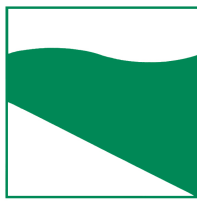




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Livello 3

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Bastiglia



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA		
Studio realizzato con il contributo di cui all'OCPDC 780/2021 recepita con DGR 1885/2021	Dott. geologo Samuel Sangiorgi	Luglio 2022

INDICE GENERALE

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	Contenuti dello studio.....	3
1.2	Riferimenti normativi.....	5
1.3	Gli elaborati a corredo dello studio.....	6
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	8
2.1	Riferimenti bibliografici.....	8
2.2	Sismicità storica.....	8
2.3	Gli eventi sismici emiliani del maggio 2012.....	10
2.4	Sorgenti sismogeniche e mappa pericolosità sismica INGV.....	11
2.5	Ulteriori elementi di riferimento per la pianificazione territoriale.....	13
2.5.1	<i>Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica.....</i>	<i>13</i>
2.5.2	<i>Il rischio sismico definito nel PTCP di Modena.....</i>	<i>15</i>
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	17
3.1	Inquadramento geologico strutturale.....	17
3.2	Inquadramento litostratigrafico.....	20
3.3	Geomorfologia.....	22
3.4	Idrogeologia.....	25
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	27
4.1	Le indagini geognostiche/geofisiche pregresse.....	27
4.2	Le nuove indagini eseguite.....	28
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	33
5.1	Sottosuolo profondo.....	33
5.2	Litologie sub-affioranti.....	39
6	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	42
6.1	Commenti introduttivi.....	42
6.2	Definizione del substrato rigido.....	42
6.3	Delimitazione delle zone di attenzione per liquefazione.....	45
7	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI DELLA MS.....	49

7.1	Cenni introduttivi.....	49
7.2	Sintesi illustrativa delle MOPS.....	49
7.3	I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS.....	50
7.4	Simulazioni numeriche della risposta sismica locale (approfondimenti di livello 3)	52
7.4.1	<i>Cenni metodologici.....</i>	52
7.4.2	<i>Dati di input.....</i>	53
7.4.3	<i>Esiti delle simulazioni.....</i>	58
7.5	Verifiche quantitative della liquefacibilità.....	60
7.5.1	<i>Cenni metodologici.....</i>	60
7.5.2	<i>Esiti delle verifiche.....</i>	64
7.6	Elaborazione dei valori di Hazard.....	69
8	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	72
8.1	Carta delle Indagini (tavola 1).....	72
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (tavola 2).....	72
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni (tavola 3).....	73
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (tavola 4).....	73
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (tavola 5).....	75
8.6	Carte di microzonazione sismica livello 2 e 3 (tavole da 6 a 18).....	75
8.7	Carta della distribuzione dei valori di H (tavole da 14 a 17).....	77
9	BIBLIOGRAFIA.....	78

ALLEGATI

1 INTRODUZIONE

1.1 Contenuti dello studio

Il Comune di Bastiglia ha beneficiato della seconda assegnazione di contributi (DGR n. 1899/2022) stanziati dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale per la realizzazione degli studi comunali di microzonazione sismica (MS) con approfondimenti locali di livello 3, come previsto dalla Legge 77/2009 e ai sensi dell'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 780/2021, recepita dalla Regione Emilia-Romagna con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1885/2021.

Occorre rammentare che il Comune di Bastiglia già dispone di precedenti studi di MS di livello 2 e delle analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, rispettivamente redatti e finanziati ai sensi dell'OPCM 3907/2010 (MS2) e dell'OCDPC 52/2013 (CLE). Tali studi pregressi, in particolare lo studio di MS, sono stati tuttavia elaborati con criteri di rappresentazione cartografica concordati con il Settore Urbanistica della Provincia di Modena ai fini della conformità con la normativa in materia di rischio sismico del PTCP di Modena.

Per questo ulteriore approfondimento si è quindi reso necessario un ulteriore aggiornamento degli studi pregressi, giustificato dalla necessità di rispettare i più aggiornati criteri di analisi, archiviazione e rappresentazione dettati dai più recenti Indirizzi regionali (cfr. DGR 630/2019 e DGR 476/2021) e dagli standard nazionali CTMS (versione 4.2 del dicembre 2020), nonché dalla necessità di recepire gli ulteriori elementi conoscitivi derivati dalle nuove indagini disponibili. L'aggiornamento delle analisi di MS ha considerato anche i risultati dei più recenti studi di microzonazione sismica espletati nei comuni limitrofi (Bonporto; Modena; Soliera), per una migliore coerenza dei risultati anche alla scala territoriale più ampia.

Si sono dunque espletate le seguenti attività:

- la raccolta di dati geognostici e geofisici di repertorio più recenti (indagini eseguite dopo il 2014);
- l'esecuzione di ulteriori indagini geognostiche/geofisiche finalizzate agli approfondimenti di livello 3;
- l'aggiornamento delle analisi di livello 1 su tutto il territorio comunale;
- l'elaborazione di approfondimenti di livello 3 (analisi numeriche di Risposta Sismica Locale; verifiche quantitative della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma dei sedimenti), peraltro estesi a tutto il territorio urbanizzato vista la limitata estensione (comprendente anche le porzioni suscettibili di nuova edificazione e un'ulteriore fascia più esterna, nonché le infrastrutture di connessione definite nella CLE;
- l'aggiornamento delle analisi della CLE (rappresentazione cartografica);

- l'archiviazione dei dati e la redazione delle cartografie secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione previsti per la MS e la CLE.

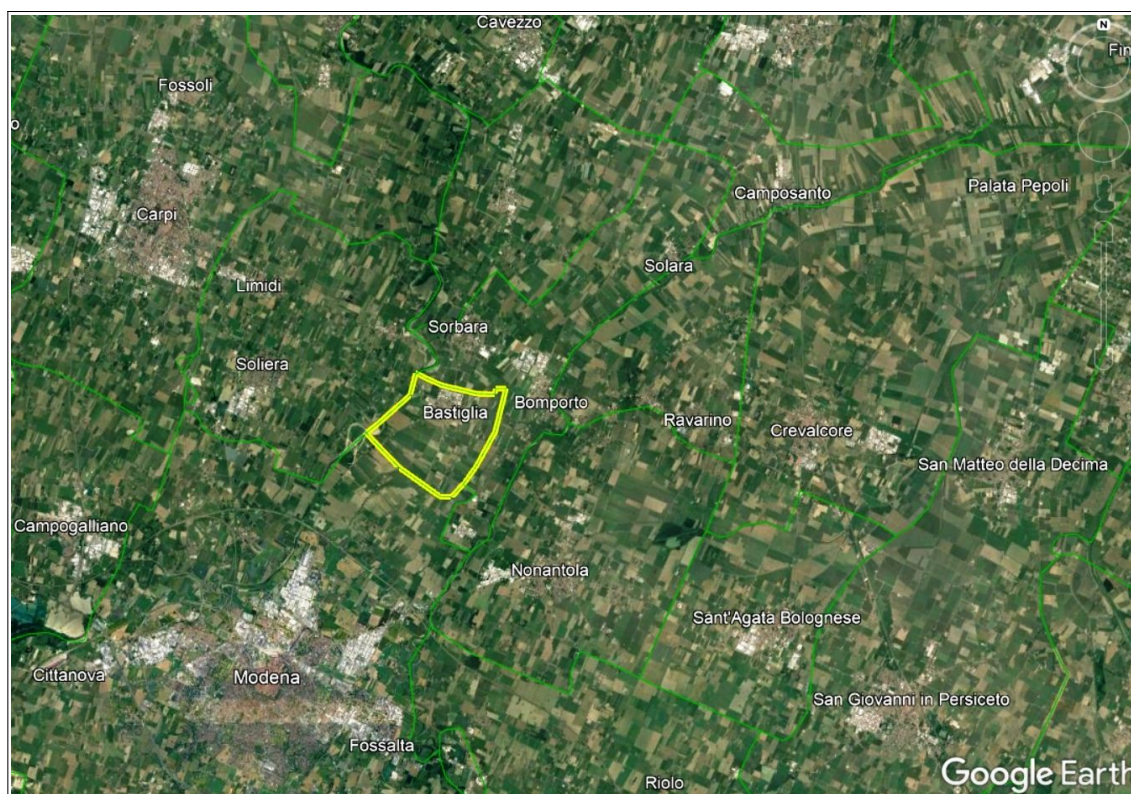


Figura 1.1 – Localizzazione del territorio amministrativo del Comune di Bastiglia (foto aerea: "Google Earth")

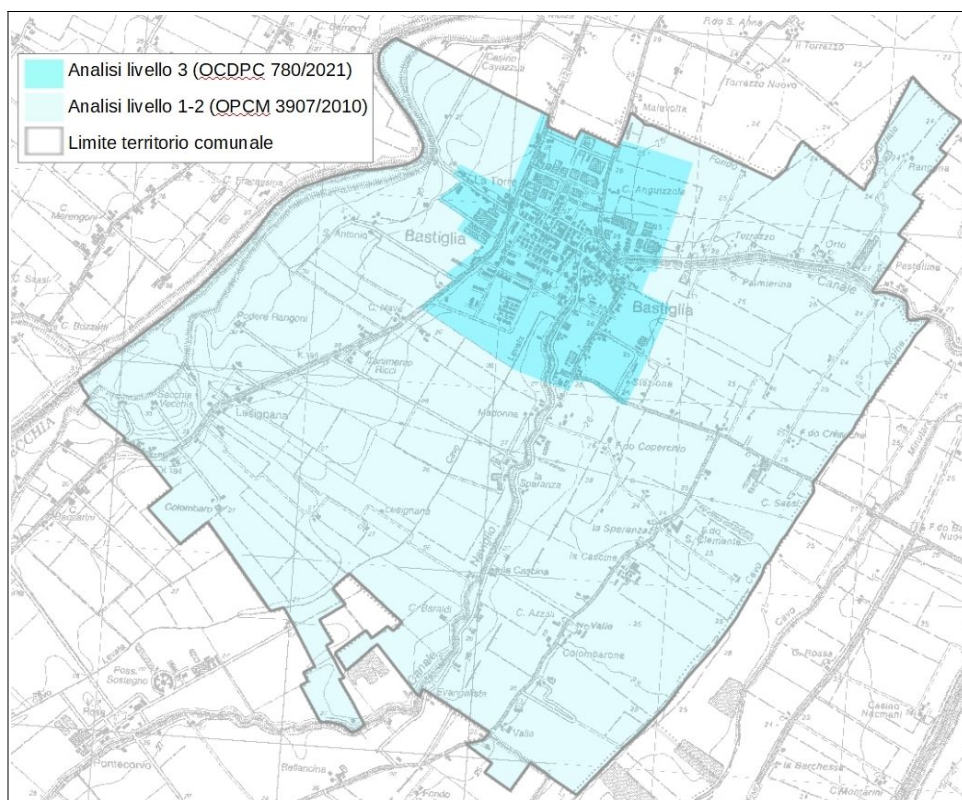


Figura 1.2 – Estensione del territorio comunale interessato dagli approfondimenti sismici di primo e secondo/terzo livello (base topografica Regione Emilia-Romagna - CTR 1:25.000)

La figura 1.1 offre un inquadramento del limite comunale di Bastiglia: si tratta di un territorio amministrativo ricadente nella pianura padana a N-NE di Modena, di estensione areale totale pari a poco più di quasi 10,5 kmq e con una popolazione di 4.134 abitanti (dato ISTAT 01/01/2021).

La figura 1.2 localizza con maggior dettaglio il territorio interessato dagli studi di microzonazione sismica con approfondimenti fino al livello 3, comprendente tutte le aree urbane con un suo significativo intorno. Si precisa che il precedente studio di microzonazione (OPCM 3907/2010) ha esteso le analisi di livello 1 e 2 a tutto il territorio comunale.

La presente Relazione illustrativa descrive i risultati delle analisi che hanno consentito l'ulteriore aggiornamento del primo livello di approfondimento alla scala comunale e i risultati della microzonazione sismica spinta fino a un approfondimento di livello 3.

1.2 Riferimenti normativi

Il presente lavoro è redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato 2 della Delibera n. 1885/2021 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna:

“Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 780/2021”.

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 4.2”, redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (CTMS, dicembre 2020), da qui in avanti “Standard CTMS 4.2”;
- ✓ “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 “indirizzi ICMS”.
- ✓ “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni” versione 2.0, redatto dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (CTMS, 2022)

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

- ✓ Deliberazione della Giunta Regionale n. 630/2019 “Atto di Coordinamento Tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR n. 24/2017)”
- ✓ Deliberazione della Giunta Regionale n. 476/2021 (testo coordinato con le modifiche introdotte dalla DGR n. 564/2021) “Aggiornamento dell'Atto di Coordinamento Tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017) di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n.

630”

- ✓ LR N. 19/2008 “Norme per la riduzione del Rischio Sismico”;
- ✓ LR N.24/2017 “Disciplina regionale sulla tutela e l’uso del territorio”;
- ✓ DM del 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”.

1.3 Gli elaborati a corredo dello studio

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

- la presente Relazione Descrittiva (riprodotta in formato *.pdf) che, 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 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.

Elaborato cartografico	Sigla Tavola	Scala
Carta delle indagini	Tavola 1	1:5.000
Carta geologico-tecnica	Tavola 2	1:5.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3	1:5.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	Tavola 4	1:5.000
Carta delle velocità delle onde di taglio S	Tavola 5	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 – FA_{PGA}	Tavola 6	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 3 – $FA_{0,1-0,5s}$	Tavola 7	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 3 – $FA_{0,4-0,8s}$	Tavola 8	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 3 – $FA_{0,7-1,1s}$	Tavola 9	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 3 – $FA_{0,5-1,5s}$	Tavola 10	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 3 – $FH_{0,1-0,5s}$	Tavola 11	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 – $FH_{0,5-1,0s}$	Tavola 12	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 3 – $FH_{0,5-1,5s}$	Tavola 13	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 – $FH_{0,1-0,3s}$	Tavola 14	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 – $FH_{0,3-0,5s}$	Tavola 15	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 – $FH_{1,0-1,5s}$	Tavola 16	1:5.000

Elaborato cartografico	Sigla Tavola	Scala
Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 – $FA_{ICMS2008}$	Tavola 17	1:5.000
Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 – $FV_{ICMS2008}$	Tavola 18	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H_{SM}	Tavola 19	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H_{0408}	Tavola 20	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H_{0711}	Tavola 21	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H_{0515}	Tavola 22	1:5.000

Tabella 1.1 – Elaborati cartografici predisposti per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Bastiglia

Tutti gli elaborati sono stati realizzati secondo le specifiche indicate nella DGR n.1885/2021 della Regione Emilia-Romagna. Tali specifiche rimandano sostanzialmente alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard CTMS v.4.2 (dicembre 2020), che dettagliano ogni aspetto legato a tali studi. Sono inoltre coerenti con Indirizzi regionali contenuti nella DGR 476/2021. 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.

Occorre tuttavia segnalare che, rispetto ai contenuti indicati negli standard sopra citati, sono state ulteriormente rappresentate le mappe di microzonazione sismica per tutti i fattori di amplificazione considerati nello studio precedente (OPCM 3907/2010). Come verrà meglio descritto nei successivi capitoli 7 e 8, anche negli areali interessati dagli approfondimenti di livello 3 sono stati calcolati gli ulteriori fattori di amplificazione FH_{0103} , FH_{0305} , FH_{1015} , $FA_{ICMS2008}$ e $FV_{ICMS2008}$ (vedi tavole da 14 a 18).

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), aggiornati al 2013. Per questo lavoro, la base topografica raster 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 CTMS v.4.2.

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 4.0* (Rovida et al., 2022; <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 1000–2020;
- il *DBMI15 versione 4.0 – 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 1000–2020 (Locati et al., 2022 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI>);
- il *CFTI5Med – Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea* (Guidoboni et al., 2018), 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 sismo-indotte, 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 (a_g) 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 3.3.0* (DISS Working Group, 2021), 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.

2.2 Sismicità storica

Il DBMI15 (Locati et al., 2022), riporta per il Capoluogo 14 eventi sismici, con moderati effetti macrosismici storicamente riscontrati, che arrivano fino al grado IV–V della scala MCS (Sieberg, 1930).

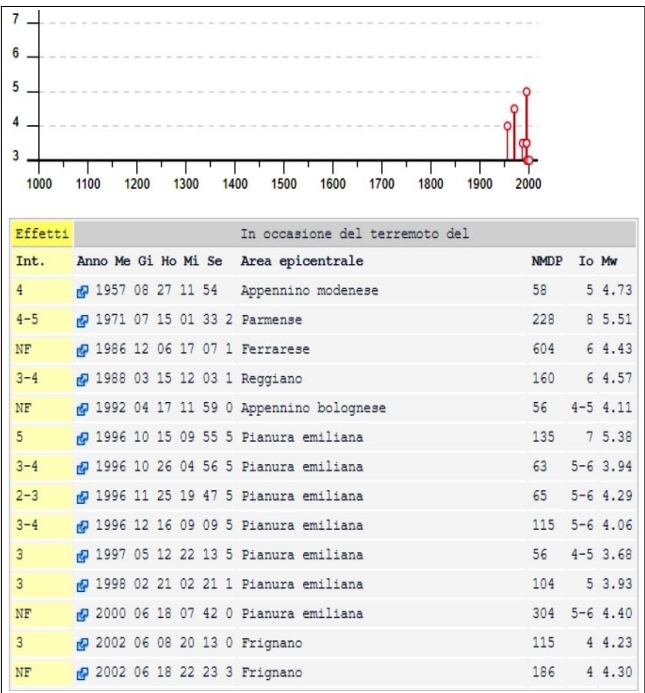


Figura 2.1- Terremoti significativi per il Capoluogo, con macrointensità stimata ≥ 3 e plottaggio cronologico degli eventi con macrointensità stimata ≥ 4 (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano)

La figura 2.1 riporta l'elenco dei terremoti più significativi che hanno interessato il Capoluogo (fino al 2022) e il grafico della distribuzione temporale degli eventi con massima intensità >4 , stimata sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione.

La figura 2.2 riporta invece una sintesi degli effetti macrosismici stimati a seguito di eventi sismici nelle località del territorio della Provincia di Modena e dei limitrofi territori di area vasta emiliano-romagnoli.

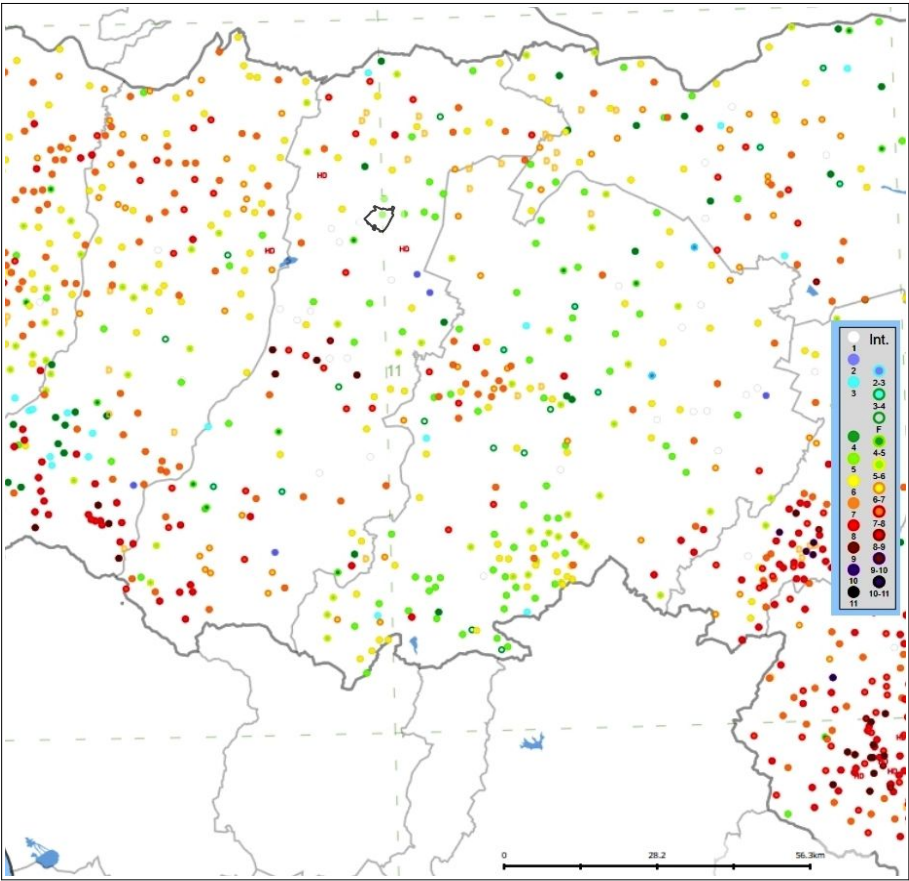
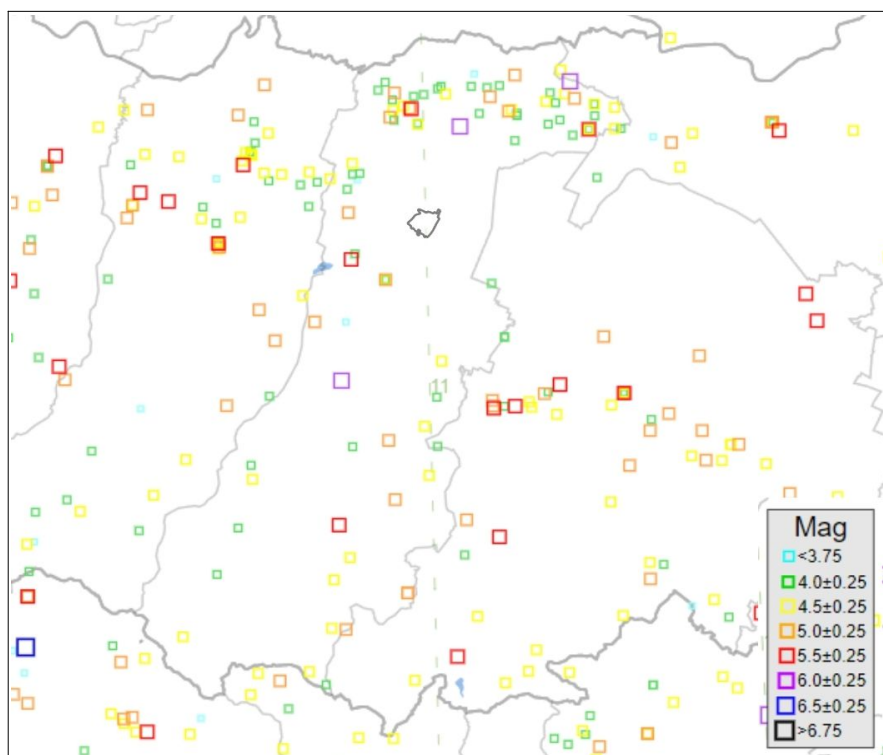


Figura 2.2- Massime intensità macrosismiche registrate nelle località del territorio della Provincia di Modena e limitrofe (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano). Viene riportato il limite territoriale del Comune di Bastiglia

La figura 2.3 riporta invece la localizzazione degli epicentri dei terremoti più significativi che hanno interessato il territorio studiato (fonte: archivio DBMI15).

Figura 2.3 – Localizzazione degli epicentri dei terremoti più significativi registrati nel territorio della Provincia di Modena e limitrofe (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano). Viene riportato il limite territoriale del Comune di Bastiglia



2.3 Gli eventi sismici emiliani del maggio 2012

Dal 20 maggio 2012 una vasta porzione della Pianura Padana¹ è stata interessata da una sequenza sismica, con una prima forte scossa (di magnitudo locale ML=5.9), registrata alle ore 4:03 locali e con epicentro tra Mirandola (MO) e Finale Emilia (MO). A tale sisma sono seguite dopo pochi minuti altre due scosse importanti, la prima di ML =4,8 e la seconda di ML =5,1, con epicentro nel territorio comunale di Bondeno (FE). Successivamente, tra il 20 maggio e il 3 giugno 2012, si sono state registrate altre 5 forti scosse (ML >5), con epicentri distribuiti tra Novi di Modena (MO) e Vigarano Mainarda (FE). Tra queste, la più forte e disastrosa (ML =5.8) è avvenuta il 29 maggio 2012 con epicentro tra Mirandola (MO) e Medolla (MO).

I maggiori effetti locali riscontrati sono riconducibili ad amplificazione del moto sismico e a fenomeni di liquefazione, questi ultimi diffusi soprattutto in corrispondenza di rami abbandonati dei fiumi appenninici (Reno, Panaro e Secchia) e, subordinatamente, del Po². In termini di amplificazione, si sono invece registrate massime accelerazioni orizzontali al sito (Pga) che hanno superato 0,2g e in alcune aree anche 0,3g. La figura 2.4 localizza gli epicentri della citata sequenza emiliana.

¹ Compresa tra le Province di Reggio Emilia, Modena, Mantova, Bologna e Ferrara.

² Fonte: "Microzonazione sismica e analisi della CLE delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura Emiliana di maggio-giugno 2012" – Relazione Illustrativa a cura di L. Martelli e M. Romani e "Rilievo macrosismico MCS speditivo – Rapporto Finale" a cura di P. Galli, S. Castenetto e E. Peronace.

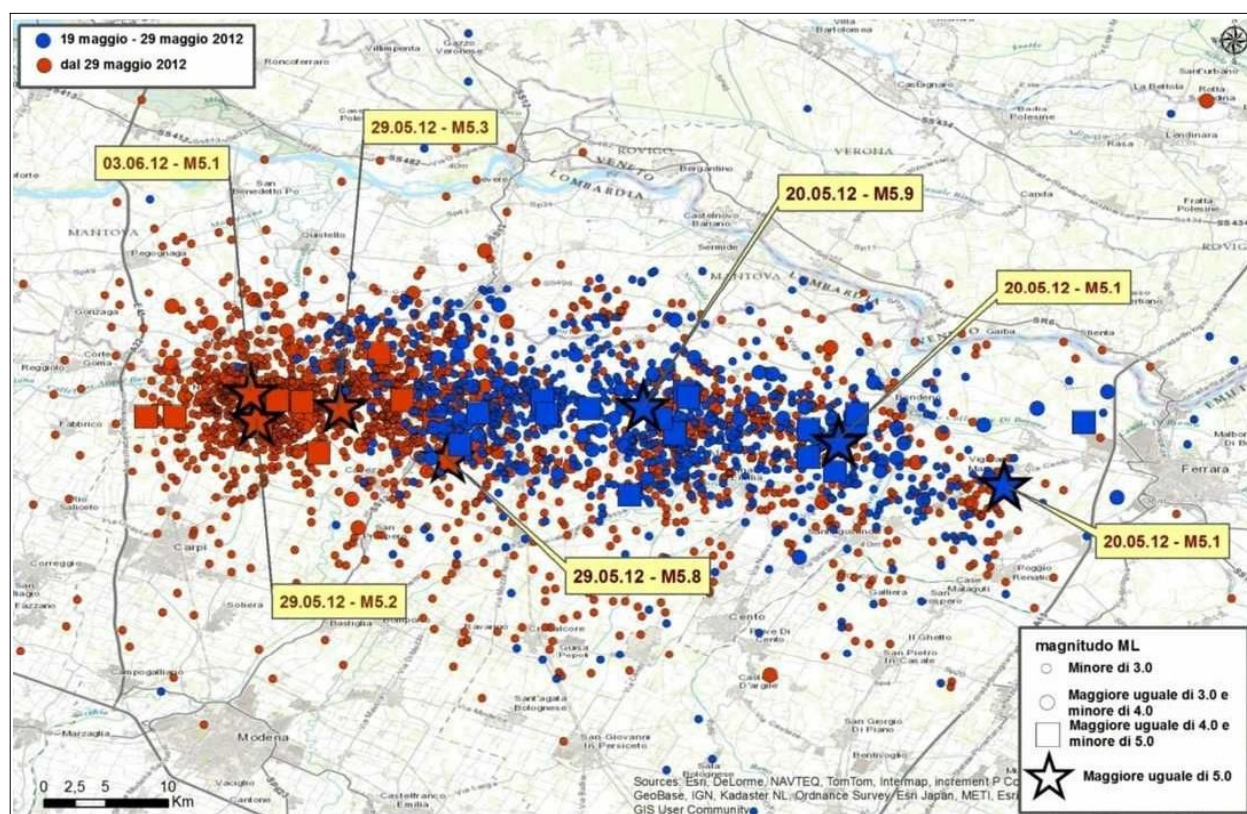


Figura 2.4 – Localizzazione degli epicentri della sequenza sismica emiliana iniziata il 19 maggio 2012 (fonte: INGV <http://terremoti.ingv.it/it/ultimi-eventi/842-terremoti-in-pianura-padana-emiliana.html>)

Il DBMI15 (Locati et al., 2022) non attribuisce nessun valore di intensità riferibile al sisma emiliano 2012 per quanto riguarda Bastiglia, in quanto il territorio in questione è risultato fortunatamente soltanto lambito e i rapporti sui rilievi macrosismici eseguiti (Galli et al., 2012a e 2012b) citano i Comuni più settentrionali del territorio della Provincia di Modena.

2.4 Sorgenti sismogeniche e mappa pericolosità sismica INGV

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano – ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), il territorio comunale ricade nella Zona 912, caratterizzata da un valore di $M_{w\max}$ pari a 6,14.

La figura 2.5 riporta una sovrapposizione del Comune di Bastiglia con le sorgenti sismogeniche individuate nel database DISS v. 3.3.0 (DISS Working Group, 2021). Questo fondamentale database individua le seguenti sorgenti sismogeniche composite, che tuttavia ricadono esternamente al territorio studiato (non interessato storicamente da epicentri sismici di intensità significativa).

In Particolare la sorgente composta più vicina al territorio comunale risulta la <<ITCS051 – Carpi-Poggio Renatico>>, che lambisce poco più a nord il territorio di Bastiglia. Questa fascia sismogenetica interessa la pianura settentrionale modenese ed è caratterizzata da una sismicità locale che raramente ha raggiunto elevate intensità (fino a magnitudo $M_{w\max}$ pari a circa 6,0)

ed è correlata prevalentemente dall'attività delle faglie compressive delle "Pieghe Ferraresi" (Pieri & Groppi, 1981): questo sistema di pieghe-faglie ha dato origine alle due principali dorsali sepolte ("interne" ed "esterne") che descrivono un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica e che si spingono fino ed oltre il Po ferrarese (Bigi et al., 1990). Queste dorsali sepolte, sono il risultato dell'attività di faglie inverse (thrust) la cui attività è iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud. Di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (backthrust) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali (Martelli, 2014). Gli eventi sismici della pianura emiliana del 2012 hanno di fatto riattivato un segmento di questa sorgente sismogenetica. Questa importante sequenza sismica ha inoltre riattivato un ulteriore segmento della più esterna (verso nord) sorgente sismogenetica denominata <<ITCS103 Finale Emilia - Mirabello>> alla quale viene attribuita la prima scossa principale del 2012 (tra Mirandola e Finale dell'Emilia).

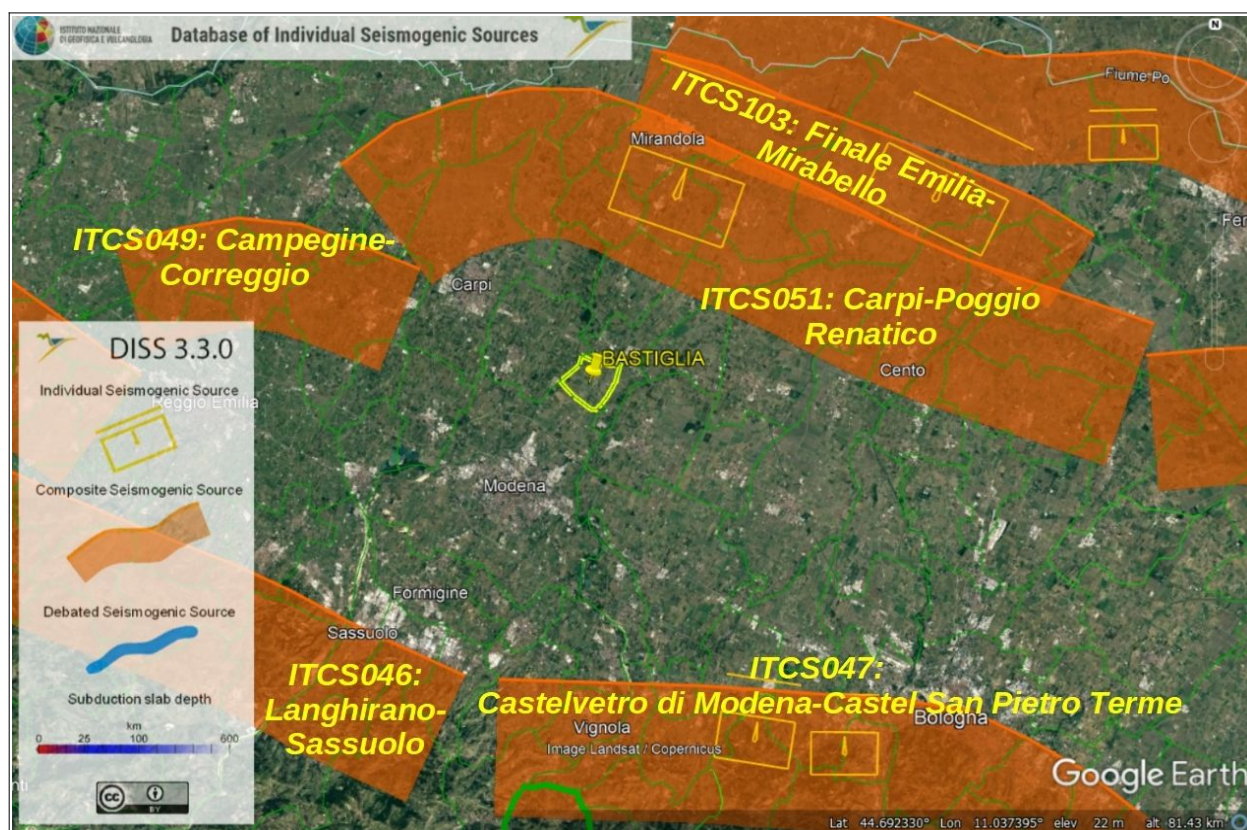


Figura 2.5 – Localizzazione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.3.0). Foto aerea: Google Earth

Sulla base dei dati storici disponibili, il territorio di Bastiglia, ha prevalentemente risentito, pertanto, degli eventi sismici associabili all'attività tettonica del sistema di pieghe-faglie del margine appenninico sepolto. In questo senso, anche alcune riattivazioni storicamente documentate della sorgente <<ITCS Campegine - Correggio>> (es. "Pianura Padana" del ottobre 1996, con Mw fino a 5.4), che hanno coinvolto il settore sud-occidentale di questa sorgente, hanno causato risentimenti al territorio in questione (intensità macrosismiche fino a

5). Bastiglia può infine risentire degli effetti derivati da sismi attribuibili a sorgenti che interessano i territori appenninici e pedeappenninici (per compressione tettonica del margine appenninnico affiorante), situati più a sud e compresi nelle sorgenti composite <<ITCS046 – Langhirano–Sassuolo>> e << ITCS047 – Castelvetro di Modena–Castel San Pietro Terme>>.

In conclusione, riprendendo quanto già indicato nella Relazione della MS precedentemente elaborata per il territorio di Bastiglia (cfr. Centrogeo, 2012):

- la storia sismica di Bastiglia ha scarsa testimonianza ed estensione temporale (il primo evento riportato risale al 1957);
- la sismicità è risultata finora di tipo medio basso, con intensità massime percepite fino al 5° grado.

2.5 Ulteriori elementi di riferimento per la pianificazione territoriale

2.5.1 Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica

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 redatti 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 le successive DGR 2193/2015 e DGR 630/2019, vengono introdotti sostanziali aggiornamenti agli indirizzi tecnici di riferimento per le analisi sismiche da espletare a supporto della pianificazione territoriale e urbanistica. Queste revisioni hanno considerato come ulteriore riferimento anche le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), le ulteriori esperienze scientifiche seguite ai recenti eventi sismici italiani (L'Aquila 2009; pianura emiliana del 2012) e, infine, le esperienze di applicazione della DAL 112/2007. In sintesi, le principali novità contenute nella la DGR 2193/2015 e nella DGR 630/2019 consistono:

- ✓ nelle rimodulazioni degli abachi di microzonazione sismica da considerarsi per le analisi semplificate (“livello 2”);
- ✓ nell'introduzione di un ulteriore fattore di amplificazione riferito all'intensità spettrale di Housner $FH_{0.515}$ (per l'intervallo di periodo T compreso tra 0,5 s e 1,5 s);
- ✓ nell'introduzione dei fattori di amplificazione riferiti all'accelerazione spettrale $FA_{0.105}$, $FA_{0.408}$, $FA_{0.711}$, $FA_{0.515}$ (per intervalli di periodo T rispettivamente di 0,1–0,5s, 0,4–0,8s, 0,7–0,11s, 0,5–1,5s);
- ✓ nella definizione dell'input sismico (ag_{ref} 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 $0,05^\circ$ (mappa MPS04) in analogia con quanto previsto per le NTC 2008);

- ✓ nella richiesta di produrre cartografie delle frequenze naturali dei terreni a scala territoriale e a supporto del “primo livello” di approfondimento;
- ✓ nella richiesta di produrre una carta della distribuzione sul territorio dei valori di “Hazard” H_{SM} (Naso et al., 2019).

Gli ultimi aggiornamenti agli indirizzi regionali, apportati con la DGR 476/2021 (e DGR integrativa 564/2021), hanno infine riguardato la selezione di nuovi segnali (accelerogrammi) di riferimento per le analisi di risposta sismica locale negli studi di terzo livello.

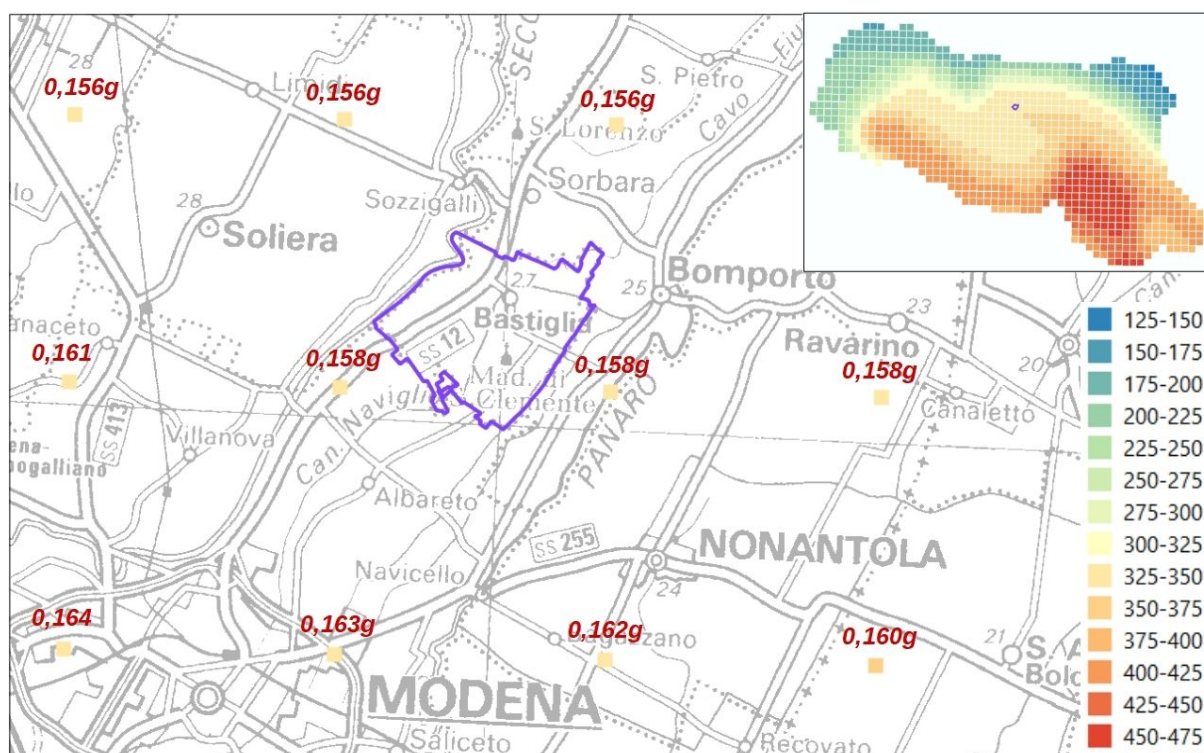


Figura 2.6 – Reticolo INGV di pericolosità sismica. La figura riporta i punti della griglia interni o limitrofi al territorio comunale di Bastiglia

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

Per quanto riguarda la a_g al sito di riferimento ($a_{g,ref}$), la figura 2.6 riporta per il territorio comunale di Bastiglia i punti della griglia INGV e i relativi valori di $a_{g,ref}$ (mappa MPS04). Ai punti vengono attribuiti i parametri della pericolosità sismica di base e in particolare si attribuiscono il valore dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La griglia di punti è costruita per tutto il territorio nazionale (densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) e la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale a seguito dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105

dell'11 maggio 2006).

Si evince che per il territorio comunale i valori di a_{refg} (per terremoti con $TR = 475$ anni) sono compresi tra circa 0,160g e 0,157g, con una variabilità relativamente modesta della pericolosità “di base”, che si riduce verso nord.

2.5.2 Il rischio sismico definito nel PTCP di Modena

La Provincia di Modena ha provveduto allo studio preliminare della pericolosità sismica dell'intero territorio amministrativo ai sensi della DAL n.112/2007. Tali studi sono stati recepiti nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP)³ e in particolare è stata redatta la Tavola 2.2 <<Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali>> (alla scala 1:25.000) che permette di rappresentare:

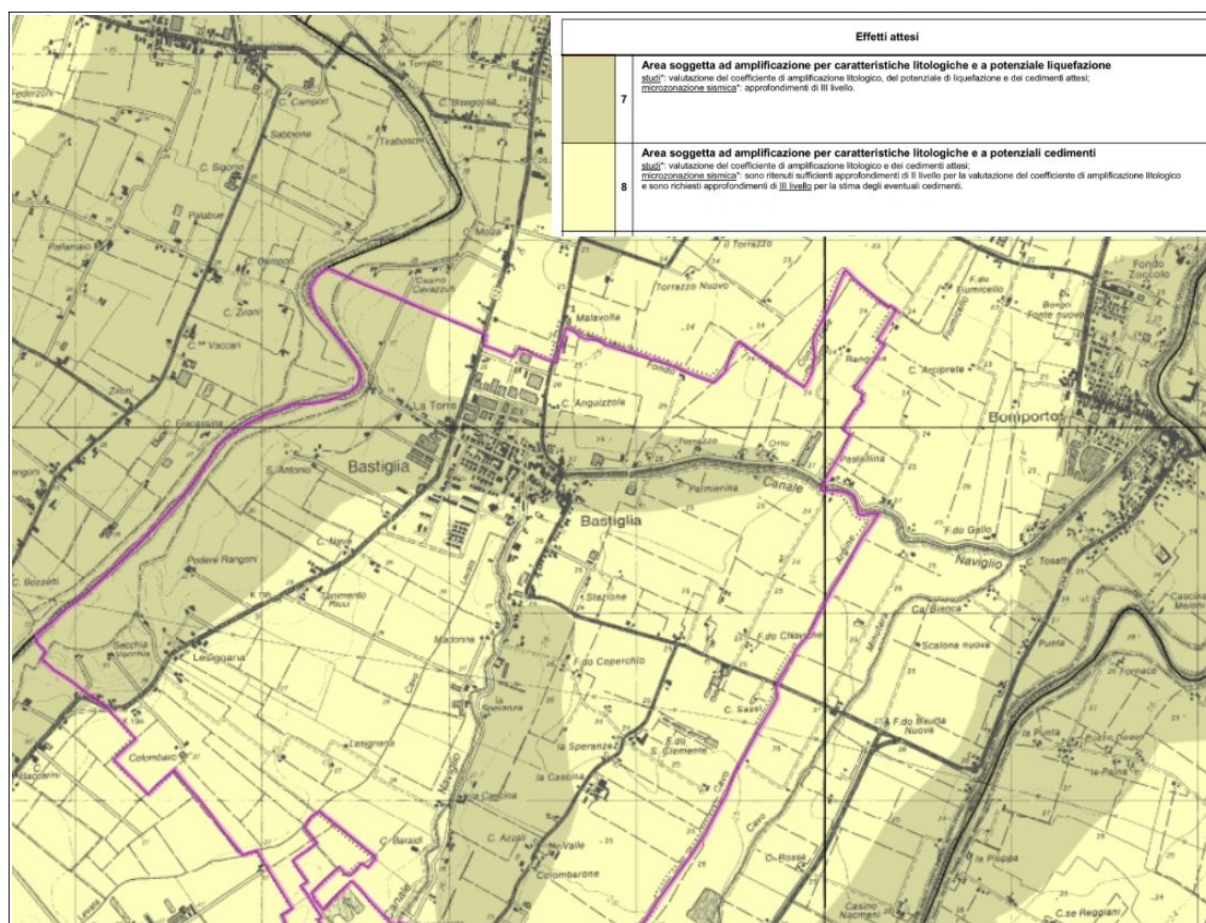


Figura 2.7 – Stralcio del foglio a.2 della Tavola 2.2 <<Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali>> alla scala 1:25.000 (PTCP di Modena, 2009). È ulteriormente evidenziato il perimetro del territorio comunale di Bastiglia

- un primo livello di approfondimento preliminare e identifica le condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali sulla base dei quali è possibile

³ Approvato con DCP n.46 del 18/03/2009

definire potenziali scenari di pericolosità sismica locale;

- una prima distinzione delle aree sulla base degli effetti locali attesi in caso di evento sismico e, per ciascuna tipologia di esse, vengono indicati gli studi e i livelli di approfondimento che devono essere effettuati con la pianificazione dagli strumenti di pianificazione successivi (figura 2.7).

La Tavola 2.2 include il territorio comunale di Bastiglia in due differenti areali caratterizzati da effetti attesi differenti:

- Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti (per questo areale sono ritenuti sufficienti approfondimenti di livello 2 per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico. Vengono tuttavia richiesti approfondimenti di livello 3 per la stima degli eventuali cedimenti);
- Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione (per questo areale vengono richiesti approfondimenti di livello 3)

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico strutturale

Per l'inquadramento geologico strutturale dell'area di studio vengono ripresi i contenuti già riportati nella Relazione redatta per lo studio di MS pregresso (Centrogeo, 2012).

Il Comune di Bastiglia appartiene al bacino subsidente Pliocenico Quaternario della Pianura Padana, formato da un'ampia e profonda depressione a stile compressivo, costituita da sedimenti di età Mesozoica, Terziaria e Quaternaria. In tale complesso la base delle formazioni plioceniche si rinviene tra 200 e 6.000 m di profondità e lo spessore medio delle formazioni quaternarie è di circa 1.000 m.

Le conoscenze dell'assetto geologico strutturale del Bacino Padano derivano dalle prospezioni geofisiche eseguite da AGIP e SPIE e dalle indagini ed elaborazioni effettuate dal servizio geologico sismico e dei suoli Regione Emilia Romagna sviluppate nel contesto del Progetto CARG.

Dette analisi indicano una suddivisione, dal punto di vista litostratigrafico, in un complesso inferiore ed uno superiore; il primo caratterizzato da formazioni pre pleistoceniche, sostanzialmente costituite da sedimenti in facies marina; il secondo, a sua volta diviso in una litozona inferiore ed una superiore, la prima delle quali è formata da depositi marini (Qm) di età pleistocenica che sono sovrastati da sequenze marine marginali e da depositi messi in posto dalle alluvioni dei fiumi alpino appenninici e dal Po del Pleistocene superiore – Olocene.

Detti complessi formano un'ampia struttura sinclinalica, complicata in numerose pieghe e dislocazioni tettoniche con direttrici prevalentemente appenniniche, conseguite alle fasi Mioplioceniche (Zona Piacentino Lombarda) e Plioceniche Inferiori (zona Emiliano Romagnola) che hanno determinato una struttura a carattere compressivo.

L'assetto geostrutturale della base del Pliocene nel sottosuolo del territorio di Bastiglia–Nonantola–Crevalcore–Sorbara–Limidi–Soliera è caratterizzato dalla zona di transizione tra le pieghe del margine appenninico padano denominate Pieghe Romagnole e quella delle Pieghe Ferraresi.

Tali strutture sono interessate da numerose dislocazioni tettoniche a direttrice appenninica ancor oggi attive, che separano l'area collinare, in lento sollevamento, da quella pianiziale in regime subsidente.

Le Pieghe Romagnole, 3÷5 km a meridione dell'allineamento Campogalliano–Nonantola–S.Giovanni In Persiceto, sono contraddistinte dalla presenza di strutture positive, sovrascorse sul fianco settentrionale ed embriciate in direttrice settentrionale, che hanno determinato l'innalzamento della base del Pliocene a –3000÷–2000 m dal piano campagna. Il substrato prepliocenico, procedendo verso nord, si approfondisce rapidamente sino a giungere a –7500÷8500 m dal p.c. in corrispondenza dell'asse della sinclinale Soliera–Bastiglia–Crevalcore–S.

Giovanni in Persiceto–Argelato–Sabbiano. Proseguendo in direzione settentrionale il substrato prepliocenico, mediante una sequenza di faglie inverse e sovrascorrimenti, disposti ad embrici, passa alla Regione delle Pieghe Ferraresi, caratterizzate dall'omonima Dorsale, dove leisobate del pre pliocene salgono a 1000÷2000 m dal p.c. giungendo alla massima culminazione assiale in prossimità di Novi di Modena, località Cavone, dove la base del Pliocene è circa a -210÷220 m dal p.c..

I movimenti tettonici che hanno interessato tale regione risultano essersi verificati anche in tempi recenti, denunciando un'attività neotettonica (C.N.R.; Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Neotettonica 1987), confermata anche dalle migrazioni verso ovest dei fiumi che hanno attraversato tale area e sulle quali hanno probabilmente influito i movimenti della Dorsale Ferrarese, soprattutto per il Po.

Le principali faglie neotettoniche, individuate nel contesto del sopraindicato progetto, non evidenziano la presenza di ripercussioni in superficie e dislocazioni attive in prossimità dell'area sede del territorio di Bastiglia.

Nel sottosuolo di quest'ultimo, in base ai dati AGIP e R.E.R., il tetto del Quaternario Marino (Qm. CARG ER) si rileva a -450 m dal piano campagna ed appartiene ad una depressione sinclinalica. Tale struttura è coperta da sedimenti di piana fluviodeltizia di ambiente marino marginale ed in parte di prima alluvionale e di conoide distale, seguiti verso l'alto stratigrafico da alluvionali formate da livelli sabbiosi più o meno continui, sovente lenticolari, intercalati a sequenze prevalentemente limoso argillose.

Dette sequenze, Sintema Emiliano – Romagnolo, nel sottosuolo dell'area a cui appartiene Bastiglia non evidenziano la significativa presenza di deformazioni correlate a variazioni tettoniche, come invece si osserva nelle zone 15÷20 Km ad ovest (Correggio–Bagnolo–Novellara).

L'interfaccia acque dolci – acque salmastre è generalmente rinvenibile, tra Nonantola, Sorbara e Soliera, tra -450/-500 m e -600/-650 m dal piano campagna.

La serie litostratigrafica, che sarà descritta con maggior dettaglio nella parte idrogeologica, è ascrivibile alla fascia della Media Pianura Padana costituita dagli apporti distali dei fiumi appenninici. Detta successione ricalca l'assetto strutturale del substrato prepliocenico attenuandolo.

La figura 3.1 riporta un più aggiornato schema tettonico del territorio emiliano-romagnolo, tratto dalle Note Illustrative della *Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (edizione 2016)*. La figura 3.1 conferma come le strutture appenniniche proseguano ben oltre il limite dell'appennino affiorante, proseguendo nella pianura, sepolte dai sedimenti quaternari padani.

Nell'area di studio, le strutture tettoniche del fronte appenninico sono dunque suture da depositi di età più recente (oltre alluvionale del Quaternario), sovrapposti ai depositi marini plio-pleistocenici come ulteriormente rappresentato nella sezione geologico strutturale rappresentata nella (figura 3.2).



Figura 3.1 – Schema strutturale tettonico del territorio emiliano-romagnolo, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna a aree limitrofe” (ed. 2016). L'area di studio è localizzata nel cerchiato tratteggiato fucsia

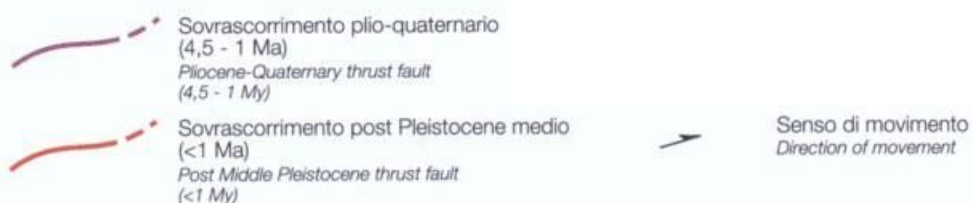
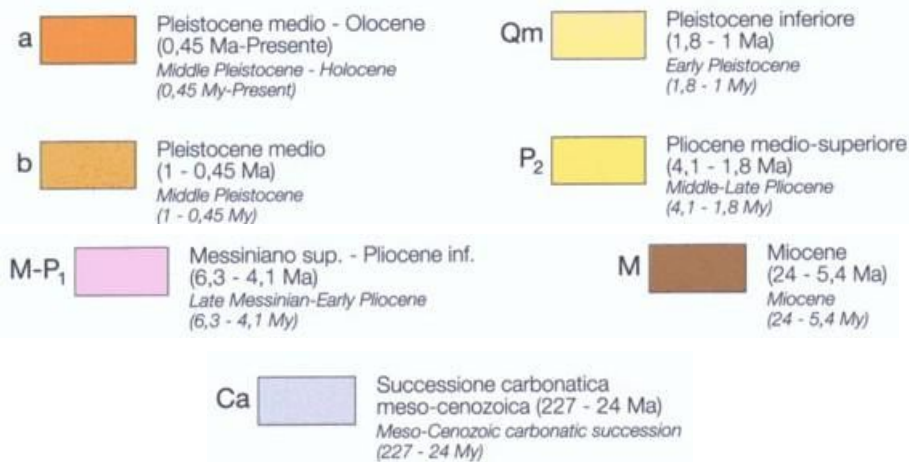
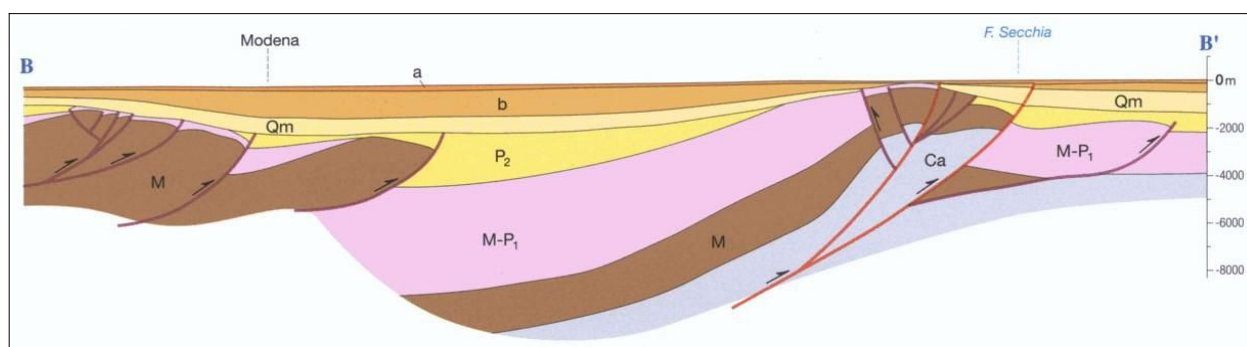
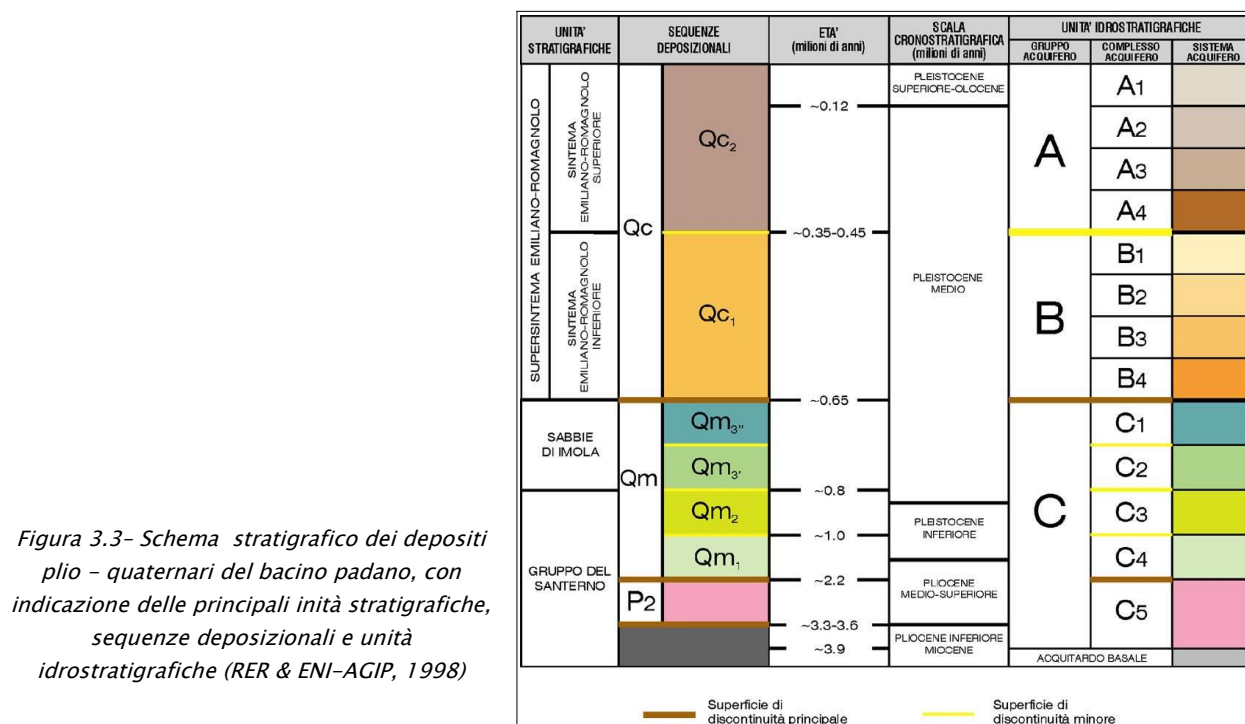


Figura 3.2 – Sezione geologico strutturale schematica della pianura compresa tra Modena e il fiume Po (cfr. sezione B-B' riportata nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” a cura di RER – SGSS e CNR (ed. 2003)

3.2 Inquadramento litostratigrafico

La coltre alluvionale è prevalentemente caratterizzata da alternanze di sabbie, limi e argille (in funzione delle evoluzioni delle facies deposizionali dominanti), di età Pleistocene medio-Olocene e principalmente attribuibili ai corsi d'acqua Secchia e Panaro.

La classificazione stratigrafica dei sedimenti alluvionali di riferimento per questo lavoro è quella proposta e utilizzata in Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), nonché indicata nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 e come ulteriormente schematizzato in figura 3.3.



Convenzionalmente, le coperture alluvionali sono riferibili a due principali e successivi cicli deposizionali così denominati convenzionalmente:

- il “Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore” (SERI o AEI), che costituisce lo spessore di alluvioni più profonde e sovrapposte ai depositi marini plio-pleistocenici;
- il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS o AES).

All'interno del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS) sono classificate unità di range inferiore (subsistemi) e costituiti da alternanze cicliche di depositi fini (argille e limi) riferibili a facies deposizionale di piana alluvionale e depositi prevalentemente sabbiosi riferibili a barre/canali/argini fluviali.

Nella pianura padana, lo spessore complessivo dei depositi alluvionali è fortemente variabile, in funzione della morfologia delle strutture tettonizzate sepolte: studi RER & ENI-Agip (1998) hanno evidenziato come, nelle aree di sinclinale, la coltre alluvionale superi anche i 500 metri, mentre nelle aree di anticlinale si hanno potenze decisamente inferiori ai 100 metri.

In sintesi, le unità stratigrafiche alluvionali di interesse per l'area di studio sono le seguenti (dal basso verso la superficie):

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (SERI o 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 sabbioso-ghiaiosi litorali e di delta—conoide riferiti al tetto delle Sabbie di Imola (IMO). L'età di questi depositi è attribuita al pleistocene medio (0,70–0,75 Ma → 0,40–0,45 Ma) e lo spessore locale presso Bastiglia è circa compreso tra 280 e 310 metri.

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (SERS O AES) BASALE INDIFFERENZIATO → Nel sottosuolo della pianura AES è localmente costituito da sedimenti prevalentemente fini e cioè dall'alternanza ciclica di argille organiche, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale. Gli orizzonti acquiferi (maggiormente granulari) sono presenti prevalentemente al tetto dell'unità (tra circa –190 e –200 m) e costituiscono il livello di passaggio con la soprastante unità (AES6).

SUBSINTEMA DI BAZZANO (AES6) → Questi depositi sono stati correlati nel sottosuolo (su base geometrica) con i depositi grossolani sommitali di un ciclo trasgressivo – regressivo e denotano una più trascurabile influenza dei movimenti tettonici che hanno interessato il bacino padano, tra 125.000 e 250.000 anni. Questa unità presenta spessori localmente compresi tra 85 e 95 m, cioè con potenze relativamente costanti (tetto tra circa –100 m e –110 metri dal p.c..) ove si riscontrano spessori maggiormente sabbiosi.

SUBSINTEMA DI VILLA VERRUCCHIO (AES7) → Questi depositi alluvionali, di età deposizionale attribuita al Pleistocene superiore (circa 125.000–10–14.000 anni), presentano spessori generalmente compresi tra 70 e 80 metri e risultano caratterizzati da alternanze di depositi fini di tracimazione fluviale e piana inondabile (contenenti livelli metrici di argille e limi) e di depositi più sabbiosi (questi ultimi più frequenti e potenti a profondità maggiori di 30÷35 metri).

SUBSINTEMA DI RAVENNA (AES8) → Si tratta dell'unità alluvionale più superficiale e con spessore massimo di circa 20÷25 metri, ed è perciò particolarmente investigata (anche per l'intero spessore) da molte indagini geognostiche. L'età deposizionale è compresa tra circa 10–14.000 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.

In questo subsintema 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 (localmente fino a 8÷10 metri localmente, in corrispondenza dei dossi fluviali. Nella cartografia geologica RER, la sub unità AES8a consiste in depositi di tracimazione fluviale, all'interno dei quali è possibile distinguere depositi più sabbiosi e/o limoso sabbiosi di canale/argine/rotta fluviale dai depositi più argillosi e limosi di piana inondabile (figura 3.4). La base di AES8a è generalmente individuata dal contatto in discontinuità delle sue tracimazioni fluviali sul suolo di epoca romana o più antica di AES8.

3.3 Geomorfologia

L'evoluzione della pianura olocenica è riconducibile ad un modello semplice, almeno nelle linee generali. I corsi d'acqua appenninici a valle delle conoidi pedemontane, poco attive durante l'Olocene (ultimi 15.000 anni), oggi prevalentemente in erosione, tendono a proseguire verso il collettore principale su alvei pensili, formati da sedimenti che il corso d'acqua non è più in grado di portare in carico.

Nel caso di rotte e tracimazioni, in natura frequente, le acque invadono la pianura circostante depositando dapprima i sedimenti più grossolani nelle vicinanze dell'alveo, più lontano i sedimenti più fini (limi sabbiosi e limi) e nelle conche morfologiche, ove le acque possono rimanere a lungo e decantare, si depositano limi argillosi ed anche argille.

A seconda delle condizioni di drenaggio locale le acque possono permanere per tempi più o meno lunghi nelle aree esondate, fino a formare paludi e laghi permanenti, presupposto alla formazione di potenti depositi di argille di decantazione e torbe. Per corsi d'acqua di pianura non arginati artificialmente, rotte e tracimazioni sono un fenomeno ricorrente che crea le condizioni per modifiche e divagazioni dell'alveo, ciò avviene con frequenza assai alta nei bacini subsidenti che caratterizzano la pianura padana. La velocità di subsidenza naturale condiziona la velocità di accrezione verticale, ma la sua variazione geografica condiziona anche la distribuzione spaziale dei corsi d'acqua.

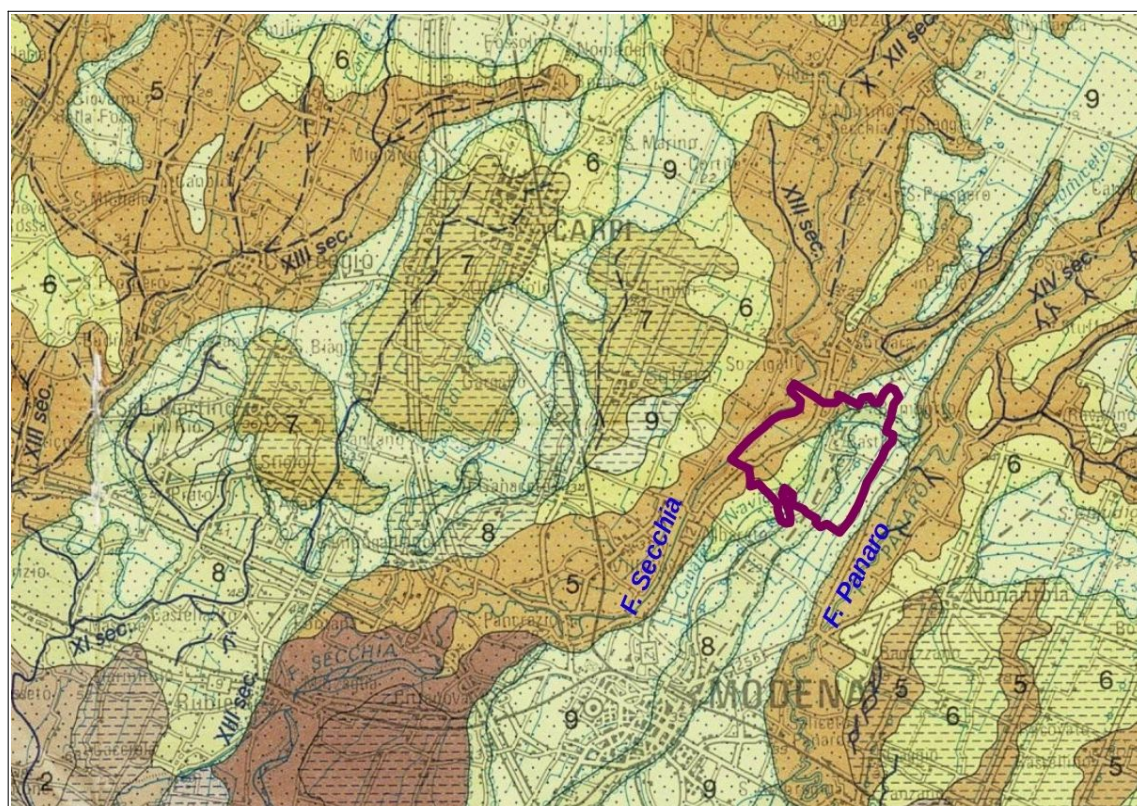


Figura 3.4 – Stralcio della Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna scala 1:250.000 (a cura di D. Preti, RER, 1999). I depositi di piana alluvionale sono numerati progressivamente da n.5 ("canale e argine prossimale" sabbiosi) a n. 9 (depositi "interfluviali e depositi di palude" argillosi). Sono riportate le principali tracce dei paleoalvei con datazione storica

La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, così come l'assetto morfologico della pianura, sono quindi strettamente legati ai processi strutturali e di sedimentazione e alla loro disposizione nel tempo.

Alla fine degli anni settanta, gli studi pedologici dell'allora “Servizio Cartografico” regionale hanno consentito di avviare un'accurata ricostruzione degli ambienti deposizionali recenti anche attraverso la interpretazione di foto aeree. Ciò ha permesso di giungere a una completa ricostruzione della morfologia del sottosuolo dell'intera pianura regionale, tuttora in continuo aggiornamento e tuttavia ancora basata sui contenuti del primo impianto (D. Preti, 1987). Le successive edizioni della carta morfologica, sempre aggiornate e corrette, hanno anche compreso datazioni storiche di probabile formazione dei corpi geologici più recenti (figura 3.4).

