

AREA EDILIZIA E SOSTENIBILITA'

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI ASILO AZIENDALE E SCUOLA MATERNA nel complesso di via Filippo Re - via Filippo Re - Bologna

PROPRIETA' EDIFICIO
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

COD. EDIFICIO NUOVA REALIZZAZIONE	CUP J39H12000630001	TICKET N. 23110
---	-------------------------------	---------------------------

DIRIGENTE AREA EDILIZIA E LOGISTICA
ing. ANDREA BRASCHI

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
arch. CRISTINA TARTARI

PROFESSIONISTI INCARICATI

PROGETTO ARCHITETTONICO	arch. MARIA PANDOLFO
COLLABORATORE PROGETTO ARCHITETTONICO	geom. ALESSANDRO CARAPIA
PROGETTO IMPIANTI MECCANICI	per. ind. ROBERTO RICCI
PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI	per. ind. UBER DEMOLA
PROGETTO OPERE STRUTTURALI	ing. TIZIANO CARLI
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE	ing. TIZIANO CARLI
DIREZIONE LAVORI	arch. MARIA PANDOLFO

LIVELLO DELLA PROGETTAZIONE: PRELIMINARE DEFINITIVO ESECUTIVO AS-BUILT

OGGETTO TAVOLA RELAZIONE SPECIALISTICA GEOLOGICA	SCALA _____	TAVOLA N° DG07_RGEO
	DATA LUGLIO 2018	
	REV. 01 DATA ottobre 2020	



dr. Paolo Dal Pian

geologo

Relazione geologico sismica di risposta sismica locale mediante analisi di III° livello di approfondimento relativa alla realizzazione di un nuovo asilo aziendale - scuola materna e centro per bambini e genitori.

Località:

Comparto universitario di via Filippo Re in Comune di Bologna.

Il committente:

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
AUTC - APSE

Sasso Marconi (BO), 08/10/2020






INDICE

PREMESSA	pag.1
NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	pag.1
INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO	pag.1
INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	pag.5
Ricerche bibliografiche.....	pag.5
Monitoraggio piezometrico.....	pag.6
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	pag.13
Generalità delle indagini geotecniche	pag.13
Quote	pag.17
Prove penetrometriche statiche meccaniche CPT	pag.18
Prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH.....	pag.20
Trattamento statistico dei parametri geotecnici.....	pag.21
Parametri geotecnici di progetto Xd	pag.25
SISMICITÀ	pag.26
Normativa	pag.26
Storia sismica di Bologna.....	pag.27
Liquefazione.....	pag.35
Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi soffici	pag.39
Indagini geofisiche-sismiche in sito.....	pag.40
Categorie di sottosuolo e V_{s30}	pag.44
Amplificazione stratigrafica	pag.45
Condizioni topografiche	pag.46
Amplificazione topografica.....	pag.46
Determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici.....	pag.47
Periodo di vibrazione	pag.48
Risposta sismica locale mediante analisi di III° livello di approfondimento	pag.50
ALLEGATI	
Estratto carta tecnica regionale 220NE – 220SE – 221NO – 221SO 1:25.000.....	fig.1
Estratto carta tecnica regionale 221053 - 221094 1:5000	fig.2
Carta geomorfologica del territorio di pianura del Comune di Bologna (A. Bergonzoni e C. Elmi) 1:25.000	fig.3
Sezione geologica n.31 del servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.....	fig.4
Sezione geologica n.47 del servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.....	fig.5
Planimetria generale di progetto 1:500	fig.6
Sezione geotecnica litostratigrafica A - B 1:100.....	fig.7
Sezione geotecnica litostratigrafica A - B 1:100.....	fig.8



Sezione geotecnica litostratigrafica C - D 1:100.....	fig.9
Sezione geotecnica litostratigrafica C - D 1:100.....	fig.10
Sezione geotecnica litostratigrafica E - F 1:100	fig.11
Tabelle e grafici penetrometrici CPT1-2-3-4-5-6-7-8 e DPSH1	
Comparazione prove penetrometriche statiche meccaniche CPT1-2-3-4-5-6	
Comparazione prove penetrometriche statiche meccaniche CPT3-4	
Comparazione prove penetrometriche statiche meccaniche CPT5-6	
Comparazione prove penetrometriche statiche meccaniche CPT7-8	
Stratigrafia del pozzo per acqua 221DP629	
Stratigrafia del pozzo per acqua 221DP694	
Report Liquefaction Potential Index	
Stima Liquefaction Potential Index	
Relazione ed indagini geofisiche sismiche - GEOTEA – 08/10/2020	
Relazione sismica di risposta sismica locale mediante analisi di III° livello di approfondimento – GEOTEA – 08/10/2020	



PREMESSA

La presente relazione geologico sismica di risposta sismica locale mediante analisi di III° livello di approfondimento è stata condotta su incarico dell'ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA - AUTC – APSE ed integrerà la precedente relazione geologica del 03/10/2012, redatta dallo scrivente, relativa alla realizzazione di un nuovo asilo aziendale - scuola materna e centro per bambini e genitori siti nel Comparto universitario di via Filippo Re in Comune di Bologna, vedi fig.1-2 in allegato.

In fig.4 si riporta la planimetria generale di progetto.

I dati geofisici riportati nella relazione della GEOTEA del Settembre 2012, allegata alla relazione geologica dello scrivente del 03/10/2012, sono stati reinterpretati alla luce delle informazioni aggiuntive derivate da sezioni geologiche profonde, in particolare dalla sezione n.31 di fig.4, in modo tale da ottenere un modello sismico del sottosuolo il più possibile conforme alla reale stratigrafia del sito.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto Ministeriale 17.01.2018

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Circolare applicativa dell'Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali . UNI.

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI.

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI.

Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale.

Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico.

Deliberazione della Giunta Regionale n.630/2019 Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt.22 e 49, L.R . n. 24/2017).

Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

Gli interventi in progetto sono posti alla quota di 48.5÷49.0m s.l.m. e fanno parte di un territorio di medio-alta pianura densamente antropizzato, all'interno ed a ridosso della cinta muraria più esterna del centro urbano di Bologna.

Morfologicamente il centro di Bologna è contraddistinto da una superficie dolcemente degradante verso Nord, Nordest e Nordovest, attribuibile ad antichi processi deposizionali olocenici del conoide del torrente Aposa, vedi fig.3 in allegato.

La pendenza in corrispondenza del sito in oggetto è:

- dislivello $\Delta H = 2.5\text{m}$;
- lunghezza $\Delta L = 350\text{m}$;
- pendenza $i = 0.4^\circ = 0.7\%$ verso Nord.



L'area si localizza di poco a valle dell'unghia del conoide del torrente Aposa, in prossimità (350m) dell'alveo fluviale estinto e mal conservato riferibile al torrente Savena. Il corso fluviale estinto (paleoalveo) del t. Savena fu probabilmente attivo sin dall'età romana fino al 1776, quando fu sottoposto ad una deviazione fluviale antropica che lo fece confluire nel t. Idice 2.7km a Nordest di San Lazzaro di Savena.

I depositi alluvionali più superficiali sono ascrivibili al Subsistema di Ravenna - AES8 del Pleistocene sup. - Olocene (14ka - attuale; datazione 14C), facente parte della Successione neogenico-quadernaria continentale. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale si rinvennero ghiaie, sabbie, limi ed argille.

Il limite superiore è dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, con spessore dell'alterazione da 0.5 ad 1.5m, contenenti frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Il limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti.

Lo spessore massimo in pianura è di 25 metri circa.

Le indagini geotecniche condotte (penetrometrie statiche meccaniche CPT) hanno evidenziato fino a 20m di profondità la prevalente presenza di depositi coesivi di strati da spessi a grossi banchi (spessore 0.6÷9.2m) di argille limose e di limi argillosi, cioè depositi alluvionali di interdosso o piana alluvionale attribuibili al torrente Aposa ed al torrente Savena.

I depositi incoerenti, cioè quelli costituiti da miscele variabili di limi e sabbie argillosi, nonché ghiaie sabbiose, riferibili al dosso o al paleoalveo-canale del t. Aposa o del t. Savena, sono in subordine e costituiti da strati da spessi a molto spessi (spessore 0.6÷3.6m).

Le sezioni di fig.7-8-9-10-11 descrivono dettagliatamente la litostratigrafia.

Il deposito ghiaioso sabbioso, rinvenuto solo in CPT2 da -17 a -18m di profondità, ha arrestato la penetrometria a causa dell'elevata resistenza alla penetrazione. Le ghiaie probabilmente non sono sature d'acqua, hanno scarsa continuità laterale e lo spessore ammonta ad 1m (vedi stratigrafie poste in allegato dei pozzi per acqua 221DP694 e 221DP629, ubicati in fig.4 a 70÷80m dagli interventi edilizi in progetto).

Al di sotto, fino a -87.5÷-100m, prevalgono depositi di argille plastiche intercalate a subordinati depositi di ghiaie o di sabbie sede delle falde d'acqua.

Ulteriori dati stratigrafici sono stati acquisiti dalle sezioni geologiche n.31 e n.47 del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, riportate in allegato in fig.4-5.

Queste, tra l'altro, definiscono le geometrie dei depositi per i gruppi acquiferi:

A e B, costituiti da alluvionali del Sistema emiliano-romagnolo superiore - AES e del Sistema emiliano-romagnolo inferiore - AEI;

C, costituiti da depositi alluvionali, di transizione e marini della Formazione delle Sabbie di Imola - IMO.

Il contatto tra gruppi acquiferi A e B si rinviene a -145 ÷ -152m di profondità.

Il contatto tra gruppi acquiferi B e C si rinviene a -284 ÷ -286m di profondità.

Sistema emiliano-romagnolo superiore - AES del Pleistocene medio - Olocene

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di piana intravalliva, di conoide e di piana alluvionale. Sistema parzialmente suddiviso in subsistemi 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. Dove AES non è suddivisa in subsistemi è costituita da depositi fini prevalentemente limoso-argillosi, intensamente pedogenizzati, con spessore massimo di 20 metri circa. Spessore massimo in pianura circa 300 m.

Il Sistema emiliano-romagnolo inferiore o AEI è un'unità stratigrafica deposta in ambienti sedimentari di piana costiera, bacino interfluviale e conoide distale. È costituita prevalentemente da depositi limosi e limoso argillosi, di colore tipicamente grigio azzurrognolo, nei quali si intercalano livelli ghiaiosi che, in corrispondenza dei paleo-conoidi fluviali principali, possono diventare localmente preponderanti. Quest'ultima litofacies si trovano solitamente in banchi, spessi alcuni metri, massivi o con stratificazione piano-parallela debolmente espressa, intervallati da strati decimetrici più argillosi e di colore scuro. Sono frequenti i livelli ricchi in sostanza organica (prevalentemente frustoli carboniosi) e con presenza di macrofossili di ambiente continentale (gasteropodi a guscio sottile).

Il contatto di base con i sottostanti depositi del Supersistema Quaternario Marino è netto o erosivo e discordante.



In corrispondenza del sito in oggetto il contatto tra le alluvioni AES – AEI ed il substrato marino IMO si localizza a -284 ÷ -286m di profondità.

Sabbie di Imola – IMO del Pleistocene medio

Depositi sabbiosi ed arenitici fini e finissimi, subordinatamente a grana media e grossolana, generalmente poco cementati, in strati per lo più amalgamati, con rare intercalazioni pelitiche discontinue, di spessore centimetrico e decimetrico, e rari livelli centimetrici di ciottoli. Si interdigitano sabbie fini e medie, intercalate a ghiaie e conglomerati di spessore generalmente decimetrico, che localmente costituiscono corpi lenticolari spessi alcuni metri. Peliti di colore grigio azzurro di piana alluvionale e piana deltizia. Ambiente deposizionale costiero (spiaggia e delta-conoide). Contatto basale e di tetto erosivo e discordante. Spessore massimo di quasi 60 metri, superiore ai 150 m nel sottosuolo.

In corrispondenza dell'intervento in progetto il substrato marino è rappresentato dalla Formazione delle Sabbie di Imola - membro di Castel San Pietro - IMO3 del Pleistocene medio, anch'essa appartenente alla Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano. Il membro IMO3 è contraddistinto dalla presenza di sabbie ed arenarie giallastre generalmente fini e finissime, a stratificazione obliqua, con ripples ed hummocky cross-bedding localmente riconoscibili, in strati generalmente amalgamati, alternate a rari strati decimetri di peliti sabbiose. Nella parte alta sono presenti livelli di ghiaie fini frequentemente silicee e locali corpi di ghiaie ben selezionate contenenti tritume organogeno. La sedimentazione è riferibile a depositi di spiaggia e subordinatamente di delta conoide.

Il contatto inferiore è eteropico su IMO2 o erosivo su IMO1. Lo spessore è di alcune decine di metri.

La seguente tabella ricostruisce la litostratigrafia schematica ed ha valenza per lo studio sismico del sottosuolo.

	PROFONDITÀ	TIPO LITOLOGICO	PROFONDITÀ		
STRATIGRAFIA DERIVATA DA CPT1-2-3-4-5-6-7-8	0-0,6m	Riporto granulare	0-0,6m		
	0,6-2,0	Limi terreni misti	0,6-2,0m		
	2,0-4,2m	Argille	2,0-4,2m		
	4,2-5,8m	Limi terreni misti	4,2-5,8m		
	5,8-15,8m	Argille	5,8-15,8m		
	15,8-18,8m	Limi terreni misti	15,8-18,8m		
STRATIGRAFIA DERIVATA DA POZZI PER ACQUA 221DP629 221DP694	18,8-54,6m	Argille	18,8-54,6m		
	54,6-57,8m	Ghiaie	54,6-57,8m		
	57,8-75,0m	Argille	57,8-75,0m		
	75,0-83,6m	Ghiaie	75,0-83,6m		
	83,6-87,6m	Argille	83,6-87,6m		
STRATIGRAFIA DERIVATA DA SEZIONE GEOLOGICA N.31	87,6-180m	Argille	Argille	85-95m	STRATIGRAFIA DERIVATA DA SEZIONE GEOLOGICA N.47
			Ghiaie	95-112m	
			Argille	112-145m	
			Ghiaie	145-161m	
	180-220m	Sabbie e ghiaie	Argille	161->296m	
	220-244m	Argille			
	244-276m	Sabbie e ghiaie			
276-313m	Argille-sabbie-ghiaie				

2km a Sudest del sito si individuano i primi rilievi collinari del margine pedeappenninico emiliano romagnolo, il cui fronte è definito da una grande faglia inversa attiva ("sovrascorrimento pedeappenninico"), formante un importante elemento morfostrutturale e separante le due unità, una in sollevamento e l'altra subsidente.

Il sovrascorrimento delimita l'area collinare da quella di pianura ed inoltre segna il contatto tra le formazioni marine neogeniche quaternarie ed i depositi alluvionali di pianura del Pleistocene-Olocene.

Il carattere prevalente della tettonica è di tipo compressivo a faglie inverse, accompagnato da una più debole attività trascorrente deducibile prevalentemente dai lineamenti affioranti in Appennino.



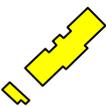
L'unità subsidente è costituita dalla quasi totalità della Successione neogenico-quadernaria continentale (AES - Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES8 - Subsintema di Ravenna), deposta all'interno di un bacino di forma allungata parallelamente alla catena appenninica e confinata a Nord dalle pieghe ferraresi che la delimitano all'interno del più ampio bacino padano.

Gli edifici in progetto di localizzano nell'area cortiliva del Complesso universitario di via Filippo Re in Comune di Bologna; in specifico l'area è prospiciente l'edificio che ospita la Facoltà di Scienze della Formazione dell'Università degli Studi di Bologna in via Filippo Re, 6.

Dal 2005-2007 a tutt'oggi il sito è utilizzato principalmente come parcheggio autovetture; solo in parte risulta inerbito, cioè presso le CPT3-4, dove si è preservato il piano campagna preesistente al riporto di stabilizzato (misto granulare a spigoli vivi di spessore 0.4÷0.6m) predisposto per approntare il parcheggio. In precedenza l'area era utilizzata come terreno di sperimentazione agraria, sia in serre fisse, sia in campo. Attualmente una serra è in disuso, un'altra è stata completamente demolita e di un'altra ancora rimangono alcuni cordoli a margine dell'area inerbita.

Nell'area dell'adiacente Orto Botanico, a circa 10m dall'asilo, sussiste un laghetto artificiale realizzato tra il 1958 ed il 1971.

▼ CPT1 Indagine penetrometrica statica meccanica

-  Edifici in progetto.
-  Edificio, serra esistenti.
-  Edificio, serra demolito/a.



La cartografia del PRG del 1958 non riporta per il sito alcun elemento particolare, se non la classificazione IU che probabilmente si riferisce alla pertinenza degli Istituti dell'Università.

La cartografia del PRG del 1949 riporta in corrispondenza del sito due aiuole ellittiche.

La cartografia del PRG del 1945 e del 1941 non riporta per il sito alcun elemento specifico.

La cartografia del 1850 riporta in corrispondenza del sito un viale alberato ed ampi prati.



La prova penetrometrica statica meccanica CPT1 e la prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH1 hanno identificato la presenza di terreni di riporto fino ad almeno 2.8m di profondità; trattasi di terreni incoerenti, sabbioso limosi, con diffusi frammenti eterometrici di mattoni-laterizi. Un blocco od una muratura in mattoni alquanto spessa e resistente ha arrestato l'avanzamento della prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH1.

Non è noto se si tratta di riporto recente o di manufatti o reperti storici-archeologici.

Le altre indagini geotecniche non hanno evidenziato la presenza di altri terreni di riporto, se non lo stabilizzato approntato per il parcheggio.

L'indagine geofisica HVSR2 ha evidenziato nell'intorno della stessa la presenza di un orizzonte rigido a scarsa profondità (circa -1÷-2m dal piano campagna) e di limitata estensione areale; non si esclude che possa trattarsi della fondazione di una serra ora completamente demolita.

La cartografia delle "Tutele Testimonianze storiche ed archeologiche" del PSC 2007 classifica il sito come zona a media potenzialità archeologica.

Due alberi a piccolo fusto ed un grande arbusto si trovano in corrispondenza dell'area inerbita, all'interno del sedime dell'asilo aziendale - scuola materna tra le CPT3-4.

Con riferimento alla planimetria generale di fig.6, nell'intorno degli interventi edilizi si rinvennero:

- due enormi esemplari di querce a 15m di distanza;
- numerosi ed enormi esemplari di pioppi (*Populus canescens*) presso l'Orto Botanico a 5÷10m di distanza.

Le indagini penetrometriche eseguite in sito hanno accertato che gli alberi ad alto fusto circostanti gli interventi in progetto hanno determinato l'essiccamento e la sovraconsolidazione del terreno fino ad una profondità massima di -6.4m dal piano campagna. Ulteriori e più specifiche informazioni e considerazioni in merito verranno fornite nel capitolo INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il quadro idrogeologico è stato definito per mezzo di ricerche bibliografiche e del monitoraggio piezometrico in corrispondenza delle indagini geotecniche eseguite per gli interventi in progetto.

RICERCHE BIBLIOGRAFICHE

La proprietà non è classificata dal Piano Strutturale Comunale PSC 2007 del Comune di Bologna come:

- area dei terrazzi fluviali e dei conoidi permeabili della pedecollina ed alta pianura;
- area di ricarica della falda.

Il quadro idrogeologico dell'area bolognese appare particolarmente complesso per la concomitante influenza di fattori diversi, naturali ed antropici, quali la riduzione del tasso di ricarica della falda ed i prelievi idrici elevati.

I conoidi bolognesi costituiscono corpi isolati, separati lateralmente da cospicue estensioni di depositi argillosi-limosi a permeabilità bassa o nulla e verticalmente da setti di ridotta potenza.

Solo nella parte apicale dei conoidi la struttura idrogeologica può essere schematizzata come un unico acquifero, in cui i conoidi sono collegati da interdigitazioni di terreni più grossolani.

La struttura idrogeologica del territorio di pianura del Comune di Bologna si articola in falde superficiali e falde profonde.

Le falde superficiali SUP4, SUP3, SUP2, SUP1, dalla più superficiale alla più profonda, si collocano nei primi 50m di profondità all'interno di alternanze verticali di corpi grossolani e fini, contenenti talora, nella media e bassa pianura, un sistema acquifero multifalda.

Le falde superficiali costituiscono la ricarica delle falde profonde. Queste ultime sono separate dalle superficiali da un livello relativamente impermeabile costituito da depositi limoso-argillosi, contenenti localmente intercalazioni grossolane.



Le falde profonde sono quelle contenute negli acquiferi posti a profondità compresa tra 50÷60m e 300÷400m; sono oggetto di prelievo per l'approvvigionamento potabile.

La struttura delle unità superficiali sepolte è contraddistinta dall'alternanza verticale di corpi grossolani e fini; essa contiene un sistema acquifero multifalda composto, dall'alto verso il basso, dai seguenti corpi acquiferi:

FALDA SUP4: è costituita da corpi semipermeabili sabbioso-limosi.

La funzione di tale falda è connessa ad un contenimento del carico inquinante eventualmente presente nel suolo e nel sottosuolo. Il rilievo piezometrico è stato eseguito per conto del Comune di Bologna nell'inverno degli anni 1997 e 1998.

FALDA SUP3: è presente in modo chiaro solo su aree ristrette, pertanto la mappatura non è disponibile.

FALDA SUP2: è caratterizzata da un andamento complesso; la falda è libera per una buona parte del territorio comunale, e in pressione nelle parti distali. Nel centro storico è caratterizzata da litologie prevalentemente fini, ed è poco rilevante.

Le isopieze convergono verso l'apice del conoide del Fiume Reno a causa del richiamo delle falde profonde. Il rilievo piezometrico eseguito per conto del Comune di Bologna è riferito al maggio 2000.

FALDA SUP1: ha soggiacenza pari a 25-30 m dal piano campagna e ripercorre i lineamenti idrogeologici della falda SUP2. Si distingue un settore d'interconoide, contraddistinto da bassa permeabilità, è in condizioni di falda libera nelle parti centrali dei conoidi, mentre è confinata nelle parti laterali. Essa riceve alimentazione diretta dalla superficie e in particolare dal Fiume Reno, principale agente di ricarica. Il rilievo piezometrico eseguito per conto del Comune di Bologna è riferito al maggio 2000.

FALDE PROFONDE: si intendono le falde contenute negli acquiferi posti ad una profondità compresa tra 50-60 metri e 300-400 metri.

La piezometria evidenzia una profonda depressione in corrispondenza del conoide del Fiume Reno, che giunge a -55 metri dal piano campagna: tale depressione, dal raggio di influenza di oltre 15 km, è dovuta ai prelievi acquedottistici. Il rilievo piezometrico eseguito per conto del Comune di Bologna è stato eseguito nell'anno 2001.

Il Comune di Bologna – Sezione Territorio e Riqualificazione Urbana, 2002 “2° Rapporto sullo Stato dell'Ambiente del Comune di Bologna” per il sito in oggetto localizza la superficie piezometrica della:

- falda SUP4 libera (rilievo inverno 1997) a +45m s.l.m., ovvero a -4m dal p.c. della proprietà.
Le linee di deflusso idrico sotterraneo sono dirette in direzione Nord.
- falda SUP2 in pressione (rilievo maggio 2000) a +38m s.l.m., ovvero a -11m dal p.c. della proprietà. Le linee di deflusso idrico sotterraneo sono dirette in direzione Nordest.
- falda SUP1 (rilievo maggio 2000) a +24m s.l.m., ovvero a -25m dal p.c. della proprietà.
Le linee di deflusso idrico sotterraneo sono dirette in direzione Nordnordest.
- falda profonda (rilievo 2001) a +7m s.l.m., ovvero a -42m dal p.c. della proprietà.
Le linee di deflusso idrico sotterraneo sono dirette in direzione Ovest.

Le penetrometrie CPT3-4-5 ed i relativi piezometri hanno intercettato la falda SUP4.

MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

La planimetria generale di fig.6 localizza le indagini geotecniche eseguite (CPT1-2-3-4-5-6-7-8) ed i piezometri installati in CPT2-3-5-7-8 fino alla massima profondità consentita dalla stabilità delle pareti dei fori penetrometrici. I piezometri sono a tubo aperto, di diametro Ø25mm, tutti fessurati.

In CPT1-6 i piezometri non sono stati installati a causa dell'ostruzione indotta dal franamento di frammenti litici dello stabilizzato superficiale nei fori penetrometrici.

In CPT4 il livello piezometrico è stato rilevato direttamente entro il foro penetrometrico senza installare il piezometro.



Piezometro in CPT2



Piezometro in CPT3



Foro penetrometrico CPT4



Piezometro in CPT5



Piezometro in CPT7



Piezometro in CPT8



La seguente tabella riassume la campagna di monitoraggio piezometrico.

La quota 0.00 coincide con il primo gradino della scalinata antistante l'edificio di via Filippo Re, 6.

Indagine	Quota p.c. CPT da 0.00	Profondità di indagine da p.c. CPT	Profondità piezometro da p.c. CPT	SOGGIACENZA da p.c. CPT		
				03/08/2012	04/08/2012	12/09/2012
CPT1 DPSH1	-0.17m	-2.80m	non installato foro franato	-	-	-
CPT2	-0.36m	-18.00m	-5.82m	assente	assente	assente
CPT3	-0.54m	-20.00m	-11.13m	-6.33m	-6.63m	-8.06m
CPT4	-0.59m	-10.00m	non installato • fondo foro -6.70m 03-04/08/2012 • fondo foro -6.18m 12/09/2012	-6.65m	assente	assente
CPT5	-0.21m	-20.00m	-9.65m	-7.10m	-7.53m	-7.86m
CPT6	+0.04m	-10.00m	non installato foro franato	-	-	-
CPT7	+0.33m	-10.00m	-6.81m	assente	assente	assente
CPT8	+0.31m	-10.00m	-8.50m	assente	assente	assente

Le sezioni di fig.7-8-9-10-11 descrivono dettagliatamente la litostratigrafia, riportando i piezometri installati ed i livelli piezometrici al massimo innalzamento nel periodo 03/08/2012÷12/09/2012 ed al massimo innalzamento ipotizzabile.

Le indagini geotecniche condotte (penetrometrie statiche meccaniche CPT) hanno evidenziato fino a 20m di profondità la presenza di tre acquicludi pressoché impermeabili, costituiti da strati da spessi a grossi banchi (spessore 0.6÷9.2m) di argille limose e di limi argillosi, cioè depositi di interdosso o piana alluvionale attribuibili al t. Aposa ed al t. Savena.

Ai tre acquicludi sono interposti due acquiferi mediamente permeabili costituiti da depositi incoerenti, cioè da miscele variabili di limi e sabbie con contenuto di argilla variabile, nonché ghiaie sabbiose, riferibili al dosso o al paleoalveo-canale del t. Aposa o del t. Savena. Pur essendo costituiti da strati da spessi a molto spessi (spessore 0.6÷3.6m), tali acquiferi hanno potenza inferiore rispetto agli acquicludi.

Solo in CPT2-8 si rinviene un terzo strato acquifero più superficiale che si estende in profondità fino a -1.8÷-2.4m dal piano campagna.

I piezometri installati rendono conto dei livelli piezometrici riferibili alla falda libera SUP4, per la quale il Comune di Bologna – Sezione Territorio e Riqualficazione Urbana, 2002 “2° Rapporto sullo Stato dell’Ambiente del Comune di Bologna” prevede per il sito in oggetto una superficie piezometrica a -4m dal p.c. (rilievo inverno 1997) con linee di deflusso idrico sotterraneo dirette in direzione Nord.

Al di sotto degli interventi in progetto il tipo litologico dell’acquifero relativo alla falda libera SUP4 è contraddistinto da alternanze di limi argilloso limosi, sabbie argilloso limose, sabbie limose, da sciolti a mediamente addensati.

È alquanto evidente che i livelli piezometrici rilevati nel periodo di monitoraggio 03/08/2012÷12/09/2012 non si localizzano all’interno dell’acquifero, bensì in prossimità del tetto del sottostante acquicludo (rif. CPT3-4-5). In altri casi i piezometri risultano asciutti (rif. CPT2-7-8).

Tale evidenza non deve essere interpretata come se la falda fosse ospitata nell’acquicludo, ma si deve considerare che si tratta di livelli di magra, poiché il monitoraggio è avvenuto al termine della stagione estiva 2012, stagione particolarmente siccitosa e calda, tanto che nella regione Emilia Romagna risulta essere stata la seconda estate più calda degli ultimi 150 anni dopo l’evento parossistico del 2003.



Al depauperamento della falda SUP4 ha senza dubbio contribuito la suzione indotta dagli enormi alberi ad alto fusto localizzati in prossimità degli interventi in progetto; ci si riferisce alle due querce presso i n.c.4 e 6 di via Filippo Re ed ai numerosi pioppi (*Populus canescens*) dell'adiacente Orto Botanico, vedi fig.6.

La "suzione" è un fenomeno connesso all'evapotraspirazione provocata dagli alberi, i quali generano una sensibile risalita capillare dell'acqua interstiziale presente nel terreno.

In sostanza gli alberi hanno la necessità di procurarsi l'acqua ed il nutrimento utili per la loro attività vegetativa e pertanto agiscono analogamente ad una pompa, sottraendo acqua al terreno; ciò avviene con maggiore intensità durante la stagione estiva quando l'irraggiamento solare e l'evapotraspirazione sono intensi. Trattandosi di un'azione che provoca risalita d'acqua, la pressione interstiziale assumerà valore negativo, quindi aumenterà la tensione efficace. Si assiste ad una sovraconsolidazione del terreno, rilevabile da un aumento delle resistenze penetrometriche qc ed fs, con diminuzione di volume (ritiro) e subsidenza, ovvero abbassamento del terreno.

Si determinano frequentemente lesioni nei fabbricati per suzione indotta dagli alberi, in quanto questi provocano subsidenza del terreno proprio al di sotto delle fondazioni. Qui, infatti, i terreni sono più umidi poiché l'evaporazione provocata dal sole è impedita dalla presenza degli edifici stessi.

Lo spessore di terreno essiccato e sovraconsolidato si deduce dai grafici penetrometrici comparativi posti in allegato e coinvolge i terreni fino ad una quota di -5.2÷-6.4m.

La possibilità che la sovraconsolidazione sia imputabile alla suzione degli alberi è supportata da studi francesi che evidenziano la capacità degli alberi di estendere i propri apparati radicali in orizzontale fino ad una distanza pari ad 1,5 volte l'altezza dell'albero da adulto.

Nel caso in esame gli imponenti pioppi e querce hanno già raggiunto i terreni indagati e posti all'interno del sedime degli edifici in progetto.

Ne sono conferma:

- i numerosissimi polloni che si sono sviluppati direttamente dalle radici dei pioppi nel corso dell'estate 2012 presso l'area inerbita ed irrigata compresa tra la CPT3-4, vedi documentazione fotografica seguente;



Area inerbita e polloni.



Polloni.

- i grafici penetrometrici comparativi delle penetrometrie CPT3-4 e CPT5-6 che evidenziano una maggiore sovraconsolidazione del terreno in CPT5 ed in CPT4, cioè in corrispondenza delle penetrometrie più prossime ai numerosi pioppi ad alto fusto dell'Orto Botanico.

Un esempio è lo stabulario presente all'interno dell'area cortiliva del Complesso universitario in via Irnerio, 48; il fabbricato denuncia importanti lesioni strutturali e murarie indotte da cedimenti differenziali riconducibili alla suzione dei tigli circostanti.

I livelli piezometrici sono destinati a palesarsi od ad innalzarsi in seguito alla ripresa delle precipitazioni atmosferiche autunnali od al termine della suzione, cioè del ciclo vitale degli alberi in questione. Il terreno aumenterà progressivamente il contenuto d'acqua, diminuirà la sovraconsolidazione e la superficie della falda freatica SUP4 si innalzerà.

È difficile prevedere quale potrebbe essere l'entità dell'innalzamento sia in seguito alla cessazione della suzione, sia dopo la ripresa delle precipitazioni, cioè al termine della primavera.

Nelle sezioni A-B, C-D ed E-F di fig. 7-8-9-10-11 si è cercato di definire il massimo innalzamento ipotizzabile della falda SUP4 sulla base di considerazioni:

- litostratigrafiche
I livelli piezometrici non si dovrebbero innalzare al di sopra del tetto dell'acquifero perché la falda non può permeare il sovrastante acquicludo argilloso.
- penetrometriche
Gli strati acquiferi in precedenza in falda sono stati ipotizzati sulla base di bassi valori di resistenza penetrometrica di punta qc e laterale fs.

Ovviamente tali ipotesi sono sottoposte ad un certo grado di indeterminazione-incertezza.

Ai fini geotecnici occorre fare riferimento alla tabella seguente che riassume il massimo innalzamento ipotizzabile della falda SUP4, piuttosto che ai livelli piezometrici derivanti dalla campagna di rilievo condotta nel periodo 03/08/2012÷12/09/2012 riportata a pag.10.



Indagine	Quota p.c. CPT da 0.00	SOGGIACENZA al massimo innalzamento ipotizzabile della falda SUP4 dal p.c. CPT	SOGGIACENZA al massimo innalzamento ipotizzabile della falda SUP4 da 0.00
CPT1 DPSH1	-0.17m	?	?
CPT2	-0.36m	-4.00m	-4.36m
CPT3	-0.54m	-3.80m	-4.34m
CPT4	-0.59m	-5.00m	-5.59m
CPT5	-0.21m	-5.40m	-5.61m
CPT6	+0.04m	-2.60m	-2.56m
CPT7	+0.33m	-5.00m	-4.67m
CPT8	+0.31m	-3.40m	-3.09m

Si suggerisce di proseguire il monitoraggio piezometrico al fine di acquisire ulteriori conoscenze del comportamento idrogeologico del sottosuolo in esame, dato che le letture piezometriche sono state eseguite durante l'estate e considerando che i livelli piezometrici saranno destinati ad innalzarsi fino al termine della primavera successiva.

Non si esclude che in seguito a periodi contraddistinti da intense precipitazioni meteoriche possa attivarsi una falda freatica temporanea alimentata dalle acque di infiltrazione efficace ed ospitata entro lo stabilizzato (misto granulare a spigoli vivi) dell'area cortiliva utilizzata a parcheggio autovetture.

Ai fini dello studio sismico si ritiene adeguato utilizzare come soggiacenza il valore medio al massimo innalzamento ipotizzabile della falda: -4.17m dal piano campagna, valore pressochè coincidente con quello di -4m riferito alla falda SUP4 libera (rilievo inverno 1997) dal "2° Rapporto sullo Stato dell'Ambiente del Comune di Bologna", 2002 - Comune di Bologna – Sezione Territorio e Riquilificazione Urbana.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOTECNICHE

Al fine di caratterizzare i terreni di fondazione degli interventi in progetto, il 03-04/08/2012 la GEO-SERVICE Indagini geognostiche di Bassi Fabio ha eseguito le indagini geotecniche in sito costituite da:

- n.8 prove penetrometriche statiche meccaniche CPT1-2-3-4-5-6-7-8;
 - n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH1;
- ubicata in fig.6.

Si è resa necessaria l'esecuzione della prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH1 poiché la presenza di terreni di riporto grossolani costituiti da frammenti eterometrici di mattoni-laterizi aveva arrestato l'avanzamento della prova penetrometrica statica meccanica CPT1 a -2.8m di profondità; anche la DPSH1 non è riuscita ad oltrepassare il blocco o la muratura in mattoni alquanto spessa e resistente localizzata a -2.8m di profondità.

Le CPT1-2-5-7-8 sono state eseguite previa perforazione dello stabilizzato del piazzale (preforo di 0.4÷0.6m) mediante l'utilizzo del penetrometro dinamico superpesante DPSH per consentire l'avanzamento della punta Begemann del penetrometro statico meccanico CPT.



CPT1-DPSH1



CPT2



CPT3



CPT4



CPT5



CPT6



CPT7



CPT8

QUOTE

Allo stato progettuale attuale non è ancora disponibile un piano quotato dell'esistente, utile per la quotatura del piano campagna delle indagini geognostiche in sito condotte.

Per sopperire a tale mancanza, il 04/08/2012 lo scrivente ha realizzato un rilievo delle quote del piano campagna delle indagini geognostiche in sito condotte, utilizzando un triplometro dotato di bolla ed un flessometro. Le misure delle quote sono quindi sottoposte ad un certo margine d'errore, tuttavia sono utili per gli scopi prefissati della relazione geologica.



La quota 0.00 è quella del primo gradino della scalinata antistante l'edificio di via Filippo Re, 6, vedi ubicazione quota 0.00 in fig.6.

Indagine	Quota p.c. CPT da 0.00	Profondità di indagine da p.c. CPT
CPT1 DPSH1	-0.17m	-2.80m
CPT2	-0.36m	-18.00m
CPT3	-0.54m	-20.00m
CPT4	-0.59m	-10.00m
CPT5	-0.21m	-20.00m
CPT6	+0.04m	-10.00m
CPT7	+0.33m	-10.00m
CPT8	+0.31m	-10.00m

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE CPT

È stato utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG63/200KN CPT (Cone Penetration Test) che ha permesso di quantificare la q_c (resistenza specifica alla punta) e la f_s (resistenza specifica al manicotto). Trattasi di un penetrometro statico olandese tipo GOUDA (tipo meccanico), le cui caratteristiche sono:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7mm;
- angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$;
- area punta $A_p = 10\text{cm}^2$;
- manicotto laterale di attrito tipo Begemann (\varnothing 35.7mm - h 133mm - sup. lat. Am. = 150cm^2);
- velocità di avanzamento costante $V = 2\text{cm/sec}$ ($\pm 0,5\text{cm/sec}$);
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo;
- costante di trasformazione (lett. \Rightarrow Spinta) $C_t = \text{spinta (kg)}/\text{lettura di campagna}$.

fase 1 - resistenza alla punta q_c (kg/cm^2) = (L. punta) C_t /10

fase 2 - resistenza laterale locale f_s (kg/cm^2) = [(L. laterale) - (L. punta)] C_t /150

fase 3 - resistenza totale R_t (kg) = (L. totale) C_t

q_c / f_s = rapporto di Begemann

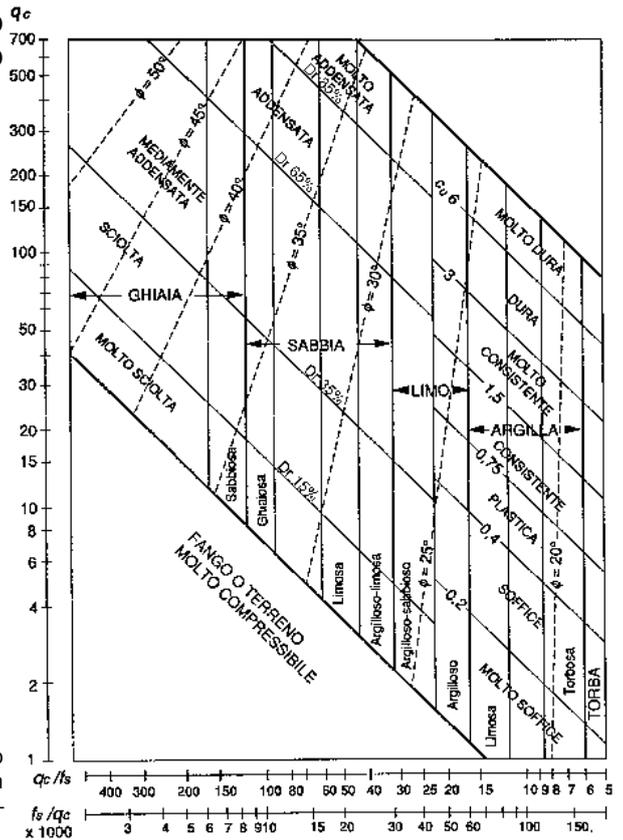
- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B.: la spinta S (kg), corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione C_t .

N.B.: causa la distanza intercorrente (20cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale f_s viene computata 20cm sopra la punta.



È possibile identificare orientativamente sia il tipo litologico che la consistenza o l'addensamento del terreno, utilizzando il grafico di Searle:



Searle, I. W., 1979. The interpretation of Begemann friction jacket cone results to give soil types and design parameters. Proceedings of 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ECSMFE, Brighton, Vol. 2, pp. 265 – 270.

I risultati penetrometrici sono riportati in tabelle, grafici e grafici comparativi posti in allegato. Si ricorda che i parametri geotecnici riportati nelle tabelle penetrometriche sono espressi in termini non drenati (C_u , ϕ), in quanto derivanti da prove penetrometriche che sottopongono il terreno a rapida rottura senza consentirne il drenaggio.

Il terreno è stato suddiviso in strati di 20cm di spessore sulla base delle letture L1 ed L2, per i quali sono stati definiti i valori dei parametri geotecnici nominali (X_n) sulla base delle seguenti correlazioni.

➤ Il peso di volume naturale γ_{nat} è stato elaborato secondo le seguenti correlazioni.

GRANULOMETRIA	CORRELAZIONI	
argille limose limi argillosi	$\gamma_{nat} = 0.0001 * LNq_c + 0.0016$ in kg/cm^3 (AA.VV.)	
limi argilloso sabbiosi sabbie argilloso limose sabbie limose sabbie sabbie ghiaiose	se $DR < 35\%$ $\gamma_{nat} = \frac{0.0319 * Dr + 14.775}{10000}$ in kg/cm^3 (Crow, 2004)	se $DR > 35\%$ $\gamma_{nat} = \frac{0.03 * Dr + 17}{10000}$ in kg/cm^3 (Crow, 2004 e AA.VV.)
	ghiaie sabbiose ghiaie	$\gamma_{nat} = \frac{0.0308 * Dr + 17.973}{10000}$ in kg/cm^3 (Crow, 2004)



- Il peso di volume saturo γ_{sat} è stato elaborato secondo le seguenti correlazioni.

GRANULOMETRIA	CORRELAZIONI
argille limose limi argillosi	$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_{\text{nat}} + 0.00008$ in kg/cm^3 (AA.VV.)
limi argilloso sabbiosi sabbie argilloso limose sabbie limose sabbie sabbie ghiaiose ghiaie sabbiose ghiaie	$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_{\text{nat}} + 0.0003$ in kg/cm^3 (AA.VV.)

- La coesione non drenata C_u è stata elaborata secondo il grafico di Searle
- L'angolo di attrito interno φ è stato elaborato secondo il grafico di Searle.
- La densità relativa $D_r\%$ è stata elaborata secondo il grafico di Searle.
- Il modulo edometrico M è stato elaborato secondo la relazione $M = \alpha q_c$; le tabelle ed i dati di Mitchell-Gardner, 1975 e di Sanglerat et al., 1972 identificano il valore di α in funzione del tipo granulometrico e del valore di q_c :

terreni coesivi – argille, argille organiche terreni misti – argille sabbiose	$q_c \leq 5 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 5$
	$q_c = 10 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 4$
	$q_c = 15 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 3,3$
	$q_c \geq 20 \text{kg/cm}^2$	$\alpha = 3$
terreni coesivi – argille torbose	$q_c \leq 7 \text{kg/cm}^2$ $q_c / f_s \leq 15$	$W \leq 50\%$ $\alpha = 3$
		$W = 100\%$ $\alpha = 1,5$
		$W = 200\%$ $\alpha = 1$
		$W \geq 300\%$ $\alpha = 0,4$
terreni incoerenti		$\alpha = 3$

I singoli strati di terreno di 20cm di spessore sono stati poi raggruppati in strati omogenei sulla base di consimili caratteristiche granulometriche, di addensamento o di consistenza, riferibili ai campi definiti dal grafico di Searle.

Si è cercato di distinguere, quando presenti, le fluttuazioni dei parametri geotecnici nell'ambito di uno stesso campo di addensamento o consistenza, suddividendo lo strato per un ulteriore discriminazione.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE DPSH

La prova penetrometrica dinamica superpesante è stata realizzata utilizzando un penetrometro dinamico superpesante TG 63-100 EML.C. montato su un mezzo cingolato PAGANI.

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
Tipo	Sigla riferimento	Peso massa battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

- Caratteristiche tecniche: TG 63-100 EML.C
- Peso massa battente $M = 63,50 \text{kg}$



- Altezza caduta libera $H = 0,75\text{m}$
- Peso sistema battuta $M_s = 0,63\text{kg}$
- Diametro punta conica $D = 51,00\text{mm}$
- Area base punta conica $A = 20,43\text{cm}^2$
- Angolo apertura punta $\alpha = 60^\circ$
- Lunghezza delle aste $L_a = 1,00\text{m}$
- Peso aste per metro $M_a = 6,31\text{kg}$
- Prof. giunzione 1^a asta $P_1 = 0,20\text{m}$
- Avanzamento punta $\delta = 0,20\text{m}$
- Numero di colpi punta $N = N_{20} \Rightarrow$ relativo ad un avanzamento di 20cm
- Rivestimento / Fanghi: no

Energia specifica per colpo $Q = (MH)/(A\delta) = 11,66\text{kg/cm}^2$ (prova SPT: $Q_{\text{SPT}} = 7.83\text{kg/cm}^2$)

Coeff. teorico di energia $\beta t = Q/Q_{\text{SPT}} = 1,489$ (teoricamente: $N_{\text{SPT}} = \beta t N_{20}$)

Dato che talvolta si sviluppa attrito al contatto tra terreno e le aste, è cautelativamente corretto utilizzare un valore di $\beta t = 1,15$, cioè $N_{\text{SPT}} = 1,15 N_{20}$.

Il numero dei colpi dello Standard Penetration Test N_{SPT} è funzione della resistenza penetrometrica e dipende essenzialmente dal grado di addensamento per i terreni incoerenti e dalla consistenza per quelli coesivi.

La resistenza dinamica alla punta R_{pd} o Q_p (funzione del numero di colpi N_{20}) FORMULA OLANDESE:

$$R_{pd} \text{ o } Q_p = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)] \quad \text{dove}$$

R_{pd} o Q_p = resistenza dinamica punta [area A]

M = peso massa battente (altezza caduta H)

e = infissione per colpo = δ / N

P = peso totale aste e sistema battuta

I risultati penetrometrici sono riportati in tabelle e grafici posti in allegato.

TRATTAMENTO STATISTICO DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Ad ogni strato omogeneo del sottosuolo sono stati attribuiti i parametri geotecnici caratteristici (X_k), concetto introdotto dall'Eurocodice 7: "Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules".

Il valore caratteristico X_k , inteso come una stima cautelativa del parametro geotecnico che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura). Lo stesso concetto fa parte della più ampia trattazione agli stati limite (SL), volta ad armonizzare la progettazione strutturale con quella geotecnica.

Allo stato normativo attuale esistono ancora dubbi ed incertezze sulla procedura di determinazione dei valori caratteristici, nonostante che il Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» abbia già adottato il concetto dei valori caratteristici, senza peraltro chiarirne la definizione e determinazione:

6.2.2. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

“...Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.



La Circolare n.617 del 2 febbraio 2009 “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008” entra nella specifica procedura, pur fornendo alcune indicazioni: “...Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; basti pensare, ad esempio, all’effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata. Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell’ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato. ...”

La Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, pubblicata nel sito della Regione Toscana, con carattere ancora ufficioso, chiarisce alcuni dettagli relativi alla determinazione dei valori caratteristici, ma non offre metodi operativi per la loro determinazione.

Si farà quindi riferimento alla trattazione specifica presentata dal dr. geol. Luca Nori nel Corso di aggiornamento professionale per geologi del 03/04/2009, organizzato dall’Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna – Consulta delle Province di Reggio Emilia e Modena “Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo l’EC 7 e 8 ed il D.M. 14 Gennaio 2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni”.

Il valore caratteristico X_k verrà quindi identificato sulla base delle seguenti regole:

- A. Se esiste compensazione spaziale (volume interessato dallo stato limite, o suo spessore in una dimensione, significativamente maggiore della lunghezza delle fluttuazioni nei parametri di resistenza del terreno), allora il valore caratteristico corrisponde al 5° percentile della media ed è generalmente non molto distante dalla media stessa.
- B. Se esiste compensazione strutturale (fondazioni sufficientemente rigide tali da distribuire le sollecitazioni omogeneamente sul terreno), allora il valore caratteristico è lo stesso del precedente caso A.
- C. Se non esiste compensazione strutturale, né compensazione spaziale, allora il valore caratteristico è il 5° percentile della distribuzione statistica del campione, ed è generalmente piuttosto distante dalla media.

I grafici penetrometrici comparativi evidenziano fino a circa -6.4m di profondità una significativa variabilità granulometrica e dello stato tensionale indotto dalla suzione degli alberi del terreno di fondazione, vedi pag.11-12.

Tale contesto richiede compensazione strutturale, cioè l’adozione di fondazioni sufficientemente rigide tali da distribuire le sollecitazioni omogeneamente sul terreno e da ripartire gli sforzi prodotti da cedimenti differenziali.

Allo stato progettuale attuale non è ancora stata definita la tipologia di fondazione dato che non è ancora stato nominato il progettista strutturale.

Se si ipotizza il ricorso a fondazioni dirette, superficiali, a platea per l’asilo aziendale - scuola materna e per il centro per bambini e genitori, allora per la determinazione dei parametri geotecnici caratteristici X_k è possibile fare riferimento alla procedura del caso B suddetto, definita dal dr. geol. Luca Nori nel Corso di aggiornamento professionale per geologi del 03/04/2009, organizzato dall’Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna – Consulta delle Province di Reggio Emilia e Modena “Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo l’EC 7 e 8 ed il D.M. 14 Gennaio 2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni”).



Di seguito si riporta una sintesi schematica della procedura che è stata adottata per definire i parametri geotecnici caratteristici (X_k) riportati nelle tabelle penetrometriche in allegato.

Procedura per ricavare i valori caratteristici mediante l'analisi statistica per parametri che seguono distribuzione normale (φ, γ)		
Superficie di rottura grande con compensazione spaziale o strutturale A o B (platea, fondazioni nastriformi non piccole)	I dati sono "non pochi" (orientativamente $n \geq 5$)	Si ipotizza media campione = media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si applica la formula rigorosa, con distribuzione di Student: $X_k = \bar{x} - t_{0.05}(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) \quad \text{dove:}$ x_k valore caratteristico desiderato \bar{x} valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione t valore della distribuzione di Student ad $n-1$ gradi di libertà con probabilità $u = 95\%$ (ossia, $1-\alpha = 0.95$ o alternativamente, $\alpha = 0.05$) s deviazione standard del campione n numero di dati.
	Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente $n < 5$)	Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)
		Si applica la formula opportuna: $X_k = \bar{x} - 1.645 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad \text{dove:}$ x_k valore caratteristico desiderato \bar{x} valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione σ deviazione standard della popolazione = media dati / COV n numerosità del campione
	Superficie di rottura piccola senza compensazione spaziale o strutturale C (pali, piccoli plinti, rottura locale)	I dati sono "non pochi" (orientativamente $n \geq 5$)
Si applica la formula opportuna: $X_k = \bar{x} - 1.645 * s \quad \text{dove:}$ x_k valore caratteristico desiderato \bar{x} valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione s deviazione standard del campione		
Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente $n < 5$)		Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)
		Si applica la formula opportuna: $X_k = \bar{x} - 1.645 * \sigma$ x_k valore caratteristico desiderato \bar{x} valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione σ deviazione standard della popolazione = media dati * COV



$$\text{Coefficiente di variazione COV} = \frac{\sigma}{\mu}$$

dove:

σ = deviazione standard della popolazione

μ = media della popolazione

Valori indicativi della variabilità (COV) di alcuni parametri	
PARAMETRO	COV
ϕ sabbie e ghiaie	7 - 10%
ϕ' coesivi	13%
C'	25 - 30%
Cu	20 - 30%
ϕ	10% (Schneider 1999)
Cu	40% (Schneider 1999)

Procedura per ricavare i valori caratteristici mediante l'analisi statistica per parametri che seguono distribuzione log-normale (Cu, c', E, altri)

Superficie di rottura grande con compensazione spaziale o strutturale A o B (platea, fondazioni nastriformi non piccole)	I dati sono "non pochi" (orientativamente $n \geq 5$)	Si ipotizza media campione = media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si applica il metodo conservativo di Angus: $L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2 \left(1 + \frac{S^2}{2}\right)}$ dove: \bar{Y} valore medio del dataset con distribuzione lognormale z distribuzione normale standardizzata t valore della distribuzione di Student ad $n-1$ gradi di libertà S deviazione standard del campione n numero di dati
Superficie di rottura piccola senza compensazione spaziale o strutturale C (pali, piccoli plinti, rottura locale)	Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente $n < 5$)	Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)
		Si applica il metodo di Cox: $L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$ dove: \bar{Y} valore medio del dataset con distribuzione lognormale z distribuzione normale standardizzata t valore della distribuzione di Student ad $n-1$ gradi di libertà S deviazione standard del campione n numero di dati
Superficie di rottura piccola senza compensazione spaziale o strutturale C (pali, piccoli plinti, rottura locale)	I dati sono "non pochi" (orientativamente $n \geq 5$)	Si ipotizza media campione = media popolazione (controllando la congruenza!)
		Si applica la formula opportuna con un foglio di calcolo: INV.LOGNORM(0.05, media log dati, media SD log dati)
	Il dato è uno solo, o pochi (orientativamente $n < 5$)	Si ipotizza media campione = valore del singolo dato o media popolazione (controllando la congruenza!)
	Si ipotizza variabilità nota (dati di letteratura o esperienza individuale: six-sigma)	
	Si applica la formula opportuna con un foglio di calcolo: INV.LOGNORM(0.05, media SD) con le trasformazioni opportune (★)	



★

Formule di trasformazione per trovare il valore caratteristico con distribuzioni log-normali e un singolo dato o pochi dati, piccola superficie di rottura

$$\sigma_{\log n} = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_{\text{norm}}^2}{\mu_{\text{norm}}^2}\right)} \quad \mu_{\log n} = \ln(\mu_{\text{norm}}) - \frac{\sigma_{\log n}^2}{2} \quad \text{dove:}$$

σ_{norm}^2 = varianza nota da letteratura o da esperienza

μ_{norm}^2 = valore del singolo dato o della media dei (pochi) dati

Con un foglio di calcolo: $X_k = \text{INV.LOGNORM}(0.05, \sigma_{\log n}, \mu_{\log n})$

I parametri geotecnici caratteristici X_k sono riportati nelle tabelle penetrometriche in allegato.

Le sezioni litostratigrafiche A-B, C-D ed E-F di fig.7-8-9-10-11 riassumono le risultanze delle indagini geognostiche e forniscono i parametri geotecnici caratteristici espressi in termini non drenati.

PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO X_d

In merito alla determinazione dei parametri geotecnici di progetto X_d , riportati nelle tabelle penetrometriche, si è fatto riferimento alla seguente tabella 6.2.II prevista dal Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» e relativa Circolare applicativa.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Le sezioni geotecniche litostratigrafiche A-B, C-D ed E-F di fig.7-8-9-10-11 ricostruiscono schematicamente i terreni indagati, descrivendo:

- la litostratigrafia;
- la resistenza specifica alla punta q_c ;
- i parametri geotecnici caratteristici X_k , calcolati secondo il caso B definito in precedenza ed i parametri geotecnici di progetto X_d calcolati secondo i coefficienti parziali M1 ed M2 previsti dal Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» e relativa Circolare applicativa.

I parametri geotecnici caratteristici X_k e quelli di progetto X_d sono espressi in termini non drenati.

**SISMICITÀ**

NORMATIVA

Di seguito si espone la sismicità del sito di intervento relativamente al Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» e relativa Circolare applicativa.

Inoltre si farà riferimento alle leggi regionali in materia di pianificazione, ovvero alla Deliberazione della Giunta Regionale n.630/2019 Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt.22 e 49, L.R . n. 24/2017).

Per definire l'accelerazione massima orizzontale = arefg si è fatto riferimento al Documento Excel SPETTRI-NTC ver.1.0.3 D.M. 14 gennaio 2008 Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni:

Coordinate sito (ED50): 44.501612 N; 11.355211 E

Vita nominale (Vn) struttura: 50 anni

Classe uso: IV

Coefficiente d'uso (Cu): 2.0

Periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_r = V_n * C_u$): 100 anni

Stato limite considerato: Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV)

Probabilità di superamento nel periodo di riferimento (Pvr): 10% in 100 anni

Periodo di ritorno (Tr): 949 anni

Utilizzando i parametri suddetti è stato definito il terremoto di scenario, la cui PGA0 (Pick Ground Acceleration, pericolosità sismica di base del sito di interesse) è risultata pari a **PGA0 = 0.210 (g)**.

Si è consultato il sito

<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=8c5d55e0d3b34ea78346e802fd4f6d73> dove è riportata la Carta sismogenetica d'Italia – Zone ZS9, derivante dagli studi sulla pericolosità sismica, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questi hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

Dalla Carta sismogenetica d'Italia – Zone ZS9 risulta che l'intervento in progetto rientra nella

Zona sismogenetica ZS9: Appennino Emiliano-Romagnolo- 913

Classificazione geografica: Appennino Settentrionale e Centrale

per la quale sono indicate:

Mw max_gr = 5,91

Mw max_gr = 6,14

Meccanismo di faglia: indeterminato

**STORIA SISMICA DI BOLOGNA**

Si fa riferimento a *A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11*, cioè al Database Macrosismico Italiano DBMI11 che contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti dal (1000 al 2006) che fanno parte di CPTI11 (Rovida et al., 2011), e in particolare relativi a:

- 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11;
- 197 terremoti etnei, i cui dati non sono utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro>; Azzaro et al., 2000; 2002; 2006; 2009).

I dati di intensità che contribuiscono a DBMI11 rappresentano un sostanziale avanzamento rispetto a quelli che hanno contribuito a DBMI04 (Stucchi et al., 2007). Oltre a questi ultimi, per la compilazione di DBMI11 sono stati considerati i dati provenienti dagli studi rilasciati a tutto il 2007 appartenenti alle seguenti categorie (Appendice 1):

- CFTI4med (Guidoboni et al., 2007);
- studi storico-macrosismici e rilievi macrosismici di autori INGV;
- Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE);
- studi storico-macrosismici pubblicati da altri autori;
- selezione di dati del bollettino macrosismico INGV.

I dati provenienti da studi pubblicati nel seguito o comunque non ancora utilizzati verranno utilizzati per la prossima versione del DBMI. Fra questi, Molin et al. (2008), relativo a 851 terremoti dal 1198 al 1980, e Camassi et al. (2011), relativo a 227 terremoti dal 1269 al 1980.

