



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Cervia



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA	STUDIO SAMUEL SANGIORGI Via Valsellustra 32 40060 Dozza (BO)	Aprile 2017

INDICE GENERALE

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	Contenuti dello studio.....	3
1.2	Riferimenti normativi.....	5
1.3	Gli elaborati a corredo dello studio.....	5
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	Riferimenti bibliografici.....	7
2.2	Sismicità storica.....	8
2.3	Sorgenti sismogeniche.....	9
2.4	Ulteriori elementi di pericolosità sismica di riferimento per la pianificazione territoriale.....	10
	2.4.1 <i>Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica (DAL 112/2007 e DGR 2193/2015)</i>	10
	2.4.2 <i>Lo studio geologico e sismico del territorio comunale elaborato per il Quadro Conoscitivo del PSC (2012).</i>	13
	2.4.3 <i>Lo studio geologico con approfondimenti sismici di livello 3 elaborato per l'aggiornamento del Piano dell'Arenile comunale (2016).</i>	14
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	15
3.1	Inquadramento geotettonico e geologico-stratigrafico.....	15
3.2	Geomorfologia.....	20
3.3	Idrogeologia.....	23
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	25
4.1	Le indagini eseguite per la microzonazione sismica.....	26
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	33
5.1	Litologie sub-affioranti.....	33
5.2	Sottosuolo profondo.....	35
6	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	43
6.1	Substrato rigido e la modellazione di RSL.....	43
6.2	Liquefacibilità.....	44
7	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	48
7.1	Cenni introduttivi.....	48
7.2	I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS.....	48
7.3	Zone suscettibili di amplificazioni locali: approfondimenti di “livello 3”.....	49
	A) <i>ACCELERAZIONI DI PICCO AL SUOLO E VALORI DI FA PGA</i>	53
	B) <i>RAPPORTI SPETTRALI DI AMPLIFICAZIONE (FUNZIONE DI TRASFERIMENTO)</i>	53
	C) <i>INTENSITA' SPETTRALE DI HOUSNER</i>	54
7.4	Gli approfondimenti nelle “zone di attenzione” per liquefazioni.....	54
8	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	62
8.1	Carta delle Indagini (Tavola 1).....	62

8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (Tavola 2).....	62
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3).....	63
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (Tavola 4).....	63
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavola 5).....	64
8.6	Carta di microzonazione sismica livello 3 (Tavole 6a/b, 7a/b, 8a/b, 9a/b).....	64
9	BIBLIOGRAFIA.....	66

1 INTRODUZIONE

1.1 Contenuti dello studio

L'Amministrazione comunale di Cervia è risultata destinataria di contributi stanziati dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale per la realizzazione di studi di MS e di analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), come previsto dalla Legge 77/2009.

Al Raggruppamento Temporaneo di Professionisti, costituito dai geologi Samuel Sangiorgi (mandatario) e Tiziano Righini, inoltre dall'architetto Lucia Marchetti e dall'ingegnere Devis Sbarzaglia (mandanti), l'Amministrazione comunale ha pertanto affidato le attività di elaborazione delle suddette analisi di MS e CLE, ai sensi dell'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 171/2014 (OCDPC 171/2014), recepita dalla Regione Emilia-Romagna con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1227/2015.

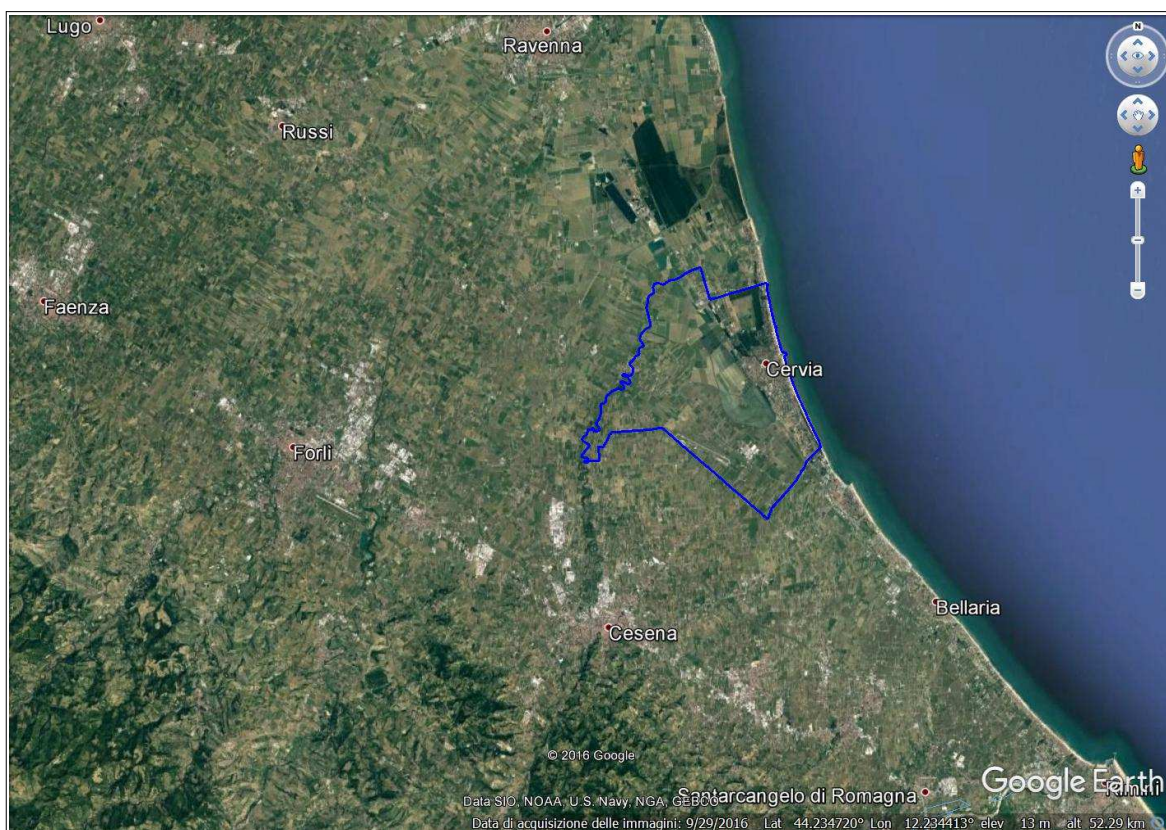


Figura 1.1 - Localizzazione del territorio amministrativo del Comune di Cervia (da: "Google Earth")

Per quanto riguarda lo studio di microzonazione sismica, si sono espletate le seguenti attività:

- raccolta dei dati di sottosuolo disponibili ("Banca Dati Geognostica" predisposta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale; relazioni geologiche recuperate negli archivi dell'Ufficio Tecnico comunale; ecc.)
- l'esecuzione di nuove indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio "terre";
- approfondimenti di "livello 3" (modellazioni numeriche di Risposta Sismica Locale; verifiche

della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma dei sedimenti);

- archiviazione informatica dei dati ed elaborazione delle cartografie di MS secondo gli standard indicati dalla CTMS (v. 4.0b).

La figura 1.1 propone un inquadramento del limite comunale di Cervia: si tratta di un territorio amministrativo situato in Provincia di Ravenna, in contesto di pianura e costa, di estensione areale complessiva pari a circa 31,66 Km² e con una popolazione residente complessiva di circa 29.000 abitanti.

La figura 1.2 localizza con maggior dettaglio le aree urbane/urbanizzate (il Capoluogo e le frazioni) ove si sono concentrate la maggior parte delle indagini d'approfondimento): rappresentano gli areali interessati dallo studio di microzonazione sismica.

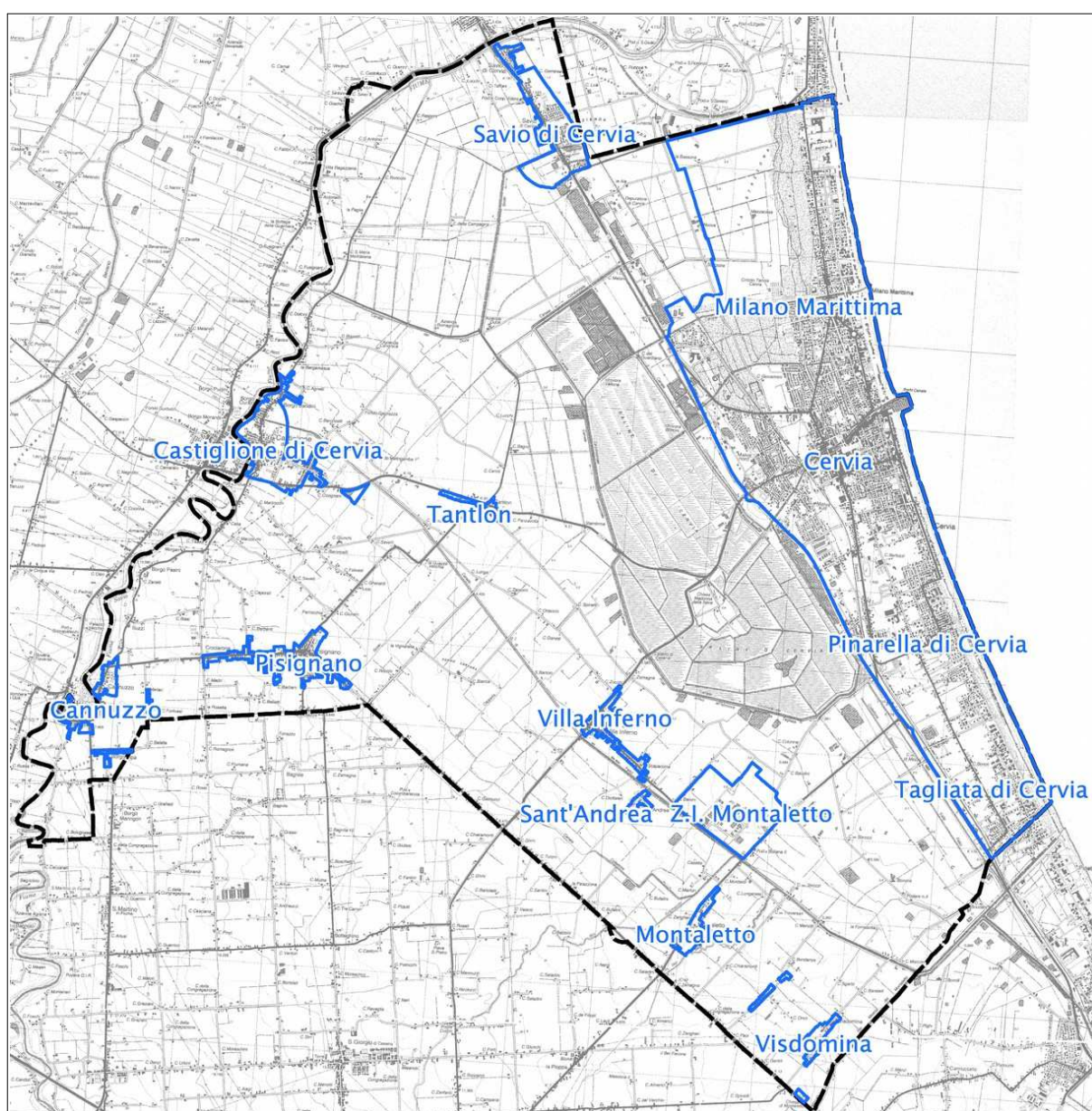


Figura 1.2 - Localizzazione delle aree oggetto di microzonazione (su base topografica alla scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna)

1.2 Riferimenti normativi

Il presente lavoro è redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato C della Delibera 1227/2015 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna, dal titolo "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile 171/2014 a favore degli Enti locali".

Per quanto non specificato nel suddetto documento, i riferimenti tecnici per la realizzazione dello studio e per l'elaborazione e la redazione delle tavole cartografiche sono rappresentati dai seguenti testi:

- ✓ "Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, ottobre 2015), da qui in avanti "Standard MS 4.0b";
- ✓ "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011), da qui in avanti "ICMS".

Nella redazione dello studio ci si è inoltre riferiti alle seguenti normative:

- ✓ Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007 Art. 16 c.1 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";
- ✓ Deliberazione della Giunta Regionale n. 2193/2015 "Art. 16 della LR n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n.112;
- ✓ LR 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- ✓ DM del 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

Si rammenta che la recente DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna ha apportato alcuni aggiornamenti agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica già definiti nella DAL 112/2007. Gli indirizzi regionali per gli studi di MS risultano in tal senso più congrui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/2008); gli aggiornamenti sono inoltre derivati dalle ulteriori esperienze (oltre otto anni) di applicazione della DAL 112/2007 e dalle ulteriori conoscenze scientifiche maturate a seguito degli ultimi importanti eventi sismici italiani (L'Aquila 2009 e Pianura emiliana 2012).

1.3 Gli elaborati a corredo dello studio

Gli elaborati aggiornati dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Cervia sono i seguenti:

- la presente Relazione Descrittiva (riprodotta in formato *.pdf) oltre a caratterizzare e inquadrare le aree oggetto delle analisi nel contesto geologico, geomorfologico e sismotettonico regionale, descrive le metodologie seguite e illustra i risultati dello studio di microzonazione rappresentati nelle diverse cartografie;

- le nove tavole cartografiche (riprodotte in formato *.pdf) elencate in tabella 1.1 e illustrate in dettaglio nel capitolo 8;
- l'archivio informatizzato dei dati delle indagini (alfanumerici e cartografici in formato *.shp – shapefile);
- le sezioni geologiche di riferimento per il territorio studiato (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 1;
- i rapporti delle indagini di nuova esecuzione (riprodotti in formato *.pdf), contenuti nell'Allegato 2.

Elaborato cartografico	Sigla Tavola	Scala
Carta delle indagini	Tavola 1_a/b	1:10.000
Carta geologico-tecnica	Tavola 2_a/b	1:10.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3_a/b	1:10.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	Tavola 4_a/b	1:10.000
Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	Tavola 5_a/b	1:10.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA _{PGA}	Tavola 6_a/b	1:10.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FH _{0,1-0,5}	Tavola 7_a/b	1:10.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FH _{0,5-1,0}	Tavola 8_a/b	1:10.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FH _{0,5-1,5}	Tavola 9_a/b	1:10.000

Tabella 1.1 – Elaborati cartografici aggiornati per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

Tutti gli elaborati sono stati realizzati secondo le specifiche indicate, per il primo, il secondo e il terzo livello di approfondimento, negli allegati C e D della DGR 1227/2015 della Regione Emilia-Romagna. Tali specifiche rimandano sostanzialmente alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS 4.0 (CTMS, 2015), che dettagliano ogni aspetto legato a tali studi, integrandoli con alcuni specifici elaborati aggiuntivi, come specificato al capitolo 8. Si segnala a questo proposito che l'obbligo di attenersi in modo rigoroso ai suddetti standard di rappresentazione, ha vincolato il presente lavoro sia a livello di articolazione delle tavole (numero e tipologia) e della relazione (titoli e ordine dei capitoli), che a livello di rappresentazione cartografica (tematismi rappresentati, legende e denominazioni, ma anche layout, colori e font dei caratteri) e di contenuti descrittivi.

Si è tuttavia prodotta un'ulteriore carta di microzonazione sismica di "livello 3" relativa al parametro FH_{0,5-1,5} (tavola 9) per coerenza con quanto richiesto nella DGR 2193/2015.

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento i raster tipografici georeferenziati della Regione Emilia dalla Regione Emilia Romagna (DBT scala 1.5.000), aggiornata al 2013. Per questo lavoro, la base topografica vettoriale è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate "WGS_1984_UTM_Zone_33N", per produrre tutti gli strati informativi in formato numerico in coerenza con quanto richiesto dagli Standard MS 4.0 (CTMS, 2015).

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti bibliografici

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

A supporto della redazione del presente capitolo, sono stati utilizzati i dati liberamente consultabili di database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il *CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015* (Rovida et al., 2016; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse nella finestra temporale 1000–2014
- il *DBMI15 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani* utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 e provenienti da diverse fonti. È relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000–2014 (Locati et al., 2016 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- il *CFTI4Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea* (Guidoboni et al., 2007; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull'ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismoindotte, liquefazioni, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- la *Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale* (INGV, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ad essi sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del sisma atteso, i valori di accelerazione orizzontale massima del suolo (ag) e dei principali “parametri spettrali”, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica;
- la *Zonazione Sismogenetica ZS9* (Meletti e Valensise, 2004 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;
- il *Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.2.0* (DISS Working Group, 2015 e Basili et al., 2008; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore;
- il *Catalogo della Sismicità Italiana* (Castello et al., 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il *Database ISIDe* (ISIDe Working Group 2010; <http://iside.rm.ingv.it>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 ad oggi.

2.2 Sismicità storica

Il DBMI15 (Locati et al., 2016), riporta per Cervia Capoluogo numerosi eventi sismici (figure 2.1 e 2.2), tuttavia con risentimenti non particolarmente significativi (intensità >4) ad esclusione delle sequenze sismiche del 1672 (riminese), del 1875 (costa romagnola) e del 1916 (riminese) con intensità macrosismiche stimate fino all'ottavo grado. Il DBMI15, inoltre, evidenzia per il solo sito “Cervia Vecchia” una massima intensità pari al 8°-9° grado in occasione del vicino sisma del 1483 (romagna). Relativamente alle altre frazioni censite nel database macrosismico (“Cannuzzo”; “Castiglione”; “Milano Marittima”; Pisignano) si segnala il 7° grado stimato a Castiglione in occasione dell'evento sismico del già citato evento sismico del 1875.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1661	03	22	12	50		Appennino forlivese	79	9	6.05
7	1672	04	14	15	45		Riminese	92	8	5.59
7-8	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74
NF	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
NF	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59
NF	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6	4.59
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
3-4	1913	07	21	22	35		Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
6	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8	5.82
F	1916	08	16	07	06	1	Riminese	257	8	5.82
2	1917	12	02	17	39		Appennino forlivese	32	6-7	5.09
3	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
3	1952	07	04	20	35	1	Appennino forlivese	64	7	4.94
3	1953	12	14	07	11	0	Appennino forlivese	48	5-6	4.70
NF	1961	05	08	22	45	5	Forlivese	40	5	4.37
NF	1972	11	30	11	25	2	Costa pesarese	30		4.52
2	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4	1993	11	07	23	21	1	Cesenate	36	4-5	3.95
NF	1995	12	27	23	44	2	Forlivese	37	5	3.97
4	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
NF	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36
3-4	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21
3	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6	5.24
3-4	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
3-4	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29
NF	2006	10	21	07	04	1	Anconetano	287	5	4.21

Figura 2.1- Terremoti significativi per il Comune di Cervia e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2015)

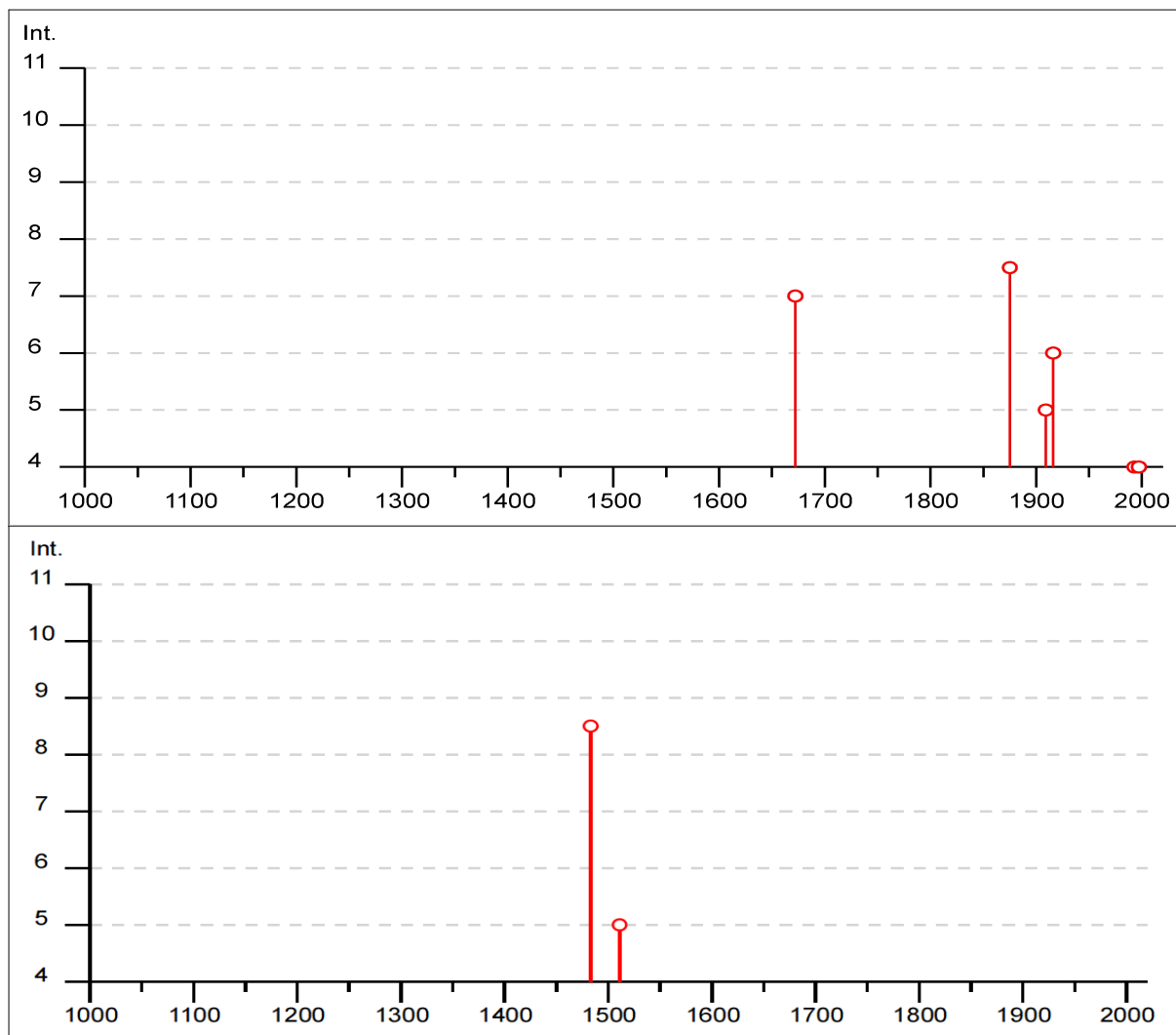


Figura 2.2 - Diagramma cronologico degli eventi sismici significativi per Cervia Capoluogo (in alto) e Cervia Vecchia (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2015)

2.3 Sorgenti sismogeniche

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade nella Zona 912, caratterizzata da un valore di $M_{w_{max}}$ pari a 6,14. La zona sismogenetica 912 rappresenta la porzione più avanzata e sepolta della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale che si spinge fino al Po ed è caratterizzata prevalentemente da meccanismi di fagliazione inversa (Meletti & Valensise, 2004).

La figura 2.3 propone la sovrapposizione dell'area di studio con la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database più aggiornato e disponibile: DISS 3.2. Il territorio di Cervia è situato tra due zone sismogenetiche composite: la ITCS011 "Ascensione-Armaia" e la ITCS039 "Riminese onshore". A queste zone sismogenetiche vengono attribuite una magnitudo massima pari rispettivamente a $M = 6,0$ e $M = 5,9$. Le due zone sismogenetiche sono

caratterizzate da terremoti storici che raramente hanno raggiunto elevate intensità. La magnitudo delle zone è infatti derivata dalle magnitudo massime attribuite ai terremoti più significativi associati a queste zone (Romagna, 1688; Romagna Meridionale, 1483; Alto Adriatico, 1916), in alcuni casi con risentimenti minori nel territorio studiato.

Il territorio di Cervia può anche risentire degli eventi associati a strutture sismogenetiche poco più distanti rispetto a quelle appena citate, come terremoti originati dalla sorgente composita ITCS012 “Malalbergo–Ravenna” situata a nord, alla quale si è attribuita una magnitudo massima pari a $M = 6,0$ associata ai terremoti principali terremoti avvenuti (Classe–Ravenna, 725; Argenta, 1624; Bassa Padana, 1796, 1909 e 1967).

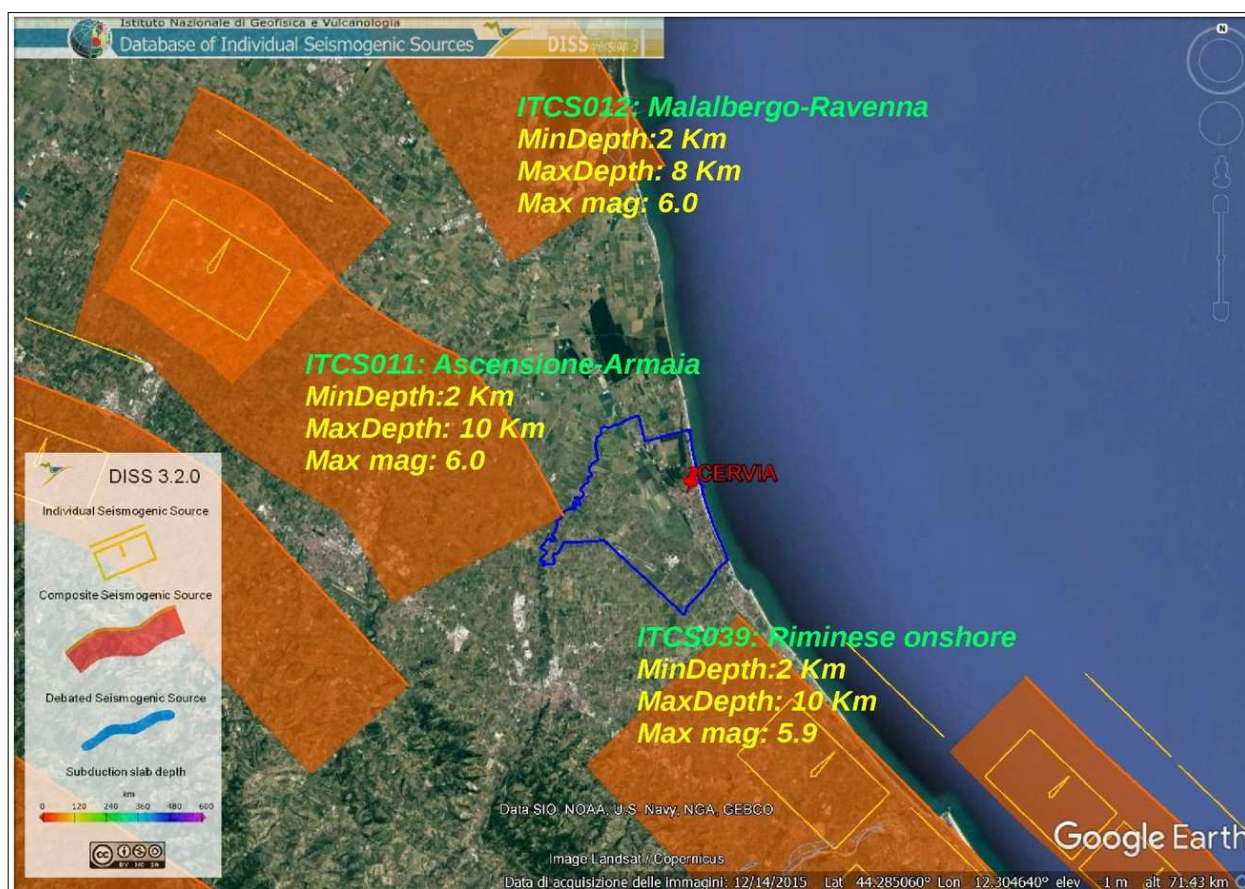


Figura 2.3 – Localizzazione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.2). Foto aerea: Google Earth.

2.4 Ulteriori elementi di pericolosità sismica di riferimento per la pianificazione territoriale

2.4.1 Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica (DAL 112/2007 e DGR 2193/2015)

La Regione Emilia–Romagna ha elaborato e approvato (con Delibera dell'Assemblea Legislativa n.112 del maggio 2007) gli <<Indirizzi per gli studi di Microzonazione sismica in Emilia–Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica>>, in coerenza con la LR n.20/2000

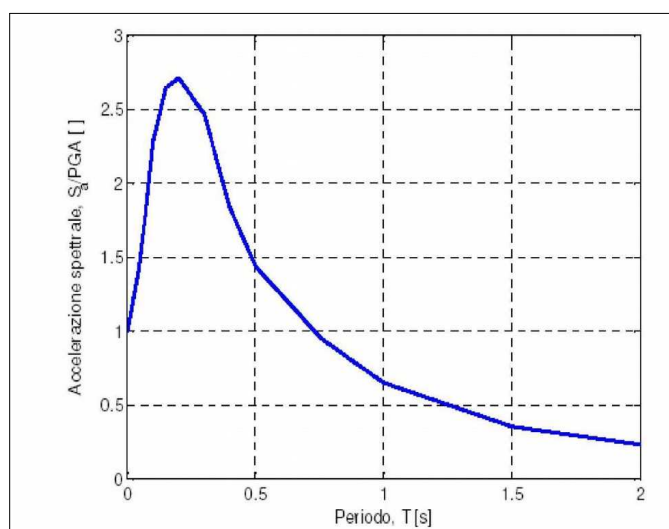
<<Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio>>. Questi indirizzi regionali per la microzonazione sismica, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale negli ultimi 40 anni circa, assumendo come riferimento la “pericolosità di base” elaborata da INGV e recepita a livello nazionale con l'OPCM 3519/2006.

Con la recente approvazione della DGR 2193/2015, la Regione Emilia-Romagna ha introdotto aggiornamenti agli indirizzi riportati nella DAL 114/2007. Questa parziale revisione prende quale riferimento anche le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/1/2008), le ulteriori esperienze scientifiche seguite ai recenti eventi sismici italiani (L'Aquila 2009; pianura emiliana del 2012) e, infine gli oltre otto anni di applicazione della DAL 112/2007. In sintesi, le principali novità contenute nella la DGR 2193/2015 consistono:

- ✓ nelle rimodulazioni degli abachi di microzonazione sismica da considerarsi per le analisi semplificate (“livello 2”);
- ✓ nella definizione di un ulteriore parametro di amplificazione riferito all'intensità spettrale di Housner (per l'intervallo di periodo T compreso tra 0,5 s e 1,5 s);
- ✓ nella definizione dell'input sismico (ag al sito di riferimento) che ora è definito in base ai valori di pericolosità sismica elaborati dall'INGV per tutto il territorio nazionale sui punti di una griglia di passo pari a 0,05° (reticolo analogo a quello previsto per le NTC 2008);
- ✓ nell'obbligo di predisporre cartografie delle frequenze naturali dei terreni a scala territoriale e a supporto del “primo livello” di approfondimento;
- ✓ nello stralcio dell'obbligo degli approfondimenti di “livello 3” per la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico (in quanto tali verifiche sismiche saranno espletate ai sensi delle NTC vigenti, con input di pericolosità sismica di base che dovranno tenere conto delle condizioni di progettazione “non ordinaria”).

Gli indirizzi RER forniscono gli elementi essenziali per espletare gli studi di pericolosità sismica secondo i tre “livelli” di approfondimento, inoltre tabelle e formule propedeutiche alla valutazione semplificata dell'amplificazione locale (microzonazione sismica di “livello 2”).

Figura 2.4- Spettro di risposta normalizzato impiegato per la selezione dalla banca dati accelerometrica ISESD dei segnali di riferimento regionale



Gli indirizzi forniscono anche i dati fondamentali per le valutazioni più accurate della risposta sismica di terzo livello: lo spettro di risposta normalizzato di riferimento per l'Emilia-Romagna (per $T_r = 475$ anni cioè con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni), riportato in figura 2.4. Tale forma spettrale è sostanzialmente congrua con lo spettro elastico di riferimento per le

norme tecniche per le costruzioni attualmente vigenti (NTC 2008). Sono forniti anche i valori di P_g anch'essi normalizzati (riferiti al suolo rigido) per ogni sito nella Regione Emilia-Romagna (basato sul reticolo INGV).

Gli indirizzi regionali di MS indicano anche tre accelerogrammi di riferimento per le modellazioni numeriche di risposta sismica locale: sono input selezionati dalla Banca dati IESD attraverso una procedura che ha valutato la similarità tra la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei singoli segnali.

È così possibile ricavare lo spettro di risposta e gli accelerogrammi di riferimento per ogni Comune riscaldando lo spettro di figura 2.4 con la a_{refg} attribuita al sito di studio. In tal senso, la figura 2.5 riporta per il territorio comunale di Cervia i punti del reticolo INGV e i relativi valori di a_{refg} . I valori di a_{refg} regionali si riferiscono al reticolo INGV (mappa MPS04) che attribuisce la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni: i valori sono attribuiti ad ogni punto della griglia di calcolo, costruita per tutto il territorio nazionale (griglia con una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km). La mappa MPS04 è diventata ufficialmente il riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

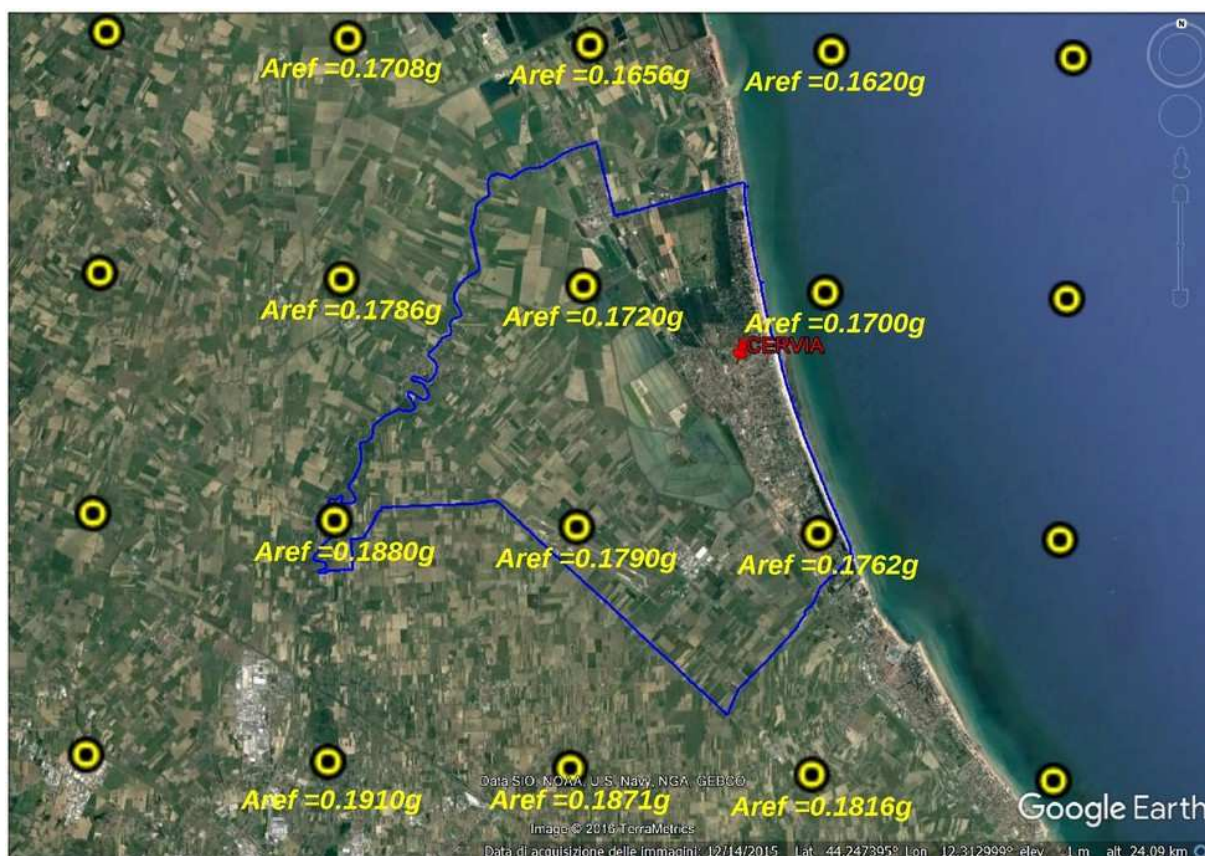


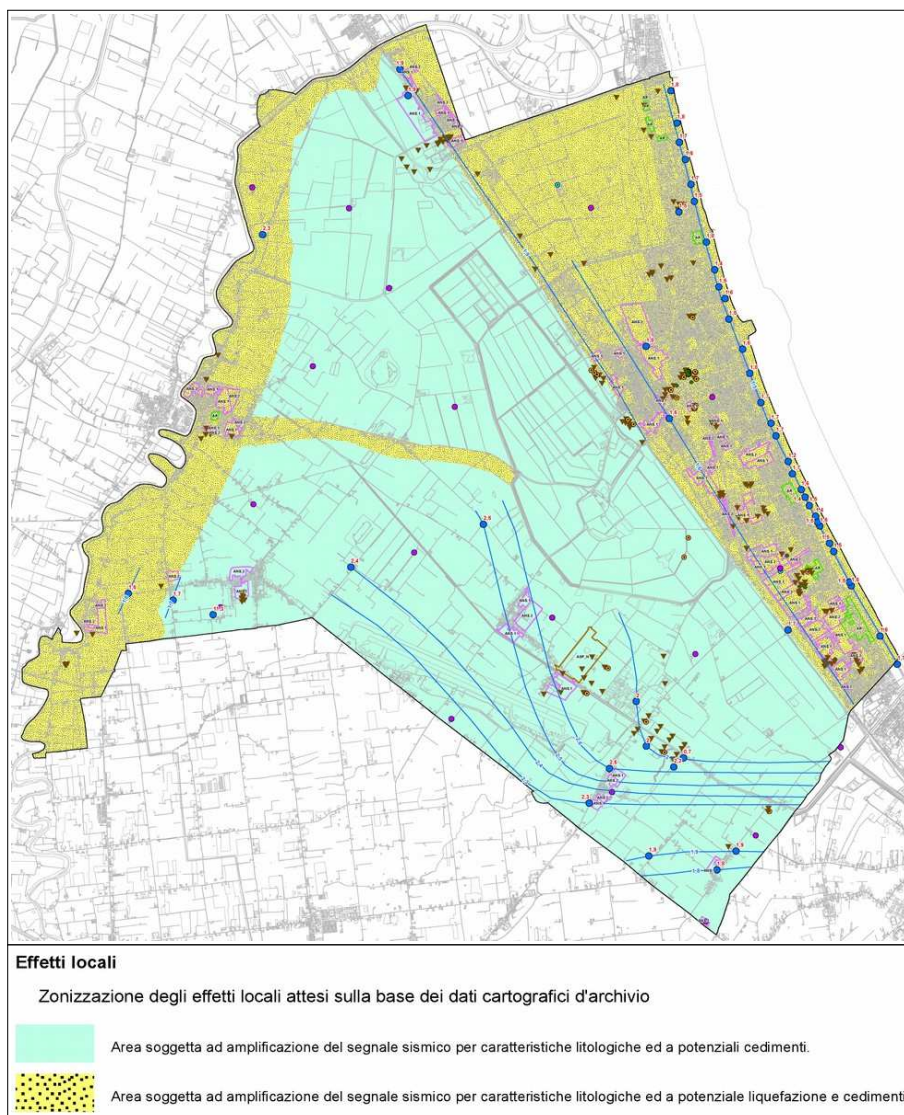
Figura 2.5 – Reticolo INGV di pericolosità sismica. La figura riporta i punti della griglia relativi al territorio comunale di Cervia

Si evince che per il territorio urbanizzato/urbanizzabile, i valori di a_{refg} (per terremoti con $T_R = 475$ anni) sono compresi tra circa 0,184g e 0,168g.

2.4.2 Lo studio geologico e sismico del territorio comunale elaborato per il Quadro Conoscitivo del PSC (2012)

L'Amministrazione comunale di Cervia già dispone di uno studio di pericolosità sismica preliminare, equiparabile a un approfondimento di “livello 1”, elaborato nel 2010–2012 per il Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale (non ancora adottato). Si tratta, tuttavia, di uno studio precedente agli “ICMS 2008” e basato su dati di repertorio disponibili all'epoca. Per quanto riguarda la pericolosità sismica, lo studio geologico del 2010–2012 ha consentito di elaborare una preliminare cartografia delle “aree suscettibili di effetti locali” del territorio comunale. Gli effetti locali riscontrati sono sostanzialmente riconducibili ad amplificazione sismica e a potenziale liquefacibilità dei sedimenti granulari (figura 2.6). La potenziale propensione alla liquefazione si è esclusivamente basata sulla cartografia geologica RER e, pertanto, ha incluso tutta la fascia costiera e i depositi più recenti di piana alluvionale (AES8a) circostanti il fiume Savio (classificati a tessiture superficiali limoso sabbiose). È stata inoltre classificata liquefacibile un'ulteriore fascia di territorio a est di Castiglione di Cervia, interpretata come dosso fluviale recente (non confermato dall'analisi morfologica). Lo studio geologico 2010–2012 ha infine calcolato per il territorio comunale i fattori di amplificazione semplificati, sulla base degli abachi regionali riportati nella DAL 112/2007.

Figura 2.6 - Stralcio della preliminare cartografia delle “Aree suscettibili di effetti locali” elaborata alla scala 1:15.000 per il Quadro Conoscitivo del PSC di Cervia nel 2010–2012)



2.4.3 Lo studio geologico con approfondimenti sismici di livello 3 elaborato per l'aggiornamento del Piano dell'Arenile comunale (2016)

Il Comune di Cervia si è recentemente dotato di uno studio geologico e sismico per l'adeguamento del Piano dell'Arenile comunale. Tale studio ha consentito di espletare approfondimenti sismici di livello 3 relativamente alla risposta sismica locale (analisi numeriche) e a verifiche quantitative della liquefacibilità con prove CPTE/CPTU. Lo studio si è basato su dati di repertorio e sugli esiti di nuove indagini (prove CPTE; “cono sismico” SCPT; registrazioni microtremori sismici HVSR; prove ESAC) eseguite lungo l'arenile cervese.

Lo studio geologico ha consentito di elaborare una zonizzazione della pericolosità di liquefazione del litorale cervese, mediante la stima dell'Indice del potenziale di Liquefacibilità IL (Sommez, 2003) considerando come input di ingresso gli esiti numerici della RSL (calcolata ai sensi della DGR 2193/2015) e differenti magnitudo ($M=5.5$; $M=6,14$).

Le conclusioni dello studio evidenziano come il potenziale di liquefazione della costa sia da considerarsi “molto alto” ($IL > 15$) per verifiche espletate con magnitudo d'ingresso $M=6,14$.

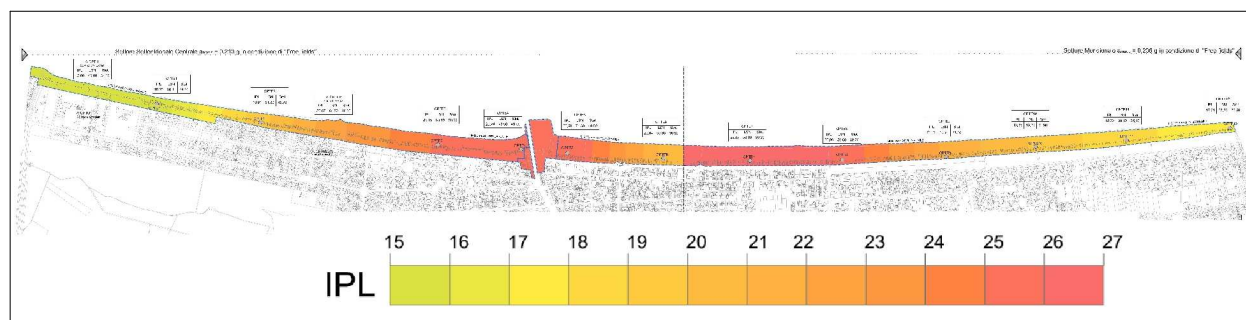


Figura 2.7 – Stralcio della “Carta dell'Indice del potenziale di liquefazione” elaborata per l'aggiornamento del Piano dell'Arenile di Cervia (GeoProget, 2016)

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geotettonico e geologico-stratigrafico

In questo paragrafo viene ripreso quanto già esaurientemente descritto nella Relazione Geologica redatta per l'aggiornamento del Piano dell'Arenile comunale (GeoProget, 2016), con ulteriori dettagli, con ulteriori dettagli. Si riportano anche parti descrittive desunte dalle note della Carta Geologica d'Italia (Foglio 241 – Cervia).

I depositi che formano l'ossatura della pianura padana costituiscono il riempimento del bacino di avanfossa di età plio – quaternaria compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord. Secondo le ricerche dell'AGIP (Pieri e Groppi, 1981) la Pianura Padana costituisce un'ampia area posta ai bordi della catena appenninica entro la quale si è verificato un consistente accumulo di depositi soprattutto neogenici. La presenza di strutture tettoniche sepolte drappeggiate e sepolte da tali depositi, storicamente ipotizzata, è stata accertata attraverso la realizzazione di "sezioni sismiche".

Da un punto di vista strutturale, la Pianura Padana costituisce il fronte sepolto dell'Appennino in cui le "pieghe romagnole" presentano un ampio fronte esterno arcuato, che si sviluppa da Reggio Emilia a Correggio, Novi di Modena, Ficarolo, Copparo e Porto Corsini.

In base alla ricostruzione delle sezioni geologiche profonde attraverso la Pianura Padana, si sono messi in rilievo i caratteri geometrici delle deformazioni, i principali livelli di scollamento alla base della successione mesozoica e i conseguenti raccorciamenti delle coperture.

L'analisi del fronte sepolto ha rivelato un assetto tettonico ad accavallamenti arcuati e non lineari dovuta alla differente rigidità della crosta continentale superiore padana. La distribuzione di tali "embrici" nel tempo segue una propagazione anomala, per la riattivazione delle strutture al margine pedeappenninico, almeno fino al Pleistocene medio. Ciò è stato reso possibile dalla funzione di cerniera fra zone soggette a movimenti verticali opposti del lineamento pedeappenninico (Castellarin et alii, 1985).

Il fronte di sovrascorrimento sepolto risulta costituito da un sistema di elementi tendenzialmente arcuati articolati fra loro da un sistema di faglie trasversali ad andamento antiappenninico che rappresentano veri e propri svincoli cinematici a carattere trascorrente e lungo cui si sono avuti anche importanti movimenti verticali.

L'intrecciarsi di complessi meccanismi sedimentari e tettonici hanno dato luogo alla formazione di bacini alla fronte e sulla parte retrostante degli accavallamenti (thrust nord vergenti associati ad anticlinali) traslando con essi all'interno della Avanfossa. Il risultato finale è quello di un consistente impilamento di sedimenti caratteristici della successione sedimentaria plio – pleistocenica della zona di studio.

Le strutture deformative principali legate ai movimenti tettonici compressivi, presentano frequentemente al tetto depositi del Pliocene medio, continuando tuttavia a controllare la subsidenza fino all'attuale. Ne deriva così che i sedimenti di età successiva al Pliocene medio sono deformati da blande ondulazioni che si possono pertanto definire come delle deformazioni passive, conseguenti alla subsidenza differenziata, controllata dalle strutture tettoniche del substrato pre – pliocenico medio.

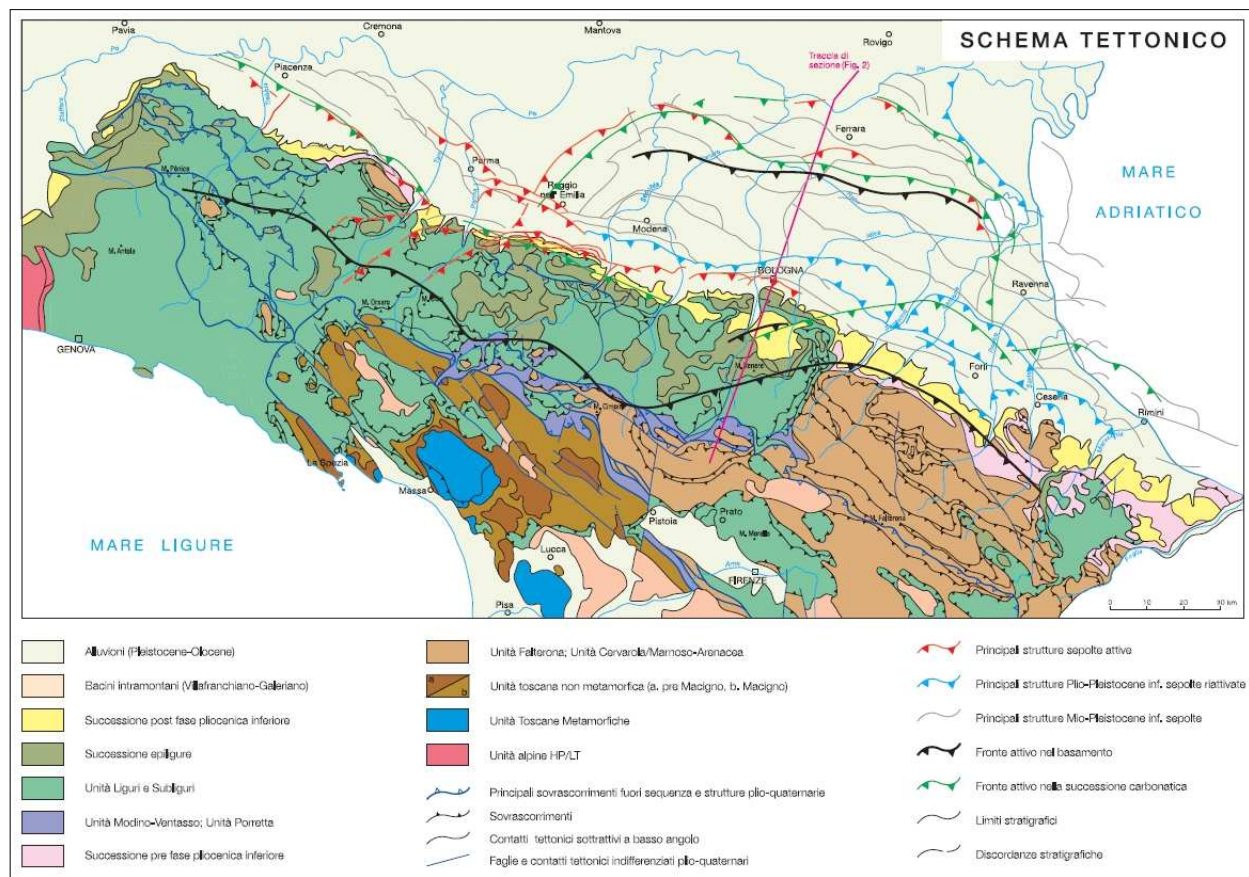


Figura 3.1 – Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale – Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico, 2004)

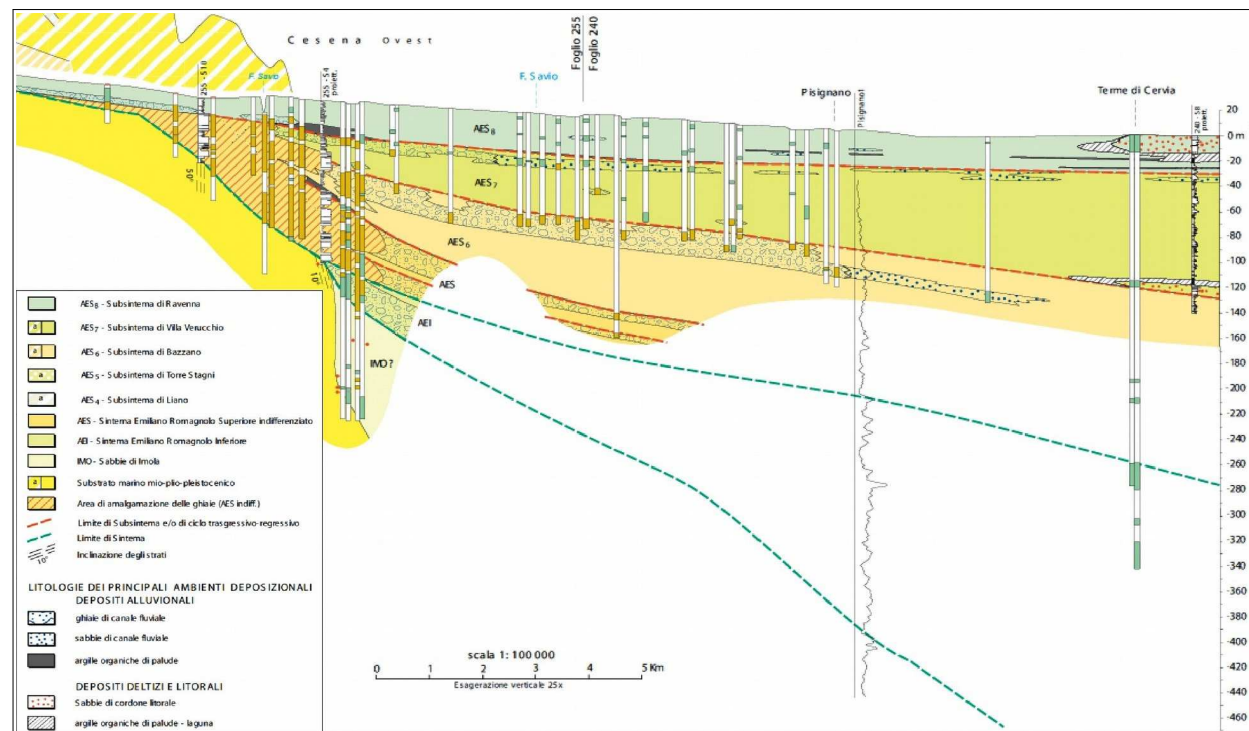


Figura 3.2 – Sezione geologica RER (n.57)

La figura 3.2 riporta la sezione RER n. 57 che sintetizza i rapporti litostratigrafici della pianura romagnola, dalla “catena appenninica” affiorante nel cesenate fino alla costa cervese.

La classificazione stratigrafica di riferimento per questo lavoro è quella proposta e utilizzata in Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), inoltre riportata nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (foglio n. 241). I depositi affioranti tardo quaternari della successione post evaporitica del margine padano adriatico sono stati raggruppati nel "Supersistema Emiliano-Romagnolo", suddiviso nel "Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)" e nel Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e come schematizzato nella figura 3.3.

Figura 3.3 - Schema stratigrafico dei depositi plio- quaternari del bacino padano, con indicazione delle principali unità stratigrafiche, sequenze deposizionali e unità idrostratigrafiche (RER & ENI-AGIP, 1998)

UNITÀ STRATIGRAFICHE	SEQUENZE DEPOSIZIONALI	ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE		
				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO
SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	Qc	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE-OLCENE	A	A1	
					A2	
		A3				
		A4				
SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	Qc ₁	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1	
					B2	
					B3	
					B4	
SABBIE DI IMOLA	Qm	~0.65		C	C1	
		~0.8			C2	
GRUPPO DEL SANTERINO	P2	~1.0	PLEISTOCENE INFERIORE		C3	
		~2.2	PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE		C4	
		~3.3-3.6	PLIOCENE INFERIORE		C5	
		~3.9	PLIOCENE INFERIORE MIOCENE			ACQUITARDO BASALE

— Superficie di discontinuità principale
— Superficie di discontinuità minore

All'interno di AES sono presenti unità di range inferiore (subsintemi) corrispondenti, nel sottosuolo della pianura e del Mare Adriatico, ai cicli trasgressivo - regressivi (alternanze di depositi marini o palustri e continentali) glacio-eustatici tardo-quaternari di frequenza attorno ai 100.000 anni (RER & ENI-AGIP, 1998). Questi ultimi cicli, costituiscono le unità di riferimento per la cartografia di sottosuolo della Carta Geologica di Pianura.

Come si può comprendere anche dalla sezione di figura 3.2, i depositi alluvionali del supersistema si caratterizzano, nel suo complesso, per una progressiva progradazione da SO verso NE, con un conseguente arretramento, nella stessa direzione, dei depositi fluvio - deltizi e costieri. La progradazione mostra due fasi di sviluppo distinte a cui corrispondono i due sintemi in cui il supersistema è stato suddiviso: AEI ed AES. Il primo (AEI) è dominato da facies fluvio - deltizie in parte attribuite a sistemi di alimentazione padana, mentre nel secondo (AES) si sviluppano prevalentemente le facies fluviali di conoide e di piana alluvionale legate a sistemi di alimentazione appenninica.

Nel sottosuolo della pianura il supersistema appoggia in discordanza angolare sia sui medesimi depositi mio-pliocenici sia, verso NE, sui depositi marino-marginali correlati alle Sabbie di Imola (IMO).

In sintesi, le unità stratigrafiche cartografate nell'area studiata sono le seguenti (dal basso verso la superficie):

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (AEI) → nelle stratigrafie di sottosuolo di questo settore della pianura, il limite inferiore dei depositi AEI viene posizionato in corrispondenza del contatto netto fra i depositi fluvio – deltizi basali del supersintema ed i depositi ghiaioso-sabbiosi litorali e di delta — conoide riferiti al tetto delle Sabbie di Imola (IMO). Al suo interno l'unità è costituita da alternanze cicliche di depositi fini (prevalentemente argille e limi) e depositi grossolani (prevalentemente sabbie e subordinatamente ghiaie, presso il margine del bacino), riferibili ad associazioni di facies di piana alluvionale e di piana fluvio – deltizia e costiera. Sulla base della ricostruzione delle geometrie e dello spessore dei corpi sabbiosi fluvio – deltizi si ritiene che il settore a sud della congiungente Villafranca – Cervia sia dominato da sistemi alimentati dai fiumi appenninici. Lo spessore dell'unità aumenta complessivamente verso N e NE fino a raggiungere c.a. 300 metri. Età deposizionale: Pleistocene medio (650.000 anni → 350–450.000 anni).

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES) BASALE INDIFFERENZIATO → Nel sottosuolo della pianura AES è costituito dall'alternanza ciclica di argille organiche, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale e subordinatamente deltizio e costiero. Nel settore di alta pianura (es. cesenate), il limite inferiore del sintema è dato da un contatto erosivo e discordante delle ghiaie di conoide alluvionale AES su depositi sabbiosi e sabbio – ghiaiosi fluviali e fluvio – deltizi AEI. Verso NE tale limite si fa via via meno marcato e separa depositi sabbiosi (progradanti a limi e argille sabbiose) prevalentemente alluvionali AES da depositi prevalentemente fluvio – deltizi AEI. Mentre la porzione superiore di AES è facilmente correlabile con tre cicli deposizionali più recenti e riconosciuti nel sottosuolo della pianura (AES6, AES7 e AES8), la porzione inferiore di AES è costituita da ulteriori due cicli deposizionali meno definiti (attribuiti ad AES indifferenziato). Le ricostruzioni geologiche profonde del SGSS mostrano che questi due cicli più profondi hanno caratteri simili ai cicli sovrastanti sebbene presentino i depositi fini lagunari trasgressivi ed i potenti corpi sabbiosi fluvio – deltizi di alimentazione padana più spostati verso SO. Nell'area di studio, lo spessore di AES indifferenziato è riconducibile a qualche decina di metri. Età deposizionale: Pleistocene medio.

SUBSINTEMA DI BAZZANO (AES6) → Questi depositi sono stati correlati nel sottosuolo (su base geometrica) con i depositi grossolani sommitali di un ciclo trasgressivo – regressivo. I depositi di questo ciclo hanno varie decine di metri di spessore e poggiano in contatto netto sulle ghiaie e sabbie di canale fluviale del ciclo sottostante. Alla base il ciclo è costituito da depositi fini alluvionali, con talora sostanza organica, di origine palustre, passanti verso NE ad argille organiche lagunari e sabbie di cordone litorale. Nella porzione intermedia il ciclo è costituito da fitte alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi, limi ed argille di argine, rotta e piana inondabile. In questo intervallo le ghiaie e sabbie di canale fluviale sono subordinate e confinate in corpi lenticolari nastriformi (associazione di piana alluvionale). Verso l'alto il ciclo mostra un progressivo aumento di depositi ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale, spessi fino ad una decina di metri che si alternano a depositi argillosi e limosi di tracimazione fluviale, con contatti netti. Nell'area di studio, i depositi più grossolani si concentrano nel settore meridionale: si tratta di corpi nastriformi anche ghiaiosi che passano a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi di canale o argine fluviale (associazione di piana alluvionale). L'unità si chiude, con contatto netto, al di sotto dei depositi di argille di piana alluvionale palude e laguna del ciclo sovrastante. Nell'area studiata, lo spessore è di qualche decina di metri, fino a circa 50 ÷ 60 metri verso N. Età deposizionale: Pleistocene medio (230 .000 → 130.000 anni).

SUBSISTEMA DI VILLA VERRUCCHIO (AES7) → La porzione basale trasgressiva del ciclo è costituita da depositi fini di trascinamento fluviale contenenti vari corpi di qualche metro di argille e limi ricchi di sostanza organica di origine palustre. Questi depositi passano verso NE ad argille organiche lagunari e sabbie marine di cordone litorale. Nella porzione intermedia il ciclo è costituito da fitte alternanze di sabbie limose, limi sabbiosi, limi ed argille di argine, rotta e piana inondabile dove sono frequenti paleosuoli. In questo intervallo i depositi più grossolani (sabbie di canale fluviale) sono subordinati e confinati in corpi lenticolari nastriformi (associazione di piana alluvionale). Nell'area di studio, la porzione sommitale del ciclo è caratterizzata da più frequenti depositi sabbiosi di canale fluviale a geometria nastriforme (transizione alla piana alluvionale), presenti fino al settore di costa attuale. Lo spessore è di qualche decina di metri nel settore SE, fino a circa 50 ÷ 60 metri verso N-NO. Età deposizionale: Pleistocene superiore (125.000 → 17.000 anni).

SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES8) → Tutti i depositi quaternari affioranti nel territorio cervese sono attribuiti a questo subsistema. Si tratta di un'unità relativamente superficiale e con spessore inferiore ad una trentina di metri, ed è perciò particolarmente investigata (anche per l'intero spessore) da molte indagini geognostiche. L'età deposizionale è compresa tra circa 14.000 anni e l'attuale, corrispondente alla fase di rapida risalita eustatica e di miglioramento climatico che si sviluppa a partire dal tardo Pleistocene fino a tutto l'Olocene. Il limite inferiore è ben definito nel settore di pianura costiera, dove i primi depositi di AES8 sono costituiti da depositi lagunari e marini e poggiano sui depositi fluviali di AES7. Nella porzione di pianura retrostante, il limite risulta meno definito in quanto non corrisponde ad un netto cambio di ambiente, ed è riconoscibile solo per una generale tendenza al prevalere dei depositi fini di piana non drenata e palude sui depositi relativamente più grossolani di piana alluvionale sottostanti (AES7).

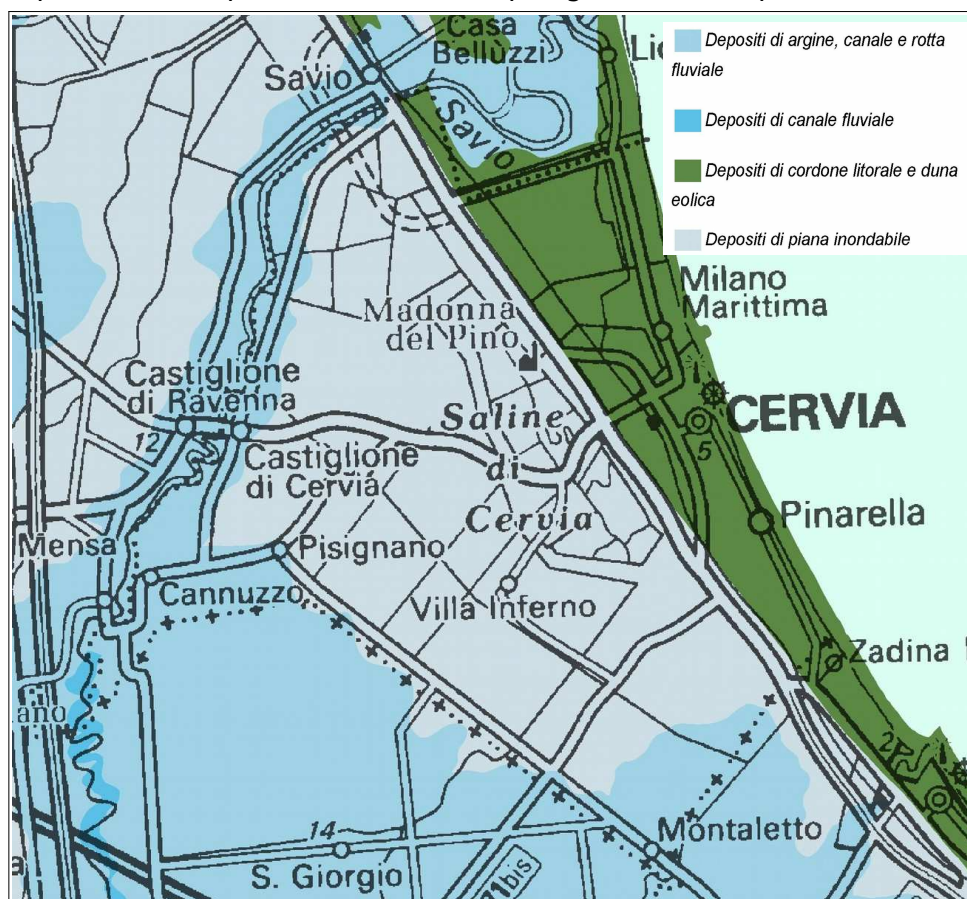


Figura 3.4 - Cartografia geologica di sintesi del territorio studiato (fonte: cartografia geologica SGSS)

In questo subsistema è stata distinta un'unità di rango gerarchico inferiore: l'UNITÀ DI MODENA (AES8a) la quale contiene i depositi più superficiali e più recenti, compresi quelli attualmente in evoluzione. AES8a è un'unità di pochi metri di spessore, che raggiunge i 10 m solo localmente, in corrispondenza dei riempimenti dei principali canali fluviali o lungo le fronti deltizie. Nei settori di pianura la base di AES8a è individuata dal contatto, in discontinuità, delle sue traccimazioni fluviali sul suolo di epoca romana o più antica in posto. Nel settore costiero è data dalla base erosiva discordante di cordoni litorali e di fronti deltizie sabbiose che tagliano i cordoni di AES8.

Il tetto di AES8a è dato da un suolo caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (ad esempio argini e piana inondabile). La figura 3.4 riporta una cartografia di sintesi del territorio studiato e del contesto deposizione dei depositi più recenti AES8 e AES8a. Lungo il Savio, l'unità AES8a è costituita da depositi di canale fluviale organizzati in un unico ordine di terrazzo che incide sia AES8 che, in parte, i depositi di argine della stessa unità di Modena. Nella pianura alluvionale prevalgono i depositi di traccimazione fluviale, mentre nel settore costiero AES8a è costituita, come AES8, da depositi sabbiosi di cordone litorale e di fronte deltizia che si sviluppano (e si preservano) prevalentemente a partire dal X secolo d.C. (CIABATTI & VEGGIANI, 1990). Localmente, anche le sabbie di cordone AES8a sono separate da sottili depositi fini di laguna di retrocordone. Il settore a mare è completamente occupato da questa unità, rappresentata da depositi superficiali di spiaggia sommersa e di prodelta (sedimenti marini prevalentemente pelitici, depositi durante la fase di stazionamento alto del livello del mare e che costituiscono una fascia continua allungata parallelamente alla linea di costa). L'unità AES8a si è deposta a partire dal IV - VI secolo d.C.

3.2 Geomorfologia

In questo paragrafo viene ripreso quanto già esaurientemente descritto nella Relazione Geologica elaborata per il QC del PSC di Cervia.

Dal punto di vista morfologico, il territorio comunale presenta una morfologia prevalentemente pianeggiante, con inclinazione prevalente verso NE contraddistinta da bassissime pendenze che non superano mediamente l'1%; le quote variano da un massimo di 20 m s.l.m., all'estremità sud-occidentale del territorio comunale, fino a circa un metro sotto il livello marino, nelle zone costiere più depresse.

La porzione altimetricamente più elevata è quella al confine occidentale delimitato dal corso del fiume Savio, nei pressi di Cannuzzo (Ca' Bolognesa), con valori che raggiungono anche i 19.0 - 20.0 m s.l.m. e che diminuiscono progressivamente spostandosi verso NE sino ad arrivare agli 8.0 - 9.0 m s.l.m. in corrispondenza delle località Pisignano e più a nord, Castiglione di Cervia. Le porzioni topograficamente più depresse del territorio sono quelle della Salina (a NO della vecchia Cervia) e di Valle Felici (a NE di Vismolina), con quote che scendono anche sotto il livello del mare. Un'altra importante (per estensione) zona depressa è quella di Stazzona, dal limite settentrionale del territorio comunale fino a Viale Gora, con limite orientale il confine della pineta e limite occidentale le aree di ex cava. È questa la zona ove si rileva il maggior numero di cordoni dunosi legati all'ultima regressione marina olocenica, preservati proprio perché delimitati ad est e ad ovest da due alti topografici identificabili, rispettivamente, con il sistema dunoso attuale e con il paleo-cordone flandriano.

Ad est di tale zona è infine presente l'area costiera dove le quote si mantengono in genere tra 0.5 e 3 m s.l.m.

La figura 3.5 riporta una elaborazione DEM del territorio cervese, elaborato dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli: nella figura è possibile visualizzare, oltre al dato morfologico, anche quello altimetrico attraverso una classificazione cromatica delle fasce altitudinali, ottenuta utilizzando fasce altimetriche di 0.5 m; alle fasce di quota più elevate sono state assegnate tonalità di rosso e marrone, alle fasce intermedie tonalità arancioni e ocra, alle fasce più basse tonalità di verde sempre più chiaro, tonalità di giallo per le fasce di pochi metri sopra il livello marino e un verde-acqua per le zone depresse con quote inferiori al livello del mare.

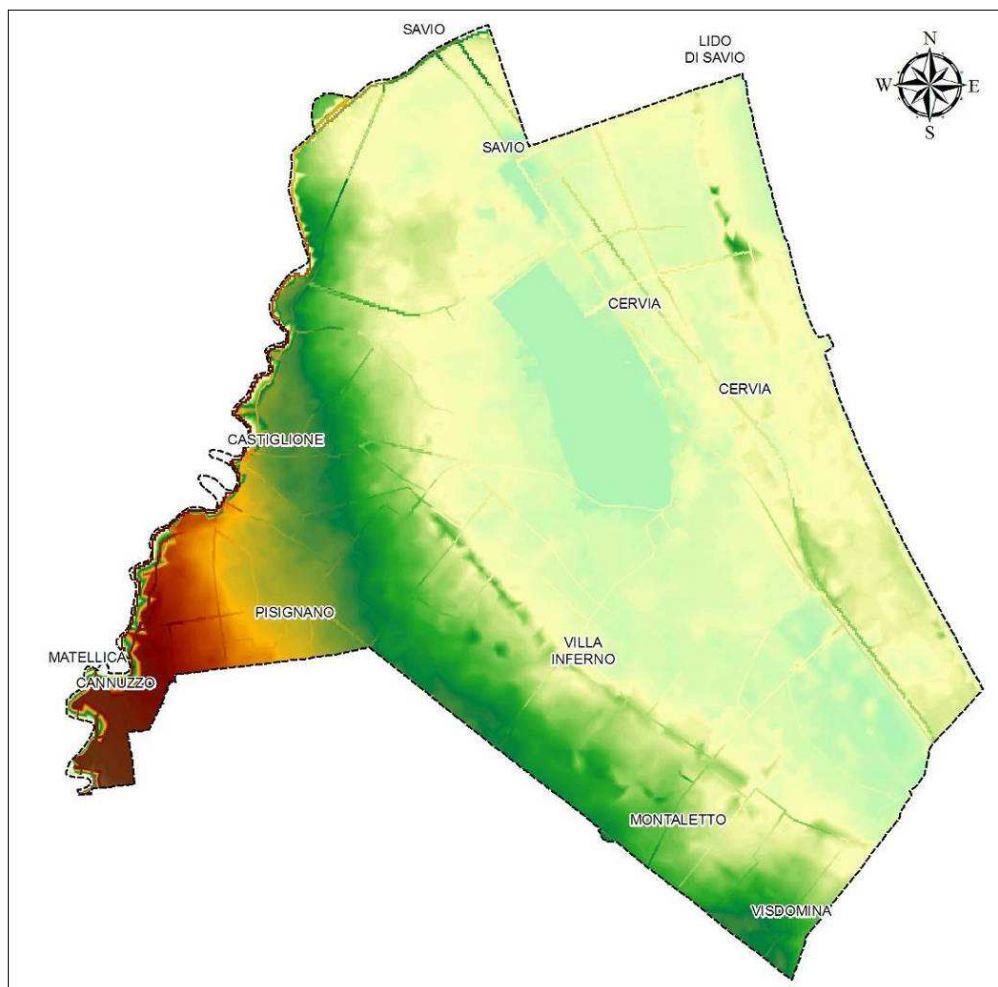


Figura 3.5 -
Microrilievo del
territorio comunale
di Cervia (da QC PSC
Cervia)

Da un punto di vista deposizionale, le forme del paesaggio riconoscibili sul territorio sono riconducibili essenzialmente a due ambienti: la piana alluvionale e la piana costiera.

La **piana alluvionale** definisce l'ambiente deposizionale dei corsi d'acqua, in particolare del Fiume Savio, che, dopo la fine della Trasgressione Flandriana, hanno prodotto abbondanti apporti sedimentari che hanno colmato zone lagunari e vallive tipiche di ambienti di transizione, a luoghi depresse, al di sotto del livello del mare e da esso separate dal cordone litoraneo flandriano. L'elemento maggiormente significativo dell'ambiente di piana alluvionale è attualmente rappresentato dal tracciato del fiume Savio che delimita il confine occidentale del territorio comunale; il corso d'acqua presenta un tracciato meandriforme, tipico dei tratti

terminali delle aste fluviali nelle zone di bassa pianura. L'alveo si presenta rilevato rispetto alle zone circostanti ed arginato per la quasi totalità del proprio tracciato (ad esclusione del tratto più meridionale, presso Cannuzzo).

Gli unici eventi deposizionali sono quindi attualmente da attribuire ad eventi eccezionali di piena e tracimazione fluviale nelle aree adiacenti il corso d'acqua, con sedimentazione di materiali fini (limi o argille), più raramente di natura sabbiosa. Tracimazioni che, grazie alle opere di difesa spondale conseguenti agli eventi alluvionali principali del secolo scorso, acquisiscono un tempo di ritorno verosimilmente molto ampio e, quindi, una frequenza molto bassa. Parallelamente, la deposizione ordinaria di sedimento fine all'interno dell'alveo attuale delimitato da argini, determina un lento, ma costante innalzamento verticale del letto fluviale, pensile rispetto alla pianura adiacente nel tratto che va dalla foce a Cannuzzo.

Il passaggio dal settore di piana alluvionale a quello di *piana costiera* avviene attraverso una serie di cordoni sabbiosi e dune allungati parallelamente alla linea di riva ben sviluppati in passato, ma che attualmente sono ridotti a sporadici affioramenti a causa principalmente dello sviluppo infrastrutturale ed insediativo. Traccia di una di tali dune relitte è ancora riconoscibile nella fascia parallela all'attuale linea di costa compresa tra il paleo-cordone flandriano e il limite occidentale dell'attuale sistema dunoso. Fascia che si restringe progressivamente da nord a sud, assumendo ampiezza massima nella zona de La Stazzona, ove sono riconoscibili diversi cordoni dunosi sub-paralleli.

Il restringimento della fascia dunosa verso sud rispecchia la marcata differenza di assetto topografico tra il settore costiero a nord di Cervia (settore ravennate-ferrarese) e quello a sud (settore riminese). Il primo è caratterizzato da un'ampia pianura a bassa pendenza; l'altro da una pianura confinata a sud-ovest dalla catena appenninica e fortemente inclinata verso NE verso mare. Nel settore ravennate-ferrarese, le trasgressioni marine hanno generato estesi depositi di piana costiera e barriera litoranea, mentre le regressioni marine hanno permesso alle fronti deltizie ed ai cordoni litorali di avere ampio sviluppo verso mare.

Di contro, nel settore riminese, la linea di riva ha continuato sempre ad oscillare nelle adiacenze della posizione attuale e il sollevamento strutturale della pianura del margine appenninico ha impedito il suo seppellimento determinando la formazione per erosione marina della scarpata/falesia attualmente osservabile tra Cattolica e Bellaria (Calabrese et al., 2010).

I depositi costieri pre-romani sono quelli più arretrati in direzione occidentale, e arrivano a lambire il cordone ghiaioso-sabbioso flandriano. I cordoni dunosi di sabbia e i depositi di ghiaia dettero luogo ad un ambiente che fu piuttosto stabile, creando le condizioni favorevoli all'insediamento umano nelle limitrofe zone emerse; tracce di un popolamento costiero di epoca preistorica sono state rinvenute nella Valle Felici a Sud della salina di Cervia (fondi di capanne dell'età del Bronzo). I depositi costieri del cervese post-romani risultano databili dal VI secolo d.C. ad oggi, con due lacune relative ai periodi X-XVI secolo e XVII-XVIII secolo, probabilmente conseguenti a periodi erosivi marini.

Dietro i cordoni dunosi litoranei, elevati di qualche metro sul livello del mare, le difficoltà di scolo delle acque originarono ampie zone acquitrinose, con prevalenza di acque dolci e salmastre a seconda della collocazione rispetto alla costa e ai mutevoli corsi di fiumi e torrenti. Il paesaggio delle valli litoranee si sviluppò, quindi, nelle forme che oggi possiamo riconoscere in alcune zone superstiti (la Salina, in uso probabilmente fin dal periodo etrusco). Oltre la zona di transizione si sviluppa il dominio della piana costiera contraddistinta da una deposizione e

da un'evoluzione recenti; qui la morfologia è costituita da un sistema dunoso (suddivisibile a sua volta in dune stabilizzate, semi-stabilizzate ed in evoluzione, classificate in base al loro grado di maturità) e dalla spiaggia emersa che assieme alla spiaggia sommersa costituisce il sistema costiero.

Questo insieme di elementi presenta un'alta dinamicità legata al continuo variare del delicato e precario equilibrio fra l'apporto di sedimento da parte dei fiumi, l'energia del moto ondoso e delle correnti marine, l'abbassamento del suolo e il sollevamento del livello marino.

Sono infine presenti aree morfologicamente depresse a deflusso idrico difficoltoso, con quote al di sotto del livello del mare (area della salina di Cervia; aree nella zona settentrionale del territorio comunale).

3.3 Idrogeologia

Lo studio geologico espletato per la Variante generale al PRG di Cervia (1994) ha consentito di espletare un accurato monitoraggio di pozzi freatici selezionati nel territorio comunale, con misure della piezometria e della soggiacenza (figura 3.6).

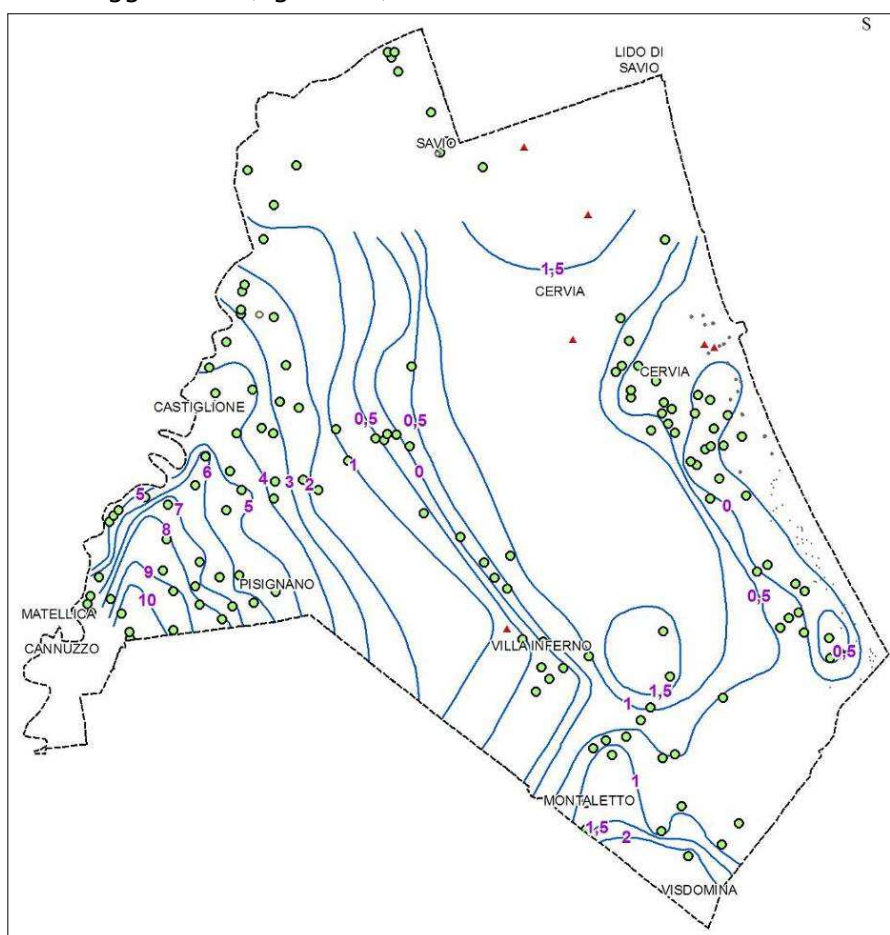


Figura 3.6 - Ricostruzione dell'andamento piezometrico elaborato per la Variante generale al PRG di Cervia 1994 (da Quadro Conoscitivo PSC Cervia)

La ricostruzione del campo di moto sotterraneo della prima falda evidenzia un deflusso chiaramente diretto verso est, in direzione della costa, almeno nel settore compreso tra il margine orientale del dosso fluviale del Savio e il confine occidentale della Salina. Il dosso del Savio sembra costituire un acquifero capace di alimentare sia il Savio (almeno nel tratto più a

monte) che la pianura orientale, con spartiacque piezometrico sub-parallelo all'alveo fluviale. La Salina crea un'evidente barriera al deflusso della falda superficiale, la cui continuità (se continuità esiste, vista la presenza sub-superficiale di terreni a grana fine) viene spezzata. Oltre la Salina inizia il dominio dell'acquifero freatico superficiale costiero, dotato di conduttività idraulica largamente superiore. Da qui si vede come le isopieze sono sub-parallele alla linea di costa, con valori che variano da 0 a 0,5 m s.l.m. Gli alti piezometrici si rilevano in corrispondenza del settore centro-settentrionale della costa, caratterizzato dalla presenza dei paleo-cordoni dunari; i bassi si registrano lungo tutto il margine occidentale, in particolare nell'area di Pinarella e di Tagliata dove le quote raggiungono il livello del mare già a partire dalla Statale Adriatica.

Gli esiti di soggiacenza della prima falda, opportunamente controllati anche con le indagini eseguite per lo studio di MS, sono un importante riferimento, come vedremo, per le simulazioni numeriche di verifica della liquefacibilità (cfr. Capitolo 7).

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La fase iniziale di lavoro ha previsto la raccolta, la selezione e il riordino delle indagini geognostiche/geofisiche e di laboratorio disponibili per il territorio di Cervia. In questo senso, si è potuto disporre di un buon numero di prove che sono state raccolte e archiviate dalla Regione Emilia-Romagna e dal Comune e in particolare:

- ✓ dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, che ha fornito le prove della propria banca dati geognostica;
- ✓ dal Settore Programmazione e Gestione del Territorio del Comune di Cervia, che ha fornito i dati relativi al Quadro Conoscitivo del PSC, i dati (indagini e studio geologico) relativi all'aggiornamento del Piano dell'Arenile, ulteriori relazioni geologiche archiviate (piani particolareggiati; ecc.)
- ✓ da alcuni geologi professionisti che, a seguito di specifica richiesta, hanno fornito dei rapporti di indagine tratti dai propri archivi.

I dati utilizzati sono quelli delle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo e di alcuni pozzi per acqua, delle penetrometrie (CPT/CPTU) spinte fino a profondità maggiori di 6 metri e indagini geofisiche (prove "Down-Hole"; array ESAC; stendimenti ReMi e MASW; registrazioni HVSR), queste ultime effettuate soprattutto nel settore di costa. Le prove pregresse, considerate per lo studio di microzonazione e implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro, sono state così distinte per tipologia:

- ✓ n. 51 carotaggi continui (S) di cui 10 hanno permesso il recupero di campioni, con analisi geotecniche effettuate in laboratorio "terre";
- ✓ n. 292 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- ✓ n. 27 prove penetrometriche con punta elettrica (CPTe)
- ✓ n. 89 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (CPTU)
- ✓ n. 23 prove penetrometriche dinamiche medie (DM)
- ✓ n. 5 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- ✓ n. 7 pozzi per acqua (PA)
- ✓ n. 7 stendimenti sismici attivi MASW;
- ✓ n. 4 stendimenti sismici passivi Re.Mi.;
- ✓ n. 52 registrazioni microtremiti a stazione singola (HVSR)
- ✓ n. 3 prove "Down-Hole" (DH)
- ✓ n. 3 ESAC (ESAC_SPAC)
- ✓ n. 3 pozzi per idrocarburi (PI)
- ✓ n. 1 penetrometrie con "Cono Sismico" (SCPT)

Tra le prove di repertorio, è risultato molto utile disporre, come vedremo, anche dei dati numerici delle penetrometrie CPTU eseguite sia dalla RER (nell'ambito del Progetto Carta

Geologica d'Italia), sia messi gentilmente a disposizione da alcuni geologi professionisti.

Dall'analisi della distribuzione delle verticali delle numerose indagini geognostiche pregresse e dei dati ad esse associati, si è potuto quindi osservare che buona parte del territorio comunale, e in particolare il settore di costa, presenta caratteristiche geomeccaniche dei terreni ben note, da cui emerge un quadro complessivamente chiaro e di buona correlabilità.

Sono risultate tuttavia meno numerose (pertanto integrate da nuove indagini) le prove di repertorio relative a molte delle frazioni del territorio interno di Cervia, in particolar modo sguarnite sia di prove CPTU (utili anche per le verifiche quantitative della liquefacibilità), sia di dati geofisici utili per la modellazione sismostratigrafica.

Relativamente alla qualità dei dati, nel corso dello studio di MS è chiaramente emerso che, data l'eterogeneità dell'archivio, non sempre indagini della stessa tipologia possono essere ritenute allo stesso modo attendibili. Dal confronto di indagini analoghe eseguite da soggetti diversi, in tempi diversi sulla stessa area, si sono evidenziati risultati a volte non coerenti. Per quanto possibile lo studio di MS ha dunque espletato una prima valutazione speditiva sull'affidabilità dei dati raccolti, tenendone opportunamente conto in sede di elaborazione e di studio, della quale si è ulteriormente tenuto conto per questi ulteriori approfondimenti.

Le figure 4.1 e 4.2 riportano la distribuzione delle prove di repertorio nell'intero territorio comunale e delle ulteriori indagini integrative eseguite per questo studio.

I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in formato *.pdf nella cartella Indagini\documenti contenuti nel DVD.

4.1 Le indagini eseguite per la microzonazione sismica

Per l'elaborazione della MS di "livello 2" e dei successivi approfondimenti di "livello 3", si è reso indispensabile effettuare ulteriori indagini in sito, sia di tipo geofisico, sia di tipo geognostico.

Si è cercato di dedicare alcune fondamentali indagini (es.: sondaggio e "Down -Hole" fino a -50 metri; prove di laboratorio comprese le prove di "colonna risonante") soprattutto nell'insediato della costa (già significativamente investigato la privo, ad esempio, di specifiche indagini di laboratorio dinamiche, di fondamentale importanza per l'analisi numerica della risposta sismica locale).

Come già scritto, alle frazioni più interne del Comune sono state dedicate prove geognostiche/geofisiche utili anch'esse, come vedremo, alle verifiche della potenziale liquefacibilità e all'elaborazione di modelli numerici di risposta sismica locale (CPTU; registrazioni HVSR; array ESAC). Nel territorio comunale sono state inoltre eseguite ben 10 registrazioni del rumore sismico passivo HVSR con tempi di acquisizione prolungati fino a 60 minuti per tentare di ricavare spettri H/V con picchi di amplificazioni maggiormente definiti.

✓ *n. 1 sondaggio a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo* → spinto fino a 50 metri di profondità, è stato eseguito nel settore costa a Pinarella, nell'area verde tra via Donati e via Lazio. Si è utilizzata una sonda autocarrata (foto 4.1). La terebrazione è proceduta con l'utilizzo di carotieri di diametro pari a 101 mm di tipo semplice T1 e a corona normale, e

hanno consentito il campionamento in continuo fino a -20,4 metri per la conseguente ricostruzione stratigrafica del terreno e successivamente con avanzamento con tecnica a distruzione di nucleo. Sono state effettuate manovre di carotaggio di lunghezza <1,5 m per consentire il miglior recupero dei sedimenti in termini di quantità e di minor disturbo. Il carotaggio estratto è stato sistemato in cassette catalogatrici in PVC per la successiva conservazione in luogo riparato.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono stati prelevati n. 4 campioni indisturbati mediante appositi campionatori a pareti sottili tipo "Osterberg", spinti a pressione nei sedimenti da terebrare, limitando il disturbo per compressione sul campione. Tutti i campioni indisturbati sono stati sigillati su entrambe le estremità della fustella con paraffinatura a caldo e chiusura con tappo. I campioni indisturbati hanno consentito di espletare specifiche prove di laboratorio (tessiture; limiti di Atterberg; prove di colonna risonante).

Il foro è stato inoltre predisposto per la misura diretta delle velocità di propagazione delle onde sismiche (V_s e V_p) spinto fino a -50 metri.



Foto 4.1 - Esecuzione del sondaggio a Pinarella di Cervia

- ✓ n. 1 prova sismica in foro "Down-Hole" → (foto 4.2) spinta fino a -50 metri di profondità, eseguite nel sondaggio di Pinarella. La prova DH prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio.



Foto 4.2 - prova "Down-Hole" e geofono utilizzato per le misure in foro

- ✓ *n. 14 prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU)* → di cui dieci realizzate dallo Studio scrivente con strumento penetrometrico di contrasto massimo pari a 200 kN e montato su semovente cingolato "Pagani", quest'ultimo dotato di ancoraggi supplementari per migliorare l'ancoraggio al suolo e consentire il massimo approfondimento delle prove (foto 4.3). Le penetrometrie sono state spinte fino a -20 metri di profondità per definire le caratteristiche tessiturali e geotecniche nell'intervallo più utile ai fini delle verifiche della possibilità di liquefazione e cedimenti post-sisma. Le prove elettriche consentono una migliore definizione tessiturale dei sedimenti attraversati rispetto alle altre tipologie di prove penetrometriche (CPT; DPSH; ecc.), potendo registrare dati delle resistenze dei sedimenti pressoché continui (una lettura ogni cm di avanzamento). Altre quattro prove sono state eseguite con mezzo semovente di maggiori dimensioni e maggiore contrasto (300 kN) per consentire l'esecuzione delle prove CPTU profonde fino a -35 metri e la successiva esecuzione dei "Coni Sismici"



Foto 4.3 - Prova CPTU eseguita a Cannuzzo

- ✓ *n. 4 prove sismiche on "Cono Sismico" (SCPTU)* → realizzate con strumento penetrometrico montato su semovente cingolato "Pagani" (foto 4.4). Le prove sono state spinte fino a -35 metri di profondità. La punta è dotata di tre accelerometri, che consentono di misurare direttamente la velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio (V_s). Le modalità esecutive delle prove si basano sull'arresto dell'infissione del piezocono a step regolari (nel nostro caso, la misura è stata eseguita ogni 100 cm di approfondimento, per effettuare l'acquisizione dei dati sismici tramite sensori e sismografo.



Foto 4.4 - Prova SCPTU eseguita A Castiglione di Cervia (Cimitero)

- ✓ *n. 5 prove sismiche in array bidimensionale ESAC (foto 4.5)* → il metodo ESAC (Auto Correlazione Spaziale Migliorato) è un'estensione del metodo SAC (Spatial Auto-Correlation) proposto da AKI nel 1957 ed è utilizzato per determinare la velocità di fase apparente o effettiva delle onde di Rayleigh a partire dalla misura del rumore ambientale. Dato che il rumore ambientale è in genere caratterizzato da onde a basse frequenze (<10-15Hz), la velocità di fase apparente fornita dal metodo riguarda le basse frequenze e quindi gli strati di terreno o roccia più profondi. L'utilizzo delle tecniche passive sull'analisi spettrale delle onde Rayleigh (R) è giustificata dal fatto che il rumore sismico ambientale è ricco di onde superficiali tipo R e che in un mezzo omogeneo ed isotropo la velocità di propagazione V_s può essere ricavata indirettamente dall'analisi spettrale delle onde R secondo equazioni sperimentali. Tale tecnica permette di ottenere i profili verticali (1D) della velocità media delle onde di taglio "S" più profonde. Un secondo vantaggio della tecnica ESAC riguarda lo svincolo dal problema della direzionalità della/e sorgente/i di rumore sismico ambientale in quanto è già implicito nella stessa geometria utilizzata di tipo 2D, impiegando geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz).

La configurazione dei 24 geofoni di acquisizione è stata effettuata secondo un array bidimensionale, disposti a "L" secondo lo schema riportato nelle schede delle prove e tuttavia con una spaziatura di 5 metri.



Foto 4.5 - Prova ESAC eseguita a Pinarella (in adiacenza alla prova "Down-Hole")

- ✓ *n. 64 misure di microtremore sismico a stazione singola (foto 4.6)* → Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva sono state eseguite con tromografo digitale "Tromino" e sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo (Albarellò e Castellaro, 2011). Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mucciarelli, 2012). Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole (10-15 m/s²), con componenti spettrali che vengono

scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione dette passive. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con frequenza di campionamento di 128 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti e 60 minuti (per 10 misure).



Foto 4.6 - Registrazione dei microtremori sismici eseguita per questo studio. La freccia rossa indica lo strumento in fase di registrazione

- ✓ n. 2 prove di colonna risonante (RC) → Eseguita su campioni rappresentativi dei sedimenti fini prelevati con il sondaggio di Pinarella. La prova di colonna risonante consente di determinare il modulo di taglio G e lo smorzamento dei terreni al variare delle deformazione di taglio imposta, da valori molto piccoli (intorno a 10⁻⁵%) fino a circa 10⁻²%. Viene largamente impiegata in tutti i casi in cui i terreni sono sottoposti a sollecitazioni dinamiche (sisma), per le analisi di deformazione dei terreni e di propagazione delle onde. Sono prove particolarmente utili per le analisi numeriche di risposta sismica locale. Il sistema elettromagnetico è alimentato da un generatore di onde sinusoidali a frequenza variabile. Il segnale elettrico utilizzato per produrre la torsione e quello dell'accelerometro, che misura il moto della testa, sono visualizzati sugli assi X-Y di un oscilloscopio e danno luogo ad una configurazione ellittica quando il campione è in risonanza (figura 4.7). I valori della frequenza di risonanza e dell'accelerazione indotta sono utilizzati per il calcolo del modulo di taglio e delle deformazioni. La curva di decadimento, prodotta interrompendo in risonanza l'eccitazione torsionale, permette di valutare lo smorzamento del materiale espresso come percentuale dello smorzamento critico.

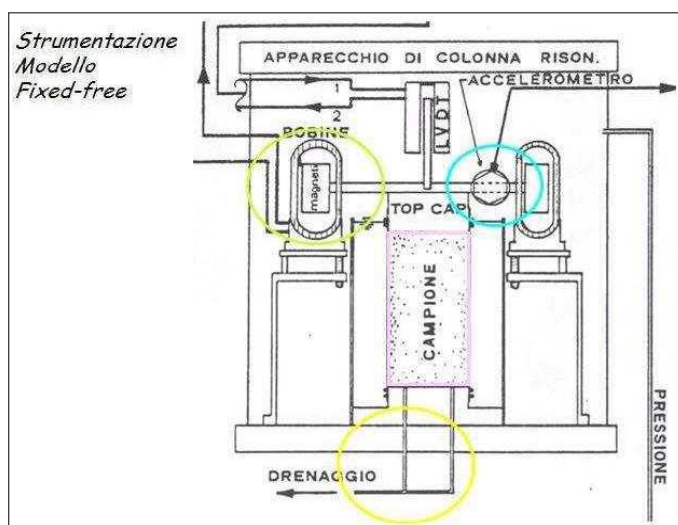


Figura 4.7- Schema della colonna risonante di tipo "Fixed - free" (fonte: sito ISMGEO)

- ✓ *n. 4 prove di classificazione* → sono state effettuate prove di classificazione dei sedimenti, prelevati dai campioni indisturbati e dai campioni disturbati del sondaggio. Le prove di classificazione sono state eseguite secondo gli usuali standard di procedura per campioni di terreni: AGI (Associazione Geotecnica Italiana), UNI e ASTM (Volume 04.08 Soil and Rock). Le prove hanno stimato contenuto d'acqua; peso di volume; limite liquido e plastico; fuso granulometrico completo.

Le figure 4.8 e 4.9 offrono la localizzazione delle indagini di repertorio e delle indagini integrative eseguite per lo studio di microzonazione sismica.

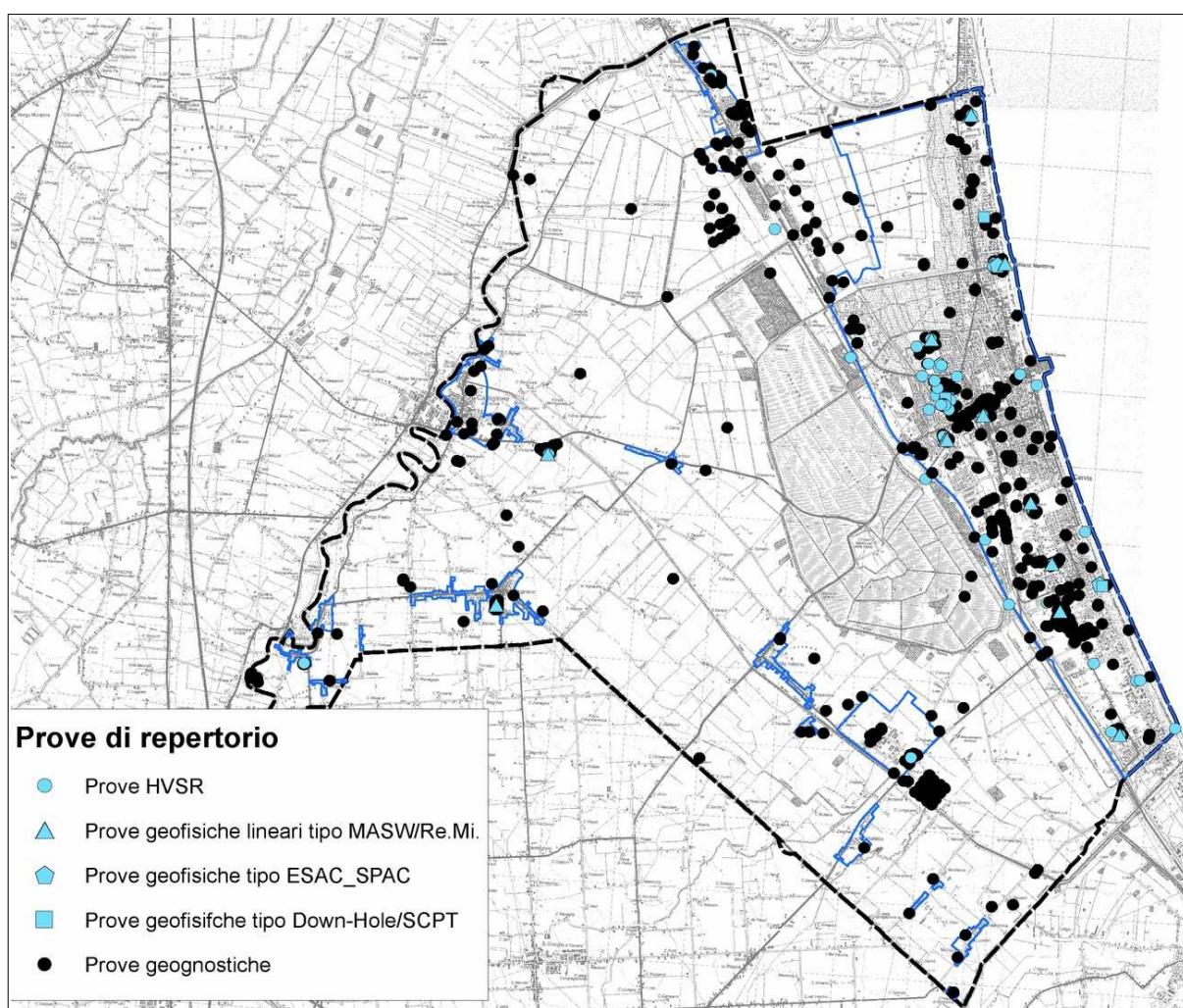


Figura 4.8- Localizzazione delle indagini di repertorio disponibili per lo studio di microzonazione sismica

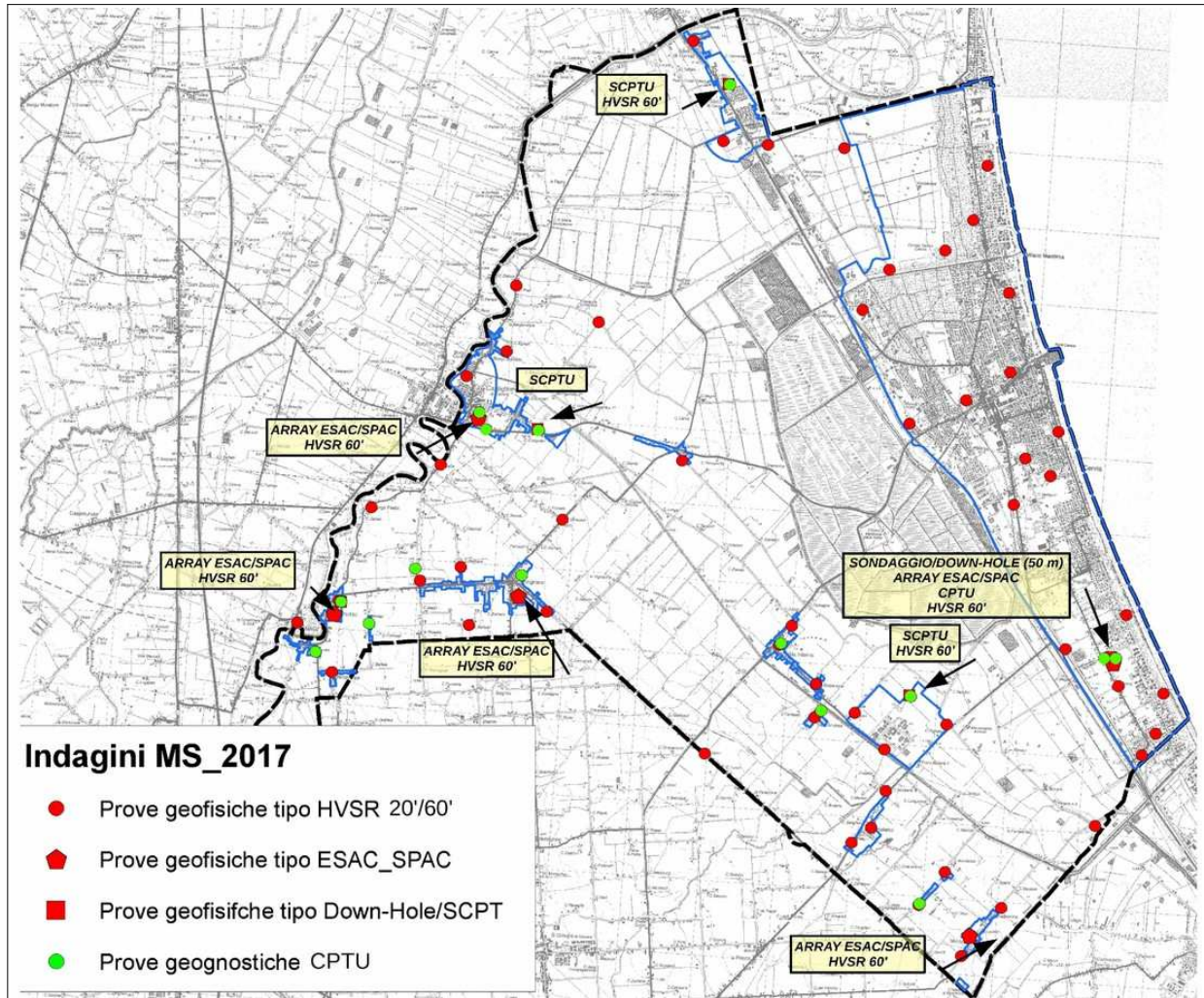


Figura 4.9 - Localizzazione delle indagini integrative eseguite per lo studio di microzonazione sismica. La figura evidenzia anche la distribuzione delle principali prove realizzate

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il contesto geologico generale, descritto nel capitolo 3 e gli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili e di nuova esecuzione hanno permesso la classificazione e la modellazione del sottosuolo finalizzata alla caratterizzazione sismica.