La seguente figura 3.5 ripropone uno stralcio della più recente cartografia geologica RER dove è possibile distinguere i depositi più recenti e affioranti (Subsintema di Ravenna AES8 e Unità di Modena – AES8a).

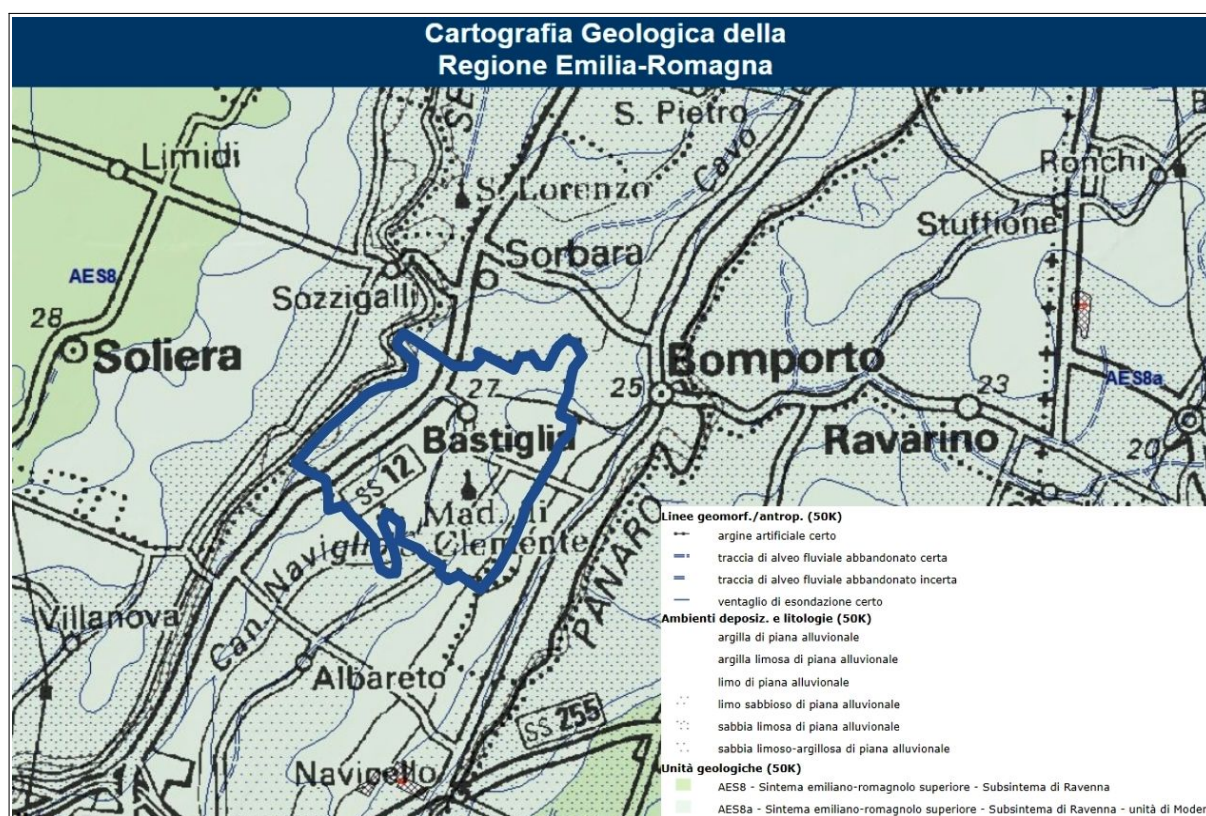


Figura 3.5 – Stralcio della Carta Geologica della RER a cura del SGSS regionale (https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss)

Per il territorio in oggetto, la deposizione alluvionale locale più recente è prevalentemente riconducibile al fiume Secchia e, in minor misura al fiume Panaro, con un assetto morfologico più superficiale caratterizzato dalla “pensilità” di questi corsi d’acqua. Sia la cartografia geologica di pianura di primo impianto, sia la più aggiornata carta geologica RER non evidenziano la presenza di paleoalvei di età tardo medioevale ben distinguibili, invece

Map showing the spatial distribution of the 2010-2015 average annual precipitation in Bastiglia. The map is color-coded according to the legend, with darker shades of green indicating higher precipitation and lighter shades indicating lower precipitation. The highest precipitation (31.5-32.0m) is concentrated in the central and eastern parts of the area, while the lowest (23.5-24.0m) is found in the western part. The map includes labels for various locations such as Bastiglia, La Torre, and Colombarone.

Precipitation Range (m)
23.5-24.0m
24.0-24.5m
24.5-25.0m
25.0-25.5m
25.5-26.0m
26.0-26.5m
26.5-27.0m
27.0-27.5m
27.5-28.0m
28.0-28.5m
28.5-29.0m
29.0-29.5m
29.5-30.0m
30.0-30.5m
30.5-31.0m
31.0-31.5m
31.5-32.0m

La ricostruzione morfologica del territorio comunale effettuata per questo studio (figura 3.6), basata sulle quote indicate nelle carte topografiche regionali (CTR scala 1:5.000) nonché sul controllo degli elementi morfologici naturali e antropici (rilevati artificiali; sistemazioni agricole; ecc.), sembra confermare l'ipotesi di un settore nord occidentale del territorio comunale maggiormente coinvolto in "crevasse" ripetutesi nel tempo e tali da aver condizionato, anche attraverso interventi di bonifiche successive, la morfologia locale ove si è sviluppato il nucleo abitativo storico di Bastiglia (situato a quote relativamente più elevate rispetto al territorio circostante). La ricostruzione morfologica evidenzia, inoltre, una blanda "pensilità" anche del

canale Naviglio, generata dalle sue tracimazioni laterali più recenti. Tutto il settore orientale del territorio comunale è invece caratterizzato da quote morfologicamente più depresse rispetto alla maggior parte dell'insediato urbano del Capoluogo (con differenze di quota fino a circa 2,0÷2,5 metri).

3.4 Idrogeologia

La conoscenza dei dati idrogeologici, come ad esempio il campo di moto della falda, la tipologia (se libera oppure se confinata) fornisce utili indicazioni anche per le analisi di pericolosità sismica. Per la pianura, a titolo d'esempio, i dati di idrogeologia devono essere considerati per le valutazioni relative alla suscettibilità dei sedimenti alla liquefazione e possono essere considerati anche per la modellazione numerica della risposta sismica locale.

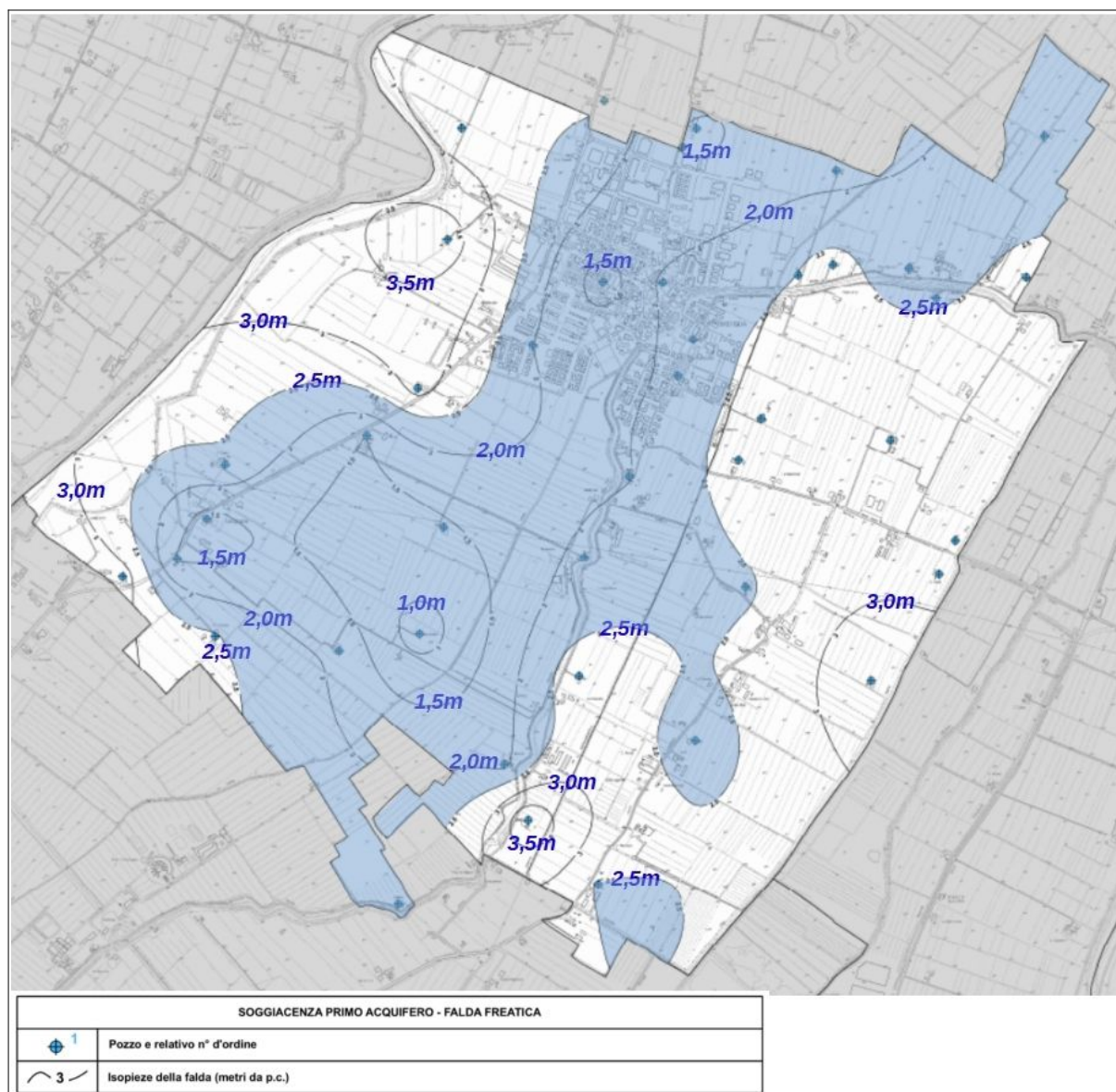


Figura 3.7 – Stralcio della cartografia “soggiacenza primo acquifero” (scala 1:10.000) redatta a corredo dello studio di MS pregresso (Centrogeo, 2012). Vengono meglio evidenziate le soggiacenze attribuite alle isolinee

Per il territorio comunale di Bastiglia, un utile documento conoscitivo è rappresentato dalla cartografia della <<soggiacenza primo acquifero>> alla scala 1:10:000 redatta a corredo dello studio di MS pregresso (Centrogeo, 2012): la tavola riporta isolinee di uguale soggiacenza (profondità della falda rispetto al piano campagna), la cui costruzione è basata su misure effettuate in pozzi freatici locali. Dagli esiti (vedi figura 3.7) si evince come tutto il settore centrale del territorio comunale risulti caratterizzato da soggiacenze minori (1,0÷2,0 metri), presumibilmente riconducibile alla blanda ricarica (per subalveo e laterale) sia del Fiume Secchia, sia del canale Naviglio, quest'ultimo blandamente pensile rispetto alla pianura circostante.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Le indagini geognostiche/geofisiche pregresse

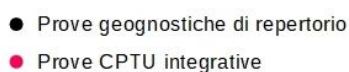
La fase iniziale di lavoro ha previsto la raccolta, la selezione e il riordino delle indagini geognostiche/geofisiche e di laboratorio disponibili per il territorio di studio. In questo senso, si è potuto disporre di un buon numero di prove già raccolte per lo studio di MS pregresso (Centrogeo, 2012) che comprendevano indagini della Banca Dati geognostica RER, indagini di repertorio raccolte presso gli archivi del Comune e indagini effettuate all'epoca per lo studio. Per questo ulteriore approfondimento, sono state raccolte ulteriori indagini pregresse (effettuate dopo il 2012), anch'esse archiviate dagli Uffici del Comune di Bastiglia.

Le prove pregresse, sono state dunque implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro, così distinte per tipologia:

- ✓ n. 6 sondaggi a carotaggio continuo (S);
- ✓ n. 6 pozzi per acqua (PA);
- ✓ n. 104 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT);
- ✓ n. 10 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (CPTU);
- ✓ n. 19 prove dinamiche pesanti (DP);
- ✓ n. 1 "Cono sismico" (SCPT);
- ✓ n. 4 stendimenti sismici attivi MASW;
- ✓ n. 18 stendimenti Re.Mi.;
- ✓ n. 19 registrazioni microtremori a stazione singola (HVSR).

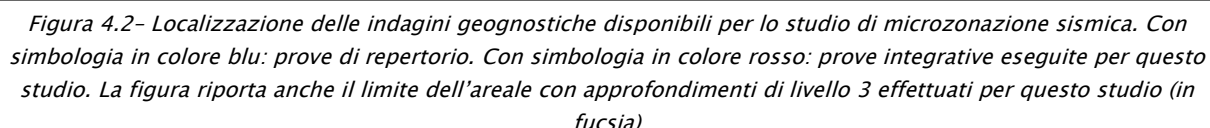
Si evince il buon numero e densità di prove per l'areale urbano di Bastiglia, tuttavia nel corso dello studio di MS è chiaramente emerso che, data l'eterogeneità dell'archivio, non sempre indagini della stessa tipologia possono essere ritenute allo stesso modo attendibili. Per riguarda le prove penetrometriche, ad esempio, nel territorio urbanizzato non sono disponibili prove penetrometriche elettriche (CPTe; CPTU) in grado di fornire una migliore definizione tessiturale e meccanica dei sedimenti attraversati, nonché utili per effettuare verifiche speditive della liquefacibilità. Dal confronto di indagini analoghe eseguite da soggetti diversi, in tempi diversi sulla stessa area, si sono evidenziati risultati a volte non coerenti. Le figure 4.1 e 4.2 riportano la distribuzione delle prove di repertorio nell'intero territorio comunale e la localizzazione delle ulteriori indagini integrative eseguite, come vedremo, per questo ulteriore approfondimento.

I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in formato *.pdf nella cartella Indagini\documenti contenuti nell'archiviazione informatica dello studio di MS.



4.2 Le nuove indagini eseguite

- fornire la caratterizzazione sismostratigrafica più raffinata del sottosuolo nell'insediamento urbano, già parzialmente inclusi in zone suscettibili di effetti locali (es. potenzialmente liquefacibili) dagli studi di pericolosità sismica pregressi;
- proporre una “base dati” (geognostica e geofisica) di riferimento per gli approfondimenti sismici nelle zone caratterizzate da potenziale instabilità (es. zone di attenzione per liquefaccibilità).



- ✓ *n. 15 prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU)* → realizzate 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 4.1). Le prove sono state spinte fino a -20 metri di profondità ed hanno permesso di definire le caratteristiche tessiturali e geotecniche nell'intervallo più utile anche ai fini delle verifiche della possibilità di liquefazione e cedimenti post-sisma. Si rammenta nuovamente come le prove

penetrometriche elettriche consentano una migliore definizione tessiturale dei sedimenti attraversati rispetto alle altre tipologie di prove penetrometriche (CPT; DP; ecc.), potendo registrare dati delle resistenze dei sedimenti pressoché continui (una lettura ogni cm di avanzamento).



Foto 4.1 – Prove CPTU integrative eseguite a Bastiglia

- ✓ *n. 3 stendimenti sismici in array bidimensionale ESAC* (foto 4.2)→ Per questo studio, sono stati elaborati tre modelli sismostratigrafici profondi mediante tecniche di investigazione sismiche basate sulla raccolta ed analisi del rumore sismico ambientale, utilizzando il metodo ESAC (Autocorrelazione Spaziale Migliorato).

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" anche molto profonde, favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico. Nel caso specifico di Bastiglia, le tre prove hanno consentito l'elaborazione di modelli sismostratigrafici profondi circa 140 metri. 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). Gli stendimenti eseguiti a Bastiglia hanno previsto geometrie "a elle" con spaziatura tra i geofoni di 5 metri (lunghezza complessiva degli stendimenti 115 metri).

Le prove ESAC sono state anch'esse eseguite nell'areale urbanizzato.



Foto 4.2 – Prova ESAC_SPAC e registrazione HVSR integrative eseguite a Bastiglia

- ✓ n. 8 registrazioni del microtremore sismico a stazione singola con tecnica HVSR → sebbene siano già disponibili numerose registrazioni HVSR, sono state effettuate con differente strumentazione ulteriori acquisizioni in adiacenza alle prove integrative. Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva sono state eseguite con tromografo digitale "Tromino" (foto 4.2) e sono finalizzate alla elaborazione degli spettri di base



ed analisi HVSR del sottosuolo (Albarello 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 ($10-15 \text{ m/s}^2$), 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.

Le figure 4.1 e 4.2 propongono una rappresentazione della distribuzione nel territorio studiato delle prove geognostiche e geofisiche complessivamente disponibili.

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 Bastiglia 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÷40 metri di sottosuolo nelle aree interessate dallo studio.

Le conoscenze litostratigrafiche degli areali studiati 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 comunale sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica profonda (fino al bedrock sismico) nel territorio studiato.

Vengono di seguito illustrati gli elementi di sintesi riguardanti la modellazione di sottosuolo. Ulteriori informazioni sono riportate anche nei successivi capitoli.

5.1 Sottosuolo profondo

La ricostruzione del modello geologico profondo del territorio studiato è possibile attraverso l'analisi delle sezioni geologiche già disponibili e l'elaborazione di nuove sezioni geologiche, le cui tracce vengono riportate nelle cartografie di microzonazione sismica e riportate anche nella figura 5.1. Si tratta in particolare:

- delle due sezioni geologiche profonde elaborate per lo studio di MS pregresso (Centrogeo, 2012) e indicate come “sezione 1” e “sezione 2”. Si tratta di ricostruzioni di sottosuolo dei sedimenti alluvionali fino ad oltre 350 metri di profondità (depositi SERS e SERI);
- della sezione geologica profonda (sezione n.100) elaborata dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna nell'ambito degli studi del progetto CARG⁴. La sezione è stata rinominata “sezione n.3”;
- delle tre nuove sezioni geologiche elaborate dallo Studio Scrivente, che attraversano da ovest a est l'areale urbanizzato e denominate rispettivamente “sezione n.4”, “sezione n.5” e “sezione n.6”. Le nuove sezioni includono i dati litotecnici delle prove CPTU realizzate per questo studio e altre penetrometrie CPT disponibili con profondità investigate fino a circa 30 metri.

⁴ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/sezioni-geologiche-prove-geognostiche-pianura>

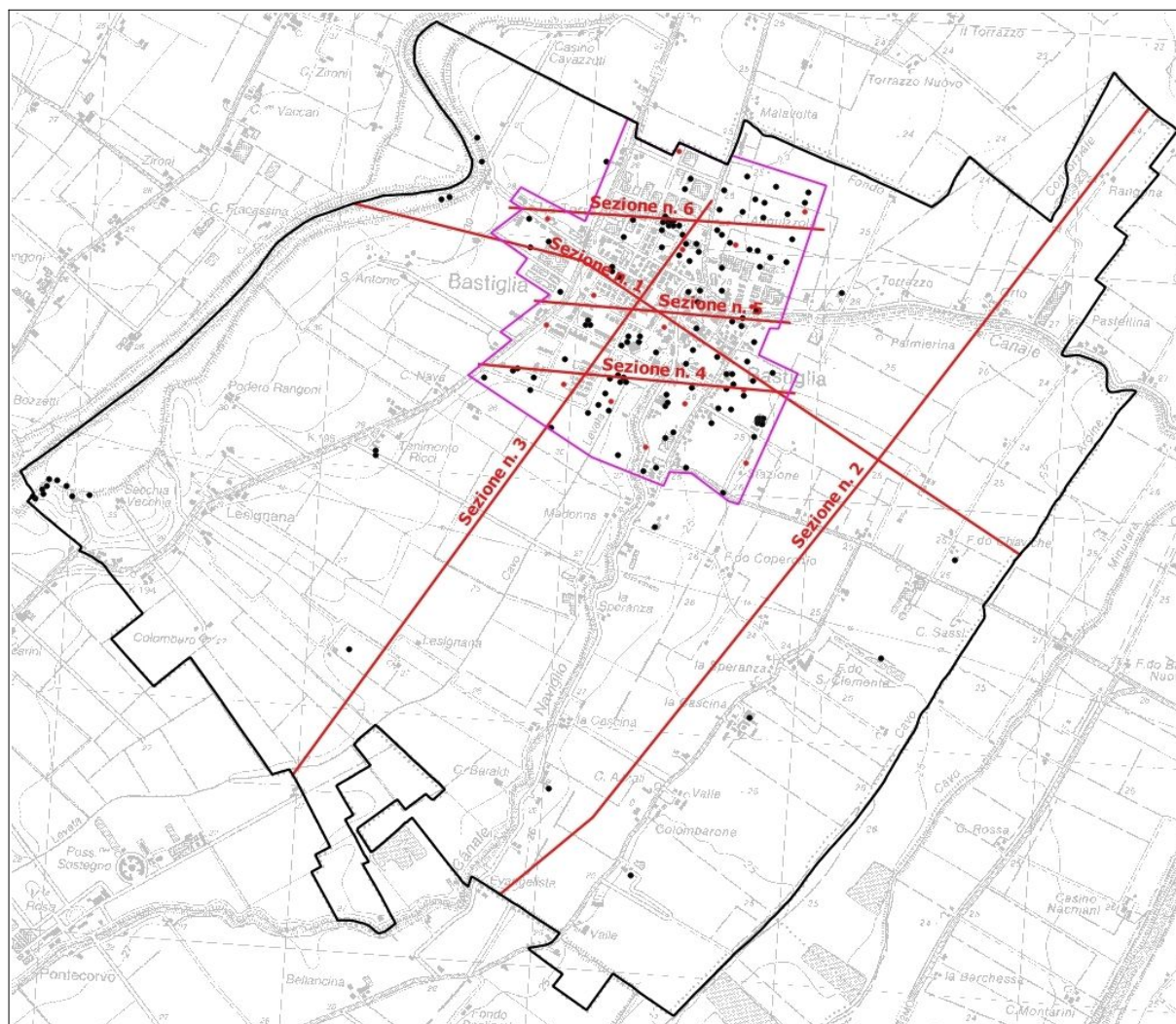


Figura 5.1 – Tracce delle sezioni geologiche disponibili per questo studio

Un ulteriore e importante contributo per la modellazione geologico-sismica profonda è fornito dagli studi del SGSS, sintetizzati nella Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (scala 1:250.000). Uno stralcio di tale cartografia, riprodotto in figura 5.2, evidenzia la profondità della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore AES (cfr. capitolo 3): nel territorio comunale, lo spessore complessivo dei depositi alluvionali che costituiscono il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore è stimabile in circa 280÷310 metri, con un approfondimento della sua base verso SE.

La figura 5.3 riporta invece uno stralcio della sezione RER n. 100. In questa sezione geologica profonda, che per il territorio di Bastiglia ricostruisce gli spessori dei depositi alluvionali fino a comprendere anche la base del Sintema AEI e viene approssimativamente evidenziato un limite che può risultare di particolare interesse per l'analisi della risposta sismica locale: il tetto delle sequenze prevalentemente sabbiose del subsintema AES6 (a una profondità locale stimata pari a circa 105÷110 metri).

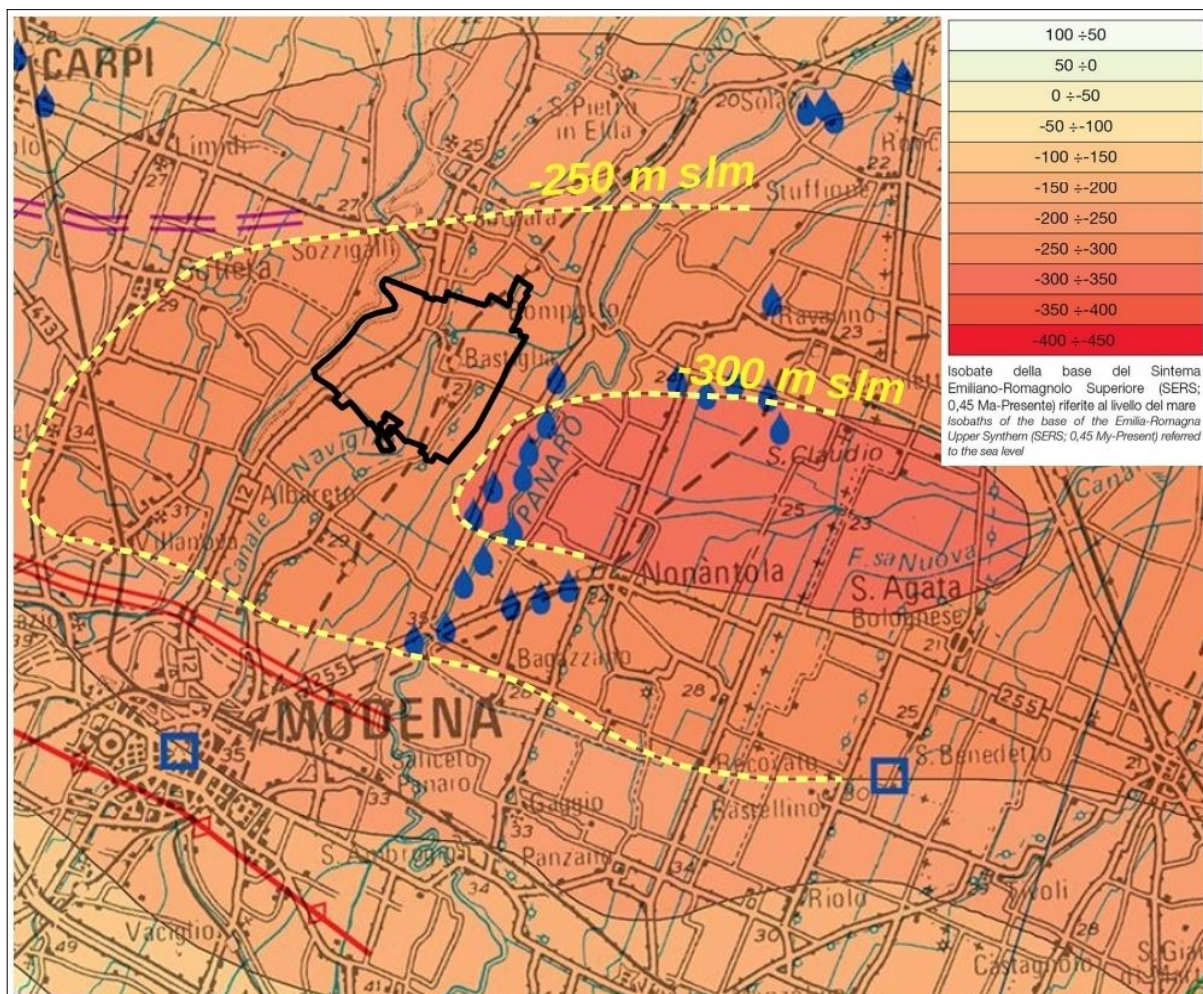


Figura 5.2– Stralcio della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe” (RER, 2016). Sono sovrapposti i confini comunali di Bastiglia e rimarcate le isobate della base del Sintema SERS/SERI (metri slm)

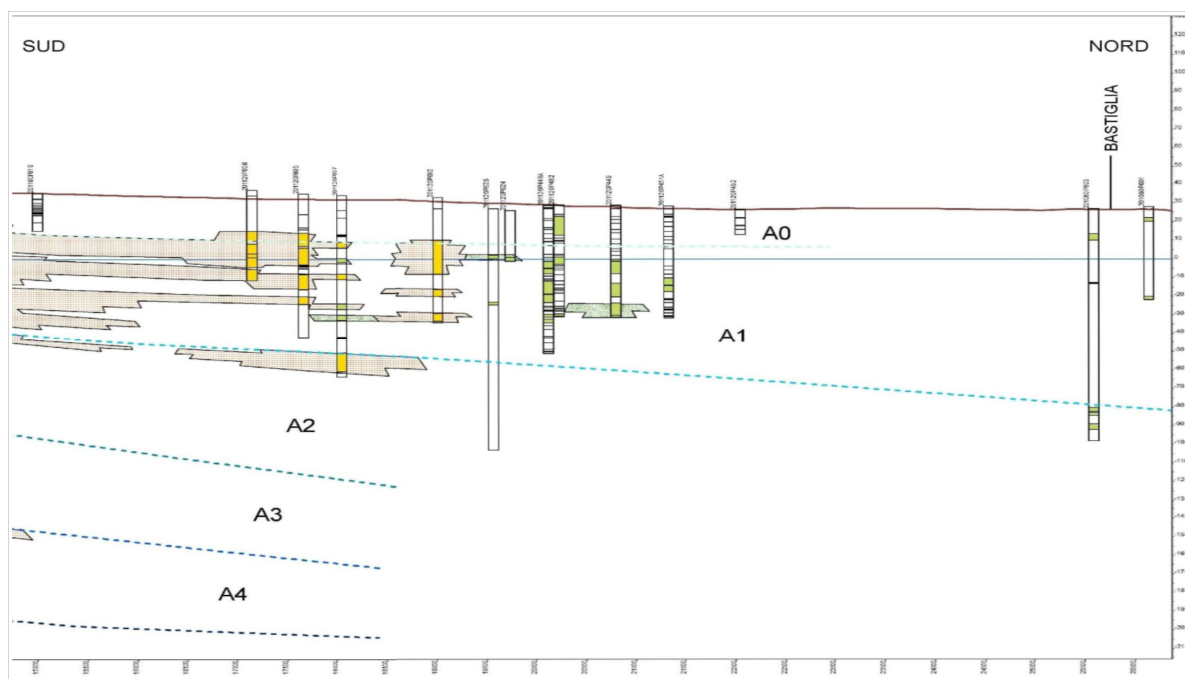


Figura 5.3 – Stralcio della sezione RER n.100 (rinominata nello studio di MS come sezione n.3)

Il tetto di questi depositi granulari risulterebbe in parte correlabile alle frequenze di risonanza di massima intensità (frequenze fondamentali f_0) riscontrate in tutto il territorio comunale (figura 5.4).

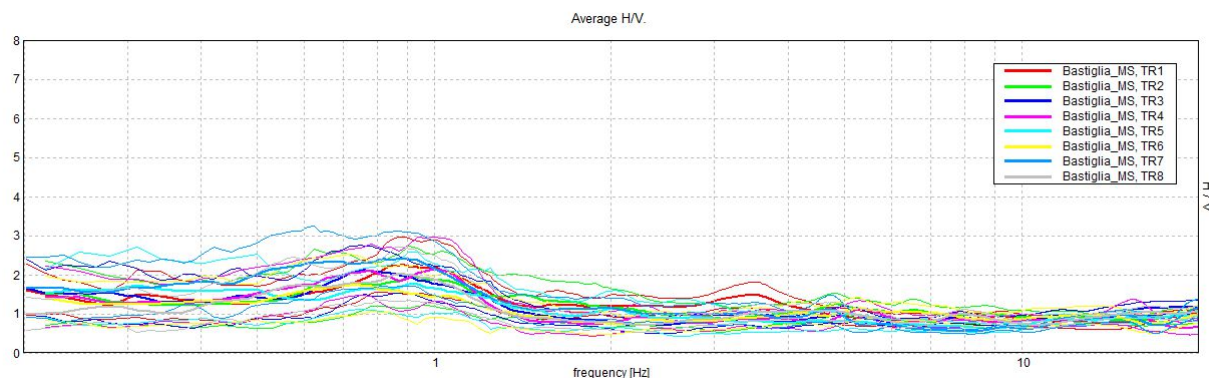
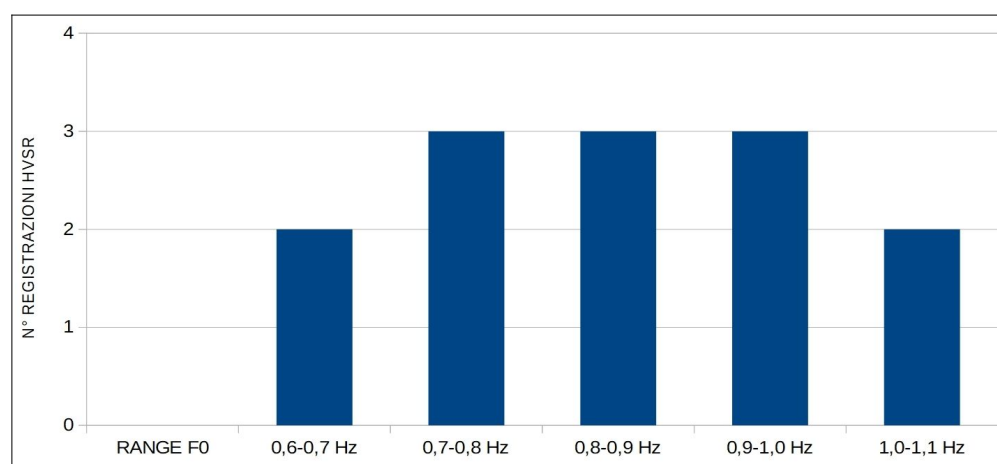


Figura 5.4 – Confronto tra spettri H/V ricavati da registrazioni tromografiche integrative effettuate nell'areale urbanizzato di Bastiglia

Più in particolare, se analizziamo le 14 registrazioni complessivamente effettuate nell'areale urbanizzato (6 di repertorio; 8 di nuova esecuzione), si può riscontrare come le curve dei massimi spettrali H/V siano piuttosto allargate. Dal punto di vista puramente statistico, si può inoltre osservare (vedi figura 5.5) che la maggior distribuzione delle frequenze F_0 risultino comprese in un ampio range (da 0,7 Hz a 1,0 Hz), suggerendo che il principale riflettore sismico (che contribuisce certamente in modo importante alla risposta sismica locale) non risulta ben definito ma, presumibilmente, è rappresentato da un più ampio intervallo di sottosuolo sismicamente caratterizzato da un rapido incremento della “rigidezza” (rispetto ai sedimenti sovrastanti) e comunque ben più profondo rispetto al già citato tetto del subsistema AES6 (circa -105÷110 metri).

Figura 5.5 –
Distribuzione delle
frequenze
fondamentali (f_0)
derivate dalle
registrazioni
sismiche HVSR (prove
effettuate nell'areale
urbanizzato di
Bastiglia)



Le registrazioni HVSR disponibili evidenziano, comunque, forme spettrali H/V sostanzialmente omogenee. Non si riscontrano ulteriori picchi spettrali H/V significativi a medie-alte frequenze, associabili a riflettori sismici più superficiali.

Le ulteriori sezioni n. 4-5-6 (figure 5.6-5.7-5.8) realizzate per questo studio offrono

ricostruzioni litostratigrafiche rappresentative e di maggior dettaglio del sottosuolo (fino a circa $-15 \div 30$ metri) dell'areale urbanizzato: le indagini disponibili evidenziano in entrambe le situazioni depositi sub-affioranti prevalentemente limosi con livelli sabbiosi nel settore occidentale (tracimazioni più recenti del fiume Secchia) e più argillosi nel settore orientale. Le sezioni evidenziano anche gli intervalli più sabbiosi anche metrici, intercettati comunque a profondità maggiori di 10 metri, riconducibili a depositi di canale/argine del fiume Secchia

Sezione geologica 4-4' Bastiglia

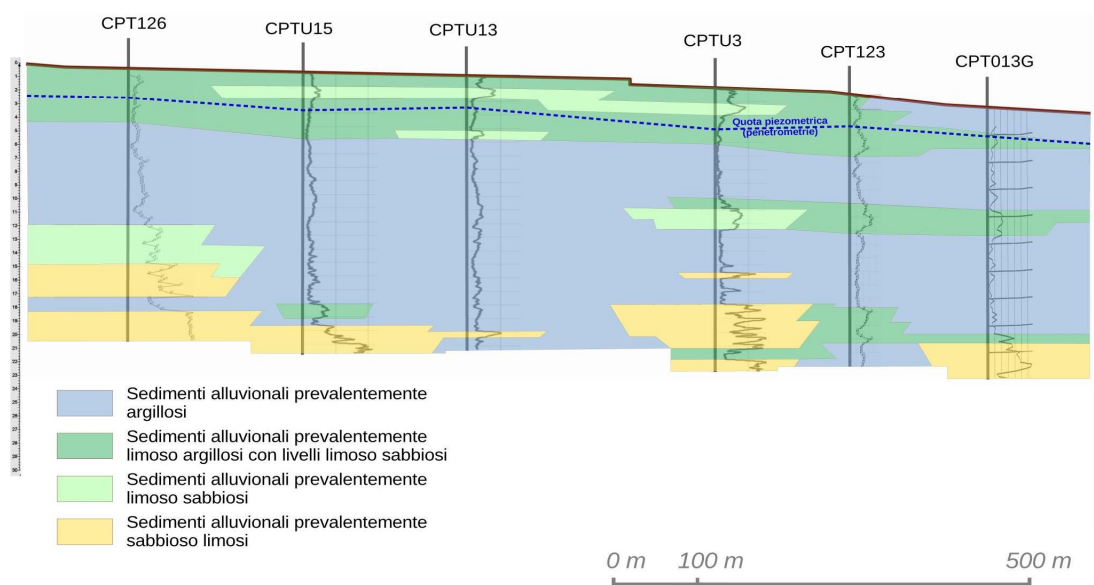


Figura 5.6 - Stralcio della sezione geologica n.4 realizzata per questo studio

Sezione geologica 5-5' Bastiglia

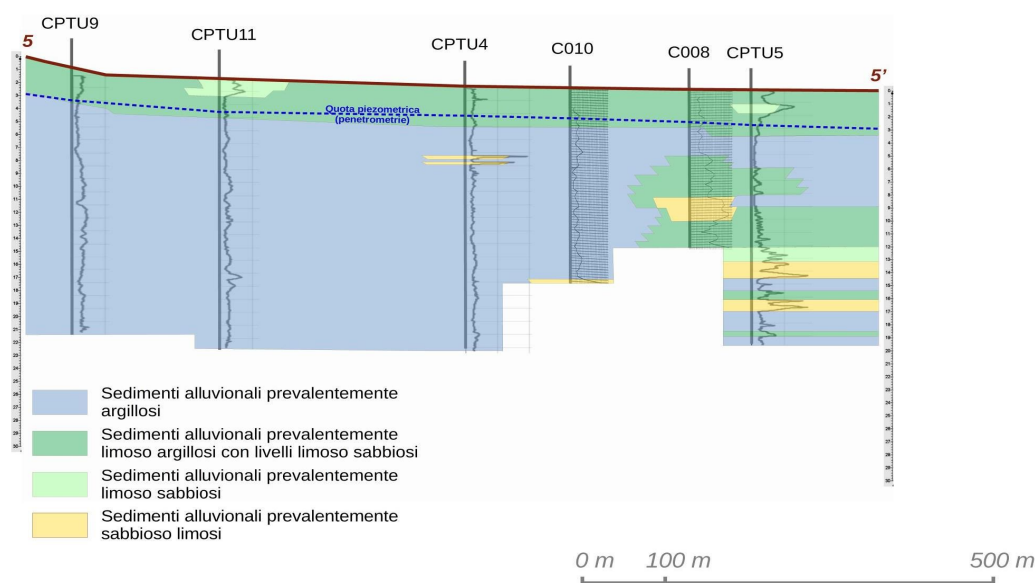


Figura 5.7 - Stralcio della sezione geologica n.5 realizzata per questo studio

Sezione geologica 6-6' Bastiglia

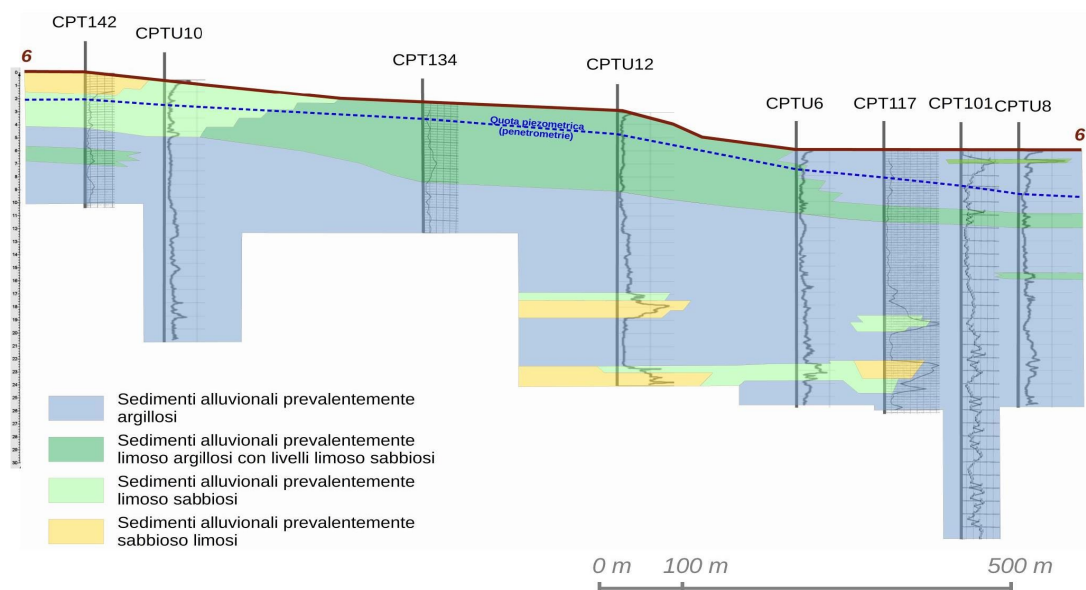


Figura 5.8 – Stralcio della sezione geologica n.6 realizzata per questo studio

Le indagini integrative effettuate per lo studio di MS comunale hanno infine consentito un ulteriore approfondimento riguardo alla modellazione sismostratigrafica del sottosuolo. In particolare, le scarse resistenze di punta q_c/q_t ricavate dalle penetrometrie, l'assenza di riflettori sismici poco profondi (vedi registrazioni HVSR), nonché gli esiti ottenuti dalle prove ESAC-SPAC indicano una moderata variabilità della V_{s30} , con valori che risultano certamente inferiori a 250 m/s (almeno per quanto riguarda l'areale urbanizzato di Bastiglia). Questi esiti risultano inoltre più coerenti con i risultati degli studi di MS più recenti espletati nei Comuni limitrosi (vedi Bomporto e Soliera).

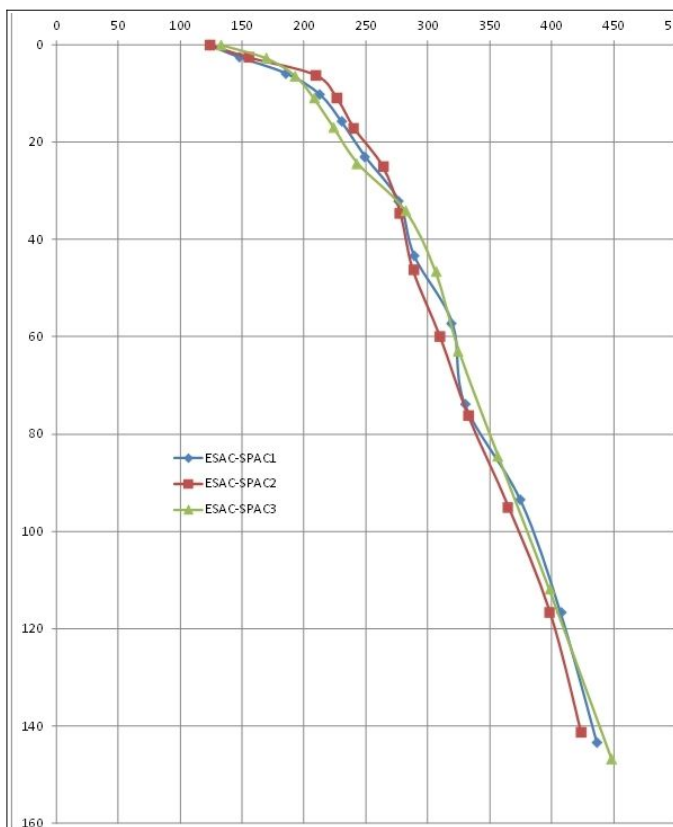


Figura 5.9 – Confronto tra gli esiti delle prove ESAC-SPAC eseguite a Bastiglia (variabilità delle V_s con la profondità)

La figura 5.9 rappresenta una sovrapposizione degli esiti ottenuti dalle tre prove ESAC-SPAC eseguite a Bastiglia: i modelli sismostratigrafici più profondi risultano molti simili, con Vs30 rispettivamente pari a 197 m/s (ESAC-SPAC1), 206 m/s (ESAC-SPAC2) e 199 m/s (ESAC-SPAC3) ed evidenziano incrementi di rigidezza relativamente moderati con la profondità (circa 450 m/s a -140 metri), a conferma che il tetto dei depositi AES6 non può certamente essere considerato un “bedrock sismico”.

In conclusione, le indagini geofisiche disponibili rimarcano anche una discreta omogeneità degli esiti di Vs equivalente (almeno per quanto riguarda l’areale comprendente il territorio urbanizzato) e, conseguentemente, una risposta sismica locale da ritenersi altrettanto scarsamente variabile.

5.2 Litologie sub-affioranti

Per la caratterizzazione geologico tecnica dei sedimenti superficiali, lo studio si è basato sul controllo dei dati tessiturali desunti prove geognostiche disponibili. Le stratigrafie desunte dai sondaggi consentono un controllo diretto delle tessiture, tuttavia si sono considerati anche gli esiti tessiturali delle prove penetrometriche disponibili. In particolare, le prove CPTU di repertorio 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).

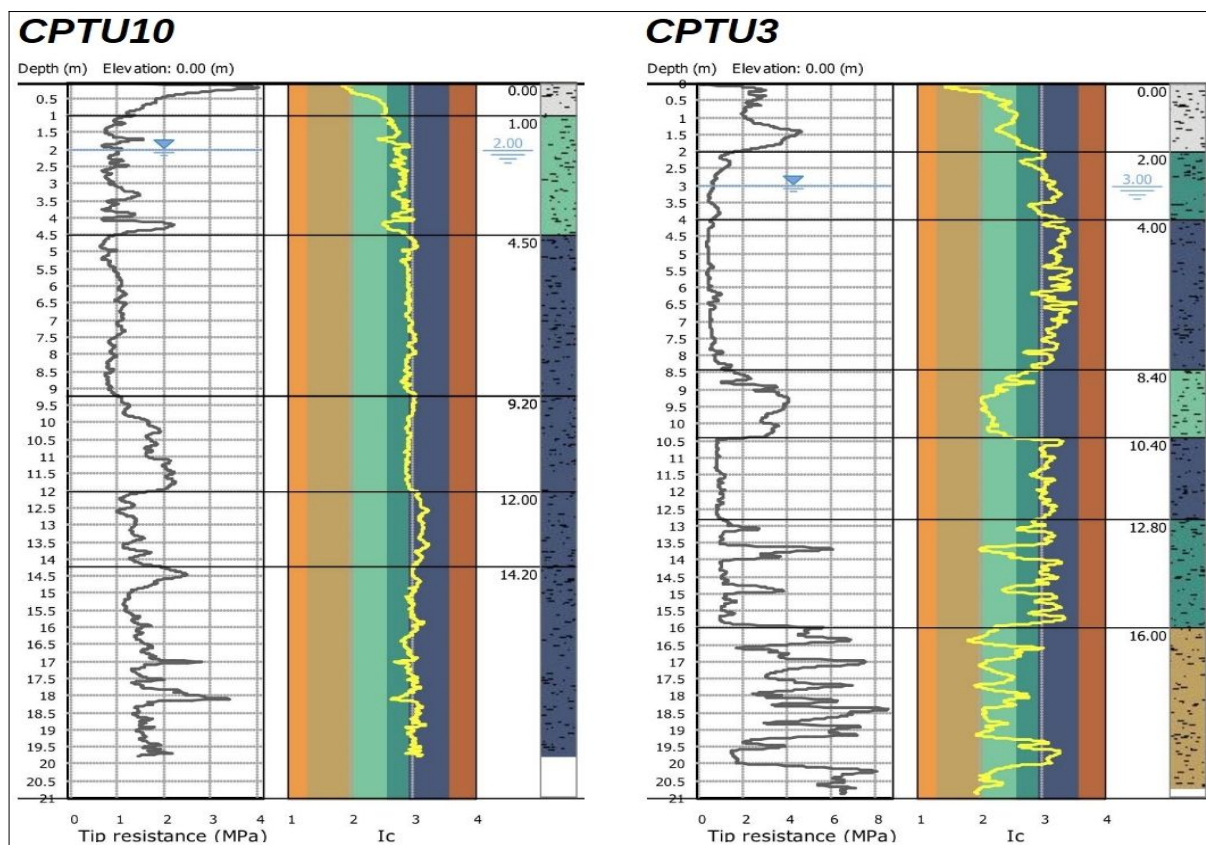


Figura 5.10 – Confronto tra colonne tessiturali desunte da prove CPTU eseguite per questo studio

Tutte queste informazioni, hanno permesso la classificazione dei punti di controllo basata sulle classi tessiturali definite secondo gli “standard di microzonazione sismica” (v.4.2) e sulla prevalenza tessiturale riscontrata nella “colonna” di sedimenti profonda fino a circa 5÷6 metri dal piano campagna, con esiti rappresentati nella “Carta Geologico-Tecnica (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.

Le terebrazioni disponibili per l'areale interessato dalla microzonazione sismica evidenziano come il settore ovest, morfologicamente più rilevato, sia anche caratterizzato da sedimenti più superficiali attribuibili a tracimazioni recenti del fiume Secchia. Questi depositi risultano limoso sabbiosi, sfumando a limi e poi ad argille verso est (si veda in particolare la sezione 6-6, figura 5.8 e CPTU10, figura 5.10). Le indagini, inoltre, evidenziano sedimenti superficiali a tessiture ancora limoso sabbiose in adiacenza al canale Naviglio, presumibilmente per gli eventi di tracimazione secolari di questo ulteriore corso d'acqua artificializzato (es. CPTU3, figura 5.10).

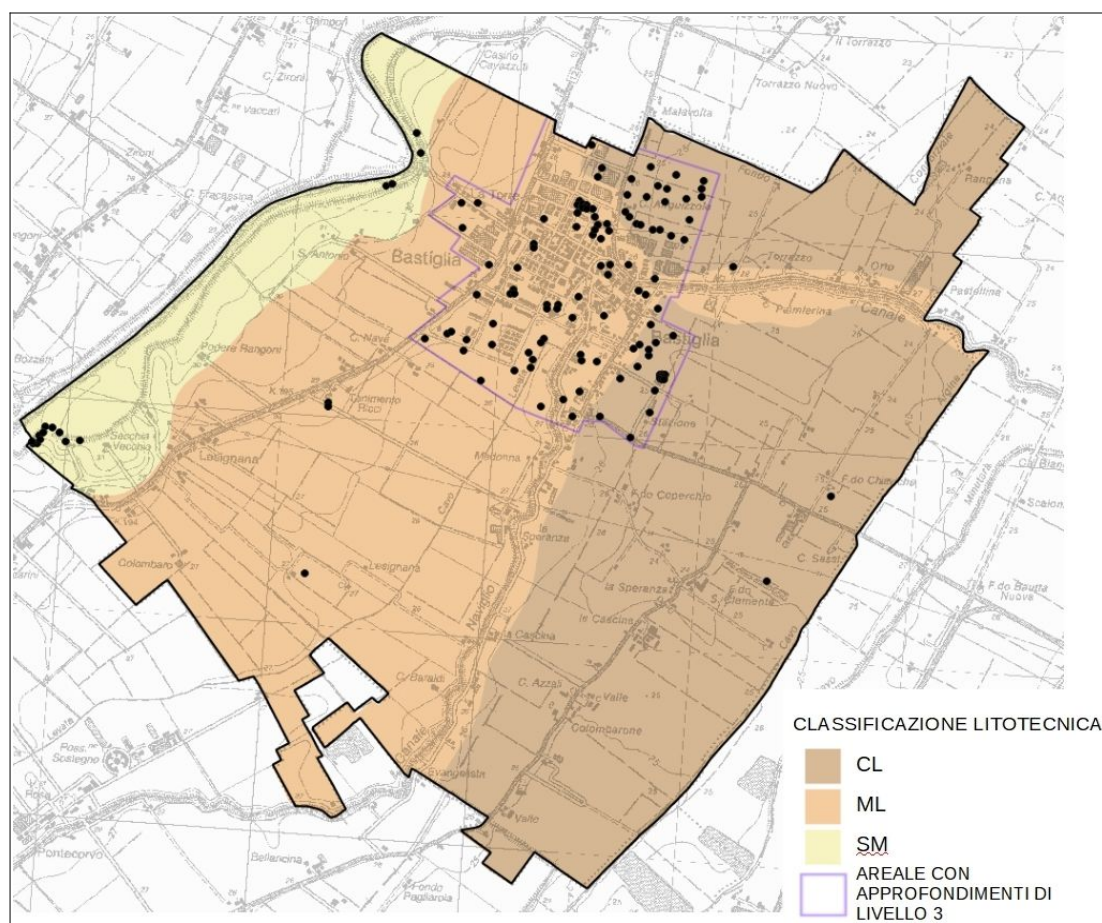


Figura 5.11 – Schema litotecnico del sottosuolo meno profondo del territorio comunale di Bastiglia. La figura riporta i punti di controllo delle tessiture (penetrometrie e sondaggi)

In conclusione, i dati disponibili indicano come i sedimenti meno profondi siano riconducibili a differenti classi geotecniche USCS/AGI in relazione al diverso contesto deposizionale più recente degli areali di studio. In questo senso, la figura 5.11 offre una rappresentazione di sintesi del contesto litotecnico superficiale, ove il territorio comunale risulta classificato da “SM” a “ML” nel settore centro occidentale (tracimazioni recenti del Secchia e del Navile). Ampi settori del territorio comunale più orientale sono invece classificabili “CL” per la presenza di argille e argille limose più o meno consistenti di piana inondabile.

6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1 Commenti introduttivi

I dati geognostici considerati offrono una sufficiente “copertura” conoscitiva delle aree studiate e in particolare le prove penetrometriche CPTU hanno consentito una migliore caratterizzazione tessiturale e meccanica dei sedimenti investigati. Anche le ulteriori indagini geofisiche espletate ex novo per questo studio di microzonazione (registrazioni HVSR e stendimenti sismici SPAC-ECAC) consentono una migliore modellazione sismostratigrafica del sottosuolo necessaria per l'elaborazione della risposta sismica locale semplificata (“secondo livello”).

Le nuove indagini eseguite hanno consentito di svolgere approfondimenti di “livello 3” relativamente all'analisi della risposta sismica locale e alla quantificazione della propensione alla liquefacibilità e dei cedimenti post sisma. Occorre rammentare che le inevitabili incertezze e limitazioni non ancora risolvibili con questo livello di approfondimento appaiono comunque accettabili in relazione agli obiettivi che si pone questo studio. Lo studio, ha infatti ben definito le aree che dovranno essere ineludibilmente investigate e ulteriormente analizzate per quanto riguarda anche gli aspetti di pericolosità sismica.

Nei successivi paragrafi si introducono le principali scelte effettuate a scopo interpretativo, evidenziandone le ragioni e gli elementi a sostegno, ma cercando di evidenziare anche le inevitabili incertezze che ancora emergono con questo livello di approfondimento.

6.2 Definizione del substrato rigido

Tra gli obbiettivi degli approfondimenti espletati, vi è stato, innanzitutto, quello di definire con maggior dettaglio il bedrock sismico di riferimento per la quantificazione della Risposta sismica Locale.

Occorre premettere che 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), nonché per gli altri Comuni limitrofi, hanno offerto un importante contributo conoscitivo per quanto riguarda la risposta sismica nella pianura padana.

Gli studi regionali, confermati anche da ulteriori indagini effettuate nei Comuni della Pianura, hanno infatti 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. 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)

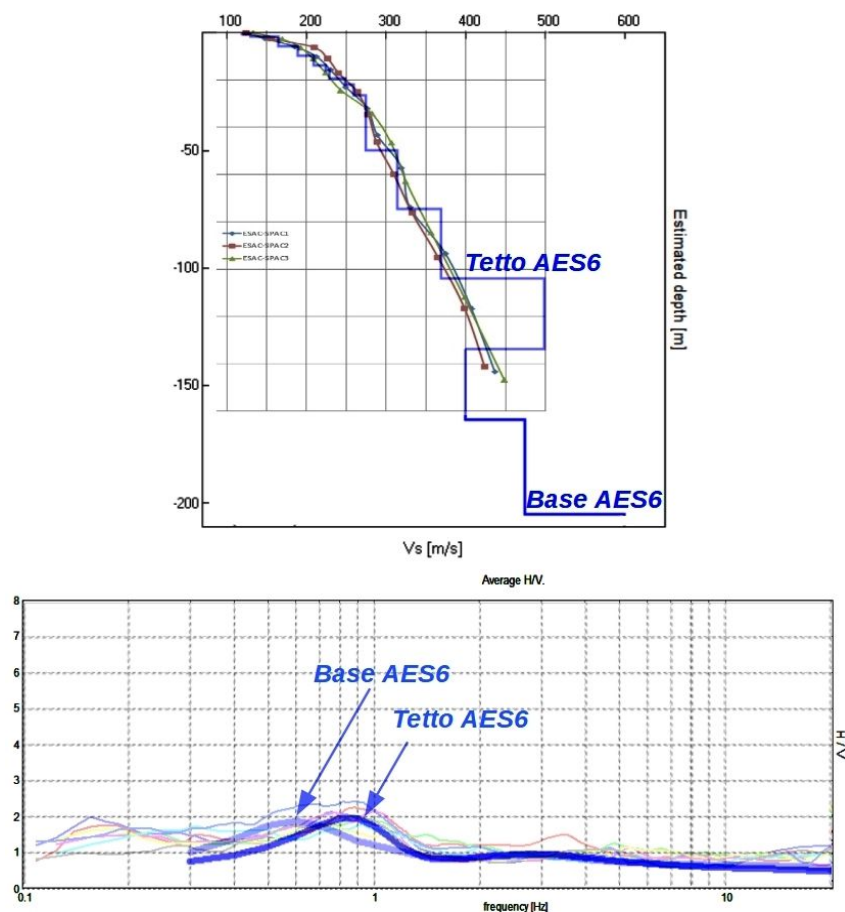
evidenza che, per elevati spessori (in genere maggiori di 100 metri) di depositi “soffici” alluvionali, si possono riscontrare importanti effetti di smorzamento.

Per quanto riguarda il territorio comunale di Bastiglia, le informazioni di sottosuolo più profonde disponibili (sezioni geologiche; dati ricavati da ESAC-SPAC, ecc.) sono state confrontate con gli esiti delle registrazioni HVSR, per interpretare modelli sismostratigrafici il più possibile rappresentativi del contesto locale.

Come già scritto (cfr. paragrafo 5.1), le registrazioni HVSR evidenziano amplificazioni spettrali H/V relativamente omogenee tutto il territorio comunale. Le curve dei massimi spettrali H/V, tuttavia, risultano piuttosto allargate. Con una maggior distribuzione delle frequenze F_0 comprese in un ampio range (da 0,7 Hz a 1,0 Hz). Il riflettore sismico evidenziato dalle prove HVSR non risulta ben definito ma, presumibilmente, appare rappresentato da un più ampio intervallo di sottosuolo sismicamente caratterizzato da un discreto incremento della “rigidezza” (rispetto ai sedimenti sovrastanti) e comunque ben più profondo rispetto al tetto del subsistema AES6 (collocabile a circa $-105 \div -110$ metri).

Gli stendimenti ESAC-SPAC non riscontrano differenze significative nei rispettivi modelli sismostratigrafici, con V_s che raggiungono i 450 m/s a circa -140 metri dal suolo in tutte e tre le prove eseguite, a conferma che il tetto dei depositi AES6 non può certamente essere considerato “bedrock sismico”.

Figura 6.1– In alto: confronto tra il modello sismostratigrafico sintetico implementato nelle analisi numeriche della RSL (“modello1”) e gli esiti delle indagini ESAC. In basso: confronto tra gli spettri sintetici H/V del “modello 1” e gli spettri H/V delle registrazioni HVSR effettuate per questo studio nel territorio urbanizzato



Sulla base delle conoscenze stratigrafiche e geofisiche del sottosuolo già descritte, è dunque possibile associare le amplificazioni spettrali H/V ottenute dalle registrazioni HVSR a riflettori sismici collocati a range di profondità più circoscritti. Più in dettaglio, vincolando gli spettri H/V ai dati stratigrafici e geofisici disponibili, la figura 6.1 rappresenta il miglior modello sismostratigrafico profondo (considerato per le simulazioni numeriche di RSL riferite al “modello 1”), con i principali picchi spettrali H/V che risultano associabili ai due riflettori sismici considerati e rispettivamente posti in corrispondenza delle sabbie addensate al tetto dei depositi AES6 e alla sua più profonda base (al contatto con i depositi AES indifferenziati?). Per il territorio di studio, questo secondo riflettore più approfondito viene collocato a circa $-203 \div 210$ metri rispetto al piano campagna.

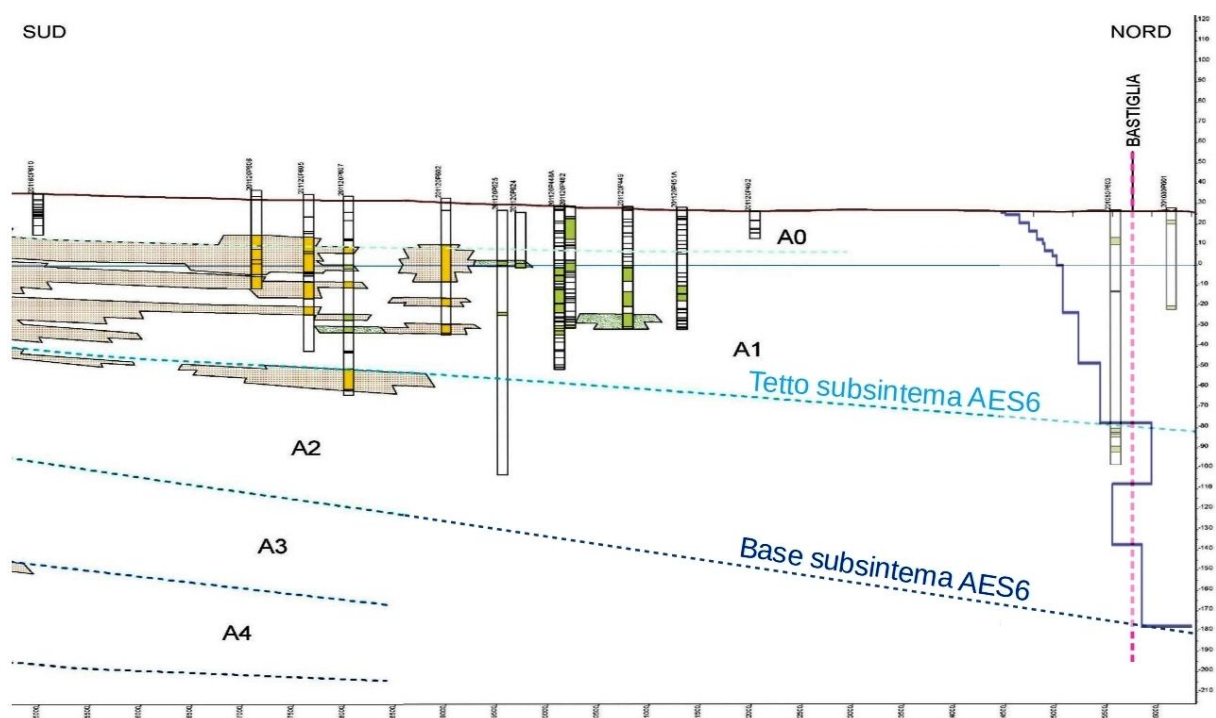


Figura 6.2 – Stralcio sezione RER n.100 modificata (rinominata n. 3) e il modello sismostratigrafico “modello 1” implementato nell’analisi numerica della RSL)

La figura 6.2 sovrappone infine il modello sismostratigrafico “modello 1” con la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo profondo rappresentata nella sezione n.100 della RER (rinominata per questo studio con il numero progressivo “3”).

Le modellazioni numeriche della RSL espletate per questo studio hanno dunque considerato colonne sismostratigrafiche cautelativamente approfondite fino alla base del subsistema AES6, profondità tale da poter implementare un “pseudobedrock” sufficientemente rigido. Si rammenta, ancora una volta, che un ulteriore approfondimento porterebbe inevitabilmente a progressivi effetti di smorzamento dell’amplificazione verso la superficie.

6.3 Delimitazione delle zone di attenzione per liquefazione

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); anche i cedimenti rilevati degli edifici sono risultati complessivamente limitati e per lo più uniformi al di sotto delle costruzioni⁵. 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 di Bastiglia ha consentito un'accurata analisi qualitativa delle condizioni di propensione alla liquefazione dei sedimenti, basata innanzitutto sugli

⁵ Fonte: "Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012", C. Crespellani et Al., 2012.

accertamenti tessiturali predisponenti, desunti dalle prove geognostiche (sondaggi e prove penetrometriche). In questo senso, si è potuto disporre di dati tessiturali diretti, ricavati da alcuni sondaggi di repertorio, in numero tuttavia non esaustivo per effettuare una valutazione a una scala territoriale. Si sono pertanto considerati gli esiti delle prove penetrometriche CPT e soprattutto gli esiti delle nuove prove CPTU realizzate per questo studio. Si rammenta, infatti, che in precedenza nell'areale urbanizzato di Bastiglia non risultavano disponibili penetrometrie CPTE/CPTU.

Le prove penetrometriche elettriche consentono, infatti, una migliore interpretazione degli intervalli tessiturali potenzialmente liquefacibili rispetto alle altre tipologie di penetrometrie statiche o dinamiche, in quanto restituiscono diagrammi litotecnici molto più definiti (letture delle resistenze alla penetrazione fino a 1 cm/avanzamento). In conclusione, per il territorio si è potuto disporre di 25 prove CPTE/CPTU e 108 prove CPT che raggiungono almeno 10 metri di profondità.

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 le fondazioni dirette di manufatti (che risultano le più diffuse).

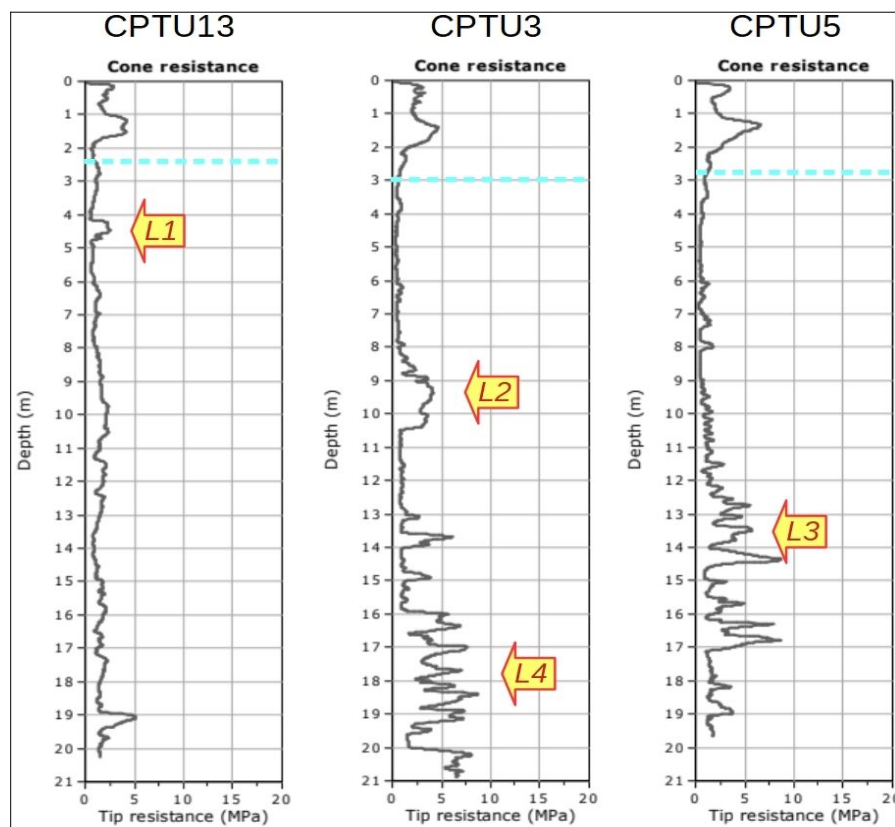
Nell'analisi della potenziale liquefacibilità dei sedimenti si è inoltre considerato il contesto idrogeologico locale, desunto dal controllo delle quote d'acqua rilevate dalle prove geognostiche considerate. Occorre anche rammentare come i dati idrogeologici locali evidenziano per il territorio urbanizzato soggiacenze che risultano inferiori a 3,0 metri. Livelli piezometrici locali vengono rappresentati anche nelle tre sezioni (n.4-5-6) elaborate per questo studio (cfr. figure 5.6-5.7-5.8).