Storia sismica di Bologna [44.498, 11.340]					
Numero di eventi: 183					
Effetti	in occasione del terremoto:				
Is	Data	Ax	Np	Io	Mw
8	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8	5.57 ±0.25
7-8	1365 07 25 18:00	Bologna	1	7-8	5.35 ±0.34
7	1433 05 04 08:05	Bologna	4	6	4.72 ±0.34
7	1779 06 04 07:00	Bolognese	13	7	5.24 ±0.52
7	1779 07 14 19:30	Bolognese	17		
6-7	1399 07 20 23:00	Modenese	6	7	5.14 ±0.34
6-7	1455 12 20 20:45	Media valle del Reno	6		
6-7	1504 12 31 04:00	Bolognese	15		
6-7	1505 01 20 23:50	Bolognese	11		
6-7	1779 06 10 08:35	Bolognese	10		
6-7	1780 02 06 04:00	Bolognese	9	6	5.13 ±0.57
6-7	1796 10 22 04:00	Emilia orientale	27	7	5.61 ±0.36
6	1222 12 25 12:30	Basso Bresciano	18	7-8	5.84 ±0.56
6	1666 04 14 18:58	Bolognese	3	5	4.30 ±0.34
6	1688 04 11 12:20	Romagna	39	8-9	5.78 ±0.35
6	1779 06 01 23:55	Bolognese	8		
6	1779 06 02 07:30	Bolognese	3		
6	1779 11 23 18:30	Bolognese	14	5	4.99 ±0.31
6	1801 10 08 07:52:53	Bologna	6	6	5.07 ±0.83
6	1834 10 04 19:00	Bolognese	12	6	4.85 ±0.43
6	1881 01 24 16:14	Bolognese	38	7	5.16 ±0.30
6	1881 02 14 09:00:30	Bolognese	21		
6	1889 03 08 02:57:04	Bolognese	38	5	4.73 ±0.22
6	1909 01 13 00:45	Bassa padana	799	6-7	5.53 ±0.09
6	1929 04 10 05:43:12	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
5-6	1174 08 17 18:00	Val Padana	3	4-5	4.09 ±0.34
5-6	1280 01 25	Val Padana	2	5-6	4.51 ±0.34
5-6	1323 02 25 19:00	Bologna	5	5	4.30 ±0.34
5-6	1505 01 27 02:40	Bolognese	2		
5-6	1505 04 03 12:25	Bolognese	1		
5-6	1505 05 15	Bolognese	1		
5-6	1661 03 22 12:50	Appennino romagnolo	79	9	6.09 ±0.16



Effetti	in occasione del terremoto:				
Is	Data	Ax	Np	Io	Mw
5-6	1869 06 25 13:58	Media valle del Reno	18	7-8	5.42 ±0.48
5-6	1929 04 19 04:15:22	Bolognese	82		
5	1348 01 25 15:30	Carinzia	58	9-10	7.02 ±0.18
5	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10	6.48 ±0.18
5	1779 08 20 10:50	Bolognese	2	5	4.30 ±0.34
5	1850 09 18 06:20	Modenese	7	5	4.30 ±0.34
5	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10	6.32 ±0.11
5	1878 03 12 21:36	Bolognese	31	6	5.06 ±0.30
5	1878 04 05 09:46	Bolognese	6		
5	1879 04 27 04:06	Valle del Senio	20	7	5.05 ±0.50
5	1881 01 25 07:06	Bolognese	18		
5	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
5	1916 05 17 12:49:50	Alto Adriatico	132		5.95 ±0.14
5	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257		6.14 ±0.14
5	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
5	1929 04 20 01:09:46	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
5	1929 04 22 08:25:33	Bolognese	41		
5	1929 04 28 19:39:54	Bolognese	20		
5	1929 04 29 18:35:59	Bolognese	45		
5	1929 05 11 19:22:48	Bolognese	64		
5	2003 09 14 21:42:53	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09
4-5	1542 06 13 02:15	Mugello	46	9	5.94 ±0.21
4-5	1786 12 25 01:00	Riminense	91	8	5.62 ±0.17
4-5	1806 02 12	Novellara	28	7	5.19 ±0.39
4-5	1813 09 21 07:45	Romagna centrale	12	7	5.27 ±0.94
4-5	1830 01 26 04:30	Appennino bolognese	11	5-6	4.74 ±0.65
4-5	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
4-5	1873 09 17	Liguria orientale	67	6-7	5.43 ±0.15
4-5	1874 10 07	Imolese	60	7	5.02 ±0.18
4-5	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144		5.93 ±0.16
4-5	1918 11 10 15:12:28	Appennino romagnolo	187	9	5.88 ±0.11
4-5	1919 06 29 15:06:12	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
4-5	1976 05 06 20:00:12	Friuli	770	9-10	6.46 ±0.09
4-5	1976 09 15 09:21:19	Friuli	54		5.98 ±0.15
4-5	1996 10 15 09:56:02	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
4	1511 03 26 14:40	Slovenia	66	9	6.98 ±0.17
4	1536 08 17 00:05	Appennino tosco-emiliano?	10	6-7	5.29 ±0.56
4	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8	5.46 ±0.25
4	1624 03 19 19:45	Argenta	18	7-8	5.47 ±0.49
4	1661 03 21 23:00	Modenese	4	6-7	4.93 ±0.34
4	1725 10 29 17:40	Appennino tosco-emiliano	28	8	5.43 ±0.34
4	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10	5.94 ±0.17
4	1810 12 25 00:45	Novellara	33	6	5.29 ±0.22
4	1811 07 15 22:44	Sassuolo	21	6-7	5.25 ±0.40
4	1834 02 14 13:15	Valle del Taro-Lunigiana	112	9	5.83 ±0.15
4	1861 10 16	Forli'	10	6-7	5.10 ±0.48
4	1864 12 11 17:40	Mugello	9	7	5.11 ±0.73
4	1878 06 04 14:40	Bolognese	13		
4	1885 02 26 20:48	Scandiano	78	6	5.19 ±0.15
4	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8	6.23 ±0.08
4	1895 05 18 19:55:12	Fiorentino	401	8	5.43 ±0.08
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
4	1929 04 11 00:56:08	Bolognese	10		5.02 ±0.37
4	1929 04 12 00:32:12	Bolognese	7		5.09 ±0.37
4	1951 05 15 22:54	Lodigiano	154	6-7	5.39 ±0.14
4	1967 12 30 04:19:20	Bassa padana	40	6	5.24 ±0.19
4	1971 07 15 01:33:23	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
4	1983 11 09 16:29:52	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
4	1987 05 02 20:43:53	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
4	1989 09 13 21:54:01	Pasubio	779	6-7	4.88 ±0.09
4	1999 07 07 17:16:13	Frignano	32	5	4.70 ±0.09
3-4	1352 12 25	Monterchi	7	9	6.44 ±0.54



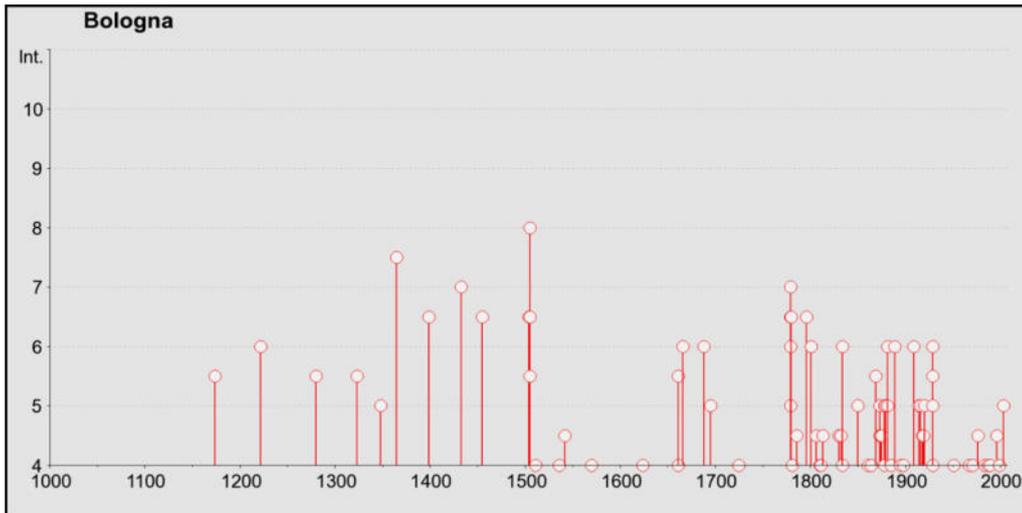
Effetti	in occasione del terremoto:				
	Is	Data	Ax	Np	Io
3-4	1483 08 11 19:40	Romagna meridionale	14	8	5.68 ±0.40
3-4	1591 07 10	Forlì	6	6-7	5.19 ±0.79
3-4	1864 03 15	Zocca	13	6-7	4.90 ±0.71
3-4	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8	5.95 ±0.10
3-4	1908 06 02 22:30	Frignano	18	4-5	4.52 ±0.25
3-4	1926 01 01 18:04:06	Slovenia	63	7-8	5.85 ±0.18
3-4	1964 09 05 21:08	Roncobilaccio	22	5	4.71 ±0.21
3-4	1997 09 26 09:40:27	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01 ±0.09
3	1414 08 07	Toscana occidentale	8	7-8	5.61 ±0.67
3	1501 06 05 10:00	Appennino modenese	20	9	5.98 ±0.32
3	1671 06 20 10:00	Modena-Reggio Emilia	8	7	5.25 ±0.72
3	1672 04 14 15:45	Riminese	92	8	5.61 ±0.21
3	1781 07 17 09:40	Romagna	46	8	5.58 ±0.26
3	1831 09 11 18:15	Reggiano	25	7-8	5.54 ±0.32
3	1834 07 04 00:45	Lunigiana-Parmense	24		
3	1843 10 25 03:30	Mugello	17	6-7	5.12 ±0.29
3	1870 10 30 18:34	Romagna	41	8	5.58 ±0.27
3	1881 09 28	Cesena	24	6-7	4.82 ±0.27
3	1885 12 29	Vittorio Veneto	47	6	5.18 ±0.19
3	1889 12 08	Apricena	122	7	5.69 ±0.13
3	1891 06 07 01:06:14	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.86 ±0.06
3	1894 11 27 05:07	Franciacorta	183	6	5.07 ±0.10
3	1897 12 18 07:24:20	Appennino umbro-marchigiano	132	7	5.13 ±0.14
3	1899 06 26 23:17:22	Valle del Bisenzio	138	7	5.06 ±0.15
3	1904 02 25 18:47:50	Reggiano	62	6	5.05 ±0.18
3	1904 06 10 11:15:28	Frignano	102	6	5.03 ±0.18
3	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.28 ±0.11
3	1913 07 21 22:35	Valle del Lamone	43	5-6	4.78 ±0.19
3	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
3	1922 05 24 21:17:25	Ferrarese	7	4	4.34 ±0.25
3	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4	4.42 ±0.22
3	1935 06 05 11:48:02	Faentino	27	6	5.16 ±0.25
3	1936 10 18 03:10:12	Bosco Cansiglio	267	9	6.12 ±0.09
3	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7	5.08 ±0.16
3	1956 04 26 03:00:03	Appennino tosco-emiliano	75	6	4.77 ±0.14
3	1960 10 29 00:08:39	Mugello	69	7	4.97 ±0.15
3	1963 07 19 05:45:28	Mar Ligure	463		6.02 ±0.14
3	1967 04 03 16:36:18	Reggiano	47	5-6	4.69 ±0.19
3	1978 12 25 22:53:42	Bassa mantovana	28	5	4.22 ±0.22
3	1979 02 09 14:44:17	Capriate S. Gervasio	73	6	4.85 ±0.13
3	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
3	1980 12 23 12:01:06	Piacentino	38	6-7	4.60 ±0.09
3	2004 11 24 22:59:38	Lago di Garda	176	7-8	5.06 ±0.09
2-3	1892 08 09 07:58	Valle d'Alpone	160	6-7	4.91 ±0.11
2-3	1929 07 18 21:01:58	Mugello	56	6-7	5.02 ±0.17
2-3	1976 09 11 16:35:02	Friuli	40		5.63 ±0.09
2-3	1992 04 17 11:59:09	Monteveglia	56	4-5	4.32 ±0.18
2	1802 05 12 09:00	Valle dell'Oglio	85	8	5.64 ±0.22
2	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7	5.28 ±0.35
2	1894 02 09 12:48:05	Valle d'Ilasi	116	6	4.77 ±0.15
2	1898 01 16 12:10:05	Romagna settentrionale	73	6-7	4.79 ±0.33
2	1901 10 30 14:49:58	Salò	190	8	5.70 ±0.10
2	1918 05 06 08:05	Reggiano	8	5-6	4.52 ±0.69
2	1930 10 30 07:13:13	Senigallia	263	8	5.81 ±0.09
2	1986 12 06 17:07:20	Bondeno	604	6	4.61 ±0.10
F	1194	Galeata	3	6-7	4.93 ±0.34
F	1349 09 09 08:15	Viterbese-Umbria	9		
F	1703 01 14 18:00	Appennino umbro-reatino	199	11	6.74 ±0.11
F	1887 02 23 05:21:50	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
NR	1234 03 20	Ferrara	5	7	5.14 ±0.34
NR	1249 09	Modena	4	6-7	4.93 ±0.34
NR	1346 02 22 11:00	Ferrara	5	6-7	4.93 ±0.34



Effetti	in occasione del terremoto:				
Is	Data	Ax	Np	Io	Mw
NR	1383 07 24 20:00	Parma	7	4-5	4.09 ±0.34
NR	1409 11 15 11:15	Parma	5	7	5.14 ±0.34
NR	1410 06 10 21:00	Verona	9		
NR	1438 06 11 02:00	Parmense	10	8	5.57 ±0.34
NR	1465 04 07 15:30	Pianura padana	11	5-6	4.51 ±0.34
NR	1474 03 11 20:30	Modena	12	5	4.30 ±0.34
NR	1491 01 24 23:50	Padova	6		
NR	1561 11 24 01:25	Ferrara	5	5-6	4.51 ±0.34
NR	1065 03 27 11:25	Brescia	6	7	5.14 ±0.34
NF	1509 04 19	Faentino	5	7	5.03 ±0.84
NF	1846 08 14 12:00	Toscana settentrionale	122	9	5.91 ±0.13
NF	1875 12 06	S.Marco in Lamis	97	8	5.98 ±0.16
NF	1887 11 14 05:48:05	Fiorentino	101	6	4.54 ±0.13
NF	1890 03 26 20:10	Cadore	48	6	4.96 ±0.38
NF	1892 12 29 13:48	Appennino bolognese	19	5-6	4.52 ±0.33
NF	1895 03 23	Comacchio	37	6	4.74 ±0.31
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
NF	1911 09 13 22:29	Chianti	115	7	5.19 ±0.14
NF	1984 04 29 05:02:60	Gubbio/Valfabbrica	709	7	5.65 ±0.09
NF	2000 05 06 22:07:04	Emilia Romagna	84	5	4.17 ±0.09
NF	2000 05 08 12:29:56	Emilia Romagna	126	5	4.66 ±0.09
NF	2000 05 10 16:52:12	Emilia Romagna	151	5-6	4.86 ±0.09
NF	2003 12 07 10:20:33	Zona Forlì	172	5	4.22 ±0.09
RS	1886 09 05	Val di Susa	102	7	5.25 ±0.17
RS	1892 01 05	Garda occidentale	100	6-7	5.02 ±0.15
RS	1967 12 09 03:09	Adriatico meridionale	22		
NC	1455 02 06	Media valle del Reno	2		

Parametro	Descrizione
Is	intensità al sito (MCS)
Data	tempo origine
Ax	area dei maggiori effetti
Np	numero di osservazioni macrosismiche
Io	intensità epicentrale (MCS)
Mw	magnitudo momento

CONVENZIONI PER LA GESTIONE DEI VALORI DI INTENSITÀ MACROSISMICA (Is)	
D	danno (damage) di entità non precisabile (indicativamente $I \geq 6$)
F	avvertito (felt): si ritiene di escludere che si siano verificati danni ($3 \leq I \leq 5$)
NC	non classificato (not classified): indica una informazione non classificabile in termini di intensità ovvero con i codici utilizzati
EE	effetti sull'ambiente (environment effects), in prossimità della località cui vengono riferiti
SW	effetti marini anomali (sea waves): indica maremoto o comunque effetti anomali in mare, in prossimità della località cui vengono riferiti
NR	non segnalato (not reported): utilizzato a volte per segnalare che nelle fonti non vi è menzione di effetti per quella data località
NF	non avvertito (not felt): in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a $I = 1$
RS	registrazione strumentale: alcuni studi riportano questa informazione, non utilizzabile dal punto di vista macrosismico, che tuttavia si è preferito conservare



La storia sismica di Bologna riportata dal DBMI11 indica che:

- in occasione del terremoto del 03/01/1505 alle ore 02:00;
- l'area dei maggiori effetti è stata localizzata nel bolognese;
- l'intensità massima al sito è stata $I_s = 8$ (MCS);
- la magnitudo momento massima al sito è stata $M_w = 5.57 \pm 0.25$.
 $M_{w_{max}} = 5.57 + 0.25 = 5.82$

Di seguito si riporta una carta semplificata degli effetti sismici nell'area del centro storico di Bologna tratto da "I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo" di Enzo Boschi ed Emanuela Guidoboni – INGV – SGA – 2003: "La carta è stata elaborata sulla base di tutti i danni sismici attestati....È stata scelta una tematizzazione per celle di 100x100m e sono stati evidenziati gli effetti sull'edilizia con tonalità diverse, secondo le metodologie adottate nella suddetta pubblicazione. Sono qui sovrapposti gli effetti di 15 terremoti dal XII al XX secolo....."

Bologna – carta semplificata degli effetti sismici nell'area del centro storico

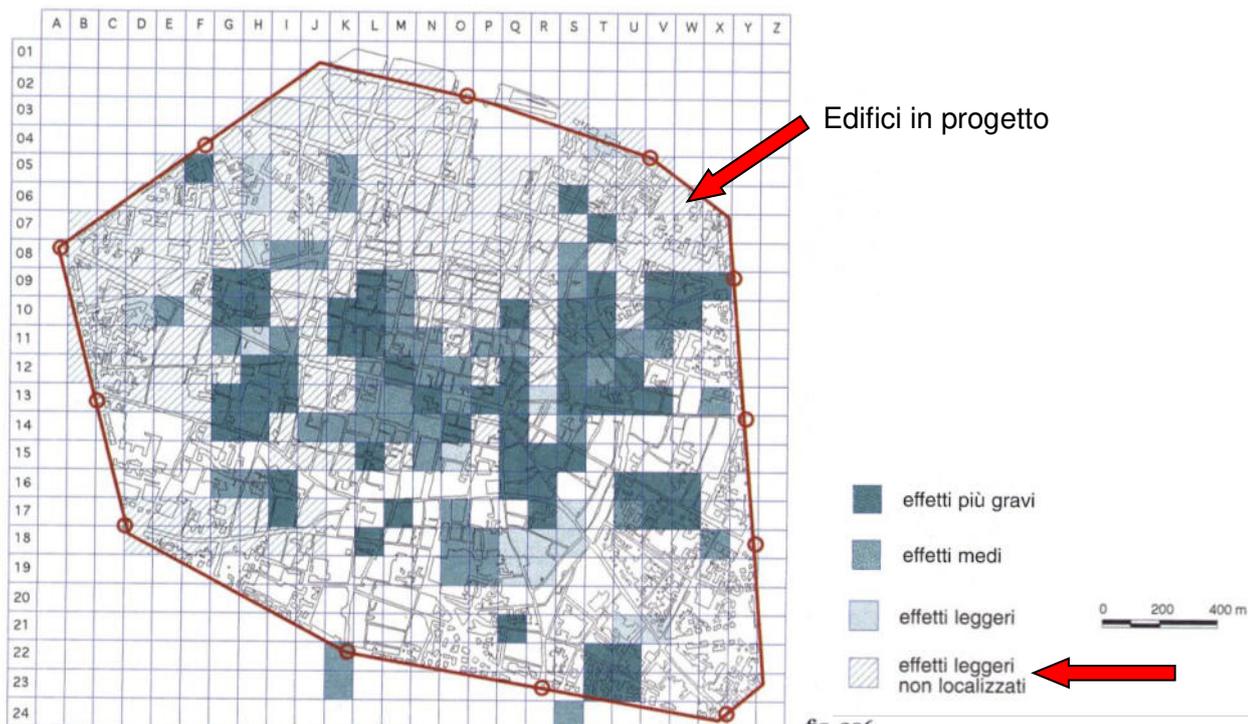
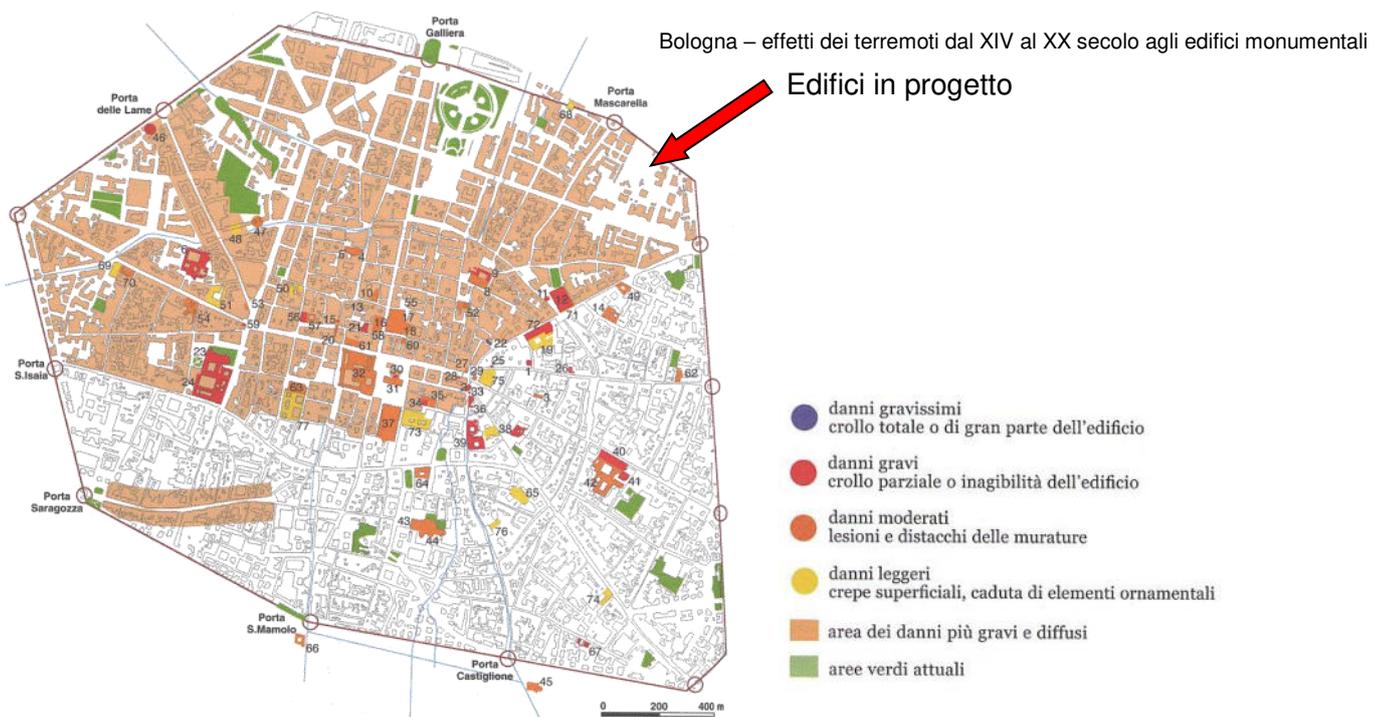


fig. 206

Relativamente alla carta semplificata degli effetti sismici nell'area del centro storico di Bologna, gli edifici in progetto rientrano in due celle contraddistinte da effetti leggeri non localizzati. Peraltro si osserva come le celle in questione non risultano adiacenti a celle caratterizzate da effetti maggiori.

“Occorre ricordare che il centro storico di Bologna non ha subito molte variazioni per quanto riguarda la forma della città e la distribuzione areale del suo patrimonio monumentale dal XVI secolo ai primi anni Ottanta del XX secolo: questo elemento di stabilità contribuisce a dare maggiore validità alla carta di sintesi. Il tipo di rappresentazione qui scelto semplifica ed enfatizza gli effetti puntuali sui singoli edifici rappresentati nella mappa degli effetti dei terremoti dal XIV al XX secolo agli edifici monumentali. Lo scopo è infatti di evidenziare il livello e la tipologia degli effetti, non la densità dei danni.....”



Secondo la carta degli effetti dei terremoti dal XIV al XX secolo agli edifici monumentali di Bologna, gli edifici in progetto rientrano in una zona priva di informazioni posta all'interno di un settore del centro storico classificata come area dei danni più gravi e diffusi.

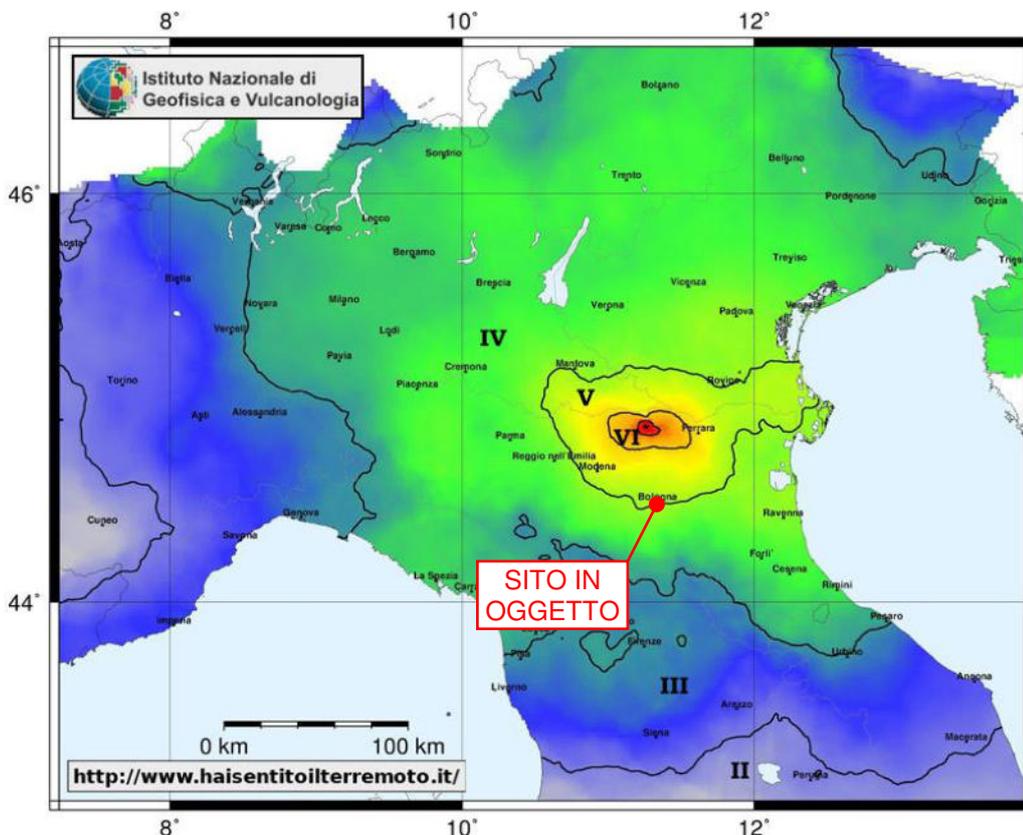
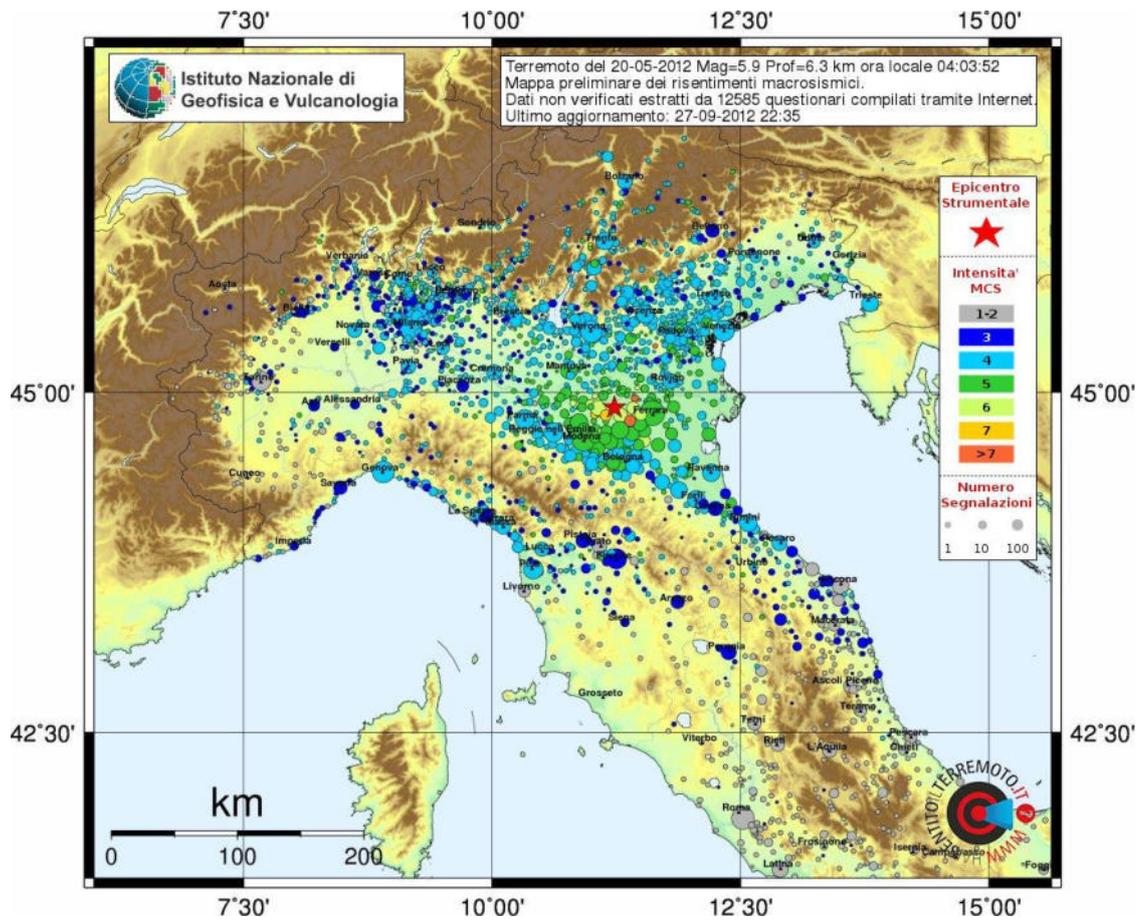
Dati più recenti del Database Macrosismico Italiano 2011 sono quelli relativi alla sequenza sismica emiliana iniziata il 20 maggio 2012 che ha attivato il fronte esterno dell'Appennino tra Ferrara e Mirandola, su una lunghezza di oltre 45 chilometri. Il primo evento con magnitudo 5.9 ha coinvolto la porzione centrale, tra Finale Emilia e San Felice sul Panaro; l'evento del 29 maggio con magnitudo 5.8 ha rotto la faglia a Ovest di San Felice sul Panaro verso Mirandola, mentre la porzione a Est di Finale Emilia verso Ferrara ha registrato in questa sequenza eventi con magnitudo fino a 5.1.

Un modo per valutare rapidamente i risentimenti percepiti ed i possibili danni a seguito di un terremoto è quello di raccogliere le valutazioni della popolazione che compila dei questionari appositi sul web.

Una simile procedura è utilizzata dall'INGV, utilizzando i contributi dei cittadini che hanno compilato il questionario al sito www.haisentitoilterremoto.it, sono stati raccolti ed analizzati mediante tecniche statistiche dedicate. Il risultato è la mappa, per ogni terremoto significativo, delle intensità degli effetti del terremoto riferiti ai centri abitati.

I dati non sono verificati. In particolare le intensità maggiori o uguali al VI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) necessitano della verifica sul posto da parte di personale specializzato.

I dati delle intensità dei centri abitati sono interpolati e filtrati per ottenere il campo macrosismico, ovvero una mappa continua su tutto il territorio interessato. I colori si riferiscono ai gradi della scala MCS riportati in numeri romani. In prima approssimazione l'intensità diminuisce allontanandosi dall'epicentro del sisma ma questo fenomeno è reso più complesso da una serie di motivi legati alla geometria della faglia, alla propagazione delle onde sismiche, influenzate dal tipo di rocce che queste attraversano, ed infine alla geologia locale.



Il campo macrosismico del terremoto del 20 maggio 2012 alle 04:03 (MI5.9) ottenuto dai dati delle intensità dei centri abitati interpolati e filtrati. I colori si riferiscono ai gradi della scala MCS riportati in numeri romani.



L'intensità macrosismica risentita al sito in oggetto, in occasione del terremoto $M = 5.9$ del 20 maggio 2012 ore 04.03 con epicentro a San Felice sul Panaro risulta del grado V ($I_s = 5MCS$) indicato dall'INGV con dati, peraltro, non ancora verificati.

Riassumendo, la storia sismica di Bologna riportata dal DBMI11 indica che:

- in occasione del terremoto del 03/01/1505 alle ore 02:00;
- l'area dei maggiori effetti è stata localizzata nel bolognese;
- l'intensità massima al sito è stata $I_s = 8$ (MCS);
- la magnitudo momento massima al sito è stata $M_w = 5.57 \pm 0.25$, $M_{w_{max}} = 5.82$.

Di seguito si riporta la Scala Mercalli-Sieberg illustrata nei dettagli al fine di caratterizzare l'intensità relativa delle scosse sismiche [da Sieberg A., 1930. *Geologie der Erdbeben, Handbuch der Geophysik*, 2, 4, 552-555]. Tabella 102.

I grado. Impercettibile: evento rilevato soltanto dai sismografi.

II grado. Molto leggero: avvertito soltanto da rare persone nervose, oppure molto sensibili, che si trovano in uno stato di assoluto silenzio e quasi sempre ai piani superiori dei caseggiati.

III grado. Leggero: anche in zone densamente abitate viene percepito come scossa soltanto da una piccola parte delle persone che si trovano all'interno delle case, così come se passasse un'automobile a velocità elevata. Da alcuni viene riconosciuto come terremoto soltanto dopo che ne hanno parlato tra loro.

IV grado. Moderato: non molte delle persone che si trovano all'aria aperta percepiscono il terremoto. All'interno delle case il sisma viene invece riconosciuto da un maggior numero di persone, ma non da tutte, in seguito al tremolio, oppure alle lievi oscillazioni dei mobili, in conseguenza delle quali la cristalleria ed il vasellame, posti a breve distanza, si urtano come quando un autocarro pesante passa su un asfalto sconnesso; i vetri delle finestre tintinnano; porte, travi ed assi in legno scricchiolano, crepitano i soffitti. In recipienti aperti i liquidi vengono leggermente smossi. In casa si ha la sensazione che venga rovesciato un oggetto pesante (un sacco, un mobile), oppure di oscillare insieme con la sedia o il letto, come avviene su una nave con mare mosso. Questo movimento tellurico di solito non provoca paura nelle persone a meno che non siano nervose o apprensive a causa di terremoti precedenti. In rari casi si sveglia chi sta dormendo.

V grado. Abbastanza forte: il sisma viene percepito da numerose persone anche da quelle impegnate nelle attività giornaliere, in strada e, se sensibili, anche all'aria aperta. Nelle abitazioni si avverte la scossa in seguito al movimento ondulatorio dell'intero edificio. Si vedono le piante e le frasche, nonché i rami più piccoli dei cespugli e degli alberi agitarsi, come se ci fosse un vento moderato. Oggetti appesi, come tendaggi, semafori, lampade e lampadari non troppo pesanti iniziano ad oscillare; dei campanelli risuonano; gli orologi a pendolo subiscono un arresto oppure un'accelerazione, a seconda che la direzione della scossa sia perpendicolare o normale al moto di oscillazione; allo stesso modo gli orologi a pendolo fermi possono riprendere a funzionare; le molle dell'orologio tintinnano; la luce elettrica si mette a tremolare o viene a mancare in seguito ai movimenti che interessano le linee della corrente; i quadri, urtano rumorosamente contro le pareti, oppure si spostano; da recipienti colmi ed aperti vengono versate fuori piccole quantità di liquido; possono cadere a terra ninnoi ed piccoli oggetti, così come avviene anche per oggetti addossati alle pareti; gli arredi leggeri possono perfino essere un po' spostati; i mobili strepitano; le porte e le imposte si aprono e si chiudono sbattendo; i vetri delle finestre si infrangono. Si svegliano quasi tutti coloro che stanno dormendo. In qualche caso le persone fuggono all'aperto.

VI grado. Forte: il terremoto viene percepito da tutti con un certo panico, tanto che molti fuggono all'aperto, mentre alcuni hanno anche la sensazione di cadere. I liquidi si agitano fortemente; quadri, libri, ed analoghi oggetti cadono dalle pareti e dagli scaffali; le stoviglie vanno in pezzi; le suppellettili, anche quelle in posizione stabile, e perfino singole parti dell'arredamento vengono spostati se non addirittura, rovesciate; si mettono a suonare le campane di dimensioni minori nelle cappelle e nelle chiese, gli orologi dei campanili battono le ore. In alcune case, anche se costruite in maniera solida si producono lievi danni: fenditure nell'intonaco, caduta del rivestimento di soffitti e di pareti. Danni più gravi, ma ancora non pericolosi, si hanno su edifici mal costruiti. Si può verificare la caduta di qualche tegola e pietra di camino.

VII grado. Molto forte: ragguardevoli lesioni vengono provocate all'arredamento delle abitazioni, anche agli oggetti di considerevole peso che si rovesciano e si frantumano. Rintoccano anche le campane di dimensioni maggiori. Corsi d'acqua, stagni e laghi si agitano di onde e s'intorbidiscono a causa della melma smossa. Qua e là, scivolano via parti delle sponde di sabbia e ghiaia. I pozzi variano il livello, dell'acqua in essi contenuta. Danni modesti a numerosi edifici se solidamente costruiti: piccole spaccature nei muri, caduta di parti piuttosto grandi del rivestimento di calce e della decorazione in stucco, crollo di mattoni e in genere, caduta di tegole. Molti camini vengono lesi da incrinature, da tegole in caduta, dalla fuoruscita di pietre; i camini danneggiati crollano sul tetto e lo rovinano. Dalle torri e dagli edifici più alti cadono le decorazioni non ben fissate. Nelle costruzioni a traliccio, risultano ancora più gravi i danni ai rivestimenti. In alcuni casi si ha il crollo delle case mal costruite oppure riattate.

VIII grado. Rovinoso: i tronchi degli alberi ondeggiavano tutti in maniera molto forte ed arrivano a spaccarsi. Anche i mobili più pesanti vengono spostati lontano dal proprio posto e a volte rovesciati. Statue, pietre miliari o cose simili poste sul terreno o anche nelle chiese, nei cimiteri e nei parchi pubblici, ruotano sul piedistallo oppure si rovesciano. Solidi muri di cinta in pietra vengono fessurati ed abbattuti. Circa un quarto delle case riporta gravi danni; alcune di esse crollano; molte diventano inabitabili. Negli edifici costruiti con intelaiatura cade gran parte dei rivestimenti. Le case in legno vengono tirate giù o rovesciate. Specialmente i campanili delle chiese e le ciminiere delle fabbriche provocano con la loro caduta lesioni più gravi agli edifici circostanti di quanto non avrebbe fatto da solo il terremoto. In pendii e terreni acquirinosi si formano delle crepe; dai terreni intrisi di acqua fuoriescono sabbia e melma.

IX grado. Distruttivo: circa la metà delle case in pietra sono seriamente distrutte, molte crollano, la maggior parte diviene inabitabile. Case ad intelaiatura sono divelte dalle proprie fondamenta e compresse su se stesse, in tal modo vengono tranciate le travi di supporto degli ambienti ed in presenza di tali circostanze esse contribuiscono a distruggere considerevolmente le case.



X grado. Completamente distruttivo: gravissima distruzione di circa i 3/4 degli edifici; crolla la maggior parte delle costruzioni. Perfino solidi edifici di legno e ponti ben costruiti subiscono gravi lesioni, alcuni vengono distrutti. Argini e dighe ecc., chi più chi meno, sono danneggiati in maniera considerevole; i binari vengono leggermente piegati e le tubature (gas, acqua e scarichi) subiscono troncamenti, rotture e schiacciamenti. Nelle strade lastricate e asfaltate si formano crepe e per la pressione nel suolo si creano ampi corrugamenti ondulati. In terreni meno compatti e specialmente in quelli umidi si creano spaccature dell'ampiezza di più decimetri; in particolar modo si notano parallelamente ai corsi d'acqua fenditure che raggiungono larghezze fino a un metro. Non solo dai pendii scivola il terreno più franoso, ma interi macigni rotolano a valle. Grossi massi si staccano dagli argini dei fiumi e dalle coste scoscese; sulle rive basse e piatte si verificano spostamenti di masse sabbiose e fangose; ciononostante il rilievo del terreno non subisce cambiamenti essenziali. Spesso i pozzi variano il livello dell'acqua. Da fiumi, canali, laghi, ecc. le acque vengono spinte contro le rispettive sponde.

XI grado. Catastrofico: crollo di tutti gli edifici in muratura, anche se alcune solide costruzioni e le capanne di legno ad incastro di grande elasticità possono ancora resistere singolarmente. Anche i ponti più grandi e sicuri crollano a causa della caduta di pilastri in pietra o del cedimento di quelli in ferro. Argini e dighe vengono completamente staccati l'uno dall'altro, spesso anche per lunghi tratti, i binari fortemente piegati e compressi. Le tubature nel terreno vengono spaccate e rese irreparabili. Nel terreno si manifestano vari mutamenti di notevole estensione che sono determinati dalla natura del suolo: si aprono grandi crepe e spaccature ed il dissesto in direzione orizzontale e verticale è considerevole soprattutto in terreni soffici ed acquitrinosi. Si verifica di conseguenza la fuoriuscita di acqua che pur nelle sue diverse forme di travaso porta con sé sempre sabbia e melma. Sono frequenti sfaldamenti del terreno e caduta di massi.

XII grado. Grandemente catastrofico: non resiste alcuna opera dell'uomo. Il suolo subisce le più grandi trasformazioni. Allo stesso modo i corsi d'acqua, sia che si trovino sulla superficie terrestre, sia che siano sotterranei, subiscono i mutamenti più disparati: si generano cascate, si formano laghi, i fiumi vengono deviati ecc. Poiché il gran numero di segni di tal fatta rende difficoltosa la consultazione di questa scala, gli indicatori più importanti sono stati riuniti in una visione di insieme nella tabella 103. Chi invece faccia proprio il contenuto della scala in versione ampliata, troverà in generale che è più facile da ricordare il prospetto semplificato. Nelle zone ad alta sismicità, si ha per lo più cura che sia prestata attenzione solo ai possibili effetti distruttivi del terremoto, così che spesso riesce difficile, al di fuori del territorio devastato, ottenere dati utilizzabili per la classificazione del grado. Nella nuova scala si è tenuto conto soltanto in parte dei diversi modi di costruire. Ma questa carenza alla lunga non si rivela poi un elemento di grande importanza, come potrebbe sembrare a prima vista, in quanto noi non vogliamo ottenere valori assoluti, ma soltanto valori relativi, confrontabili tra loro. Pertanto come insegna anche l'esperienza, la scala Mercalli ampliata deve essere un po' adattata, in maniera sufficiente, alle particolarità edilizie, e non soltanto, delle diverse località del mondo. A volte possono essere stimati dei mezzi gradi. Ecco perché, come viene spiegato nel capitolo 17, si deve prestare particolare attenzione nello stimare le trasformazioni subite dal suolo.

TABELLA DI GRAVITÀ DEL TERREMOTO

Magnitudo Richter	Effetti sisma
0 - 1,9	Può essere registrato solo mediante adeguati apparecchi.
2 - 2,9	Solo coloro che si trovano in posizione supina lo avvertono; un pendolo si muove.
3 - 3,9	Poca gente lo avverte come un passaggio di un camion; vibrazione di un bicchiere.
4 - 4,9	Normalmente viene avvertito; un pendolo si muove notevolmente; bicchieri e piatti tintinnano; piccoli danni.
5 - 5,9	Tutti lo avvertono scioccante; molte fessurazioni sulle mura; crollo parziale o totale di poche case; alcuni morti e feriti.
6 - 6,9	Tutti lo percepiscono; panico; crollo delle case; morti e feriti; onde alte.
7 - 7,9	Panico; pericolo di morte negli edifici; solo alcune costruzioni rimangono illese; morti e feriti.
8 - 8,9	Ovunque pericolo di morte; edifici inagibili; onde alte sino a 40 metri.
9	Totale allagamento dei territori in questione o spostamento delle terre e numerosissimi morti. Pochi sopravvissuti.

LIQUEFAZIONE

La liquefazione del terreno è un fenomeno caratterizzato da un improvviso collasso-cedimento con forte decremento della resistenza al taglio dei terreni e temporaneo aumento delle pressioni interstiziali. Si determina in seguito a sollecitazione sismica e solamente in terreni costituiti da sabbie con poco fine, sciolte, in falda.

Si fa riferimento al *Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*:

7.11.3.4.1 Generalità

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.



Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

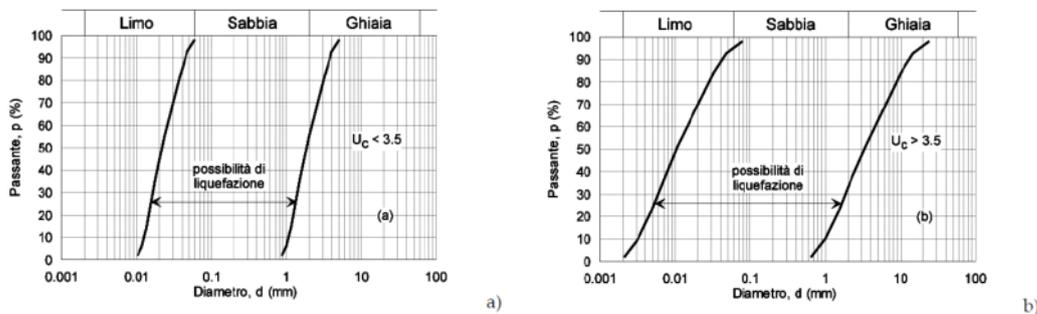


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Facendo riferimento alla Carta sismogenetica d'Italia – Zone ZS9 riporta come intensità massima al sito Magnitudo massima $Mw_{max} = 5.91$ (Richter).

L'accelerazione massima attesa al piano campagna è maggiore di 0.1g, essendo $A_{max} = 0.287$ (g), rif. Documento Excel SPETTRI-NTC ver.1.0.3 D.M. 14 gennaio 2008 Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

La profondità media stagionale della falda è superiore a 15m dal piano campagna; nel caso in oggetto la soggiacenza media al massimo innalzamento ipotizzabile della falda è a -4.17m dal piano campagna.

La caratterizzazione granulometrica-litologica dei depositi alluvionali sottostanti gli interventi in oggetto è derivata dagli esiti delle penetrometrie statiche meccaniche CPT1-2-3-4-5-6-7-8.

Di seguito si riporta una tabella schematica in cui si evidenziano i depositi di sabbie, sabbie limose, da sciolte ad addensate, in falda, che potrebbero essere potenzialmente suscettibili di liquefazione.

DEPOSITI DI SABBIE, SABBIE LILOSE, DA SCIOLTE AD ADDENSATE, IN FALDA				
Penetrometria	Profondità	Spessore	Litologia	qc
CPT2	4.4-4.8m	0.4m	Sabbie limose, mediamente addensate	41-43kg/cm ²
CPT2	5.4-5.8m	0.4m	Sabbie, sabbie limose, mediamente addensate	44-58kg/cm ²
CPT3	4.8-5.2m	0.4m	Sabbie limose, sciolte	19-28kg/cm ²
CPT3	16.8-17.2m	0.4m	Sabbie limose, mediamente addensate	34-35kg/cm ²
CPT4	4.6-5.2m	0.6m	Sabbie limose, mediamente addensate	48-74kg/cm ²
CPT8	3.4-4.0m	0.6m	Sabbie limose, mediamente addensate - addensate	82-122kg/cm ²



Pertanto si procede alla verifica alla liquefazione valutando l'Indice di Potenziale Liquefazione (Liquefaction Potential Index o LPI).

I parametri di input, i grafici e gli elaborati di calcolo sono riportati in allegato.

La seguente tabella riassume i risultati.

Penetrometria	LPI	Rischio di liquefazione
CPT2	0.827	basso
CPT3	0.475	basso
CPT4	0.407	basso
CPT8	0.113	basso

Rif. Iwasaki, Somnez:

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI 0.00 < LPI < 5.00 - Liquefaction risk low

LPI 5.00 < LPI < 15.00 - Liquefaction risk high

LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Le verifiche alla liquefazione dei depositi in oggetto ha definito che l'Indice di Potenziale Liquefazione $0.113 < LPI < 0.827$, da cui risulta che il rischio di liquefazione è basso.

Altresì, tali terreni incoerenti sono sottoposti a spessori di 1.6÷2.8m di argille limose, limi argillosi, da plastici a molto consistenti. Inoltre risultano sottostanti ad almeno 3.4m di terreni non liquefacibili.

Si osserva che:

- lo spessore depositi potenzialmente liquefacibili è alquanto limitato (0.4÷0.6m). Anche se le Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018 non si esprimono in merito allo spessore, numerosi Piani Strutturali Comunali della pianura bolognese riportano come limite di spessore un metro, oltre al quale è necessario procedere a verifica alla liquefazione;
- sussiste un deposito coesivo (acquitardo) di argille limose e limi argillosi, da plastici a molto consistenti, di spessore 1.6÷2.8m che confina superiormente i terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione, impedendo la liquefazione.

Tale deduzione fa riferimento al metodo di Sherif & Ishibashi (Fig.7.1 e Fig.7.2 seguenti). Questo ammette che si possano verificare fenomeni di liquefazione solo nei livelli che presentino le seguenti caratteristiche:

- siano costituiti da sabbie o sabbie limose nei primi 5m;
- si trovino sotto il livello statico della falda.
- gli strati di copertura non abbiano spessore maggiore di 3 metri.

Se questi requisiti sono presenti, si prosegue nell'elaborazione, prendendo in considerazione la granulometria e l'addensamento del deposito. Il metodo richiede che siano condotte analisi granulometriche su campioni dello strato potenzialmente liquefacibile.

Le curve ricavate vanno confrontate con due profili granulometrici di riferimento, uno per granulometrie uniformi, l'altro per granulometrie estese (presenza di frazioni argillose o ghiaiose). In assenza di analisi granulometriche, va effettuata almeno una descrizione sommaria della litologia del deposito, da confrontare con i due profili.

Verificato che la granulometria dello strato sia predisponente al manifestarsi di fenomeni di liquefazione, per poter emettere un giudizio definitivo sulla vulnerabilità del deposito occorre prendere in considerazione il suo grado di addensamento, valutato attraverso prove SPT o SCPT.

Se il numero di colpi ricade, anche parzialmente, nella fascia A, il deposito è liquefacibile, se ricade nella fascia C non è liquefacibile.

La fascia B infine riguarda strati in cui la liquefazione è possibile, ma non probabile.

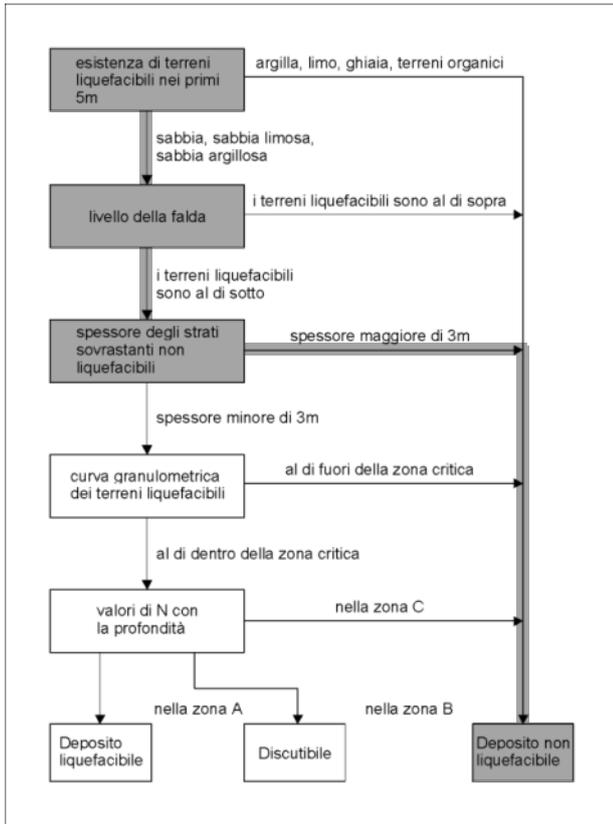


Fig.7.1 - Procedura semplificata per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un deposito (Sherif e Ishibashi, 1978).

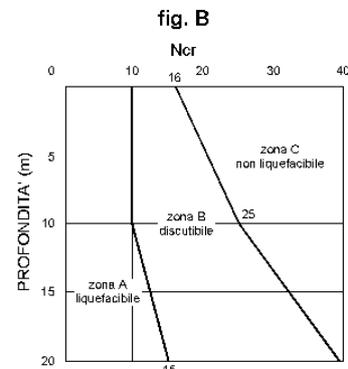
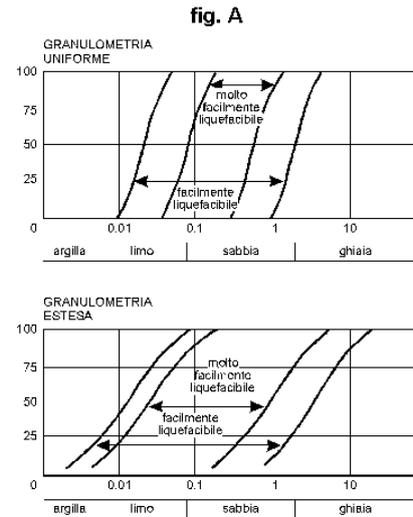


Fig. 7.2 - Procedura semplificata per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione di un deposito:
fig. A - fasce granulometriche critiche
fig. B - profili critici del numero di colpi della prova SPT

Nel caso in oggetto, seguendo il diagramma di flusso di fig.7.1, si giunge a determinare che i depositi in oggetto non risultano liquefacibili.

In tal senso gioca un ruolo determinante lo spessore dei depositi sovrastanti non liquefacibili ad impedire la liquefazione.

Sono tra l'altro significative le considerazioni riportate a pag.4 del "RAPPORTO PRELIMINARE SUI DIFFUSI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE VERIFICATISI DURANTE IL TERREMOTO IN PIANURA PADANA EMILIANA DEL MAGGIO 2012" Crespellani T., Facciorusso J., Ghinelli A., Madiati C., Renzi S., Vannucchi G.. – 2012.

Si sottolinea che nel caso delle liquefazioni di San Carlo (FE) avvenute nel corso della sequenza sismica del maggio-giugno 2013 risultava completamente assente il confinamento superiore di depositi coesivi; era infatti presente una copertura costituita da alternanze di limi sabbiosi e di sabbie limose.

Si deve altresì considerare che la ricerca storica (P. GALLI & F. MELONI Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia, 1993) non ha segnalato eventi di liquefazione in Comune di Bologna.

**STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL'AZIONE SISMICA NEI TERRENI COESIVI SOFFICI**

Si fa riferimento al paragrafo B3. *Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi soffici* della Deliberazione della Giunta Regionale n.630 del 29/04/2019 - ALLEGATO A - Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017).

Nel suddetto paragrafo viene riportato:

“Nei depositi coesivi soffici ($c_u \leq 70\text{kPa}$; $V_s < 180\text{m/s}$) e plastici ($IP \geq 30\%$), in cui si prevede un incremento

delle pressioni interstiziali $\frac{\Delta u}{p_0} \geq 0.3$ durante l'azione sismica di riferimento, la deformazione volumetrica

(e verticale) e quindi l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto può essere stimata con l'equazione (Yasuhara e Andersen, 1991).....”

La caratterizzazione granulometrica-litologica dei depositi alluvionali sottostanti gli interventi in oggetto è derivata dagli esiti delle penetrometrie statiche meccaniche CPT1-2-3-4-5-6-7-8.

Di seguito si riporta una tabella schematica in cui si evidenziano i depositi coesivi soffici con $C_u \leq 0.7\text{kg/cm}^2$, che potrebbero essere potenzialmente suscettibili di cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

DEPOSITI COESIVI SOFFICI CON $C_u \leq 0.7\text{ kg/cm}^2$				
Penetrometria	Profondità	Spessore	Litologia	C_u coesione non drenata
CPT2	6.6-7.4m	0.8m	limi argillosi, plastici	0.52kg/cm^2
CPT2	15.4-16.0m	0.4m	limi argillosi, plastici	0.58kg/cm^2
CPT3	3.8-4.2m	0.4m	limi argillosi, plastici	0.44kg/cm^2
CPT3	5.6-6.4m	0.8m	limi argillosi, plastici	0.53kg/cm^2
CPT3	13.8-16.8m	3.0m	limi argillosi, plastici	0.58kg/cm^2
CPT4	5.6-6.4m	0.8m	limi argillosi, plastici	0.59kg/cm^2
CPT6	5.8-6.4m	0.6m	limi argillosi, plastici	0.66kg/cm^2

Le penetrometrie CPT non consentono di definire l'indice plastico IP dei terreni in questione, tuttavia si deve considerare che, facendo riferimento al diagramma di plasticità di Casagrande, i terreni contraddistinti da indice plastico $IP \geq 30\%$ sono argille inorganiche di media e alta plasticità. I depositi coesivi soffici con $C_u \leq 0.7\text{ kg/cm}^2$ identificati dalle CPT sono al contrario limi argillosi, la cui plasticità è inferiore al limite del 30% secondo il diagramma di plasticità di Casagrande.

Pertanto i depositi coesivi soffici con $C_u \leq 0.7\text{kg/cm}^2$ riportati nella tabella di pag. 38 non sono assimilabili a terreni che possono determinare cedimenti postsismici.

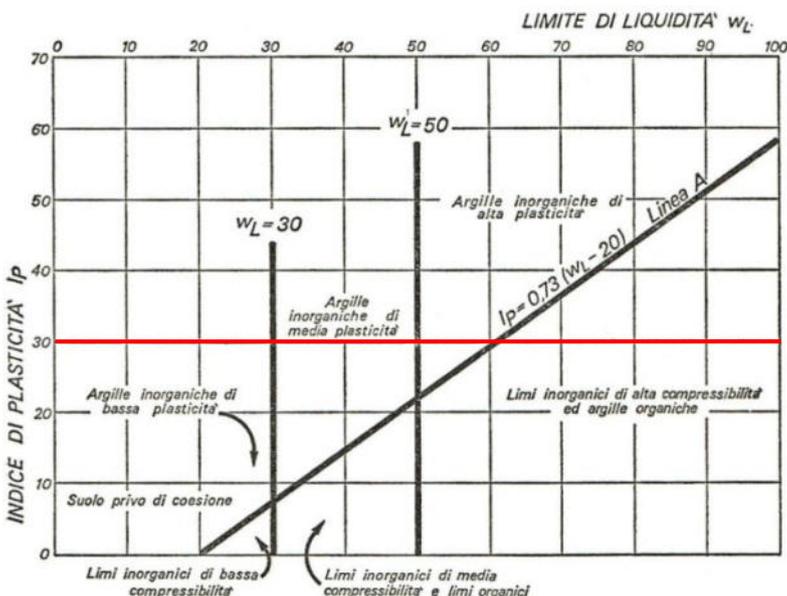


Diagramma di plasticità di Casagrande



INDAGINI GEOFISICHE-SISMICHE IN SITO

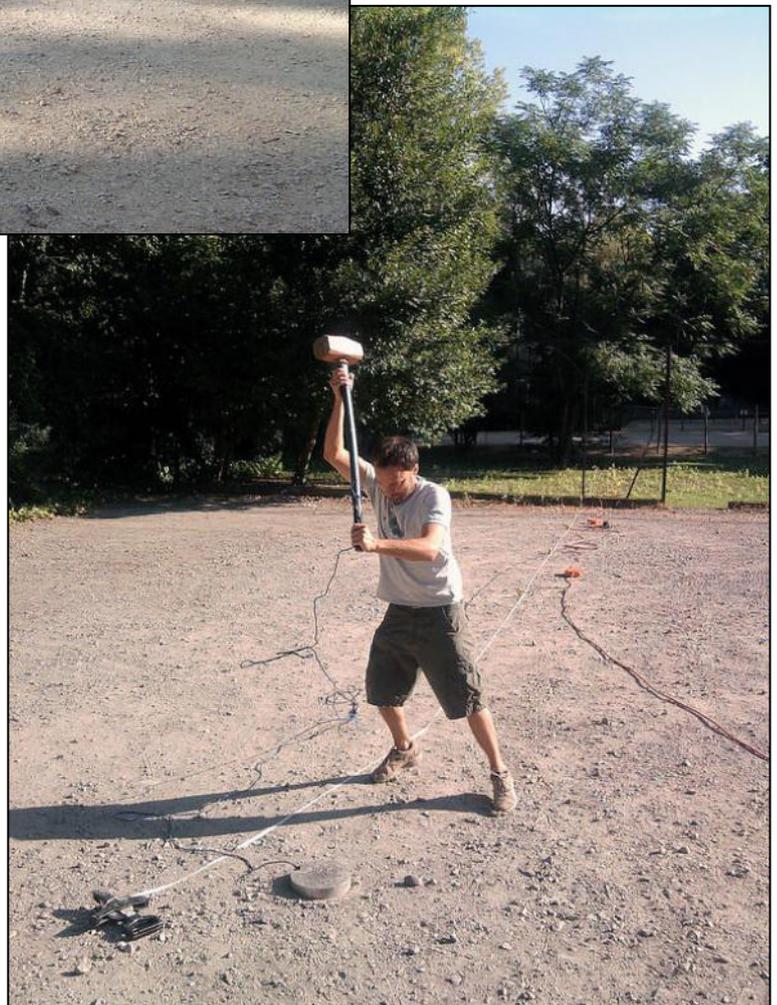
Per determinare la categoria sismica di sottosuolo di fondazione si è ricorsi all'approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . Sono state eseguite indagini geofisiche in sito al fine di ottenere la classificazione del tipo di sottosuolo sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (V_s) entro i primi 30m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel paragrafo 3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE del Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» e relativa Circolare applicativa.

