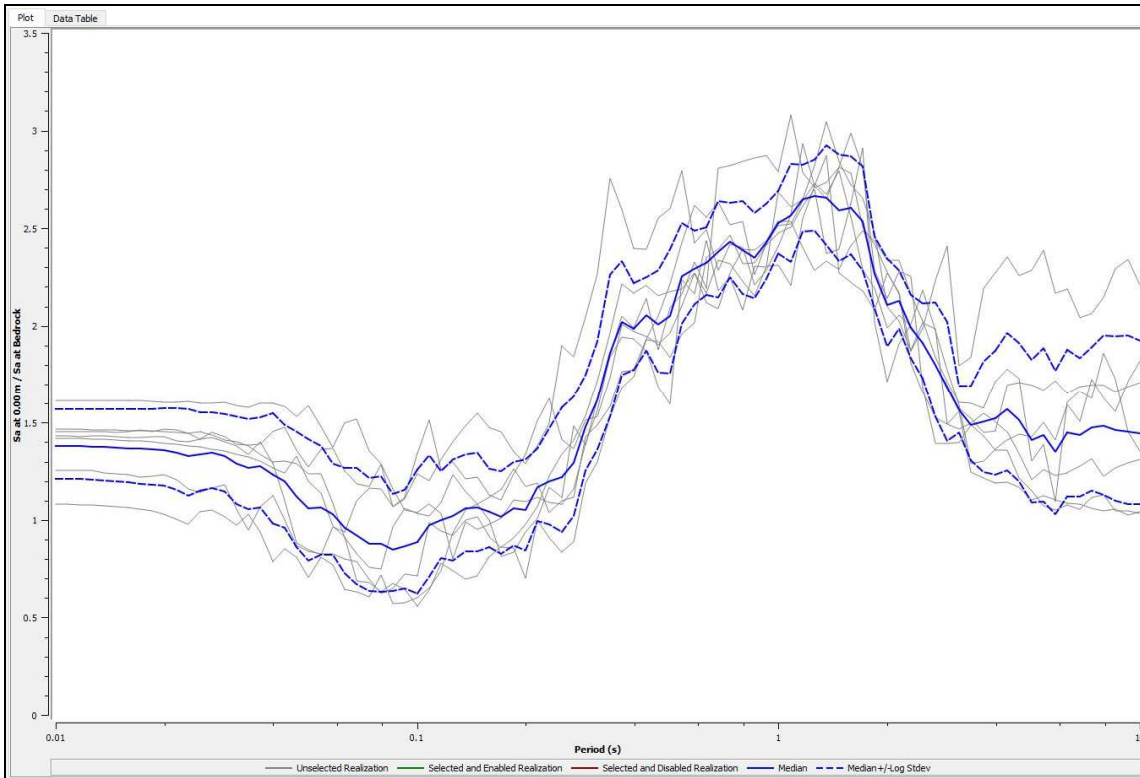


Figura 44- Rapporto spettrale in accelerazione Bedrock/Superficie in 15171

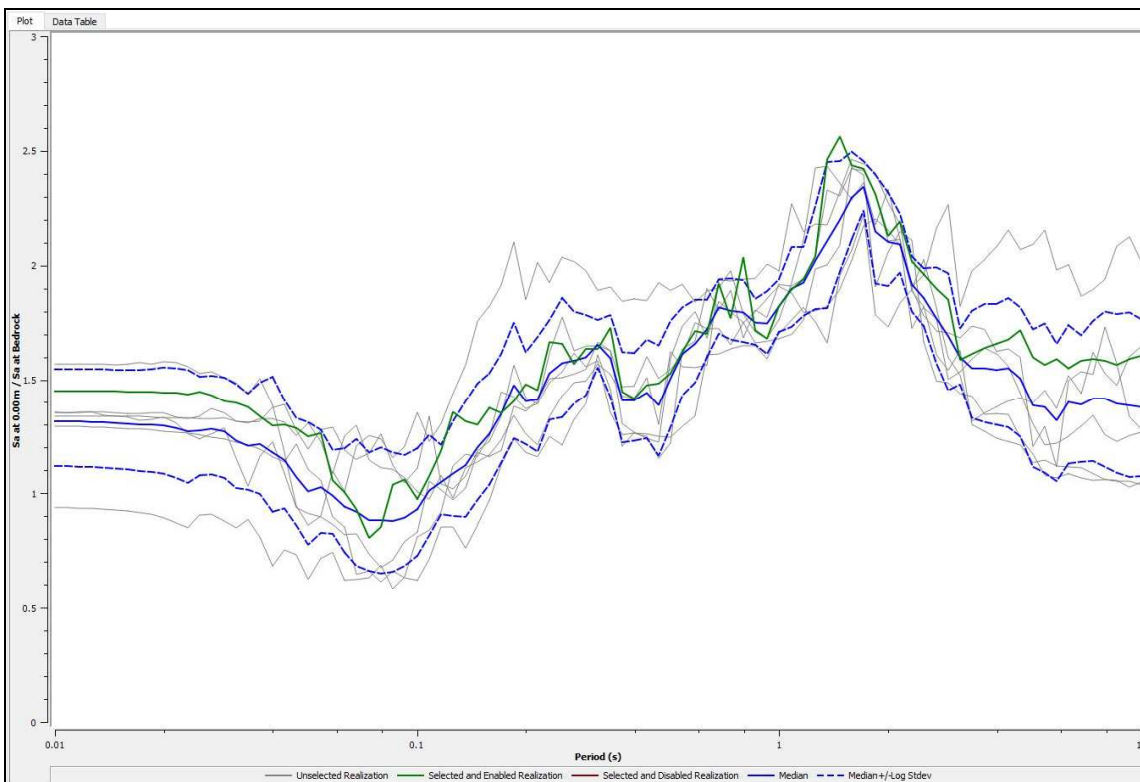


Figura 45- Rapporto spettrale in accelerazione Bedrock/Superficie in 15393

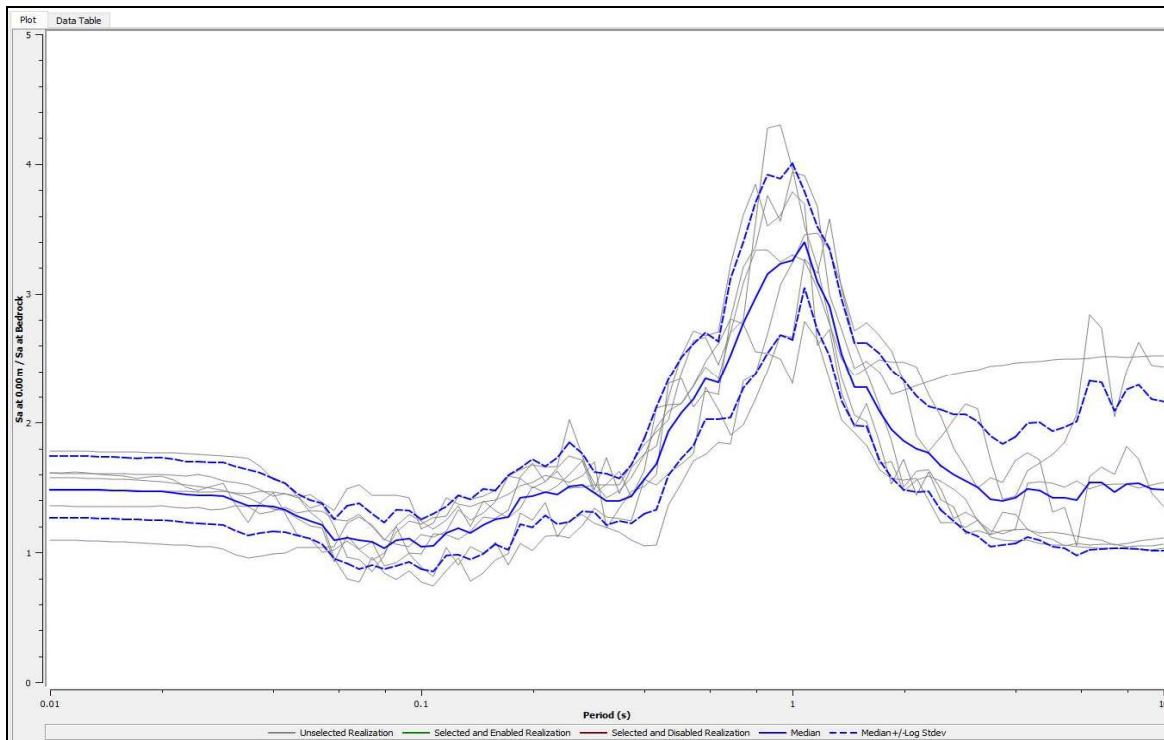


Figura 46- Rapporto spettrale in accelerazione Bedrock/Superficie in Novi centro

Dai valori numerici di questi rapporti spettrali si ottengono i seguenti fattori di amplificazione:

Tabella 4- Fattori di amplificazione

	ID 14948	ID 14949	ID 15170	ID 15171	ID 15393	Novi centro
FA (PGA) in accel. T=0	1.35	1.40	1.35	1.40	1.35	1.50
FA in accel. vari range di T						
SA1 (0,1÷0,5 s)	1.2182	1.3522	1.3031	1.3068	1.3613	1.3790
SA2 (0,4÷0,8 s)	2.0619	1.7549	1.6779	2.1843	1.5843	2.1280
SA3 (0,7÷1,1 s)	2.3704	2.0971	2.3568	2.4463	1.8130	3.0030
SA4 (0,5÷1,5 s)	2.2655	1.9734	2.1031	2.3802	1.7698	2.6315
FH in velocità vari range di T (intensità di Housner)						
SI1 (0,1÷0,5 s)	1.3854	1.4358	1.3776	1.4749	1.4249	1.4746
SI2 (0,5÷1 s)	2.2606	1.9640	2.0326	2.3418	1.7242	2.6594
SI3 (0,5÷1,5 s)	2.3007	2.0139	2.2429	2.4301	1.8204	2.7172

### 7.2.3.3. Microzonazione del pericolo sismico ( $H_{SM}$ Hazard Seismic Microzonation)

Come previsto nell'Allegato A della DGR 476/2021 nonché dalle "Linee guida per la gestione

del territorio in aree interessate da amplificazione? versione 2.0 del 2022 sono state elaborate quattro Carte di pericolosità sismica (Hazard seismic Maps):

- Carta di pericolosità sismica  $H_{SM}$ , riferita all'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$  (Figura 48);
- Carta di pericolosità sismica  $H_{0408}$ , riferita all'intervallo di periodi  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ;
- Carta di pericolosità sismica  $H_{0711}$ , riferita all'intervallo di periodi  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ;
- Carta di pericolosità sismica  $H_{0515}$ , riferita all'intervallo di periodi  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ .

La prima carta rappresenta la distribuzione sul territorio dei valori di  $H_{SM}$  (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $cm/s^2$ ), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity ( $ASI_{UHS}$ ), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , diviso per  $\Delta T$  (in questo caso pari a  $0,4s$ ) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:  $H_{SM} = (ASI_{UHS} / \Delta T) \times FA$ .

Per quanto riguarda i valori di  $ASI_{UHS} / \Delta T$  si è fatto riferimento, agli spettri di risposta in accelerazione al *bedrock* (Figure 29, 30, 31, 32, 33 e 34) ricostruiti mediante l'analisi di risposta sismica locale di cui al precedente cap. 7.2.3.2.

Dalle tabelle numeriche di tali spettri sono stati calcolati gli integrali dei periodi di riferimento poi divisi per il valore temporale in s del periodo stesso.

Si riporta di seguito una tabella di sintesi dei risultati ottenuti, poi utilizzati per la redazione dei relativi elaborati grafici di pericolosità sismica ricavati in corrispondenza delle verticali di riferimento per le verifiche di risposta sismica locale.

periodo	$\Delta t$ (s)	HSM
<b>14948</b>		
0,1÷0,5	0,4	<b>0,4</b>
0,4÷0,8	0,4	<b>0,39</b>
0,7÷1,1	0,4	<b>0,24</b>
0,5÷1,5	1	<b>0,23</b>

periodo	$\Delta t$ (s)	HSM
<b>14949</b>		
0,1÷0,5	0,4	<b>0,42</b>
0,4÷0,8	0,4	<b>0,3</b>
0,7÷1,1	0,4	<b>0,22</b>
0,5÷1,5	1	<b>0,2</b>

periodo	$\Delta t$ (s)	HSM
<b>NOVI CENTRO</b>		
0,1÷0,5	0,4	<b>0,43</b>
0,4÷0,8	0,4	<b>0,38</b>
0,7÷1,1	0,4	<b>0,31</b>
0,5÷1,5	1	<b>0,27</b>

periodo	$\Delta t$ (s)	HSM
<b>15171</b>		
0,1÷0,5	0,4	<b>0,47</b>
0,4÷0,8	0,4	<b>0,4</b>
0,7÷1,1	0,4	<b>0,27</b>
0,5÷1,5	1	<b>0,26</b>

periodo	$\Delta t$ (s)	HSM
15393		
0,1÷0,5	0,4	0,47
0,4÷0,8	0,4	0,3
0,7÷1,1	0,4	0,2
0,5÷1,5	1	0,2

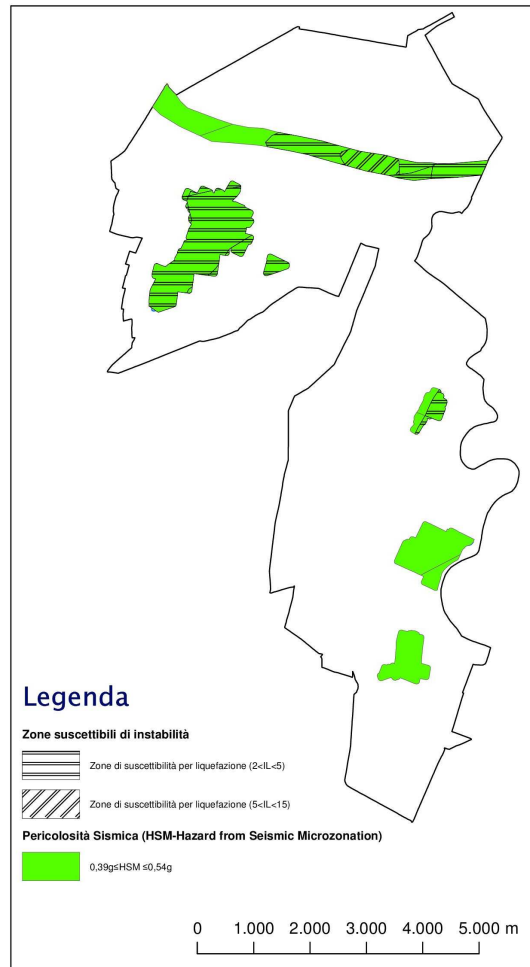


Figura 47– Carta di pericolosità sismica (HSM)



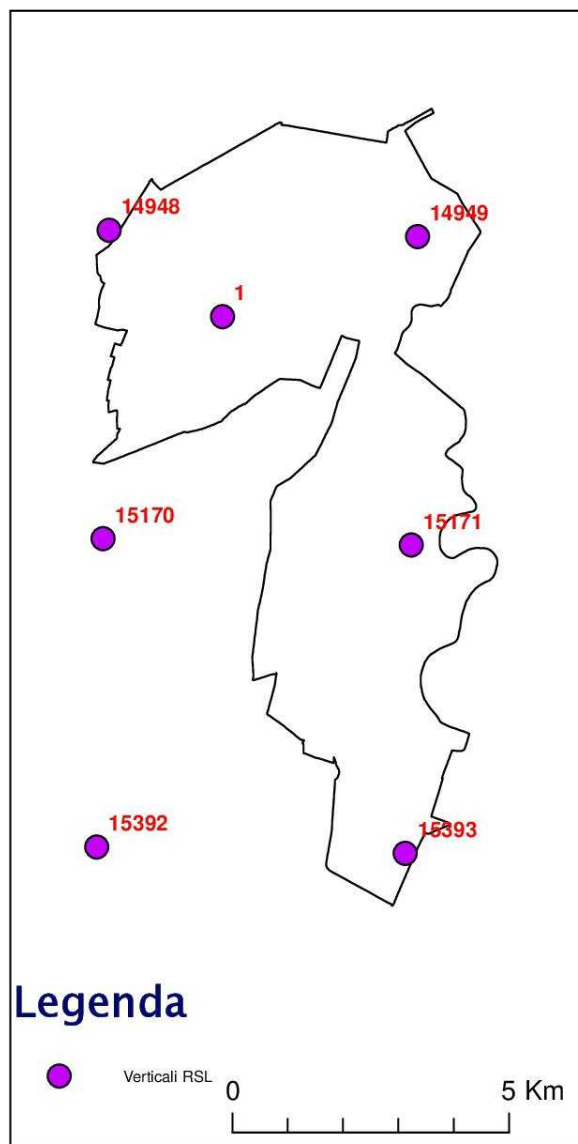


Figura 48 – Localizzazione delle verticali in corrispondenza delle quali sono state effettuate le analisi di risposta sismica locale. Il punto contrassegnato dal numero 1 è riferito alla verticale denominata Novi Centro.

In riferimento ai valori di  $H_{SM}(0,1\div 0,5)$  Naso et al. (2019) hanno proposto una correlazione di tali valori con i livelli di danno potenziale, che si riporta di seguito, nella quale i valori di HSM erano espressi in termini di accelerazione assoluta  $\text{cm/s}^2$ .

Table 1 - Possible thresholds for  $H_{SM}$  and others physical parameters.

seismic hazard	low-very low	moderate-low	moderate	high	very high
$H_{SM}$ ( $\text{cm/s}^2$ )	$\leq 180$	$180 < H_{SM} \leq 340$	$340 < H_{SM} \leq 650$	$650 < H_{SM} \leq 1240$	$> 1240$
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	$\leq \text{VI}$	VII	VIII	IX	$\geq \text{X}$

Le recenti Linee guida del 2022, indicano invece di utilizzare valori di accelerazione rapportati all'accelerazione di gravità  $g$  (Figura 47) e per il territorio di Novi sono stati ricavati valori compresi nella classe tra  $0.39g$  e  $0.54g$  corrispondente ad una pericolosità moderata.

#### 7.2.3.4. Rischio di liquefazione

Verranno di seguito presi in considerazione due indicatori di rischio: l'indice di potenziale liquefazione (IL) e il numero di severità di liquefazione (LSN).

##### 7.2.3.4.1. Indice di potenziale liquefazione (IL)

Per la stima del potenziale di liquefazione si è adottato il metodo semplificato, basato sui risultati delle prove penetrometriche statiche, di Boulanger e Idriss 2014, come indicato nell'all. A3 della DGR n. 476/2021.

I parametri di input utilizzati sono stati i seguenti:

- 1) Magnitudo massima momento  $M_{Wmax} = 6,14$  quale valore massimo atteso per la zona sismogenetica n. 912, di appartenenza del Comune di Novi di Modena;
- 2) Pseudo-accelerazione massima al suolo, come da risposta sismica locale di cui al precedente capitolo 7.2.3.2:

	14948	14949	15170	15171	15393	Novi centro
$a_{base} (g)$	0.1332	0.1351	0.15	0.1476	0.153	0.139
FA (PGA) in accell. T=0	1.35	1.40	1.35	1.40	1.35	1.50
$a_{max} (g)$	0.18	0.19	0.205	0.206	0.206	0.208

- 3) Soggiacenza di falda; si è fatto riferimento alla rete di rilievo della falda superficiale, o ipodermica, promossa dalla Regione Emilia Romagna e realizzata e gestita dal "Consorzio di Bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo – CER" che ha fornito i dati relativi al territorio dell'Unione delle Terre D'Argine.

Si ringrazia per la preziosa collaborazione fornita il Dott. Roberto Genovesi, Capo Settore Innovazione Acqua e Irrigazione, ed il Dott. Stefano Rimondi.

Sulla base di quanto ricevuto è stata elaborata la "Carta della soggiacenza della falda ipodermica" (estratto in Figura 49) che suddivide il territorio in aree omogenee rispetto all'andamento della soggiacenza; per ognuna di esse vengono riportati i valori numerici, basati su numerose letture pluriennali in "stazioni" piezometriche di monitoraggio, della soggiacenza Minima; Massima; Media e della sua Escursione tutti espressi in centimetri.

Per la stima del rischio di liquefazione sono stati adottati i valori medi.

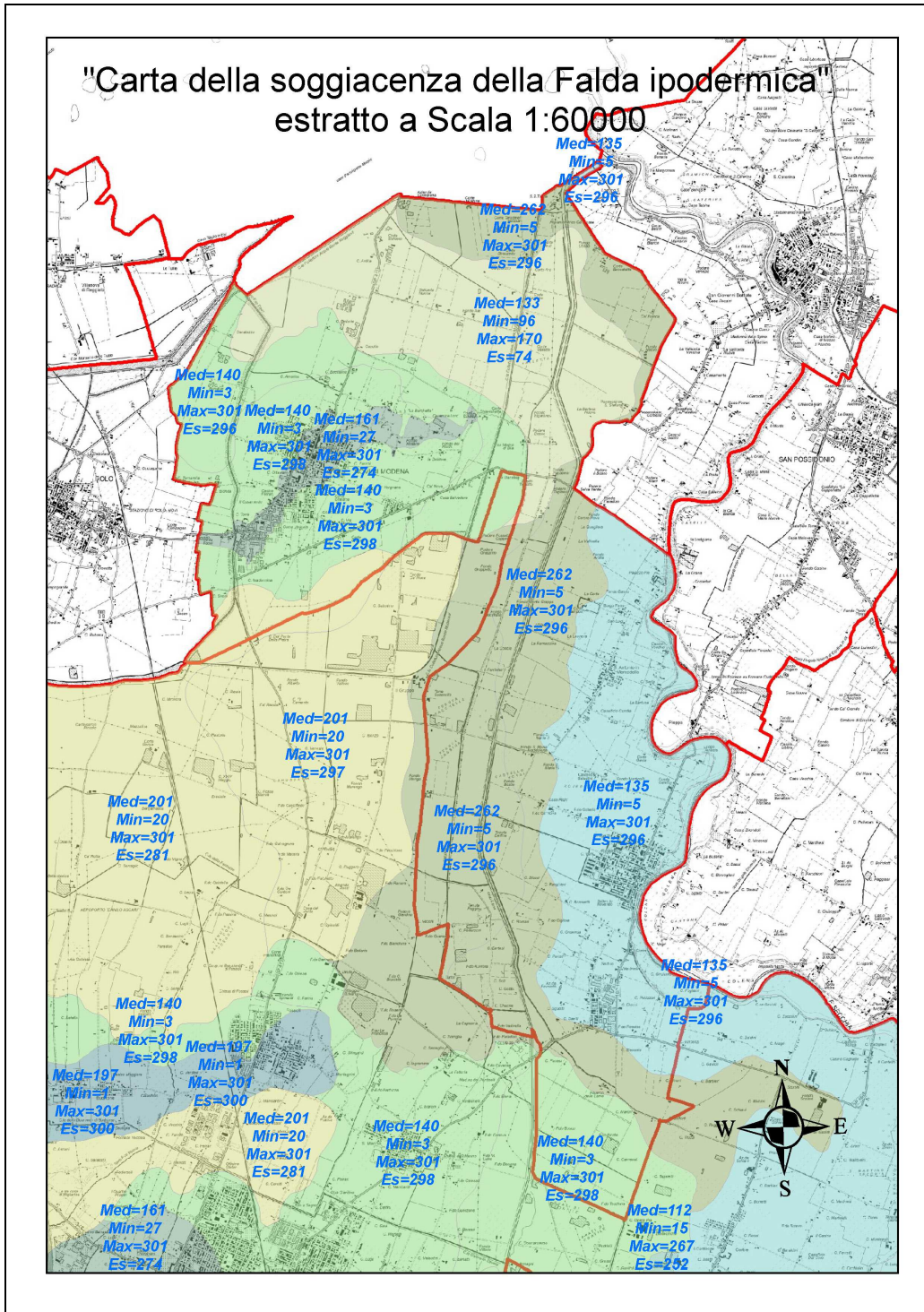


Figura 49 – Carta della soggiacenza della falda ipodermica; i valori sono espressi in cm

Sono quindi state esaminate n. 64 prove penetrometriche (CPTU/CPTE e CPT) (Tabella 3).

Prove CPTE/CPTU/CPT	IL	LSN
036028P23CPT23	0,14	0,919
036028P24CPT24	0	0
036028P65CPT65	4,452	25,158
036028P85CPT84	4,701	16,789
036028P86CPT85	0,444	3,995
036028P87CPT86	0,283	6,766
036028P88CPT87	1,098	4,33
036028P89CPT88	2,122	6,209
036028P90CPT89	0,249	1,904
036028P91CPT90	14,195	47,722
036028P92CPT91	2,442	9,772
036028P93CPT92	5,071	26,063
036028P95CPT94	3,502	11,642
036028P96CPT95	0,237	6,439
036028P105CPT167	0,145	1,256
036028P106CPT168	1,743	5,574
036028P107CPT169	2,166	11,902
036028P108CPT170	0,583	4,983
036028P109CPT171	0,344	3,362
036028P110CPT172	0,054	2,465
036028P111CPT173	0,041	1,875
036028P112CPT174	0,27	2,462
036028P113CPT175	0,03	0,47
036028P114CPT176	0,618	7,499
036028P115CPT177	0,115	1
036028P116CPT178	0,156	0,991
036028P117CPT179	2,367	11,321
036028P118CPT180	1,456	7,283
036028P119CPT181	0,077	2,181
036028P120CPT182	0,105	2,175
036028P130CPTU266	0,006	0
036028P131CPTU268	5,866	9,715
036028P132CPTU270	3,49	12,351
036028P133CPTU272	3,136	14,891
036028P134CPTU274	2,305	8,248
036028P135CPTU276	4,69	16,389
036028P136CPTU278	0,908	8,15
036028P140CPT284	0,854	6,032
036028P158CPT305	3,428	13,276
036028P160CPT307	2,556	6,855
036028P169CPT316	1,007	6,936
036028P171CPT318	0,651	4,757
036028P195CPT342	1,779	12,211
036028P199CPT346	1,011	4,478
036028P265CPT414	4,213	20,111
036028P275CPTU424	0,417	3,373
036028P276CPTU425	1,33	6,447
036028P278CPTU427	0	0
036028P285CPT434	2,432	
036028P289CPT438	0	0
036028P345CPTU494	0	0,1
036028P379CPTU528	2,527	7,431
036028P380CPTU529	1,146	3,279
036028P385CPT534	3,382	14,799
036028P414CPT563	1,737	7,356
036028P415CPT564	0,032	0,806
036028P432CPT581	1,364	4,672
036028P434CPT583	2,705	10,897
036028P450CPT599	0,345	1,829
036028P459CPT611	0,328	1,783
036028P489CPTU643	0,509	1,726
036028P495CPT650	0	0
036028P508CPT663	5,965	27,061
036028P94CPT93	11,175	

Tabella 3 - Prove penetrometriche CPTE, CPTU e CPT relativi valori di IL e LSN

L'elaborazione è stata eseguita per mezzo del software "CLiq v.3.0.3.4 della "Geologismiki geotechnical software".

Si reso necessario utilizzare anche dati da prove CPT (ritenute in letteratura meno affidabili) in quanto il numero delle prove a punta elettrica e, soprattutto, la loro distribuzione non risultavano ottimali per valutare il potenziale di liquefazione su tutte le aree oggetto di studio.

Dai valori del potenziale di liquefazione si è poi calcolato l'Indice di potenziale liquefazione

(IL), secondo Sonmez 2003, ottenendo i risultati esposti nella Tabella 3 i cui rapporti di calcolo sono riportati in allegato.

#### **7.2.3.4.2. *Liquefaction Severity Number (LSN)***

Le prove penetrometriche utilizzate per valutare l'Indice di potenziale liquefazione, e per mezzo del software CLiq v.3.0.3.4 adottando il metodo semplificato di Boulanger & Idriss 2014, si è anche calcolato un ulteriore indicatore di rischio alla liquefazione, ovvero LSN (*Liquefaction Severity Number*) riferito alla deformazione volumetrica post-liquefazione alias cedimenti (Tonkin & Taylor 2013).

I valori così ottenuti (Tabella 3) sono mostrati su cartografia d'insieme anche nella Figura 51.

### **7.3. *Terza fase***

Nella terza fase dello studio si è proceduto all'allestimento delle cartografie specifiche per l'analisi di primo e di terzo livello.

Lo studio di microzonazione sismica ha preso in considerazione tutto il territorio comunale per quanto attiene le analisi prodromiche (Carta delle Indagini e Carta geologico-tecnica) e di primo livello. Per quanto invece attiene il terzo livello, le indagini sono state limitate ai territori urbanizzati e urbanizzabili del capoluogo e delle frazioni, ad un loro intorno significativo nonché a una fascia di territorio pertinente un'infrastruttura stradale non ancora realizzata, ma in previsione avanzata.



## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Nell'approntare lo studio di microzonazione sismica (come anche richiesto dalle linee guida della Protezione Civile e regionali) sono state allestite diverse cartografie sia di natura analitica sia di sintesi (carte di microzonazione sismica p.d.), per le quali si è adottata una scala 1:10.000.

A tale scala di dettaglio sono necessari due fogli formato A0, per rappresentare l'intero territorio comunale. Ne consegue che tutte le cartografie sono suddivise in una Tavola 1, che rappresenta i settori territoriali a nord, e una Tavola 2, che rappresenta le parti di territorio a sud. Le due tavole si sovrappongono per una fascia piuttosto estesa.

Come base topografica per le cartografie sono stati utilizzati gli elementi della CTR regionale alla scala 1:5.000 nella versione nota come DBTR2013.

Per i simbolismi e le legende si è fatto riferimento agli standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2 della Commissione Tecnica nazionale per la microzonazione sismica (dicembre 2020).

### CARTE PERTINENTI L'ANALISI DI PRIMO LIVELLO:

- CARTA DELLE INDAGINI. Riporta le ubicazioni di tutte le indagini geognostiche sia di tipo meccanico che di tipo geofisico (cfr. capitolo 4), distinguendole per tipologia attraverso i simbolismi standard (versione 4.2). È stata redatta un'unica carta delle indagini (valida sia per il primo che per il terzo livello di analisi), nella quale sono state riportate le ubicazioni di tutte le indagini che sono state reperite e inserite in banca dati.
- CARTA GEOLOGICO-TECNICA. Descrive, per tutto il territorio comunale, le caratteristiche litologiche del primo sottosuolo e gli eventuali elementi morfologici che potrebbero determinare degli effetti locali, sia in termini di amplificazione (stratigrafia) che di instabilità (potenziale liquefazione e cedimenti). La carta è stata compilata principalmente sulla base dell'interpretazione dei dati geognostici (prove penetrometriche e sondaggi) nonché di valutazioni geomorfologiche interpretative, basate principalmente sull'andamento del microrilievo e sul confronto critico con le cartografie disponibili in bibliografia;
- CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI. Riporta l'ubicazione dei punti in cui sono state eseguite rilevazioni di microtremore a stazione singola e il valore ricavato della frequenza naturale. Complessivamente, la maggioranza delle rilevazioni ha evidenziato una certa omogeneità dei valori della frequenza alla quale si presenta il picco principale nel grafico del rapporto H/V, che di solito è dell'ordine di 0.7-1.1 Hz (coerente con i valori rilevati normalmente nella pianura emiliana<sup>11</sup>).
- CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA. Come già evidenziato nei capitoli

---

<sup>11</sup> Si vedano ad esempio le presentazioni a convegni, workshop e corsi tenutisi a Bologna tra Maggio e Luglio 2013 (presso la Sede della Regione Emilia-Romagna, il Palazzo del Commercio e il Dipartimento di Scienze Geologiche) tenute ad esempio dal Dott. Luca Martelli della Regione Emilia-Romagna o dal Prof. Dario Albarello dell'Università degli Studi di Siena.

precedenti, la carta delle MOPS è stata realizzata per tutto il territorio comunale, per il quale le informazioni reperite hanno evidenziato (con l'eccezione della parte più a sud del territorio) la pressoché generale presenza di terreni potenzialmente liquefacibili in condizioni sismiche tanto che sono state individuate 13 MOPS, 11 delle quali sono ricomprese nella categorie di "Zone di attenzione per liquefazione". I modelli stratigrafici ascrivibili a ciascuna MOPS sono stati definiti considerando la stratigrafia tipo delle prime decine di metri a partire dal p.c. e sulla base della stima della profondità del *bedrock* sismico (inferiore a 100 m, compresa tra 100 e 150 m o superiore a 150 m).

#### CARTE PERTINENTI L'ANALISI DI SECONDO LIVELLO:

- CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO, che riporta i valori puntuali del VS30 (velocità media equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m a partire dal piano campagna) ricavata dalle indagini sismiche (principalmente MASW a componente verticale). Da un'osservazione anche sommaria della carta si evince una sostanziale omogeneità dei valori di VS30 che sono quasi tutti compresi tra 180 e 240 m/s).

#### CARTE PERTINENTI L'ANALISI DI TERZO LIVELLO:

- CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

Per l'analisi di terzo livello sono stati definiti i modelli stratigrafici riferiti alle cinque verticali scelte per il territorio di Novi (capitolo 7.2.3.2 e Figura 28).

Si evidenzia tuttavia che l'ubicazione dei limiti tra settori con *bedrock* a profondità diverse è alquanto dubbia e imprecisa e in parte era già stata supposta nella microzonazione sismica condotta dalla RER nel 2013 ed è stata oggetto di lavori e ricerche scientifiche (Mascandola et al., 2019 e relativa bibliografia).

Sulla base dei cinque citati modelli stratigrafici profondi sono state condotte le analisi di Risposta Sismica Locale (capitolo 7.2.3.2).

I risultati dell'analisi di Risposta Sismica Locale sono poi stati utilizzati per la valutazione dell'Indice di Potenziale Liquefazione (Figura 50) e del LSN (Liquefaction Severity Number) (Figura 51).

L'Indice del Potenziale di Liquefazione è stato poi integrato nelle carte di microzonazione sismica di terzo livello che descrivono le aree oggetto di studio approfondito (aree urbanizzate e urbanizzabili, loro intorno significativo, nonché corridoi delle principali infrastrutture) sulla base dei coefficienti di amplificazione (PGA, Intensità spettrale e accelerazione spettrale) e della suscettività a liquefazione.

A completamento dello studio di terzo livello, come richiesto dall'Allegato A della DGR 476/2021 e nelle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni del 2022, è stata realizzata la "Carta di pericolosità sismica  $H_{SM}$ ", riferita all'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$

(Figura 29), nonché le carte analoghe riferite agli intervalli:  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ;  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ;  $0,5s \leq T \leq 1,5s$

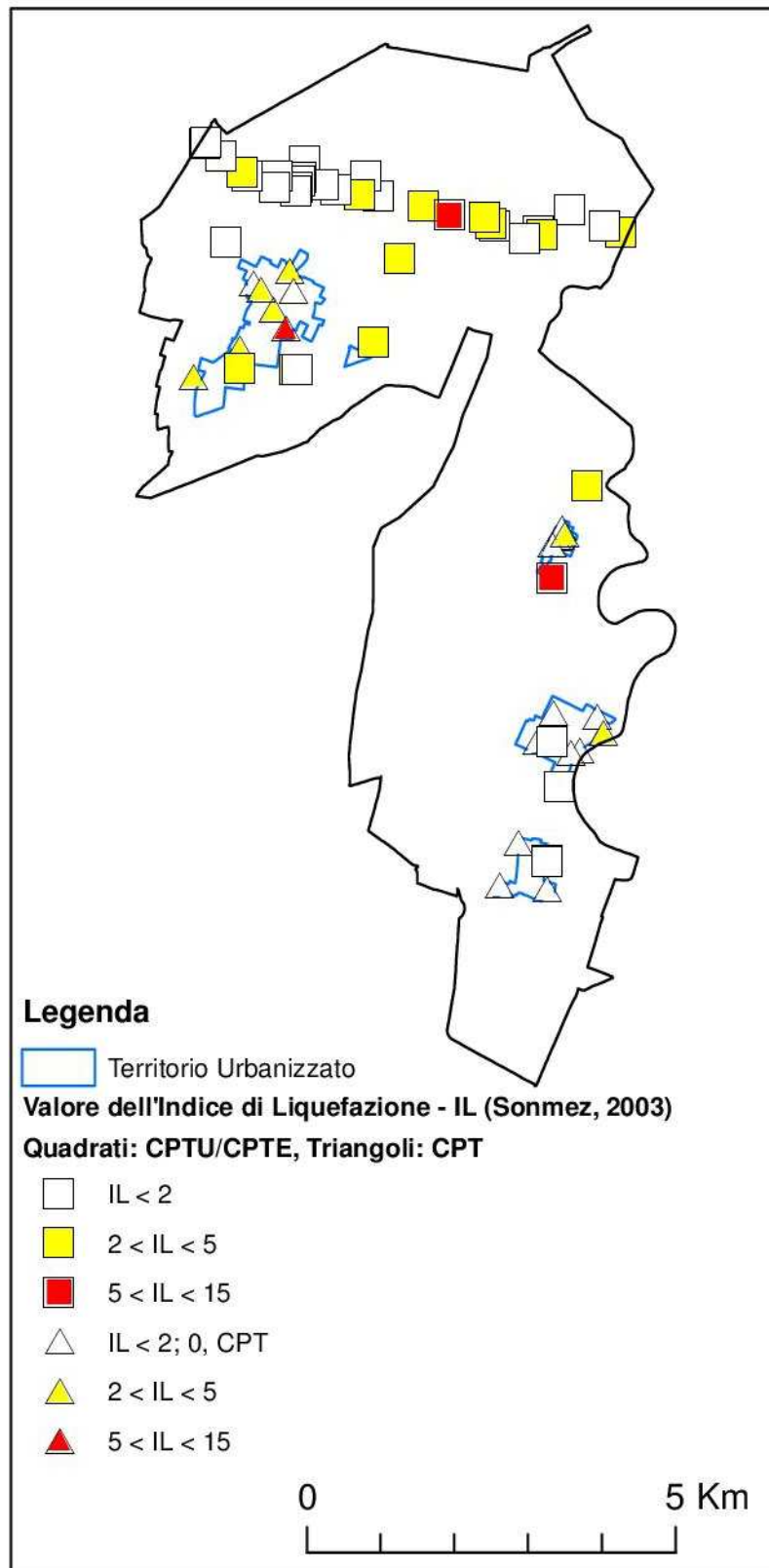


Figura 50 – Ubicazione delle verticali in corrispondenza delle quali è stato calcolato l'Indice di Potenziale Liquefazione.

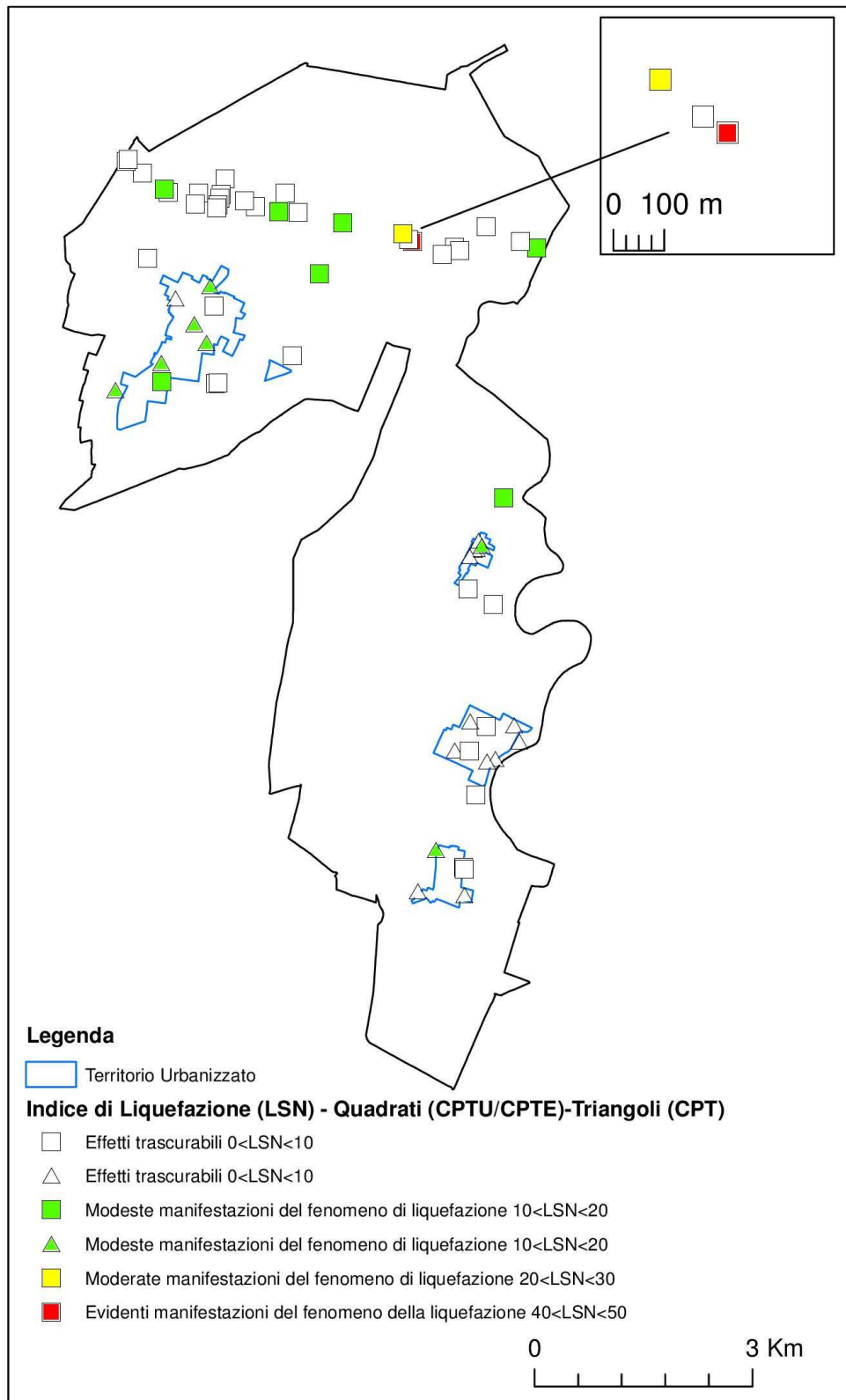


Figura 51 – Ubicazione delle verticali in corrispondenza delle quali è stato determinato l'indice LSN.

## **9. RAPPRESENTAZIONE DEL DANNEGGIAMENTO SUBITO DAGLI EDIFICI DI NOVI DI MODENA IN SEGUITO AL SISMA DEL 2012 IN EMILIA-ROMAGNA**

### **9.1. Premessa**

In seguito agli eventi sismici che hanno coinvolto il territorio del Comune di Novi di Modena, tutti i soggetti istituzionali hanno emanato una serie di disposizioni, particolarmente articolate, per disciplinare il processo della ricostruzione.

Tale processo di ricostruzione previsto con la Legge regionale n.16 del 21 dicembre 2012, fornisce le modalità operative per avviare interventi di trasformazione con l'obiettivo primario di recuperare il patrimonio edilizio esistente, tutelare gli interessi dei cittadini e garantire il dovuto livello di sicurezza ed il ripristino degli edifici con il miglioramento delle prestazioni sismiche ed energetiche.

Le disposizioni per la ricostruzione sono applicate in osservanza delle ordinanze del Presidente della Regione Emilia-Romagna, in qualità di Commissario delegato alla ricostruzione, nonché nel rispetto della legge regionale 16/2012, in coerenza con le scelte generali e gli obiettivi definiti dalla pianificazione territoriale e dalla pianificazione urbanistica. Pertanto tutti i provvedimenti normativi in essere perseguono fundamentalmente i seguenti obiettivi:

- tutela e valorizzazione dei tessuti urbani di antica formazione, centri storici e nuclei storici non urbani, ed in particolare gli edifici e manufatti che costituiscono i principali elementi identitari delle comunità locali migliorandone la sicurezza, la qualità e riducendo la vulnerabilità;
- ripresa dell'attività economica per il territorio rurale con il recupero del patrimonio edilizio esistente, anche non più funzionale all'attività agricola, con la possibilità di accorpare gli edifici produttivi sparsi e la delocalizzazione degli stessi a condizione che si riduca la dispersione insediativa,
- revisione della disciplina di tutela di edifici vincolati dalla pianificazione comunale, in coerenza con la tutela attribuita e solo se in presenza di grave pregiudizio strutturale.

### **9.2. Disposizioni normative**

La legge regionale 21 dicembre 2012 n. 16, in particolare l'art. 7, "Individuazione e attuazione delle Unità minime di intervento – UMI", prevede che sulla base della rilevazione dei danni provocati dagli eventi sismici, nonché delle caratteristiche tipologiche, architettoniche e paesaggistiche del tessuto edilizio, il Consiglio Comunale con apposita deliberazione può individuare gli aggregati edilizi da recuperare e sono altresì perimetrate le Unità Minime d'Intervento.

La perimetrazione delle UMI deve perseguire e armonizzare le seguenti esigenze:

- assicurare l'unitarietà della progettazione e dell'intervento sotto il profilo strutturale, tecnico-



economico, architettonico ed urbanistico;

- rendere il dimensionamento delle UMI compatibile con le esigenze di rapidità, fattibilità ed unitarietà dell'intervento.

L'UMI presente all'interno degli aggregati edilizi intesi come un insieme di edifici non omogenei tra loro ma connessi in vario modo e che possono interagire in presenza di eventi sismici, spesso coincidenti con interi isolati, si configura quasi come porzione dell'aggregato stesso corrispondente anche a singoli edifici che costituiscono e definiscono al tempo stesso una o più unità strutturali. Le UMI, i cui limiti sono stati individuati sulla cartografia catastale, sono state predisposte secondo la classificazione attribuita ad ogni singolo edificio con le schede AeDES, in particolare:

- UMI riferite a singoli edifici con esito di agibilità B e C per i quali sono previsti interventi di riparazione o rafforzamento locale;

- UMI che inglobano unità strutturali con esito di agibilità E da sottoporre a miglioramento sismico, per le quali il progetto unitario d'intervento comprende anche le unità strutturali contigue non interessate da danni e come tali senza classificazione.

Date le caratteristiche proprie della definizione di Aggregato Edilizio ed Unità Minima d'Intervento, tali perimetrazioni si riscontrano più numerose nell'insediamento urbano storico del capoluogo. Poiché i progetti unitari d'intervento riguarderanno edifici collocati in tessuti a forte caratterizzazione storica è opportuno che gli interventi di riparazione o ripristino e miglioramento sismico vengano attuati nel rispetto delle disposizioni dettate dagli artt. 5 e 6 della L. R. 16/2012.

Inoltre, ai fini di una corretta applicazione di tutte le disposizioni vigenti e previste per il recupero del patrimonio edilizio esistente, è opportuno che gli interventi strutturali si riferiscano a definizioni conformi alla normativa di cui al Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni – Cap. 8 – Costruzioni esistenti, oggi Nuove Norme Tecniche D.M. 17 gennaio 2018.

### ***9.3. Rappresentazione del danneggiamento***

Sulla base delle precedenti premesse si è voluto elaborare una rappresentazione del danneggiamento subito dagli edifici del comune di Novi interessato dal sisma del Maggio 2012.

A tal fine l'intero territorio comunale è stato suddiviso in 27 macroaree di forma poligonale piuttosto omogenea, tranne per le aree che includono a margine il limite catastale, con una superficie media di circa 2 Km<sup>2</sup> (FIG.2). Le suddette macroaree sono state indicate con le lettere dalla A alla Z più una indicata come Z2.

All'interno di ogni macroarea, grazie ai dati catastali in possesso, sono stati calcolati i seguenti parametri:

o superficie di ogni macroarea,

o singoli edifici o unità strutturali (US),

o aggregati strutturali (AS),

o unità strutturali danneggiate equivalenti ad unità minime d'intervento (UMI),

o percentuale del rapporto delle UMI di ogni macroarea sul totale delle unità strutturali presenti nella macroarea di riferimento (% danneggiamento).

La rappresentazione del danno subito dal tessuto edilizio del territorio oggetto di studio, o meglio la rappresentazione della densità percentuale degli edifici danneggiati rispetto al totale degli edifici di Novi è stata calcolata, per ogni macroarea di riferimento, applicando la seguente formula:

$$\left( \frac{\text{n}^\circ \text{ UMI}}{\text{n}^\circ \text{ tot unità strutturali}} \right) \% = \text{densità edifici danneggiati}$$

Una volta calcolate le percentuali di danno per ogni macroarea queste sono state raggruppate in 4 intervalli percentuali in base alla loro incidenza.

Le 27 macroaree cartografate risultano quindi distinguibili sulla base della densità del danno in quanto ad ogni intervallo di percentuale corrisponde una gradazione di colore a tonalità più scura con l'aumentare della percentuale di riferimento. Quindi su un'area comunale di circa 51,82 km<sup>2</sup> sono state individuate le seguenti macroaree caratterizzate da 4 intervalli di percentuale del danneggiamento e distribuite secondo la descrizione riportata nella seguente tabella e nel relativo grafico:

numero macroaree	% danneggiamento
22	da 0% a 0,6 %
2	da 0,6% a 1%
1	da 1% a 6%
2	da 6% a 10%

Tabella 4 - distribuzione quantitativa delle macroaree per ogni intervallo di percentuale di densità del danneggiamento

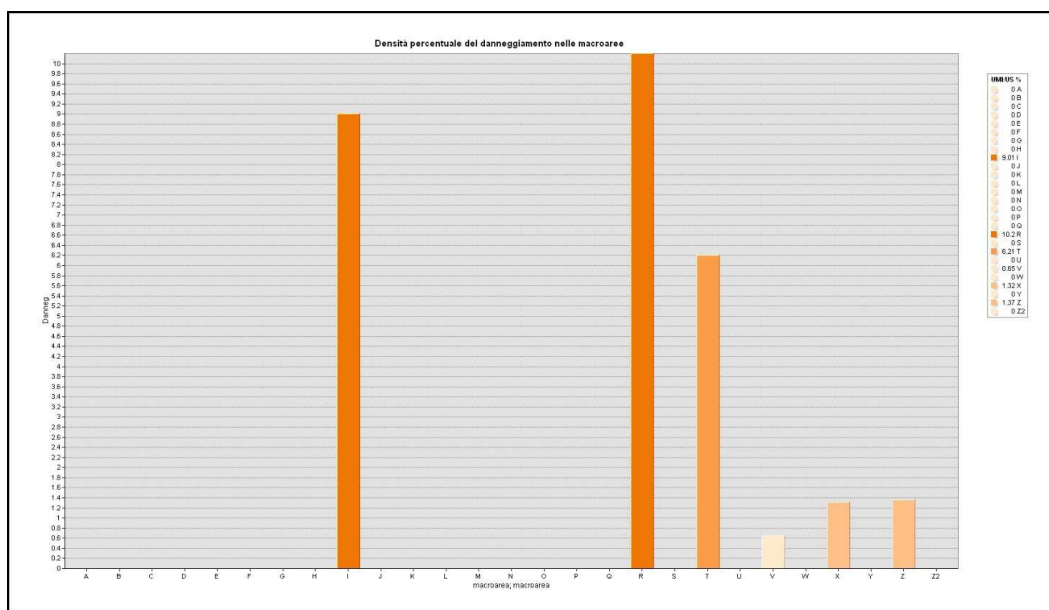


Figura 52 - Densità del danno stimato in ogni macroarea come rapporto percentuale delle unità minime d'intervento sulle unità strutturali ivi presenti: si può notare che le percentuali degli edifici danneggiati sono contenute in un range che va dallo 0 al 10%; l'intervallo che appare con maggior frequenza è quello caratteristico di una bassissima se non nulla densità del danneggiamento, tra lo 0 e lo 0,65 %, due macroaree sono caratterizzate da percentuali attorno all' 1%, una sola macroaree è caratterizzata da una percentuale del danno di circa il 6 % mentre l' intervallo rappresentativo di una densità più alta è presente in sole due macroaree con valori del 9 e del 10%; database e grafico estrapolati da ArcMap.

In questo modo è stato prodotto l'elaborato cartografico denominato: << Carta sulla rappresentazione percentuale del "danneggiamento" del tessuto edilizio – Appendice 1>> in scala 1:15000. Tale rappresentazione è stata effettuata sulla base della somma degli effetti del terremoto del 2012 in Emilia Romagna con riferimento agli eventi del Maggio 2012 più significativi ai fini del presente studio data la loro severità, in particolare quello con epicentro in "Medolla" per il quale nel comune di Novi sono stati registrati valori della massima accelerazione del suolo (PGA) compresi tra 0,24 e 0,34 g (Figura 54); risulta invece meno significativo l'evento registrato con epicentro a Novi poiché è caratterizzato da valori di PGA molto più bassi, compresi tra lo 0,06 e lo 0,12 g.

La rappresentazione del danneggiamento del tessuto edilizio, effettuata secondo la suddetta procedura, non prende in considerazione i dati sull'intensità sismica né l'entità del danno subito tantomeno la vulnerabilità degli edifici coinvolti (caratteristiche strutturali, periodo di costruzione e altro); di conseguenza, non considerando tutte le criticità legate all'effetto della vulnerabilità, non si contempla che gli edifici possano essere differenziabili all'interno di una stessa macroarea. Si vuole pertanto evidenziare che il presente studio non ha alcuna pretesa di fornire un dato specifico bensì ha il solo scopo di rappresentare un dato puramente statistico ed indicativo e di mettere in luce un confronto di tale rappresentazione del danneggiamento con la scossa subita durante l'evento sismico di riferimento.

