



Comune di
Crevalcore



Comune di
San Giovanni in Persiceto



Comune di
Casalecchio di Reno



Comune di
Bologna



Comune di
Sasso Marconi



Comune di
Marzabotto

Ciclovia del Sole: tratto 3 attraversamento dei centri abitati di Crevalcore, San Giovanni in Persiceto, Sala Bolognese - tratto 4: Casalecchio - Marzabotto

CUP n° C61B21013060002

PROGETTO DEFINITIVO



Coordinamento e integrazione delle prestazioni specialistiche:

arch. Enrico Guaitoli Panini

Il Responsabile Unico del Procedimento:

ing. Maurizio Martelli

Progettazione ciclabile e paesaggistica:

arch. Irene Esposito, paes. Giulia Mazzali, arch. Eleonora Vaccari,
arch. Michela Gessani, dott. paes. Sara Martignoni, arch. Alberto Coppi

Supporto al RUP:

ing. Chiara Ferrari
arch. Federica Sodano
ing. Sara Destro
dott.ssa Silvia Mazza
arch. Giulia Maroni

Progettazione delle strutture:

prof. ing. Massimo Majowiecki, ing. Giovanni Berti,
ing. Monica Mingozzi, ing. Elisa Sammarco, ing. Mario Chinni

Geologia, Ambiente, Idraulica:

geol. Pierluigi Dallari, geol. Arianna Casarini, geol. Lisa Gasparini,
geol. Emiliano Quadernari, ing. Yos Zorzi

Coordinamento della sicurezza:

ing. Fausto Gallarello, ing. Roberto Perlangeli

SCALA	FORMATO A4
CODICE REL-3-1	DATA Novembre 23

N. REV.	DATA	DESCRIZIONE	DISEGNATO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	27/11/2023	Relazione geologica, geotecnica e sismica	L. Gasparini E. Quadernari	Pier Luigi Dallari	Enrico Guaitoli Panini



Sommario

1.	Premessa	4
1.1	Riferimenti normativi	4
2.	TRATTO 3 – COMUNE DI CREVALCORE	5
2.1	Inquadramento generale	5
2.1.1	Elementi geologici e geomorfologici	6
2.1.2	Inquadramento sismico.....	6
2.2	Indagini geognostiche	9
2.2.1	Prove eseguite per il tratto ciclabile	12
2.2.1.1	Prove di carico su piastra DPLT	12
2.2.1.2	Analisi di laboratorio	13
2.2.2	Prove eseguite per gli attraversamenti.....	14
2.2.2.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU.....	14
2.2.2.2	Indagine sismica SCPTU1.....	15
2.2.2.3	Indagine sismica MASW	16
2.2.2.4	Indagine sismica HVSR	17
2.3	Caratterizzazione sismica del sito	19
2.3.1	Pericolosità sismica di base.....	19
2.3.2	Categoria di sottosuolo	20
2.3.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	23
2.3.4	Azione sismica e risposta sismica del sito – Analisi di risposta sismica locale	24
2.3.5	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2 DGR 476/2021)	32
2.4	Modellazione geologica e geotecnica del sito	35
2.4.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	35
3.	TRATTO 3 – COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO	39
3.1	Inquadramento generale	39
3.1.1	Elementi geologici e geomorfologici	40
3.1.2	Inquadramento sismico.....	41
3.2	Indagini geognostiche	44
3.2.1	Prove eseguite per il tratto ciclabile	47
3.2.1.1	Prove di carico su piastra DPLT	47
3.2.1.2	Analisi di laboratorio	47
3.2.2	Prove eseguite per gli attraversamenti.....	48

3.2.2.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU.....	48
3.2.2.2	Indagine sismica MASW	49
3.2.2.3	Indagine sismica HVSR	49
3.3	Caratterizzazione sismica del sito	50
3.3.1	Pericolosità sismica di base.....	50
3.3.2	Categoria di sottosuolo	52
3.3.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	54
3.3.4	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2 DGR 476/2021)	55
3.4	Modellazione geologica e geotecnica del sito	56
3.4.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	56
4.	TRATTO 4 – COMUNE DI SASSO MARCONI	59
4.1	Inquadramento generale	59
4.1.1.	Elementi geomorfologici	60
4.1.2.	Inquadramento geologico	63
4.2	Indagini geognostiche.....	73
4.2.1	Prove eseguite per il tratto ciclabile	76
4.2.1.1	Prove di carico su piastra DPLT	76
4.2.1.2	Analisi di laboratorio	76
4.3	Indagini per le opere	77
4.3.1	Passerella Rio Verde.....	77
4.3.1.1	Caratterizzazione sismica del sito	80
4.3.1.2	Pericolosità sismica di base.....	80
4.3.1.3	Categoria di sottosuolo	82
4.3.1.4	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	83
4.3.1.5	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale.....	85
4.3.2	Passerella Rio Maggiore	88
4.3.2.1	Caratterizzazione sismica del sito	91
4.3.2.2	Pericolosità sismica di base.....	91
4.3.2.3	Categoria di sottosuolo	93
4.3.2.4	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	94
4.3.2.5	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale.....	96
4.3.3	Passerella Fiume Reno Sinistra Idrografica	99
4.3.3.1	Caratterizzazione sismica del sito	104
4.3.3.2	Pericolosità sismica di base.....	104

4.3.3.4	Categoria di sottosuolo	106
4.3.3.5	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	107
	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale	109
5.	TRATTO 4 – COMUNE DI MARZABOTTO	112
5.1	Inquadramento generale	112
5.1.1.	Elementi geomorfologici	112
5.1.2.	Inquadramento geologico	115
5.2.	Indagini geognostiche.....	120
5.2.1	Prove eseguite per il tratto ciclabile	122
5.2.1.1	Prove di carico su piastra DPLT	122
5.2.1.2	Analisi di laboratorio	122
5.3	Indagini per le opere	123
5.3.1	Passerella Fiume Reno Sinistra Idrografica	123
5.3.1.1	Caratterizzazione sismica del sito	126
5.3.1.2	Pericolosità sismica di base.....	126
5.3.1.3	Categoria di sottosuolo	128
5.3.1.4	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	129
5.3.1.5	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale.....	131
5.3.2	Forestale Via Brolo	134
5.3.2.1	Caratterizzazione sismica del sito	138
5.3.2.2	Pericolosità sismica di base.....	138
5.3.3	Dissesto via Brolo	140
5.3.3.1	Caratterizzazione sismica del sito	145
5.3.3.2	Pericolosità sismica di base.....	145
5.3.3.3	Categoria di sottosuolo	147
5.3.3.4	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	148
5.3.3.5	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale.....	150
5.4	Elementi di dissesto interferenti.....	153

Allegati

TRATTO 3 COMUNE DI CREVALCORE

Allegato n.1 Verifica alla liquefazione

TRATTO 3 COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO

Allegato n.2 Verifica alla liquefazione

1. Premessa

Il presente elaborato illustra le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche inerente ad alcuni tratti della Ciclovía del Sole, passanti per i Comuni di Crevalcore, San Giovanni in Persiceto, Casalecchio e Marzabotto.

In particolare sono stati definiti diversi tratti della ciclovía, denominati:

- **tratto 3** che comprende l'attraversamento dei centri abitati di Crevalcore e San Giovanni in Persiceto;
- **tratto 4** che comprende Casalecchio – Marzabotto

La presente relazione geologica geotecnica e sismica viene divisa per i diversi tratti illustrati.

1.1 Riferimenti normativi

Il presente studio è stato condotto secondo la seguente Normativa Tecnica e documentazione di riferimento:

- **OPCM 3274/2003** - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- **D.M. 17.01.2018** - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP.** - Circolare esplicativa delle NTC 2018;
- **D.G.R. 476/2021**– 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.

2. TRATTO 3 – COMUNE DI CREVALCORE

2.1 Inquadramento generale

Il tratto in esame è collocato in ambiente di pianura, in particolare a nord del centro abitato di Crevalcore (BO).



Fig.2.1 - Ubicazione del sito in studio – tratto 3 – Comune di Crevalcore.

2.1.1 Elementi geologici e geomorfologici

Il territorio comunale di Crevalcore (BO) è collocato in un settore di bassa pianura padana, caratterizzato da depositi quaternari di delta fluviale interno del Fiume Panaro, prevalentemente composti da alternanze ed interdigitazioni di sedimenti a granulometria variabile da media (sabbie) a fine (limi ed argille).

Dalla cartografia del CARG scala 1:50.000, Foglio n.202 "San Giovanni in Persiceto", la geologia di superficie è caratterizzata da alternanze di sabbie e limi sabbiosi di argine, canale e rotta fluviale. Essi sono costituiti principalmente da sabbie di granulometria da fine a media, in strati da sottili a spessi alternati a limi. Generalmente gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva. L'unità che contraddistingue il tratto ciclabile è l'Unità di Modena (AES8a) del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore.

L'attività sedimentaria è da specificare che fu particolarmente intensa in epoca altomedievale e poi diminuì progressivamente, cessando del tutto, dopo la robusta arginatura degli alvei del Panaro e del Reno. Nelle aree tra le zone di alveo, si sono accumulati sedimenti coesivi come argille limose, argille ed argille torbose, le quali presentano proprietà geotecniche piuttosto scadenti.

Le aree circostanti l'abitato di Crevalcore sono state interessate nel tempo da alluvioni e mutamenti relativi al quadro idrografico. Al di sotto delle unità descritte di cui sopra vi sono depositi alluvionali formati da granulometrie maggiori, quali ghiaie sabbiose e ghiaie, ricomprese all'interno del Subsintema di Ravenna (AES8).



Fig.2.2 – Estratto della "Carta della litologia di superficie" – Regione Emilia Romagna - Comune di Crevalcore.

2.1.2 Inquadramento sismico

Dalla consultazione della carta di microzonazione omogenee in prospettiva sismica (MOPS) realizzata a seguito dell'Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n.70 del 13/11/2012, di cui se ne riporta

un estratto in figura, si evidenzia come in parte il percorso risulta in parte in zona non cartografata e in parte ricade in zone instabili di liquefazione.

Dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (a cura di Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse di Firenze), il substrato geologico è rappresentato dal Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS) datato al Pleistocene medio (0,45 Ma) e, come detto precedentemente, costituito da depositi alluvionali, sviluppatasi in ambiente di canale, argine e rotta fluviale o di piana inondabile. Esso è composto da alternanze di argille organiche, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale, attribuibili a diversi cicli deposizionali e tipicamente coarsening-upward (CU). Come osservabile nella Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, l'area interessata dalla esecuzione della ciclovia ricade nella zona in cui la base del SERS è stimata a profondità variabile tra i -300 m e -400 m sul livello del mare.

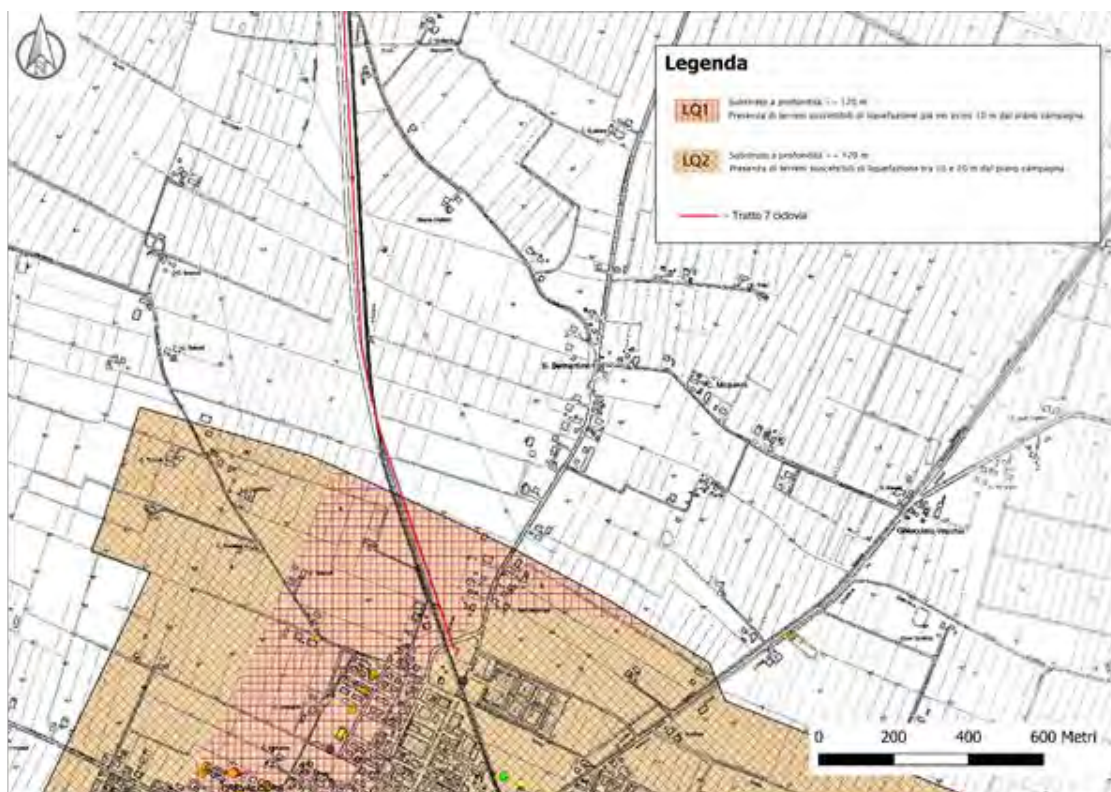
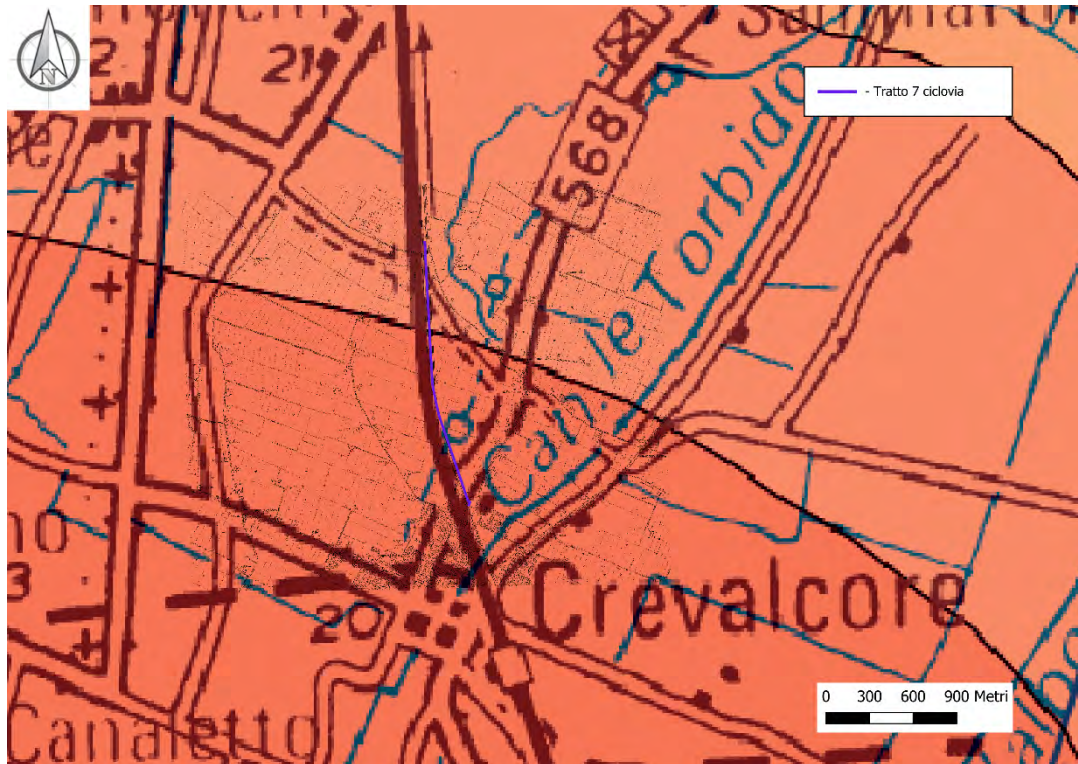


Fig.2.3 – Estratto della "Carta delle MOP" – Regione Emilia Romagna -Comune di Crevalcore.



Isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS; 0,45 Ma-Presente) riferite al livello del mare
 Isobaths of the base of the Emilia-Romagna Upper Synthem (SERS; 0,45 My-Present) referred to the sea level

Fig.2.4 – Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna con dettaglio l’area d’interesse.

2.2 Indagini geognostiche

Per caratterizzare il volume significativo, a supporto del progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geologiche:

PER TUTTO IL TRATTO CICLABILE

- **Prove di carico su piastra DPLT – tramite piastra leggera secondo la normativa tedesca TP BF-StB Teil B8.39**
- **Campionamento del terreno alla quota compresa tra 0.60 – 0.80 m da p.c. per analisi di laboratorio.**

PER GLI ATTRAVERSAMENTI:

- SCAVALCO CREVALCORE:
 - **N.1 Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU spinta a -20.0 m da p.c.**
 - **N.2 prove penetrometriche statiche con piezocono sismico SCPTU hanno raggiunto 20.0 m.**
 - **N.1 indagine sismica MASW**
 - **N.1 indagine sismica HVSR**

*Sono state eseguite n.2 prove penetrometriche con piezocono sismico in quanto inizialmente nell'esecuzione della prima prova non è stato possibile arrivare a -30.0 m per problemi alla strumentazione. È stata pertanto eseguita una seconda prova SCPTU in adiacenza alla prima, ma a -20.0 m da p.c. la consistenza dei terreni non ha permesso di proseguire la prova.

Pertanto per definire la Vs30 è stata eseguita un'indagine sismica MASW.

Di seguito si riportano le ubicazioni delle indagini.

PER TUTTO IL TRATTO CICLABILE



Fig.2.5 – Prove di piastra e campionamenti – Comune di Crevalcore

PER GLI ATTRAVERSAMENTI:



Fig.2.6 – Prove penetrometriche e sismiche – Comune di Crevalcore

2.2.1 Prove eseguite per il tratto ciclabile

2.2.1.1 Prove di carico su piastra DPLT

Le prove di carico su piastra dinamica sono state effettuate tramite dispositivo di piastra leggera secondo la normativa tedesca TP BF-StBTeil B8.3.

La prova serve per valutare il modulo di deflessione dinamica EVD in MN/m². Questo modulo è un indice per stimare la resistenza di sottofondi e pavimentazioni in seguito all'applicazione di un carico dinamico.

La prova consiste nell'eseguire un precarico sull'area di prova con n. 3 impulsi, sollevando il peso e lasciandolo cadere subito dopo lungo l'asta di guida. Dopo gli impulsi di precarico è possibile partire con la prova accendendo il dispositivo elettronico ed eseguendo n. 3 impulsi di carico ad ognuno dei quali nel dispositivo saranno mostrati i cedimenti successivi (mm). Al termine dei n. 3 impulsi di carico il dispositivo elaborerà una media dei n. 3 cedimenti ottenuti ed il modulo di deflessione dinamica EVD in MN/m².

Il modulo di deflessione dinamica EVD viene calcolato dalla misura del cedimento secondo le seguenti espressioni:

$$E_{vd} = \frac{22.5}{s} \quad (300 \text{ mm plate and } 10 \text{ kg load})$$

$$E_{vd} = \frac{33.75}{s} \quad (300 \text{ mm plate and } 15 \text{ kg load})$$

dove:

$$E_{vd} \left[\frac{MN}{m^2} \right] \quad \text{dynamic deflection modulus}$$

$$s [mm] \quad \text{settlement}$$

s = cedimento della superficie caricata (mm).

Tale prova offre i seguenti vantaggi:

- non necessità della presenza di un mezzo di contrasto richiesto per controbilanciare la pressione esercitata come nella prova di carico su piastra statica;
- le misure sono possibili anche in condizioni di difficile accesso e spazio limitato;
- la massa dell'attrezzatura di prova è modesta;
- le misure sono speditive e offrono risultati in tempo reale.

Si riportano nella seguente tabella i valori dei moduli di deflessione dinamica EVD in MN/m² rilevati dalle prove di carico su piastra dinamica (piastra 300 mm; maglio 10.00 kg) eseguite.

COMUNE DI CREVALCORE

DPLT	EVD
1	7.2 MN/m ² ≈ 72.0 kg/cm ²
2	7.7 MN/m ² ≈ 77.0 kg/cm ²
3	31.7 MN/m ² ≈ 317.0 kg/cm ²
4	57.1 MN/m ² ≈ 571.0 kg/cm ²

Tab.3.1 – Moduli di deflessione dinamica ottenuti in sito.

2.2.1.2 Analisi di laboratorio

Sono stati prelevati n. 4 campioni di terreno, alla quota compresa tra D=0.60 m e 0.80 m da p.c..

Su tali campioni sono state eseguite le seguenti prove:

- ANALISI GRANULOMETRICA SU TERRE/MATERIALI DIMENS. <5 MM (UNI 11531)
- DETERMINAZIONE DEL LIMITE LIQUIDO E PLASTICO (UNI 11531)
- CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA (UNI 11531-1)

ANALISI GRANULOMETRICA (UNI CEN ISO/TS 17892-4)		
CC1	Ghiaia	5.5 %
	Sabbia	23.7 %
	Limo	39.1 %
	Argilla	31.7 %
CC2	Ghiaia	0.4 %
	Sabbia	18.9 %
	Limo	45.9 %
	Argilla	34.8 %
CC3	Ghiaia	0.3 %
	Sabbia	24.8 %
	Limo	42.6 %
	Argilla	32.3 %
CC4	Ghiaia	0.0 %
	Sabbia	25.6 %
	Limo – Argilla	74.4 %

LIMITE LIQUIDO E PLASTICO (UNI CEN ISO/TS17892-12)		
CC1	Limite Liquido LL (%)	34.7 %
	Limite Plastico LP (%)	N.D.
	Indice Plastico IP (%)	-
	Indice di Consistenza IC	-
	Passante al set. N° 42	NO
	Limite Liquido LL (%)	36.2 %

CC2	Limite Plastico LP (%)	27.1 %
	Indice Plastico IP (%)	9.1 %
	Indice di Consistenza IC	3.24 %
	Passante al set. N° 42	NO
CC3	Limite Liquido LL (%)	38.2 %
	Limite Plastico LP (%)	29.2 %
	Indice Plastico IP (%)	9.0 %
	Indice di Consistenza IC	3.56 %
	Passante al set. N° 42	NO
CC4	Limite Liquido LL (%)	48.7 %
	Limite Plastico LP (%)	N.D. %
	Indice Plastico IP (%)	-
	Indice di Consistenza IC	-
	Passante al set. N° 42	NO

CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA (UNI 11531-1)		
CC1	Indice di Gruppo	8
	Classificazione	A4
CC2	Indice di Gruppo	8
	Classificazione	A 4
CC3	Indice di Gruppo	8
	Classificazione	A 4
CC4	Indice di Gruppo	10
	Classificazione	A 5

2.2.2 Prove eseguite per gli attraversamenti

2.2.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU

Le prove sono state eseguite con un penetrometro Gouda dotato di punta elettrica e piezocono CPTE/U. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Caratteristiche del Piezocono			
Canali di misura:		Dimensioni:	
Resistenza di punta (qc):	10; 50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (fs):	0,5 MPa	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm ²
Inclinazione:	0 - 40°	Superficie laterale:	150 cm ²
		Peso:	2,1 kg
		Lunghezza:	413 mm

Le prove sono state elaborate mediante il software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. La caratterizzazione litostratigrafica del terreno è stata effettuata in funzione delle

carte proposte da Robertson, in cui il tipo di comportamento del terreno è definito da tre parametri: qt, resistenza alla punta corretta, Rf, Bq, nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

<p>:: Unit Weight, g (kN/m³) :: $g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{P_a}\right) + 1.236 \right)$ where g_w = water unit weight</p> <p>:: Permeability, k (m/s) :: $I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$ $I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$</p> <p>:: N₆₀ (blows per 30 cm) :: $N_{60} = \left(\frac{q_t}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$ $N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$</p> <p>:: Young's Modulus, Es (MPa) :: $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$ (applicable only to $I_c < I_{c,limit}$)</p> <p>:: Relative Density, Dr (%) :: $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}}$ (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c,limit}$)</p> <p>:: State Parameter, ψ :: $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$</p> <p>:: Peak drained friction angle, φ (°) :: $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$ (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8)</p> <p>:: 1-D constrained modulus, M (MPa) :: If $I_c > 2.20$ $\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$ $\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$ $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$ If $I_c \leq 2.20$ $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$</p>	<p>:: Small strain shear Modulus, Go (MPa) :: $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$</p> <p>:: Shear Wave Velocity, Vs (m/s) :: $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$</p> <p>:: Undrained peak shear strength, Su (kPa) :: $N_{lt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)$ or user defined $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{lt}}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: Remolded undrained shear strength, Su(rem) (kPa) :: $S_{u(rem)} = f_s$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: Overconsolidation Ratio, OCR :: $k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{-1.23}$ or user defined $OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: In situ Stress Ratio, Ko :: $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right)$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: Soil Sensitivity, Si :: $S_i = \frac{N_{lt}}{F_r}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: Effective Stress Friction Angle, φ' (°) :: $\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$ (applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)</p>
---	--

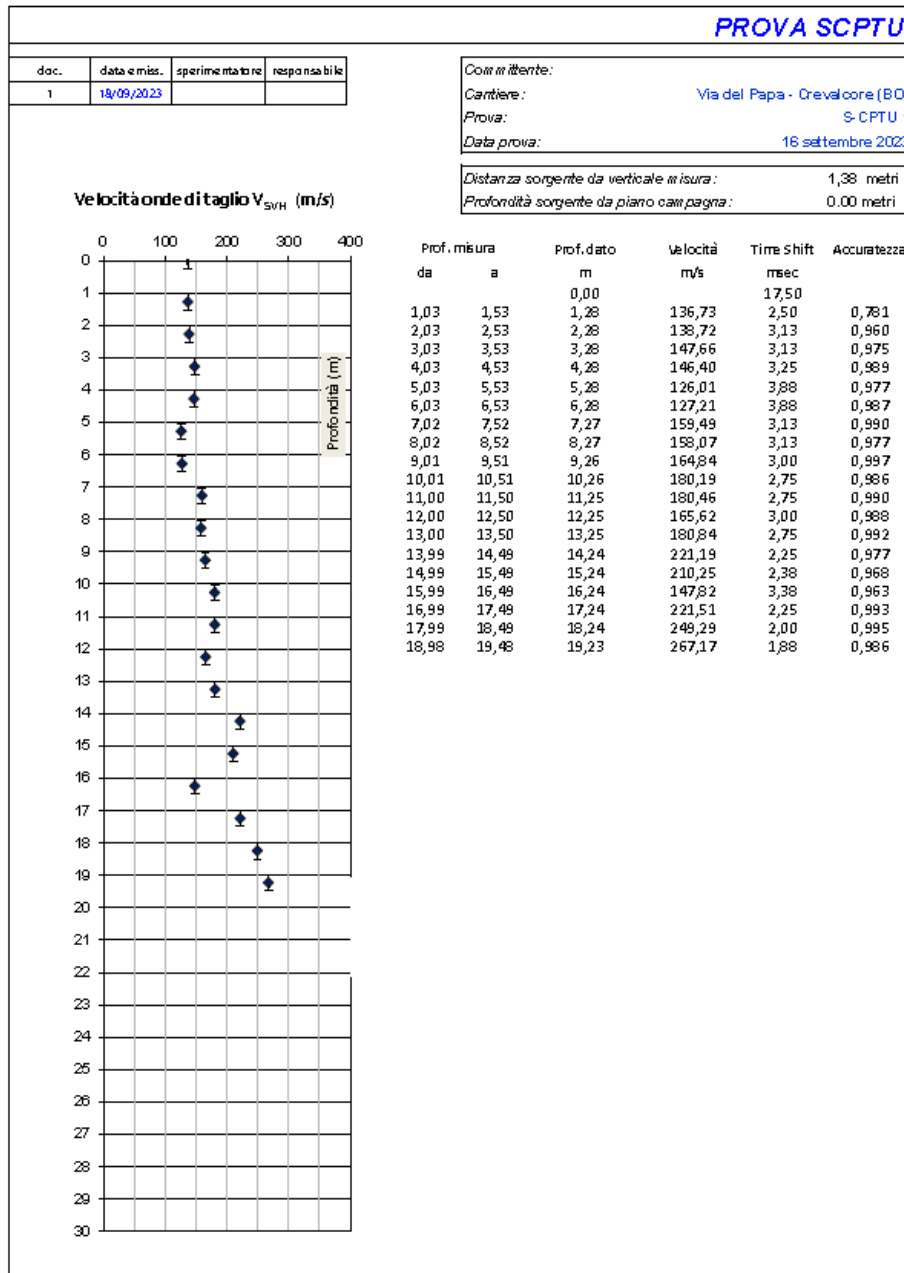
Tab.2.1 - Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

2.2.2.2 Indagine sismica SCPTU1

La prova penetrometrica elettrica con piezocono sismico S-CPTU consiste nell'infissione nel terreno di un piezocono standard all'interno del quale sono inseriti due geofoni per la misura della velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio S. Le modalità esecutive della prova seguono le normative tecniche standard della classica prova con piezocono, la cui infissione viene arrestata ad intervalli regolari di 50 cm per effettuare l'acquisizione dei dati sismici tramite sensori e sismografo.

Sono state eseguite n.2 prove penetrometriche con piezocono sismico in quanto inizialmente nell'esecuzione della prima prova non è stato possibile arrivare a -30.0 m per problemi alla strumentazione. È stata pertanto eseguita una seconda prova SCPTU in adiacenza alla prima, ma a -20.0 m la consistenza dei terreni non ha permesso di proseguire la prova. Pertanto per definire la Vs30 è stata eseguita un'indagine MASW.

Di seguito si riporta il grafico delle Vs fino alla quota di D=-19.98 m.



2.2.2.3 Indagine sismica MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma

registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "curva di dispersione", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics 24* bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

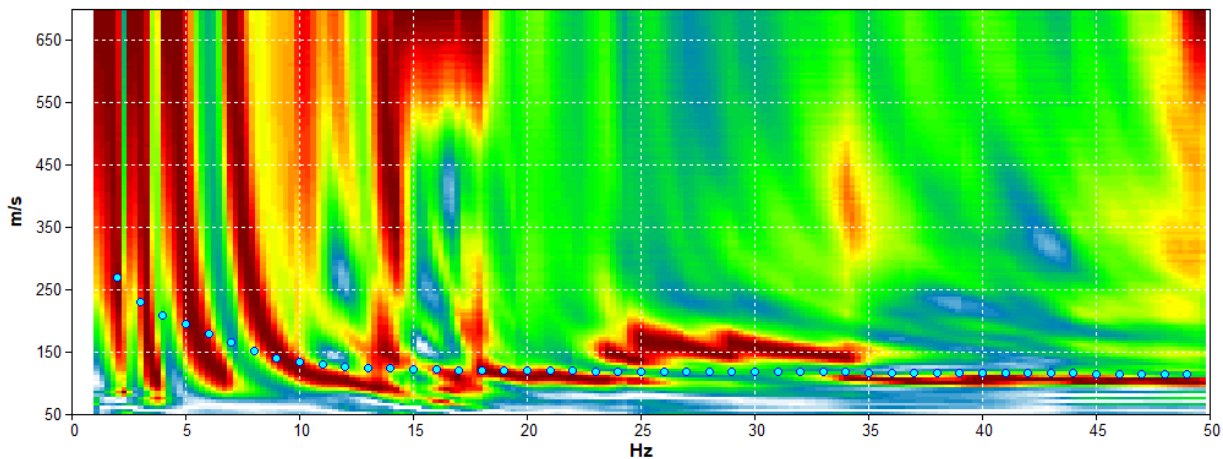


Fig.2.7 – Curva dispersione MASW

2.2.2.4 Indagine sismica HVSR

La misura sismica passiva a stazione singola è stata eseguita mediante un tomografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti.

Lo scopo dell'indagine è la misura della frequenza di risonanza del terreno, la quale è legata alla velocità delle onde di taglio V_s nel terreno dalla formula:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove h è lo spessore dello strato.

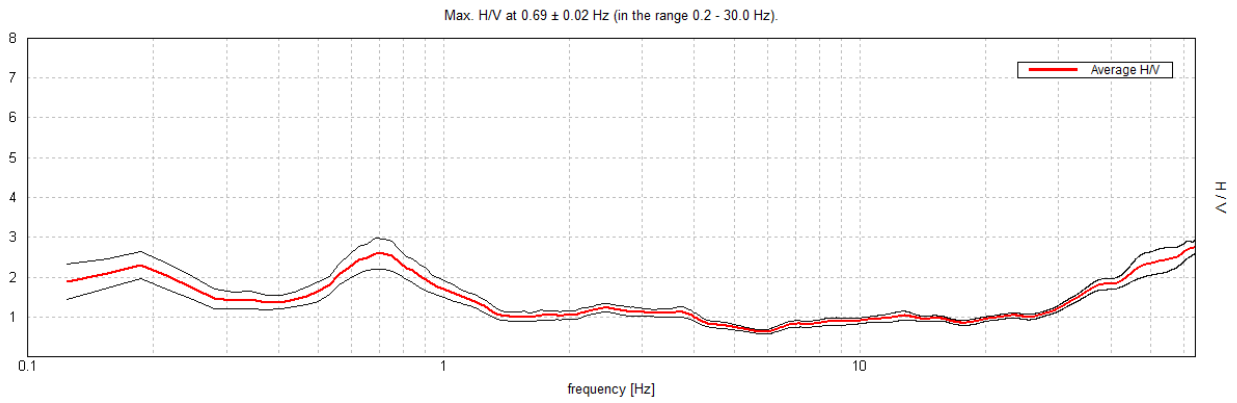


Fig.2.8 – Curva HVSr

2.3 Caratterizzazione sismica del sito

2.3.1 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Crevalcore (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

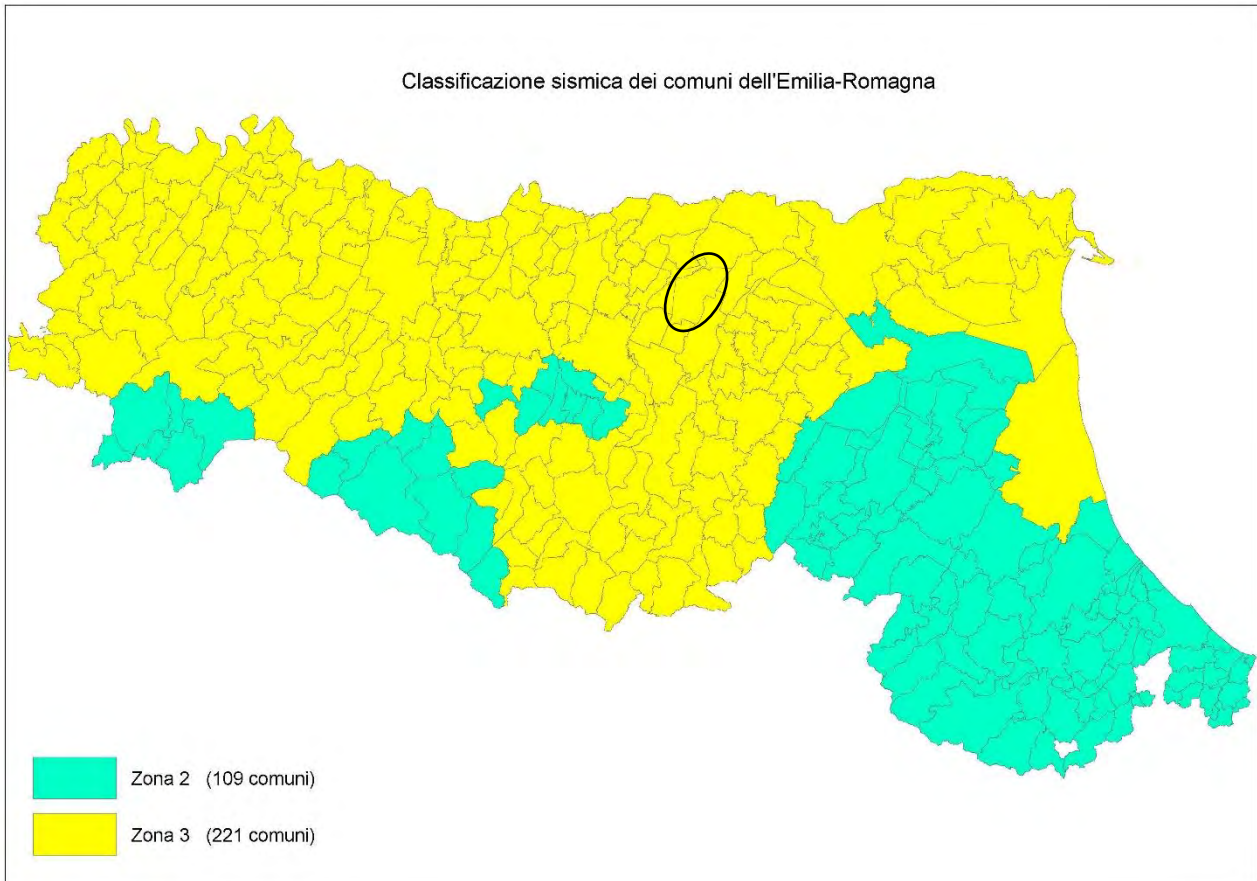



Fig.2.9 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Stati limite

 Classe Edificio
 III. Affollamento significativo...
 Vita Nominale 50
 Interpolazione Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.053	2.492	0.266
Danno (SLD)	75	0.068	2.472	0.275
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.184	2.557	0.276
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.244	2.490	0.285
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Coefficienti sismici

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.
 H (m) 1 us (m) 0.1
 Cat. Sottosuolo C
 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,42	1,34
CC Coeff. funz categoria	1,63	1,61	1,61	1,59
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.020	0.063	0.091
kv	0.008	0.010	0.031	0.046
Amax [m/s²]	0.783	1.004	2.568	3.203
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Parametri NTC18

Per lo scavalco sono stati considerati i seguenti parametri:

- Classe Edificio III
- Tr = 712 anni

2.3.2 Categoria di sottosuolo

Si illustrano successivamente i risultati ottenuti dall'interpretazione dell'elaborazione congiunta delle indagini eseguite in sito.

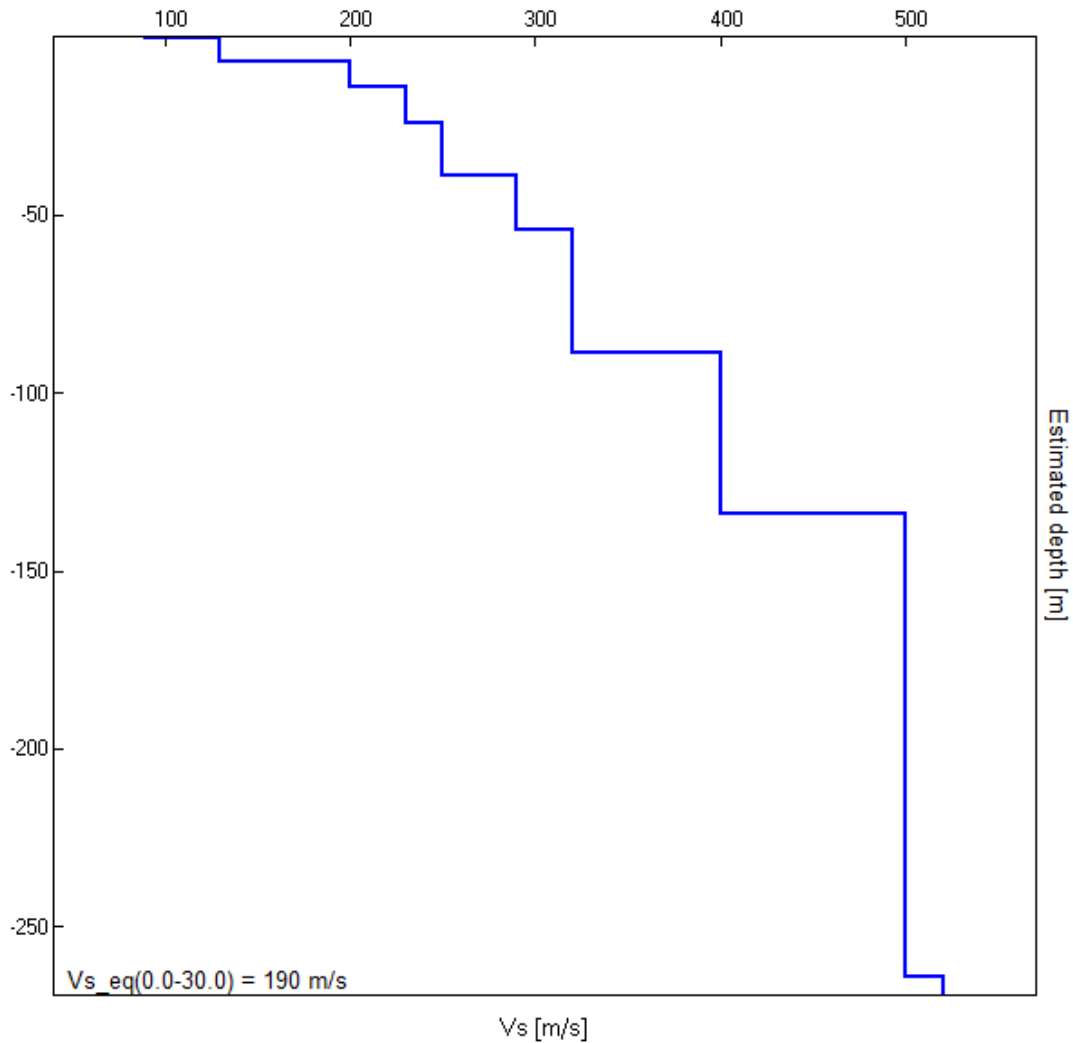


Fig.2.10 – Sintesi del modello di velocità ottenuto dall’elaborazione congiunta dell’indagine sismica HVSR-MASW.

Il modello di velocità ricavato è il seguente:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	90	0.45
7.00	6.50	130	0.45
14.00	7.00	200	0.45
24.00	10.00	230	0.44
39.00	15.00	250	0.44
54.00	15.00	290	0.44
89.00	35.00	320	0.43
134.00	45.00	400	0.43
264.00	130.00	500	0.42
inf.	inf.	520	0.42

Tab.2.2 – Modello geofisico ottenuto dall’elaborazione congiunta dell’indagine sismica HVSR-MASW

Sulla scorta della velocità derivata dall'elaborazione congiunta dall'indagine sismica HVSR e MASW appena illustrate e in riferimento a quanto illustrato nel paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018 è possibile definire come le indagini riconducano il terreno a una categoria di **sottosuolo C**. **Dall'analisi della curva HVSR è emersa una frequenza fondamentale di sito pari a 0.69 Hz.**

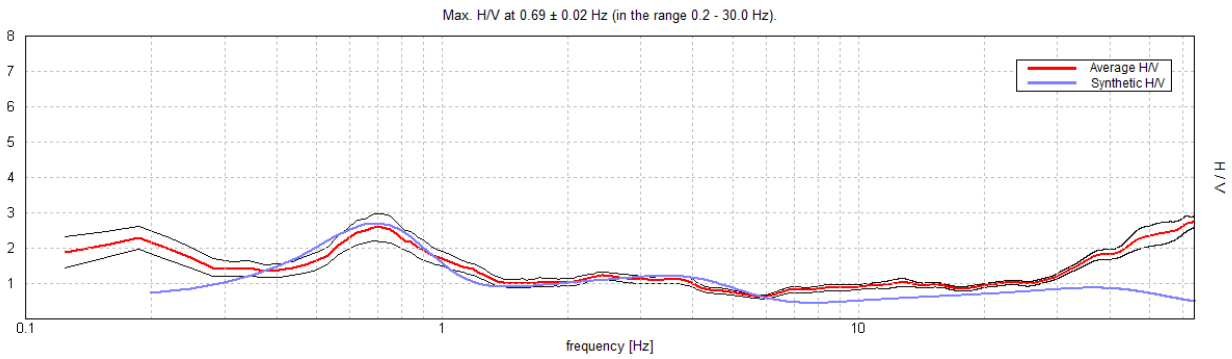


Fig.2.11 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.69 Hz.

2.3.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle NTC si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica. Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dalle indagini geofisiche eseguite in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**.

Si ricava quindi il **fattore stratigrafico S_s** , mediante la seguente relazione, valida suoli in classe C:

$$1.00 \leq S_s = 1.70 - (0.60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.50 \quad (4.1.1)$$

dove:

- F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
- a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **712 anni**/accelerazione di gravità;
- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione sopra riportata.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si considera un valore di un fattore topografico S_T sulla base della seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base.

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE			
Tr (anni)	ag(g)	Fo	Tc*(s)
712	0.184	2.557	0.276

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI SITO	
S_s	S_T
1.42	1.00

Si calcola infine per ciascuna area l'accelerazione massima orizzontale A_{max} con la seguente formula:

$$A_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.42 \cdot 1.0 \cdot 0.184 = 0.261g$$

2.3.4 Azione sismica e risposta sismica del sito – Analisi di risposta sismica locale

Dato che il progetto dello scavalco ricade in classe dell’edificio III è stato eseguito uno studio di **risposta sismica locale**, secondo III livello di approfondimento.

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l’analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell’amplificazione del sito mediante l’utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un’iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo G_{\max} o dalla corrispondente velocità massima V_{\max} , dal valore dello smorzamento D , dal peso dell’unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G / G_0 \cdot \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). L’onda monodimensionale viene descritta dall’equazione in cui lo spostamento provocato (u) è funzione della profondità (z) e del tempo (t):

$$u(z,t) = A \exp[i(\omega t + k^* z)] + B \exp[i(\omega t - k^* z)]$$

Nell’equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore k^* risulta dipendente dal modulo di taglio (G), dal grado di smorzamento (D) e dalla densità del terreno (ρ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}$$

$$G^* = G \left(1 - 2D^2 + i2D \sqrt{1 - D^2} \right) \approx G(1 + i2D)$$

Dove G^* e v_s^* rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.

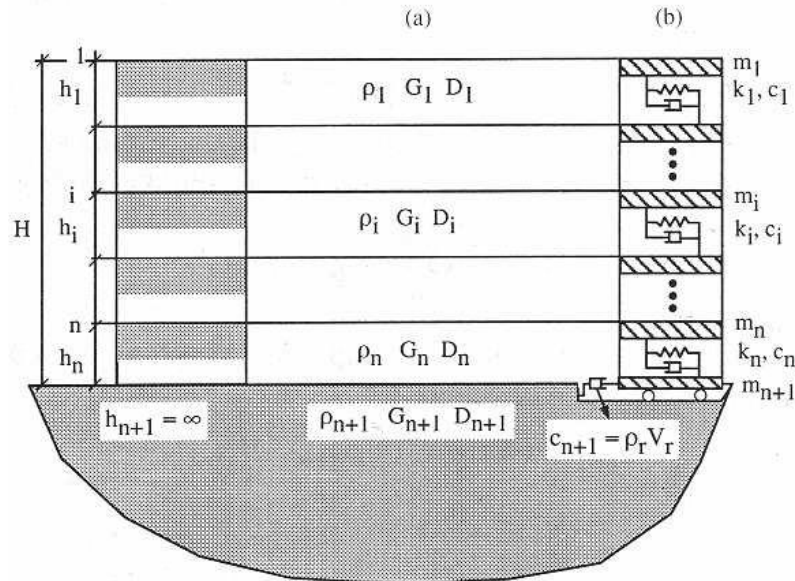


Fig.2.12 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite, e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione congiunta dell'indagine MASW e HVSR eseguite in sito, integrato con dati di bibliografici. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	90	0.45
7.00	6.50	130	0.45
14.00	7.00	200	0.45
24.00	10.00	230	0.44
39.00	15.00	250	0.44
54.00	15.00	290	0.44
89.00	35.00	320	0.43
134.00	45.00	400	0.43
264.00	130.00	500	0.42
inf.	inf.	520	0.42

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale $\gamma(\%)$. Si

riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

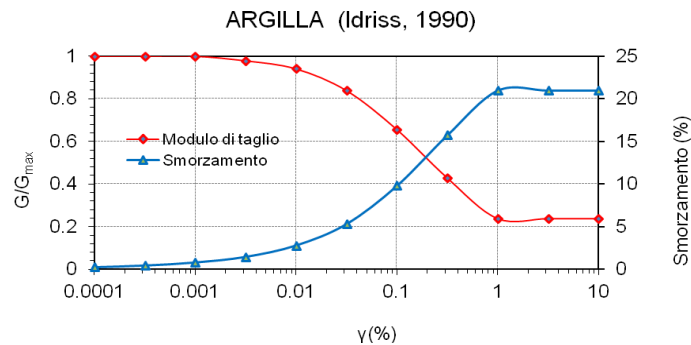


Fig.2.13 - Curve di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuali, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 30 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a II e una vita nominale pari a 50 anni, sono stati definiti n. 30 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database".

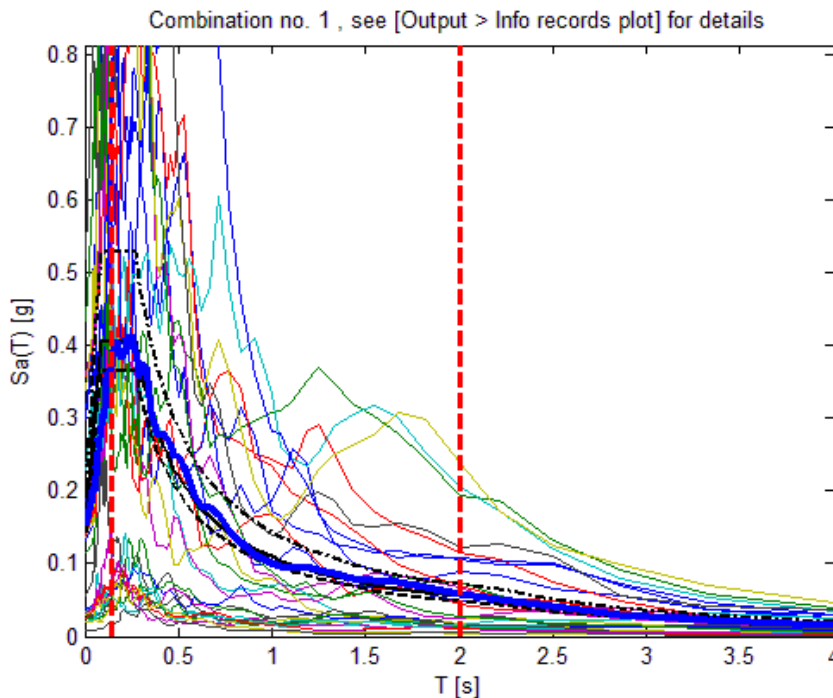
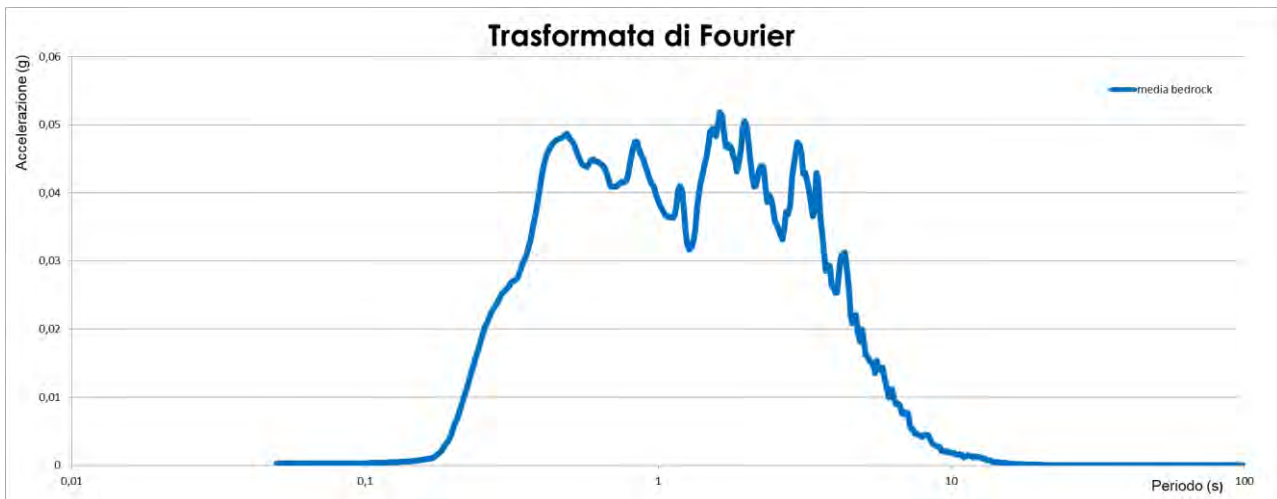


Fig.2.14 - Forme spettrali relative agli accelerogrammi considerati.

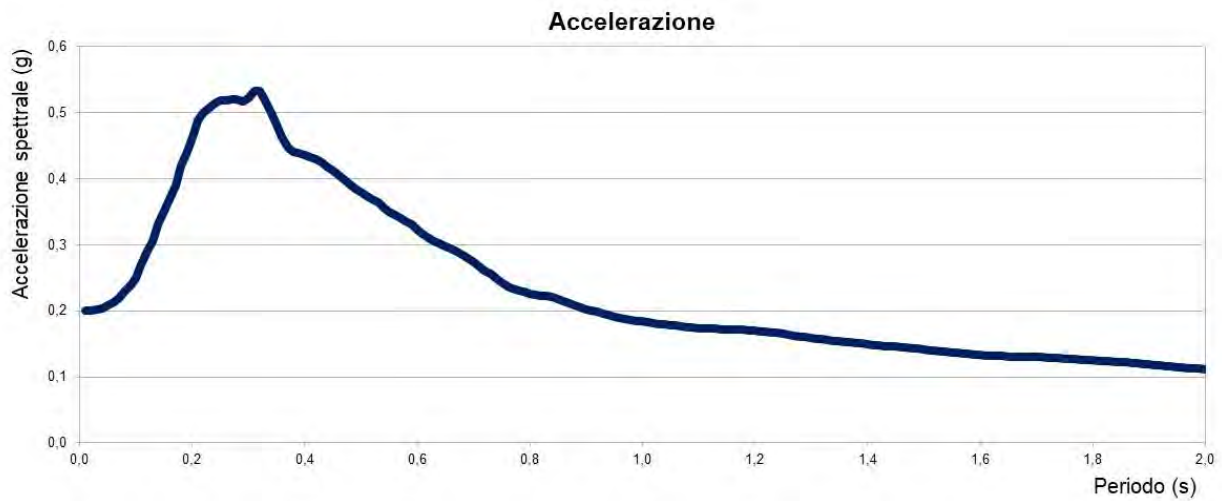
RISULTATI OTTENUTI

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.

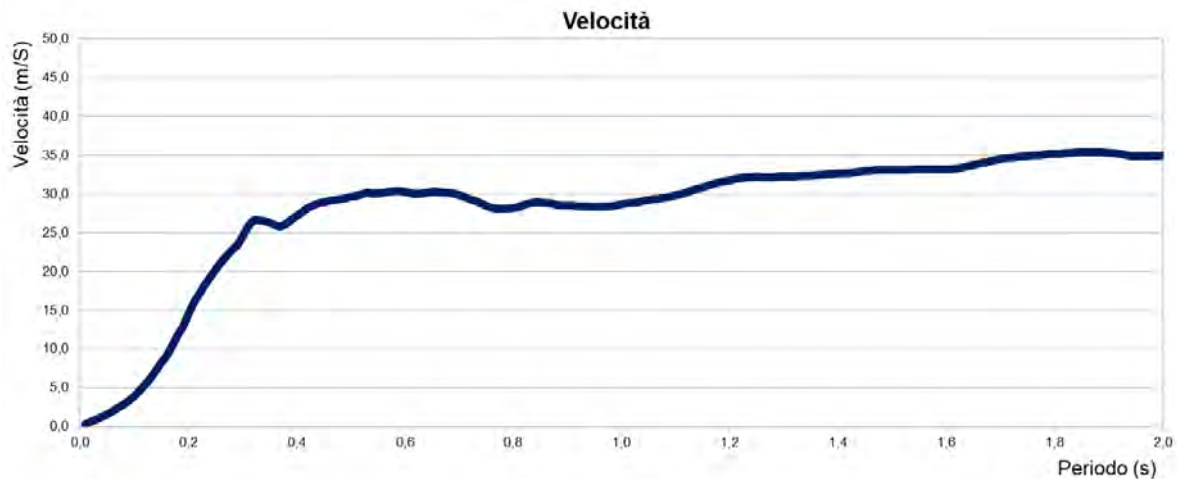


In alto Funzione di Trasferimento e in basso funzione FT.

Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:

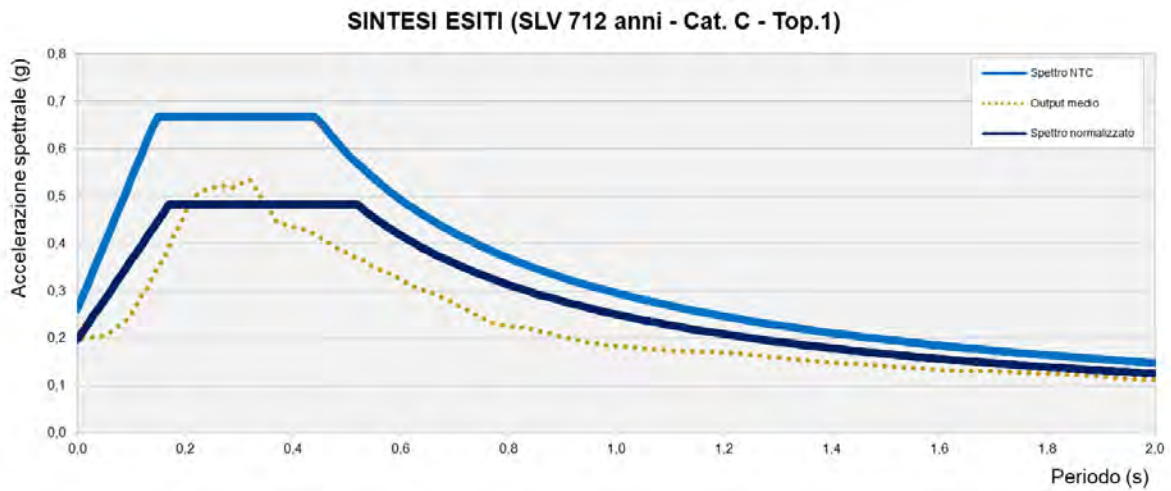


Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 712 anni (SLV)



Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 712 anni (SLV).

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".



Sintesi esiti RSL e confronto con spettro NTC2018 (SLV) derivato secondo approccio semplificato

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 30 simulazioni definisce un'azione sismica **inferiore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. In forza di ciò **risulta ragionevole e cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile secondo approccio semplificato (categorie di sottosuolo) come esplicitato da normativa tecnica NTC2018.** Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL						
ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.184	2.446	0.276	0.17	0.52	1.07	0.197

RSL NORMALIZZATO SLV

T [s]	Ag (g)				
0.00	0,19688	0.48	0,4815	0.97	0,258123711
0.01	0,213622353	0.49	0,4815	0.98	0,255489796
0.02	0,230364706	0.5	0,4815	0.99	0,252909091
0.03	0,247107059	0.51	0,4815	1	0,25038
0.04	0,263849412	0.52	0,4815	1.01	0,24790099
0.05	0,280591765	0.53	0,472415094	1.02	0,245470588
0.06	0,297334118	0.54	0,463666667	1.03	0,243087379
0.07	0,314076471	0.55	0,455236364	1.04	0,24075
0.08	0,330818824	0.56	0,447107143	1.05	0,238457143
0.09	0,347561176	0.57	0,439263158	1.06	0,236207547
0.1	0,364303529	0.58	0,431689655	1.07	0,234
0.11	0,381045882	0.59	0,424372881	1.08	0,231833333
0.12	0,397788235	0.6	0,4173	1.09	0,229706422
0.13	0,414530588	0.61	0,410459016	1.1	0,227618182
0.14	0,431272941	0.62	0,40383871	1.11	0,225567568
0.15	0,448015294	0.63	0,397428571	1.12	0,223553571
0.16	0,464757647	0.64	0,39121875	1.13	0,221575221
0.17	0,4815	0.65	0,3852	1.14	0,219631579
0.18	0,4815	0.66	0,379363636	1.15	0,217721739
0.19	0,4815	0.67	0,373701493	1.16	0,215844828
0.2	0,4815	0.68	0,368205882	1.17	0,214
0.21	0,4815	0.69	0,362869565	1.18	0,212186441
0.22	0,4815	0.7	0,357685714	1.19	0,210403361
0.23	0,4815	0.71	0,352647887	1.2	0,20865
0.24	0,4815	0.72	0,34775	1.21	0,20692562
0.25	0,4815	0.73	0,342986301	1.22	0,205229508
0.26	0,4815	0.74	0,338351351	1.23	0,203560976
0.27	0,4815	0.75	0,33384	1.24	0,201919355
0.28	0,4815	0.76	0,329447368	1.25	0,200304
0.29	0,4815	0.77	0,325168831	1.26	0,198714286
0.3	0,4815	0.78	0,321	1.27	0,197149606
0.31	0,4815	0.79	0,316936709	1.28	0,195609375
0.32	0,4815	0.8	0,312975	1.29	0,194093023
0.33	0,4815	0.81	0,309111111	1.3	0,1926
0.34	0,4815	0.82	0,305341463	1.31	0,191129771
0.35	0,4815	0.83	0,301662651	1.32	0,189681818
0.36	0,4815	0.84	0,298071429	1.33	0,188255639
0.37	0,4815	0.85	0,294564706	1.34	0,186850746
0.38	0,4815	0.86	0,291139535	1.35	0,185466667
0.39	0,4815	0.87	0,287793103	1.36	0,184102941
0.4	0,4815	0.88	0,284522727	1.37	0,182759124
0.41	0,4815	0.89	0,281325843	1.38	0,181434783
0.42	0,4815	0.9	0,2782	1.39	0,180129496
0.43	0,4815	0.91	0,275142857	1.4	0,178842857
0.44	0,4815	0.92	0,272152174	1.41	0,177574468
0.45	0,4815	0.93	0,269225806	1.42	0,176323944
0.46	0,4815	0.94	0,266361702	1.43	0,175090909
0.47	0,4815	0.95	0,263557895	1.44	0,173875
		0.96	0,2608125	1.45	0,172675862
				1.46	0,171493151
				1.47	0,170326531
				1.48	0,169175676
				1.49	0,168040268
				1.5	0,16692
				1.51	0,16581457
				1.52	0,164723684
				1.53	0,163647059
				1.54	0,162584416
				1.55	0,161535484
				1.56	0,1605
				1.57	0,159477707
				1.58	0,158468354
				1.59	0,157471698
				1.6	0,1564875
				1.61	0,155515528
				1.62	0,154555556
				1.63	0,153607362
				1.64	0,152670732
				1.65	0,151745455
				1.66	0,150831325
				1.67	0,149928144
				1.68	0,149035714
				1.69	0,148153846
				1.7	0,147282353
				1.71	0,146421053
				1.72	0,145569767
				1.73	0,144728324
				1.74	0,143896552
				1.75	0,143074286
				1.76	0,142261364
				1.77	0,141457627
				1.78	0,140662921
				1.79	0,139877095
				1.8	0,1391
				1.81	0,138331492
				1.82	0,137571429
				1.83	0,136819672
				1.84	0,136076087
				1.85	0,135340541
				1.86	0,134612903
				1.87	0,133893048
				1.88	0,133180851
				1.89	0,13247619
				1.9	0,131778947
				1.91	0,131089005
				1.92	0,13040625
				1.93	0,12973057
				1.94	0,129061856

1.95	0,1284
1.96	0,127744898
1.97	0,127096447
1.98	0,126454545
1.99	0,125819095
2	0,12519

2.3.5 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2 DGR 476/2021)

In accordo con la normativa regionale DGR 476/2021 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova CPTu.

La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

MSF rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

CSR è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da a_{max}/g che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a $T = 0.00$ s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo r_d . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove M rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi.

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 476/2021 della Regione Emilia-Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza F_L è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione IL (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione LPI è stato determinato secondo la seguente formulazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove $F(z)$ viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) && \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) &= 1 - F_L && \text{per } F_L \leq 0.95 \end{aligned}$$

In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia-Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Somnez 2003**:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0 < LPI ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Moderato
5 < LPI ≤ 10	Alto
15 > LPI	Molto alto

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prova CPTu considerando un'accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.261g$ approssimata a **0.26g** (calcolata secondo l'approccio semplificato NTC18), la soggiacenza della falda freatica è stata considerata alla profondità $D_w = -1.80$ m e una magnitudo di riferimento pari a $M = 6.14$.