In data 03/08/2012 la ditta GEOTEA s.r.l. ha eseguito le seguenti indagini geofisiche-sismiche in sito:

- n.1 indagine sismica attiva tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave);
- n.2 indagini sismiche passive tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).



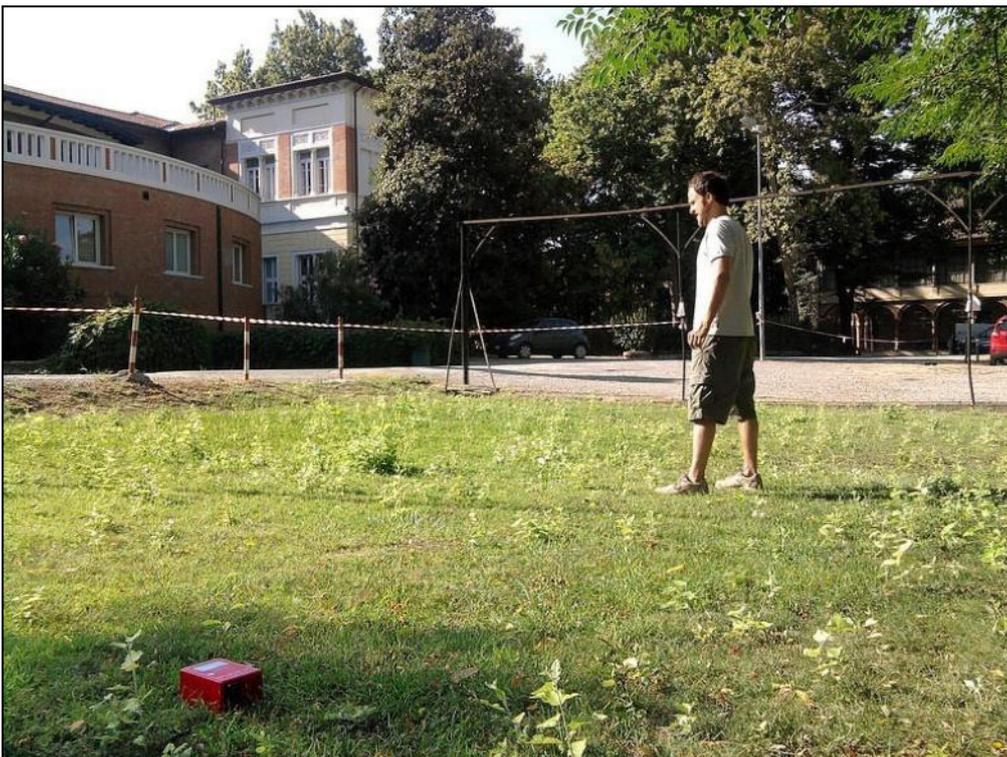
Stendimento MASW e geofoni.



Fase di energizzazione dello stendimento MASW.



HVSR1



HVSR2

Le indagini tipo HVRS e lo stendimento per l'indagine tipo MASW sono ubicati nella planimetria generale di fig.6.

La descrizione della metodologia delle indagini geofisiche-sismiche in sito, il rapporto dei dati sperimentali e dei risultati dell'analisi prodotti dalla GEOTEA s.r.l. sono riportati in allegato.

Lo scrivente ha fornito alla ditta GEOTEA s.r.l. l'inquadramento geologico della zona, le sezioni geologiche di fig.4-5, la planimetria di fig.6, le tabelle penetrometriche delle CPT, utili per la taratura delle indagini geofisiche-sismiche in sito, cioè per definire il modello sismico, la $V_{s,30}$ e la frequenza di risonanza del terreno, confrontando e verificando la congruità delle prove MASW e HVSR con le conoscenze stratigrafiche locali.

I dati geofisici riportati nella relazione della GEOTEA s.r.l. del Settembre 2012, allegata alla relazione geologica dello scrivente del 03/10/2012, sono stati reinterpretati alla luce delle informazioni aggiuntive



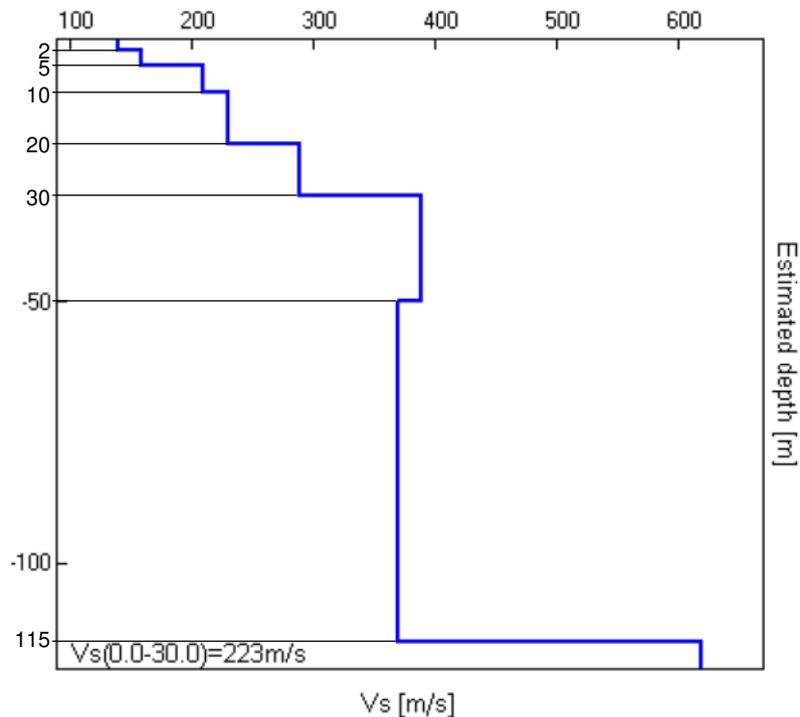
derivate da sezioni geologiche profonde, in particolare dalla sezione n.31 di fig.4, in modo tale da ottenere un modello sismico del sottosuolo il più possibile conforme alla reale stratigrafia del sito.

Il modello sismico di sottosuolo utilizzato nell'analisi è stato definito sulla base della stratigrafia riportata a pag.3 della presente relazione, in particolare il modello sismico di sottosuolo converge con i dati stratigrafici della stratigrafia della sezione n.31 di fig.4.

Nella tabella e nel grafico-profilo seguenti è riportato il modello di sottosuolo prospettato dalla GEOTEA s.r.l., ottenuto mediante fit congiunto prova in array (MASW) e misura H/V (HVS1), dove H è la componente orizzontale dei microtremori e V quella verticale.

Unità litostratigrafica geofisica		Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
A	Terreni di riporto passanti a depositi alluvionali sovraconsolidati per suzione degli alberi.	2.00	2.00	140
B		5.00	3.00	160
C	Depositi alluvionali progressivamente più rigidi.	10.00	5.00	210
D		20.00	10.00	230
E		30.00	10.00	290
F	Alternanze di: • argille prevalenti; • sabbie e limi talora in falda; • ghiaie talora in falda.	50.00	20.00	390
G		115.00	65.00	370
H		∞	∞	620

La stratigrafia indicata in tabella ed il grafico sottostante sono da intendersi come una stratigrafia media sotto l'intero stendimento.



Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW e tecnica H/V (misura HVS1).

Il valore di Vs30 è calcolato dal piano campagna delle prove MASW-HVSR è Vs30 = 223m/s.



Sulla base di quanto sostenuto in Mulargia e Castellaro, 2009, Seism. Res. Lett., 80, 985-989 l'incertezza sul valore calcolato della Vs30 (a prescindere dal metodo, MASW, ReMi, HVSR, cono sismico, ecc...) è dell'ordine del 20%.

Le risultanze (Vs) delle indagini geofisiche HVSR e MASW in prima analisi sembrano non correlarsi con le risultanze (qc) delle prove geotecniche CPT.

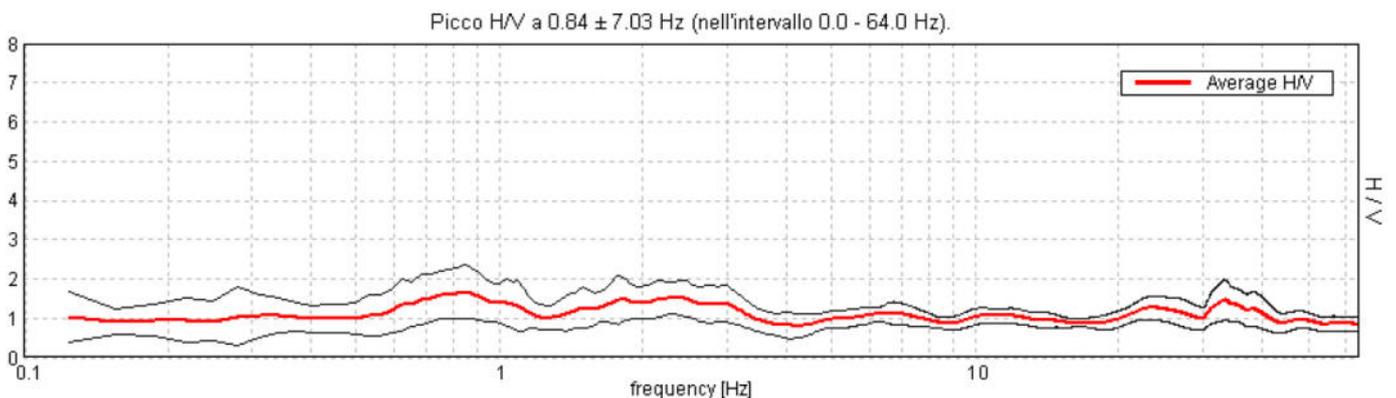
I bassi valori di Vs che competono alle unità litostratigrafiche geofisiche A e B non si correlano ai valori elevati di qc che caratterizzano i primi 5-6m di terreno sottoposti a sovraconsolidazione per suzione degli alberi. La suzione determina l'essiccamento e l'areazione del terreno, oltre che la presenza di fessurazioni, che vengono rilevati dalle indagini geofisiche come una minore densità e rigidità rispetto ai sottostanti depositi.

Questi ultimi, cioè le unità C, D, E, sono contraddistinti da contenuto d'acqua maggiore, cioè da dotati di umidità naturale a saturi, talora in falda. Questi sono classificabili come depositi contraddistinti da media rigidità, in progressivo aumento verso il basso.

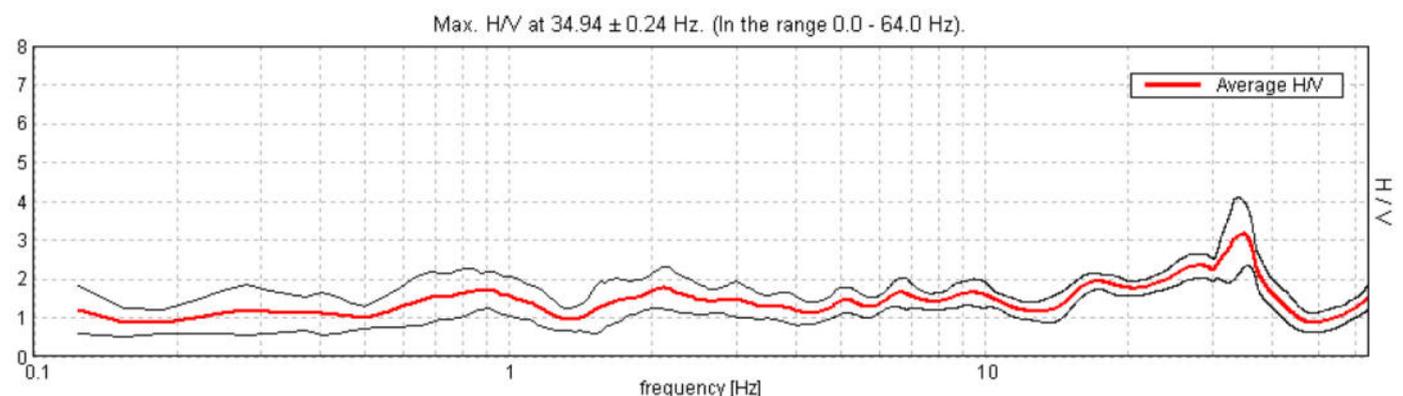
L'incremento di velocità che si rileva a circa -115m di profondità sembrerebbe essere riferibile al contatto tra il complesso acquifero A3 ed A4 (rif. sezione di fig.4).

Considerando quanto innanzi detto, il modello sismico proposto dalla GEOTEA s.r.l. risulta sufficientemente attendibile per gli scopi che ci si prefigge.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE HVSR1



RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE HVSR2



Le due misure HVSR effettuate, per frequenze inferiori a 20÷30 Hz, sono risultate confrontabili tra loro. Esse si presentano sostanzialmente piatte e caratterizzate solo da deboli irregolarità e deviazioni dalla planarità corrispondenti alla presenza nel sottosuolo di stratificazioni a basso contrasto di impedenza.

Per frequenze maggiori di 20÷30Hz nella misura HVSR2 si registra un picco di risonanza (non presente in HVSR1) per amplificazione stratigrafica con massimo del rapporto H/V a circa 35Hz. Tale picco può essere associato alla presenza di un orizzonte rigido a scarsa profondità (circa -1÷-2 m dal p.c.) e di limitata estensione areale; non si esclude che possa trattarsi della fondazione di una serra ora completamente demolita.

**CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E V_{S30}**

In base al paragrafo 3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE del Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, vedi Tab. 3.2.II.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

[3.2.1] con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella Tab. 3.2.II seguente.

Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Descrizione	$V_{s,eq}$ o $V_{s,30}$
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	$V_{s,30} > 800$ m/s
B	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.	$360 < V_{s,30} < 800$ m/s
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	$180 < V_{s,30} < 360$ m/s
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	$100 < V_{s,30} < 180$ m/s
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato (sismico) non superiore a 30 m.	

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al paragrafo 3.2.3 del D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.



Facendo riferimento alla tabella ed al grafico di pag.42:

Vs30 = Vseq da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo.....223m/s

Vs30 = Vseq da quota di -1.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo.....230m/s

Vs30 = Vseq da quota di -2.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo.....239m/s

Sulla base di quanto sostenuto in Mulargia e Castellaro, 2009, Seism. Res. Lett., 80, 985-989 l'incertezza sul valore calcolato della Vs30 (a prescindere dal metodo, MASW, ReMi, HVSR, cono sismico, ecc...) è dell'ordine del 20%.

La categoria di suolo determinata unicamente sulla base dei risultati delle prove geofisiche descritte (media ponderata della velocità equivalente di propagazione delle onde S entro i primi 30 m di profondità) secondo approccio semplificato da NTC 2018:

- da quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C
- da quota -1.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C
- da quota -2.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C

Considerando che:

- è presumibile che si adotteranno fondazioni impostate a profondità > 1m, dove la Vs30 = 230m/s;
- l'incertezza sul valore calcolato della Vs30 è dell'ordine del 20%;
Vs30 = 230 - 20% = 230 - 46 = 184m/s;
- che non sussistono picchi di amplificazione;

la categoria sismica pertinente ai terreni di fondazione degli edifici in progetto è la C (180 < Vs,30 < 360m/s), con riferimento alla Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo di pag.44.

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*_c relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V seguente, nelle quali:

- g = accelerazione di gravità;
- il tempo è espresso in secondi;
- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T^*_c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_c)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_c)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_c)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_c)^{-0,40}$

Nel caso in oggetto la categoria di sottosuolo è la C.

**CONDIZIONI TOPOGRAFICHE**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30m.

Morfologia del territorio circostante alla proprietà:

- non si è in presenza di creste o dorsali allungate di altezza maggiore di 30m;
- dislivello $\Delta H = 2.5\text{m}$;
- lunghezza $\Delta L = 350\text{m}$;
- pendenza $\beta = 0.4^\circ = 0.7\%$ verso Nord.

pertanto il sito in oggetto rientra nella categoria T1

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione degli interventi.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1.4

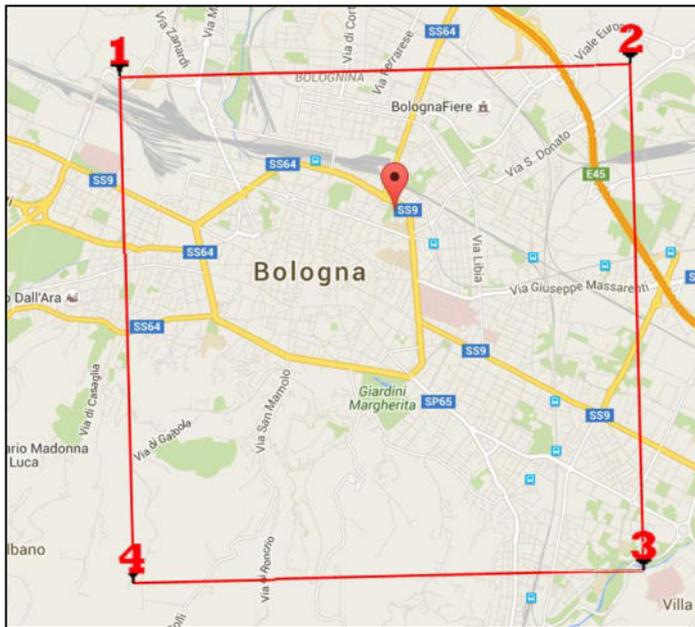
La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove S_T assume valore unitario.

Il sito in oggetto rientra nella categoria topografica T1, pertanto coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$.

**DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI**

Di seguito verranno riportati i parametri e coefficienti sismici derivati dalla tabella 1 dell'Allegato B al D.M. del 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", sulla base delle seguenti caratteristiche (DA VERIFICARE A CURA DEL PROGETTISTA) degli interventi:

- Tipo di costruzione: 2
- Vita nominale dell'opera $V_N \geq 50$ anni
- Classe d'uso dell'edificio: IV Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti,.....
- Ipotesi vita nominale dell'opera $V_N = 50$ anni
- Coefficiente d'uso $C_u = 2$
- Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N \cdot C_u = 50 \cdot 2 = 100$ anni



Coordinate WGS84

Latitudine 44,500673N

Longitudine 11,354218E

Coordinate ED50

Latitudine 44,501612N

Longitudine 11,355211E



Sito in oggetto



Vertici della maglia di appartenenza

Siti di riferimento (coordinate geografiche espresse in ED50)

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	16730	44,5150	11,3175	3343,321
Sito 2	16731	44,5163	11,3875	3036,681
Sito 3	16953	44,4663	11,3893	4770,448
Sito 4	16952	44,4650	11,3193	4969,347

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente c_u : 2

Stato limite	Probabilità superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	60	0,072	2,479	0,275
Danno (SLD)	63	101	0,089	2,471	0,285
Salvaguardia della vita (SLV)	10	949	0,211	2,428	0,315
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1950	0,262	2,451	0,322



Parametri dipendenti dello spettro di risposta orizzontale per gli stati limite

Stati limite		S _s	T _B	T _C	T _D
di esercizio	SLO	1.500	0.147s	0.442s	1.889s
	SLD	1.500	0.154s	0.453s	1.956s
ultimi	SLV	1.393	0.161s	0.484s	2.442s
	SLC	1.314	0.164s	0.492s	2.650s

dove:

S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica

T_B, T_C, T_D periodi

Coefficienti sismici

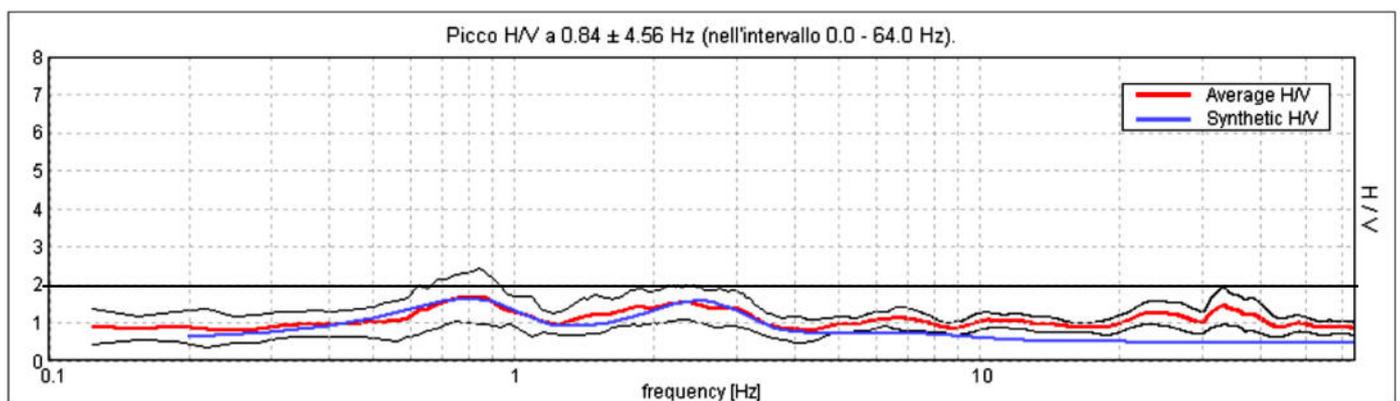
Tipo di elaborazione: FONDAZIONI DIRETTE

	S _s [-]	C _c [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,610	1,000	0,022	0,011	1,062	0,200
SLD	1,500	1,590	1,000	0,027	0,013	1,313	0,200
SLV	1,390	1,540	1,000	0,082	0,041	2,870	0,280
SLC	1,310	1,530	1,000	0,096	0,048	3,371	0,280

PERIODO DI VIBRAZIONE

Mediante le indagini sismiche HVSR è stato tra l'altro possibile definire le principali frequenze di vibrazione del terreno. È importante confrontare le frequenze di vibrazione del terreno con quelle previste per la struttura in progetto allo scopo di scongiurare fenomeni di doppia risonanza in grado di amplificare gli effetti del sisma.

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Confronto tra curva HVSR1 sperimentale (rossa) registrata nel sito e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Le 2 misure HVSR effettuate, per frequenze inferiori a 20÷30Hz, sono risultate confrontabili tra loro. Esse si presentano sostanzialmente piatte e caratterizzate solo da deboli irregolarità e deviazioni dalla planarità corrispondenti alla presenza nel sottosuolo di stratificazioni a basso contrasto di impedenza.



Il picco del valore di amplificazione $H/V_{\max} = 1.7$ è basso e si rileva alla frequenza di $0.84 \pm 4.56\text{Hz}$; si consideri che amplificazioni rilevanti, di cui tenerne conto, hanno ampiezza $H/V > 2$ (come da linee guida SESAME, 2005).

Per frequenze maggiori di $20\div 30\text{Hz}$, comunque fuori dal range di interesse ingegneristico, nella misura HVSR2 si registra un picco di risonanza (non presente in HVSR1) per amplificazione stratigrafica con massimo del rapporto $H/V = 3.15$ a circa 35Hz . Tale picco può essere associato alla presenza di un orizzonte rigido a scarsa profondità (circa $1\text{-}2\text{ m}$ da p.c.) e di limitata estensione areale; non si esclude che possa trattarsi della fondazione di una serra ora completamente demolita.

In fase di progettazione sarà compito del tecnico progettista confrontare tali frequenze con il periodo fondamentale di vibrazione dell'opera oggetto d'intervento. Questo confronto è determinante al fine di evitare il fenomeno di doppia risonanza terreno-struttura.

Si riporta nel grafico sottostante la valutazione preliminare della frequenza di vibrazione principale T_1 per edifici, stimata sulla base di quanto indicato dalle NTC (DM 17.01.2018) paragrafo 7.3.3.2 ANALISI LINEARE STATICA, ovvero:

L'analisi lineare statica consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specifici riportati nei paragrafi successivi, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi $2,5 T_C$ o T_D e che la costruzione sia regolare in altezza.

Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia distribuita in modo approssimativamente uniforme lungo l'altezza, T_1 (in secondi) può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = 2\sqrt{d} \quad [7.3.6]$$

dove d è lo spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri, dovuto alla combinazione di carichi [2.5.7] applicata nella direzione orizzontale.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo T_1 e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato.

La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j} \quad [7.3.7] \quad \text{dove:}$$

F_h = $S_d(T_1) W \lambda / g$

F_i è la forza da applicare alla massa i -esima;

W_i e W_j sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j ;

z_i e z_j sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j ;

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

W è il peso complessivo della costruzione;

λ è un coefficiente pari a $0,85$ se $T_1 < 2T_C$ e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti; uguale a $1,0$ in tutti gli altri casi;

g è l'accelerazione di gravità.

L'analisi dettagliata riguardante la possibile insorgenza di fenomeni di doppia risonanza sarà a cura della progettista strutturale, note le caratteristiche strutturali dell'edificio.

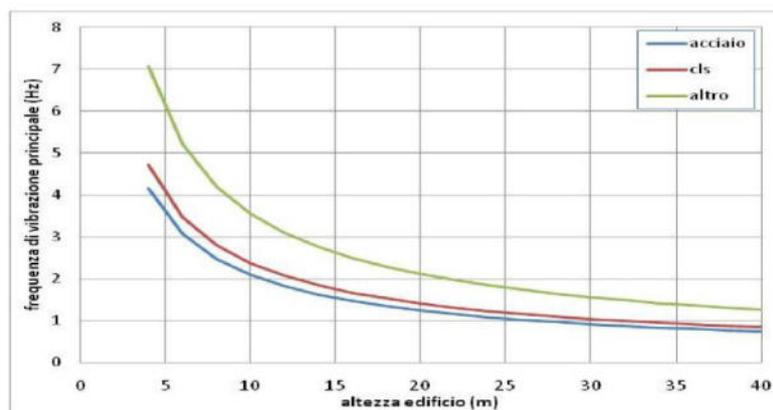


Grafico per la valutazione preliminare della frequenza di vibrazione principale T_1 per edifici.

**RISPOSTA SISMICA LOCALE MEDIANTE ANALISI DI III° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

Lo scrivente, in sinergia con la GEOTEA s.r.l., ha redatto una relazione sismica di risposta sismica locale mediante analisi di III° livello di approfondimento. Tale elaborato è riportato in allegato.

La seguente tabella riassume le risultanze più rilevanti di tale studio.

Segnale di riferimento di input	Valore PGA_0 segnali di input	Valore PGA medio calcolato (output)	Rapporto PGA/PGA_0 medio calcolato e relativo F.A.
000046xa	0.210 g	0.282	1.34
000126xa	0.210 g		
000354xa	0.210 g		

Tabella 2 – valore finale medio di PGA calcolato e relativo fattore di amplificazione (F.A.) al suolo. La media è stata ottenuta su 150 profili di sottosuolo processati nel calcolo (variazione curve degrado/smorzamento e variazione profondità bedrock).

Sasso Marconi (BO), 08/10/2020



dr. geol. Paolo Dal Pian

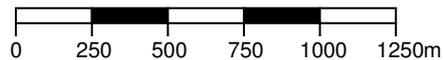


Fig.1 ESTRATTO CARTA TECNICA REGIONALE 220NE - 220SE - 221NO - 221SO

N

 Edifici in progetto.

scala 1:25.000



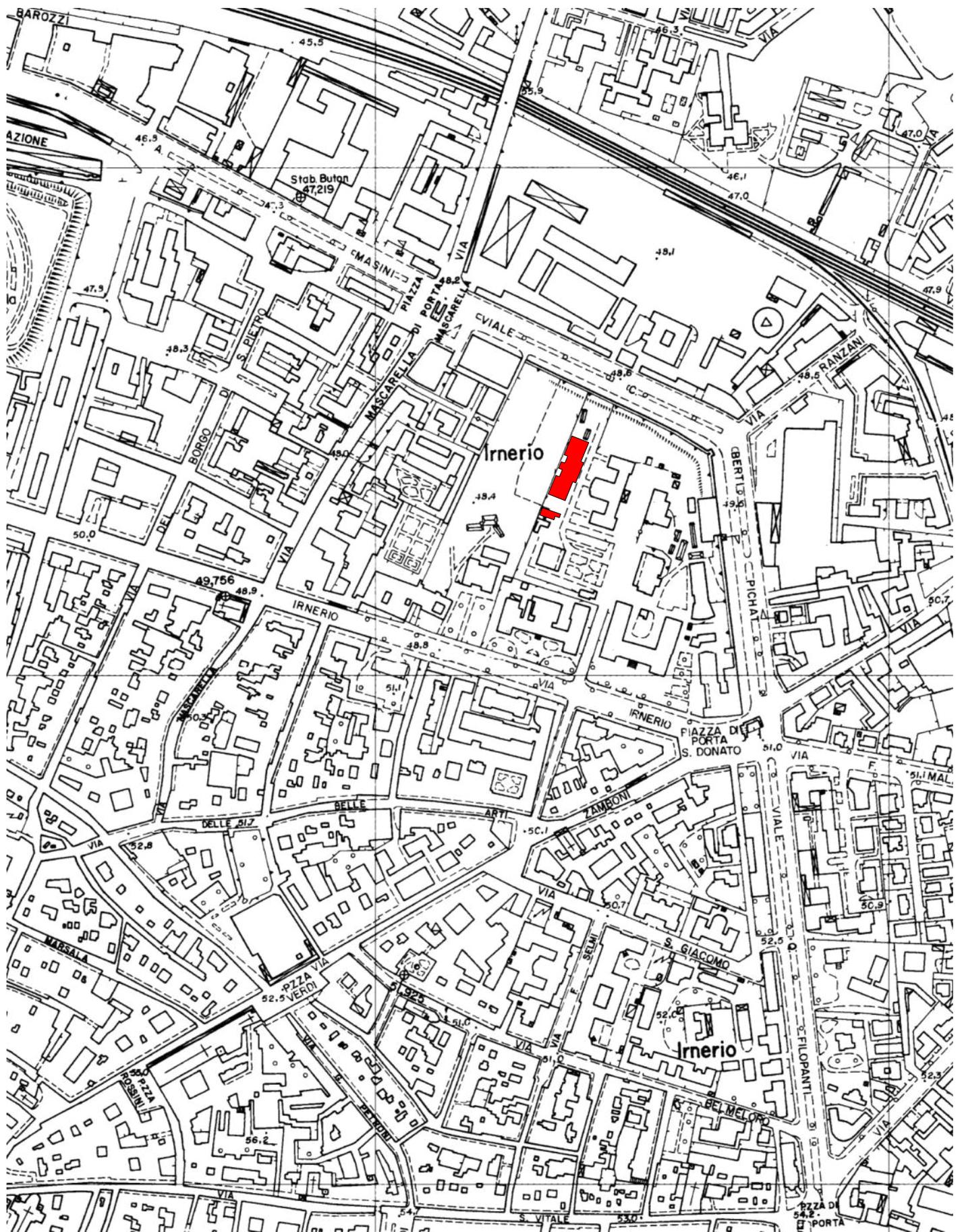


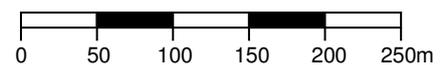
Fig.2 ESTRATTO CARTA TECNICA REGIONALE 221053 - 221094

scala 1:5.000



Scuola d'infanzia, asilo nido e servizi in progetto.

Spazio genitori - bambini, caffetteria in progetto.



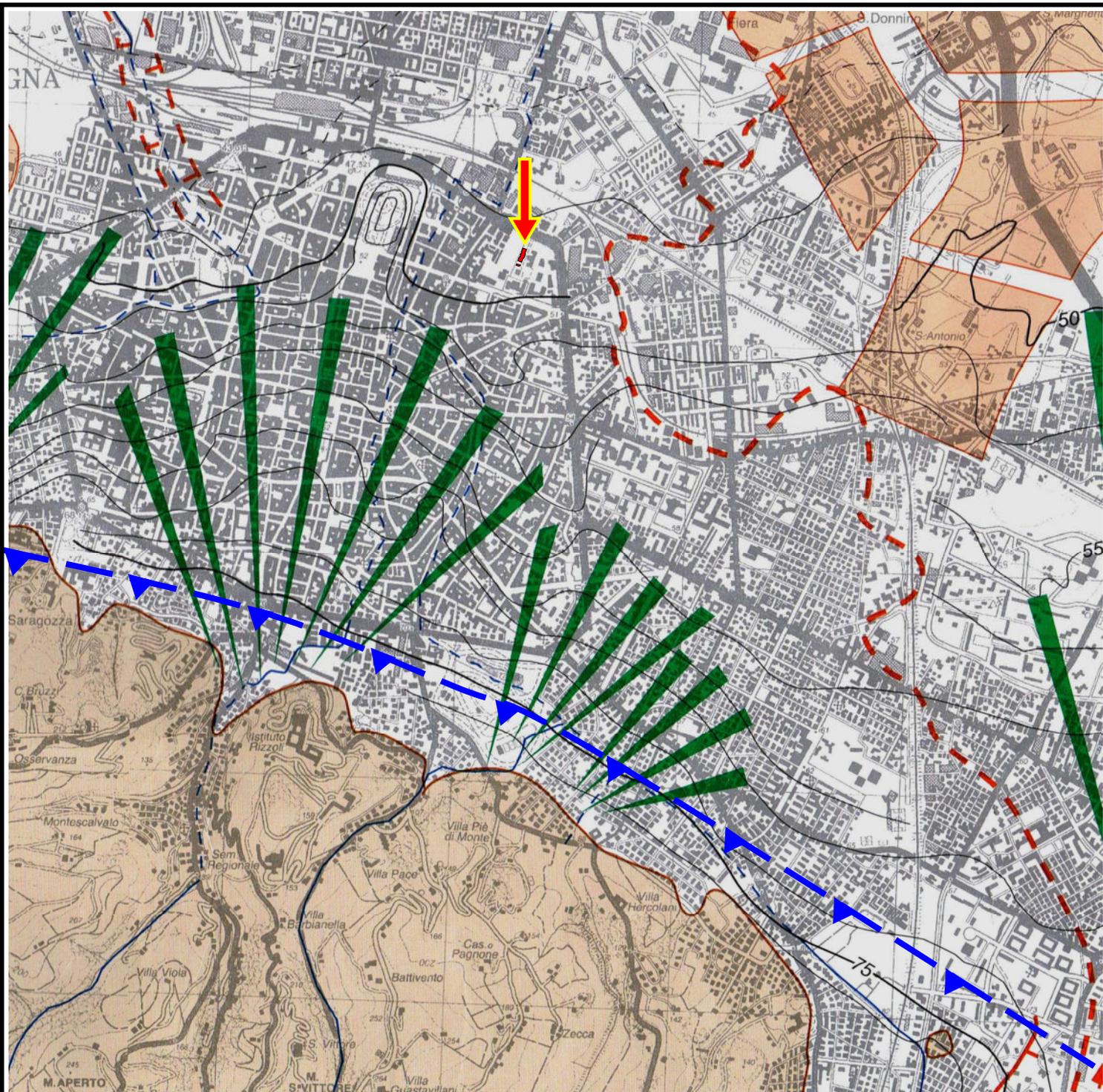


Fig.3 CARTA GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO DI PIANURA DEL C. DI BOLOGNA (A. Bergonzoni e C. Elmi)

scala 1:25.000 0 250 500 750 1000 1250m

- Edifici in progetto.
- Dosso fluviale pronunciato, dosso-conoide
- Traccia di corso fluviale estinto:
a- ben conservato; b- mal conservato
- Depositi alluvionali olocenici.
Litologia prevalente nei primi 5m
dal piano campagna: argille e limi (CL, ML).
- Rilievi collinari:
formazioni marine neogeniche quaternarie.
- Conoide
- Canale a- coperto; b- scoperto
- Scarpata di terrazzo
- Sovrascorrimento principale sepolto
(da Progetto CARG – RER)



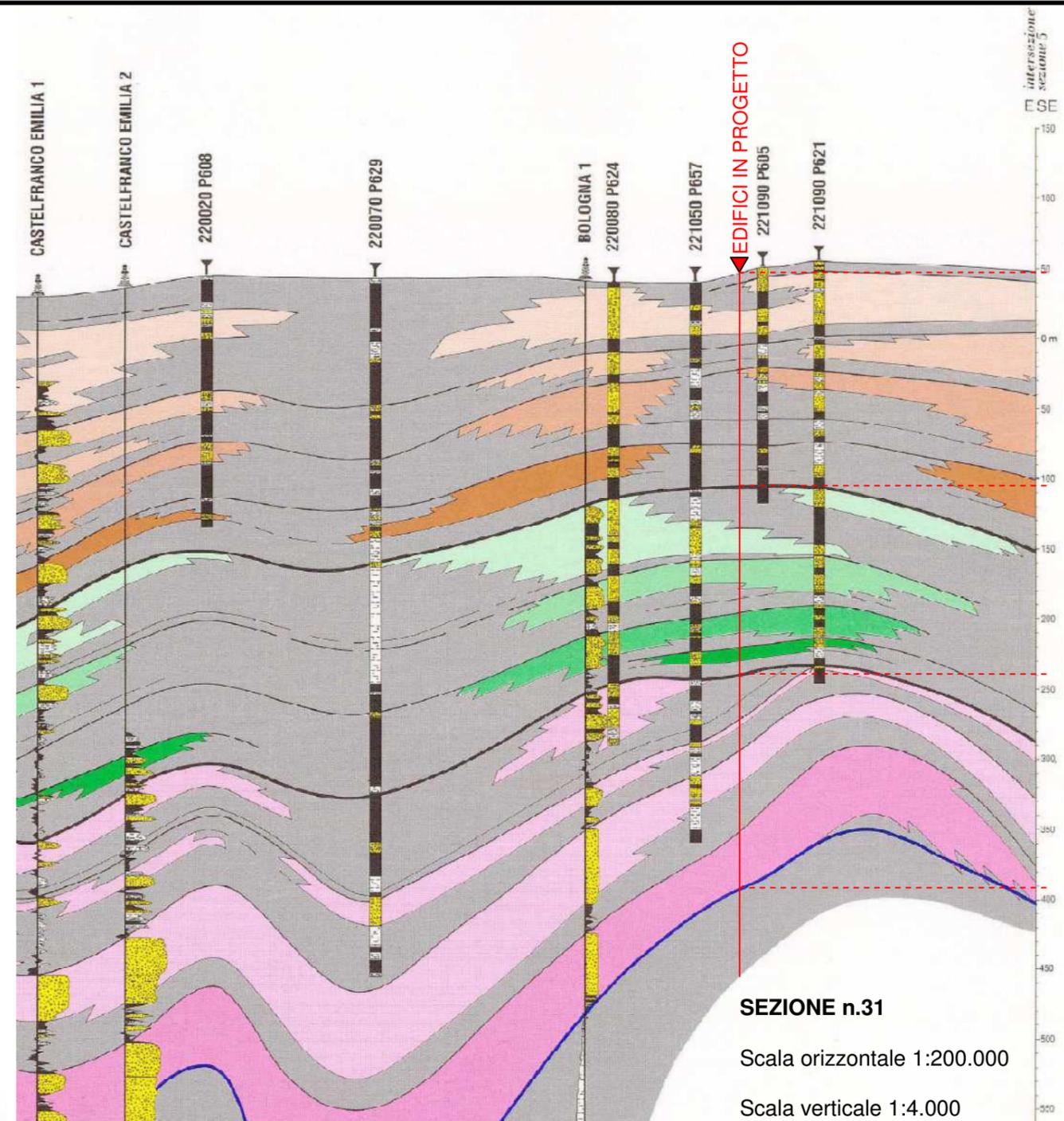
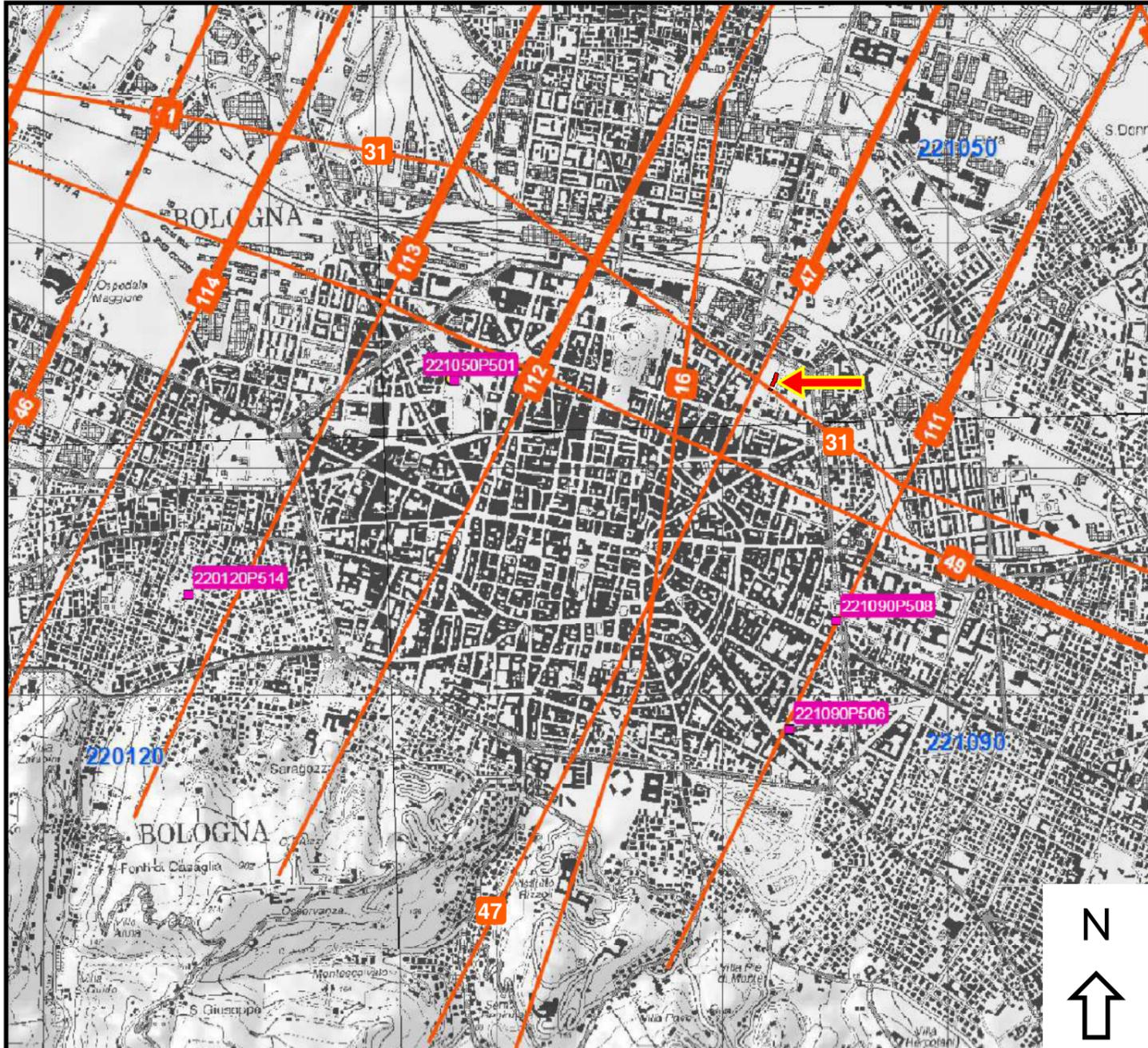
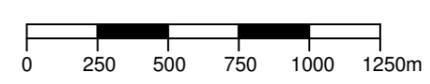


Fig.4 SEZIONE GEOLOGICA n.31 DEL SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

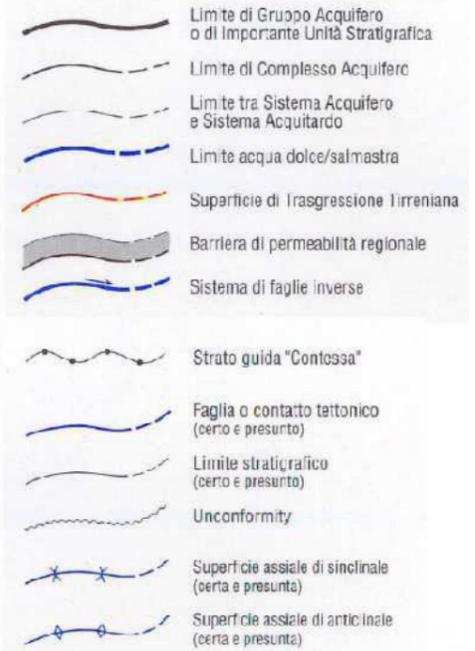
Scala planimetrica 1:25.000



← Edifici in progetto.

— Sezioni in oggetto: n.31 e n.47.

PRINCIPALI LITOLOGIE DI PIANURA

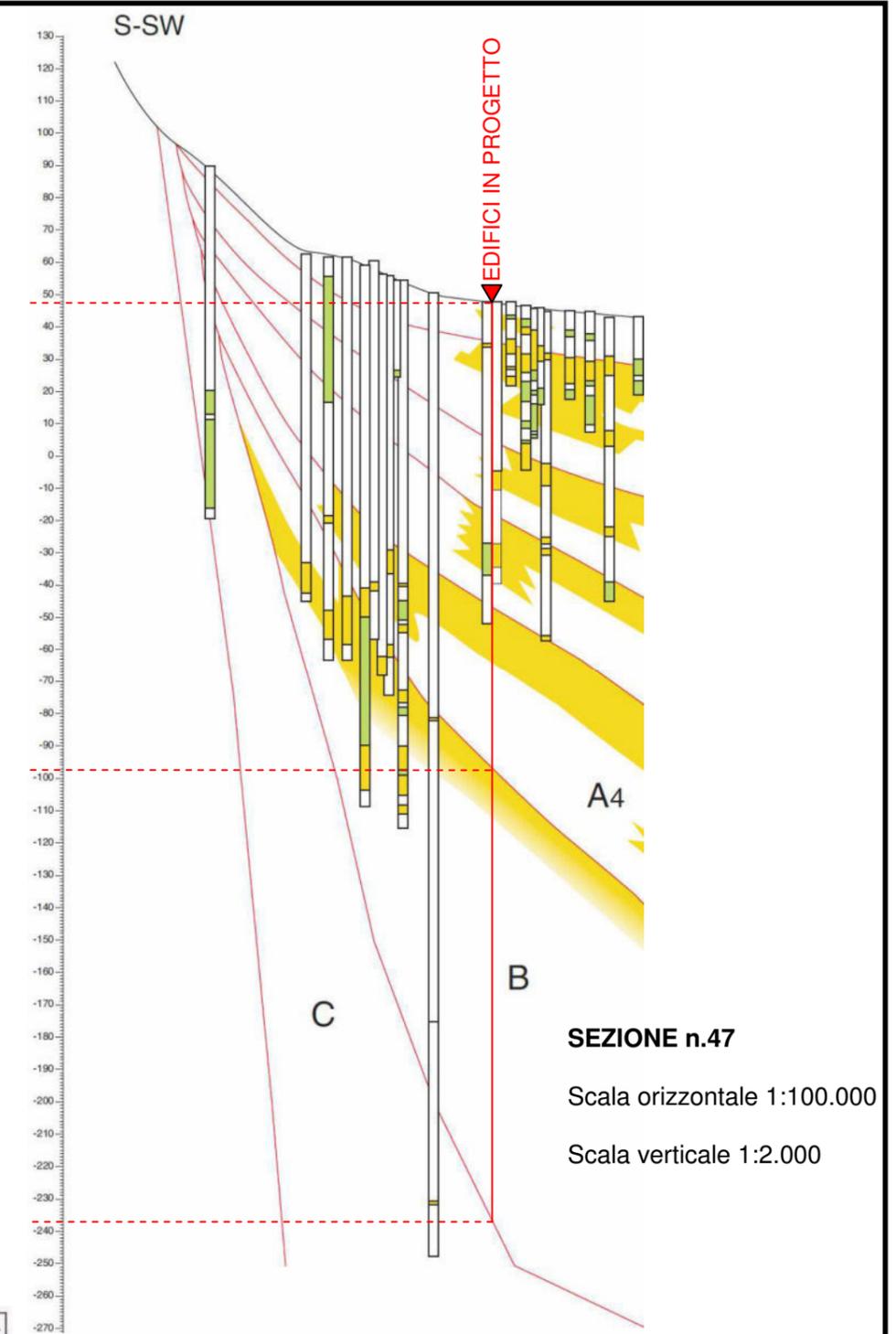
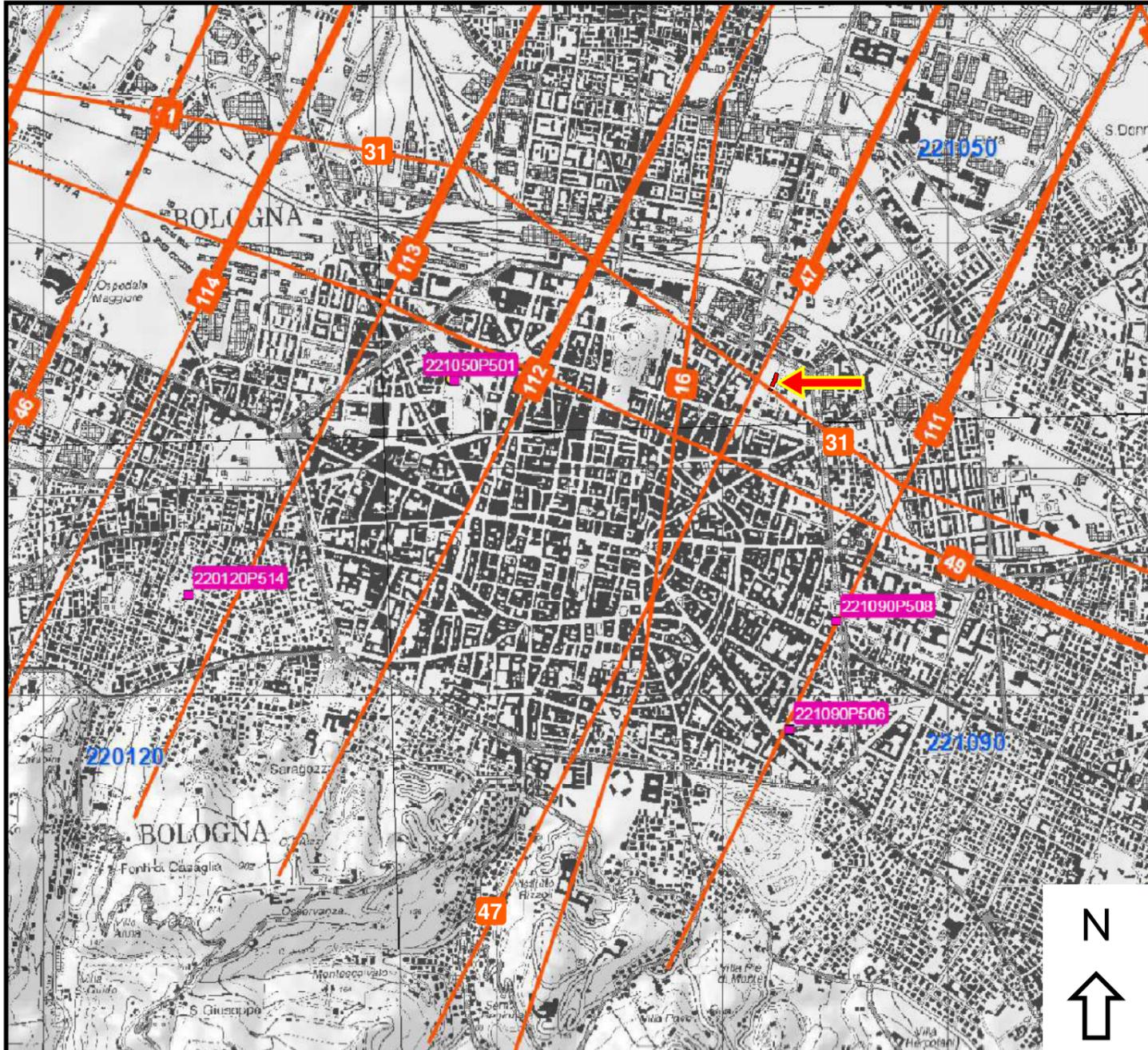


SEZIONE n.31

Scala orizzontale 1:200.000

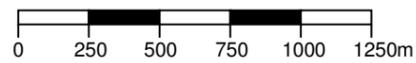
Scala verticale 1:4.000

UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONO-STRATIGRAFICA (milioni di anni)
GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO	SISTEMA ACQUITARDO		
A	A1			- 0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE 0.125
	A2				
	A3				
	A4				
B	B1			- 0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO
	B2				
	B3				
	B4				
C	C1			- 0.65	PLEISTOCENE INFERIORE 1.72
	C2				
	C3				
	C4				
	C5				
ACQUITARDO BASALE				- 3.9	PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE 3.55 PLIOCENE INF. MIOCENE



**Fig.5 SEZIONE GEOLOGICA n.47
DEL SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI
SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA**

Scala planimetrica 1:25.000



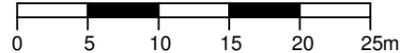
Edifici in progetto.

Sezioni in oggetto: n.31 e n.47.

UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONO- STRATIGRAFICA (milioni di anni)
GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO	SISTEMA ACQUITARDO		
A	A1			- 0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE 0.125
	A2				
	A3				
	A4				
B	B1			- 0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO
	B2				
	B3				
	B4				
C	C1			- 0.65	0.89 PLEISTOCENE INFERIORE 1.72 PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE 3.55 PLIOCENE INF. MIOCENE
	C2			- 0.8	
	C3			- 1.0	
	C4			- 2.2	
	C5			- 3.9	
ACQUITARDO BASALE					

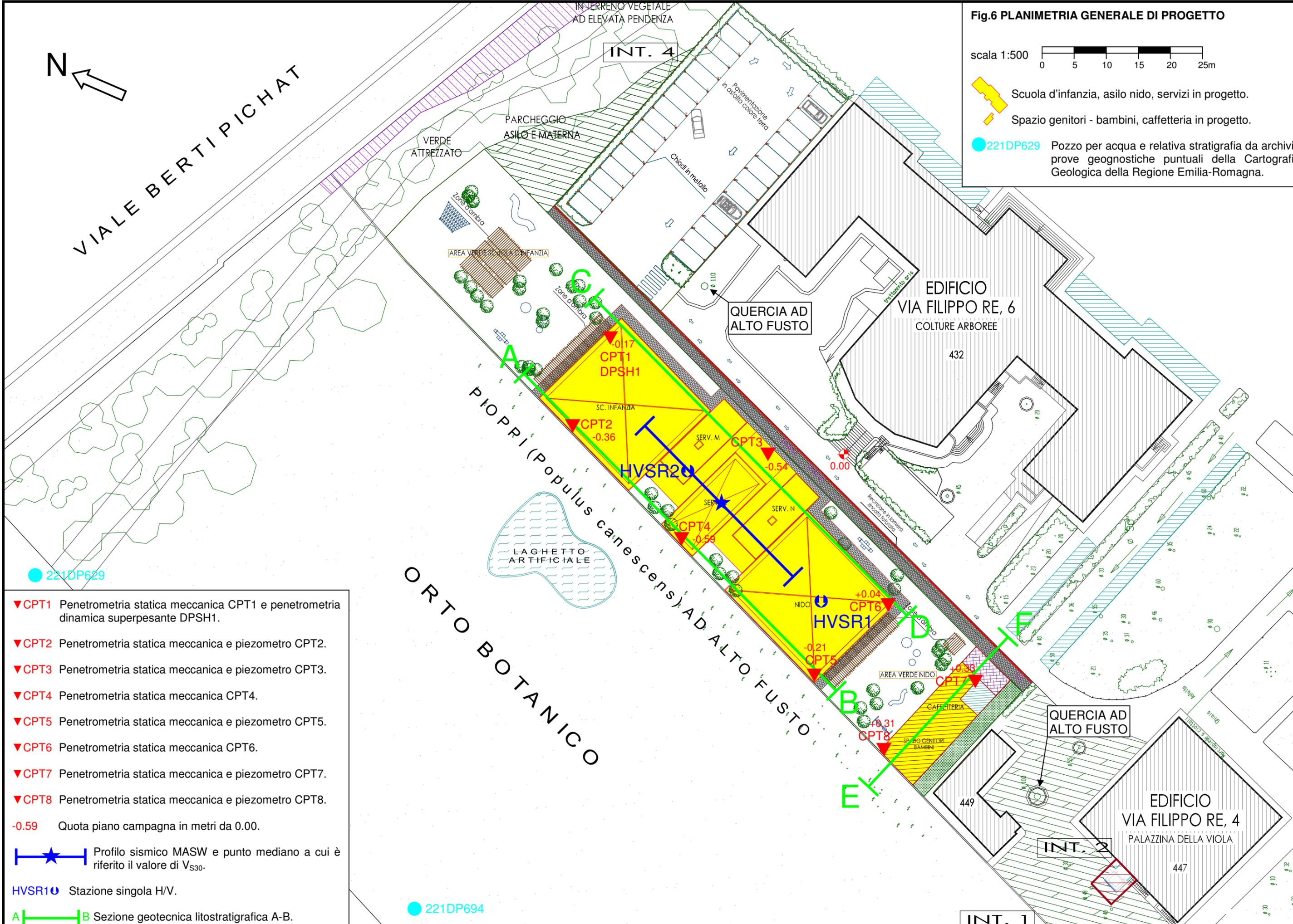
- Limo e argille
- Sabbia
- Ghiaia
- Piano Campagna
- Limiti tra complessi acquiferi (A0, A1, A2, A3, A4)
- Limiti tra gruppi acquiferi (B, C)

Fig.6 PLANIMETRIA GENERALE DI PROGETTO

scala 1:500 

-  Scuola d'infanzia, asilo nido, servizi in progetto.
-  Spazio genitori - bambini, caffetteria in progetto.

 221DP629 Pozzo per acqua e relativa stratigrafia da archivio prove geognostiche puntuali della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna.