Osservando la carta sul danneggiamento così ottenuta è possibile distinguere degli ampi settori abbastanza omogenei per densità del danno e quindi nel colore di mappatura che si estendono in tutta la lunghezza del territorio comunale che di base sembra essere interessato da una densità percentuale del danneggiamento molto bassa, se non addirittura nulla: dallo studio condotto sono state ricavate 22 macroaree su 27 con danneggiamento tra lo 0 e lo 0,6 % e di queste ben 21 con densità pari allo 0%; si deve però porre attenzione alla particolare estensione e forma di tutto l'areale entro i limiti comunali che accoglie vaste zone non edificate che in questo tipo di analisi statistica contribuiscono a dare una visione del danneggiamento subito piuttosto inconsistente.

Di conseguenza le macroaree interessate dal danneggiamento degli edifici sono le restanti 6: nella parte settentrionale del comune, la macroarea I, racchiude al suo interno il centro storico interessato da una densità del danno del 9,01 %, tra le più alte riscontrate oltre alla macroarea R, nella parte centrale del territorio comunale, che accoglie Borgo Ferro collocato a nord nella frazione di S. Antonio in Mercadello con densità del 10,2 %; la parte restante della frazione di S. Antonio è inclusa nella macroarea T con densità del 6,21%.

Le macroaree X con densità dell'1,32% e Z con l'1,37% includono la parte meridionale della frazione residenziale di Rovereto ed il suo polo industriale.

È possibile dunque individuare 3 settori con un grado di danneggiamento significativo ma di estensione ridotta rispetto al rimanente territorio che li circonda caratterizzato da una densità del danneggiamento molto bassa se non nulla:

- o settore a nord, centro storico di Novi, a danneggiamento alto,
- o settore nel centro-est, S. Antonio in Mercadello, a danneggiamento alto,
- o settore a sud, Rovereto, a danneggiamento medio.

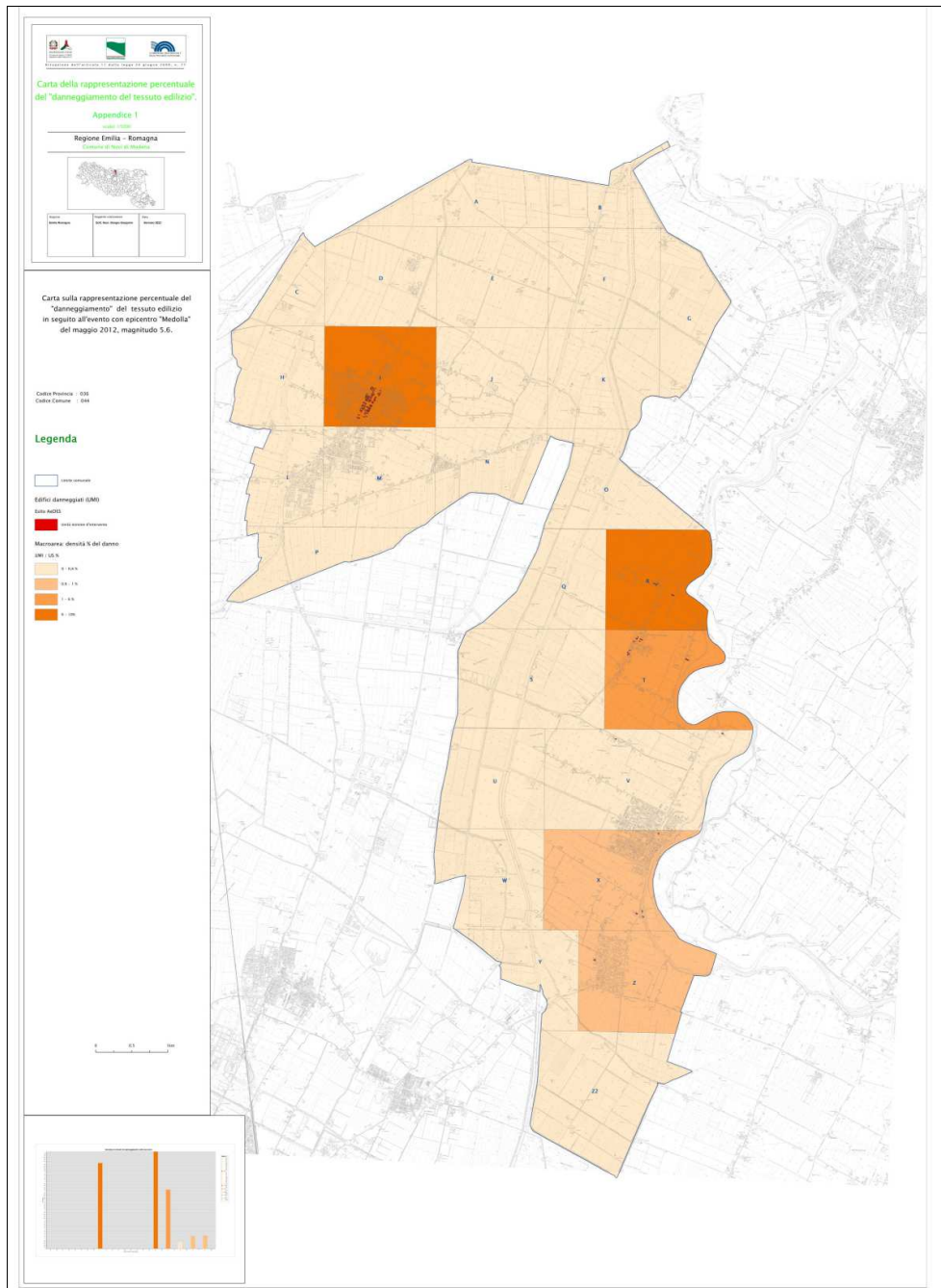


Figura 53 - Stralcio della carta e legenda sulla rappresentazione percentuale del "danneggiamento" del tessuto edilizio del comune di Novi di Modena; grafico sulla distribuzione della densità degli edifici danneggiati in percentuale sul totale delle unità strutturali presenti in ogni macroarea in cui è stato suddiviso il territorio; cartografia e grafico estralati da ArcMap.

La cartografia del “danneggiamento” così ottenuta è stata successivamente confrontata con quelle riportanti i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo di alcuni eventi della sequenza sismica registrata il 29 Maggio 2012 consultabili sul sito dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – INGV, reperibili al seguente link <http://shakemap.rm.ingv.it/shake4/archive.html>.

Di tali eventi sismici il più severo ed il più significativo, come già detto, è risultato essere il sisma con epicentro registrato ad 1 km a SW di Medolla (MO) del 29 Maggio 2012 (ore 7:00 sul sito), ad una profondità di 8.1 km, di magnitudo 5.6, rappresentato nella seguente figura (FIG.3).

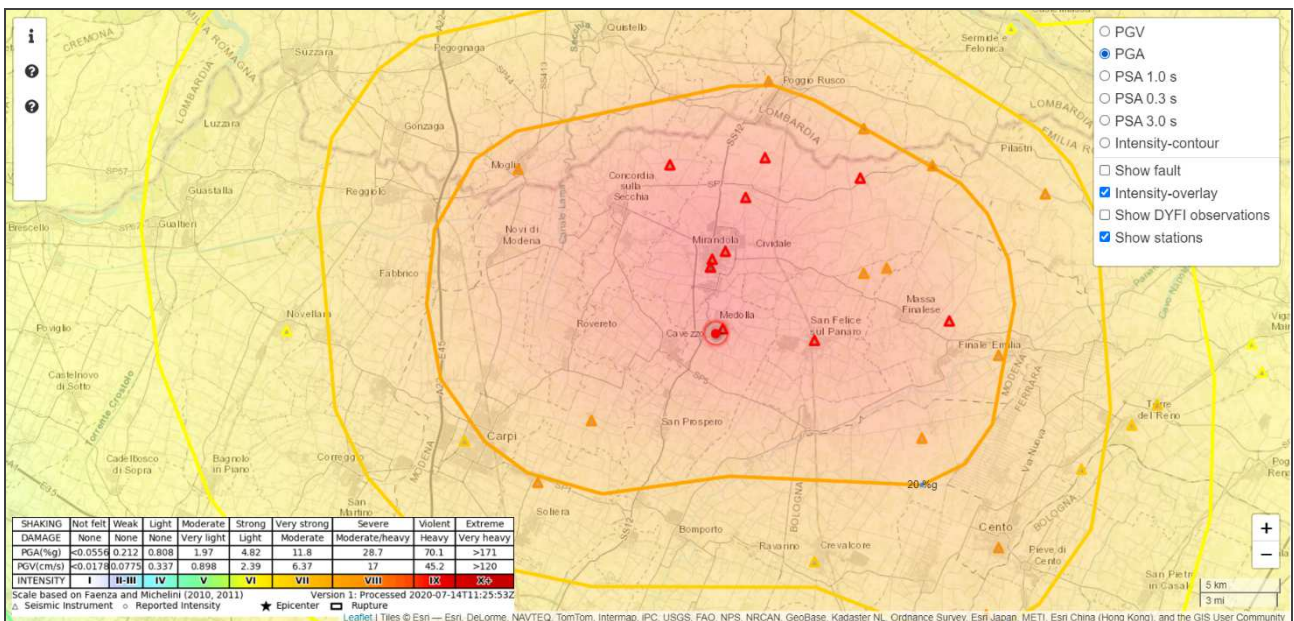


Figura 54 - mappa dello scuotimento, estratta dal sito dell’INGV, dell’evento sismico “Medolla” 29-05-2012; epicentro indicato dal puntino rosso mentre i triangolini rappresentano le stazioni sismiche.

Riportando in mappa i valori di picco dell’accelerazione orizzontale si può subito notare come il comune di Novi, data la sua posizione rispetto all’epicentro di riferimento, sia stato interessato da valori di PGA decrescenti da sud-est verso nord-ovest compresi tra le fasce di isoaccelerazione di 0,34 g e 0,24 g.

E’ stato dunque redatto un secondo elaborato cartografico denominato: << Carta di confronto tra il “danneggiamento” e lo “scuotimento” superficiale – Appendice 2 >> (Figura 55).

Da questa carta di confronto purtroppo non si riesce a ricostruire un’effettiva correlazione tra i settori sopra descritti interessati da una significativa densità del danno e i valori delle fasce di isoaccelerazione orizzontale; i valori di PGA decrescenti spostandosi da sud-est verso nord-ovest investono il territorio quasi longitudinalmente includendo sia macroaree a danneggiamento nullo sia macroaree a più alta densità del danno; queste ultime inoltre sono distribuite sul territorio senza continuità .

La correlazione poco significativa tra il parametro geologico-sismico considerato e la percentuale



di densità del danneggiamento nel settore che dal centro si estende verso nord, potrebbe essere determinata dall'approccio statistico proprio del presente studio e quindi imputabile ad una diversa distribuzione degli edifici che risultano essere presenti in numero rilevante nel centro storico e nelle aree residenziali delle frazioni di S. Antonio in Mercadello e Rovereto ma in numero nettamente inferiore nelle aree circostanti destinate per lo più all'uso agricolo e produttivo.

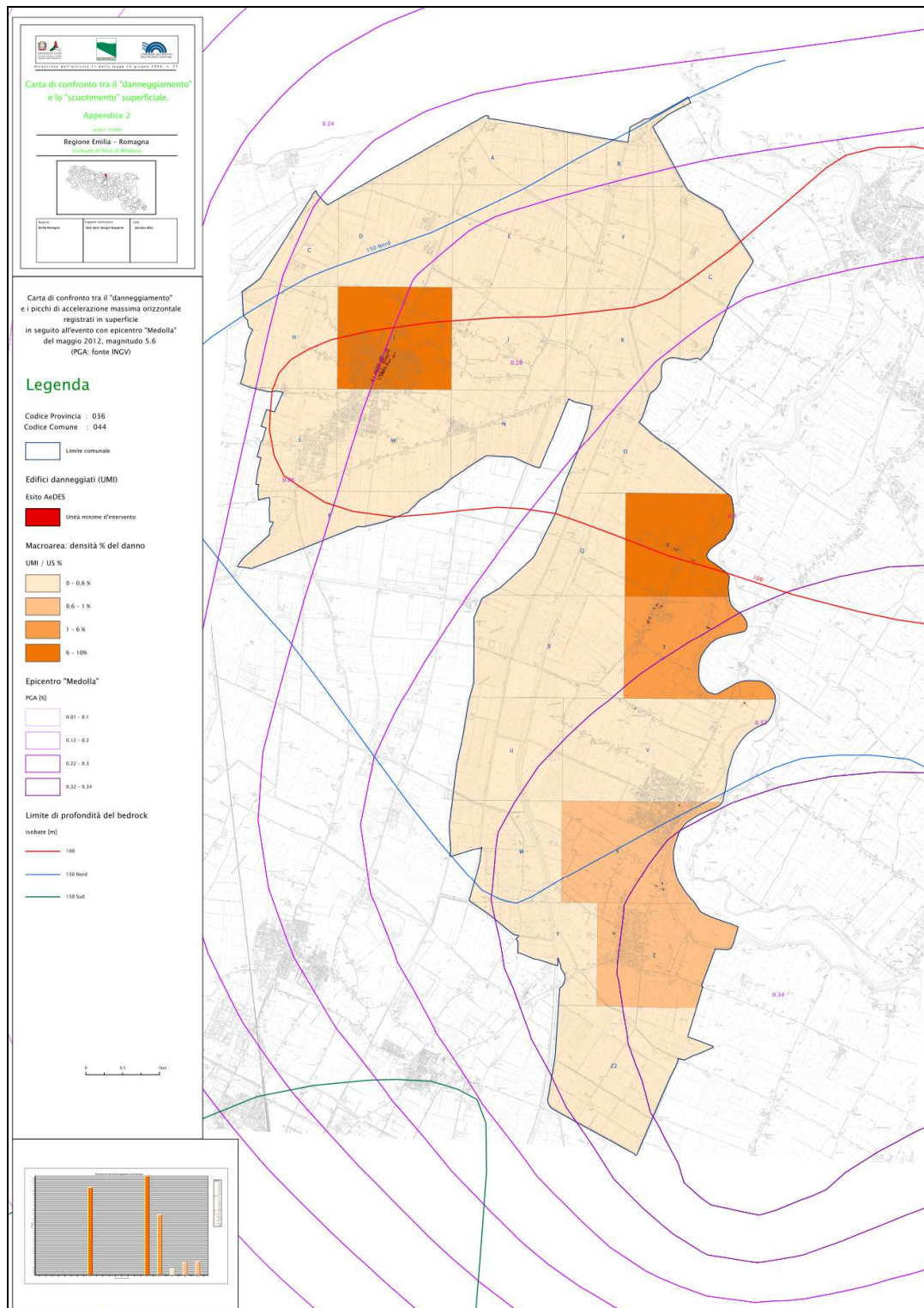


Figura 55 - Stralcio della carta e legenda sul confronto tra la rappresentazione percentuale del "danneggiamento" del tessuto edilizio del comune di Novi e valori di PGA; grafico sulla distribuzione della densità degli edifici danneggiati in percentuale sul totale delle unità strutturali presenti in ogni macroarea in cui è stato suddiviso il territorio; cartografia e grafico estrapolati da ArcMap.

Nel presente studio è stato svolto un ulteriore confronto della mappa del danneggiamento subito dal tessuto urbano con le carte redatte per la microzonazione sismica di III livello al fine di osservare le possibili correlazioni con particolare riferimento ai valori PGA e HSM sulla base della distanza del bedrock sismico per il quale sono state individuate 3 curve di profondità visibili nella cartografia precedente (Figura 55): isobata dei 100 m di colore rosso in carta attraversa la parte settentrionale e centrale del territorio comunale di Novi, isobata denominata 150 m Nord individuata in blu nella parte meridionale del comune e quella denominata 150 m Sud cartografata in verde e collocata al di fuori dei limiti comunali. Anche in questo caso non è possibile osservare una stretta relazione tra la profondità del bedrock sismico e i danni rilevati sul tessuto edilizio.

Più efficace risulta invece il tentativo di correlazione con la suscettibilità all'instabilità delle aree urbanizzate e urbanizzabili mediante il confronto con la Carta di pericolosità sismica. In merito a ciò si può osservare che le macroaree indicative di una densità percentuale del danno piuttosto elevata rispetto al resto del territorio sono anche zone suscettibili di amplificazioni locali per valori di FPGa compresi nell'intervallo 1.3-1.4 (macroarea I, centro storico di Novi) e nell'intervallo 1.5-1.6 (macroaree R e T, S. Antonio in Mercadello; macroarea X e Z, Rovereto); inoltre le macroaree suddette comprendono le zone suscettibili all'instabilità per liquefazione il cui parametro caratteristico ricade nell'intervallo  $2 < I_L < 5$ .

Di seguito si riportano alcuni stralci della tavola 1 e tavola 2 relative alla "Carta di Microzonazione sismica FAPGA" (Figura 56) e alla "Carta di pericolosità sismica HSM" (Figura 57), mentre si rimanda agli allegati degli studi di microzonazione per la consultazione delle carte rappresentanti i valori di FA, FH ed altri parametri.

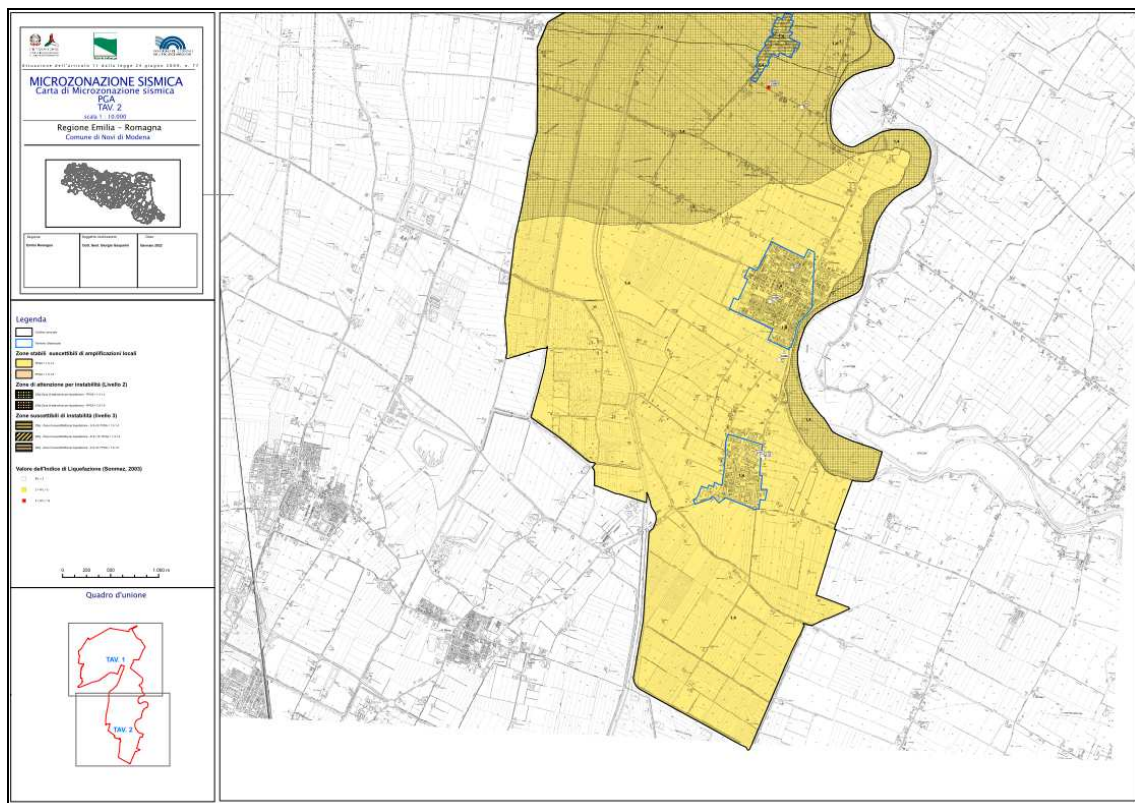
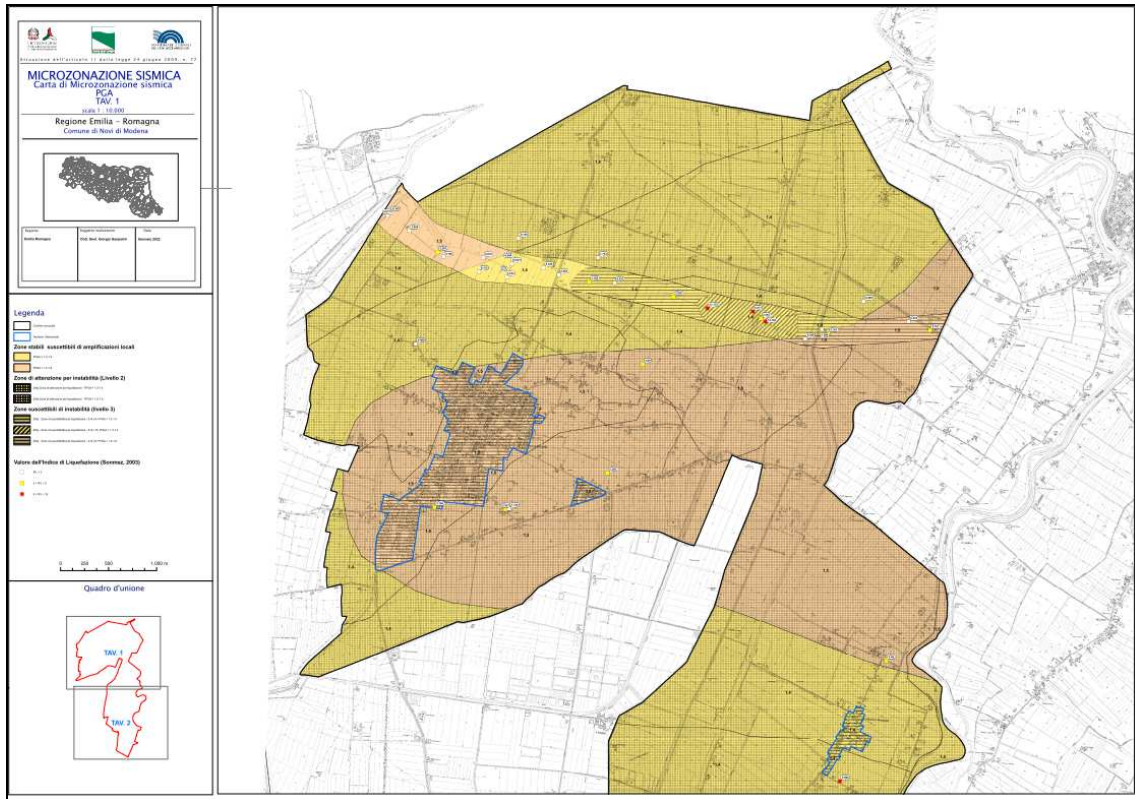


Figura 56 - Stralci della Carta di Microzonazione sismica FAPGA in scala 1:10.000, Tav.1 e Tav.2 - MICROZONAZIONE SISMICA, Regione Emilia – Romagna, Novi di Modena.



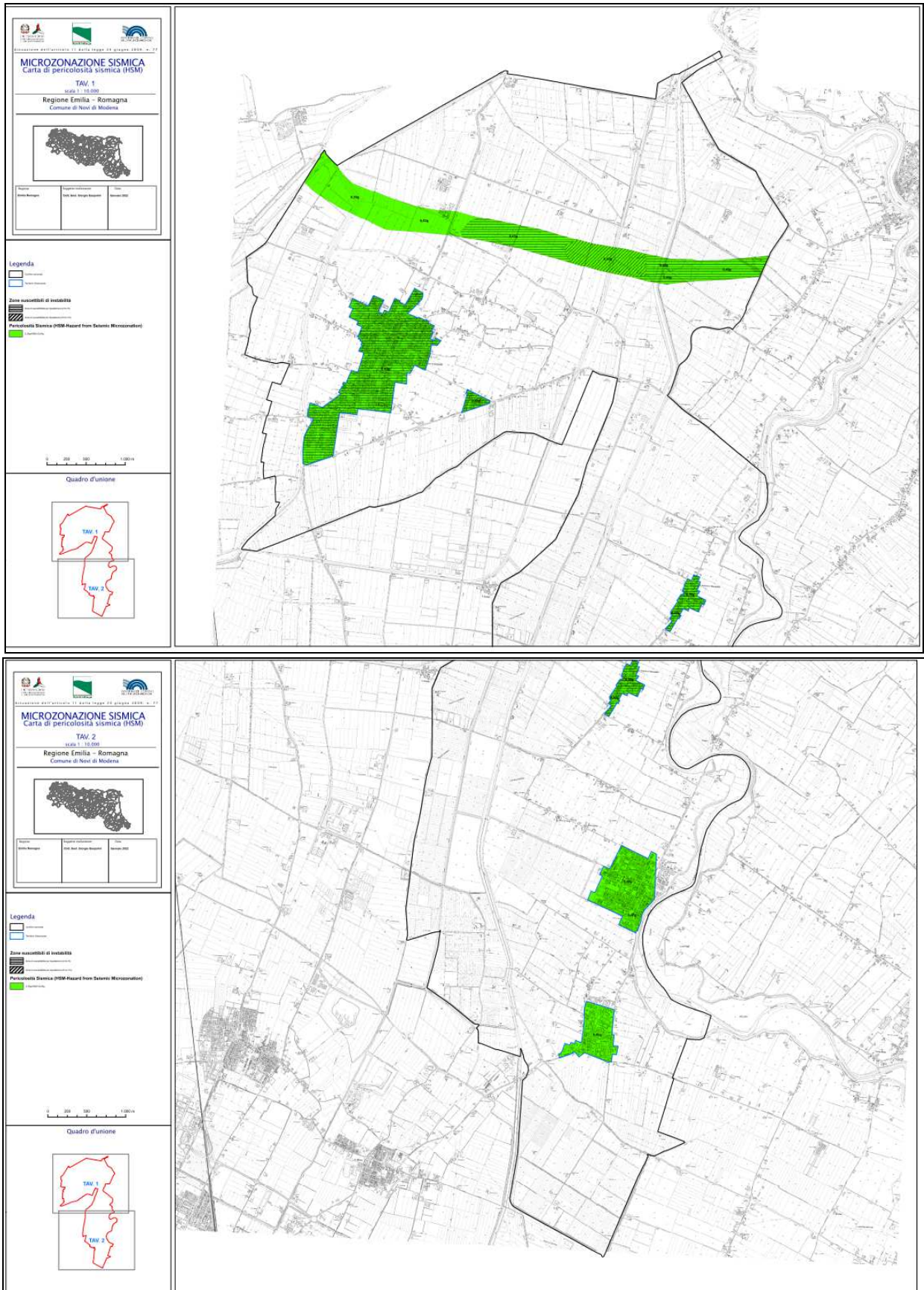


Figura 57 - Stralci della Carta di pericolosità sismica (HSM) in scala 1:10.000, Tav.1 e Tav.2 - MICROZONAZIONE SISMICA, Regione Emilia - Romagna, Novi di Modena.

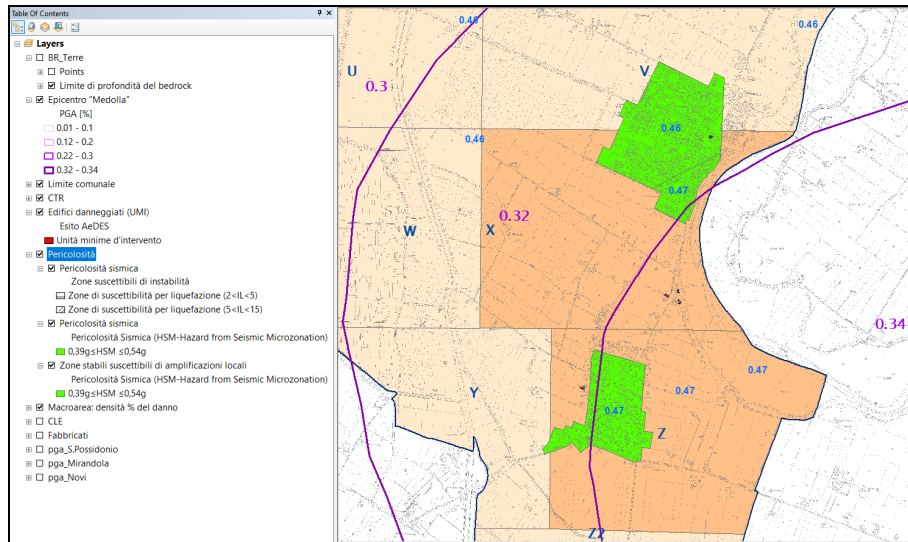
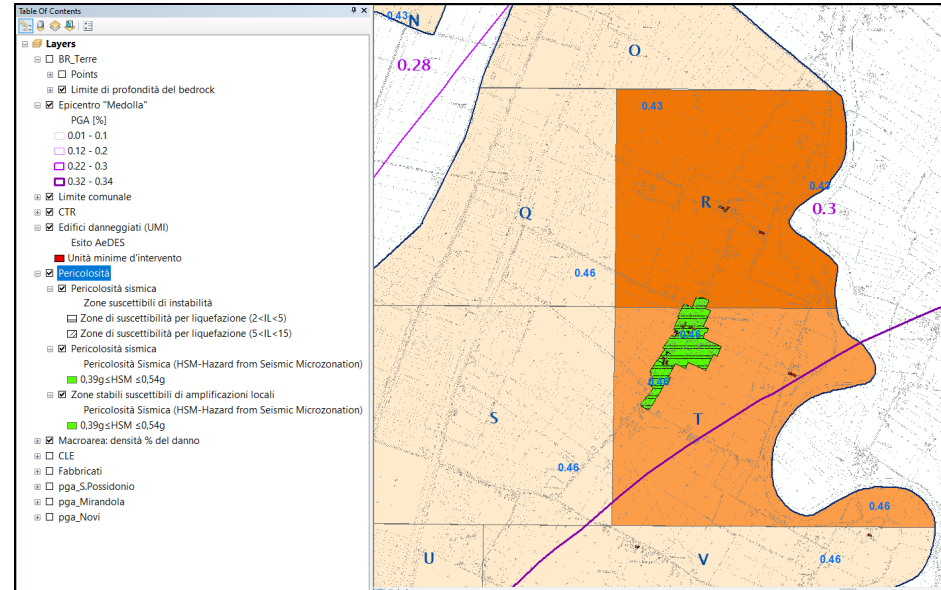
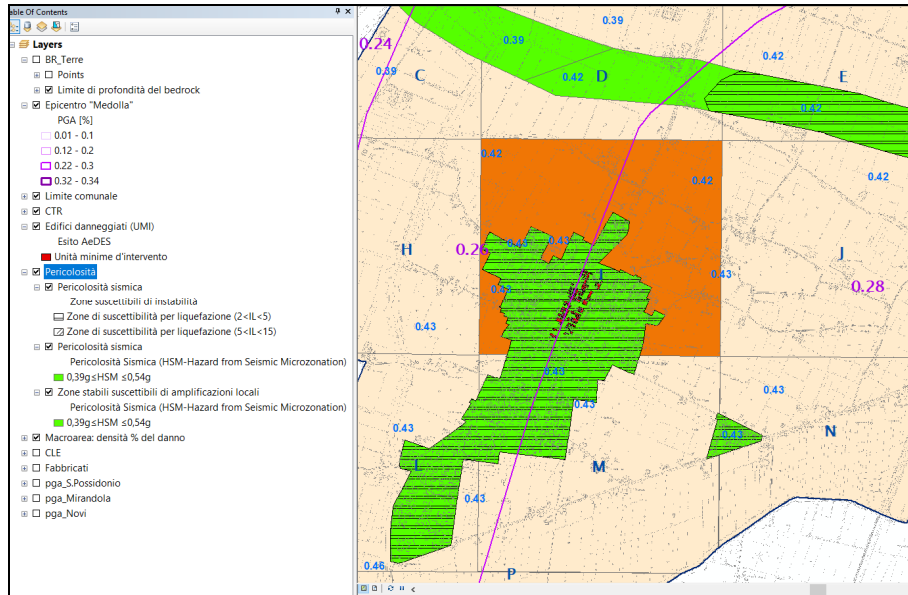


Figura 58 - Stralcio e legenda estrapolati dal progetto di lavoro in AcrGis in scala 1:20000 in cui sono stati sovrapposti alla Carta di rappresentazione percentuale del “danneggiamento del tessuto edilizio” alcuni shape files della Carta di Microzonazione sismica (PGA e HSM) leggibili lateralmente nella “Table of Contents”, allo scopo di valutare l’effettiva correlazione tra pericolosità sismica, indici di liquefazione e danneggiamento. In senso orario: Novi centro storico, S. Antonio in Mercadello, Rovereto.



In linea generale l'intero territorio comunale, la cui pericolosità sismica si rifà ai seguenti valori  $0,39g \leq HSM \leq 0,54g$  appare pressoché omogeneo per quanto riguarda l'analisi condotta sul danneggiamento subito dagli edifici poiché risulta caratterizzato da percentuali della densità del danno variabili dallo 0 al 10 % con una netta preponderanza dei valori prossimi allo 0% e pochi casi con percentuali più elevate.

Le aree più significative in termini di danneggiamento subito sono quelle a maggior densità costruttiva rispetto alla gran parte del territorio comunale che accoglie vaste aree non edificate e destinate all'agricoltura e possono essere così sintetizzate:

- o centro storico di Novi, anche se attraversato da fasce di isoaccelerazione con valori di PGA minori, attorno allo 0,26 g, risulta essere tra le aree più danneggiate con densità stimata attorno al 9% poiché caratterizzato da una moderata pericolosità sismica e indice di liquefazione  $2 < IL < 5$ ;

- o S. Antonio in Mercadello, frazione anch'essa tra le aree più danneggiate con densità del 6 e del 10%, similmente alla precedente include un'area microzonata come suscettibile d'instabilità per liquefazione con  $2 < IL < 5$ ;

- o Rovereto, frazione a danneggiamento medio-basso con densità stimata attorno all'1,3%, attraversata dai valori di PGA più elevati 0,34 e 0,32 g ma non suscettibile alla liquefazione e probabilmente edificata in epoca più recente.

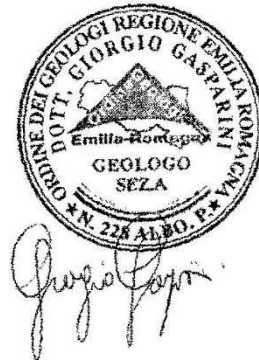
Poiché non si presentano ottime correlazioni tra la stima del danno e alcuni parametri geologico-sismici considerati quali fasce di isoaccelerazione sismica e profondità del bedrock, è opportuno sottolineare che uno degli aspetti fondamentali tra le cause determinanti il danneggiamento del tessuto edificato è la vulnerabilità degli edifici stessi, intesi sia come unità strutturali isolate sia come aggregati strutturali considerando le reciproche interferenze tra le unità adiacenti che li compongono. Nell'ottica della predisposizione di una costruzione a subire danneggiamenti è intuibile che il centro storico sia interessato da percentuali del danno maggiori rispetto alla periferia rurale, sia per densità costruttiva sia per tipologia ed epoca di edificazione.

Dunque si suole ricordare che la vulnerabilità, così come le indagini che essa implica (analisi storico-critica degli edifici, caratterizzazione meccanica dei materiali,

analisi strutturale e molto altro) non sono oggetto del presente studio dal carattere puramente statistico.

Bastiglia, gennaio 2022.

Dott. Geol. Giorgio Gasparini



## 10. BIBLIOGRAFIA

- ◆ AA.VV. (1992) - *Appennino Tosco-Emiliano. (A cura di Bortolotti V.) Guide geologiche regionali*. N. 4, pp. 336, BE-MA Editrice, Firenze.
- ◆ AA. VV. (1997) – *La microzonazione sismica nella pianificazione urbanistica e territoriale: l'esperienza del "Masterplan" del Rubicone e prospettive regionali*. Proc. Conv. Geologia delle grandi aree urbane, Bologna 4/5 Novembre 1997.
- ◆ AA.VV. (2001) – *Il rischio sismico in Italia. Ingegneria Sismica*, 1/2001, 5-36.
- ◆ AA.VV. (2005) - *Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida*. Patron Editore, Bologna, edizione Provvisoria.
- ◆ ARPA-Emilia-Romagna (2010) - *Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna per la ricostruzione del quadro conoscitivo relativo ai principali acquiferi freatici di pianura*.
- ◆ Benini A., Martelli L., Poccianti C. & Rosselli S. (a cura di) (in stampa) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 253- Marradi*. (sito web cartografico dell'Ufficio Geologico, Sismico e dei Suoli della regione Emilia-Romagna.
- ◆ Bettelli G. & De Nardo M.T. (2001) – *Geological outlines of the Emilia Apennines (Italy) and introduction into the rock units cropping out in the areas of landslides reactivated in the 1994-1999 period*. Quad. Geol. Appl. N. 8/1(2001), 1-26, Pitagora Ed., Bologna.
- ◆ Bettelli G. & Panini F. (1989) - *I Melanges dell'Appennino Settentrionale dal T. Tresinaro al T. Sillaro*. Mem. Soc. Geol. It., 39(1987), 187-214.
- ◆ Bettelli G. & Panini F. (1992) – *Liguridi, melanges e tettoniti nel Complesso caotico lungo la «linea del Sillaro» (Appennino settentrionale, Province di Firenze e Bologna)*. Il Mem. Descr. Carta geol. D'It. XLVI(1991), 387-415.
- ◆ Bettelli G., Panini F., Fioroni C., Nirta G, Remitti F., Vannucchi P e Carlini M. (2012) - *Revisiting the Geology of the "Sillaro Line", Northern Apennines, Italy*. Rend. Soc. Geol. It., 22, 14-17.
- ◆ Boccaletti M, Coli M, Eva C, Ferrari G, Giglia G, Lazzarotto A, Merlanti F, Nicolich R, Papani G, Postpischl D (1985) *Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines*. Tectonophysics 117,7–38.
- ◆ Boccaletti M., Bonini M, Corti G, Gasperini P, Martelli L, Piccardi L, Severi P, Vannucci G (2004) *Seismotectonic map of the Emilia- Romagna Region*. Emilia-Romagna Region-SGSS and CNR-IGG, Selca, Florence.
- ◆ Boccaletti M. Corti G. e Martelli L. (2011) - *Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy)*. Int J Earth Sci. Pubbl. online 19may2010.
- ◆ Boncio P., Bracone V. (2009) - *Active stress from earthquake focal mechanisms along the Padan–Adriatic side of the Northern Apennines (Italy), with considerations on stress magnitudes and pore-fluid pressures*. Tectonophysics 476,180–194.

- ◆ Burrato P., Ciucci F., Valensise G. (2003) - *An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting*. Ann Geophys 46(5), 865–882.
- ◆ Calabrese L. & Cibi U. (a cura di) (in stampa) – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 222 Lugo*. Regione Emilia-Romagna.
- ◆ Camassi R & Stucchi M. (1996) – *NT4.1-Un catalogo parametrico di terremoti di area italiana alla di sopra della soglia di danno*.
- ◆ Castellarin A., Eva C., Giglia G. e Vai G.B. (1986) – *Analisi strutturale del fronte appenninico padano*. Giornale di Geologia, 47, (1-1) (1985), 47-75.
- ◆ Castellarin A. & Pini G.A. (1989) (con contributo di Borsetti A.M. e Rabbi E.) - *L'arco del Sillaro: la messa in posto delle argille scagliose al margine appenninico padano (Appennino bolognese)*. Mem. Soc. geol. It., 39(1987), 127-141.
- ◆ Cerrina Ferroni A., Martelli L., Martinelli P & Ottria G. (2002) – *Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo*. Scala 1:250.000. Carta e Note Illustrative, S.EL.CA, Firenze.
- ◆ Cerrina Ferroni A., Ottria G. & Ellero A. (2004) – *The Northern Apennines, Italy: Geological structure and transpressive evolution*. In “Geology of Italy” Spec. Vol. of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence-2004, 15-32.
- ◆ Colombi A., Curli S., Ercolessi G., Loffredo G., Martelli L., Minghini F., Romagnoli M., Stevanin E., Veronese T. & Zanetti D. (2014) – *Analisi del rischio di liquefazione dell'area produttiva “Piccola e media Industria di Ferrara*. GNGTS2014, Sessione 2.2.
- ◆ Dal Moro Giancarlo (2019) – *Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica*. Dario Flaccovio Editore, pp. 280.
- ◆ Elmi C. & Zecchi R. (1974) - *Caratteri sismotettonici dell'Emilia Romagna*. Quad. Mercanzia n. 21, Cam. Comm. Ind. Art. e Agr., Bologna.
- ◆ Ghiselli F. & Martelli L. (1997) - *Evoluzione dei campi di stress lungo il margine appenninico-padano dal Pleistocene all'Attuale: analisi strutturale dei depositi pleistocenici affioranti tra Castell'Arquato (Piacenza) e Rimini*. Il Quaternario 10(2):437–444.
- ◆ Lavecchia G., De Nardis R., Cirillo D., Brozzetti F. & Boncio P. (2012) - *The May-June 2012 Ferrara Arc earthquakes (northern Italy): structural control of the spatial evolution of the seismic sequence and of the surface pattern of coseismic fractures*. Annals of geophysics, 55, 533-540.
- ◆ (A cura di:) Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V., Fabbroni P., Martelli L., Baldi P., Bacchetti M. - *Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana* - Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli); Regione Toscana, Università di Siena 1240 (Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente).

- ◆ Madaia C., Vannucchi G., Baglione M., Martelli L., Veronese T. - *Utilizzo di prove penetrometriche statiche a punta meccanica per la stima del potenziale di liquefazione* – in Rivista Italiana di Geotecnica 3/2016.
- ◆ Martelli L., Filippini M., Bagli S., Severi P. & Tomasetti F. (2006) - *Riduzione del rischio sismico nella pianificazione territoriale e urbanistica in Emilia-Romagna: definizione e rappresentazione della pericolosità sismica locale. L'esempio della cartografia per il quadro conoscitivo del PTCP di Rimini*. Il Geologo dell'Emilia Romagna, n. 24, 7-17.
- ◆ Martelli L., Amorosi A. & Severi P. (a cura di) (in stampa) – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 221 Bologna*.
- ◆ Martelli L. (2011) – *Quadro sismo tettonico dell'Appennino Emiliano-Romagnolo e della Pianura Padana centrale*. Atti del GNGTS 2011, sessione 1.2.
- ◆ Martelli L., Ercolessi G., Sani F., Bonini M., Corti G., Santulin M., Tamaro A., Rebez A. & Sleiko D. (2017a) – *Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino Settentrionale. Proposta di nuova zonazione sismogenetica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche*. Rapporto Conclusivo. Regione Emilia-Romagna, settembre 2017, pp. 37.
- ◆ Martelli L., Santulin M., Sani M., Tamaro A., Bonini M., Rebez A., Corti G. & Sleiko D. (2017b) – *Seismic hazard of the Northern Apennines based on 3D seismic sources*. Journal of Seismology, 21, 1251-1275.
- ◆ Mascandola C. Massa M., Barani S., Albarello D., Lovati S., Martelli L. & Poggi V. (2019) - *Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring*. Bulletin of the Seismological Society of America (2019) 109 (1): 164–177
- ◆ Michetti A, Giardina F., Livio F., Mueller Karl, Serva L., Sileo G, Vittori E., Devoti R., Riguzzi F., Carcano C., Rogledi S., Bonadeo L., Brunamonte F. e Fioraso G (2012) - *Active compressional tectonics, Quaternary capable faults and the seismic landscape of the Po Plain (Northern Italy)*. Ann. Geophys. 55, 5, 969-1001.
- ◆ Paganì M. & Marcellini A. (a cura di) (2003) - *Castelnuovo ne' Monti: analisi di pericolosità sismica*. CNR-Regione Emilia-Romagna. Scaricabile da Sito Web Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna.
- ◆ Pieri M. & Groppi G. (1981) – *Subsurface Geological Structure of the Po Plain, Italy*. C.N.R., Prog. Finaliz. Geodinamica, Pubbl. n. 414, pp. 13.
- ◆ Regione Emilia-Romagna.(2003) – *Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna e CNR.
- ◆ Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998) – *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA Firenze, pp. 120.
- ◆ Regione Lombardia (1996) - *Determinazione del rischio sismico a fini urbanistici in Lombardia*.



- ◆ Sowers/G. F. (1962) – *Shallow Foundation*. Foundation Engineering G.A. Leonards Ed. Chapter 6.
- ◆ TC4 (1993) Technical Committee for earthquake engineering, ISSMGE (1993) - *Manual for zonation on seismic geotechnical hazard*. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- ◆ Tento A., Arrigoni V., Frassinetti G. & Martelli L. (2002) - *Elementi di microzonazione sismica dell'area di Predappio Bassa*. Scaricabile da Sito Web Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna.
- ◆ Treves B. (1984) - *Orogenic belts as accretionary prism: the example of the Northern Apennines*. *Ofioliti*, 9/3, 577-618.
- ◆ Vai G.B. & Castellarani A. (1993) – *Correlazione sinottica delle unità stratigrafiche nell'appennino settentrionale*. *Studi Geol. Camerti, CROP 1/1, Vol. Spec. (1992/2)*, 171-185

## 11. ALLEGATI

Allegato 1 – Elaborazioni dei valori dell'indice di liquefazione

Allegato 2 – Sezioni litotecniche

Allegato 3:

Allegato 3.1 – Carta della rappresentazione percentuale del “danneggiamento del tessuto edilizio”

Allegato 3.2 – Carta di confronto tra il “danneggiamento” e lo “scuotimento” superficiale

# **ALLEGATO 1**

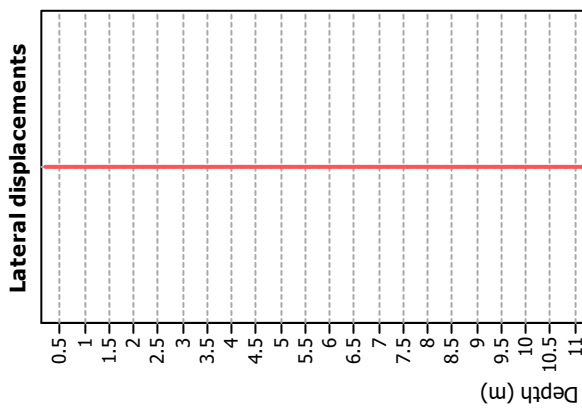
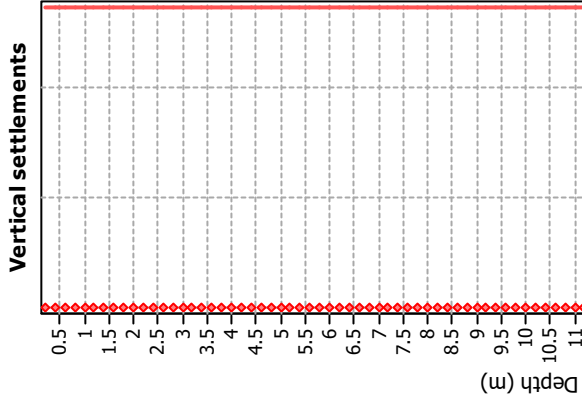
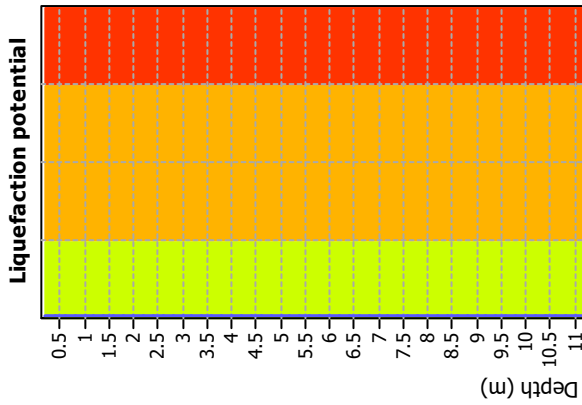
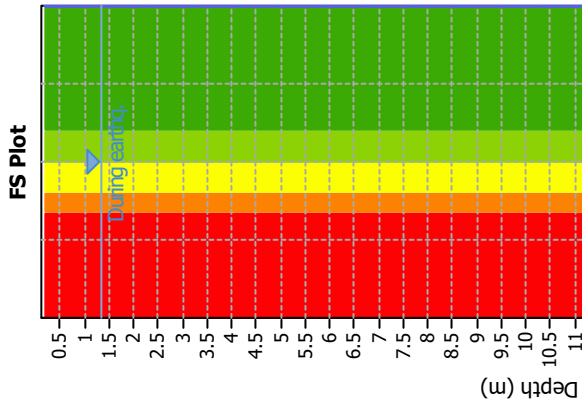
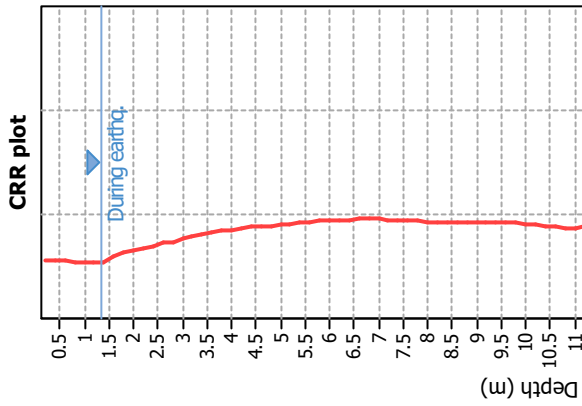


# **CPTU/CPTE e CPT**





### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>σ</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

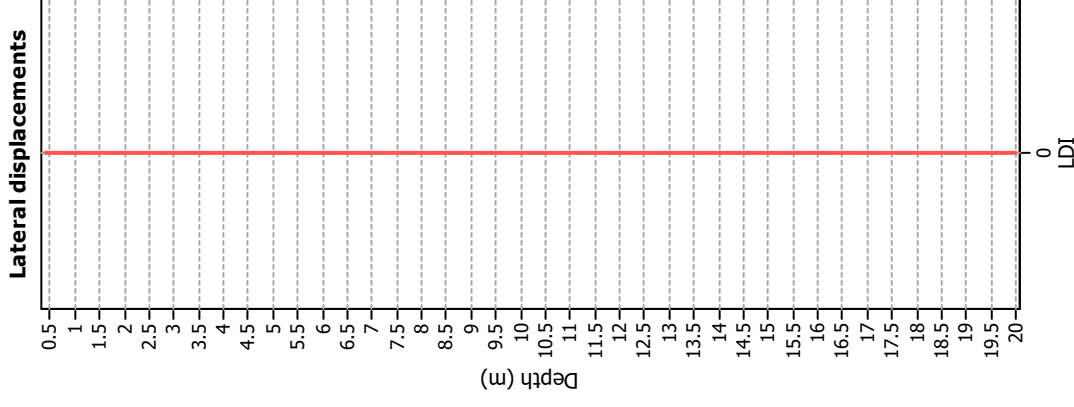
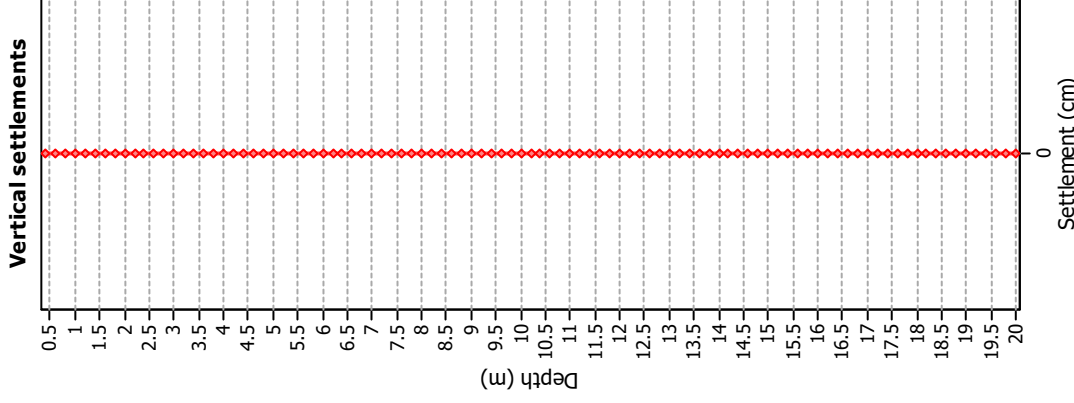
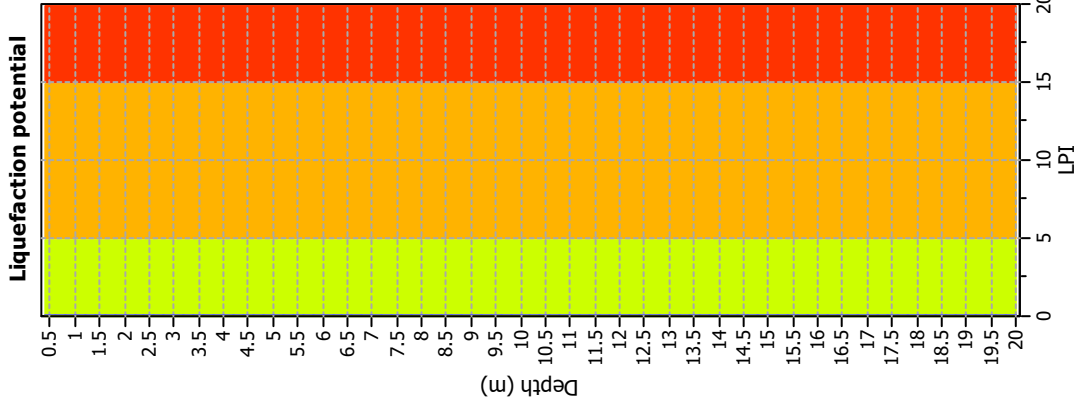
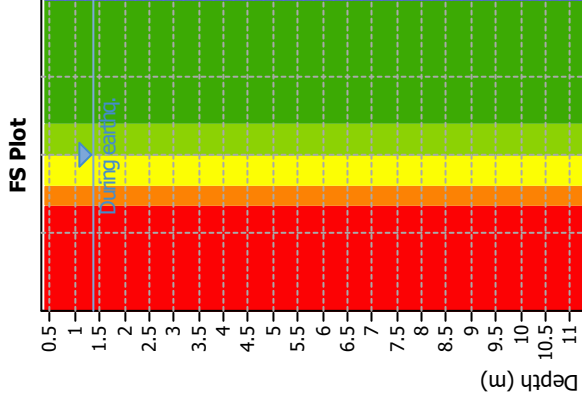
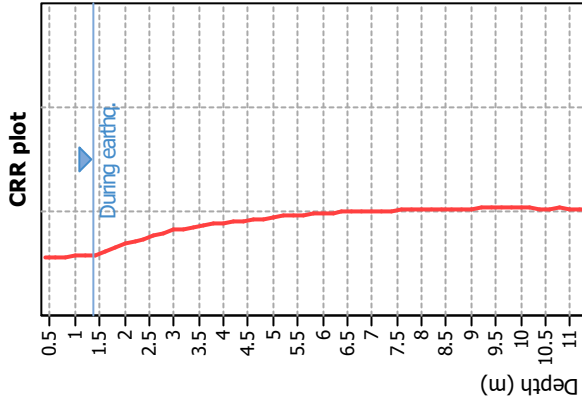
### F.S. color scheme