La tabella 6.1 riporta lo schema di classificazione delle indagini geognostiche sottoposte al controllo della potenziale liquefazione, mentre la figura 6.1 riporta alcune classificazioni esemplificative di prove penetrometriche controllate.

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 classificazione dei diagrammi di prove CPTU (realizzate nel territorio urbanizzato di Bastiglia) per l'identificazione delle condizioni predisponenti la liquefazione. I diagrammi riportano anche la quota piezometrica (in tratteggiato azzurro)



L'analisi delle indagini disponibili ha consentito di delimitare con maggiore accuratezza le zone caratterizzate da depositi di tracimazione e da depositi di canale/barra/argine attribuiti al fiume Secchia.

La figura 6.2 rappresenta la classificazione dei punti di controllo fino a -10 metri (classi “L1” e “L2”) e nell'intervallo 10÷15 metri: si evince come gli strati potenzialmente liquefacibili risultino prevalentemente concentrarsi a ridosso degli argine del Secchia (“crevasse” a tessiture sabbiose) e nel settore SE del territorio urbanizzato, interpretabili come depositi di canale del Secchia. Intervalli sabbiosi sono presenti, anche con maggiore diffusione (e come strati plurimetrici), a profondità superiori 10÷15 metri.

In conclusione, estesi settori del territorio urbanizzato vengono inclusi in un contesto “di attenzione” dal punto di vista della possibilità di liquefazione. Occorre tuttavia evidenziare come l'attribuzione alle zone potenzialmente liquefacibili sia da ritenersi necessariamente cautelativa per la difficile ricostruzione dei corpi nastriformi sabbiosi di canale/argine rispetto agli episodi deposizionali invece riconducibili a “crevasse” (ventagli di rotta).

Il confronto tra esiti tessiturali e contesto idrogeologico locale ha quindi consentito di delimitare le “zone di attenzione per liquefazioni”, in coerenza con gli standard di rappresentazione per gli studi di microzonazione sismica (v. 4.2).

Il contesto e le ancora scarse informazioni hanno pertanto giustificato la necessità di ulteriori approfondimenti alla scala locale (di “livello 3”) sull'effettiva suscettibilità alla liquefazione e una più complessiva analisi del rischio per i manufatti esistenti o da costruire.

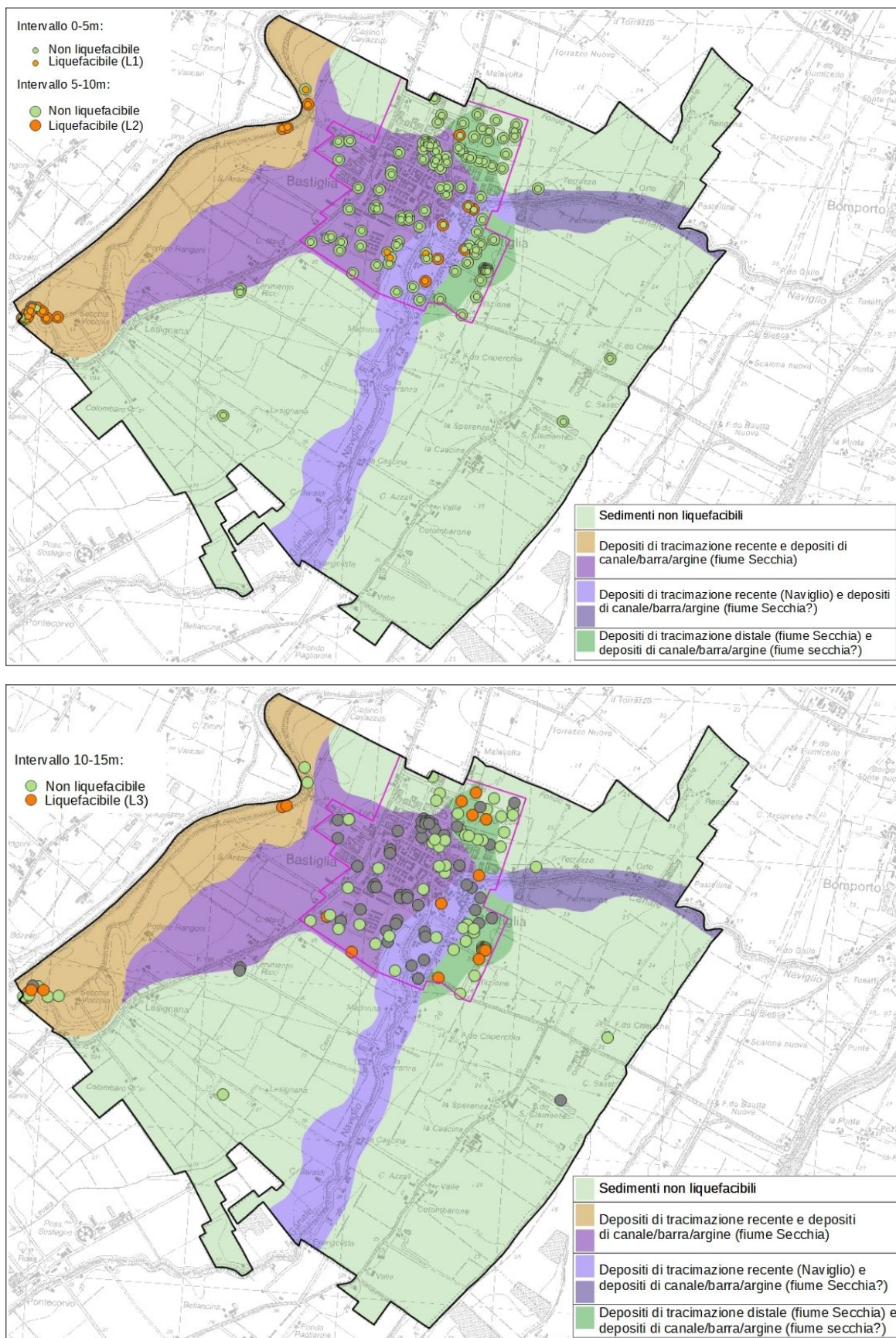


Figura 6.2 – Classificazione dei punti di controllo geognostici finalizzata alla delimitazione delle “zone di attenzione” per liquefabilità in base alla presenza di strati granulari in falda (In alto: fino a -10 metri: in basso: intervallo 10-15 metri)

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI DELLA MS

7.1 Cenni introduttivi

Il fine ultimo dello studio di microzonazione sismica di “livello 2” 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 semplificate (abachi)
- zone “di attenzione” → a loro volta suddivise per tipologia di instabilità, con stima della pericolosità da ricavare in termini quantitativi (ulteriori analisi di livello 3)

Come riportato nelle note introduttive degli standard di MS (v.4.2), 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 primo livello di approfondimento e perciò le zone individuate hanno approfondimenti esclusivamente di tipo qualitativo. Le indagini effettuate per questo studio e gli approfondimenti di livello 3 hanno comunque contribuito alla stesura di questa fondamentale cartografia. La definizione delle MOPS ha interessato tutto il territorio comunale.

La cartografia di microzonazione può avere sia areali con approfondimenti di “livello 2”, sia areali con approfondimenti di “livello 3”. Per il Comune di Bastiglia, come vedremo, gli areali interessati dalla microzonazione sismica (territorio urbanizzato e fasce limitrofe) sono risultati in buona parte inclusi nelle zone di attenzione per liquefazione: questa condizione ha dunque imposto un’analisi e una stima dei fattori di amplificazione sismica basate su modellazioni numeriche della risposta sismica locale (“livello 3”). La microzonazione sismica ha inoltre considerato i fattori di amplificazione indicati nella DGR 476/2021, riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

I paragrafi del presente capitolo illustrano i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per determinare i diversi fattori di amplificazione sul territorio e per identificare le zone di attenzione e di suscettibilità per instabilità.

7.2 Sintesi illustrativa delle MOPS

La raccolta ed elaborazione dei dati disponibili ha consentito la suddivisione del territorio studiato in aree qualitativamente omogenee in prospettiva sismica (MOPS). La delimitazione delle MOPS ha tuttavia considerato, in relazione alle caratteristiche sismostratigrafiche locali, anche il contesto deposizionale caratteristico, in quanto può risultare strettamente connesso alla

variabilità della risposta sismica e alla possibilità di innesco di altri fenomeni cosismici (es. liquefazioni), come già descritto nei capitoli capitoli.

Nel Comune di Bastiglia non si riscontrano “zone stabili”, tuttavia si sono distinte due “zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”, che comprendono prevalentemente il territorio orientale del Comune. Sono MOPS, caratterizzate da depositi più superficiali prevalentemente argillosi e limosi di facies di interbacino e con intervalli sabbiosi assenti o di scarso spessore nei primi 10÷15 metri. Nello schema seguente si riportano le definizioni sintetiche delle MOPS così classificate:

2001

Zona 1 – Depositati prevalentemente limoso argillosi di piana alluvionale fino a –15–20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di argille, limi e sabbie). Substrato sismico a profondità >>150 metri.

2002

Zona 2 – Depositati prevalentemente argillosi di piana alluvionale fino a –15–20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di argille, limi e sabbie). Substrato sismico a profondità >>150 metri.

Nel seguente schema sono invece riportate le descrizioni relative alle cinque “zone di attenzione per instabilità” definite per Bastiglia e riconducibili alla possibilità di fenomeni di liquefazione per la presenza di intervalli granulari saturi nei primi 15÷20 metri. Le zone di attenzione sono state differenziate in relazione ai differenti contesti litostratigrafici e di facies deposizionale più superficiale.

2003

ZA_LQ 3 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositati alluvionali limoso sabbiosi con livelli sabbiosi saturi fino a –5–6 metri (tracimazioni recenti del fiume Secchia), poi frequenti intervalli sabbiosi saturi >1 metro fino a 10 metri e >2 metri da 10 a 20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie). Substrato sismico a profondità >>150 metri.

2004

ZA_LQ 4 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositati alluvionali limoso sabbiosi fino a –5–6 metri (tracimazioni recenti del fiume Secchia), poi limi e argille con intervalli sabbiosi saturi <1 metro fino a 10 metri e >2 metri da 10 a 20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie). Substrato sismico a profondità >>150 metri.

2005

ZA_LQ 5 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositati alluvionali limoso sabbiosi con livelli sabbiosi saturi fino a –5–6 metri (tracimazioni recenti del Naviglio), poi frequenti intervalli sabbiosi saturi >1 metro fino a 10 metri e >2 metri da 10 a 20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie). Substrato sismico a profondità >>150 metri.

2006

ZA_LQ 6 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositati alluvionali limoso sabbiosi con livelli sabbiosi saturi fino a 5–6 metri (tracimazioni recenti del Naviglio), poi depositi prevalentemente argillosi fino a –15–20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di argille, limi e sabbie). Substrato sismico a profondità >>150 metri.

2007

ZA_LQ 7 – Zona di attenzione per liquefazione.

Depositati argillosi fino a 5–6 metri (tracimazioni recenti distali della Secchia), poi limi e argille con intervalli sabbiosi saturi >1 metro fino a 10 metri (meno frequenti) e >2 metri da 10 a 20 metri (più frequenti), sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie). Substrato sismico a profondità >>150 metri.

7.3 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. 476/2021 sono calcolati per un tempo di ritorno

dell'evento sismico pari a $T_r = 475$ (con smorzamento $\zeta = 5\%$) e si riferiscono a:

- FA PGA → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido" (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 SA – Rapporto dell'intensità spettrale in accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido". I fattori di amplificazione calcolati si riferiscono ai quattro seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:

SA1 → 0,1s–0,5s [$FA_{0.1-0.5s}$]

SA2 → 0,4s–0,8s [$FA_{0.4-0.8s}$]

SA3 → 0,7s–1,1s [$FA_{0.7-1.1s}$]

SA4 → 0,5s–1,5s [$FA_{0.5-1.5s}$] solo per le aree di pianura/costa

- 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 devono determinare i fattori di amplificazione per i tre seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:

SI1 → 0,1s–0,5s [$FH_{0.1-0.5s}$]

SI2 → 0,5s–1,0s [$FH_{0.5-1.0s}$]

SI3 → 0,5s–1,5s [$FH_{0.5-1.5s}$] solo per le aree di pianura/costa

Per questo studio, sono stati ulteriormente calcolati (negli areali con approfondimenti di livello 3) e rappresentati per tutto il territorio comunale i seguenti fattori di amplificazione relativi ad ulteriori intervalli di periodo dello spettro di Housner, in quanto considerati nel precedente studio di microzonazione sismica (OPCM 3907/2010):

0,1s–0,3s [$FH_{0.1-0.3s}$]

0,3s–0,5s [$FH_{0.3-0.5s}$]

0,5s–1,0s [$FH_{0.5-1.0s}$]

- $FA_{ICMS2008}$ → fattore di amplificazione FA a bassi periodi, determinato intorno al periodo per cui si ha il massimo della risposta in accelerazione (come definito in ICMS, 2008). Questo fattore di amplificazione, determinato e rappresentato nelle mappe nello studio di MS precedente (OPCM 3907/2010), è stato tuttavia ricalcolato negli areali interessati dagli approfondimenti di livello 3.
- $FV_{ICMS2008}$ → fattore di amplificazione FV ad alti periodi, determinato intorno al periodo per cui si ha la massima risposta in pseudovelocità (come definito in ICMS, 2008). Questo fattore di amplificazione, determinato e rappresentato nelle mappe nello studio di MS precedente (OPCM 3907/2010), è stato tuttavia ricalcolato negli areali interessati dagli approfondimenti di livello 3.

7.4 Simulazioni numeriche della risposta sismica locale (approfondimenti di livello 3)

7.4.1 Cenni metodologici

Per questo studio, sono stati elaborati 11 modelli rappresentativi degli areali studiati, con sismostratigrafie definite sulla base delle MOPS (descritte nel precedente paragrafo 7.2) e sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e sismiche del sottosuolo locale, desunte dalle informazioni disponibili (sezioni geologiche; stratigrafie sondaggi e penetrometrie CPTU; indagini ESAC-SPAC, ecc.). La figura 7.1 localizza gli areali oggetto di specifiche modellazioni numeriche di RSL.

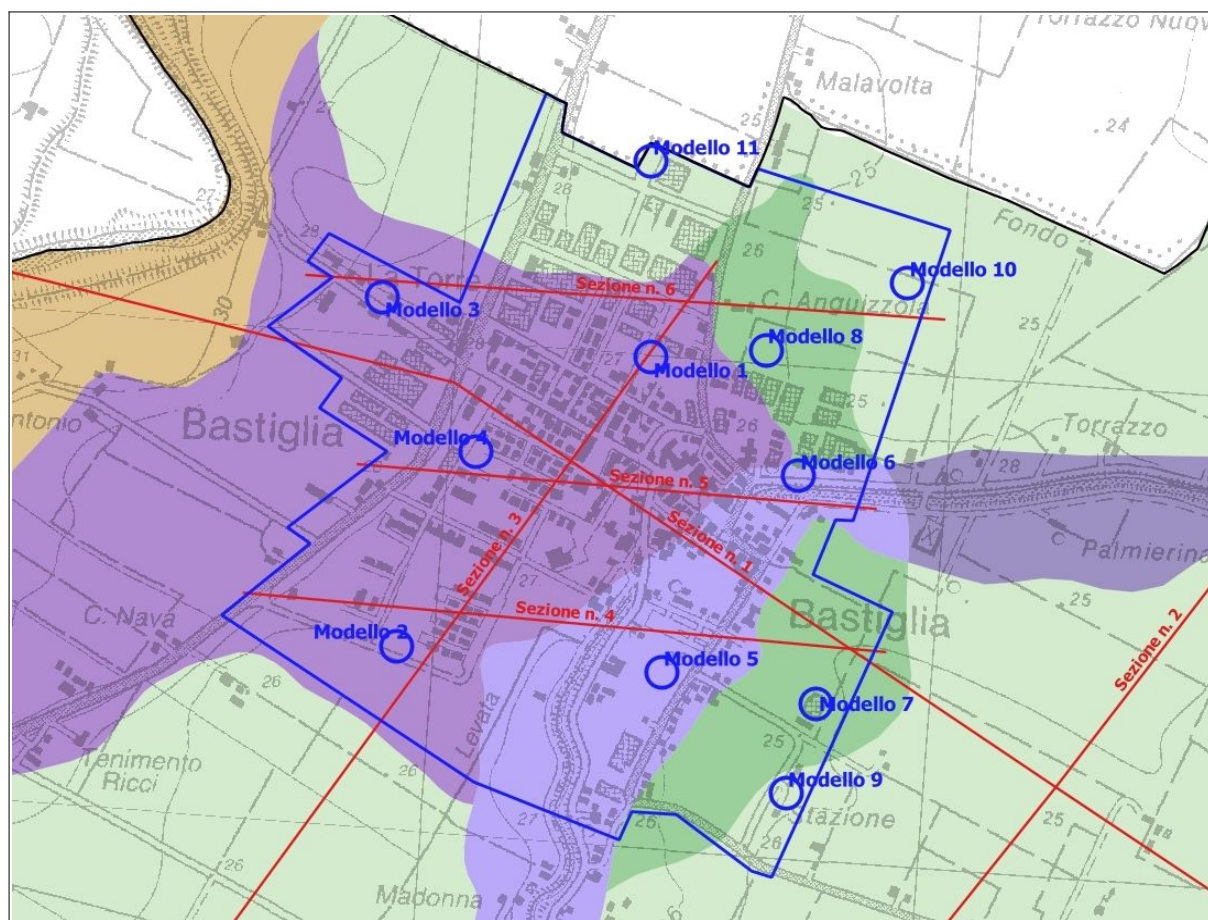


Figura 7.1 – Localizzazione dei modelli numerici di RSL elaborati sulla base della cartografia MOPS. Con il tratteggio blu sono delimitate le aree interessate dagli approfondimenti di livello 2 e 3 (urbanizzato e territorio limitrofo)

Le modellazioni numeriche di RSL sono state elaborate utilizzando il software di calcolo "LSR" prodotto dalla STACEC Srl in grado di generare modelli 1D secondo l'approccio analitico lineare equivalente, grazie alla discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

Il software è in grado di eseguire una sequenza di analisi lineari complete, con l'aggiornamento successivo dei parametri di rigidezza e smorzamento in funzione delle caratteristiche della

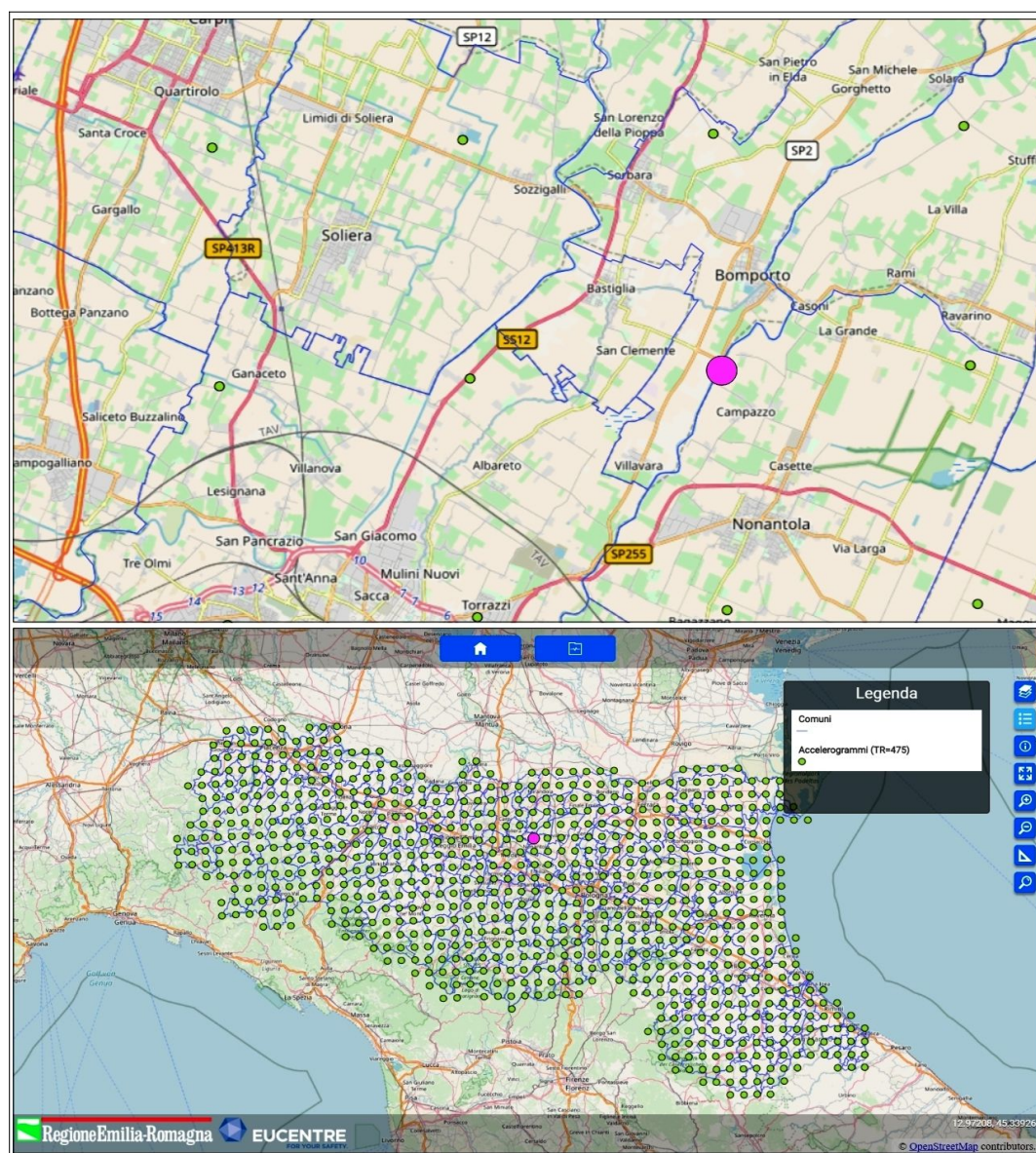
colonna litologica. Il processo di analisi che si è seguito può essere così schematizzato:

- scelta degli input sismici (accelerogrammi) di riferimento
- definizione del modello sismostratigrafico locale
- elaborazione degli accelerogrammi di output, degli spettri di risposta elastici e dei fattori di amplificazione indicati dalla DGR 476/2021.

7.4.2 Dati di input

Dalla piattaforma WebGIS all'indirizzo <http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html> è possibile scaricare gli input sismici (accelerogrammi) su sito rigido selezionati per ciascun nodo del reticolo di riferimento considerato dalle NTC vigenti, interno al territorio della Regione Emilia-Romagna. La figura 7.2 individua i nodi del reticolo di riferimento, che interessano il territorio di Bastiglia.

Figura 7.2 – Localizzazione dei nodi del reticolo di riferimento che interessano il territorio di Bastiglia (in fucsia il nodo più vicino all'area di studio)



Ai sensi
della DGR

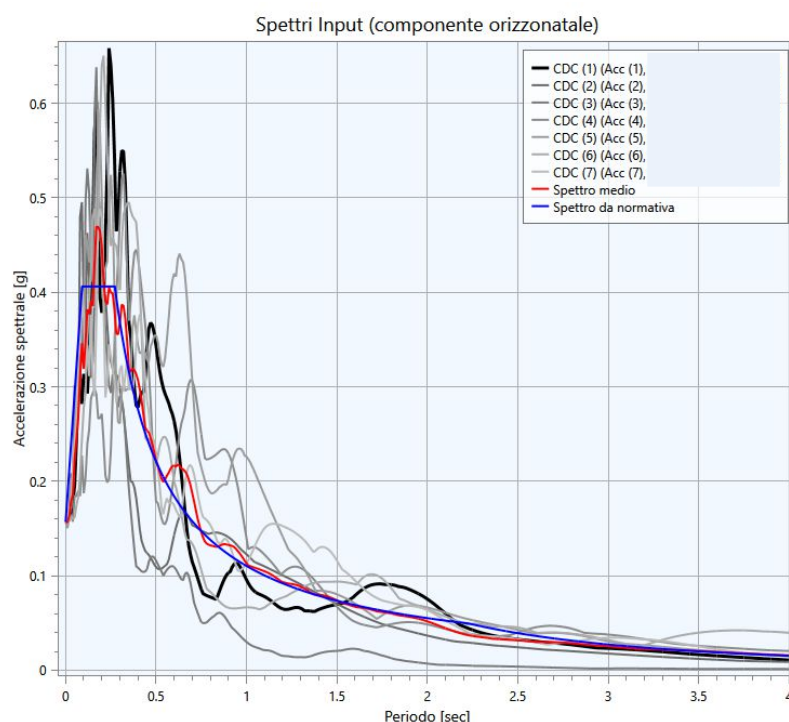
476/2021, l'input sismico è definito da un gruppo di 7 accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC vigenti, per periodi di ritorno di 475 anni (figura 7.3).

La seguente tabella 7.1 contiene le informazioni sul set di accelerogrammi selezionati (set "TR475_ID15838") e riferiti al nodo più vicino all'area di studio e in particolare: magnitudo (M_w) dell'evento che ha generato l'accelerogramma; distanza epicentrale (km) alla quale è avvenuta la registrazione; fattore di scala rispetto all'accelerogramma originario, nome della banca-dati alla quale appartiene l'accelerogramma originario (ESM, NGA o KiKnet); nome dell'accelerogramma all'interno della banca-dati.

Progr.	Magnitude(M_w)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHV_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

Tabella 7.1 – Dati relativi agli accelerogrammi selezionati per le analisi numeriche di RSL (DGR 476/2021). In alto: set "TR475_ID16288". In basso: set "TR475_ID16289"

Figura 7.3 – Confronto tra spettri di input in accelerazione e spettro NTC su suolo rigido sito specifico (es. "modello 1")



Per l'area di studio gli input accelerometrici sono stati scalati considerando la $a_{g_{ref}}$ omogenea che complessivamente caratterizza l'areale di interesse ($g_{ref} = 0,157g$).

La figura 7.4 rappresenta graficamente gli accelerogrammi di input utilizzati per l'analisi numerica. Si evidenzia come entrambi i set utilizzino gli stessi accelerogrammi.

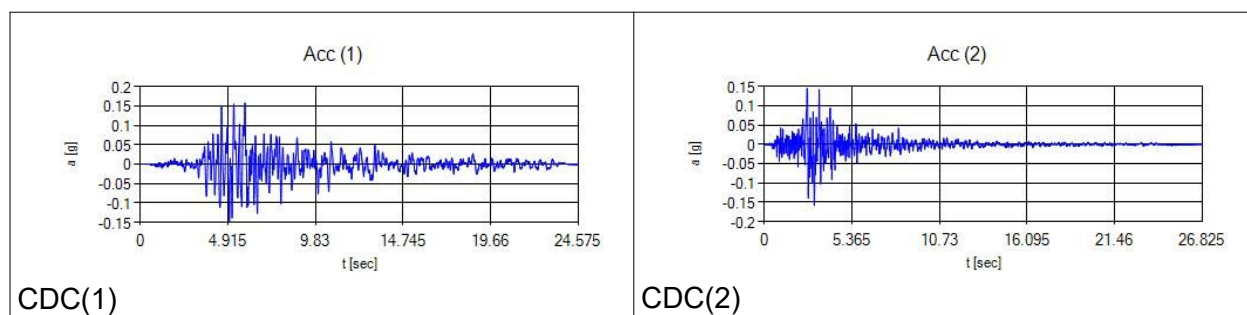


Figura 7.4 – Accelerogrammi di input utilizzati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021)

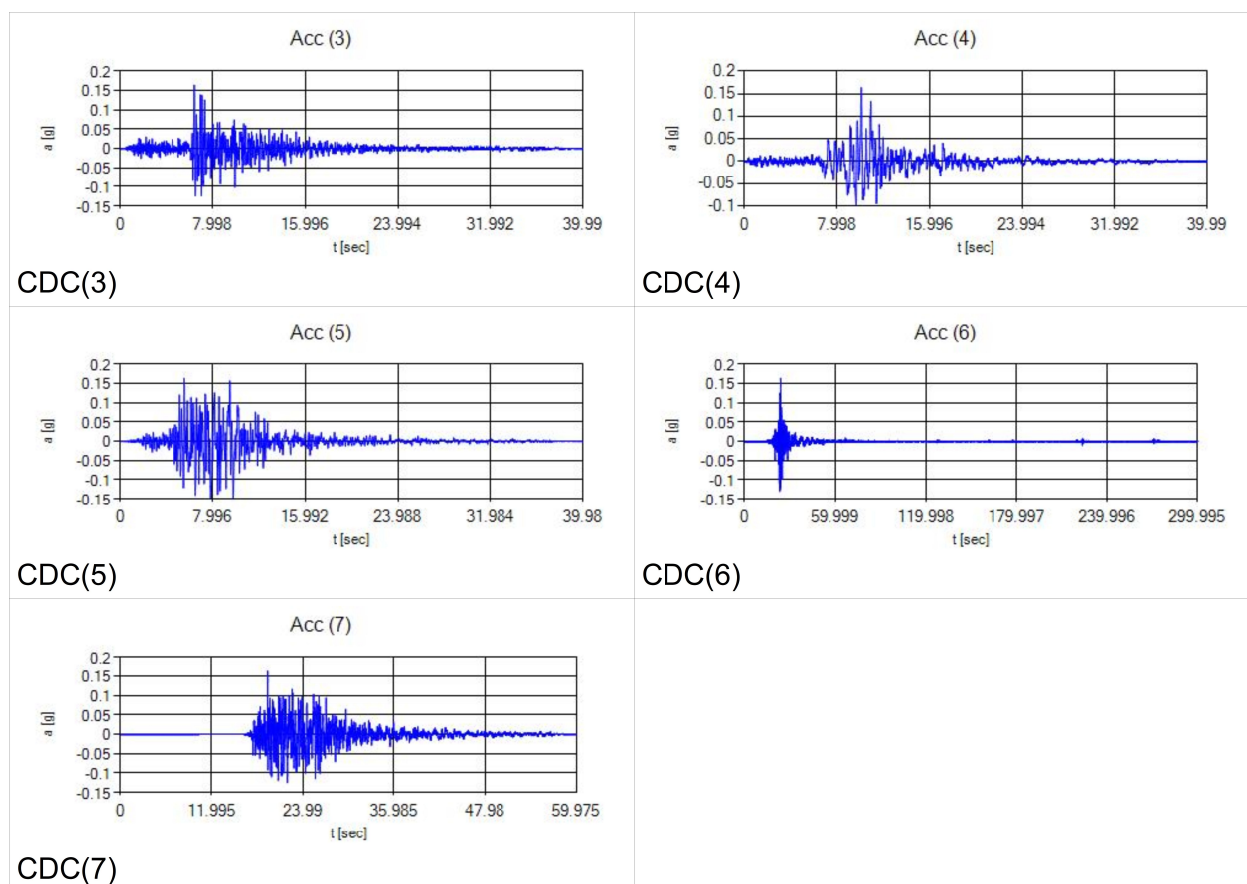


Figura 7.4 (segue) – Accelerogrammi di input utilizzati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021)

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 eseguite nell'area di

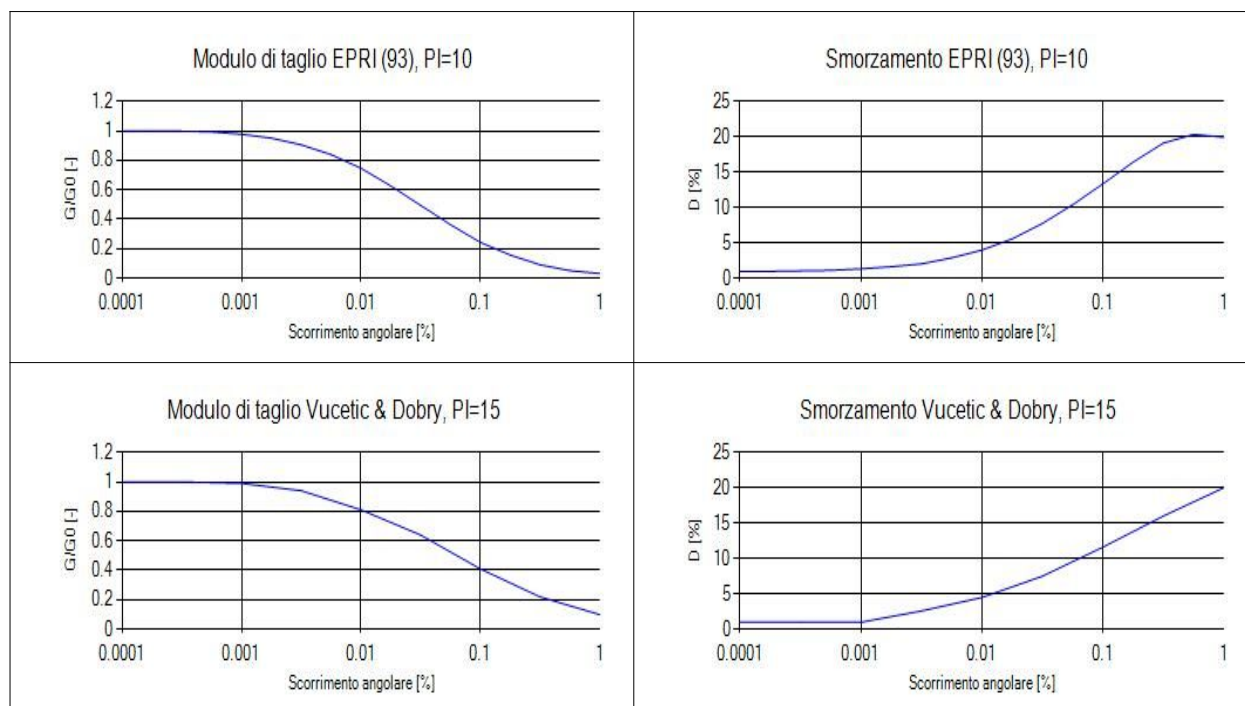
studio e dalle ulteriori indagini di repertorio.

Si rimanda anche ai precedenti capitoli 5 e 6 e alle schede elaborate per ogni modellazione di RSL, queste ultime allegate in calce alla presente Relazione.

Si precisa che, sebbene la finalità dello studio sia quella di una caratterizzazione “free field”, le analisi hanno tuttavia vincolato la stima della risposta sismica locale a circa -100 cm dal piano campagna. Ciò ha consentito di limitare le notevoli eterogeneità legate al “suolo” (e riporti) più superficiale, fornendo nello stesso tempo un risultato più utile ai fini delle valutazioni di rischio per le costruzioni.

Per ogni sismostrato, il codice di elaborazione, 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 possono essere determinate da prove di laboratorio oppure possono essere adottati modelli disponibili in letteratura, già implementati nel software di calcolo "LSR".

In particolare, si sono considerati gli esiti bibliografici delle curve di decadimento di Idriss (1990) per sabbie e sabbie molto addensate profonde (equiparabili a “ghiaie”), di Vucetic & Dobry (1991) e EPRI (93) per sedimenti argillosi meno profondi, infine ancora EPRI (93) per i sedimenti più profondi (“250÷500 ft” e “500÷1.000 ft”). La seguente figura 7.5 riporta le curve D e G di riferimento per questo studio.



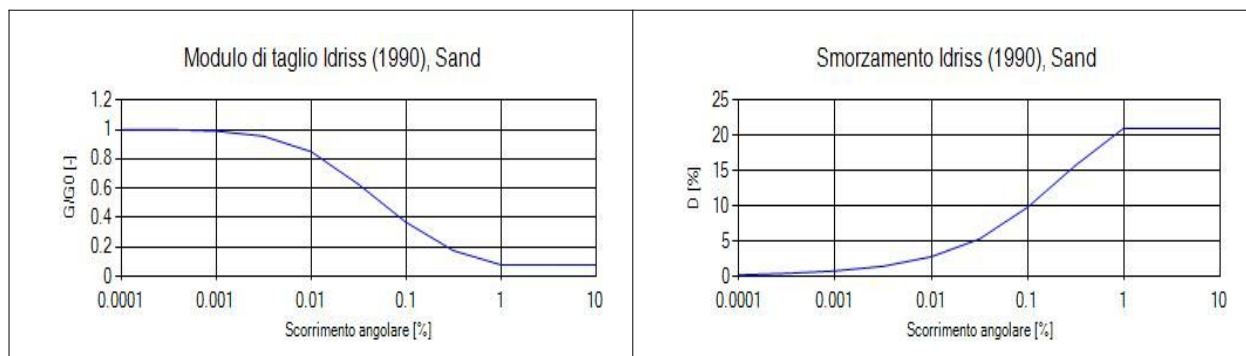


Figura 7.5 – Curve di decadimento dei sedimenti utilizzati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021). A sx: moduli di rigidità a taglio. A dx: smorzamento D

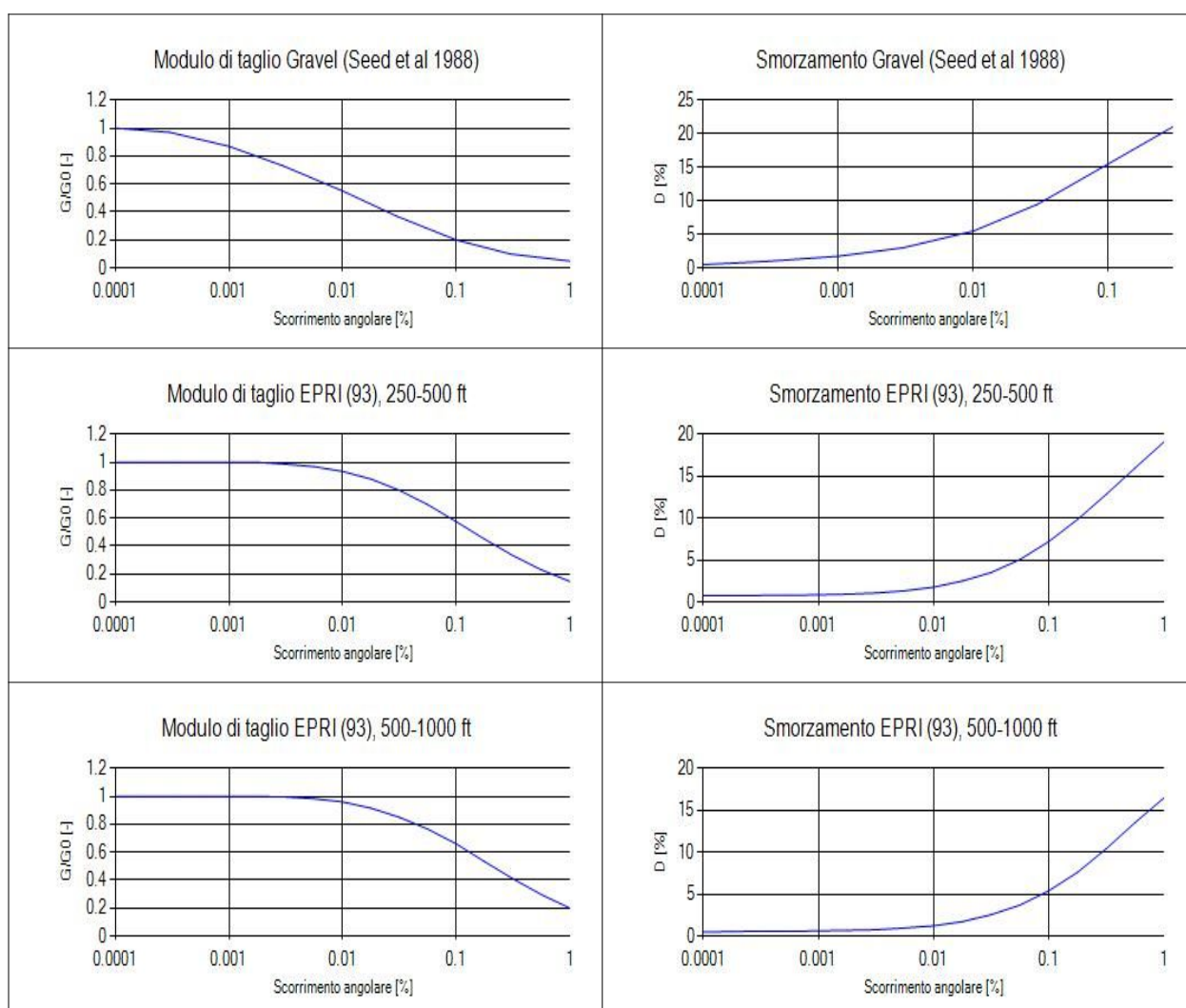


Figura 7.5 (segue)– Curve di decadimento dei sedimenti utilizzati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021). A sx: moduli di rigidità a taglio. A dx: smorzamento D

7.4.3 Esiti delle simulazioni

In calce alla presente Relazione vengono allegate le schede riepilogative di ogni simulazione numerica della RSL. Ogni scheda riporta:

- dati relativi al set di accelerogrammi di input utilizzati e i grafici accelerazione-tempo degli accelerogrammi di input;
- il modello sismostratigrafico di input (per ogni sismostrato si indicano spessori/profondità, densità di massa; rigidità in termini di Vs; curve di decadimento rappresentative);
- i grafici amplificazione-periodo di output relativi agli spettri di risposta in accelerazione e in velocità (spettri singoli, medio e normalizzato al 10%);
- il riepilogo dei fattori di amplificazione calcolati;
- il confronto tra lo spettro medio di RSL in accelerazione e lo spettro elastico semplificato NTC (calcolato per: stato SLV, categoria di sottuolo C; TR =475 anni). Il grafico di confronto riporta anche l'esito della regolarizzazione (in forma standard NTC) dello spettro medio di RSL.

La seguente tabella 7.2 riassume, per ogni MOPS interessata dagli approfondimenti di livello 3, gli esiti di amplificazione (FA) calcolati con la modellazione numerica della RSL. Occorre rammentare come l'areale complessivamente interessato dagli approfondimenti di livello 3 sia stato esteso a tutto il territorio urbanizzato e a fasce limitrofe. La tabella 7.2 riporta anche gli esiti di ricalcolo esiti dei fattori di amplificazione considerati nel precedente studio di MS (OPCM 3907/2010) e cioè FH_{0103} , FH_{0305} , FH_{1015} , $FA_{ICMS2008}$ e $FV_{ICMS2008}$.

Tabella 7.2

MOPS	MODELLI RSL NUMERICI RAPPRESENTATIVI	PGA	FA PGA	FA 0,1s 0,5s	FA 0,4s 0,8s	FA 0,7s 1,1s	FA 0,5s 0,8s	FH 0,1s 1,5s	FH 0,5s 1,0s	FH 0,5s 1,5s	FH 0,1s 0,3s	FH 0,3s 0,5s	FH 1,0s 1,5s	FA ICMS 2008	FV CMS 2008
2001	MODELLO 11	0,206 g	1,3	1,4	2,0	2,1	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0	1,7	1,9	1,3	1,9
2002	MODELLO 10	0,196 g	1,3	1,4	1,9	1,9	1,9	1,5	1,8	1,8	1,0	1,8	1,9	1,4	1,8
2002	MODELLO 9	0,196 g	1,3	1,4	1,9	2,0	2,0	1,4	1,9	1,9	1,0	1,8	2,0	1,4	2,0
3050 2004	MODELLO 1	0,205 g	1,3	1,5	2,0	2,0	1,9	1,5	1,9	1,9	1,1	1,9	1,9	1,5	1,9
	MODELLO 2	0,203 g	1,3	1,5	1,9	2,0	1,9	1,5	1,9	1,9	1,0	1,8	1,9	1,4	1,9
3050 2004	MODELLO 3	0,194 g	1,2	1,4	1,9	2,0	1,9	1,4	1,9	1,9	1,0	1,7	1,9	1,3	1,9
	MODELLO 4	0,192 g	1,2	1,3	1,9	2,0	1,9	1,4	1,8	1,9	1,0	1,7	1,9	1,3	1,8

MOPS	MODELLI RSL NUMERICI RAPPRESENTATIVI	PGA	FA PGA	FA 0,1s 0,5s	FA 0,4s 0,8s	FA 0,7s 1,1s	FA 0,5s 0,8s	FH 0,1s 1,5s	FH 0,5s 1,0s	FH 0,5s 1,5s	FH 0,1s 0,3s	FH 0,3s 0,5s	FH 1,0s 1,5s	FA ICMS 2008	FV CMS 2008
3050 2005	MODELLO 5	0,202 g	1,3	1,4	2,0	2,0	2,0	1,5	1,9	1,9	1,0	1,8	1,9	1,4	2,0
	MODELLO 6	0,207 g	1,3	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0	1,9	1,9	1,4	2,0
3050 2007	MODELLO 7	0,201 g	1,3	1,4	2,0	2,0	2,0	1,5	1,9	1,9	1,0	1,9	1,9	1,4	2,0
	MODELLO 8	0,196 g	1,3	1,4	1,9	2,0	1,9	1,5	1,9	1,9	1,0	1,8	1,9	1,4	1,9

Il confronto dei risultati evidenzia una discreta omogeneità della risposta sismica locale, come già riscontrabile dall'analisi dei dati HVSr. È opportuno precisare che per gli areali (MOPS) interessati da più modelli si sono prudentemente considerati gli esiti di amplificazione più cautelativi.

Come già scritto, le schede riepilogative di ogni simulazione numerica della RSL riportano anche il confronto dello spettro medio di RSL numerica con lo spettro NTC ricavato con approccio semplificato per lo stato limite SLV. Quest'ultimo spettro può essere infatti equiparabile alle simulazioni numeriche di RSL espletate per $TR = 475$ anni. Per la procedura di calcolo si rimanda all'Appendice 4 delle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni" (CTMS, v.2.0).

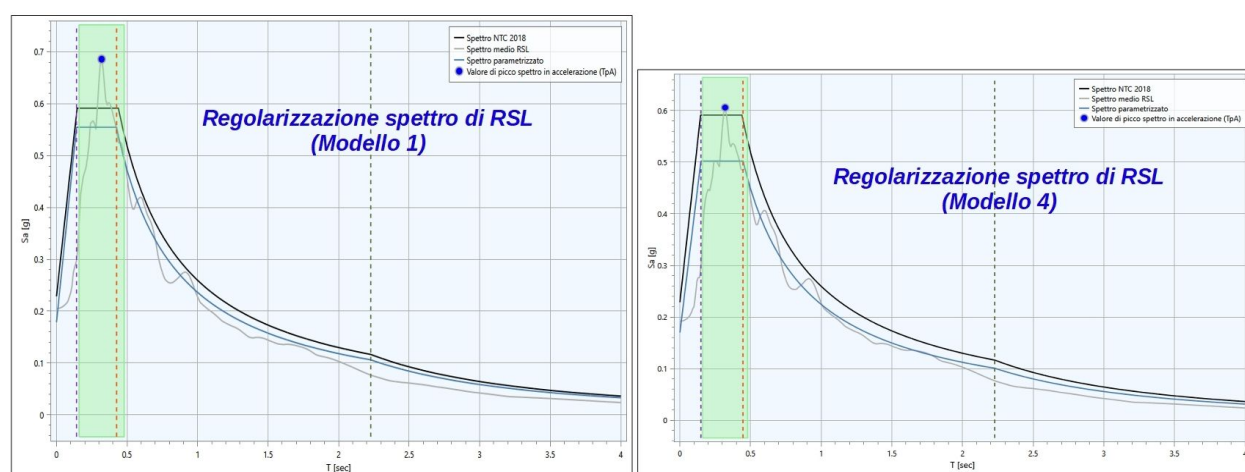


Figura 7.6 – Confronto tra lo spettro medio della RSL numerica, lo spettro standard NTC (stato SLV; cat. sottosuolo C; $TR = 475$ anni) e lo spettro di RSL normalizzato

La figura 7.6 mostra due esemplificazioni riferite a due casi relativamente più differenziati ("modello 1" e "modello 4"). In questo senso è doveroso sottolineare che le forme spettrali elastiche complessivamente ricavate dalle analisi numeriche della RSL risultano, comunque,

molto simili tra loro. In conclusione, si evince come gli spettri NTC ricavati considerando una “categoria di sottosuolo C” (valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s) appaiano più cautelativi e utilizzabili per le analisi dell’azione sismica relativa a manufatti di progettazione ordinaria.

7.5 Verifiche quantitative della liquefacibilità

7.5.1 Cenni metodologici

La possibilità di disporre di un discreto numero di dati numerici ricavati da penetrometrie CPTU ha permesso di definire una stima del rischio di liquefazione, procedendo secondo le seguenti fasi analitiche:

- 1) stima del Fattore di Sicurezza nei confronti della Liquefazione (FSL);
- 2) stima dei cedimenti post sisma indotti da densificazione volumetrica;
- 3) analisi della pericolosità e del rischio di liquefazione sito specifica attraverso la stima dei parametri LPI (Liquefaction Potential Index) e LSN (Liquefaction Severity Number).

La stima di LPI offre ulteriori elementi di valutazione e comparazione del rischio di liquefazione anche alla scala territoriale. Gli esiti di LPI, come vedremo, hanno permesso di definire le zone a differente suscettibilità alla liquefazione, rappresentate nelle cartografie di microzonazione di “livello 3” (tavole 6 → 13) e nelle cartografie di “hazard” (tavole 14 → 17).

Si è dunque proceduto alla stima del Fattore di Sicurezza nei confronti della Liquefazione (FSL), definito dalla seguente relazione:

$$\text{con: } FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma}$$

$CRR_{7.5}$ = 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 semiempirica 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);

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, che consente di utilizzare differenti metodi di stima di FSL.

Per questo lavoro, si sono considerati i seguenti metodi di calcolo di FSL, tutti di lunga sperimentazione e di ampia diffusione nel campo ingeneristico:

1. procedura NCEER⁶ (1996; 1998; 2001)

(Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H. – *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*

(G. Zhang, P.K. Robertson, and R.W.I. Brachman – *Estimating Liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground, 2001*)

2. procedura di P. K. Robertson (2009)

(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*)

3. procedura di Boulanger & Idriss (2014)

(R. W. Boulanger, I. M. Idriss – *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Department of Civil and Environmental engineering, University of California at Davis, 2014*)

Per la descrizione dettagliata dei metodi si rimanda alla letteratura scientifica originaria. Si rammenta che tali approcci differiscono nel calcolo dei parametri di MSF, $CRR_{7,5}$, $K\sigma$ e r_d e che i metodi di P.K. Robertson (2009) e di Boulanger & Idriss (2014) sono validi per tutti i tipi di sedimenti, e considerano anche la possibilità di “cyclic softening” nei sedimenti fini poco coesivi. Gli esiti sono inoltre condizionati da altre grandezze: tra queste, il contenuto in fini FC che introduce significative correzioni alla resistenza penetrometrica normalizzata. In questo senso, per il metodo di Boulanger & Idriss (2014), si è considerato un indice di classificazione dei terreni calcolato con un parametro di errore C_{FC} calibrato al 5%.

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

- si è considerato il contesto idrogeologico locale e le quote piezometriche desunte dalle prove penetrometriche;

⁶ National Center for Earthquake Engineering Research (USA)

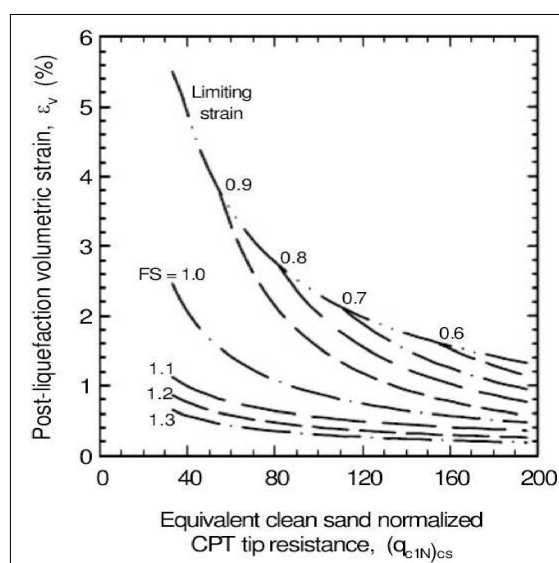
- si sono utilizzate le a_{max} ricavate dalla modellazione numerica della RSL e rappresentate come FA nella tavola 6. In sintesi, le a_{max} considerate sono risultate complessivamente variabili tra 0,19g e 0,21g;
- si è considerata una magnitudo di input cautelativa pari a $M_w = 6,14$ in base alla zonizzazione macrosismica “ZS9” (vedi capitolo 2, paragrafo 2.3). Il coefficiente correttivo MSF utilizzato è quello di riferimento per i metodi di calcolo utilizzati.

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 7.7).

Per i sedimenti a comportamento fine, 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 nei sedimenti fini 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 $FS_{\gamma} = 3\% = CRR_M / CSR_M = CRR_{7,5} / CRS_{7,5}$ (Boulanger & Idriss, 2007) e dello stato tensionale dei sedimenti (OCR). Il fattore di sicurezza è stato dunque calcolato come $FS_{\gamma} = 3\% = CRR_{6,14} / CRS_{6,14}$.

Figura 7.7 – Diagrammi di correlazione tra deformazioni volumetriche post-liquefazione e resistenze CPT per differenti fattori di sicurezza (da Zhang et Al., 2002)



Le deformazioni volumetriche sono state calcolate utilizzando le seguenti relazioni:

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

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

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

L'Indice di Potenziale Liquefazione LPI (Liquefaction Potential Index) di Iwasaki et al. (1982) è stato calcolato per una profondità "critica" fino a -20 metri ed è definito nel seguente modo:

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

[con: $W(z)$ fattore di peso della profondità $= 10 - 0.5z$; F_1 variabile $= 1 - FSL$ (per $FSL < 1.0$) oppure $F_1 = 0$ per $FSL > 1.0$; 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 rischio, tenendo conto della severità dell'azione sismica, della profondità, dello spessore e del valore di FSL degli strati liquefacibili.

Per questo studio, si fornisce anche un ulteriore indicatore di rischio, ovvero l'indice LSN ("Liquefaction Severity Numbers"), che risulta quantificato nel seguente modo:

$$LSN = \int \frac{\varepsilon_v}{z} dz$$


[con: ε_v = deformazioni volumetriche di densificazione post-liquefazione; z = profondità dello strato considerato]

Si tratta di una variante del metodo di calcolo del LPI, sperimentato da Tonkin & Taylor (2013) sulla base dei recenti rilievi effettuati a Christchurch e Canterbury, località della Nuova Zelanda, le cui abitazioni hanno subito danni diffusi e di differente intensità a seguito degli eventi sismici accaduti tra il settembre 2010 e il dicembre 2011, per fenomeni di liquefazione ciclica, "lateral spreading" e cedimenti.

Questo metodo, stima l'intensità della liquefazione sulla base degli esiti delle deformazioni volumetriche post liquefazione ε_v ricavate secondo il metodo di Zhang et All. (2002; 2004), ponderata in funzione della differente profondità degli strati liquefacibili.

Il calcolo fornisce un valore numerico compreso tra 0 e 100 e gli Autori hanno proposto una classificazione di LSN relazionata agli effetti di liquefazione superficiali rilevati nelle zone "free field" e/o alla severità dei danni riscontrati nei manufatti (figura 7.8).

Figura 7.8 – Correlabilità dell'indice LSN con gli effetti di liquefazione nei sedimenti superficiali e con l'intensità del danno riscontrato nei manufatti (Tonkin & Taylor, 2013)

LSN 0 - 20	Little or no expression of liquefaction, minor sand boils, minor damage to homes.		
LSN 20 - 40	Moderate expression of liquefaction, undulations and cracking of ground surface (there are occasional instances of severe damage).		
LSN 40+	Widespread severe damage, extension expression of liquefaction, severe settlement of buildings and damage to services.		

Secondo gli Autori, l'indice LSN, rispetto alla stima di LPI, risulterebbe “pesare” maggiormente il contributo degli strati superficiali liquefacibili rispetto agli strati critici riscontrabili a profondità maggiori, fornendo esiti più coerenti con gli effetti di liquefazione effettivamente rilevati al piano campagna, inoltre fornirebbe una migliore correlazione anche con l'entità dei danni riscontrati nelle opere di fondazione degli edifici.

7.5.2 Esiti delle verifiche

Si è potuto complessivamente disporre di 15 punti di controllo (CPTU) con dati numerici, distribuiti nel territorio urbanizzato e dunque utilizzati per le verifiche. Una sintesi dei risultati è riportata nella seguente tabella 7.3, strutturata per consentire di rappresentare, con una più facile lettura, il confronto degli esiti ottenuti dai tre differenti approcci di verifica considerati per questo studio (NCEER 2001; P.K. Robertson 2009; Boulanger & driss 2014).

Le successive figure 7.9–7.10–7.11 sono ulteriori rappresentazioni grafiche dei risultati (cedimenti post sisma; indice LPI; indice LSN) stimati sulla base del calcolo di FS secondo le tre differenti procedure di verifica.

PROVA CPTU	H falda (m)	Fa PGA	agmax (g)	Prof. prova (m)	Stima LPI/IL			Stima LSN			Cedimenti		
					NCEER 2001	ROBERTSON 2009	B&I 2014	NCEER 2001	ROBERTSON 2009	B&I 2014	NCEER 2001	ROBERTSON 2009	B&I 2014
P73191CPTU165	2.80	1.3	0.20	20	0.1	0.0	0.4	0.2	0.2	0.7	0.1	0.1	0.4
P73192CPTU166	3.45	1.3	0.20	15	4.9	4.7	3.8	7.1	6.8	4.4	5.6	5.3	3.4
P73193CPTU167	3.00	1.3	0.20	20	4.7	4.5	3.4	2.7	2.7	1.6	3.9	3.8	2.4
P73194CPTU168	1.10	1.3	0.20	20	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.2	0.2	0.3
P73195CPTU169	2.80	1.3	0.21	20	2.8	2.7	2.3	0.2	0.1	0.3	2.1	1.8	1.5
P73196CPTU170	1.50	1.3	0.20	20	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
P73197CPTU171	2.20	1.3	0.21	20	1.6	1.4	1.5	2.4	2.1	1.9	1.5	1.4	1.2
P73198CPTU172	3.30	1.3	0.20	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P73199CPTU173	2.00	1.3	0.20	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P73200CPTU174	2.00	1.2	0.19	20	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.2
P73201CPTU175	2.50	1.2	0.19	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P73202CPTU176	1.70	1.3	0.21	20	0.7	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1
P73203CPTU177	2.40	1.3	0.20	20	0.1	0.1	0.7	0.4	0.4	1.4	0.2	0.2	0.6
P73204CPTU178	1.40	1.3	0.20	20	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P73205CPTU179	2.80	1.3	0.20	20	0.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

Tabella 7.3 – Confronto tra i risultati delle verifiche (LPI, LSN e cedimenti post sisma. Per ogni punto di controllo vengono evidenziati in giallo gli esiti di LPI più severi

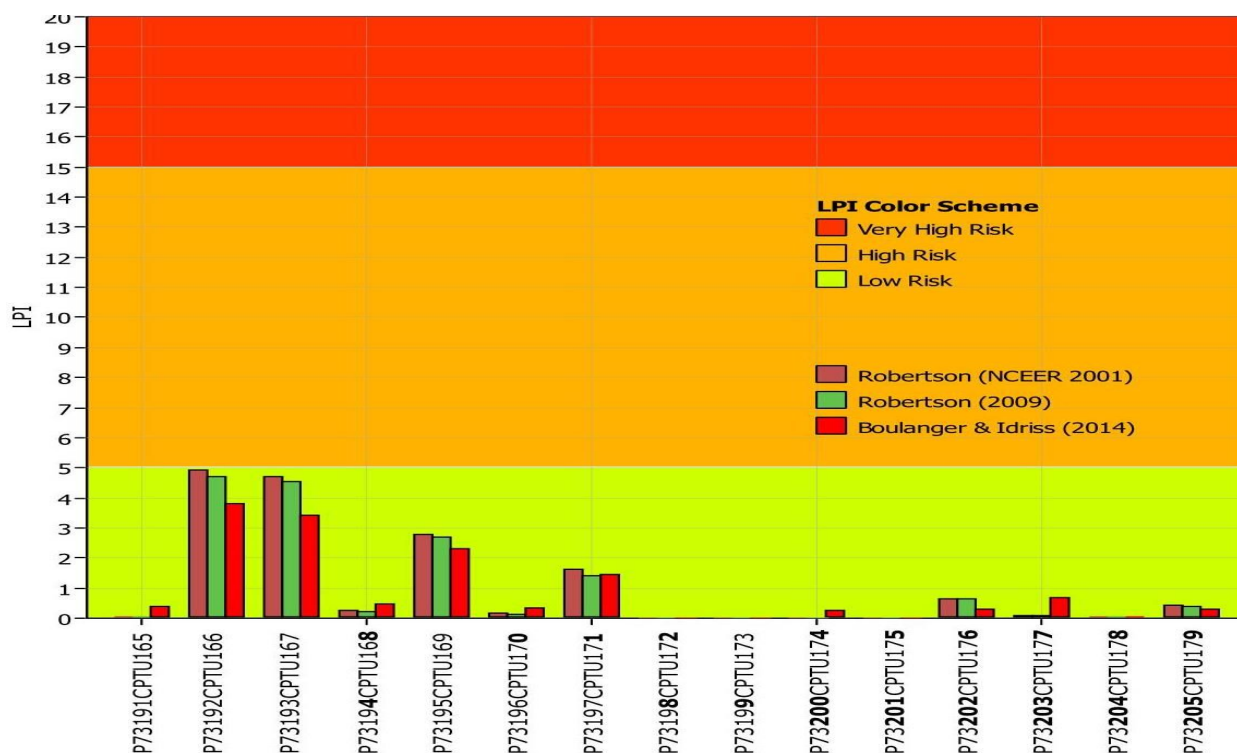


Figura 7.9 – Confronto dei valori di LPI ricavati con tre differenti procedure di calcolo dell'FS (NCEER 2001; P.K. Robertson 2009; Boulanger & Idriss 2014)

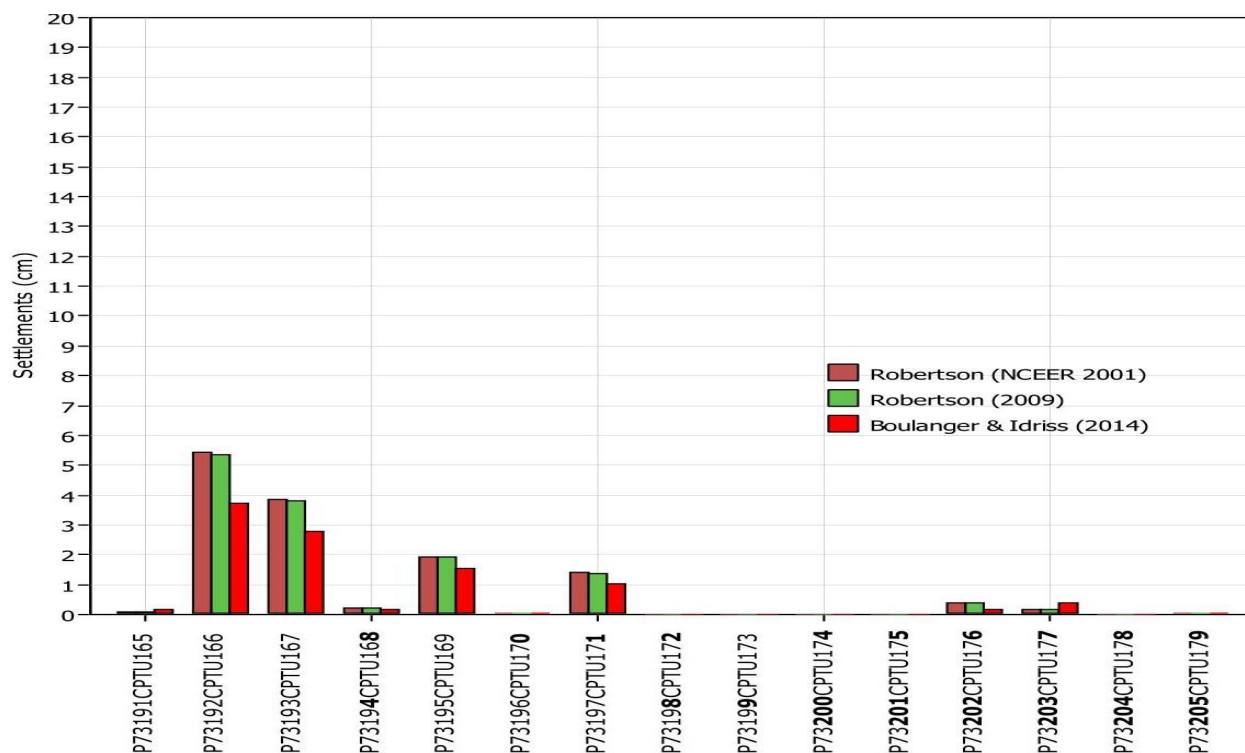


Figura 7.10 – Confronto dei valori di cedimento post sisma cumulativi ricavati con tre differenti procedure di calcolo dell'FS (NCEER 2001; P.K. Robertson 2009; Boulanger & Idriss 2014)

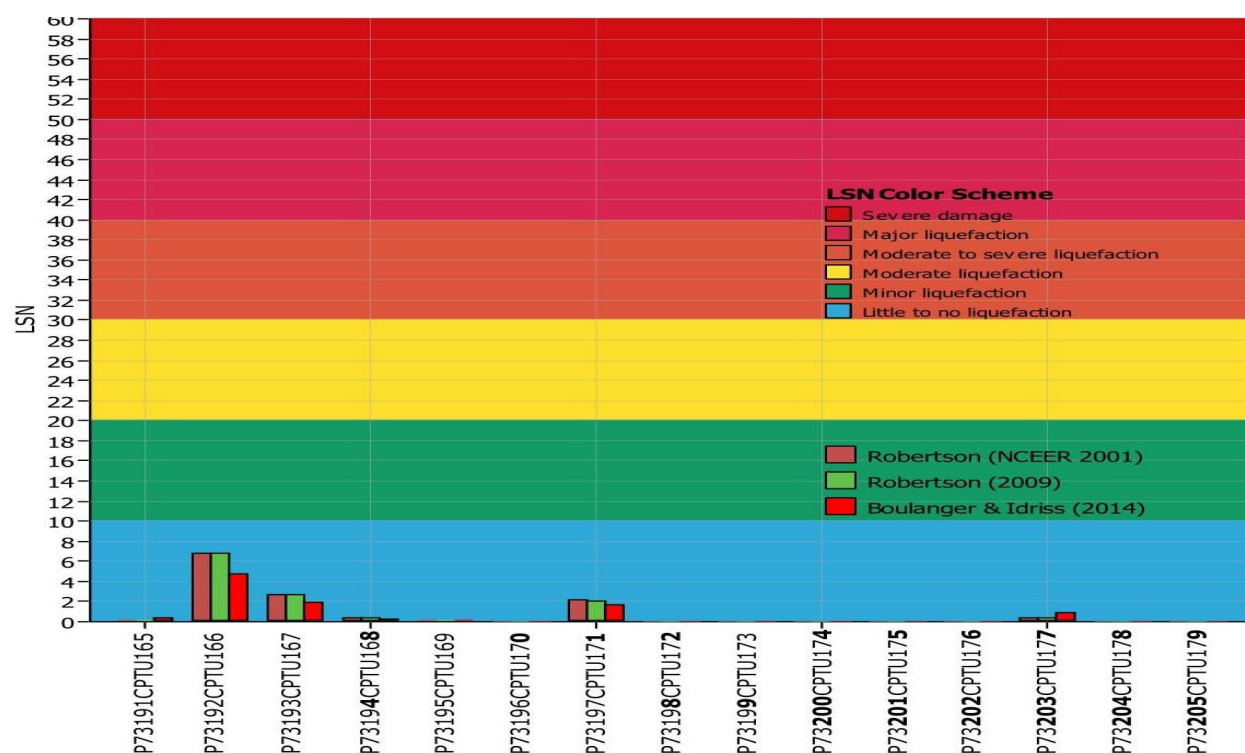


Figura 7.11 – Confronto dei valori di LSN ricavati con tre differenti procedure di calcolo dell'FS (NCEER 2001; P.K. Robertson 2009; Boulanger & Idriss 2014)

Nel caso di Bastiglia, i tre diversi approcci evidenziano esiti discretamente confrontabili tra loro. In questo senso, tutti e tre i metodi stimano per tre sole prove CPTU esiti di LPI compresi tra 2,0 e 5,0, dunque attribuibili alla classe di pericolosità “moderata” ($2 < LPI \leq 5$) così come definito da Sonmez (2003). Sebbene per due prove si siano ricavati esiti di LPI vicini al limite con la classe di pericolosità “elevata”, il contesto locale giustifica un’attribuzione alla pericolosità “moderata” in quanto gli strati sabbiosi e limoso sabbiosi liquefacibili sono intercettati a profondità maggiori di 7 metri, pertanto abbastanza confinati per indurre, ad esempio, effetti di interazione con eventuali fondazioni dirette.