Maggiori dettagli sono riportati nell'allegato n.4.

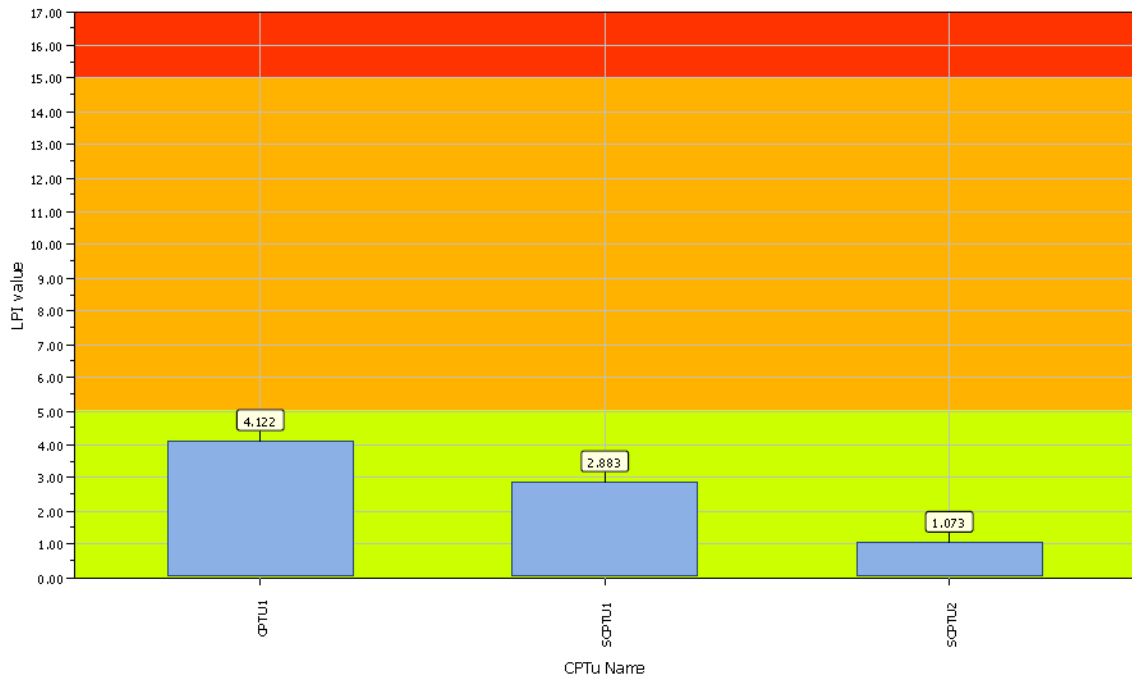
A seguito delle verifiche, in riferimento alle verticali CPTu, sono stati ottenuti i seguenti valori di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU1	4.122	MODERATO
SCPTU1	2.883	MODERATO
SCPTU2	1.073	BASSO

Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CREVALCORE - CICLOVIA DEL SOLE

Overall Liquefaction Potential Index report



LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Basic statistics

Total CPT number: 2
100.00% low risk
0.00% high risk
0.00% very high risk

Valori di LPI

Nell'allegato 1 si riportano le verifiche alla liquefazione.

2.4 Modellazione geologica e geotecnica del sito

2.4.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche e litostratigrafiche, si riporta di seguito la sezione stratigrafia e relativi parametri geotecnici per ogni prova eseguita.

La quota zero del presente modello corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche CPT.

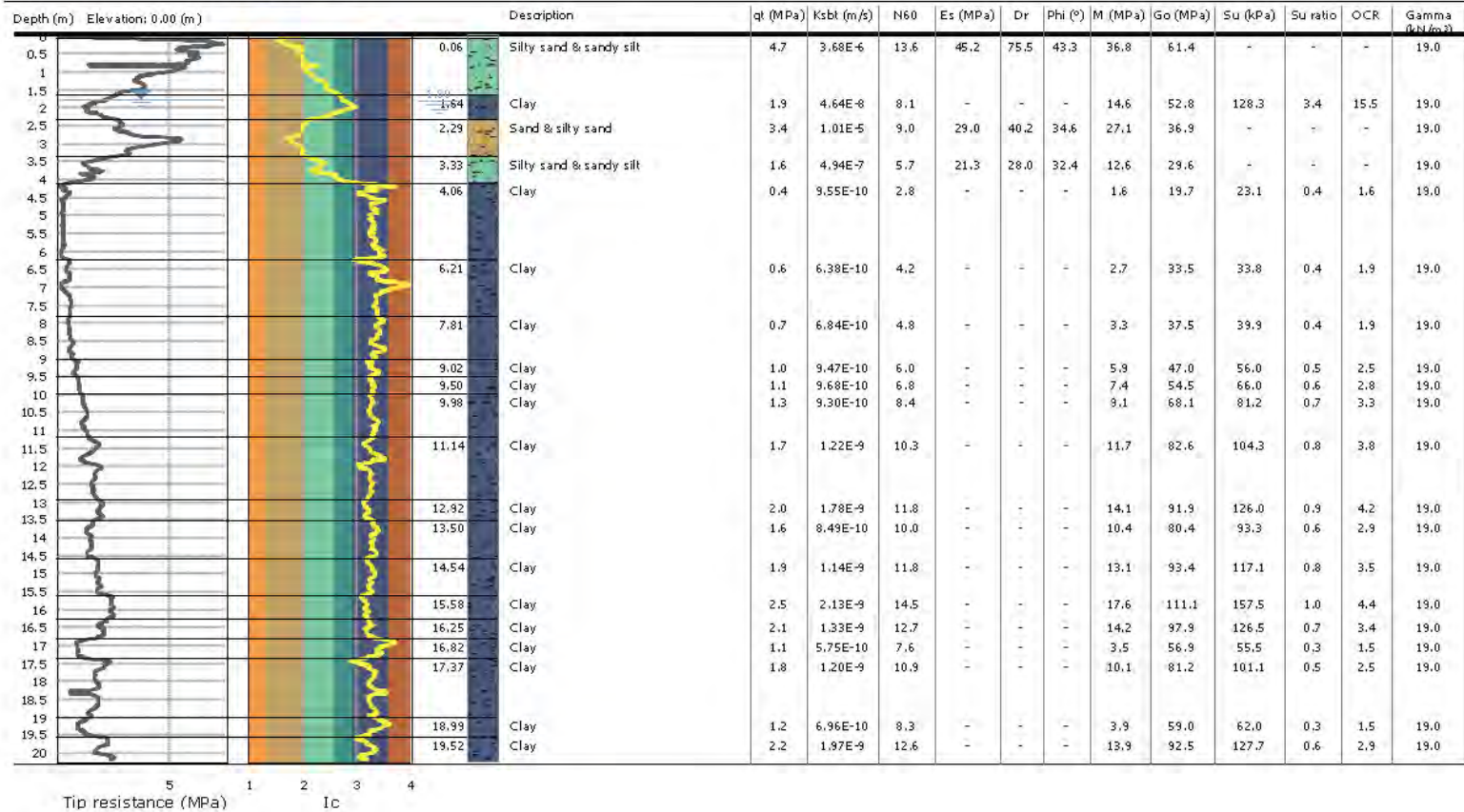
Durante l'esecuzione delle prove non è stato possibile misurare il livello di falda a causa della chiusura del foro di sondaggio. Pertanto considerando i grafici delle pressioni interstiziali delle prove penetrometriche, è stata definita una falda a $D=-1.80$ m da p.c.. Tali valori sono soggetti a oscillazioni verso la superficie a seguito di elevati periodi piovosi.



Geo Group
Geologia e Ambiente
Castelnuovo Rangone
<https://geogroupmodena.it/>

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: CREVALCORE - CICLOVIA DEL SOLE

CPT: CPTU1
Total depth: 20.20 m, Date: 05/09/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 0° lon 0°

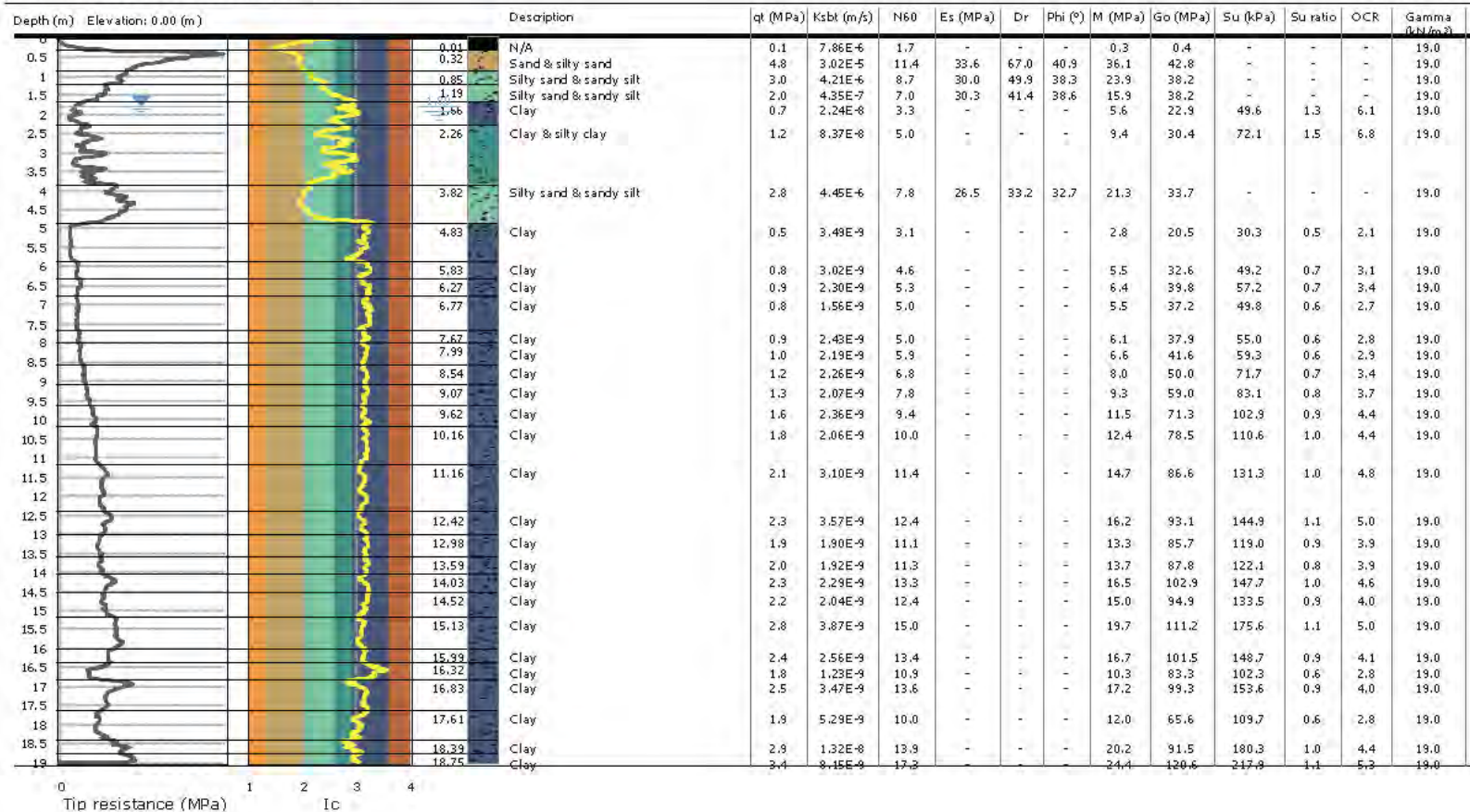




Geo Group
Geologia e Ambiente
Castelnuovo Rangone
<https://geogroupmodena.it/>

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: CREVALCORE - CICLOVIA DEL SOLE

CPT: SCPTU1
Total depth: 18.97 m, Date: 05/09/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 0° lon 0°





Geo Group
Geologia e Ambiente
Castelnuovo Rangone
<https://geogroupmodena.it/>

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: CREVALCORE - CICLOVIA DEL SOLE

CPT: SCPTU2
Total depth: 20.01 m, Date: 16/09/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 0° lon 0°

Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m ³)
0		Sand & silty sand	0.9	3.57E-6	2.5	9.2	32.7	33.3	7.1	11.4	-	-	-	19.0
0.5														
1														
1.5	1.24	Silty sand & sandy silt	1.4	3.10E-7	5.1	19.5	35.6	34.7	11.1	28.4	-	-	-	19.0
2	1.75	Clay	0.6	1.22E-8	3.0	-	-	-	4.7	21.6	42.0	1.1	5.2	19.0
2.5		Clay	0.7	1.55E-8	3.5	-	-	-	5.2	23.0	46.7	1.0	4.6	19.0
3	2.36													
3.5														
4	3.70	Silty sand & sandy silt	1.5	3.59E-7	5.4	22.2	25.9	33.1	11.3	28.2	-	-	-	19.0
4.5	4.23	Clay & silty clay	1.1	7.51E-8	4.5	-	-	-	8.0	26.4	70.4	1.1	5.2	19.0
5	4.74	Clay	0.4	1.50E-9	2.9	-	-	-	1.8	18.8	24.6	0.4	1.7	19.0
5.5														
6	5.80	Clay	0.7	1.86E-9	4.1	-	-	-	4.3	30.5	41.4	0.6	2.6	19.0
6.5														
7	6.56	Clay	0.9	1.66E-9	5.2	-	-	-	6.0	40.0	54.0	0.7	3.1	19.0
7.5														
8	7.23	Clay	0.8	9.37E-10	4.9	-	-	-	4.2	36.3	43.3	0.5	2.3	19.0
8.5														
9	7.98	Clay	0.7	6.58E-10	4.2	-	-	-	2.6	34.1	35.6	0.4	1.7	19.0
9.5														
10	8.74	Clay	1.2	2.41E-9	7.0	-	-	-	8.5	52.1	75.6	0.7	3.4	19.0
10.5														
11	9.51	Clay	1.4	1.95E-9	8.1	-	-	-	9.8	62.7	87.4	0.8	3.8	19.0
11.5														
12	10.07	Clay	1.5	1.37E-9	9.1	-	-	-	10.6	72.8	94.9	0.8	3.8	19.0
12.5														
13	11.05	Clay	1.8	2.40E-9	10.4	-	-	-	12.7	78.3	113.4	0.9	4.3	19.0
13.5														
14	11.79	Clay	2.1	2.69E-9	11.8	-	-	-	14.8	89.1	131.7	1.0	4.7	19.0
14.5														
15	12.63	Clay	1.8	1.66E-9	10.8	-	-	-	12.6	83.2	112.6	0.8	3.7	19.0
15.5														
16	14.00	Clay	2.3	2.16E-9	13.4	-	-	-	16.6	104.2	147.9	1.0	4.6	19.0
16.5														
17	14.54	Clay	2.2	1.74E-9	13.0	-	-	-	15.4	100.8	137.7	0.9	4.1	19.0
17.5														
18	15.32	Clay	2.8	3.82E-9	15.2	-	-	-	20.2	114.3	180.0	1.1	5.1	19.0
18.5														
19	16.14	Clay	2.1	1.65E-9	12.3	-	-	-	14.0	93.8	125.6	0.7	3.4	19.0
19.5														
20	16.88	Clay	2.6	3.37E-9	14.3	-	-	-	18.2	105.3	162.2	0.9	4.2	19.0
20.01	17.77	Clay	2.0	4.83E-9	10.7	-	-	-	13.1	71.7	117.9	0.6	2.9	19.0
20.01	18.90	Clay	3.2	5.26E-9	17.1	-	-	-	23.0	122.9	205.1	1.0	4.8	19.0
20.01	19.93	Clay	2.8	1.19E-9	17.4	-	-	-	19.7	138.1	176.3	0.9	4.0	19.0

Tip resistance (MPa)

Ic

3. TRATTO 3 – COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO

3.1 Inquadramento generale

I tratti in esame sono collocati in ambiente di pianura, in particolare sia a nord che sud del comune di San Giovanni in Persiceto (BO).



Fig.3.1 - Ubicazione del sito in studio – tratto 3 – Comune di San Giovanni in Persiceto.

Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica", alla scala 1: 25.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 25.000 (tav. n. 2).

3.1.1 Elementi geologici e geomorfologici

Il territorio comunale di San Giovanni in Persiceto (BO) è collocato in un settore della bassa Pianura Padana.

Dalla cartografia del CARG scala 1:50.000, Foglio n.202 "San Giovanni in Persiceto" nell'area d'interesse affiorano il Subsistema di Ravenna (AES8) e l'Unità di Modena (AES8a). La prima comprende in prevalenza limi, limi sabbiosi e limi argillosi, talvolta presenti ghiaie e ghiaie sabbiose. Essa si è originata in ambiente alluvionale; l'Unità di Modena, invece, è costituita da alternanze di depositi grossolani ghiaiosi e depositi fini sabbiosi e limosi.

I depositi dell'area di studio sono caratterizzati da sedimenti di piana inondabile, costituite da argille ed argille limose, talvolta con argille organiche ed alternanze di sedimenti di argine, canale e rotta fluviale, contraddistinte da sabbie prevalenti di granulometria da fine a media, alternate a limi sabbiosi.

Pertanto, i litotipi presenti nell'area d'interesse sono a granulometria medio-fine, argillosi e limosi e che costituiscono un insieme di orizzonti lentiformi che sfumano in modo variabile tra loro, con una distribuzione non omogenea, legati alle passate evoluzioni idrografiche dei corsi d'acqua, che hanno influenzato la morfologia del territorio. Generalmente, le aste dei corsi d'acqua attuali, insieme a quelli relitti, sono caratterizzati da litologie più grossolane, generalmente sabbiose, mentre, allontanandosi dagli alvei e paleoalvei prevalgono le litologie più fini, sia argillose che limose.

L'area in studio sia caratterizzata a nord da una tessitura **argilla limosa** di piana alluvionale e a **sud** da una tessitura **limo sabbioso**.



Fig.3.2 – Estratto della “Carta della litologia di superficie” – Regione Emilia Romagna – Comune di San Giovanni in Persiceto.

3.1.2 Inquadramento sismico

COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO

Dalla consultazione della cartografia relativa allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di San Giovanni in Persiceto, un cui estratto è riportato in figura, si nota come l'area in studio ricada in zone stabili suscettibili di amplificazione locale.

Dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (a cura di Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse di Firenze), il substrato geologico è rappresentato dal Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS) datato al Pleistocene medio (0,45 Ma) e, come detto precedentemente, costituito da depositi alluvionali, sviluppatosi in ambiente di canale, argine e rotta fluviale o di piana inondabile. Esso è composto da alternanze di argille organiche, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale, attribuibili a diversi cicli deposizionali.

Come osservabile nella Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (Fig. 10), l'area interessata dalla esecuzione della ciclovia ricade nella zona in cui la base del SERS è stimata a profondità superiore di 350 m sul livello del mare.

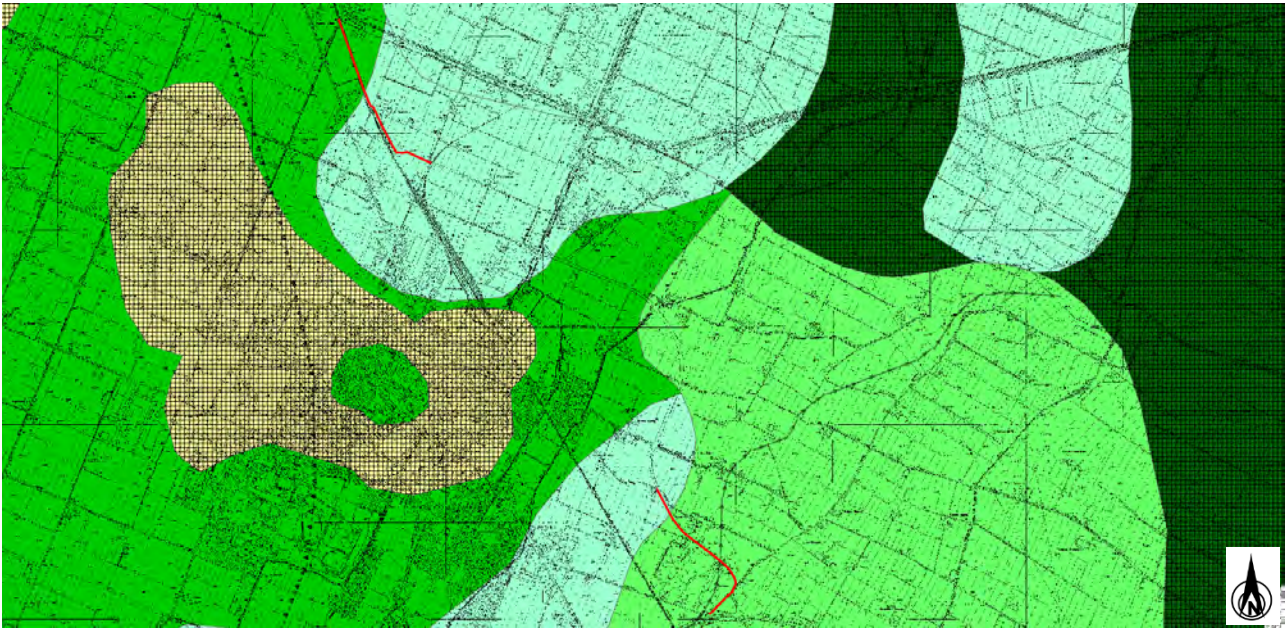


Fig.3.3 – Estratto della "Carta microzone omogenee in prospettiva sismica" – Microzonazione Sismica del Comune di San Giovanni in Persiceto (BO) – TAV.2.

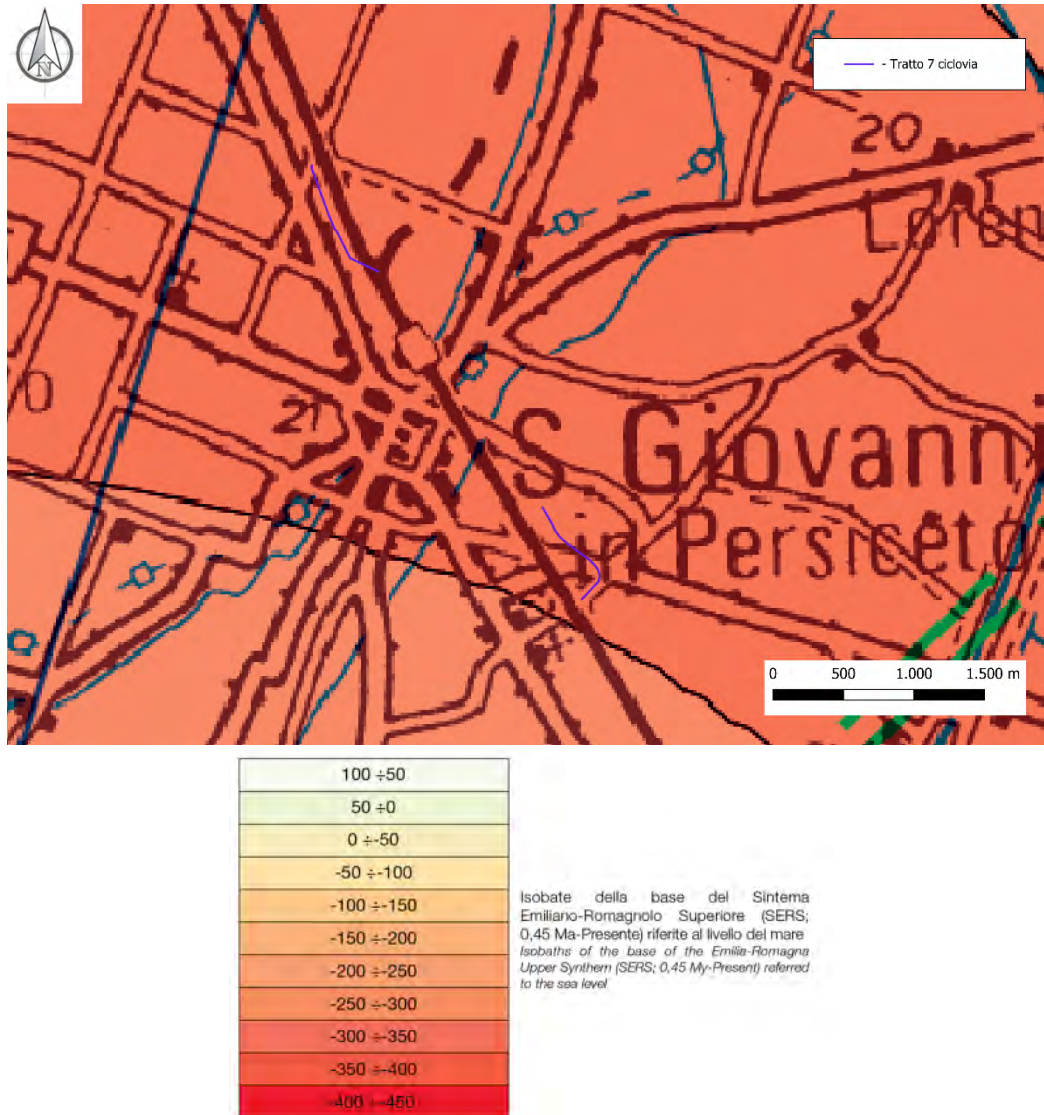


Fig. 3.4 – Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna con dettaglio l'area d'interesse.

3.2 Indagini geognostiche

Per caratterizzare il volume significativo, a supporto del progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geologiche:

PER TUTTO IL TRATTO CICLABILE

- **Prove di carico su piastra DPLT – tramite piastra leggera secondo la normativa tedesca TP BF-StB Teil B8.39**
- **Campionamento del terreno alla quota compresa tra 0.60 – 0.80 m da p.c. per analisi di laboratorio.**

PER GLI ATTRAVERSAMENTI:

- SCATOLARE SAN GIOVANNI IN PERSICETO
 - **N.2 Prove penetrometriche statica con piezocono CPTU spinte a -20.0 m da p.c.**
 - **N.1 indagine sismica MASW**
 - **N.1 indagine sismica HVSR**

Di seguito si riportano le ubicazioni delle indagini

PER TUTTO IL TRATTO CICLABILE



Fig.3.5 – Prove di piastra e campionamenti – Comune di San Giovanni in Persiceto

PER GLI ATTRAVERSAMENTI:



Fig.3.6 – Prove penetrometriche e sismiche – Comune di San Giovanni

3.2.1 Prove eseguite per il tratto ciclabile

3.2.1.1 Prove di carico su piastra DPLT

La descrizione della metodologia di prova è illustrata nel paragrafo §2.2.1.1.

Di seguito si riportano nella seguente tabella i valori dei moduli di deflessione dinamica EVD in MN/m² rilevati dalle prove di carico su piastra dinamica (piastra 300 mm; maglio 10.00 kg) eseguite.

COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO

DPLT	EVD
1	13.1 MN/m ² ≈ 131.0 kg/cm ²
2	33.5 MN/m ² ≈ 335.0 kg/cm ²
3	46.1 MN/m ² ≈ 461.0 kg/cm ²

Tab.3.1 – Moduli di deflessione dinamica ottenuti in sito.

3.2.1.2 Analisi di laboratorio

Sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno, alla quota compresa tra D=0.60 m e 0.80 m da p.c..

Su tali campioni sono state eseguite le seguenti prove:

- ANALISI GRANULOMETRICA SU TERRE/MATERIALI DIMENS. <5 MM (UNI 11531)
- DETERMINAZIONE DEL LIMITE LIQUIDO E PLASTICO (UNI 11531)
- CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA (UNI 11531-1)

ANALISI GRANULOMETRICA (UNI CEN ISO/TS 17892-4)		
SG1	Ghiaia	1.7 %
	Sabbia	31.4 %
	Limo	24.6 %
	Argilla	42.3 %
SG2	Ghiaia	0.0 %
	Sabbia	4.3 %
	Limo	22.5 %
	Argilla	73.2 %
SG3	Ghiaia	0.1 %
	Sabbia	6.2 %
	Limo	23.7 %
	Argilla	70.0 %

LIMITE LIQUIDO E PLASTICO (UNI CEN ISO/TS17892-12)

SG1	Limite Liquido LL (%)	36.4 %
	Limite Plastico LP (%)	N.D.
	Indice Plastico IP (%)	-
	Indice di Consistenza IC	-
	Passante al set. N° 42	NO
SG2	Limite Liquido LL (%)	55.6 %
	Limite Plastico LP (%)	28.7 %
	Indice Plastico IP (%)	26.9 %
	Indice di Consistenza IC	1.79 %
	Passante al set. N° 42	NO
SG3	Limite Liquido LL (%)	55.1 %
	Limite Plastico LP (%)	26.4 %
	Indice Plastico IP (%)	28.7 %
	Indice di Consistenza IC	1.64 %
	Passante al set. N° 42	NO

CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA (UNI 11531-1)		
SG1	Indice di Gruppo	7
	Classificazione	A4
SG2	Indice di Gruppo	18
	Classificazione	A 7-6
SG3	Indice di Gruppo	18
	Classificazione	A 7-6

3.2.2 Prove eseguite per gli attraversamenti

3.2.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU

Le prove sono state eseguite con un penetrometro Gouda dotato di punta elettrica e piezocono CPTE/U. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nel paragrafo §2.2.2.1.

3.2.2.2 Indagine sismica MASW

La metodologia di indagine è riportata nel paragrafo §2.2.2.3.

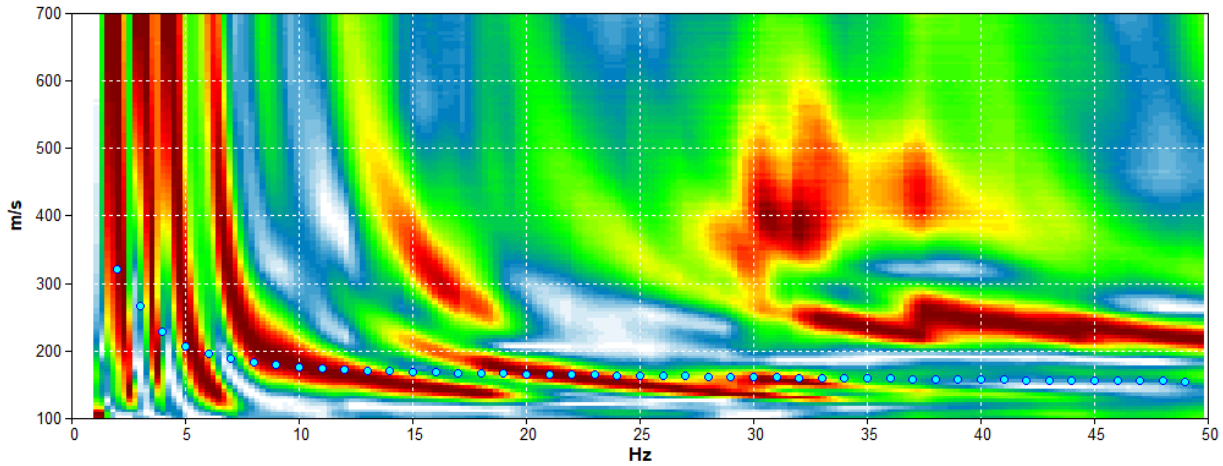


Fig.3.7 – Curva dispersione MASW.

3.2.2.3 Indagine sismica HVSR

La metodologia di indagine è riportata nel paragrafo §2.2.2.4.

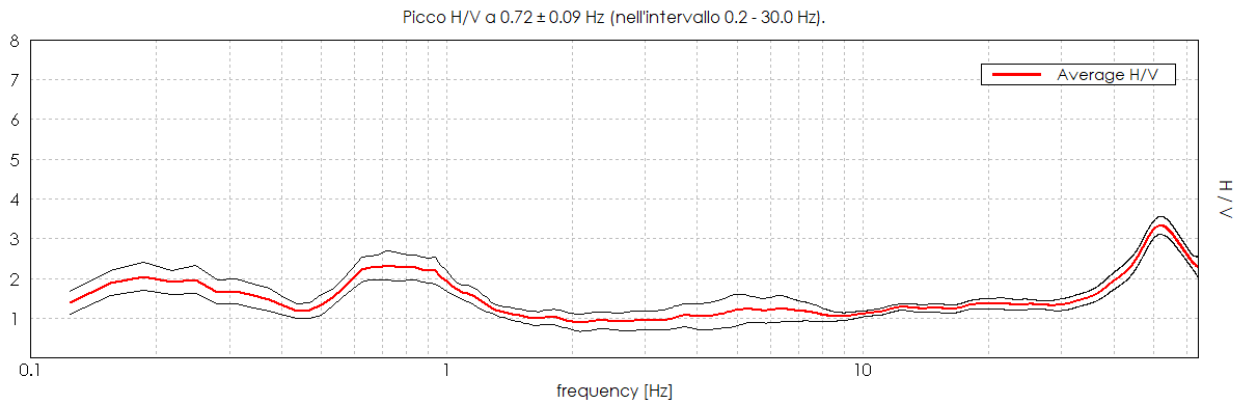


Fig.3.8 – Curva dispersione HVSR.

3.3 Caratterizzazione sismica del sito

3.3.1 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di San Giovanni in Persiceto (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

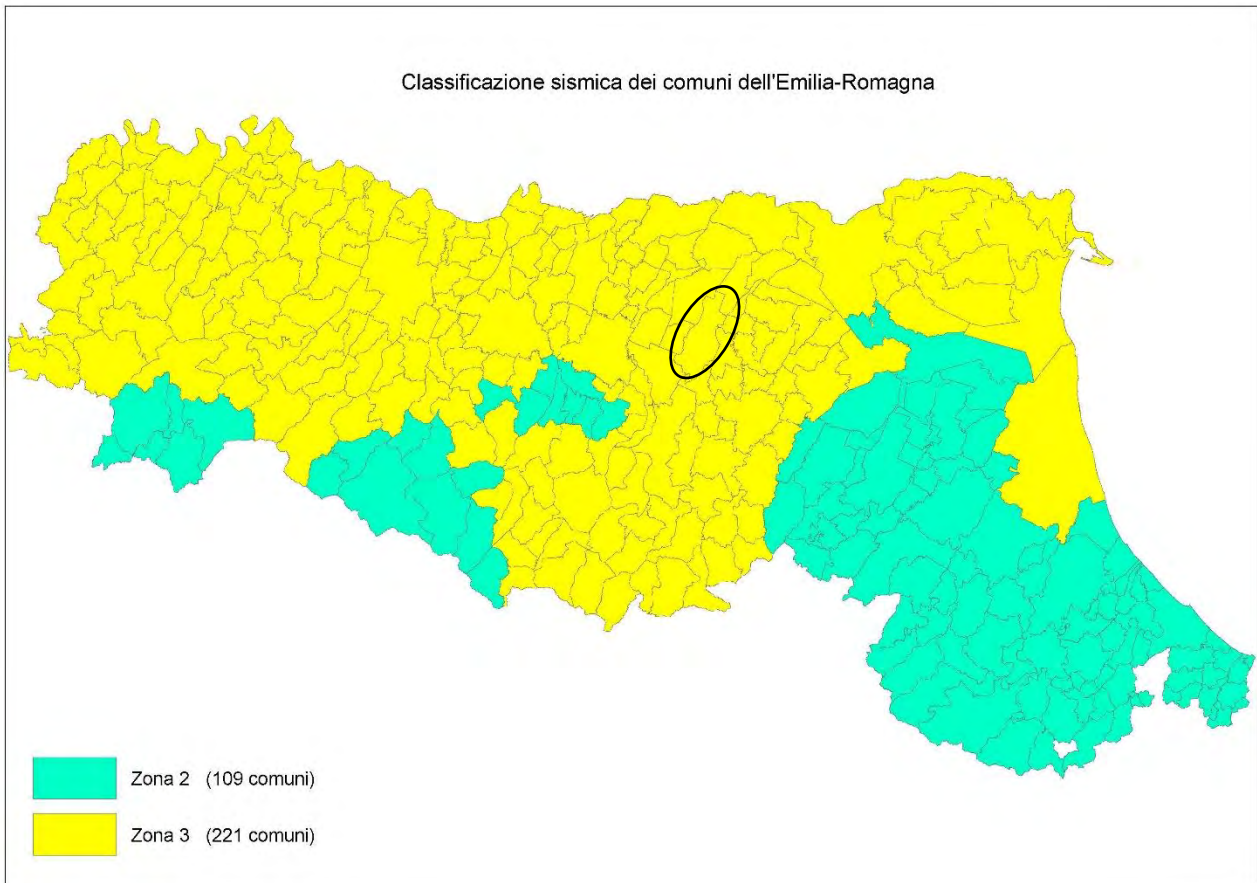



Fig.3.9 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).


La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.


Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali

che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri **F₀** e **Tc*** dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Stati limite

 Classe Edificio
 II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...


 Vita Nominale 50

 Interpolazione Media ponderata

CU = 1


Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F ₀	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.048	2.478	0.256
Danno (SLD)	50	0.059	2.514	0.271
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.160	2.564	0.276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.212	2.517	0.282
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			


Coefficienti sismici

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) us (m)
 1 0.1

 Cat. Sottosuolo C

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,45	1,38
CC Coeff. funz categoria	1,65	1,62	1,61	1,59
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.014	0.018	0.056	0.082
kv	0.007	0.009	0.028	0.041
Amax [m/s ²]	0.699	0.863	2.279	2.869
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Parametri NTC18

Per lo scatolare sono stati considerati i seguenti parametri:

- Classe Edificio II
- Tr = 475 anni

3.3.2 Categoria di sottosuolo

Si illustrano successivamente i risultati ottenuti dall'interpretazione dell'elaborazione congiunta delle indagini eseguite in sito (Fig. 4.2) – (Tab.4.2).

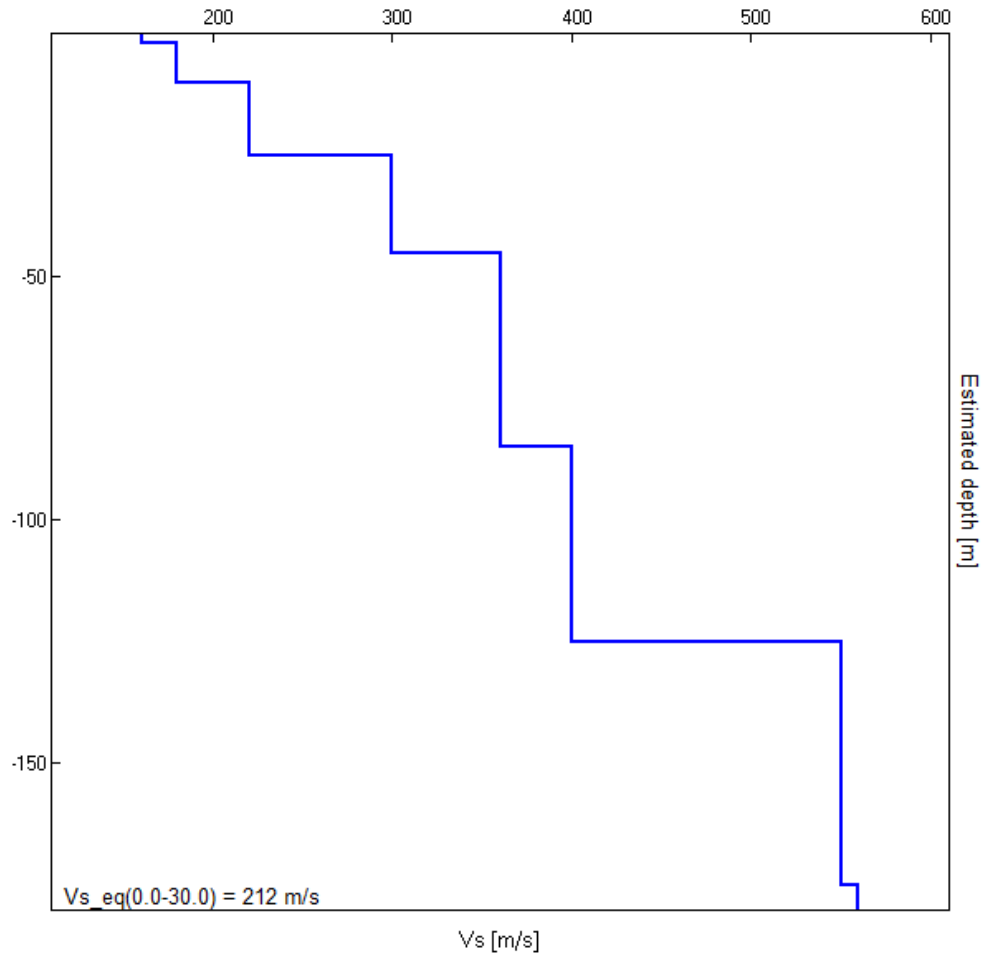


Fig.3.10 – Sintesi del modello di velocità ottenuto dall'elaborazione congiunta dell'indagine sismica HVSR-MASW.

Il modello di velocità ricavato è il seguente:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	160	0.45
10.00	8.00	180	0.45
25.00	15.00	220	0.44
45.00	20.00	300	0.44
85.00	40.00	360	0.43
125.00	40.00	400	0.43
175.00	50.00	550	0.43
inf.	inf.	560	0.42

Tab.3.2 – Modello geofisico ottenuto dall'elaborazione congiunta dell'indagine sismica HVSR-MASW

Sulla scorta della velocità derivata dall'indagine sismica HVSR appena illustrata e in riferimento a quanto illustrato nel paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018 è possibile definire come le indagini riconducano il terreno a una categoria di **sottosuolo C**. Dall'analisi della curva HVSR è emersa una **frequenza fondamentale di sito pari a 0.72 Hz** (Fig. 4.3).

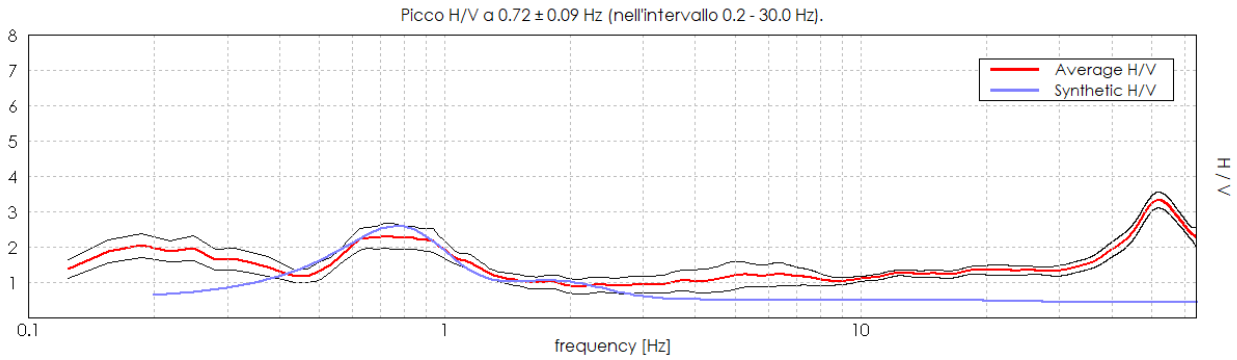


Fig.3.11 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.72 Hz.

3.3.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle NTC si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica. Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti dalle indagini geofisiche eseguite in sito, si classifica il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla categoria C.

Si ricava quindi il fattore stratigrafico S_s , mediante la seguente relazione, valida suoli in classe C:

$$1.00 \leq S_s = 1.70 - (0.60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.50 \quad (4.1.1)$$

dove:

- F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
- a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 475 anni/accelerazione di gravità;
- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione sopra riportata.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si considera un valore di un fattore topografico S_T sulla base della seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base.

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE			
Tr (anni)	ag(g)	Fo	Tc*(s)
475	0.160	2.564	0.276

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI SITO	
S_s	S_T
1.45	1.00

Si calcola infine per ciascuna area l'accelerazione massima orizzontale A_{max} con la seguente formula:

$$A_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.45 \cdot 1.0 \cdot 0.160 = 0.232g$$

3.3.4 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2 DGR 476/2021)

I dettagli delle verifiche sono riportati al paragrafo §2.3.5.

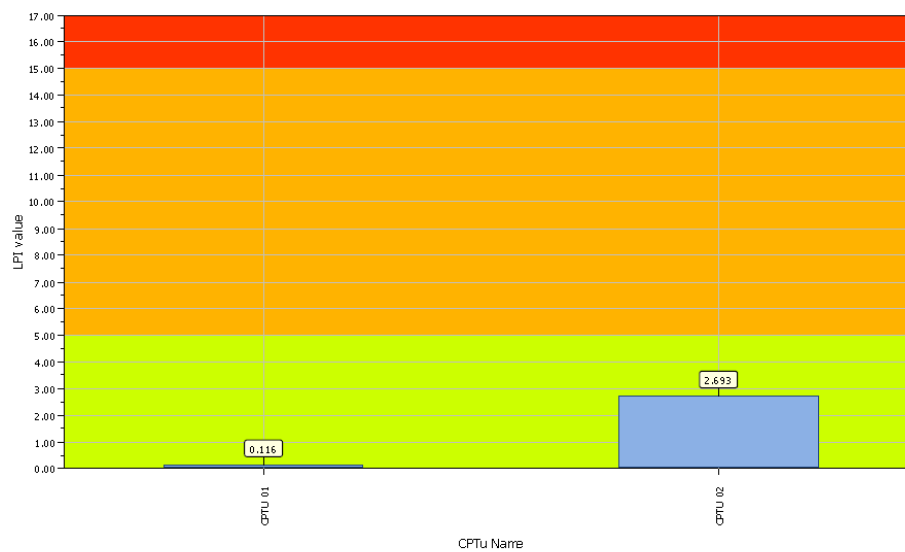
Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prova CPTu considerando un’accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.232g$ approssimata a $0.23g$ (calcolata secondo l’approccio semplificato NTC18), la soggiacenza della falda freatica è stata considerata alla quota rilevata durante l’esecuzione delle prove e una magnitud di riferimento pari a $M=6.14$.

A seguito delle verifiche, in riferimento alle verticali CPTu, sono stati ottenuti i seguenti valori di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU1	0.116	BASSO
CPTU2	2.693	MODERATO

Project title : STUDIO TECNICO
 Location : SAN GIOVANNI IN PERSICETO - CICLOVIA DEL SOLE

Overall Liquefaction Potential Index report



LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Basic statistics

Total CPT number: 2
 100.00% low risk
 0.00% high risk
 0.00% very high risk

Valori di LPI

Le verifiche alla liquefazione sono riportate nell’allegato 2.

3.4 Modellazione geologica e geotecnica del sito

3.4.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche e litostratigrafiche, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato.

La quota zero del presente modello corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche CPTu.

Durante l'esecuzione delle prove è stata misurata la quota della falda all'interno dei fori di prova, in particolare nella prova penetrometrica CPTU1 in data 12/09/2023 la falda è risultata pari a $D=-2.60$ m da p.c. e nella prova penetrometrica CPTU2 a $D= -2.80$ m da p.c.. Tali valori sono soggetti a oscillazioni verso la superficie a seguito di elevati periodi piovosi.



Geo Group
Geologia e Ambiente
Castelnuovo Rangone
<https://geogroupmodena.it/>

Project: STUDIO TECNICO

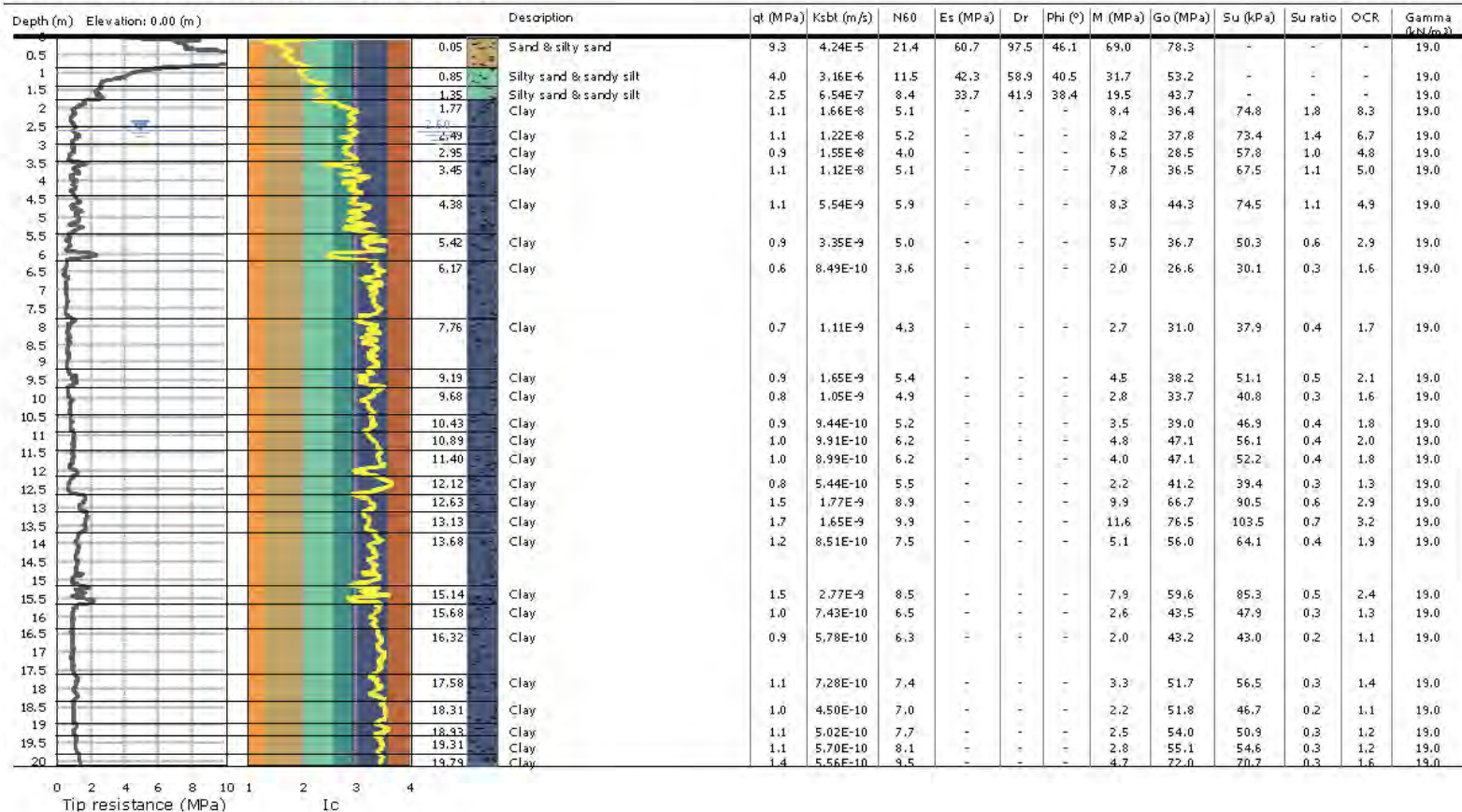
Location: SAN GIOVANNI IN PERSICETO - CICLOVIA DEL SOLE

CPT: CPTU 01

Total depth: 20.12 m, Date: 12/09/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: lat 0° lon 0°

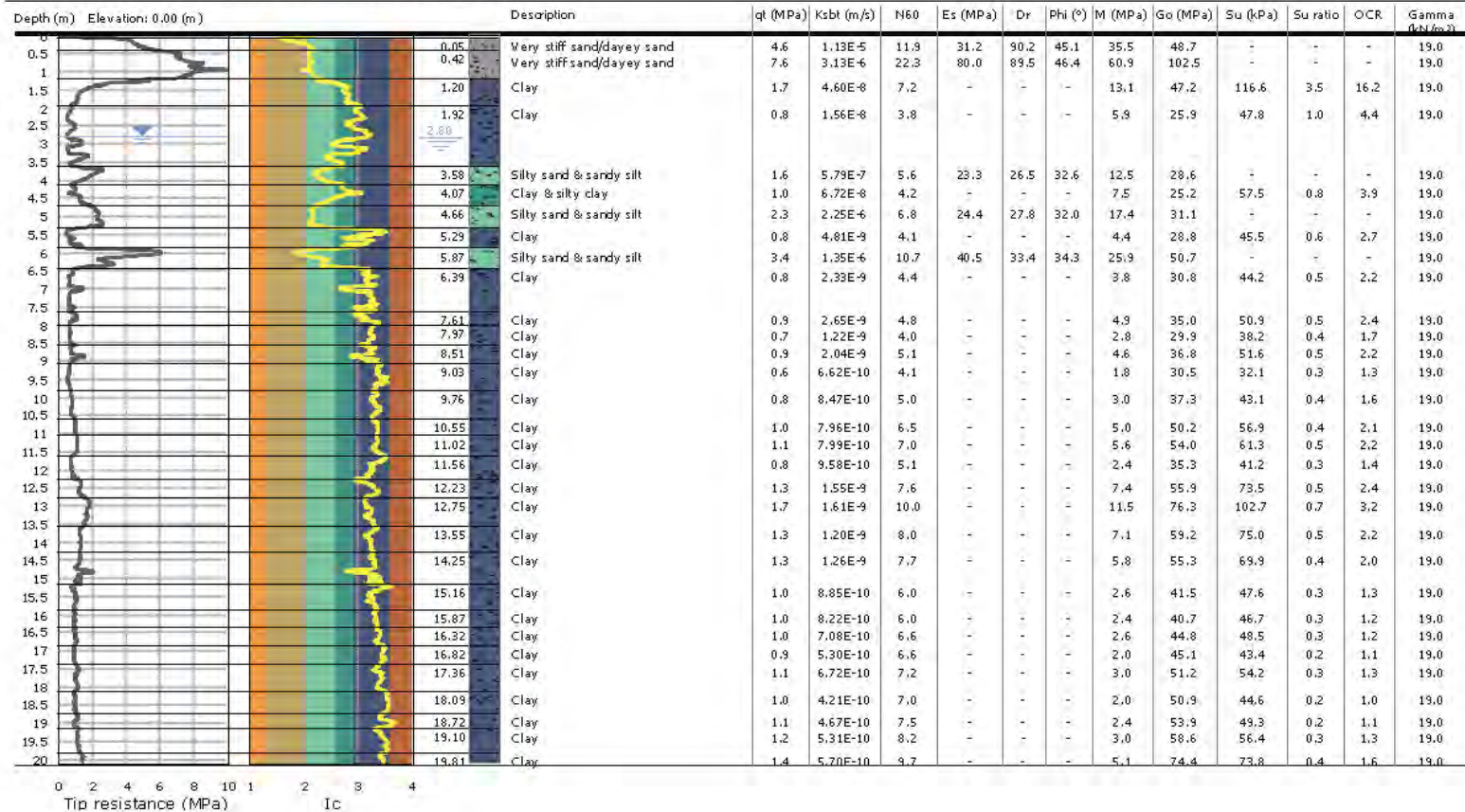




Geo Group
Geologia e Ambiente
Castelnuovo Rangone
<https://geogroupmodena.it/>

Project: STUDIO TECNICO
Location: SAN GIOVANNI IN PERSICETO - CICLOVIA DEL SOLE

CPT: CPTU 02
Total depth: 20.05 m, Date: 12/09/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 0° lon 0°



4. TRATTO 4 – COMUNE DI SASSO MARCONI

4.1 Inquadramento generale

I tratti in esame passanti all'interno del Comune di Sasso Marconi sono collocati in ambiente intravallivo montano in sinistra idrografica al Fiume Reno.

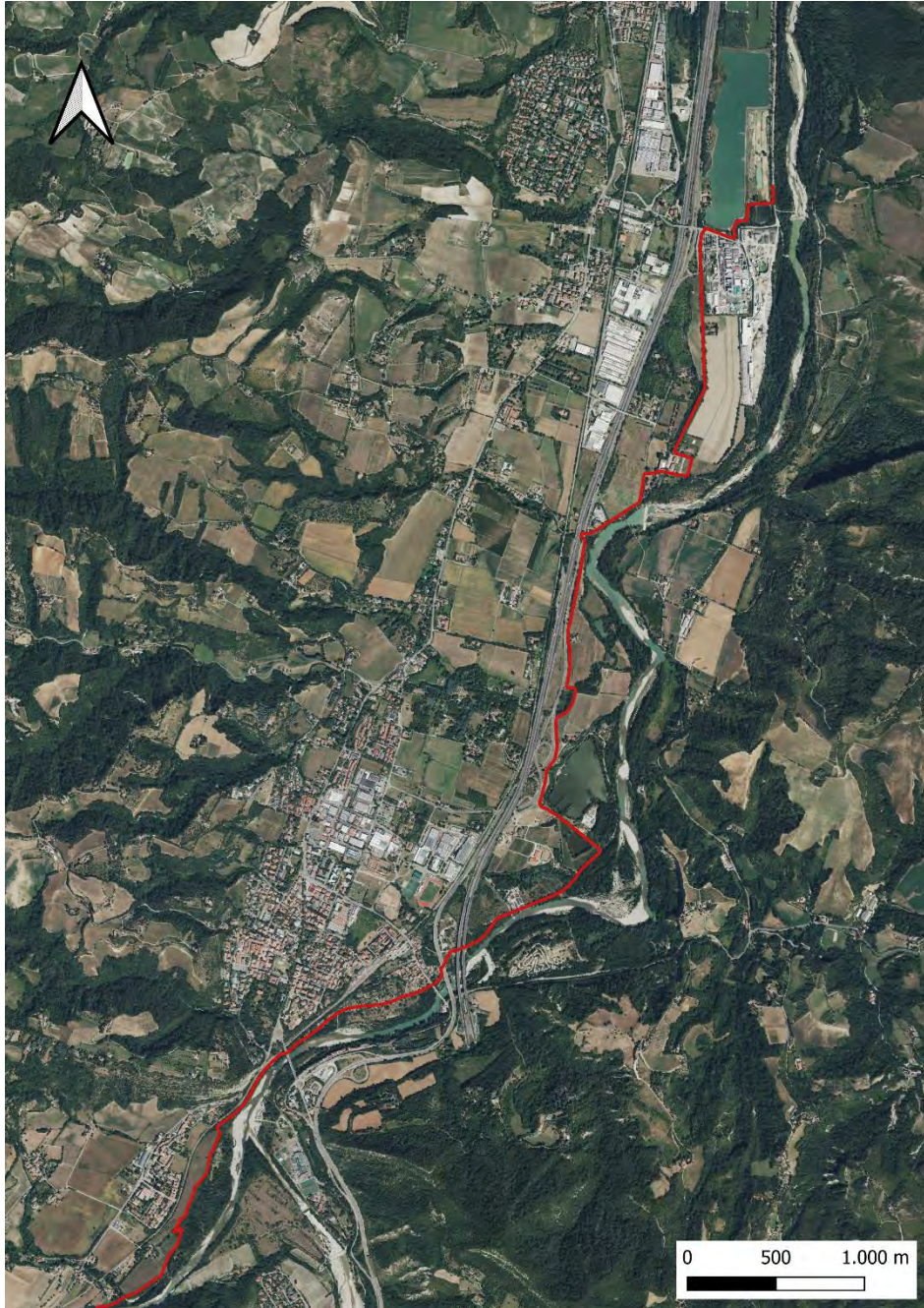


Fig.4.1 - Ubicazione del sito in studio – tratto 3 – Comune di Sasso Marconi.

Per un completo inquadramento geografico dell’area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla “Carta topografica”, alla scala 1: 25.000 (tav. n. 1) e alla “Ripresa satellitare” alla scala 1: 25.000 (tav. n. 2).

4.1.1. Elementi geomorfologici

Da un punto di vista generale il tratto è caratterizzato dalla presenza di un ambiente fluvio – alluvionale a medio elevata energia. Si rileva la presenza di terrazzamenti a più ordini legati alle dinamiche fluviali, tutt’ora in evoluzione, e per la presenza di anse, piccoli meandri e stagionalmente depositi a barre in intercanale.

Da un punto di vista di morfologie antropiche si ricorda la presenza di forme lacustri legate alle attività di escavazione e sfruttamento di materie prime occorse in tempo storico.

Attraverso la seguente cartografia si propone un quadro di sintesi relativo alle forme morfologiche e ai depositi contenuti nel tratto esaminato.