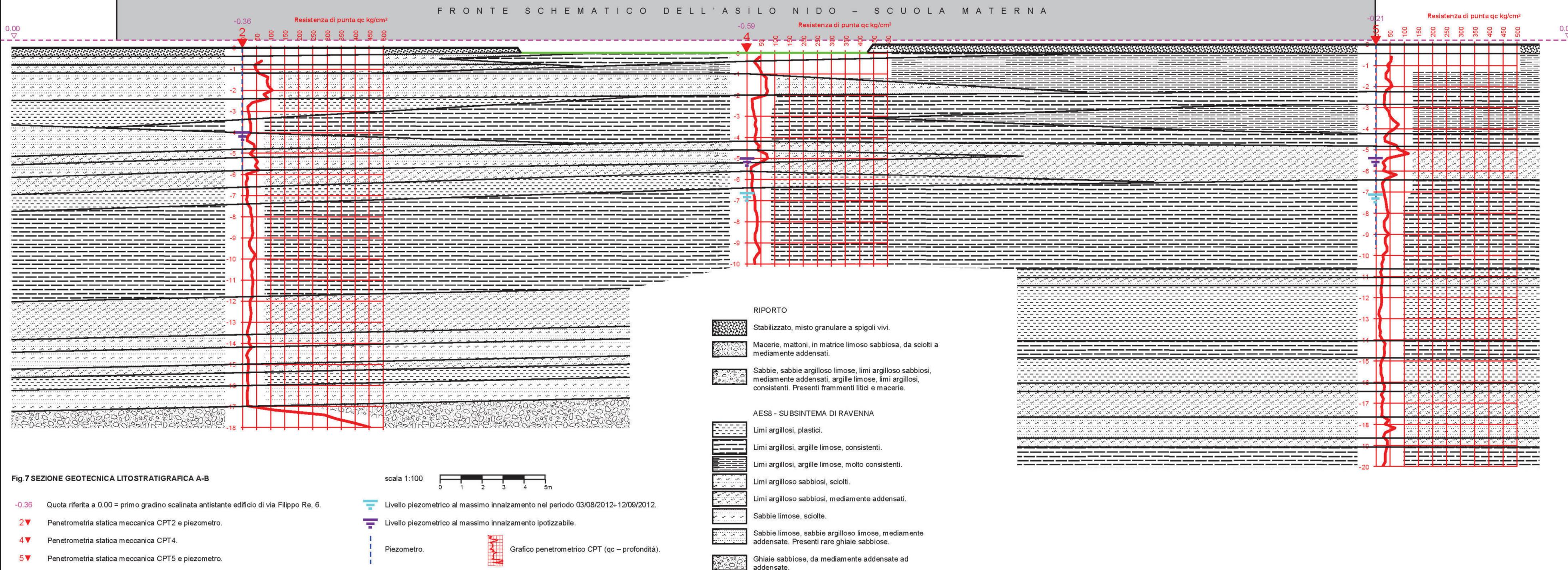
-  CPT1 Penetrometria statica meccanica CPT1 e penetrometria dinamica superpesante DPSH1.
-  CPT2 Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT2.
-  CPT3 Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT3.
-  CPT4 Penetrometria statica meccanica CPT4.
-  CPT5 Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT5.
-  CPT6 Penetrometria statica meccanica CPT6.
-  CPT7 Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT7.
-  CPT8 Penetrometria statica meccanica e piezometro CPT8.
-  -0.59 Quota piano campagna in metri da 0.00.
-  Profilo sismico MASW e punto mediano a cui è riferito il valore di V_{S30} .
-  HVSR1 Stazione singola H/V.
-  A-B Sezione geotecnica litostratigrafica A-B.

 221DP629

 221DP694

A

B



A

B

FRONTE SCHEMATICO DELL'ASILO NIDO - SCUOLA MATERNA

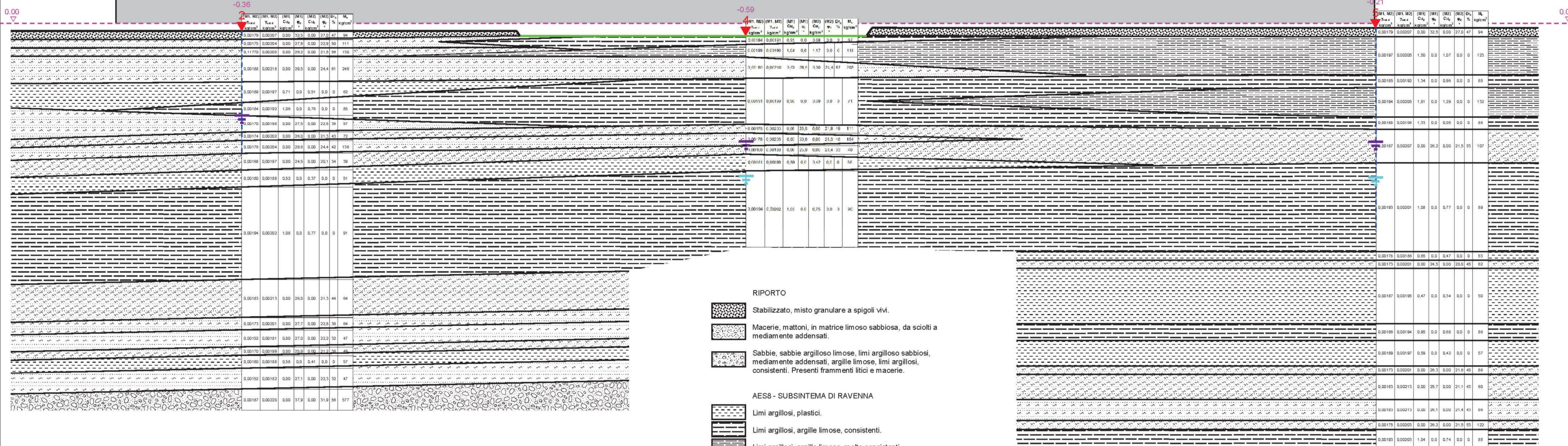
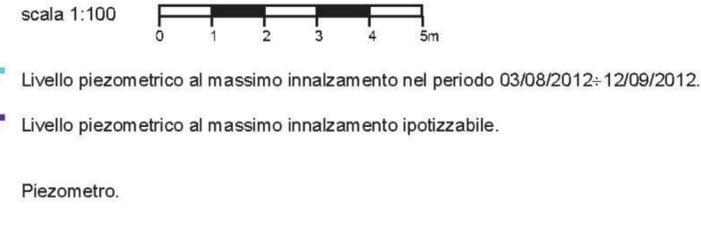


Fig. 8 SEZIONE GEOTECNICA LITOSTRATIGRAFICA A-B

- 0.36 Quota riferita a 0.00 = primo gradino scalinata antistante edificio di via Filippo Re, 6.
- 2▼ Penetrometria statica meccanica CPT2 e piezometro.
- 4▼ Penetrometria statica meccanica CPT4.
- 5▼ Penetrometria statica meccanica CPT5 e piezometro.



- RIPORTO
- Stabilizzato, misto granulare a spigoli vivi.
 - Macerie, mattoni, in matrice limoso sabbiosa, da sciolti a mediamente addensati.
 - Sabbie, sabbie argilloso limose, limi argilloso sabbiosi, mediamente addensati, argille limose, limi argillosi, consistenti. Presenti frammenti litici e macerie.
- AES8 - SUBSISTEMA DI RAVENNA
- Limi argillosi, plastici.
 - Limi argillosi, argille limose, consistenti.
 - Limi argillosi, argille limose, molto consistenti.
 - Limi argilloso sabbiosi, sciolti.
 - Limi argilloso sabbiosi, mediamente addensati.
 - Sabbie limose, sciolte.
 - Sabbie limose, sabbie argilloso limose, mediamente addensate. Presenti rare ghiaie sabbiose.
 - Ghiaie sabbiose, da mediamente addensate ad addensate.

I parametri geotecnici riportati nelle tabelle sono espressi in termini non drenati perché derivanti da prove penetrometriche che sottopongono il terreno a rapida rottura senza consentirne il drenaggio.

X_d = parametro geotecnico di progetto M1, M2 = coefficienti parziali

γ peso di volume naturale Cu coesione non drenata
 φ angolo di attrito interno Dr densità relativa
 M modulo edometrico

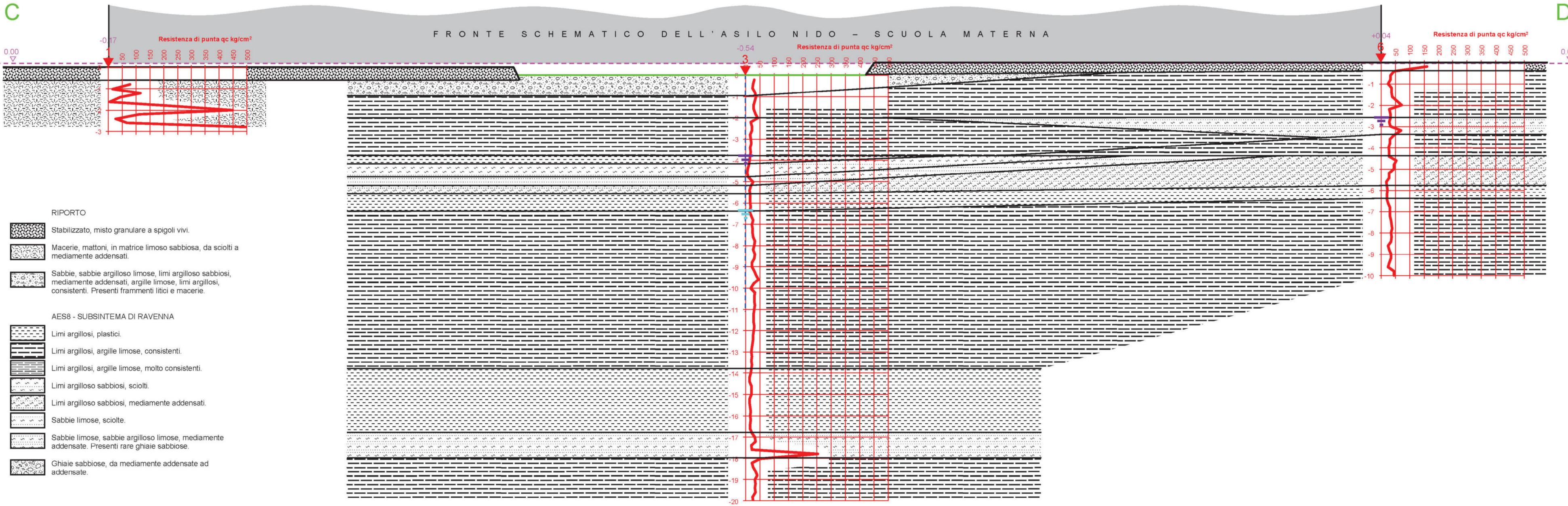


Fig.9 SEZIONE GEOTECNICA LITOSTRATIGRAFICA C-D

scala 1:100

- 0.17 Quota riferita a 0.00 = primo gradino scalinata antistante edificio di via Filippo Re, 6.
- 1 ▼ Penetrometria statica meccanica CPT1 e penetrometria dinamica superpesante DPSH1.
- 3 ▼ Penetrometria statica meccanica CPT3 e piezometro.
- 6 ▼ Penetrometria statica meccanica CPT6.

- Livello piezometrico al massimo innalzamento nel periodo 03/08/2012÷12/09/2012.
- Livello piezometrico al massimo innalzamento ipotizzabile.
- Piezometro.
- Grafico penetrometrico CPT (qc – profondità).

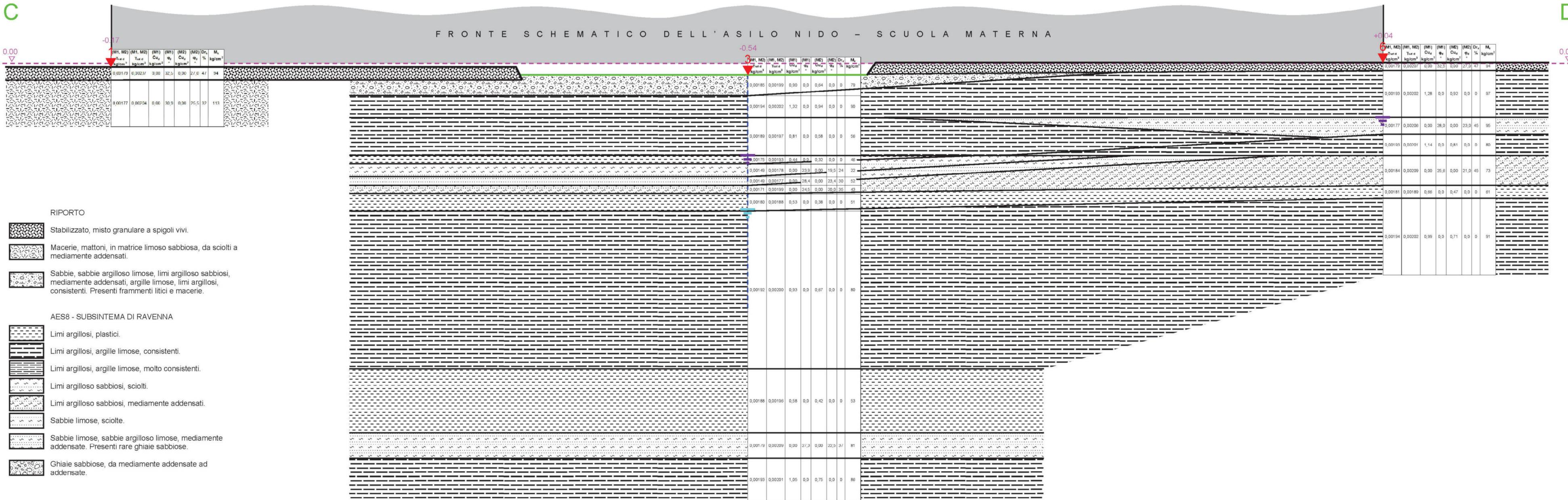


Fig.10 SEZIONE GEOTECNICA LITOSTRATIGRAFICA C-D

- 0.17 Quota riferita a 0.00 = primo gradino scalinata antistante edificio di via Filippo Re, 6.
- 1 ▼ Penetrometria statica meccanica CPT1.
- 3 ▼ Penetrometria statica meccanica CPT3 e piezometro.
- 6 ▼ Penetrometria statica meccanica CPT6.



I parametri geotecnici riportati nelle tabelle sono espressi in termini non drenati perché derivanti da prove penetrometriche che sottopongono il terreno a rapida rottura senza consentirne il drenaggio.

X_d = parametro geotecnico di progetto M1, M2 = coefficienti parziali

γ peso di volume naturale C_u coesione non drenata
 φ angolo di attrito interno D_r densità relativa
 M modulo edometrico

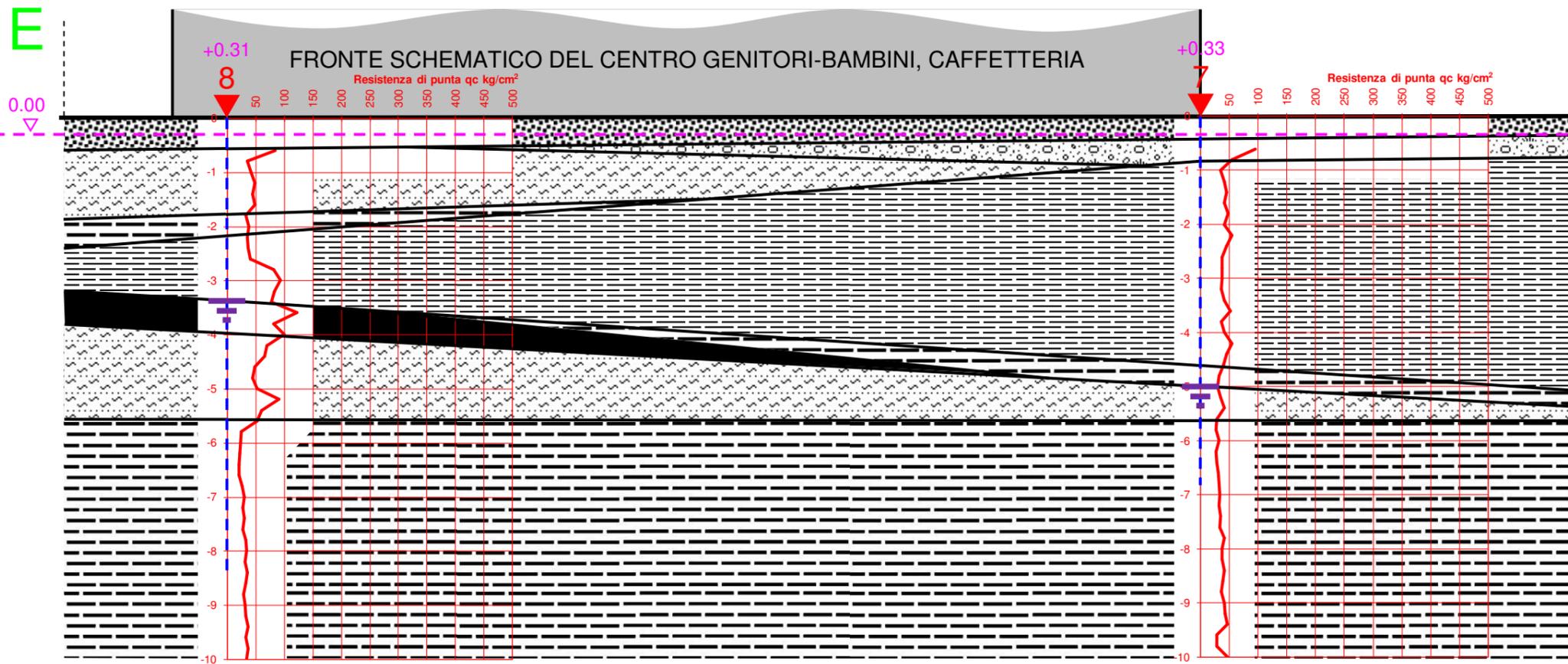


Fig.11 SEZIONE GEOTECNICA LITOSTRATIGRAFICA E-F

scala 1:100

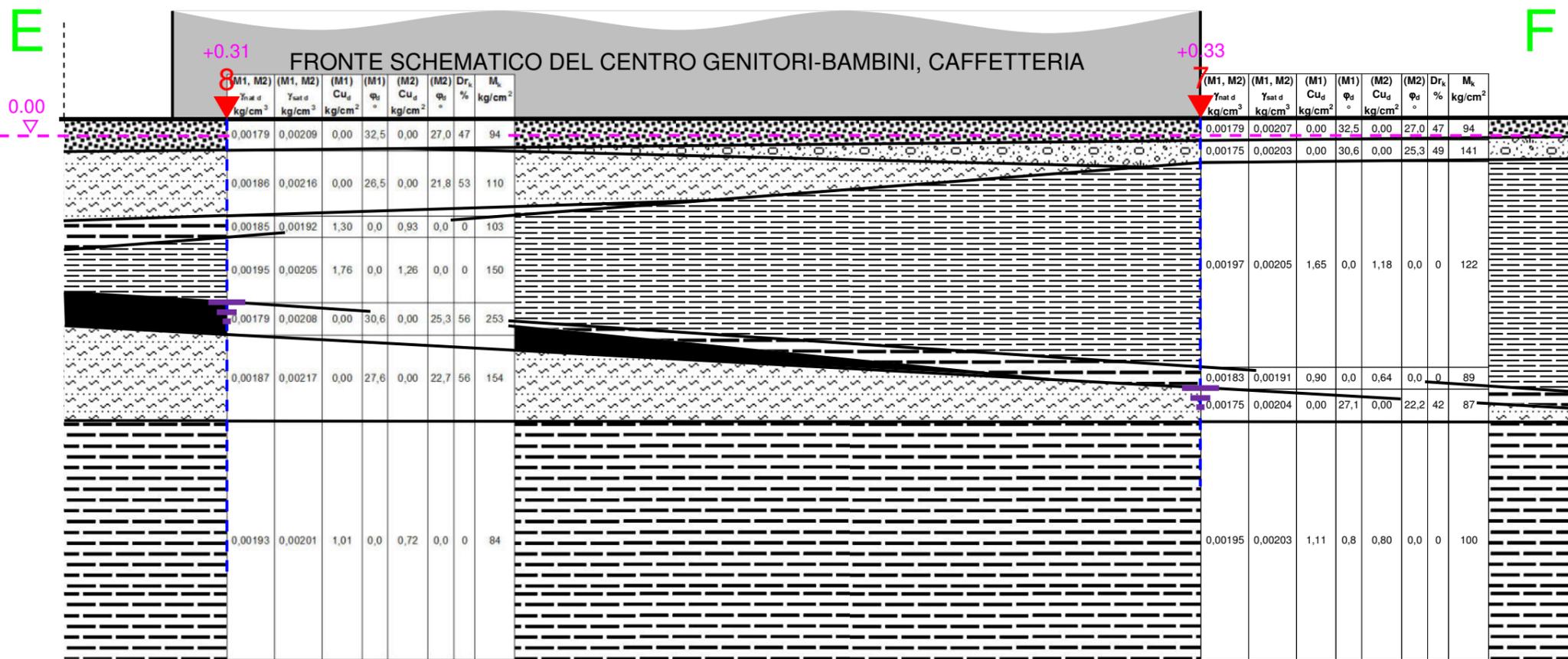
- +0.31 Quota riferita a 0.00 = primo gradino scalinata antistante edificio di via Filippo Re, 6.
- 7▼ Penetrometria statica meccanica CPT7 e piezometro.
- 8▼ Penetrometria statica meccanica CPT8 e piezometro.
- Grafico penetrometrico CPT (qc – profondità).
- Piezometro.
- Livello piezometrico al massimo innalzamento ipotizzabile.

I parametri geotecnici riportati nelle tabelle sono espressi in termini non drenati perché derivanti da prove penetrometriche che sottopongono il terreno a rapida rottura senza consentirne il drenaggio.

X_d = parametro geotecnico di progetto M1, M2 = coefficienti parziali
 γ peso di volume naturale Cu coesione non drenata
 ϕ angolo di attrito interno Dr densità relativa
M modulo edometrico

RIPORTO

- Stabilizzato, misto granulare a spigoli vivi.
- Macerie, mattoni, in matrice limoso sabbiosa, da sciolti a mediamente addensati.
- Sabbie, sabbie argilloso limose, limi argilloso sabbiosi, mediamente addensati, argille limose, limi argillosi, consistenti. Presenti frammenti litici e macerie.



AES8 - SUBSISTEMA DI RAVENNA

- Limi argillosi, plastici.
- Limi argillosi, argille limose, consistenti.
- Limi argillosi, argille limose, molto consistenti.
- Limi argilloso sabbiosi, sciolti.
- Limi argilloso sabbiosi, mediamente addensati.
- Sabbie limose, sciolte.
- Sabbie limose, sabbie argilloso limose, mediamente addensate. Presenti rare ghiaie sabbiose.
- Ghiaie sabbiose, da mediamente addensate ad addensate.

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE DPSH1 (DPSH-Emilia)**

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

Coordinate WGS84: Lat 44,500974N Long 11,354429E

Data: 03/08/2012

Quota p.c. DPSH da 0,00: -0,17m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. DPSH: -

Profondità piezometro da p.c. DPSH: non installato, foro franato

Profondità da m	Profondità a m	N ₂₀	Qp= qc kg/cm ²	N _{SPT}	Tipo litologico	Livello piezometrico
0	-0,2					
-0,2	-0,4					
-0,4	-0,6					
-0,6	-0,8					
-0,8	-1					
-1	-1,2					
-1,2	-1,4					
-1,4	-1,6					
-1,6	-1,8					
-1,8	-2					
-2	-2,2					
-2,2	-2,4					
-2,4	-2,6					
-2,6	-2,8					
-2,8	-3					
-3	-3,2					
-3,2	-3,4					
-3,4	-3,6					
-3,6	-3,8					
-3,8	-4					
-4	-4,2					
-4,2	-4,4					
-4,4	-4,6					
-4,6	-4,8	>50	>375	>58	Mattoni	
-4,8	-5					
-5	-5,2					
-5,2	-5,4					
-5,4	-5,6					
-5,6	-5,8					
-5,8	-6					
-6	-6,2					
-6,2	-6,4					
-6,4	-6,6					
-6,6	-6,8					
-6,8	-7					
-7	-7,2					
-7,2	-7,4					
-7,4	-7,6					
-7,6	-7,8					
-7,8	-8					
-8	-8,2					
-8,2	-8,4					
-8,4	-8,6					
-8,6	-8,8					
-8,8	-9					
-9	-9,2					
-9,2	-9,4					
-9,4	-9,6					
-9,6	-9,8					
-9,8	-10					



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT1

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

Coordinate WGS84: Lat 44,500974N Long 11,354429E

Data: 03/08/2012

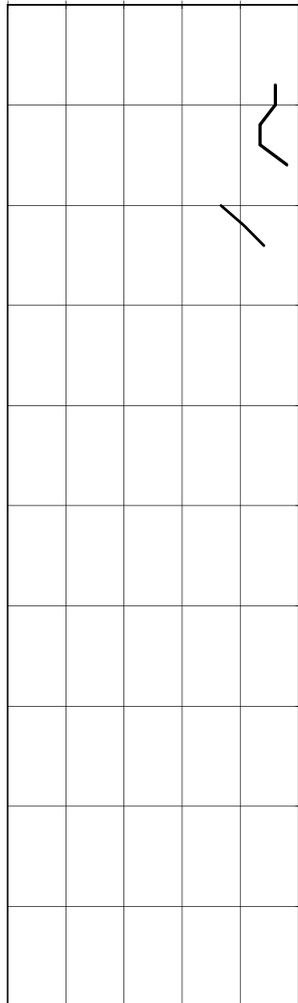
Quota p.c. CPT da 0,00: -0,17m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: -

Profondità piezometro da p.c. CPT: non installato, foro franato

Resistenza laterale f_s kg/cm²

5 4 3 2 1 0



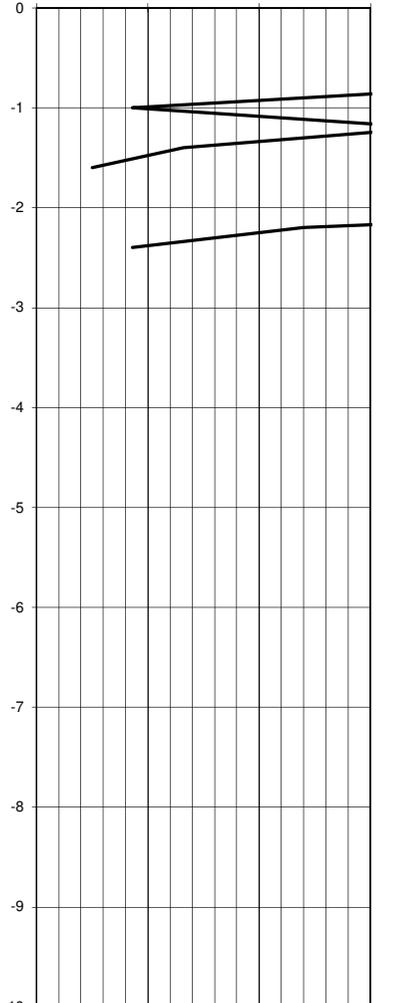
Resistenza di punta q_c kg/cm²

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500



Rapporto di Begemann q_c/f_s

0 50 100 150





PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE DPSH1 (DPSH-Emilia)

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

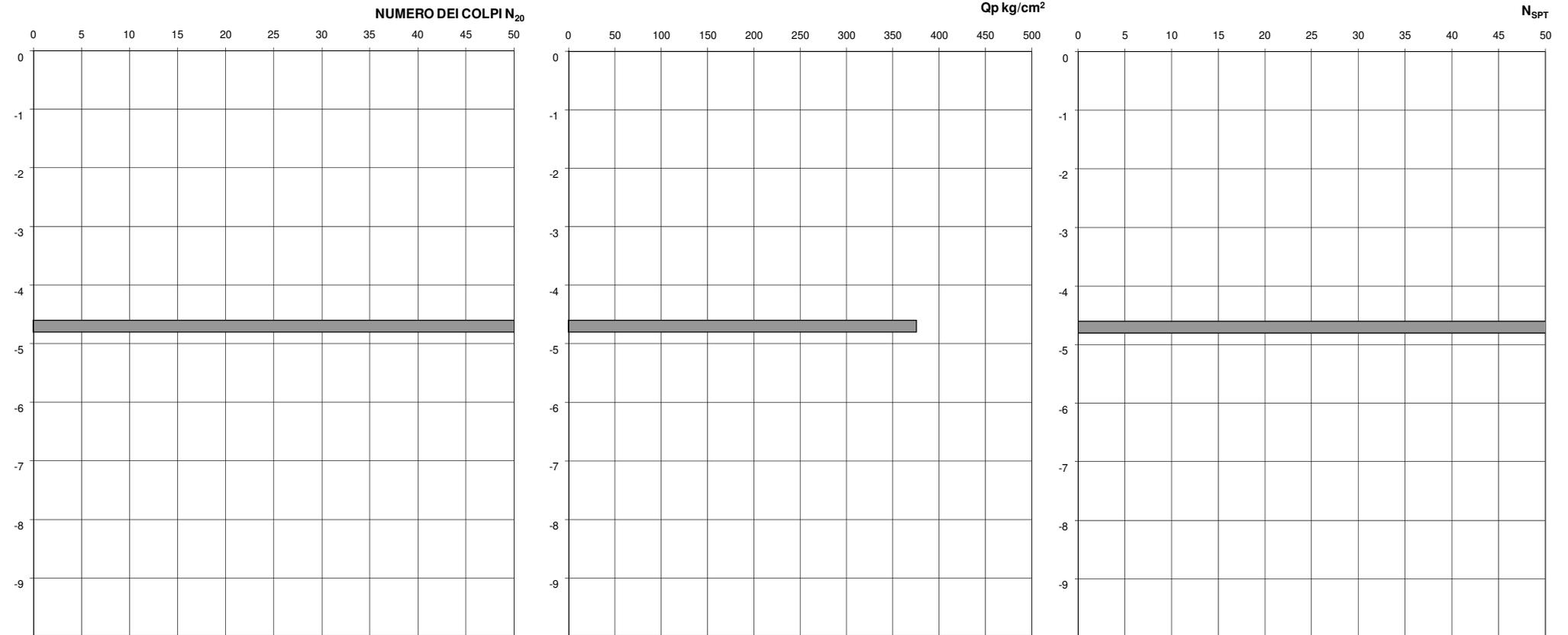
Coordinate WGS84: Lat 44,500974N Long 11,354429E

Data: 03/08/2012

Quota p.c. DPSH da 0,00: -0,17m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. DPSH: -

Profondità piezometro da p.c. DPSH: non installato, foro franato





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT2

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

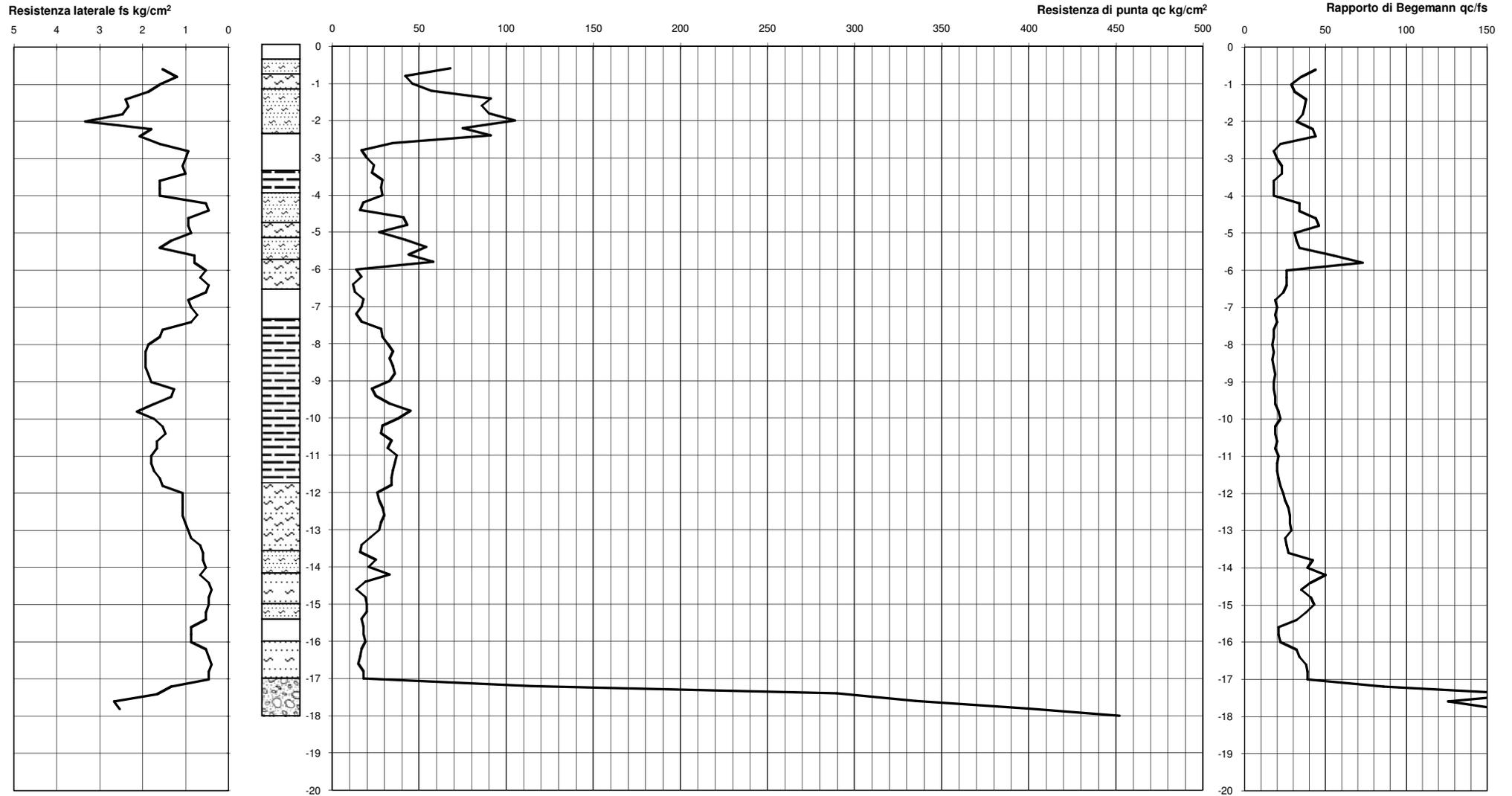
Coordinate WGS84: Lat 44,500968N Long 11,354278E

Data: 03/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: -0,36m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: assente (03-04/08/2012 - 12/09/2012);

Profondità piezometro da p.c. CPT: -5,82m





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT3

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

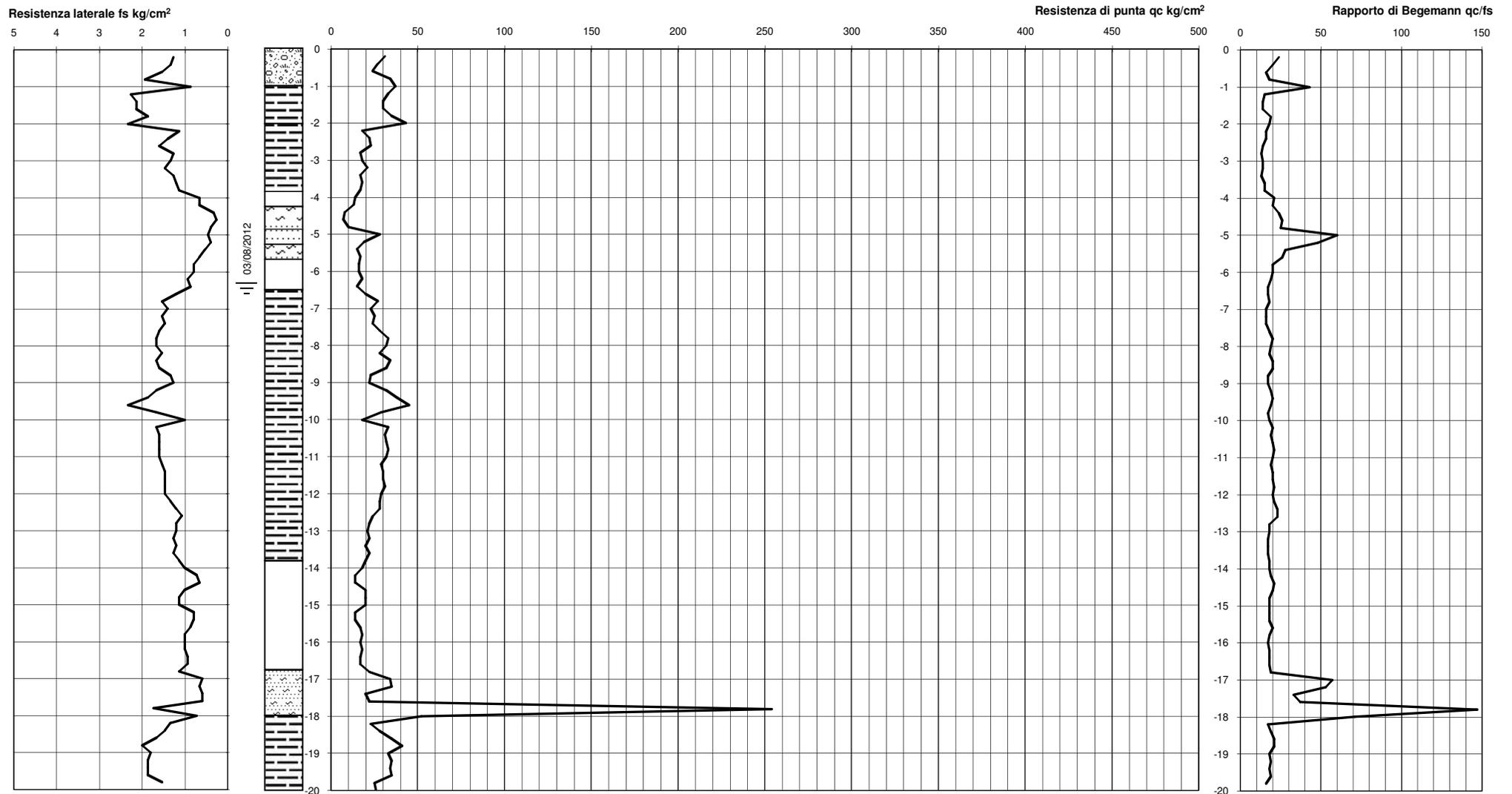
Coordinate WGS84: Lat 44,500748N Long 11,354535E

Data: 03/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: -0,54m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: -6,33m (03/08/2012); -6,63m (04/08/2012); -8,06m (12/09/2012)

Profondità piezometro da p.c. CPT: -11,13m





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT4

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

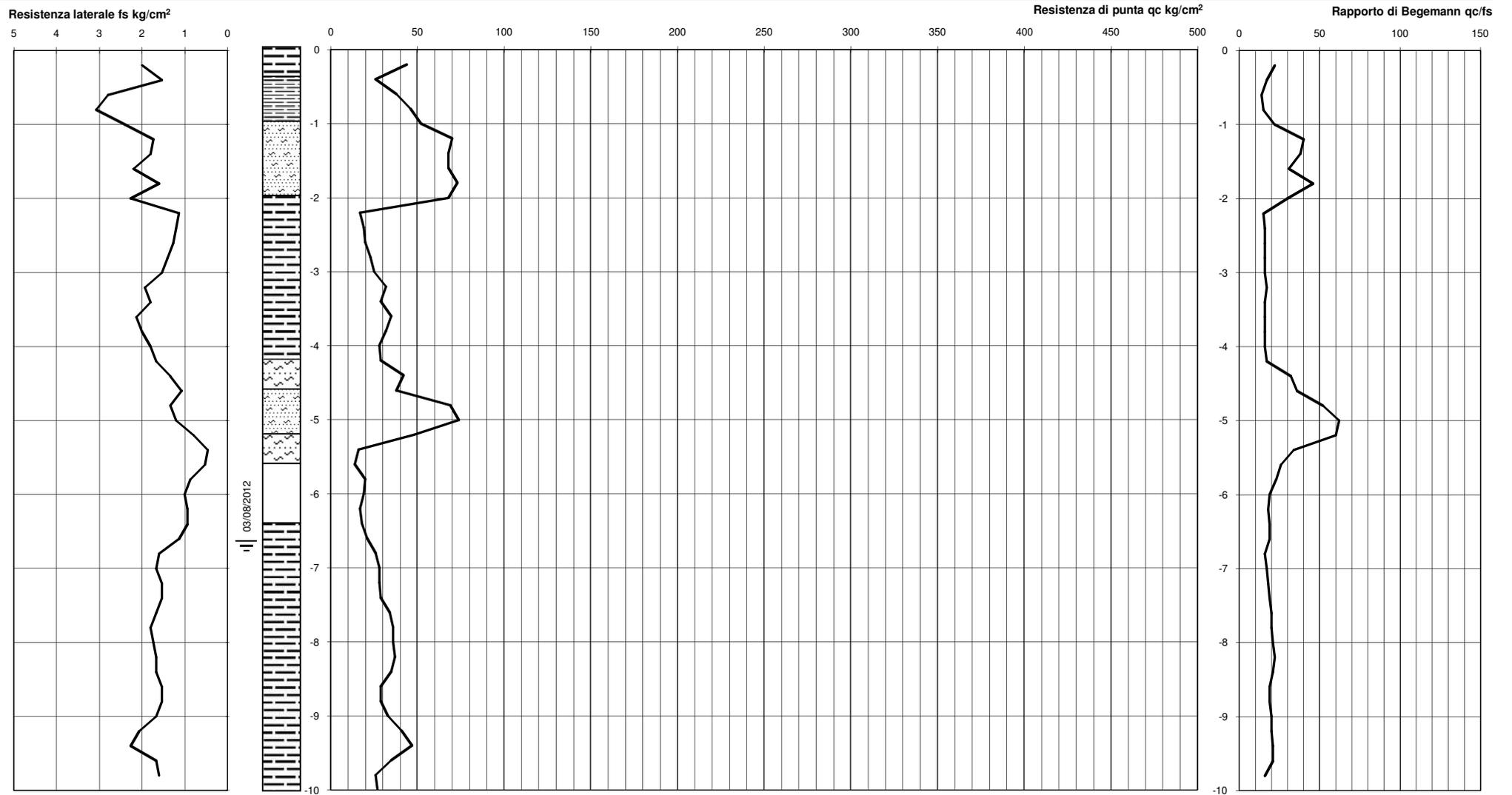
Coordinate WGS84: Lat 44,500796N Long 11,354162E

Data: 03/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: -0,59m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: -6,65m (03/08/2012); assente (04/08/2012 - 12/09/2012)

Profondità piezometro da p.c. CPT: non installato, fondo foro -6,70m (03-04/08/2012); -6,18m (12/09/2012)





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT5

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

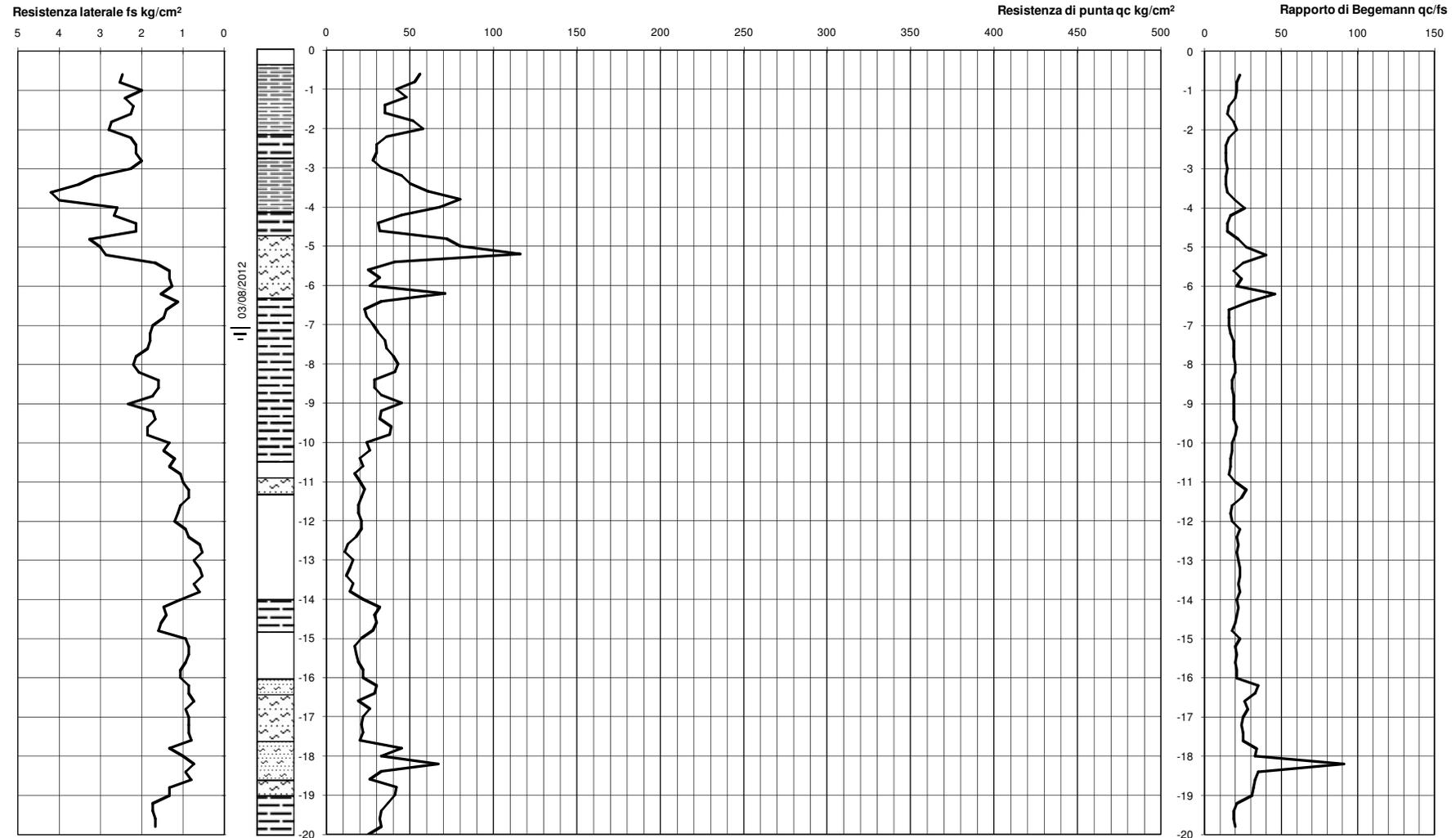
Coordinate WGS84: Lat 44,500511N Long 11,353957E

Data: 03/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: -0,21m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: -7,10m (03/08/2012); -7,53m (04/08/2012); -7,86m (12/09/2012)

Profondità piezometro da p.c. CPT: -9,65m





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT6

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

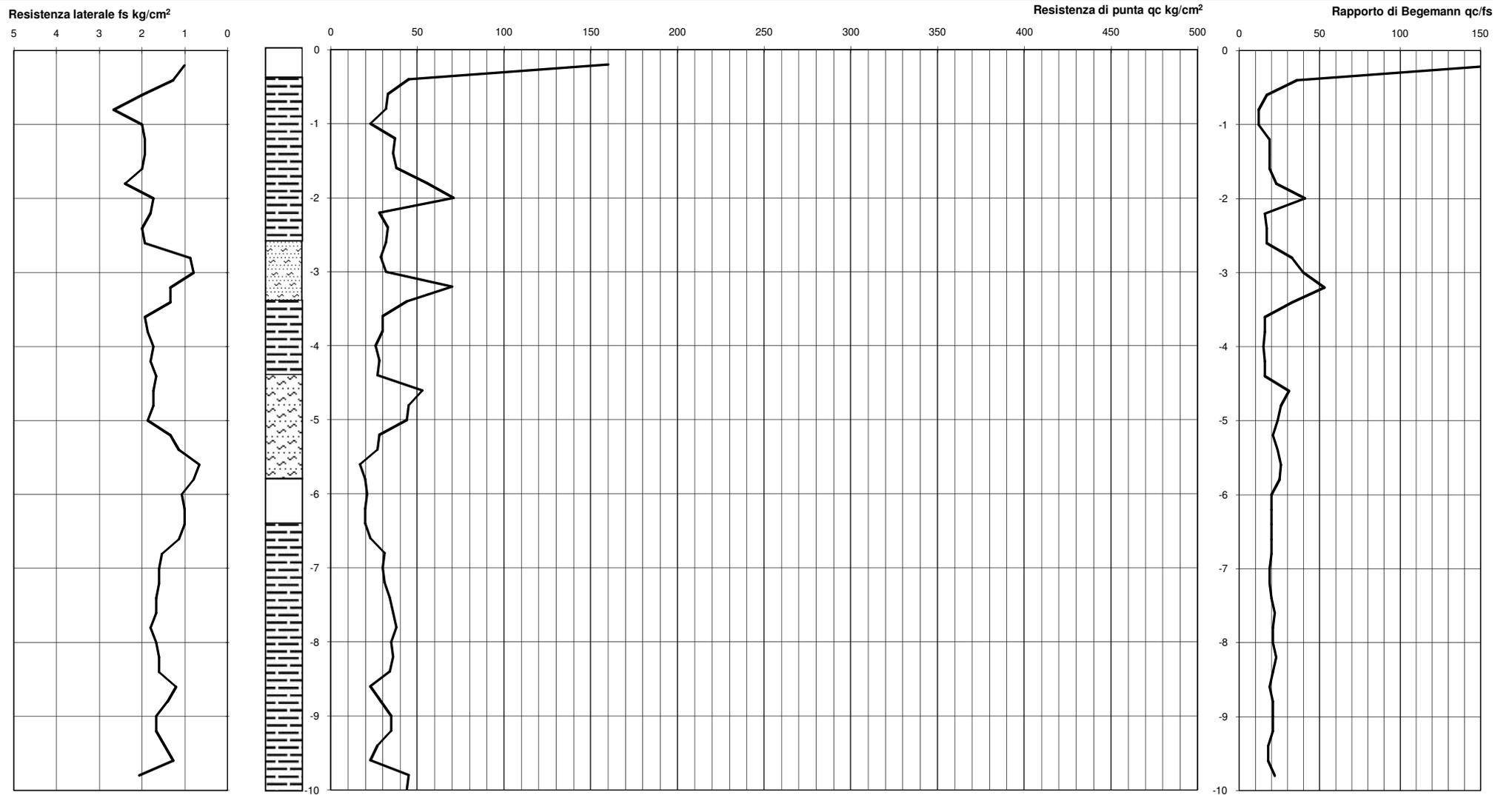
Coordinate WGS84: Lat 44,500471N Long 11,354163E

Data: 04/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: +0,04m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: -

Profondità piezometro da p.c. CPT: non installato, foro franato a -1,30m





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT7

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: spazio genitori - bambini, caffetteria

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

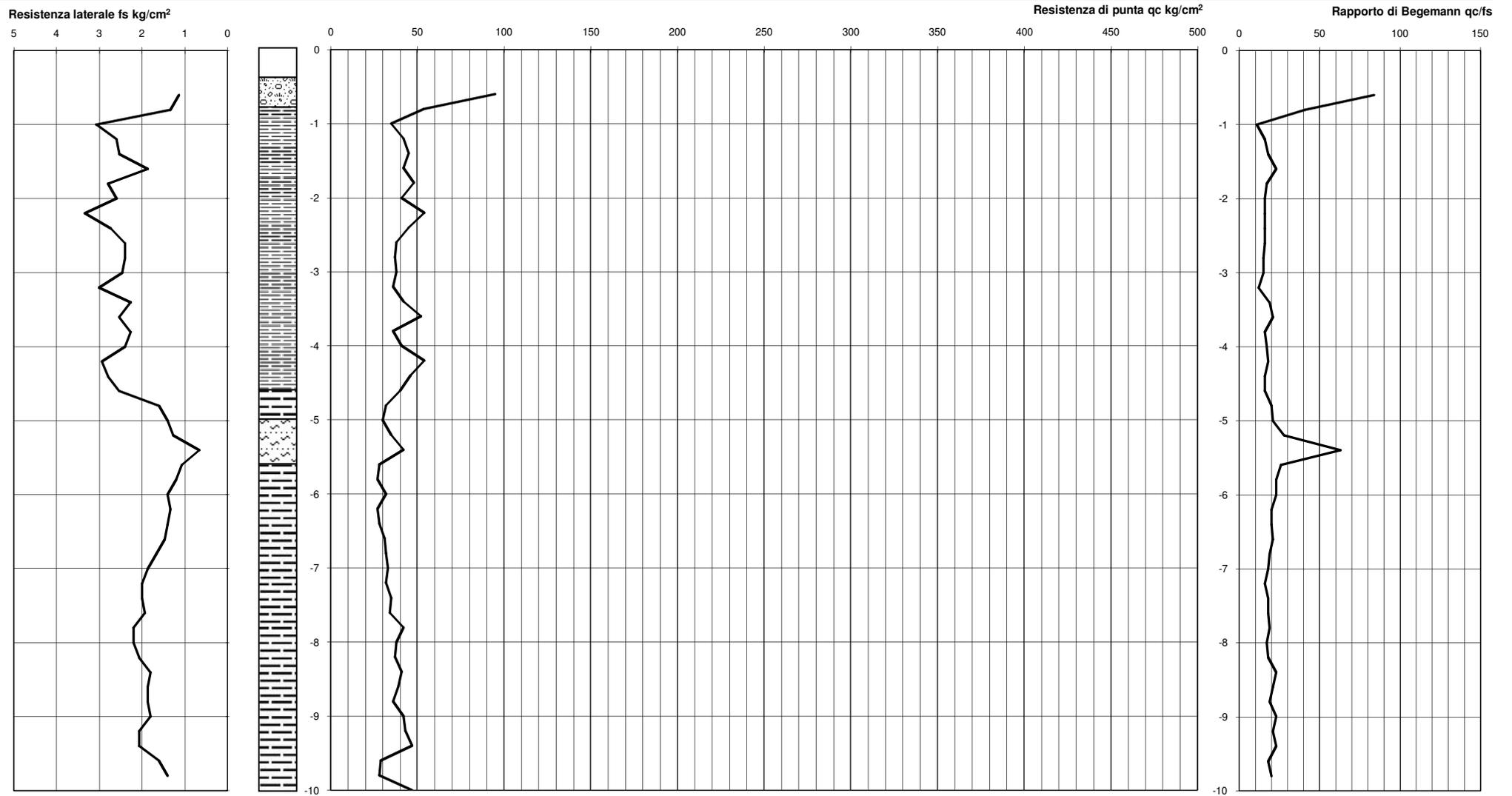
Coordinate WGS84: Lat 44,500304N Long 11,354032E

Data: 04/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: +0,33m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: assente (04/08/2012 - 12/09/2012)

Profondità piezometro da p.c. CPT: -6,81m





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA CPT8

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: spazio genitori - bambini, caffetteria

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

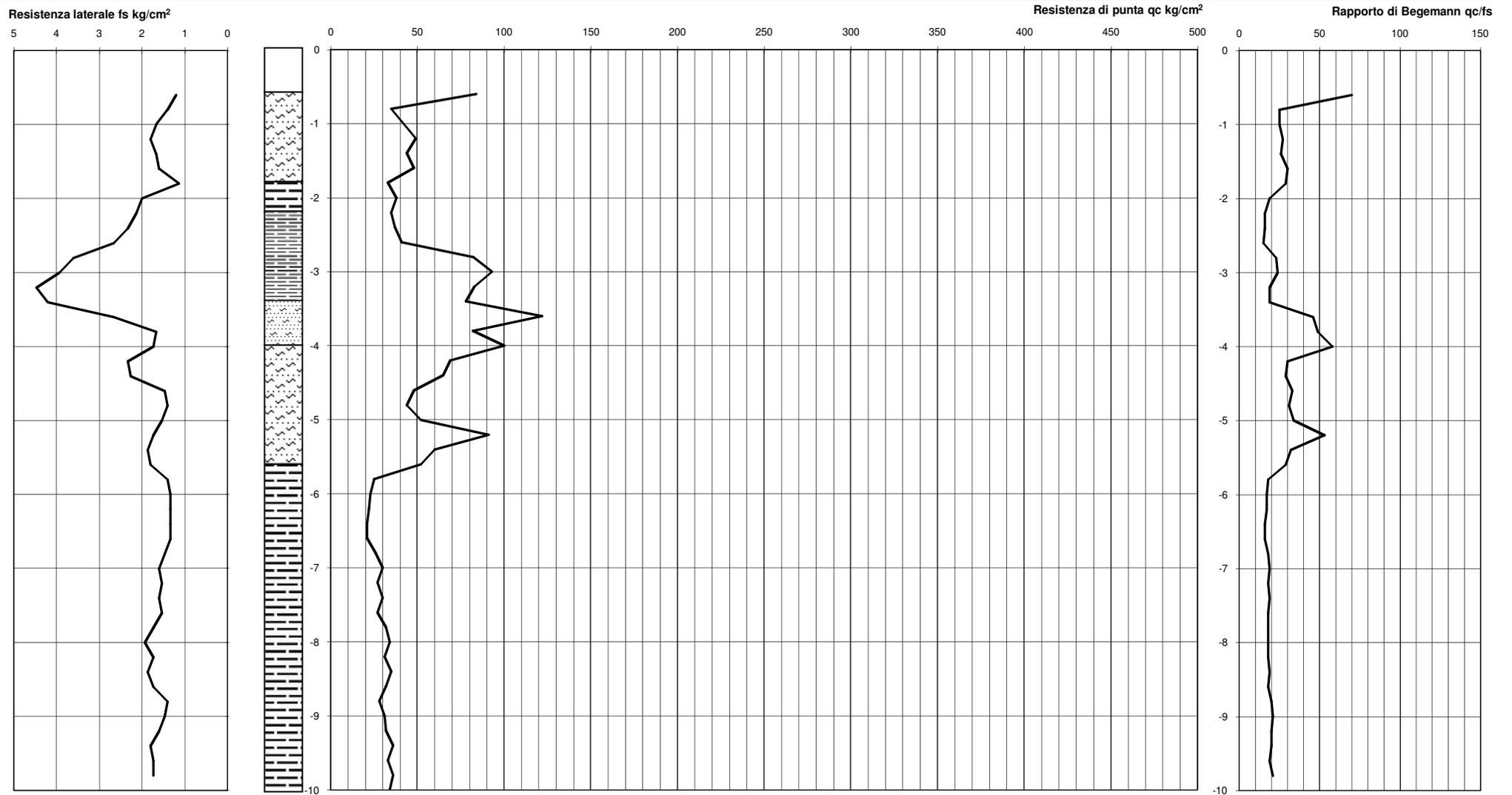
Coordinate WGS84: Lat 44,500387N Long 11,353900E

Data: 04/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: +0,31m

Soggiacenza livello piezometrico da p.c. CPT: assente (04/08/2012 - 12/09/2012)

Profondità piezometro da p.c. CPT: -8,50m





COMPARAZIONE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE CPT 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

Data: 03-04/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: -0,17m; -0,36m; -0,54m; -0,59m; -0,21m; +0,04m.

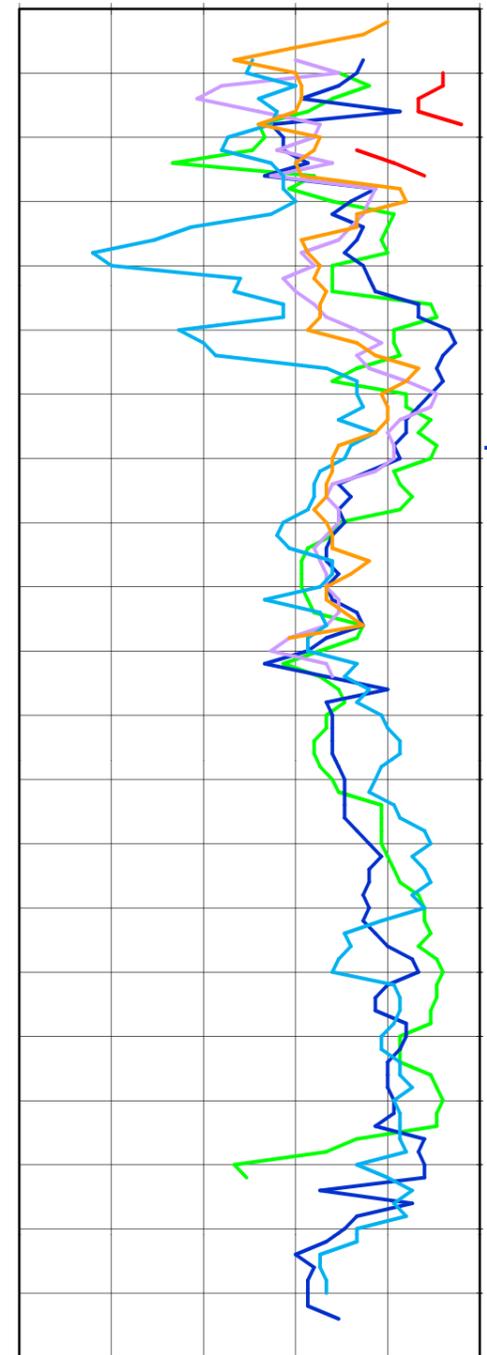
Soggiacenza livello piezometrico da 0,00: -; assente (03-04/08/2012 - 12/09/2012); -6,87m (03/08/2012); -7,17m (04/08/2012); -8,60m (12/09/2012); -7,24m (03/08/2012); assente (04/08/2012 - 12/09/2012); -7,31m (03/08/2012); -7,74m (04/08/2012); -8,07m (12/09/2012); -.