La figura 7.12 mostra gli esiti quantitativi più severi della verifica di liquefazione ottenuti per la prova P73192CPTU166 ($LPI = 4,9$): gli intervalli liquefacibili sono presumibilmente riconducibili a episodi di “crevasse” del fiume Secchia, visti i rapidi e frequenti passaggi tessiturali verticali e il complessivo scarso addensamento dei sedimenti più granulari.

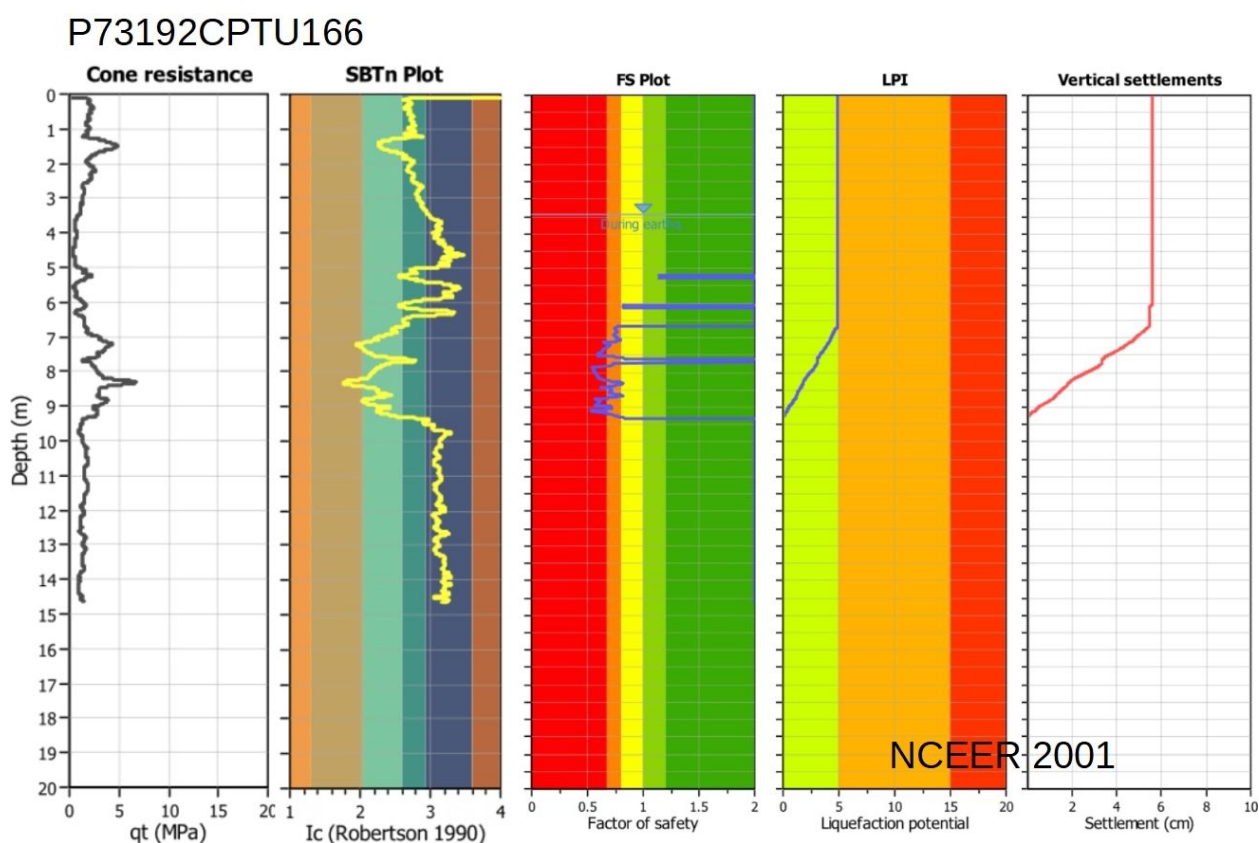


Figura 7.12 - Diagramma della verifica di liquefazione della prova P73192CPTU166 con esiti di LPI più severi ($LPI = 4,9$)

Alcune prove CPTU e le conseguenti verifiche di liquefacibilità sono state effettuate anche nel territorio urbanizzato classificato “stabile” ma suscettibile di amplificazioni locali (MOPS 2001 e 2002); queste prove hanno permesso un’ulteriore conferma rispetto all’analisi di primo livello sulla possibile propensione alla liquefazione dei sedimenti (valutazione di carattere esclusivamente qualitativa, vedi paragrafo 6.3). Le verifiche espletate in questi due areali ne hanno dunque confermato la generale stabilità. Per una sola prova (P73197CPTU171) si è

riscontrato un esito di LPI ancora “basso” ma più elevato rispetto alle prove circostanti (LPI =1,6). Si tratta, tuttavia, di uno strato limoso sabbioso scarsamente addensato ma di modesto spessore e intercettato a oltre 6 metri di profondità, quindi da ritenersi scarsamente significativo in termini di interazione con eventuali fondazioni dirette di costruzioni (figura 7.13).

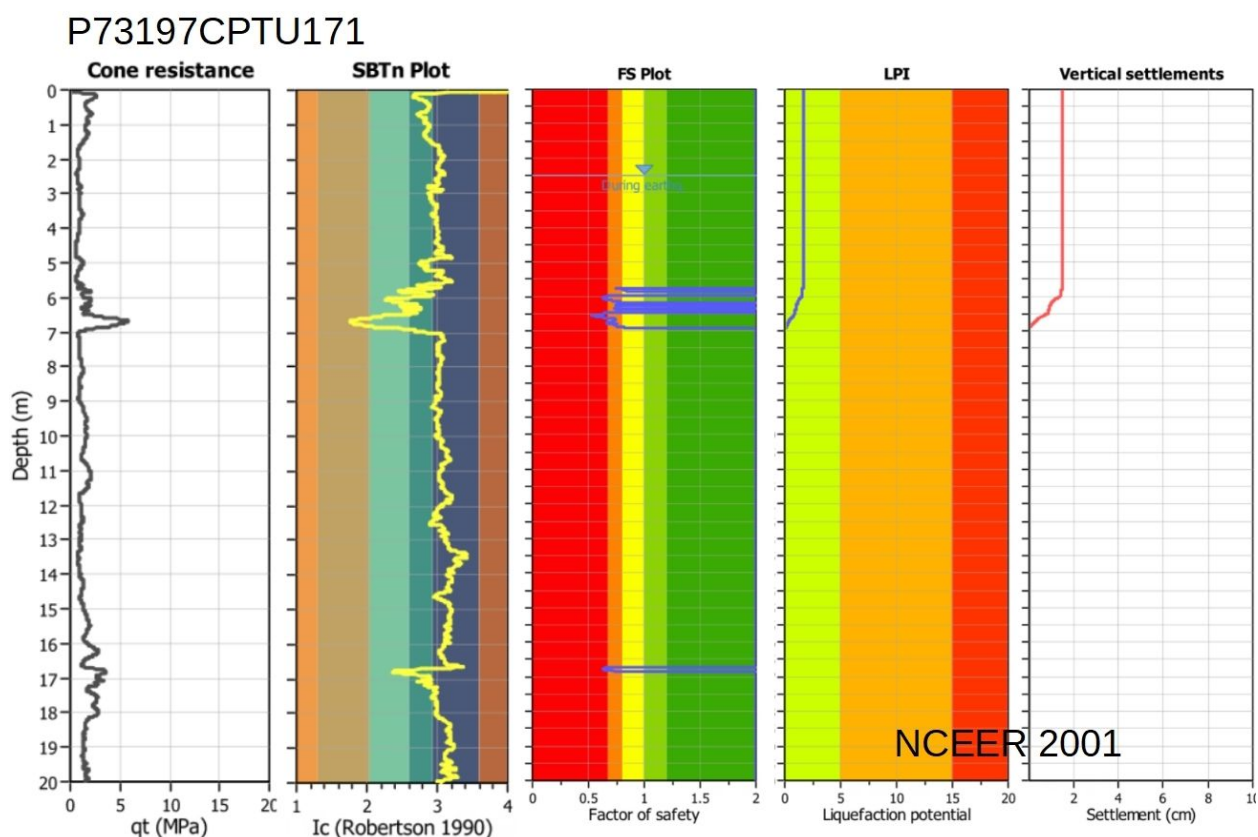


Figura 7.13 - Diagramma della verifica di liquefazione della prova P73197CPTU171 (LPI =1,6)

Le verifiche hanno inoltre rilevato esiti di cedimenti post sisma prevalentemente contenuti (inferiori al “pollice”). Soltanto due prove, infatti, evidenziano cedimenti più significativi: la già citata prova P73192CPTU166 e l’ulteriore P73193CPTU167 (eseguite nella MOPS 30502005). La quantificazione del cedimento è peraltro da ritenersi cautelativa, in quanto corrisponde al valore cumulativo rispetto all’intera verticale. Occorre anche rammentare come le analisi valutative sui cedimenti cosismici siano ineludibilmente legate alle caratteristiche dei manufatti da progettare o già esistenti e all’effettiva interazione tra le fondazioni e i sedimenti. In questo senso, anche l’indice LSN calcolato risulta sempre basso in tutti i punti di controllo, con il maggior valore (LSN =7) ricavato sempre nel punto di controllo P73192CPTU166 (la verifica ha evidenziato cedimenti post sisma concentrati a profondità comprese tra -6,5m e -9,2 metri).

In conclusione, gli esiti di pericolosità “moderata” vengono estrapolati a un ampio settore della MOPS 30502005 (ad esclusione di una porzione occidentale, in destra del canale Levata, con pericolosità “bassa”) mentre per le altre “zone di attenzione” (incluse nei limiti degli

approfondimenti di livello 3) vengono attribuite pericolosità complessivamente “basse” ($LPI < 2$) per la scarsa presenza di sedimenti liquefacibili sia superficiali, sia profondi. La figura 7.14 individua le aree suscettibili di instabilità per liquefazione, definite sulla base degli esiti più cautelativi dei valori di LPI ricavati dalle verifiche quantitative.

Occorre tuttavia evidenziare come il contesto deposizionale di queste aree imponga una certa cautela, considerandole ancora “zone di attenzione” e ineludibilmente soggette a ulteriori approfondimenti locali nei casi previsti dalla disciplina urbanistica e dalla normativa per le costruzioni.

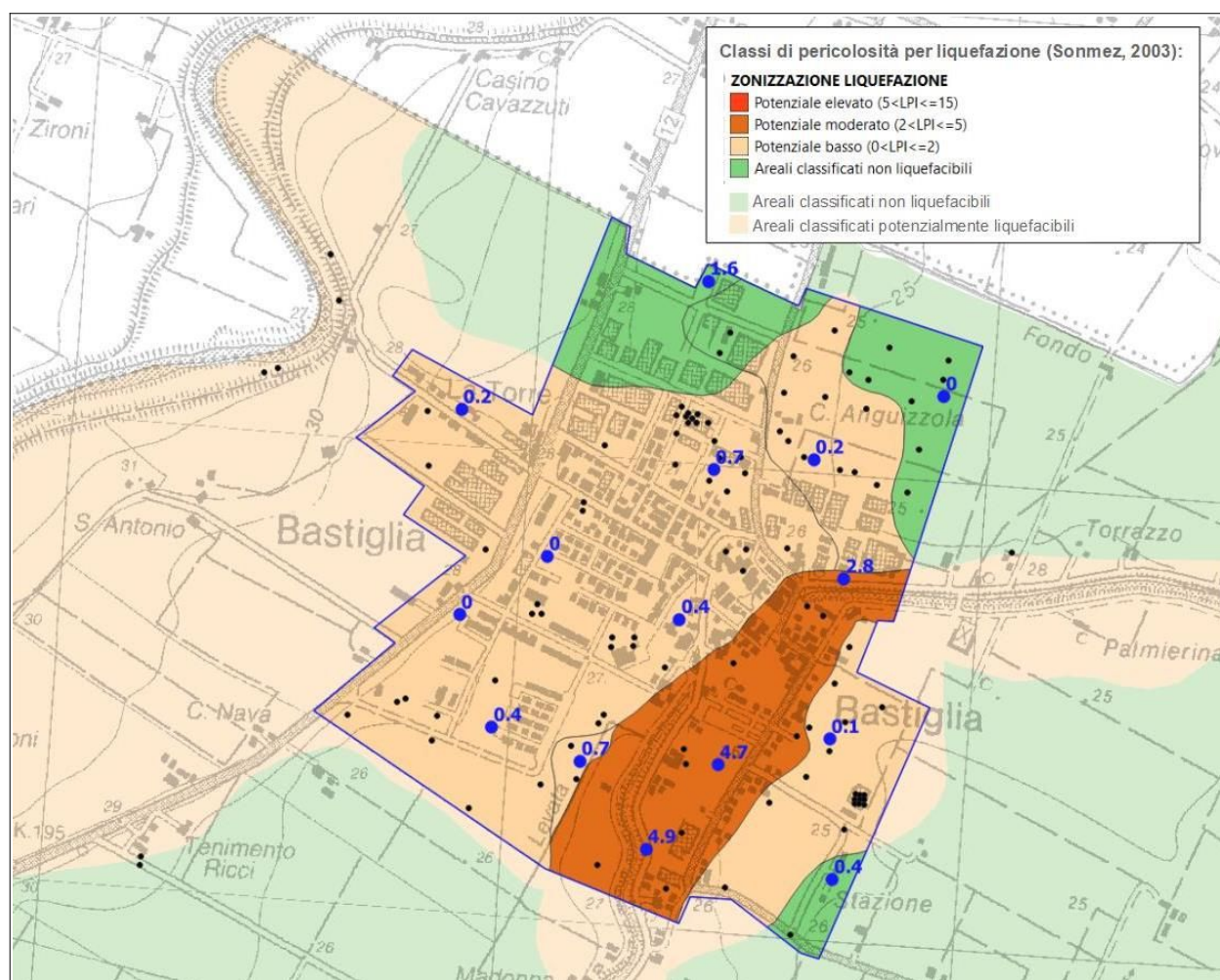


Figura 7.14 – Rappresentazione della pericolosità per liquefazione derivata dalle verifiche di livello 3. Si riportano i valori più cautelativi di LPI ricavati per ogni punto di controllo (prove CPTU)

7.6 Elaborazione dei valori di Hazard

Per gli areali interessati da studi di MS di livello 3, lo studio ha consentito di calcolare i valori di H (Naso⁷ et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto

⁷ “Maps for land management: from geology to seismic hazard” – Maso G.; Martelli L.; Baglione M.; Brammerini F.; Castenetto S.; D’Intinosante V.; Ercolelli G. (2019).

(accelerazione in [g] oppure [cm/s²]).

Occorre rammentare come gli Indirizzi RER in materia di microzonazione sismica, a partire dalla DGR 630/2019, abbiano introdotto il calcolo di H per il secondo e terzo livello di approfondimento. Per quanto riguarda il “livello 2”, gli indirizzi regionali indicano di produrre anche una carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , ricavato su un calcolo semplificato ovvero dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi.

Pertanto, la formula matematica del calcolo di H_{SM} risulta così computata:

$$H_{SM} = (ASI_{UHS} / \Delta T) * FA$$

I valori di $ASI_{UHS} / \Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono già disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Per gli approfondimenti sismici di “livello 3”, gli indirizzi regionali nonché le più recenti linee guida CTMS (v. 2.0) richiedono invece la stima dell’“hazard” basato sugli esiti delle analisi numeriche della RSL. Più in particolare i valori di H sono stati calcolati mediante il rapporto tra i valori integrali degli spettri in accelerazione (Sa) medi di output ricavati dalla modellazione numerica della RSL per gli intervalli di periodo $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (H_{SM}), $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (H_{0408}), $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (H_{0711}) e $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (H_{0515}) e i rispettivi ΔT di riferimento e cioè 0,4s (H_{SM}), 0,4s (H_{0408}), 0,4s (H_{0711}), 1,0s (H_{0515}). Gli esiti di H sono calcolati e rappresentati, come unità di misura, in [g].

La seguente tabella 7.4 riporta per ogni singolo modello di RSL i valori di H_{SM} e H_{VARI} così calcolati. Per una migliore comprensione, nella tabella viene anche riportato il nome attribuito al modello numerico di RSL e il nome del file relativo allo spettro medio in accelerazione di output.

MODELLO RSL	SPETTRO SA RIFERIMENTO	SUM AREA SA ₀₁₀₅ (g*s)	SUM AREA SA ₀₄₀₈ (g*s)	SUM AREA SA ₀₇₁₁ (g*s)	SUM AREA SA ₀₅₁₅ (g*s)	H ₀₁₀₅ (g)	H ₀₄₀₈ (g)	H ₀₇₁₁ (g)	H ₀₅₁₅ (g)
MODELLO1	BastigliaSAO01_m	0.204	0.161	0.101	0.247	0.51	0.40	0.25	0.25
MODELLO2	BastigliaSAO02_m	0.201	0.160	0.102	0.247	0.50	0.40	0.25	0.25
MODELLO3	BastigliaSAO03_m	0.190	0.157	0.101	0.247	0.47	0.39	0.25	0.25
MODELLO4	BastigliaSAO04_m	0.186	0.154	0.101	0.244	0.47	0.38	0.25	0.24
MODELLO5	BastigliaSAO05_m	0.199	0.163	0.104	0.253	0.50	0.41	0.26	0.25
MODELLO6	BastigliaSAO06_m	0.202	0.167	0.106	0.257	0.50	0.42	0.26	0.26
MODELLO7	BastigliaSAO07_m	0.198	0.163	0.103	0.250	0.50	0.41	0.26	0.25
MODELLO8	BastigliaSAO08_m	0.192	0.156	0.102	0.245	0.48	0.39	0.25	0.25
MODELLO9	BastigliaSAO09_m	0.191	0.159	0.104	0.251	0.48	0.40	0.26	0.25
MODELLO10	BastigliaSAO010_m	0.193	0.153	0.099	0.240	0.48	0.38	0.25	0.24
MODELLO11	BastigliaSAO011_m	0.197	0.167	0.107	0.259	0.49	0.42	0.27	0.26

Tabella 7.4 – Sintesi del calcolo dei valori di H_{SM} e H_{VARI} (Naso et al., 2019) ricavati dagli spettri Sa medi di output ottenuti dalla modellazione numerica della RSL

Tabella 7.5 – Classificazione di H_{SM} per gli intervalli di periodo di riferimento (stralcio tabella 2 riportata nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni”, CTMS v.2.0)

Intervalli di periodo	Classificazione $H_{SM}[g]$			
	Basso ($ZS4_{SM}$)	Medio ($ZS3_{SM}$)	Alto ($ZS2_{SM}$)	Molto alto ($ZS1_{SM}$)
$T1_{(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
$T2_{(0.4-0.8)}$	≤ 0.14	0.15-0.34	0.35-0.55	≥ 0.56
$T3_{(0.7-1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.22	0.23-0.35	≥ 0.36

Le elaborazioni evidenziano valori relativamente uniformi per gli areali studiati. Sulla base della classificazione di H_{SM} proposta dalla CTMS (tabella 7.5), si ricavano valori di “hazard” da ritenersi complessivamente moderati (da medi e medio-alti, in relazione agli intervalli di periodo considerati).

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 1:5.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche realizzate nel territorio comunale di Bastiglia, raccolte e archiviate in formato digitale per il presente studio.

La cartografia identifica il tipo di prova con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica>> CTMS (v.4.2), 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 1:5.000, 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 indagini geognostiche.

L'elaborazione di questa cartografia è basata sul criterio delle classi tessiturali definite secondo gli “standard di microzonazione sismica” (v.4.2). La carta geologico tecnica riporta le litologie superficiali prevalenti (primi 5–6 metri). Il territorio di studio è stato quindi suddiviso nelle classi USCS/AGI riportate in figura 8.1.

In sintesi, i dati disponibili indicano come i sedimenti meno profondi siano riconducibili a differenti classi tessiturali prevalentemente fini (da argille e limi a sabbie più o meno limose). In questo senso, la figura 5.11 offre una rappresentazione di sintesi del contesto litotecnico superficiale, ove il territorio comunale risulta classificato da “SM” a “ML” nel settore centro occidentale (tracimazioni recenti del Secchia e del Navile). Ampi settori del territorio comunale più orientale sono invece classificabili “CL” per la presenza di argille e argille limose più o meno consistenti di piana inondabile. Si rimanda ai capitoli 3 e 5 per i dettagli. La cartografia geologico–tecnica riporta, inoltre, le tracce delle sezioni geologiche di riferimento per questo lavoro e le quote d'acqua della falda meno profonda (soggiacenze) misurate nei nuovi punti di controllo CPTU.

Terreni di copertura

SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo – argine/barre/canale (es)
ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità – piana inondabile (pi) e argine/barre/canali (es)
CL	Argille e argille limose più o meno consistenti – piana inondabile (pi) e argine/barre/canali (es)

Figura 8.1 – Stralcio della legenda della Tavola 2 – Carta geologico-tecnica: si riportano le classi geotecniche USCS/AGI che caratterizzano il sottosuolo meno profondo del territorio comunale di Bastiglia

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (tavola 3)

La <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:5.000, individua con specifica simbologia, le misure tomografiche per classi di frequenza, secondo quanto indicato nella DGR 476/2021 della Regione Emilia-Romagna, ovvero: $0,6 \text{ Hz} < f_0 \leq 1 \text{ Hz}$; $1 \text{ Hz} < f_0 \leq 2 \text{ Hz}$; $2 \text{ Hz} < f_0 \leq 8 \text{ Hz}$; $f_0 > 8 \text{ Hz}$.

Le registrazioni HVSr vengono anche classificate 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: $H/V < 2$ (ampiezze basse); $2 \leq H/V < 3$ (ampiezze moderate); $H/V \geq 3$ (ampiezze elevate).

Sono infine riportati per ogni singola misura i valori delle frequenze di risonanza fondamentale f_0 e le eventuali ulteriori frequenze di possibile amplificazione (f_1 e f_2).

Si rimanda al capitolo 5 per un'illustrazione complessiva dei risultati ottenuti dalle registrazioni sismiche HVSr, tuttavia si evidenzia come tutte le misure (salvo alcune registrazioni, inficiate da errori di acquisizione) abbiano ricavato frequenze fondamentali prevalentemente comprese tra 0,7 Hz e 1,0 Hz, con il massimo picco spettrale correlabile a riflettori sismici situati a profondità $>> 150$ metri.

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

La cartografia MOPS, elaborata alla scala 1:5.000, rappresenta la suddivisione del territorio comunale in "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" e in "Zone di attenzione per instabilità" per liquefazioni. Questa cartografia costituisce l'elaborato fondamentale dello studio sismico di livello 1.

La carta riporta, inoltre, i punti di misura di rumore ambientale (con l'indicazione della frequenza fondamentale) e limiti delle aree interessate dalla microzonazione sismica di livello superiore.

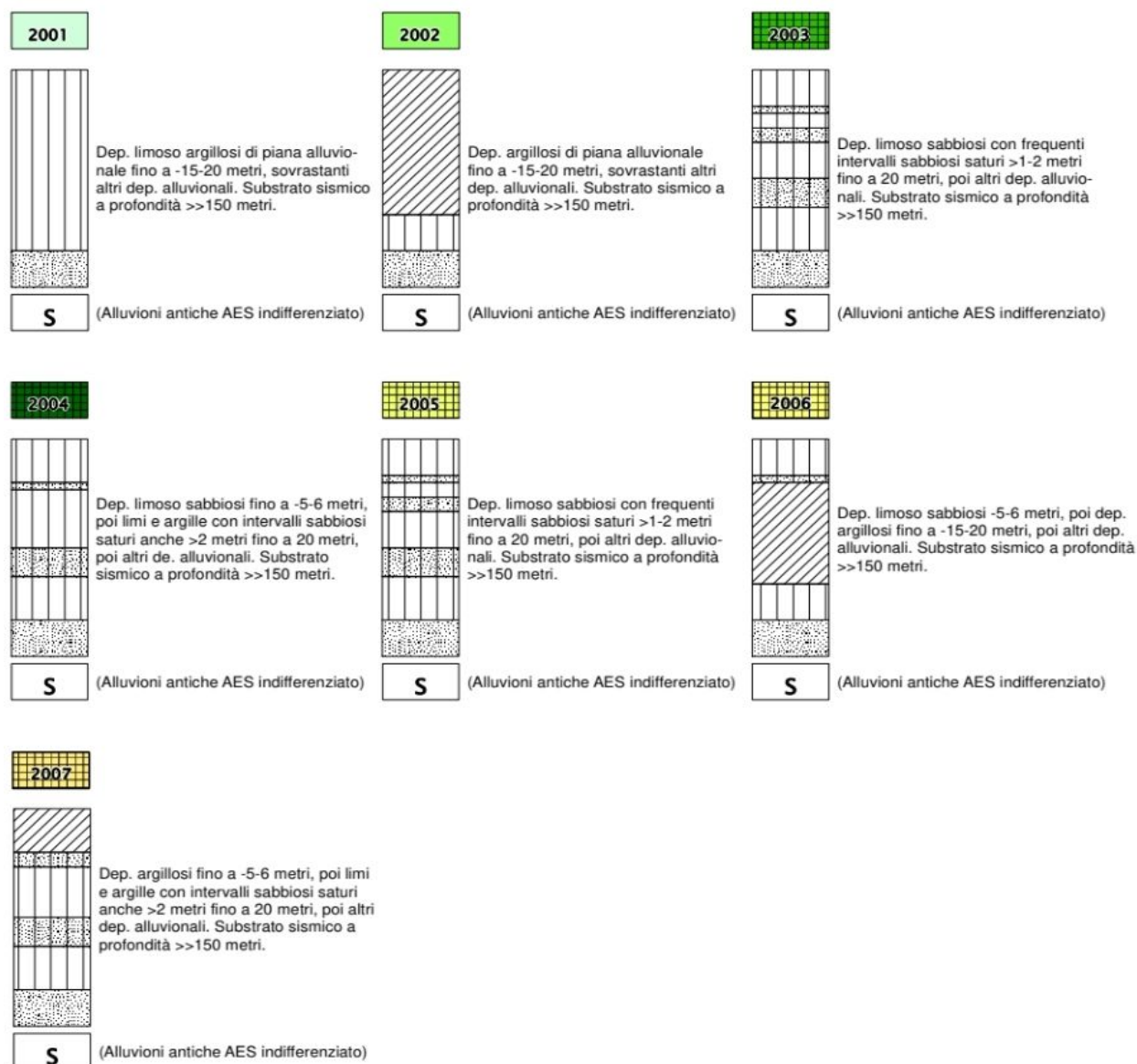
Rispetto alle diverse litologie (superficiali) distinte nella carta geologico-tecnica,

estendendo la valutazione a profondità maggiore, si è cercato di arrivare a delle semplificazioni, accorpendo alcune stratigrafie analoghe e cercando di utilizzare un criterio di similarità dal punto di vista della possibile risposta sismica e delle criticità locali.

Sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica, nel territorio studiato non si riscontrano “zone stabili”, tuttavia vengono distinte due “zone stabili suscettibili di amplificazioni locali” (2001 e 2002). Vengono inoltre delimitate cinque “zone di attenzione per instabilità”, tutte riconducibili a possibilità di liquefazioni dei sedimenti in caso di scuotimento sismico.

Per ciascuna zona, in legenda si riportano le principali caratteristiche litostratigrafiche e il contesto deposizionale. Per una descrizione sintetica di tutte le singole zone di rimanda al precedente paragrafo 7.2.

Vengono qui di seguito riportati gli schemi dei rapporti litostratigrafici rappresentativi delle MOPS individuate dallo studio di MS comunale:



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

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, elaborata alla scala 1:5.000, 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 valutata con approccio semplificato (DGR 476/2021; criteri nazionali ICMS 2008), sia da valutare con modellazioni numeriche.

Informazioni relative alle tipologie d'indagine e agli esiti delle V_s misurate nelle aree di approfondimento, sono riportate nei precedenti capitoli (in particolare nel capitolo 5 e 6) a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

8.6 Carte di microzonazione sismica livello 2 e 3 (tavole da 6 a 18)

Le cartografie di microzonazione sismica livello 2 e 3 sono anch'esse elaborate alla scala di dettaglio 1:5.000 e riportano i fattori di amplificazioni calcolati:

- 1) per gli areali interessati dagli approfondimenti di livello 3 (OCDP 780/2021) ovvero la parte di territorio comunale urbanizzato, un suo ulteriore intorno, nonché gli areali che includono la viabilità di connessione relativa all'analisi delle CLE (cfr. paragrafo 1.1). Per tali areali sono state elaborate analisi numeriche di risposta sismica locale basate su modelli sismostratigrafici rappresentativi delle rispettive zone MOPS. Per queste zone si è dunque ritenuto opportuno considerare gli esiti di FA ricavati dalle analisi numeriche della RSL;
- 2) per il restante territorio comunale (cfr. paragrafo 1.1). Per queste aree si sono considerati soltanto i FA già calcolati e rappresentati nel precedente studio di microzonazione sismica (OPCM 3907/2010) e cioè FA_{PGA} , $FH_{0,5-1,0s}$, $FH_{0,1-0,3s}$, $FH_{0,3-0,5s}$, $FH_{1,0-1,5s}$, $FA_{ICMS2008}$, $FV_{ICMS2008}$.

La cartografia di microzonazione rappresenta, inoltre, i risultati delle verifiche quantitative di liquefazione e in particolare riporta:

- ✓ gli esiti più cautelativi dell'indice IL o altresì definito LPI (Liquefaction Potential Index), ricavati nei punti di controllo (penetrometrie CPTU) attraverso il calcolo del Fattore di Sicurezza FS nei confronti della Liquefazione (confronto tra le tre note procedure "NCEER 2001", "P.K. Robertson 2009" e "Boulanger & Idriss 2014"). Per il calcolo di FS si è considerata l'accelerazione massima al suolo (a_{max}) ricavata dalle analisi numeriche della RSL
- ✓ le "zone di suscettibilità per liquefazioni" (derivate dalle "zone di attenzione"), classificate secondo il differente grado di pericolosità (Sonmez, 2003). In questo senso, per il territorio studiato di Bastiglia vengono delimitate zone suscettibili a pericolosità da "bassa" ($0 < IL \leq 2$) a "moderata" ($2 < IL \leq 5$). Si rammenta come le zone di suscettibilità per liquefazioni non includano areali classificati con pericolosità "bassa" (tali areali rimangono tuttavia classificati come "zona di attenzione" nella cartografia MOPS).

Le cartografie di microzonazione sismica di livello 3 rappresentano gli elaborati finali di sintesi del presente lavoro, in quanto riportano per ogni zona studiata i fattori di amplificazione così come indicati dalle DGR 1885/2021 e DGR 476/2021. Il territorio studiato è pertanto suddiviso in classi di amplificazione, come previsto dagli Indirizzi della CTMS e come indicato negli Standard di rappresentazione per la microzonazione sismica (v. 4.2).

La grafica standard (colore pieno) consente di attribuire alle zone di attenzione i rispettivi parametri di amplificazione. Le zone di suscettibilità per liquefazioni vengono invece rappresentate con specifici retini sovrapposti.

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

- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 6 – FA_{PGA} → riporta il fattore di amplificazione FA_{PGA} (rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico (PGA/PGA_0));
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 3 Tavola 7 – $FA_{0,1-0,5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica di livello 3 Tavola 8 – $FA_{0,4-0,8s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,4 e 0,8 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 3 Tavola 9 – $FA_{0,7-1,1s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,7 e 1,1 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 3 Tavola 10 – $FA_{0,5-1,5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 3 Tavola 11 – $FH_{0,1-0,5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SI} (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 12 – $FH_{0,5-1,0s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SI} (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,0 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 3 Tavola 13 – $FH_{0,5-1,5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SI} (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 14 – $FH_{0,1-0,3s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,3 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 15 – $FH_{0,3-0,5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,3 e 0,5 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 16 – $FH_{1,0-1,5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 1,0 e 1,5 secondi);
- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 17 – $FA_{ICMS2008}$ → riporta il fattore di amplificazione FA riferibile ai bassi periodi, determinato intorno al periodo per cui si ha il massimo della risposta in accelerazione (come definito in ICMS, 2008);

- ✓ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 18 – $FV_{ICMS2008}$ → riporta il fattore di amplificazione FV riferibile agli alti periodi, determinato intorno al periodo per cui si ha il massimo della risposta in pseudovelocità (come definito in ICMS, 2008).

8.7 Carta della distribuzione dei valori di H (tavole da 14 a 17)

Le mappe di pericolosità sismica denominate rispettivamente:

<<Distribuzione dei valori di $H - H_{SM}$ >>

<<Distribuzione dei valori di $H - H_{0.408}$ >>

<<Distribuzione dei valori di $H - H_{0.711}$ >>

<<Distribuzione dei valori di $H - H_{0.515}$ >>

sono anch'esse elaborate alla scala di dettaglio 1:5.000 e riportano i valori di “Hazard” (Naso et al., 2019) per gli areali interessati dalla microzonazione sismica di livello 3.

Si rammenta che il valore di H rappresenta un parametro di pericolosità che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in [g]) come già indicato nel paragrafo 7.6.

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.

Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucci G. (2004): Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000. Con note illustrative. Regione Emilia-Romagna-SGSS, CNR-IGG. SELCA, Firenze.

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.

Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2014) – *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures*. Report No. UCD/CGM.-14, 2014 – ce.memphis.edu.

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.

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 (dicembre 2020) – Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2. <https://www.centromicrozonationesismica.it/it/download/category/23-standard-ms-e-cle>.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2022) – Microzonazione sismica – Linee

guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni” versione 2.0.
<https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/download/category/24-linee-guida>

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

DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: *A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
<https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>

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., Madiati 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., Madiati 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., Sgattoni G., Valensise G. (2018) – *CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.–1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.–1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>.

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019), *CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area*, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>

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

ISPRA (2009) – *Carta Geologica d'Italia, Foglio 201*. Coord. Scientifico: Regione Emilia-Romagna. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. SystemCart, Roma.

<https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/emilia.html>.

Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H. – *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report* from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils

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

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017): *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe. Con note illustrative*. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia.

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., Bramerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffrè 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.

Martelli (2015) – *I terremoti dell'Appennino Bolognese*. La geologia. Nueter, XLI, n. 82, 387-395.

Meletti M., Valensise G (a cura di) (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. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>.

Ministero delle Infrastrutture (2018) – D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Mucciarelli M. (a cura di) (2012) – *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici. Studi teorici ed applicazioni professionali*. Edizioni Aracne.

Naso G., Martelli L., Baglione M., Bramerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): *Maps for land management: from geology to seismic hazard*, Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263.

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

Provincia di Modena – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Tavola 2.2 <<Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali>> (scala 1:25.000).

RER – ENI, Agip (1998): *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ENI Agip Divisione Esplorazione e Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120.

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.19/2008 – “*Norme per la riduzione del rischio sismico, con le modifiche apportate dalla L.R. 6 luglio 2009, n.6 "Governo e riqualificazione solidale del territorio"*”. BURER n. 184 del 30/10/2008.

Regione Emilia Romagna – Legge Regionale n.24/2017 – “*Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio*”. BURERT n. 304 del 21/12/2017.

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>>”*. BURER n. 64 del 17 maggio 2007.

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”. BURER n. 4 del 8 gennaio 2016 parte seconda.

Regione Emilia Romagna – Delibera della Giunta Regionale n. 630/2019 – “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017”. BURER. n. 143 del 6 maggio 2019 parte seconda.

Regione Emilia Romagna – Delibera della Giunta Regionale n. 476/2021 (e DGR integrativa n.564/2021)– Aggiornamento dell’“Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017”. Di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019 n.630. BURERT n. 137 del 12/5/2021 (parte seconda) e BURERT n. 111 del 20/04/2021.

Robertson P.K. – *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.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e

Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

Sonmez H. – *Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)*. 2003. Environ Geology 44(7): 862-871

Zhang G., Robertson P.K., and Brachman R.W.I. – *Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground, 2001*.

ALLEGATI:

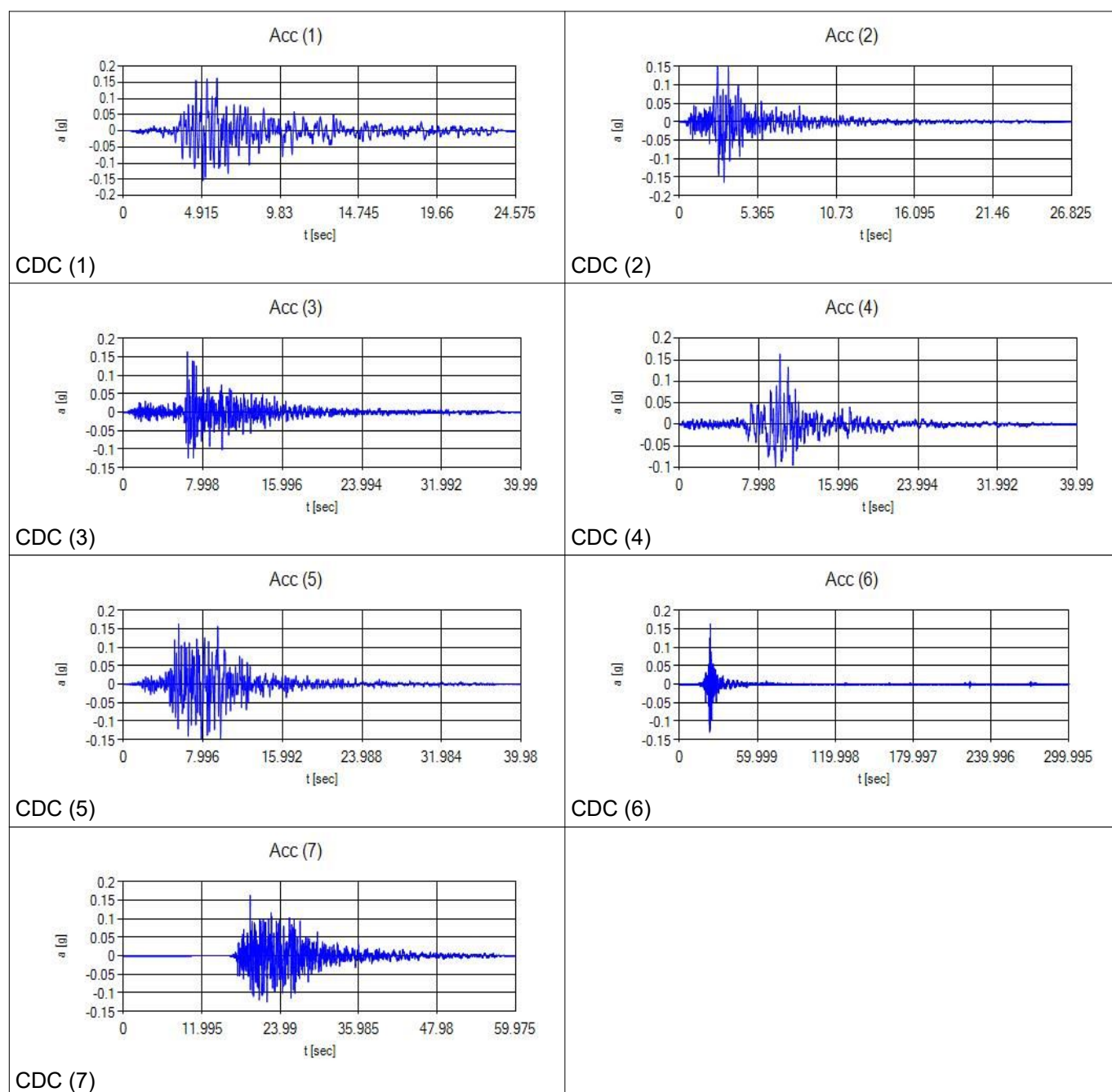
Schede modelli RSL numerici

Report verifiche liquefazione e cedimenti post sisma

DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



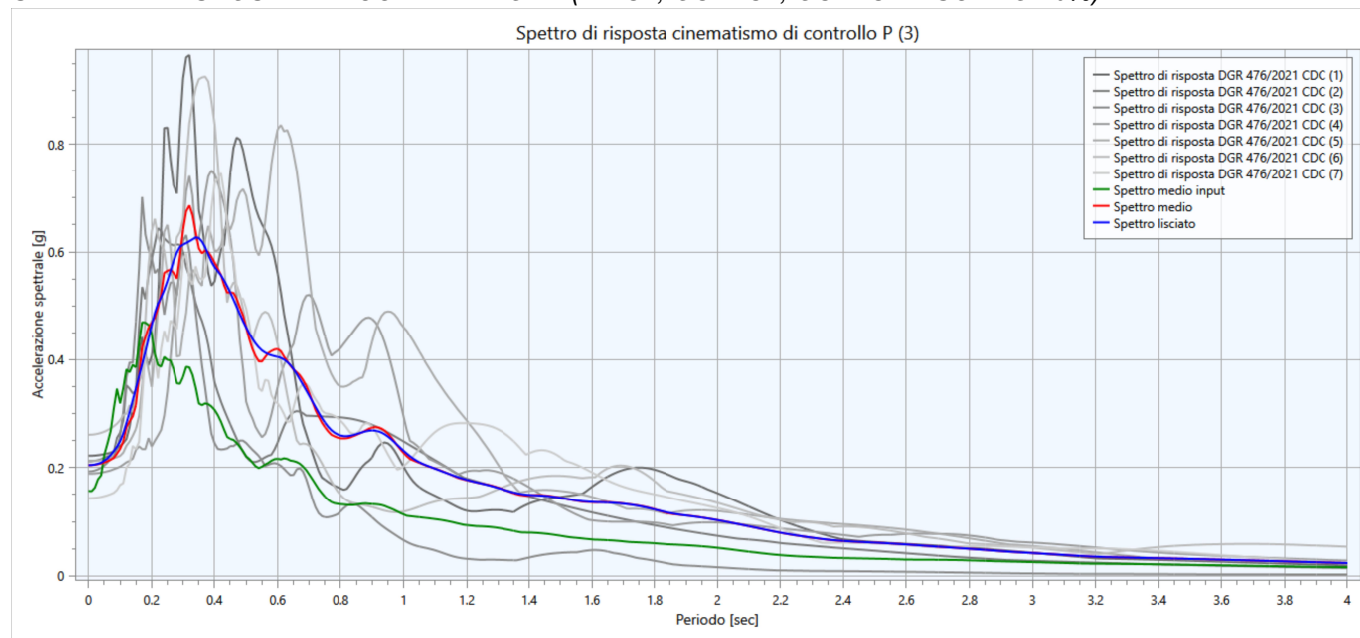
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1750.00	120.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (1) LAS	2.00	1.00	1750.00	130.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (2) LAS	6.00	4.00	1700.00	165.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (3) AL	10.00	4.00	1700.00	190.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) AL	14.00	4.00	1750.00	210.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) LS-SL	16.00	2.00	1850.00	225.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (6) AL	19.50	3.50	1750.00	230.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) LS-SL	22.00	2.50	1900.00	250.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (8) AL	27.00	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	50.00	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	75.00	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	105.00	30.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12) LS-SL	135.00	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (13) LAS	165.00	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (14) LAS	205.00	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>205.00					

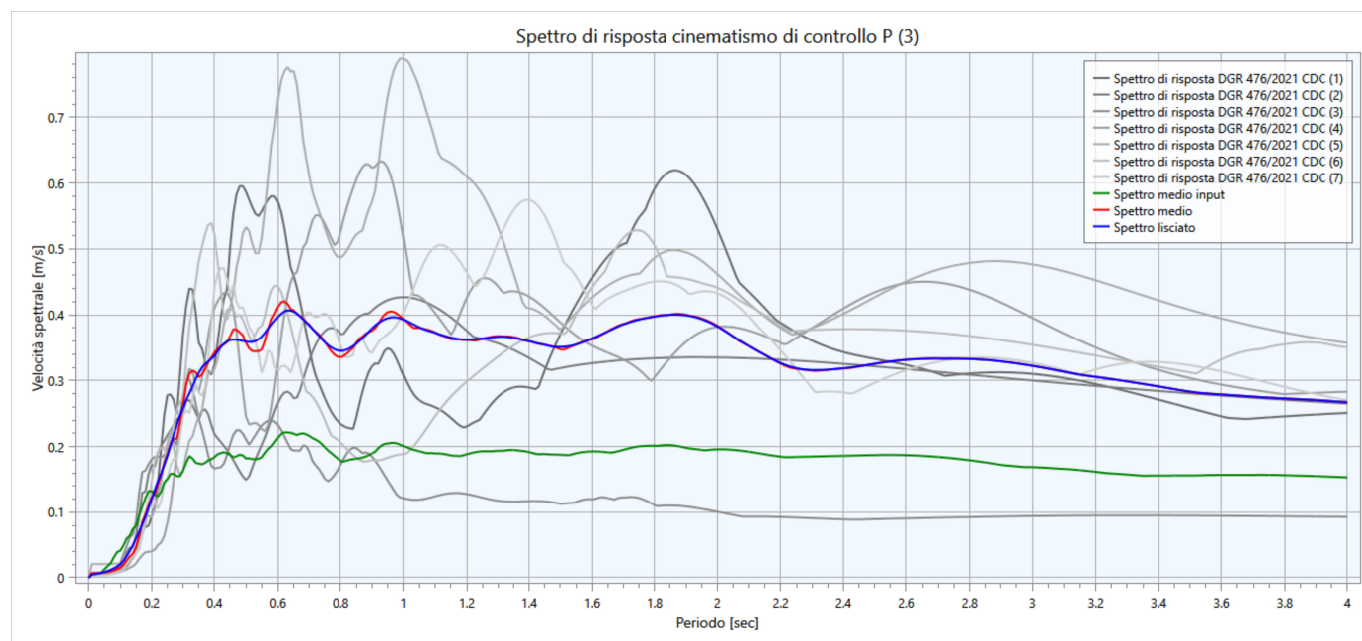
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- *V_s* = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



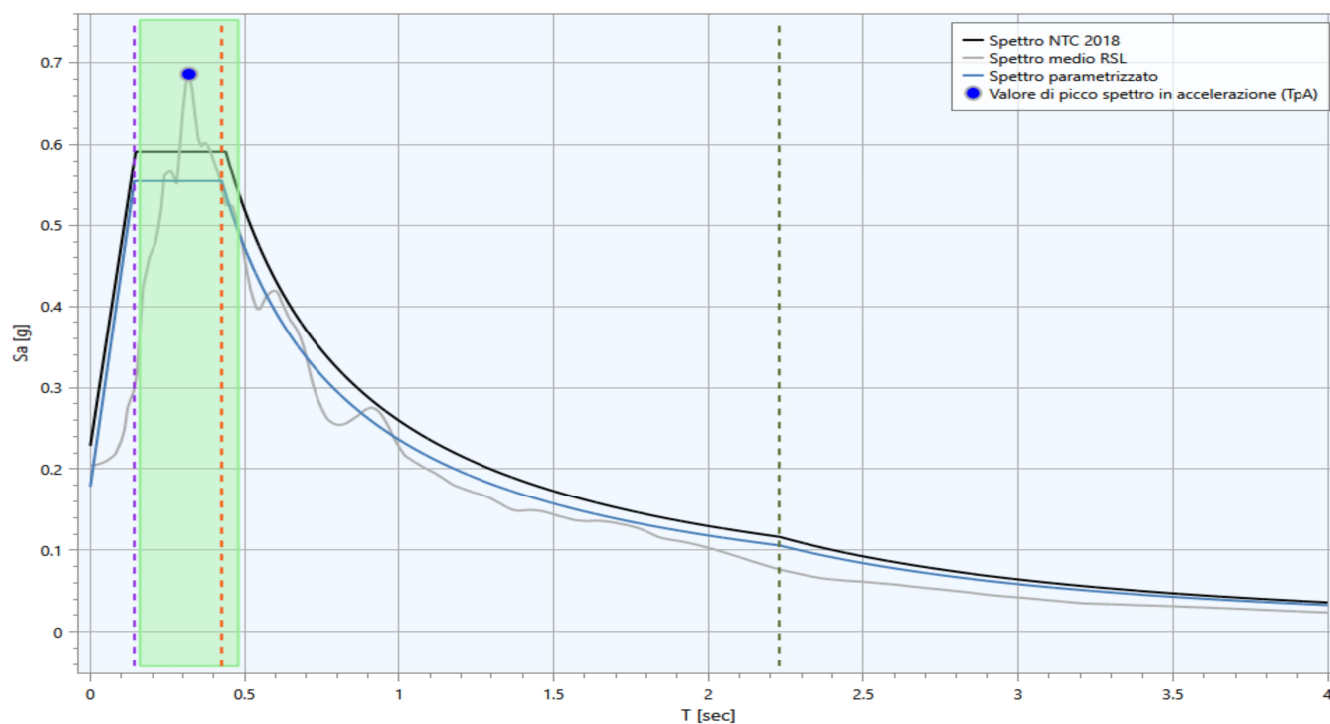
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s≤T≤0,5s)	SA2 (0,4s≤T≤0,8s)	SA3 (0,7s≤T≤1,1s)	SA4 (0,5s≤T≤1,5s)	SI1 (0,1s≤T≤0,5s)	SI2 (0,5s≤T≤1,0s)	SI3 (0,5s≤T≤1,0s)
1,31 (0,205g)	1,47	1,95	1,98	1,94	1,54	1,90	1,90

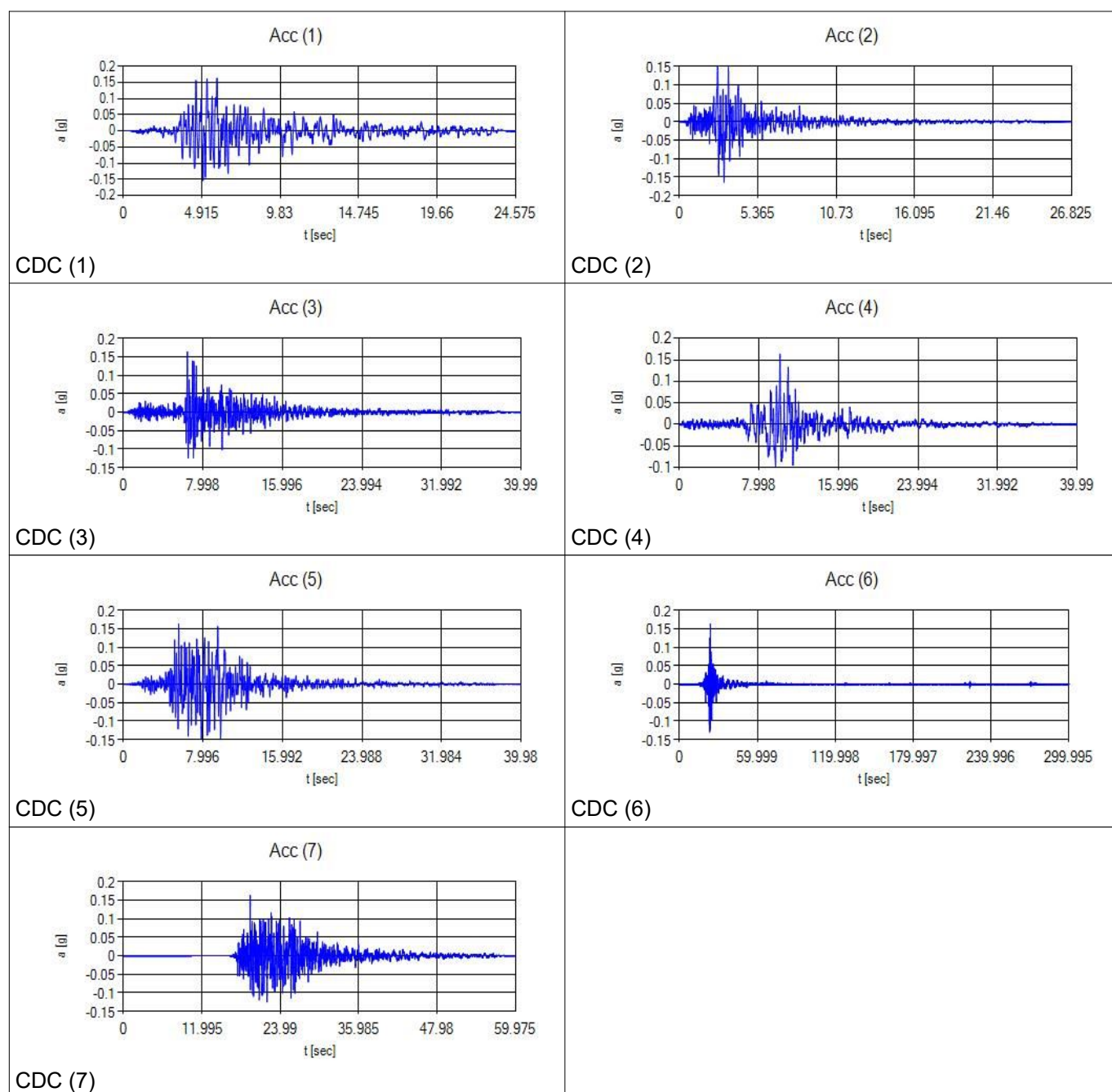
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



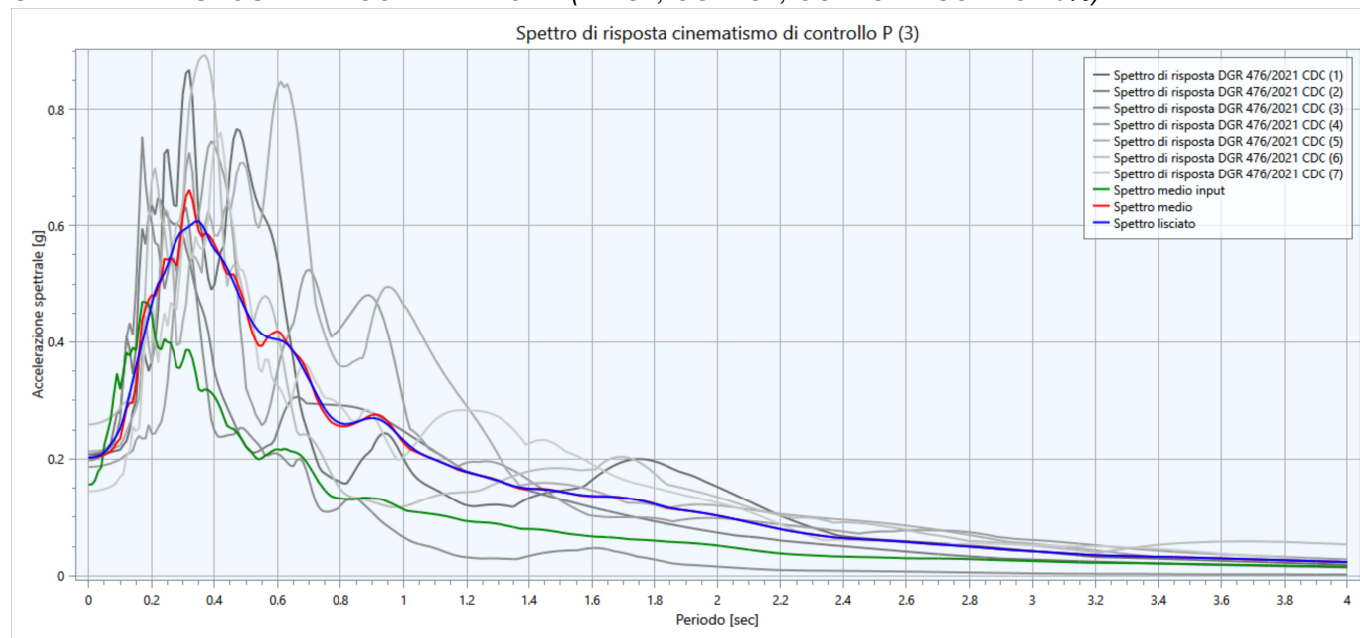
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1750.00	120.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (2) LAS	3.00	2.00	1750.00	130.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (3) AL	7.50	4.50	1650.00	170.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) AL	11.00	3.50	1700.00	195.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) AL	12.50	1.50	1700.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (6) AL	17.00	4.50	1750.00	220.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) LAS	18.50	1.50	1850.00	240.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (8) LS-SL	22.00	3.50	1900.00	250.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (9) AL	27.00	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	50.00	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	75.00	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (12) AL	105.00	30.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (13) LS-SL	135.00	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (14) LAS	165.00	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (15) LAS	205.00	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>205.00					

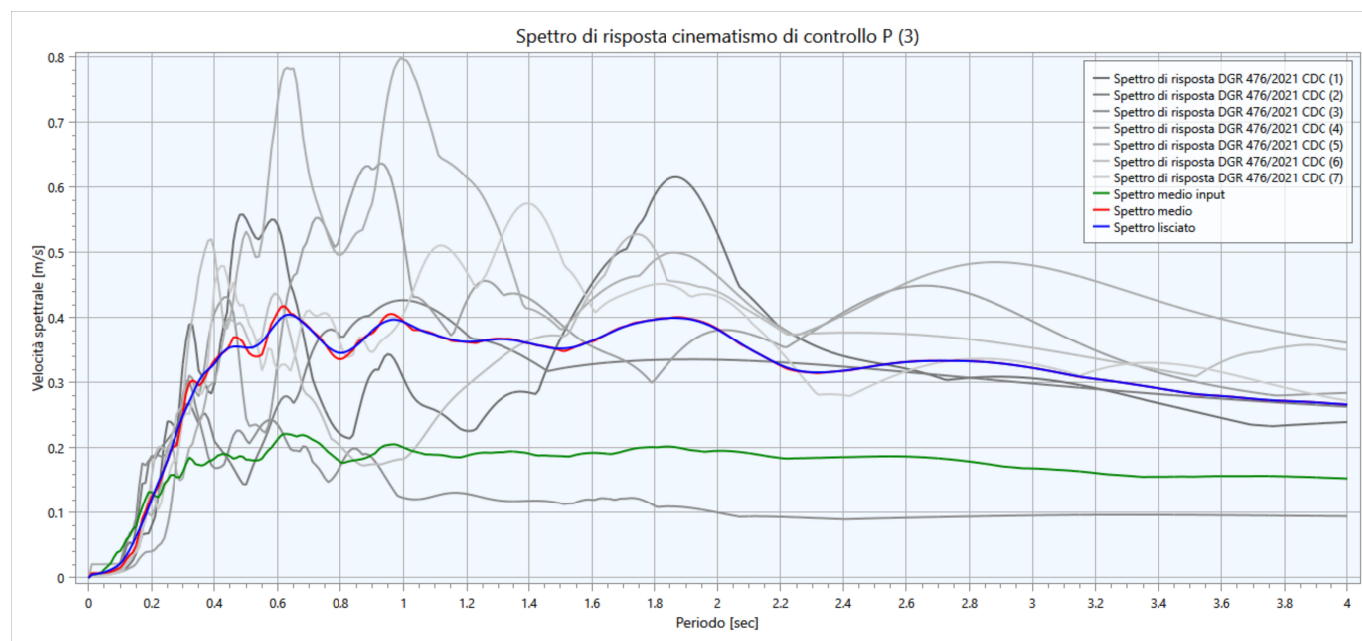
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- *V_s* = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



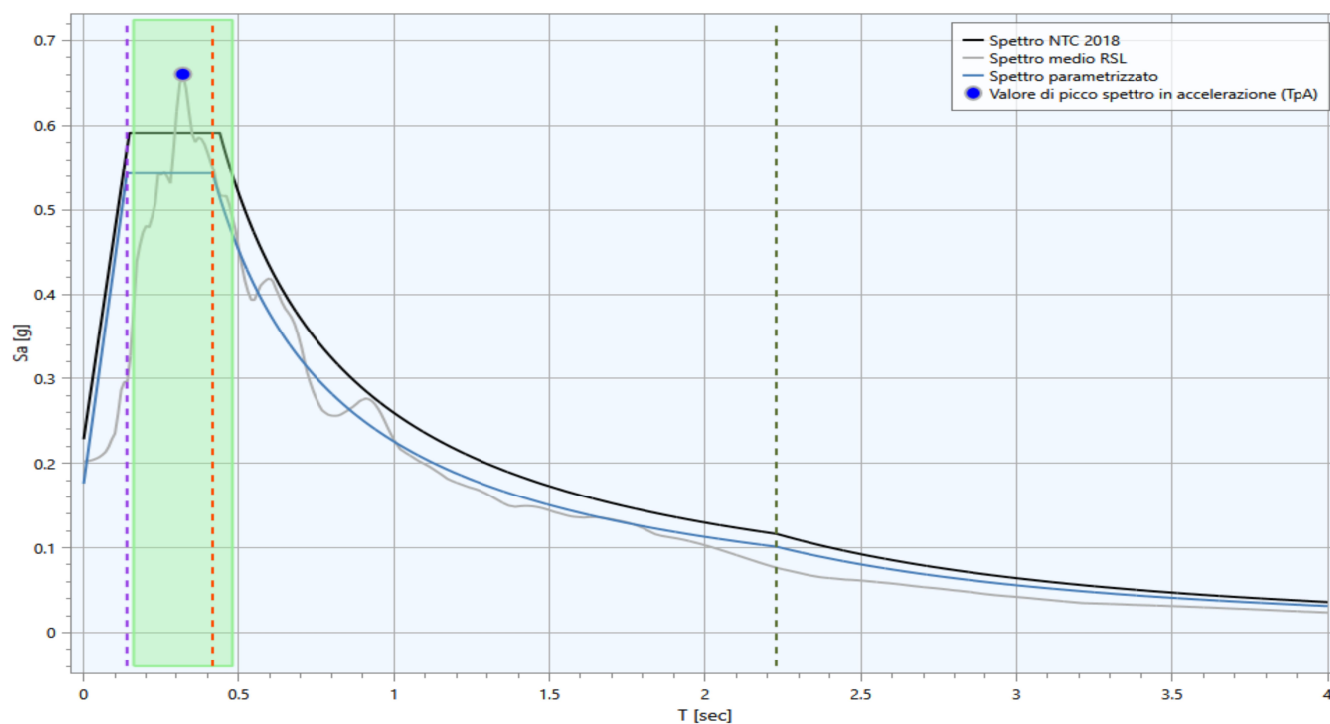
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s≤T≤0,5s)	SA2 (0,4s≤T≤0,8s)	SA3 (0,7s≤T≤1,1s)	SA4 (0,5s≤T≤1,5s)	SI1 (0,1s≤T≤0,5s)	SI2 (0,5s≤T≤1,0s)	SI3 (0,5s≤T≤1,0s)
1,29 (0,203g)	1,45	1,94	1,98	1,93	1,52	1,89	1,90

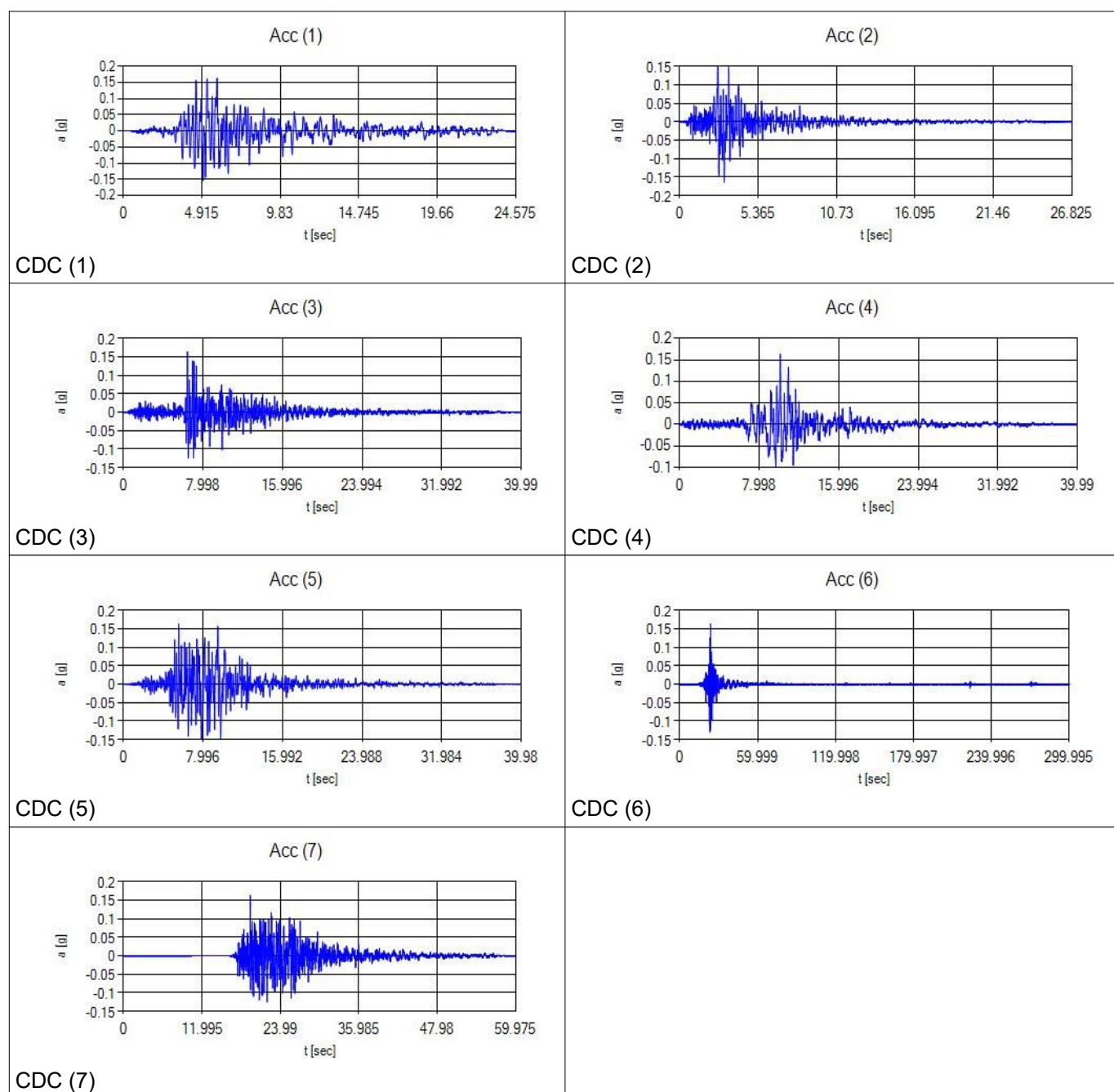
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