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

### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 7.00  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

#### F.S. color scheme

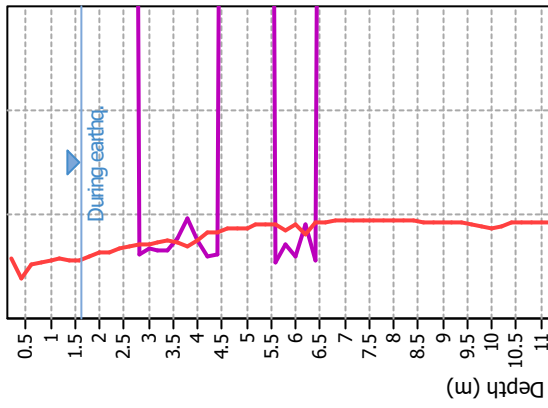
Almost certain it will liquefy  
 Very likely to liquefy  
 Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Unlike to liquefy  
 Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

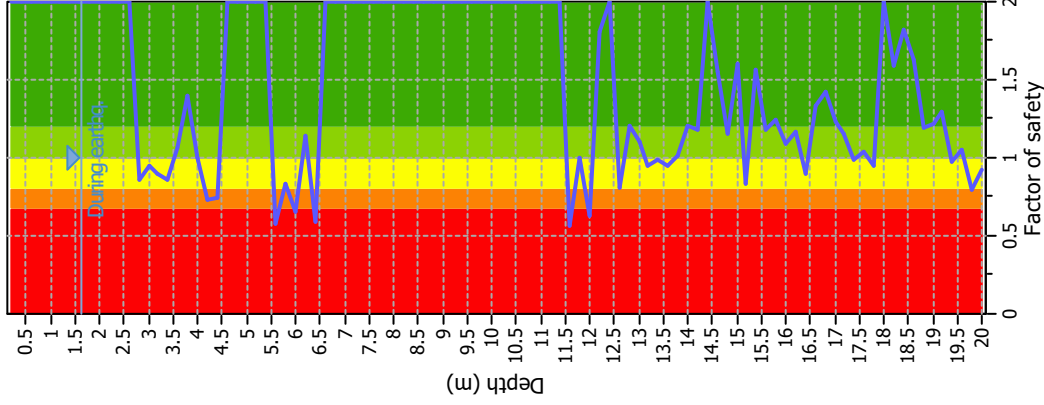
Very high risk  
 High risk  
 Low risk

### Liquefaction analysis overall plots

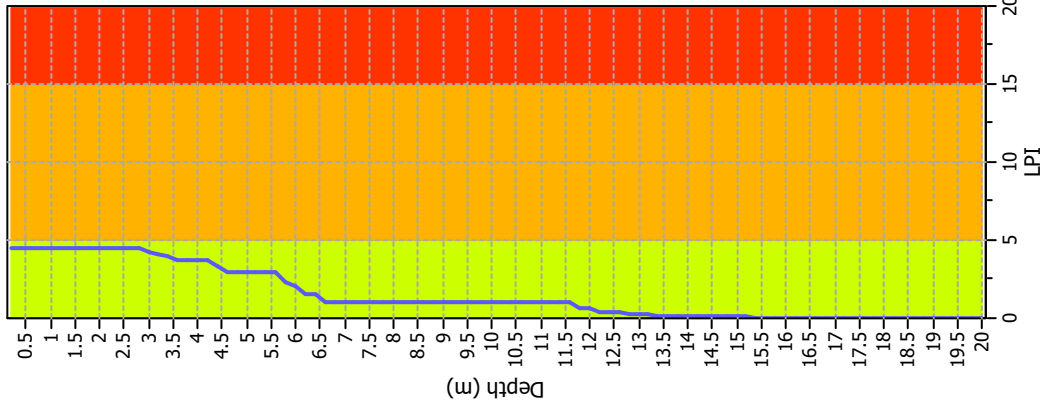
**CRR plot**



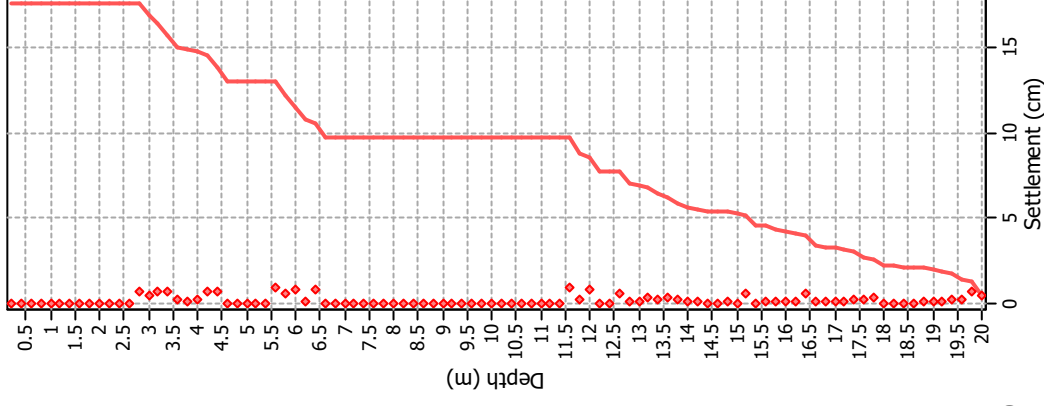
**FS Plot**



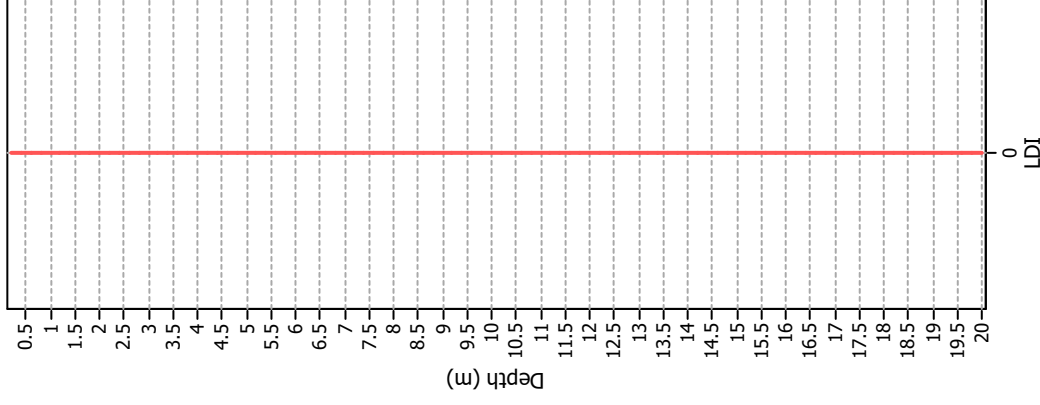
**Liquefaction potential**



**Vertical settlements**



**Lateral displacements**



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.61 m

Depth to GWT (earthq.): 1.61 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

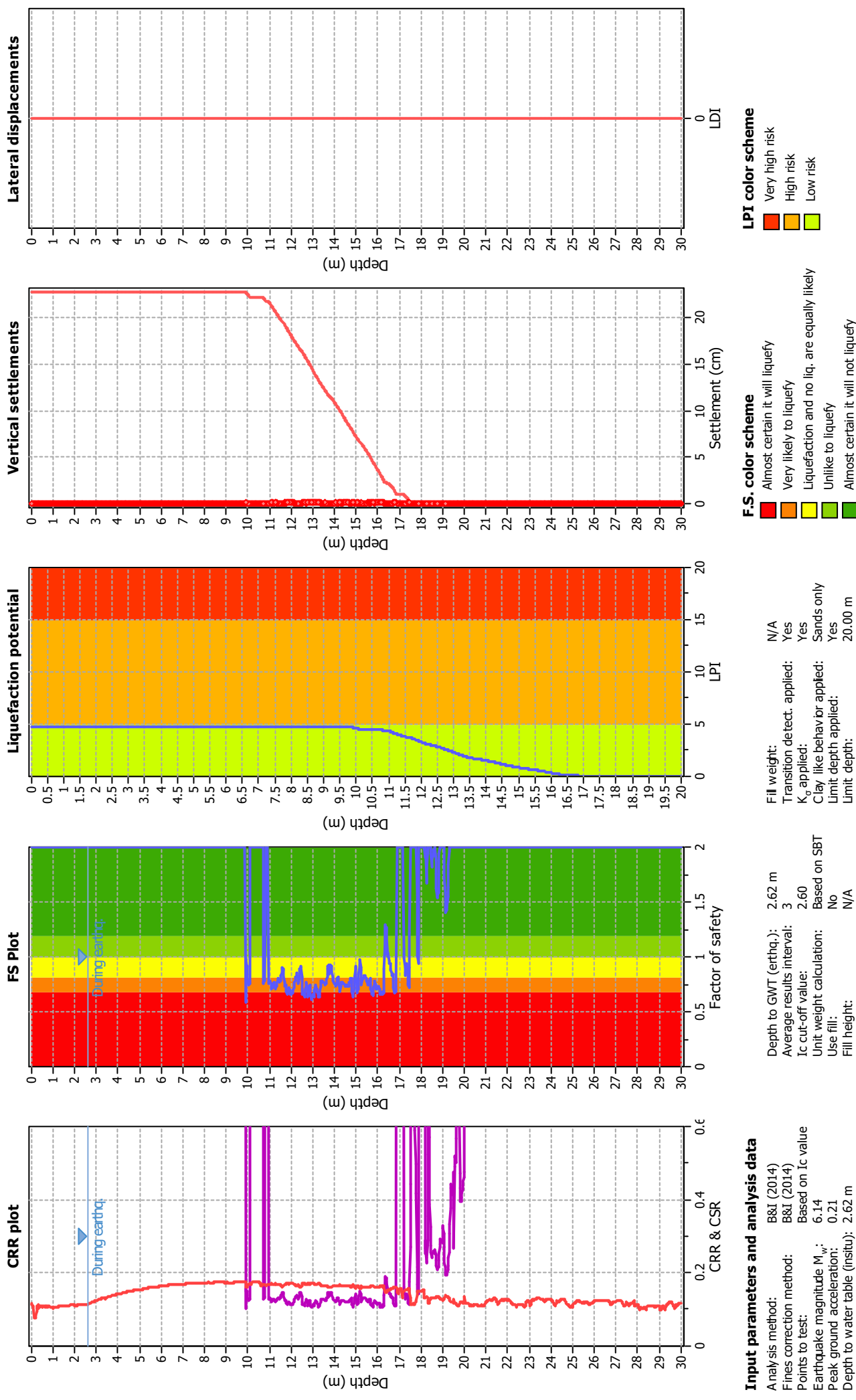
### F.S. color scheme

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

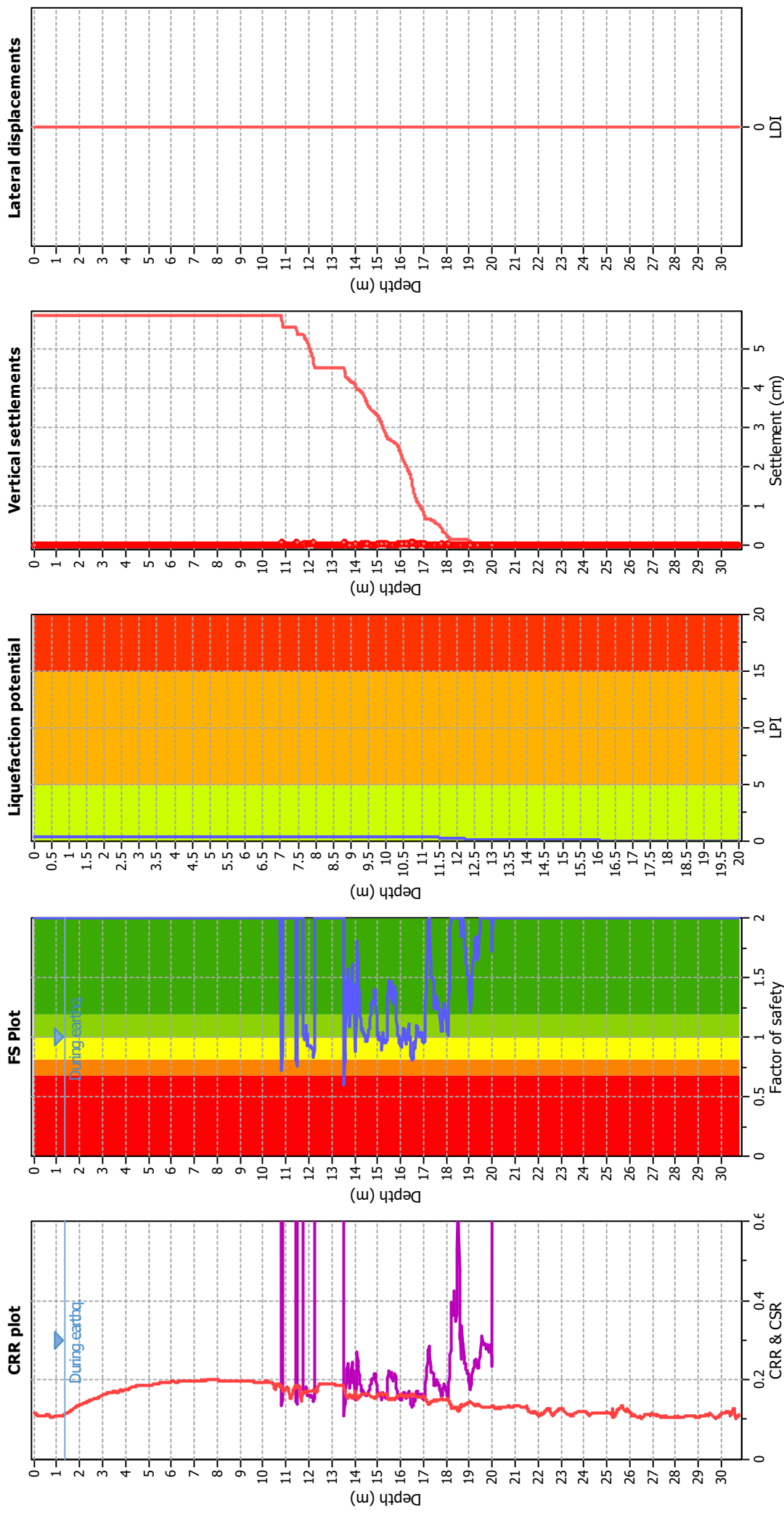
### LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

### F.S. color scheme

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

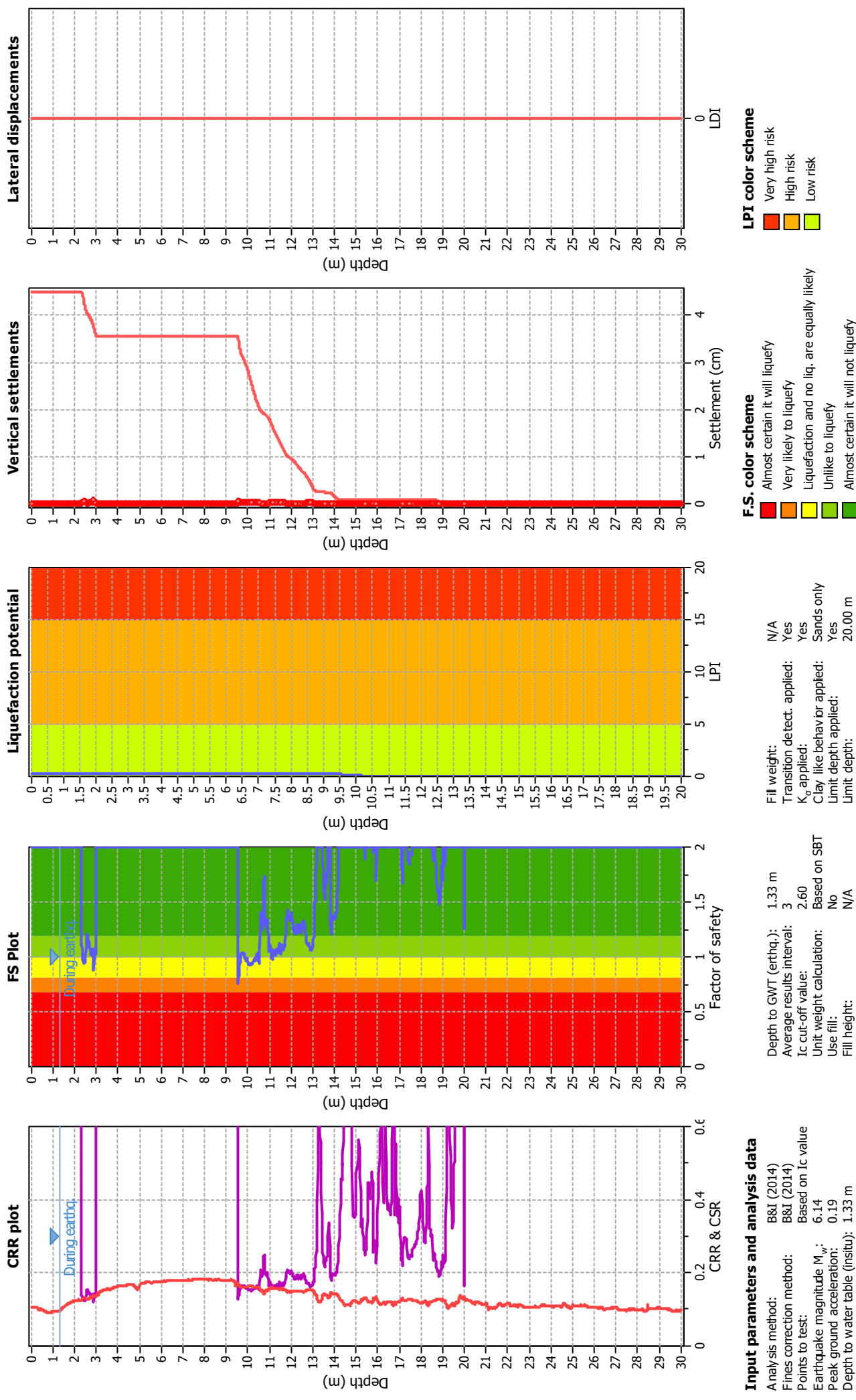
### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Use fill: Yes  
 Limit depth applied: 20.00 m  
 Limit depth: 20.00 m

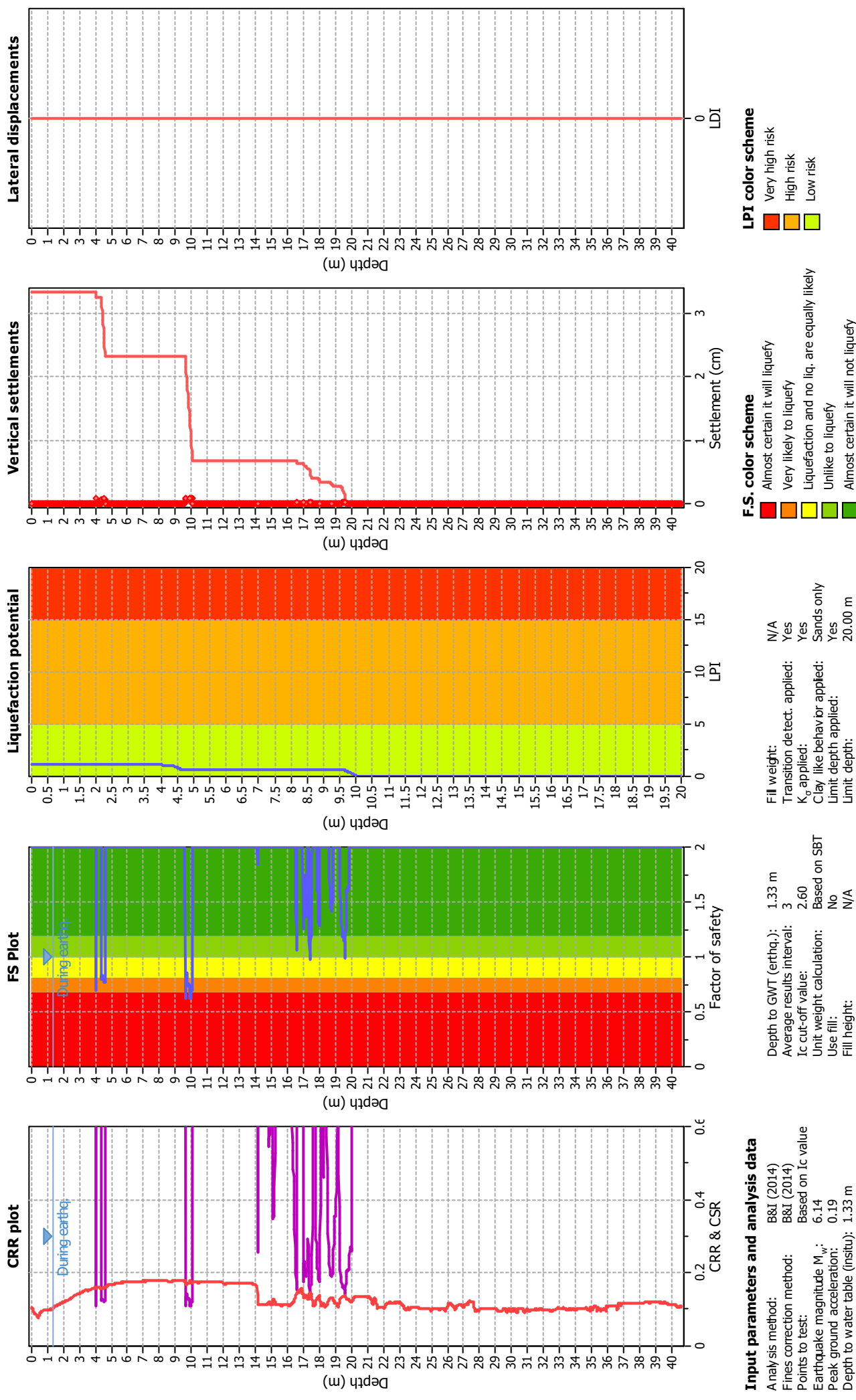
Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

### Liquefaction analysis overall plots

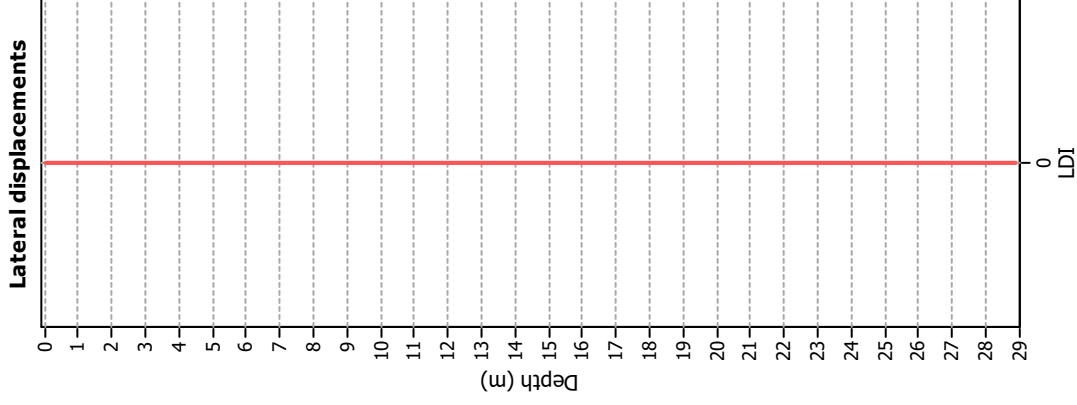
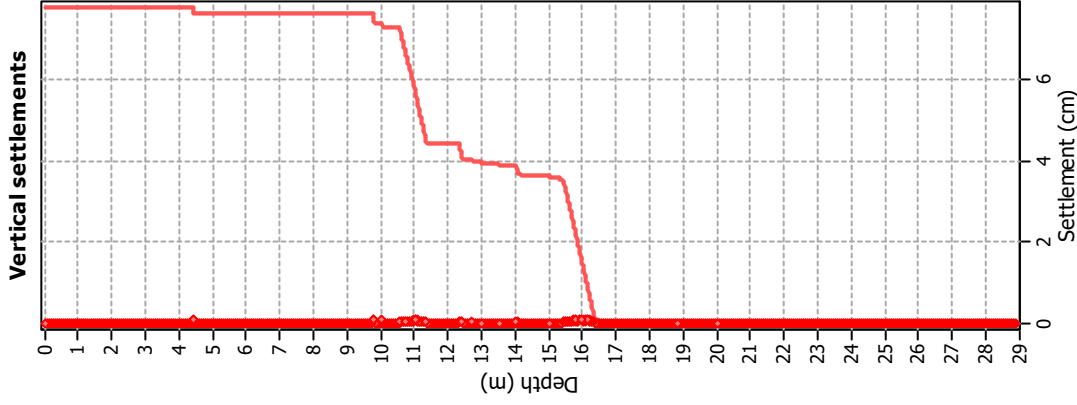
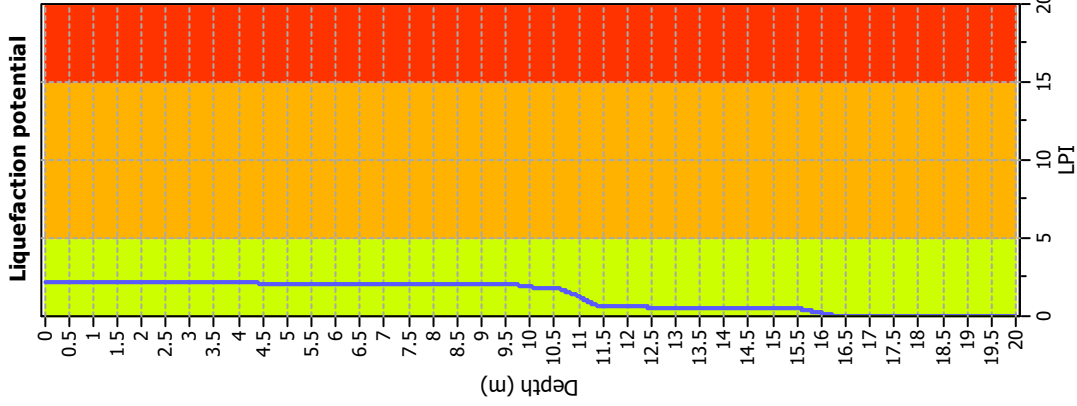
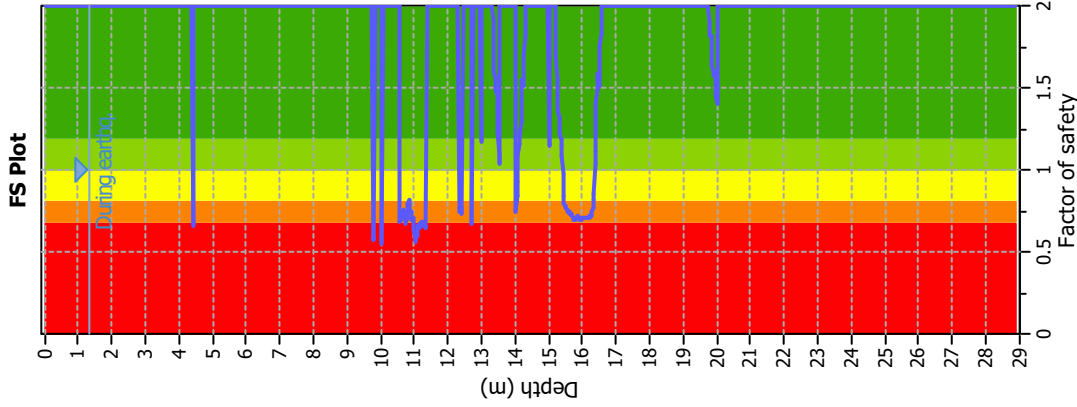
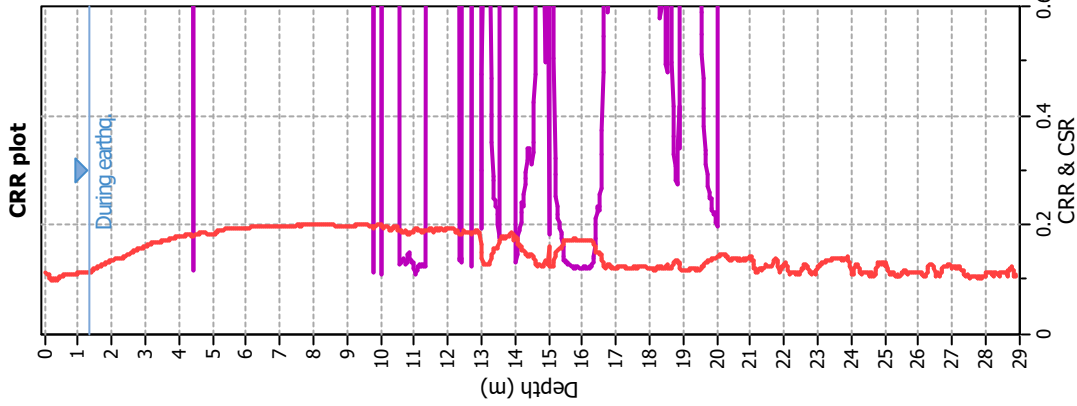




### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

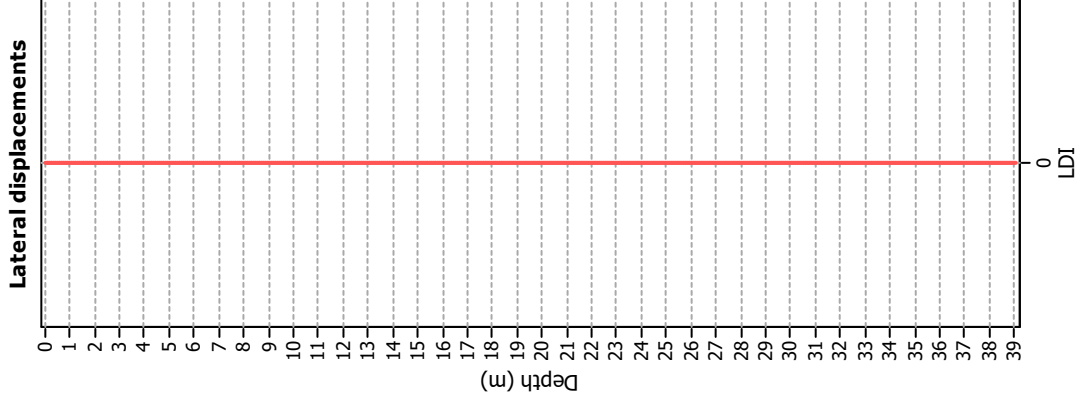
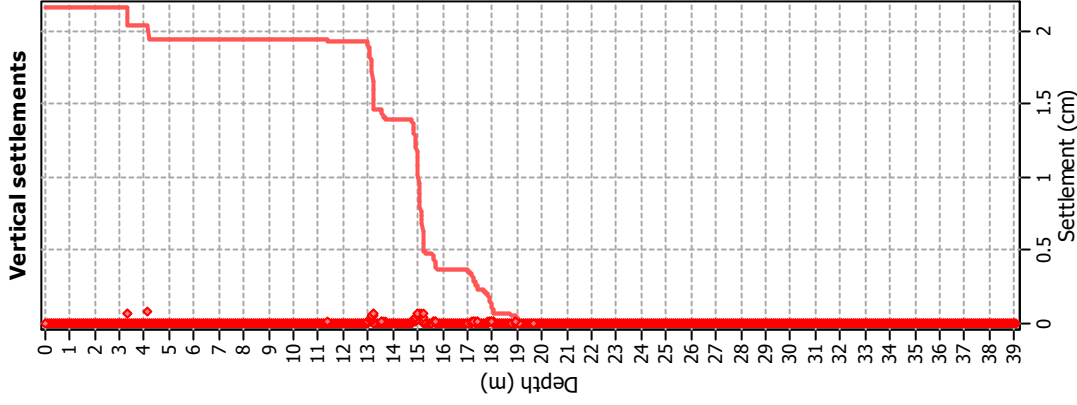
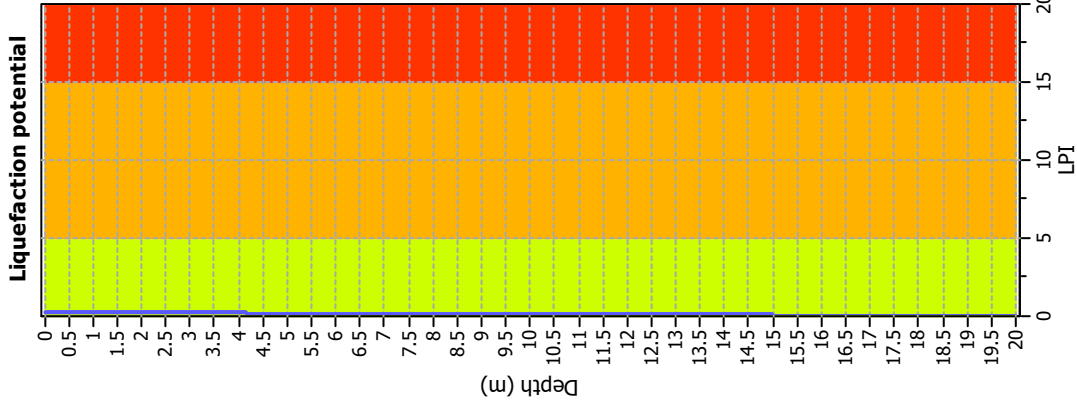
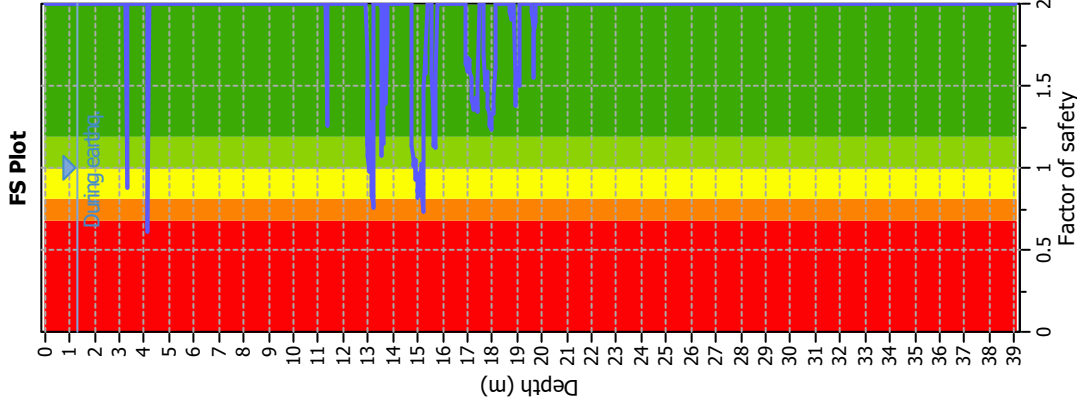
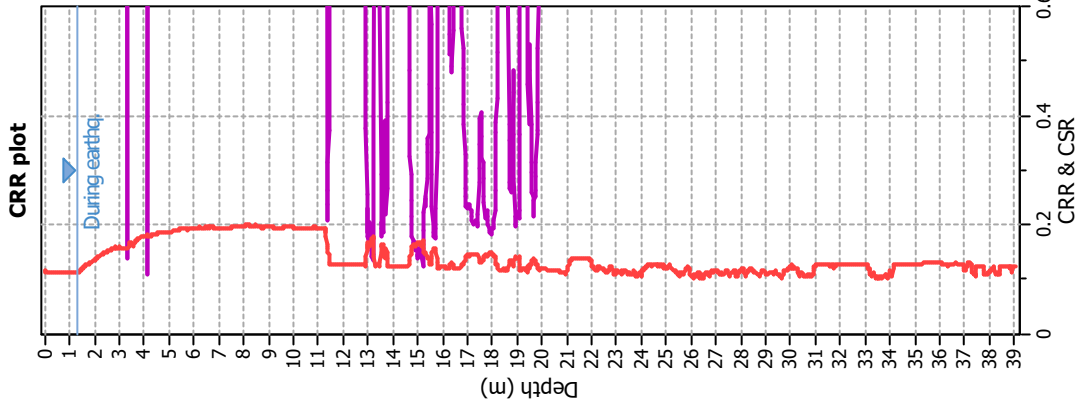
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

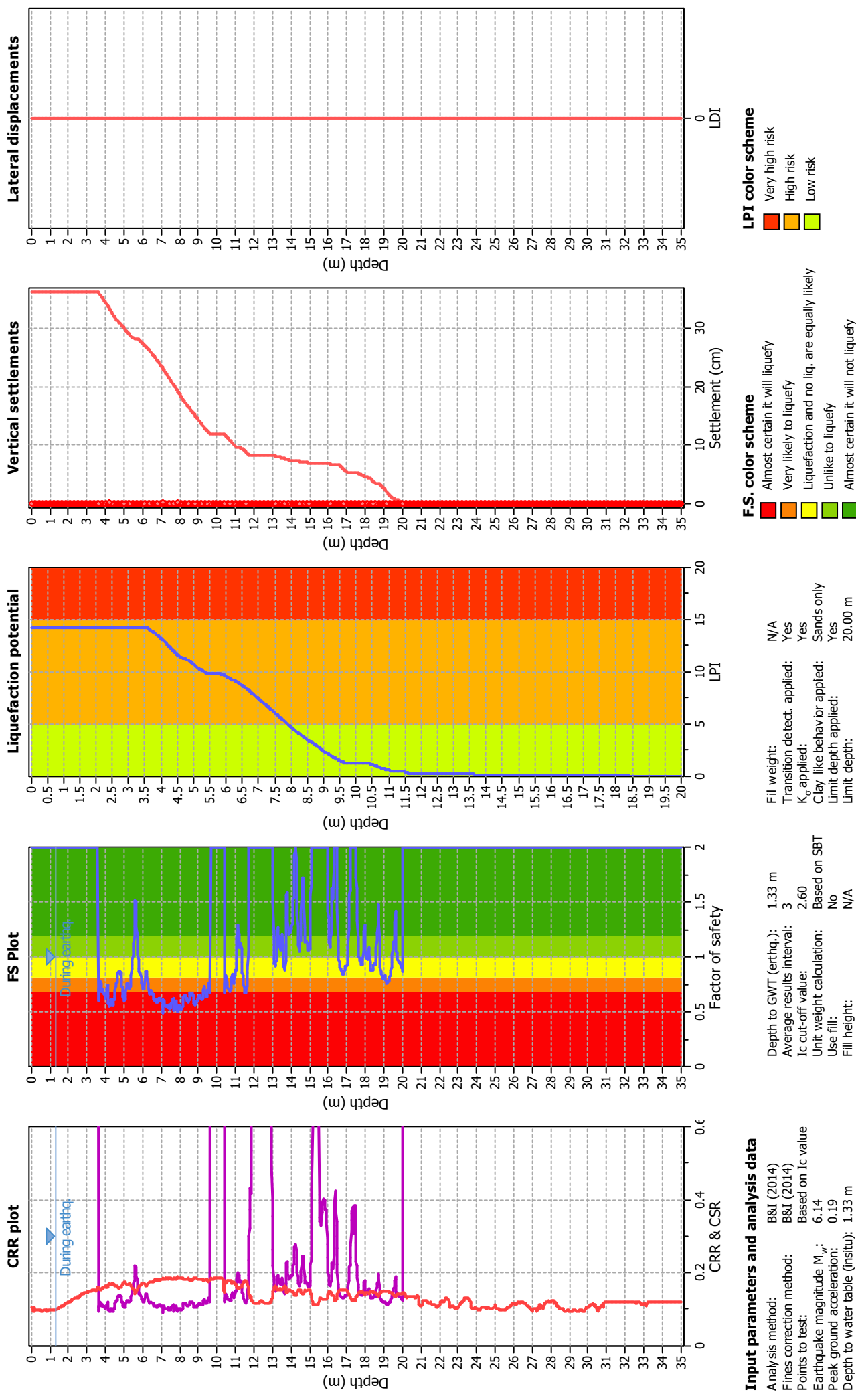
#### F.S. color scheme

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

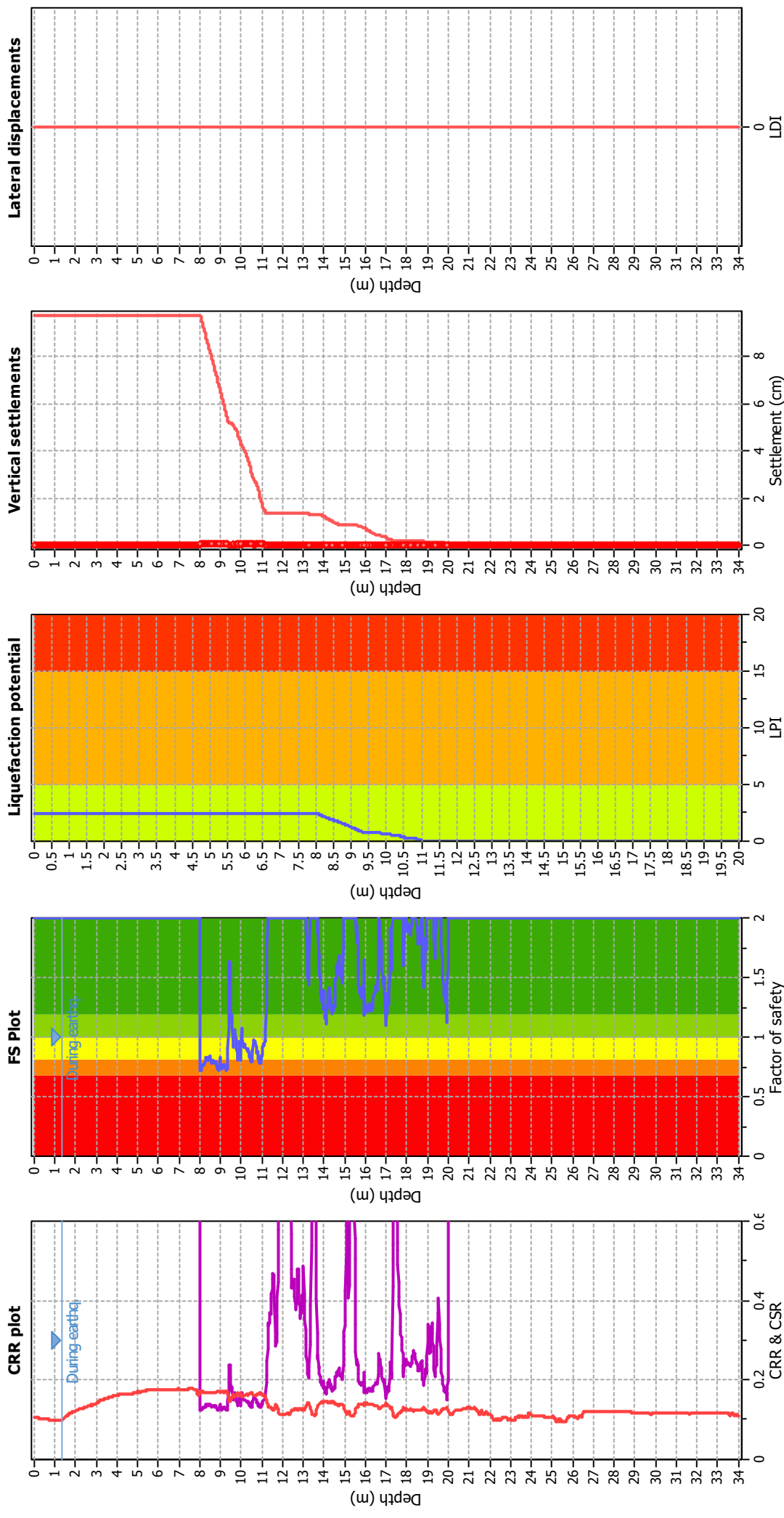
#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.19  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

#### F.S. color scheme

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

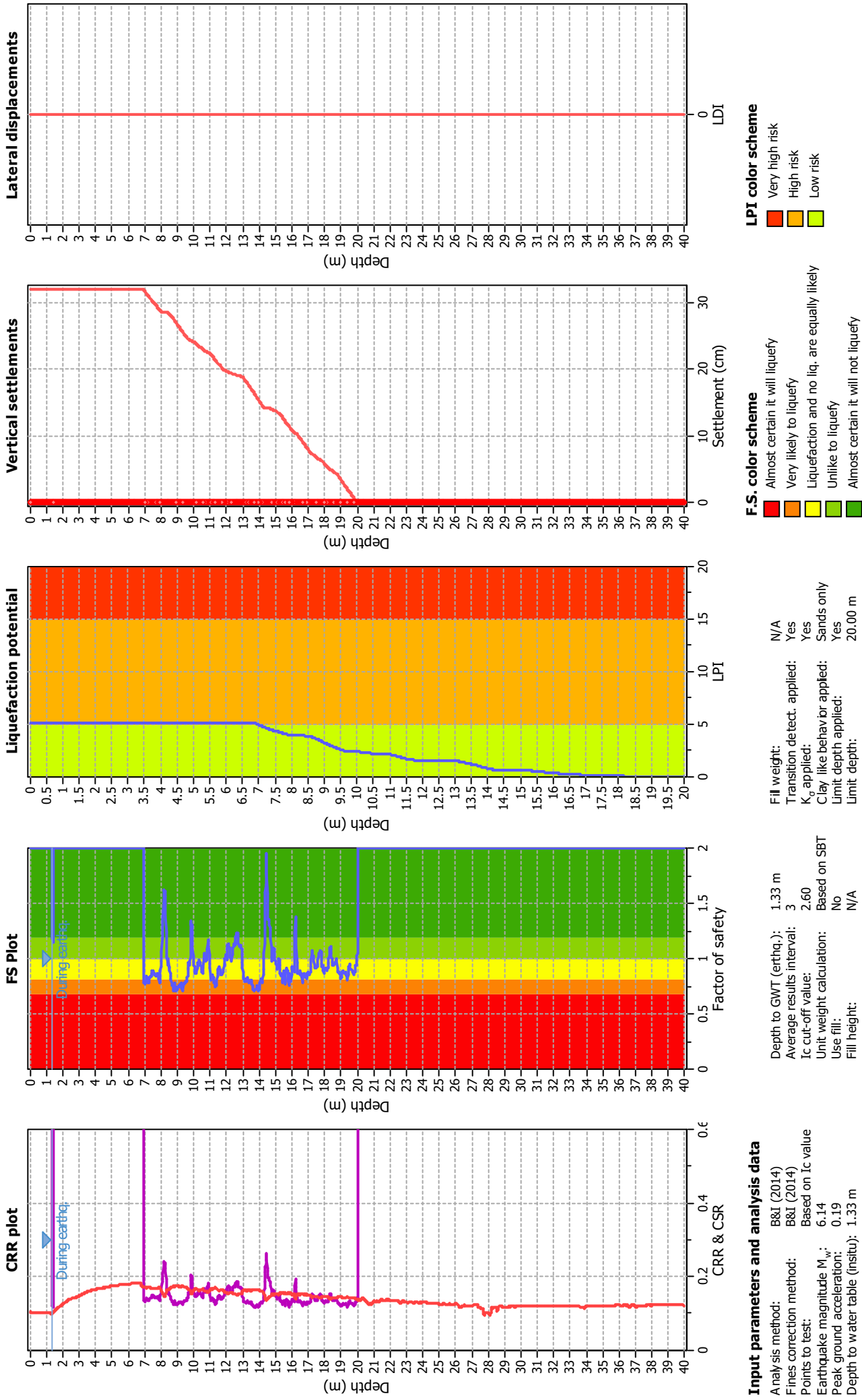
#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Use fill: Yes  
 Limit depth applied: 20.00 m  
 Limit depth: 20.00 m