Profondità piezometro da 0,00: non installato, foro franato; -6,18m; -11,67m; non installato, fondo foro -7,29m (03-04/08/2012); fondo foro -6,77m (12/09/2012); -9,86m; non installato, foro franato a -1,26m.

La profondità 0 dei grafici sottostanti coincide con la quota = 0.00.

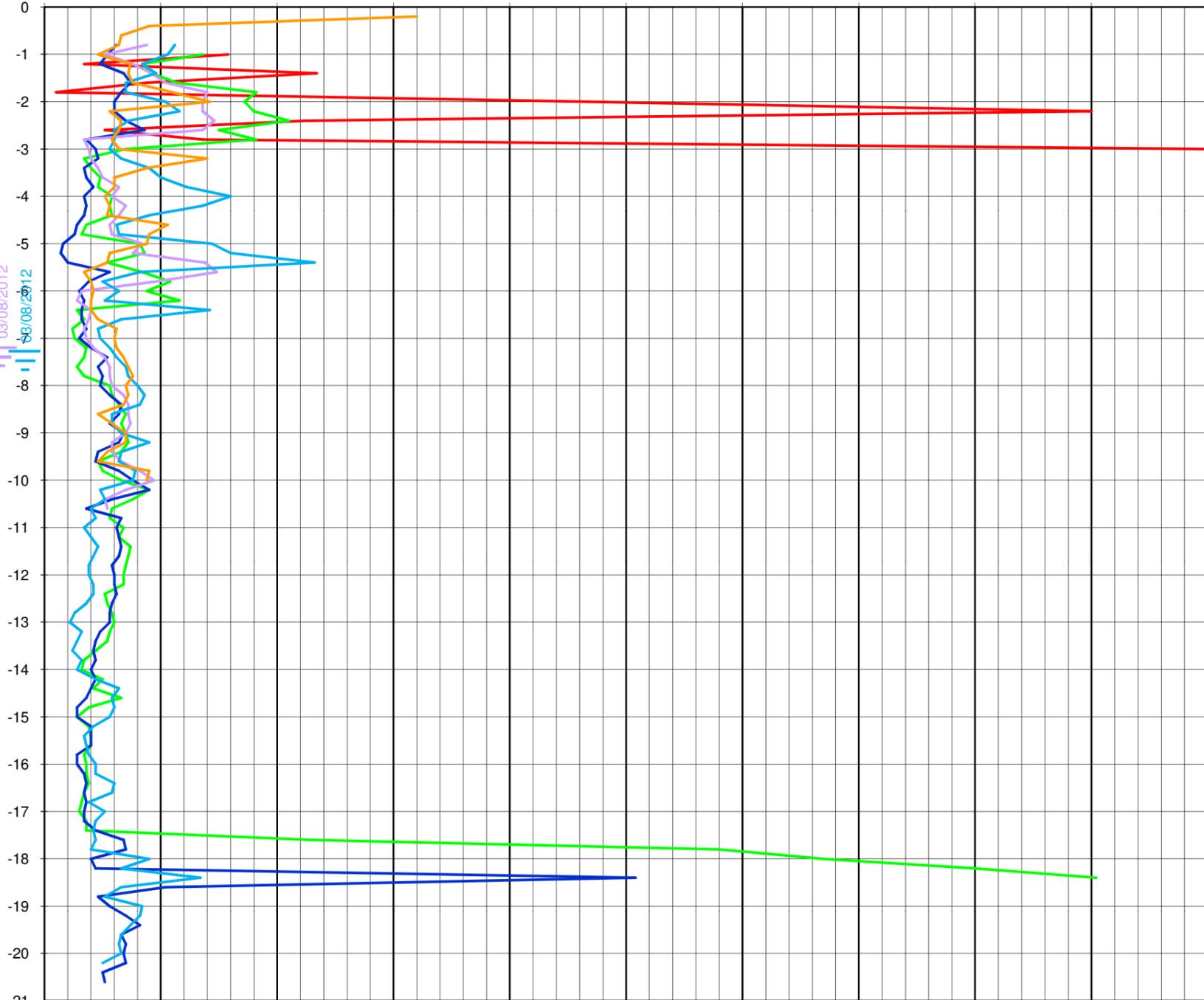
Resistenza laterale fs kg/cm²

5 4 3 2 1 0



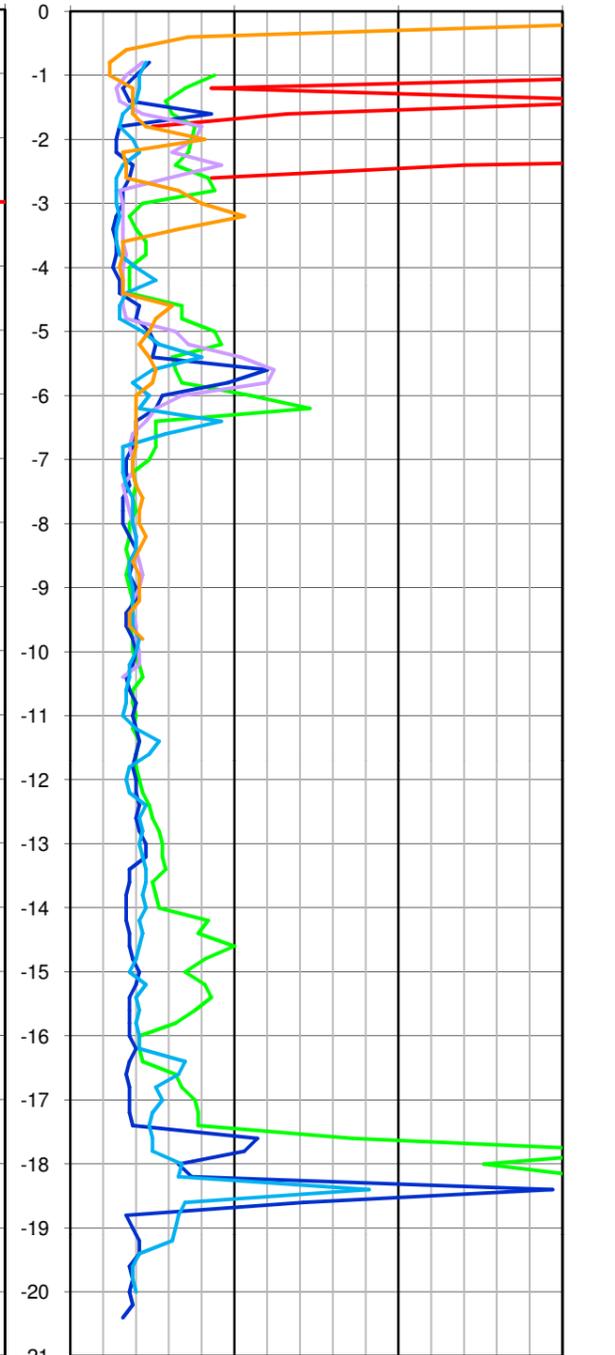
Resistenza di punta qc kg/cm²

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500



Rapporto di Begemann qc/fs

0 50 100 150





COMPARAZIONE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE CPT 3 - 4

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

Data: 03/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: -0,54m; -0,59m.

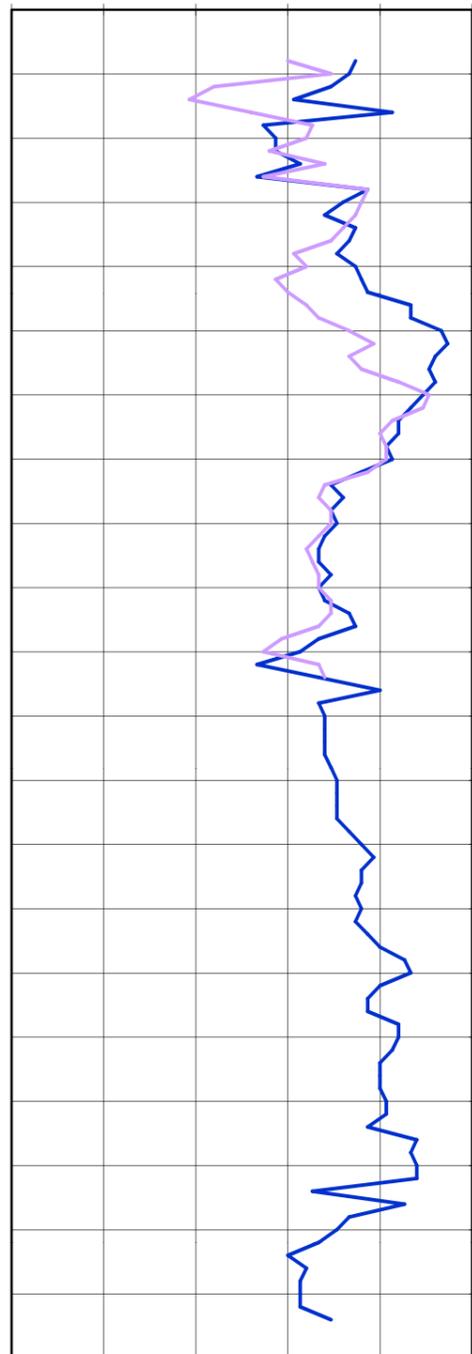
Soggiacenza livello piezometrico da 0,00: -6,87m (03/08/2012); -7,17m (04/08/2012); -8,60m (12/09/2012); -7,24m (03/08/2012); assente (04/08/2012 - 12/09/2012).

Profondità piezometro da 0,00: -11,67m; non installato, fondo foro -7,29m (03-04/08/2012); fondo foro -6,77m (12/09/2012).

La profondità 0 dei grafici sottostanti coincide con la quota = 0.00.

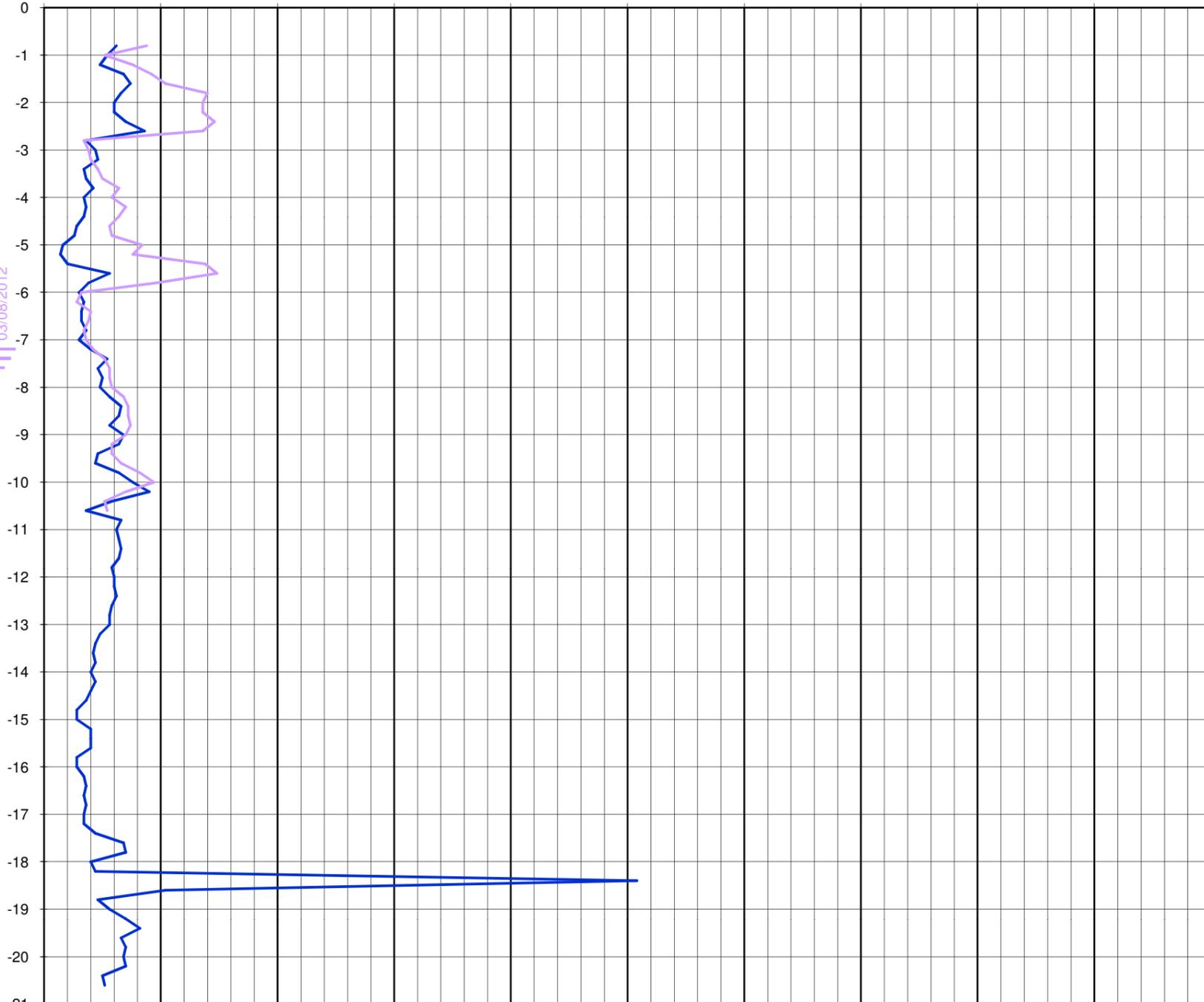
Resistenza laterale f_s kg/cm²

5 4 3 2 1 0



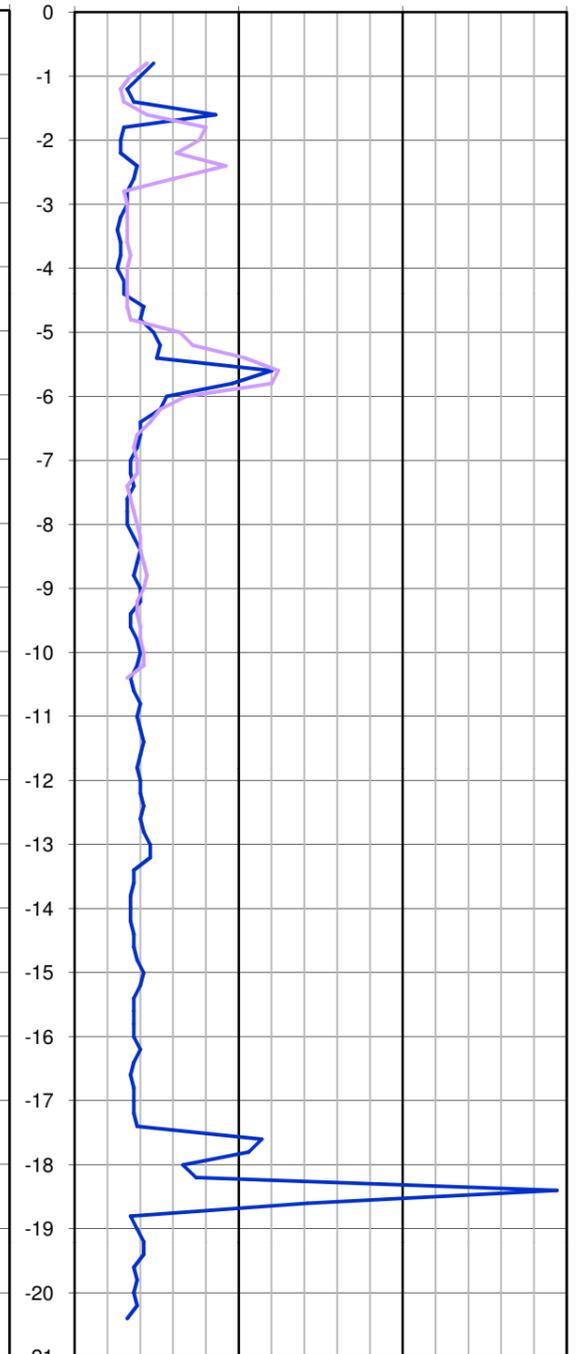
Resistenza di punta q_c kg/cm²

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500



Rapporto di Begemann q_c/f_s

0 50 100 150





COMPARAZIONE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE CPT 5 - 6

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: asilo nido - scuola materna

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

Data: 03/08/2012

Quota p.c. CPT da 0,00: -0,21m; +0,04m.

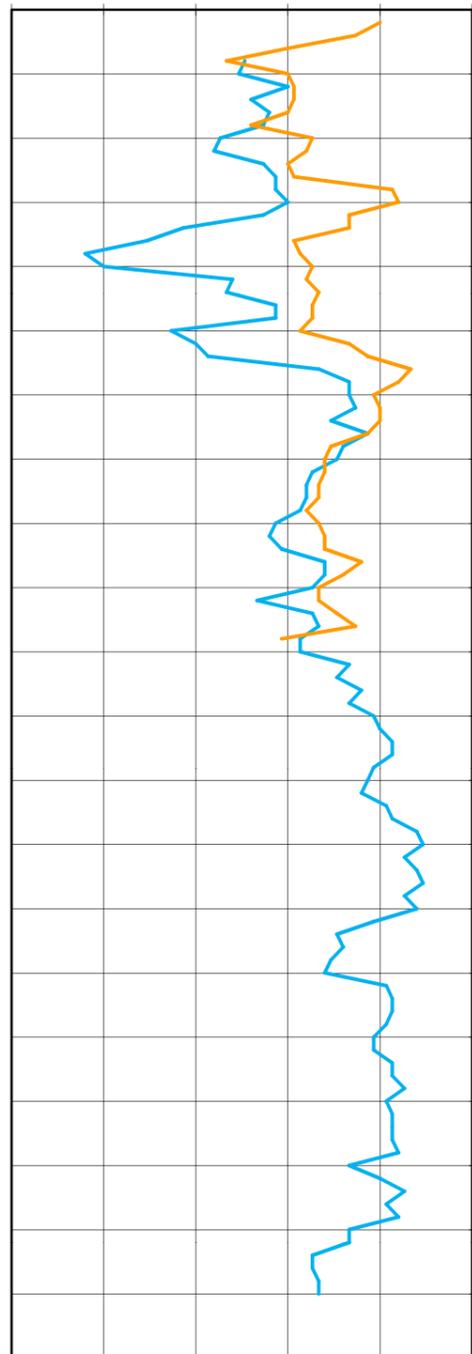
Soggiacenza livello piezometrico da 0,00: -7,31m (03/08/2012); -7,74m (04/08/2012); -8,07m (12/09/2012); -.

Profondità piezometro da 0,00: -9,86m; non installato, foro franato a -1,26m.

La profondità 0 dei grafici sottostanti coincide con la quota = 0.00.

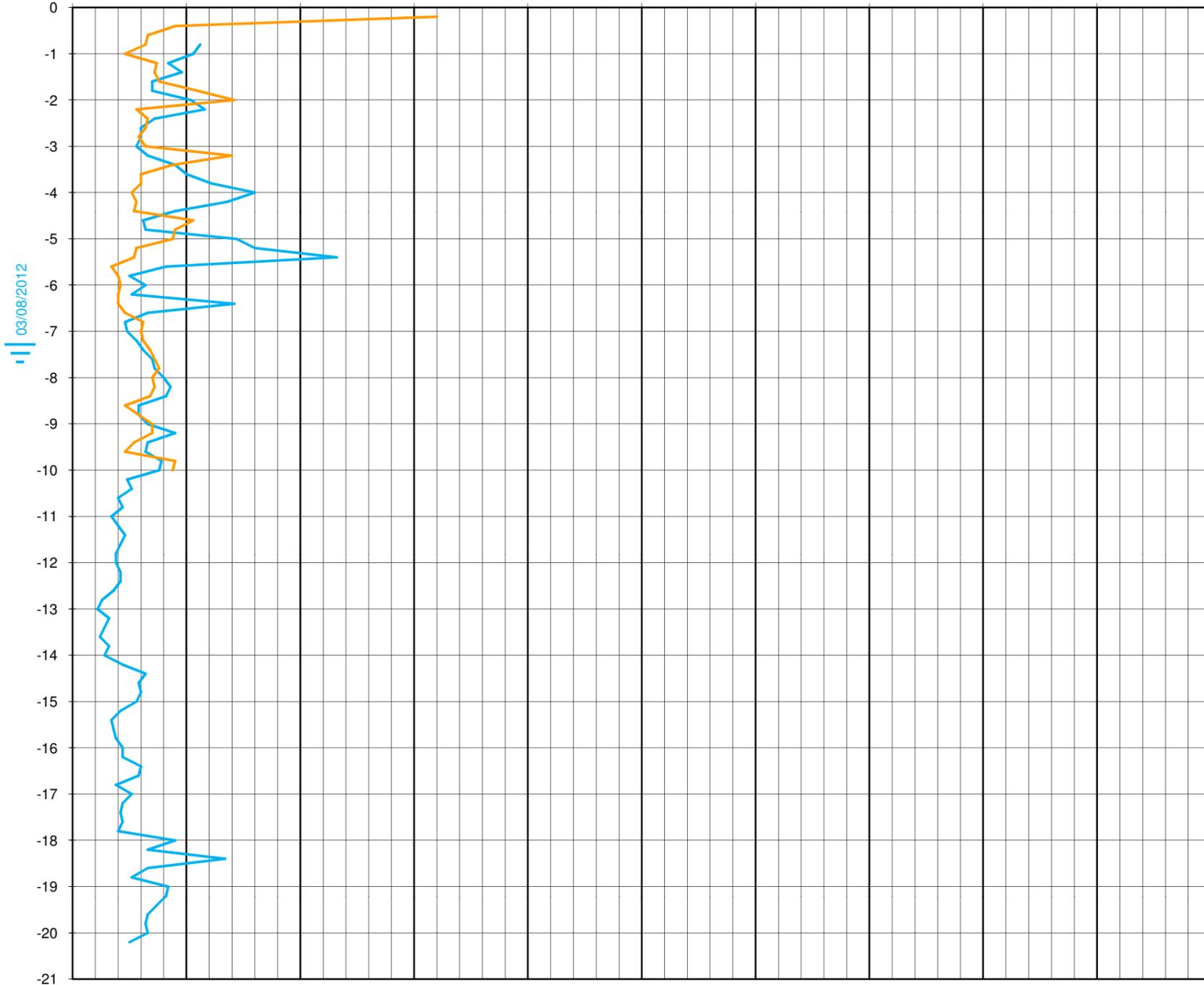
Resistenza laterale f_s kg/cm²

5 4 3 2 1 0



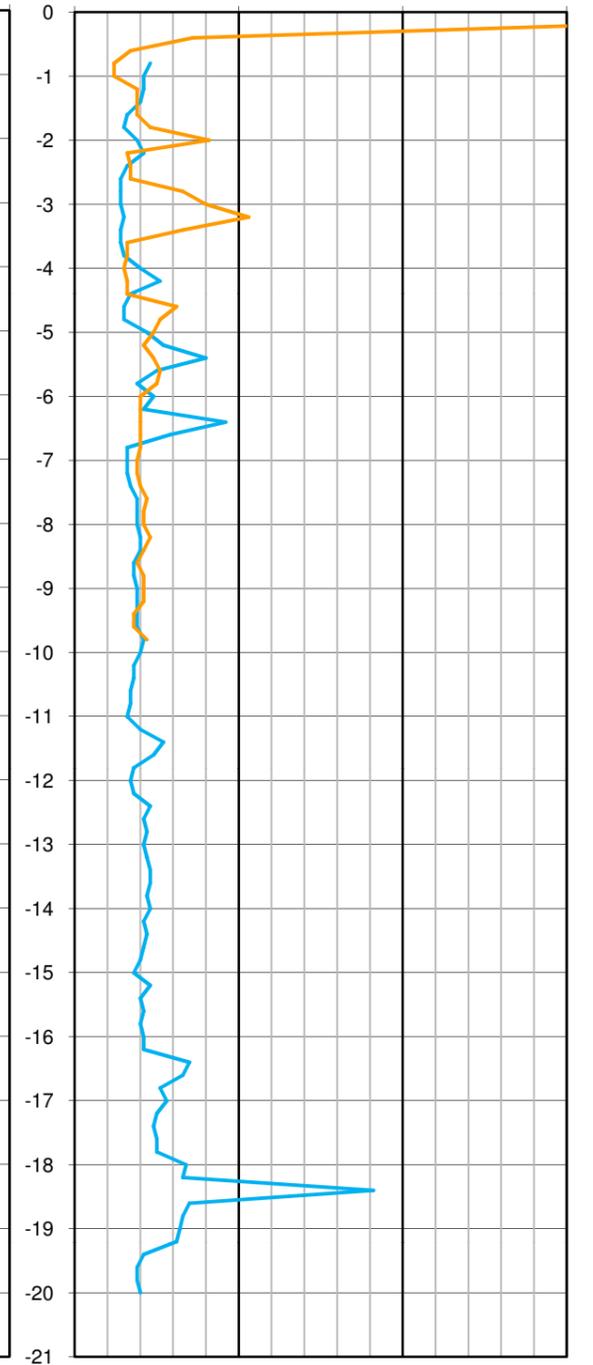
Resistenza di punta q_c kg/cm²

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500



Rapporto di Begemann q_c/f_s

0 50 100 150



03/08/2012



COMPARAZIONE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE CPT 7 - 8

Committente: ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA

Cantiere: spazio genitori - bambini, caffetteria

Località: via Filippo Re, 6 Bologna

Data: 04/08/2012

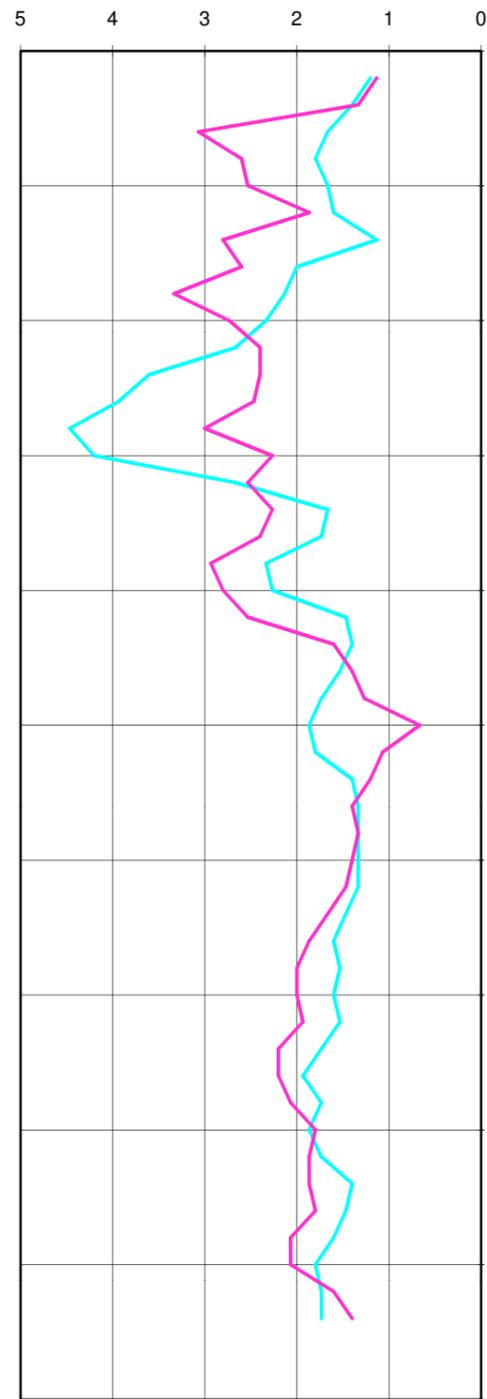
Quota p.c. CPT da 0,00: +0,33m; +0,31m.

Soggiacenza livello piezometrico da 0,00: assente (04/08/2012 - 12/09/2012); assente (04/08/2012 - 12/09/2012).

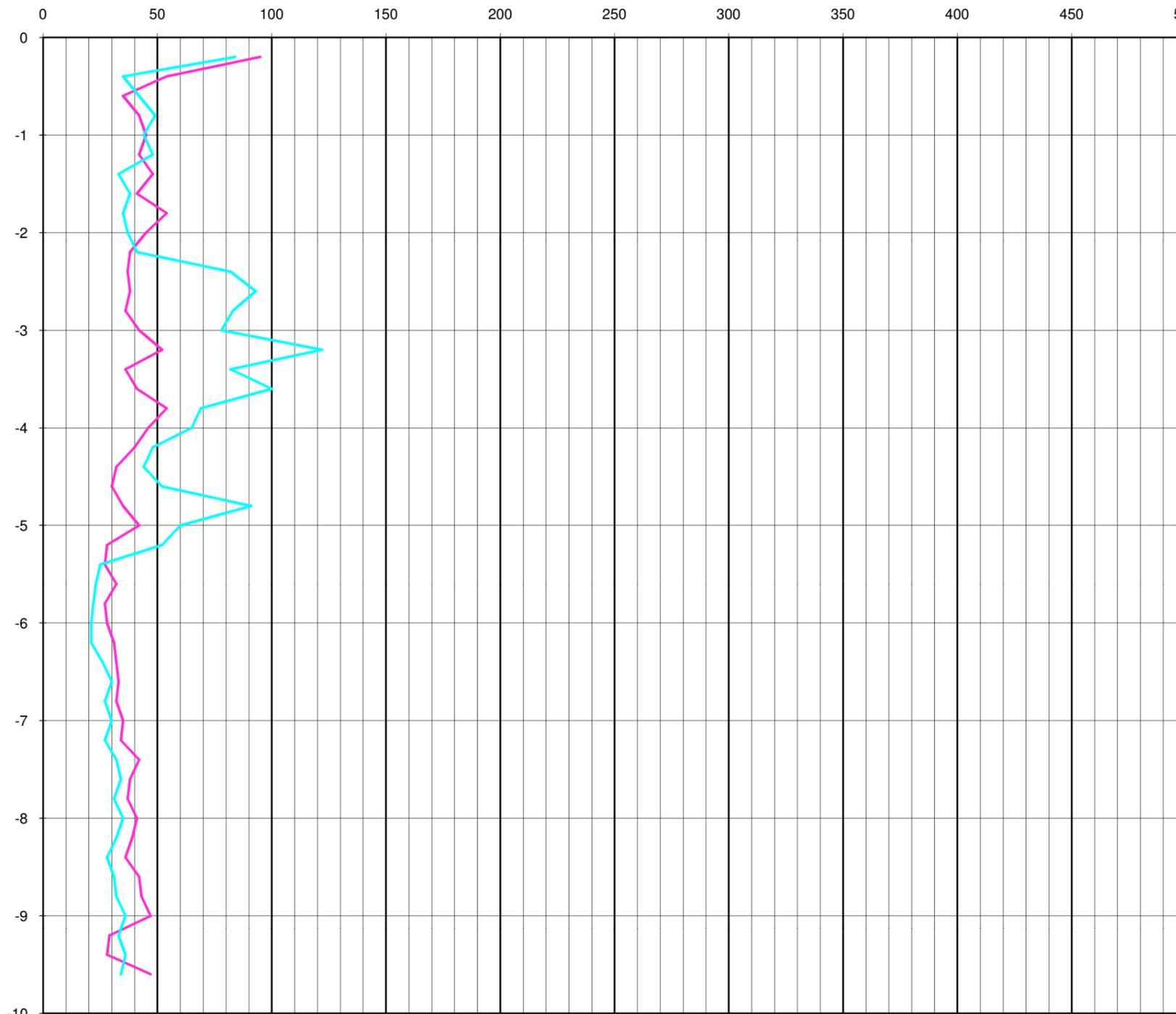
Profondità piezometro da 0,00: -6,48m; -8,19m.

La profondità 0 dei grafici sottostanti coincide con la quota = 0.00.

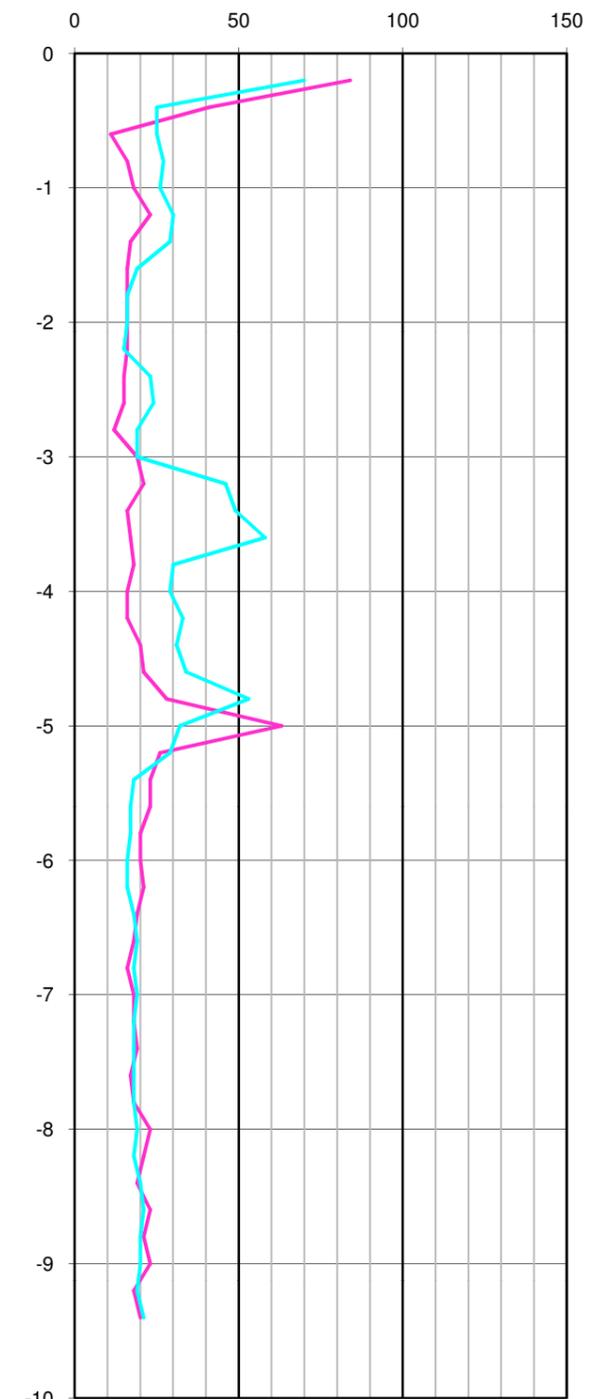
Resistenza laterale f_s kg/cm²



Resistenza di punta q_c kg/cm²



Rapporto di Begemann q_c/f_s



STRATIGRAFIA DEL POZZO PER ACQUA 221DP629

da archivio prove geognostiche puntuali della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna.

Regione Emilia-Romagna

58-1967-511

→ Scheda da ritornare al Genio Civile* 29 H

Pratica N°

--	--	--	--	--	--	--	--

COMPENSORIO

COMUNE-Istat

-Ditta BASCHIERI & PELLAGRI S.P.A.

residente a BOLOGNA in Via PIAZZA DI PORTA MASCARELLA 7

-Pozzo ad uso INDUSTRIALE in Comune di BOLOGNA

Frazione P.ZZA PORTA MASCARELLA Località _____ Mapp.N° _____ / Fg. _____

-Data di ultimazione della perforazione: GIUGNO 1967

-Ditta perforatrice: IMPRESA A.RABITTI- Via Poeti 8 Bologna.

CARATTERISTICHE DEL POZZO
*avanpozzo (si o no) <u>SI</u>
*diametro interno tubi mm. <u>155</u>
*profondità mt. <u>87,50</u>

EQUIPAGGIAMENTO
*tipo della pompa sommersa <u>UTA DL 4107/7 EL 1202</u>
*potenza $\frac{cv}{kW}$ <u>2</u>
*prevalenza mt. _____
*portata lt/sec. <u>2</u>

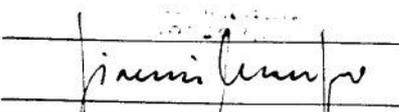
-Livello statico mt. -15
 -Portata pozzo: lt/sec. 2
 -Superficie irrigata:
 ha. _____ are _____ ca. _____
 -Consumo giornaliero (24 ore):
 metri cubi _____

STRATIGRAFIA DEL TERRENO	Falde captate
Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE attraversati	
-da mt. <u>0.00</u> a mt. <u>10.50</u> PIANO CAMP. TERRENO RIPORTATO	
-da mt. <u>10.50</u> a mt. <u>52.60</u> TACCO ARGILLOSO PLASTICO	
-da mt. <u>52.60</u> a mt. <u>58.50</u> GHIAIA CON ACQUA	SI
-da mt. <u>58.50</u> a mt. <u>75.00</u> ARGILLA COMPATTA	
-da mt. <u>75.00</u> a mt. <u>82.50</u> GHIAIA CON ACQUA	SI
-da mt. <u>82.50</u> a mt. <u>87.50</u> ARGILLA NEGATIVA DA POZZO	
-da mt. _____ a mt. _____	
-da mt. _____ a mt. _____	

Localizzazione del pozzo									
Long.				Lat.			Ha.		
Quota piano campagna: m.s.l.m. _____									

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data 28/9/1977

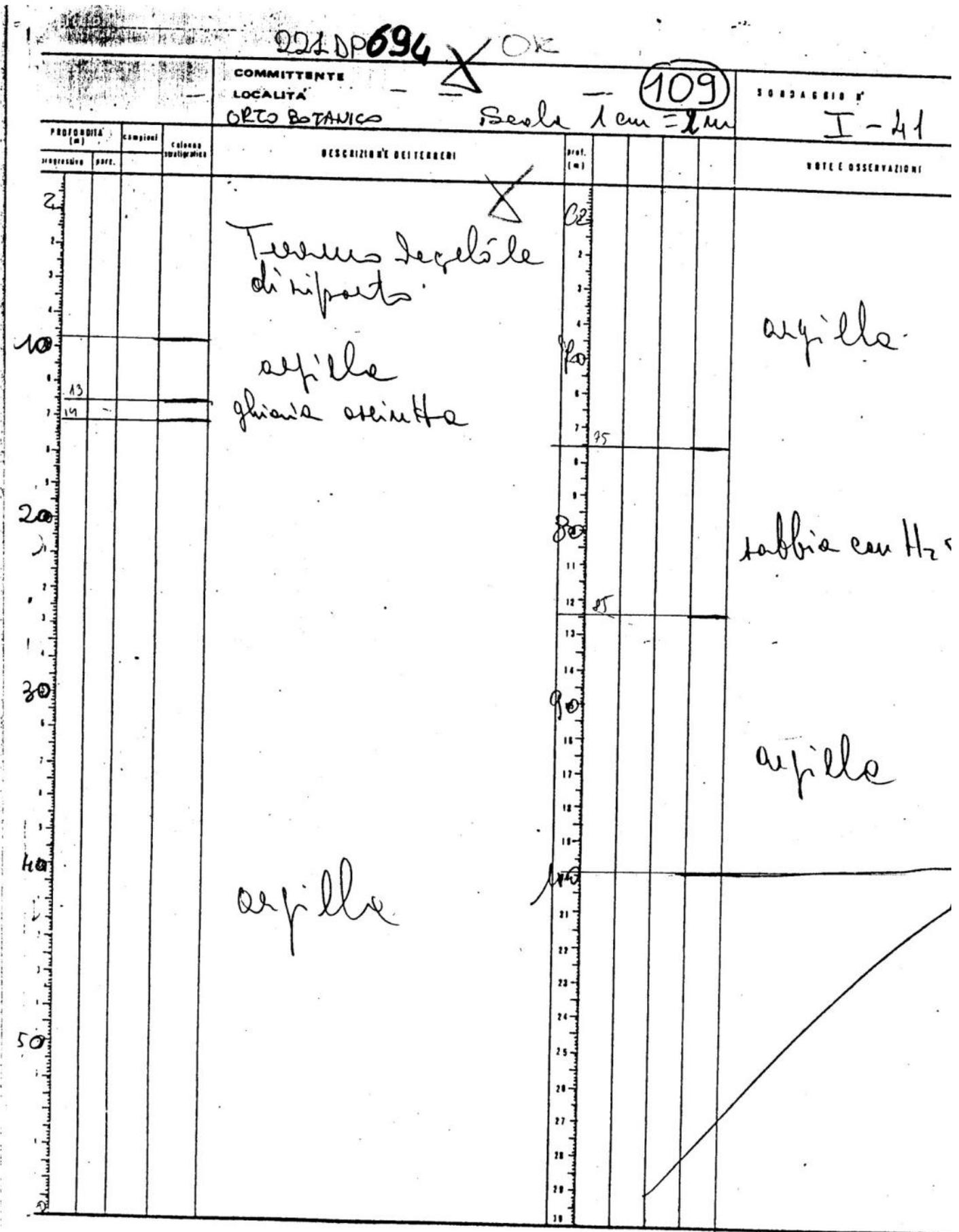
Firma _____


ANNOTAZIONI: La regolare autorizzazione è andata smarrita. ref. pratica 58/67
Genio Civile

M.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitata ad allegarne copia.

STRATIGRAFIA DEL POZZO PER ACQUA 221DP694

da archivio prove geonostiche puntuali della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna.



DA UBICARE DA

QUOTA INIZIALE
LIVELLO STATICO DI FALDA

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

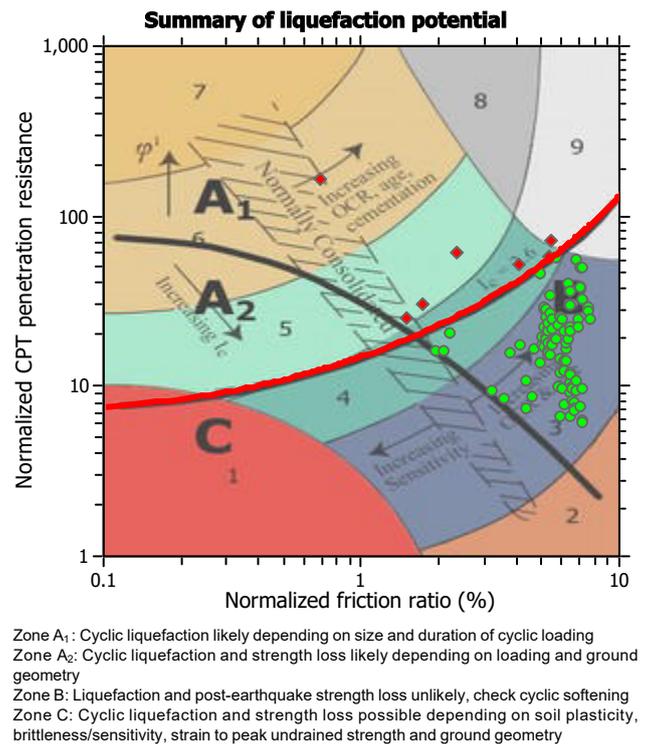
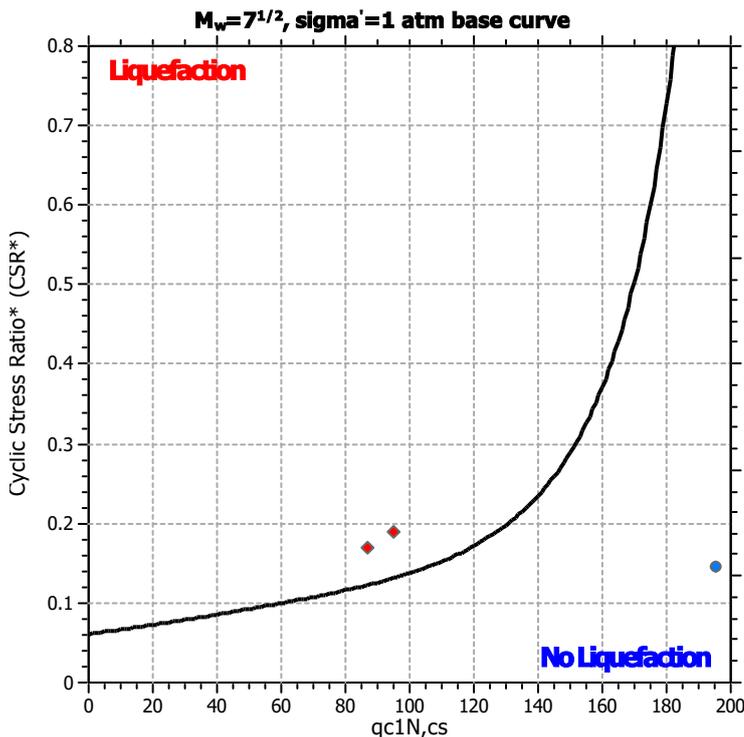
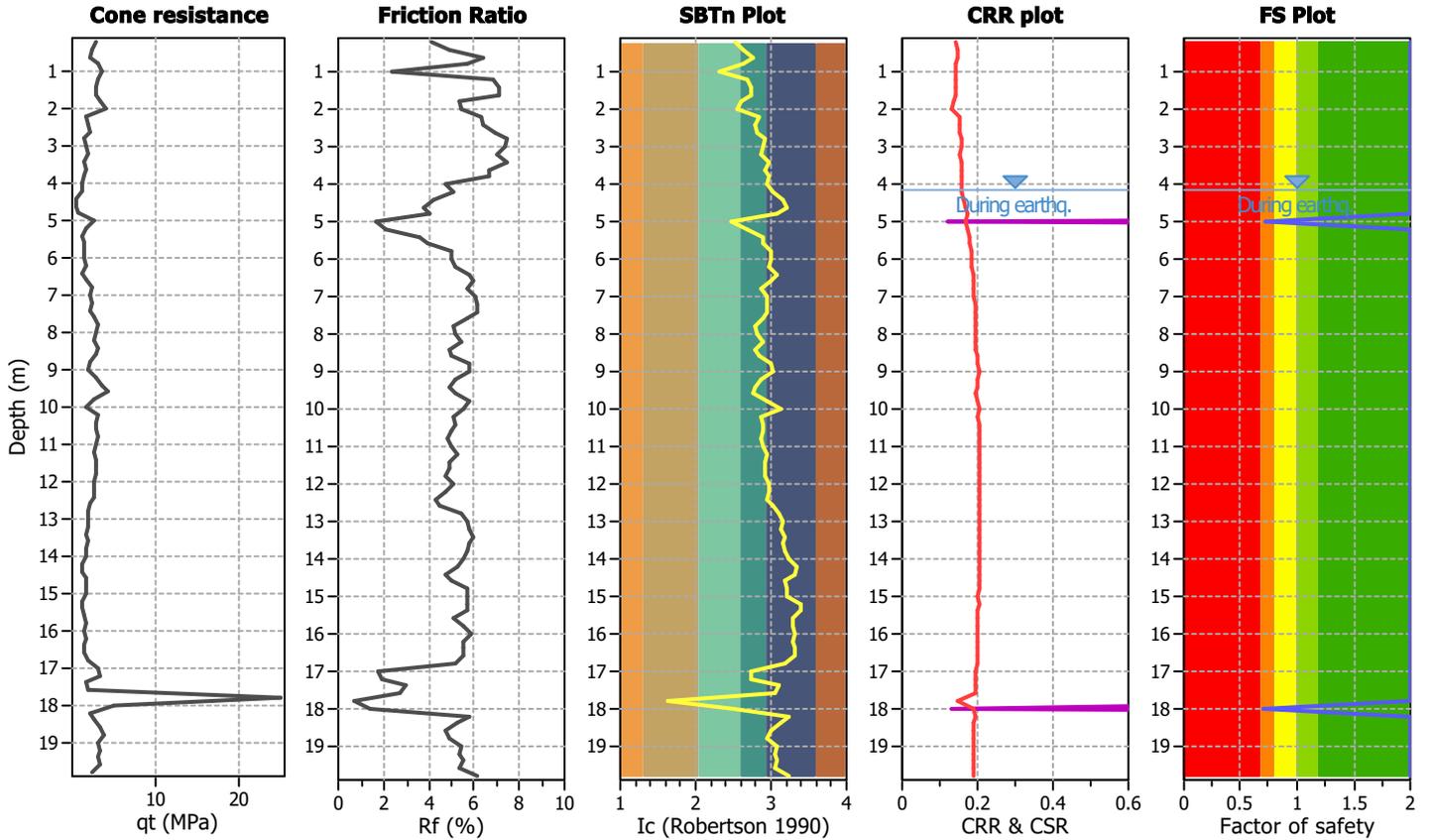
Project title : ASILO VIA FILIPPO RE

Location : BOLOGNA

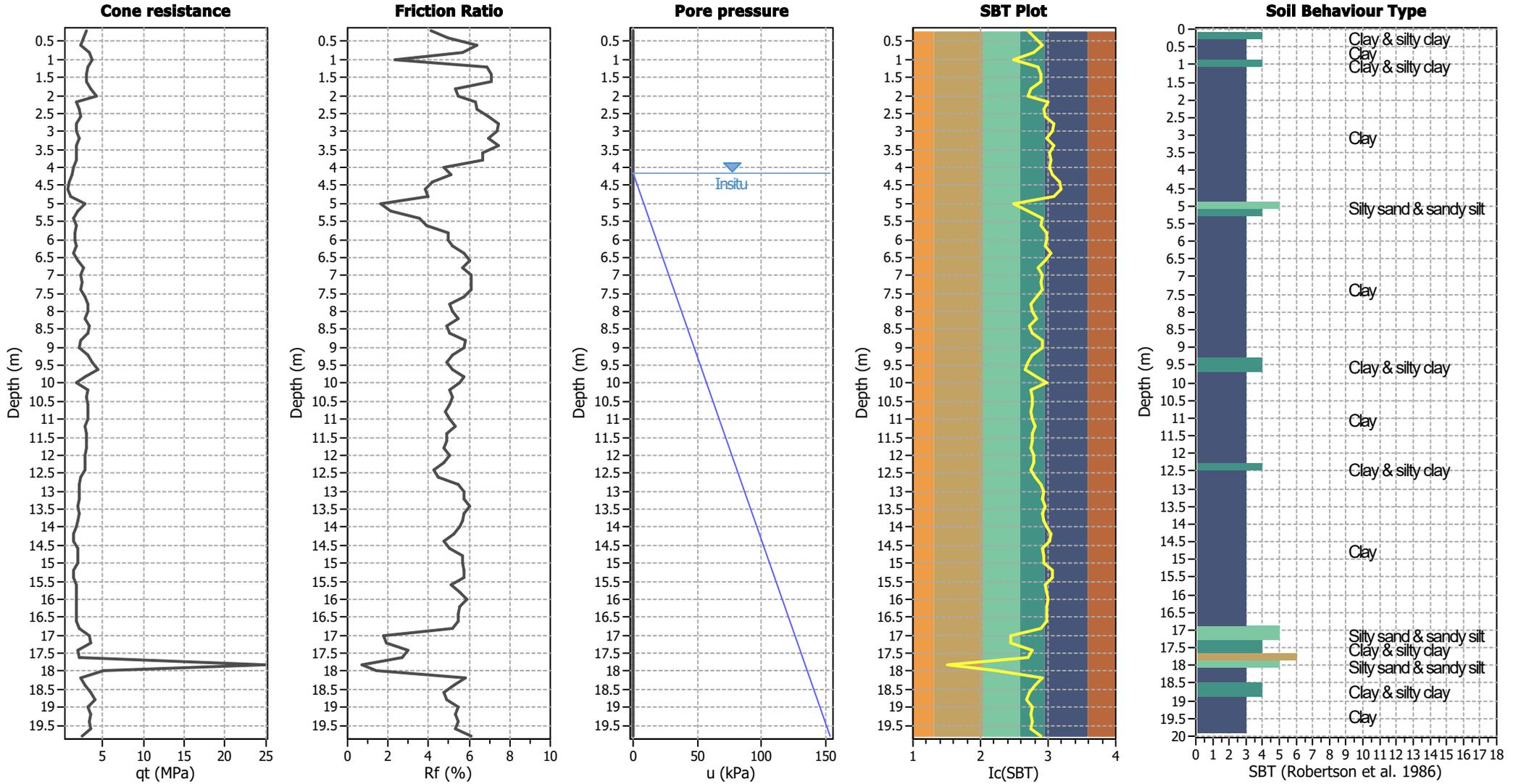
CPT file : CPT3

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	4.17 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.29	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



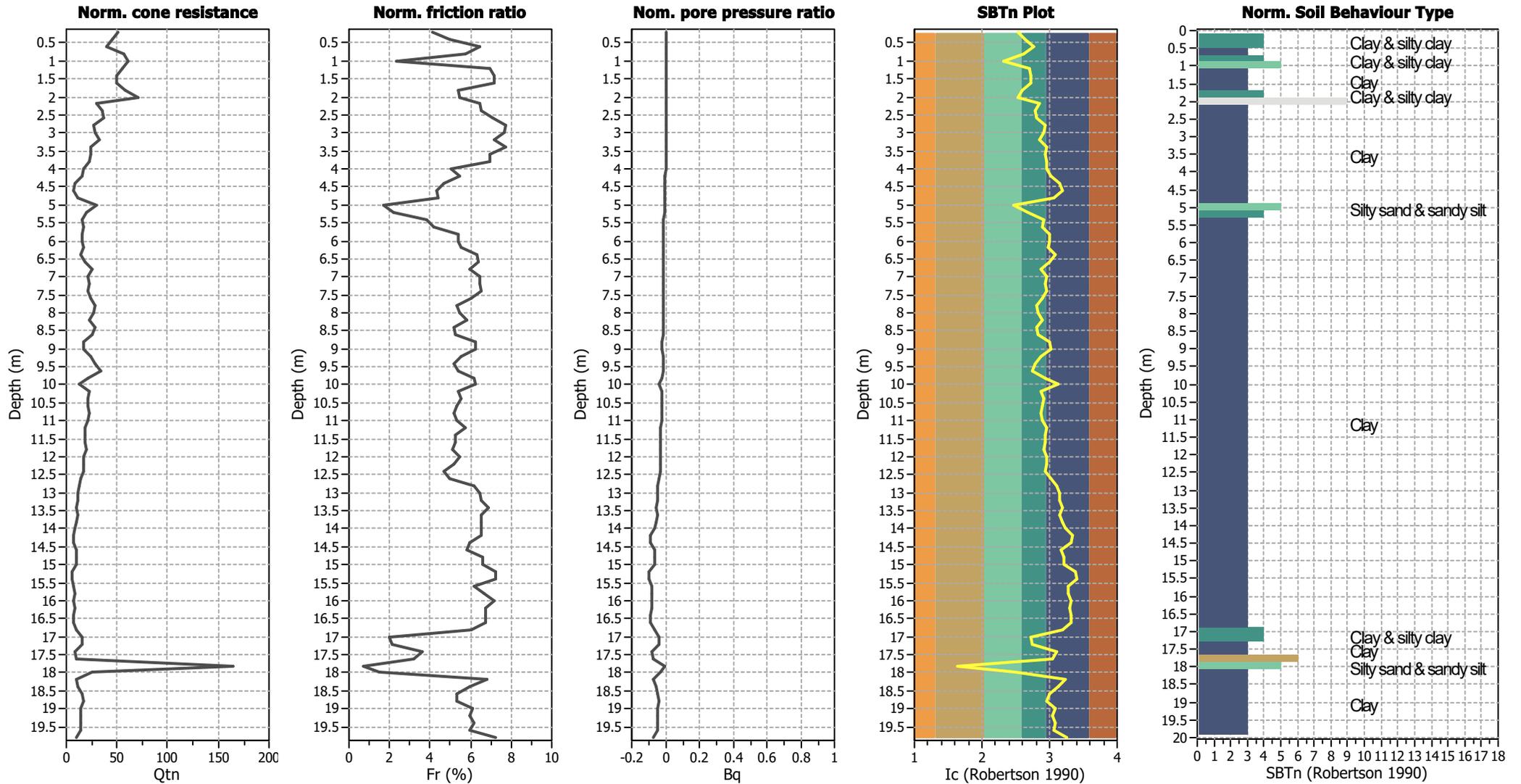
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



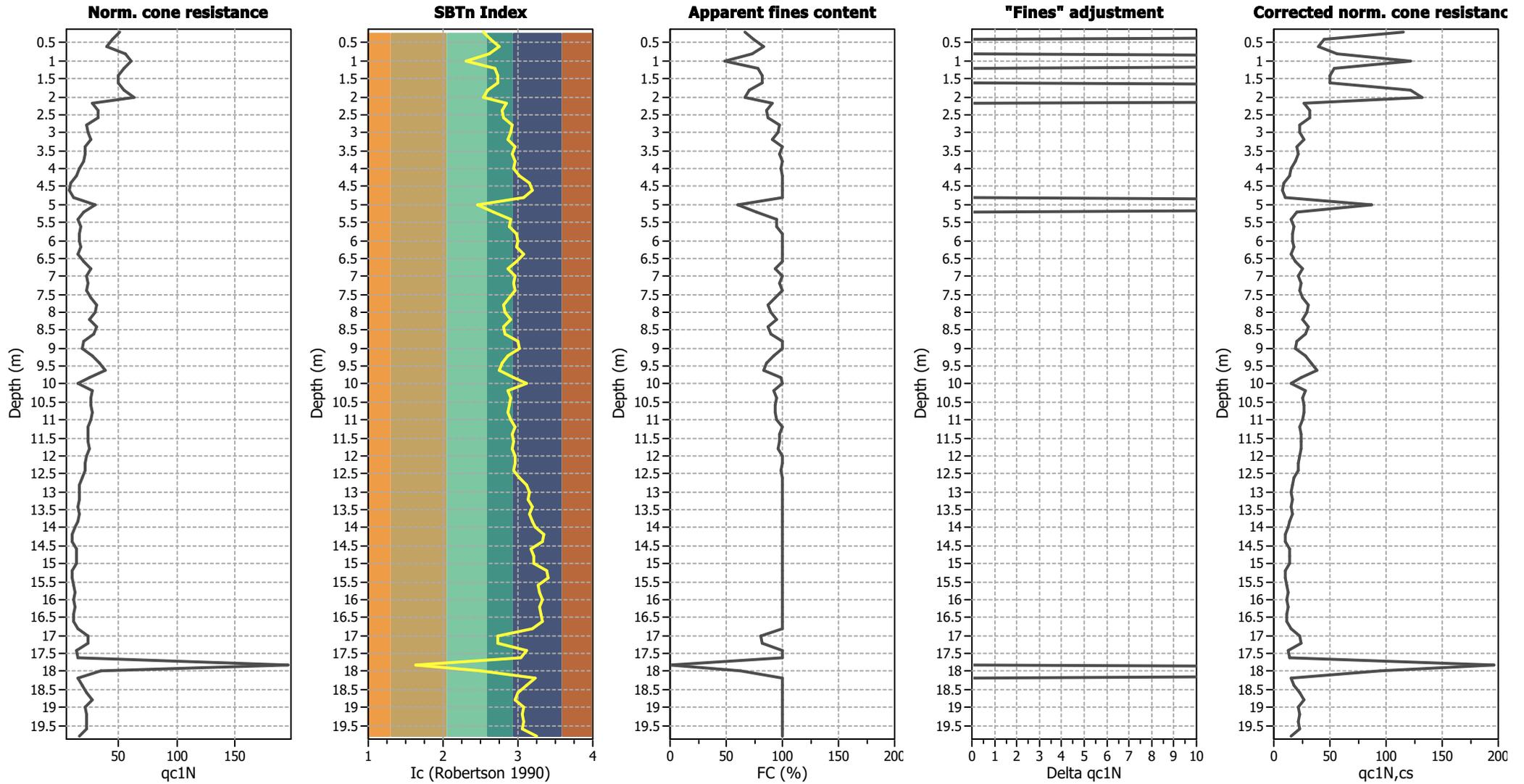
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