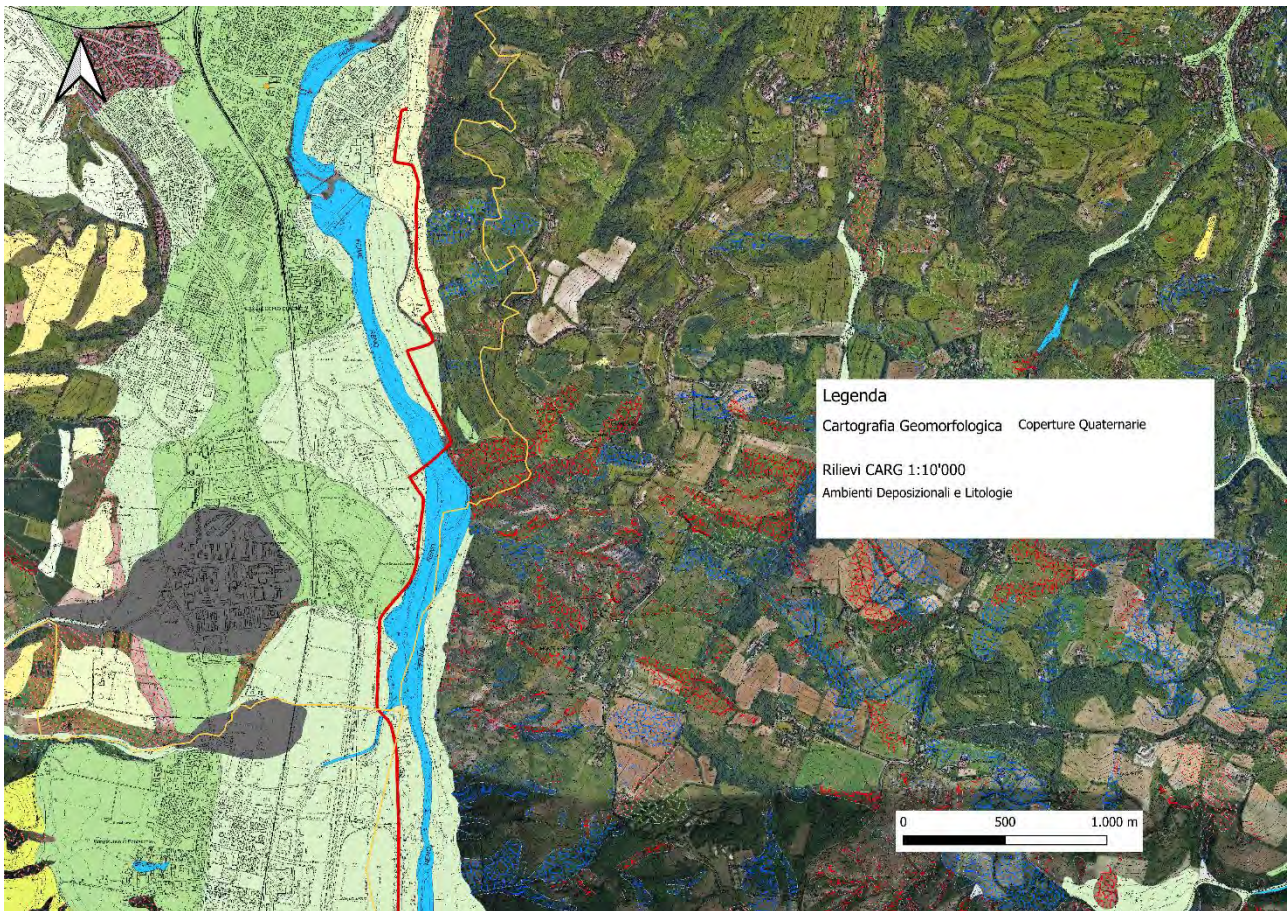


Fig.4.2 – Estratto di Carta Geologica CARG rilievo in scala 1:10'000 – Sasso Marconi Nord

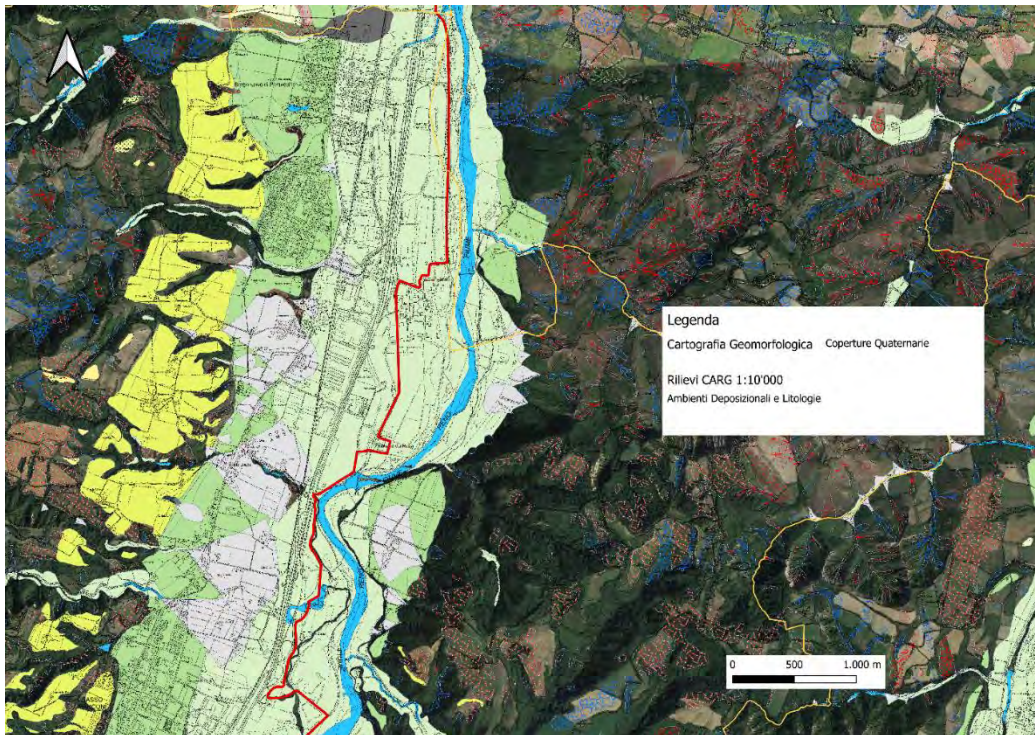


Fig.4.3 - Estratto di Carta Geologica CARG rilievo in scala 1:10'000 – Sasso Marconi Centro

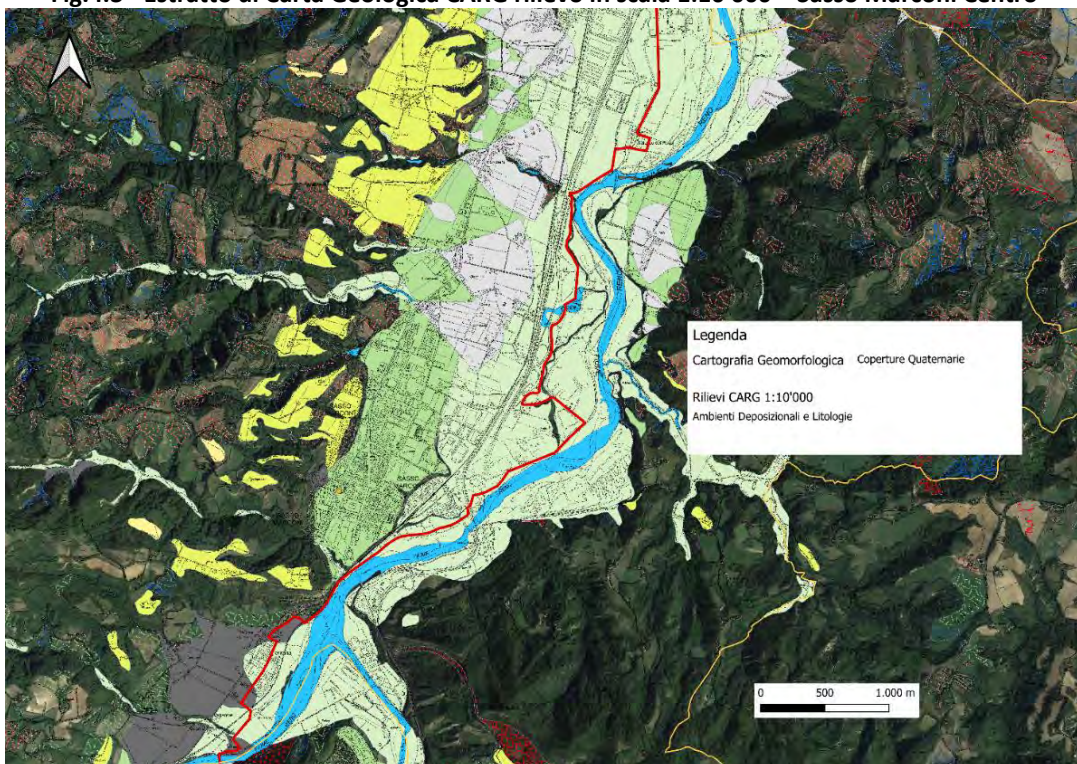


Fig.4.4 - Estratto di Carta Geologica CARG rilievo in scala 1:10'000 – Sasso Marconi Sud

La dinamica fluviale ha messo in posto le seguenti litologie:

AES - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

Unità alluvionale costituita da sedimenti grossolani e fini, talora intensamente pedogenizzati, con alla base una superficie di discontinuità nel margine appenninico e nell'alta pianura, passante a una superficie di continuità nel sottosuolo della pianura, su AEI. Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, da scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e nel sottosuolo della pianura da bruschi contatti fra depositi fini alluvionali e palustri su depositi grossolani di conoide e di piana alluvionale.

Pleistocene medio?-Olocene

AES8 – Subsintema di Ravenna

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).

AES8a - Unità ' di Modena

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C..

Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

Post-VI secolo d.C.

Per quanto invece attiene alle forme di versante, si rileva la presenza di fenomeni a carattere franoso in stato di quiescenza e di attività.

Sulla base di quanto riportato nella letteratura di riferimento, detti fenomeni possono essere sinteticamente descritti come segue:

a1 - Deposito di frana attiva

Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

a2 - Deposito di frana quiescente

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti ma con possibilità di riattivazione, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di

movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

In relazione ai cinematismi che si incontrano nei depositi presenti lungo il tracciato questi hanno una prevalente componente per scivolamento e/o colamento, compatibile con la presenza di litotipi di natura pelitico – siltosa.

Sulla base di quanto è stato possibile osservare in sito e consultare sulla cartografia di riferimento, si è notato, salvo in casi isolati di depositi a carattere quiescente, come nessuna forma di versante attiva inducano elementi di rischio rispetto al tracciato.

4.1.2. Inquadramento geologico

L’area di studio è situata nel medio basso Appennino Bolognese, questo è parte della catena appenninica settentrionale che è una catena a falde sviluppatesi principalmente nel terziario a causa della collisione fra la placca Europea e la microplacca Adria. Il processo di collisione fra queste due zolle tettoniche è stato preceduto dalla chiusura dell’area oceanica che le separava: l’Oceano Ligure Piemontese.

La catena, quindi, deriva dalla deformazione di diversi domini paleogeografici meso cenozoici:

- Dominio Ligure
- Dominio Subligure
- Dominio Tosco Umbro Marchigiano

In aggiunta a questi Domini, dall’Eocene medio, entra a far parte dell’Appennino Settentrionale anche il:

- Dominio Epiligure

La chiusura dell’Oceano Ligure Piemontese, in combinazione con la completa consunzione di litosfera oceanica, porta nel corso della fase collisionale alla formazione di un prisma di accrezione composto da rocce deformate per raschiatura ed appilamento a spese degli originari sedimenti depositi sui domini citati.

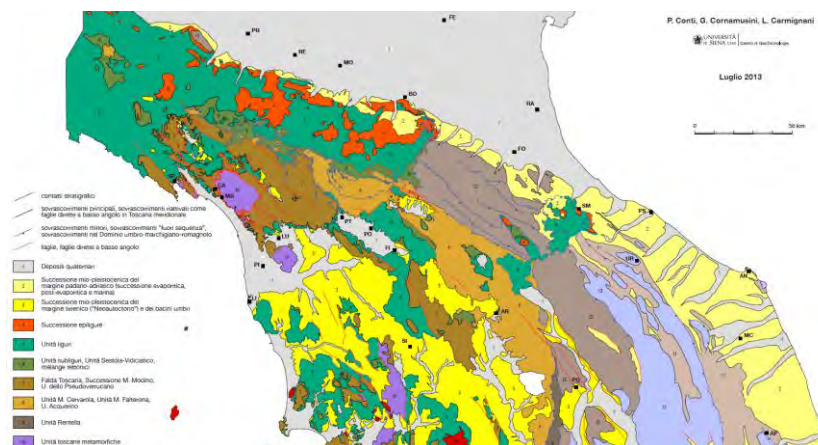


Fig.4.5 – Schema Geologico Appennino Settentrionale

La fase di sollevamento dell'Appennino Settentrionale è il risultato di movimenti tettonici complessi, che si sono sviluppati in intervallo di tempo che va dal Cretaceo superiore all'Attuale. Le diverse fasi dell'orogenesi possono essere raggruppate in cicli.

- **Ciclo Ligure (fase Mesoalpina):** è il ciclo che segna l'inizio del sollevamento della catena appenninica ed ha interessato il Dominio Ligure e probabilmente anche il Dominio Subligure, si considera concluso con la deposizione del Dominio Epiligure nell'Eocene.
- **Ciclo Toscano (fase Neoalpina):** durante lo sviluppo di questo ciclo si ha la tettonizzazione e messa in posto di tutti i Domini che compongono l'Appennino Settentrionale, fatto salvo per quelli tardivi come la Successione del Margine Appenninico Padano.

La tettonica delle Liguridi è caratterizzata da una prima fase che si esprime attraverso pieghe isoclinali compresse e da una seconda fase che prodotto un ulteriore raccorciamento e ha ripiegato le strutture precedenti. Entrambe le fasi Liguri hanno vergenza europea, opposto cioè a quelle delle successive fasi tettoniche. L'insieme del Ciclo Ligure è avvenuto in ambiente subacqueo ed è su questi terreni corrugati che è avvenuta la deposizione della Successione Epiligure, che segna la fine del primo ciclo tettonico.

Le fasi toscane sono caratterizzate a partire dell'Oligocene superiore dalla collisione delle due zolle continentali, Europea e Apula, e si sviluppano a spese del margine Apulo con una tettonica a thrusts e falde. In questo modo vengono ad indentificarsi le principali unità tettoniche che attualmente costituiscono la struttura della catena.

Di seguito si riporta lo schema tettonico strutturale relativo all'area di tracciato che attraversa il territorio comunale di Sasso Marconi.

Da un punto di vista tettonico, come riportato nel Foglio 220 Casalecchio di Reno della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000, il tracciato ricade in parte all'interno della Successione Epiligure Pre Bismantova, in parte all'interno di Unità Plio-Pleistoceniche e a luoghi si incontra l'Unità Tettonica di Samoggia.

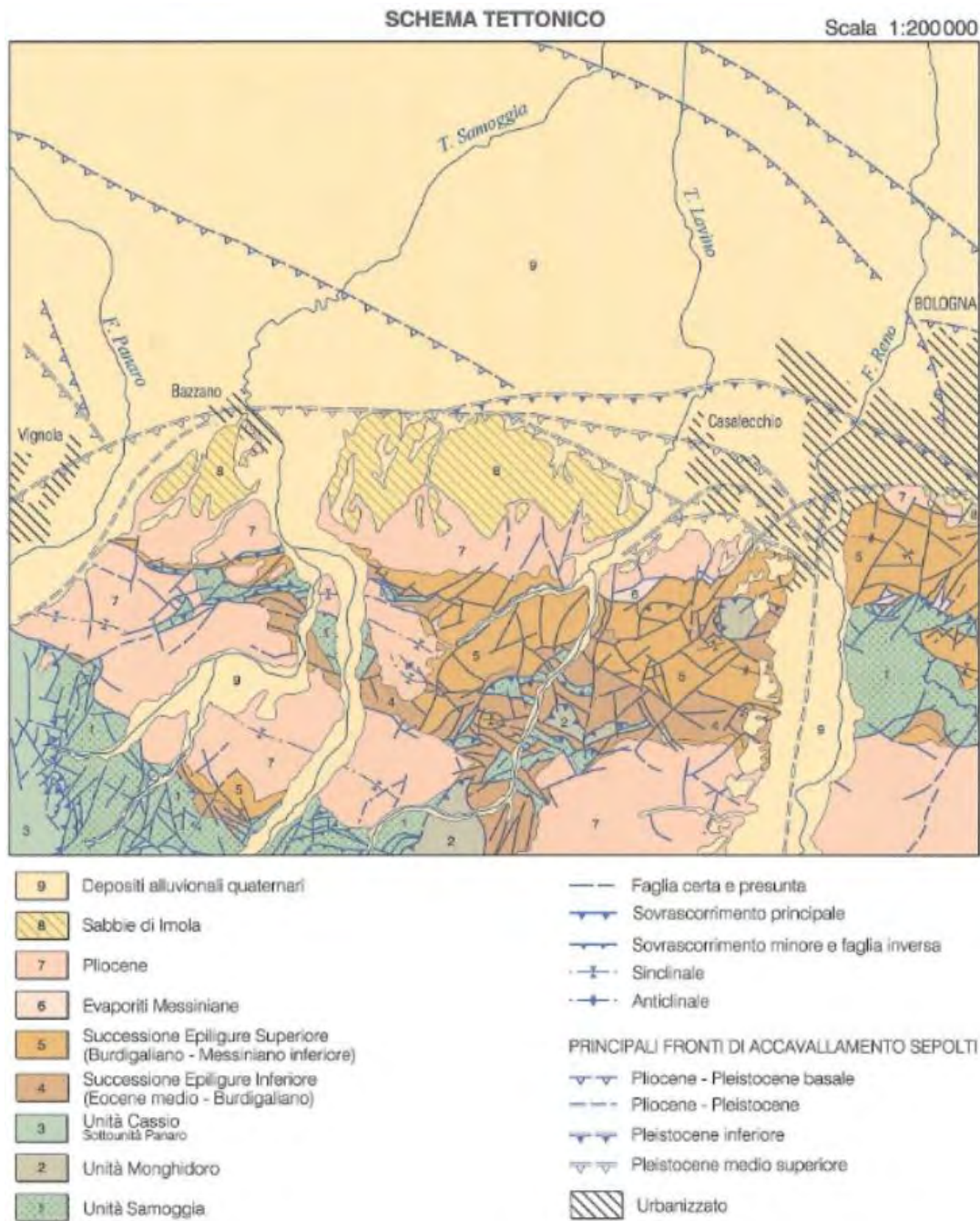


Fig.4.6 – Schema Tettonico Foglio 220

Da un punto di vista tettonico, come riportato nel Foglio 237 Sasso Marconi della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000, il tracciato ricade in parte all'interno della Successione Epiligure Pre Bismantova e in parte all'interno di Unità Plio-Pleistoceniche.

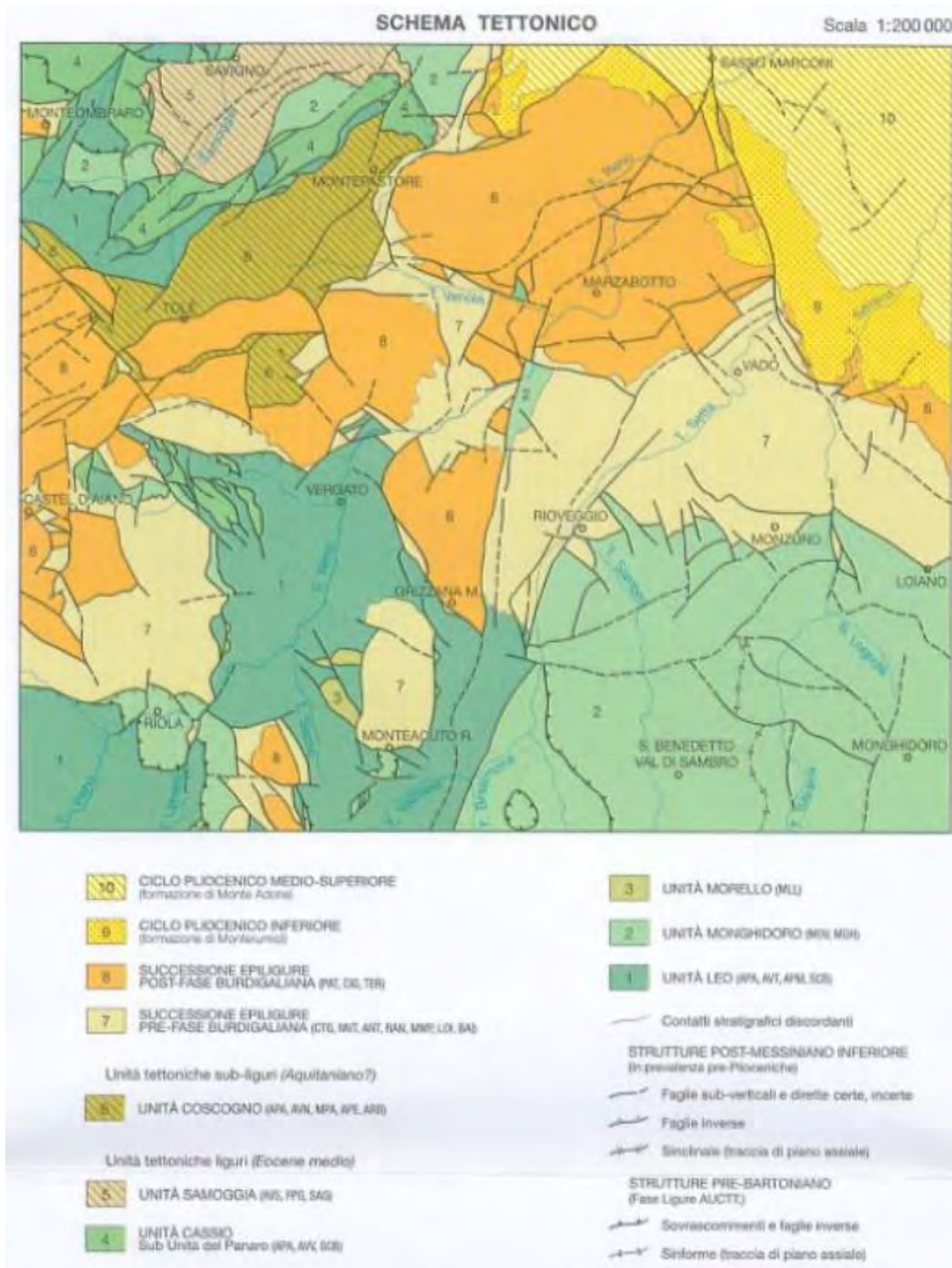


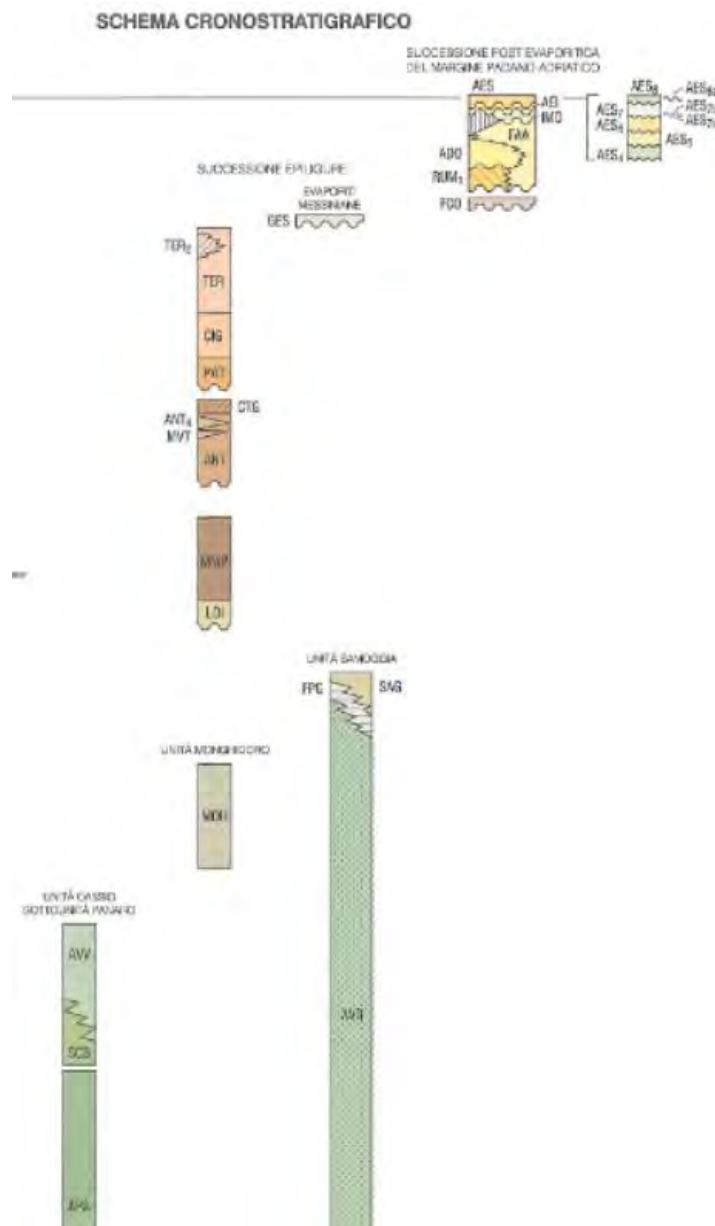
Fig.4.7 – Schema Tettonico Foglio 237

Al fine di inquadrare l'area da un punto di vista geologico strutturale è possibile riferirsi, in modo schematico, alla storia collisionale e post collisionale del prisma di accrezione sviluppatosi a partire dall'Eocene medio superiore cui è dovuta la formazione di bacini della Successione Epiligure posti sulla sommità delle Liguridi.

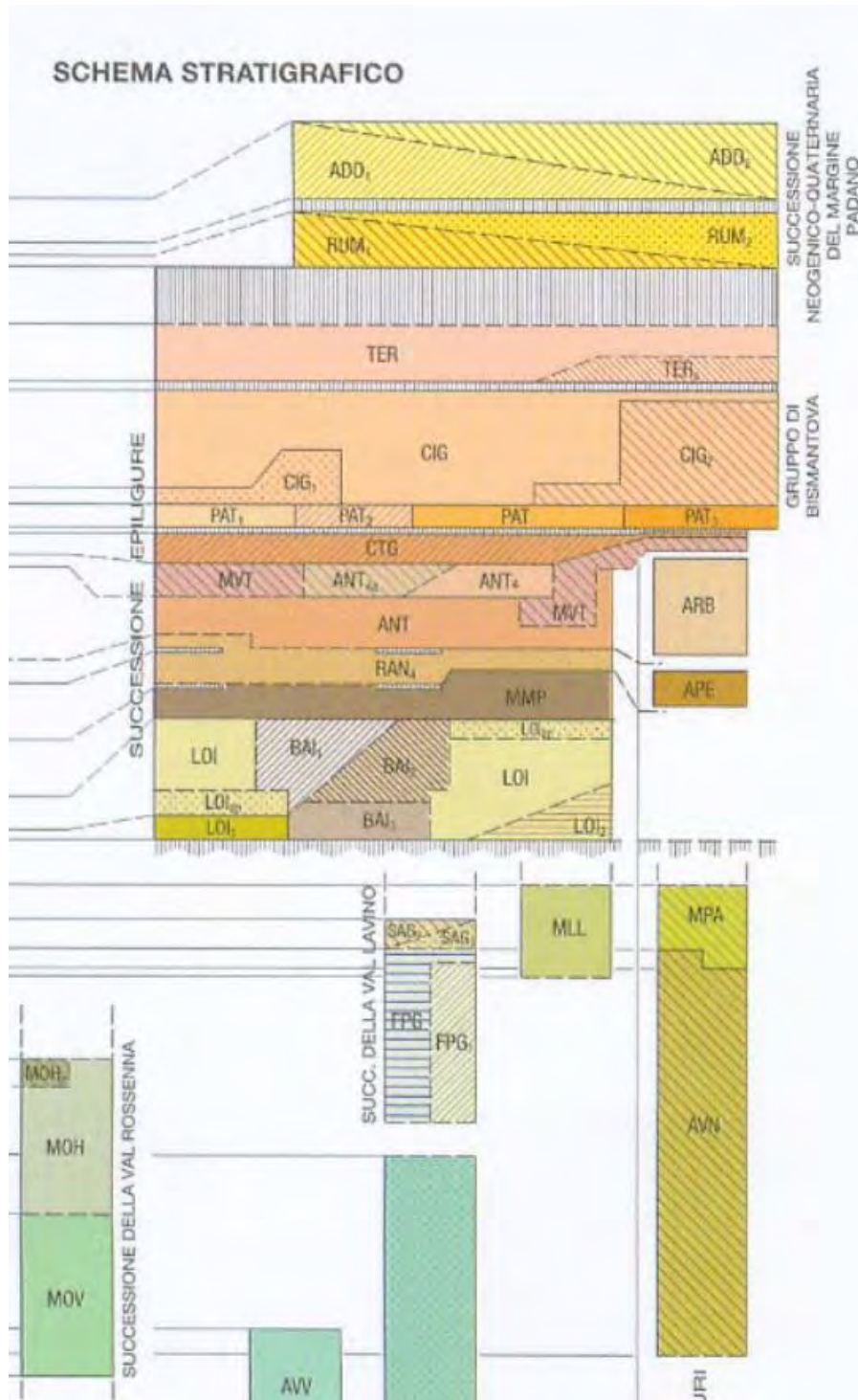
Per quanto attiene alla cronologia degli eventi tettonico stratigrafici e in merito alla loro interdipendenza è possibile definire l'inizio della Sedimentazione Epiligure con la messa in posto dei Mélanges, corpi caotici sedimentari. In questa fase tettonica e sedimentaria si individua un bacino episuturale con sviluppo longitudinale esteso in senso appenninico.

La stratigrafia del bacino episuturale risulta caratterizzata dalla sovrapposizione di unità litologiche appartenenti a diversi ambienti sedimentari che variano dal bacino alla scarpata. La dipendenza della deposizione della Successione Epiligure dagli eventi tettonici di fase Neoalpina è testimoniata tanto dalle differenze composizionali e di facies, quanto dalla presenza di importanti e nette discontinuità e discordanze.

Di seguito si riporta lo schema stratigrafico del Foglio 220.



Di seguito si riporta lo schema stratigrafico del Foglio 237.



Per quanto attiene alle formazioni geologiche interagenti con il tracciato della Ciclovía del Sole nel tratto passante per il Comune di Sasso Marconi, si allega nel seguito la Carta Geologica Regionale rilevata in scala 1:10'000 Progetto C.A.R.G.

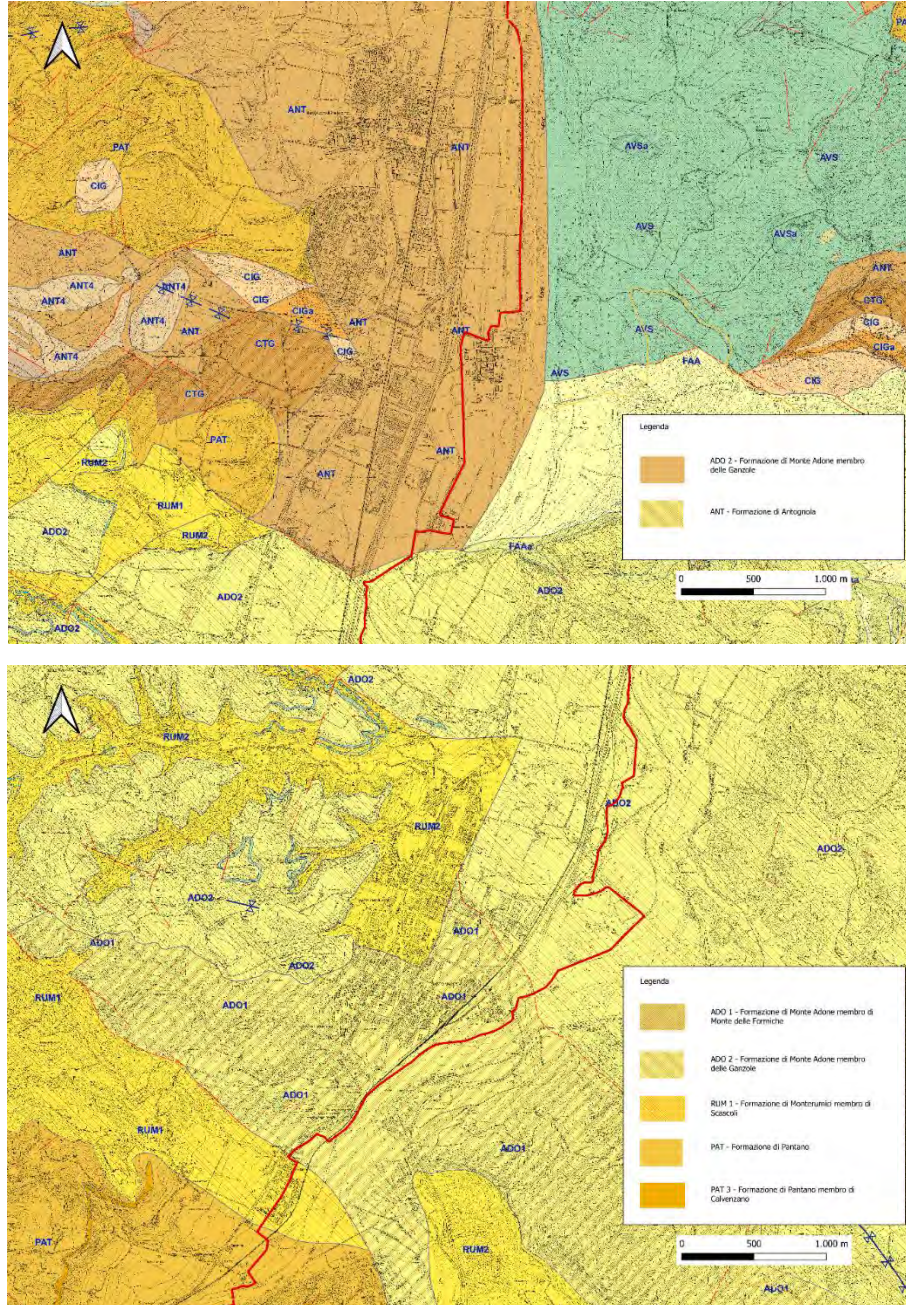


Fig.4.8 – Estratto di Carta Geologica CARG Sasso Marconi

Le formazioni in carta che vengono attraversate dalla ciclabile sono le seguenti:

FORMAZIONE DI MONTE ADONE (ADO)

Prevalenti arenarie con abbondante matrice siltoso-argillosa, alternate a peliti sabbiose con stratificazione da sottile a spessa, a geometria tabulare e lenticolare. Verso l'alto aumenta la frequenza delle peliti. Spesso stratificazione non ben evidente per bioturbazione. Il colore delle sabbie è grigio, grigio-azzurro o beige se alterate, quello delle peliti grigio scuro. Sono presenti corpi grossolani con geometria sia tabulare che lenticolare, con stratificazione incrociata concava e superfici e docce erosive e intervalli a macrofossili (Lamellibranchi, Gasteropodi e Scafopodi). I ciottoli sono prevalentemente costituiti da calcilutiti di origine ligure. La cementazione è da media a scarsa, spesso differenziale con presenza di "cogoli" generalmente allineati subparallelamente alla stratificazione. La formazione è interamente suddivisa in 2 membri in rapporti di parziale sovrapposizione e di notevole eteropia laterale. Ambiente di sedimentazione variabile da fluviale a marino costiero e piattaforma. Il limite inferiore è discontinuo, talora paraconcordante su RUM. In alcune località mostra chiare evidenze di eteropia con FAA e poggia su FAAa. Nell'area del Foglio 238 è discordante su CIG, erosivo su RUM2, graduale per alternanze su RIL. La potenza massima totale affiorante è di un migliaio di metri.

Pliocene medio e sup. - Pleistocene inf.?

ADO2 - Membro delle Ganzole

Areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi; geometria tabulare, cuneiforme e concava. La comparsa di livelli pelitici oltre a rendere più marcata ed evidente la stratificazione, permette di cartografare una **litofacies pelitico-arenacea (ADO2a)** di transizione verso le sovrastanti FAA. Localmente distinta una **litofacies arenaceo-conglomeratica (ADO2c)**. Talora presenti livelli di peliti grigio scure. Macrofossili concentrati in letti. Potenza massima di circa 650m.

ADO1 - Membro di Monte delle Formiche

Areniti e subordinati conglomerati in strati da medi a molto spessi con stratificazione tabulare, obliqua a grande scala e localmente cuneiforme. Nell'area del Foglio 238 livelli centimetrici di peliti. Potenza da poche decine di metri a circa 350 m.

FORMAZIONE DI MONTERUMICI (RUM)

Conglomerati e arenarie argillose bioturbate generalmente poco cementate e con cementazione differenziale ("cogoli"). Formazione suddivisa in due membri.

Pliocene inf.

ANT - MARNE DI ANTOGNOLA

Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche; frequenti i microfossili e talora i bioclasti. Stratificazione da molto sottile a

media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica che per bioturbazione. Sono presenti rari livelli torbiditici, da sottili a medi, di arenarie vulcanoclastiche, arcose e quarzoso-feldspatiche, e strati sottili e sottilissimi, discontinui, di cineriti biancastre, tipicamente alterate in giallo o giallo ocra, localmente cartografati (ta). Il limite inferiore è netto, discordante, su MMP, sfumato su RAN; in eteropia con MVT. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna, scarpata e base scarpata con apporti torbiditici relativamente frequenti. La potenza totale della formazione varia da pochi metri a oltre 600 m.

Rupeliano sup. - Burdigaliano inf.

PAT - FORMAZIONE DI PANTANO

Areniti siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione; sono presenti resti di Echinidi, Gasteropodi e Lamellibranchi. Alla base talora affiorano delle areniti glauconitiche. Localmente si intercalano strati arenacei risedimentati medi, mal strutturati, di colore nocciola. Verso l'alto affiorano livelli di marne siltose grigio-azzurre laminate. Il limite inferiore è netto, discordante, su CTG e su ANT. Sedimentazione in ambiente da litorale a piattaforma esterna. La potenza è fino a circa 500 m.

Burdigaliano sup.-Langhiano inf.

PAT3 - Membro di Calvenzano

Areniti ibride da medie a fini, localmente grossolane in strati da medi a molto spessi, risedimentate, alternate ad arenarie siltose e silti marnose grigiastre con A/P < 10. Alla base è stata localmente distinta una **litofacies arenitica (PAT3a)** con A/P > 10. Eteropia e interdigtazione con PAT. Potenza fino a 150 m.

4.1.3. INQUADRAMENTO SISMICO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i diversi tratti della Ciclovia del Sole, si è fatto riferimento ai dati forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ed ai dati riportati negli Studi di Microzonazione Sismica dei comuni attraversati.

In riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9 realizzata da INGV (marzo 2004) che riassume il quadro sismotettonico del territorio italiano, l'area in cui sarà realizzata la ciclovia ricade all'interno della zona sismogenetica 913, caratterizzata dalla presenza della cosiddetta Dorsale Ferrarese, a regime tettonico compressivo e dal sistema appenninico e pede-appenninico, e la cui magnitudo di riferimento Mw (max) corrisponde a un valore di 6.14 (Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della Mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici; Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo).

La pericolosità sismica di base, espressa in termini di accelerazione massima al suolo, per l'area in oggetto è stata definita nell'intervallo 0.175 g - 0.200 g, come illustrato nella Mappa della Pericolosità Sismica fornita da INGV e illustrata di seguito.

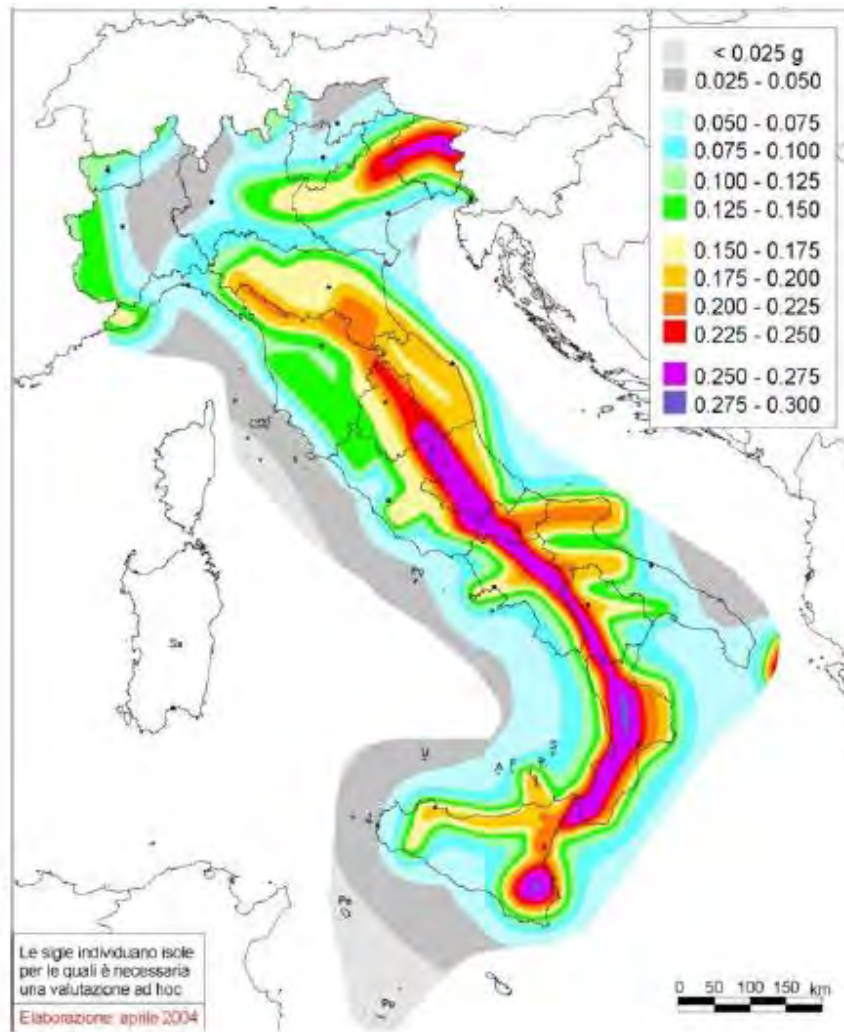


Fig.4.9 – Carta di Pericolosità Sismica - INGV

A valle della consultazione della cartografia di microzonazione sismica dei territori comunali compresi nel tratto d'interesse, si è rilevato che il tracciato non è rappresentato. In questa sede non risulta dunque possibile fornire ulteriori informazioni che possano arricchire i temi già affrontati dalla relazione geologica redatta in sede preliminare.

Nel seguito sarà approfondito il tema sismico in forza delle indagini eseguite e delle susseguenti analisi e valutazioni.

4.2 Indagini geognostiche

Per caratterizzare il volume significativo, a supporto del progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geologiche:

PER TUTTO IL TRATTO CICLABILE

- **Prove di carico su piastra DPLT – tramite piastra leggera secondo la normativa tedesca TP BF-StB Teil B8.39**
- **Campionamento del terreno alla quota compresa tra 0.40 – 0.60 m da p.c. per analisi di laboratorio.**

PER LE ZONE DOVE SONO PREVISTE OPERE

- ATTRAVERSAMENTO RIO VERDE
 - **N.2 Sondaggi geognostici**
 - **N. 13 Prove SPT per cadaun sondaggio**
 - **N.1 indagine sismica MASW**
 - **N.2 indagini sismiche HVSr**
- VIA PONTE ALBANO
 - **N.2 Sondaggi geognostici**
 - **N. 13 Prove SPT per cadaun sondaggio**
 - **N.1 indagine sismica MASW**
 - **N.1 indagine sismica HVSr**
- ATTRAVERSAMENTO RIO MAGGIORE
 - **N.2 Sondaggi geognostici**
 - **N. 13 Prove SPT per cadaun sondaggio**
 - **N.1 indagine sismica MASW**
 - **N.2 indagini sismiche HVSr**
- SPALLA SINISTRA ATTRAVERSAMENTO RENO
 - **N.2 Sondaggi geognostici**
 - **N. 23 Prove SPT per cadaun sondaggio**
 - **N.1 indagine sismica MASW**
 - **N.2 indagini sismiche HVSr**
 - **N.1 indagine sismica Down Hole**

Di seguito si riportano le ubicazioni delle indagini relative alla geotecnica stradale.

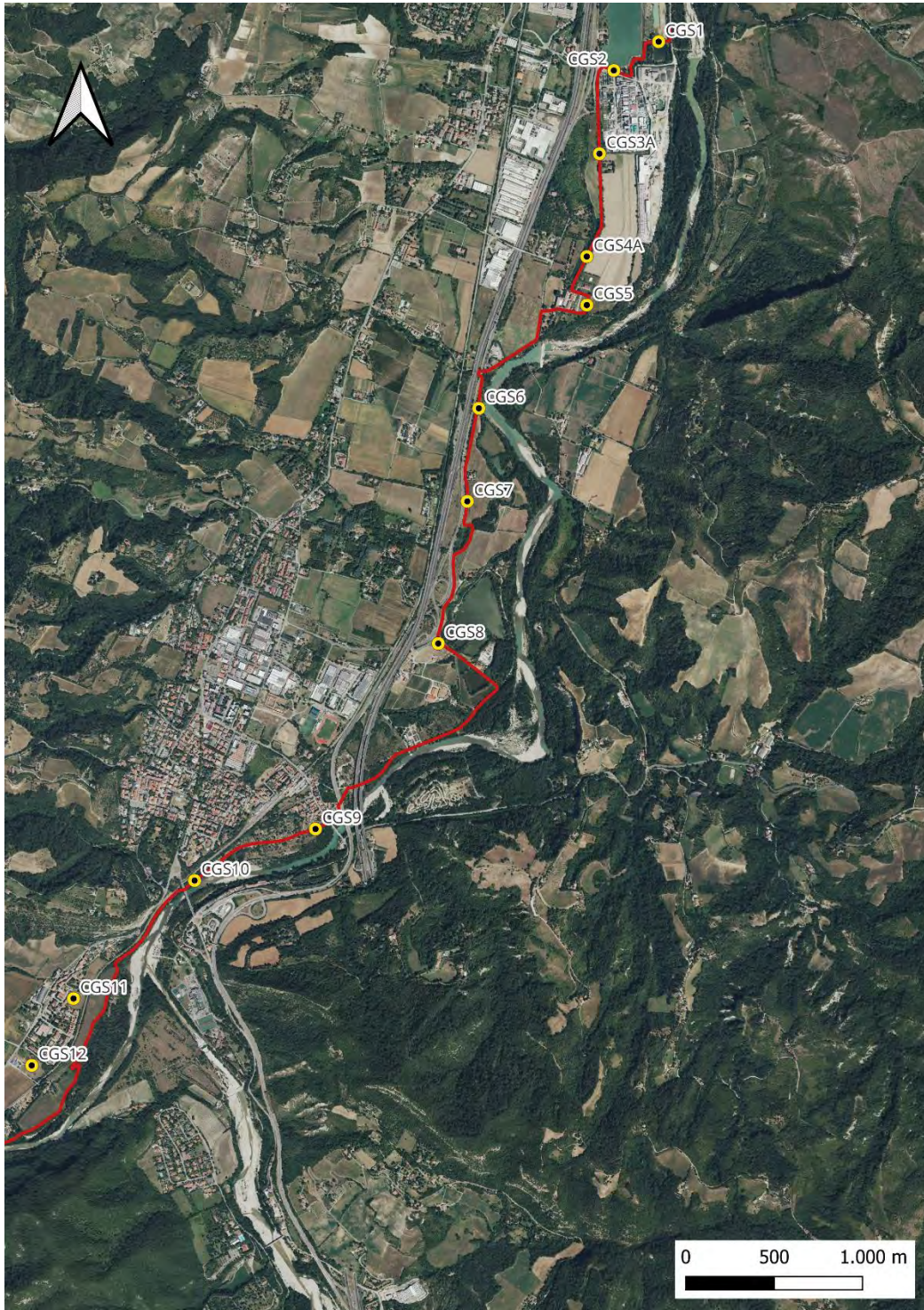


Fig.4.10 – Prove di piastra e campionamenti – Comune di Sasso Marconi

Di seguito si riportano le ubicazioni delle indagini relative alla geotecnica strutturale.



Fig.4.11 – Sondaggi Geognostici – Comune di Sasso Marconi

4.2.1 Prove eseguite per il tratto ciclabile

4.2.1.1 Prove di carico su piastra DPLT

La descrizione della metodologia di prova è illustrata nel paragrafo §2.2.1.1.

Di seguito si riportano nella seguente tabella i valori dei moduli di deflessione dinamica EVD in MN/m² rilevati dalle prove di carico su piastra dinamica (piastra 300 mm; maglio 10.00 kg) eseguite.

COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO

DPLT	EVD
1	97.40 MN/m ²
2	97.40 MN/m ²
3A	53.20 MN/m ²
4A	50.08 MN/m ²
5	42.12 MN/m ²
6	46.90 MN/m ²
7	38.80 MN/m ²
8	36.20 MN/m ²
9	118.40 MN/m ²
10	77.90 MN/m ²
11	15.70 MN/m ²
12	57.50 MN/m ²

Tab.4.11 – Moduli di deflessione dinamica ottenuti in sito.

4.2.1.2 Analisi di laboratorio

Sono stati prelevati n. 12 campioni di terreno, alla quota compresa tra D=0.40 m e 0.60 m da p.c..

Su tali campioni sono state eseguite le seguenti prove:

- ANALISI GRANULOMETRICA SU TERRE/MATERIALI DIMENS. <5 MM (UNI 11531)
- DETERMINAZIONE DEL LIMITE LIQUIDO E PLASTICO (UNI 11531)
- CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA (UNI 11531-1)

I risultati di suddette analisi sono riportati nella loro interezza nell'allegato apposito.

4.3 Indagini per le opere

4.3.1 Passerella Rio Verde

SONDAGGI GEOGNOSTICI

Per la realizzazione della passerella sul Rio Verde sono stati eseguiti il sondaggio S1 ed S2. Si riportano di seguito in forma analitica le stratigrafie e il modello geotecnico definito.

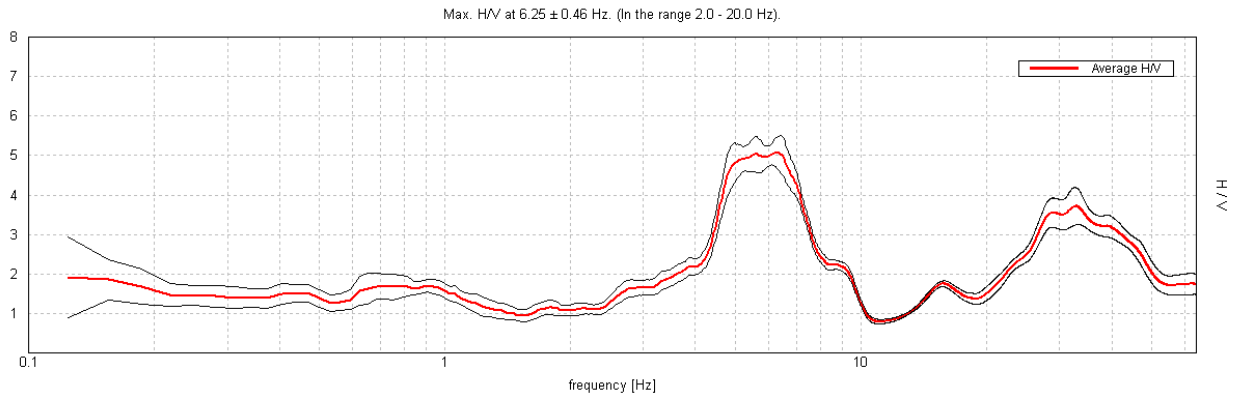
MODELLO GEOTECNICO		SONDAGGIO S1										
Profondità [m]	Terreno	V _{DRY}	V _{SAT}	C	φ	E	c'	Cu	φ	ES	M	Dr
0	1	18	20						33,2	103750	41500	90
1	2											
2	3											
3	4											
4	5											
5	6	18	20						33,42	115150	46060	91,71
6	7											
7	8											
8	9											
9	10											
10	11											
11	12											
12	13											
13	14											
14	15											
15	16											
16	17											
17	18											
18	19											
19	20											
Dato		Lab/SPT	Lab/SPT	RMRC	RMRC	RMRC	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT
m	Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%
	Rock Mass Rating											

MODELLO GEOTECNICO		SONDAGGIO S2										
Profondità [m]	Terreno	V _{DRY}	V _{SAT}	C	φ	E	c'	Cu	φ	ES	M	Dr
0	1	16	18						25	11000	4400	30
1	2											
2	3											
3	4	16,5	18,5						26	11500	4600	32
4	5											
5	6											
6	7	18	20						30	95000	38000	80
7	8											
8	9											
9	10	18	20						34	115000	46000	92
10	11											
11	12											
12	13											
13	14											
14	15											
15	16											
16	17											
17	18											
18	19											
19	20											
Dato		Lab/SPT	Lab/SPT	RMRC	RMRC	RMRC	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT
m	Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%
	Rock Mass Rating											

INDAGINI GEOFISICHE

Per la realizzazione della passerella sul Rio Verde sono state eseguite 2 indagini sismiche HVSR e un'indagine MASW. Di seguito si riporta la modellazione definita.

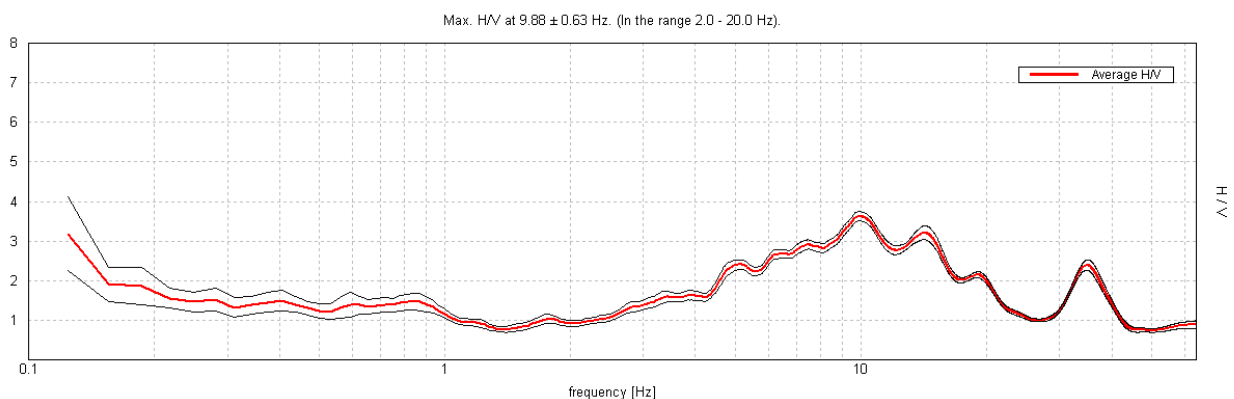
HVSR 1



La frequenza fondamentale di vibrazione della stazione HVSR 1 è pari a circa **6.25 Hz**. La stazione risulta relativamente attendibile benché il segnale registrato si presenta disturbato data la vicinanza a strade a grande traffico. La modellazione in termini di velocità ha definito la seguente velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità **V_{s30}=325 m/s**.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	150	0.42
10.00	8.00	215	0.42
60.00	50.00	480	0.42
inf.	inf.	800	0.42

HVSR 2

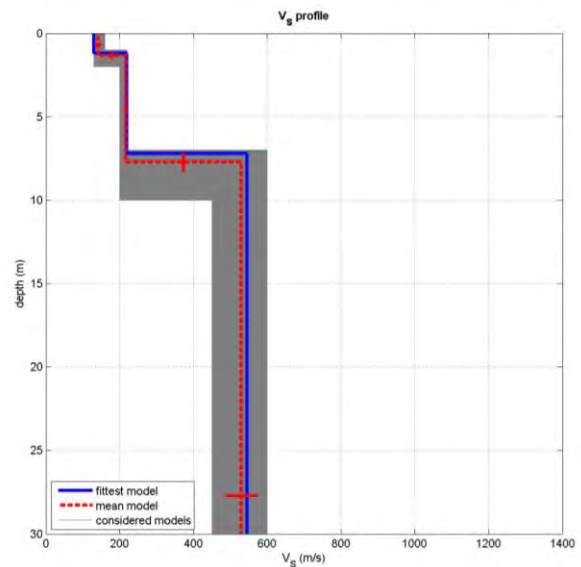
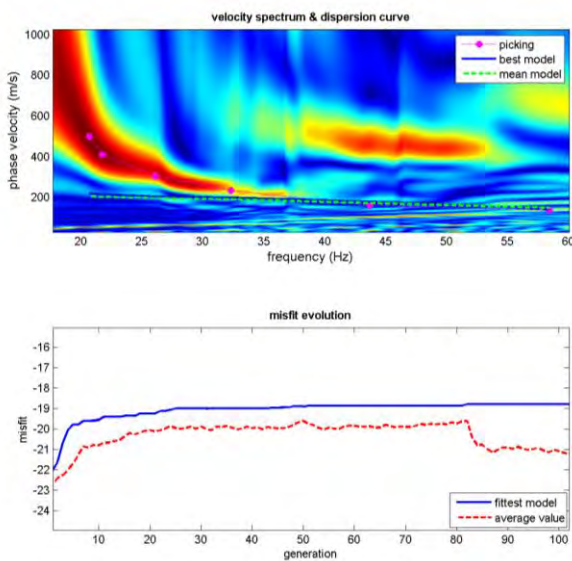


La frequenza fondamentale di vibrazione della stazione HVSR 2 è pari a circa **9.88 Hz**. La stazione risulta relativamente poco attendibile poiché il segnale registrato si presenta molto disturbato data la vicinanza a strade a grande traffico. Non è stato possibile eseguire una modellazione in termini di velocità.

MASW

L'indagine MASW, rispetto agli HVSR di cui alla pagina precedente, appare più attendibile poiché il segnale registrato appare più chiaro e definito, risentendo probabilmente meno delle vibrazioni prodotte dalle strade vicine.

Di seguito si propone in il risultato della modellazione eseguita.



Il valore di velocità ottenuto nei primi 30 metri di profondità è pari a **$V_{s30}=383$ m/s**.

4.3.1.1 Caratterizzazione sismica del sito

4.3.1.2 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Sasso Marconi (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

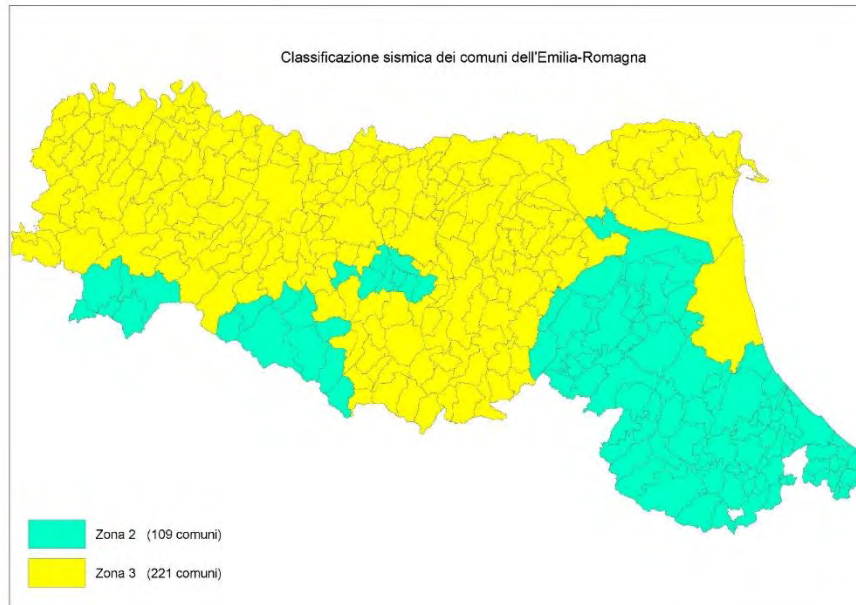


Fig.4.11 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Parametri sismici		<i>ag:</i>	0,230 g
		<i>Fo:</i>	2,507
Sito in esame.		<i>Tc*:</i>	0,313 [s]
<i>latitudine:</i>	44,408993		
<i>longitudine:</i>	11,268758		
<i>Classe:</i>	3		
<i>Vita nominale:</i>	50		
Siti di riferimento			
Sito 1 ID: 17173	Lat: 44,4137		
Lon: 11,2512	Distanza: 1491,885		
Sito 2 ID: 17174	Lat: 44,4150		
Lon: 11,3211	Distanza: 4208,027		
Sito 3 ID: 17396	Lat: 44,3650		
Lon: 11,3228	Distanza: 6507,024		
Sito 4 ID: 17395	Lat: 44,3638		
Lon: 11,2529	Distanza: 5185,444		
Parametri sismici			
<i>Categoria sottosuolo:</i>	B		
<i>Categoria topografica:</i>	T2		
<i>Periodo di riferimento:</i>	75anni		
<i>Coefficiente cu:</i>	1,5		
<i>Operatività (SLO):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	81 %		
<i>Tr:</i>	45		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,067 g		
<i>Fo:</i>	2,480		
<i>Tc*:</i>	0,267 [s]		
<i>Danno (SLD):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	63 %		
<i>Tr:</i>	75		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,082 g		
<i>Fo:</i>	2,490		
<i>Tc*:</i>	0,277 [s]		
<i>Salvaguardia della vita (SLV):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	10 %		
<i>Tr:</i>	712		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,186 g		
<i>Fo:</i>	2,478		
<i>Tc*:</i>	0,302 [s]		
<i>Prevenzione dal collasso (SLC):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	5 %		
<i>Tr:</i>	1462		
<i>[anni]</i>			

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:	
<i>Ss:</i>	1,200
<i>Cc:</i>	1,430
<i>St:</i>	1,200
<i>Kh:</i>	0,019
<i>Kv:</i>	0,010
<i>Amax:</i>	0,947
<i>Beta:</i>	0,200
SLD:	
<i>Ss:</i>	1,200
<i>Cc:</i>	1,420
<i>St:</i>	1,200
<i>Kh:</i>	0,024
<i>Kv:</i>	0,012
<i>Amax:</i>	1,159
<i>Beta:</i>	0,200
SLV:	
<i>Ss:</i>	1,200
<i>Cc:</i>	1,400
<i>St:</i>	1,200
<i>Kh:</i>	0,064
<i>Kv:</i>	0,032
<i>Amax:</i>	2,628
<i>Beta:</i>	0,240
SLC:	
<i>Ss:</i>	1,170
<i>Cc:</i>	1,390
<i>St:</i>	1,200
<i>Kh:</i>	0,090
<i>Kv:</i>	0,045
<i>Amax:</i>	3,162
<i>Beta:</i>	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50 Geostru

Coordinate WGS84	
<i>latitudine:</i>	44.408051
<i>longitudine:</i>	11.267765

4.3.1.3 Categoria di sottosuolo

Per determinare il parametro V_{30} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di V_{30} si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{S,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW e HVSR si sono ottenuti i valori di $V_{s,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	V_{S30}	383 m/s	-
HVSR	V_{S30}	-	$f_{0\text{mediosito}} = 6.25 \text{ Hz}$

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria B**, corrispondente a

ROCCE TENERE E DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MOLTO CONSISTENTI, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S

4.3.1.4 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

L'accelerazione orizzontale di picco attesa a_g è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e Tc^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria B**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s , essendo in classe B, si avrà:

$$S_s = 1,00 \leq 1,40 - (0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g) \leq 1,20$$

dove:

F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **712 anni**/accelerazione di gravità;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1;

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico S_T dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l’area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base ai diversi stati limite.

SLO – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
45	0.067	2.480	0.267	1.33	1.2	0.107

SLD – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
75	0.082	2.490	0.277	1.32	1.2	0.130

SLV – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
712	0.186	2.478	0.301	1.22	1.2	0.271

SLC – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
1462	0.230	2.507	0.311	1.20	1.2	0.331

Il calcolo dei parametri K_h e K_v è stato eseguito come precisato nelle N.T.C. 2018:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \mp 0.5 \cdot k_h$$

con β_s coefficiente di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito.

Stato Limite	K_h	K_v
S.L.O.	0.030	0.015
S.L.D.	0.036	0.018
S.L.V.	0.076	0.038
S.L.C.	0.093	0.046

4.3.1.5 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale

MODELLO SIMULATO

La metodologia è riportata nel paragrafo 2.3.4.

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione congiunta delle indagini HVSR1 e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

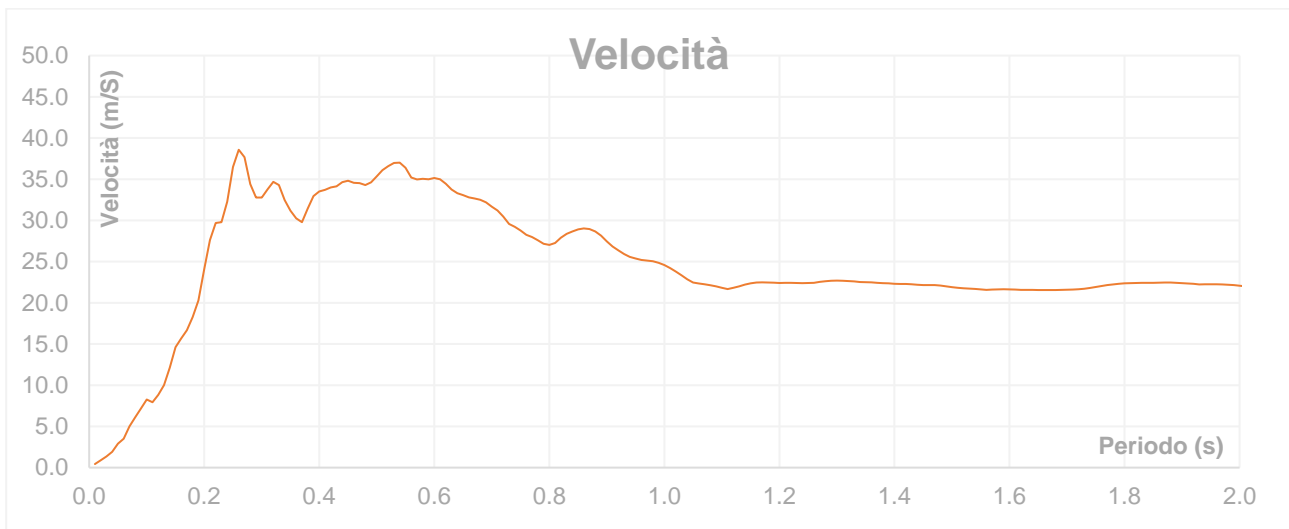
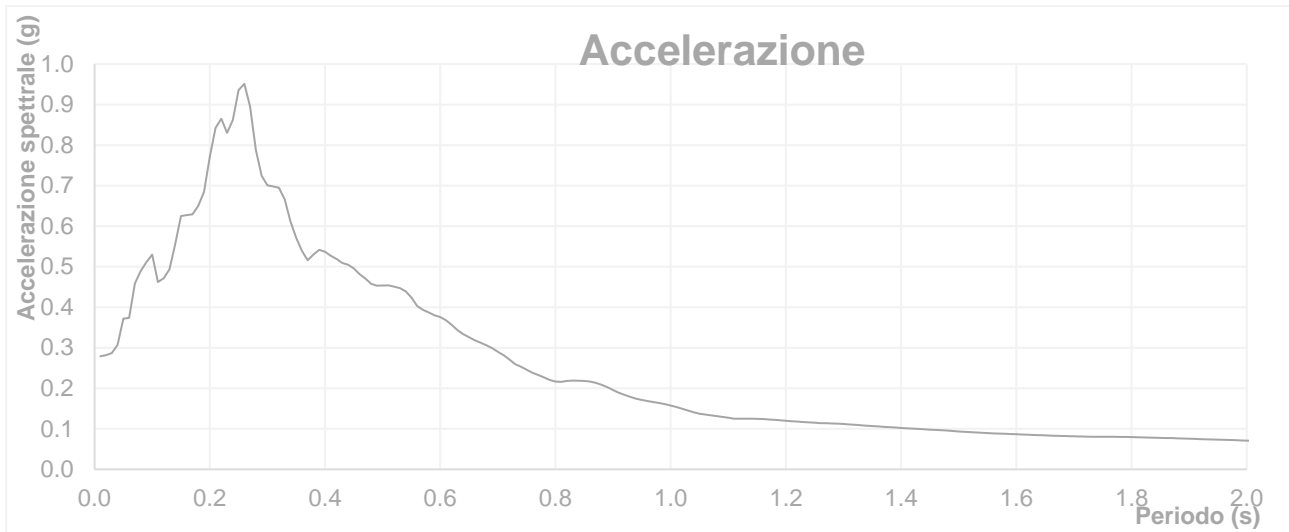
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	150	0.42
10.00	8.00	215	0.42
60.00	50.00	480	0.42
inf.	inf.	800	0.42

In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti agli stati limite SLD – SLO – SLV - SLC. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell'areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l'interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.186g** considerando un valore di **$C_u = 1.50$** (Classe d'uso III) e **$V_n =$** **anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 475 anni.