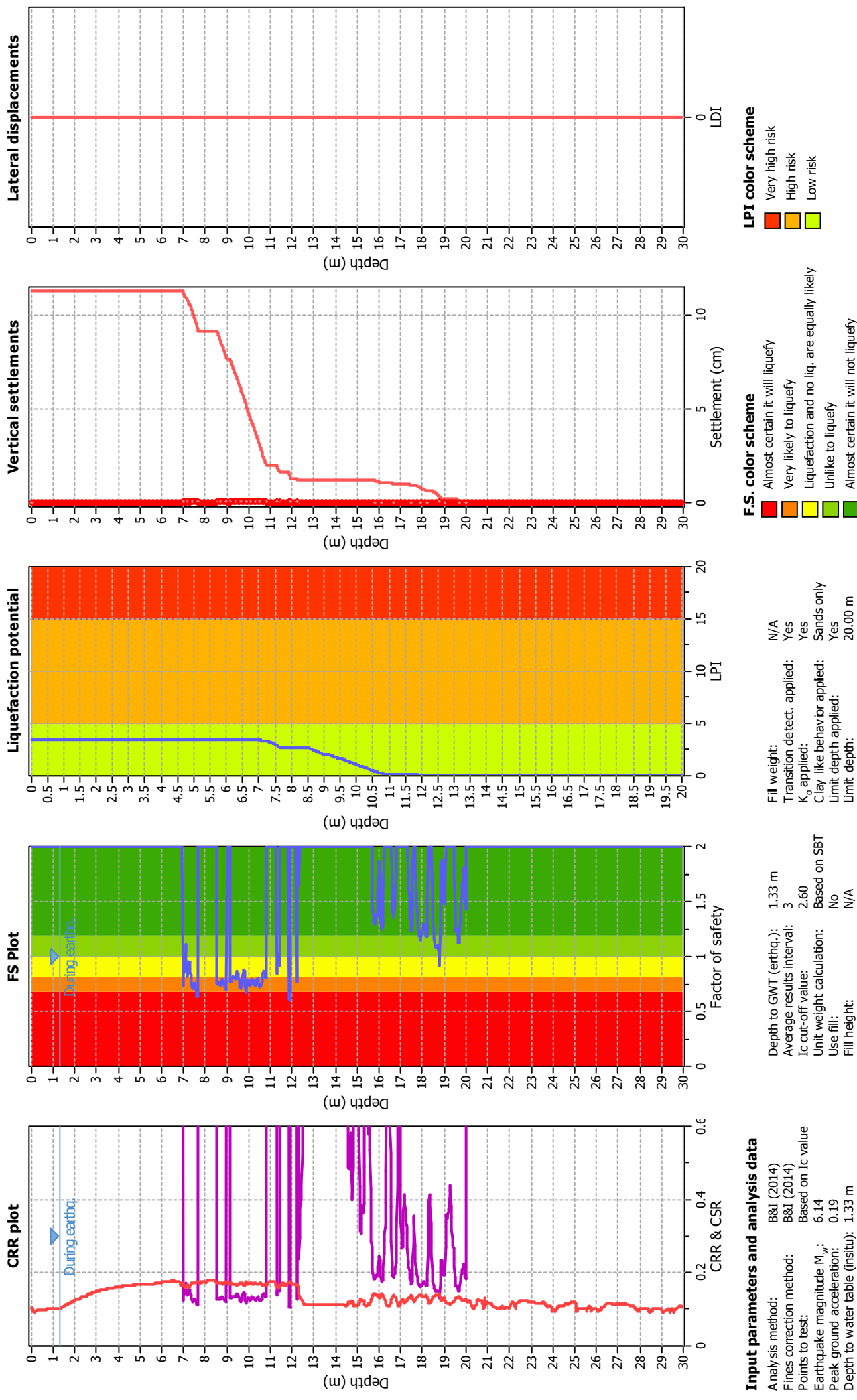


### Liquefaction analysis overall plots

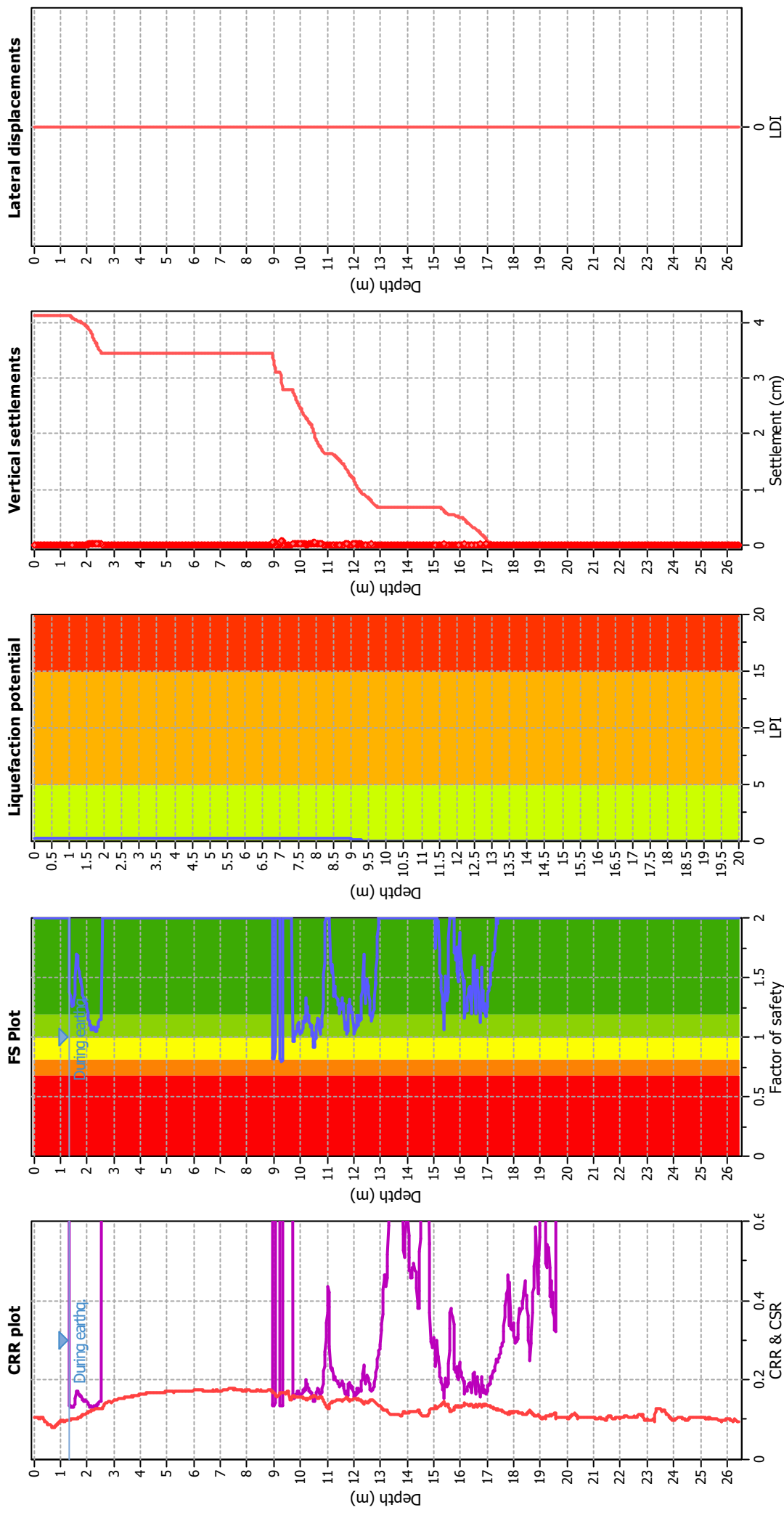




### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.19  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

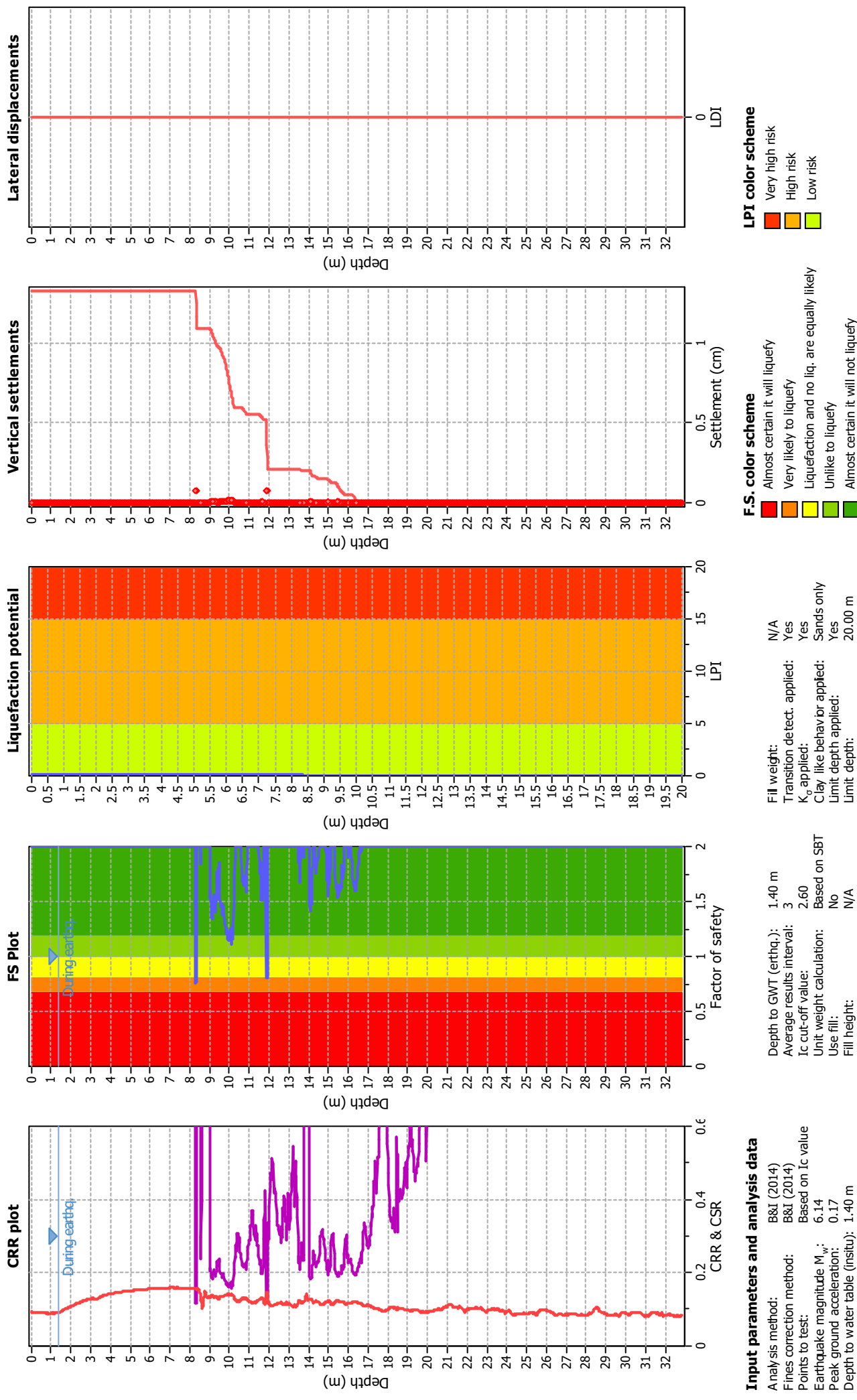
#### F.S. color scheme

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

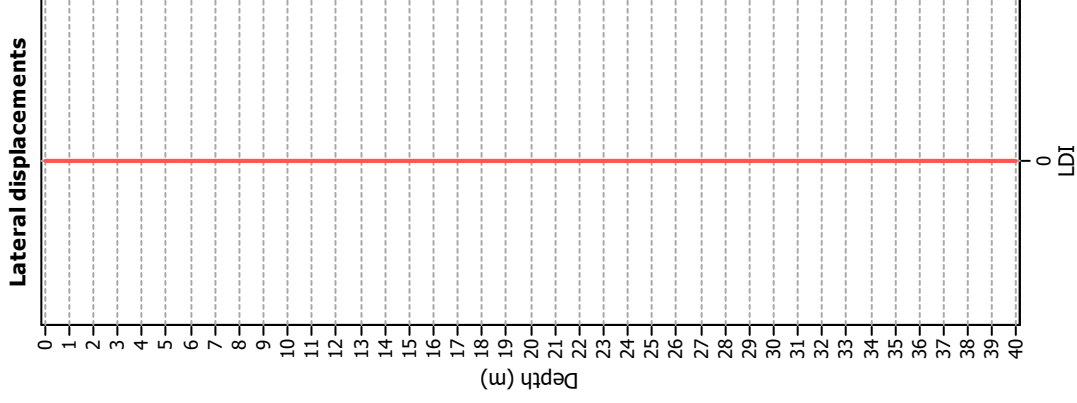
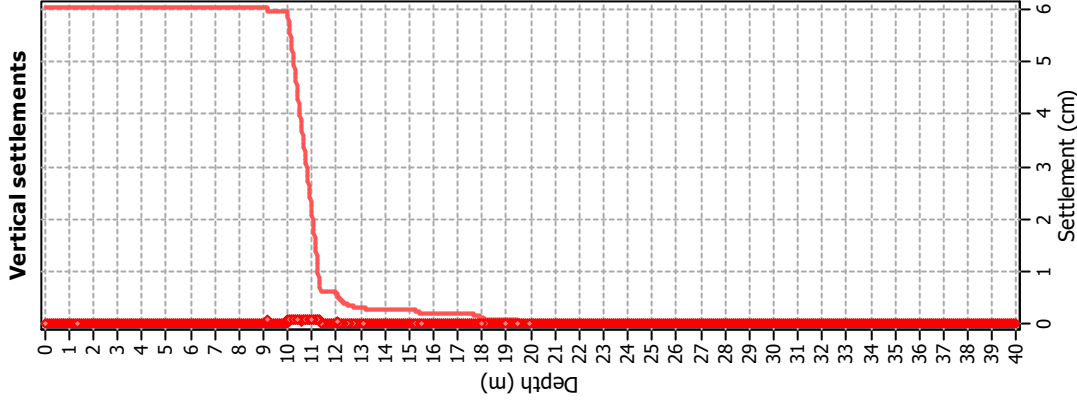
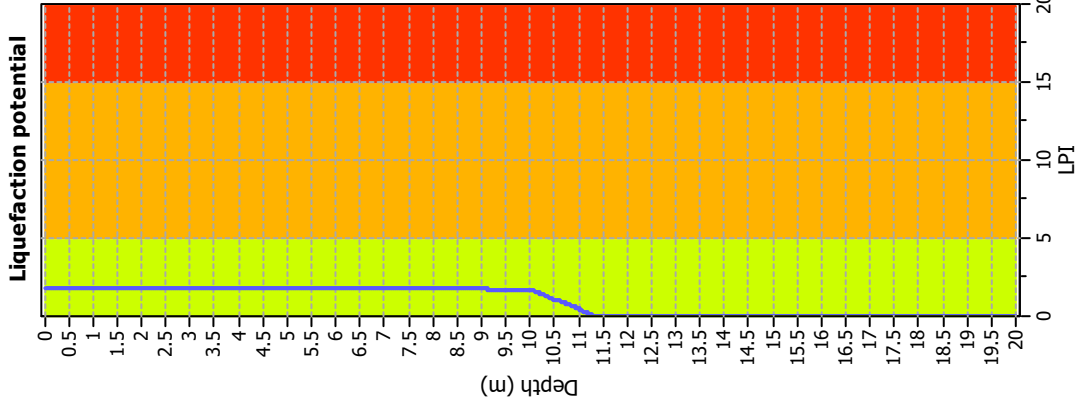
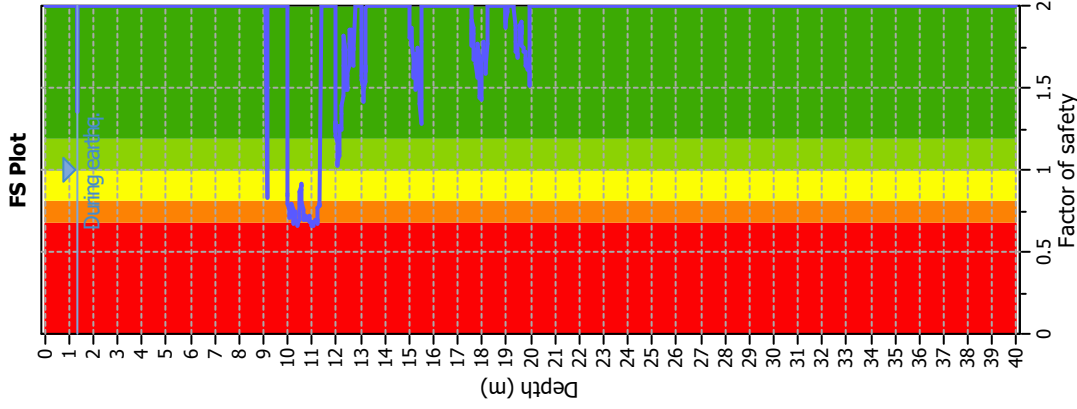
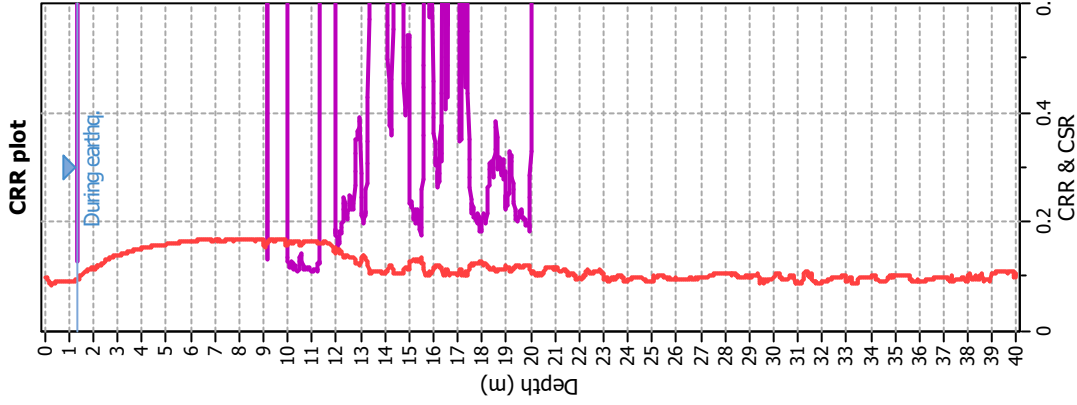
#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.18  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

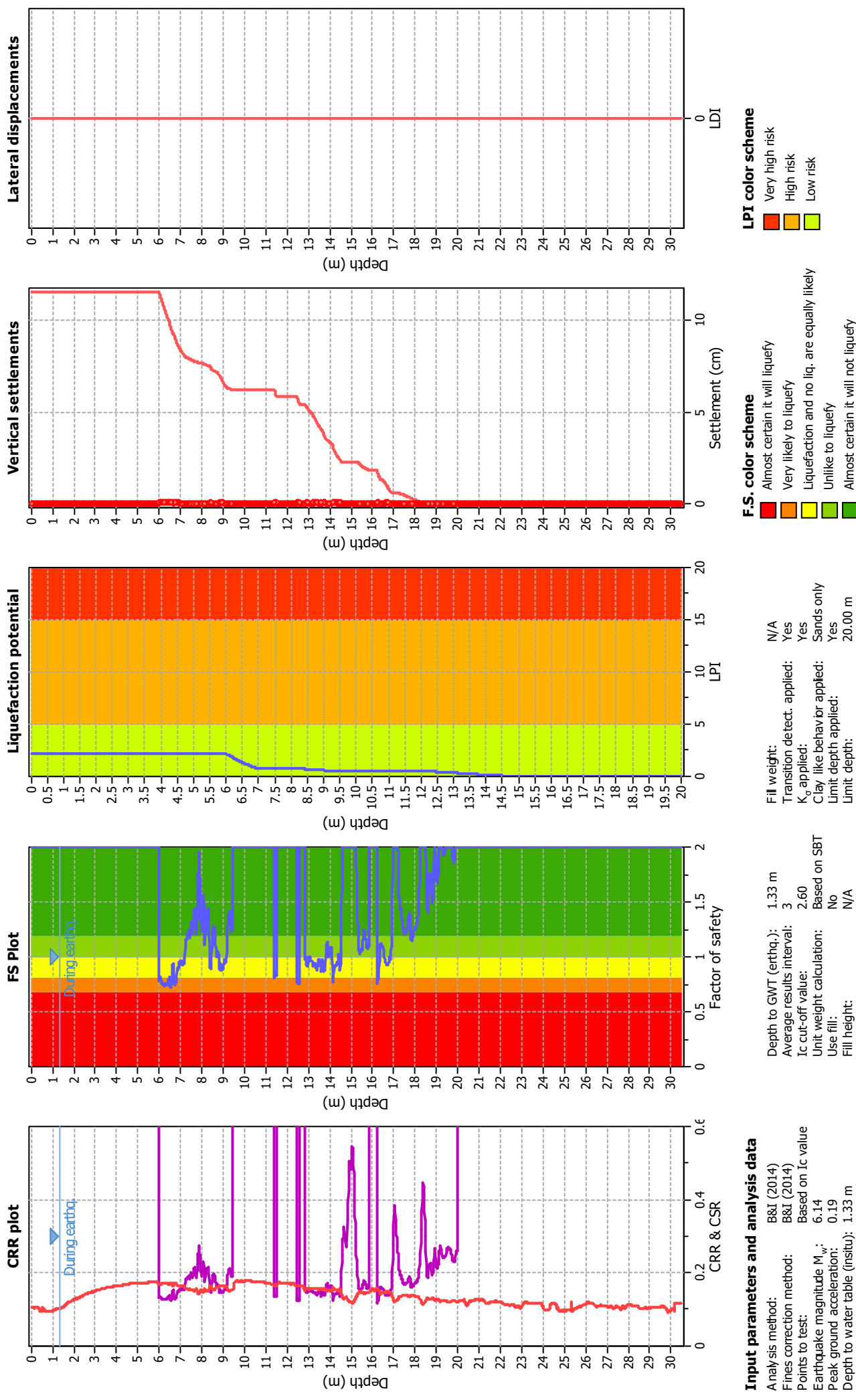
### F.S. color scheme

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

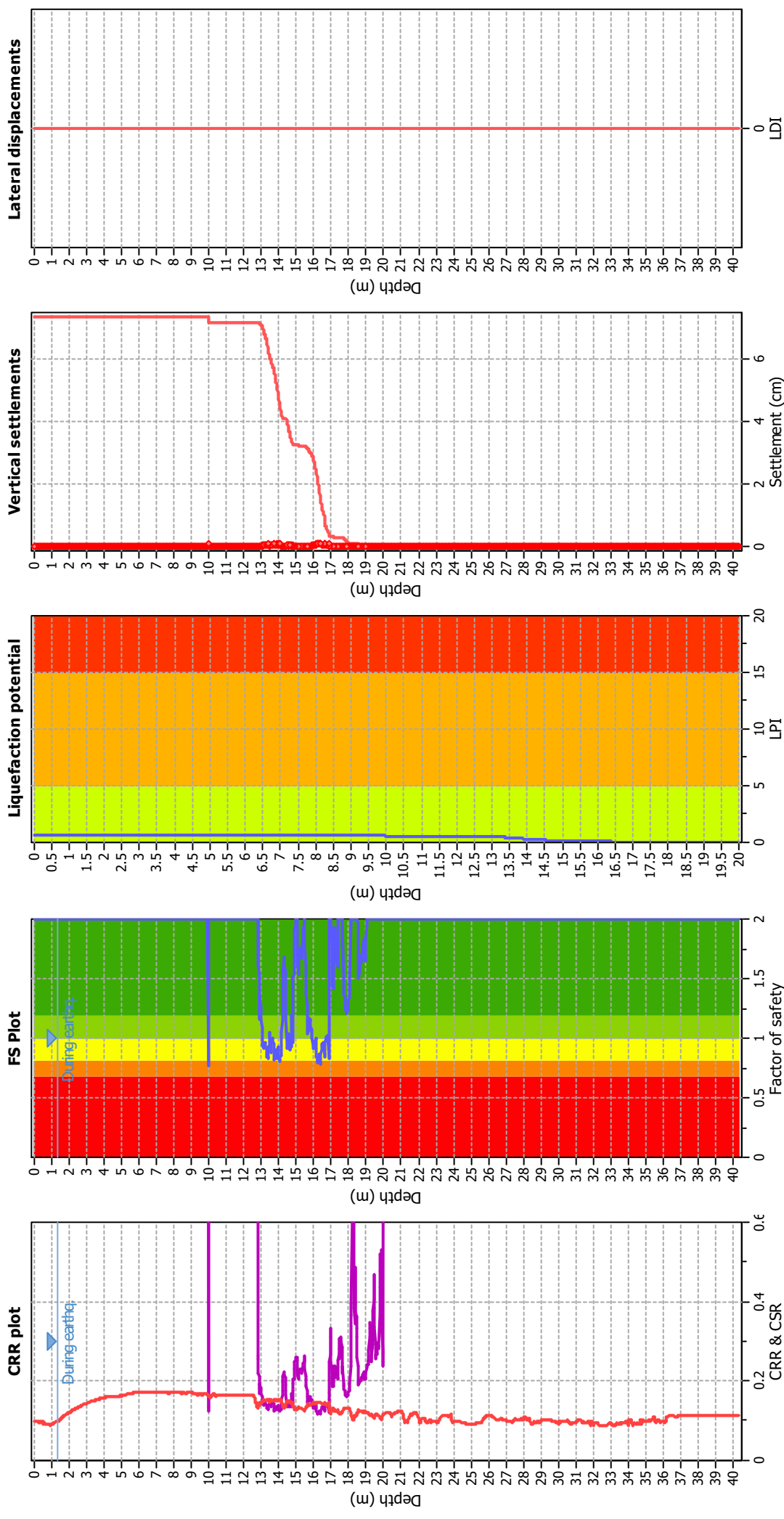
### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.18  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

#### F.S. color scheme

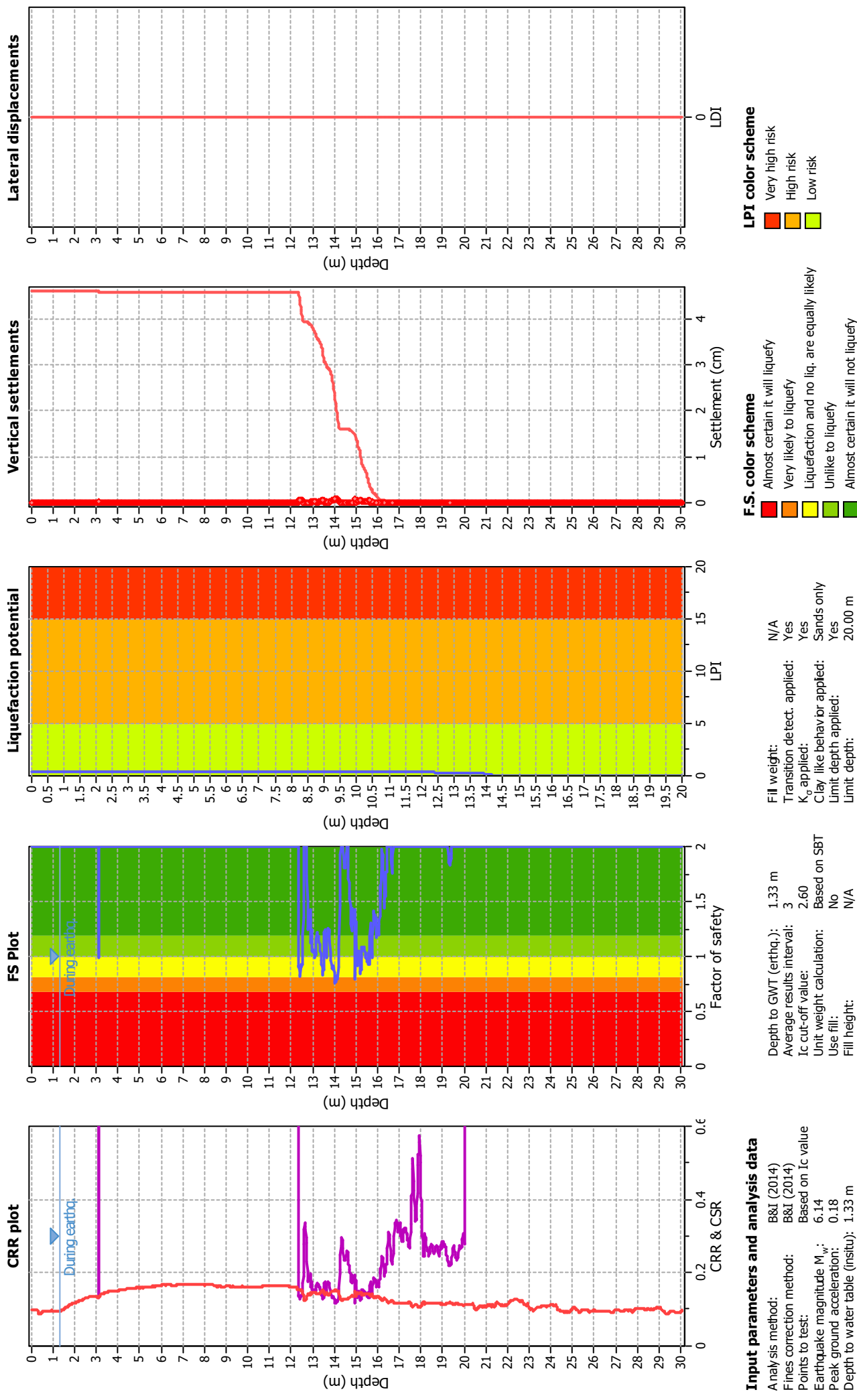
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlike to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

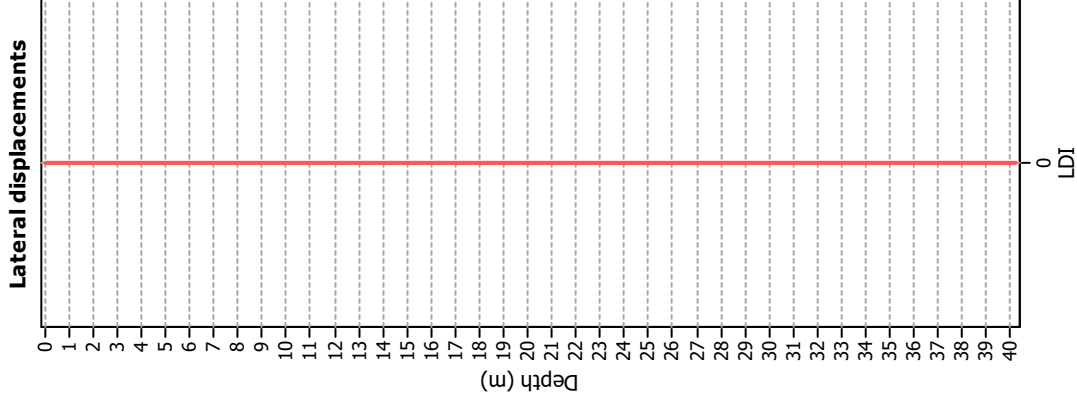
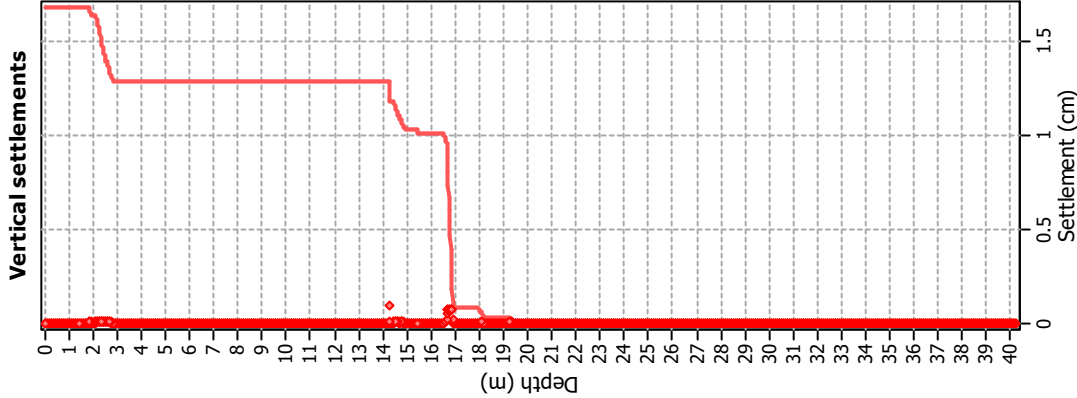
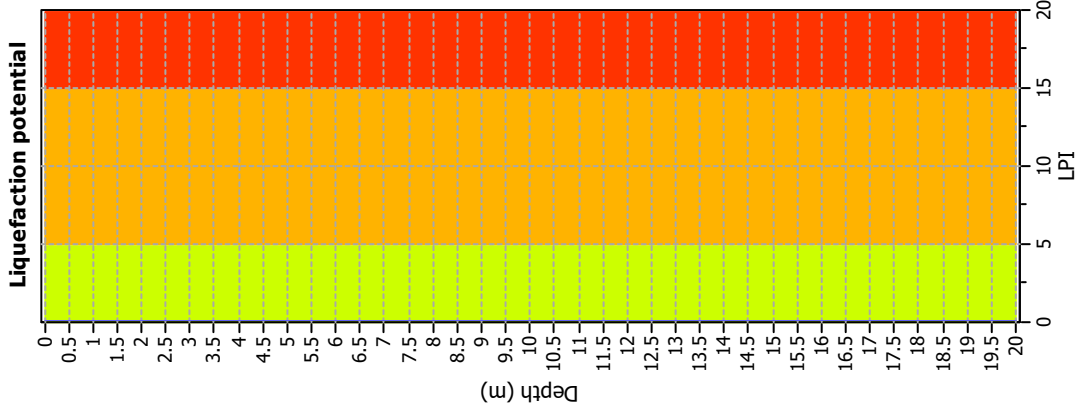
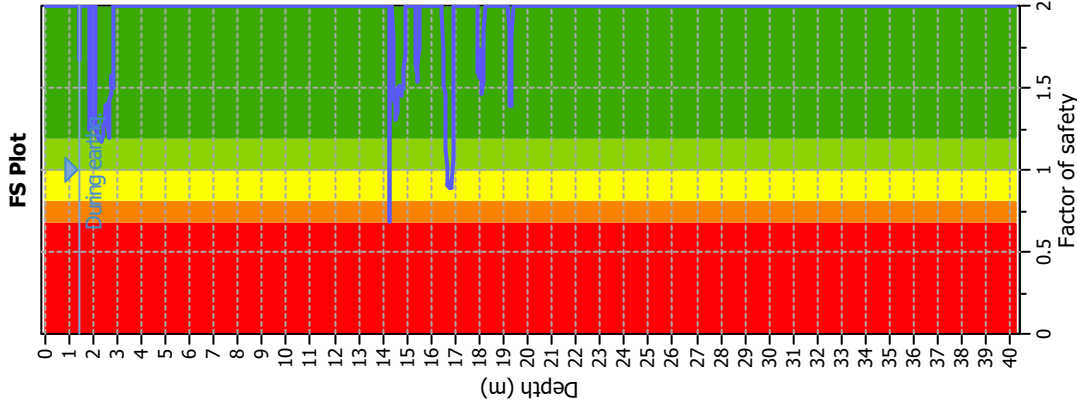
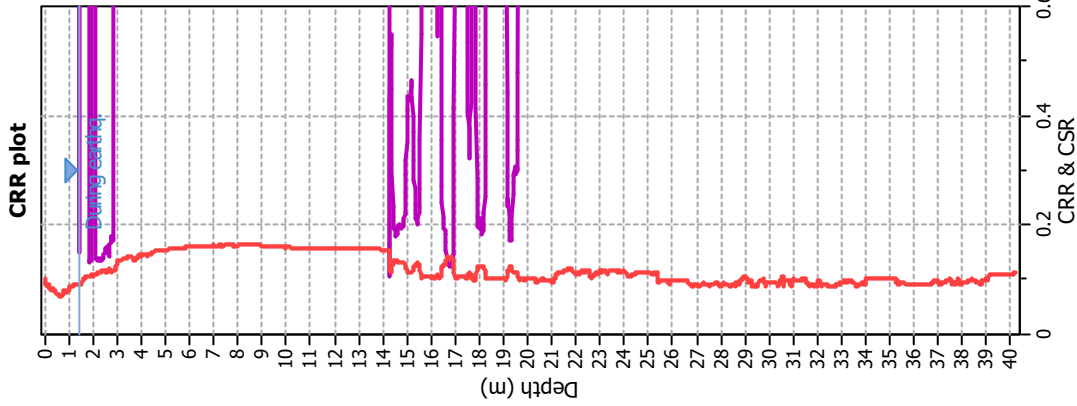
■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.18  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

Depth to GW (earthq.): 1.40 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

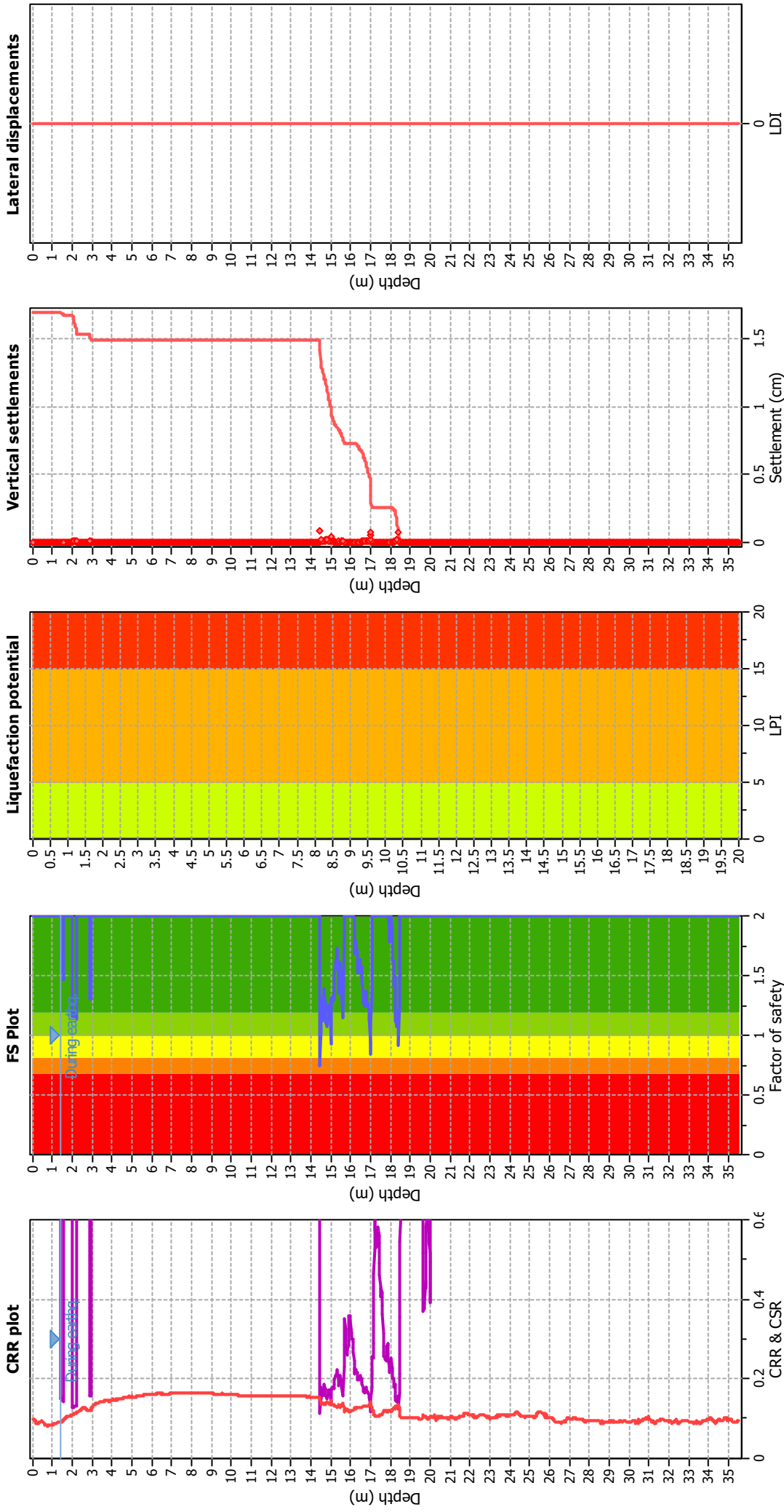
### F.S. color scheme

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

### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.18  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

Depth to GWT (earthq.): 1.40 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

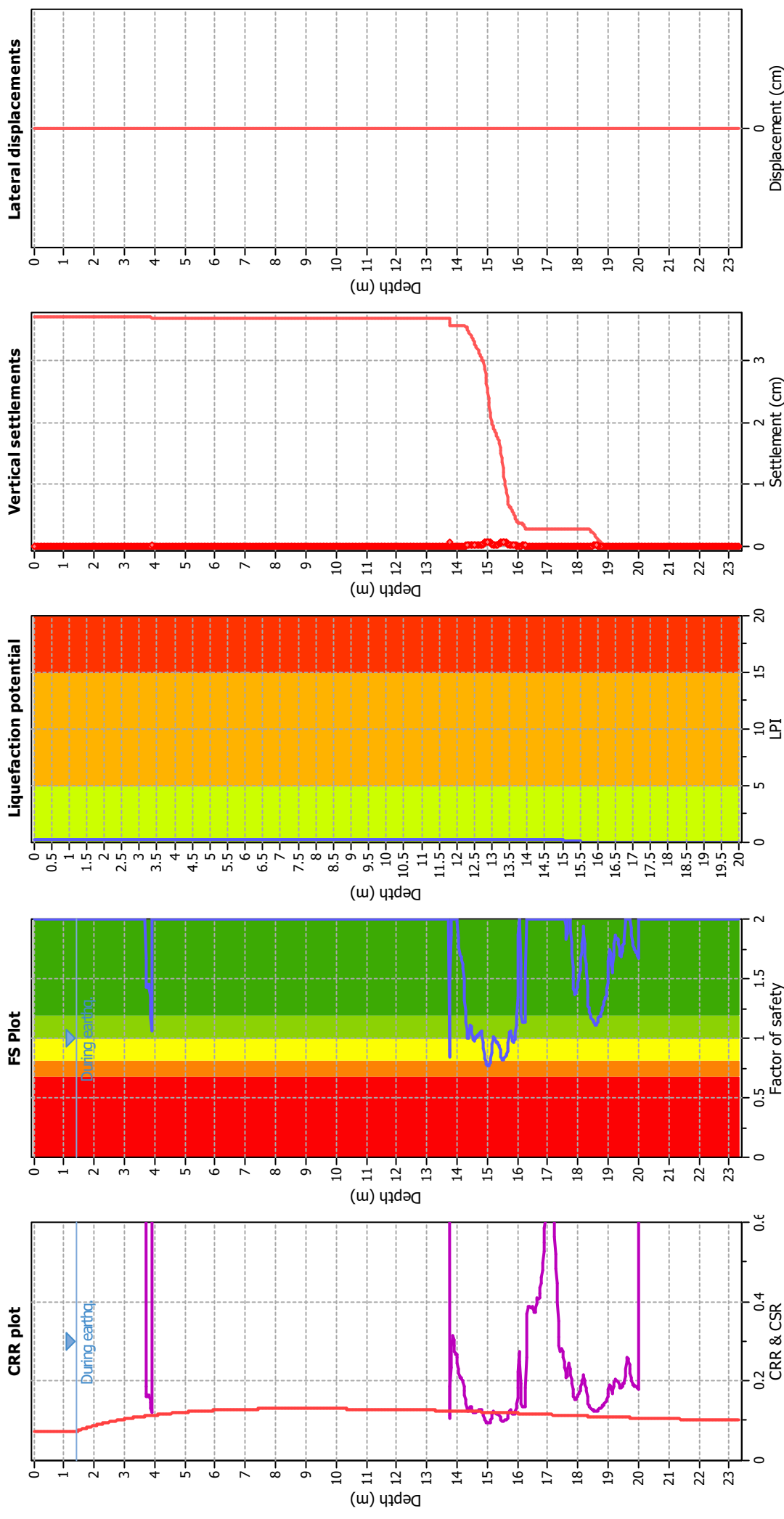
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I <sub>c</sub> value	I <sub>c</sub> cut-off value:	2.60	K <sub>σ</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

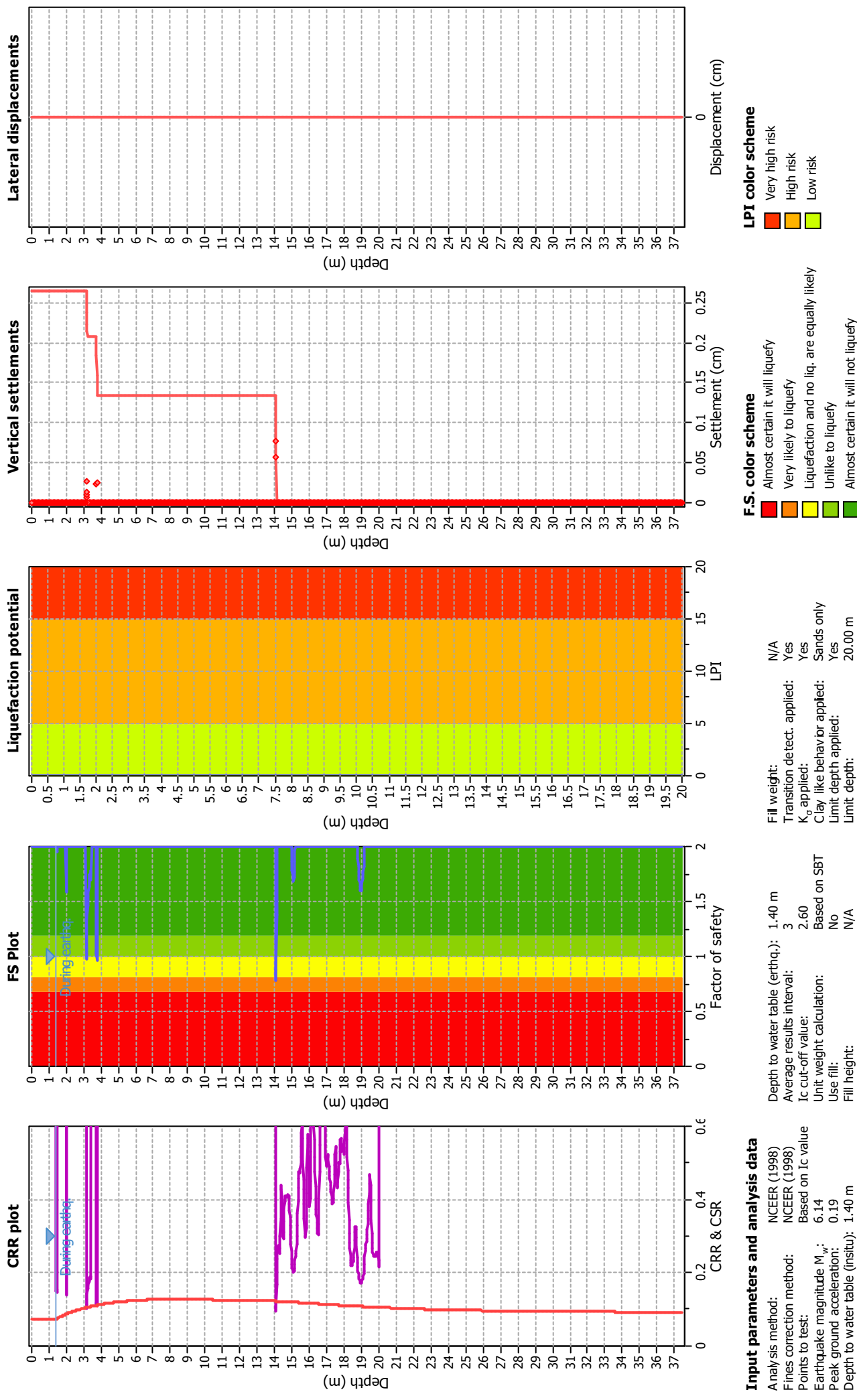
#### F.S. color scheme

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

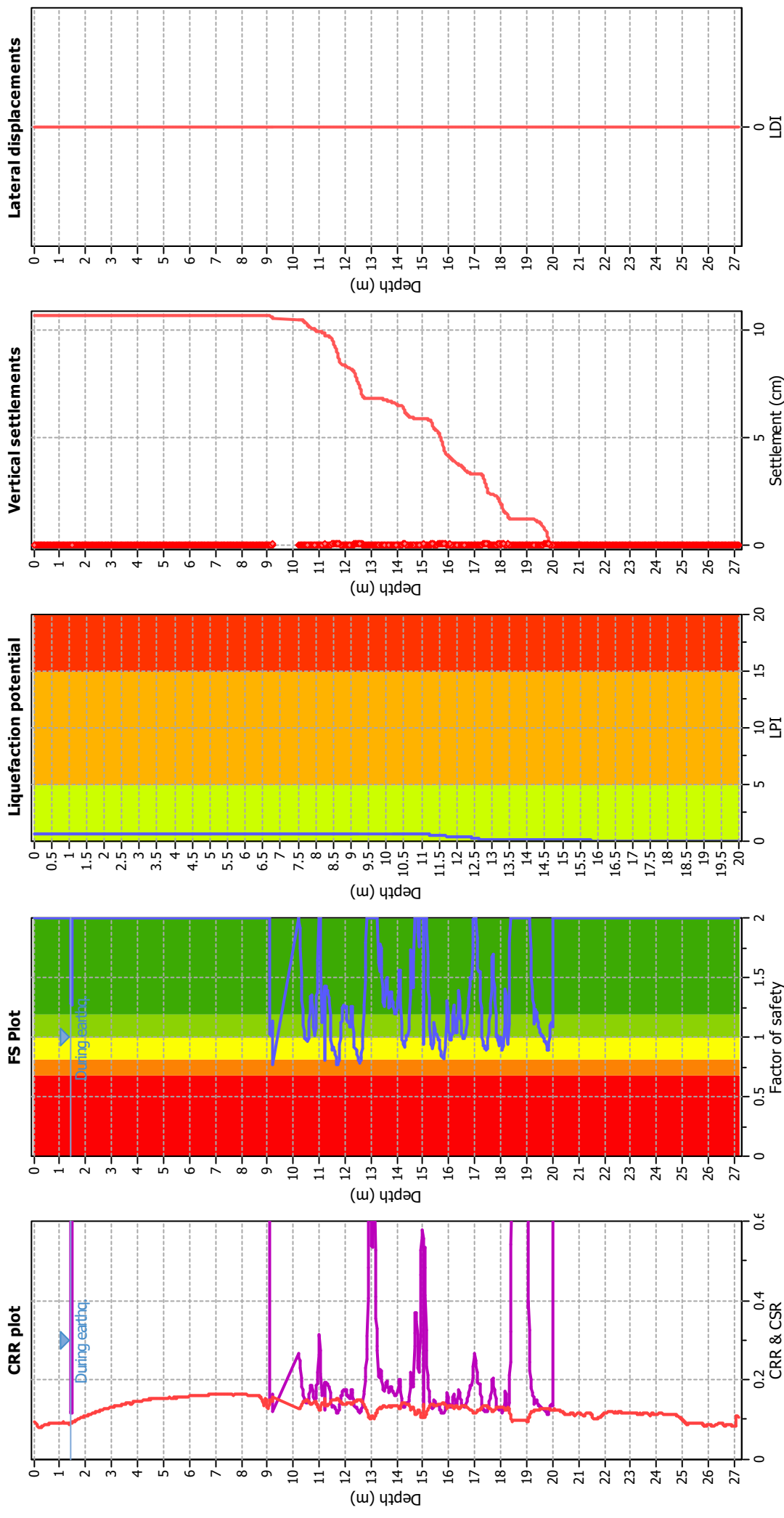
#### LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Light Green	Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.17  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

Depth to GW (earthq.): 1.40 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

### F.S. color scheme

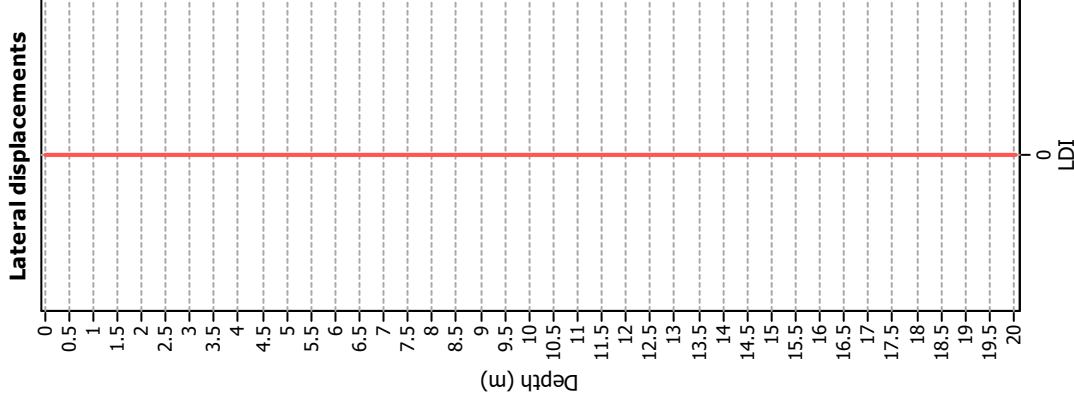
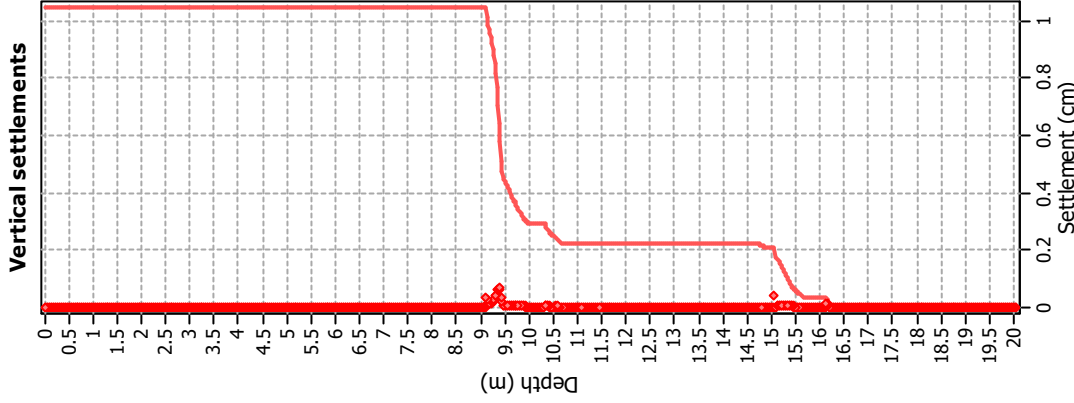
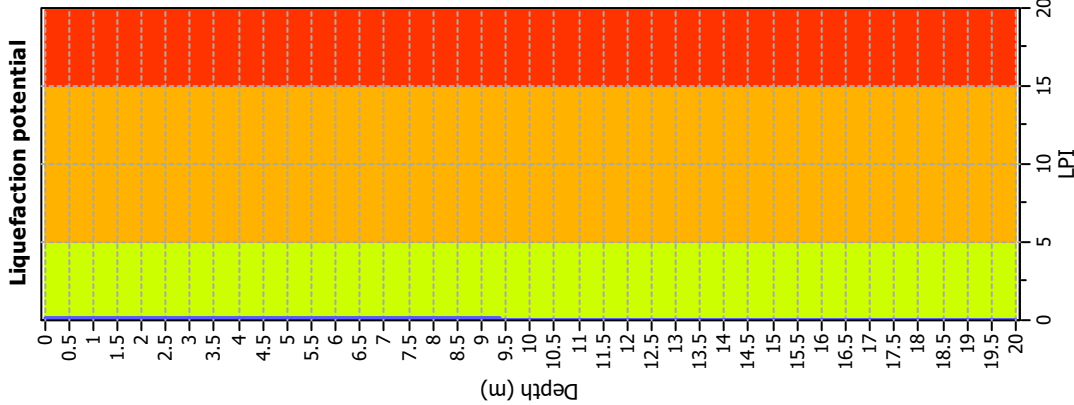
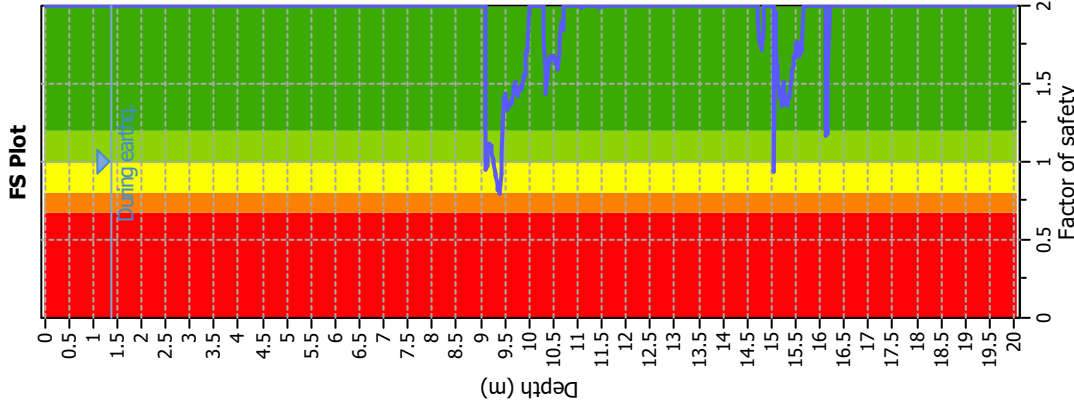
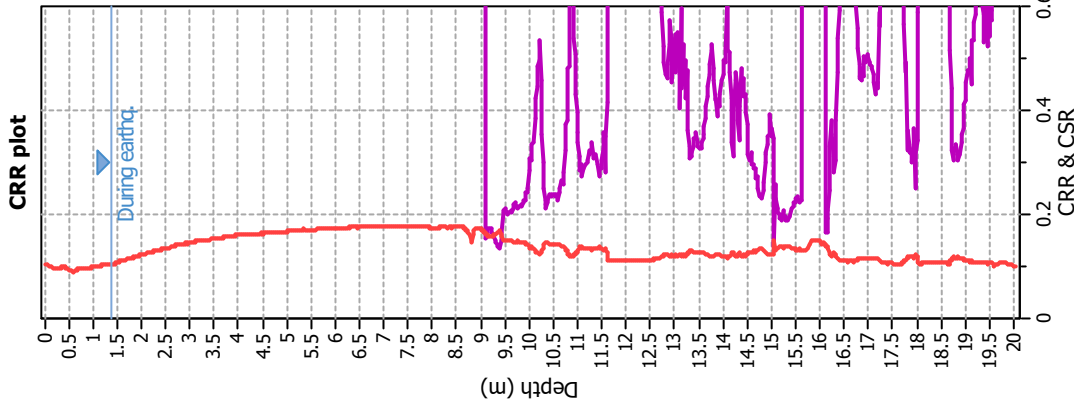
Almost certain it will liquefy  
 Very likely to liquefy  
 Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Unlike to liquefy  
 Almost certain it will not liquefy

### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.19  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

### F.S. color scheme

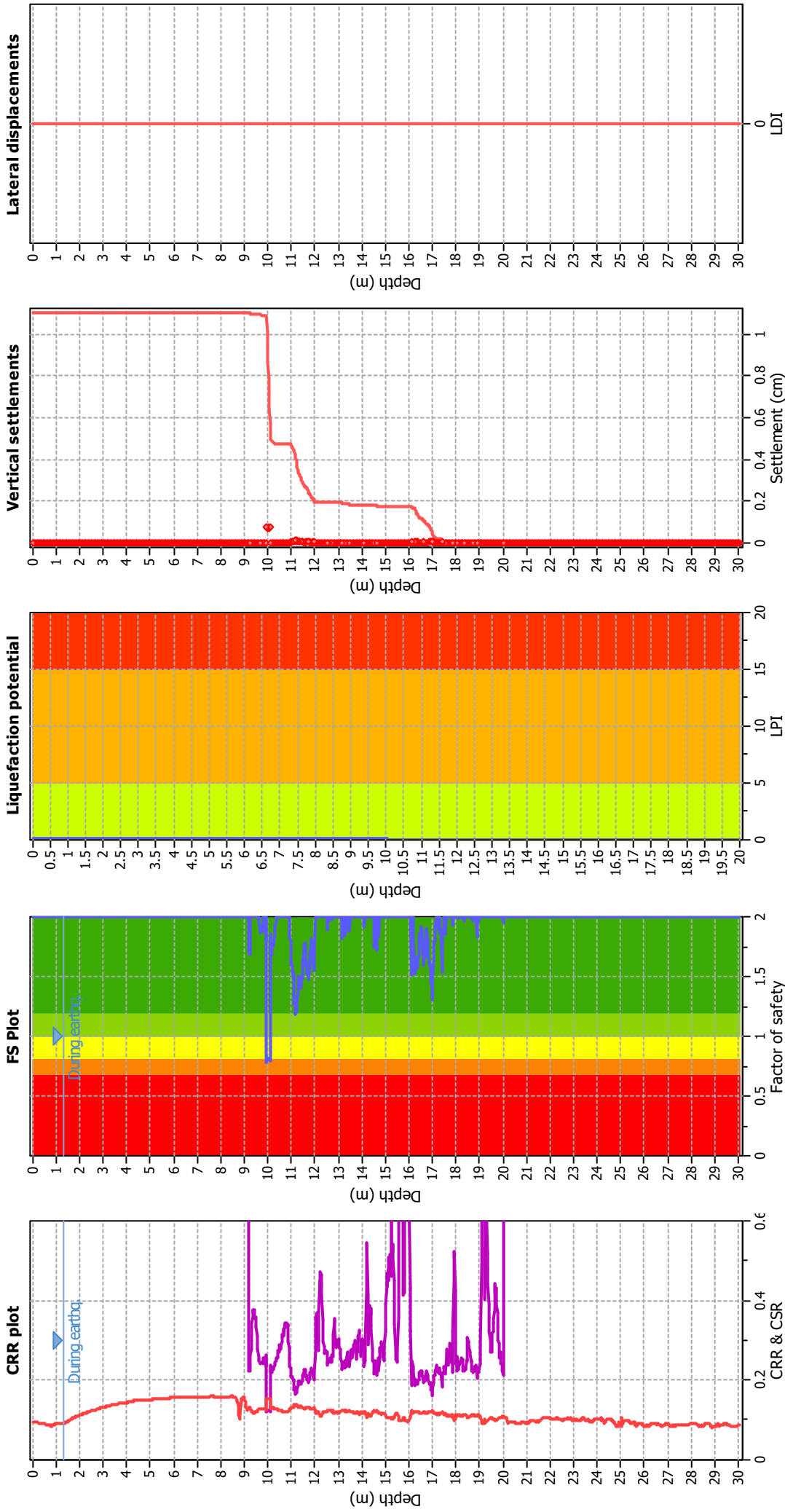
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlikely to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

Depth to GWT (earthq.): 1.40 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A  
 Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.17  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

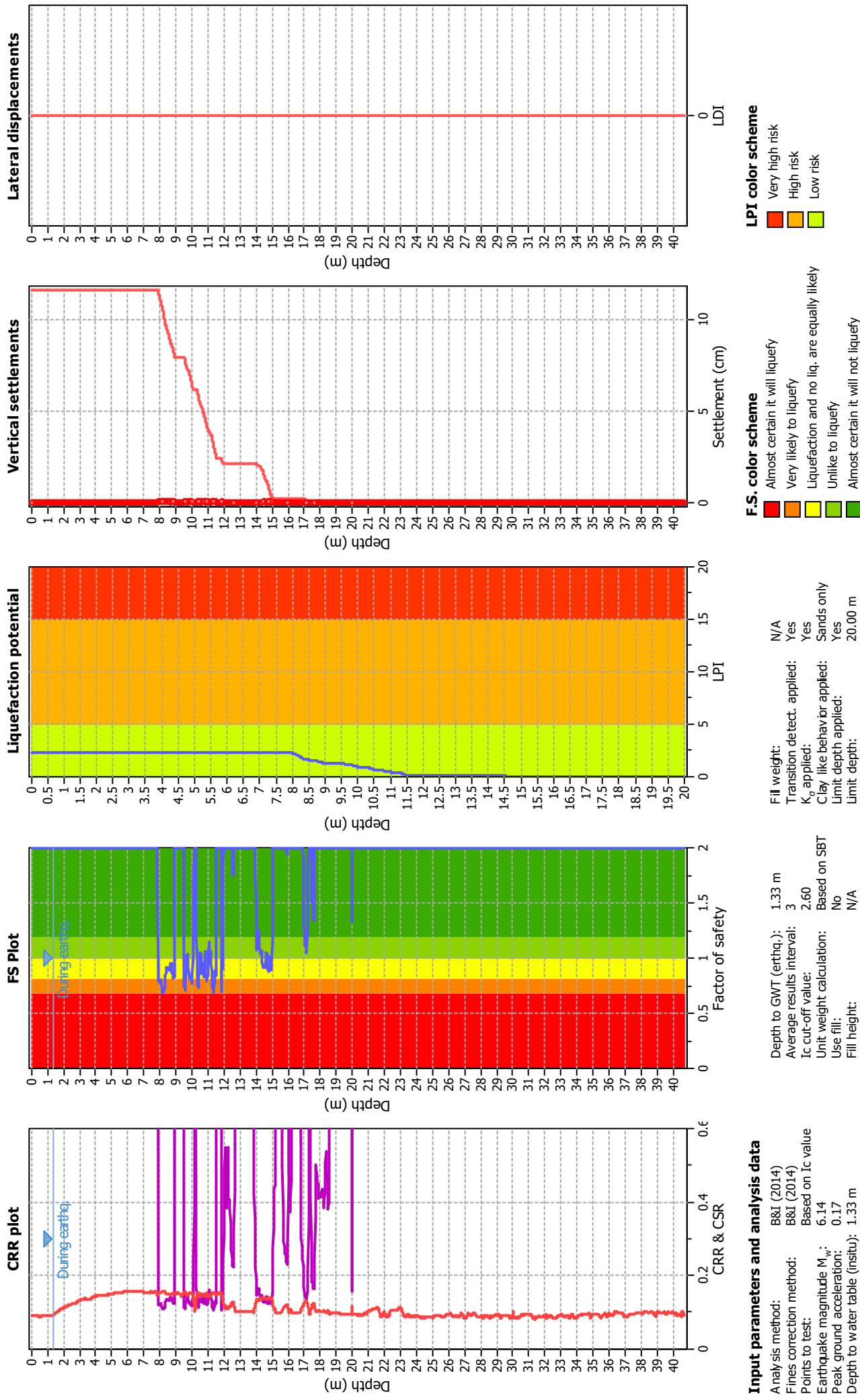
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)
Fines correction method:	B&I (2014)
Points to test:	Based on I <sub>c</sub> value
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14
Peak ground acceleration:	0.17
Depth to water table (insitu):	1.33 m

Depth to GWT (earthq.):	1.33 m	Fill weight:	N/A
Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
I <sub>c</sub> cut-off value:	2.60	K <sub>σ</sub> applied:	Yes
Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

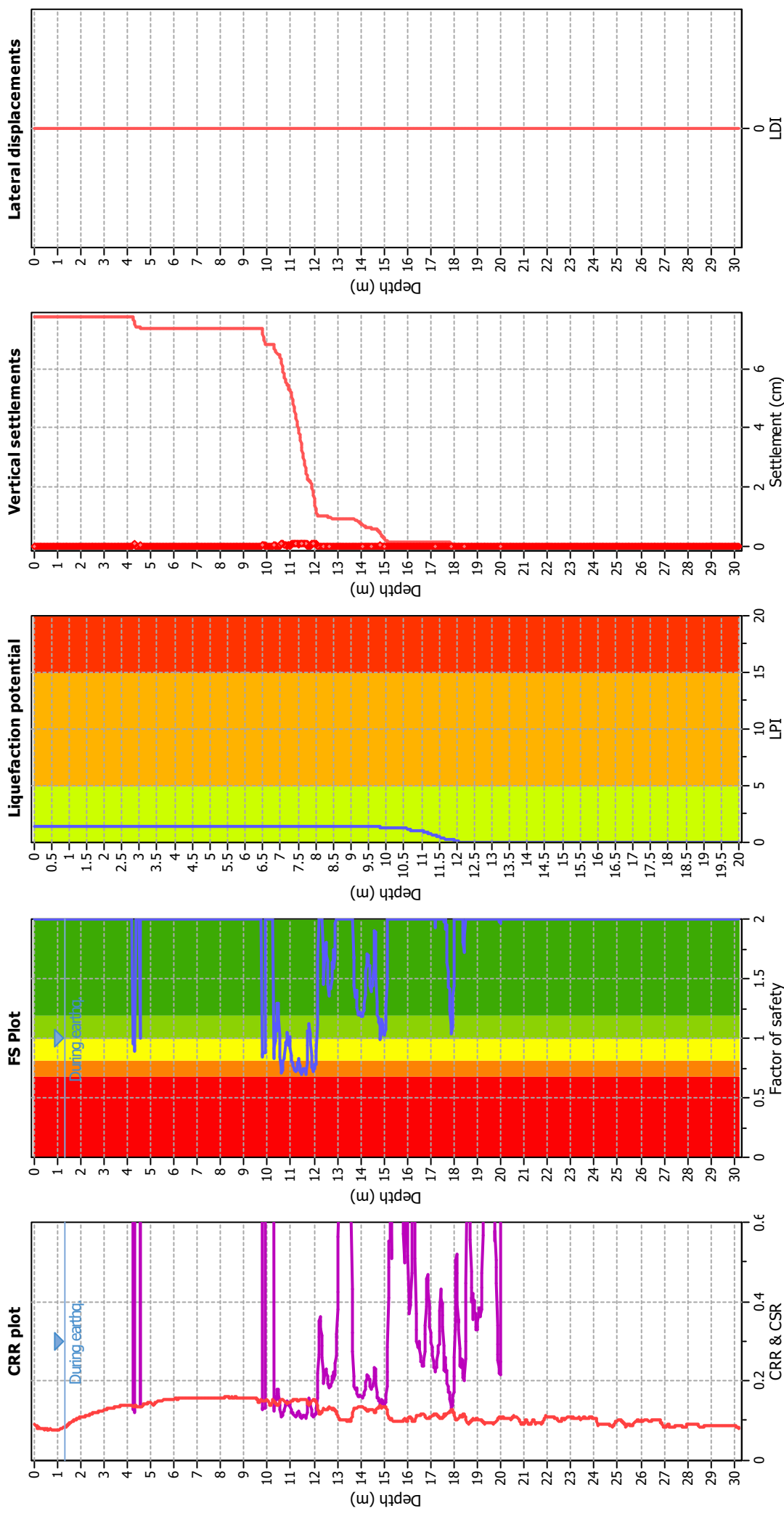
**F.S. color scheme**

- 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

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.17  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

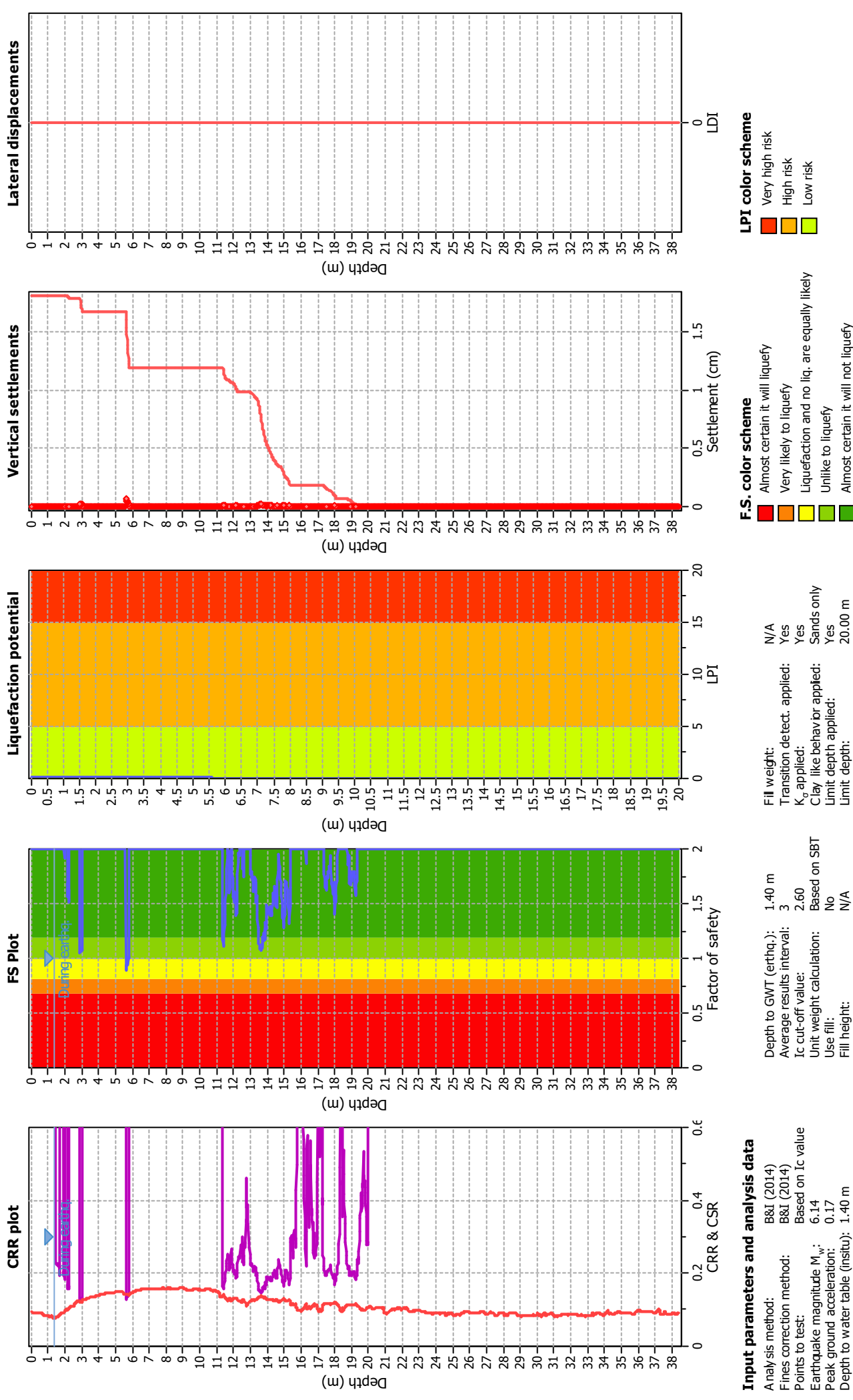
#### F.S. color scheme

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

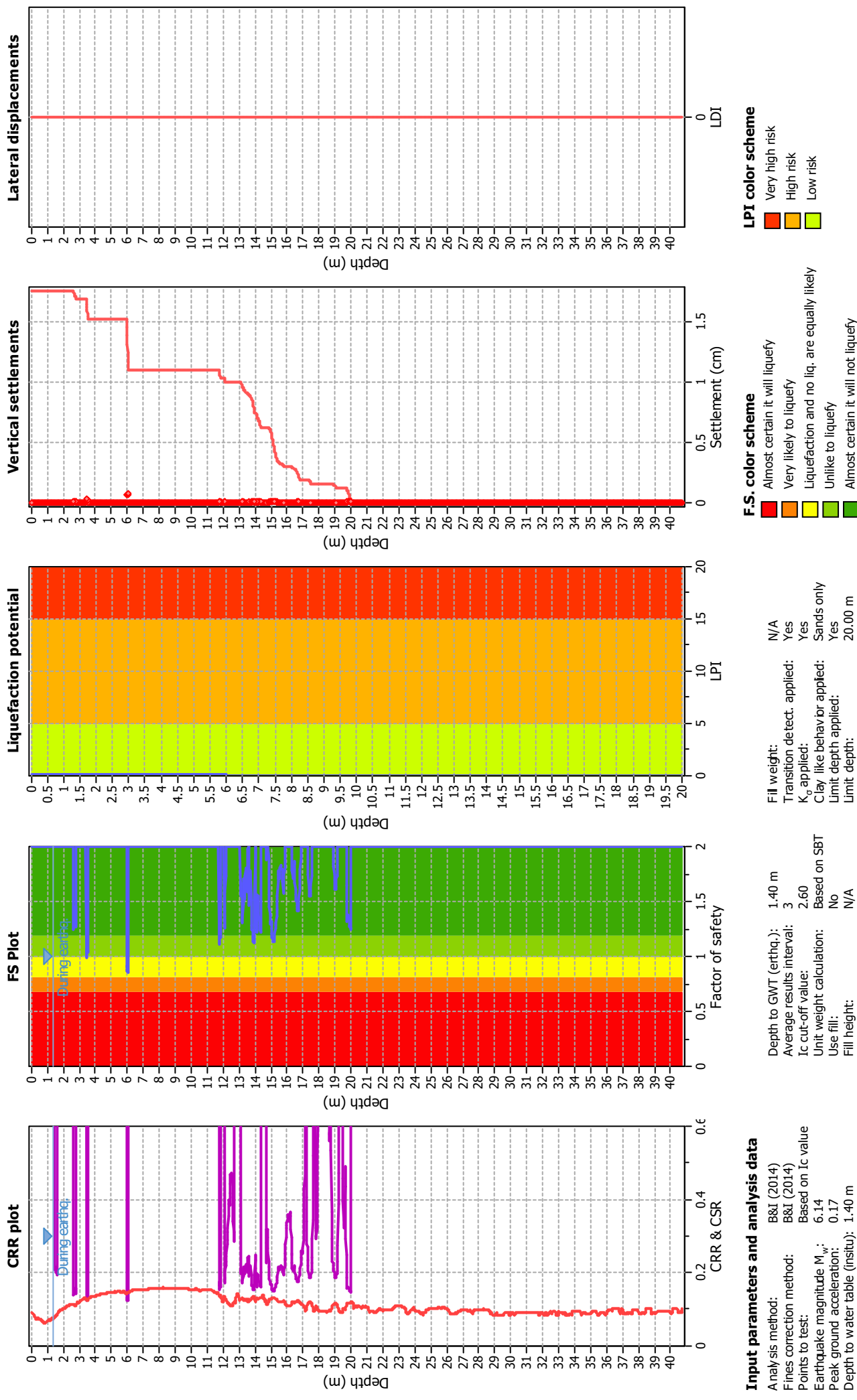
#### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk

### Liquefaction analysis overall plots

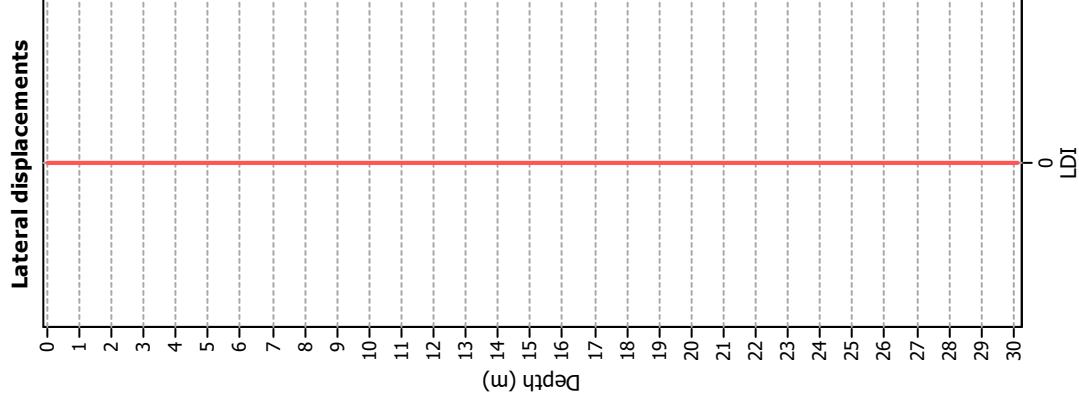
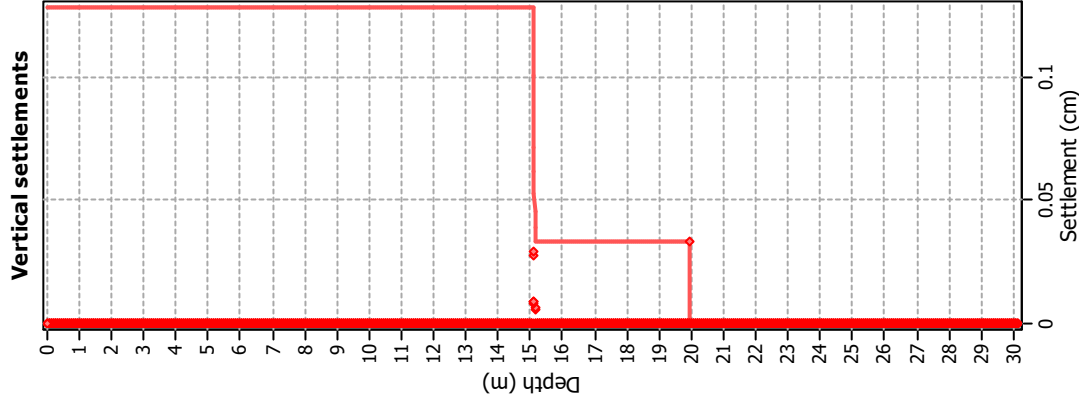
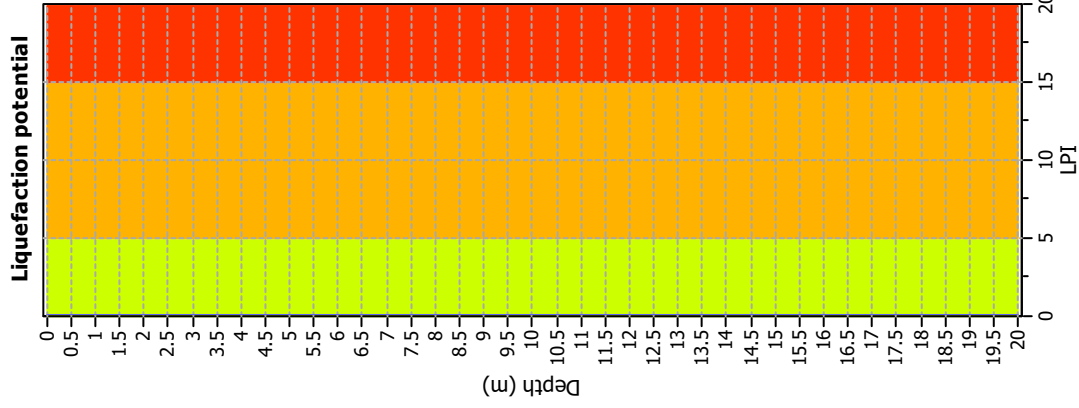
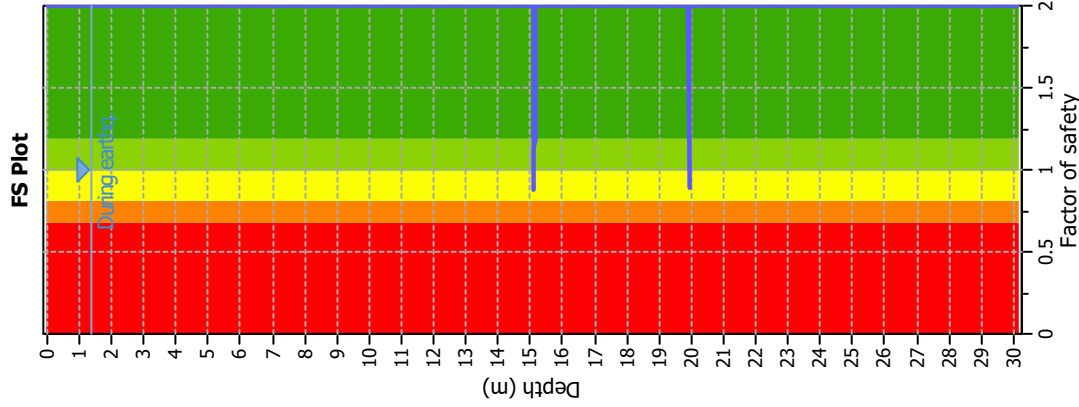
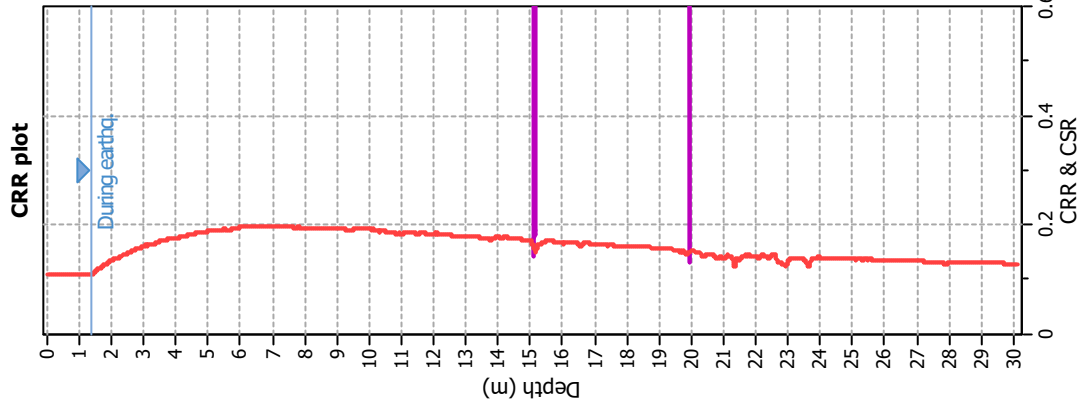


### Liquefaction analysis overall plots





### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

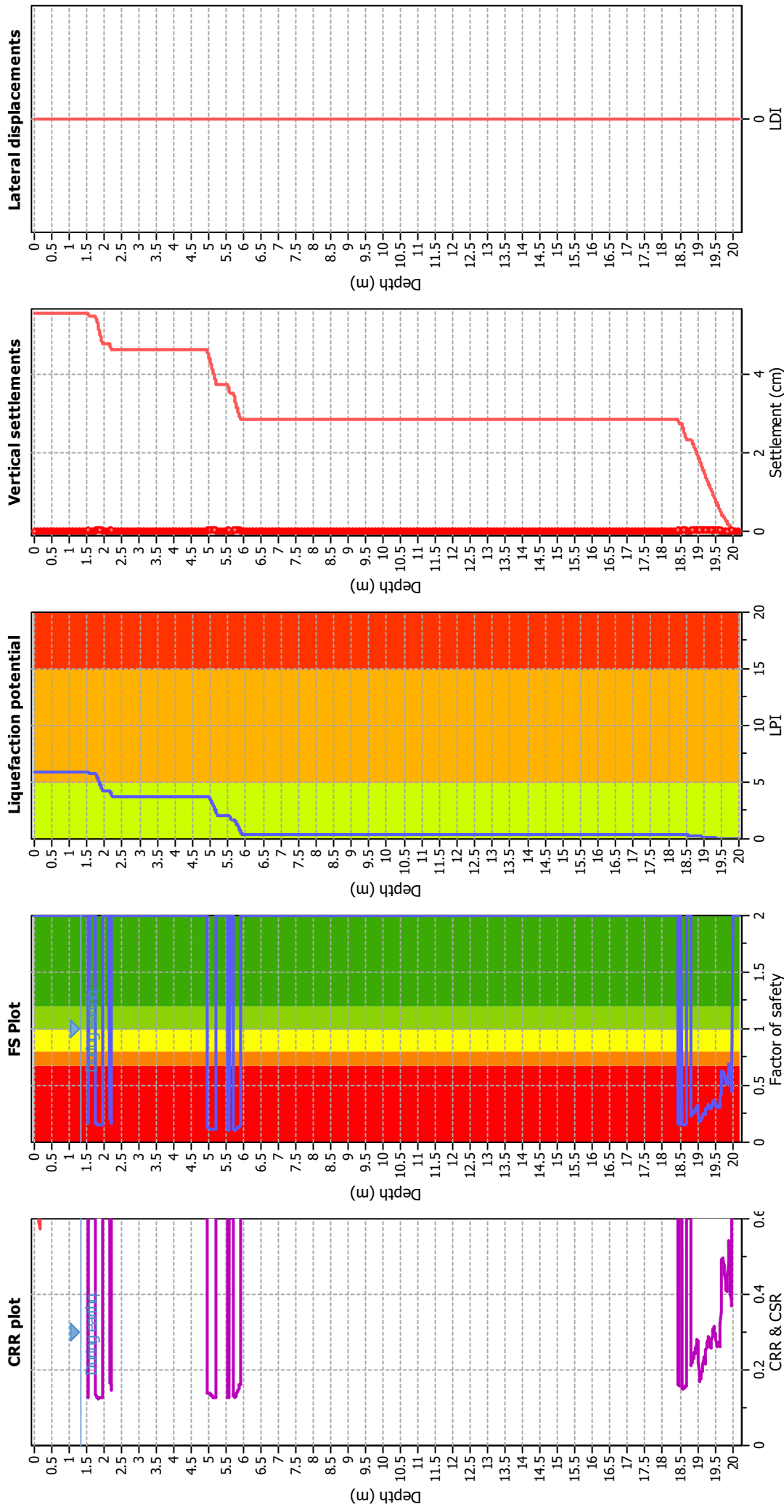
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 1.35  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GW (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

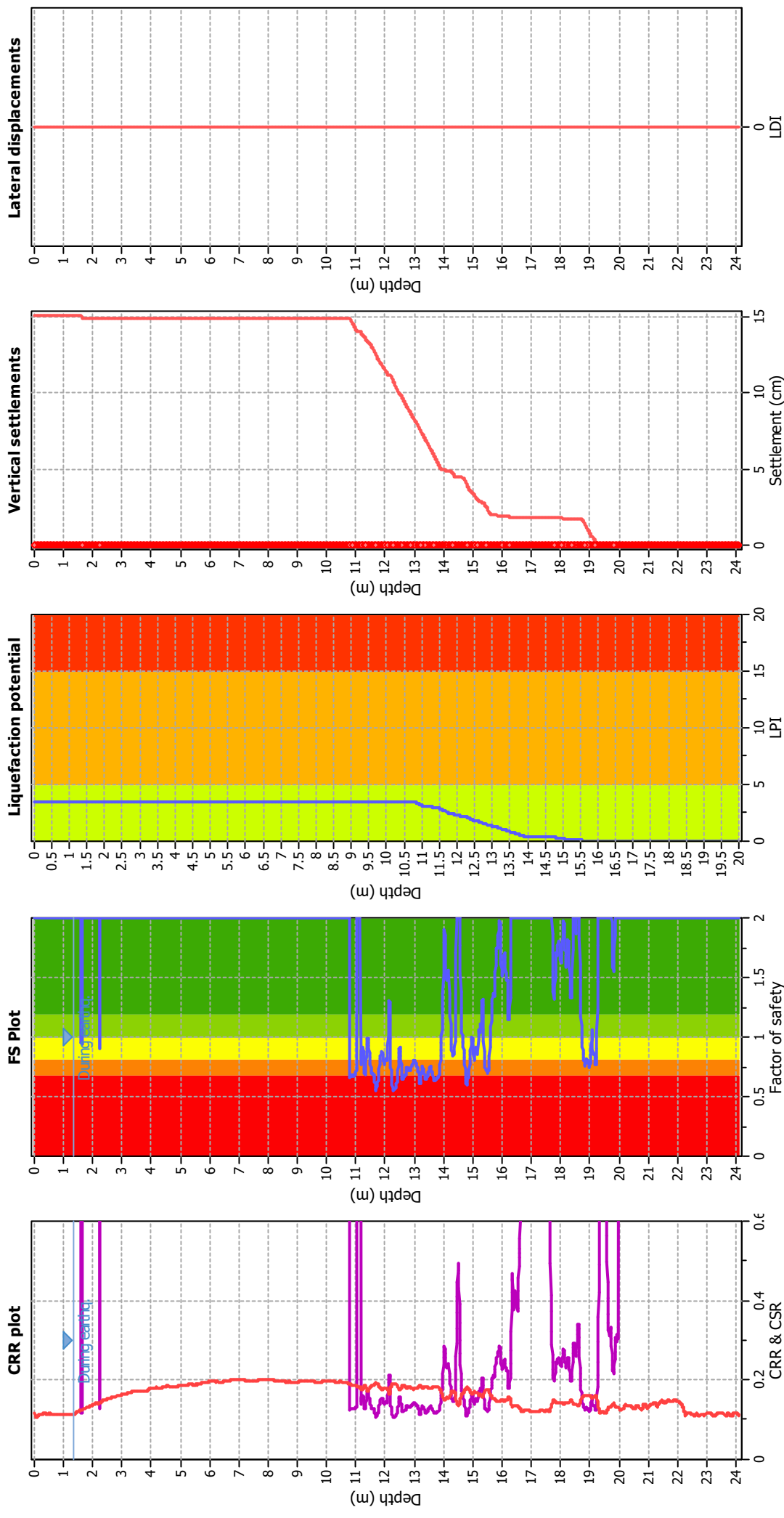
### F.S. color scheme

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

### LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

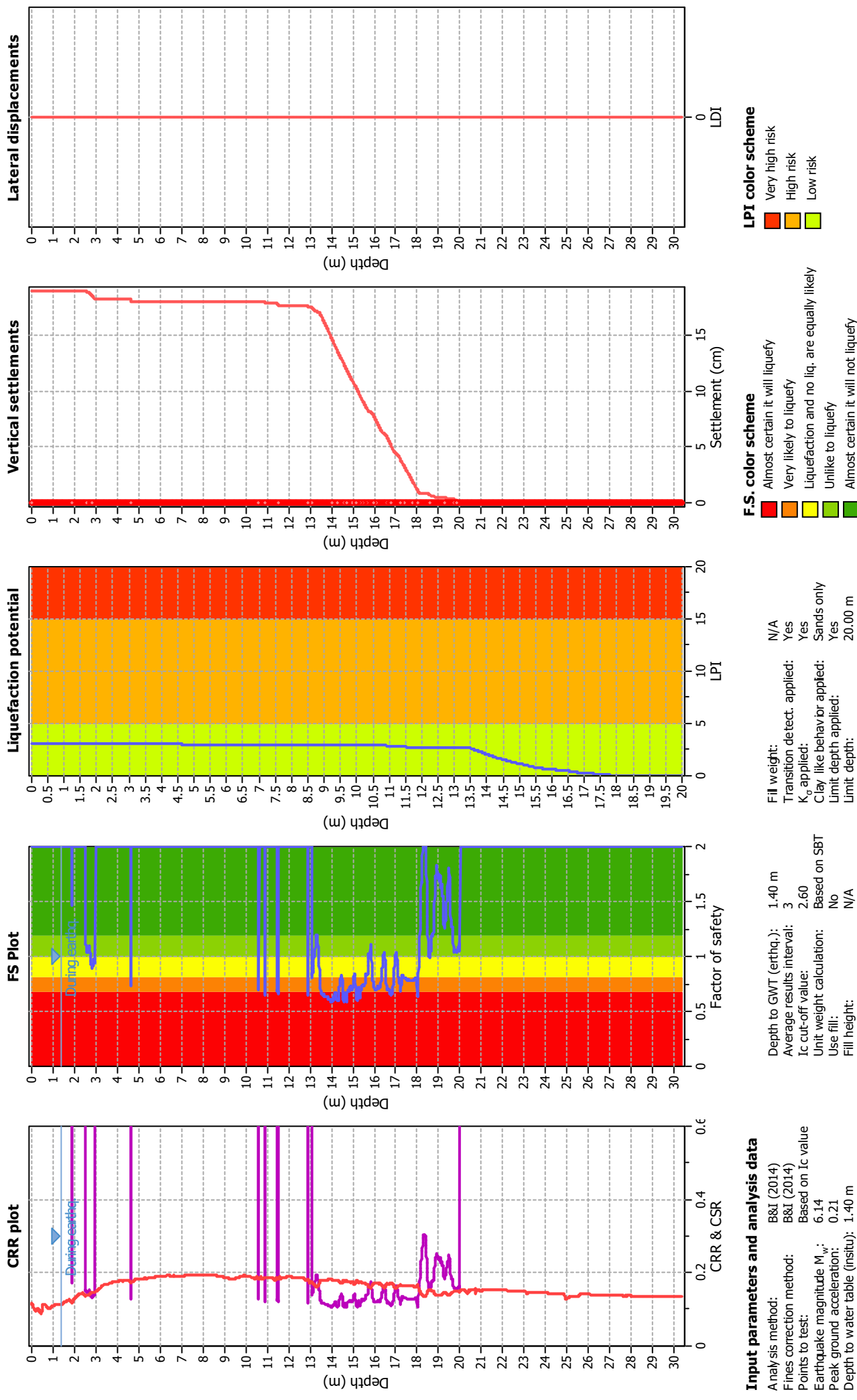
#### F.S. color scheme

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

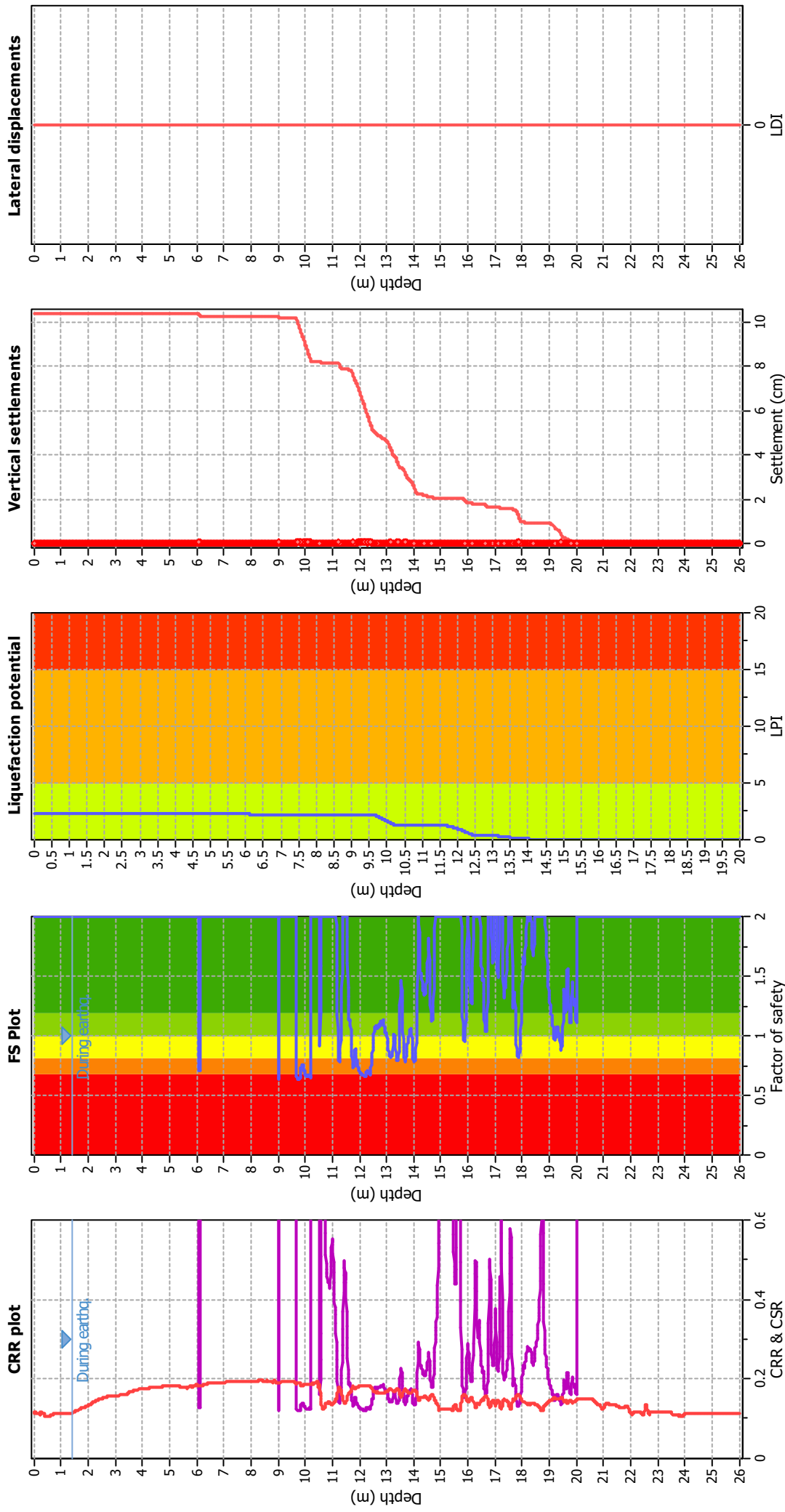
#### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

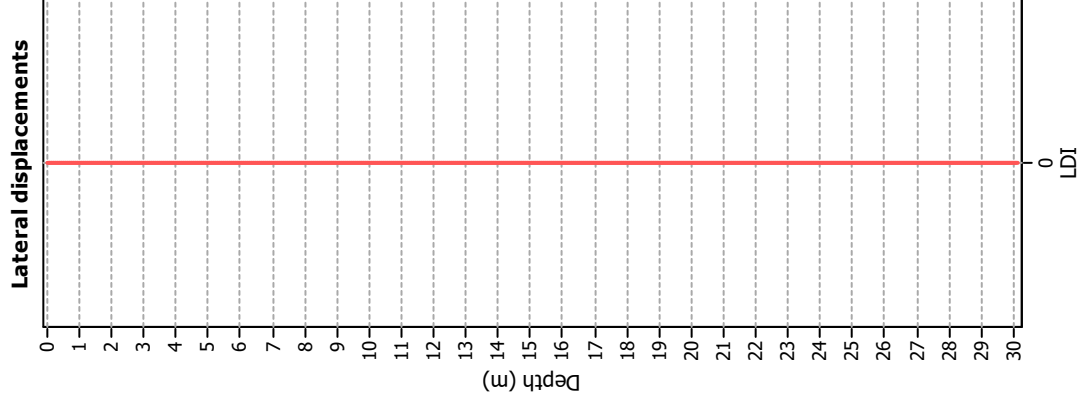
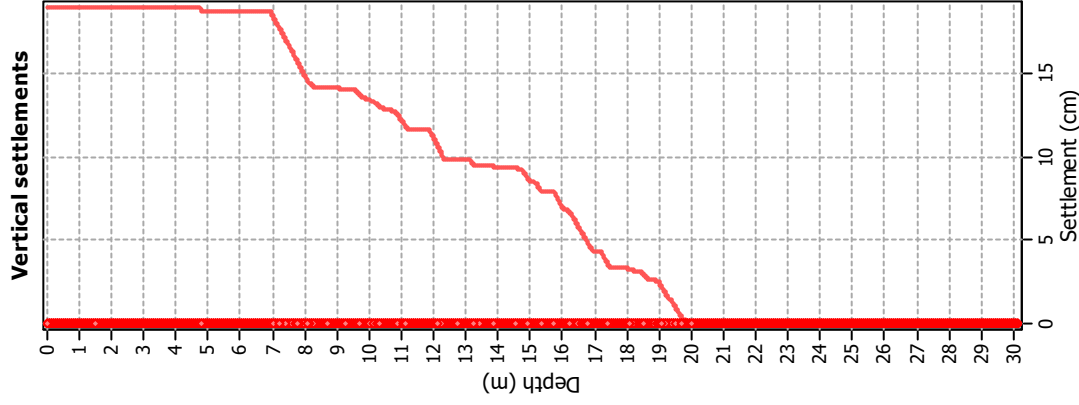
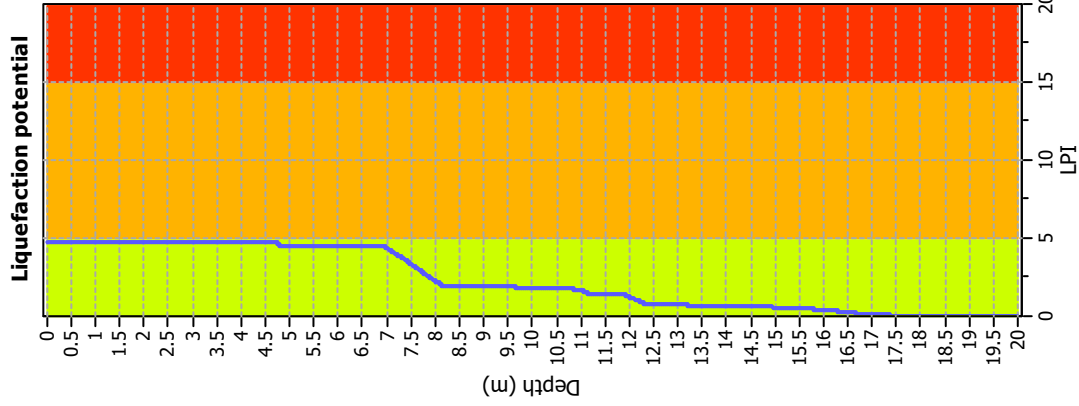
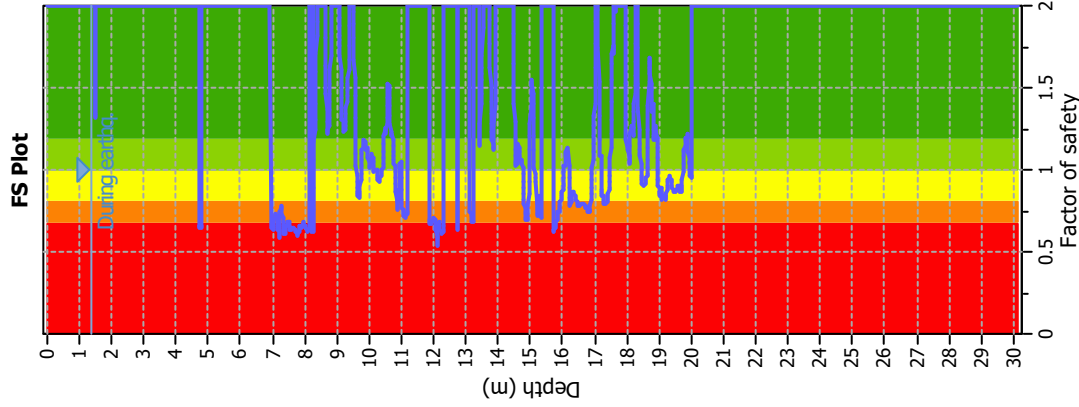
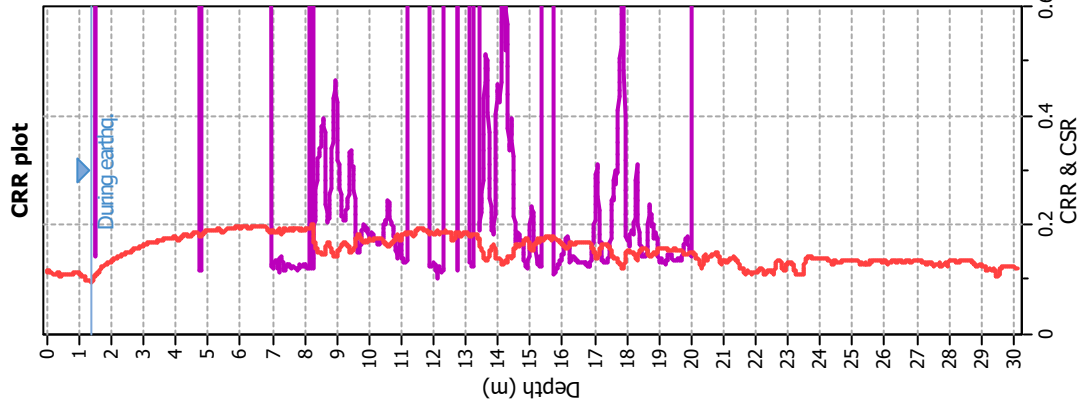
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

Depth to GWT (earthq.): 1.40 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

### F.S. color scheme

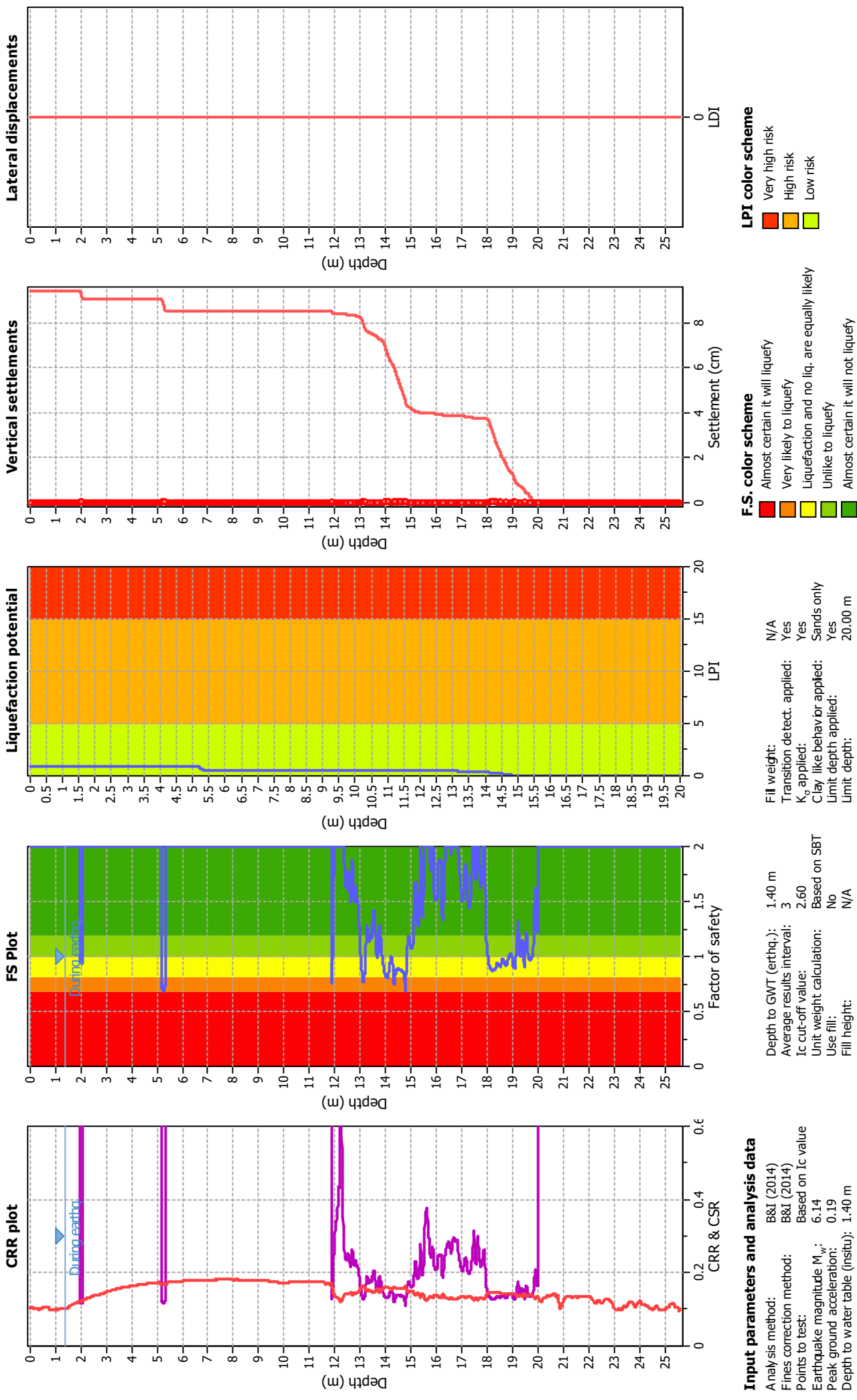
Almost certain it will liquefy  
 Very likely to liquefy  
 Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Unlikely to liquefy  
 Almost certain it will not liquefy

### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)
Fines correction method:	B&I (2014)
Points to test:	Based on I <sub>c</sub> value
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14
Peak ground acceleration:	0.19
Depth to water table (insitu):	1.40 m

#### F.S. color scheme

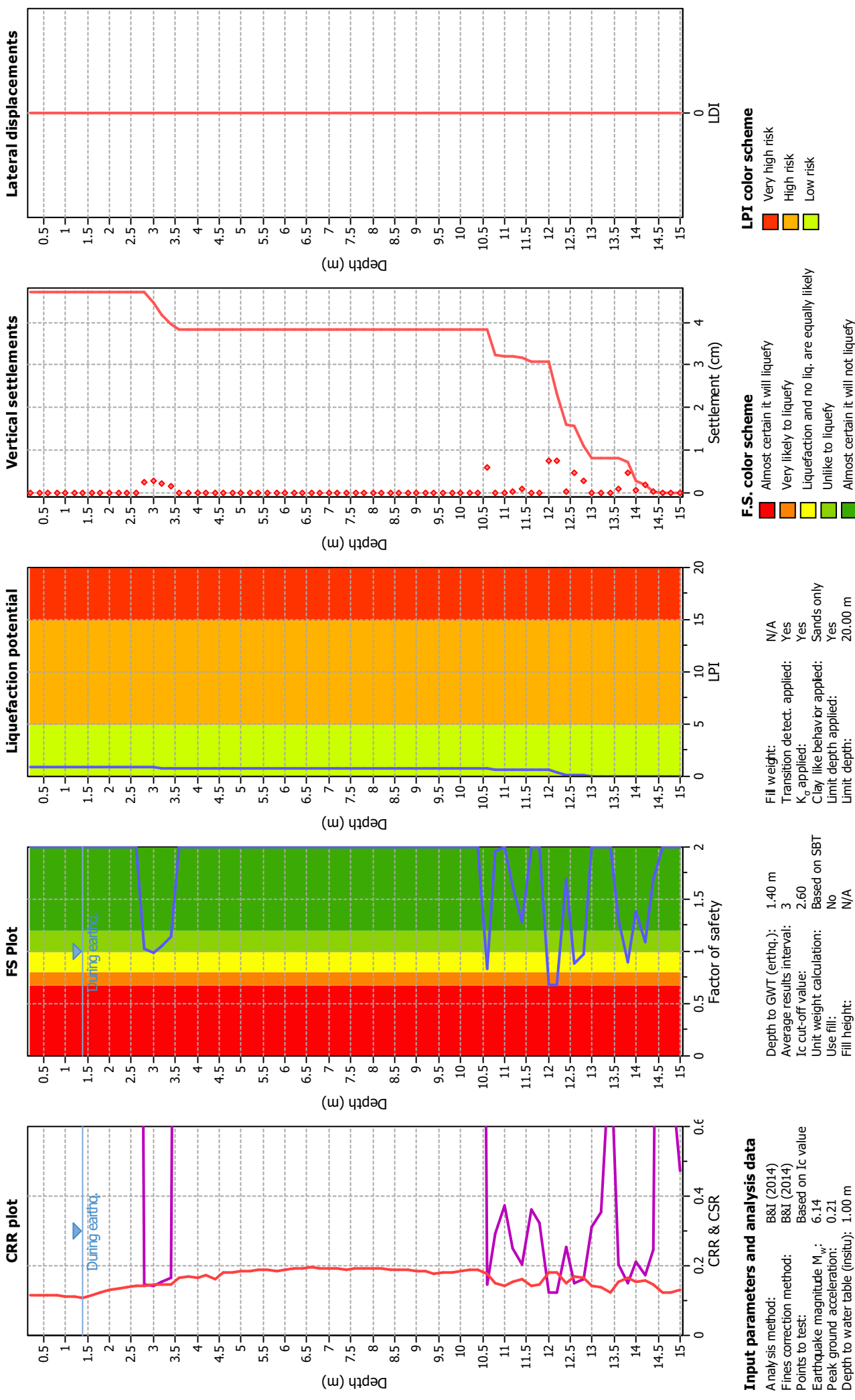
Almost certain it will liquefy	Red
Very likely to liquefy	Orange
Liquefaction and no liq. are equally likely	Yellow
Unlike to liquefy	Light Green
Almost certain it will not liquefy	Dark Green

#### LPI color scheme

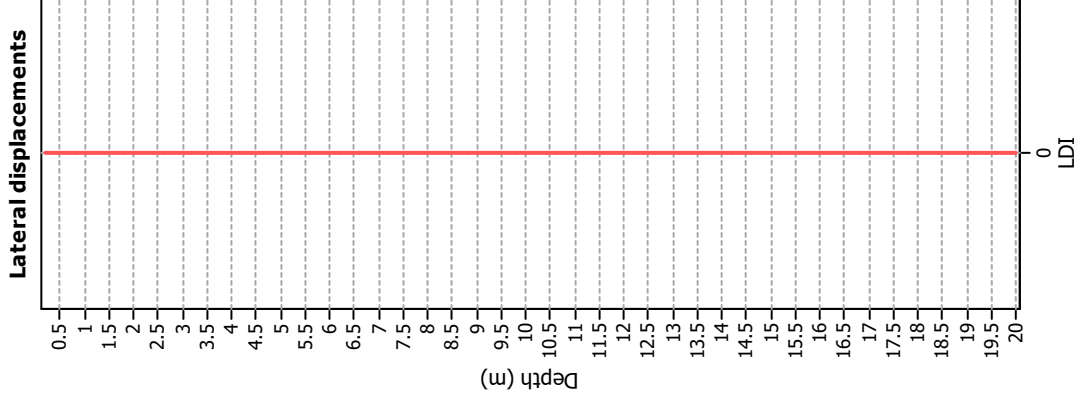
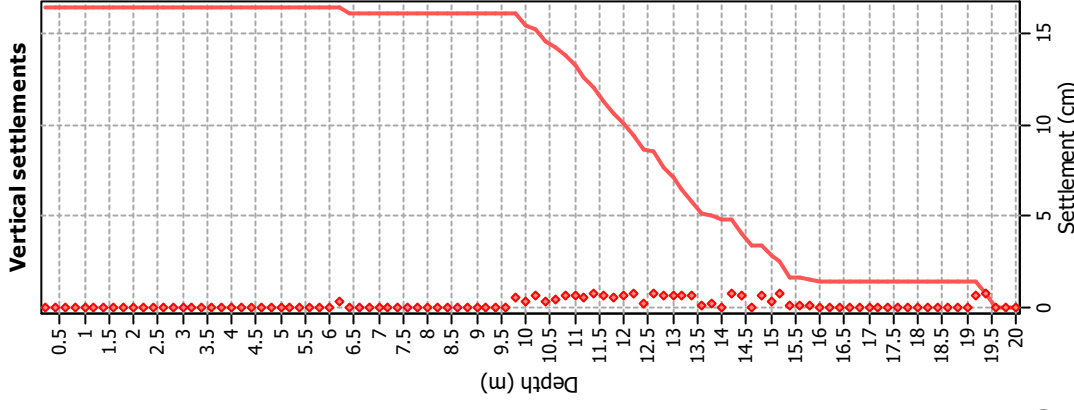
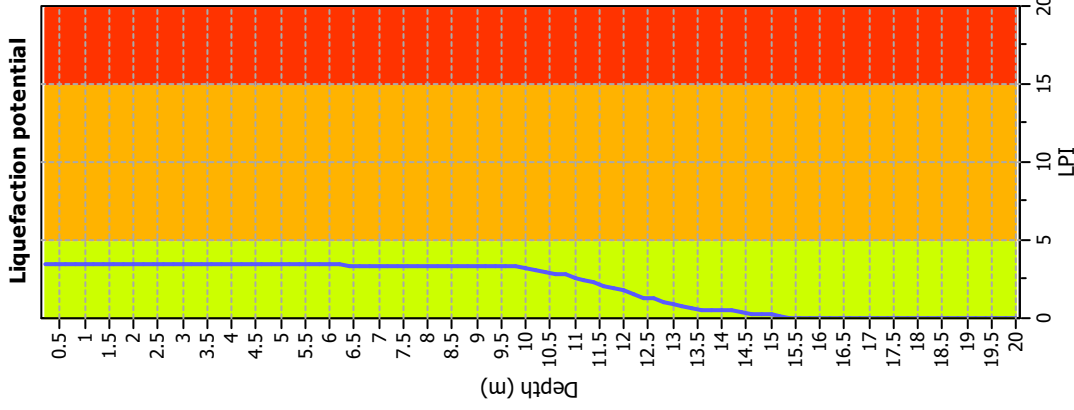
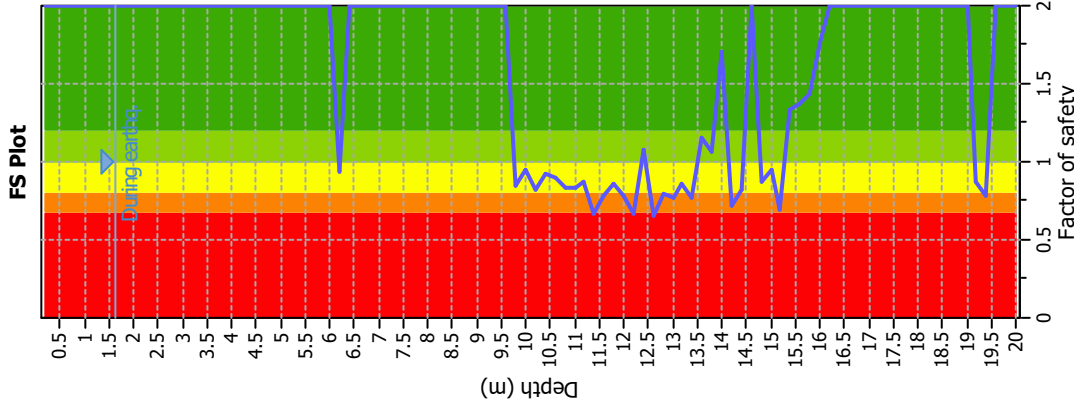
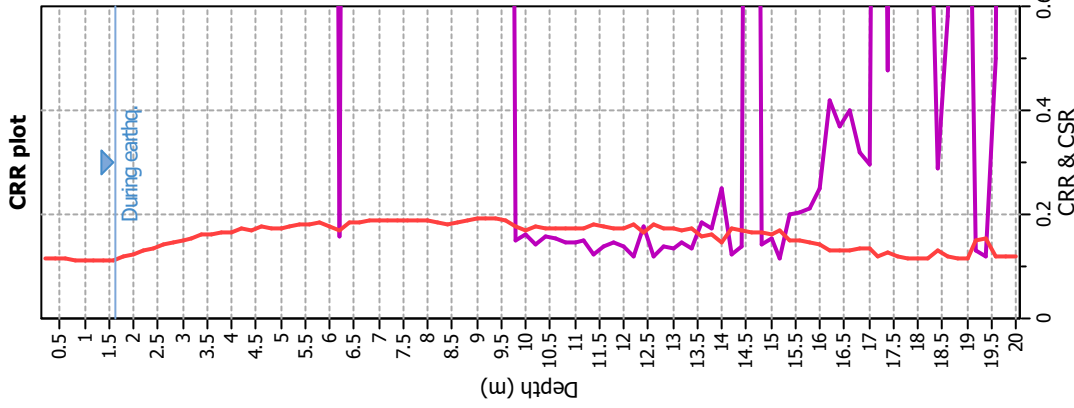
Very high risk	Red
High risk	Orange
Low risk	Yellow

Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K <sub>s</sub> applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.61 m

Depth to GWT (earthq.): 1.61 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

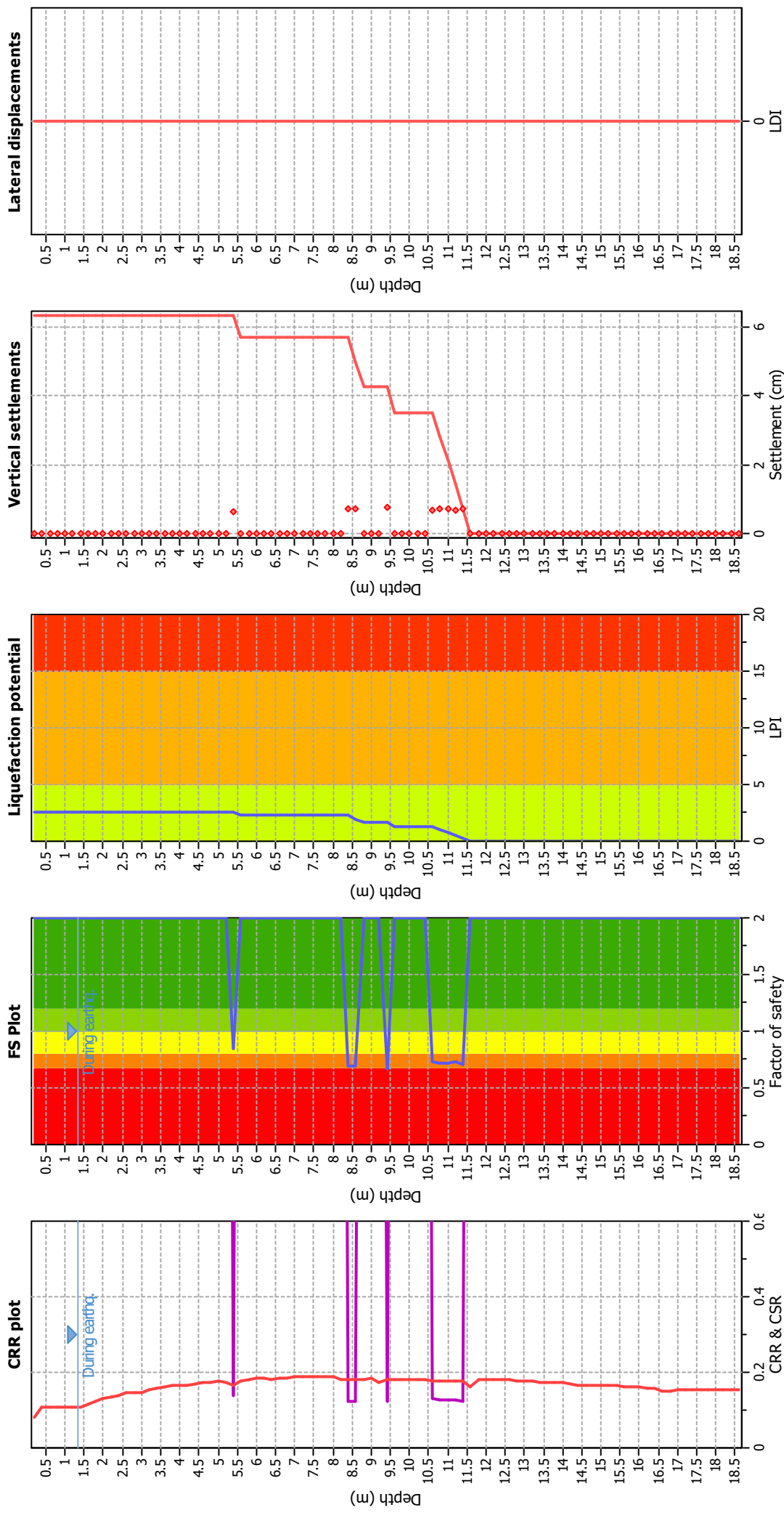
#### F.S. color scheme

- 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

### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

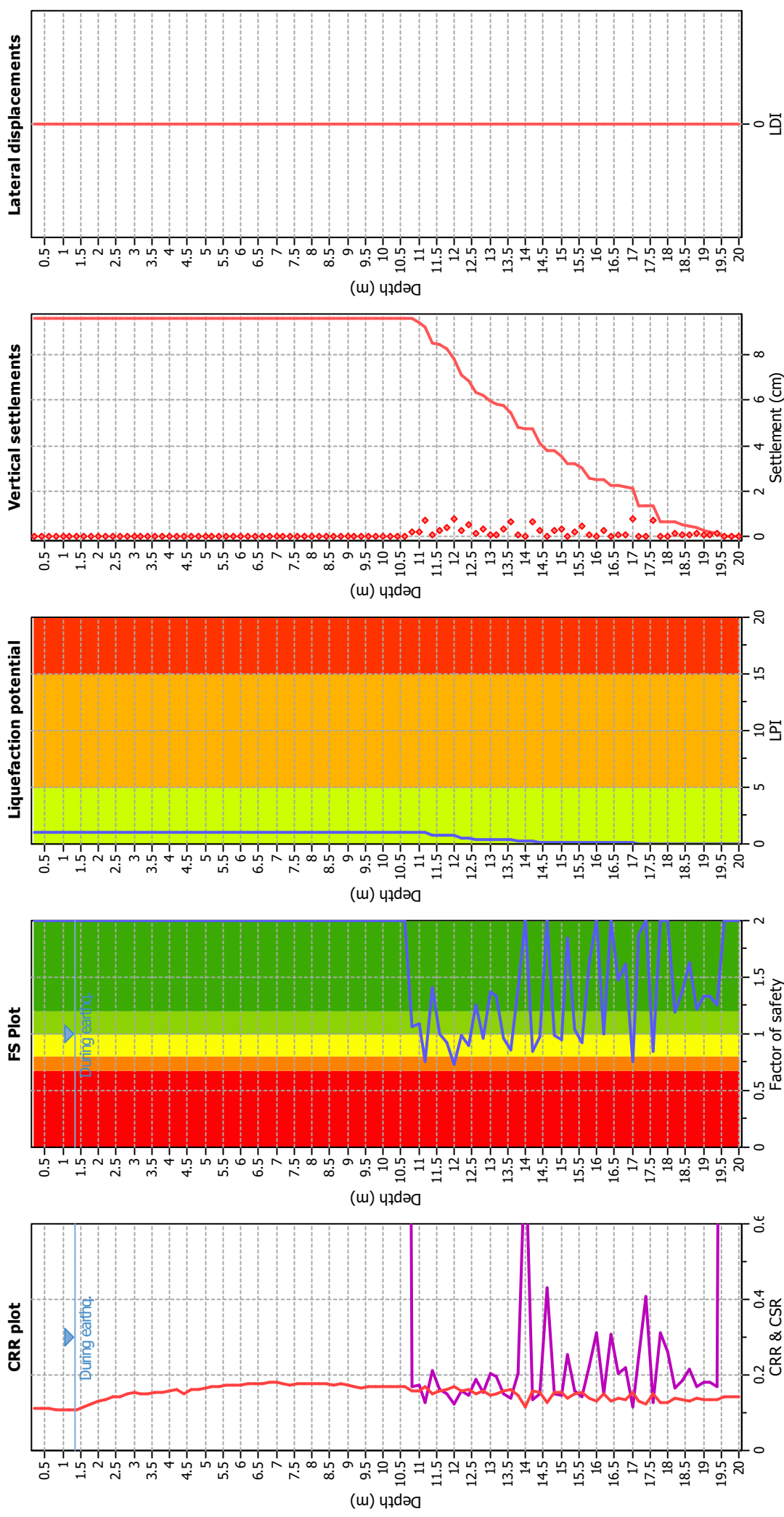
### F.S. color scheme

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

### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

#### F.S. color scheme

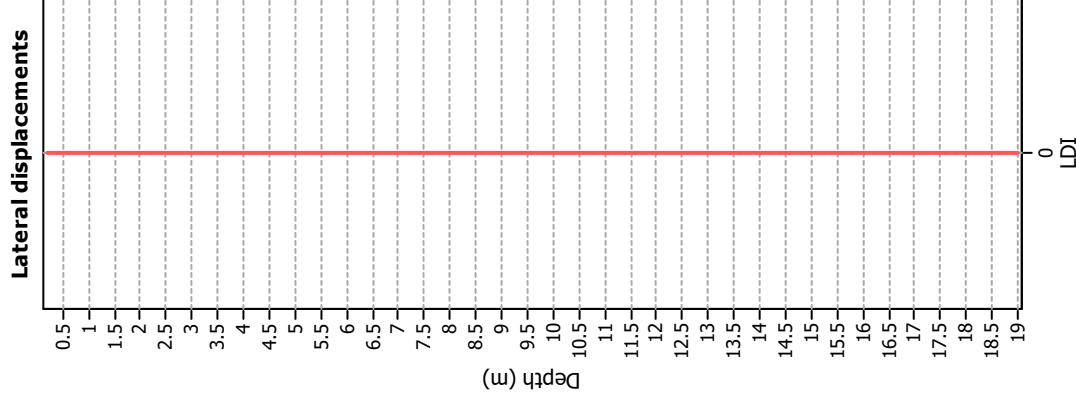
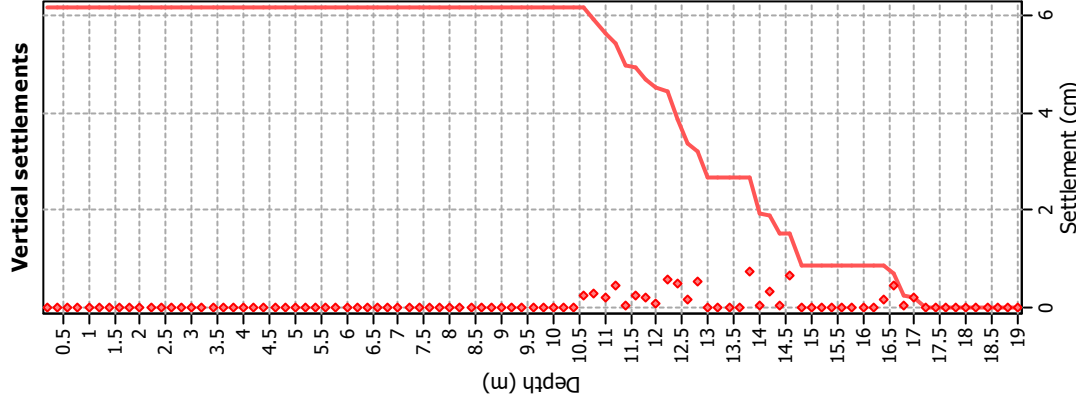
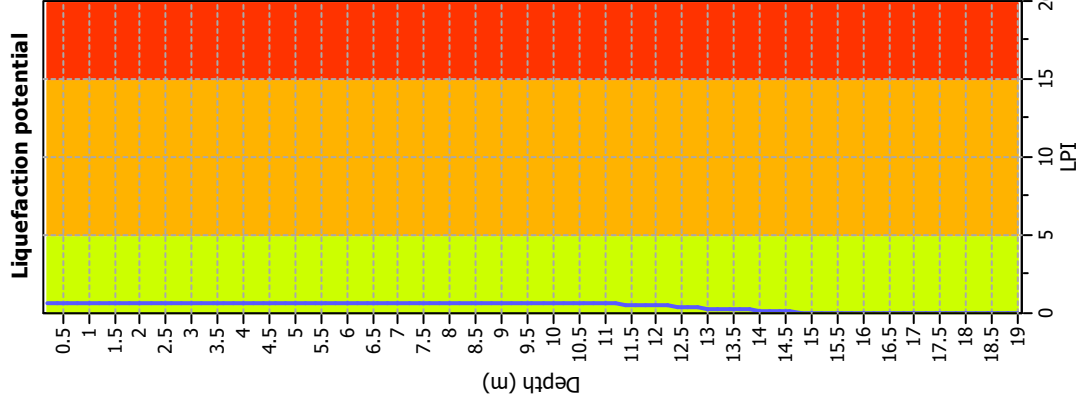
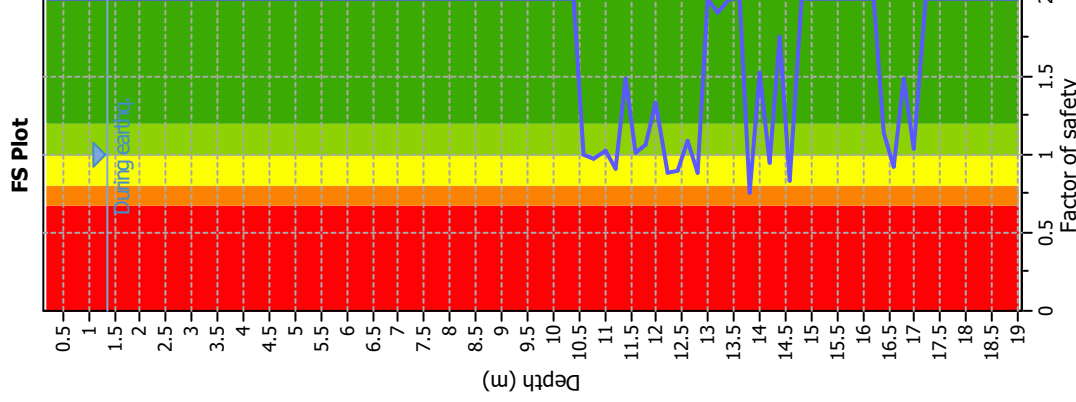
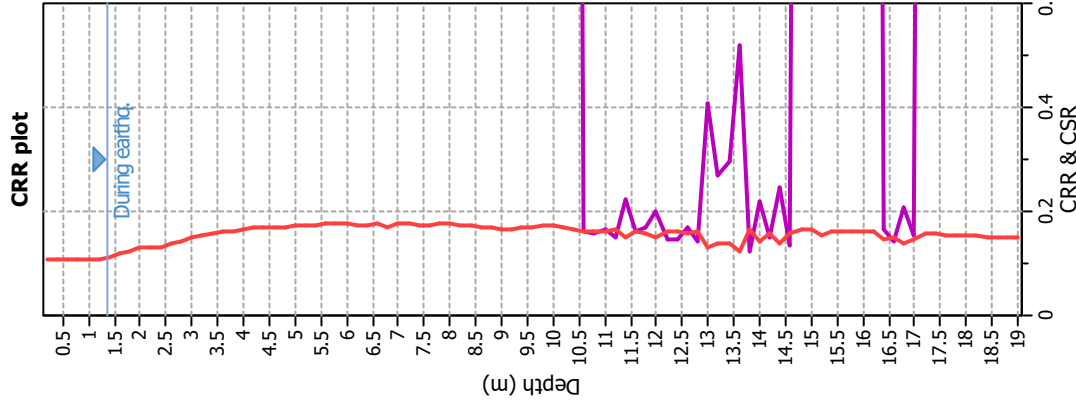
Almost certain it will liquefy  
 Very likely to liquefy  
 Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Unlikely to liquefy  
 Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 19.00 m

### F.S. color scheme

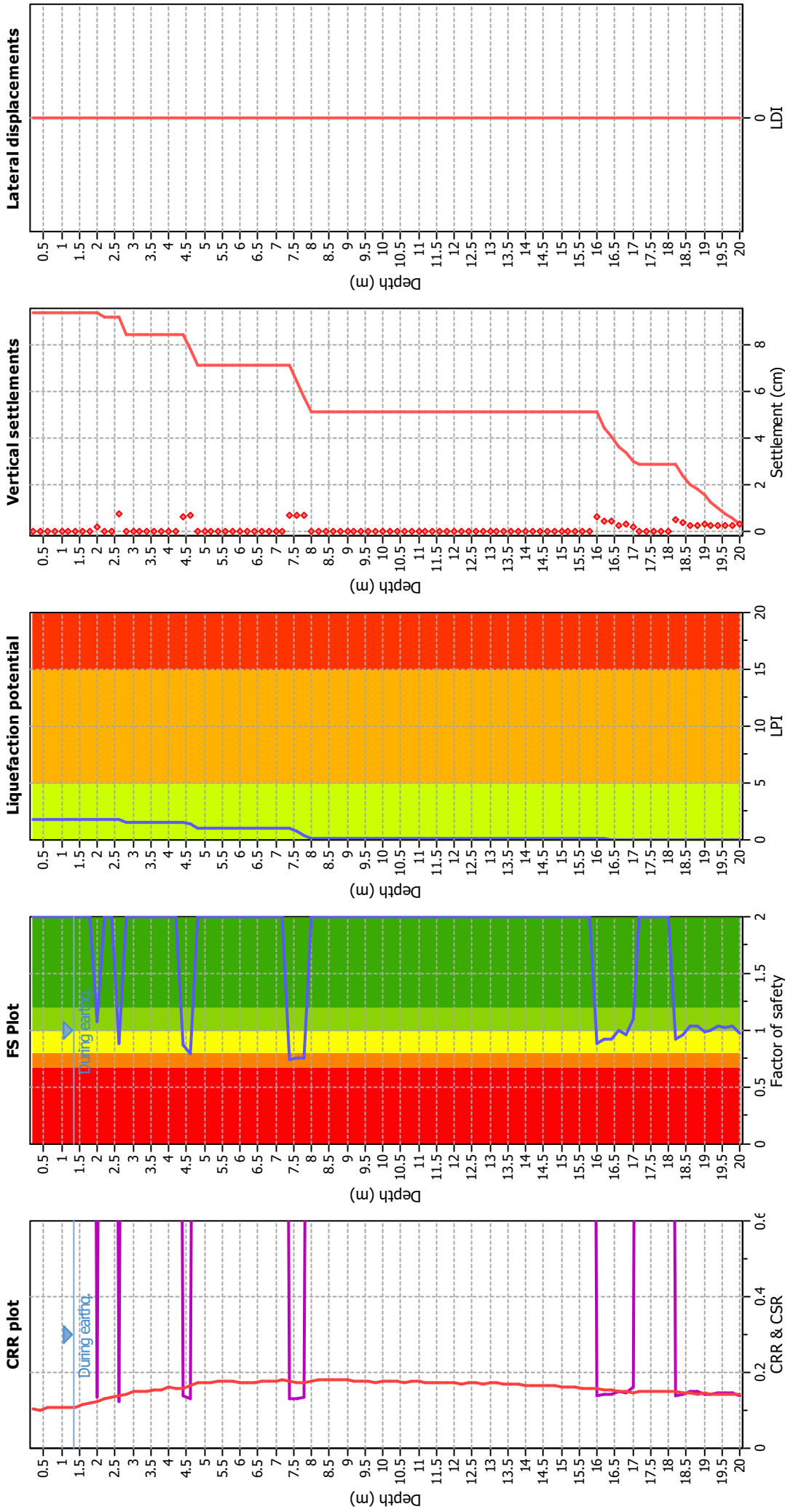
Almost certain it will liquefy  
 Very likely to liquefy  
 Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Unlike to liquefy  
 Almost certain it will not liquefy

### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

#### F.S. color scheme

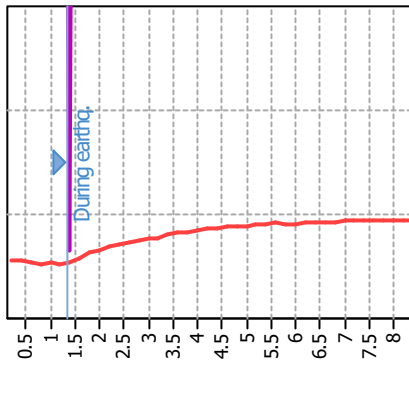
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlike to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

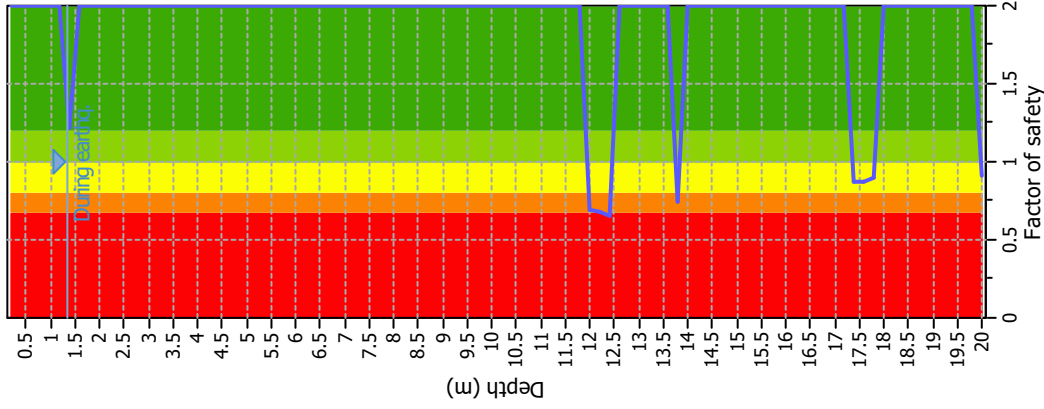
■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots

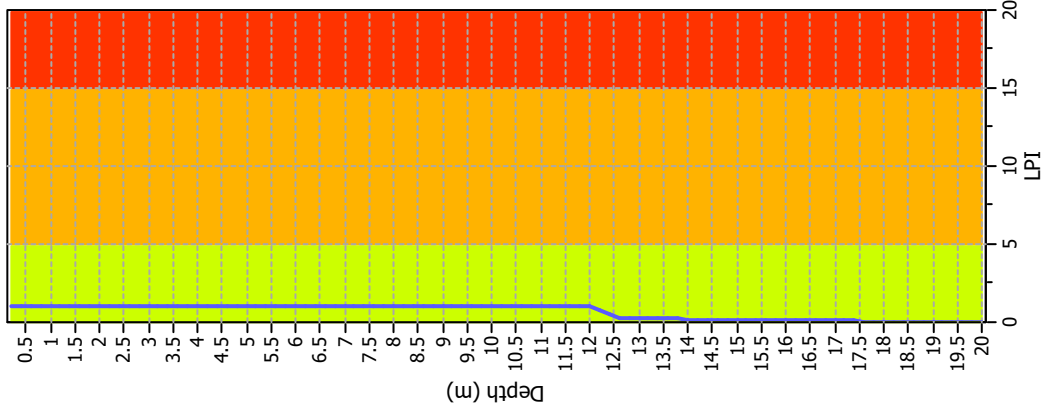
**CRR plot**



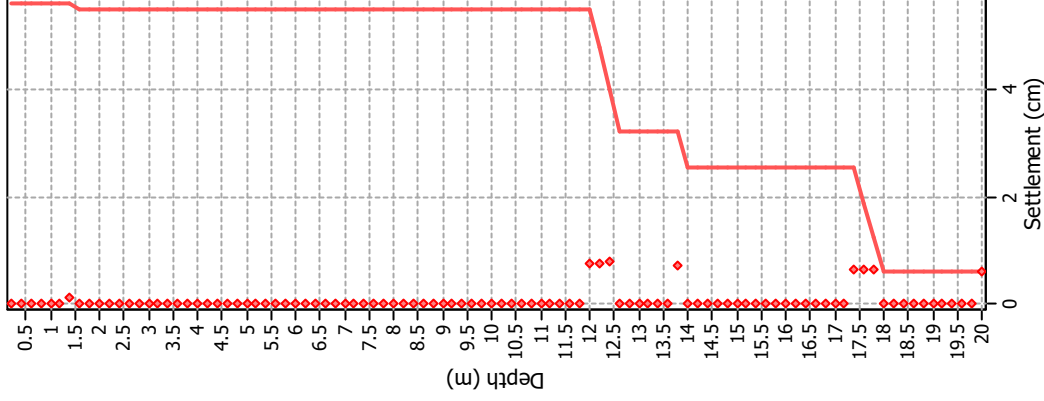
**FS Plot**



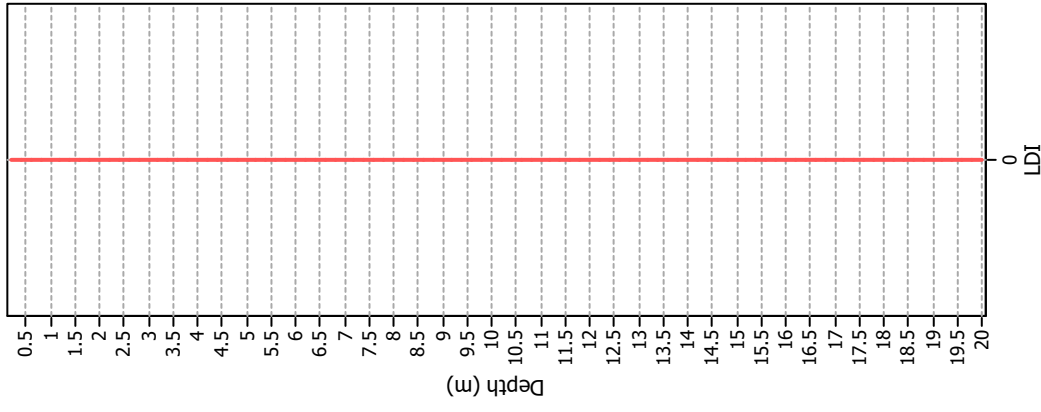
**Liquefaction potential**



**Vertical settlements**



**Lateral displacements**



**Input parameters and analysis data**

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>σ</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

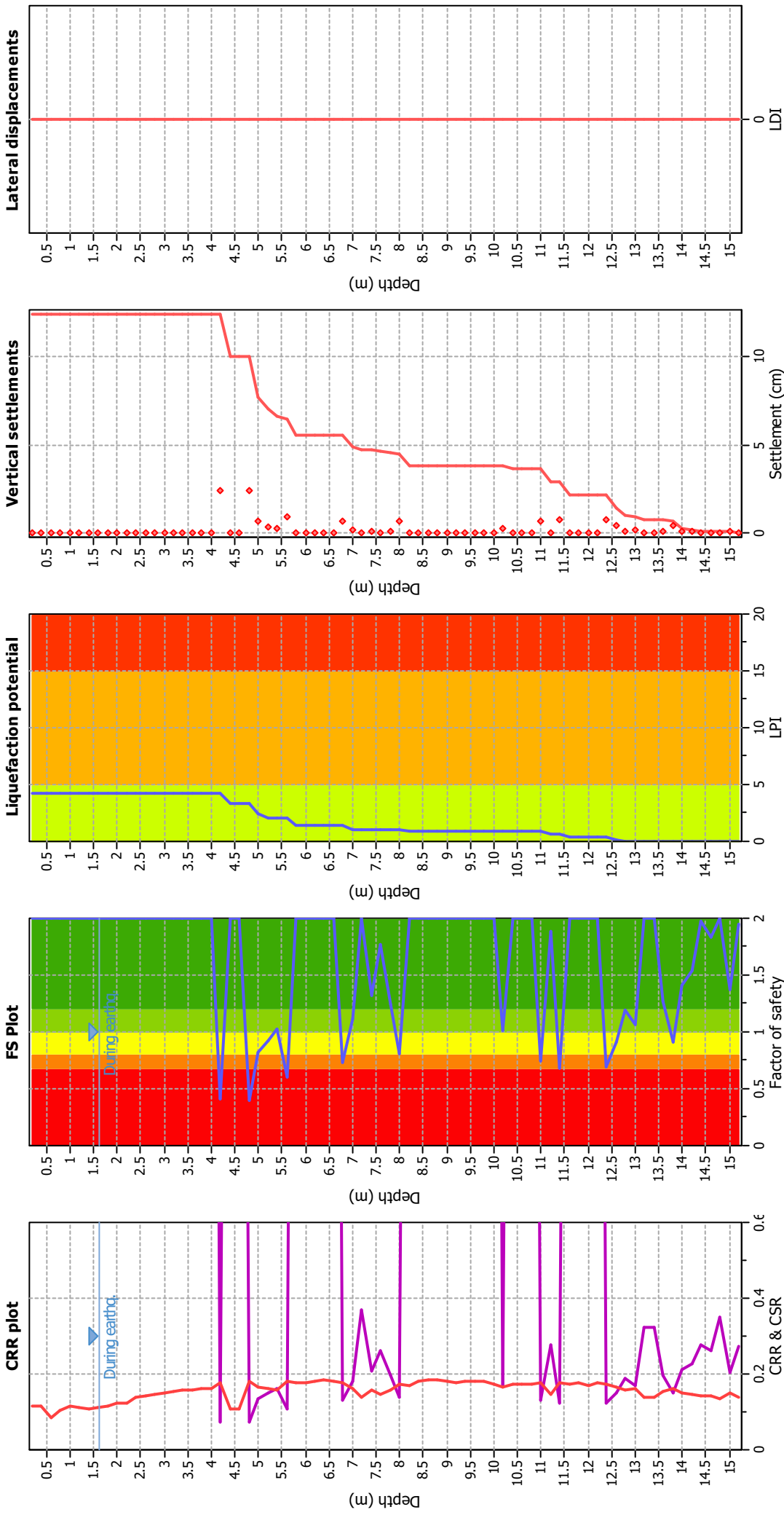
**F.S. color scheme**

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

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.61 m

Depth to GWT (earthq.): 1.61 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>σ</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 15.20 m

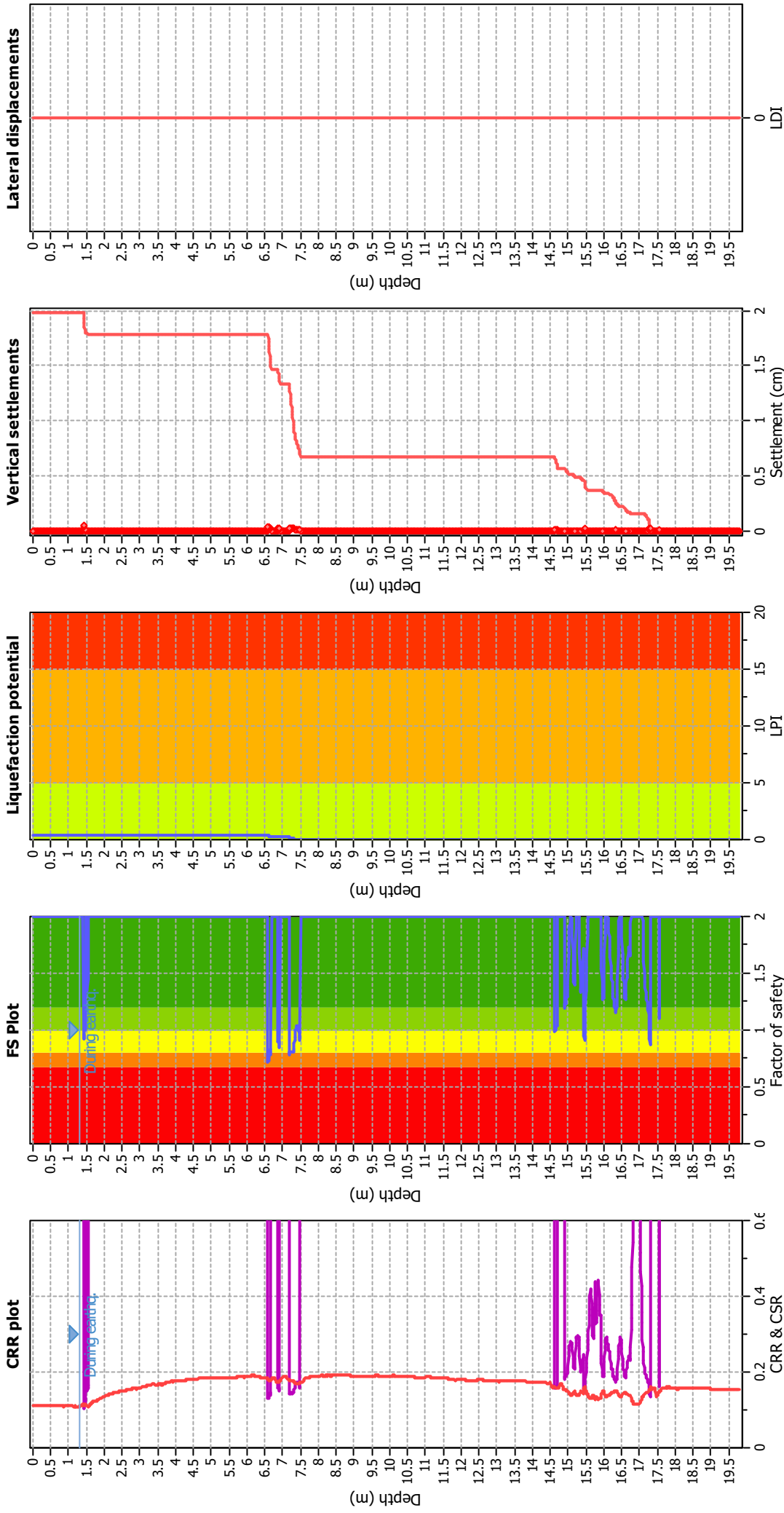
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (in situ): 1.33 m

Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 19.80 m

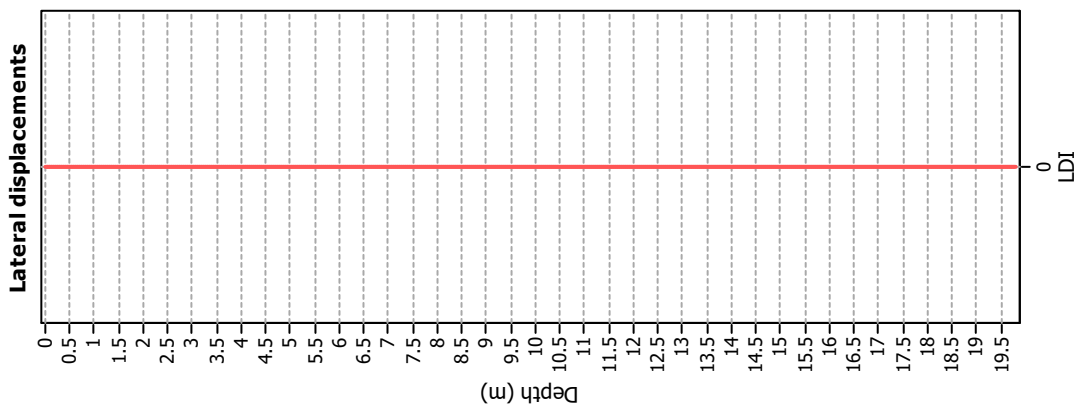
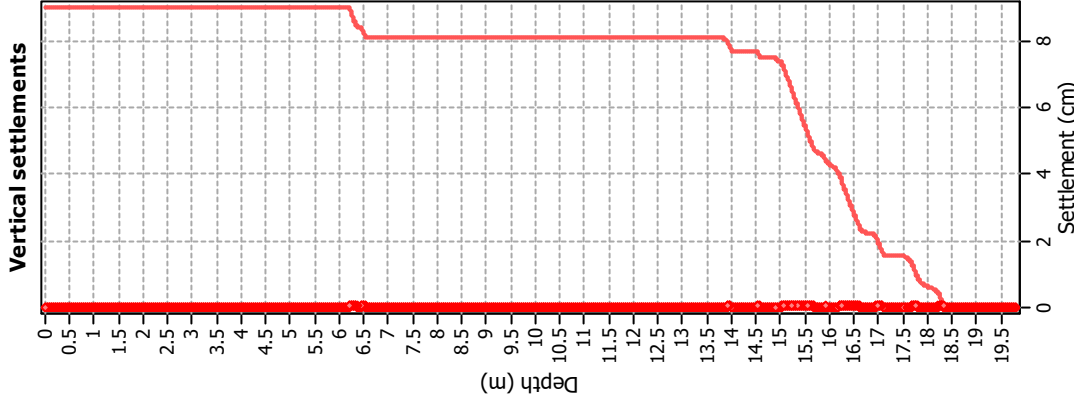
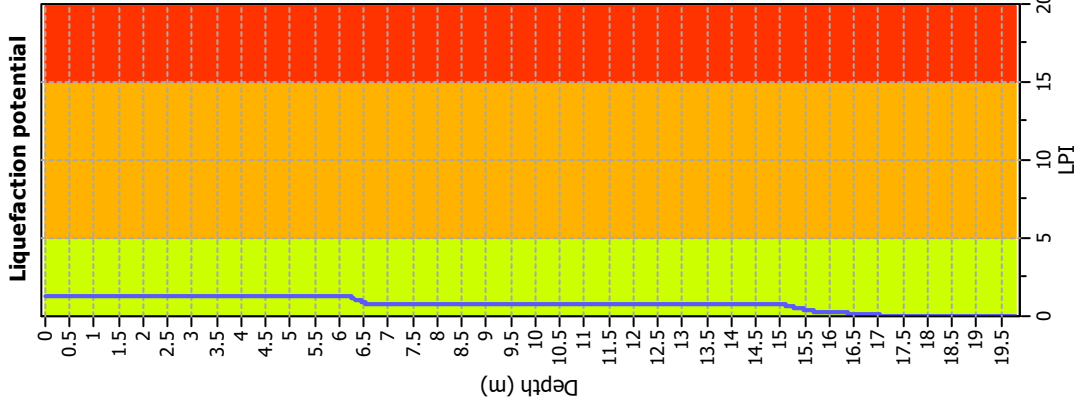
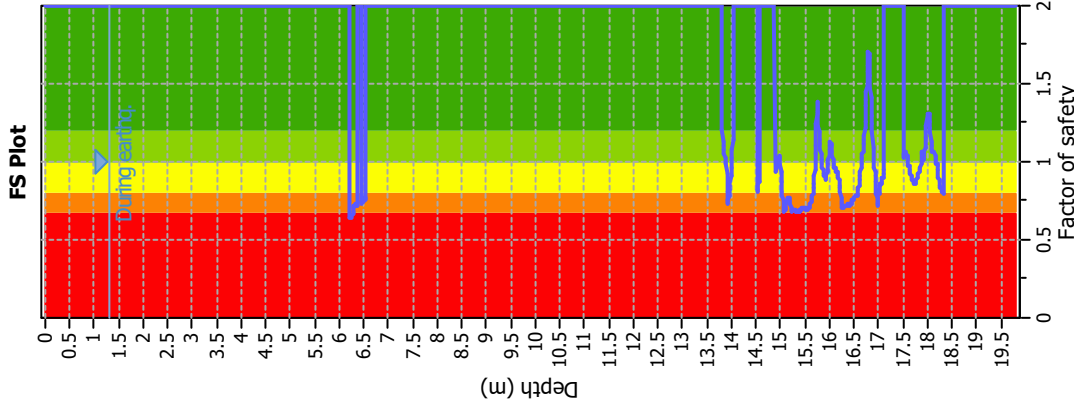
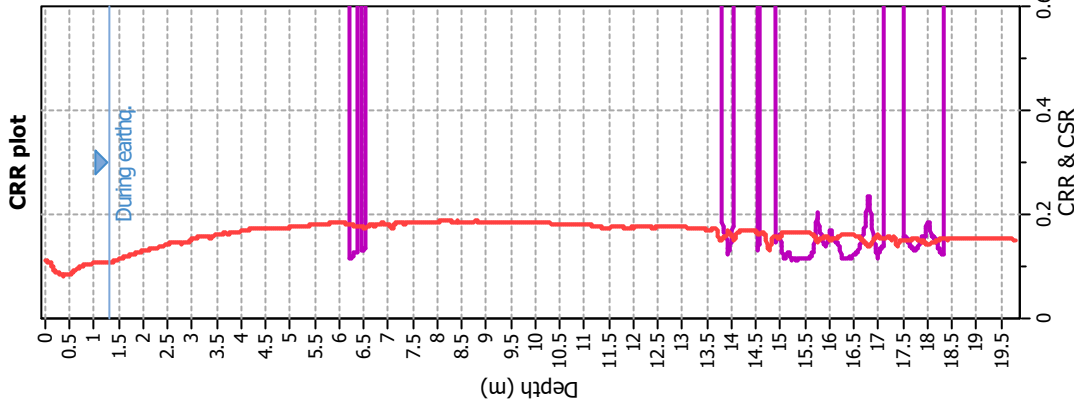
### F.S. color scheme

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

### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.33 m

Depth to GWT (earthq.): 1.33 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 19.80 m