In tal senso, per lo studio di microzonazione sismica di Cervia si è potuto disporre di molti punti di controllo, seppure con evidenti concentrazioni in alcune aree, tutto sommato ben distribuiti sull'intero territorio comunale. Questo consente di ottenere un'attendibile ricostruzione delle caratteristiche litologiche e sismiche dei primi 20 ÷ 50 metri di sottosuolo nelle aree urbanizzate ed in alcuni casi anche al di fuori di queste.

Le conoscenze litostratigrafiche degli ambiti di studio vengono sintetizzate nella Carta Geologico Tecnica (tavola 2), che riporta le litologie superficiali prevalenti (primi 5 ÷ 6 metri) e nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (tavola 4), che presenta la suddivisione del territorio dei comuni sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica profonda (fino al bedrock sismico) nel territorio studiato.

5.1 Litologie sub-affioranti

Per la caratterizzazione geologico tecnica dei sedimenti superficiali, lo studio si è basato sul controllo dei dati tessiturali desunti dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo e, in particolare, sugli esiti delle analisi tessiturali e di classificazione dei campioni prelevati. Occorre tuttavia precisare che si è potuto disporre di campioni prelevati nei primi metri di sottosuolo in nove sondaggi di repertorio (su 51 complessivi), tutti realizzati nella zona costiera. Per questo motivo, si è deciso di considerare anche gli esiti tessiturali delle prove penetrometriche. In particolare, le prove CPTE/CPTU di repertorio (delle quali si dispongono dei dati numerici) e le prove CPTU eseguite per questo lavoro permettono di ricavare in modo automatico le tessiture, secondo la nota classificazione dei terreni proposta da P.K. Robertson (1990; 2009).

Tutte queste informazioni, hanno permesso la classificazione dei punti di controllo basata sulle classi tessiturali definite secondo gli "standard di microzonazione sismica" (v.4.0) e sulla prevalenza tessitoriale riscontrata nella "colonna" di sedimenti profonda fino a circa -5 ÷ 6 metri dal piano campagna (cfr. tavola 2). La profondità considerata, è da ritenersi confrontabile con il "volume significativo" caratteristico della maggior parte degli edifici di normale impegno costruttivo (e dotati di fondazioni "dirette") presenti nel territorio di studio. Nelle attribuzioni tessiturali da prove penetrometriche, si è fatta particolare attenzione agli spessori di sedimenti insaturi più superficiali, in quanto le condizioni di essiccamento portano molto spesso a correlazioni tessiturali e meccaniche falsate.

I carotaggi e le analisi di laboratorio (tessiture e limiti di Atterberg), disponibili nelle aree urbanizzate/urbanizzabili del settore di costa, evidenziano come i sedimenti superficiali siano chiaramente riconducibili alla classe geotecnica USCS/AGI "SM" (sabbie; sabbie limose e limi

sabbiosi prevalenti). Un'eccezione è rappresentata dal settore SO della frazione Savio di Cervia, in particolare la zona produttiva situata tra il tracciato "storico" della strada statale adriatica e il nuovo asse realizzato a sud di essa: qui le indagini geognostiche evidenziano come i sedimenti sabbiosi di cordone marino risultino sovrastati da sedimenti fini (di retrocordone) prevalentemente limoso argillosi e/o argilloso limosi per spessori significativi (fino a 3 ÷ 5 metri), tali da attribuire questa parte di territorio urbano di Savio alla classe geotecnica "ML".

La figura 5.1 riporta una sintesi della ricostruzione dello spessore delle sabbie marine recenti (sostanzialmente coincidenti con depositi della trasgressione flandriana) lungo il tutto il settore di costa. La ricostruzione è stata elaborata per questo studio. La figura 5.1 riporta le isobate di base di tali sabbie marine, evidenziando spessori massimi verso nord (Milano marittima) e minimi verso sud (Tagliata) e con un tendenziale approfondimento da ovest verso est, ovvero verso l'attuale limite di costa. La ricostruzione è dunque coerente con l'inquadramento geologico locale descritto nel capitolo 3.

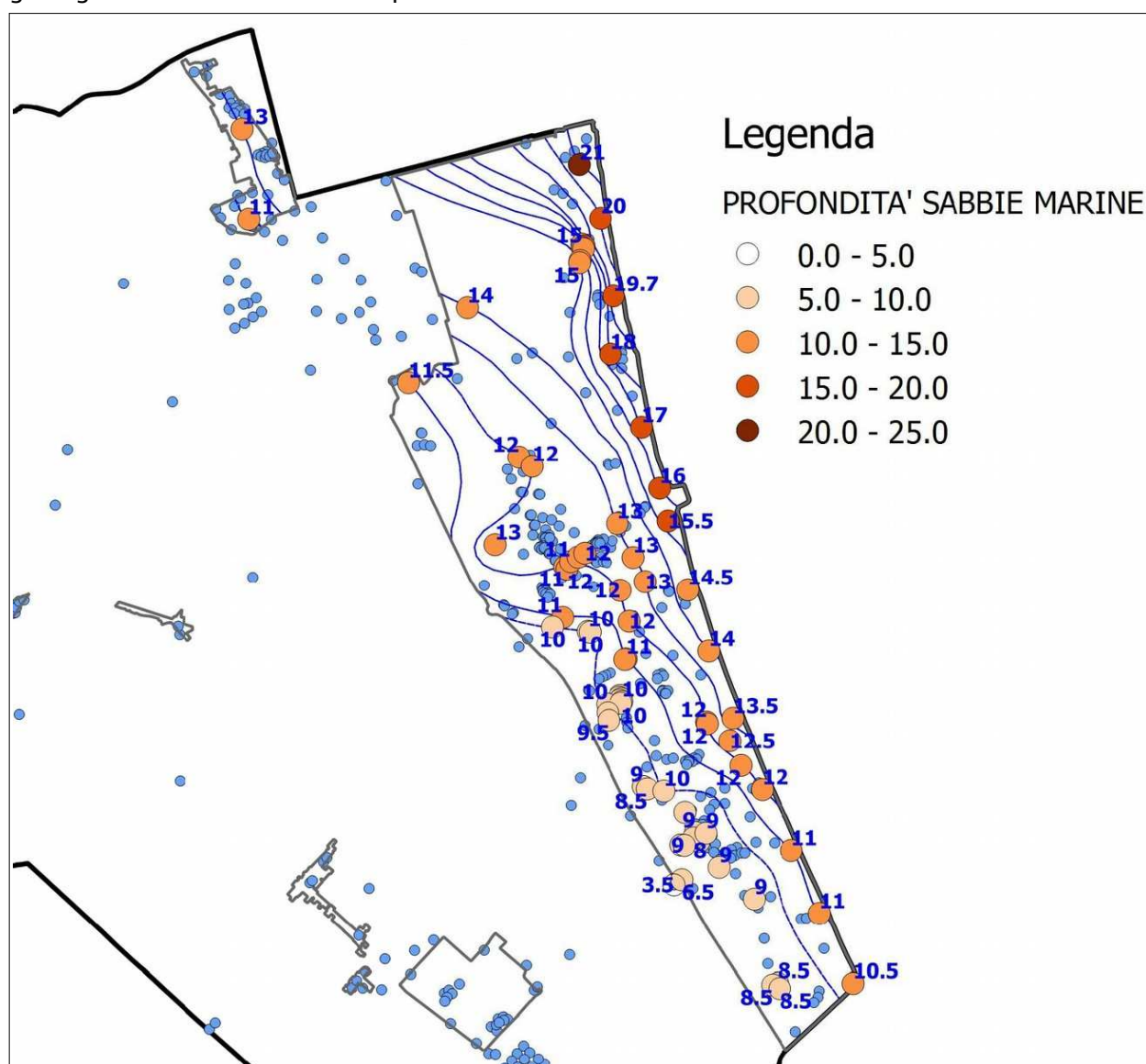


Figura 5.1 - Ricostruzione delle isobate delle sabbie marine della zona di costa cervese, sulla base dei dati litostratigrafici desunti dalle prove geognostiche (sondaggi; penetrometrie)

Tutte le altre aree di studio più interne, sono invece attribuibili alla classe geotecnica “CL”. Le numerose prove geognostiche (soprattutto CPT/CPTU) hanno infatti evidenziato sedimenti superficiali prevalentemente argillosi e/o argilloso limosi di consistenza più o meno variabile (spesso maggiore in superficie – nell'intervallo sopra falda essiccato – ma anche per la presenza di presunti paleosuoli). Presso le frazioni Castiglione di Cervia e Pisigniano (parte est), sono stati tuttavia riscontrati intervalli limoso sabbiosi superficiali ma di modesto spessore (fino a decimetrici) e quindi tali da non giustificare una differente classificazione geotecnica dei primi 5 – 6 metri di sottosuolo. Si tratta di depositi granulari di “crevasse” recente del Fiume Savio, considerati, come vedremo, potenzialmente liquefacibili (cfr. cartografia MOPS) e debitamente investigati da indagini CPTU per verificarne la potenziale pericolosità.

Le suddivisioni litologiche dei terreni di copertura appena descritte sono servite anche come base generale per la realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS, tavole 4a/b).

5.2 Sottosuolo profondo

Una ricostruzione del modello geologico profondo del territorio di Cervia è possibile attraverso l'analisi e delle sezioni geologiche già disponibili e riportate nelle cartografie di microzonazione sismica. Tra queste, la sezione rinominata 1-1' risulta un'accurata ricostruzione del sottosuolo (fino a circa 30 metri di profondità) lungo l'attuale costa cervese, elaborata per lo studio geologico dell'adeguamento del Piano dell'Arenile (GeoProget, 2016) e riproposta in figura 5.2.

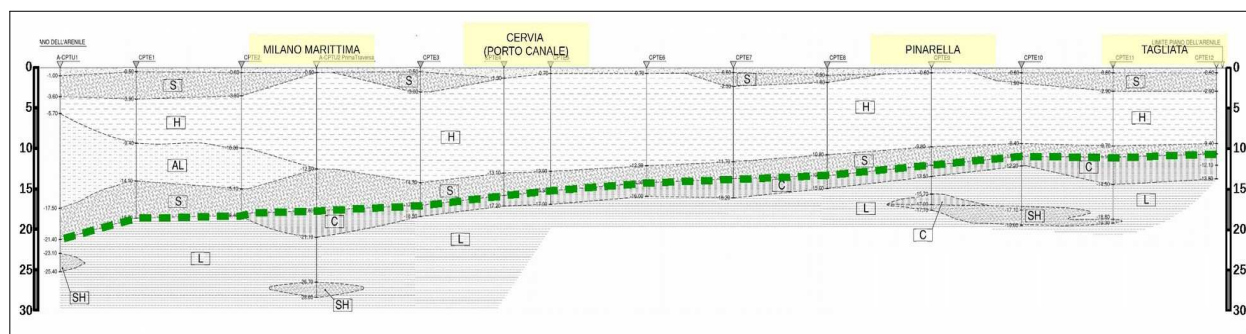


Figura 5.2 - Sezione geologica elaborata per lo studio geologico di adeguamento del Piano dell'Arenile (GeoProget, 2016, modificata). Nella sezione si è evidenziato il limite delle sabbie marine recenti (linea tratteggiata verde). Per questo studio è stata rinominata 1-1'

Sono disponibili altre sezioni geologiche più profonde, elaborate dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna. In particolare, sono disponibili cinque sezioni realizzate nell'ambito degli studi del progetto CARG: una è denominata n. 20, parallela alla linea di costa fino alla località Milano Marittima, in zona retrostante il lungomare e profonda circa 50 mt; altre due trasversali alla linea di costa (nonché alla sez. n. 20), sono la n. 84, per la zona a sud del territorio comunale (località Pinarella), e la n. 57 per la zona nord in località Milano Marittima che tuttavia non raggiunge la fascia costiera. Sono infine disponibili altre due sezioni rappresentative del territorio interno e ad andamento SE - NO (sezioni n. 97 e n. 145). L'ubicazione delle sezioni è riportata nella planimetria di figura 5.3.



Figura 5.3 - Sezioni geologiche pubblicate dal SGSS regionale

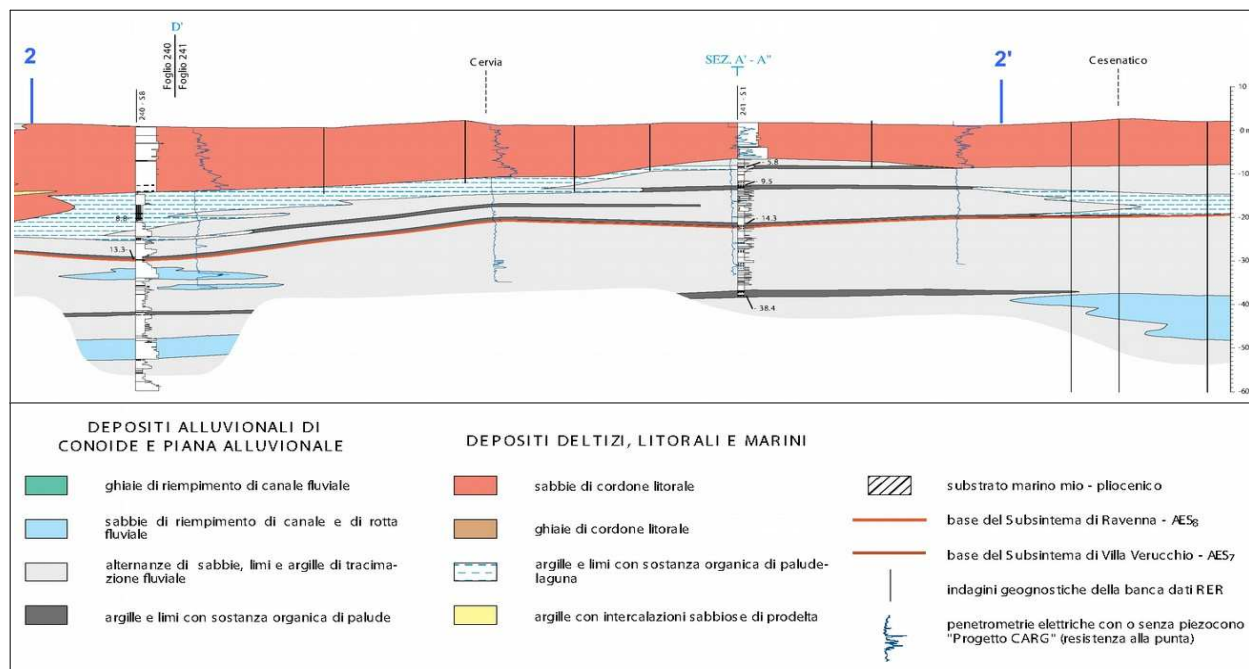


Figura 5.4 - Sezione geologica RER (n.20). Per questo studio è stata rinominata 2-2'

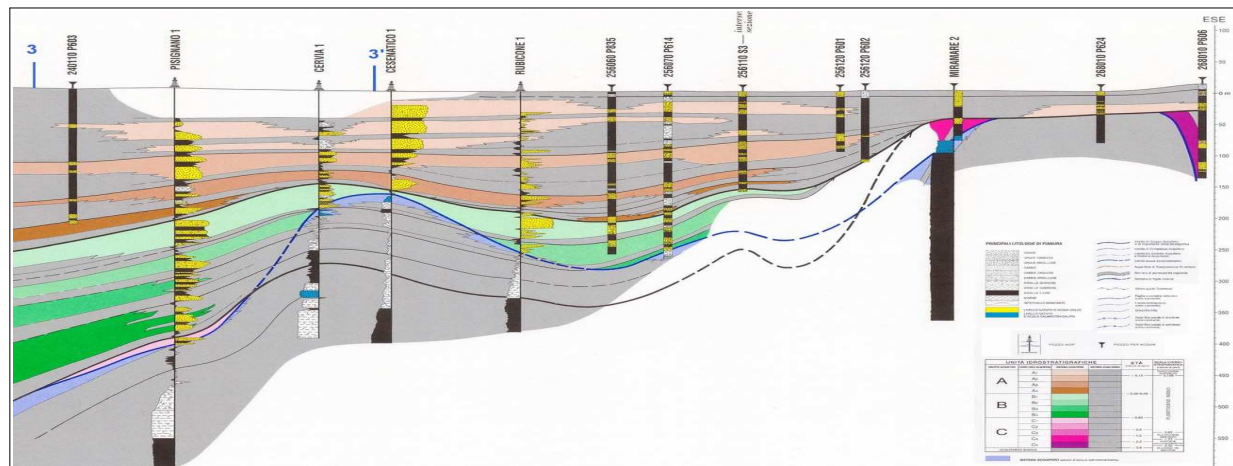


Figura 5.5 - Sezione geologica RER (n.97). Per questo studio è stata rinominata 3-3'

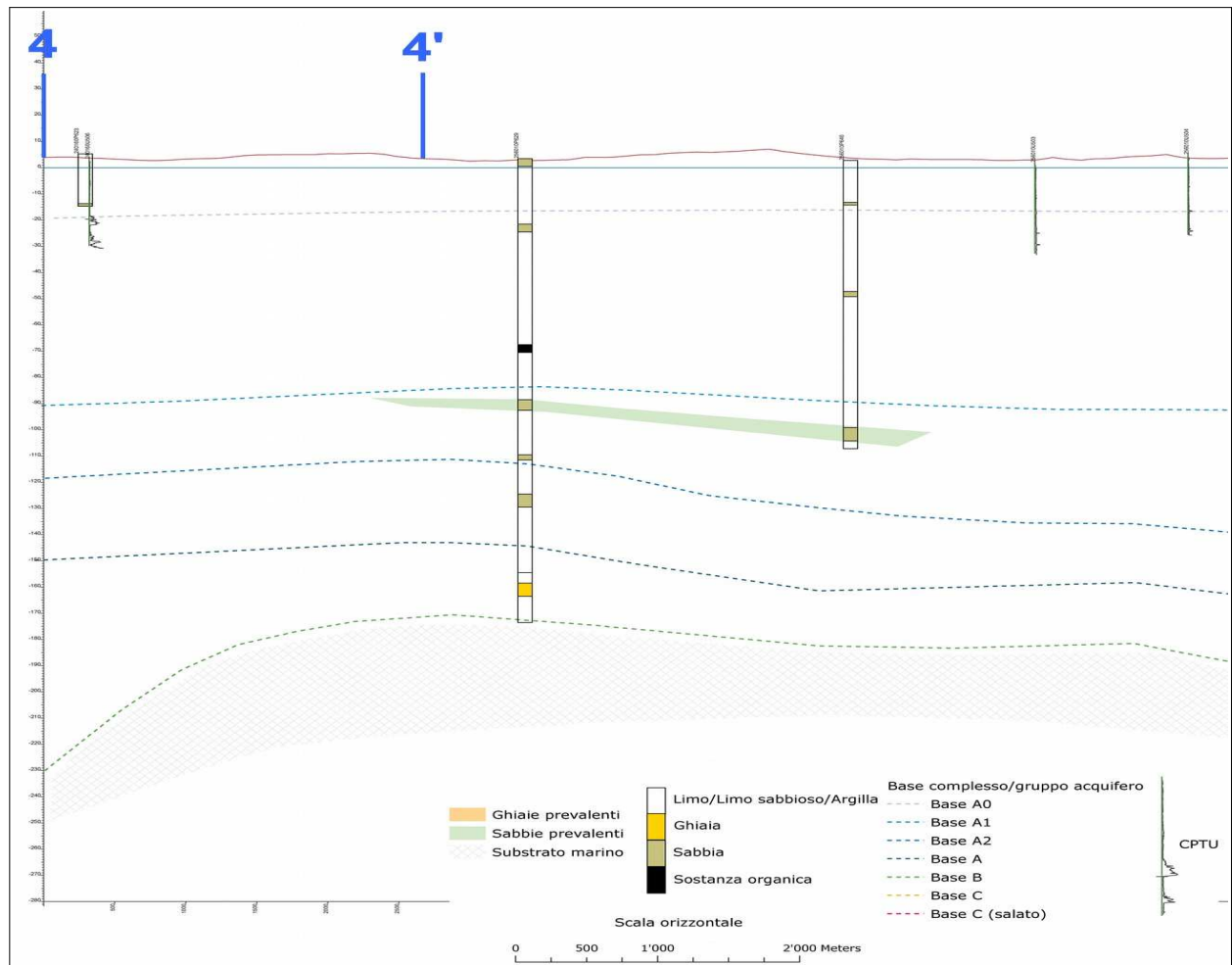


Figura 5.6 - Sezione geologica RER (n.145). Per questo studio è stata rinominata 4-4'

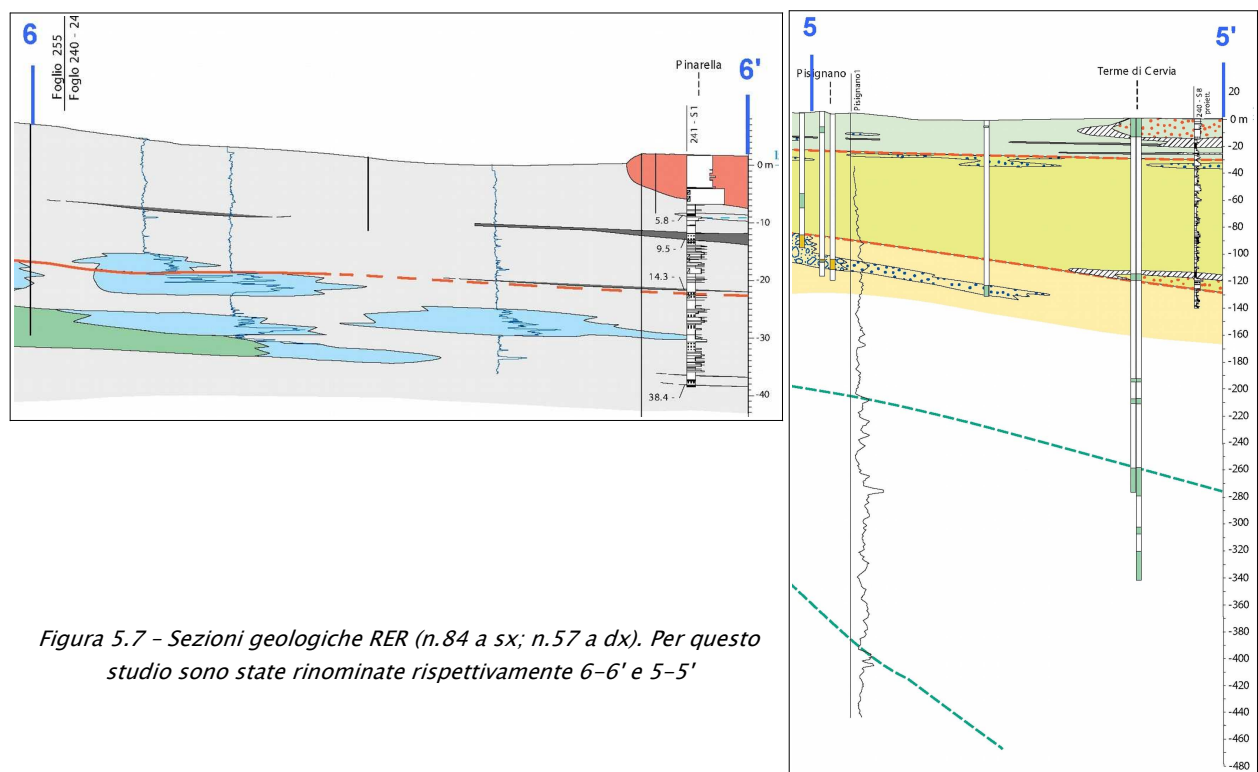


Figura 5.7 - Sezioni geologiche RER (n.84 a sx; n.57 a dx). Per questo studio sono state rinominate rispettivamente 6-6' e 5-5'

Un ulteriore e importante contributo per la modellazione geologico – sismica profonda è fornito dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (scala 1:250.000). Lo stralcio di tale cartografia, riprodotto in figura 5.8, evidenzia la profondità della base del Sintema Emiliano – Romagnolo Superiore AES (cfr. capitolo 3). Nell'area cervese, la profondità complessiva di AES risulta piuttosto variabile procedendo da sud presso Montaletto (circa -150 m slm) verso NNE presso Milano Marittima (oltre -300 m slm).

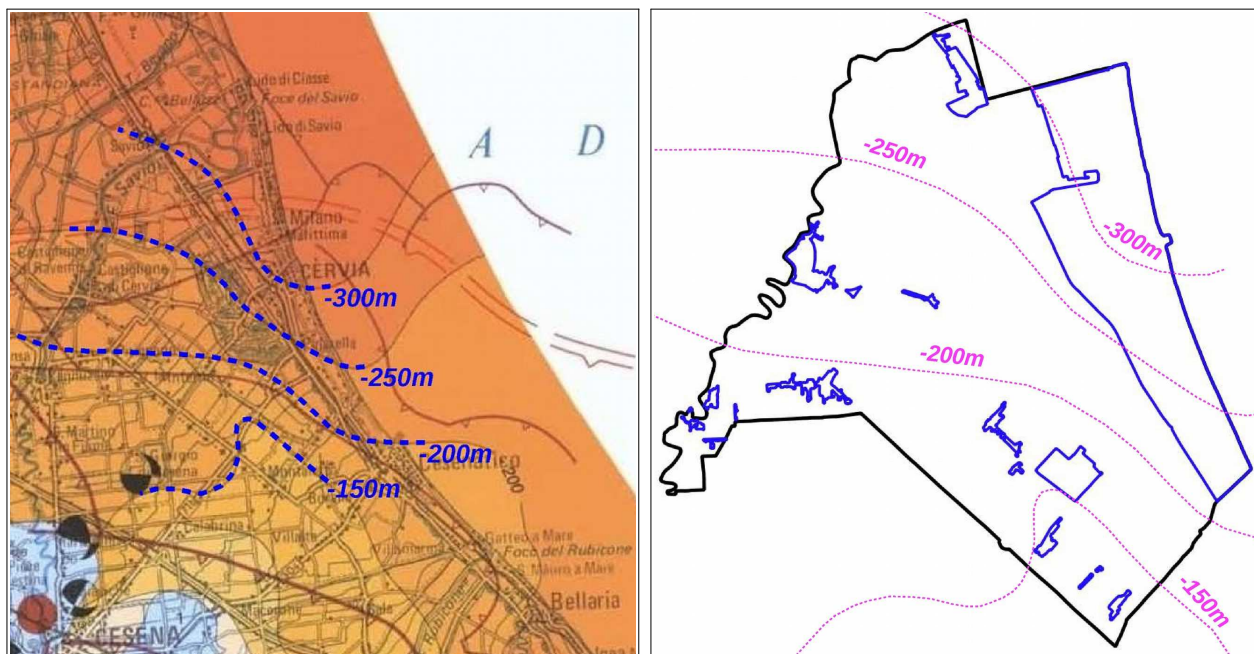


Figura 5.8 – A sx: stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:250.000 (SGSS e CNR, 2004). Il tratteggio in blu evidenzia la ricostruzione delle quote di base (slm) del Sintema AES. A dx: rielaborazione delle quote di base di AES rispetto alle aree di studio del Comune di Cervia

Dal punto di vista sismostratigrafico, il sottosuolo del settore di costa è stato direttamente investigato da numerose prove (“Coni Sismici”; sondaggi con prove “Down – Hole”) fino a profondità comprese tra 30 e 50 metri. Per lo studio geologico elaborato a corredo dell'adeguamento del Piano dell'Arenile (GeoProget, 2016), sono stati recentemente eseguiti quattro array sismici ESAC: queste ulteriori indagini hanno consentito di ottenere dati sismostratigrafici fino a profondità di circa 130 ÷ 150 metri.

Tuttavia, fino a questo ulteriore studio di microzonazione sismica, per il territorio cervese non risultavano disponibili dati relativi alle caratteristiche dinamiche dei sedimenti in caso di scuotimento sismico (curve di decadimento), di particolare importanza per l'elaborazione di modelli numerici di RSL. Mancavano, infine, dati sismostratigrafici relativamente attendibili (a parte due stendimenti MASW di repertorio recuperati a Cannuzzo e Pisignano) per tutti gli areali di studio più interni rispetto alla costa.

Per questo motivo, molte delle indagini geofisiche eseguite per questo studio (“Coni Sismici”; array ESAC; registrazioni HVSR) sono state realizzate negli areali interni (cfr. capitolo 4 e figura 4.9). La figura 5.9 riporta la distribuzione delle indagini geofisiche disponibili nel territorio cervese, riportando la tipologia della prova e l'esito della Vs30. Si può constatare come gli esiti più attendibili di Vs30 indichino velocità equivalenti comprese tra circa 175 m/s e 200 m/s). Occorre precisare che le indagini ESAC forniscono esiti di Vs superficiale tendenzialmente meno dettagliati rispetto ad indagini dirette (es. “Cono Sismico”) in conseguenza al maggior passo tra

i geofoni dello stendimento (geometria che, tuttavia, consente una maggiore profondità di investigazione, fino a ben oltre 100 metri).

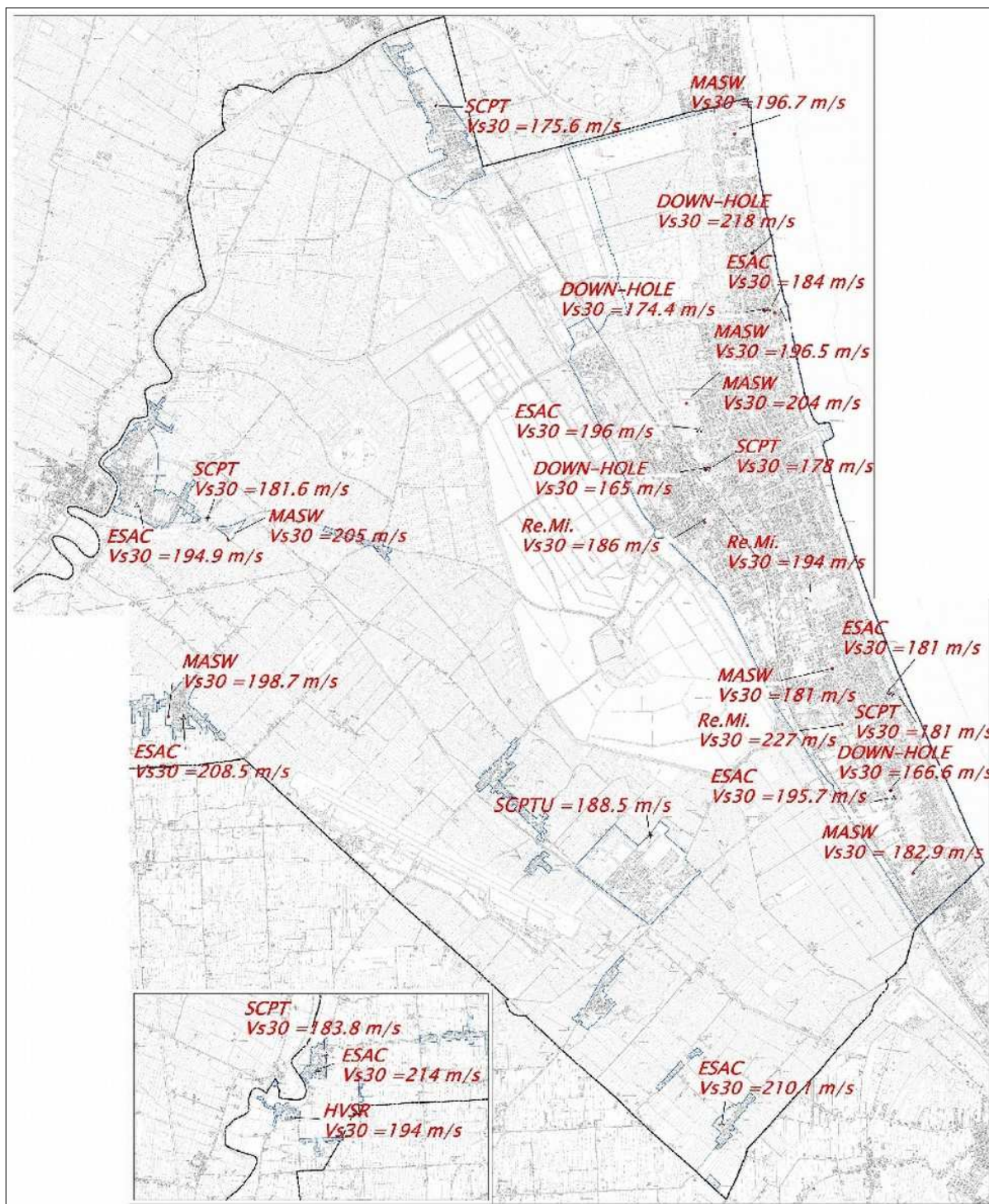


Figura 5.9 - Indagini geofisiche disponibili nel territorio cervese con calcolo della Vs30. È indicata anche la tipologia di prova

La figura 5.10 riporta il confronto delle sismostratigrafie (esiti di Vs) desunte dalle indagini geofisiche disponibili. I dati (più attendibili) relativi al sottosuolo più profondo investigato, evidenziano come a circa 120 metri di profondità le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio siano comprese tra 350 m/s e 450 m/s (indagini ESAC); gli esiti con maggiore rigidità/Vs sono ricavati nelle indagini eseguite negli areali più interni rispetto alla

costa: ciò è presumibilmente da imputare alla progressiva progradazione da SO verso NE dei depositi alluvionali del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), di alimentazione appenninica.

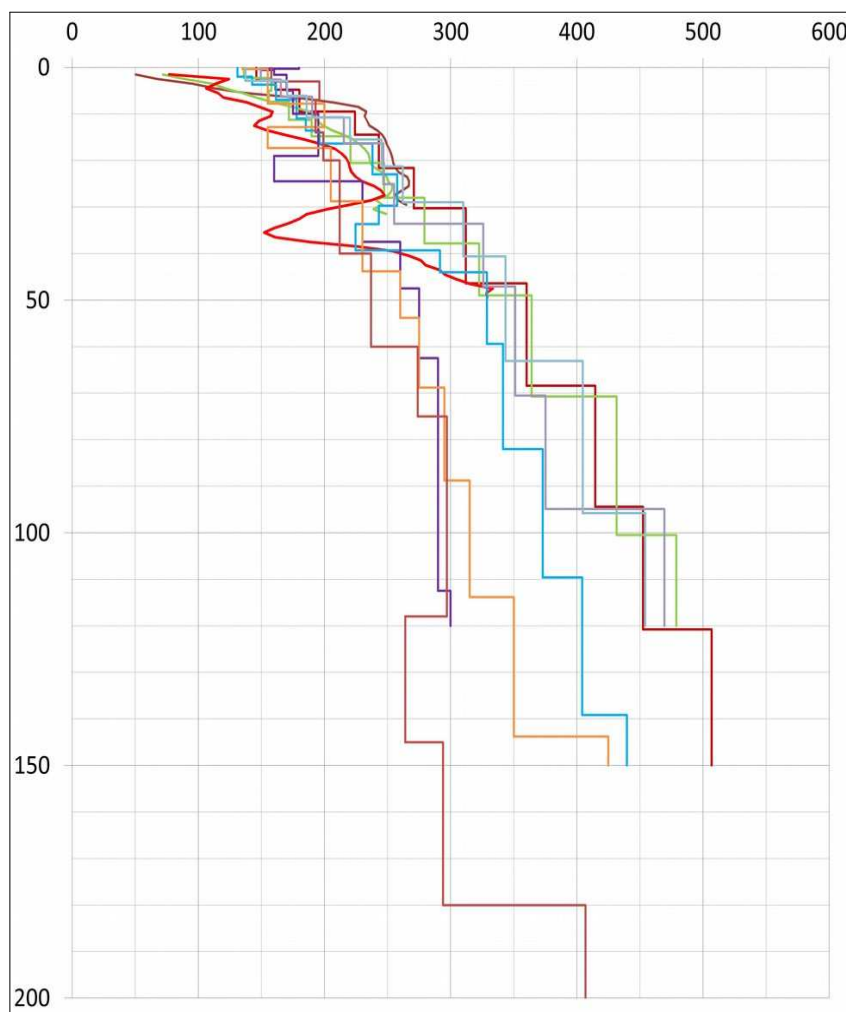


Figura 5.10 - Sismostratigrafie ottenute dalle indagini geosifiche disponibili nel territorio cervese (DH; SCPT; ESAC; MASW; REMI)

Lo studio di microzonazione sismica ha inoltre permesso l'esecuzione di un ulteriore sondaggio nel settore di costa a sud di Pinarella (areale relativamente sguarnito da indagini sismiche dirette), spinto fino a -50 metri, la realizzazione di una prova diretta "Down - Hole" nel medesimo foro di sondaggio e il prelievo di due campioni per la caratterizzazione dinamica dei sedimenti attraversati. La figura 5.11 riporta la colonna sismostratigrafica ottenuta dalla prova sismica in foro, i principali esiti di caratterizzazione geotecnica dei campioni fini prelevati al di sotto delle sabbie marine recenti e le curve di decadimento (moduli di taglio e damping) ricavati dai due campioni, prelevati rispettivamente a -11 m e -47 m. I dati delle prove dinamiche sono stati implementati in tutti i modelli elaborati per il settore di costa.

È interessante evidenziare come i dati di laboratorio disponibili da campioni prelevati in sondaggi di repertorio, indichino esiti di plasticità prevalentemente medio-alte (con IP fino a circa 44) nei sedimenti argilloso limosi al di sotto delle sabbie marine di costa, coerentemente con gli esiti ottenuti dal sondaggi di Pinarella.

Le registrazioni effettuate nel territorio cervese hanno evidenziato tracce H/V sostanzialmente prive di amplificazioni significative, con pochi alti spettrali rilevabili. In alcuni casi, nelle zone più interne alla costa si sono registrati picchi spettrali principali a frequenze >1 Hz (es.:

Cannuzzo; Castiglione di Cervia; Tantlon), tuttavia sempre di modesta ampiezza: queste amplificazioni sono riconducibili a intervalli granulari di modesto spessore (palealvei sabbioso ghiaiosi del fiume Savio).

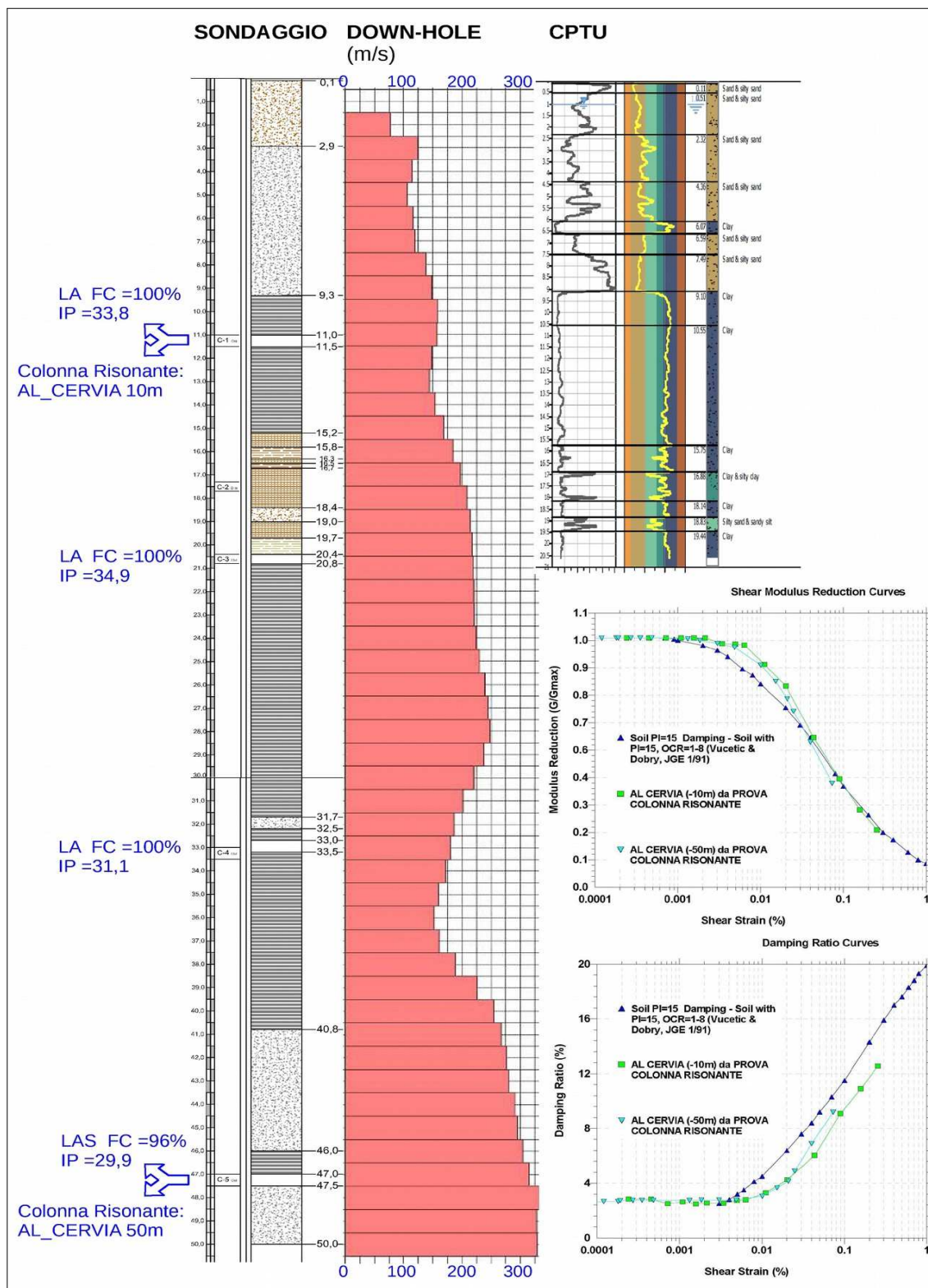


Figura 5.11 – Modellazione sismostratigrafica dei sedimenti investigati dal sondaggio/ “Down-Hole” eseguito per lo studio di microzonazione sismica a Pinarella di Cervia (nell’area verde tra via Donati e via Lazio). È riportato il confronto con la CPTU limitrofa. La figura riporta anche le curve di decadimento dei sedimenti fini di riferimento per le modellazioni numeriche della RSL del settore di costa cervese

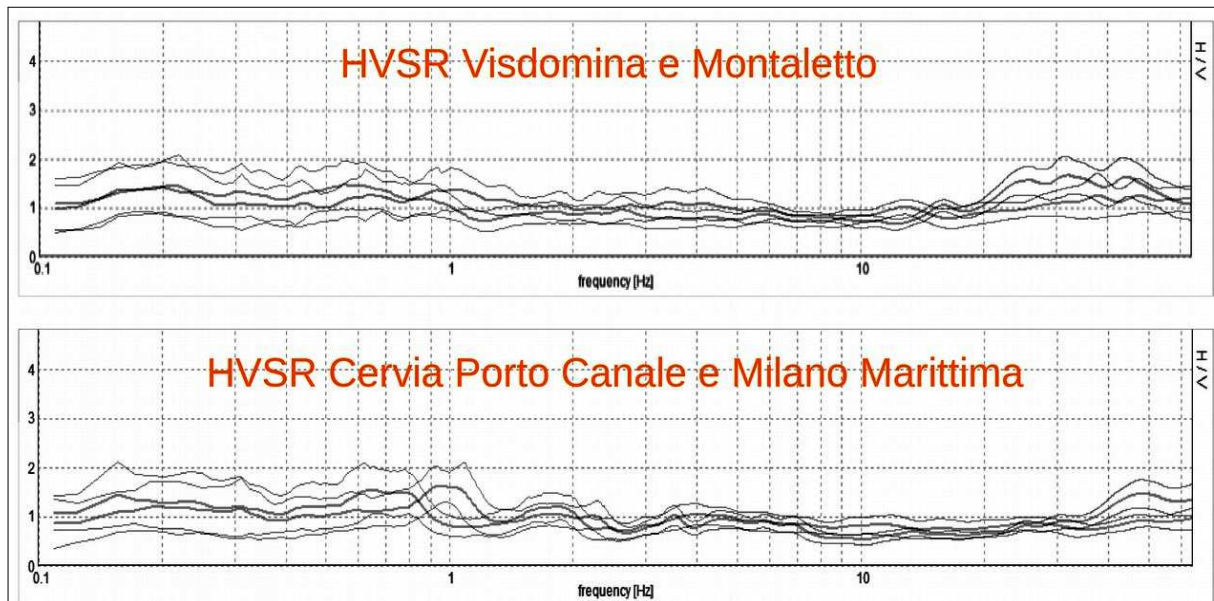


Figura 5.12 - Confronto tra registrazioni HVSR (tempi di acquisizione di 60') eseguite nel territorio interno SE (Visdomina e Montaletto) e nel territorio NO Porto Canale e Milano - Marittima

Anche nella zona di costa alcune prove HVSR evidenziano massimi picchi H/V a frequenze attorno $0,9 \div 1,1$ Hz (cfr. capitolo 6.1). Le registrazioni HVSR, e in particolar modo le prove effettuate con tempi di acquisizione prolungati a 60' hanno evidenziato alti spettrali relativamente più marcati; da queste ultime prove, inoltre, si riscontra una maggiore definizione dei "picchi" H/V nelle prove eseguite nel settore di costa rispetto alle registrazioni eseguite negli areali più interni (figura 5.10).

6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Nel presente capitolo si introducono le principali scelte effettuate a scopo interpretativo, evidenziandone le ragioni e gli elementi a sostegno, ma cercando di valutare anche le inevitabili incertezze e limitazioni non ancora risolvibili in questo livello di approfondimento.

6.1 Substrato rigido e la modellazione di RSL

Tra gli obiettivi degli approfondimenti espletati, vi è stato, innanzitutto, quello di definire con maggior dettaglio il bedrock sismico di riferimento per le modellazioni numeriche di RSL.

In questo senso, le indagini eseguite per gli studi di microzonazione sismica nei Comuni maggiormente danneggiati dal sisma emiliano del 2012 (ai sensi dell'Ordinanza RER n.70/2012) hanno offerto un importante contributo conoscitivo per quanto riguarda la risposta sismica nella pianura padana.

Gli studi regionali hanno riscontrato come il primo forte contrasto di impedenza sia collocabile nei depositi alluvionali, in genere tra la base del subsistema AES6 e la più profonda base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore AES (cfr paragrafo 3.1). Una seconda importante discontinuità sismica corrisponde alla più profonda interfaccia da depositi alluvionali e bedrock marino. Tuttavia, le numerose registrazioni HVSR eseguite nella Pianura Padana indicano che gli effetti di amplificazione legati a quest'ultimo riflettore sismico possono risultare molto variabili in funzione sia della sua profondità, sia delle caratteristiche litologiche/sismostratigrafiche dello spessore alluvionale e del substrato marino. In tal senso, un'ampia bibliografia scientifica (es. Seed et al., 1975) evidenzia che, per elevati spessori (in genere maggiori di 100 metri) di depositi "soffici" alluvionali, possono esserci importanti effetti di smorzamento.

Per quanto riguarda il territorio di Cervia, le informazioni di sottosuolo profonde disponibili (sezioni geologiche; sondaggi RER e AGIP; dati ricavati da MASW/REMI e ESAC) sono stati confrontati con gli esiti delle registrazioni HVSR, per ricostruire più modelli sismostratigrafici, riferiti sia al settore di costa, sia ai settori di pianura più interna.

Sulla base delle conoscenze stratigrafiche e geofisiche del sottosuolo già descritte (capitoli 3 e 5), è possibile associare le amplificazioni spettrali H/V ottenute dalle registrazioni HVSR nel Comune di Cervia a riflettori sismici collocati a profondità certamente superiori a 100 metri. In alcune registrazioni, si registrano alti spettrali (principali) anche a frequenze >1 Hz (es.: Cannuzzo; Castiglione di Cervia; Tanton), tuttavia i picchi rimangono sempre di modesta ampiezza e legati a intervalli granulari di modesto spessore (paleoalvei sabbioso ghiaiosi del fiume Savio) e con caratteristiche di rigidezza/ V_s tali da non poter essere considerati bedrock sismico. Anche nel settore di costa, alcune prove HVSR evidenziano massimi alti H/V a frequenze attorno all'unità (0,9 ÷ 1,1 Hz): sulla base degli esiti delle prove geognostiche e sismiche dirette (sondaggi; "Down-Hole" e "Coni Sismici") è possibile attribuire questa amplificazione al riflettore corrispondente al tetto di intervalli sabbiosi individuati a circa -40

metri (come scritto nel paragrafo 3.1, la porzione sommitale del ciclo AES7 è caratterizzata da più frequenti depositi sabbiosi di canale fluviale a geometria nastriforme, presenti fino al settore di costa attuale).

La maggior parte degli esiti delle registrazioni HVSR hanno comunque evidenziato spettri H/V relativamente piatti, con blandi picchi a frequenze variabili tra 0,4 Hz e 0,7 Hz. Vincolando il modello di sottosuolo meno profondo ai dati geognostici/geofisici disponibili (“Coni Sismici”; prove “Down-Hole” e array ESAC/SPAC), gli alti spettrali H/V a più basse frequenze sono stati associati a riflettori sismici corrispondenti al tetto del Sistema Emiliano - Romagnolo Inferiore (AEI) e cioè a quote variabili tra -145 m slm (frazione Visdomina) a -320 m slm (Milano Marittima). Tali riflettori sismici sono stati assunti come limite dei modelli sismostratigrafici implementati, come vedremo nelle simulazioni numeriche di RSL espletate con il software SHAKE 2000.

La modellazione sismostratigrafica del settore di costa ha infine tenuto conto degli esiti delle prove dinamiche di laboratorio sui campioni di sedimenti del sondaggio eseguito a Pinarella di Cervia e in particolare gli esiti di “Colonna Risonante”. Per quanto descritto nel paragrafo 3.1 la caratterizzazione sismostratigrafica del sottosuolo rappresentativo degli areali di studio più interni è stata inoltre differenziata rispetto agli areali di costa per tenere conto delle differenti condizioni deposizionali locali (ed esempio la progressiva progradazione da SO verso NE dei depositi alluvionali di alimentazione appenninica).

6.2 Liquefacibilità

L'analisi della liquefacibilità dei sedimenti, se sottoposti a sollecitazioni cicliche indotte da terremoti, è di fondamentale importanza per gli aspetti di progettazione geotecnica antisismica. In particolare, occorre valutare, nel modo più adeguato possibile, le effettive condizioni di suscettibilità, le condizioni di innesco e il rischio sito specifico di tale fenomeno.

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione) osservati durante terremoti significativi (generalmente, $M > 5.5$) nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi; in questi sedimenti, le condizioni “non drenate” durante il sisma possono indurre un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali, che a loro volta possono provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Il meccanismo di liquefazione dei sedimenti è governato da molti fattori che si possono ricondurre principalmente:

- alle caratteristiche dell'impulso sismico (forma; durata dello scuotimento; ecc.) e della sua energia (magnitudo; accelerazioni; ecc.);
- alle caratteristiche tessiturali e meccaniche dei sedimenti (fuso granulometrico; densità relativa; coesione; limiti di Atterberg; ecc.);
- alla presenza di falda superficiale e alle condizioni di confinamento dello strato liquefacibile (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15–20 metri).

La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilitate per l'equilibrio in

condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto.

In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di “riordino” dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari, sia i sedimenti fini poco coesivi. Nell'ultimo decennio, sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma, provocate da perdite di resistenza, anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento “non drenato”). Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine “cyclic softening” (Idriss & Boulanger, 2004 e 2008).

Fenomeni di liquefazione si sono chiaramente manifestati durante gli eventi sismici emiliani del maggio 2012, tuttavia non si sono riscontrati i fenomeni più critici riconducibili a fluidificazione (con perdita della capacità portante del terreno dei sedimenti al di sotto delle costruzioni) e neppure scorrimenti significativi nelle scarpate degli argini; anche i cedimenti rilevati degli edifici sono risultati complessivamente limitati e per lo più uniformi al di sotto delle costruzioni¹. Per ulteriori aspetti teorici, si rimanda alla vasta letteratura scientifica e in particolare ai rapporti tecnici elaborati a seguito del sisma emiliano del maggio 2012 (consultabili anche on line nel sito del SGSS).

Lo studio di microzonazione sismica ha consentito un'accurata analisi qualitativa delle condizioni di propensione alla liquefazione dei sedimenti, basata innanzitutto sugli accertamenti tessiturali predisponenti, desunti dalle prove geognostiche (sondaggi e prove penetrometriche). Occorre anche rammentare che i dati idrogeologici locali (vedi capitolo 3) indicano soggiacenze variabili nel territorio comunale urbanizzato/urbanizzabile studiato: nella zona di costa, la soggiacenza è fondamentalmente “controllata” dal livello marino e dalle modeste differenze delle quote morfologiche (cordone affiorante; retrocordone..) e tuttavia relativamente modesta (1,3 m ÷ 0,7 m). Nei settori di pianura più interni, le soggiacenze appaiono sempre modeste, tuttavia maggiormente variabili, spesso in relazione alla presenza di zone topograficamente depresse e (in prossimità del fiume Savio), alle condizioni morfologiche dell'alveo attuale (cfr. paragrafo 3.2), ancora incassato nelle sue alluvioni più recenti soltanto nel tratto a SO di Cannuzzo (soggiacenze anche >5 metri).

La soggiacenza piuttosto modesta che caratterizza tutta l'area di studio, è chiaramente riconosciuta come una delle fondamentali condizioni predisponenti la liquefacibilità.

Gli accertamenti tessiturali occorre precisare che si è potuto disporre di pochi dati direttamente ricavati da sondaggi di repertorio (fusi granulometrici; limiti di Atterberg; prove di taglio; ecc.), soprattutto negli areali urbani più interni alla zona di costa (intensamente investigata) e in tal senso ci si è basati sull'interpretazione delle penetrometrie: dati numerici e/o grafici resistenze.

I dati numerici disponibili (106 prove CPTE/CPTU, comprese le prove eseguite per gli approfondimenti di “livello 3”) permettono una migliore interpretazione degli intervalli tessiturali potenzialmente liquefacibili, rispetto alla sola analisi dei diagrammi plottati su cartaceo. I dati numerici, infatti, consentono una speditiva analisi della suscettibilità basata

¹ Fonte: "Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012", C. Crespellani et Al., 2012.

anche sulla classificazione di comportamento dei sedimenti proposta da P.K. Robertson (1990; 2009).

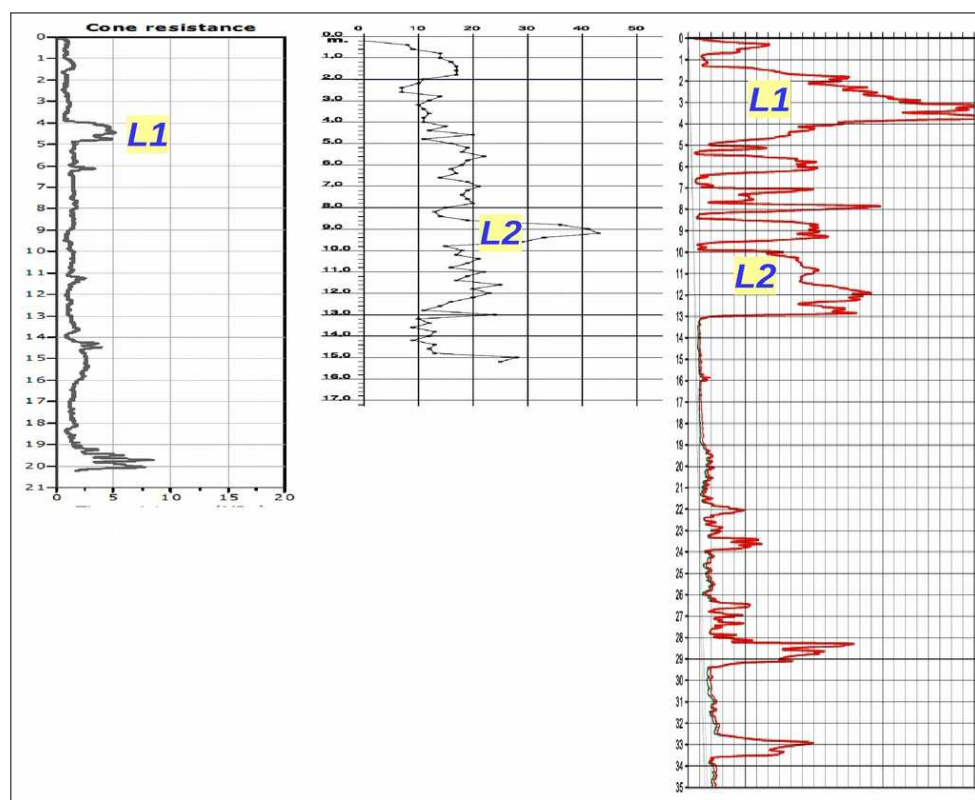
Per quanto riguarda gli areali di studio (frazioni) più interni rispetto alla zona costa, sono stati tuttavia interpretati anche i dati delle prove penetrometriche delle quali si è potuto disporre dei soli grafici in formato cartaceo. In tal senso, per analizzare la potenziale suscettibilità alla liquefazione si è deciso di discriminare due differenti intervalli (layer) di verifica, rispettivamente fino a 0÷10 metri e 10÷20 metri. Ciò ha permesso di “pesare” maggiormente le prove che riscontrano livelli potenzialmente liquefacibili nei primi 10 metri, in quanto tale intervallo è generalmente ritenuto più suscettibile alla liquefazione, con conseguenze più gravi in termini di possibilità manifestazioni superficiali (condizioni free-field) e in termini di possibile interazione con eventuali fondazioni dirette (le più diffuse) di manufatti.

Le prove geognostiche (figura 6.1), sono state classificate basandosi sulla metodologia già adottata dal SGSS regionale per gli studi di microzonazione sismica² nei Comuni maggiormente danneggiati dagli eventi sismici del maggio e giugno 2012. Il controllo delle indagini permettono di distinguere classi tessiturali riportate nella tabella 6.1.

PROFONDITA'	CLASSI SUSCETTIBILITA'
LAYER 0÷10 metri	L1 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >40 cm sotto falda e nei primi 5 metri
	L2 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >100 cm tra 5 e 10 metri
LAYER 10÷20 metri	L3 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >200 cm tra 10 e 15 metri
	L4 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >200 cm tra 15 e 20 metri

Tabella 6.1

Figura 6.1 – Esempi di interpretazione dei diagrammi di prove CPT e CPTU per l'identificazione di condizioni predisponenti la liquefazione (prove P499; P549; P269)



² Vedi tavole MOPS elaborate per i Comuni ai sensi dell'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012).

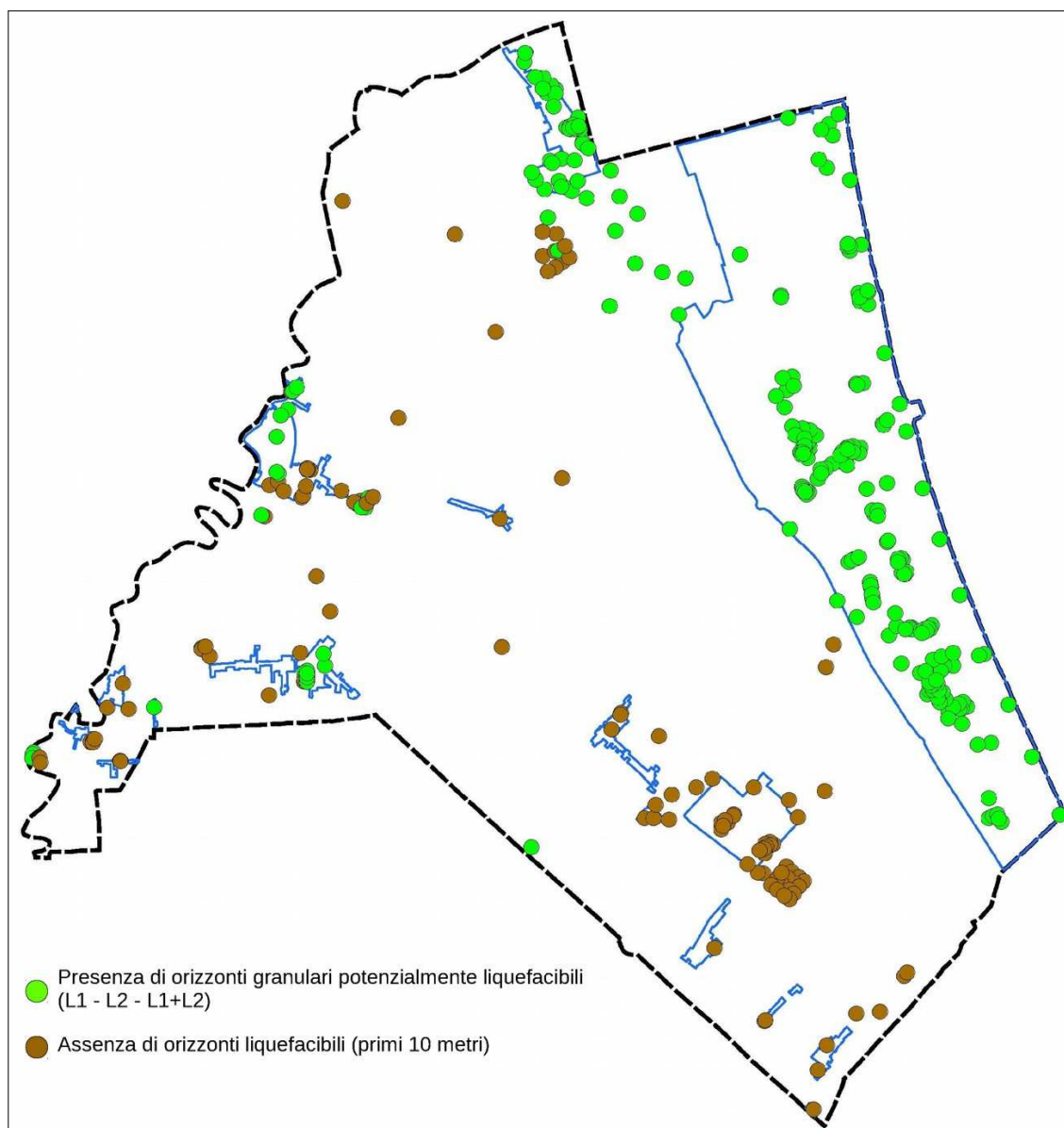


Figura 6.2 - Classificazione dei punti di controllo geognostici finalizzata alla ricostruzione delle zone di potenziale liquefacibilità in base alla presenza di strati granulari in falda (sottosuolo fino -10 metri di profondità)

La figura 6.2 riporta una sintesi della classificazione dei punti di controllo dell'intero territorio comunale, relativamente alla presenza di intervalli "L1" e "L2" (oppure entrambi) nei primi 10 metri di sottosuolo. In sintesi, si evince la presenza di intervalli granulari potenzialmente liquefacibili in tutto il settore costiero (sabbie marine recenti) e nelle frazioni Cannuzzo; Pisignano e Castiglione (livelli sabbiosi riconducibili a paleoalvei e/o episodi di "crevasse" del fiume Savio).

Il controllo tessiturale ha consentito di delimitare la "zona di attenzione" (ZA) per liquefazioni, riportata nella cartografia MOPS.

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1 Cenni introduttivi

Il fine ultimo dello studio di microzonazione sismica di “livello 3” è quello di consentire una suddivisione del territorio indagato in:

- zone “stabili”
- zone “stabili suscettibili di amplificazione” → a loro volta suddivise in aree a diverso grado di amplificazione da quantificare con analisi numeriche di RSL e/o semplificate (abachi)
- zone “instabili” → a loro volta suddivise in “zone suscettibili di instabilità” con stima della pericolosità in termini quantitativi

Come riportato nelle note introduttive degli standard di MS (v.4.0), i risultati degli studi sono fondamentalmente riconducibili alla carta delle MOPS (microzone omogenee in prospettiva sismica) e alla cartografia di MS (microzonazione sismica).

Occorre rammentare che la carta delle MOPS è riferita unicamente al “livello 1” di approfondimento e perciò le zone individuate hanno approfondimenti esclusivamente di tipo qualitativo.

Per il Comune di Cervia, lo studio sismico di “Livello 3” ha permesso un ulteriore approfondimento della pericolosità sismica locale delle aree urbane/urbanizzabili, consentendo, come vedremo, di elaborare le cartografie di microzonazione sismica di “livello3”, attribuendo a tali aree i fattori di amplificazione locali calcolati sulla base di modellazioni numeriche di RSL. Le carte di MS di “livello 3” sintetizzano, infine, gli esiti delle ulteriori verifiche di liquefacibilità, riportando le “zone di suscettibilità” con indicata la pericolosità di liquefazione attribuita a tale zona (Indice del potenziale di liquefazione).

I successivi paragrafi illustrano i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per determinare i diversi fattori di amplificazione rappresentativi del territorio studiato e le metodologie utilizzate per determinare quantitativamente la pericolosità delle “zone di suscettibilità” per liquefazioni individuate nel territorio studiato di Cervia.

7.2 I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS

Per suddividere il territorio in base all’amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, sono stati calcolati i fattori di amplificazione di ogni zona studiata. I fattori di amplificazione indicati nella DGR regionale n. 2193/2015 sono i seguenti:

- FA PGA → rapporto tra la massima ampiezza dell’accelerazione su affioramento rigido e la massima ampiezza dell’accelerazione alla superficie del deposito (PGA/PGA_0). Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l’impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;

- FA SI – Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità per determinati periodi dello scuotimento. Nel nostro caso, si sono determinati i fattori di amplificazione per i tre intervalli di periodo: $FA_{0,1-0,5s}$ $FA_{0,5-1,0s}$ $FA_{0,5-1,5s}$.

7.3 Zone suscettibili di amplificazioni locali: approfondimenti di “livello 3”

Le informazioni di sottosuolo pregresse e di nuova acquisizione hanno consentito di espletare ulteriori approfondimenti sulla risposta sismica locale (RSL), finalizzata a quantificare anche gli effetti di amplificazione indotti dal sisma mediante analisi di modellazione numerica. Come già descritto nel Capitolo 5, una parte delle nuove indagini eseguite per gli approfondimenti di “livello 3” (sondaggio e “Down-Hole” fino a -50, m con prove di laboratorio dinamiche; un array ESAC/SPAC) sono state volutamente concentrate nel settore di costa in quanto densamente urbanizzato e chiaramente interessato da “zone di attenzione” per instabilità (liquefazioni).

Nell'ampio settore di costa sono inoltre disponibili ulteriori dati pregressi, altrettanto utili per lo studio di RSL (sondaggi e prove in foro “Down-Hole”, “Coni Sismici”; array ESAC e MASW/REMI; registrazioni HVSr; penetrometrie CPTe/CPTU, ecc.) e per questo motivo è stato possibile elaborare differenti modelli sismostratigrafici e altrettanti modelli numerici di RSL.

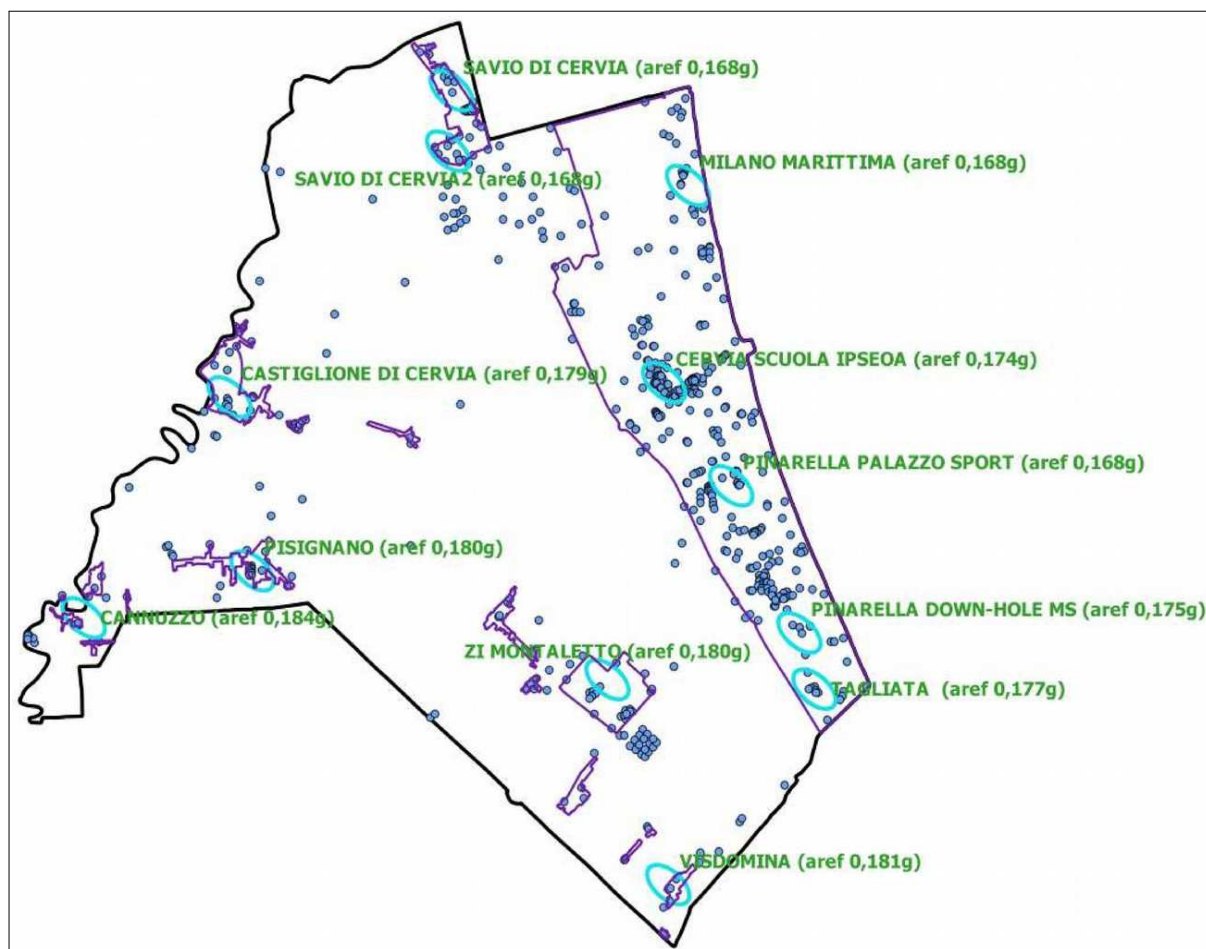


Figura 7.1 – Localizzazione dei modelli numerici di RSL elaborati per il territorio cervese. Per ogni modello si riporta anche la a_{ref} di input

Un importante parte di indagini integrative (“Coni sismici”; array ESAC/SPAC; penetrometrie CPTU) sono state eseguite negli areali di studio situati nella pianura cervese più interna, per consentire l'elaborazione di altri modelli sismostratigrafici e relativi modelli numerici di RSL rappresentativi. Complessivamente, nel territorio urbanizzato/urbanizzabile di Cervia sono stati elaborati 12 modelli sismostratigrafici (figura 7.1).

Le analisi numeriche di RSL sono state elaborate secondo l'approccio analitico lineare equivalente, utilizzando il noto software SHAKE 2000 (v. 3.2.0). SHAKE 2000 è un programma di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali e sviluppato da P.B. Schnabel; J. Lysmer e H.B. Seed dell'Università di Berkeley (USA). Il software è in grado di eseguire una sequenza di analisi lineari complete, con l'aggiornamento successivo dei parametri di rigidità e smorzamento in funzione delle caratteristiche della colonna litologica (modello di sottosuolo). Il processo di analisi che si è seguito può essere così schematizzato (figura 7.2):

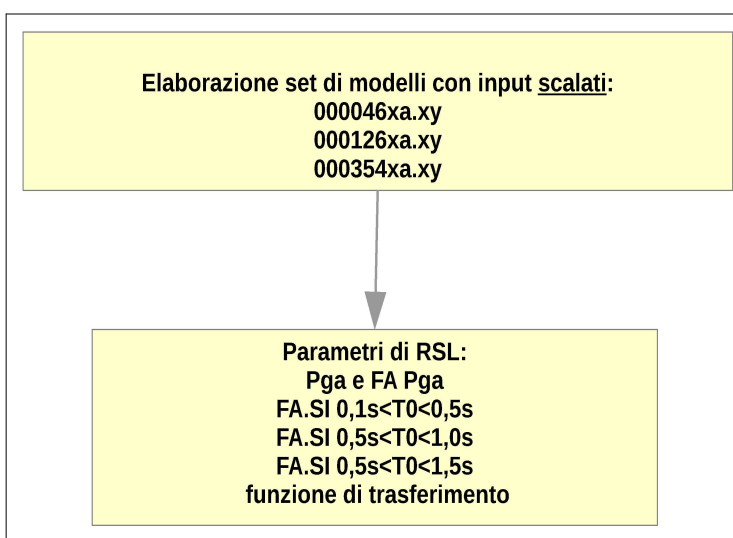


Figura 7.2 - Diagramma di flusso delle analisi numeriche di RSL

Le elaborazioni numeriche hanno implementato i tre accelerogrammi di riferimento per la Regione Emilia-Romagna: si tratta di input selezionati dalla Banca Dati accelerometrica ISESD compatibili con la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali, rappresentativi di tre differenti tipologie di segnale (figura 7.3):

- 1) impulsivo
- 2) con ampio contenuto in frequenze
- 3) con componente predominante alle alte frequenze.

Gli accelerogrammi sono stati scalati in base ai valori di pericolosità sismica elaborata da INGV per il territorio nazionale sui punti della griglia (passo 0.05°), ovvero rappresentativi di scuotimenti attesi con un periodo di riferimento $TR = 475$ anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento atteso relativo alla “categoria di sottosuolo A” (cfr. tab. 3,2, Il NTC 2008). Per gli areali di Cervia interessati da modellazione numerica di RSL, la a_{refg} ricavabile dal reticolo INGV è risultata variabile da 0,184g a 0,168g.

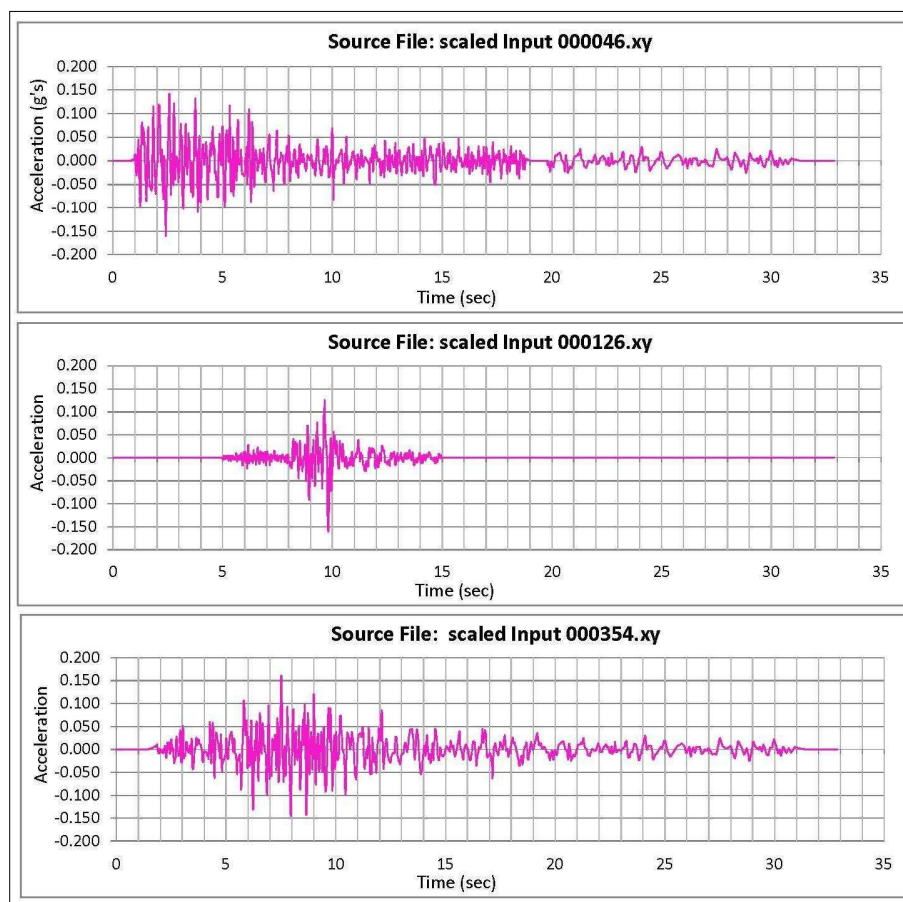


Figura 7.3 – Accelerogrammi scalati di riferimento per la modellazione numerica di RSL (DGR 2193/2015)

Definiti gli input di scuotimento, il codice di calcolo SHAKE 2000 richiede l'inserimento dei modelli sismostratigrafici rappresentativi dell'area di studio. In questo senso, è necessario definire:

- ✓ numero e spessore degli strati di sottosuolo, profondità del bedrock sismico
- ✓ proprietà elastiche per ogni strato (V_s o modulo di taglio massimo G_0)
- ✓ leggi di variazione normalizzata di G e rapporti di smorzamento minimo D_0 per ogni strato

Il successivo passo è dunque quello di definire il bedrock sismico, la stratigrafia e i relativi principali parametri sismici. Come già scritto, il supporto conoscitivo, per quanto riguarda il sottosuolo è fornito dagli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili nelle aree di studio (indagini pregresse e integrative). Si rimanda anche ai precedenti capitoli per una più dettagliata spiegazione delle singole modellazioni sismostratigrafiche e alle schede di sintesi riportate in calce alla Relazione.

Per ogni sismostrato, il codice di elaborazione implementato in SHAKE 2000, richiede l'inserimento delle fondamentali proprietà dinamiche del suolo, rappresentate dal fattore di smorzamento D e dal modulo di rigidezza a taglio G . Mentre i valori di rigidezza iniziale G_0 sono stati determinati sulla base delle indagini geofisiche (stima delle V_s), le caratteristiche di deformazione a taglio e smorzamento dei sedimenti sottoposti a sollecitazioni impulsive devono essere necessariamente determinate da prove di laboratorio. In tal senso, di fondamentale importanza sono risultati gli esiti delle prove effettuate su campioni di sedimenti

fini prelevati nel sondaggio eseguito per questo studio a Pinarella (indici di plasticità; colonna risonante).

Gli esiti ricavati dalle prove di “colonna risonante” (cfr. capitolo 5), ove possibile, sono stati estrapolati anche agli altri modelli sismostratigrafici elaborati per il settore di costa (da Tagliata a Milano Marittima). Per le altre situazioni litologiche (e in particolare anche per le frazioni interne alla costa), sono stati adottati anche modelli disponibili in letteratura, già implementati dal programma SHAKE 2000. In particolare, si sono considerati gli esiti delle curve di decadimento di Seed & Idriss (1970) per sabbie, Vucetic & Dobry (1991) per sedimenti argillosi rispettivamente e ancora di Seed et al. (1986) per le ghiaie (figura 7.4).

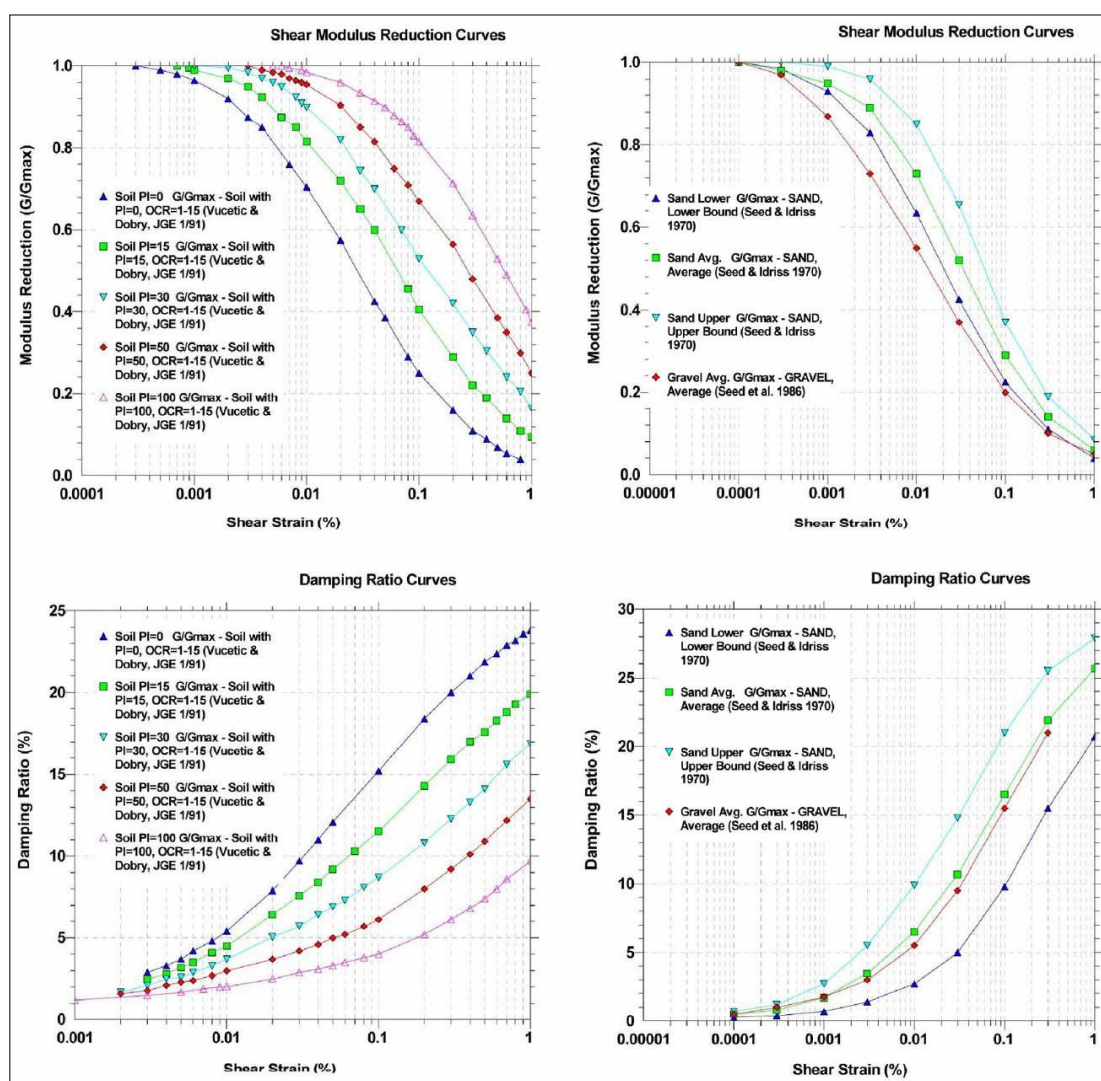


Figura 7.4 - Curve di decadimento da bibliografia utilizzate per le modellazioni numeriche di RSL

Le simulazioni numeriche della RSL sono state elaborate secondo un approccio per iterazione, in conseguenza della variabilità del modello di sottosuolo, fino a raggiungere una convergenza degli esiti di amplificazione ritenuti il più possibile compatibili con le reali caratteristiche sismostratigrafiche del sito studiato. Inoltre, Tutte le simulazioni hanno considerato un modello sismostratigrafico di riferimento medio per la porzione di areale considerato.

Per quanto riguarda gli esiti di output ricavati dalle modellazioni numeriche, il software SHAKE

2000 consente di valutare i parametri di risposta sismica indicati dalle deliberazioni regionali di riferimento (DGR 1227/2015 e DGR 2193/2015). In particolare si sono calcolati:

- A) le accelerazioni di picco al suolo e i valori di $F_a P_g$
- B) i rapporti spettrali di amplificazione (funzione di trasferimento)
- C) l'intensità spettrale di Housner e i valori di $FA SI_{(0,1-0,5s)}$, $FA SI_{(0,5-1,0s)}$ e $FA SI_{(0,5-1,5s)}$

A) ACCELERAZIONI DI PICCO AL SUOLO E VALORI DI $F_a P_g$

Le simulazioni numeriche consentono la valutazione dell'amplificazione locale $F_a P_g$ intesa come rapporto dell'accelerazione massima calcolata nello strato più superficiale o di interesse (in questo caso calcolata al suolo) rispetto all'accelerazione di riferimento al bedrock "rigido". Il software SHAKE 2000 consente di calcolare la variabilità dell'accelerazione attraverso le colonne sismostratigrafiche. In questo senso, le schede di sintesi dei modelli numerici allegate in calce alla Relazione riportano graficamente l'andamento delle accelerazioni orizzontali per i tre input sismici di riferimento e la tabella con i valori rappresentativi di P_g e di $F_a P_g$. I valori di P_g e $F_a P_g$ al suolo assunti come rappresentativi per la RSL sono ricavati come valore medio ricavato dai tre input sismici.

B) RAPPORTI SPETTRALI DI AMPLIFICAZIONE (FUNZIONE DI TRASFERIMENTO)

La risposta sismica locale deve essere valutata anche in funzione delle amplificazioni del moto di vibrazione in termini di frequenze dell'impulso sismico, considerando i fattori di smorzamento D e i rapporti tra le impedenze sismiche dei sismostrati. La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ della colonna sismostratigrafica. Il moto sismico può dunque essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione della colonna stratigrafica. In questo senso, è molto importante definire la prima frequenza naturale di vibrazione f_0 denominata frequenza fondamentale, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore che dovrebbe risultare il massimo.

Occorre tuttavia ricordare che la funzione di amplificazione locale non è una proprietà univoca del sito ma è anche dipendente dalle caratteristiche del moto di input (es. ampiezza e contenuto in frequenza, energia, effetti del comportamento non lineare del terreno, ecc.). La funzione di trasferimento ricavata dalle simulazioni di RSL, così come gli spettri H/V delle registrazioni tromografiche, rappresentano un ulteriore e utile strumento analitico riguardo la vulnerabilità dei manufatti esistenti o di previsione rispetto agli effetti di amplificazione locale del moto sismico. È infatti noto come le strutture siano caratterizzate da differenti modi di vibrazione, in funzione di molti parametri tra cui l'elevazione, la tipologia, il materiale costruttivo, etc. La vibrazione di un edificio è governata soprattutto dalla sua altezza e la coincidenza fra frequenze di risonanza naturale del terreno e frequenze di vibrazione delle strutture può dunque causare pericolose amplificazioni nel caso di impulsi ciclici dovuti ad un evento sismico (effetto di "doppia risonanza").

Si precisa che la modellazione numerica è stata limitata fino ad un massimo di 20 Hz, limite più utile ai fini ingegneristici per le analisi delle interazioni sottosuolo/strutture.

C) INTENSITA' SPETTRALE DI HOUSNER

Gli spettri di risposta riflettono solo in maniera indiretta le caratteristiche del moto sismico, essendo queste ultime filtrate attraverso la risposta delle strutture di progetto. Gli spettri di risposta risultano di più significativa utilità ai fini ingegneristici in quanto consentono di rappresentare nella maniera più efficace e utile per l'ingegnere gli effetti delle caratteristiche del moto del terreno sul comportamento delle strutture.

In questo senso, la DGR 1227/2015 richiede la determinazione del fattore di amplificazione FA SI (rapporto di intensità spettrale di Housner) quale ulteriore indicatore della pericolosità sismica. L'intensità di Housner è definita come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità. Nello specifico, la Deliberazione regionale richiede di quantificare i fattori di amplificazione per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s (FA SI_{0,1-0,5s}) e da $0.5 < T_0 < 1$ s (FA SI_{0,5-1,0s}). Si è inoltre calcolato il FA SI relativo all'intervallo da $0.5 < T_0 < 1,5$ s (FA SI_{0,5-1,5s}) come richiesto dalla successiva DGR regionale 2193/2016.

In calce alla Relazione, si allegano le schede di sintesi dei modelli numerici di RSL, che riportano il modello sismostratigrafico e i dati di output sopra descritti.

La sottostante tabella 7.1 riporta, in sintesi, gli esiti di tutte le simulazioni numeriche random di RSL eseguite per gli areali di studio del Comune di Cervia.

Tabella 7.1

MOPS	MODELLI SHAKE	PGA	FA PGA	FA SI 0,1_0,5s	FA SI 0,5_1,0s	FA SI 0,5_1,5s
2001	ZONA INDUSTRIALE MONTALETTO	0,280g	1,6	1,9	2,9	2,8
	VISDOMINA	0,288g	1,6	2,0	3,0	2,9
	CANNUZZO	0,274g	1,5	1,7	2,7	2,6
30502002	CASTIGLIONE DI CERVIA	0,261g	1,5	1,8	2,9	2,8
	PISIGNANO	0,261g	1,5	1,7	3,0	2,9
30502003	SAVIO DI CERVIA BIS	0,206g	1,2	1,4	2,5	2,5
30502004	CERVIA SCUOLA IPSEOA	0,220g	1,3	1,5	2,5	2,6
	PINARELLA (DOWN - HOLE MS)	0,234g	1,3	1,7	2,7	2,7
	PINARELLA (PALAZZO SPORT)	0,220g	1,3	1,5	2,5	2,5
	TAGLIATA DI CERVIA	0,235g	1,3	1,7	2,8	2,7
	SAVIO DI CERVIA	0,204g	1,2	1,4	2,5	2,5
30502005	MILANO MARITTIMA (ANELLO DEI PINI)	0,193g	1,2	1,3	2,4	2,5

7.4 Gli approfondimenti nelle “zone di attenzione” per liquefazioni

Le penetrometrie SCPTU/CPTU eseguite per lo studio di MS 2017 consentono di calcolare il Fattore di Sicurezza nei confronti della liquefazione (FSL) e la stima del parametro IL definito anche come LPI (Liquefaction Potential Index). La stima di IL offre ulteriori elementi di

valutazione e comparazione del rischio di liquefazione anche alla scala territoriale.

Si è potuto inoltre disporre di ulteriori 92 prove di repertorio CPTE/CPTU con dati numerici, ottenuti dalle Relazioni Geologiche d'archivio fornite dal Comune di Cervia, dalla Banca Dati RER e dall'archivio del Gruppo di lavoro scrivente. Questa significativa disponibilità di dati ha consentito di classificare gli areali di studio, come vedremo, secondo differenti “zone pericolosità”.

Occorre sempre precisare che i metodi semplificati di stima del potenziale di liquefazione da prove penetrometriche statiche si basano esclusivamente sulla sperimentazione con prove elettriche CPTE/CPTU. Gli esiti ricavati dalle prove CPT possono risultare anche significativamente differenti e, spesso, poco cautelativi, come le più recenti esperienze successive al terremoto dell'Emilia 2012 hanno evidenziato: ciò è da imputare soprattutto alla differente geometria delle due punte³. Per questo motivo, vista la quantità di prove elettriche disponibili, non si sono considerati dati desunti da penetrometrie meccaniche.

Nel complesso, si è potuto disporre di 106 punti di controllo utili a caratterizzare ulteriormente le “zone di attenzione” riportate nella cartografia MOPS (Tavola 4). Su questi punti si è proceduto alla stima del Fattore di Sicurezza nei confronti della Liquefazione (FSL), definito dalla seguente relazione:

$$FSL = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma}$$

con:

$CRR_{7,5}$ = resistenza alla liquefazione ciclica (Cyclic Resistance Ratio) dei sedimenti attraversati, ricavata dagli esiti CPT (a punta elettrica), per terremoti di $M = 7,5$. La procedura si fonda su equazioni che determinano i valori di CRR dei sedimenti attraversati utilizzando i valori di resistenza alla punta q_t , corretti per tenere conto delle tensioni litostatiche di confinamento, della differente classificazione dei sedimenti attraversati (contenuto di fine; plasticità; ecc.);

CSR = rapporto di sollecitazione ciclica (Cyclic Stress Ratio) prodotta da un sisma e stimata sulla base di correlazioni empiriche dalle caratteristiche del terremoto, magnitudo e accelerazione tangenziale del suolo (a_{max}). Il CSR viene calcolato dalla nota equazione semi empirica proposta da Seed e Idriss (1971) per terremoti di $M = 7,5$:

$$CSR = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d$$

K_{σ} = Fattore di correzione per la pressione di confinamento (Overburden Correction Factor);

³ I valori misurati di resistenze alla punta q_c non si equivalgono perfettamente (nella punta meccanica occorre considerare la componente dell'attrito lungo il mantello di protezione sopra il cono), mentre le resistenze laterali f_s risultano molto diverse per l'adesione terreno-manicotto (nella punta meccanica si misura una componente di resistenza alla base - di rifluimento - dovuta al raccordo nell'estremità inferiore del manicotto; nella punta elettrica la cella di misura è invece nella stessa punta). Ciò porta a una sovrastima della componente fine/coesiva nelle verifiche numeriche di liquefacibilità.

MSF = Fattore di Scala della Magnitudo (Magnitude Scale Factor) da applicare per sismi con magnitudo diverse da 7,5.

Il valore di FSL è stato determinato mediante calcolo automatico con il noto software “Cliq”, sviluppato dalla GeoLogismiki Geotechnical Engineers. Per questo lavoro, FSL è stato calcolato sulla base della nota procedura di P. K. Robertson (2009)⁴: tale metodo è stato utilizzato anche in occasione del recente studio sismico elaborato a corredo del Piano dell'Arenile di cervia (geol. C. Copioli, maggio 2016). Tale studio aveva già espletato verifiche del potenziale di liquefazione in ben 14 prove CPTe/CPTU situate nell'arenile e/o nella sua prossimità, sulla base di esiti di RSL numerica e considerando magnitudo differenziate ($M_w = 5,5$; $M_w = 6,14$).

Per la descrizione dettagliata del metodo di calcolo di FSL si rimanda alla letteratura scientifica originaria. Tuttavia si rammenta che il metodo di P.K. Robertson (2009) risulta valido per tutti i tipi di sedimenti e considera anche la possibilità di “cyclic softening” nei sedimenti fini poco coesivi. Gli esiti sono condizionati da vari parametri e tra questi il contenuto in fini FC che introduce significative correzioni alla resistenza penetrometrica normalizzata. Per questo lavoro, il valore di FC viene stimato sulla base dei metodi di riferimento e in funzione dell'indice di comportamento I_c ricavato dalla classificazione dei terreni di P.K. Robertson (1990).

Per giungere ad un calcolo speditivo di FSL si sono adottate le seguenti condizioni di input:

- per la zona “costiera” si è utilizzata la a_{max} al suolo calcolata considerando la a_{ref} da reticolo INGV (pericolosità sismica locale di riferimento) moltiplicata per il valore del FA PGA attribuito alla microzona sismica in cui ricade la prova (da modellazione numerica di RSL);
- Per gli areali di studio nella pianura si è utilizzata la a_{max} al suolo calcolata considerando la a_{ref} da reticolo INGV (pericolosità sismica locale di riferimento) moltiplicata per il valore del FA PGA più cautelativo (1,6) ricavato dalle modellazioni numeriche di RSL (si rammenta che gli esiti di FA PGA nella pianura di Cervia sono risultati compresi tra 1,5 e 1,6);
- si è considerata una soggiacenza cautelativa della falda stimata in funzione del contesto idrogeologico locale (vedi capitolo 3) e sulla base delle quote d'acqua ricavate dalle prove penetrometriche;
- si è considerata una magnitudo di input pari a $M_w = 6,14$ come da zonizzazione macrosismica “ZS9” (vedi capitolo 2). Il coefficiente correttivo MSF utilizzato è quello di riferimento per il metodo di calcolo considerato.

L'Indice di Potenziale Liquefazione IL o LPI (Liquefaction Potential Index) di Iwasaki et al. (1982) è stato calcolato per una profondità “critica” fino a 20 metri di profondità oppure, solo in alcuni casi, calcolato per minori profondità nelle prove che hanno tuttavia attraversato gli intervalli sabbiosi potenzialmente liquefacibili. L'Indice di Potenziale Liquefazione è definito nel seguente modo:

$$LPI = \int_0^{20} F_1 W(z) dz$$

con:

⁴ P.K. Robertson - *Performance based earthquake design using the CPT - Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice, IS-Tokyo, 2009*

$W(z)$ fattore di peso della profondità = $10^{-0.5z}$

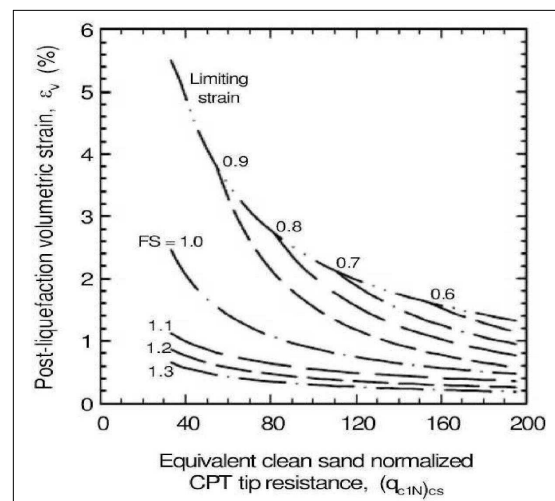
F_1 variabile = $1 - FSL$ (per $FSL < 1.2$) oppure $F_1 = 0$ per $FSL \geq 1.2$

z = profondità dello strato considerato

Il calcolo fornisce un valore numerico compreso tra 0 e 100 e quantifica i possibili effetti della liquefazione secondo classi di pericolosità, tenendo conto della severità dell'azione sismica, della profondità, dello spessore e del valore di FSL degli strati liquefacibili.

Per la stima dei cedimenti post sisma nei sedimenti saturi a comportamento granulare, si è proceduto al calcolo automatico secondo il metodo di Zhang et Al. (2002; 2004). Questo procedimento si basa sui risultati empirici di Ishihara & Yoshimine (1992), per sabbie e sedimenti limosi e definisce l'entità delle deformazioni volumetriche post-liquefazione sulla base delle resistenze alla punta (q_{c1N})_{cs} e dei corrispondenti esiti di FSL (figura 7.5).