RISULTATI OTTENUTI - SLV

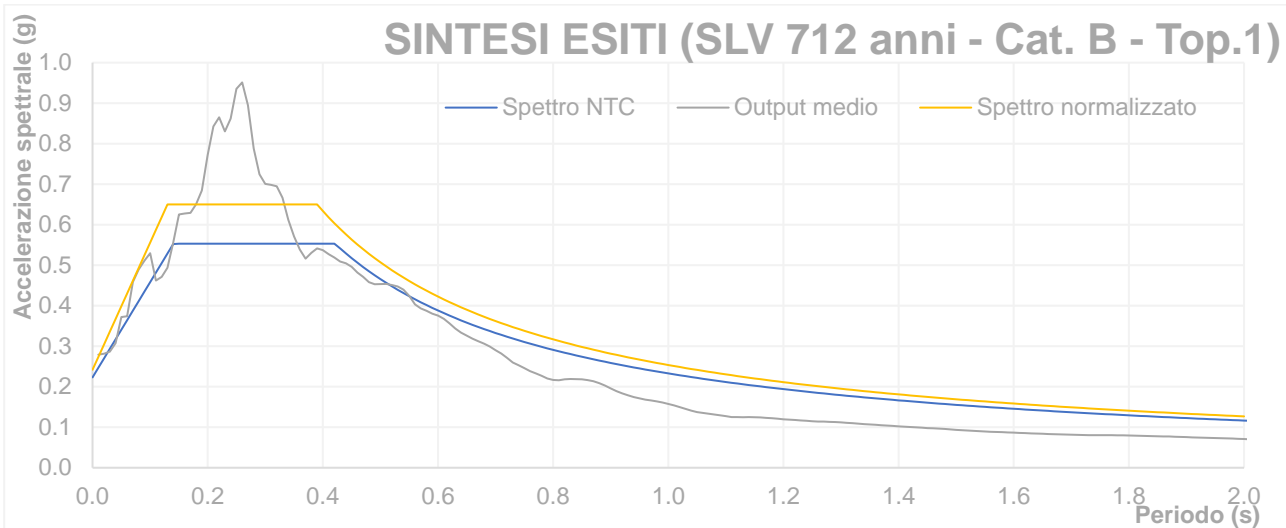
Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:



Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo si è ottenuto lo spettro a probabilità uniforme. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica **minore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.186	2.478	0.301	0.14	0.42	1.2	0.242



I risultati emersi dall’analisi di Risposta Sismica Locale di III Livello suggeriscono di utilizzare i valori ottenuti attraverso l’analisi condotta tramite approccio semplificato.

4.3.2 Passerella Rio Maggiore

SONDAGGI GEOGNOSTICI

Per la realizzazione della passerella sul Rio Verde sono stati eseguiti il sondaggio S5 ed S6. Si riportano di seguito in forma analitica le stratigrafie e il modello geotecnico definito.

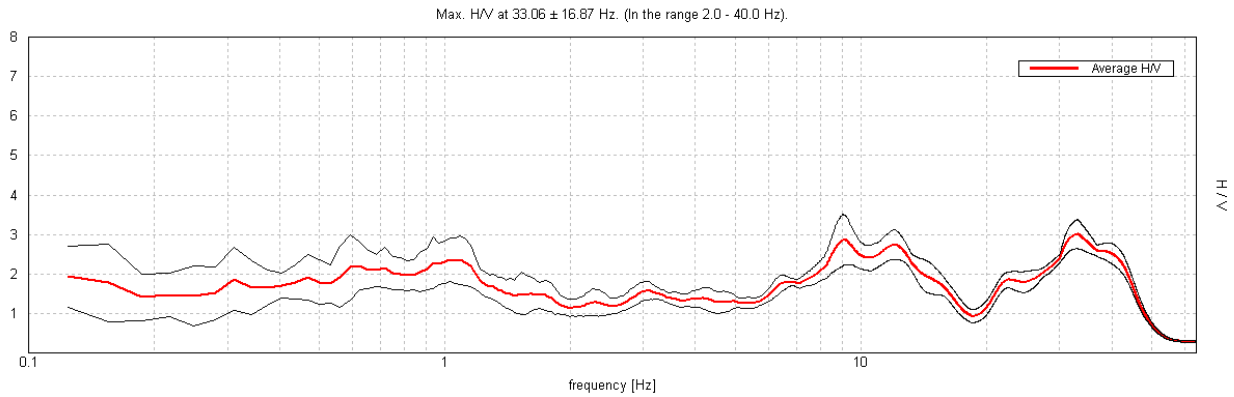
MODELLO GEOTECNICO			SONDAGGIO S5										
Profondità [m]	Terreno	V _{DRY}	V _{SAT}	C	φ	E	c'	Cu	φ	ES	M	Dr	
0	1	17	19						32	31000	12400	71	
1	2												
2	3												
3	4	20	22						35,7	70506,25	28202,5	85,7	
4	5												
5	6												
6	7	22	23	126	34	1,39					554927		
7	8												
8	9	22	23	105,0042	32,24167	0,856883					342753,1		
9	10												
10	11												
11	12												
12	13												
13	14												
14	15	22	23	119,4352	33,23691	1,213826					485530,5		
15	16												
16	17												
17	18												
18	19												
19	20												
	Dato	Lab/SPT	Lab/SPT	RMRC	RMRC	RMRC	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	
m	Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%	
	Rock Mass Rating												

MODELLO GEOTECNICO			SONDAGGIO S6										
Profondità [m]	Terreno	V _{DRY}	V _{SAT}	C	φ	E	c'	Cu	φ	ES	M	Dr	
0	1	17	19						32	60000	24000	85	
1	2												
2	3												
3	4												
4	5	20	22						32	69831	27933	85	
5	6												
6	7												
7	8												
8	9												
9	10												
10	11												
11	12	22	23	113,99	33,00	1,09					436780,4		
12	13												
13	14												
14	15												
15	16												
16	17												
17	18	22	23	117,09	34,00	1,13					342753,1		
18	19												
19	20												
	Dato	Lab/SPT	Lab/SPT	RMRC	RMRC	RMRC	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	
m	Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%	
	Rock Mass Rating												

INDAGINI GEOFISICHE

Per la realizzazione della passerella sul Rio Verde sono state eseguite 2 indagini sismiche HVSR e un'indagine MASW. Di seguito si riporta la modellazione definita.

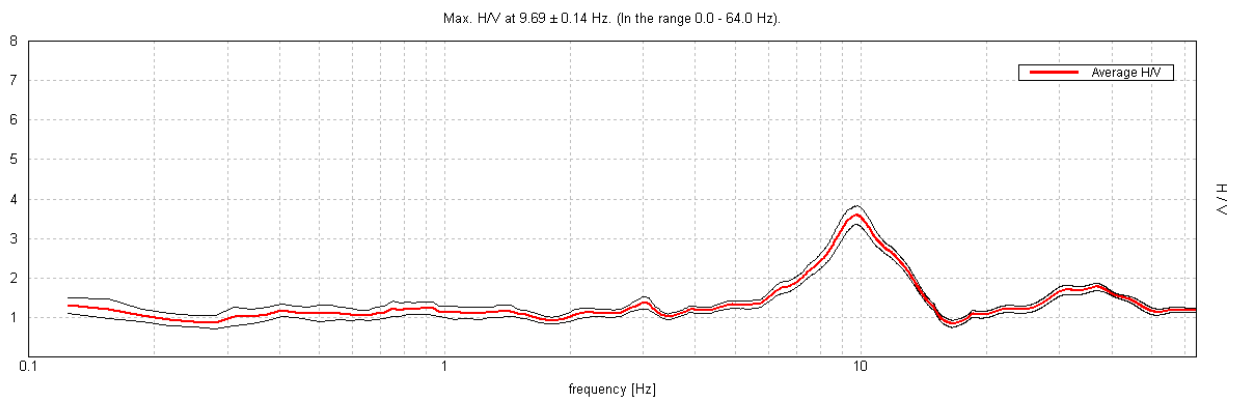
HVSR 1



La frequenza fondamentale di vibrazione della stazione HVSR 1 è pari a circa **10.00 Hz**. La stazione risulta attendibile, benché il segnale registrato si presenti relativamente disturbato. La modellazione in termini di velocità ha definito la seguente velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità **Vs₃₀=496 m/s**.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	180	0.42
5.00	4.00	270	0.42
15.00	10.00	535	0.42
inf.	inf.	700	0.42

HVSR 2



La frequenza fondamentale di vibrazione della stazione HVSR 2 è pari a circa **9.88 Hz**. La stazione risulta attendibile poiché il segnale registrato si presenta poco disturbato.

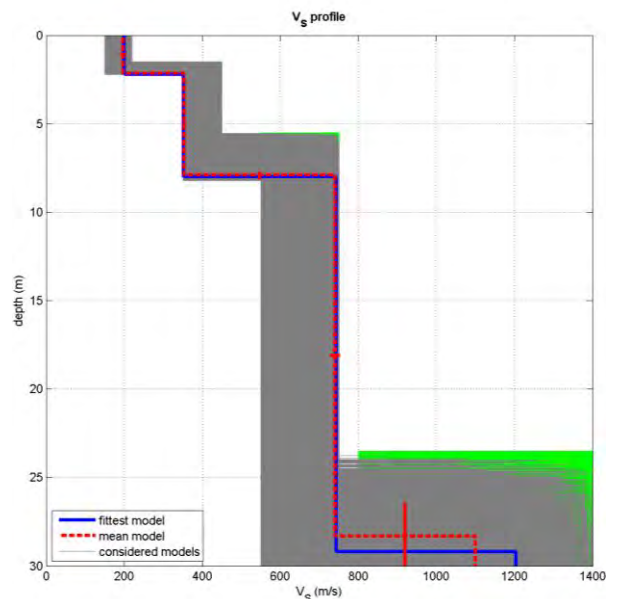
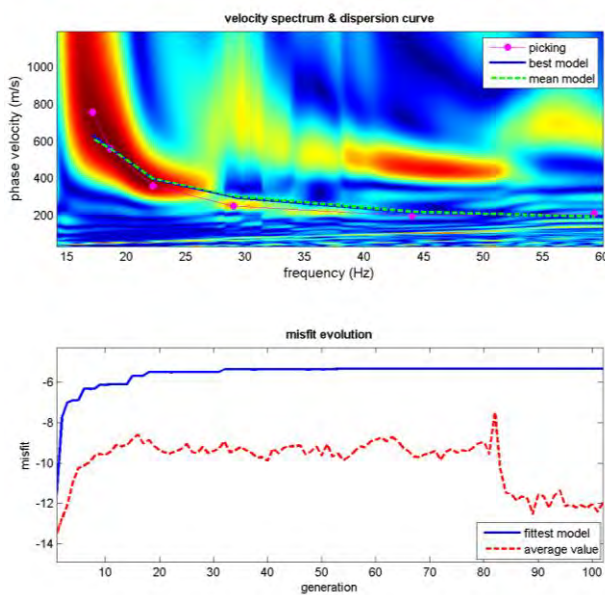
La modellazione in termini di velocità ha definito la seguente velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità **Vs₃₀=471 m/s**.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	150	0.42
6.00	5.00	270	0.42
16.00	10.00	540	0.42
inf.	Inf.	700	0.42

MASW

L’indagine MASW, rispetto agli HVSR di cui alla pagina precedente, appare più attendibile poiché il segnale registrato appare più chiaro e definito, risentendo probabilmente meno delle vibrazioni prodotte dalle strade vicine.

Di seguito si propone in il risultato della modellazione eseguita.



Il valore di velocità ottenuto nei primi 30 metri di profondità è pari a **Vs₃₀=530 m/s**.

4.3.2.1 Caratterizzazione sismica del sito

4.3.2.2 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Sasso Marconi (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

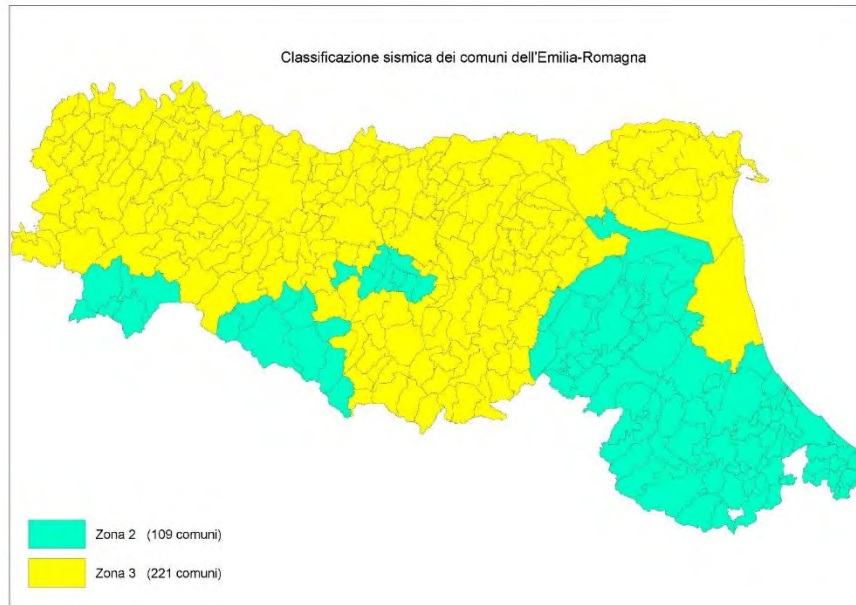


Fig.3.9 – Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Parametri sismici		<i>ag:</i>	0,227 g
		<i>Fo:</i>	2,520
Sito in esame.		<i>Tc*:</i>	0,311 [s]
<i>Latitudine:</i>	44,377684		
<i>longitudine:</i>	11,233443		
<i>Classe:</i>	3		
<i>Vita nominale:</i>	50		
Siti di riferimento			
Sito 1 ID: 17394	Lat: 44,3624		
Lon: 11,1831	Distanza: 4345,332		
Sito 2 ID: 17395	Lat: 44,3638		
Lon: 11,2529	Distanza: 2191,408		
Sito 3 ID: 17173	Lat: 44,4137		
Lon: 11,2512	Distanza: 4247,605		
Sito 4 ID: 17172	Lat: 44,4124		
Lon: 11,1812	Distanza: 5665,154		
Parametri sismici			
<i>Categoria sottosuolo:</i>	B		
<i>Categoria topografica:</i>	T2		
<i>Periodo di riferimento:</i>	75anni		
<i>Coefficiente cu:</i>	1,5		
<i>Operatività (SLO):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	81 %		
<i>Tr:</i>	45		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,067 g		
<i>Fo:</i>	2,486		
<i>Tc*:</i>	0,267 [s]		
<i>Danno (SLD):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	63 %		
<i>Tr:</i>	75		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,082 g		
<i>Fo:</i>	2,498		
<i>Tc*:</i>	0,277 [s]		
<i>Salvaguardia della vita (SLV):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	10 %		
<i>Tr:</i>	712		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,184 g		
<i>Fo:</i>	2,492		
<i>Tc*:</i>	0,301 [s]		
<i>Prevenzione dal collasso (SLC):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	5 %		
<i>Tr:</i>	1462		
<i>[anni]</i>			

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

SLO:

Ss: 1,200

Cc: 1,430

St: 1,200

Kh: 0,017

Kv: 0,009

Amax: 0,943

Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200

Cc: 1,420

St: 1,200

Kh: 0,021

Kv: 0,011

Amax: 1,152

Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,400

St: 1,200

Kh: 0,063

Kv: 0,032

Amax: 2,593

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,170

Cc: 1,390

St: 1,200

Kh: 0,099

Kv: 0,049

Amax: 3,122

Beta: 0,310

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.376741

longitudine: 11.232450

4.3.2.3 Categoria di sottosuolo

Per determinare il parametro V_{30} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di V_{30} si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{s,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW e HVSR si sono ottenuti i valori di $V_{s,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	V_{S30}	530 m/s	-
HVSR	V_{S30}	471 m/s	$f_{0,mediosito} = 9.50 \text{ Hz}$

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria B**, corrispondente a

ROCCE TENERE E DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MOLTO CONSISTENTI, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S

4.3.2.4 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

L'accelerazione orizzontale di picco attesa a_g è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e Tc^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria B**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s , essendo in classe B, si avrà:

$$S_s = 1,00 \leq 1,40 - (0,60 \bullet F_0 \bullet a_g/g) \leq 1,20$$

dove:

F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **712 anni**/accelerazione di gravità;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1;

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico S_T dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2

T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media > 30°	1.4
-----------	---	------------

Per l’area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base ai diversi stati limite.

SLO – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
45	0.067	2.486	0.267	1.33	1.2	0.107

SLD – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
75	0.082	2.498	0.277	1.32	1.2	0.130

SLV – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
712	0.184	2.492	0.301	1.22	1.2	0.269

SLC – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
1462	0.227	2.520	0.311	1.20	1.2	0.319

Il calcolo dei parametri K_h e K_v è stato eseguito come precisato nelle N.T.C. 2018:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \mp 0.5 \cdot k_h$$

con β_s coefficiente di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito.

Stato Limite	K_h	K_v
S.L.O.	0.030	0.015
S.L.D.	0.036	0.018
S.L.V.	0.075	0.038
S.L.C.	0.089	0.045

4.3.2.5 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale

MODELLO SIMULATO

La metodologia è riportata nel paragrafo §2.3.4.

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell’area studiata. Il profilo considerato deriva dall’interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall’elaborazione congiunta delle indagini HVSR1 e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

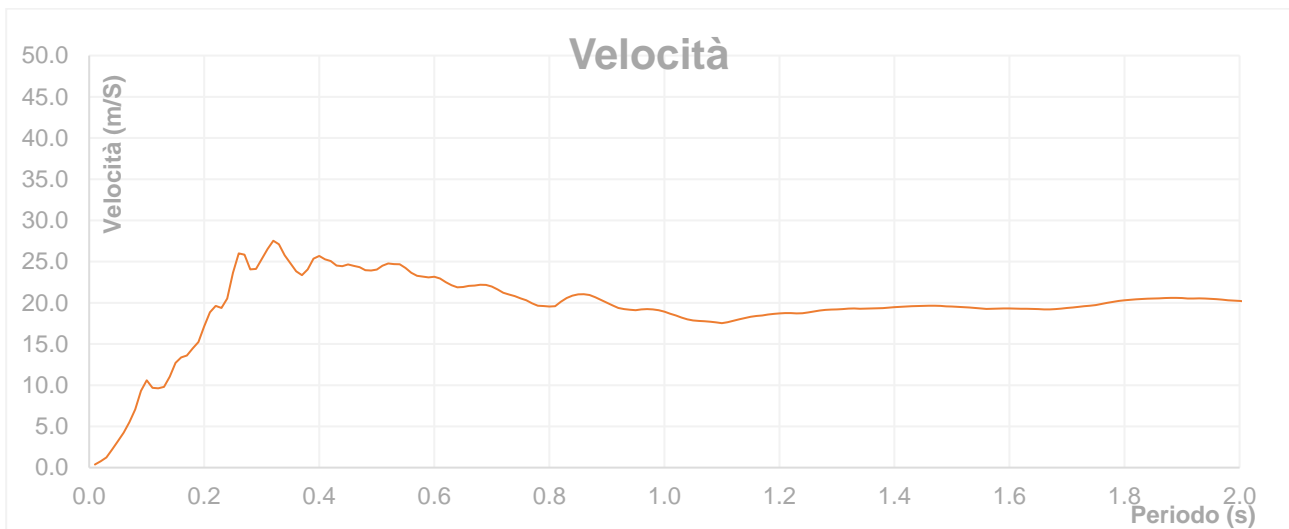
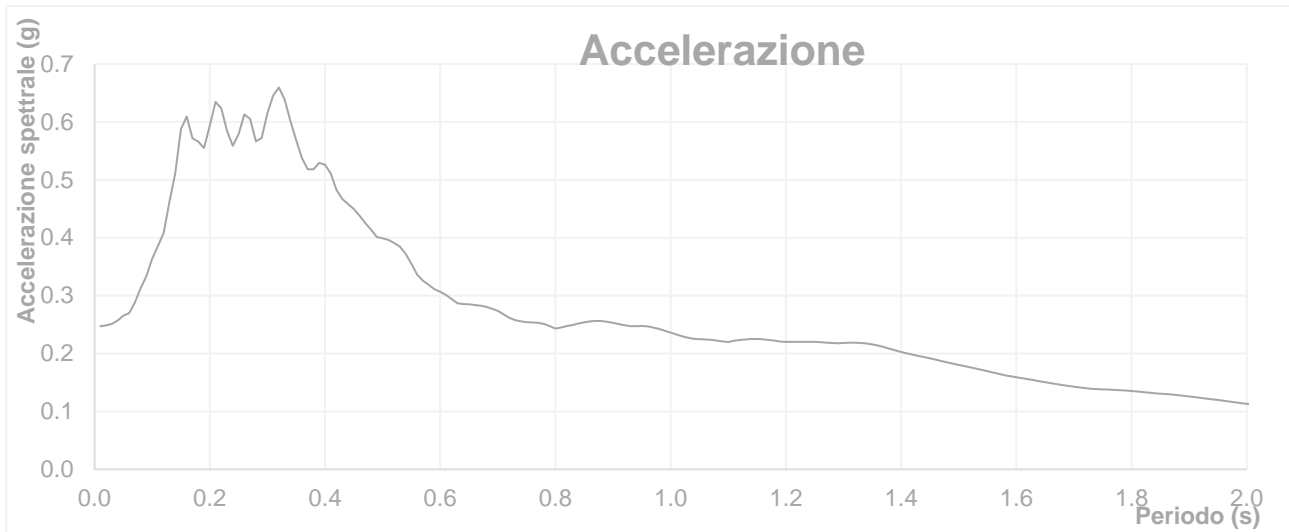
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	150	0.42
6.00	5.00	270	0.42
16.00	10.00	540	0.42
inf.	inf.	700	0.42

In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l’analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti agli stati limite SLD – SLO – SLV - SLC. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell’areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l’interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.184g** considerando un valore di **$C_u = 1.50$** (Classe d’uso III) e **$V_n =$** **anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 712 anni.

RISULTATI OTTENUTI - SLV

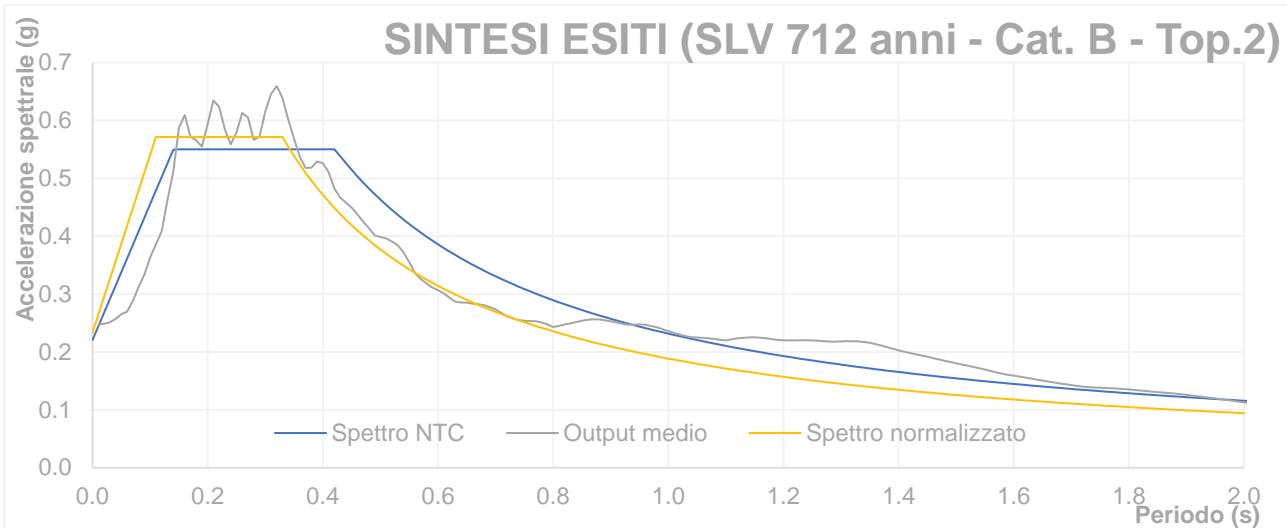
Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:



Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo si è ottenuto lo spettro a probabilità uniforme. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica **minore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.184	2.492	0.301	0.14	0.42	1.2	0.233



I risultati emersi dall’analisi di Risposta Sismica Locale di III Livello suggeriscono di utilizzare i valori ottenuti attraverso l’analisi condotta tramite approccio semplificato.

4.3.3 Passerella Fiume Reno Sinistra Idrografica

SONDAGGI GEOGNOSTICI

Per la realizzazione della passerella sul Rio Verde sono stati eseguiti il sondaggio S7 ed S8. Si riportano di seguito in forma analitica le stratigrafie e il modello geotecnico definito.

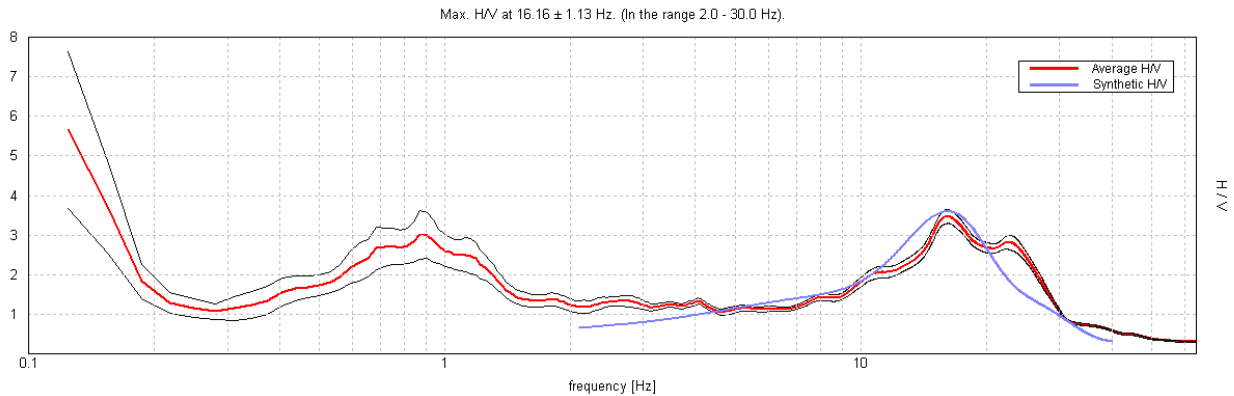
MODELLO GEOTECNICO		SONDAGGIO S7											
Profondità [m]	Terreno	γ_{DRY}	γ_{SAT}	C	φ	E	c'	Cu	φ	ES	M	Dr	
0	1	17	19						32	31000	12400	71	
1	2												LIMO SABBIOSO E SABBIA LIMOSA
2	3	20	22						35,7	70506,25	28202,5	85,7	
3	4												
4	5												GHIAIA DA MEDIA A GROSSA ARROTONDATA IN MATRICE LIMOSA
5	6												
6	7												
7	8	22	23	126	34	1,39					554927		
8	9												ARENARIA A GRANA FINISSIMA DI COLORE GRIGIO
9	10	22	23	105,0042	32,24167	0,856883					342753,1		
10	11												ARENARIA A GRANA FINISSIMA DI COLORE GRIGIO TRATTO MENO CONSISTENTE
11	12	22	23	119,4352	33,23691	1,213826					485530,5		
12	13												
13	14												
14	15												
15	16												
16	17												
17	18												
18	19												
19	20												
20	21												
21	22												
22	23	22	23	114,5917	32,90288	1,065403					426161,3		
23	24												
24	25												
25	26												
26	27												
27	28												
28	29												
29	30												
30	31												
31	32												
32	33												
33	34												
34	35												
	Dato	Lab/SPT	Lab/SPT	RMRC	RMRC	RMRC	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	
m	Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%	
	Rock Mass Rating												

MODELLO GEOTECNICO		SONDAGGIO S8											
Profondità [m]	Terreno	V _{DRY}	V _{SAT}	C	φ	E	c'	Cu	φ	ES	M	Dr	
0	1	17	19						32	28562	11425	67	
1	2												LIMO SABBIOSO E SABBIA LIMOSA
2	3	20	22						36	90475	36190	91,125	
3	4												
4	5												GHIAIA DA MEDIA A GROSSA ARROTONDATA IN MATRICE LIMOSA
5	6												
6	7	22	23	109	33	1					386007		
7	8												ARENARIA A GRANA FINISSIMA DI COLORE GRIGIO
8	9	22	23	125	34	1					573558		
9	10												
10	11												ALTERNANZE DI MARNE ARENITICHE E ARENARIE MARNOSE A GRANA ESTRAMEMENTE FINE TRATTO CONSISTENTE
11	12												
12	13												
13	14												
14	15												
15	16												
16	17	22	23	151	35	3					1014248		
17	18												
18	19												ALTERNANZE DI MARNE ARENITICHE E ARENARIE MARNOSE A GRANA ESTRAMEMENTE FINE TRATTO MOLTO CONSISTENTE
19	20												
20	21	22	23	111	33	1					396703		
21	22												
22	23												MARNE ARENITICHE E ARENARIE MARNOSE FINISSIME TRATTA RELATIVAMENTE MENO CONSISTENTE
23	24												
24	25	22	23	134	34	2					682162		
25	26												
26	27												
27	28												
28	29												ALTERNANZE DI MARNE ARENITICHE E ARENARIE MARNOSE A GRANA ESTRAMEMENTE FINE TRATTO CONSISTENTE
29	30												
30	31												
31	32												
32	33												
33	34												
34	35												
	Dato	Lab/SPT	Lab/SPT	RM _{Rc}	RM _{Rc}	RM _{Rc}	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	
m	Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%	
	Rock Mass Rating												

INDAGINI GEOFISICHE

Per la realizzazione della passerella sul Rio Maggiore sono state eseguite 1 indagini sismiche HVSR e un’indagine DH. Di seguito si riporta la modellazione definita.

HVSR 1



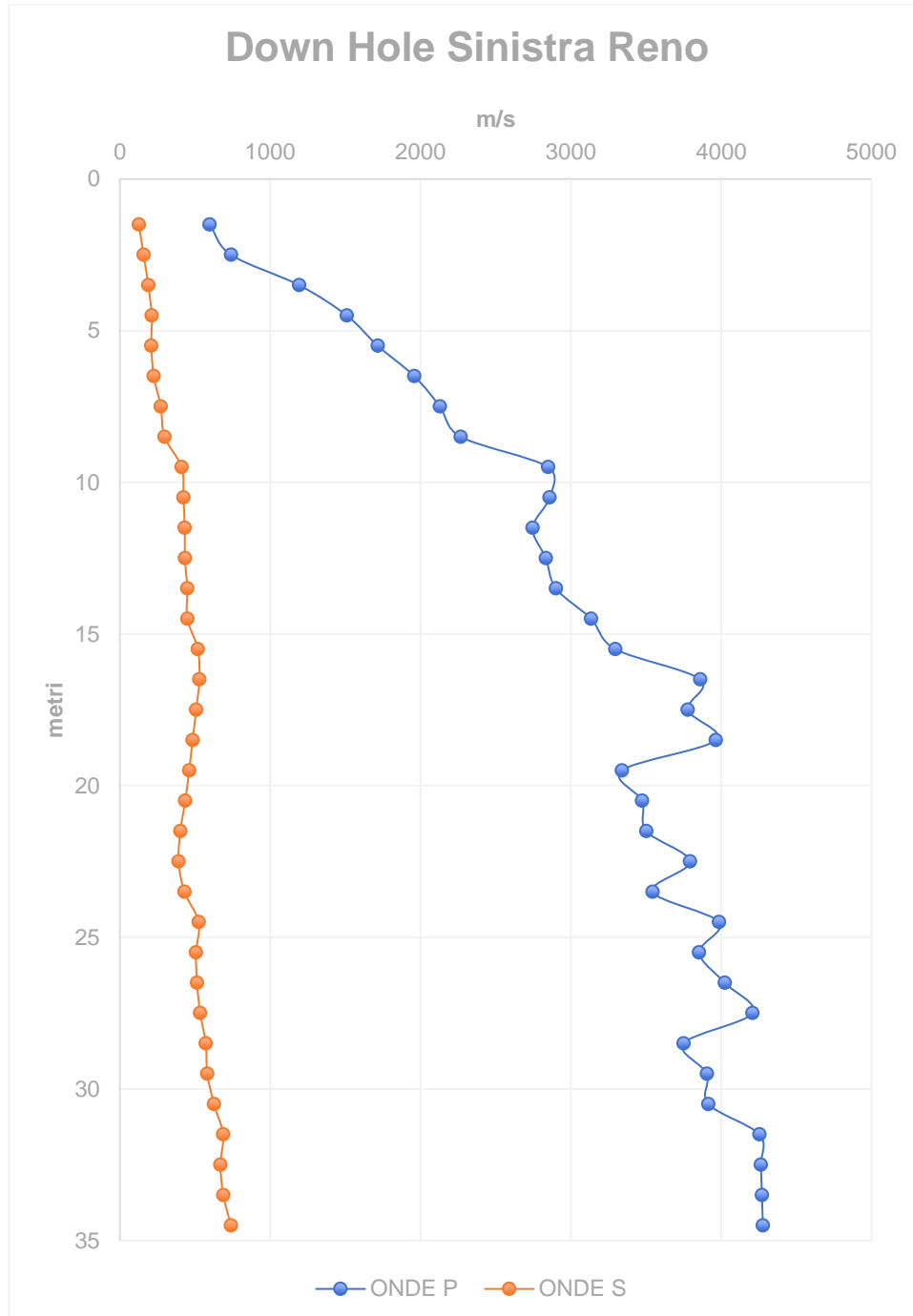
La frequenza fondamentale di vibrazione della stazione HVSR 1 è pari a circa **16.00 Hz**. La stazione risulta attendibile, benché il segnale sembri presentare picchi incompleti o tagliati che restano comunque pienamente interpretabili e coerenti con la stratigrafia del sito. La modellazione in termini di velocità ha definito la seguente velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità **Vs₃₀=525 m/s**.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	195	0.40
7.00	5.00	405	0.42
27.00	20.00	650	0.43
inf.	inf.	800	0.43

DH

L'indagine Down Hole è stata eseguita all'interno del foro di sondaggio.

Di seguito si propone il risultato della modellazione eseguita.



Di seguito si riportano i parametri geofisici definiti per ciascun metro di profondità.

E	v	k	μ	λ	Vp	Vs	P
Young	Poisson	Bulk	Rigidità	Lamè-1	Longitudinale	Taglio	Prof.
8,08E+07	0,48	5,70E+08	2,74E+07	5,51E+08	597	127	2
1,25E+08	0,48	8,75E+08	4,24E+07	8,46E+08	740	158	3
2,02E+08	0,49	2,61E+09	6,79E+07	2,57E+09	1193	189	4
2,55E+08	0,49	4,21E+09	8,54E+07	4,16E+09	1509	212	5
2,48E+08	0,49	5,48E+09	8,31E+07	5,43E+09	1716	209	6
2,88E+08	0,49	7,16E+09	9,65E+07	7,10E+09	1959	225	7
4,64E+08	0,49	9,31E+09	1,55E+08	9,21E+09	2129	272	8
5,53E+08	0,49	1,05E+10	1,85E+08	1,04E+10	2267	297	9
1,06E+09	0,49	1,66E+10	3,55E+08	1,63E+10	2849	411	10
1,12E+09	0,49	1,67E+10	3,76E+08	1,64E+10	2858	423	11
1,16E+09	0,49	1,53E+10	3,91E+08	1,51E+10	2746	431	12
1,17E+09	0,49	1,63E+10	3,94E+08	1,61E+10	2834	433	13
1,26E+09	0,49	1,71E+10	4,22E+08	1,68E+10	2901	448	14
1,26E+09	0,49	2,01E+10	4,24E+08	1,98E+10	3135	449	15
1,68E+09	0,49	2,21E+10	5,65E+08	2,17E+10	3296	519	16
1,75E+09	0,49	3,05E+10	5,87E+08	3,01E+10	3861	529	17
1,61E+09	0,49	2,92E+10	5,41E+08	2,89E+10	3778	508	18
1,47E+09	0,49	3,24E+10	4,91E+08	3,20E+10	3964	484	19
1,33E+09	0,49	2,28E+10	4,47E+08	2,25E+10	3340	461	20
1,18E+09	0,49	2,48E+10	3,97E+08	2,46E+10	3474	435	21
1,02E+09	0,49	2,53E+10	3,41E+08	2,51E+10	3502	403	22
9,59E+08	0,49	2,98E+10	3,21E+08	2,96E+10	3792	391	23
1,16E+09	0,49	2,59E+10	3,88E+08	2,56E+10	3544	430	24
1,72E+09	0,49	3,26E+10	5,77E+08	3,22E+10	3986	524	25
1,61E+09	0,49	3,05E+10	5,39E+08	3,01E+10	3853	507	26
1,65E+09	0,49	3,33E+10	5,53E+08	3,29E+10	4024	513	27
1,79E+09	0,49	3,64E+10	5,99E+08	3,60E+10	4208	534	28
2,04E+09	0,49	2,86E+10	6,86E+08	2,82E+10	3750	571	29
2,12E+09	0,49	3,11E+10	7,11E+08	3,06E+10	3906	582	30
2,45E+09	0,49	3,11E+10	8,23E+08	3,05E+10	3915	626	31
2,94E+09	0,49	3,67E+10	9,90E+08	3,60E+10	4255	687	32
2,80E+09	0,49	3,69E+10	9,40E+08	3,63E+10	4264	669	33
2,96E+09	0,49	3,70E+10	9,94E+08	3,63E+10	4271	688	34
3,41E+09	0,48	3,69E+10	1,15E+09	3,61E+10	4277	739	35
Pa		Pa	Pa	Pa	m/s	m/s	m

4.3.3.1 Caratterizzazione sismica del sito

4.3.3.2 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Sasso Marconi (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

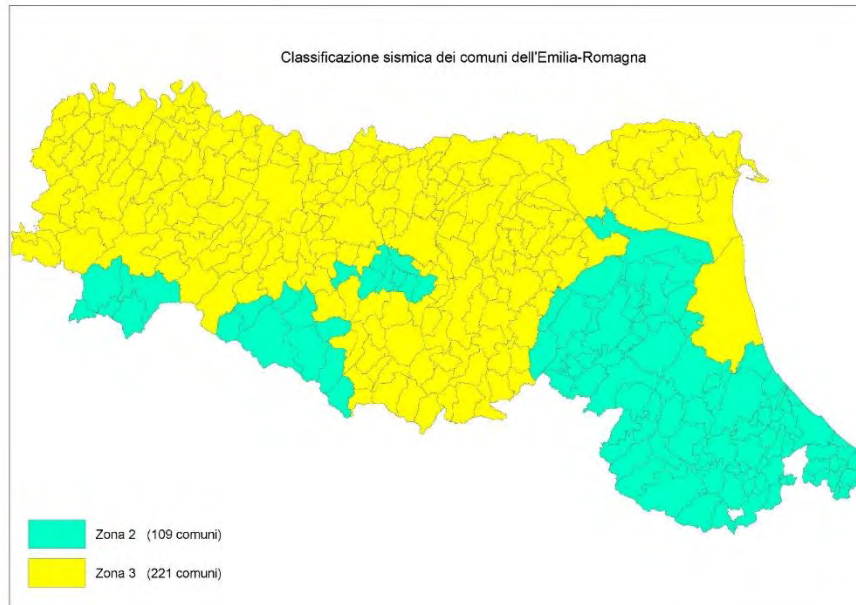


Fig.3.9 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Parametri sismici		<i>ag:</i>	0,227 g
		<i>Fo:</i>	2,520
Sito in esame.		<i>Tc*:</i>	0,311 [s]
<i>latitudine:</i>	44,377684		
<i>longitudine:</i>	11,233443		
<i>Classe:</i>	3		
<i>Vita nominale:</i>	50		
Siti di riferimento			
Sito 1 ID: 17394	Lat: 44,3624		
Lon: 11,1831	Distanza: 4345,332		
Sito 2 ID: 17395	Lat: 44,3638		
Lon: 11,2529	Distanza: 2191,408		
Sito 3 ID: 17173	Lat: 44,4137		
Lon: 11,2512	Distanza: 4247,605		
Sito 4 ID: 17172	Lat: 44,4124		
Lon: 11,1812	Distanza: 5665,154		
Parametri sismici			
<i>Categoria sottosuolo:</i>	B		
<i>Categoria topografica:</i>	T2		
<i>Periodo di riferimento:</i>	75anni		
<i>Coefficiente cu:</i>	1,5		
<i>Operatività (SLO):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	81 %		
<i>Tr:</i>	45		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,067 g		
<i>Fo:</i>	2,486		
<i>Tc*:</i>	0,267 [s]		
<i>Danno (SLD):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	63 %		
<i>Tr:</i>	75		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,082 g		
<i>Fo:</i>	2,498		
<i>Tc*:</i>	0,277 [s]		
<i>Salvaguardia della vita (SLV):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	10 %		
<i>Tr:</i>	712		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,184 g		
<i>Fo:</i>	2,492		
<i>Tc*:</i>	0,301 [s]		
<i>Prevenzione dal collasso (SLC):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	5 %		
<i>Tr:</i>	1462		
<i>[anni]</i>			

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

SLO:

Ss: 1,200

Cc: 1,430

St: 1,200

Kh: 0,017

Kv: 0,009

Amax: 0,943

Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200

Cc: 1,420

St: 1,200

Kh: 0,021

Kv: 0,011

Amax: 1,152

Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,400

St: 1,200

Kh: 0,063

Kv: 0,032

Amax: 2,593

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,170

Cc: 1,390

St: 1,200

Kh: 0,099

Kv: 0,049

Amax: 3,122

Beta: 0,310

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.376741

longitudine: 11.232450

4.3.3.4 Categoria di sottosuolo

Per determinare il parametro V_{30} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di V_{30} si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{s,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW e HVSR si sono ottenuti i valori di $V_{s,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nelle seguenti tabelle:

DH	V_{S30}	487 m/s	-
HVSR	V_{S30}	525 m/s	$f_{0\text{mediosito}} = 16 \text{ Hz}$

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria B**, corrispondente a

ROCCE TENERE E DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MOLTO CONSISTENTI, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S

4.3.3.5 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

L'accelerazione orizzontale di picco attesa a_g è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e Tc^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria B**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s , essendo in classe B, si avrà:

$$S_s = 1,00 \leq 1,40 - (0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g) \leq 1,20$$

dove:

F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **712 anni**/accelerazione di gravità;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1;

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico S_T dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base ai diversi stati limite.

SLO – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
45	0.067	2.486	0.267	1.33	1.2	0.107

SLD – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
75	0.082	2.498	0.277	1.32	1.2	0.130

SLV – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
712	0.184	2.492	0.301	1.22	1.2	0.269

SLC – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
1462	0.227	2.520	0.311	1.20	1.2	0.319

Il calcolo dei parametri K_h e K_v è stato eseguito come precisato nelle N.T.C. 2018:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \mp 0.5 \cdot k_h$$

con β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Stato Limite	K_h	K_v
S.L.O.	0.030	0.015
S.L.D.	0.036	0.018
S.L.V.	0.075	0.038
S.L.C.	0.089	0.045

4.3.3.6 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell’area studiata. Il profilo considerato deriva dall’interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall’elaborazione congiunta delle indagini HVSR1 e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

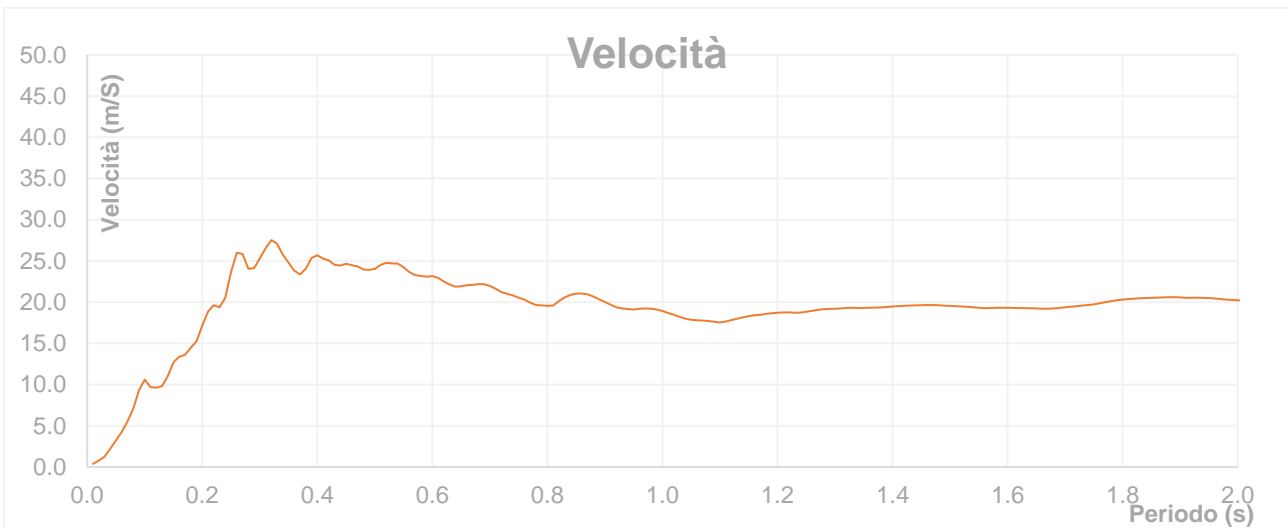
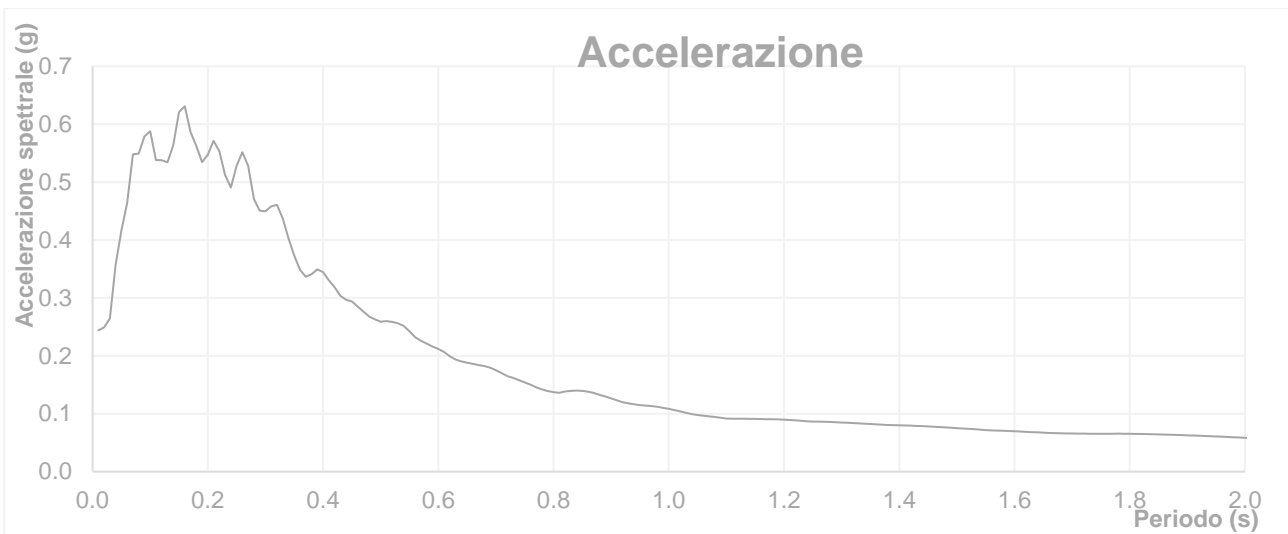
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	195	0.40
7.00	5.00	405	0.42
27.00	20.00	650	0.43
inf.	inf.	800	0.43

In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l’analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti agli stati limite SLD – SLO – SLV - SLC. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell’areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l’interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.184g** considerando un valore di **$C_u = 1.50$** (Classe d’uso III) e **$V_n =$** **anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 712 anni.

RISULTATI OTTENUTI - SLV

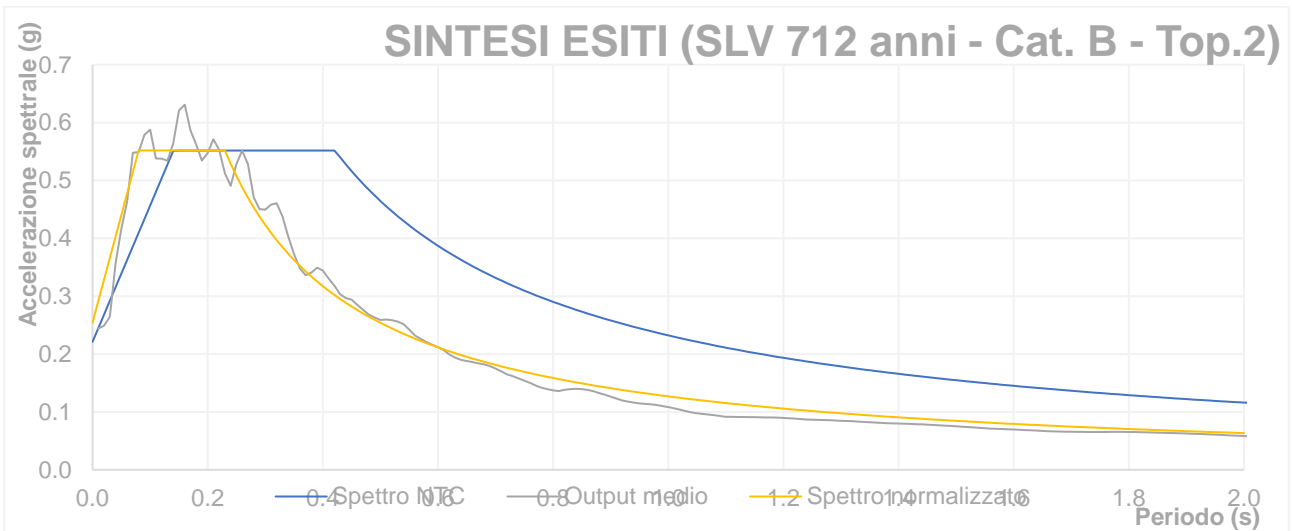
Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:



Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo si è ottenuto lo spettro a probabilità uniforme. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica **minore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.184	2.492	0.301	0.14	0.42	1.2	0.254



I risultati emersi dall'analisi di Risposta Sismica Locale di III Livello suggeriscono di utilizzare i valori ottenuti attraverso l'analisi condotta tramite approccio semplificato.

5. TRATTO 4 – COMUNE DI MARZABOTTO

5.1 Inquadramento generale

Il tratto di Ciclovia del Sole che si snoda all'interno del territorio Comunale di Marzabotto ha una lunghezza si trova in destra idrografica al Fiume Reno.

Di seguito si riporta una vista satellitare del tratto in esame, in rosso è rappresentato il tracciato della ciclabile, mentre in giallo sono rappresentati i confini amministrativi dei territori comunali intersecati.

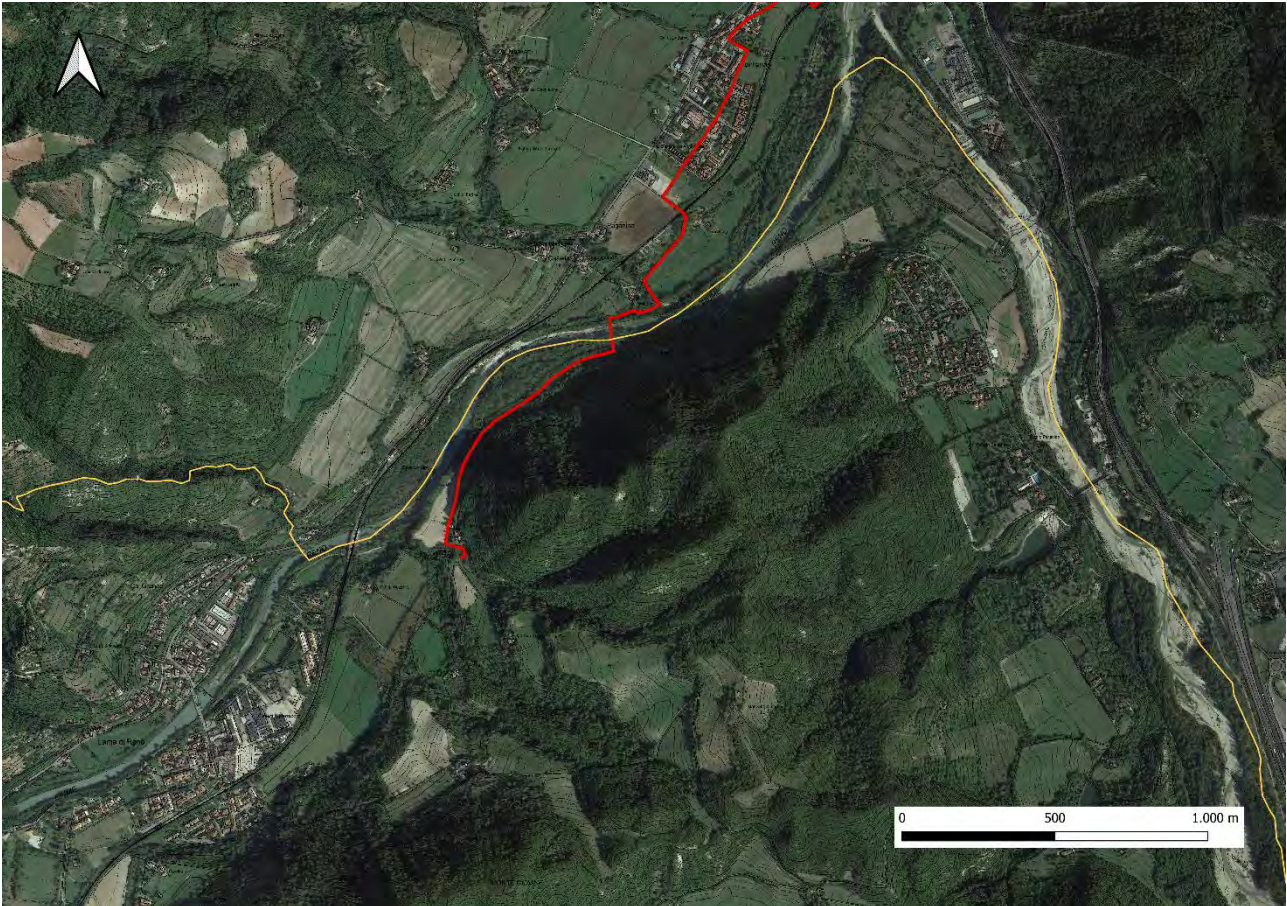


Fig.4.1 - Ubicazione del sito in studio – tratto 4 – Comune di Marzabotto.

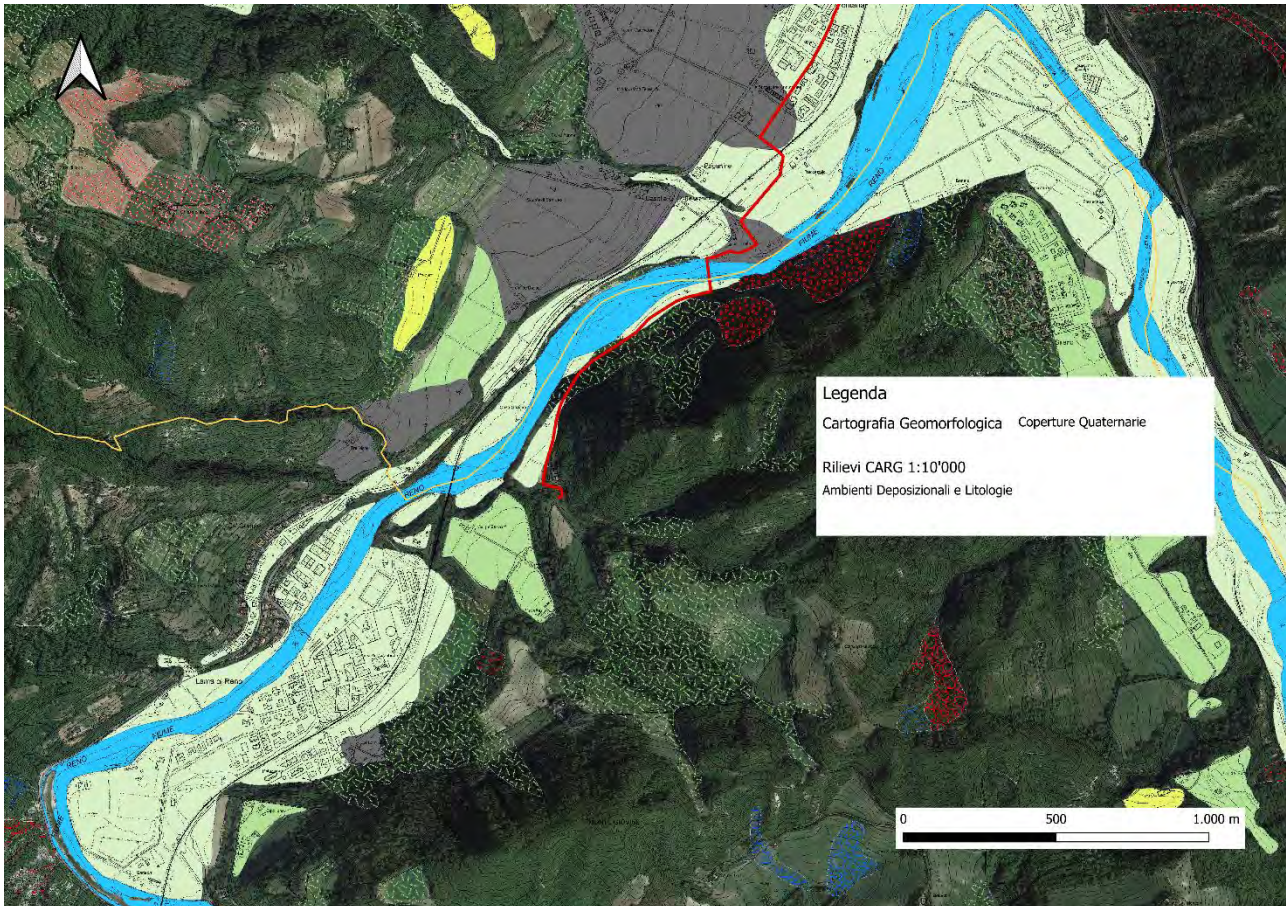
Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica", alla scala 1: 25.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 25.000 (tav. n. 2).

5.1.1. Elementi geomorfologici

Da un punto di vista generale il tratto è caratterizzato dalla presenza di un ambiente fluvio – alluvionale a medio elevata energia. Si rileva la presenza di terrazzamenti a più ordini legati alle dinamiche fluviali, tutt'ora in evoluzione, e per la presenza di anse, piccoli meandri e stagionalmente depositi a barre in intercanale. Il

tratto tende a salire di quota man mano che si procede verso Sud e soprattutto tende per buona parte del tratto a svilupparsi alle pendici del monte baco.

Attraverso la seguente cartografia si propone un quadro di sintesi relativo alle forme morfologiche e ai depositi contenuti nel tratto esaminato.



La dinamica fluviale ha messo in posto le seguenti litologie:

AES - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

Unità alluvionale costituita da sedimenti grossolani e fini, talora intensamente pedogenizzati, con alla base una superficie di discontinuità nel margine appenninico e nell 'alta pianura, passante a una superficie di continuità nel sottosuolo della pianura, su AEI. Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, da scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e nel sottosuolo della pianura da bruschi contatti fra depositi fini alluvionali e palustri su depositi grossolani di conoide e di piana alluvionale.

Pleistocene medio?-Olocene

AES8 – Subsintema di Ravenna

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di

alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).

AES8a - Unità ' di Modena

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C..

Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

Post-VI secolo d.C.

Per quanto invece attiene alle forme di versante, si rileva la presenza di fenomeni a carattere franoso in stato di quiescenza e di attività. In questo tratto la presenza di fenomeni di versanti è legata principalmente al settore posto in destra idrografica.

Sulla base di quanto riportato nella letteratura di riferimento, detti fenomeni possono essere sinteticamente descritti come segue:

a1 - Deposito di frana attiva

Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

a2 - Deposito di frana quiescente

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti ma con possibilità di riattivazione, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

In relazione ai cinematismi che si incontrano nei litotipi presenti lungo il tracciato questi hanno una componente per scivolamento e/o colamento, compatibile con la presenza di litotipi di natura pelitico – siltosa, mentre nei settori in cui sono in affioramento litologie marnoso arenacee la dinamica per crollo è predominante.

5.1.2. Inquadramento geologico

L’area di studio è situata nel medio basso Appennino Bolognese, questo è parte della catena appenninica settentrionale che è una catena a falde sviluppatesi principalmente nel terziario a causa della collisione fra la placca Europea e la microplacca Adria. Il processo di collisione fra queste due zolle tettoniche è stato preceduto dalla chiusura dell’area oceanica che le separava: l’Oceano Ligure Piemontese.

La catena, quindi, deriva dalla deformazione di diversi domini paleogeografici meso cenozoici:

- Dominio Ligure
- Dominio Subligure
- Dominio Tosco Umbro Marchigiano

In aggiunta a questi Domini, dall’Eocene medio, entra a far parte dell’Appennino Settentrionale anche il:

- Dominio Epiligure

La chiusura dell’Oceano Ligure Piemontese, in combinazione con la completa consumazione di litosfera oceanica, porta nel corso della fase collisionale alla formazione di un prisma di accrezione composto da rocce deformate per raschiatura ed appilamento a spese degli originari sedimenti depositi sui domini citati.

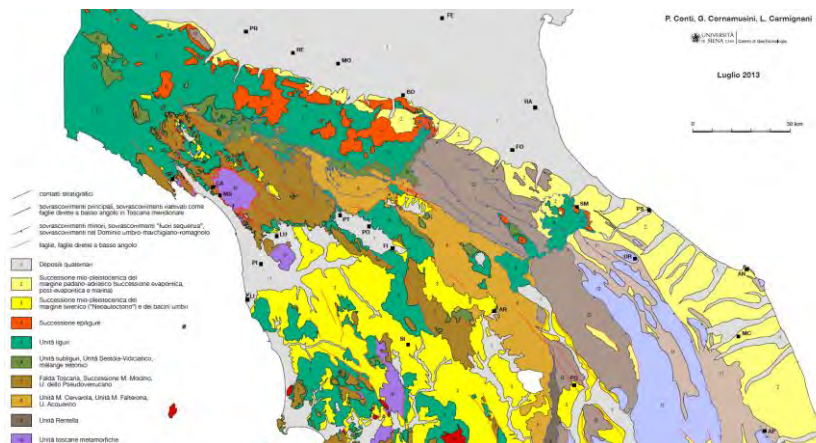


Fig.5.1 – Schema Geologico Appennino Settentrionale

La fase di sollevamento dell’Appennino Settentrionale è il risultato di movimenti tettonici complessi, che si sono sviluppati in intervallo di tempo che va dal Cretaceo superiore all’Attuale. Le diverse fasi dell’orogenesi possono essere raggruppate in cicli.

- **Ciclo Ligure (fase Mesoalpina):** è il ciclo che segna l’inizio del sollevamento della catena appenninica ed ha interessato il Dominio Ligure e probabilmente anche il Dominio Subligure, si considera concluso con la deposizione del Dominio Epiligure nell’Eocene.
- **Ciclo Toscano (fase Neoalpina):** durante lo sviluppo di questo ciclo si ha la tettonizzazione e messa in posto di tutti i Domini che compongono l’Appennino Settentrionale, fatto salvo per quelli tardivi come la Successione del Margine Appenninico Padano.