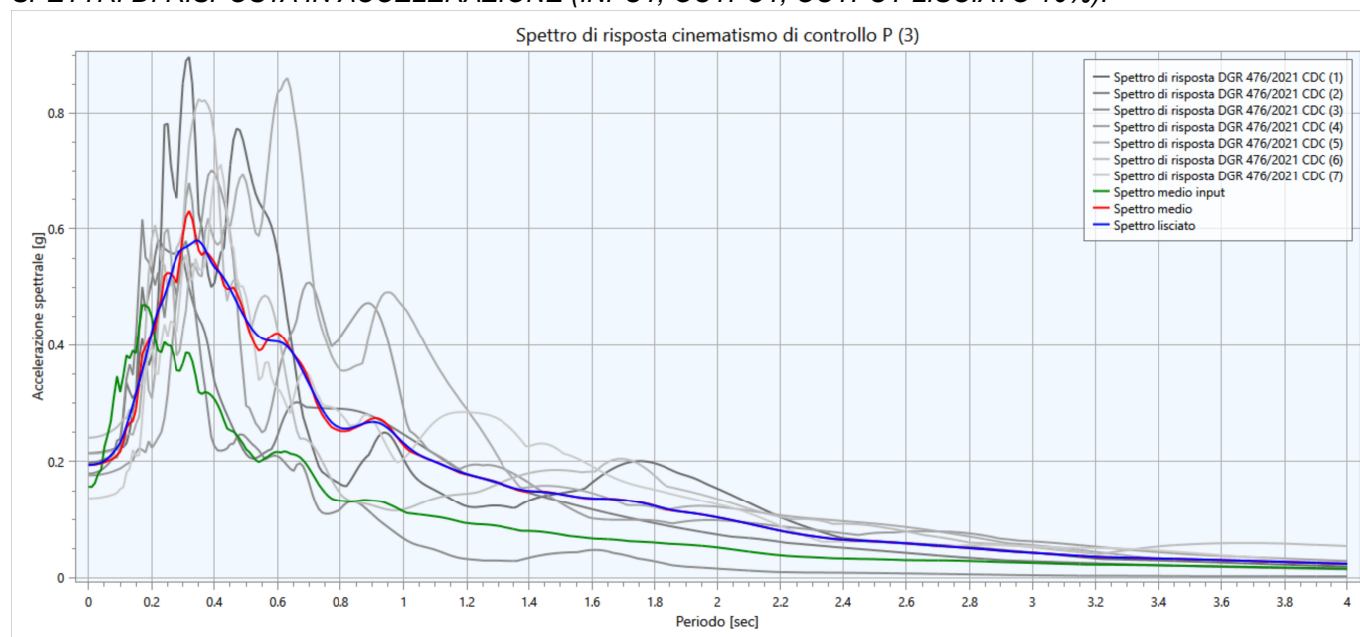
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1750.00	130.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (2) LAS	4.50	3.50	1750.00	160.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (3) AL	9.00	4.50	1650.00	175.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) AL	12.00	3.00	1750.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) AL	14.00	2.00	1700.00	210.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (6) AL	18.00	4.00	1750.00	230.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) AL	24.50	6.50	1800.00	240.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (8) AL	29.50	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	52.50	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	77.50	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	107.50	30.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12) LS-SL	137.50	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (13) LAS	167.50	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (14) LAS	207.50	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>207.50					

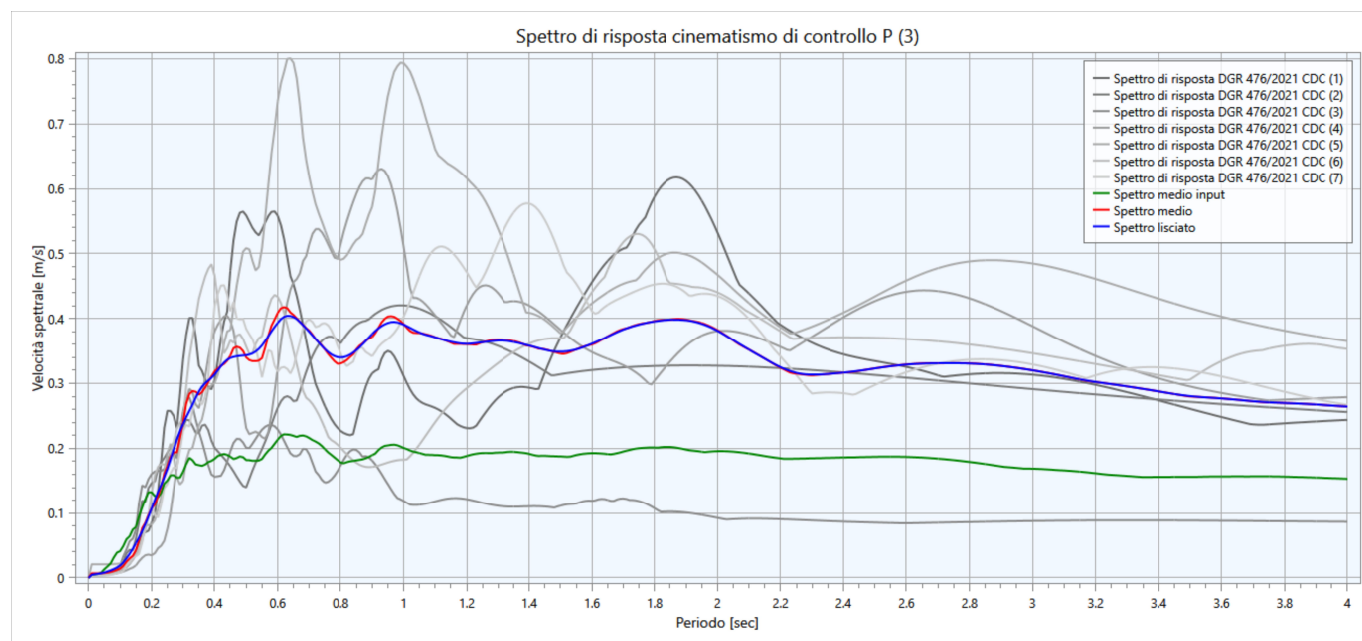
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- *V_S* = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



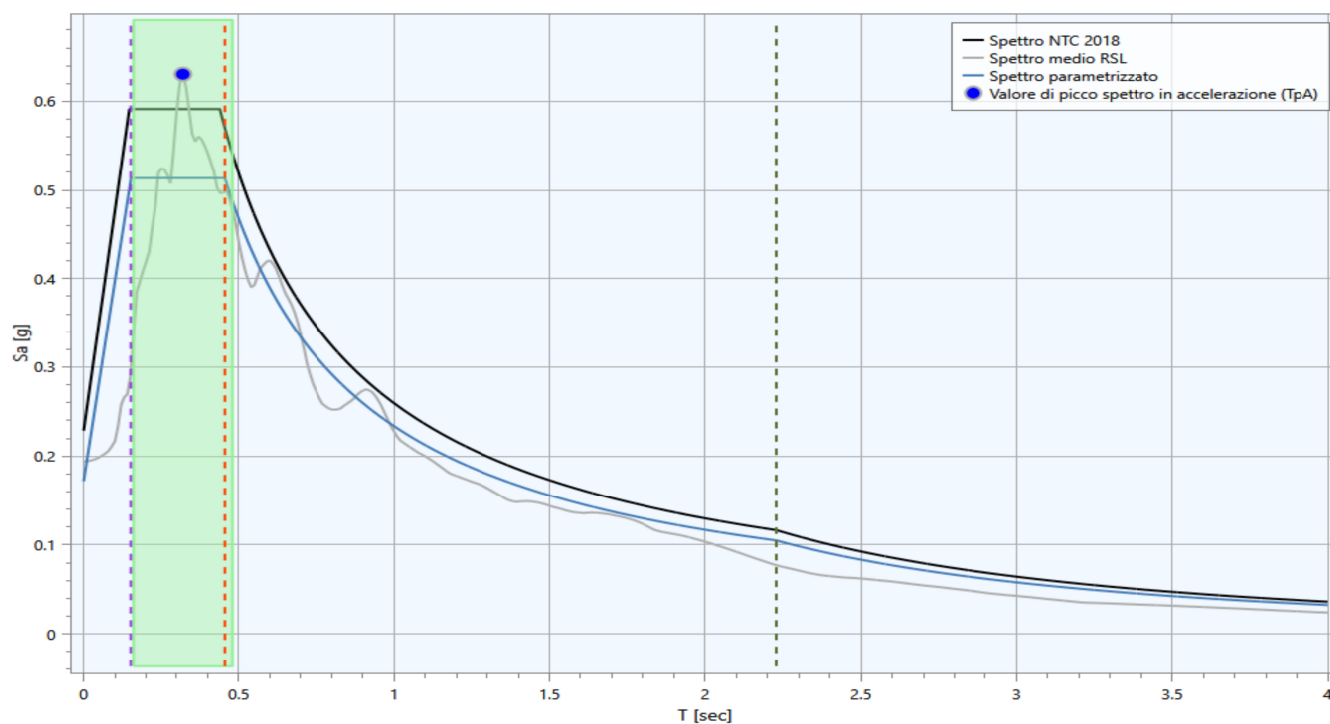
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)	SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)	SA4 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)	SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)	SI3 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)
1,24 (0,194g)	1,36	1,91	1,97	1,93	1,43	1,87	1,88

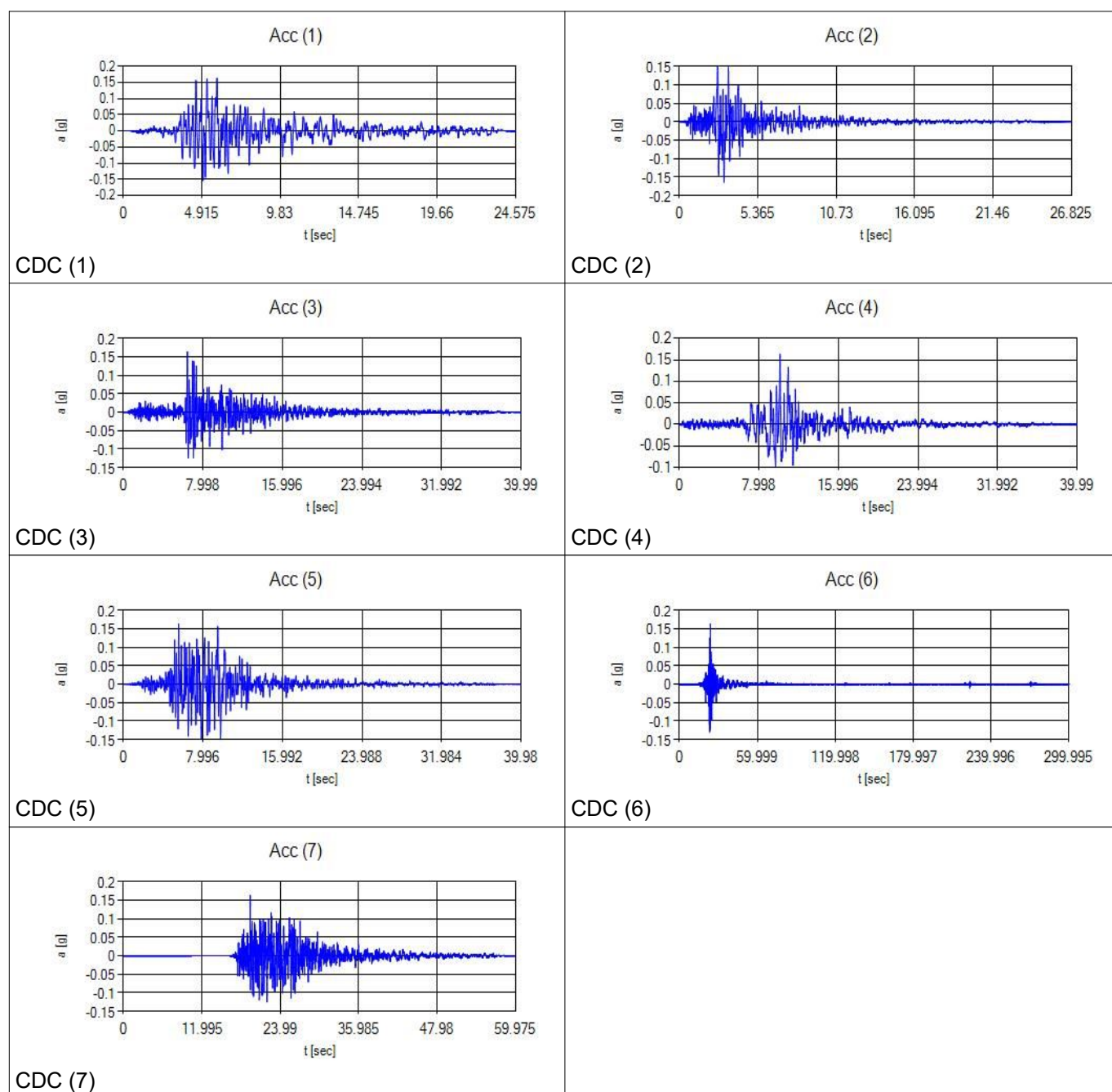
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



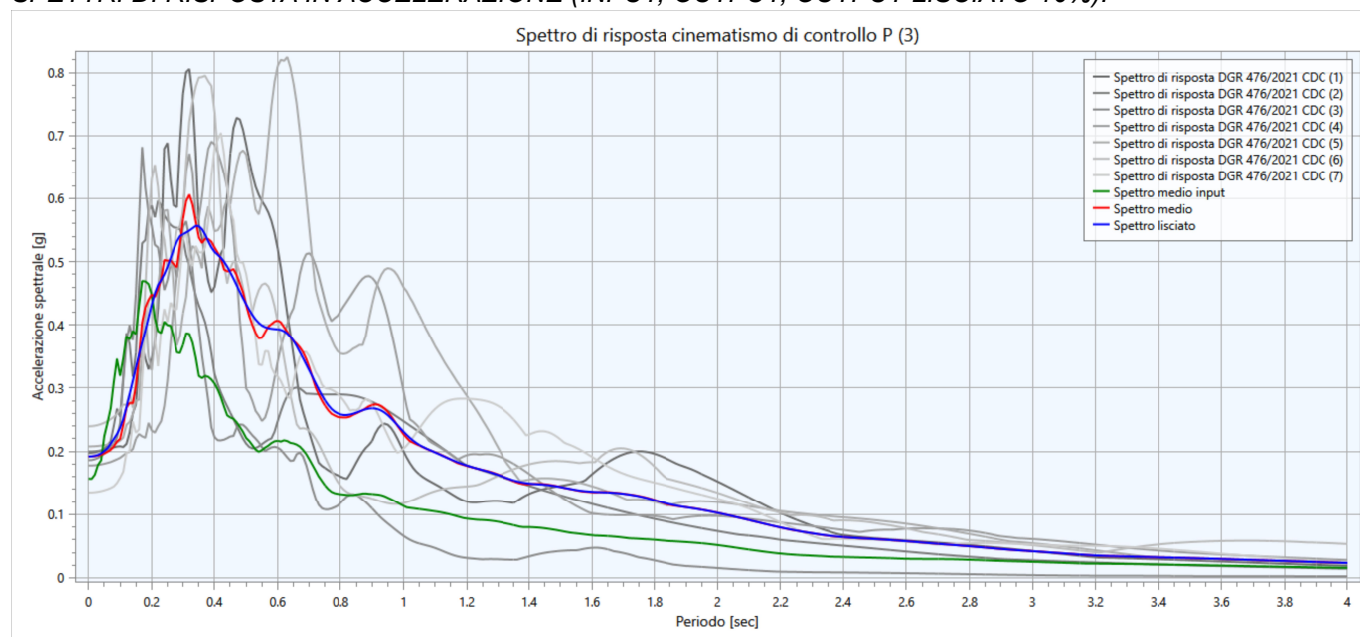
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.30	1.30	1800.00	140.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (2) LAS	3.00	1.70	1700.00	140.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (3) AL	7.50	4.50	1700.00	175.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) AL	11.00	3.50	1750.00	195.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) AL	13.00	2.00	1700.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (6) AL	16.50	3.50	1750.00	220.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) AL	22.00	5.50	1800.00	230.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (8) AL	27.00	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	50.00	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	75.00	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	105.00	30.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12) LS-SL	135.00	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (13) LAS	165.00	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (14) LAS	205.00	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>205.00					

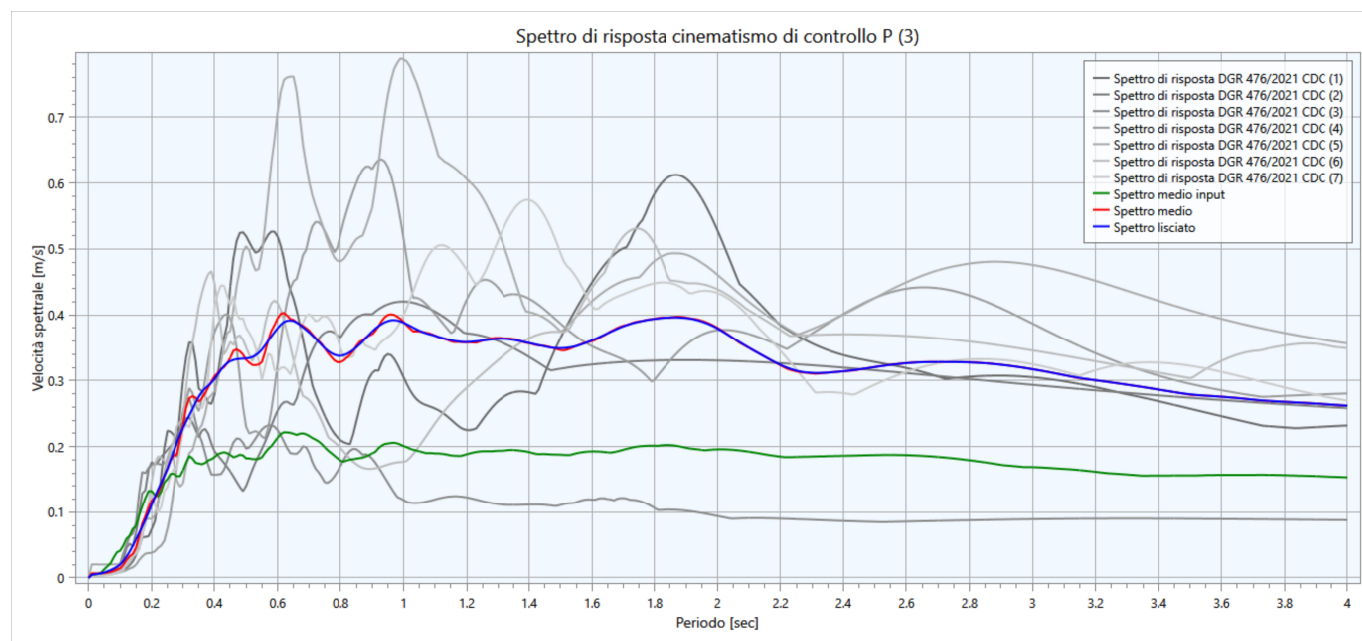
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- *V_s* = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



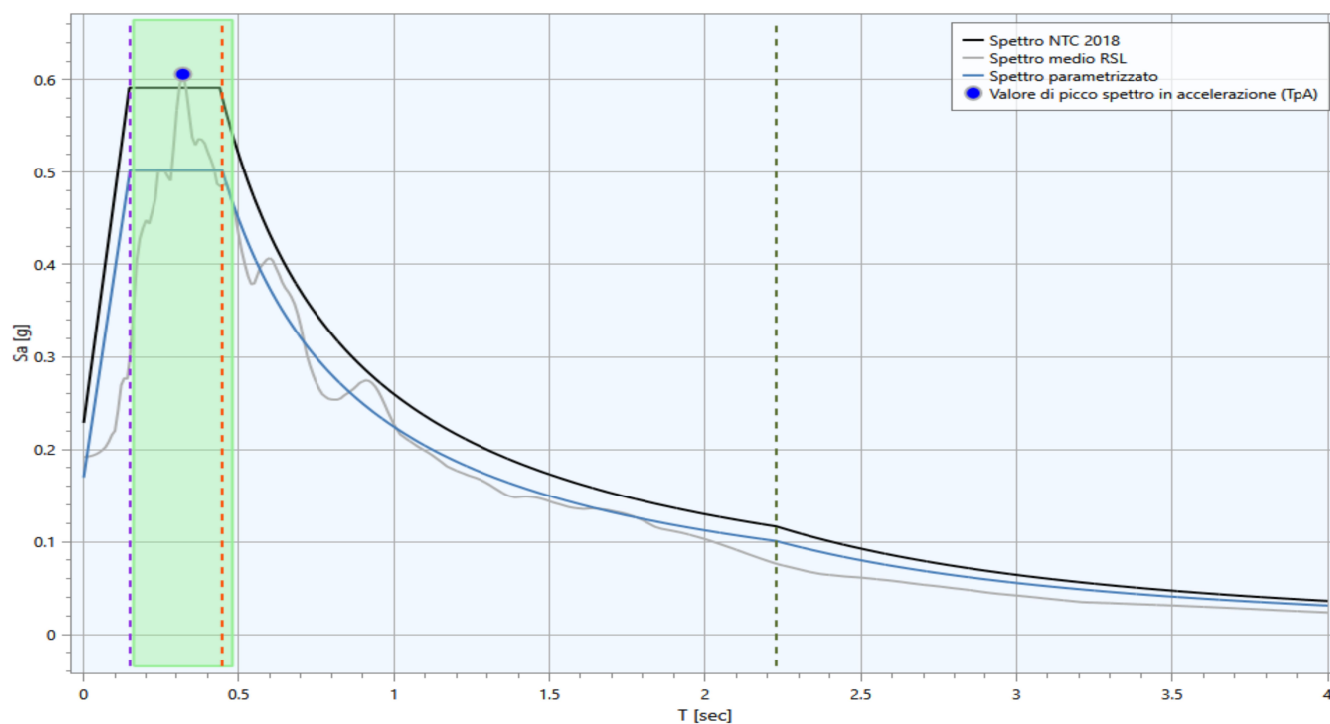
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)	SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)	SA4 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)	SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)	SI3 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)
1,22 (0,192g)	1,34	1,87	1,96	1,91	1,40	1,84	1,86

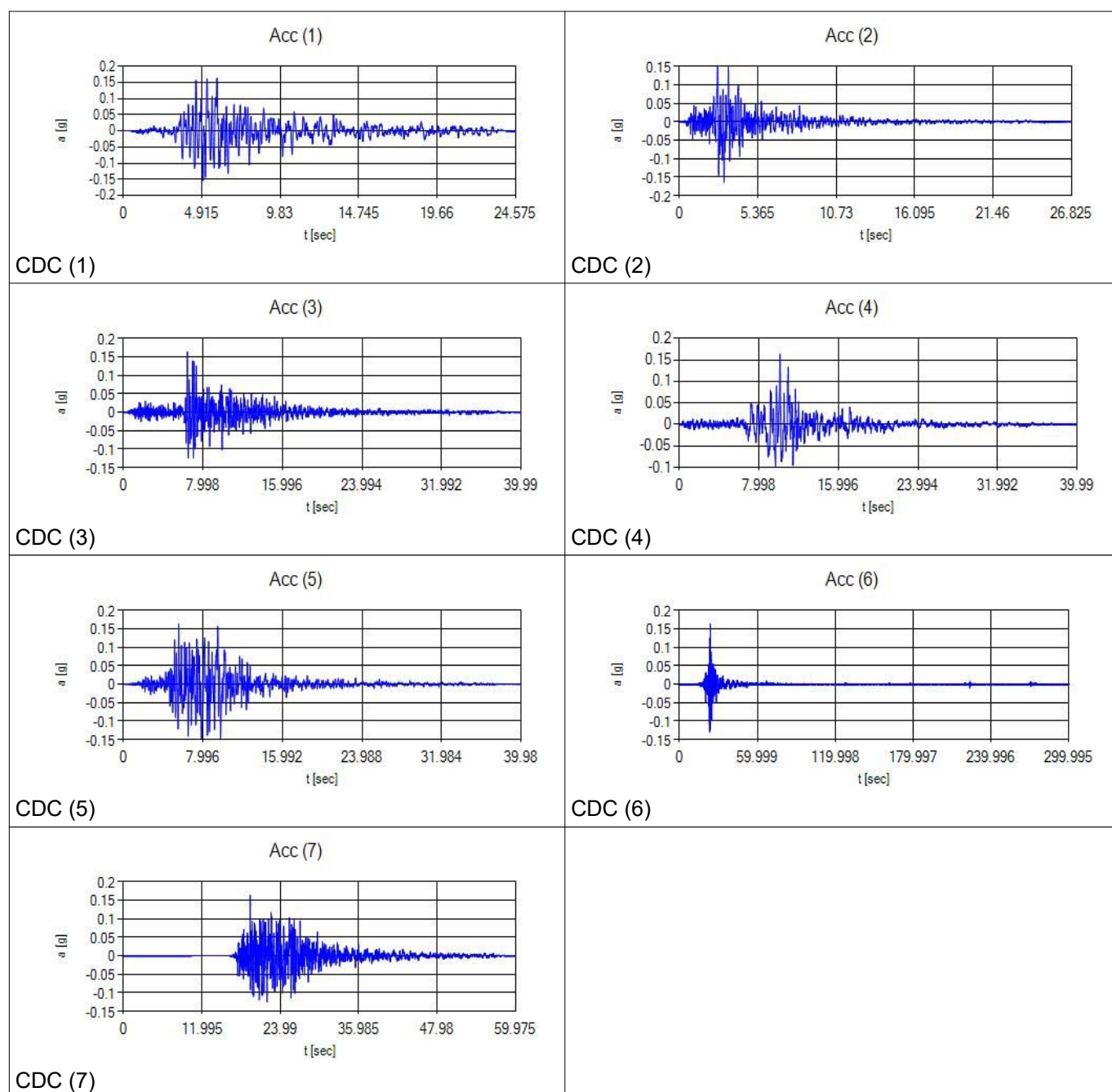
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



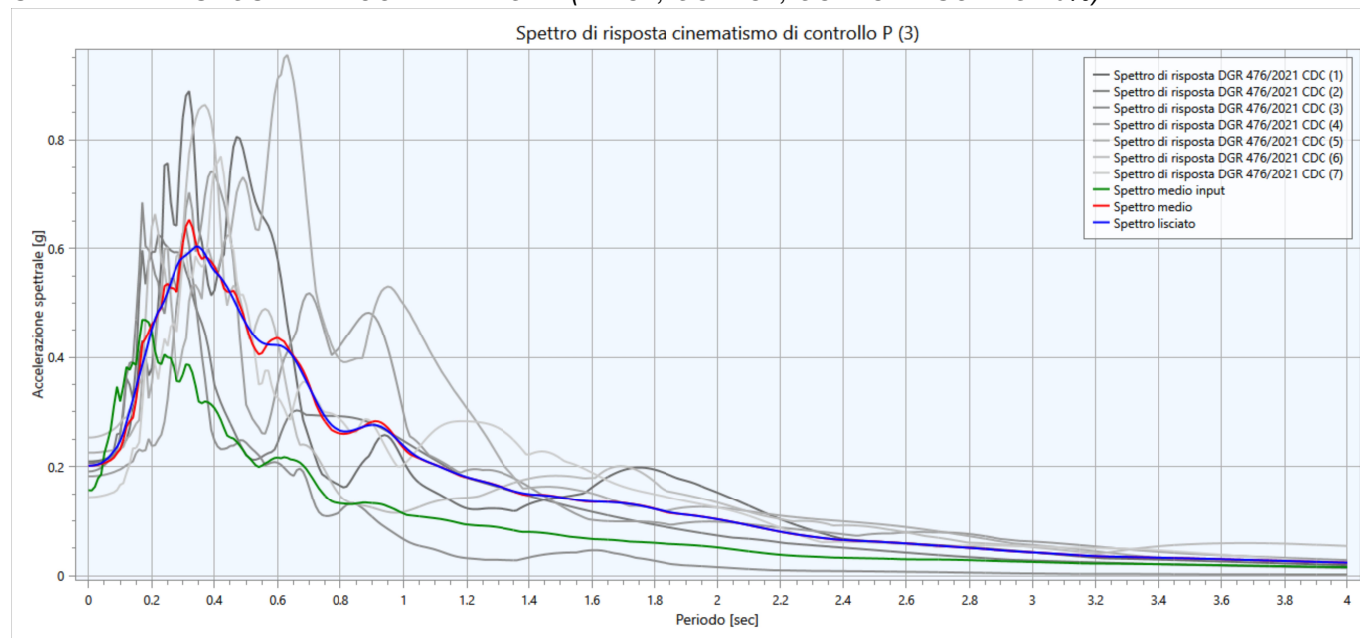
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1750.00	130.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (2) LAS	2.00	1.00	1800.00	135.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (3) LA	4.00	2.00	1750.00	150.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (4) AL	8.50	4.50	1650.00	170.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) LS	10.50	2.00	1800.00	210.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (6) AL	13.00	2.50	1750.00	210.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) LAS	16.00	3.00	1800.00	220.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (8) LS-SL	22.00	6.00	1900.00	250.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (9) AL	27.00	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	50.00	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	75.00	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (12) AL	110.00	35.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (13) LS-SL	140.00	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (14) LAS	170.00	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (15) LAS	210.00	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>210.00					

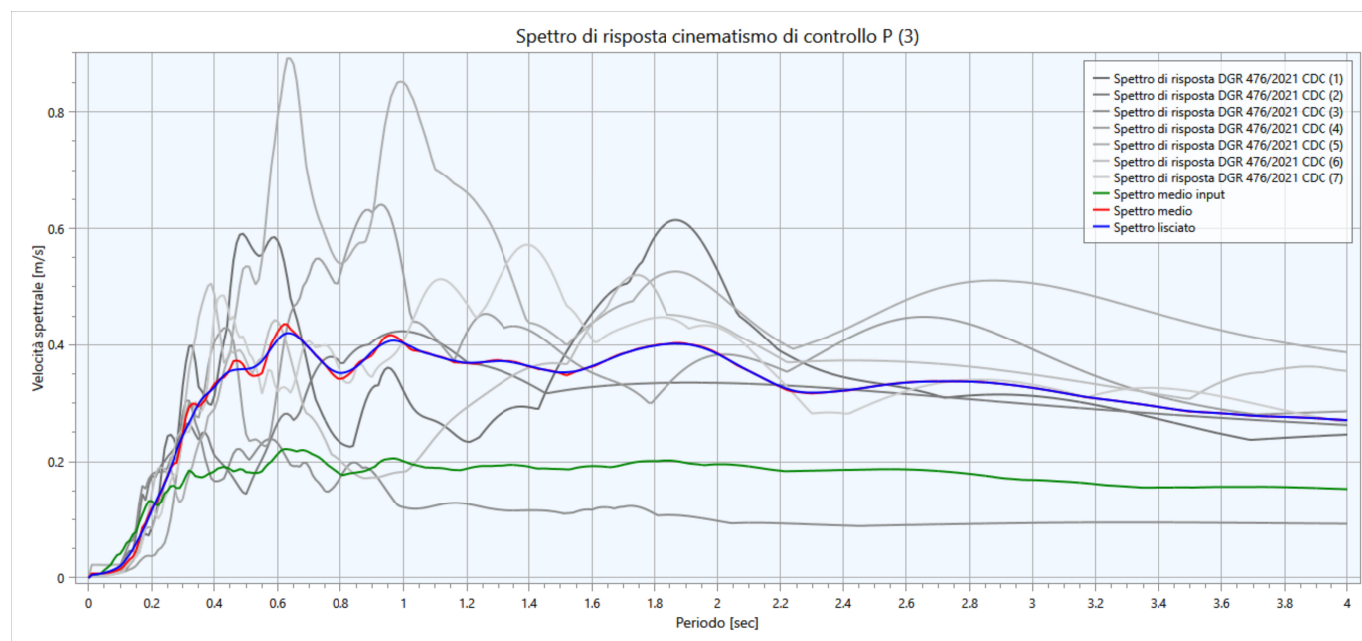
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- *V_s* = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



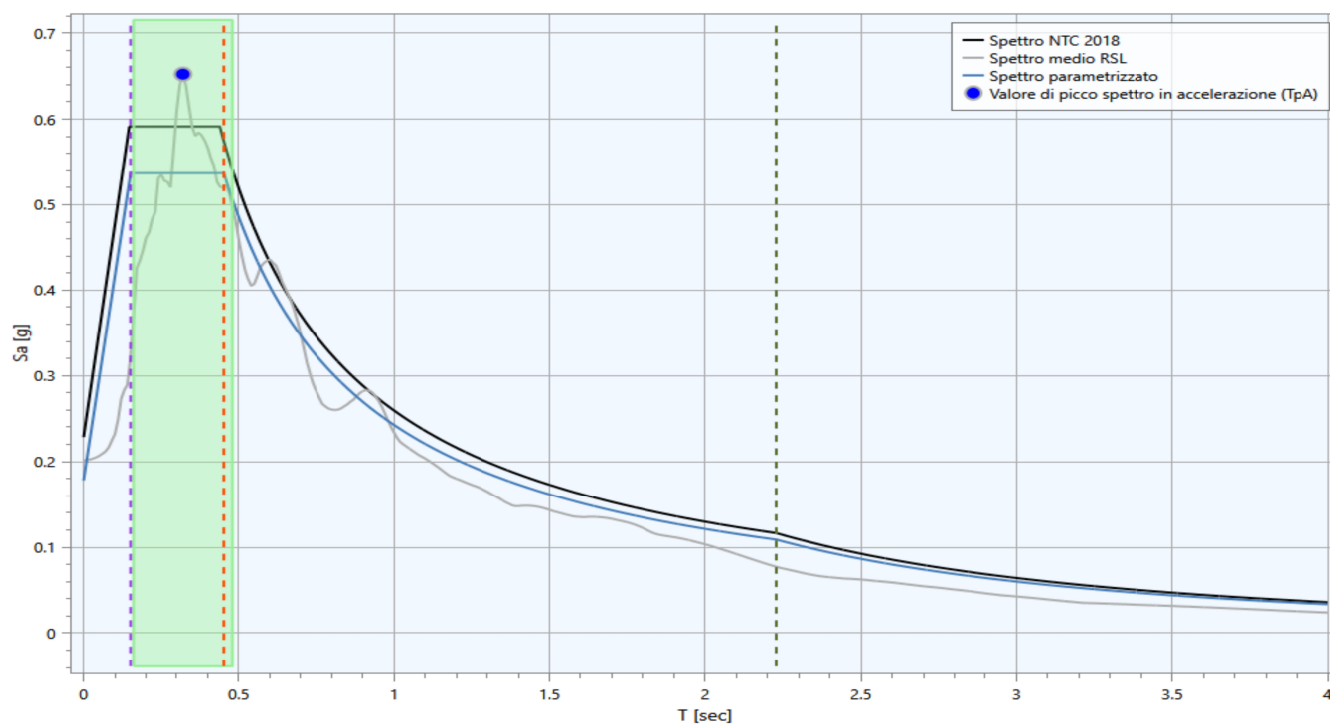
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s≤T≤0,5s)	SA2 (0,4s≤T≤0,8s)	SA3 (0,7s≤T≤1,1s)	SA4 (0,5s≤T≤1,5s)	SI1 (0,1s≤T≤0,5s)	SI2 (0,5s≤T≤1,0s)	SI3 (0,5s≤T≤1,0s)
1,29 (0,202g)	1,43	1,97	2,01	1,96	1,50	1,92	1,92

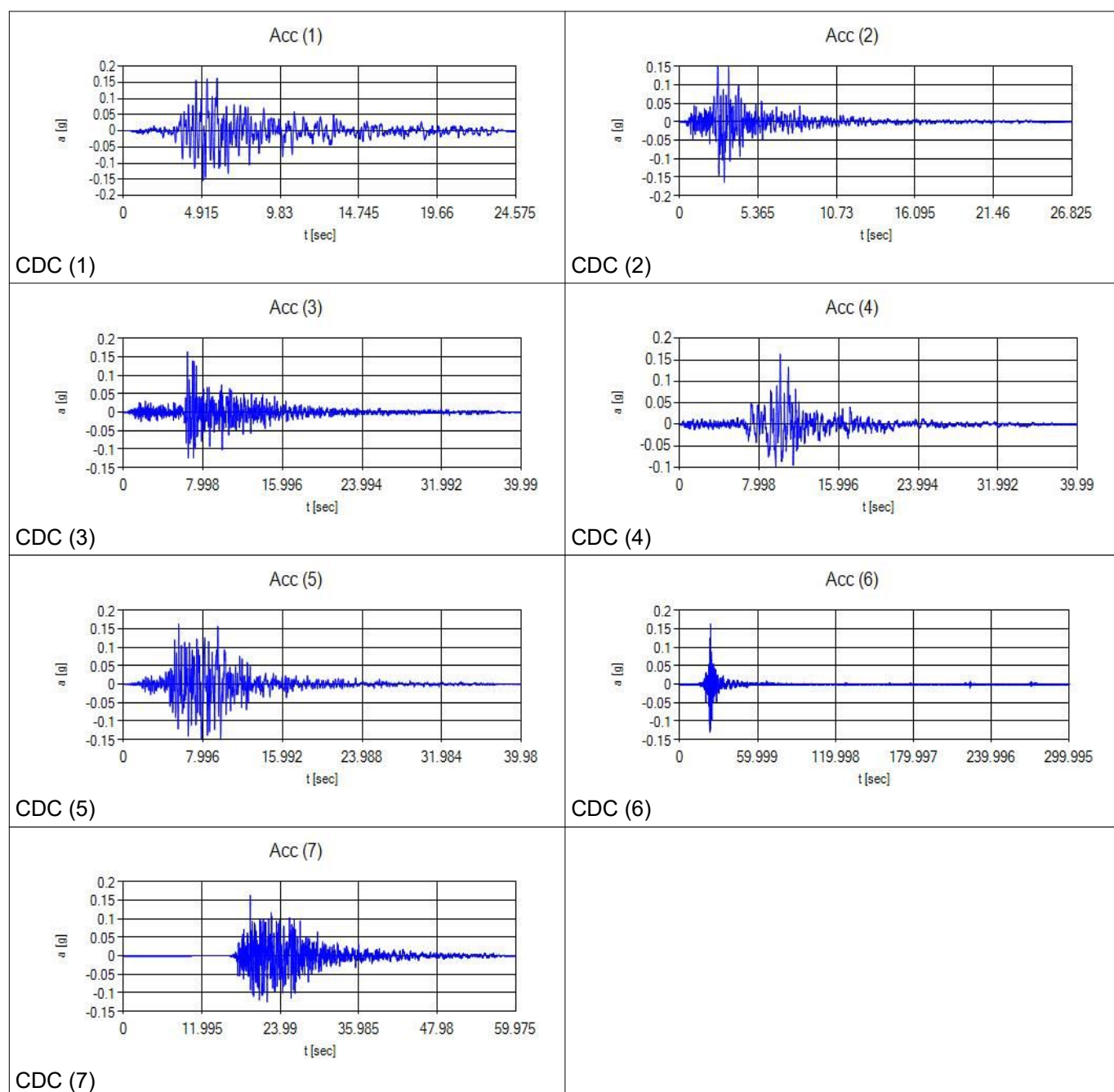
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



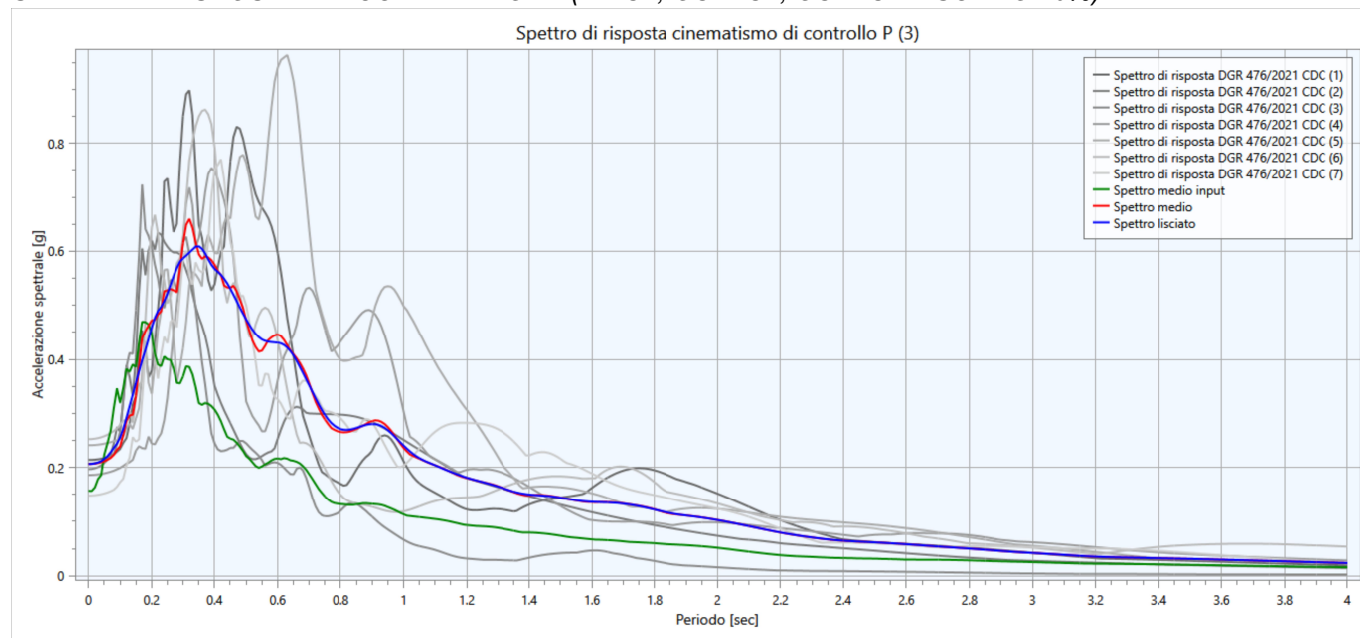
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1750.00	120.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (2) LA	2.20	1.20	1800.00	140.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (3) LA	3.50	1.30	1700.00	140.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (4) AL	6.00	2.50	1650.00	165.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) LAS	12.00	6.00	1750.00	205.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (6) SL-LS	14.50	2.50	1850.00	220.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (7) LS-SL	17.00	2.50	1800.00	225.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (8) AL	20.50	3.50	1800.00	240.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	25.50	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	48.50	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	73.50	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (12) AL	108.50	35.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (13) LS-SL	138.50	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (14) LAS	168.50	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (15) LAS	208.50	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>210.00					

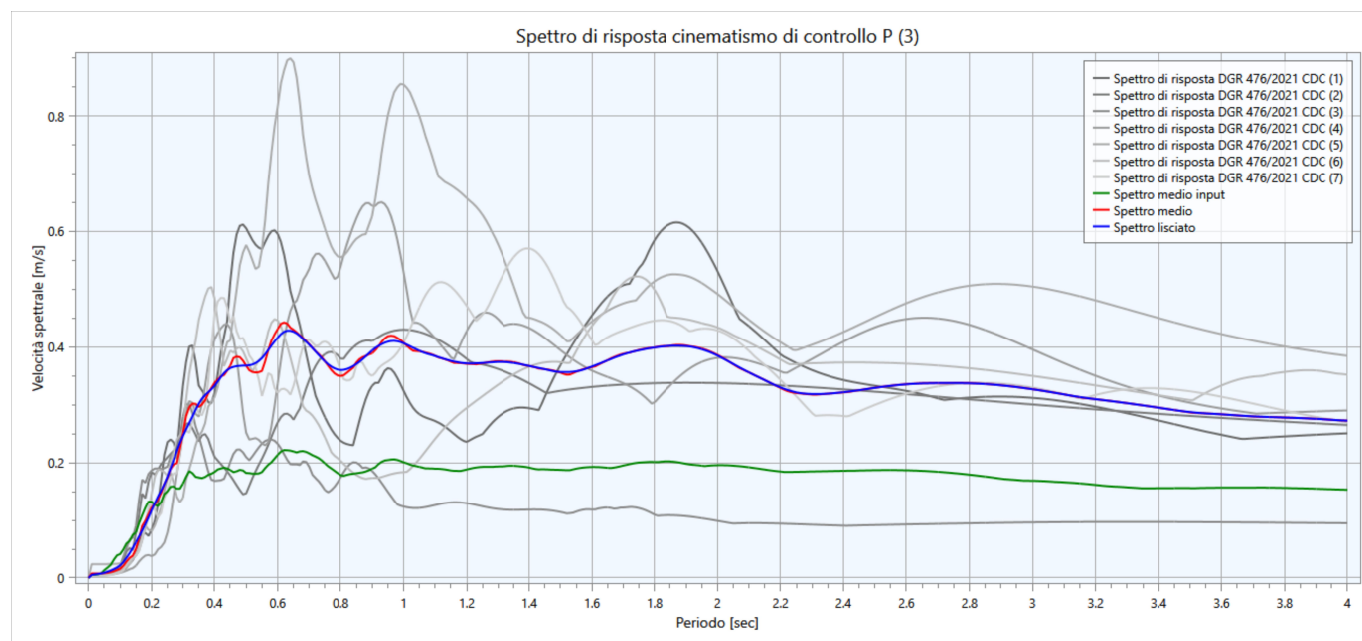
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- *V_s* = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



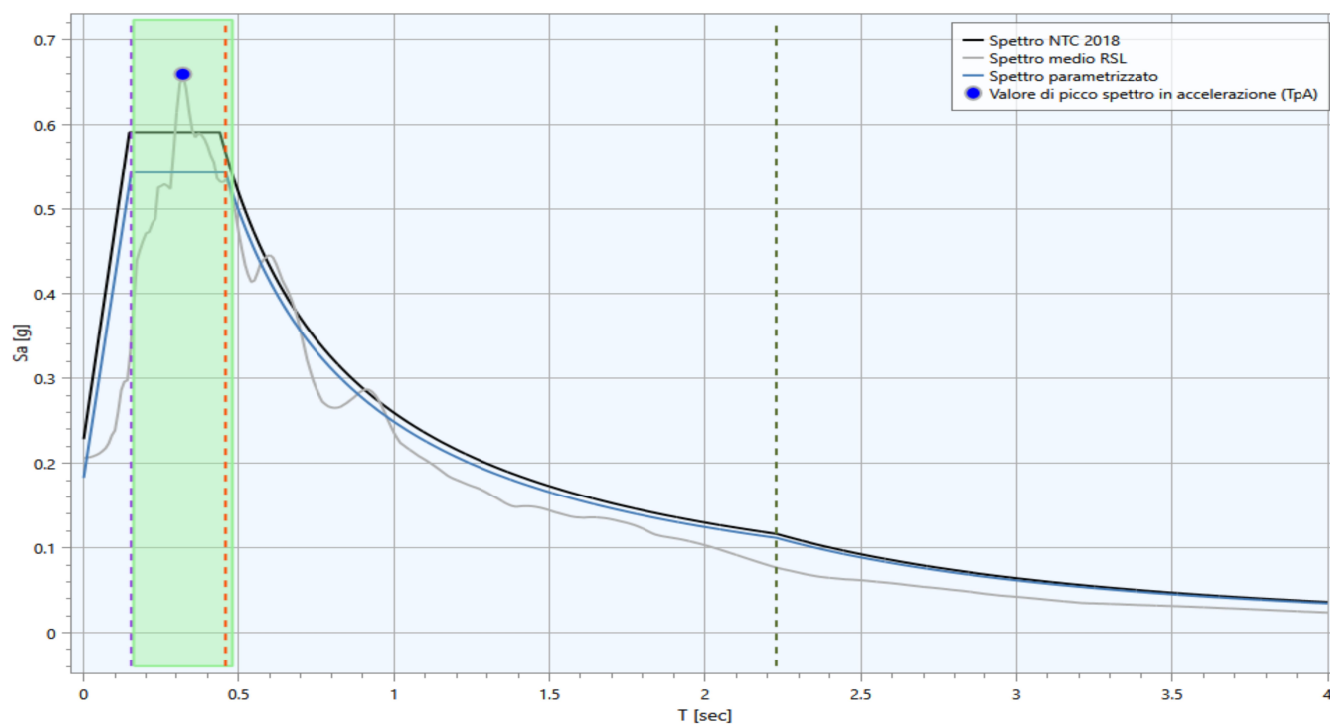
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s≤T≤0,5s)	SA2 (0,4s≤T≤0,8s)	SA3 (0,7s≤T≤1,1s)	SA4 (0,5s≤T≤1,5s)	SI1 (0,1s≤T≤0,5s)	SI2 (0,5s≤T≤1,0s)	SI3 (0,5s≤T≤1,0s)
1,32 (0,207g)	1,45	2,01	2,04	1,99	1,52	1,96	1,95

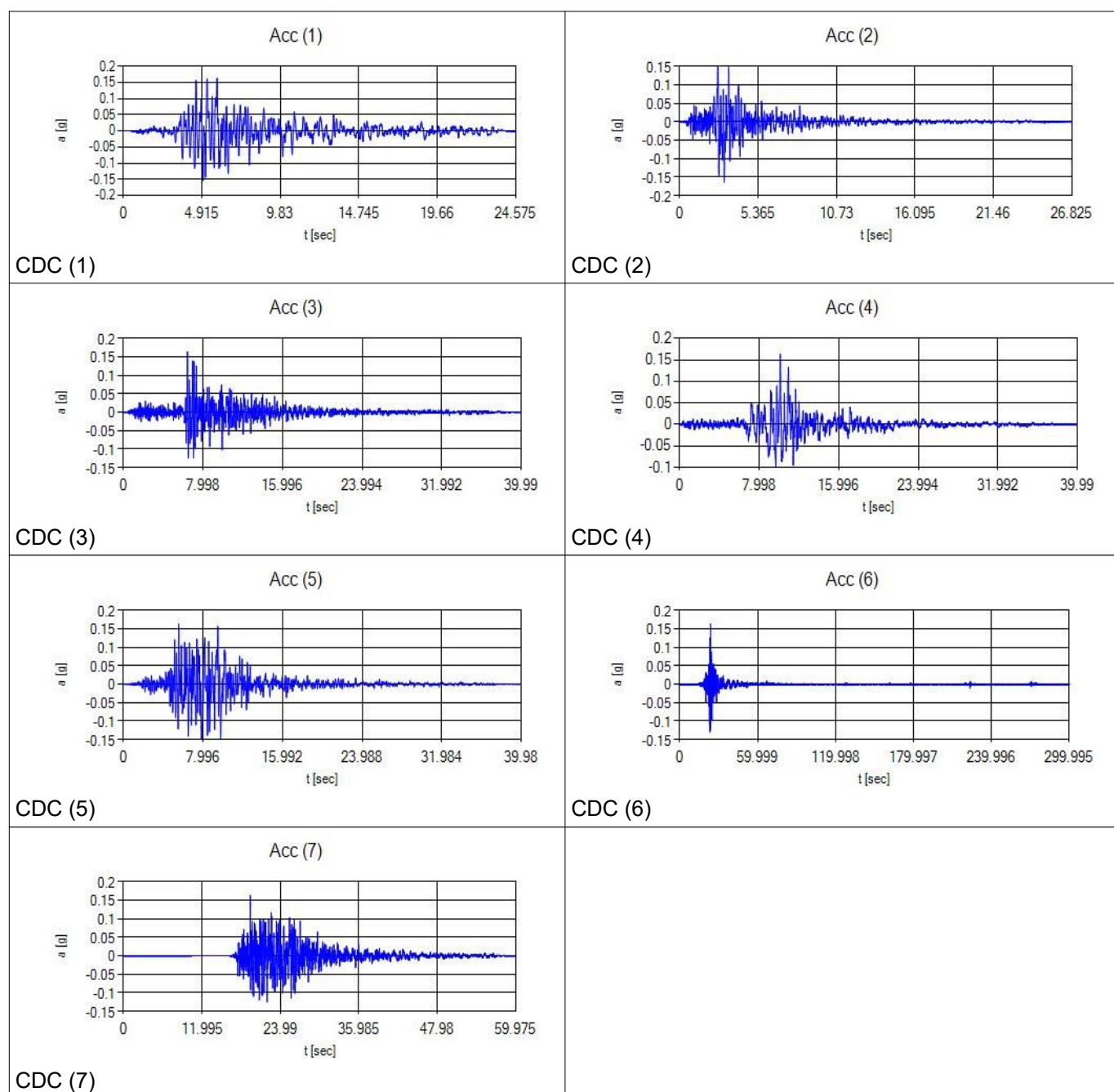
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



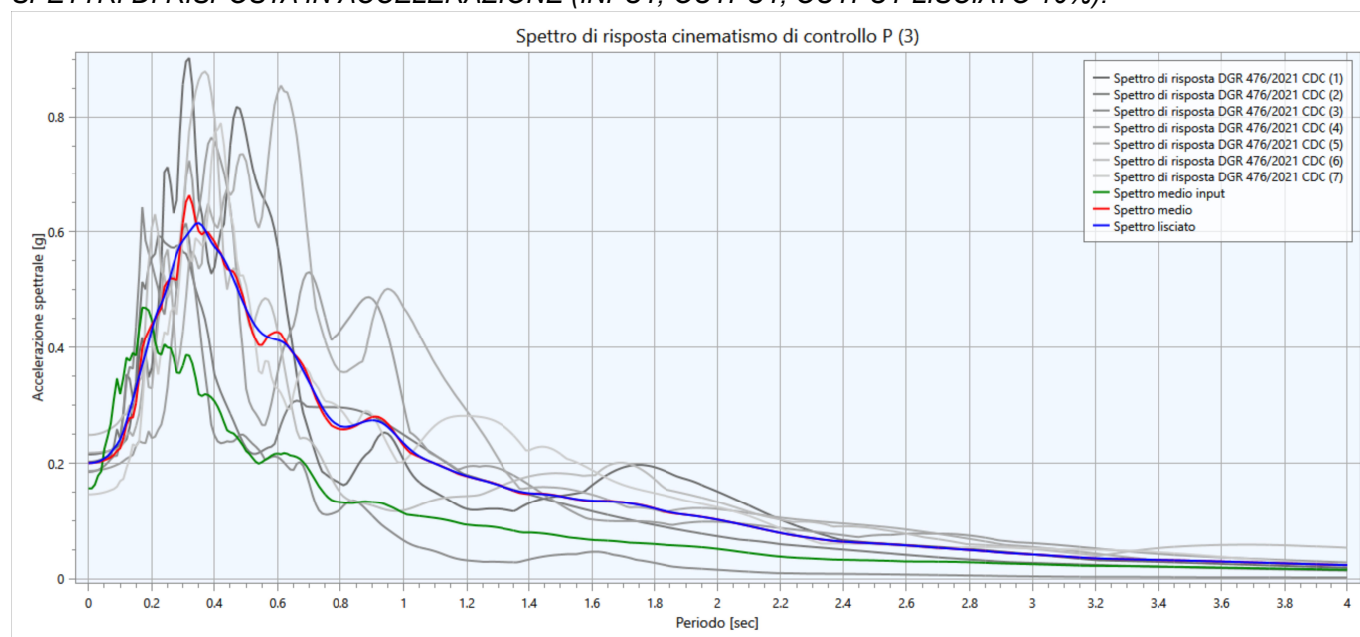
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.20	1.20	1700.00	120.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (2) AL	3.00	1.80	1750.00	140.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (3) AL	7.50	4.50	1650.00	160.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) LA	9.50	2.00	1750.00	200.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (5) AL	15.00	5.50	1700.00	210.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (6) AL	16.50	1.50	1750.00	220.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) LS-SL	20.50	4.00	1850.00	250.00	0.35	Idriss (1990), Sand
Strato (8) AL	25.50	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	48.50	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	73.50	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	108.50	35.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12) LS-SL	138.50	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (13) LAS	168.50	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (14) LAS	208.50	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>208.50					

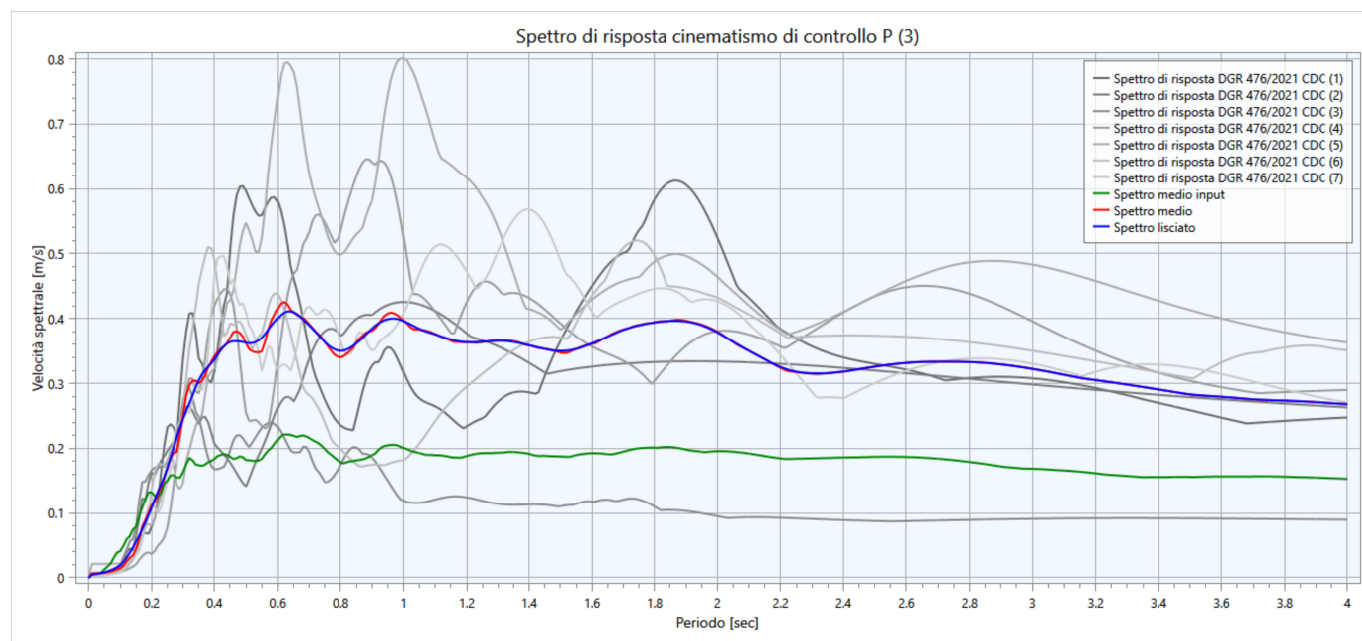
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



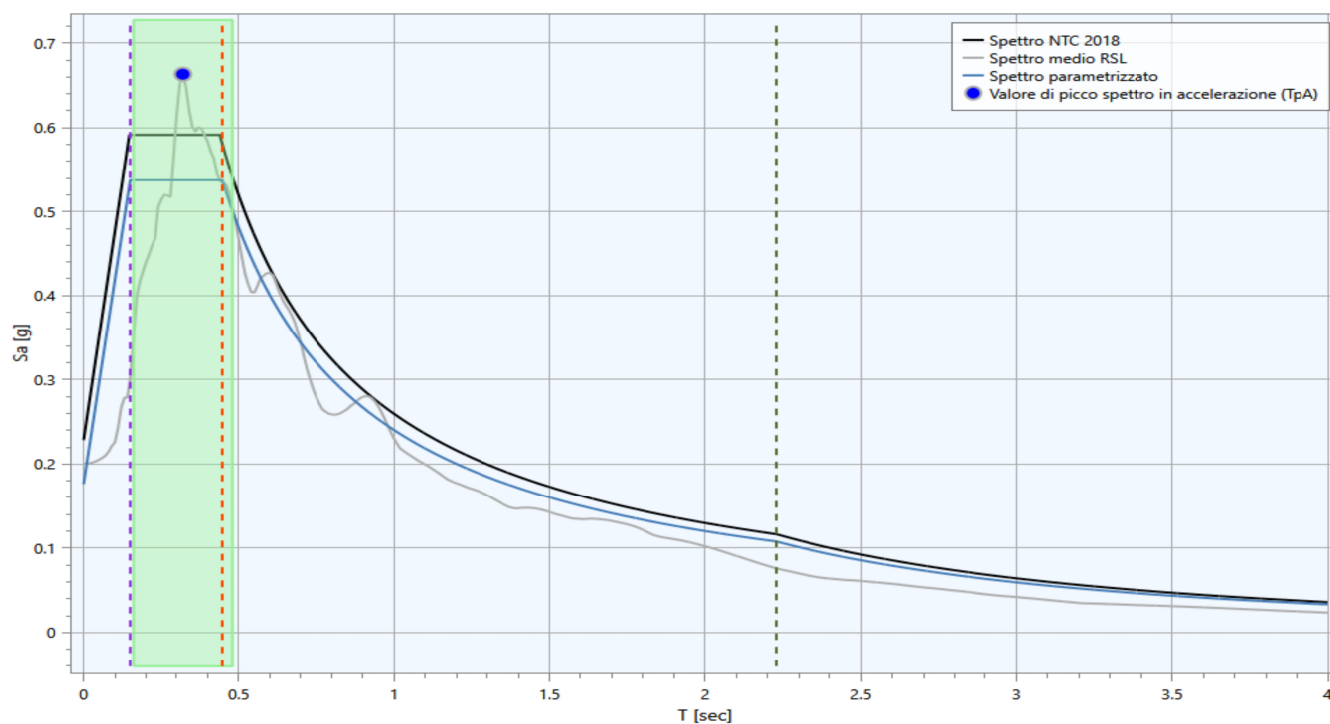
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)	SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)	SA4 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)	SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)	SI3 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)
1,28 (0,201g)	1,42	1,98	2,00	1,96	1,51	1,92	1,91

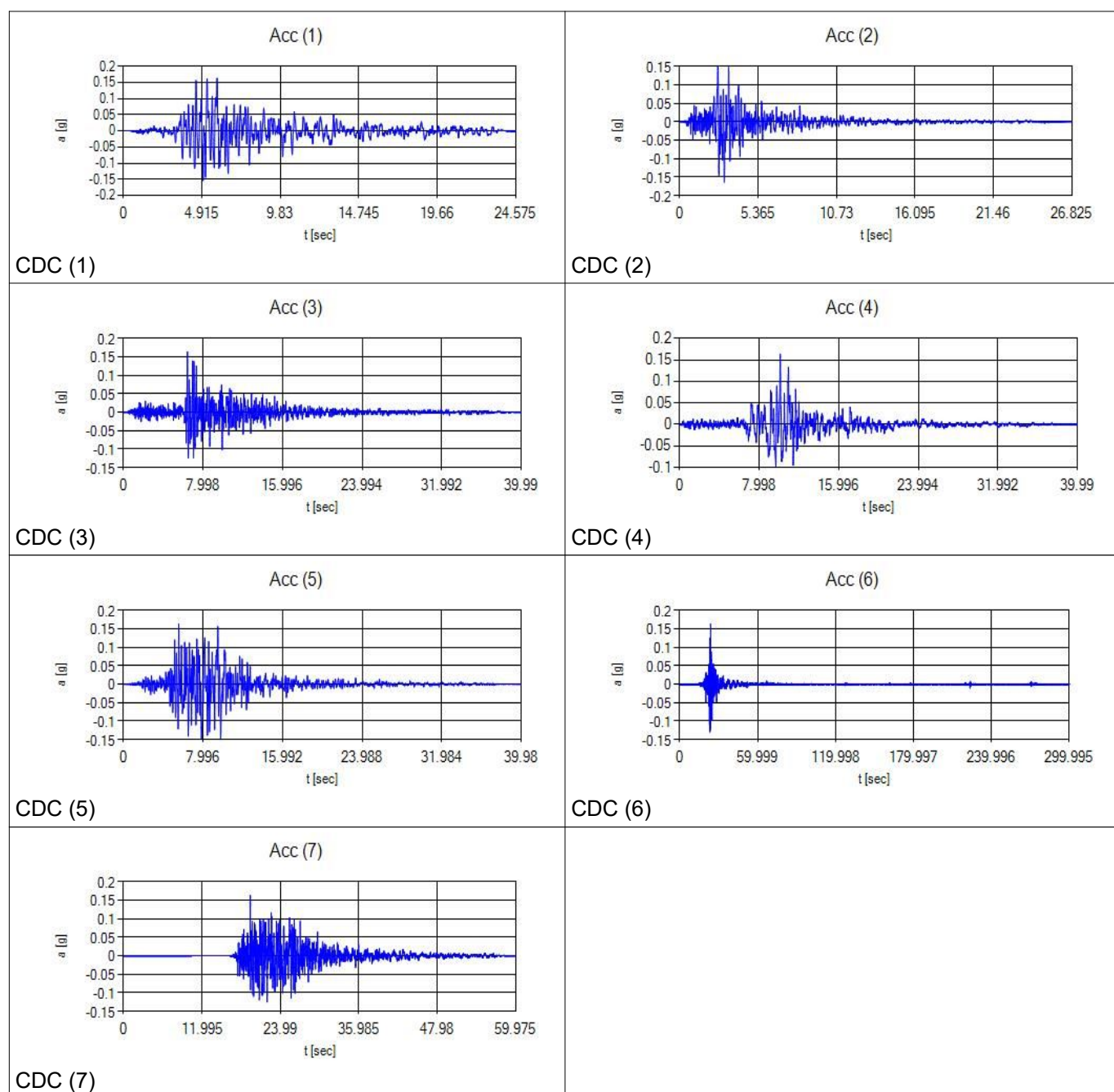
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



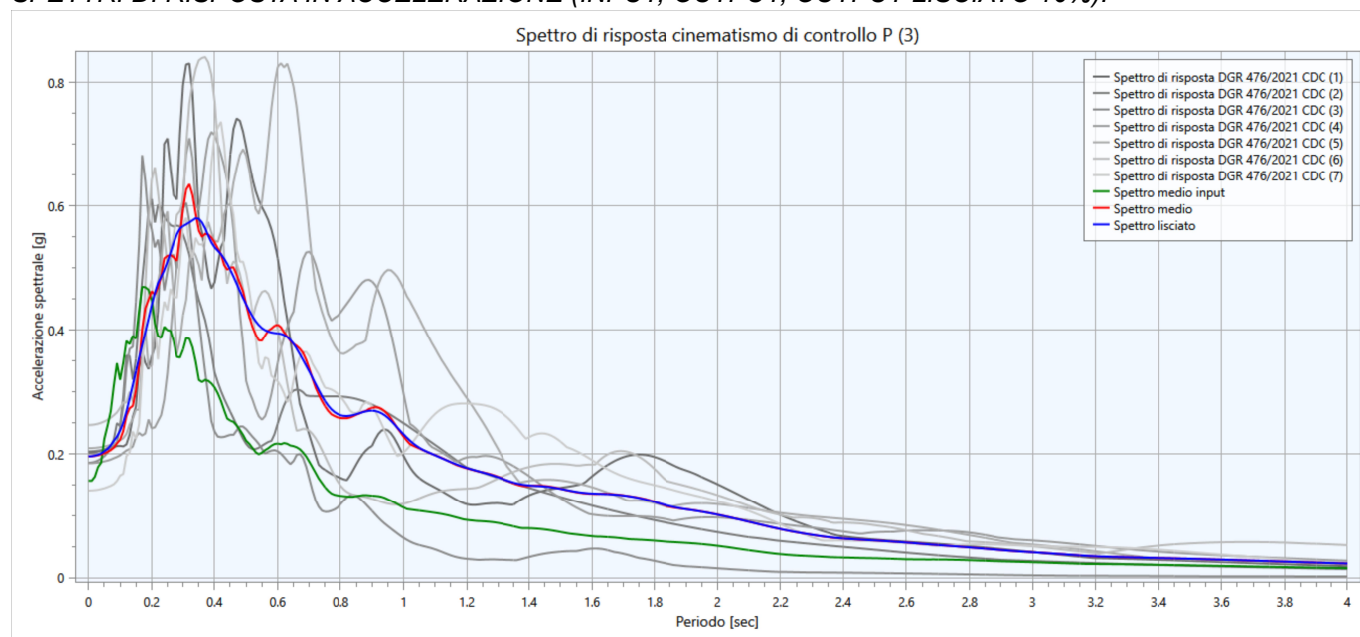
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.30	1.30	1700.00	120.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (2) AL	5.00	3.70	1700.00	150.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (3) AL	9.50	4.50	1650.00	180.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) LA	16.50	7.00	1750.00	220.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) LAS	18.00	1.50	1800.00	235.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (6) AL	20.00	2.00	1800.00	230.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) AL	25.00	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (8) AL	48.00	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	73.00	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	103.00	30.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (11) LS-SL	133.00	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (12) LAS	163.00	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (13) LAS	203.00	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>203.00					