Figura 7.5- Diagrammi di correlazione tra deformazioni volumetriche post-liquefazione e resistenze CPT per differenti fattori di sicurezza (da Zhang et Al., 2002)



Per i sedimenti a comportamento fine (poco coesivi), il cedimento è causato principalmente da fenomeni di riconsolidazione, conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto e al manifestarsi di deformazioni da taglio indotte dalle sollecitazioni cicliche.

Generalmente, le deformazioni di riconsolidazione post-sisma sono ritenute molto più piccole di quelle osservate nei sedimenti granulari ed i cedimenti rilevati in seguito a sismi recenti (Loma Prieta; Chi-Chi; Kocaeli) risultano statisticamente modesti anche per potenti intervalli di depositi di argille compressibili (Boulanger and Idriss, 2007). Secondo quanto riportato nella letteratura scientifica, si reputa che le deformazioni volumetriche medie di strati a grana fine siano contenute entro l'1%. Esperienze empiriche, hanno dimostrato che le deformazioni per riconsolidamento nelle argille sono controllate principalmente dallo sforzo di taglio massimo, funzione di un fattore di sicurezza $FS_{\gamma=3\%} = CRRM / CSR = CRR_{7,5} / CSR_{7,5}$ (Boulanger & Idriss, 2007) e dello stato tensionale dei sedimenti (OCR). Il fattore di sicurezza è stato dunque calcolato come $FS_{\gamma=3\%} = CRR_{6,14} / CSR_{6,14}$.

I cedimenti sono stati calcolati considerando gli esiti di FSL ottenuti dalle verifiche già descritte e utilizzando le seguenti relazioni (Robertson, 2009):

$$\epsilon_{vol} = [0.8 - 2.66 \log(FS)] / [0.33 A (Q_{cs})^3]$$

$$A = 10 - 9 \log(OCR)$$

$$\text{When } FS \leq 0.84 \text{ set } r_u = 1.0 \text{ \& limit } \epsilon_{vol} \leq 1\%$$

Gli esiti di LPI/IL ottenuti vengono considerati di riferimento per lo studio di MS di Cervia e in particolare per la delimitazione delle “zone di suscettibilità” per liquefazioni riportata nella cartografia di livello 3 (Tavole 6–7–8–9).

In tal senso, la figura 7.6 riporta la cartografia di sintesi delle verifiche di liquefacibilità e in particolare riporta la delimitazione delle “zone di suscettibilità” per le liquefazioni, basata sulle seguenti classi di pericolosità di Sonmez (2003):

IL =0	Potenziale “Nullo/Non liquefacibile”
0 <IL ≤2	Potenziale “basso”
2 <IL ≤5	Potenziale “medio”
5 <IL ≤15	Potenziale “elevato”
IL >15	Potenziale “molto elevato”

La seguente tabella 7.2 riporta la sintesi delle verifiche di liquefazione espletate negli areali urbani/urbanizzabili (sono pertanto esclusi i punti molto esterni a tali areali). La tabella evidenzia un quadro di “suscettibilità” di liquefazione da “nullo” a “basso” per quanto riguarda tutti gli areali di pianura studiati, per la presenza di livelli di sedimenti granulari e/o poco coesivi di modesto spessore.

Per quanto riguarda tutto il settore di costa, viceversa, si evince una evidente suscettibilità di liquefazione. È tuttavia possibile discriminare zone caratterizzate da pericolosità variabile (da “moderata” a “molto elevata”), anche in stretta relazione alla potenza degli spessori di sabbie litorali sub affioranti (cfr. capitolo 5, figura 5.1) e al loro grado di addensamento e/o rimaneggiamento. In generale, si evince una maggiore pericolosità di liquefazione verso l'attuale limite di costa (in particolare nell'arenile, con sabbie di spiaggia attuali affioranti) e verso nord (Milano Marittima) a causa dell'incremento degli spessori delle sabbie litorali, attraversate fino a oltre 20 metri di profondità.

Gli esiti di cedimento risultano in molti casi molto elevati, occorre tuttavia rammentare che il cedimento calcolato è cumulativo e riferito all'intero spessore di sedimenti investigati dalla prova: un'effettiva analisi del cedimento, in particolare della sua ammissibilità, dev'essere legata alle caratteristiche dei manufatti e all'effettiva interazione tra fondazione e sedimenti.

La figura 7.6 riporta, infine, la distribuzione planimetrica dei punti di controllo della liquefazione e dei relativi esiti di LPI/IL. Sono inoltre riportate le zone di pericolosità di liquefazione definite nelle cartografie di microzonazione sismica di livello 3 (Tavole 6–7–8–9).

In conclusione, gli esiti portano a giustificare la necessità di ulteriori approfondimenti relativamente alla liquefacibilità, tuttavia da prevedere alla scala locale e negli studi geologico sismici da espletare nelle fasi di progettazione. In questo senso, gli ulteriori approfondimenti dovranno anche considerare le caratteristiche prestazionali dei manufatti di progetto e le relative condizioni di ammissibilità rispetto alle condizioni di liquefacibilità che tali analisi potranno riscontrare.

I report delle verifiche di liquefazione sono riportati nell'Allegato 3.

LOCALITA'	PROVA (SIGLA)	PROF. FALDA (m)	PGA (g)	PROF. VERIFICA (m)	(Limite FSL per calcolo LPI)	Stima LPI/IL	Stima cedimenti
						ROBERTSON 2009	ROBERTSON 2009
COSTA							
	Cervia (Capoluogo)						
	P110CPTU132	1,00	0,23	20	FSL <1,2	20,3	15,3
	P111CPTU133	0,70	0,23	20	FSL <1,2	23,2	15,9
	P333CPTU409	1,00	0,23	20	FSL <1,2	4,6	17,0
	P363CPTU441	1,00	0,21	20	FSL <1,2	25,7	49,6
	P365CPTU443	1,00	0,21	20	FSL <1,2	26,6	49,5
	P367CPTU446	1,00	0,21	20	FSL <1,2	20,6	36,8
	P368CPTU447	1,00	0,24	20	FSL <1,2	26,9	39,3
	P382CPTU462	1,00	0,23	15	FSL <1,2	12,9	32,0
	P383CPTU463	1,00	0,23	20	FSL <1,2	3,9	16,0
	P385CPTU465	1,00	0,23	14	FSL <1,2	15,0	31,0
	P386CPTU466	1,00	0,23	15	FSL <1,2	10,0	20,0
	P387CPTU467	1,00	0,23	15	FSL <1,2	4,4	10,0
	P388CPTU468	1,00	0,23	15	FSL <1,2	4,8	17,0
	P389CPTU469	0,90	0,23	15	FSL <1,2	8,8	23,0
	P409CPTU490	1,00	0,23	15	FSL <1,2	16,8	34,0
	P411CPTU492	1,00	0,23	15	FSL <1,2	11,5	22,0
	P412CPTU493	0,90	0,23	15	FSL <1,2	14,0	28,0
	P424CPTU505	1,00	0,23	20	FSL <1,2	4,0	14,0
	P429CPTU510	1,00	0,23	20	FSL <1,2	5,9	18,0
	P431CPTU512	1,00	0,23	20	FSL <1,2	3,9	13,0
	Pinarella di Cervia						
	P154CPTU194	0,80	0,23	20	FSL <1,2	4,5	3,4
	P351CPTU428	1,00	0,23	15	FSL <1,2	3,5	9,0
	P352CPTU429	1,00	0,23	15	FSL <1,2	4,4	10,0
	P354CPTU431	1,00	0,24	20	FSL <1,2	19,9	31,9
	P369CPTU448	1,00	0,24	20	FSL <1,2	25,9	39,2
	P370CPTU450	1,00	0,24	20	FSL <1,2	21,7	31,1
	P390CPTU470	0,60	0,23	20	FSL <1,2	4,5	13,0
	P391CPTU471	1,00	0,23	20	FSL <1,2	2,2	8,0
	P392CPTU472	1,00	0,23	15	FSL <1,2	17,9	33,0
	P393CPTU473	1,00	0,23	15	FSL <1,2	16,9	31,0
	P394CPTU474	1,00	0,23	15	FSL <1,2	18,9	31,0
	P395CPTU475	1,00	0,23	12	FSL <1,2	5,5	13,0
	P396CPTU476	1,00	0,23	20	FSL <1,2	8,2	14,0
	P400CPTU480	1,00	0,23	20	FSL <1,2	2,9	2,4
	P401CPTU481	0,90	0,23	8	FSL <1,2	1,5	1,3
	P413CPTU494	0,60	0,23	20	FSL <1,2	2,8	12,0
	P414CPTU495	1,00	0,23	20	FSL <1,2	3,3	11,0
	P415CPTU496	1,00	0,23	15	FSL <1,2	15,9	30,0
	P416CPTU497	1,00	0,23	15	FSL <1,2	2,4	7,0
	P417CPTU498	1,00	0,23	15	FSL <1,2	1,3	5,0
	P418CPTU499	1,00	0,23	20	FSL <1,2	2,3	7,0
	P420CPTU501	1,00	0,23	20	FSL <1,2	6,8	5,2
	P421CPTU502	1,00	0,23	13	FSL <1,2	6,2	4,8
	P425CPTU506	0,60	0,23	20	FSL <1,2	2,3	10,0
	P426CPTU507	1,00	0,23	20	FSL <1,2	5,3	14,0
	P427CPTU508	1,00	0,23	20	FSL <1,2	9,9	7,4
	P430CPTU511	0,60	0,23	20	FSL <1,2	1,8	10,0
	P432CPTU513	0,60	0,23	20	FSL <1,2	1,9	10,0
	P433CPTU514	0,60	0,23	20	FSL <1,2	0,7	7,0
	P548CPTU671	1,00	0,23	20	FSL <1,2	12,9	9,4
	Milano Marittima						
	P109CPTU131	1,00	0,20	20	FSL <1,2	15,3	13,4
	P156CPTU196	1,00	0,21	20	FSL <1,2	15,7	32,6
	P158CPTU198	1,00	0,21	20	FSL <1,2	22,7	46,3
	P347CPTU424	1,00	0,21	20	FSL <1,2	15,4	34,3
	P350CPTU427	1,00	0,20	15	FSL <1,2	8,3	26,0
	P357CPTU435	1,00	0,21	20	FSL <1,2	19,6	45,7
	P359CPTU437	1,00	0,20	15	FSL <1,2	10,7	20,9
	P361CPTU439	1,00	0,21	20	FSL <1,2	25,2	50,8

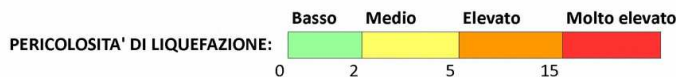


Tabella 7.2 - Le prove in blu sono CPTU eseguite per lo studio di MS; le prove in verde sono CPTU eseguite per lo studio del Piano dell'Arenile 2016; le prove in nero sono altre prove di repertorio (con dati numerici disponibili)

							Stima LPI/IL	Stima cedimenti
LOCALITA'	PROVA (SIGLA)	PROF. FALDA (m)	PGA (g)	PROF. VERIFICA (m)	(Limite FSL per calcolo LPI)	ROBERTSON 2009	ROBERTSON 2009	
Milano Marittima	P371CPTU451	1,00	0,22	20	FSL <1,2	8,6	5,5	
	P373CPTU453	1,00	0,20	15	FSL <1,2	9,0	28,0	
	P380CPTU460	1,00	0,23	20	FSL <1,2	5,1	13,0	
	P381CPTU461	1,00	0,23	15	FSL <1,2	15,0	31,0	
	P402CPTU483	1,00	0,22	20	FSL <1,2	10,2	7,7	
	P404CPTU485	1,00	0,20	15	FSL <1,2	9,5	28,0	
	P423CPTU504	1,00	0,20	15	FSL <1,2	8,4	24,0	
	P428CPTU509	1,00	0,20	20	FSL <1,2	10,4	32,0	
	Savio di Cervia	P379CPTU459	2,00	0,22	20	FSL <1,2	1,6	9,0
		P549CPTU689	1,00	0,20	20	FSL <1,2	2,5	2,2
Tagliata di Cervia	P355CPTU432	1,00	0,24	20	FSL <1,2	18,2	25,1	
	P356CPTU433	1,00	0,24	20	FSL <1,2	17,3	23,5	
	P372CPTU452	1,00	0,23	15	FSL <1,2	2,0	1,6	
	P403CPTU484	1,00	0,23	15	FSL <1,2	2,2	1,8	
	P422CPTU503	1,00	0,23	15	FSL <1,2	2,7	2,1	
PIANURA								
Cannuzzo	P374CPTU454	1,00	0,32	12	FSL <1,2	0,0	0,0	
	P499CPTU677	1,50	0,28	20	FSL <1,2	1,9	1,3	
	P500CPTU685	5,00	0,31	20	FSL <1,2	0,0	0,0	
	P564CPTU678	1,00	0,32	18,5	FSL <1,2	0,2	0,1	
Castiglione di Cervia	P50CPTU52	2,00	0,30	20	FSL <1,2	0,4	0,1	
	P349CPTU426	1,00	0,30	15	FSL <1,2	0,0	0,0	
	P375CPTU455	1,00	0,30	15	FSL <1,2	1,5	2,0	
	P376CPTU456	1,00	0,30	12	FSL <1,2	0,5	1,0	
	P512CPTU679	1,00	0,30	14	FSL <1,2	1,8	2,0	
	P551CPTU687	2,00	0,31	20	FSL <1,2	1,1	0,0	
	P565CPTU680	1,00	0,30	20	FSL <1,2	0,0	0,0	
Montaletto	P67CPTU71	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,4	0,0	
Montaletto Zona Ind.	P152CPTU192	1,00	0,30	20	FSL <1,2	0,1	0,0	
	P378CPTU458	3,00	0,31	17	FSL <1,2	0,4	2,0	
	P408CPTU489	3,00	0,31	15	FSL <1,2	0,4	2,0	
	P550CPTU683	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,9	0,5	
Pisignano	P63CPTU67	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,7	0,3	
	P68CPTU72	1,00	0,30	20	FSL <1,2	0,5	0,2	
	P506CPTU675	1,00	0,31	20	FSL <1,2	1,5	0,7	
	P563CPTU676	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,0	0,0	
Sant'Andrea/V. Inferno	P65CPTU69	1,00	0,30	20	FSL <1,2	0,2	0,1	
	P562CPTU674	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,2	0,1	
	P566CPTU681	2,00	0,30	20	FSL <1,2	0,1	0,1	
Tantlon	P49CPTU51	2,00	0,30	20	FSL <1,2	0,1	0,0	
	P186CPTU235	2,00	0,30	15	FSL <1,2	0,1	0,0	
Visdomina	P153CPTU193	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,3	0,1	
	P155CPTU195	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,6	0,2	
	P377CPTU457	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,2	0,0	
	P567CPTU682	1,00	0,31	20	FSL <1,2	0,0	0,0	

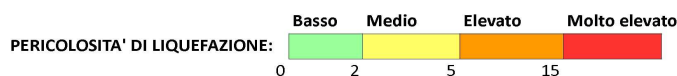


Tabella 7.2 (segue) – Le prove in blu sono CPTU eseguite per lo studio di MS; le prove in verde sono CPTU eseguite per lo studio del Piano dell'Arenile 2016; le prove in nero sono altre prove di repertorio (con dati numerici disponibili)

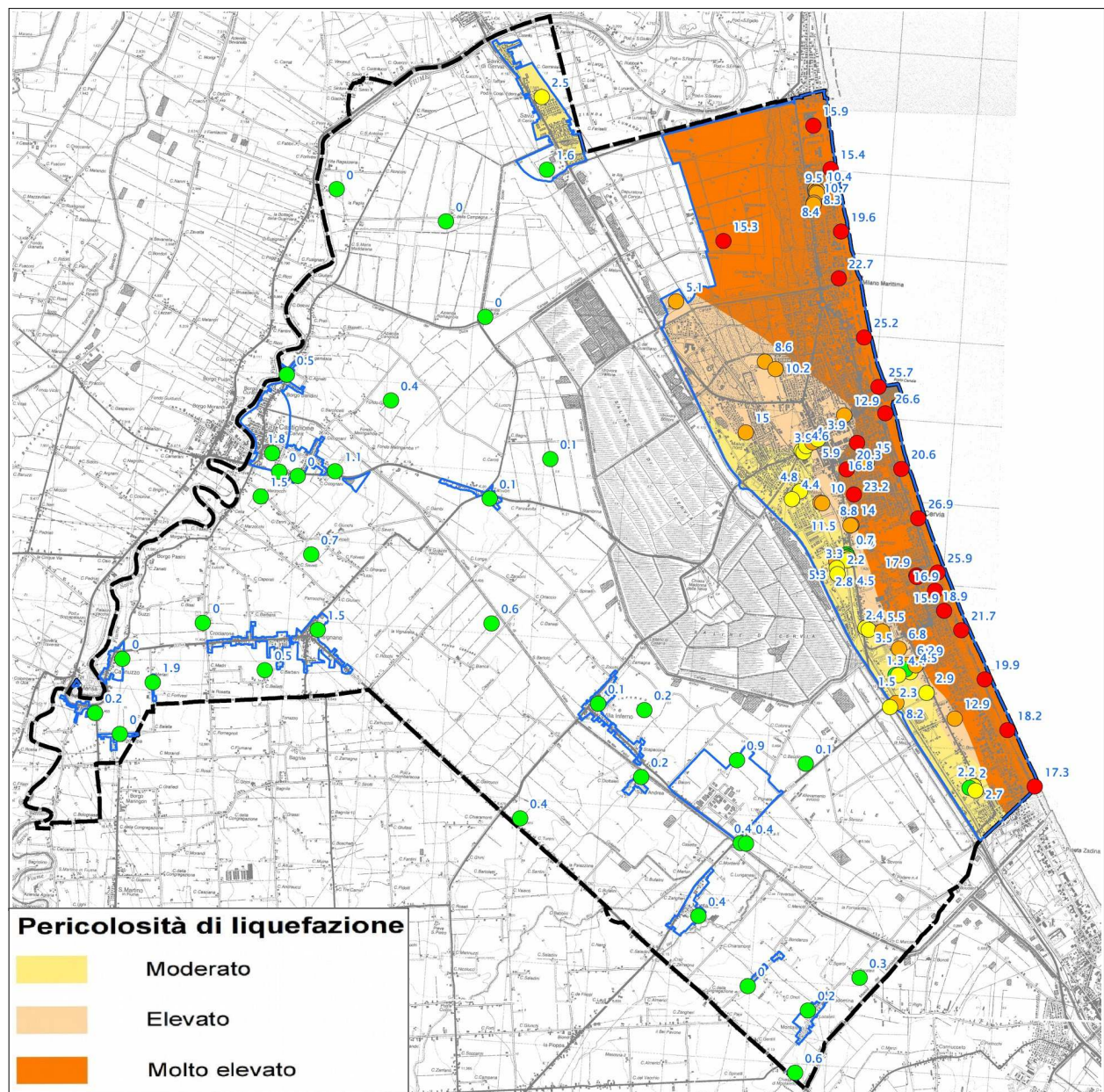


Figura 7.6 - Punti di controllo dell'Indice di Potenziale Liquefazione IL/LPI e zone di suscettibilità perimetrate nel territorio di Cervia

8 ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Carta delle Indagini (Tavola 1)

Gli studi di microzonazione sismica hanno consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse, fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio e sugli esiti delle prove integrative.

In questo senso, la “Carta delle Indagini”, realizzata alla scala 1:10.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche realizzate nel territorio comunale di Cervia, raccolte e archiviate in formato digitale per il presente studio. Per una descrizione dettagliata sulla tipologia delle indagini disponibili e in particolare di quelle eseguite per lo studio di microzonazione sismica si rimanda al Capitolo 4.




La cartografia identifica il tipo di prova con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica>> CTMS (v.4.0), distinguendo la tipologia delle prove e indicando il sito oggetto delle indagini.

8.2 Carta geologico–tecnica per la microzonazione sismica (Tavola 2)

La <<Carta geologico–tecnica>>, elaborata alla scala 1:10.00, ha lo scopo di fornire ulteriori elementi per la definizione del modello di sottosuolo meno profondo, necessario per lo studio di microzonazione sismica. Tuttavia, nella pianura, si distingue nei contenuti dalla classica carta geologica e/o litologica.

In particolare, la cartografia geologico–tecnica ha suddiviso il territorio studiato sulla base del controllo dei dati tessiturali desunti dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo (analisi tessiturali; classificazione dei campioni prelevati) e dalle prove penetrometriche, disponendo anche di dati numerici. L'elaborazione di questa cartografia è basata sul criterio delle classi tessiturali definite secondo gli “standard di microzonazione sismica” (v.4.0);

Il territorio di studio è stato suddiviso nelle seguenti classi USCS/AGI:

	Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi prevalenti alternati a limi argillosi e argille limose – cordone litoraneo (cl).
	Limi argillosi e argille limose prevalenti con locali livelli di limi sabbiosi e sabbie – argine/barre/canali (es) e piana inondabile (pi).
	Argille e argille limose più o meno consistenti – piana inondabile (pi).

La cartografia geologico–tecnica inoltre riporta:

- ✓ le tracce delle sezioni geologiche di riferimento per questo lavoro;
- ✓ la localizzazione dei sondaggi o pozzi.

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3)

La <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:10.000, riporta la suddivisione del territorio comunale in aree per classi di frequenza, secondo quanto richiesto nell'Allegato C della Delibera 1227/2015 della Regione Emilia-Romagna: $f_0 \leq 1$ hz, $1 < f_0 \leq 2$ hz, $2 < f_0 \leq 8$ hz, $f_0 > 8$ hz.

La tavola permette di discriminare le misure anche in base all'entità del rapporto spettrale H/V riferito a contrasti di impedenza alla base delle coperture, in particolare discriminando le prove che hanno ricavato rapporti: $H/V \leq 2$ (ampiezze basse); $2 < H/V \leq 3$ (ampiezze moderate); $H/V > 3$ (ampiezze elevate).

8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (Tavola 4)

La cartografia MOPS, elaborata alla scala 1:10.000, rappresenta la suddivisione del territorio comunale studiato in "Zone stabili suscettibili di amplificazione" e in "Zone di attenzione per instabilità". Tale carta rappresenta l'elaborato fondamentale della microzonazione sismica di livello 1.

Per quanto riguarda le "Zone stabili suscettibili di amplificazioni", lo studio di microzonazione sismica permette di distinguere la seguente zona, così descritta in legenda:

2001

Zona 1 – Depositi di piana alluvionale (AES8a, AES8) prevalentemente fini (argilloso-limosi) nei primi 20 metri. Pseudo-bedrock sismico a profondità comprese tra 140 e 200 metri.

La presenza di strati granulari ha imposto di delimitare quattro differenti "Zone di attenzione per liquefazione", differenziate in funzione del contesto deposizionale e litostratigrafico più profondo, così descritte nella legenda:

30502002

ZA_LQ 2 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositi di piana alluvionale (AES8a, AES8) prevalentemente fini (argilloso-limosi) con intervalli limoso-sabbiosi nei primi 20 metri.

Pseudo-bedrock sismico a profondità comprese tra 200 e 250 metri.

30502003

ZA_LQ 3 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositi di piana alluvionale (AES8a) prevalentemente fini (argilloso-limosi) con intervalli limoso-sabbiosi fino a 3-5 metri, sovrastanti depositi sabbiosi di cordone marino più o meno rimaneggiati, e con grado di addensamento medio-alto.

Pseudo-bedrock sismico a profondità comprese tra 250 e 300 metri.

30502004

ZA_LQ 4 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositi di piana costiera sub-affiorante (sabbie eoliche; sabbie e sabbie-limose di cordone marino AES8a) più o meno rimaneggiati, e con grado di addensamento variabile da moderato a medio-alto. Spessore delle sabbie variabile tra 8 e 13 metri, sovrastanti depositi di piana deltizia e piana alluvionale (AES8) prevalentemente fini alternati a livelli sabbioso-limosi. Pseudo-bedrock sismico a profondità comprese tra 200 e 300 metri.

30502005

ZA_LQ 5 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositi di piana costiera sub-affiorante (sabbie eoliche; sabbie e sabbie-limose di cordone marino AES8a) più o meno rimaneggiati e con grado di addensamento variabile da moderato a medio-alto. Spessore delle sabbie variabile tra 13 e 21 metri, sovrastanti depositi di piana deltizia e piana alluvionale (AES8) prevalentemente fini alternati a livelli sabbioso-limosi. Pseudo-bedrock sismico a profondità superiori a 300 metri.

La cartografia MOPS riporta, anche i punti di misura di rumore ambientale.

8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavola 5)

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S >>, elaborata alla scala 1:10.000, localizza tutti i punti di misura di V_s , con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore della media armonica nei primi 30 metri della velocità delle onde sismiche di taglio ($V_{s_{30}}$). Tale parametro risulta di fondamentale importanza per la caratterizzazione della risposta sismica locale, sia semplificata (DGR 1227/2015; DGR 2193/2015; criteri nazionali ICMS 2007), sia numerica.

Informazioni relative alle tipologie d'indagine e agli esiti delle V_s misurate nelle aree di approfondimento, sono riportate nei precedenti capitoli a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

8.6 Carta di microzonazione sismica livello 3 (Tavole 6a/b, 7a/b, 8a/b, 9a/b)

Le cartografie <<carta di microzonazione sismica livello 3>> sono elaborate alla scala 1:5.000 e riportano le “zone stabili suscettibili di amplificazioni”, le “zone suscettibili di instabilità” per le liquefazioni riscontrate nel territorio studiato di Cervia. Rappresentano gli elaborati finali di sintesi del presente studio di microzonazione sismica.

Si tenga presente che le zone suscettibili derivano dalla cartografia MOPS (Tavola 4) e tuttavia:

- alle “zone stabili suscettibili di amplificazioni” vengono attribuiti i parametri di amplificazione considerati (FA Pga; FA SI) attraverso la suddivisione del territorio studiato in classi di amplificazione, come previsto dagli Indirizzi della CTMS e come indicato negli Standard di rappresentazione per la microzonazione sismica (v. 4.0). Si rammenta che agli areali studiati i fattori di amplificazione sono attribuiti sulla base di modellazioni numeriche della RSL (approfondimenti di “livello 3”), come meglio specificato nel Capitolo 7.
- le “zone suscettibili di instabilità” per le liquefazioni rappresentano la sintesi degli ulteriori approfondimenti di “livello 3” effettuati nelle “zone di attenzione” riportate nella cartografia MOPS. Attraverso la quantificazione dell'Indice di liquefazione, sono state perimetrate zone di suscettibilità per le liquefazioni, discriminate secondo classi di pericolosità, come previsto dagli Indirizzi della CTMS, come indicato negli Standard di rappresentazione per la microzonazione sismica (v. 4.0) e come meglio specificato nel Capitolo 7.

La grafica standard (colore pieno e retinatura) consente di attribuire alle zone di suscettibilità i relativi fattori di amplificazione (ricavati dalle modellazioni numeriche di RSL).

In sintesi, sono state elaborate le seguenti quattro cartografie di microzonazione sismica:

- ✓ Tavola 6a/b → riporta il fattore di amplificazione FA PGA (rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico (PGA/PGA_0));
- ✓ Tavola 7a/b → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✓ Tavola 8a/b → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodi compresi tra 0,5 e 1,0 secondi);
- ✓ Tavola 9a/b → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodi compresi tra 0,5 e 1,5 secondi).

Occorre precisare che il fattore di amplificazione FA SI relativo a periodi compresi tra 0,5 e 1,5 secondi (Tavola 9) non viene incluso negli Standard di rappresentazione della MS (v. 4.0), ma tuttavia richiesto dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 2193/2015). Per questo motivo, negli shape file poligonali “stab” e “istab” è stato creato il nuovo campo <<FH0515>> ove riportare numericamente il valore di quest'ultimo fattore di amplificazione.

9 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2005) – Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. Deliverable D23.12 of the SESAME project, 62 pp, April 2005. Available at <http://www.SESAME-FP5.obs.ujf-grenoble.fr>.
- AA.VV. (2011) – Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n.2.
- Albarello D. e Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In AA.VV. (2011) – Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n.2.
- Basili R., G. Valensise P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008) – The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. Tectonophysics.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P. e Vannucci G. (2004) – Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna; Note illustrative. A cura di : Boccaletti M. e Martelli L., Servizio geologico sismico e dei suoli.
- Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2004) – *Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes*. Proc., 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., ed Stallion Press, Vol. 1, 32–56.
- Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2007) – *Evaluation of cyclic softening in silts and clays*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 133(6): 641–52.
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L. (2005) – Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. *Geologia e tecnica ambientale*, 3.
- Castellaro S. e Mulargia F. (2011) – Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13–15.
- Castellaro S. (2012) – H/V: un contributo oltre Vs30. In "Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici" a cura di Mucciarelli M.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C. e Amato A. (2006) – CSI Catalogo della sismicità italiana 1981–2002 versione 1.1. INGV-CNT, Roma, [Online], Available: <http://csi.rm.ingv.it/>.
- Cerrina Feroni A., Martelli L., Martinelli P. & Ottria G. (2002) – Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Georisorse e Geoscienze, Pisa. S.EL.CA., Firenze.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2015) – Microzonazione sismica –

Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0. Disponibile all'indirizzo web: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4.0_open.pdf .

Comune di Cervia – *Analisi geologiche per la predisposizione del PSC di Cervia (2012)*

Comune di Cervia – *Studio geologico e di microzonazione sismica di III livello di approfondimento per l'adeguamento del Piano dell'Arenile del Comune di Cervia (GeoProget, 2016)*

Crespellani, Nardi, Simoncini (1991) – *La liquefazione del terreno in condizioni sismiche*. Zanichelli, Bologna.

DISS Working Group (2015) – Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, ©INGV2015 – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT- DISS3.2.0.

Elmi, Zecchi (1982) – *Note sulla sismicità dell'appennino emiliano-romagnolo*. In Guida alla geologia del margine appenninico-padano. *Società Geologica Italiana – Guide Geologiche regionali*, Bologna.

Facciorusso, J., Madiari C., Vannucchi G., Martelli, L. (2012). *Analisi di dettaglio finalizzata alla valutazione della pericolosità di liquefazione: il caso della costa adriatica romagnola*. In: “*La microzonazione sismica per la gestione del territorio. L'esperienza della regione Emilia-Romagna*”. Regione Emilia-Romagna Eds.

Facciorusso, J., Madiari C., Vannucchi G., (2013). *Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU*. Università degli Studi di Firenze – Facoltà di Ingegneria – Sezione geotecnica.

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012) – *Terremoti dell'Emilia – maggio 2012 – Rilievo Macrosismico MCS speditivo – Rapporto finale*. Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico.

Galli, Meloni, Rossi (1999) – *Historical liquefaction in Italy: relationship between epicentral distance and seismic parameters*. European Geophysical Society XXVIII General Assembly Natural Hazards NH3, The Hague, Netherlands.

Gruppo di lavoro MS (2008) – *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area “Rischio Sismico” all'indirizzo: http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833 .

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G., INGV-SGA (2007) – CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.–1997) and Mediterranean Area (760 B.C.–1500). <http://storing.ingv.it/cfti4med/> .

ISIDe Working Group (2010) – Italian Seismological Instrumental and parametric database. [Online], Available: <http://iside.rm.ingv.it>.

ISPRA (2009) – *Carta Geologica d'Italia, Foglio 241 Cervia*. Coord. Scientifico: Regione Emilia-

Romagna. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. SystemCart, Roma.

Lanzo G. & Silvestri F. (1999) - Risposta Sismica Locale. Edizioni Hevelius

Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11.

Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Romani M., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi C., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G., Brammerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffre' M., Zuppiroli M., Guidi F., Vona V. Con Il Contributo Di Manicardi A., Mengoli B., Ugoletti C. e Ricci L. (2013) - Microzonazione sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura Emiliana del 2012 (Ord. 70/2012). Atti del 32° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Fisica della Terra Solida, Trieste, ISBN: 978-88-902101-7-4.

Meletti, Valensise (2004) - *Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo*. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Ministero delle Infrastrutture (2008) - D.M. 14/01/2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni, Roma.

Pieri M. e Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.

Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse (2004) - *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna - scala 1:250.000*. Ed. SELCA, Firenze.

Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - *Carta Geologica in scala 1:10.000 della regione Emilia-Romagna - cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss*

Regione Emilia Romagna - *Legge Regionale n.20/2000 - "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio"*.

Regione Emilia Romagna - *Delibera Regionale n.112/2007 - "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della LR 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>"*.

Regione Emilia Romagna - *Delibera della Giunta Regionale n.2193/2015 - "Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>, di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112"*.

Robertson P.K. (2009). *Performance based earthquake design using the CPT*. Keynote Lecture,

International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009.

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

Robertson P.K., Cabal K.L. (2010). Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. *Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, July 2010.*

Robertson P.K. (2009). Interpretation of Cone Penetration Tests – a unified approach., *Canadian Geotechnical Journal* 46(11): 1337–1355.

Robertson P.K. (2010). Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 136, 842 (2010).

Robertson P.K. and, Wride CE . (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". *Canadian Geotechnical Journal*, 1998, Vol. 35, No. 3 : pp. 442–459.

Youd, T.L., and Idriss, I.M. (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127(4), 297–313.

Zhang, Robertson, Brachman (2002). Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground. *Canadian Geotechnical Journal*, 2002, 39(5) : 1168–1180, 10.1139/t02-047.

ALLEGATI:

SCHEDA MODELLI NUMERICI RSL

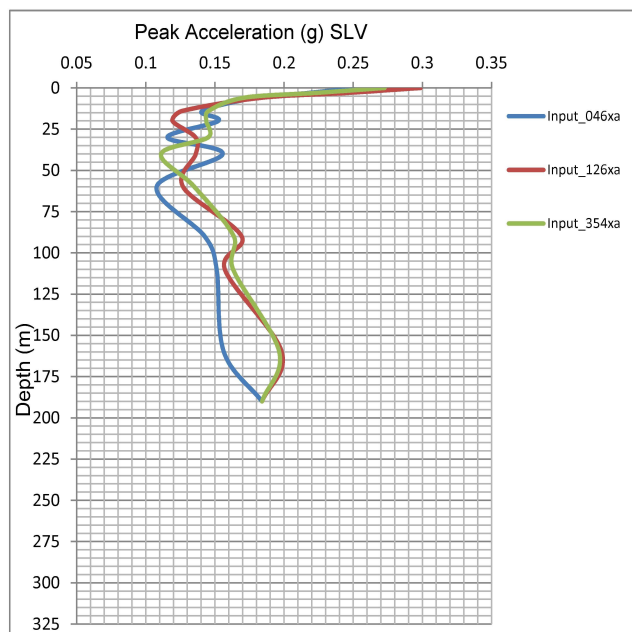
VERIFICHE NUMERICHE LIQUEFAZIONE (ROBERTSON & WRIE 2009)

MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – CANNUZZO

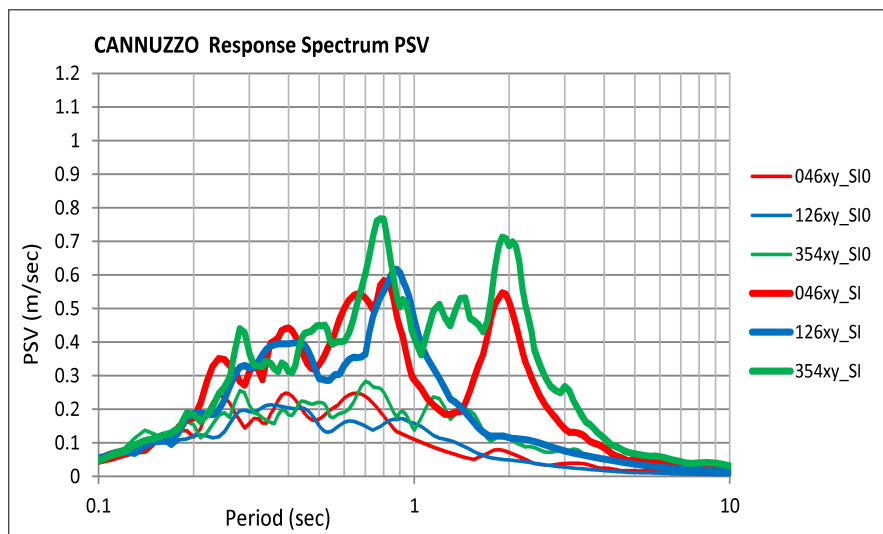
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	3,0	3,0	17,0	0,05	120	ALS_Cervia10m
2	3,0	6,0	17,5	0,05	175	ALS_Cervia10m
3	8,0	14,0	18,0	0,05	220	ALS_Cervia10m
4	6,0	20,0	18,0	0,05	240	ALS_Cervia10m
5	10,0	30,0	18,5	0,05	260	Soil PI=15
6	10,0	40,0	19,0	0,05	300	Sand Avg
7	20,0	60,0	18,5	0,05	325	Soil PI=15
8	30,0	90,0	19,0	0,05	350	Soil PI=15
9	20,0	110,0	21,0	0,05	425	Sand upper
10	50,0	160,0	20,0	0,05	450	Soil PI=15
11	30,0	190,0	21,0	0,05	550	Soil PI=0
12						
13						
14						
Profondità media pseudobedrock: -80 m					>700	

CANNUZZO		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.251	0.299	0.273	0.274
	FA Pga	1.4	1.6	1.5	1.5



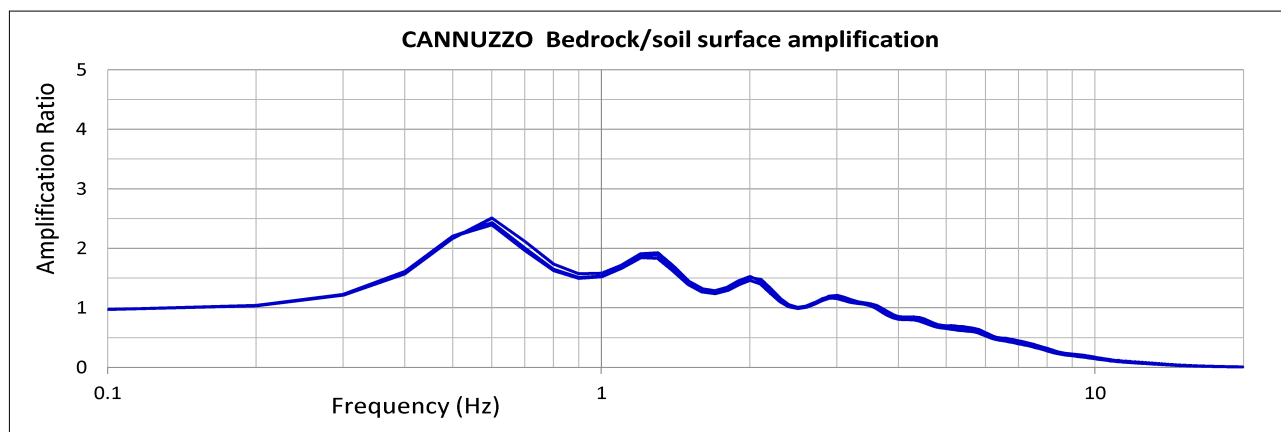
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.7	2.6	2.7
Input_000126xy	1.7	2.9	2.7
Input_000354xy	1.6	2.5	2.5
MEAN	1.7	2.7	2.6

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL

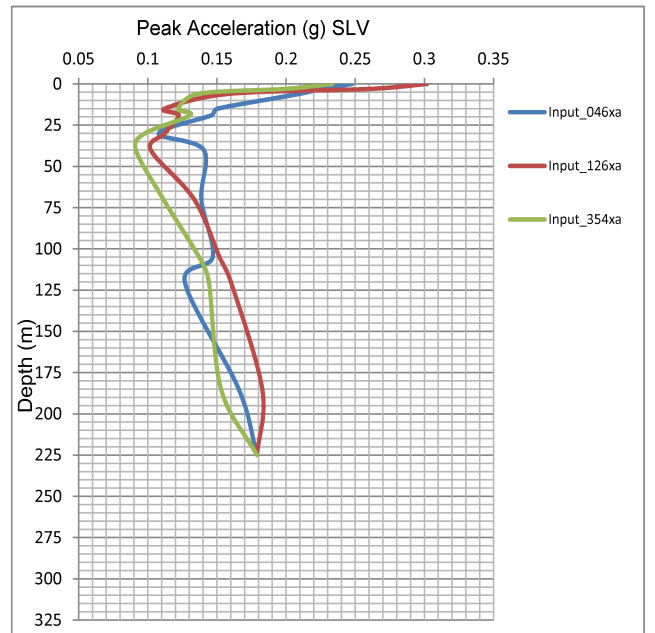


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – CASTIGLIONE DI CERVIA

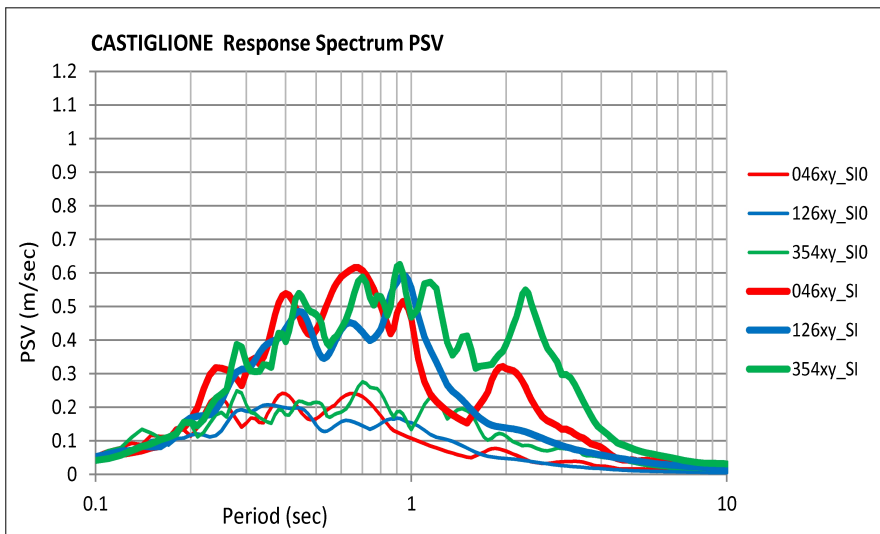
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	3,0	3,0	17,0	0,05	120	ALS_Cervia10m
2	3,0	6,0	17,5	0,05	140	ALS_Cervia10m
3	9,0	15,0	17,5	0,05	200	ALS_Cervia10m
4	4,0	19,0	18,0	0,05	230	Soil PI=15
5	11,0	30,0	18,5	0,05	250	ALS_Cervia10m
6	10,0	40,0	19,0	0,05	300	Sand Avg
7	30,0	70,0	18,5	0,05	325	Soil PI=15
8	35,0	105,0	19,0	0,05	350	Soil PI=15
9	15,0	120,0	19,5	0,05	400	Sand upper
10	65,0	185,0	20,0	0,05	550	Soil PI=15
11	40,0	225,0	21,0	0,05	550	Soil PI=0
12						
13						
14						
Profondità media pseudobedrock: -225 m					>800	

CASTIGLIONE		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.248	0.302	0.233	0.261
	FA Pga	1.4	1.7	1.3	1.5



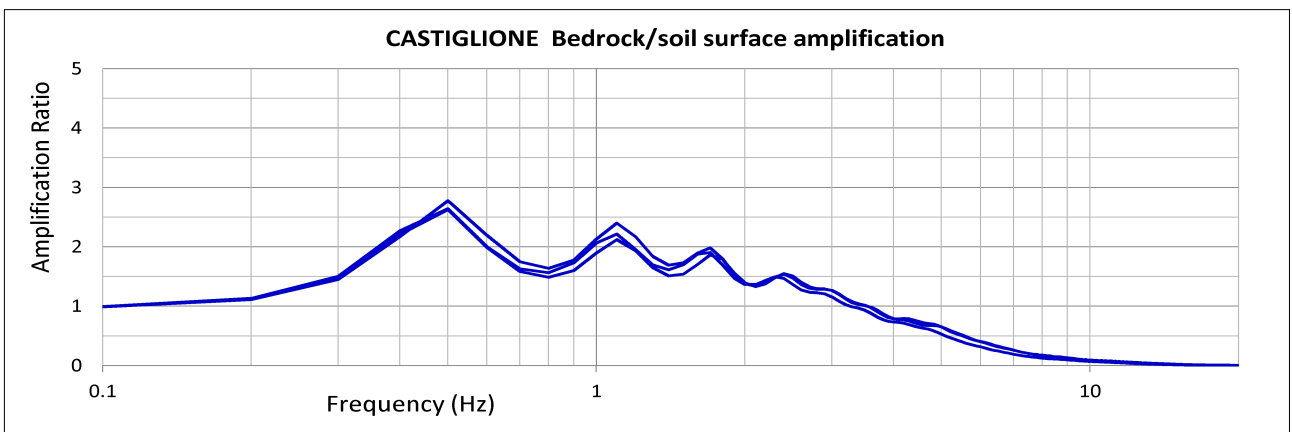
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.9	3.0	3.0
Input_000126xy	1.9	3.1	3.0
Input_000354xy	1.8	2.5	2.4
MEAN	1.8	2.9	2.8

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

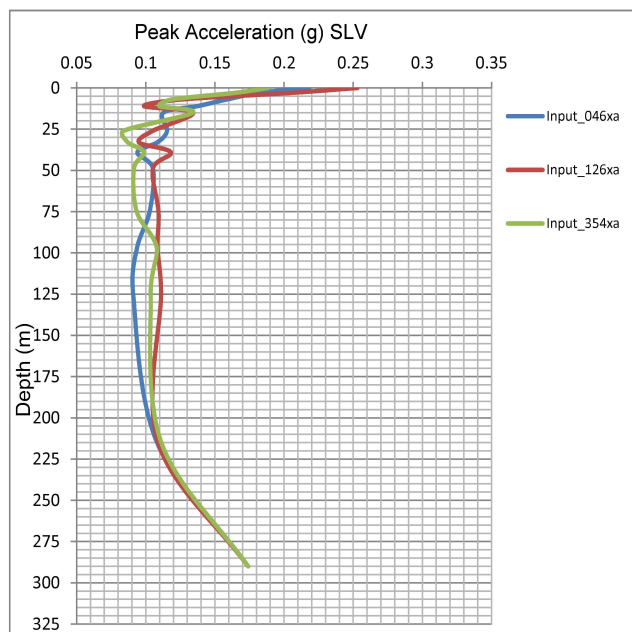


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – CERVIA (SCUOLA IPSEOA)

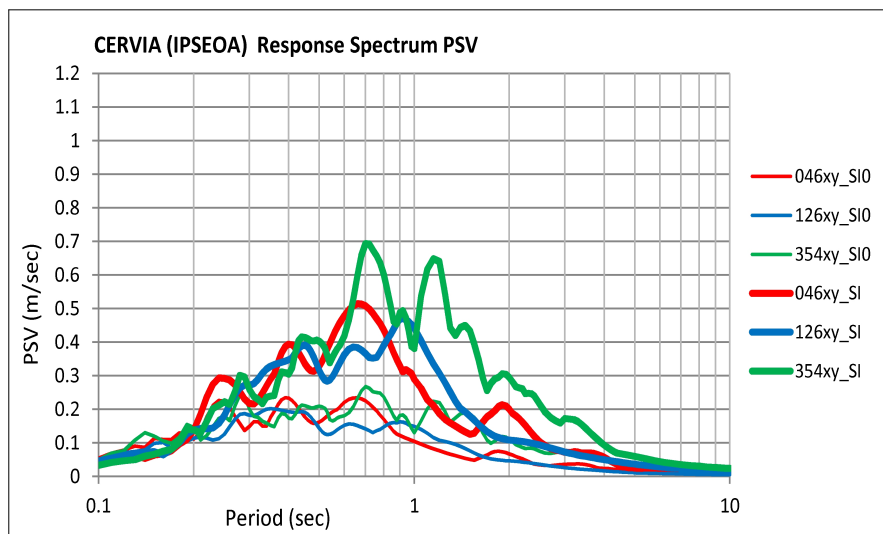
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	3,0	3,0	17,0	0,05	130	Sand lower
2	4,0	7,0	17,5	0,05	150	Sand lower
3	4,0	11,0	18,5	0,05	200	Sand Avg
4	4,0	15,0	17,0	0,05	140	ALS_Cervia10m
5	11,0	26,0	17,0	0,05	200	ALS_Cervia10m
6	7,0	33,0	17,5	0,05	215	Soil PI=15
7	6,0	39,0	18,5	0,05	250	Sand Avg
8	10,0	49,0	19,0	0,05	300	Sand upper
9	26,0	75,0	18,5	0,05	325	ALS_Cervia50m
10	22,0	97,0	19,0	0,05	345	ALS_Cervia50m
11	28,0	125,0	19,0	0,05	375	ALS_Cervia50m
12	90,0	215,0	20,0	0,05	450	ALS_Cervia50m
13	75,0	290,0	21,0	0,05	525	ALS_Cervia50m
14						
Profondità media pseudobedrock: -290 m					>800	

CERVIA (IPSEOA)		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.218	0.253	0.189	0.220
	FA Pga	1.3	1.5	1.1	1.3



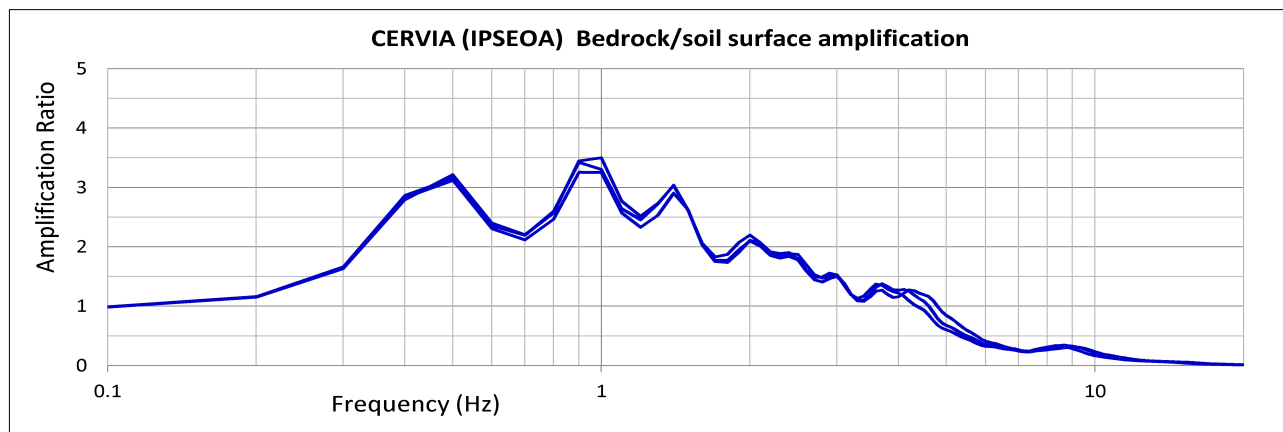
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.5	2.4	2.4
Input_000126xy	1.6	2.7	2.6
Input_000354xy	1.5	2.5	2.6
MEAN	1.5	2.5	2.6

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

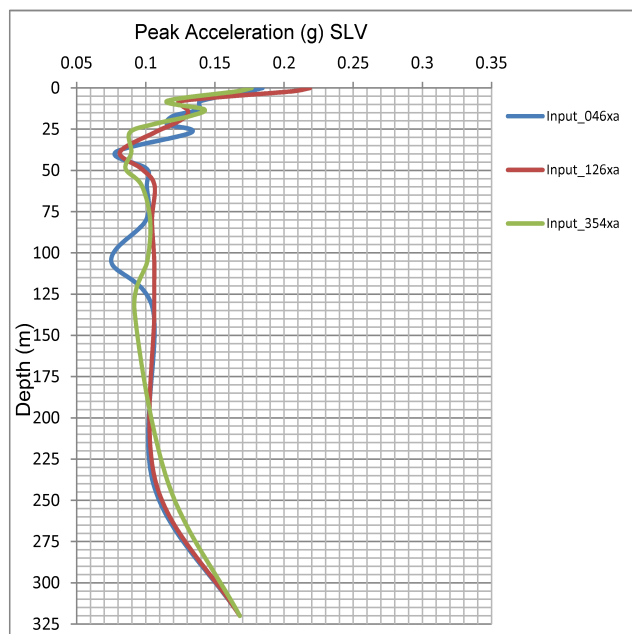


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – MILANO MARITTIMA (ANELLO DEI PINI)

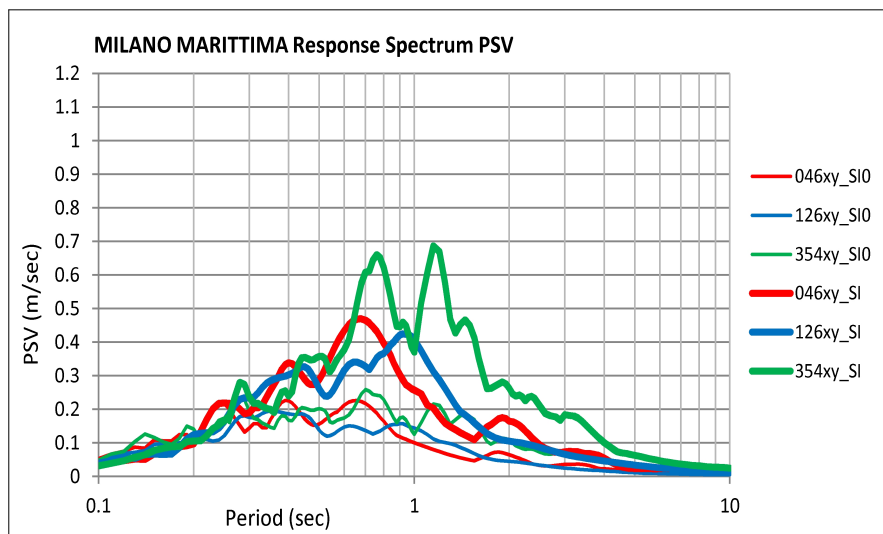
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	2,0	2,0	18,0	0,05	130	Sand lower
2	6,0	8,0	17,5	0,05	170	Sand lower
3	5,0	13,0	18,0	0,05	180	Sand Avg
4	4,0	17,0	18,5	0,05	200	ALS_Cervia10m
5	5,0	22,0	17,0	0,05	160	ALS_Cervia10m
6	5,0	27,0	17,5	0,05	230	Soil PI=15
7	12,0	39,0	17,5	0,05	240	Sand Avg
8	10,0	49,0	18,0	0,05	265	Sand upper
9	10,0	59,0	19,0	0,05	300	ALS_Cervia50m
10	21,0	80,0	18,5	0,05	325	ALS_Cervia50m
11	25,0	105,0	19,0	0,05	345	ALS_Cervia50m
12	30,0	135,0	19,0	0,05	375	ALS_Cervia50m
13	105,0	240,0	20,0	0,05	450	ALS_Cervia50m
14	80,0	320,0	21,0	0,05	525	
Profondità media pseudobedrock: -320 m					>800	

MILANO MARITTIMA		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.184	0.219	0.177	0.193
	FA Pga	1.1	1.3	1.1	1.2



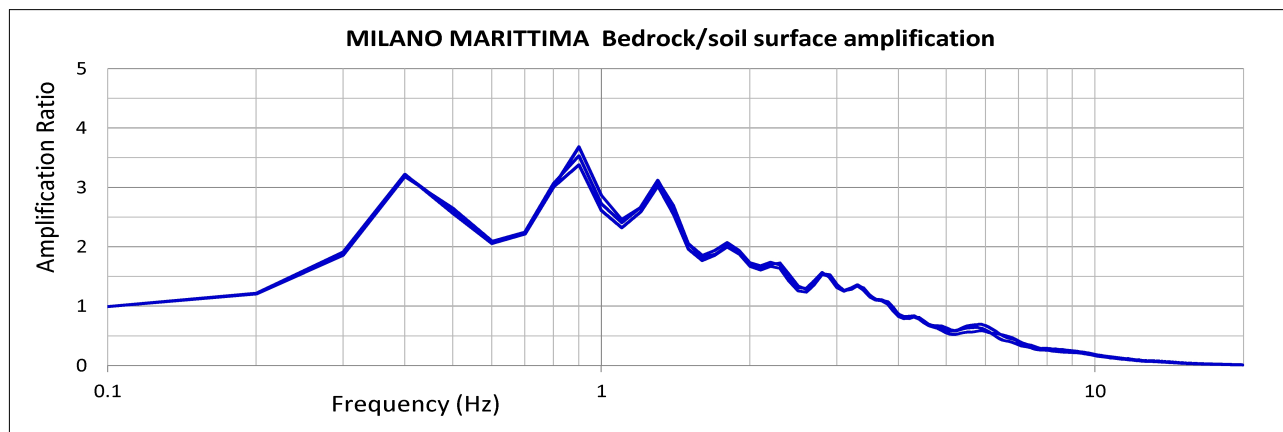
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.3	2.3	2.3
Input_000126xy	1.4	2.5	2.5
Input_000354xy	1.3	2.5	2.7
MEAN	1.3	2.4	2.5

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSr):

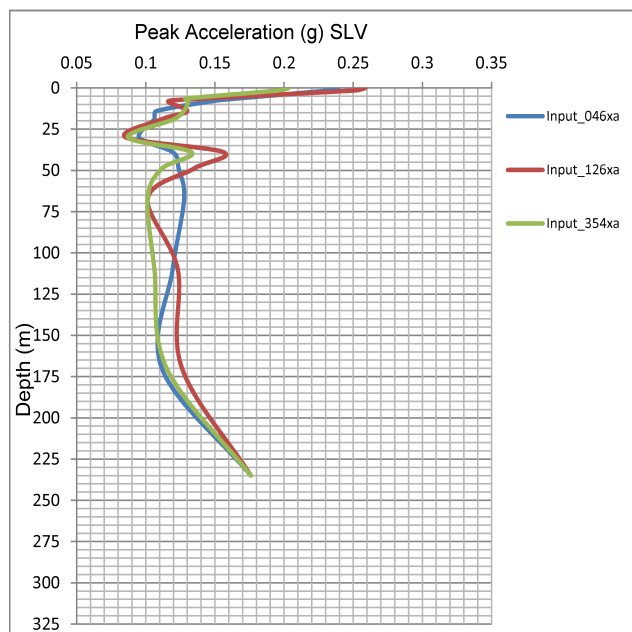


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – PINARELLA (DOWN-HOLE MICROZONAZIONE)

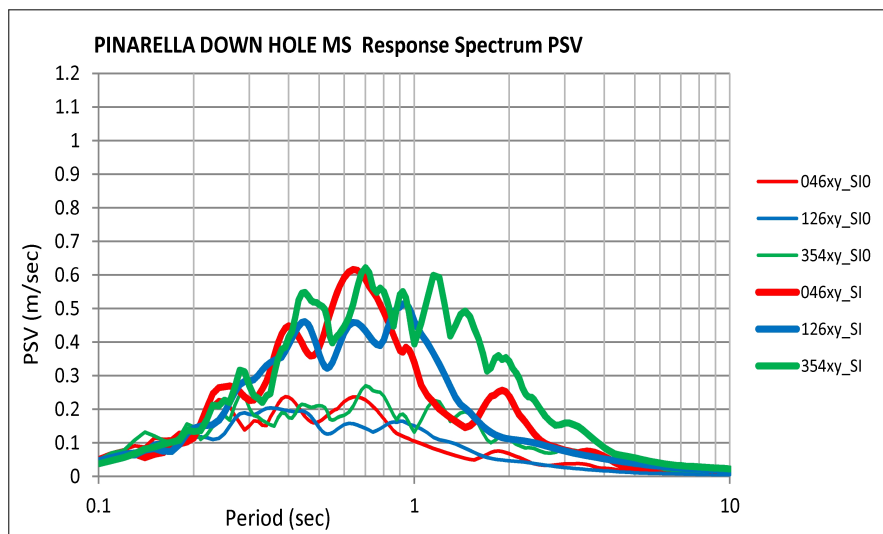
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	1,5	1,5	17,5	0,05	145	Sand lower
2	5,0	6,5	17,0	0,05	140	Sand lower
3	1,5	8,0	18,0	0,05	160	Sand Avg
4	6,0	14,0	17,0	0,05	150	ALS_Cervia10m
5	5,0	19,0	17,0	0,05	200	Soil PI=15
6	11,0	30,0	17,5	0,05	230	ALS_Cervia10m
7	9,0	39,0	17,5	0,05	185	ALS_Cervia10m
8	10,0	49,0	19,0	0,05	300	Sand upper
9	18,0	67,0	18,5	0,05	325	ALS_Cervia50m
10	18,0	85,0	19,0	0,05	340	ALS_Cervia50m
11	25,0	110,0	19,0	0,05	370	ALS_Cervia50m
12	60,0	170,0	20,0	0,05	425	ALS_Cervia50m
13	65,0	235,0	21,0	0,05	500	ALS_Cervia50m
Profondità media pseudobedrock: -235 m					>800	

PINARELLA D-H		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.239	0.259	0.203	0.234
	FA Pga	1.4	1.5	1.2	1.3



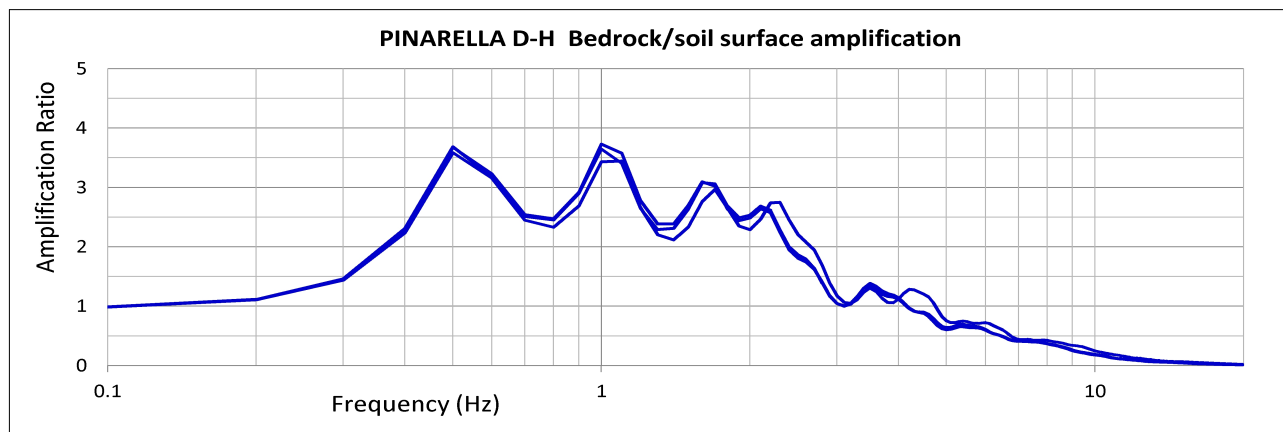
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.6	2.8	2.8
Input_000126xy	1.7	2.9	2.9
Input_000354xy	1.7	2.5	2.5
MEAN	1.7	2.7	2.7

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

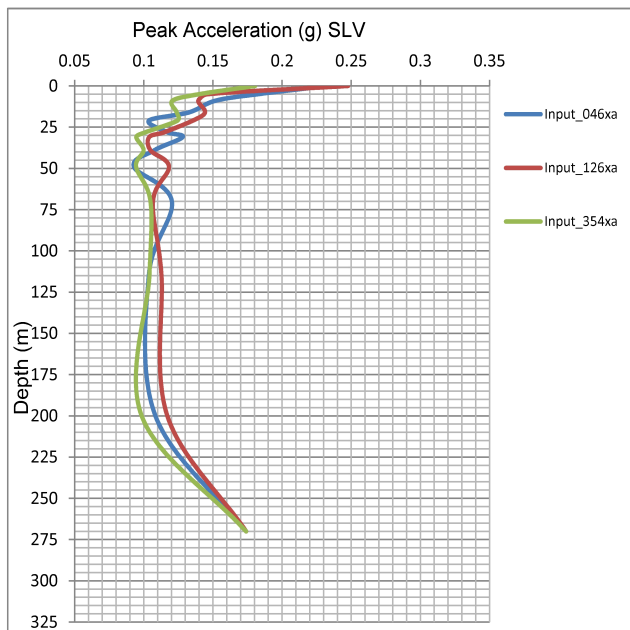


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – PINARELLA (PALAZZO SPORT)

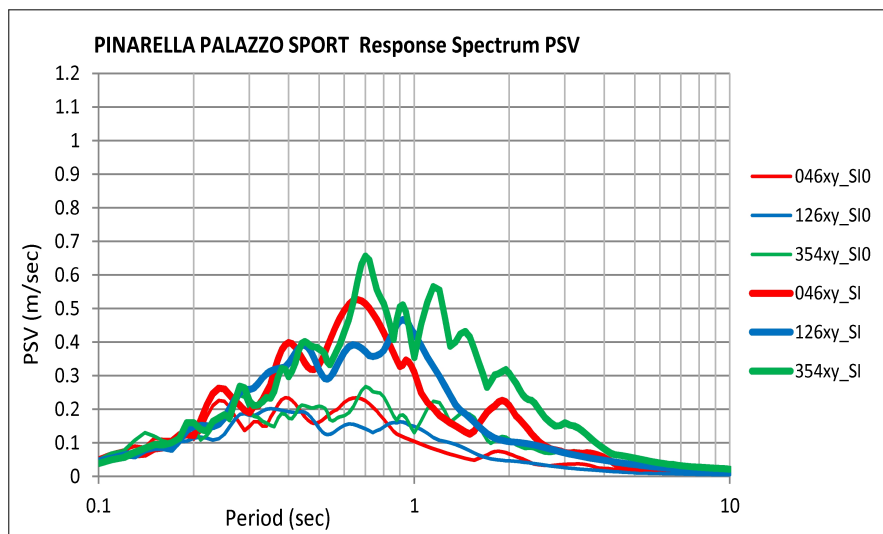
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	5,0	5,0	17,5	0,05	150	Sand lower
2	4,0	9,0	18,0	0,05	170	Sand Avg
3	7,0	16,0	17,0	0,05	160	ALS_Cervia10m
4	5,0	21,0	17,0	0,05	200	Soil PI=15
5	7,0	28,0	17,5	0,05	230	ALS_Cervia10m
6	3,0	31,0	18,0	0,05	250	Soil PI=0
7	8,0	39,0	17,5	0,05	225	ALS_Cervia10m
8	10,0	49,0	19,0	0,05	300	Sand upper
9	21,0	70,0	18,5	0,05	325	ALS_Cervia50m
10	20,0	90,0	19,0	0,05	345	ALS_Cervia50m
11	25,0	115,0	19,0	0,05	375	ALS_Cervia50m
12	85,0	200,0	20,0	0,05	450	ALS_Cervia50m
13	70,0	270,0	21,0	0,05	525	ALS_Cervia50m
Profondità media pseudobedrock: -270 m					>800	

PINARELLA P.SPORT		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.233	0.248	0.180	0.220
	FA Pga	1.3	1.4	1.0	1.3



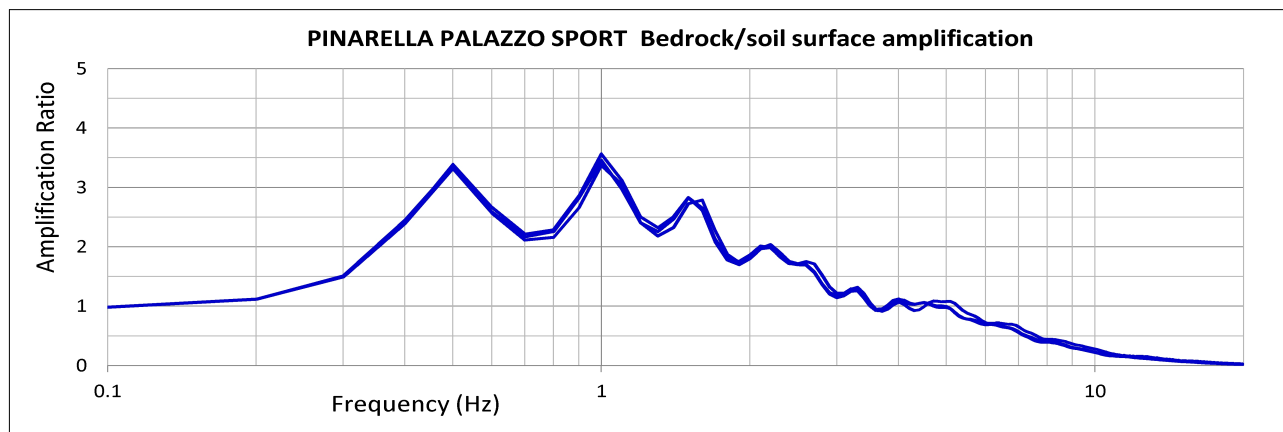
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.5	2.4	2.5
Input_000126xy	1.6	2.6	2.6
Input_000354xy	1.4	2.4	2.4
MEAN	1.5	2.5	2.5

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

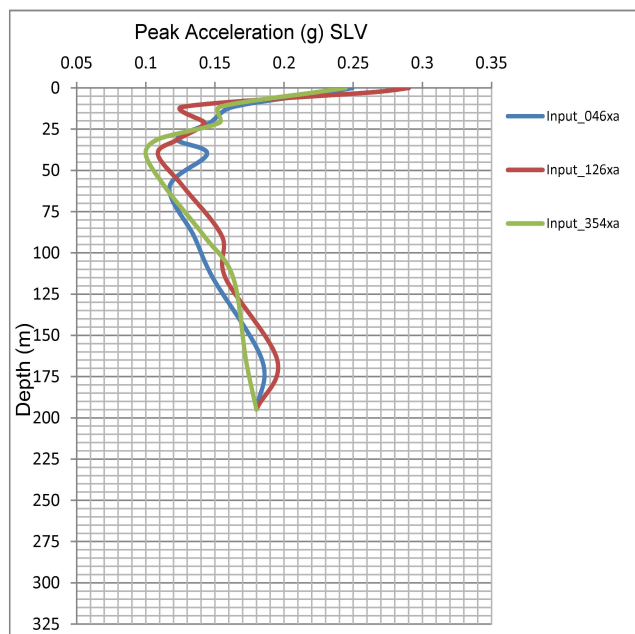


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – PISIGNANO

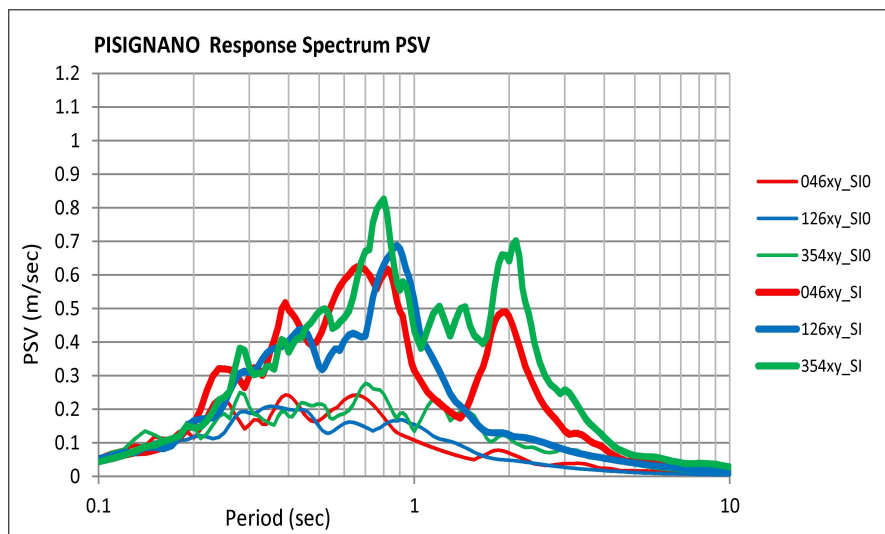
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	2,5	2,5	17,0	0,05	130	ALS_Cervia10m
2	9,0	11,5	17,5	0,05	175	ALS_Cervia10m
3	9,5	21,0	18,0	0,05	220	ALS_Cervia10m
4	10,0	31,0	18,5	0,05	260	Soil PI=15
5	9,0	40,0	19,0	0,05	325	Sand Avg
6	20,0	60,0	18,5	0,05	325	Soil PI=15
7	30,0	90,0	19,0	0,05	350	Soil PI=15
8	25,0	115,0	20,0	0,05	400	Sand upper
9	50,0	165,0	20,0	0,05	450	Soil PI=15
10	30,0	195,0	21,0	0,05	550	Soil PI=0
11						
12						
13						
Profondità media pseudobedrock: -195 m					>700	

PISIGNANO		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.249	0.290	0.245	0.261
	FA Pga	1.4	1.6	1.4	1.5



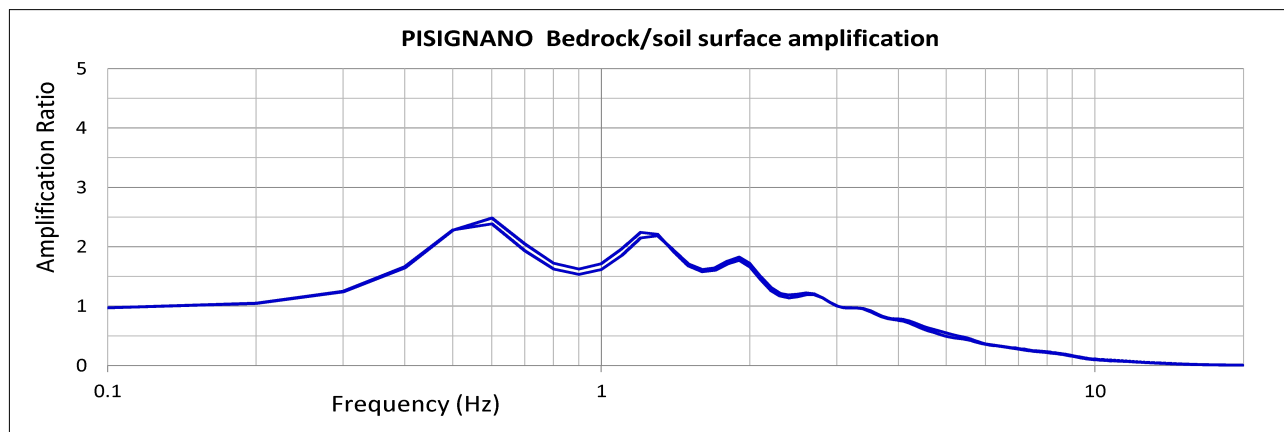
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.8	3.0	3.0
Input_000126xy	1.8	3.4	3.1
Input_000354xy	1.7	2.8	2.6
MEAN	1.7	3.0	2.9

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

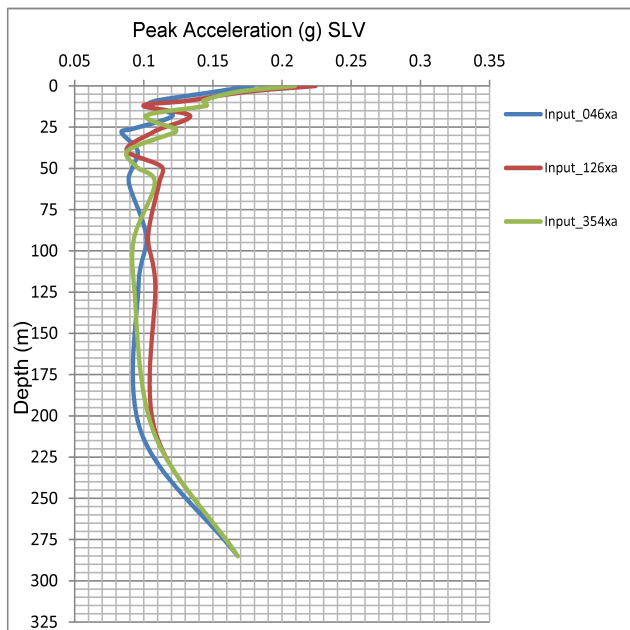


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – SAVIO DI CERVIA

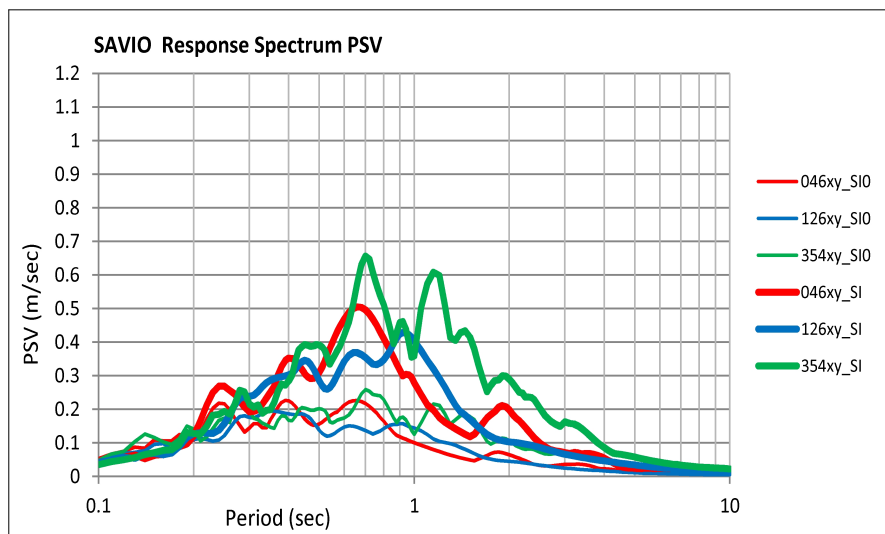
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	3,5	3,5	18,0	0,05	130	Sand Avg
2	5,5	9,0	17,5	0,05	175	Sand lower
3	3,0	12,0	18,5	0,05	185	Sand Avg
4	6,0	18,0	17,0	0,05	155	ALS_Cervia10m
5	8,0	26,0	17,5	0,05	230	Soil PI=15
6	2,0	28,0	18,5	0,05	280	Sand Avg
7	11,0	39,0	17,5	0,05	230	ALS_Cervia10m
8	10,0	49,0	18,0	0,05	250	ALS_Cervia10m
9	10,0	59,0	19,0	0,05	300	Sand upper
10	11,0	70,0	18,5	0,05	325	ALS_Cervia50m
11	22,0	92,0	19,0	0,05	350	ALS_Cervia50m
12	28,0	120,0	19,0	0,05	375	ALS_Cervia50m
13	90,0	210,0	20,0	0,05	450	ALS_Cervia50m
14	75,0	285,0	21,0	0,05	525	ALS_Cervia50m
Profondità media pseudobedrock: -285 m					>800	

SAVIO DI CERVIA		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.179	0.224	0.209	0.204
	FA Pga	1.1	1.3	1.2	1.2



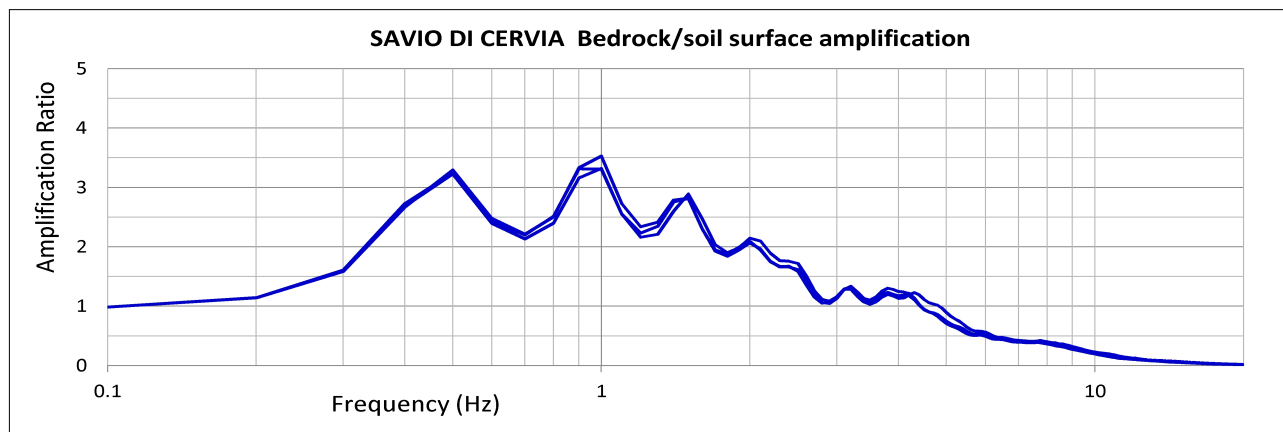
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.4	2.4	2.4
Input_000126xy	1.5	2.5	2.5
Input_000354xy	1.4	2.5	2.5
MEAN	1.4	2.5	2.5

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

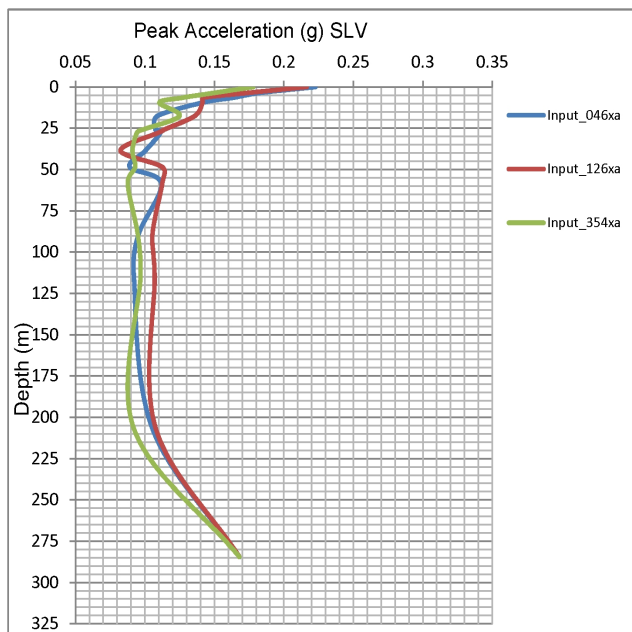


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – SAVIO DI CERVIA BIS

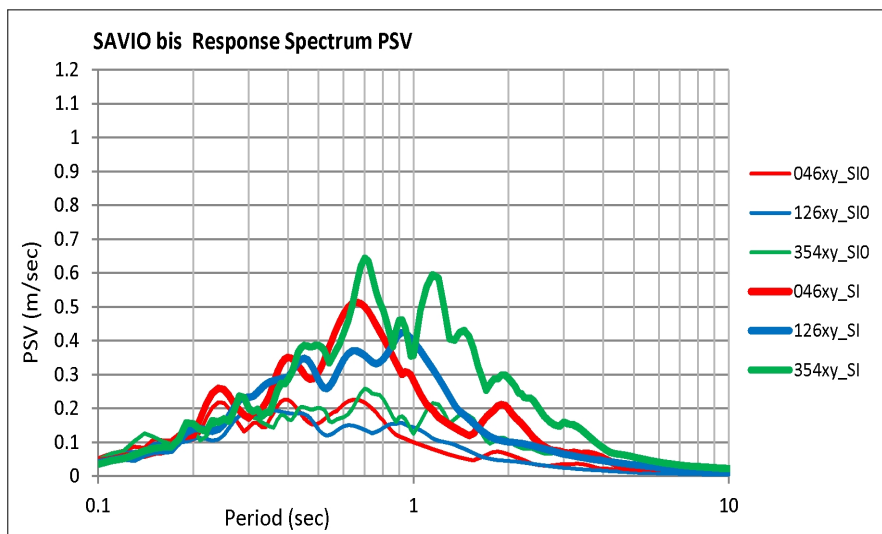
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	3,5	3,5	17,0	0,05	120	ALS_Cervia10m
2	3,5	7,0	17,5	0,05	170	Sand lower
3	3,0	10,0	18,5	0,05	180	Sand Avg
4	8,0	18,0	17,0	0,05	155	ALS_Cervia10m
5	8,0	26,0	17,5	0,05	230	Soil PI=15
6	2,0	28,0	18,5	0,05	280	Sand Avg
7	11,0	39,0	17,5	0,05	230	ALS_Cervia10m
8	10,0	49,0	18,0	0,05	250	ALS_Cervia10m
9	10,0	59,0	19,0	0,05	300	Sand upper
10	11,0	70,0	18,5	0,05	325	ALS_Cervia50m
11	20,0	90,0	19,0	0,05	350	ALS_Cervia50m
12	25,0	115,0	19,0	0,05	375	ALS_Cervia50m
13	92,0	207,0	20,0	0,05	450	ALS_Cervia50m
14	78,0	285,0	21,0	0,05	525	ALS_Cervia50m
Profondità media pseudobedrock: -285 m					>800	

SAVIO DI CERVIA bis		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.223	0.216	0.178	0.206
	FA Pga	1.3	1.3	1.1	1.2



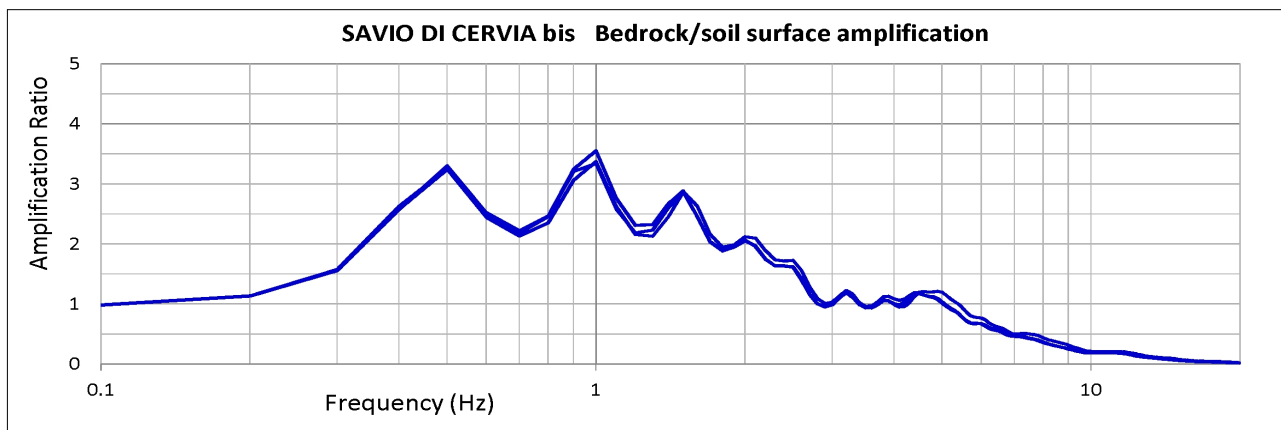
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.4	2.4	2.4
Input_000126xy	1.5	2.5	2.5
Input_000354xy	1.4	2.5	2.5
MEAN	1.4	2.5	2.5

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

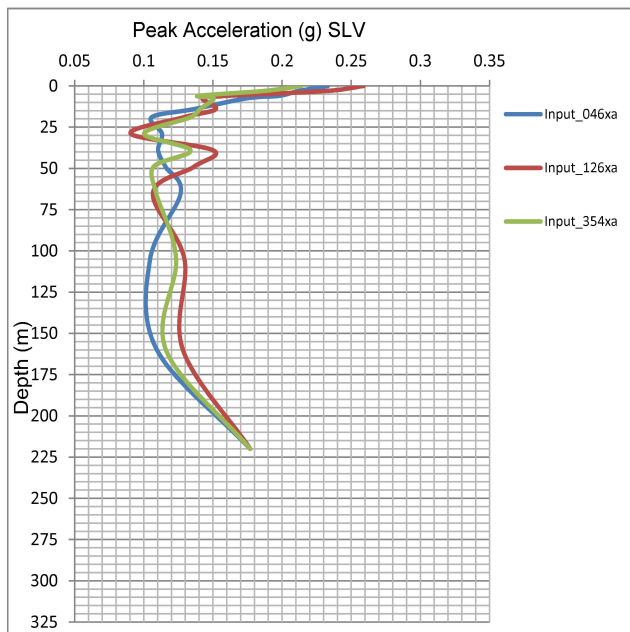


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – TAGLIATA DI CERVIA

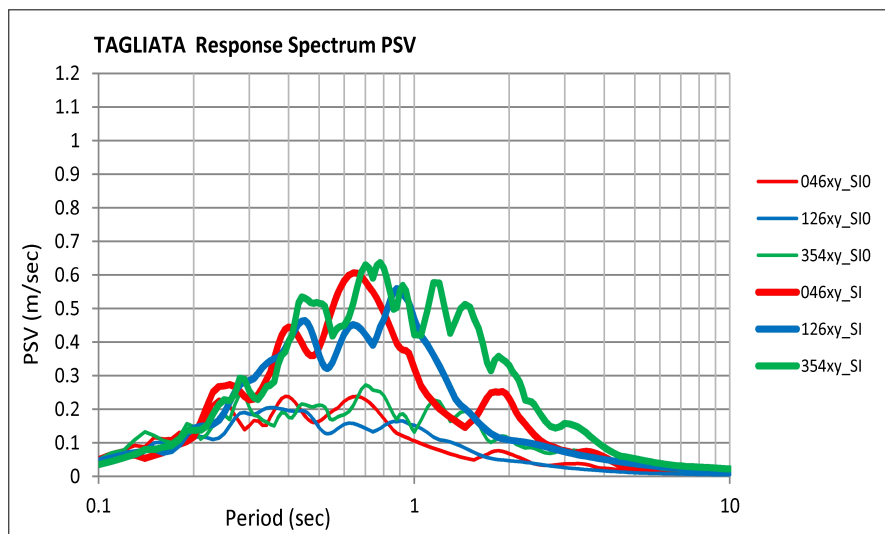
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	3,0	3,0	17,5	0,05	150	Sand Avg
2	3,0	6,0	17,0	0,05	145	Sand lower
3	1,5	7,5	17,0	0,05	140	Soil PI=15
4	6,5	14,0	17,0	0,05	150	ALS_Cervia10m
5	5,0	19,0	17,0	0,05	200	Soil PI=15
6	10,0	29,0	17,5	0,05	230	ALS_Cervia10m
7	10,0	39,0	17,5	0,05	200	ALS_Cervia10m
8	10,0	49,0	19,0	0,05	300	Sand upper
9	16,0	65,0	18,5	0,05	325	ALS_Cervia50m
10	15,0	80,0	19,0	0,05	340	ALS_Cervia50m
11	25,0	105,0	19,0	0,05	370	ALS_Cervia50m
12	55,0	160,0	20,0	0,05	425	ALS_Cervia50m
13	60,0	220,0	21,0	0,05	500	ALS_Cervia50m
Profondità media pseudobedrock: -220 m					>800	

TAGLIATA	Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN	
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.233	0.259	0.214	0.235
	FA Pga	1.3	1.5	1.2	1.3



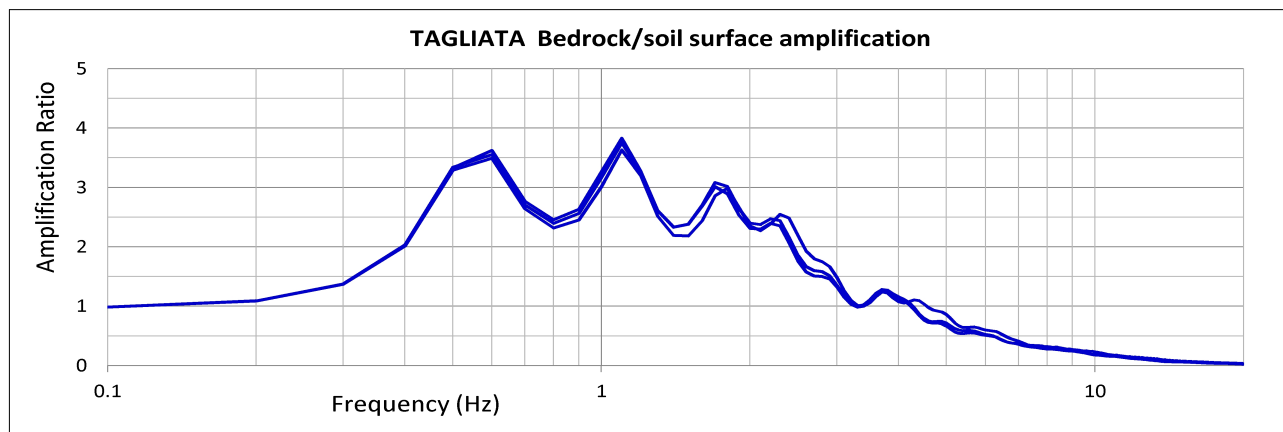
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.6	2.7	2.7
Input_000126xy	1.7	3.0	2.9
Input_000354xy	1.7	2.6	2.6
MEAN	1.7	2.8	2.7

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

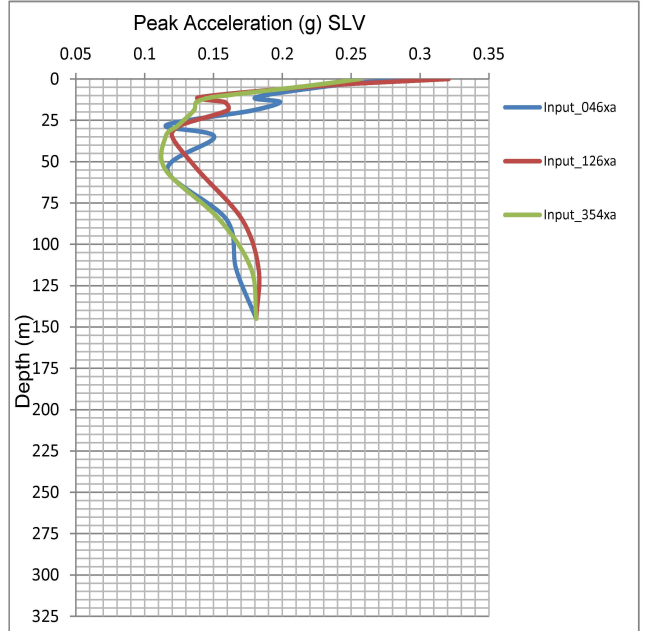


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – VISDOMINA

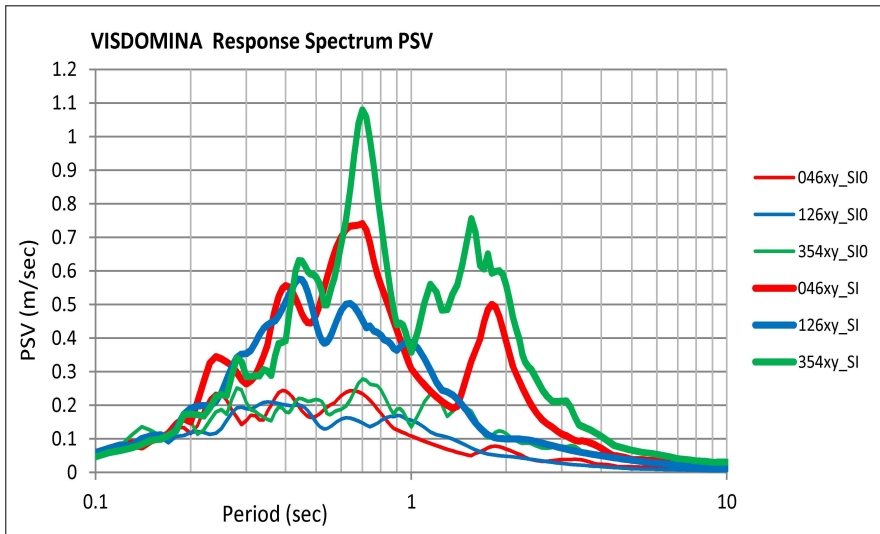
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	4,0	4,0	17,0	0,05	130	ALS_Cervia10m
2	7,0	11,0	17,5	0,05	175	ALS_Cervia10m
3	3,0	14,0	18,5	0,05	225	Soil PI=0
4	5,0	19,0	18,0	0,05	250	ALS_Cervia10m
5	9,0	28,0	18,0	0,05	275	ALS_Cervia10m
6	7,0	35,0	19,0	0,05	325	Sand Avg
7	20,0	55,0	18,5	0,05	325	Soil PI=15
8	30,0	85,0	19,0	0,05	350	Soil PI=15
9	30,0	115,0	20,0	0,05	425	Soil PI=0
10	30,0	145,0	21,0	0,05	500	Soil PI=0
Profondità media pseudobedrock: -145 m					>600	

VISDOMINA		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.288	0.321	0.256	0.288
	FA Pga	1.6	1.8	1.4	1.6



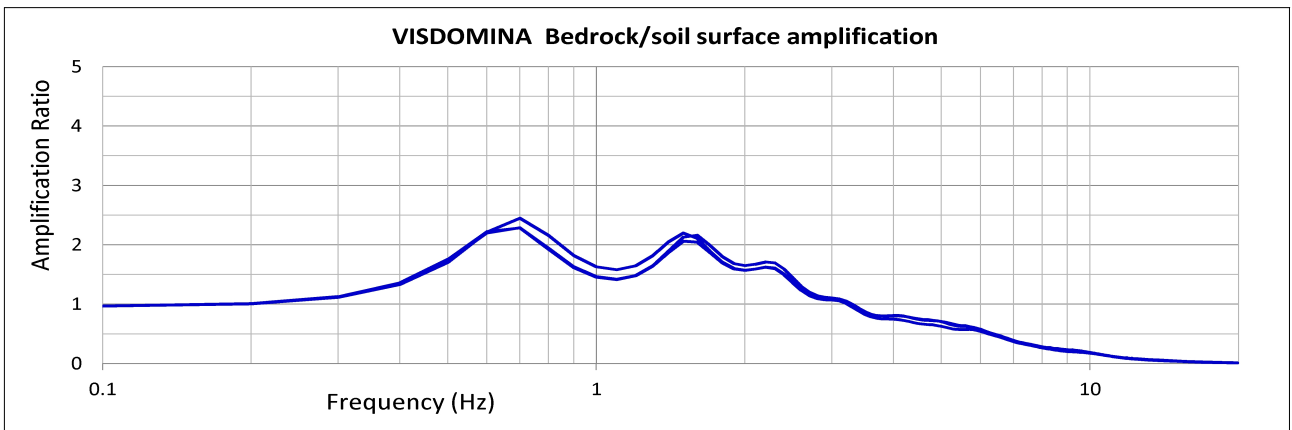
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDROCK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.9	3.1	3.2
Input_000126xy	2.1	2.7	2.6
Input_000354xy	1.8	3.2	3.0
MEAN	2.0	3.0	2.9

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):

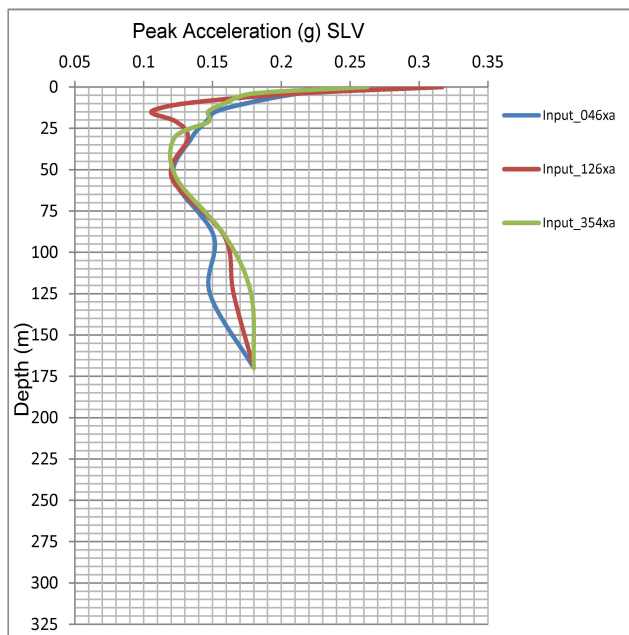


MODELLO SHAKE MS CERVIA (RA) – ZI MONTALETTO

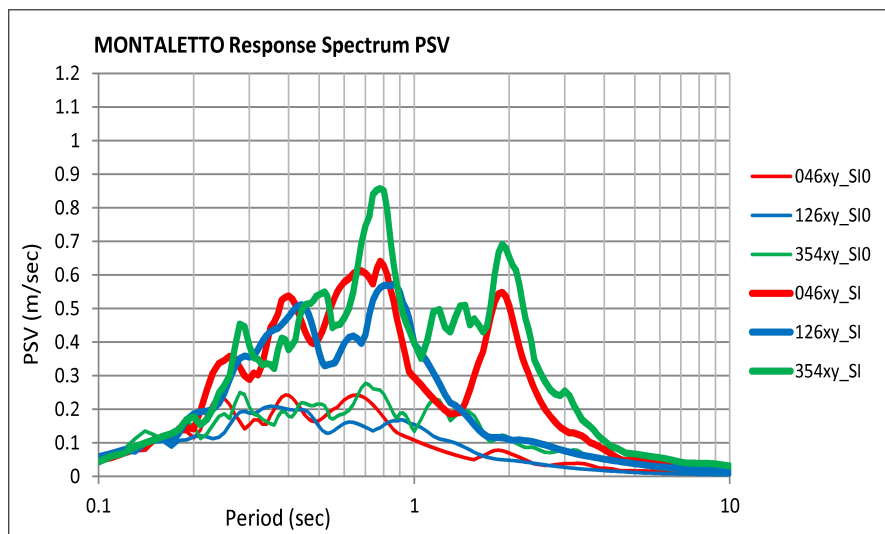
↓ DATI DI INPUT PER LA GENERAZIONE DEI MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI RANDOM