La tettonica delle Liguridi è caratterizzata da una prima fase che si esprime attraverso pieghe isoclinali compresse e da una seconda fase che prodotto un ulteriore raccorciamento e ha ripiegato le strutture precedenti. Entrambe le fasi Liguri hanno vergenza europea, opposto cioè a quelle delle successive fasi tettoniche. L'insieme del Ciclo Ligure è avvenuto in ambiente subacqueo ed è su questi terreni corrugati che è avvenuta la deposizione della Successione Epiligure, che segna la fine del primo ciclo tettonico.

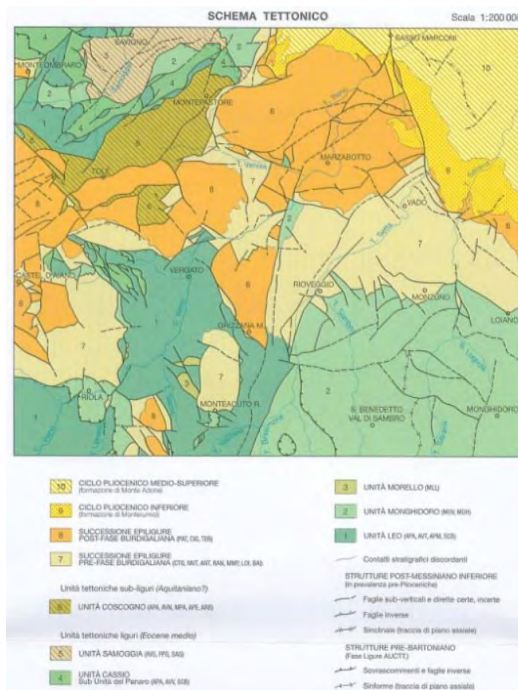
Le fasi toscane sono caratterizzate a partire dell'Oligocene superiore dalla collisione delle due zolle continentali, Europea e Apula, e si sviluppano a spese del margine Apulo con una tettonica a thrusts e falde. In questo modo vengono ad indentificarsi le principali unità tettoniche che attualmente costituiscono la struttura della catena.

Di seguito si riporta lo schema tettonico strutturale relativo all'area di tracciato che attraversa il territorio comunale di Sasso Marconi.

Da un punto di vista tettonico, come riportato nel Foglio 220 Casalecchio di Reno della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000, il tracciato ricade in parte all'interno della Successione Epiligure Pre Bismantova, in parte all'interno di Unità Plio-Pleistoceniche e a luoghi si incontra l'Unità Tettonica di Samoggia.

Di seguito si riporta lo schema tettonico strutturale relativo all'area di tracciato che attraversa il territorio comunale di Marzabotto.

Da un punto di vista tettonico, come riportato nel Foglio 237 Sasso Marconi della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000, il tracciato ricade prevalentemente all'interno della Successione Epiligure Pre Bismantova.

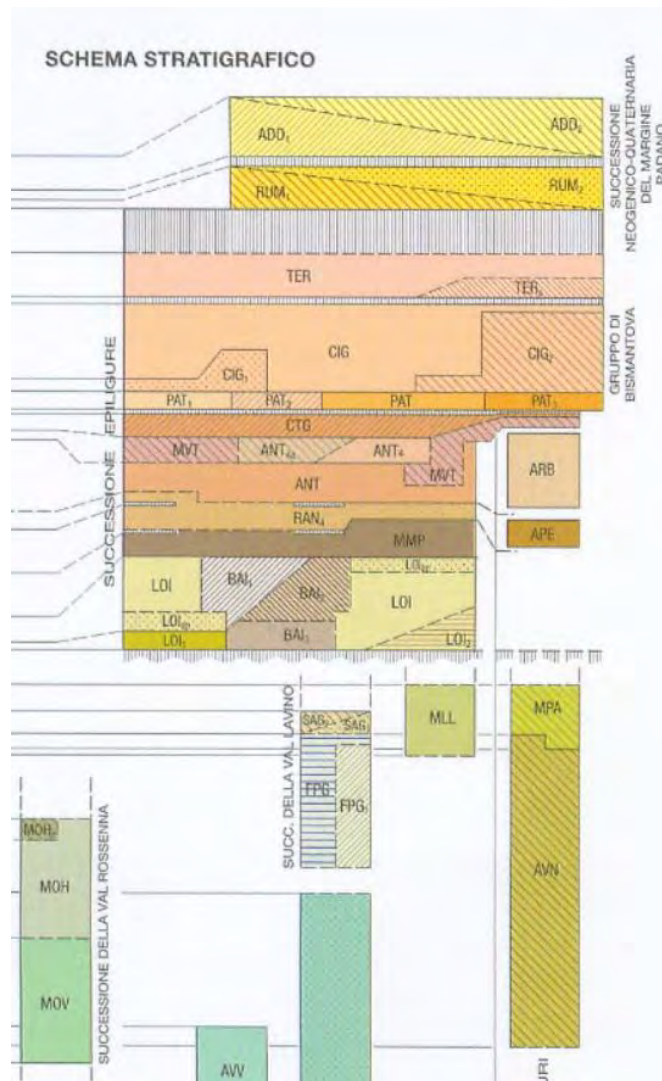


Al fine di inquadrare l'area da un punto di vista geologico strutturale è possibile riferirsi, in modo schematico, alla storia collisionale e post collisionale del prisma di accrezione sviluppatosi a partire dall'Eocene medio superiore cui è dovuta la formazione di bacini della Successione Epiligure posti sulla sommità delle Liguridi.

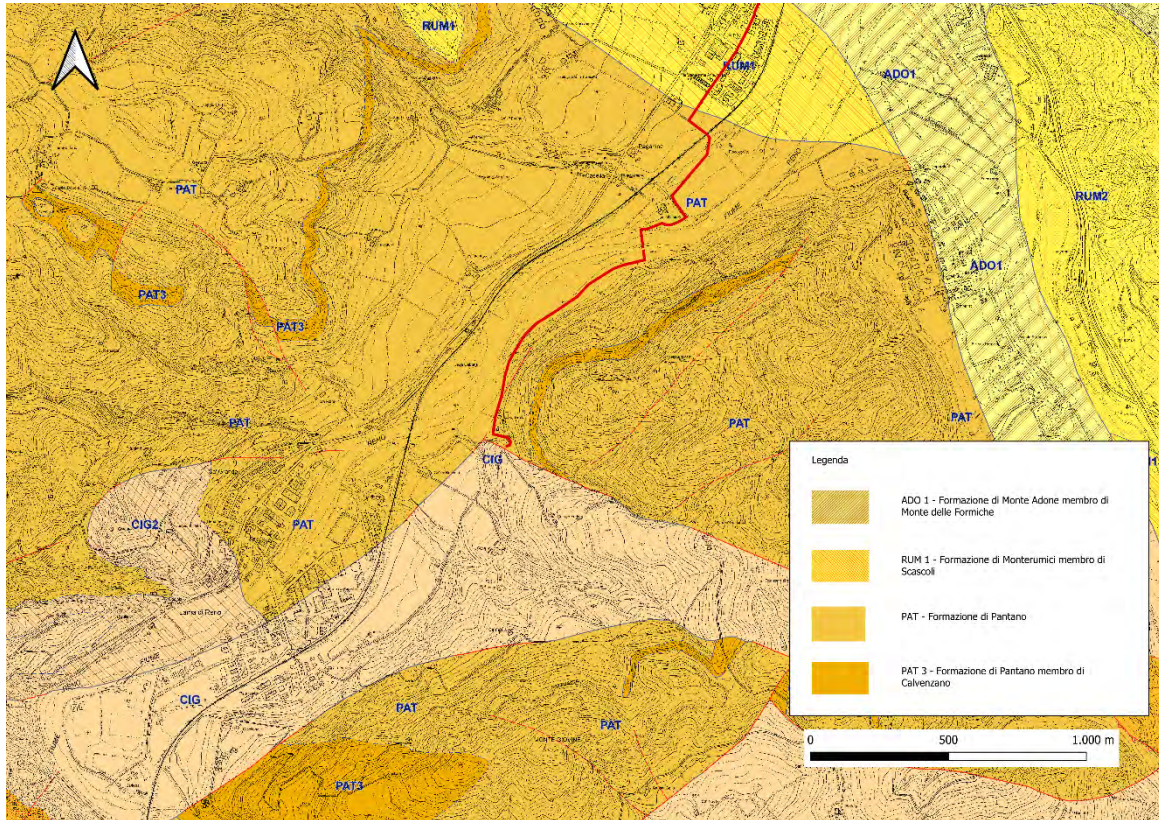
Per quanto attiene alla cronologia degli eventi tettonico stratigrafici e in merito alla loro interdipendenza è possibile definire l'inizio della Sedimentazione Epiligure con la messa in posto dei Mélanges, corpi caotici sedimentari. In questa fase tettonica e sedimentaria si individua un bacino episuturale con sviluppo longitudinale esteso in senso appenninico.

La stratigrafia del bacino episuturale risulta caratterizzata dalla sovrapposizione di unità litologiche appartenenti a diversi ambienti sedimentari che variano dal bacino alla scarpata. La dipendenza della deposizione della Successione Epiligure dagli eventi tettonici di fase Neoalpina è testimoniata tanto dalle differenze composizionali e di facies, quanto dalla presenza di importanti e nette discontinuità e discordanze.

Di seguito si riporta lo schema stratigrafico del Foglio 237.



Per quanto attiene alle formazioni geologiche interagenti con il tracciato della Ciclovía del Sole nel tratto passante per il Comune di Marzabotto, si allega nel seguito la Carta Geologica Regionale rilevata in scala 1:10'000 Progetto C.A.R.G.



Le formazioni in carta che vengono attraversate dalla ciclabile sono le seguenti:

CIG - FORMAZIONE DI CIGARELLO

Marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con $A/P < 1$ o litofacies marnose franche. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. Lo potenza varia da qualche decina di metri a circa 200 m.

Langhiano – Serravalliano

PAT - FORMAZIONE DI PANTANO

Areniti siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione; sono presenti resti di Echinidi, Gasteropodi e Lamellibranchi. Alla base talora affiorano delle areniti glauconitiche. Localmente si intercalano strati arenacei risedimentati medi, mal strutturati, di colore nocciola. Verso l'alto affiorano livelli di marne siltose grigio-azzurre laminate. Il limite inferiore è netto,

discordante, su CTG e su ANT. Sedimentazione in ambiente da litorale a piattaforma esterna. La potenza è fino a circa 500 m.

Burdigaliano sup.-Langhiano inf.

5.1.3. INQUADRAMENTO SISMICO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i diversi tratti della Ciclovia del Sole, si è fatto riferimento ai dati forniti dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ed ai dati riportati negli Studi di Microzonazione Sismica dei comuni attraversati.

In riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9 realizzata da INGV (marzo 2004) che riassume il quadro sismotettonico del territorio italiano, l’area in cui sarà realizzata la ciclovia ricade all’interno della zona sismogenetica 913, caratterizzata dalla presenza della cosiddetta Dorsale Ferrarese, a regime tettonico compressivo e dal sistema appenninico e pede-appenninico, e la cui magnitudo di riferimento Mw (max) corrisponde a un valore di 6.14 (Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della Mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici; Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo).

La pericolosità sismica di base, espressa in termini di accelerazione massima al suolo, per l’area in oggetto è stata definita nell’intervallo 0.175 g - 0.200 g, come illustrato nella Mappa della Pericolosità Sismica fornita da INGV e illustrata di seguito.

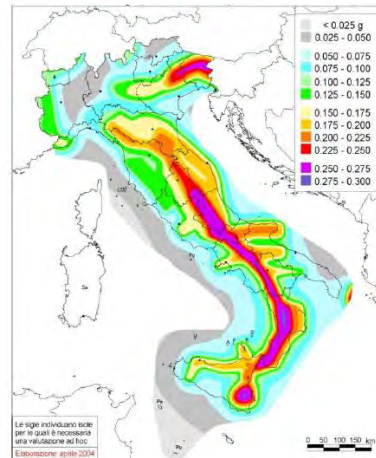


Fig.5.2 – Carta di Pericolosità Sismica - INGV

A valle della consultazione della cartografia di microzonazione sismica dei territori comunali compresi nel tratto d’interesse, si è rilevato che il tracciato non è rappresentato. In questa sede non risulta dunque possibile fornire ulteriori informazioni che possano arricchire i temi già affrontati dalla relazione geologica redatta in sede preliminare.

Nel seguito sarà approfondito il tema sismico in forza delle indagini eseguite e delle susseguenti analisi e valutazioni.

5.2. Indagini geognostiche

Per caratterizzare il volume significativo, a supporto del progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geologiche:

PER TUTTO IL TRATTO CICLABILE

- **Prove di carico su piastra DPLT – tramite piastra leggera secondo la normativa tedesca TP BF-StB Teil B8.39**
- **Campionamento del terreno alla quota compresa tra 0.40 – 0.60 m da p.c. per analisi di laboratorio.**

PER LE ZONE DOVE SONO PREVISTE OPERE

- SPALLA DESTRA ATTRAVERSAMENTO RENO

- **N.1 Sondaggi geognostici**
- **N. 23 Prove SPT per cadaun sondaggio**
- **N.1 indagine sismica MASW**
- **N.1 indagini sismiche HVSr**

- STRADA FORESTALE BROLO

- **N. 3 Prove DPSH**

- DISSESTO VIA BROLO

- **N.1 Sondaggi geognostici**
- **N. 26 Prove SPT per cadaun sondaggio**
- **N.1 indagine sismica MASW**
- **N.1 indagini sismiche HVSr**
- **N.1 indagine DH**

Di seguito si riportano le ubicazioni delle indagini relative alla geotecnica stradale.

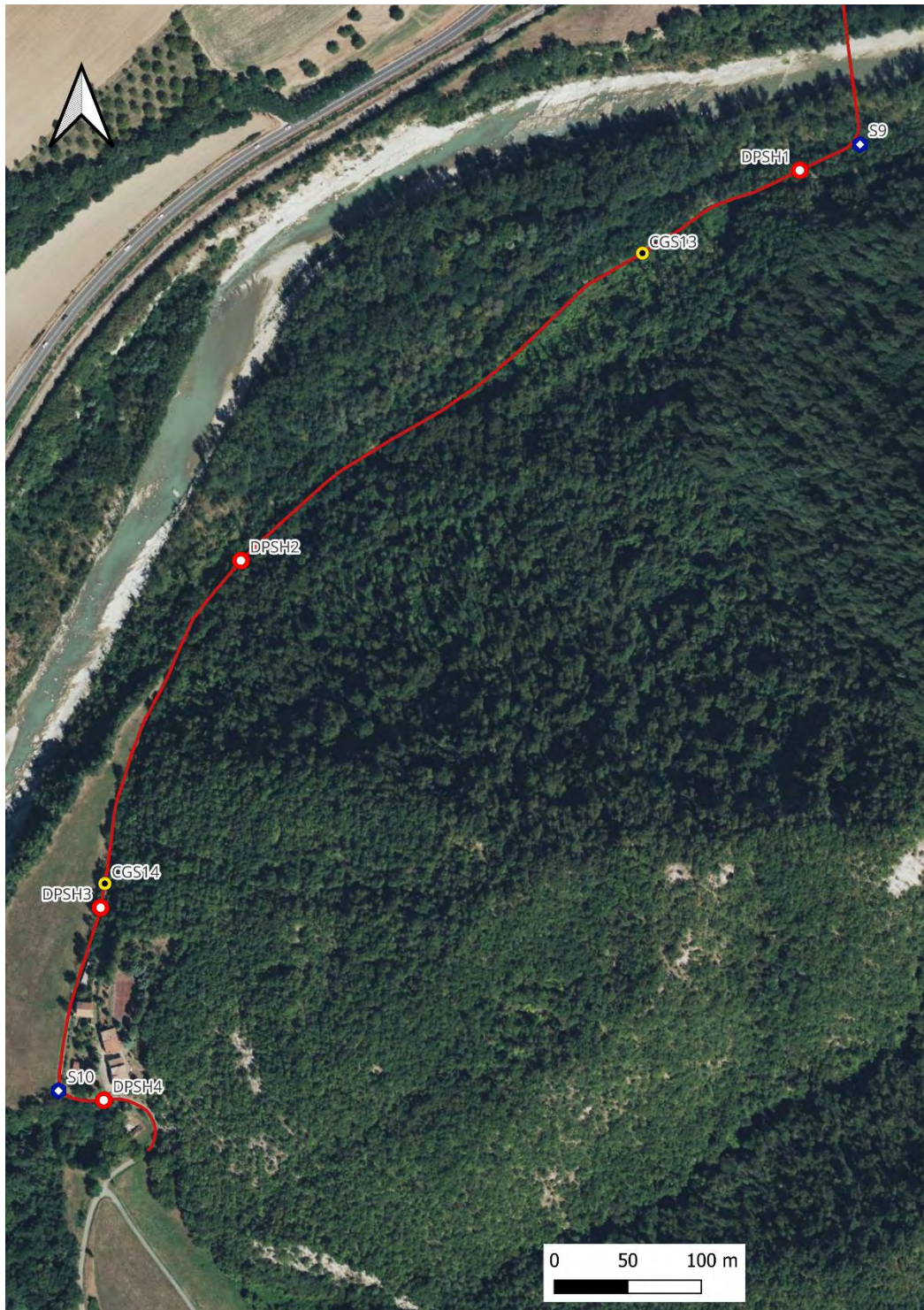


Fig.5.4 – Prove di piastra e campionamenti – Comune di Sasso Marconi

Di seguito si riportano le ubicazioni delle indagini relative alla geotecnica strutturale.

5.2.1 Prove eseguite per il tratto ciclabile

5.2.1.1 Prove di carico su piastra DPLT

La descrizione della metodologia di prova è illustrata nel paragrafo §2.2.1.1.

Di seguito si riportano nella seguente tabella i valori dei moduli di deflessione dinamica EVD in MN/m² rilevati dalle prove di carico su piastra dinamica (piastra 300 mm; maglio 10.00 kg) eseguite.

COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO

DPLT	EVD
13	24.60 MN/m ²
14	39.50 MN/m ²

Tab.5.1 – Moduli di deflessione dinamica ottenuti in sito.

5.2.1.2 Analisi di laboratorio

Sono stati prelevati n. 12 campioni di terreno, alla quota compresa tra D=0.40 m e 0.60 m da p.c..

Su tali campioni sono state eseguite le seguenti prove:

- ANALISI GRANULOMETRICA SU TERRE/MATERIALI DIMENS. <5 MM (UNI 11531)
- DETERMINAZIONE DEL LIMITE LIQUIDO E PLASTICO (UNI 11531)
- CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA (UNI 11531-1)

I risultati di suddette analisi sono riportati nella loro interezza nell'allegato apposito.

5.3 Indagini per le opere

5.3.1 Passerella Fiume Reno Sinistra Idrografica

SONDAGGI GEOGNOSTICI

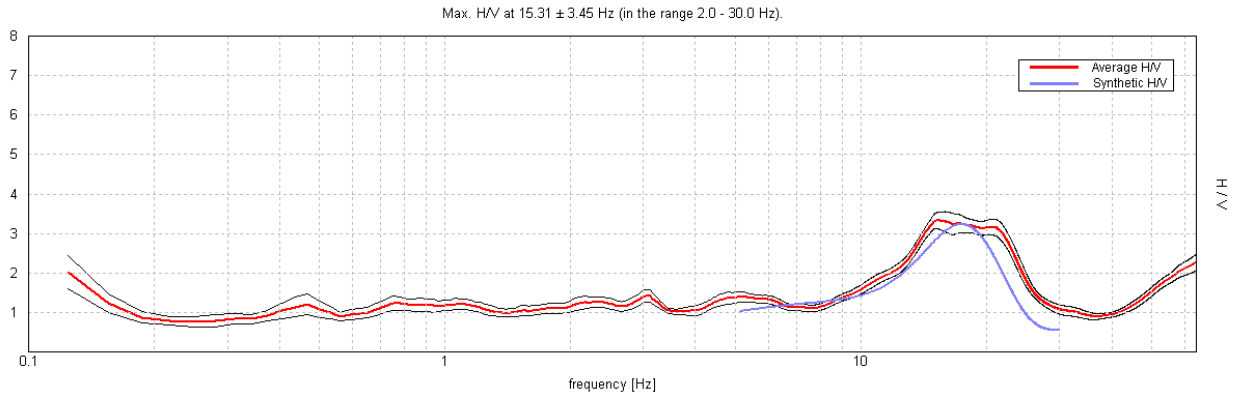
Per la realizzazione della passerella sul Rio Verde sono stati eseguiti il sondaggio S9. Si riportano di seguito in forma analitica le stratigrafie e il modello geotecnico definito.

MODELLO GEOTECNICO			SONDAGGIO S9										
Profondità [m]		Terreno	V _{DRY}	V _{SAT}	C	φ	E	c'	Cu	φ	ES	M	Dr
0	1	TERRENO VEGETALE E CIOTTOLE	16,50	18,50				5,88	50,00	20,00	7000,00	2800	
1	2	GHIAIA DA MEDIA A GROSSA ARROTONDATA IN MATRICE LIMOSA	20,00	22,00						32,00	92718,75	37088	83,03
2	3												
3	4												
4	5	ARGILLITE MARNOSA ALTERATA	21	23	115	33	1					444000	
5	6												
6	7	MARNA ARENITICA DI COLORE GRIGIO CHIARO CON INTERCALATA MARNA ARGILLITICA	22	23	117	33	1					458408	
7	8												
8	9												
9	10	ARENARIA MARNOSA A GRANA FINISSIMA DI COLORE GRIGIO TENUE INTERCALA CON MARNA ARENITICA	22	23	121	33	1					559208	
10	11												
11	12												
12	13												
13	14												
14	15												
15	16	MARNA GRIGIA FRATTURATA	22	23	80	30	1					400000	
16	17	ALTERNANZE RITMICHE DI MARNE ARENITICHE E ARENARIE MARNOSE A GRANA MOLTO FINE	22	23	133	34	2					724474	
17	18												
18	19												
19	20												
20	21												
21	22												
22	23												
23	24												
24	25												
25	26												
26	27												
27	28												
28	29												
29	30												
30	31												
31	32												
32	33												
33	34												
34	35												
		Dato	Lab/SPT	Lab/SPT	RMRC	RMRC	RMRC	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT
m		Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%
		Rock Mass Rating											

INDAGINI GEOFISICHE

Per la realizzazione della passerella sul Rio Maggiore sono state eseguite 1 indagini sismiche HVSR e un'indagine DH. Di seguito si riporta la modellazione definita.

HVSR 1

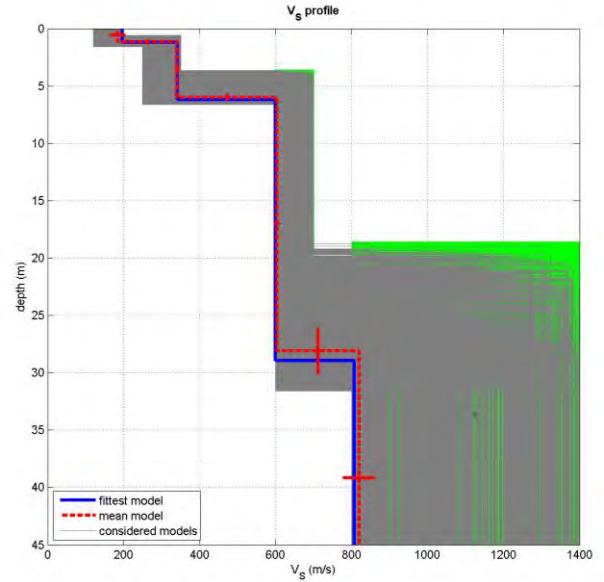
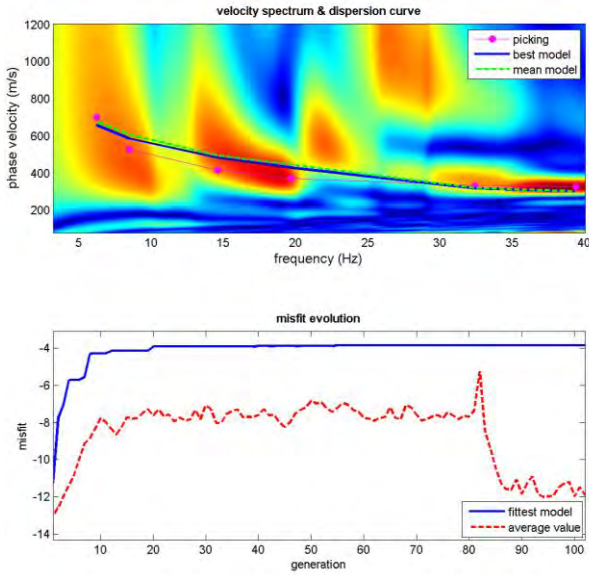


La frequenza fondamentale di vibrazione della stazione HVSR 1 è pari a circa **17.00 Hz**. La stazione risulta attendibile. La modellazione in termini di velocità ha definito la seguente velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità **Vs₃₀=556 m/s**.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	200	0.40
5.00	4.00	335	0.43
25.00	20.00	650	0.45
inf.	inf.	800	0.45

MASW

Di seguito si propone il risultato della modellazione eseguita.



Il valore di velocità ottenuto nei primi 30 metri di profondità è pari a $V_{s30}=500$ m/s.

5.3.1.1 Caratterizzazione sismica del sito

5.3.1.2 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Marzabotto (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

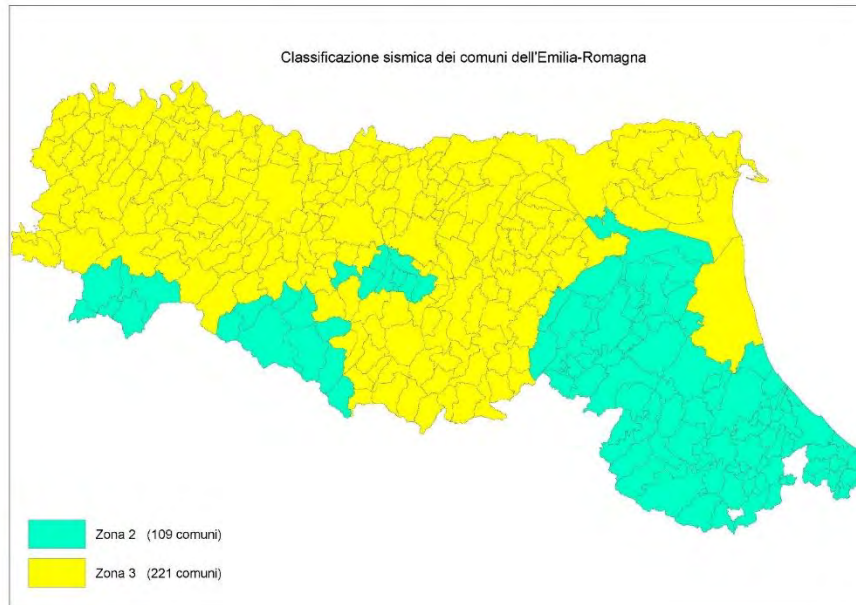


Fig.3.9 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Parametri sismici

ag: 0,227 g

Fo: 2,520

Sito in esame.

Tc*: 0,311 [s]

latitudine: 44,377684

longitudine: 11,233443

Classe: 3

Vita nominale: 50

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

SLO:

Ss: 1,200

Cc: 1,430

St: 1,200

Kh: 0,017

Kv: 0,009

Amax: 0,943

Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200

Cc: 1,420

St: 1,200

Kh: 0,021

Kv: 0,011

Amax: 1,152

Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,400

St: 1,200

Kh: 0,063

Kv: 0,032

Amax: 2,593

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,170

Cc: 1,390

St: 1,200

Kh: 0,099

Kv: 0,049

Amax: 3,122

Beta: 0,310

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17394 Lat: 44,3624

Lon: 11,1831 Distanza: 4345,332

Sito 2 ID: 17395 Lat: 44,3638

Lon: 11,2529 Distanza: 2191,408

Sito 3 ID: 17173 Lat: 44,4137

Lon: 11,2512 Distanza: 4247,605

Sito 4 ID: 17172 Lat: 44,4124

Lon: 11,1812 Distanza: 5665,154

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 75anni

Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 45

[anni]

ag: 0,067 g

Fo: 2,486

Tc*: 0,267 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 75

[anni]

ag: 0,082 g

Fo: 2,498

Tc*: 0,277 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 712

[anni]

ag: 0,184 g

Fo: 2,492

Tc*: 0,301 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 1462

[anni]

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.376741

longitudine: 11.232450

5.3.1.3 Categoria di sottosuolo

Per determinare il parametro V_{30} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di V_{30} si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{s,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW e HVSR si sono ottenuti i valori di $V_{s,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	V_{s30}	500 m/s	-
HVSR	V_{s30}	556 m/s	$f_{0\text{mediosito}} = 17 \text{ Hz}$

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria B**, corrispondente a

ROCCE TENERE E DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MOLTO CONSISTENTI, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S

5.3.1.4 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

L'accelerazione orizzontale di picco attesa a_g è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e Tc^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria B**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s , essendo in classe B, si avrà:

$$S_s = 1,00 \leq 1,40 - (0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g) \leq 1,20$$

dove:

F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **712 anni**/accelerazione di gravità;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1;

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico S_T dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base ai diversi stati limite.

SLO – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
45	0.067	2.486	0.267	1.33	1.2	0.107

SLD – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
75	0.082	2.498	0.277	1.32	1.2	0.130

SLV – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
712	0.184	2.492	0.301	1.22	1.2	0.269

SLC – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
1462	0.227	2.520	0.311	1.20	1.2	0.319

Il calcolo dei parametri K_h e K_v è stato eseguito come precisato nelle N.T.C. 2018:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \mp 0.5 \cdot k_h$$

con β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Stato Limite	K_h	K_v
S.L.O.	0.030	0.015
S.L.D.	0.036	0.018
S.L.V.	0.075	0.038
S.L.C.	0.089	0.045

5.3.1.5 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell’area studiata. Il profilo considerato deriva dall’interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall’elaborazione congiunta delle indagini HVSR1 e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

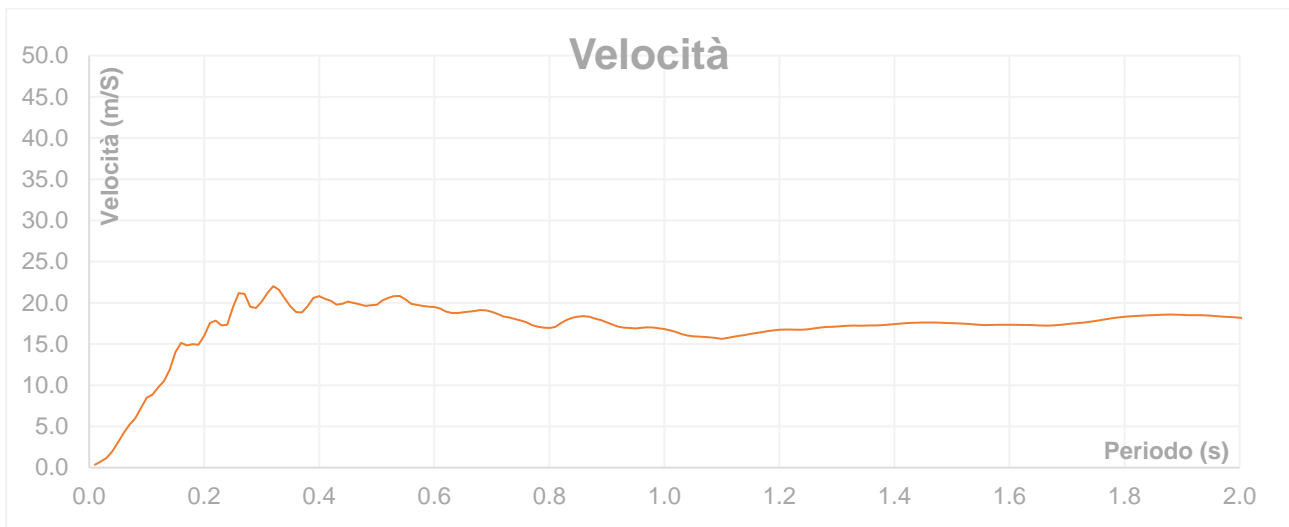
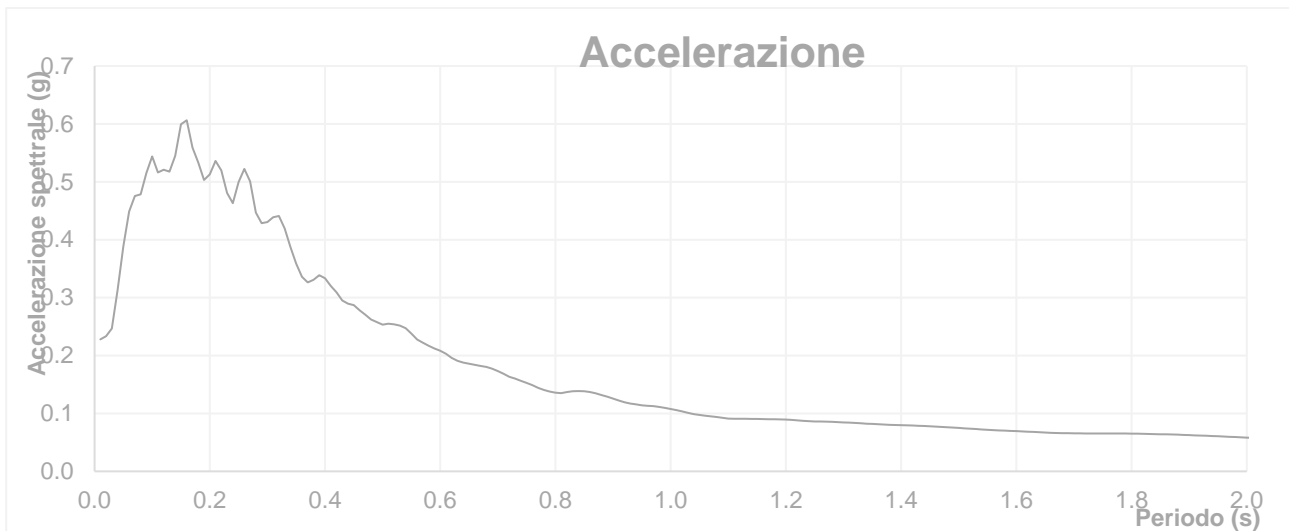
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	200	0.40
5.00	4.00	335	0.43
25.00	20.00	650	0.45
inf.	inf.	800	0.45

In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l’analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti agli stati limite SLD – SLO – SLV - SLC. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell’areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l’interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.184g** considerando un valore di **Cu = 1.50** (Classe d’uso III) e **Vn = anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 712 anni.

RISULTATI OTTENUTI - SLV

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:

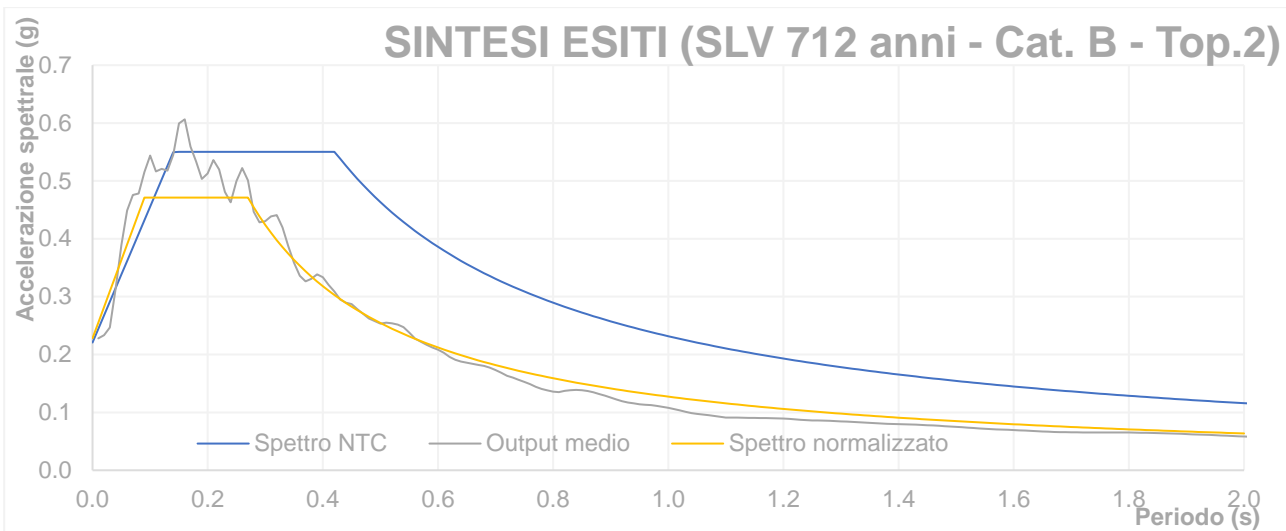


Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo si è ottenuto lo spettro a probabilità uniforme. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica **minore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

SLO – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL

ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.184	2.492	0.301	0.14	0.42	1.2	0.228

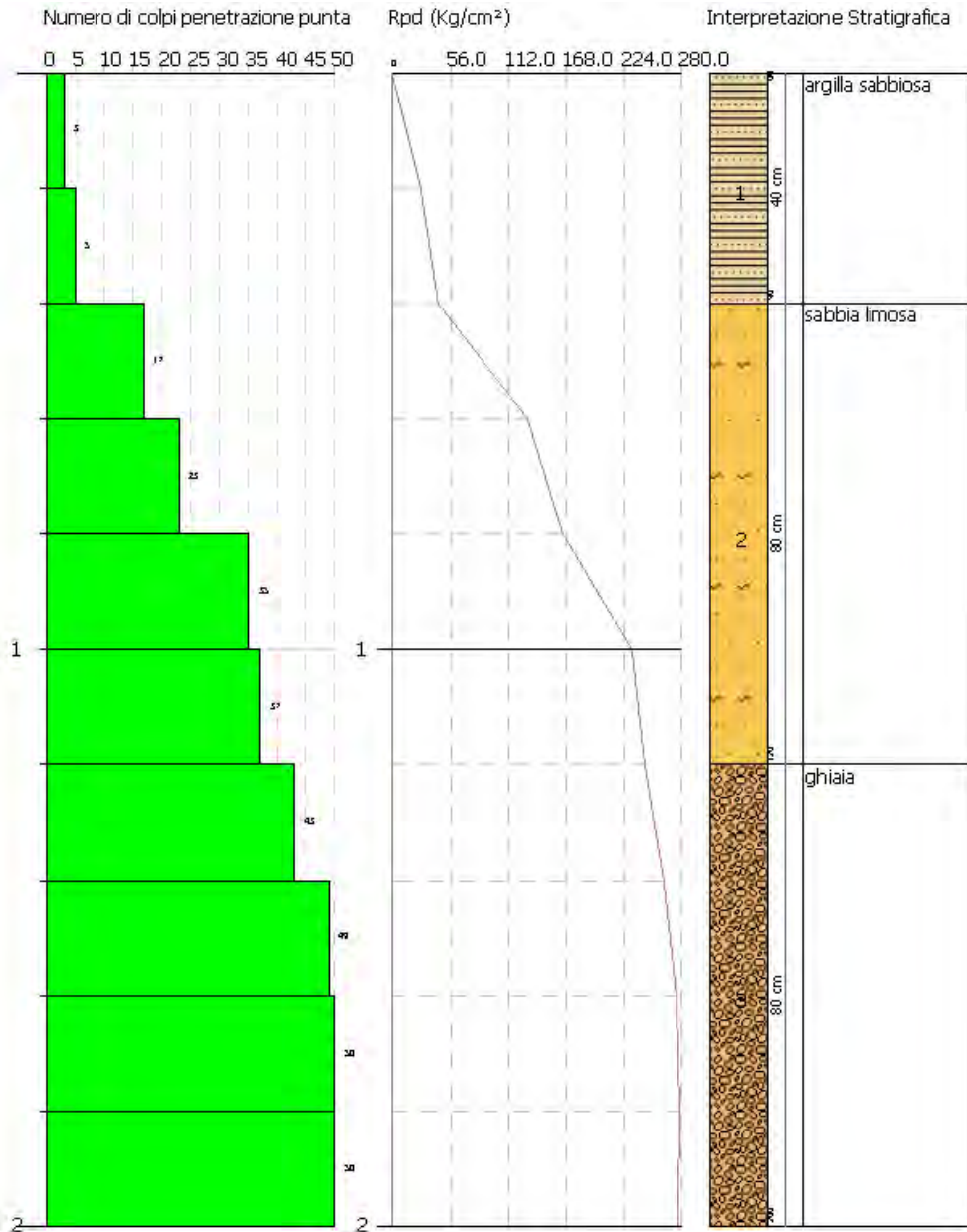


I risultati emersi dall'analisi di Risposta Sismica Locale di III Livello suggeriscono di utilizzare i valori ottenuti attraverso l'analisi condotta tramite approccio semplificato.

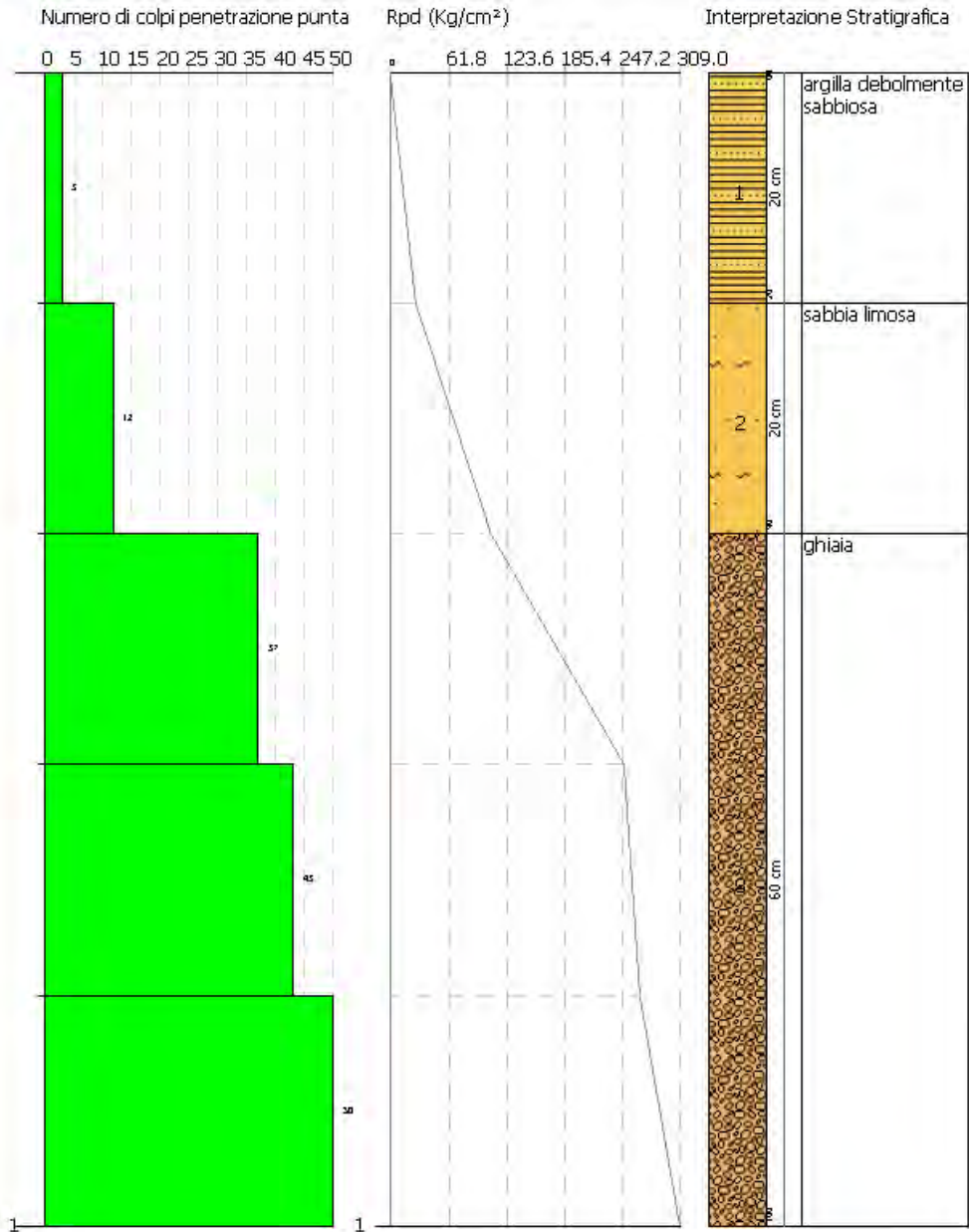
5.3.2 Forestale Via Brolo

PROVE PENETROMETRICHE

DPSH 1



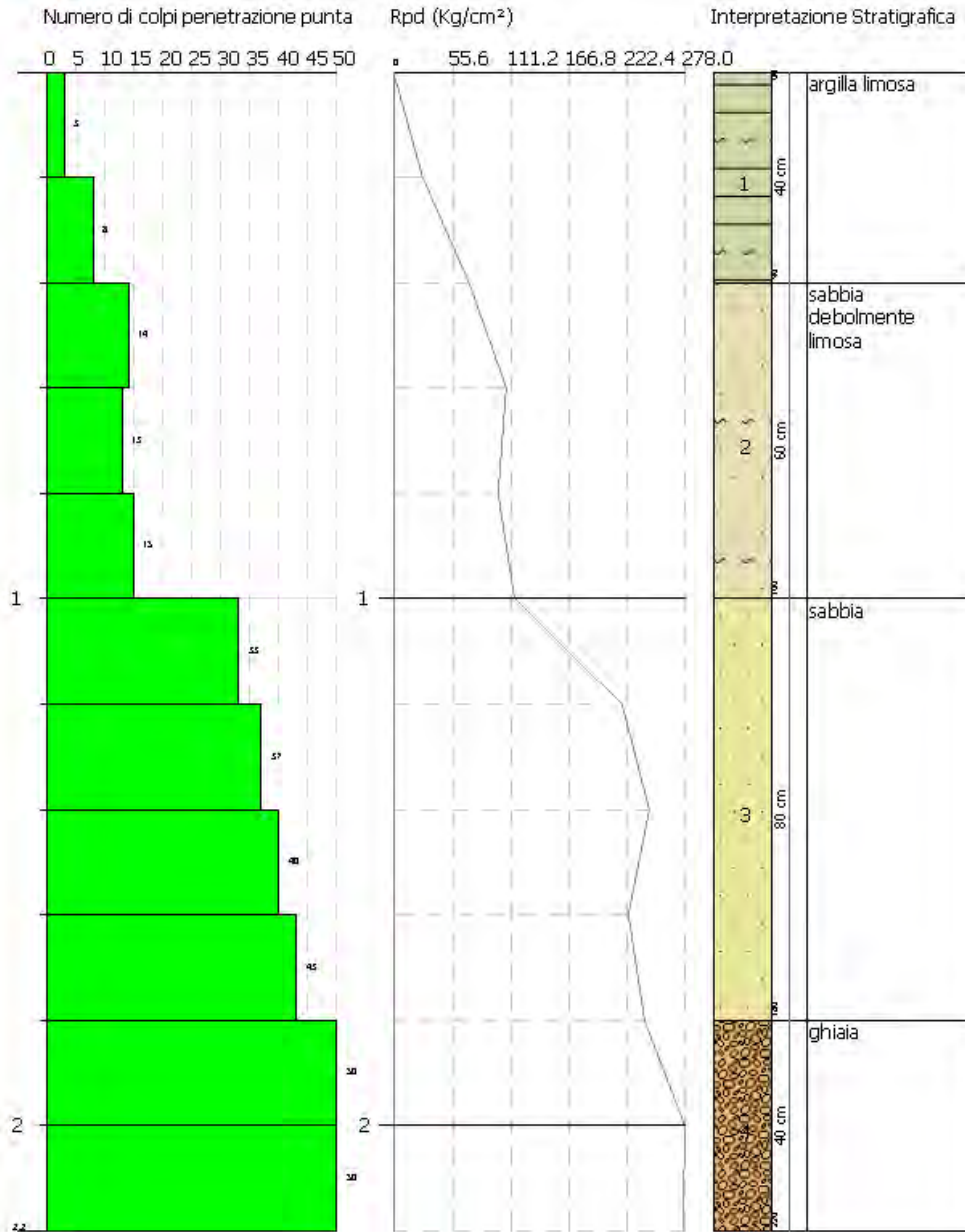
DPSH 2



DPSH 3



DPSH 4



5.3.2.1 Caratterizzazione sismica del sito

5.3.2.2 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Marzabotto (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

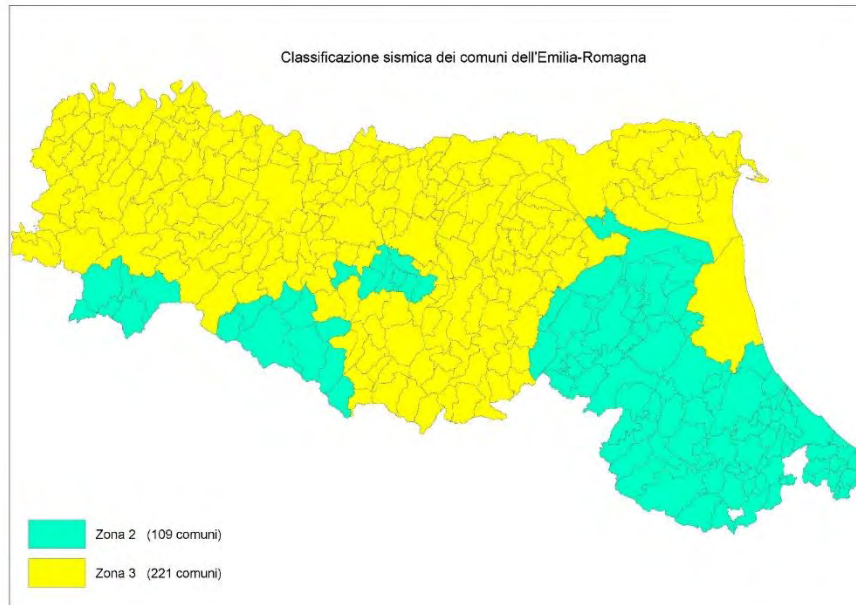


Fig.3.9 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Parametri sismici

Tr: 1462

[anni] ag:

Sito in esame.

0,227 g

latitudine: 44,377684

Fo: 2,520

longitudine: 11,233443

Tc*: 0,311 [s]

Classe: 3

Vita nominale: 50

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

SLO:

Ss: 1,200

Cc: 1,430

St: 1,200

Kh: 0,017

Kv: 0,009

Amax: 0,943

Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200

Cc: 1,420

St: 1,200

Kh: 0,021

Kv: 0,011

Amax: 1,152

Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,400

St: 1,200

Kh: 0,063

Kv: 0,032

Amax: 2,593

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,170

Cc: 1,390

St: 1,200

Kh: 0,099

Kv: 0,049

Amax: 3,122

Beta: 0,310

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17394 Lat: 44,3624

Lon: 11,1831 Distanza: 4345,332

Sito 2 ID: 17395 Lat: 44,3638

Lon: 11,2529 Distanza: 2191,408

Sito 3 ID: 17173 Lat: 44,4137

Lon: 11,2512 Distanza: 4247,605

Sito 4 ID: 17172 Lat: 44,4124

Lon: 11,1812 Distanza: 5665,154

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 75anni

Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 45

[anni]

ag: 0,067 g

Fo: 2,486

Tc*: 0,267 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 75

[anni]

ag: 0,082 g

Fo: 2,498

Tc*: 0,277 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 712

[anni]

ag: 0,184 g

Fo: 2,492

Tc*: 0,301 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.376741

longitudine: 11.232450

5.3.3 Dissesto via Brolo

SONDAGGI GEOGNOSTICI

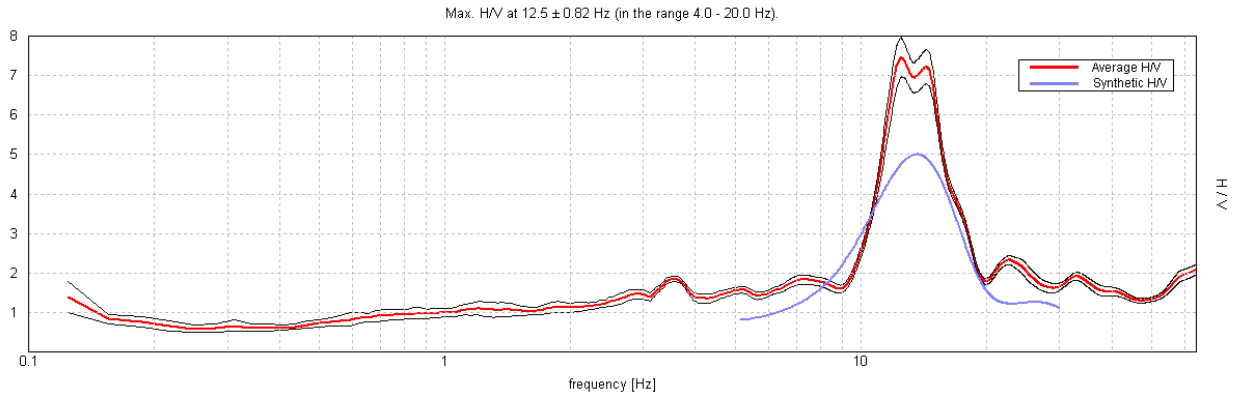
Per la realizzazione della passerella sul Rio Verde sono stati eseguiti il sondaggio S10. Si riportano di seguito in forma analitica le stratigrafie e il modello geotecnico definito.

MODELLO GEOTECNICO		SONDAGGIO S10											
Profondità [m]	Terreno	γ_{DRY}	γ_{SAT}	C	ϕ	E	c'	Cu	ϕ	ES	M	Dr	
0	1	18,00	20,00						32,00	66000,00	26400	75,00	
1	2												DETRITO DI VERSANTE IN MATRICE SABBIOSA
2	3	24,00	24,50	95,69	34,76	0,91					362705,10		
3	4												ARENARIA A GRANA DA MEDIO FINE A MEDIA
4	5												
5	6	20,00	21,00	86,42	26,36	0,87					347181,95		
6	7												SILTITE MARNOSA
7	8												
8	9	24,00	24,50	122,92	35,61	1,04					417606,88		
9	10												ARENARIA A GRANA MEDIO FINE
10	11												
11	12	20,00	21,00	89,24	26,56	0,93					373090,39		
12	13												SILTITE MARNOSA
13	14												
14	15	20	21	98	27	0,92					369557		
15	16												ARGILLITE MARNOSA
16	17												
17	18												
18	19												
19	20	24	25	108	37	1,06					423075		
20	21												ARENARIA A GRANA FINE MARNOSA
21	22												
22	23	24	25	138,50	38,01	2,25					901212		
23	24												ARENARIA A GRANA MEDIO FINE
24	25												
25	26	23	23	167	39	2,74					1095190		
26	27												ARENARIA A GRANA MEDIA
27	28												
28	29												
29	30												
30	31												
31	32												
32	33												
33	34												
34	35												
35	36												
36	37												
37	38												
38	39												
39	40												
	Dato	Lab/SPT	Lab/SPT	RM _{Rc}	RM _{Rc}	RM _{Rc}	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	Lab/SPT	
m	Laboratorio/SPT	Kn/m ³	Kn/m ³	kPa	°	Gpa	kPa	kPa	°	kPa	kPa	%	
	Rock Mass Rating												

INDAGINI GEOFISICHE

Per l'analisi del dissesto lungo il tratto in progetto su Via Brolo sono state eseguite 1 indagini sismiche HVSR, un'indagine MASE e un'indagine DH. Di seguito si riporta la modellazione definita.

HVSR 1

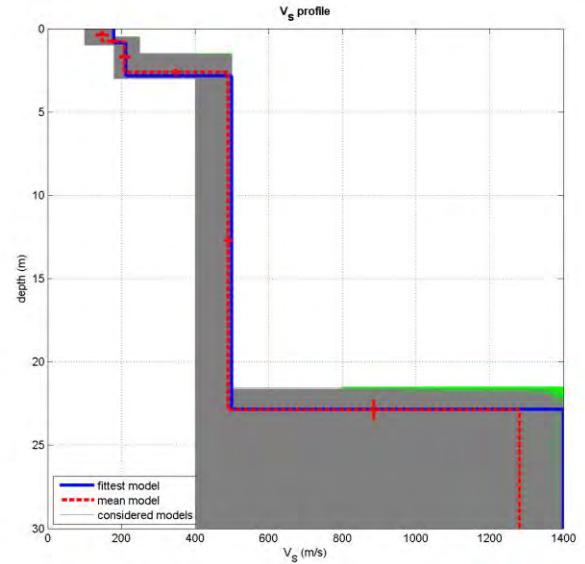
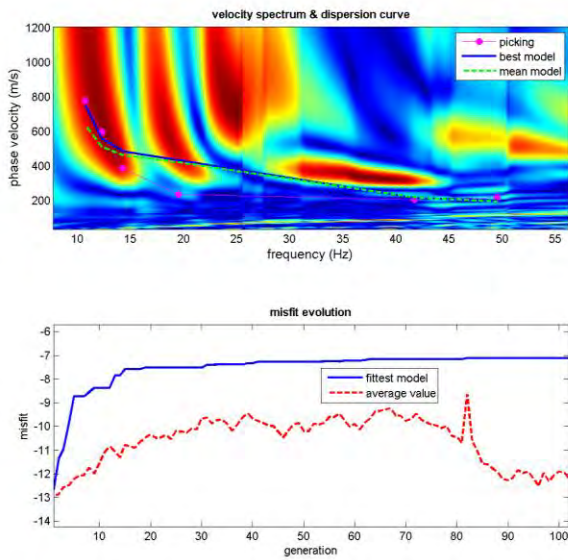


La frequenza fondamentale di vibrazione della stazione HVSR 1 è pari a circa **12.50 Hz**. La stazione risulta attendibile. La modellazione in termini di velocità ha definito la seguente velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità **Vs₃₀=439 m/s**.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.50	1.50	150	0.42
6.00	4.50	305	0.42
46.00	40.00	550	0.42
inf.	inf.	800	0.42

MASW

Di seguito si propone il risultato della modellazione eseguita.

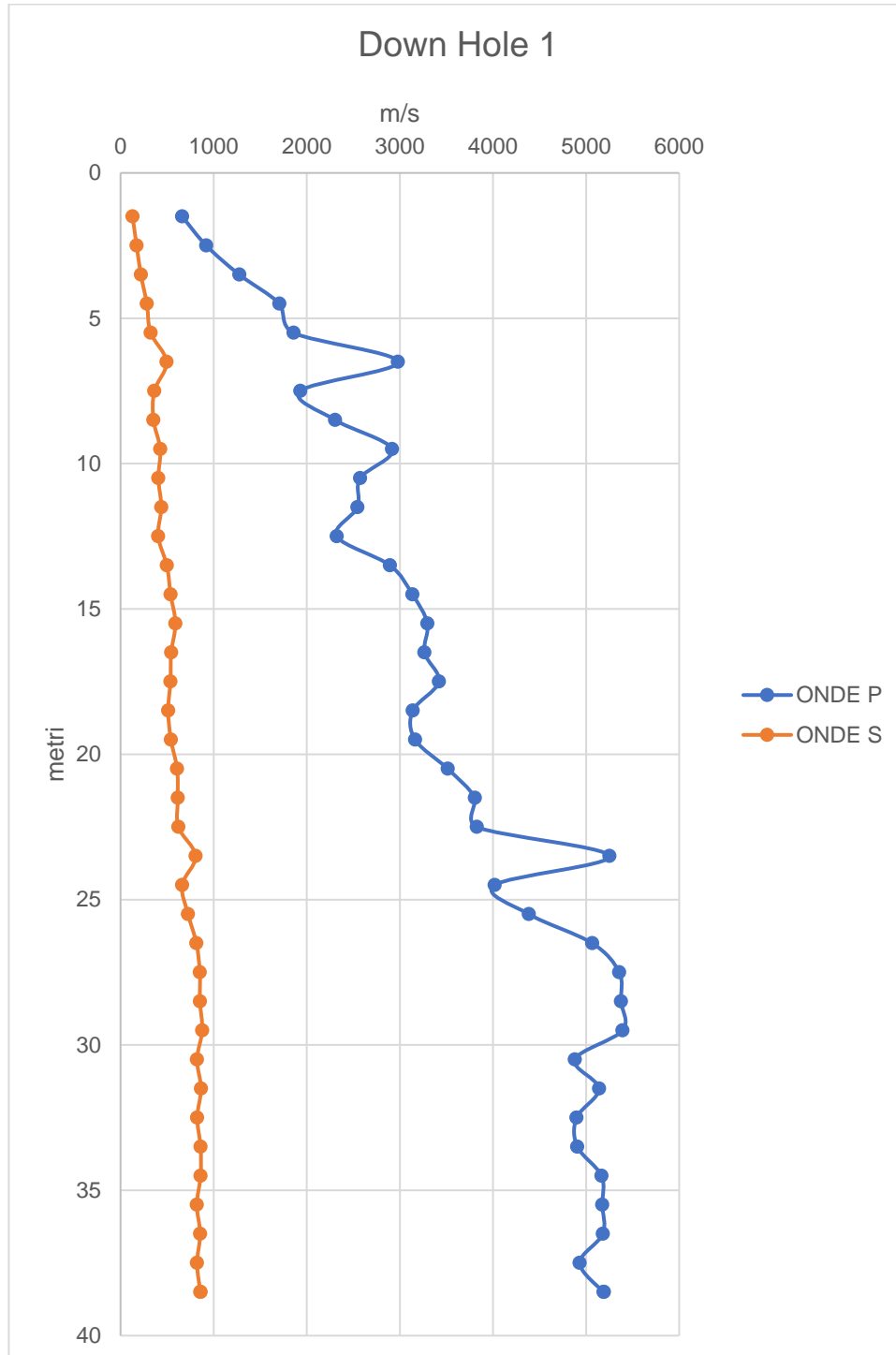


Il valore di velocità ottenuto nei primi 30 metri di profondità è pari a **V_{s30}=492 m/s**.

DH

L'indagine Down Hole è stata eseguita all'interno del foro di sondaggio.

Di seguito si propone il risultato della modellazione eseguita.



Di seguito si riportano i parametri geofisici definiti per ciascun metro di profondità.