### F.S. color scheme

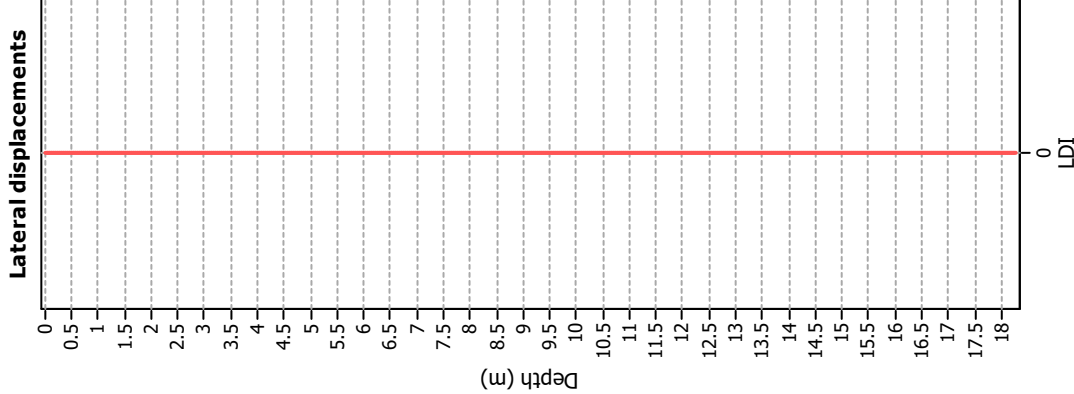
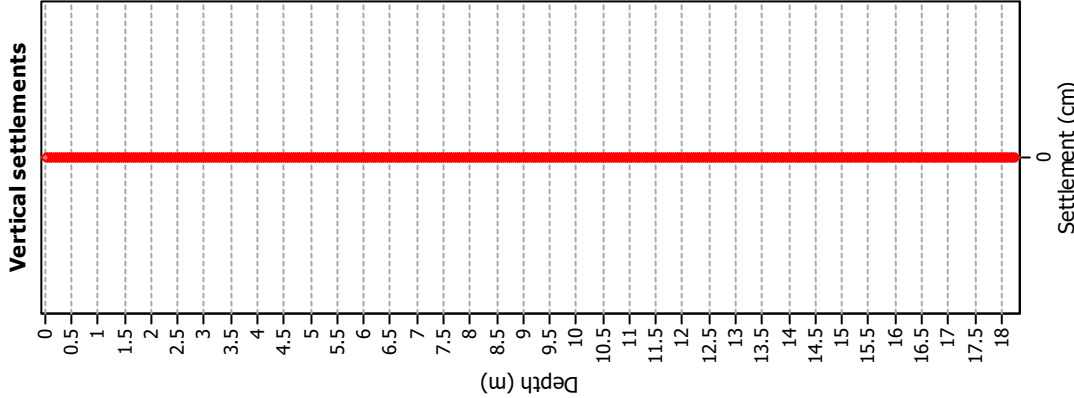
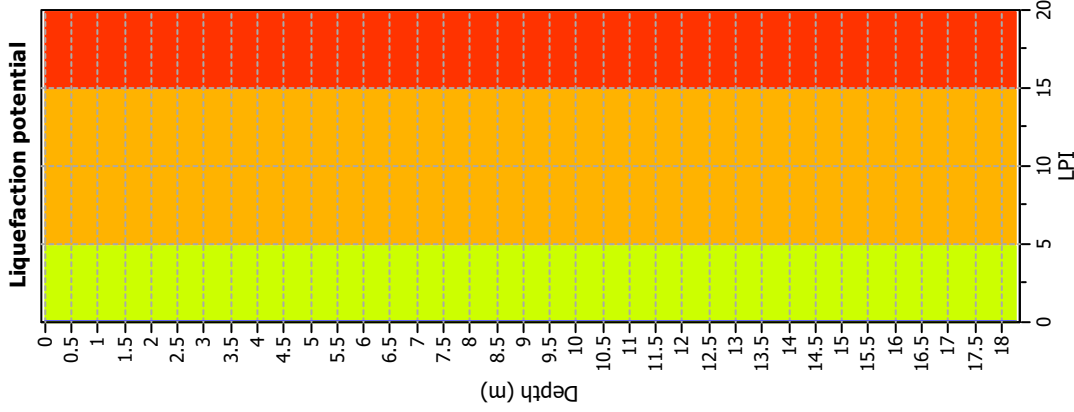
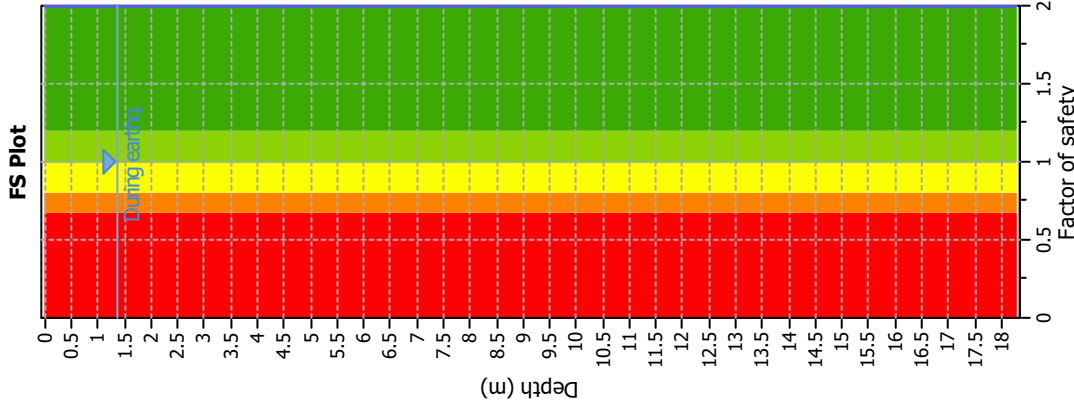
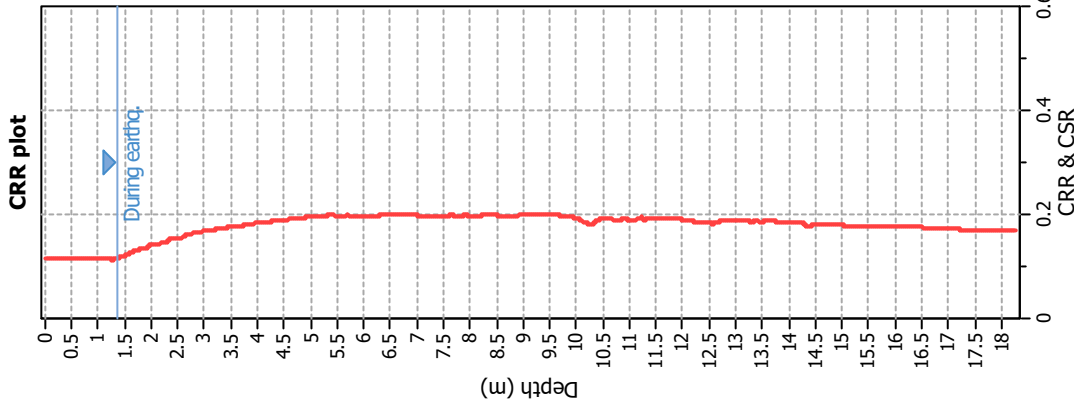
Almost certain it will liquefy  
 Very likely to liquefy  
 Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Unlike to liquefy  
 Almost certain it will not liquefy

### LPI color scheme

Very high risk  
 High risk  
 Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 18.27 m

### F.S. color scheme

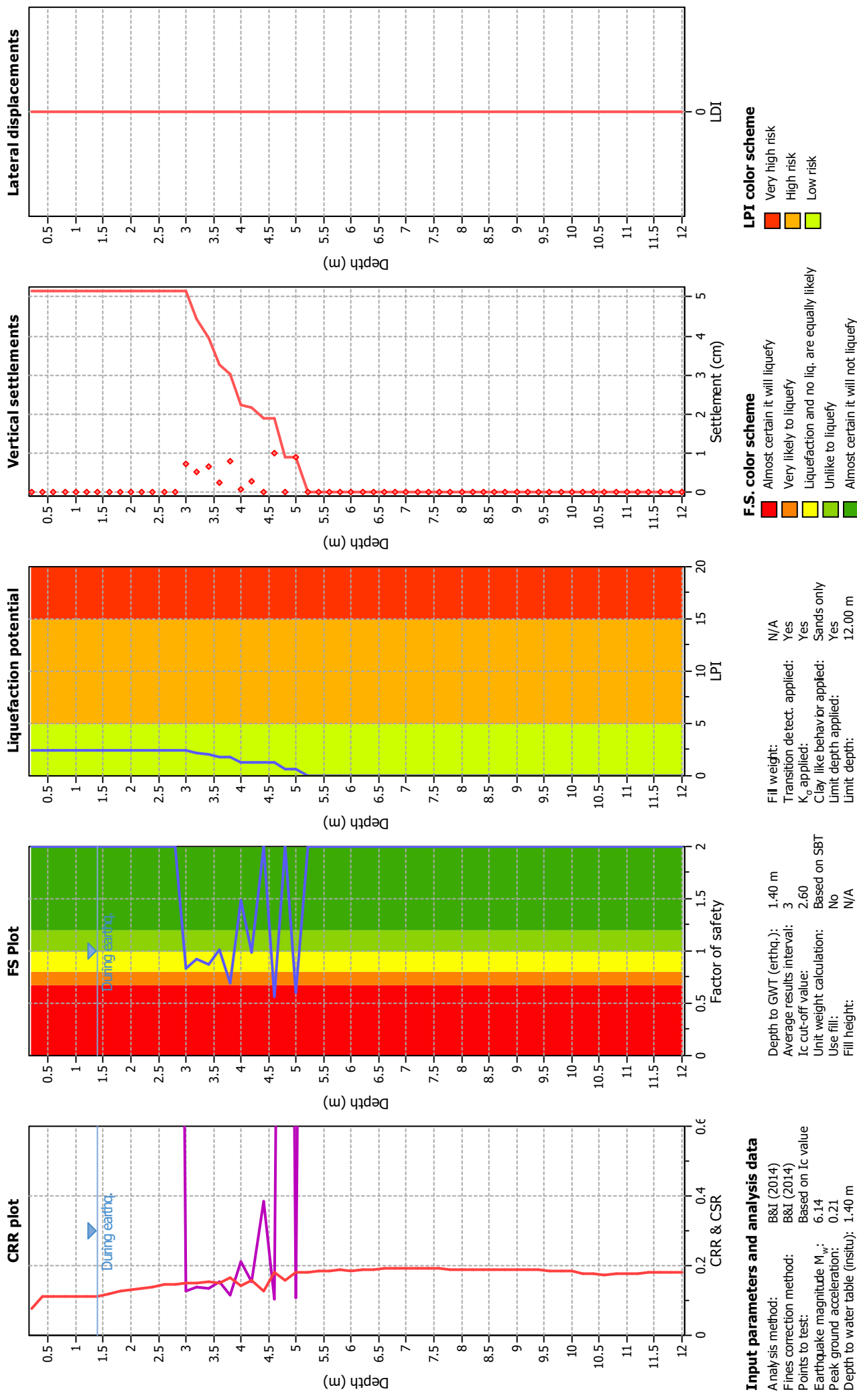
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlike to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

### LPI color scheme

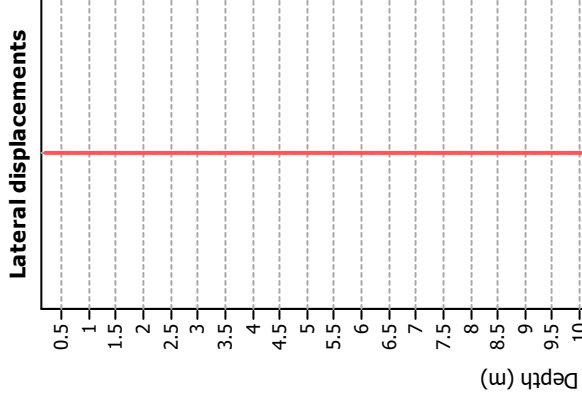
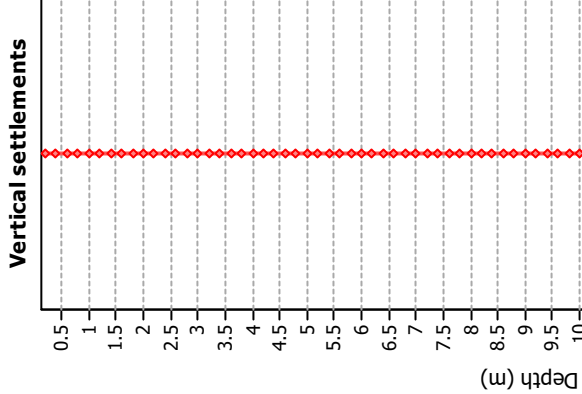
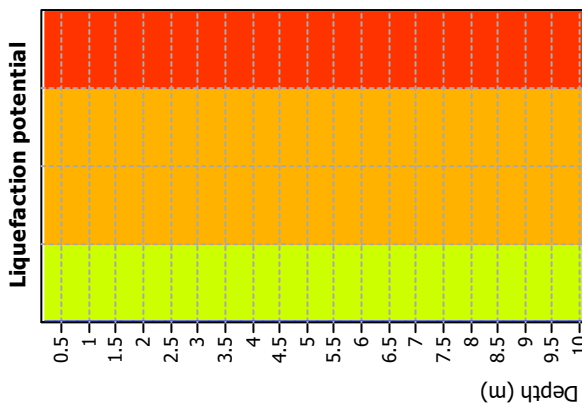
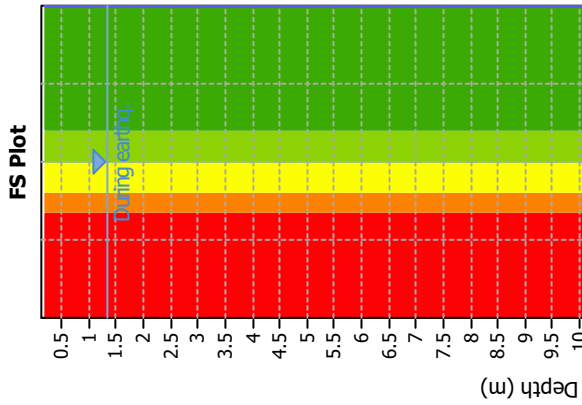
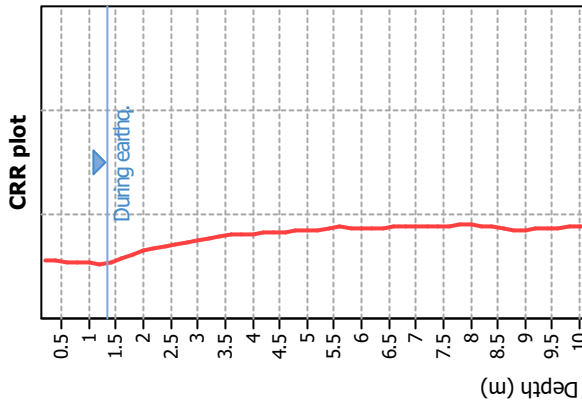
■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

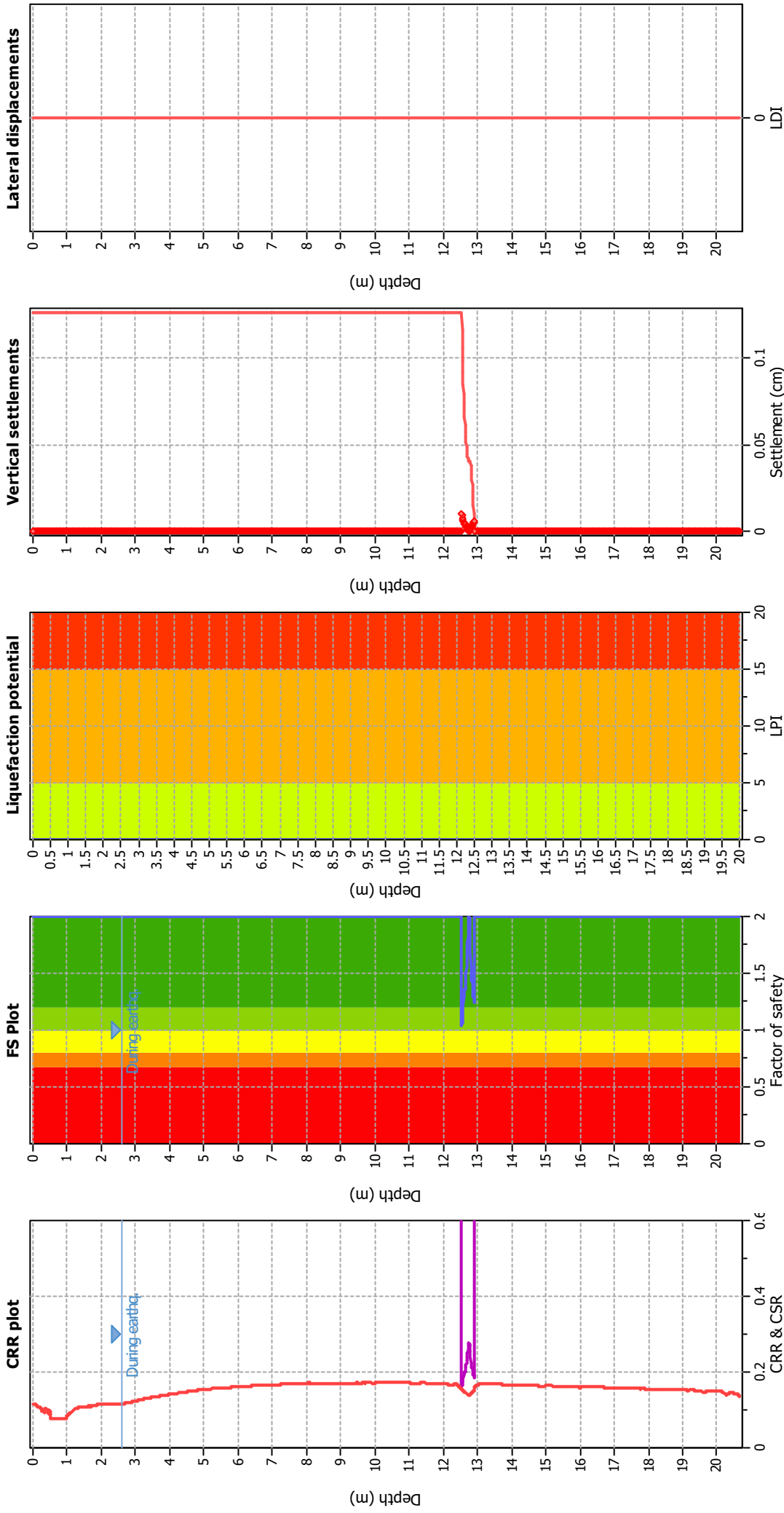
### F.S. color scheme

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

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude  $M_w$ : 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 2.62 m

#### F.S. color scheme

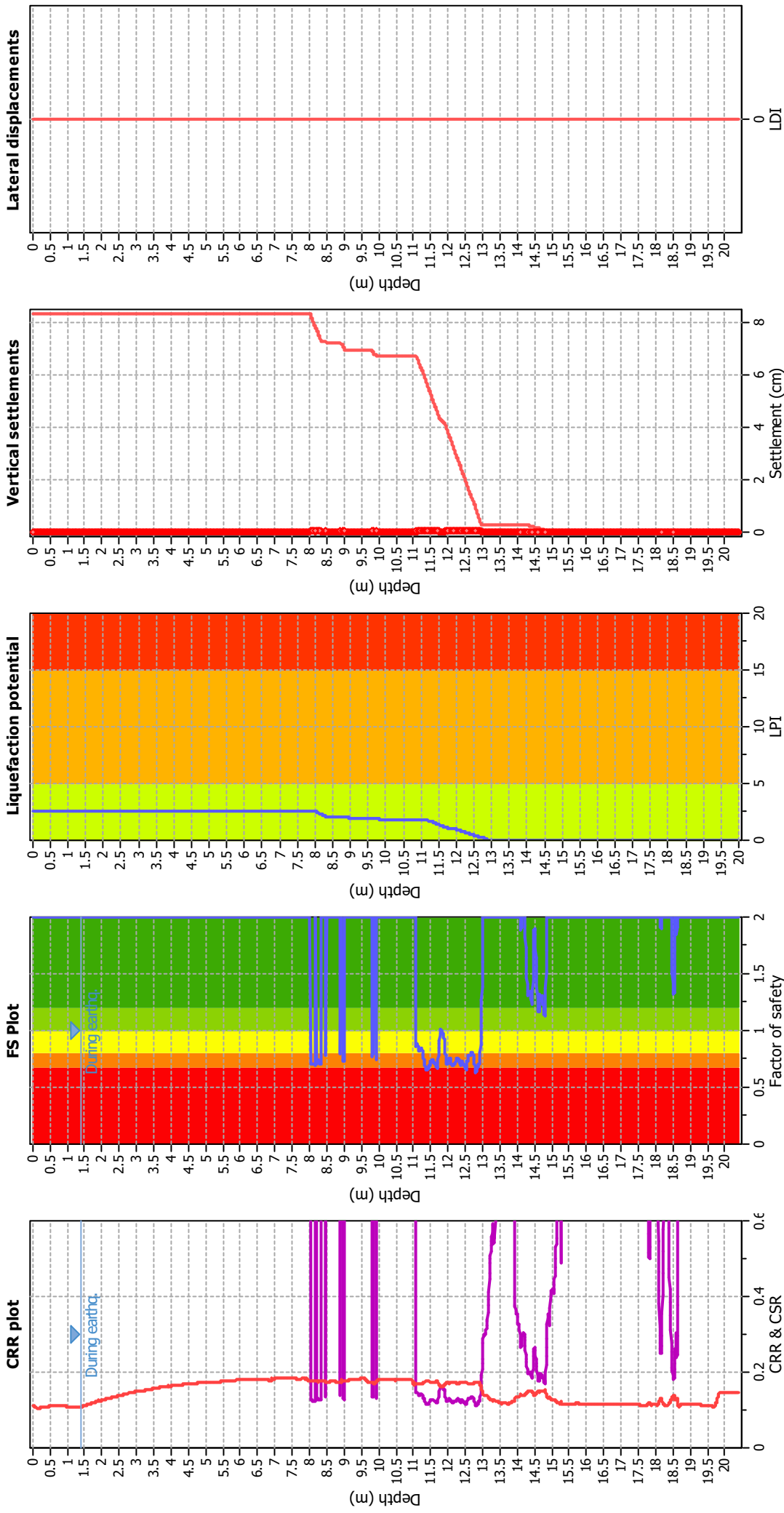
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlikely to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

Depth to GWT (earthq.): 2.62 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A  
 Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

### Liquefaction analysis overall plots



### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

Depth to GWT (earthq.): 1.40 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

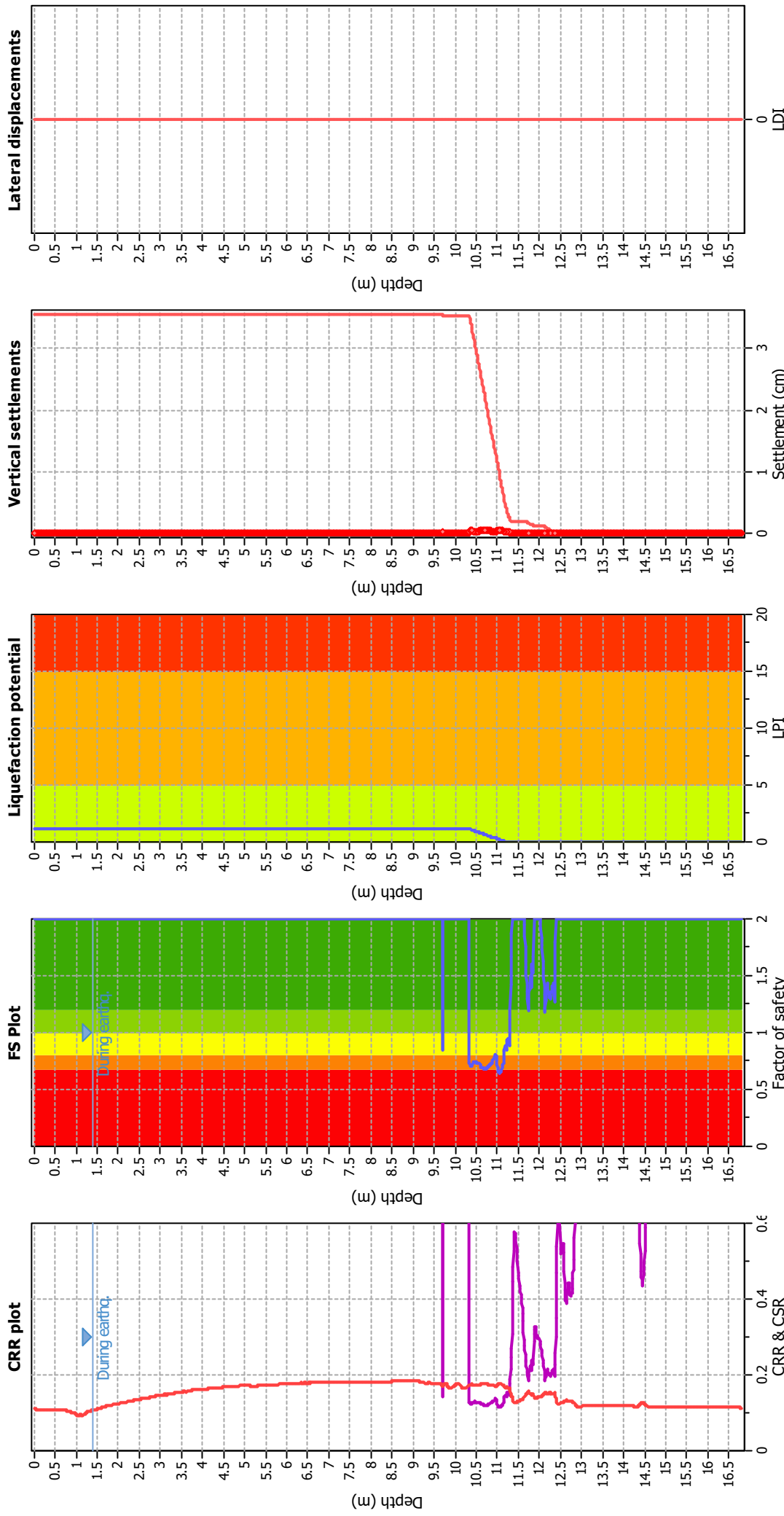
### F.S. color scheme

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

### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

#### F.S. color scheme

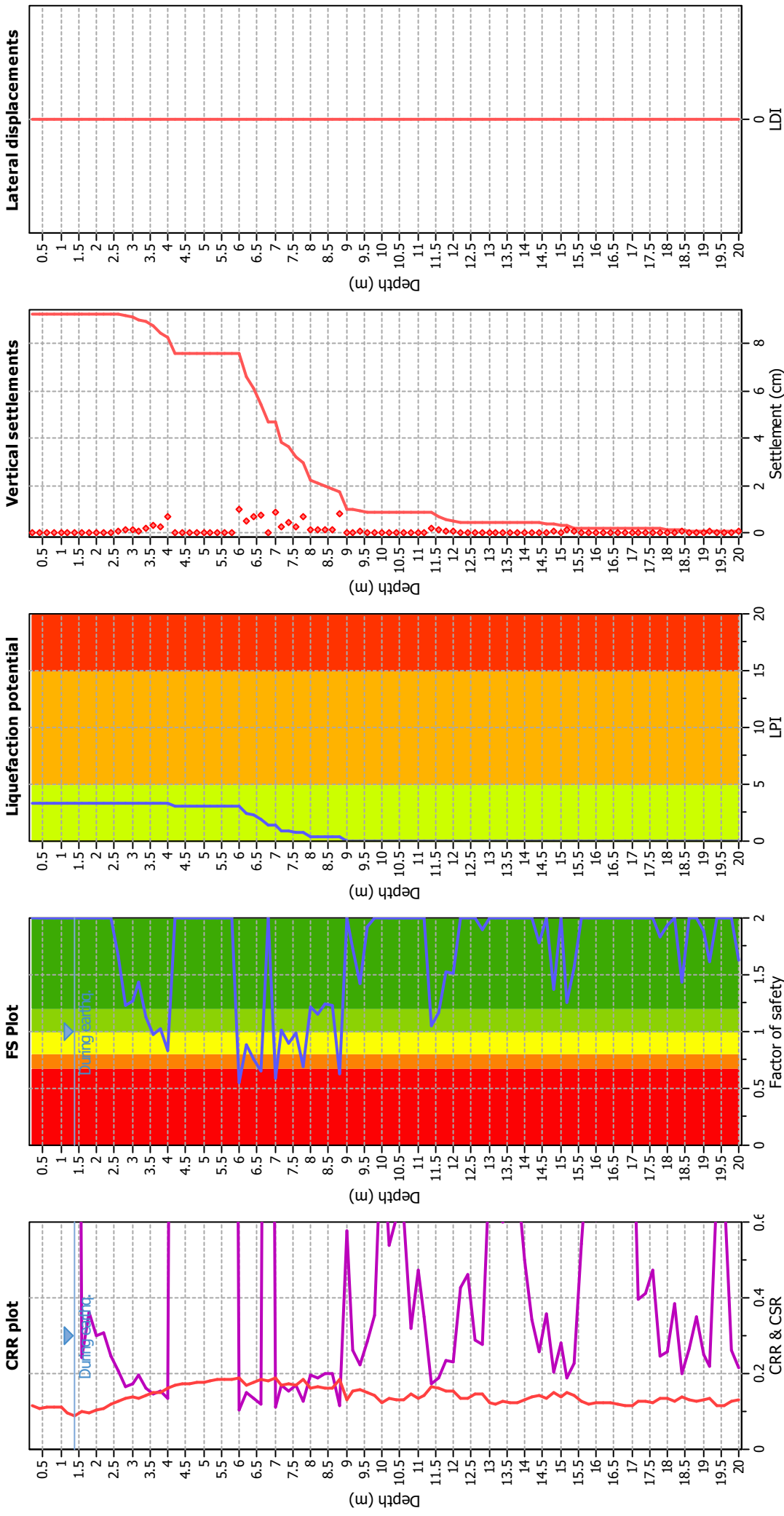
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlikely to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

Depth to GWT (earthq.): 1.40 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A  
 Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 16.80 m

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

#### F.S. color scheme

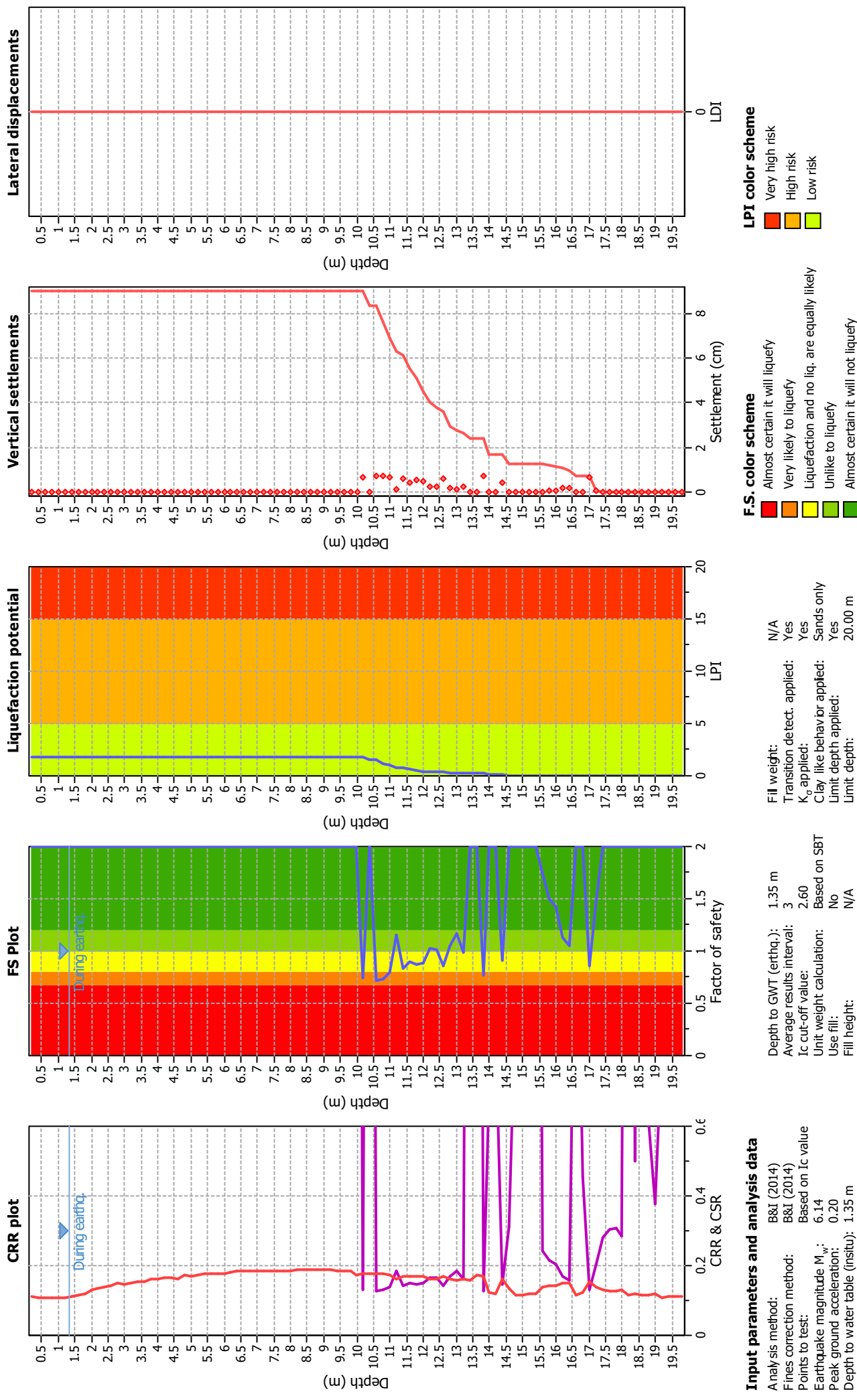
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlikely to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

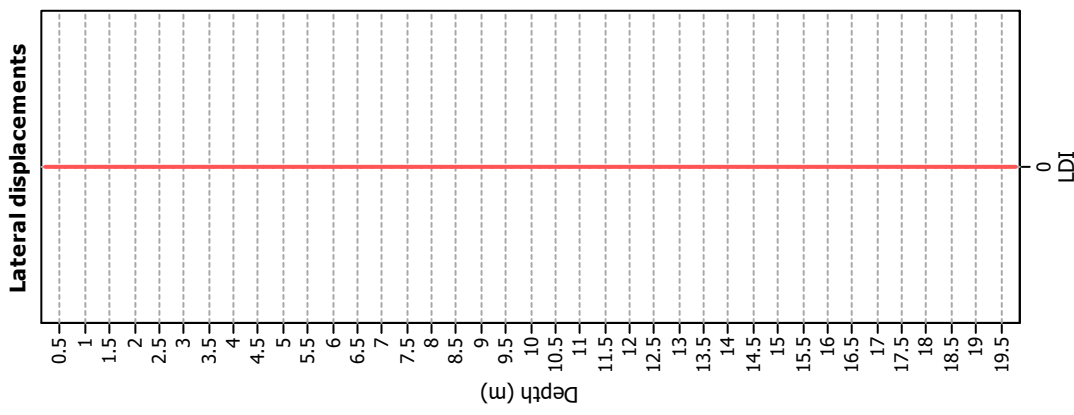
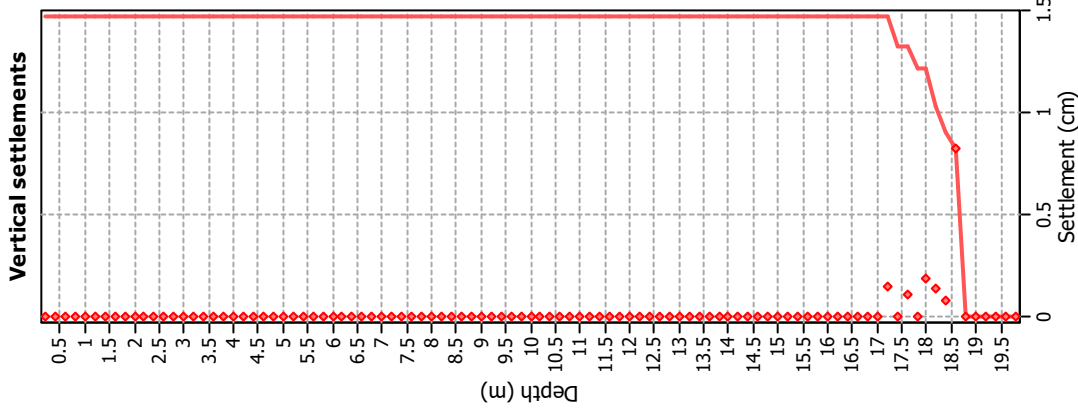
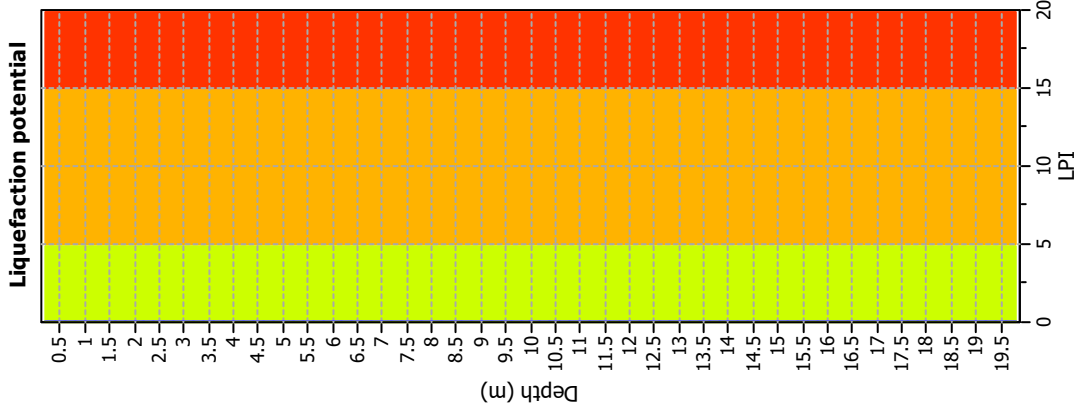
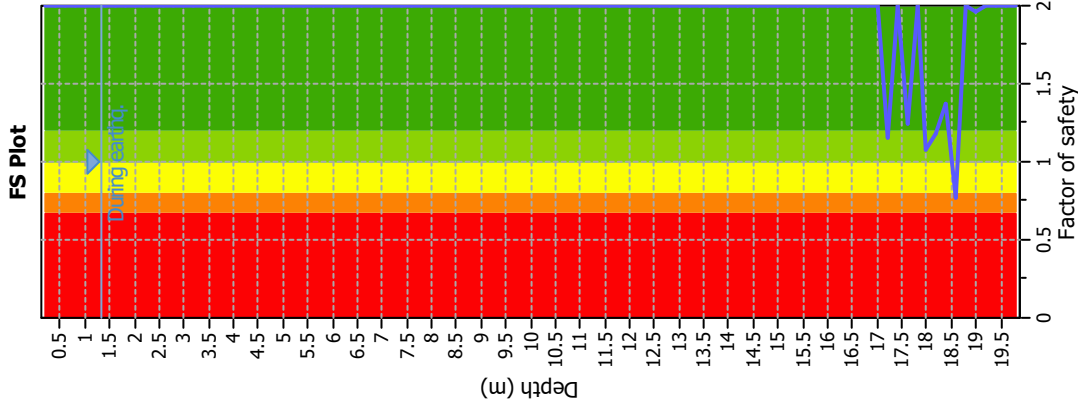
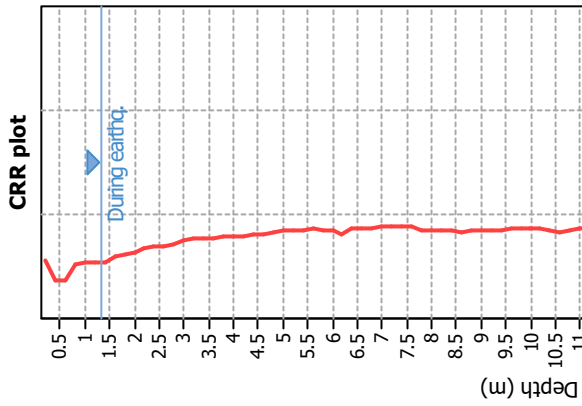
■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

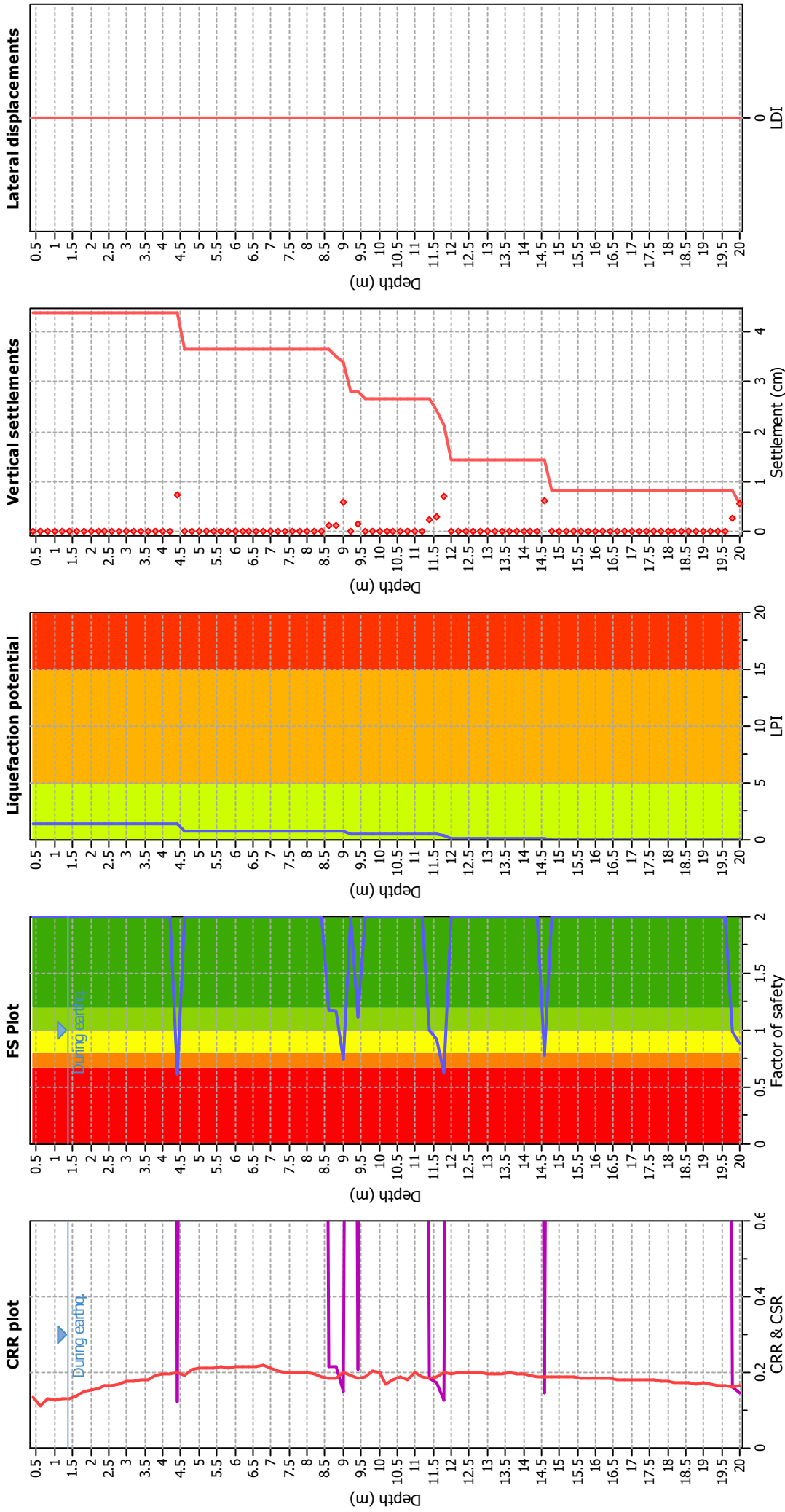
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.24  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

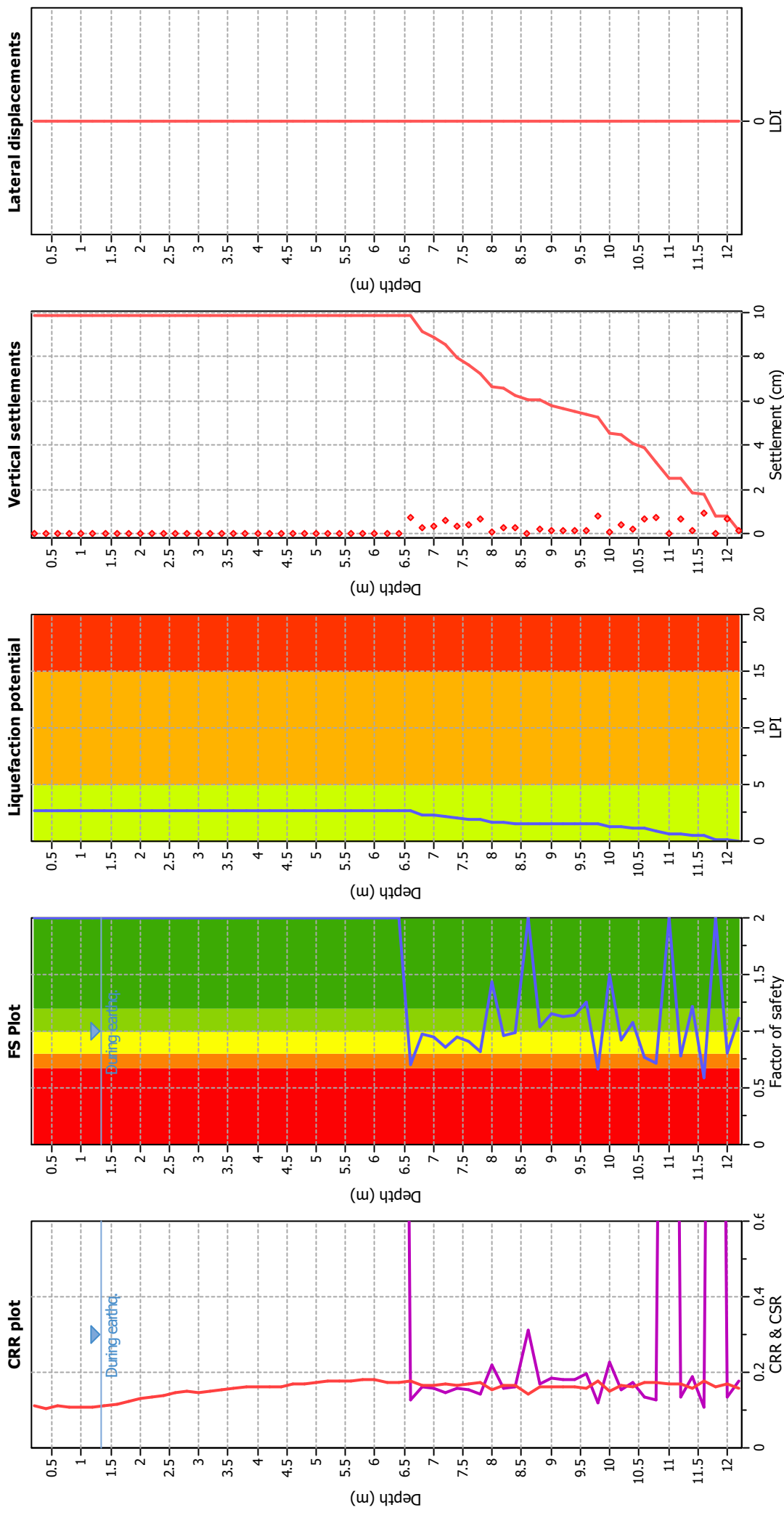
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

**F.S. color scheme**

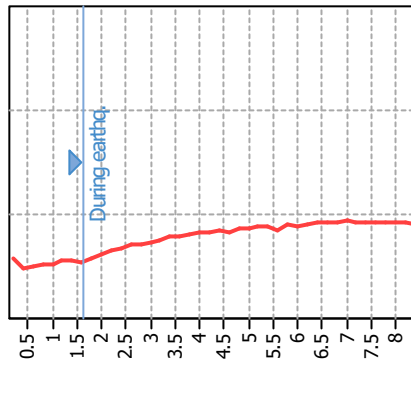
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

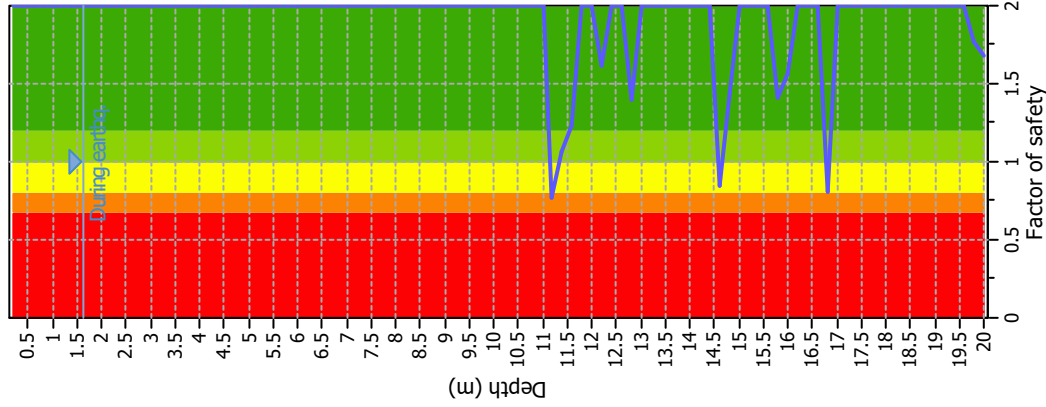
- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Liquefaction analysis overall plots

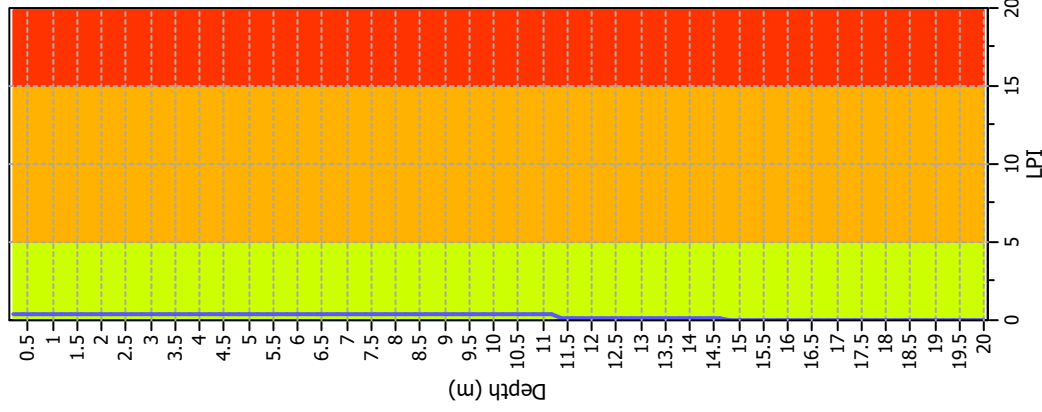
**CRR plot**



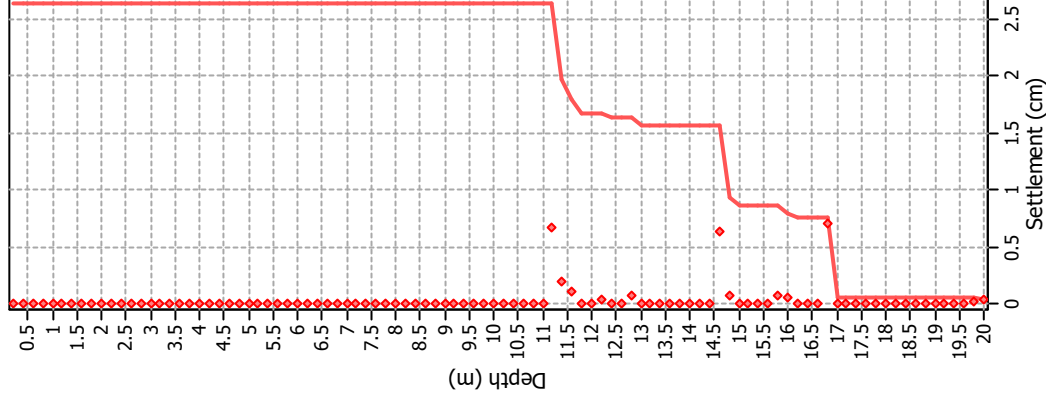
**FS Plot**



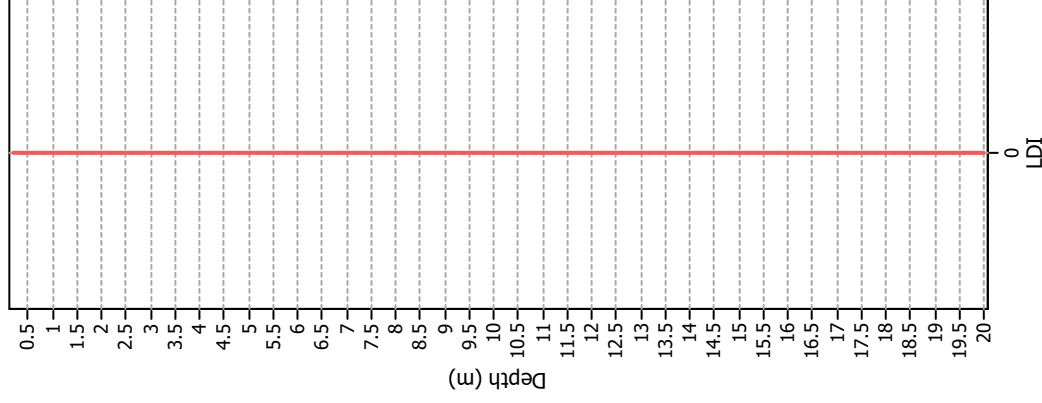
**Liquefaction potential**



**Vertical settlements**



**Lateral displacements**



**Input parameters and analysis data**

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.61 m

Depth to GWT (earthq.): 1.61 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