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Weight (kN/m ³)	Damping (decimal)	Shear Wave (m/s)	G/Gmax Curve Damping Curve
1	4,0	4,0	17,0	0,05	120	ALS_Cervia10m
2	6,0	10,0	17,5	0,05	175	ALS_Cervia10m
3	5,0	15,0	18,0	0,05	220	ALS_Cervia10m
4	6,0	21,0	18,0	0,05	240	ALS_Cervia10m
5	10,0	31,0	19,0	0,05	275	Sand Avg
6	24,0	55,0	18,5	0,05	300	Soil PI=15
7	35,0	90,0	19,0	0,05	350	Soil PI=15
8	35,0	125,0	20,0	0,05	425	Soil PI=0
9	45,0	170,0	21,0	0,05	500	Soil PI=0
Profondità media pseudobedrock: -170 m					>600	

MONTALETTO		Input_046xy	Input_126xy	Input_354xy	MEAN
DGR 2193/15	Max ag (g)	0.262	0.317	0.262	0.280
	FA Pga	1.5	1.8	1.5	1.6



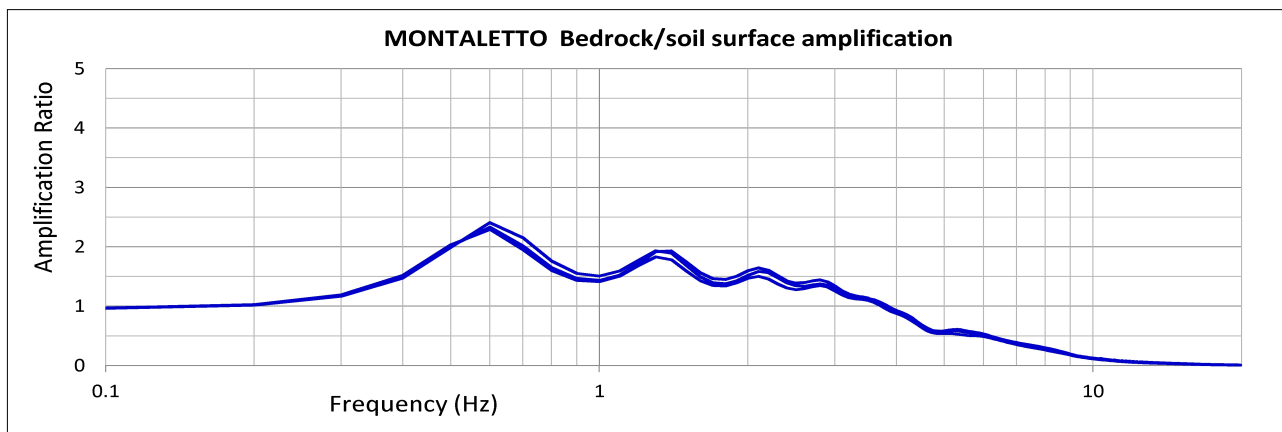
ANDAMENTO DELLE ACCELERAZIONI ORIZZONTALI DI RSL PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E VALORI NUMERICI →



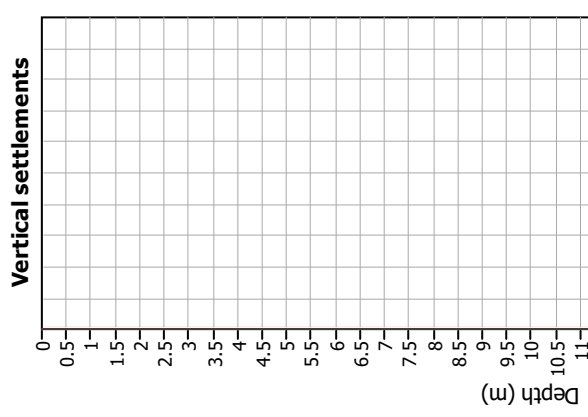
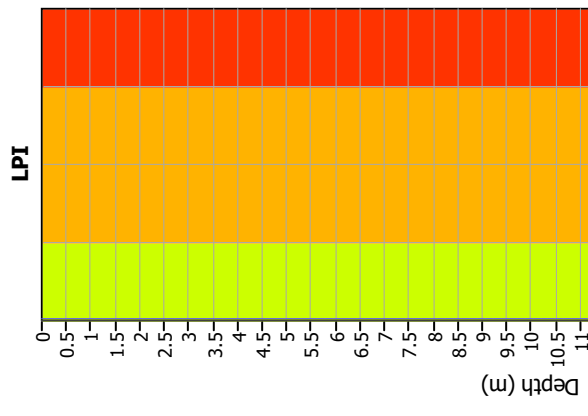
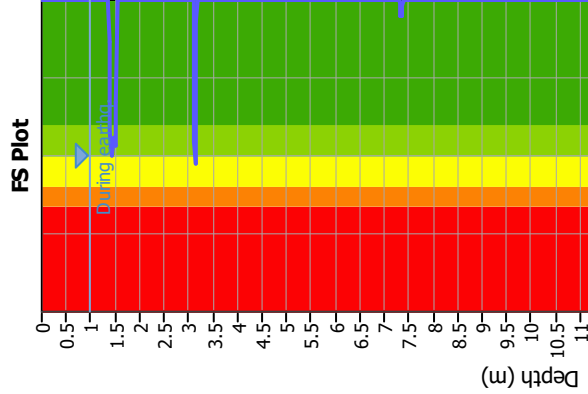
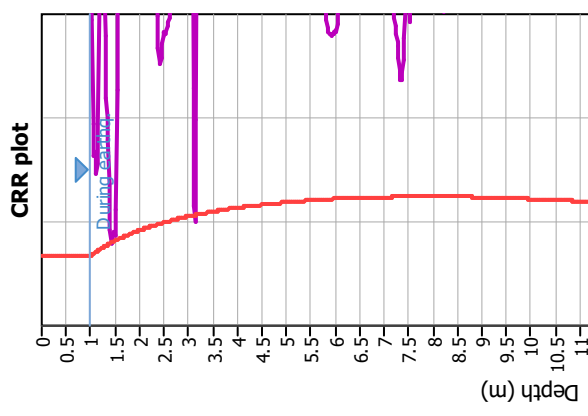
SPETTRI DI INTENSITA' DI HOUSNER AL SUOLO (SI) E AL PSEUDOBEDECK (SI₀) PER I TRE INPUT DI RIFERIMENTO E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ↓

DGR 2193/15	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0	T 0.5-1.5
Input_000046xy	1.9	2.9	2.9
Input_000126xy	2.0	3.0	2.7
Input_000354xy	1.9	2.9	2.6
MEAN	1.9	2.9	2.8

CONFRONTO TRA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RICAVATA DALLA MODELLAZIONE DI RSL E SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE H/V RICAVATO DA REGISTRAZIONI DEL RUMORE SISMICO AL SUOLO (HVSR):



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.20 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

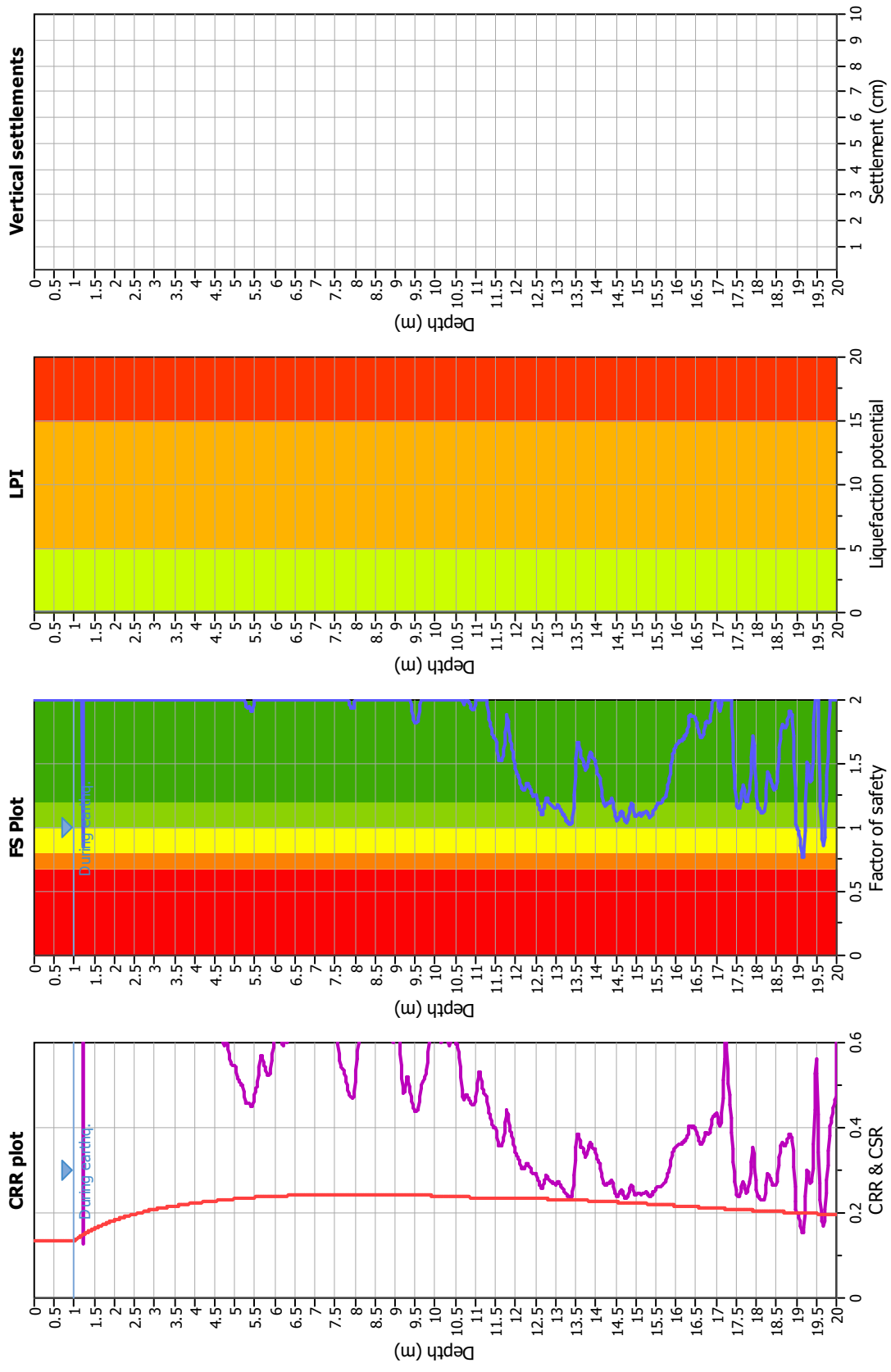
F.S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 1.45 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

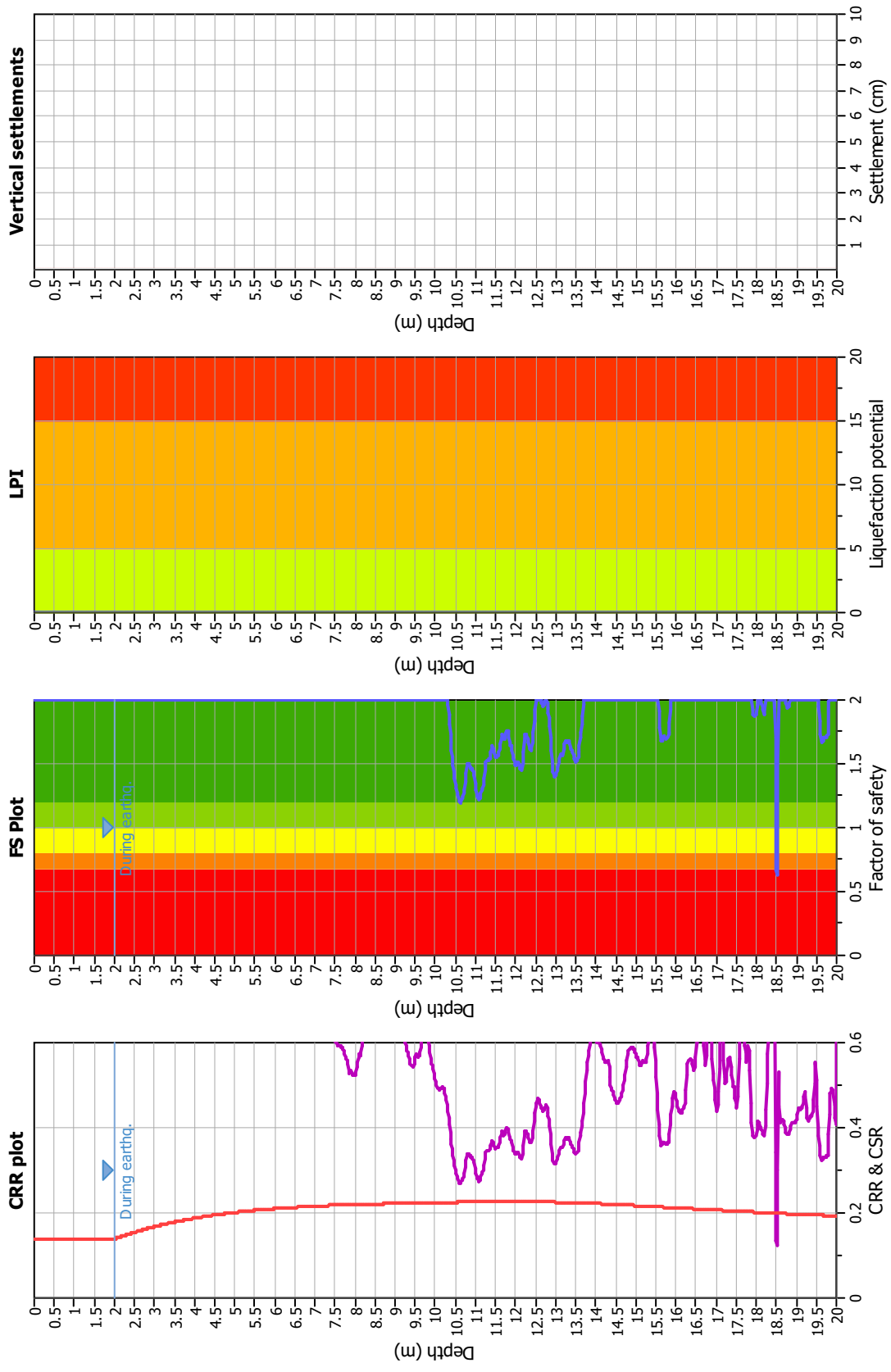
F. S. color scheme

■ 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.30
 Depth to water table (insitu): 3.20 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

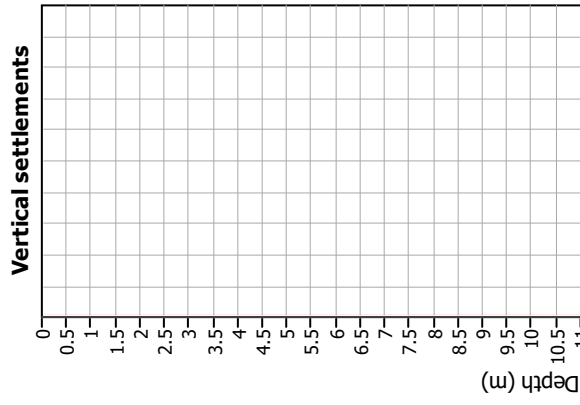
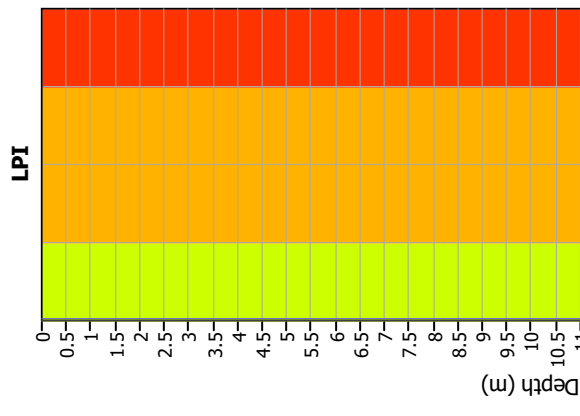
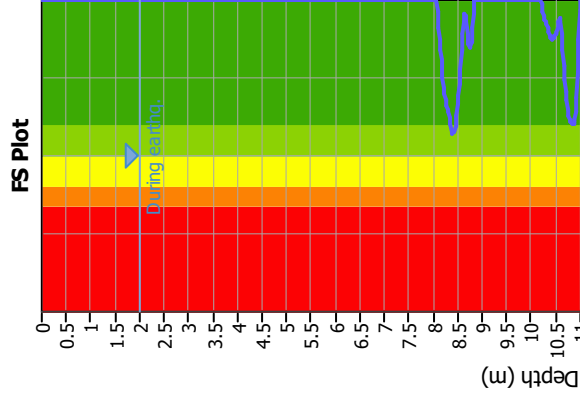
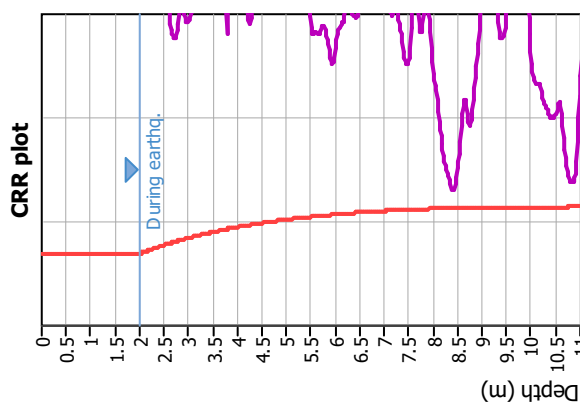
F. S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.30
 Depth to water table (insitu): 2.70 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

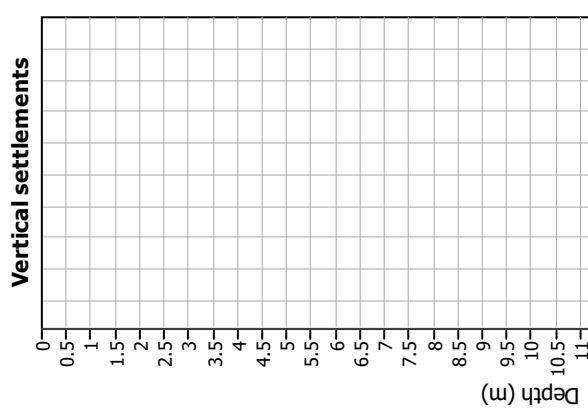
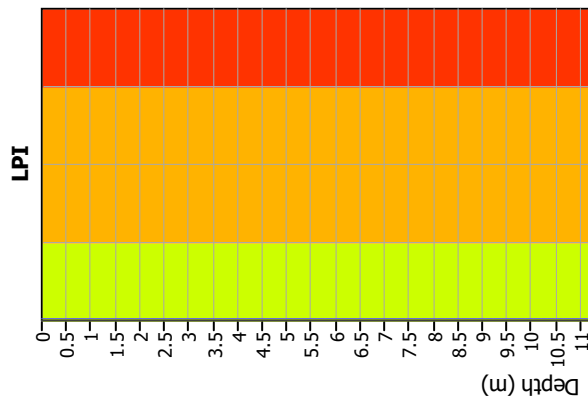
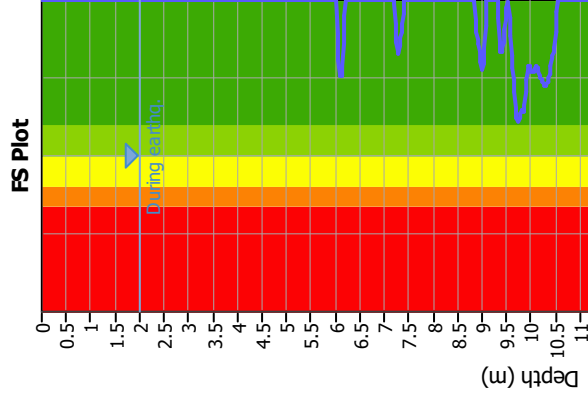
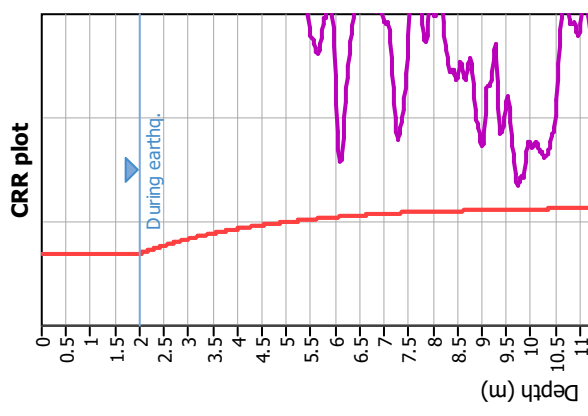
F. S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.30
 Depth to water table (insitu): 3.25 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

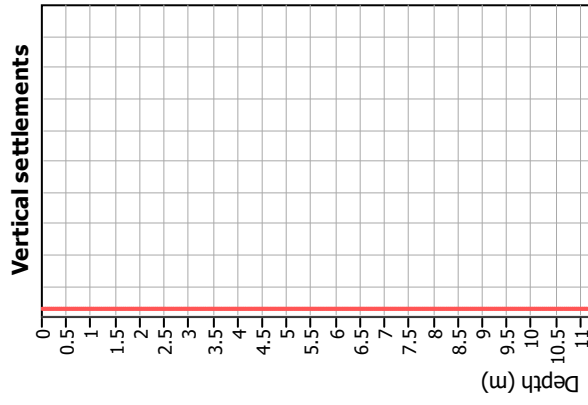
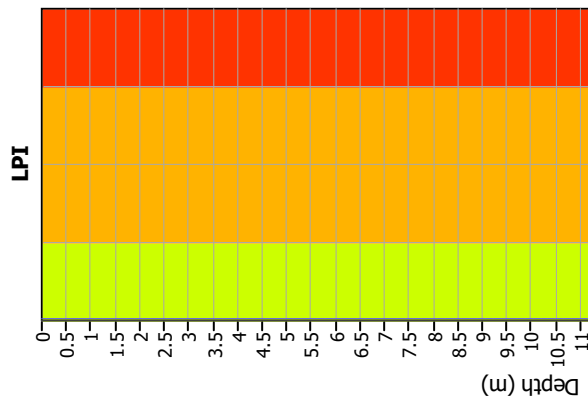
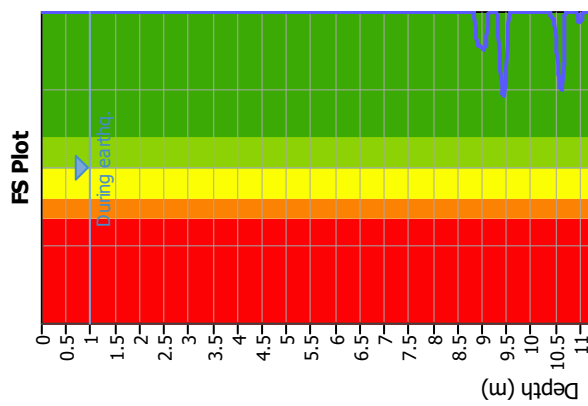
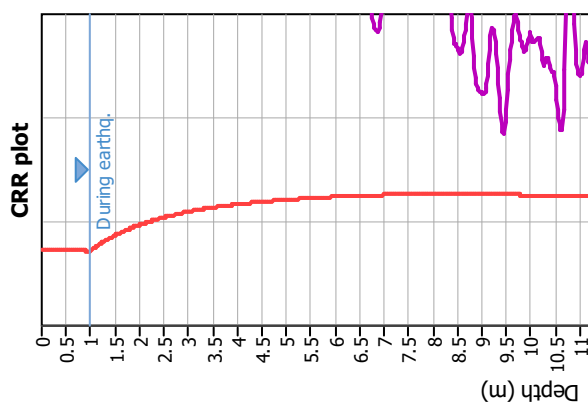
F. S. color scheme

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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K _σ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

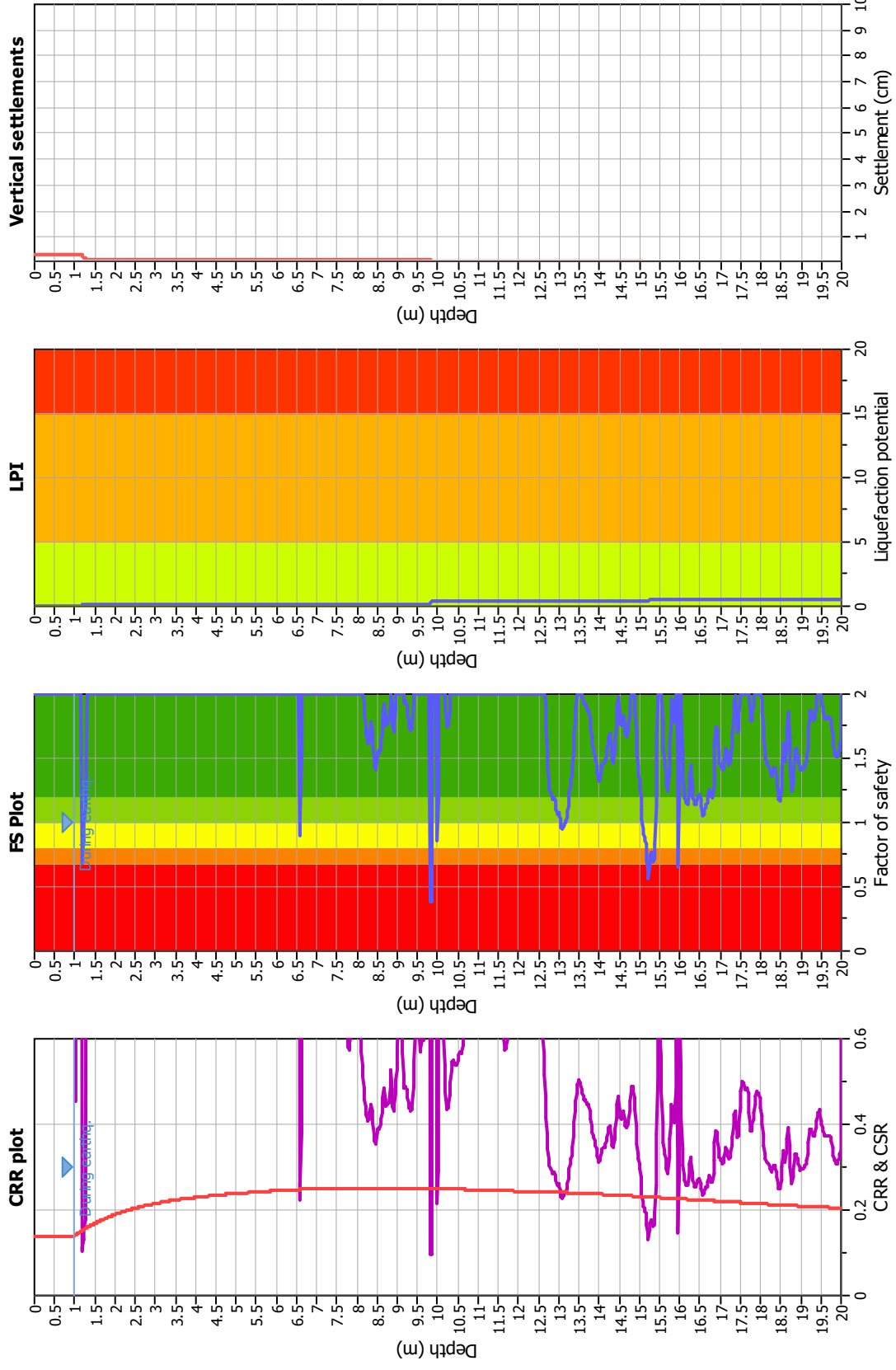
F. S. color scheme

- 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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.30	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K_0 applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

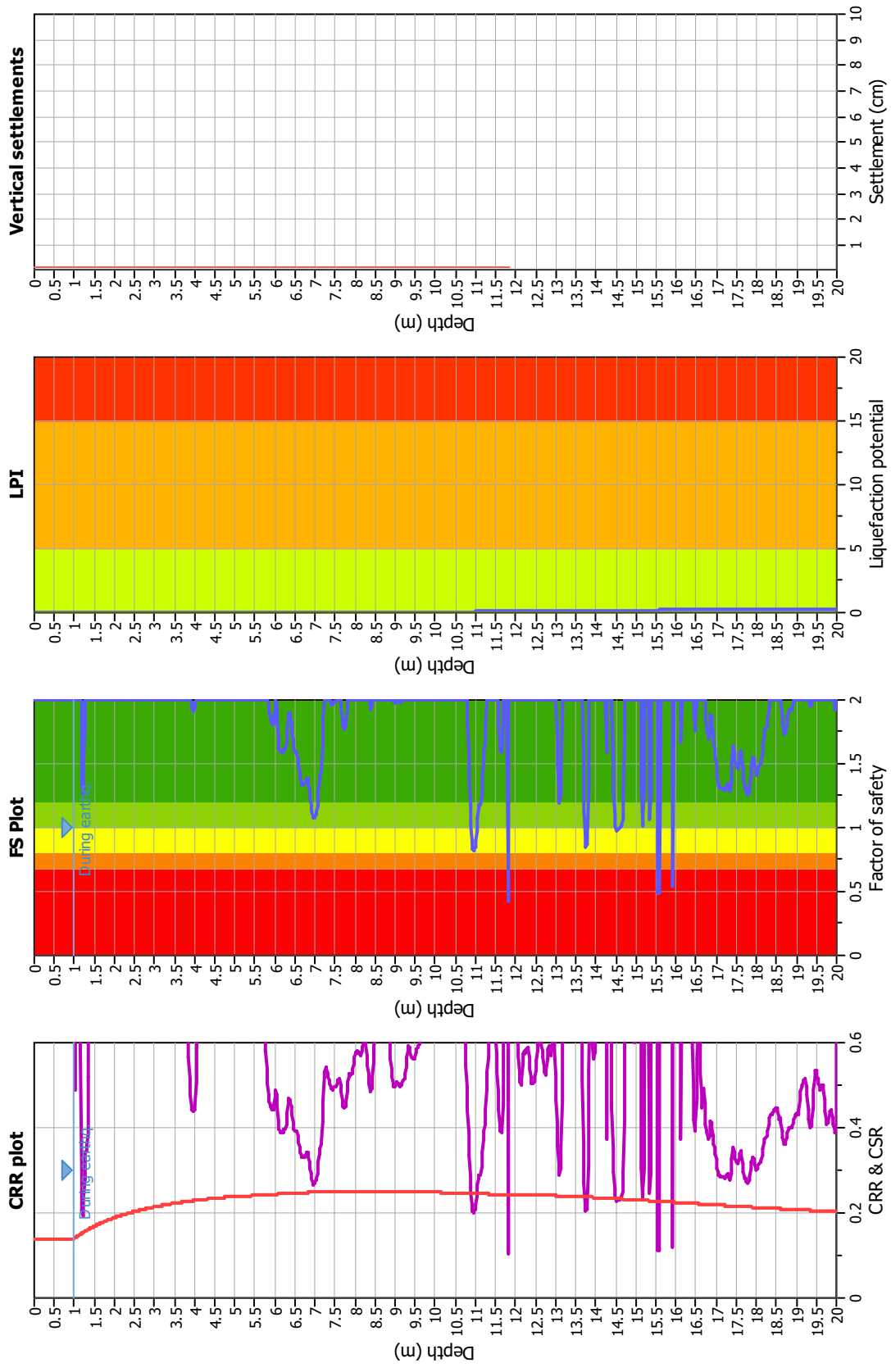
F. S. color scheme

■	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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.30
 Depth to water table (insitu): 2.20 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

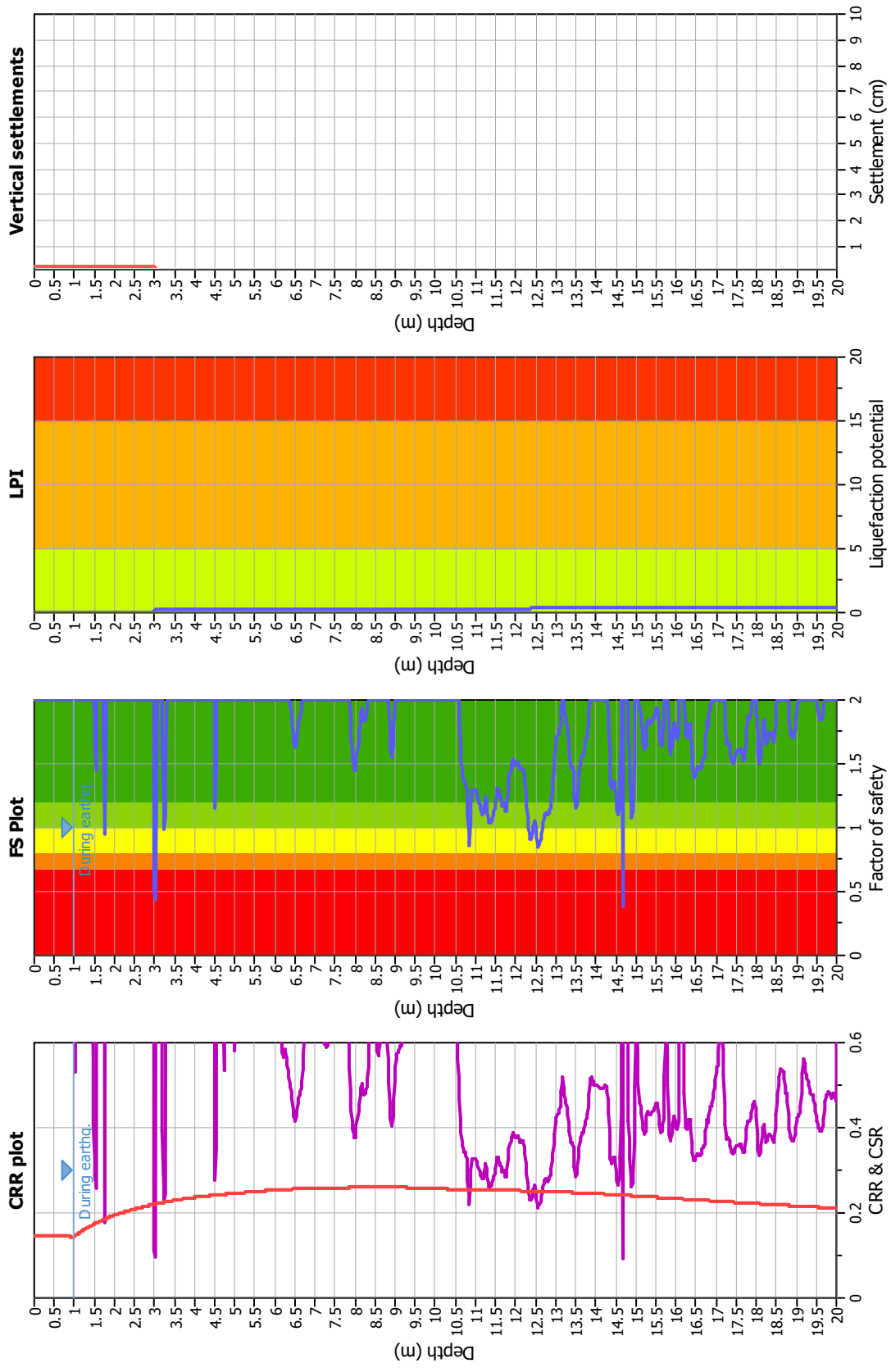
F. S. color scheme

- 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:	Robertson (2009)
Fines correction method:	Robertson (2009)
Points to test:	Based on I _c value
Earthquake magnitude M _w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.31
Depth to water table (insitu):	2.00 m
Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Average results interval:	3
I _c cut-off value:	2.60
Unit weight calculation:	Based on SBT
Use fill:	No
Fill height:	N/A
Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K _σ applied:	Yes
Clay like behavior applied:	All soils
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

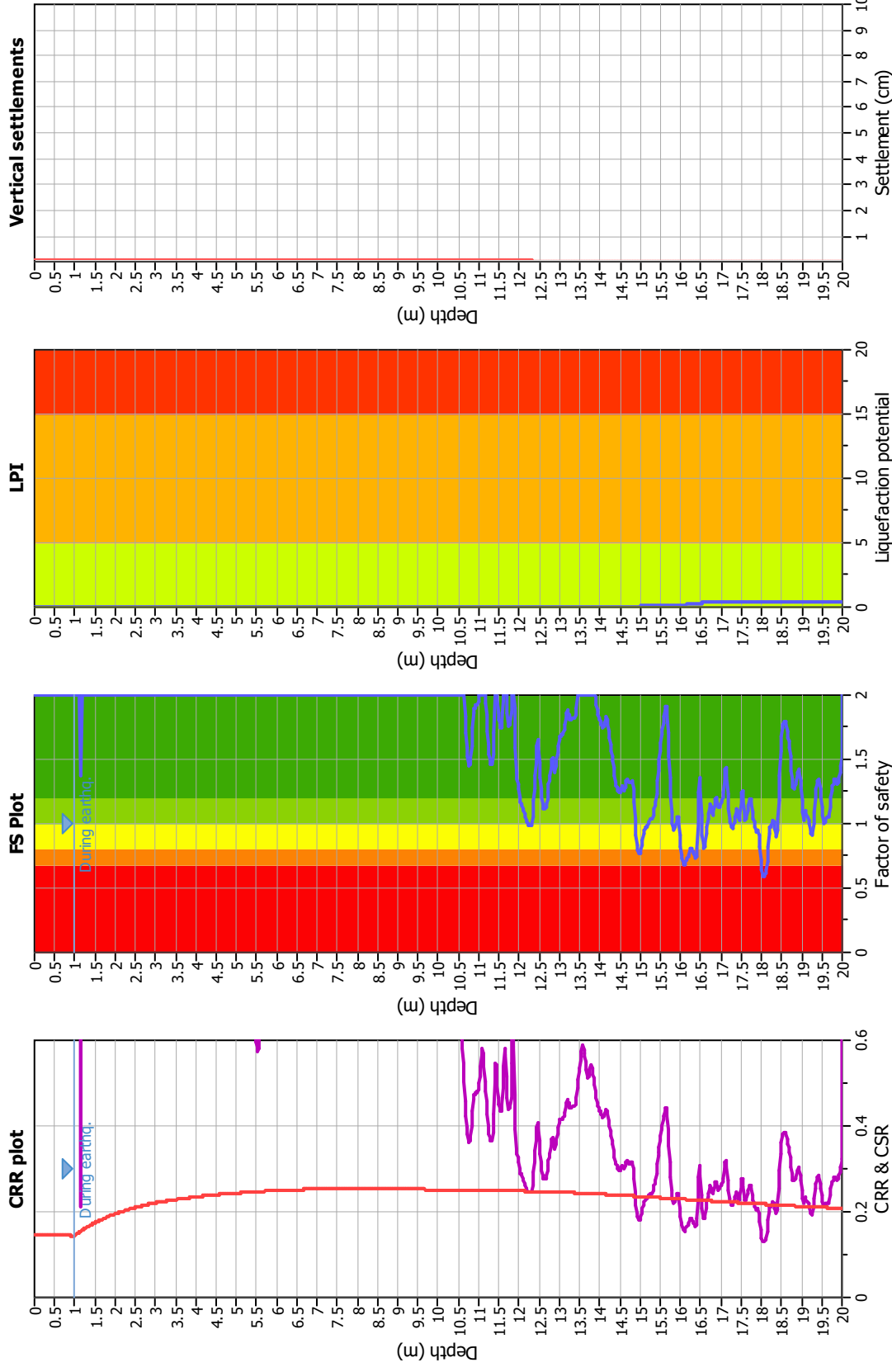
F. S. color scheme

■	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:	Robertson (2009)
Fines correction method:	Robertson (2009)
Points to test:	Based on I _c value
Earthquake magnitude M _w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.31
Depth to water table (insitu):	1.70 m
Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Average results interval:	3
I _c cut-off value:	2.60
Unit weight calculation:	Based on SBT
Use fill:	No
Fill height:	N/A
Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K _σ applied:	Yes
Clay like behavior applied:	All soils
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

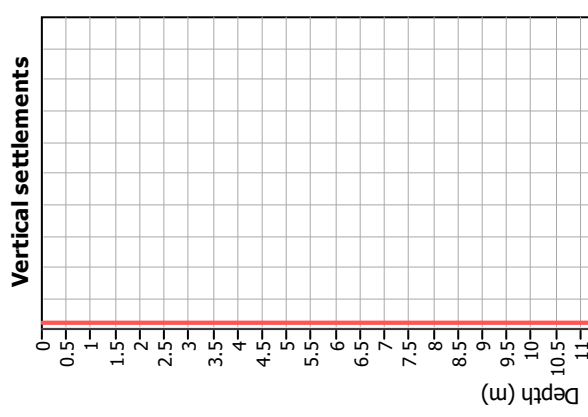
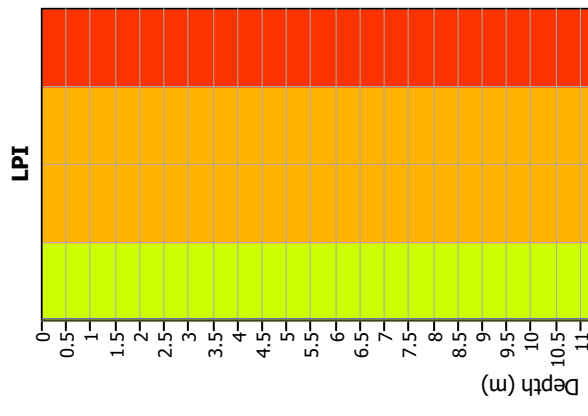
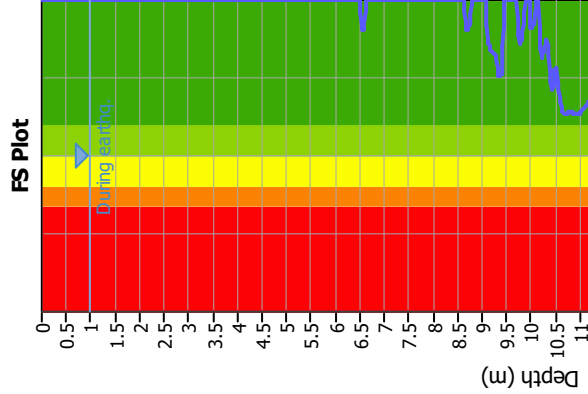
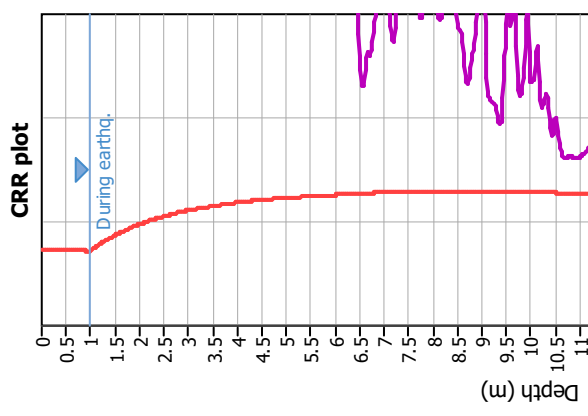
F. S. color scheme

■	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:	Robertson (2009)
Fines correction method:	Robertson (2009)
Points to test:	Based on I _c value
Earthquake magnitude M _w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.31
Depth to water table (insitu):	1.40 m

Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Average results interval:	3
I _c cut-off value:	2.60
Unit weight calculation:	Based on SBT
Use fill:	No
Fill height:	N/A

Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K _σ applied:	Yes
Clay like behavior applied:	All soils
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

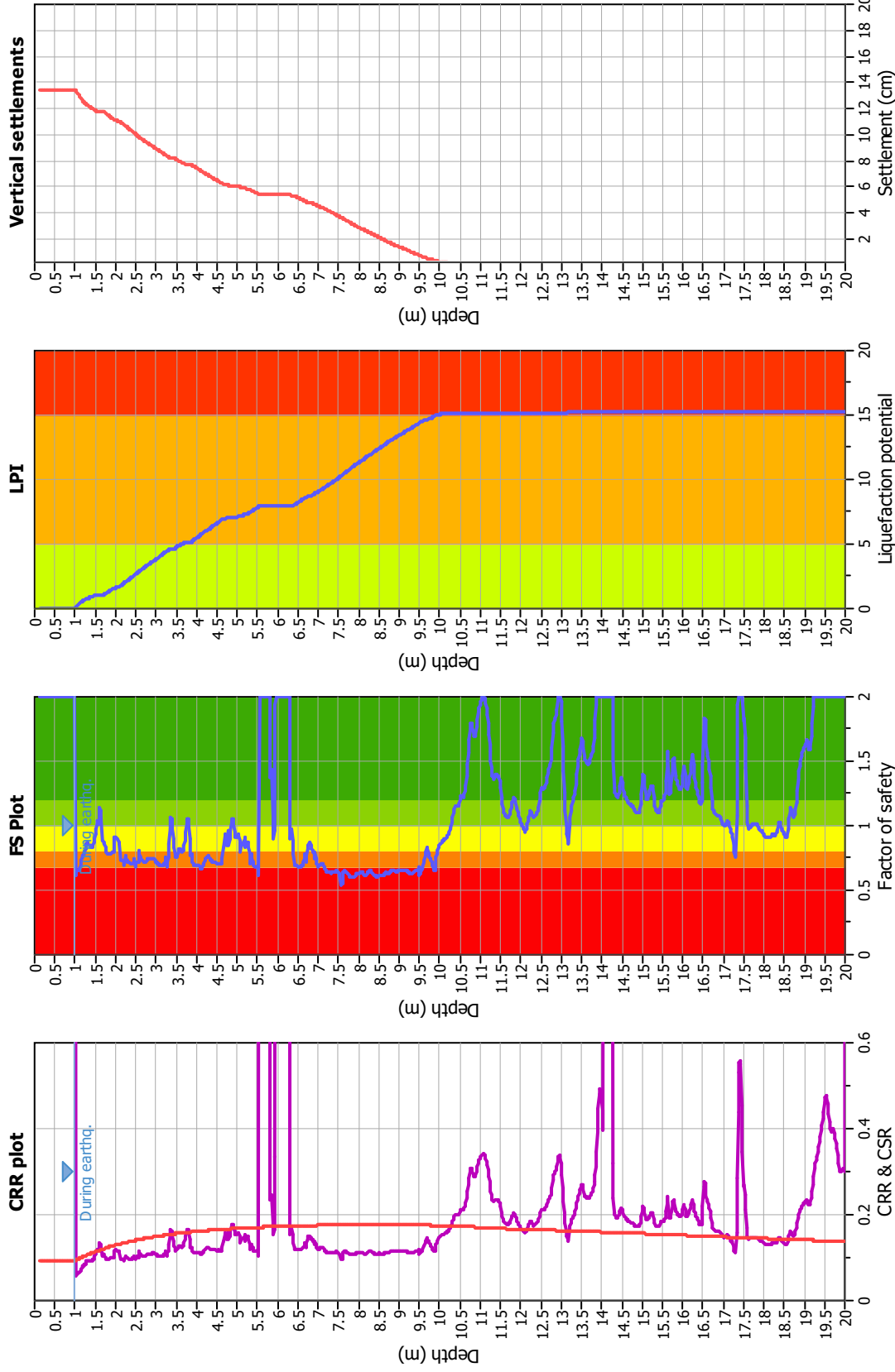
F. S. color scheme

■	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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.20
 Depth to water table (insitu): 1.00 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

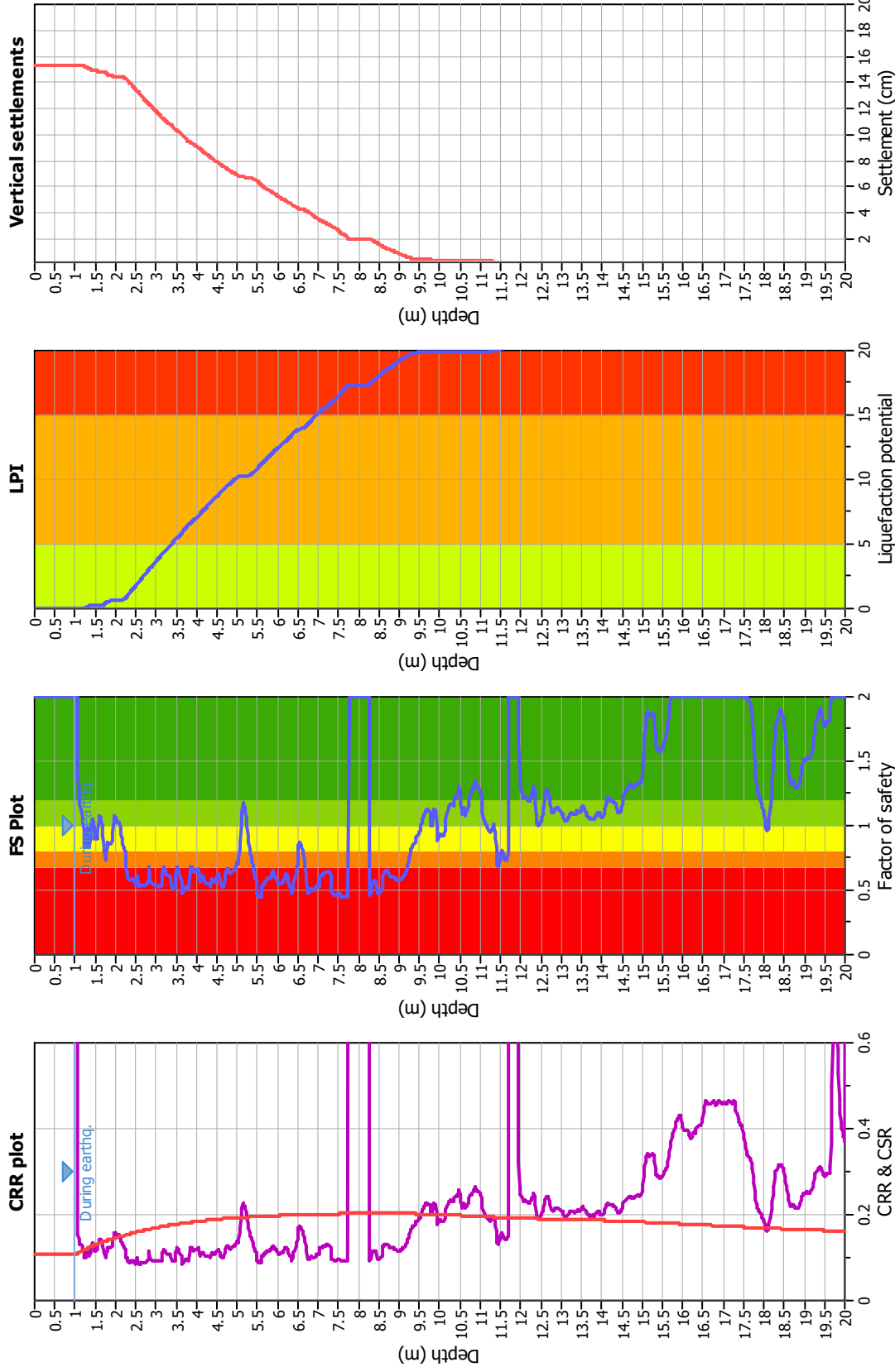
F. S. color scheme

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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.10 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K_0 applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

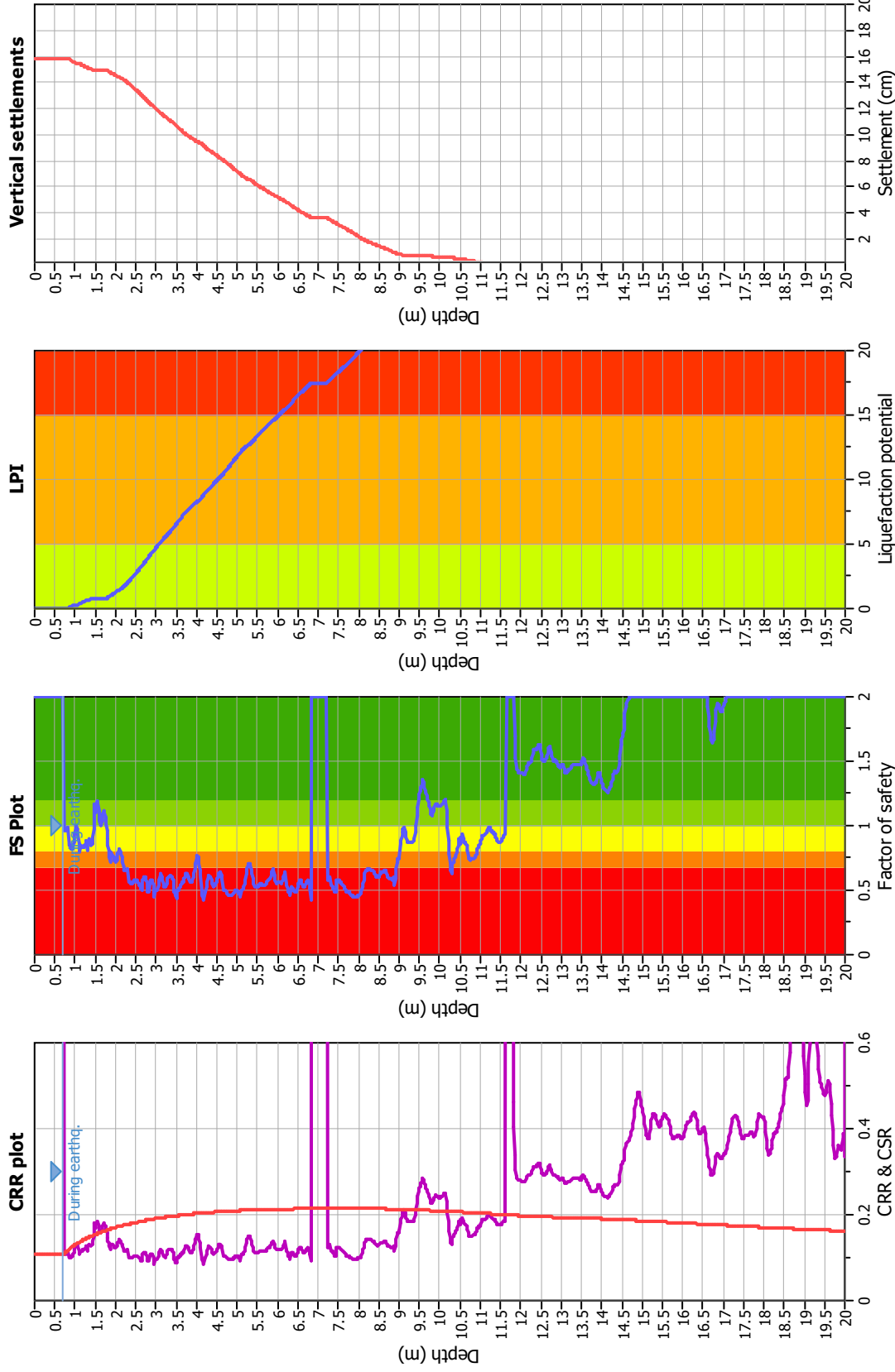
F. S. color scheme

■	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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.23
 Depth to water table (insitu): 0.70 m

Depth to water table (earthq.): 0.70 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

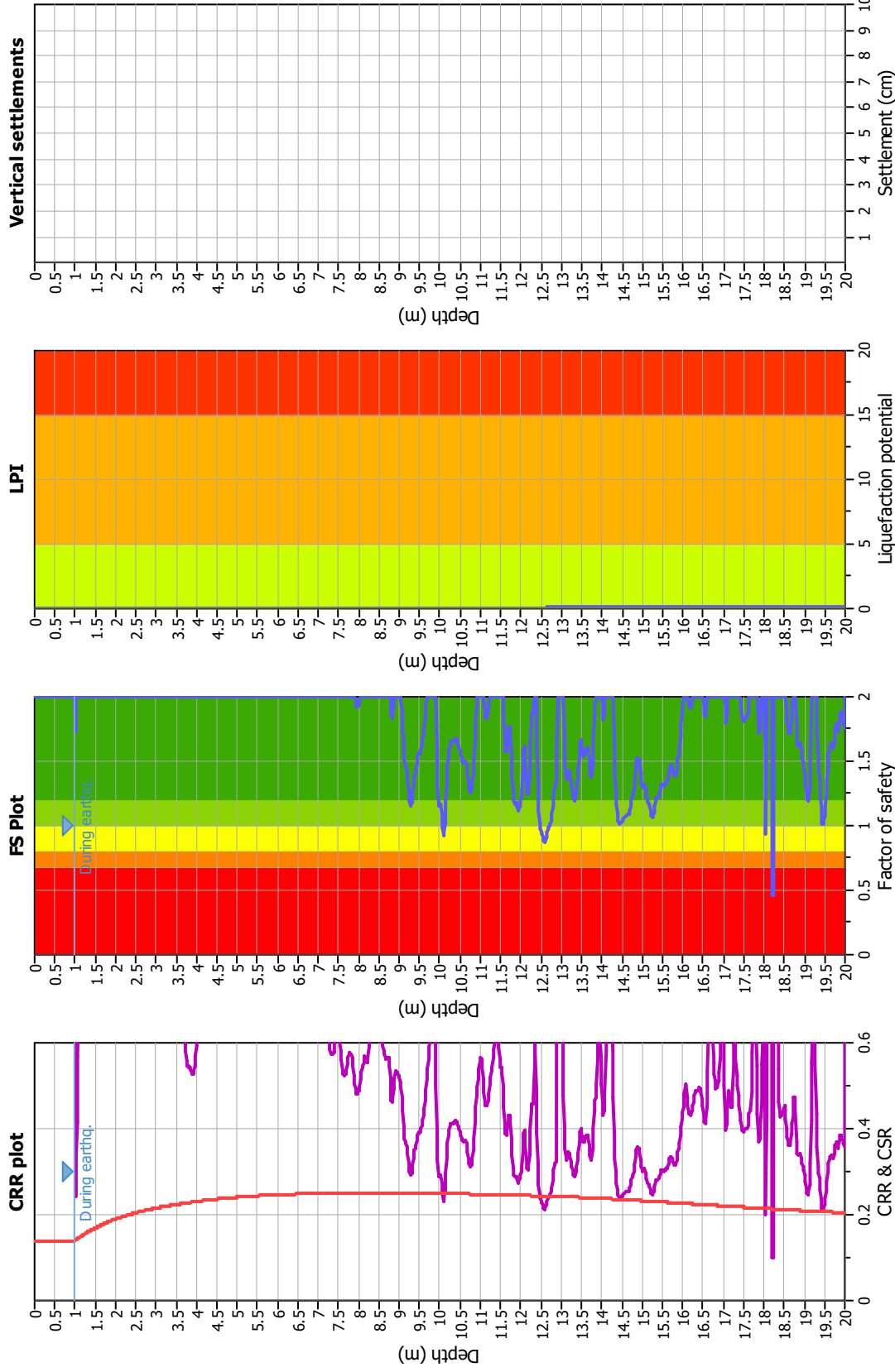
F. S. color scheme

■ 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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.30	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.90 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K_0 applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

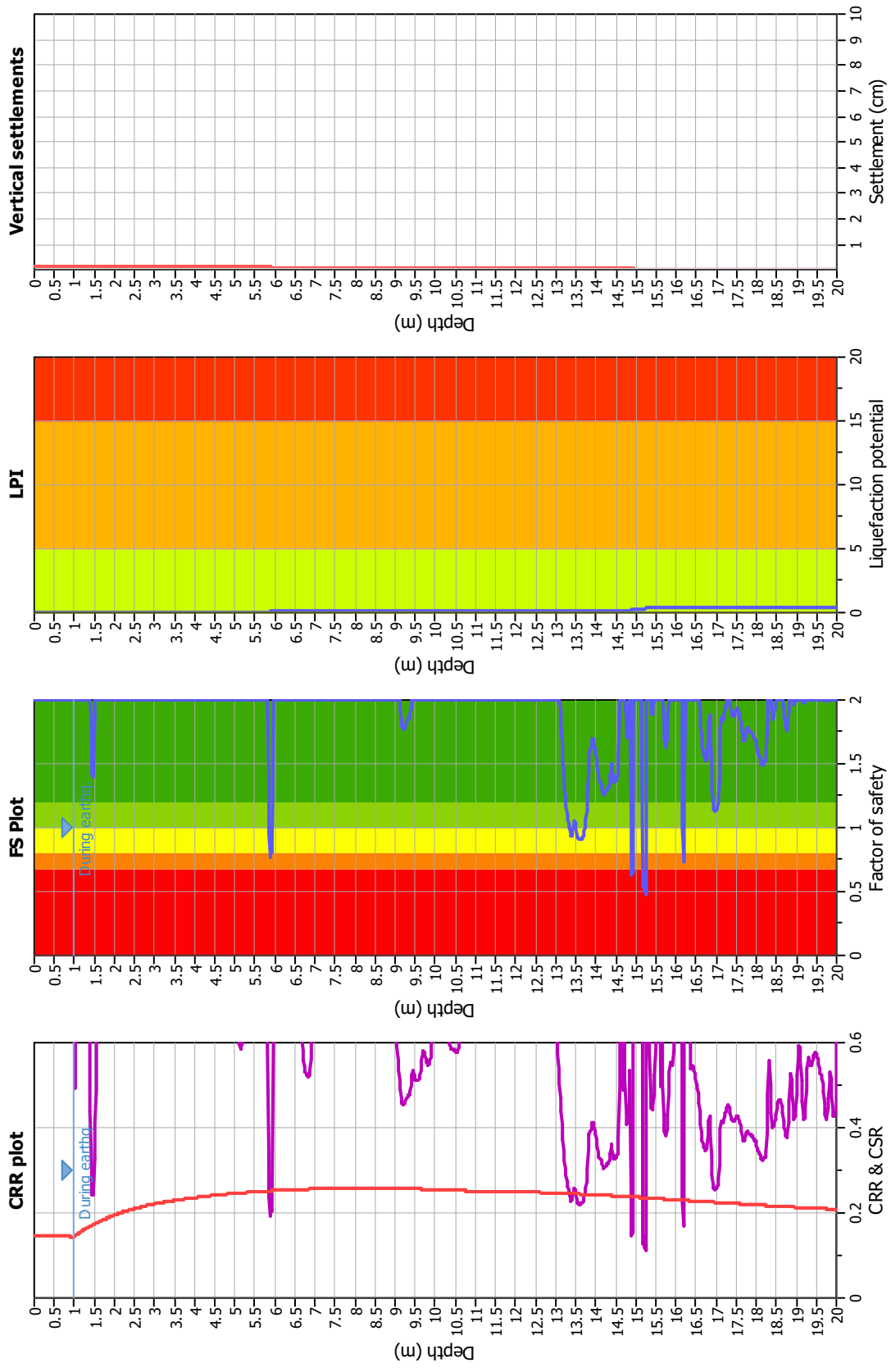
F. S. color scheme

■	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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 2.10 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

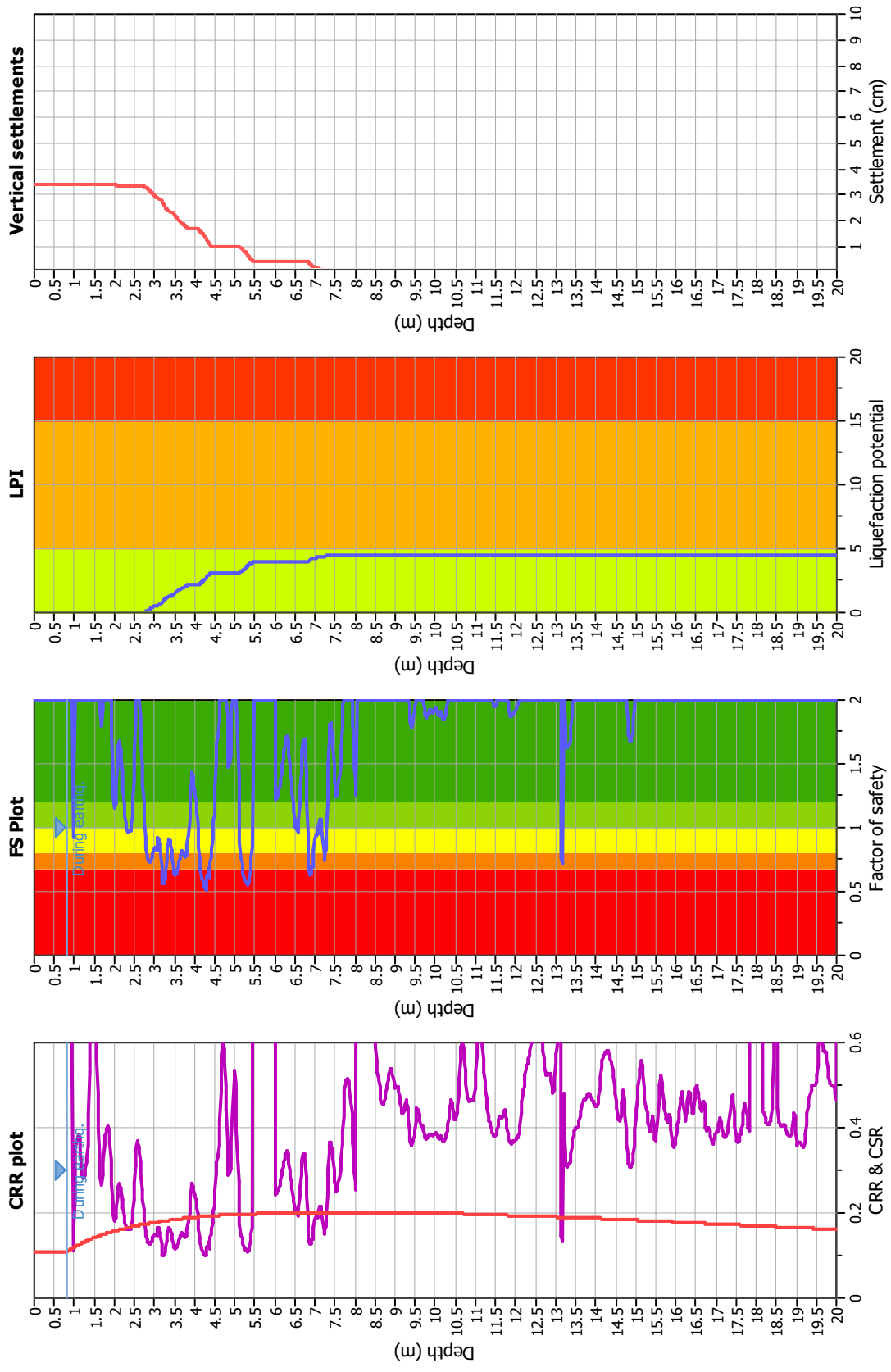
F. S. color scheme

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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	0.80 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	0.80 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	
		Transition detect. applied:	N/A
		K_0 applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

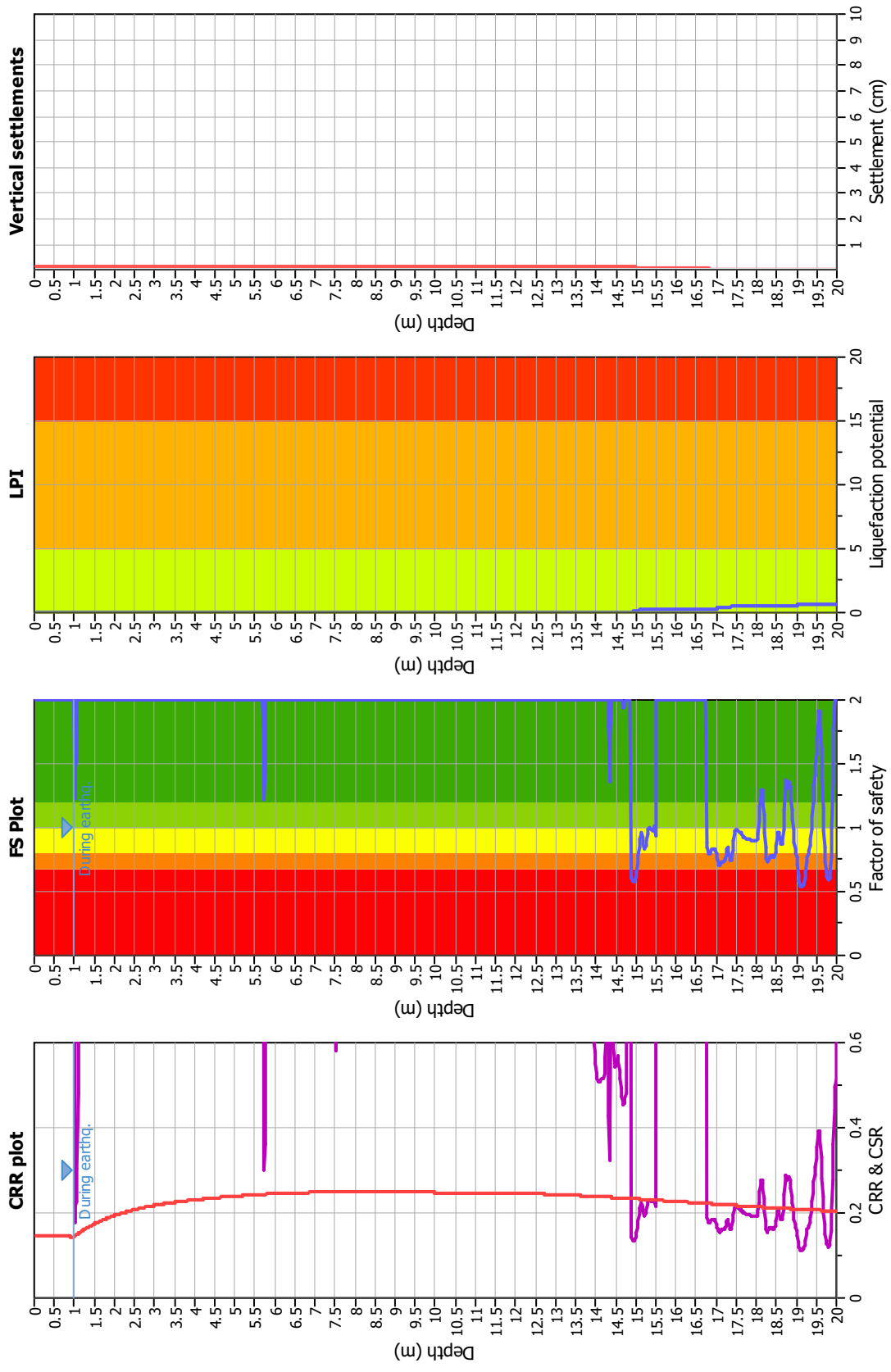
F. S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 1.65 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_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Comune
Via
Localita'

Cervia
Crociarone
Tantlon
20/05/2011

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P186CPTU235
0.303 g
2 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009
* Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale

- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	0	1

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	1

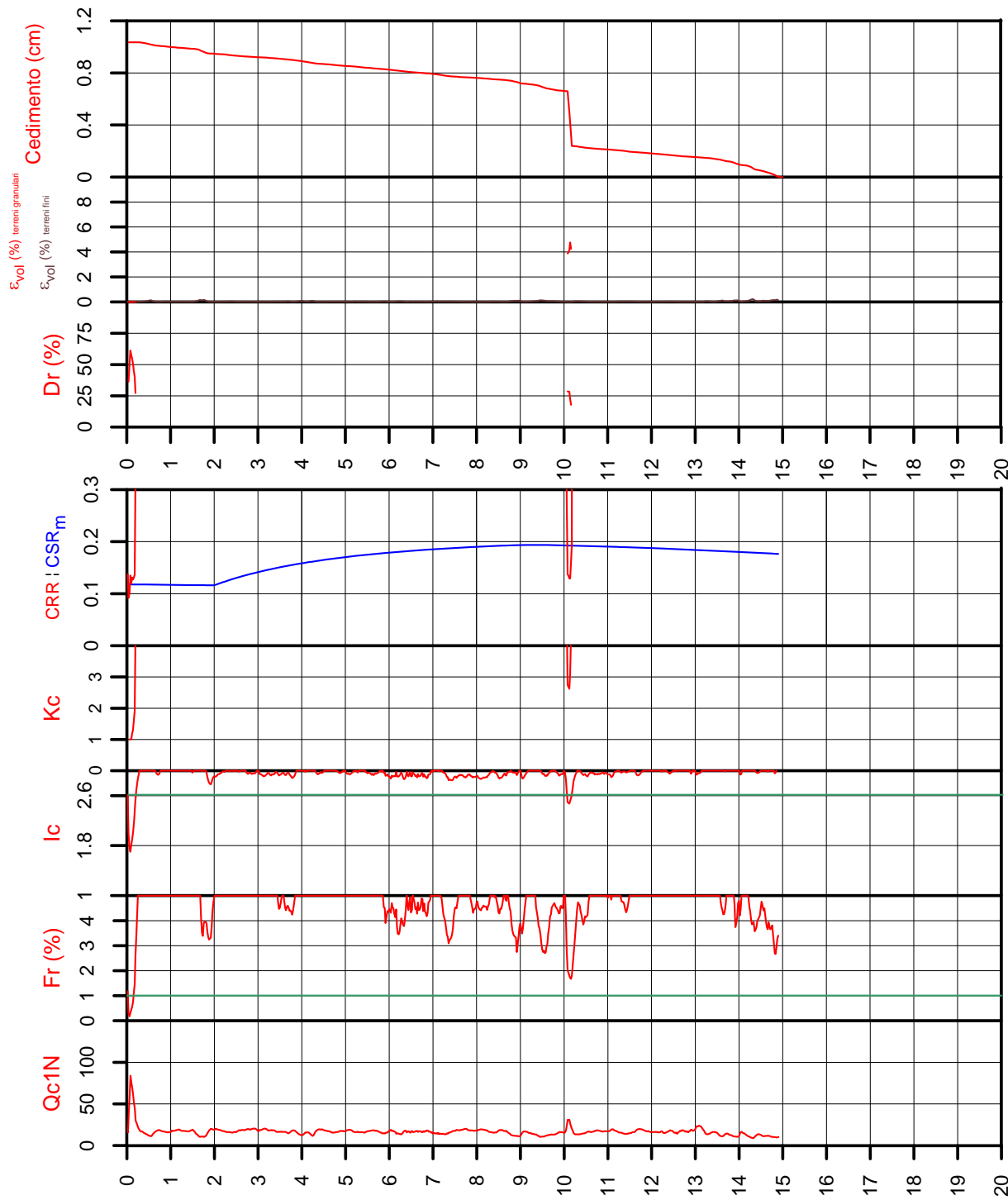
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.1	BASSO
$2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Martiri Fantini
Cervia

CPT
Max Ag

039007P333CPTU409
0.226 g

Data 25-mag-10

Falda presunta

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	17	22

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	5	22

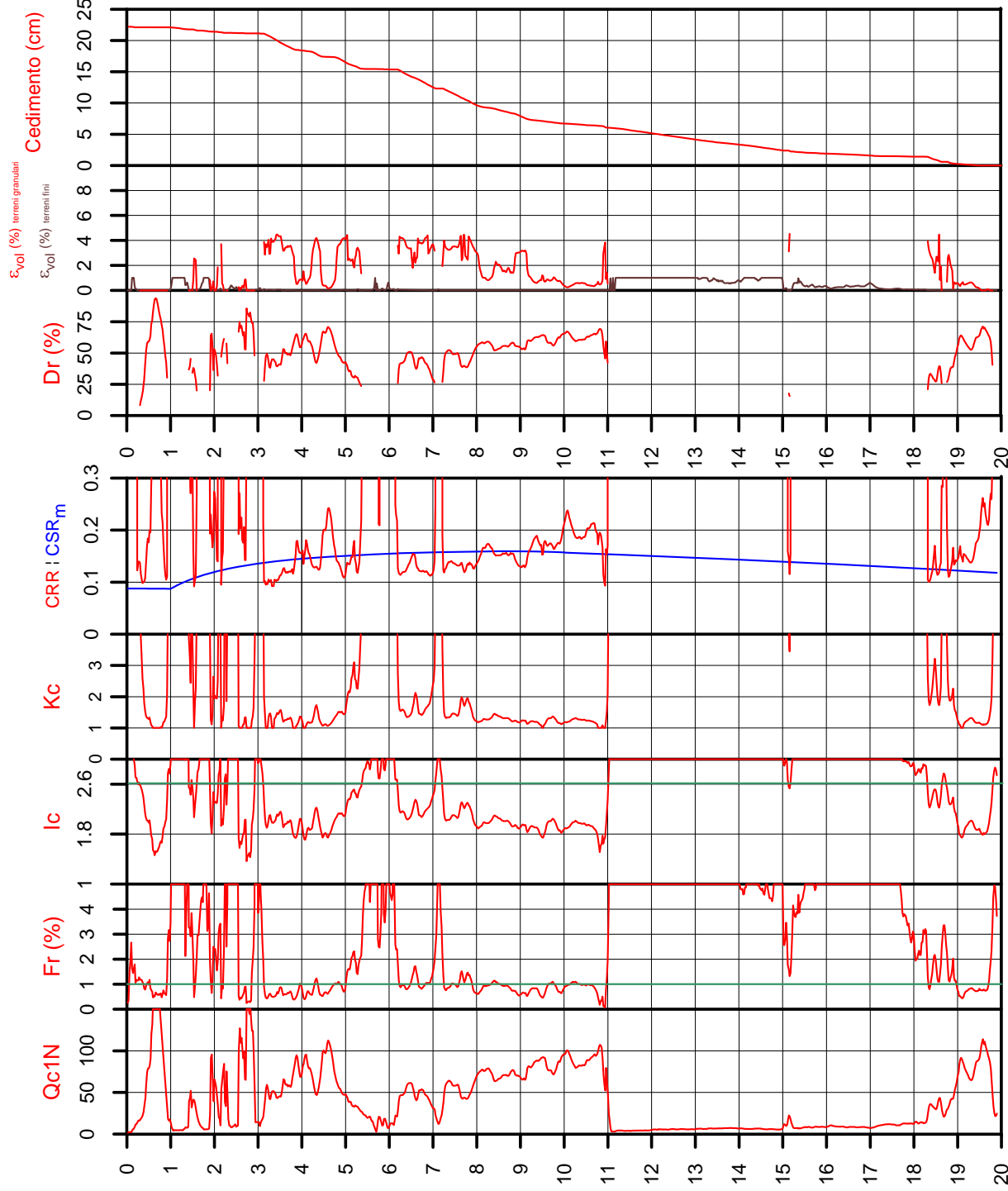
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
IL <= 2	BASSO
2 < IL <= 5	MODERATO
5 < IL <= 15	ELEVATO
IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Via Salara Statale 49
Castiglione di Cervia

Data
5-giu-13

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P349CPTU426
0.304 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	0	1

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	1

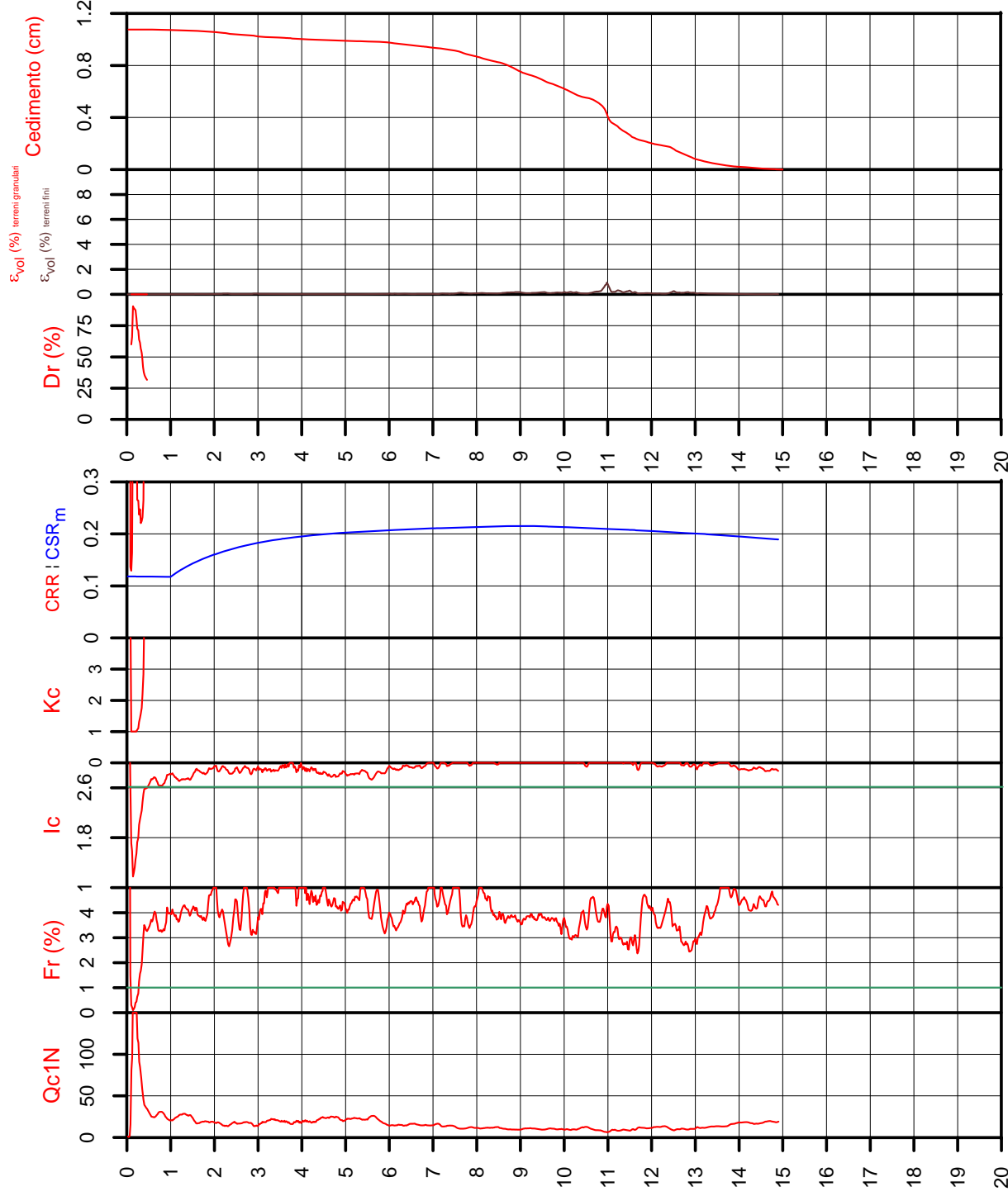
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.0	BASSO
$2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
via Tredicesima travers
Milano Marittima

Data
14/04/2011

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P350CPT E427

0.202 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslmq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	28
Cedimento		27

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	1
Cedimento		27

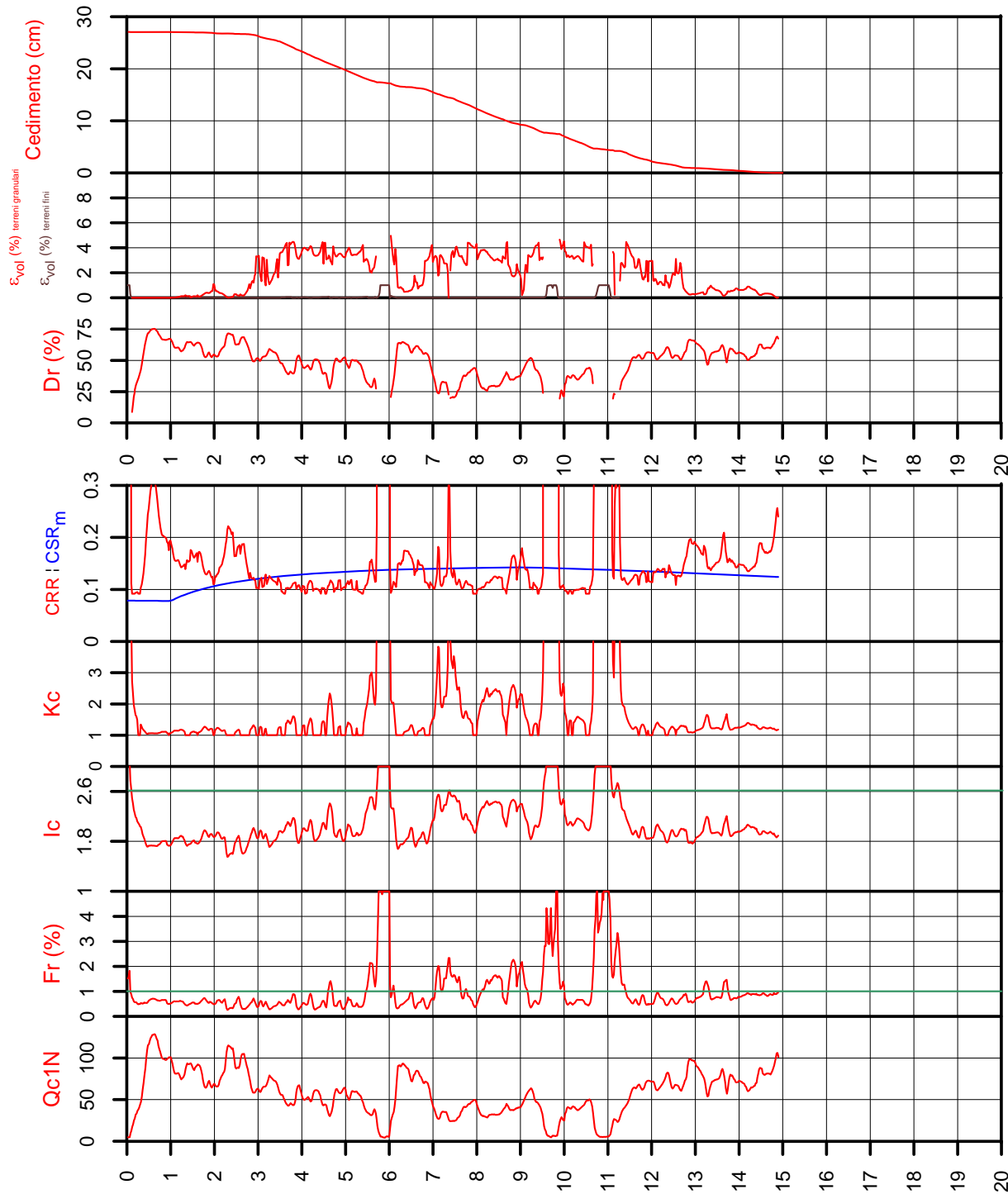
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslmq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
I _L ≤ -2	BASSO
-2 < I _L ≤ -5	MODERATO
-5 < I _L ≤ -15	ELEVATO
I _L > -15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Caduti per la Libertà 2
Pinarella

Data
6-nov-15

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P351CPTE428

0.228 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	9
Cedimento		9

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	2	12

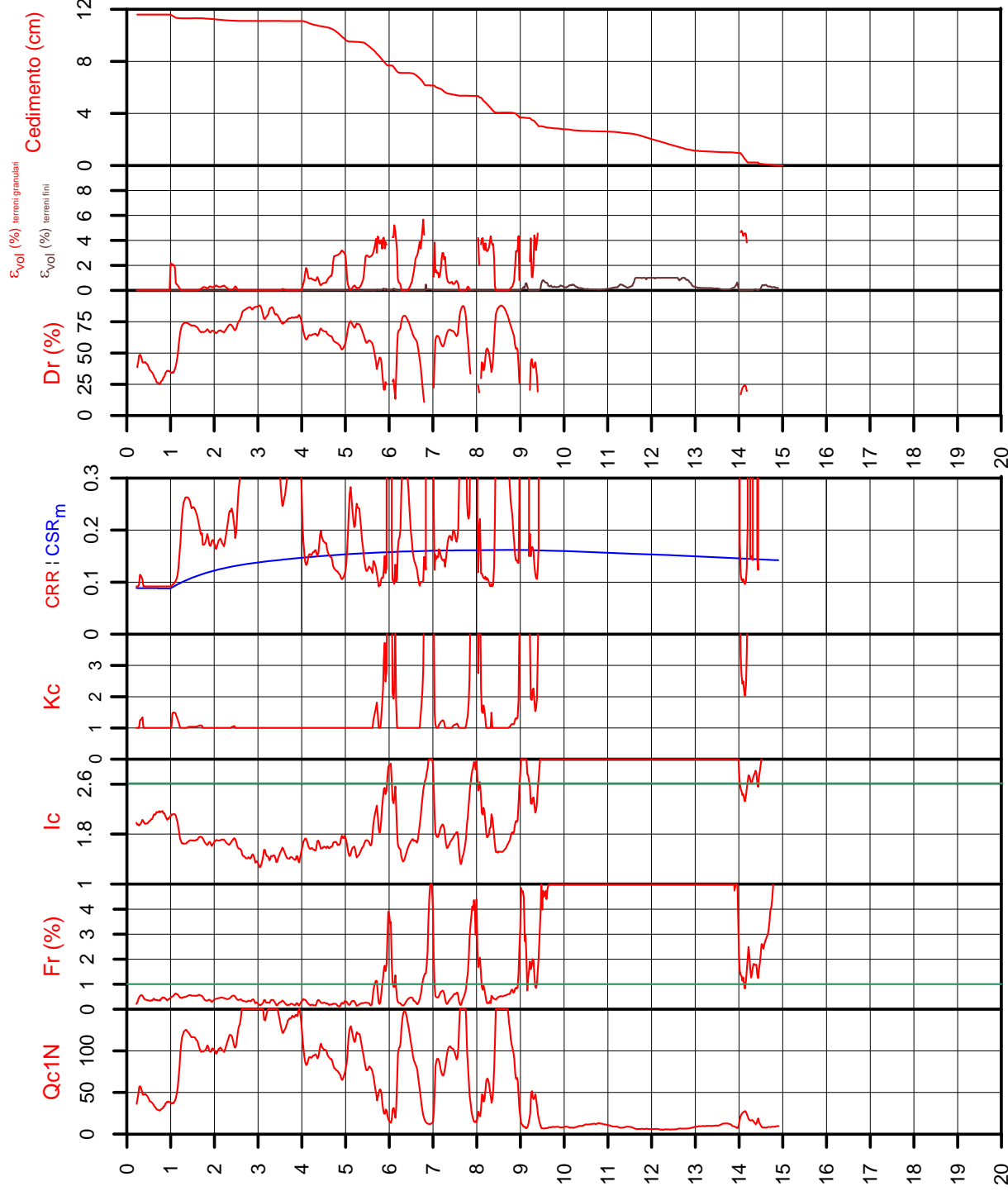
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq -2$	BASSO
$-2 < IL \leq -5$	MODERATO
$-5 < IL \leq -15$	ELEVATO
$IL > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Via Calabria
Pinarella

Data
21/10/2015

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P352CPTE429
0.228 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale (cm)
	10	12

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale (cm)
	3	12

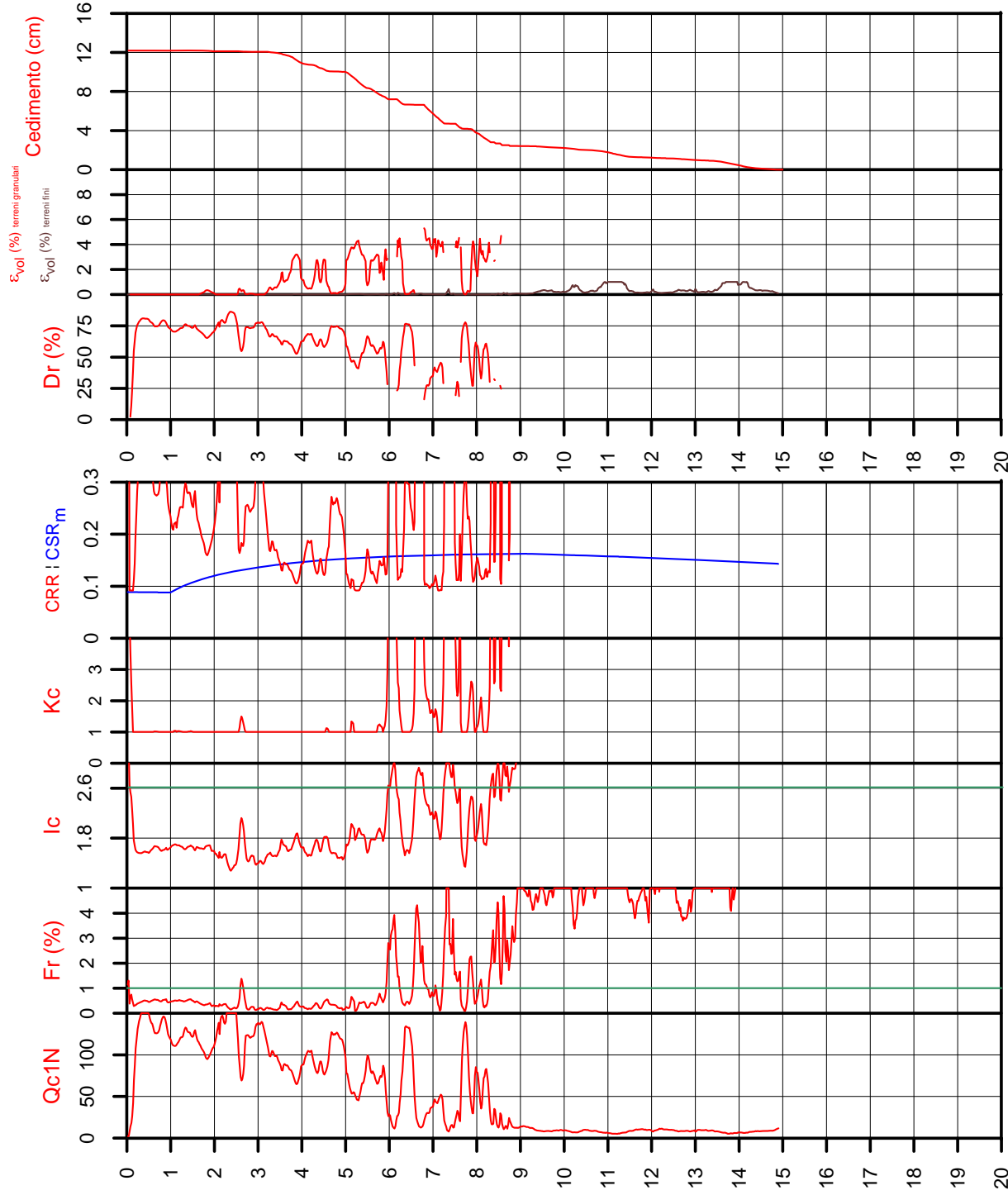
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
I _L ≤ -2	BASSO
-2 < I _L ≤ -5	MODERATO
-5 < I _L ≤ -15	ELEVATO
I _L > -15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
via Tredicesima travers
Milano Marittima

CPT
Max Ag

039007P359CPT E437
0.202 g

Data
14-apr-11

Falda presunta

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fsliq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	29
Cedimento		30

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	1
Cedimento		30

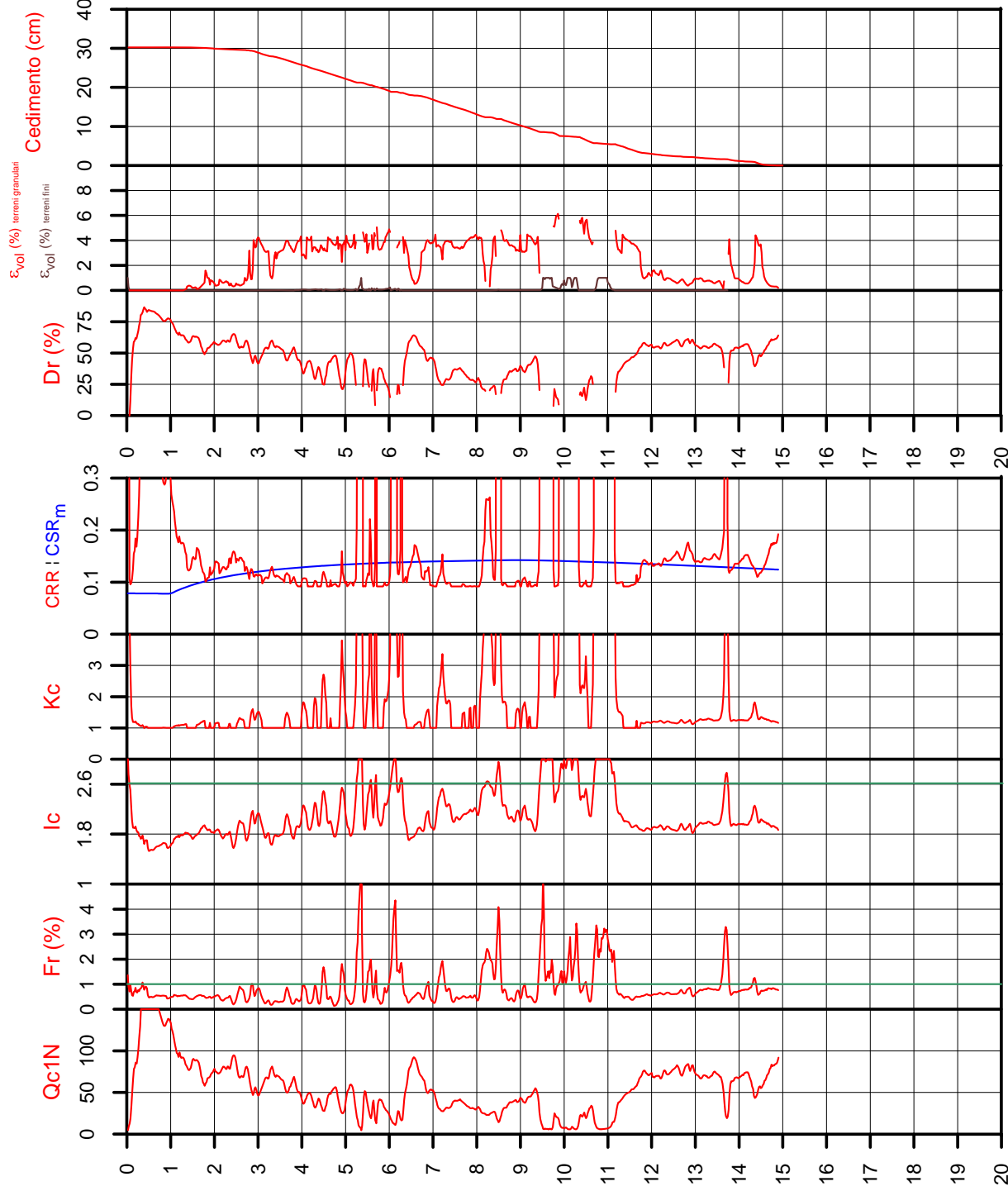
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsliq e la profondità.