E	v	k	μ	λ	Vp	Vs	P
Young	Poisson	Bulk	Rigidità	Lamè-1	Longitudinale	Taglio	Prof.
8,41E+07	0,48	7,07E+08	2,84E+07	6,88E+08	662	129	2
1,51E+08	0,48	1,38E+09	5,09E+07	1,34E+09	922	173	3
2,85E+08	0,48	3,13E+09	9,59E+07	3,06E+09	1276	219	4
4,74E+08	0,49	5,61E+09	1,59E+08	5,51E+09	1707	282	5
6,22E+08	0,48	6,63E+09	2,10E+08	6,49E+09	1858	324	6
1,46E+09	0,49	1,71E+10	4,91E+08	1,68E+10	2980	495	7
7,79E+08	0,48	7,11E+09	2,63E+08	6,93E+09	1931	363	8
7,44E+08	0,49	1,03E+10	2,50E+08	1,01E+10	2304	354	9
1,25E+09	0,49	1,90E+10	4,19E+08	1,87E+10	2915	427	10
1,13E+09	0,49	1,47E+10	3,79E+08	1,45E+10	2573	406	11
1,31E+09	0,48	1,43E+10	4,41E+08	1,40E+10	2545	438	12
1,11E+09	0,48	1,19E+10	3,75E+08	1,17E+10	2322	404	13
1,69E+09	0,48	1,85E+10	5,70E+08	1,81E+10	2894	498	14
1,98E+09	0,48	2,17E+10	6,66E+08	2,13E+10	3135	538	15
2,37E+09	0,48	2,39E+10	8,00E+08	2,34E+10	3296	590	16
2,02E+09	0,49	2,36E+10	6,81E+08	2,31E+10	3265	544	17
1,96E+09	0,49	2,60E+10	6,60E+08	2,56E+10	3420	536	18
1,79E+09	0,49	2,18E+10	6,02E+08	2,14E+10	3138	511	19
2,00E+09	0,48	2,21E+10	6,73E+08	2,17E+10	3164	541	20
2,52E+09	0,48	2,73E+10	8,50E+08	2,67E+10	3515	608	21
2,59E+09	0,49	3,21E+10	8,69E+08	3,16E+10	3805	615	22
2,64E+09	0,49	3,25E+10	8,87E+08	3,19E+10	3826	621	23
4,46E+09	0,49	6,14E+10	1,50E+09	6,04E+10	5250	807	24
2,99E+09	0,49	3,58E+10	1,01E+09	3,51E+10	4018	661	25
3,59E+09	0,49	4,26E+10	1,21E+09	4,18E+10	4385	725	26
4,54E+09	0,49	5,70E+10	1,53E+09	5,60E+10	5066	815	27
4,96E+09	0,49	6,38E+10	1,67E+09	6,26E+10	5356	851	28
4,98E+09	0,49	6,42E+10	1,67E+09	6,31E+10	5374	853	29
5,26E+09	0,49	6,45E+10	1,77E+09	6,33E+10	5391	877	30
4,61E+09	0,49	5,27E+10	1,55E+09	5,16E+10	4879	821	31
5,11E+09	0,49	5,85E+10	1,72E+09	5,73E+10	5139	865	32
4,63E+09	0,49	5,31E+10	1,56E+09	5,21E+10	4898	823	33
5,04E+09	0,48	5,31E+10	1,70E+09	5,20E+10	4906	859	34
5,06E+09	0,49	5,91E+10	1,70E+09	5,80E+10	5166	860	35
4,59E+09	0,49	5,95E+10	1,54E+09	5,85E+10	5174	819	36
5,00E+09	0,49	5,95E+10	1,68E+09	5,83E+10	5180	856	37
4,62E+09	0,49	5,39E+10	1,55E+09	5,28E+10	4931	822	38
5,03E+09	0,49	5,96E+10	1,69E+09	5,85E+10	5188	858	39
5,06E+09	0,49	5,97E+10	1,70E+09	5,86E+10	5191	861	40
Pa		Pa	Pa	Pa	m/s	m/s	m

5.3.3.1 Caratterizzazione sismica del sito

5.3.3.2 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Marzabotto (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

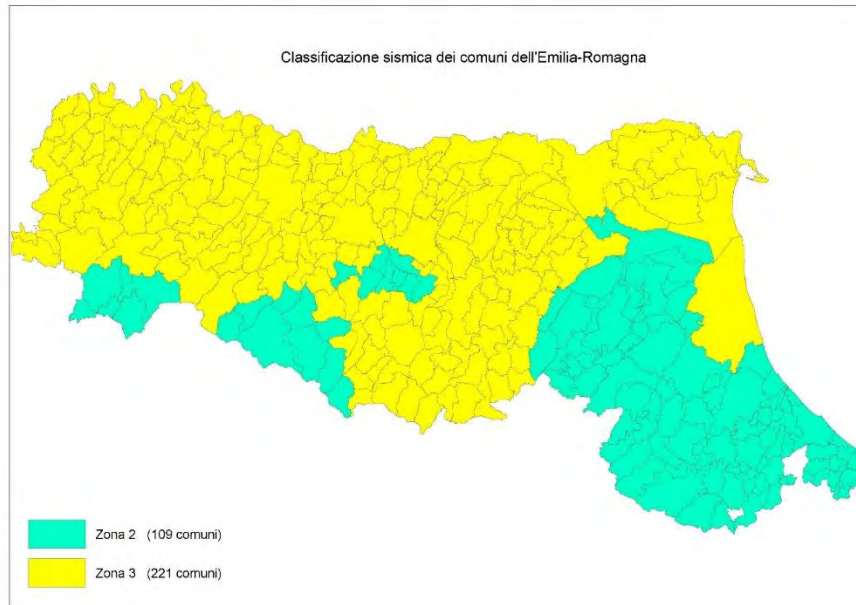


Fig.3.9 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Parametri sismici		<i>ag:</i>	0,227 g
		<i>Fo:</i>	2,520
Sito in esame.		<i>Tc*:</i>	0,311 [s]
<i>latitudine:</i>	44,377684		
<i>longitudine:</i>	11,233443		
<i>Classe:</i>	3		
<i>Vita nominale:</i>	50		
Siti di riferimento			
Sito 1 ID: 17394	Lat: 44,3624		
Lon: 11,1831	Distanza: 4345,332		
Sito 2 ID: 17395	Lat: 44,3638		
Lon: 11,2529	Distanza: 2191,408		
Sito 3 ID: 17173	Lat: 44,4137		
Lon: 11,2512	Distanza: 4247,605		
Sito 4 ID: 17172	Lat: 44,4124		
Lon: 11,1812	Distanza: 5665,154		
Parametri sismici			
<i>Categoria sottosuolo:</i>	B		
<i>Categoria topografica:</i>	T2		
<i>Periodo di riferimento:</i>	75anni		
<i>Coefficiente cu:</i>	1,5		
<i>Operatività (SLO):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	81 %		
<i>Tr:</i>	45		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,067 g		
<i>Fo:</i>	2,486		
<i>Tc*:</i>	0,267 [s]		
<i>Danno (SLD):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	63 %		
<i>Tr:</i>	75		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,082 g		
<i>Fo:</i>	2,498		
<i>Tc*:</i>	0,277 [s]		
<i>Salvaguardia della vita (SLV):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	10 %		
<i>Tr:</i>	712		
<i>[anni]</i>			
<i>ag:</i>	0,184 g		
<i>Fo:</i>	2,492		
<i>Tc*:</i>	0,301 [s]		
<i>Prevenzione dal collasso (SLC):</i>			
<i>Probabilità di superamento:</i>	5 %		
<i>Tr:</i>	1462		
<i>[anni]</i>			

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

SLO:

Ss: 1,200

Cc: 1,430

St: 1,200

Kh: 0,017

Kv: 0,009

Amax: 0,943

Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200

Cc: 1,420

St: 1,200

Kh: 0,021

Kv: 0,011

Amax: 1,152

Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,400

St: 1,200

Kh: 0,063

Kv: 0,032

Amax: 2,593

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,170

Cc: 1,390

St: 1,200

Kh: 0,099

Kv: 0,049

Amax: 3,122

Beta: 0,310

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.376741

longitudine: 11.232450

5.3.3.3 Categoria di sottosuolo

Per determinare il parametro V_{30} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di V_{30} si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{S,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW e HVSR si sono ottenuti i valori di $V_{S,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	V_{S30}	492 m/s	-
HVSR	V_{S30}	439 m/s	$f_{0\text{mediosito}} = 12.5 \text{ Hz}$
DH	V_{S30}	524 m/s	-

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria B**, corrispondente a

ROCCE TENERE E DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MOLTO CONSISTENTI, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S

5.3.3.4 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

L'accelerazione orizzontale di picco attesa a_g è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e Tc^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria B**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s , essendo in classe B, si avrà:

$$S_s = 1,00 \leq 1,40 - (0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g) \leq 1,20$$

dove:

F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **712 anni**/accelerazione di gravità;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1;

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico S_T dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base ai diversi stati limite.

SLO – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
45	0.067	2.486	0.267	1.33	1.2	0.107

SLD – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
75	0.082	2.498	0.277	1.32	1.2	0.130

SLV – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
712	0.184	2.492	0.301	1.22	1.2	0.269

SLC – PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE						
Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc*	Ss	ST	Amax (g)
1462	0.227	2.520	0.311	1.20	1.2	0.319

Il calcolo dei parametri K_h e K_v è stato eseguito come precisato nelle N.T.C. 2018:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \mp 0.5 \cdot k_h$$

con β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Stato Limite	K_h	K_v
S.L.O.	0.030	0.015
S.L.D.	0.036	0.018
S.L.V.	0.075	0.038
S.L.C.	0.089	0.045

5.3.3.5 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta Sismica Locale

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell’area studiata. Il profilo considerato deriva dall’interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall’elaborazione congiunta delle indagini HVSR1 e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

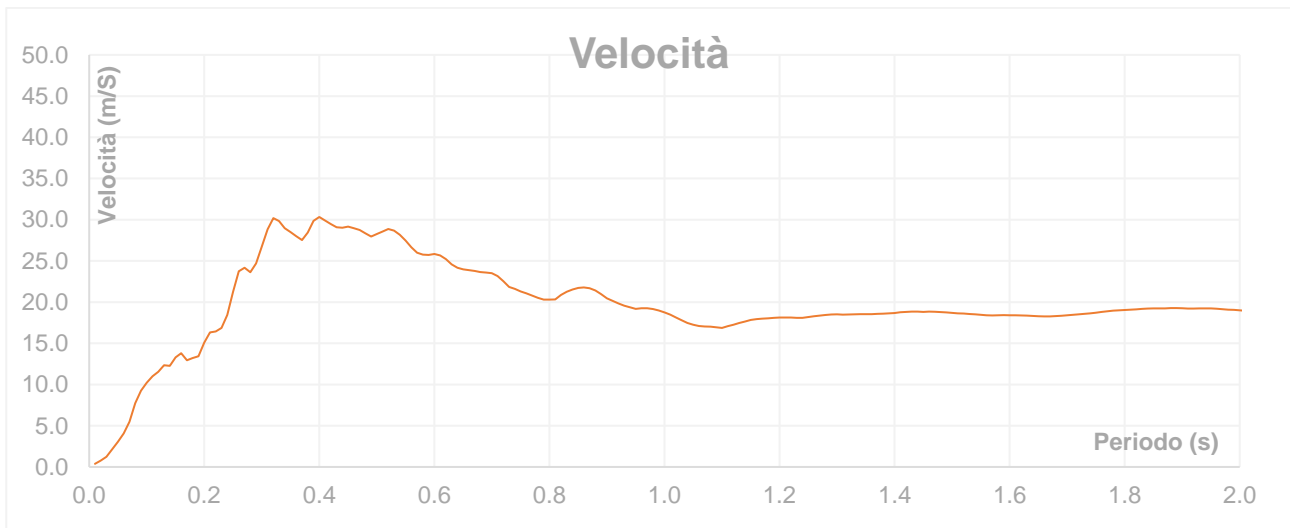
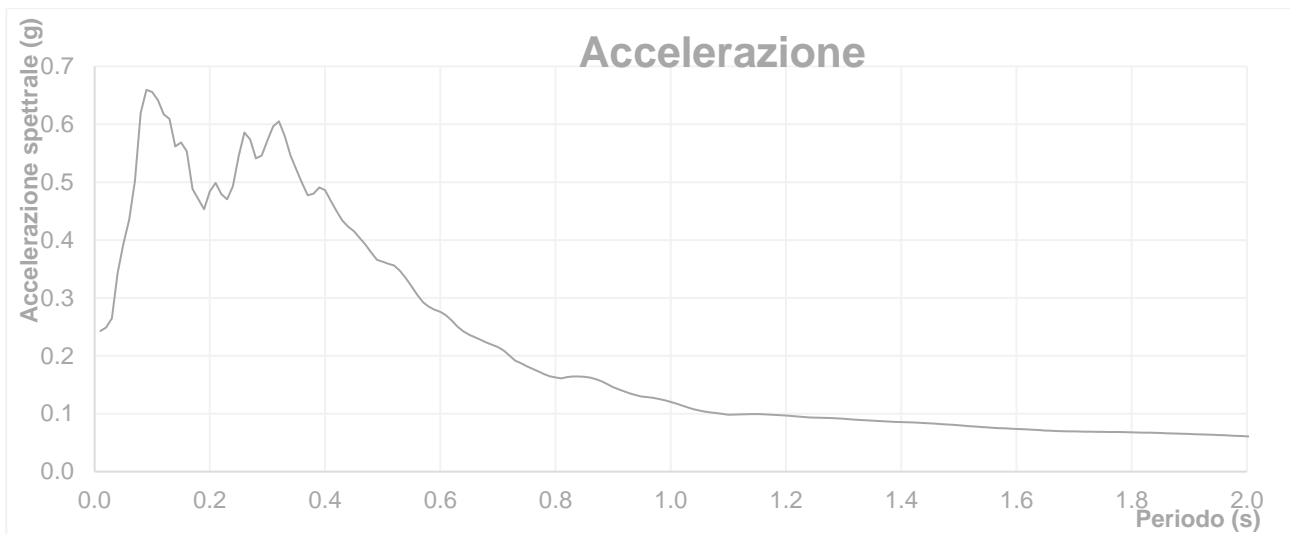
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	200	0.40
5.00	4.00	335	0.43
25.00	20.00	650	0.45
inf.	inf.	800	0.45

In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l’analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti agli stati limite SLD – SLO – SLV - SLC. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell’areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l’interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.184g** considerando un valore di **$C_u = 1.50$** (Classe d’uso III) e **$V_n =$** **anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 712 anni.

RISULTATI OTTENUTI - SLV

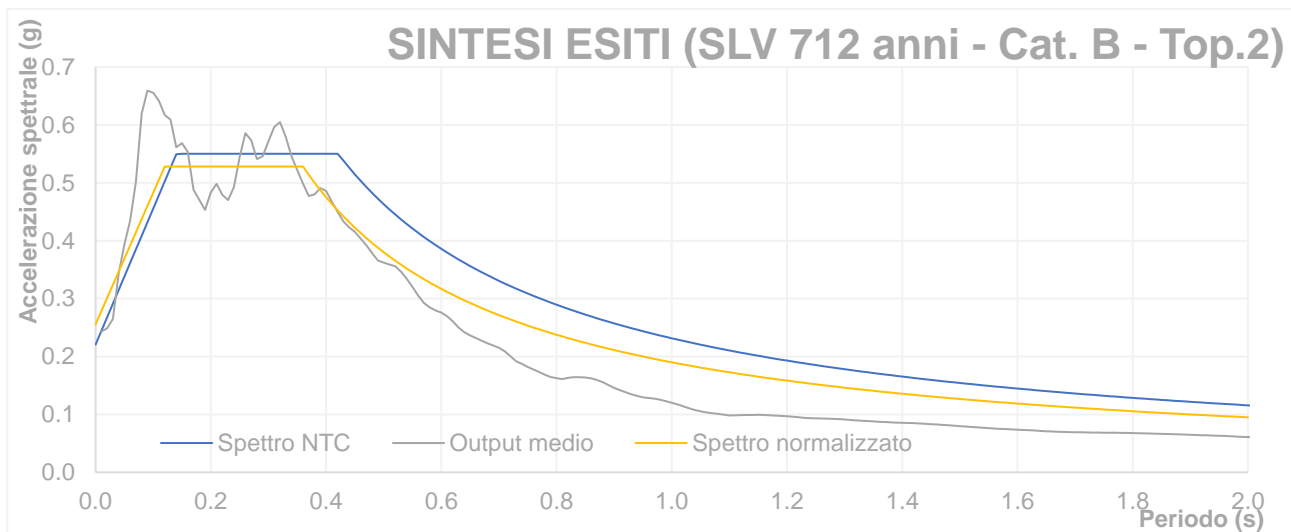
Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:



Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo si è ottenuto lo spettro a probabilità uniforme. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica **minore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

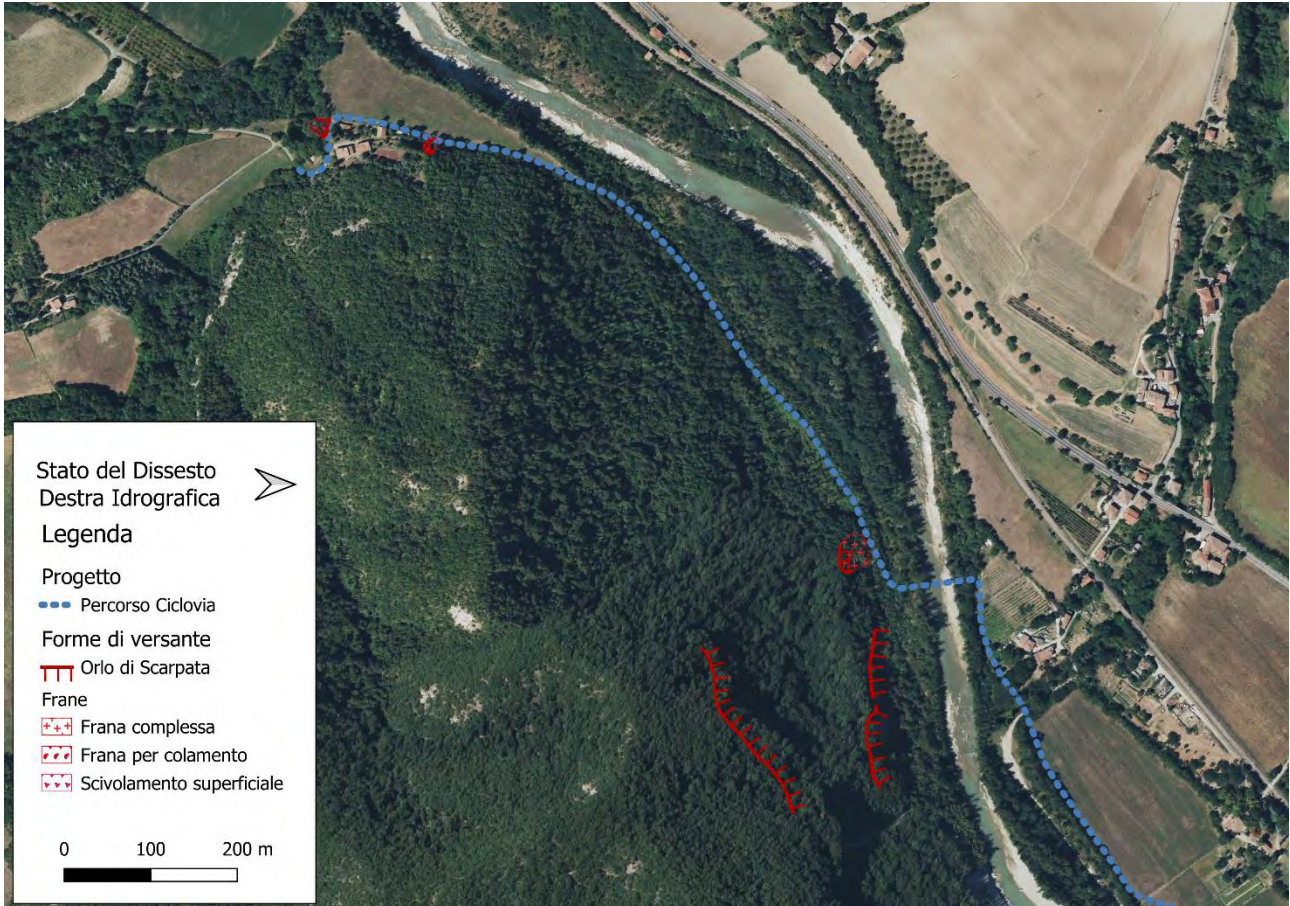
SLO – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL						
ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.184	2.492	0.301	0.14	0.42	1.2	0.256



I risultati emersi dall'analisi di Risposta Sismica Locale di III Livello suggeriscono di utilizzare i valori ottenuti attraverso l'analisi condotta tramite approccio semplificato.

5.4 Elementi di dissesto interferenti

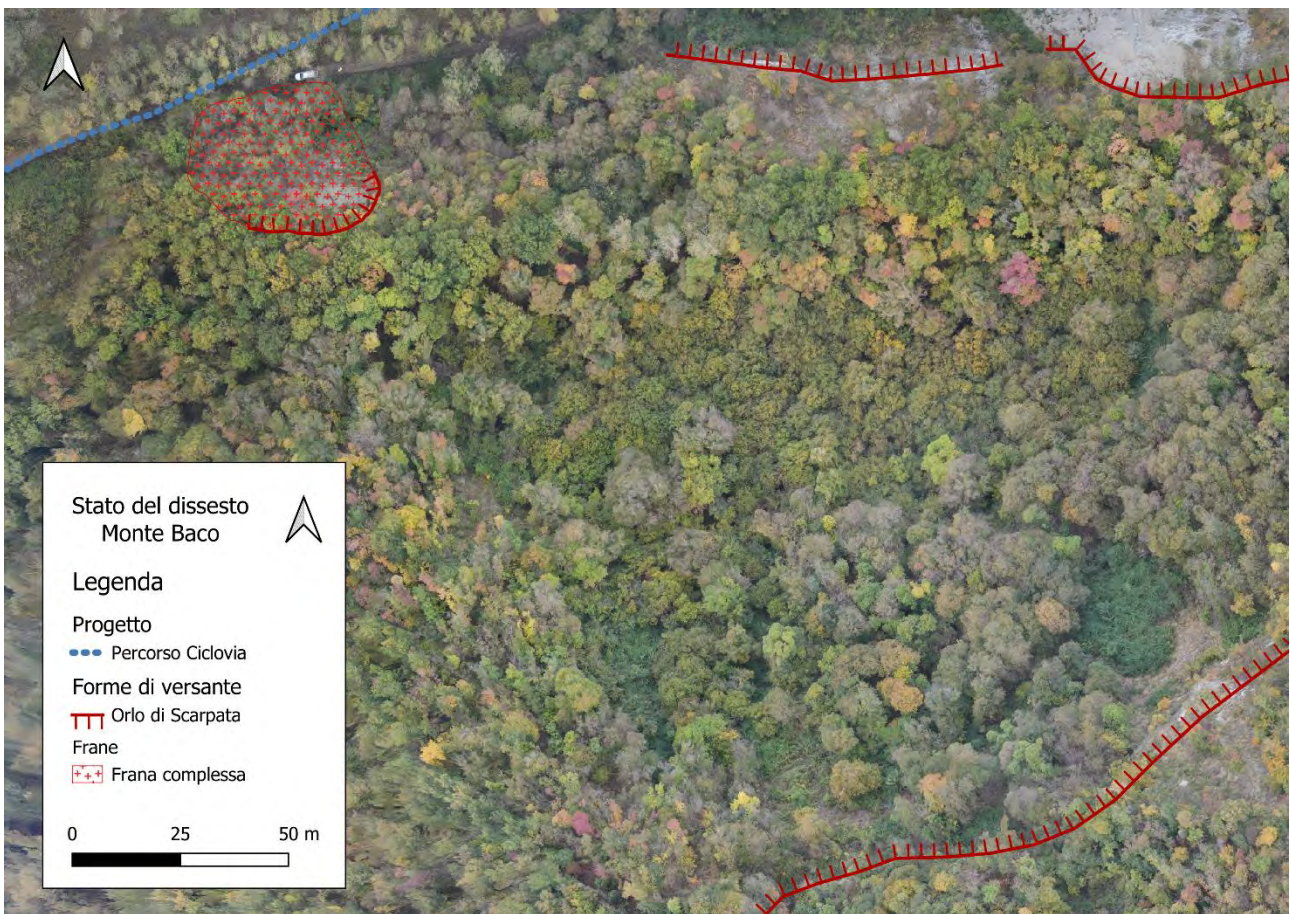
L'area in destra idrografica al fiume Reno risulta essere la più problematica rispetto al tema del dissesto di versante. Sinteticamente è possibile definire la presenza di 3 tratti che presentano fenomeni di dissesto in stato di attività e che risultano interferire con la ciclovia. Di seguito si analizzeranno gli elementi su cui è necessario intervenire con opere che garantiscano la sicurezza e operabilità della Ciclovia.



MONTE BACO

Il settore sottostante al Monte Baco su cui è previsto il passaggio del percorso ciclabile presenta due problematiche di dissesto che potrebbero interferire con l'opera in progetto: da un lato si è riscontrata la presenza di frammenti rocciosi nei pressi del selciato della strada forestale, indice di possibili frane per crollo dagli orli di scarpata esposti e dall'altro lato si è identificata la presenza di un corpo di frana complessa che giace proprio a ridosso del percorso ciclabile.

Di seguito si riportano due immagini che indicano l'ubicazione dei dissesti.



Nell'immagine di cui sopra sono visibili le due problematiche che potrebbero interferire con il passaggio della ciclovía.

- 1) Orli di Scarpata Attivi: la presenza di fronti esposti di arenaria e arenaria marnosa fratturate comportano la possibilità che si verifichino distacchi e crolli di materiali rocciosi. Sulla base delle evidenze raccolte in sito attraverso un rilievo in fune sulla cengia alta è stato possibile verificare che esistono, nell'ordine:
 - Diffuso detrito di versante alla base degli orli di scarpata di dimensioni generalmente di pochi dm^3 che potrebbero muoversi in caso di condizioni metereologiche avverse;
 - Blocchi rocciosi di dimensioni generalmente inferiori a $0,5 \text{ m}^3$ posti alla sommità e alla base degli orli, questi risultano già mobilizzati e potrebbero rimobilizzarsi;
 - Rocce fratturate in esposizione che potrebbe dare origine a crolli di blocchi di dimensioni variabili tra 0.1 e 30 m^3 . I crolli di materiale di grandi dimensioni sono suggeriti dalla presenza di un elemento roccioso che si presenta leggermente aggettante e con un grande frattura tra esso e il resto del materiale affiorante alle sue spalle, tuttavia il blocco spostato più a nord

rispetto al passaggio della ciclabile e questo elemento non appare che possa interferire con il percorso anche in caso di crollo.

Risulta opportuno ricordare che i crolli dagli orli di scarpata superiori, prima di arrivare ad interferire con il percorso ciclabile, dovranno attraversare il fitto bosco e superare la contropendenza posta nella porzione finale del primo tratto di versante. La probabilità che si verifichino crolli, in modo particolare a nord del percorso, è elevato tuttavia si ritiene che il posizionamento della ciclabile in progetto sia idoneo a garantire, con opere a protezione, la sicurezza della viabilità.

- 2) La frana complessa, il cui piede giace al margine del selciato della ciclabile in progetto, rappresenta un elemento di chiara interferenza. La frana, da quanto è stato possibile osservare in sito, appare relativamente superficiale e sembra legata al collasso della porzione superficiale e maggiormente alterata della formazione in posto. La dinamica che sembra aver messo in posto il corpo di frana sembra essere legata ad uno scivolamento superficiale a cui si associano crolli di materiale lapideo di dimensioni inferiori a 0.5 m^3 derivanti dalle stratificazioni arenaceo marnose.

In questo caso risulta importante introdurre elementi progettuali che permettano al corpo di frana di arrestare il suo movimento e che proteggano la viabilità sottostante da eventuali crolli di materiale lapideo.

Di seguito si propongono immagini che mostrano i due elementi di pericolosità per la ciclovia in progetto.

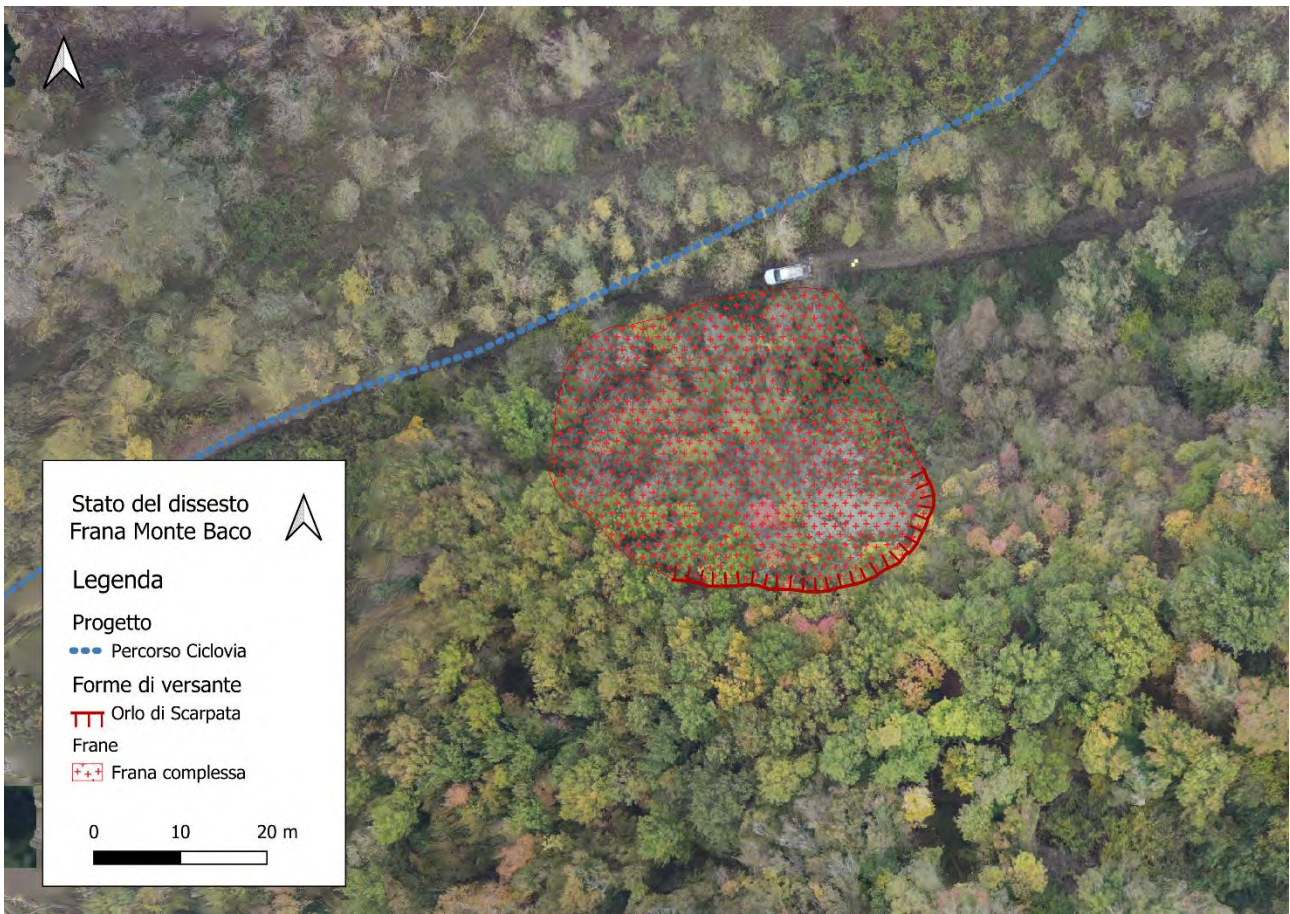


Nell'immagine sopra il cerchio rosso rappresenta la sorgente dei possibili crolli, mentre la linea azzurra rappresenta il percorso della ciclovia.



L'immagine di cui sopra mostra l'ubicazione sul modello 3D della frana ed è possibile intravedere la strada forestale su cui in parte andrà ad impostarsi la ciclabile.

Di seguito si riporta un'immagine di dettaglio della frana complessa.



L'immagine di cui sopra rappresenta, anche in questo caso, la frana complessa che giace alle pendici del Monte Baco e che potrebbe interferire con il percorso della Ciclovia.

Per quanto riguarda la frana complessa le dimensioni stimate del corpo di frana sono pari a circa 1200 m², per un volume stimato di materiale in movimento nell'ordine dei 2400 m³.

VIA BROLO

Lungo il tratto che segue la strada forestale, proseguimento di Via Brolo, si individuano due elementi di dissesto che interferiscono con il percorso ciclabile. Il primo elemento, partendo da Nord, è rappresentato da una piccola frana per colata occorsa dopo gli eventi di Maggio 2023; il secondo è invece rappresentato da un distacco per scivolamento superficiale sito lungo la strada poco al di sotto dell'abitato di Brolo.

Di seguito si riportano due immagini che identificano i due dissesti.



Nell'immagine di cui sopra sono visibili le due problematiche che potrebbero interferire con il passaggio della ciclovia.

- 1) La piccola frana per colata, a Nord nell'immagine, è occorsa a seguito degli eventi piovosi di maggio 2023. Il corpo di frana occupa un'area pari a circa 200 m² ed è composta di materiale terrigeno contenente trovanti di natura arenacea. Per quanto di modeste dimensioni il deposito di colata attraversa l'area di sedime della pista ciclabile, risultando pertanto nettamente interferente con la stessa. In relazione alla possibilità di riattivazioni e potenziali retrogressioni dell'orlo di scarpata saranno da prevedere idonee opere atte a eliminare il rischio che nuove colate si verifichino danneggiando o forzando interventi di manutenzione sul percorso della ciclabile.

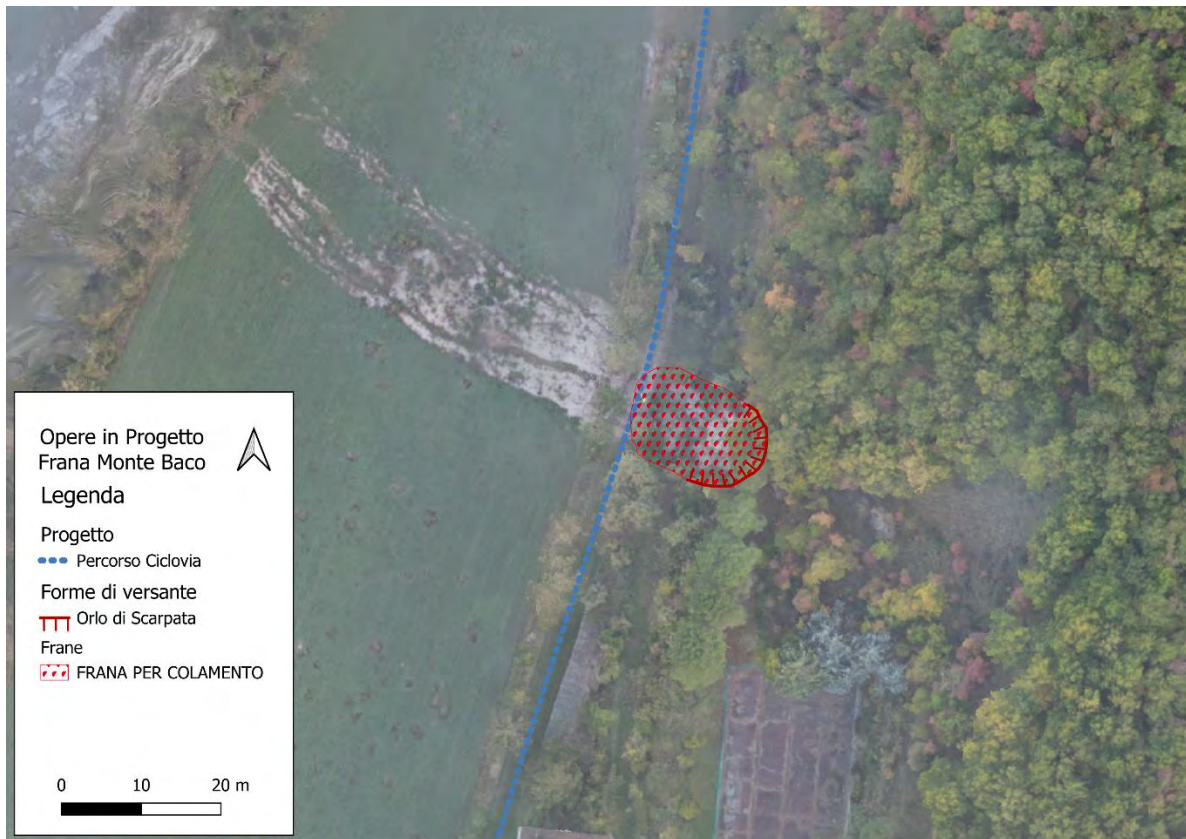
- 2) La frana che insiste a più a sud è un dissesto di carattere superficiale che coinvolge un'area pari a 400m² e che, sulla base delle indagini eseguite in sito e in relazione a quanto è stato possibile osservare, ha uno spessore medio inferiore a 150 cm. La problematica di questo dissesto è che insiste esattamente al margine del tratto di ciclabile in progetto ed è possibile una sua evoluzione che potrebbe portare allo scivolamento del detrito di versante verso Rio Brolo trainando con sé la pista una volta costruita. Anche in questo senso appare necessario prevedere opere che possano garantire la messa in sicurezza del versante e che permettano la durabilità e sicura fruizione della ciclabile.

Di seguito si propongono immagini che mostrano i due elementi di pericolosità per la ciclovía in progetto.



Come si nota dall'immagine di cui sopra la frana per colata lungo la forestale di via Brolo ha dimensioni non particolarmente importanti, ma il suo percorso di movimento ha intercettato nettamente l'area di sedime del tratto in progetto.

Di seguito si riporta un'immagine ortografica della colata di Via Brolo.



Di seguito si riporta un'immagine derivante dal modello 3D dell'area dell'abitato di Brolo.



Nell'immagine di cui alla pagine precedente è rappresentata l'area di Via Brolo che risulta interessata dal passaggio dell'omonimo torrente e che in sponda destra, settore dove è prevista la progettazione di un tratto

di ciclabile, è interessata dallo scivolamento superficiale del detrito di versante. L’abbondante vegetazione impedisce di vedere chiaramente il fenomeno, l’ellisse rossa cerca di individuare il settore interessato.

Di seguito si riporta un’immagine ortografica del tratto in dissesto lungo via Brolo.



COMUNE DI CREVALCORE

ALLEGATO 1

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

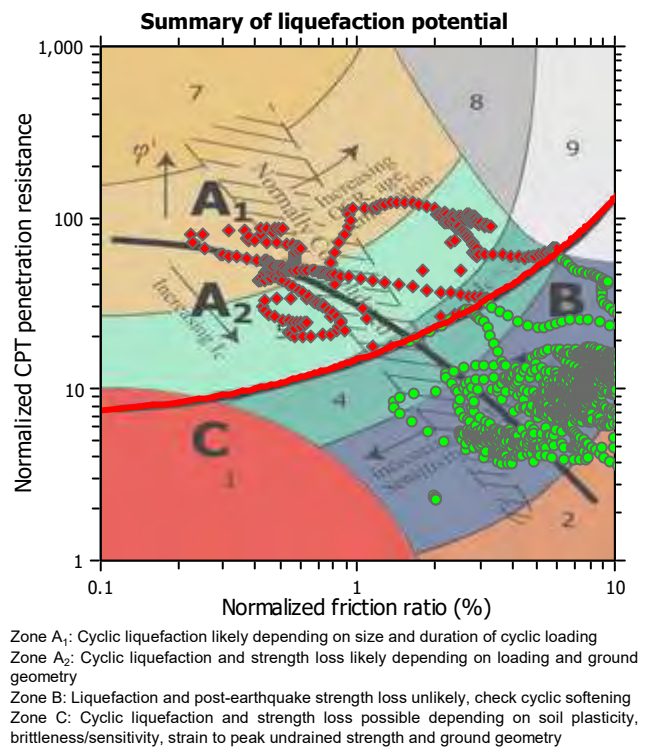
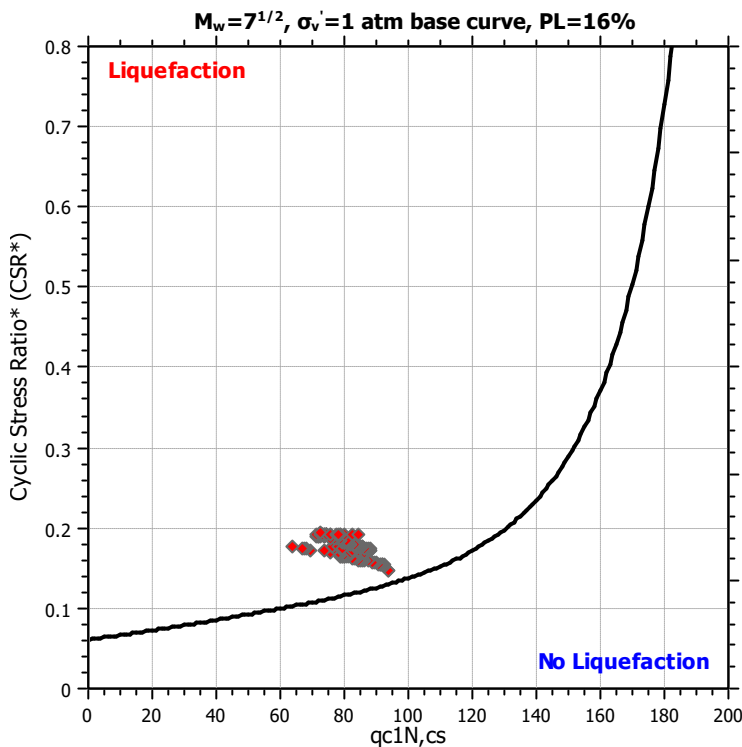
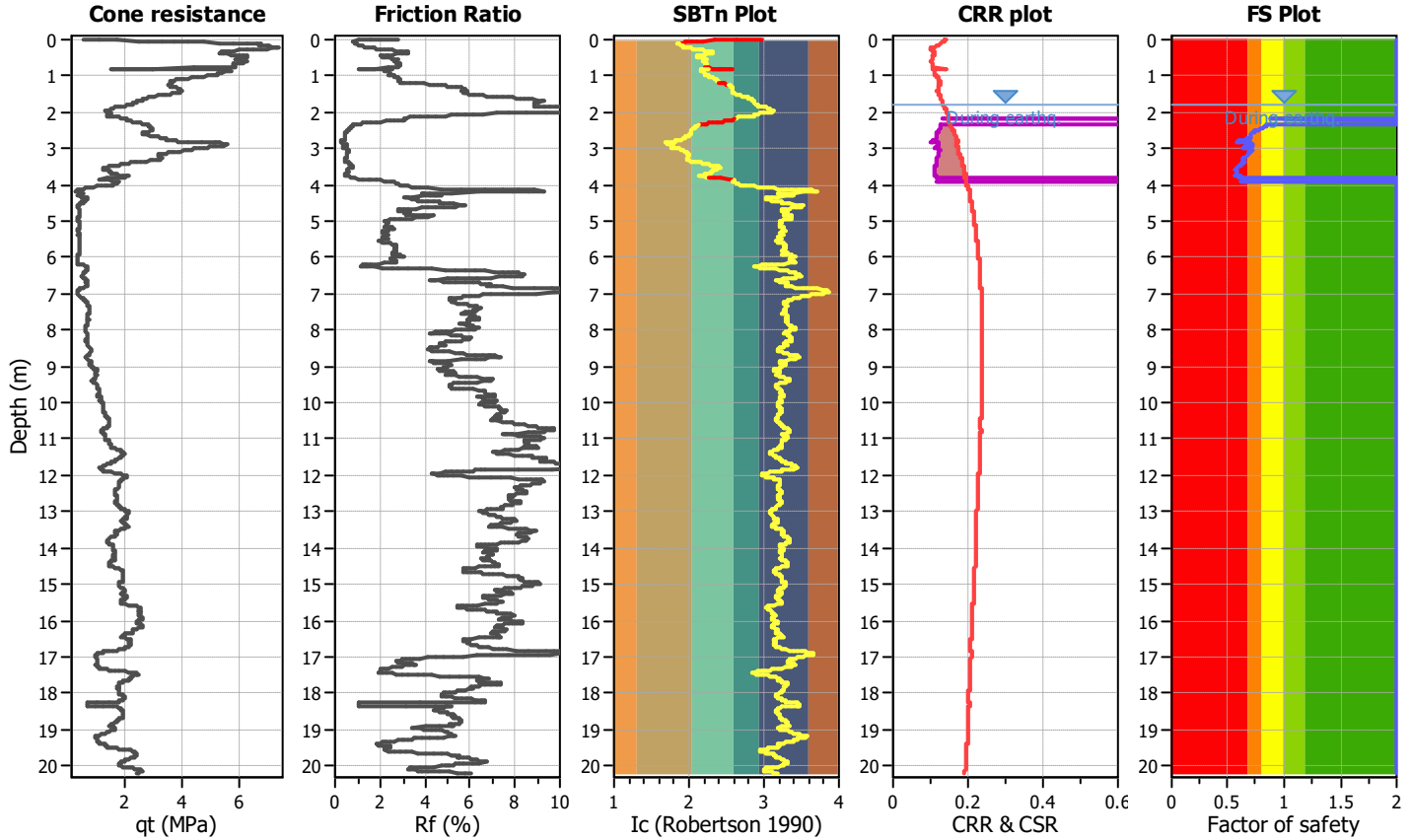
Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CREVALCORE - CICLOVIA DEL SOLE

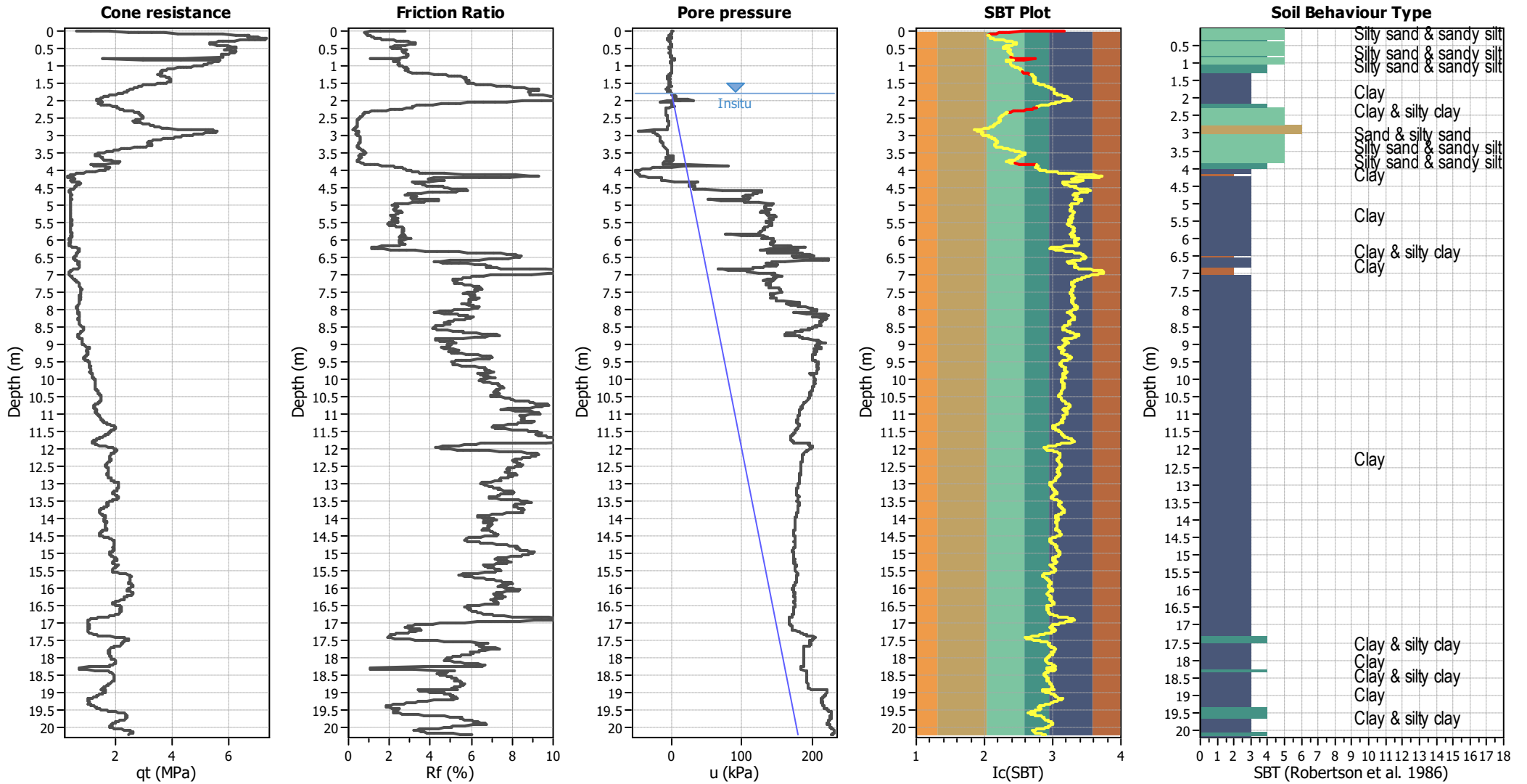
CPT file : CPTU1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.26	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



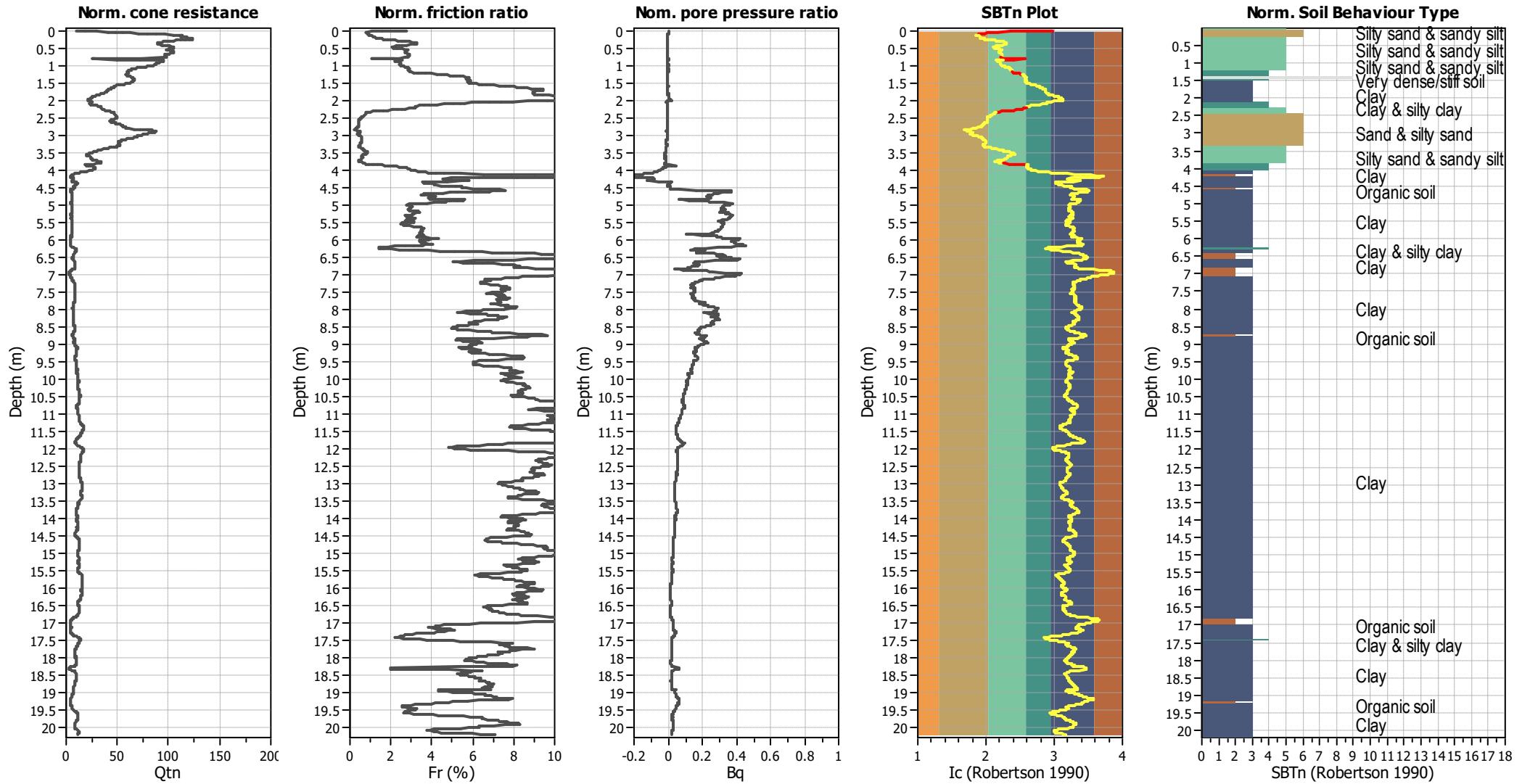
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



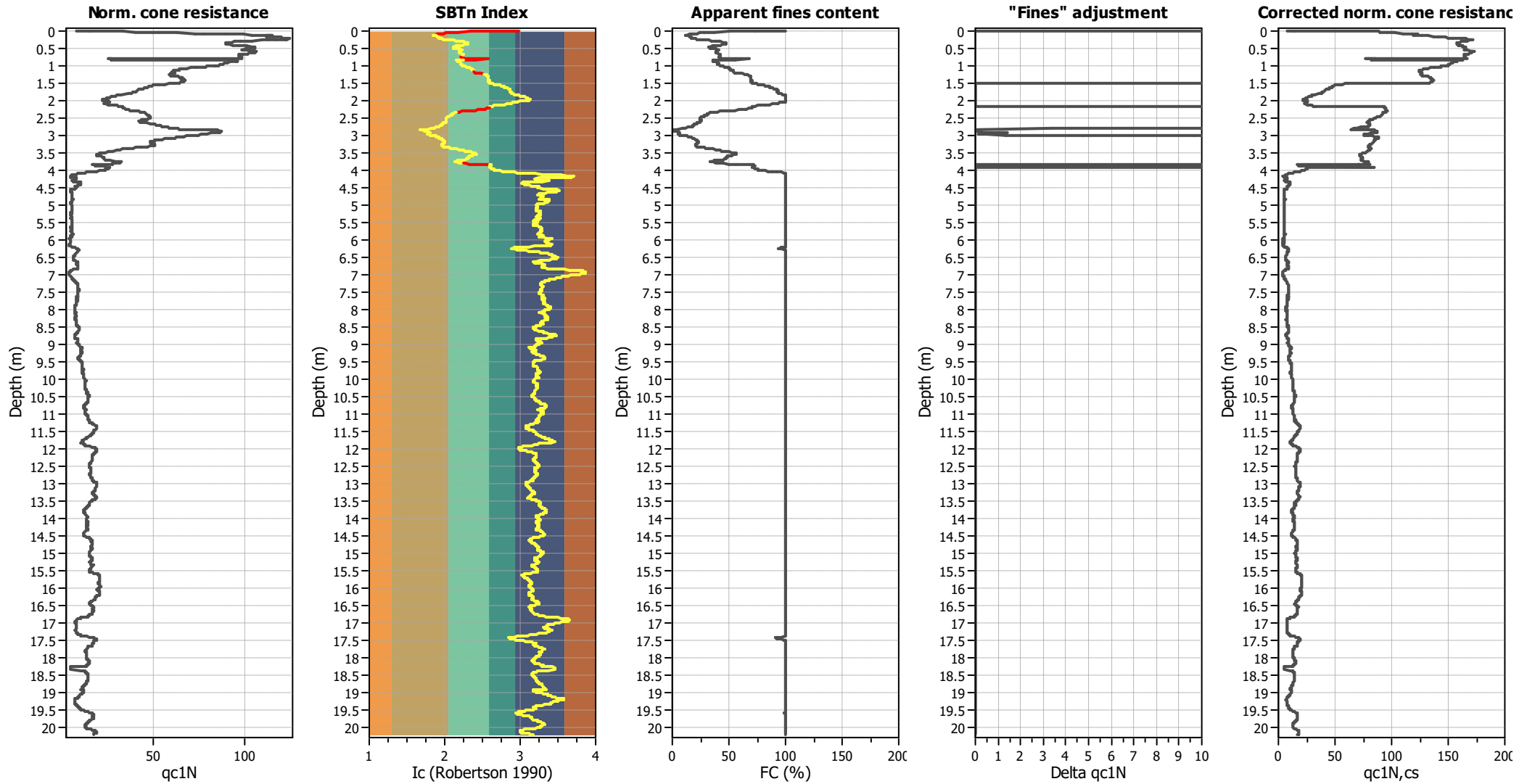
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

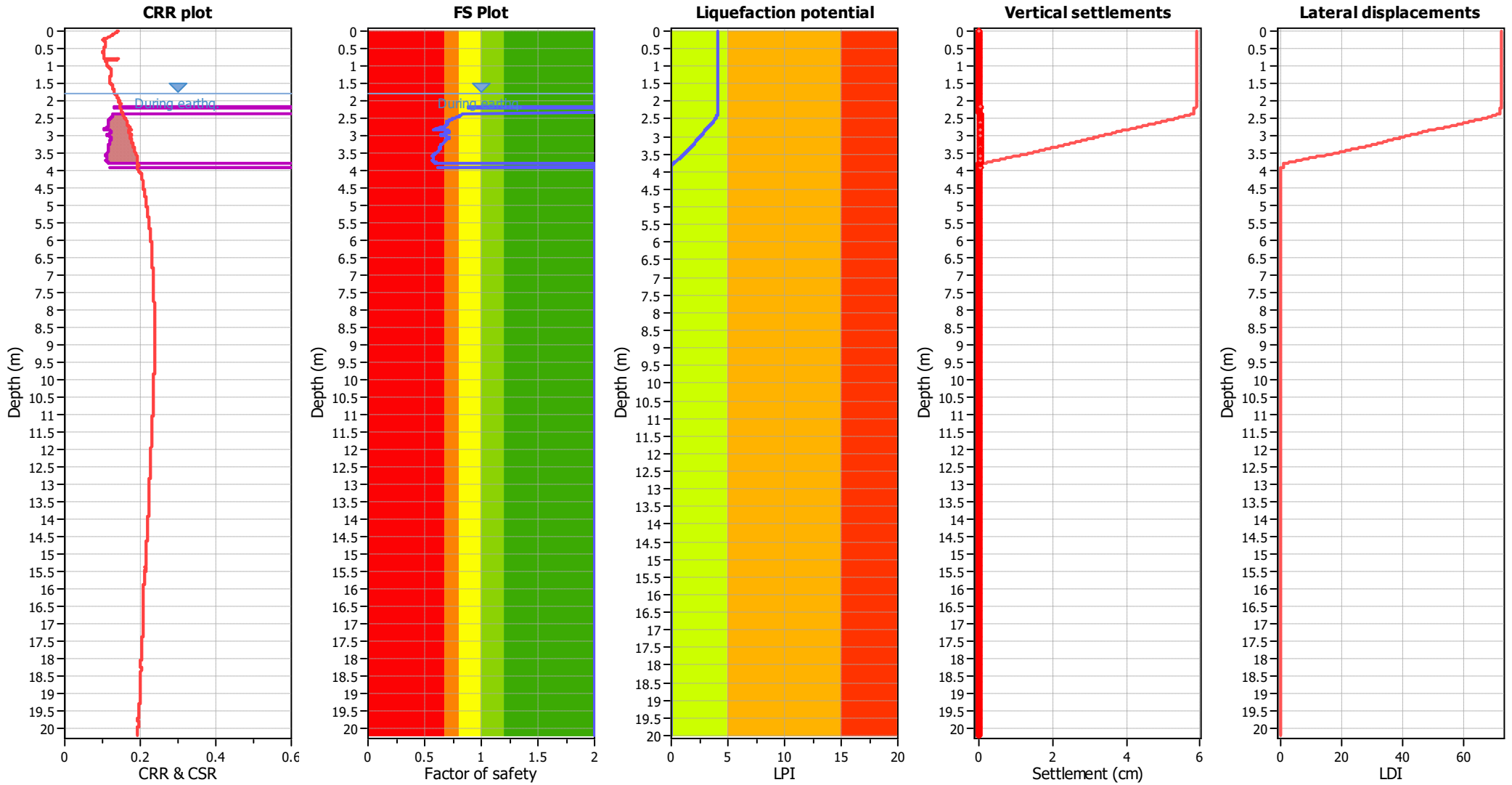
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

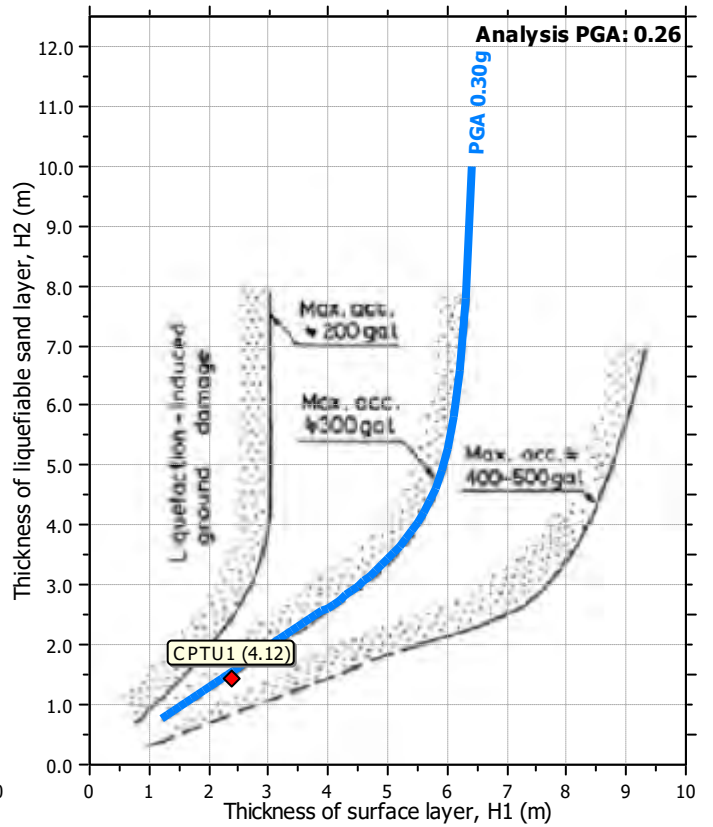
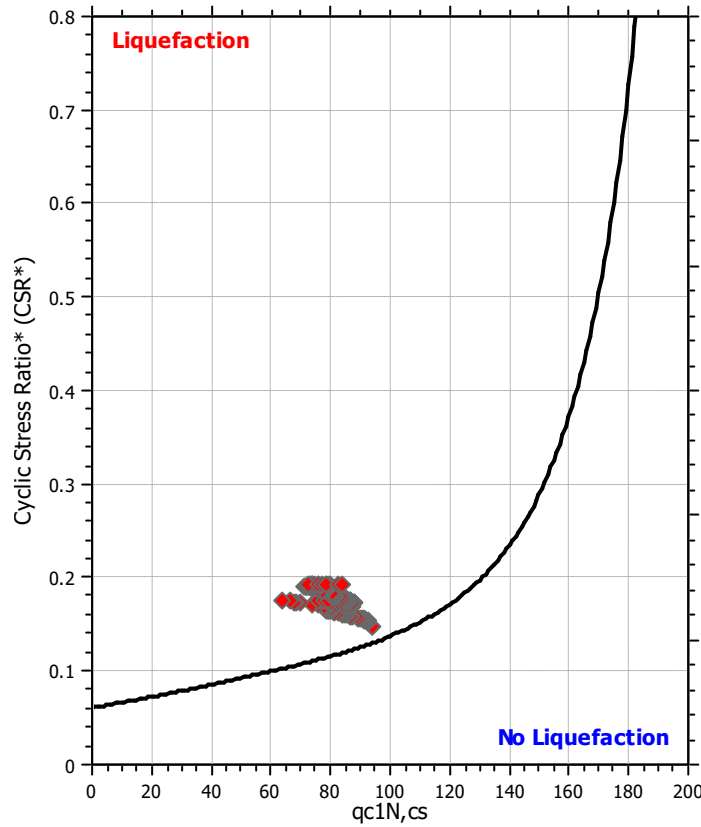
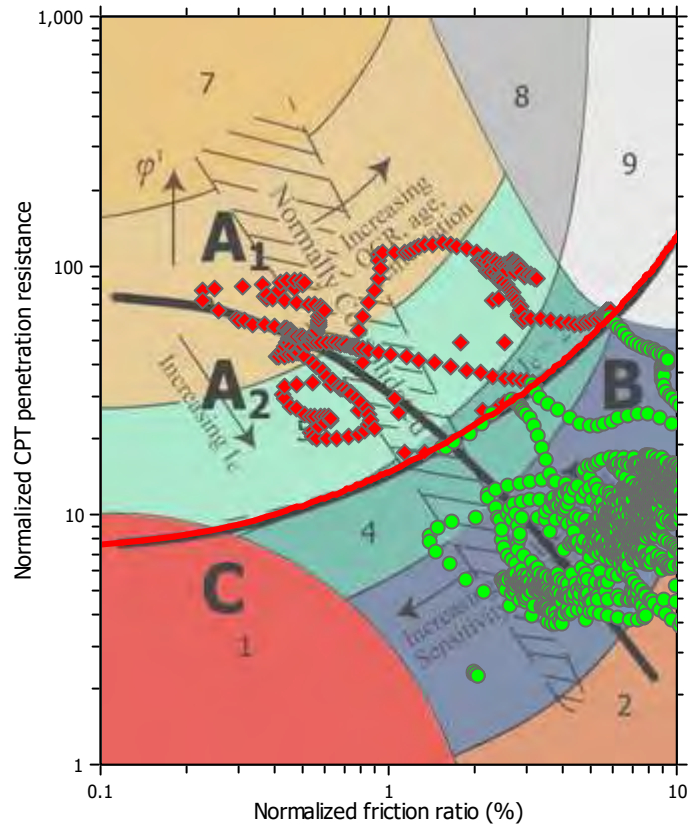
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