**F.S. color scheme**

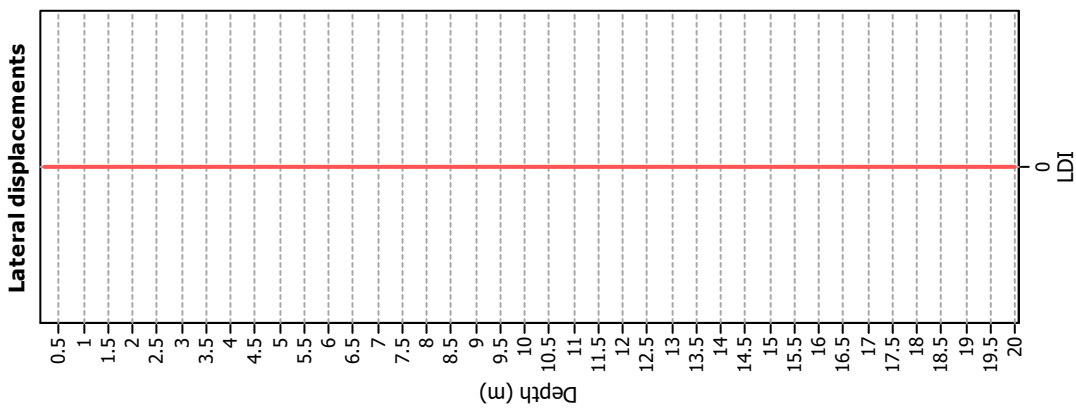
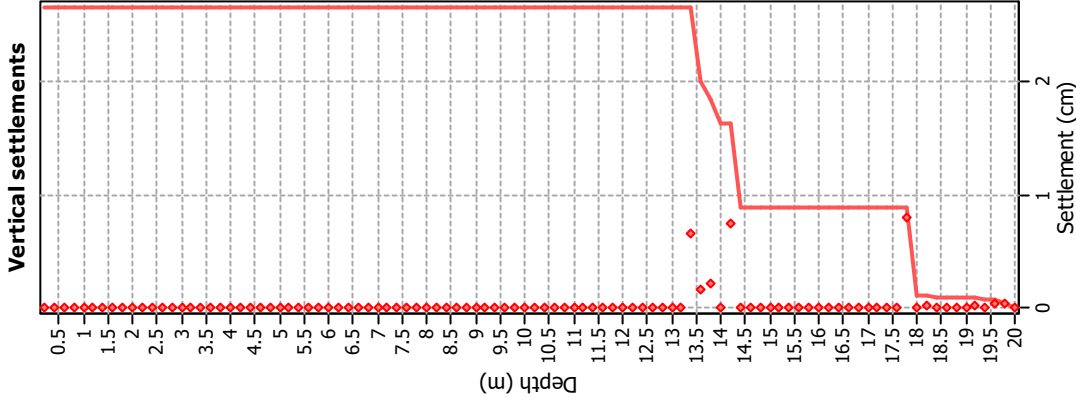
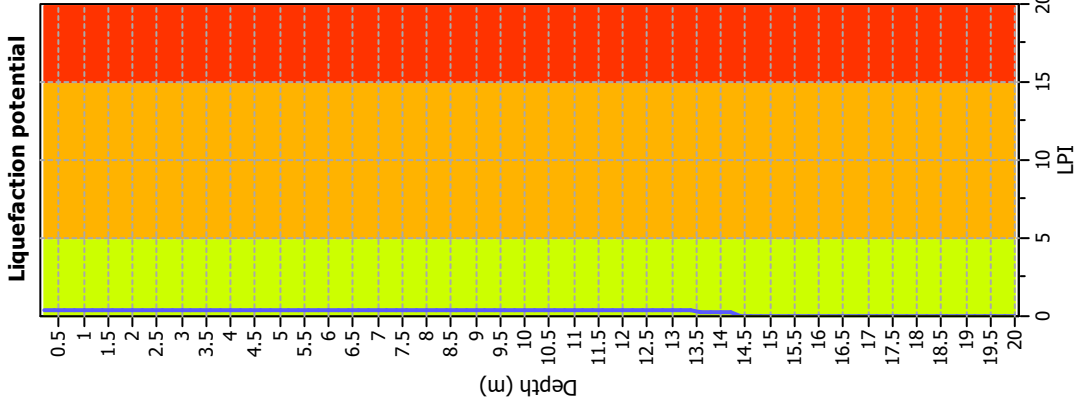
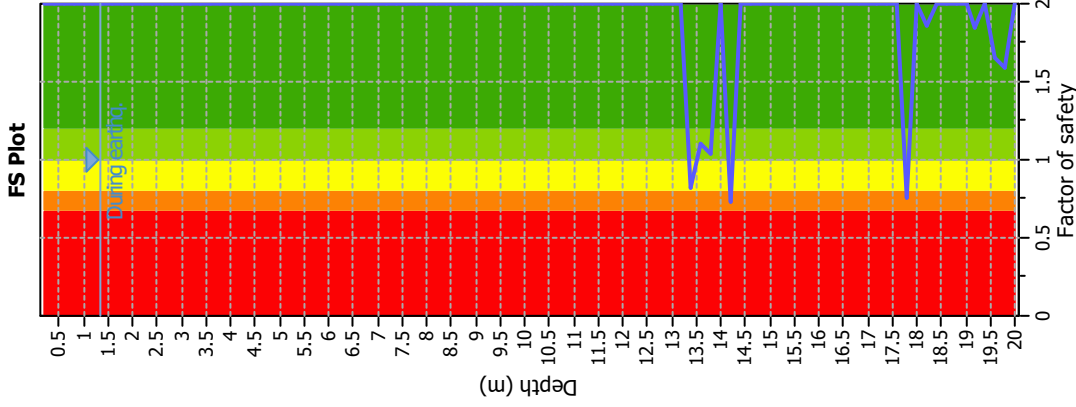
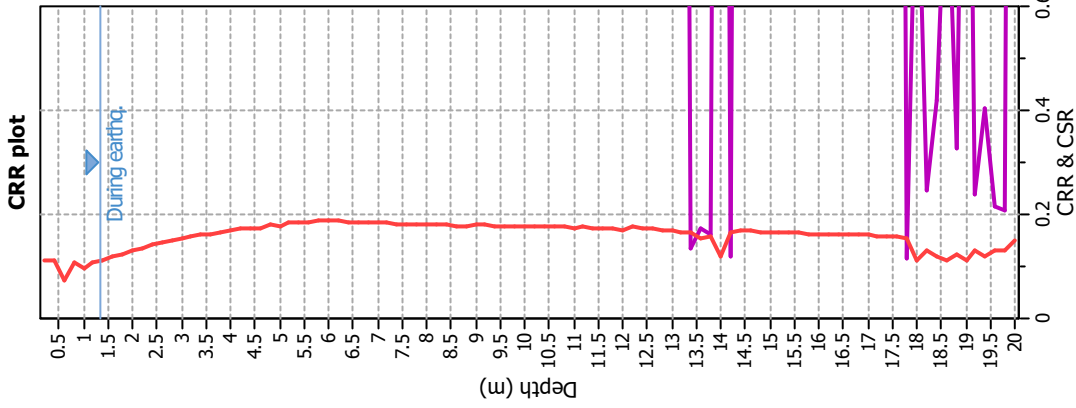
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlikely to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

#### F.S. color scheme

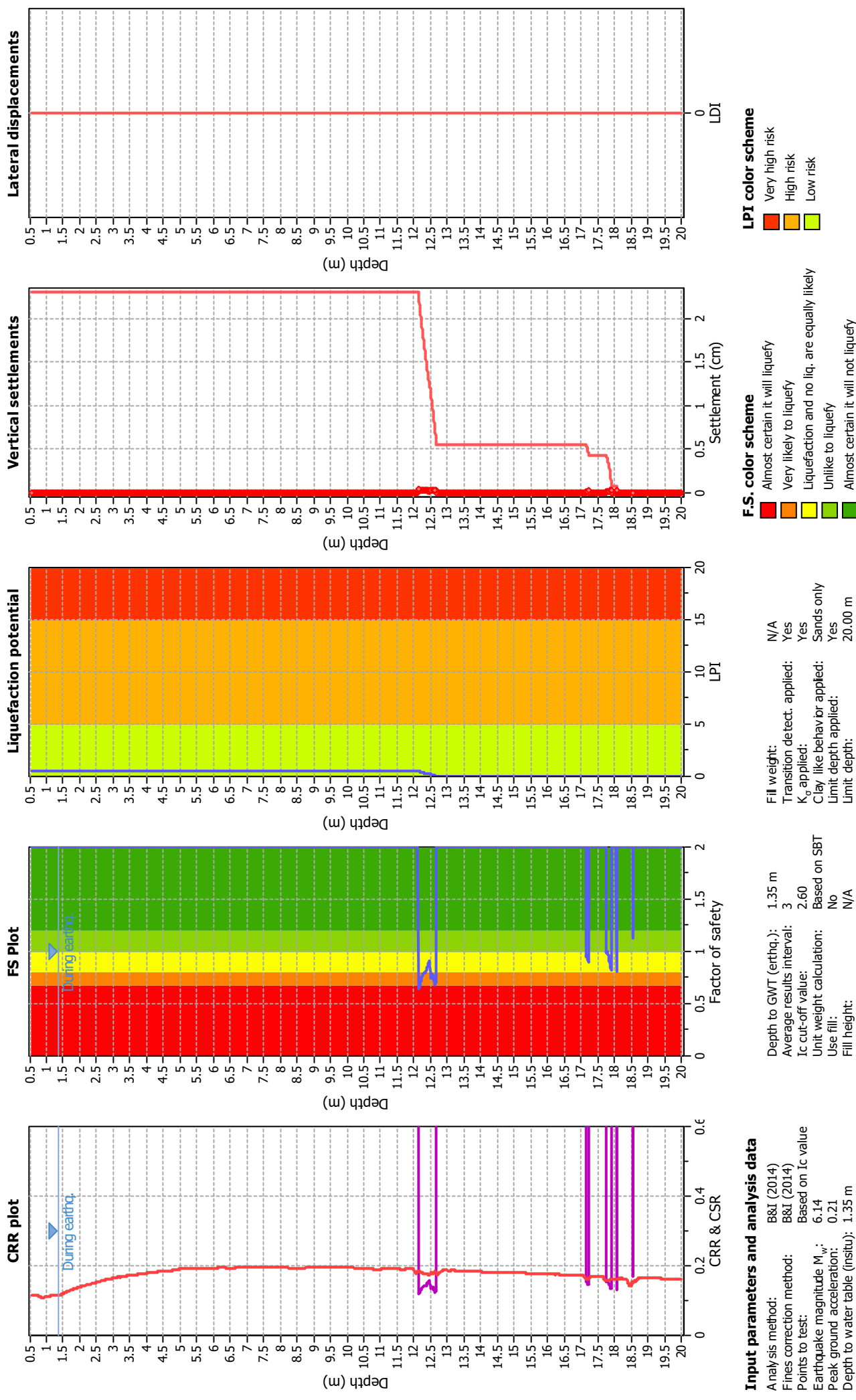
Almost certain it will liquefy  
 Very likely to liquefy  
 Liquefaction and no liq. are equally likely  
 Unlikely to liquefy  
 Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

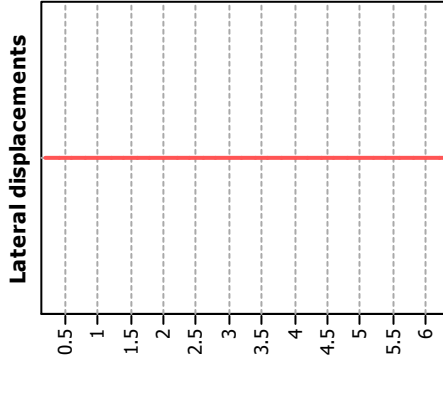
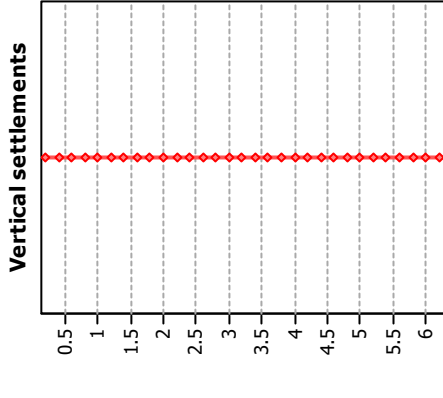
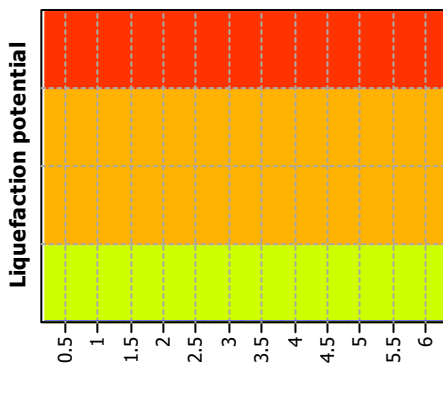
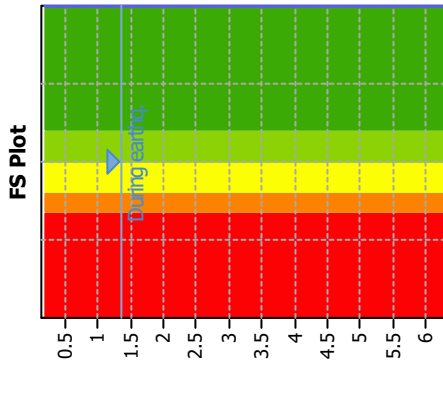
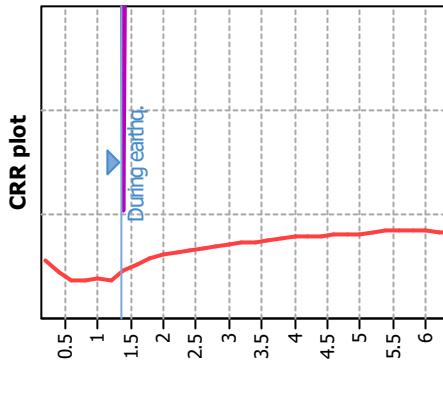
Very high risk  
 High risk  
 Low risk



### Liquefaction analysis overall plots



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.20  
 Depth to water table (insitu): 1.35 m

Depth to GWT (earthq.): 1.35 m  
 Average results interval: 3  
 I<sub>c</sub> cut-off value: 2.60  
 Unit weight calculation: Based on SBT  
 Use fill: No  
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
 Transition detect. applied: Yes  
 K<sub>s</sub> applied: Yes  
 Clay like behavior applied: Sands only  
 Limit depth applied: Yes  
 Limit depth: 20.00 m

#### F.S. color scheme

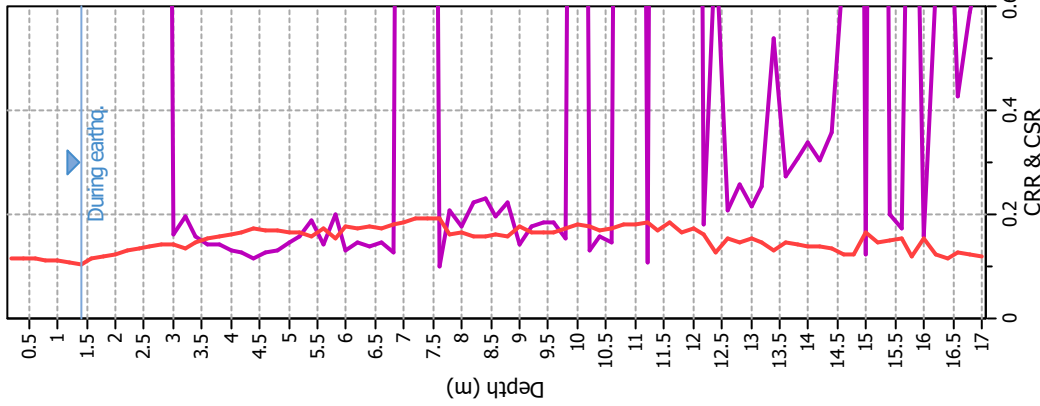
■ Almost certain it will liquefy  
■ Very likely to liquefy  
■ Liquefaction and no liq. are equally likely  
■ Unlikely to liquefy  
■ Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

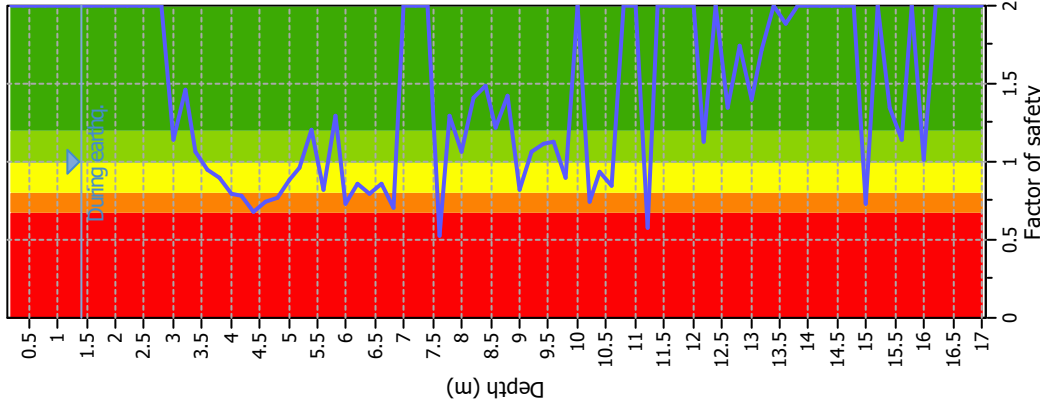
■ Very high risk  
■ High risk  
■ Low risk

### Liquefaction analysis overall plots

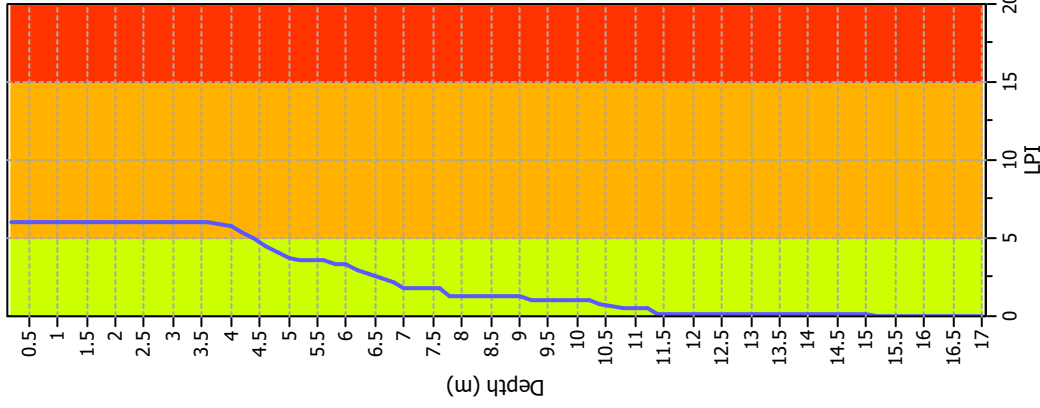
**CRR plot**



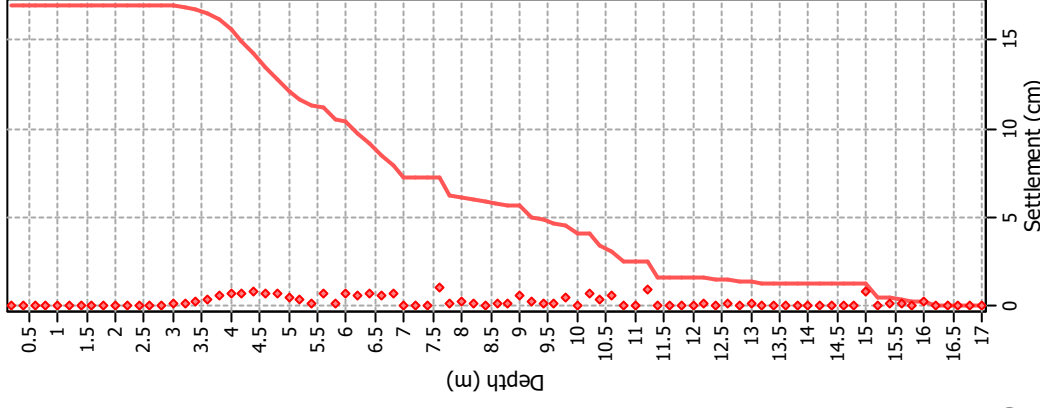
**FS Plot**



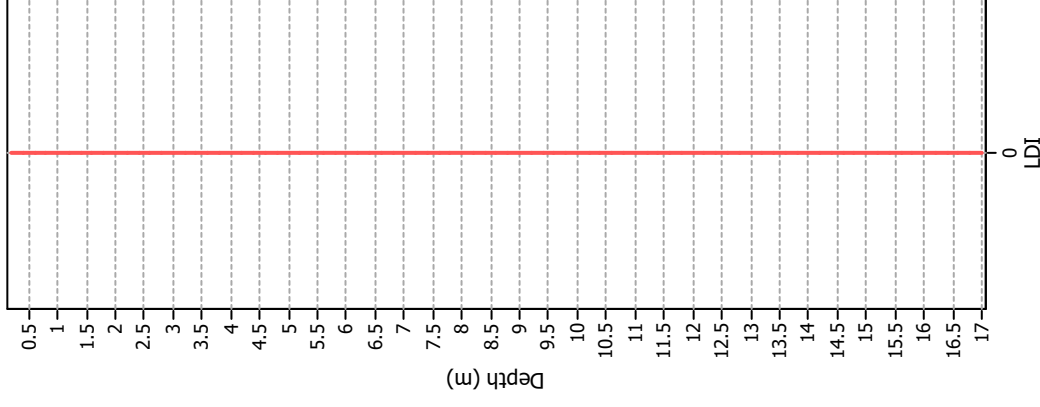
**Liquefaction potential**



**Vertical settlements**



**Lateral displacements**



**Input parameters and analysis data**

Analysis method: B&I (2014)  
 Fines correction method: B&I (2014)  
 Points to test: Based on I<sub>c</sub> value  
 Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 6.14  
 Peak ground acceleration: 0.21  
 Depth to water table (insitu): 1.40 m

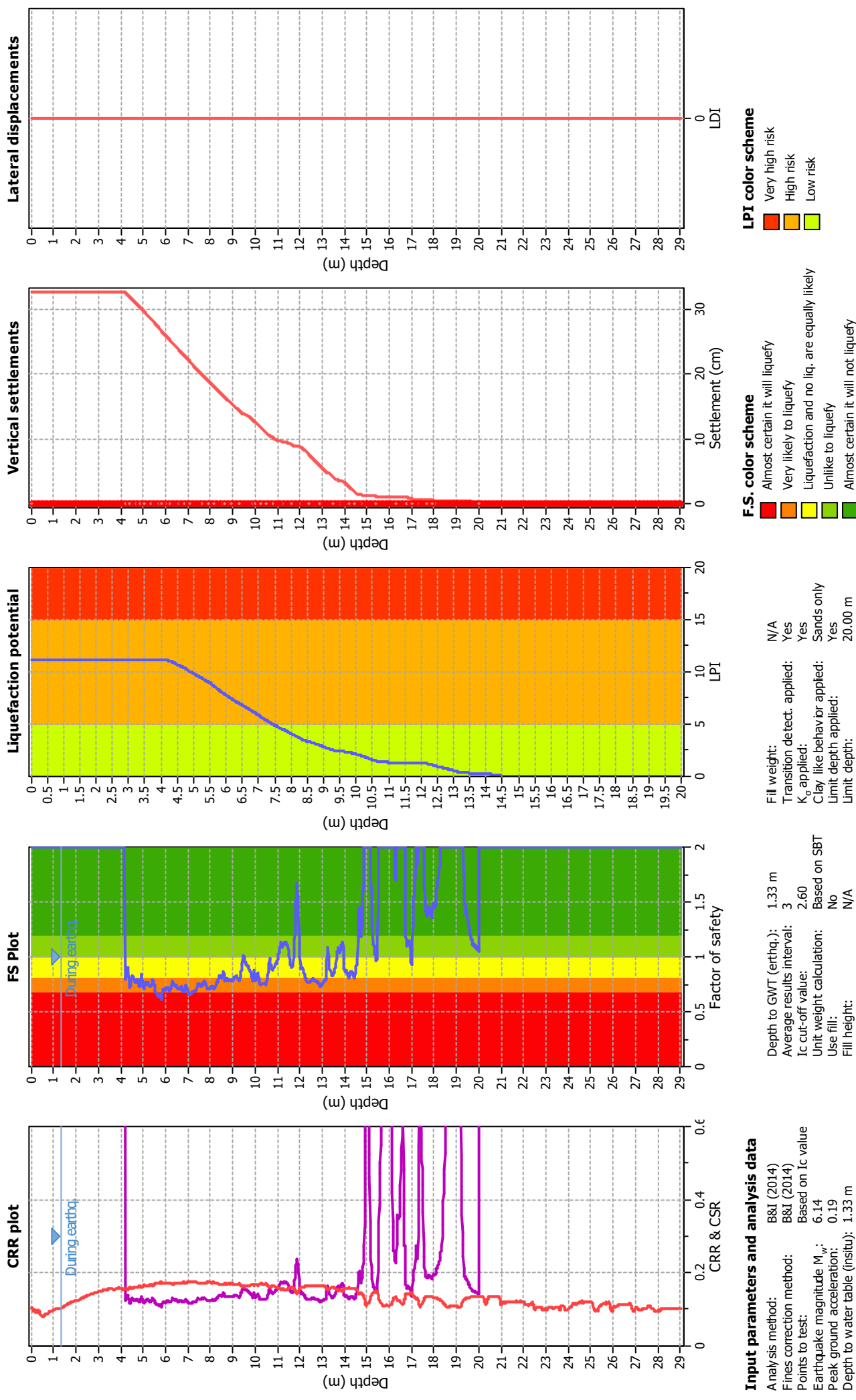
**F.S. color scheme**

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

### Liquefaction analysis overall plots



# **ALLEGATO 2**





# **Sezioni litotecniche**

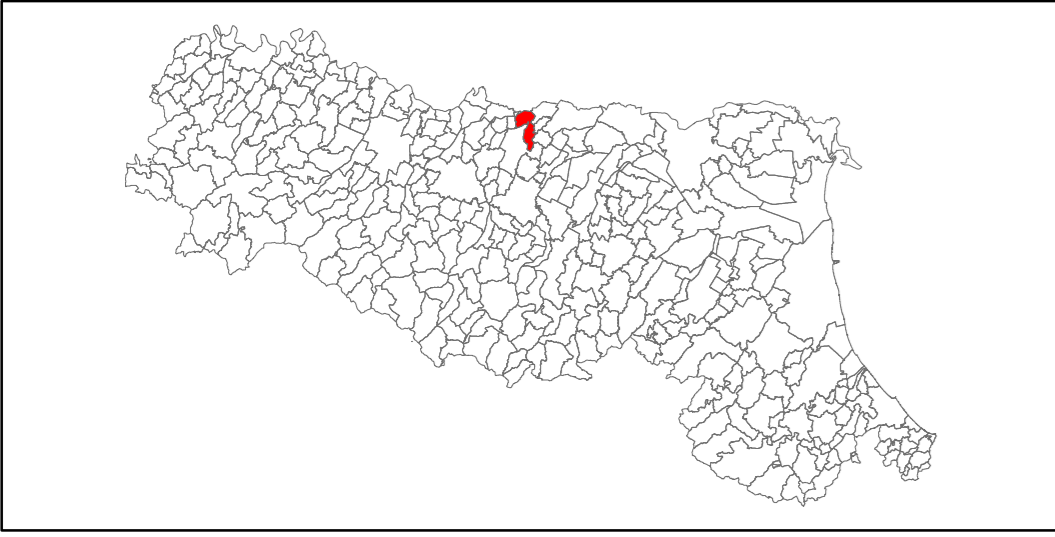




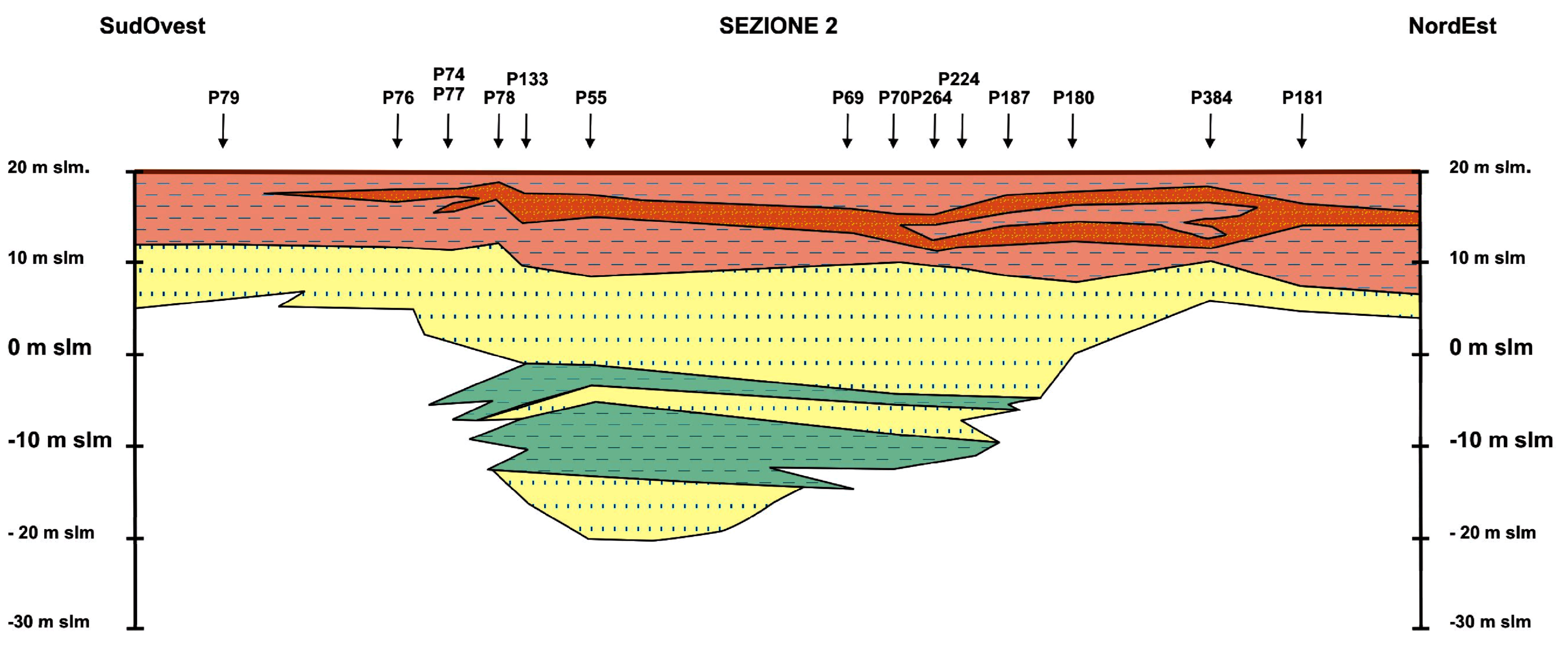
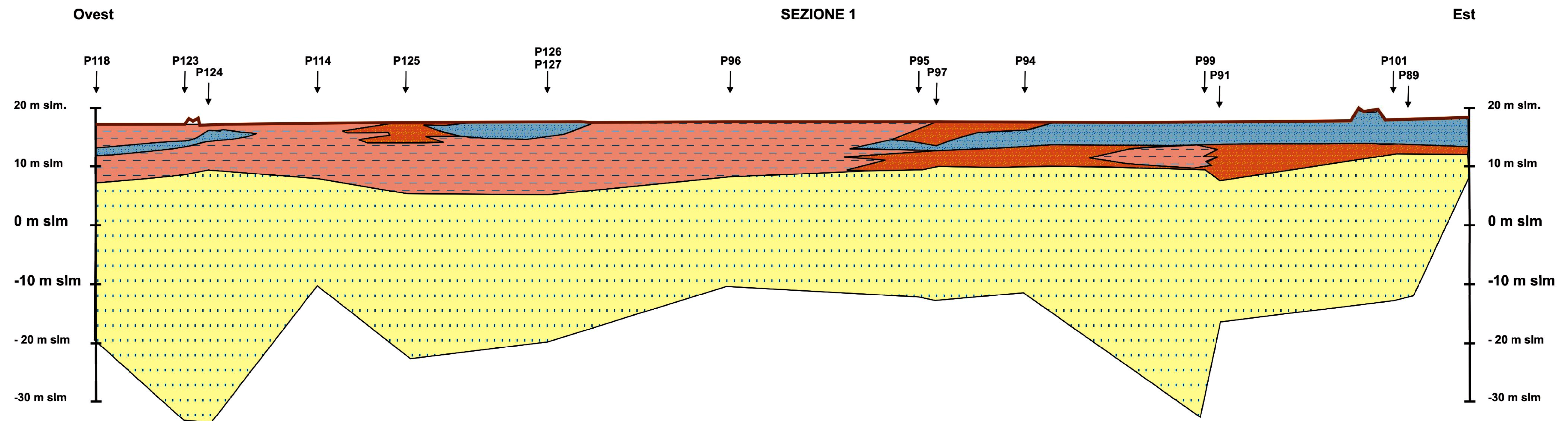
# MICROZONAZIONE SISMICA

## Sezioni litotecniche

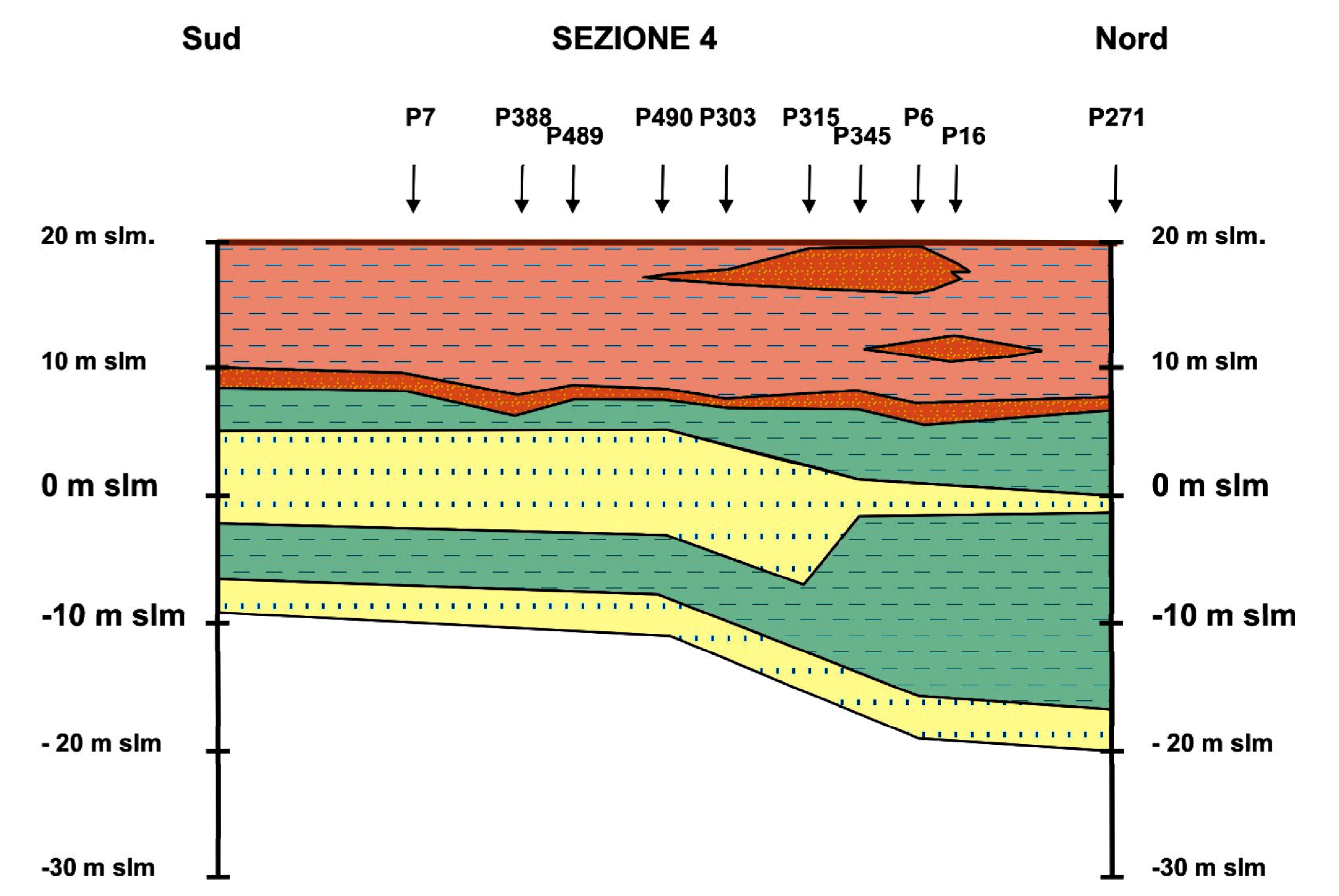
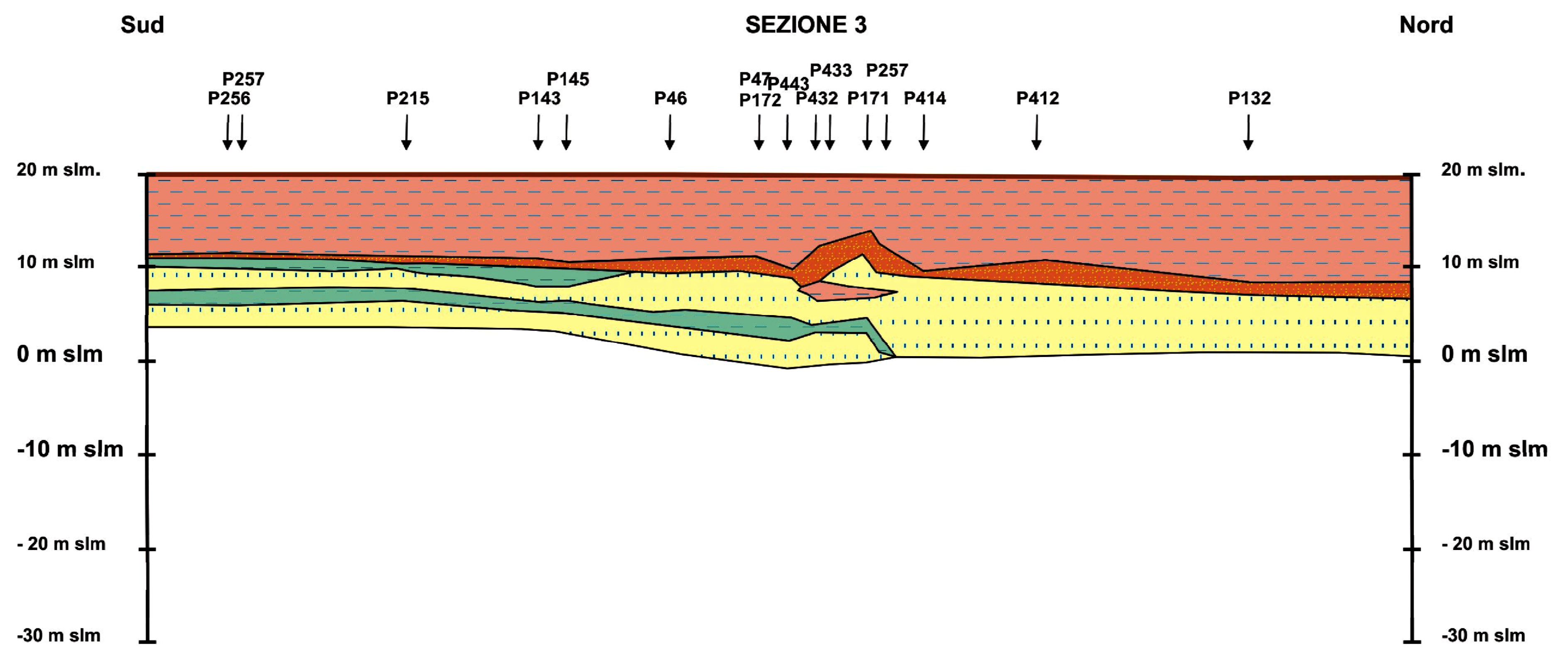
Regione Emilia – Romagna  
Comune di Novi di Modena



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia Romagna	Dott. Geol. Giorgio Gasparini	Gennaio 2022



- Argille e limi (dominio appenninico)
  - Sabbie (dominio appenninico)
  - Limi (dominio appenninico)
  - Sabbie (dominio padano)
  - Argille e limi intercalate alle sabbie del dominio padano
- 100 m







# **ALLEGATO 3**





## **Allegato 3.1**

**Carta della rappresentazione  
percentuale del “danneggiamento  
del tessuto edilizio”.**



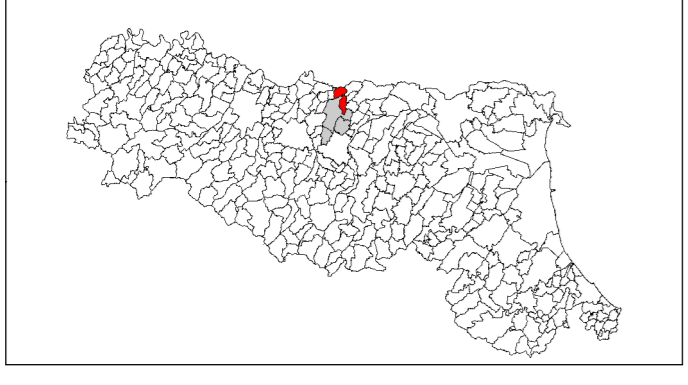


Carta della rappresentazione percentuale del "danneggiamento del tessuto edilizio".

Appendice 1

scala 1:15000

Regione Emilia - Romagna  
Comune di Novi di Modena



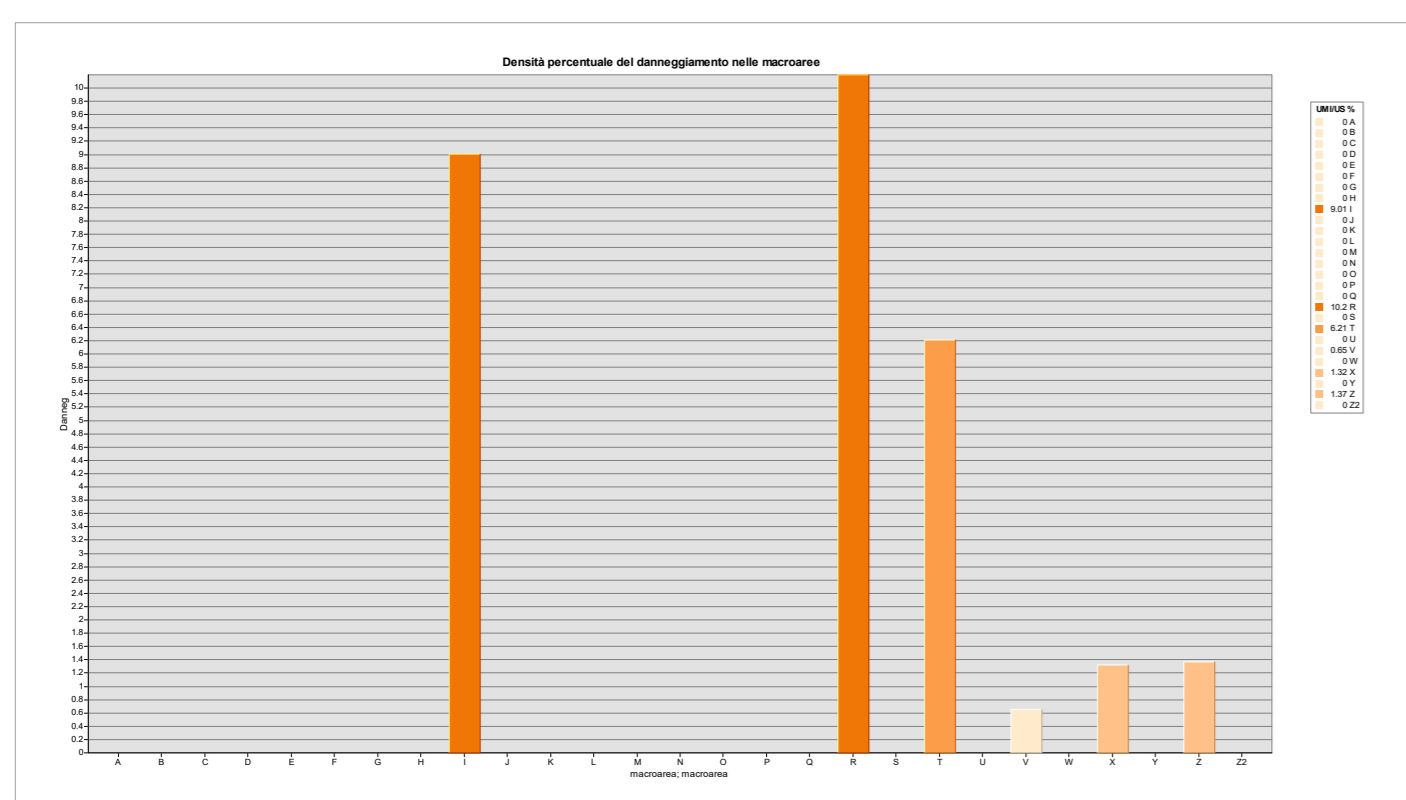
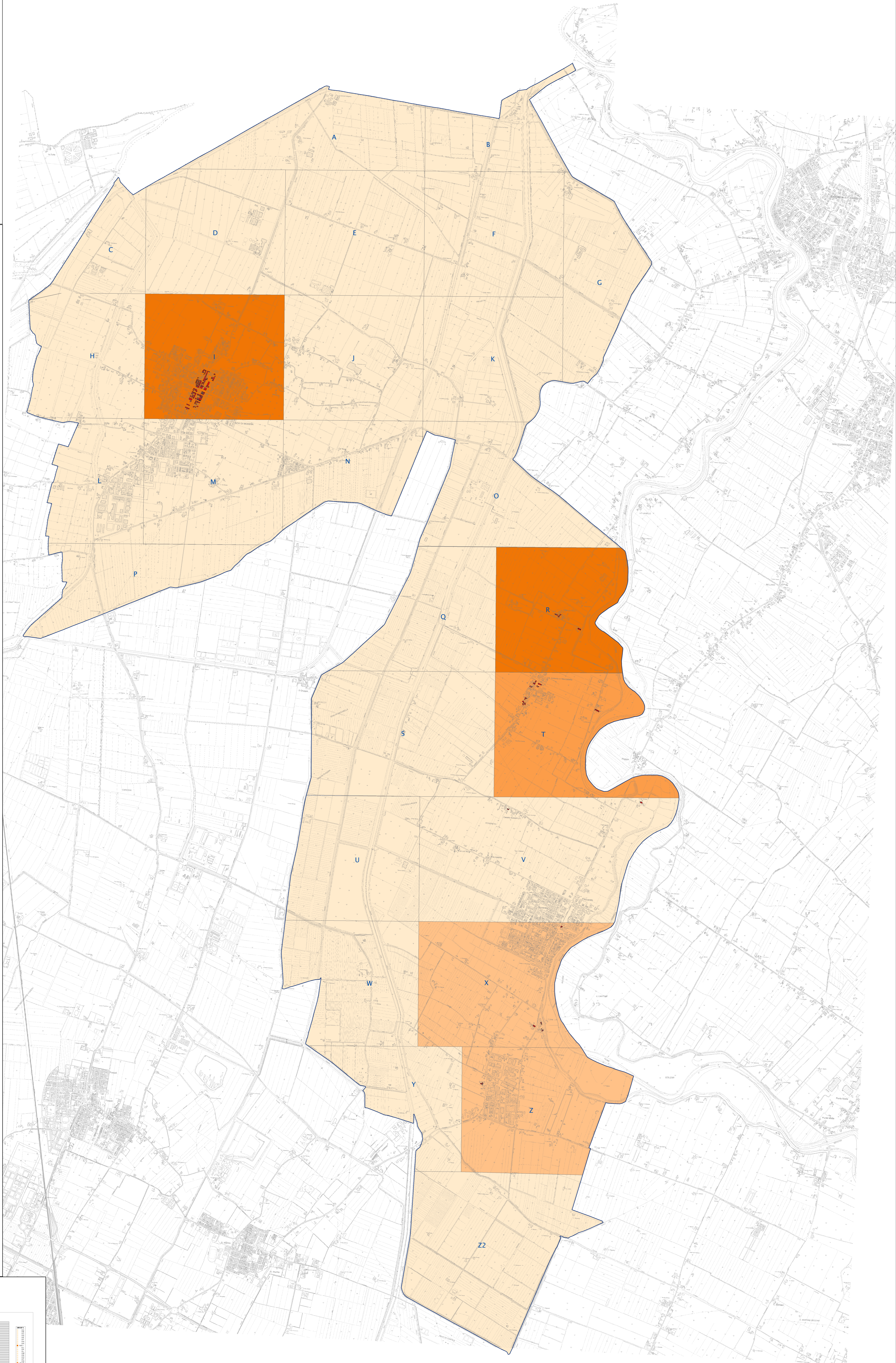
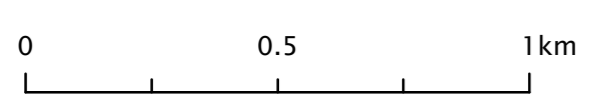
Regione Emilia Romagna	Soggetto realizzatore Dott. Geol. Giorgio Gasparini	Data Gennaio 2012
---------------------------	--	----------------------

Carta sulla rappresentazione percentuale del "danneggiamento" del tessuto edilizio in seguito all'evento con epicentro "Medolla" del maggio 2012, magnitudo 5.6.

Codice Provincia : 036  
Codice Comune : 044

Legenda

- Limite comunale
- Edifici danneggiati (UMI)
- Esito AeDES
- Unità minime d'intervento
- Macroarea: densità % del danno
- UMI / US %
- 0 - 0,6 %
- 0,6 - 1 %
- 1 - 6 %
- 6 - 10 %







## **Allegato 3.2**

**Carta di confronto tra  
il “danneggiamento” e  
lo “scuotimento” superficiale.**





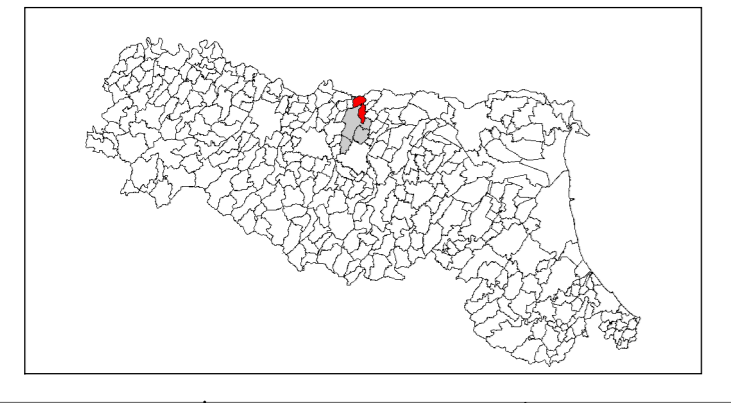


**Carta di confronto tra il "danneggiamento" e lo "scuotimento" superficiale.**

**Appendice 2**

scala 1:15000

Regione Emilia - Romagna  
Comune di Novi di Modena



Regione Emilia Romagna	Soggetto realizzatore Dott. Geol. Giorgio Gasparini	Data Gennaio 2012
---------------------------	--	----------------------

Carta di confronto tra il "danneggiamento" e i picchi di accelerazione massima orizzontale registrati in superficie in seguito all'evento con epicentro "Medolla" del maggio 2012, magnitudo 5.6 (PGA: fonte INGV)

**Legenda**

Codice Provincia : 036  
Codice Comune : 044

Limite comunale

Edifici danneggiati (UMI)

Esito AeDES  
 Unità minime d'intervento

Macroarea: densità % del danno

UMI / US %	Color
0 - 0,6 %	Lightest Orange
0,6 - 1 %	Light Orange
1 - 6 %	Medium Orange
6 - 10 %	Darkest Orange

Epicentro "Medolla"

PGA [%]	Color
0,01 - 0,1	Lightest Purple
0,12 - 0,2	Light Purple
0,22 - 0,3	Medium Purple
0,32 - 0,34	Darkest Purple

Limite di profondità del bedrock

isobate [m]	Color
100	Red
150 Nord	Blue
150 Sud	Green