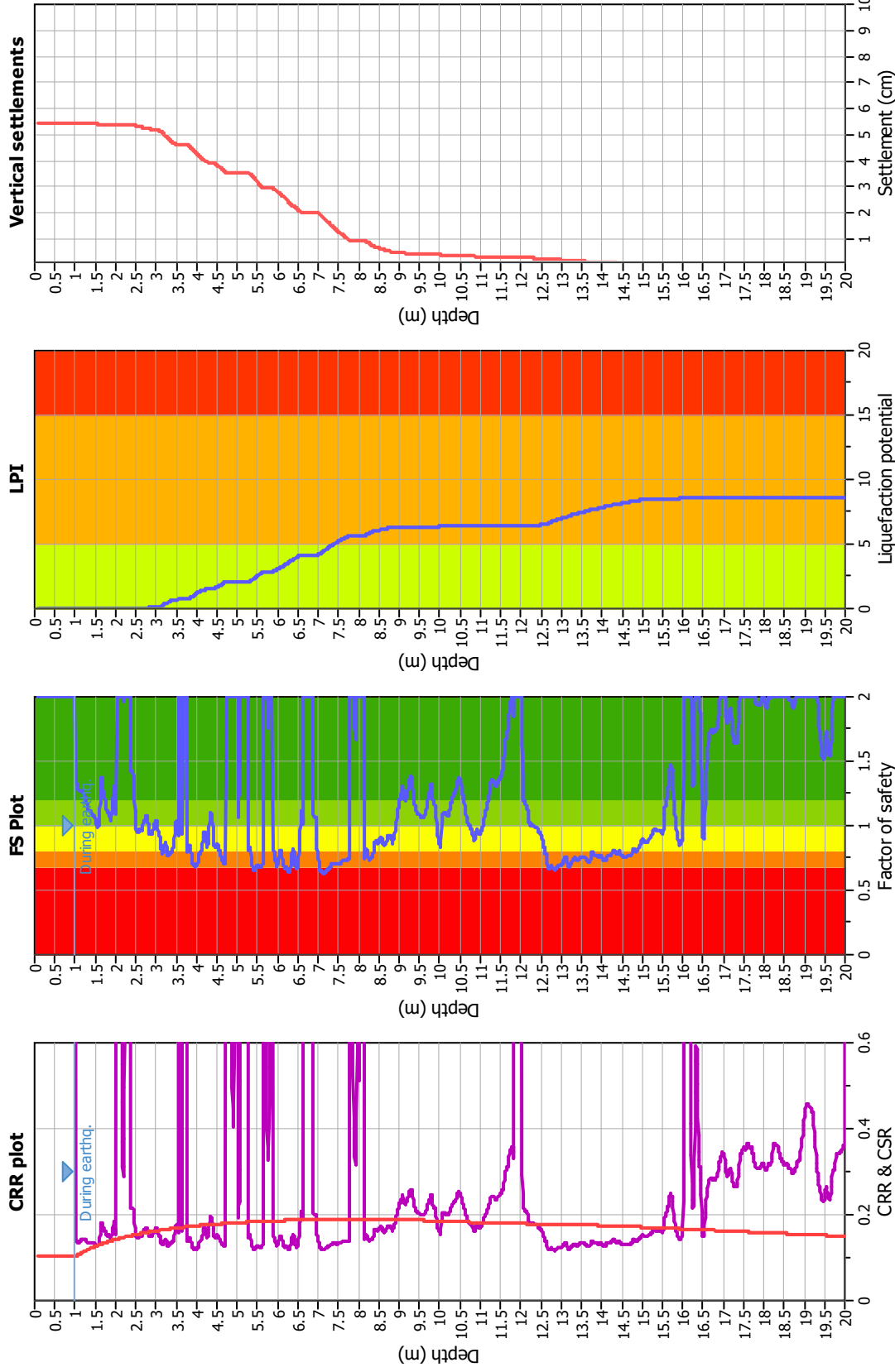
Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
IL <= 2	BASSO
2 < IL <= 5	MODERATO
5 < IL <= 15	ELEVATO
IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K _σ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

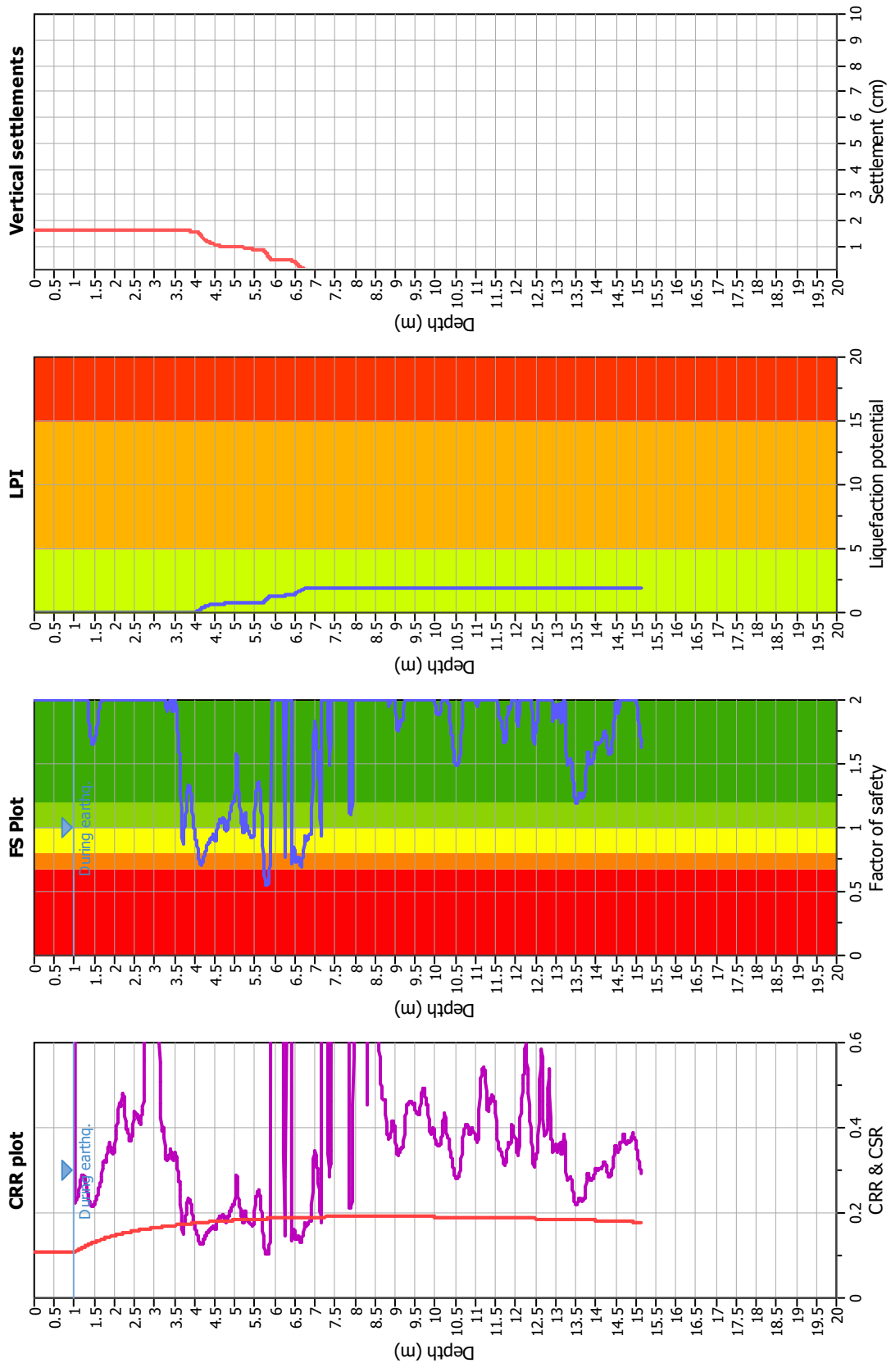
F. S. color scheme

■	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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.23
 Depth to water table (insitu): 1.90 m

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K₀ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 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

Comune
Via
Localita'

Cervia
Anello Pini
Milano Marittima

Data
18/11/2009

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P373CPTU453

0.202 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento (cm)
		28
Cedimento		28

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	29
Cedimento		29

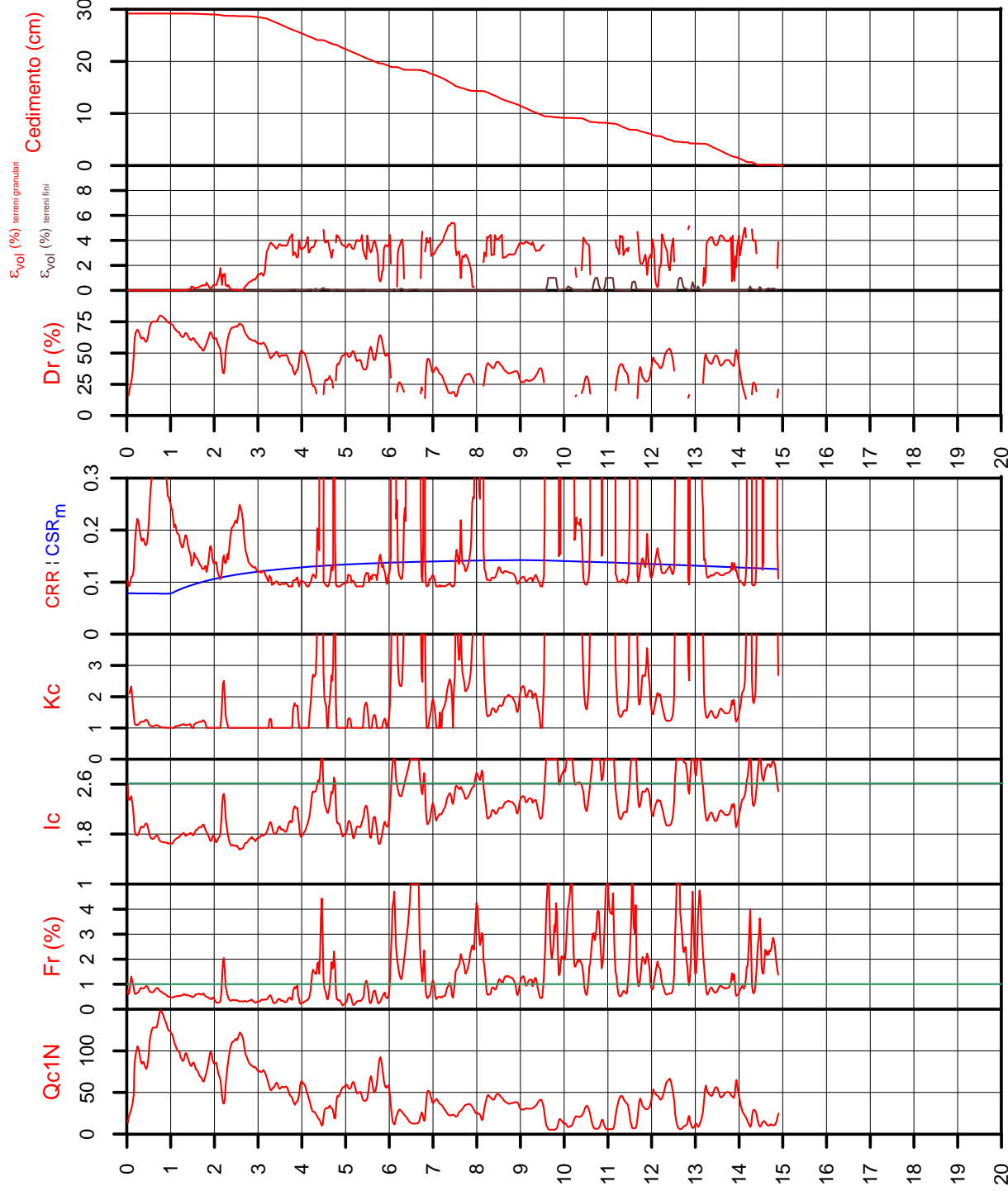
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
	I _L <= 2	BASSO
	2 < I _L <= 5	MODERATO
9.0	5 < I _L <= 15	ELEVATO
	I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Via Concezione 57
Cannuzzo

Data
14/04/2010

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P374CPTU454
0.318 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con - Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	0	1

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	1

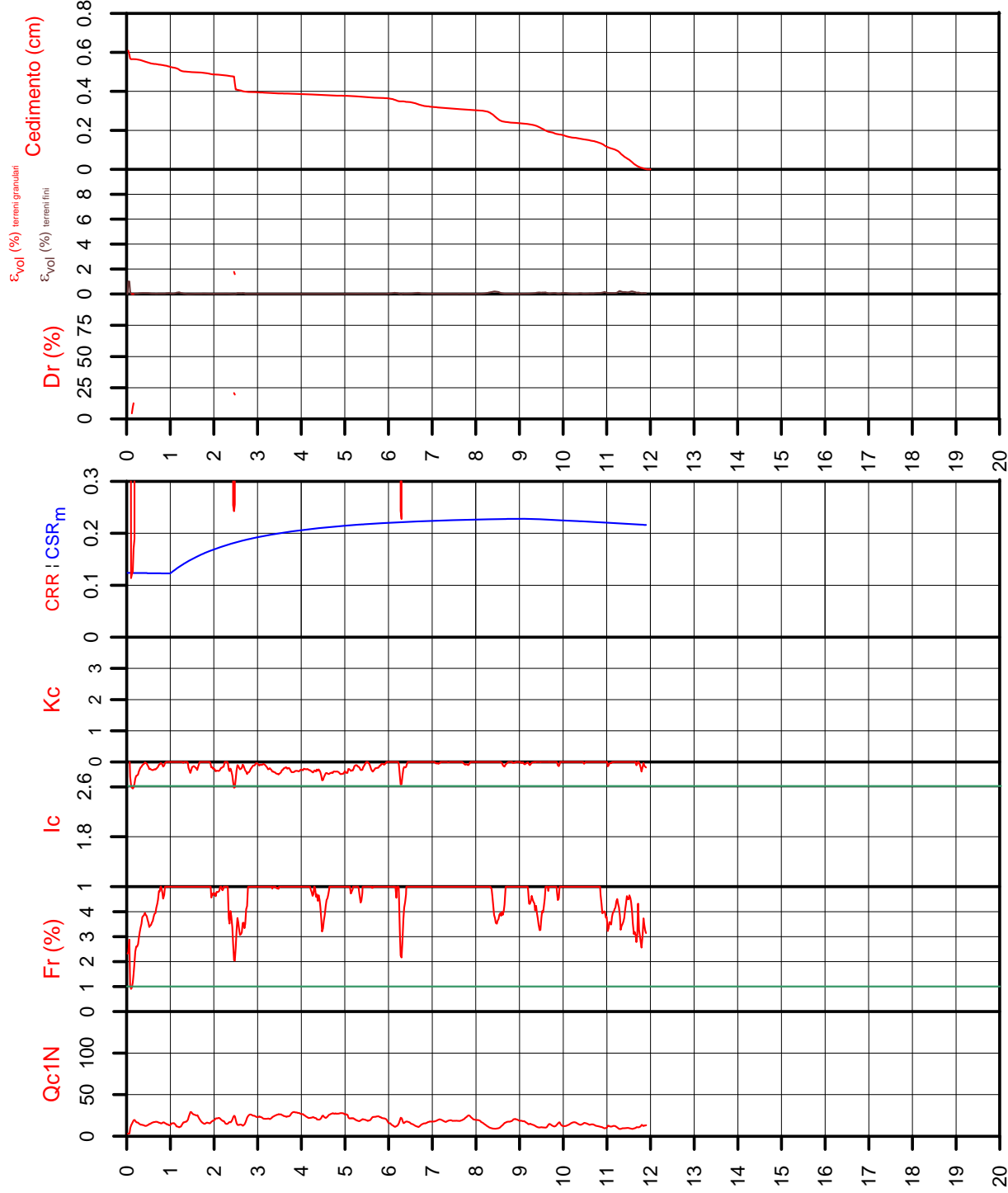
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.0	BASSO
2 < I _L <= 5	MODERATO
5 < I _L <= 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Corradina
Castiglione

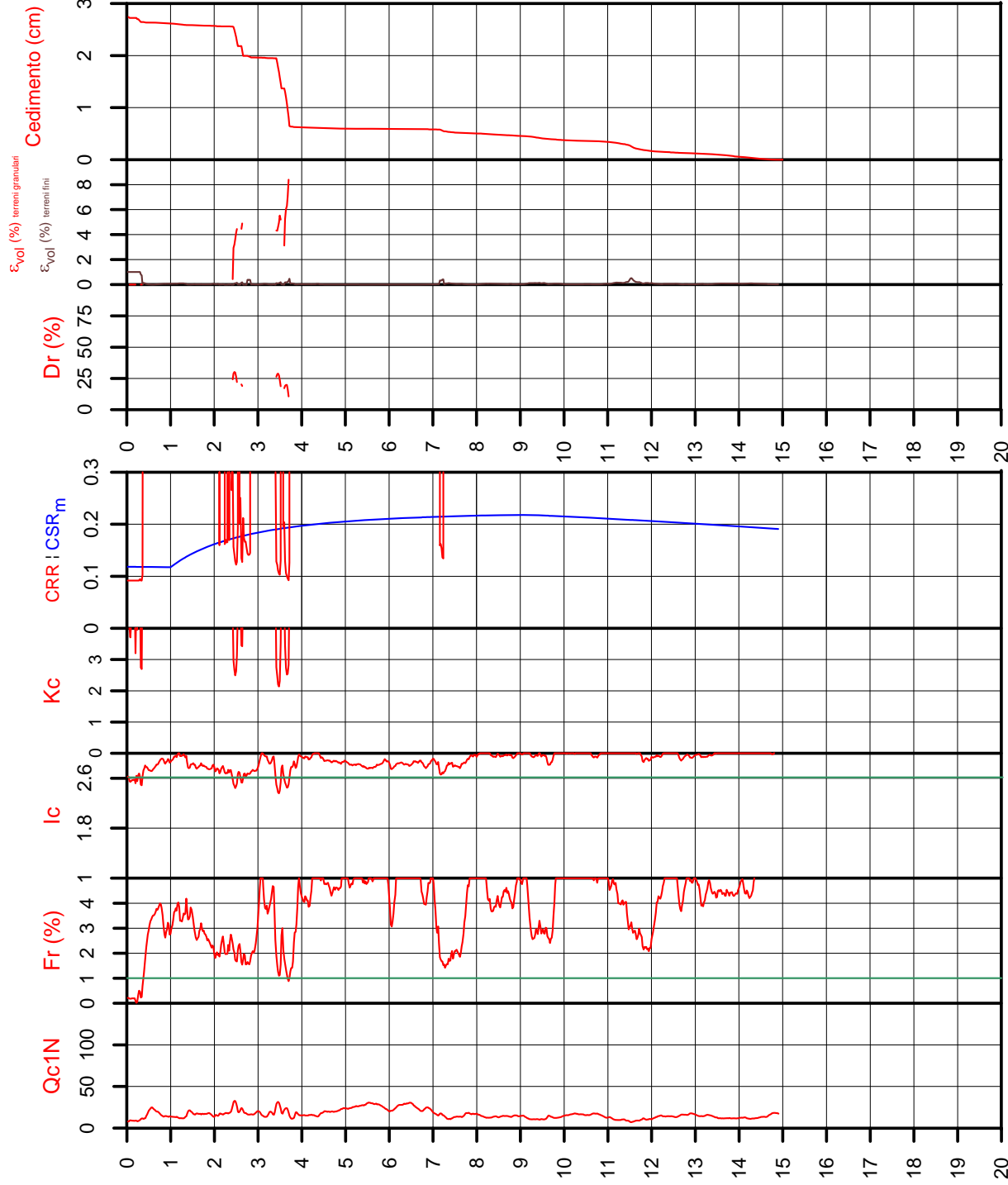
CPT
Max Ag

039007P375CPTU455
0.304 g

Data
28-gen-11

Falda presunta
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia



PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ns per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	2
Cedimento		

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)	3
Cedimento	1		

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
1.5	BASSO
$IL <= 2$	MODERATO
$2 < IL <= 5$	ELEVATO
$5 < IL <= 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune
Via
Localita'

Cervia
Ragazzena 126
Castiglione di Cervia

Data
11-mar-11

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P376CPTU456

0.304 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

per lo studio di microzonazione sismica
del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	1

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	0	1

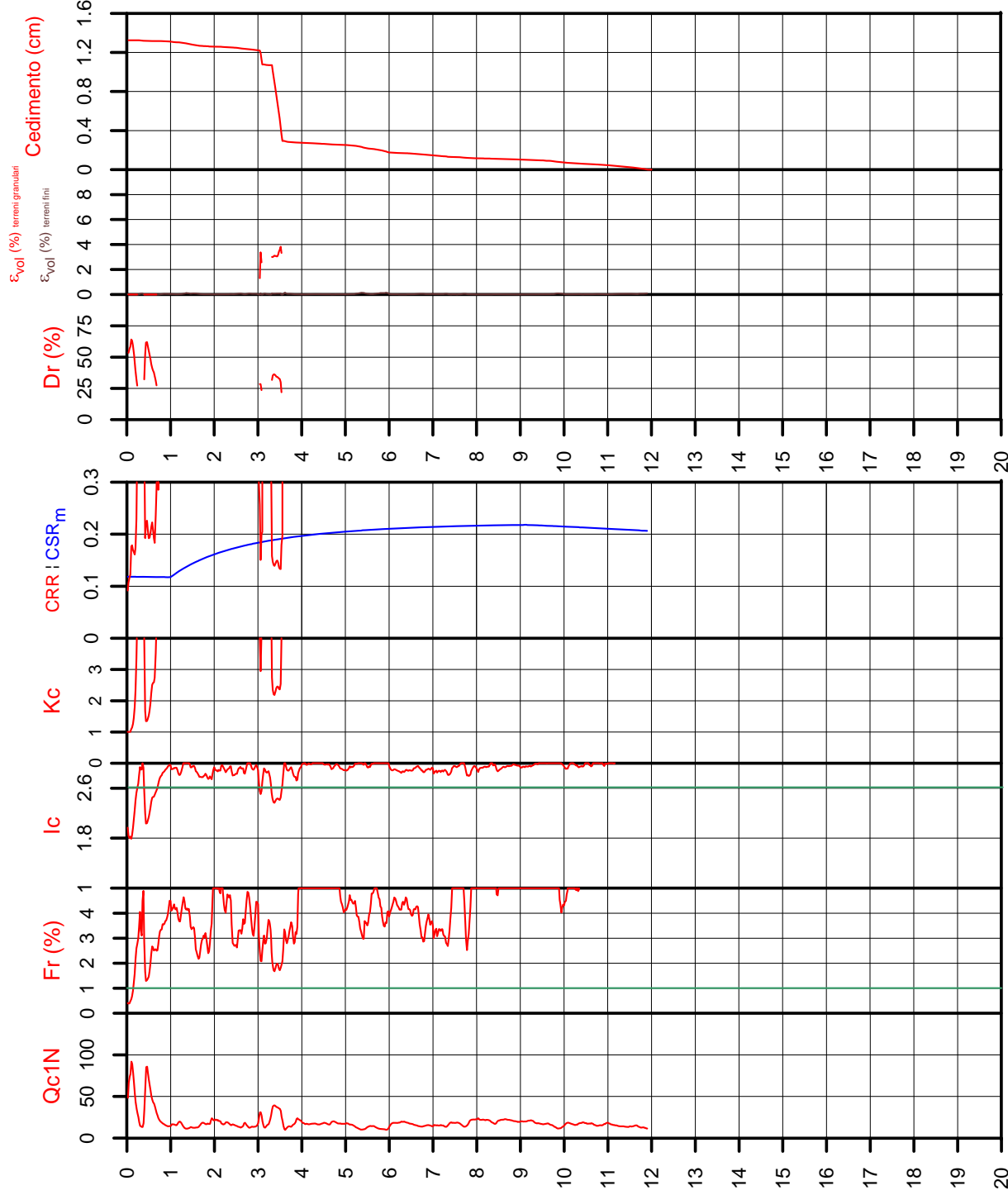
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.5	BASSO
$2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'
Data

cervia
visdomina
montaletto
16-gen-06

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P377CPTU457
0.308 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1.67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento (cm)
		0

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	3

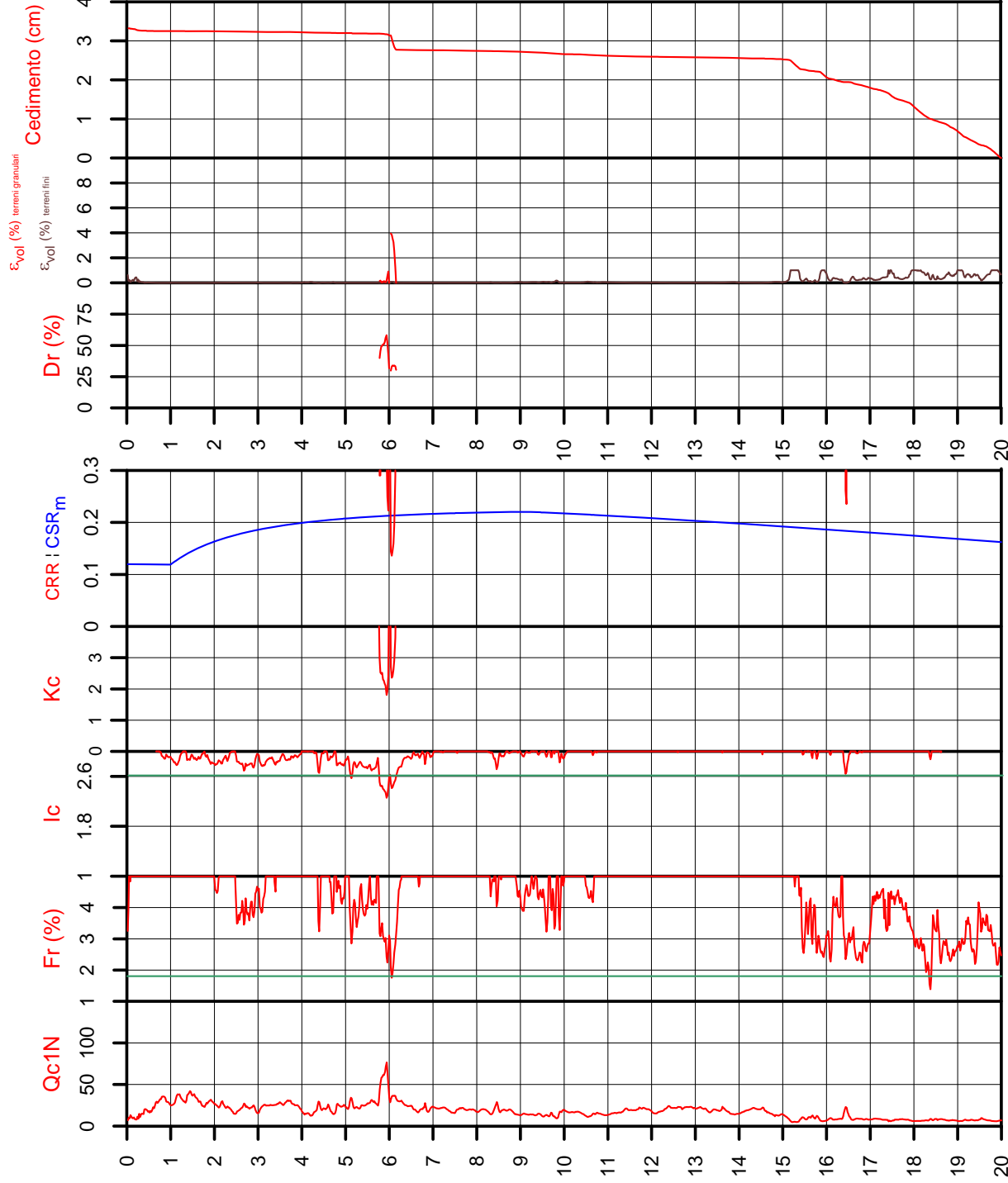
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.2	BASSO
2 < I _L <= 5	MODERATO
5 < I _L <= 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Bollana
Montaletto di Cervia

Data
11-set-12

CPT
Max Ag

Falda presunta
3 metri

039007P378CPTU458

0.306 g

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	4

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	4

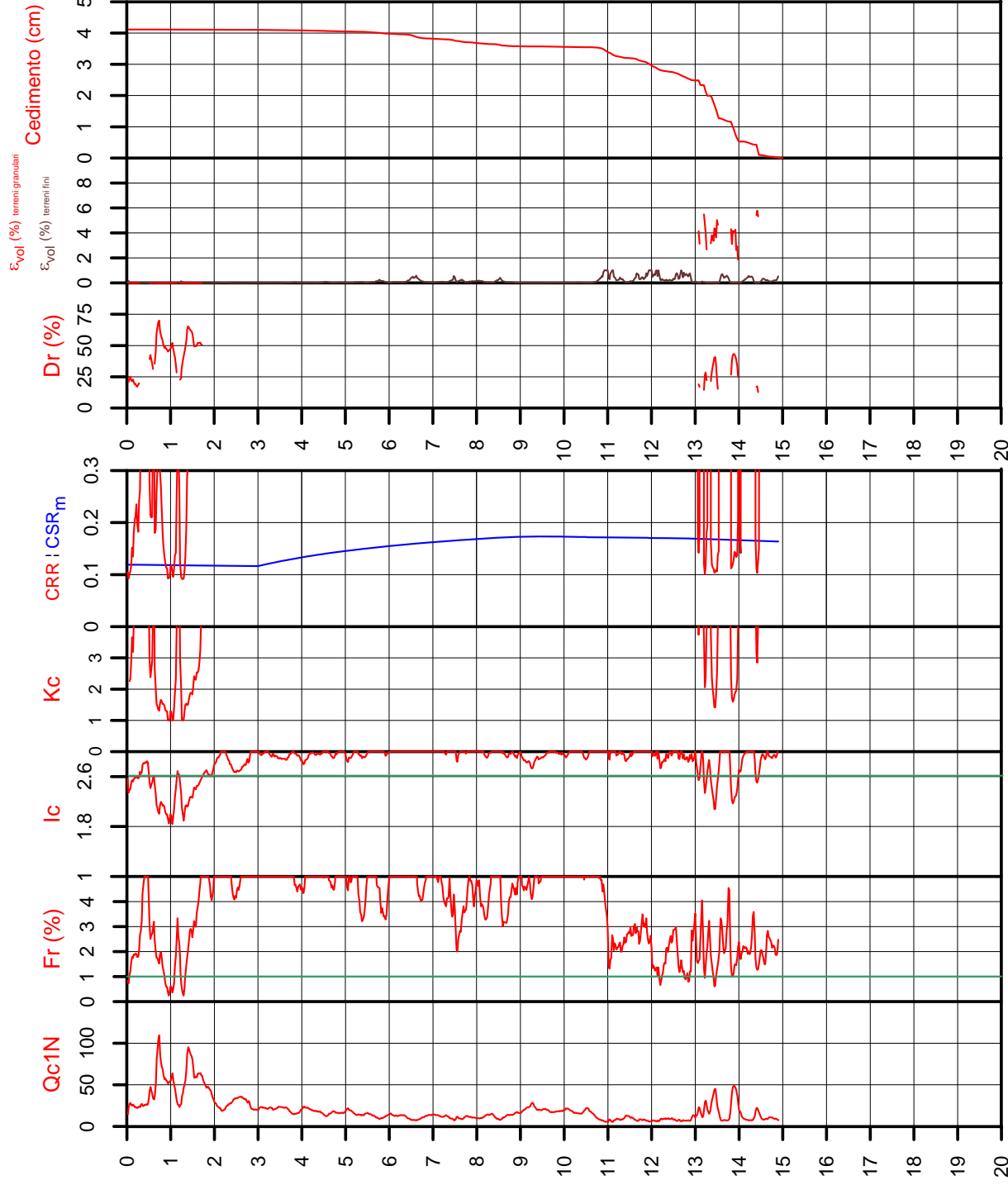
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.4	BASSO
$2 < I_L <= 5$	MODERATO
$5 < I_L <= 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune Cervia
 Via Santerno
 Localita' Savio
 Data 20-giu-13

CPT Max Ag Falda presunta
 039007P379CPTU459 0.22 g 2 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ns per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslmq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	9	15

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	6	15

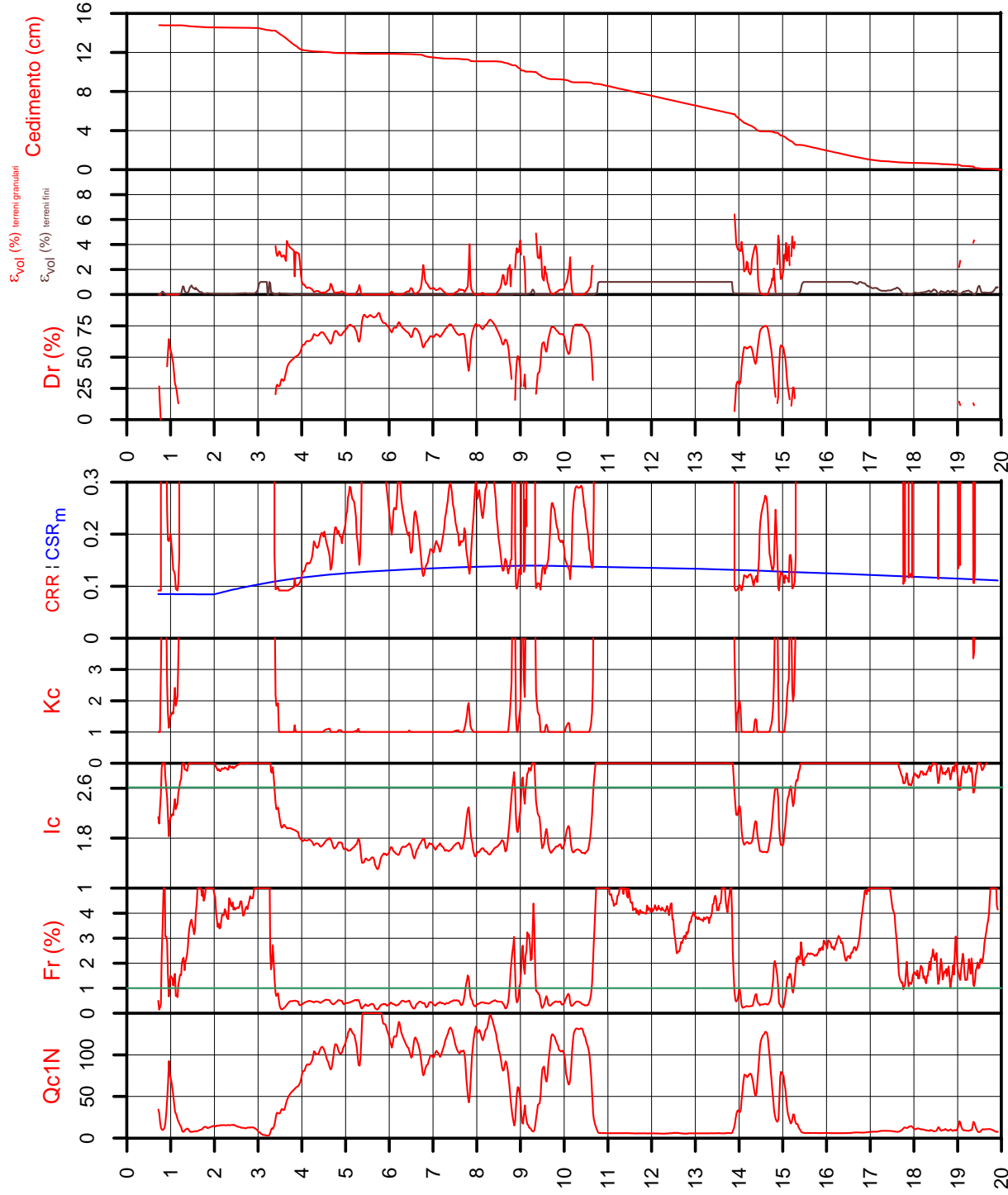
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslmq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURAZIONE
1.6	BASSO
2 < I _L ≤ 5	MODERATO
5 < I _L ≤ 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

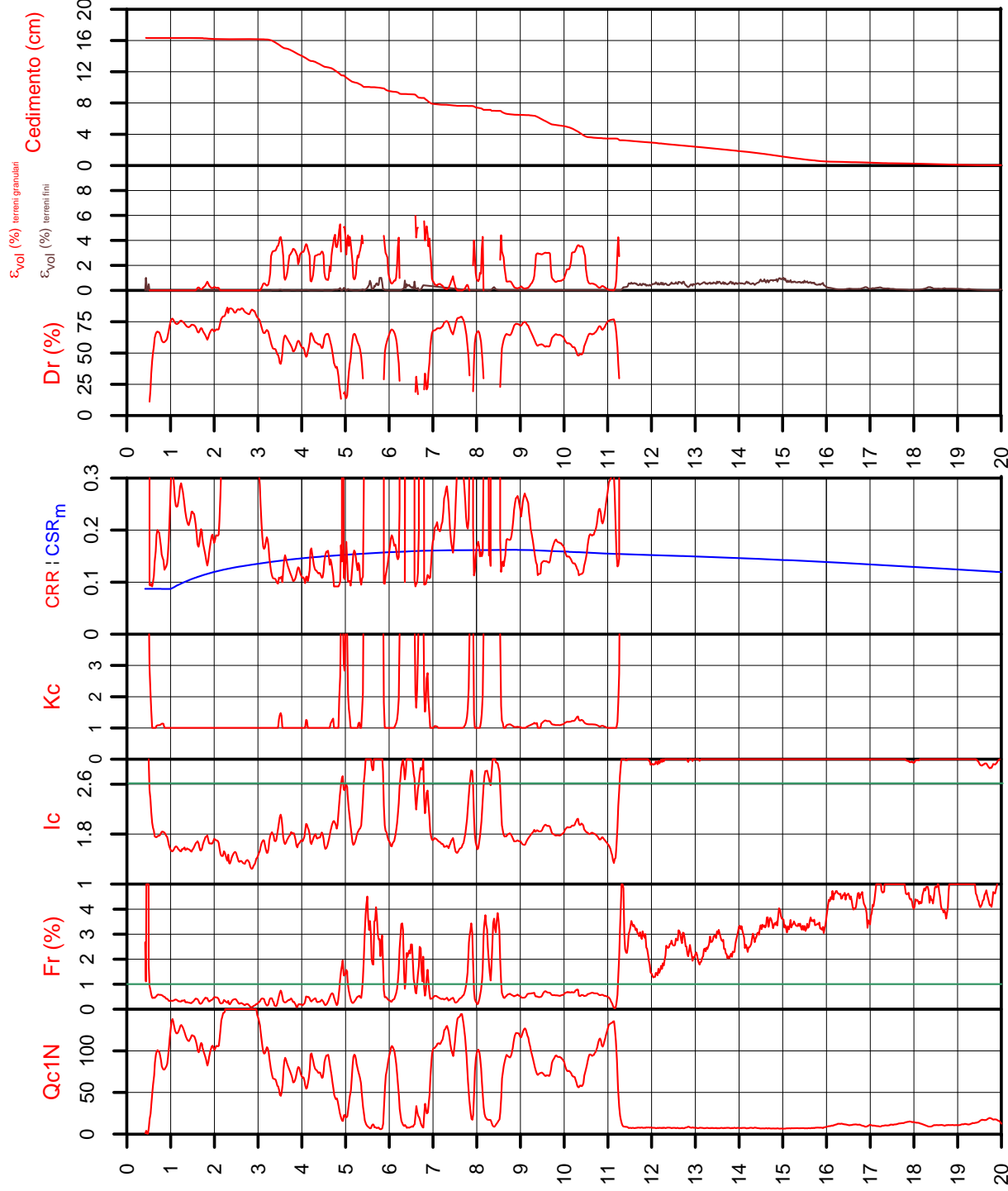
Cervia
Galeno 1
Cervia

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P380CPTU460
0.225 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

Data
5-giu-14



PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	13
Cedimento		

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	4
Cedimento		16

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
5.1	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune
Via
Localita'

Cervia
Rotonda Silvio pellico :
Cervia

CPT
Max Ag

039007P381CPTU461
0.225 g

Data
18/12/2009

Falda presunta
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	31	32

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	32

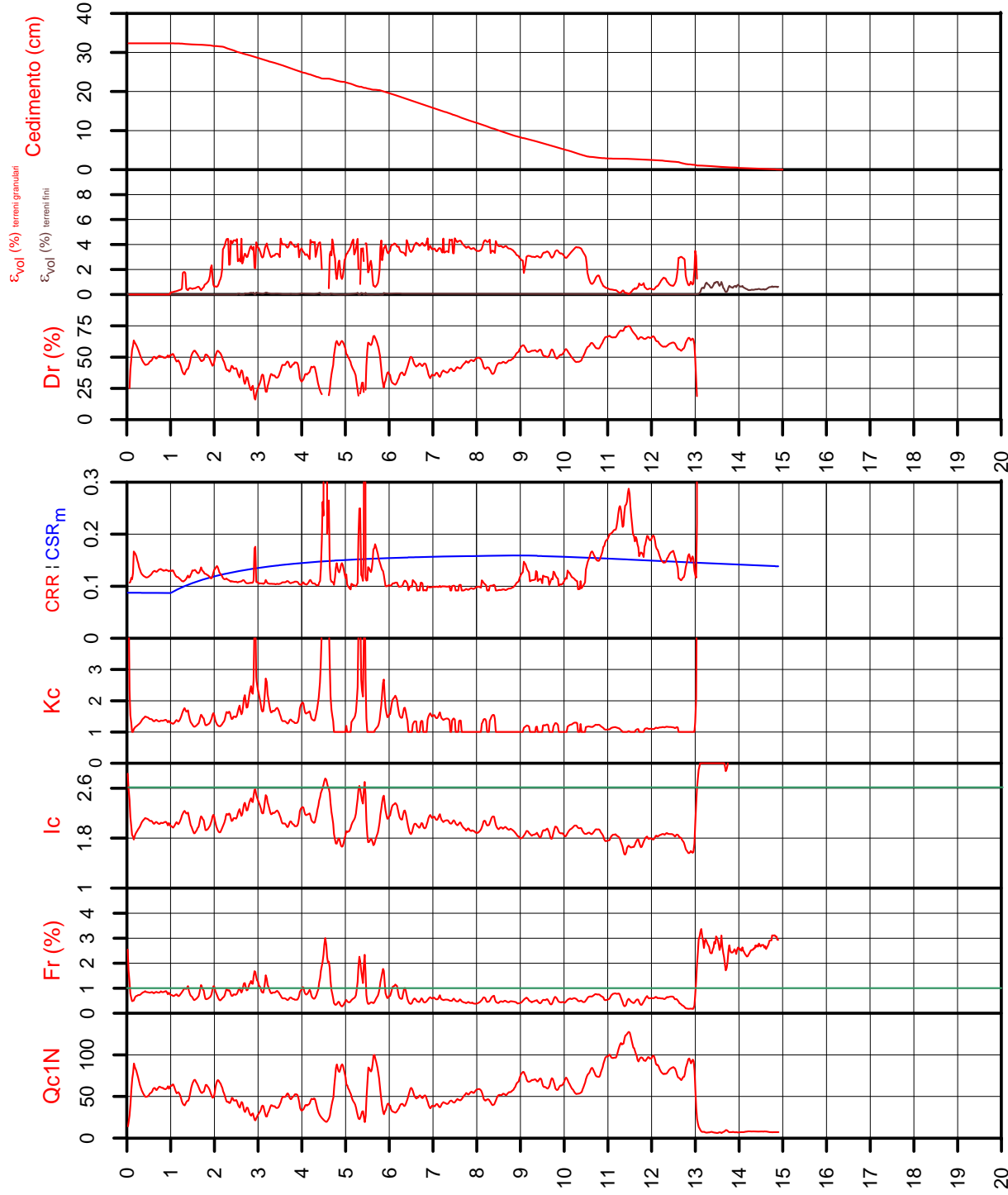
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq -2$	BASSO
$-2 < IL \leq -5$	MODERATO
$-5 < IL \leq -15$	ELEVATO
$IL > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Spallucci
Cervia

Data 28/09/2011

CPT

Max Ag

Falda presunta

039007P382CPTU462

0.225 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009
* Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale

- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- $Qc1N$ secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di $Qc1N$ to $Qc1Ns$ per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	32	34

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * $Qc1N$ secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	34

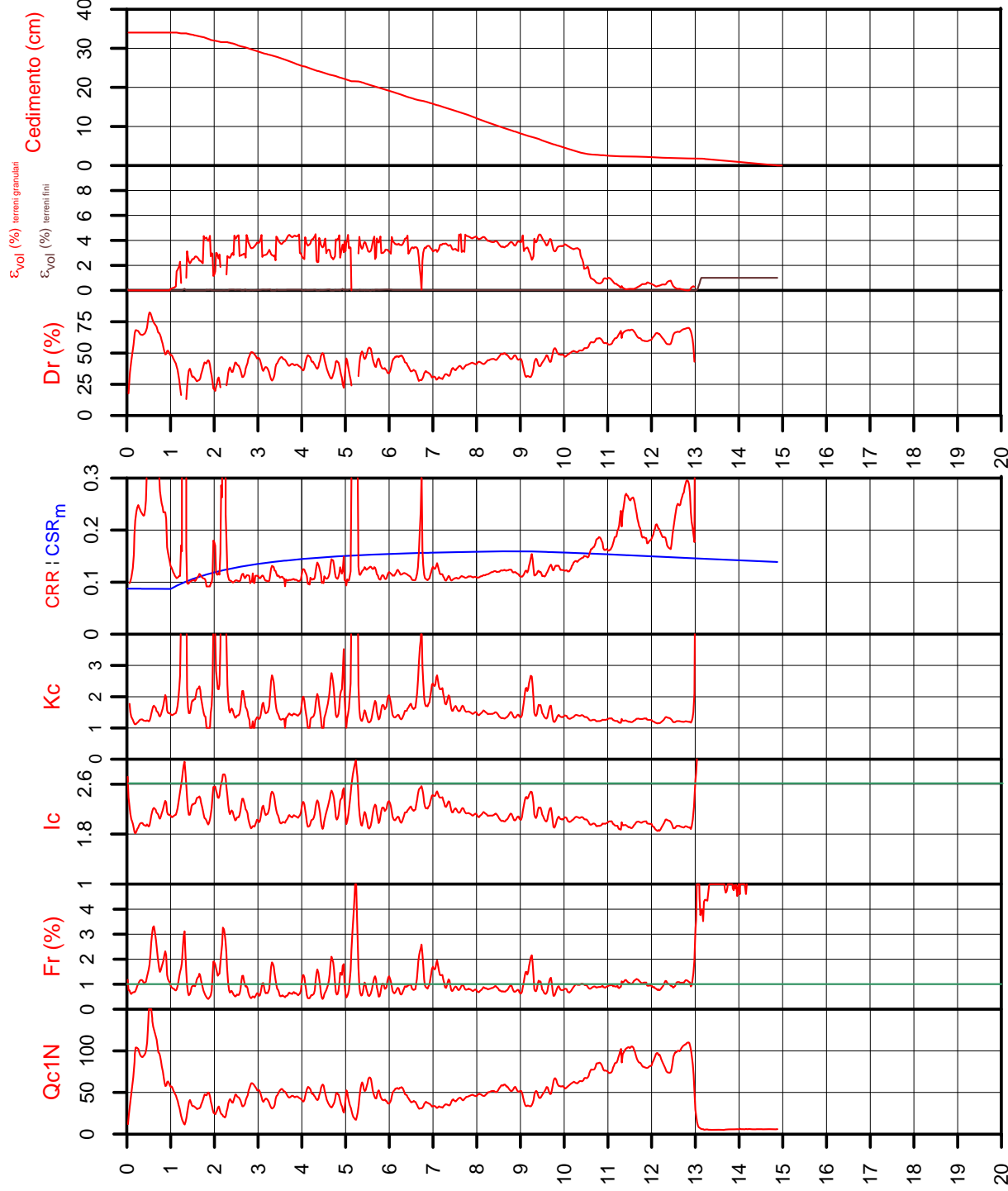
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq -5$	MODERATO
$-5 < I_L \leq -15$	ELEVATO
$I_L > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Martiri Fantini
Cervia

CPT
Max Ag

039007P383CPTU463
0.226 g

Data 25-mag-10

Falda presunta

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1,67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento (cm)
		16

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	4	19

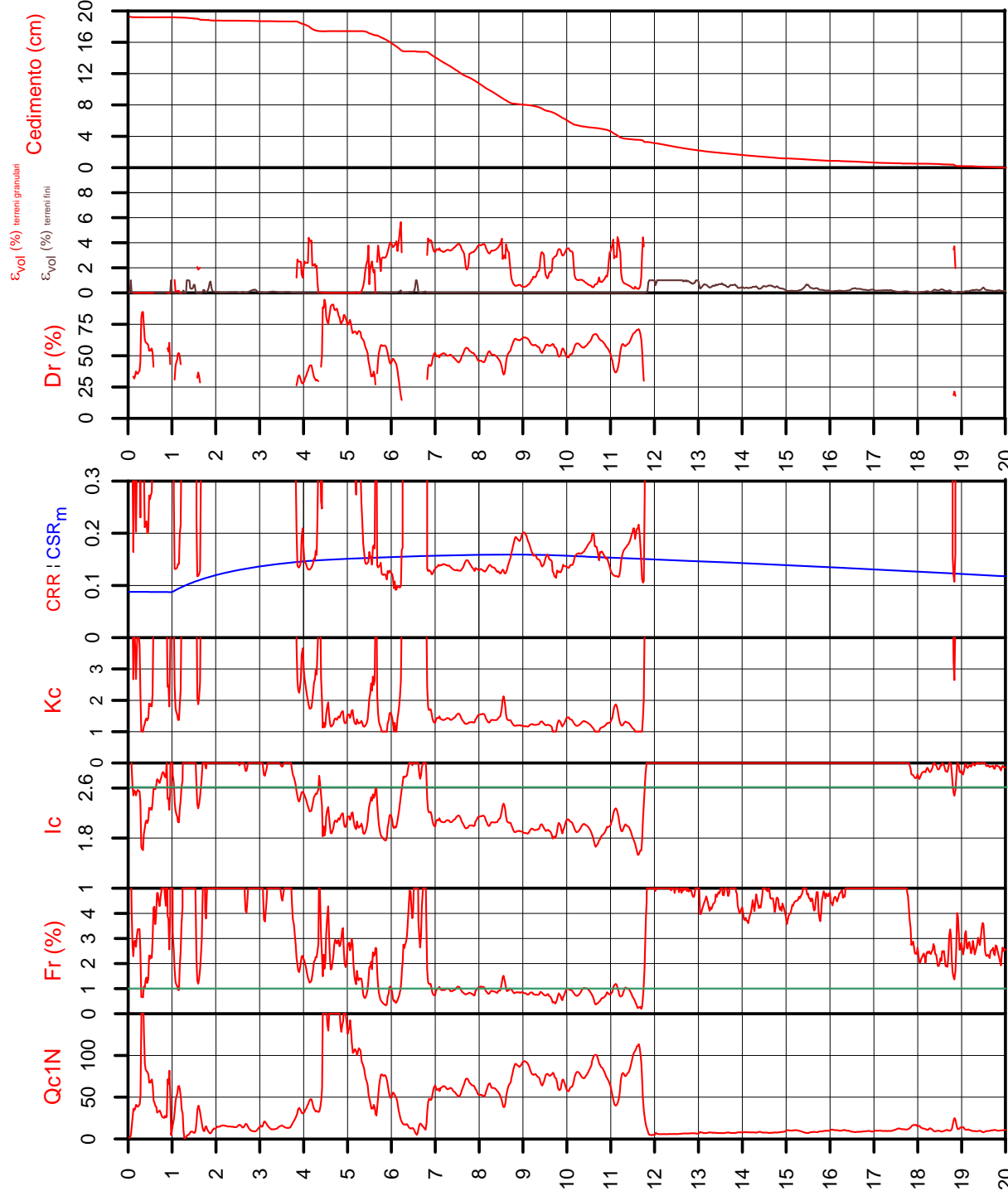
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
	IL <= 2 BASSO
3.9	2 < IL <= 5 MODERATO
	5 < IL <= 15 ELEVATO
	IL > 15 ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune cervia
Via marsala 24
Localita' cervia
Data 15-apr-08

CPT Max Ag
Falda presunta

039007P385CPTU465
0.225 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	31
Cedimento		31

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	1	Cedimento totale fini + granulari (cm)	32
Cedimento		1	32	

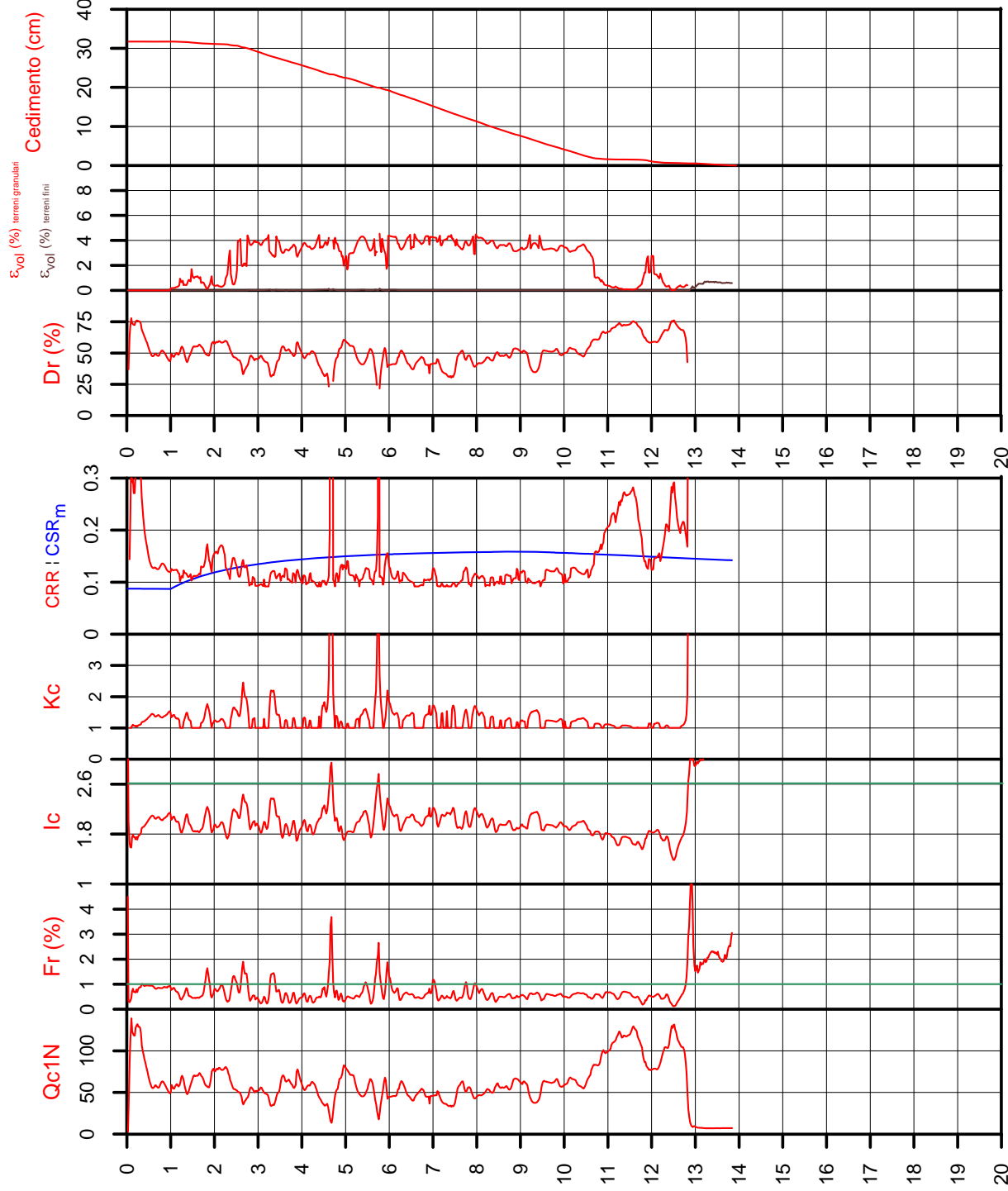
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
I _L ≤ 2	BASSO
2 < I _L ≤ 5	MODERATO
5 < I _L ≤ 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Max David
Cervia

Data 27/06/2012

CPT

Max Ag

Falda presunta

039007P386CPTU466

0.226 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale (cm)
	20	21

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	21

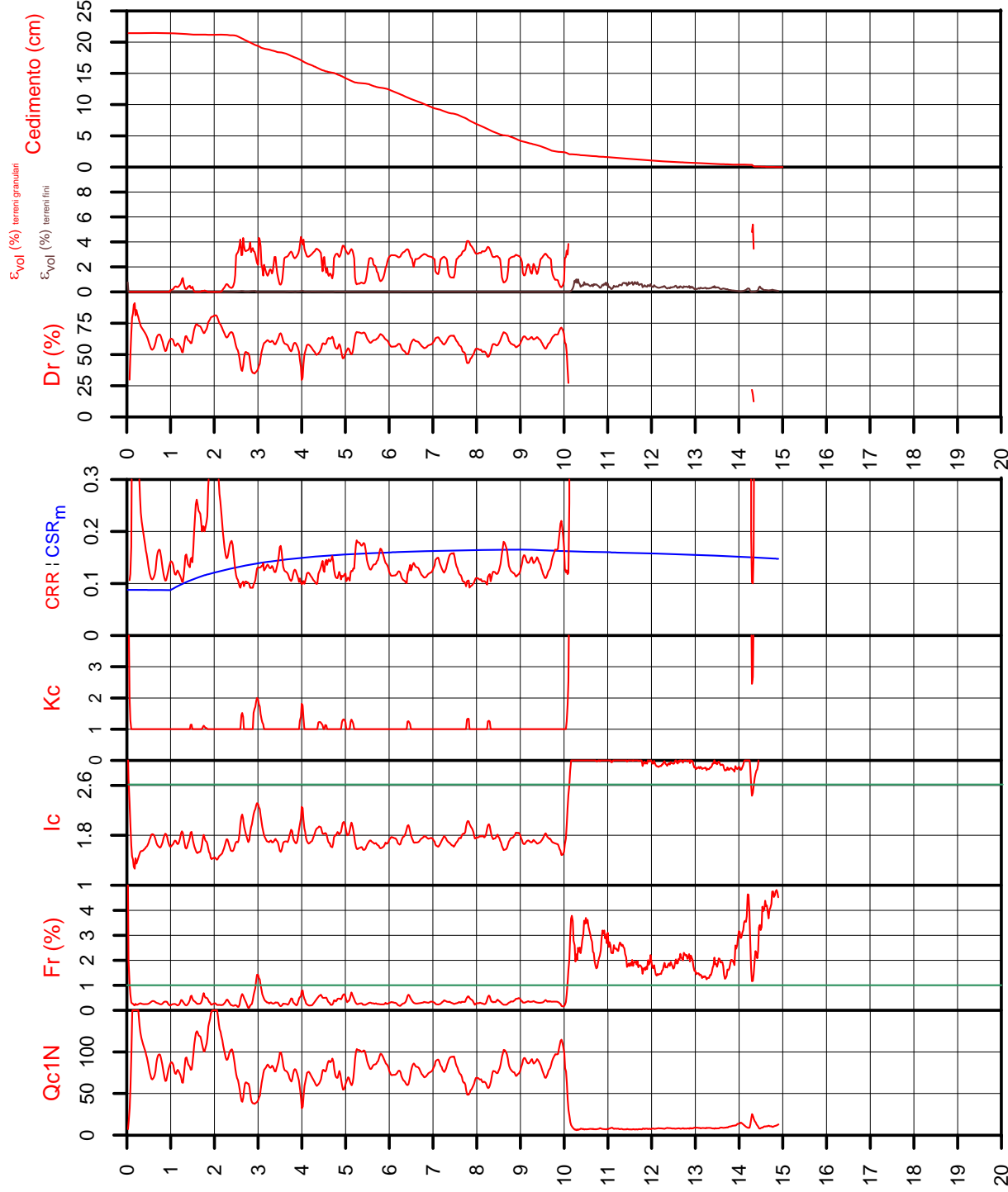
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



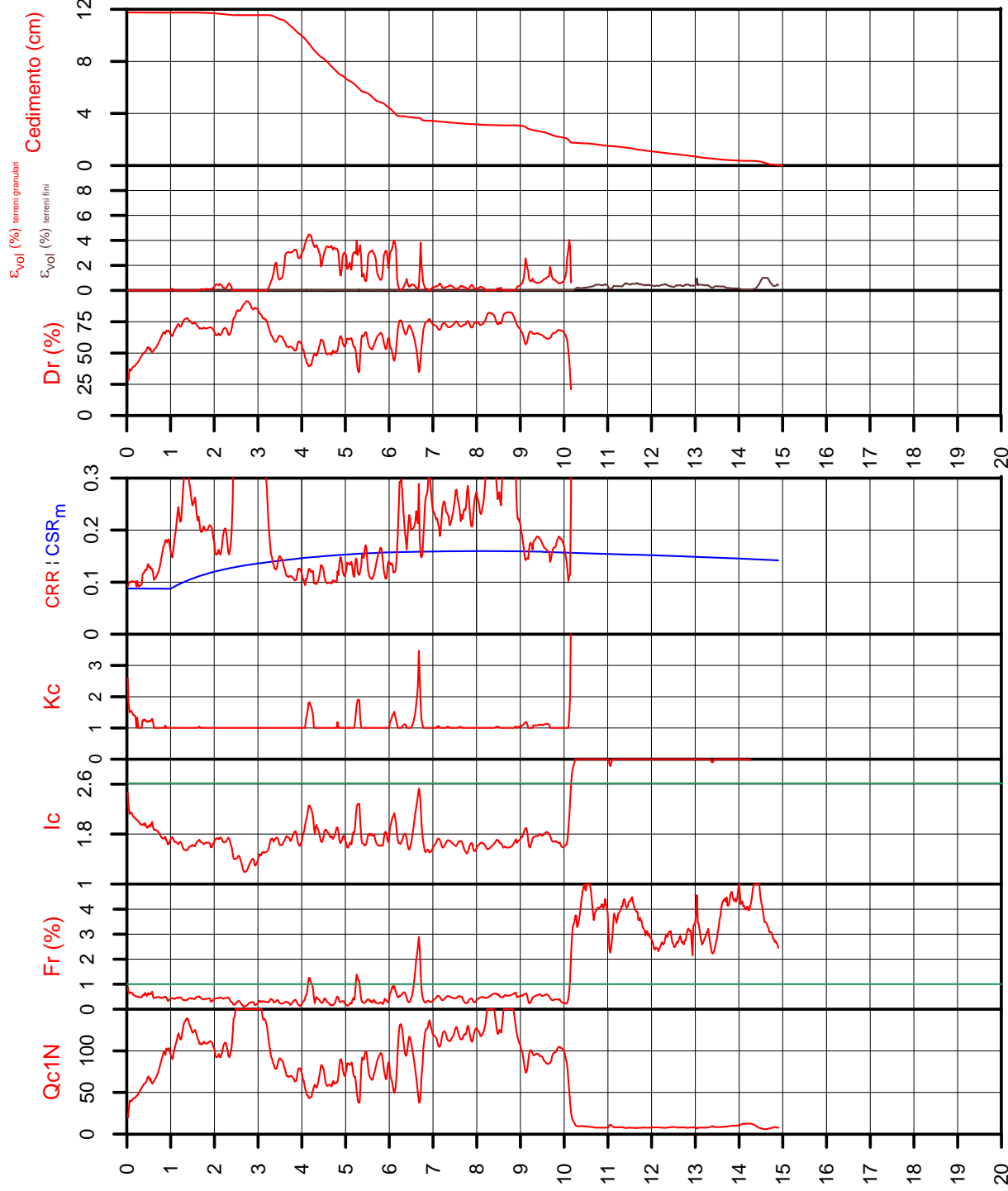
Comune
Via
Localita'
Data

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P387CPTU467
0.226 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

8-ott-14



PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	10
Cedimento		10

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	2	Cedimento totale fini + granulari (cm)	12
Cedimento		2		12

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq -5$	MODERATO
$-5 < I_L \leq -15$	ELEVATO
$I_L > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune
Via
Localita'

Cervia
Malva Sud 20
Cervia

Data
10-dic-10

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P388CPTU468

0.226 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	17	20

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	4	20

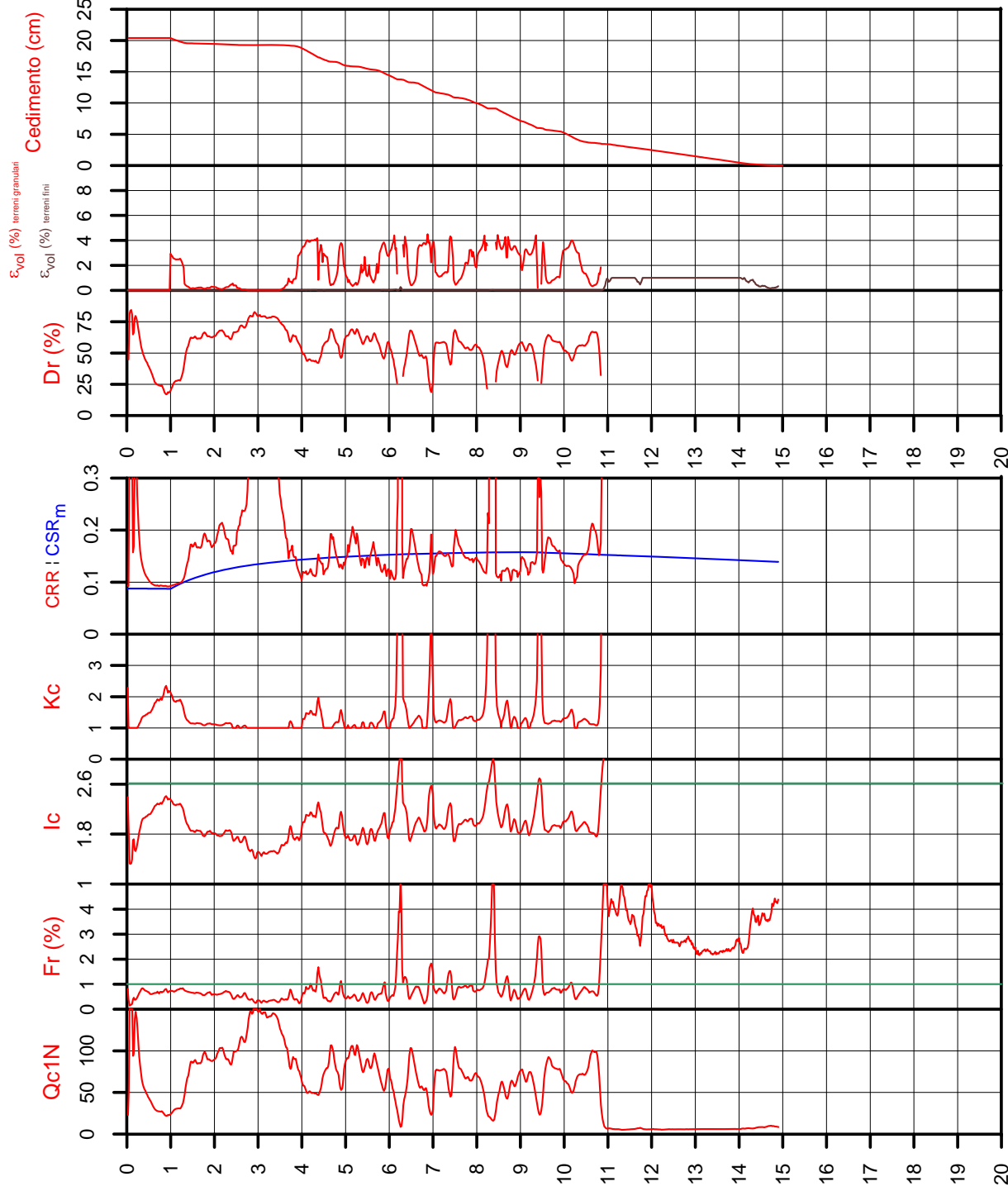
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq -5$	MODERATO
$-5 < I_L \leq -15$	ELEVATO
$I_L > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Caduti per la liberta' 87
Cervia

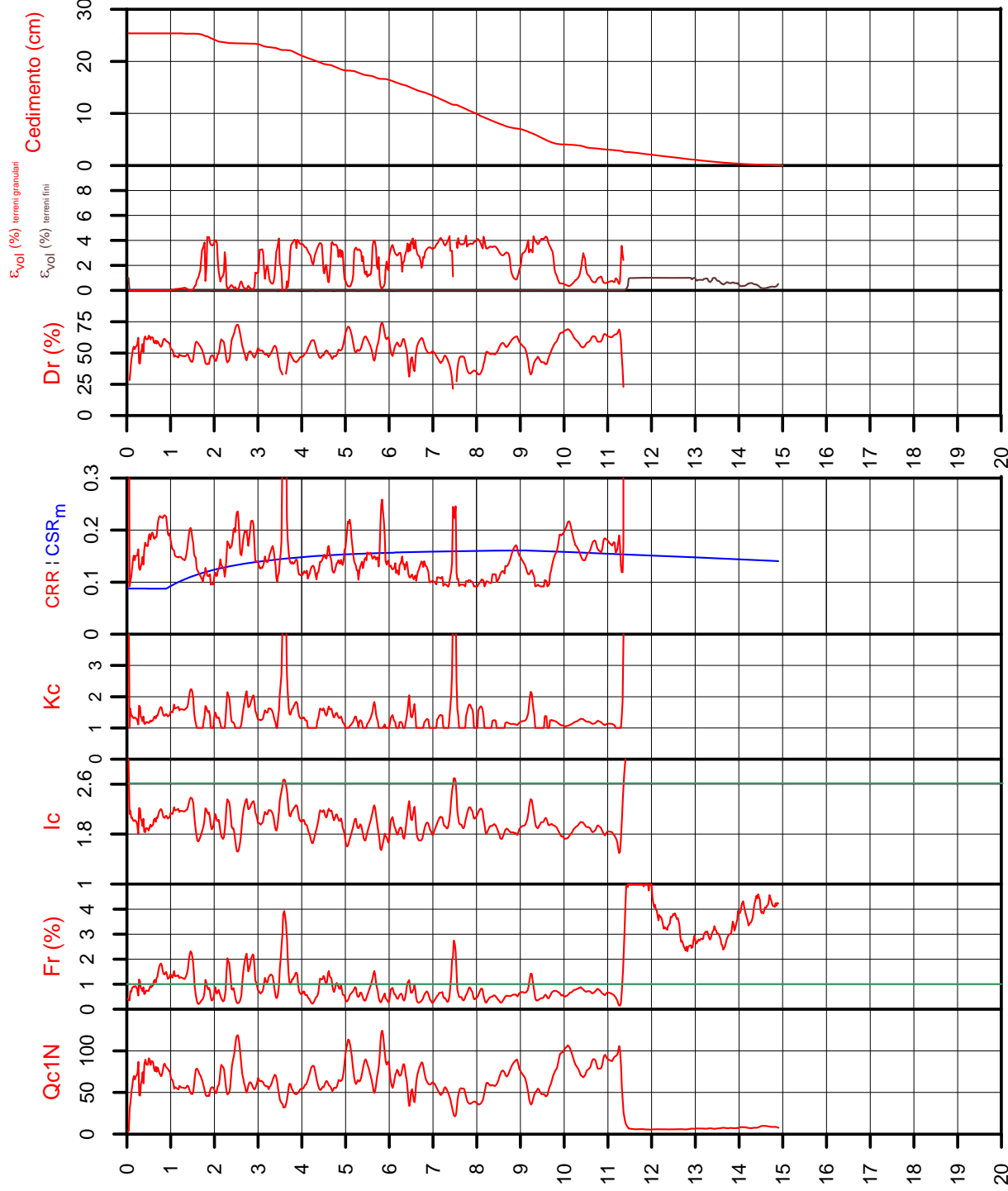
CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P389CPTU469
0.226 g
0.9 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

per lo studio di microzonazione sismica
del Comune di Cervia

Data
2-dic-10



PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	23	25

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	25

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
	IL <= 2 BASSO
8.8	2 < IL <= 5 MODERATO
	5 < IL <= 15 ELEVATO
	IL > 15 ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune
Via
Localita'

cervia
caduti per la liberta'
cervia

CPT
Max Ag

039007P390CPTU470
0.226 g

Data
7-apr-07

Falda presunta

0.6 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	13	15

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	15

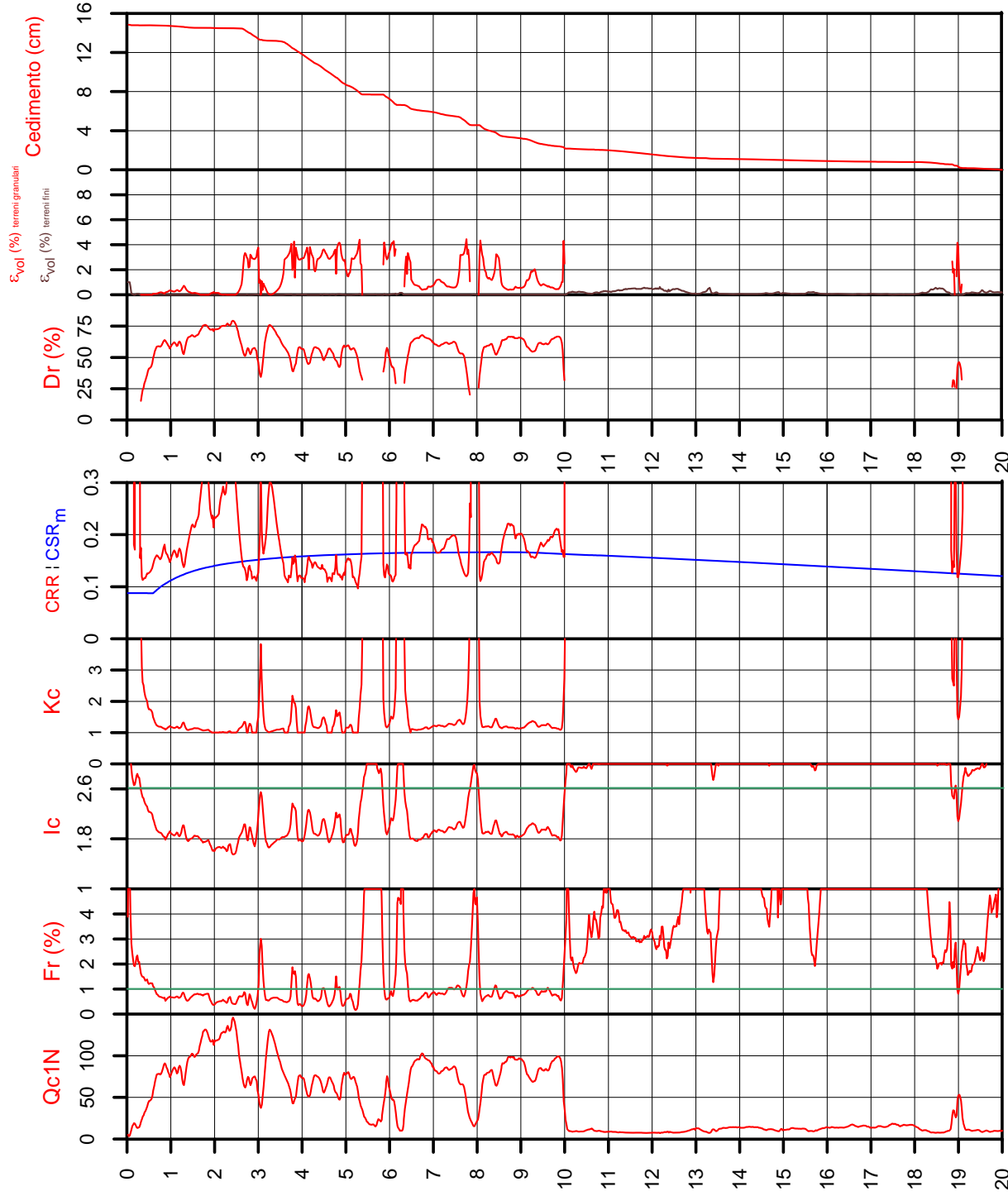
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondita.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondita

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Malva sud
Cervia

Data
9-dic-11

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P391CPTU471
0.226 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009
* Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale

- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	8
Cedimento		13

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	4
Cedimento		13

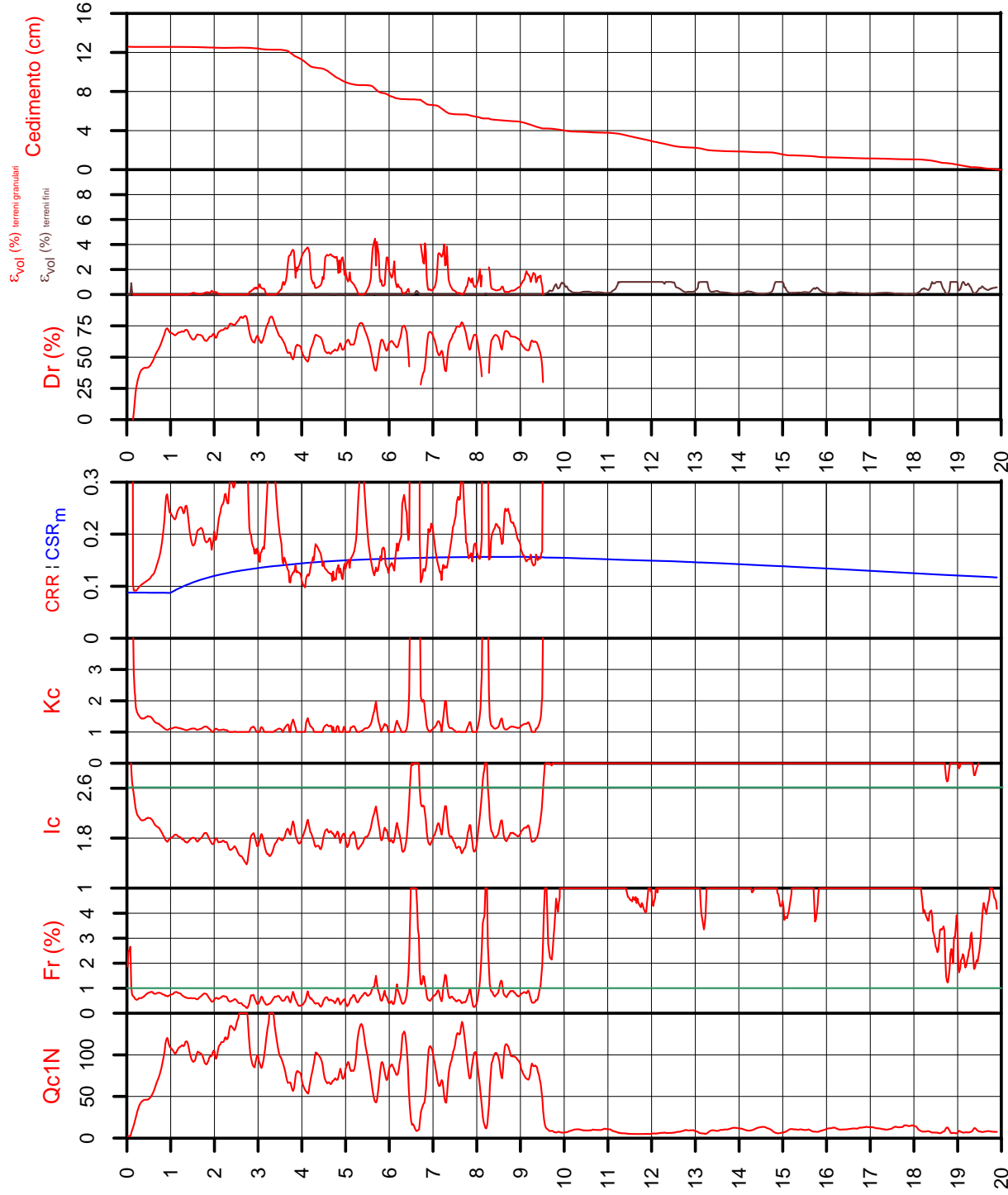
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq -5$	MODERATO
$-5 < I_L \leq -15$	ELEVATO
$I_L > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Etna
Pinarella

Data
19-set-08

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P392CPTU472
0.226 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	33
Cedimento		

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	2
Cedimento		
Cedimento totale fini + granulari (cm)		35

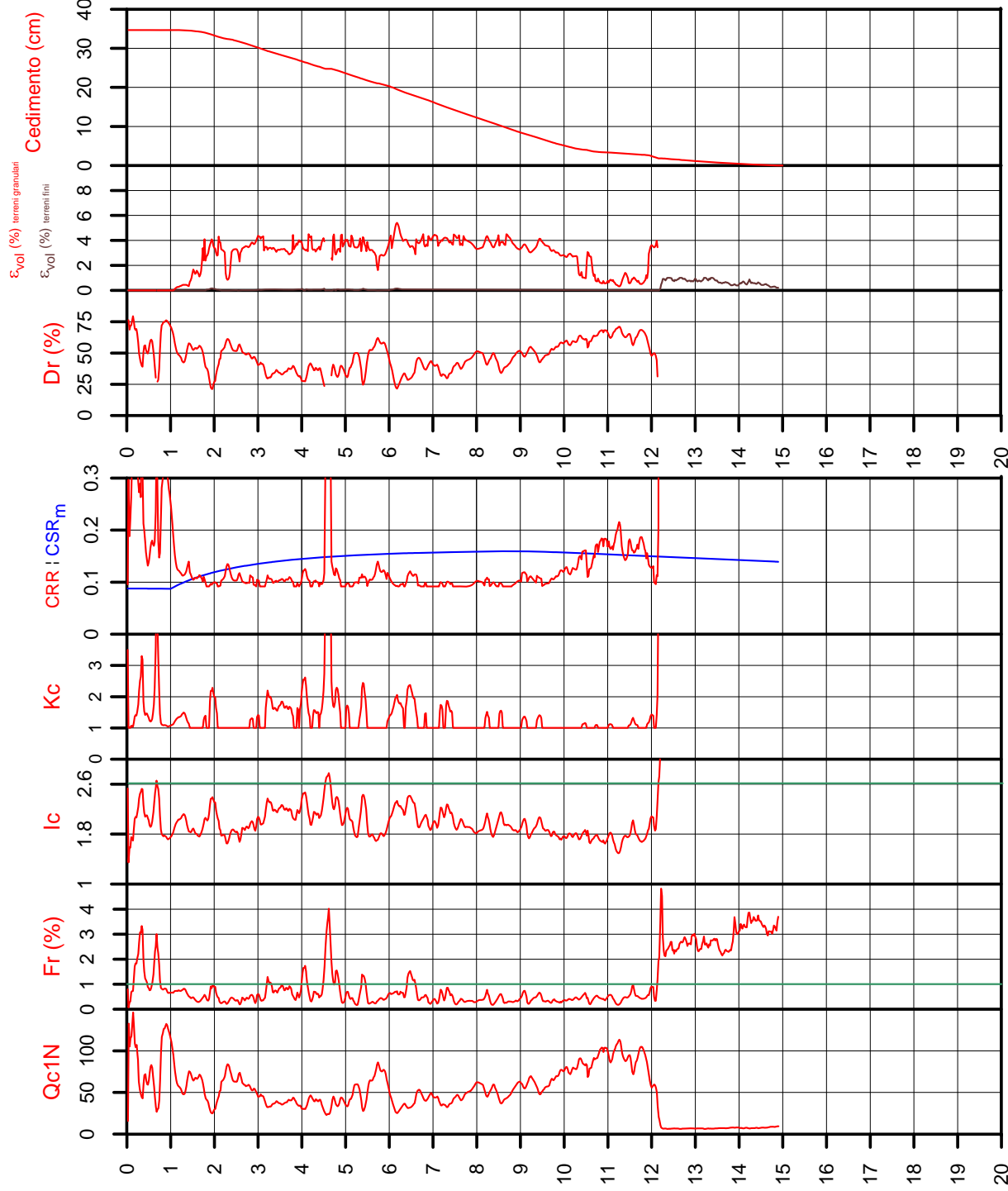
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Viale Italia 157
Pinarella

Data
22/04/2013

CPT

Max Ag

Falda presunta

039007P393CPTU473

0.228 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	31	32

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	32

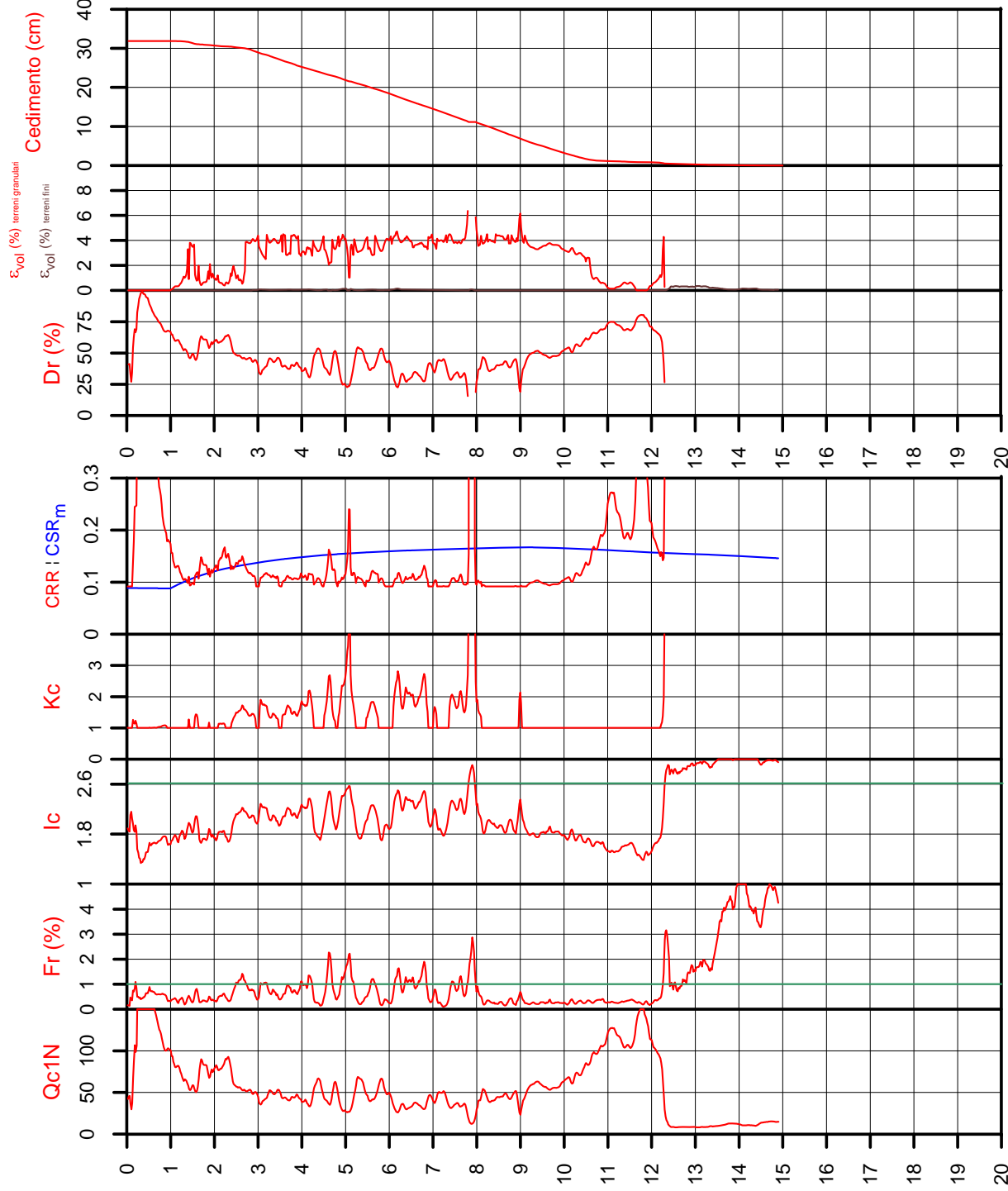
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Viale Italia 151
Pinarella

Data
6-mag-13

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P394CPTU474

0.228 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	31	31

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	31

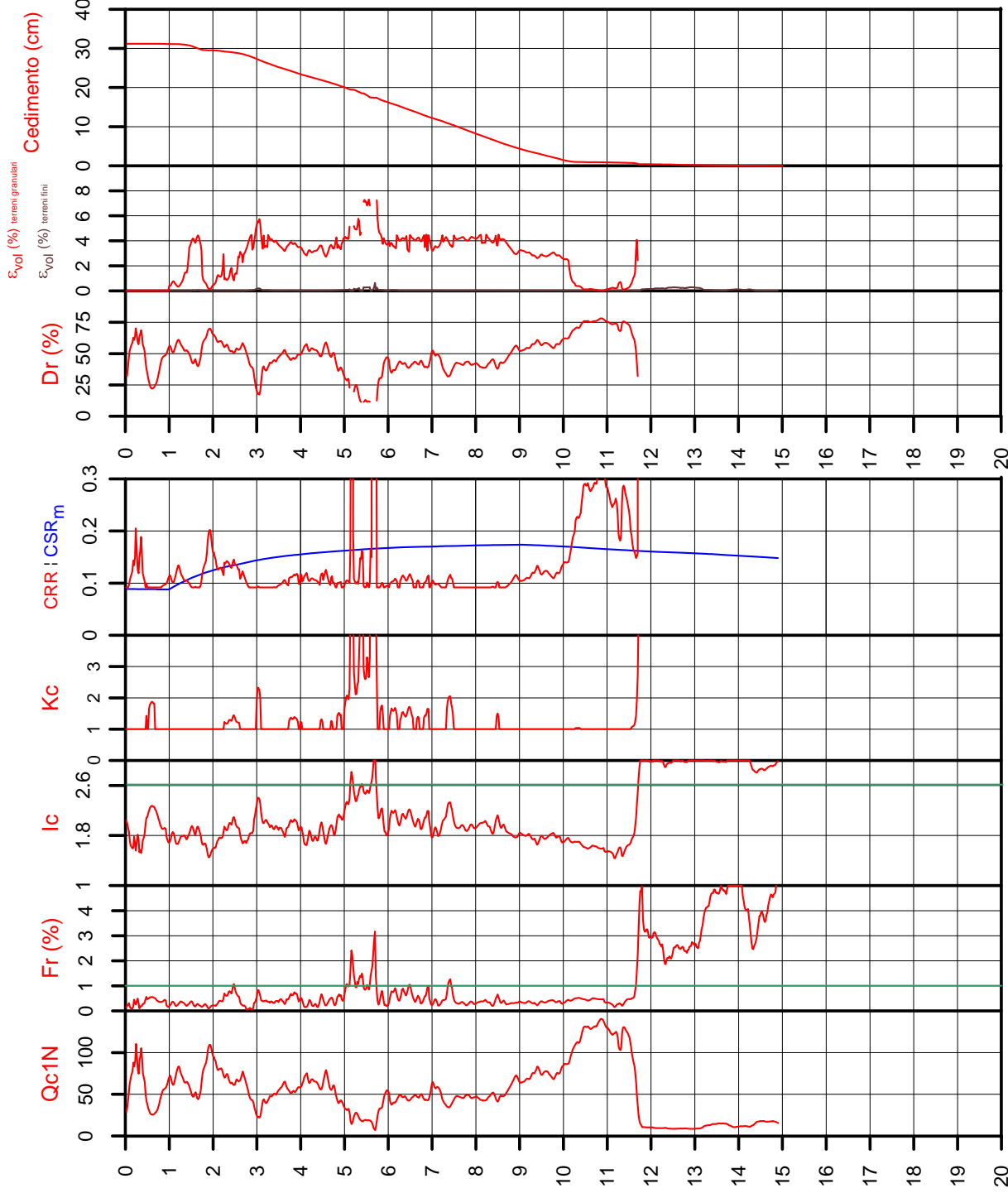
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
I _L ≤ 2	BASSO
2 < I _L ≤ 5	MODERATO
5 < I _L ≤ 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



18.9

Comune
Via
Localita'

Cervia
Fienilone 44
Pinarella

Data
15/02/2011

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P395CPTU475

0.228 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ns per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	13	14

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	1	14

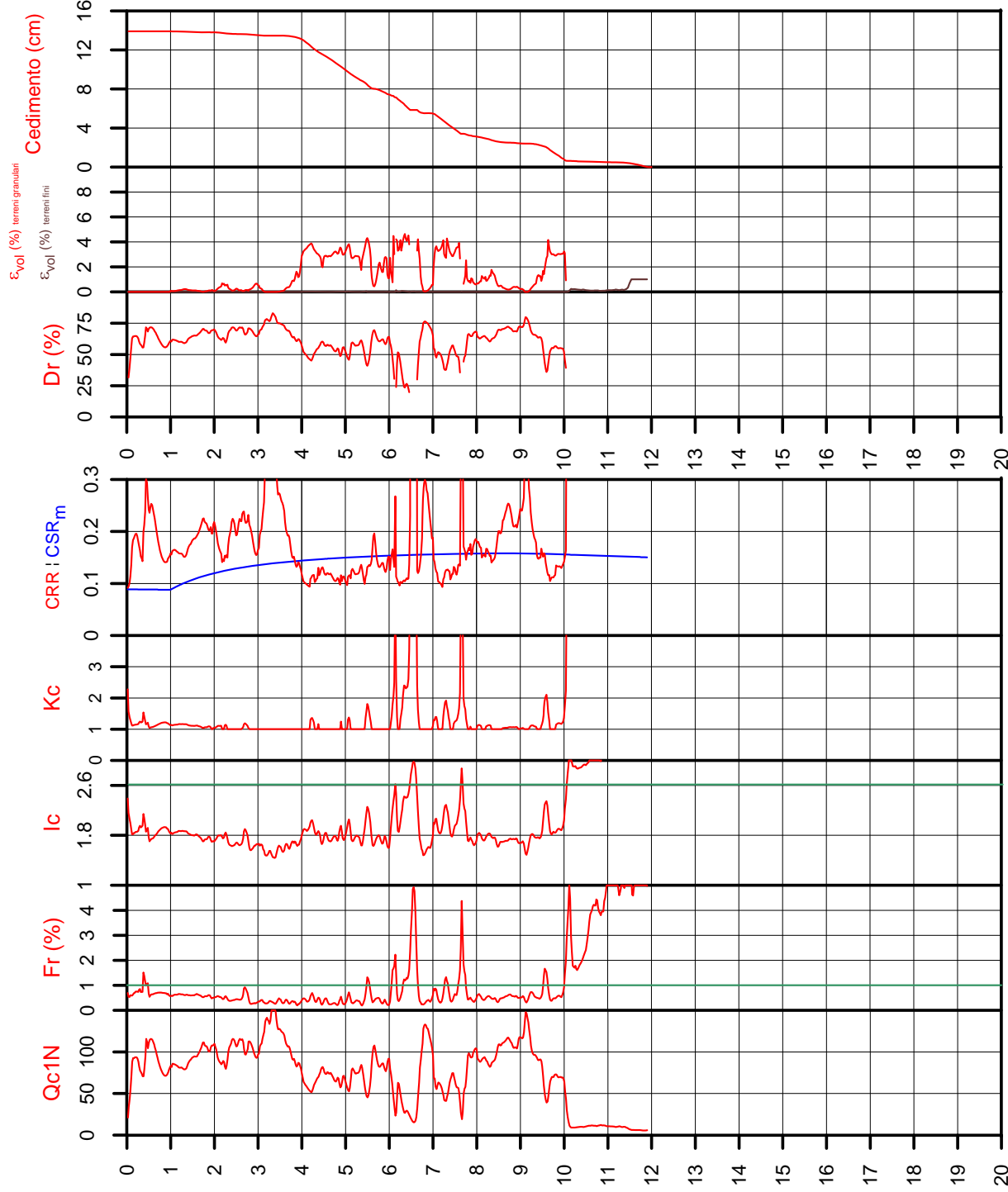
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
SS 16 - SS71 bis
Tagliata

Data
30/12/2011

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P396CPTU476

0.228 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	14	17

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	17

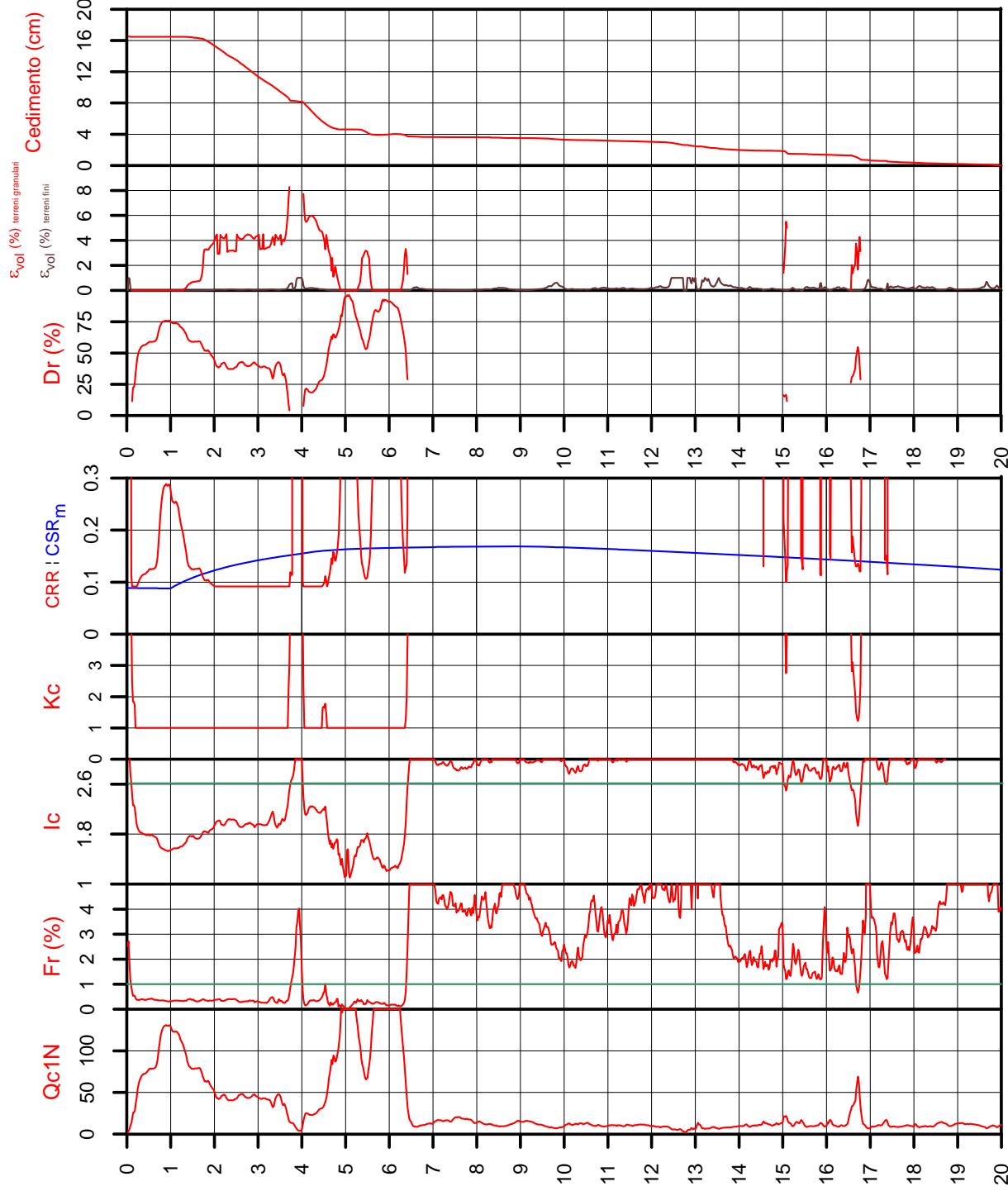
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

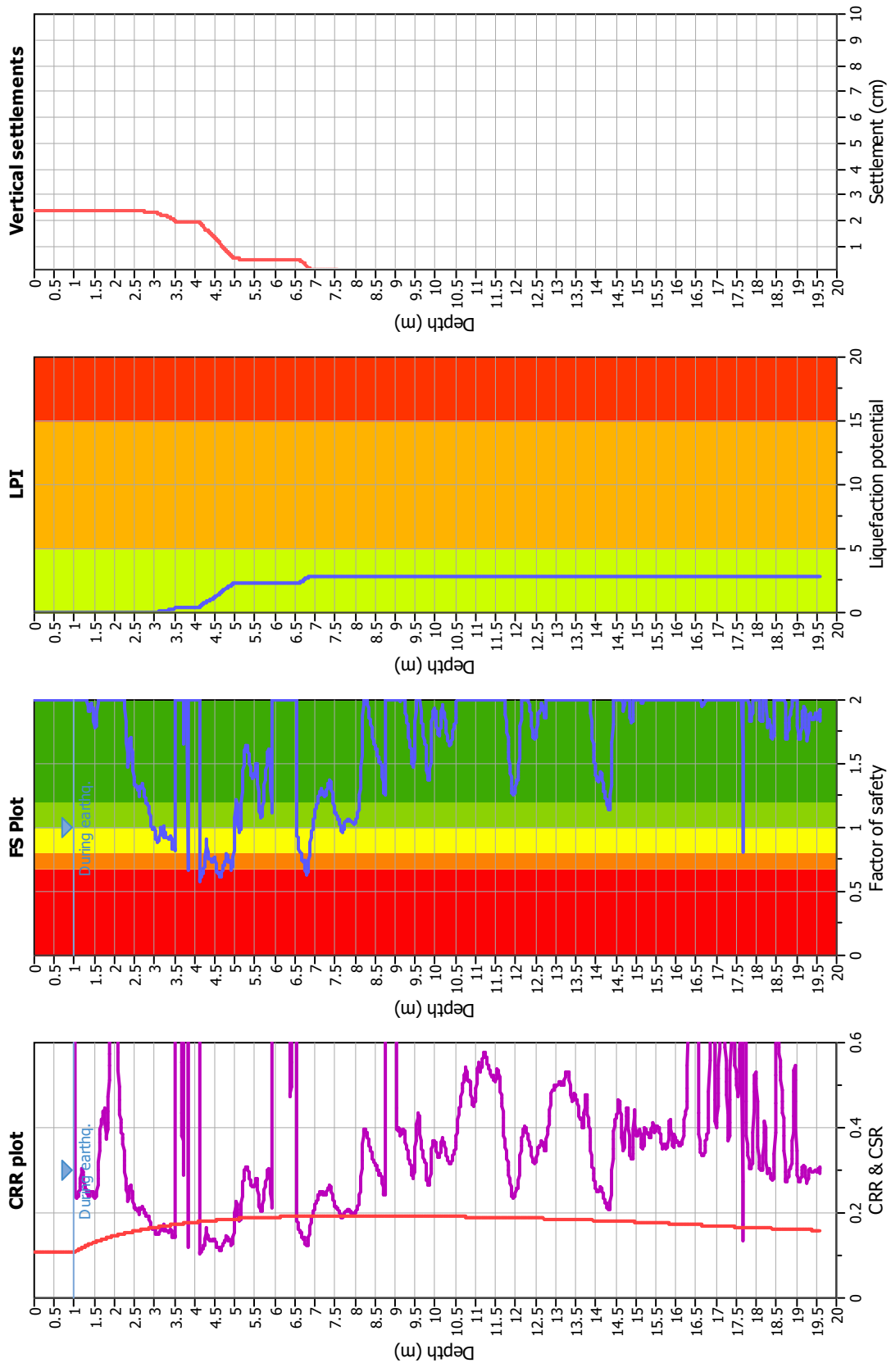
Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
	$IL \leq 2$ BASSO
8.2	$2 < IL \leq 5$ MODERATO
	$5 < IL \leq 15$ ELEVATO
	$IL > 15$ ESTREMAMENTE ELEVATO



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.23
 Depth to water table (insitu): 1.50 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