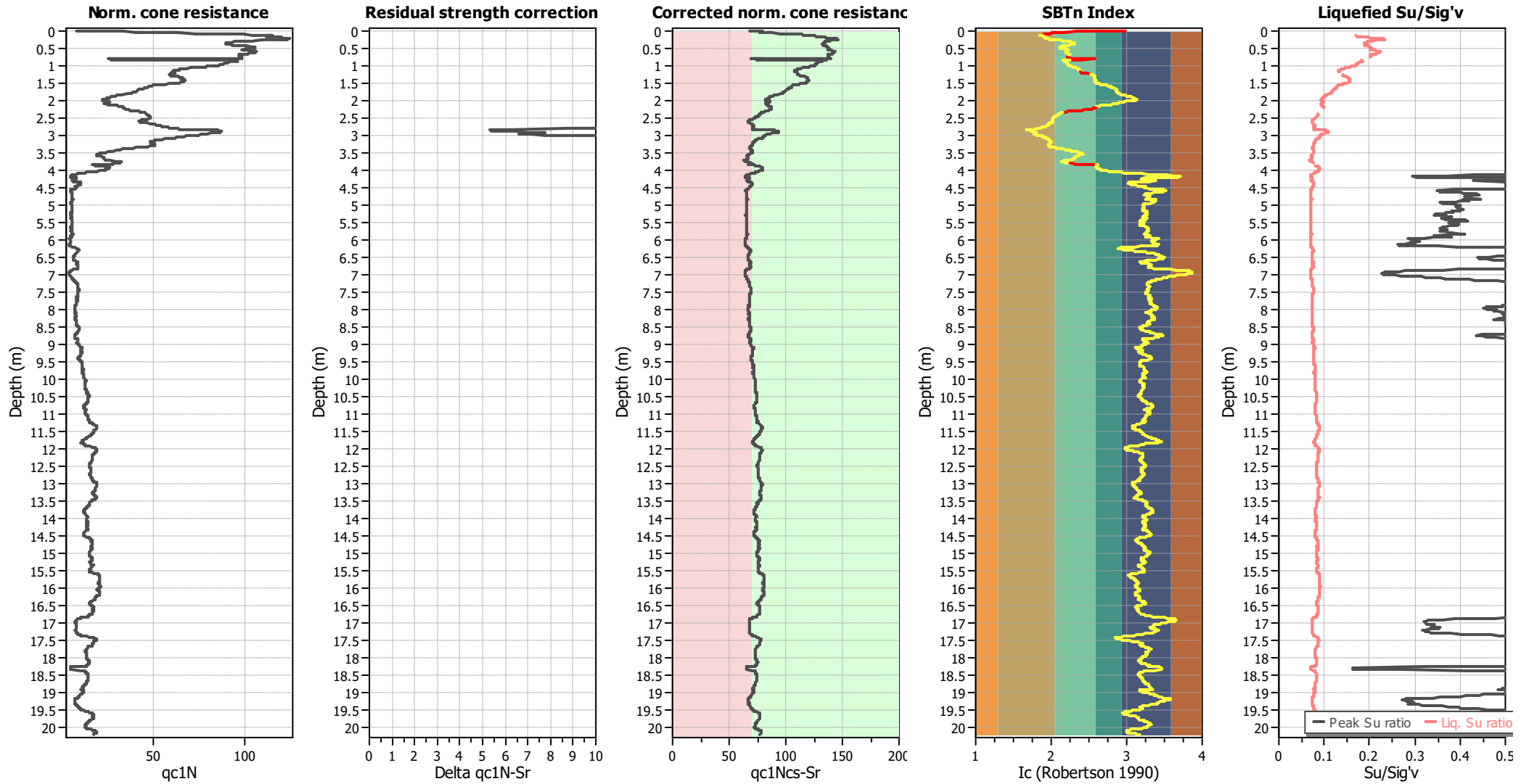
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

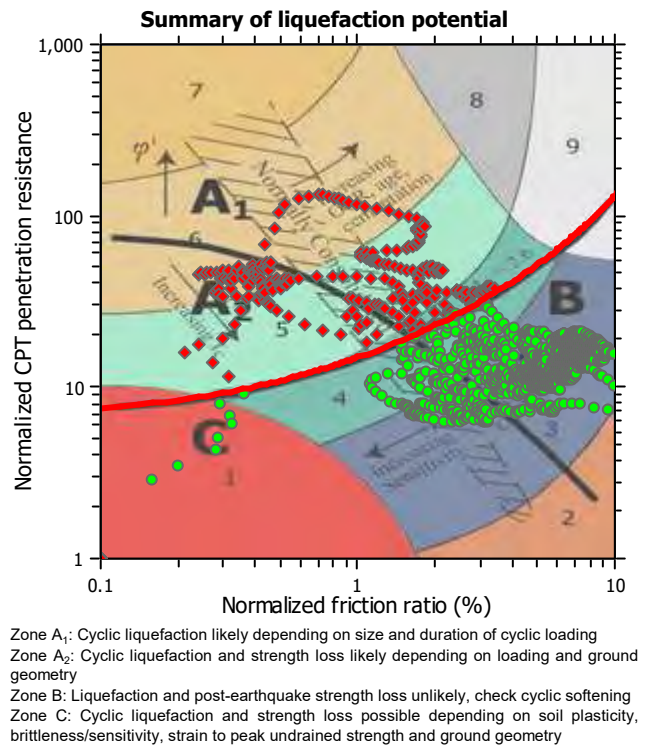
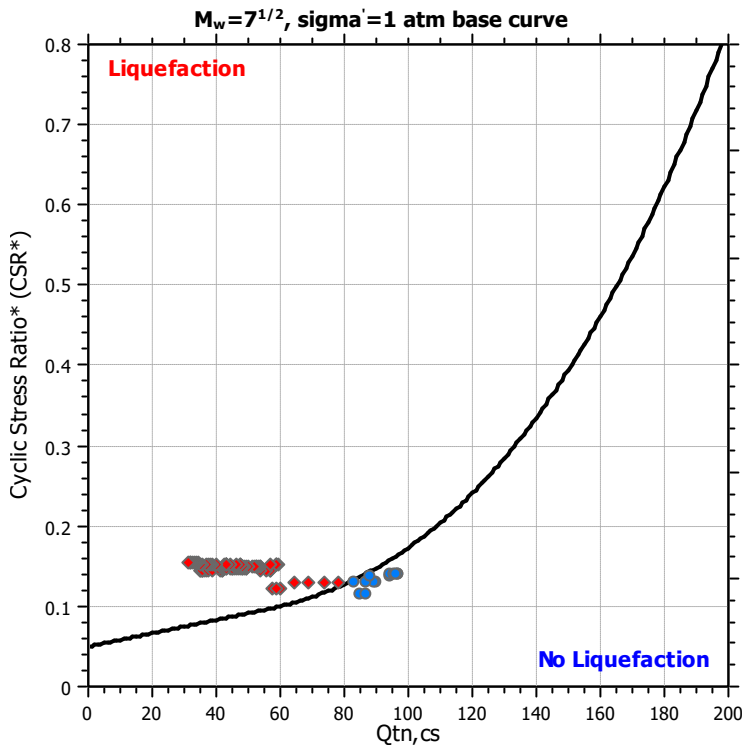
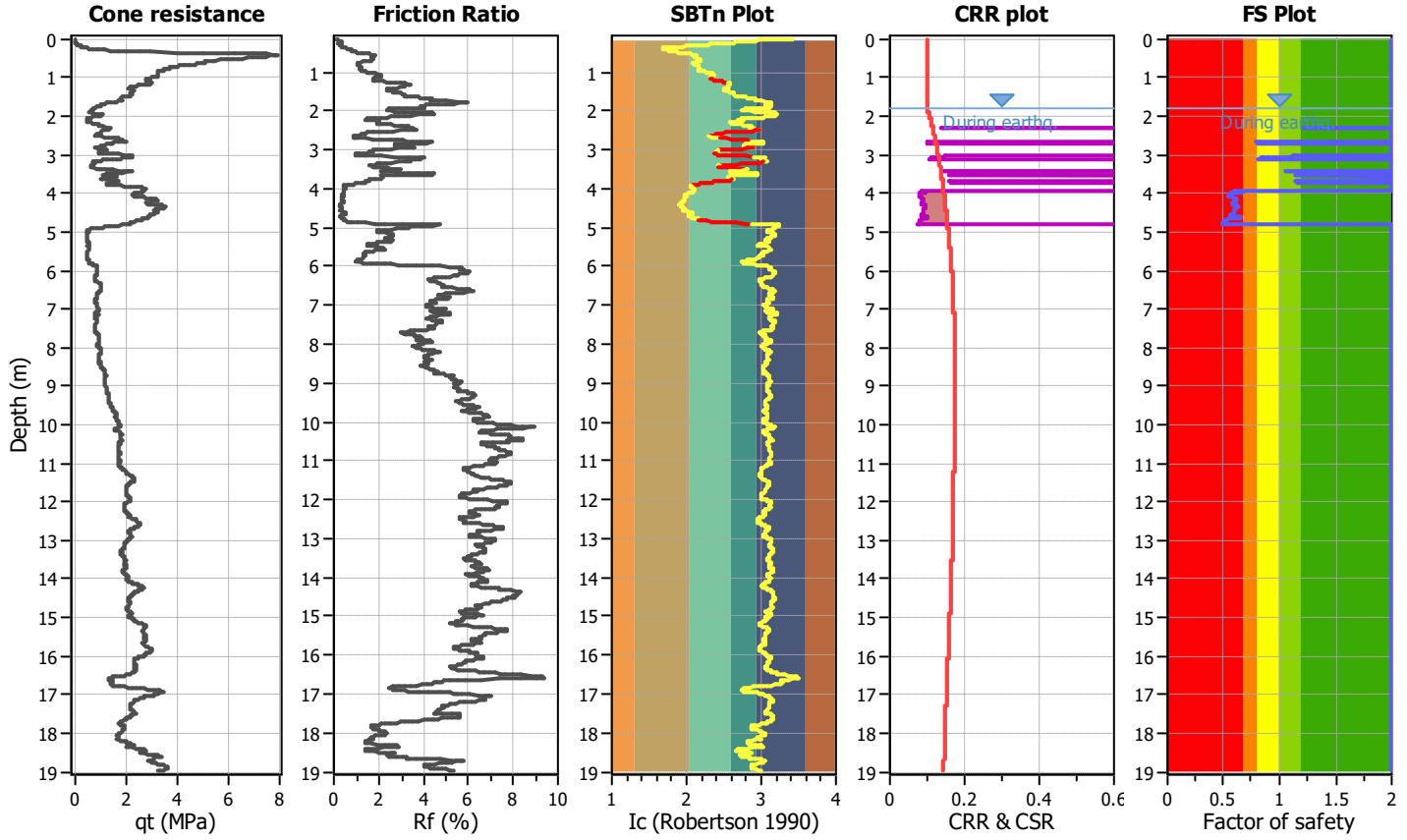
Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CREVALCORE - CICLOVIA DEL SOLE

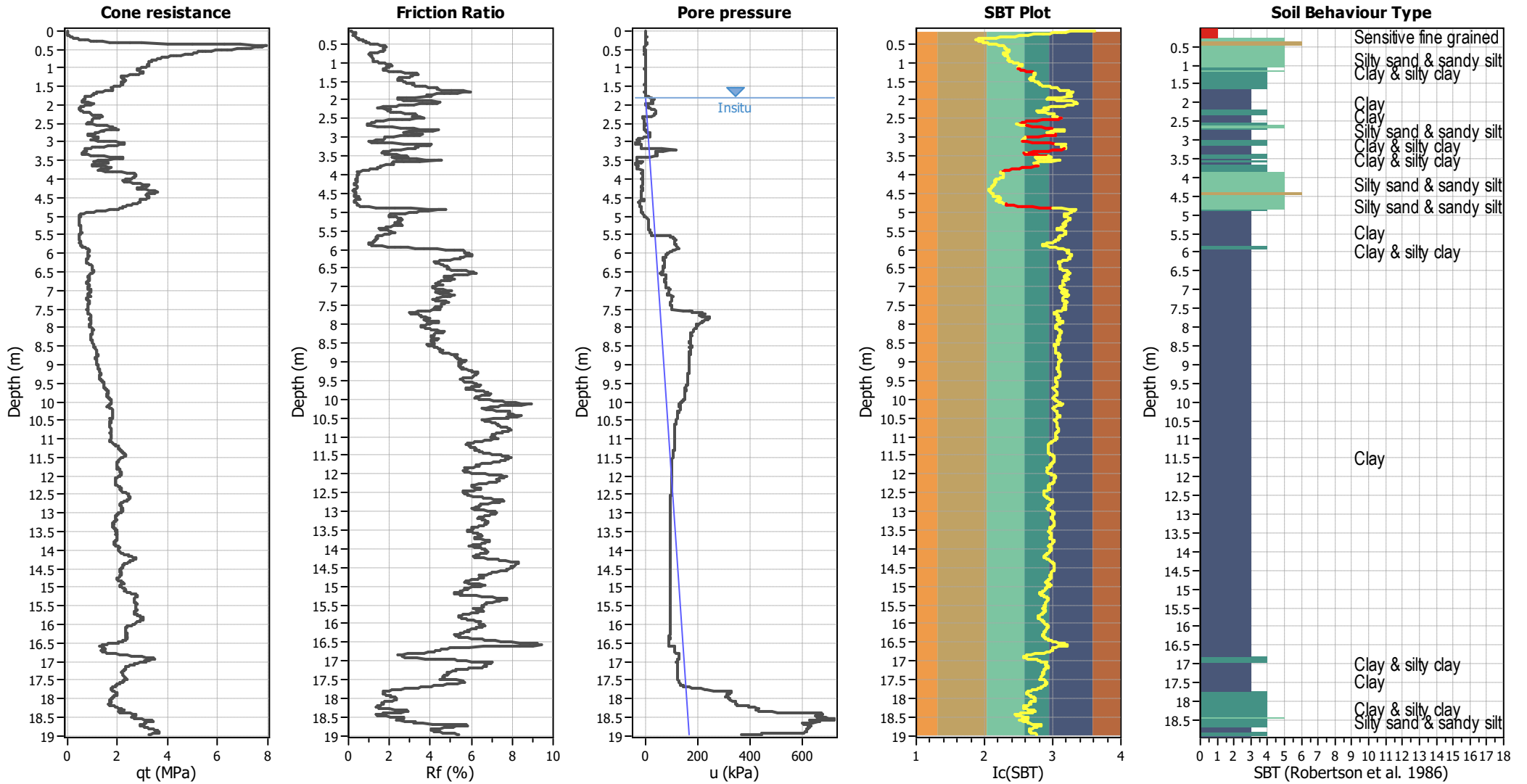
CPT file : SCPTU1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.26	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



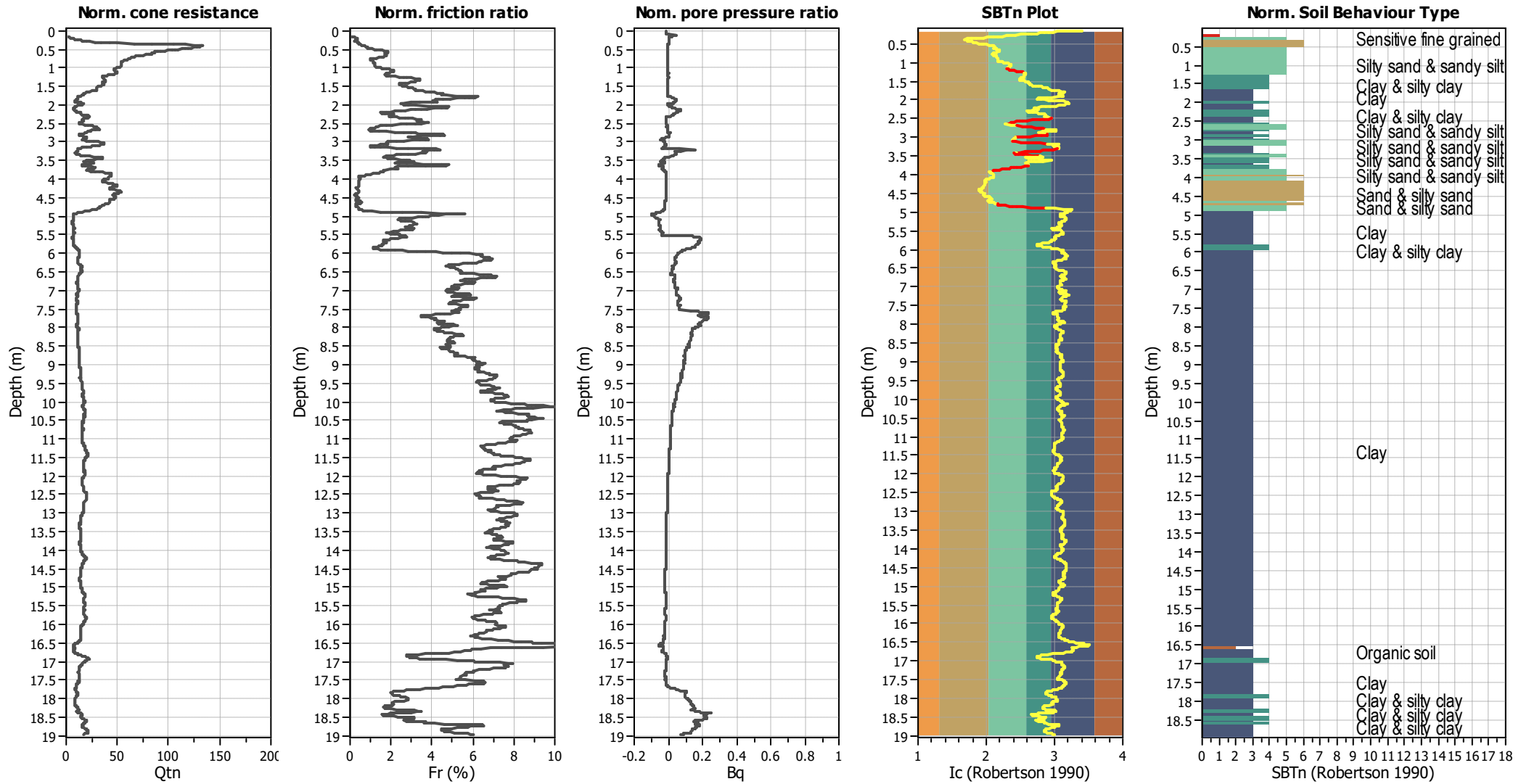
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



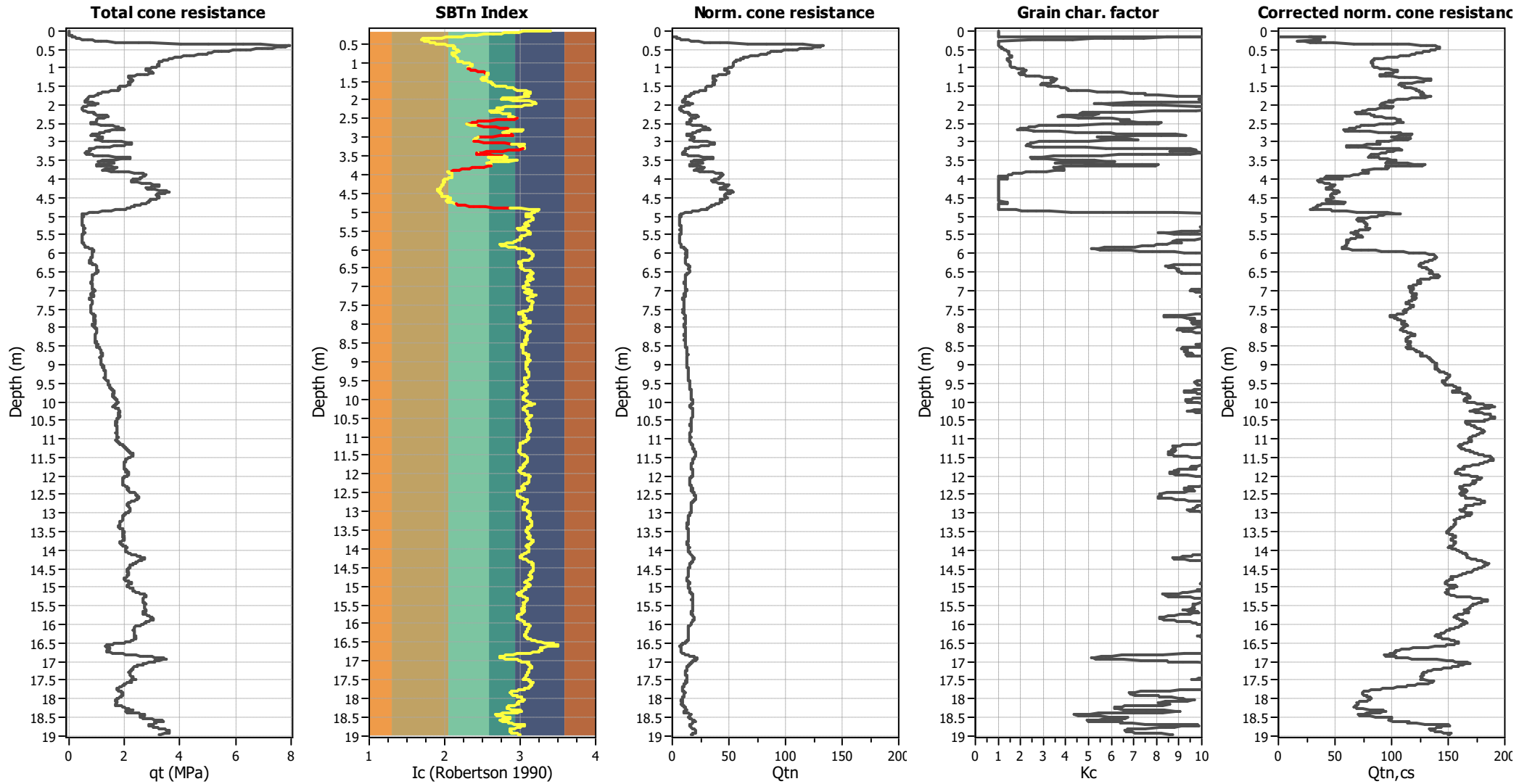
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

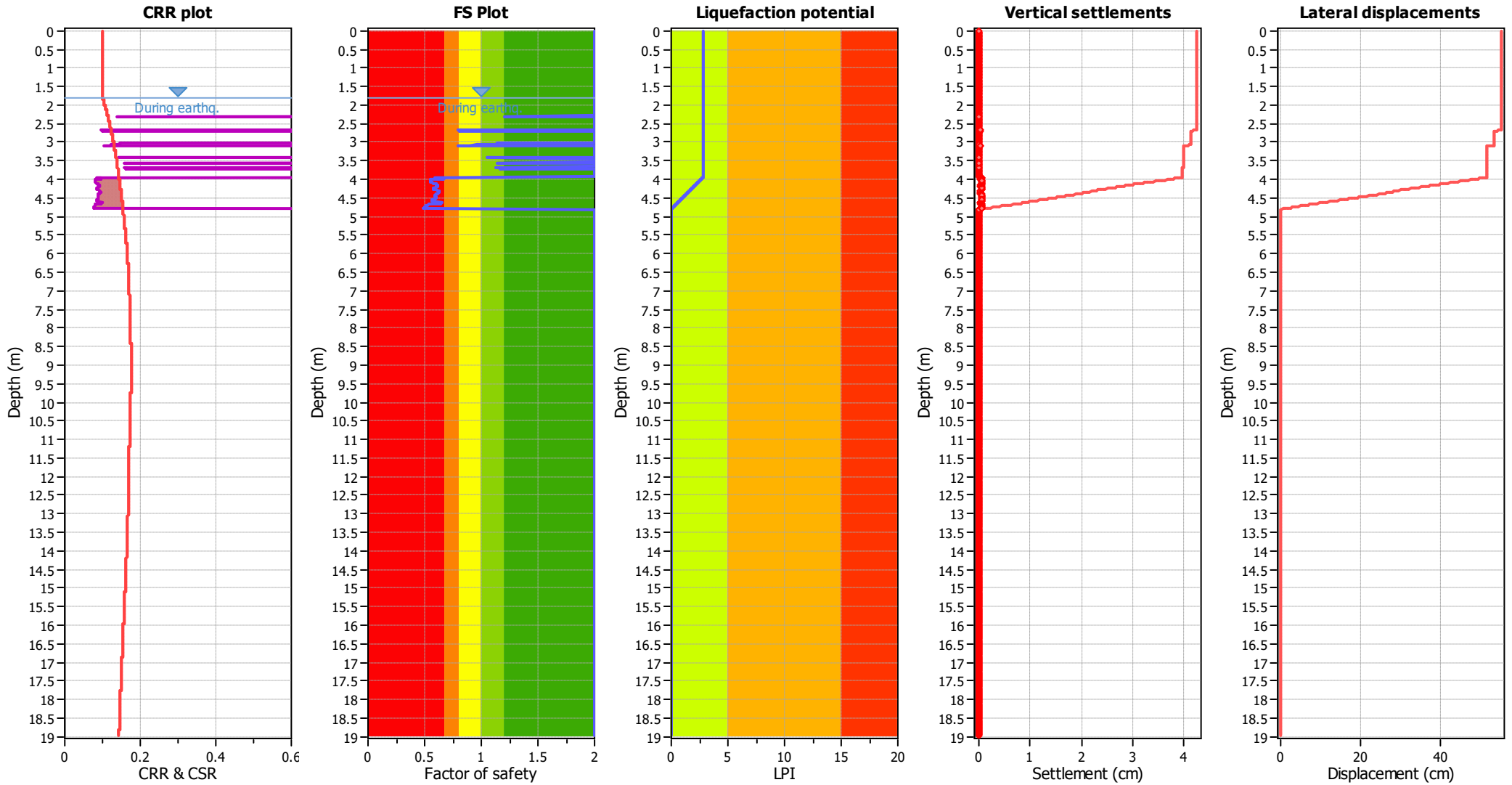
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _{cs} applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

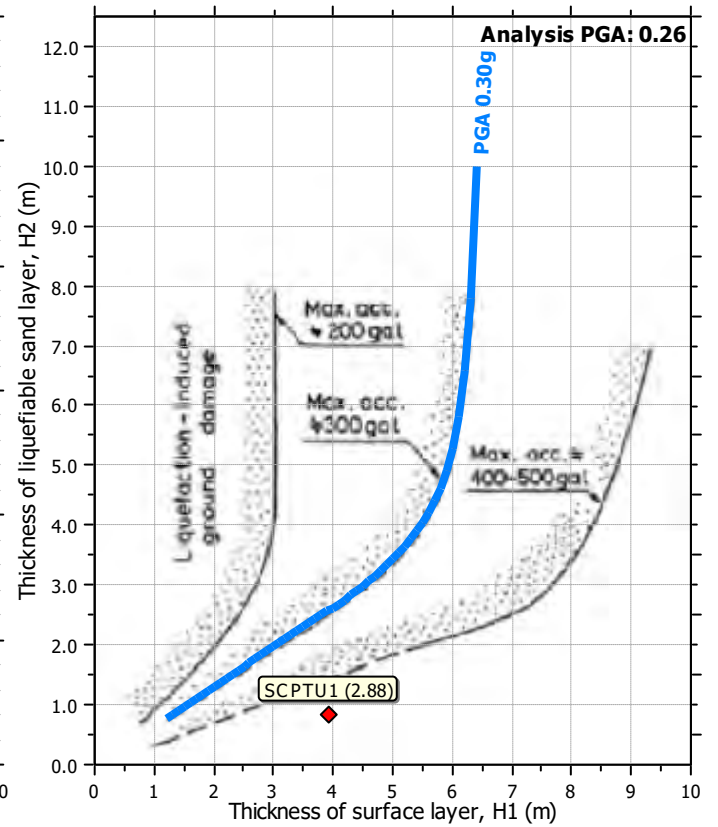
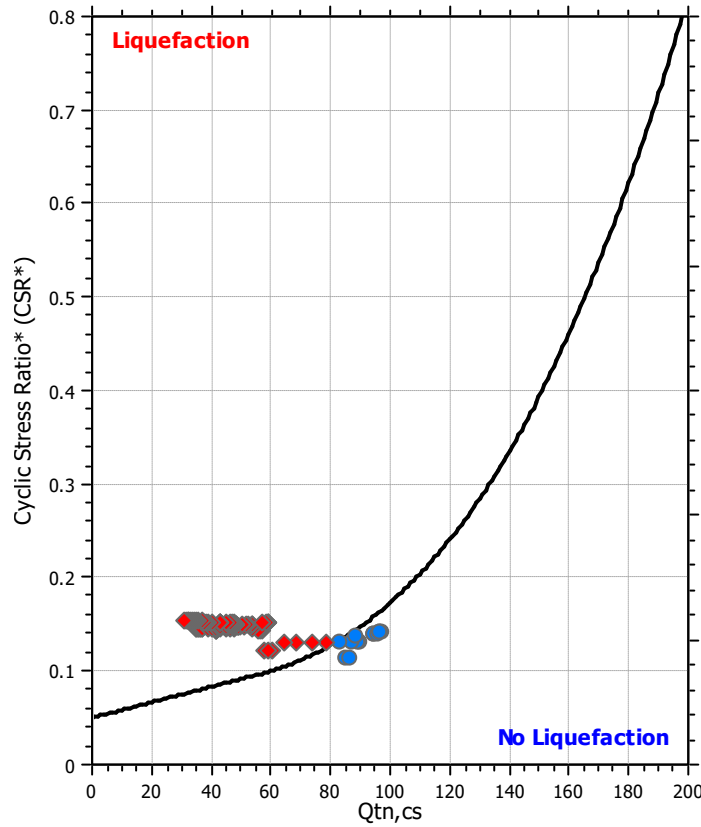
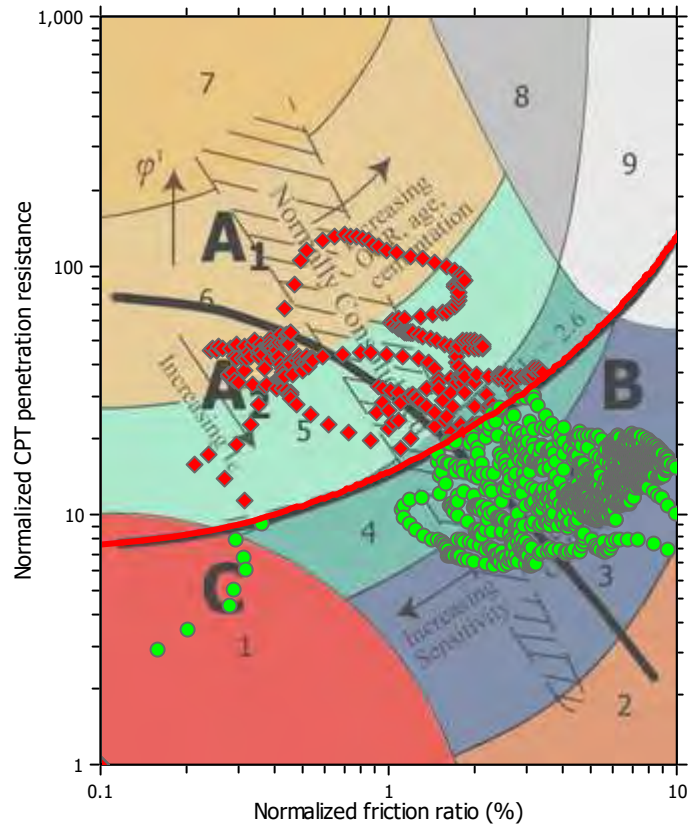
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

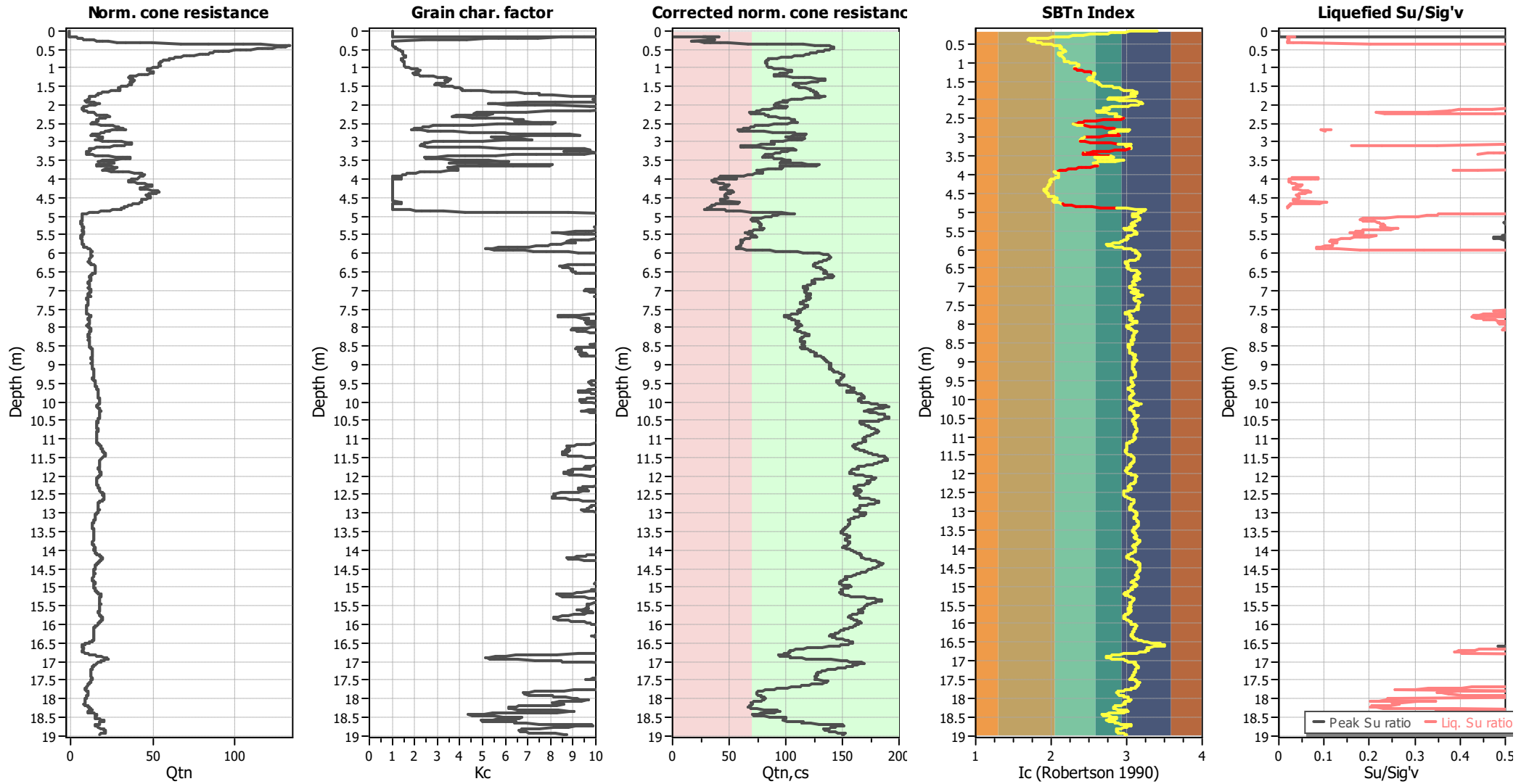
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _α applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

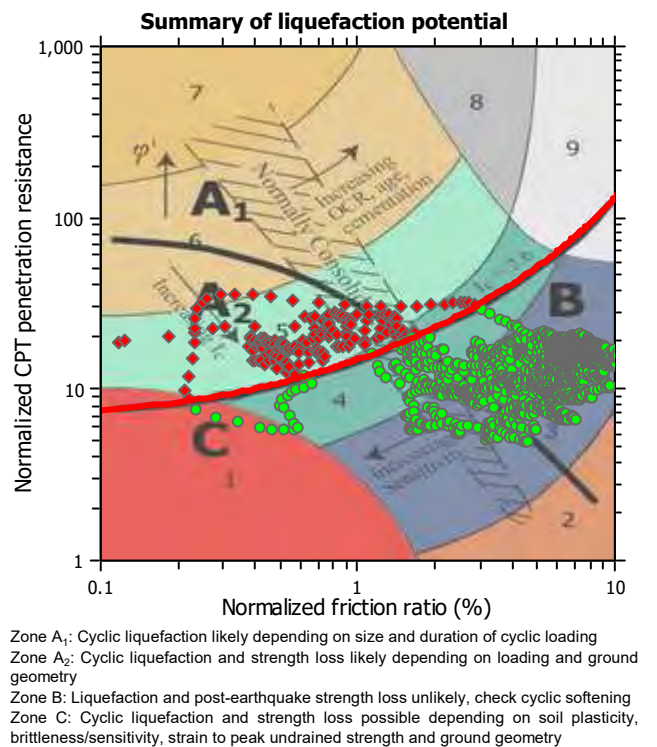
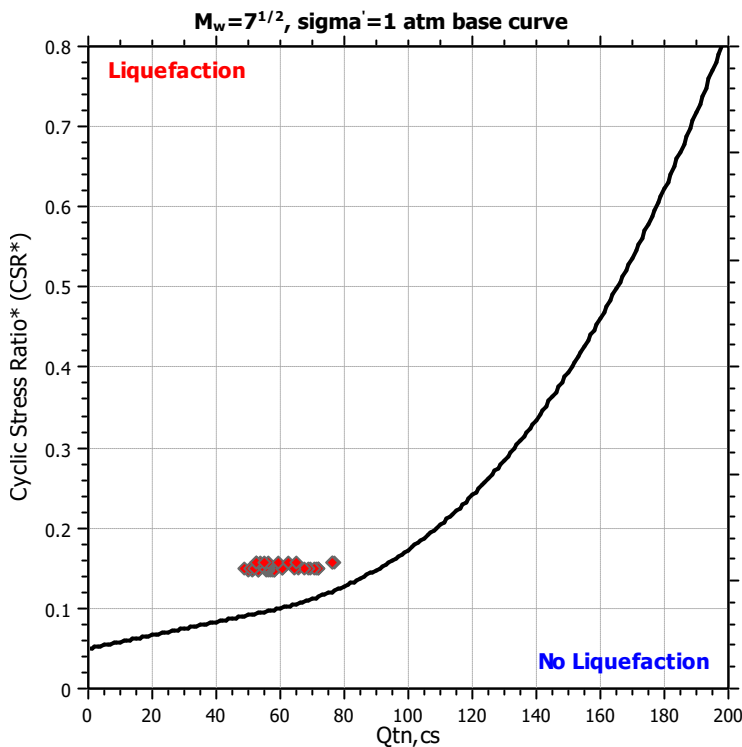
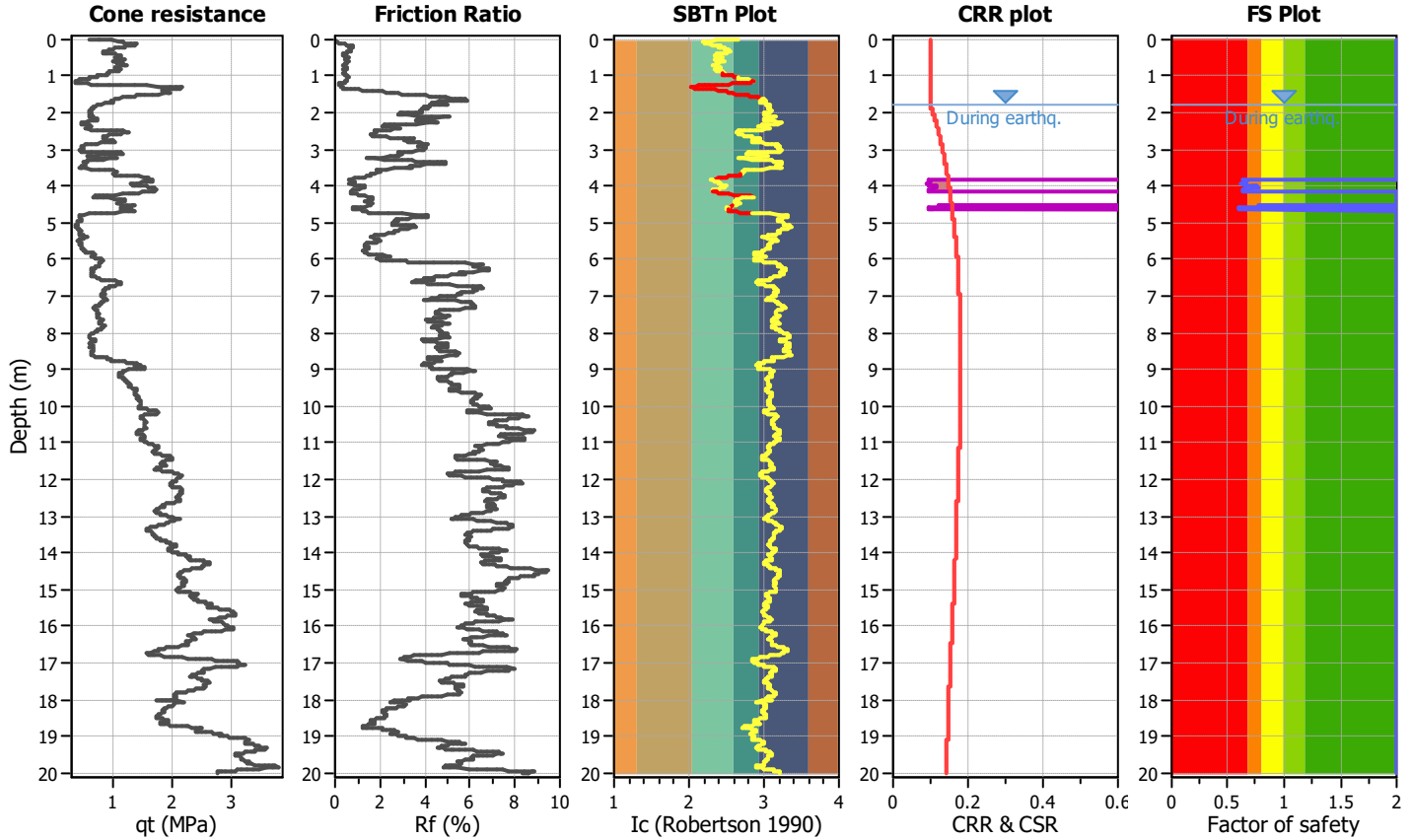
Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CREVALCORE - CICLOVIA DEL SOLE

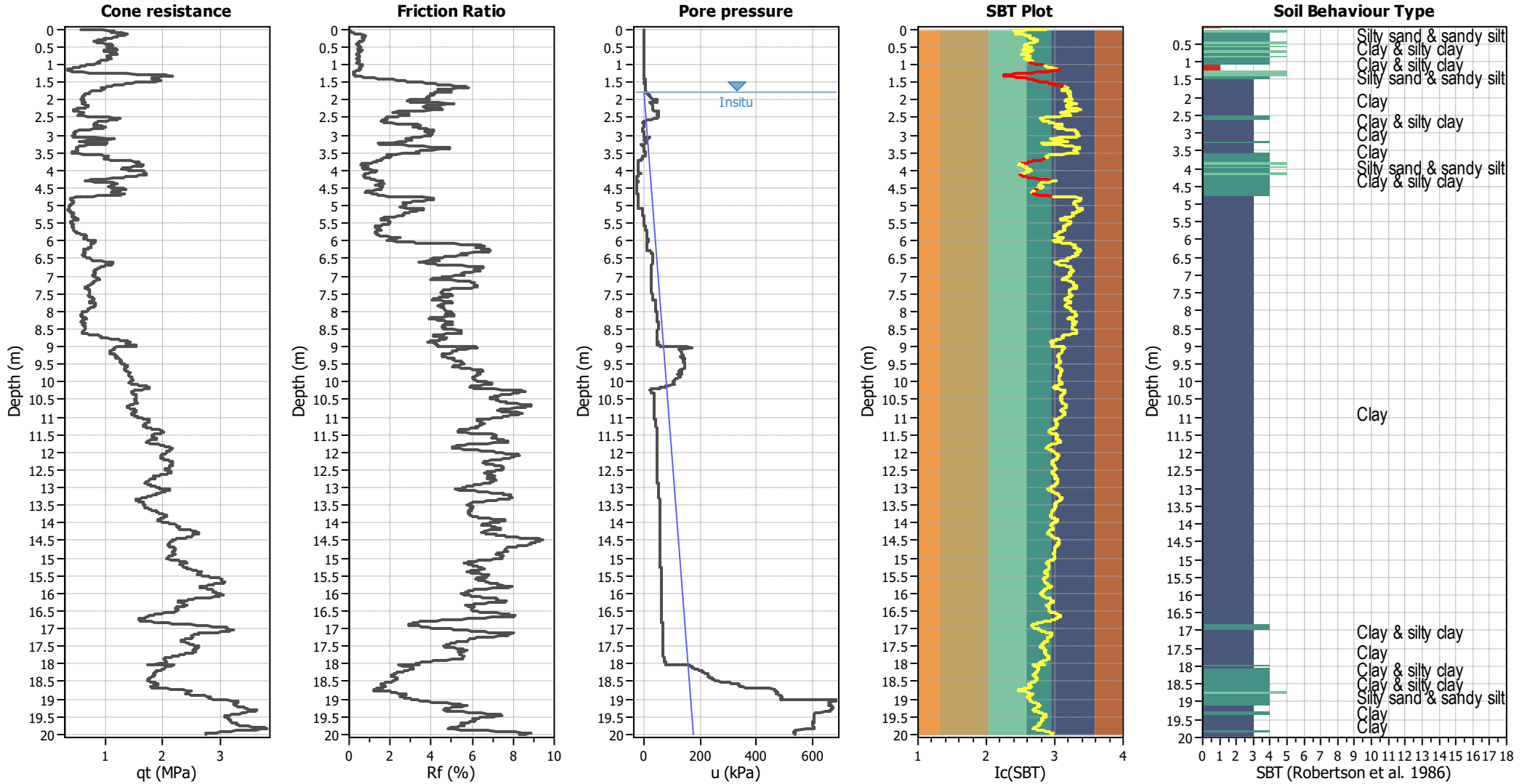
CPT file : SCPTU2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.26	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



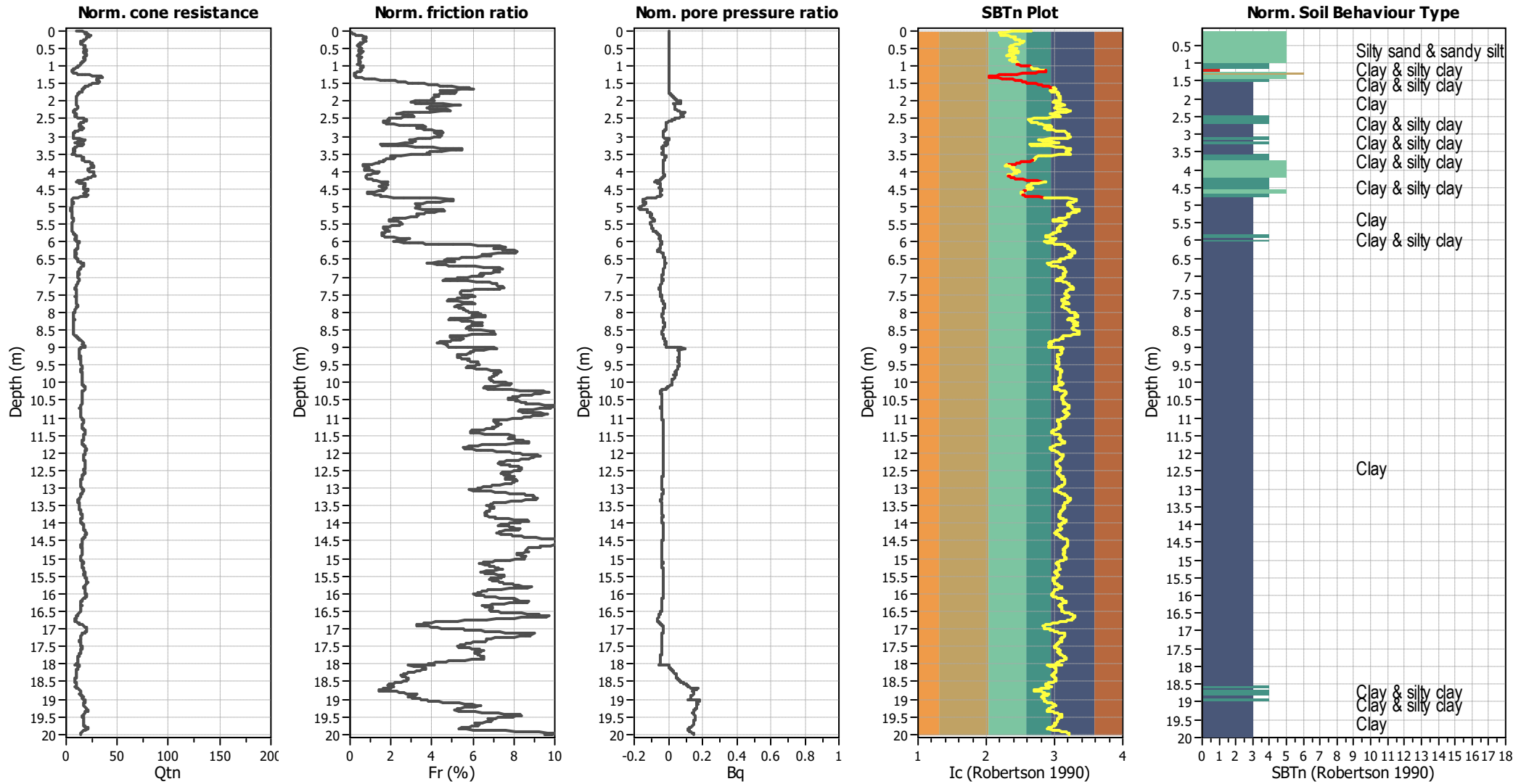
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

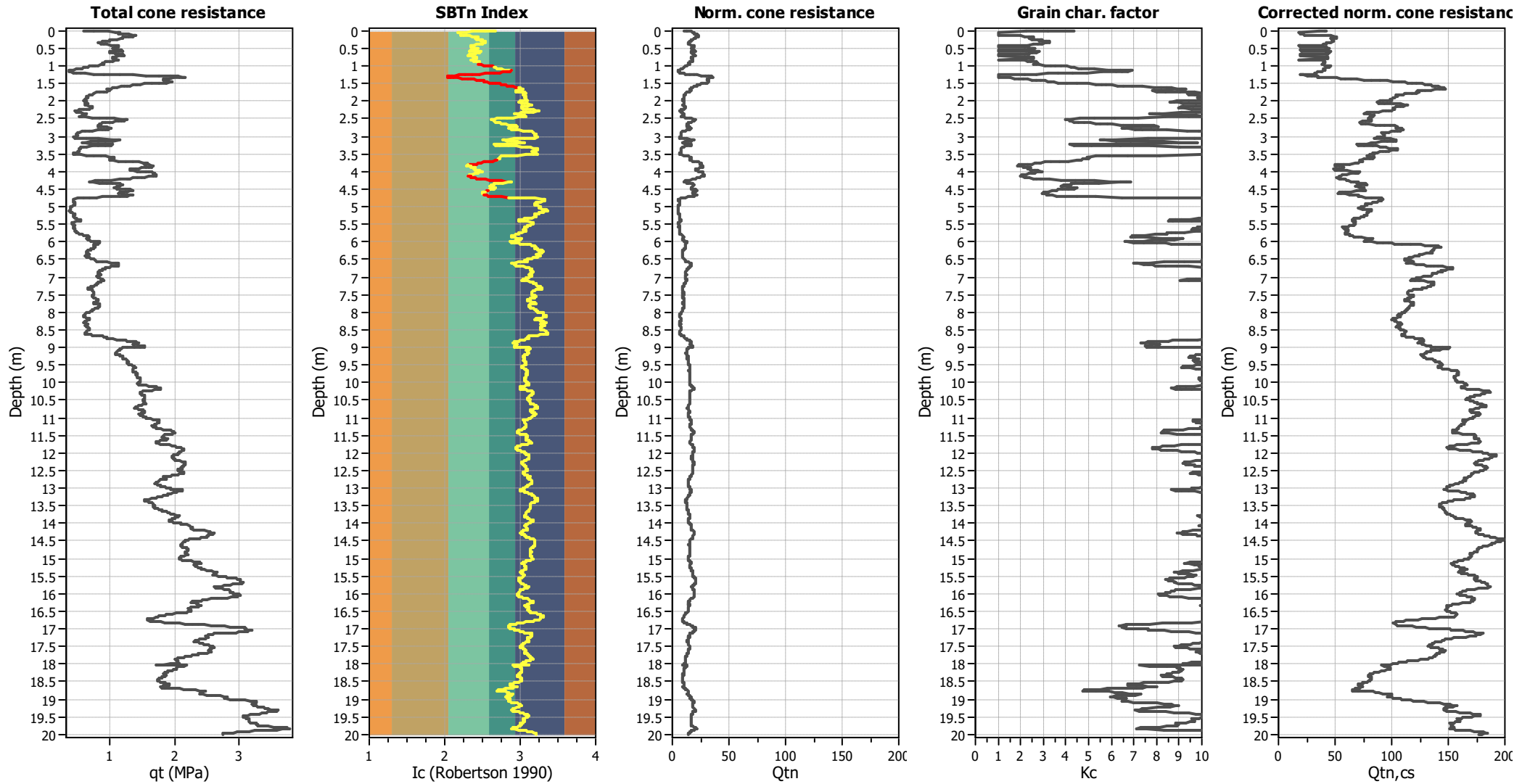
CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

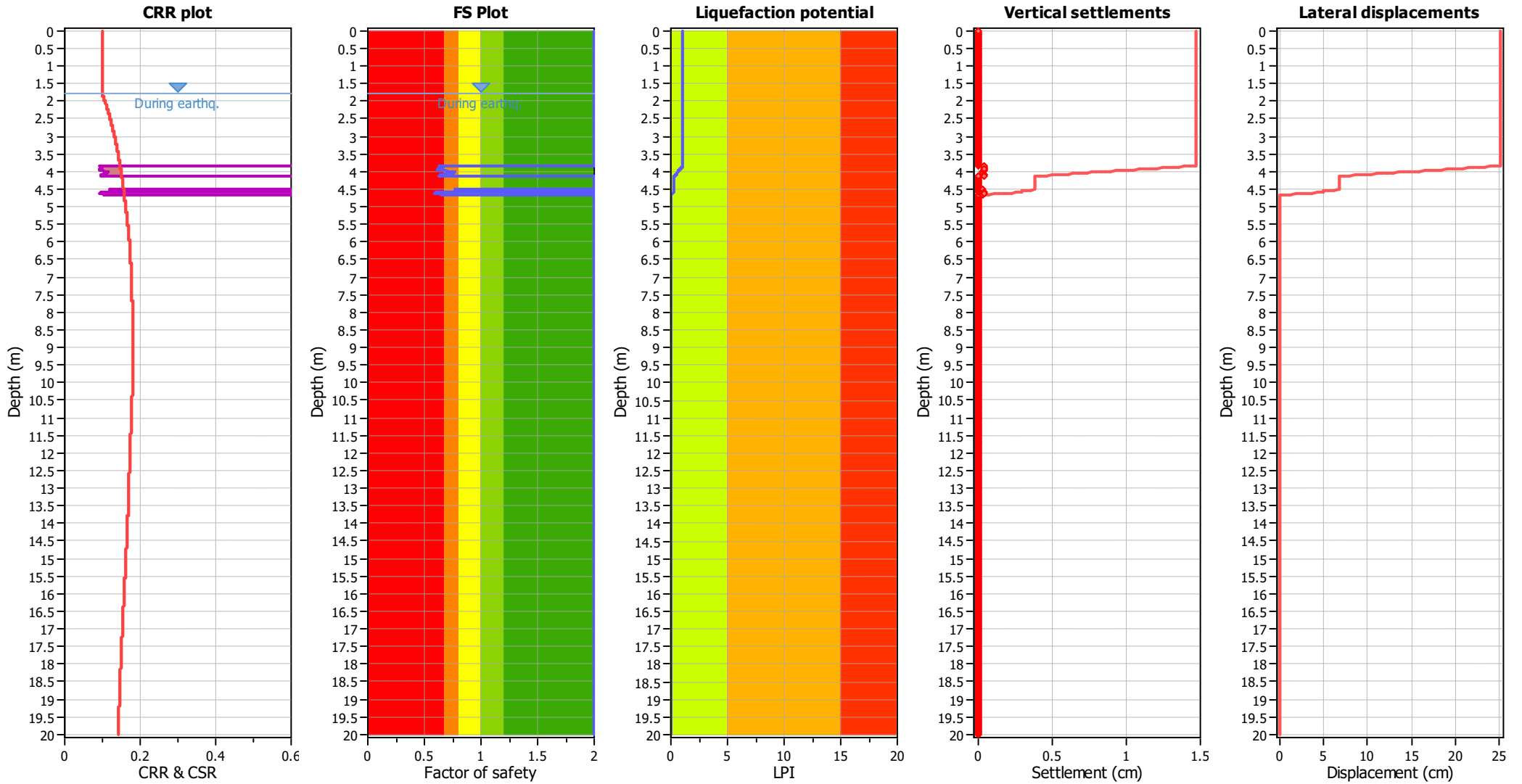
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

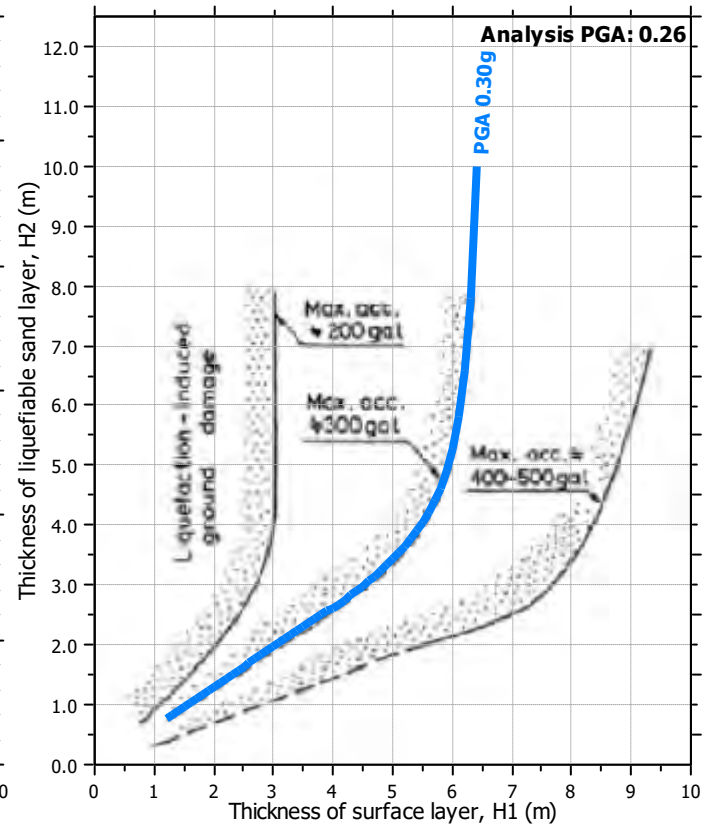
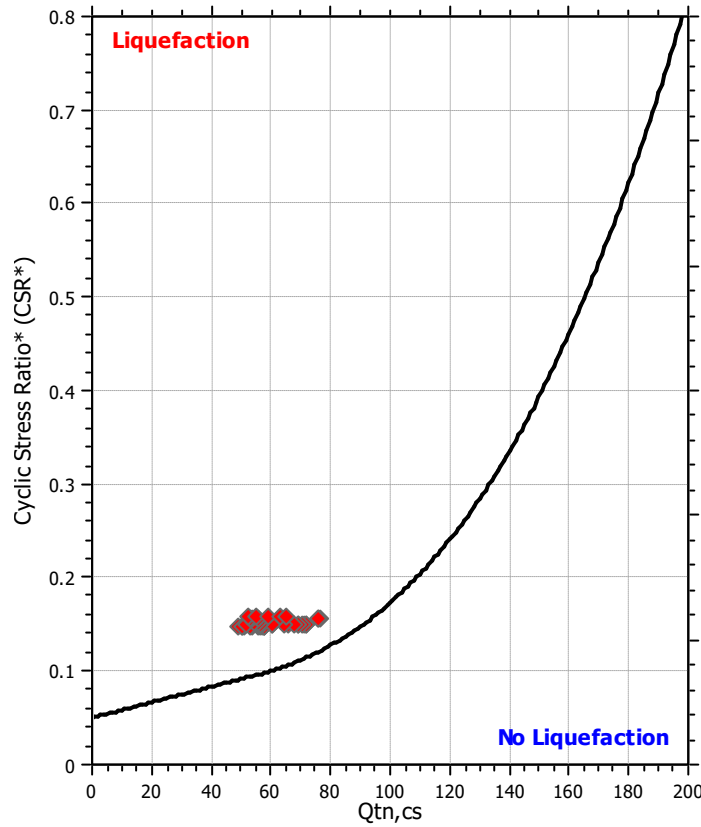
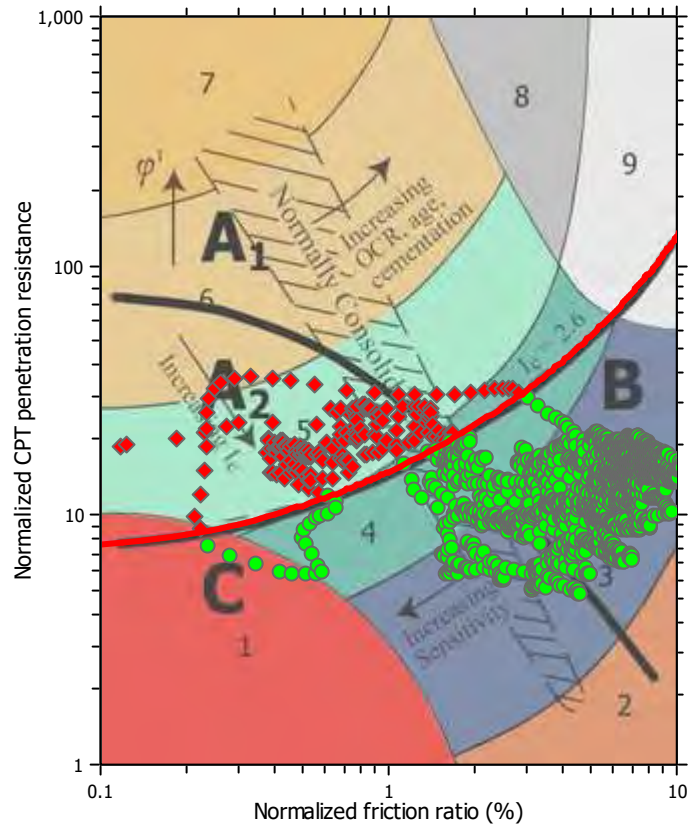
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

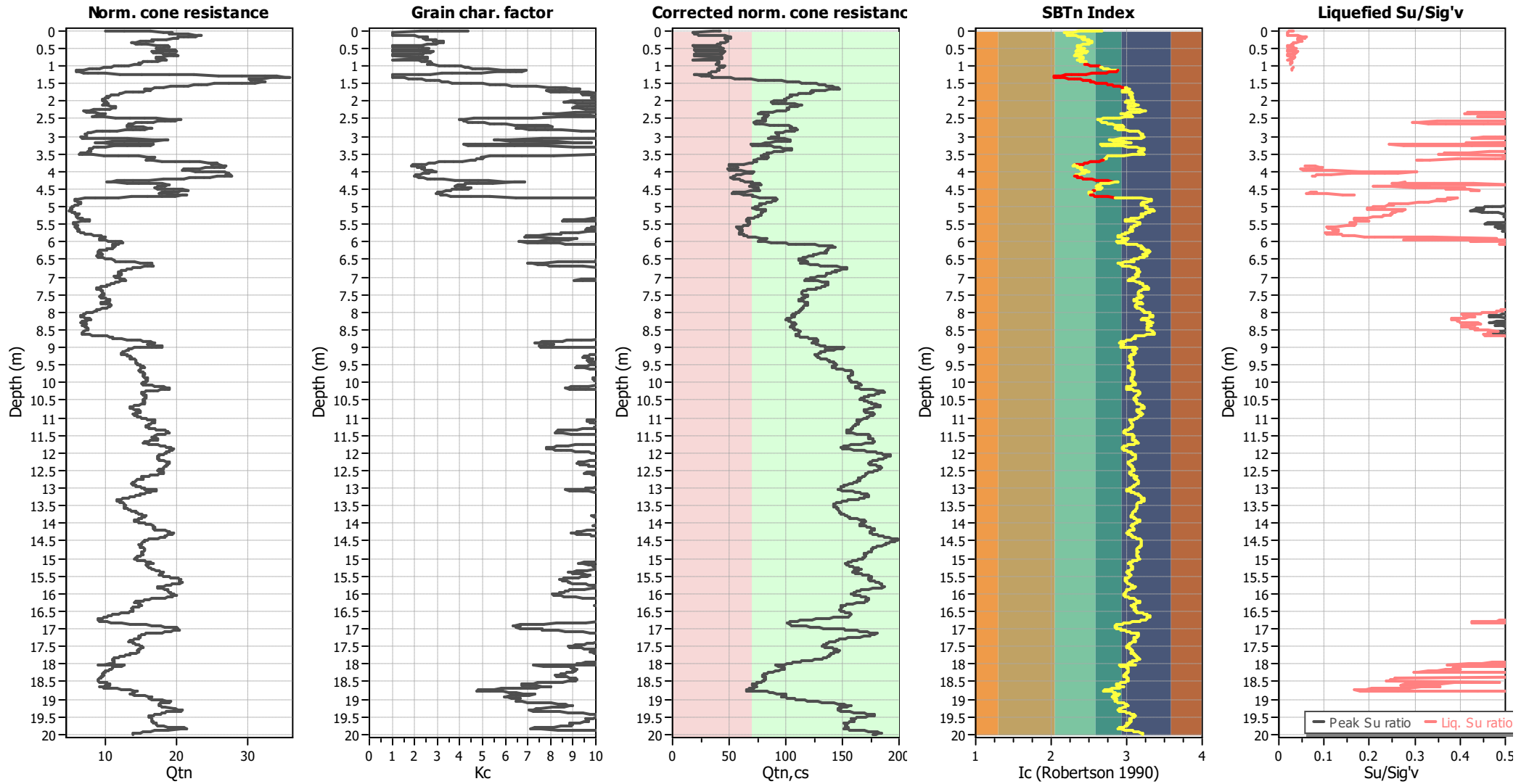
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _v applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

COMUNE DI SAN GIOVANNI IN P.