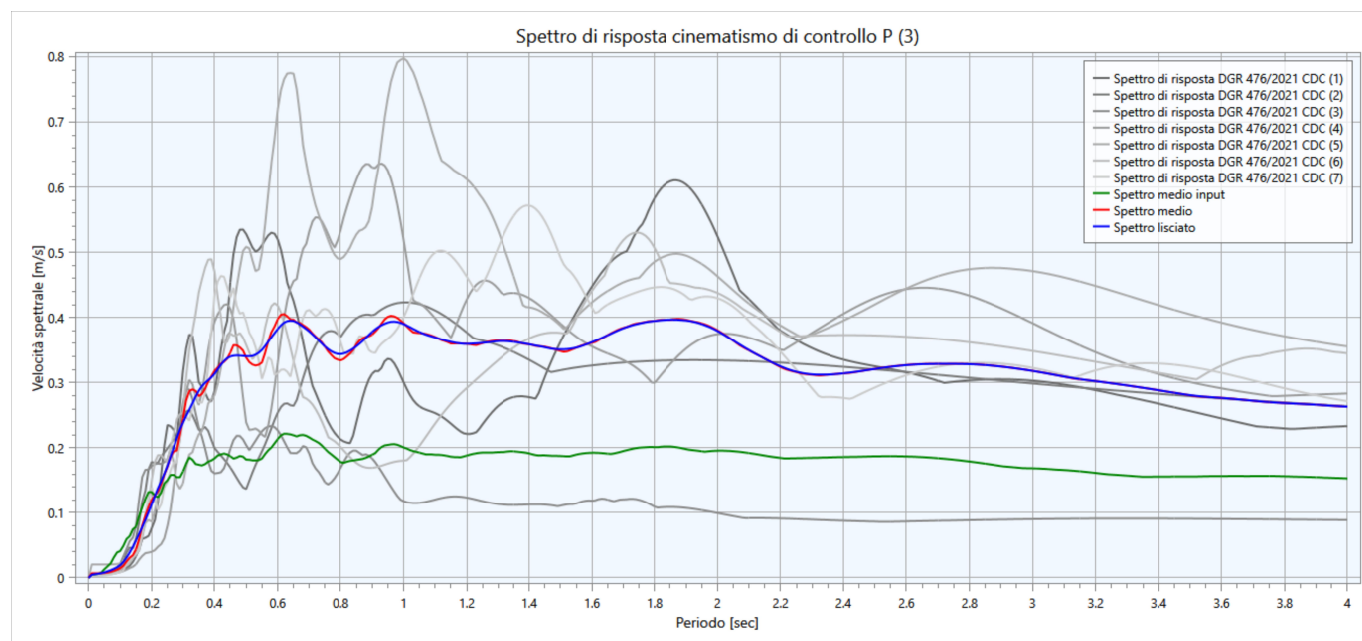
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



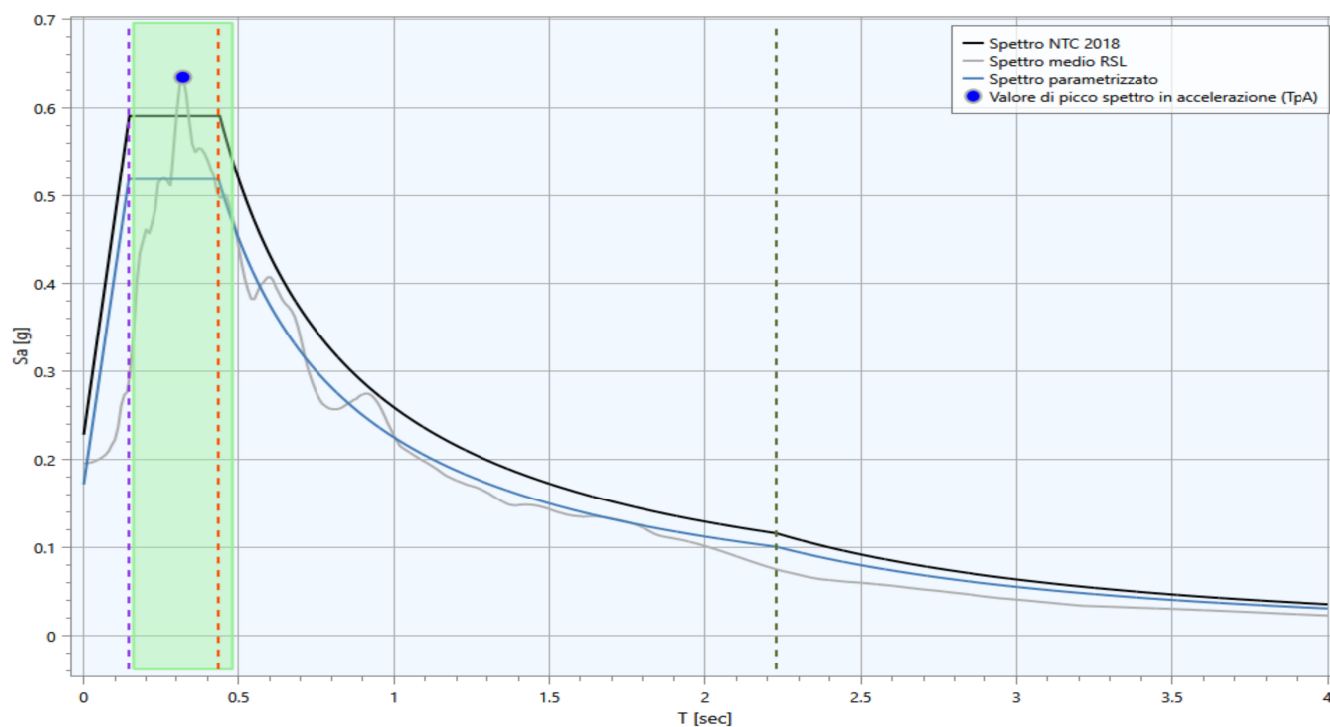
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)	SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)	SA4 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)	SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)	SI3 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)
1,25 (0,196g)	1,38	1,90	1,97	1,94	1,45	1,86	1,87

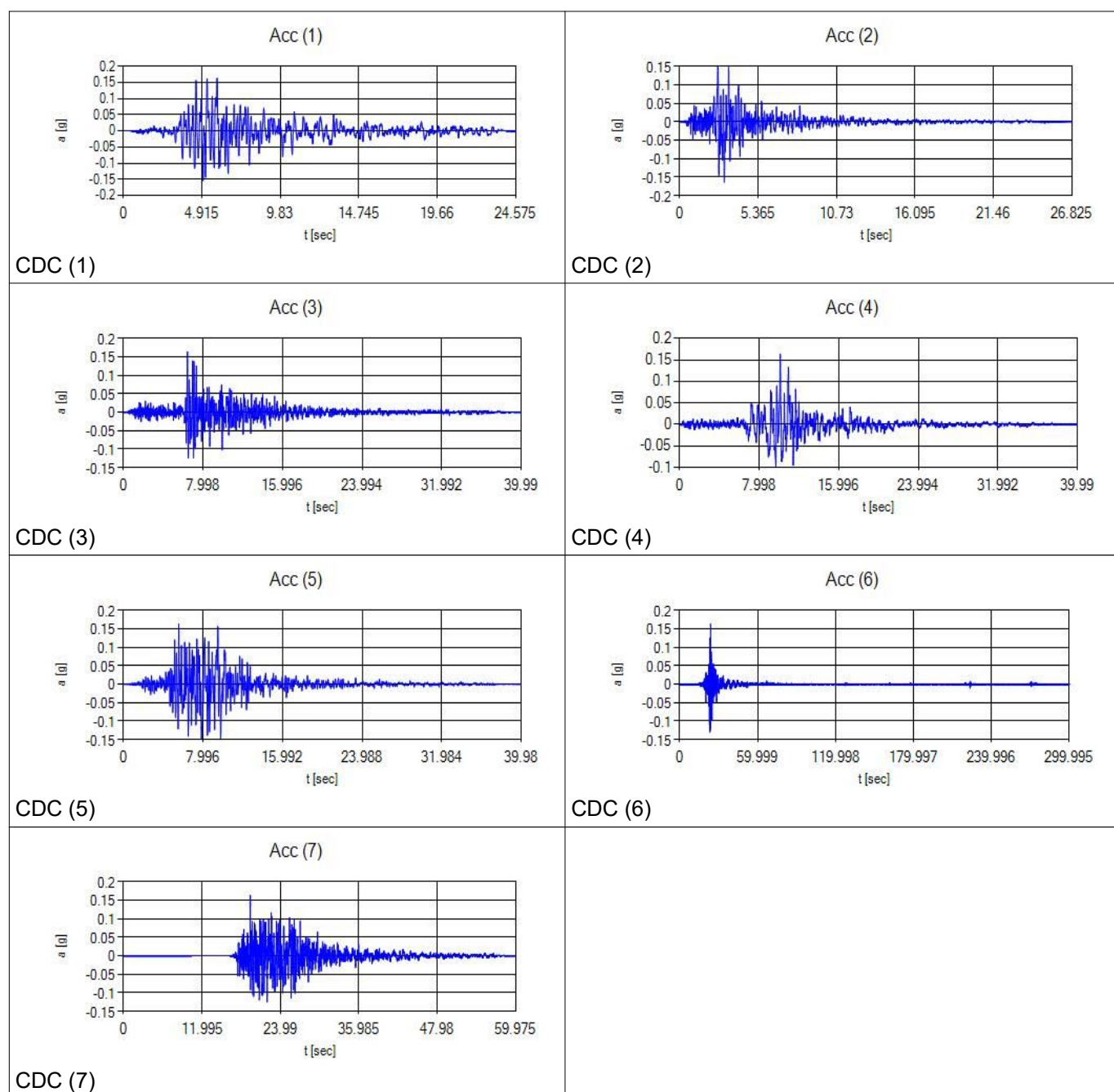
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



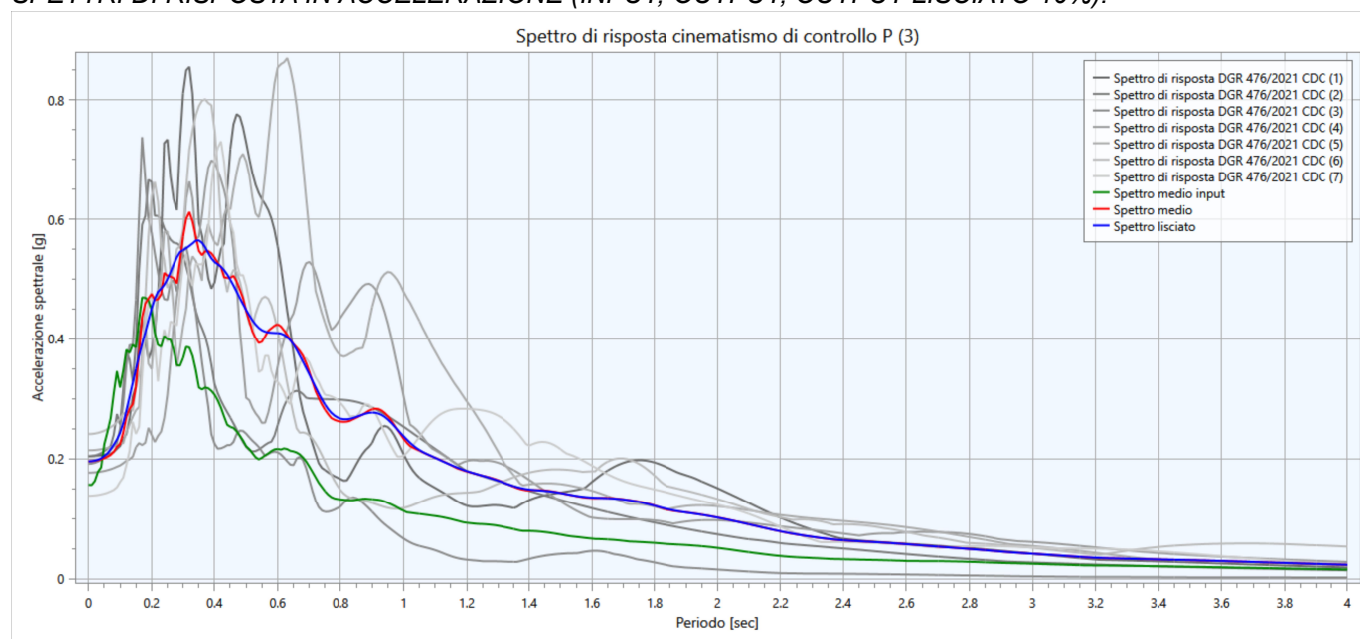
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1700.00	120.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (2) AL	2.30	1.30	1750.00	140.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (3) AL	4.00	2.00	1650.00	150.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) LA	5.50	1.20	1700.00	160.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (5) AL	7.50	2.00	1700.00	210.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (6) AL	15.50	8.00	1700.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) AL	20.50	5.00	1750.00	225.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (8) AL	25.50	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	48.50	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	73.50	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	108.50	35.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12) LS-SL	138.50	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (13) LAS	168.50	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (14) LAS	208.50	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>208.50					

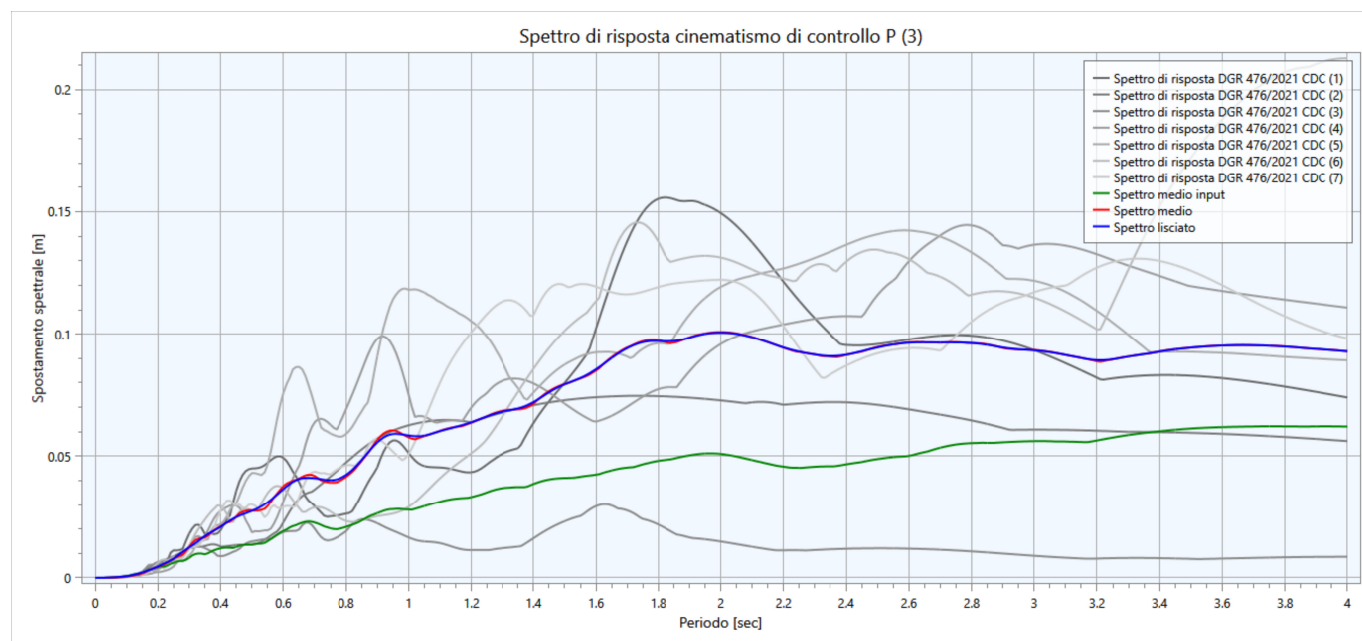
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



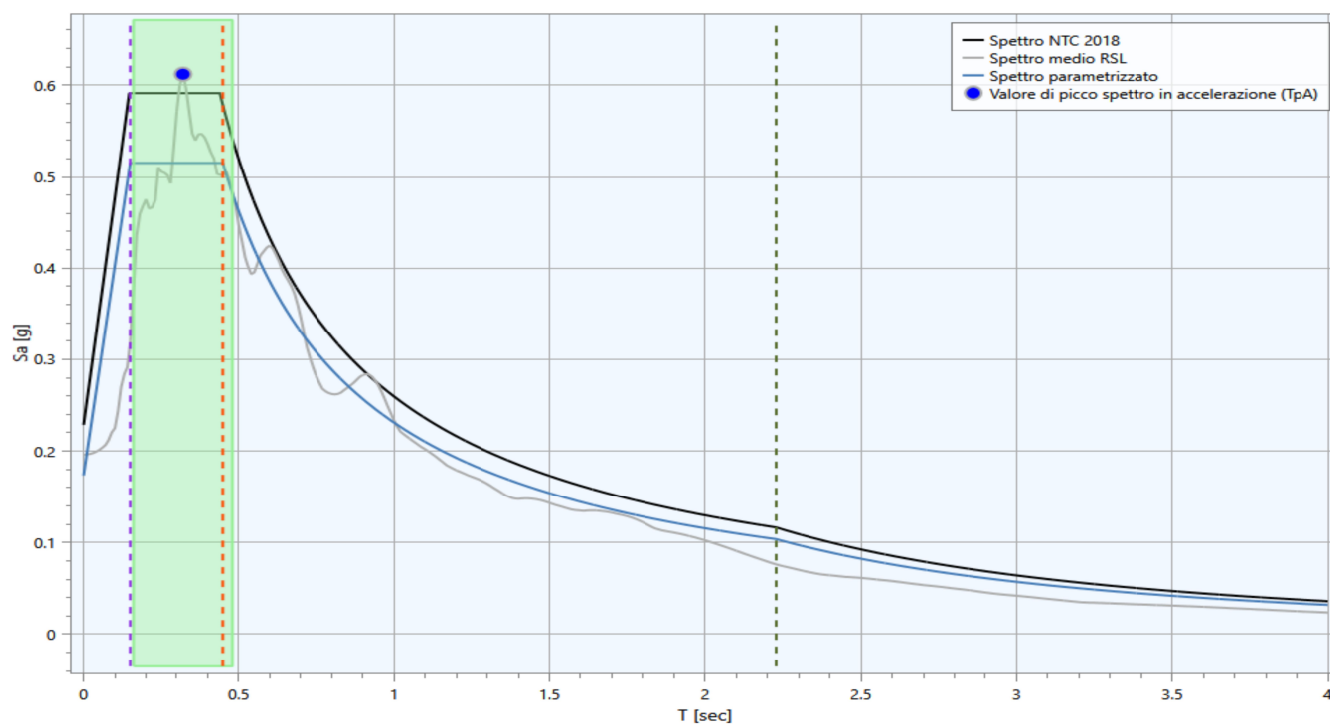
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)	SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)	SA4 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)	SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)	SI3 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)
1,25 (0,196g)	1,38	1,93	2,02	1,96	1,43	1,90	1,91

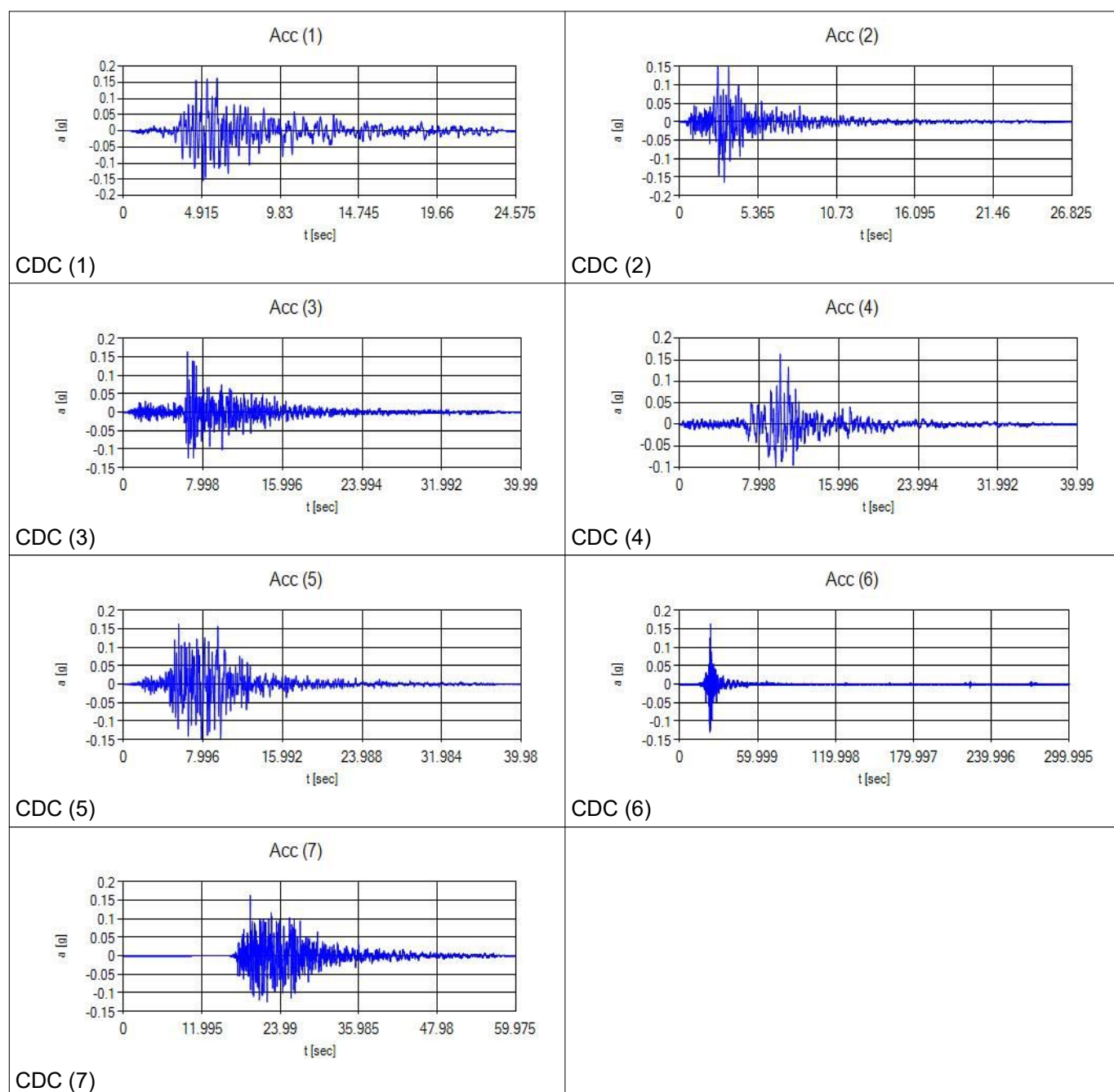
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



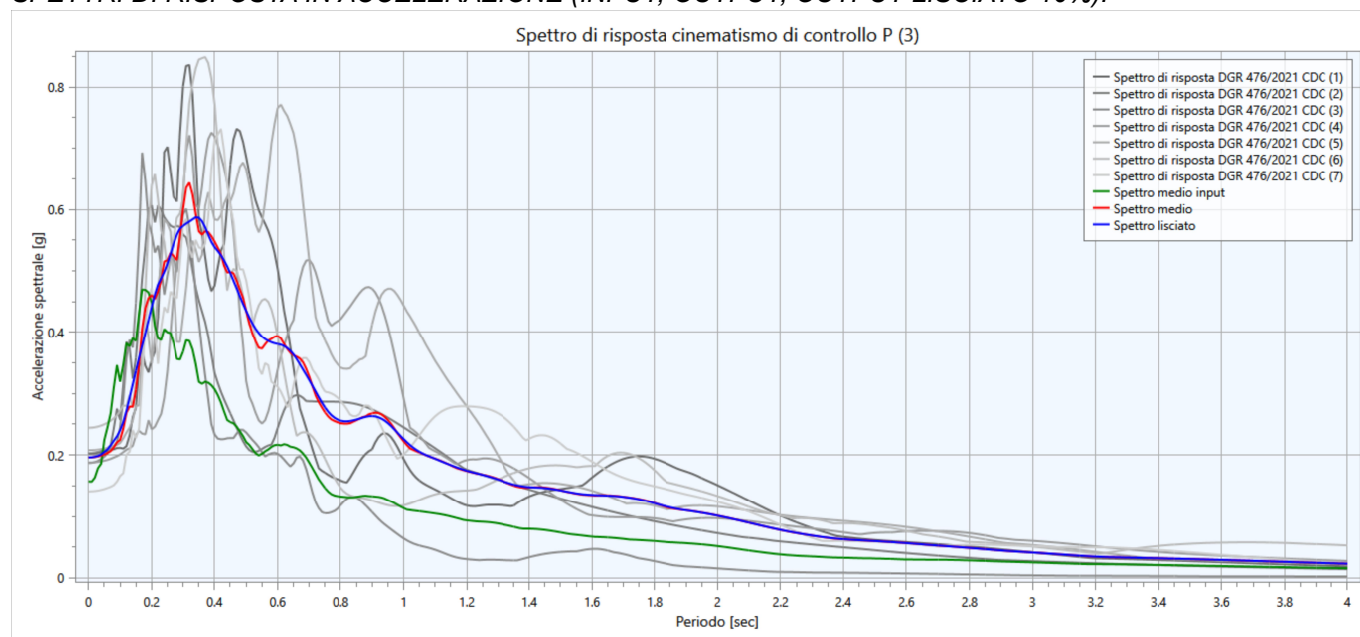
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1700.00	120.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (2) AL	3.50	2.50	1750.00	150.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (3) AL	6.00	2.50	1700.00	160.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (4) AL	9.50	3.50	1650.00	190.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) AL	14.00	4.50	1750.00	210.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (6) AL	20.00	6.00	1800.00	230.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (7) AL	25.00	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (8) AL	48.00	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	73.00	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	103.00	30.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (11) LS-SL	133.00	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (12) LAS	163.00	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (13) LAS	203.00	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>203.00					

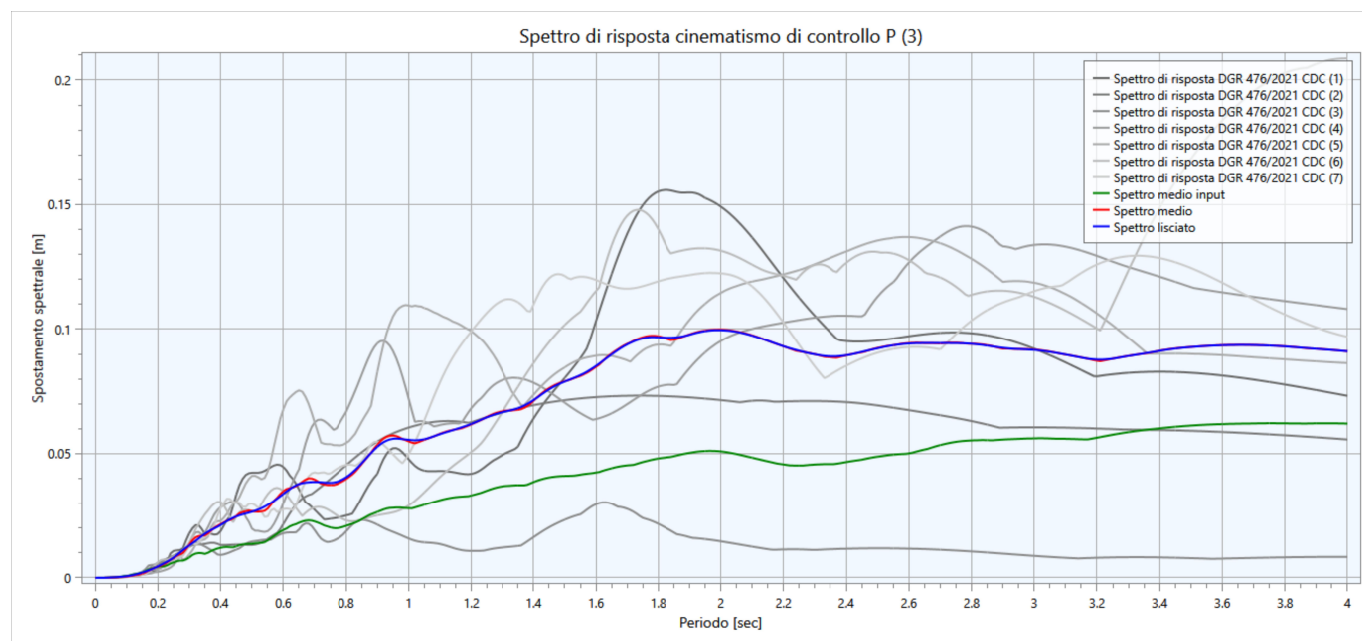
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- *V_s* = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



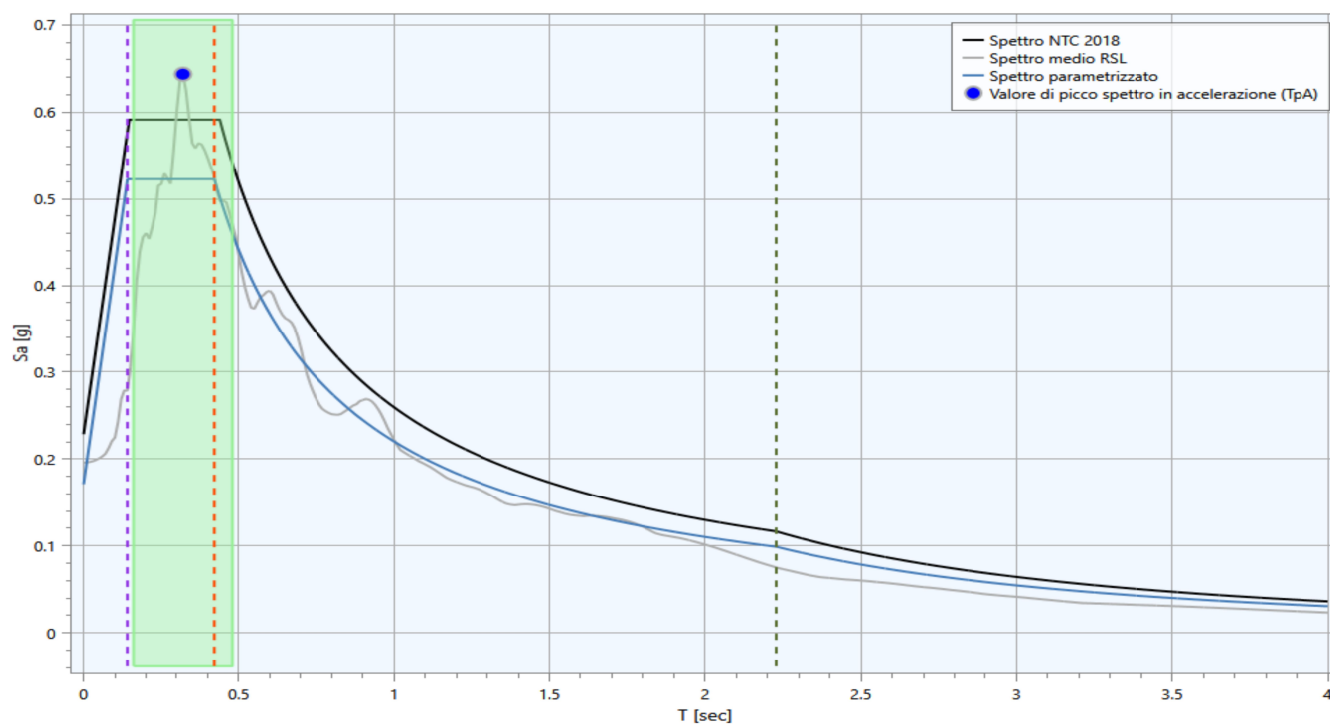
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s≤T≤0,5s)	SA2 (0,4s≤T≤0,8s)	SA3 (0,7s≤T≤1,1s)	SA4 (0,5s≤T≤1,5s)	SI1 (0,1s≤T≤0,5s)	SI2 (0,5s≤T≤1,0s)	SI3 (0,5s≤T≤1,0s)
1,25 (0,196g)	1,39	1,86	1,93	1,88	1,46	1,82	1,84

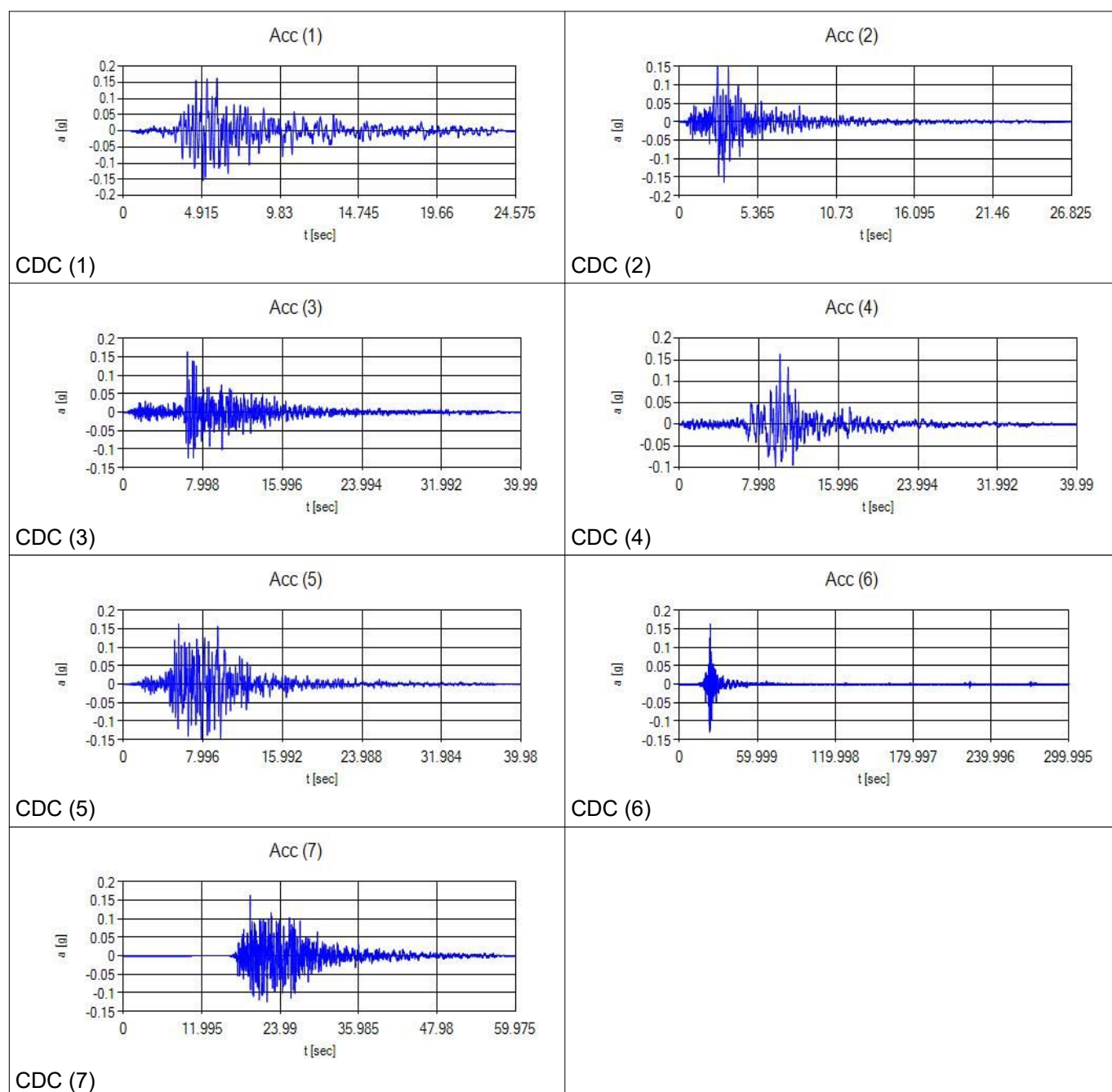
REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



DATI RELATIVI AGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT SELEZIONATI PER L'ANALISI NUMERICA DELLA RSL (TR475_ID16288):

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor(%)	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.06	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.25	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.55	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.50	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.14	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.64	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.69	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (GRAFICI ACCELERAZIONE/TEMPO):



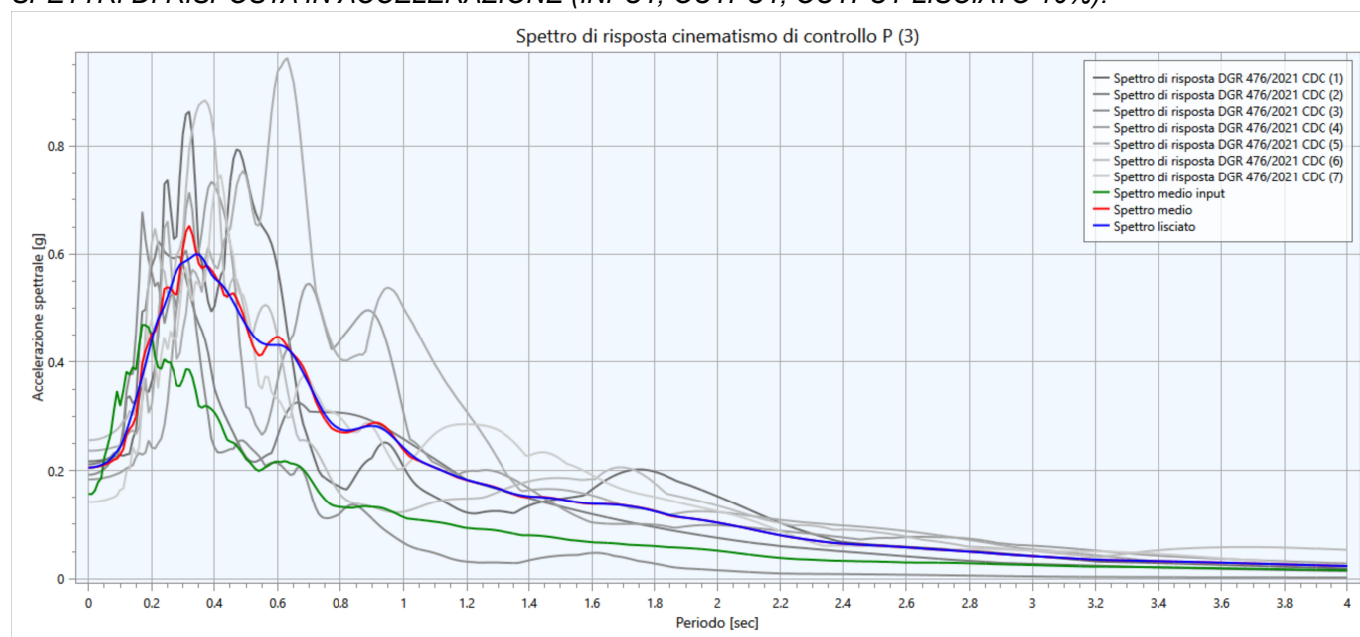
DATI SISMOSTRATIGRAFICI DI INPUT:

Strato	Prof. Progr. [m]	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1) SUOLO	1.00	1.00	1700.00	120.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (2) LA	5.00	4.00	1700.00	160.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (3) LAS	7.00	2.00	1800.00	170.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (4) AL	11.50	4.50	1750.00	190.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (5) AL	16.00	4.50	1700.00	220.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (6) LAS	18.00	2.00	1800.00	230.00	0.35	EPRI (93), PI=10
Strato (7) AL	20.50	2.50	1750.00	240.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (8) AL	25.50	5.00	1800.00	260.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (9) AL	48.50	23.00	1850.00	275.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (10) AL	73.50	25.00	1900.00	315.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Strato (11) AL	103.50	30.00	2000.00	370.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12) LS-SL	133.50	30.00	2100.00	500.00	0.35	Gravel (Seed et al 1988)
Strato (13) LAS	163.50	30.00	2050.00	400.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (14) LAS	203.50	40.00	2100.00	475.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Bedrock sismico	>203.50					

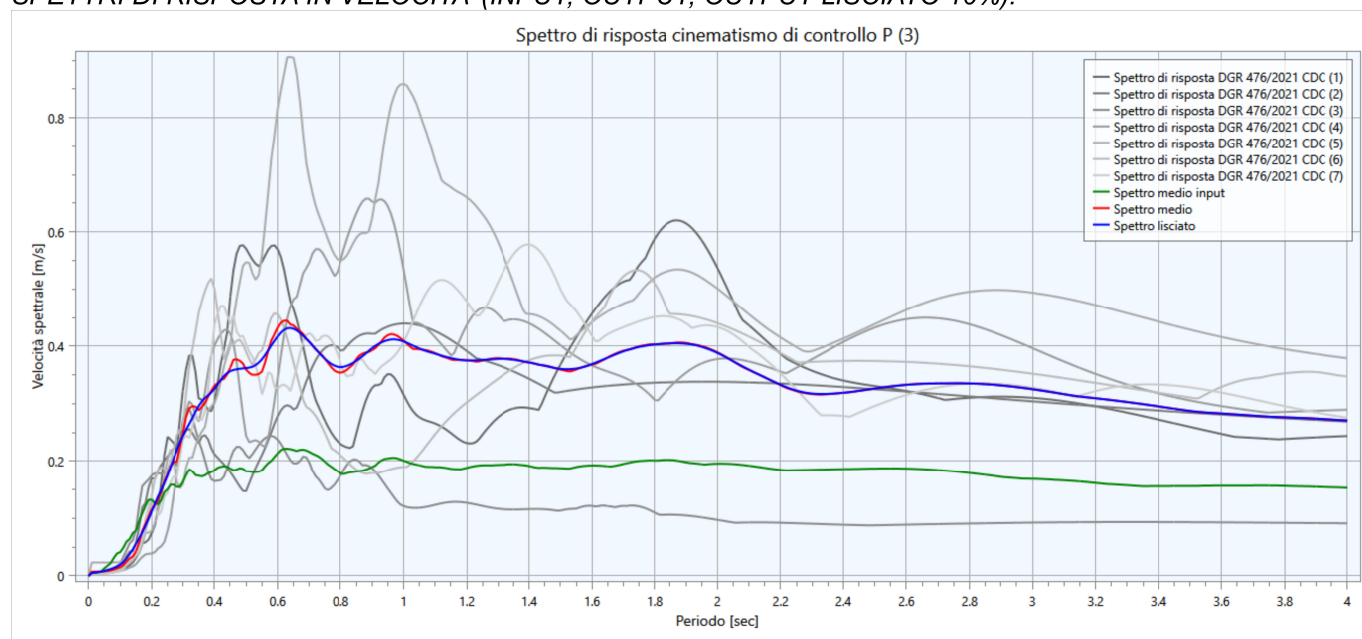
Con:

- *Progr.* = profondità base del singolo strato
- *S* = spessore del singolo strato
- ρ = densità di massa del singolo strato
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato
- γ = *coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato*

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



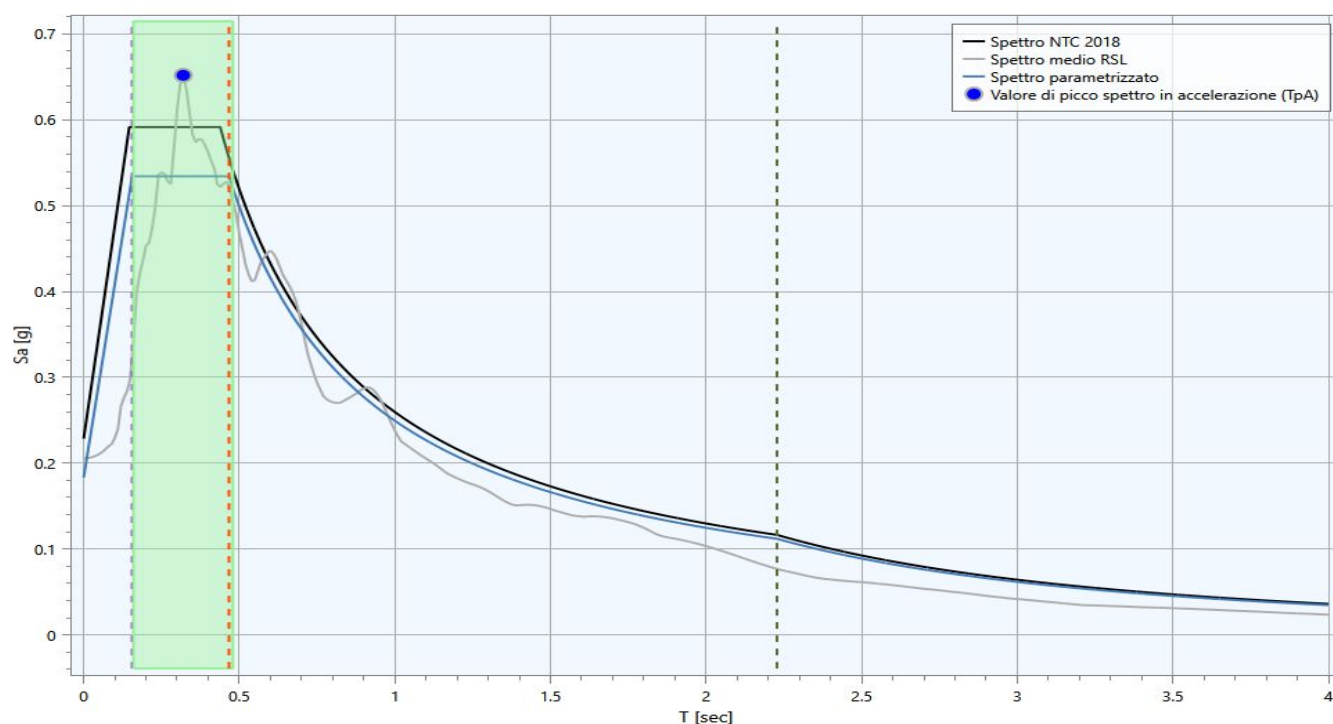
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITA' (INPUT; OUTPUT; OUTPUT LISCIATO 10%):



RIEPILOGO FATTORI DI AMPLIFICAZIONE AL SUOLO:

PGA	SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)	SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)	SA4 (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)	SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)	SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)	SI3 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)
1,31 (0,206g)	1,42	2,02	2,06	2,01	1,49	1,97	1,96

REGOLARIZZAZIONE SPETTRO DI RSL/SPETTRO NTC' (STATO SLV; CAT. SOTTOSUOLO C; TR 475 ANNI)



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

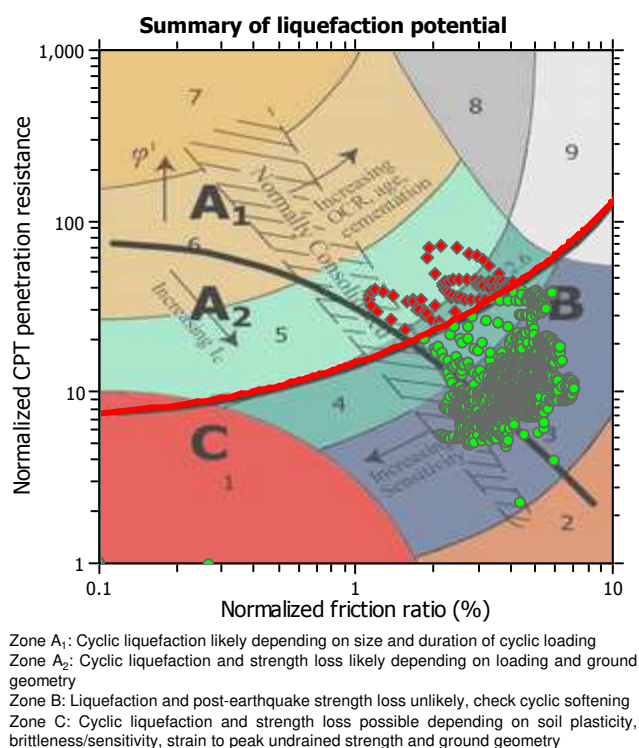
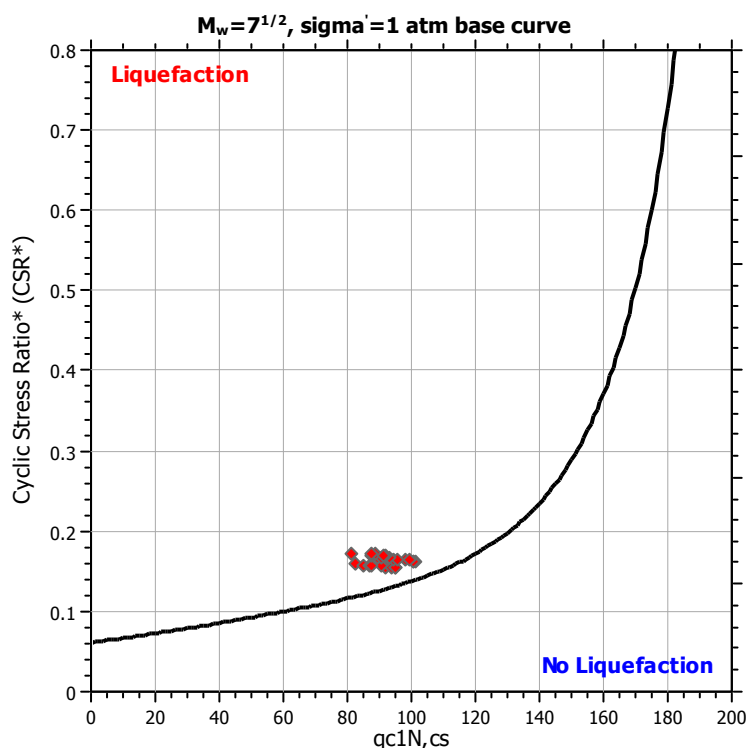
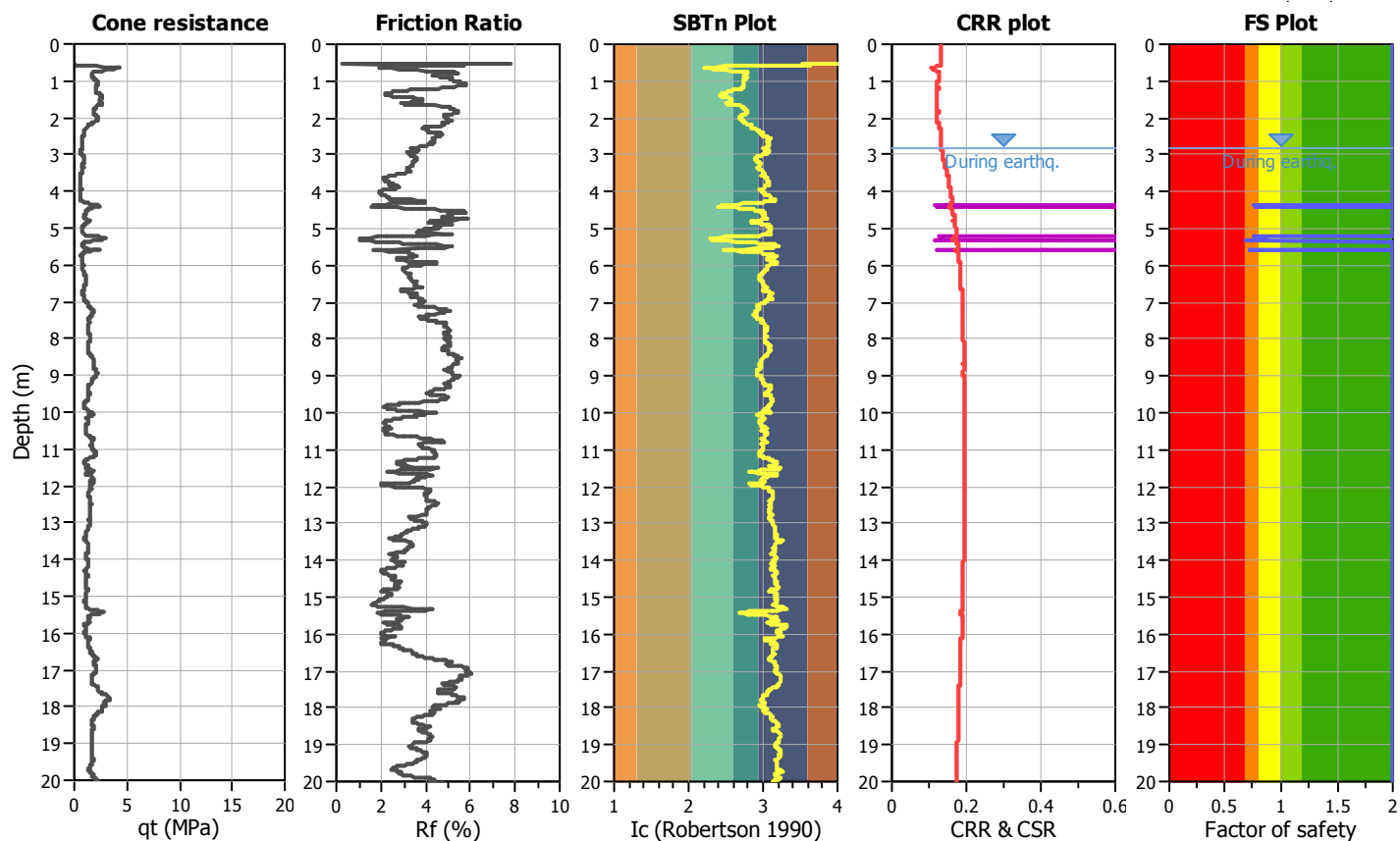
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

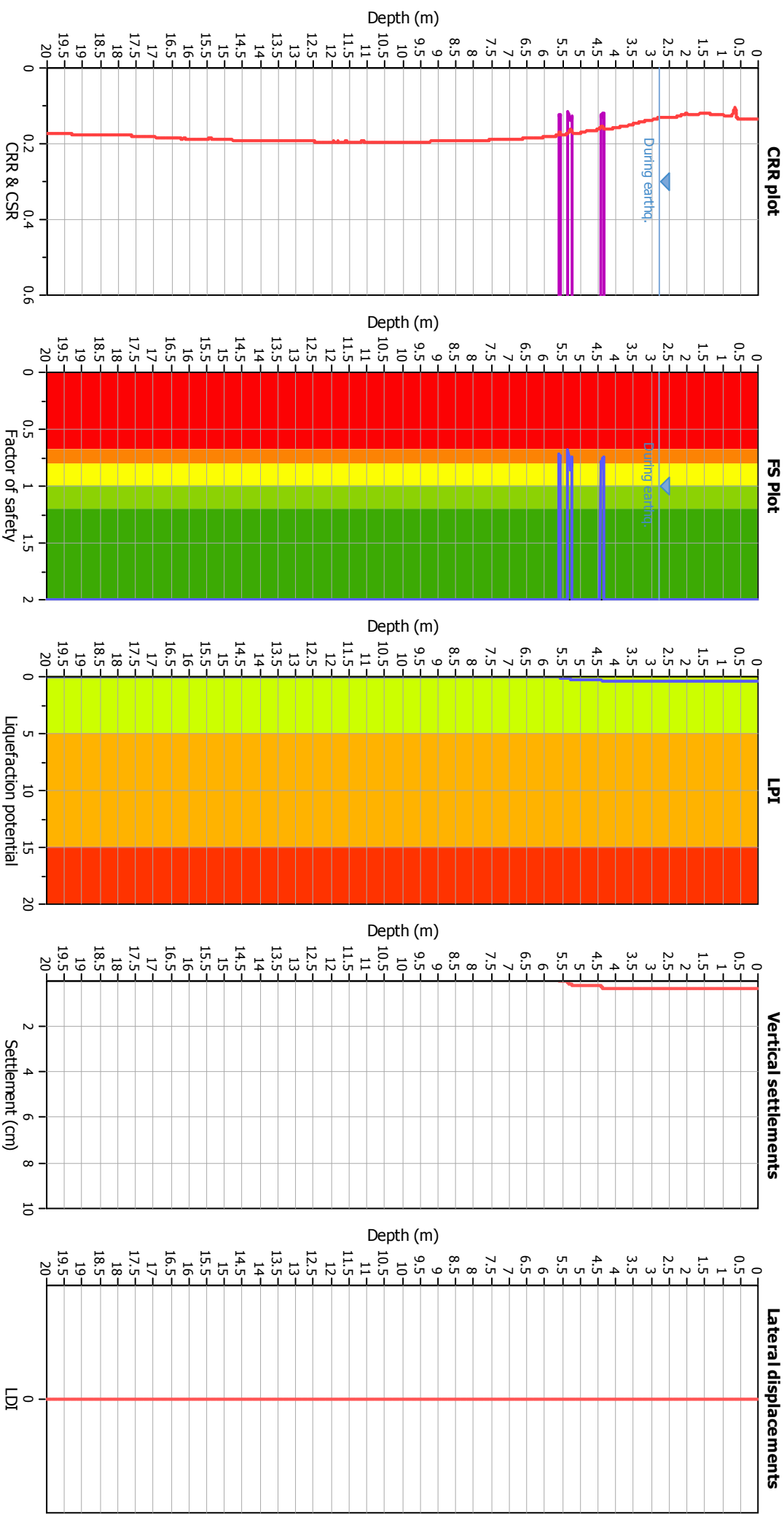
CPT file : P73191CPTU165

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes		



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)
Fines correction method:	B&I (2014)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.20
Depth to water table (insitu):	2.80 m
Depth to GWT (earthq.):	2.80 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:	No
K_{α} applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

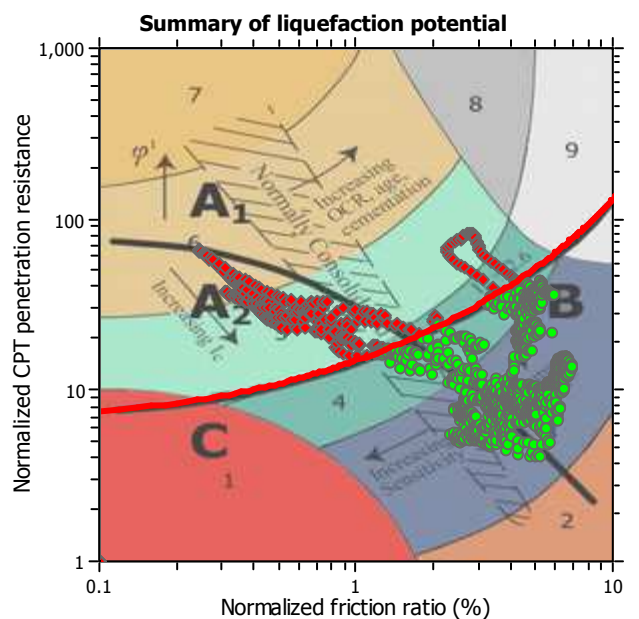
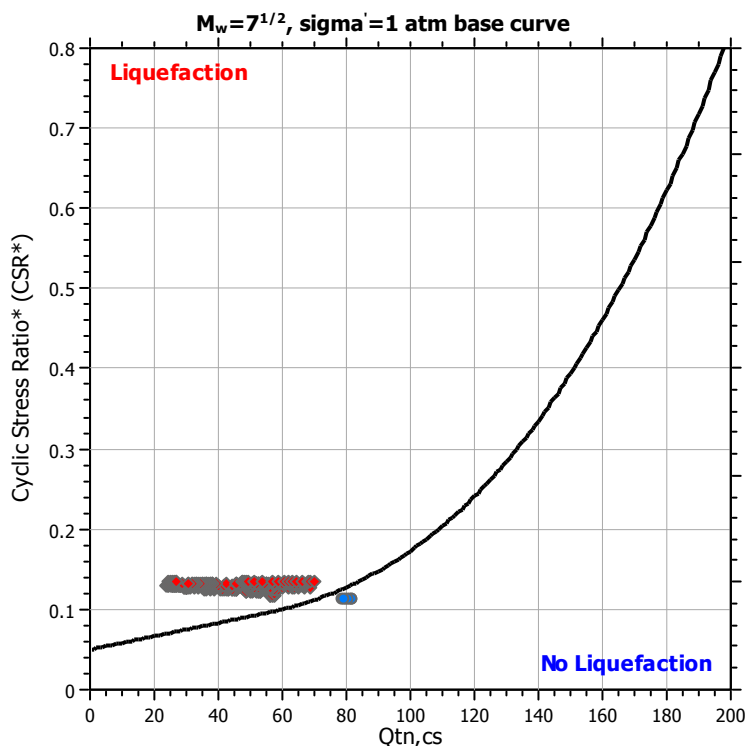
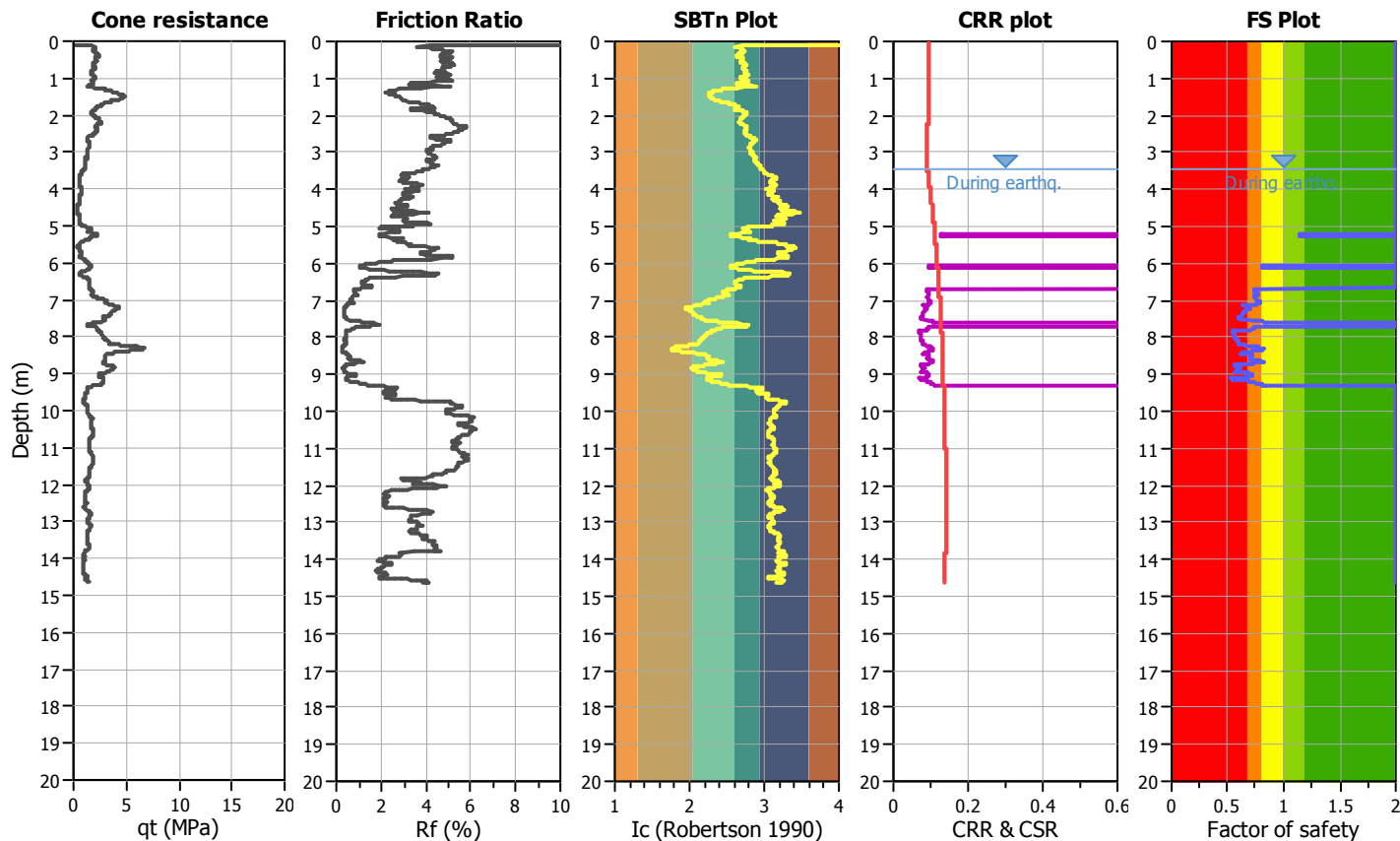
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73192CPTU166

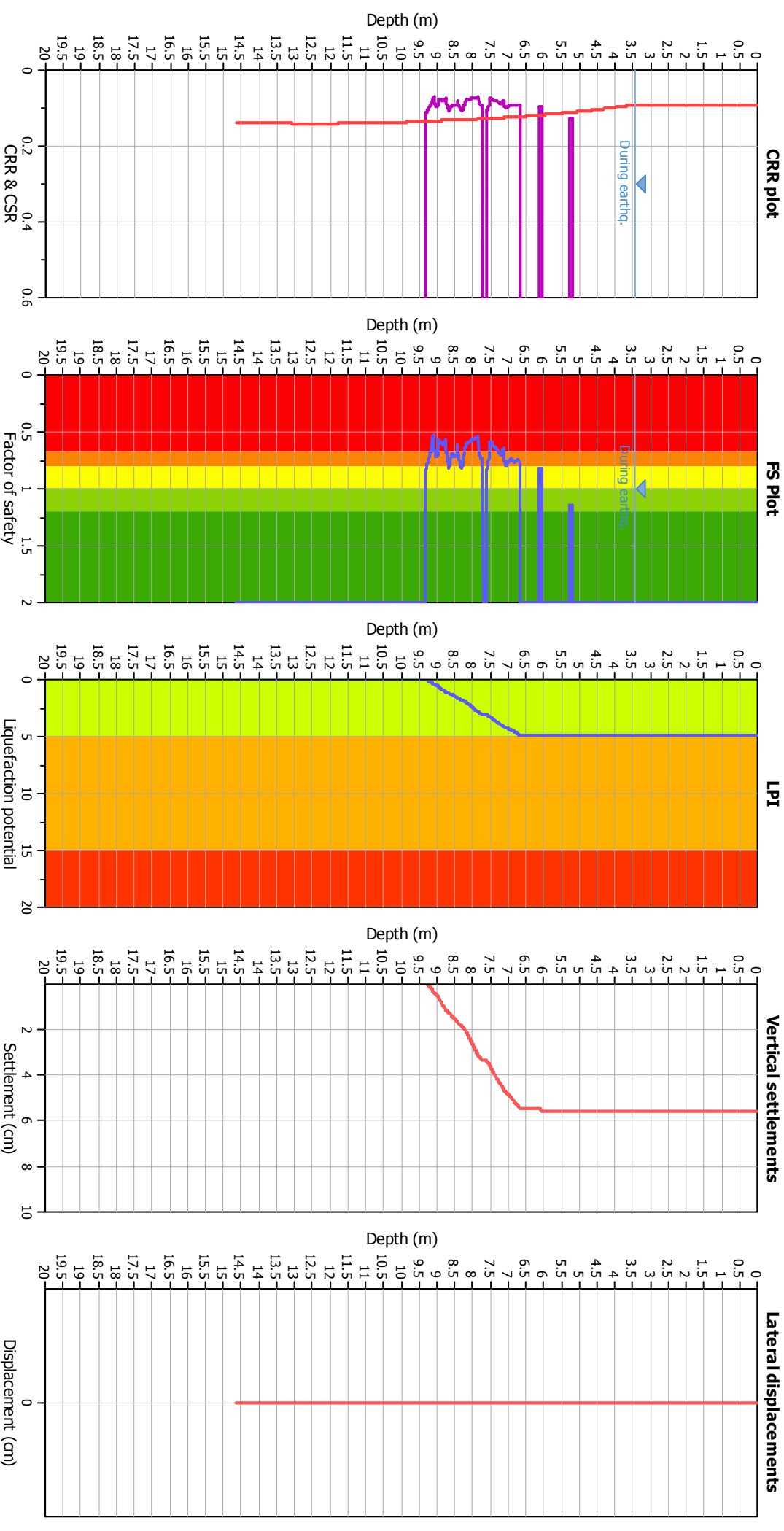
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	3.45 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	3.45 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
Fines correction method: NCEER (1998)
Points to test: Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w : 6.14
Peak ground acceleration: 0.20
Depth to water table (insitu): 3.45 m

Depth to water table (earthq.): 3.45 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: No
 K_r applied: Yes
Clay like behavior applied: Sands only
Limit depth applied: Yes
Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