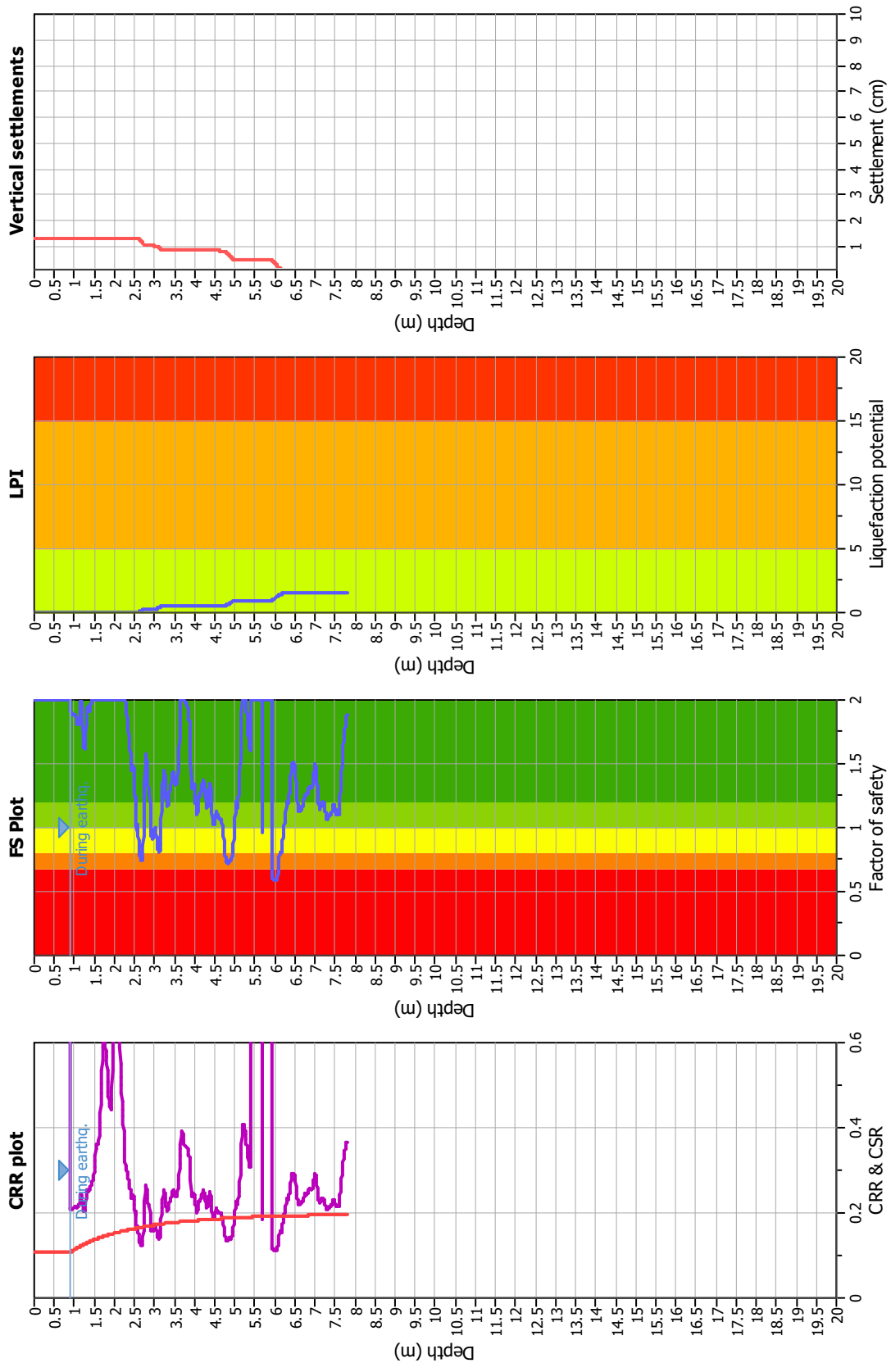
F. S. color scheme

- 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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	0.90 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	0.90 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K _σ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

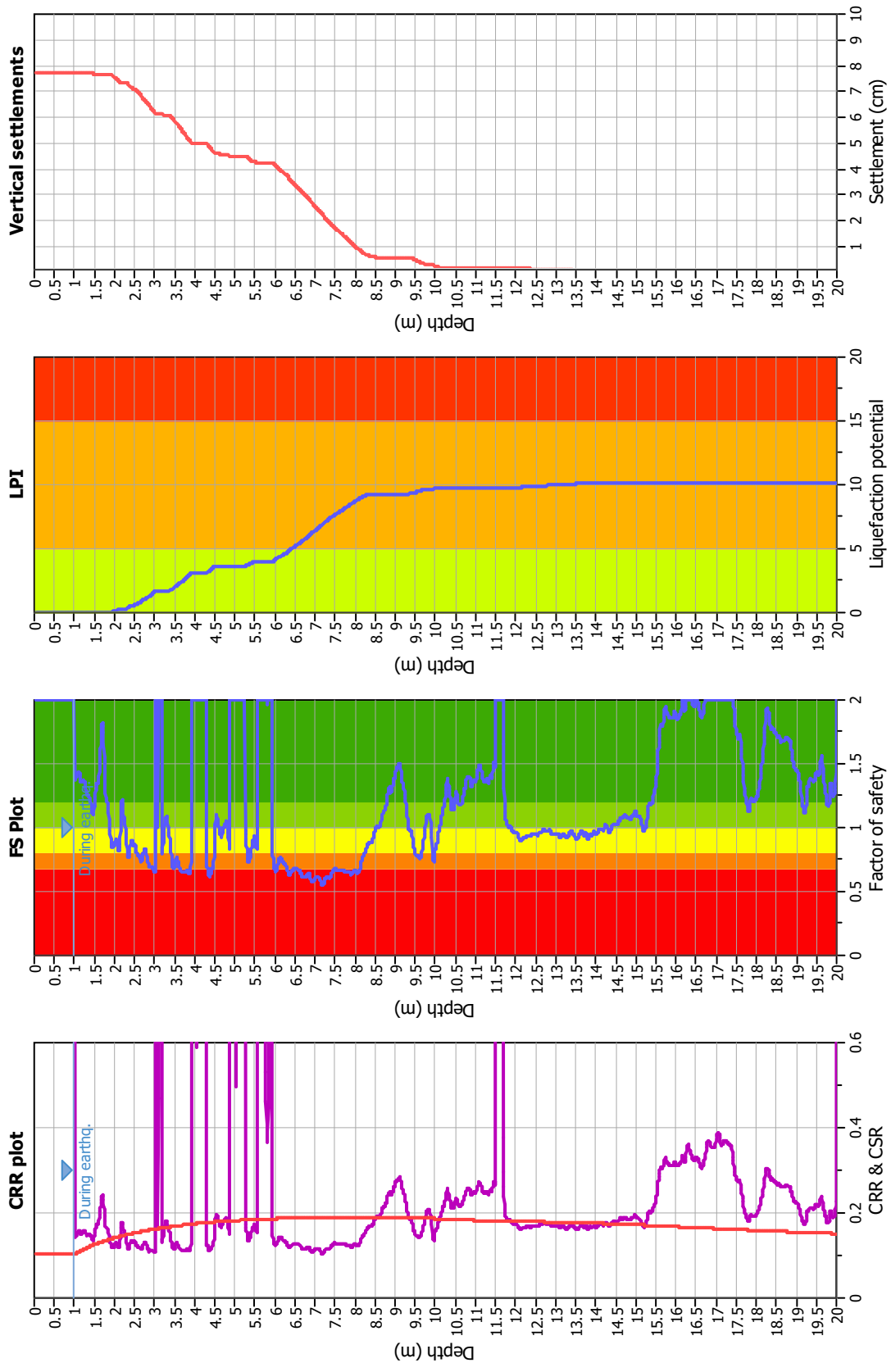
F.S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.22
 Depth to water table (insitu): 1.20 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

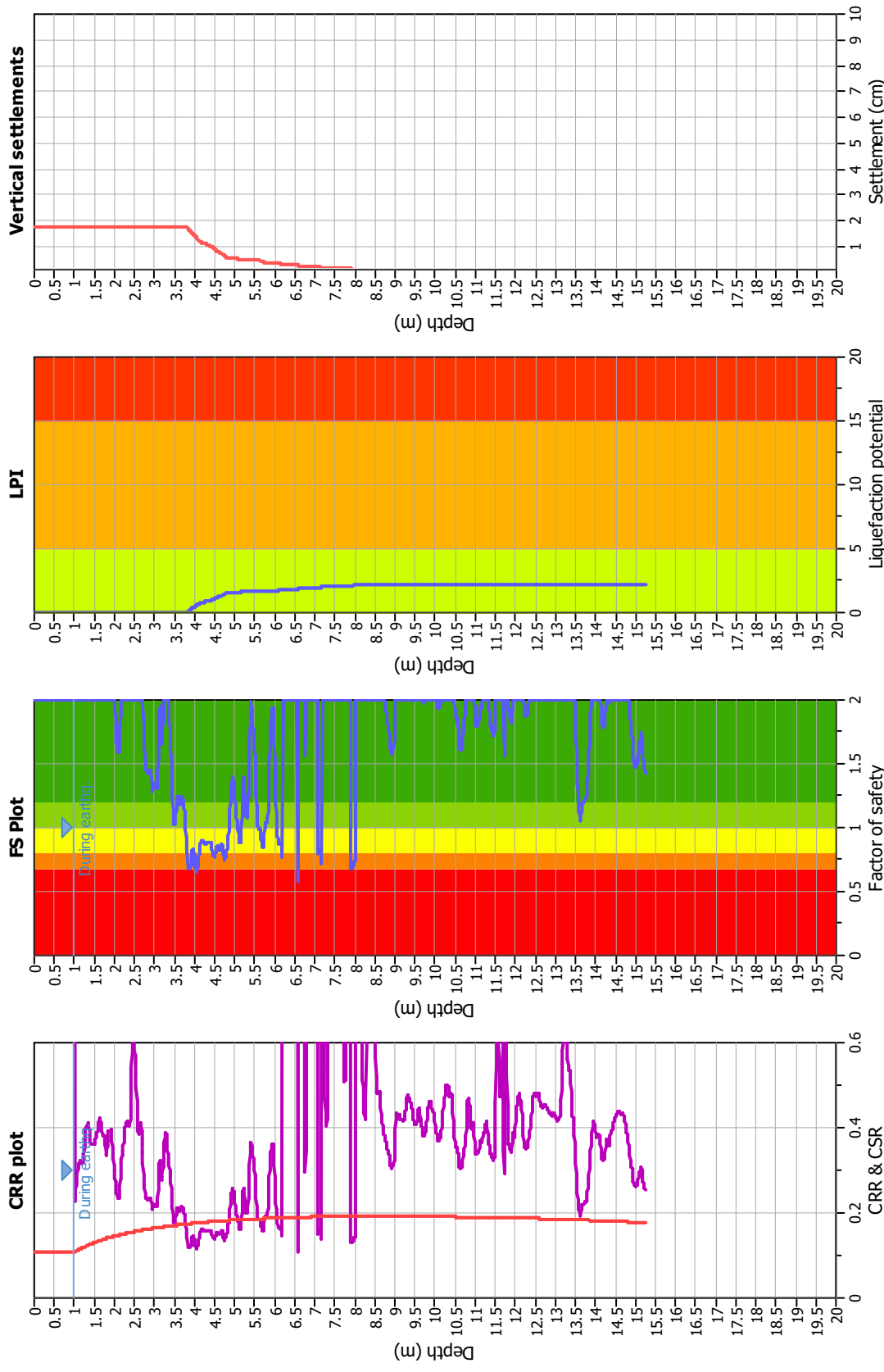
F. S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.23
 Depth to water table (insitu): 1.70 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 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

Comune
Via
Localita'

Cervia
Anello Pini
Milano Marittima

Data
18-nov-09

CPT
Max Ag

Falda presunta
1 metri

039007P404CPTU485
0.202 g

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	28
Cedimento		30

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	1
Cedimento		30

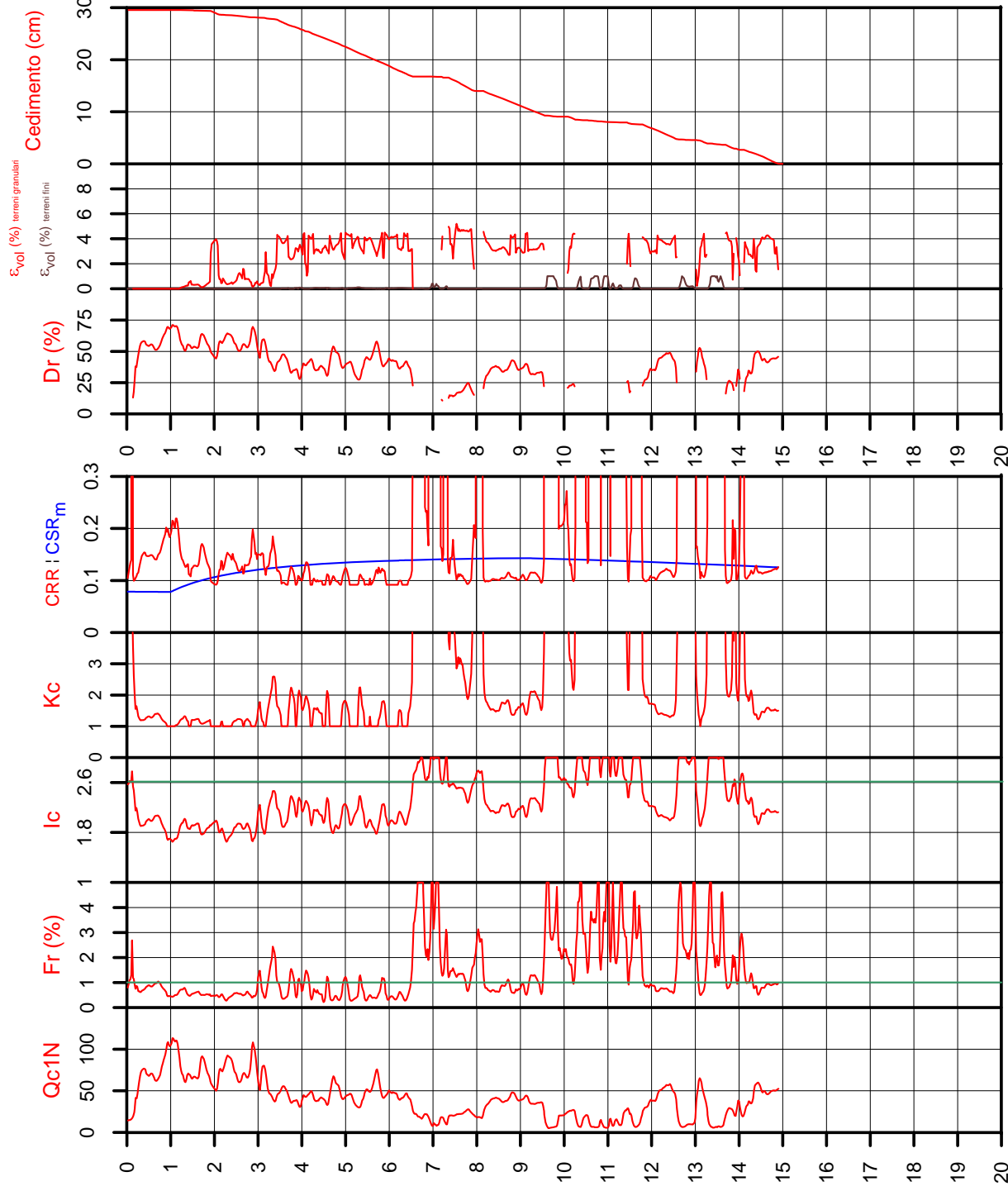
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
I _L ≤ -2	BASSO
-2 < I _L ≤ -5	MODERATO
-5 < I _L ≤ -15	ELEVATO
I _L > -15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Bollana
Montaletto di Cervia

Data
11-set-12

CPT
Max Ag

Falda presunta
3 metri

039007P408CPTU489

0.306 g

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	4

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	4

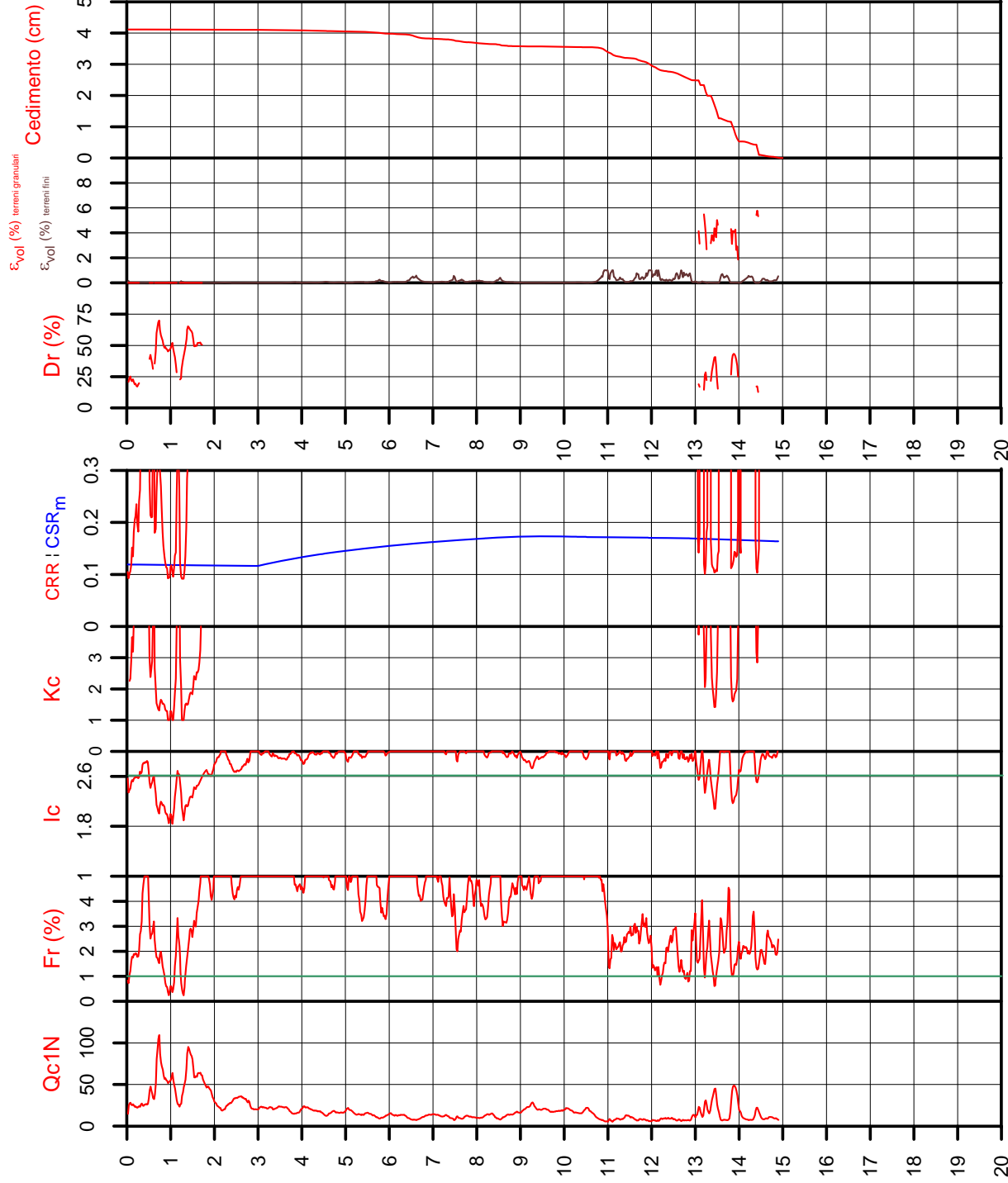
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.4	BASSO
2 < I _L <= 5	MODERATO
5 < I _L <= 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Rotonda Silvio pellico :
Cervia

CPT
Max Ag

039007P409CPTU490
0.225 g

Data
18-dic-09

Falda presunta

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale (cm)
	34	35

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale (cm)
	2	35

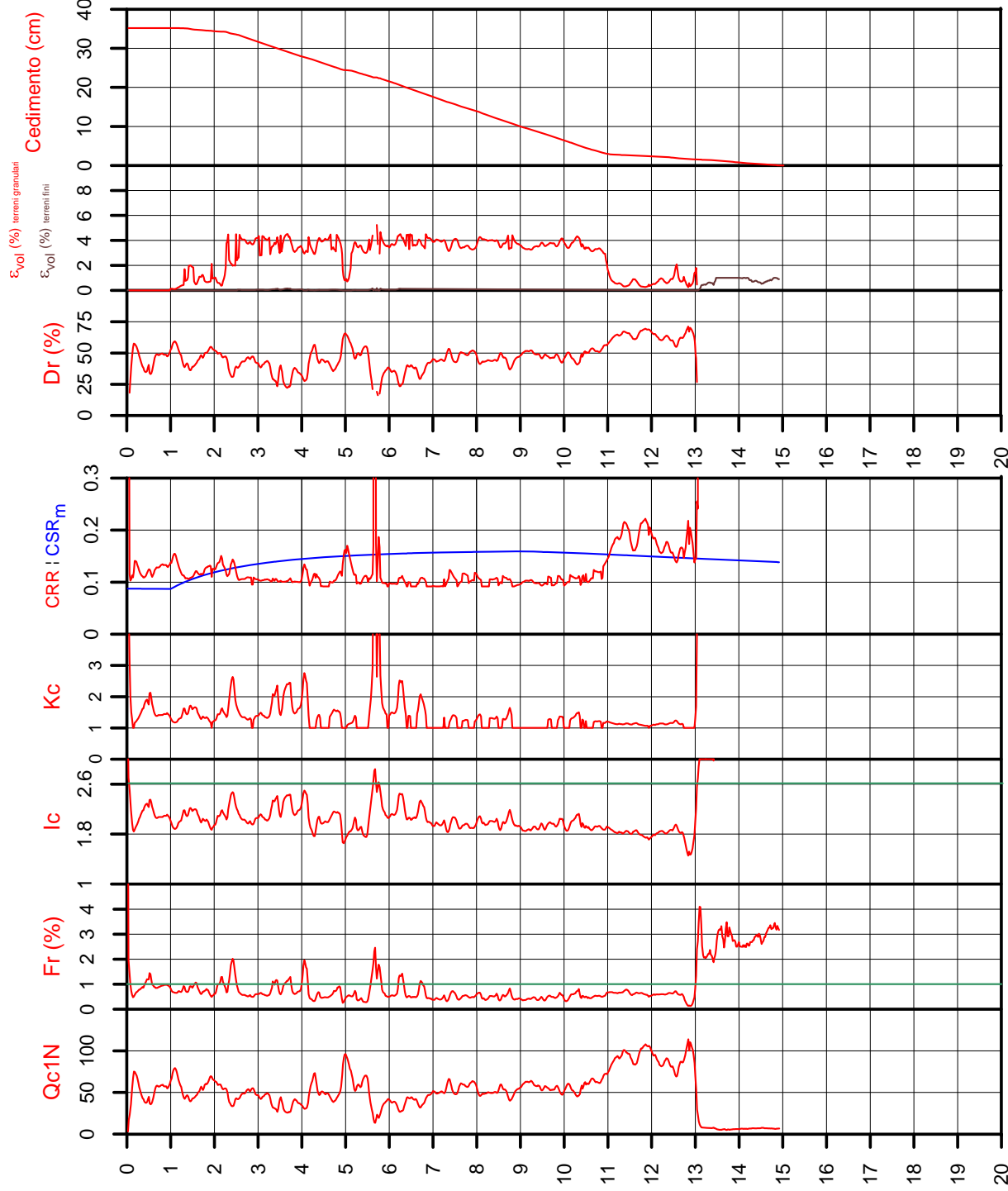
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
	$IL \leq -2$	BASSO
	$-2 < IL \leq -5$	MODERATO
	$-5 < IL \leq -15$	ELEVATO
16.8	$IL > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Max David
Cervia
Data 27/06/2012

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P411CPTU492
0.226 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	22	25

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	25

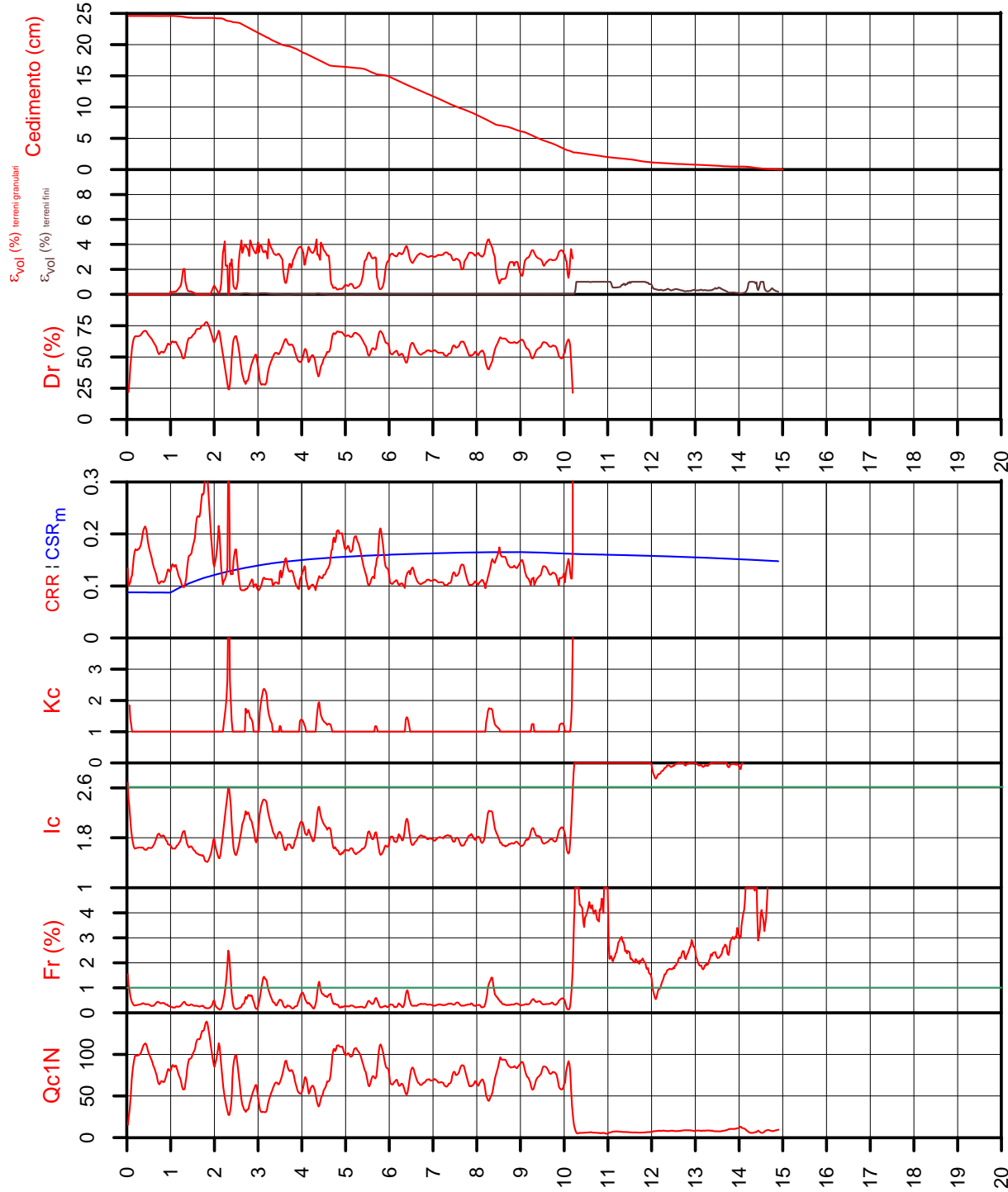
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Caduti per la liberta' 87
Cervia

Data
2-dic-10

CPT

Max Ag

Falda presunta

039007P412CPTU493

0.226 g

0.9 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009
* Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale

- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	28	31

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	31

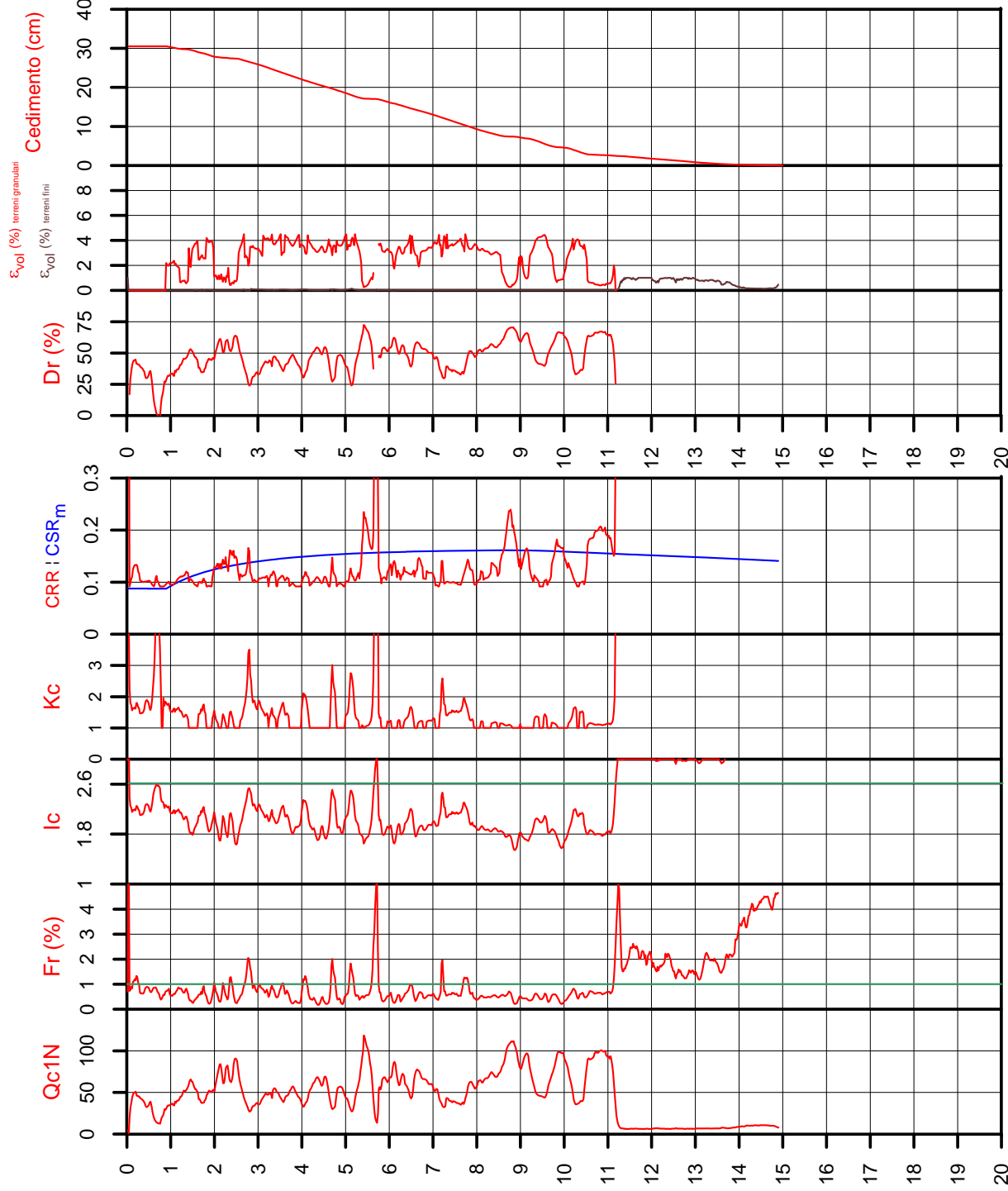
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

cervia
caduti per la liberta'
cervia

Data
7-apr-07

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P413CPTU494
0.226 g
0.6 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	12	15

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	15

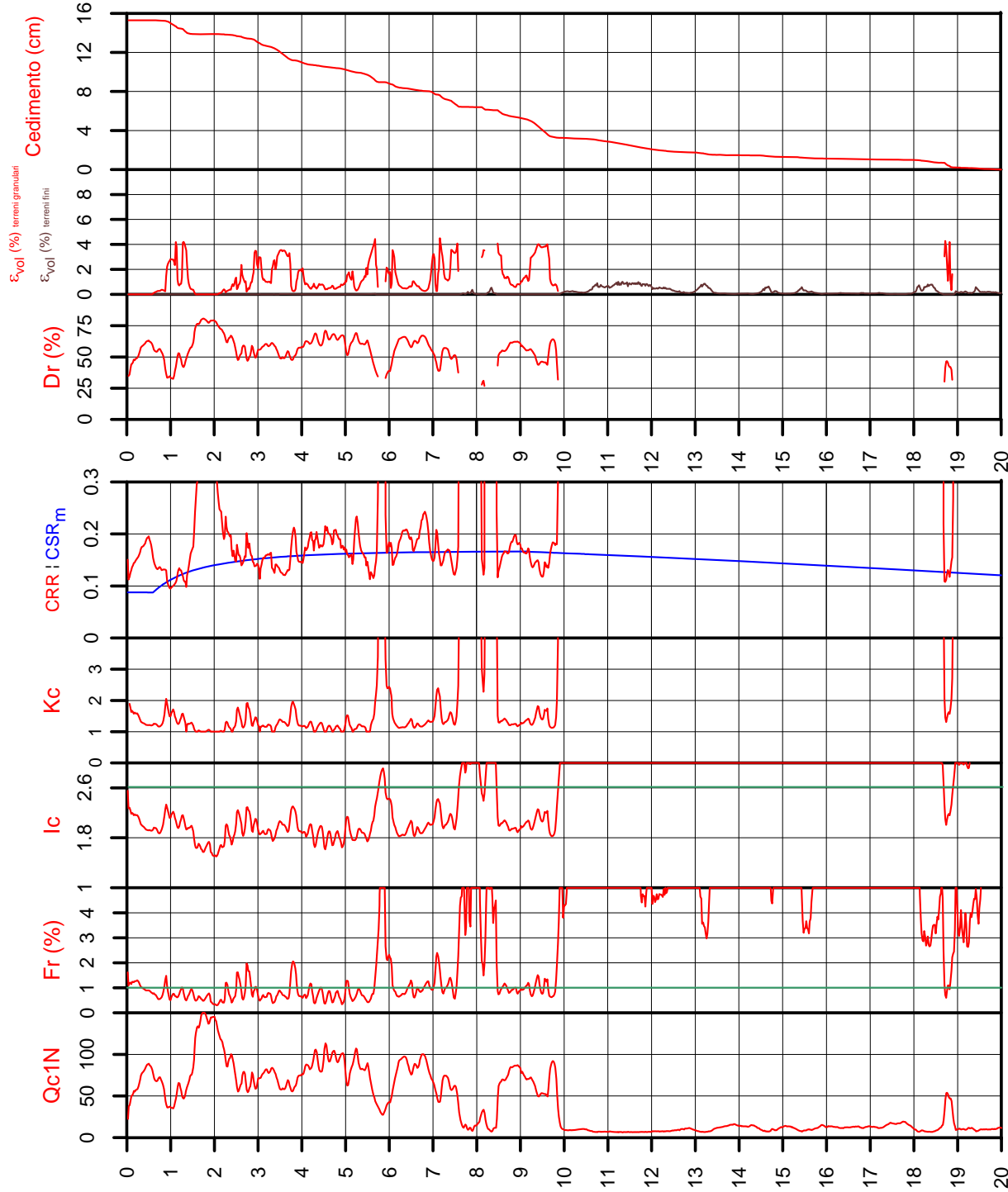
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondita.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondita

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Malva sud
Cervia

Data
9-dic-11

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P414CPTU495
0.226 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	11
Cedimento		16

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	4
Cedimento		16

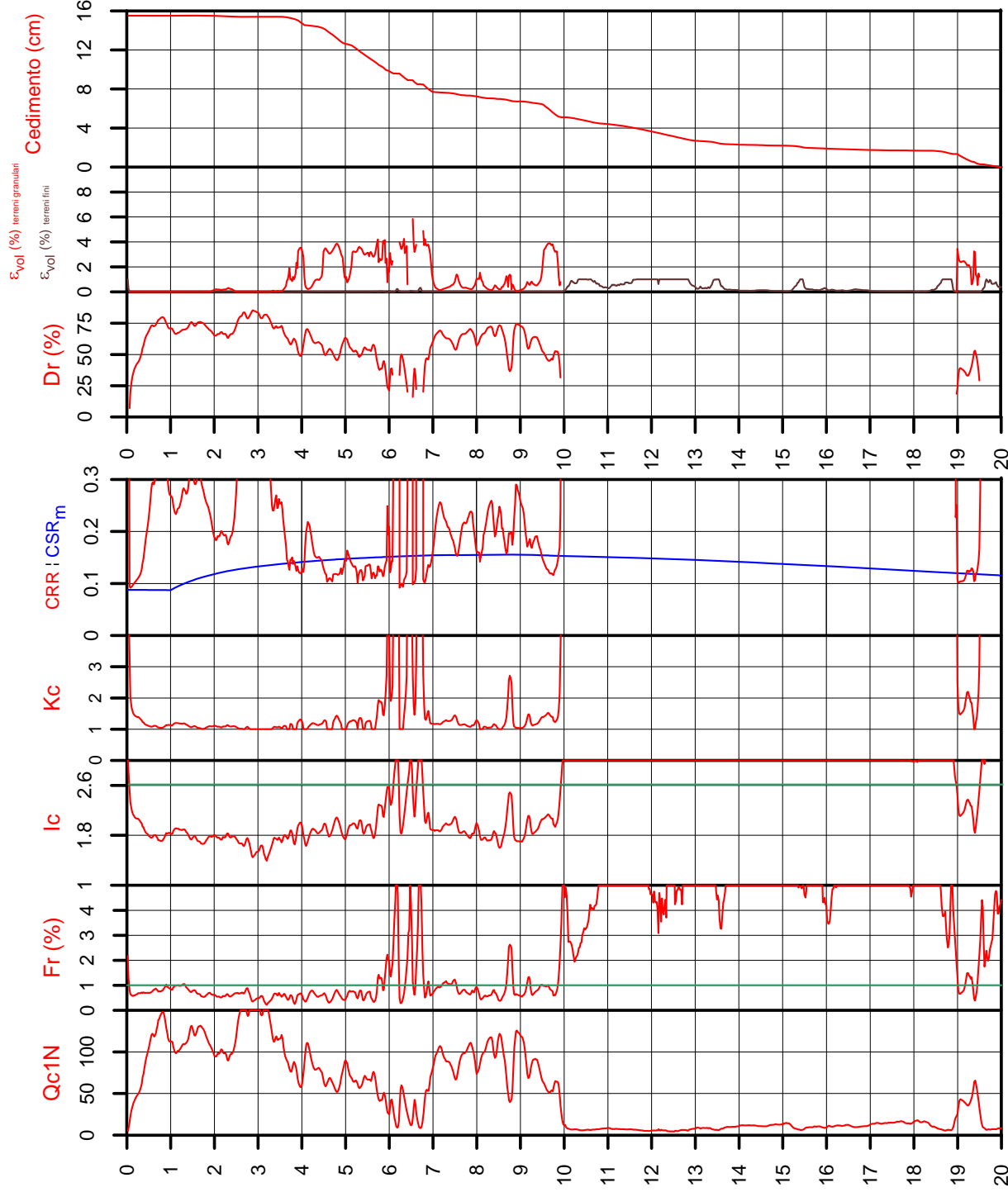
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
I _L <= 2	BASSO
2 < I _L <= 5	MODERATO
5 < I _L <= 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

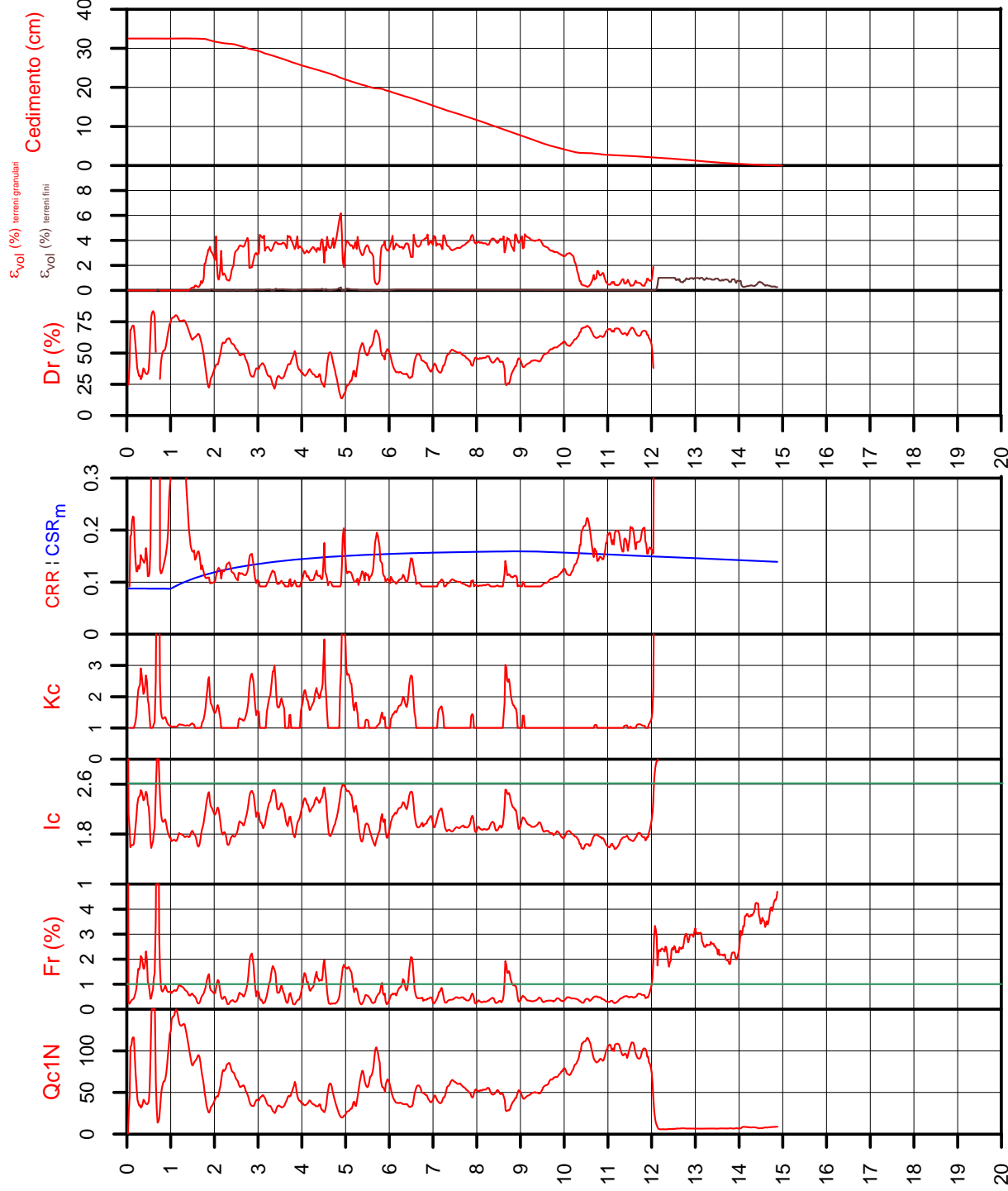
Cervia
Viale Titano 21
Pinarella

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P415CPTU496
0.226 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

Data
19-Sep-08



PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento (cm)
		30

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	33

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune
Via
Localita'

Cervia
Caduti per la Libertà 2
Pinarella

Data
6-nov-15

CPT

Max Ag

Falda presunta

039007P416CPTU497

0.228 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	7
Cedimento		

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)	8
Cedimento	2		

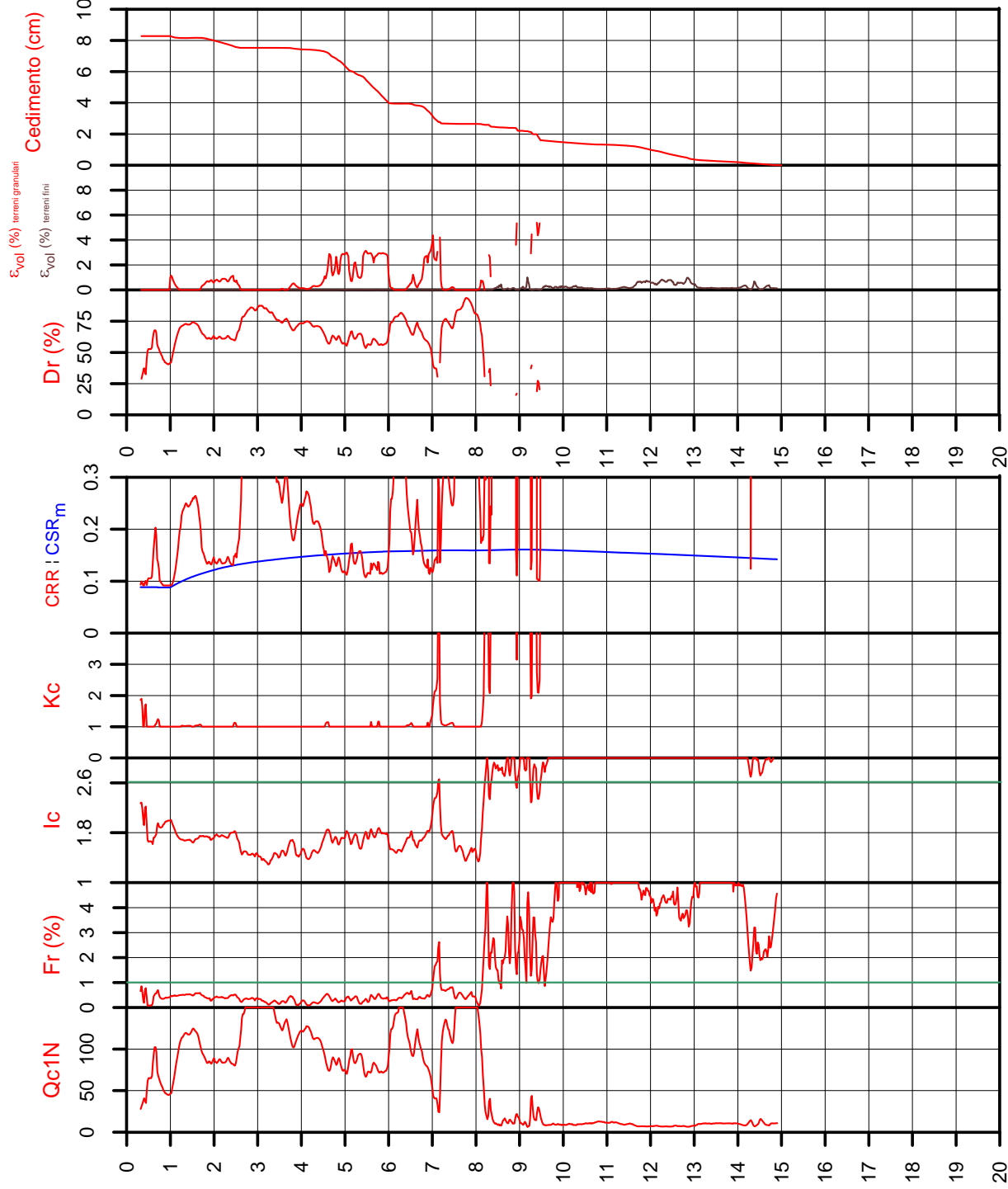
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq -5$	MODERATO
$-5 < I_L \leq -15$	ELEVATO
$I_L > -15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Via Calabria
Pinarella

Data
21-ott-15

CPT

Max Ag

Falda presunta

039007P417CPTU498

0.228 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	5
Cedimento		6

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	1
Cedimento		6

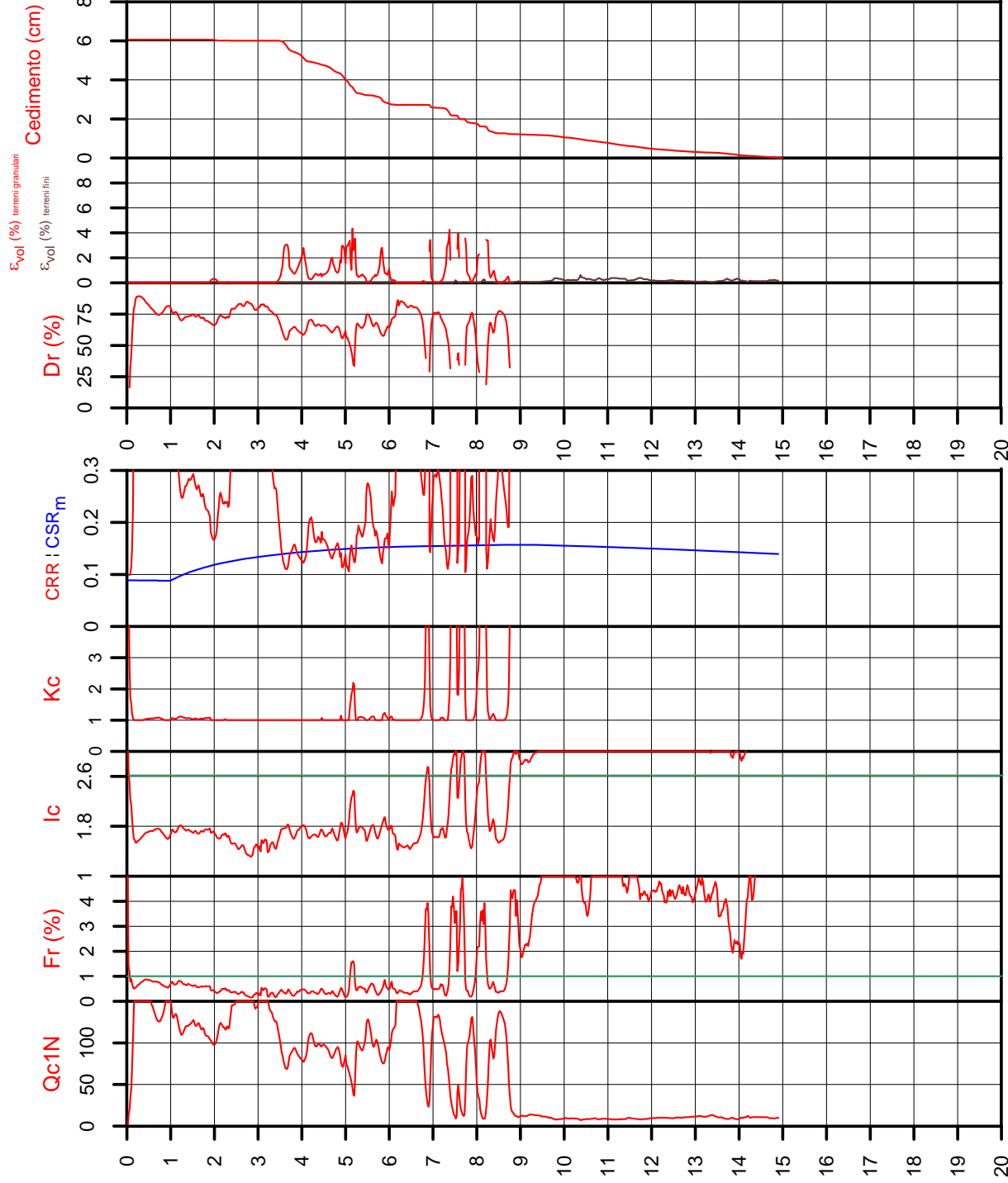
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
1.3	BASSO
$2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
SS 16 - SS71 bis
Tagliata

Data
30/12/2011

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P418CPTU499
0.228 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	7	9

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	9

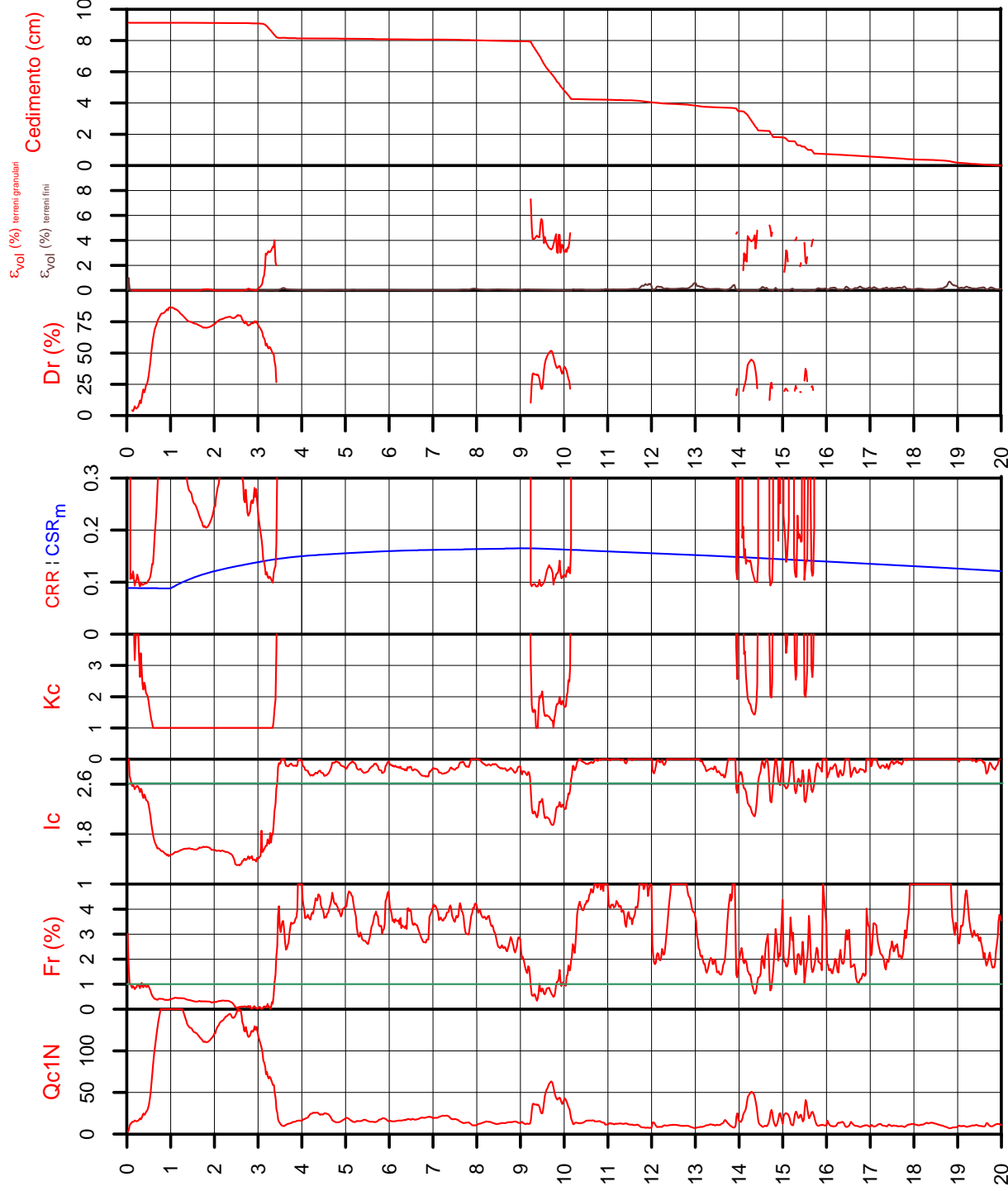
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

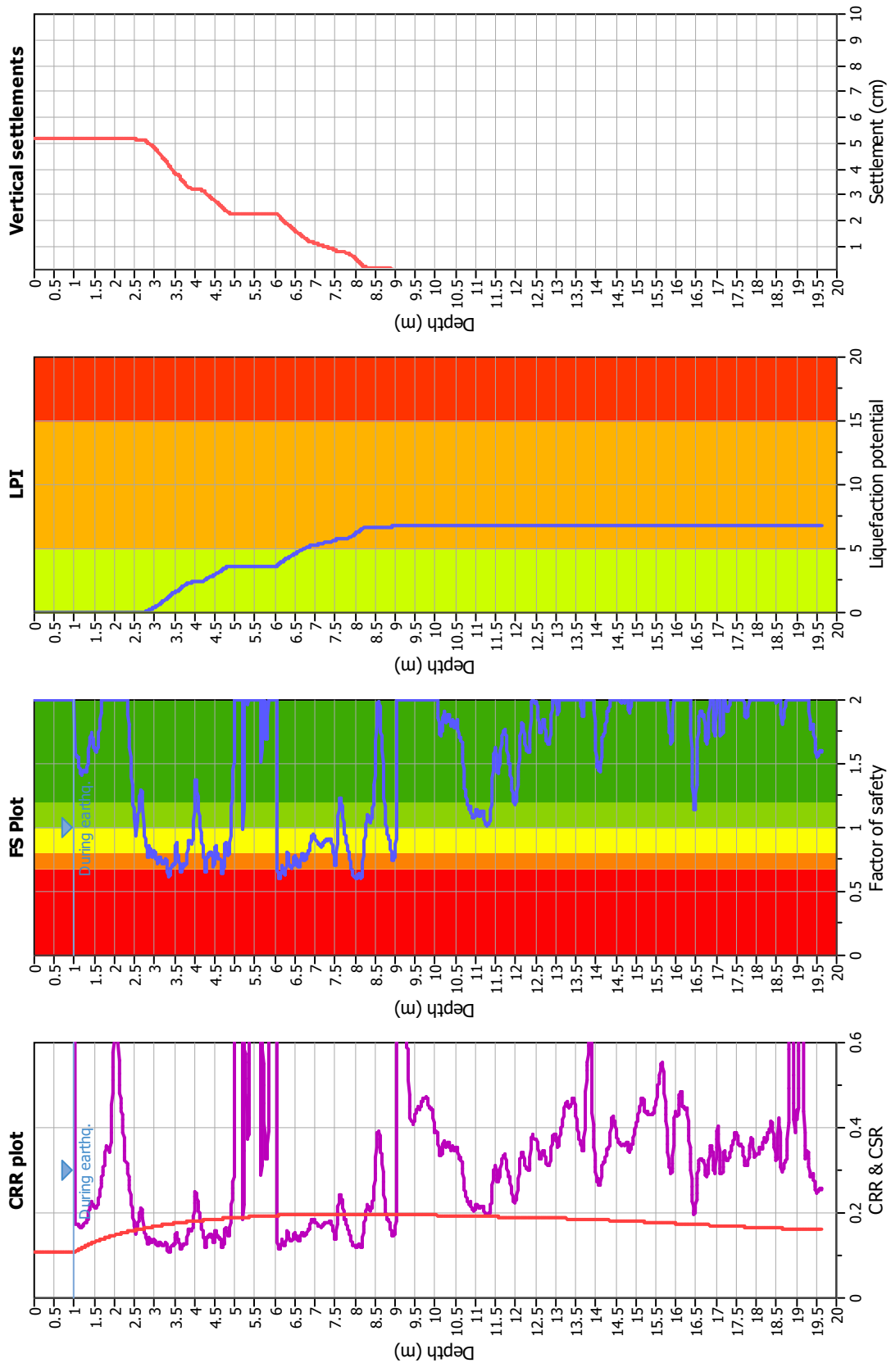
Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq 2$	BASSO
$2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K _σ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

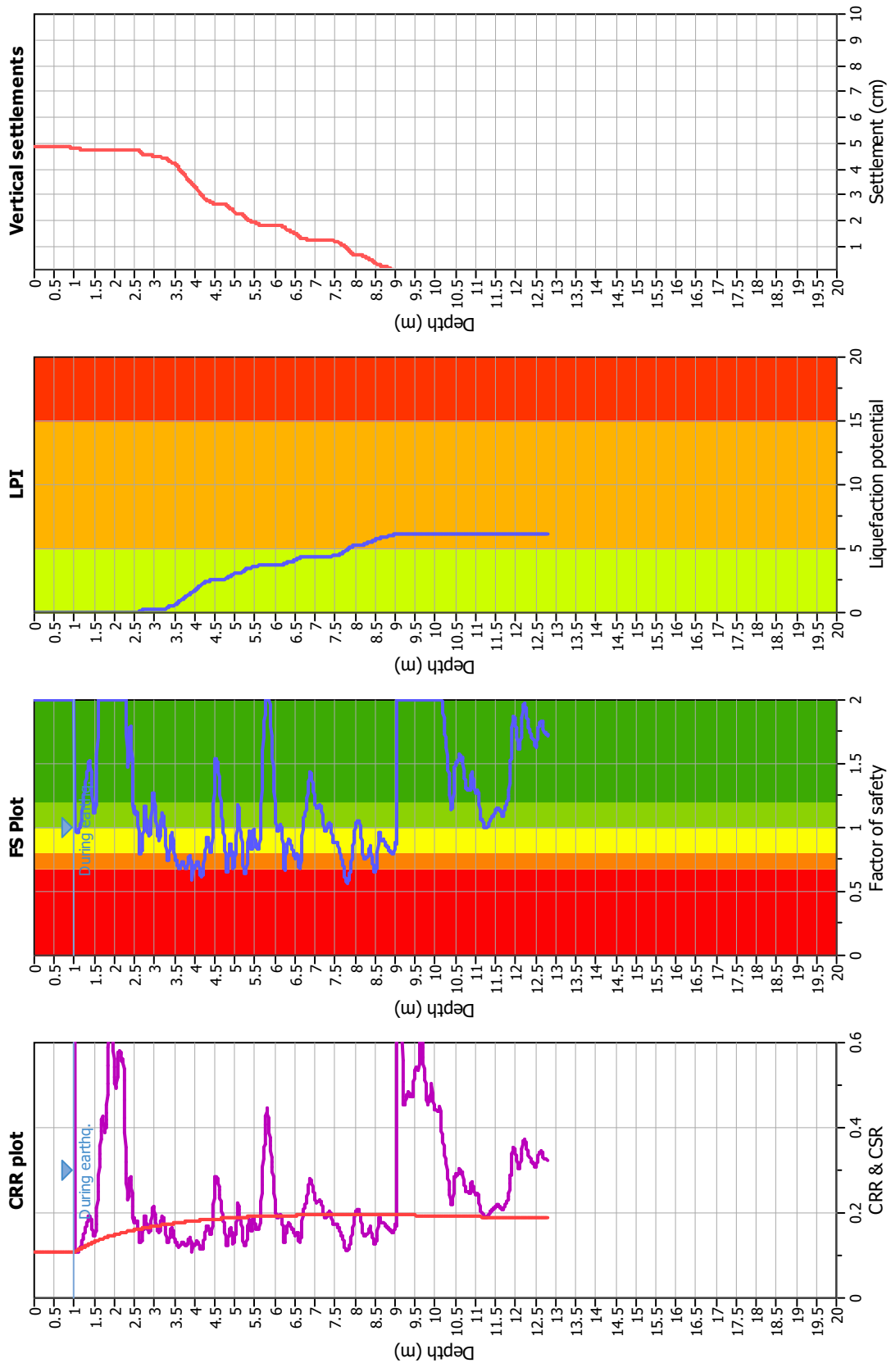
F. S. color scheme

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.10 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K _σ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

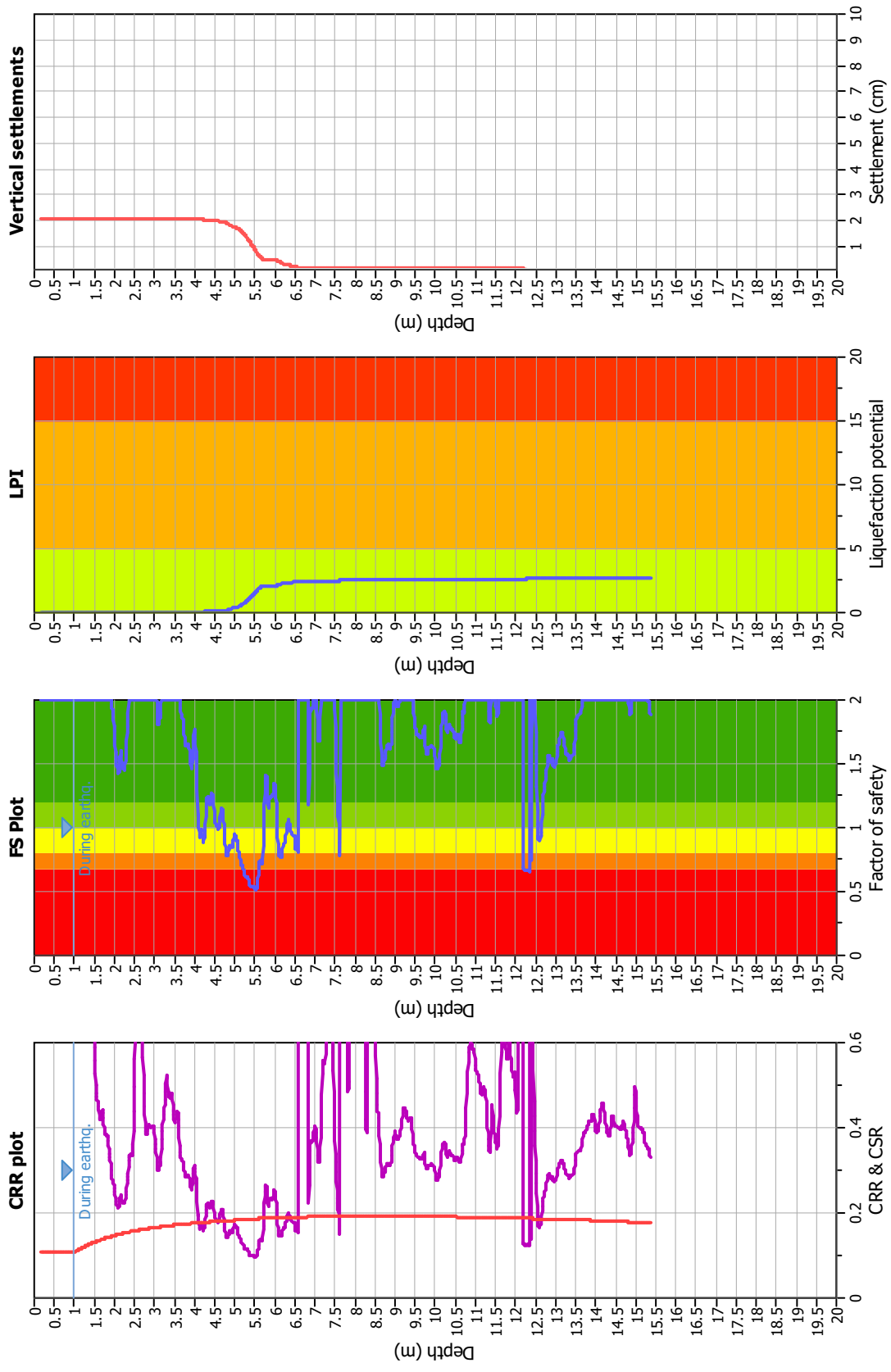
F. S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.23
 Depth to water table (insitu): 1.90 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 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

Comune
Via
Localita'

Cervia
Anello Pini
Milano Marittima

Data
18-nov-09

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P423CPTU504

0.202 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento (cm)
		24

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	25

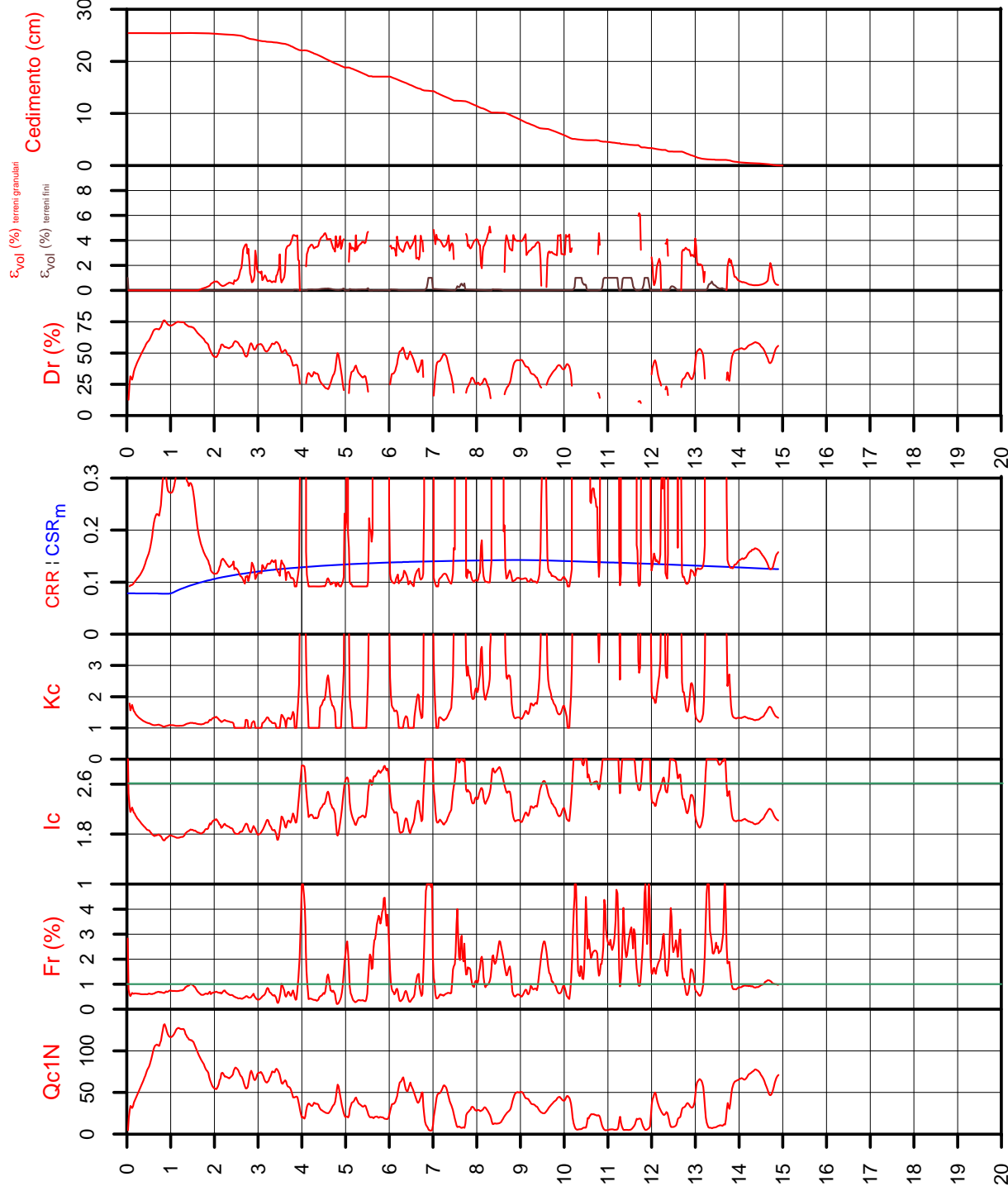
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Martiri Fantini
Cervia

CPT
Max Ag

039007P424CPTU505
0.226 g

Data 25/05/2010

Falda presunta

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	14	18

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	4	18

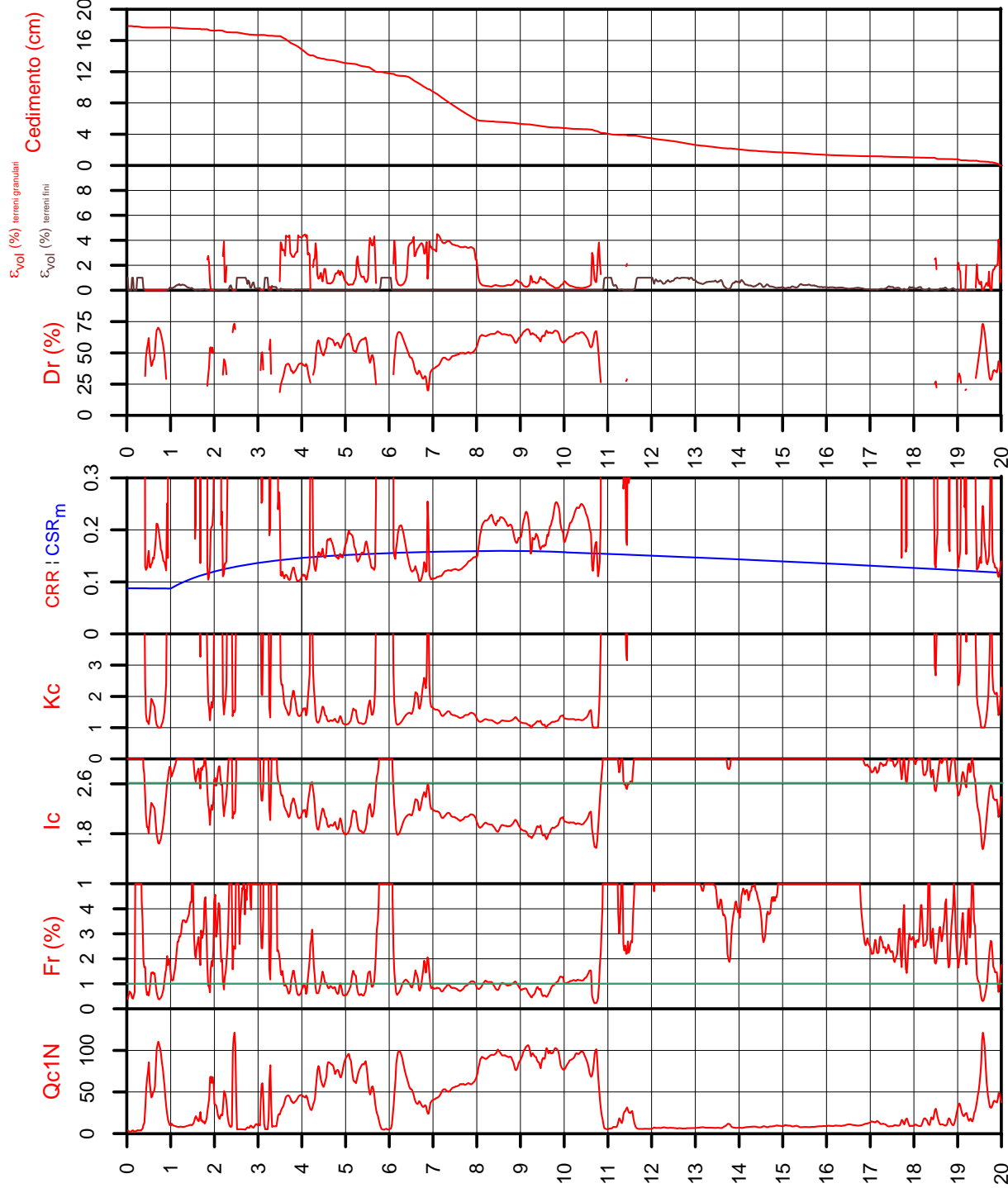
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
4.0	$I_L \leq 2$ BASSO
	$2 < I_L \leq 5$ MODERATO
	$5 < I_L \leq 15$ ELEVATO
	$I_L > 15$ ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

cervia
caduti per la liberta'
cervia

CPT
Max Ag

039007P425CPTU506
0.226 g
0.6 metri

Data
7-apr-07

Falda presunta

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento (cm)
	10	11

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	11

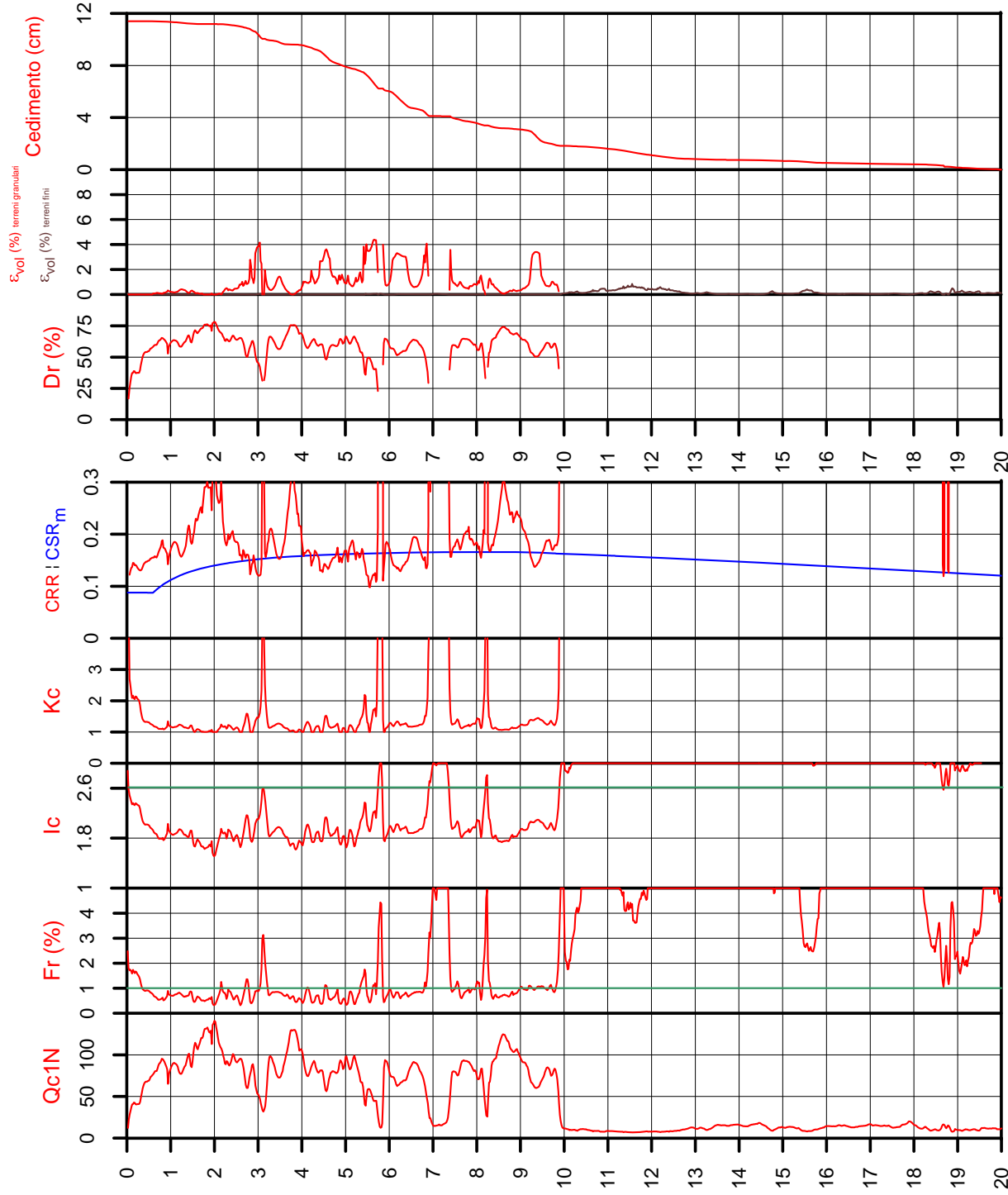
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondita.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondita

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
I _L <= 2	BASSO
2 < I _L <= 5	MODERATO
5 < I _L <= 15	ELEVATO
I _L > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Malva sud
Cervia

Data
9-dic-11

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P426CPTU507
0.226 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ns per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento (cm)
		14
Cedimento		18

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	4	18
Cedimento		18

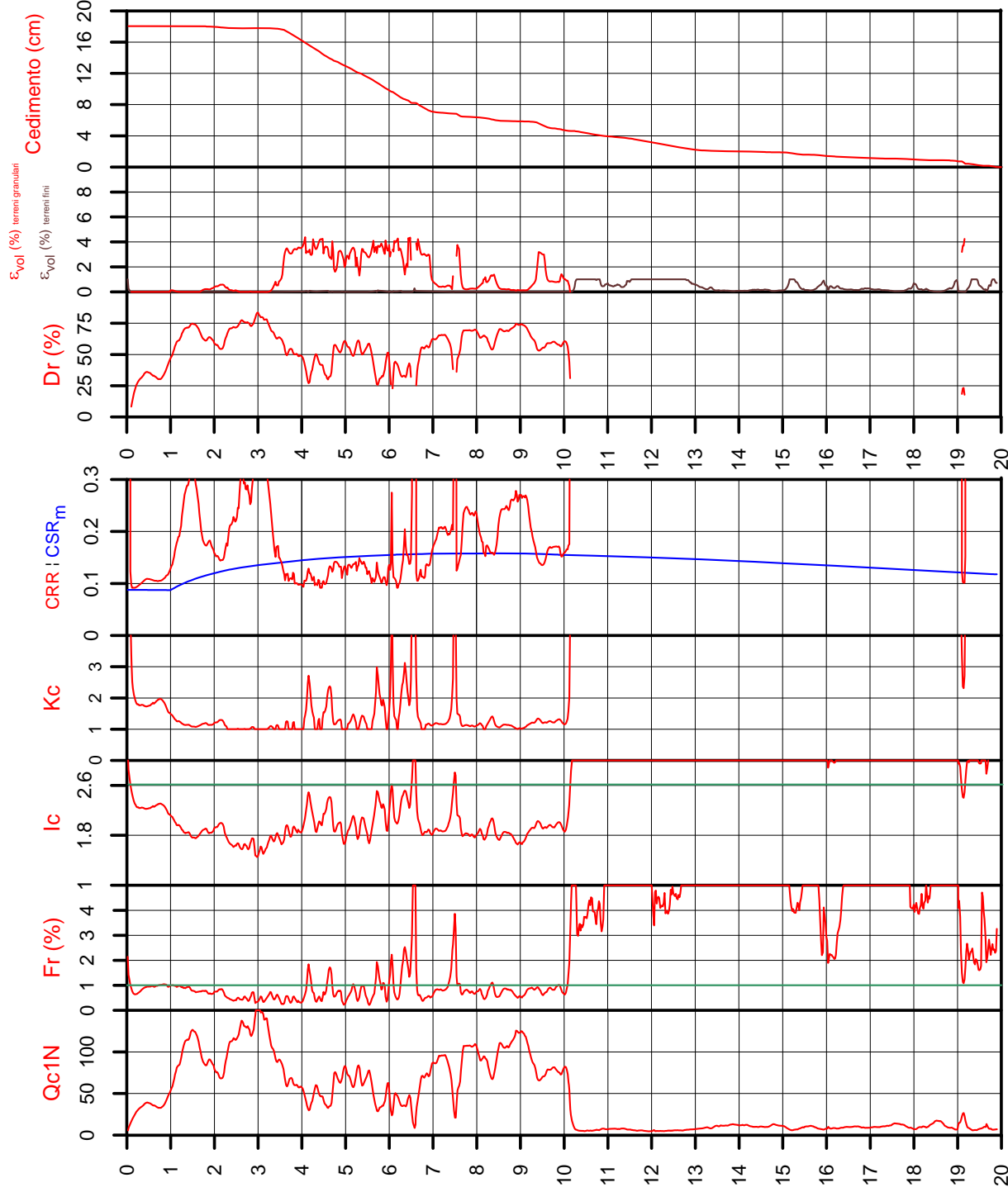
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

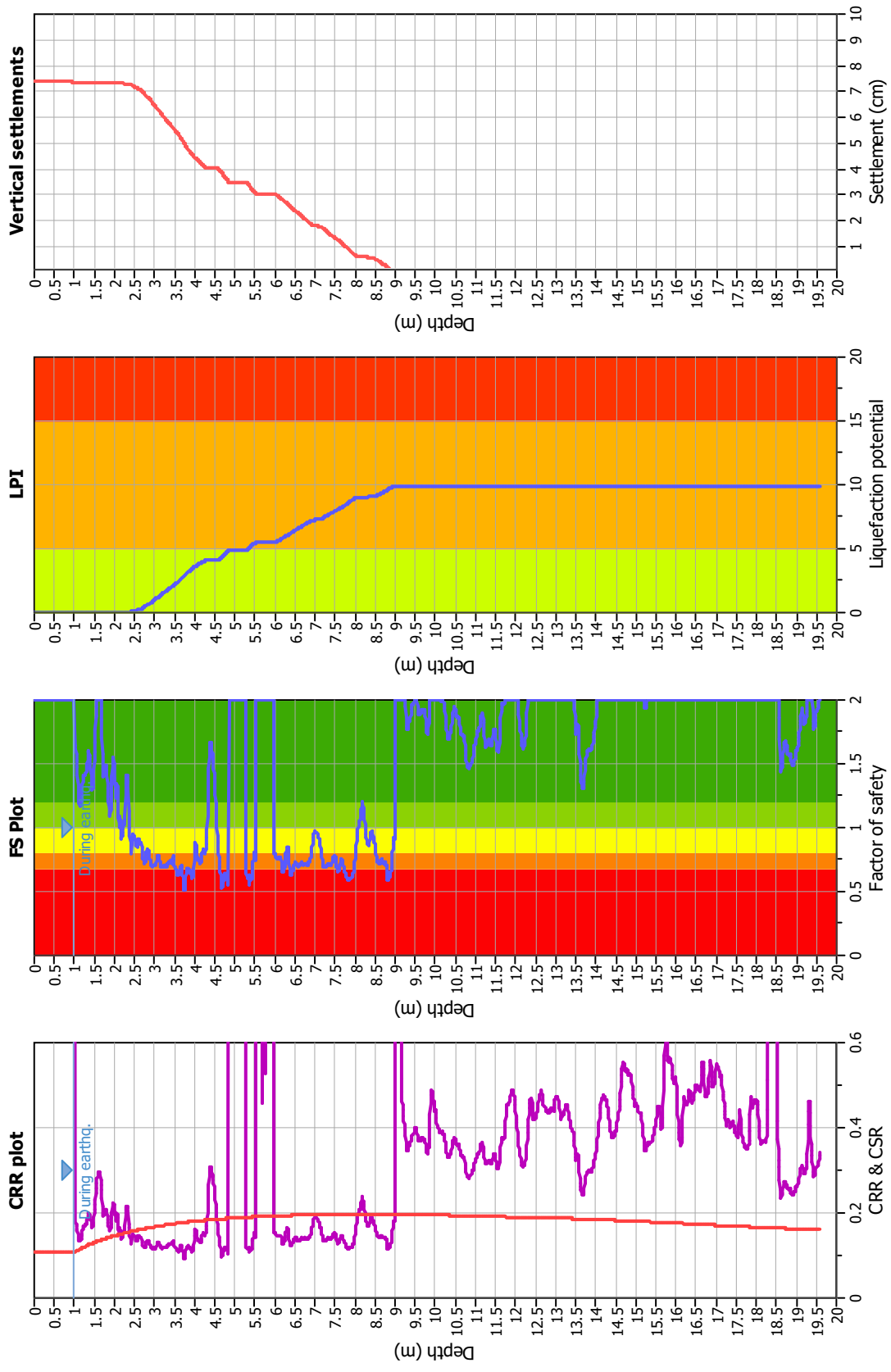
Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$I_L \leq -2$	BASSO
$-2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.23
 Depth to water table (insitu): 1.50 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 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

Comune
Via
Localita'

Cervia
Anello Pini
Milano Marittima

Data
18-nov-09

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P428CPTU509

0.202 g

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA'

per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	32	35

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	35

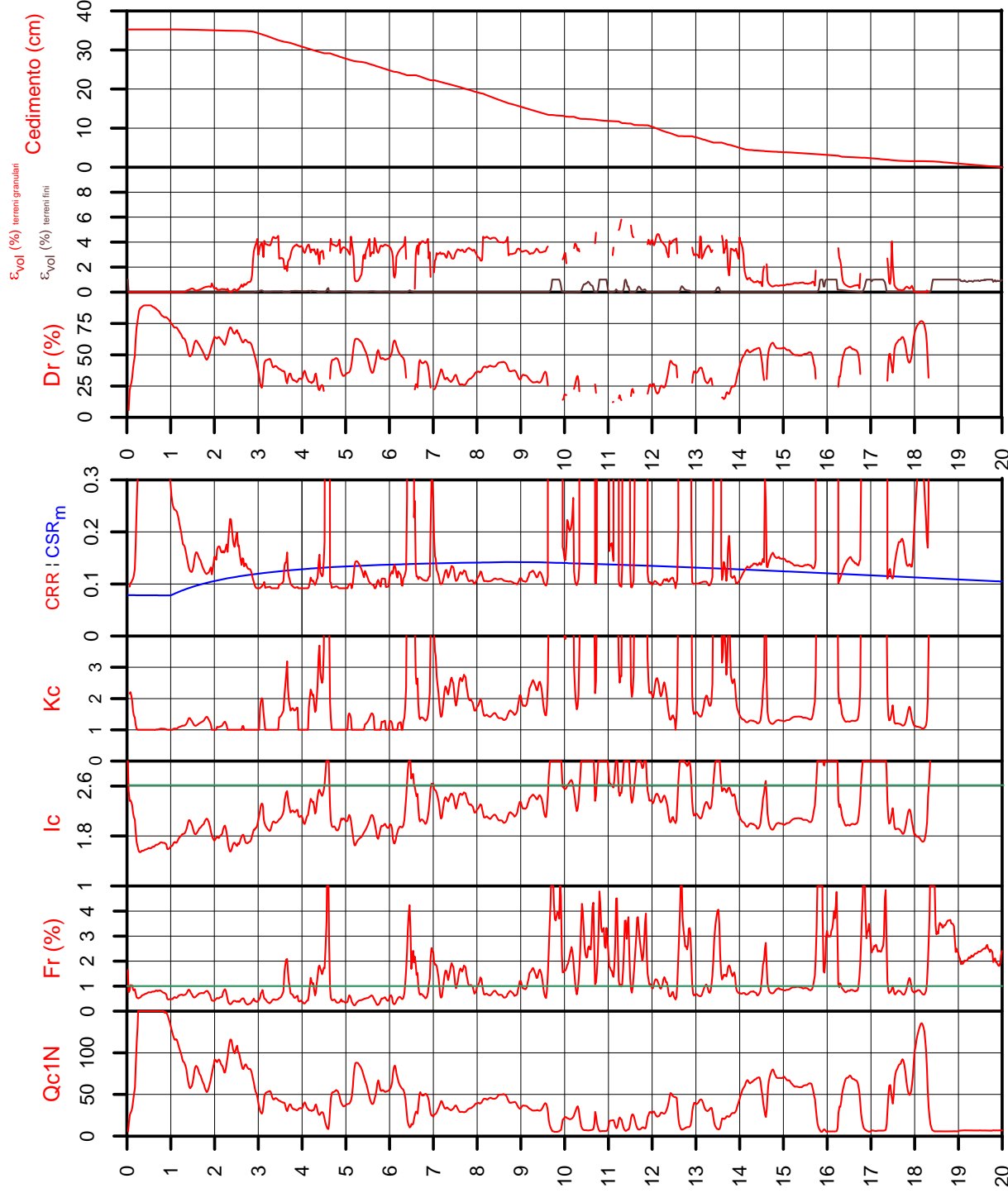
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
	$I_L \leq -2$ BASSO
	$-2 < I_L \leq -5$ MODERATO
10.4	$-5 < I_L \leq -15$ ELEVATO
	$I_L > -15$ ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Martiri Fantini
Cervia

CPT
Max Ag

039007P429CPTU510
0.226 g

Data
25-mag-10

Falda presunta

1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con MSF = 1,67
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslmq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	18	25

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	7	25

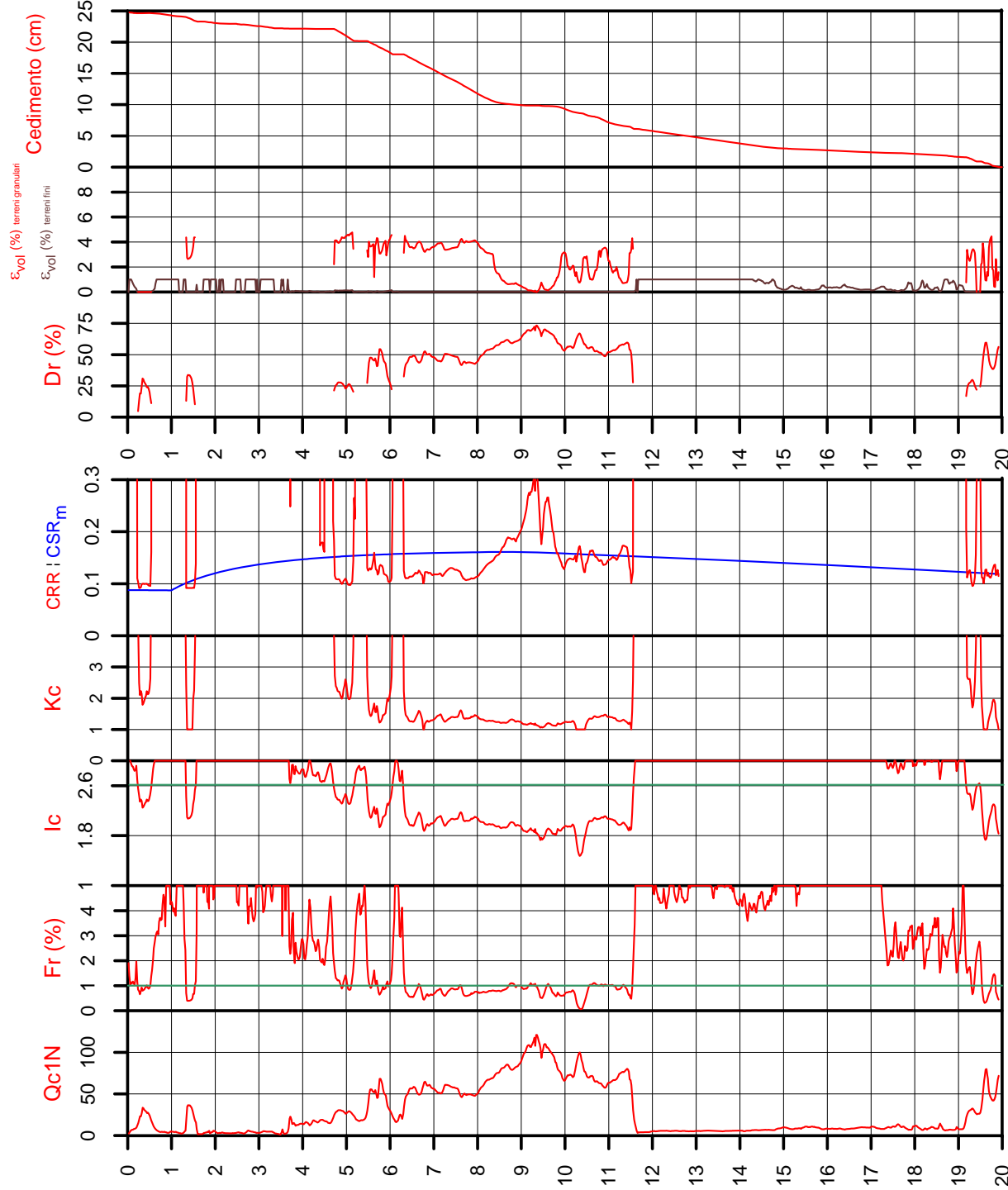
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslmq e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
	IL <= 2 BASSO
	2 < IL <= 5 MODERATO
5.9	5 < IL <= 15 ELEVATO
	IL > 15 ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

cervia
caduti per la liberta'
cervia

Data
6-apr-07

CPT
Max Ag

Falda presunta

039007P430CPTU511
0.226 g
0.6 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fsl_{liq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	10	12

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	2	12

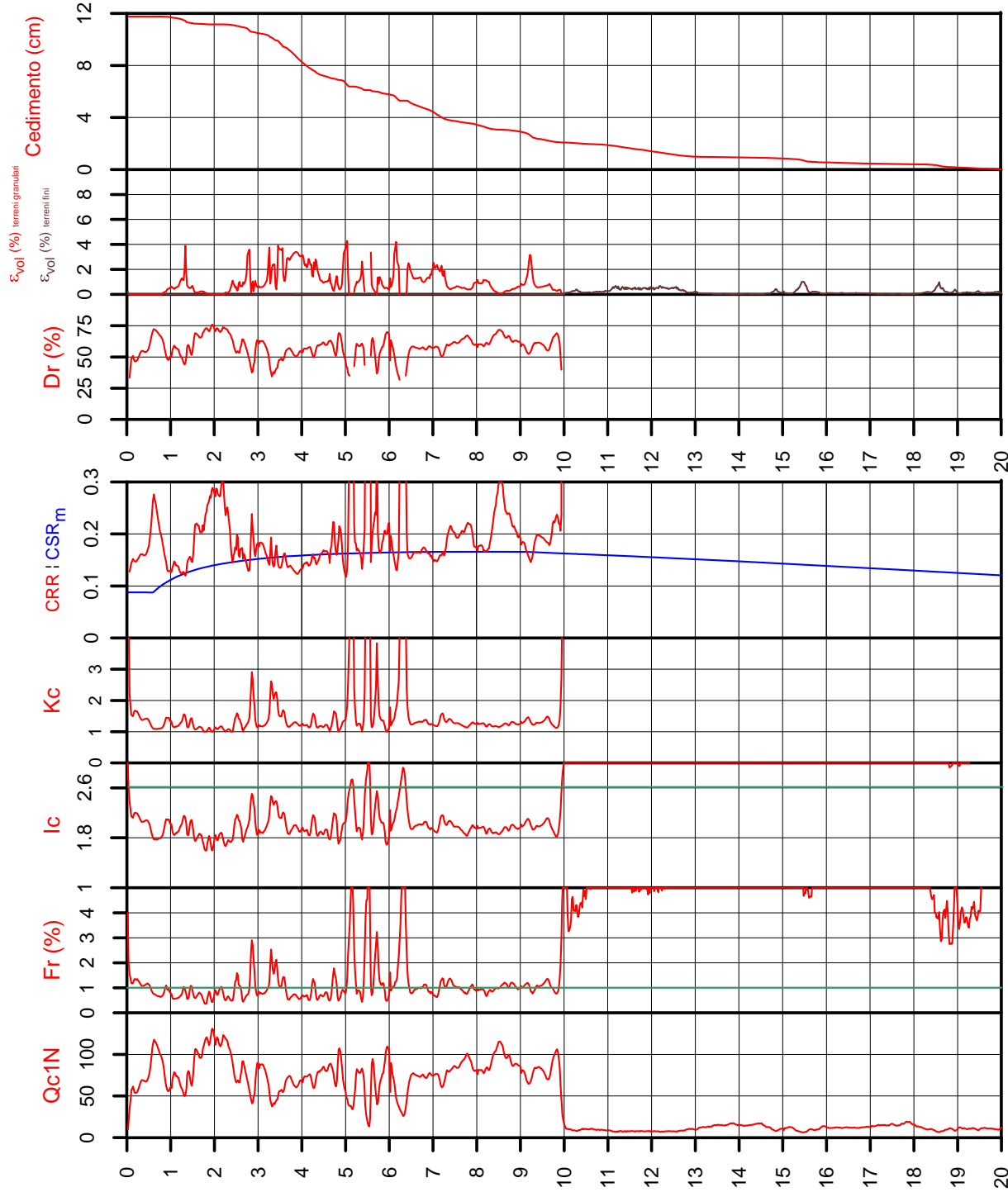
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl_{liq} e la profondita.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondita

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
1.8	BASSO
$2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

Cervia
Martiri Fantini
Cervia

Data
25/05/2010

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P431CPTU512
0.225 g
1 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale (cm)
	13	18

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale (cm)
	6	18

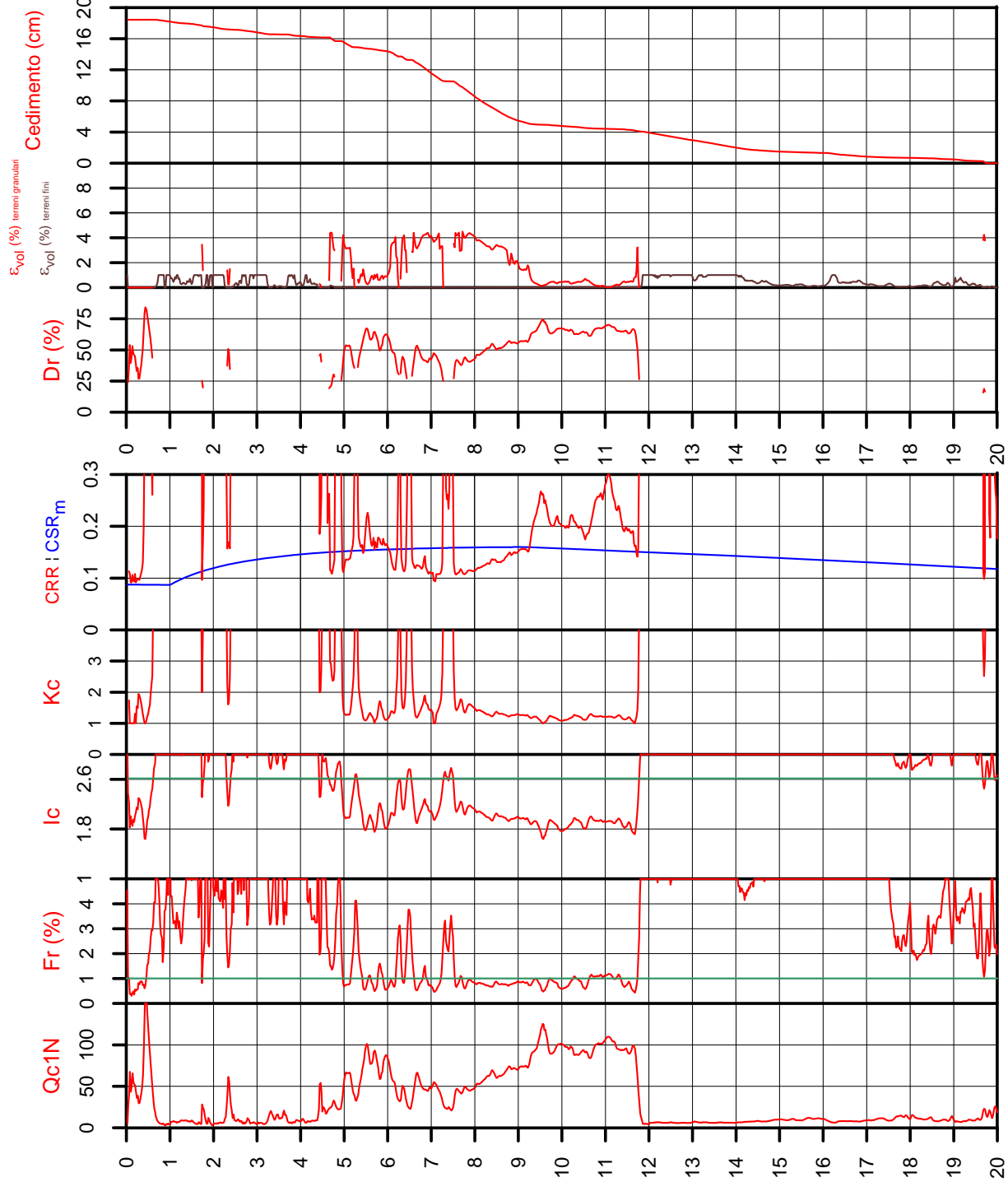
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
$IL \leq -2$	BASSO
$-2 < IL \leq 5$	MODERATO
$5 < IL \leq 15$	ELEVATO
$IL > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune
Via
Localita'

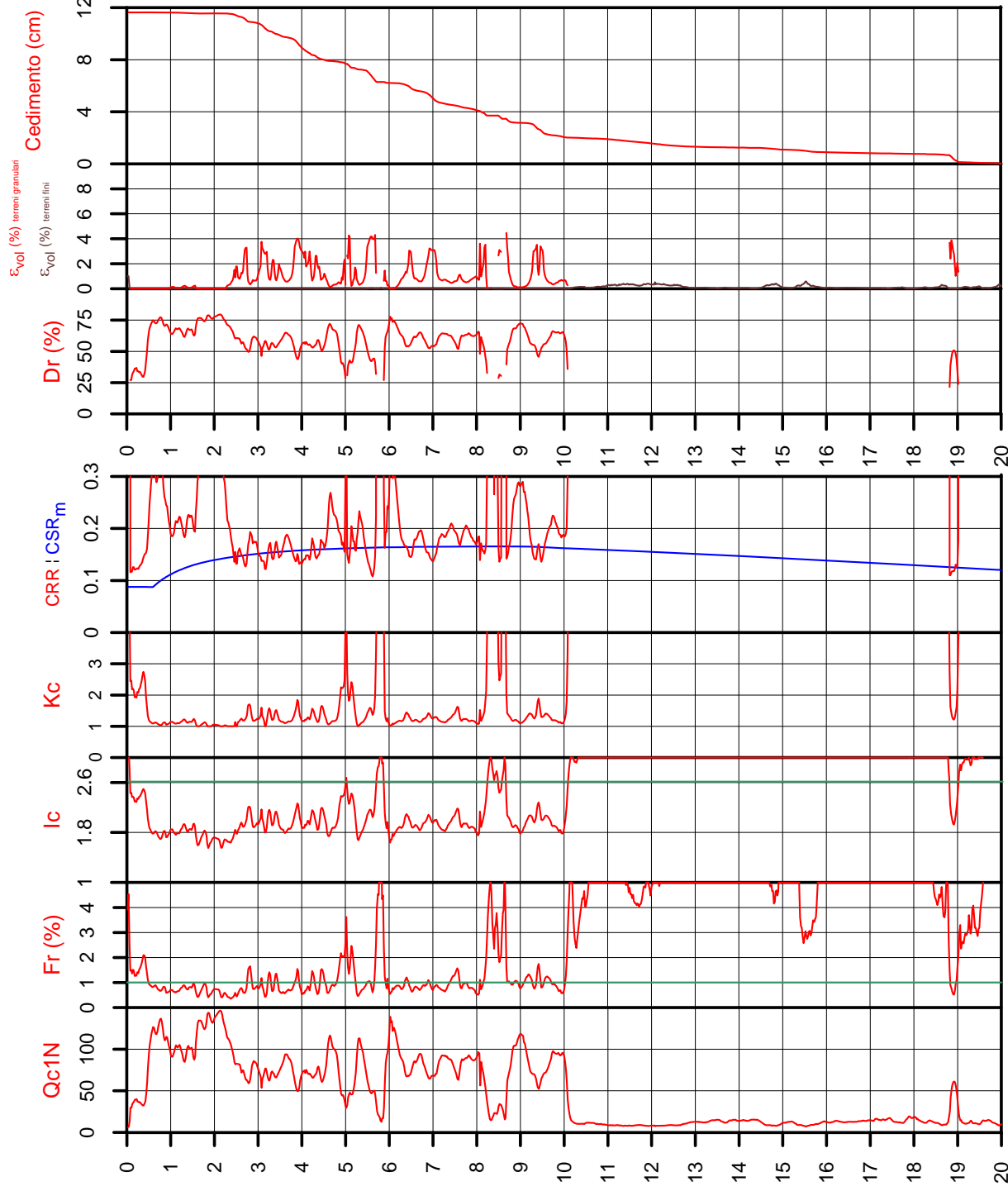
cervia
caduti per la liberta'
cervia

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P432CPTU513
0.226 g
0.6 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

Data
6-apr-07



PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- * CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- Qc1N secondo Robertson
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	10
Cedimento		10

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Robertson
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	2	Cedimento totale fini + granulari (cm)	12
Cedimento		2		12

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondità.