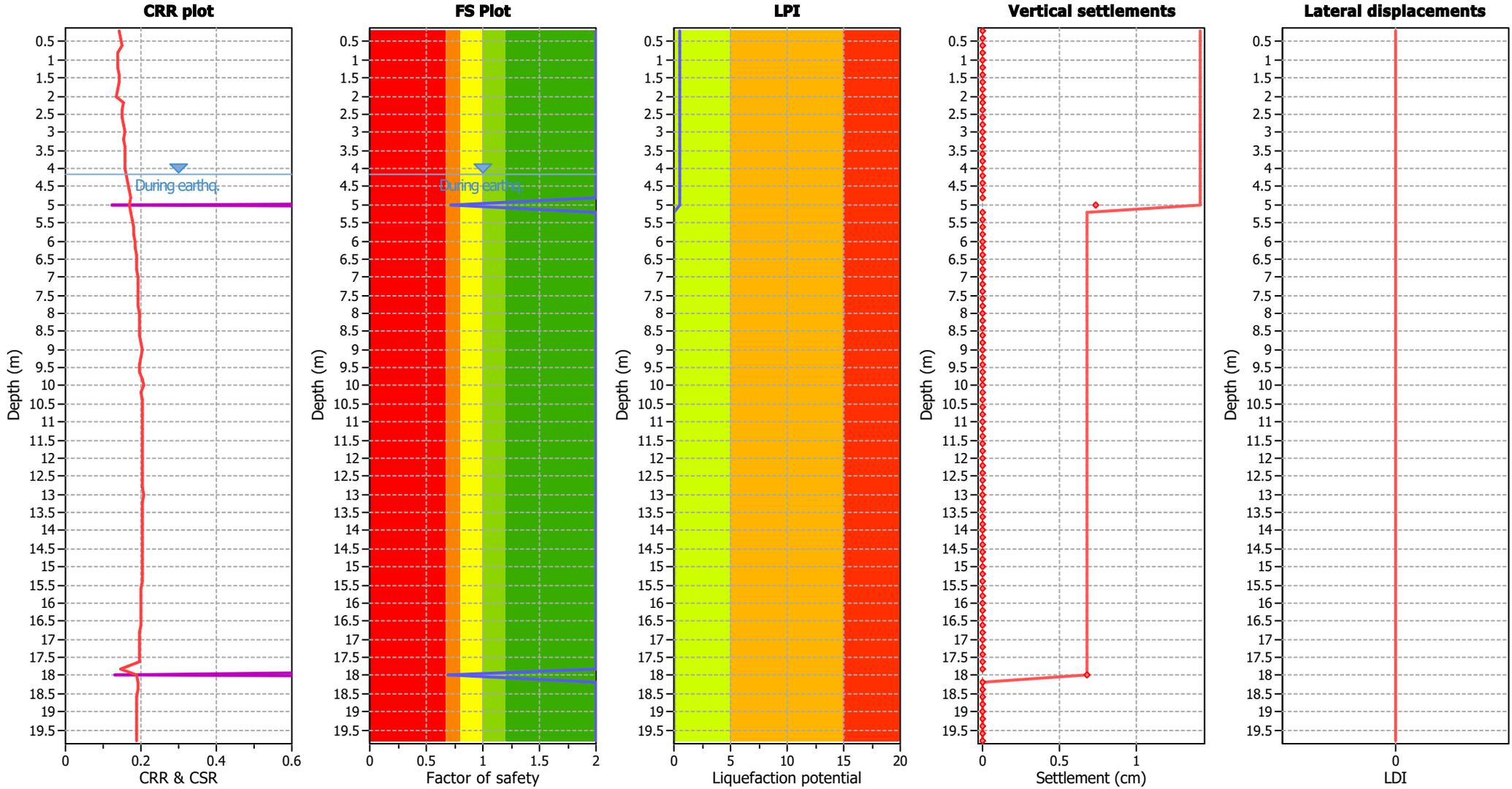
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

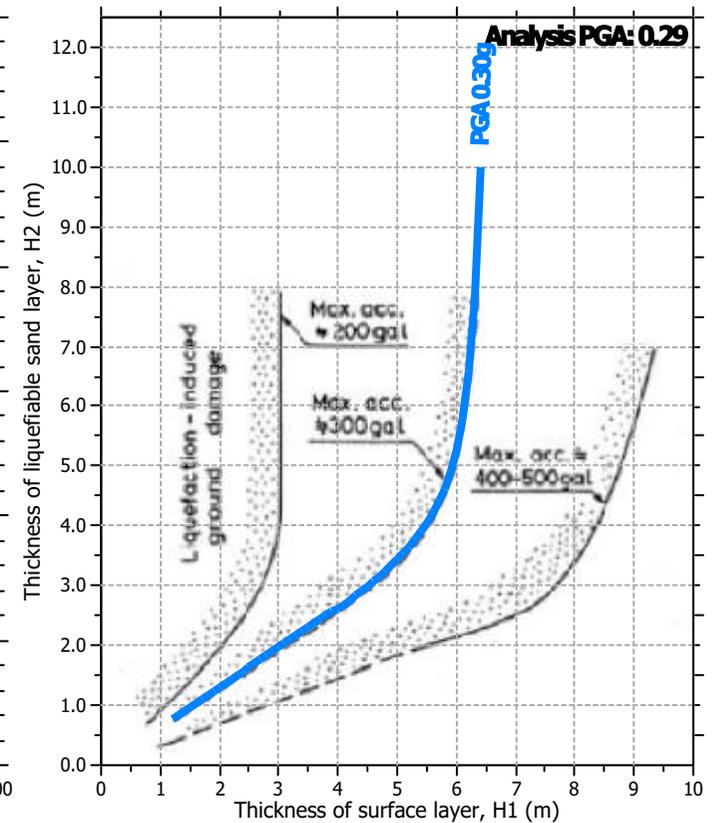
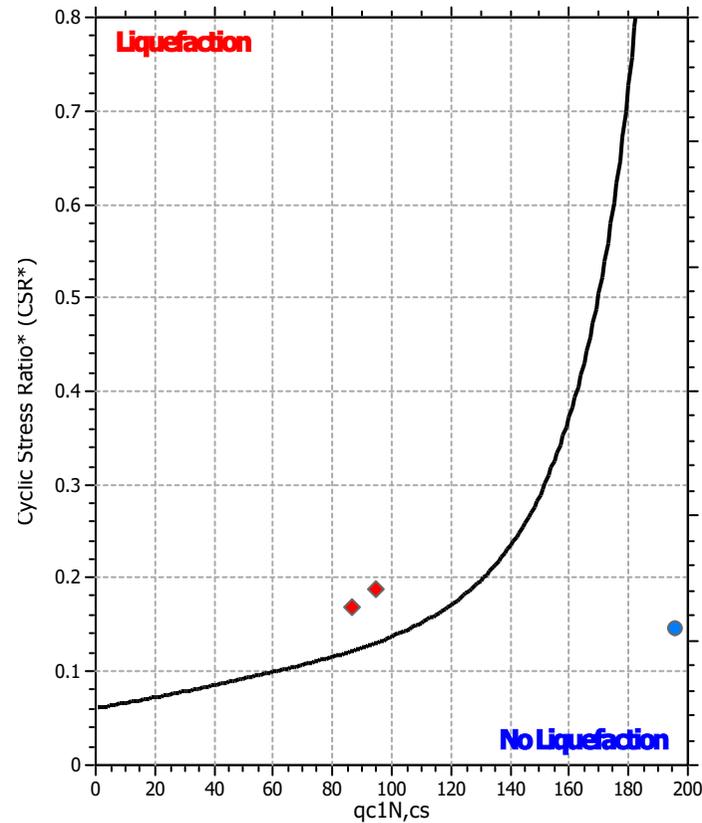
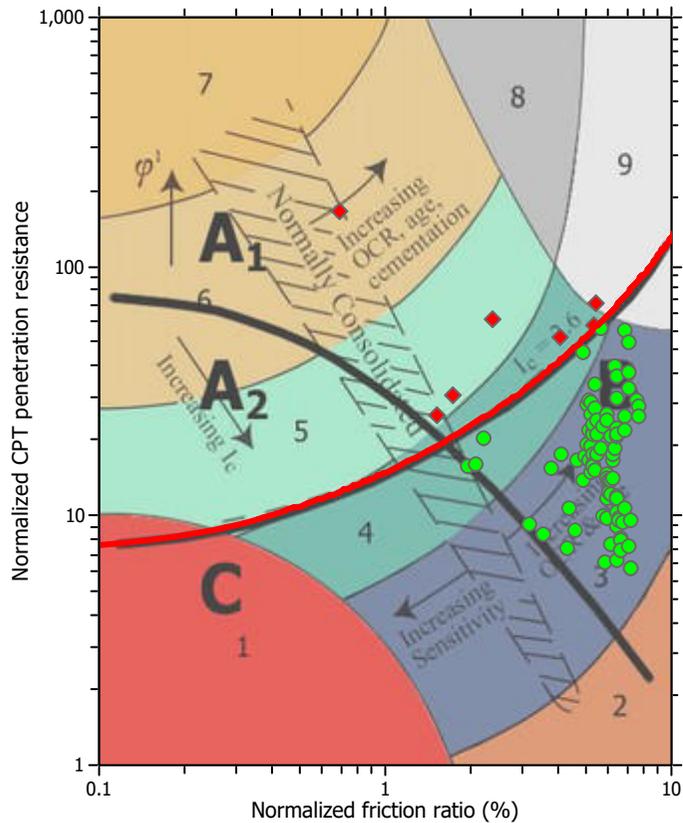
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

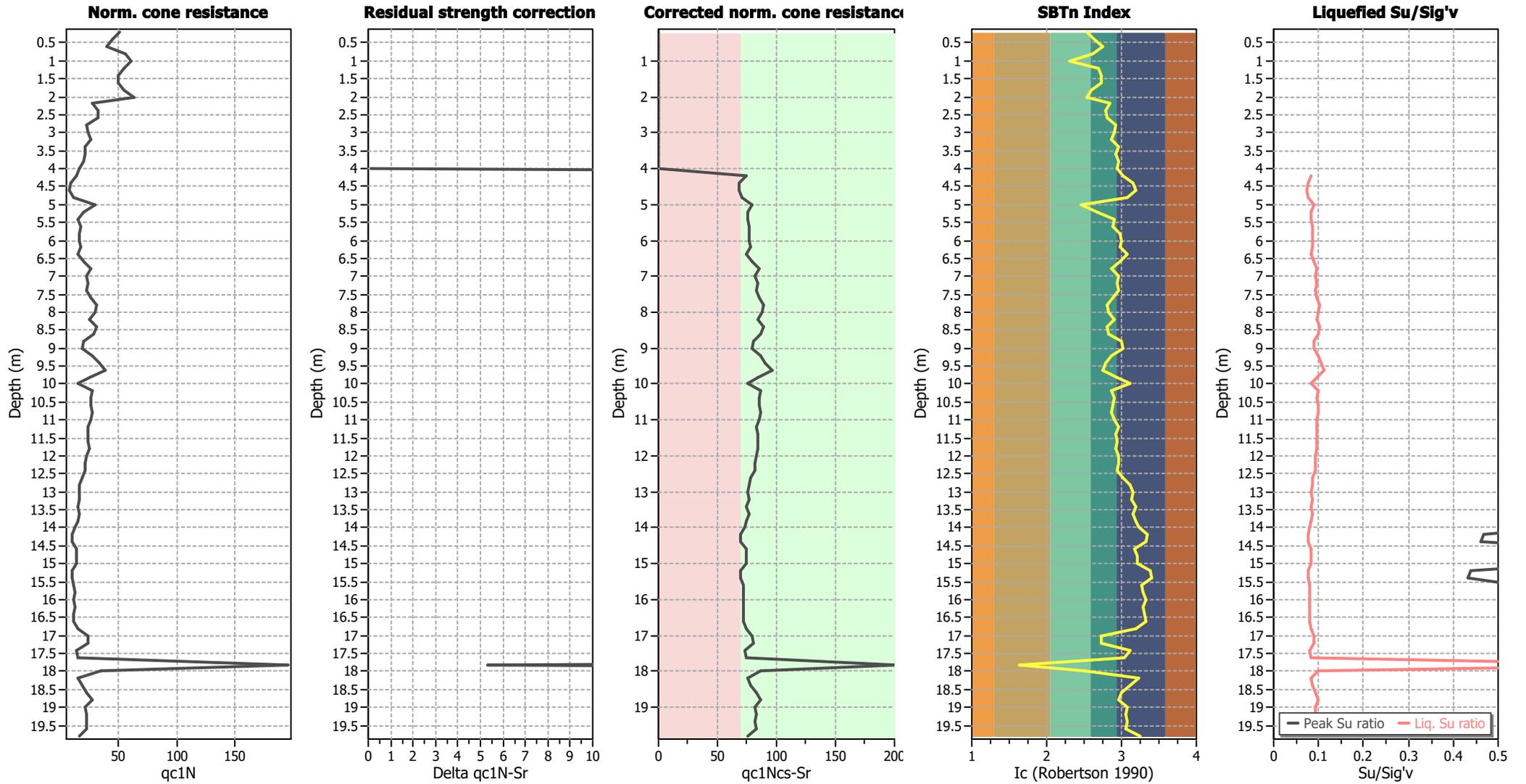
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	0.72	0.28	7.50	0.20	0.41	5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	2.00	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	2.00	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	2.00	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	2.00	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	0.69	0.31	1.00	0.20	0.06
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	2.00	0.00	0.80	0.20	0.00
18.60	2.00	0.00	0.70	0.20	0.00	18.80	2.00	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	0.00

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
19.40	2.00	0.00	0.30	0.20	0.00	19.60	2.00	0.00	0.20	0.20	0.00
19.80	2.00	0.00	0.10	0.20	0.00						

Overall liquefaction potential: 0.47

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point

F_L: 1 - FSw_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depthd_z: Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

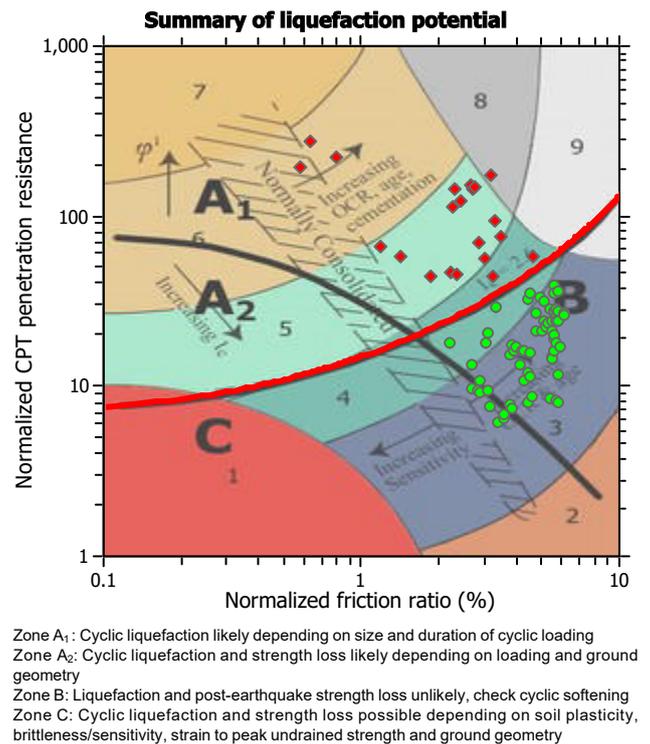
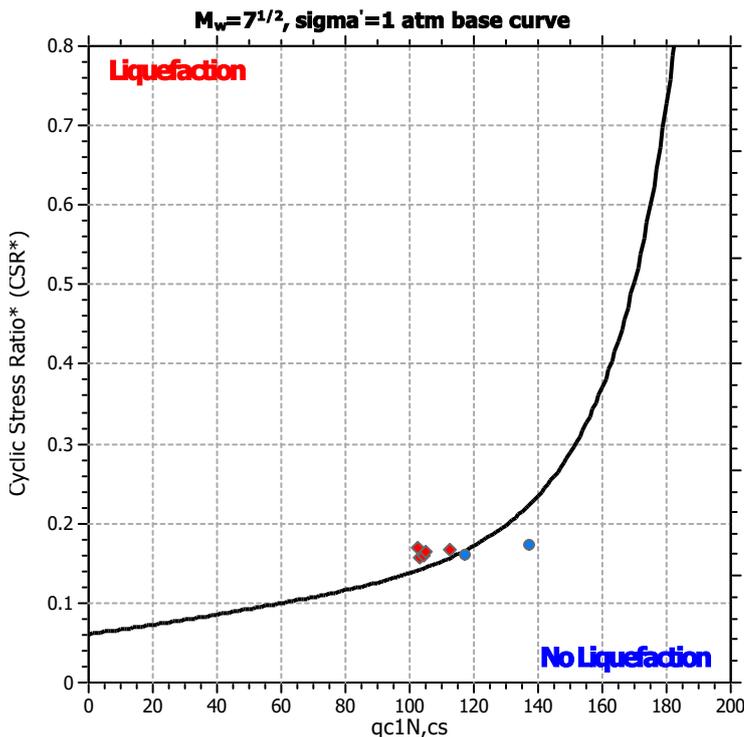
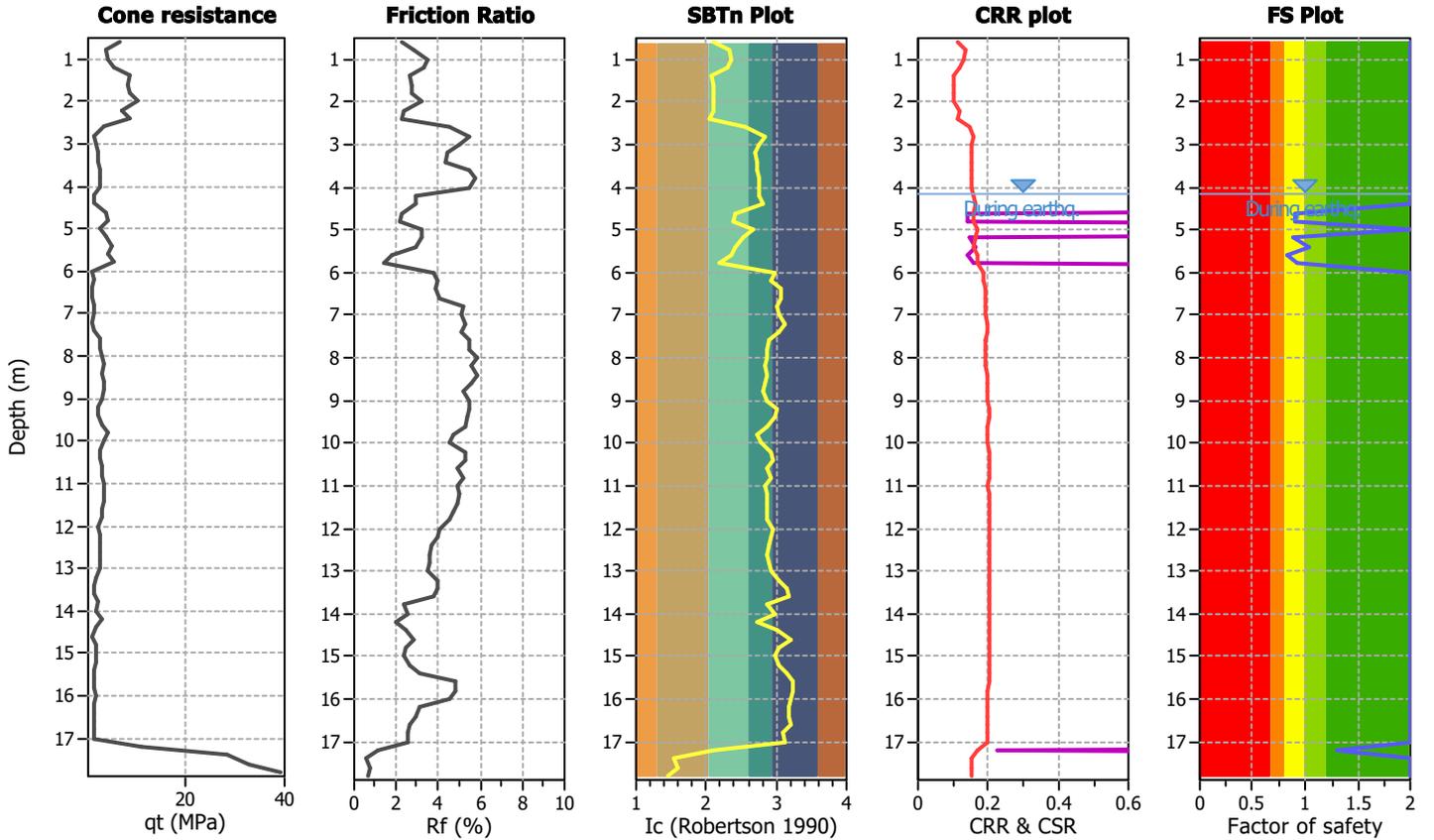
Project title : ASILO VIA FILIPPO RE

Location : BOLOGNA

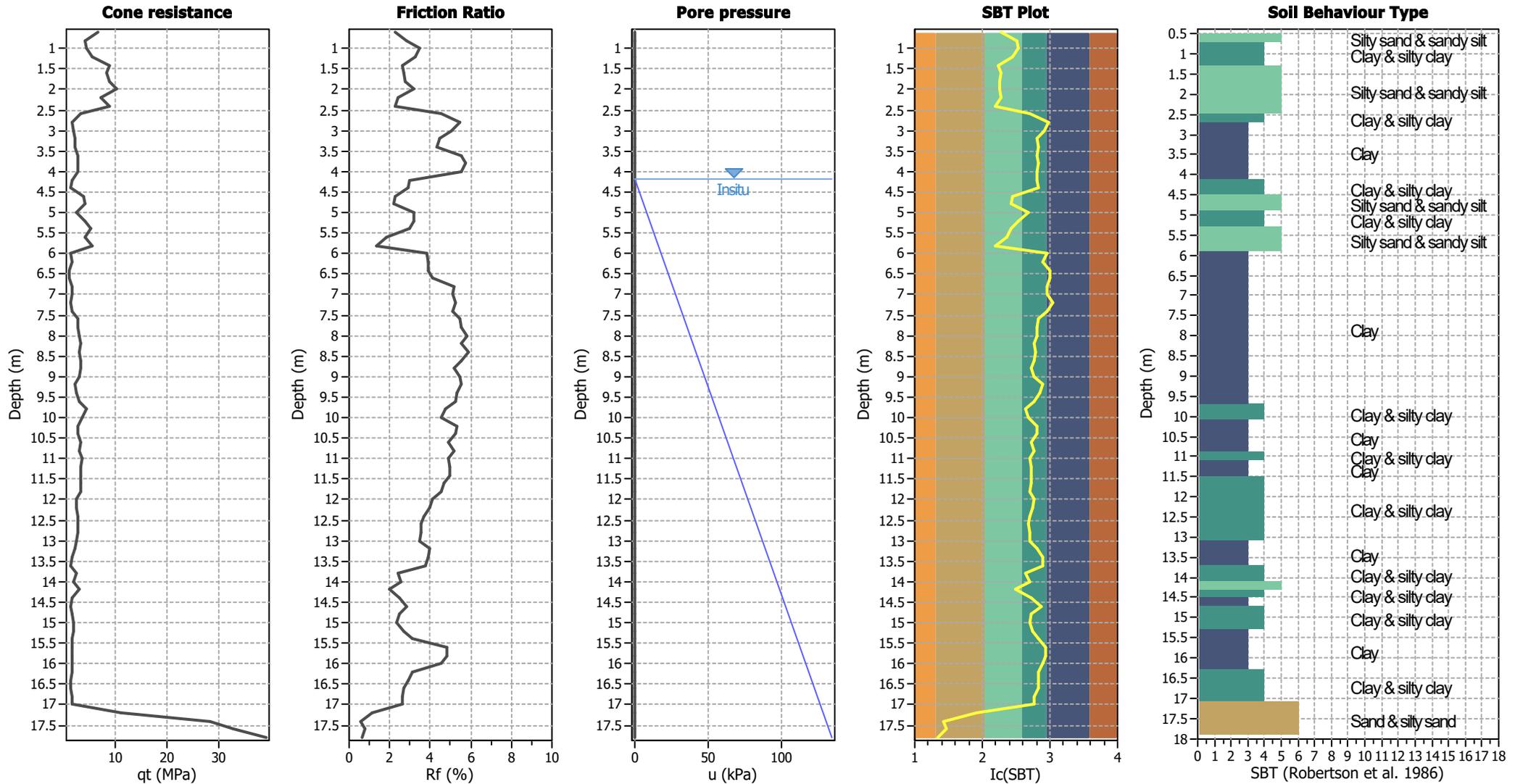
CPT file : CPT2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	4.17 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	4.17 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.29	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



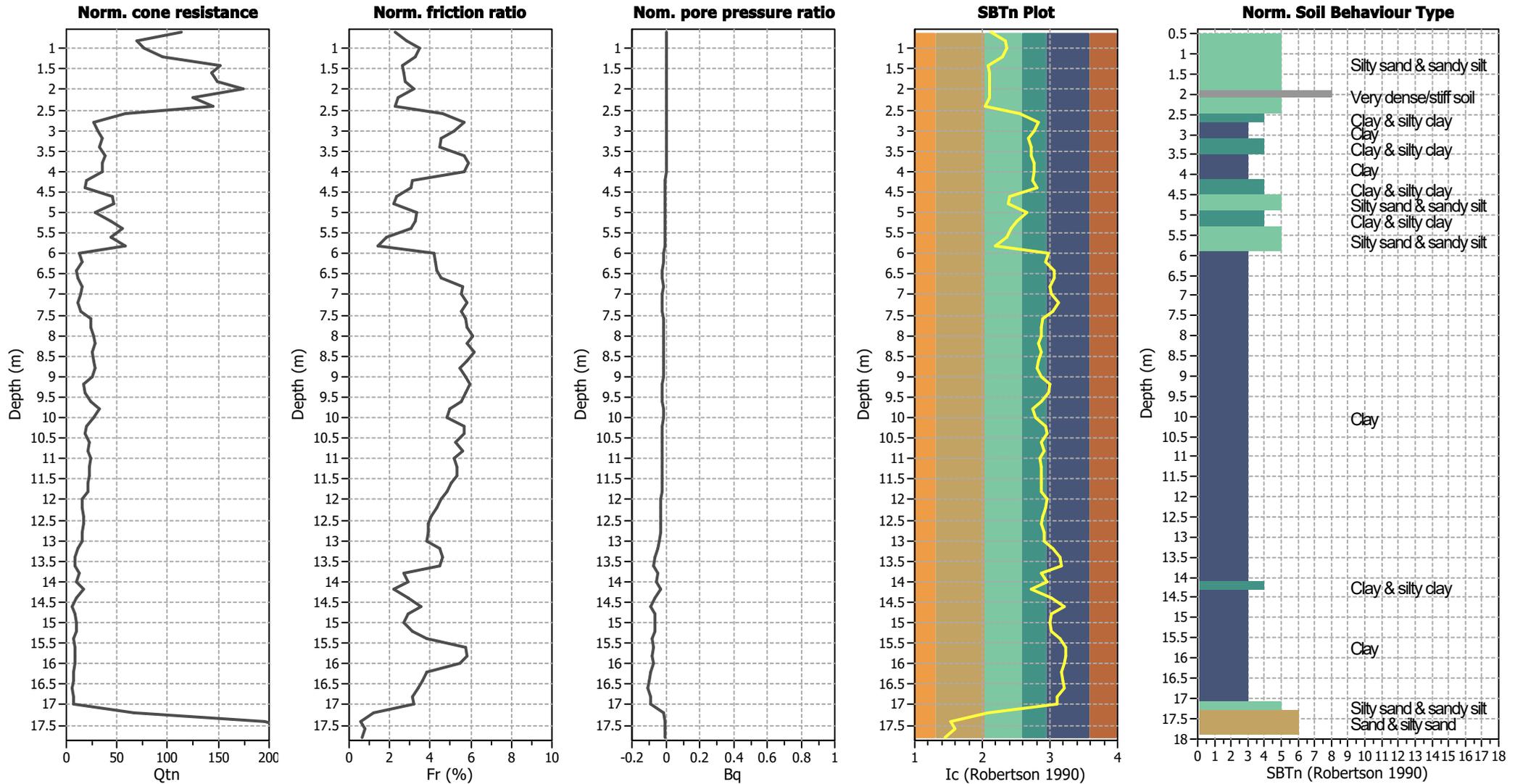
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_g applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



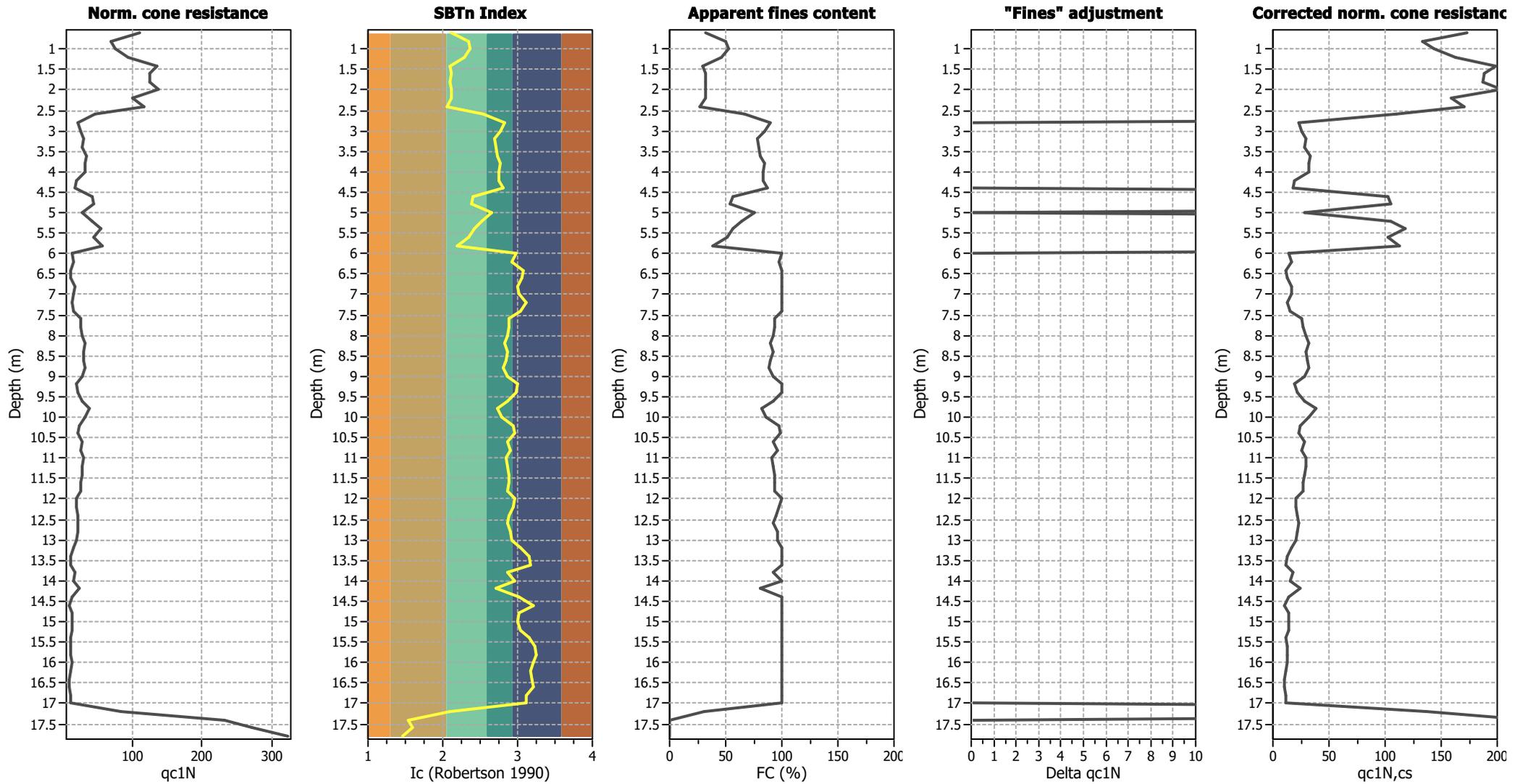
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

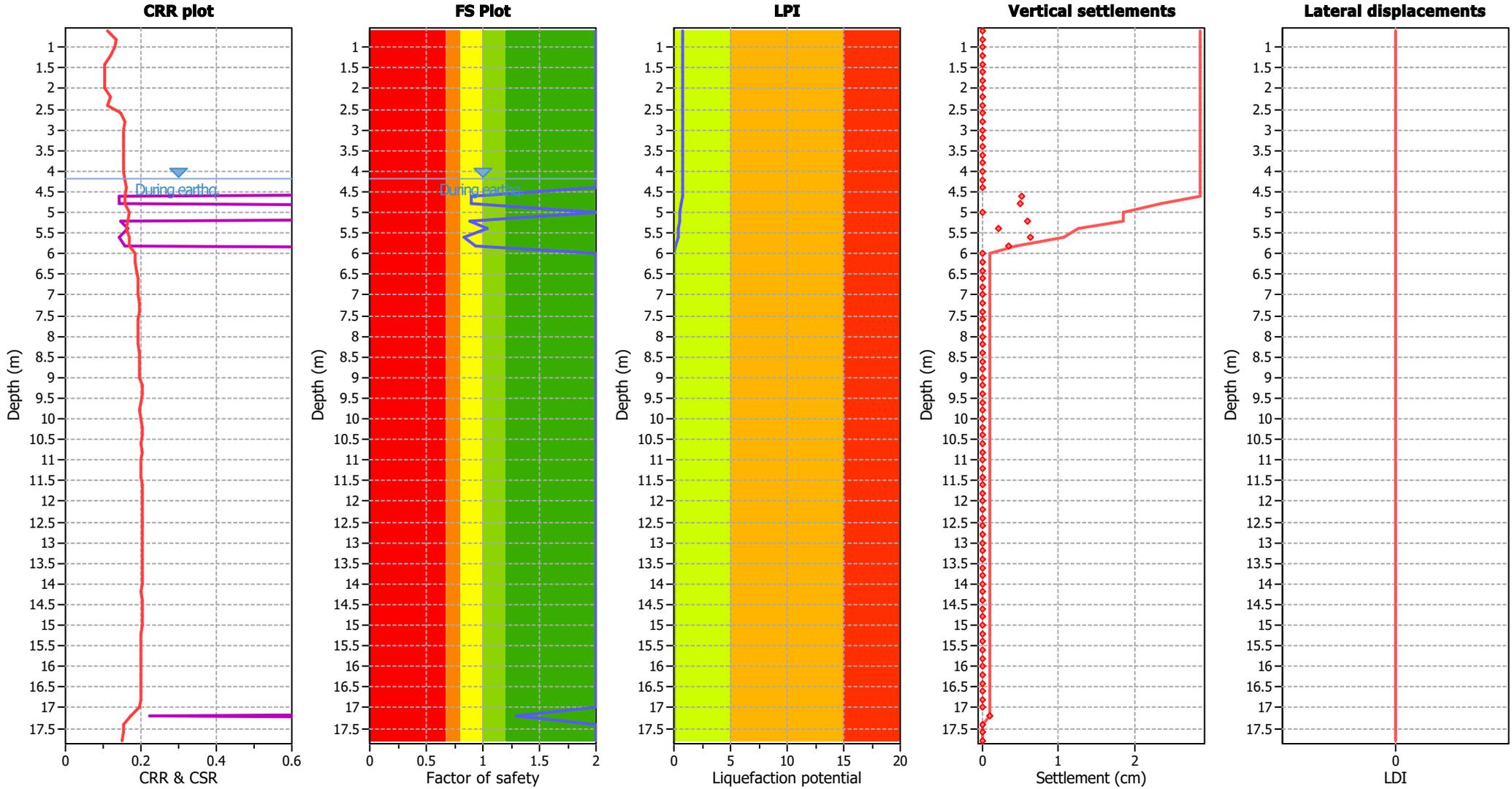
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

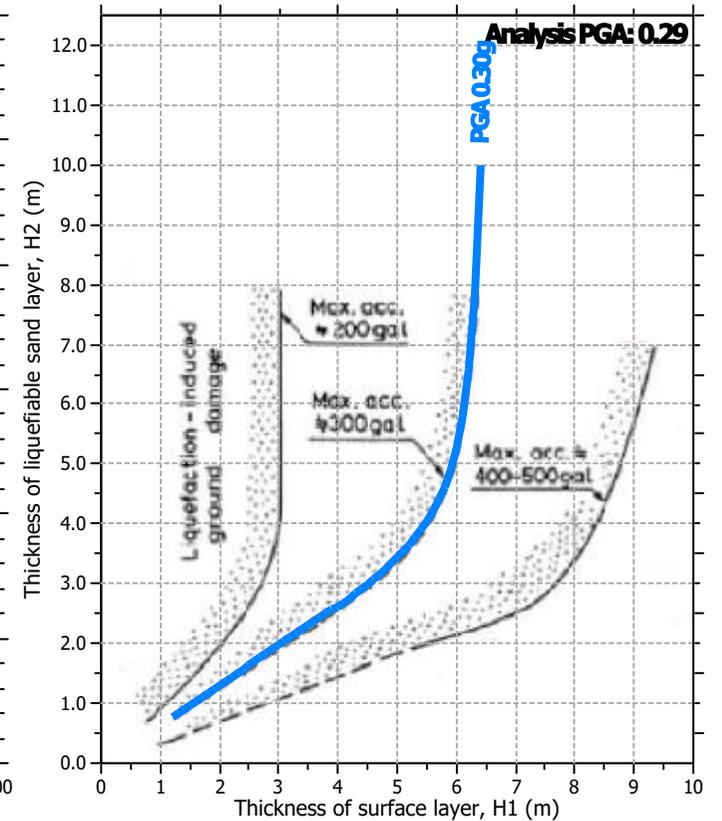
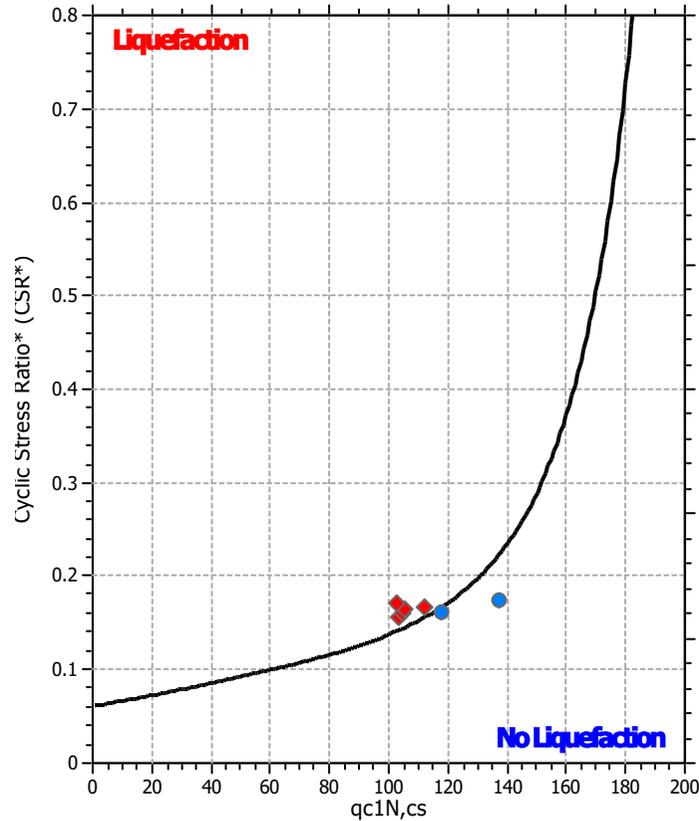
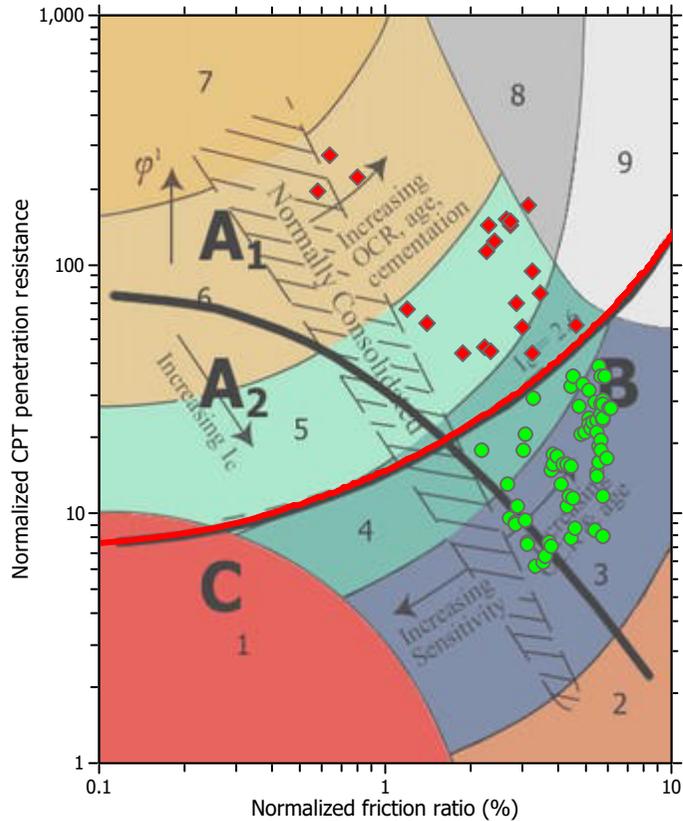
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

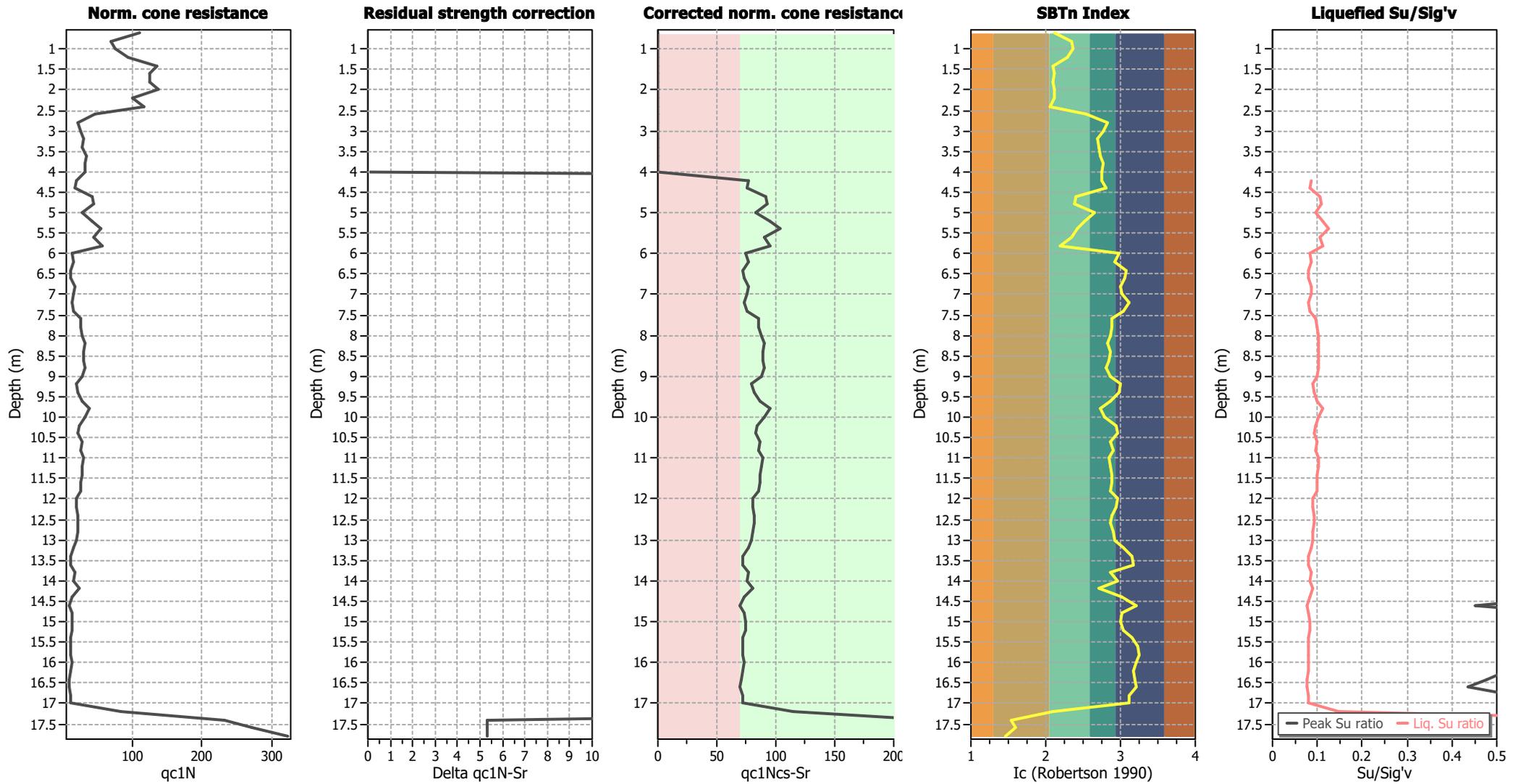
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	0.90	0.10	7.70	0.20	0.15	4.80	0.90	0.10	7.60	0.20	0.15
5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	0.88	0.12	7.40	0.20	0.18
5.40	1.04	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	0.83	0.17	7.20	0.20	0.25
5.80	0.93	0.07	7.10	0.20	0.10	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	2.00	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	2.00	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	1.30	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00						

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
-----------	----	----------------	----------------	----------------	-----	-----------	----	----------------	----------------	----------------	-----

Overall liquefaction potential: 0.83

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point

F_L: 1 - FSw_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depthd_z: Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

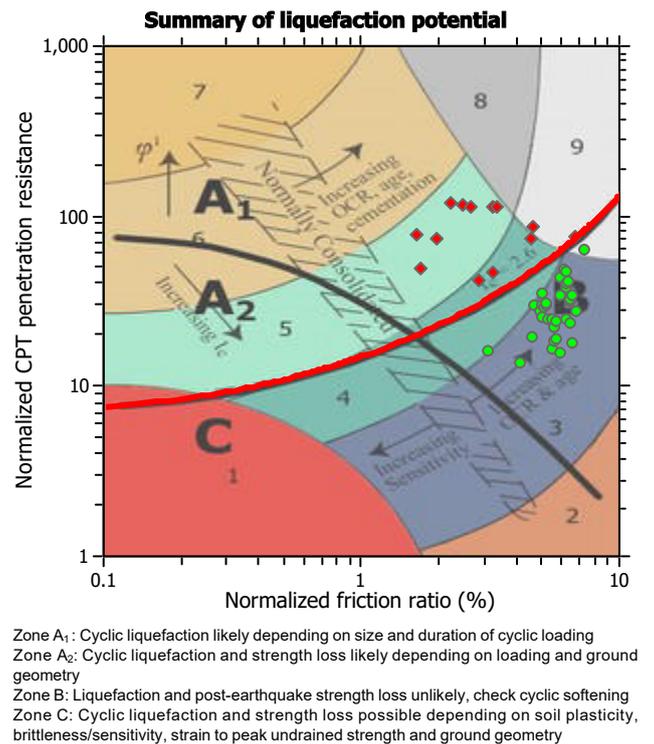
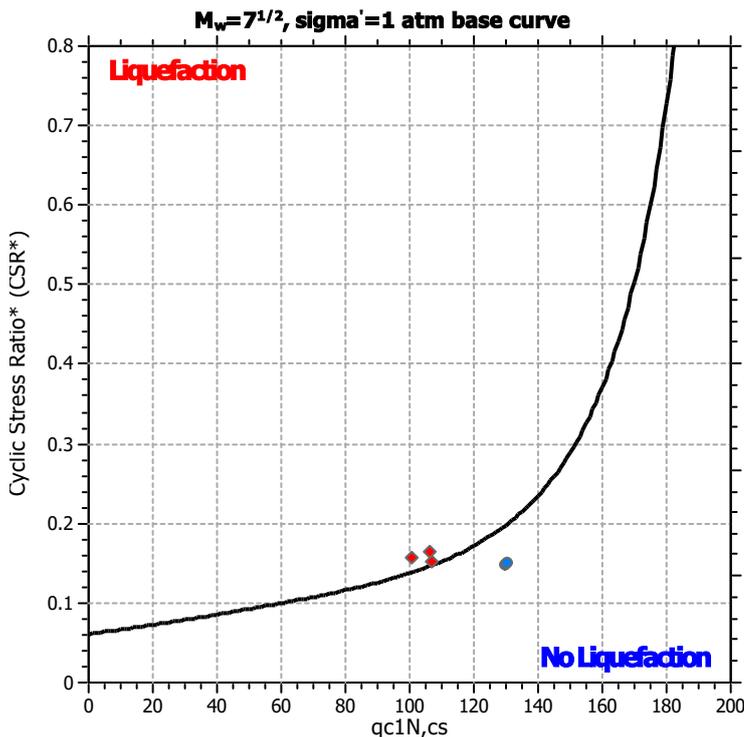
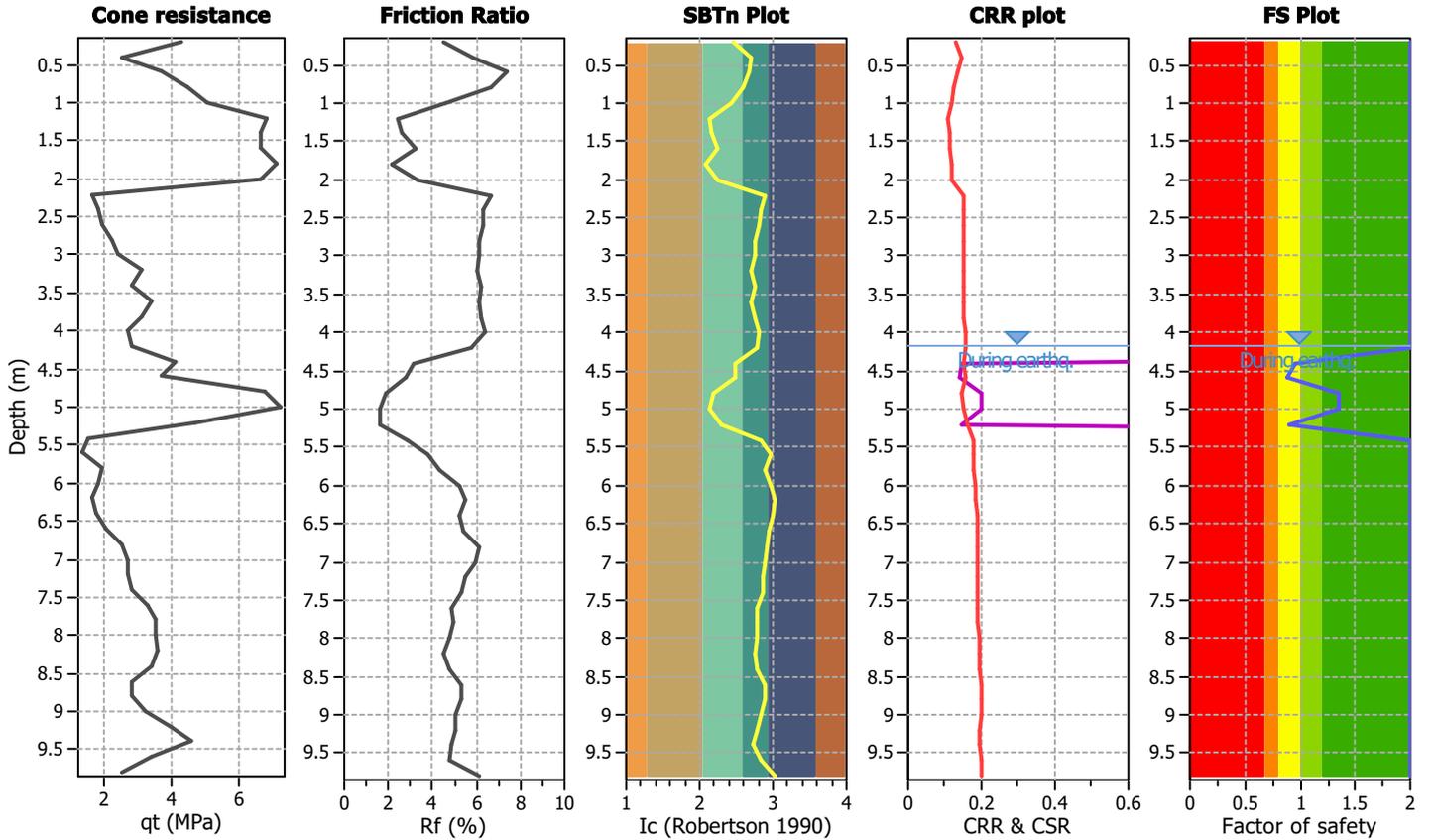
Project title : ASILO VIA FILIPPO RE

Location : BOLOGNA

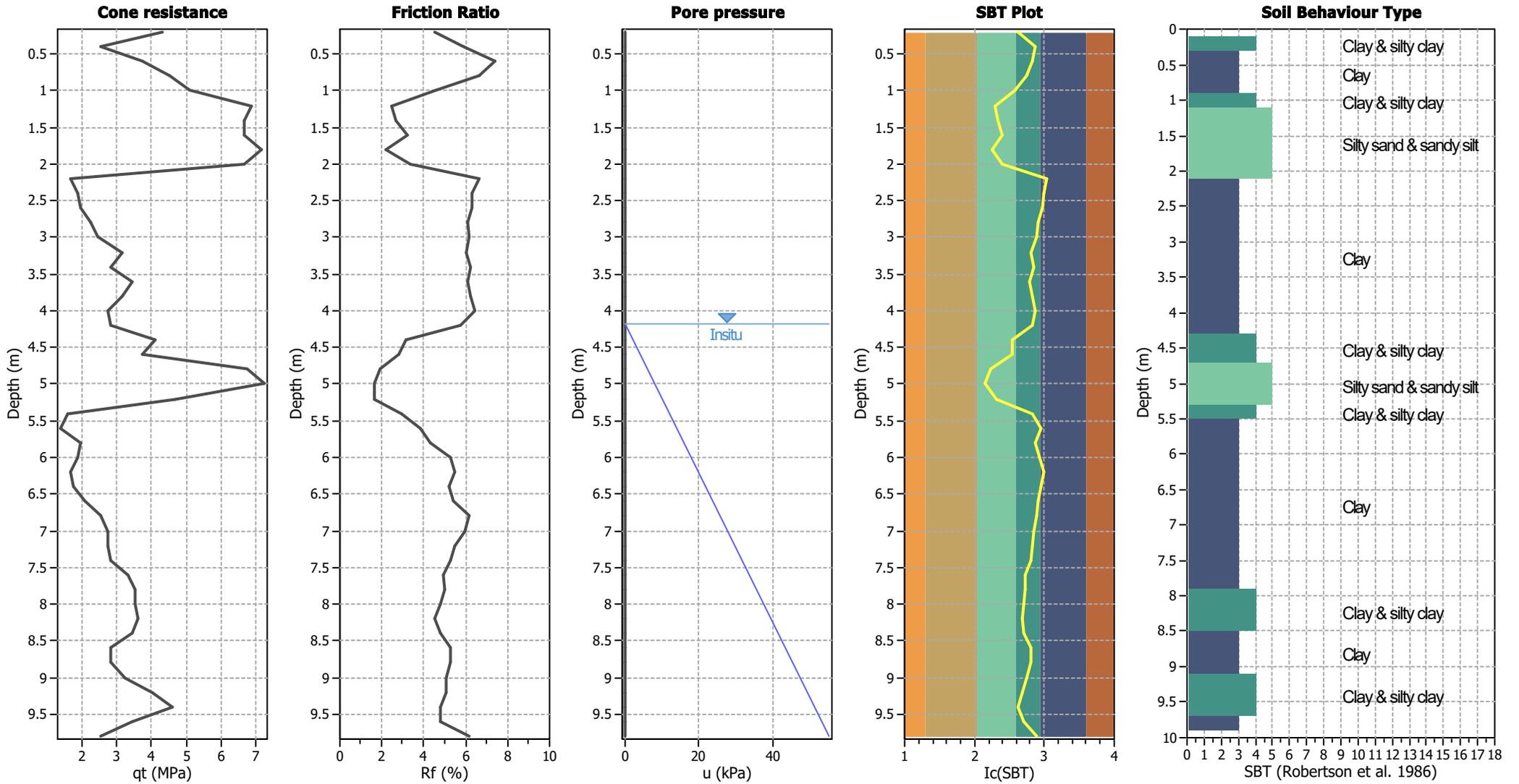
CPT file : CPT4

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	4.17 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	4.17 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.29	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



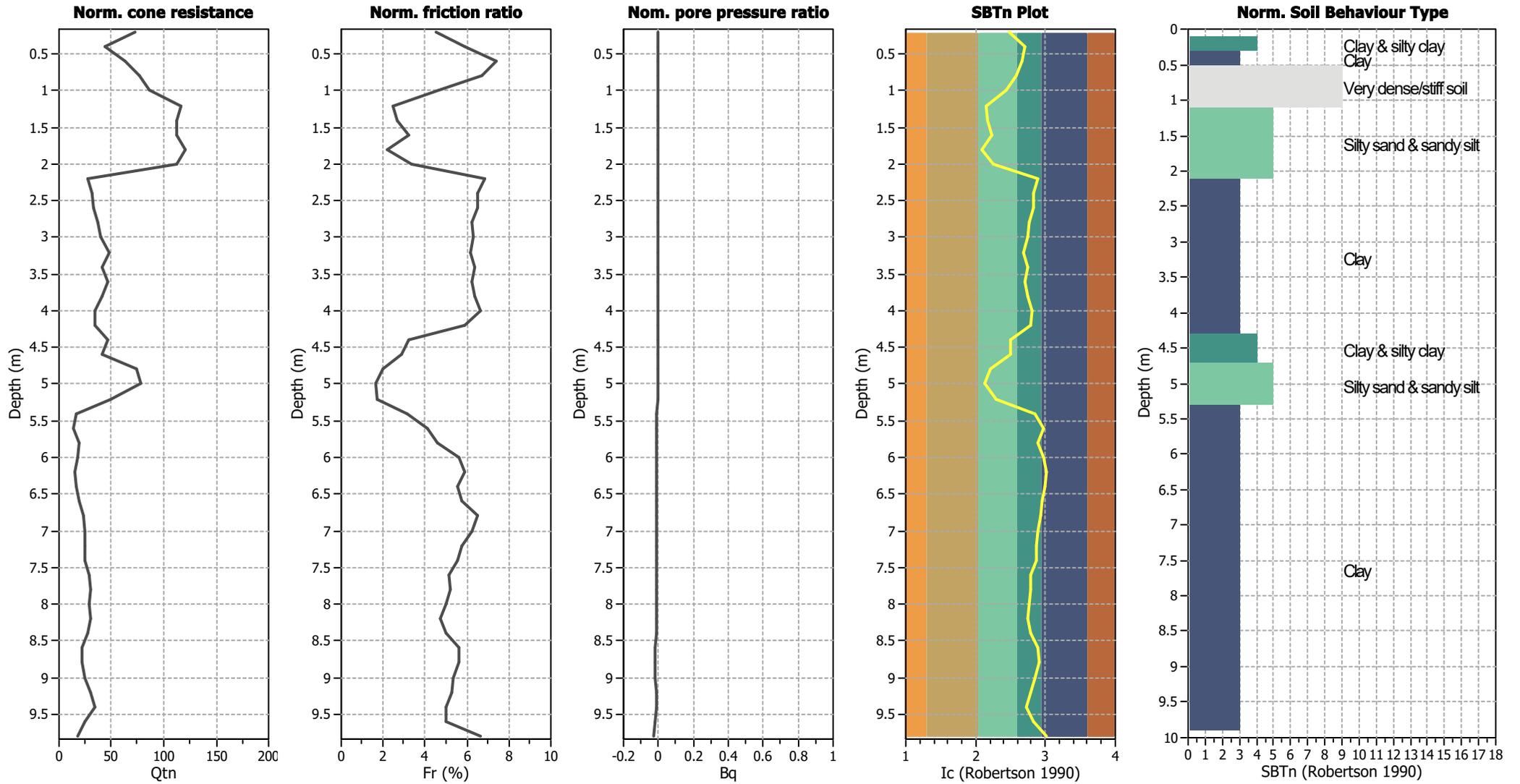
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