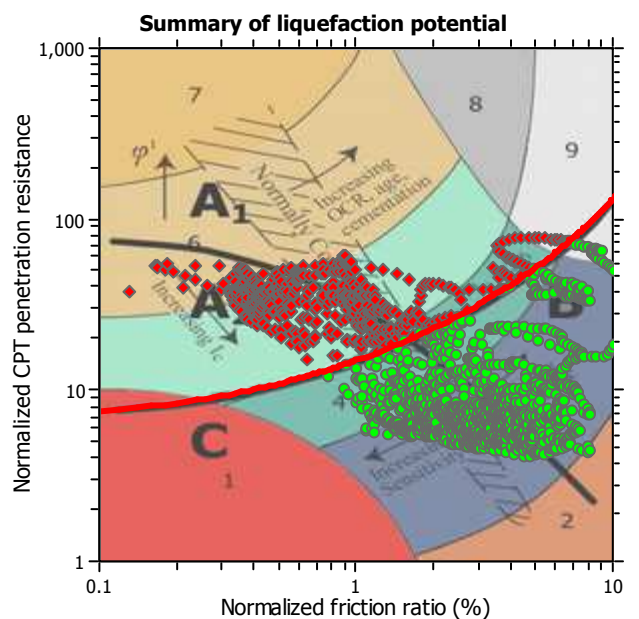
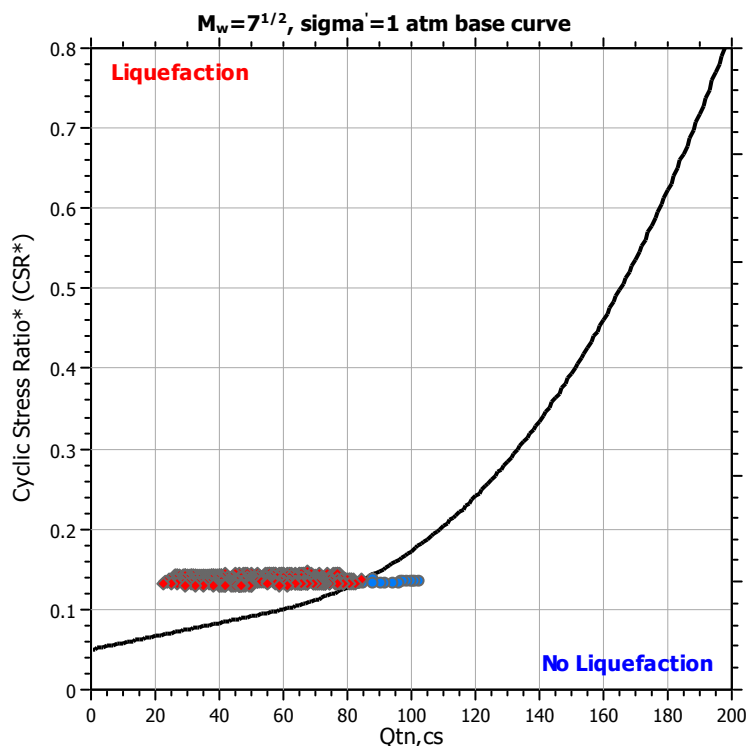
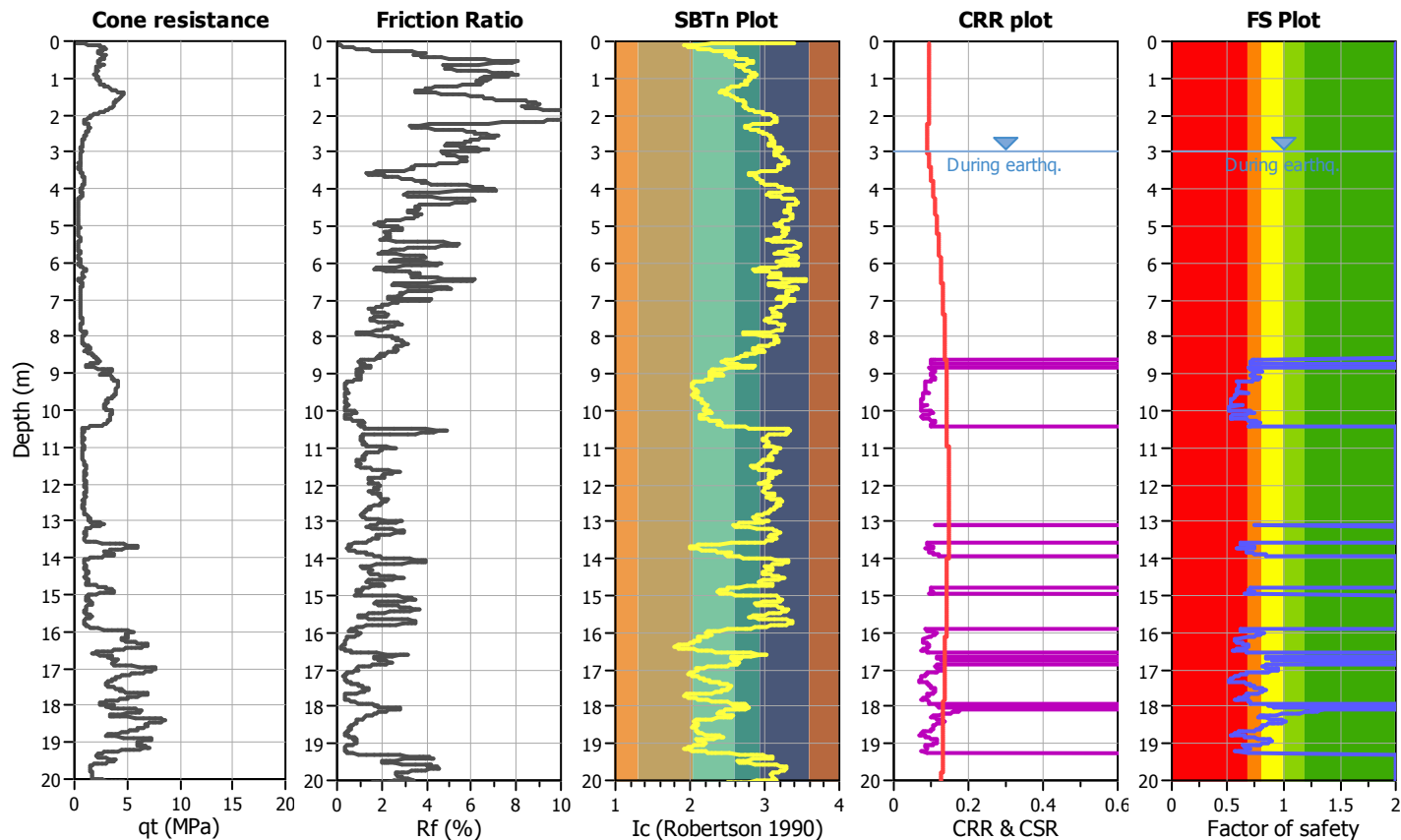
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73193CPTU167

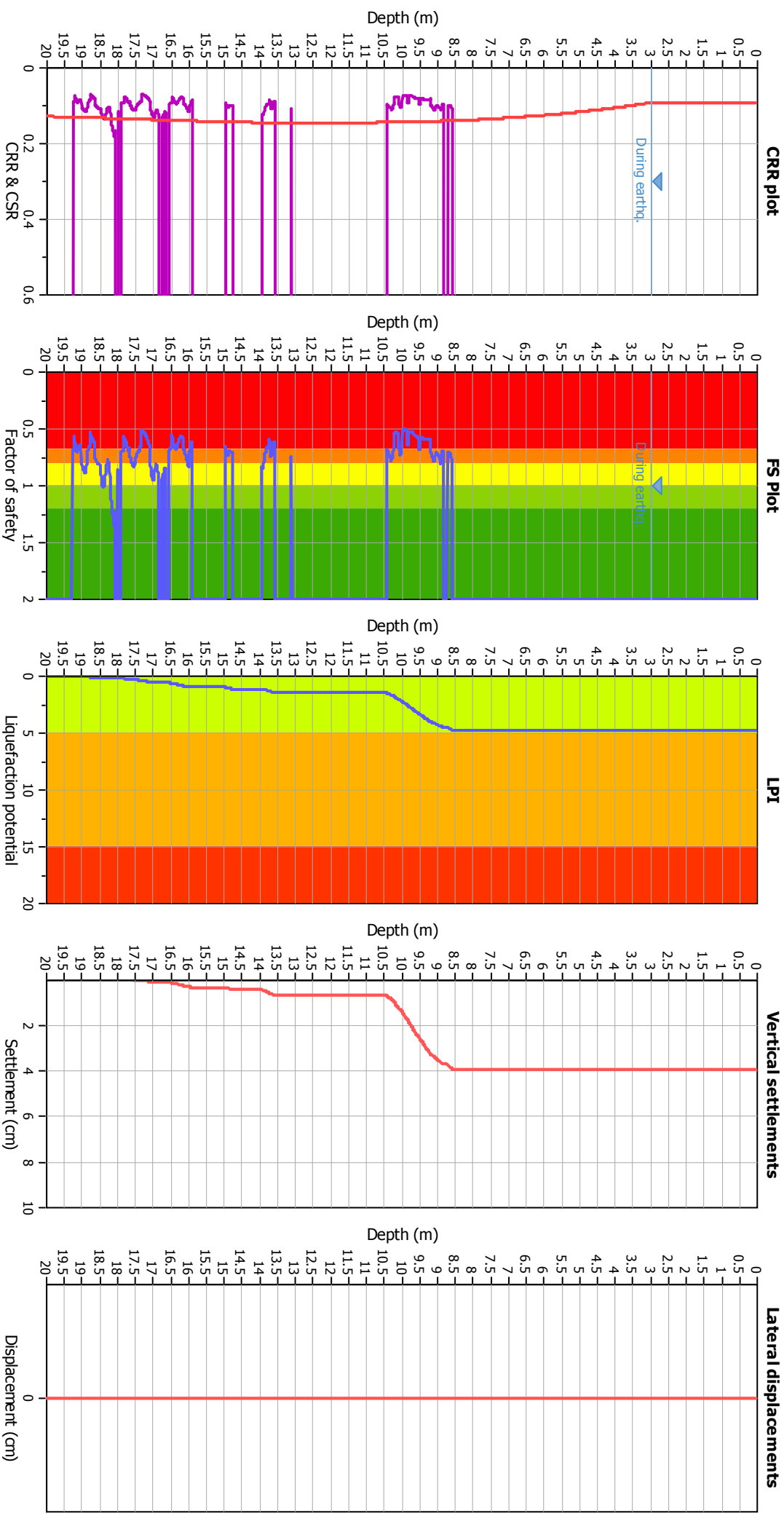
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	3.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	3.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)
Fines correction method:	NCEER (1998)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.20
Depth to water table (insitu):	3.00 m
Depth to water table (earthq.):	3.00 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:	No
K_s applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

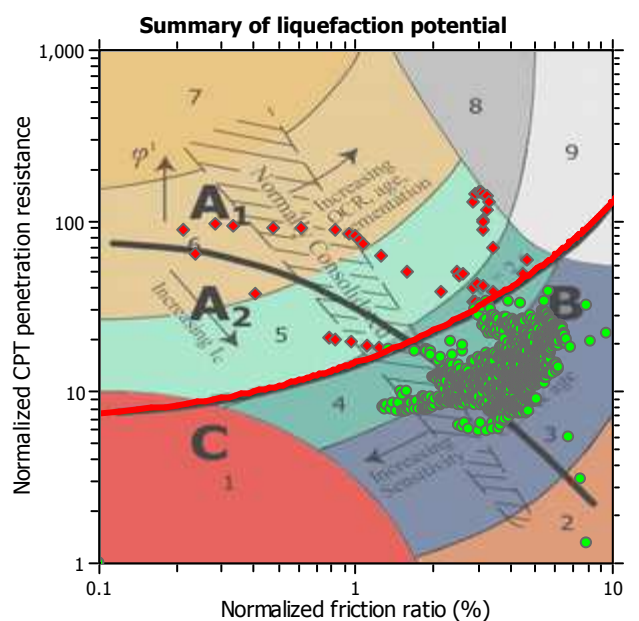
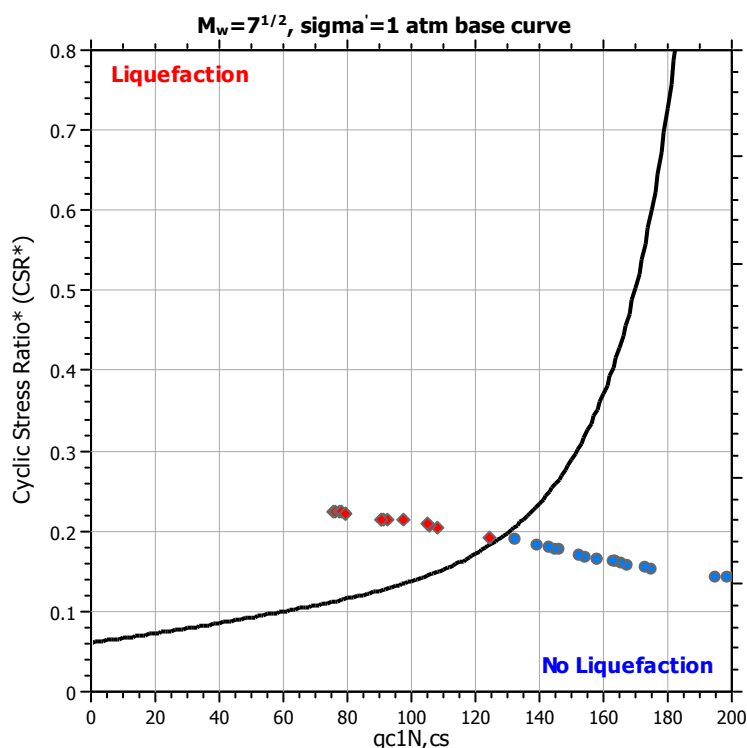
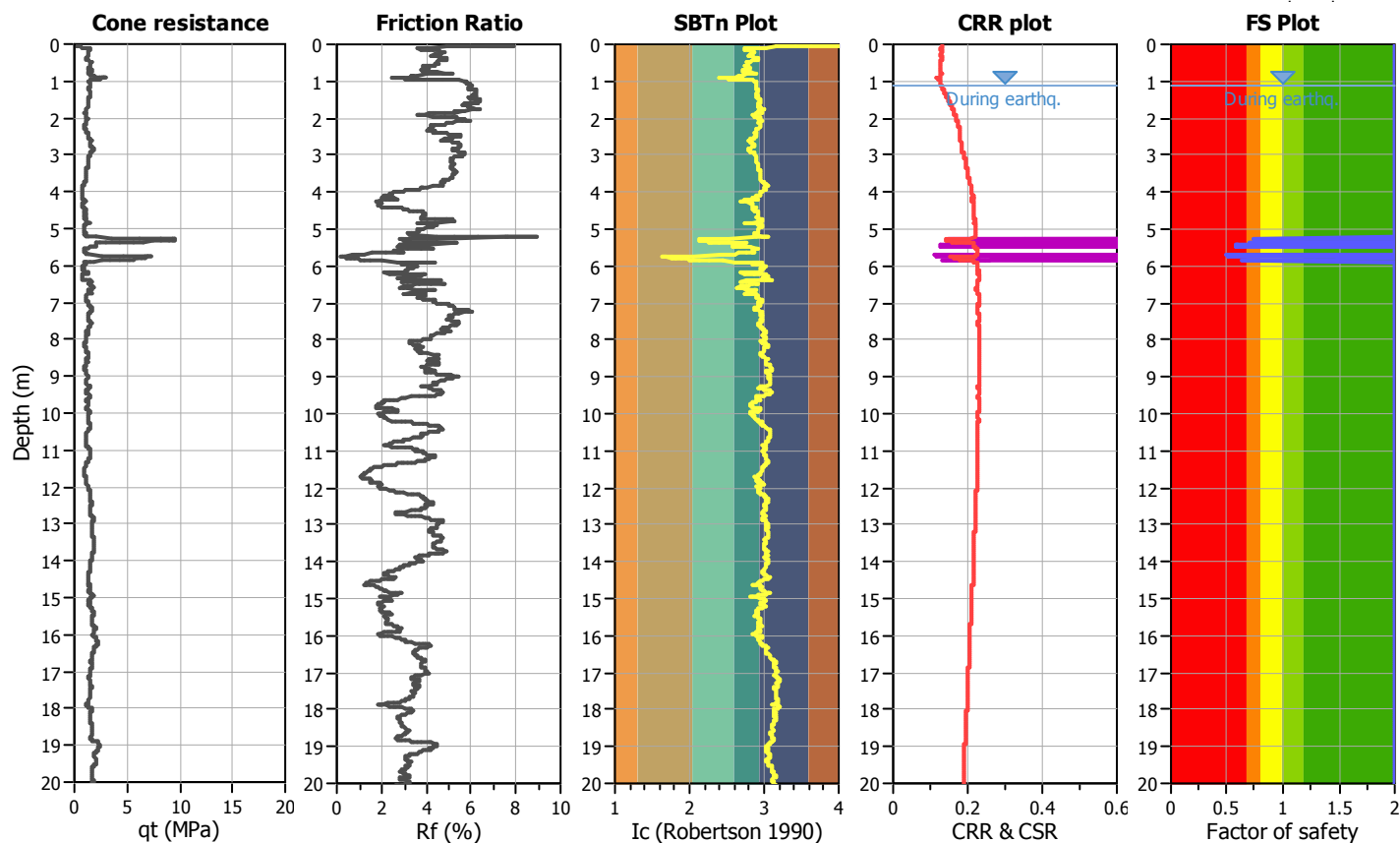
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73194CPTU168

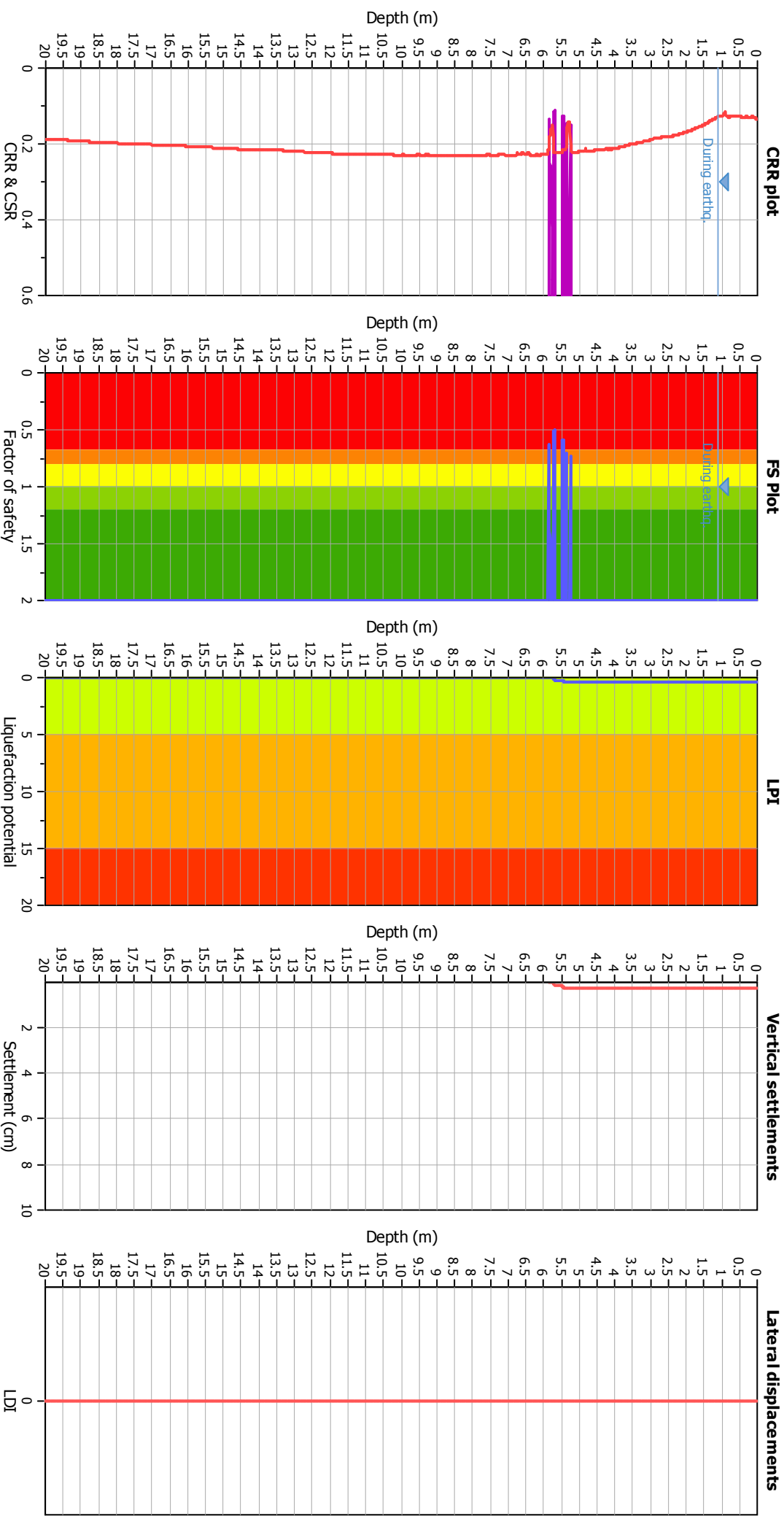
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.10 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.10 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)
Fines correction method:	B&I (2014)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.20
Depth to water table (insitu):	1.10 m
Depth to GWT (earthq.):	1.10 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:	No
K_{α} applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

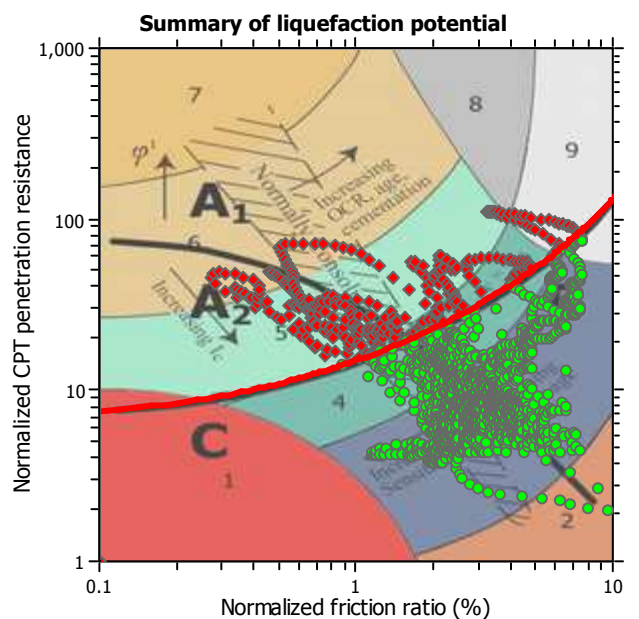
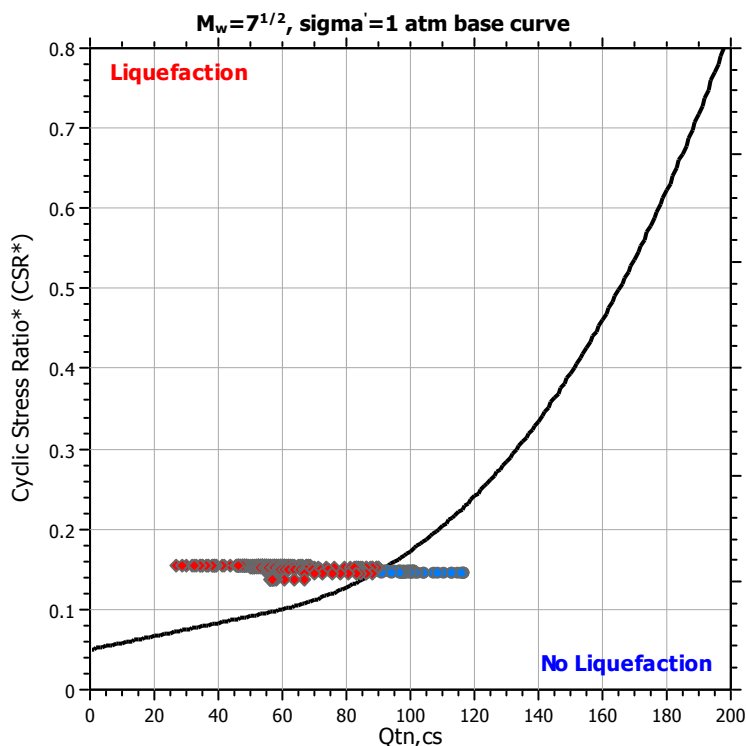
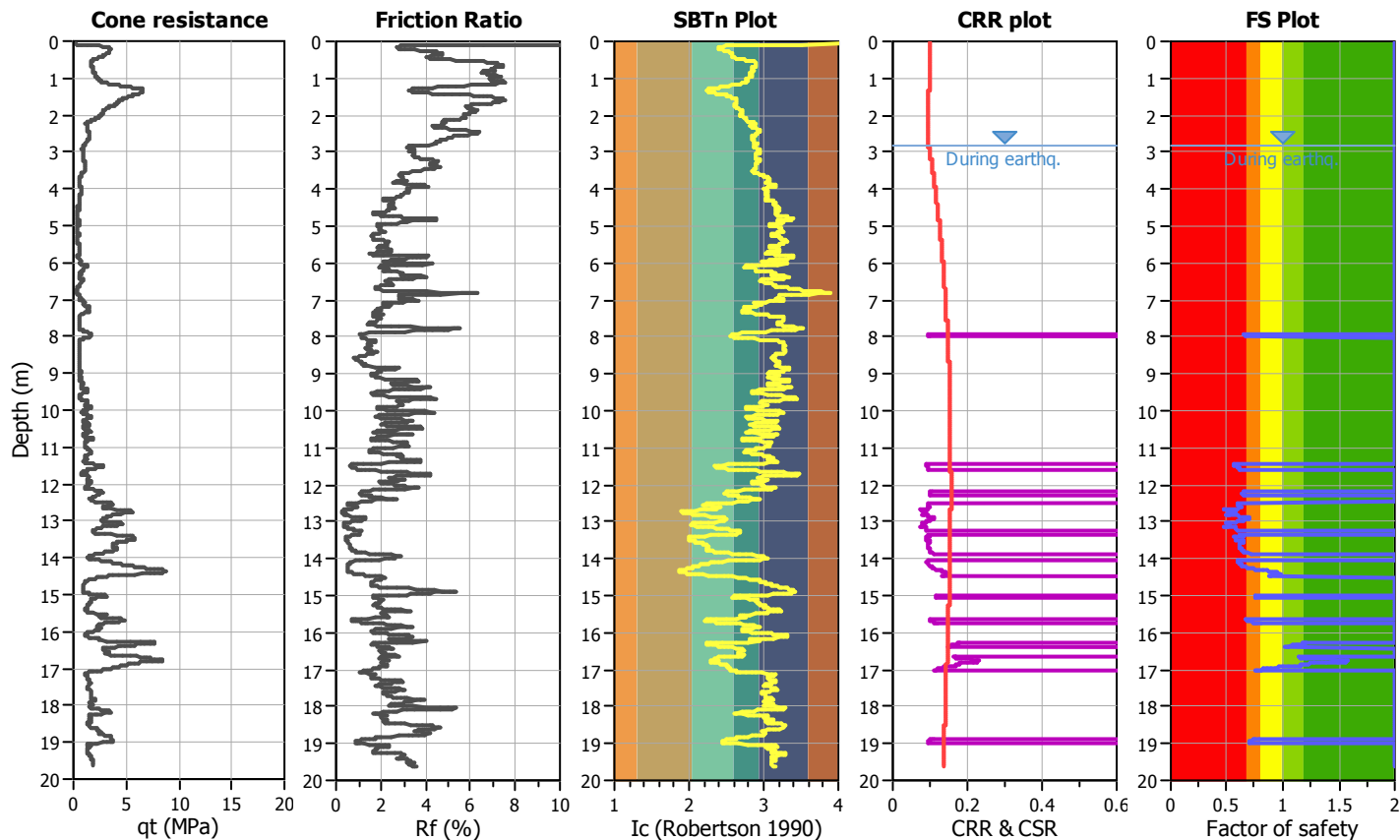
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73195CPTU169

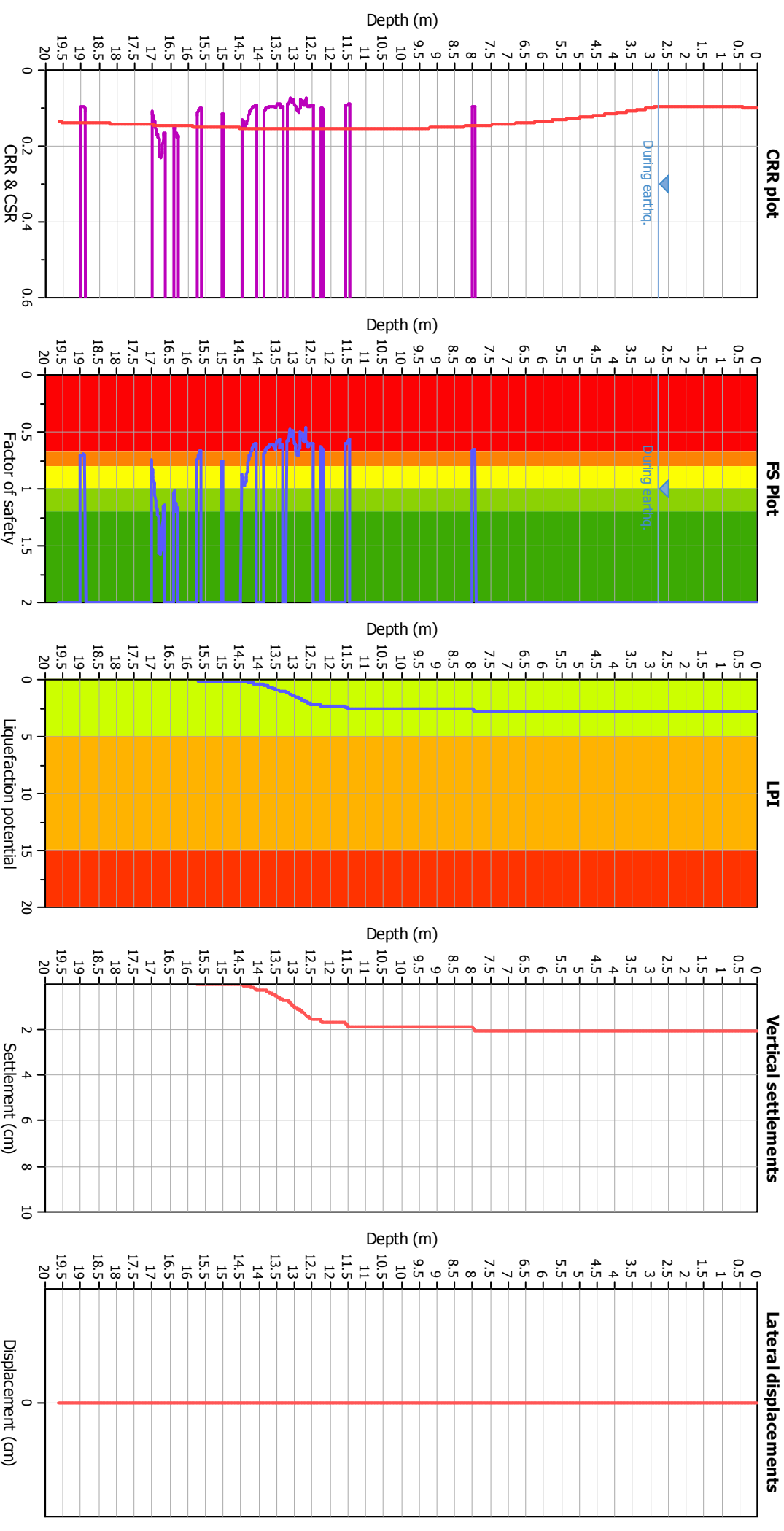
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.80 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)
Fines correction method:	NCEER (1998)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.21
Depth to water table (insitu):	2.80 m
Depth to water table (earthq.):	2.80 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:	No
K_0 applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

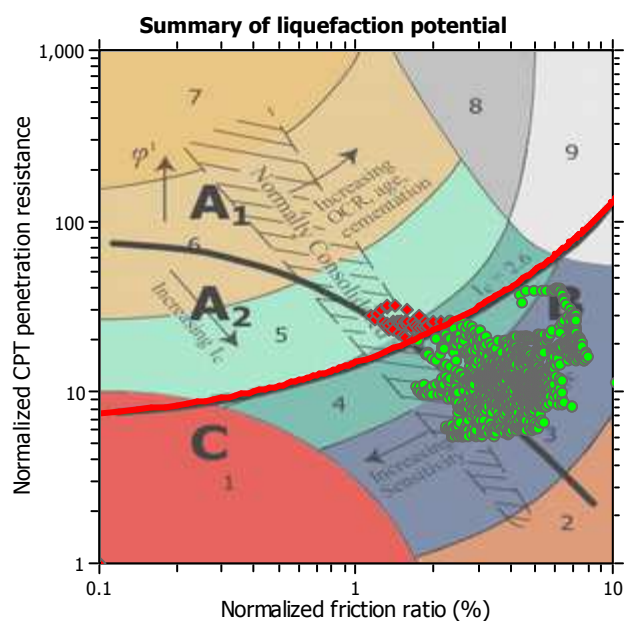
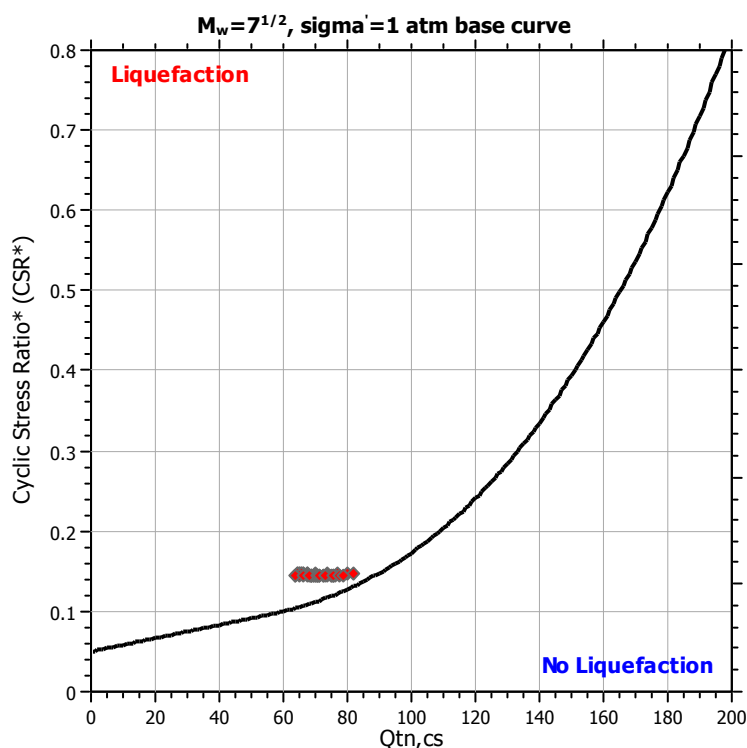
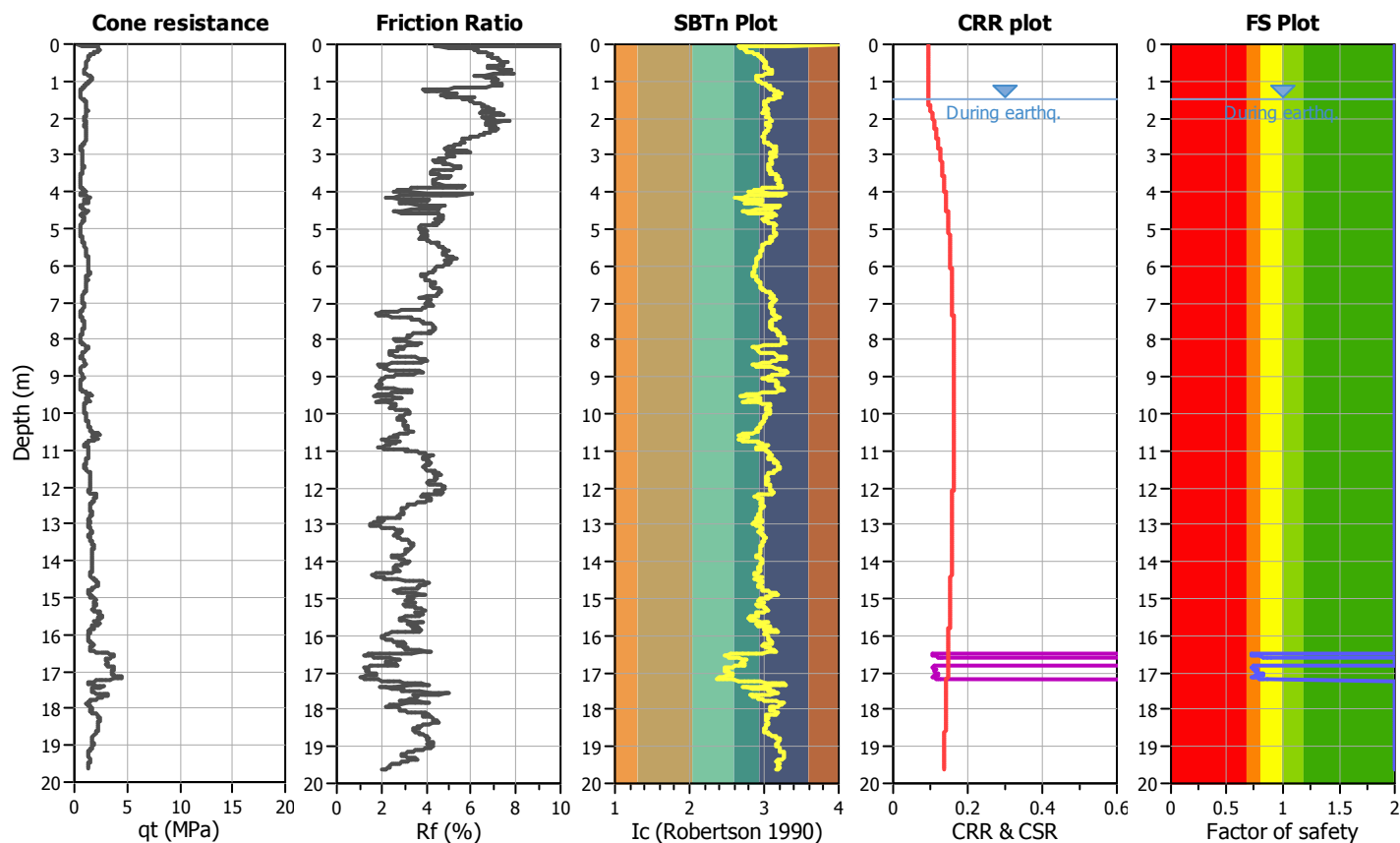
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73196CPTU170

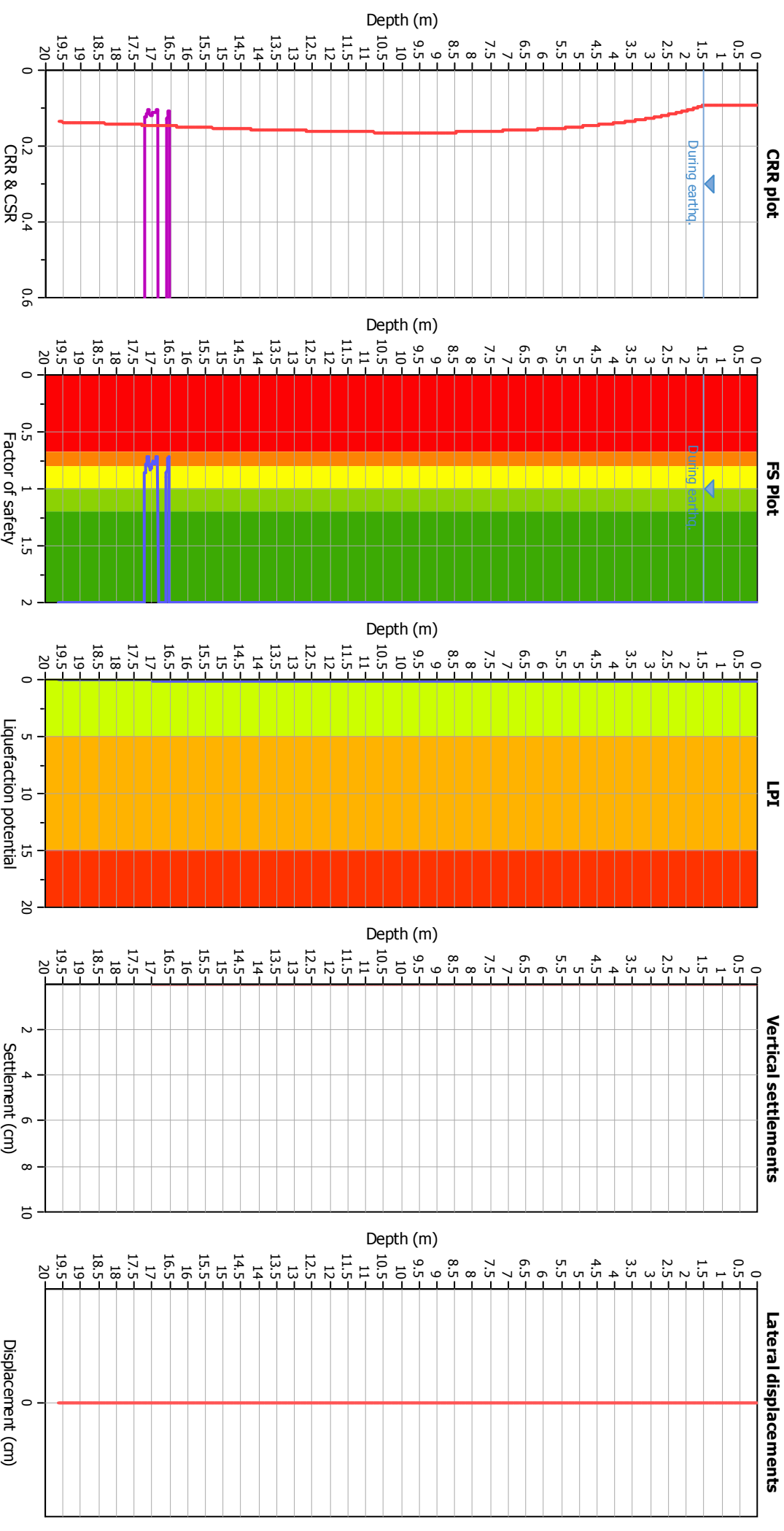
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

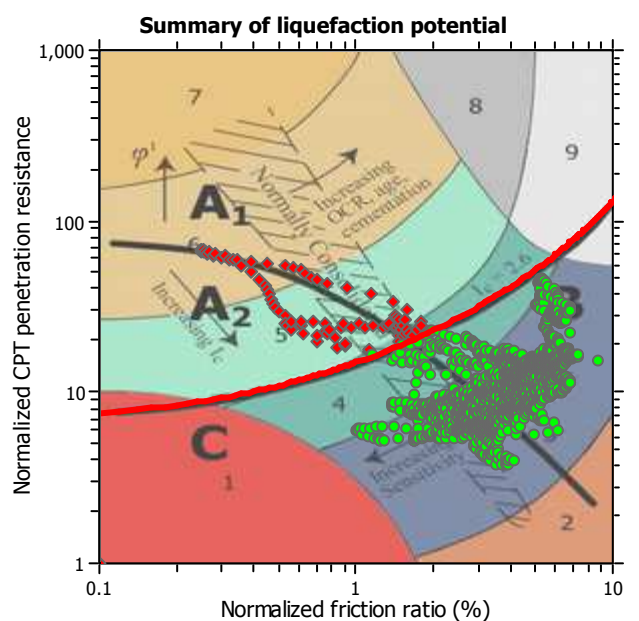
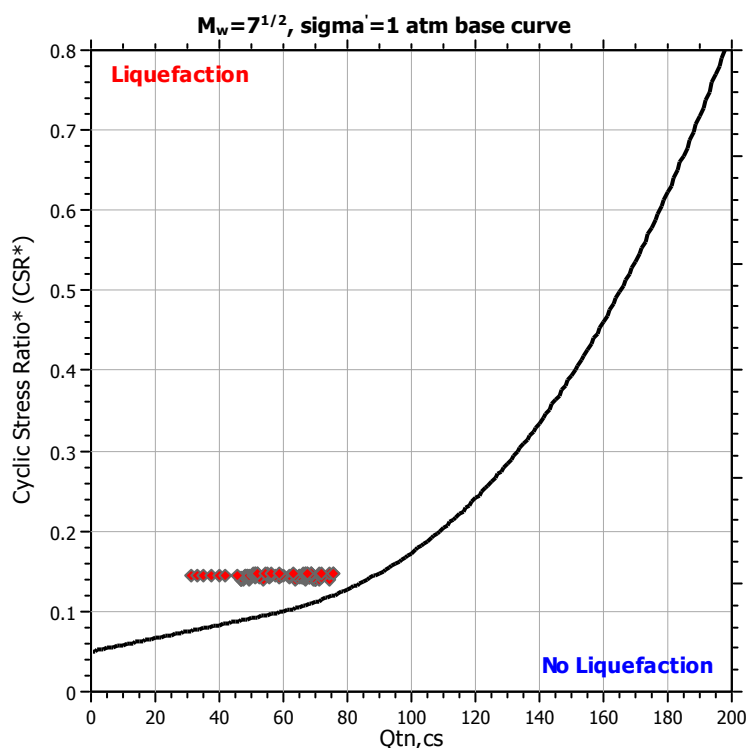
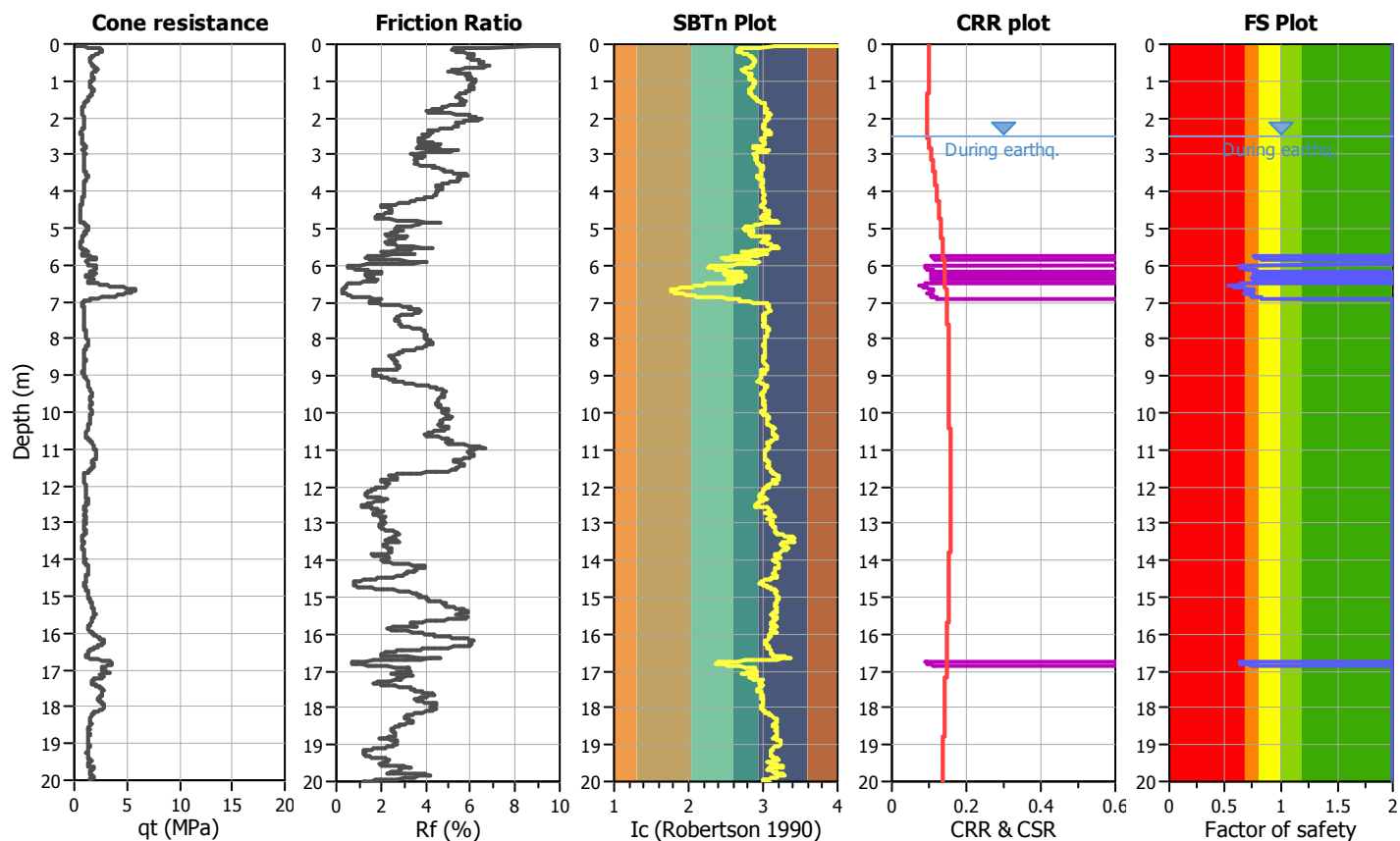
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73197CPTU171

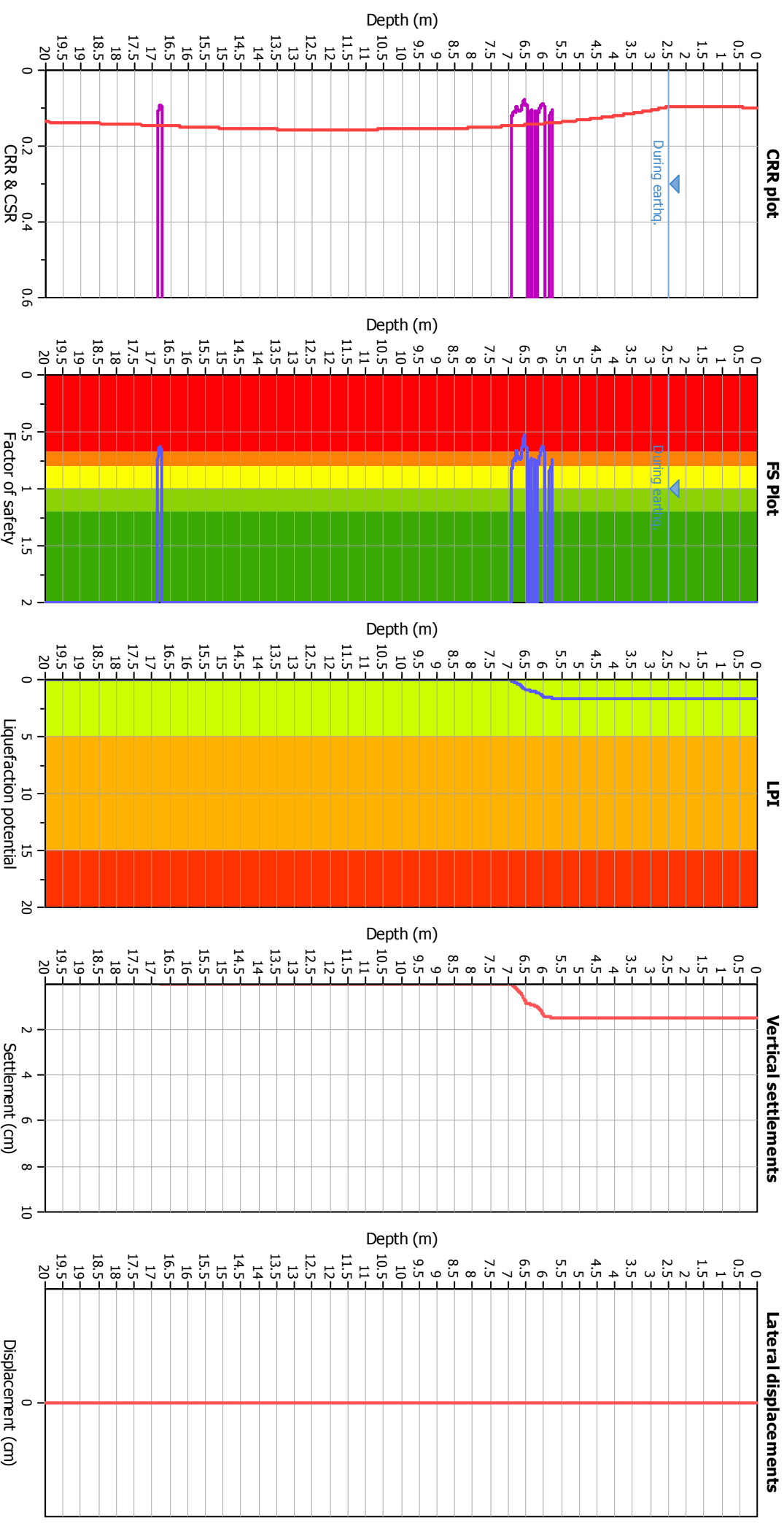
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)
Fines correction method:	NCEER (1998)
Points to test:	Based on I_c value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.21
Depth to water table (insitu):	2.50 m
Depth to water table (earthq.):	2.50 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:	No
K_0 applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

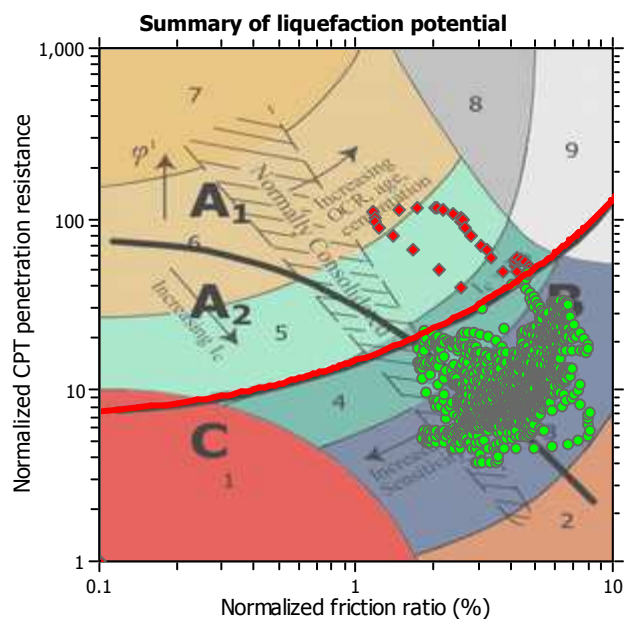
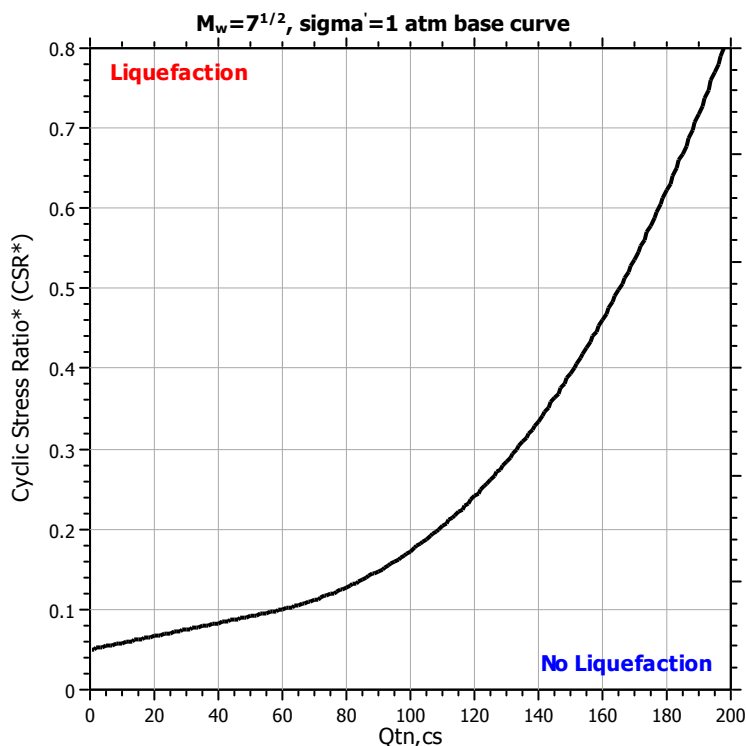
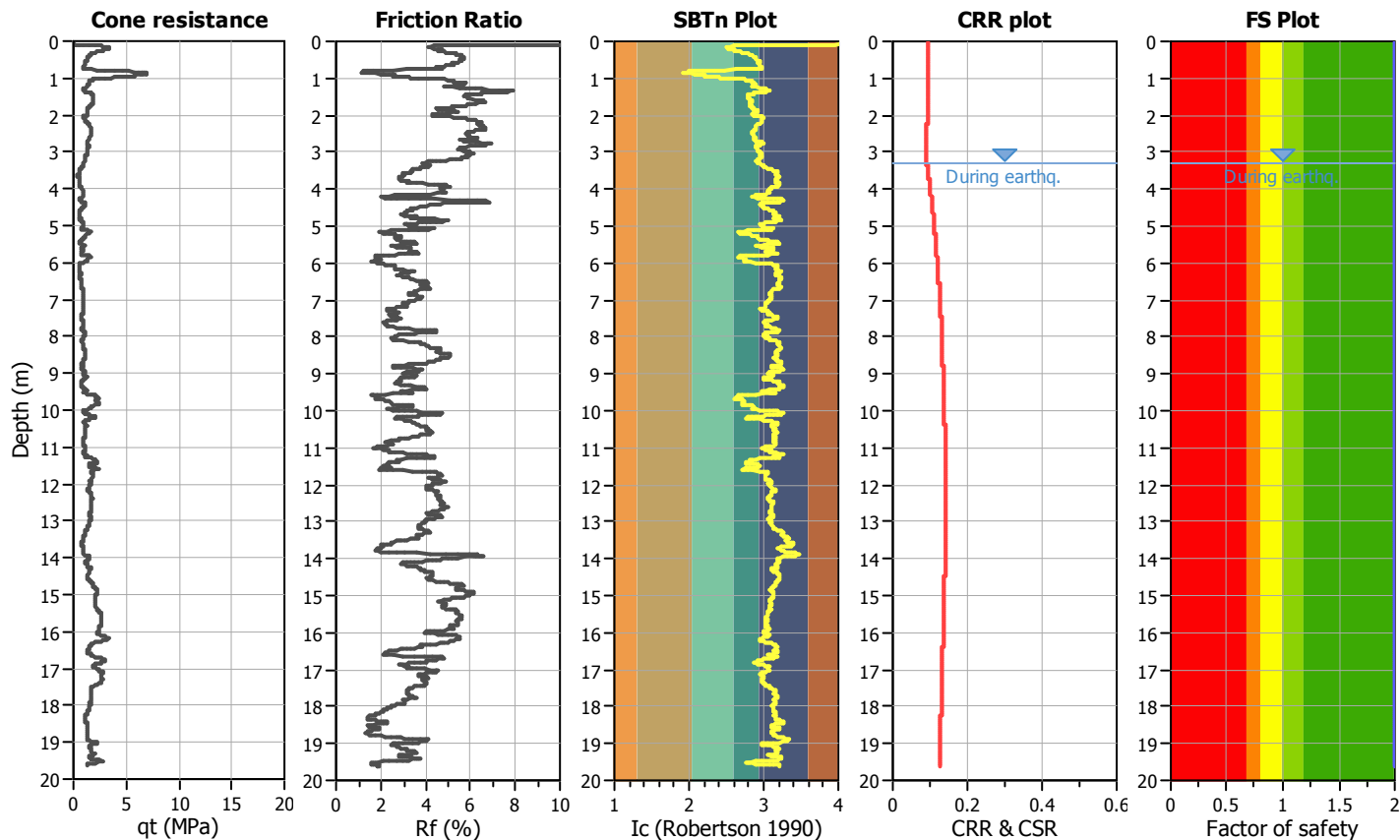
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73198CPTU172

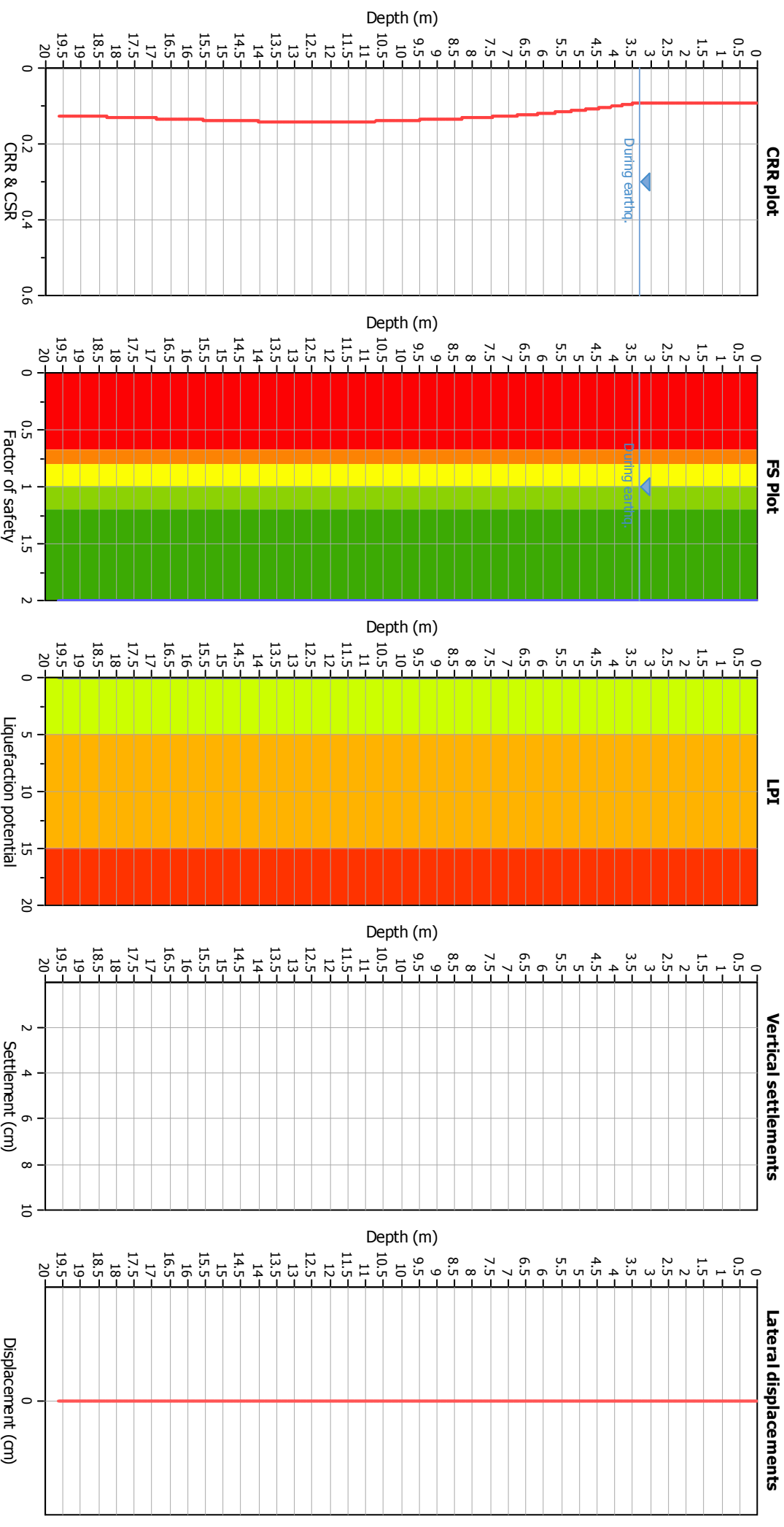
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	3.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	3.30 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

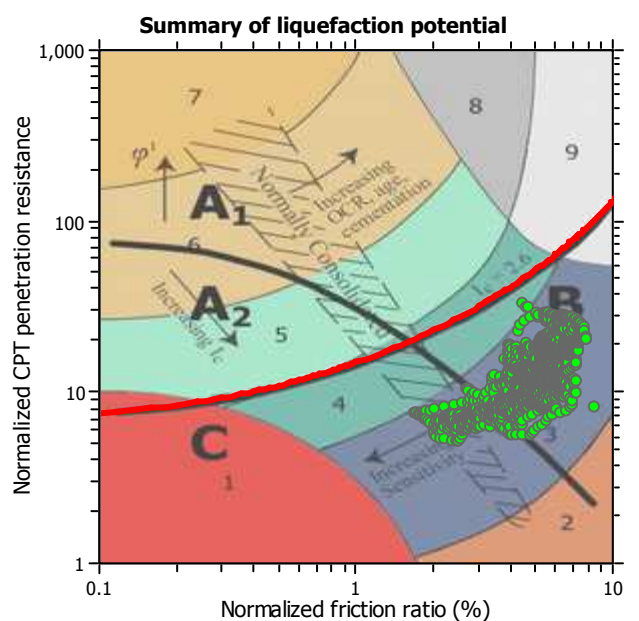
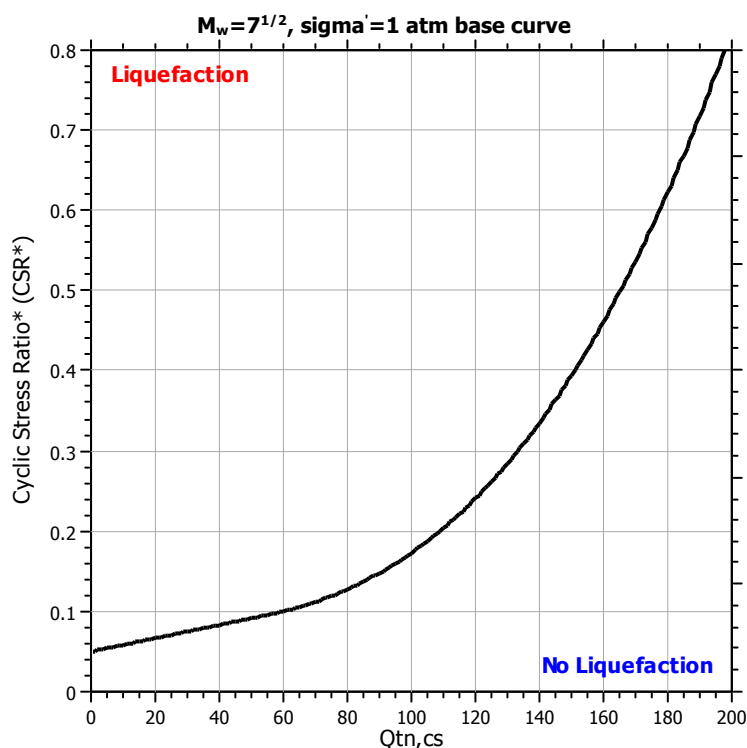
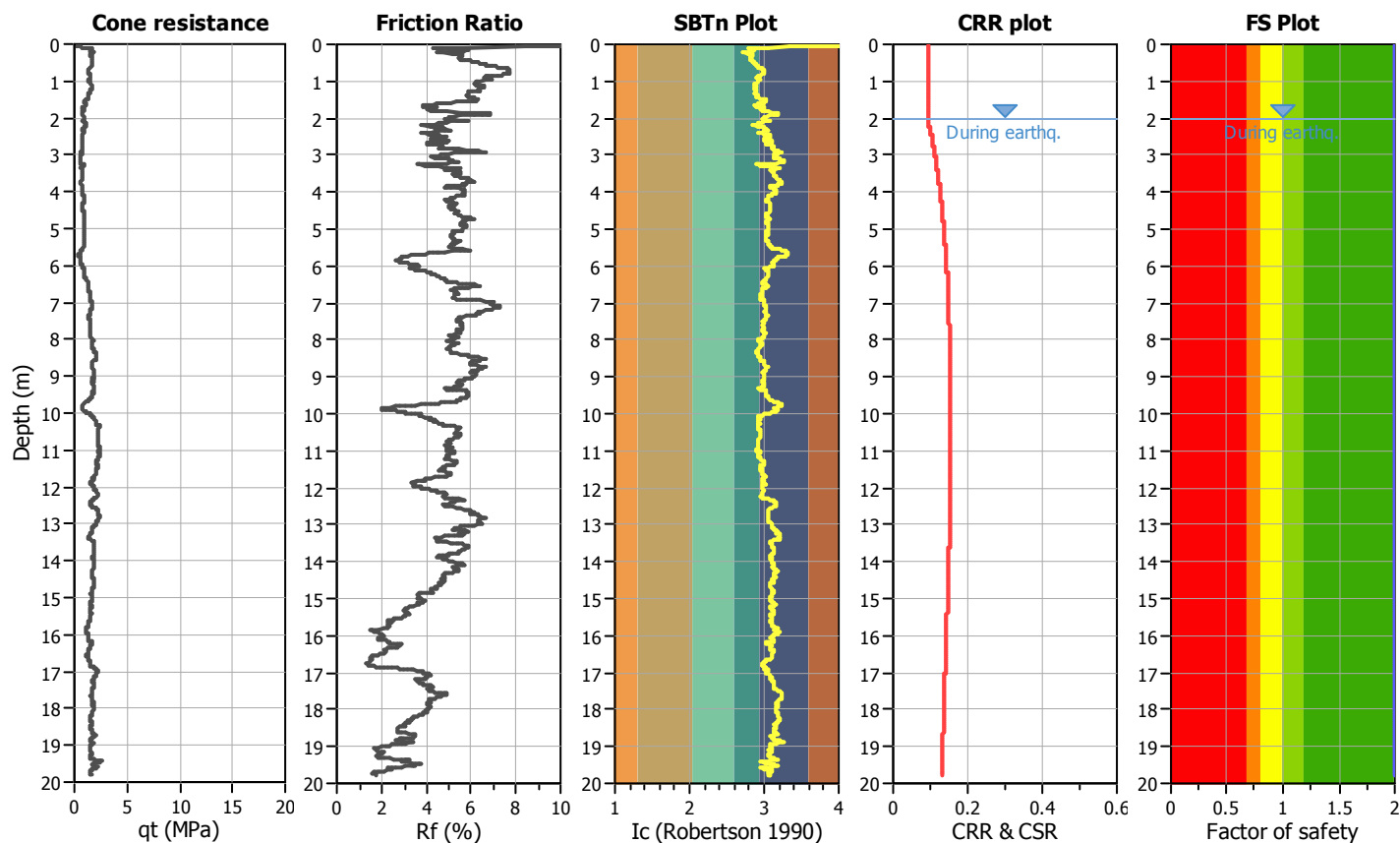
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73199CPTU173