Parametri utilizzati:

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
1.9	BASSO
$2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune
Via
Localita'

cervia
caduti per la liberta'
cervia

Data
6-apr-07

CPT
Max Ag
Falda presunta

039007P433CPTU514
0.226 g
0.6 metri

VERIFICA DI LIQUEFACIBILITA' per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Cervia

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- Accelerazioni modellate secondo la Risposta Sismica Locale
- CSR 6.14 metodo Robertson 2009 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine) con $MSF = 1.67$
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Robertson
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
- Fattore di sicurezza per liquefazione: $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa D_r secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	7	10

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Robertson
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento calcolato tra piano campagna e 20m oppure massima profondita della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
	3	10

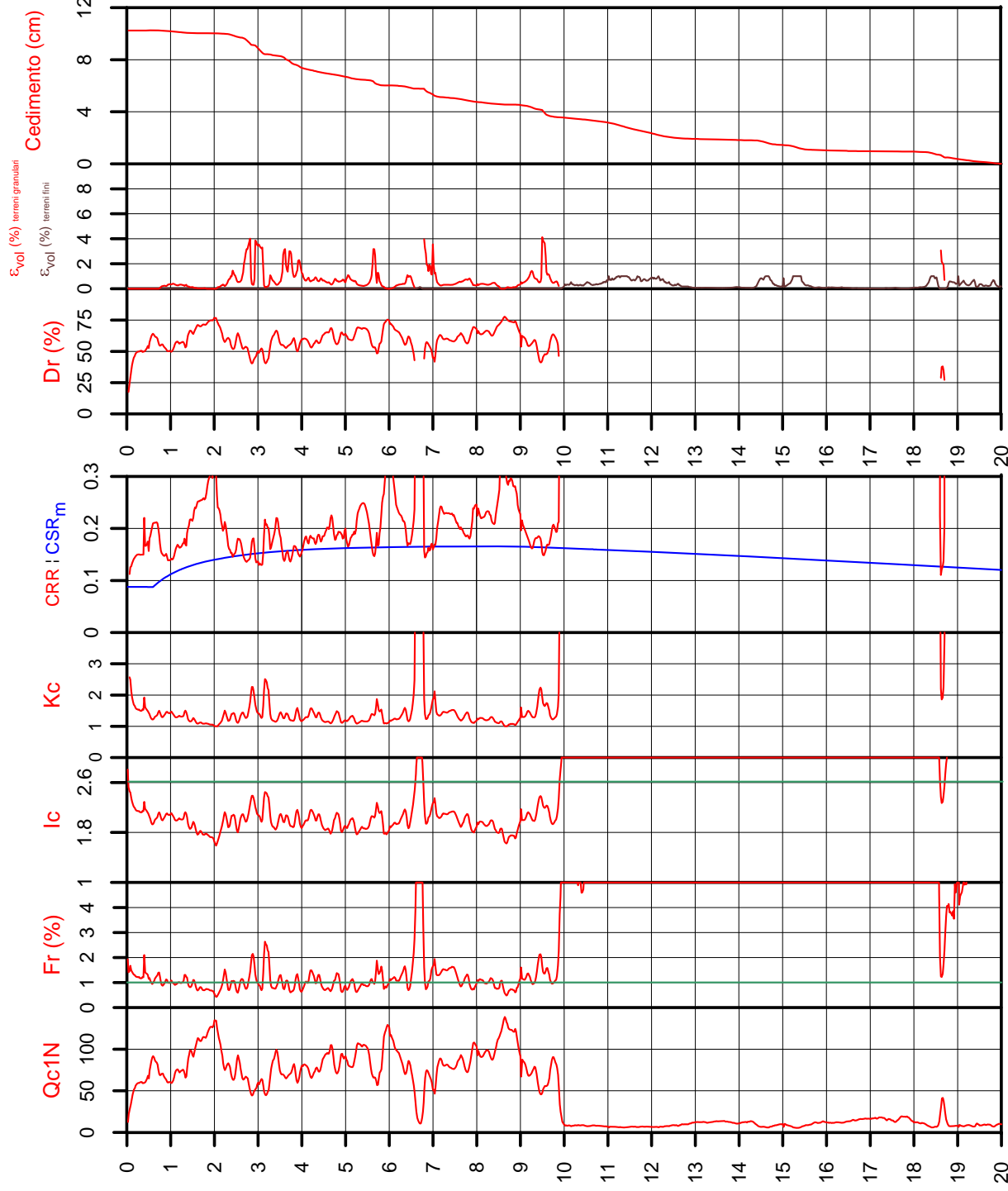
VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su $Fslq$ e la profondita.

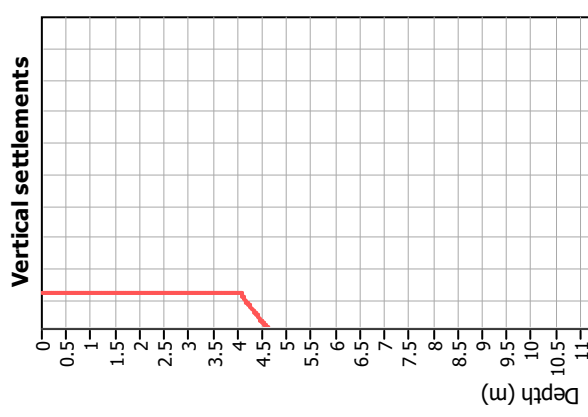
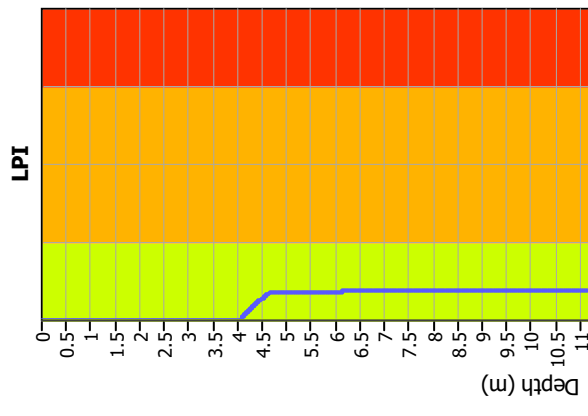
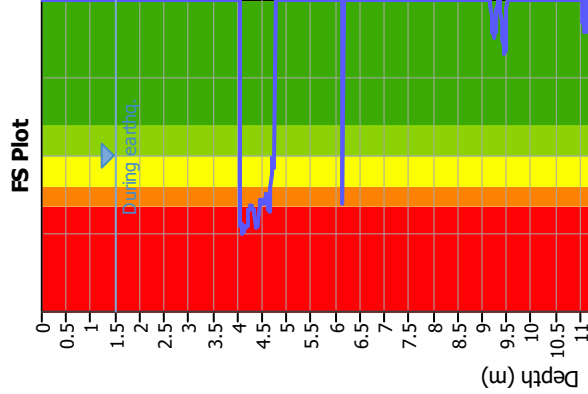
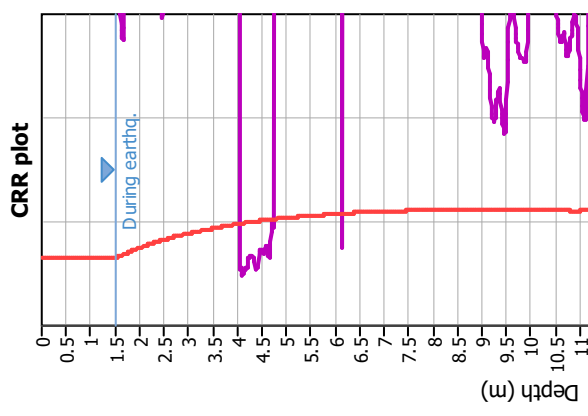
Parametri utilizzati:

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondita

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	POTENZIALE DI ROTTURA
0.7	BASSO
$2 < I_L \leq 5$	MODERATO
$5 < I_L \leq 15$	ELEVATO
$I_L > 15$	ESTREMAMENTE ELEVATO



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.28
 Depth to water table (insitu): 1.70 m

Depth to water table (earthq.): 1.50 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

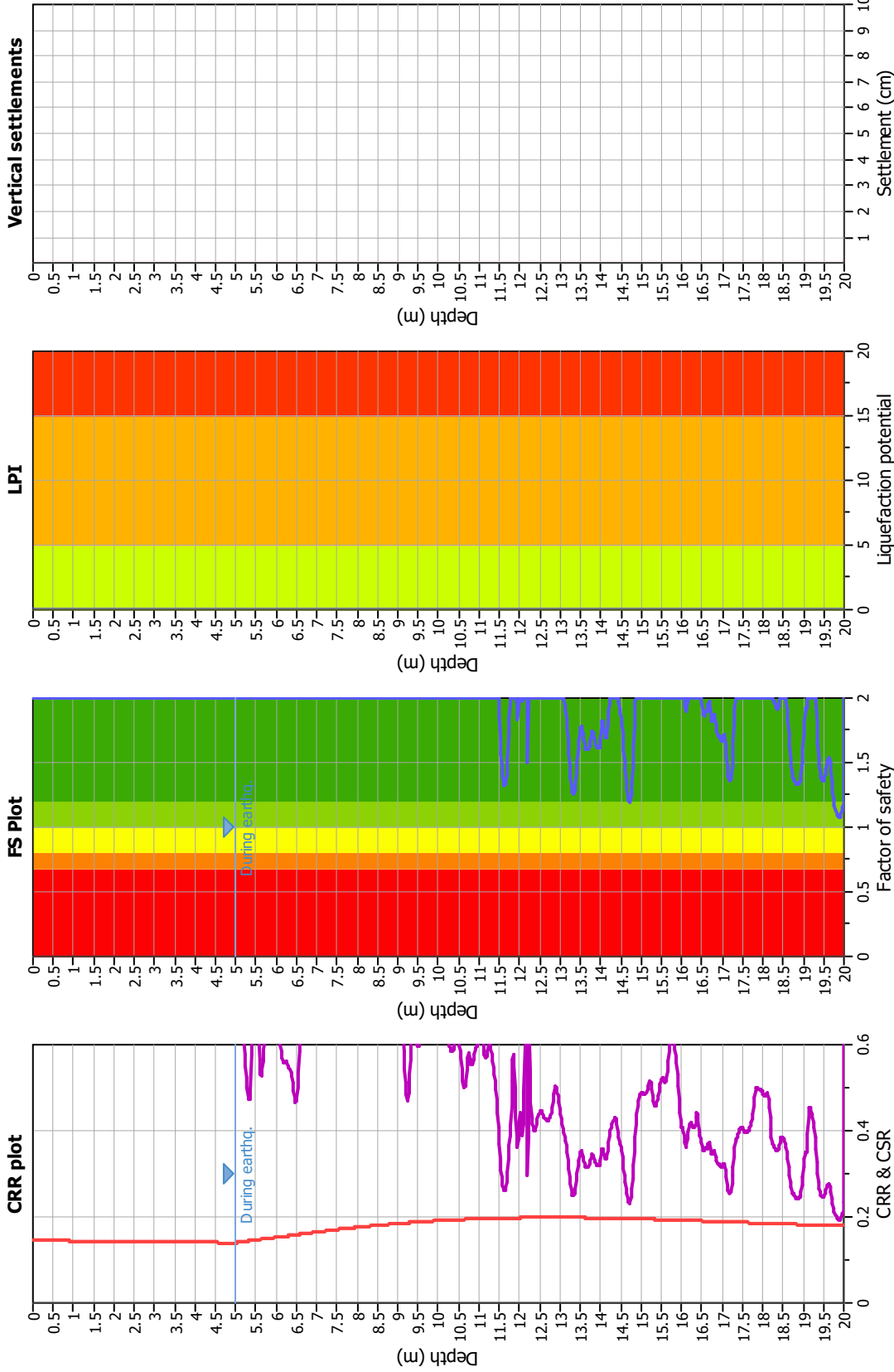
F. S. color scheme

- 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 6.40 m

Depth to water table (earthq.): 5.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

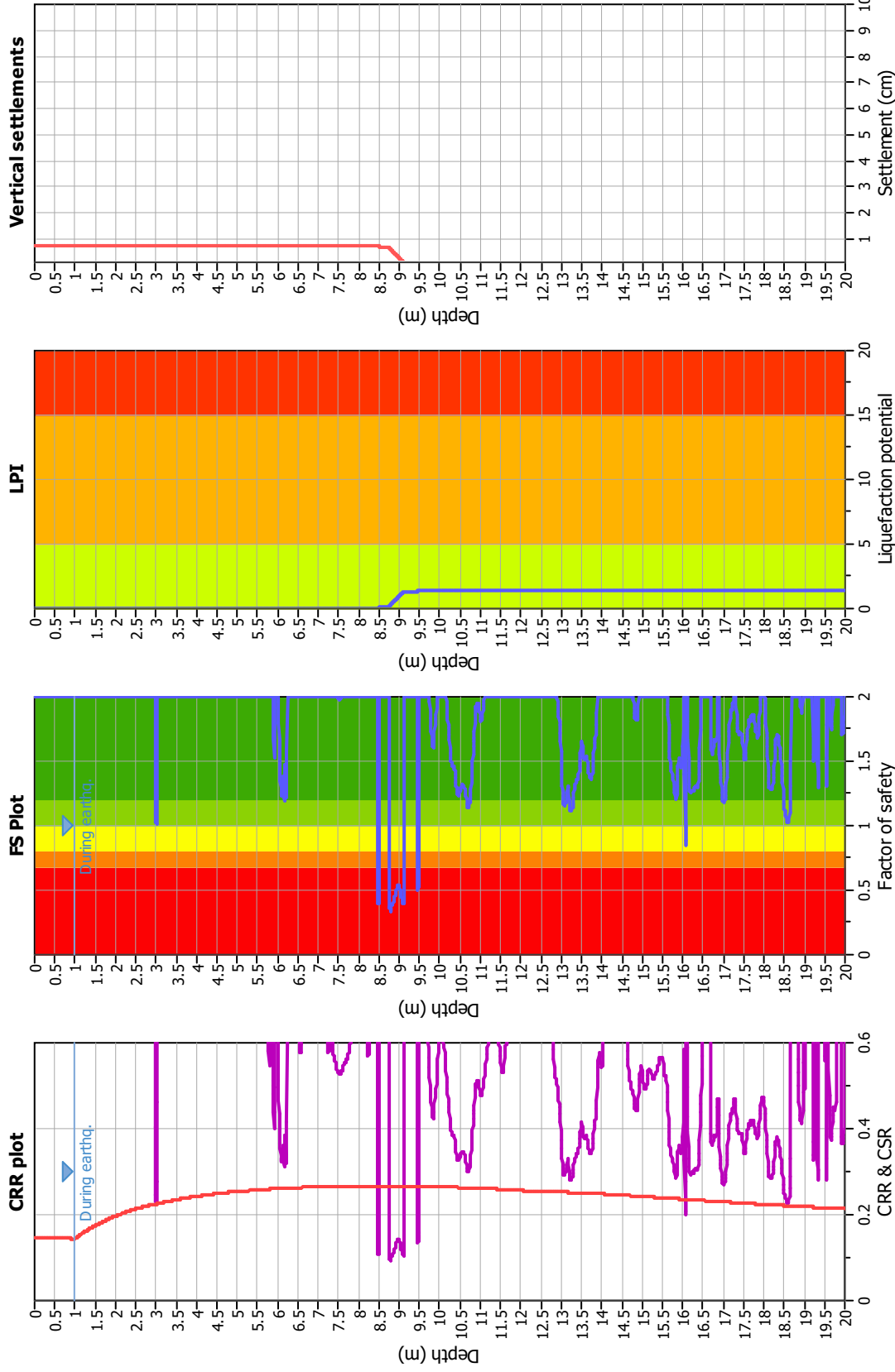
F. S. color scheme

■ 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:	Robertson (2009)
Fines correction method:	Robertson (2009)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.31
Depth to water table (insitu):	1.90 m
Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Average results interval:	3
Ic cut-off value:	2.60
Unit weight calculation:	Based on SBT
Use fill:	No
Fill height:	N/A
Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K_0 applied:	Yes
Clay like behavior applied:	All soils
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

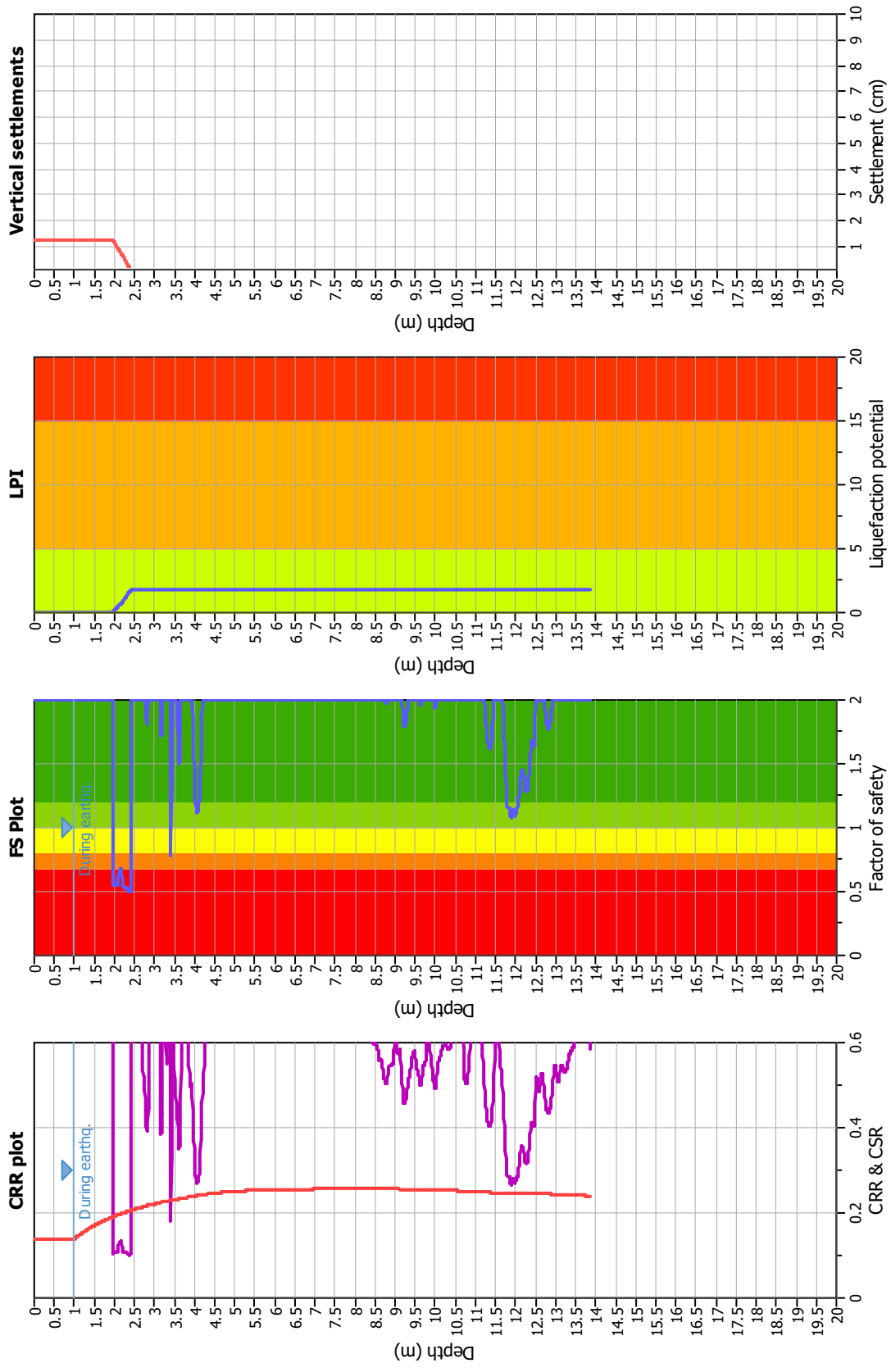
F. S. color scheme

■	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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.30	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K _σ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

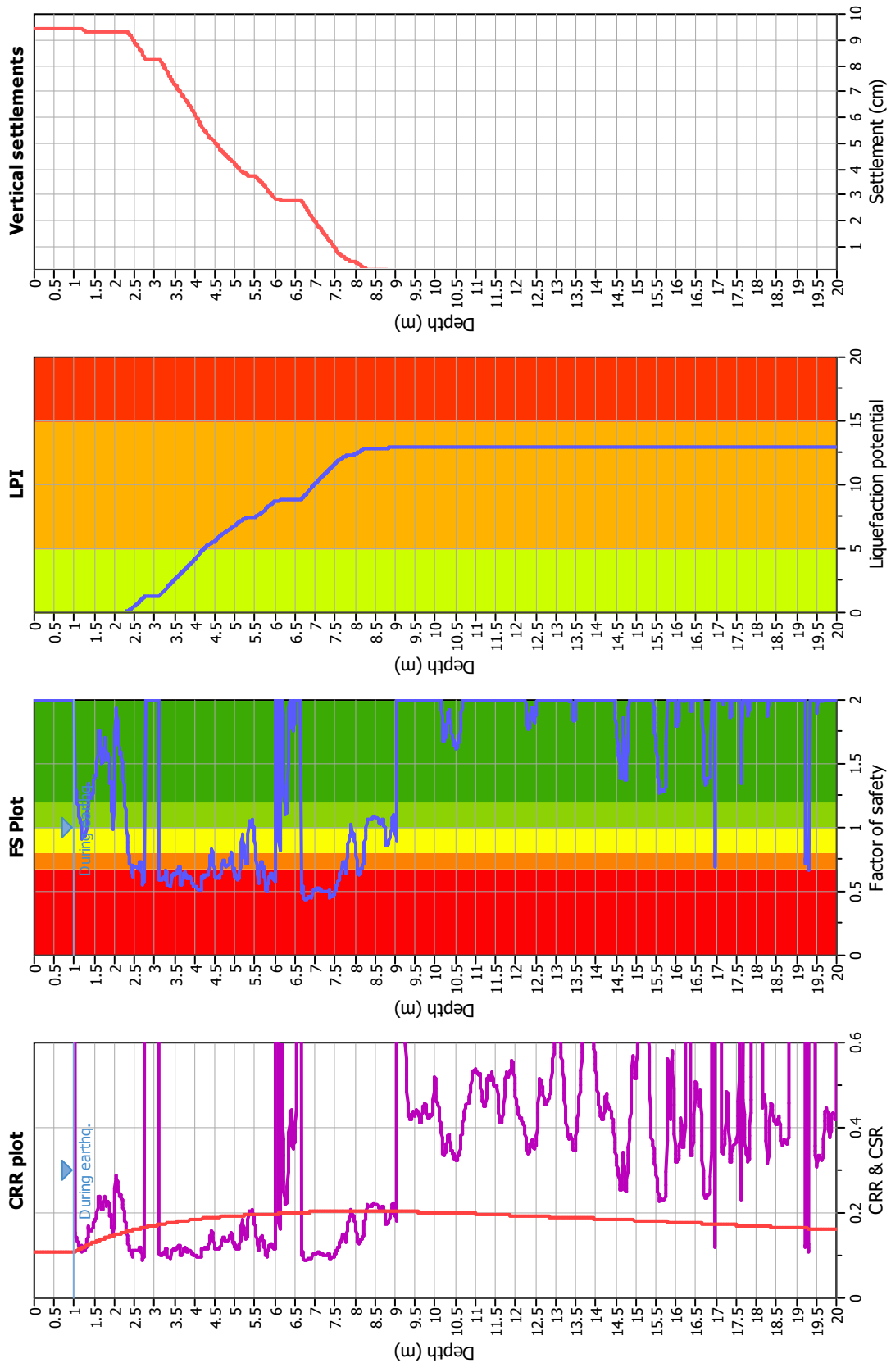
F.S. color scheme

■	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:	Robertson (2009)
Fines correction method:	Robertson (2009)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.23
Depth to water table (insitu):	1.00 m
Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Average results interval:	3
Ic cut-off value:	2.60
Unit weight calculation:	Based on SBT
Use fill:	No
Fill height:	N/A
Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K_0 applied:	Yes
Clay like behavior applied:	All soils
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

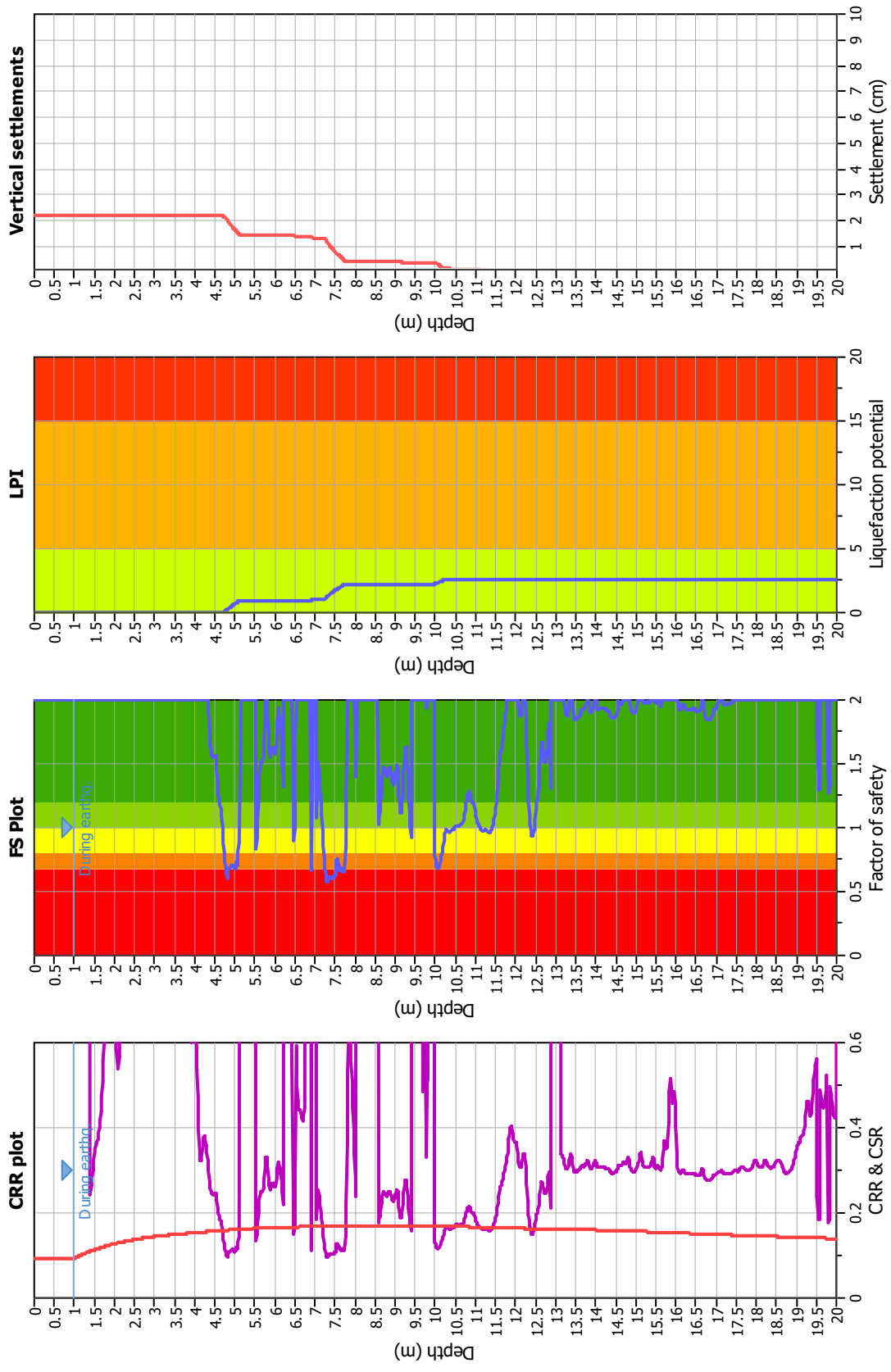
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K_0 applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

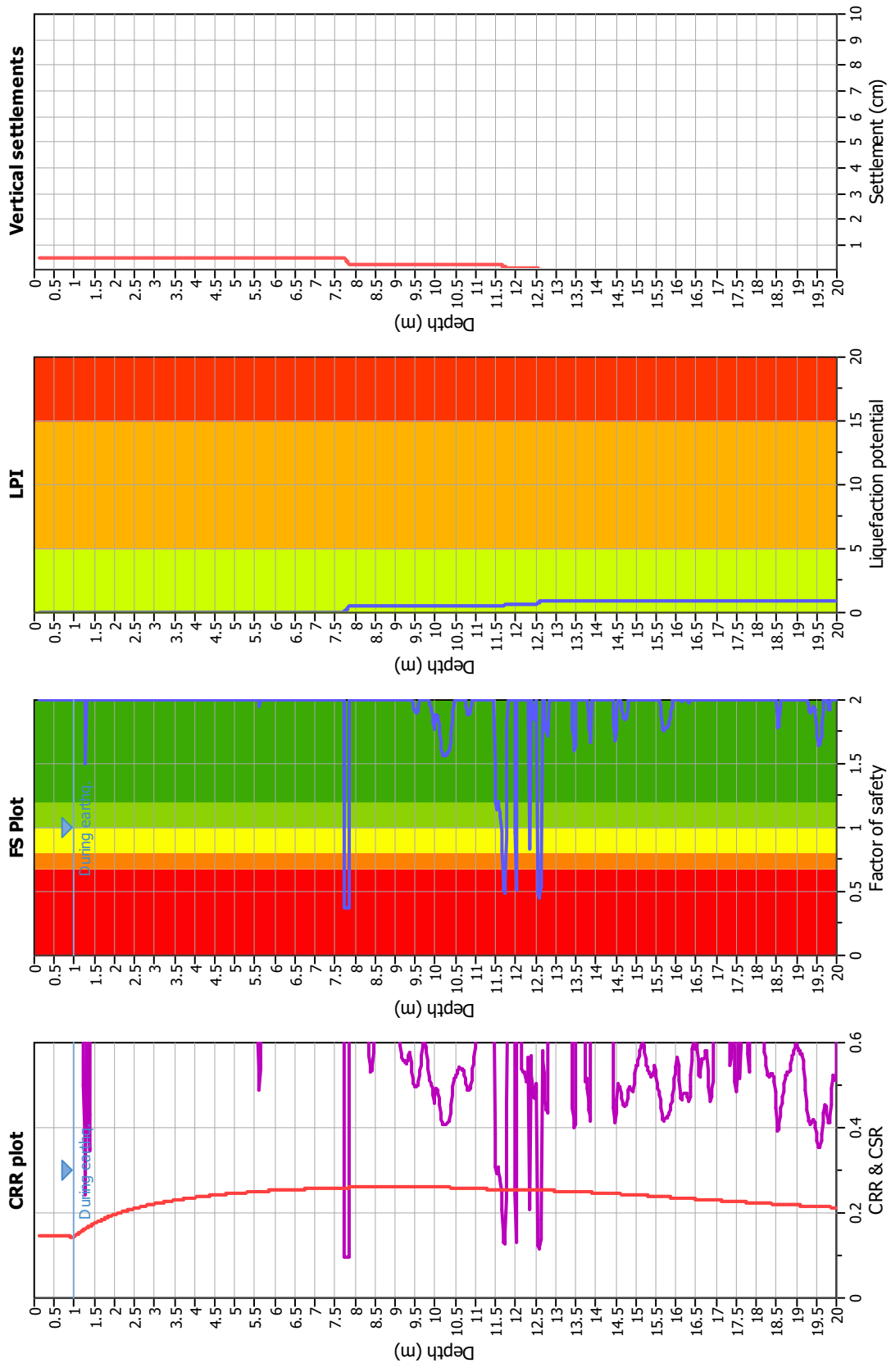
F.S. color scheme

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
Yellow	Low risk

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.10 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K ₀ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

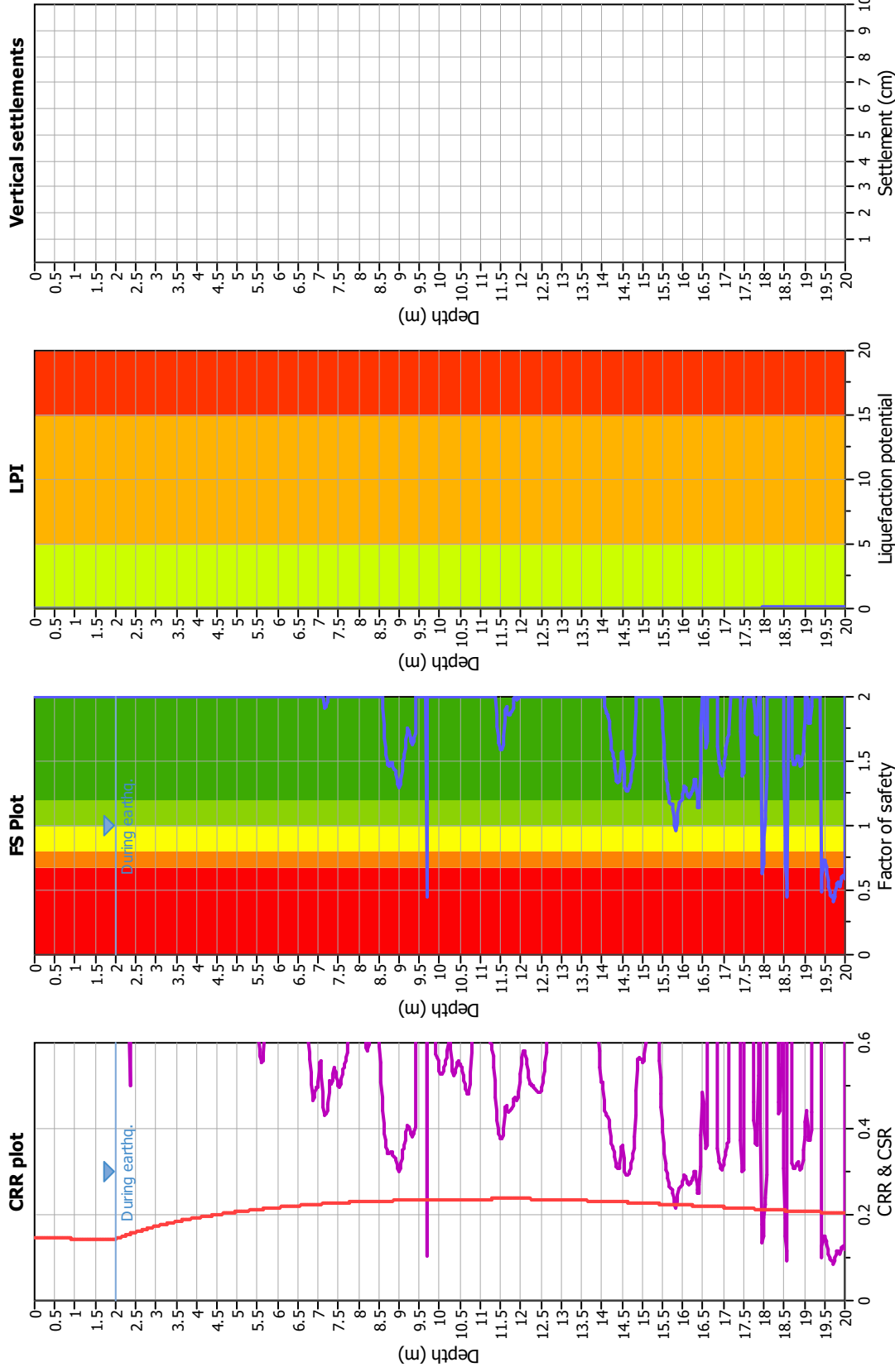
F. S. color scheme

- 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:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.00 m
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	Yes
		K _σ applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	All soils
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

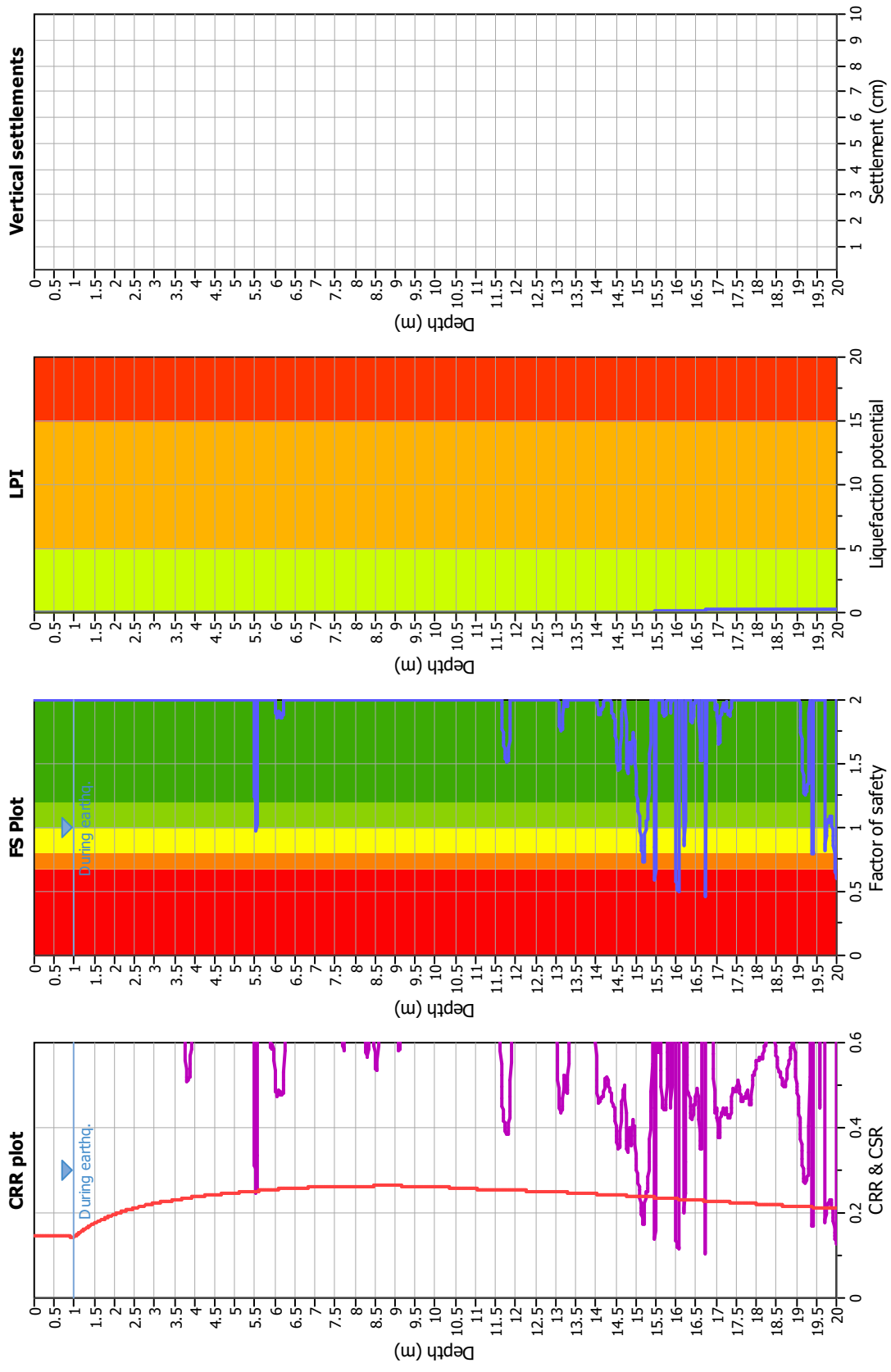
F. S. color scheme

■	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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 1.50 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

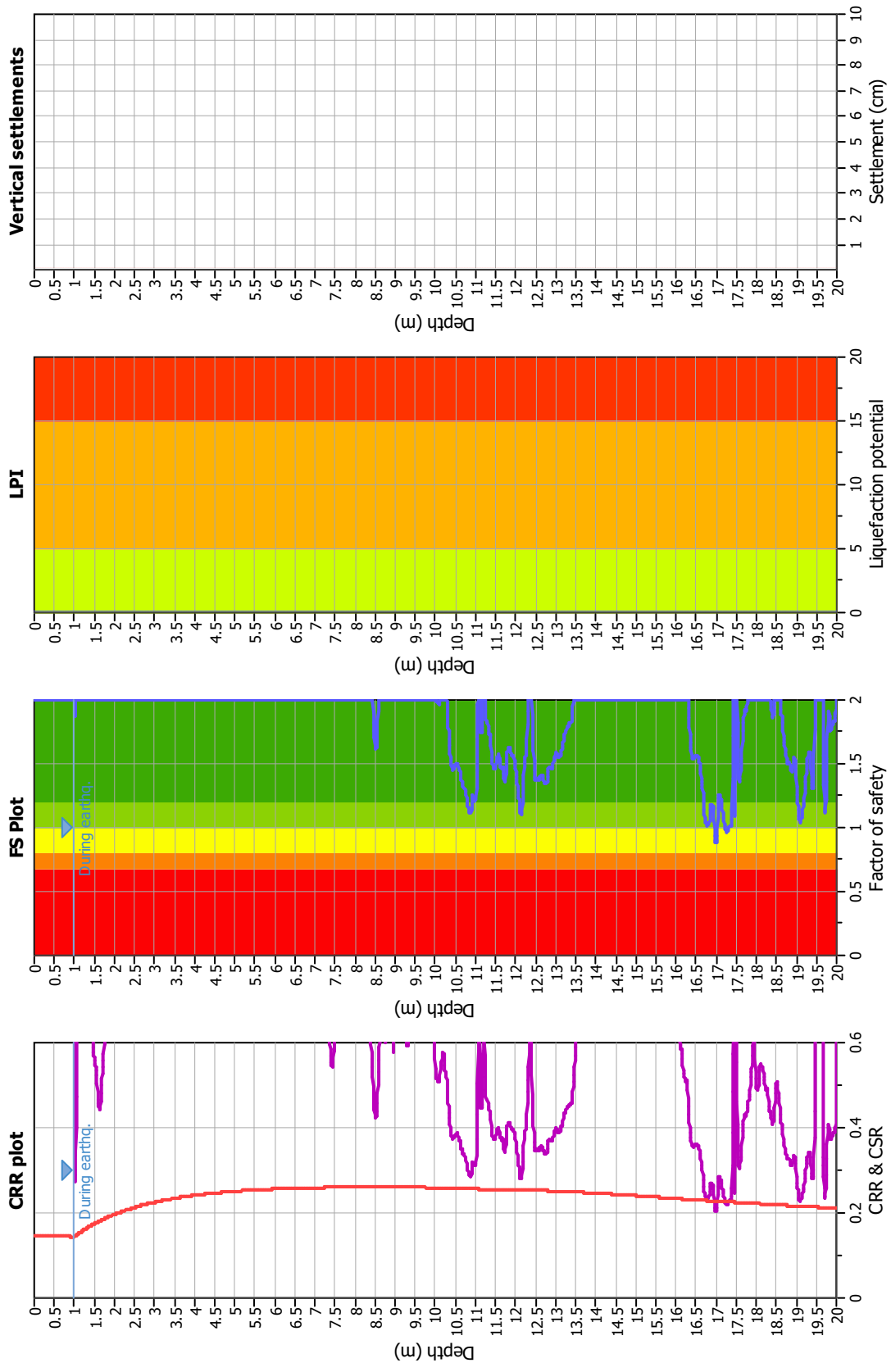
LPI color scheme

■ Very high risk
■ High risk
■ Low risk

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)
Fines correction method:	Robertson (2009)
Points to test:	Based on I _c value
Earthquake magnitude M _w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.31
Depth to water table (insitu):	1.55 m
Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Average results interval:	3
I _c cut-off value:	2.60
Unit weight calculation:	Based on SBT
Use fill:	No
Fill height:	N/A
Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K _σ applied:	Yes
Clay like behavior applied:	All soils
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

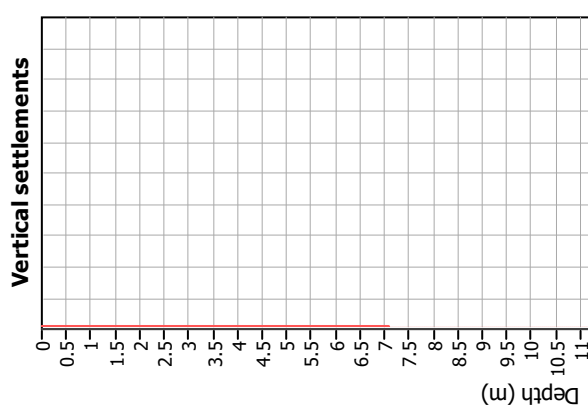
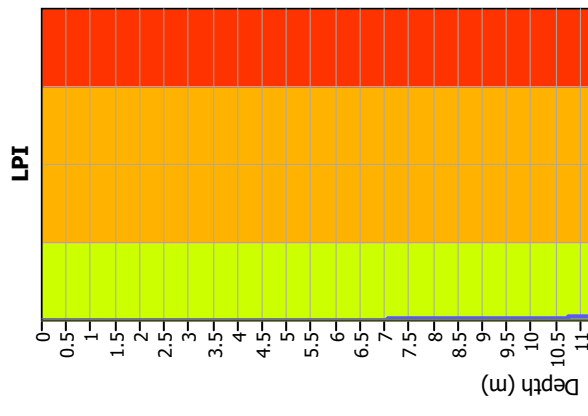
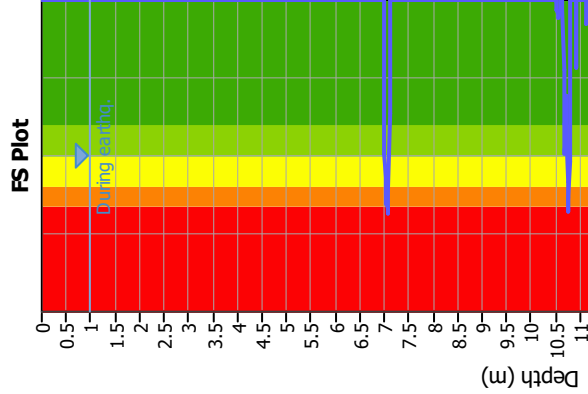
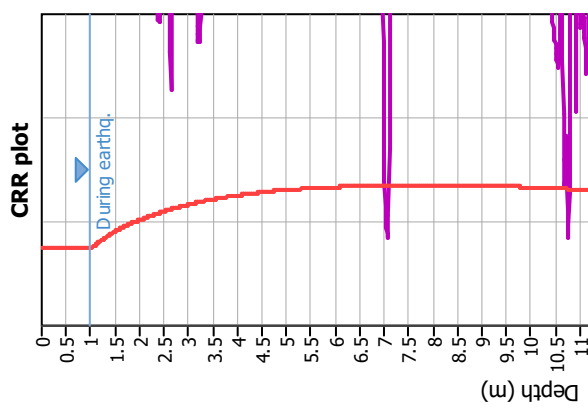
F. S. color scheme

■	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:	Robertson (2009)
Fines correction method:	Robertson (2009)
Points to test:	Based on I _c value
Earthquake magnitude M _w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.32
Depth to water table (insitu):	1.40 m

Depth to water table (earthq.):	1.00 m
Average results interval:	3
I _c cut-off value:	2.60
Unit weight calculation:	Based on SBT
Use fill:	No
Fill height:	N/A

Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	Yes
K _σ applied:	Yes
Clay like behavior applied:	All soils
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

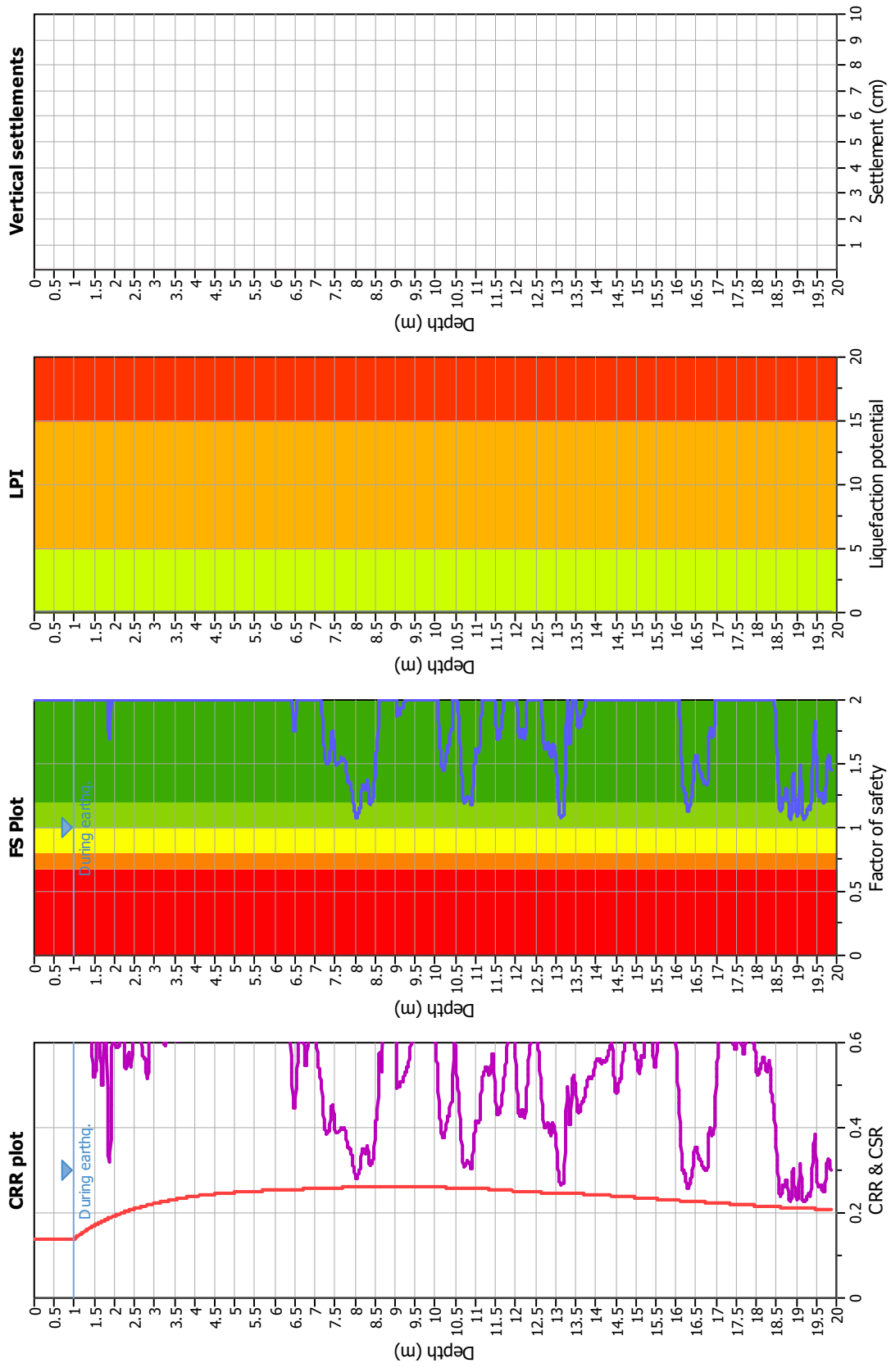
F. S. color scheme

■	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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.30
 Depth to water table (insitu): 1.90 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

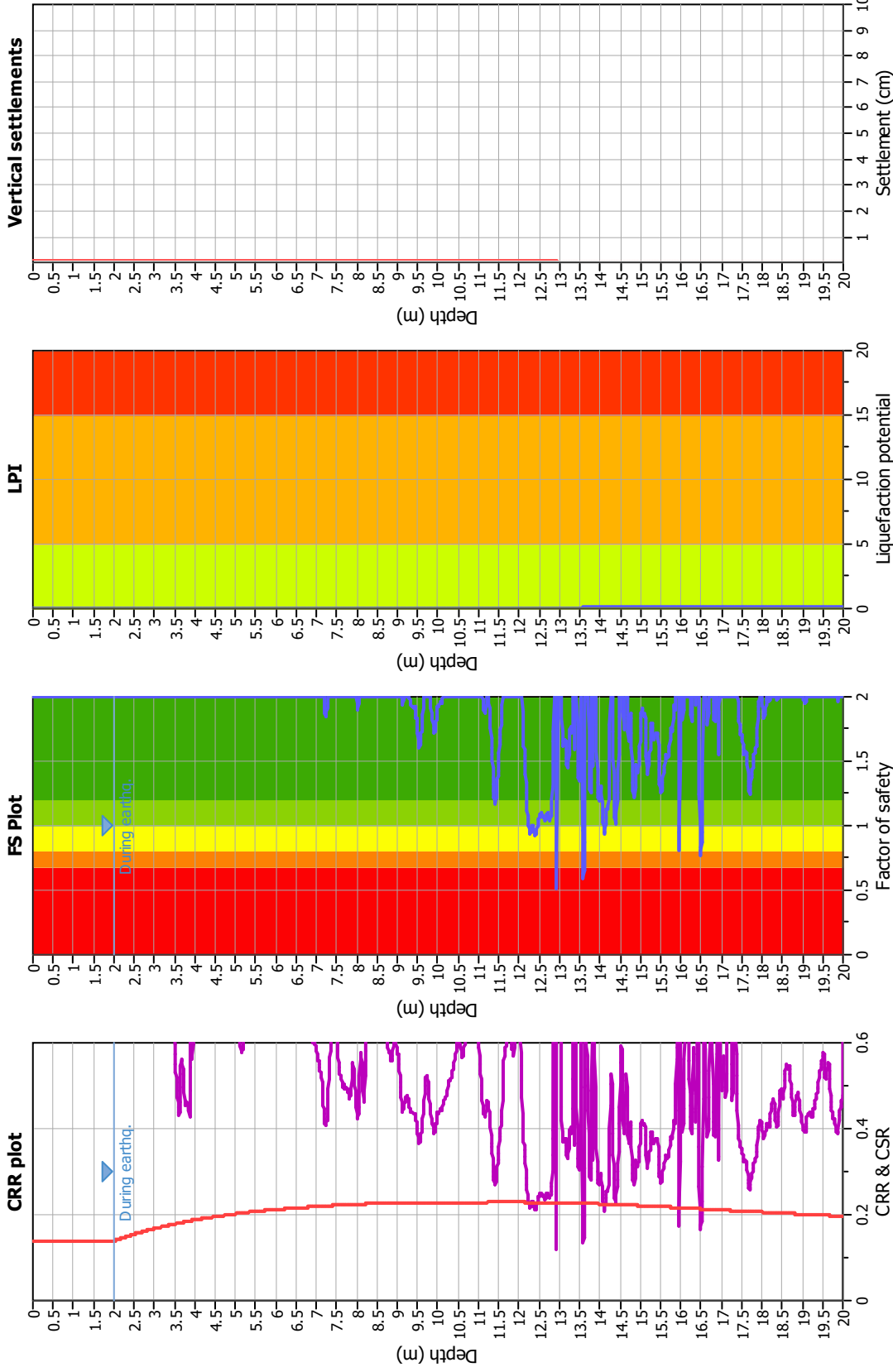
F. S. color scheme

■ 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: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.30
 Depth to water table (insitu): 3.00 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

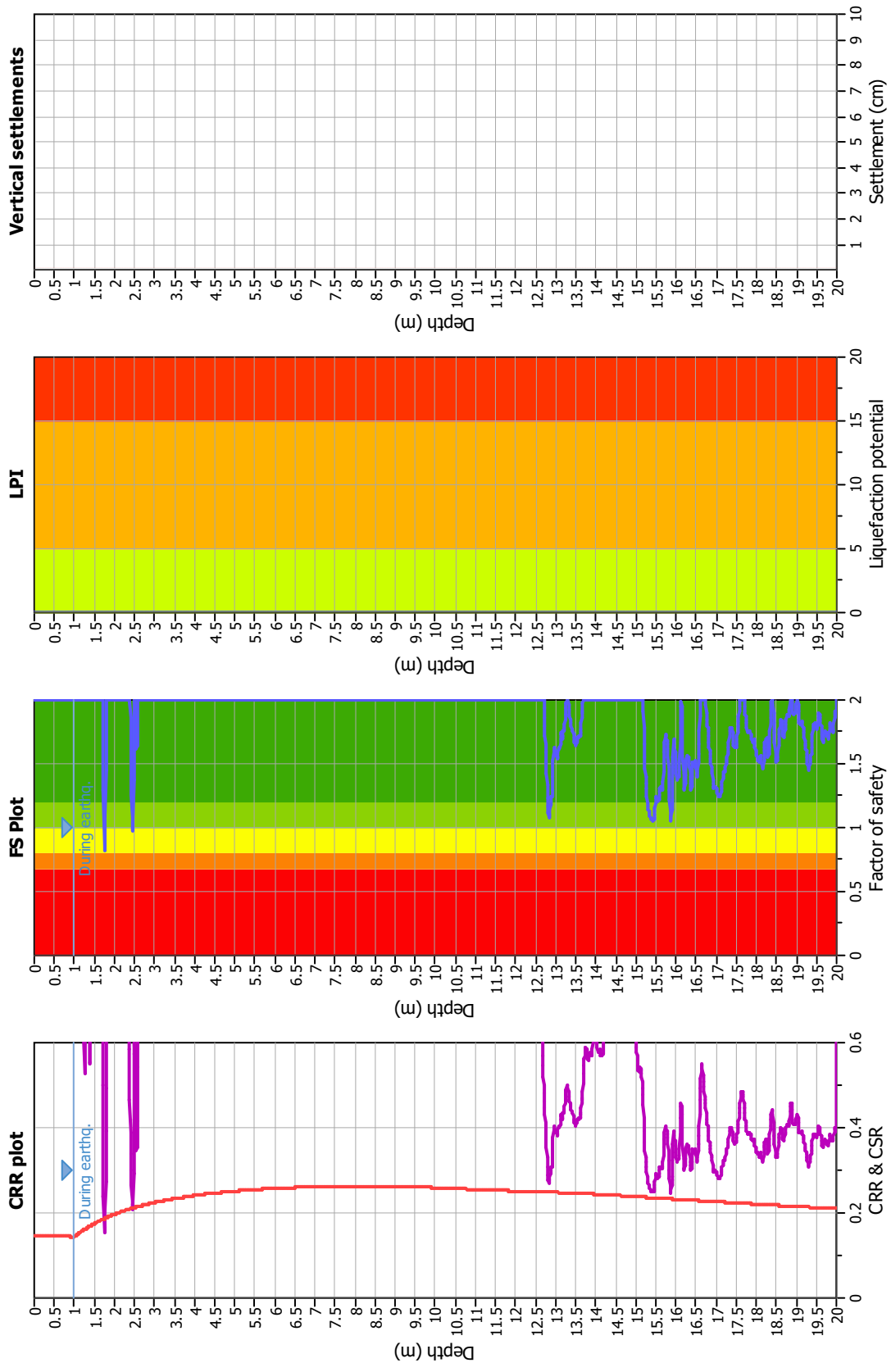
LPI color scheme

■ Very high risk
■ High risk
■ Low risk

Fill weight: N/A
 Transition detect: applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: Robertson (2009)
 Fines correction method: Robertson (2009)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 1.20 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: Yes
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: All soils
 Limit depth applied: Yes
 Limit depth: 20.00 m

F. S. color scheme

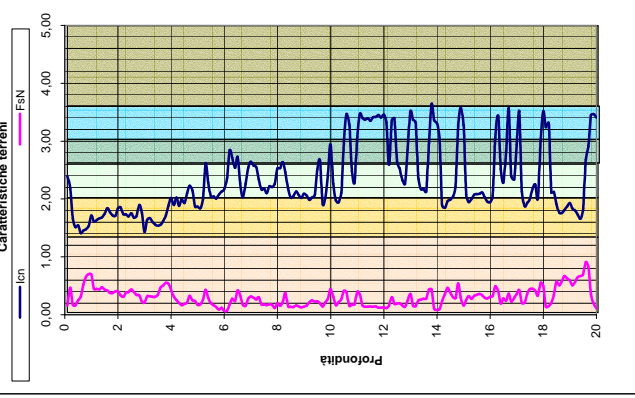
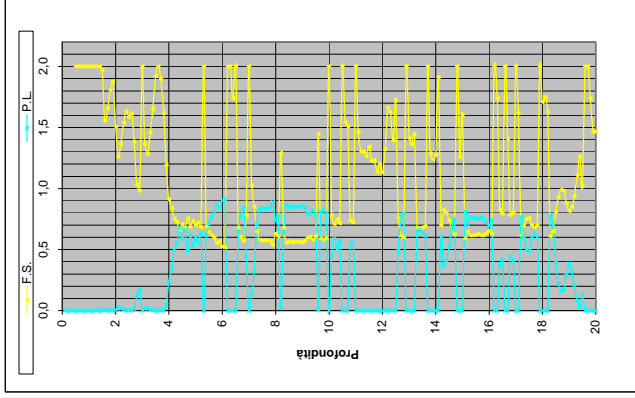
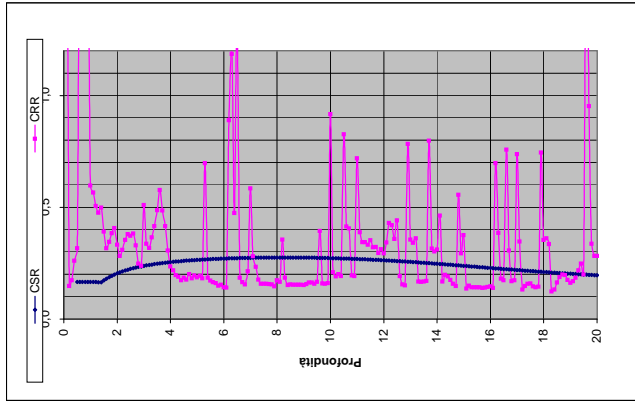
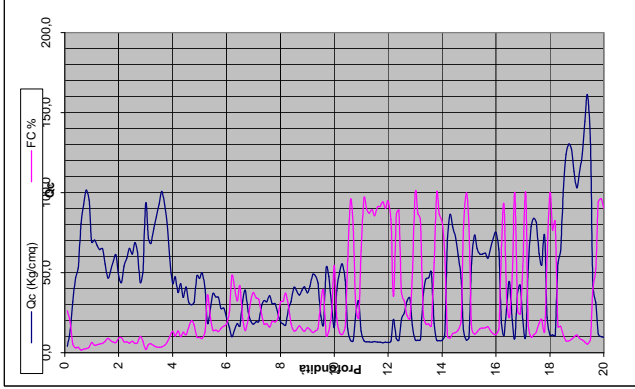
■ Almost certain it will liquefy
■ Very likely to liquefy
■ Liquefaction and no liq. are equally likely
■ Unlikely to liquefy
■ Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

■ Very high risk
■ High risk
■ Low risk

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009

PROVA CPT 1



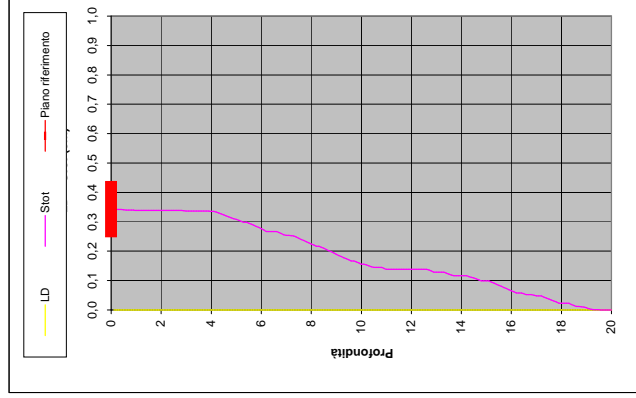
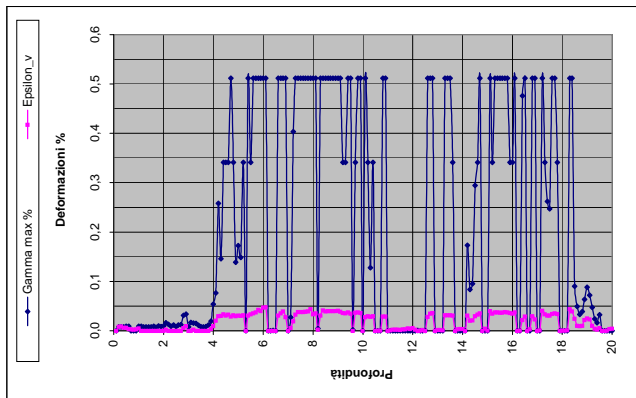
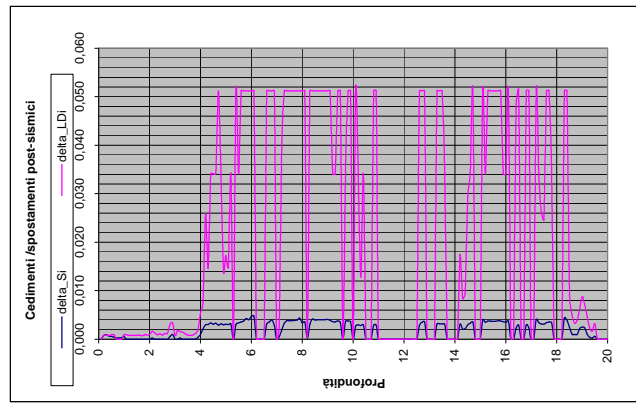
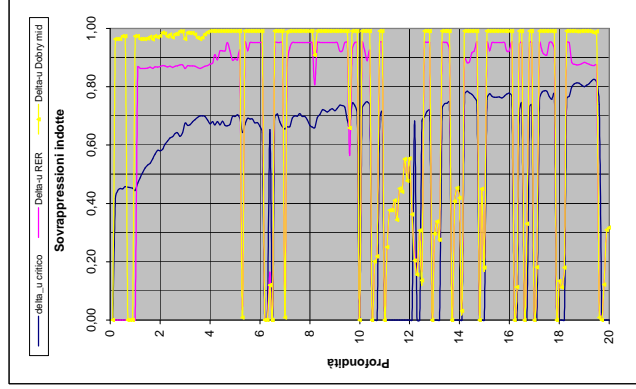
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I, Values
Organic Clay Soils	2	$I > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I < 3.60$
SH Mixtures	4	$2.60 < I < 2.95$
Stead Mixtures	5	$2.05 < I < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I < 1.31$

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).
After Robertson and Wride (1998).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cm²)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fsn = Attrito laterale (Kg/cm²)
- F = rapporto di frizione
- q1N-cs = parametro di resist. alla punta normal.
- ICn = Soil behaviour index normalized (ad)
- q1N-cs = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσ' = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSP = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- Ymax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- εv = vertical reconsolidation strain
- Asi = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Su' = Su' / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qt1N-sr = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu/σ'vc critico - stima sogliata mesoco fenomeni di instabilità/liquefazione
- Δu RER = Δu/σ'vc sovrappressioni circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Δu Dobry M. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry L. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry U. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- Df = Densità relativa (ad)
- θ = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 From I&I report, 'Liquefaction Vulnerability Study'

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_2 < 1.0$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_2 < 0.9$	high
$0.3 < P_2 < 0.7$	medium
$0.1 < P_2 < 0.3$	low
$P_2 < 0.1$	extremely low to none

IPL = 15,35

PL = 56,30

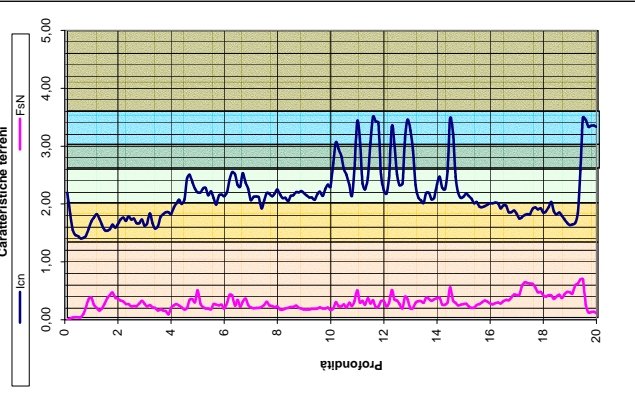
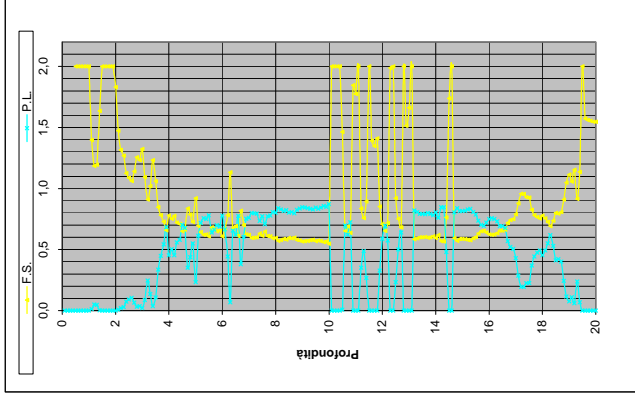
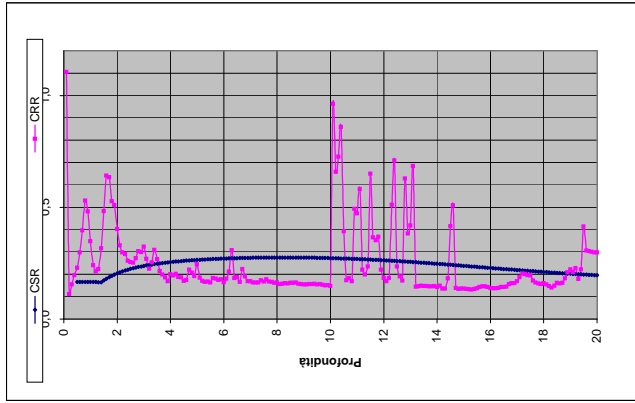
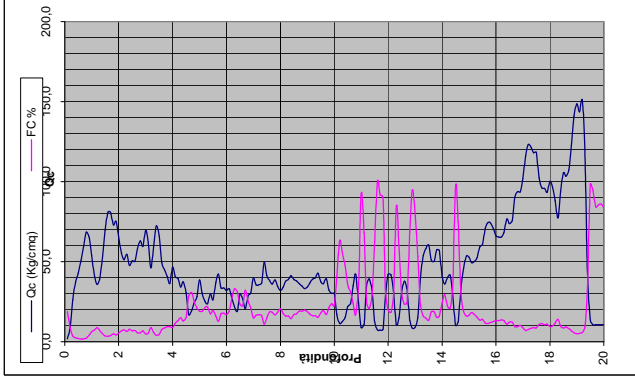
LDI = 4,101 Stot = 0,343 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 10,30 (mt)

LSN = 38,42 PG = 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPT 2

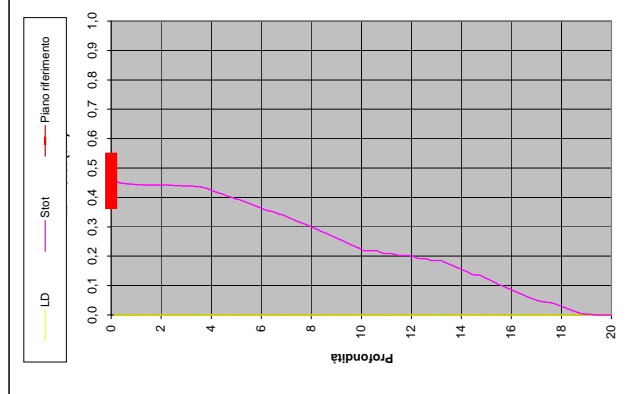
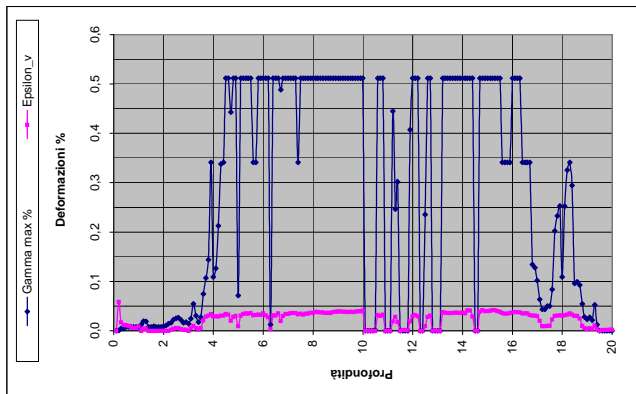
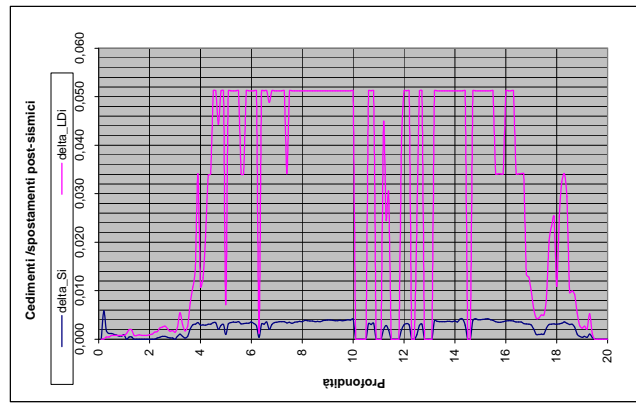
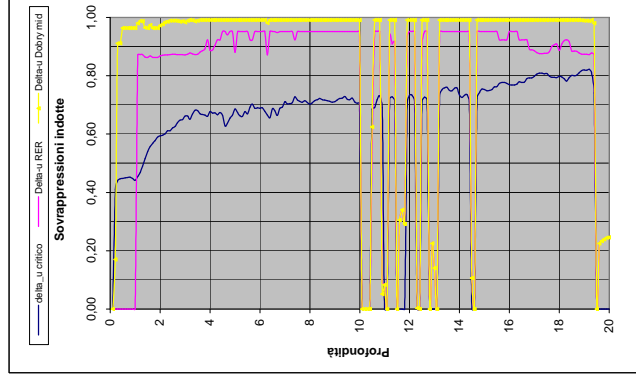
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Stead Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fcn = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- q1N = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn = Soil behaviour index normalized (ad)
- q1N-cs = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσc = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSP = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- γmax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- εv = vertical reconsolidation strain
- Asi = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- SuR = SuR / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qt1N-sr = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu/σ'vc critico - stima sguilibrio innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- Δu RER = Δu/σ'vc sovrappressioni circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Δu Dobry M. Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry L. Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry U. Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- Df = Densità relativa (ad)
- Ø = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 From I&I report: Liquefaction Vulnerability Study

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P ₀	extremely high to absolutely certain
0.7 > P ₀ ≥ 0.9	high
0.3 > P ₀ ≥ 0.7	medium
0.1 > P ₀ ≥ 0.3	low
P ₀ ≤ 0.1	extremely low to none

IPL= 19,61

PL= 76,54

LDI = 5,441 Stot = 0,457 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 13,40 (mt)

LSN = 51,16 PG= 1,00

CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

Table with columns: Depth (m), q (kPa), q_{net} (kPa), F, fc, ICN2, N(60), n, KC, S_u(kPa), FC, etc.

Table with columns: City, N, N₆₀, N₆₀ (corrected), etc.

Table with columns: q_{net}, CSR, N_{CSR}, etc.

Table with columns: Factor of Safety, MSF, etc.

Table with columns: Reliability, I_{PL}, etc.

Table with columns: Vertical reconst., Strain, etc.

Table with columns: F, I_{PL}, etc.

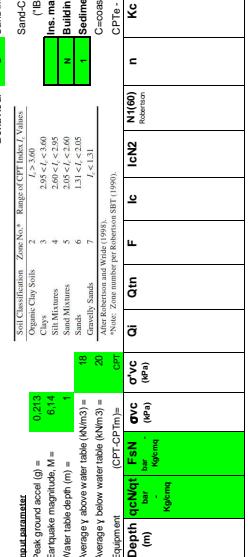
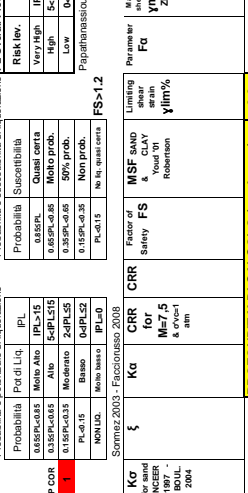
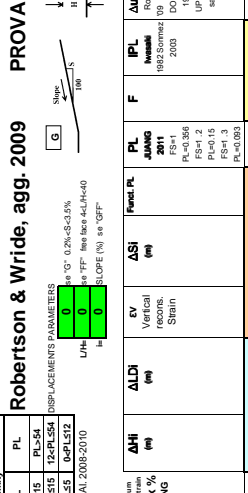
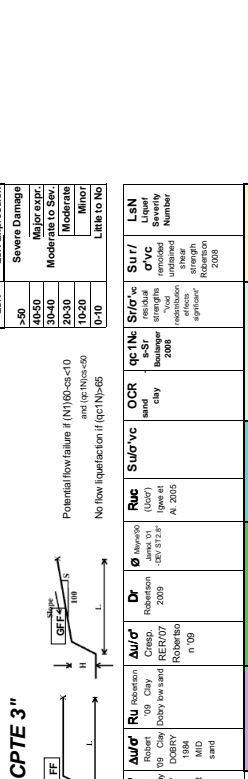
Table with columns: R_u, S_u, etc.

Table with columns: L_{LN}, L_{LN} Extension, etc.

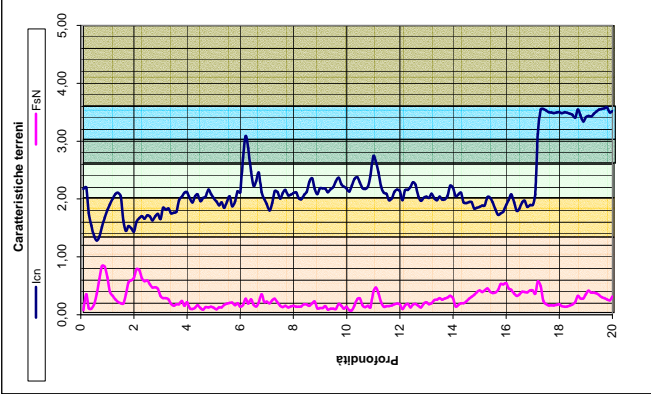
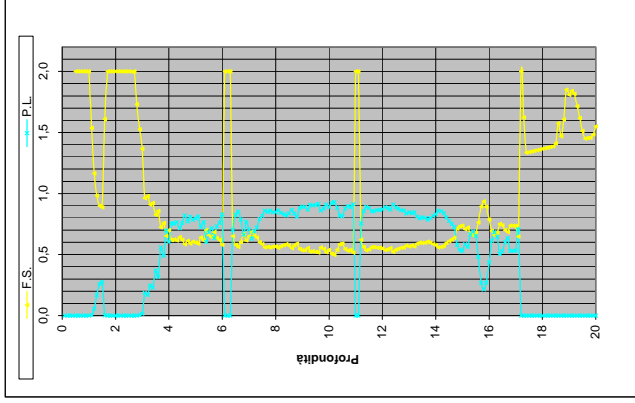
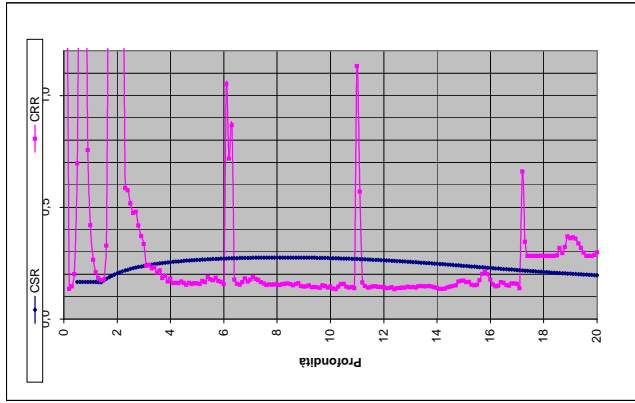
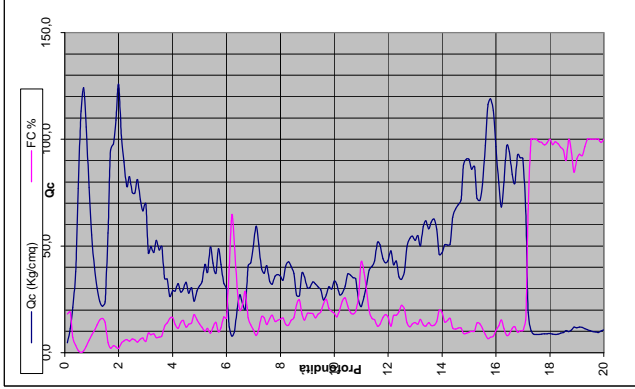
Table with columns: Major axis, Moderate to Severe, etc.

PROFONDITÀ DI CALCOLO (mt da p.c.): 0,0

Main data table with columns: Depth (m), q (kPa), q_{net} (kPa), F, fc, ICN2, N(60), n, KC, S_u(kPa), FC, etc.



DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPT 3

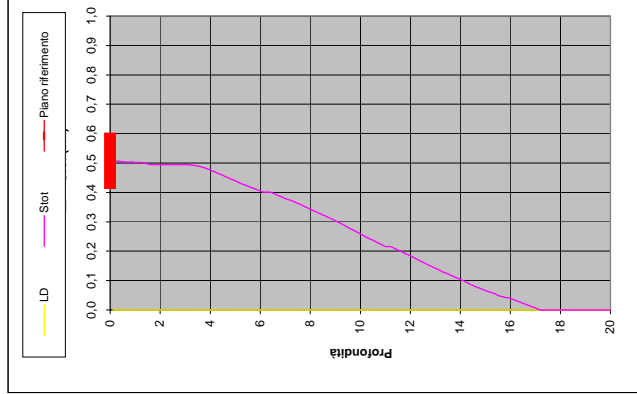
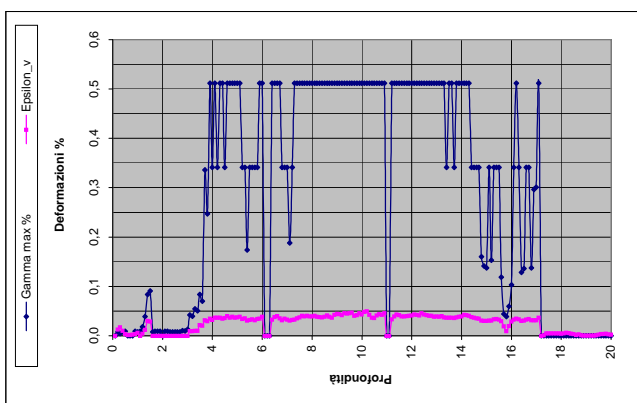
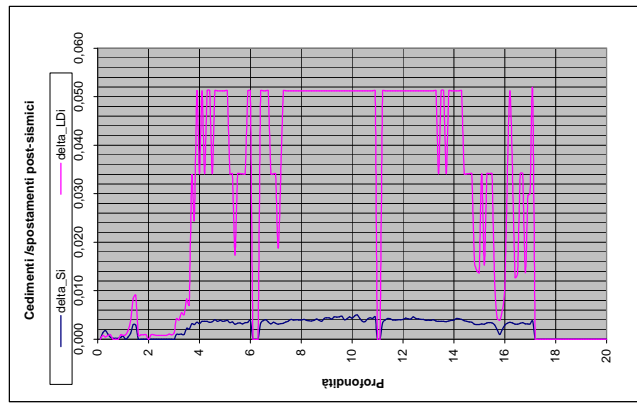
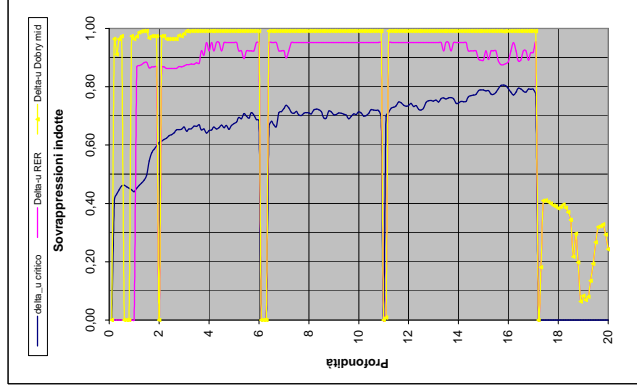
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Stead Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).



LEGENDA

- Qc** = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC** = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- F_N** = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F** = rapporto di frizione
- q_{tn}** = parametro di resist. alla punta normal.
- I_{cn}** = Soil behaviour index normalized (ad)
- q_{tn}-cs** = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata parametro di stato
- KH** = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd** = stress reduction coefficient (ad)
- CN** = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- K_σ** = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- K_{σ'}** = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- M_{SF}** = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S.** = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR** = Cyclic Stress ratio (ad)
- CRR** = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L.** = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL** = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- γ_{max}** = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v** = vertical reconsolidation strain
- Δs_i** = cedimento i-esimo dello strato (m)
- S_u** = S_u / σ'_{vc} resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- S_{ur}** = S_{ur} / σ'_{vc} resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- q_{tn}-sr** = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
- S_r** = S_r / σ'_{vc} resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC** = Δu/σ'_{vc} critico - stima sguilibrio innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER** = Δu/σ'_{vc} sovrappressione circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Au Dobry M.** = Δu/σ'_{vc} Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry L.** = Δu/σ'_{vc} Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry U.** = Δu/σ'_{vc} Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot** = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI** = Lateral Displacement Index (m)
- D_r** = Densità relativa (ad)
- Ø** = angolo di attrito interno (deg)
- OCR** = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- S_i** = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN** = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on table 3.3.1 from I&I report: 'Liquefaction Vulnerability Study'

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P _g	extremely high to absolutely certain
0.7 > P _g ≥ 0.9	high
0.3 > P _g ≥ 0.7	medium
0.1 > P _g ≥ 0.3	low
P _g ≤ 0.1	extremely low to none

IPL= 25,15

PL= 91,62

LDI = 5,638 Stot = 0,508 (mt)

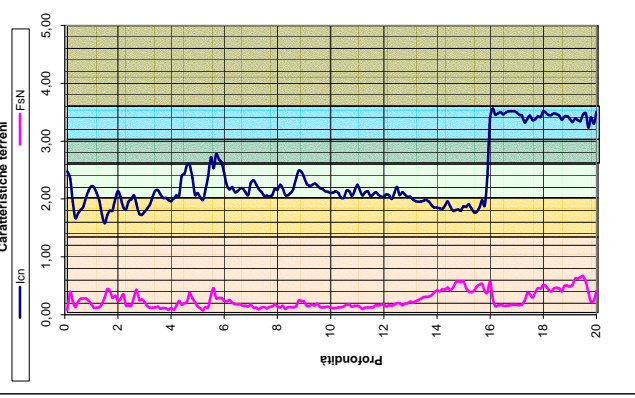
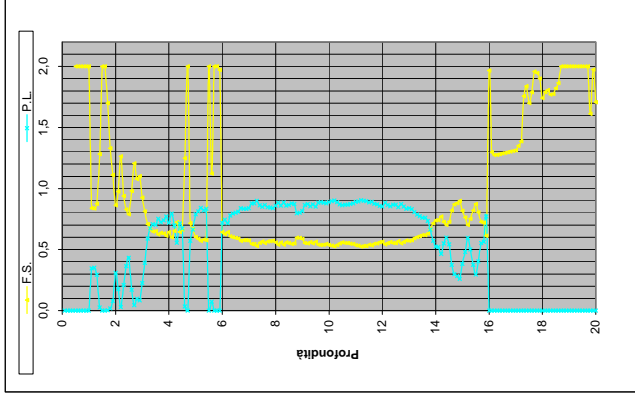
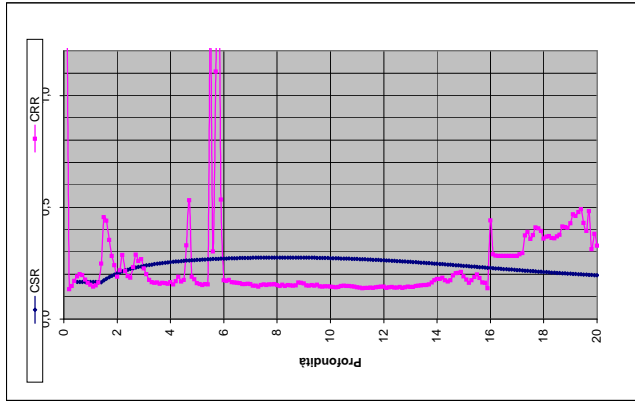
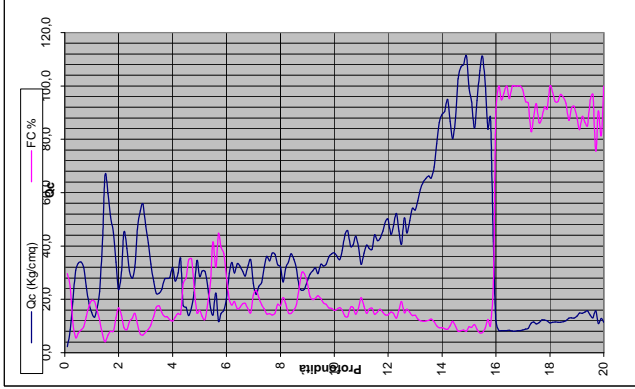
LD = 0,00 (mt)

SLiq = 13,90 (mt)

LSN = 63,12

PG= 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPT 4

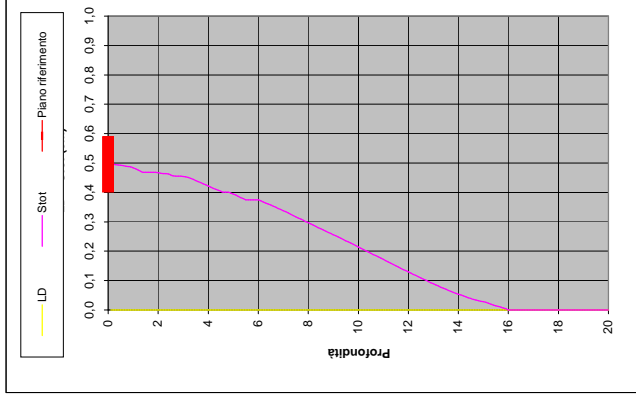
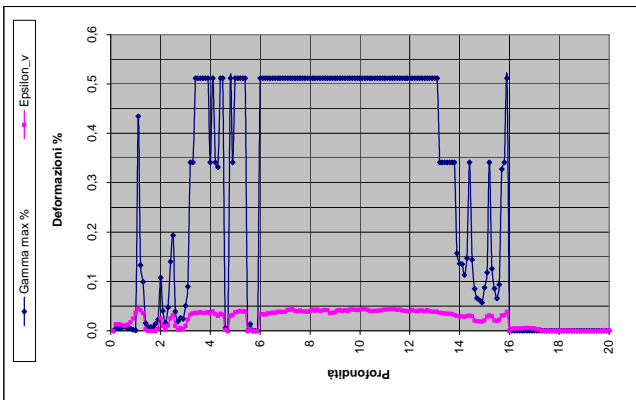
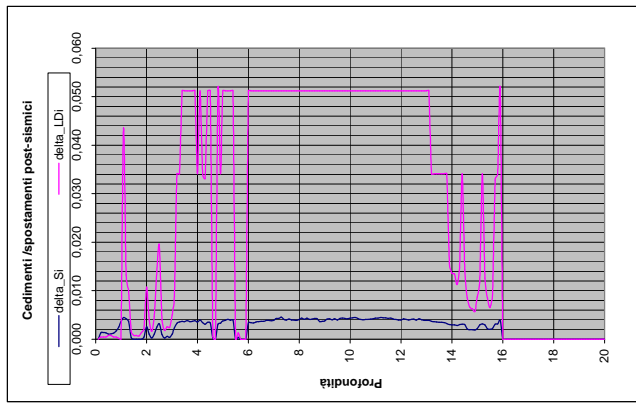
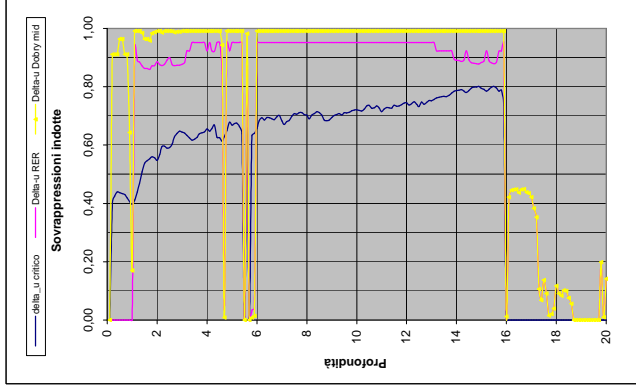
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).
After Robertson and Wride (1998).



LEGENDA

- Qc** = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC** = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fsn** = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F** = rapporto di frizione
- Icn** = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn** = Soil behaviour index normalized (ad)
- qc1N-cs** = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
- ξ** = parametro di stato
- KH** = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd** = stress reduction coefficient (ad)
- CN** = fattore di normalizzazione per carico libstatico (ad)
- Kσ** = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσc** = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSP** = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S.** = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR** = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR** = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L.** = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL** = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- Ymax** = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- εv** = vertical reconsolidation strain
- Δsi** = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su** = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Su** = Su / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qc1N-sr** = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
- Sr** = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC** = Δu/εvc critico - stima soglied i mesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER** = Δu/εvc sovraespressioni circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Au Dobry M.** = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry L.** = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry U.** = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot** = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI** = Lateral Displacement Index (m)
- Df** = Densità relativa (ad)
- Ø** = angolo di attrito interno (deg)
- OCR** = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sf** = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN** = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 From I&I report, "Liquefaction Vulnerability Study"

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P _g	extremely high to absolutely certain
0.7 > P _g ≥ 0.9	high
0.3 > P _g ≥ 0.7	medium
0.1 > P _g ≥ 0.3	low
P _g ≤ 0.1	extremely low to none

IPL= 25,74

PL= 92,55

LDI = 5,410 Stot = 0,496 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 13,20 (mt)

LSN = 73,54 PG= 1,00

CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

Compendio Parametri

Probabilità di suscettibilità di liquefazione

PROVA "CPTE 5"

LSN Estimation

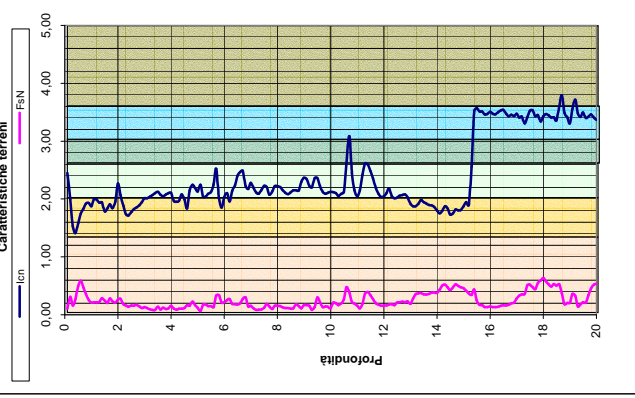
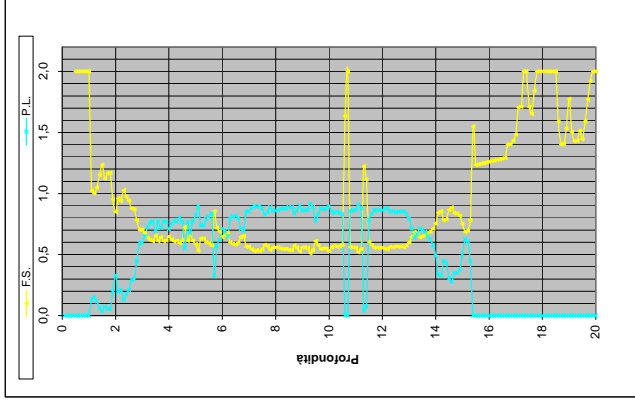
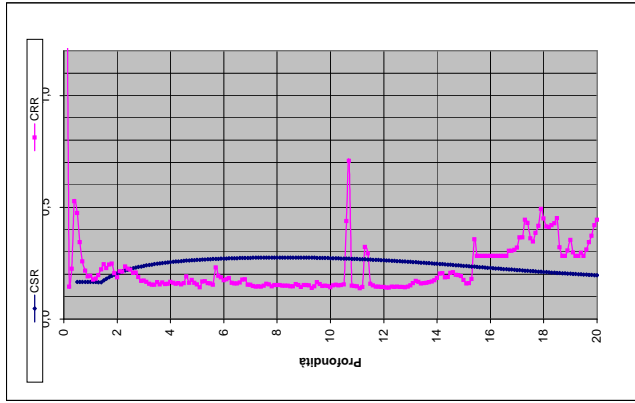
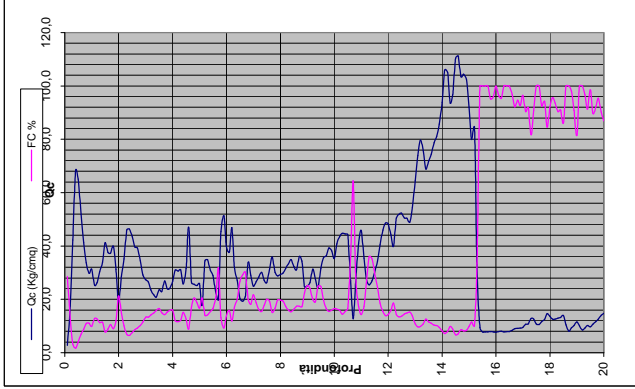
Main data table with columns for Depth (m), Soil Type, and various parameters like N60, LSN, and SPT values. Includes sub-tables for soil classification and liquefaction potential.

Summary table with columns: Depth (m), LSN, SPT, and LSN Estimation. Includes a note: 'No flow liquefaction if (FS) > 1.0'.

Main data table with columns: Depth (m), Soil Type, and various parameters like N60, LSN, and SPT values. Includes sub-tables for soil classification and liquefaction potential.

Summary table with columns: Depth (m), LSN, SPT, and LSN Estimation. Includes a note: 'No flow liquefaction if (FS) > 1.0'.

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPT E 5

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).
 After Robertson and Wride (1998).



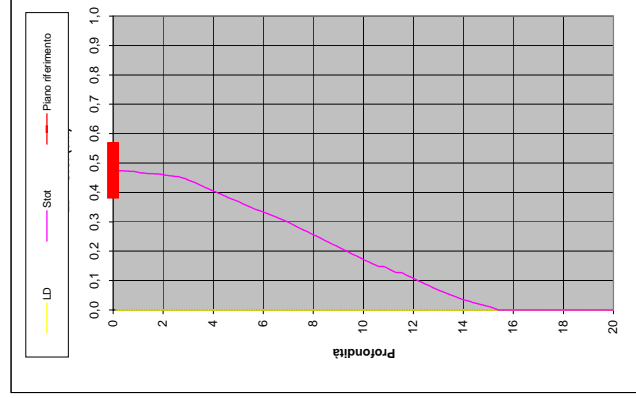
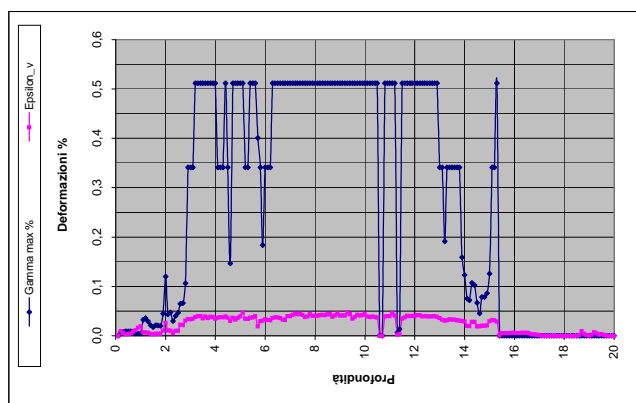
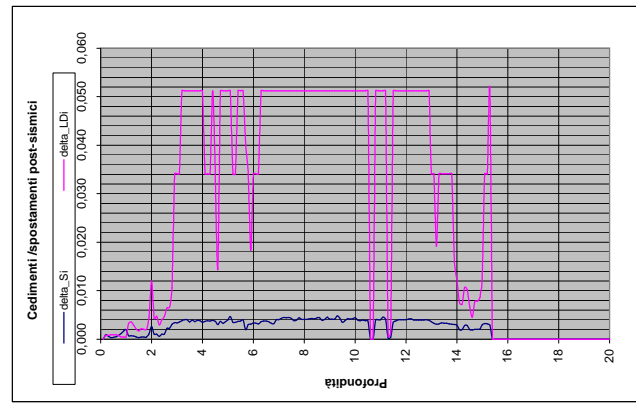
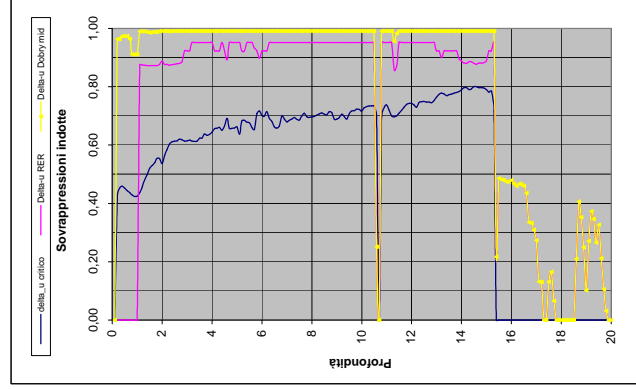
LEGENDA

- Qc** = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC** = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fsn** = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F** = rapporto di frizione
- Icn** = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn** = Soil behaviour index normalized (ad)
- qc1N-cs** = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ** = parametro di stato
- KH** = (fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd** = stress reduction coefficient (ad)
- CN** = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- Kσ** = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσ** = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSE** = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S.** = Fattore di sicurezza (CRRCSR con correzioni) (ad)
- CSR** = Cyclic Stress ratio (ad)
- CRR** = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L.** = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL** = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- ymax** = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- εv** = vertical reconsolidation strain
- Asi** = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su** = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Su** = Su / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qt1N-sr** = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr** = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC** = Δu/εvc critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER** = Δu/εvc sovraesposizione circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Au Dobry M.** = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry L.** = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry U.** = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot** = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI** = Lateral Displacement Index (m)
- Df** = Densità relativa (ad)
- φ** = angolo di attrito interno (deg)
- OCR** = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sf** = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN** = Liquefaction Severity Number (ad)

LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on table 3.31 From I&I report: "Liquefaction Vulnerability Study"

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P _g	extremely high to absolutely certain
0.7 > P _g ≥ 0.9	high
0.3 > P _g ≥ 0.7	medium
0.1 > P _g ≥ 0.3	low
P _g ≤ 0.1	extremely low to none



IPL= 26,59

PL= 93,73

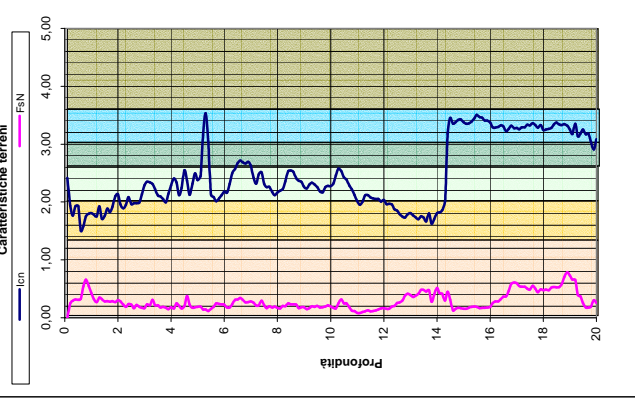
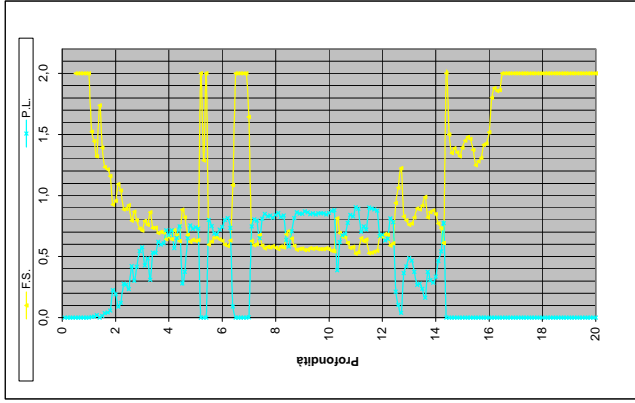
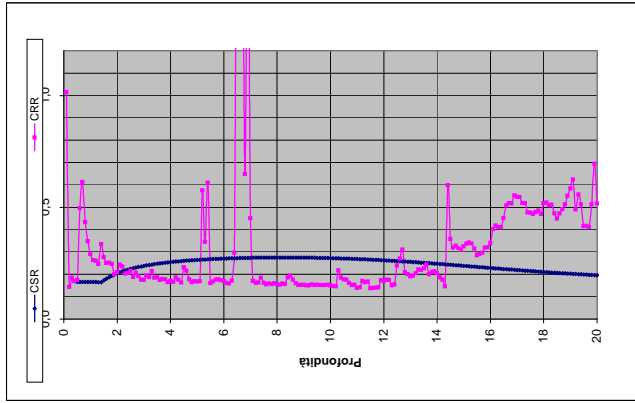
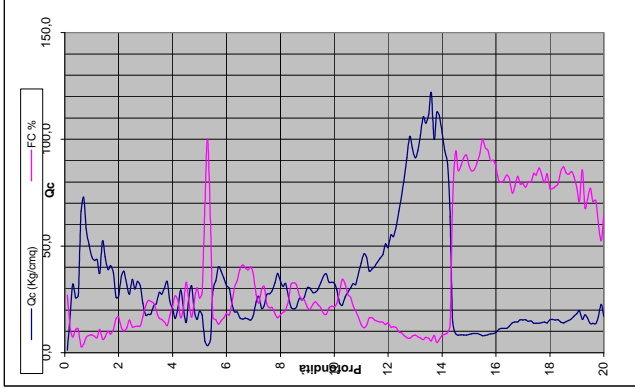
LDI = 5,276 Stot = 0,475 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 13,00 (mt)

LSN = 71,26 PG= 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

After Robertson and Wride (1998).
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

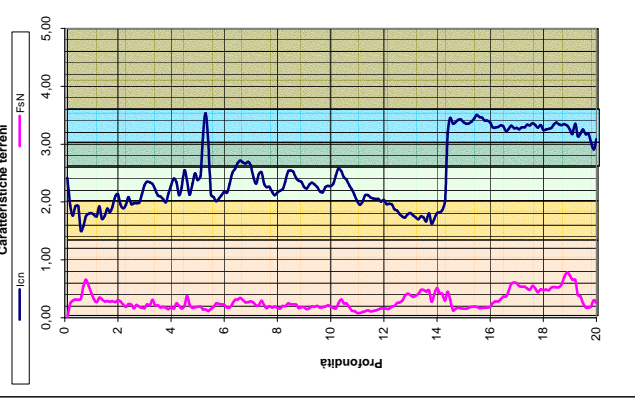
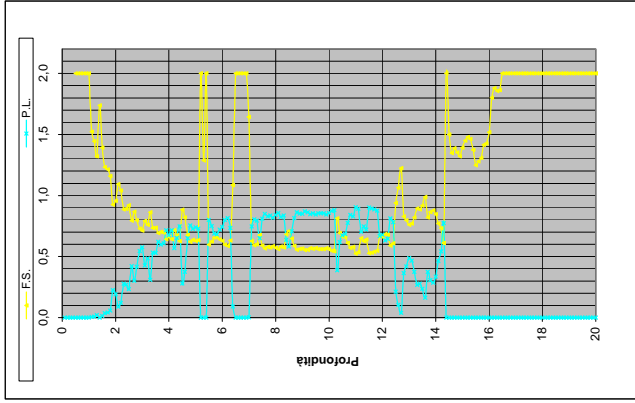
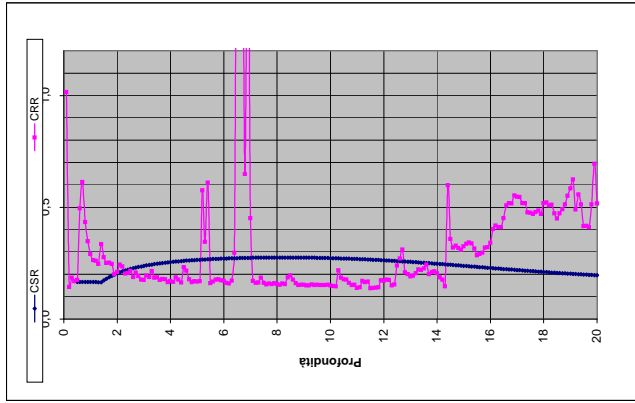
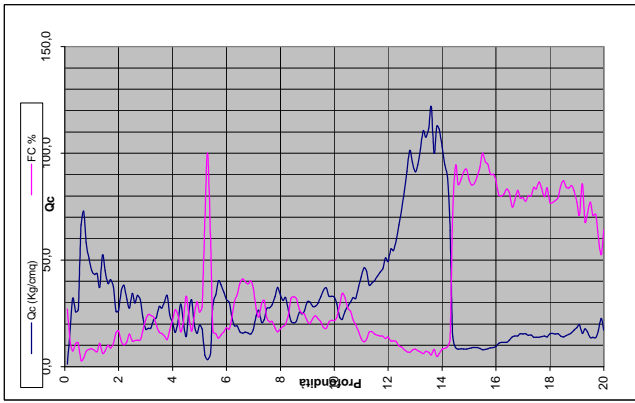
- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- FsN = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- Icn = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn = Soil behaviour index normalized (ad)
- qct1N-cs = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MFS = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRRCSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- Ymax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- εv = vertical reconsolidation strain
- Asi = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- Sur = Sur / σ'vc Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
- qct1N-sr = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu/σ'vc critico - stima sguilibri innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER = Δu/σ'vc sovrappressioni circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Au Dobry M. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry L. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry U. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- Df = Densità relativa (ad)
- Ø = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)

LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on table 3.3.1 from I&I report: "Liquefaction Vulnerability Study"

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P ₂	extremely high to absolutely certain
0.7 > P ₂ ≥ 0.9	high
0.3 > P ₂ ≥ 0.7	medium
0.1 > P ₂ ≥ 0.3	low
P ₂ ≤ 0.1	extremely low to none

PROVA CPT E



IPL = 20,64

PL = 80,33

LDI = 4,366 Stot = 0,368 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 11,10 (mt)

LSN = 55,80

PG = 1,00

CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

Table with 15 columns: Depth (m), q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like Peak ground accel, Water table depth, and CPT-based liquefaction triggering analysis.

Table with 15 columns: City, Nc, CPT, etc. Includes parameters like City, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Main data table with 15 columns: Depth (m), q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Contains numerical data for each depth level.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

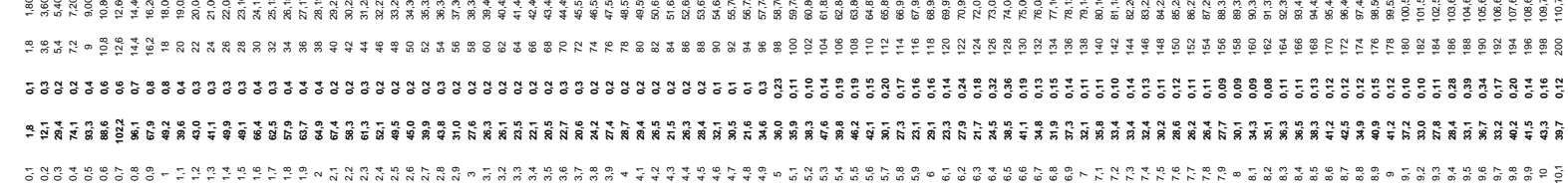
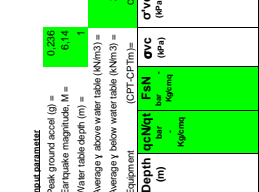
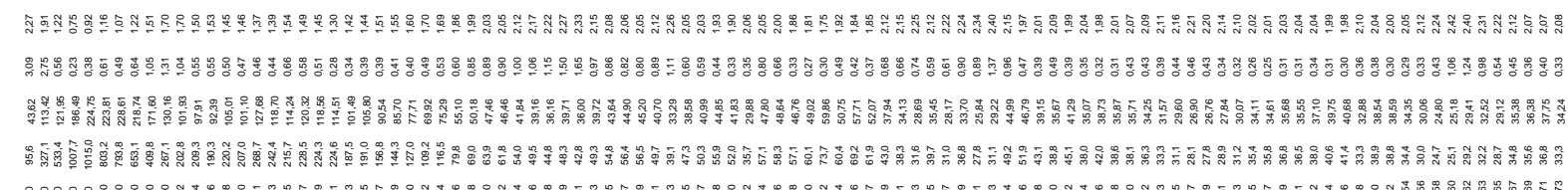
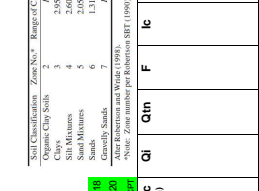
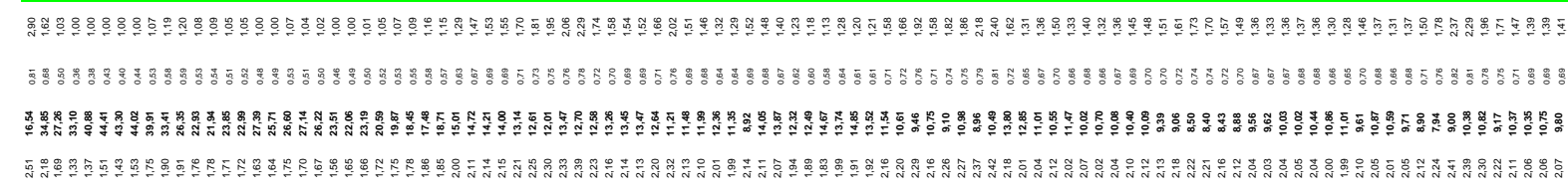
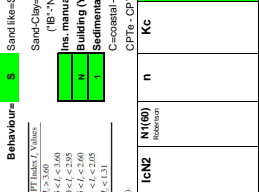
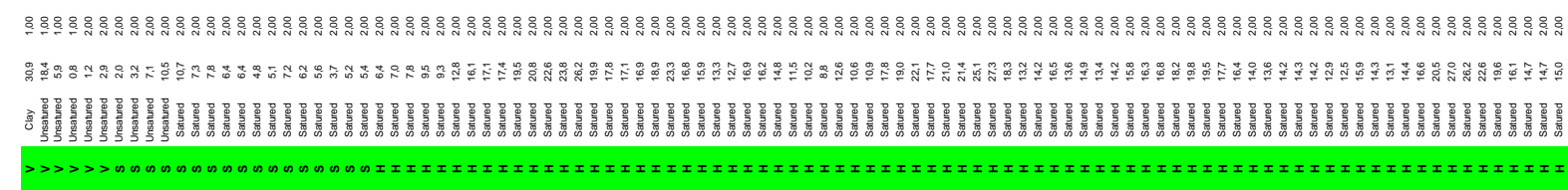
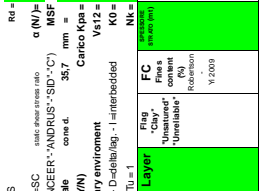
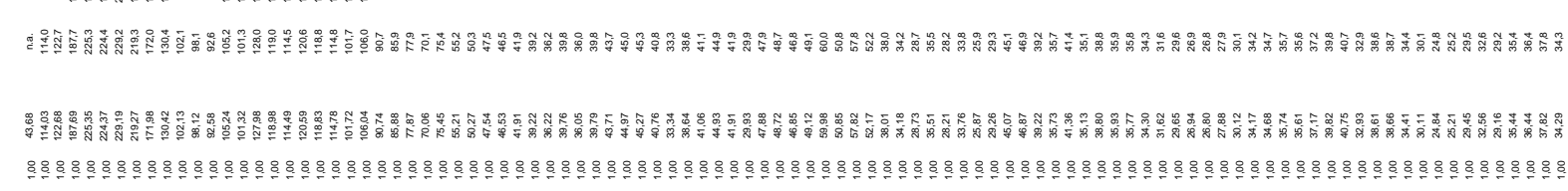
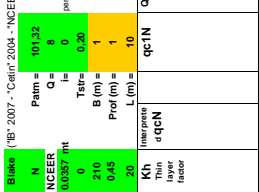
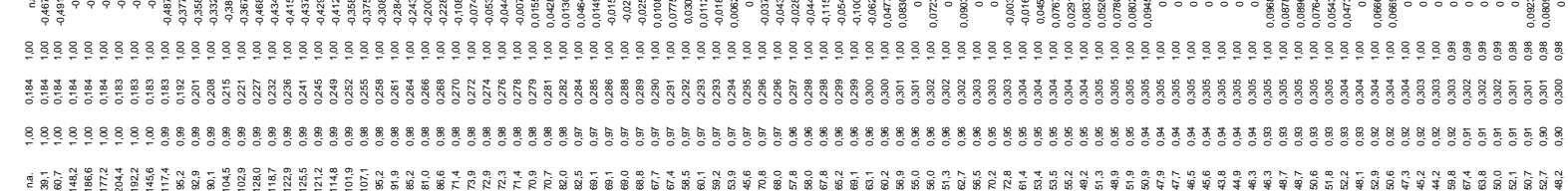
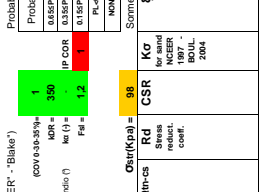
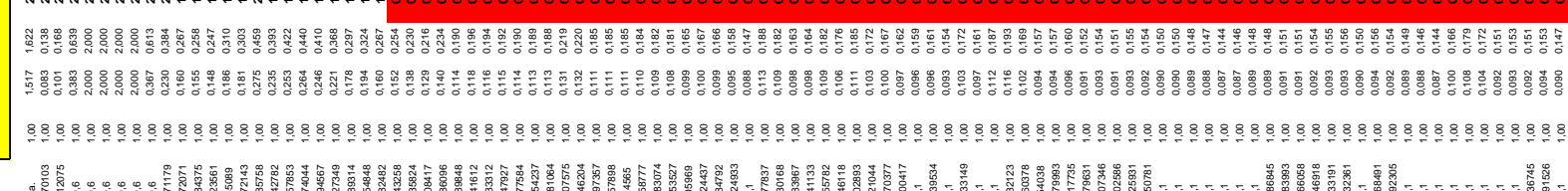
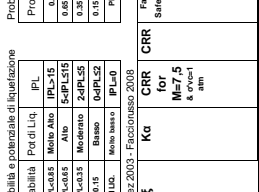
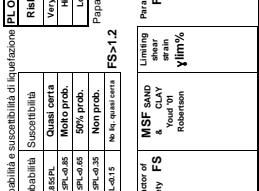
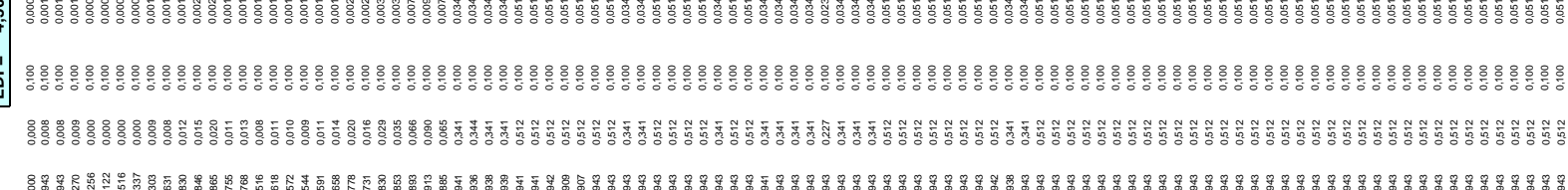
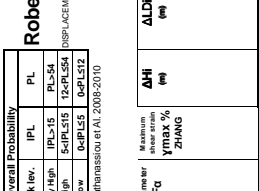
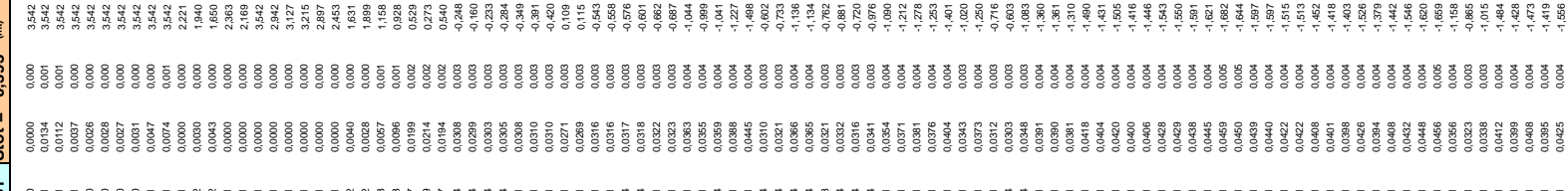
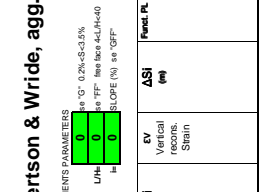
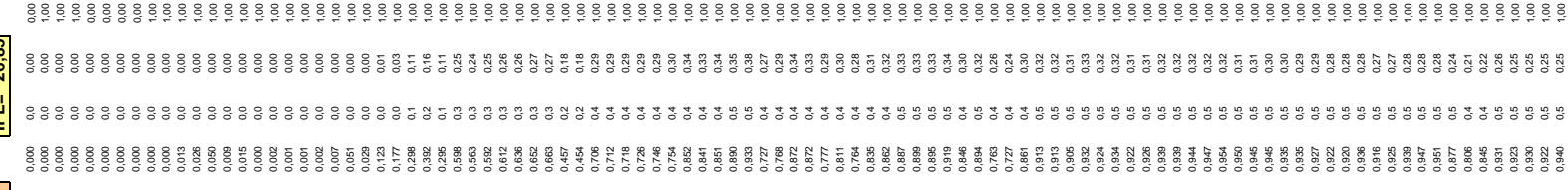
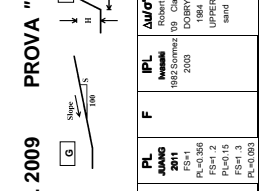
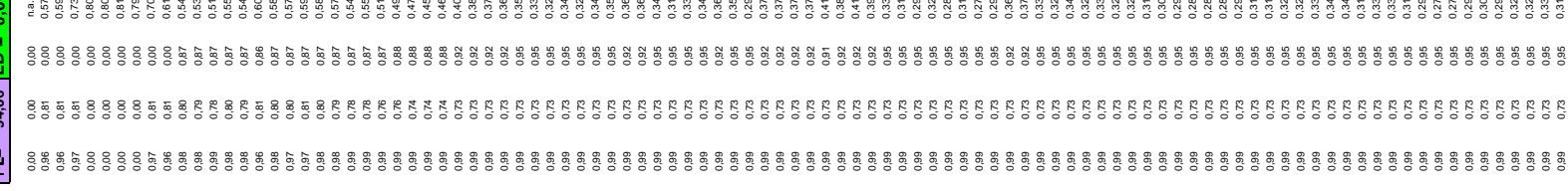
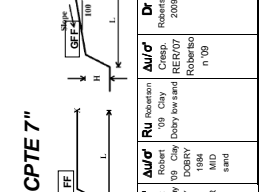
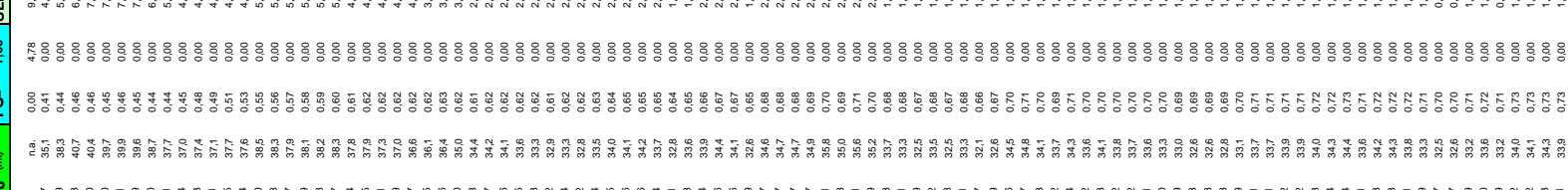
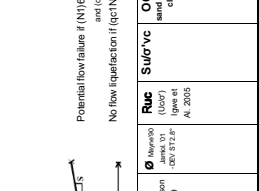
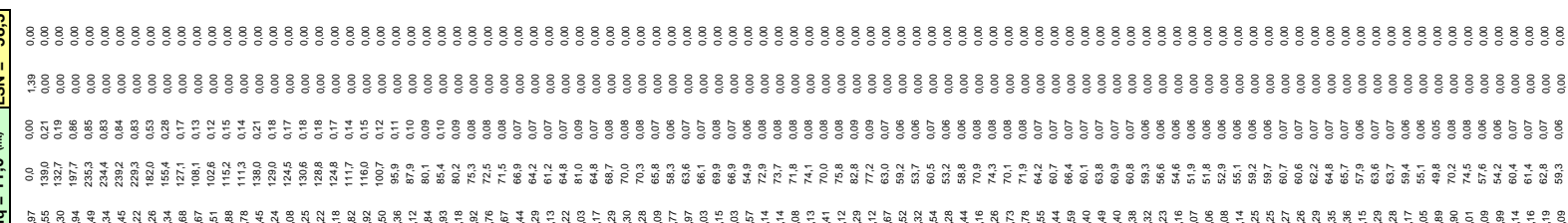
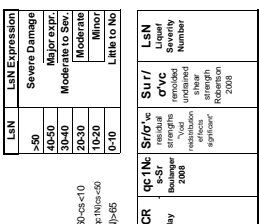
Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

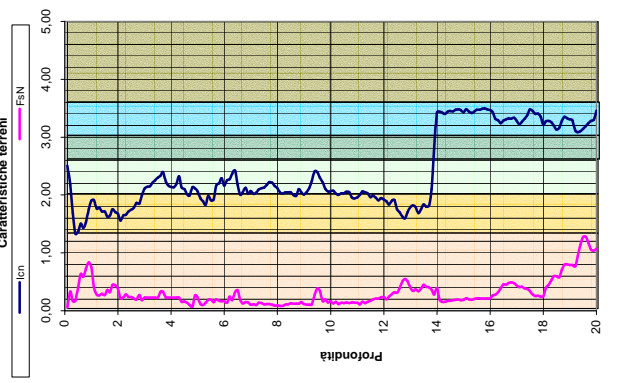
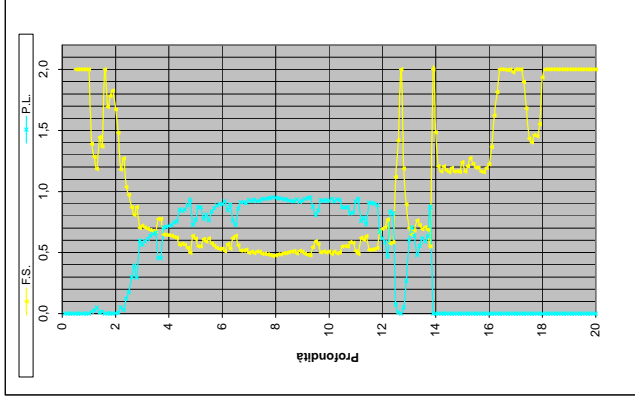
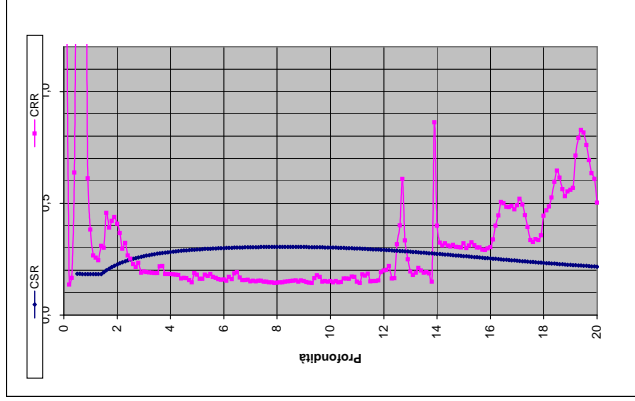
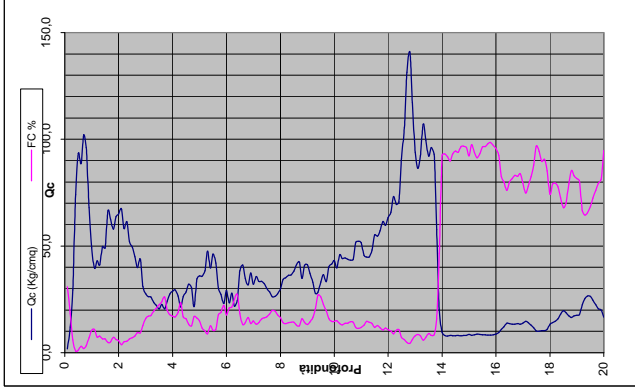
Table with 15 columns: q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc. Includes parameters like q, C, B, N, F, Ic, N(60), n, Nc, CPT, etc.

LSN = 58.3

PL = 26.85, LD = 0.00, SLiq = 11.0, PG = 1.00



DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



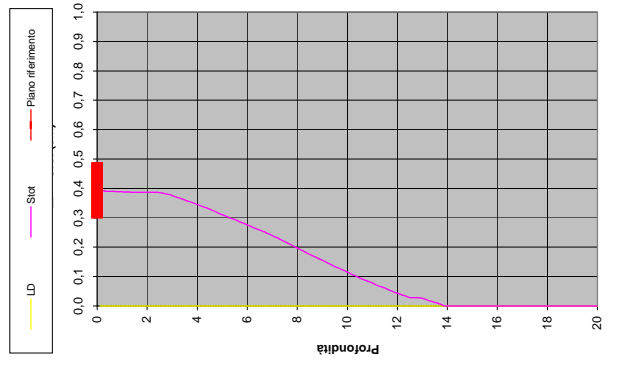
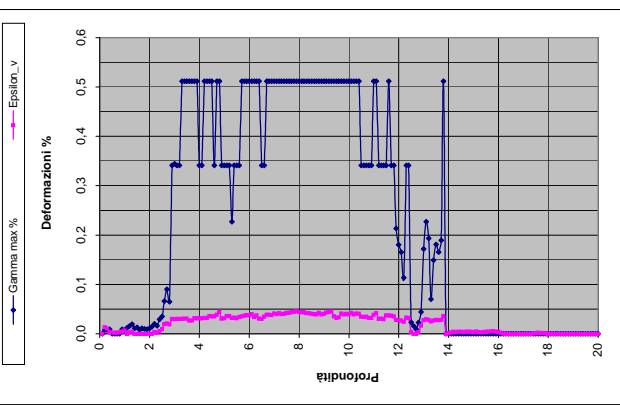
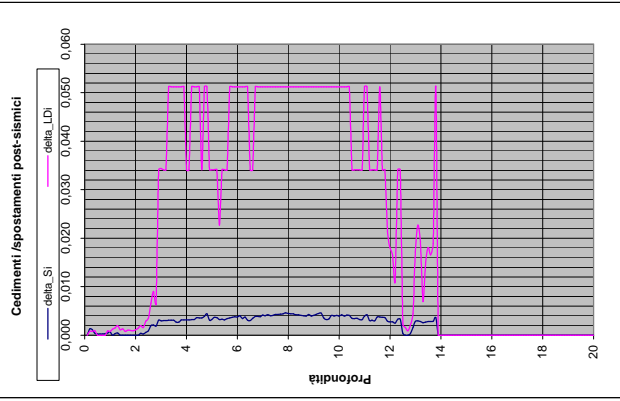
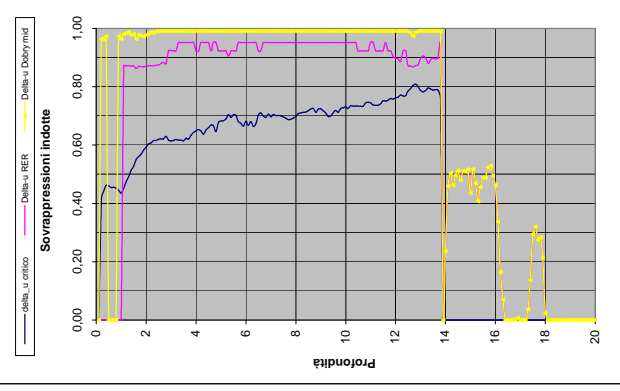
PROVA CPT 7

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3,60
Clays	3	2,95 < I _v < 3,60
SH Mixtures	4	2,60 < I _v < 2,95
Sand Mixtures	5	2,05 < I _v < 2,60
Sands	6	1,31 < I _v < 2,05
Gravelly Sands	7	I _v < 1,31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

- LEGENDA**
- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
 - FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
 - Fsn = Attrito laterale (Kg/cmq)
 - F = rapporto di frizione
 - qtn = parametro di resist. alla punta normal.
 - Icn = Soil behaviour index normalized (ad)
 - qcn = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
 - ξ = parametro di stato
 - KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
 - Rd = stress reduction coefficient (ad)
 - CN = fattore di normalizzazione per carico libstatico (ad)
 - Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
 - Kσz = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
 - MSF = magnitudo scaling factor (ad)
 - F.S. = Fattore di sicurezza (CRRCSR con correzioni) (ad)
 - CSR = Cyclic Stress ratio (ad)
 - CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
 - P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
 - IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
 - Ymax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
 - εv = vertical reconsolidation strain
 - Asi = cedimento i-esimo dello strato (m)
 - Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
 - Sur = Sur / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
 - qt1 = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
 - Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
 - RUC = Δu/εvc critico - stima sogliata innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
 - AU RER = Δu/εvc sovraesposizione circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
 - AU Dobry M. = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - AU Dobry L. = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - AU Dobry U. = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Stote = Cedimento post-sismico totale (m)
 - LDI = Lateral Displacement Index (m)
 - Df = Densità relativa (ad)
 - Ø = angolo di attrito interno (deg)
 - OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
 - Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
 - LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



Expected ground surface damage

0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on table 3.3.1 from I&I report: "Liquefaction Vulnerability Study"

Description of the risk of liquefaction-induced ground failure

Probability	extremely high to absolutely certain
0.9 < P ₂ < P ₀	high
0.7 < P ₂ < 0.9	medium
0.3 < P ₂ < 0.7	low
0.1 < P ₂ < 0.3	extremely low to none

IPL= 26,85

PL= 94,06

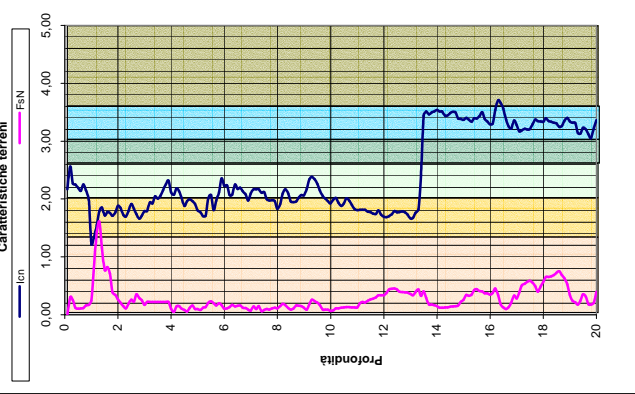
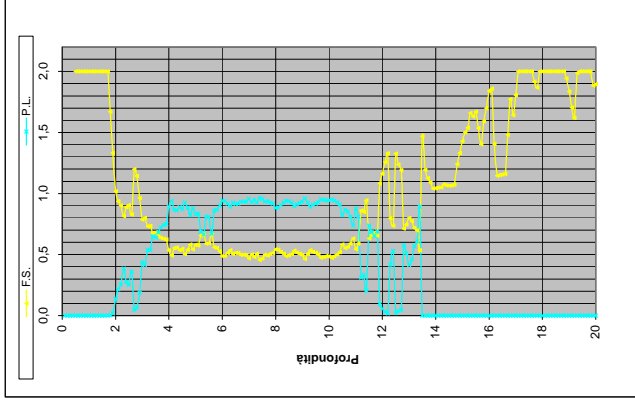
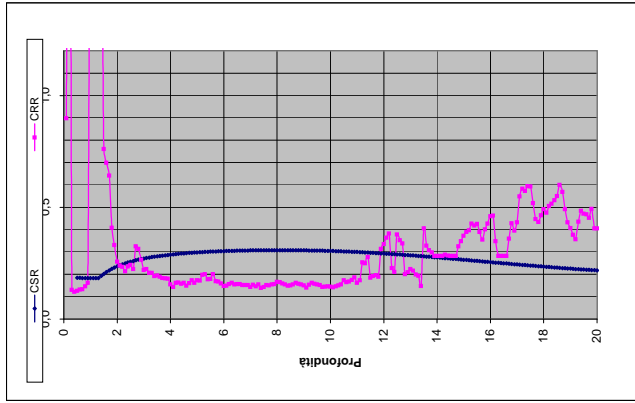
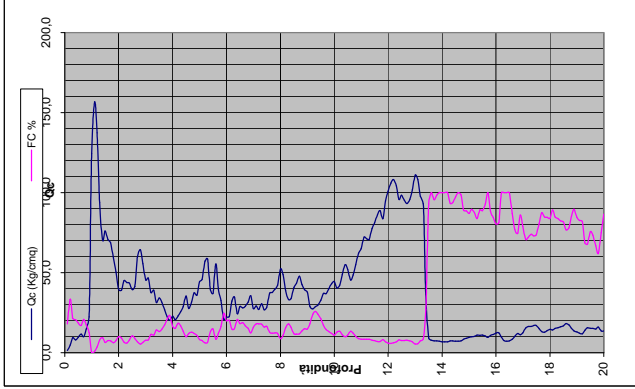
LDI = 4,501 Stot = 0,393 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 11,00 (mt)

LSN = 58,35 PG= 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPT E 8

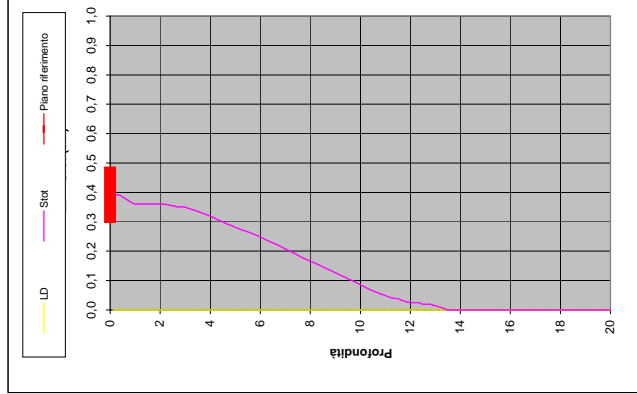
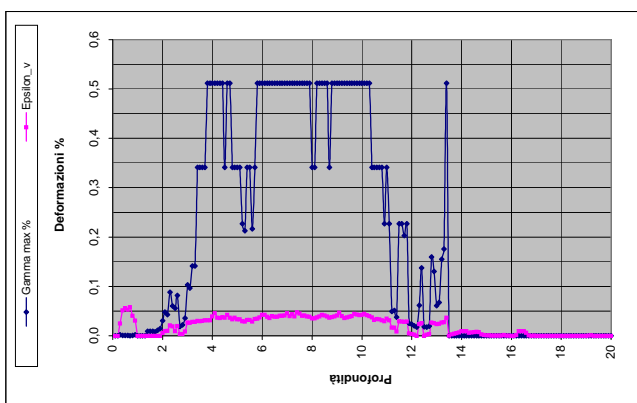
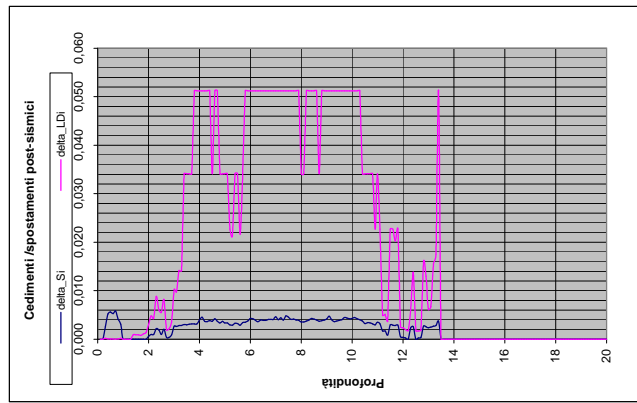
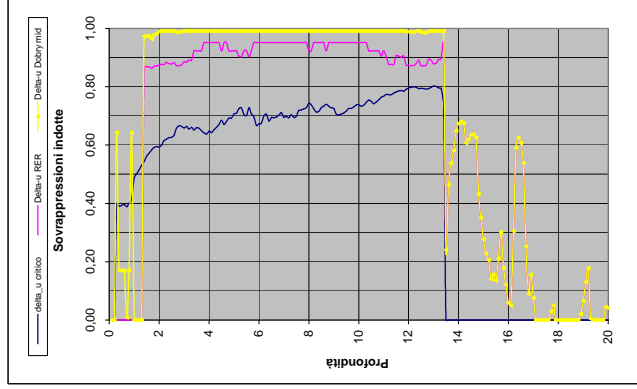
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fsn = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- q_{tn} = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn = Soil behaviour index normalized (ad)
- q_{t1N-cs} = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico libstatico (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσc = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSF = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRRCSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- γ_{max} = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v = vertical reconsolidation strain
- Δs_i = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- S_{ur} = S_{ur} / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- q_{t1N-sr} = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu_{ev}/σ'vc critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER = Δu_{ev}/σ'vc sovrappressioni circ. 11/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Au Dobry M. = Δu_{ev}/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry L. = Δu_{ev}/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry U. = Δu_{ev}/σ'vc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- Df = Densità relativa (ad)
- Ø = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 From I&I report: Liquefaction Vulnerability Study

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 < P ₂ ≤ 1.0	extremely high to absolutely certain
0.7 < P ₂ ≤ 0.9	high
0.3 < P ₂ ≤ 0.7	medium
0.1 < P ₂ ≤ 0.3	low
P ₂ ≤ 0.1	extremely low to none

IPL = 25,90

PL = 92,79

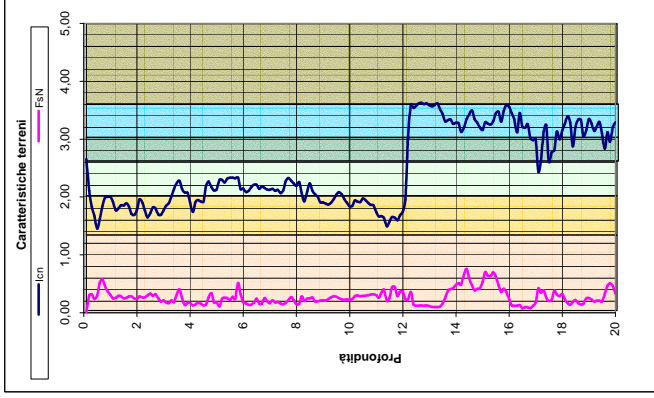
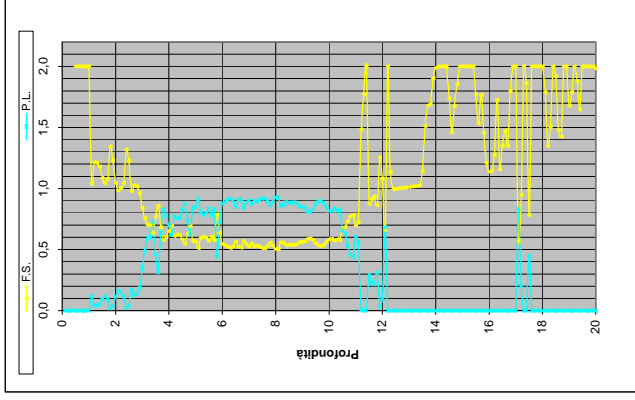
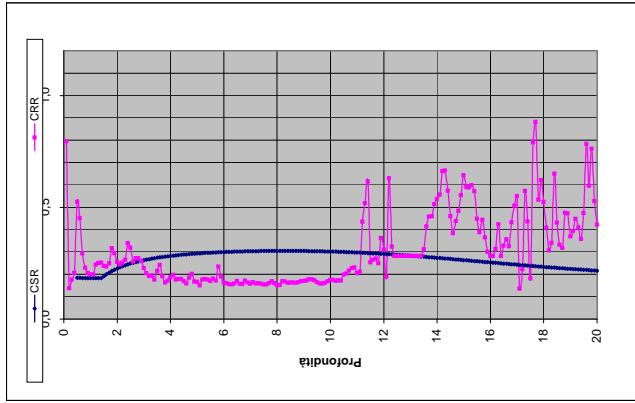
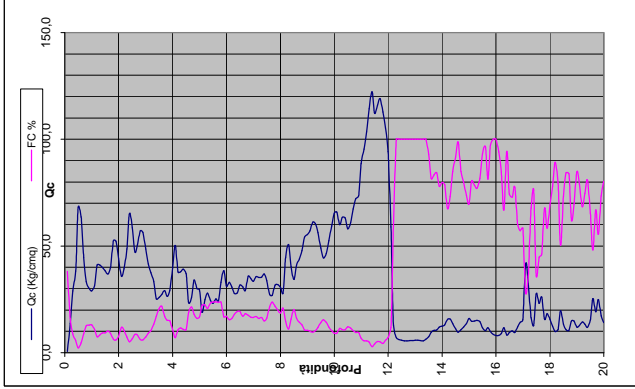
LDI = 3,855 Stot = 0,392 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 10,50 (mt)

LSN = 56,55 PG = 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



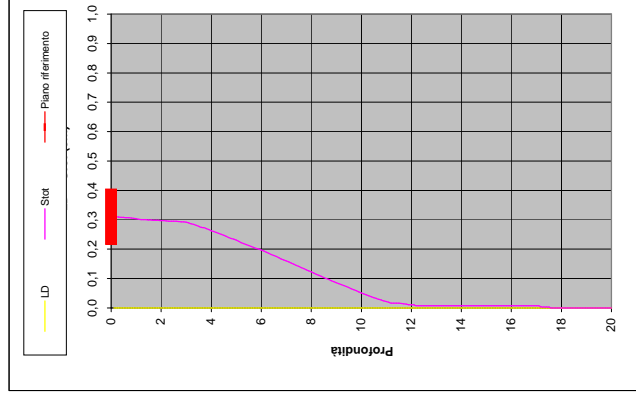
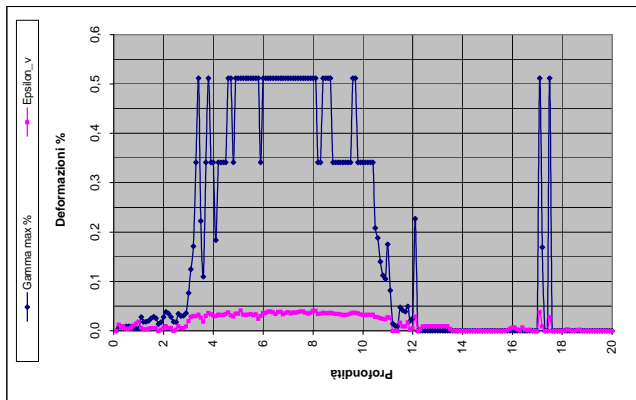
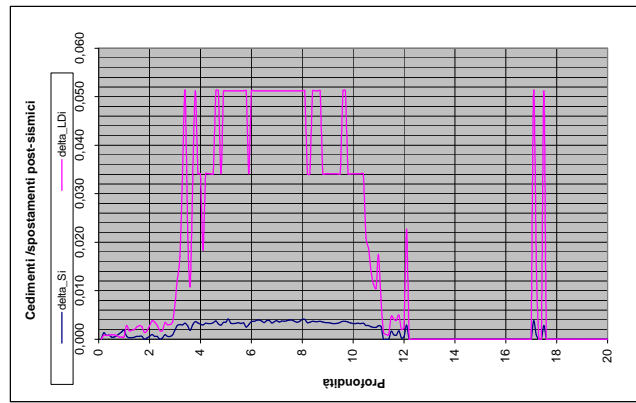
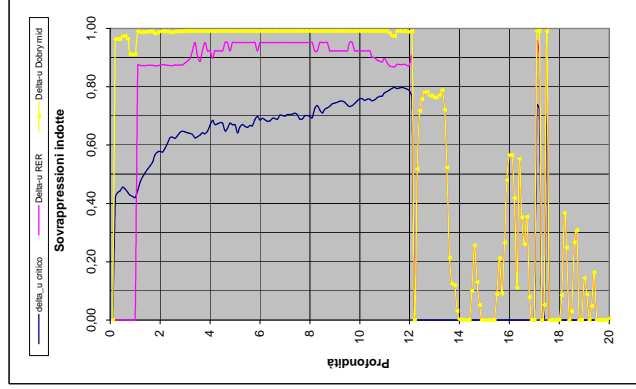
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

After Robertson and Wride (1998).
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- FsN = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- q_{tn} = parametro di resist. alla punta normal.
- I_{bcn} = Soil behaviour index normalized (ad)
- q_{cn} = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico libstatico (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσ_z = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSF = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRRCSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- Ymax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v = vertical reconsolidation strain
- Δs_i = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Su_r = Su_r / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qt1N-sr = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu_{ev}/σ'vc critico - stima sogliata mesico fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER = Δu_{ev}/σ'vc sovrappressione circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- AU Dobry M. = Δu_{ev}/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry L. = Δu_{ev}/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry U. = Δu_{ev}/σ'vc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- Df = Densità relativa (ad)
- Ø = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 from I&I report, 'Liquefaction Vulnerability Study'

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 - P ₀	extremely high to absolutely certain
0.7 - P ₀ ≤ 0.9	high
0.3 - P ₀ ≤ 0.7	medium
0.1 - P ₀ ≤ 0.3	low
P ₀ ≤ 0.1	extremely low to none

IPL = 21,73

PL = 83,82

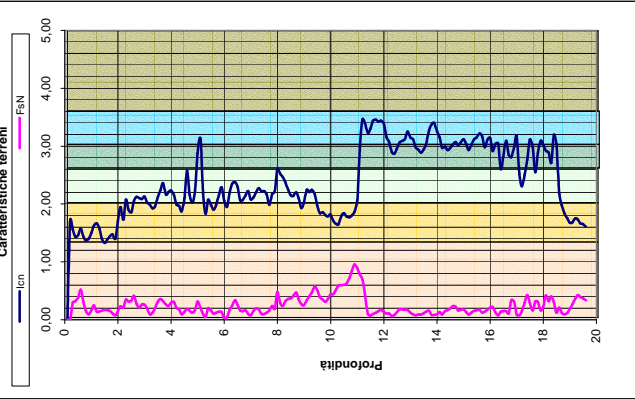
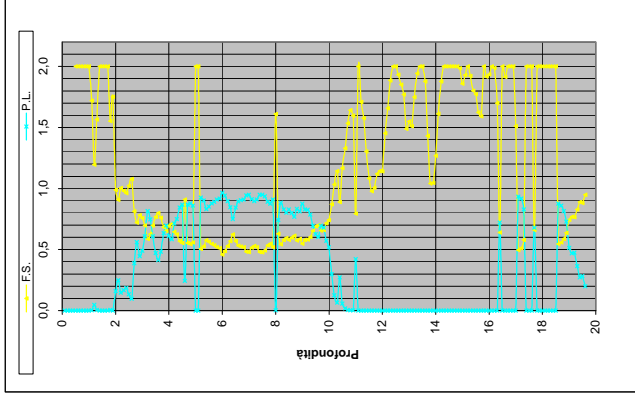
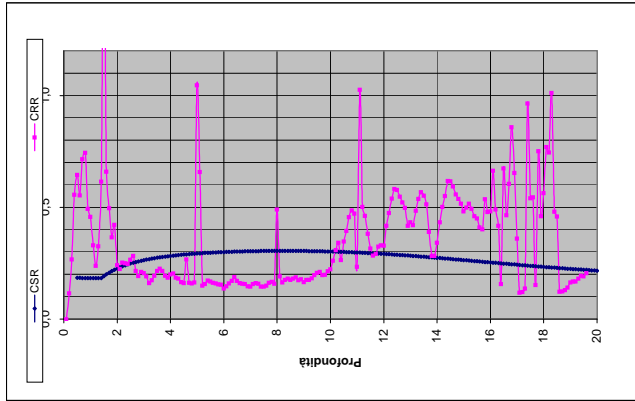
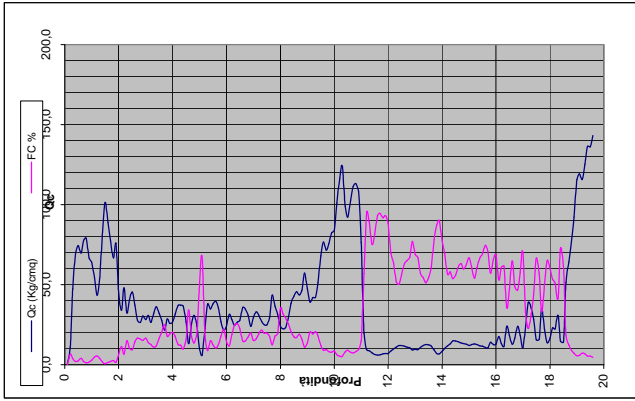
LDI = 3,484 Stot = 0,311 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 9,30 (mt)

LSN = 50,30 PG = 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



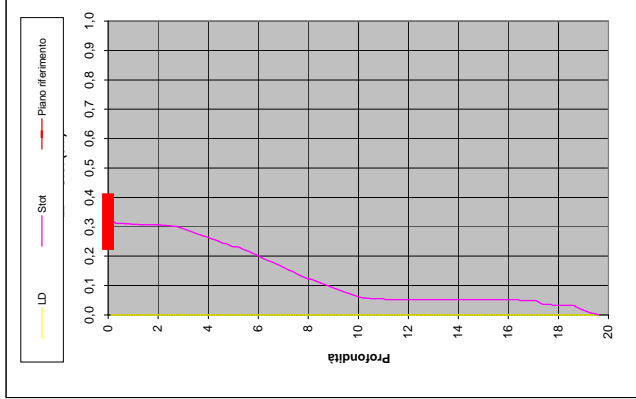
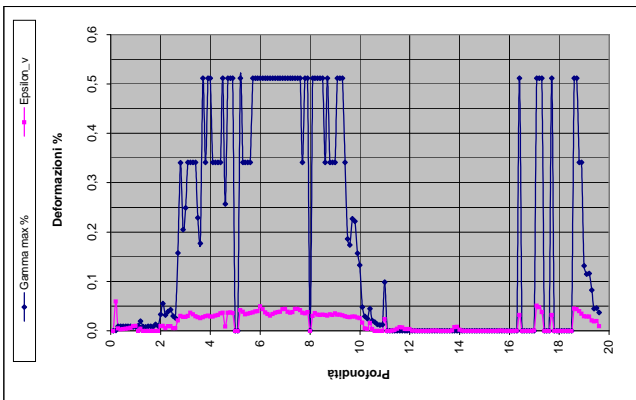
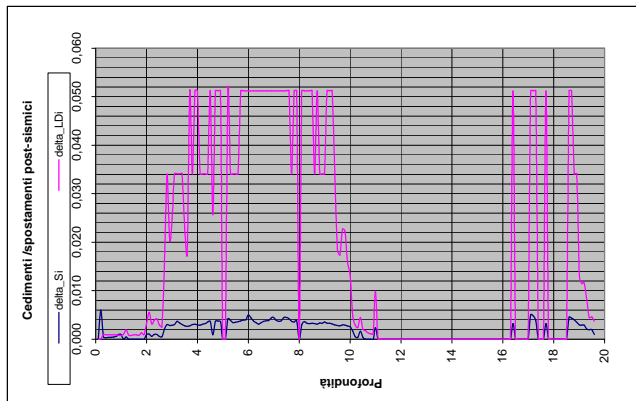
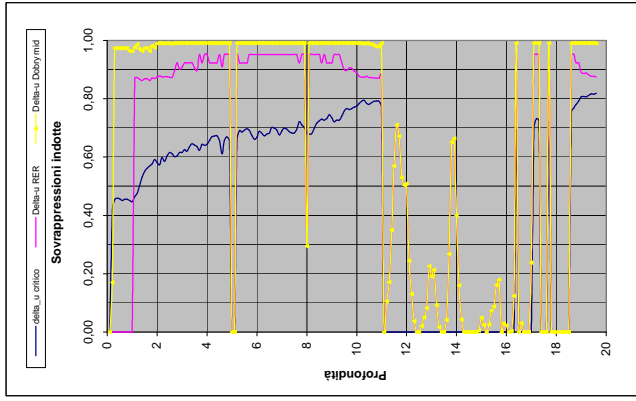
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index (I _v Values)
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fsn = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- qtn = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn = Soil behaviour index normalized (ad)
- qcn = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico libstatico (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσz = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSP = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- Ymax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- εv = vertical reconsolidation strain
- Asi = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- SuR = SuR / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qt1N-sr = Resist. alla penetrez. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu/εvc critico - stima soglii miseco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER = Δu/εvc sovraespressioni circ. 11/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Au Dobry M. = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry L. = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry U. = Δu/εvc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- Df = Densità relativa (ad)
- Ø = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 From I&I report: Liquefaction Vulnerability Study

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P ₀	extremely high to absolutely certain
0.7 > P ₀ ≥ 0.9	high
0.3 > P ₀ ≥ 0.7	medium
0.1 > P ₀ ≥ 0.3	low
P ₀ ≤ 0.1	extremely low to none

IPL = 19,85

PL = 77,48

LDI = 3,474 Stot = 0,319 (mt)

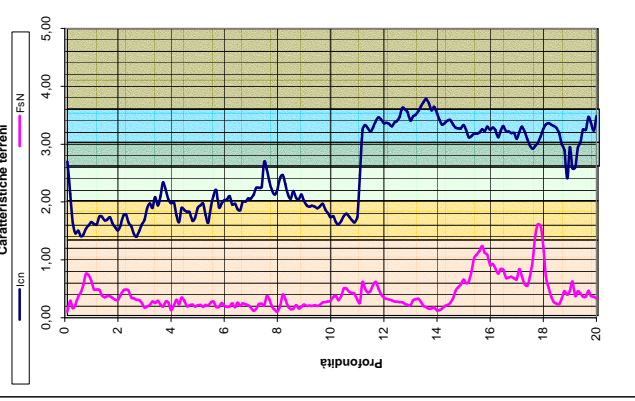
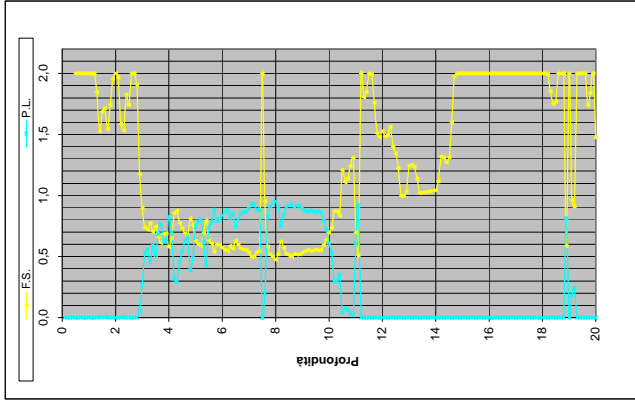
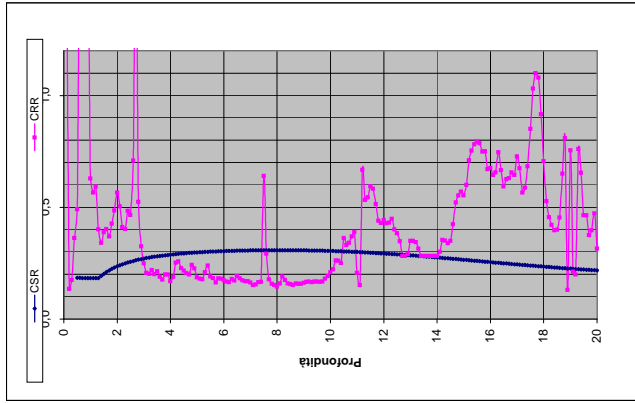
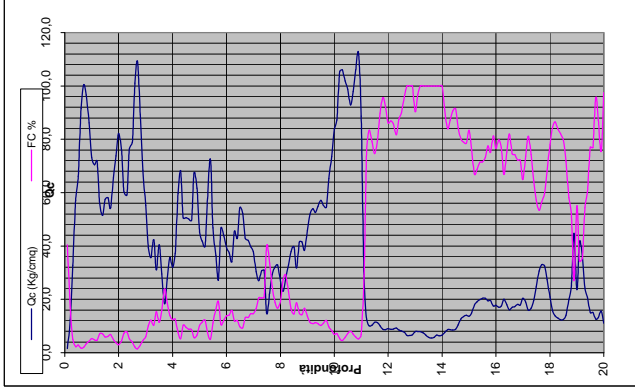
LD = 0,00 (mt)

SLiq = 9,40 (mt)

LSN = 49,18 PG = #NUM!

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009

PROVA CPTE 11



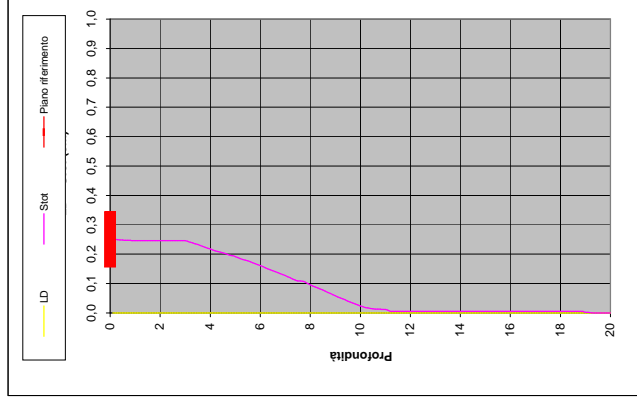
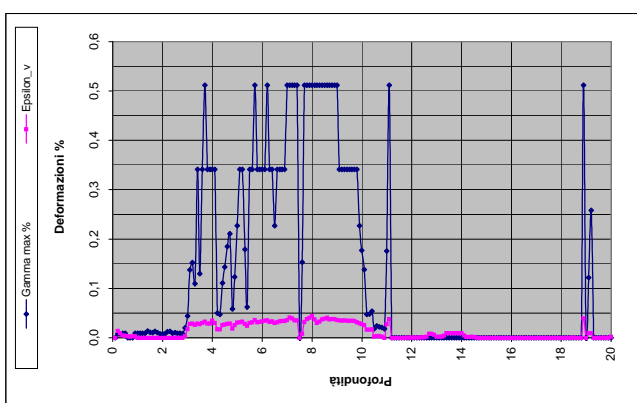
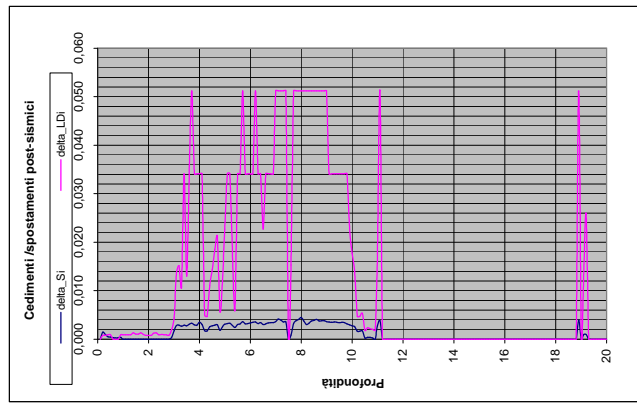
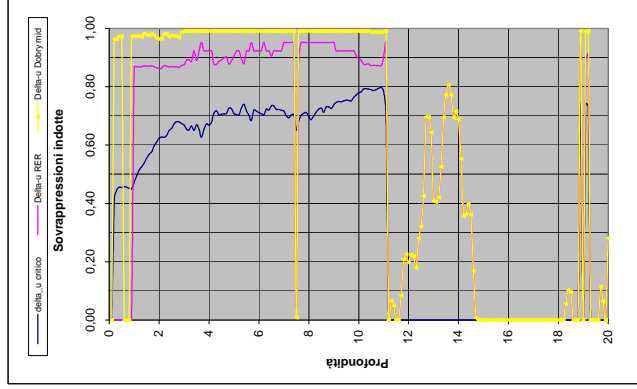
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _{bc} Values
Organic Clay Soils	2	I _{bc} > 3.60
Clays	3	2.95 < I _{bc} < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _{bc} < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _{bc} < 2.60
Sands	6	1.31 < I _{bc} < 2.05
Gravelly Sands	7	I _{bc} < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).
After Robertson and Wride (1998).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- F_N = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- I_{bc} = parametro di resist. alla punta normal.
- I_{bcn} = Soil behaviour index normalized (ad)
- qc1N-cs = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- K_σ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- K_{σz} = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSF = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRRCSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- Ymax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v = vertical reconsolidation strain
- Δs_i = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = S_u / σ'_{vc} resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- S_{ur} = S_{ur} / σ'_{vc} resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qc1N-sr = Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = S_r / σ'_{vc} resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu_{vc}/c_{critico} - stima sogliata mesoco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER = Δu_{vc}/c_{critico} sovrappressione circ. 11/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Au Dobry M. = Δu_{vc}/c_{critico} Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry L. = Δu_{vc}/c_{critico} Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Au Dobry U. = Δu_{vc}/c_{critico} Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- D_r = Densità relativa (ad)
- Ø = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- S_i = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 from I&I report, Liquefaction Vulnerability Study

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P ₂ > 0.7	extremely high to absolutely certain
0.7 > P ₂ > 0.9	high
0.3 > P ₂ > 0.7	medium
0.1 > P ₂ > 0.3	low
P ₂ < 0.1	extremely low to none

IPL = 18,22

PL = 70,70

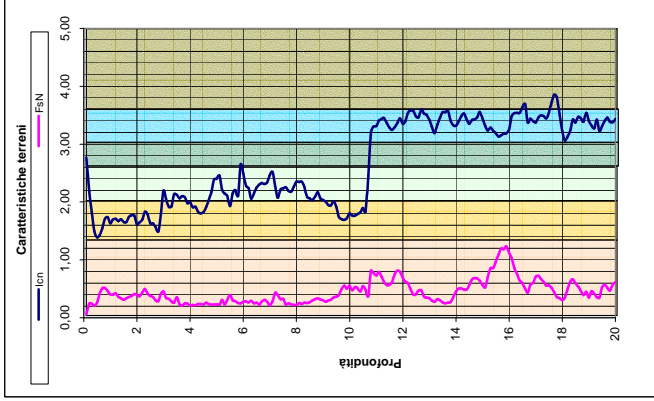
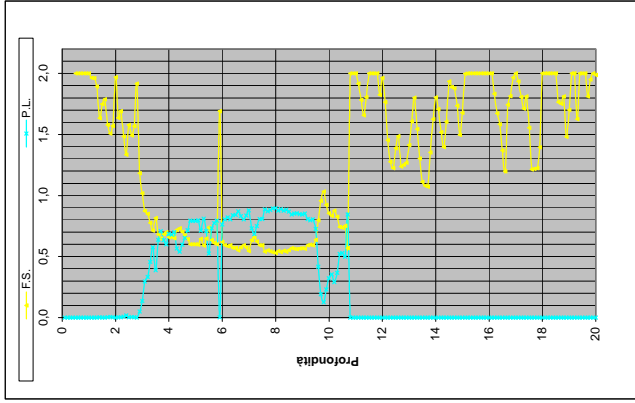
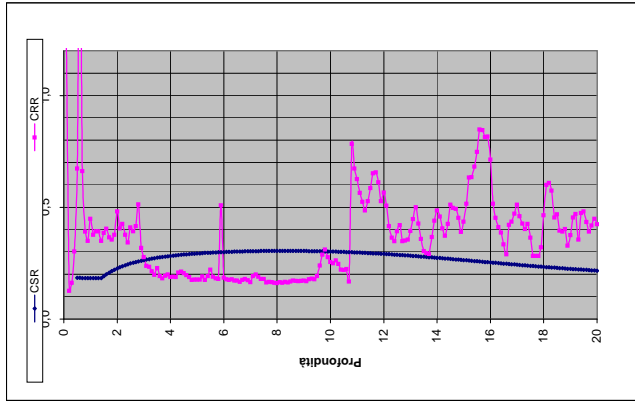
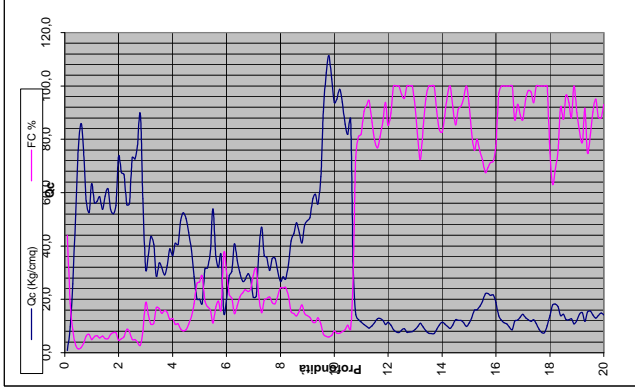
LDI = 2,579 Stot = 0,251 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 7,90 (mt)

LSN = 39,38 PG = 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



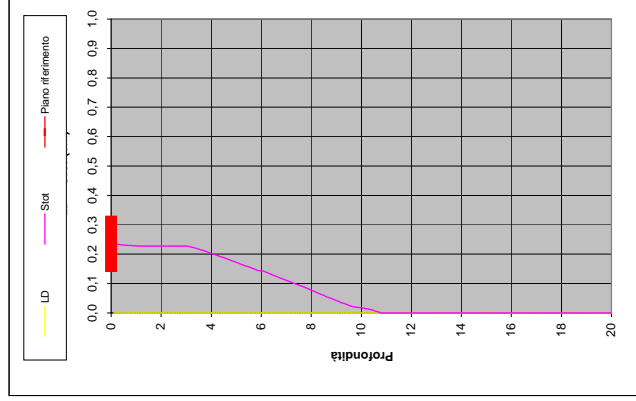
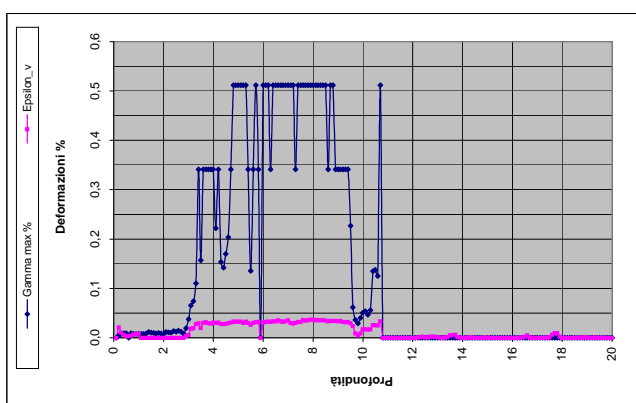
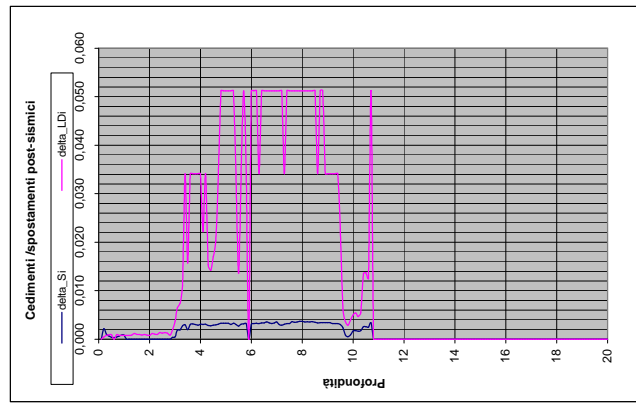
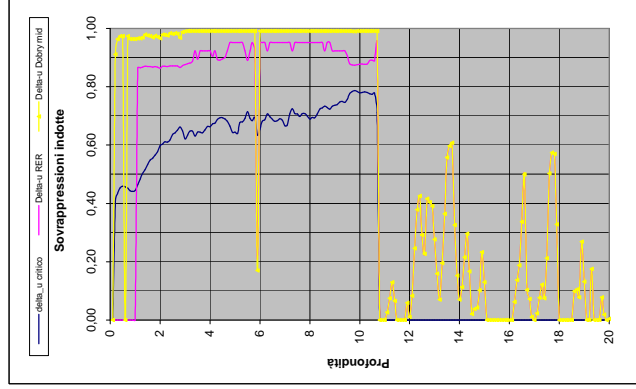
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).
 After Robertson and Wride (1998).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fsn = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- qtn = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn = Soil behaviour index normalized (ad)
- q_{t1N-cs} = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- K_σ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- K_{σz} = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- M_{SF} = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- γ_{max} = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v = vertical reconsolidation strain
- Δs_i = cedimento i-esimo dello strato (m)
- S_u = S_u / σ'_{vc} resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- S_{ur} = S_{ur} / σ'_{vc} resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- q_{t1N-sr} = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- S_r = S_r / σ'_{vc} resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu_{evc} critico - stima sguadri mesoco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER = Δu_{evc} sovrappresioni circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- AU Dobry M. = Δu_{evc} Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry L. = Δu_{evc} Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry U. = Δu_{evc} Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- D_r = Densità relativa (ad)
- φ = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraccarico (sabbie e argille) (ad)
- S_i = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on table 3.31 from I&I report: Liquefaction Vulnerability Study

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P ₂ > 0.9	extremely high to absolutely certain
0.7 > P ₂ > 0.9	high
0.3 > P ₂ > 0.7	medium
0.1 > P ₂ > 0.3	low
P ₂ < 0.1	extremely low to none

IPL = 17,31

PL = 66,39

LDI = 2,697 Stot = 0,235 (mt)

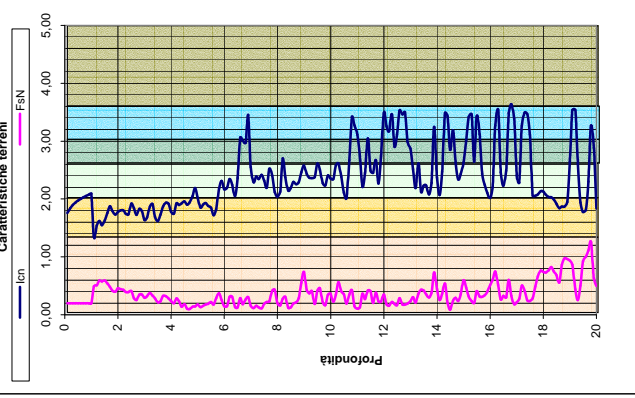
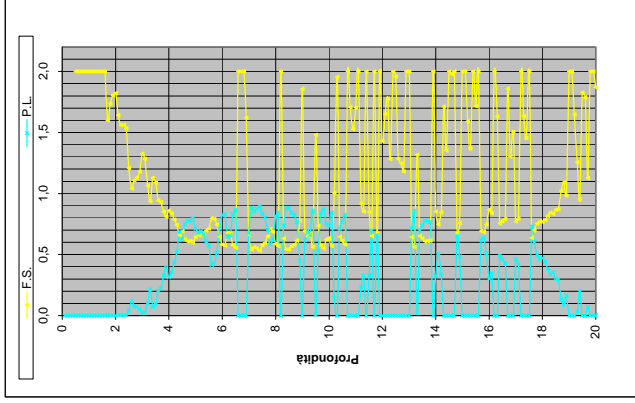
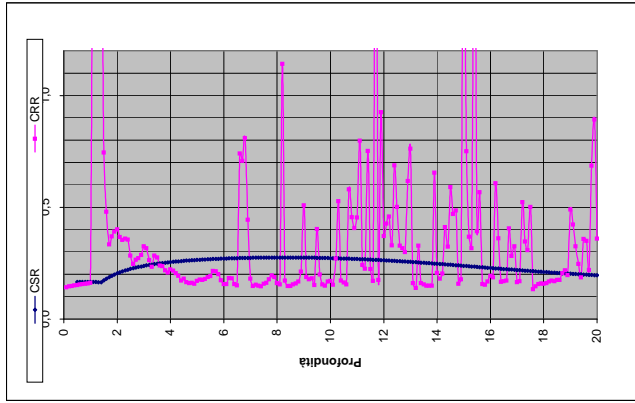
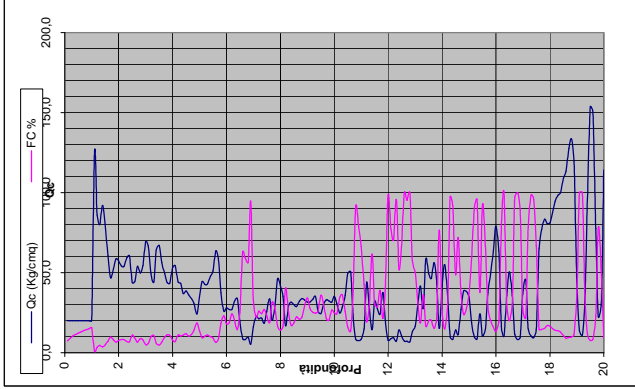
LD = 0,00 (mt)

SLiq = 7,50 (mt)

LSN = 37,32

PG = 1,00

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPTU 1 - Colonia Montecatini

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	I _v > 3.60
Clays	3	2.95 < I _v < 3.60
SH Mixtures	4	2.60 < I _v < 2.95
Sand Mixtures	5	2.05 < I _v < 2.60
Sands	6	1.31 < I _v < 2.05
Gravelly Sands	7	I _v < 1.31

After Robertson and Wride (1998).
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).



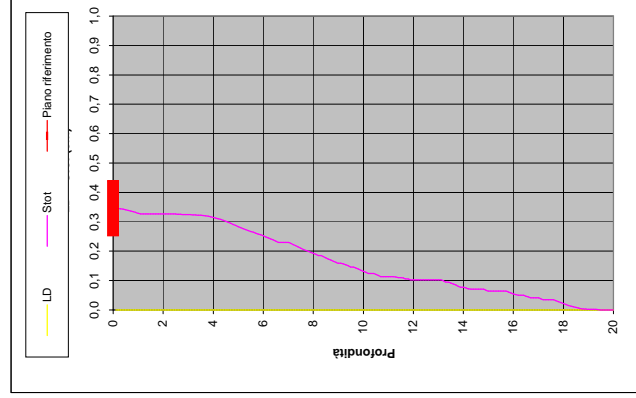
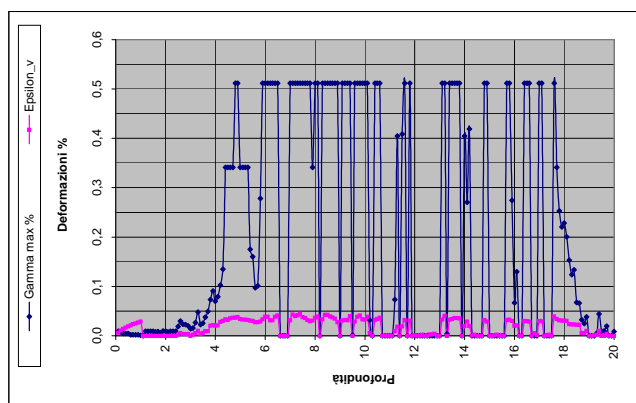
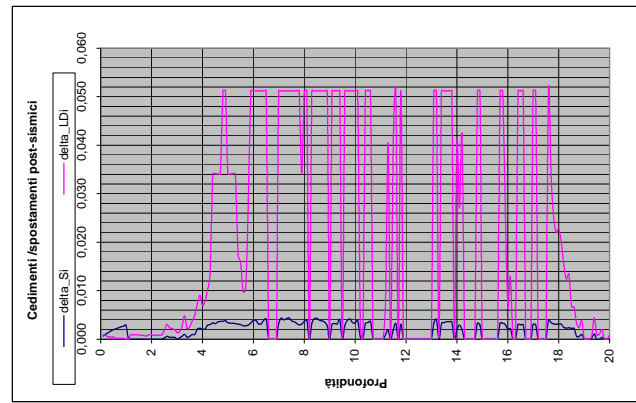
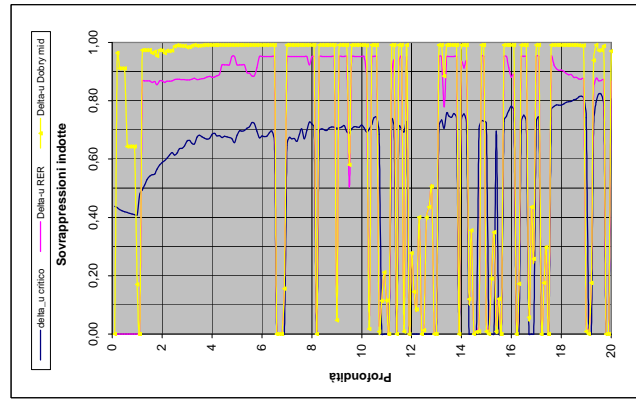
LEGENDA

- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- Fsn = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- qtn = parametro di resist. alla punta normal.
- Icn = Soil behaviour index normalized (ad)
- q1N-cs = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- Kσ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- Kσz = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSP = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S. = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- γmax = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- εv = vertical reconsolidation strain
- Δsi = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- SuR = SuR / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qt1N-sr = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu/σ'vc critico - stima soglied miseco fenomeni di instabilità/liquefazione
- AU RER = Δu/σ'vc sovrappressioni circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- AU Dobry M. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry L. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry U. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stote = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- Df = Densità relativa (ad)
- Ø = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- Sr = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)

LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 from I&I report: Liquefaction Vulnerability Study

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
0.9 > P _g	extremely high to absolutely certain
0.7 > P _g ≥ 0.9	high
0.3 > P _g ≥ 0.7	medium
0.1 > P _g ≥ 0.3	low
P _g ≤ 0.1	extremely low to none



IPL = 15,88

PL = 59,15

LDI = 3,961 Stot = 0,346 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 10,30 (mt)

LSN = 40,75 PG = 1,00

CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

Table with columns: Depth (m), q (kPa), qc (kPa), fs (kPa), N60 (blows/30cm), etc. Includes data for various depths from 0.1 to 10.1 meters.

Table with columns: Depth (m), N60, fs, qc, etc. Includes data for various depths from 0.1 to 10.1 meters.

Table with columns: Depth (m), N60, fs, qc, etc. Includes data for various depths from 0.1 to 10.1 meters.

Table with columns: Depth (m), N60, fs, qc, etc. Includes data for various depths from 0.1 to 10.1 meters.

Table with columns: Depth (m), N60, fs, qc, etc. Includes data for various depths from 0.1 to 10.1 meters.

Table with columns: Depth (m), N60, fs, qc, etc. Includes data for various depths from 0.1 to 10.1 meters.

Table with columns: Depth (m), N60, fs, qc, etc. Includes data for various depths from 0.1 to 10.1 meters.

PROFONDITÀ DI CALCOLO (mt da p.c.): 0.0

Main data table with columns: Depth (m), L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32, L33, L34, L35, L36, L37, L38, L39, L40, L41, L42, L43, L44, L45, L46, L47, L48, L49, L50, L51, L52, L53, L54, L55, L56, L57, L58, L59, L60, L61, L62, L63, L64, L65, L66, L67, L68, L69, L70, L71, L72, L73, L74, L75, L76, L77, L78, L79, L80, L81, L82, L83, L84, L85, L86, L87, L88, L89, L90, L91, L92, L93, L94, L95, L96, L97, L98, L99, L100. Includes various parameters like LSI, S, etc.

PROVA "CPTU 2 Il Canialino"

Table with columns: Depth (m), L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32, L33, L34, L35, L36, L37, L38, L39, L40, L41, L42, L43, L44, L45, L46, L47, L48, L49, L50, L51, L52, L53, L54, L55, L56, L57, L58, L59, L60, L61, L62, L63, L64, L65, L66, L67, L68, L69, L70, L71, L72, L73, L74, L75, L76, L77, L78, L79, L80, L81, L82, L83, L84, L85, L86, L87, L88, L89, L90, L91, L92, L93, L94, L95, L96, L97, L98, L99, L100. Includes various parameters like LSI, S, etc.

PROBABILITÀ DI SUCCESSIONE DI SUFFICAZIONE

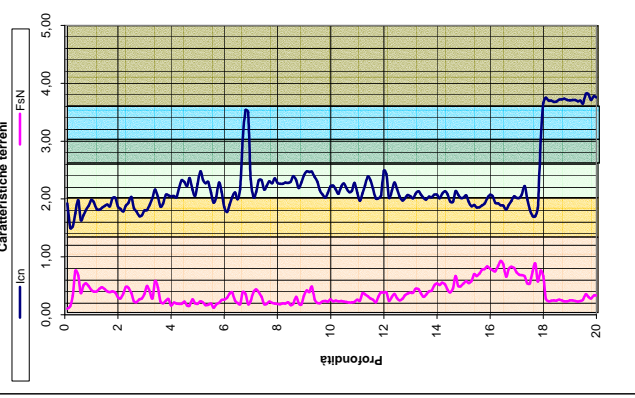
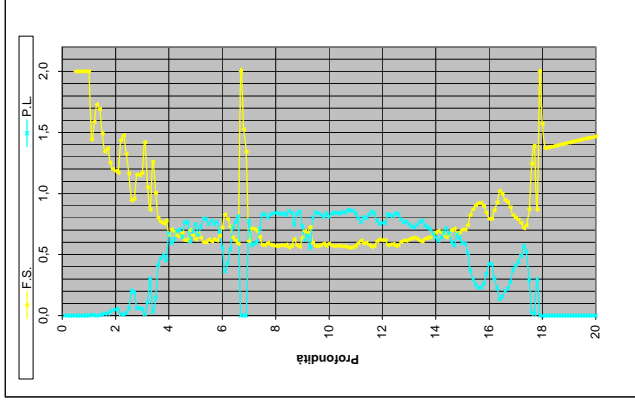
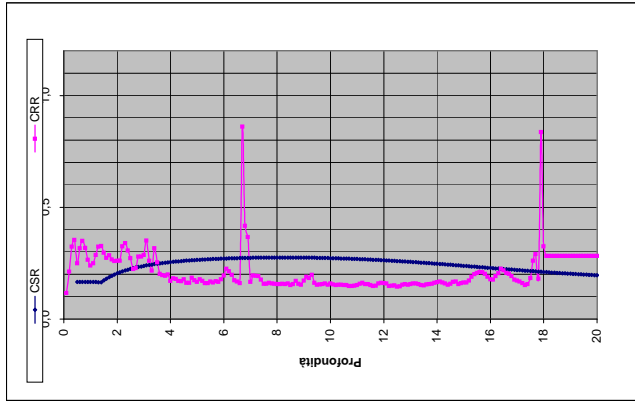
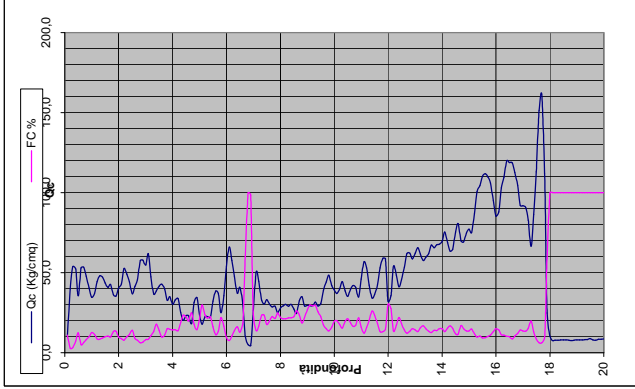
Table with columns: Depth (m), L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32, L33, L34, L35, L36, L37, L38, L39, L40, L41, L42, L43, L44, L45, L46, L47, L48, L49, L50, L51, L52, L53, L54, L55, L56, L57, L58, L59, L60, L61, L62, L63, L64, L65, L66, L67, L68, L69, L70, L71, L72, L73, L74, L75, L76, L77, L78, L79, L80, L81, L82, L83, L84, L85, L86, L87, L88, L89, L90, L91, L92, L93, L94, L95, L96, L97, L98, L99, L100. Includes various parameters like LSI, S, etc.

LSN = 54.9, SLiq = 14.0 (m), LD = 0.00 (m), PL = 86.41, IPL = 22.67, LDI = 5.301, Stot = 0.463 (mt), LSI = 0.99

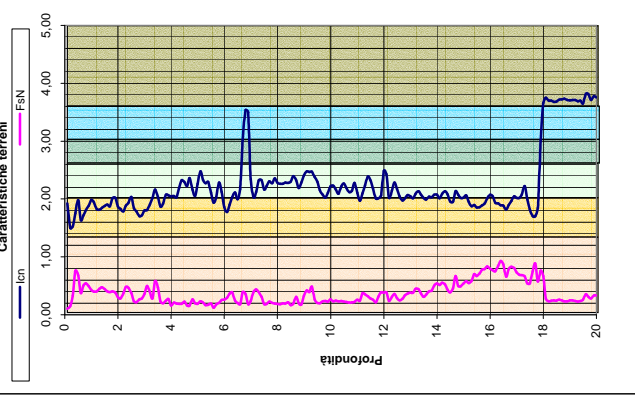
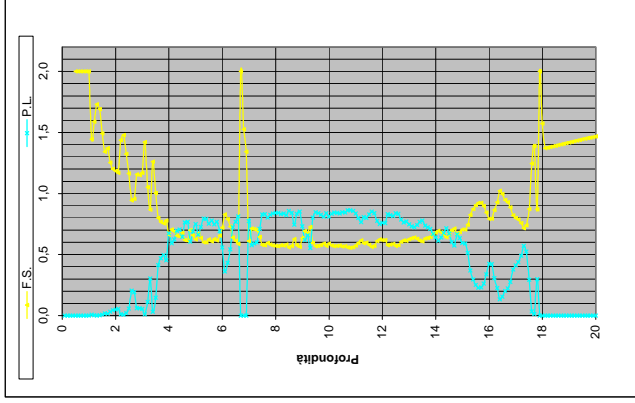
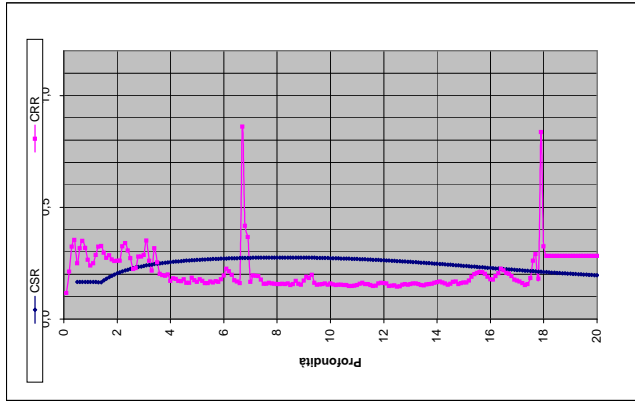
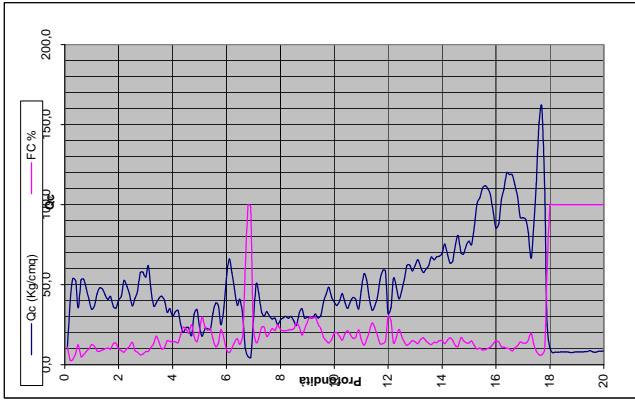
LSN = 54.9, SLiq = 14.0 (m), LD = 0.00 (m), PL = 86.41, IPL = 22.67, LDI = 5.301, Stot = 0.463 (mt), LSI = 0.99

LSN = 54.9, SLiq = 14.0 (m), LD = 0.00 (m), PL = 86.41, IPL = 22.67, LDI = 5.301, Stot = 0.463 (mt), LSI = 0.99

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPTU 2 - Il Canailino



Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I _v Values
Organic Clay Soils	2	$I_v > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I_v < 3.60$
SH Mixtures	4	$2.60 < I_v < 2.95$
Sand Mixtures	5	$2.05 < I_v < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I_v < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I_v < 1.31$

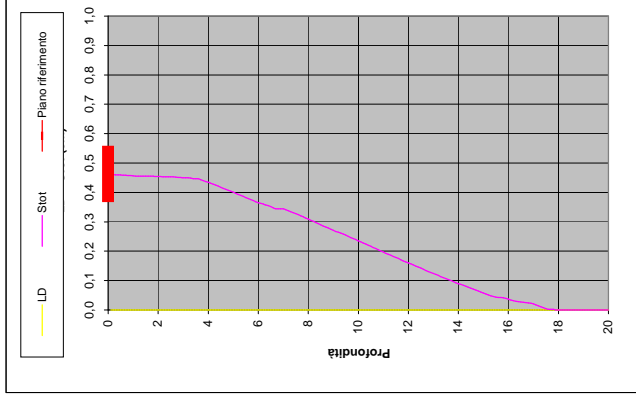
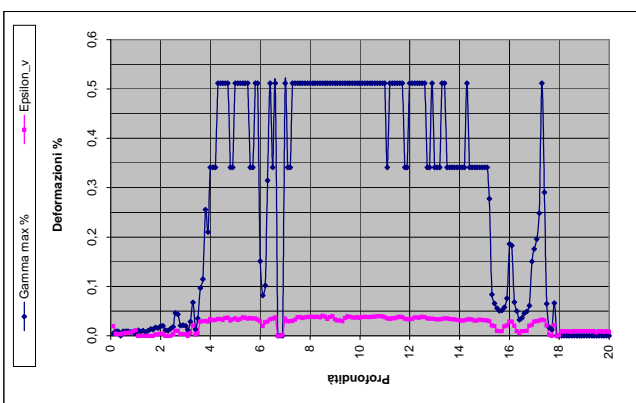
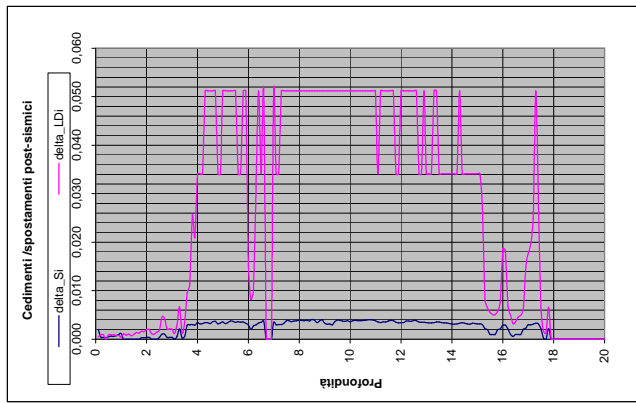
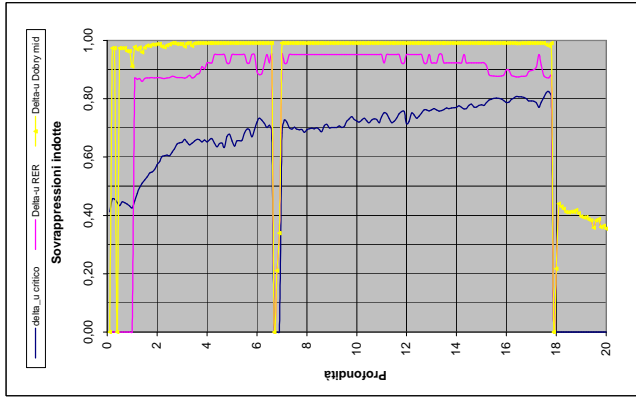
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

After Robertson and Wride (1998).

Argille - terreni organici
 Argille - argilla/argilla limosa
 Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
 Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
 Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
 sabbie ghiaiose / sabbie dense

LEGENDA

- q_c = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- F_c = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- F_{sn} = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F = rapporto di frizione
- q_{tn} = parametro di resist. alla punta normal.
- I_{cn} = Soil behaviour index normalized (ad)
- q_{t1N-cs} = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH = (fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- R_d = stress reduction coefficient (ad)
- CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- K_{σ} = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- $K_{\sigma'}$ = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- M_{SF} = magnitudo scaling factor (ad)
- $F.S.$ = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR = Cyclic Stress Ratio (ad)
- CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- $P.L.$ = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL = indice di potenziale di liquefazione (ad)
- γ_{max} = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v = vertical reconsolidation strain
- Δs_i = cedimento i-esimo dello strato (m)
- Su = Su / σ'_{vc} resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Su_r = Su_r / σ'_{vc} resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- q_{t1N-sr} = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr = Sr / σ'_{vc} resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- RUC = Δu_{vc} critico - stima sogliata miseco fenomeni di instabilità/liquefazione
- $AU RER$ = Δu_{vc} sovrappressioni circ. 11/2/2007 - tabella 2 R.E.R.
- AU Dobry M. Δu_{vc} Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry L. Δu_{vc} Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- AU Dobry U. Δu_{vc} Dobry et al. 1984 "Upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- $Stot$ = Cedimento post-sismico totale (m)
- LDI = Lateral Displacement Index (m)
- D_r = Densità relativa (ad)
- θ = angolo di attrito interno (deg)
- OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- S_i = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)
- LSN = Liquefaction Severity Number (ad)



LSN Range	Expected ground surface damage
0-10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10-20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20-30	Moderate expression of liquefaction, with some sand boils and structural damage
30-40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40-50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlements of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction as surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

*Data based on Table 3.31 From I&I report: Liquefaction Vulnerability Study

Probability induced ground failure	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_2 \leq 1.0$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_2 \leq 0.9$	high
$0.3 < P_2 \leq 0.7$	medium
$0.1 < P_2 \leq 0.3$	low
$P_2 \leq 0.1$	extremely low to none

IPL= 22,67

PL= 86,41

LDI = 5,301 Stot = 0,463 (mt)

LD = 0,00 (mt)

SLiq = 14,00 (mt)

LSN = 54,87

PG= 1,00