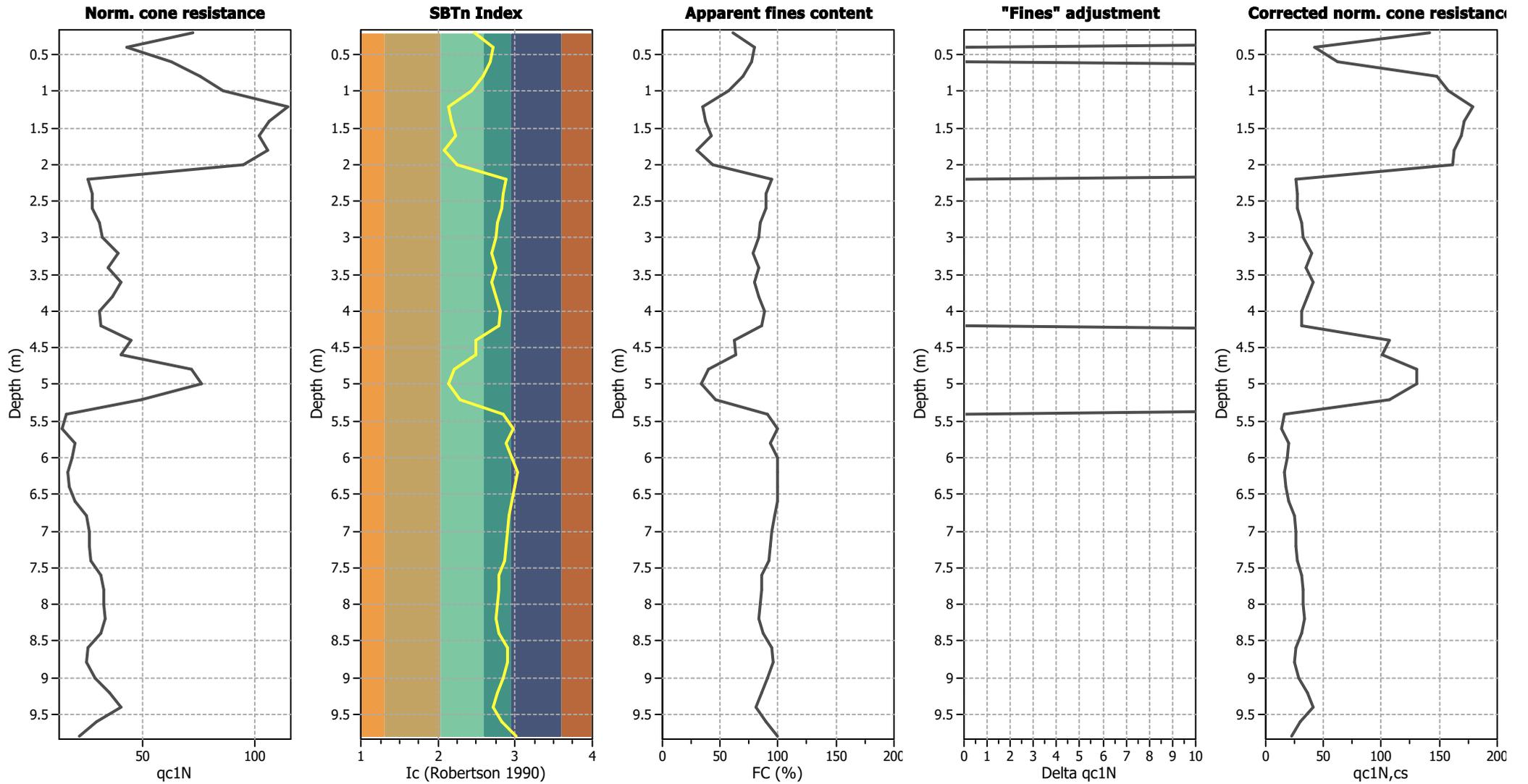
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_g applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

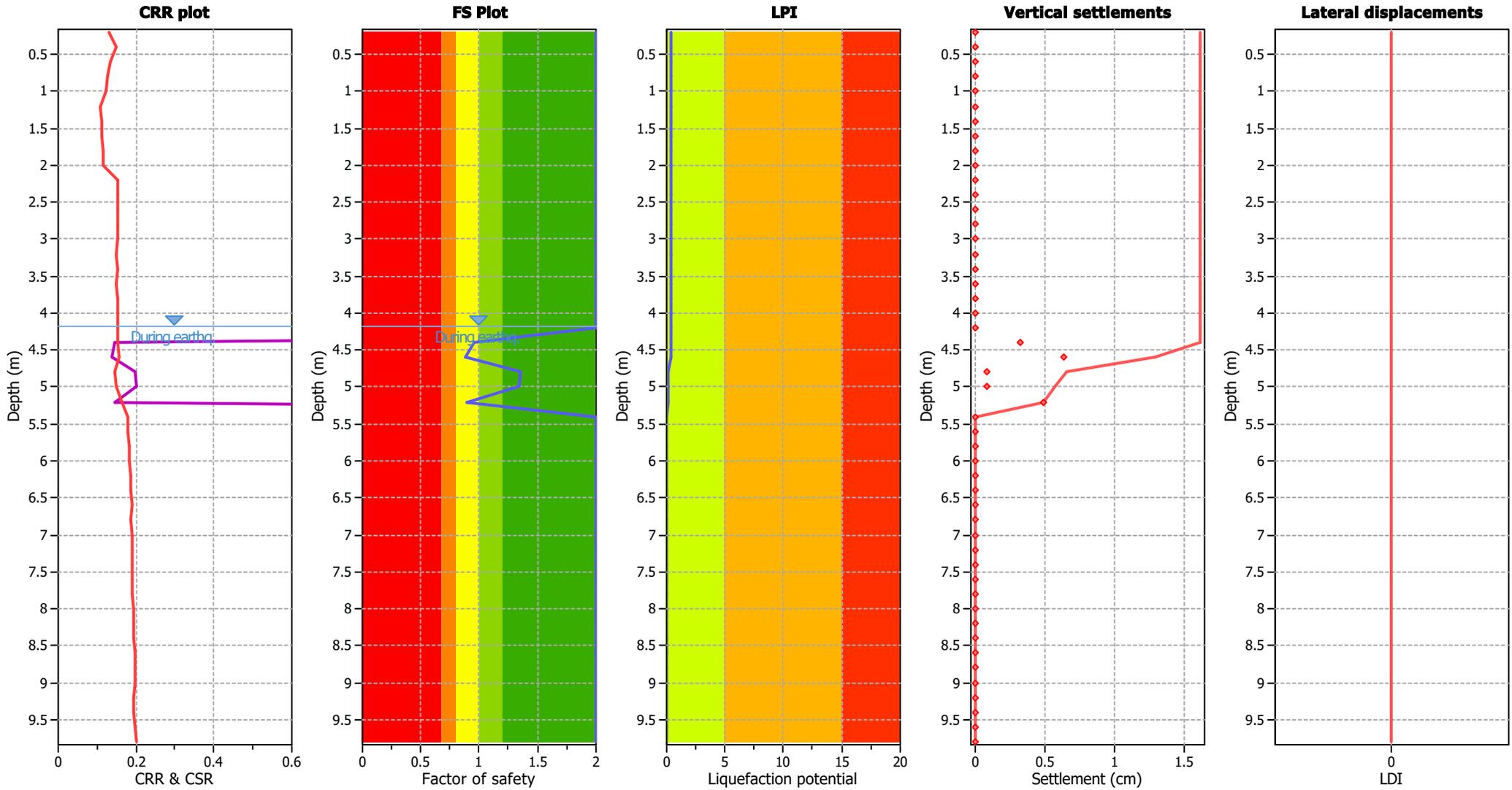
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

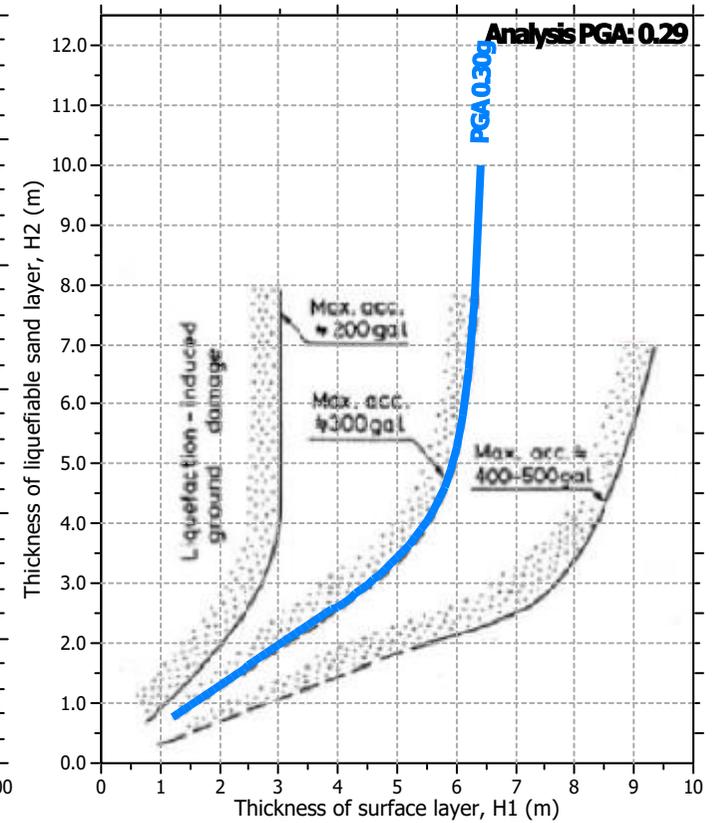
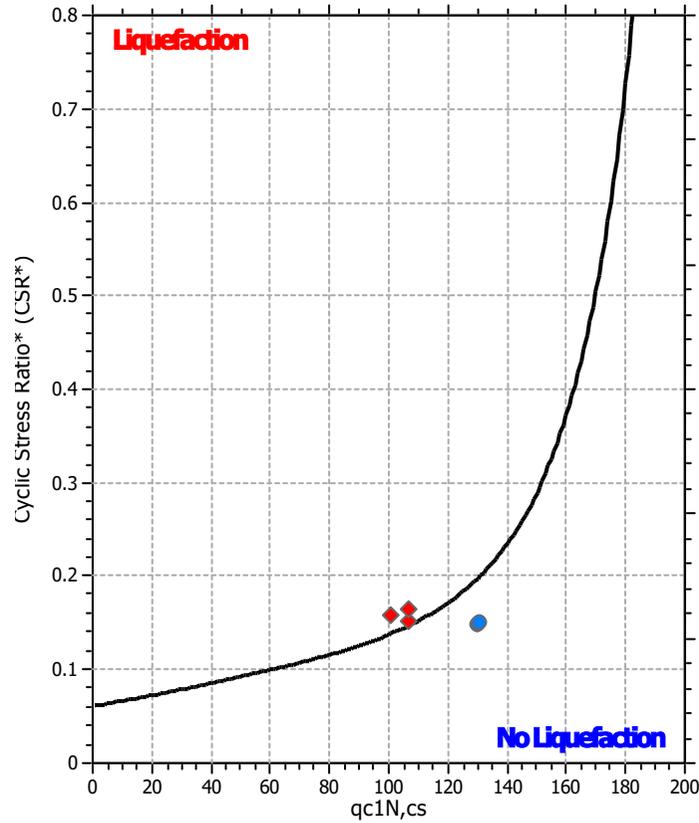
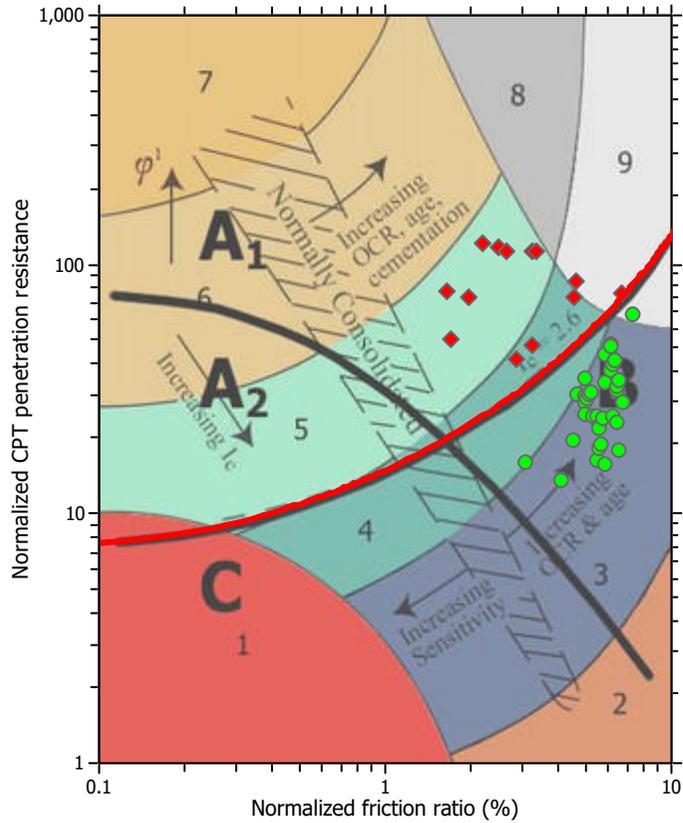
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

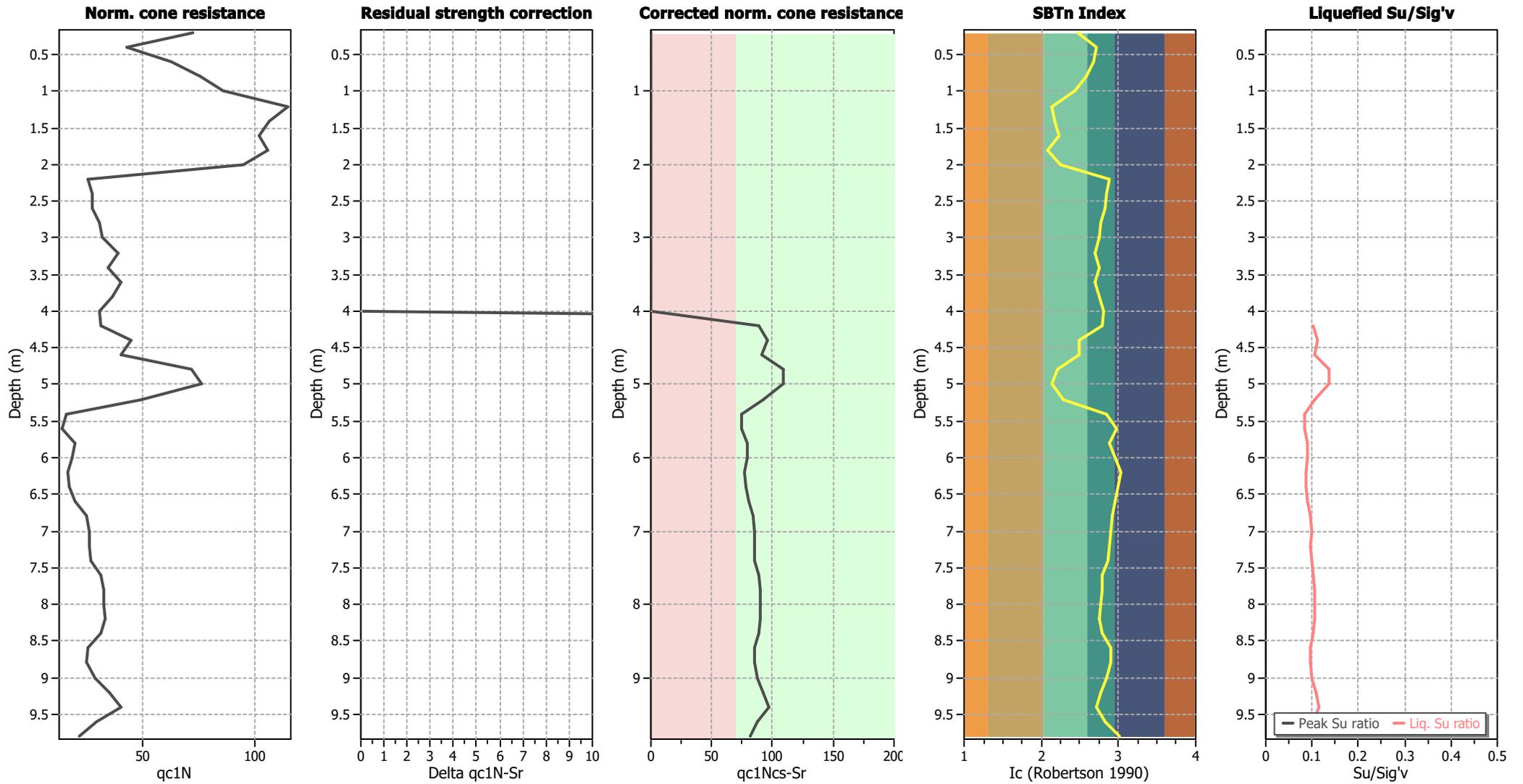
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	0.96	0.04	7.80	0.20	0.06
4.60	0.88	0.12	7.70	0.20	0.19	4.80	1.35	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	1.34	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	0.89	0.11	7.40	0.20	0.16
5.40	2.00	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	2.00	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00						

Overall liquefaction potential: 0.41

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
 F_L: 1 - FS
 w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
 d_z: Layer thickness (m)
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

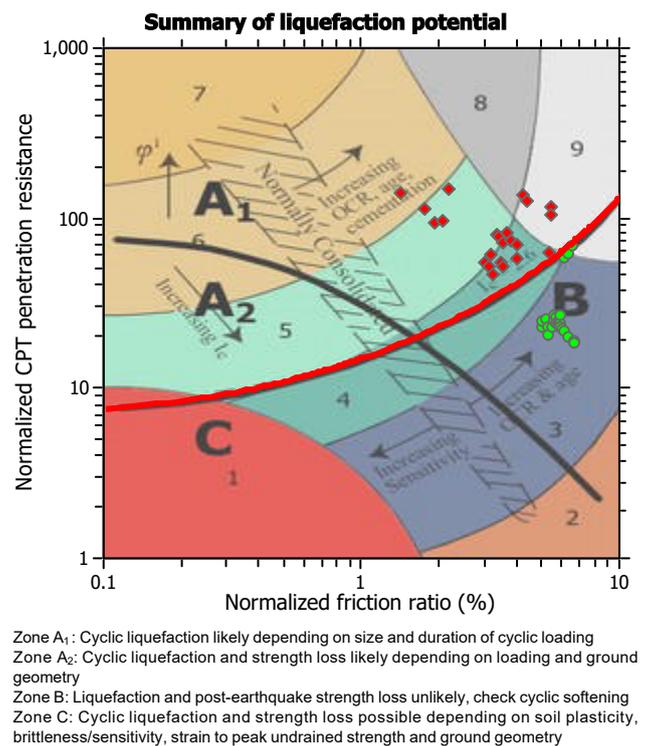
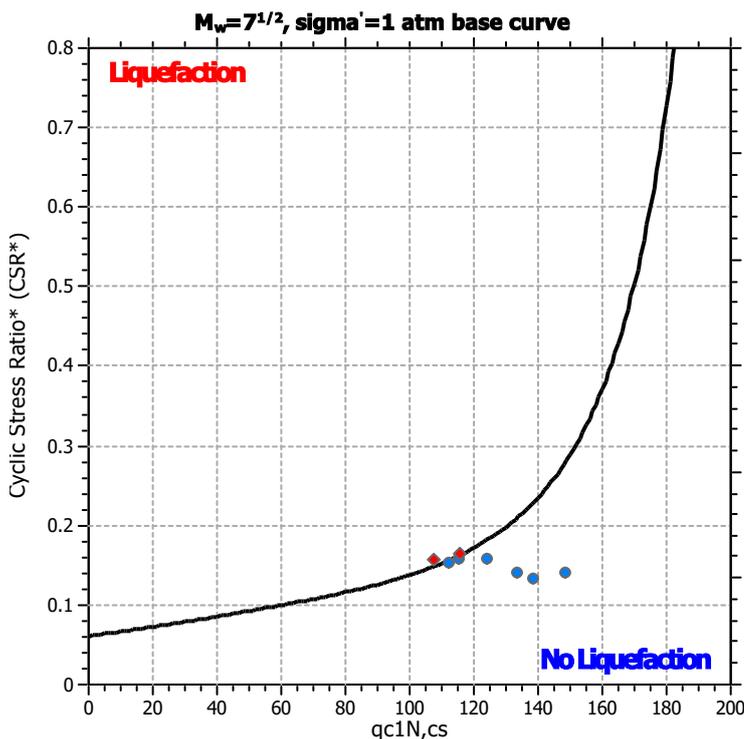
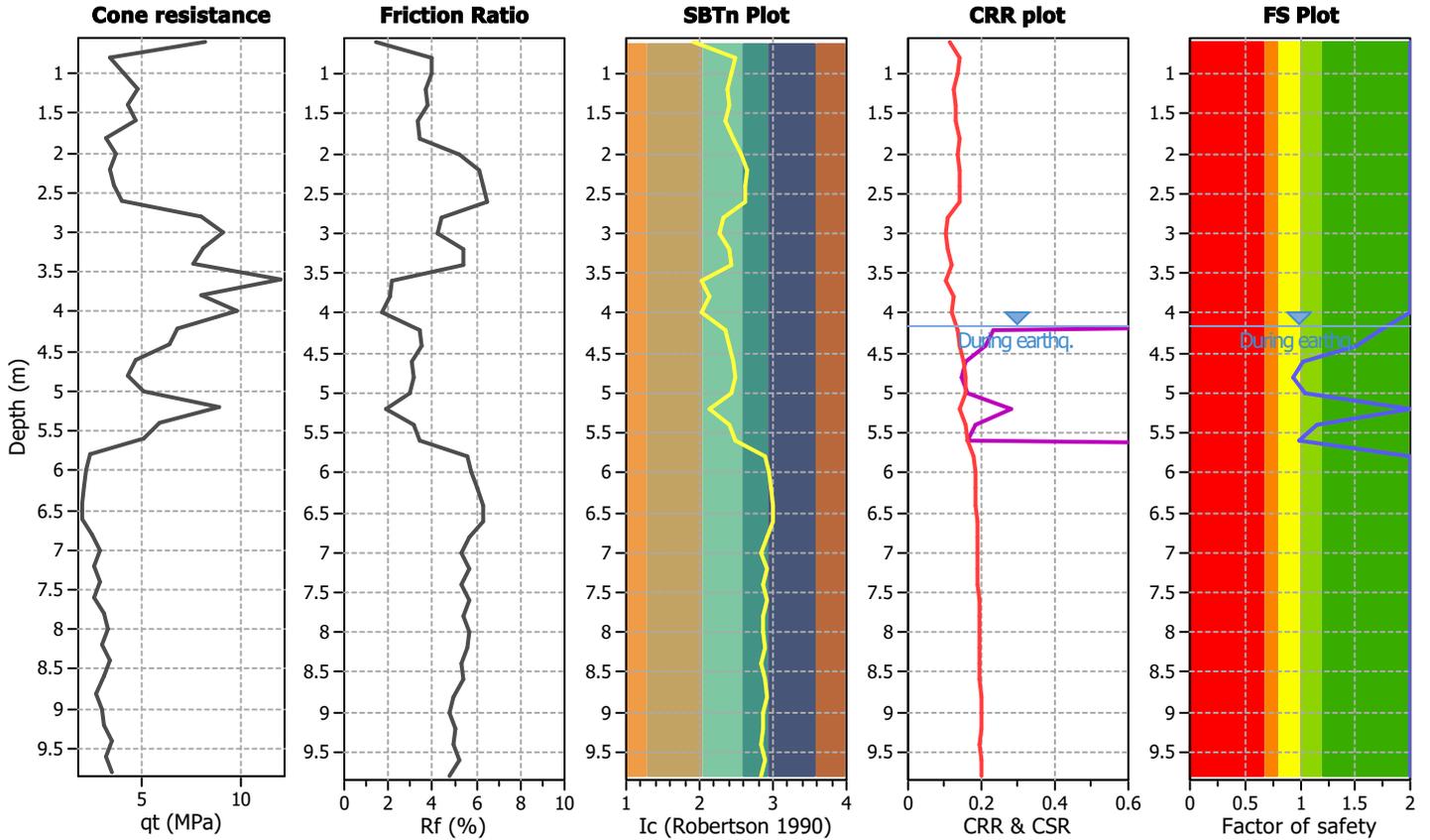
Project title : ASILO VIA FILIPPO RE

Location : BOLOGNA

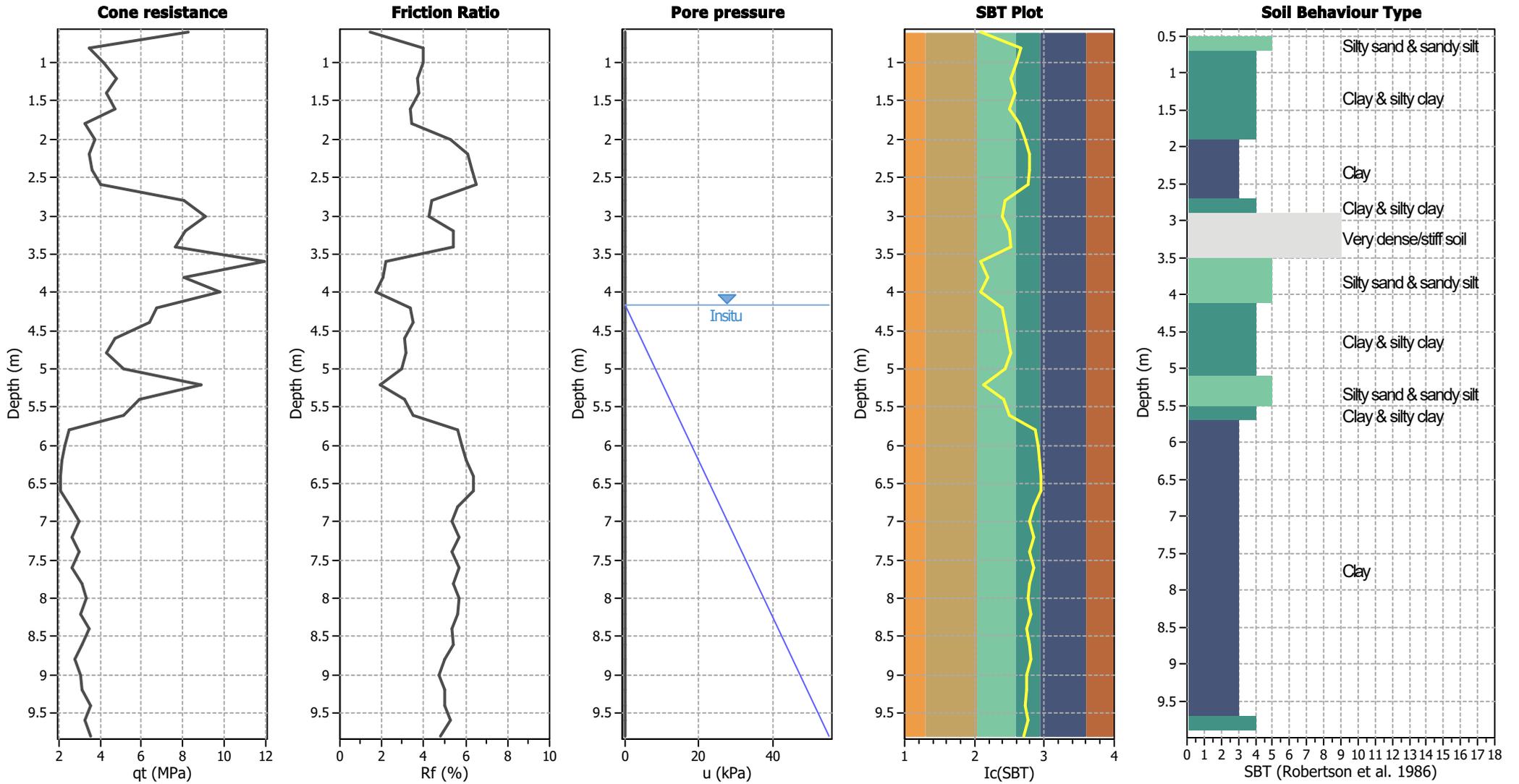
CPT file : CPT8

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	4.17 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	4.17 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.29	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



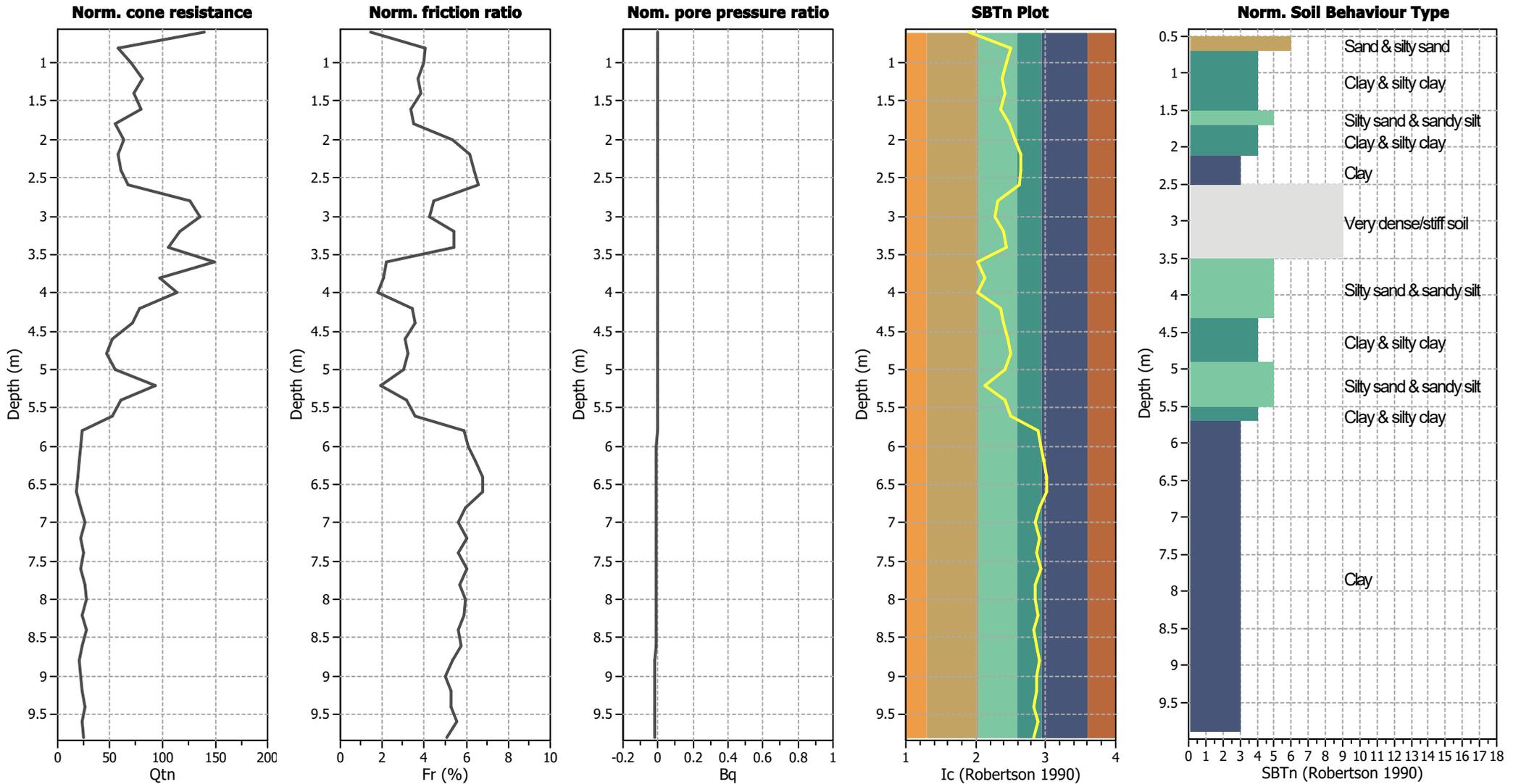
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



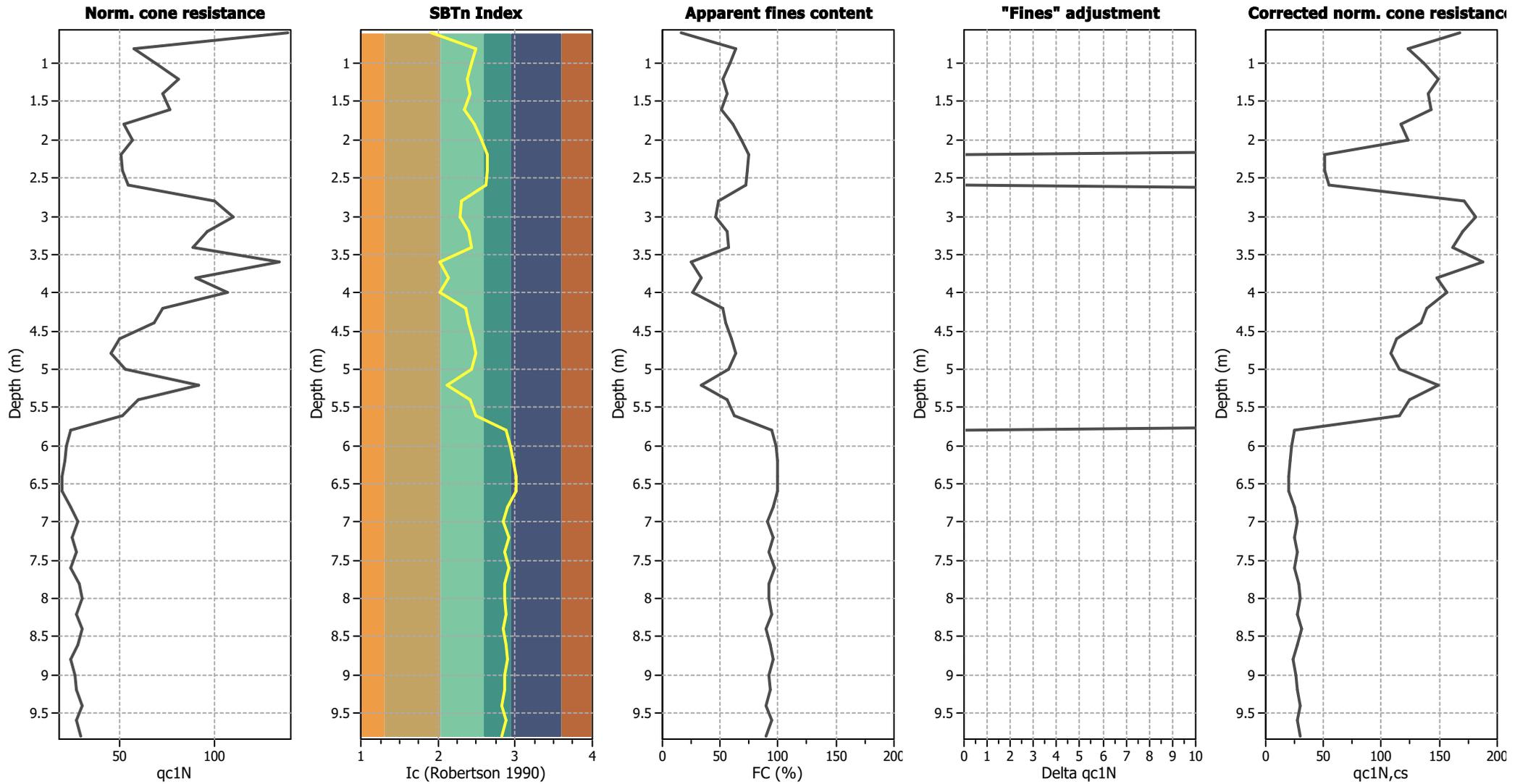
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

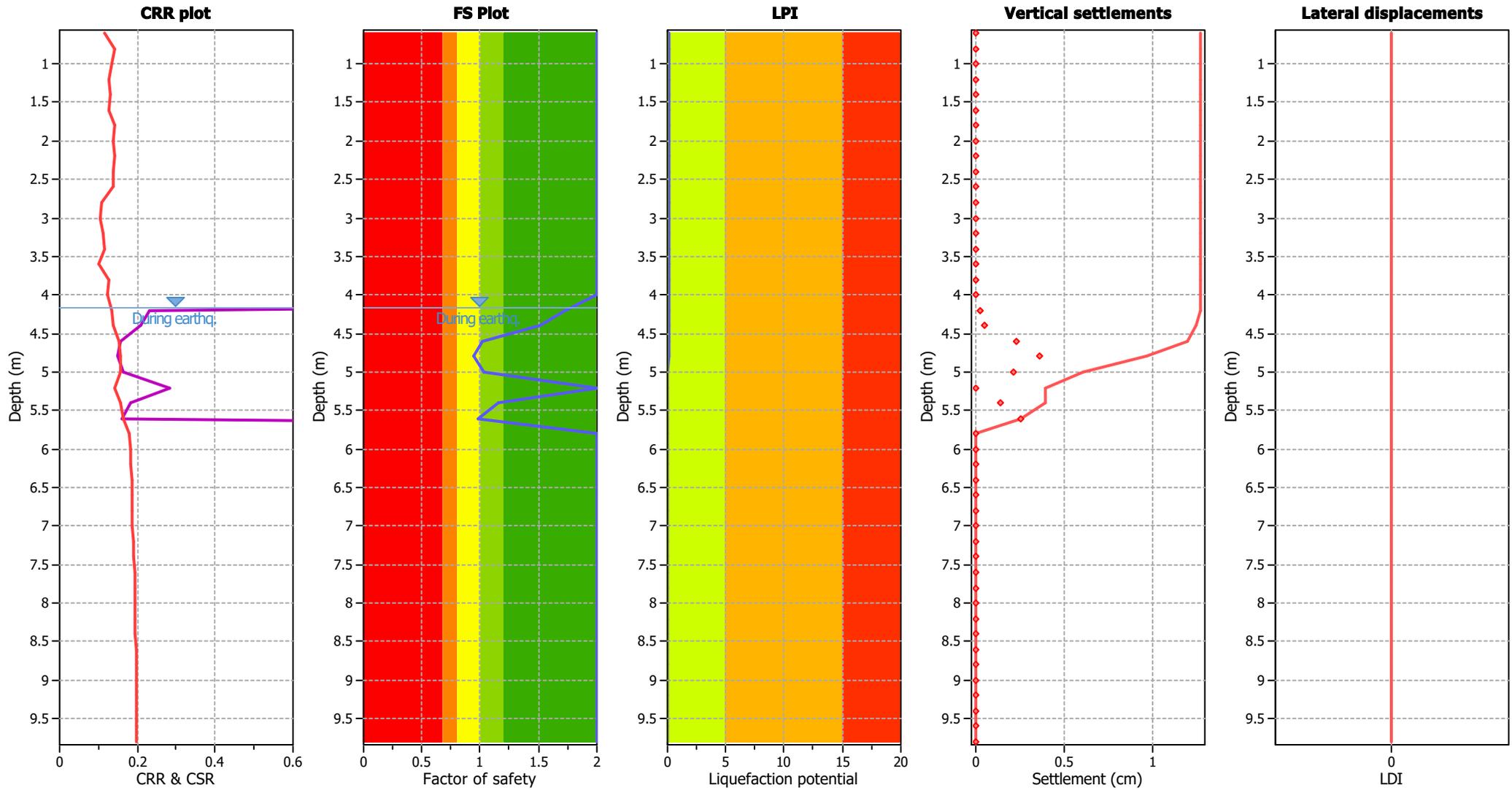
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

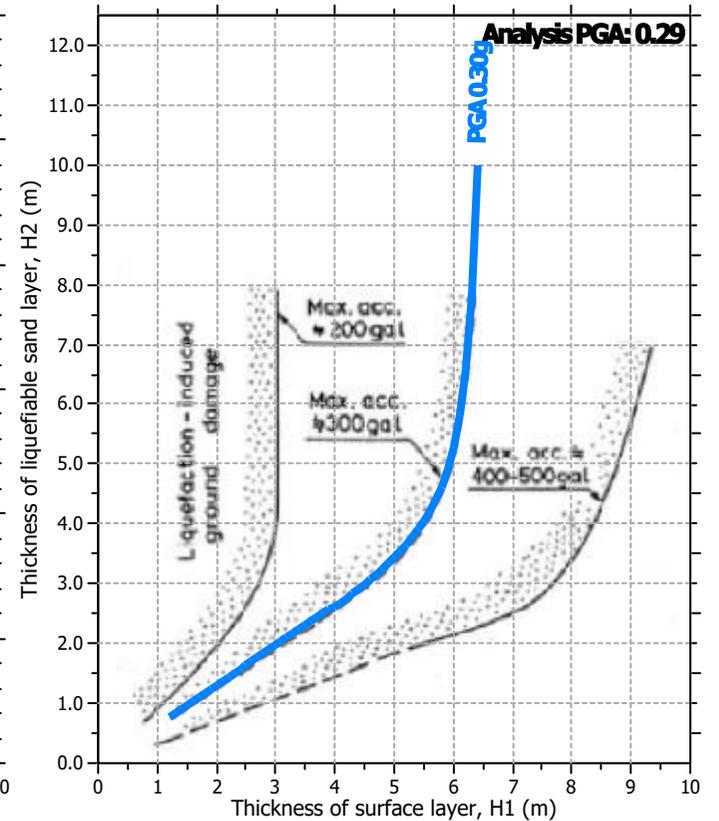
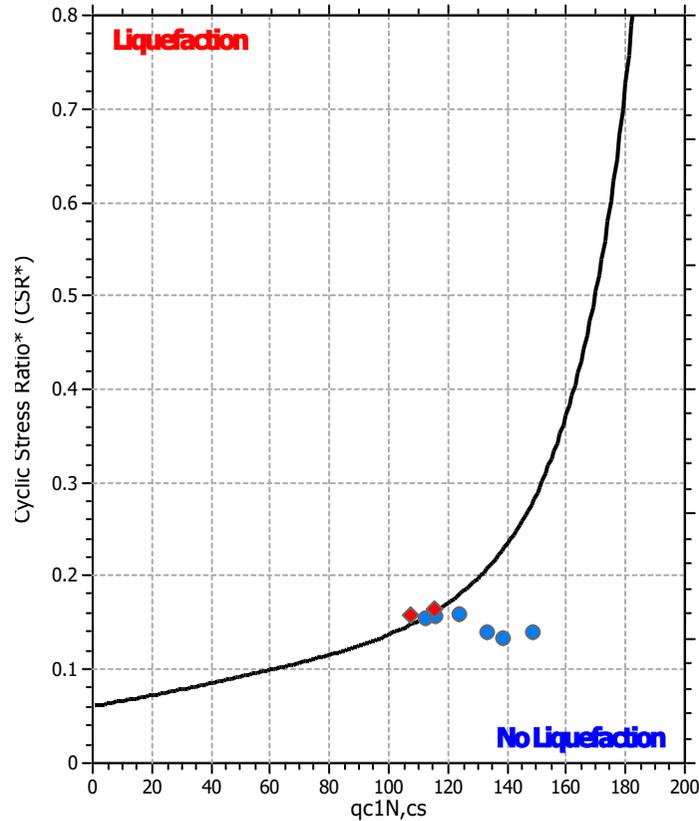
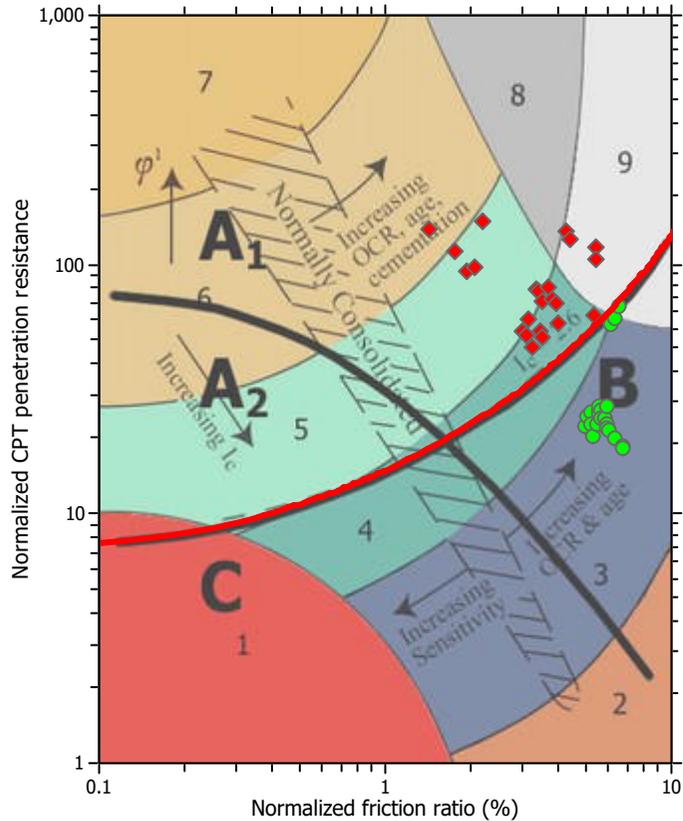
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

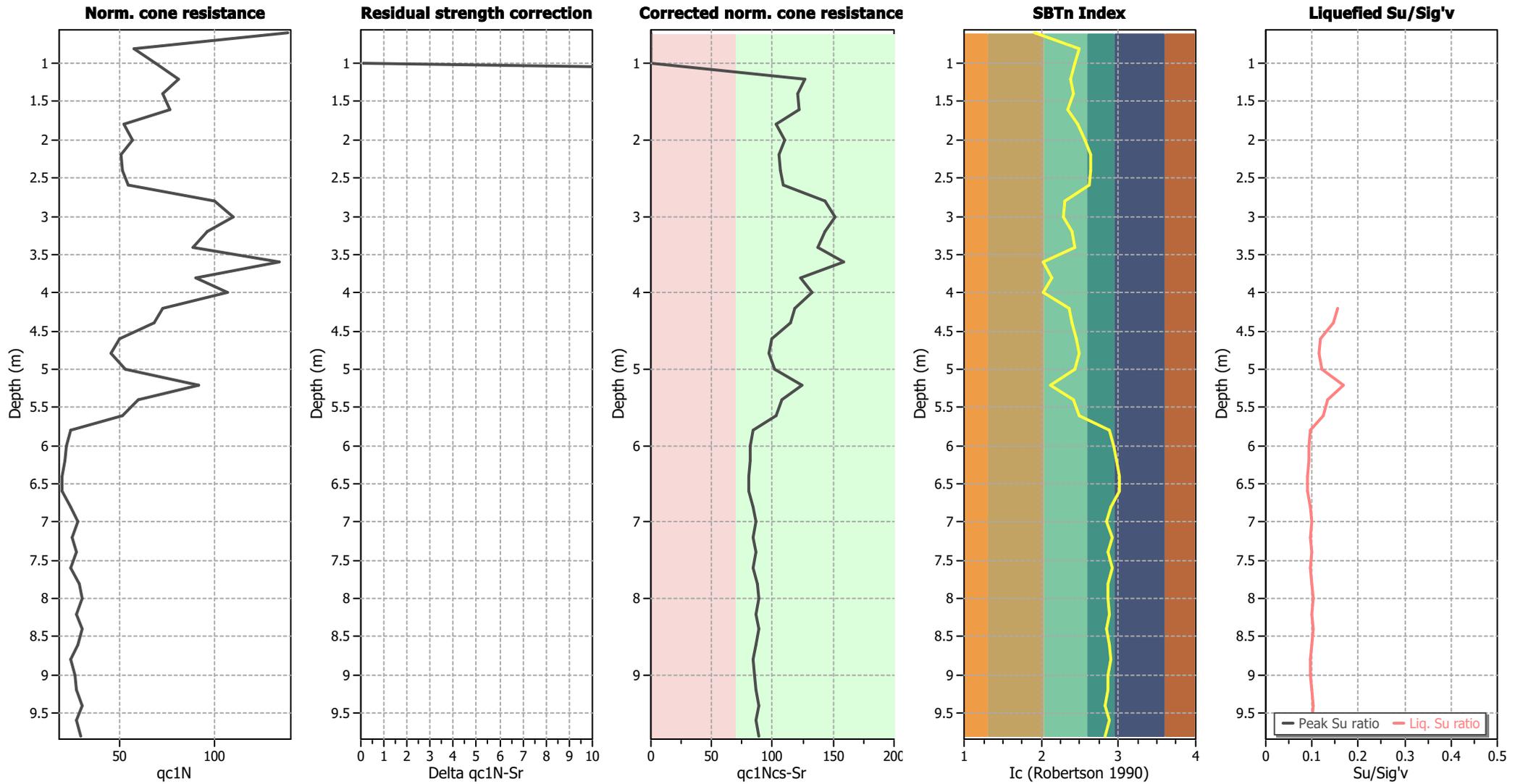
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.17 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	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:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.17 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	1.73	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	1.51	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	1.02	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	0.94	0.06	7.60	0.20	0.09
5.00	1.04	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	1.15	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	0.99	0.01	7.20	0.20	0.02
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	2.00	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00						

Overall liquefaction potential: 0.11

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point

F_L: 1 - FS

w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth

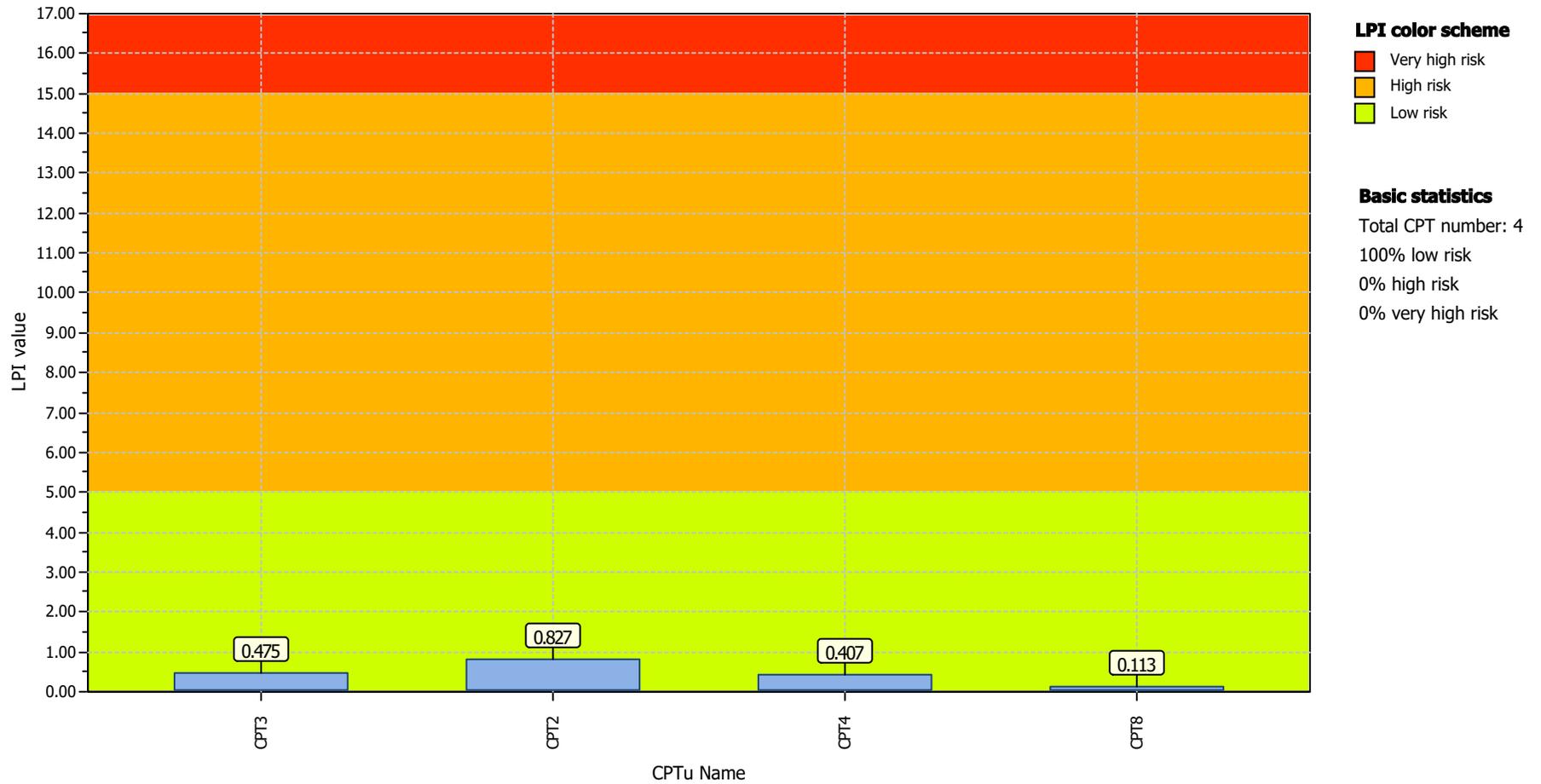
d_z: Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

Project title : ASILO VIA FILIPPO RE

Location : BOLOGNA

Overall Liquefaction Potential Index report



COMUNE DI BOLOGNA

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI BOLOGNA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}) dei terreni costituenti l'area sita in via Filippo Re.



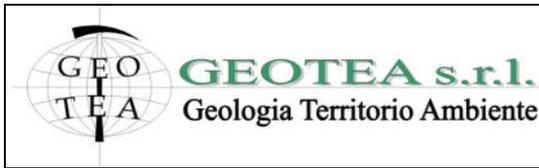
I.G.B. Snc
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 – Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail igbsnc@gmail.com
P.I. e C.F.: 02689571202



Committente: **ALMA MATER STUDIORUM**
UNIVERSITA' DI BOLOGNA – AUTC - APSE

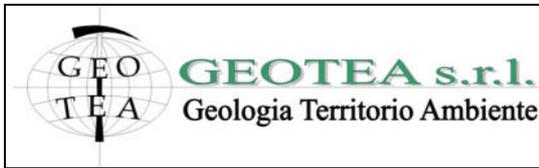
Dott. Geol. Stefano Maggi

08/10/2020
Commessa 16.043_rev.n.2



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

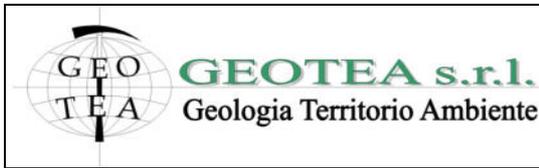
SOMMARIO.....	
2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO	3
3 PREMESSE	4
4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	5
4.1 Introduzione generale	5
4.2 Tecnica MASW : procedura e strumentazione utilizzata	6
4.3 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata	7
5 ACQUISIZIONE DATI	9
6 RISULTATI: MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO	10



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- ❑ Il presente documento viene identificato con il numero **16.043** rev. n°2;
- ❑ Le indagini ed il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. **Stefano Maggi**;
- ❑ Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. **Stefano Maggi** in data **08/10/2020**;
- ❑ Il documento si compone di n°11 fogli e da n°10 pagine di allegati.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

3 PREMESSE

Su incarico dell'Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, in via Filippo Re nel comune di Bologna, in data 03/08//2012, è stata effettuata un'indagine geofisica mediante prova in array con tecnica *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) e misura a stazione singola con tecnica *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (V_s) entro i primi 30 m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel Decreto Ministeriale 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Circolare applicativa dell'Aggiornamento delle NTC D.M. 17/01/2018. Nel comparto oggetto d'indagine è in progetto la realizzazione di un nuovo asilo aziendale, scuola materna e centro per bambini e genitori.

La presente indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di

- N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW;
- N. 2 misure stazione singola con tecnica H/V (denominate HVSR1 e HVSR2) eseguite alle estremità del profilo MASW in array.

Per quanto riguarda la prova in array l'acquisizione è stata effettuata mediante sismografo digitale modello Dolang 24 canali 24 bit. Le misure a stazione singola sono state eseguite con tromografo digitale modello Tromino® Engy.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Introduzione generale

La tecnica *MASW* venne introdotta per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica agli inizi del 1999. La *Multichannel Analysis of Surface Waves* è un metodo sismico mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità (V_s versus *profondità*), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde R). Tale tecnica permette quindi di ottemperare a quanto previsto nel Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» e Circolare applicativa, secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro V_{s30} . La classificazione prevista per i terreni comprende cinque categorie definite da una simbologia alfanumerica da A ad E . A ciascuna di queste categorie corrisponde una valutazione quantitativa della risposta sismica dei terreni sottoposti ad una accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio S nei primi 30 metri di sottosuolo indagato e viene espressa matematicamente dalla seguente equazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

dove V_{s30} : velocità media ponderata delle onde di taglio "S";
 h_i : spessore dello strato esimo;
 v_i : velocità delle onde di taglio "S" nello strato esimo.

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di *Rayleigh* ($P+S_v$), si conoscono le onde di *Love* (Sh) e le onde di *Lamb*. Le onde di *Rayleigh* rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) P e onde di taglio verticali S_v ogniqualevolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde R si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo *Rayleigh* per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio V_s è giustificato da una serie di fattori:

- La percentuale di energia convertita in onde R è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde P (7%) e onde S (26%);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

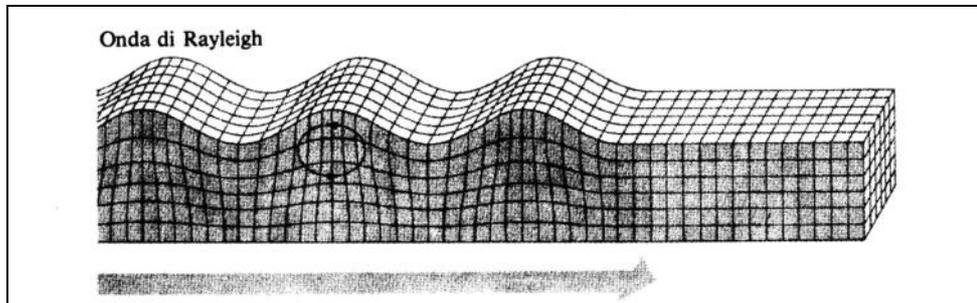


Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R

- ❑ il metodo d'analisi basato sulle onde *R* non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- ❑ buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- ❑ la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla *V_p* (velocità delle onde di compressione *P*) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della *V_s* che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- ❑ la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali, in questo caso la tecnica *MASW* e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde *R* questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$). Inoltre, la velocità delle onde *R* (*V_r*) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (*V_s*).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio *V_s*, ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

4.2 Tecnica MASW : procedura e strumentazione utilizzata

La procedura *MASW* si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- ❑ acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

- costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase V_r – frequenza ν ;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s .

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

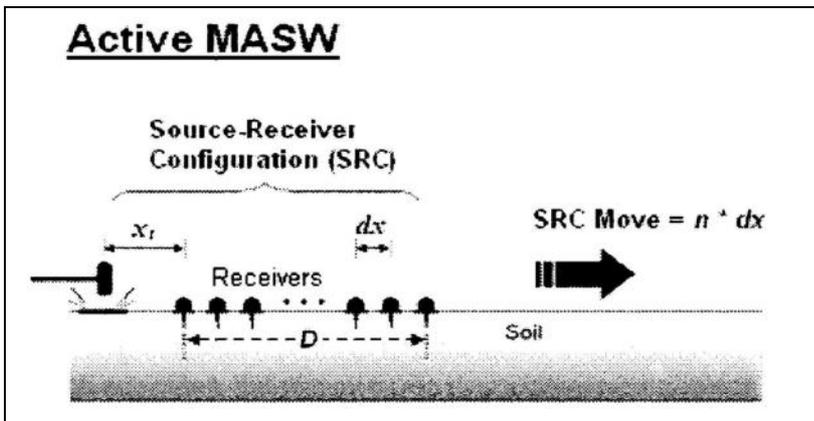


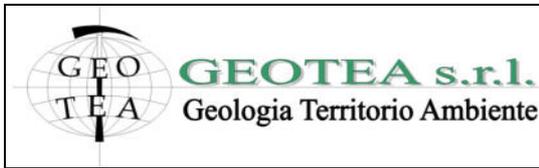
Figura 2 - MASW : stendimento lineare e sorgente attiva

Mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro nel dominio frequenza – numero d'onda (spettro f-k). Quindi, dallo spettro f-k è possibile estrarre la curva di dispersione apparente sperimentale (si veda fig. 2 nel rapporto in allegato) mediante una doppia trasformata di Fourier applicata al campo di moto misurato nel dominio spazio - tempo.

L'ultimo passo da affrontare è l'inversione della curva di dispersione precedentemente costruita. Questa operazione viene effettuata grazie all'utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione basata su algoritmi genetici. Il risultato finale è quello di ottenere il profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_s . L'elaborazione dei dati acquisiti, avvenuta mediante software Grilla, è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione

4.3 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (*Micromed S.p.A.*) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. E' stata acquisita una misura di rumore sismico per un tempo di registrazione pari a 16 minuti. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

5 ACQUISIZIONE DATI

I parametri di campionamento utilizzati nella presente indagine e la geometria del profilo sono riportati di seguito.

Identificazione	Modello sismografo	Apertura stendimento	n° geofoni verticali (4.5 Hz)	sorgente	Distanza intergeofonica	Frequenza di campionamento
Profilo masw in array	Digitale Dolang 24 bit	33.00 m	12	Mazza 10 Kg	3.00 m	4000 Hz

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione (metodo in array MASW).

Identificazione	Modello tromografo	Canali velocimetrici	sorgente	Frequenza di campionamento	Lunghezza registrazione	Ampiezza finestra di analisi
HVSR1	Tromino® Engy	N-S;E-W UP-DOWN	Rumore ambientale	128 Hz	14 min	20 sec
HVSR2	Tromino® Engy	N-S;E-W UP-DOWN	Rumore ambientale	128 Hz	14 min	20 sec

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione (metodo a stazione singola H/V)

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

6 RISULTATI: MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO

Nella sottostante tabella è riportato il modello di sottosuolo proposto, ottenuto mediante fit congiunto prova masw in array e misura HVSr1 (è stata scelta questa misura per il fit congiunto con la curva masw).

2.00	2.00	140
5.00	3.00	160
10.00	5.00	210
20.00	10.00	230
30.00	10.00	290
50.00	20.00	390
115.00	65.00	370
inf.	inf.	620

Tabella 3 – Profilo verticale delle onde di taglio S relativo al modello di sottosuolo ottenuto da fit congiunto prova MASW in array e misura HVSr1.

Sulla base di quanto riportato in tabella, la Categoria di suolo determinata unicamente sulla base dei risultati delle prove geofisiche descritte (media ponderata della velocità equivalente di propagazione delle onde S entro i primi 30 m di profondità) secondo approccio semplificato da NTC 2018 è risultata:

- **da quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C ($V_{s30} = V_{seq} = 223$ m/s);**
- **da quota di -1.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C ($V_{s30} = V_{seq} = 230$ m/s);**
- **da quota di -2.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C ($V_{s30} = V_{seq} = 239$ m/s);**

La categoria di suolo così determinata dovrà essere comunque valutata e verificata dal tecnico progettista sulla base dei dati e delle informazioni di carattere litostratigrafico ottenute mediante le indagini geognostiche eseguite.

L'analisi congiunta MASW-HVSr ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, sia di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo. Prendendo come riferimento il punto mediano del profilo sismico in array effettuato, le velocità delle onde di taglio S nei primi 30 m da p.c., secondo il modello di sottosuolo interpretato dallo scrivente, sono caratteristiche di materiali di media rigidezza.

Le 2 misure HVSr effettuate, per frequenze inferiori a 20-30 Hz, sono risultate confrontabili tra loro. Esse si presentano sostanzialmente piate e caratterizzate solo da deboli irregolarità e deviazioni dalla planarità corrispondenti alla presenza nel sottosuolo di stratificazioni a basso contrasto di impedenza. Per frequenze maggiori di 20-30 Hz nella misura HVSr2 si registra un picco di risonanza (non presente in HVSr1) per amplificazione stratigrafica con massimo del rapporto H/V a circa 35 Hz. Tale picco può essere associato alla presenza di un orizzonte rigido a scarsa profondità (circa 1-2 m da p.c.) e di limitata estensione areale.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Filippo Re nel comune di Bologna.

In fase di progettazione sarà comunque compito del tecnico progettista confrontare il periodo fondamentale di vibrazione delle opere oggetto d'intervento con le curve HVSR ottenute sperimentalmente. Questo confronto è utile al fine di evitare il fenomeno di doppia risonanza terreno-struttura.

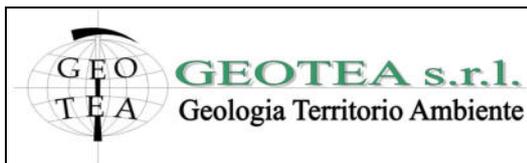
La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 17 Gennaio 2018.

San Lazzaro di Savena (BO), 08/10/2020



ALLEGATI

- Rapporto indagine geofisica (n°10)



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{S30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

Rapporto indagine geofisica eseguita per la determinazione del parametro V_{S30} mediante tecnica MASW e misura a stazione singola HVSR

Autore: GEOTEAS SRL

Committente: ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA – AUTC - APSE

Sito: VIA FILIPPO RE - BOLOGNA

Nuovo asilo aziendale-scuola materna-centro per bambini e genitori

Data di effettuazione: 03/08/2012

Software utilizzato: Grilla® (Release 2010 – ver. 6.0 beta) all rights reserved.

- Geotea s.r.l. -

via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel 051 6255377- Fax 051 4998378 - e-mail: info@geoteasrl.it

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{s30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

1 – Dati sperimentali tecnica MASW e risultati ottenuti

Strumentazione utilizzata.....Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
 Numero di geofoni verticali (freq. Propria 4.5 Hz).....12
 Spaziatura tra i geofoni.....3.00 m
 Frequenza di campionamento.....4000 Hz
 Lunghezza traccia acquisita.....1 sec
 Sorgente.....mazza (10 Kg)

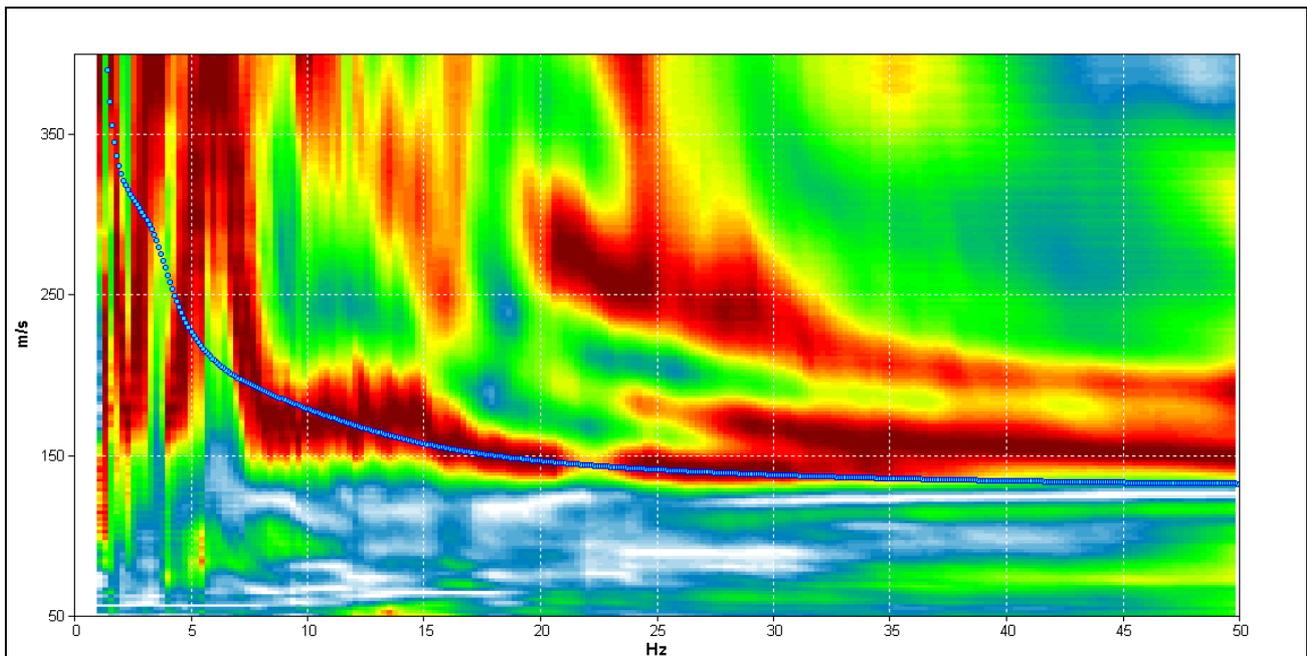


Figura 1 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW mediante sismografo digitale Dolang (energizzazione ottenuta mediante mazza battente del peso di 10Kg). In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{S30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

2 –Dati sperimentali misura HVSR1 e risultati

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Inizio registrazione: 03/08/12 09:32:59 Fine registrazione: 03/08/12 09:47:00

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

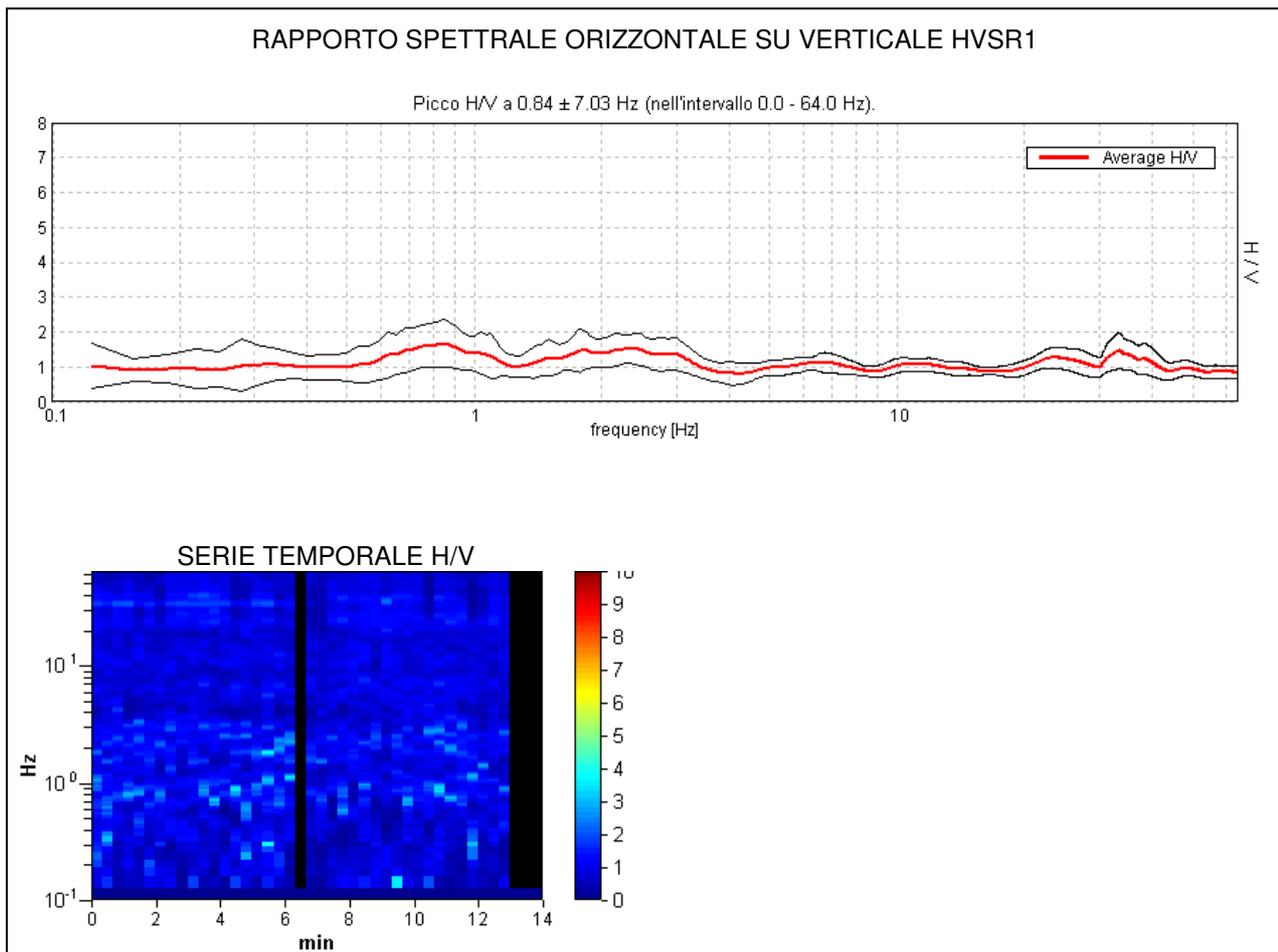


Figura 2 – Curva H/V (HVSR1) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{S30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

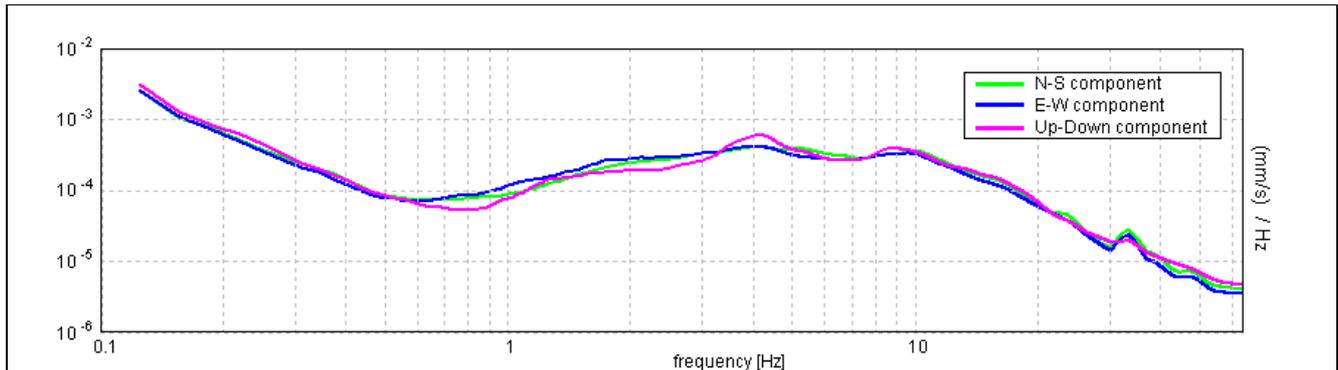


Figura 3 – spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito (HVSR1)

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

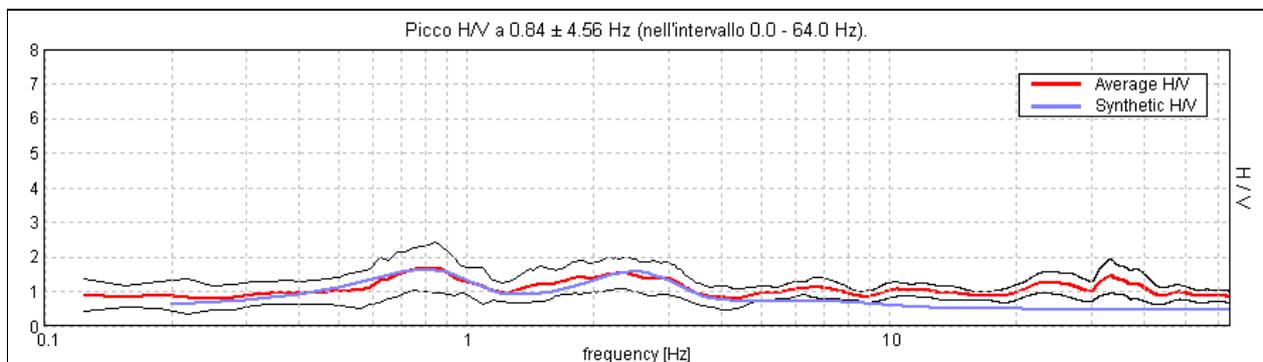


Figura 4 – confronto tra curva HVSR1 sperimentale (rosso) registrata nel sito e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{S30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

3 –Dati sperimentali misura HVSR2 e risultati

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY
 Inizio registrazione: 03/08/12 09:49:10 Fine registrazione: 03/08/12 10:03:11
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h14'00".
 Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

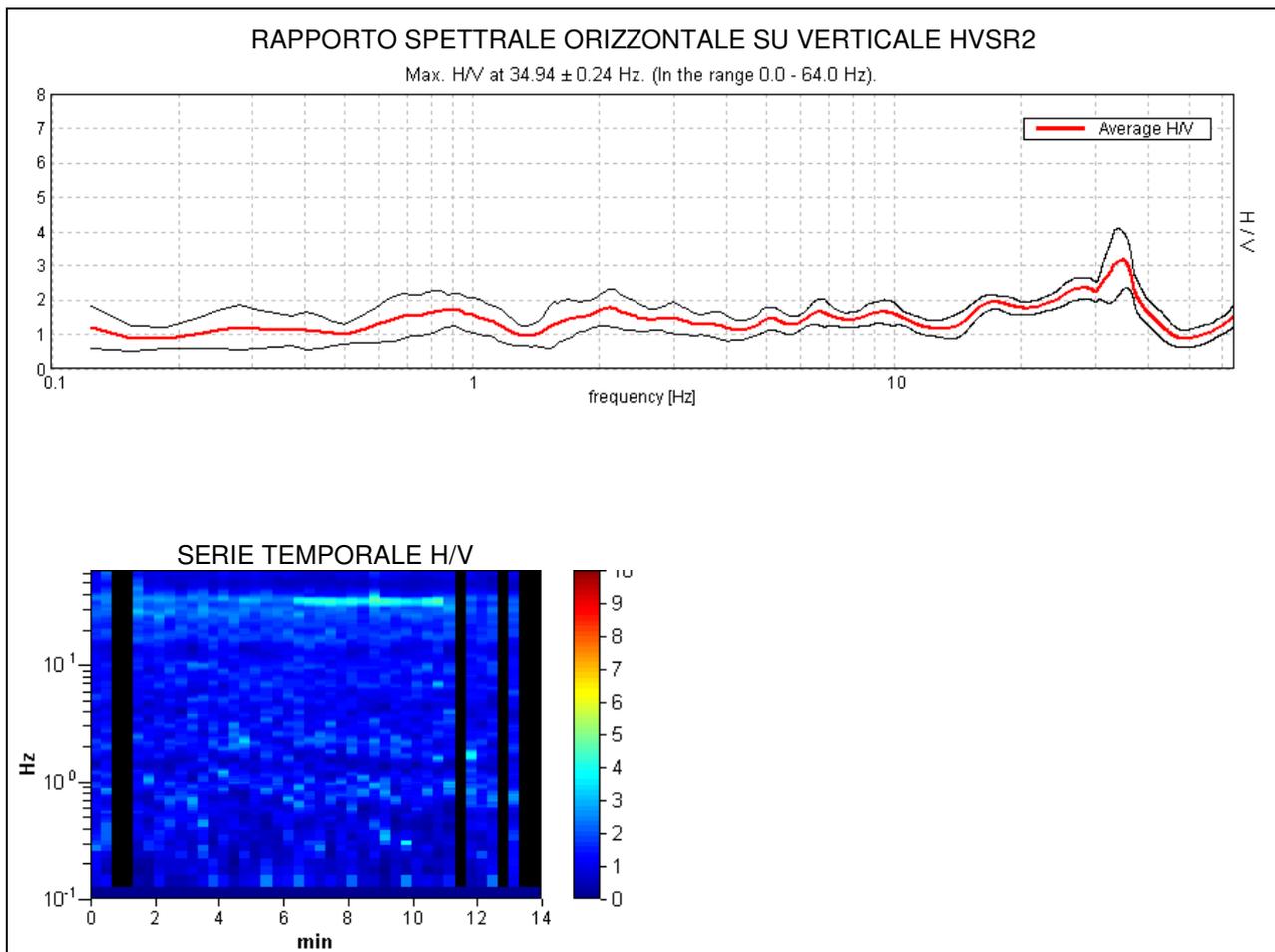


Figura 5 – Curva H/V (HVSR2) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{S30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2

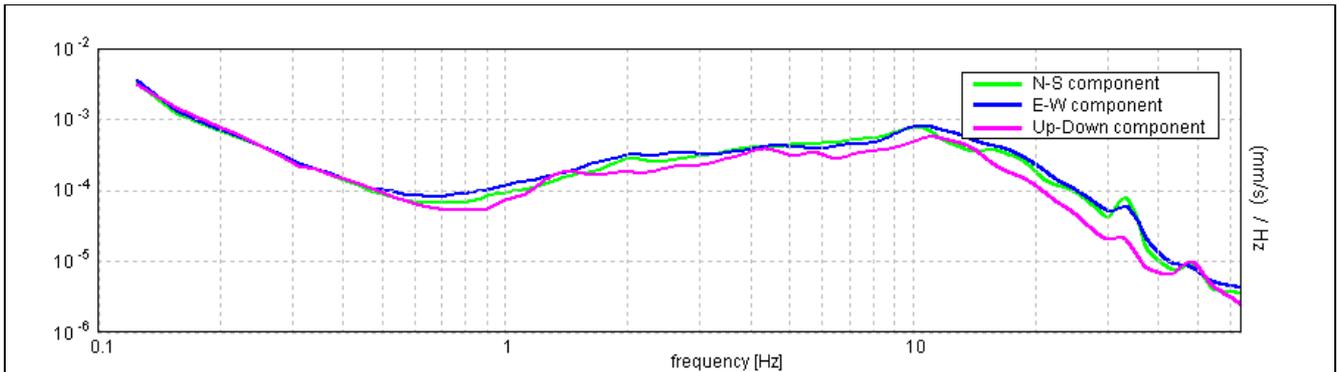


Figura 6 – spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito (HVSR2)

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{s30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

3 – Modello di sottosuolo ottenuto da fit congiunto prova in array (masw) e misura HVSR1

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	140
5.00	3.00	160
10.00	5.00	210
20.00	10.00	230
30.00	10.00	290
50.00	20.00	390
115.00	65.00	370
inf.	inf.	620

$V_s(0.0-30.0)=223$ m/s (misurata da p.c. su cui è stato eseguito lo stendimento sismico)

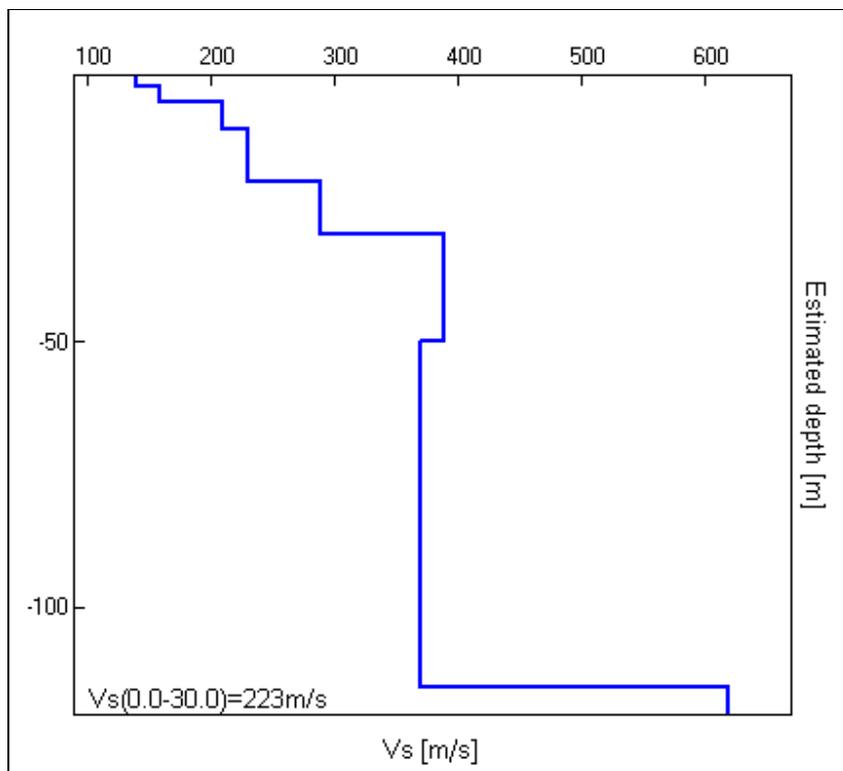
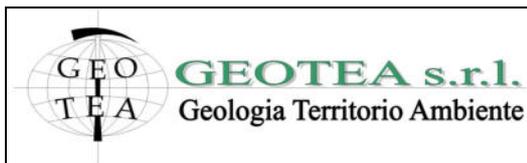


Figura 7 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica masw e tecnica H/V (misura HVSR1)



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{s30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

4 – Risultati finali

$V_{s30}=V_{seq}$ [m/s] da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo.....	223
$V_{s30}=V_{seq}$ [m/s] da quota di -1.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo.....	230
$V_{s30}=V_{seq}$ [m/s] da quota di -2.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo.....	239

L'incertezza sul valore calcolato di V_{s30} è dell'ordine del 20% (cfr. Mulargia e Castellaro, 2009, Seism. Res. Lett., 80, 985-989).

Categoria di suolo determinata unicamente sulla base dei risultati delle prove geofisiche descritte (media ponderata della velocità equivalente di propagazione delle onde S entro i primi 30 m di profondità) secondo approccio semplificato da NTC 2018:

- **da quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C**
- **da quota -1.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C**
- **da quota -2.00 m rispetto a quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C**

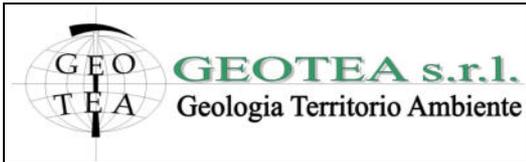
La categoria di suolo così determinata dovrà essere comunque valutata e verificata dal tecnico progettista sulla base dei dati e delle informazioni di carattere litostratigrafico ottenute mediante le indagini geognostiche eseguite.

L'analisi congiunta MASW-HVSR ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, sia di individuare la presenza di contrasti d'impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

Prendendo come riferimento il punto mediano del profilo sismico in array effettuato, le velocità delle onde di taglio S nei primi 30 m da p.c., secondo il modello di sottosuolo interpretato dallo scrivente, sono caratteristiche di materiali di media rigidezza.

Le 2 misure HVSR effettuate, per frequenze inferiori a 20-30 Hz, sono risultate confrontabili tra loro. Esse si presentano sostanzialmente piatte e caratterizzate solo da deboli irregolarità e deviazioni dalla planarità corrispondenti alla presenza nel sottosuolo di stratificazioni a basso contrasto di impedenza. Per frequenze maggiori di 20-30 Hz nella misura HVSR2 si registra un picco di risonanza (non presente in HVSR1) per amplificazione stratigrafica con massimo del rapporto H/V a circa 35 Hz. Tale picco può essere associato alla presenza di un orizzonte rigido a scarsa profondità (circa 1-2 m da p.c.) e di limitata estensione areale.

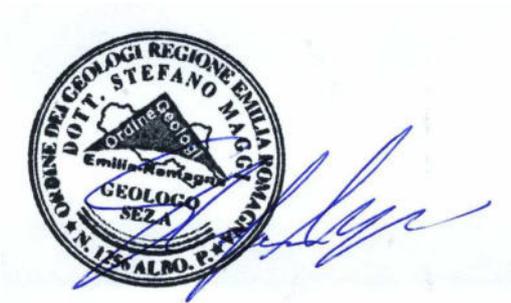
In fase di progettazione sarà comunque compito del tecnico progettista confrontare il periodo fondamentale di vibrazione delle opere oggetto d'intervento con le curve HVSR ottenute sperimentalmente. Questo confronto è utile al fine di evitare il fenomeno di doppia risonanza terreno-struttura.

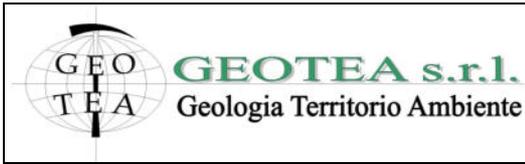


Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{S30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 17 Gennaio 2018.

San Lazzaro di Savena (BO), 08/10/2020





Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{s30}), dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

Appendice

Categorie di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Tipo B: 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.

Tipo C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Tipo D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

Tipo E: Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato (sismico) non superiore a 30 m.

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Provincia di Bologna
Comune di Bologna

Relazione sismica contenente analisi mediante terzo livello di approfondimento ai sensi della DGR N. 630 - 2019 dell'area sita in via Filippo Re n. 6

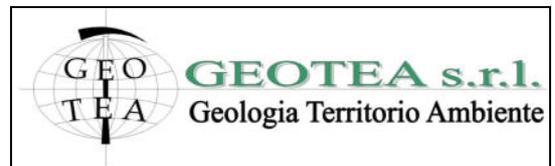
RISPOSTA SISMICA LOCALE

Aggiornamenti	4				
	3				
	2				
	1				
	0	Febbraio 2016	Stefano Maggi	Alessandro Zanna	Emissione
	N	Data	Redatto	Approvazione	Descrizione

Committente:

Alma Mater Studiorum
Università di Bologna
AUTC-APSE

Redatto da:



Fornitori:



MOD PROD14 REV01

Codice Cliente:

Codice interno 16.432 rev.2

Geotea s.r.l. - via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel 051 6255377- Fax 051 4998378
e-mail: info@geoteasrl.it

<p style="text-align: center;">Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE</p>	<p style="text-align: center;">Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna</p>	
--	---	---

SOMMARIO

1.	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO _____	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO _____	4
3.	PREMESSE _____	5
4.	MODELLO DI SOTTOSUOLO PRESCELTO _____	6
5.	CALCOLO DEL MOTO ATTESO IN SUPERFICIE _____	9
5.1.	Accelerogramma di input 000046xa _____	10
5.2.	Accelerogramma di input 000126xa _____	10
5.3.	Accelerogramma di input 000354xa _____	10
5.4.	Accelerogrammi di output e rapporto medio PGA/PGA ₀ _____	11
6.	SPETTRO DI RISPOSTA MEDIO FINALE CALCOLATO _____	12

<p>Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE</p>	<p>Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna</p>	
--	---	---

1. IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

Note identificative.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del codice numero di commessa interno 16.043 rev.2, del nostro archivio interno.

Direzione indagini e coordinamento lavoro.

Dott. Geol. Stefano Maggi.

Redazione del documento.

Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Stefano Maggi in data 08/10/2020.

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n° 14 fogli di testo.

<p style="text-align: center;">Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE</p>	<p style="text-align: center;">Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna</p>	
--	---	---

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

Decreto Ministeriale 17.01.2018

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Circolare applicativa dell'Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.

Deliberazione della Giunta Regionale n.630/2019 Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt.22 e 49, L.R. n. 24/2017).

<p style="text-align: center;">Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE</p>	<p style="text-align: center;">Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna</p>	
--	--	---

3. PREMESSE

Nel presente lavoro è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito mediante terzo livello di approfondimento dell'area sita in via Filippo Re n. 6 nel comune di Bologna.

L'analisi è stata eseguita mediante approccio numerico non semplificato come previsto dalla Delibera Assemblea Legislativa Regione Emilia Romagna n.630 / 2019, utilizzando il **codice di calcolo STRATA** (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses; STRATA è distribuito con licenza GNU disponibile al sito <http://www.gnu.org/licenses/>).

L'analisi di risposta sismica locale del sito in questione è stata condotta secondo il seguente schema:

- **Definizione del modello geologico-sismico del sottosuolo (litologia, velocità onde di taglio S e spessore sismostrati)** ottenuto attraverso indagini sia dirette (prove penetrometriche statiche meccaniche – CPT) che indirette (geofisiche: profilo masw-Re.Mi. e misure a stazione singola HVSR) e sulla base di dati provenienti dal database del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione E-R e dagli strumenti di pianificazione territoriale (es: PSC, PTCP) relativi al comune a cui appartiene il sito di interesse;
- **Scelta degli accelerogrammi di input** (terremoti di riferimento, componente orizzontale) rappresentativi del moto sismico atteso nel sito in esame; gli accelerogrammi di input utilizzati sono stati quelli indicati nella DGR n.630/2019, selezionati dalla banca dati accelerometrica “*European Strong Motion database*” (http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm, ISESD) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

I files con i segnali di riferimento normalizzati sono disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale, tema “Sismica – Microzonazione Sismica”. Si tratta di tre files:

- • 000046xa
- • 000126xa
- • 000354xa

- **Calcolo del moto atteso al sito:** valutazione del fattore di amplificazione attraverso il rapporto PGA/PGA_0 (dove PGA = accelerazione orizzontale massima in superficie e PGA_0 accelerazione orizzontale massima al bedrock) e spettro di risposta finale in accelerazione medio (smorzamento convenzionale pari al 5%).

Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE	Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna	
---	---	---

4. MODELLO DI SOTTOSUOLO PRESCELTO

La tabella sottostante mostra il modello di sottosuolo utilizzato per l'analisi in termini di litologia, spessore sismostrati e velocità delle onde di taglio S (Vs espressa in m/s).

Coordinate Sito (ED50): 44.501612 N; 11.355211 E

Profondità tetto strato	Spessore strato	Tipologia di terreno	Veocità onde S (m/s)
0.00	2.00	limo e terreni misti	140.00
2.00	2.00	argilla seed e idriss (1990)	160.00
4.00	2.00	limo e terreni misti	160.00
6.00	4.00	argilla seed e idriss (1990)	210.00
10.00	10.00	argilla seed e idriss (1990)	230.00
20.00	10.00	argilla seed e idriss (1990)	290.00
30.00	20.00	sabbia seed e idris (mean)	390.00
50.00	65.00	argilla seed e idriss (1990)	370.00
115.00	70.00	argilla seed e idriss (1990)	620.00
185.00	half-space	bedrock	800.00

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito in studio

Per quanto riguarda lo strato rigido di base ($V_s \geq 800$ m/s) che delimita il modello di sottosuolo utilizzato per l'analisi, si è tenuto conto di quanto riportato nelle stratigrafie della sezione geologica profonda e sono stati utilizzati i dati sperimentali geofisici estrapolando in profondità il profilo di Vs fino al raggiungimento del valore di 800 m/s.

Data l'incertezza associata alle misure, in via cautelativa nella presente analisi è stata ipotizzata una profondità del bedrock sismico variabile tra -180 m (corrispondente all'incirca al limite tra il Gruppo Acquifero A e B) e -285 m (corrispondente all'incirca al limite tra il Gruppo Acquifero B e C); si veda la sez. geologica profonda n. 31 (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione E-R). Di tale variabilità è stato tenuto conto nell'analisi eseguita con il codice di calcolo STRATA.

Le curve di smorzamento impiegate per le coperture sono riportate nelle figure seguenti (in assenza di prove di laboratorio fornite dalla committenza, per poter procedere con l'analisi sono state utilizzate curve di smorzamento provenienti da noti e approfonditi studi disponibili in letteratura eseguiti su terreni litologicamente analoghi a quelli rilevati nel sito in oggetto.

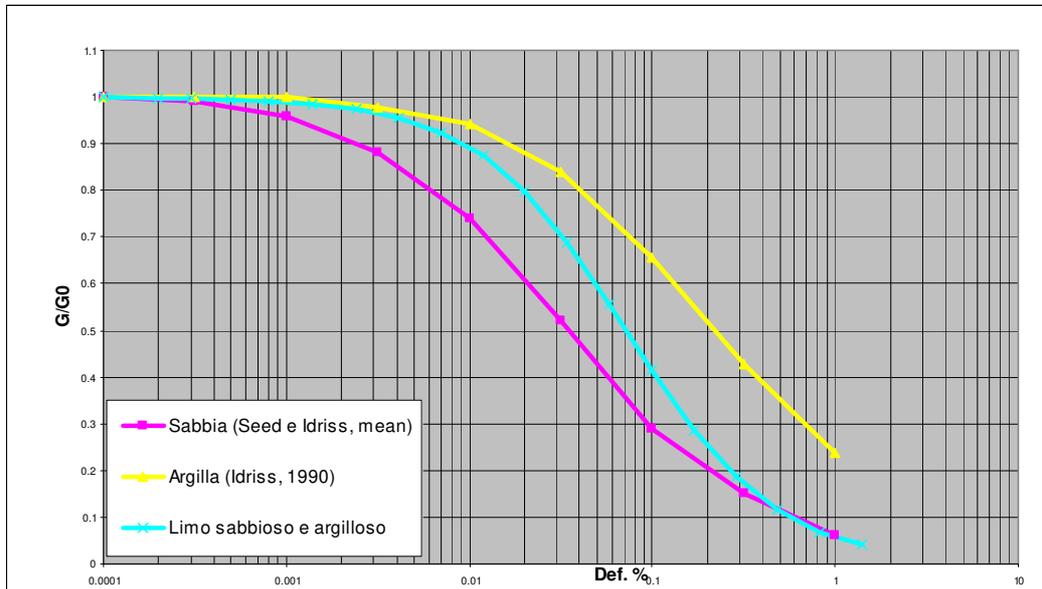


Figura 1 – Curve di degrado (G/G₀) dei terreni utilizzati nell'analisi.

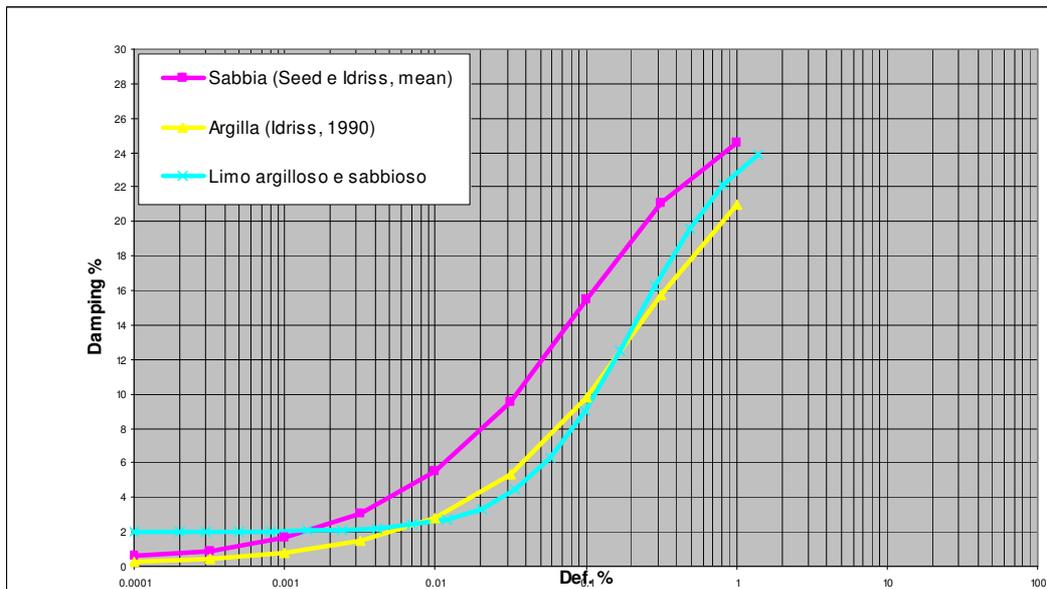


Figura 2 – Curve di smorzamento (Damping %) dei terreni utilizzati nell'analisi.

Le prove di laboratorio provengono dal seguente database:

- **Limo sabbioso e argilloso:** Prove geotecniche di laboratorio relative a campioni di terreno prelevati nel comune di Brescia (prof. 11.0-11.7 m) nell'ambito del progetto di "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in determinati comuni del territorio lombardo e supporto tecnico inerente l'analisi di vulnerabilità sismica prevista dal programma temporale delle verifiche di cui alla d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003" (Politecnico di Milano);
- **Argilla:** studio di Idriss (1990);

<p>Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE</p>	<p>Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna</p>	
--	---	---

- **Sabbia:** studio di Seed e Idriss (valori medi):

<p style="text-align: center;">Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE</p>	<p style="text-align: center;">Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna</p>	
--	---	---

5. CALCOLO DEL MOTO ATTESO IN SUPERFICIE

Gli accelerogrammi di input e relativi spettri di risposta forniti dalla DGR 630 / 2019, sono stati scalati tenendo conto dei seguenti parametri di ingresso (da Documento Excel SPETTRI-NTC ver 1.0.3 D.M. 14 gennaio 2008 Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni):

- Coordinate sito (ED50): **44.501612 N; 11.355211 E**
- Vita nominale (Vn) struttura: **50 anni**
- Classe uso: **IV**
- Coefficiente d'uso (Cu): **2.0**
- Periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_r = V_n \cdot C_u$): **100 anni**
- Stato limite considerato: **Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV)**
- Probabilità di superamento nel periodo di riferimento (Pvr): **10% in 100 anni**
- Periodo di ritorno (Tr): **949 anni**

Utilizzando i parametri riportati sopra è stato definito il terremoto di scenario la cui PGA_0 (*Pick Ground Acceleration*, pericolosità sismica di base del sito di interesse) è risultata pari a **$PGA_0 = 0.210$ (g)**.

Come già detto i segnali di input sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica “*European Strong Motion database*” (http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm, ISESD) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

Gli accelerogrammi di ingresso utilizzati sono stati i seguenti:

- • **000046xa**
- • **000126xa**
- • **000354xa**

A partire dagli accelerogrammi di input e dal modello di sottosuolo utilizzato, sono stati ottenuti gli spettri di risposta in accelerazione attesi al sito. Il calcolo eseguito mediante il software **STRATA** è stato condotto con i seguenti vincoli:

- Variazione delle curve degrado-smorzamento relative ai materiali utilizzati nel calcolo (Darendeli);
- Variazione profondità del bedrock (distribuzione Log Normale; prof. min 185 m – prof. max 285 m; $\sigma = 0.50$)
- n° di profili calcolati: 50;
- n° terremoti input utilizzati: 3;
- n° spettri di risposta finali generati: 150.

5.1. Accelerogramma di input 000046xa

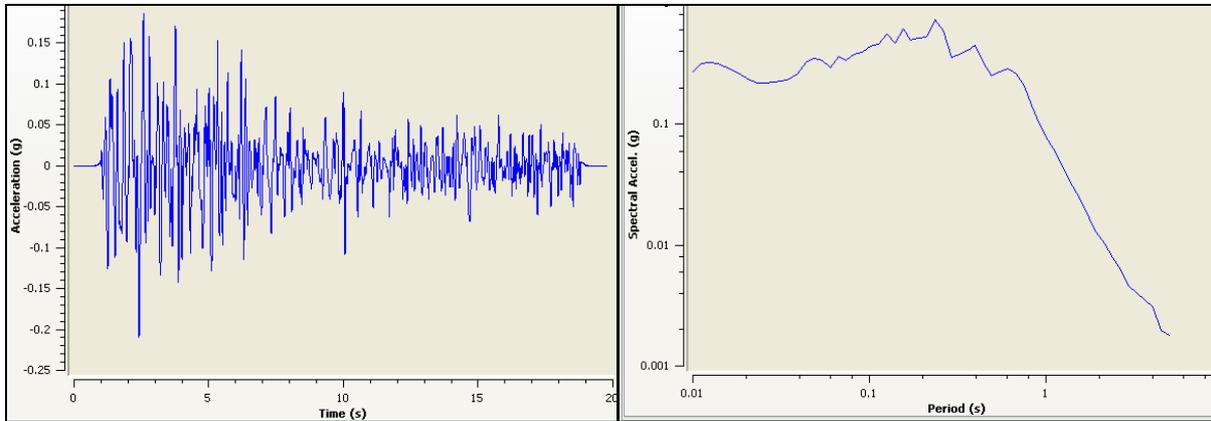


Figura 3 – Accelerogramma di input e Spettro di risposta (000046xa)

5.2. Accelerogramma di input 000126xa

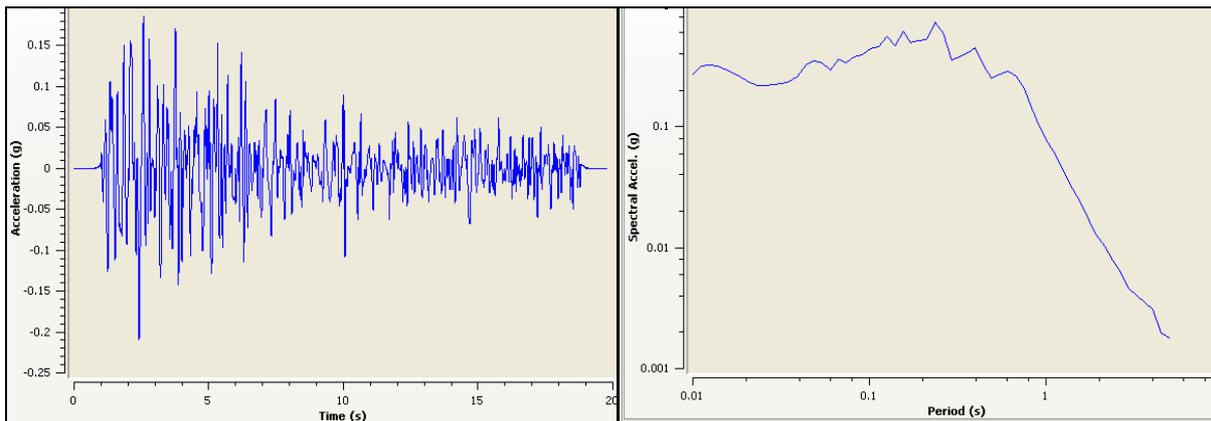


Figura 4 – Accelerogramma di input e Spettro di risposta (000126xa)

5.3. Accelerogramma di input 000354xa

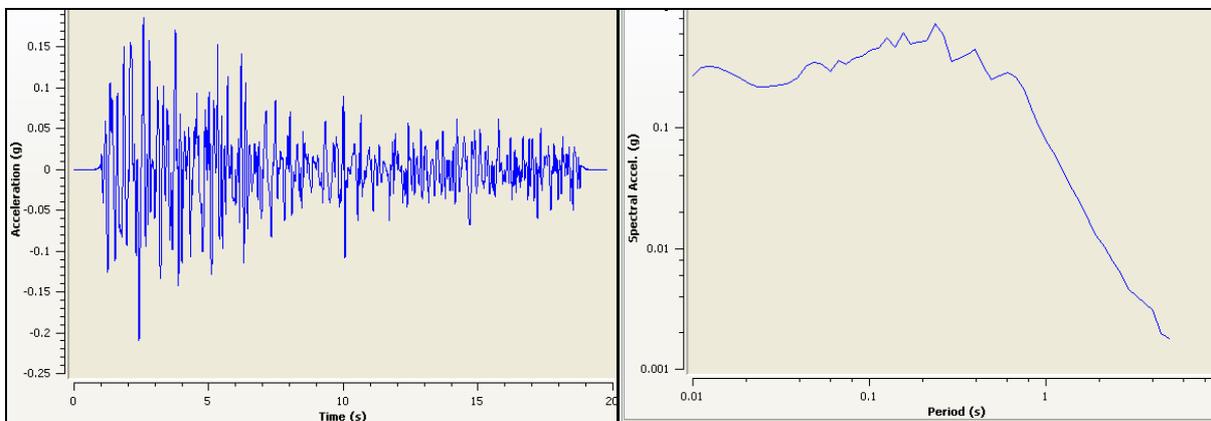


Figura 5 – Accelerogramma di input e Spettro di risposta (000354xa)

5.4. Accelerogrammi di output e rapporto medio PGA/PGA_0

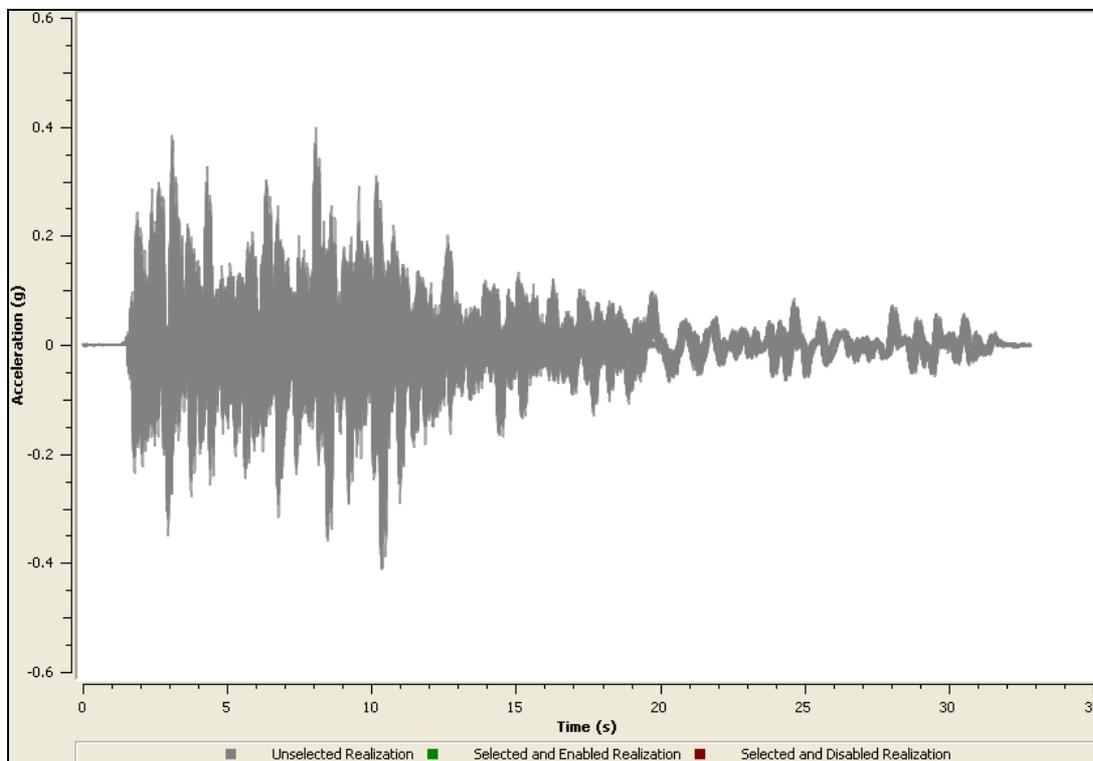


Figura 6 – Accelerogrammi di output (involuppo di n. 150 accelerogrammi di output ottenuti a partire dai 3 accelerogrammi di input abbinati a 150 profili di sottosuolo ricavati sulla base della variazione delle curve degrado/smorzamento e della profondità bedrock).

Segnale di riferimento di input	Valore PGA_0 segnali di input	Valore PGA medio calcolato (output)	Rapporto PGA/PGA_0 medio calcolato e relativo F.A.
000046xa	0.210 g	0.282	1.34
000126xa	0.210 g		
000354xa	0.210 g		

Tabella 2 – valore finale medio di PGA calcolato e relativo fattore di amplificazione (F.A.) al suolo. La media è stata ottenuta su 150 profili di sottosuolo processati nel calcolo (variazione curve degrado/smorzamento e variazione profondità bedrock).

6. SPETTRO DI RISPOSTA MEDIO FINALE CALCOLATO

La figura sottostante riporta l'involuppo di n. 150 spettri di risposta in accelerazione di output ottenuti (in blu continuo la media degli spettri, mentre in blu tratteggiato la media \pm deviazione standard):

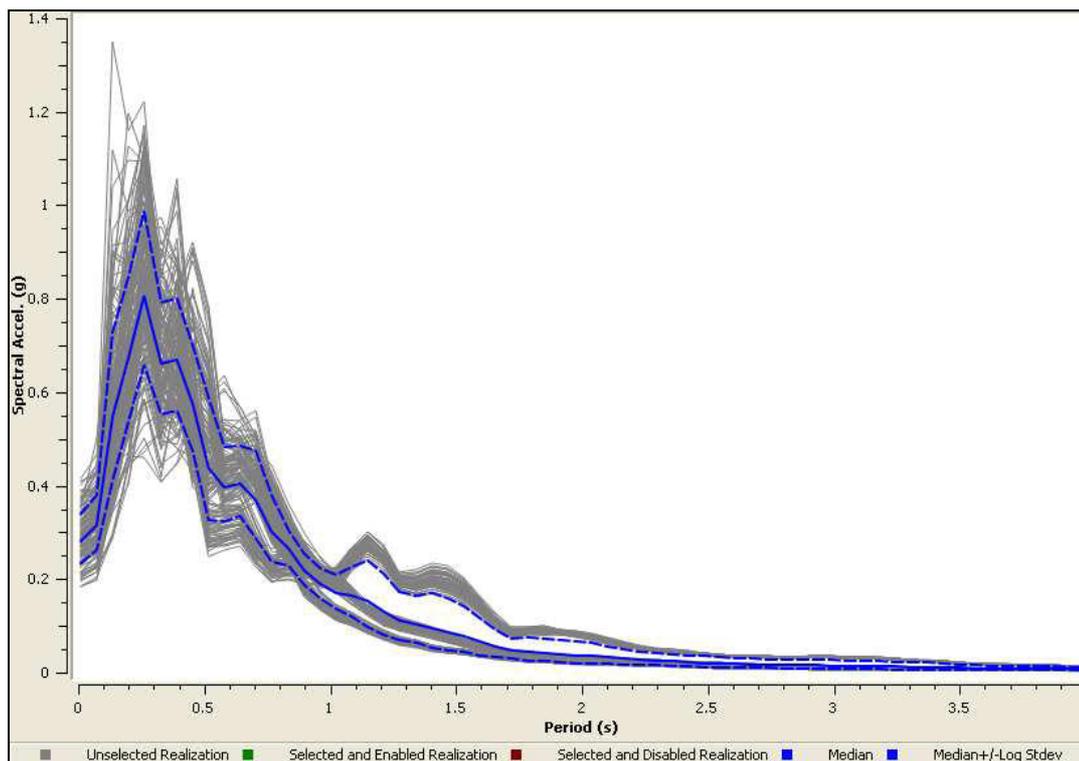


Figura 7 – involucro n. 150 spettri di risposta in accelerazione attesi al sito (output)

La figura della pagina successiva riporta lo spettro di risposta finale scelto dallo scrivente come rappresentativo del sito investigato (spettro medio – linea blu continua).

Lo spettro sopra descritto è stato messo a confronto con lo spettro di risposta elastico che si otterrebbe dall'applicazione dell'approccio semplificato basato sul parametro V_{s30} (NTC 2018) per lo Stato Limite ultimo SLV ($T_R = 949$ anni e P_{VR} del 10% in 100 anni). Per il sito in esame la categoria di sottosuolo sarebbe la "C" (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*).

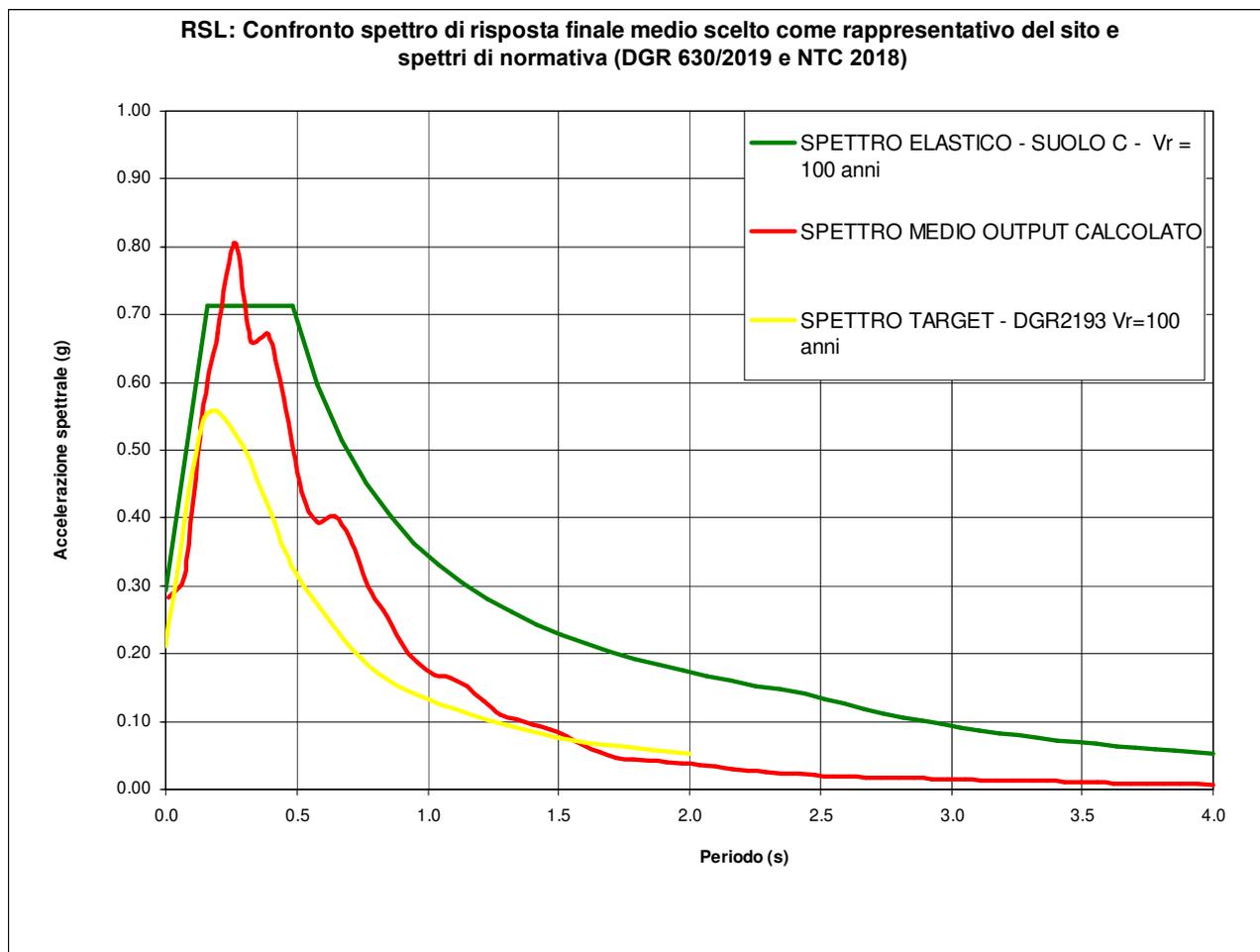


Figura 8 – Spettro di risposta medio finale scelto come rappresentativo del sito in esame (curva rossa) e confronto con spettri di normativa.

Il valore di PGA dello spettro finale scelto come rappresentativo del sito (spettro medio) è risultato:

PGA = 0.282 g

Dove:

P.G.A. = Pick Ground Acceleration, accelerazione massima orizzontale al sito in superficie;

Nella pagina seguente vengono forniti i valori numerici dello spettro finale selezionato come rappresentativo del sito in esame.

Alma Mater Studiorum Università di Bologna AUTC-APSE	Analisi sismica mediante terzo Livello di Approfondimento Sito: via Filippo Re n.6 Bologna	
---	---	---

T (s)	Ag (g)	T (s)	Ag (g)	T (s)	Ag (g)
0.01	0.282	1.40	0.096	2.80	0.016
0.07	0.314	1.47	0.088	2.86	0.016
0.14	0.547	1.53	0.078	2.92	0.016
0.20	0.672	1.59	0.066	2.99	0.015
0.26	0.806	1.66	0.055	3.05	0.014
0.33	0.661	1.72	0.047	3.11	0.014
0.39	0.670	1.78	0.044	3.18	0.013
0.45	0.575	1.85	0.042	3.24	0.013
0.52	0.439	1.91	0.040	3.30	0.012
0.58	0.395	1.97	0.037	3.37	0.012
0.64	0.403	2.04	0.036	3.43	0.011
0.71	0.369	2.10	0.033	3.49	0.010
0.77	0.300	2.16	0.030	3.56	0.010
0.83	0.265	2.23	0.028	3.62	0.009
0.90	0.218	2.29	0.026	3.68	0.009
0.96	0.189	2.35	0.024	3.75	0.008
1.02	0.169	2.42	0.022	3.81	0.008
1.09	0.164	2.48	0.021	3.87	0.008
1.15	0.152	2.54	0.019	3.94	0.008
1.21	0.131	2.61	0.019	4.00	0.007
1.28	0.111	2.67	0.018		
1.34	0.182	2.73	0.017		

Tabella 3 – Valori numerici dello spettro di risposta medio finale



San Lazzaro di Savena (BO), 08/10/2020