ALLEGATO 2

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

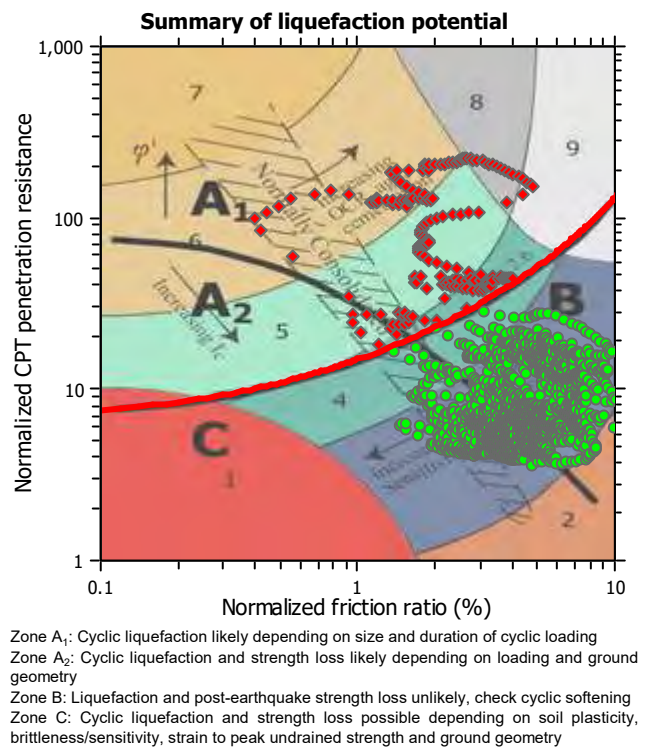
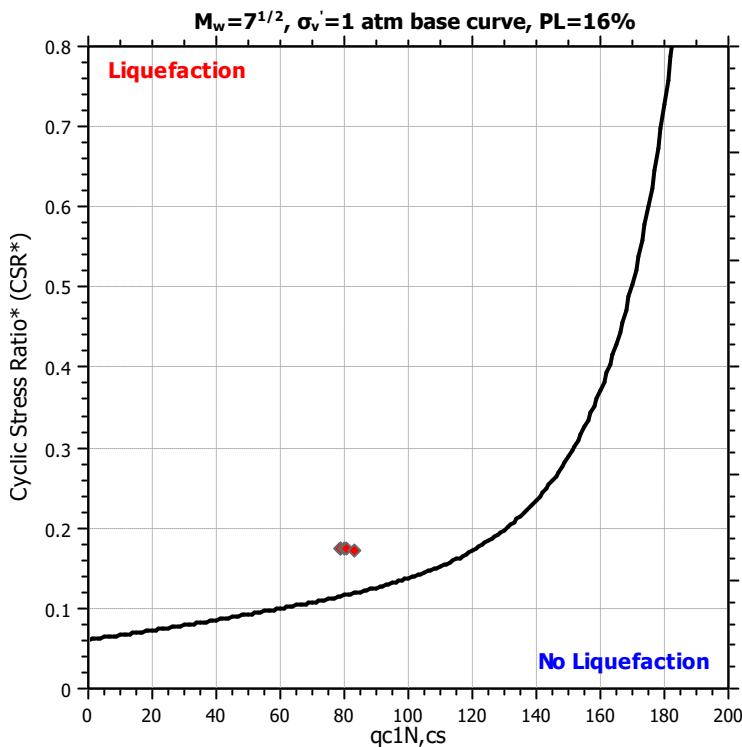
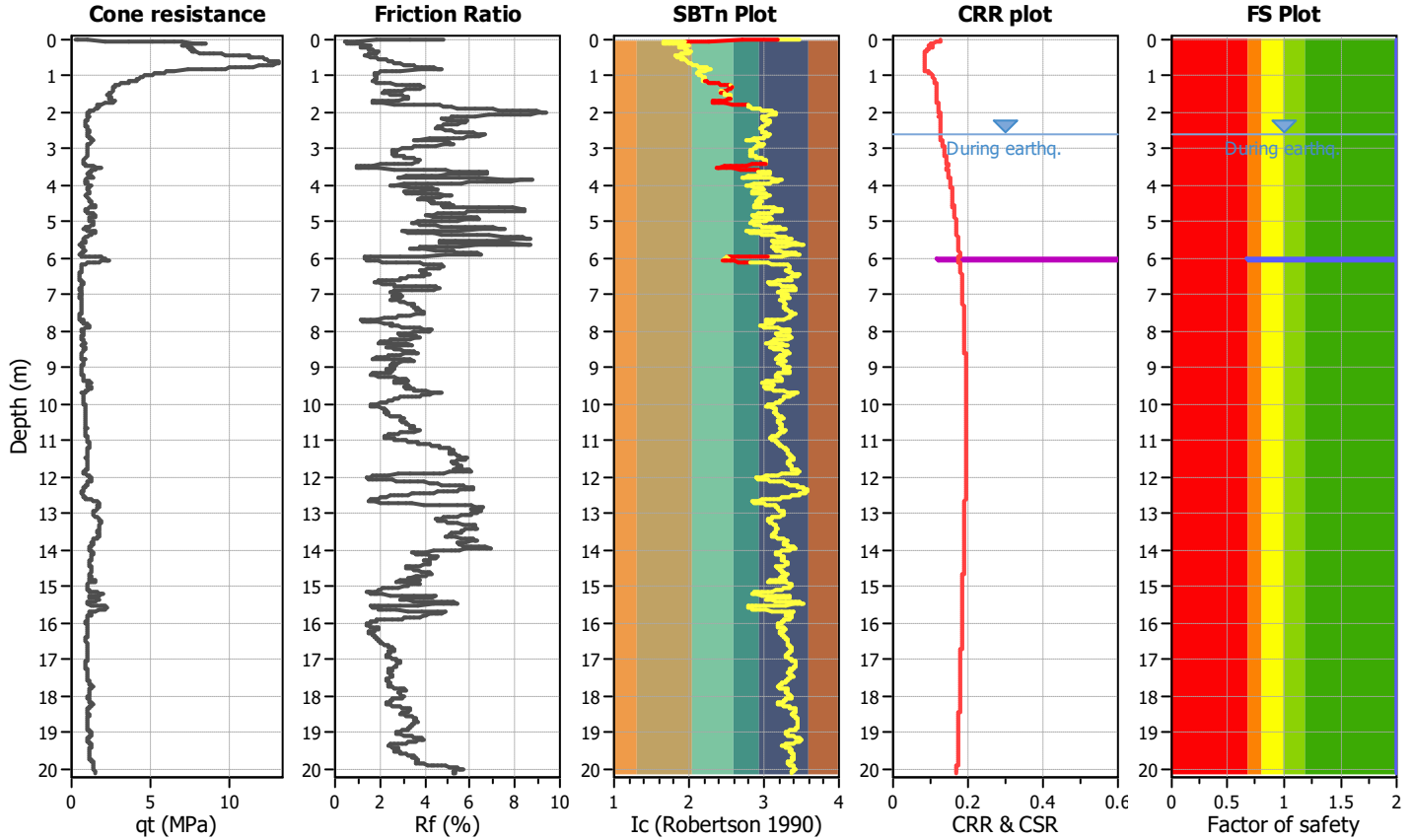
Project title : STUDIO TECNICO

Location : SAN GIOVANNI IN PERSICETO - CICLOVIA DEL SOLE

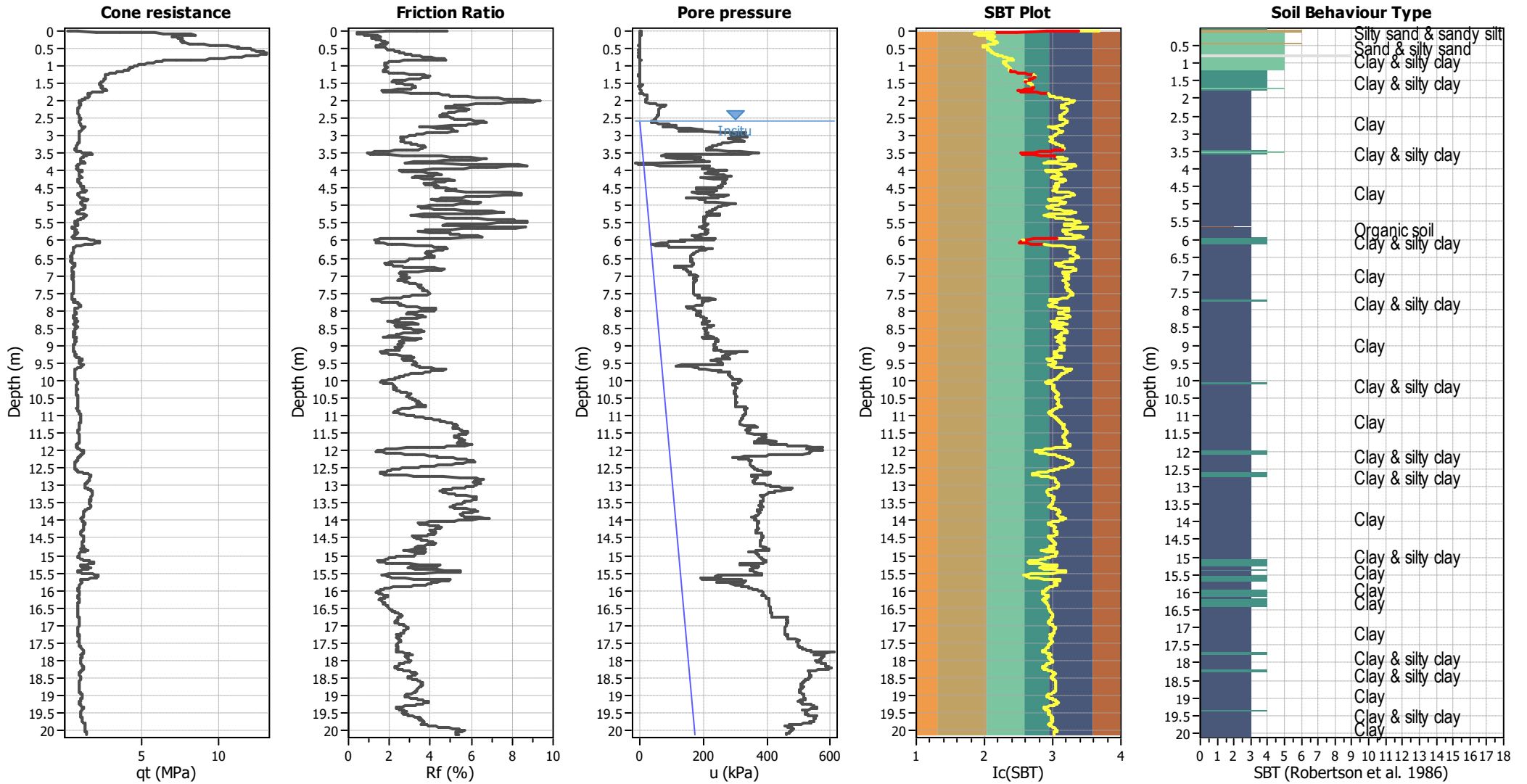
CPT file : CPTU 01

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.60 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



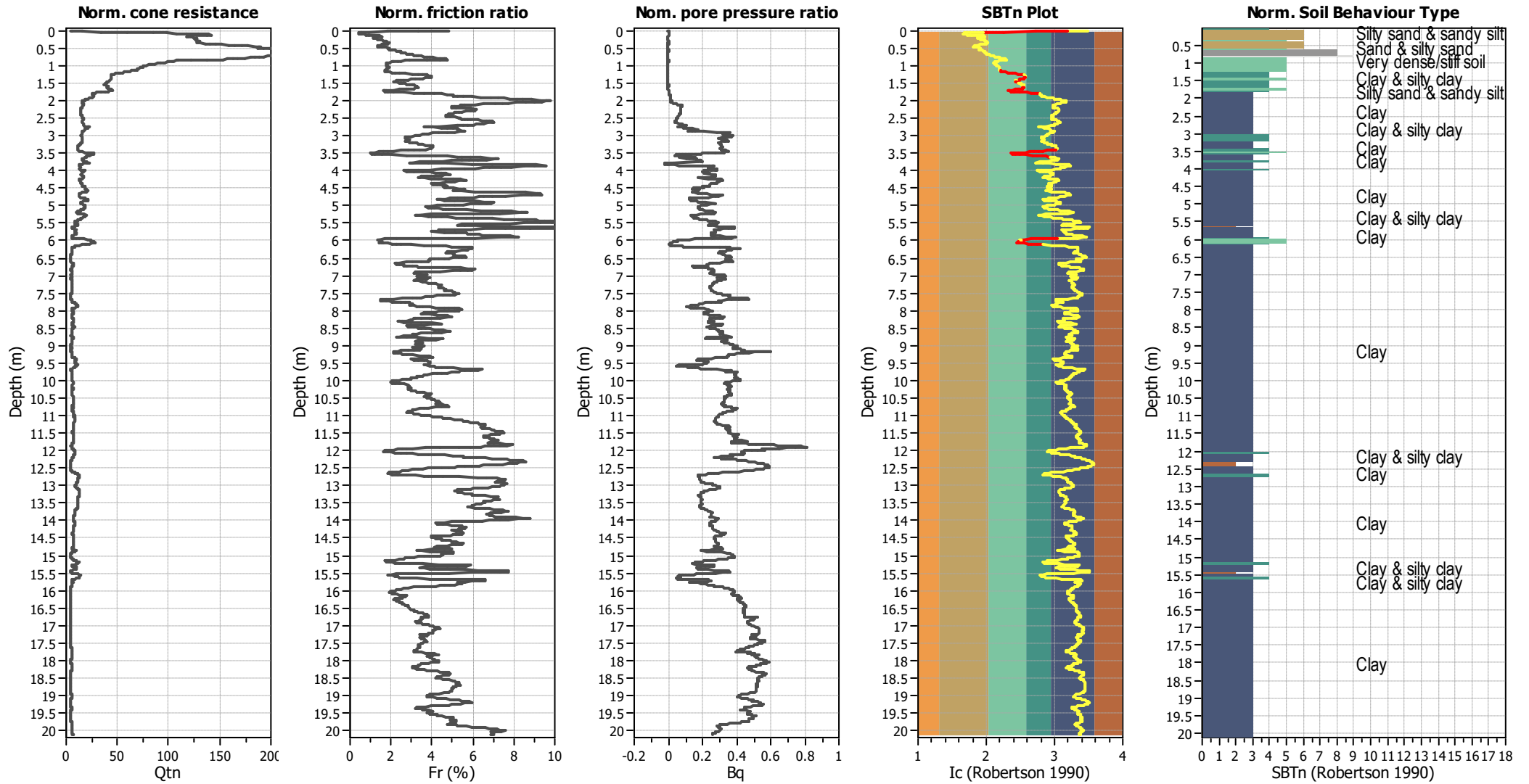
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

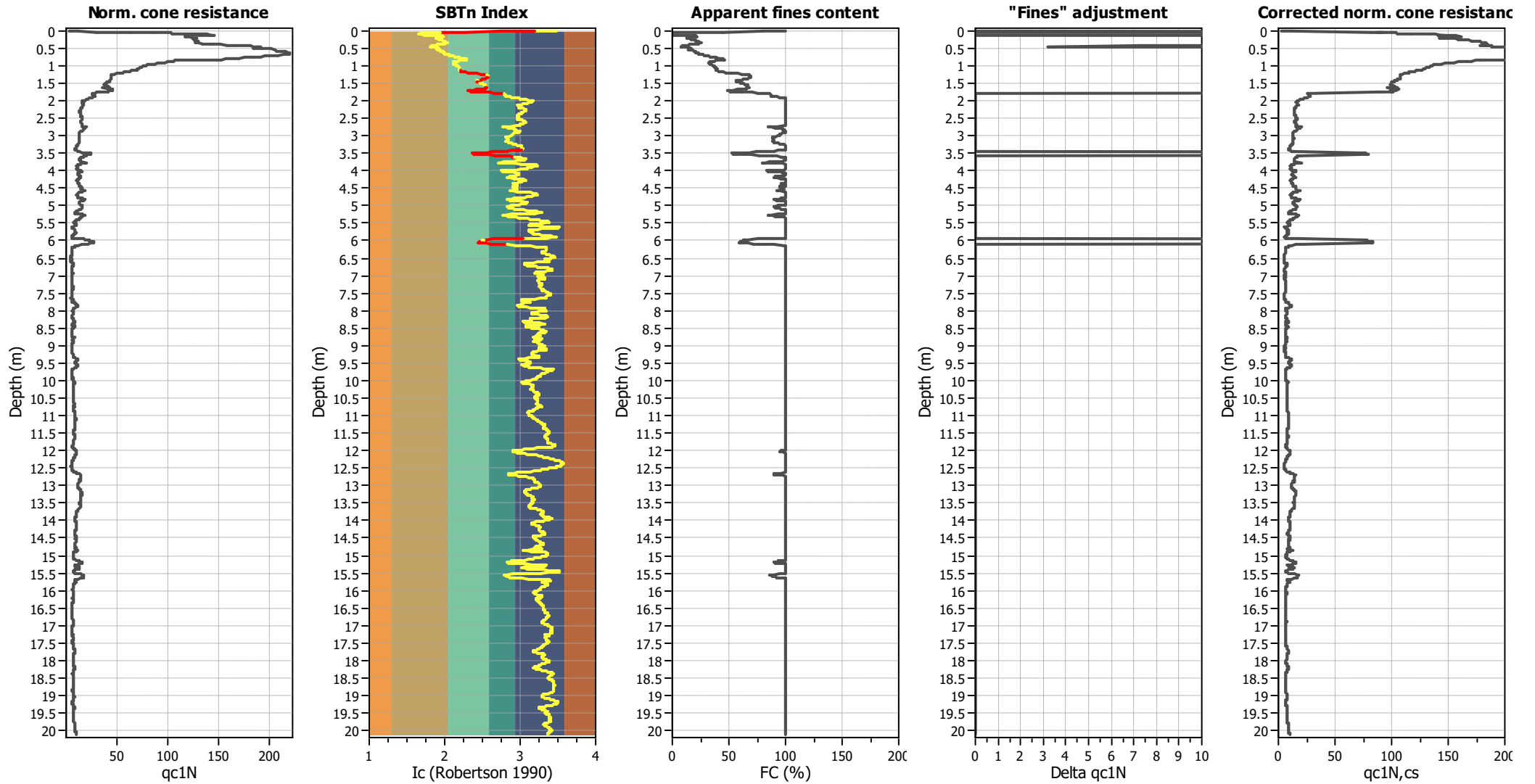
CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

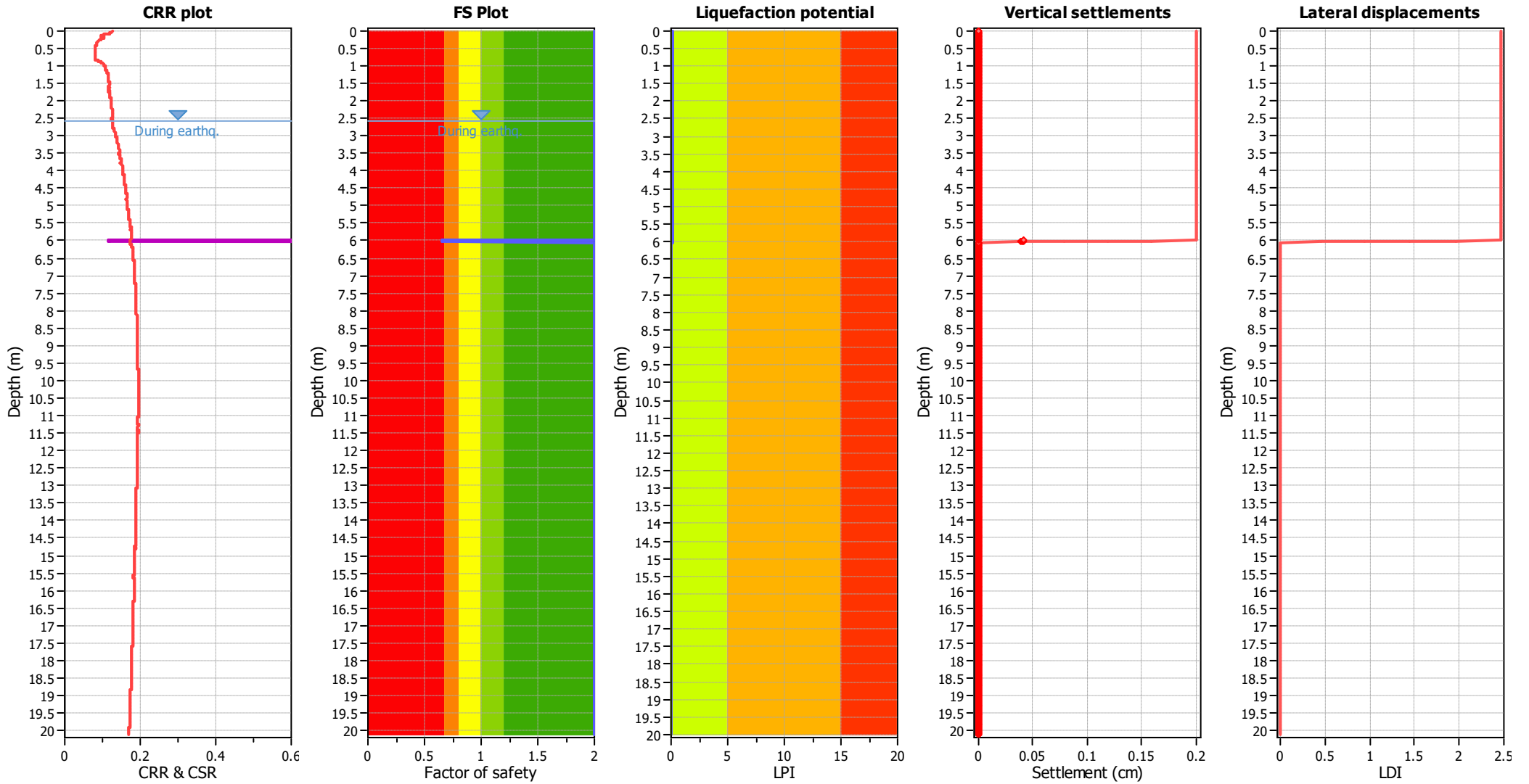
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

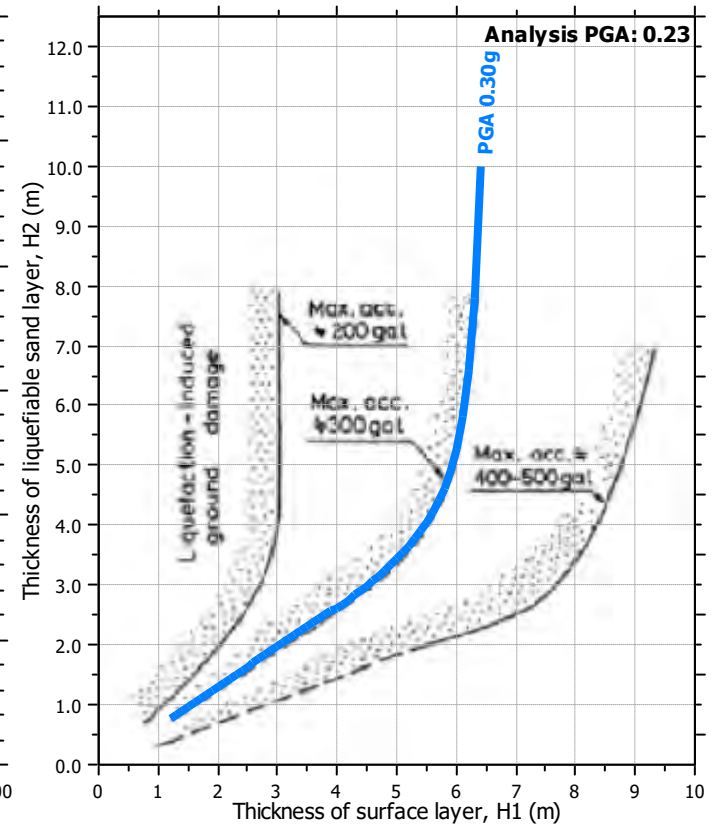
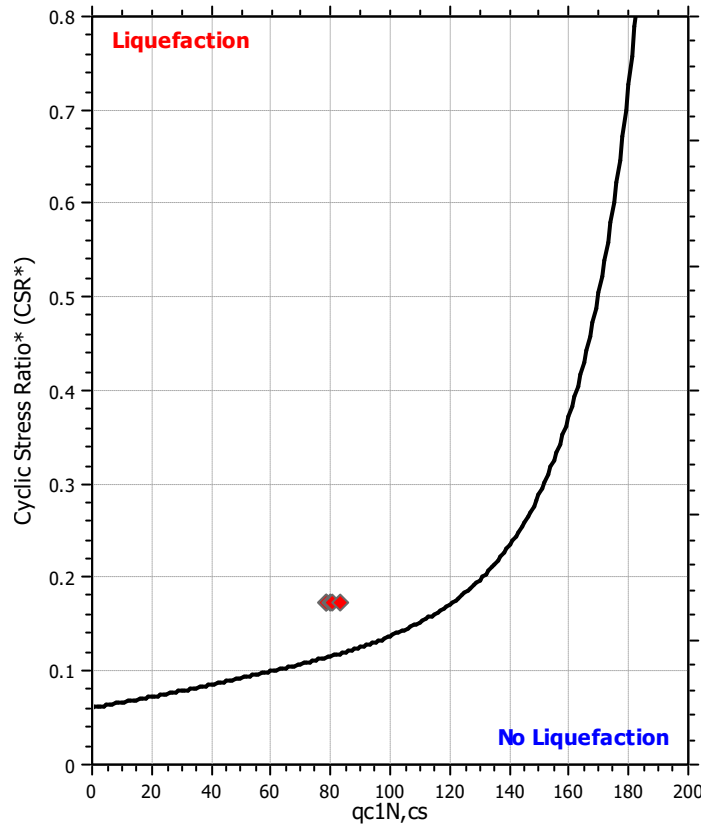
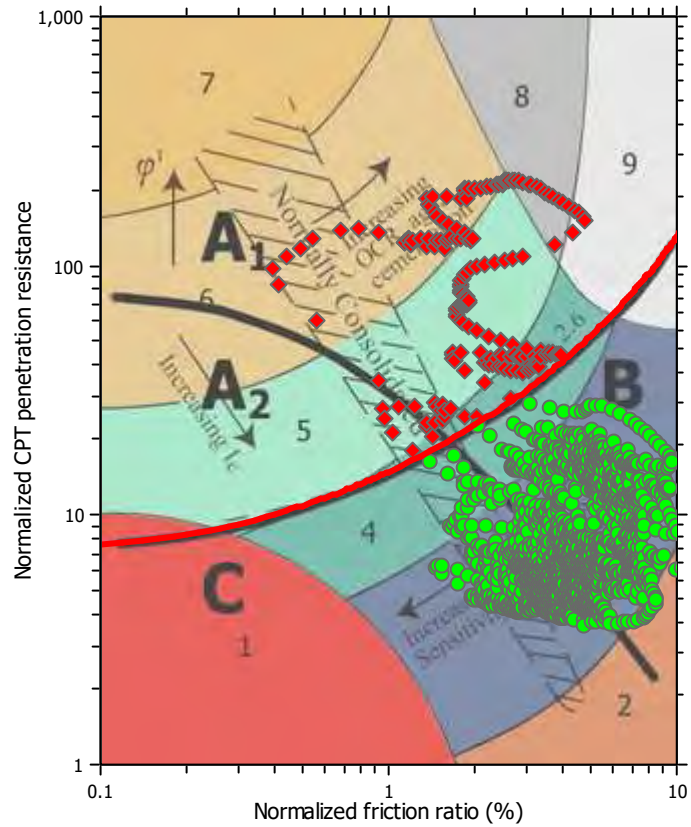
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

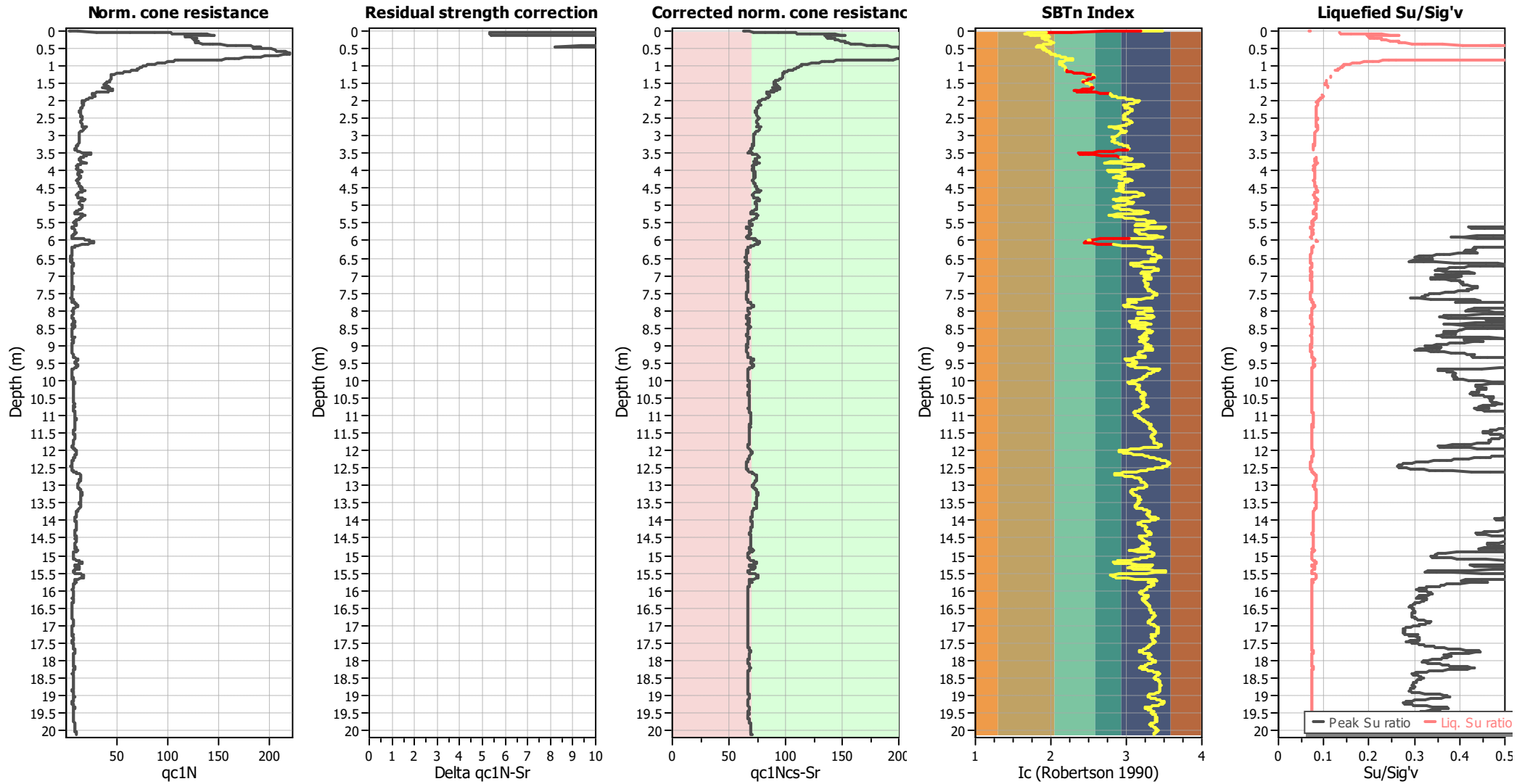
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

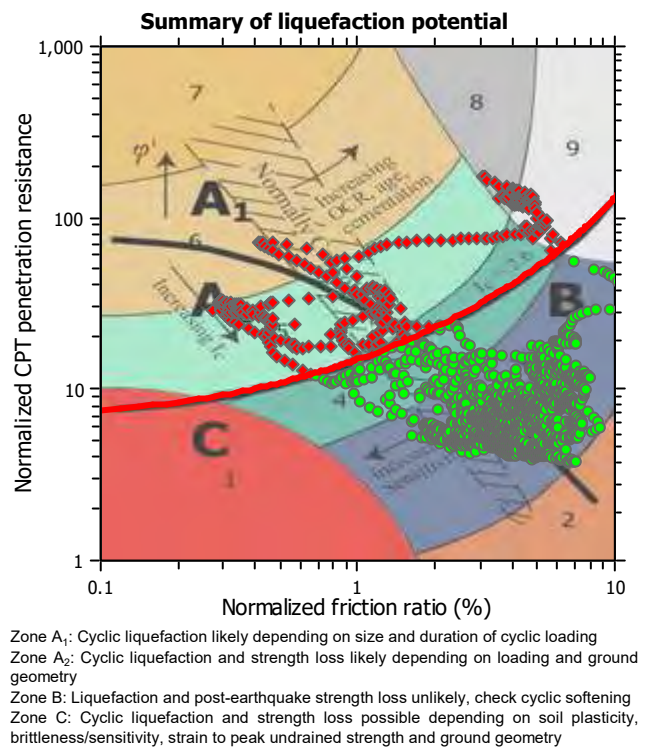
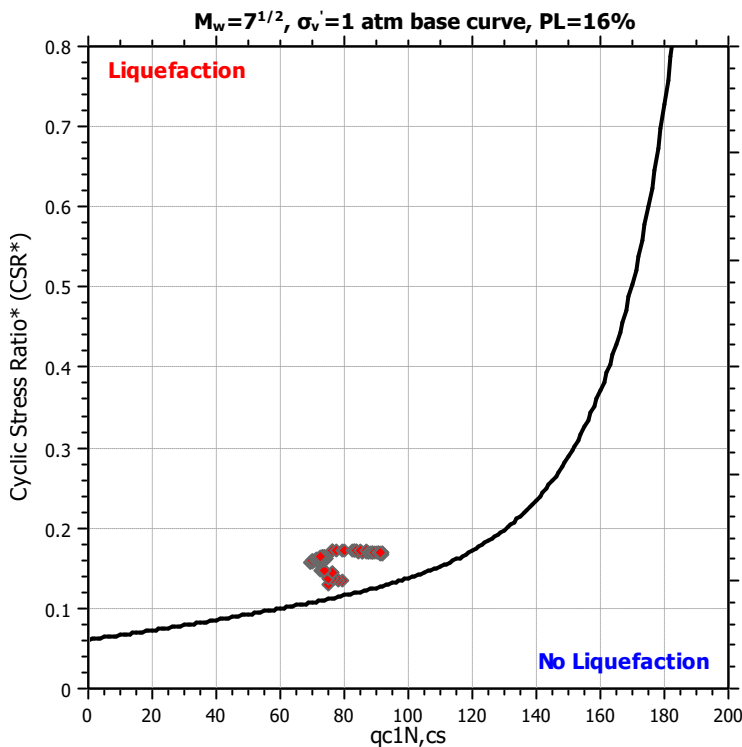
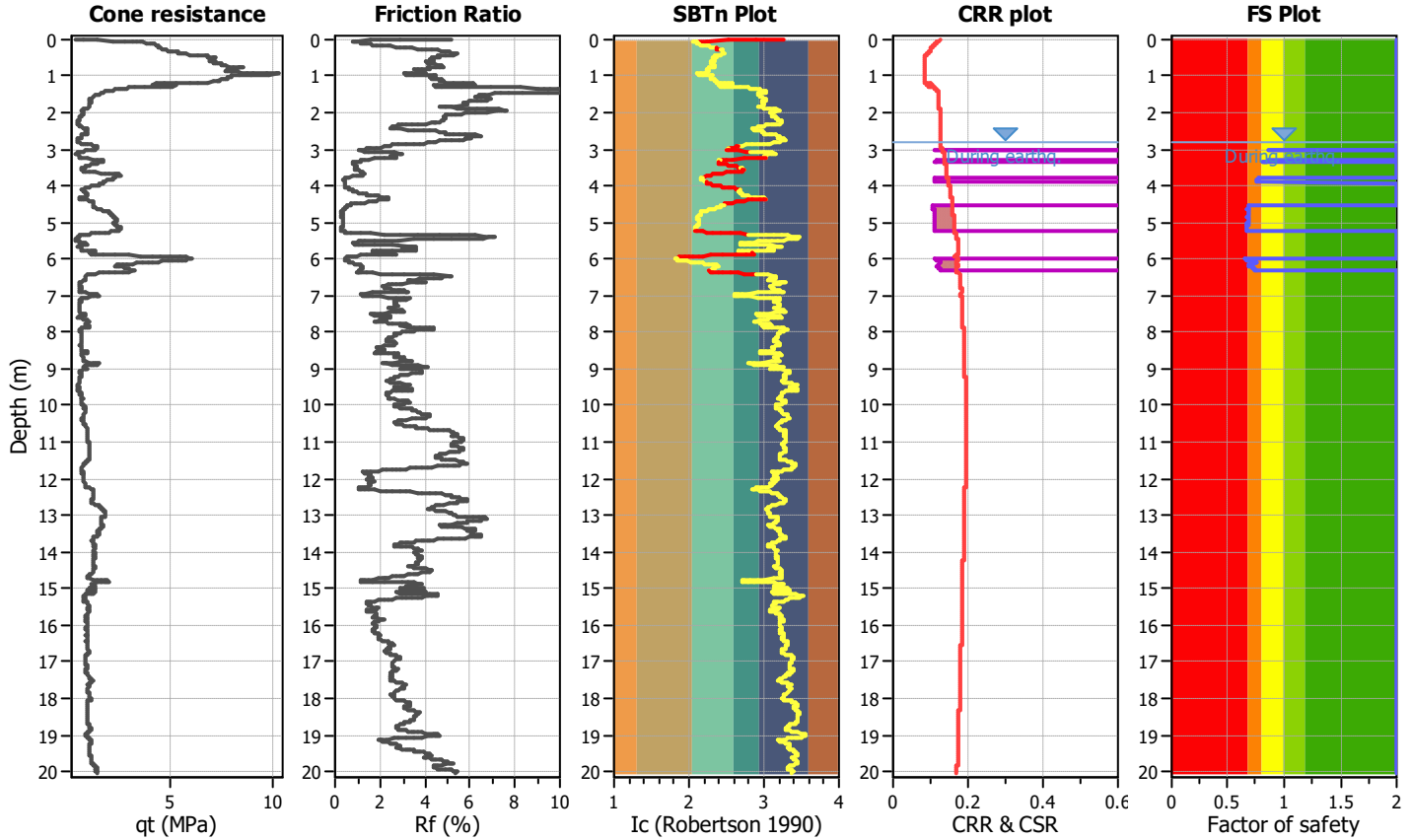
Project title : STUDIO TECNICO

Location : SAN GIOVANNI IN PERSICETO - CICLOVIA DEL SOLE

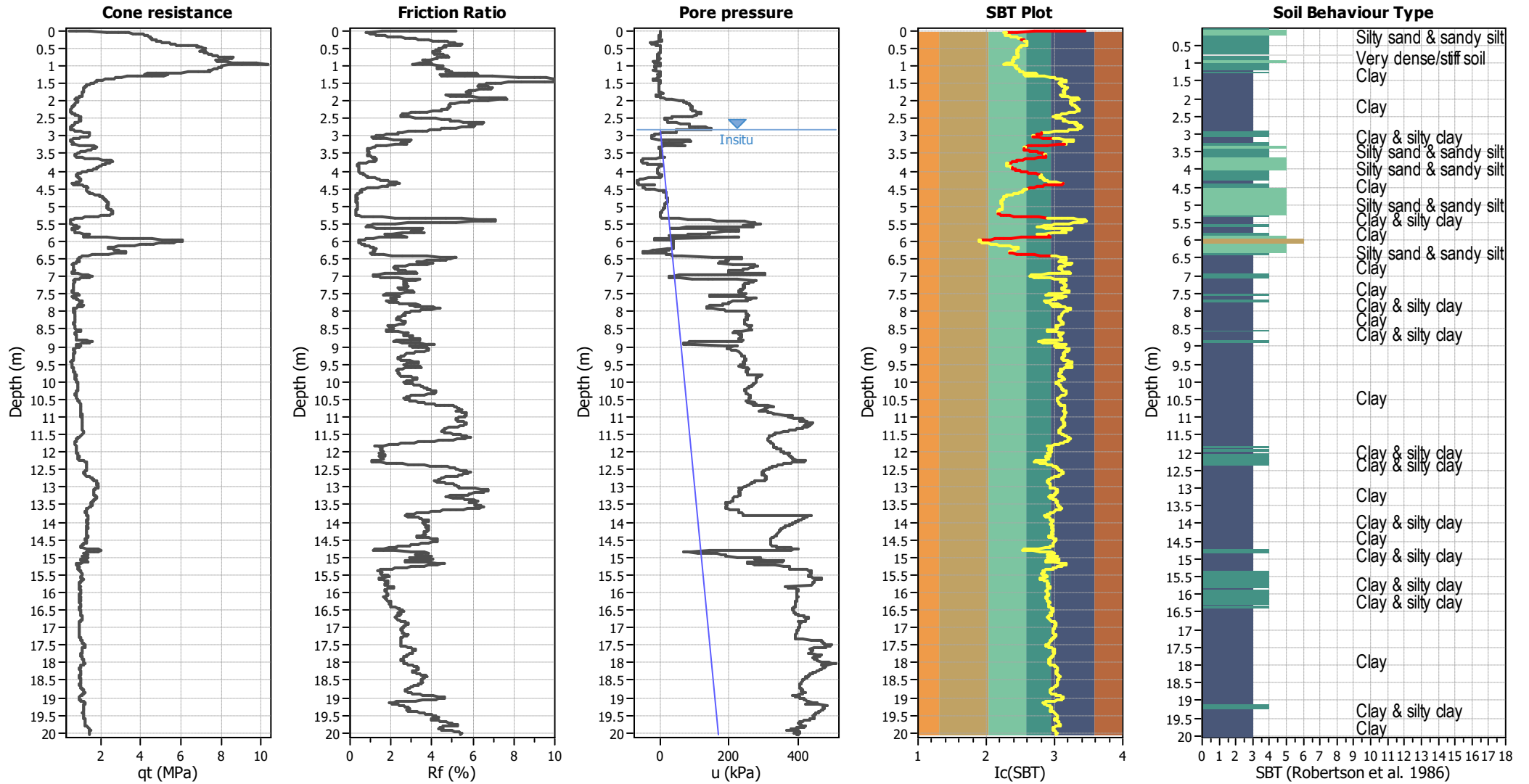
CPT file : CPTU 02

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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



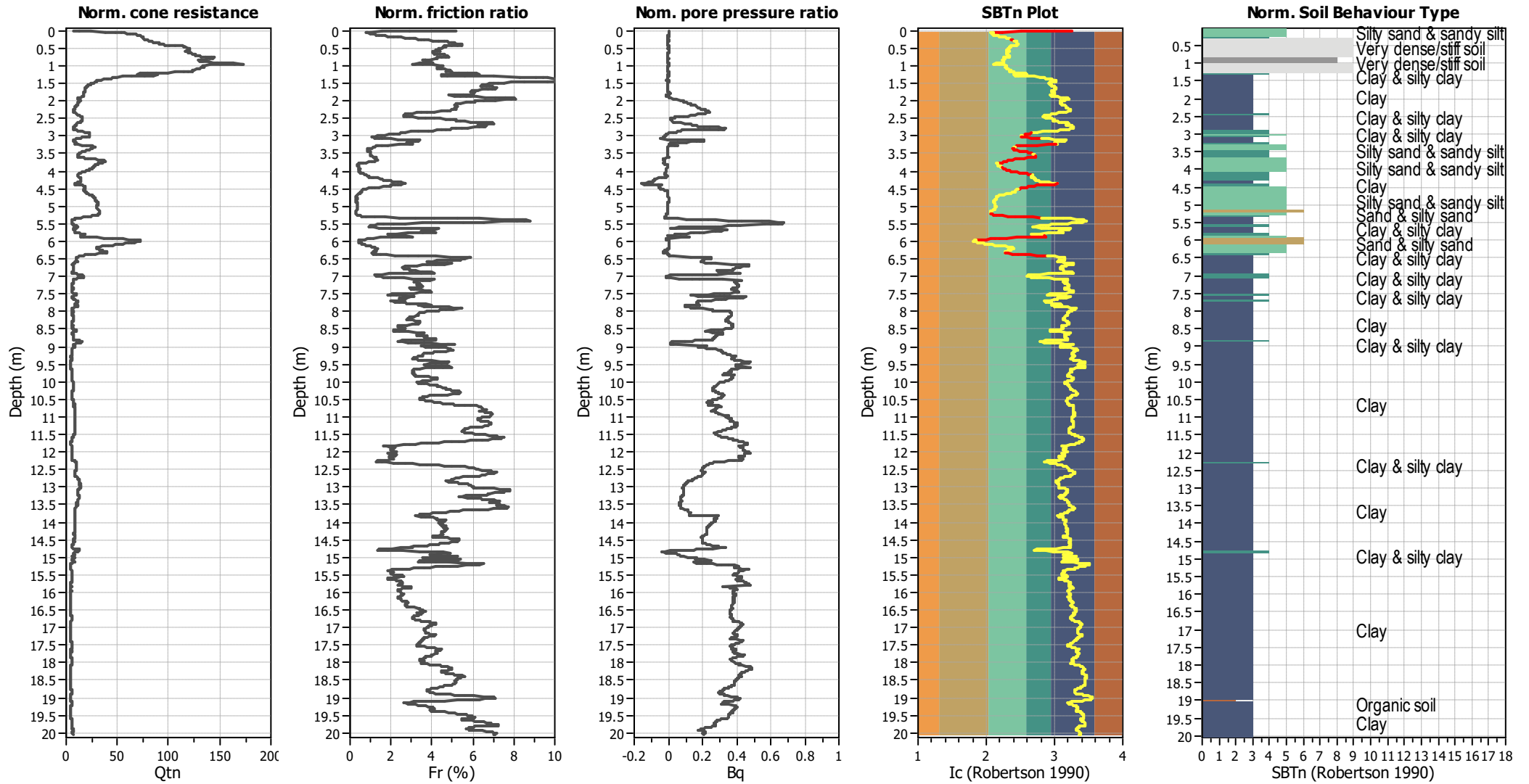
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



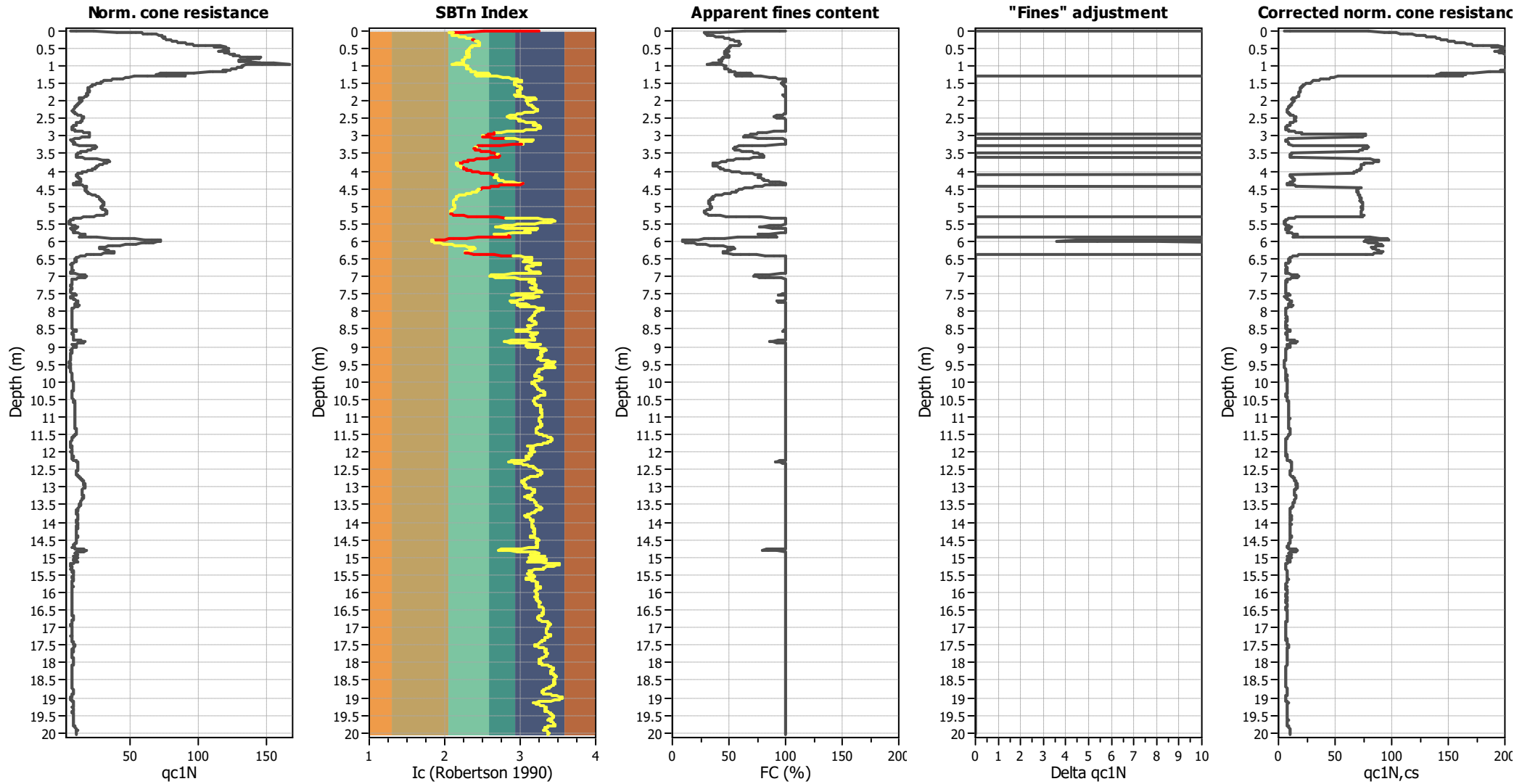
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

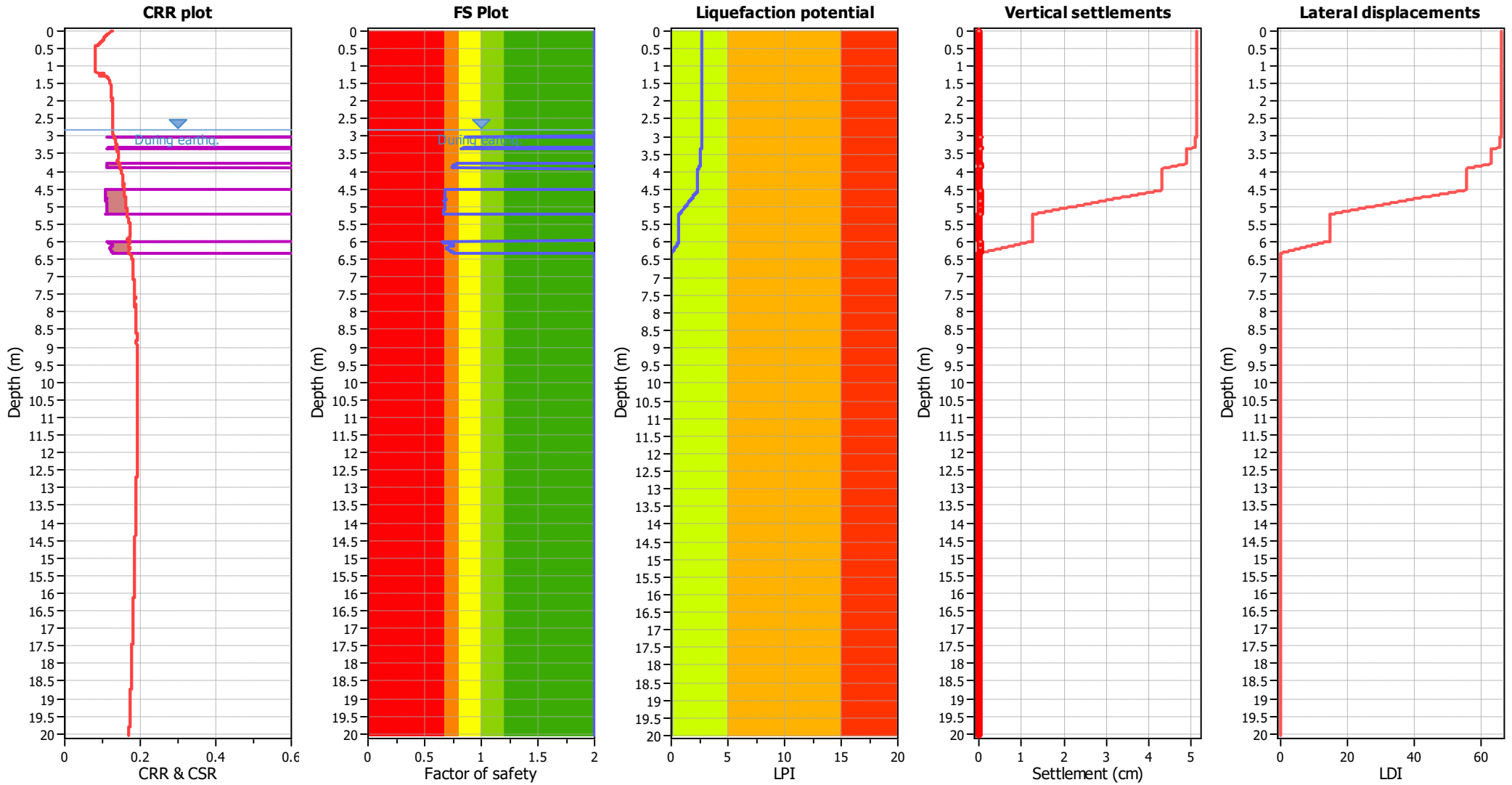
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

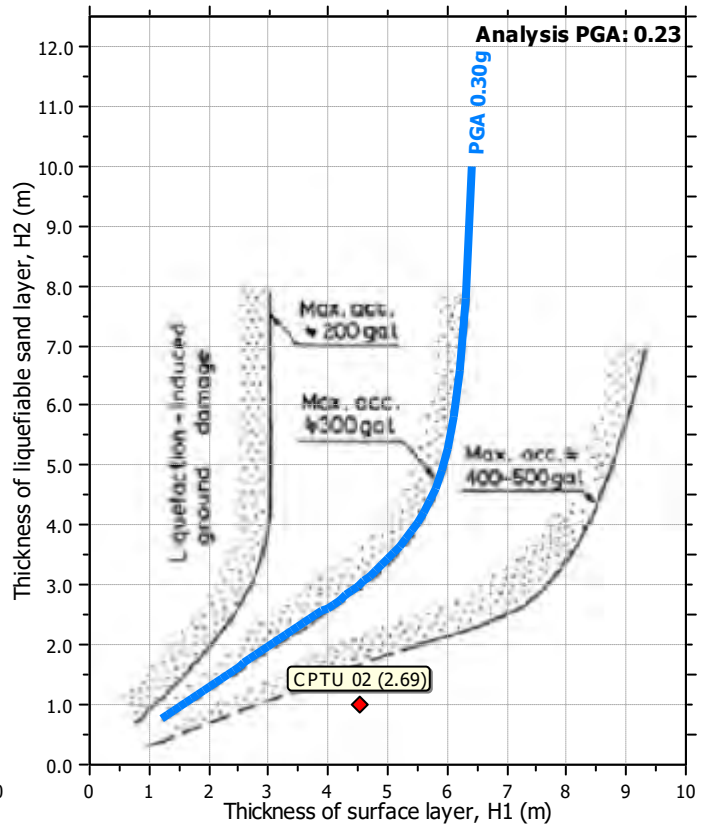
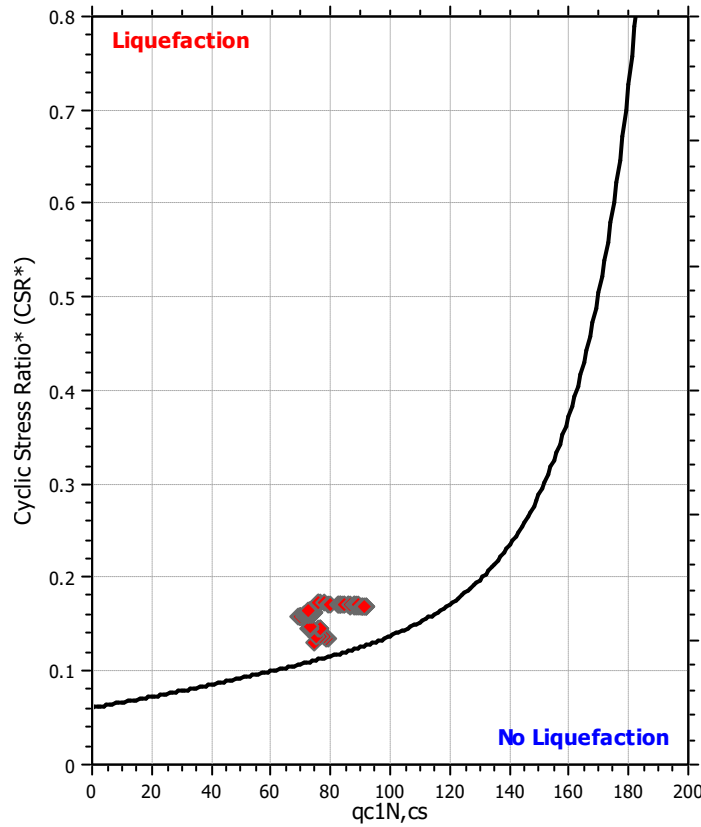
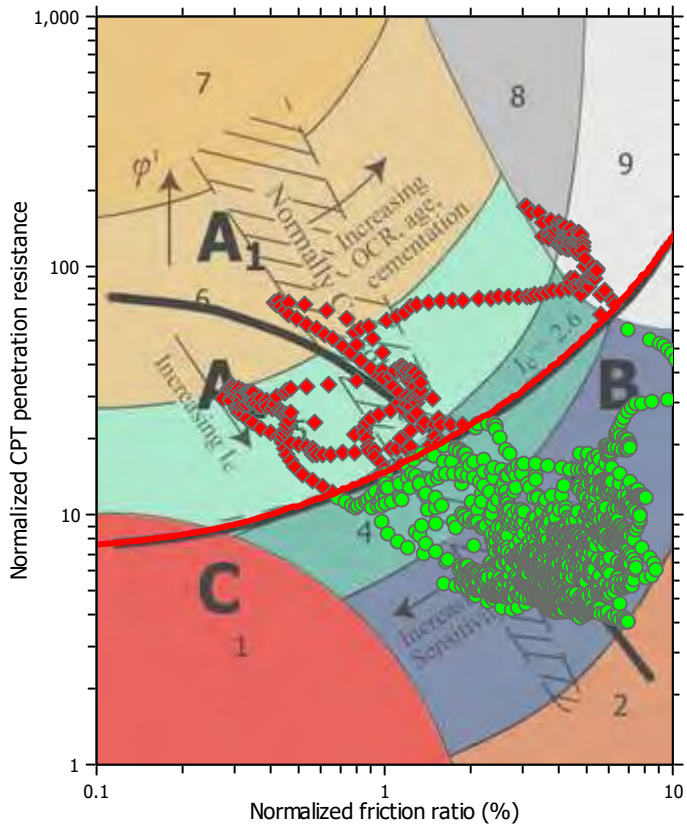
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

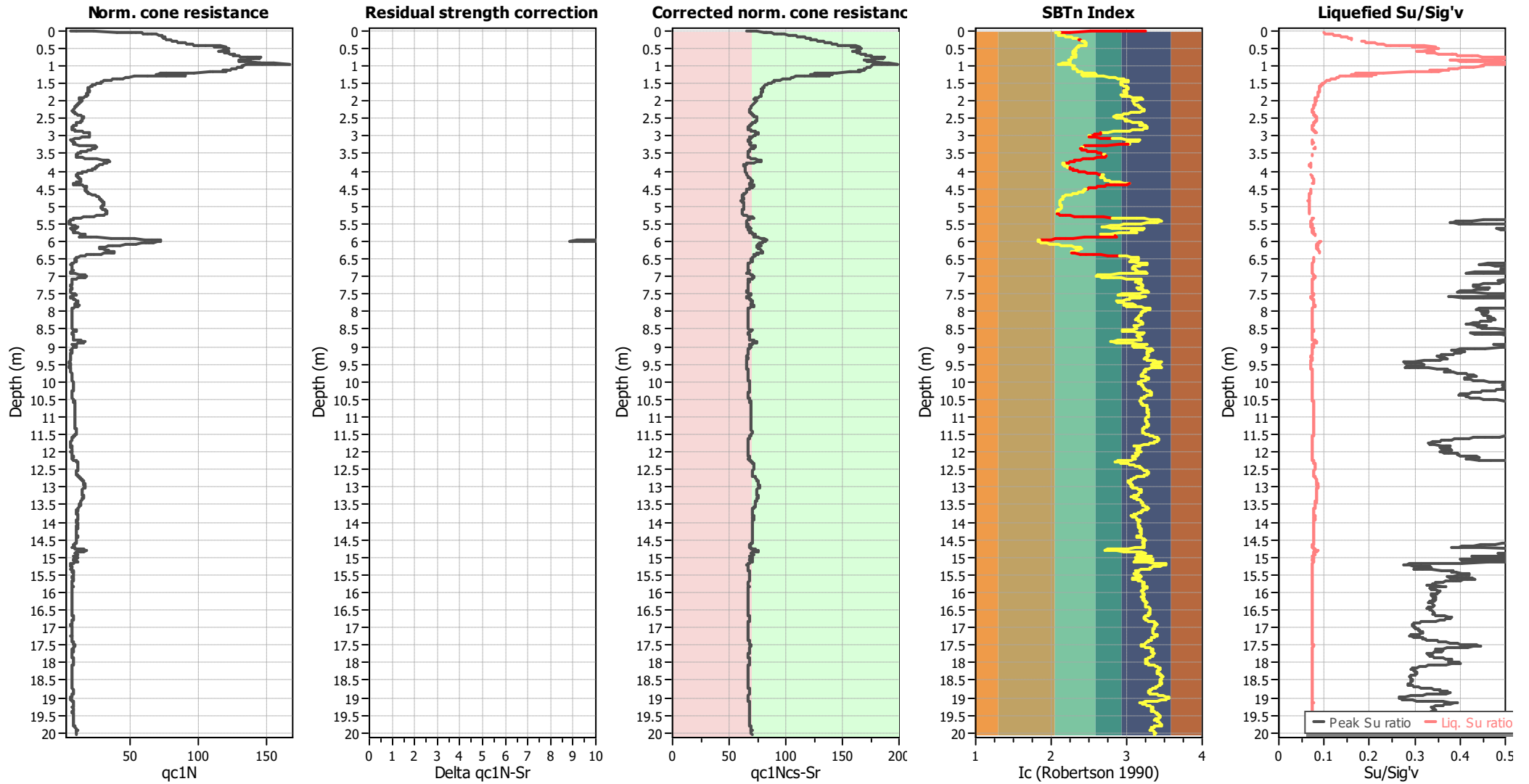
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A