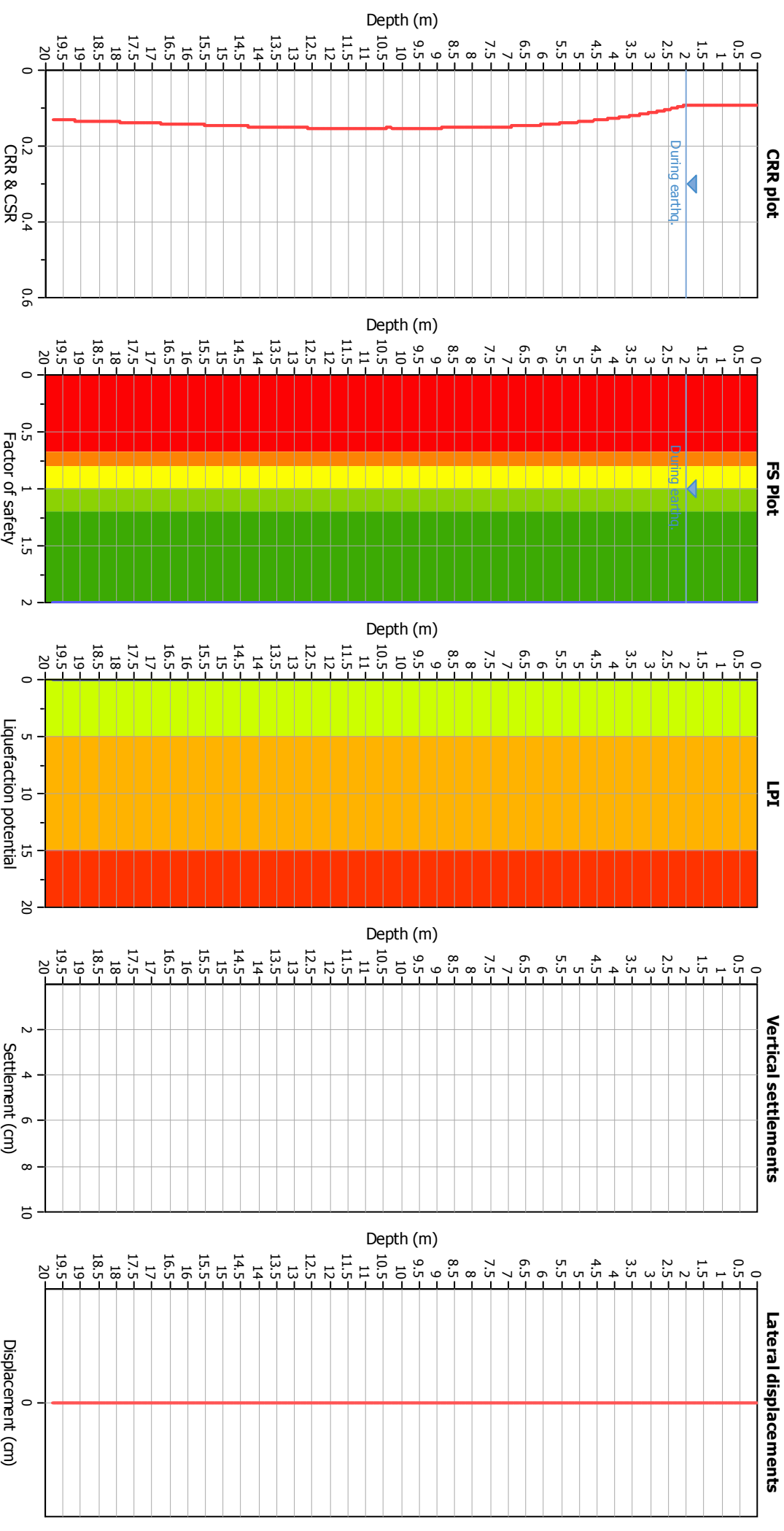
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

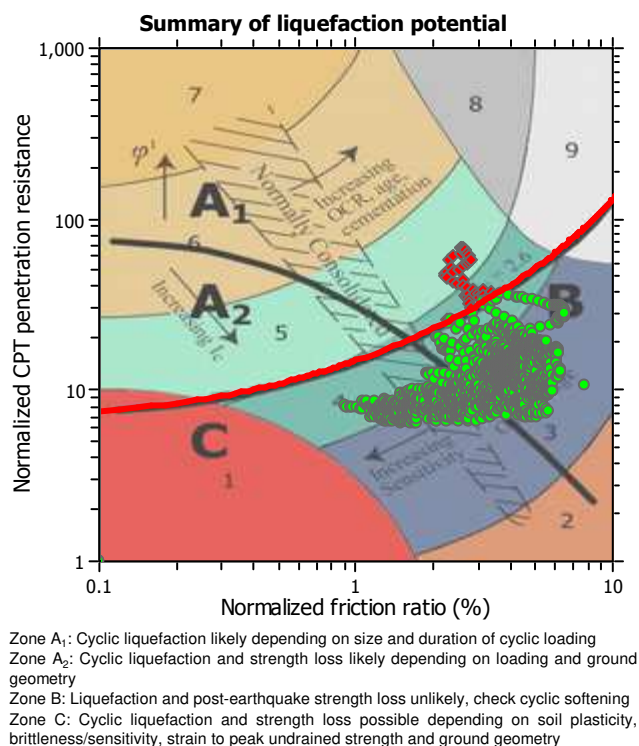
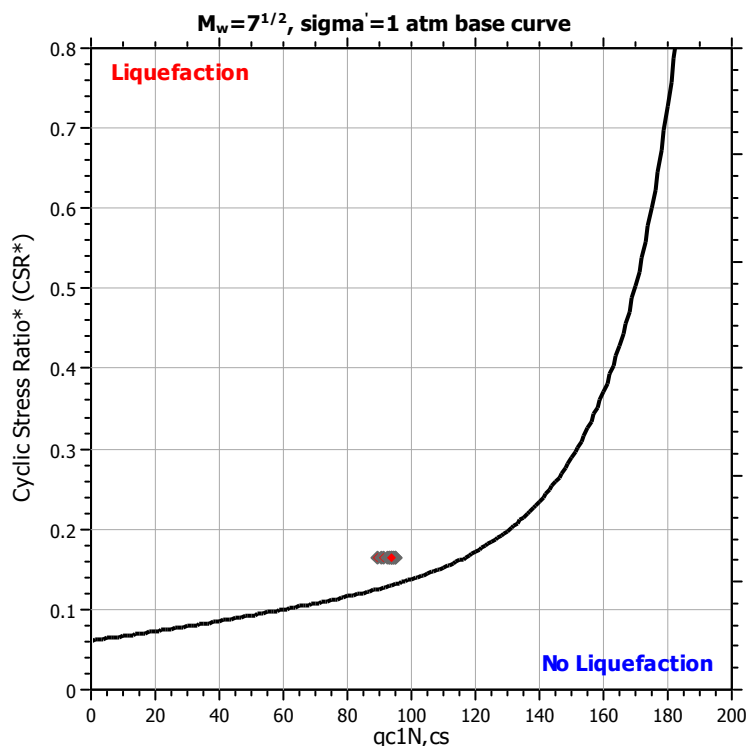
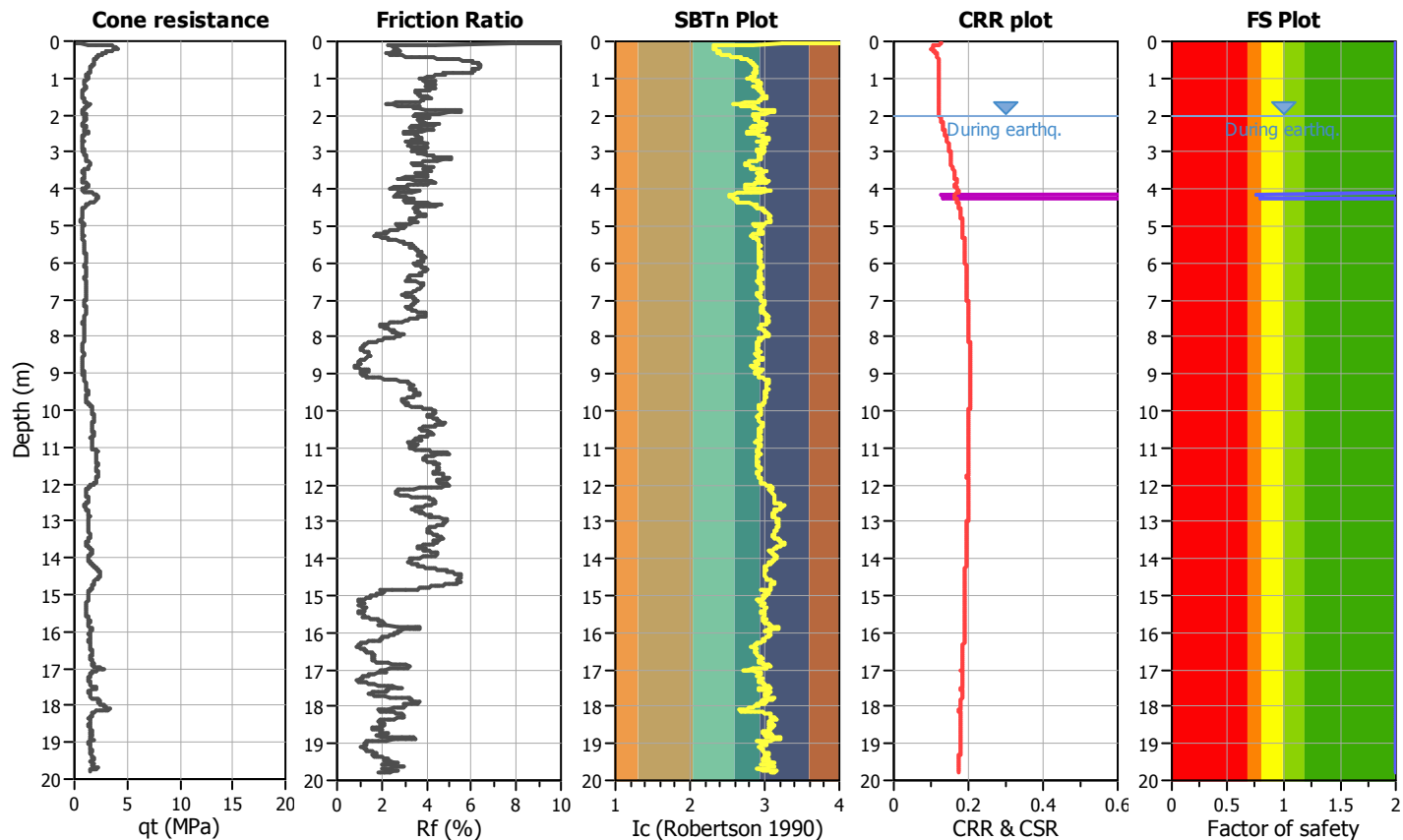
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

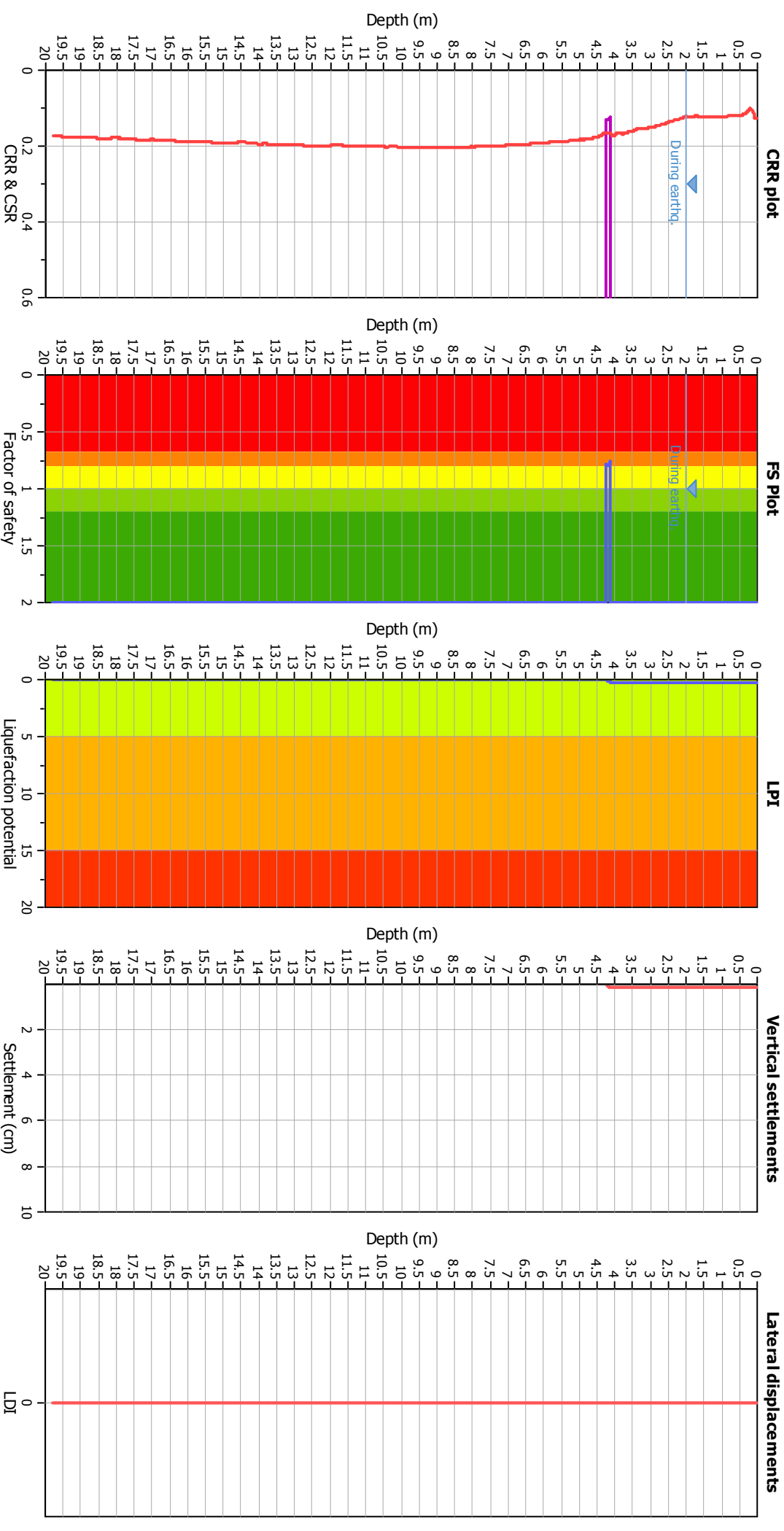
CPT file : P73200CPTU174

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.19	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)
Fines correction method:	B&I (2014)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.19
Depth to water table (insitu):	2.00 m
Depth to GWT (earthq.):	2.00 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:	No
K_{σ} applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

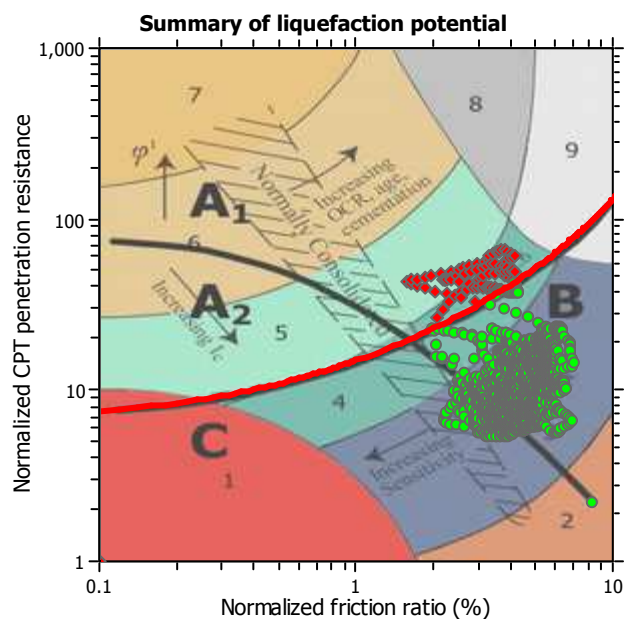
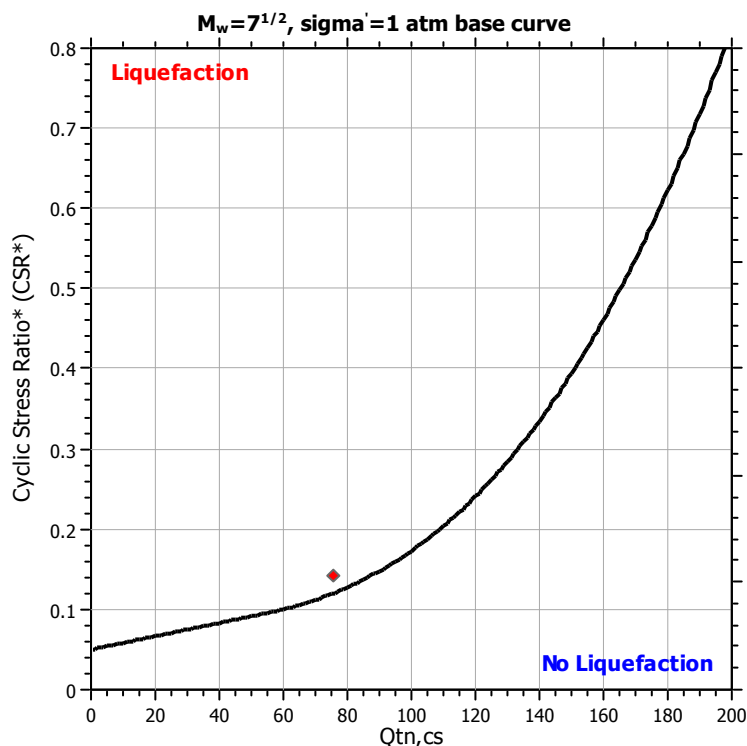
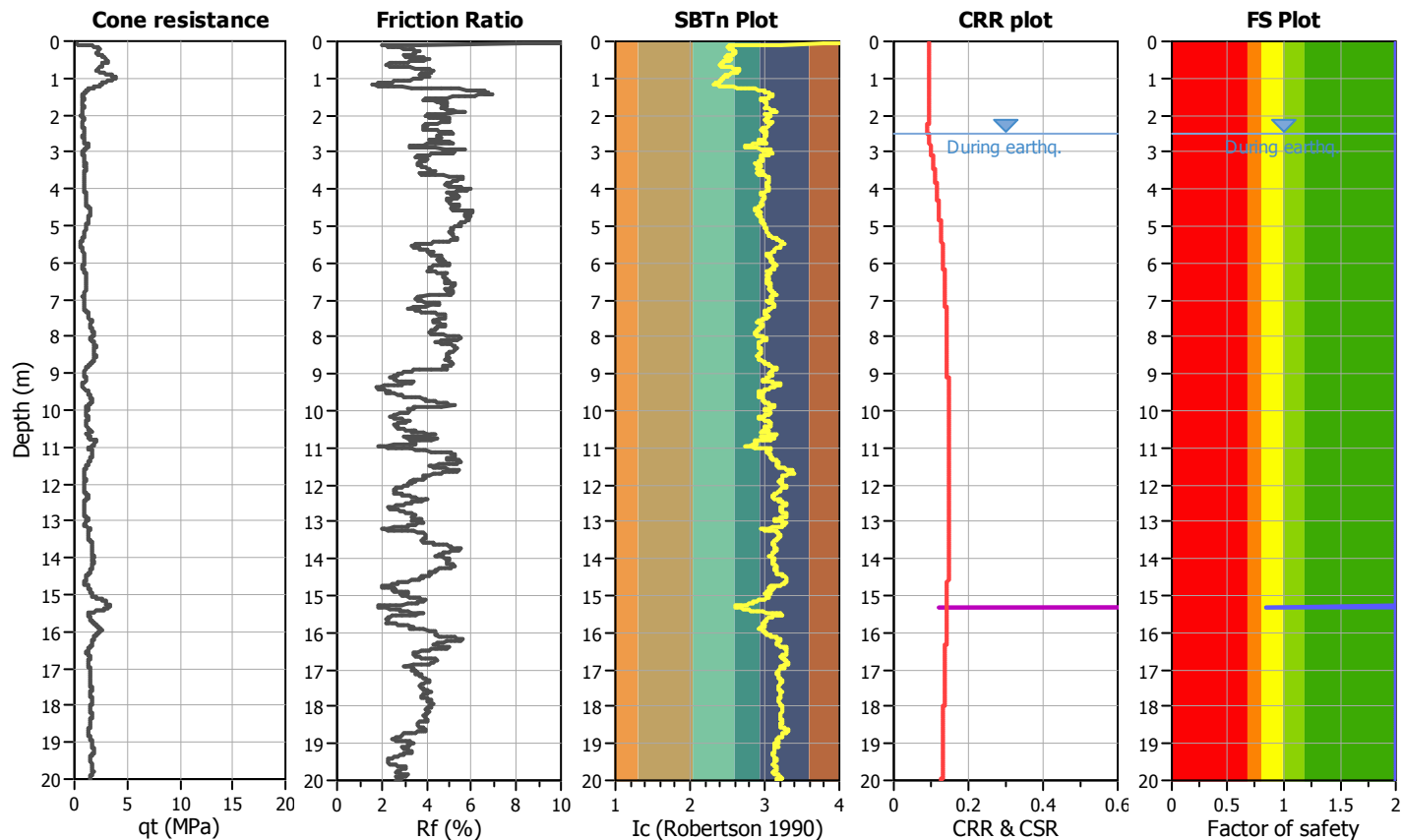
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73201CPTU175

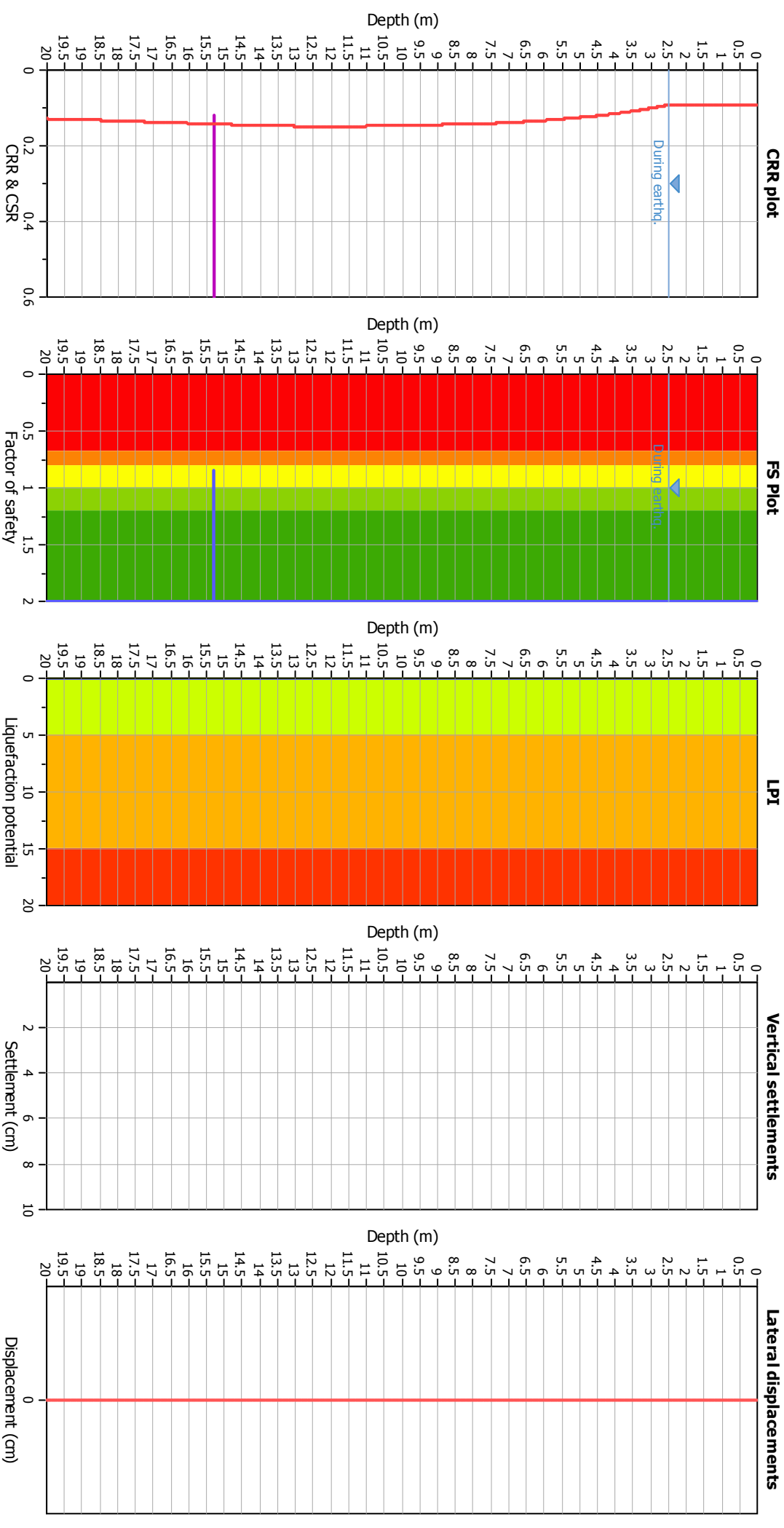
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (ethq.):	2.50 m
Fines correction method:	NCEER (1998)	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):	2.50 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	No
		K_s applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	Sands only
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

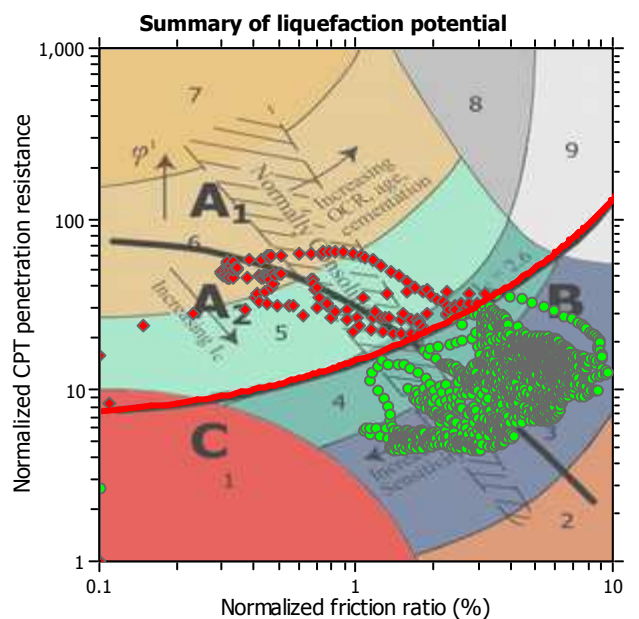
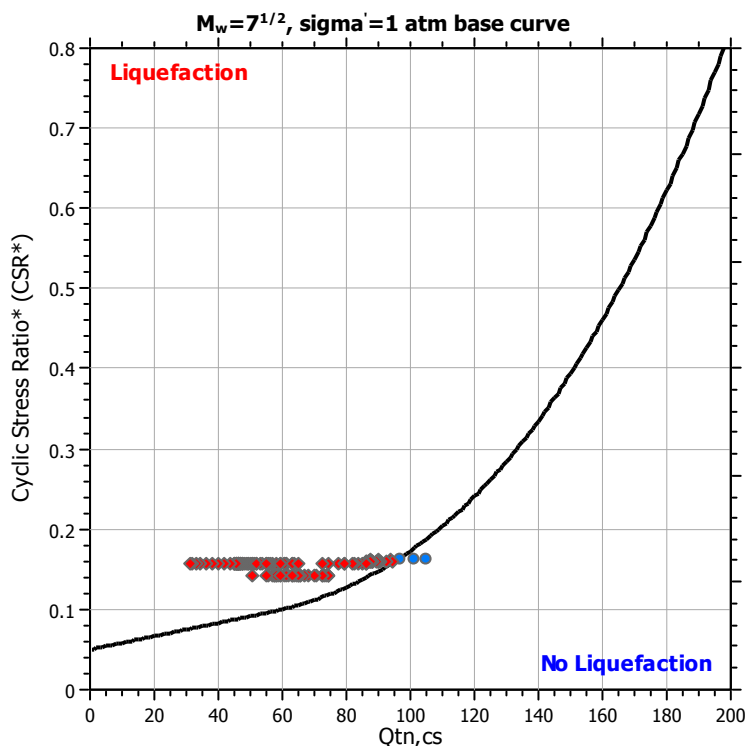
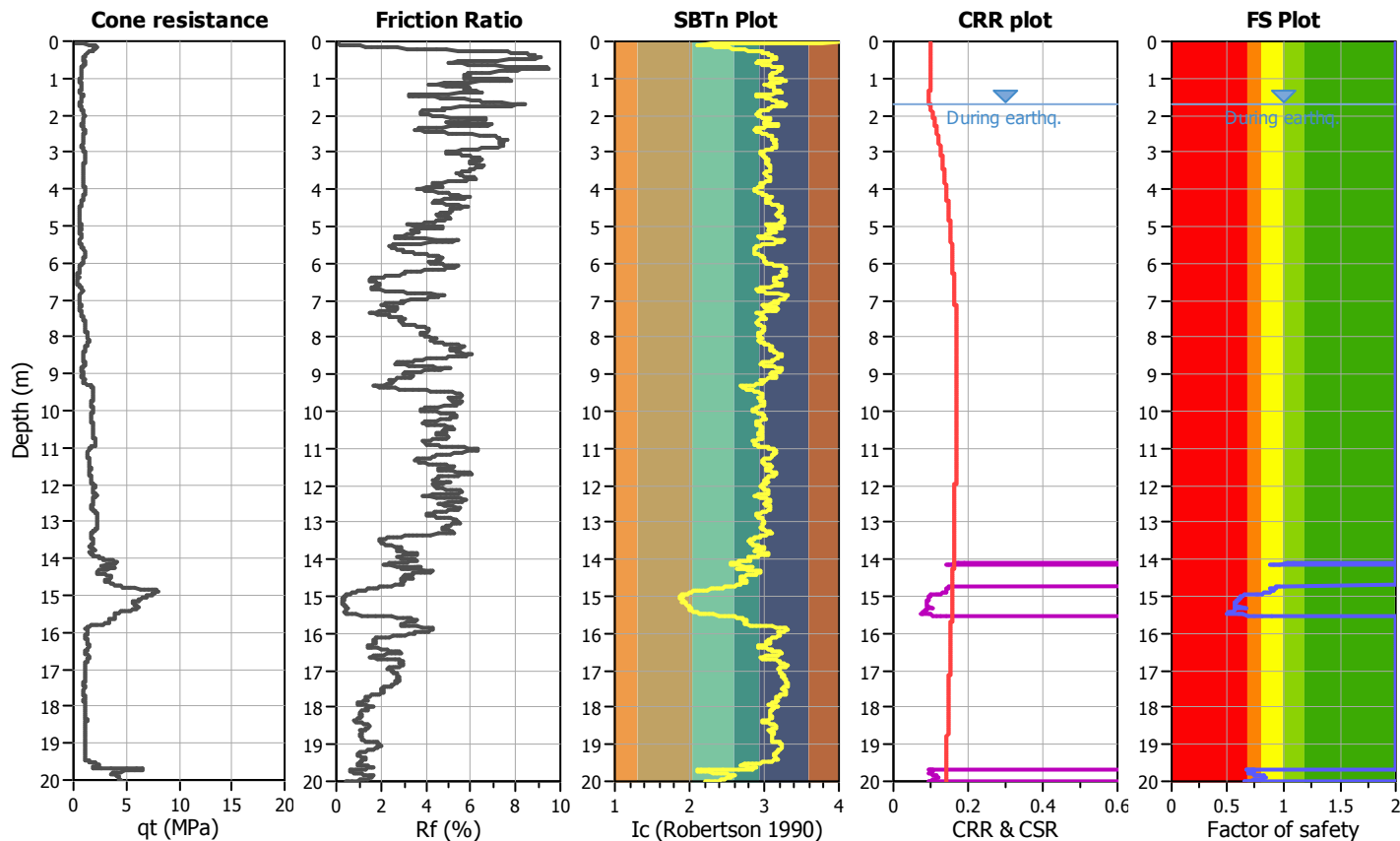
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73202CPTU176

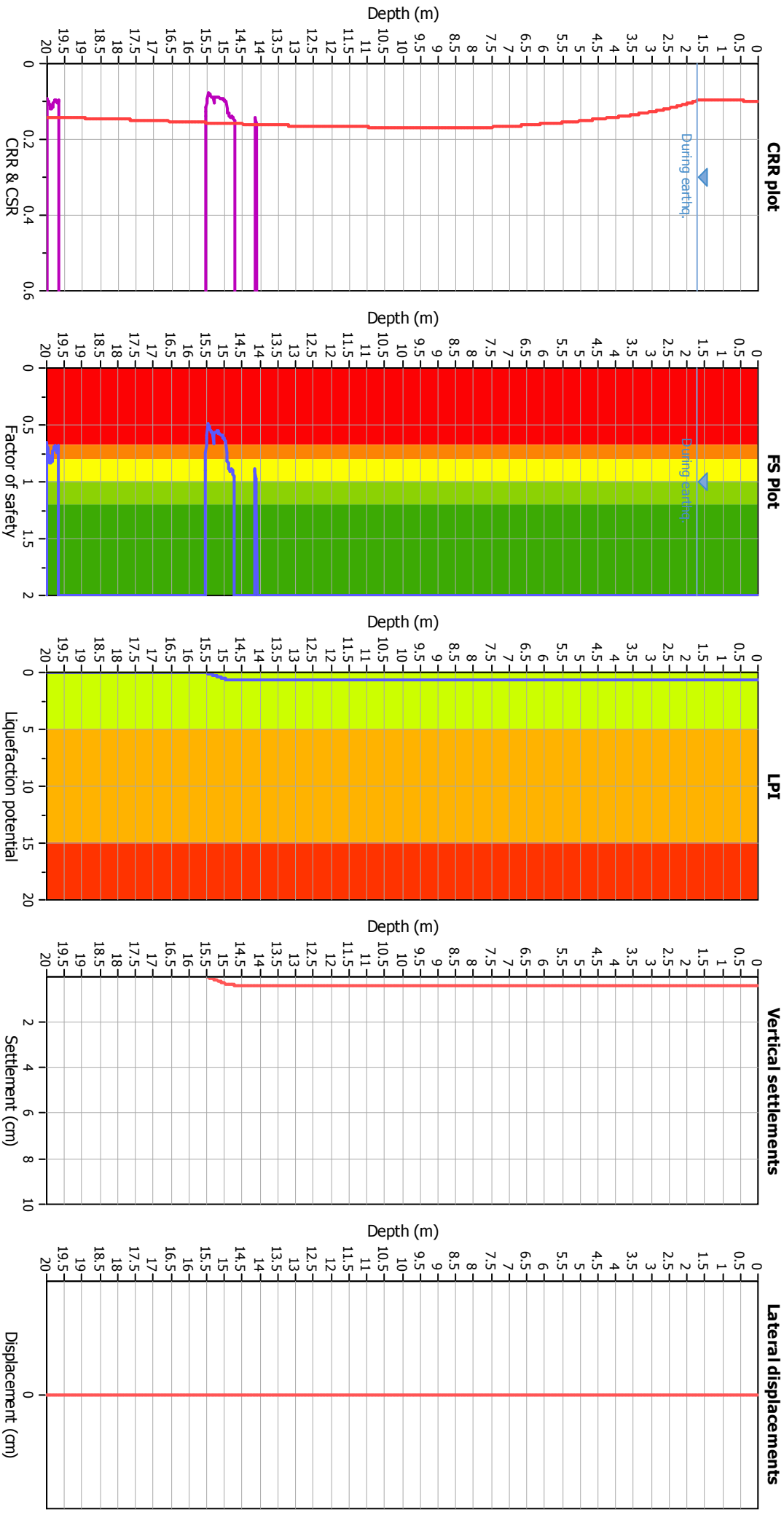
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.70 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (ethq.):	1.70 m
Fines correction method:	NCEER (1998)	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:	0.21	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A
		Fill weight:	N/A
		Transition detect. applied:	No
		K_s applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	Sands only
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

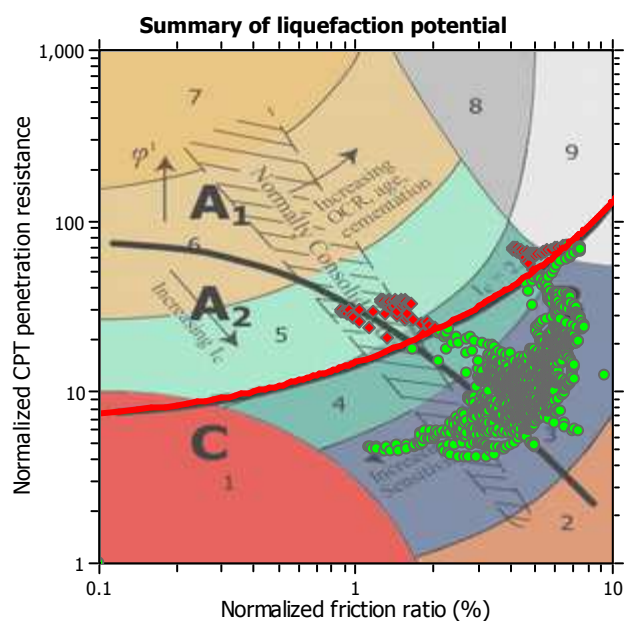
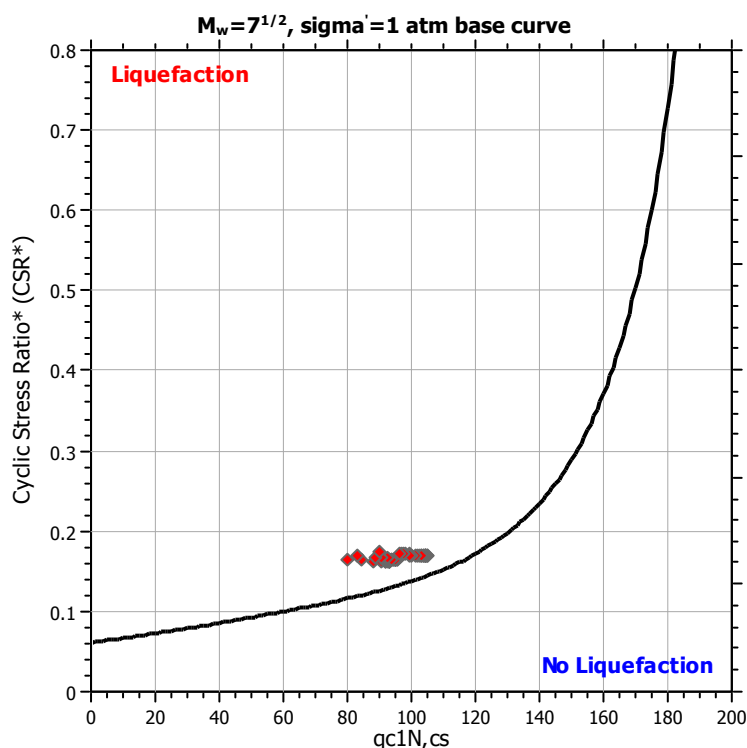
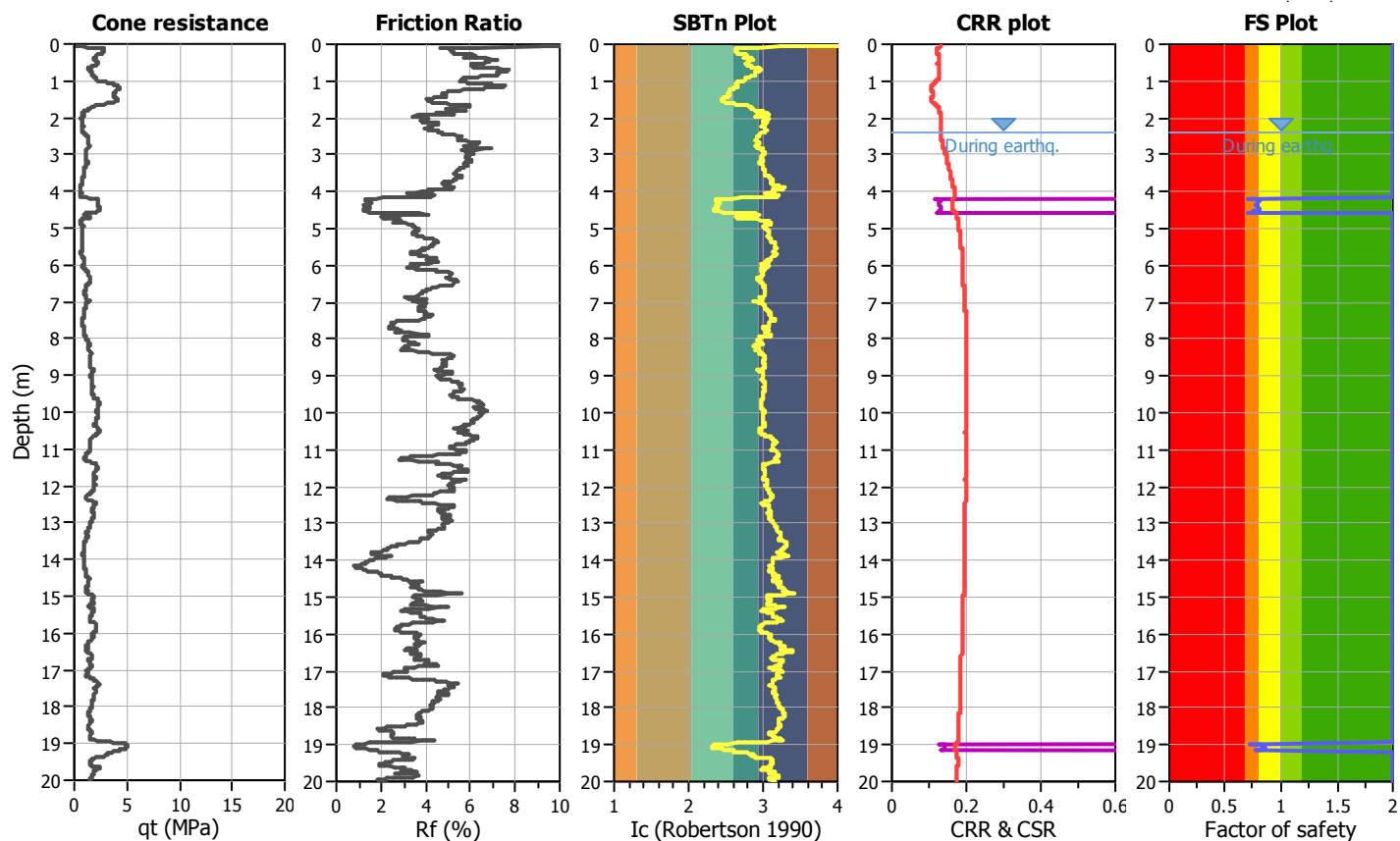
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73203CPTU177

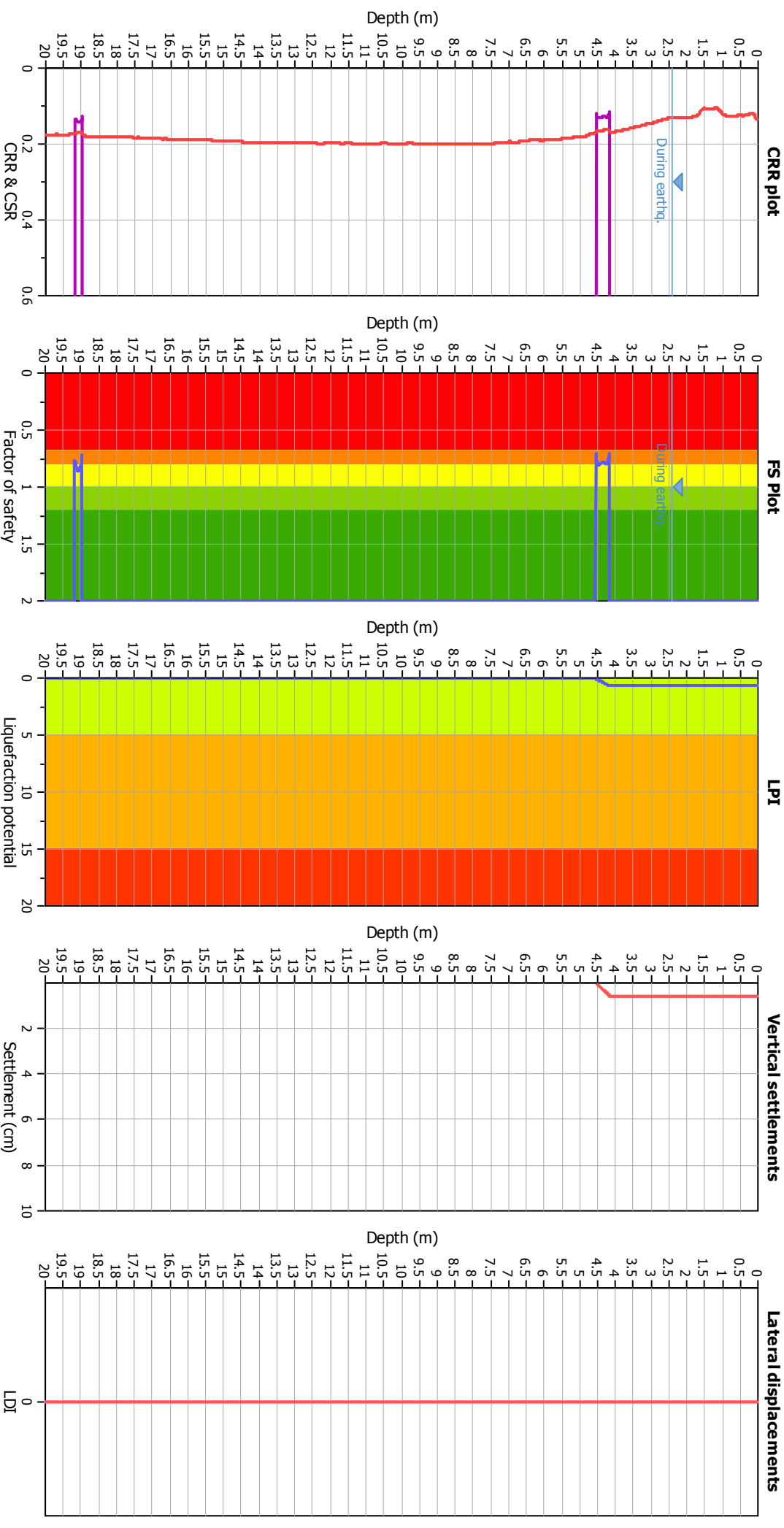
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	BR&I (2014)
Fines correction method:	BR&I (2014)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.20
Depth to water table (insitu):	2.40 m
Depth to GWT (earthq.):	2.40 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:	No
K_{α} applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

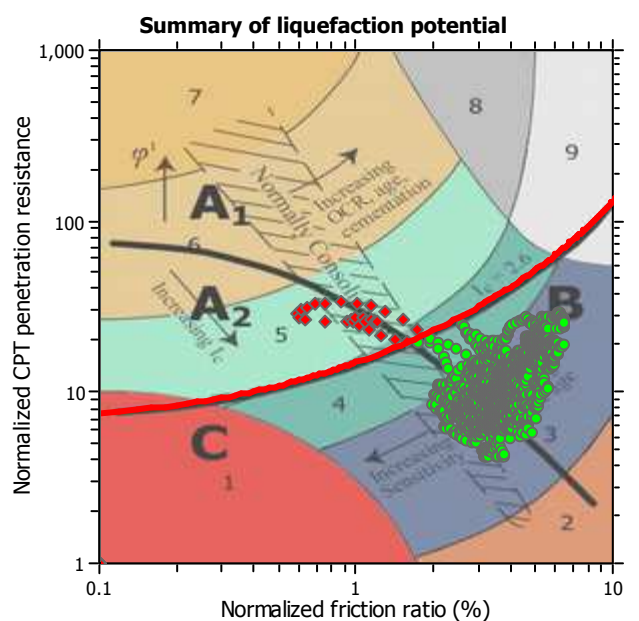
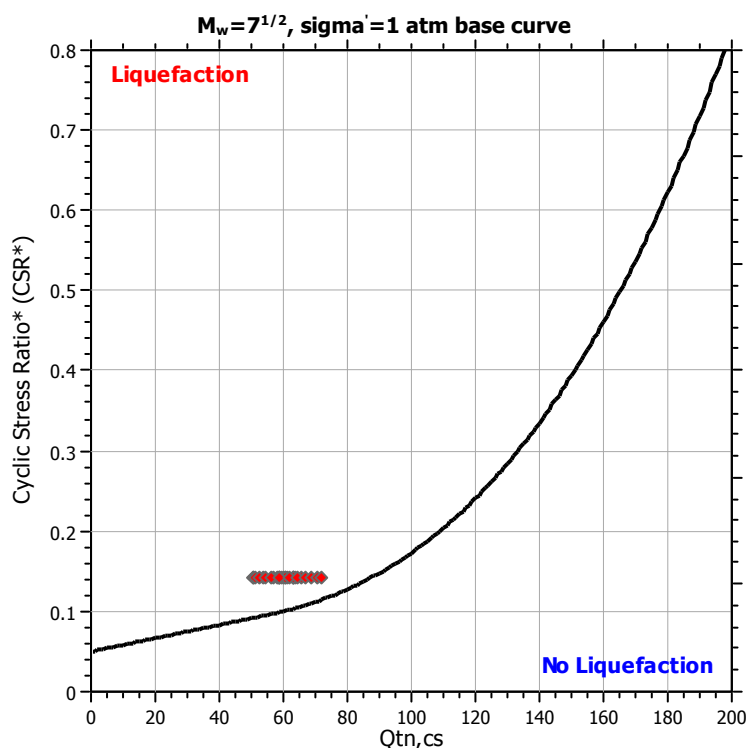
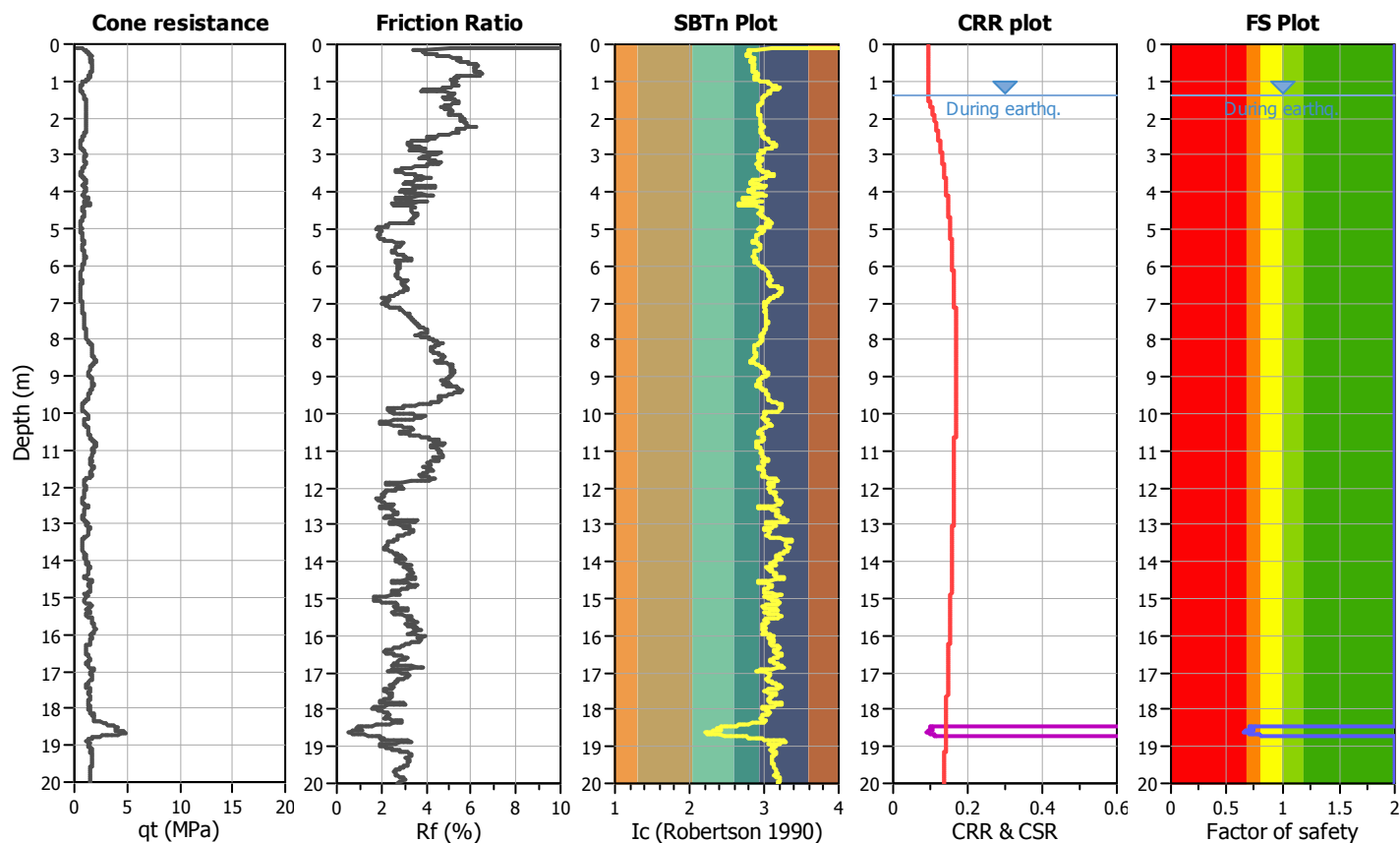
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73204CPTU178

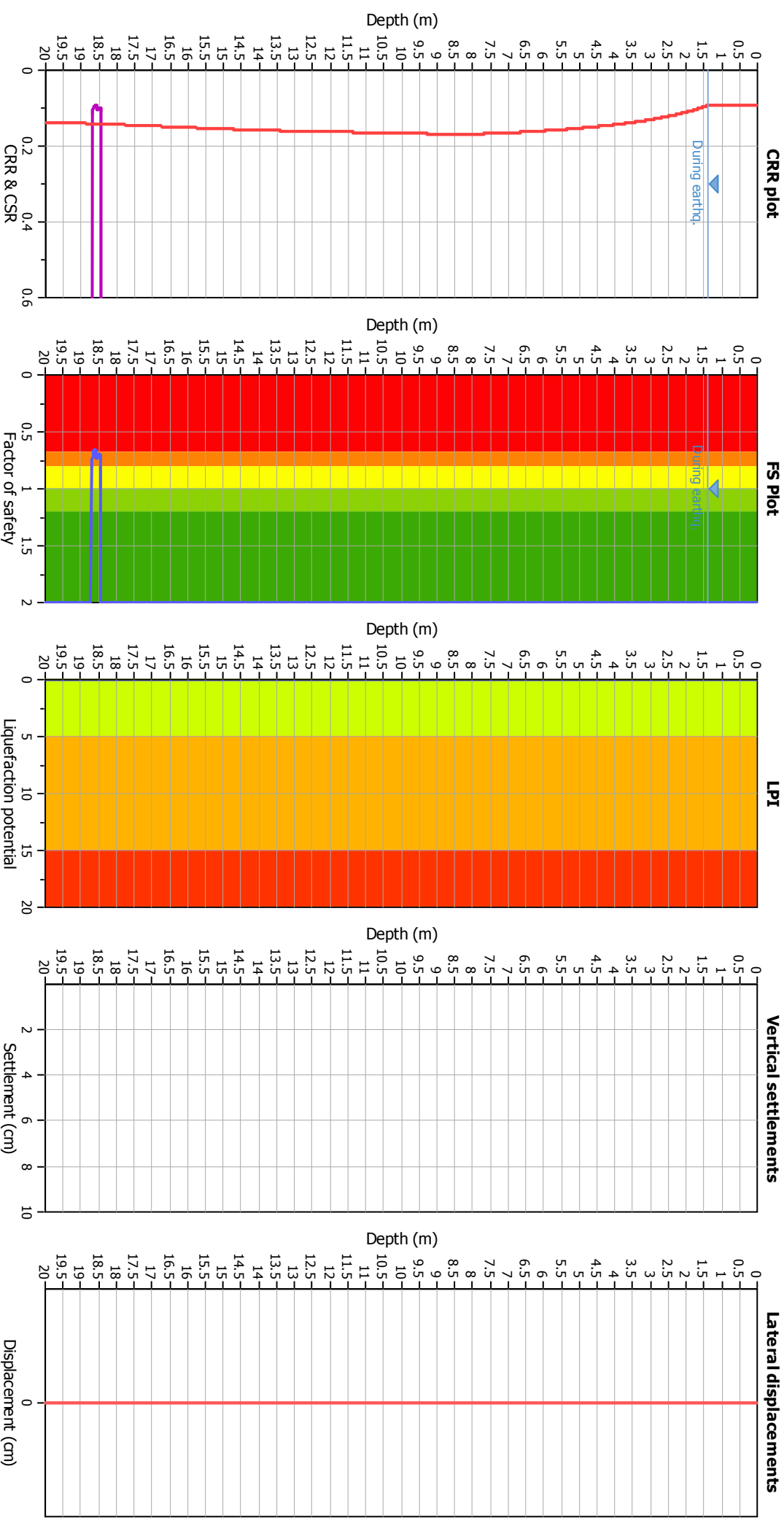
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.40 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (ethq.):	1.40 m
Fines correction method:	NCEER (1998)	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:	No
		K_v applied:	Yes
		Clay like behavior applied:	Sands only
		Limit depth applied:	Yes
		Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

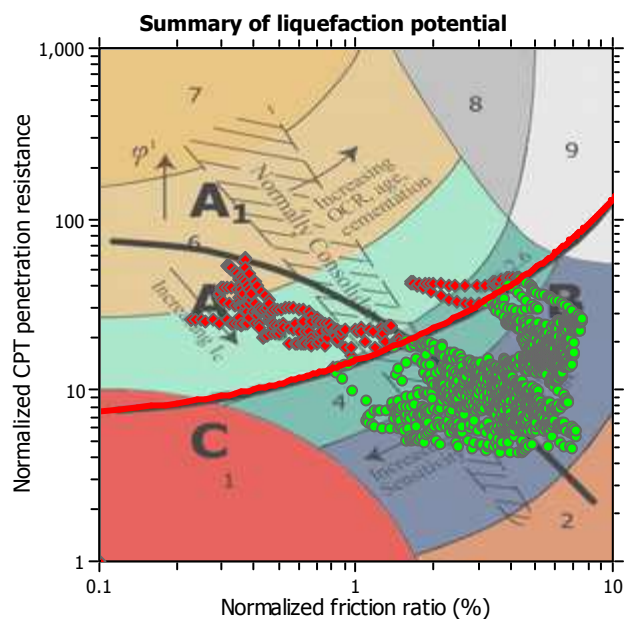
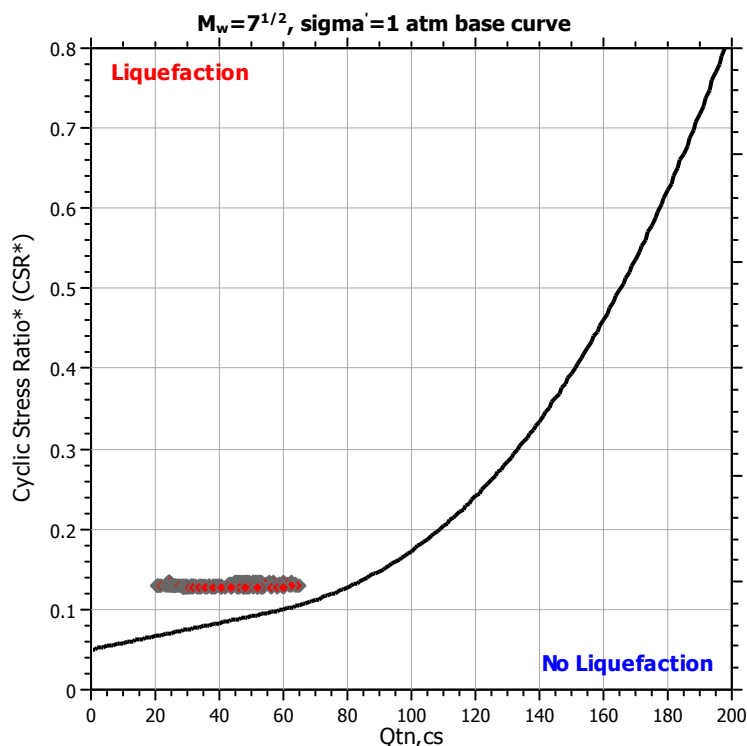
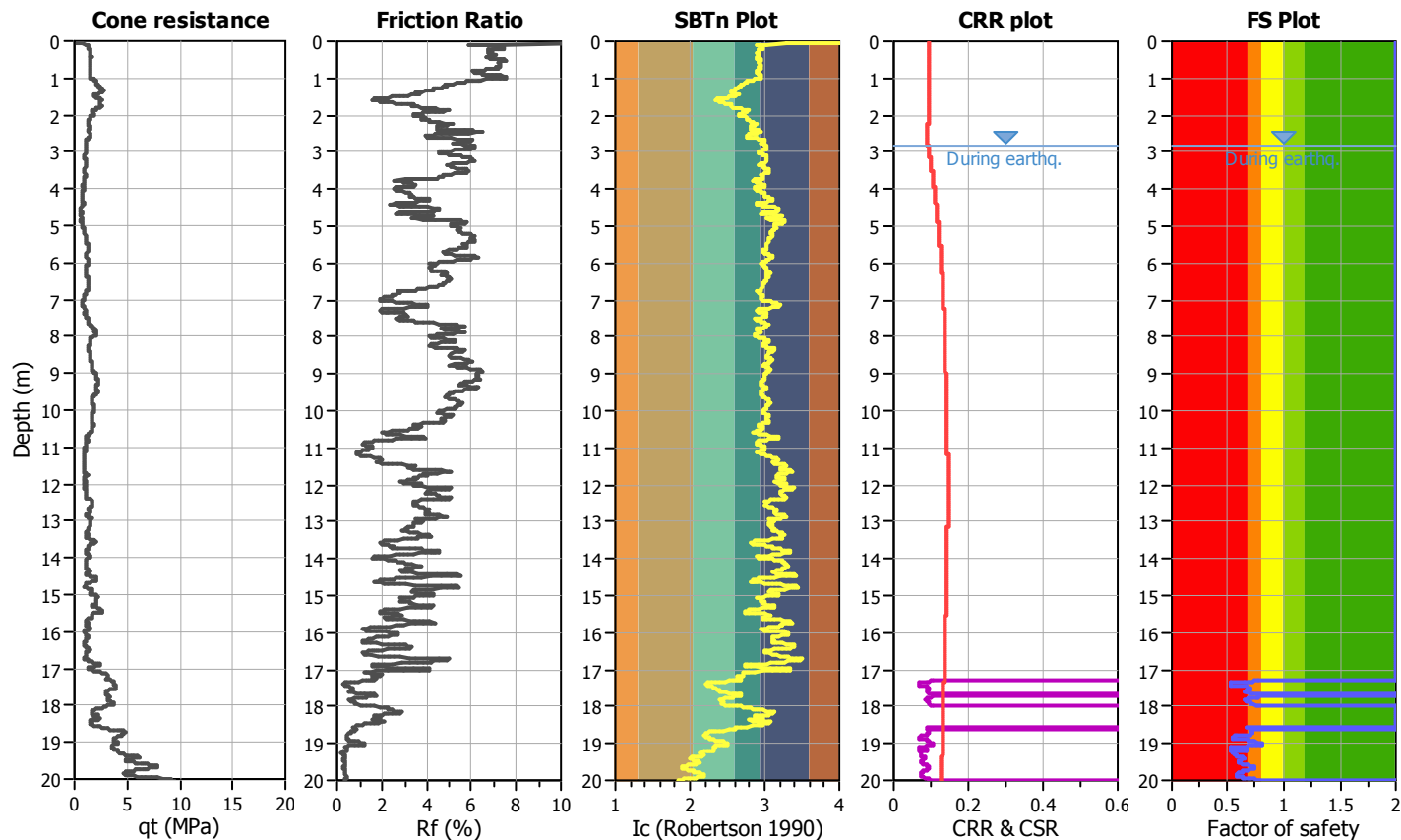
Project title : Microzonazione Sismica livello 3

Location : Comune di Bastiglia (MO)

CPT file : P73205CPTU179

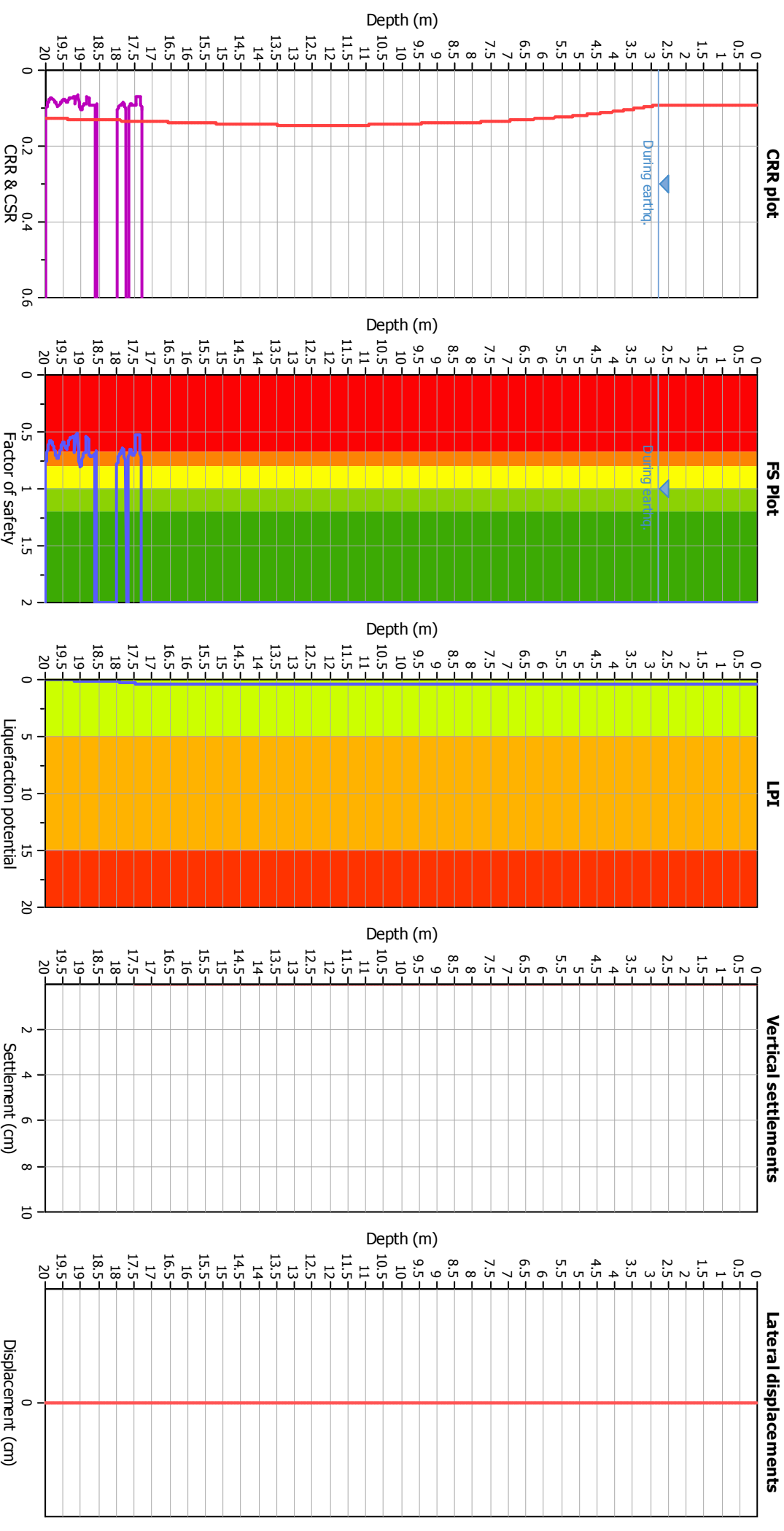
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.80 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)
Fines correction method:	NCEER (1998)
Points to test:	Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w :	6.14
Peak ground acceleration:	0.20
Depth to water table (insitu):	2.80 m
Depth to water table (earthq.):	2.80 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:	No
K_0 applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	Yes
Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk