COMUNE DI MIRANDOLA

Provincia di Modena

PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE

REALIZZAZIONE DI IMPIANTO DI RECUPERO RIFIUTI SPECIALI UBICATO PRESSO L'AREA IN VIA DI MEZZO SNC

COMMITTENTE:

BARALDINI AMBIENTE S.r.l.
Via di Mezzo 84 - 41037
Mirandola (MO)

STAFF DI PROGETTO:

Dott. Geol. Matteo Mattioli
Dott.ssa Michela Costa
Dott.ssa Rita Costa
Ing. Gianmarco Maroncelli
Geol. Davide Sasdelli
Ing. Giusy Pellegrino

STUDIO MATTIOLI srl
Via Santo Stefano 30
40125, Bologna (BO)
studio.mattioli@studiomattioli.com
studiomattioli.com

CONSULENTI SPECIALISTI:

Progettista idraulico:	Ing. Enrico Mongardi
Progettista strutturale:	Ing. Daniele Barbetti
Progettista strutturale:	Ing. Nicola Bertaccini
Geologo:	Dott. Geol. Sara Cafaggi
Progettista architettonico:	Ing. Federica Botti

ALLING srl
Via Andrea Costa 160
40134, Bologna (BO)
info@alling.it
alling.it

PROGETTO

Relazione geologica

COMMESSA

25-C021

SPECIALISTICA

GEN

SCALA

-

CODICE ELABORATO

GEN.01.06.R0

Rev.	Data	Note	Redatto	Verificato	Approvato
0	03/10/2025	Prima emissione	Cafaggi	Cafaggi	Cafaggi
1					

r_emiro.Giunta - Prot. 10/10/2025.1015669.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da BARBETTI DANIELE, Cafaggi Sara

SOMMARIO

1. PREMESSA 3

1.1. Campagne geognostiche 4

1.2. Norme di riferimento 4

1.3. Documenti di riferimento 5

1.4. Allegati 5

2. INQUADRAMENTO GENERALE 6

2.1. Inquadramento idrogeologico 8

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO 10

3.1. Pericolosità sismica di base 10

3.2. Classificazione stratigrafica e topografica del sito 12

4. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE 15

5. RISCHIO ALLUVIONI 17

ALLEGATO A "Relazione geologica sulle indagini" (2012 - G.G.A. srl);

ALLEGATO B "Prove penetrometriche statiche a punta elettrica e verifica del potenziale di liquefazione eseguite nel comune di Mirandola in Via Minelli" (2023 – R.d.R. srl);

ALLEGATO C "Carta di Microzonazione sismica livello 3" del Piano Strutturale Comunale di Mirandola;

ALLEGATO D "Carta Piano Gestione Rischio Alluvioni" tratta dal Piano Strutturale Comunale di Mirandola.

ALLEGATO E "Analisi della Risposta Sismica Locale"

1. PREMESSA

Con la presente Relazione Geologica si intende restituire un quadro complessivo delle caratteristiche dei terreni interessati dalla costruzione di un nuova tettoia ad uso ricovero mezzi.
La nuova tettoia, prevista nella frazione di San Giacomo Roncole a Mirandola (MO) in via di Mezzo snc, foglio 134, map. 544, presenterà una struttura in elevazione in acciaio da carpenteria strutturale.
Le fondazioni previste per tale struttura sono di tipo superficiale diretto in calcestruzzo armato gettato in opera, con una platea.
Nella seguente immagine si mostra l'area di inquadramento per l'intervento oggetto di progetto.

Figura 1 - Inquadramento geografico di riferimento

Figura 2 - Dettagli area di intervento

1.1. Campagne geognostiche

La presente relazione geologica si basa sullo studio geologico e geotecnico effettuato dallo studio "G.G.A. S.r.l." nel 2012 per la caratterizzazione del volume significativo di terreno interessato dalla messa in sicurezza di un capannone prefabbricato esistente. Le prove sono state effettuate per un sito adiacente (area evidenziata in verde) a quello di interesse e si ritengono adeguate per la loro vicinanza al sito della nuova costruzione (circa 100 m in linea d'aria).

In particolare, nella campagna del 2012 si sono svolte le seguenti indagini geognostiche:

- n°2 prove CPT (punti in rosso);
- n°1 prova MASW (linea in giallo);
- n°2 prove HVSR (punti in blu).

Lo studio sopra citato è stato integrato a settembre del 2023 da "RdR Studio" al fine di indagare la suscettibilità nei confronti della liquefazione dei terreni interessati (che non risultava del tutto esclusa dalle indagini pregresse) con:

- n°2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica con piezocono CPTU (punti in arancione).

Entrambi i documenti vengono condivisi di seguito negli allegati A e B della presente relazione geologica.

Figura 3 Ubicazione prove – stralcio CTR scala 1:5.000.

1.2. Norme di riferimento

Si elencano nel seguito le principali normative vigenti prese come riferimento per la stesura della presente Relazione Geologica:

- D.P.R. 380/2001 – Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;
- D.M. 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21/01/2019 – Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. del 17 gennaio 2018.

1.3. Documenti di riferimento

Di seguito si elencano i documenti di riferimenti utilizzati come bibliografia per la stesura della presente Relazione Geologica:

- Piano Strutturale Comunale di Mirandola, B – Sistema Naturale e ambientale, Microzonazione sismica.

1.4. Allegati

Gli allegati della presente Relazione Geotecnica sono i seguenti:

- Allegato A "Relazione geologica sulle indagini" (2012 - G.G.A. srl);
- Allegato B "Prove penetrometriche statiche a punta elettrica e verifica del potenziale di liquefazione eseguite nel comune di Mirandola in Via Minelli" (2023 – R.d.R. srl);
- Allegato C – "Carta di Microzonazione sismica livello 3" del Piano Strutturale Comunale di Mirandola;
- Allegato D – "Carta Piano Gestione Rischio Alluvioni" tratta dal Piano Strutturale Comunale di Mirandola.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

Il sito di interesse si trova all'interno dell'area comunale di Mirandola (MO) nella bassa pianura Modenese, a sud del centro cittadino in zona artigianale e industriale nella frazione di San Giacomo Roncole.

Mirandola si colloca nel contesto geologico del Bacino Padano ovvero un'area di avanfossa originatasi dalla subduzione della placca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico.

Figura 4 Stralcio carta geologica da portale cartografico regionale - scala 1:250.000

Figura 5 Stralcio della CTR scala 1:5.000. In verde l'area di interesse all'interno del comune di Mirandola, in Via di Mezzo 84.

Il comune di Mirandola è ubicato in corrispondenza della zona delle "Pieghe Ferraresi", strutture deformative sepolte che rappresentano il fronte appenninico che sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta secondo una serie di archi paralleli al bordo appenninico. Mirandola è posta in corrispondenza dell'alto strutturale conosciuto come "alto di Mirandola" dove la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS), datata a 0,45 Ma, è ad una profondità inferiore a –100 metri sul livello del mare (Boccaletti et.al., 2004).

Questo settore del bacino del Po è riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sin-tettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica, che sigillano le strutture deformative. La fase pliocenica viene denominata di flysch, in contrasto con i sedimenti di molassa che hanno caratterizzato la fase

successiva, nella quale divenne dominante l'input di materiale erosivo proveniente dallo smantellamento della catena Appenninica (Zoetemeijer, 1993).

Figura 6 Schema tettonico del settore Emiliano - Ferrarese - Dondi et.al, 1982

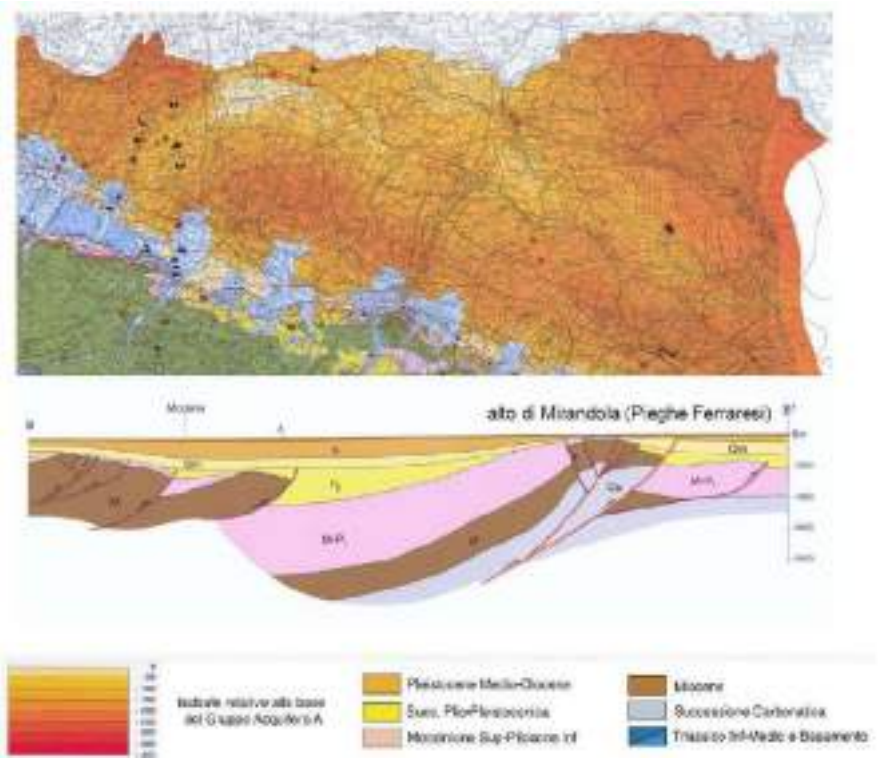


Figura 7 Schema geologico del sottosuolo nel settore Emiliano - Ferrarese da Boccaletti et al., 2004, Carta Sismo tettonica della Regione Emilia-Romagna

Con il Pleistocene si instaura un nuovo ciclo sedimentario (Qm, Ricci Lucchi et al., 1982), che porta al colmamento del Bacino Padano in un regime di subsidenza generalizzata. Gran parte delle aree in precedenza emerse vengono ricoperte dal mare ed inizia una sedimentazione nettamente sabbiosa. Tale sedimentazione grossolana prosegue poi, ininterrottamente, fino all'attuale: in essa, però, si passa da facies torbiditiche di bacino a facies di scarpata, poi costiere ed infine alluvionali, pur rimanendo in

termini sabbiosi. Successivamente, la sedimentazione diviene esclusivamente continentale, e prosegue con i depositi fluvio-lacustri delle Alluvioni Padane (Qc, Ricci Lucchi et al., 1982). I sedimenti sabbiosi, limosi ed argillosi, che riempiono la parte più superficiale del bacino, sono stati depositi dal fiume Po e dagli altri fiumi tributari che provengono dalla catena Appenninica (Dondi et al., 1982; Pieri, 1984; Dondi e D'Andrea, 1986; Ori, 1993; Vittori e Ventura, 1995; Amorosi et al., 1999). Nel Pleistocene medio, quindi, la prosecuzione del sollevamento comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia a sedimentarsi il Supersintema Emiliano Romagnolo. I depositi del Quaternario, soprattutto del Pleistocene medio-superiore, rappresentano degli accumuli disposti in amplissime ondulazioni, con geometrie lenticolari che indicano il colmamento delle depressioni residue dei bacini pliocenici precedenti.

In accordo con il quadro generale, i depositi vengono descritti dalla cartografia 1:250.000 dell'Emilia – Romagna come depositi continentali e costieri.

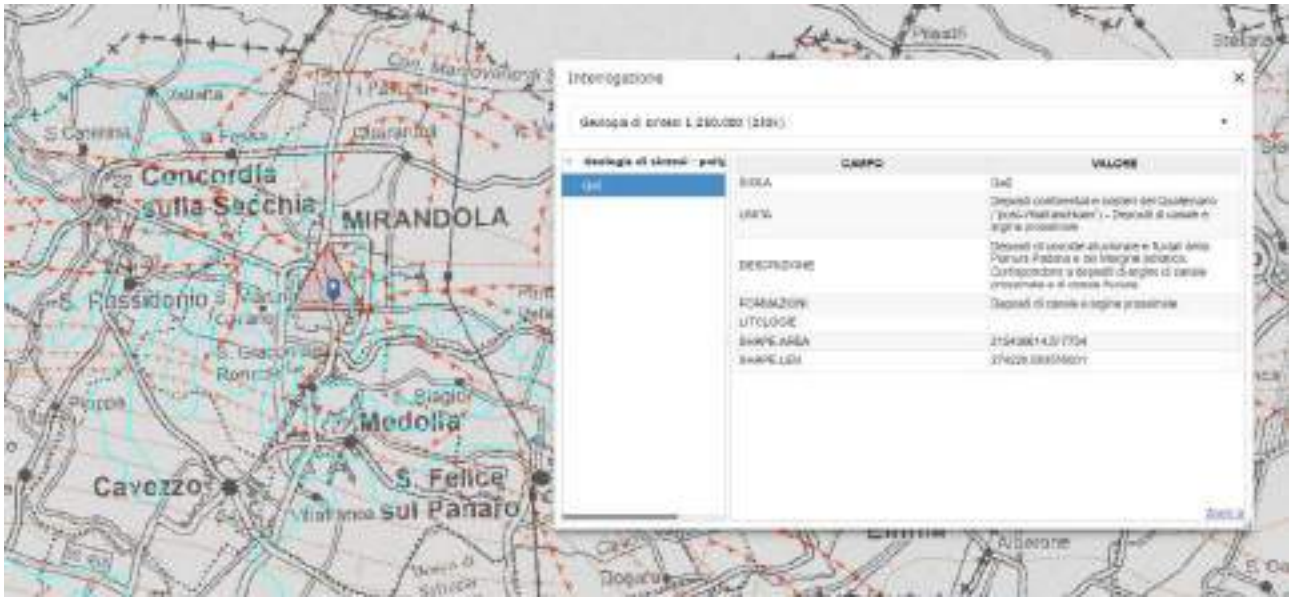


Figura 8 - Cartografia geologica scala 1:250.000 e maggiori lineamenti tettonici

2.1. Inquadramento idrogeologico

La pianura modenese si sviluppa ai piedi della catena appenninica, dove affiorano le formazioni argillose del ciclo plio-pleistocenico, che rappresentano la base delle alluvioni pleistoceniche superiori ed oloceniche costituenti la pianura. Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna.

L'acquifero A corrisponde al sintema Emiliano-romagnolo superiore, il B a quello inferiore e il C a diverse unità affioranti in Appennino, la più recente delle quali è quella delle sabbie gialle Imola.

All'interno dei gruppi acquiferi vengono contraddistinti i complessi acquiferi: unità idrostratigrafiche gerarchicamente inferiori corrispondenti ad una sequenza deposizionale.

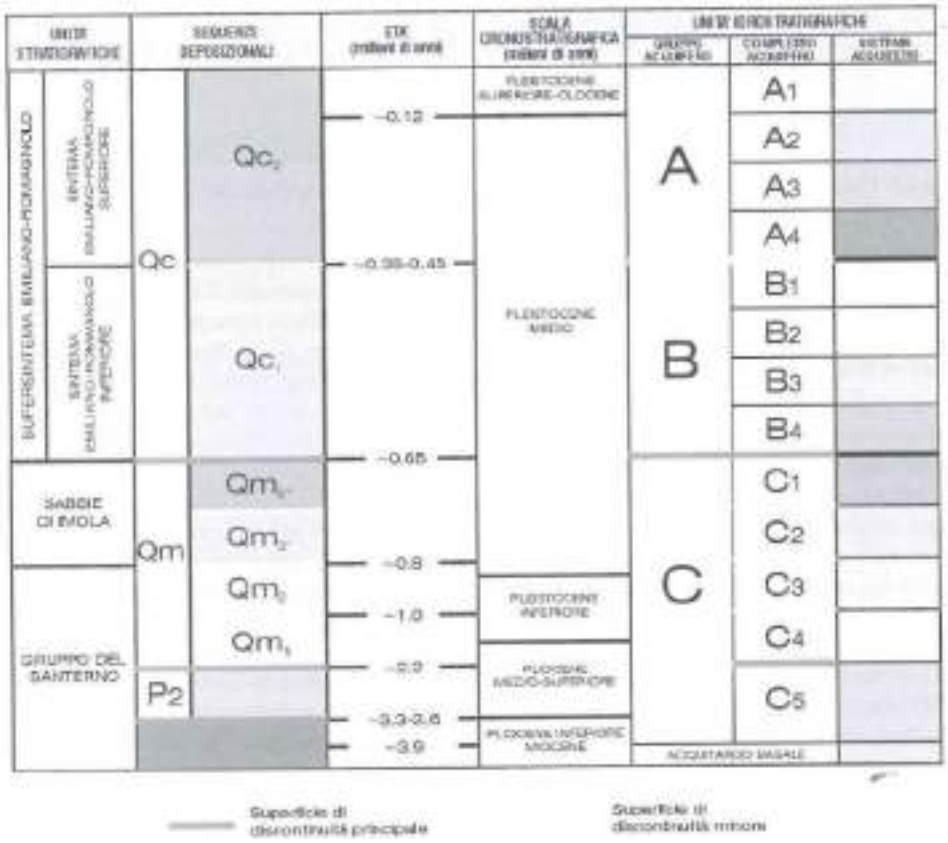


Figura 9 Stratigrafia per il sottosuolo padano (Regione Emilia - Romagna e ENI - Agip, 1998)

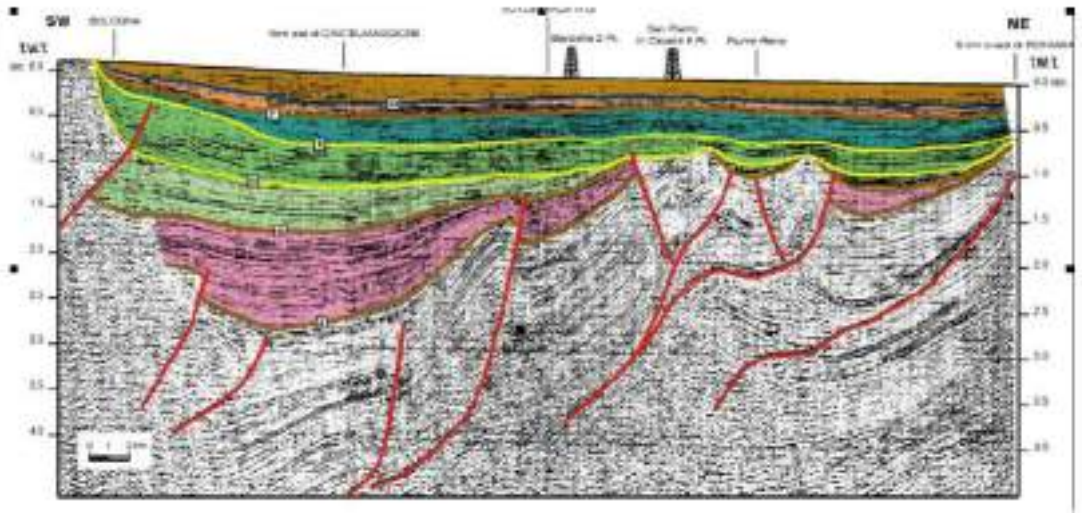


Figura 10 Sezione sismica AGIP

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO

3.1. Pericolosità sismica di base

La caratterizzazione sismica del sottosuolo dell'elaborato 12-L19.PE.PS.06.01.A0A, allegato alla presente Relazione Geologica, è stata eseguita secondo le NTC del 2008, verrà per tanto di seguito aggiornata secondo la normativa vigente (NTC 2018).

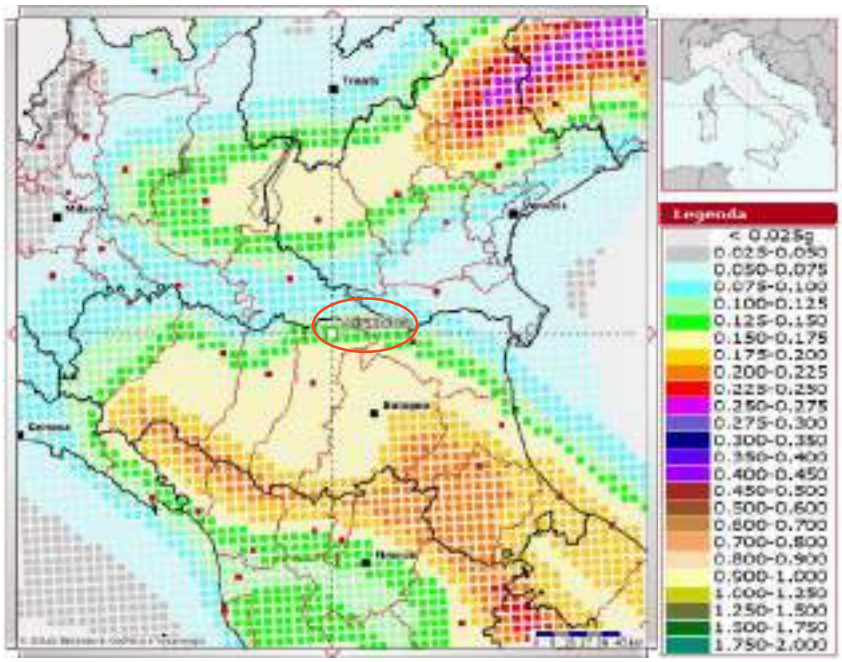


Figura 11 Pericolosità sismica del comune di Mirandola per Vr = 50 anni e Pvr 10%

Vengono forniti di seguito, per le coordinate del comune di Mirandola, e per determinati periodi di ritorno TR i valori dei parametri ag, F0 e T*C su sito di riferimento rigido orizzontale utilizzati per definire le forme spettrali ottenuti utilizzando il comprovato foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

-ag accelerazione orizzontale massima al sito;

-F0 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

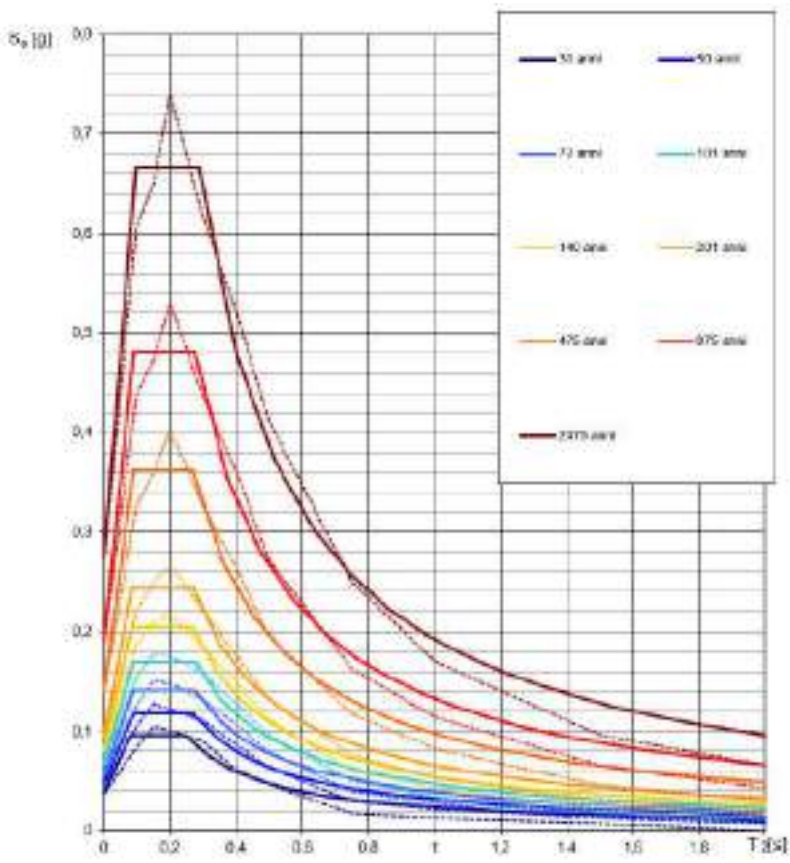


Figura 12 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno Tr di riferimento

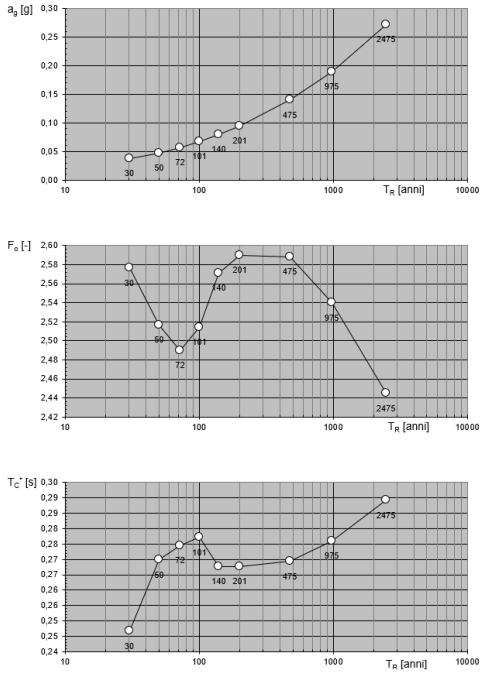


Figura 13 – Variabilità valori dei parametri ag, f0 e Tc con il periodo di ritorno Vr*

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,037	2,577	0,247
50	0,047	2,517	0,270
72	0,057	2,490	0,274
101	0,067	2,514	0,277
140	0,080	2,571	0,268
201	0,095	2,590	0,268
475	0,140	2,588	0,269
975	0,189	2,540	0,276
2475	0,273	2,445	0,289

Figura 14 - Valori dei parametri ag, F0 e Tc per i periodi di ritorno di riferimento.*

3.2. Classificazione stratigrafica e topografica del sito

Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II delle NTC18 si può fare riferimento ad un approccio semplificato per la definizione dell'azione sismica di progetto che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs,eq.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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.
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.
D	*Depositi 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.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 15 – Tabella categorie di sottosuolo NTC18

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

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

Dove:

hi spessore dell'i-esimo strato

Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato (m/s)

N numero di strati

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m la velocità equivalente delle onde di taglio Vs, eq è di fatto definita dal parametro Vs,30 ottenuto ponendo H=30 m nell'espressione della Vs,eq.

Si è proceduto a classificare il terreno sulla base della Vs,30 calcolata sui risultati delle velocità delle onde di taglio a diverse profondità determinate dalle prove sismiche effettuate durante la campagna di indagini geognostica del 2012.

Si rimanda alla lettura dell'allegato A per tutte le specifiche.

In particolare:

Tabella 1 – Valori di Vs,30

PROVA	VS,30
HVSR1	**199 m/s**
HVSR2	**205 m/s**
MASW	**202 m/s**

Al fine di considerare i fattori stratigrafici e topografici che concorrono a modificare l'azione sismica sito-specifica, i terreni vengono classificati nella **categoria di sottosuolo C** (*Tabella 3.2. II NTC 2018*) sulla base della Vs,eq come richiesto dalle NTC 2018 e nella **categoria topografica T1** (*Tabella 3.2.IV NTC 2018*) poiché ci si trova in corrispondenza di superficie pianeggiante.

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 16 **Tabella 3.2. II NTC18 Categorie di sottosuolo**

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

Figura 17 Categorie topografiche secondo NTC 2018

4. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

L'area, come mostra lo stralcio della "Carta di Microzonazione sismica Livello 3" riportata di seguito (sintesi per il Piano Strutturale Comunale) è interessata da effetti locali.

Figura 18 Stralcio carta di microzonazione sismica – Livello 3.

Non è stato di fatti possibile omettere la verifica di sicurezza nei confronti della liquefazione, in quanto il sito non ricade in nessuna delle quattro condizioni previste al §7.11.3.4.2 delle NTC 2018 e presenta anzi una serie di fattori predisponenti per la probabilità di liquefazione:

- Strati limoso/sabbiosi;
- Presenza della falda;
- Accelerazioni massime attese superiori a 0.15 g.

Sono state per tanto prescritte due prove CPTU ad integrazione della campagna geognostica precedentemente svolta per lo studio di suscettibilità del sito nei confronti della liquefazione basato sui dati attuali del livello di soggiacenza della falda a -1,60 da p.c. per il quale si rimanda all'allegato B.

Si riportano nell'allegato i grafici complessivi relativi alle prove CPTU-1 e CPTU-2 e ai valori ottenuti dell'indice di rischio del potenziale di liquefazione.

Secondo le normative europee (EC08) un terreno è suscettibile di liquefazione quando lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico (CSR ≥ 0.80 CRR) e il Fattore di Sicurezza deve risultare ≤ 1,25. Complessivamente, i grafici mostrano una situazione con basso rischio di liquefazione, salvo per un piccolo strato dello spessore di circa 0,50 m posto tra gli 11,00 e 12,00 m di profondità che supera puntualmente tale valore massimo di Fattore di Sicurezza. Lo scrivente non ritiene comunque che tale strato sia particolarmente incisivo sul comportamento globale del volume di terreno a causa del suo scarso spessore e della profondità elevata rispetto alla quota di imposta della fondazione superficiale.

Inoltre, i valori dell'indice di Sonmez (potenziale di liquefazione) sono risultati sempre inferiori a 5, ovvero ricadenti in un intervallo nel quale la liquefacibilità è considerata come poco probabile nei principali riferimenti bibliografici sul tema.

5. RISCHIO ALLUVIONI

Lo stralcio della carta sotto riportata configura il quadro conoscitivo della pericolosità di alluvioni relativa al reticolo secondario artificiale dei canali di bonifica; è presente nei pressi del sito oggetto del presente studio il canale Sabbioncello (circa 400 m). La zona di San Giacomo di Roncole (MO) si trova all'interno della zona P2-M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità).

Viene riportata in allegato la carta integrale.

Figura 19 Stralcio carta 183SE

ALLEGATO A

"Relazione geologica sulle indagini"

geofisica
geologia
ambiente

RELAZIONE GEOGNOSTICA SULLE INDAGINI ESEGUITE IN SITO

MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DI TERRENO INTERESSATO DALLA MESSA IN SICUREZZA DI UN CAPANNONE ESISTENTE

ANALISI SISMICA DEL SITO RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

D.P.R. 380/2001
DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008
Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"
CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617
Atto C.P. 112 del 22/07/2008 di Adozione della Variante Generale al P.T.C.P. della Provincia di Modena approvato con D.C.P. n°46 del 18/03/2009

COMMITTENTE: BARALDINI QUIRINO S.P.A.

CANTIERE : Via Luciano Minelli – San Giacomo Roncole - MIRANDOLA –

DATA: GIUGNO 2012

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA 03042940365 – Tel 3356386878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

1.PREMESSA pag.3
2.RIFERIMENTI NORMATIVI pag.3
3.MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA pag.4

3.1INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO pag.4
3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA pag.6
3.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE pag.8
3.4 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA pag.9
3.5 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI pag.10
3.6 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO pag.13

4. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO pag.14

4.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO pag.14
4.1.1 Cenni sulla sismotettonica della pianura padana *pag.14*
4.2 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO pag.16
4.2.1. Definizione categoria sismica mediente analisi HVRS del sottosuolo e mediante analisi onde di superficie MASW *pag.16*
4.2.1.1Prospezione sismica HVSR – Cenni di teoria pag.16
4.2.1.2 Effetti di percorso peg.16
4.2.1.3 Definizioni. peg.17
4.2.1.4 Tecnica impiegata pag.17
4.2.1.5 Strumentazione - Caratteristiche del campionamento ed elaborazione pag.18
4.2.1.6 Schede di acquisizione elaborazione e interpretazione pag.18
4.2.2 MASW - In Onde Rayleigh *pag.21*
4.2.2.1 Schede di acquisizione elaborazione e interpretazione pag.22
4.2.3 Modello sismico del sottosuolo *pag.23*
4.3 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE pag.28
4.3.1 Spettri Di Risposte Elastici *pag.29*
4.3.2 Analisi Del Rischio Di Liquefazione Da Prove In Sito *pag.32*

5.CONCLUSIONI pag.38

ALLEGATI pag.43

G G A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel 3356388873 – email:soc.geoprogetti@tin.it

1.PREMESSA

Su incarico e per conto del Committente si produce una modellazione geologica del sito, una analisi di pericolosità sismica locale riportando gli effetti attesi e una caratterizzazione geotecnica del volume significativo di terreno interessato dalla messa in sicurezza di un capannone esistente in elementi prefabbricati sito in Via Luciano Minelli in frazione di San Giacomo Roncole, in Comune di Mirandola.
La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del volume di terreno influenzato dalla struttura su cui operare sono ricavati dai risultati di n. 2 prove penetrometriche statiche di tipo meccanico, eseguite in sito in data 26/06/2012 dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla.
Le prove sono state spinte alla profondità di - 35.00 m per la definizione in dettaglio delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche fino a tale quota.
Al fine di produrre un analisi di pericolosità sismica locale, determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono realizzate in data 25/06/2012 n. 2 prove di sismica passiva con tomografo digitale modello TRZ-0121/01/11 progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico e un rilievo geofisico in onde di superficie MASW con strumento SoilSpy Rosina modello SAB-0019/02-11.
Le prove sismiche sono state realizzate dallo Studio Geologico del Dott. Salvatore Mucci di Castelfranco Emilia (MO).

Scopo dell'indagine è stato fornire un modello geologico dell'area in epigrafe, una caratterizzazione geotecnica del volume di terreno influenzato dalla costruzione di progetto e un analisi di pericolosità sismica locale che riporti il valore dell'accelerazione di propagazione delle onde sismiche attesa al suolo rigido di riferimento, il valore di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso, il valore di accelerazione atteso in superficie, il valore della frequenza fondamentale del sito e gli spettri di risposta. In dettaglio si condurrà anche un'analisi di rischio liquefazione dei terreni sabbiosi saturi presenti .

Il rapporto delle prove penetrometriche statiche eseguite in sito e l'ubicazione delle indagini sono allegati alla presente relazione. All. n. 1 e 2 .

2.RIFERIMENTI NORMATIVI

D.P.R. 380/2001
DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008
Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"
CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617
Atto C.P. 112 del 22/07/2008 di Adozione della Variante Generale al P.T.C.P della Provincia di Modena approvato con D.C.P. n°46 del 18/03/2009

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA - MODENA -
P.IVA: 03042940368 – Tel. 3356386678 – email:soc.geoprogetti@tin.it

3.MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

3.1INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO

La zona oggetto di studio si trova a sud rispetto il centro cittadino di Mirandola in zona artigianale ed industriale nella frazione di San Giacomo Roncole.
Le coordinate geografiche dell'area sono 44°52' 06.85"N e 11°03'17.29"E .
Il sito ha accesso da Via Luciano Minelli, laterale di Via di Mezzo.
I centri abitati vicini sono:
Mirandola a circa 2.40 Km a nord
Medolla a circa 2.50 Km a sud-sud-est
San Possidonio a circa 5.20 Km a ovest-nord-ovest
San Biagio a circa 5.40 Km est
Oltre che a varie case sparse di campagna.
Il territorio del Comune di Mirandola è situato a Nord della provincia di Modena e ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".
L'area, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena redatto nel Marzo 2000, ricade nell'Unità di Paesaggio indicata con il numero 2 " Dossi e zone più rilevate nella Bassa e Media Pianura".
Nell'ambito del PTCP per unità di paesaggio è stato inteso individuare un territorio che presenta elementi omogenei nel paesaggio che ha subito la stessa formazione ed evoluzione.
I caratteri ambientali dell'Unità di Paesaggio n. 2 sono caratterizzati dalla trama degli antichi paleoalvei fluviali, morfologicamente emergenti sull'intorno delle arse vallive riscattate dalla bonifica. Sono presenti vari dossi con disegno complesso e con digitazioni dall'andamento vario; le caratteristiche morfologiche dei dossi hanno determinato storicamente la disposizione delle infrastrutture e degli insediamenti per evidenti ragioni di sicurezza nei confronti della divagazione delle acque, prima e durante le grandi opere di bonifica.
I principali caratteri ambientali sono una limitata vegetazione spontanea, a seguito dell'estensione delle coltivazioni agrarie su tutto il territorio, a quella erbacea tipica degli ambienti umidi e dei canali. E' quasi assente la vegetazione arborea, che attualmente ha un carattere marginale ed è costituita da alberi isolati peraltro molto radi. La fauna è quella tipica delle campagne coltivate con una concentrazione di fauna ornitica di passo e stanziale, in corrispondenza delle zone umide.
L'orientamento produttivo prevalente è il seminativo estensivo con pressochè totale assenza della zootecnia e rarefazione delle produzioni frutticole, mentre sui dossi le caratteristiche pedologiche, generalmente buone, favoriscono lo sviluppo di colture orticole e frutticole di maggior pregio e coltivazioni di tipo intensivo rispetto alle adiacenti zone vallive.
L'orientamento agronomico prevalente delle aziende è a carattere viticolo e zootecnico. Sono presenti anche aziende di grandi dimensioni a carattere misto, in cui permane anche la produzione frutticola, ed aziende di tipo estensivo a seminativi.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. MM - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

Nel PRG Vigente l'area di ubicazione della struttura è classificata in zona omogenea D2, artigianali e industriali prevalentemente edificate, (art.52).

Piano Regolatore

Variante Generale

- *Zona omogenea B5 soggetta a disciplina conservativa (ART.47 nf.61)*
- *Zona omogenea C3 (ART.51)*
- *Zona omogenea D2 artigianali e industriali prevalentemente edificate (ART.52)*
- *Zona omogenea F/G1 servizi e attrezzature (ART.62)*
- *Zona destinata a Parcheggi pubblici (ART.63)*
- *Area per viabilità e parcheggi (ART.64)*
- *Zona omogenea F/G3 impianti sportivi e parchi (ART.63)*
- *Con presenza di vegetazione da salvare (ART.28)*
- *Zona di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua (ART.28)*

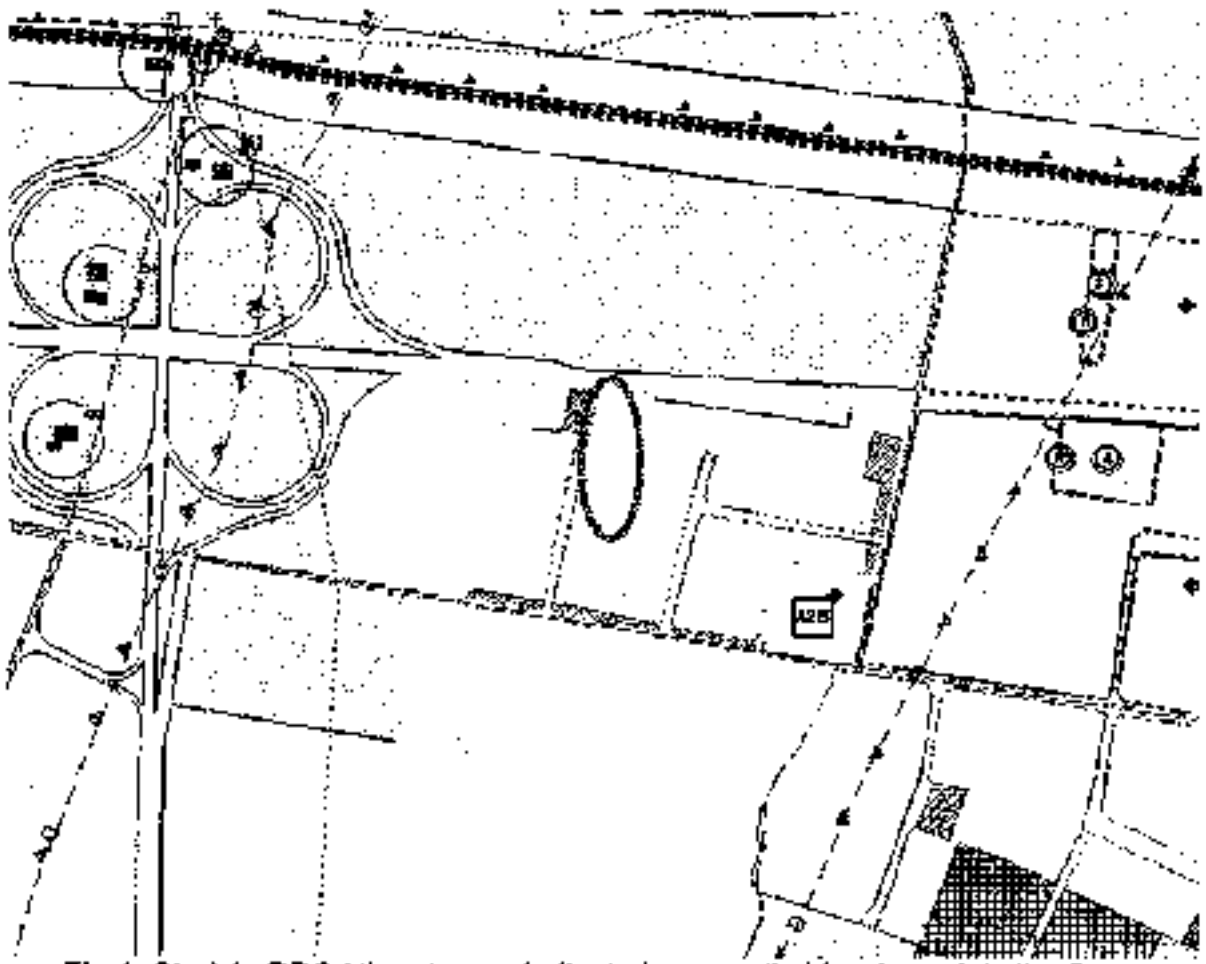


Fig 1: Stralcio PRG Vigente con indicata la zona di ubicazione del sito di intervento

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M 41036 MEDOLLA – MODENA
P.IVA 03042940365 – Tel. 3356388878 – email.soc.geoprogetti@tin.it

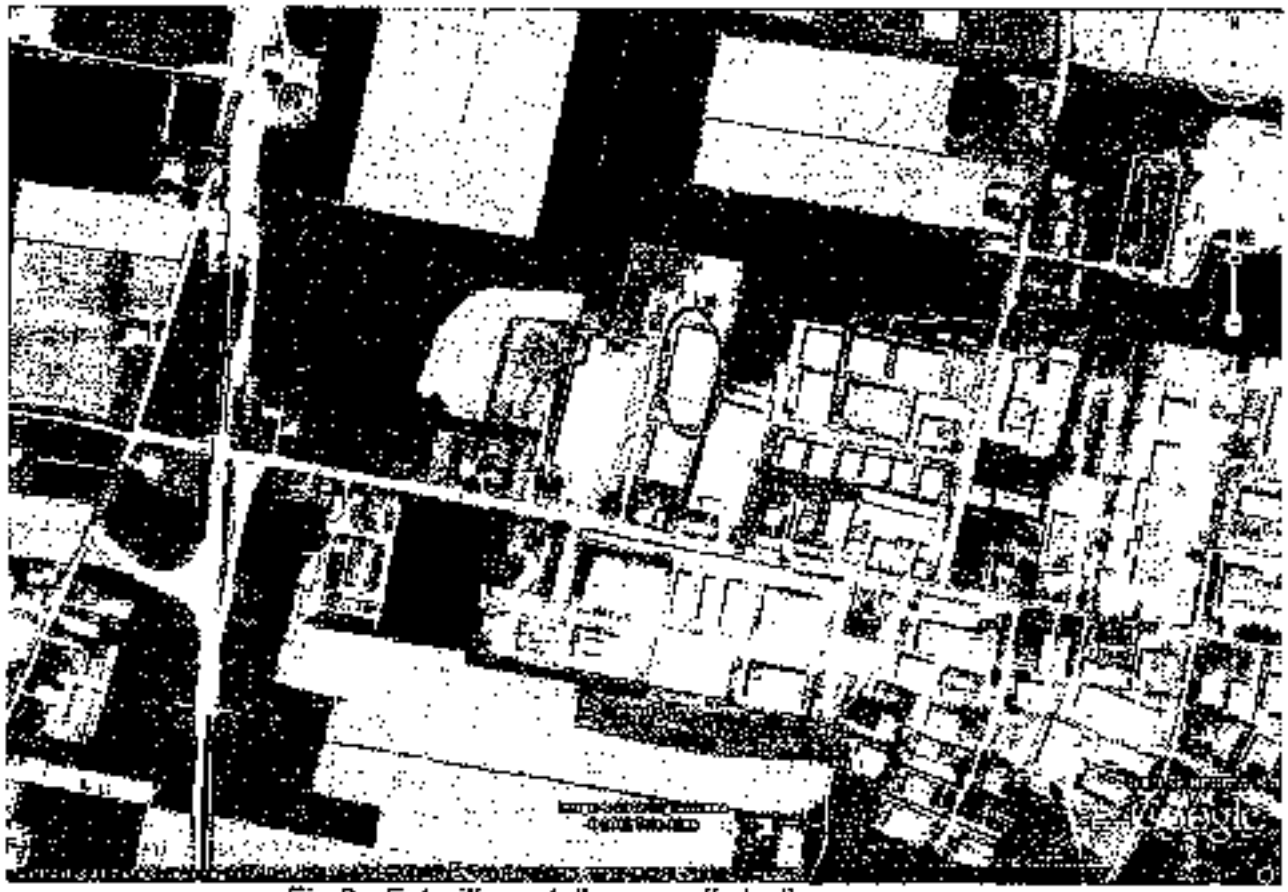


Fig.2: Fotorilievo della zone di studio.

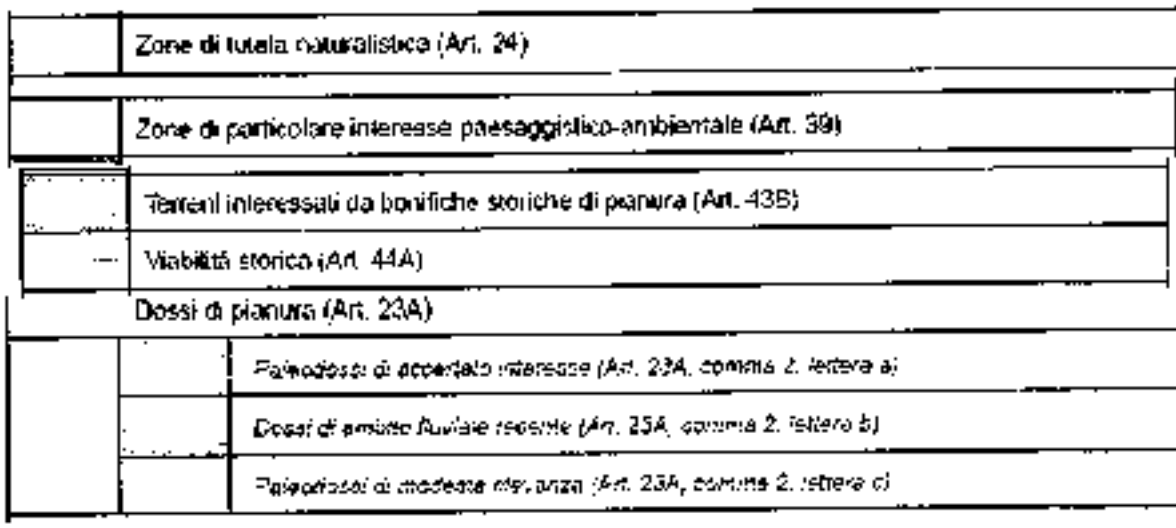
3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il Comune di Mirandola è inserito nella pianura alluvionale entro la quale, negli ultimi 4.000-5.000 anni dell'Olocene, gli affluenti appenninici del fiume Po (particolarmente il Panaro nell'area di studio), hanno determinando l'attuale assetto morfologico ed altimetrico del territorio che, a sua volta, dipende dai movimenti tettonici, dalla subsidenza naturale e dall'intervento antropico.
I fiumi che scorrono in questa porzione di bassa pianura (particolarmente il fiume Panaro nell'area di studio) si trovano in uno stadio di maturità evolutiva in cui la fase deposizionale prevale su quella erosiva a causa della bassa capacità di deflusso e della esigua capacità di trasporto; questo quadro è confermato dalla presenza di meandri e di alvei pensili che hanno reso necessaria la costruzione di argini artificiali.
In assenza di argini artificiali i fiumi tendono a divagare e quando le acque di piena traboccano si verifica un deposito differenziato con la sedimentazione di elementi fini o grossolani in funzione della diversa energia cinetica della corrente. In prossimità dell'alveo il fiume tende a depositare materiali più grossolani formando dossi di tracimazione (argini naturali), oltre che ventagli e canali di esondazione in corrispondenza delle rotte; tali emergenze

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Canova n. 1/M - 41035 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel 3350368878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

morfologiche si manifestano sia lungo i corsi attuali dei fiumi che in corrispondenza di alvei abbandonati (paleoalvei).
Nelle aree distali più depresse, poste tra un fiume e l'altro, l'energia cinetica della corrente diminuisce ed i depositi si fanno sempre più fini per diventare prevalentemente argillosi nelle basse dove la prolungata permanenza delle acque favorisce la sedimentazione delle particelle in sospensione; per la maggiore costipabilità dei materiali fini rispetto a quelli sabbiosi, si determina poi un aumento dei dislivelli fra i dossi dei paleoalvei e le valli, oltre che fra la rete idrografica ed il livello medio del territorio.
In questa situazione, in concomitanza con gli eventi alluvionali, è possibile che un fiume cambi il suo percorso.
Nell'area di studio abbondanti sono i paleoalvei la cui datazione ed attribuzione idrografica è stata oggetto di studio da parte di autori che si sono occupati della ricostruzione paleoidrografica della zona: Pellegrini (1969), Veggiani (1947), Castaldini e Alii (1979), Cremaschi ed Alii (1980), Gasperi e Pellegrini (1981, 1984).
I paleoalvei sono aree generalmente più elevate di qualche metro rispetto al contorno, la tessitura granulometrica risulta variabile dal franco al franco - sabbioso; sono zone di infiltrazione meteorica con percentuali variabili dal 20 - 30 % del totale.
In questo meccanismo "naturale" è intervenuto l'uomo che, innalzando argini artificiali ed emungendo acqua dal sottosuolo, accelerando i processi di costipazione e di subsidenza, ha modificato la dinamica deposizionale e quindi l'assetto morfologico del territorio.
La costruzione di argini artificiali, in questa zona, si è completata nel XV secolo; a partire da questo periodo i fiumi sono stati canalizzati entro percorsi ben definiti e non hanno più avuto la possibilità di aprirsi, dopo un rotta, nuovi percorsi. Di conseguenza le alluvioni degli ultimi 500 anni hanno determinato un classamento ben preciso dei depositi per cui troviamo sedimenti più grossolani e sedimenti più fini rispettivamente nelle vicinanze e nelle zone più lontane dai percorsi attuali dei fiumi; questo spiega perchè antichi dossi corrispondenti a paleoalvei siano stati ricoperti da sedimenti più fini che hanno notevolmente uniformato la morfologia dell'area.
Altre morfologie del territorio sono le aree di bassa o valli, depressioni in cui le acque sino all'inizio del secolo scorso ristagnavano permanentemente e per un lungo periodo dell'anno e sono state bonificate in tempi recenti. Tali zone, come già descritto, hanno generalmente elevati contenuti in argilla.
Altre forme di notevole interesse sono i numerosi ventagli d'esondazione che indicano che in quel punto del fiume si è verificata una rotta non contrastata da interventi di riparazione degli argini.
La zona si trova ubicata in un'area priva di strutture geomorfologiche importanti, come indicato nell'estratto della carta "Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali" del PTCP della Provincia di Modena approvato il 18 Marzo 2009 di cui si riporta uno stralcio.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA. 03042940365 – Tel. 3356388878 – email soc.geoprogetti@tin.it



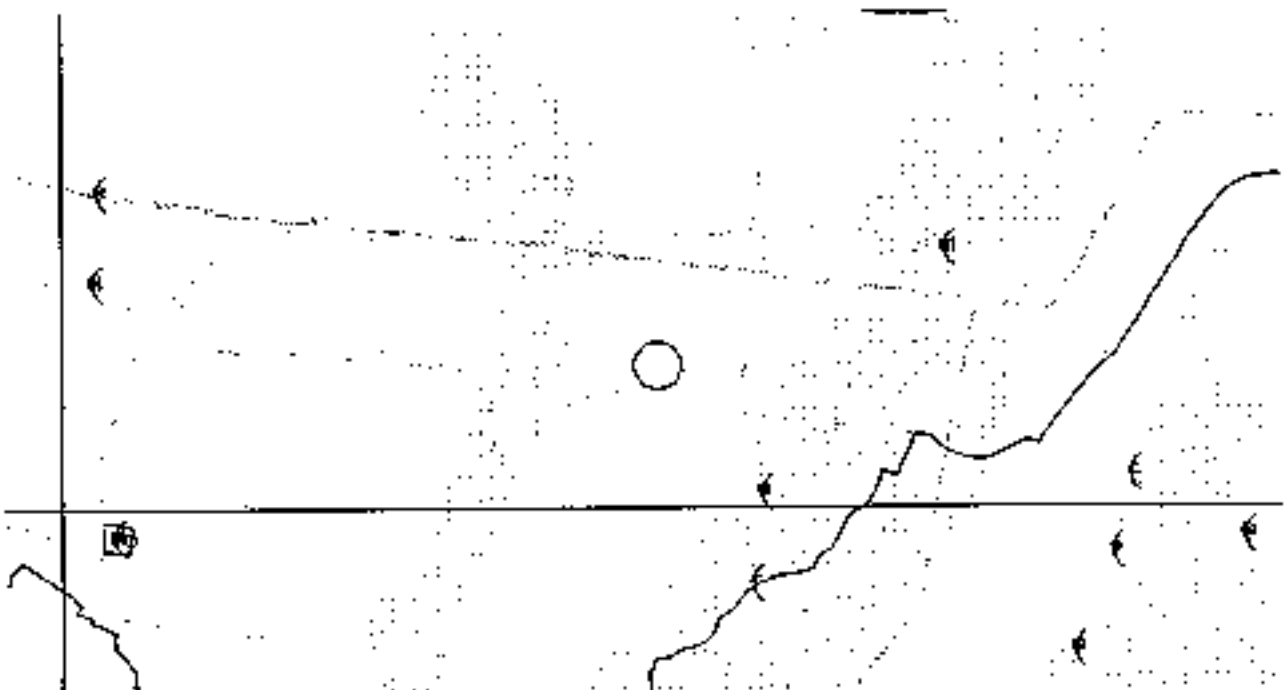


Fig.3: Estratto della tav. 1.1.02 PTCP "Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali" del PTCP.

3.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE

Sulla base del contesto geologico dell'area e del tipo di caratterizzazione geotecnica richiesta, l'indagine in sito è stata condotta mediante esecuzione di numero 2 prove penetrometriche statiche.
Le prove sono state realizzate con un penetrometro statico da 300 KN dotato di punta meccanica " jacket friction cone " in cui l'avanzamento automatico è regolato da centraline elettroniche.

G G A S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41035 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 - Tel. 3356368878 – email: soc.geoprogetti@tin.it

La prova penetrometrica statica consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta.
L'infissione avviene tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste su cui è montata la punta a velocità costante di 2 cm/s con una tolleranza di ± 5 mm/s, l'avanzamento è automatico e regolato da centraline elettroniche.
Il penetrometro meccanico possiede il manicotto di attrito che si muove indipendentemente dalla punta secondo il metodo Begemann.
Lo sforzo per l'infissione della punta è misurato mediante manometri collegati al martinetto che esercita la spinta. L'acquisizione dati viene rilevata da manometri meccanici a bagno d'olio con sensibilità minima pari a 0.1 Bar.
Le caratteristiche del penetrometro statico olandese tipo Gouda sono:

- punta conica meccanica ϕ = 35.7 mm - angolo di apertura α = 60° - area punta Ap = 10 cm^2
- manicotto laterale di attrito tipo "Begemann" ϕ = 35 7 mm. – h = 133 mm. – sup.lat. Am = 150 cm^2
- le aste sono doppie: una cava ϕ = 36 mm. e una, il cui diametro è tale da essere contenuta all'interno delle aste cave

Durante l'esecuzione della prova ogni 20 cm vengono lette nei manometri la resistenza all'avanzamento della sola punta L.punta, la resistenza dell'avanzamento della punta e del manicotto L.laterale e la resistenza totale all'avanzamento delle sole aste cave.
Nei diagrammi vengono rappresentati:

- la resistenza alla punta qc in MPa
- la resistenza laterale locale fs in MPa
- la linea a destra rappresenta il rapporto qc/fs (numero puro).

3.4 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

La natura litologica dei terreni oggetto delle prove penetrometriche è dedotta dall'analisi dei diagrammi penetrometrici mediante "Guide for estimating soil type from dutch friction-cone ratio" (after Schmertmann, 1969), Raccomandazioni A.G.I. 1977.
Le sequenze stratigrafiche si presentano omogenee nei due punti indagati.
Al di sotto del riporto dello spessore di 0.60 m, fino alla quota di – 5.60 si trovano argille limose poco consistenti con livelli organici soffici e comprimibili;
da – 5.60 a – 8.00 m argille compatte;
da – 8.00 alla profondità variabile da – 13.40 m (prova n.1) a – 15.80 m (prova n. 2) sabbie inizialmente poco addensate poi addensate;
seguono, dopo il livello di sabbie, nuovamente argille compatte intercalate da rari livelli limosi;
da – 24.20 fino alla profondità indagata dalle prove (- 35.00 m) si trovano sabbie addensate.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA 03042940365 – Tel 3356398878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

Di seguito si riporta lo schema della sequenza stratigrafica dedotta dalla CPT n. 2 che si differenzia dalla sequenza ricavata dalla CPT n. 1 solo per lo spessore del livello sabbioso più superficiale.

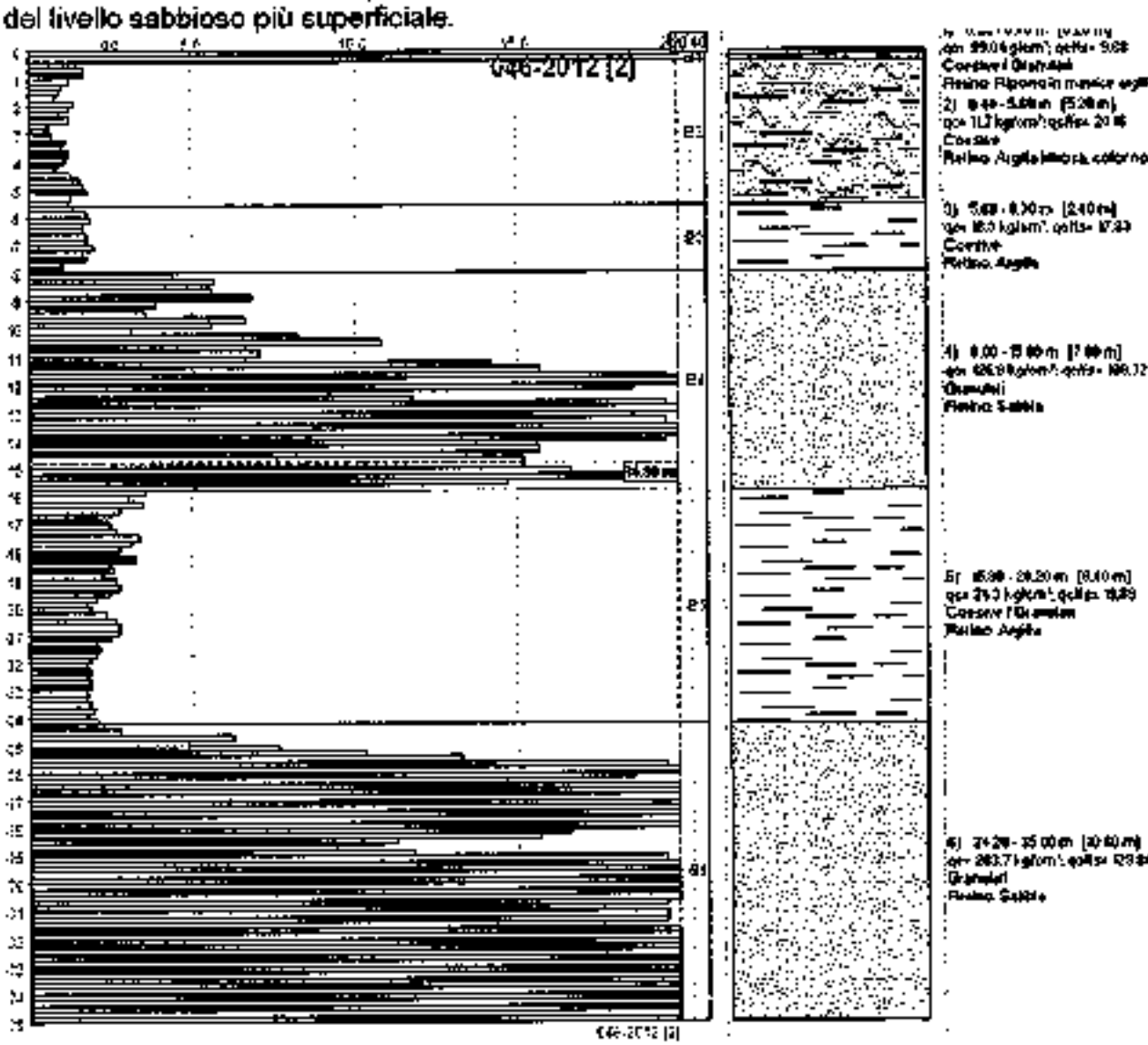


Fig.4: Schema sequenza stratigrafica CPT

La stratigrafia di dettaglio è riportata nei diagrammi delle valutazioni litologiche e nelle tabelle dei parametri geotecnici. All. n. 3 e 4.

3.5 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI

Al fine di caratterizzare i singoli strati della sequenza litologica riscontrata dalle indagini si riportano nella tabella di seguito i parametri geotecnici (valori meccanici del terreno) **medi** per ogni singolo strato individuato .

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042540365 – Tel. 3358368878 – email.soc.geoprogetti@lin.it

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
SEZIONE GEOTECNICA

riferimento : 046-2012

Committente: BARALDINI QUIRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Mirelli
Località: MIRANDOLA Via Mirelli

U.M.: MPa

Prova 046-2012 | |

		NATURA COESIVA									NATURA GRANULARE									
Prof. m	Prof. m	qc MPa	qc/fs	γ' kN/m³	σ'v0 MPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR	Eu50 MPa	Eu25 MPa	Mo MPa	Dr %	φ'c °	φ'p °	φ'k °	cOB °	φ'M °	φ'Ma °	F.L.	E'50 MPa	E'25 MPa	Mo MPa
0.20	0.60	7.4	127.6	18.1	11	195	–	–	–	–	–	97	43	48	39	36	43	52	2.00	10.62	10.93	19.11
0.60	5.80	1.1	21.2	18.5	91	181	55	6.3	10.06	20.94	4.12	22	34	27	24	27	34	25	–	1.89	3.62	3.20
5.60	9.00	1.9	17.4	19	87	185	76	6.3	15.76	35.65	5.94	32	36	28	25	27	29	29	–	3.58	5.49	4.69
9.00	13.40	10.8	58.5	19.9	125	224	114	2.4	25.19	57.75	10.79	68	39	31	28	27	36	34	–	47.56	23.93	33.27
13.40	24.20	2.4	20.8	19	203	270	69	2.0	44.95	69.27	6.06	18	32	27	19	19	26	26	–	4.71	8.07	6.49
24.20	35.00	23.0	138.4	11.1	319	288	–	–	–	–	–	70	40	34	29	29	35	37	–	38.61	54.97	58.66

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
SEZIONE GEOTECNICA

riferimento : 046-2012

Committente: BARALDINI QUIRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Mirelli
Località: MIRANDOLA Via Mirelli

U.M.: MPa

Prova 046-2012 | |

		NATURA COESIVA									NATURA GRANULARE									
Prof. m	Prof. m	qc MPa	qc/fs	γ' kN/m³	σ'v0 MPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR	Eu50 MPa	Eu25 MPa	Mo MPa	Dr %	φ'c °	φ'p °	φ'k °	cOB °	φ'M °	φ'Ma °	F.L.	E'50 MPa	E'25 MPa	Mo MPa
0.20	0.60	5.8	9.7	18.1	3	219	327	19.9	65.53	83.32	29.40	100	45	48	43	40	45	56	–	19.25	24.50	58.46
0.40	5.60	1.1	20.2	18.3	49	181	53	11.8	10.16	19.17	4.26	16	33	26	22	21	26	25	–	1.80	3.70	3.23
5.60	9.00	1.6	17.0	19	87	184	95	4.7	25.76	35.64	5.17	11	33	24	20	19	27	27	–	2.64	3.92	4.19
9.00	15.60	12.4	109.2	18.1	136	255	73	5.8	21.01	60.58	8.10	67	39	32	28	27	36	35	–	21.18	31.79	36.85
15.60	24.20	2.4	19.8	19	281	179	39	2.8	47.74	71.61	7.30	6	32	22	19	19	26	25	–	4.34	6.51	7.91
24.20	35.00	23.0	131.0	18.1	344	284	96	1.3	54.01	81.01	6.35	65	39	30	27	25	34	37	–	33.27	45.00	50.66

Fig.5:Valori GEOTECNICI MEDI per ogni strato riscontrato in entrambe le sequenze litologiche dedotte dalle due prove.

Per quanto attiene ai parametri geotecnici caratteristici, con il DM 2008 si ragiona in termini non più di valori deterministici, ma in termini di variabili aleatorie, cioè le resistenze dei terreni vengono scelte secondo una stima cautelativa del valore medio delle stesse.
Stima cautelativa perché la variabile può essere rappresentata da più parametri ma la trattazione deve necessariamente riguardare tutti i possibili valori della variabile, e non solo il valore atteso (media), deve cioè tener conto di tutta la distribuzione della variabile.
La variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati coesivi** studiati per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito è il **parametro geotecnico caratteristico cu**; la variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati sciolti studiati** per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito è **il parametro geotecnico caratteristico ϕ**.
Il valore caratteristico scelto è pari al 5° percentile della media della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) per gli strati coesivi, è pari invece al 5° percentile della media della distribuzione normale del parametro geotecnico ϕ per gli strati sciolti.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetto@tin.it

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) è :

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y},S^2)=\bar{Y}+\frac{S^2}{2}-\frac{t_{1-\alpha}(n-1)}{\sqrt{n}}\cdot\sqrt{S^2\left(1+\frac{S^2}{2}\right)}$$

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione normale del parametro geotecnico (ϕ) è :

$$\mu=t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right)+\bar{x}$$

I dati immessi nei calcoli sono i valori di cu e di ϕ derivati dalle correlazioni dei valori di qc e fs ricavati direttamente dalle prove penetrometriche mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 – Marsal et al. 1974/1979).

COESIONE NON DRENATA Terreni COESIVI $Cu = P_0/\beta$			
CORRELAZIONI STANDARD - Raccomandazioni A.G.I. 1977 - Ricceri et altri 1974 - Marsland et al. 1974/1979			
- Argille normalmente consolidate N.C.	($qc \leq 10$ kg/cm²)	$\beta = 25$	(valore standard 20)
- Argille intermedie	($10 < qc < 30$ kg/cm²)	β = valore interpolato	
- Argille sovra consolidate S.C.	($qc \geq 30$ kg/cm²)	$\beta = 40$	(valore standard 30)

Fig.6: Correlazioni per il calcolo di cu dei valori di qc e fs.

I valori immessi nella formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione relativi ai parametri geotecnici di interesse sono quelli significativi per i singoli strati indagati.
Lo scopo è fornire un valore di cu e ϕ che caratterizzi lo strato nel suo complesso.
Nei calcoli vengono quindi eliminati, se presenti, i valori di picco di livelli centimetrici non rappresentativi delle caratteristiche litologiche dello strato.
Se si considerano tutti i valori definiti ogni 20 cm dalle prove penetrometriche senza fare un analisi ragionata delle proprietà litologiche dello strato si rischia di ottenere dei parametri geotecnici che falsano le reali caratteristiche dello strato.
I dati immessi nei calcoli sono i valori di cu e di ϕ derivati dalle correlazioni dei valori di qc e fs ricavati direttamente dalle prove penetrometriche e interpretate e "ragionate" dalla scrivente.
Primo strato, da sotto il riporto fino alla quota di – 5.60 m: argille limose poco consistenti con livelli organici soffici e comprimibili: cu_k= 43.90 kPa;
Secondo strato da – 5.60 m a – 8.00 m argille compatte, cu_k= 64.50 kPa;
Terzo strato da – 8.00 a alla profondità variabile da – 13.40 m (prova n.1) a – 15.80 m (prova n. 2) sabbie inizialmente poco addensate poi addensate, ϕ_k= 28.30°;
Quarto strato da – 13.4/15.80 a – 24.20 m argille compatte: cu_k= 72.20 kPa;
Quinto strato da –24.20 a – 35.00 m sabbie addensate, ϕ_k= 30.50°.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 - Tel. 3358388878 – email snc geoprogetti@tin.it

3.6 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Le verifiche con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008 viene eseguite includendo per le azioni e le resistenze, fattori di sicurezza parziali FS applicati a valori medi dei parametri di interesse.
Il fattore di sicurezza globale viene quindi diviso in fattori di sicurezza parziali applicati ai singoli valori caratteristici dei carichi o dei parametri geotecnici in modo che la disequazione finale $E_d \leq R_d$ venga sempre verificata.
Cioè l'effetto delle azioni di progetto (E_d) deve essere sempre non superiore alle Resistenze di progetto (R_d) in condizioni di stabilità della struttura.
Se si utilizza l'approccio 2 proposto dal DM 2008 (A1 combinato con M1 combinato con R3) al parametro geotecnico caratteristico si applicano coefficienti riduttivi uguali all'unità quindi il parametro cu di progetto è uguale al parametro cu caratteristico $cu_d = cu_k$.
Se si utilizza l'approccio 1 combinazione 2 (A2 combinato con M2 combinato con R2), il parametro geotecnico di interesse da utilizzare è quello caratteristico ridotto dal coefficiente di sicurezza parziale definiti nella tabella 6.2.II del DM 2008 e di seguito riportata .

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell' angolo di resistenza di 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	1,0	1,0

I valori di cu e di ϕ di progetto degli strati della sequenza litologica riscontrata nel sito di studio sono:
Primo strato, da sotto il riporto fino alla quota di – 5.60 m: argille limose poco consistenti con livelli organici soffici e comprimibili: cu_d= 31.30 kPa;
Secondo strato da – 5.60 m a – 8.00 m argille compatte, cu_d= 46.00 kPa;
Terzo strato da – 8.00 a alla profondità variabile da – 13.40 m (prova n.1) a – 15.80 m (prova n. 2) sabbie inizialmente poco addensate poi addensate, ϕ_d= 23.30°;
Quarto strato da – 13.4/15.80 a – 24.20 m argille compatte: cu_d= 51.60 kPa;
Quinto strato da –24.20 a – 35.00 m sabbie addensate, ϕ_k= 25.30°.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel 3356388878 – email soc.geoprogetti@tin.it

4. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO

4.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO

Il 20 Marzo 2003 è stata promulgata l'ordinanza n. 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" che fissa le regole per l'identificazione dei comuni sismici e definisce le norme tecniche costruttive per la progettazione di edifici e per le opere di fondazione.
Nella nuova classificazione tutto il territorio viene suddiviso in 4 zone di cui la n. 1 è la più pericolosa.
Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna la novità consiste in un allargamento della zona 3 ed in un ampliamento della zona 2 entro la quale ricadono alcuni comuni.
Il comune di Mirandola la zona d'indagine ricadono nella zona 3 e vengono definiti a *"bassa sismicità"*.
Tale classificazione è destinata a cambiare dopo la grossa recente crisi sismica verificatasi la mattina del 20 Maggio 2012 con un terremoto di magnitudo locale pari a 5.8 con epicentro Finale Emilia e la mattina del 29 Maggio con terremoto di magnitudo locale pari a 5.9 ed epicentro fra i Comuni di Medolla e Cavezzo.
La zona indagata non può più essere considerata caratterizzata da sismi a bassa energia.

4.1.1 Cenni sulla sismotettonica della pianura padana
(Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004)

In Pianura Padana la superficie di base del Sistema Emiliano Romagnolo (0.45 Ma) è la più recente superficie di discordanza angolare in scala regionale.
La geometria di questa superficie è articolata in zone più o meno depresse. In particolare sono evidenti gli alti di Mirandola – San Possidonio e Finale Emilia (tra Reggio Emilia e Ferrara), di San Bartolomeo in Bosco (a sud di Ferrara) e di Bondeno-Casaglia-Occhiobello (a nord-ovest di Ferrara), dove la base del SERS è a una profondità inferiore a - 100 m s.l.m. Queste zone di alto (dove si trova l'area di studio) ricadono tutte sul culmine della dorsale ferrarese, permettendo di ipotizzare un'attività tardo – pleistocenica di questa struttura.
Lo studio in dettaglio delle strutture sepolte della Pianura Padana è possibile soprattutto grazie all'interpretazione di profili sismici.
I terreni più recenti che registrano diffuse deformazioni alla mesoscala sono le Sabbie di Imola e il Sistema Emiliano-Romagnolo inferiore (SERI) di età compresa tra 0.8 e 0.45 Ma; risulta dunque evidente, anche da osservazioni di campagna, che gran parte del margine appenninico-padano e del sottosuolo padano-adriatico sono stati interessati da deformazioni più recenti di 0.45 Ma.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email: soc.geoprogetti@tin.it

Le maggiori evidenze di strutture attive segnalate nella Carta della Sismotettonica della Regione Emilia Romagna sono nel settore del margine compreso tra Salsomaggiore e la valle dell'Idice, a est di Bologna, sul fronte sepolto delle pieghe emiliane tra Piacenza e Reggio Emilia e al tetto delle dorsale ferrarese tra Reggio Emilia e le Valli di Comacchio dove si trova il sito di studio.
L'attività recente e attuale della dorsale ferrarese è indicata oltre che dagli ultimi eventi sismici anche da alcune evidenze morfologiche. Alcuni depositi di canali dei fiumi appenninici non raggiungono né il Po, né il mare e sembrano non oltrepassare l'alto della dorsale ferrarese. Anche il corso del Po, a nord di Reggio Emilia, fa una brusca deviazione verso nord immediatamente prima di raggiungere Novellara e Mirandola, zone in cui il fronte della dorsale ferrarese è molto vicino alla superficie.
Nell'area di studio la SERS è indicata a una profondità compresa fra 50 e 100 metri. Dall'analisi delle prove eseguite con sismica passiva HVRS risulta che fino alla profondità di circa 70 m si registrano aumenti delle velocità di propagazione delle onde sismiche fino a circa 300 m/s poi si passa a una velocità di propagazione delle onde sismiche pari a 450 m/s. La profondità di – 70 m può essere considerata come la quota del bedrock sismico.

Fig.7 Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA - MODENA -
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388678 – email:soc.geoprogetti@tin.it

4.2 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO

4.2.1. Definizione categoria sismica mediante analisi HVRS del sottosuolo e mediante analisi onde di superficie MASW

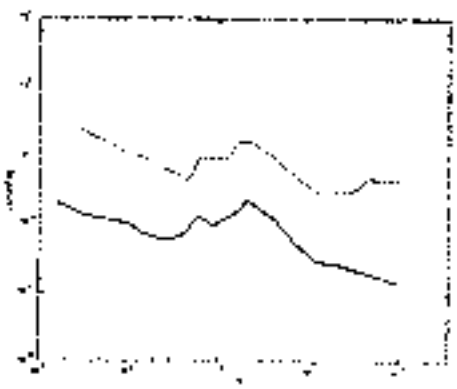
La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo e la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato sono ricavati dall'analisi delle due prove eseguite con tomografo digitale e da un rilievo geofisico in onde di superficie MASW tarati dalla sequenza litostratigrafica definita dall'analisi della prova penetrometrica statica

4.2.1.1Prospezione sismica HVSR – Cenni di teoria

Le prospezioni sismiche HVSR si basano sulla registrazione del rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terreste, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10–15 $[m/s^2]^2$ in termini di acceleraziones), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura a lato, dove la curva bassa rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva superiore rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche.



Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco, anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

4.2.1.2 Effetti di percorso

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA 03042940365 – Tel. 3356366878 - email:soc.geoprogetti@tin.it

estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.
Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però 'sepolta' all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.
Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.

4.2.1.3 Definizioni.
Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

4.2.1.4 Tecnica impiegata.
Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.
Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Considerando il sistema in figura a lato in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ($\rho 1$ e $\rho 2$) e le diverse velocità delle onde sismiche (V1 e V2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (fr) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a

$$fr = VP1/(4\ h) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$fr = VS1/(4\ h) \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41035 MEDOLLA – MODENA –
P. IVA: 03042940365 – Tel. 3356366876 – email:soc.geoprogetti@tin.it

e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.
Rileviamo inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (Gallipoli et al., 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro et al., 2005). Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (si veda Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

4.2.1.5 Strumentazione - Caratteristiche del campionamento ed elaborazione
Lo strumento utilizzato è stato il TROMINO ZERO, modello TRZ-0121/01-11 realizzato dalla Micromed Spa, Mogliono Veneto - Treviso.
Di seguito si riporta la descrizione dello strumento:

Codice	Descrizione
TROMINO® ZERO	Registratore digitale tutto in uno 10 x 7 x 13 cm, ~ 1 kg 1 Gb di memoria alimentazione a batteria (AA, 2 x 1.5 V) 2 set di piedini per accoppiamento al suolo banda di lavoro 0.1-200 Hz • 3 canali velocimetrici per microtremore sismico ambientale (saturazione a 2 mm/s in banda). • frequenze di campionamento 128, 256, 512 Hz su tutti i canali. • valigetta rigida per il trasporto • cavo USB per trasferimento dati al PC

Il campionamento è stato effettuato ad una frequenza di 128 Hz, per una durata di 16 minuti, il nord dello strumento è stato orientato con il nord geografico.
L'elaborazione è stata effettuata con il il software Grilla in dotazione a TROMINO, secondo la procedura descritta in Castellaro (2010), relativamente ai parametri utilizzati, ossia banda di frequenza analizzata, lunghezza delle finestre, tipo e percentuale del lisciamento si rimanda alle singole schede.

4.2.1.6 Schede di acquisizione elaborazione e interpretazione

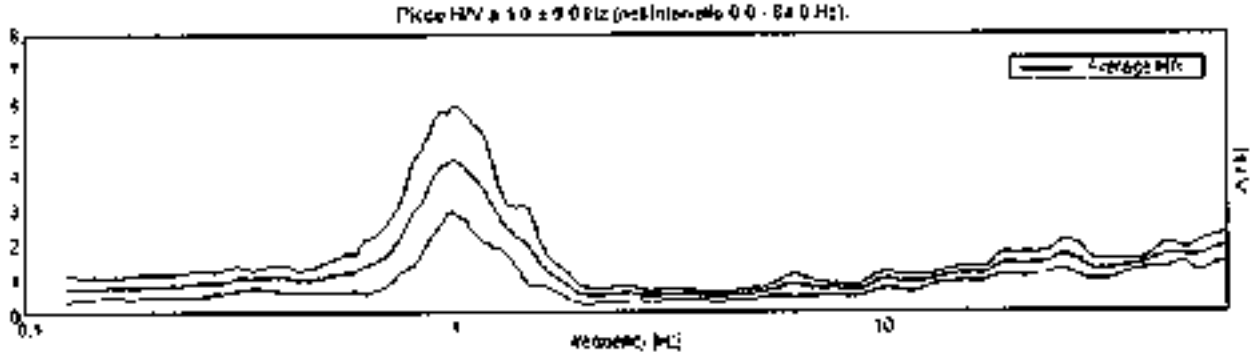
G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41038 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA 03042940365 – Tel. 3356388878 – email soc.geoprogetti@tin.it

MIRANDOLA Via Mineiii 14, HVRS - 1

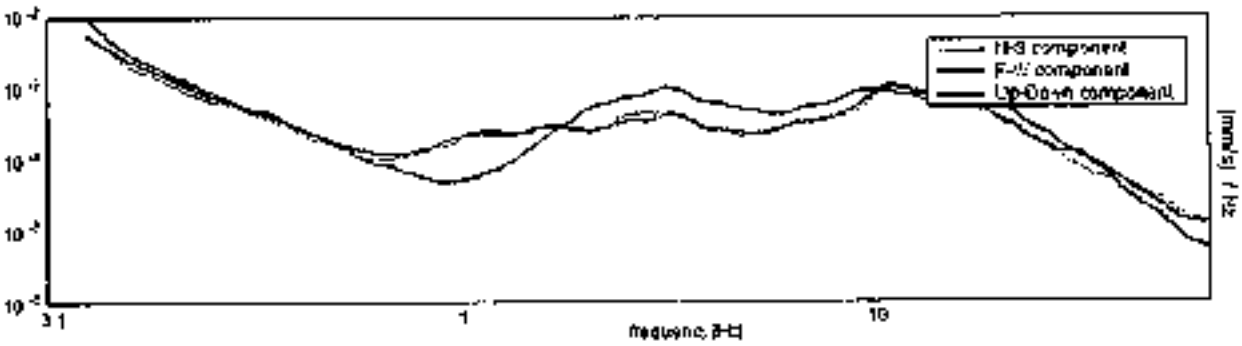
Strumento: TRZ-0121/01-11
Inizio registrazione: 25/06/12 18:57:28Fine registrazione: 25/06/12 19:17:28
Nomi canali: NORTH SOUTH, EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS: LAT 44,868440° - LONG 11.054387°
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 87% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestra 20 s - Tipo di lisciamento: Triangularwindow - Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

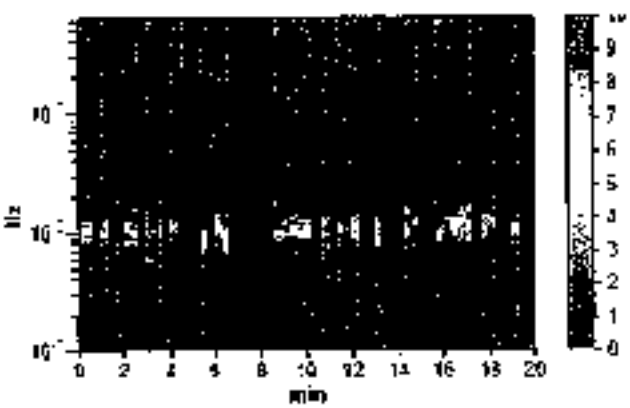
Picco H/V a 1.0 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



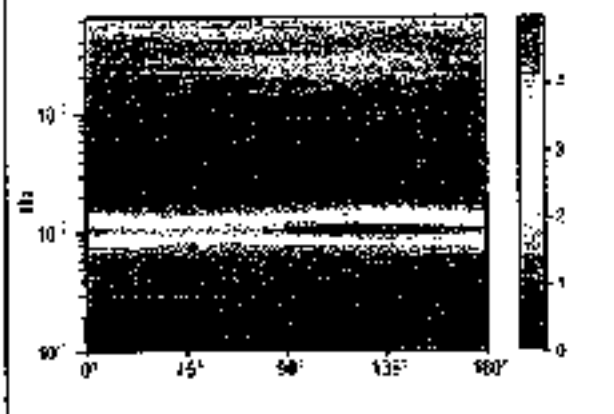
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



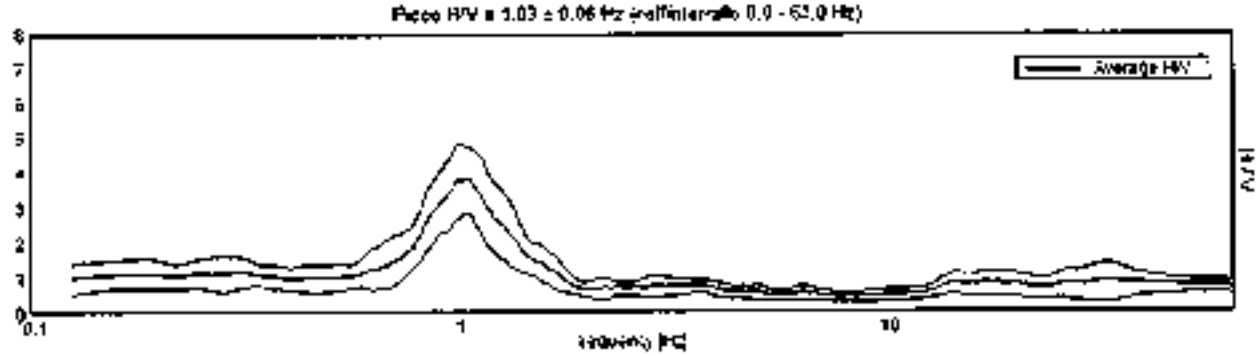
G.C.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

MIRANDOLA Via Minelli 14, HVRS - 2

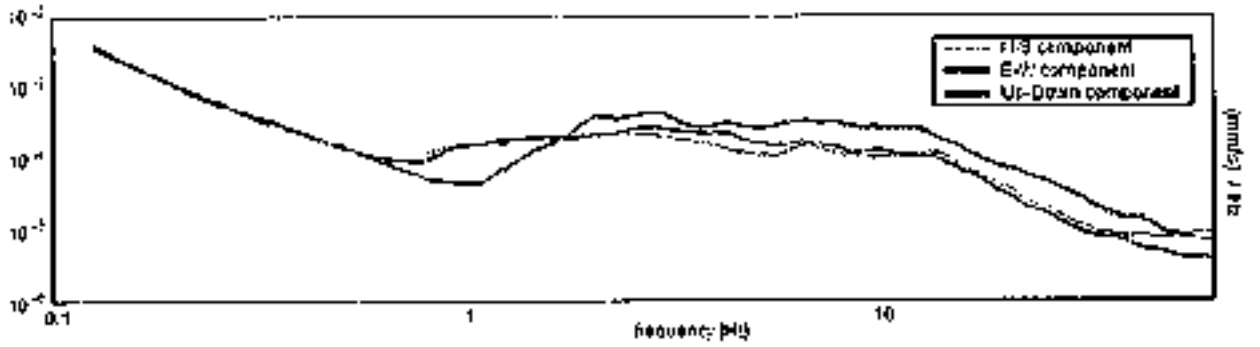
Strumento: TRZ-0121/01-11
Inizio registrazione: 25/06/12 19.20.07Fine registrazione: 25/06/12 19:43:07
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS: LAT 44,889094° - LONG 11,066232°
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 50% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s - Tipo di lisciamento: Triangolare-window - Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

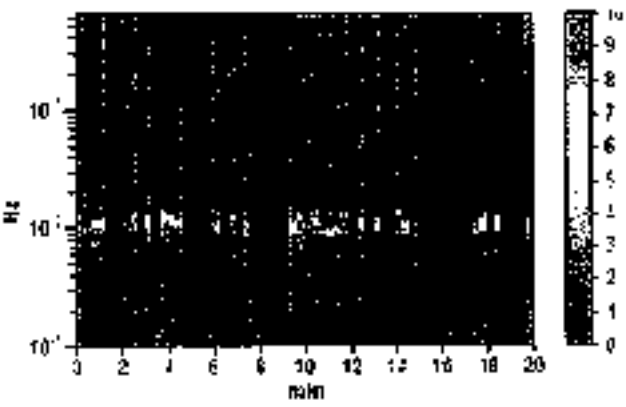
Picco H/V a 1.03 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 62.0 Hz)



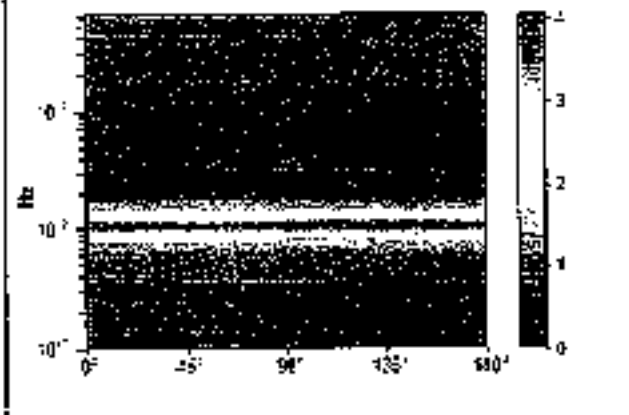
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V

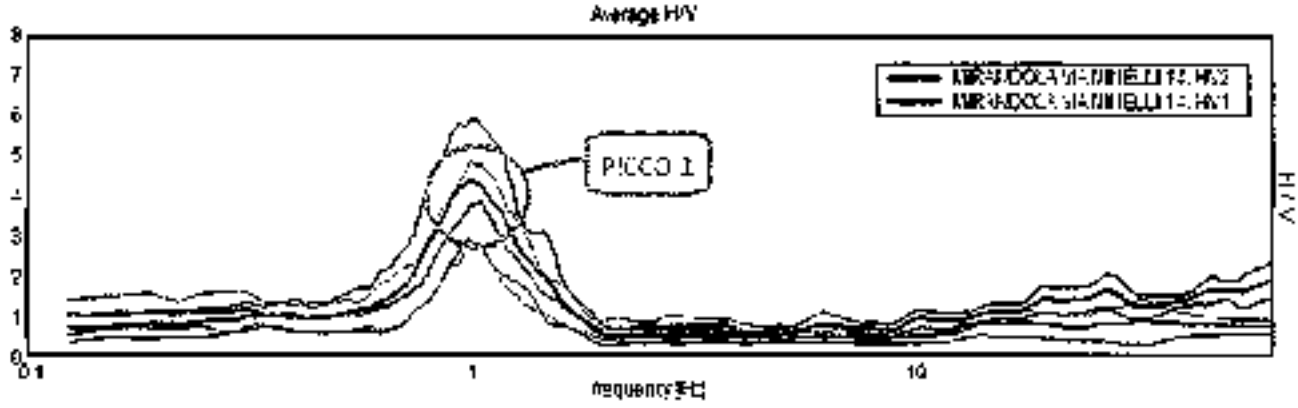


DIREZIONALITA' H/V



G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 - Tel. 3368388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

Tutte le acquisizione HVSR, risultano completamente convalidate dalle linee guida SESAME 2005.
Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, dal diagramma del confronto delle curve H/V, di seguito riportato, abbiamo:



Un picco stratigrafico, caratteristico, così caratterizzato:

Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)	Periodo (s) Caratteristico (valori medi)
1	4,10	~ 1,00	~ 1,00

Il picco (1), rappresenta il passaggio al pseudo Bedrock sismico, si tratta di un contrasto di impedenza profondo circa 70 m. con Vs approssimabile a 450/500 m/s, confermato dai dati di letteratura, vedi carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna.
L'amplificazione massima si ha quindi alla frequenza fondamentale del sito pari a 1.0 Hz corrispondente al periodo caratteristico di 1.0 s da confrontare con il periodo della struttura.

4.2.2 MASW - In Onde Rayleigh

Le indagini MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) hanno come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde"S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della Vs30.
Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (punto di scoppio): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale con tempo di registrazione pari ad almeno 2 secondi alla frequenza di 512 Hz.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

4.2.2.1 Schede di acquisizione elaborazione e interpretazione

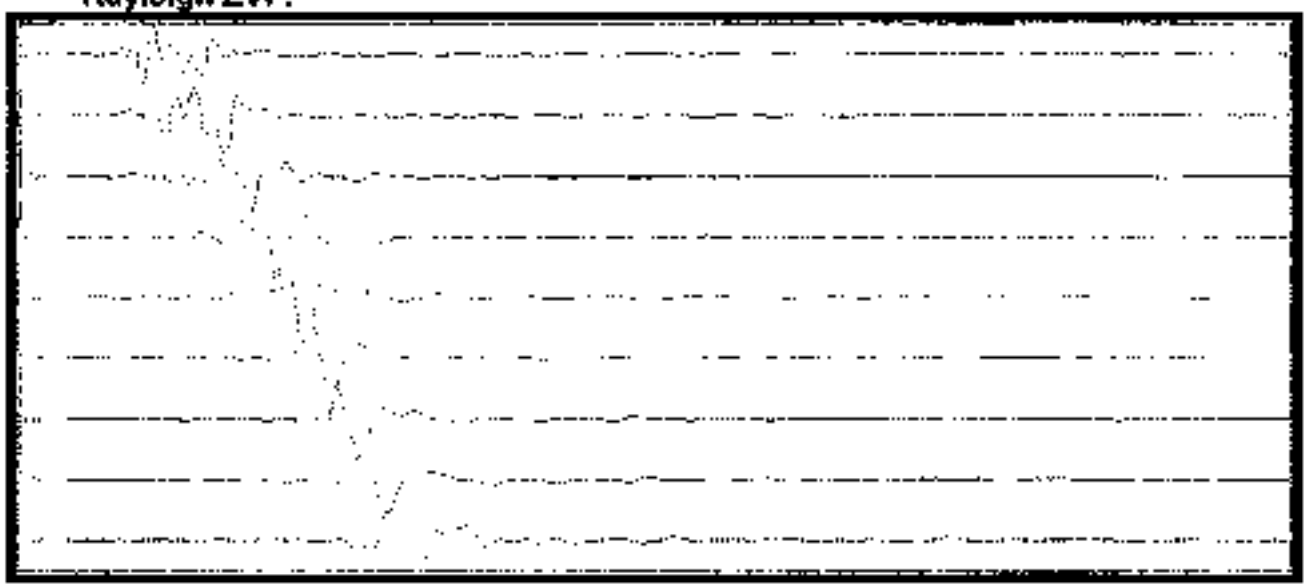
MASW - In Onde Rayleigh (ZVFDX4MO15)

- **Strumento e Parametri di acquisizione**

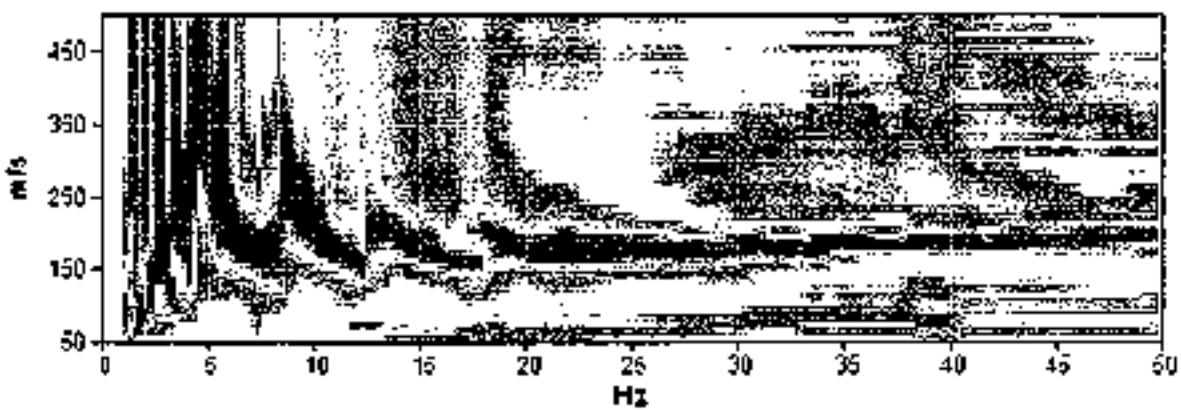
Strumento: SAB – 0019 / 02 - 11
Inizio registrazione: 25/06/12 19:48:12 Fine registrazione: 25/06/12 19:49:36
Durata registrazione: 0h00'02". - Freq. campionamento: 512 Hz

- **Geometria Array**

Nomi canali : TR01 ;TR02 ; TR03 ; TR04 ; TR05 ; TR06 ; TR07 ; TR08 ; TR09
Array geometry (x): 0.0 4.0 8.0 12.0 16.0 20.0 24.0 28.0 32.0 m.
Distanza intergeofonica : DX = 4,00 m.
Offset minimo (distanza tra TR01 e scoppio) MO = 15,00 m.
Datasetnormalizzato nell'intervallo (0 – 1 s) – Componente Verticale onde Rayleigh ZVF:



SPETTRO VELOCITA' DI FASE:

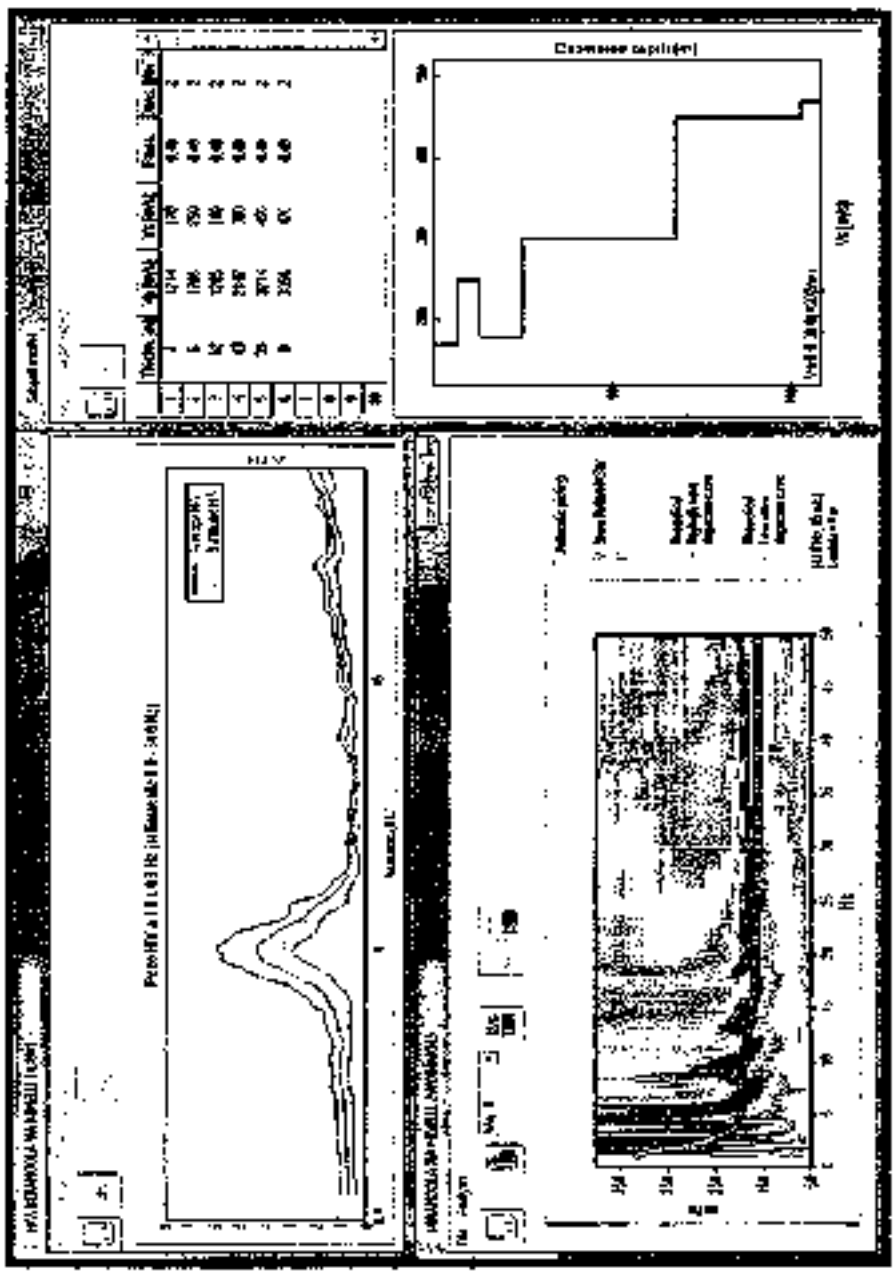


G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA. 03042940365 – Tel. 3356388678 – email.soc.geoprogetti@tin.it

4.2.4 Modello sismico del sottosuolo

La modellazione in termini di **Vs**, è stata effettuata, su tutte le registrazioni, vincolando le curve spettrali alla curva di dispersione MASW e alla prove CPT . In particolare è stato fatto il Fit congiunto MASW – HVSR, dove il modello di sottosuolo Vs, viene confrontato contemporaneamente, tramite la curva di dispersione "effetto della dispersione delle onde superficiali", per la parte superficiale " 13.30 m.", e i picchi di risonanza della curva H/V "effetto della risonanza del micro tremore dovuti ai contrasti di impedenza, superficiali e profondi", per la parte profonda.

- **Fit congiunto MASW – HVSR**



G.G.A. S.r.l Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA. 03042940365 – Tel. 3356388878 – email.soc.geoprogetti@lin.it

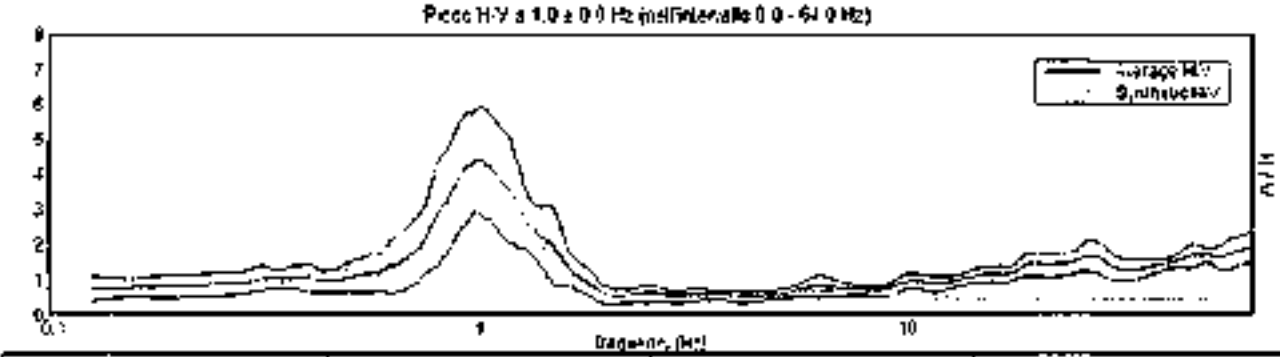
Per il calcolo si è applicato il procedimento di calcolo indicato dalla Normativa secondo la formula:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{Vs_i}}$$

I calcoli sono stati condotti considerando 30 metri di sottosuolo a partire dal p.c. e i risultati sono:

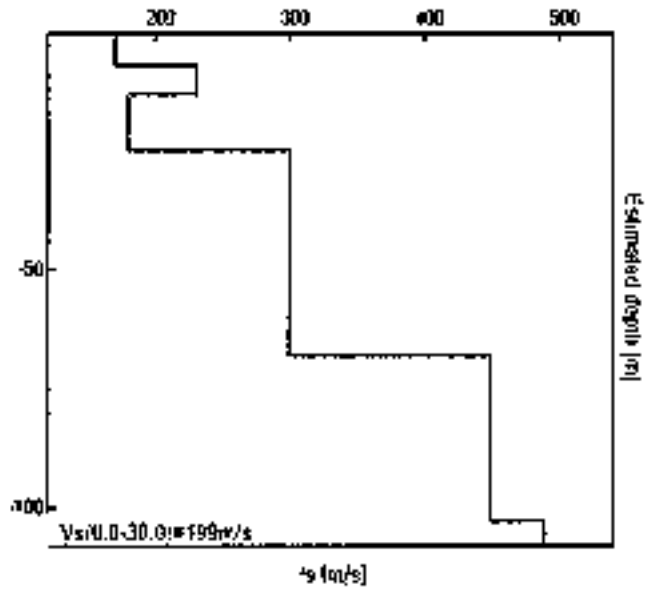
HVSR 1 Vs (30) = 199 m/s - HVSR 2 Vs (30) = 206 m/s - MASW Vs (30) = 202 m/s

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



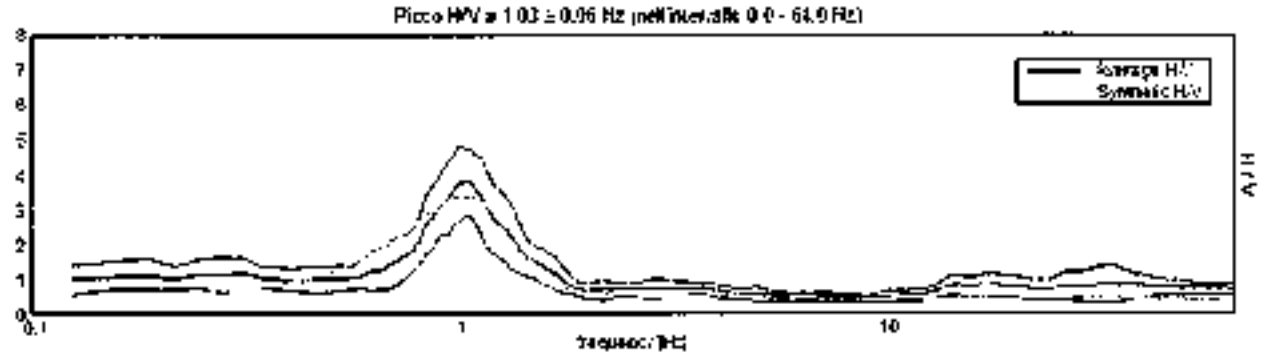
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
7.00	7.00	170	0.49
13.00	6.00	230	0.45
25.00	12.00	180	0.49
68.00	43.00	300	0.42
103.00	35.00	450	0.42
inf.	inf.	490	0.42

Vs(0.0-30.0)=199m/s



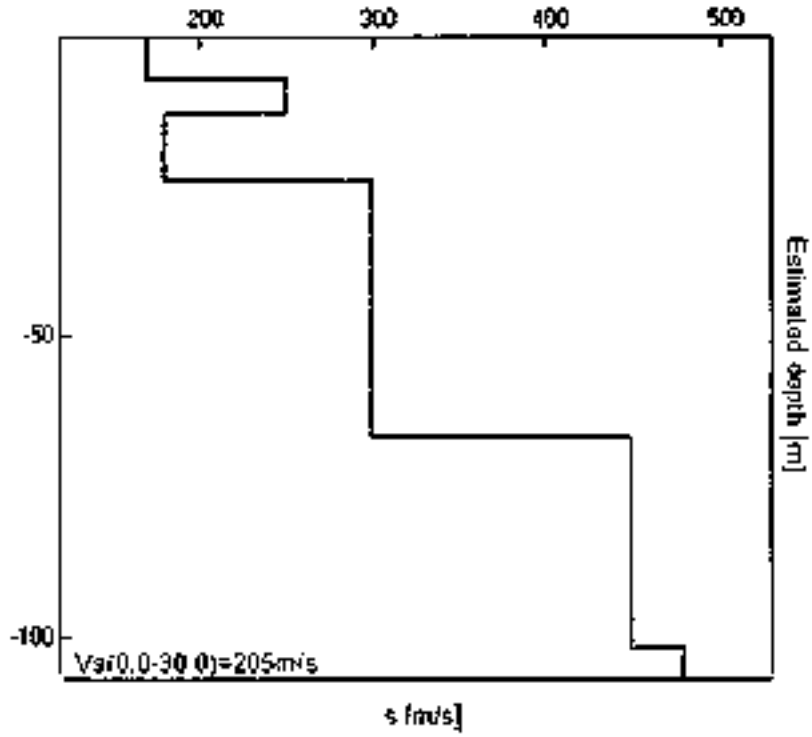
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA -- MODENA –
P.IVA. 03042940365 – Tel. 3356388878 – email.soc.geoprogetti@tin.it



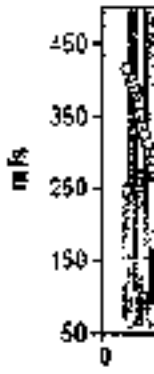
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
7.00	7.00	170	0.49
13.00	6.00	250	0.45
24.00	11.00	180	0.49
67.00	43.00	300	0.42
102.00	35.00	450	0.42
inf.	inf.	480	0.42

Vs(0.0-30.0)=206m/s



G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41030 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356386878 – email soc.geoprogetti@lin.it

MODELLED



Depth at the the lay
7.0
13.0
25.0
68.0
103.
in

Per confronto si è calcolato il valore delle Vs_{30} mediante correlazioni indirette dei valori di Qc definiti con le prove penetrometriche statiche spinte a – 35.00 m secondo la formula di Iyisan (1996) $Vs = 55.3\ qc^{0.377}$.
I valori ottenuti sono schematizzati nelle tabelle di seguito

PROVA CPT N.1

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	8	165
2	4.6	230
3	10.60	170
4	6.80	267

Il valore Vs_{30} risulta essere pari a 199 m/s.

PROVA CPT N.2

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	7.40	163
2	7.40	237
3	9.20	171
4	6	283

Il valore Vs_{30} risulta essere pari a 198 m/s.

Facendo riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento conformemente a quanto espresso nel DM 2008 che definisce le seguenti categorie:
A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori Vs_{30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
B – Rocce tenere e depositi terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa o coesione non drenata Cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fine).
C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi 180 m/s e 360 m/s (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa, $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di di Vs_{30} < 180 m/s (Nspt < 15 nei terreni a grana grossa, Cu < 70 kPa nei terreni a grana fine).
E – Terreni del sottosuolo di tipo C o D per spessore non superiore e 20 m, posti sul substrato di riferimento con valori di Vs_{30} > 800 m/s.
In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione

G G A S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41030 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel 3356365878 - email:soc.geoprogetti@tin.it

e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.
S1 – Depositi di terreni caratterizzati da valore V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < C_{u30} < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Il sito rientra in classe sismica di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi 180 m/s e 360 m/s (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa, 70 < C_{u30} < 250 kPa nei terreni a grana fine).

4.3 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

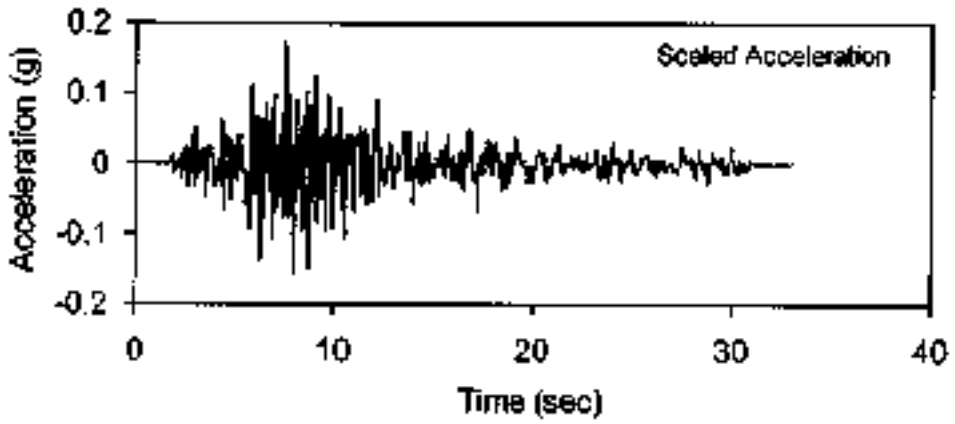
Nella carta del rischio sismico : carta delle aree suscettibili di effetti locali elaborata per il Nuovo P.T.C.P approvato dalla Provincia di Modena con atto D.C.P. n.46 del 18/03/2009, l'area di studio ricade in zona 7: aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione. Gli studi richiesti per un approfondimento di III livello sono: valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e valutazione dei cedimenti attesi.

Fig.6: Tav. 2.2a.2 PTCP 2009 "Carta delle aree suscettibili di effetti locali".

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 - Tel. 3366388876 - email:soc.geopropelli@tin.it

4.3.1 Spettri di risposta elastici ed amplificazione litologica

Il modello sismico del sottosuolo evidenzia un inversione di velocità alla profondità media di – 13.00 m per il passaggio da litologie sabbiose addensate a terreni argillosi compatti. L'nversione di velocità non è elevata si passa da una velocità di propagazione pari a 230/250 m/s a una velocità di 170/180 m/s.
Considerando tale inversione di velocità e l'amplezza notevole registrata con l'analisi in sismica passiva del picco alla frequenza fondamentale di 1 Hz, si è scelto di fare un analisi di risposta sismica locale mediante modellazione numerica al fine di fornire gli spettri di risposta con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento ξ = 5% con analisi monodimensionale e lineare equivalente con modello viscoelastico e non utilizzare il metodo semplificato che fa riferimento alle categorie di sottosuolo secondo quanto espresso dal DM 2008.
Come input sismico di riferimento (PGA_0) si è utilizzato quello che deriva dai dati impostI secondo le NTC (2008) per il comune di Mirandola, scalato per un coefficiente d'uso 1.5 che corrisponde ad una classe d'uso III (costruzione il cui uso preveda affollamenti significativi), vita nominale ≥ 50 anni (opere ordinarie) pari a **a_g(g) = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido = 0.17**
Gli accelerogrammi spettro-compatibili sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database" (ISESD) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.
Gli accelerogrammi forniti dal Servizio Regionale, per il Comune di Mirandola scalata per l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido sono graficati di seguito.



G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

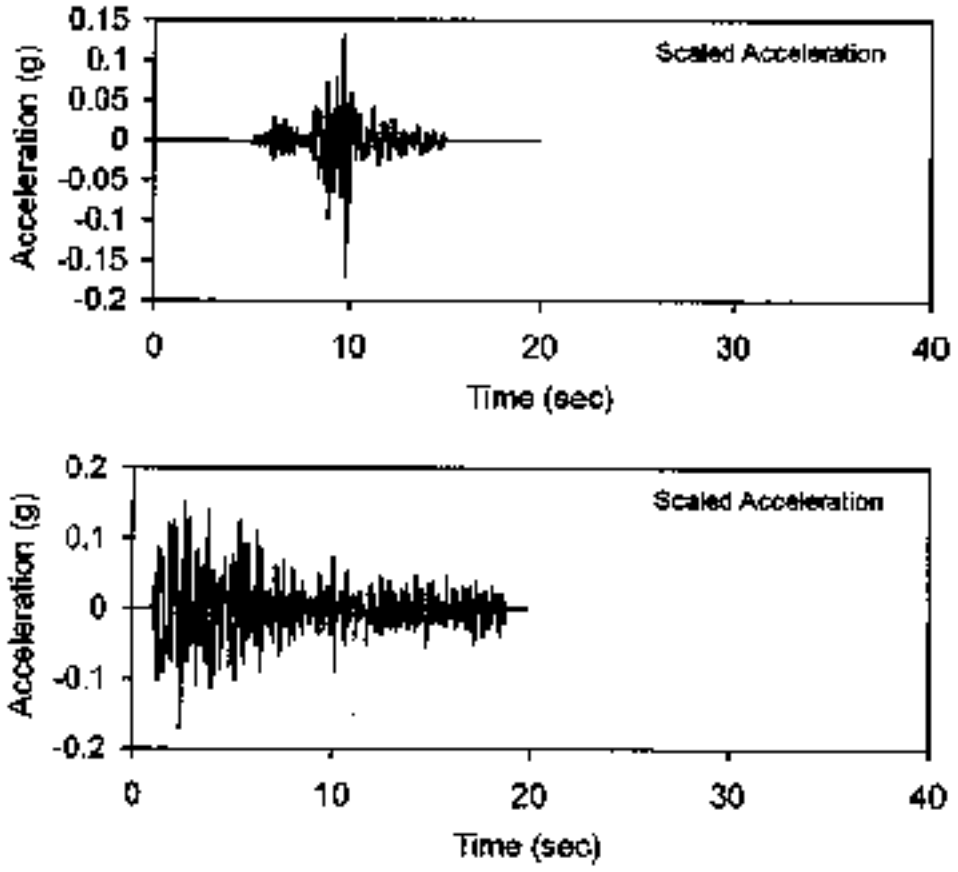


Fig.9 Accelerogrammi spettro-compatibili selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database" (ISESD) per il Comune di Mirandola

Nel cerchio, in ogni accelerogramma è indicata la PGA_0 di 0.17g cioè la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido .
Per la definizione del profilo stratigrafico si sono utilizzati i risultati della procedura d'inversione eseguita sulle prove realizzate con tomografo digitale e considerando le sequenze stratigrafiche definite con le prove penetrometriche.
I dati ottenuti e immessi nel programma sono elencati nella tabella di seguito.

	Layer Number	Soil Material Type	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	7.0	48.28		18.50	160		W	3.5	30.41
	2	2	6.0	117.43		20.00	240			10.0	91.40
	3	1	12.0	62.75		19.00	180			19.0	177.11
	4	2	43.0	192.66		21.00	300			46.6	472.83
	5	2	35.0	433.49		21.00	450			85.5	909.24
Bedrock	6	0		770.64		21.00	600	Auto		103.0	1105.07

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

Il programma utilizzato per il calcolo degli spettri di accelerazione orizzontale attesi al suolo mediante analisi monodimensionale e lineare equivalente con modello viscoelastico è il codice EERA che lavora bene per piccole e medie deformazioni.

Gli spettri attesi con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento ξ = 5% per il sito di studio sono indicati nella figura seguente.

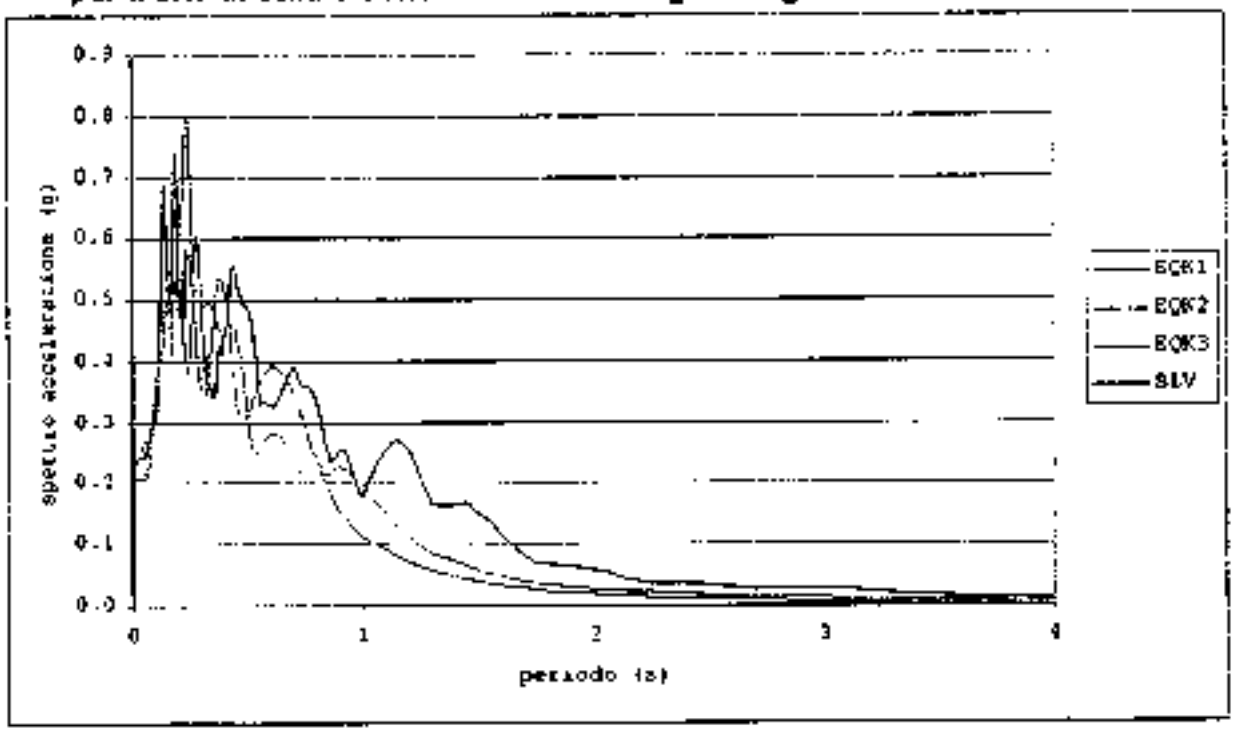


Fig.10 Spettri attesi con periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento ξ = 5% per il sito di studio

Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i tre sismi di riferimento sono:

a_{maxg}=0.233g

a_{maxg}=0.207g

a_{maxg}=0.237g

Quindi la massima accelerazione attesa in superficie approssimata a due cifre decimali PGA = 0.24g

I fattori amplificativi in termini di PGA/PGA_0 per i tre sismi di riferimento sono:

amplificazione PGA/PGA_0 per il primo sisma di riferimento: 1.37

amplificazione PGA/PGA_0 per il secondo sisma di riferimento: 1.21

amplificazione PGA/PGA_0 per il terzo sisma di riferimento: 1.39

amplificazione PGA/PGA_0 = fattore di amplificazione stratigrafica S_s massimo (OM 2008) = 1.39

Si riporta di seguito la funzione di trasferimento superficie/bedrock in cui è rappresentato il valore di amplificazione del moto del suolo alle varie frequenze dal bedrock alla superficie.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA -
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

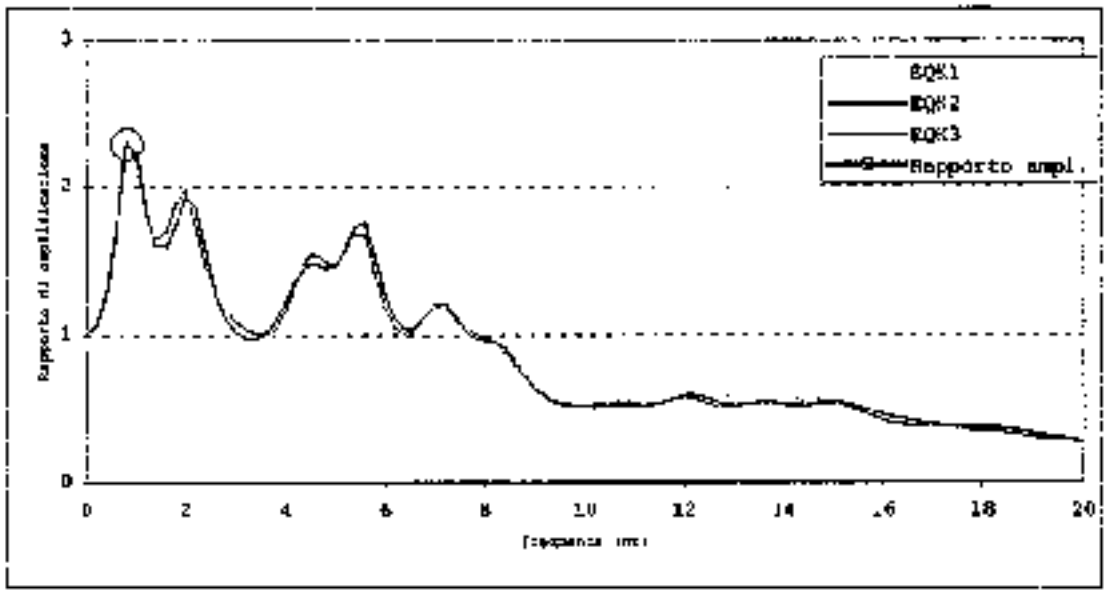


Fig.11 Valore di amplificazione del moto del suolo alle varie frequenze dal bedrock alla superficie

L'amplificazione massima per i tre sismi di riferimento alla frequenza fondamentale di 0.8 Hz è pari a:
2.264 per il primo sisma di riferimento
2.292 per il secondo sisma di riferimento
2.292 per il terzo sisma di riferimento.
Quindi l'amplificazione massima è di 2.9.
La frequenza fondamentale di 0.8 Hz è paragonabile a quella calcolata con le prove sismiche passive eseguite in sito HVRS (picco pari a 1.00 Hz) che individua un contrasto di impedenza profondo circa 70.00 m. Tale banda di frequenza (0.8 ÷ 1.0 Hz) è quelle fondamentale del sito corrispondente al periodo caratteristico che va da 1.0 a 1.25 s da confrontare con il periodo della struttura esistente da mettere in sicurezza.

4.3.2 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.
La liquefazione si verifica in depositi sabbiosi saturi, infatti se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{vo} - u)\, tg\varphi$$

è evidente che la grandezza τ si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:
$c = 0$
$(\sigma_{vo} - u) = 0$.

G.C.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@live.it

La prima condizione vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.
La seconda condizione si verifica quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità della colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie (σ_{vo} – u).
In definitiva il fenomeno della liquefazione si può verificare in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua .
In conclusione si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti che presentano le seguenti caratteristiche:

- granulometricamente sono sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;
- si trovano sotto falda;
- sono da poco a mediamente addensati;
- si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 metri).

L'altra variabile che provoca fenomeni di liquefazione è il sisma.
Durante un terremoto il terreno può essere visto come sottoposto ad una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso.
In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per ridurre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico.
I maggiori terremoti storici, nella regione Emilia Romagna si sono verificati in Romagna e dopo la recente crisi sismica del Maggio 2012, nella parte nord della provincia di Modena e Ferrara con magnitudo stimata pari a 5.9. In queste zone quindi si possono verificare terremoti a energia media.
Le sequenze stratigrafiche dedotte dalle prove eseguite nel sito oggetto di studio evidenzia terreni di natura coesiva, argille e limi con una componente di coesione tale da non essere soggetti a fenomeni di liquefazione fino alla quota di – 8.00 metri quando si trova un livello dello spessore di 8 metri costituito da sabbie da poco addensate ad addensate sottofalda potenzialmente liquefacibile. Più in profondità, al di sotto della quota di – 25.00 m si trovano sabbie addensate, troppo profonde per essere liquefacibili (il peso della colonna litostatica non sarà mai uguagliata dalla pressione interstiziale dei pori).
Sullo strato sabbioso compreso fra 8 e 16 metri è stata verificata la possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione mediante procedure denominate "metodi semplificati".

Il fattore di sicurezza, F_L, nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è per definizione il rapporto fra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica, R = CRR, e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica, L = CSR.

$$F_L = R/L$$

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:apc.geoprogetti@tin.it

Se il fattore F_L >1.00 la liquefazione è da escludere ; se F_L <1.00 è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.
Il metodo di Robertson & Wride (1997) utilizzato in questa verifica, permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati della prova penetrometrica statica.
La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:
$R = 0.883 [(qc_{1n})_{cs}/1000] + 0.05$ per $(qc_{1n})_{cs} < 50$
$R = 93 [(qc_{1n})_{cs}/1000]^3 + 0.08$ per $50 < (qc_{1n})_{cs} < 160$
L dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto):
$L = 0.65 (a_{max}/g \times \sigma_{v0}/\sigma_{v0}') r_d \times 1/MSF$
L'indice di liquefazione I_L è indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel deposito, ed è ottenuto dalla espressione

$$(1.9) I_L = \int_0^{20} F\, W(z)\, dz$$

dove
$F = 1 - F_S$ per $F_S \leq 1$
$F = 0$ per $F_S > 1$
$W(z) = 10 - 0.5z$

Valori di I_L	*Rischio di liquefazione*
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

La verifica è stata eseguita con l'accelerazione massima attesa in superficie calcolata con smorzamento $\xi = 5\%$: $a_{max\ in\ superficie}$ (g) = 0.24.
Magnitudo momento definita sulla base della recente crisi sismica del Maggio 2012 con epicentro Finale Emilia e Medolla:
Maw = 5.90 (anno 2012).
Il fattore di correzione della magnitudo MSF = 1.85 NCEER (Seed R. B. et al.1997; 2003)
Infine il livello della soggiacenza della falda più alto misurato nel sito di studio nel Giugno 2012 pari a – 3.00 m dal p.c.
Negli strati sabbiosi sottofalda studiati risultano non liquefacibili con F_L > 1 e rischio liquefazione alto. rischio di liquefazione molto basso I_L=0.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

Dati generali
Numero di strati = 3
Profondità della falda = 3 m
Magnitudo del sisma = 5.9
Accelerazione massima al suolo = 0.24

Strato Nr.	Descrizione (-)	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Nr. colpi medio (Nspt)	D50 dei granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza all'attrito laterale fs (KPa)	Velocità Vs (m/s)
1	Argilla	0	8.0	10	18.5	0	0	800	60	160
2	Sabbia limosa	8.0	10.20	10	20	0	0	4000	70	200
3	Sabbia pulita	10.20	16.00	10	21	0	0	12000	100	230

Metodo di Robertson e Wride (1997)
Risultati
Correzione per la magnitudo (MSF) = 1.85

Verifica Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F (%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1N (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
1	3.20	33.70	31.7387										NL	0	Molto basso
2	3.40	37.40	33.4773										NL	0	Molto basso
3	3.60	41.10	35.216										NL	0	Molto basso
4	3.80	44.80	36.9547										NL	0	Molto basso
5	4.00	48.50	38.6934										NL	0	Molto basso
6	4.20	52.20	40.432										NL	0	Molto basso
7	4.40	55.90	42.1707										NL	0	Molto basso
8	4.60	59.60	43.9094										NL	0	Molto basso
9	4.80	63.30	45.648										NL	0	Molto basso
10	5.00	67.00	47.3867										NL	0	Molto basso
11	5.20	70.70	49.1254										NL	0	Molto basso
12	5.40	74.40	50.864										NL	0	Molto basso
13	5.60	78.10	52.6027										NL	0	Molto basso
14	5.80	81.80	54.3414										NL	0	Molto basso

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

15	6.00	85.50	56.08 01									NL	0	Molto basso
16	6.20	89.20	57.81 87									NL	0	Molto basso
17	6.40	92.90	59.55 74									NL	0	Molto basso
18	6.60	96.60	61.29 61									NL	0	Molto basso
19	6.80	100.30	63.03 47									NL	0	Molto basso
20	7.00	104.00	64.77 34									NL	0	Molto basso
21	7.20	107.70	66.51 21									NL	0	Molto basso
22	7.40	111.40	68.25 07									NL	0	Molto basso
23	7.60	115.10	69.98 94									NL	0	Molto basso
24	7.80	118.80	71.72 81									NL	0	Molto basso
25	8.00	122.50	73.46 68									NL	0	Molto basso
26	8.20	126.50	75.50 54	46.03 32	1.807 2	2.333 6	1.150 8	94.91 16	0.937 3	0.159 5	0.132 6	1.20	NL	0 Molto basso
27	8.40	130.50	77.54 41	45.42 4	1.809	2.338 5	1.135 6	94.41 83	0.935 7	0.158 3	0.133	1.19	NL	0 Molto basso
28	8.60	134.50	79.58 28	44.83 84	1.810 9	2.343 2	1.121	93.94 58	0.934 2	0.157 1	0.133 3	1.18	NL	0 Molto basso
29	8.80	138.50	81.62 14	44.27 49	1.812 8	2.347 7	1.106 9	93.48 75	0.932 7	0.156	0.133 5	1.17	NL	0 Molto basso
30	9.00	142.50	83.66 01	43.73 21	1.814 6	2.352 2	1.093 3	93.04 62	0.931 2	0.154 9	0.133 9	1.16	NL	0 Molto basso
31	9.20	146.50	85.69 88	43.20 88	1.816 5	2.356 6	1.080 2	92.62 02	0.928 4	0.153 9	0.134	1.15	NL	0 Molto basso
32	9.40	150.50	87.73 74	42.70 39	1.818 4	2.360 8	1.067 6	92.21 42	0.923	0.152 9	0.133 7	1.14	NL	0 Molto basso
33	9.60	154.50	89.77 61	42.21 62	1.820 3	2.365	1.055 4	91.82	0.917 7	0.152	0.133 3	1.14	NL	0 Molto basso
34	9.80	158.50	91.81 48	41.74 49	1.822 2	2.369 1	1.043 6	91.43 86	0.912 3	0.151 1	0 133	1.14	NL	0 Molto basso
35	10.00	162.50	93.85 35	41.28 9	1.824 1	2.373 1	1.032 2	91 07 14	0.907	0.150 2	0.132 6	1.13	NL	0 Molto basso
36	10.20	166.50	95.89 21	40.84 78	1.826	2.377	1.021 2	90.71 95	0.901 7	0.149 4	0.132 2	1.13	NL	0 Molto basso
37	10.40	170.70	98.13 08	121.1 375	0.845 4	1.799 6	1.009 5	134.0 288	0.896 3	0.303 9	0.131 8	2 31	NL	0 Molto basso
38	10.60	174.90	100.3 695	119.7 789	0.845 7	1.803 5	0.998 2	132.8 675	0.891	0.298 1	0.131 1	2 27	NL	0 Molto basso
39	10.80	179.10	102.6 081	118.4 651	0.846	1.807 3	0.987 2	131.7 342	0 885 6	0.292 6	0.130 5	2.24	NL	0 Molto basso
40	11.00	183.30	104.8 468	117.1 935	0.846 3	1.811	0.976 6	130.6 43	0.880 3	0.287 4	0.129 9	2.21	NL	0 Molto basso
41	11.20	187.50	107.0 855	115 9 621	0.846 6	1.814 7	0.966 4	129.5 945	0.875	0.282 4	0.129 3	2 18	NL	0 Molto basso
42	11.40	191.70	109.3 241	114.7 687	0.846 9	1.818 3	0.956 4	128.5 627	0.869 6	0.277 6	0.128 7	2.16	NL	0 Molto basso
43	11.60	195.9	111.5	113.6	0.847	1.821	0.946	127.5	0.864	0.273	0.128	2.13	NL	0 Molto

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

		0	628	113	2	8	8	749	3	1	1			basso
44	11.80	200.1	113.8	112.4	0.847	1.825	0.937	126.6	0.858	0.288	0.127	2.11	NL	0 Molto
		0	015	883	5	2	4	048	9	7	5			basso
45	12.00	204.3	116.0	111.3	0.847	1.828	0.928	125.6	0.853	0.284	0.126	2.08	NL	0 Molto
		0	402	979	6	6	3	664	6	6	9			basso
46	12.20	208.5	118.2	110.3	0.848	1.831	0.919	124.7	0.848	0.280	0.126	2.06	NL	0 Molto
		0	788	387	1	9	5	602	3	6	3			basso
47	12.40	212.7	120.5	109.3	0.848	1.835	0.910	123.8	0.842	0.256	0.125	2.04	NL	0 Molto
		0	175	091	4	2	9	73	9	8	6			basso
48	12.60	216.9	122.7	106.3	0.848	1.838	0.902	123.0	0.837	0.253	0.125	2.03	NL	0 Molto
		0	562	077	7	4	6	189	6	1				basso
49	12.80	221.1	124.9	107.3	0.849	1.841	0.894	122.1	0.832	0.249	0.124	2.01	NL	0 Molto
		0	948	335		6	4	71	2	6	3			basso
50	13.00	225.3	127.2	106.3	0.849	1.844	0.886	121.3	0.826	0.246	0.123	1.99	NL	0 Molto
		0	335	86	3	7	5	57	9	2	8			basso
51	13.20	229.5	129.4	105.4	0.849	1.847	0.878	120.5	0.821	0.243	0.123	1.98	NL	0 Molto
		0	722	613	6	8	8	635	6					basso
52	13.40	233.7	131.7	104.5	0.849	1.850	0.871	119.7	0.816	0.239	0.122	1.96	NL	0 Molto
		0	108	612	9	8	3	909	2	9	3			basso
53	13.60	237.9	133.9	103.6	0.850	1.853	0.864	119.0	0.810	0.236	0.121	1.95	NL	0 Molto
		0	495	838	2	7		395	9	9	6			basso
54	13.80	242.1	136.1	102.8	0.850	1.856	0.856	118.3	0.805	0.234	0.120	1.94	NL	0 Molto
		0	882	28	5	7	9	096	5		9			basso
55	14.00	246.3	138.4	101.9	0.850	1.859	0.849	117.5	0.800	0.231	0.120	1.92	NL	0 Molto
		0	268	932	8	5	9	876	2	2	2			basso
56	14.20	250.5	140.6	101.1	0.851	1.862	0.843	116.8	0.794	0.228	0.119	1.91	NL	0 Molto
		0	655	783	1	4	2	015	9	8	5			basso
57	14.40	254.7	142.9	100.3	0.851	1.865	0.836	116.2	0.789	0.226	0.118	1.90	NL	0 Molto
		0	042	827	4	2	5	099	5		8			basso
58	14.60	258.9	145.1	99.60	0.851	1.867	0.83	115.5	0.784	0.223	0.118	1.89	NL	0 Molto
		0	429	65	7	9		409	2	4	1			basso
59	14.80	263.1	147.3	98.84	0.852	1.870	0.823	114.8	0.778	0.221	0.117	1.88	NL	0 Molto
		0	815	62		6	7	945	8	1	4			basso
60	15.00	267.3	149.6	98.10	0.852	1.873	0.817	114.2	0.773	0.218	0.116	1.87	NL	0 Molto
		0	202	39	3	3	5	572	5	7	7			basso
61	15.20	271.5	151.8	97.37	0.852	1.876	0.811	113.6	0.768	0.216	0.116	1.87	NL	0 Molto
		0	589	81	6		5	431	2	5				basso
62	15.40	275.7	154.0	96.66	0.852	1.878	0.805	113.0	0.762	0.214	0.115	1.86	NL	0 Molto
		0	975	82	9	6	6	384	8	3	2			basso
63	15.60	279.8	156.3	95.97	0.853	1.881	0.799	112.4	0.757	0.212	0.114	1.85	NL	0 Molto
		0	362	35	2	1	8	433	5	2	5			basso
64	15.80	284.1	158.5	95.29	0.853	1.883	0.794	111.8	0.752	0.210	0.113	1.85	NL	0 Molto
		0	749	37	5	7	1	578	1	2	8			basso
65	16.00	288.3	160.8	94.62	0.853	1.886	0.788	111.2	0.746	0.208	0.113	1.84	NL	0 Molto
		0	136	8	8	2	6	963	8	2				basso

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P. IVA: 03042940365 – Tel. 3366388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

5. CONCLUSIONI

Su incarico e per conto del Committente si produce una modellazione geologica del sito, una analisi di pericolosità sismica locale riportando gli effetti attesi e una caratterizzazione geotecnica del volume significativo di terreno interessato dalla messa in sicurezza di un capannone esistente in elementi prefabbricati sito in Via Luciano Minelli in frazione San Giacomo Roncole, in Comune di Mirandola.
La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del volume di terreno influenzato dalla struttura su cui operare sono ricavati dai risultati di n. 2 prove penetrometriche statiche di tipo meccanico, eseguite in sito in data 26/06/2012 dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla.
Le prove sono state spinte alla profondità di - 35.00 m per la definizione in dettaglio delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche fino a tale quota.
Al fine di produrre un analisi di pericolosità sismica locale, determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono realizzate in data 25/06/2012 n. 2 prove di sismica passiva con tomografo digitale modello TRZ-0121/01/11 progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico e un rilievo geofisico in onde di superficie MASW con strumento SoilSpy Rosina modello SAB-0019/02-11.
Le prove sismiche sono state realizzate dallo Studio Geologico del Dott. Salvatore Mucci di Castelfranco Emilia (MO).
Scopo dell'indagine è stato fornire un modello geologico dell'area in epigrafe, una caratterizzazione geotecnica del volume di terreno influenzato dalla costruzione di progetto e un analisi di pericolosità sismica locale che riporti il valore dell'accelerazione di propagazione delle onde sismiche attesa al suolo rigido di riferimento, il valore di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso, il valore di accelerazione atteso in superficie, il valore della frequenza fondamentale del sito e gli spettri di risposta. In dettaglio si è condotto anche un'analisi di rischio liquefazione dei terreni sabbiosi saturi presenti .

La zona oggetto di studio si trova a sud rispetto il centro cittadino di Mirandola in zona artigianale ed industriale nella frazione di San Giacomo Roncole.
Le coordinate geografiche dell'area sono 44°52' 06.85"N e 11°03'17.29"E .
Il sito ha accesso da Via Luciano Minelli, laterale di Via di Mezzo.
I centri abitati vicini sono:
Mirandola a circa 2.40 Km a nord
Medolla a circa 2.50 Km a sud-sud-est
San Possidonio a circa 5.20 Km a ovest-nord-ovest
San Biagio a circa 5.40 Km est
Oltre che a varie case sparse di campagna.
Il territorio del Comune di Mirandola è situato a Nord della provincia di Modena e ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".
L'area, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena redatto nel Marzo 2000, ricade nell'Unità di Paesaggio

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

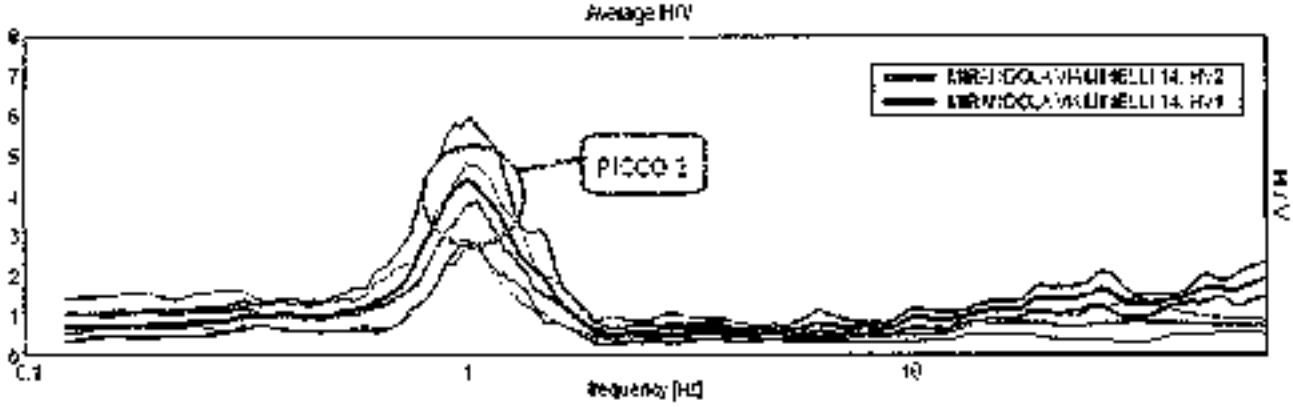
indicata con il numero 2 " Dossi e zone più rilevate nella Bassa e Media Pianura".
I caratteri ambientali dell'Unità di Paesaggio n. 2 sono caratterizzati dalla trama degli antichi paleoalvei fluviali, morfologicamente emergenti sull'intorno delle aree vallive riscattate dalla bonifica. Sono presenti vari dossi con disegno complesso e con digitazioni dall'andamento vario. **La zona di studio si trova ubicata in un'area priva di strutture geomorfologiche importanti.** Nel PRG Vigente l'area di ubicazione della struttura è classificata in zona omogenea D2, artigianali e industriali prevalentemente edificate, (art.52).

La litologia profonda riscontrata nell'area presenta diversi livelli litologici.
Al di sotto del riporto dello spessore di 0.60 m, fino alla quota di – 5.60 si trovano argille limose poco consistenti con livelli organici soffici e comprimibili;
da – 5.60 a – 8.00 m argille compatte;
da – 8.00 alla profondità variabile da – 13.40 m (prova n.1) a – 15.80 m (prova n. 2) sabbie inizialmente poco addensate poi addensate;
seguono, dopo il livello di sabbie, nuovamente argille compatte intercalate da rari livelli limosi;
da – 24.20 fino alla profondità indagata dalle prove (- 35.00 m) si trovano sabbie addensate.
I parametri geotecnici caratteristici per i vari strati riscontrati nella sequenza litologica sono derivati dalle correlazioni dei valori di qc e fs ricavati direttamente dalle prove penetrometriche e interpretate e "ragionate" dallo scrivente. I parametri caratteristici cu_k per gli strati coesivi e ϕ_k per i terreni sciolti sono:
Primo strato, da sotto il riporto fino alla quota di – 5.60 m: argille limose poco consistenti con livelli organici soffici e comprimibili, cu_k= 43.90 kPa;
Secondo strato da – 5.60 m a – 8.00 m argille compatte, cu_k= 64.60 kPa;
Terzo strato da – 8.00 a alla profondità variabile da – 13.40 m (prova n.1) a – 15.80 m (prova n. 2) sabbie inizialmente poco addensate poi addensate, ϕ_k= 28.30°;
Quarto strato da – 13.4/15.80 a – 24.20 m argille compatte: cu_k= 72.20 kPa;
Quinto strato da –24.20 a – 35.00 m sabbie addensate, ϕ_k= 30.50°.

Per l'analisi di pericolosità sismica di base si è condotto un approfondimento di III livello. Gli effetti attesi sono amplificazione per caratteristiche litologiche, potenziali cedimenti e liquefazione. In base a quanto richiesto si è quindi fornita l'amplificazione stratigrafica, gli spettri di risposta, accelerazione attesa al suolo rigido di riferimento e quella attesa in superficie e si è condotta un analisi rischio liquefazione dei terreni sabbiosi saturi riscontrati.
La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo e la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato sono ricavati dall'analisi delle due prove eseguite con tomografo digitale e da un rilievo geofisico in onde di superficie MASW tarati dalla sequenza litostratigrafica definita dall'analisi della prova penetrometrica statica.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356383878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, dal diagramma del confronto delle curve H/V, di seguito riportato, abbiamo:



Un picco stratigrafico, caratteristico, così caratterizzato:

Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)	Periodo (s) Caratteristico (valori medi)
1	4,10	~ 1,00	~ 1,00

Il picco (1), rappresenta il passaggio al pseudo Bedrock sismico, si tratta di un contrasto di impedenza profondo circa 70 m. con Vs approssimabile a 450/500 m/s, confermato dai dati di letteratura, vedi carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna.

La modellazione in termini di **Vs**, è stata effettuata, su tutte le registrazioni, vincolando le curve spettrali alla curva di dispersione MASW e alla prove CPT effettuata sullo stesso sito.

Si è applicato il procedimento di calcolo indicato dalla Normativa secondo la formula:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{Vs_i}}$$

I calcoli sono stati condotti considerando 30 metri di sottosuolo a partire dal p.c. e i risultati sono:

HVSR 1 Vs (30) = 199 m/s - HVSR 2 Vs (30) = 205 m/s - MASW Vs (30) = 202 m/s

Il sito rientra in classe sismica di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi 180 m/s e 360 m/s ($15 < Nspt < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).

Il modello sismico del sottosuolo evidenzia un inversione di velocità alla profondità media di – 13.00 m per il passaggio da litologie sabbiose addensate a terreni argillosi compatti. L'inversione di velocità non è elevata si passa da una velocità di propagazione pari a 230/250 m/s a una velocità di 170/180 m/s.

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3358388878 – email:soc.geoprogetti@lin.it

Considerando tale inversione di velocità e l'ampiezza notevole registrata con l'analisi in sismica passiva del picco alla frequenza fondamentale di 1 Hz, si è scelto di fare un analisi di risposta sismica locale mediante modellazione numerica al fine di fornire gli spettri di risposta con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento $\xi = 5\%$ con analisi monodimensionale e lineare equivalente con modello viscoelastico e non utilizzare il metodo semplificato che fa riferimento alle categorie di sottosuolo secondo quanto espresso dal DM 2008.
Come input sismico di riferimento (PGA_0) si è utilizzato quello che deriva dai dati imposti secondo le NTC (2008) per il comune di Mirandola, scalato per un coefficiente d'uso 1.5 che corrisponde ad una classe d'uso III (costruzione il cui uso preveda affollamenti significativi), vita nominale ≥ 50 anni (opere ordinarie) pari a **$a_g(g)$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido = 0.17**
Per la definizione dello spettro di risposta elastico del sito si sono utilizzati gli accelerogrammi spettro-compatibili selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database" (ISESD) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.
Gli spettri attesi per il sito di studio sono indicati nella figura 10.
Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i tre sismi di riferimento sono:
$a_{max g}$=0.233g
$a_{max g}$=0.207g
$a_{max g}$=0.237g
Quindi la massima accelerazione attesa in superficie approssimata a due cifre decimali PGA = 0.24g
I fattori amplificativi in termini di PGA/PGA_0 per i tre sismi di riferimento sono:
amplificazione PGA/PGA_0 per il primo sisma di riferimento: 1.37
amplificazione PGA/PGA_0 per il secondo sisma di riferimento: 1.21
amplificazione PGA/PGA_0 per il terzo sisma di riferimento: 1.39
amplificazione PGA/PGA_0 = fattore di amplificazione stratigrafica S_s massimo (DM 2008) = 1.39
Si è riportato in figura 11 la funzione di trasferimento superficie/bedrock in cui è rappresentato il valore di amplificazione del moto del suolo alle varie frequenze dal bedrock alla superficie.
L'amplificazione massima per i tre sismi di riferimento alla frequenza fondamentale di 0.8 Hz è pari a:
2.264 per il primo sisma di riferimento
2.292 per il secondo sisma di riferimento
2.292 per il terzo sisma di riferimento.
Quindi l'amplificazione massima è di 2.9.
La frequenza fondamentale di 0.8 Hz è paragonabile a quella calcolata con le prove sismiche passive eseguite in sito HVRS (picco pari a 1.00 Hz) che individua un contrasto di impedenza profondo circa 70.00 m. Tale banda

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologie Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

di frequenza (0.8 ÷ 1,0 Hz) è quella fondamentale del sito corrispondente al periodo caratteristico che va da 1.0 a 1.25 s da confrontare con il periodo della struttura esistente da mettere in sicurezza.
La colonna stratigrafica dedotta dalla prova eseguita nel sito oggetto di studio evidenzia terreni di natura coesiva, argille e limi con una componente di coesione tale da non essere soggetti a fenomeni di liquefazione fino alla quota di – 8.00 metri quando si trova un livello dello spessore di 8 metri costituito da sabbie da poco addensate ad addensate sottofalda.
Più in profondità, al di sotto della quota di – 25.00 m si trovano sabbie addensate, troppo profonde per essere liquefacibili (il peso della colonna litostatica non sarà mai uguagliata dalla pressione interstiziale dei pori).
Sullo strato sabbioso compreso fra 8 e 16 metri è stata verificata la possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione mediante procedure denominate "metodi semplificati".
La verifica è stata eseguita con l'accelerazione massima attesa in superficie calcolata con smorzamento $\xi = 5\%$: $a_{max\ in\ superficie}$ (g) = 0.24.
Magnitudo momento definita sulla base della recente crisi sismica del Maggio 2012 con epicentro Finale Emilia e Medolla:
Maw = 5.90 (anno 2012).
Il fattore di correzione della magnitudo MSF = 1.85 NCEER (Seed R. B. et al.1997; 2003)
Infine il livello della soggiacenza della falda più alto misurato nel sito di studio nel Giugno 2012 pari a – 3.00 m dal p.c.
Negli strati sabbiosi sottofalda studiati risultano non liquefacibili con F_L > 1 e rischio liquefazione alto. rischio di liquefazione molto basso I_L=0.

Il livello della frangia freatica superficiale di circolazione nel materasso alluvionale, è stato misurato in foro all'atto d'esecuzione delle prove, in data 28/06/2012, alla quota di – 3.00 m dal p.c.
La frangia freatica presente in superficie è un livello idrico sospeso, povero e non utilizzabile perché presente in terreni poco permeabili testimonianza di una circolazione ipodermica.
In questa situazione la presenza di acqua è fortemente influenzata dalle precipitazioni che percolano nei primi metri di terreno e nei livelli limo-sabbiosi a permeabilità maggiore.
Nei periodi carenti in precipitazioni tale livello idrico spesso è assente nei primi quattro metri in quanto non alimentato dall'acqua meteorica, tende invece a crescere nei periodi invernali o comunque nei periodi con piogge abbondanti.

Dott. Geol. CESTARI PAOLO

Dott. Geol. RITA BALLISTA

G.G.A. S.r.l Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P.IVA: 03042940365 – Tel. 3356388678 – email:soc.geoprogetti@tin.it

ALLEGATI

1) UBICAZIONE INDAGINI ESEGUITE

2) DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE

3) DIAGRAMMI VALUTAZIONI LITOLOGICHE

4) PARAMETRI GEOTECNICI

5) TABELLE DI CAMPAGNA

6) DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

G.G.A. S.r.l. Geofisica Geologia Ambiente
Via Genova n. 1/M - 41036 MEDOLLA – MODENA –
P IVA: 03042940365 – Tel. 3356388878 – email:soc.geoprogetti@tin.it

MW-1

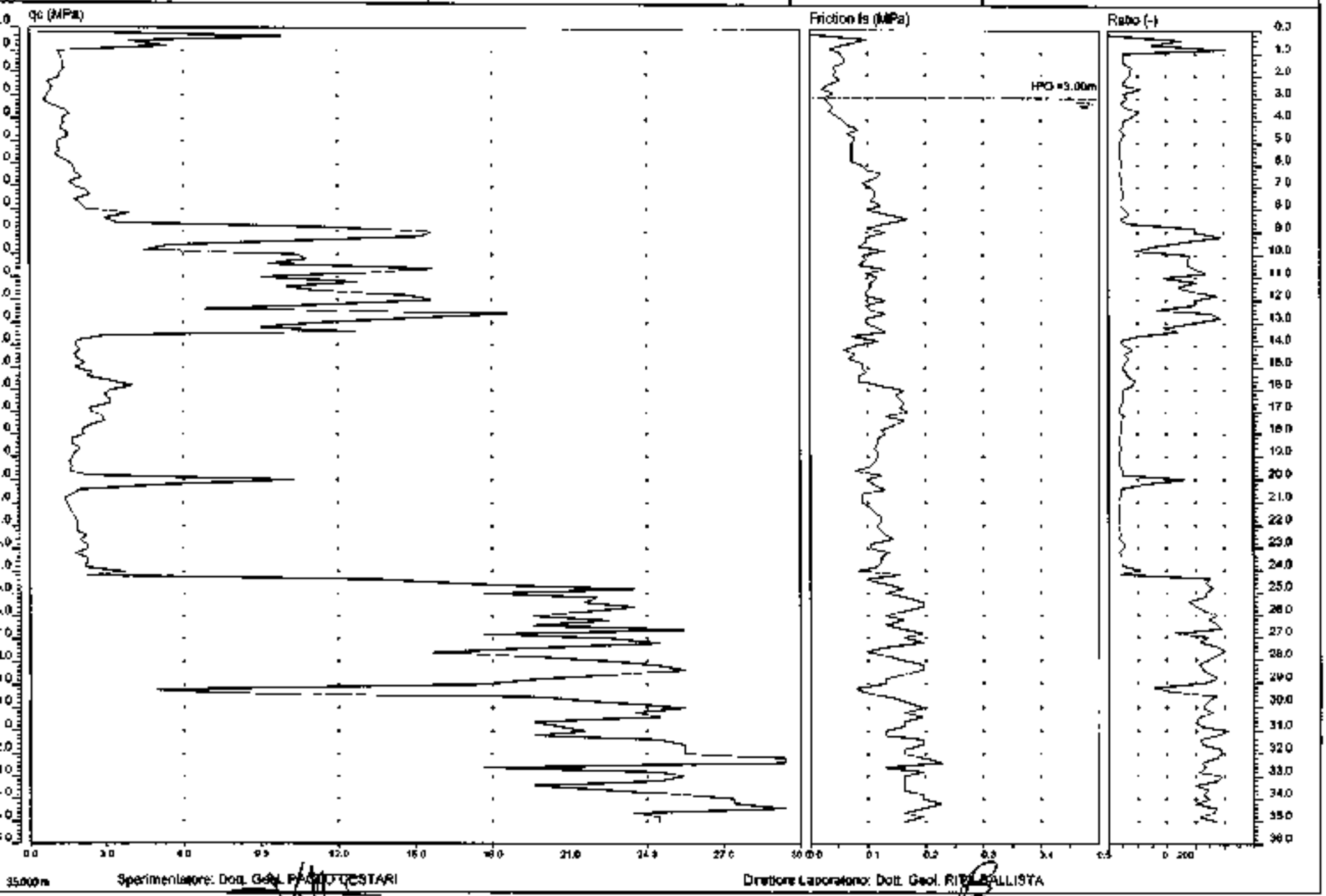
DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE

Laboratorio di prova geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 5442D del 27/01/2006
Sede legale: Via Duca D'Elco, 6 - 41036 Medolla (MO)

Committente: DARALDINI GIORGIO S.P.S.
Cantiere: MIRANDOLA Via Minelli
Data: 26/06/2012

Quota:
Prelevo:
Falda: -3.00

Prova n° 1



Sperimentatore: Dott. Geol. RICCARDO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RICCARDO CESTARI

Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006
Sede legale: Via Duca D'Elsa, 8 - 41058 Medolla (MO)

Committente: GRUPPO GUERRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Minelli
Data: 26/06/2012

Quota:
Piezom.
Falda -3.00

Prova n° 1

qc (MPa)

Friction fs (MPa)

HPO=3.00m

Ratio (-)

Sperimentatore: Dott. Geol. PAOLO CESTARI

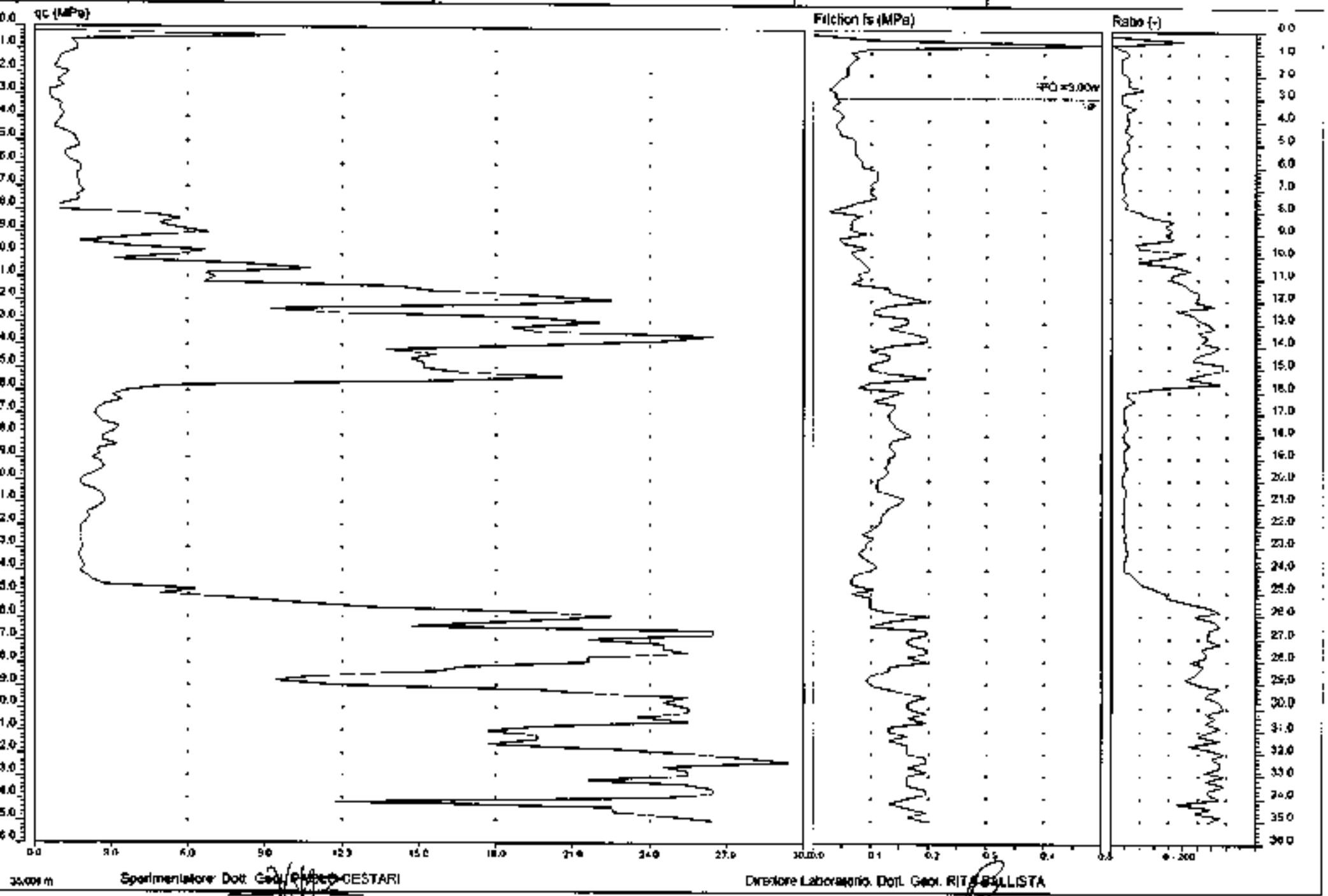
Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA

Laboratorio di prova geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 54420 del 27/07/2006
Sede legale: Via Dina D'Este, 8 – 41036 Medolla (MO)

Cantiere: MIRANDOLA Via Minelli
Data: 26/06/2012

Quota:
Piezoc
Falda: -3.00

Prova n° 2



35.000 m

Sperimentatore: Dott. Geol. Paolo CESTARI

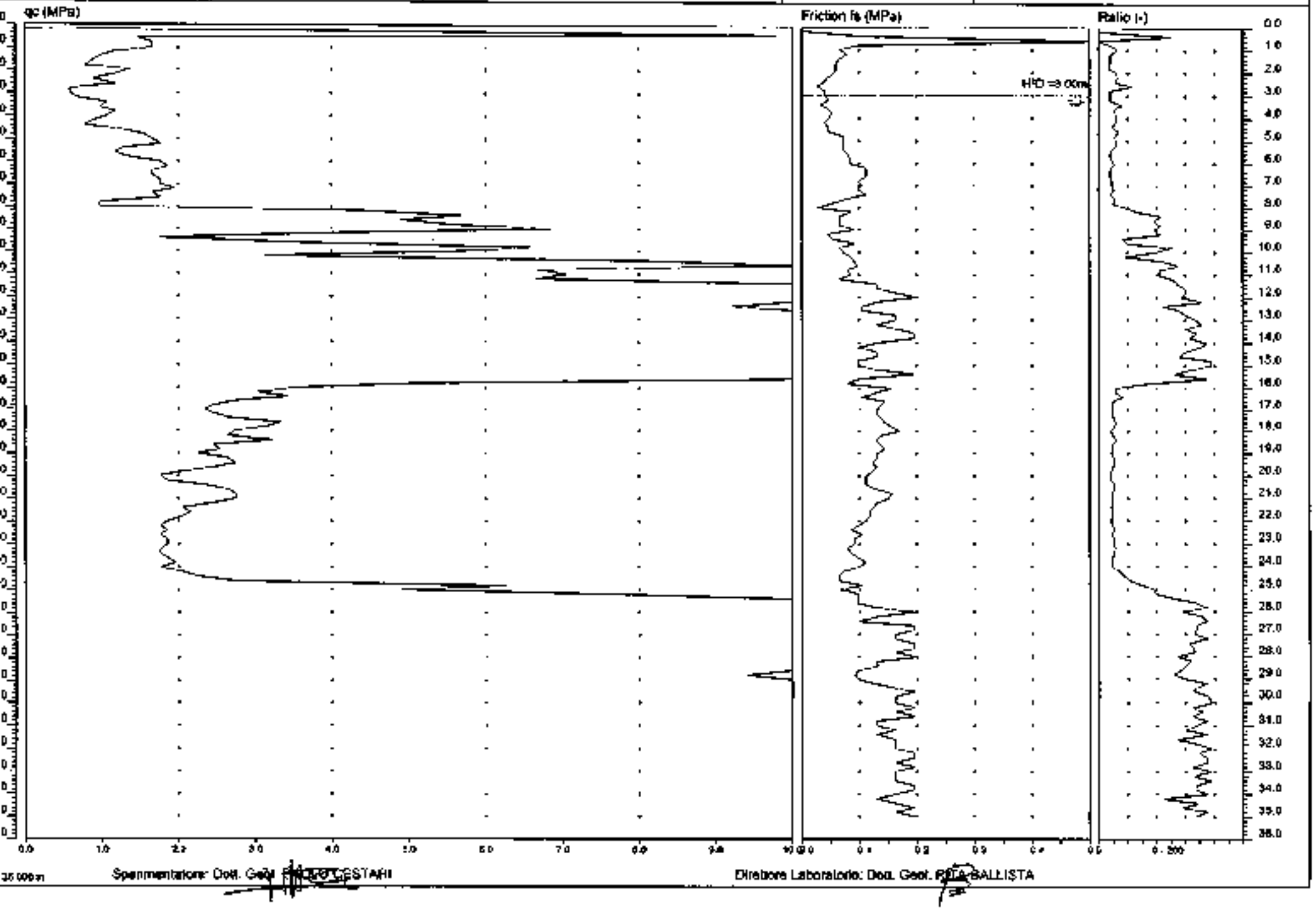
Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BULLISTA

Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 84420 del 27/01/2006
Sede legale: via Duca D'Este, 8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: BARBERINI GIORINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Mihelli
Data: 29/06/2012

Quota:
Prefora:
Falda: -3.00

Prova n° 2



Sperimentatore: Dott. Geol. [illegible]

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. [illegible]

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: F = (qc / fs)
Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977
Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

	F = qc / fs	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
	F ≤ 1470 kPa	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
1470 kPa <	F ≤ 2940 kPa	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
2940 kPa <	F ≤ 5880 kPa	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
	F > 5880 kPa	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di qc e di FR = (fs / qc) % :

- AO = argille organica e terreni misti
- Ati = argille (inorganica) molto tenera
- At = argille (inorganica) tenera
- Am = argille (inorganica) di media consistenza
- Ac = argille (inorganica) consistente
- Acc = argille (inorganica) molto consistente
- ASL = argille sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcarenti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- 1/3 ± 1/2 di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

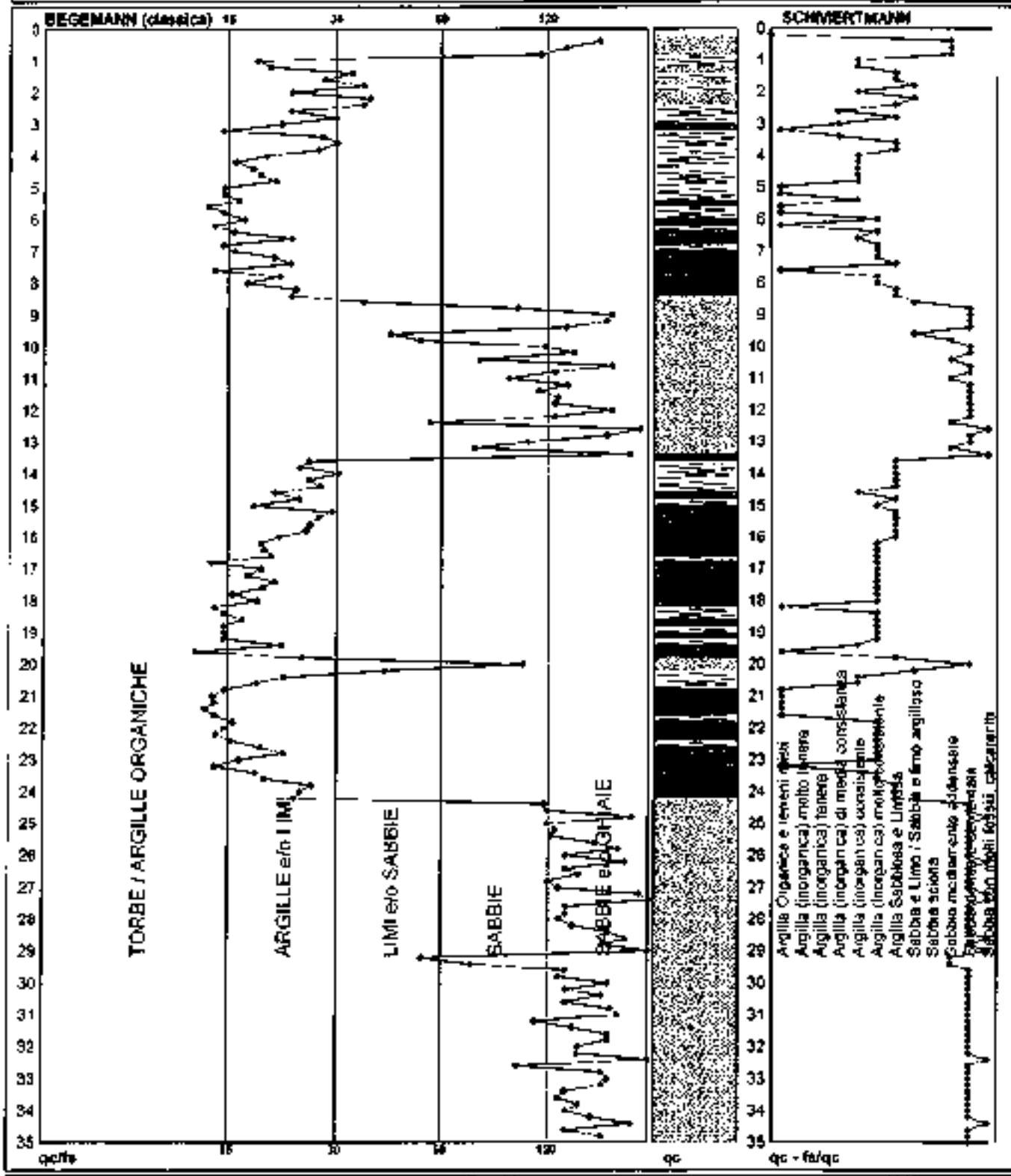
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	046-2012

Committente: BARALDINI QUIRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Minelli
Località: MIRANDOLA Via Minelli

U.M. MPa
Scala: 1:175
Pagina: 1
Elaborato:

Data esec.: 26/06/2012
Falda: -3.00 m s.p.c.



Torbe / Argille org.	18 punti.	10,34%	Argilla Organica e terreni misti	16 punti.	9,92%	Argilla Sabbiosa e Limosa	24 punti.	13,79%
Argille e/o Limi	69 punti.	39,66%	Argilla (inorganica) media consist.	3 punti.	1,72%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	5 punti.	2,87%
Limi e/o Sabbie	10 punti.	5,75%	Argilla (inorganica) consistente:	14 punti.	8,05%	Sabbia mediamente addensata:	10 punti.	5,75%
Sabbie:	34 punti.	19,54%	Argilla (inorganica) molto consis..	32 punti.	19,39%	Sabbia densa o cementata:	80 punti.	34,48%
Sabbie e/o Ghiaie .	43 punti.	24,71%				Sabbia con molti fossili calcarenti:	10 punti.	5,75%

note:

PCtab25

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

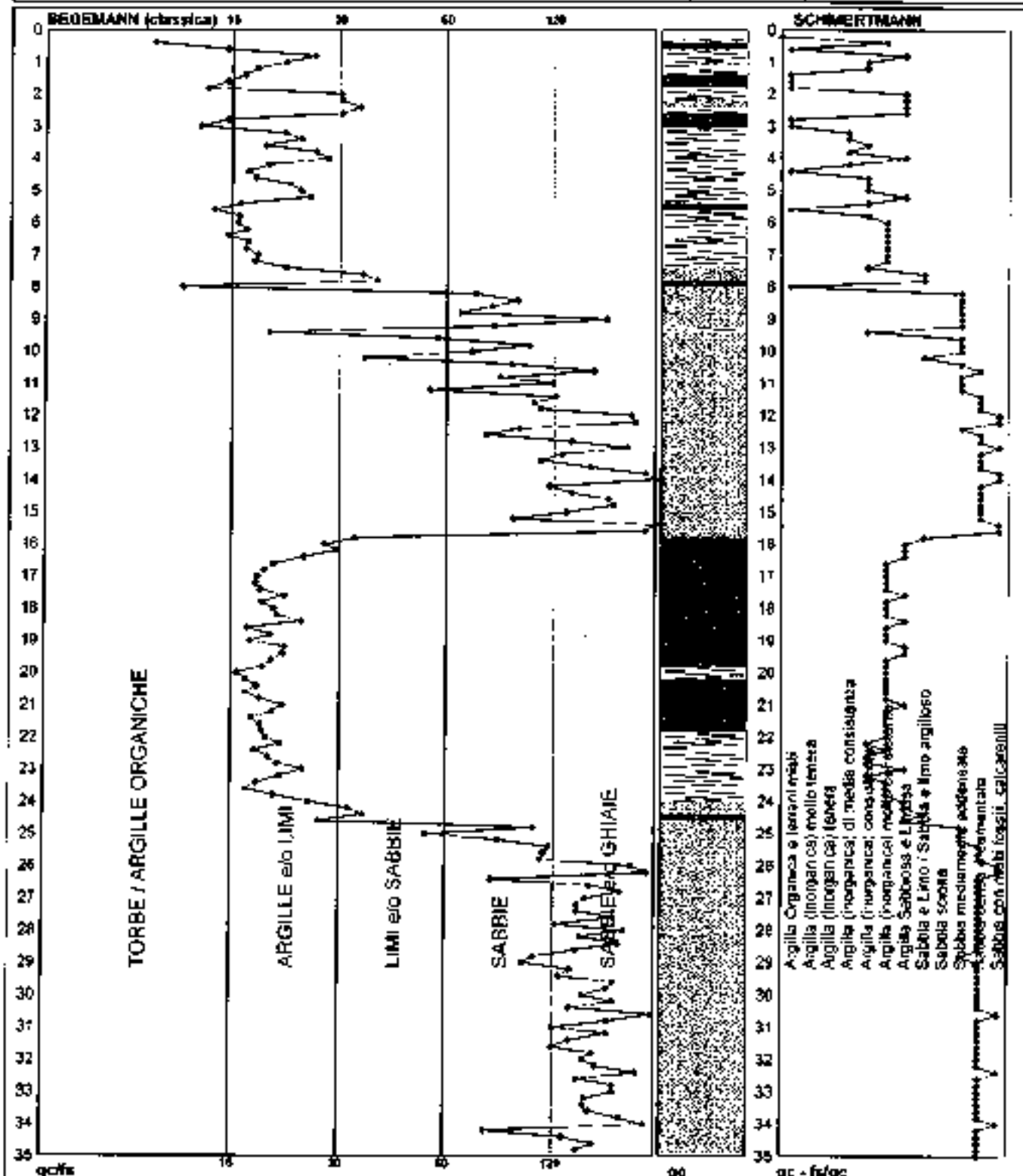
CPT	2
riferimento	046-2012

Committente: BARALDINI QUIRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Minelli
Località: MIRANDOLA Via Minelli

U.M.: MPa
Scala: 1:178
Pagina: 1
Elaborato:

Data esec. 25/06/2012

Falda: -3,00 m



Torbe / Argille org.	9 punti,	5.11%	Argilla Organica e terreni vegetali:	9 punti,	5.11%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	18 punti, 10.23%
Argille e/o Limi:	73 punti,	40.80%	Argilla (inorganica) molle limosa:	4 punti,	2.30%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	5 punti, 2.87%
Limi e/o Sabbie:	10 punti,	5.75%	Argilla (inorganica) consistente:	14 punti,	8.05%	Sabbia mediamente addensata:	11 punti, 6.34%
Sabbie:	38 punti,	21.84%	Argilla (inorganica) molto consist.:	16 punti,	20.11%	Sabbia sciolta o cementata:	57 punti, 32.76%
Sabbia e/o Ghiaia:	46 punti,	26.44%				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	12 punti, 6.90%

note:

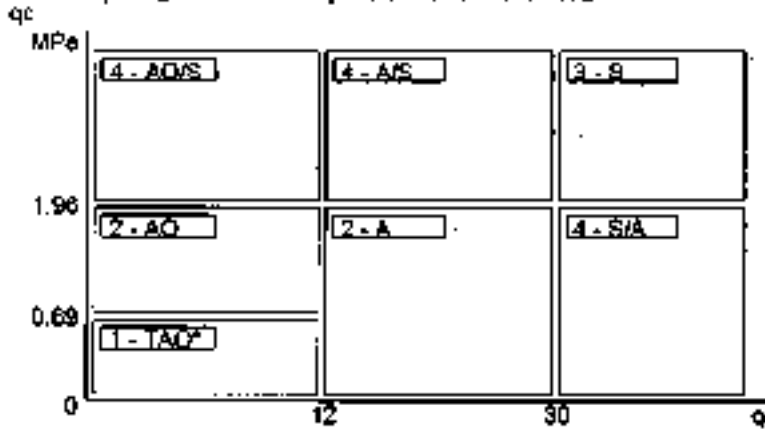
FC04025

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI
SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto qc / fs (Begemann 1966 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

qc ≤ 1.96 MPa : possibili terreni COESIVI — anche se (qc / fs) > 30

qc ≥ 1.96 MPa : possibili terreni GRANULARI — anche se (qc / fs) < 30



NATURA LITOLOGICA
1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
2 - COESIVA IN GENERE
3 - GRANULARE
4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - qc - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)

σ'vo = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')

Cu = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : Cu - qc]

OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - Cu - σ 'vo]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)

Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. Eu - Cu - OCR - Ip Ip= ind.plast.]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)

E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - qc]
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)

Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl : Mo - qc - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)

Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - Rp - σ 'vo (Schmertmann 1976)]

Ø' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : Ø' - Dr - qc_{σ} 'vo)
ØCa - Caquot (1948) — ØKo - Koppejan (1948)
ØDB - De Beer (1965) — ØSc - Schmertmann (1978)
ØDM - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) — ØMe - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)

F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g) - Dr]

Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (Burrow e Stokoe 1983)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	1
riferimento	046-2012

Committente:	BARALDINI QUIRINO S.P.A.	U.M.: MPa	Data esec.: 28/06/2012
Cantiere:	MIRANDOLA Via Mineiti	Pagina: 1	
Località:	MIRANDOLA Via Mineiti	Elaborato:	Falda: -3.00 m s.p.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/k	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	φ'cv	φ'p	φ'o	φ'B	φ'M	φ'Ma	Fr	E'50	E'25	Mo
m	U.M.			kN/m³	kPa	m/s	MPa	%	U.N.	U.N.	U.N.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		U.N.	U.N.	U.N.
0.20	-	-		1.65	3.3	134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	9.8	149.2		1.65	7.3	241	-	-	-	-	-	100	43	46	43	40	45	34	3.00	15.3	34.5	29.4
0.60	9.9	121.2		1.65	10.9	180	-	-	-	-	-	94	43	44	39	34	43	30	3.00	8.6	9.8	11.8
0.80	8.4	103.8		1.65	14.5	169	-	-	-	-	-	88	42	42	37	34	43	31	3.00	8.0	13.5	14.2
1.00	11	143		1.65	18.1	191	52.5	23.5	69	13.8	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.20	13	159.0		1.65	21.8	182	58.0	20.5	91	14.3	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.40	13	152.5		1.65	25.4	182	56.3	18.1	88.1	15.1	4.6	35	35	29	28	25	33	28	-	2.8	3.2	3.6
1.60	15	167		1.65	29.0	192	59.3	15.3	99	15.1	4.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.80	14	159.0		1.65	32.6	188	62.8	14.1	98.6	15.9	4.7	31	35	28	28	24	33	28	-	2.9	3.4	4.1
2.00	12	122.8		1.65	36.3	182	56.0	10.8	84	14.3	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.20	12	126.4		1.65	39.9	182	56.0	9.6	86	14.8	4.4	21	34	23	23	22	30	26	-	2.9	2.9	3.5
2.40	9.7	96.0		1.65	43.5	168	44.3	7.7	62.1	10.9	3.7	0	30	23	20	19	27	25	-	1.9	1.7	2.1
2.60	8.9	92.5		1.65	47.1	167	44.1	6.8	62.8	10.9	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.80	9.6	99.8		1.65	50.8	169	39.2	6.5	54.1	9.2	3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.00	8.7	91.2		1.64	54.4	168	38.3	5.7	54.8	9.2	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.20	8.8	98.0		1.68	58.3	169	39.4	5.6	56	9.4	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.40	8.9	97.3		1.63	65.8	180	44.1	4.8	65.3	22.8	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.60	9.4	98.8		1.64	66.9	169	62.4	7.6	91.2	21.4	4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	9.6	98.7		1.66	68.9	186	66.2	7.6	94.3	21.5	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	9.3	98.6		0.03	60.6	162	60.3	6.1	85.9	20.9	4.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.20	8.2	86.1		0.94	62.4	163	62.4	6.3	86.3	20.4	4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.40	8.2	87.0		0.93	64.2	163	56.0	5.3	77.6	20.3	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.60	8.5	89.9		0.95	66.1	164	65.3	6.2	97.5	25.0	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.80	8.5	90.5		0.95	68.0	164	65.3	6.0	98.0	27.0	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.00	9.1	95.1		0.91	69.7	165	52.8	4.4	79.5	26.2	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.20	9.1	95.1		0.91	71.5	161	62.8	4.9	94.0	30.0	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.40	8.2	86.4		0.92	73.3	162	58.0	4.5	86.5	30.7	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.60	8.0	83.7		0.93	75.1	160	49.0	3.7	73.2	27.8	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.80	8.4	85.1		0.94	76.9	163	52.4	3.8	77.3	32.0	4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.00	8.7	87.0		0.97	78.8	165	70.8	5.0	21.7	32.0	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.20	8.8	84.2		0.98	80.6	166	73.5	5.6	21.8	32.7	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.40	8.8	85.9		0.98	82.5	166	73.5	5.4	22.5	33.7	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.60	9.1	88.6		0.93	84.5	167	80.7	5.8	22.4	33.7	6.2	32	34	28	32	29	29	27	-	3.4	5.1	6.2
6.80	8.6	83.6		0.93	86.4	164	66.2	4.7	24.0	36.0	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.00	8.8	85.8		0.98	88.3	165	73.5	5.0	24.4	36.6	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.20	9.3	90.1		0.94	90.1	168	85.1	5.8	24.0	36.1	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.40	9.4	92.1		0.94	92.0	168	87.1	5.8	24.5	36.8	7.1	34	34	28	33	29	29	28	-	3.8	5.9	7.1
7.60	8.8	86.3		0.93	93.9	165	73.5	4.6	20.1	30.2	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.80	9.1	91.9		0.93	95.7	167	80.7	5.1	20.1	30.5	6.2	40	35	29	34	30	30	29	-	3.8	5.1	6.2
8.00	9.8	97.3		0.94	97.5	167	85.1	5.3	20.7	40.0	6.8	46	36	30	35	31	31	30	-	3.8	5.9	6.9
8.20	9.8	93.1		1.00	99.5	180	130.7	8.8	23.8	35.1	11.8	46	36	30	35	31	31	30	-	6.5	8.6	11.8
8.40	9.8	97.5		0.96	101.4	173	89.3	6.0	25.6	40.2	8.4	46	36	30	35	31	31	30	-	4.9	7.4	9.8
8.60	9.4	93.9		0.96	103.1	170	-	-	-	-	-	43	35	29	33	30	30	29	-	3.7	6.6	10.3
8.80	11.0	109.2		1.00	105.1	191	-	-	-	-	-	73	39	33	38	34	34	33	-	19.6	29.4	36.9
9.00	14.7	180.9		1.09	107.3	255	-	-	-	-	-	100	43	38	43	39	39	36	-	26.1	39.2	47.0
9.20	15.7	193.3		1.09	109.4	259	-	-	-	-	-	100	43	38	43	39	39	36	-	29.3	39.9	46.4
9.40	10.3	126.7		1.01	111.4	221	-	-	-	-	-	74	40	32	37	32	34	31	-	17.2	25.7	30.9
9.60	9.4	91.4		0.93	113.2	188	-	-	-	-	-	48	36	29	33	29	31	29	-	9.8	13.0	16.2
9.80	4.5	89.5		0.51	115.0	142	-	-	-	-	-	44	35	28	32	28	31	28	-	7.5	11.3	13.5
10.00	10.4	108.3		1.01	117.0	222	-	-	-	-	-	70	40	32	37	32	34	31	-	17.3	26.0	31.2
10.20	10.8	126.1		1.02	118.8	224	-	-	-	-	-	79	41	33	38	33	35	32	-	18.0	27.0	32.3
10.40	9.3	71.4		0.92	120.9	215	-	-	-	-	-	65	39	30	37	30	34	30	-	15.5	23.3	27.9
10.60	16.7	160.0		1.09	122.8	258	-	-	-	-	-	88	43	37	43	38	39	36	-	26.1	39.2	46.8
10.80	13.3	112.5		1.05	124.1	243	-	-	-	-	-	79	42	35	40	35	37	34	-	22.1	33.1	39.7
11.00	9.6	88.0		0.99	127.0	213	-	-	-	-	-	63	38	30	35	31	33	31	-	15.0	22.5	27.0
11.20	12.7	121.5		1.05	128.1	237	-	-	-	-	-	78	42	35	40	35	37	34	-	21.2	31.8	38.2
11.40	10.0	102.0		1.03	131.0	219	-	-	-	-	-	68	39	32	37	32	35	33	-	16.7	25.0	30.0
11.60	11.3	116.0		1.02	133.0	225	-	-	-	-	-	76	41	33	38	33	36	34	-	18.8	28.2	33.8
11.80	14.7	112.8		1.08	135.1	260	-	-	-	-	-	78	41	35	40	35	37	35	-	24.5	36.8	44.1
12.00	10.7	100.0		1.06	137.3	235	-	-	-	-	-	60	40	32	38	32	35	33	-	20.1	30.2	37.0
12.20	11.8	112.1		1.03	139.3	231	-	-	-	-	-	70	40	33	38	33	35	33	-	19.8	29.4	35.3
12.40	6.8	62.6		0.88	141.1	183	-	-	-	-	-	51	36	26	34	26	32	30	-	11.4	17.2	20.6
12.60	18.8	180.0		1.14	143.4	278	-	-	-	-	-	85	41	34	41	36	37	37	-	31.0	46.6	55.9
12.80	15.2	165.0		1.08	145.5	251	-	-	-	-	-	77	41	33	39	33	36	35	-	23.8	35.8	43.0
13.00	11.3	93.8		1.02	147.3	228	-	-	-	-	-	67	38	31	36	31	35	33	-	18.0	26.7	31.8
13.20	9.0	88.2		0.89	149.4	211	-	-	-	-	-	58	36	30	37	29	33	31	-	15.0	22.5	27.0
13.40	12.7	178.1		1.05	151.3	237	-	-	-	-	-	78	40	32	39	32	36	34	-	21.2	31.8	38.2
13.60	2.8	25.0		0.66	153.4	373	36.0	3.6	43.3	69.3	8.6	29	34	24	31	29	28	28	-	4.8	7.4	6.9
13.80	8.8	23.6		0.93	155.3	405	76.0	7.4	39.8	59.3	9.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.00	8.8	30.0		0.91	157.1	396	73.5	7.4	39.2	58.3	8.5	34	31	22	31	27	28	27	-	2.9	4.4	5.9
14.20	9.0	25.9		0.93	158.9	397	78.4	7.8	41.6	61.5	8.9	34	32	22	32	28	28	27	-	3.3	4.9	6.9
14.40	8.6	29.9		0.90	160.8	386	73.5	7.4	39.6	58.4	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.60	8.9	29.4		0.90	162.6	386	76.0	7.4	40.1	61.0	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.80	8.2	29.7		0.90	164.5	380	62.9	6.2	32.0	48.3	6.5	7	32	23	29	19	28	28	-	3.6	5.4	6.5
15.00	8.8	28.8		0.90	166.5	386	73.5	7.3	39.1	60.1	8.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.20	8.5	28.7		0.91	168.4	170	68.1	6.8	36.1	55.7	7.4	11	33	23	30	19	29	29	-	4.1	6.1	7.4
15.40	8.3	28.4		0.91	170.2	168	65.1	6.8	34.3	52.6	6.8	6	32	23	30	18	28	28	-	3.8	5.8	6.8
15.60	9.1	29.2		0.90	172.1	174	104.5	9.4	55.3	72.6	9.0	18	34	24	31	20	27	29	-	5.2	7.8	8.4
15.80	4.0	24.6		0.86	174.1	160	133.6	4.5	44.6	72.8	12.1	27	35	25	32	21	30	30	-	6.7	10.0	12.1
16.00	9.1	29.8		0.90	176.0	174	104.5	9.3	55.2	73.8	9.0	18	33	24	31	20	27	29	-	5.2	7.8	8.4
16.20	2.9	18.8		0.96	177.8	173	98.8	8.0	48.6	72.7	8.8	18	33	24	30	19	27	29	-	4.9	7.4	8.8
16.40	9.1	28.2		0.90	179.7	174	104.5	9.2	55.8	74.9	9.4	18	33	24	31	20	27	29	-	5.2	7.8	9.4
16.60	9.1	29.0		0.90	181.6	174	104.5	9.1	50.6	75.5	9.4	18	33	24	31	19	27	29	-	5.2	7.8	9.4
16.80	2.9	19.9		0.96	183.5	169	97.1	8.6	48.3	68.5	7.1	8	32	23	30	18	26	28	-	3.9	5.9	7.1
17.00	2.5	18.8		0.94	185.3	176	88.1	8.5	47.1	70.7	7.4	9	33	23	30	18	26	28	-	4.1	6.1	7.4
17.20	2.8	17.4		0.96	187.2	172	98.9	8.7	49.6	74.2	8.5	14	33	23	30	19	26	28	-	4.7	7.1	8.5
17.40	2.9	20.4		0.96	189.1	173	98.0	8.6	50.1	75.2	8.8	15	33	23	30	19	27	29	-	4.9	7.4	8.8
17.60	2.4	14.8		0.94	190.9	168	83.1	8.4	42.0	63.0	6.7	7	32	23	30	18	25	28	-	3.9	5.9	7.1
17.80	2.1	13.6		0.93	192.8	167	80.1	8.1	44.1	67.0	6.2	2	31	22	30	17	25	27	-	3.4	5.1	6.2
18.00	2.2	15.3		0.93	194.6	168	82.9	7.2	45.3	68.5	6.6	3	32	22	30	17	25	28	-	3.8	5.4	6.5
18.20	1.7	14.2		0.97	196.5	165	70.9	1.9	40.1	60.9	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18.40	1.7	15.0		0.97	198.4	163	70.9	1.7	40.5	61.0	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18.60	2.0	16.7		0.83	200.2	187	78.4	1.8	44.1	66.2	6.8	9	34	24	33	18	27	29	-	3.8	4.9	5.8
18.80	1.8	15.0		0.98	202.1	166	73.5	1.8	42.1	63.0	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.00	1.7	15.0		0.97	204.0	165	70.8	1.7	40.8	61.2	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.20	1.6	13.9		0.96	205.9	164	68.2	1.6	39.4	59.3	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.40	1.7	21.3		0.87	207.8	165	70.9	1.6	40.5	61.4	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.60	1.6	12.6		0.96	209.7	164	69.2	1.5	39.7	59.3	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.80	2.4	24.0		0.84	211.5	169	87.1	2.1	48.4	72.7	7.1	4	32	23	30	18	27	29	-	3.8	4.9	7.1
20.00	10.3	82.5		1.01	213.5	221	-	-	-	-	-	65	38	28	35	28	33	34	-	17.2	25.7	30.8

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	1
riferimento	046-2012

Committente:	BARALDINI QUIRINO S.P.A.	U.M.: MPa	Data esec.: 26/06/2012
Cantiere:	MIRANDOLA Via Minelli	Pagina: 2	
Località:	MIRANDOLA Via Minelli	Elaborato:	Falda: -3.00 m s.p.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof	qc	qc/fs	zona	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	ED50	Eu25	Mo	Dr	aSc	aCo	aKo	aDB	aDM	aMe	F.L.	E50	E25	Mo
m	U.M.			kN/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		U.M.	U.M.	U.M.
20.00	90.3	82.9		1.01	215.5	221	–	–	–	–	–	64	36	28	26	24	39	33	–	17.2	25.7	36.8
20.20	5.2	38.6		0.82	217.3	188	–	–	–	–	–	31	75	28	23	21	39	34	–	6.7	15.0	18.8
20.40	2.3	21.5		0.69	219.1	167	78.4	8.7	44.9	67.4	5.9	–	31	24	17	16	26	27	–	3.3	4.9	5.8
20.60	1.7	18.3		0.67	221.0	166	70.9	8.5	41.3	62.0	5.3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
20.80	1.4	19.1		0.66	222.8	165	62.4	8.2	36.8	55.3	4.7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
21.00	1.5	14.9		0.65	224.7	164	65.3	8.3	38.5	57.8	4.9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
21.20	1.6	14.7		0.65	226.6	164	66.2	8.4	40.0	60.1	5.1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
21.40	1.7	13.1		0.67	228.5	166	70.9	8.5	41.5	62.2	5.3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
21.60	1.8	14.2		0.68	230.4	168	73.5	8.5	42.8	64.8	5.5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
21.80	1.9	15.9		0.69	232.4	169	76.9	8.6	44.2	66.5	5.7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
22.00	1.9	15.9		0.69	234.3	169	76.9	8.5	44.2	66.5	5.7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
22.20	1.9	14.3		0.69	236.2	169	76.9	8.5	44.1	66.4	5.7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
22.40	2.1	15.8		0.71	238.1	169	85.1	8.7	48.1	73.1	6.6	–	31	24	17	17	35	33	–	3.6	5.6	6.6
22.60	2.0	16.7		0.70	239.9	167	78.4	8.5	45.5	68.4	5.9	–	31	25	17	16	35	32	–	3.5	4.9	5.9
22.80	2.0	21.5		0.64	241.7	160	65.1	8.7	40.1	57.3	6.6	–	31	24	17	16	35	33	–	3.6	5.6	6.6
23.00	2.0	19.1		0.64	243.6	160	65.1	8.7	40.2	57.4	6.6	–	31	24	17	16	35	33	–	3.6	5.6	6.6
23.20	1.8	14.2		0.59	245.5	155	73.5	8.4	43.2	64.8	5.5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
23.40	2.0	19.1		0.64	247.3	160	65.1	8.7	40.1	57.8	6.6	–	31	24	17	16	35	33	–	3.6	5.6	6.6
23.60	2.0	19.2		0.64	249.1	160	65.1	8.6	40.1	57.7	6.6	–	31	24	17	16	35	33	–	3.6	5.6	6.6
23.80	2.0	20.1		0.63	251.0	160	63.9	8.6	40.1	57.8	6.5	–	31	24	17	16	35	33	–	3.6	5.4	6.5
24.00	3.7	23.8		0.99	252.9	178	124.1	9.6	66.1	97.7	11.2	46	33	28	20	19	38	36	–	5.2	9.3	11.2
24.20	2.0	20.0		0.64	254.8	160	65.1	8.6	40.1	57.8	6.6	–	31	24	17	16	35	33	–	3.6	5.6	6.6
24.40	13.7	105.1		1.08	256.6	224	–	–	–	–	–	80	39	36	26	25	43	40	–	22.9	34.3	41.2
24.60	17.0	107.8		1.12	258.9	238	–	–	–	–	–	88	39	38	28	26	45	42	–	30.4	44.1	52.9
24.80	23.5	160.5		1.15	261.3	308	–	–	–	–	–	78	41	38	29	27	46	43	–	30.2	56.9	70.5
25.00	17.9	107.8		1.12	263.6	248	–	–	–	–	–	90	39	38	28	26	45	42	–	30.4	44.1	52.9
25.20	22.1	142.5		1.15	265.7	288	–	–	–	–	–	78	40	38	29	27	46	43	–	35.6	55.1	66.2
25.40	21.9	140.9		1.15	268.0	285	–	–	–	–	–	76	40	38	29	27	46	43	–	35.4	54.8	65.7
25.60	23.6	143.7		1.15	270.2	308	–	–	–	–	–	77	41	38	29	27	46	43	–	38.3	59.6	70.8
25.80	21.8	165.4		1.15	272.5	285	–	–	–	–	–	74	40	38	29	27	46	43	–	32.9	50.9	61.7
26.00	19.8	119.8		1.15	274.7	282	–	–	–	–	–	71	40	38	28	26	45	42	–	32.7	49.0	58.8
26.20	22.6	172.9		1.15	277.0	291	–	–	–	–	–	75	40	38	29	27	46	43	–	37.6	58.4	67.6
26.40	19.6	119.8		1.15	279.3	282	–	–	–	–	–	70	40	38	28	26	45	42	–	32.7	49.0	58.8
26.60	25.6	136.0		1.15	281.6	320	–	–	–	–	–	79	41	38	29	27	46	43	–	42.6	63.7	76.4
26.80	17.8	107.8		1.12	283.7	258	–	–	–	–	–	66	39	38	28	26	45	42	–	29.4	44.1	52.9
27.00	22.8	113.0		1.15	286.0	309	–	–	–	–	–	74	40	38	29	27	46	43	–	37.8	56.4	67.6
27.20	24.5	268.0		1.15	288.2	314	–	–	–	–	–	77	41	38	29	27	46	43	–	40.8	61.3	73.5
27.40	19.6	220.0		1.15	290.5	282	–	–	–	–	–	66	40	38	28	26	45	42	–	32.7	49.0	58.8
27.60	19.7	120.3		1.06	292.6	258	–	–	–	–	–	61	39	38	27	25	44	41	–	28.1	38.2	47.8
27.80	19.6	119.8		1.15	294.8	282	–	–	–	–	–	65	40	38	28	26	45	42	–	32.7	49.0	58.8
28.00	22.5	115.0		1.15	297.1	301	–	–	–	–	–	74	40	38	29	27	46	43	–	37.6	56.4	67.6
28.20	24.5	125.0		1.15	299.4	314	–	–	–	–	–	76	40	38	29	27	46	43	–	40.8	61.3	73.5
28.40	25.5	155.7		1.15	301.6	320	–	–	–	–	–	77	41	38	29	27	46	43	–	42.5	63.7	76.4
28.60	23.5	172.8		1.15	303.9	301	–	–	–	–	–	73	41	38	29	27	46	43	–	37.6	56.4	67.6
28.80	19.6	150.4		1.15	306.1	282	–	–	–	–	–	66	39	38	28	26	45	42	–	32.7	49.0	58.8
29.00	17.6	228.0		1.02	308.2	269	–	–	–	–	–	64	39	38	27	25	44	41	–	29.4	44.1	52.9
29.20	4.9	50.0		0.93	310.1	186	–	–	–	–	–	20	34	33	20	18	37	31	–	8.2	12.3	14.7
29.40	6.8	46.7		0.98	312.0	212	–	–	–	–	–	30	36	33	22	20	39	33	–	14.7	22.1	26.5
29.60	19.6	119.8		1.15	314.3	282	–	–	–	–	–	63	39	38	28	26	45	42	–	32.7	49.0	58.8
29.80	22.5	115.0		1.15	316.5	301	–	–	–	–	–	72	40	38	29	27	46	43	–	37.6	56.4	67.6
30.00	23.5	159.7		1.15	318.8	320	–	–	–	–	–	76	40	38	29	27	46	43	–	42.5	63.7	76.4
30.20	23.5	120.9		1.15	321.1	309	–	–	–	–	–	73	40	38	29	26	46	43	–	39.2	58.8	70.6
30.40	28.5	149.7		1.15	323.3	314	–	–	–	–	–	74	40	38	29	27	46	43	–	46.8	61.3	73.5
30.60	18.6	188.8		1.15	325.6	282	–	–	–	–	–	67	39	38	28	25	45	42	–	32.7	49.0	58.8
30.80	20.6	157.8		1.15	327.8	288	–	–	–	–	–	68	39	38	28	26	45	42	–	34.3	51.5	61.7
31.00	21.8	165.4		1.15	330.1	285	–	–	–	–	–	68	39	38	28	26	45	42	–	35.9	53.9	64.7
31.20	19.6	100.9		1.15	332.3	282	–	–	–	–	–	66	39	38	27	25	44	41	–	32.7	49.0	58.8
31.40	24.5	125.9		1.15	334.6	314	–	–	–	–	–	74	40	38	29	28	46	43	–	40.8	61.3	73.5
31.60	25.5	165.7		1.15	336.9	320	–	–	–	–	–	75	40	38	29	28	46	43	–	42.5	63.7	76.4
31.80	25.5	153.7		1.15	339.1	320	–	–	–	–	–	75	40	38	29	28	46	43	–	42.5	63.7	76.4
32.00	25.5	159.0		1.15	341.4	320	–	–	–	–	–	74	40	38	29	28	46	43	–	42.5	63.7	76.4
32.20	28.4	126.8		1.15	343.6	348	–	–	–	–	–	79	41	38	29	27	46	43	–	46.9	70.5	84.2
32.40	29.4	228.6		1.15	345.9	348	–	–	–	–	–	78	41	38	29	27	46	43	–	48.0	73.5	88.2
32.60	17.6	90.0		1.12	348.0	269	–	–	–	–	–	69	39	38	28	25	45	42	–	29.4	44.1	52.9
32.80	24.5	149.7		1.15	350.3	314	–	–	–	–	–	72	40	38	29	26	46	43	–	40.8	61.3	73.5
33.00	25.5	165.7		1.15	352.6	320	–	–	–	–	–	74	40	38	29	26	46	43	–	42.5	63.7	76.4
33.20	24.5	148.7		1.15	354.8	314	–	–	–	–	–	72	40	38	29	26	46	43	–	40.8	61.3	73.5
33.40	18.6	119.8		1.15	357.1	282	–	–	–	–	–	64	39	38	27	25	44	41	–	32.7	49.0	58.8
33.60	22.5	116.0		1.15	359.3	301	–	–	–	–	–	69	40	38	28	26	45	42	–	37.6	56.4	67.6
33.80	25.5	190.0		1.25	361.8	320	–	–	–	–	–	78	40	38	29	26	46	43	–	42.5	63.7	76.4
34.00	27.4	120.2		1.15	363.6	339	–	–	–	–	–	75	40	38	29	26	46	43	–	45.7	68.6	82.3
34.20	27.4	140.0		1.15	366.1	339	–	–	–	–	–	73	40	38	29	26	46	43	–	45.7	68.6	82.3
34.40	29.4	179.6		1.15	368.3	348	–	–	–	–	–	77	41	38	29	27	46	43	–	49.0	73.5	88.2
34.60	23.5	120.0		1.15	370.6	308	–	–	–	–	–	70	40	38	28	26	45	42	–	39.2	58.8	70.6
34.80	24.5	149.7		1.15	372.8	314	–	–	–	–	–	71	40	38	29	26	46	43	–	40.8	61.3	73.5
35.00	24.5	–		1.15	375.1	314	–	–	–	–	–	71	40	38	29	26	46	43	–	40.8	61.3	73.5

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	2
riferimento	046-2012

Committente: BARALDINI QUIRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Minotti
Località: MIRANDOLA Via Minotti

U.M.: MPa
Pagina: 1
Elaborato:

Data prove: 26/06/2012
Falda: -3.00 m 1.00

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E50	E25	Mo
m	U.M.			kN/m³	kPa	m/s	kPa		U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		U.M.	U.M.	U.M.
0.20	–	–		1.65	3.3	154	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	–	–
0.40	9.8	9.7		1.88	7.5	216	326.2	69.9	95.5	89.3	29.4	100	45	46	48	49	45	54		16.5	24.5	29.4
0.60	1.5	15.0		1.65	10.8	264	65.5	59.0	19.1	16.7	4.9											
0.80	1.7	23.4		1.65	14.6	283	70.8	45.6	12.1	10.1	5.9											
1.00	1.7	21.0		1.65	18.7	295	70.9	34.5	12.1	10.1	5.9											
1.20	1.3	17.9		1.65	21.8	303	56.0	30.5	9.6	11.3	4.4											
1.40	1.0	16.7		1.65	25.4	310	48.0	14.3	8.3	12.6	3.9											
1.60	0.3	15.0		1.65	28.0	319	44.1	10.6	7.5	11.2	3.7											
1.80	0.3	10.3		1.65	32.6	329	38.2	7.9	7.9	11.8	3.4											
2.00	0.4	29.0		1.65	36.3	341	62.4	10.4	10.5	15.0	4.7											
2.20	0.3	30.0		1.65	39.9	349	56.8	9.5	9.5	14.4	4.4	21	34	35	33	32	30	36		2.0	2.9	3.5
2.40	0.3	33.3		1.65	43.6	360	44.1	8.4	10.3	16.0	3.7	0	33	35	31	30	28	36		1.5	2.2	2.8
2.60	0.3	30.0		1.65	47.1	368	36.9	7.0	10.1	17.1	4.4	17	33	36	33	31	29	36		2.0	2.8	3.5
2.80	0.6	15.0		1.65	50.8	378	39.4	3.2	2.8	4.2	0.8											
3.00	0.5	12.8		0.48	51.7	378	29.4	2.1	2.9	4.3	0.8											
3.20	0.7	21.3		0.64	53.9	384	34.3	2.6	15.1	23.8	3.2											
3.40	1.1	23.4		0.69	56.1	391	52.6	3.9	14.6	22.0	4.2											
3.60	1.0	16.9		0.69	58.0	400	49.9	3.5	18.5	23.4	3.9											
3.80	1.2	25.5		0.82	59.7	402	39.9	2.9	15.5	23.4	4.4											
4.00	1.1	27.9		0.91	60.4	401	36.4	2.5	10.5	24.8	4.2											
4.20	0.9	19.1		0.88	62.2	400	46.1	3.1	17.1	28.0	3.7											
4.40	0.8	17.9		0.84	63.9	409	39.2	2.4	10.9	20.0	3.1											
4.60	1.3	17.9		0.99	65.7	402	56.3	3.5	17.5	28.7	4.6											
4.80	1.0	21.9		0.99	67.9	404	50.2	2.9	17.5	29.9	5.1											
5.00	1.7	23.3		0.97	69.5	405	70.9	4.0	18.9	29.8	5.9											
5.20	1.8	24.7		0.99	71.4	408	73.9	4.0	19.4	27.0	6.5											
5.40	1.3	18.9		0.99	73.2	402	58.3	4.8	20.3	30.5	4.8											
5.60	1.2	13.8		0.92	75.0	402	59.8	4.4	20.9	31.4	4.1											
5.80	1.4	18.1		0.94	76.9	403	62.4	4.8	21.3	32.0	4.7											
6.00	1.8	18.0		0.96	78.8	406	78.5	6.0	24.1	34.9	5.6											
6.20	1.9	18.8		0.99	80.7	405	78.9	5.9	21.8	32.8	5.7											
6.40	1.7	16.0		0.97	82.6	405	78.9	5.2	22.7	34.0	5.9											
6.60	1.7	17.0		0.97	84.5	405	70.9	5.0	23.3	34.5	5.3											
6.80	1.8	16.8		0.98	86.4	406	73.5	5.1	23.6	35.9	5.6											
7.00	1.8	18.0		0.96	88.4	408	73.5	5.0	24.4	36.8	5.5											
7.20	2.0	17.7		0.93	90.2	407	78.4	5.3	24.7	37.0	5.9	14	35	34	33	31	29	37		3.3	4.9	5.0
7.40	1.7	21.3		0.87	92.1	405	70.9	4.5	25.7	38.5	5.3											
7.60	1.6	24.0		0.81	93.9	405	73.5	4.8	26.1	39.2	5.5	14	35	34	34	32	29	37		2.9	4.4	5.0
7.80	1.0	37.0		0.86	95.8	403	49.0	2.1	26.2	37.8	3.9											
8.00	1.0	18.5		0.90	97.3	403	45.0	2.1	26.4	34.1	3.9											
8.20	4.4	87.2		0.81	98.1	403	–	–	–	–	–	44	31	31	35	34	32	38		7.4	11.0	13.2
8.40	5.7	48.8		0.93	100.0	411	–	–	–	–	–	60	36	36	37	36	34	41		9.5	14.2	17.1
8.60	4.8	74.5		0.82	101.7	408	–	–	–	–	–	47	33	33	35	34	33	39		8.2	12.3	14.7
8.80	5.6	61.3		0.83	103.5	410	–	–	–	–	–	54	35	35	36	35	33	40		9.3	14.0	16.8
9.00	6.9	140.8		0.95	105.4	420	–	–	–	–	–	58	36	36	37	36	35	42		10.4	17.2	20.6
9.20	3.8	75.9		0.90	106.2	418	–	–	–	–	–	36	34	34	34	33	31	36		6.5	9.8	11.8
9.40	1.6	89.4		0.98	108.1	420	73.5	3.6	31.1	48.5	5.5	–	–	–	–	–	–	–		–	–	–
9.60	3.5	53.7		0.69	110.0	417	–	–	–	–	–	51	35	35	37	36	34	40		6.9	9.5	10.8
9.80	6.7	99.2		0.95	110.7	420	–	–	–	–	–	55	36	36	37	36	34	40		10.3	16.7	20.0
10.00	5.4	65.3		0.93	113.5	420	–	–	–	–	–	48	34	34	36	35	33	39		9.2	14.0	16.8
10.20	3.1	34.4		0.68	117.2	419	–	–	–	–	–	28	15	28	33	32	30	36		5.3	7.6	9.4
10.40	6.3	84.0		0.87	118.1	428	–	–	–	–	–	51	35	35	36	35	33	39		10.7	15.6	18.7
10.60	10.8	137.5		1.02	121.1	434	–	–	–	–	–	70	46	36	38	37	35	42		16.9	27.0	32.3
10.80	8.7	74.1		0.96	123.0	438	–	–	–	–	–	58	36	36	37	36	34	40		11.8	18.7	23.0
11.00	7.7	107.2		0.95	124.9	440	–	–	–	–	–	55	36	36	36	35	34	40		11.0	17.6	21.2
11.20	6.7	91.1		0.95	126.7	440	–	–	–	–	–	52	36	36	36	35	33	39		11.1	16.7	20.0
11.40	14.2	109.0		1.07	128.6	447	–	–	–	–	–	78	41	36	39	38	36	43		23.7	36.5	42.6
11.60	15.7	95.8		1.09	130.9	456	–	–	–	–	–	81	41	36	39	38	36	43		26.1	39.2	47.0
11.80	18.6	109.0		1.11	133.2	462	–	–	–	–	–	88	42	37	40	39	37	44		32.7	49.0	58.8
12.00	22.9	172.9		1.16	135.9	471	–	–	–	–	–	93	42	37	40	39	37	44		37.8	56.8	68.2
12.20	18.5	177.8		1.14	137.7	476	–	–	–	–	–	85	42	36	39	38	36	43		31.0	46.8	55.9
12.40	9.2	87.8		0.89	139.5	474	–	–	–	–	–	61	39	34	37	36	34	41		15.4	23.0	27.6
12.60	11.8	79.8		1.03	141.5	481	–	–	–	–	–	68	40	35	38	37	35	42		19.6	29.4	35.3
12.80	16.5	116.6		1.15	143.8	492	–	–	–	–	–	85	42	36	39	38	36	43		32.7	49.0	58.8
13.00	22.1	168.2		1.15	146.1	498	–	–	–	–	–	90	42	37	40	39	37	44		36.8	55.1	66.2
13.20	16.6	113.6		1.14	148.4	498	–	–	–	–	–	84	42	36	39	38	36	43		31.0	46.8	55.9
13.40	19.6	160.0		1.15	150.8	502	–	–	–	–	–	85	42	36	39	38	36	43		32.7	49.0	58.8
13.60	26.6	136.0		1.15	153.9	507	–	–	–	–	–	96	43	37	40	39	37	44		44.1	66.2	79.4
13.80	24.5	188.0		1.15	156.1	514	–	–	–	–	–	92	42	36	39	38	36	43		40.8	61.3	73.5
14.00	19.6	250.0		1.15	157.4	512	–	–	–	–	–	84	41	36	38	37	35	42		32.7	49.0	58.8
14.20	13.7	105.3		1.08	158.5	514	–	–	–	–	–	72	40	35	37	36	34	41		22.9	34.3	41.2
14.40	15.7	120.8		1.09	161.6	520	–	–	–	–	–	76	40	35	38	37	35	42		26.1	39.2	47.0
14.60	14.7	150.0		1.08	163.7	520	–	–	–	–	–	73	40	35	37	36	34	41		24.5	36.8	44.1
14.80	15.2	155.0		1.08	165.8	522	–	–	–	–	–	74	40	35	38	37	35	42		25.3	38.0	45.6
15.00	15.3	196.5		1.06	167.9	523	–	–	–	–	–	74	40	35	37	36	34	41		25.3	38.0	45.6
15.20	16.7	85.6		1.11	170.1	523	–	–	–	–	–	77	40	35	38	37	35	42		27.5	41.7	50.0
15.40	20.6	246.9		1.15	172.4	528	–	–	–	–	–	84	41	36	39	38	36	43		34.3	51.5	61.7
15.60	14.7	187.5		1.08	174.5	530	–	–	–	–	–	73	40	35	37	36	34	41		24.5	36.8	44.1
15.80	9.1	92.5		0.92	176.3	527	–	–	–	–	–	55	34	34	35	34	32	38		8.5	12.7	15.3
16.00	9.0	27.1		0.99	178.2	531	187.6	3.1	50.1	75.4	10.5	51	34	34	35	34	32	38		9.9	14.9	19.8
16.20	9.0	29.0		0.97	180.1	534	191.3	3.1	49.1	74.2	9.1	51	34	34	35	34	32	38		9.8	7.8	9.1
16.40	9.4	23.8		0.98	182.0	535	194.3	3.5	54.3	77.0	10.3	51	34	34	35	34	32	38		9.7	8.6	10.3
16.60	2.7	20.0		0.86	183.9	472	84.6	2.7	48.1	72.9	8.2	13	33	33	33	32	30	36		4.6	6.9	8.2
16.80	2.6	18.8		0.83	185.7	470	89.1	2.8	47.2	70.8	7.4	9	33	33	33	32	30	36		4.1	6.4	7.4
17.00	2.4	18.0		0.84	187.6	469	87.1	2.4	46.2	70.0	7.1	7	32	32	32	31	29	35		3.8	5.9	7.1
17.20	2.6	17.8		0.81	189.4	470	89.1	2.4	47.3	71.3	7.4	8	32	32	32	31	29	35		4.1	6.4	7.4
17.40	2.8	18.5		0.85	191.3	471	92.8	2.5	48.8	73.4	7.9	11	33	33	33	32	30	36		4.4	6.8	7.9
17.60	3.3	21.2		0.93	193.2	476	111.3	3.1	53.5	80.2	10.0	16	33	33	34	33	31	37		5.6	8.3	10.0
17.80	3.1	18.5		0.87	195.1	474	104.5	2.8	52.4	78.9	9.4	15	33	33	34	33	31	37		5.2	7.8	9.4
18.00	2.7	20.0		0.88	197.0	472	84.8	2.5	50.1	75.1	8.2	11	33	33	33	32	30	36		4.8	6.9	8.2
18.20	2.6	20.3		0.85	198.8	471	82.8	2.4	49.7	74.5	7.9	10	32	32	33	32	30	36		4.4	6.6	7.9
18.40	3.2	23.6		0.97	200.8	475	107.8	2.8	54.1	81.2	9.7	16	33	34	34	33	31	37		5.4	8.1	9.7
18.60	2.5	17.0		0.91	202.6	474	89.1	2.3	48.6	73.8	7.4	7	32	33	33	32	30	36		4.1	6.1	7.4
18.80	2.5	19.5		0.85	204.5	471	91.0	2.3	49.5	74.2	7.8	8	32	33	33	32	30	36		4.2	6.4	7.8
19.00	2.3	17.3		0.91	206.3	469	85.1	2.1	47.3	70.9	6.8	3	32	33	33	32	30	36		3.8	5.8	6.8
19.20	2.8	21.5		0.95	208.2	471	102.6	2.3	56.5	75.7	7.9	9	32	33	33	32	30	36		4.4	6.6	7.9
19.40	2.7	21.1		0.95	210.0	472	98.6	2.2	51.3	76.9	8.1	10	32	33	33	32	30	36		4.6	6.9	8.2
19.60	2.5	19.7		0.94	211.9	473	89.1	2.0	49.0	73.5	7.4	8	32	33	33	32	30	36		4.1	6.1	7.4
19.80	2.1	16.5		0.93	213.7	467	80.7	1.9	44.8	67.7	6.7	–	31	31	32	31	29	35		3.8	5.6	6.7
20.00	2.0	15.9		0.89	215.6	465	73.5	1.8	42.6	63.7	6.4	–	–	–	–	–	–	–		–	–	–

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	2
ribaltamento	046-2012

Committente: BARALDINI QUIRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Minelli
Località: MIRANDOLA Via Minelli

U.M.: MPa
Pagina 2
Elaborato:

Data esec.: 26/06/2012
Falda: -3.00 m s.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/Nk	zona	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ø'Sc	ø'Ca	øKo	øDB	øDM	øHeb	FL	E'50	E'25	Mo
m	MPa			kN/m³	kPa	m/s	kPa		MPa	MPa	MPa	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		MPa	MPa	MPa
20.04	18	15.9		0.96	215.4	166	73.5	1.6	40.5	63.7	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.20	18	16.6		0.99	217.4	166	74.0	1.6	40.7	63.8	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.40	2.4	18.0		0.84	219.2	169	61.1	2.0	48.9	73.0	7.1	5	32	32	19	47	24	28		3.9	5.9	7.1
20.60	2.8	16.9		0.95	221.1	171	70.6	2.1	51.4	77.8	7.9	7	32	32	19	48	25	29		4.4	6.6	7.9
20.80	2.7	16.3		0.96	223.0	172	69.6	2.2	51.2	76.2	8.2	6	32	32	19	48	25	29		4.6	6.9	8.2
21.00	2.7	21.1		0.96	224.8	172	90.5	2.1	52.8	78.5	8.2	6	32	32	19	48	25	29		4.6	6.9	8.2
21.20	2.6	19.7		0.94	226.7	170	86.1	2.0	50.1	75.2	7.4	4	32	32	19	47	25	28		4.1	6.1	7.4
21.40	2.4	17.8		0.93	228.5	167	80.7	1.7	46.4	69.5	6.2	1	31	29	17	46	23	27		3.4	5.1	6.2
21.60	2.2	16.3		0.93	230.3	166	73.9	1.6	42.9	64.2	5.5	1	31	29	17	47	23	28		3.8	5.4	6.5
21.80	2.1	15.8		0.93	232.2	163	69.7	1.7	40.5	60.7	5.2	1	31	29	17	46	23	27		3.4	5.1	6.2
22.00	1.9	15.0		0.99	234.1	166	70.0	1.5	40.2	60.3	4.9	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
22.20	1.8	26.7		0.99	236.0	166	73.5	1.5	43.0	64.5	5.5	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
22.40	1.8	17.8		0.89	238.0	168	76.0	1.5	44.2	66.5	5.7	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
22.60	1.8	16.4		0.99	239.9	168	73.5	1.4	43.1	64.6	5.5	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
22.80	1.8	20.4		0.89	241.8	166	76.0	1.5	44.4	66.6	5.7	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
23.00	1.8	23.6		0.99	243.8	166	76.0	1.5	44.4	66.7	5.7	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
23.20	1.8	20.7		0.89	245.7	166	73.5	1.4	43.2	64.8	5.5	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
23.40	1.8	18.0		0.99	247.8	166	73.5	1.4	43.2	64.8	5.5	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
23.60	1.9	16.8		0.89	249.6	168	76.0	1.4	44.8	66.9	5.7	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
23.80	2.0	20.0		0.89	251.4	167	78.4	1.5	45.8	68.8	5.9	-	31	29	18	48	25	27		5.1	4.8	5.9
24.00	1.8	24.7		0.89	253.3	168	73.5	1.3	41.8	63.0	5.5	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
24.20	2.1	31.3		0.99	255.2	167	-	-	-	-	-	-	31	29	18	48	25	27		5.1	4.8	5.9
24.40	2.3	34.3		0.89	256.8	168	-	-	-	-	-	-	31	29	17	48	25	27		5.8	5.6	6.8
24.60	2.7	38.2		0.99	258.6	172	90.6	1.6	54.0	81.0	8.2	5	32	32	19	47	25	28		4.6	6.9	8.2
24.80	6.3	83.5		0.94	260.4	185	-	-	-	-	-	26	35	36	21	51	28	32		10.4	15.7	18.7
25.00	4.8	56.0		0.82	262.2	185	-	-	-	-	-	24	34	34	21	50	28	32		8.2	12.3	14.7
25.20	7.6	74.0		0.95	264.0	204	-	-	-	-	-	30	36	36	22	53	30	34		12.7	19.1	22.8
25.40	10.3	105.0		1.01	266.0	225	-	-	-	-	-	40	37	37	23	54	32	36		17.2	25.7	30.9
25.60	13.2	101.5		1.05	268.1	240	-	-	-	-	-	56	38	39	24	56	35	38		22.1	33.1	39.7
25.80	19.6	100.0		1.15	270.3	262	-	-	-	-	-	71	40	40	25	58	37	40		32.7	49.0	58.8
26.00	22.5	172.9		1.15	272.6	301	-	-	-	-	-	76	40	42	25	58	37	40		37.5	56.4	67.6
26.20	19.6	190.0		1.14	274.8	299	-	-	-	-	-	69	39	41	25	57	37	40		31.0	46.5	55.9
26.40	14.7	78.0		1.06	276.9	250	-	-	-	-	-	61	39	39	25	56	36	39		24.5	36.8	44.1
26.60	26.5	139.9		1.15	279.2	327	-	-	-	-	-	81	41	42	26	58	37	40		44.1	66.2	79.4
26.80	28.5	151.7		1.15	281.4	327	-	-	-	-	-	80	41	42	26	58	37	40		44.1	66.2	79.4
27.00	29.6	191.7		1.15	283.7	327	-	-	-	-	-	73	40	41	25	57	36	39		39.2	58.9	70.7
27.20	24.5	129.9		1.15	285.9	314	-	-	-	-	-	77	41	42	26	57	36	39		40.8	61.3	73.5
27.40	24.5	129.9		1.15	288.2	314	-	-	-	-	-	77	41	42	26	57	36	39		40.8	61.3	73.5
27.60	25.5	135.7		1.15	290.4	320	-	-	-	-	-	78	41	42	26	58	36	40		42.5	63.7	76.4
27.80	21.6	114.9		1.15	292.7	295	-	-	-	-	-	72	40	41	25	57	36	39		35.9	53.8	64.7
28.00	21.6	185.4		1.16	295.0	295	-	-	-	-	-	72	40	41	25	57	36	39		35.9	53.8	64.7
28.20	18.7	127.6		1.11	297.1	283	-	-	-	-	-	65	39	39	25	56	35	38		27.8	41.7	50.0
28.40	15.7	186.9		1.09	299.3	268	-	-	-	-	-	61	38	38	25	55	35	38		23.5	35.2	42.3
28.60	11.3	123.7		1.02	301.3	228	-	-	-	-	-	49	37	37	24	53	33	36		16.8	25.2	33.6
28.80	9.4	66.0		0.99	303.2	215	-	-	-	-	-	43	36	37	24	52	32	35		15.7	23.5	28.2
29.00	11.8	90.2		1.03	305.2	231	-	-	-	-	-	51	37	38	25	54	33	36		19.6	29.4	35.3
29.20	19.6	119.8		1.16	307.5	282	-	-	-	-	-	68	39	39	26	57	36	39		32.7	49.0	58.8
29.40	22.1	112.5		1.16	309.7	298	-	-	-	-	-	72	40	41	26	58	36	39		36.8	55.1	66.2
29.60	25.5	155.7		1.16	312.0	301	-	-	-	-	-	77	40	42	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
29.80	24.5	149.7		1.16	314.2	314	-	-	-	-	-	75	40	41	26	57	36	40		40.8	61.3	73.5
30.00	25.5	130.0		1.16	316.5	320	-	-	-	-	-	78	40	42	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
30.20	25.5	155.7		1.16	318.7	320	-	-	-	-	-	78	40	42	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
30.40	27.5	120.0		1.16	321.0	308	-	-	-	-	-	73	40	41	26	57	36	40		38.2	57.3	68.8
30.60	25.5	155.5		1.16	323.3	320	-	-	-	-	-	78	40	42	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
30.80	19.6	150.4		1.16	325.5	282	-	-	-	-	-	67	39	39	25	56	35	38		32.7	49.0	58.8
31.00	17.6	107.8		1.12	327.7	268	-	-	-	-	-	63	38	38	25	55	35	37		29.4	44.1	52.9
31.20	19.6	150.4		1.15	329.9	282	-	-	-	-	-	68	39	39	25	56	35	38		32.7	49.0	58.8
31.40	19.6	119.8		1.15	332.2	282	-	-	-	-	-	68	39	39	25	56	35	38		32.7	49.0	58.8
31.60	17.6	107.8		1.12	334.4	268	-	-	-	-	-	63	38	38	25	55	35	37		29.4	44.1	52.9
31.80	22.5	137.7		1.15	336.7	301	-	-	-	-	-	70	40	41	26	57	36	39		37.5	56.4	67.6
32.00	25.5	130.0		1.15	338.9	320	-	-	-	-	-	76	40	42	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
32.20	27.4	140.0		1.15	341.2	333	-	-	-	-	-	77	40	42	26	57	36	40		45.7	68.4	82.2
32.40	29.4	179.8		1.15	343.4	346	-	-	-	-	-	79	41	42	26	57	36	40		49.0	73.5	88.2
32.60	24.5	125.0		1.15	345.7	314	-	-	-	-	-	73	40	41	26	57	36	40		40.8	61.3	73.5
32.80	25.5	155.7		1.15	347.9	320	-	-	-	-	-	74	40	42	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
33.00	25.5	155.7		1.15	350.2	320	-	-	-	-	-	74	40	42	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
33.20	21.6	131.7		1.15	352.4	295	-	-	-	-	-	68	39	39	25	56	35	38		36.0	53.9	64.7
33.40	25.5	130.0		1.15	354.7	320	-	-	-	-	-	73	40	41	26	57	36	40		42.5	63.7	76.4
33.60	26.5	135.0		1.15	356.9	327	-	-	-	-	-	75	40	41	26	58	36	40		44.1	66.2	79.4
33.80	26.5	161.7		1.15	359.2	327	-	-	-	-	-	74	40	41	26	58	36	40		44.1	66.2	79.4
34.00	24.5	168.9		1.15	361.4	314	-	-	-	-	-	72	40	41	26	57	36	39		40.8	61.3	73.5
34.20	11.8	71.9		1.00	363.3	231	-	-	-	-	-	46	37	37	24	52	33	36		19.6	29.4	35.3
34.40	22.5	155.0		1.15	365.7	301	-	-	-	-	-	68	39	39	25	56	35	38		37.5	56.4	67.6
34.60	22.5	137.7		1.15	368.0	301	-	-	-	-	-	68	39	39	25	56	35	38		37.5	56.4	67.6
34.80	24.5	135.0		1.15	370.2	314	-	-	-	-	-	71	40	41	26	57	36	39		40.8	61.3	73.5
35.00	26.5	-		1.15	372.5	327	-	-	-	-	-	74	40	41	26	58	36	40		44.1	66.2	79.4

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA
FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
TG63-200 - Pagani - Piacenza

Caratteristiche:

- punta conica meccanica Ø 35.7 mm, area punta Ap = 10 cm²

- punta conica meccanica angolo di apertura: α = 60°

- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø = 35.7 mm - h = 133 mm - Am = 150 cm²)

- velocità di avanzamento costante V = 2 cm/sec (± 0,5 cm / sec)

- spinta max nominale dello strumento Smax variabile a seconda del tipo

- costante di trasformazione CT = SPINTA (Kg) / LETTURA DI CAMPAGNA
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: qc (MPa) = (L1) x CT /10

fase 2 - resistenza laterale locale: fs (kPa) = [(L2) - (L1)] x CT / 150

fase 3 - resistenza totale : Rt (kPa) = [Lt) x CT

- Prima lettura = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = 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 CT .

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

CONVERSIONI
1 kN (kiloNewton) = 1000 N ≈ 100 kg = 0,1 t
1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N ≈ 100 t
1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa ≈ 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²
1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa ≈ 100 t/m² = 10 kg/cm²
1 kg/cm² = 10 t/m² ≈ 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa
1 t = 1000 kg ≈ 10 kN

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT	1
rilevamento	046-2012

Committente: BARALDINI QUIRINO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Minelli
Località: MIRANDOLA Via Minelli

U.M.: MPa | Data esec.: 28/05/2012
Pagina: 1
Elaborato: | Falda: -3.00 m s.p.

H m	L1 -	L2 -	Li -	qc MPa	fs kPa
0.20	0.0	0.0		0.0	000.00
0.40	106.0	116.0		0.6	67.00
0.60	90.0	50.0		3.0	20.00
0.80	45.0	50.0		5.1	33.00
1.00	11.0	19.0		1.1	80.00
1.20	12.0	21.0		1.2	80.00
1.40	13.0	22.0		1.3	40.00
1.60	13.0	23.0		1.3	47.00
1.80	14.0	21.0		1.4	40.00
2.00	12.0	18.5		1.2	33.00
2.20	12.0	20.5		1.2	33.00
2.40	7.0	12.0		0.7	30.00
2.60	8.0	12.0		0.8	40.00
2.80	9.0	14.0		0.9	27.00
3.00	7.0	11.0		0.7	33.00
3.20	6.0	11.0		0.6	40.00
3.40	9.0	16.0		0.9	33.00
3.60	14.0	19.0		1.4	47.00
3.80	19.0	23.0		1.9	60.00
4.00	15.0	22.0		1.5	67.00
4.20	14.0	24.0		1.4	97.00
4.40	12.0	23.0		1.2	67.00
4.60	13.0	25.0		1.3	80.00
4.80	15.0	27.0		1.5	73.00
5.00	11.0	22.0		1.1	73.00
5.20	11.0	22.0		1.1	73.00
5.40	12.0	23.0		1.2	73.00
5.60	10.0	21.0		1.0	73.00
5.80	14.0	26.0		1.4	93.00
6.00	17.0	31.0		1.7	100.00
6.20	18.0	33.0		1.8	127.00
6.40	19.0	37.0		1.9	113.00
6.60	21.0	39.0		2.1	93.00
6.80	16.0	30.0		1.6	107.00
7.00	18.0	34.0		1.8	113.00
7.20	23.0	40.0		2.3	113.00
7.40	24.0	41.0		2.4	107.00
7.60	18.0	34.0		1.8	127.00
7.80	21.0	40.0		2.1	120.00
8.00	23.0	39.0		2.3	133.00
8.20	29.0	50.0		2.9	173.00
8.40	30.0	50.0		2.9	120.00
8.60	35.0	55.0		3.5	100.00
8.80	120.0	134.0		11.8	000.00
9.00	160.0	180.0		15.7	100.00
9.20	165.0	170.0		16.2	100.00
9.40	105.0	120.0		10.3	67.00
9.60	50.0	65.0		5.0	133.00
9.80	46.0	90.0		4.6	93.00
10.00	100.0	120.0		10.4	100.00
10.20	110.0	135.0		10.9	67.00
10.40	125.0	160.0		12.3	133.00
10.60	160.0	180.0		15.7	100.00
10.80	135.0	150.0		13.2	120.00
11.00	90.0	110.0		8.9	167.00
11.20	130.0	145.0		12.7	107.00
11.40	140.0	170.0		13.8	100.00
11.60	155.0	180.0		15.3	100.00
11.80	150.0	165.0		14.7	133.00
12.00	160.0	190.0		15.7	100.00
12.20	120.0	135.0		11.8	107.00
12.40	70.0	80.0		6.9	133.00
12.60	180.0	200.0		18.6	100.00
12.80	165.0	170.0		16.2	100.00
13.00	140.0	155.0		11.3	120.00
13.20	90.0	100.0		9.0	133.00
13.40	150.0	160.0		12.7	73.00
13.60	30.0	41.0		2.9	120.00
13.80	10.0	37.0		0.9	80.00
14.00	18.0	30.0		0.6	60.00
14.20	20.0	29.0		2.0	80.00
14.40	18.0	30.0		1.8	87.00
14.60	19.0	30.0		1.9	93.00
14.80	22.0	36.0		2.2	93.00
15.00	18.0	32.0		1.8	100.00
15.20	26.0	40.0		2.6	87.00
15.40	23.0	36.0		2.3	87.00
15.60	32.0	46.0		3.1	127.00
15.80	41.0	49.0		4.0	167.00
16.00	32.0	57.0		3.1	160.00
16.20	30.0	53.0		2.9	160.00
16.40	32.0	60.0		3.1	167.00
16.60	32.0	67.0		3.1	200.00
16.80	24.0	43.0		2.4	173.00
17.00	26.0	51.0		2.6	133.00

H m	L1 -	L2 -	Li -	qc MPa	fs kPa
17.20	28.0	49.0		2.8	167.00
17.40	30.0	55.0		2.9	147.00
17.60	24.0	46.0		2.4	127.00
17.80	21.0	40.0		2.1	120.00
18.00	22.0	42.0		2.2	120.00
18.20	17.0	34.0		1.7	120.00
18.40	17.0	36.0		1.7	113.00
18.60	20.0	37.0		2.0	120.00
18.80	18.0	34.0		1.8	120.00
19.00	17.0	34.0		1.7	113.00
19.20	16.0	33.0		1.6	107.00
19.40	17.0	33.0		1.7	80.00
19.60	16.0	28.0		1.6	127.00
19.80	24.0	42.0		2.4	100.00
20.00	105.0	120.0		10.5	110.00
20.20	68.0	70.0		6.8	133.00
20.40	20.0	40.0		2.0	93.00
20.60	17.0	31.0		1.7	93.00
20.80	14.0	26.0		1.4	93.00
21.00	15.0	29.0		1.5	107.00
21.20	16.0	32.0		1.6	113.00
21.40	17.0	34.0		1.7	127.00
21.60	19.0	37.0		1.9	127.00
21.80	19.0	38.0		1.9	120.00
22.00	19.0	37.0		1.9	127.00
22.20	19.0	38.0		1.9	133.00
22.40	23.0	42.0		2.3	147.00
22.60	20.0	40.0		2.0	107.00
22.80	21.0	39.0		2.1	107.00
23.00	23.0	39.0		2.3	140.00
23.20	16.0	30.0		1.6	127.00
23.40	21.0	42.0		2.1	127.00
23.60	23.0	42.0		2.3	120.00
23.80	22.0	40.0		2.2	87.00
24.00	38.0	61.0		3.7	160.00
24.20	23.0	47.0		2.3	100.00
24.40	140.0	150.0		13.7	133.00
24.60	180.0	200.0		17.6	147.00
24.80	240.0	265.0		23.5	133.00
25.00	180.0	200.0		17.6	147.00
25.20	220.0	250.0		23.1	200.00
25.40	220.0	250.0		21.5	200.00
25.60	240.0	270.0		23.5	167.00
25.80	220.0	245.0		21.5	133.00
26.00	200.0	220.0		19.6	167.00
26.20	230.0	260.0		22.5	133.00
26.40	200.0	220.0		19.6	167.00
26.60	260.0	285.0		25.4	200.00
26.80	180.0	210.5		17.6	167.00
27.00	210.0	265.5		22.5	200.00
27.20	250.0	280.0		24.5	133.00
27.40	260.0	320.0		25.5	100.00
27.60	160.0	175.0		15.7	133.00
27.80	200.0	220.0		19.6	167.00
28.00	230.0	255.0		22.5	200.00
28.20	260.0	290.0		25.5	167.00
28.40	240.0	280.0		24.5	200.00
28.60	200.0	256.0		22.5	133.00
28.80	100.0	220.0		10.0	140.00
29.00	100.0	200.0		17.5	80.00
29.20	50.0	62.0		4.9	100.00
29.40	90.0	105.0		8.8	133.00
29.60	200.0	220.0		19.6	167.00
29.80	230.0	255.0		22.5	200.00
30.00	260.0	290.0		25.5	167.00
30.20	240.0	265.0		24.5	200.00
30.40	260.0	280.0		24.5	167.00
30.60	200.0	225.0		19.6	167.00
30.80	210.0	235.0		21.6	133.00
31.00	220.0	240.0		19.6	133.00
31.20	200.0	220.0		19.6	200.00
31.40	200.0	200.0		24.5	200.00
31.60	260.0	290.0		25.5	167.00
31.80	240.0	265.0		25.5	187.00
32.00	260.0	285.0		25.5	200.00
32.20	300.0	330.0		29.4	233.00
32.40	300.0	330.0		29.4	133.00
32.60	260.0	260.0		17.6	200.00
32.80	250.0	280.0		24.5	167.00
33.00	250.0	280.0		25.5	167.00
33.20	300.0	315.0		27.4	200.00
33.40	300.0	330.0		29.4	167.00
33.60	240.0	265.0		25.5	200.00
33.80	250.0	280.0		24.5	167.00
34.00	260.0	285.0		25.5	187.00
34.20	300.0	315.0		27.4	200.00
34.40	300.0	330.0		29.4	167.00
34.60	240.0	265.0		25.5	200.00
34.80	250.0	280.0		24.5	187.00
35.00	280.0	325.0		24.5	

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Li = terza lettura (laterale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc

note:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT	2
riferimento	048-2012

Committente: BARALDINI GUMENO S.P.A.
Cantiere: MIRANDOLA Via Mineiri
Località: MIRANDOLA Via Mineiri

U.M.: MPa
Pagina 1
Elaborato

Data esec. 28/05/2012
Falda: -3.00 m 2.00

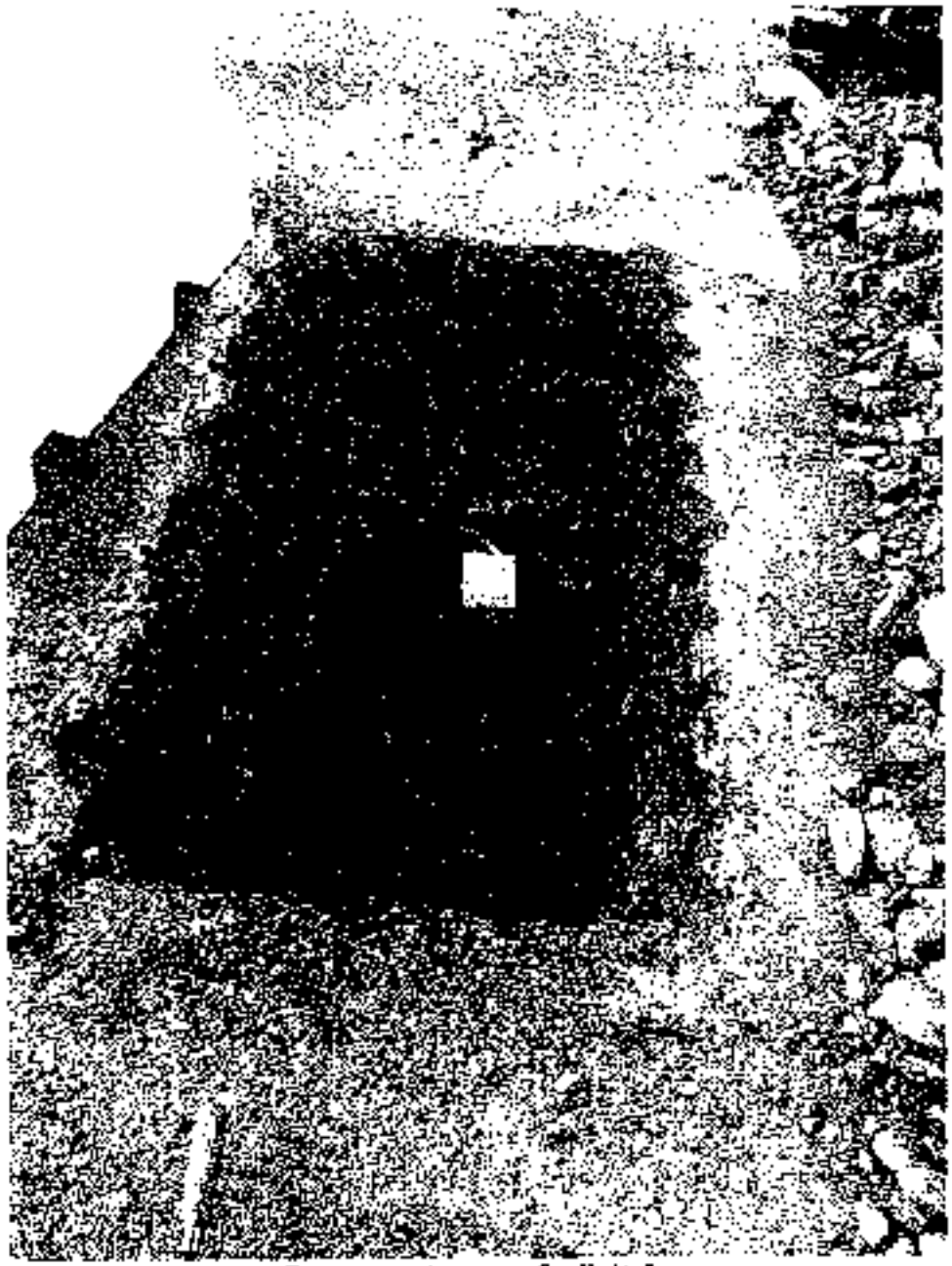
H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa
0.20	0.0	0.0	0.0	100.00	
0.40	100.0	115.0	1.5	1035.00	
0.60	16.0	170.0	1.5	100.00	
0.80	17.0	33.0	0.7	67.00	
1.00	17.0	27.0	0.7	60.00	
1.20	12.0	24.0	0.7	87.00	
1.40	10.0	20.0	0.8	80.00	
1.60	8.0	18.0	0.8	80.00	
1.80	8.0	17.0	0.8	80.00	
2.00	14.0	23.0	0.8	47.00	
2.20	12.0	18.0	0.7	40.00	
2.40	9.0	16.0	0.8	37.00	
2.60	12.0	18.0	0.7	40.00	
2.80	8.0	12.0	0.8	40.00	
3.00	8.0	12.0	0.8	47.00	
3.20	7.0	14.0	0.7	33.00	
3.40	11.0	18.0	1.1	47.00	
3.60	10.0	17.0	1.0	53.00	
3.80	12.0	20.0	1.2	47.00	
4.00	11.0	18.0	1.1	40.00	
4.20	9.0	16.0	0.9	47.00	
4.40	8.0	15.0	0.8	47.00	
4.60	13.0	28.0	1.3	73.00	
4.80	16.0	27.0	1.6	73.00	
5.00	17.0	26.0	1.7	73.00	
5.20	18.0	29.0	1.8	73.00	
5.40	13.0	24.0	1.3	60.00	
5.60	12.0	24.0	1.2	67.00	
5.80	14.0	23.0	1.4	47.00	
6.00	18.0	31.0	1.8	113.00	
6.20	19.0	36.0	1.9	113.00	
6.40	17.0	34.0	1.7	113.00	
6.60	17.0	34.0	1.7	100.00	
6.80	16.0	33.0	1.6	107.00	
7.00	10.0	24.0	1.0	100.00	
7.20	20.0	35.0	2.0	113.00	
7.40	17.0	34.0	1.7	80.00	
7.60	16.0	30.0	1.6	53.00	
7.80	10.0	19.0	1.0	27.00	
8.00	10.0	14.0	1.0	67.00	
8.20	4.0	8.0	0.4	67.00	
8.40	5.0	6.0	0.5	67.00	
8.60	5.0	6.0	0.5	67.00	
8.80	6.0	6.0	0.6	67.00	
9.00	7.0	8.0	0.7	47.00	
9.20	4.0	6.0	0.4	53.00	
9.40	1.0	2.0	0.1	33.00	
9.60	3.0	5.0	0.3	67.00	
9.80	6.0	7.0	0.7	73.00	
10.00	6.0	6.0	0.6	67.00	
10.20	9.0	15.0	0.9	93.00	
10.40	8.0	9.0	0.8	100.00	
10.60	10.0	12.0	1.0	80.00	
10.80	9.0	11.0	0.9	107.00	
11.00	7.0	9.0	0.7	67.00	
11.20	6.0	7.0	0.6	133.00	
11.40	14.0	16.0	1.4	133.00	
11.60	16.0	16.0	1.6	167.00	
11.80	20.0	20.0	1.6	200.00	
12.00	22.0	22.0	2.2	133.00	
12.20	10.0	20.0	1.0	167.00	
12.40	9.0	14.0	0.2	167.00	
12.60	12.0	19.0	1.2	167.00	
12.80	20.0	22.0	1.6	167.00	
13.00	22.0	26.0	2.2	133.00	
13.20	16.0	26.0	1.6	167.00	
13.40	20.0	22.0	1.6	200.00	
13.60	26.0	30.0	2.6	200.00	
13.80	30.0	29.0	2.4	133.00	
14.00	20.0	23.0	1.6	200.00	
14.20	14.0	15.0	1.4	133.00	
14.40	18.0	18.0	1.5	133.00	
14.60	15.0	17.0	1.4	100.00	
14.80	16.5	17.0	1.6	100.00	
15.00	16.5	17.0	1.6	133.00	
15.20	17.0	19.0	1.7	200.00	
15.40	24.0	24.0	2.0	200.00	
15.60	19.0	19.0	1.7	80.00	
15.80	6.0	9.0	0.6	100.00	
16.00	3.5	6.0	0.5	133.00	
16.20	3.0	5.0	0.3	100.00	
16.40	3.5	5.0	0.4	147.00	
16.60	2.0	5.0	0.2	140.00	
16.80	2.5	4.0	0.3	153.00	
17.00	2.0	4.0	0.2	133.00	
17.20	2.0	4.0	0.2	133.00	
17.40	2.0	4.0	0.2	133.00	
17.60	2.5	4.0	0.3	140.00	
17.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
18.00	3.0	5.0	0.3	160.00	
18.20	3.5	5.0	0.4	153.00	
18.40	3.5	5.0	0.4	153.00	
18.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
18.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
19.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
19.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
19.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
19.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
19.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
20.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
20.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
20.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
20.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
20.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
21.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
21.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
21.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
21.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
21.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
22.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
22.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
22.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
22.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
22.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
23.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
23.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
23.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
23.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
23.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
24.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
24.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
24.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
24.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
24.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
25.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
25.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
25.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
25.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
25.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
26.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
26.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
26.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
26.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
26.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
27.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
27.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
27.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
27.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
27.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
28.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
28.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
28.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
28.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
28.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
29.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
29.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
29.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
29.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
29.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
30.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
30.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
30.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
30.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
30.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
31.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
31.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
31.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
31.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
31.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
32.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
32.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
32.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
32.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
32.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
33.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
33.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
33.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
33.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
33.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
34.00	2.5	4.0	0.3	147.00	
34.20	2.5	4.0	0.3	147.00	
34.40	2.5	4.0	0.3	147.00	
34.60	2.5	4.0	0.3	147.00	
34.80	2.5	4.0	0.3	147.00	
35.00	2.5	4.0	0.3	147.00	

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

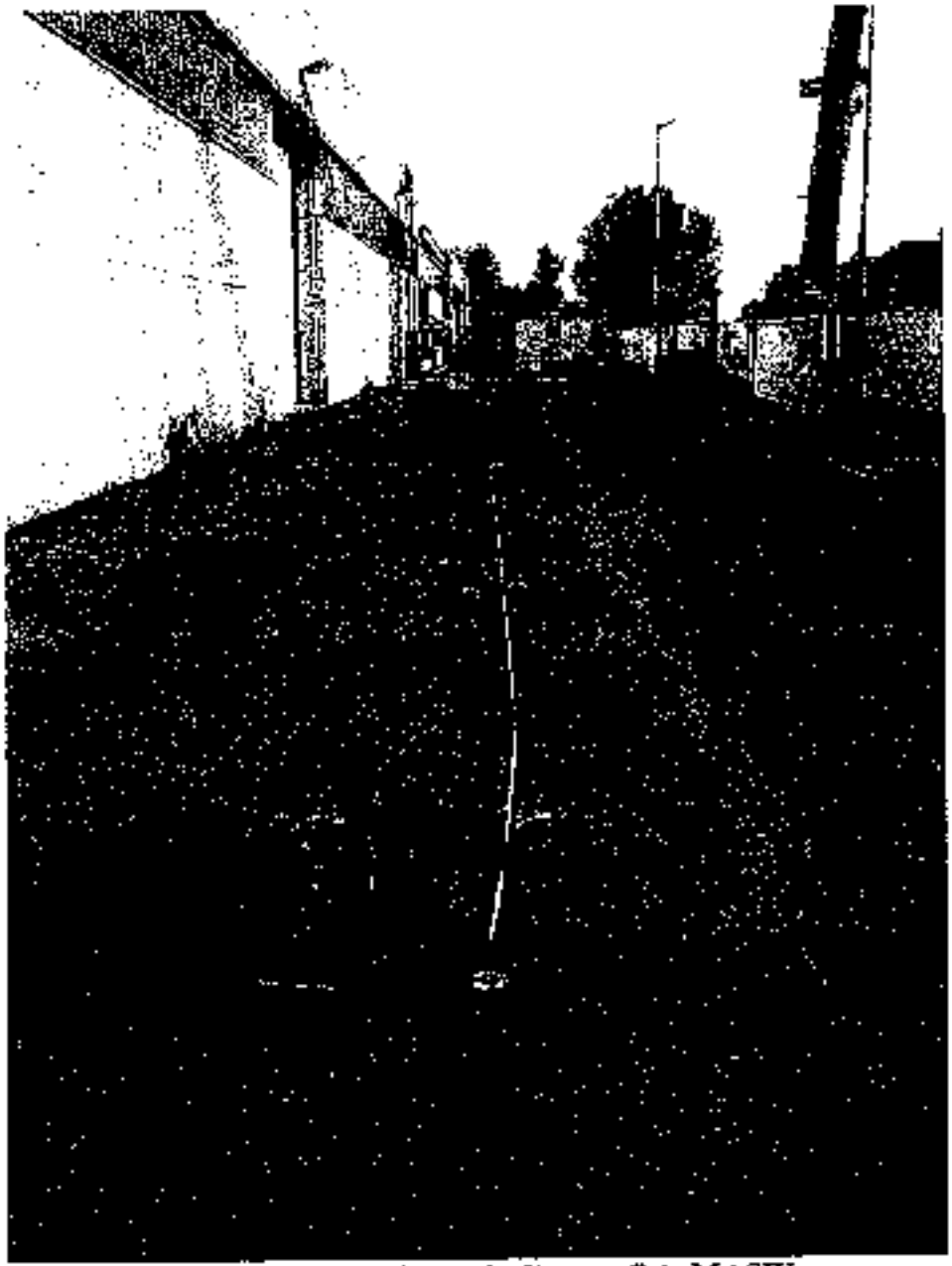
qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc

note:

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Prova con tomografo digitale



Stendimento sismico onde di superficie MASW

ALLEGATO B

"Prove penetrometriche statiche a punta elettrica e verifica del potenziale di liquefazione eseguite nel comune di Mirandola in Via Minelli" (2023 – R.d.R. srl)"

Prove penetrometriche statiche a punta elettrica e verifica del potenziale di liquefazione eseguite nel Comune di Mirandola in Via Minelli

Committente:

costruzioni edili
BARALDINI QUIRINO S.p.A.

SOMMARIO

1	IDENTIFICAZIONE DOCUMENTO	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	PREMESSE	5
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE E PRESENTAZIONE	7
5	IL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	9

1. IDENTIFICAZIONE DOCUMENTO

Identificazione.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del seguente codice R1_23_040_REV00.

Direzione indagini e coordinamento lavoro.

Dott. Geol. Rocco Carbonella.

Collaboratori

Dott. Simone Vincenzo Lioci, Dott. Francesco Cianchi

Redazione del documento.

Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Rocco Carbonella in data 30/10/2023

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n° 14 pagine e n° 39 fogli allegati

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **Decreto Ministeriale**

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018.

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

- **Decreto Ministeriale**

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14.01.2008.

- **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 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.

- **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.

- **Circ. Min. LL.PP. n° 30483**

Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"; 24 Settembre 1988**.**

- **Decreto Ministeriale**

"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazioni". D.M. 11 Marzo 1988.

3. PREMESSE

Su incarico della committenza, in data 25/10/2023, sono state eseguite alcune prove geotecniche. In particolare sono state realizzate le seguenti attività:

- n° 2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono (CPTU)

Nella figura seguente è indicata l'area in esame.

Figura 1. Ubicazione dei luoghi e delle indagini.

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Nel presente capitolo, dopo una breve descrizione della tipologia d'indagine, verranno presentati i risultati ottenuti in forma sintetica mentre in allegato sono riportati in forma estesa.

4.1. PROVE PENETROMETRICHE STATICHE A PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO

Questa tipologia di prova è un'evoluzione della prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT). La prova consiste nell'infissione nel terreno di una batteria di aste precedute da una punta dotata di trasduttori e filtro poroso. Queste caratteristiche permettono alla prova di registrare in continuo valori di resistenza alla punta Qc, resistenza laterale Fs, pressione neutra u e angolo di inclinazione della batteria di aste. Un'indicazione della stratigrafia dei terreni indagati è fornita dal rapporto tra la resistenza all'infissione statica della punta (Qc) e la resistenza per attrito laterale locale (Fs) che il materiale sviluppa sul manicotto della punta meccanica. Nell'interpretazione quantitativa dei risultati, che consente di determinare le grandezze di alcuni parametri geotecnici dei terreni attraversati mediante formule empiriche, si è tenuto in considerazione che le prove sono assimilabili a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito. Pertanto, in terreni coesivi, si ottiene una stima della coesione non drenata Cu. Nei terreni sabbiosi è possibile valutare il grado di addensamento e una stima del valore di angolo di attrito.

Figura 2 – Documentazione fotografica.

Di seguito alcuni parametri geotecnici derivanti dall'elaborazione delle prove eseguite:

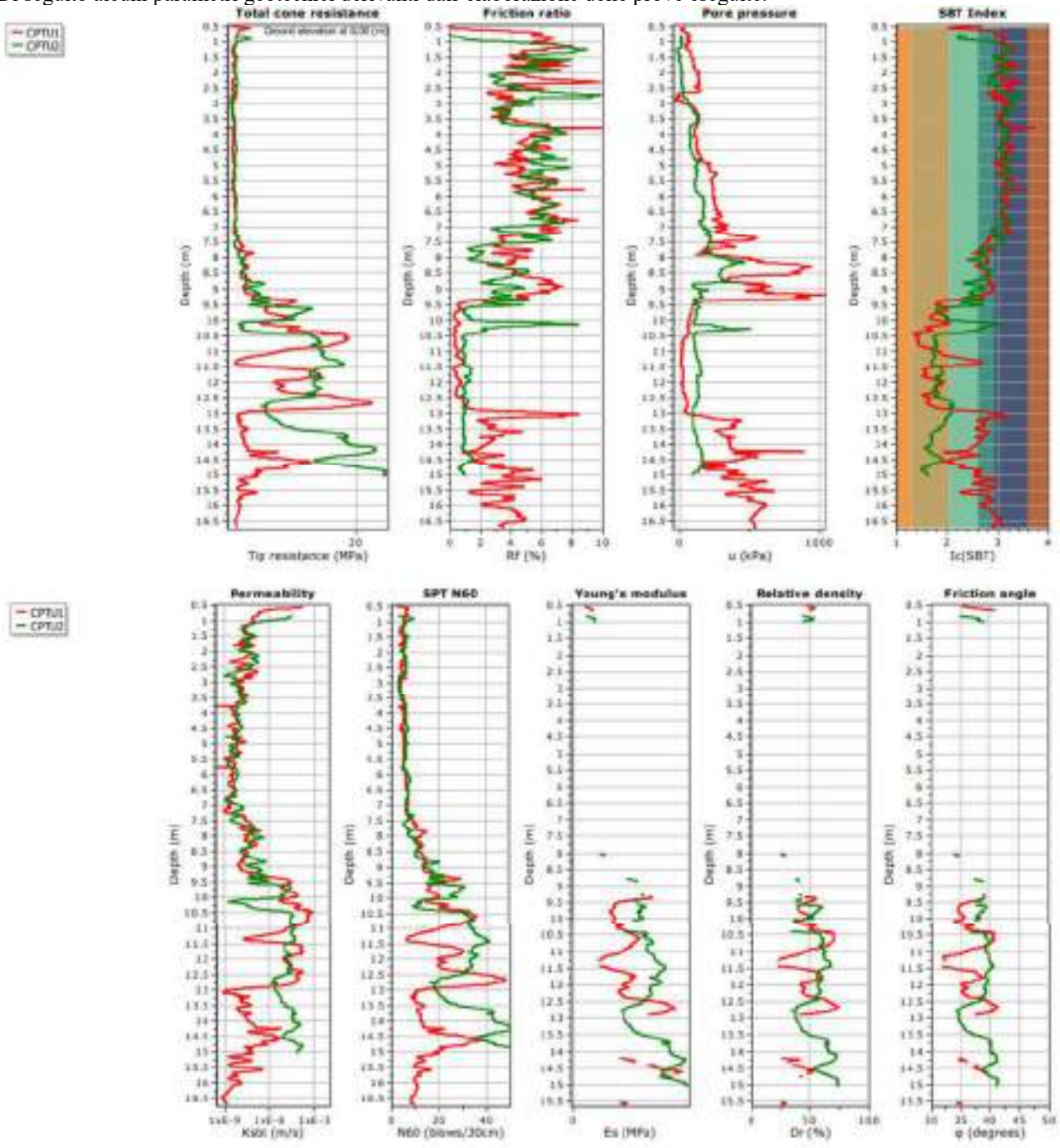


Figura 3. Variazione di alcuni parametri geotecnici con la profondità relativi alle prove eseguite

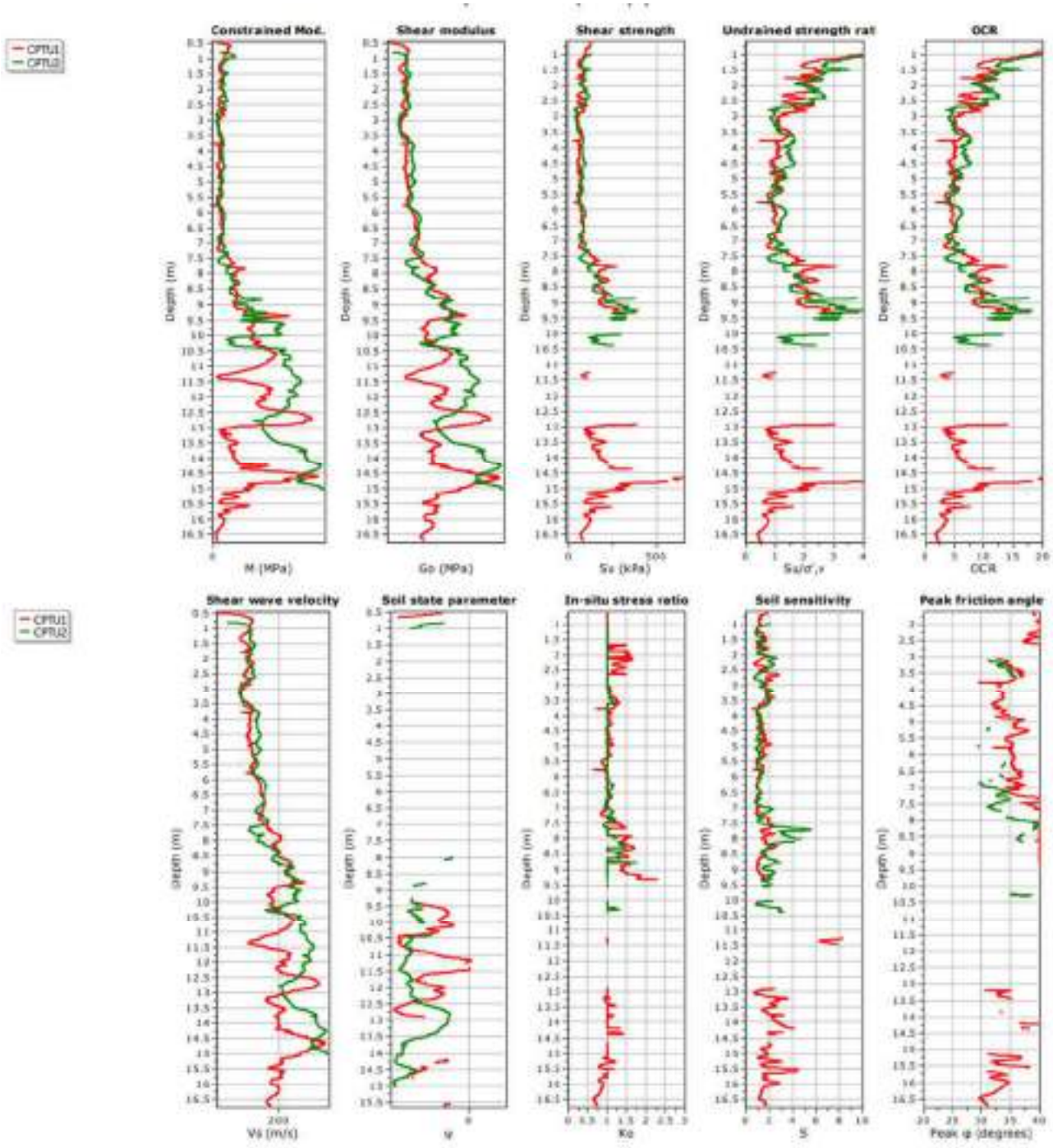


Figura 4. Variazione di alcuni parametri geotecnici con la profondità relativi alle prove eseguite

Al termine delle prove, i fori sono stati indagati con un freatimetro che ha evidenziato la presenza di acqua a -1.60 m dal piano campagna nella CPTU1 mentre nella CPTU 2 il foro è risultato chiuso.

5. IL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

.Nel linguaggio tecnico corrente con tale termine s'intende la perdita totale di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche o dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa. Ciò avviene solitamente nei depositi di sabbie fini sciolte quando, sotto l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua dei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè fino a quando gli sforzi efficaci si riducono a zero.
La liquefazione di un deposito può avvenire sia in condizioni statiche sia sotto sollecitazioni dinamiche cicliche o monotoniche.

5.1. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI SOTTO L'EFFETTO DI CARICHI CICLICI

Il fenomeno della liquefazione dei depositi sabbiosi saturi, sotto l'azione dei terremoti, trova spiegazione nell'evidenza sperimentale che una sabbia soggetta a vibrazione tende a compattarsi. La tendenza al decremento di volume si traduce (se il drenaggio è impedito) in un aumento della pressione interstiziale con conseguente riduzione della pressione sui grani. La struttura dei grani reagisce alla riduzione di pressione effettiva con un aumento di volume dello scheletro solido, compatibile con il fatto che in condizioni non drenate il volume complessivo deve rimanere costante. Il duplice meccanismo di tendenza alla riduzione di volume e al rigonfiamento dello scheletro solido guida il processo di sviluppo delle pressioni interstiziali, che aumentano, col proseguire delle vibrazioni, secondo un processo di accumulazione a gradini, fino ad eguagliare la pressione effettiva.

5.2. CRITERI DI PREVISIONE E METODI PER LA VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.

Per una stima accurata della probabilità di liquefazione in un deposito sabbioso durante un terremoto, occorrerebbe tenere in conto di tutti i fattori che concorrono a creare le condizioni in cui il fenomeno può verificarsi. Dalle considerazioni esposte in precedenza si evince però l'impossibilità di inglobare in un unico modello tutti i parametri rappresentativi del fenomeno. Gli studi più recenti si sono sviluppati lungo due direttrici principali:

1. Osservazione delle caratteristiche sismiche, geologiche e geotecniche dei siti colpiti da terremoti distruttivi
2. Analisi del comportamento dei terreni in prove cicliche di laboratorio in condizioni controllate.

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento, cui hanno fatto seguito criteri e metodi più raffinati e complessi capaci di tener conto di un numero di parametri sempre più elevato.
E' possibile raggruppare la grande molteplicità di metodi per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei depositi in quattro classi:

1. **Criteri empirici**: si basano su parametri desunti da prove di identificazione o da misure della densità relativa ovvero da prove penetrometriche standard
2. **Metodi semplificati**: si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; richiedono quindi la valutazione dei parametri sia relativi all'evento sismico sia al deposito
3. **Metodi di analisi dinamica semplificata**: richiedono la determinazione, alle diverse quote, della storia delle sollecitazioni delle tensioni e deformazioni di taglio, conseguente ad un imput sismico, definito da una storia di accelerazioni al bedrock
4. **Metodi dinamici avanzati**: vengono condotte in genere in condizioni bidimensionali mediante l'impiego di codici di calcolo al elementi finiti o alle differenze finite ed in alcuni casi prevedono la modellazione integrata del sistema terreno-fondazione-struttura.

5.3. MOTIVI DI ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Sulla base di un'analisi preliminare della sismicità del sito e delle caratteristiche geotecniche del deposito, si può ritenere che la probabilità che si verifichi la liquefazione sia bassa o nulla nel caso si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- ❑ Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5
- ❑ Accelerazioni massime di progetto al piano campagna inferiori a 0.1 g
- ❑ Accelerazioni massime di progetto al piano campagna inferiori a 0.15 g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle seguenti categorie:

1. frazione fine (passante al setaccio 200, FC) maggiore del 20% e Indice plastico maggiore di 10.
2. FC > 35 % e resistenza N60 > 20
3. FC < 5 % e resistenza N60 > 25

Dove N60 è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

- ❑ Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in figura 4a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità Uc < 3.5 ed in figura 4b per coefficienti di uniformità Uc > 3.5.
- ❑ Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna.

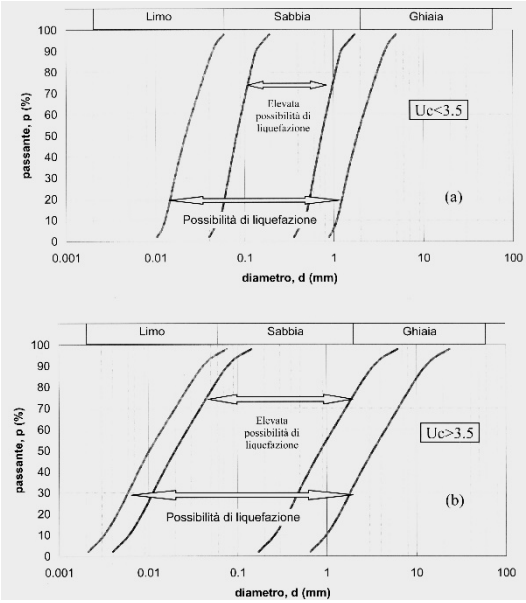


Figura 5 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione.

- ❑ Parametro di comportamento del terreno Ic; tale parametro è funzione della resistenza alla punta, q_c e della resistenza laterale del manicotto, f_s misurate nelle prove CPT. In particolare:

$$Ic = [(3.47-\log Q)^2 + (1.22+\log F)^2]^{0.5}$$

Con Q e F funzioni di q_c e f_s.

Secondo Robertson e Wride (1998) se il valore di Ic è maggiore di 2.6 il terreno è classificabile come un materiale a comportamento argilloso, con scarse probabilità di liquefazione.

5.4. METODI DI ANALISI SEMPLIFICATA

La verifica a liquefazione del deposito è effettuata in condizioni di free-field (assenza di manufatti sulla superfici del deposito) alle profondità dove sono presenti depositi potenzialmente liquefacibili. Il fattore di sicurezza, ad un generica profondità, è definito come rapporto tra resistenza disponibile alla liquefazione e sollecitazione indotta dall'azione sismica. Entrambi i parametri vengono normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace agente in modo da definire un rapporto di resistenza ciclica (CRR) ed un rapporto di tensione ciclica (CSR). Il valore di CSR è stimato a partire dal valore dell'accelerazione massima attesa in superficie, mentre CRR deriva da abachi funzioni dei risultati di prove in sito tipo SPT, CPT e misure di propagazione della onde di taglio. Nel metodo di Seed & Idriss, la resistenza alla liquefazione assume la seguente espressione:

$$CSR = 0.65\ a_{max}/g\ \sigma v/\sigma'v\ rd$$

Dove:
a_{max} = accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto
g = accelerazione di gravità
$\sigma v/\sigma'v$ = rapporto tra tensione totale ed efficace alla profondità considerata
rd = coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo.

Il rapporto di resistenza ciclica CRR, come detto in precedenza si ricava, dall'analisi di prove in sito. Dai dati normalizzati di SPT o CPT, si ricava in funzione del contenuto di fine del materiale in esame il valore di CRR. Siccome le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni del comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo pari a 7.5, occorre ridurre il carico sismico per eventi di magnitudo diversa. Si può fare riferimento agli studi di Seed e Idriss (1982) e Ambraseys (1988).
Il fattore di sicurezza (FL) si ricava nel modo seguente:

$$FL = CRR/CSR$$

5.5. CONSIDERAZIONI SUL SITO IN ESAME

Per il sito in esame abbiamo una serie di fattori predisponenti la probabilità di liquefazione:

- Presenza di strati limoso/sabbiosi
- presenza della falda
- accelerazioni massime superiori a 0.15 g

Si procede , in via preliminare, ad una verifica della liquefazione del deposito calcolando l'indice Ic ed il potenziale di liquefazione.
Per l'analisi in esame è sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- ag = 0.21
- magnitudo: 6.14
- falda : 1.60 dal piano campagna

La figure seguenti compendiano i risultati ottenuti:

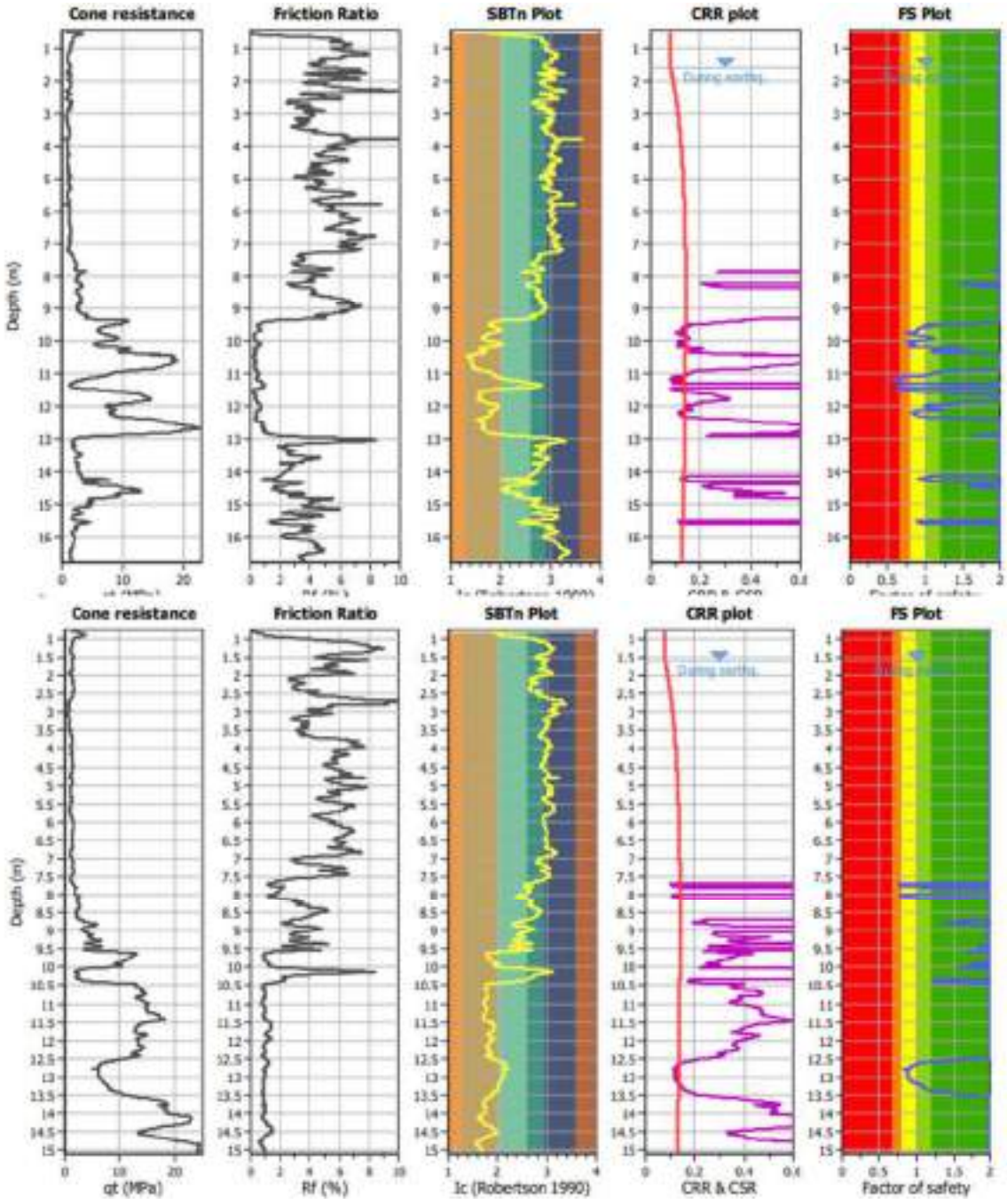


Figura 6 – Risultati ottenuti nel calcolo della liquefazione

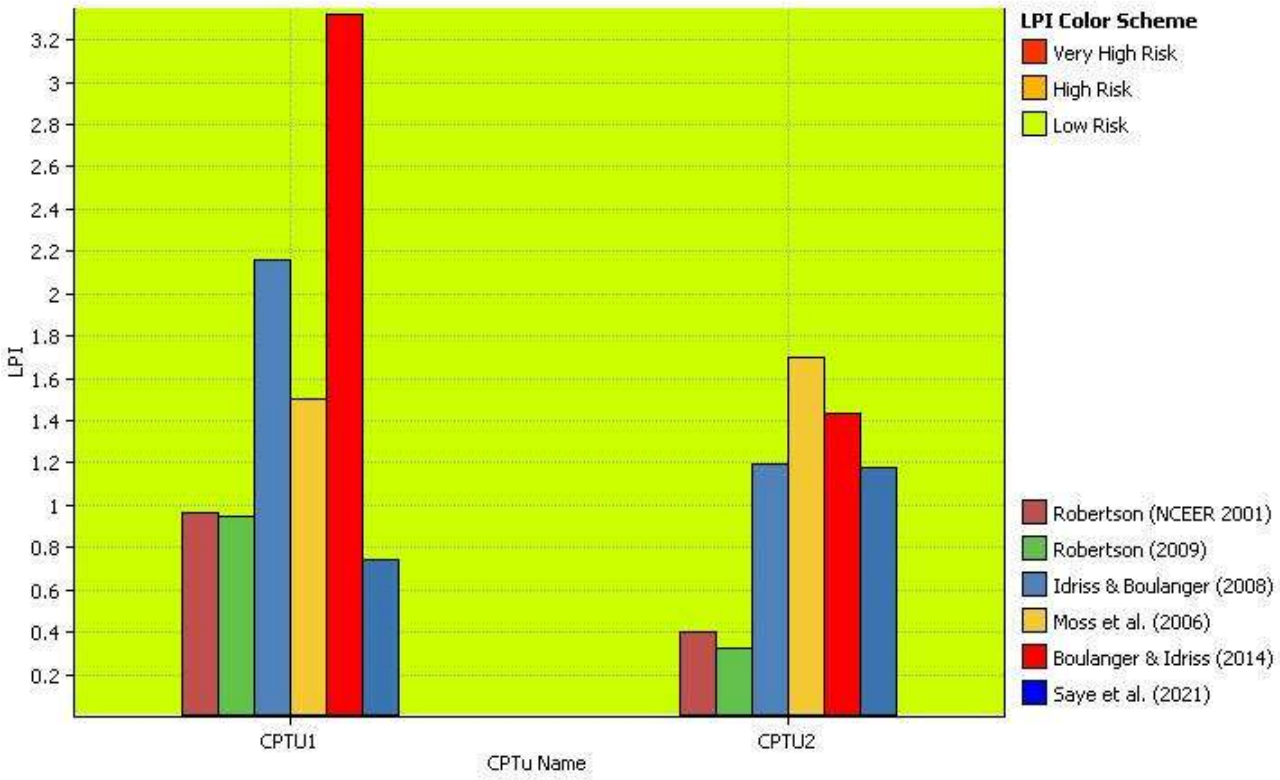


Figura 7 – confronto del potenziale di liquefazione con vari metodi di calcolo

Nel caso in esame l'indice di Sonnez è risultato inferiore a 5, ovvero in un intervallo in cui il la liquefacibilità è poco probabile.

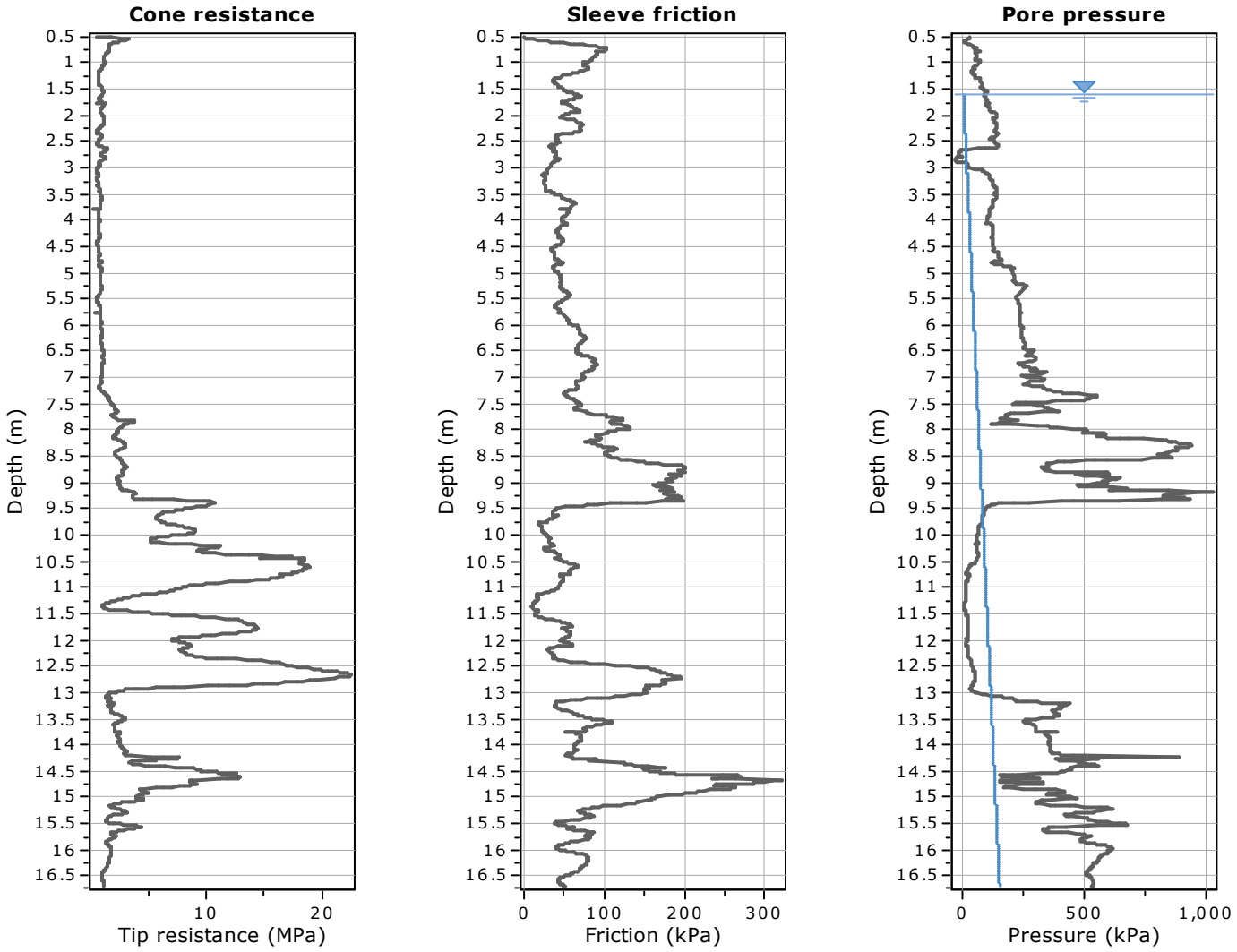
ALLEGATI

1. REPORT PROVE PENETROMETRICHE STATICHE A PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO (n° pagine 27)
2. REPORT LIQUEFAZIONE (n° pagine 12)

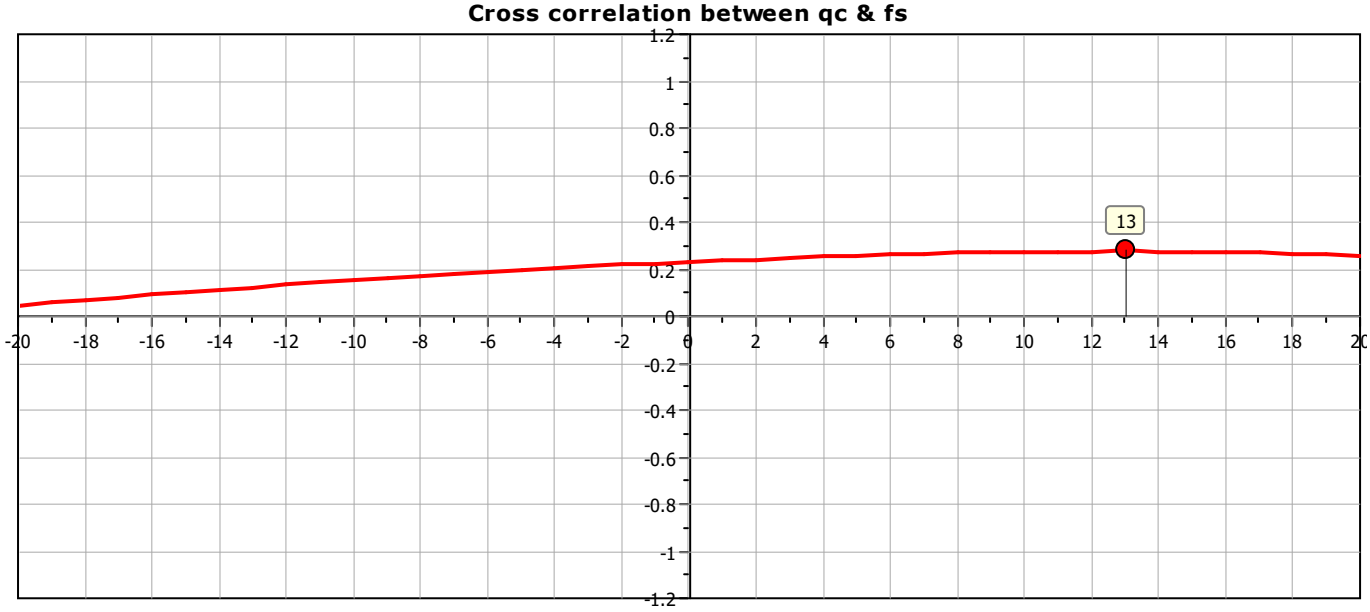
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA



The plot below presents the cross correlation coeficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two sucessive CPT measurements).

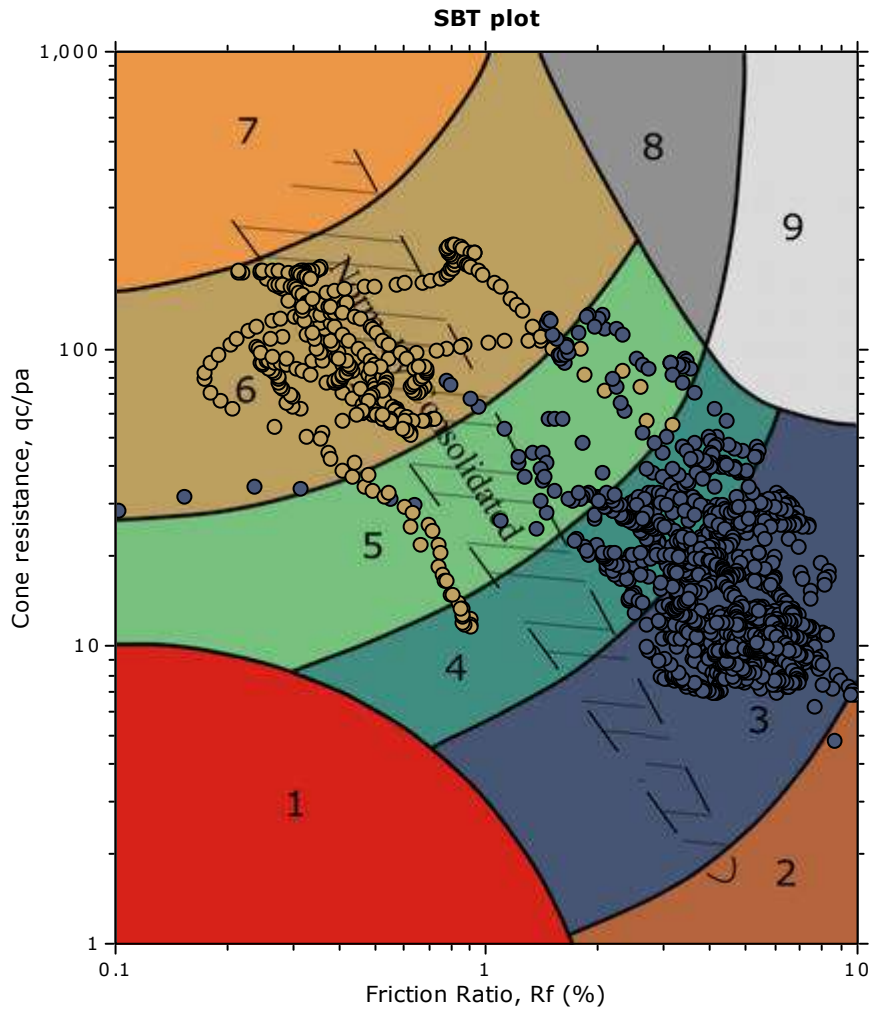


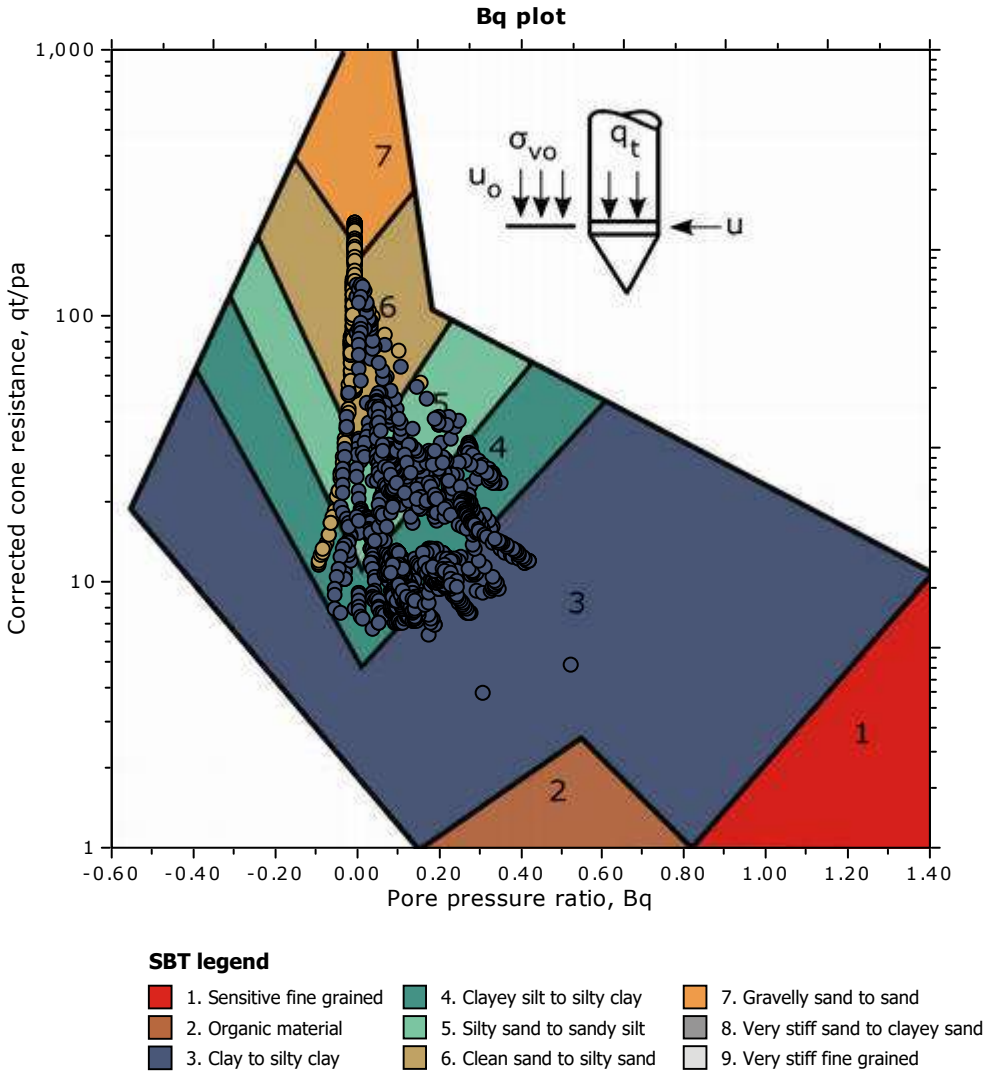
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

SBT - Bq plots





SBT legend

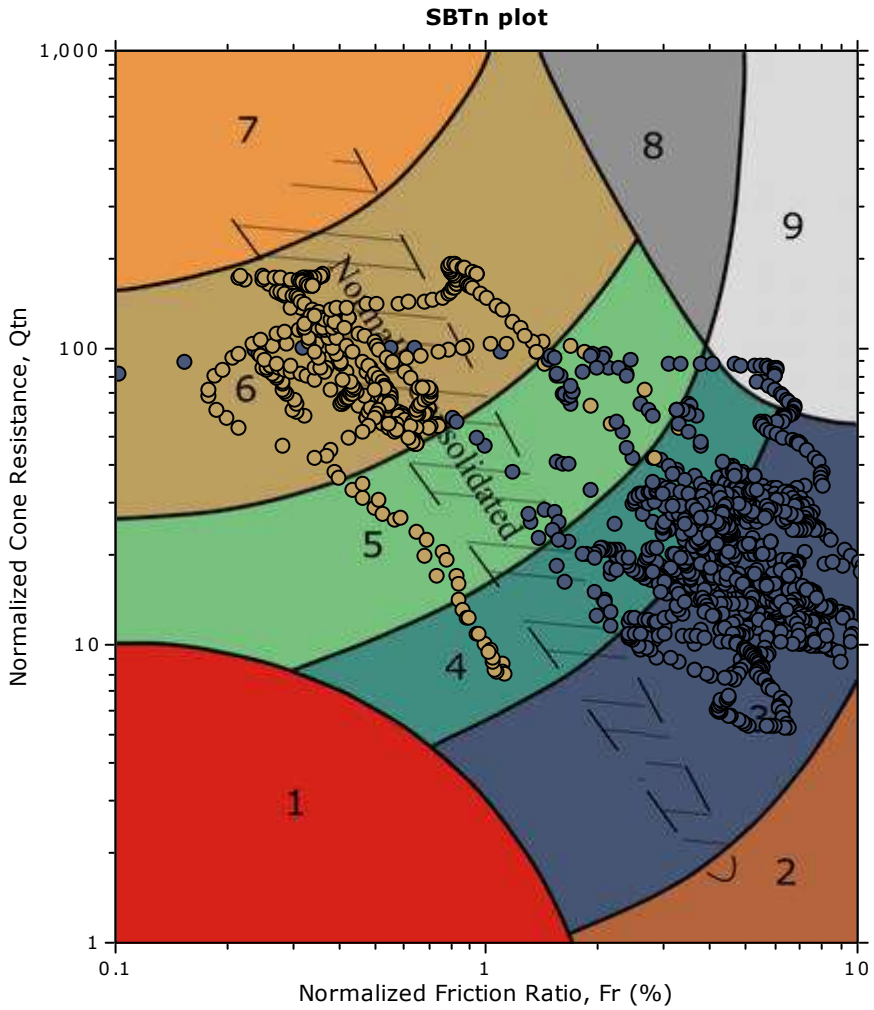
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty clay	7. Gravelly sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to clayey sand
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

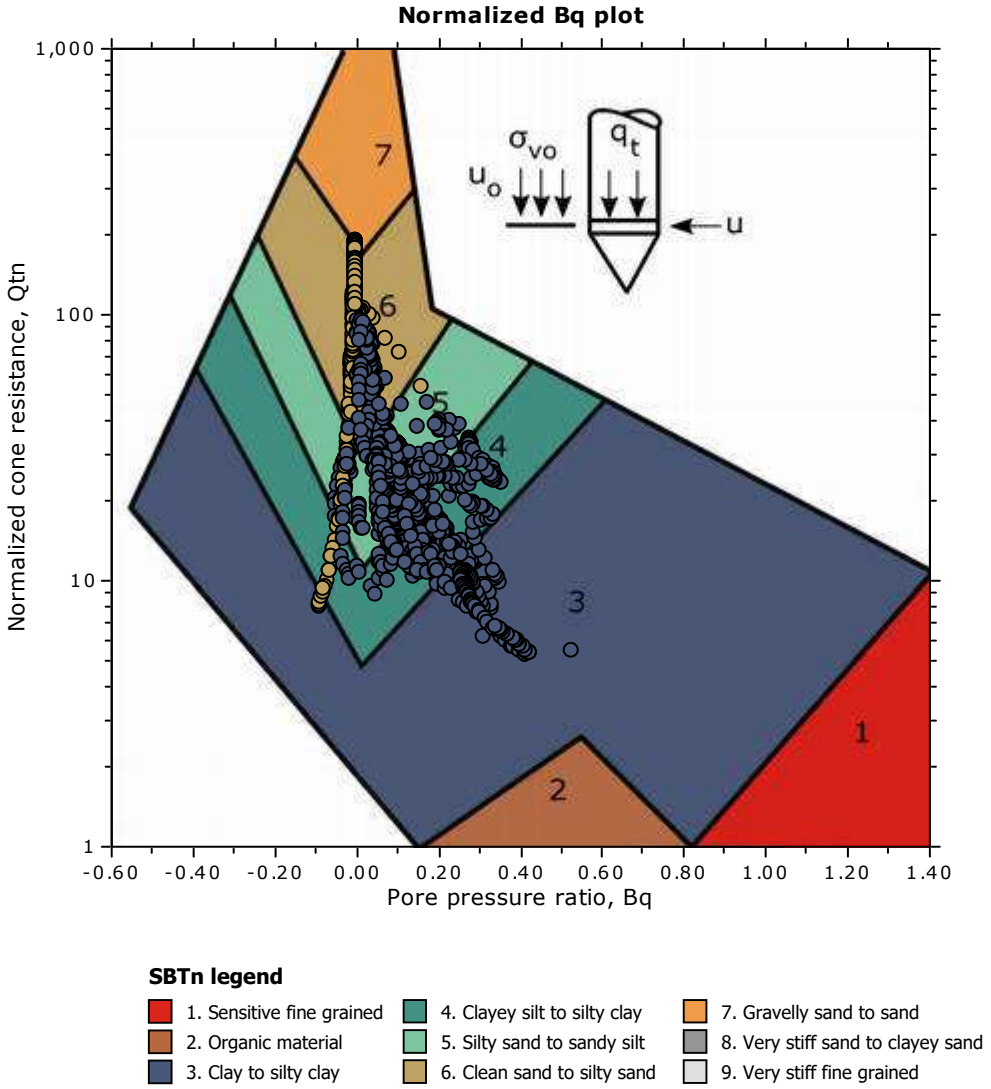
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

SBT - Bq plots (normalized)



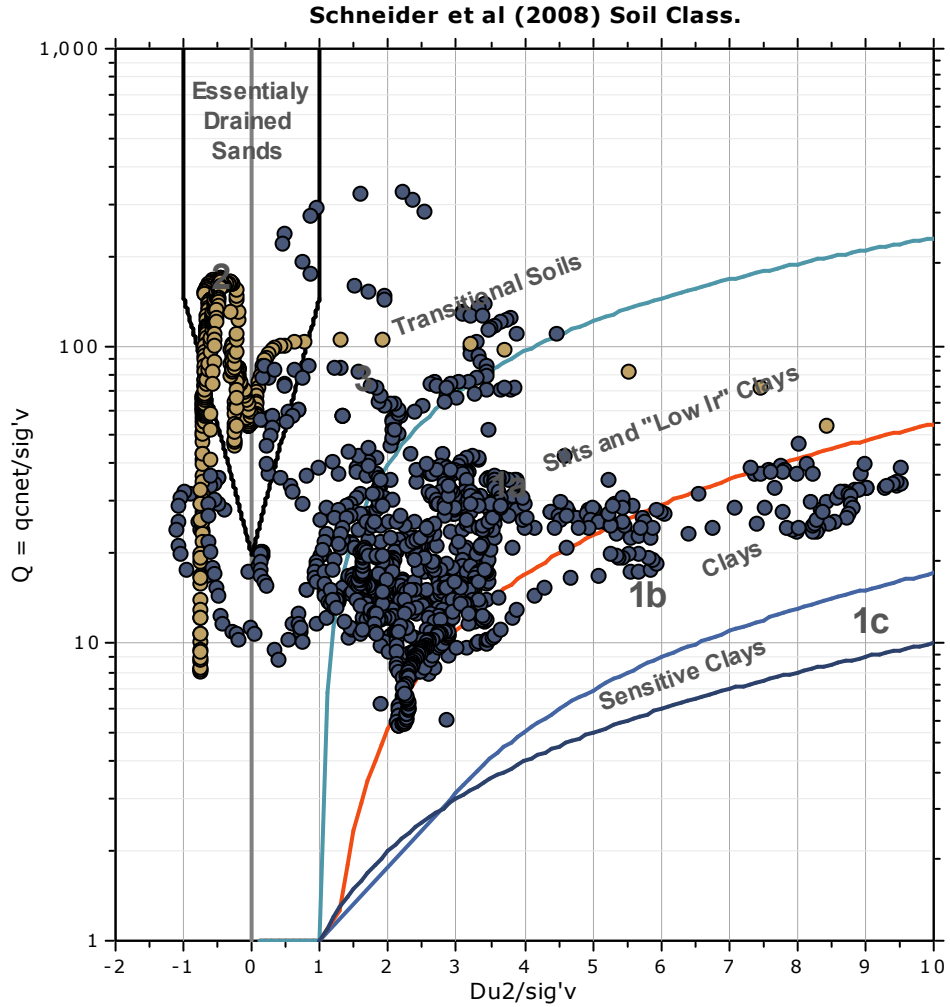


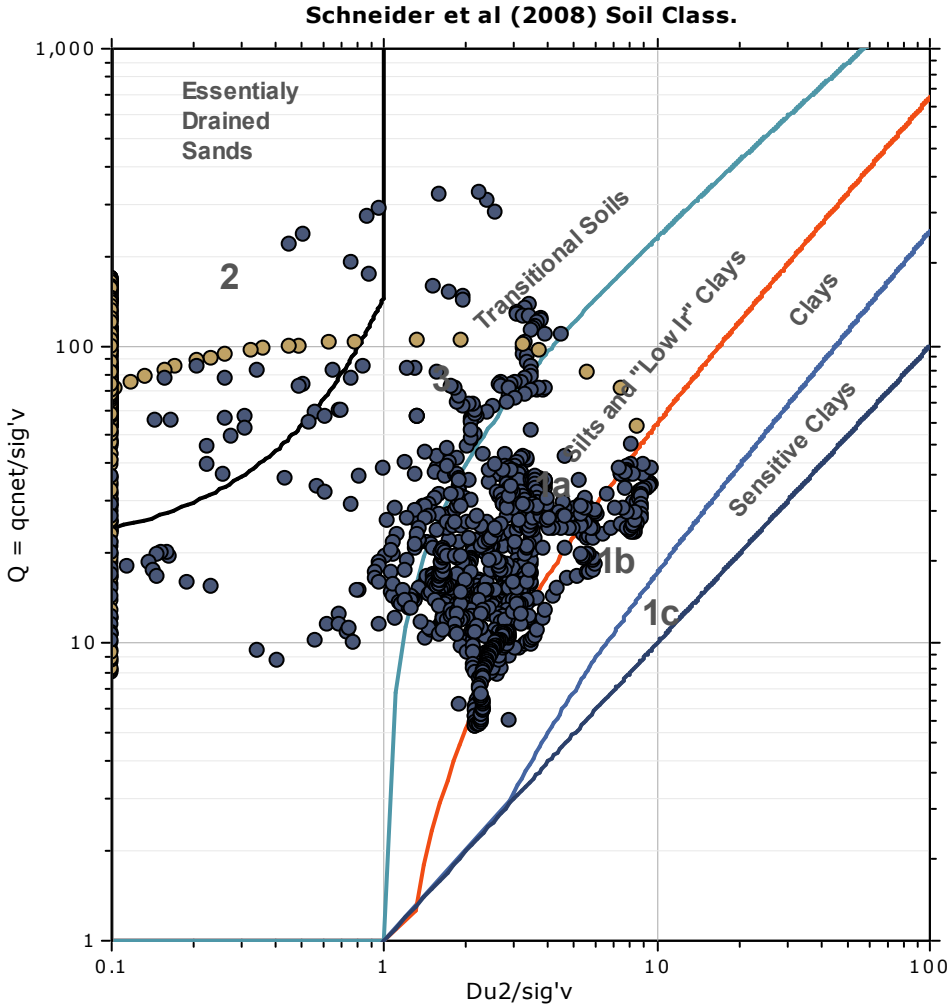
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

Bq plots (Schneider)

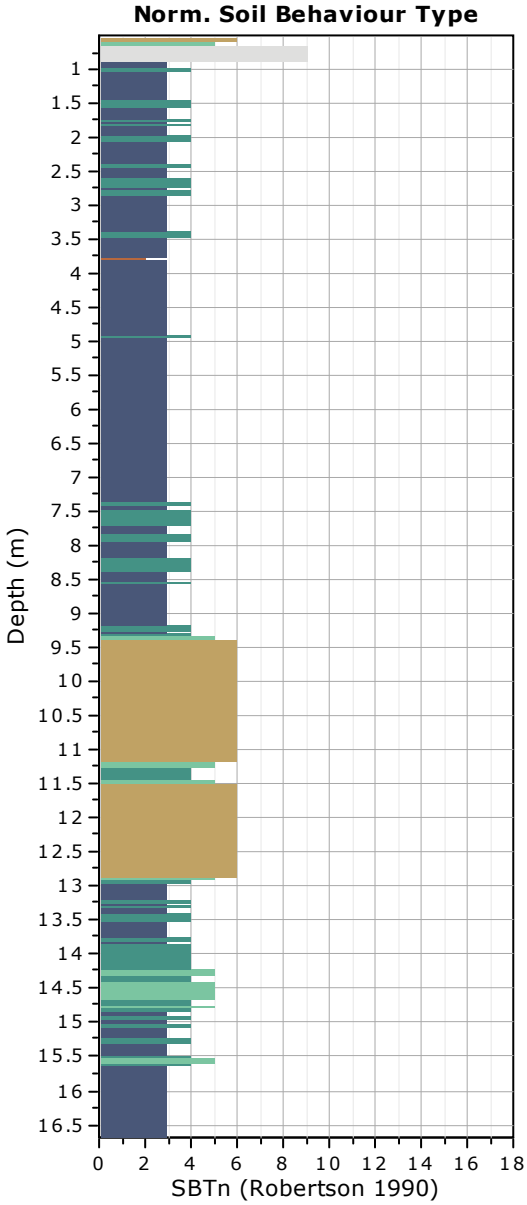


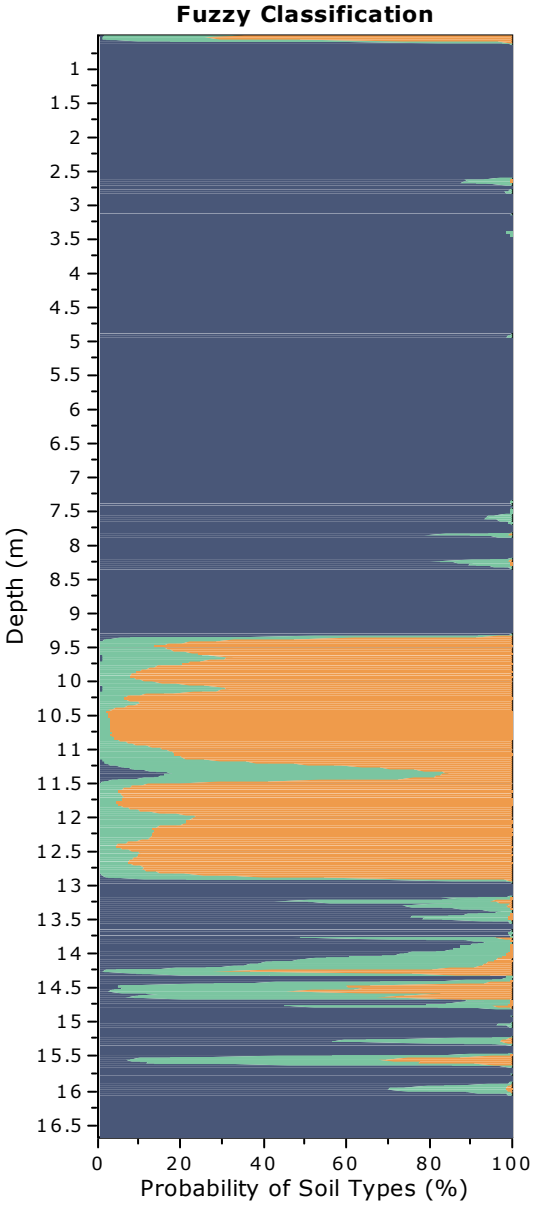


RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA





Fuzzy classifiaction legend
- Highly probable clayey soil
- Highly probable mixture soil
- Highly probable sandy soil

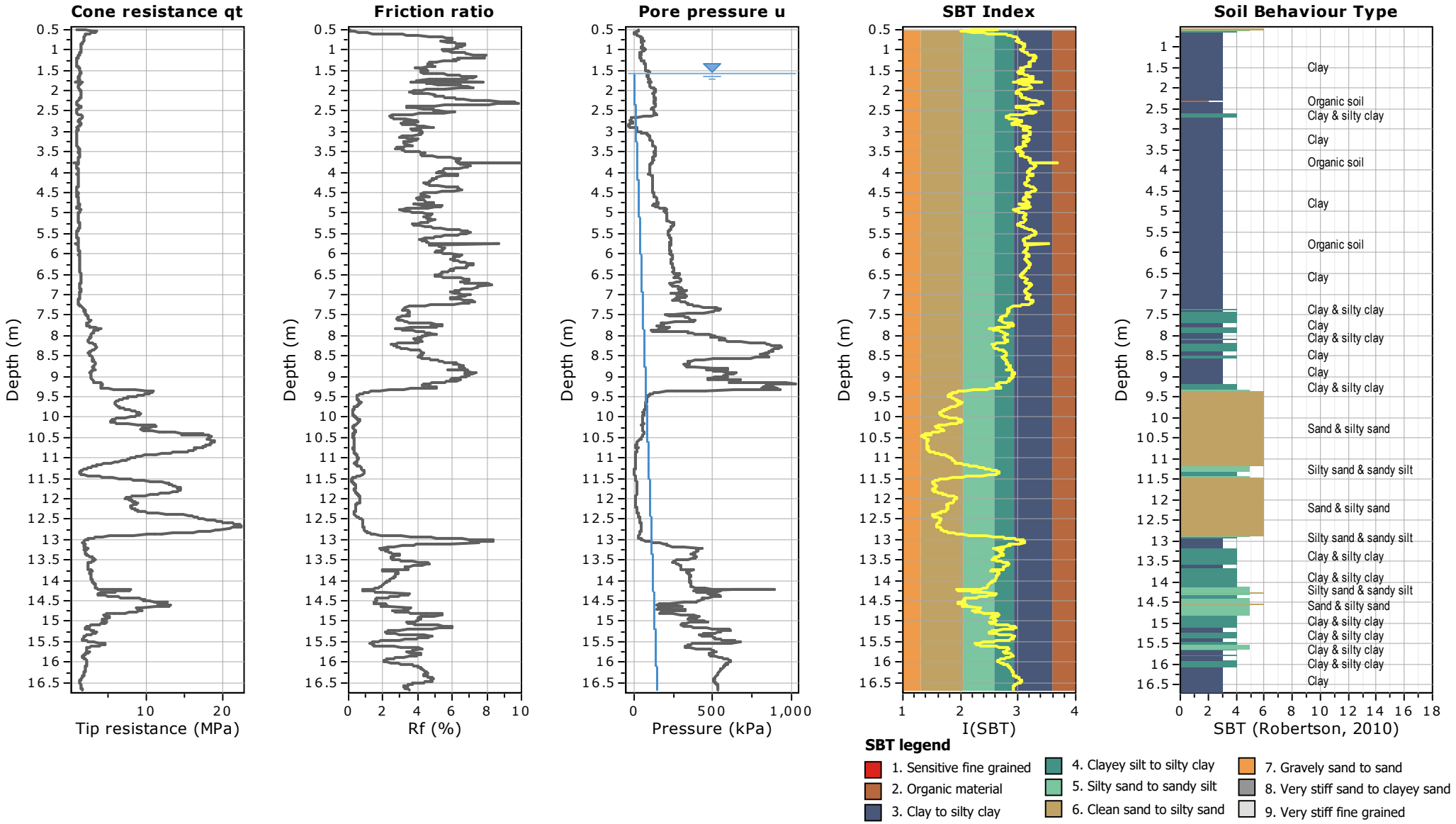
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1

Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA



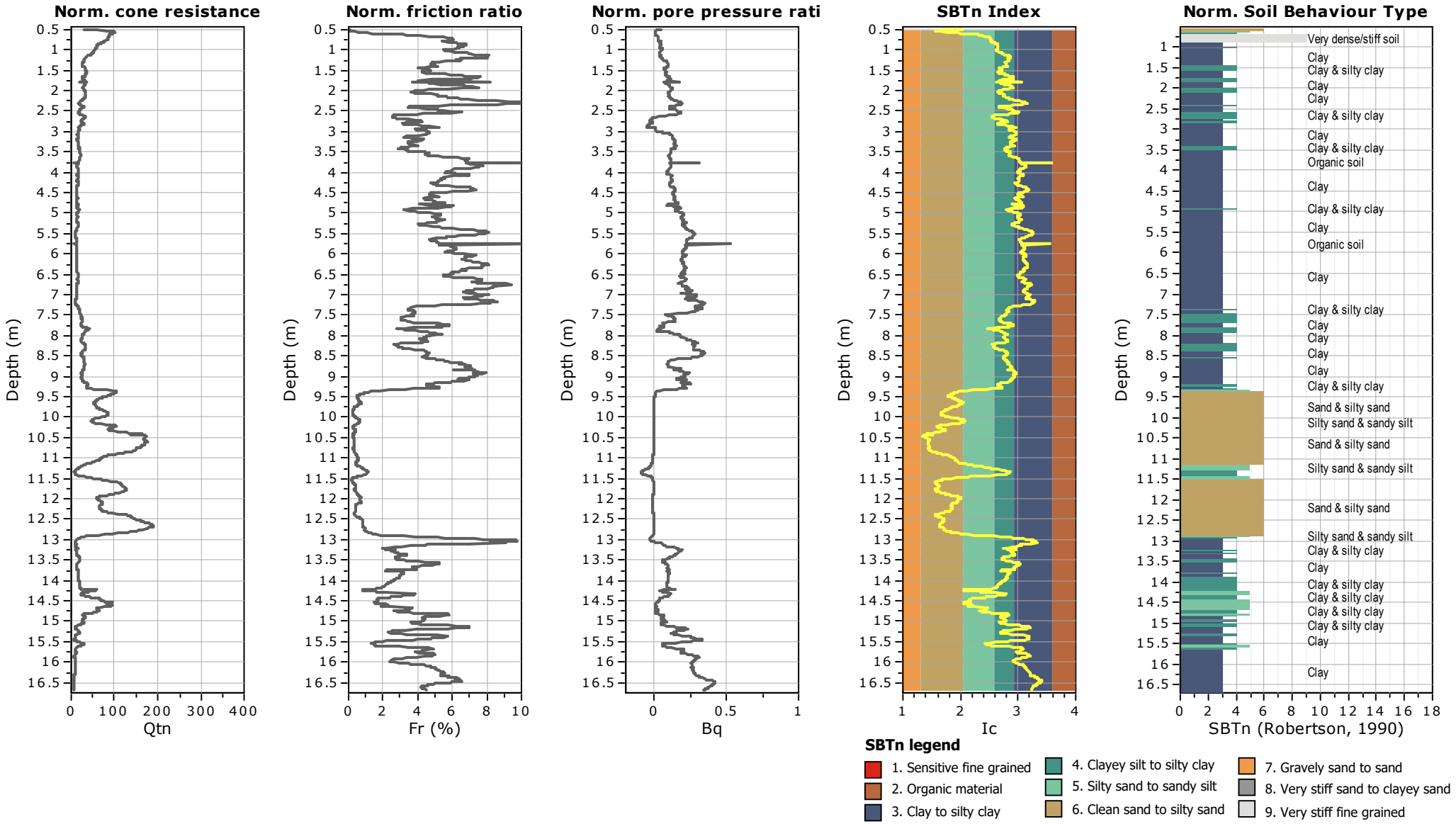
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1

Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA



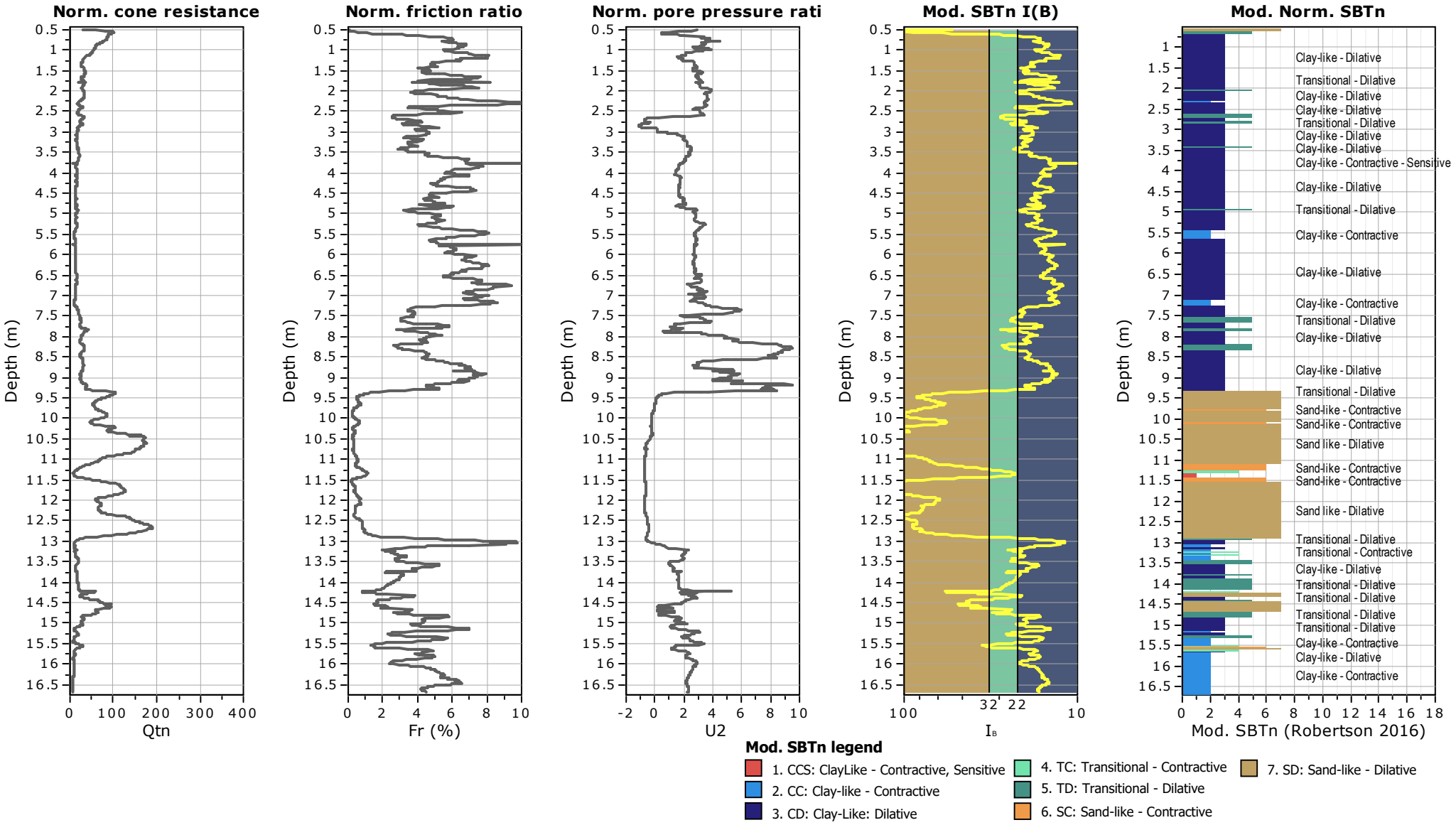
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1

Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

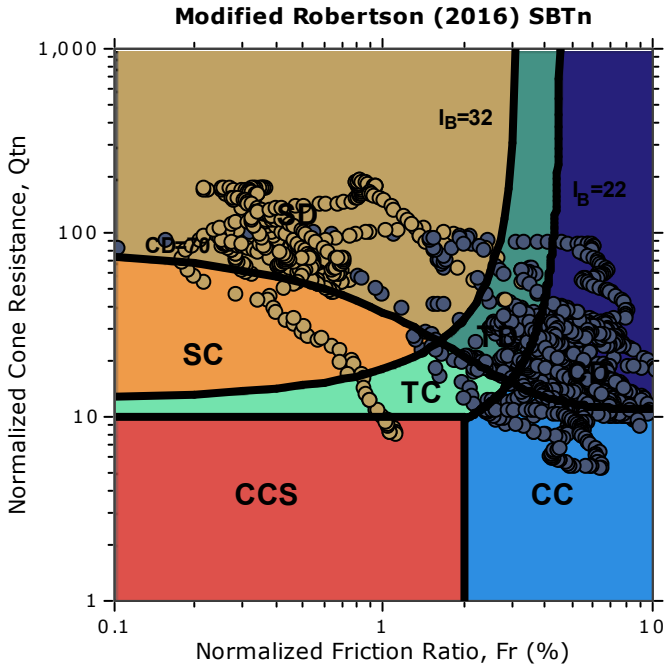


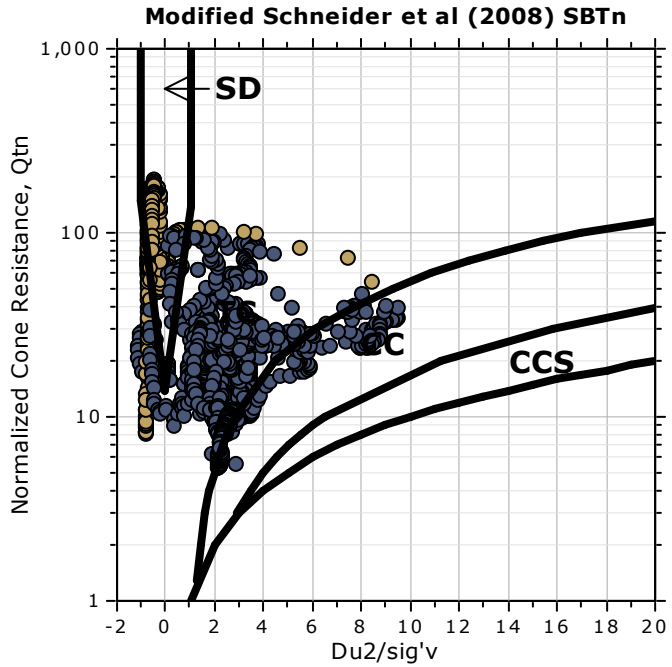
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

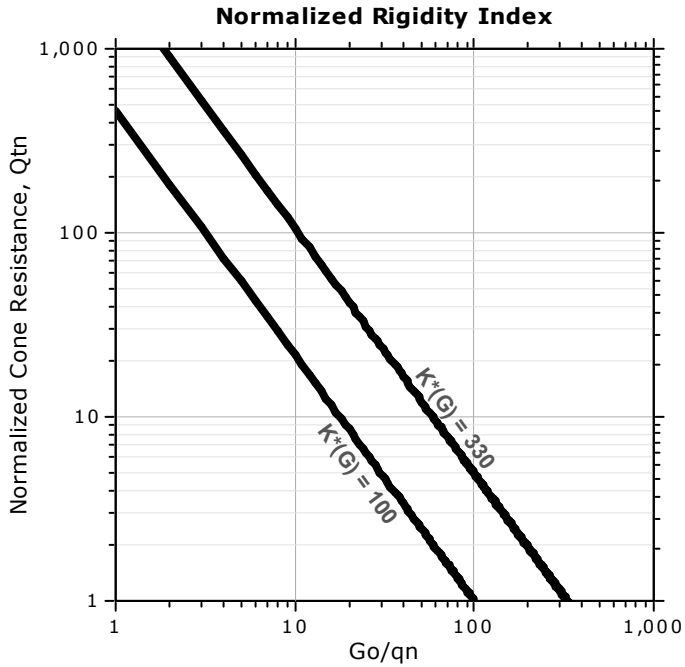
Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

Updated SBTn plots







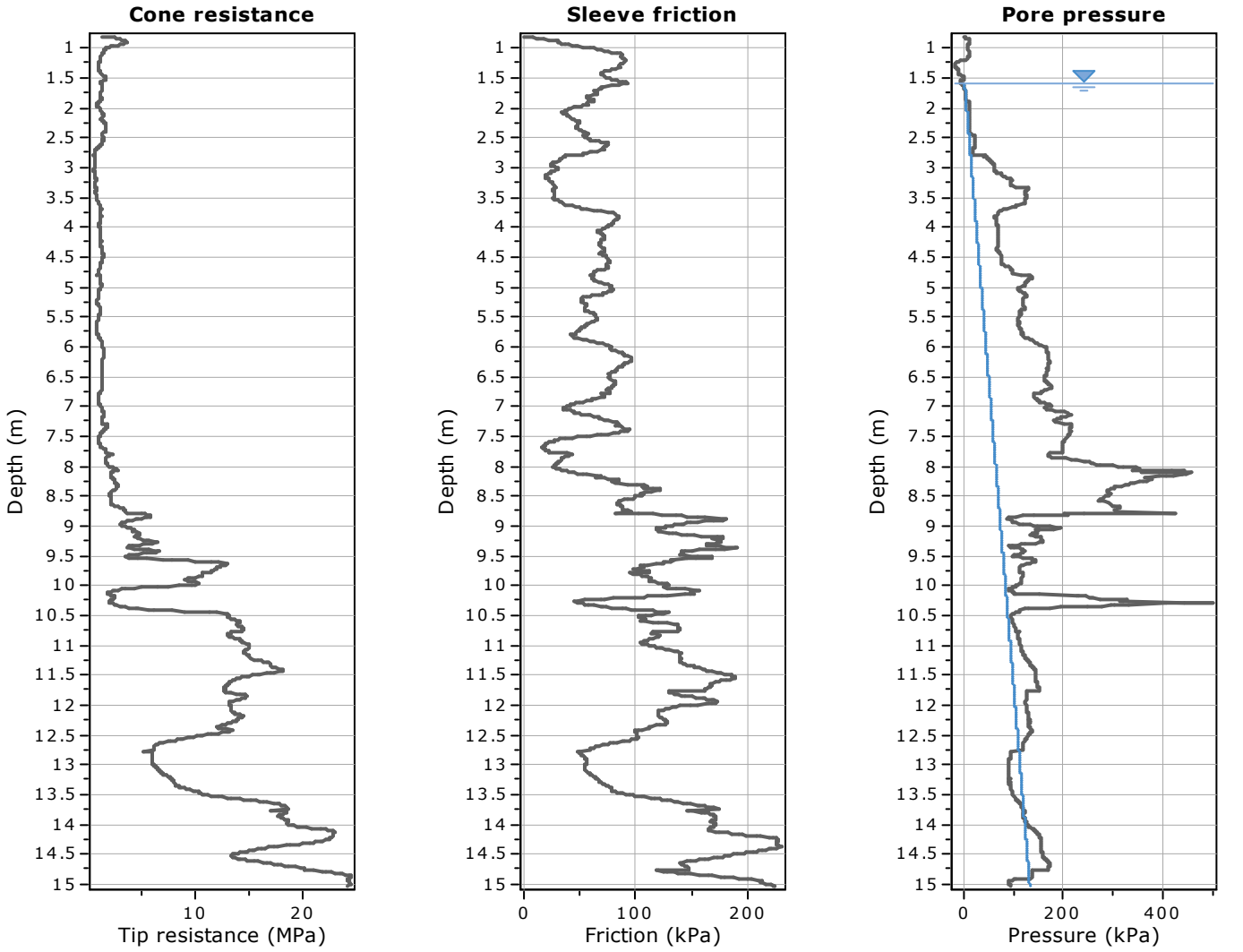
CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative

K(G) > 330: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

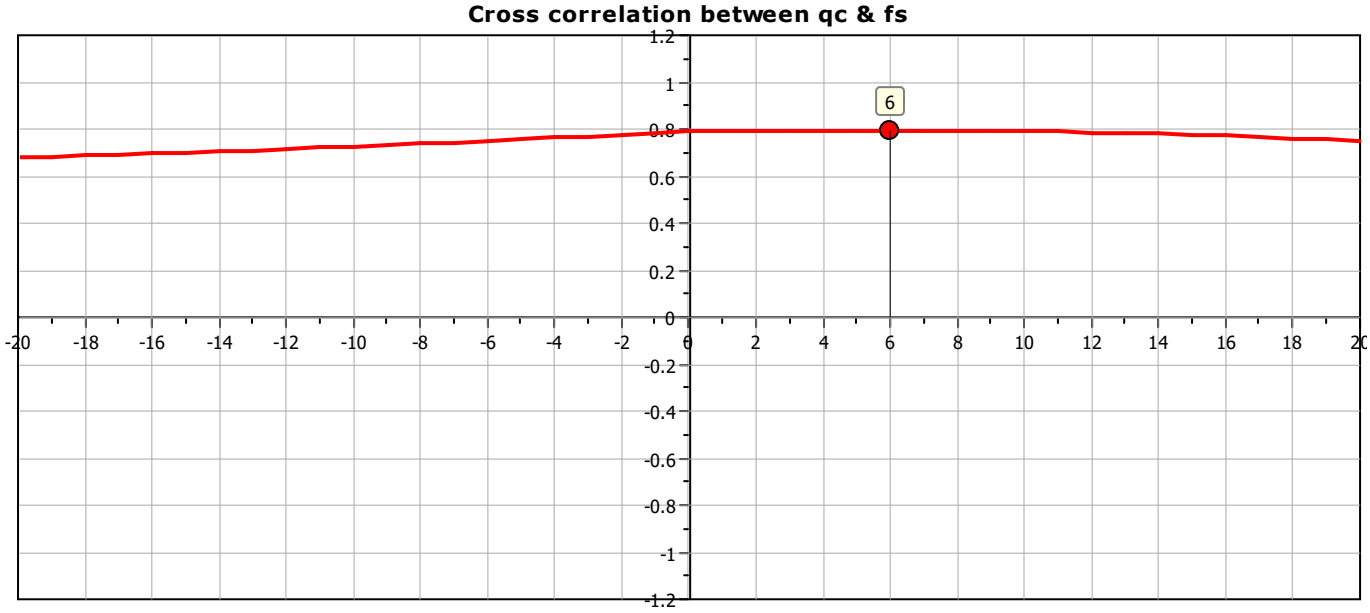
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA



The plot below presents the cross correlation coeficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two sucessive CPT measurements).

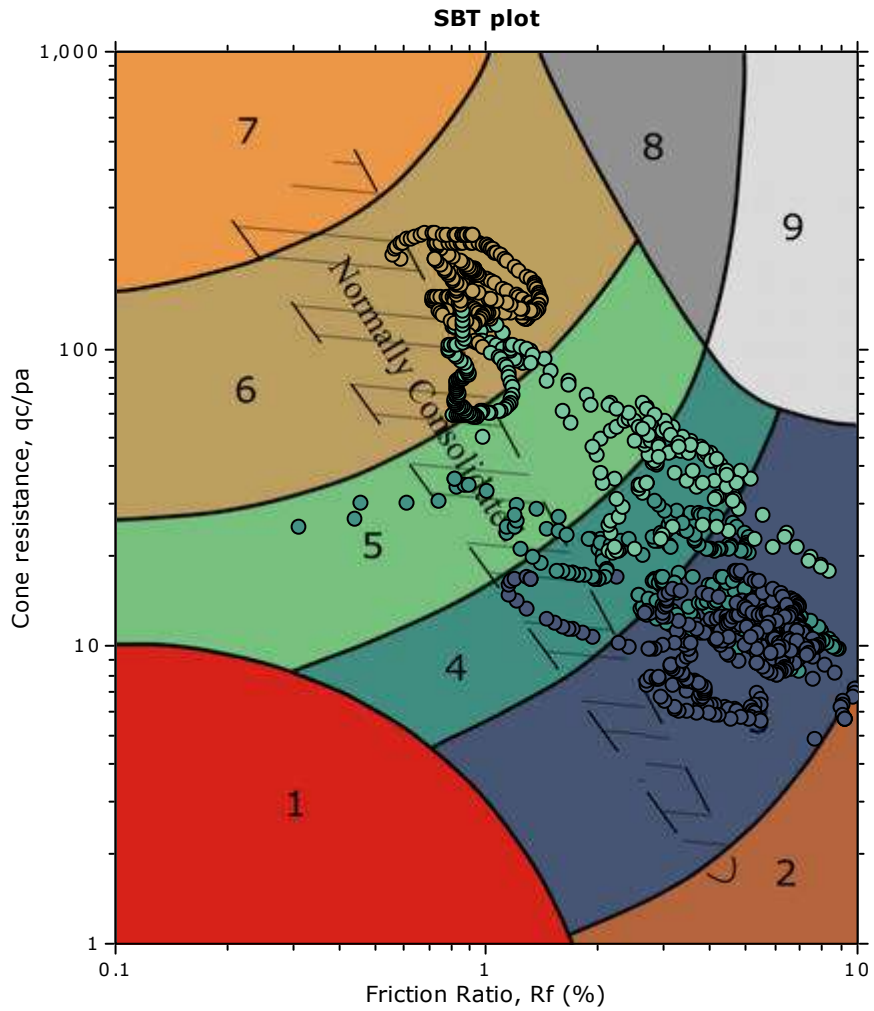


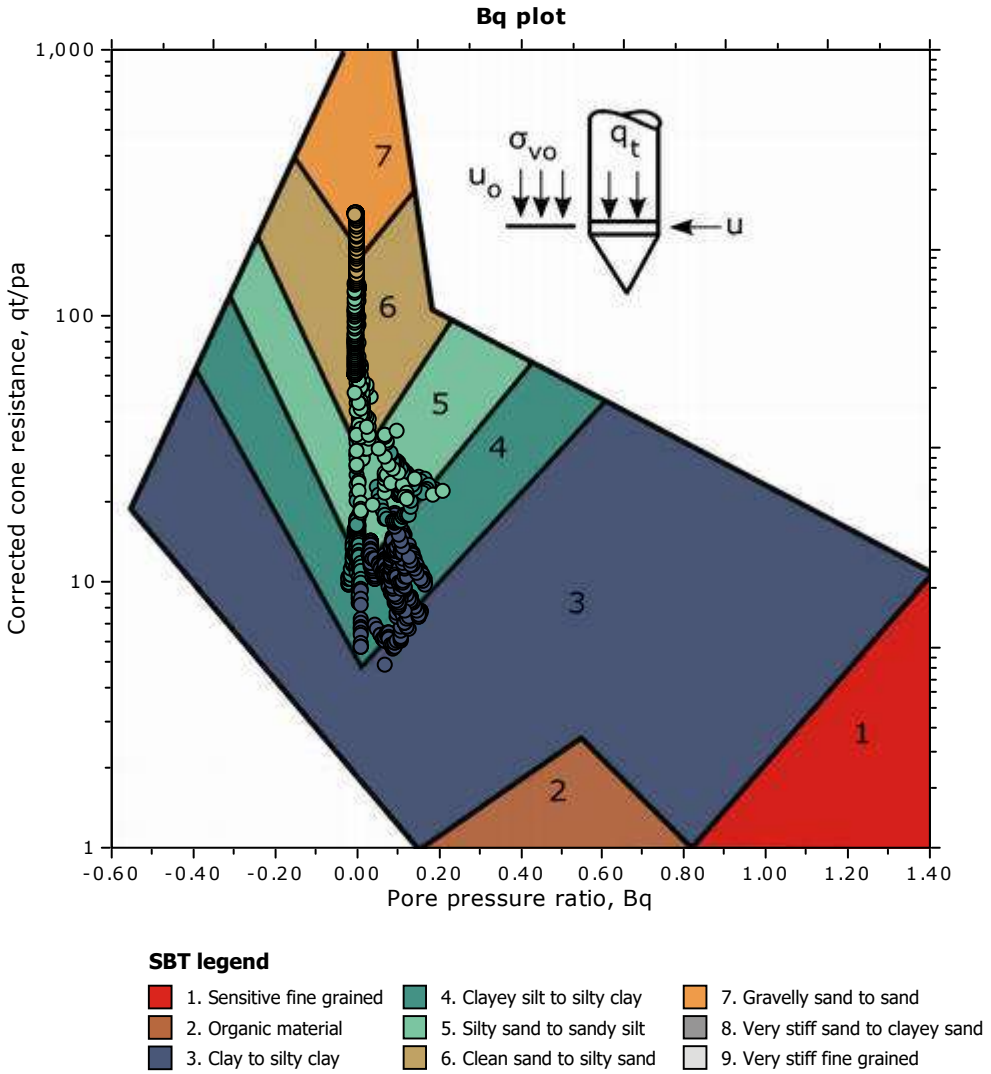
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

SBT - Bq plots



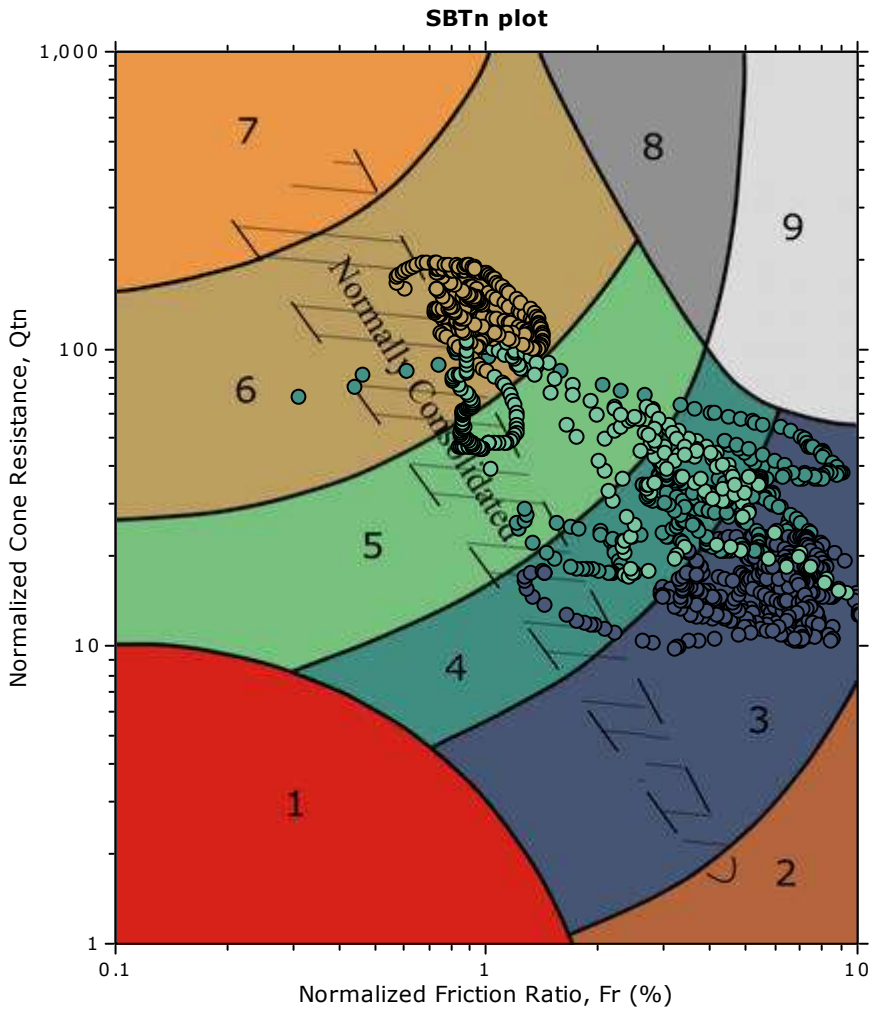


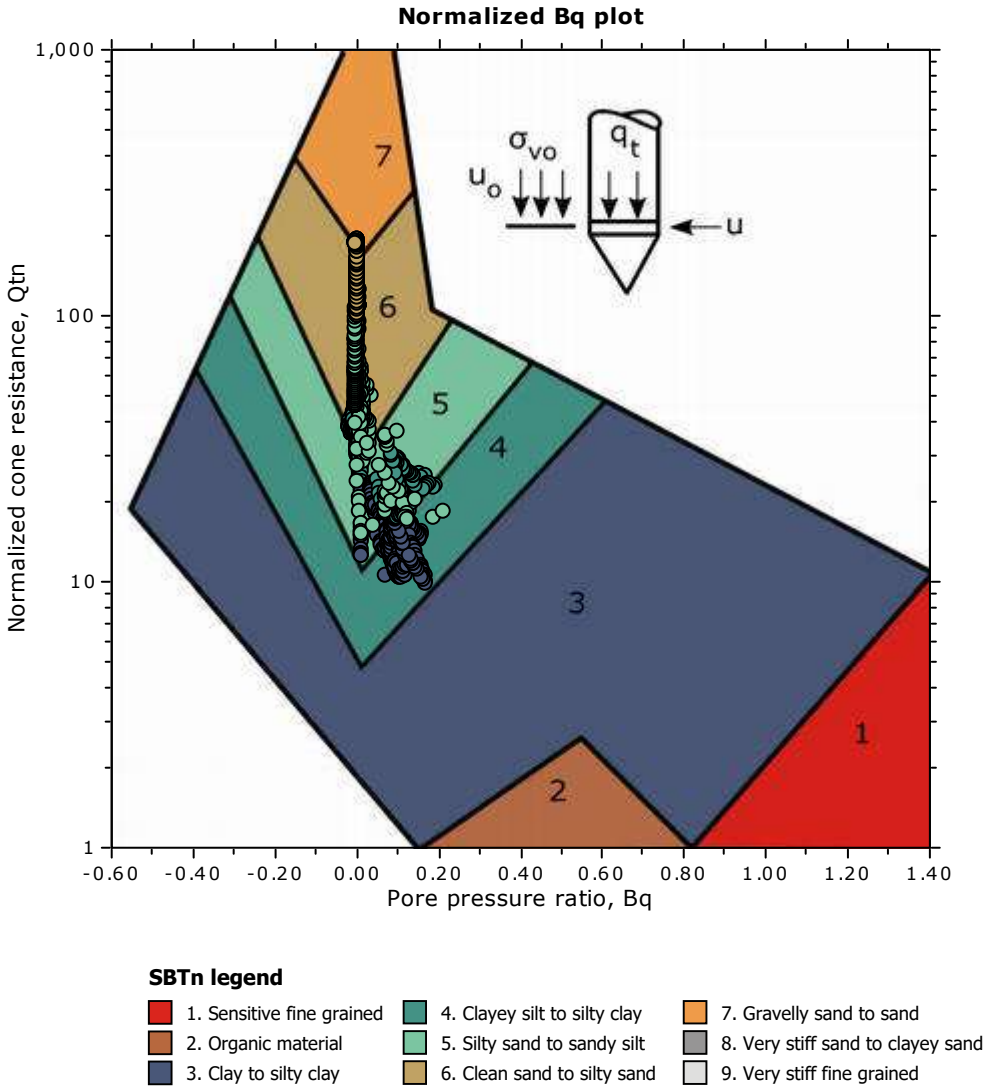
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

SBT - Bq plots (normalized)





SBTn legend

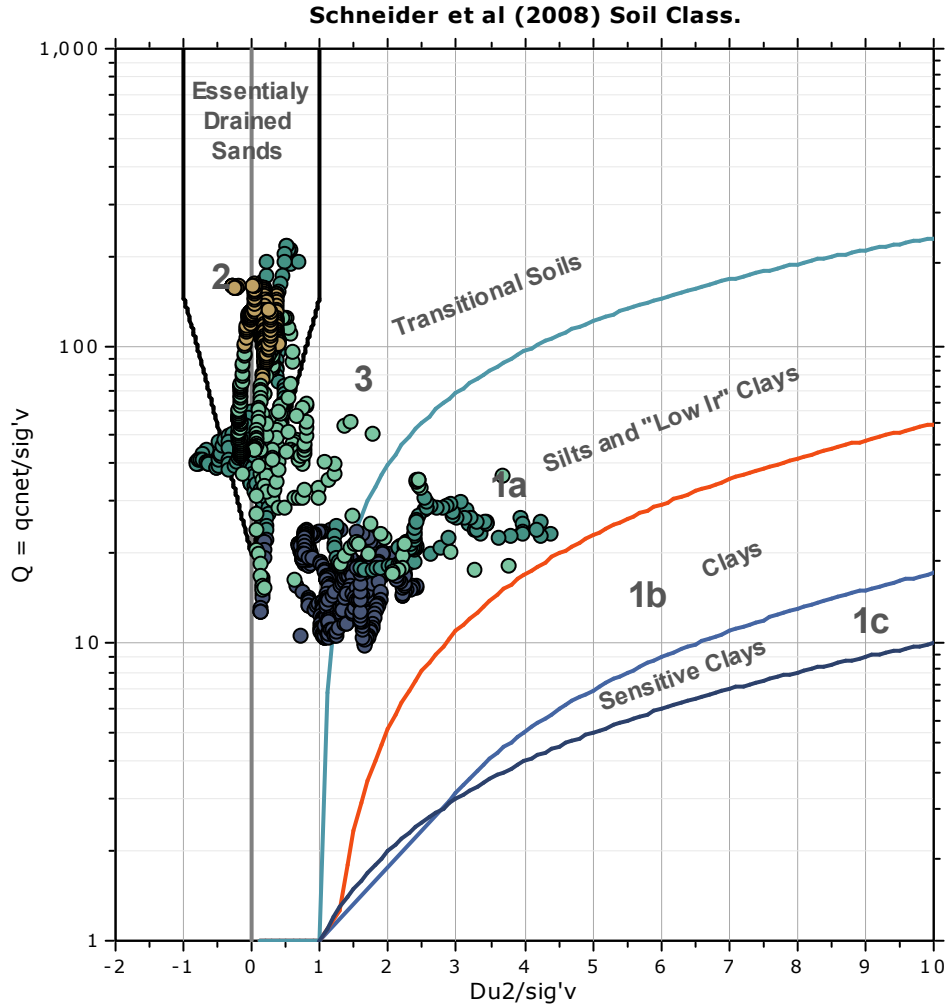
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty clay	7. Gravelly sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to clayey sand
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

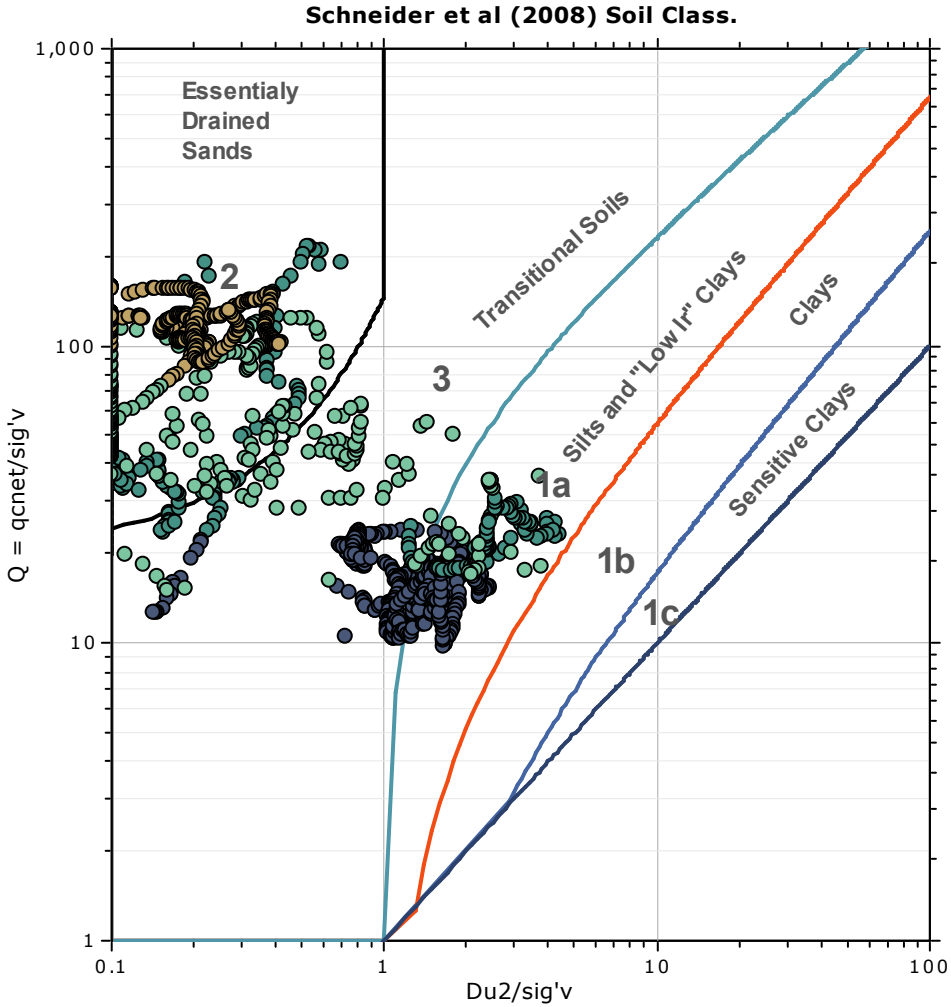
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

Bq plots (Schneider)

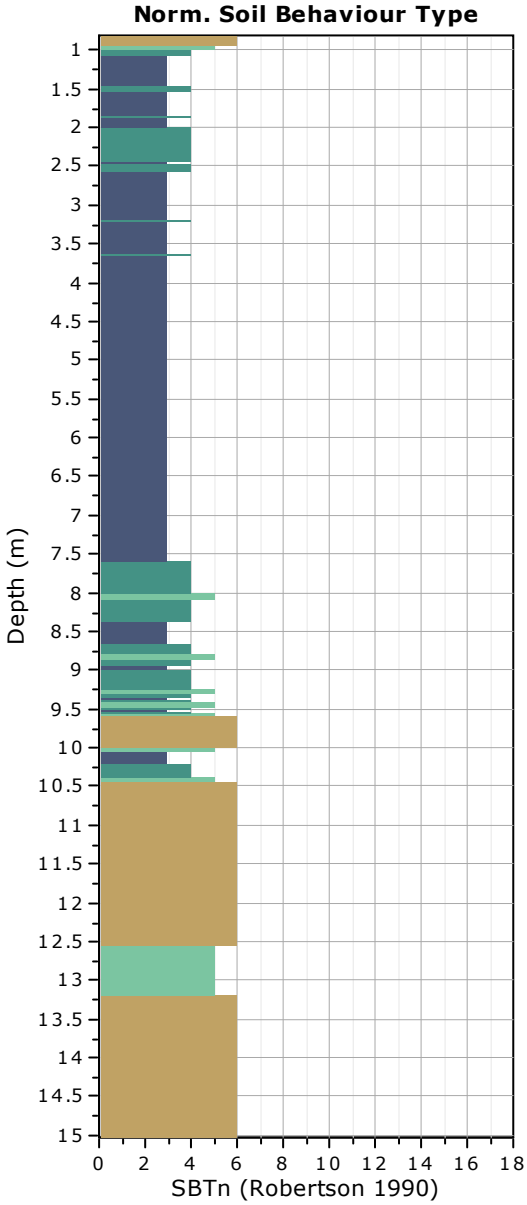


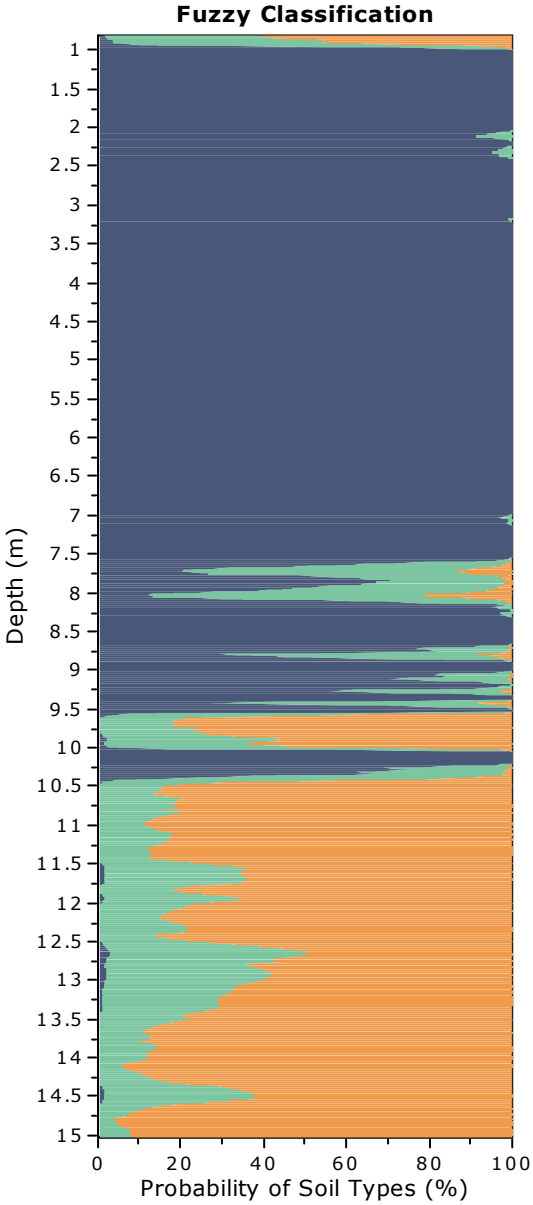


RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA





Fuzzy classifiaction legend
- Highly probable clayey soil
- Highly probable mixture soil
- Highly probable sandy soil

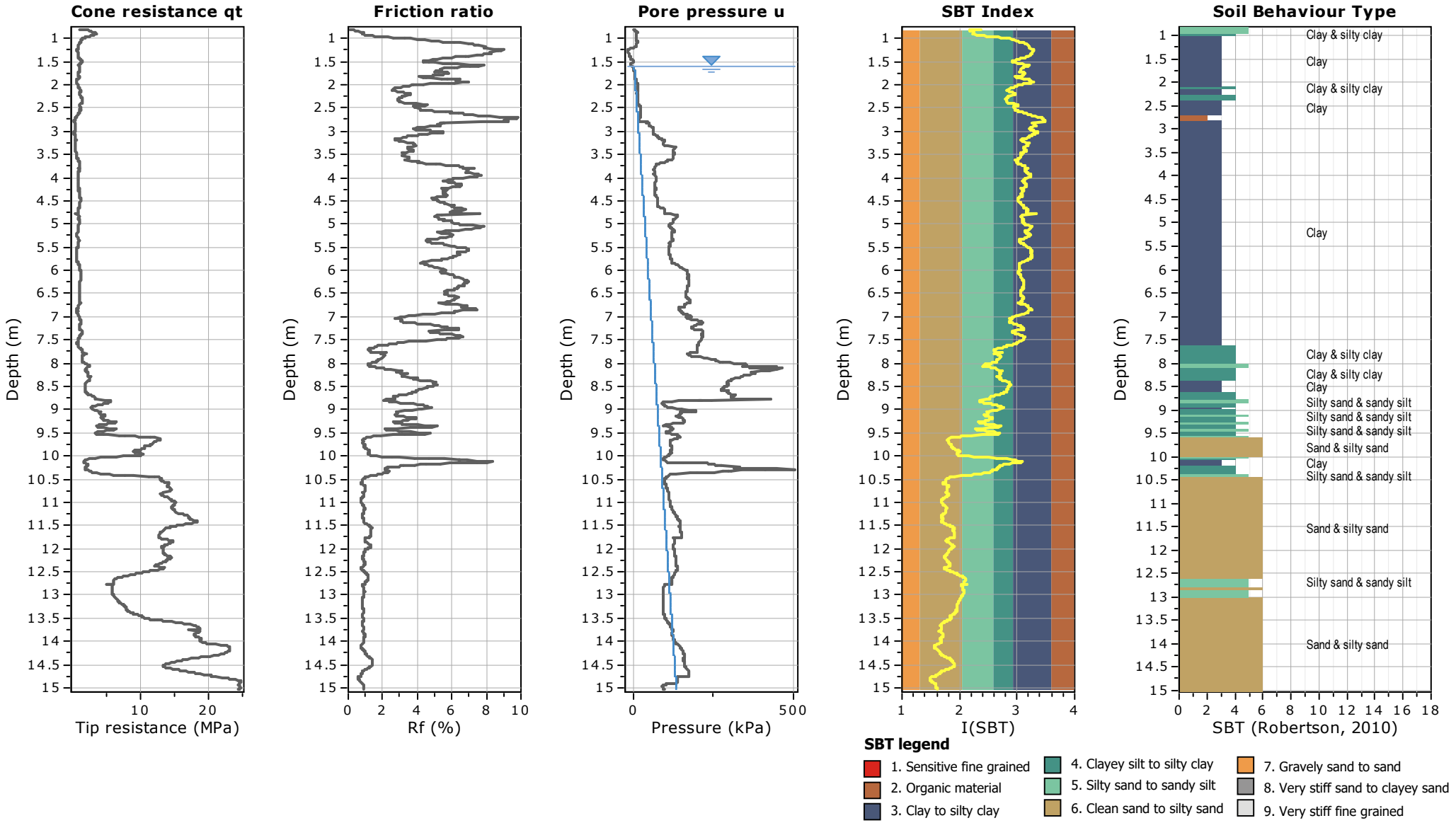
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2

Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA



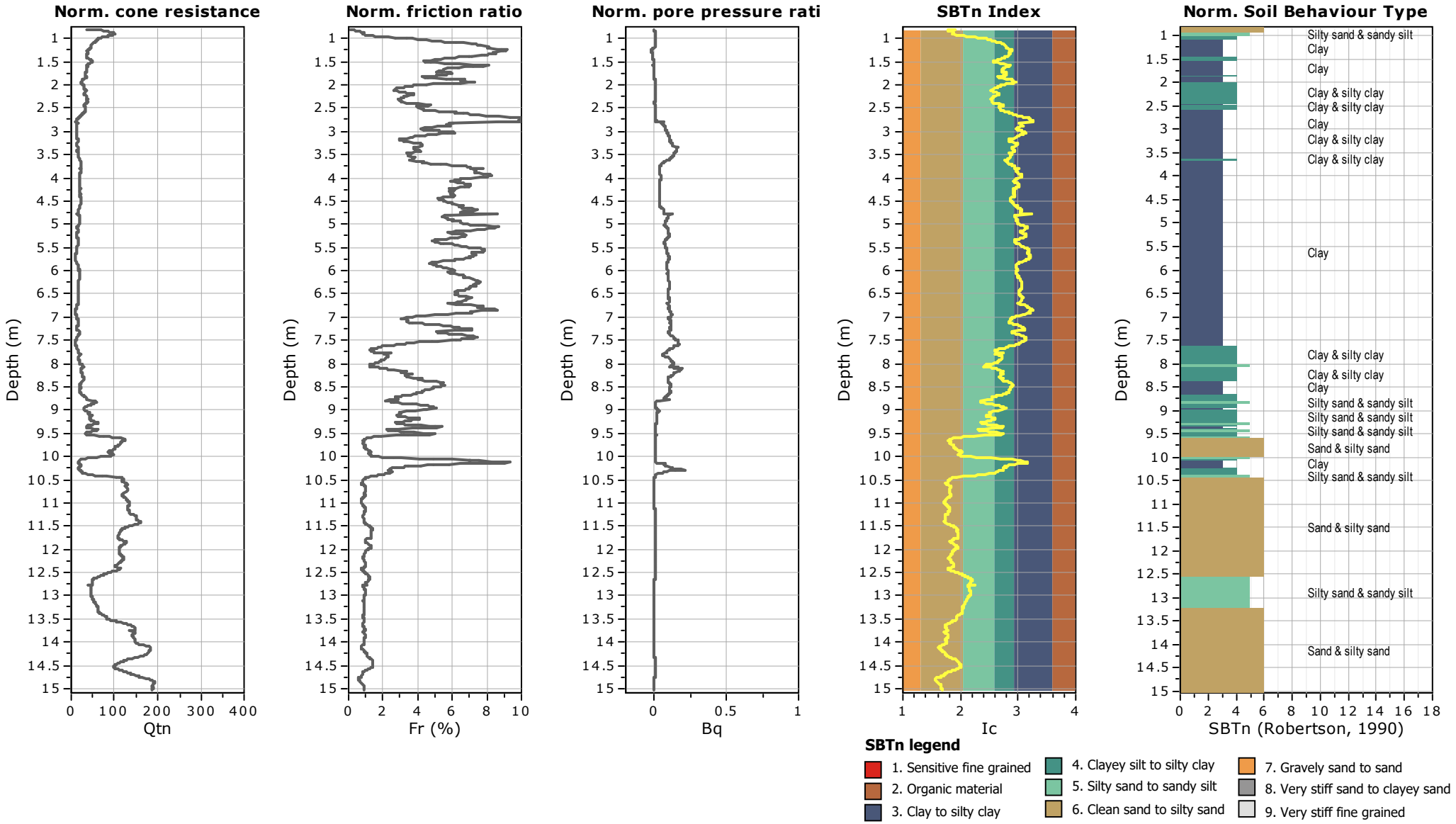
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2

Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

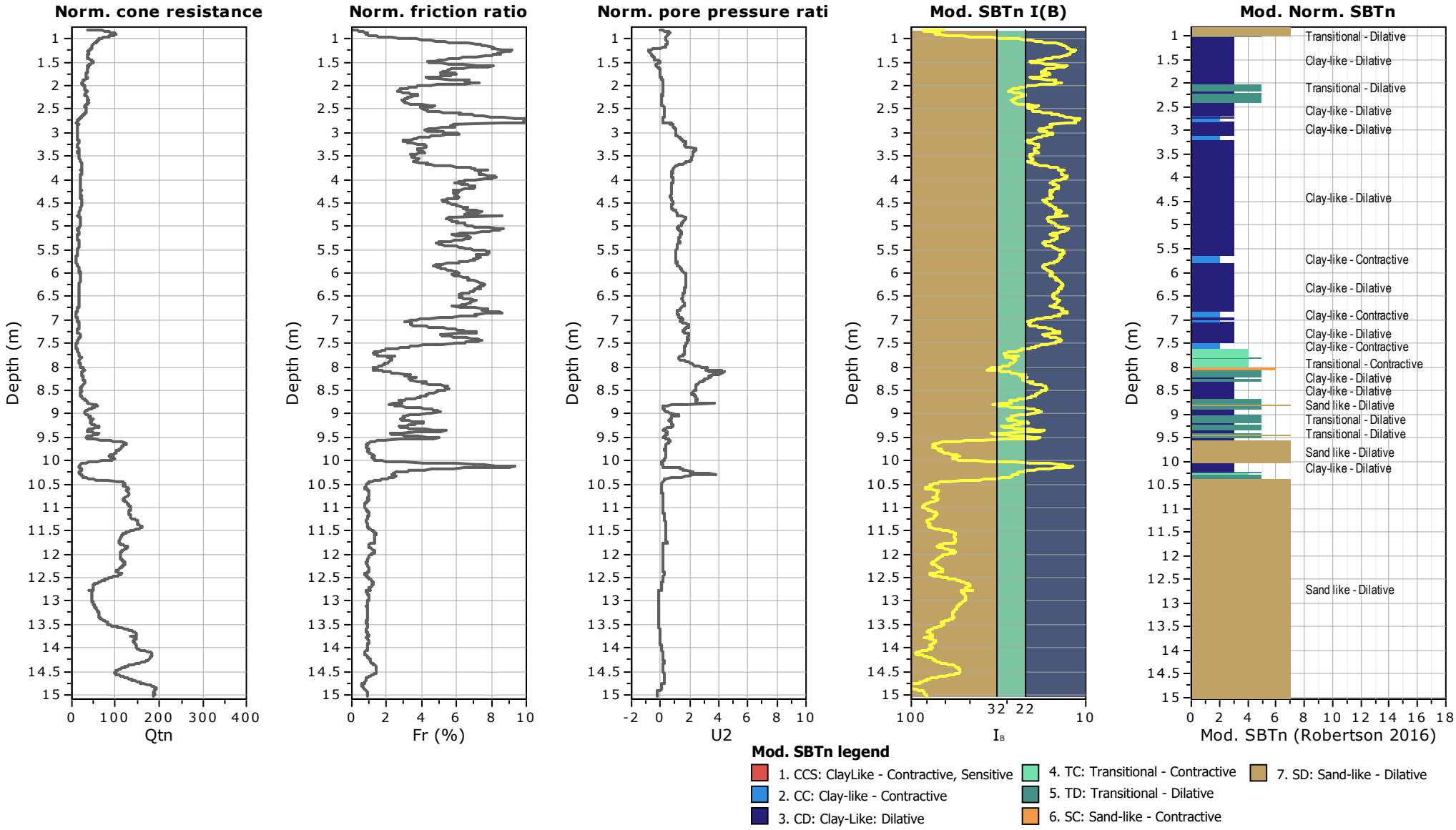


RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

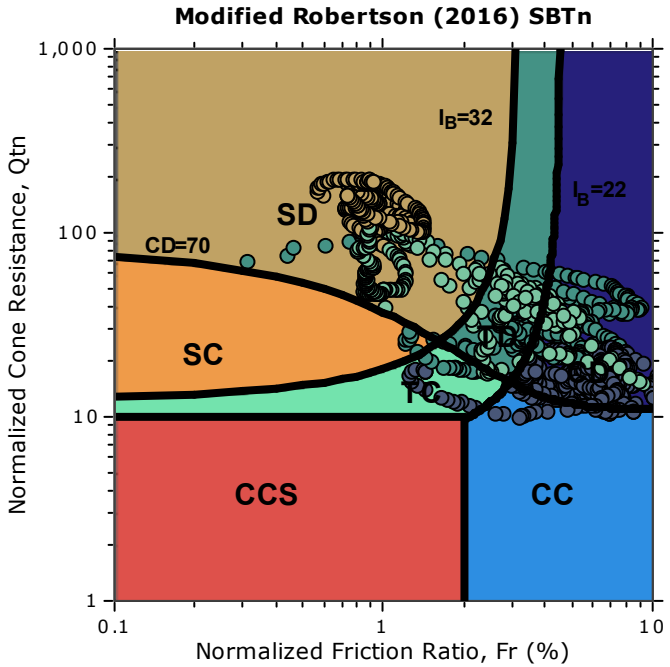


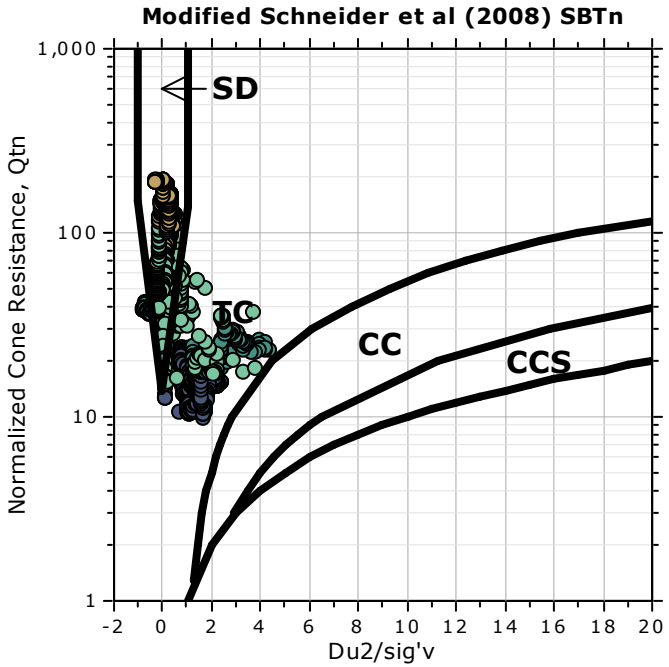
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

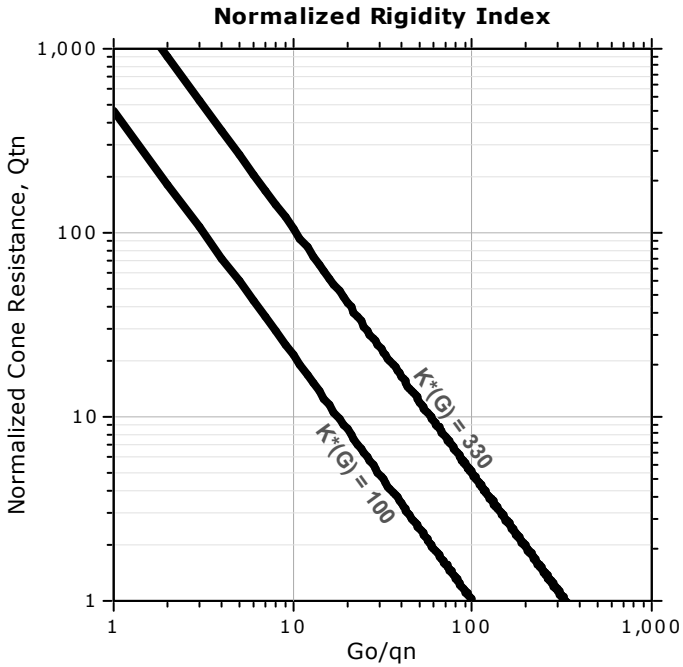
Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

Updated SBTn plots







CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative

K(G) > 330: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log(\frac{q_t}{p_a}) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952-3.04 \cdot I_c}$

$I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52-1.37 \cdot I_c}$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817 \cdot I_c}}$$

:: Young's Modulus, Es (MPa) ::

$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}}$ (applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: State Parameter, ψ ::

$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$

:: Drained Friction Angle, φ (°) ::

$\varphi = \varphi'_{cv} + 15.94 \cdot \log(Q_{tn,cs}) - 26.88$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$
$\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$
$\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$
$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If $I_c \geq 2.20$

$M_{CPT} = 0.03 \cdot (q_t - \sigma_v) \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$

:: Small strain shear Modulus, Go (MPa) ::

$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$

:: Shear Wave Velocity, Vs (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, Su (kPa) ::

$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)$ or user defined

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, Su(rem) (kPa) ::

$S_{u(rem)} = f_s$ (applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 \cdot +7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25}$$ or user defined

$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, Ko ::

$K_O = (1 - \sin\varphi') \cdot OCR^{\sin\varphi'}$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_S}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Peak Friction Angle, φ' (°) ::

$\varphi' = 29.5° \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

• Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012

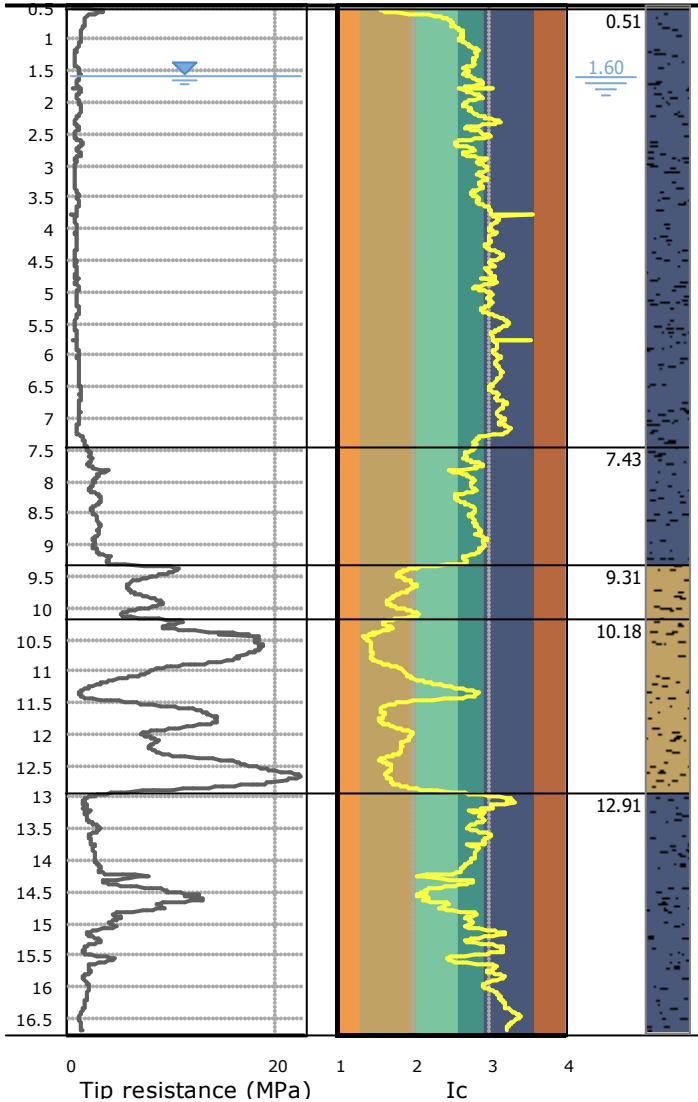
• Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

• N Barounis, J Philpot, Estimation of in-situ water content, void ratio, dry unit weight and porosity using CPT for saturated sands, Proc. 20th NZGS Geotechnical Symposium

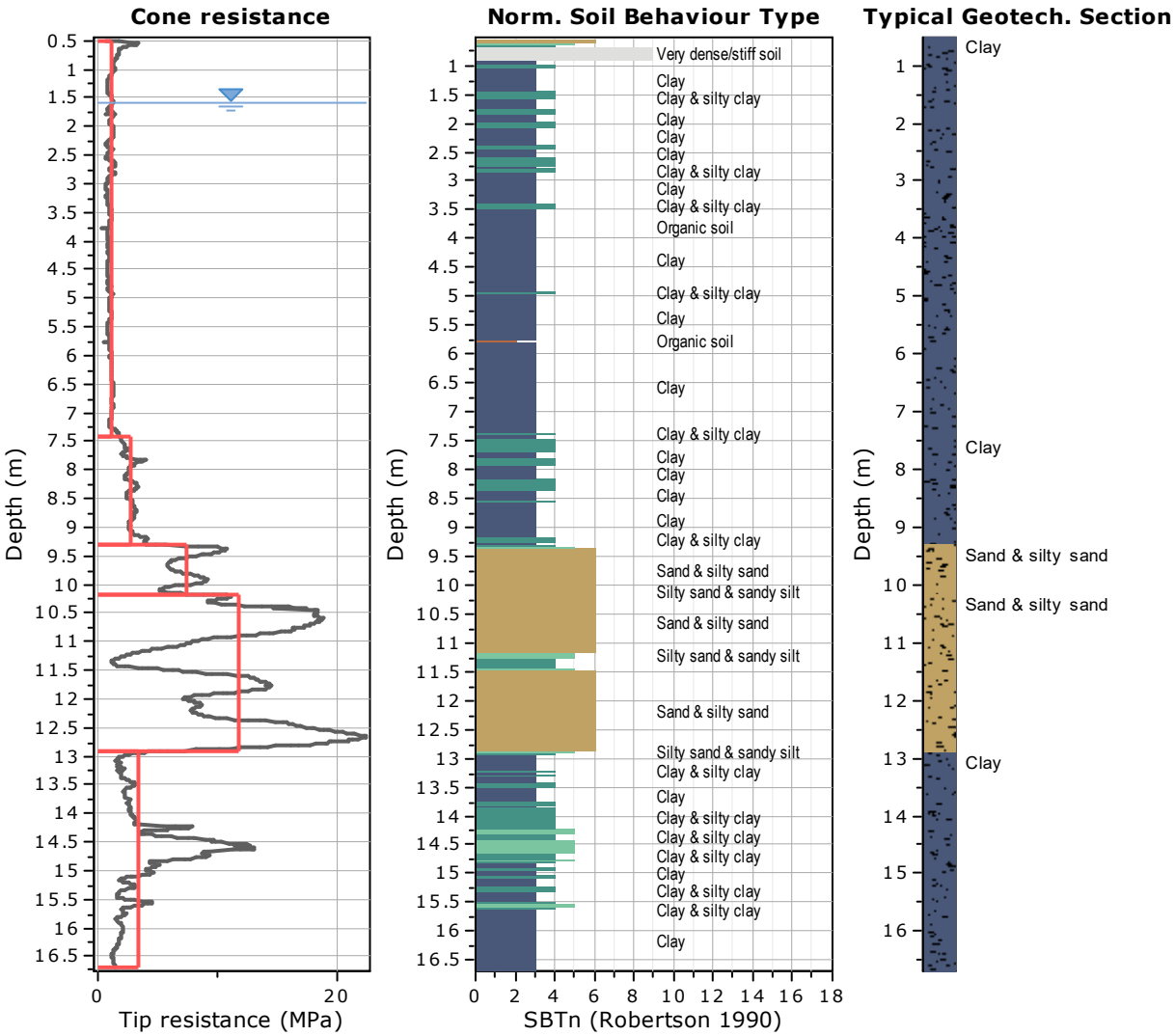
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA



Depth (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m³)
0.51	Clay	1.1	8.92E-7	5.2	-	-	-	13.5	36.6	69.5	1.6	7.2	19.0
7.43	Clay	2.8	4.43E-8	12.5	-	-	-	37.0	80.9	189.0	2.0	9.3	19.0
9.31	Sand & silty sand	7.5	2.36E-5	18.8	57.6	44.7	35.6	71.9	74.3	-	-	-	19.0
10.18	Sand & silty sand	11.8	1.07E-4	26.0	74.2	54.4	37.4	87.7	91.2	-	-	-	19.0
12.91	Clay	3.4	2.49E-7	14.3	-	-	-	40.3	88.3	171.8	1.2	5.4	19.0



Tabular results

.:: Layer No: 1 ::.

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.51 (m), **End depth:** 7.43 (m)

Description: Clay

Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.08 ±0.33 MPa	Permeability: 8.92E-07 ±9.92E-06 m/s	Constrained Mod.: 13.46 ±3.96 MPa
Sleeve friction: 54.21 ±17.75 kPa	N_{60}: 5.24 ±0.96 blows	Go: 36.64 ±7.78 MPa
Ic: 2.93 ±0.24	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 69.46 ±16.93 kPa
SBT_n: 3	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.55 ±1.04
SBTn description: Clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 7.18 ±4.80
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 2 ::.

Code: Layer_2 **Start depth:** 7.43 (m), **End depth:** 9.31 (m)

Description: Clay

Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 2.80 ±0.55 MPa	Permeability: 4.43E-08 ±3.99E-08 m/s	Constrained Mod.: 37.04 ±7.59 MPa
Sleeve friction: 130.28 ±44.46 kPa	N_{60}: 12.46 ±2.14 blows	Go: 80.94 ±14.44 MPa
Ic: 2.77 ±0.11	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 188.96 ±38.70 kPa
SBT_n: 3	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 2.02 ±0.36
SBTn description: Clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 9.34 ±1.65
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 3 ::.

Code: Layer_3 **Start depth:** 9.31 (m), **End depth:** 10.18 (m)

Description: Sand & silty sand

Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 7.47 ±1.65 MPa	Permeability: 2.36E-05 ±2.20E-05 m/s	Constrained Mod.: 71.87 ±16.09 MPa
Sleeve friction: 48.84 ±44.18 kPa	N_{60}: 18.83 ±3.82 blows	Go: 74.28 ±18.09 MPa
Ic: 1.91 ±0.16	Es: 57.64 ±13.69 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 6	Dr (%): 44.68 ±5.14	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand & silty sand	φ (degrees): 35.60 ±1.43 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 4 ::.

Code: Layer_4 **Start depth:** 10.18 (m), **End depth:** 12.91 (m)

Description: Sand & silty sand

Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 11.79 ±5.64 MPa	Permeability: 1.07E-04 ±1.37E-04 m/s	Constrained Mod.: 87.67 ±34.70 MPa
Sleeve friction: 61.08 ±49.69 kPa	N_{60}: 25.96 ±10.44 blows	Go: 91.19 ±32.08 MPa
Ic: 1.80 ±0.33	Es: 74.20 ±23.41 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 6	Dr (%): 54.35 ±12.73	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand & silty sand	φ (degrees): 37.42 ±2.53 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 5 ::.

Code: Layer_5 **Start depth:** 12.91 (m), **End depth:** 16.69 (m)

Description: Clay

Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 3.38 ±2.58 MPa	Permeability: 2.49E-07 ±7.92E-07 m/s	Constrained Mod.: 40.31 ±36.96 MPa
Sleeve friction: 99.37 ±62.95 kPa	N_{60}: 14.34 ±7.01 blows	Go: 88.34 ±29.85 MPa
Ic: 2.87 ±0.32	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 171.76 ±108.04 kPa
SBT_n: 3	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.16 ±0.77
SBTn description: Clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 5.37 ±3.55
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU1
Total depth: 16.69 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

Summary table of mean values

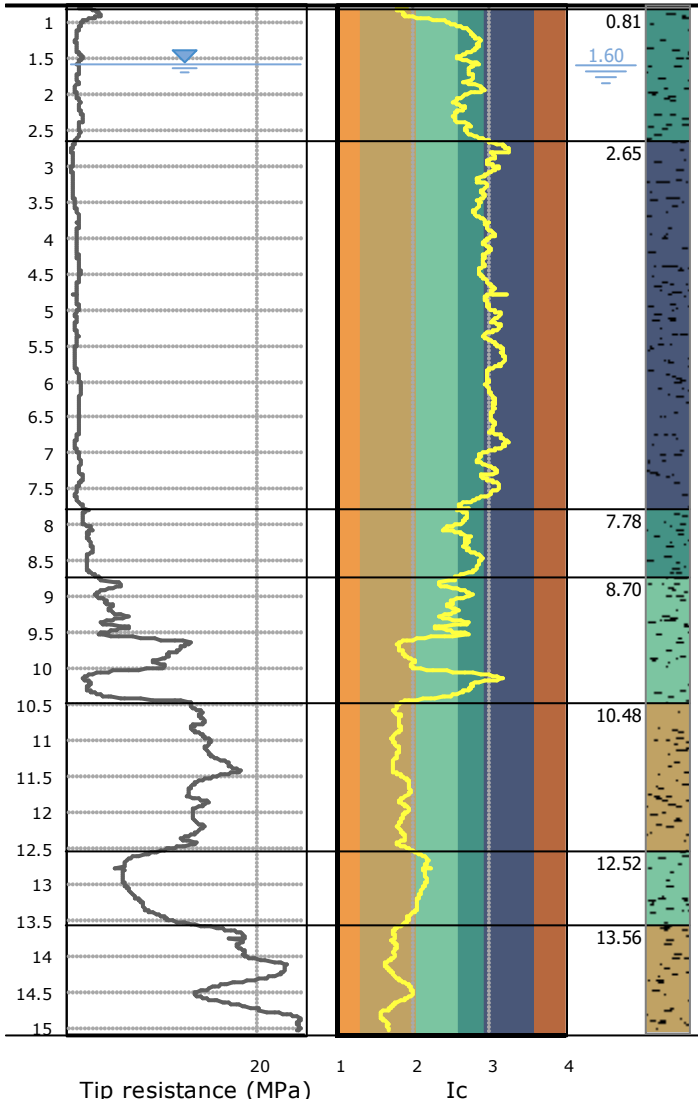
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT_{N60} (blows/30cm)	E_s (MPa)	D_r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G_O (MPa)	Undrained strength, S_U (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m³)
0.51	6.92	8.92E-07	5.2	0.0	0.0	0.0	13.5	36.6	69.5	1.6	7.2	19.0
7.43		(±9.92E-06)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.0)	(±7.8)	(±16.9)	(±1.0)	(±4.8)	(±0.0)
7.43	1.88	4.43E-08	12.5	0.0	0.0	0.0	37.0	80.9	189.0	2.0	9.3	19.0
9.31		(±3.99E-08)	(±2.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.6)	(±14.4)	(±38.7)	(±0.4)	(±1.6)	(±0.0)
9.31	0.87	2.36E-05	18.8	57.6	44.7	35.6	71.9	74.3	0.0	0.0	0.0	19.0
10.18		(±2.20E-05)	(±3.8)	(±13.7)	(±5.1)	(±1.4)	(±16.1)	(±18.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
10.18	2.73	1.07E-04	26.0	74.2	54.4	37.4	87.7	91.2	0.0	0.0	0.0	19.0
12.91		(±1.37E-04)	(±10.4)	(±23.4)	(±12.7)	(±2.5)	(±34.7)	(±32.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
12.91	3.78	2.49E-07	14.3	0.0	0.0	0.0	40.3	88.3	171.8	1.2	5.4	19.0
16.69		(±7.92E-07)	(±7.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±37.0)	(±29.8)	(±108.0)	(±0.8)	(±3.6)	(±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

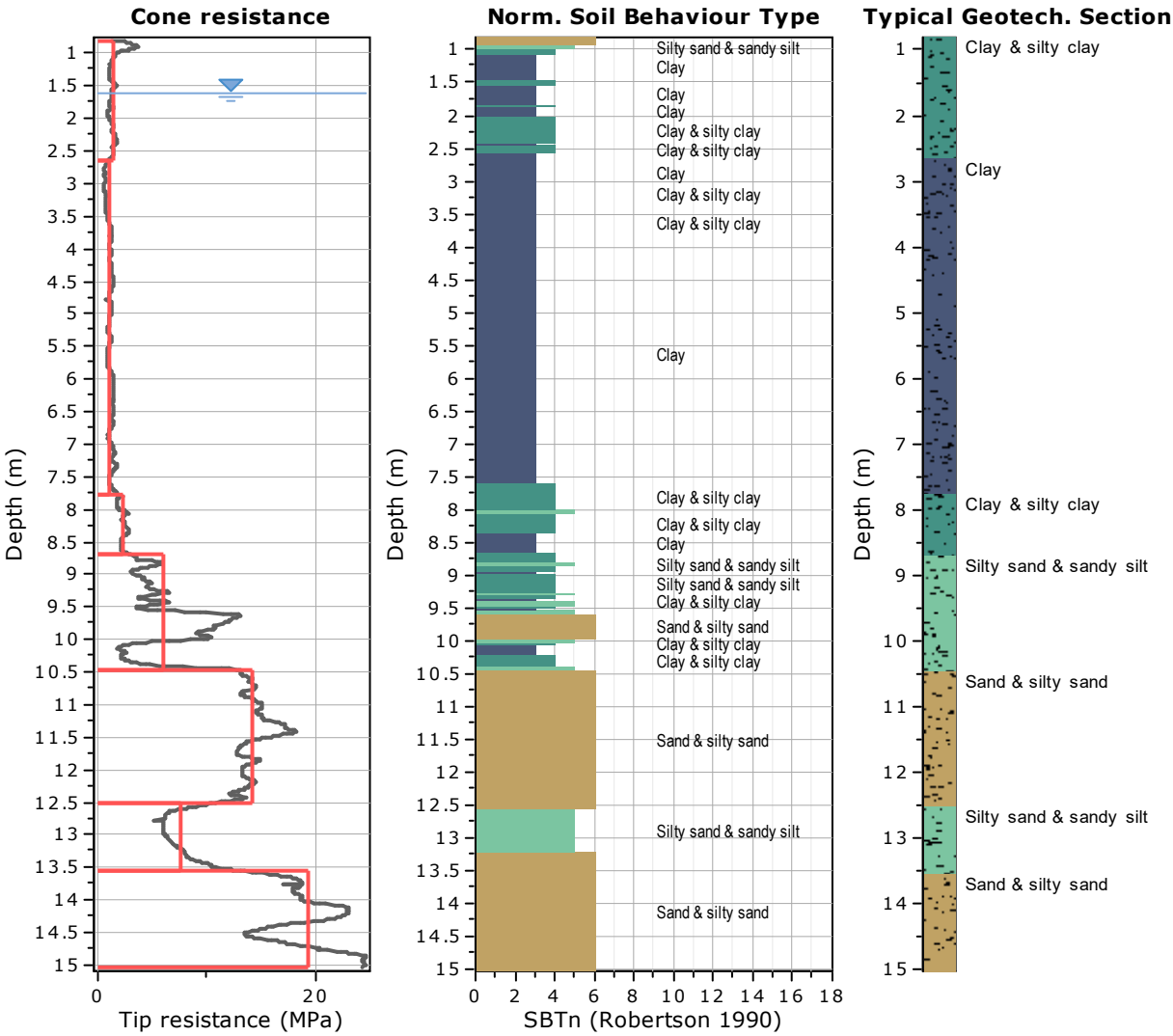
RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:
Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA



Depth (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m³)
0.81	Clay & silty clay	1.4	1.43E-6	5.7	-	-	-	18.8	35.2	89.7	2.6	12.1	19.0
2.65	Clay	1.1	9.55E-9	5.8	-	-	-	14.0	42.0	73.2	1.2	5.4	19.0
7.78	Clay & silty clay	2.3	7.22E-8	9.7	-	-	-	29.6	60.8	149.7	1.6	7.5	19.0
8.70	Silty sand & sandy silt	6.0	4.47E-6	19.2	84.8	49.0	38.3	70.4	97.1	-	-	-	19.0
10.48	Sand & silty sand	14.2	2.65E-5	34.3	102.0	59.3	39.3	127.8	130.0	-	-	-	19.0
12.52	Silty sand & sandy silt	7.7	5.11E-6	21.6	73.1	40.9	35.5	91.6	93.2	-	-	-	19.0
13.56	Sand & silty sand	19.3	5.23E-5	44.2	125.6	65.5	40.2	157.4	160.1	-	-	-	19.0



Tabular results

.:: Layer No: 1 ::.

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.81 (m), **End depth:** 2.65 (m)

Description: Clay & silty clay

Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.45 ±0.56 MPa	Permeability: 1.43E-06 ±5.25E-06 m/s	Constrained Mod.: 18.82 ±5.08 MPa
Sleeve friction: 61.63 ±19.21 kPa	N_{60}: 5.70 ±0.99 blows	Go: 35.17 ±3.46 MPa
Ic: 2.65 ±0.26	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 89.72 ±15.52 kPa
SBT_n: 4	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 2.62 ±0.59
SBTn description: Clay & silty clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 12.10 ±2.72
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 2 ::.

Code: Layer_2 **Start depth:** 2.65 (m), **End depth:** 7.78 (m)

Description: Clay

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 1.12 ±0.27 MPa	Permeability: 9.55E-09 ±1.33E-08 m/s	Constrained Mod.: 13.95 ±3.91 MPa
Sleeve friction: 60.16 ±21.23 kPa	N_{60}: 5.81 ±1.31 blows	Go: 42.01 ±9.40 MPa
Ic: 3.01 ±0.11	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 73.25 ±17.89 kPa
SBT_n: 3	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.16 ±0.25
SBTn description: Clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 5.37 ±1.13
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 3 ::.

Code: Layer_3 **Start depth:** 7.78 (m), **End depth:** 8.70 (m)

Description: Clay & silty clay

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 2.27 ±0.34 MPa	Permeability: 7.22E-08 ±8.09E-08 m/s	Constrained Mod.: 29.61 ±4.76 MPa
Sleeve friction: 70.47 ±30.90 kPa	N_{60}: 9.68 ±1.58 blows	Go: 60.81 ±11.69 MPa
Ic: 2.72 ±0.12	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 149.66 ±24.38 kPa
SBT_n: 4	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.62 ±0.24
SBTn description: Clay & silty clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 7.49 ±1.13
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 4 ::.

Code: Layer_4 **Start depth:** 8.70 (m), **End depth:** 10.48 (m)

Description: Silty sand & sandy silt

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 6.03 ±3.38 MPa	Permeability: 4.47E-06 ±8.04E-06 m/s	Constrained Mod.: 70.37 ±29.63 MPa
Sleeve friction: 126.57 ±33.06 kPa	N_{60}: 19.22 ±6.34 blows	Go: 97.11 ±15.44 MPa
Ic: 2.41 ±0.35	Es: 84.81 ±6.06 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 5	Dr (%): 48.96 ±7.66	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Silty sand & sandy silt	φ (degrees): 38.33 ±0.67 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 5 ::.

Code: Layer_5 **Start depth:** 10.48 (m), **End depth:** 12.52 (m)

Description: Sand & silty sand

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 14.16 ±1.43 MPa	Permeability: 2.65E-05 ±1.19E-05 m/s	Constrained Mod.: 127.82 ±9.56 MPa
Sleeve friction: 136.40 ±23.93 kPa	N_{60}: 34.29 ±2.60 blows	Go: 129.95 ±9.72 MPa
Ic: 1.83 ±0.07	Es: 101.98 ±7.63 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 6	Dr (%): 59.30 ±3.47	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand & silty sand	φ (degrees): 39.32 ±0.55 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 6 ::.

Code: Layer_6 **Start depth:** 12.52 (m), **End depth:** 13.56 (m)

Description: Silty sand & sandy silt

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 7.65 ±1.82 MPa	Permeability: 5.11E-06 ±3.92E-06 m/s	Constrained Mod.: 91.58 ±11.58 MPa
Sleeve friction: 69.96 ±16.95 kPa	N_{60}: 21.59 ±3.75 blows	Go: 93.18 ±11.65 MPa
Ic: 2.09 ±0.09	Es: 73.12 ±9.14 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 5	Dr (%): 40.94 ±4.84	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Silty sand & sandy silt	φ (degrees): 35.49 ±1.06 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

.:: Layer No: 7 ::.

Code: Layer_7 **Start depth:** 13.56 (m), **End depth:** 15.03 (m)

Description: Sand & silty sand

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 19.35 ±3.33 MPa	Permeability: 5.23E-05 ±3.60E-05 m/s	Constrained Mod.: 157.43 ±13.56 MPa
Sleeve friction: 176.67 ±31.02 kPa	N_{60}: 44.23 ±5.18 blows	Go: 160.07 ±13.79 MPa
Ic: 1.76 ±0.11	Es: 125.61 ±10.82 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 6	Dr (%): 65.46 ±6.06	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand & silty sand	φ (degrees): 40.17 ±0.78 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³	

RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

Project:

Location: Mirandola - Via Minelli

CPT: CPTU2
Total depth: 15.03 m, Date: 30/10/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: PAGANI
Cone Operator: CIANCHI-LIOCI-CARBONELLA

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT_{N60} (blows/30cm)	E_s (MPa)	D_r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G_O (MPa)	Undrained strength, S_U (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m³)
0.81	1.84	1.43E-06	5.7	0.0	0.0	0.0	18.8	35.2	89.7	2.6	12.1	19.0
2.65		(±5.25E-06)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.1)	(±3.5)	(±15.5)	(±0.6)	(±2.7)	(±0.0)
2.65	5.13	9.55E-09	5.8	0.0	0.0	0.0	14.0	42.0	73.2	1.2	5.4	19.0
7.78		(±1.33E-08)	(±1.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.9)	(±9.4)	(±17.9)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.0)
7.78	0.92	7.22E-08	9.7	0.0	0.0	0.0	29.6	60.8	149.7	1.6	7.5	19.0
8.70		(±8.09E-08)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.8)	(±11.7)	(±24.4)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.0)
8.70	1.78	4.47E-06	19.2	84.8	49.0	38.3	70.4	97.1	0.0	0.0	0.0	19.0
10.48		(±8.04E-06)	(±6.3)	(±6.1)	(±7.7)	(±0.7)	(±29.6)	(±15.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
10.48	2.04	2.65E-05	34.3	102.0	59.3	39.3	127.8	130.0	0.0	0.0	0.0	19.0
12.52		(±1.19E-05)	(±2.6)	(±7.6)	(±3.5)	(±0.6)	(±9.6)	(±9.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
12.52	1.04	5.11E-06	21.6	73.1	40.9	35.5	91.6	93.2	0.0	0.0	0.0	19.0
13.56		(±3.92E-06)	(±3.8)	(±9.1)	(±4.8)	(±1.1)	(±11.6)	(±11.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
13.56	1.47	5.23E-05	44.2	125.6	65.5	40.2	157.4	160.1	0.0	0.0	0.0	19.0
15.03		(±3.60E-05)	(±5.2)	(±10.8)	(±6.1)	(±0.8)	(±13.6)	(±13.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

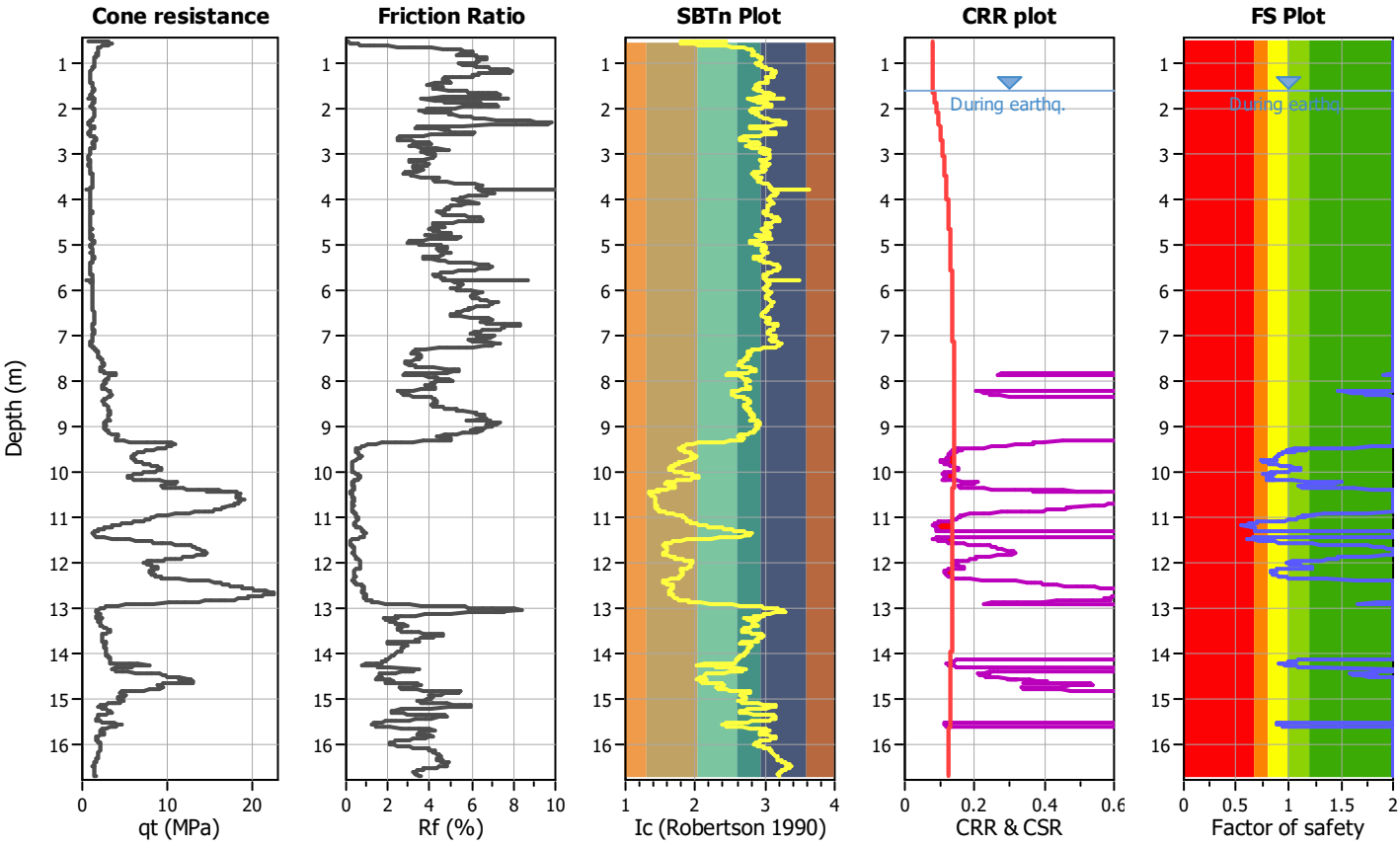
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

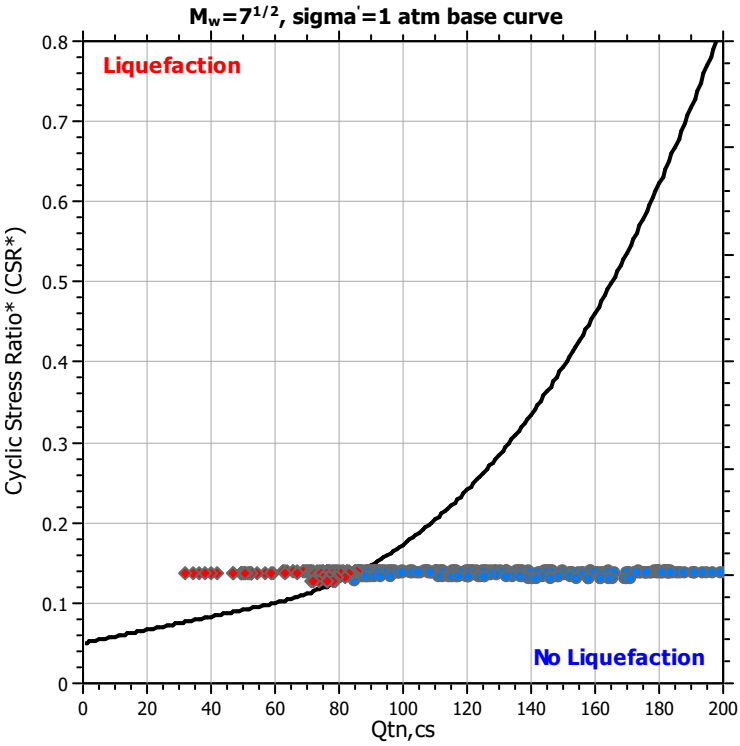
Project title : **Location : Mirandola - Via Minelli**

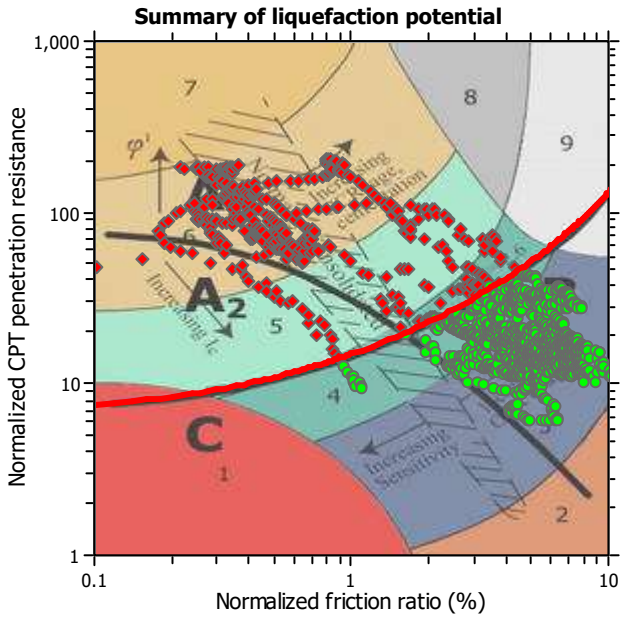
CPT file : CPTU1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.60 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		

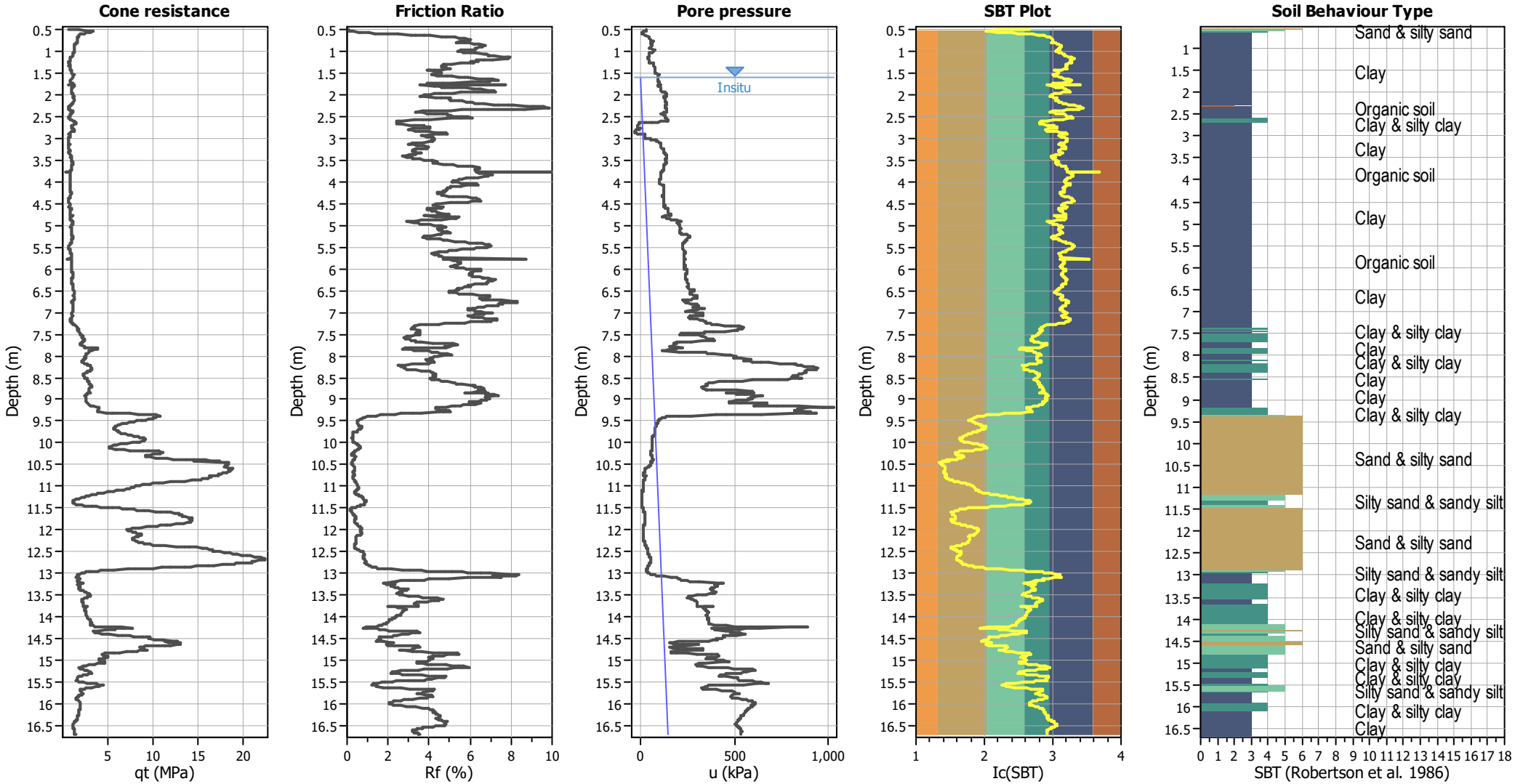






Zone A_1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A_2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



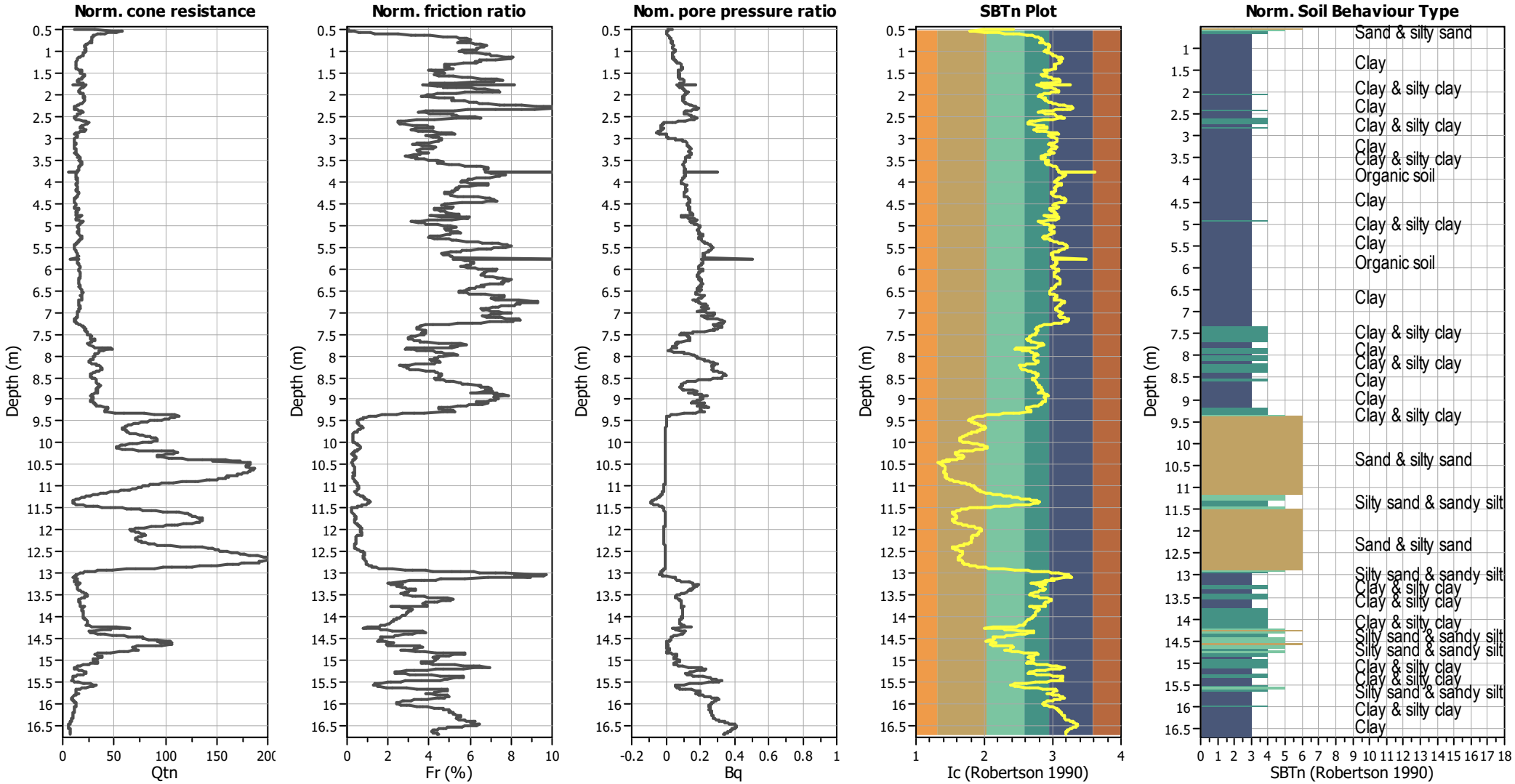
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



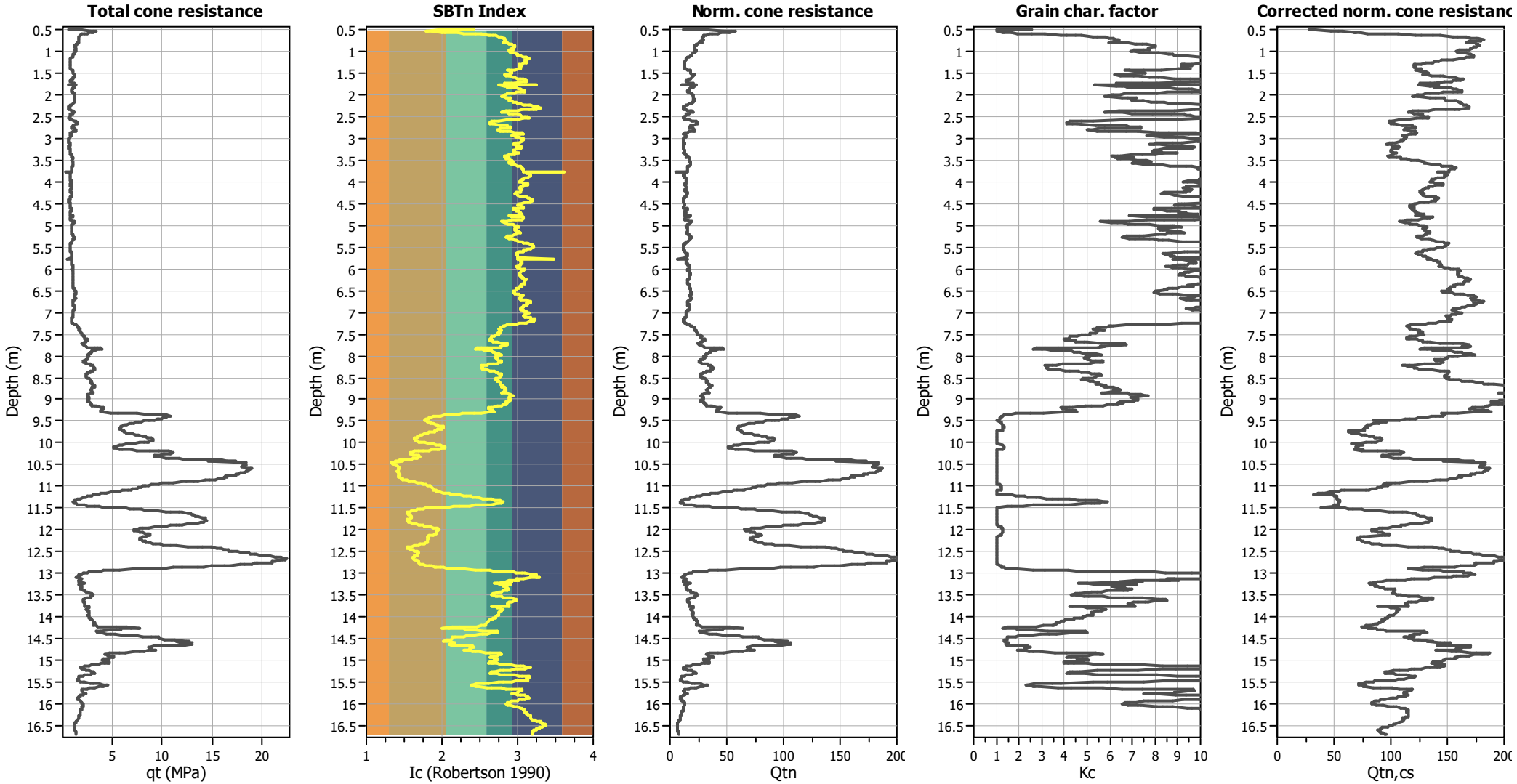
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

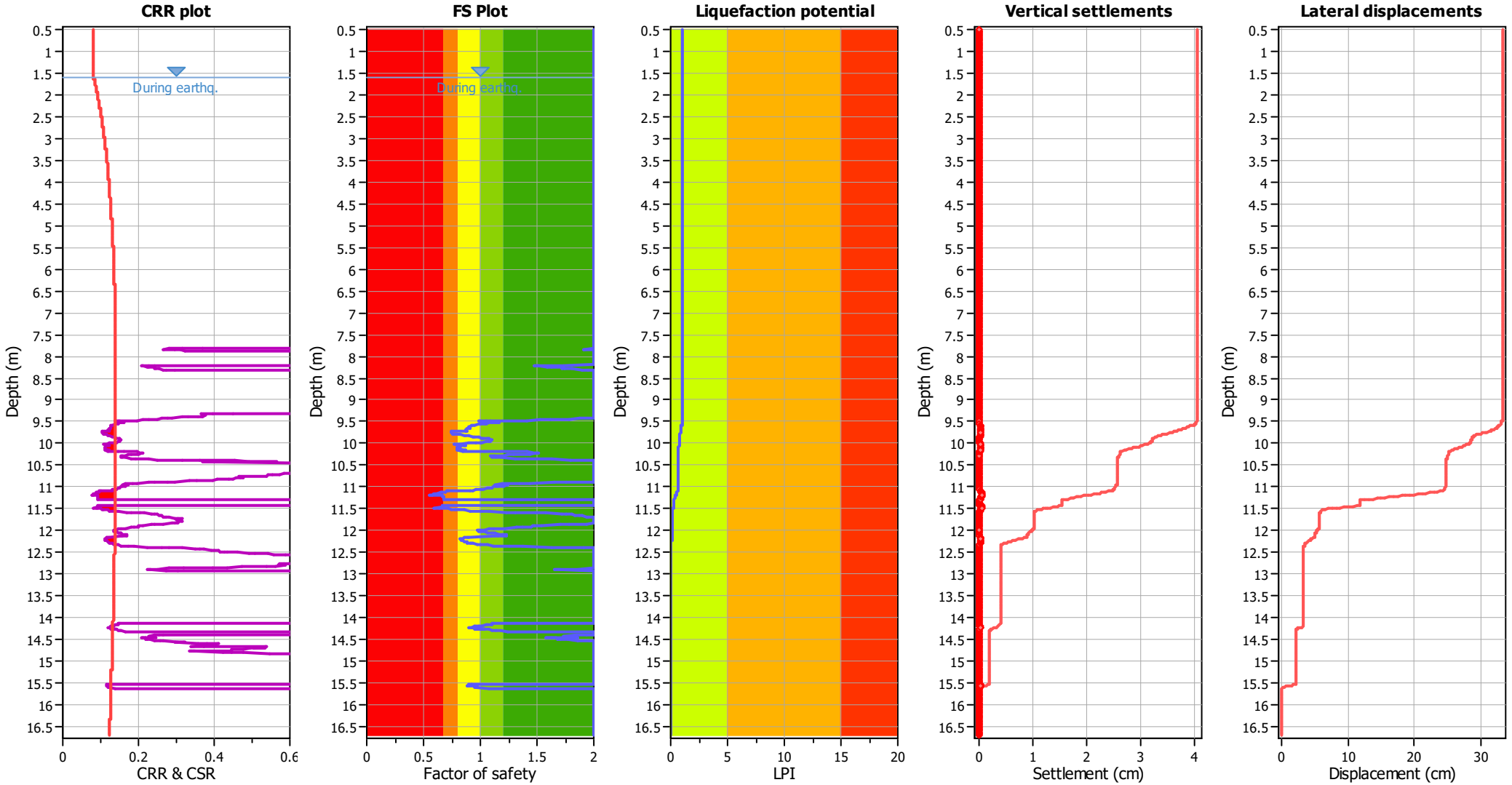
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

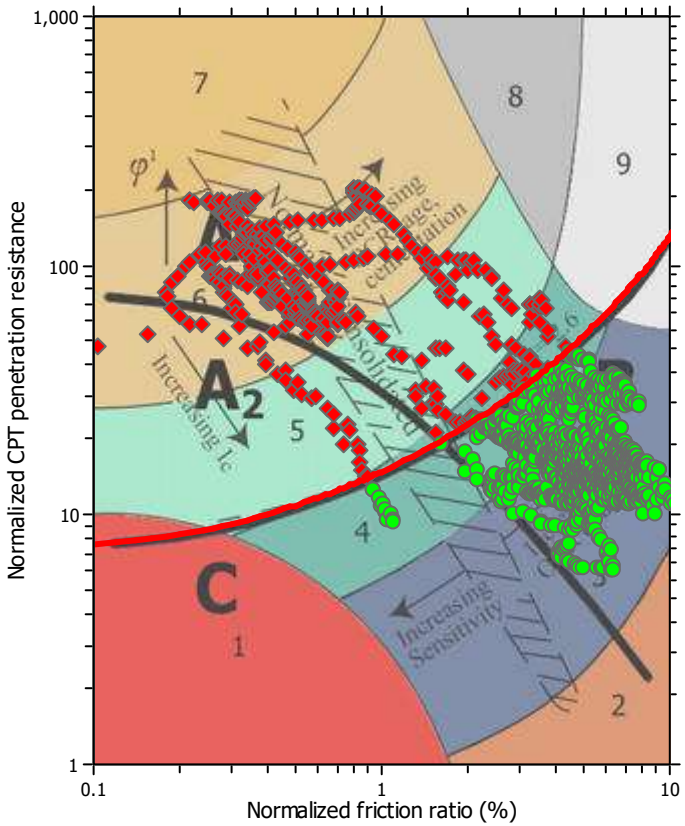
F.S. color scheme

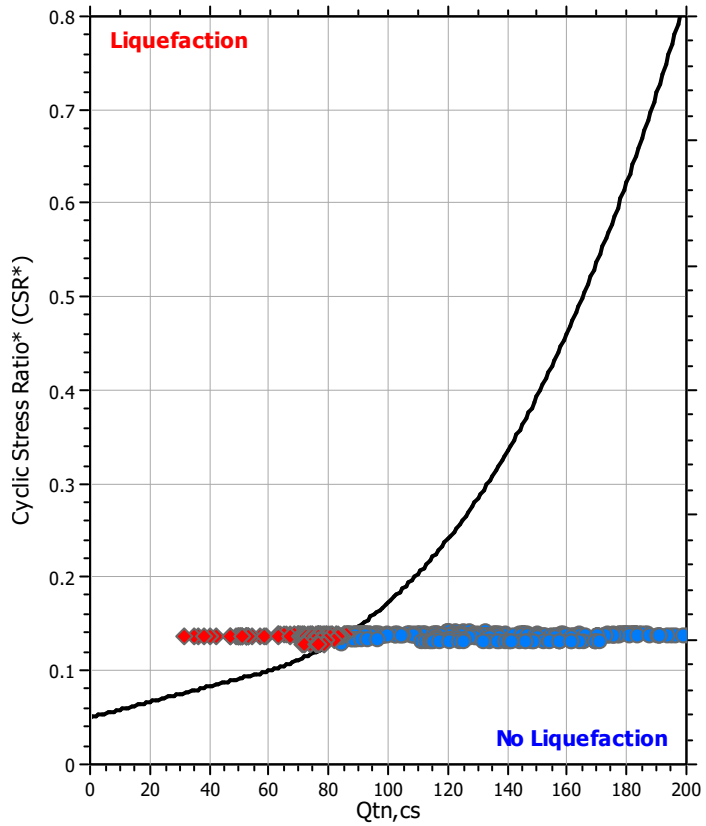
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

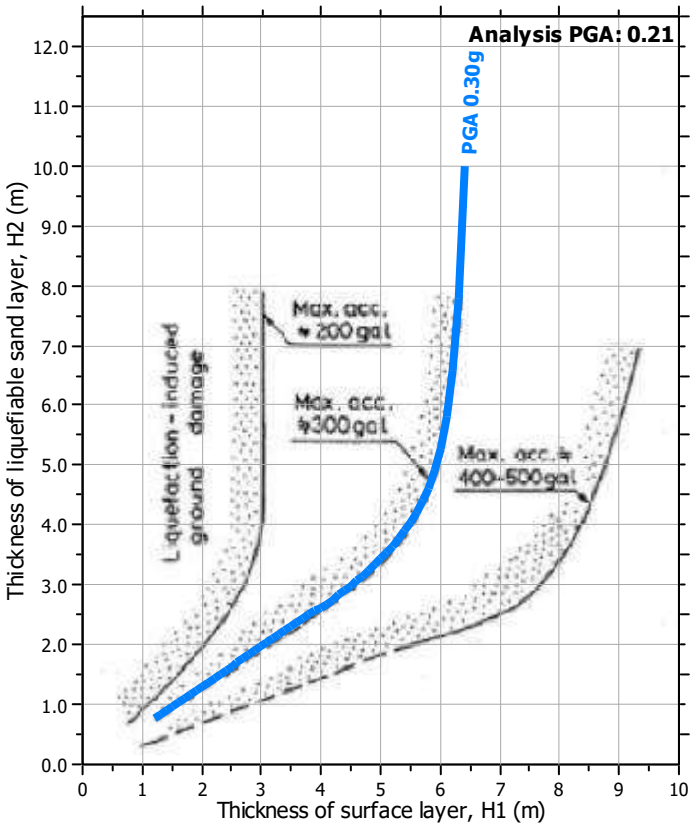
LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Liquefaction analysis summary plots







Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

RDR SRL
Via Toscana 119 - 40141 Bologna
Cell. 393 8376620
http://www.roccocarbonella.it

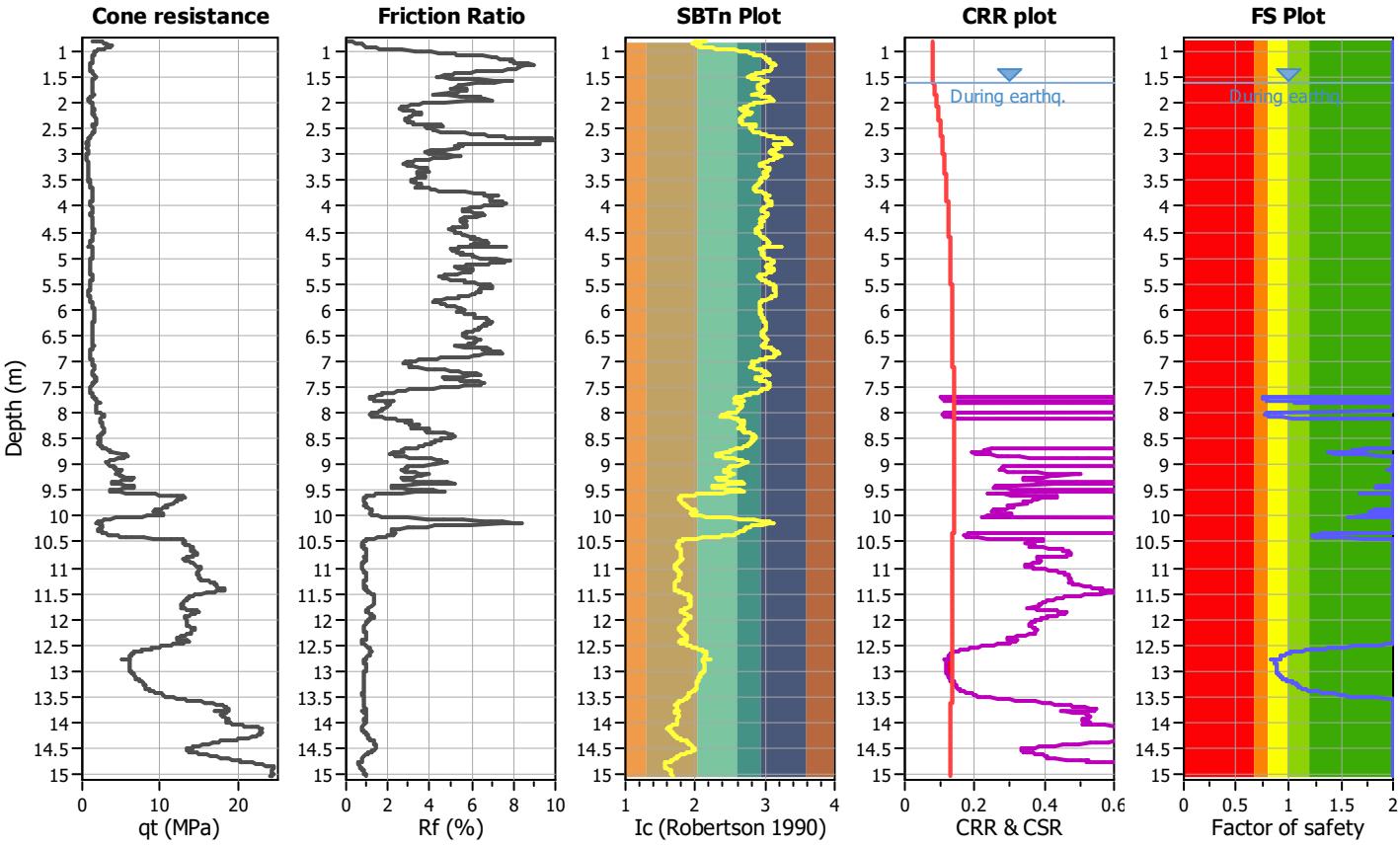
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

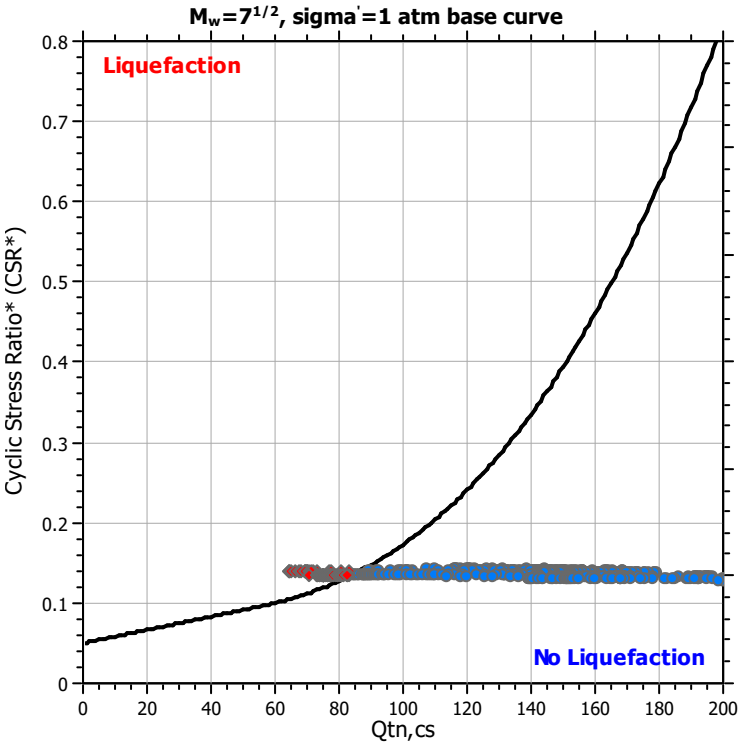
Project title : **Location : Mirandola - Via Minelli**

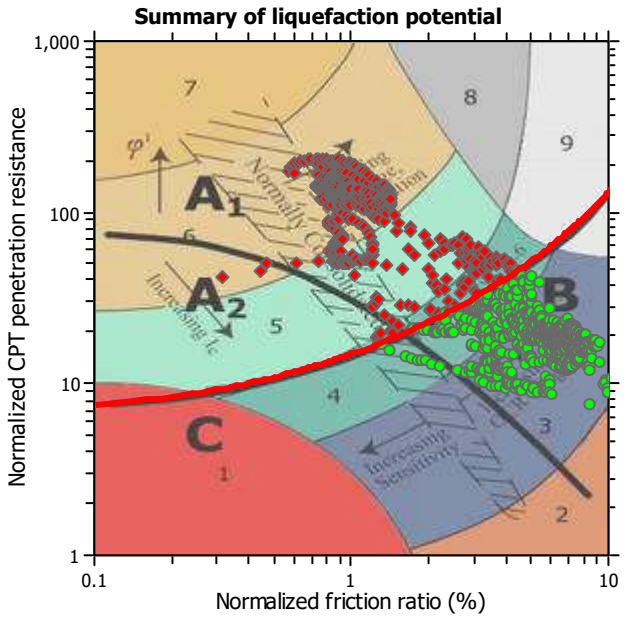
CPT file : CPTU2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.60 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		

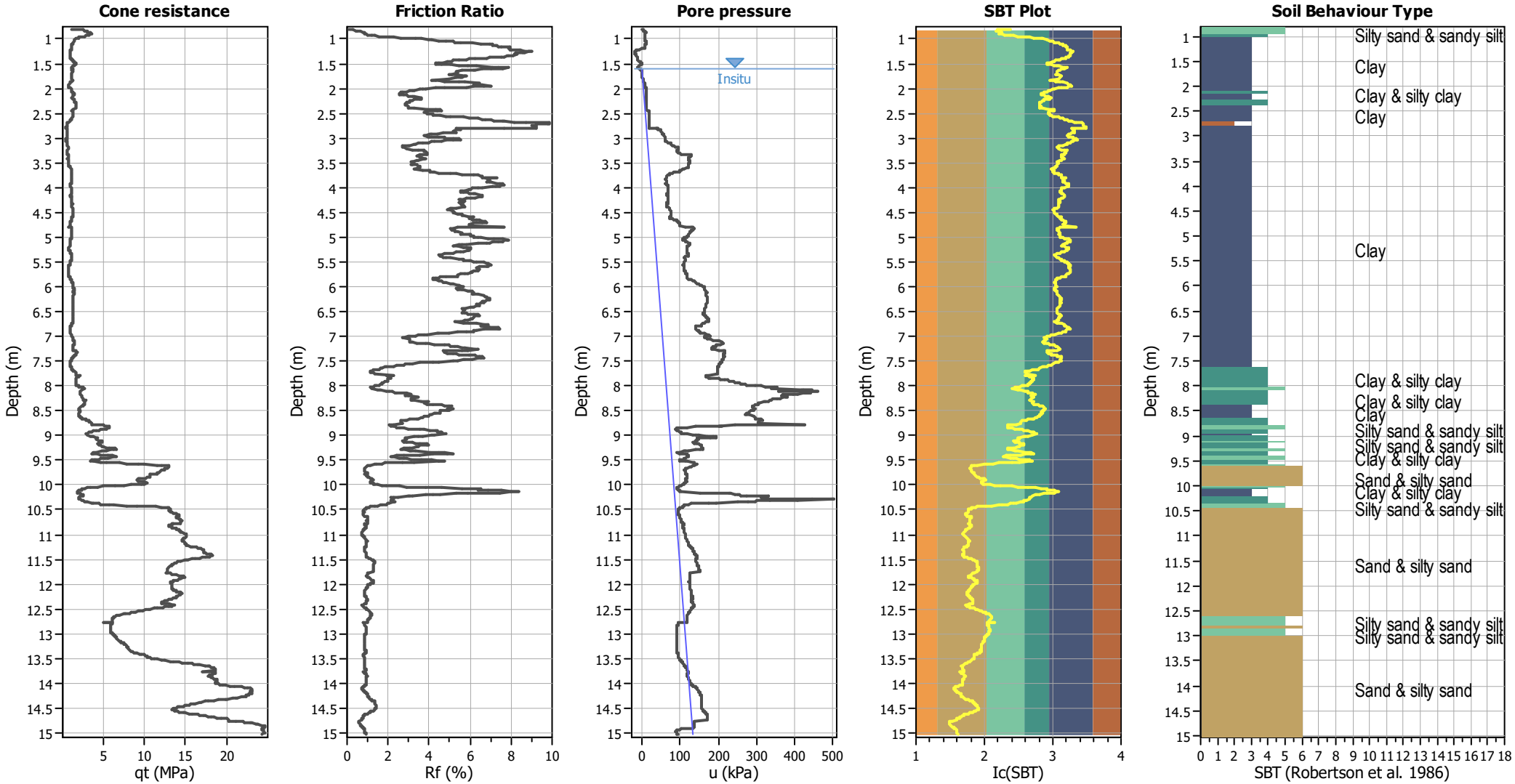






Zone A_1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A_2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



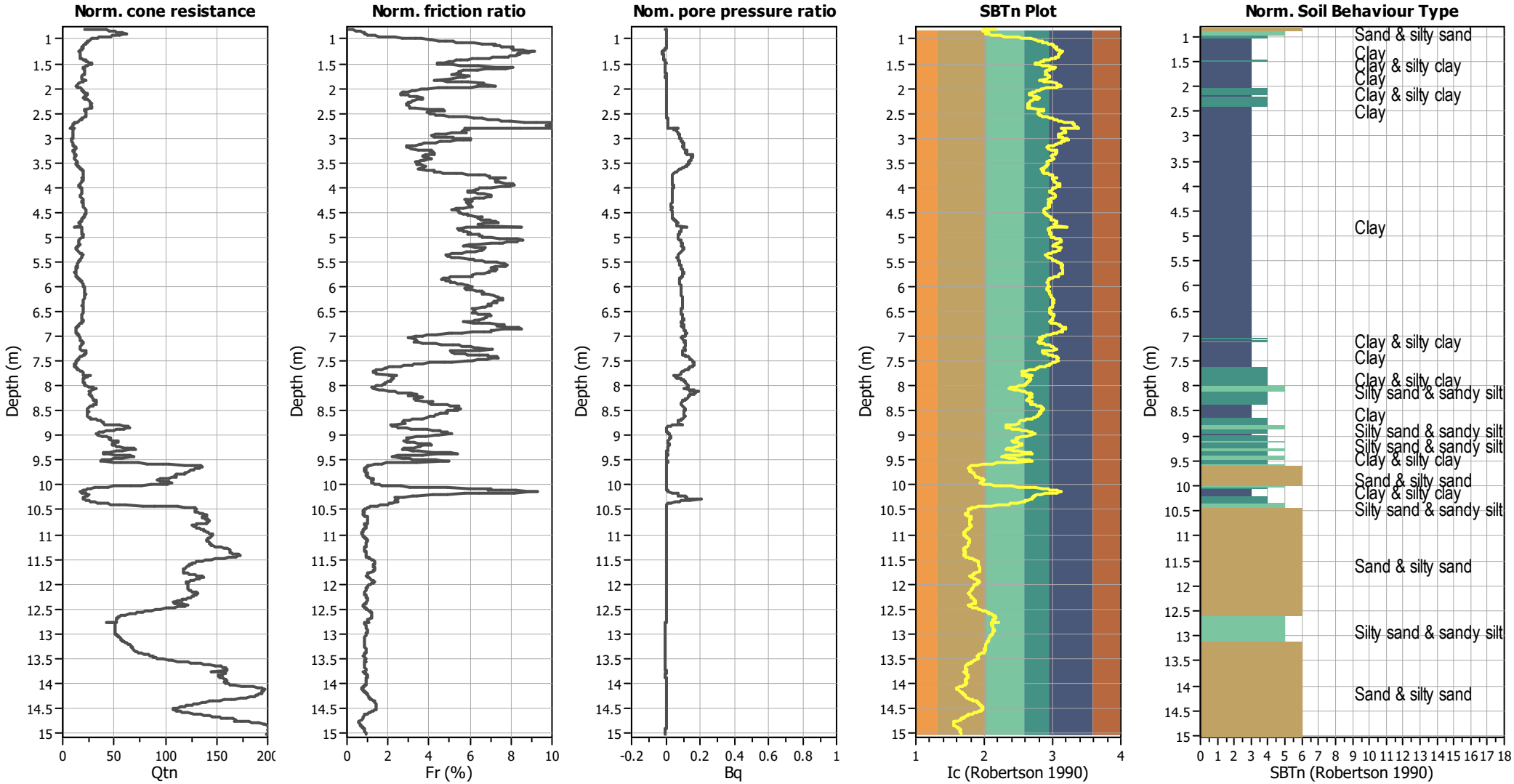
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



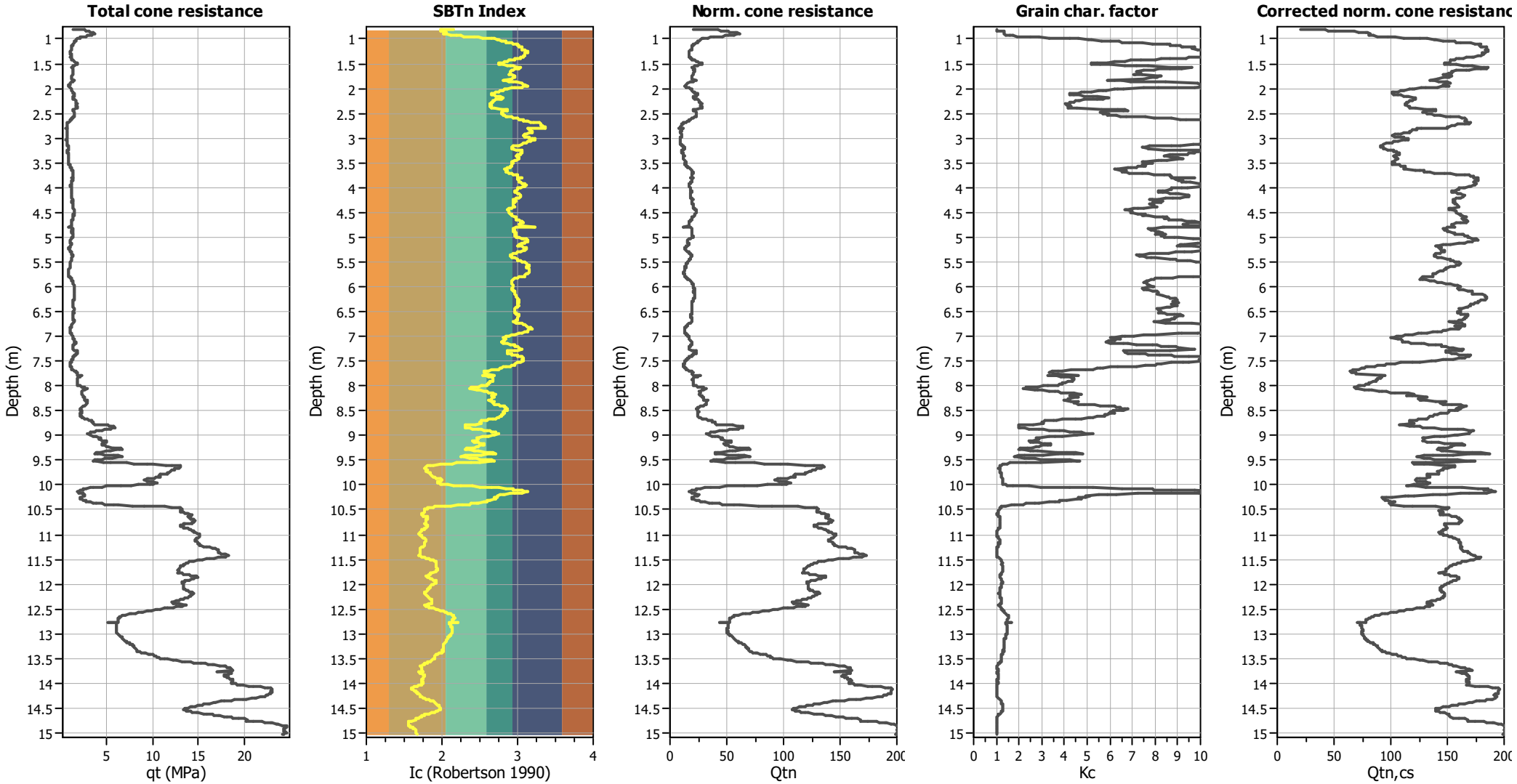
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

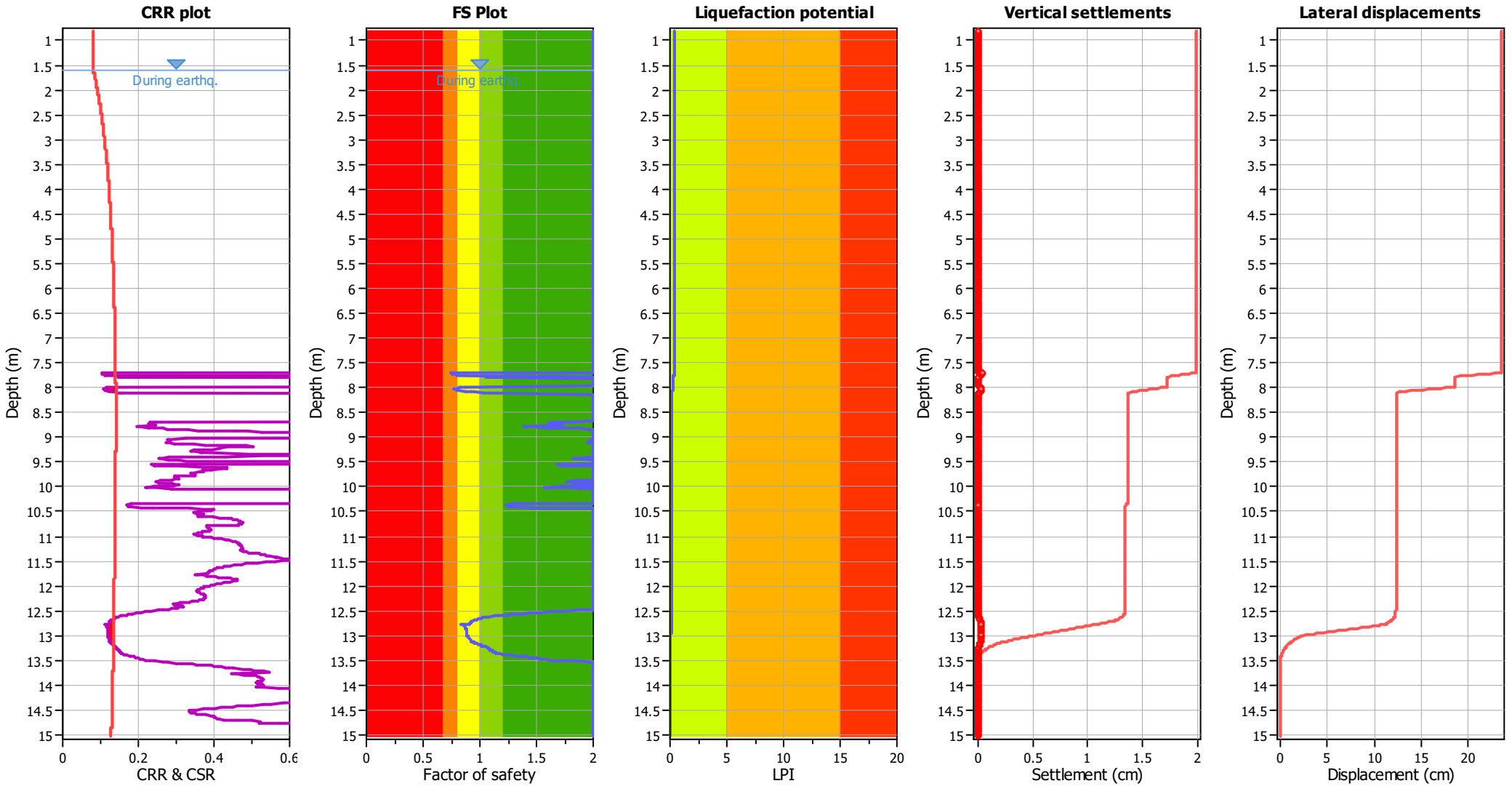
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

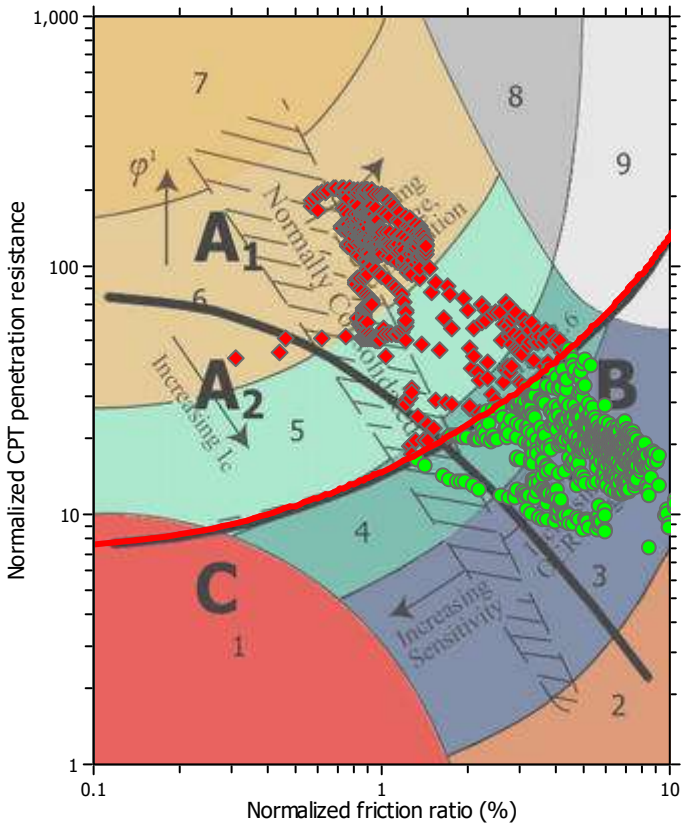
F.S. color scheme

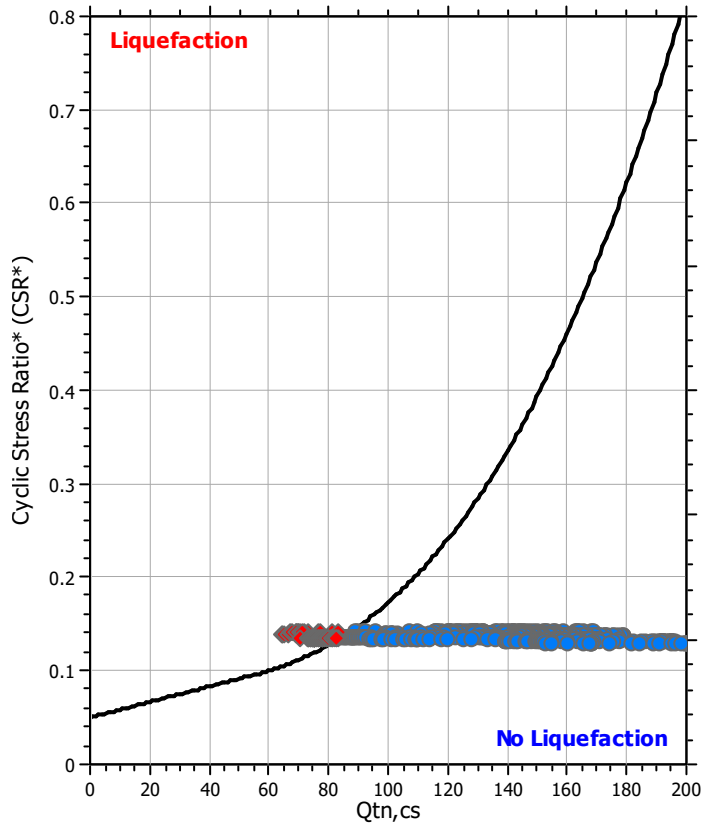
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

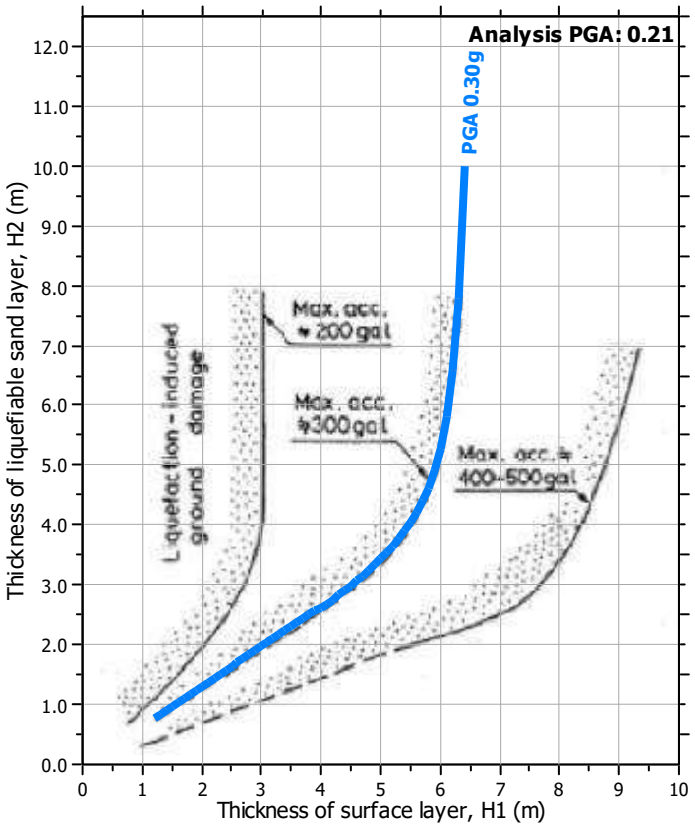
LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Liquefaction analysis summary plots







Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.60 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
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:	0.21	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

ALLEGATO C

"Carta di Microzonazione sismica livello 3 del Piano Strutturale Comunale di Mirandola"

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Regione Emilia-Romagna

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Carta di microzonazione sismica Livello 3 (sintesi per PSC)

scala 1 : 10.000

Regione Emilia-Romagna

Comune di Mirandola

Tavola PSC-B. Ambiti di studio (urbanizzato e urbanizzabile)

Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia-Romagna	Geotema S.r.l.	15/03/2018

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

FAPGA = 1.5; FH 0.1-0.5s = 1.5; FH 0.5-1.0s = 2.5; FH 0.5-1.5s = 2.5. Valori ricavati da analisi numeriche.

FAPGA = 1.7; FH 0.1-0.5s = 1.8; FH 0.5-1.0s = 2.1; FH 0.5-1.5s = 2.2. Valori ricavati da analisi numeriche.

Zone suscettibili di instabilità

3.6 $Z5_{03}$ Zone di suscettibilità per le liquefazioni 2<IL≤5 con indicazione del valore medio

9.9 $Z5_{04}$ Zone di suscettibilità per le liquefazioni 5<IL≤15 con indicazione del valore medio

17.4 $Z5_{05}$ Zone di suscettibilità per le liquefazioni IL>15 con indicazione del valore medio

2.4 $Z5_{03}$ Zone di suscettibilità per le liquefazioni 2<IL≤5 con indicazione del valore medio

9.9 $Z5_{04}$ Zone di suscettibilità per le liquefazioni 5<IL≤15 con indicazione del valore medio

19.7 $Z5_{05}$ Zone di suscettibilità per le liquefazioni IL>15 con indicazione del valore medio

Valore puntuale dell'Indice di Liquefazione IL (Sonmez, 2003)

Per ogni verticale di indagine CPTU è riportato il valore puntuale di IL20 (Boulanger - Idriss, 2014)

1,4 Rischio di liquefazione potenzialmente basso (0<IL≤2)

3,8 Rischio di liquefazione potenzialmente moderato (2<IL≤5)

9,9 Rischio di liquefazione potenzialmente alto (5<IL≤15)

17,4 Rischio di liquefazione potenzialmente molto alto (IL>15)

Elementi cartografici

Limiti amministrativi

Limiti ambiti comunali territorio urbanizzato ed urbanizzabile

0 250 500 Metri

ALLEGATO D

"Carta Piano Gestione Rischio Alluvioni" tratta dal Piano Strutturale Comunale di Mirandola"

Piano di gestione del rischio di alluvioni

Regione Emilia-Romagna

Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni
Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010)

Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura

Dati consegnati nella seduta del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po del 23/12/2013 (distretto padano)

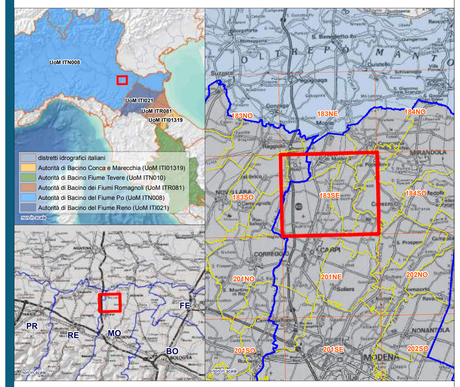
183SE - NOVI DI MODENA

scala 1 : 25.000

N

0 250 500 1000 1500 2000 2500 metri

Sistema di coordinate:
reticolato Kilometrico - UTMWGS - reticolato geografico -WGS84
(http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/)



La cartografia rappresentata nella mappa consiste nel quadro conoscitivo della pericolosità di alluvioni relativa al reticolo secondario di pianura artificiale (canali di bonifica) e degli elementi potenzialmente esposti, predisposto in attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010.
I dati hanno valenza informativa e non giuridica e sono propedeutici alla elaborazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni in corso (la cui approvazione è attesa, secondo quanto disposto dalle norme, in dicembre 2015).
Le valutazioni tecniche condotte e le attività svolte dai Consorzi di Bonifica (responsabili della gestione del reticolo oggetto di mappatura), con il supporto degli altri Enti facenti parte del Gruppo di Lavoro, hanno consentito il raggiungimento, sull'ambito specifico indagato, di un livello di confidenza complessivamente adeguato rispetto alla finalità delle mappe e alla prima fase di gestione prevista dalla Direttiva europea 2007/60/CE.
A tale proposito, si precisa che la perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento a due scenari: alluvioni frequenti (per tempi di ritorno fino a 50 anni) e alluvioni poco frequenti (per tempi di ritorno fino a 200 anni). In ragione dell'elevata estensione del reticolo, della complessità del sistema e della presenza di zone morfologicamente depresse, il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è di tipo prevalentemente storico-inventariale e si è sviluppato a partire dai dati e dalle informazioni sugli eventi avvenuti orientativamente in epoca successiva al 1990 censiti dai Consorzi di Bonifica, in quanto ritenuti maggiormente compatibili con l'attuale scenario di bonifica e di uso del suolo.
A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico – idraulici (metodo completo) e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli enti gestori (metodo conoscitivo) in relazione alla generale incapacità del reticolo di far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da Tr superiori (in media) a 50 anni: in questo caso (alluvioni poco frequenti), le aree perimetrate coincidono con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici.
Le mappe della pericolosità non tengono conto della possibilità che si verifichino rotture arginali o malfunzionamenti degli impianti di sollevamento e delle opere di gestione delle piene (chiaviche, paratoie, ecc).
Il dettaglio della cartografia ottenuta è riferito a una scala compresa tra 1:10.000 e 1:25.000.

In relazione al metodo utilizzato e alle incertezze e limiti intrinseci ad esso connessi, si precisa che analisi della mappa e usi di tipo diverso a quelli relativi all'attuazione della Direttiva 2007/60/CE devono essere valutati caso per caso.
Si sottolinea che i dati rappresentati potranno subire modifiche e integrazioni anche in relazione al percorso di presentazione, condivisione e diffusione che le Autorità di Bacino e la Regione Emilia-Romagna, in collaborazione con i Consorzi di Bonifica, stanno portando avanti e continueranno a sviluppare contestualmente alla elaborazione del Piano.

Le Autorità di Bacino e la Regione non saranno ritenuti responsabili nel caso in cui i dati venissero modificati o utilizzati per scopi diversi da quelli indicati.
I contenuti della carta possono essere utilizzati, senza alterarli, citando esplicitamente la fonte, secondo la seguente dicitura:
"Fonte: Mappa della pericolosità di alluvioni e degli elementi potenzialmente esposti a scala 1:25'000, predisposta in attuazione dell'art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010."
Si precisa che il progetto di elaborazione delle mappe in versione pdf è relativo al solo territorio della Regione Emilia-Romagna.

Per approfondimenti:
http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/piano-gestione-del-rischio-alluvioni

Cartografia interattiva:
http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/cartografia

Per partecipare alla consultazione sul Progetto di Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni:
http://partecipazione.regione.emilia-romagna.it/iopartecipo

http://partecipazione.regione.emilia-romagna.it/iopartecipo/valutazione-e-gestione-del-rischio-di-alluvioni/verso-il-piano-di-gestione-del-rischio-di-alluvioni

Per informazioni e contatti:
direttivaAlluvioni@regione.emilia-romagna.it

Legenda

Scenari di Pericolosità

- P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
- P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
- P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

Aree Protette

- Zone Parco
- SIC - ZPS

Elementi Potenzialmente Esposti

	areali	puntuali	lineari
Zone urbanizzate	▨		
Attività produttive	▨		
Strutture strategiche e sedi di attività collettive	▨	scuola, ospedale	reti per la distribuzione di servizi
Infrastrutture strategiche	▨	diga	reti stradali secondarie e spazi accessori
Insediamenti produttivi o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale	▨	impianti insediamenti	reti ferroviarie e stradali primarie e spazi accessori
Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse	▨		

GRUPPO DI LAVORO PREDISPOSIZIONE MAPPE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO DI ALLUVIONI
Det. 3757/2011
D.G.R. 1244/2014

Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica (DG Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa, RER)	Coordinamento delle attività per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010. Rapporti con le Autorità di Bacino nazionali , MATTM, ISPRA. Supporto alla stesura di metodologie e indirizzi operativi.
Autorità di Bacino del fiume Reno Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli Autorità di Bacino Marecchia – Conca Autorità di Bacino del fiume Po (coordinamento distretto padano) Autorità di Bacino del fiume Tevere (coordinamento distretto Appennino Centrale) Autorità di Bacino del fiume Arno (coordinamento distretto Appennino Settentrionale)	Elaborazione mappe della pericolosità di alluvione dei corsi d'acqua naturali, analisi del rischio e rapporti con la pianificazione di bacino vigente.
Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (DG Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa, RER)	Elaborazione mappe della pericolosità e del rischio per fenomeni di inondazione marina.Sistematizzazione banche dati, elaborazioni cartografiche e supporto alla produzione delle mappe del rischio di alluvione.Supporto alla elaborazione delle mappe di pericolosità dell'ambito di bonifica e analisi morfologiche.
Servizi Tecnici di Bacino e AIPO	Segnalazione criticità e verifica mappe
Agenzia Regionale di Protezione Civile	Banche dati elementi esposti e rapporto con la pianificazione di emergenze
Consorzi di Bonifica	Analisi della pericolosità di alluvione della rete di bonifica.
Province	Banche dati elementi esposti. Messa a disposizione PTCP (parte rischio idraulico), Piani di Emergenza Protezione Civile.

Piano di gestione del rischio di alluvioni

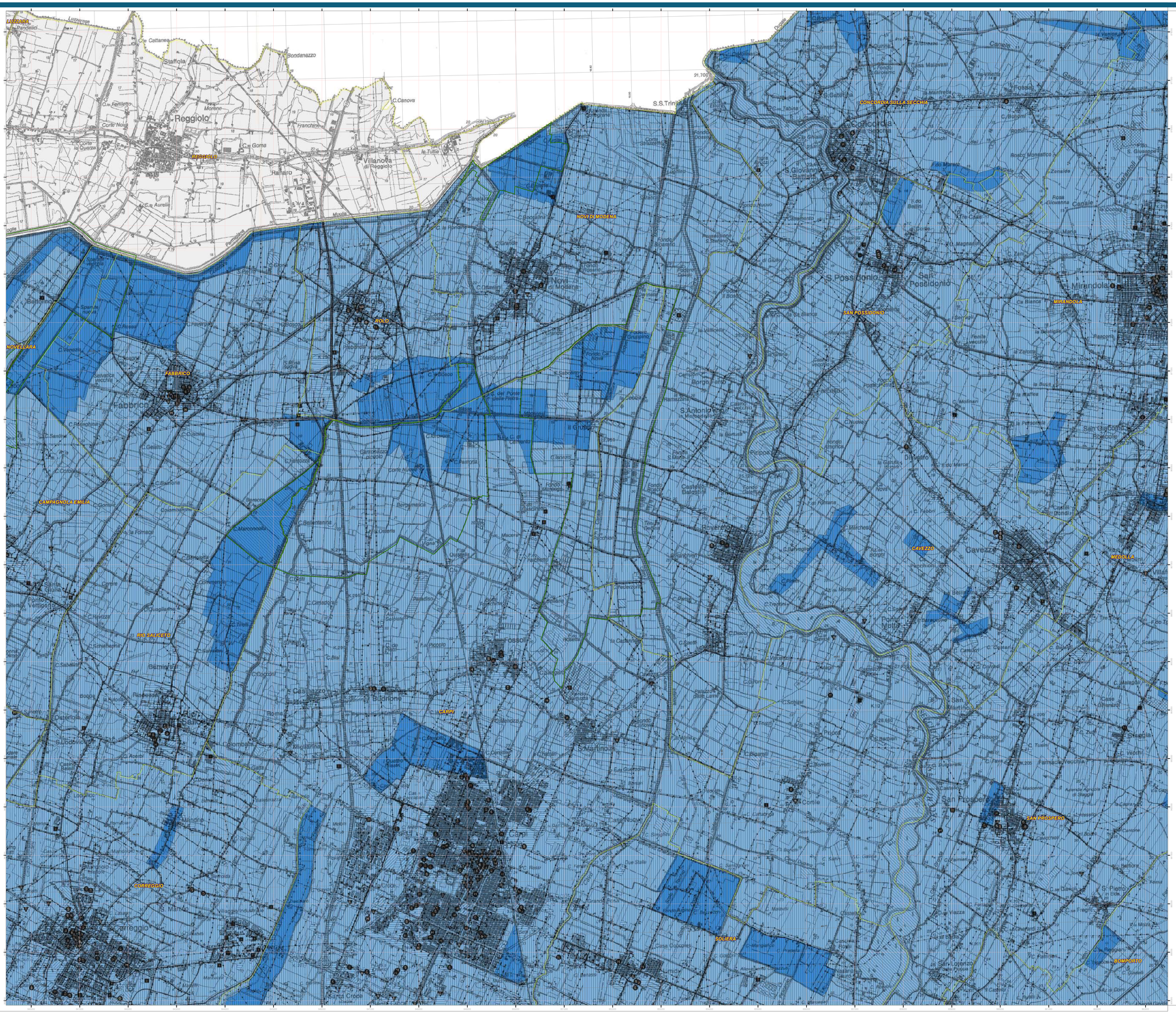
Coordinamento
Servizio Difesa Suolo, della Costa e Bonifica
Viale della Fiera 8, Bologna - 0515276811
DirettivaAlluvioni@regione.emilia-romagna.it

SEINONDA Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni
Una piazza di «Partecipo»
ER Partecipazione
partecipazione.regione.emilia-romagna.it/partecipo

Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale

DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE
www.appenninosettentrionale.it/dist

Piano di Gestione del rischio di alluvioni



ALLEGATO E

"Analisi della Risposta Sismica Locale"

Ubicazione sito: Mirandola Via di Mezzo
Coordinate (datum WGS84): lon. 0.0000° lat. 0.0000°

Archivio: mirandola sara.lsr - **Data :** 18/09/2024

RELAZIONE DI CALCOLO

ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Oggetto:

Committente	Progettista

Sommario

1 - Introduzione 2
1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale 5
1.2 - Normativa di Riferimento 6
2 - Risposta Sismica Locale 7
3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D 8
3.1 - Metodo lineare equivalente 8
3.2 - Soluzione alla singola iterazione mediante FEM 10
Smorzamento 11
Free-field boundaries 11
3.3 - Procedimento iterativo 12
3.4 - Interpretazione dei risultati 12
4 - Input 14
4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali 14
4.2 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati 16
4.3 - Accelerogrammi e Spettri di Input 17
4.4 - Modello di Calcolo FEM 25
5 - Output 55
5.1 - Accelerogrammi Output 55
5.2 - Spettri Output 62
5.3 - Interpretazione dei risultati 70
5.4 - Parametrizzazione dello spettro di risposta derivante dalla RSL 71

1 - Introduzione

In passato si è potuto osservare, a seguito di terremoti distruttivi, una distribuzione anomala del danneggiamento delle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di modeste dimensioni.
Oltre alle intrinseche differenze della vulnerabilità sismica delle costruzioni ed alle differenti caratteristiche dinamiche delle stesse, tali cause possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.
Il moto sismico in un determinato sito, infatti, è influenzato da tre parametri importanti:

- Il meccanismo di sorgente;
- La propagazione;
- La risposta sismica locale;

I primi due fattori dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'evento sismico; questi variano in funzione delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e dalla distanza tra il sito in esame e la sorgente.
La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

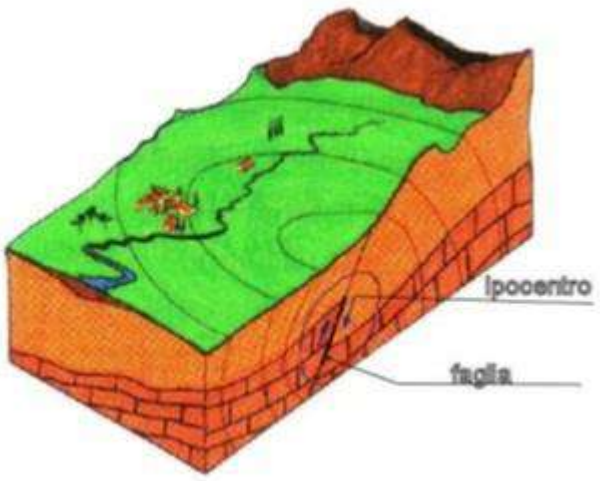


Figura 1. Schema della rottura del terreno e generazione e propagazione delle onde sismiche.

In altre parole, le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento), subisce attraversando gli strati dal bedrock fino alla superficie (Lanzo G. et al.,1999).
Nella Figura 1 è rappresentato uno schema della rottura fragile del terreno in profondità con conseguente generazione di onde che si irradiano dall'ipocentro.
Se si ipotizza di avere installato un sismometro ad una grande distanza dall'ipocentro un possibile segnale registrato potrebbe essere quello mostrato nella Figura 2. Il segnale inizia con l'arrivo delle onde P caratterizzate da alte frequenze a bassa ampiezza. Successivamente arrivano le onde S che si propagano meno velocemente delle P e sono di frequenza più bassa e di maggiore ampiezza. Queste ultime sono in genere la causa dei maggiori danni. Le onde P e quelle S, come già descritto

nel capitolo A sono chiamate onde di volume per distinguerle da quelle di superficie che sono più lente.

Figura 2. Tipico sismogramma registrato in superficie a grande distanza.

In generale si può dire che le onde generate dalla sorgente sismica sono di due differenti tipi, cioè quelle associate a stati deformativi di compressione-dilatazione volumetrica , dette onde P che si propagano con velocità Vp pari a:

$$Vp = \sqrt{\frac{Mv}{\rho}}$$

con:

$$Mv = \lambda + 2\mathrm{G}$$

dove:

- λ = modulo di Lamé del terreno;
- G = modulo elastico del taglio del terreno;
- ρ = densità del volume del terreno;

Per le onde P il moto oscillatorio delle particelle di terreno avviene parallelamente alla direzione di propagazione.

Le onde S sono associate a deformazione di taglio ed hanno una velocità Vs pari a:

$$Vs = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Il moto delle particelle di terreno è in tal caso perpendicolare alla direzione di propagazione. Il campo di spostamenti, in genere, è scomposto in due componenti perpendicolari tra di loro: le onde SV polarizzate nel piano verticale contenente la sorgente e le onde SH polarizzate nel piano orizzontale (piano della superficie libera del terreno in direzione perpendicolare al precedente).
Per maggiore chiarezza, se si considera il piano π verticale e contenente la direzione di propagazione dell'onda incidente, il moto della particella di terreno perpendicolare a tale piano costituisce l'onda SH, viceversa il moto nel piano costituisce l'onda SV.
Le onde P e S arrivate in superficie possono trasformarsi parzialmente in onde di diverso tipo (P in S oppure S in P) oppure in onde superficiali chiamate così perché viaggiano in superficie attenuandosi rapidamente con la profondità. Queste ultime si differenziano in onde di Rayleigh

quando il moto della particella di terreno è in un piano verticale oppure onde di Love quando il moto è in un piano orizzontale.
Con riferimento alla Figura 3, il fenomeno della propagazione delle onde può essere descritto come segue. Nella sua complessità morfologica, litologica e stratigrafica, un territorio può essere rappresentato come un insieme di formazioni superficiali, interessate dai loro fenomeni evolutivi tipici, poggianti su formazioni più profonde, i cui andamenti possono essere stati resi complessi fino alla creazione di affioramenti dai fenomeni tettonici ed orogenetici.
Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi di caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime.
Le onde sismiche che si sono generate in profondità, e che sono già caratterizzate differentemente a seconda del meccanismo proprio della sorgente, subiscono una serie di modificazioni ulteriori (riflessioni e rifrazioni) nell'attraversare la crosta terrestre e giungere fino alle formazioni di base per il sito. Ad una certa distanza dall'epicentro, e per una porzione di territorio ragionevolmente limitata, il moto sismico apparirà come un fronte d'onda uniforme propagantesi dal basso verso l'alto, con una certa angolazione rispetto alla verticale, che viene trasmesso dalle formazioni di base a quelle superficiali.
Il moto al suolo tende a non dipendere più solamente dal tipo di rottura della sorgente e a diventare il risultato di due ulteriori meccanismi eventualmente combinati:

- la propagazione delle onde sismiche all'interno delle formazioni di base e dalla conformazione delle frontiere della stessa;
- la risposta dinamica delle formazioni superficiali.

Tutto ciò comporta una non omogeneità del moto vibratorio in superficie che può cambiare da punto a punto anche a breve distanza. Sugli aspetti quantitativi e qualitativi del fenomeno hanno pertanto grande rilevanza diversi fattori quali la natura delle onde sismiche incidenti ed in particolare il meccanismo di sorgente, le diversità fra le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, ed in particolare tra formazioni di base e superficiali, la conformazione e la giacitura degli strati, la presenza di falde idriche, l'entità dei fenomeni dissipativi ed altri ancora.
Al variare delle condizioni locali, il moto alla superficie risulterà quindi differente per quanto attiene ai suoi caratteri principali e cioè: ampiezza, contenuto in frequenza e durata. Si osserva che tutti e tre questi caratteri sono significativi e concorrono a causare il danneggiamento delle strutture e l'instabilità dei terreni (frane, cedimenti, liquefazioni).

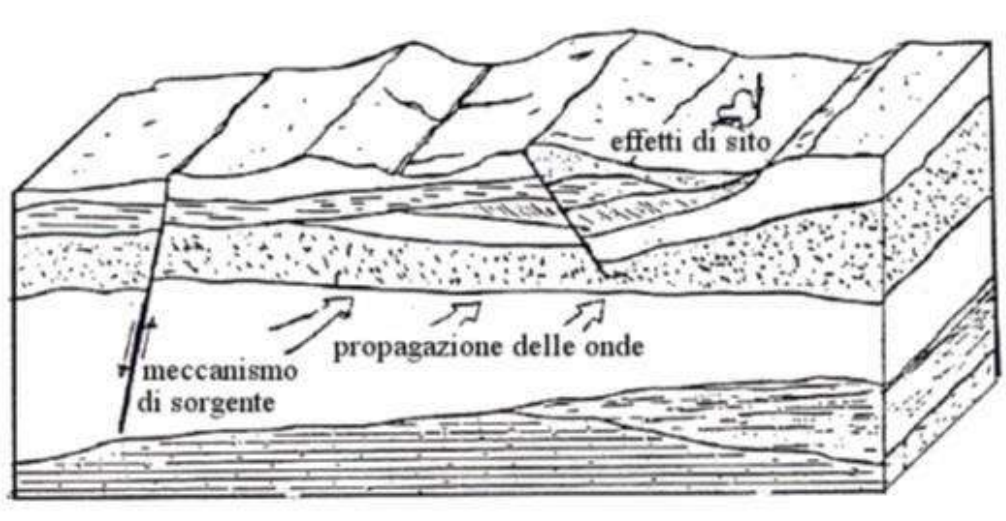


Figura 3. Schema di una situazione reale.

1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale

Per illustrare gli aspetti principali del fenomeno della risposta sismica locale si paragoni il moto in corrispondenza di tre siti, indicati con A, B e C nella Figura 4, posti alla stessa distanza dalla sorgente sismica durante lo stesso evento sismico. Si supponga inoltre che il primo sito sia su un semispazio affiorante (per esempio roccia) e il secondo B su un deposito alluvionale posto al di sopra del semi spazio ed il terzo C su di un rilievo.
In corrispondenza della coltre alluvionale si verifica, rispetto al moto sul semi spazio affiorante, una amplificazione del moto in particolari campi di frequenza e una deamp1ificazione negli altri campi. Analogamente sul rilievo in C si verificheranno focalizzazioni oppure diradazioni di onde per effetto della forma del rilievo e della direzione di incidenza delle onde.

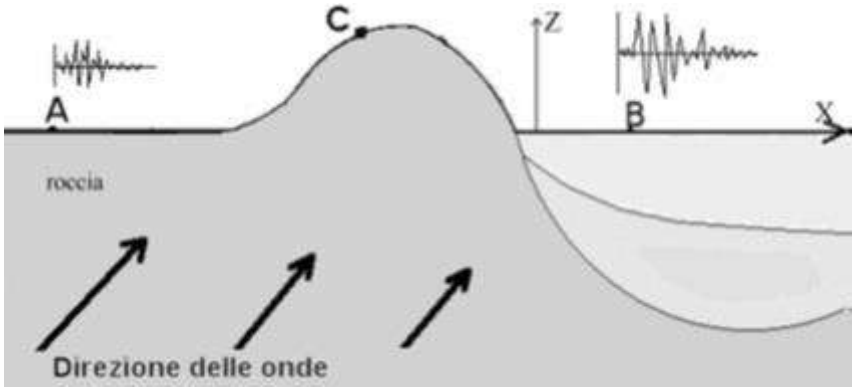


Figura 4. Schema della propagazione delle onde dalla sorgente e delle differenti condizioni locali.

In letteratura si parla di effetti stratigrafici o monodimensionali nel caso in cui le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso siano essenzialmente attribuibili a fenomeni di filtraggio. L'amplificazione delle onde sismiche dipende, in questo caso dalla stratigrafia del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza del moto sismico.
Il termine "effetti di bacino" è utilizzato quando le onde incidenti incontrano una valle alluvionale; in tal caso ai fenomeni sopra descritti si sovrappongono quelli dovuti al manifestarsi di fenomeni complessi di interazione tra le onde, che possono sommarsi o elidersi a vicenda, e generazione di onde superficiali. Spesso ai bordi della valle si verificano maggiori amplificazioni, dette: "effetti di bordo".
Con "effetti topografici" si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza d'onda del moto incidente e dalla direzione di incidenza.
Lo scopo delle analisi di amplificazione sismica locale è quello di determinare il moto in B oppure in C una volta noto il moto nel sito di riferimento A. Tale moto di riferimento è in genere determinabile in via statistica (analisi di pericolosità) o deterministica dallo studio del meccanismo di rottura della sorgente nell'ipotesi che tra la sorgente stessa ed il sito in esame il mezzo sia omogeneo ed isotropo. Come è facile immaginare le caratteristiche del moto in superficie sono fortemente influenzate, oltre che dalla geometria degli strati e delle loro proprietà meccaniche, anche dalle caratteristiche

del moto incidente, cioè dalla direzione di propagazione, dal suo contenuto energetico e dalla direzione del moto delle particelle del terreno.

1.2 - Normativa di Riferimento

La normative di riferimento per lo studio del problema in esame sono:

- NTC 2018 Cap 7.11.3.1 (Risposta Sismica Locale);
- Legge Regionale n. 35 del 19/10/2009 (Allegato 3 - Effetti di sito per interventi di tipo edilizio).

2 - Risposta Sismica Locale

Come già detto in precedenza, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.
Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.
I passi da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione input sismico;
2. Stima dell'accelerazione di base;
3. Dati di disaggregazione;
4. Estrazione, conversione e normalizzazione accelerogrammi di input;
5. Analisi di Risposta Sismica Locale;
6. Inserimento sismostratigrafia di input (derivata da indagine sismica MASW);
7. Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica.

Le analisi numeriche che consentono di valutare gli effetti del sito nell'amplificazione delle onde sismiche possono essere distinte in:

- Analisi numeriche monodimensionali;
- Analisi numeriche bidimensionali;
- Analisi numeriche tridimensionali.

Il primo approccio consente di definire una realistica risposta sismica stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle NTC 2018 (Cap. 3.2.2) e consente, in determinati casi e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa.
Il secondo approccio è da preferire in quelle situazioni in cui il sottosuolo presenta una geometria variabile in cui, oltre alla profondità, è importante considerare un'altra delle due restanti dimensioni spaziali. Un esempio di situazione che richiede l'utilizzo di modelli bidimensionali è il caso delle aree marginali delle valli alluvionali, in cui alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli effetti di bordo connessi alla geometria del problema.
Il terzo approccio necessita di modelli complessi che richiedono capacità computazionali notevoli; solo recentemente iniziano ad avere una certa diffusione grazie al rapido sviluppo degli strumenti informatici. Il loro utilizzo è principalmente concentrato sulla valutazione delle amplificazioni in presenza di effetti morfologici, data l'importanza assunta in queste analisi dalla conoscenza precisa e dalla gestione di un modello tridimensionale del terreno.

3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D

Il codice di calcolo LSR 2d, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.
Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

3.1 - Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.
La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.
In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.
Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Figura 5. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata γ', secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- G = Modulo di taglio;
- η = viscosità del mezzo;

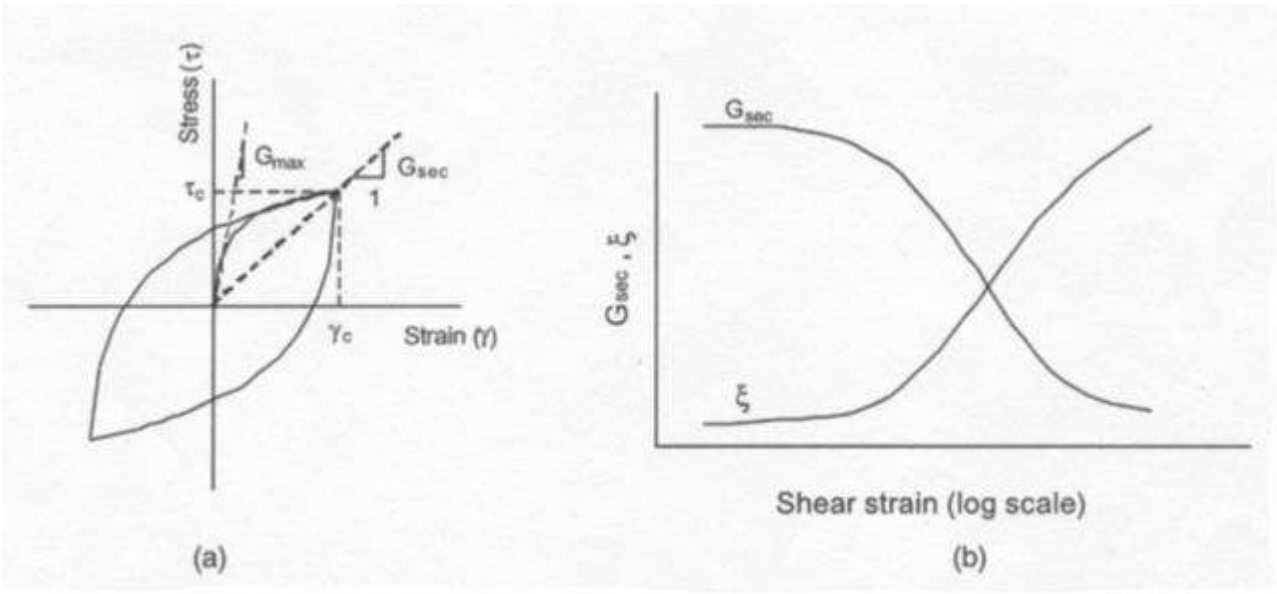


Figura 5. Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Figura 5. Il modulo di taglio equivalente, G, è preso considerando il modulo di taglio secante Gs.
È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$Gs = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva $Gs - \gamma$ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva $\tau - \gamma$ e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{dt}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma}\gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D, definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi}\frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- ΔW^{dissp}= quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- W^{max} = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Figura 5b).

3.2 - Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell' i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (figura 6) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

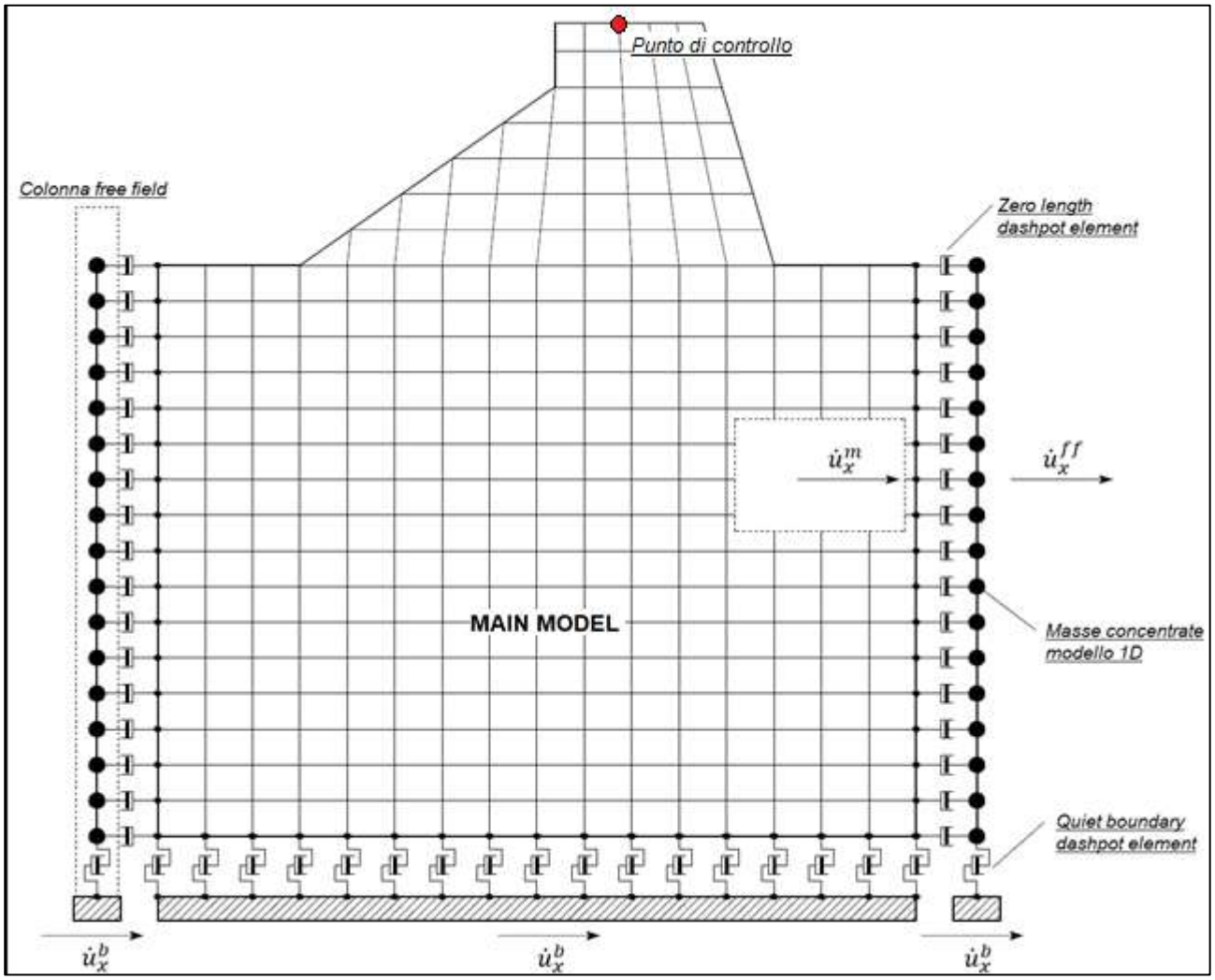


Figura 6. Discretizzazione FEM del deposito di terreno.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

- M = matrice di massa del sistema;
- C = matrice di smorzamento del sistema;
- K = matrice di rigidezza del sistema;
- $\ddot{u}, \dot{u}, u$ = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;
- a_g = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo tn e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni tn viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t\,[(1-\gamma)\,\ddot{u}_{n-1} + \gamma\ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t\,\dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2}\,[(1-\beta)\,\ddot{u}_{n-1} + 2\beta\ddot{u}_n]$$

dove:

- Δt = incremento temporale tra l'istante di tempo tn e $tn-1$;
- β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh;

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t\,[(1-\gamma)\,\ddot{u}_{n-1} + \gamma\ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t\,\dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2}\,[(1-\beta)\,\ddot{u}_{n-1} + 2\beta\ddot{u}_n]$$

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

$$D_q = \frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q\omega\right)$$

dove:

- $\omega 1$ = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega 2 = n * \omega 1$ con $n = \omega i/\omega 1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ωi frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

Free-field boundaries

Le condizioni di free-field sulle frontiere laterali vengono implementate mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field possono essere uguali. È necessario, affinchè tali condizioni al contorno siano applicabili, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali. Le forze interne agli smorzatori possono essere ottenute mediante le seguenti equazioni:

$$F_x = -\rho V_p \left(\dot{u}_x^m - \dot{u}_x^{ff}\right) A \quad (1)$$

$$F_y = -\rho V_s \left(\dot{u}_y^m - \dot{u}_y^{ff}\right) A \quad (2)$$

dove:

- ρ: densità di massa del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_p: velocità delle onde P del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_s: velocità delle onde S del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- A: area di influenza relativa al nodo su cui agisce lo smorzatore;
- $\dot{u}_x^m$: velocità del nodo del modello in direzione x;
- $\dot{u}_y^m$: velocità del nodo del modello in direzione y;
- $\dot{u}_x^{ff}$: velocità del nodo della colonna free-field in direzione x;
- $\dot{u}_y^{ff}$: velocità del nodo della colonna free-field in direzione y.

Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale, vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale mediante le equazioni (1) e (2).

3.3 - Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidezza e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Facendo riferimento alla Figura 7, lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico:

- definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
- inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni ($G0$ *e* $D0$);
- calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato ($\gamma 1$, Figura 7);
- aggiornamento dei valori $G1 = G(\gamma 1)$ e $D1 = D(\gamma 1)$;
- iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma i - 1 \sim \gamma i$).

3.4 - Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM. Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie

in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

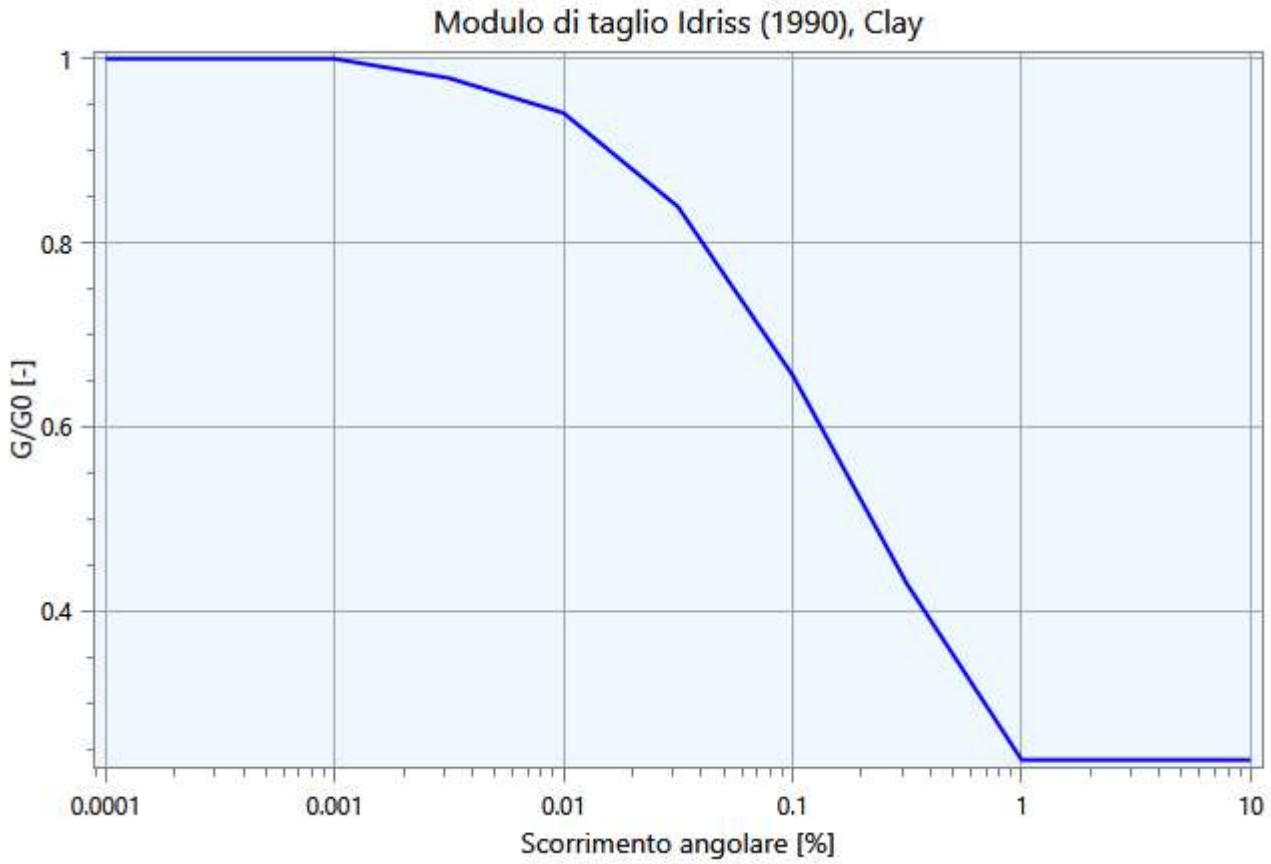
4 - Input

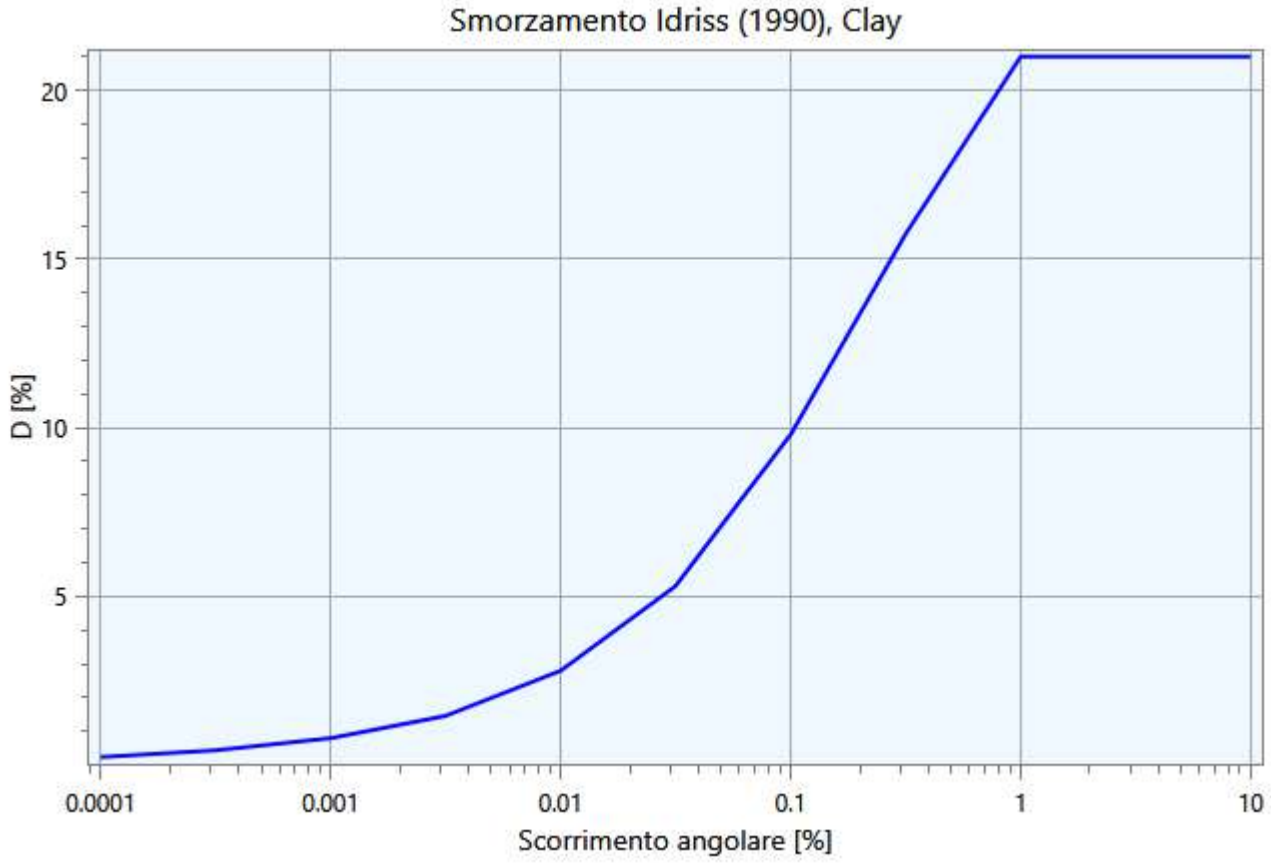
Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai dati di input utilizzati per lo studio della risposta sismica locale del deposito.

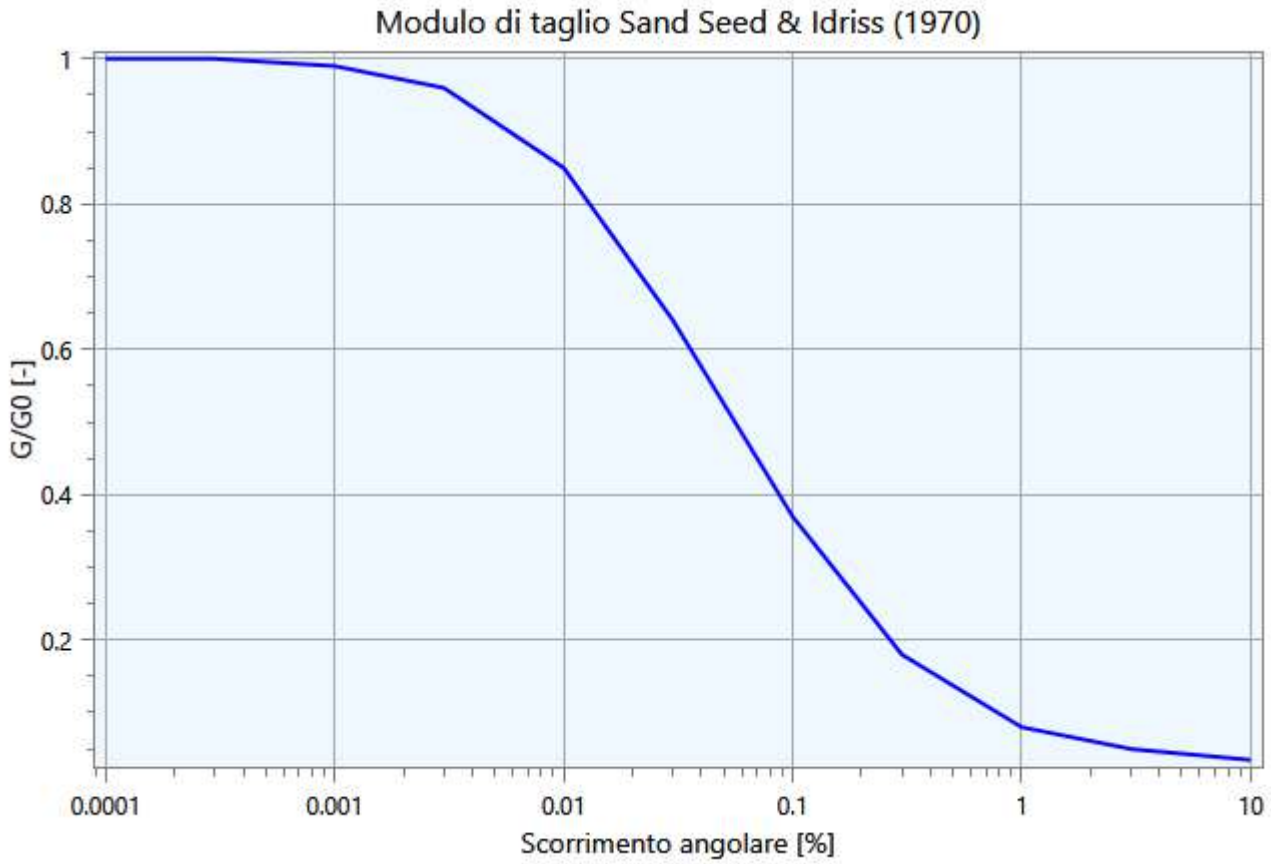
4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali

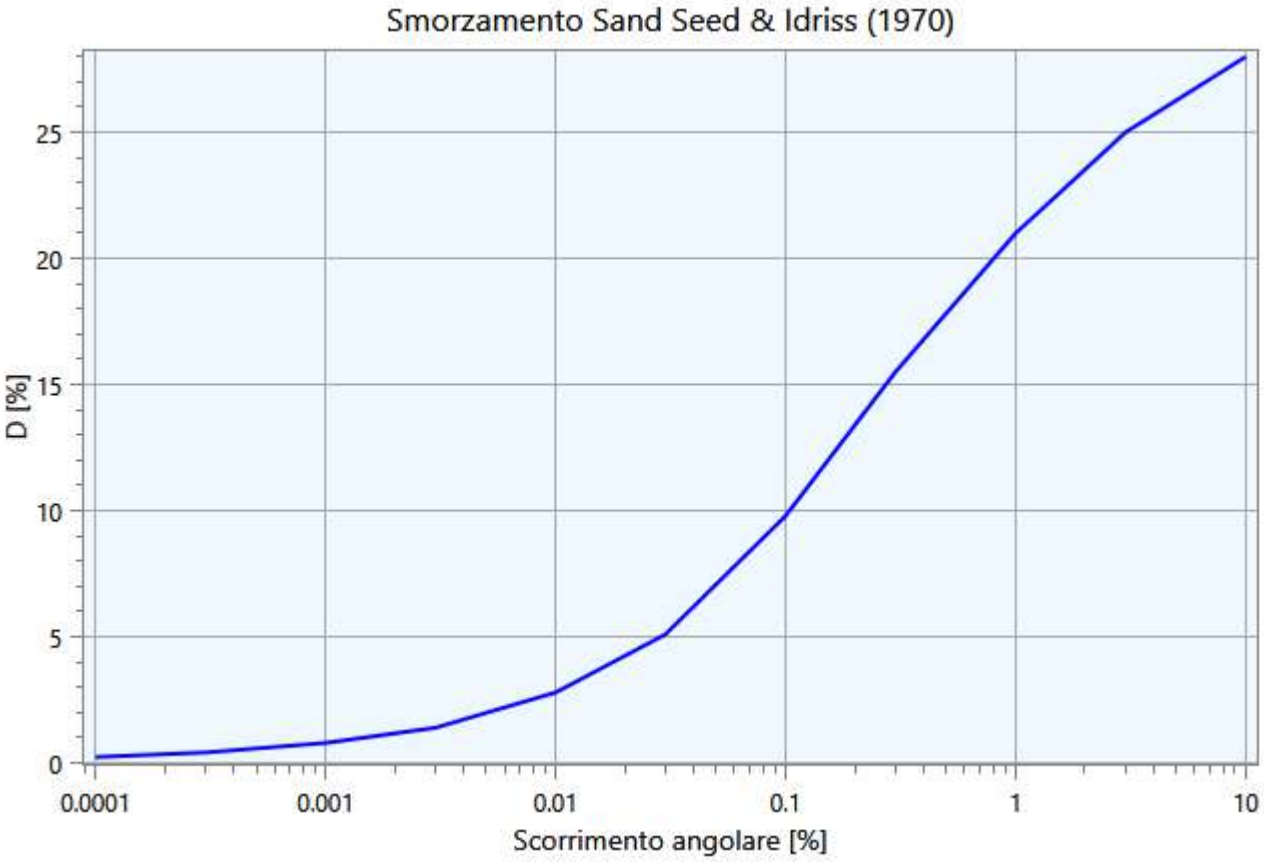
All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D. Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D.

Di seguito si riportano le curve di riferimento utilizzate nell'analisi:




Smorzamento Idriss (1990), Clay
D [%]
20
15
10
5
0.0001
0.001
0.01
0.1
1
10
Scorrimento angolare [%]


Modulo di taglio Sand Seed & Idriss (1970)
G/G0 [-]
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0001
0.001
0.01
0.1
1
10
Scorrimento angolare [%]



4.2 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.

Tale stratigrafia viene rappresentata nel piano verticale X-Z mediante una serie di spezzate ognuna delle quali identifica l'andamento del singolo strato. La prima di tali spezzate serve ad identificare l'orografia della porzione di sito oggetto di studio.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della stratigrafia di progetto:

Figura 7. Stratigrafia di progetto.

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1)		7.00	1800.00	160.00	0.35	Idriss (1990), Clay
Strato (2)		6.00	1800.00	240.00	0.35	Sand Seed & Idriss (1970)
Strato (3)		12.00	1800.00	180.00	0.35	Idriss (1990), Clay
Strato (4)		43.00	1800.00	300.00	0.35	Idriss (1990), Clay
Strato (5)		1.00	1800.00	450.00	0.35	Idriss (1990), Clay

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche strati.

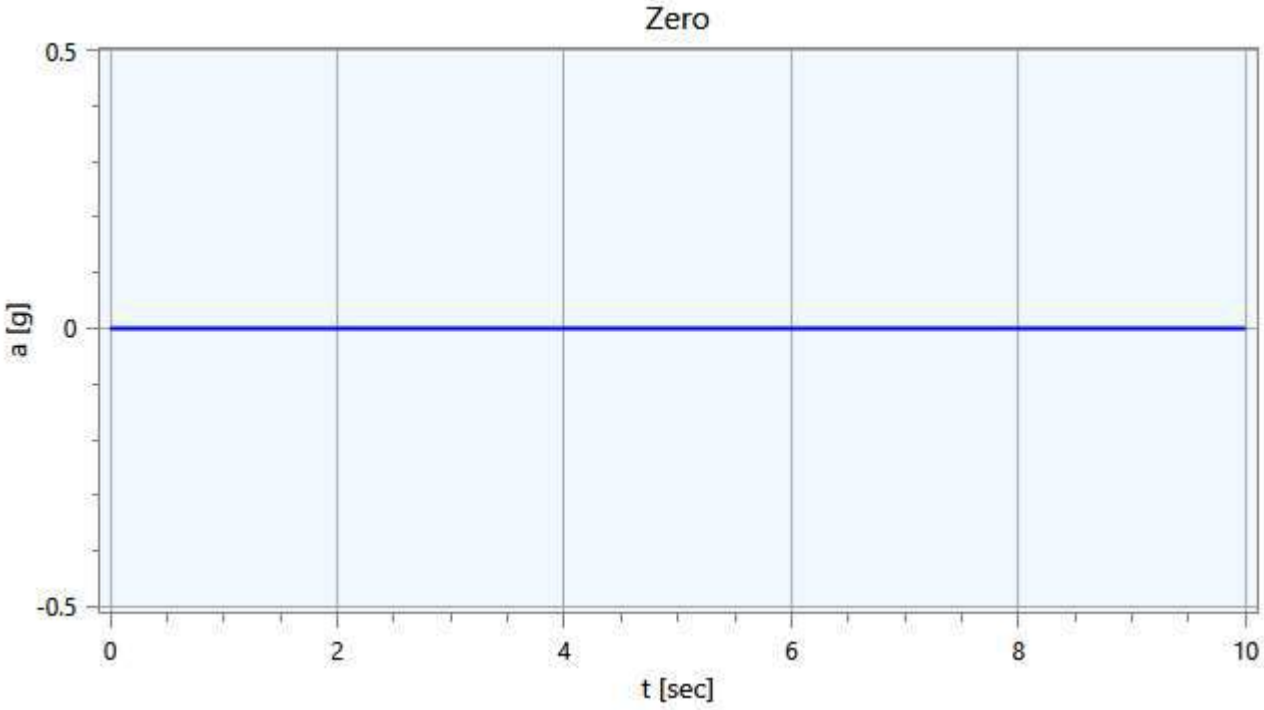
dove:

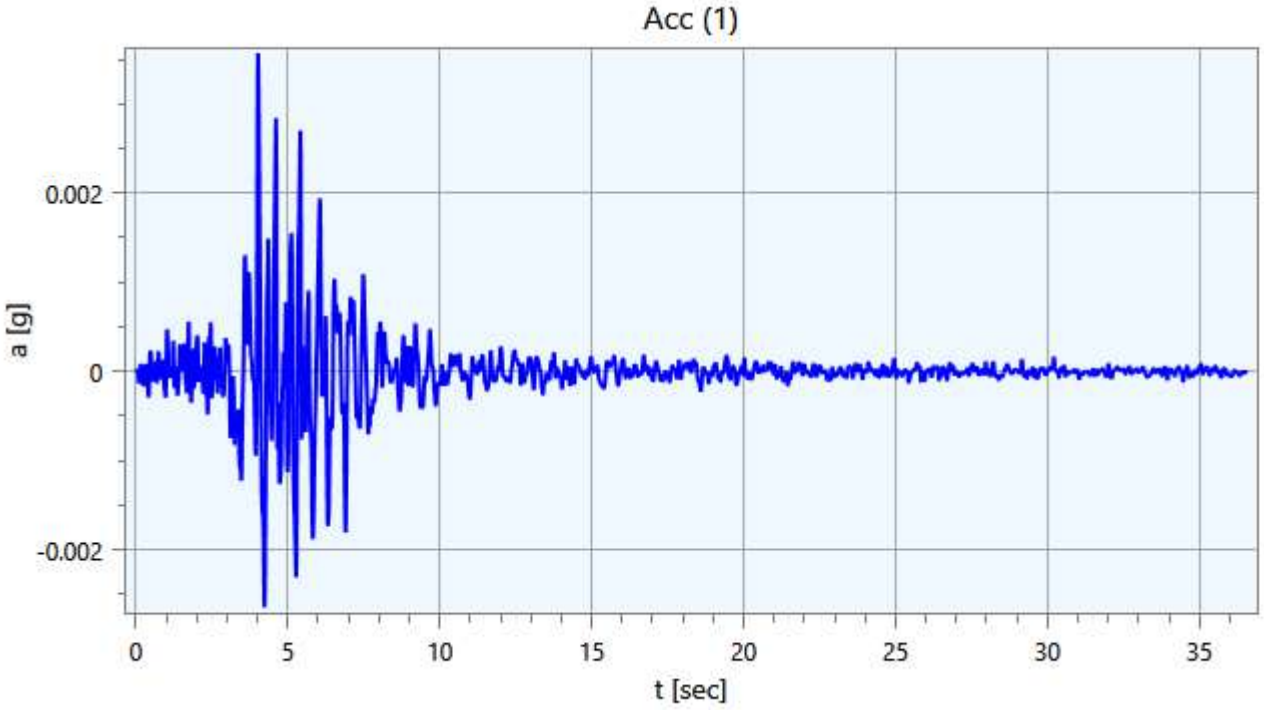
- S = spessore del singolo strato;
- ρ = densità di massa del singolo strato;
- Vs = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- γ = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

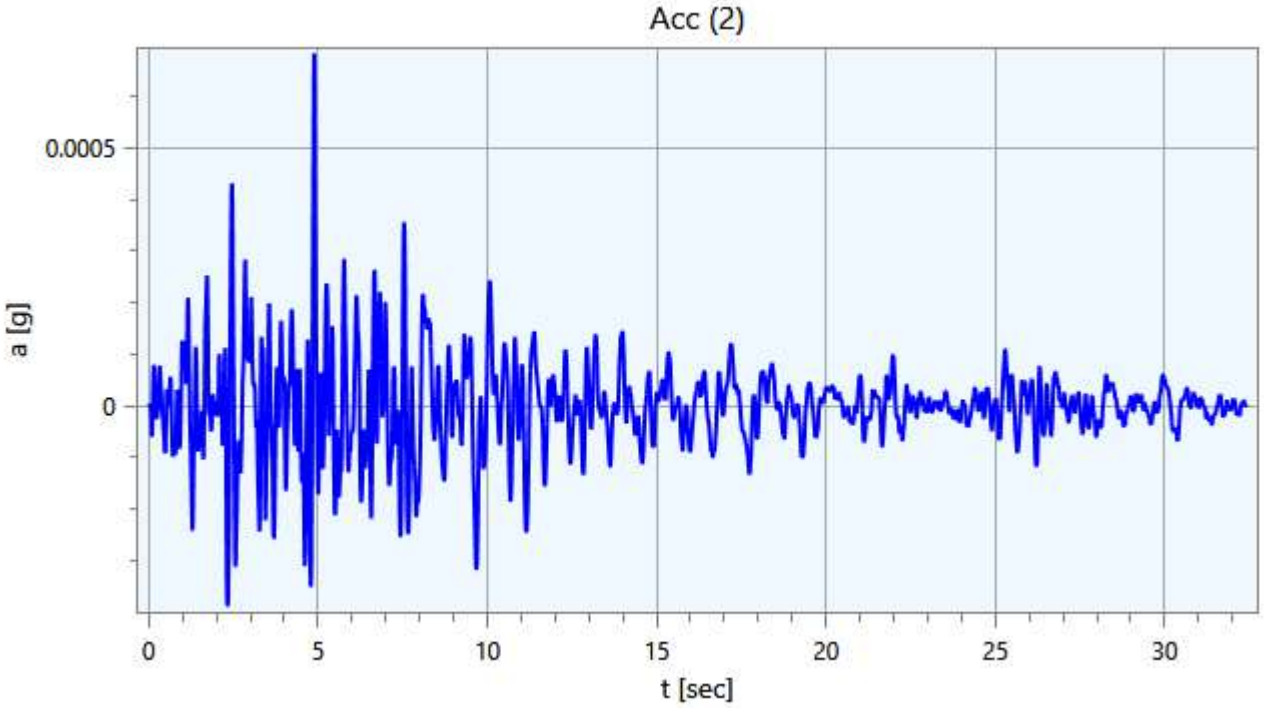
4.3 - Accelerogrammi e Spettri di Input

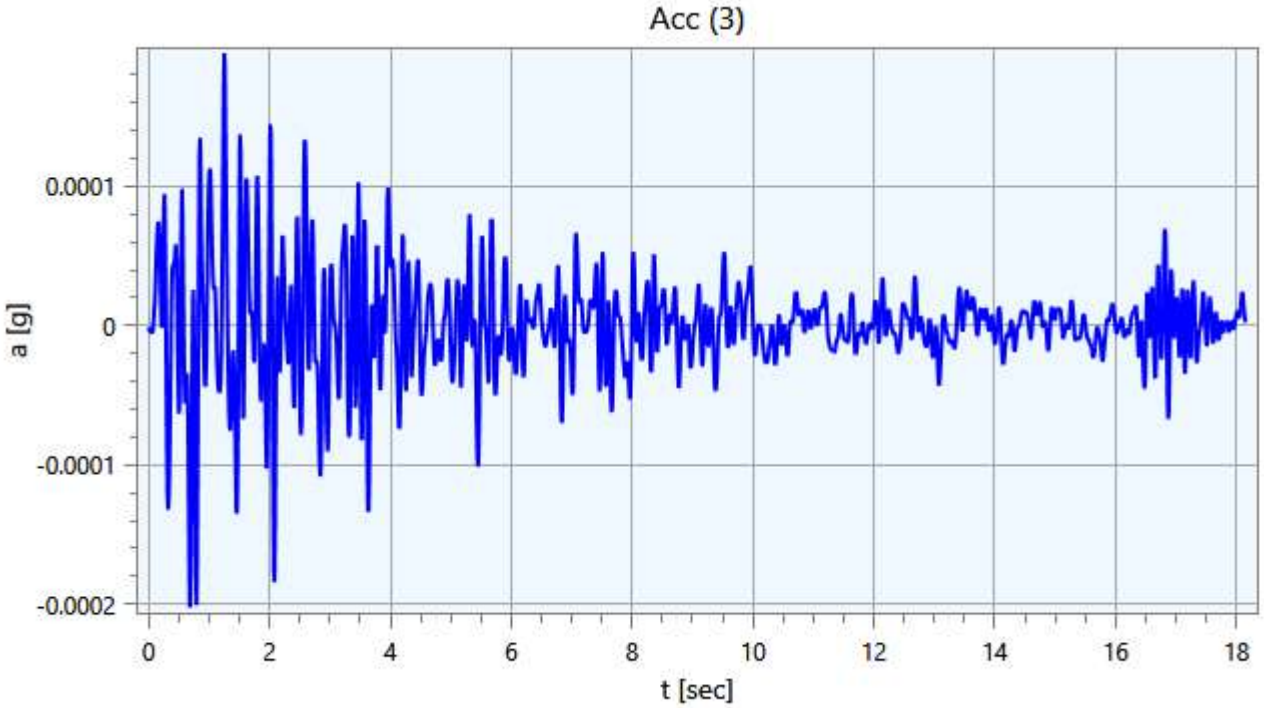
Gli accelerogrammi di input relativi allo stato limite in esame (ad esempio SLV) possono essere ottenuti tramite un'analisi con l'utilizzo dell'applicativo software REXEL v. 3.4 beta, che permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spetti delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), dell'Eurocodice 8 (EC – CEN 2003), dell'ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010). Il database utilizzato è l'Italian Accelerometric Archive (ITACA) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), scaricabile dal sito http://itaca.mi.ingv.it .

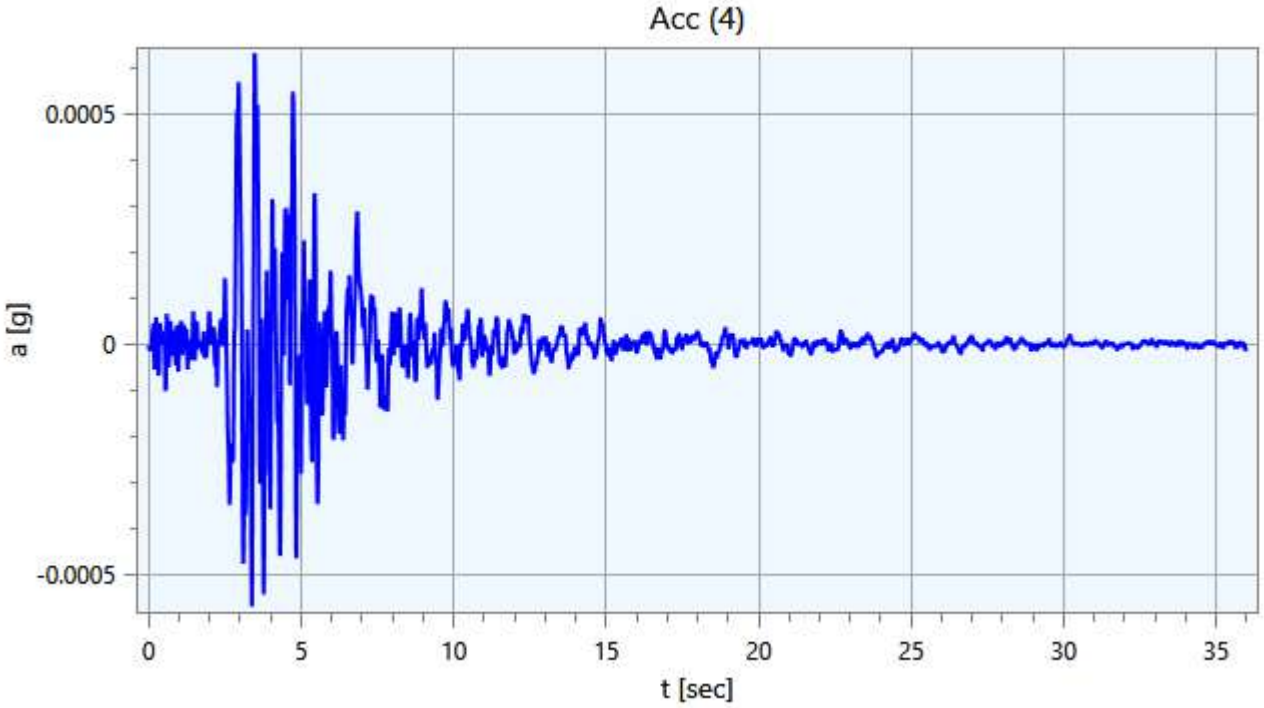
Di seguito si riportano gli accelerogrammi di progetto riferiti ad una condizione detta di 'outcrop':

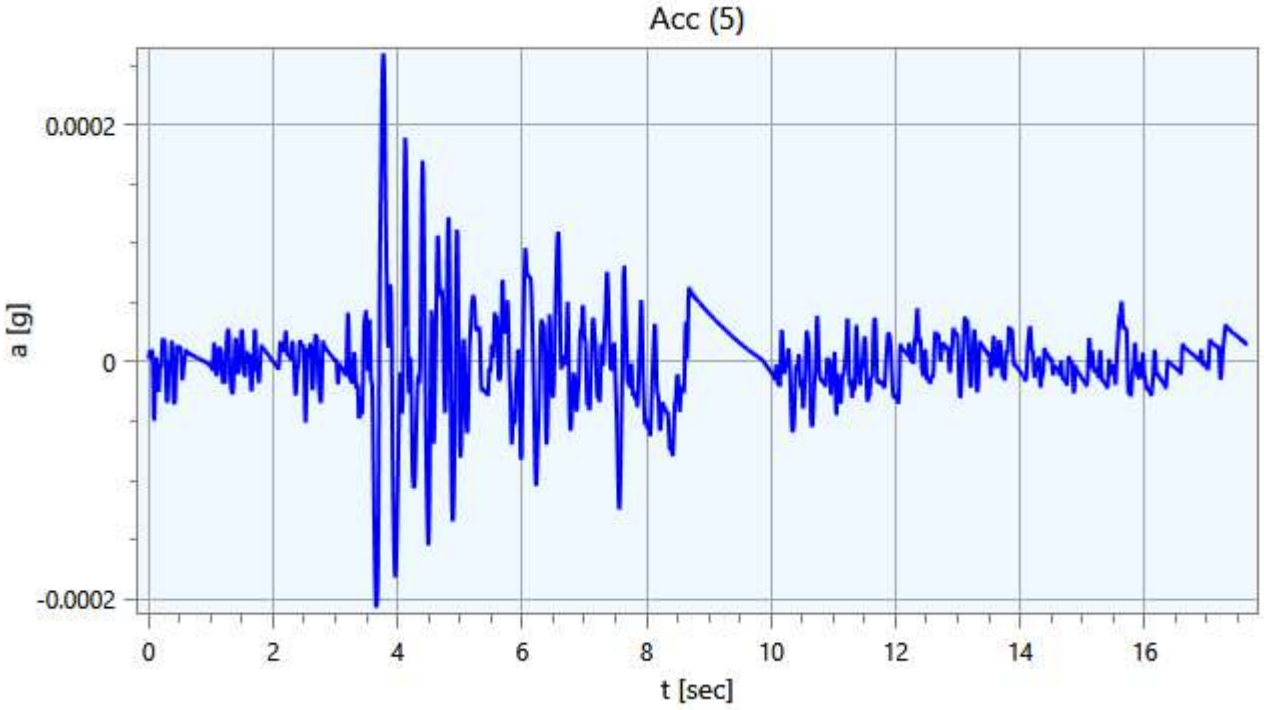

Zero
0.5
0
-0.5
a [g]
0
2
4
6
8
10
t [sec]

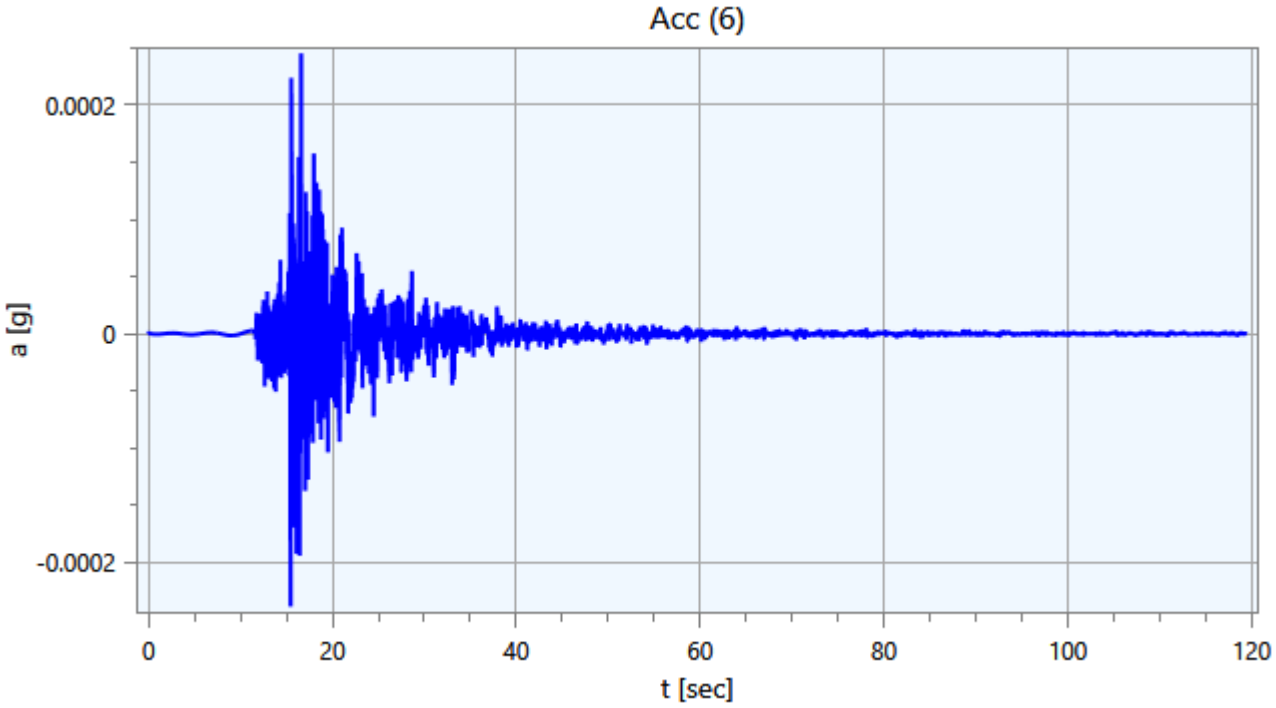

Acc (1)
0.002
0
-0.002
a [g]
0
5
10
15
20
25
30
35
t [sec]

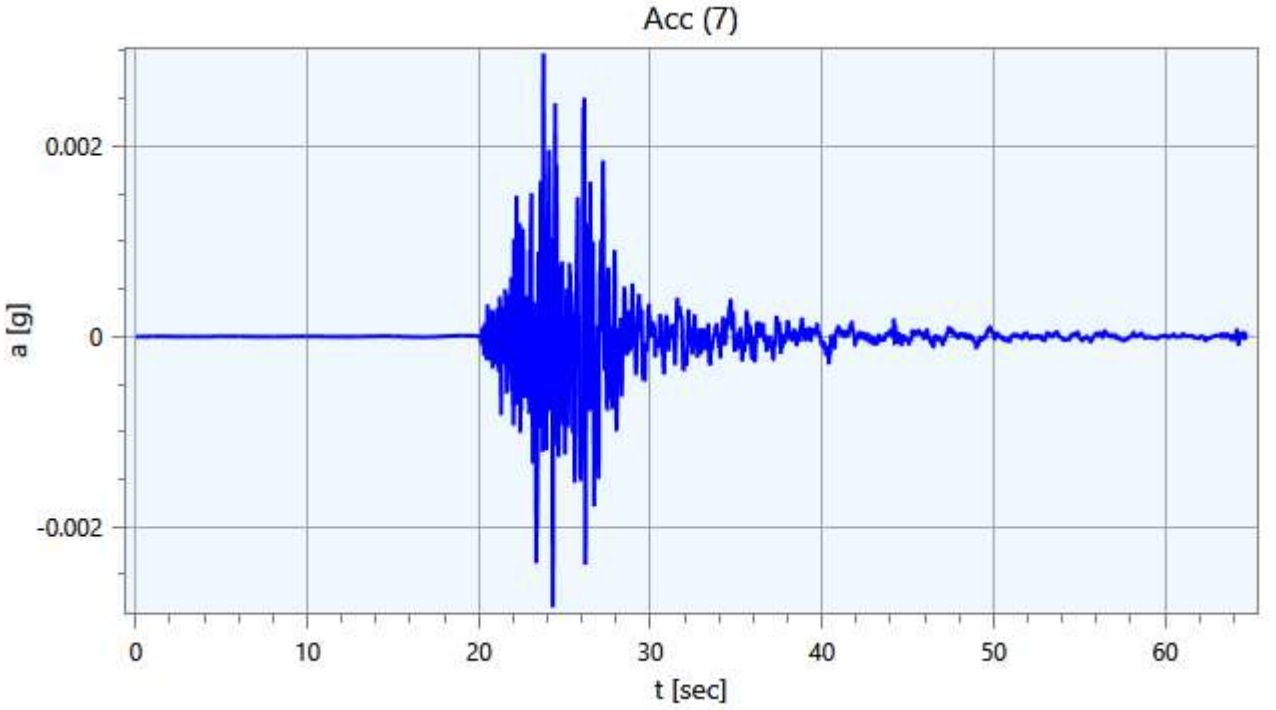

Acc (2)
0.0005
0
a [g]
0
5
10
15
20
25
30
t [sec]

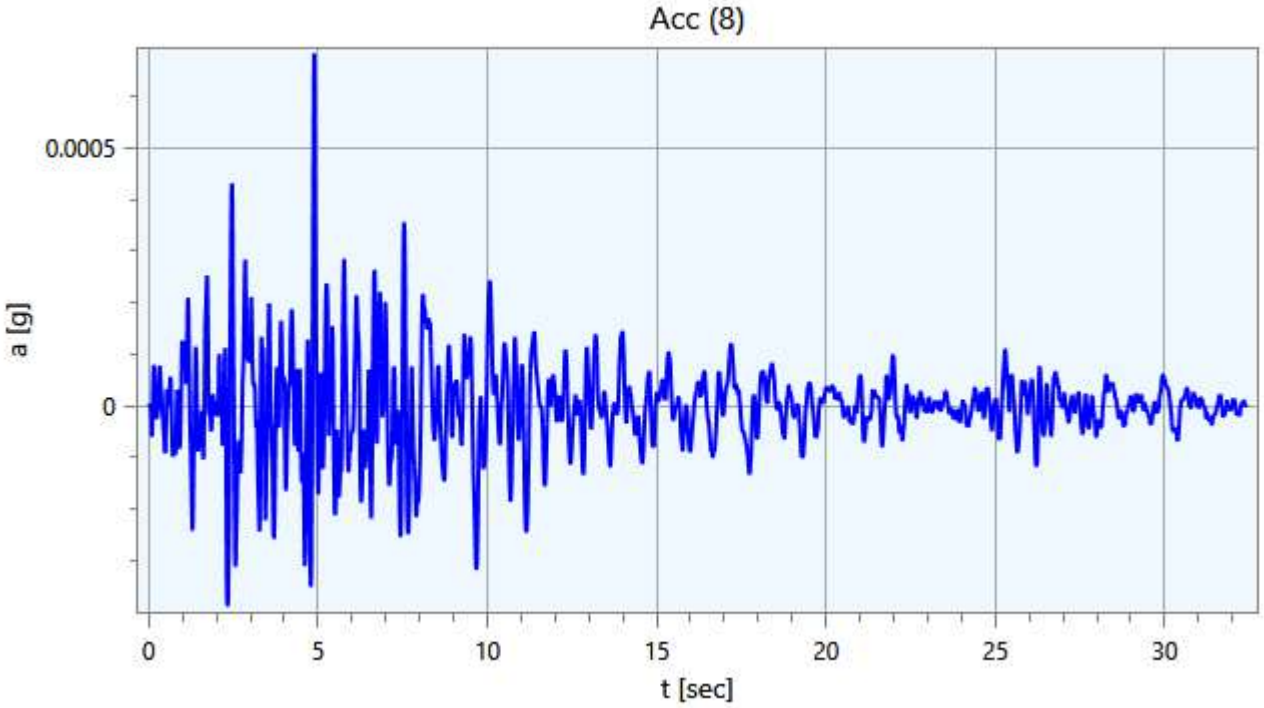

Acc (3)
0.0001
0
-0.0001
-0.0002
a [g]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
t [sec]

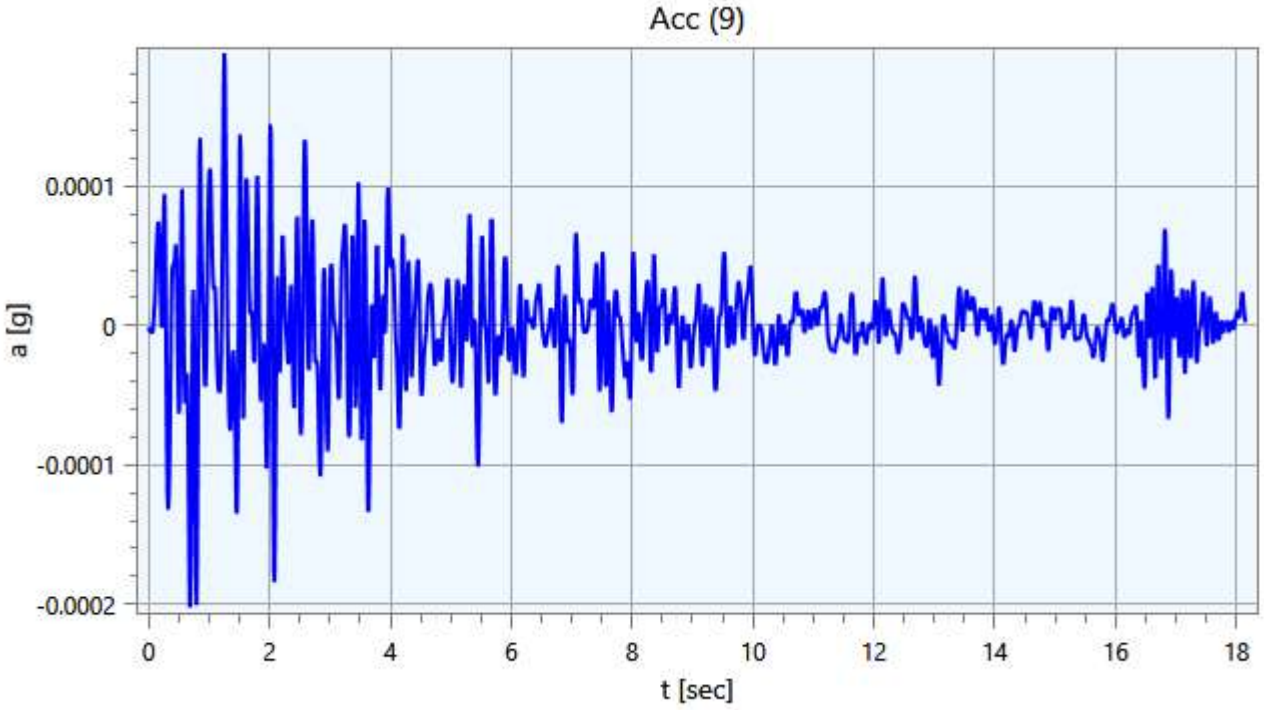

Acc (4)
0.0005
0
-0.0005
a [g]
0
5
10
15
20
25
30
35
t [sec]

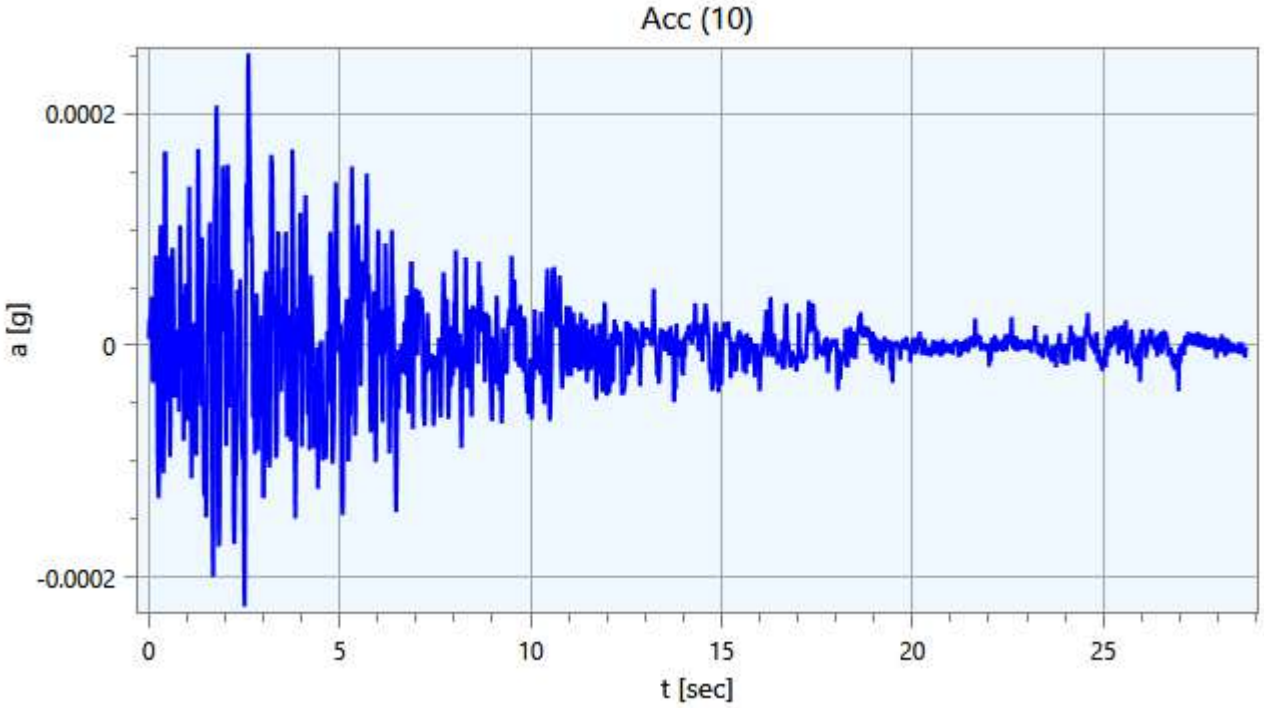

Acc (5)
0.0002
0
-0.0002
a [g]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
t [sec]

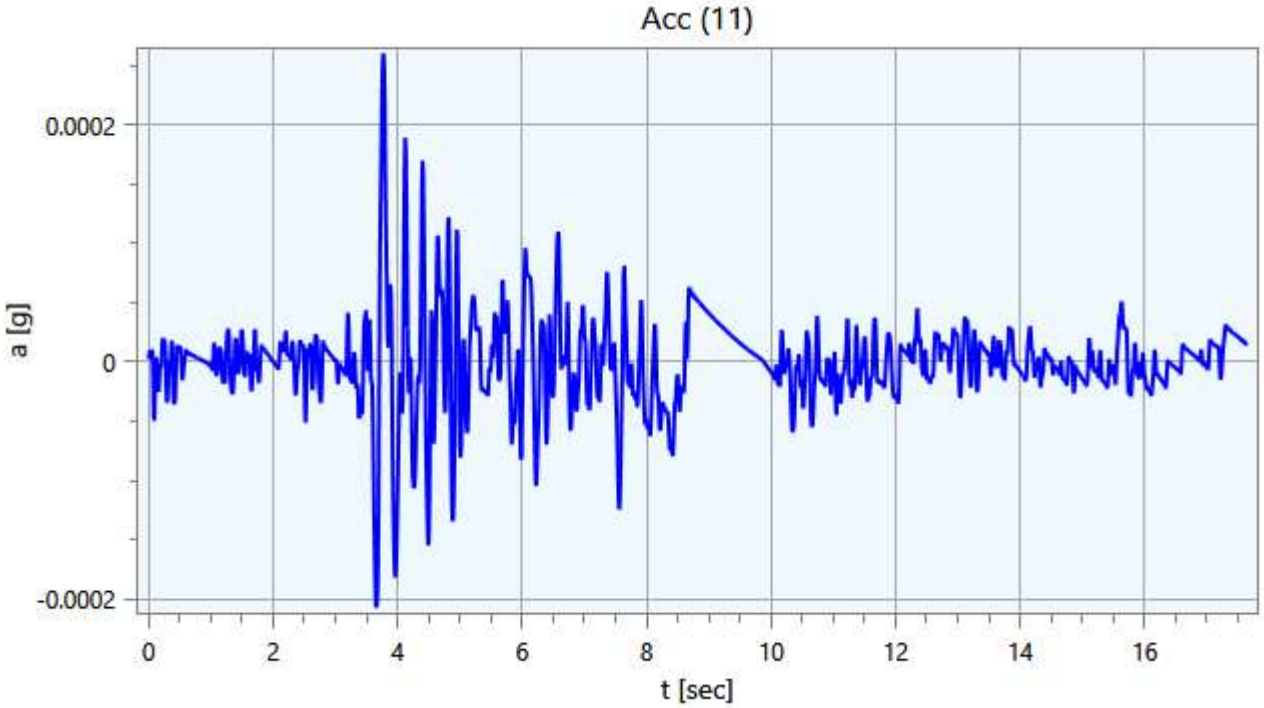

Acc (6)
0.0002
0
-0.0002
a [g]
0
20
40
60
80
100
120
t [sec]

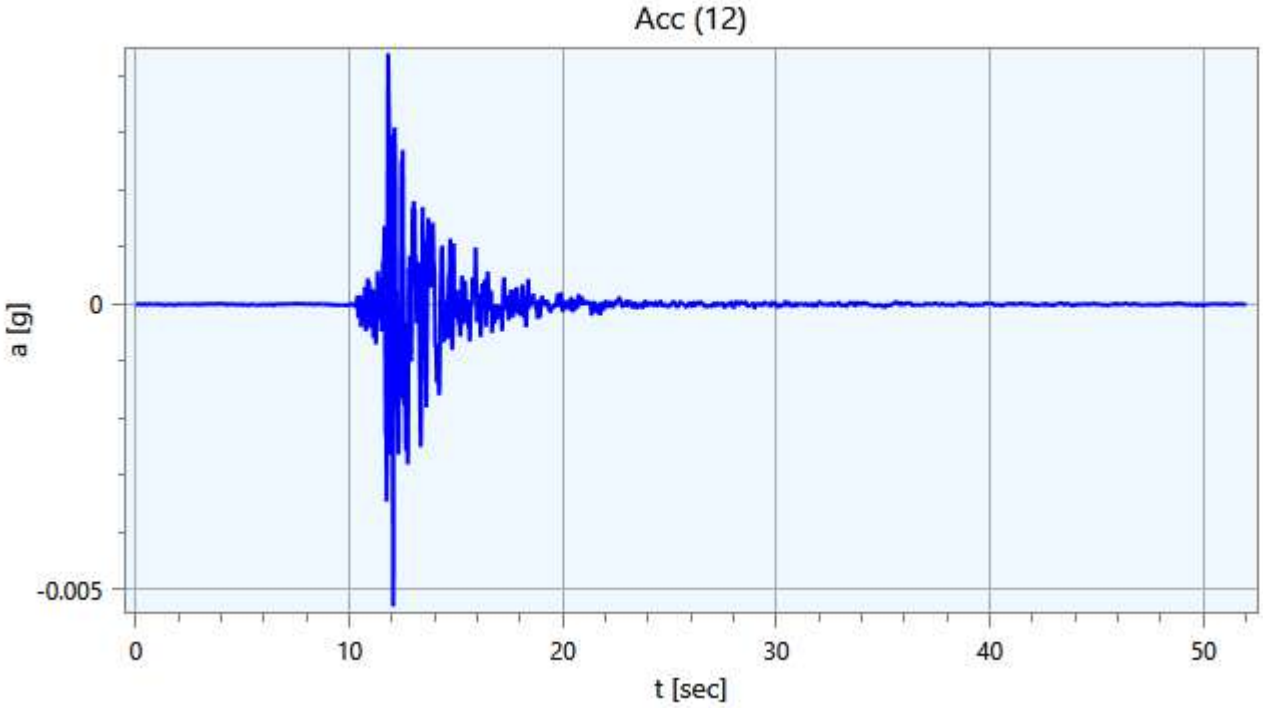

Acc (7)
0.002
0
-0.002
a [g]
0
10
20
30
40
50
60
t [sec]

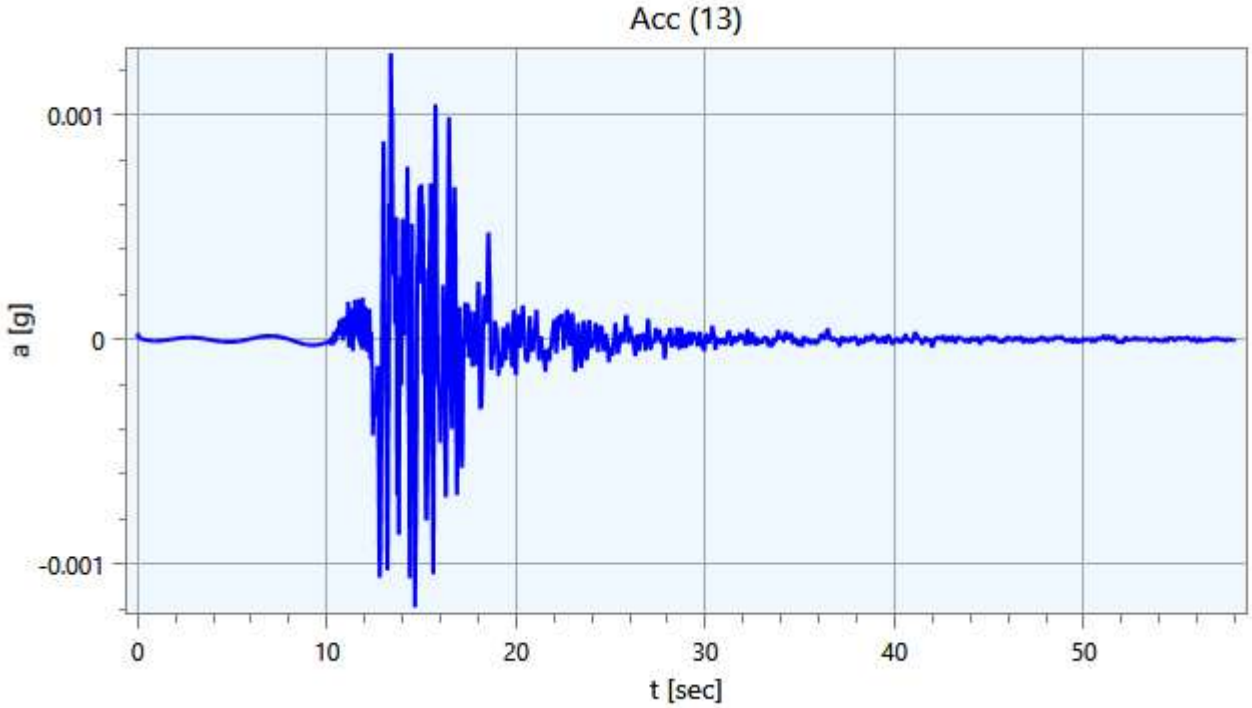

Acc (8)
0.0005
0
a [g]
0
5
10
15
20
25
30
t [sec]

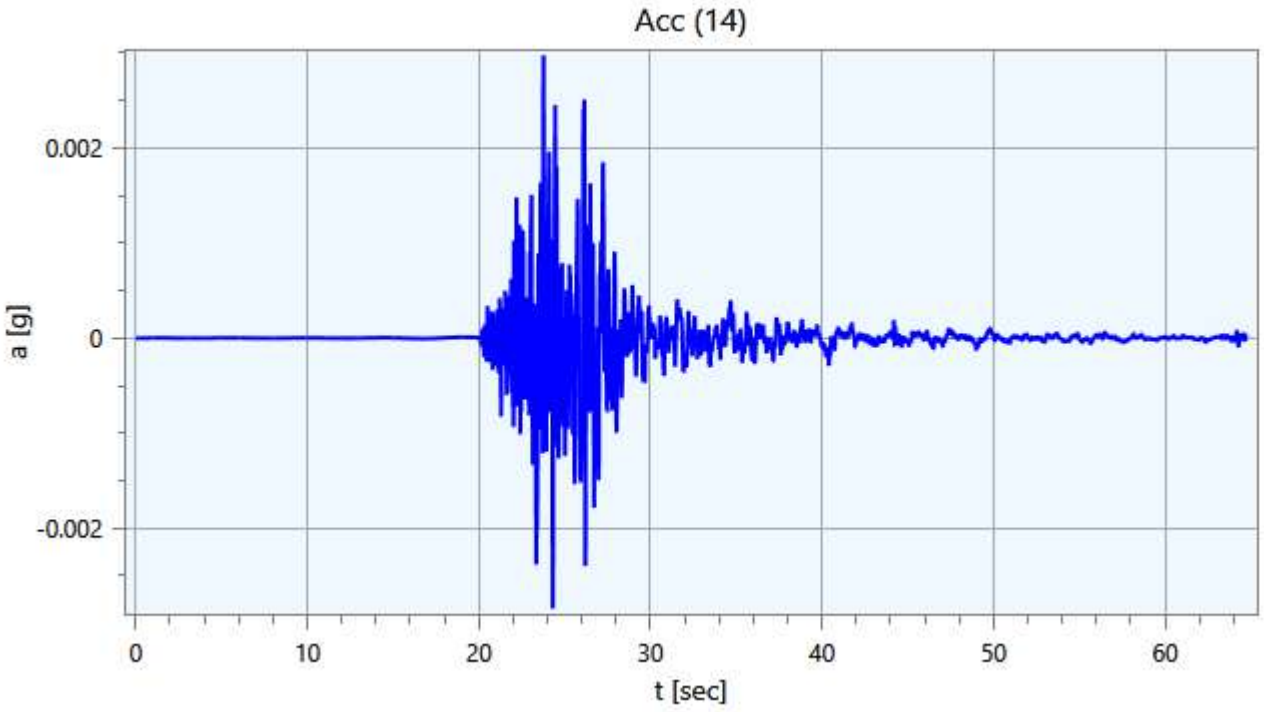

Acc (9)
0.0001
0
-0.0001
-0.0002
a [g]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
t [sec]


Acc (10)
0.0002
0
-0.0002
a [g]
0
5
10
15
20
25
t [sec]


Acc (11)
0.0002
0
-0.0002
a [g]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
t [sec]


Acc (12)
a [g]
0
-0.005
0
10
20
30
40
50
t [sec]


Acc (13)
a [g]
0.001
0
-0.001
0
10
20
30
40
50
t [sec]



4.4 - Modello di Calcolo FEM

Il modello di calcolo agli elementi finiti da utilizzare per lo studio della problematica in esame viene di seguito descritto.

Per ogni analisi, nel caso più generale, è necessario specificare due componenti di sollecitazione. In particolare vi sono, per ogni condizione, un accelerogramma di in direzione X (Orizzontale), ed uno in direzione Z (Verticale).

Ad ogni analisi corrispondono una serie di condizioni di carico. Per ognuna di esse vengono specificate due componenti di accelerazione di input in outcrop. In tabella vengono riportate le condizioni di carico relative al caso in esame:

slv

Condizione	Accelerogramma X
CDC (1)	Acc (1)
CDC (2)	Acc (2)
CDC (3)	Acc (3)
CDC (4)	Acc (4)
CDC (5)	Acc (5)
CDC (6)	Acc (6)
CDC (7)	Acc (7)

Tabella 2. Condizioni di carico.

SLD

Condizione	Accelerogramma X
CDC (1)	Acc (8)
CDC (2)	Acc (9)

CDC (3)	Acc (10)
CDC (4)	Acc (11)
CDC (5)	Acc (12)
CDC (6)	Acc (13)
CDC (7)	Acc (14)

Tabella 3. Condizioni di carico.

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre o a quattro nodi del dominio. Il passo ed i rapporti di infittimento della mesh in corrispondenza dei punti di controllo sono dati di input e possono variare a seconda del caso. Il passo della mesh deve soddisfare la seguente relazione:

$$p \leq \frac{V_{s,min}}{8\, f_{max}}$$

dove:

- p = passo della mesh;
- $V_{s,min}$ = velocità delle onde di taglio minima presente nel modello;
- f_{max} = frequenza massima che si vuole analizzare;

Di seguito si riportano i nodi del modello con le rispettive coordinate nel riferimento X-Z:

Nodo	X [m]	Z [m]
1	-0.50	0.00
2	0.50	0.00
3	-0.50	0.00
4	0.50	0.00
5	-0.50	0.00
6	0.50	0.00
7	-0.50	0.00
8	0.50	0.00
9	-0.50	0.00
10	0.50	0.00
11	-0.50	0.00
12	0.50	0.00
13	-0.50	0.00
14	-0.50	0.00
15	-0.50	0.00
16	-0.50	0.00
17	-0.50	0.00
18	-0.50	0.00
19	-0.50	0.00
20	-0.50	0.00
21	-0.50	0.00
22	-0.50	0.00
23	-0.50	0.00
24	-0.50	0.00
25	-0.50	0.00
26	0.00	0.00
27	0.50	0.00
28	0.50	0.00
29	0.50	0.00
30	0.50	0.00
31	0.50	0.00
32	0.50	0.00

33	0.50	0.00
34	0.50	0.00
35	0.50	0.00
36	0.50	0.00
37	0.50	0.00
38	0.50	0.00
39	0.50	0.00
40	0.00	0.00
41	-0.50	0.00
42	-0.50	0.00
43	-0.50	0.00
44	-0.50	0.00
45	-0.50	0.00
46	-0.50	0.00
47	-0.50	0.00
48	-0.50	0.00
49	-0.50	0.00
50	-0.50	0.00
51	-0.50	0.00
52	0.00	0.00
53	0.50	0.00
54	0.50	0.00
55	0.50	0.00
56	0.50	0.00
57	0.50	0.00
58	0.50	0.00
59	0.50	0.00
60	0.50	0.00
61	0.50	0.00
62	0.50	0.00
63	0.50	0.00
64	-0.50	0.00
65	-0.50	0.00
66	-0.50	0.00
67	-0.50	0.00
68	-0.50	0.00
69	-0.50	0.00
70	-0.50	0.00
71	-0.50	0.00
72	-0.50	0.00
73	-0.50	0.00
74	-0.50	0.00
75	-0.50	0.00
76	-0.50	0.00
77	-0.50	0.00
78	-0.50	0.00
79	-0.50	0.00
80	-0.50	0.00
81	-0.50	0.00
82	-0.50	0.00
83	-0.50	0.00
84	-0.50	0.00
85	-0.50	0.00
86	-0.50	0.00
87	0.00	0.00

88	0.50	0.00
89	0.50	0.00
90	0.50	0.00
91	0.50	0.00
92	0.50	0.00
93	0.50	0.00
94	0.50	0.00
95	0.50	0.00
96	0.50	0.00
97	0.50	0.00
98	0.50	0.00
99	0.50	0.00
100	0.50	0.00
101	0.50	0.00
102	0.50	0.00
103	0.50	0.00
104	0.50	0.00
105	0.50	0.00
106	0.50	0.00
107	0.50	0.00
108	0.50	0.00
109	0.50	0.00
110	0.50	0.00
111	-0.50	0.00
112	-0.50	0.00
113	-0.50	0.00
114	-0.50	0.00
115	-0.50	0.00
116	-0.50	0.00
117	-0.50	0.00
118	-0.50	0.00
119	-0.50	0.00
120	-0.50	0.00
121	-0.50	0.00
122	-0.50	0.00
123	-0.50	0.00
124	-0.50	0.00
125	-0.50	0.00
126	-0.50	0.00
127	-0.50	0.00
128	-0.50	0.00
129	-0.50	0.00
130	-0.50	0.00
131	-0.50	0.00
132	-0.50	0.00
133	-0.50	0.00
134	-0.50	0.00
135	-0.50	0.00
136	-0.50	0.00
137	-0.50	0.00
138	-0.50	0.00
139	-0.50	0.00
140	-0.50	0.00
141	-0.50	0.00
142	-0.50	0.00

143	-0.50	0.00
144	-0.50	0.00
145	-0.50	0.00
146	-0.50	0.00
147	-0.50	0.00
148	-0.50	0.00
149	-0.50	0.00
150	-0.50	0.00
151	-0.50	0.00
152	-0.50	0.00
153	-0.50	0.00
154	-0.50	0.00
155	-0.50	0.00
156	-0.50	0.00
157	-0.50	0.00
158	-0.50	0.00
159	-0.50	0.00
160	-0.50	0.00
161	-0.50	0.00
162	-0.50	0.00
163	-0.50	0.00
164	-0.50	0.00
165	-0.50	0.00
166	-0.50	0.00
167	-0.50	0.00
168	-0.50	0.00
169	-0.50	0.00
170	-0.50	0.00
171	-0.50	0.00
172	-0.50	0.00
173	-0.50	0.00
174	-0.50	0.00
175	-0.50	0.00
176	-0.50	0.00
177	-0.50	0.00
178	-0.50	0.00
179	-0.50	0.00
180	-0.50	0.00
181	-0.50	0.00
182	-0.50	0.00
183	-0.50	0.00
184	-0.50	0.00
185	-0.50	0.00
186	-0.50	0.00
187	-0.50	0.00
188	-0.50	0.00
189	-0.50	0.00
190	-0.50	0.00
191	-0.50	0.00
192	-0.50	0.00
193	-0.50	0.00
194	-0.50	0.00
195	-0.50	0.00
196	0.00	0.00
197	0.50	0.00

198	0.50	0.00
199	0.50	0.00
200	0.50	0.00
201	0.50	0.00
202	0.50	0.00
203	0.50	0.00
204	0.50	0.00
205	0.50	0.00
206	0.50	0.00
207	0.50	0.00
208	0.50	0.00
209	0.50	0.00
210	0.50	0.00
211	0.50	0.00
212	0.50	0.00
213	0.50	0.00
214	0.50	0.00
215	0.50	0.00
216	0.50	0.00
217	0.50	0.00
218	0.50	0.00
219	0.50	0.00
220	0.50	0.00
221	0.50	0.00
222	0.50	0.00
223	0.50	0.00
224	0.50	0.00
225	0.50	0.00
226	0.50	0.00
227	0.50	0.00
228	0.50	0.00
229	0.50	0.00
230	0.50	0.00
231	0.50	0.00
232	0.50	0.00
233	0.50	0.00
234	0.50	0.00
235	0.50	0.00
236	0.50	0.00
237	0.50	0.00
238	0.50	0.00
239	0.50	0.00
240	0.50	0.00
241	0.50	0.00
242	0.50	0.00
243	0.50	0.00
244	0.50	0.00
245	0.50	0.00
246	0.50	0.00
247	0.50	0.00
248	0.50	0.00
249	0.50	0.00
250	0.50	0.00
251	0.50	0.00
252	0.50	0.00

253	0.50	0.00
254	0.50	0.00
255	0.50	0.00
256	0.50	0.00
257	0.50	0.00
258	0.50	0.00
259	0.50	0.00
260	0.50	0.00
261	0.50	0.00
262	0.50	0.00
263	0.50	0.00
264	0.50	0.00
265	0.50	0.00
266	0.50	0.00
267	0.50	0.00
268	0.50	0.00
269	0.50	0.00
270	0.50	0.00
271	0.50	0.00
272	0.50	0.00
273	0.50	0.00
274	0.50	0.00
275	0.50	0.00
276	0.50	0.00
277	0.50	0.00
278	0.50	0.00
279	0.50	0.00
280	0.50	0.00
281	0.50	0.00
282	-0.50	0.00
283	0.00	0.00
284	0.50	0.00
285	0.00	0.00
286	0.00	0.00
287	0.00	0.00
288	0.00	0.00
289	0.00	0.00
290	0.00	0.00
291	0.00	0.00
292	0.00	0.00
293	0.00	0.00
294	0.00	0.00
295	0.00	0.00
296	0.00	0.00
297	0.00	0.00
298	0.00	0.00
299	0.00	0.00
300	0.00	0.00
301	0.00	0.00
302	0.00	0.00
303	0.00	0.00
304	0.00	0.00
305	0.00	0.00
306	0.00	0.00
307	0.00	0.00

308	0.00	0.00
309	0.00	0.00
310	0.00	0.00
311	0.00	0.00
312	0.00	0.00
313	0.00	0.00
314	0.00	0.00
315	0.00	0.00
316	0.00	0.00
317	0.00	0.00
318	0.00	0.00
319	0.00	0.00
320	0.00	0.00
321	0.00	0.00
322	0.00	0.00
323	0.00	0.00
324	0.00	0.00
325	0.00	0.00
326	0.00	0.00
327	0.00	0.00
328	0.00	0.00
329	0.00	0.00
330	0.00	0.00
331	0.00	0.00
332	0.00	0.00
333	0.00	0.00
334	0.00	0.00
335	0.00	0.00
336	0.00	0.00
337	0.00	0.00
338	0.00	0.00
339	0.00	0.00
340	0.00	0.00
341	0.00	0.00
342	0.00	0.00
343	0.00	0.00
344	0.00	0.00
345	0.00	0.00
346	0.00	0.00
347	0.00	0.00
348	0.00	0.00
349	0.00	0.00
350	0.00	0.00
351	0.00	0.00
352	0.00	0.00
353	0.00	0.00
354	0.00	0.00
355	0.00	0.00
356	0.00	0.00
357	0.00	0.00
358	0.00	0.00
359	0.00	0.00
360	0.00	0.00
361	0.00	0.00
362	0.00	0.00

363	0.00	0.00
364	0.00	0.00
365	0.00	0.00
366	0.00	0.00
367	0.00	0.00
368	0.00	0.00
369	0.00	0.00
370	0.00	0.00
371	0.00	0.00
372	0.00	0.00
373	0.00	0.00
374	0.00	0.00
375	0.00	0.00
376	0.00	0.00
377	0.00	0.00
378	0.00	0.00
379	0.00	0.00
380	0.00	0.00
381	0.00	0.00
382	0.00	0.00
383	0.00	0.00
384	0.00	0.00
385	0.00	0.00
386	0.00	0.00
387	0.00	0.00
388	0.00	0.00
389	0.00	0.00
390	0.00	0.00
391	0.00	0.00
392	0.00	0.00
393	0.00	0.00
394	0.00	0.00
395	0.00	0.00
396	0.00	0.00
397	0.00	0.00
398	0.00	0.00
399	0.00	0.00
400	0.00	0.00
401	0.00	0.00
402	0.00	0.00
403	0.00	0.00
404	0.00	0.00
405	0.00	0.00
406	0.00	0.00
407	0.00	0.00
408	0.00	0.00
409	0.00	0.00
410	0.00	0.00
411	0.00	0.00
412	0.00	0.00
413	0.00	0.00
414	0.00	0.00
415	0.00	0.00
416	0.00	0.00
417	0.00	0.00

Tabella 4. Nodi del modello FEM.

Di seguito gli elementi:

Elemento	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4
1	1	13	285	40
2	13	14	286	285
3	14	15	287	286
4	15	16	288	287
5	16	17	289	288
6	17	18	290	289
7	18	19	291	290
8	19	20	292	291
9	20	21	293	292
10	21	22	294	293
11	22	23	295	294
12	23	24	296	295
13	24	25	297	296
14	25	3	26	297
15	40	285	39	2
16	285	286	38	39
17	286	287	37	38
18	287	288	36	37
19	288	289	35	36
20	289	290	34	35
21	290	291	33	34
22	291	292	32	33
23	292	293	31	32
24	293	294	30	31
25	294	295	29	30
26	295	296	28	29
27	296	297	27	28
28	297	26	4	27
29	3	41	298	26
30	41	42	299	298
31	42	43	300	299
32	43	44	301	300
33	44	45	302	301
34	45	46	303	302
35	46	47	304	303
36	47	48	305	304
37	48	49	306	305
38	49	50	307	306
39	50	51	308	307
40	51	5	52	308
41	26	298	63	4
42	298	299	62	63
43	299	300	61	62
44	300	301	60	61
45	301	302	59	60
46	302	303	58	59
47	303	304	57	58
48	304	305	56	57
49	305	306	55	56
50	306	307	54	55

51	307	308	53	54
52	308	52	6	53
53	5	64	309	52
54	64	65	310	309
55	65	66	311	310
56	66	67	312	311
57	67	68	313	312
58	68	69	314	313
59	69	70	315	314
60	70	71	316	315
61	71	72	317	316
62	72	73	318	317
63	73	74	319	318
64	74	75	320	319
65	75	76	321	320
66	76	77	322	321
67	77	78	323	322
68	78	79	324	323
69	79	80	325	324
70	80	81	326	325
71	81	82	327	326
72	82	83	328	327
73	83	84	329	328
74	84	85	330	329
75	85	86	331	330
76	86	7	87	331
77	52	309	110	6
78	309	310	109	110
79	310	311	108	109
80	311	312	107	108
81	312	313	106	107
82	313	314	105	106
83	314	315	104	105
84	315	316	103	104
85	316	317	102	103
86	317	318	101	102
87	318	319	100	101
88	319	320	99	100
89	320	321	98	99
90	321	322	97	98
91	322	323	96	97
92	323	324	95	96
93	324	325	94	95
94	325	326	93	94
95	326	327	92	93
96	327	328	91	92
97	328	329	90	91
98	329	330	89	90
99	330	331	88	89
100	331	87	8	88
101	7	111	332	87
102	111	112	333	332
103	112	113	334	333
104	113	114	335	334
105	114	115	336	335

106	115	116	337	336
107	116	117	338	337
108	117	118	339	338
109	118	119	340	339
110	119	120	341	340
111	120	121	342	341
112	121	122	343	342
113	122	123	344	343
114	123	124	345	344
115	124	125	346	345
116	125	126	347	346
117	126	127	348	347
118	127	128	349	348
119	128	129	350	349
120	129	130	351	350
121	130	131	352	351
122	131	132	353	352
123	132	133	354	353
124	133	134	355	354
125	134	135	356	355
126	135	136	357	356
127	136	137	358	357
128	137	138	359	358
129	138	139	360	359
130	139	140	361	360
131	140	141	362	361
132	141	142	363	362
133	142	143	364	363
134	143	144	365	364
135	144	145	366	365
136	145	146	367	366
137	146	147	368	367
138	147	148	369	368
139	148	149	370	369
140	149	150	371	370
141	150	151	372	371
142	151	152	373	372
143	152	153	374	373
144	153	154	375	374
145	154	155	376	375
146	155	156	377	376
147	156	157	378	377
148	157	158	379	378
149	158	159	380	379
150	159	160	381	380
151	160	161	382	381
152	161	162	383	382
153	162	163	384	383
154	163	164	385	384
155	164	165	386	385
156	165	166	387	386
157	166	167	388	387
158	167	168	389	388
159	168	169	390	389
160	169	170	391	390

161	170	171	392	391
162	171	172	393	392
163	172	173	394	393
164	173	174	395	394
165	174	175	396	395
166	175	176	397	396
167	176	177	398	397
168	177	178	399	398
169	178	179	400	399
170	179	180	401	400
171	180	181	402	401
172	181	182	403	402
173	182	183	404	403
174	183	184	405	404
175	184	185	406	405
176	185	186	407	406
177	186	187	408	407
178	187	188	409	408
179	188	189	410	409
180	189	190	411	410
181	190	191	412	411
182	191	192	413	412
183	192	193	414	413
184	193	194	415	414
185	194	195	416	415
186	195	9	196	416
187	87	332	281	8
188	332	333	280	281
189	333	334	279	280
190	334	335	278	279
191	335	336	277	278
192	336	337	276	277
193	337	338	275	276
194	338	339	274	275
195	339	340	273	274
196	340	341	272	273
197	341	342	271	272
198	342	343	270	271
199	343	344	269	270
200	344	345	268	269
201	345	346	267	268
202	346	347	266	267
203	347	348	265	266
204	348	349	264	265
205	349	350	263	264
206	350	351	262	263
207	351	352	261	262
208	352	353	260	261
209	353	354	259	260
210	354	355	258	259
211	355	356	257	258
212	356	357	256	257
213	357	358	255	256
214	358	359	254	255
215	359	360	253	254

216	360	361	252	253
217	361	362	251	252
218	362	363	250	251
219	363	364	249	250
220	364	365	248	249
221	365	366	247	248
222	366	367	246	247
223	367	368	245	246
224	368	369	244	245
225	369	370	243	244
226	370	371	242	243
227	371	372	241	242
228	372	373	240	241
229	373	374	239	240
230	374	375	238	239
231	375	376	237	238
232	376	377	236	237
233	377	378	235	236
234	378	379	234	235
235	379	380	233	234
236	380	381	232	233
237	381	382	231	232
238	382	383	230	231
239	383	384	229	230
240	384	385	228	229
241	385	386	227	228
242	386	387	226	227
243	387	388	225	226
244	388	389	224	225
245	389	390	223	224
246	390	391	222	223
247	391	392	221	222
248	392	393	220	221
249	393	394	219	220
250	394	395	218	219
251	395	396	217	218
252	396	397	216	217
253	397	398	215	216
254	398	399	214	215
255	399	400	213	214
256	400	401	212	213
257	401	402	211	212
258	402	403	210	211
259	403	404	209	210
260	404	405	208	209
261	405	406	207	208
262	406	407	206	207
263	407	408	205	206
264	408	409	204	205
265	409	410	203	204
266	410	411	202	203
267	411	412	201	202
268	412	413	200	201
269	413	414	199	200
270	414	415	198	199

271	415	416	197	198
272	416	196	10	197
273	9	282	417	196
274	282	11	283	417
275	196	417	284	10
276	417	283	12	284

Tabella 4bis. Elementi del modello FEM.

Le condizioni al contorno del problema in esame (posizione del bedrock) vengono prese in considerazione sul modello FEM mediante l'applicazione di smorzatori viscosi sui nodi facenti parte della porzione di terreno a contatto con il bedrock. Tali smorzatori esprimono due componenti (una orizzontale ed una verticale) di forza proporzionali alla velocità.
Le costanti di smorzamento Cx e Cz sono rispettivamente:

$$Cx = \rho b * Vsb * Vsb \text{ e } Cz = \rho b * Vpb * Vpb$$

dove:

- ρb = densità di massa del substrato;
- Vsb = velocità delle onde di taglio del substrato;
- Vsb = velocità delle onde p del substrato;

Sul modello possono essere applicati dei vincoli fissi nel caso in cui il substrato lo si volesse modellare come infinitamente rigido o per simulare un comportamento monodimensionale. In tal caso vengono applicati su tutti i nodi del modello dei vincoli in direzione verticale, in modo da consentire solo deformazioni di taglio.

Di seguito vengono indicati i vincoli applicati al modello (B: "bloccato"; L : "libero") :

Nodo	Direzione X	Direzione Z
1	L	B
2	L	B
3	L	B
4	L	B
5	L	B
6	L	B
7	L	B
8	L	B
9	L	B
10	L	B
11	L	B
12	L	B
13	L	B
14	L	B
15	L	B
16	L	B
17	L	B
18	L	B
19	L	B
20	L	B
21	L	B
22	L	B
23	L	B
24	L	B
25	L	B

26	L	B
27	L	B
28	L	B
29	L	B
30	L	B
31	L	B
32	L	B
33	L	B
34	L	B
35	L	B
36	L	B
37	L	B
38	L	B
39	L	B
40	L	B
41	L	B
42	L	B
43	L	B
44	L	B
45	L	B
46	L	B
47	L	B
48	L	B
49	L	B
50	L	B
51	L	B
52	L	B
53	L	B
54	L	B
55	L	B
56	L	B
57	L	B
58	L	B
59	L	B
60	L	B
61	L	B
62	L	B
63	L	B
64	L	B
65	L	B
66	L	B
67	L	B
68	L	B
69	L	B
70	L	B
71	L	B
72	L	B
73	L	B
74	L	B
75	L	B
76	L	B
77	L	B
78	L	B
79	L	B
80	L	B

81	L	B
82	L	B
83	L	B
84	L	B
85	L	B
86	L	B
87	L	B
88	L	B
89	L	B
90	L	B
91	L	B
92	L	B
93	L	B
94	L	B
95	L	B
96	L	B
97	L	B
98	L	B
99	L	B
100	L	B
101	L	B
102	L	B
103	L	B
104	L	B
105	L	B
106	L	B
107	L	B
108	L	B
109	L	B
110	L	B
111	L	B
112	L	B
113	L	B
114	L	B
115	L	B
116	L	B
117	L	B
118	L	B
119	L	B
120	L	B
121	L	B
122	L	B
123	L	B
124	L	B
125	L	B
126	L	B
127	L	B
128	L	B
129	L	B
130	L	B
131	L	B
132	L	B
133	L	B
134	L	B
135	L	B

136	L	B
137	L	B
138	L	B
139	L	B
140	L	B
141	L	B
142	L	B
143	L	B
144	L	B
145	L	B
146	L	B
147	L	B
148	L	B
149	L	B
150	L	B
151	L	B
152	L	B
153	L	B
154	L	B
155	L	B
156	L	B
157	L	B
158	L	B
159	L	B
160	L	B
161	L	B
162	L	B
163	L	B
164	L	B
165	L	B
166	L	B
167	L	B
168	L	B
169	L	B
170	L	B
171	L	B
172	L	B
173	L	B
174	L	B
175	L	B
176	L	B
177	L	B
178	L	B
179	L	B
180	L	B
181	L	B
182	L	B
183	L	B
184	L	B
185	L	B
186	L	B
187	L	B
188	L	B
189	L	B
190	L	B

191	L	B
192	L	B
193	L	B
194	L	B
195	L	B
196	L	B
197	L	B
198	L	B
199	L	B
200	L	B
201	L	B
202	L	B
203	L	B
204	L	B
205	L	B
206	L	B
207	L	B
208	L	B
209	L	B
210	L	B
211	L	B
212	L	B
213	L	B
214	L	B
215	L	B
216	L	B
217	L	B
218	L	B
219	L	B
220	L	B
221	L	B
222	L	B
223	L	B
224	L	B
225	L	B
226	L	B
227	L	B
228	L	B
229	L	B
230	L	B
231	L	B
232	L	B
233	L	B
234	L	B
235	L	B
236	L	B
237	L	B
238	L	B
239	L	B
240	L	B
241	L	B
242	L	B
243	L	B
244	L	B
245	L	B

246	L	B
247	L	B
248	L	B
249	L	B
250	L	B
251	L	B
252	L	B
253	L	B
254	L	B
255	L	B
256	L	B
257	L	B
258	L	B
259	L	B
260	L	B
261	L	B
262	L	B
263	L	B
264	L	B
265	L	B
266	L	B
267	L	B
268	L	B
269	L	B
270	L	B
271	L	B
272	L	B
273	L	B
274	L	B
275	L	B
276	L	B
277	L	B
278	L	B
279	L	B
280	L	B
281	L	B
282	L	B
283	L	B
284	L	B
285	L	B
286	L	B
287	L	B
288	L	B
289	L	B
290	L	B
291	L	B
292	L	B
293	L	B
294	L	B
295	L	B
296	L	B
297	L	B
298	L	B
299	L	B
300	L	B

301	L	B
302	L	B
303	L	B
304	L	B
305	L	B
306	L	B
307	L	B
308	L	B
309	L	B
310	L	B
311	L	B
312	L	B
313	L	B
314	L	B
315	L	B
316	L	B
317	L	B
318	L	B
319	L	B
320	L	B
321	L	B
322	L	B
323	L	B
324	L	B
325	L	B
326	L	B
327	L	B
328	L	B
329	L	B
330	L	B
331	L	B
332	L	B
333	L	B
334	L	B
335	L	B
336	L	B
337	L	B
338	L	B
339	L	B
340	L	B
341	L	B
342	L	B
343	L	B
344	L	B
345	L	B
346	L	B
347	L	B
348	L	B
349	L	B
350	L	B
351	L	B
352	L	B
353	L	B
354	L	B
355	L	B

356	L	B
357	L	B
358	L	B
359	L	B
360	L	B
361	L	B
362	L	B
363	L	B
364	L	B
365	L	B
366	L	B
367	L	B
368	L	B
369	L	B
370	L	B
371	L	B
372	L	B
373	L	B
374	L	B
375	L	B
376	L	B
377	L	B
378	L	B
379	L	B
380	L	B
381	L	B
382	L	B
383	L	B
384	L	B
385	L	B
386	L	B
387	L	B
388	L	B
389	L	B
390	L	B
391	L	B
392	L	B
393	L	B
394	L	B
395	L	B
396	L	B
397	L	B
398	L	B
399	L	B
400	L	B
401	L	B
402	L	B
403	L	B
404	L	B
405	L	B
406	L	B
407	L	B
408	L	B
409	L	B
410	L	B

411	L	B
412	L	B
413	L	B
414	L	B
415	L	B
416	L	B
417	L	B

Tabella 5. Vincoli esterni del Modello FEM.

I cinematismi di controllo, in corrispondenza dei quali vengono monitorate le storie temporali, sono di seguito riportati:

ID Nodo	Target in X	Target in Z
1	SI	NO
2	NO	NO
3	NO	NO
4	NO	NO
5	NO	NO
6	NO	NO
7	NO	NO
8	NO	NO
9	NO	NO
10	NO	NO
11	NO	NO
12	NO	NO
13	NO	NO
14	NO	NO
15	NO	NO
16	NO	NO
17	NO	NO
18	NO	NO
19	NO	NO
20	NO	NO
21	NO	NO
22	NO	NO
23	NO	NO
24	NO	NO
25	NO	NO
26	NO	NO
27	NO	NO
28	NO	NO
29	NO	NO
30	NO	NO
31	NO	NO
32	NO	NO
33	NO	NO
34	NO	NO
35	NO	NO
36	NO	NO
37	NO	NO
38	NO	NO
39	NO	NO
40	NO	NO
41	NO	NO

42	NO	NO
43	NO	NO
44	NO	NO
45	NO	NO
46	NO	NO
47	NO	NO
48	NO	NO
49	NO	NO
50	NO	NO
51	NO	NO
52	NO	NO
53	NO	NO
54	NO	NO
55	NO	NO
56	NO	NO
57	NO	NO
58	NO	NO
59	NO	NO
60	NO	NO
61	NO	NO
62	NO	NO
63	NO	NO
64	NO	NO
65	NO	NO
66	NO	NO
67	NO	NO
68	NO	NO
69	NO	NO
70	NO	NO
71	NO	NO
72	NO	NO
73	NO	NO
74	NO	NO
75	NO	NO
76	NO	NO
77	NO	NO
78	NO	NO
79	NO	NO
80	NO	NO
81	NO	NO
82	NO	NO
83	NO	NO
84	NO	NO
85	NO	NO
86	NO	NO
87	NO	NO
88	NO	NO
89	NO	NO
90	NO	NO
91	NO	NO
92	NO	NO
93	NO	NO
94	NO	NO
95	NO	NO
96	NO	NO

97	NO	NO
98	NO	NO
99	NO	NO
100	NO	NO
101	NO	NO
102	NO	NO
103	NO	NO
104	NO	NO
105	NO	NO
106	NO	NO
107	NO	NO
108	NO	NO
109	NO	NO
110	NO	NO
111	NO	NO
112	NO	NO
113	NO	NO
114	NO	NO
115	NO	NO
116	NO	NO
117	NO	NO
118	NO	NO
119	NO	NO
120	NO	NO
121	NO	NO
122	NO	NO
123	NO	NO
124	NO	NO
125	NO	NO
126	NO	NO
127	NO	NO
128	NO	NO
129	NO	NO
130	NO	NO
131	NO	NO
132	NO	NO
133	NO	NO
134	NO	NO
135	NO	NO
136	NO	NO
137	NO	NO
138	NO	NO
139	NO	NO
140	NO	NO
141	NO	NO
142	NO	NO
143	NO	NO
144	NO	NO
145	NO	NO
146	NO	NO
147	NO	NO
148	NO	NO
149	NO	NO
150	NO	NO
151	NO	NO

152	NO	NO
153	NO	NO
154	NO	NO
155	NO	NO
156	NO	NO
157	NO	NO
158	NO	NO
159	NO	NO
160	NO	NO
161	NO	NO
162	NO	NO
163	NO	NO
164	NO	NO
165	NO	NO
166	NO	NO
167	NO	NO
168	NO	NO
169	NO	NO
170	NO	NO
171	NO	NO
172	NO	NO
173	NO	NO
174	NO	NO
175	NO	NO
176	NO	NO
177	NO	NO
178	NO	NO
179	NO	NO
180	NO	NO
181	NO	NO
182	NO	NO
183	NO	NO
184	NO	NO
185	NO	NO
186	NO	NO
187	NO	NO
188	NO	NO
189	NO	NO
190	NO	NO
191	NO	NO
192	NO	NO
193	NO	NO
194	NO	NO
195	NO	NO
196	NO	NO
197	NO	NO
198	NO	NO
199	NO	NO
200	NO	NO
201	NO	NO
202	NO	NO
203	NO	NO
204	NO	NO
205	NO	NO
206	NO	NO

207	NO	NO
208	NO	NO
209	NO	NO
210	NO	NO
211	NO	NO
212	NO	NO
213	NO	NO
214	NO	NO
215	NO	NO
216	NO	NO
217	NO	NO
218	NO	NO
219	NO	NO
220	NO	NO
221	NO	NO
222	NO	NO
223	NO	NO
224	NO	NO
225	NO	NO
226	NO	NO
227	NO	NO
228	NO	NO
229	NO	NO
230	NO	NO
231	NO	NO
232	NO	NO
233	NO	NO
234	NO	NO
235	NO	NO
236	NO	NO
237	NO	NO
238	NO	NO
239	NO	NO
240	NO	NO
241	NO	NO
242	NO	NO
243	NO	NO
244	NO	NO
245	NO	NO
246	NO	NO
247	NO	NO
248	NO	NO
249	NO	NO
250	NO	NO
251	NO	NO
252	NO	NO
253	NO	NO
254	NO	NO
255	NO	NO
256	NO	NO
257	NO	NO
258	NO	NO
259	NO	NO
260	NO	NO
261	NO	NO

262	NO	NO
263	NO	NO
264	NO	NO
265	NO	NO
266	NO	NO
267	NO	NO
268	NO	NO
269	NO	NO
270	NO	NO
271	NO	NO
272	NO	NO
273	NO	NO
274	NO	NO
275	NO	NO
276	NO	NO
277	NO	NO
278	NO	NO
279	NO	NO
280	NO	NO
281	NO	NO
282	NO	NO
283	NO	NO
284	NO	NO
285	NO	NO
286	NO	NO
287	NO	NO
288	NO	NO
289	NO	NO
290	NO	NO
291	NO	NO
292	NO	NO
293	NO	NO
294	NO	NO
295	NO	NO
296	NO	NO
297	NO	NO
298	NO	NO
299	NO	NO
300	NO	NO
301	NO	NO
302	NO	NO
303	NO	NO
304	NO	NO
305	NO	NO
306	NO	NO
307	NO	NO
308	NO	NO
309	NO	NO
310	NO	NO
311	NO	NO
312	NO	NO
313	NO	NO
314	NO	NO
315	NO	NO
316	NO	NO

317	NO	NO
318	NO	NO
319	NO	NO
320	NO	NO
321	NO	NO
322	NO	NO
323	NO	NO
324	NO	NO
325	NO	NO
326	NO	NO
327	NO	NO
328	NO	NO
329	NO	NO
330	NO	NO
331	NO	NO
332	NO	NO
333	NO	NO
334	NO	NO
335	NO	NO
336	NO	NO
337	NO	NO
338	NO	NO
339	NO	NO
340	NO	NO
341	NO	NO
342	NO	NO
343	NO	NO
344	NO	NO
345	NO	NO
346	NO	NO
347	NO	NO
348	NO	NO
349	NO	NO
350	NO	NO
351	NO	NO
352	NO	NO
353	NO	NO
354	NO	NO
355	NO	NO
356	NO	NO
357	NO	NO
358	NO	NO
359	NO	NO
360	NO	NO
361	NO	NO
362	NO	NO
363	NO	NO
364	NO	NO
365	NO	NO
366	NO	NO
367	NO	NO
368	NO	NO
369	NO	NO
370	NO	NO
371	NO	NO

372	NO	NO
373	NO	NO
374	NO	NO
375	NO	NO
376	NO	NO
377	NO	NO
378	NO	NO
379	NO	NO
380	NO	NO
381	NO	NO
382	NO	NO
383	NO	NO
384	NO	NO
385	NO	NO
386	NO	NO
387	NO	NO
388	NO	NO
389	NO	NO
390	NO	NO
391	NO	NO
392	NO	NO
393	NO	NO
394	NO	NO
395	NO	NO
396	NO	NO
397	NO	NO
398	NO	NO
399	NO	NO
400	NO	NO
401	NO	NO
402	NO	NO
403	NO	NO
404	NO	NO
405	NO	NO
406	NO	NO
407	NO	NO
408	NO	NO
409	NO	NO
410	NO	NO
411	NO	NO
412	NO	NO
413	NO	NO
414	NO	NO
415	NO	NO
416	NO	NO
417	NO	NO

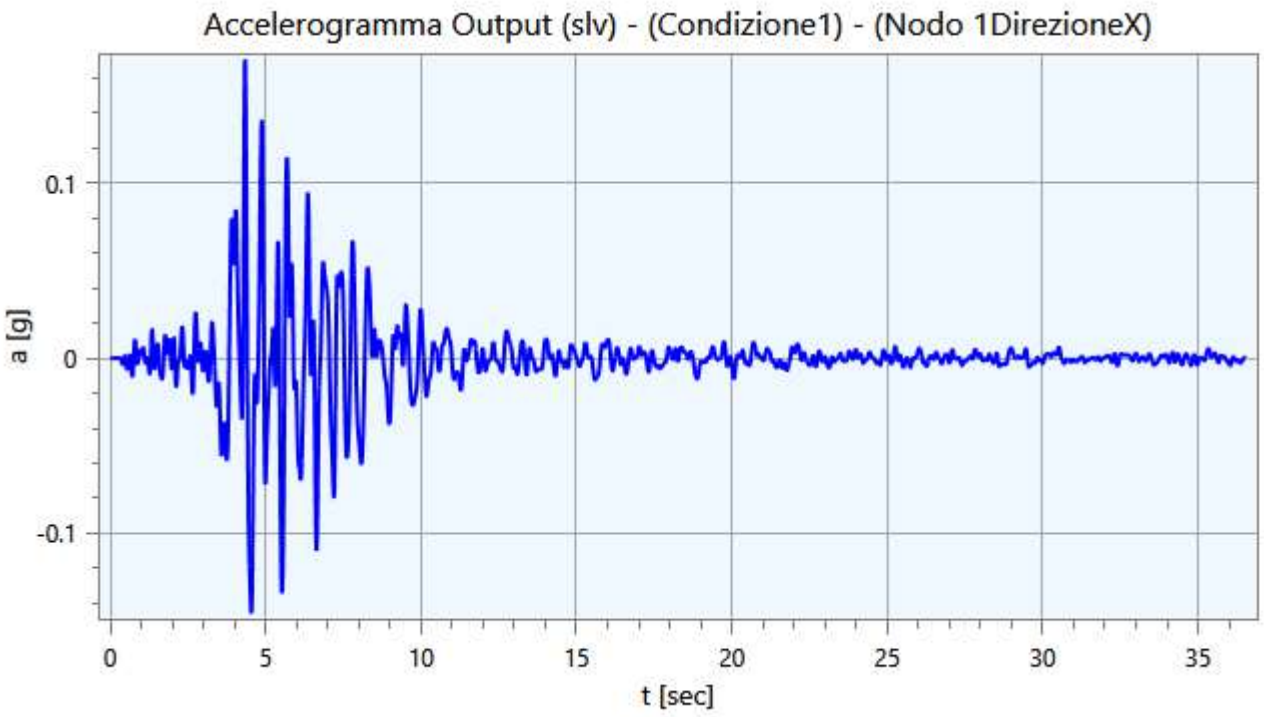
Tabella 6. Cinematismi di controllo.

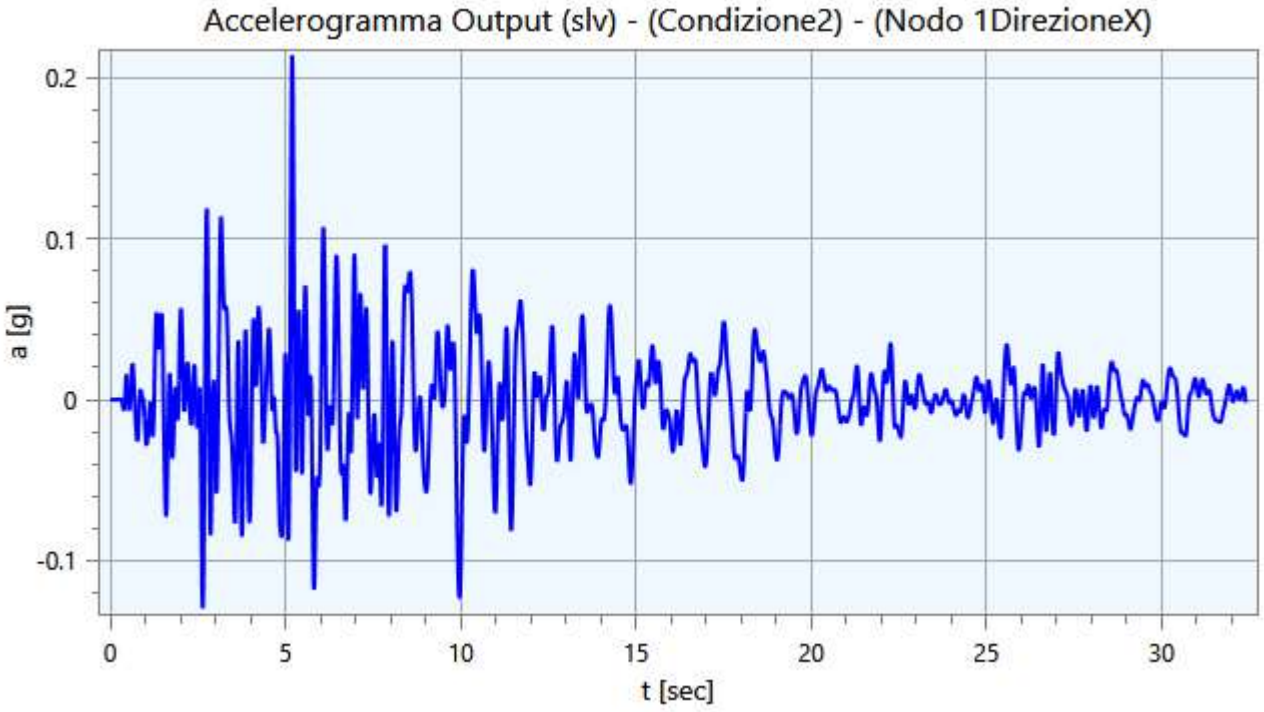
5 - Output

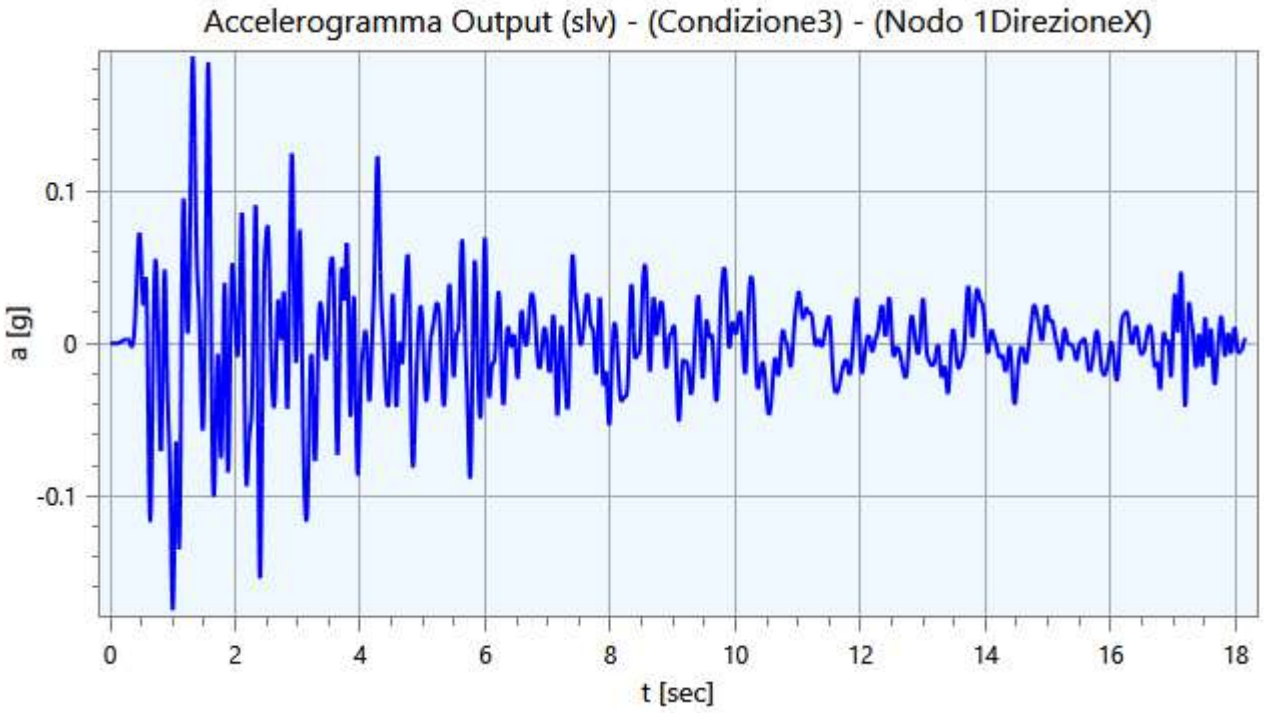
Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai risultati del calcolo.

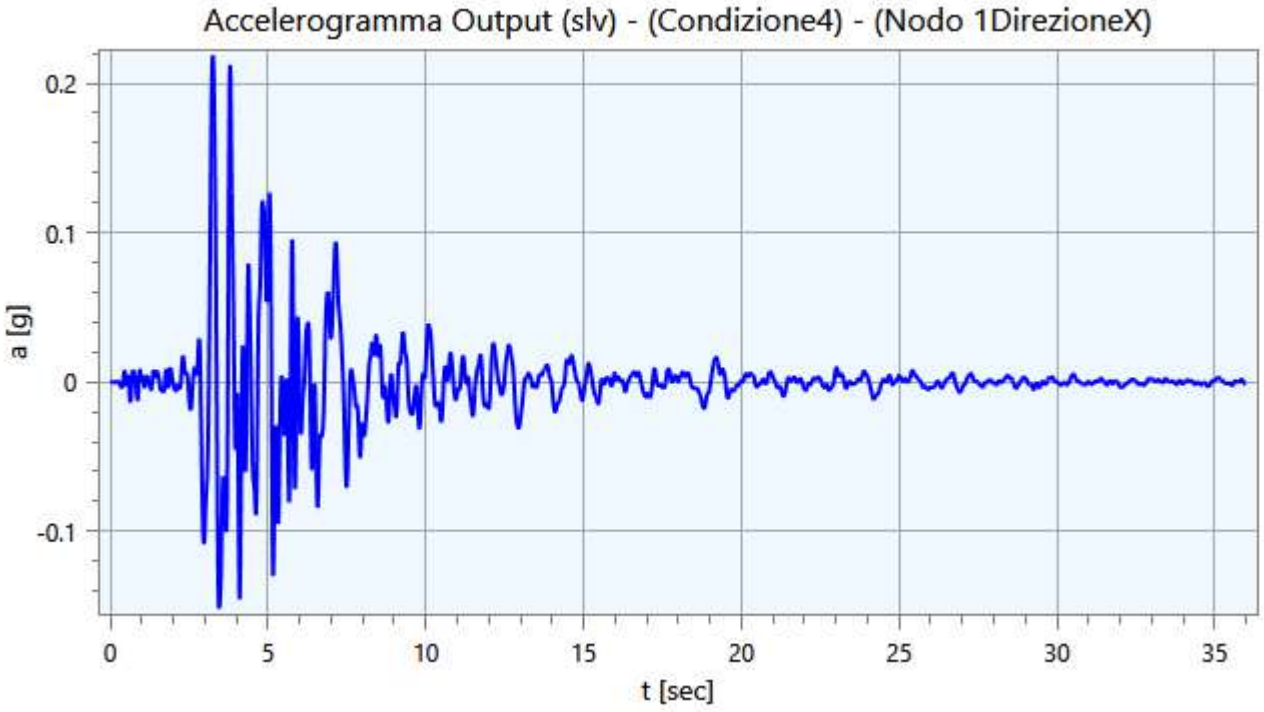
5.1 - Accelerogrammi Output

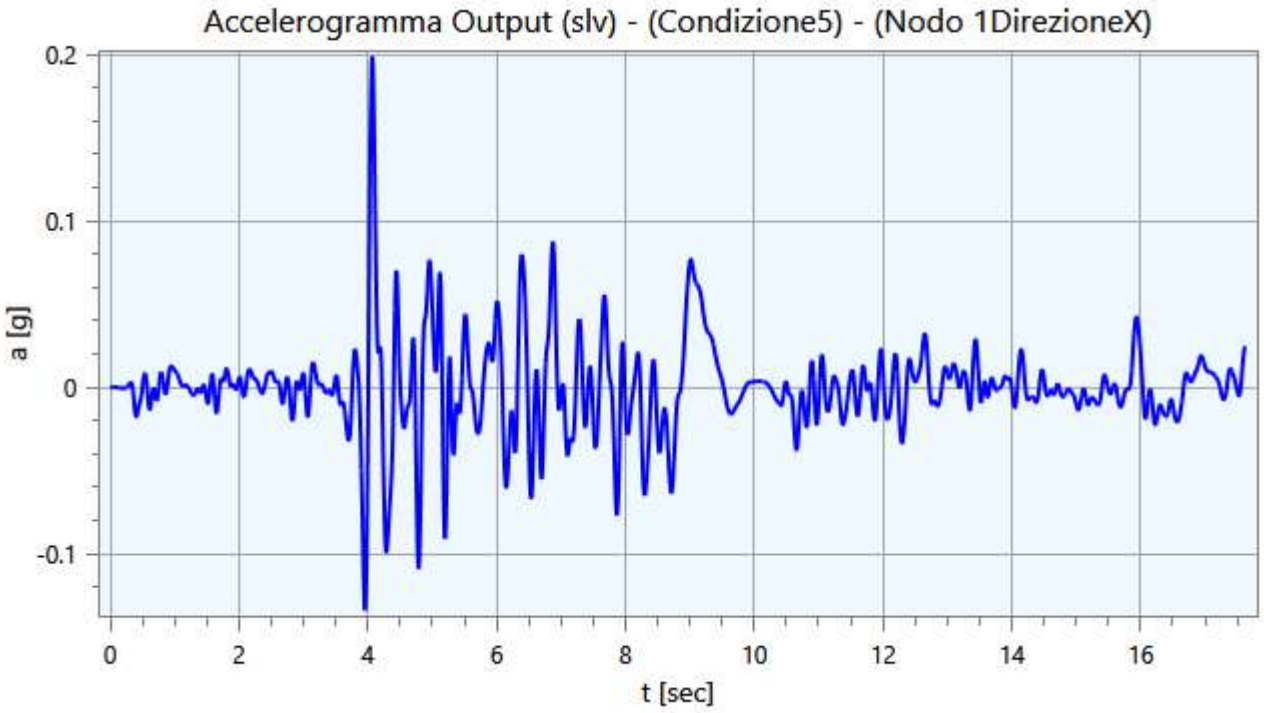
Di seguito vengono riportati gli accelerogrammi relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

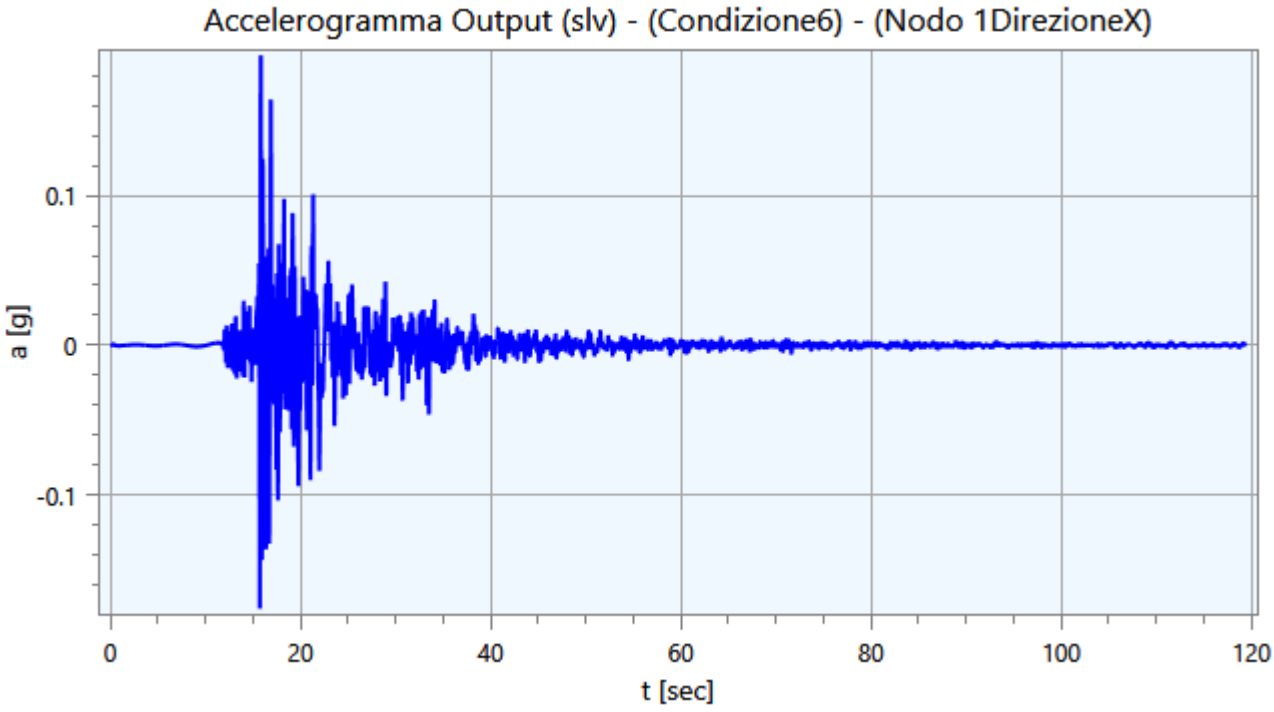


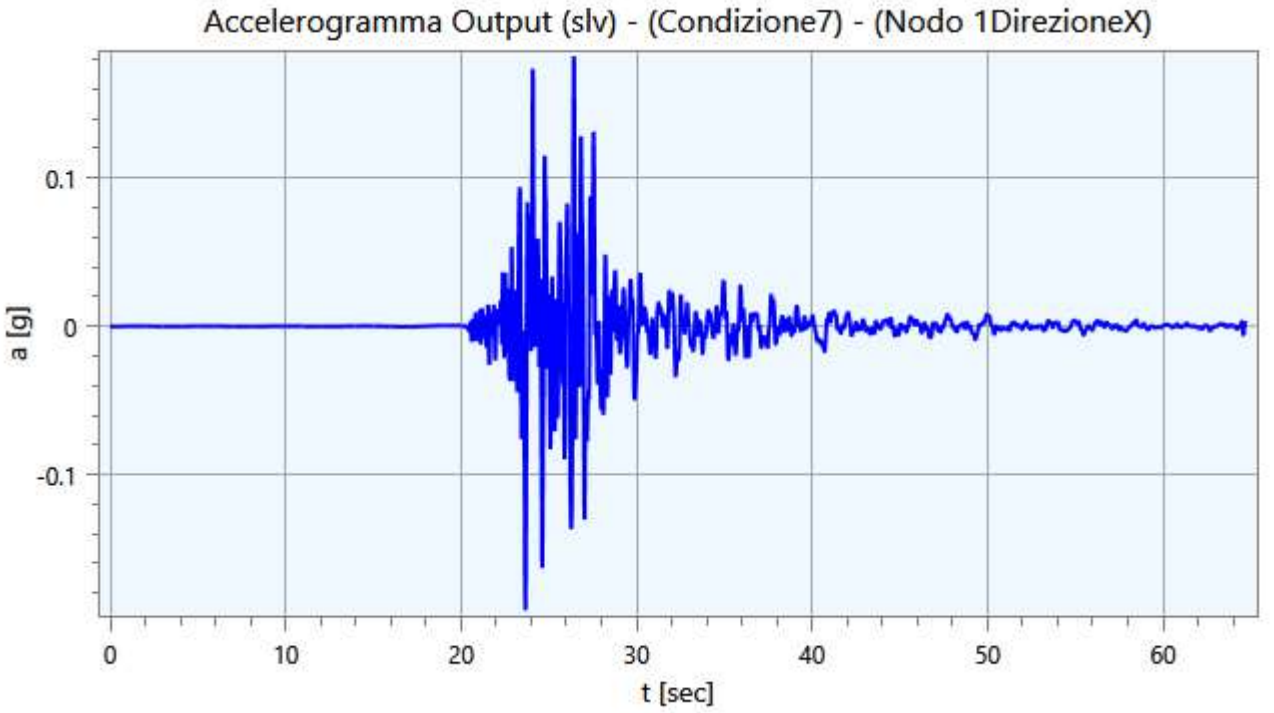

Accelerogramma Output (slv) - (Condizione2) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.2
0.1
0
-0.1
0
5
10
15
20
25
30
t [sec]

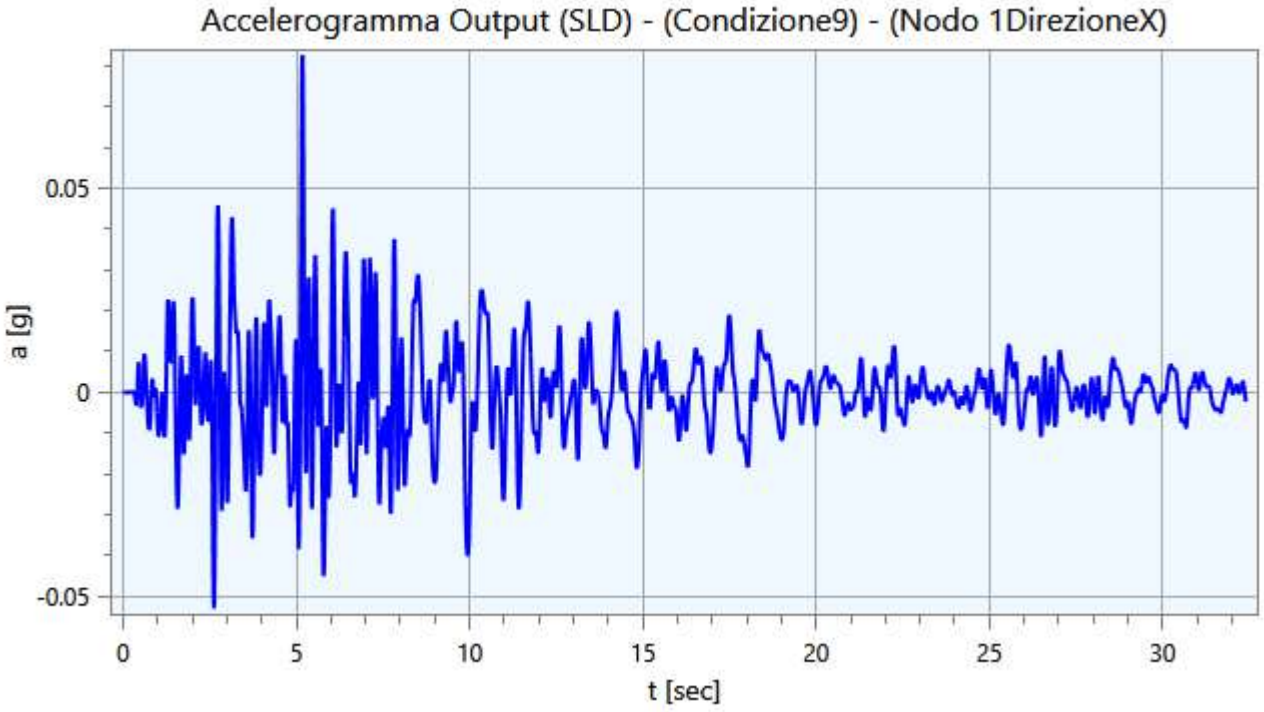

Accelerogramma Output (slv) - (Condizione3) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.1
0
-0.1
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
t [sec]

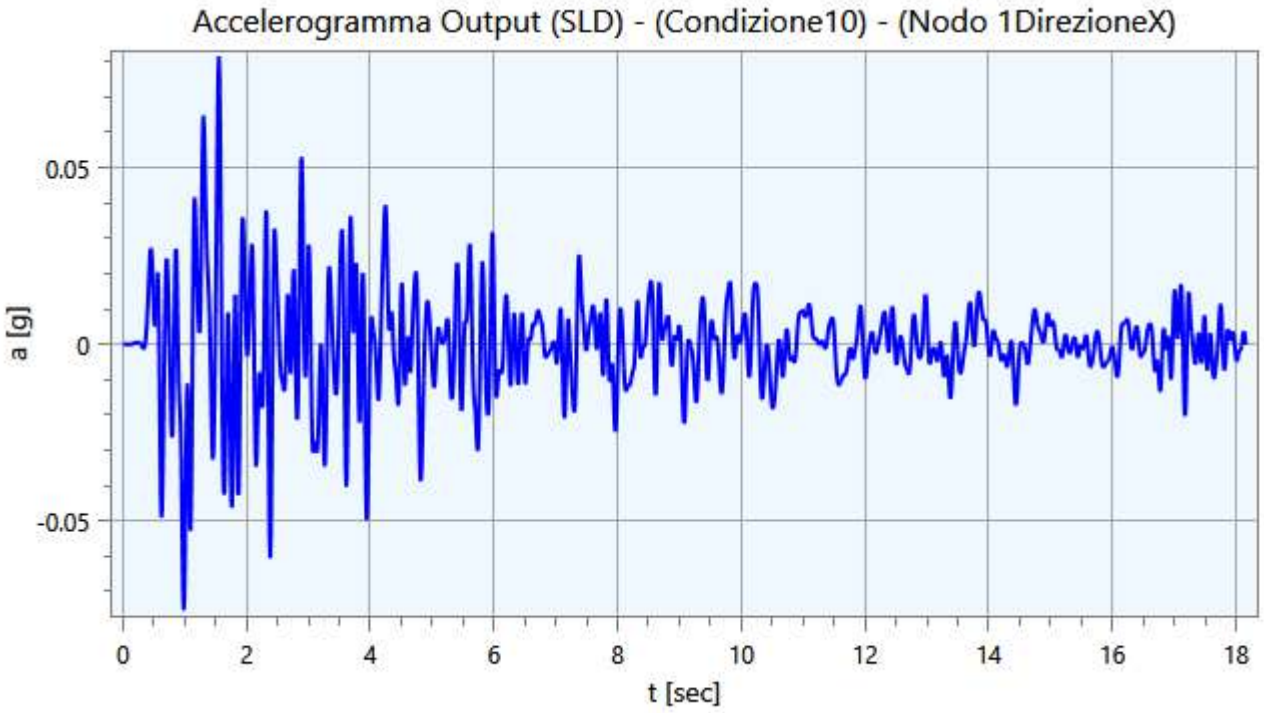

Accelerogramma Output (slv) - (Condizione4) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.2
0.1
0
-0.1
0
5
10
15
20
25
30
35
t [sec]

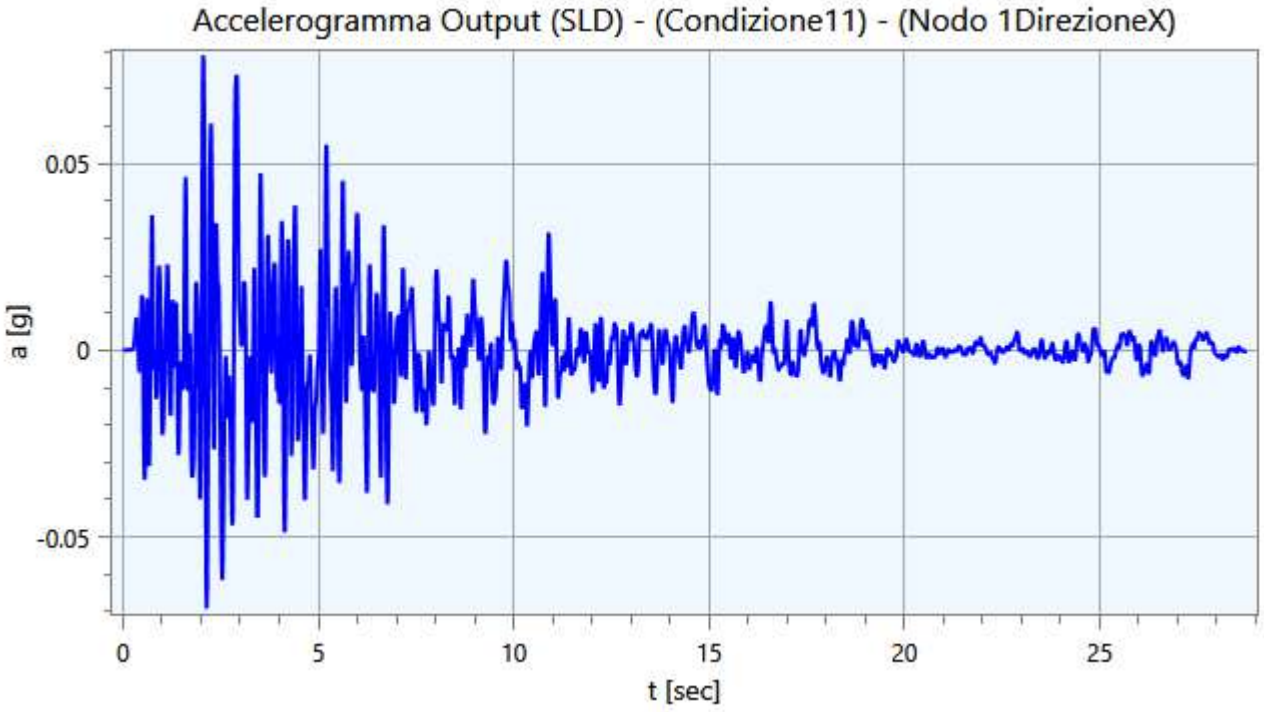

Accelerogramma Output (slv) - (Condizione5) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.2
0.1
0
-0.1
0
2
4
6
8
10
12
14
16
t [sec]

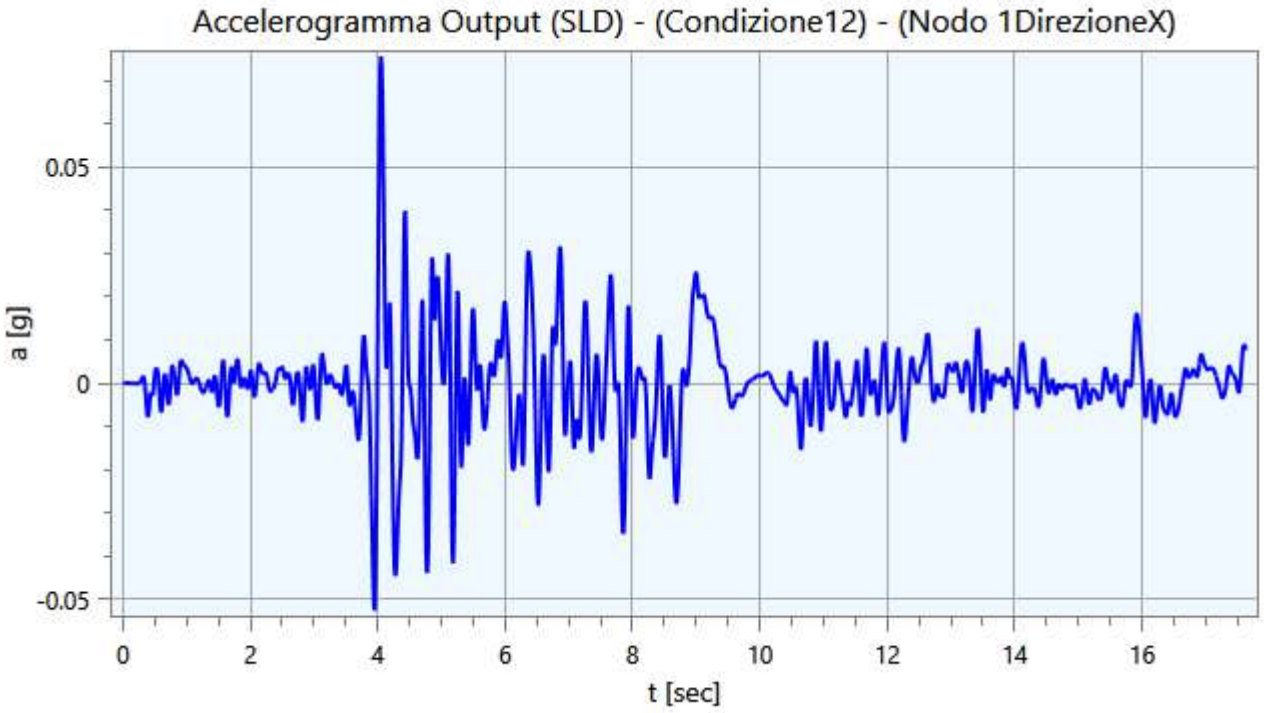

Accelerogramma Output (slv) - (Condizione6) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.1
0
-0.1
0
20
40
60
80
100
120
t [sec]

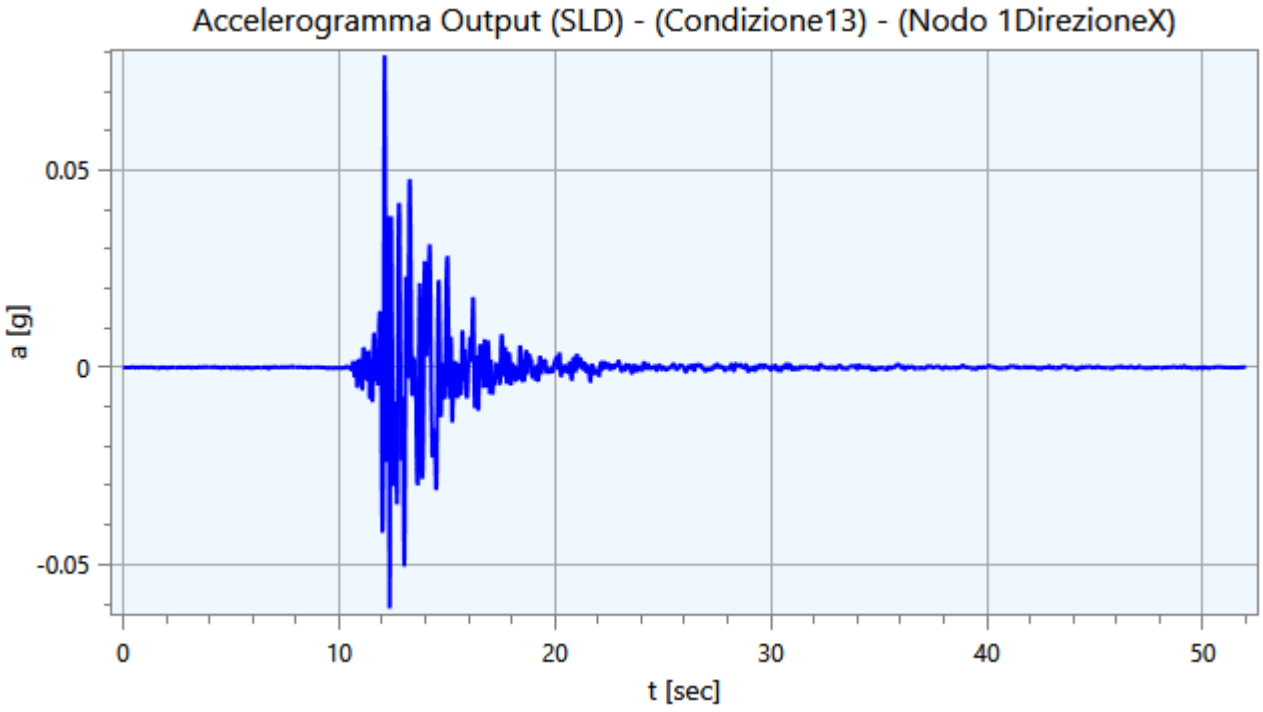

Accelerogramma Output (slv) - (Condizione7) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.1
0
-0.1
0
10
20
30
40
50
60
t [sec]

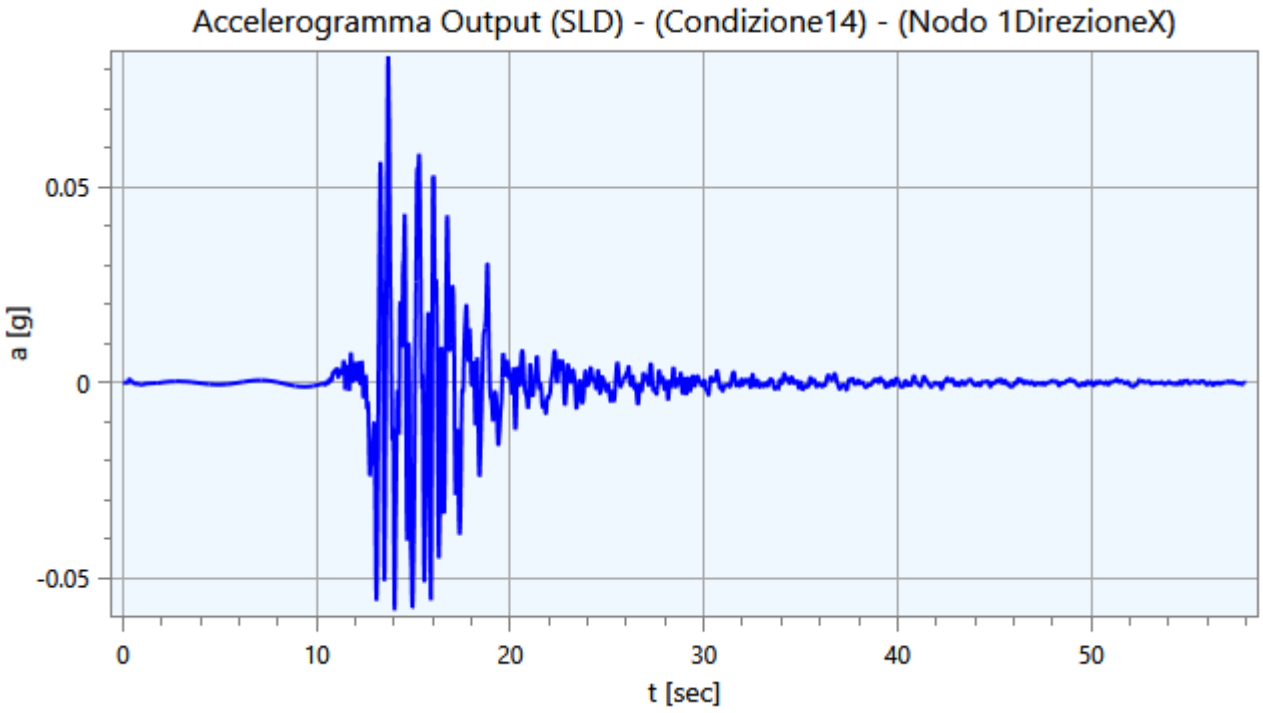

Accelerogramma Output (SLD) - (Condizione9) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.05
0
-0.05
0
5
10
15
20
25
30
t [sec]

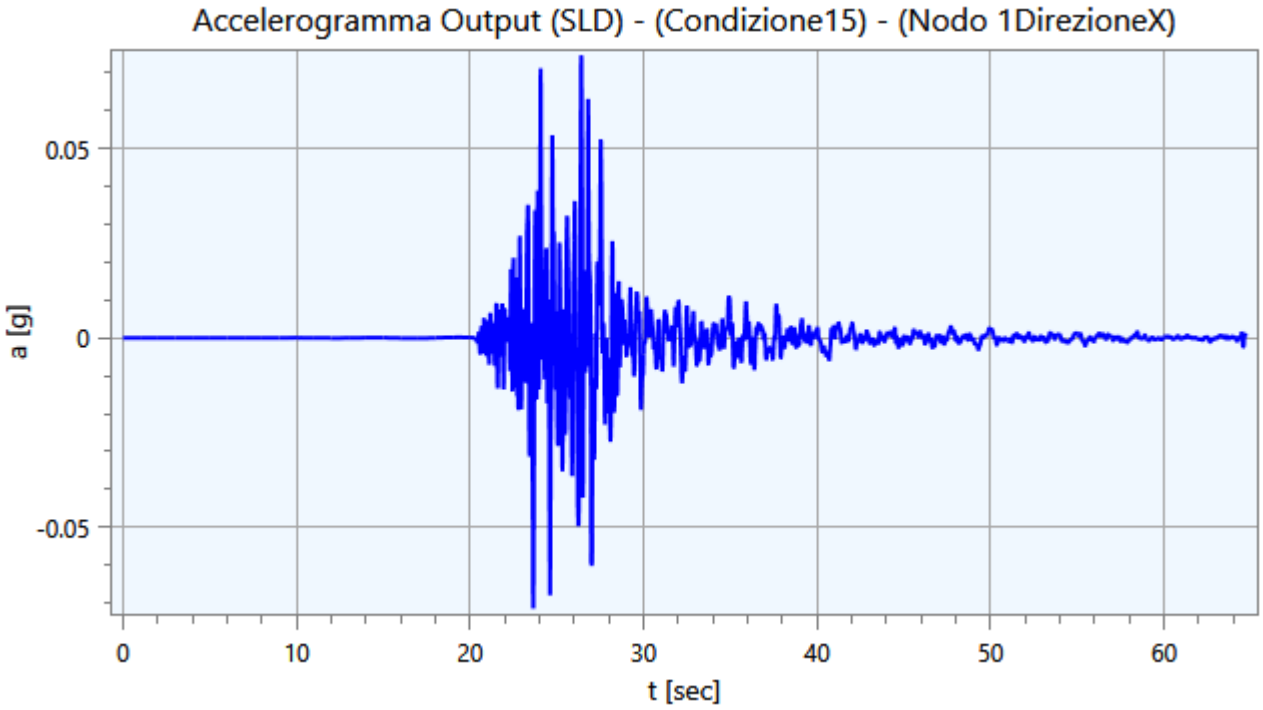

Accelerogramma Output (SLD) - (Condizione10) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.05
0
-0.05
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
t [sec]


Accelerogramma Output (SLD) - (Condizione11) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.05
0
-0.05
0
5
10
15
20
25
t [sec]


Accelerogramma Output (SLD) - (Condizione12) - (Nodo 1DirezioneX)
a [g]
0.05
0
-0.05
0
2
4
6
8
10
12
14
16
t [sec]

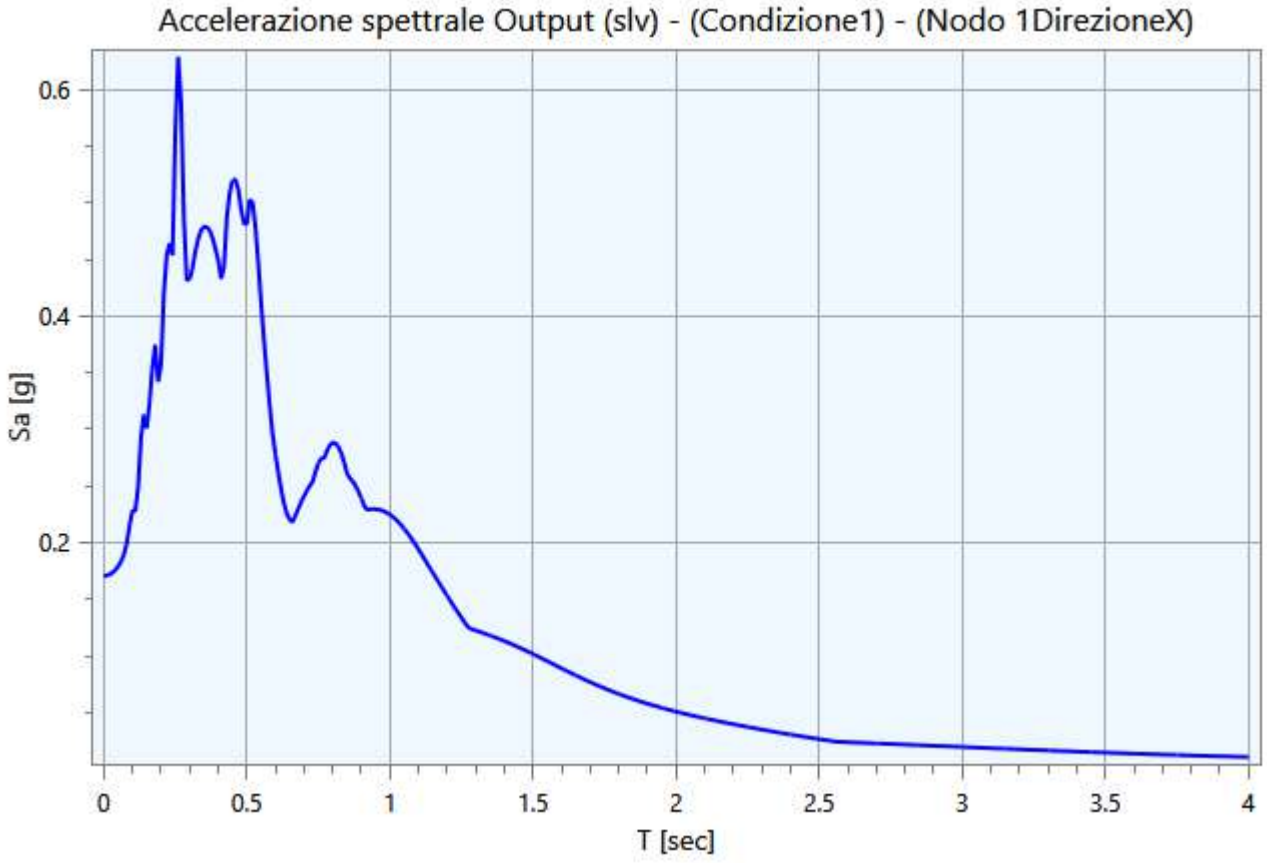

Accelerogramma Output (SLD) - (Condizione13) - (Nodo 1DirezioneX)
0.05
0
-0.05
a [g]
0
10
20
30
40
50
t [sec]

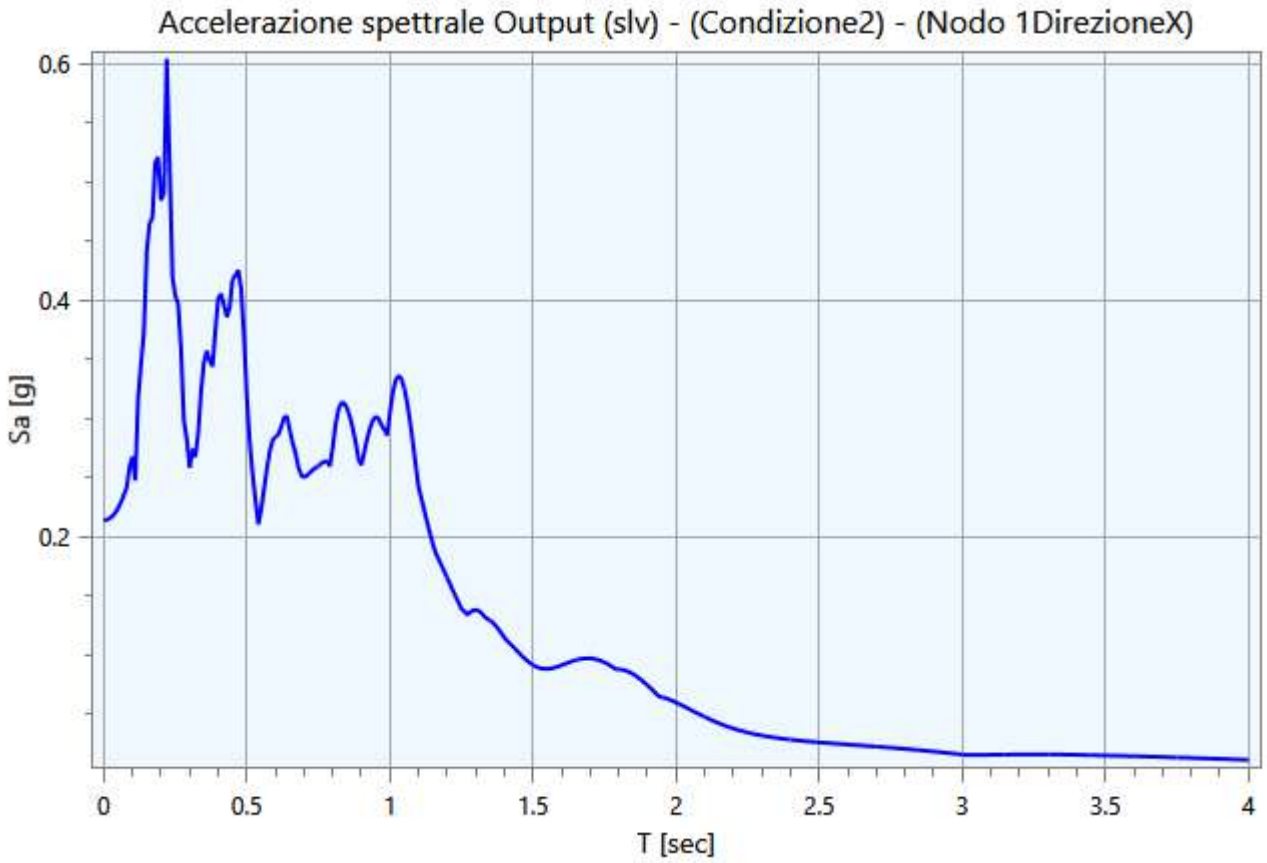

Accelerogramma Output (SLD) - (Condizione14) - (Nodo 1DirezioneX)
0.05
0
-0.05
a [g]
0
10
20
30
40
50
t [sec]

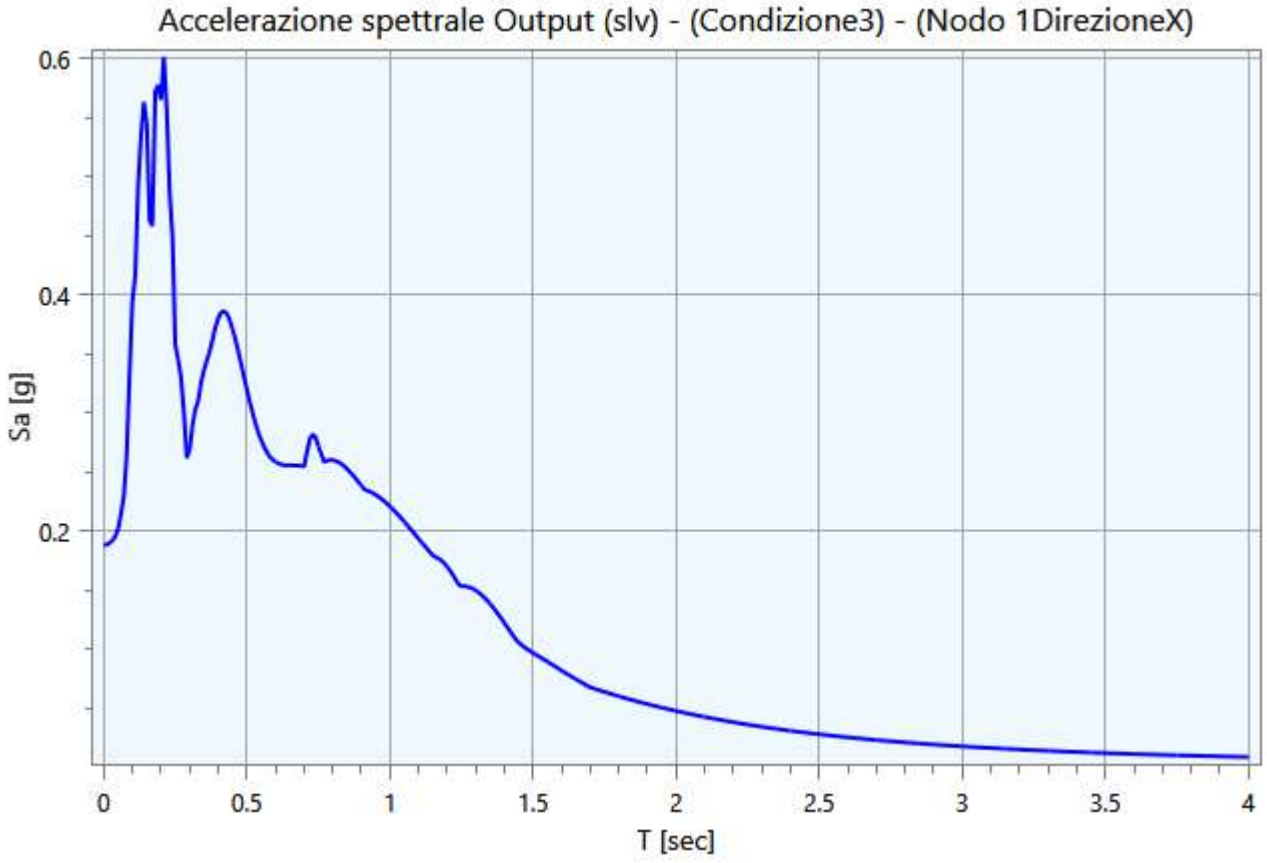


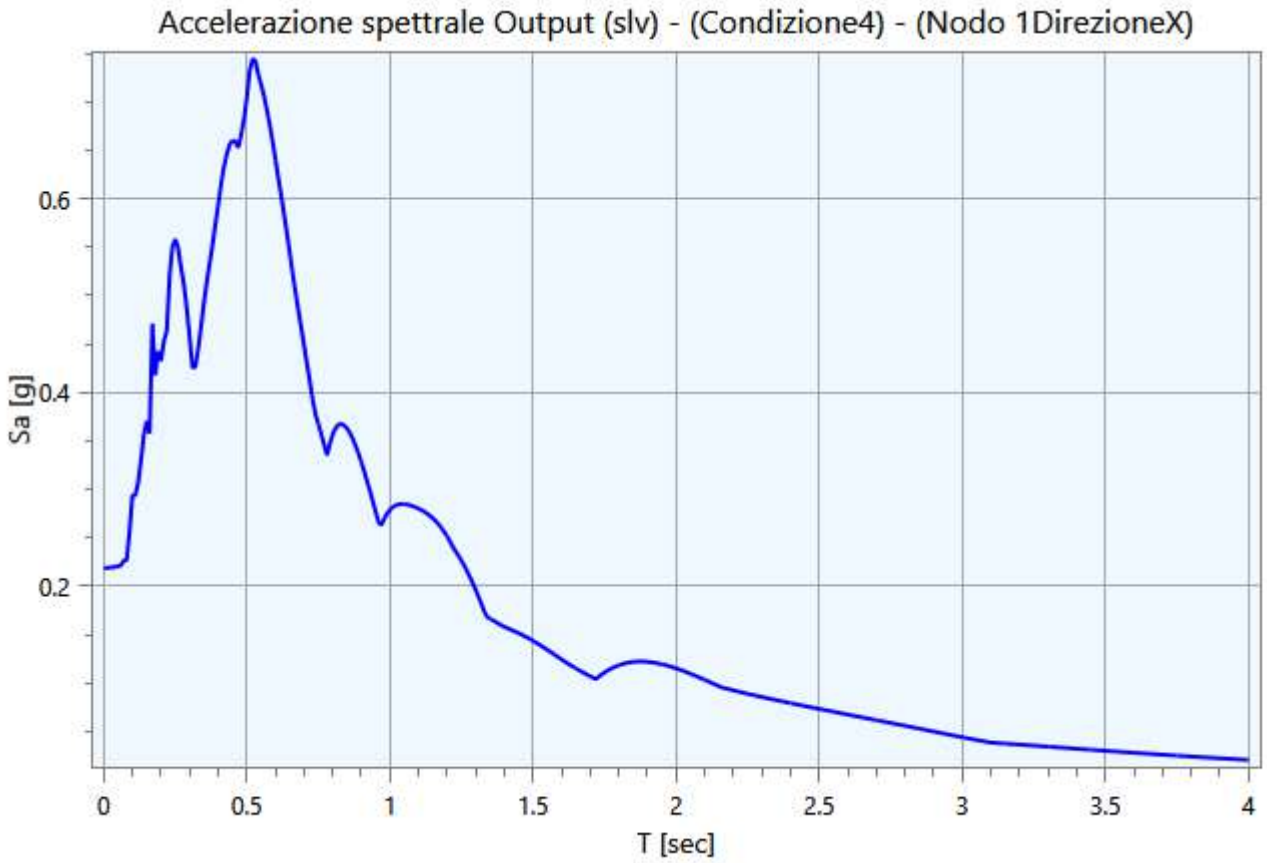
5.2 - Spettri Output

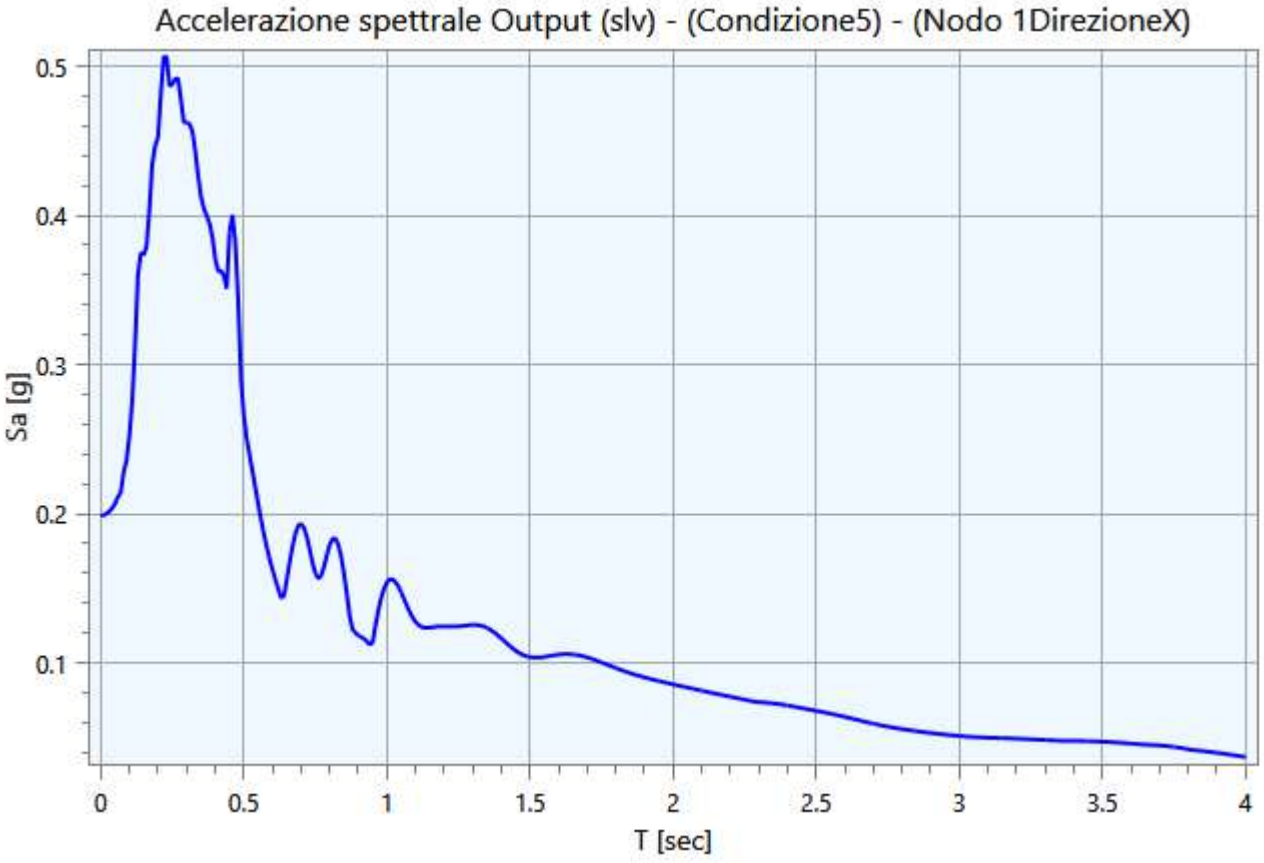
Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

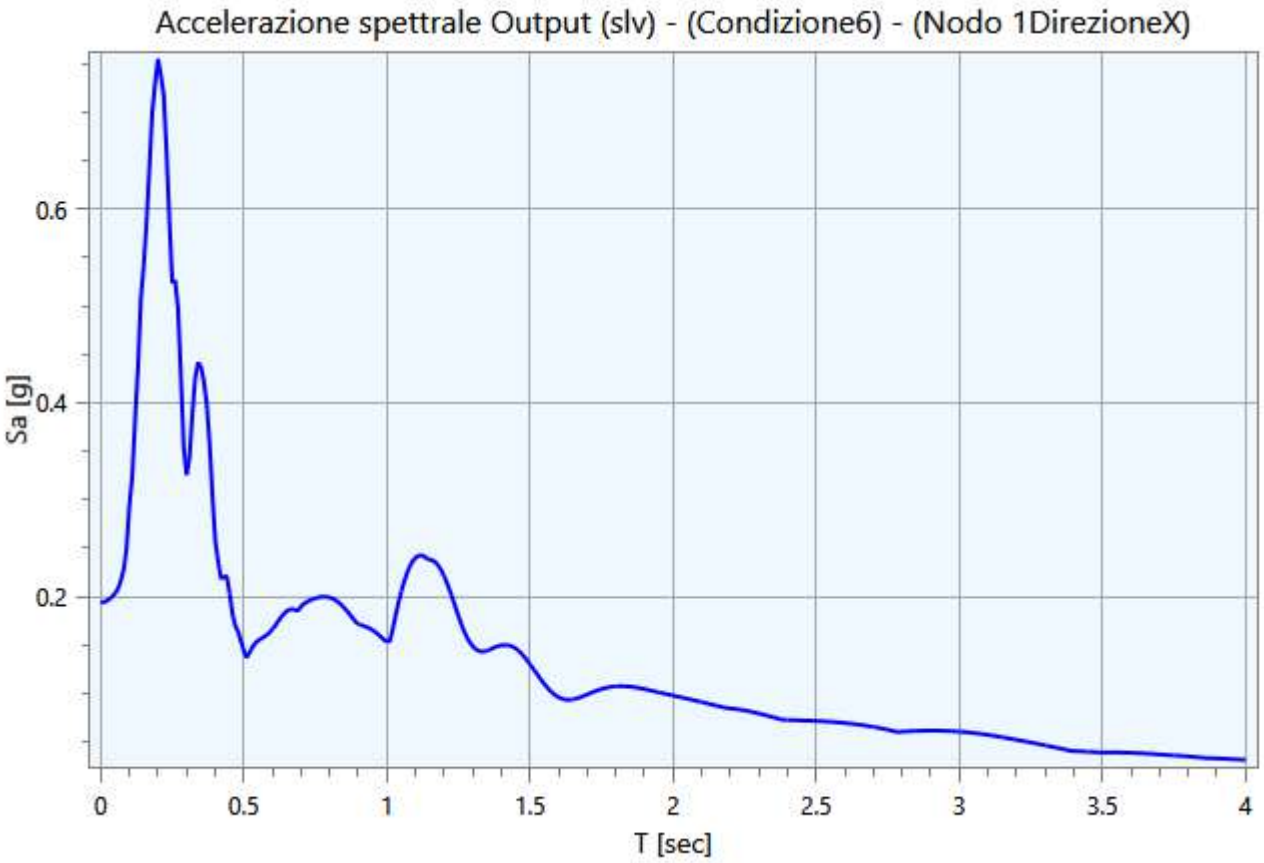

Accelerazione spettrale Output (slv) - (Condizione1) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.6
0.4
0.2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

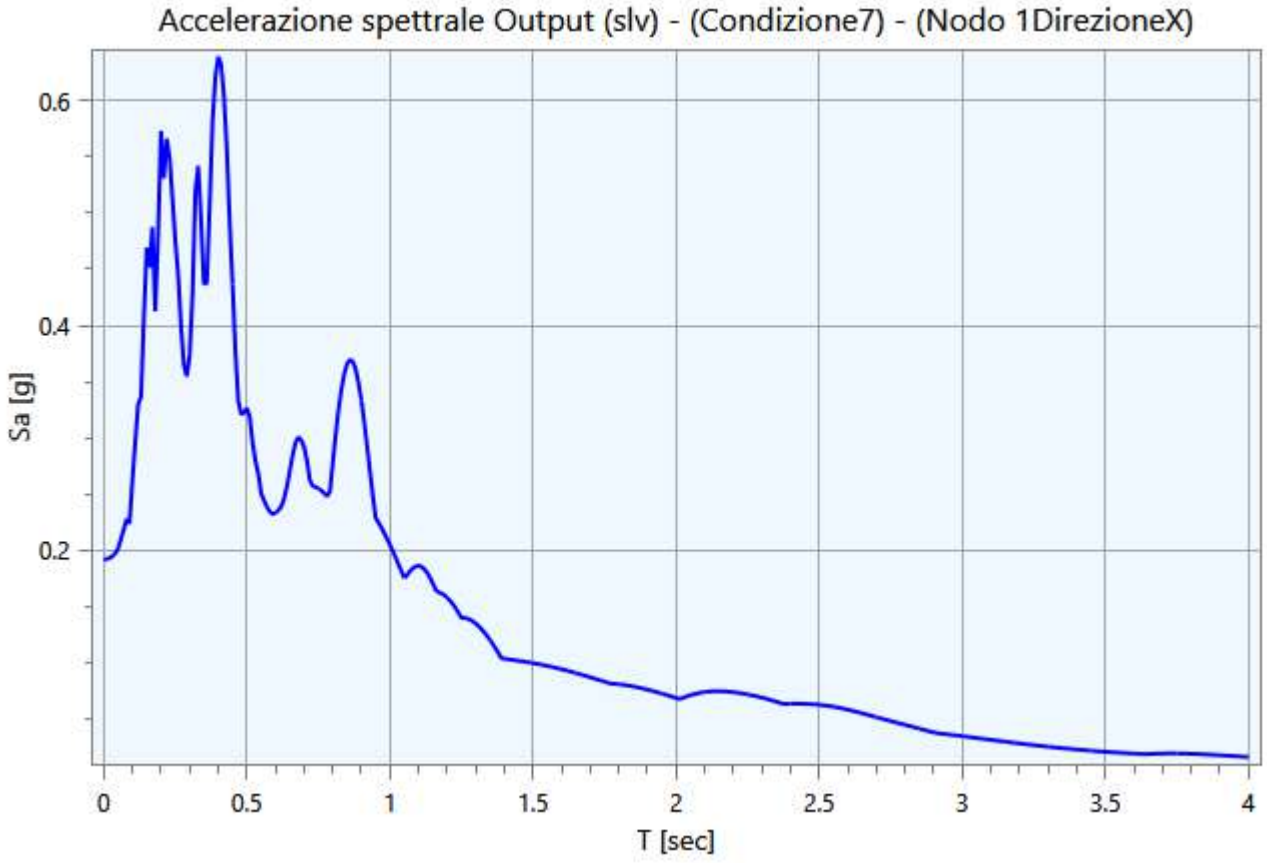

Accelerazione spettrale Output (slv) - (Condizione2) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.6
0.4
0.2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

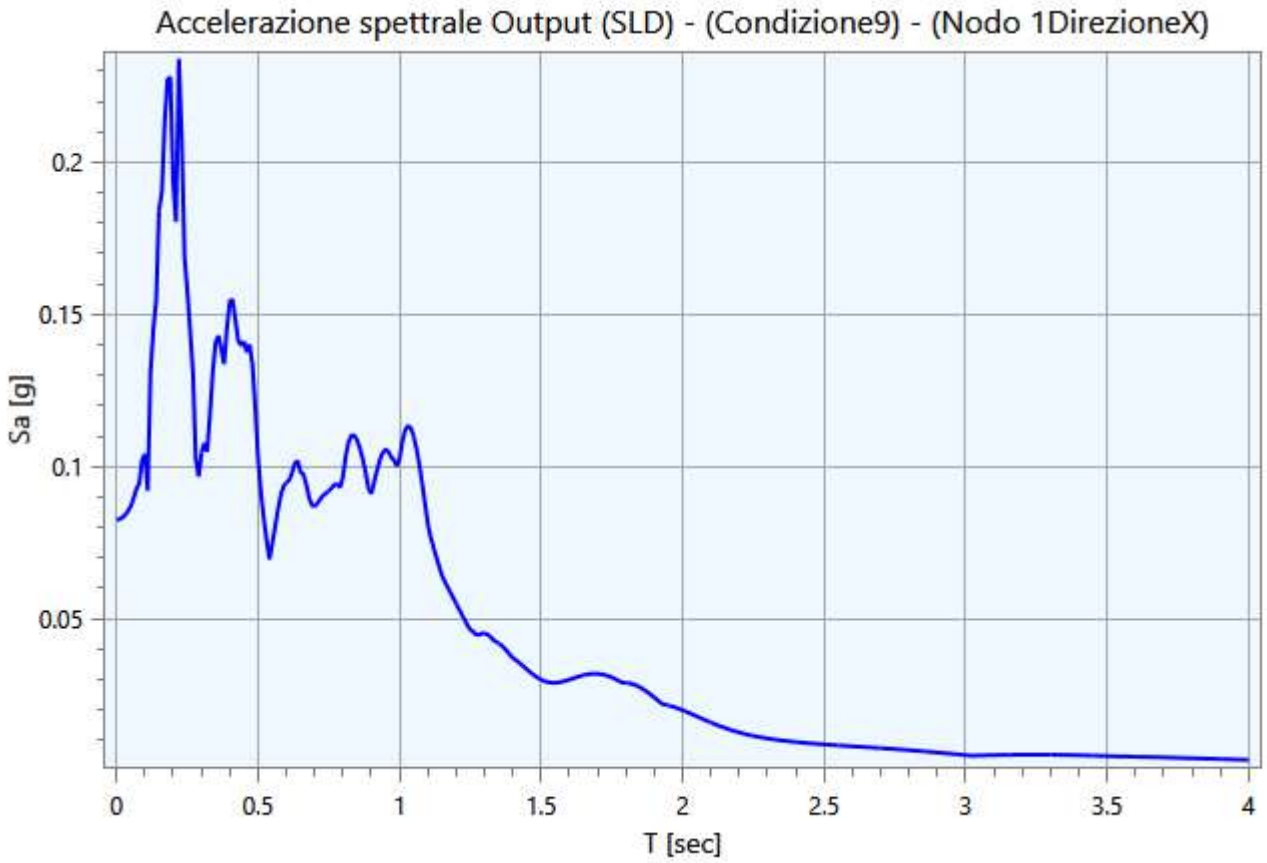

Accelerazione spettrale Output (slv) - (Condizione3) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.6
0.4
0.2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

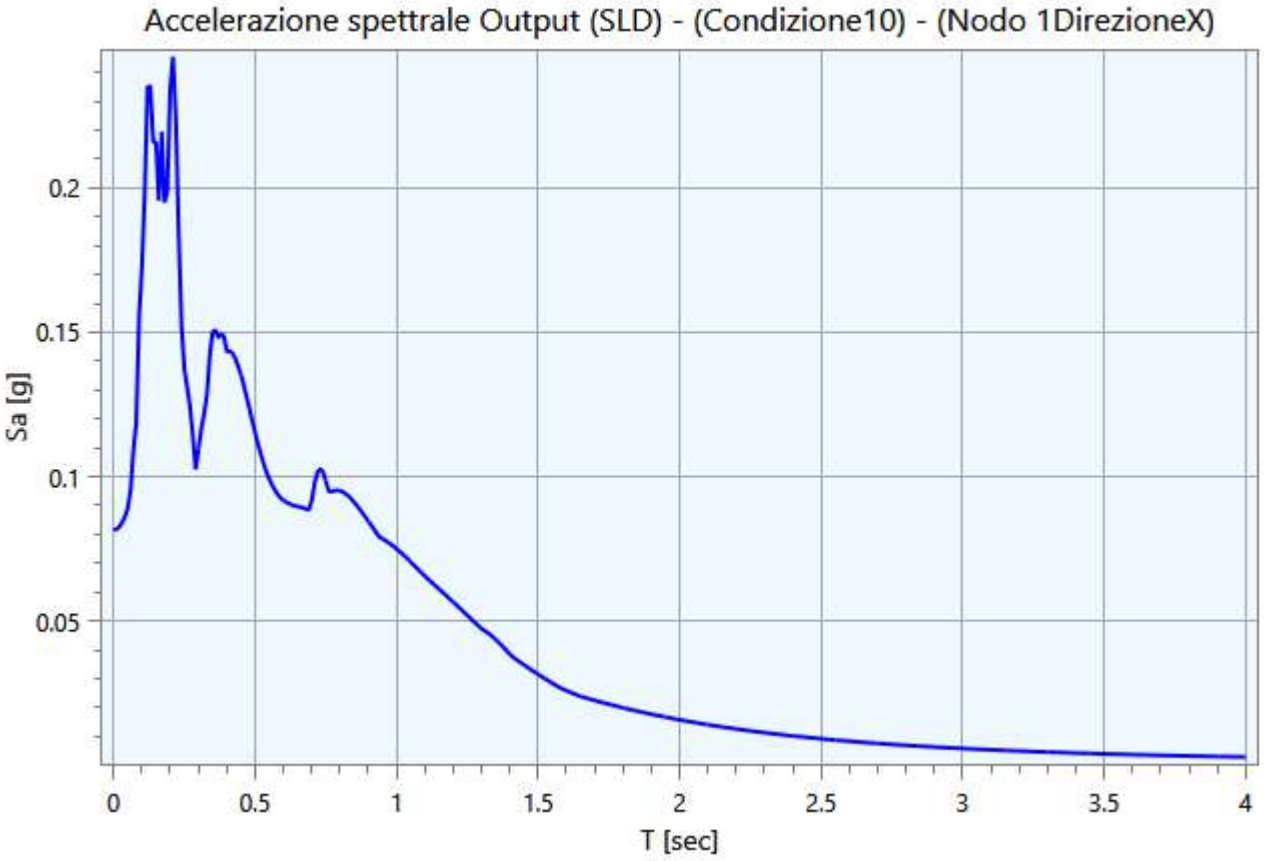

Accelerazione spettrale Output (slv) - (Condizione4) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.6
0.4
0.2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

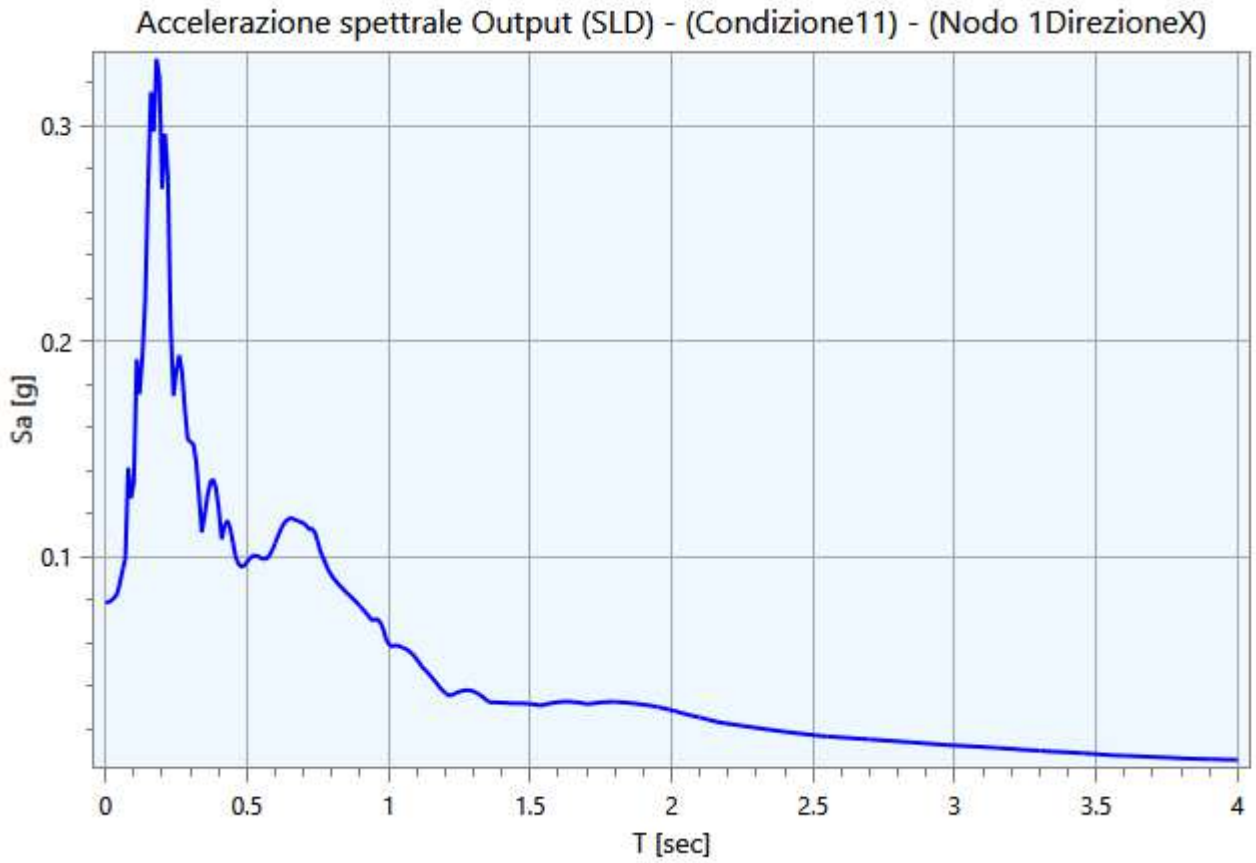

Accelerazione spettrale Output (slv) - (Condizione5) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

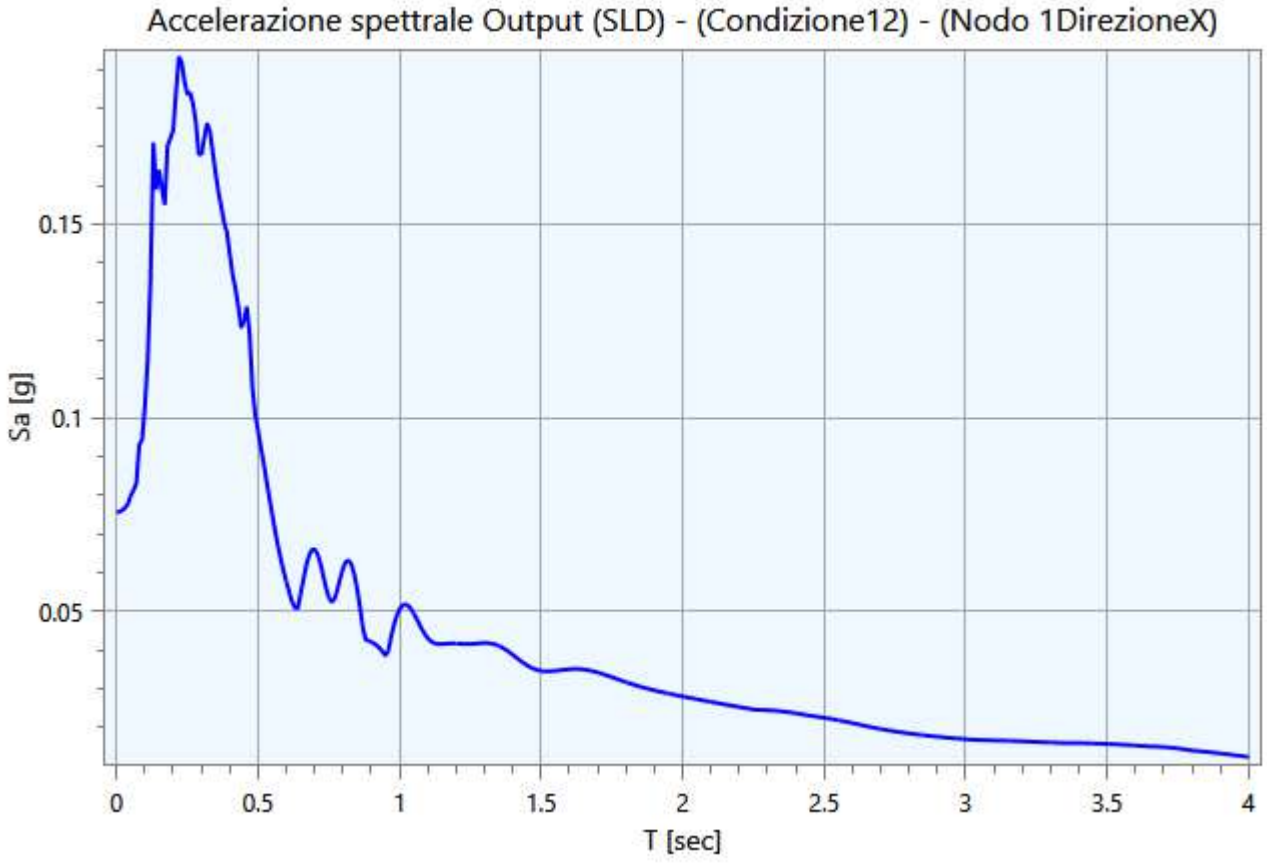

Accelerazione spettrale Output (slv) - (Condizione6) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.6
0.4
0.2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

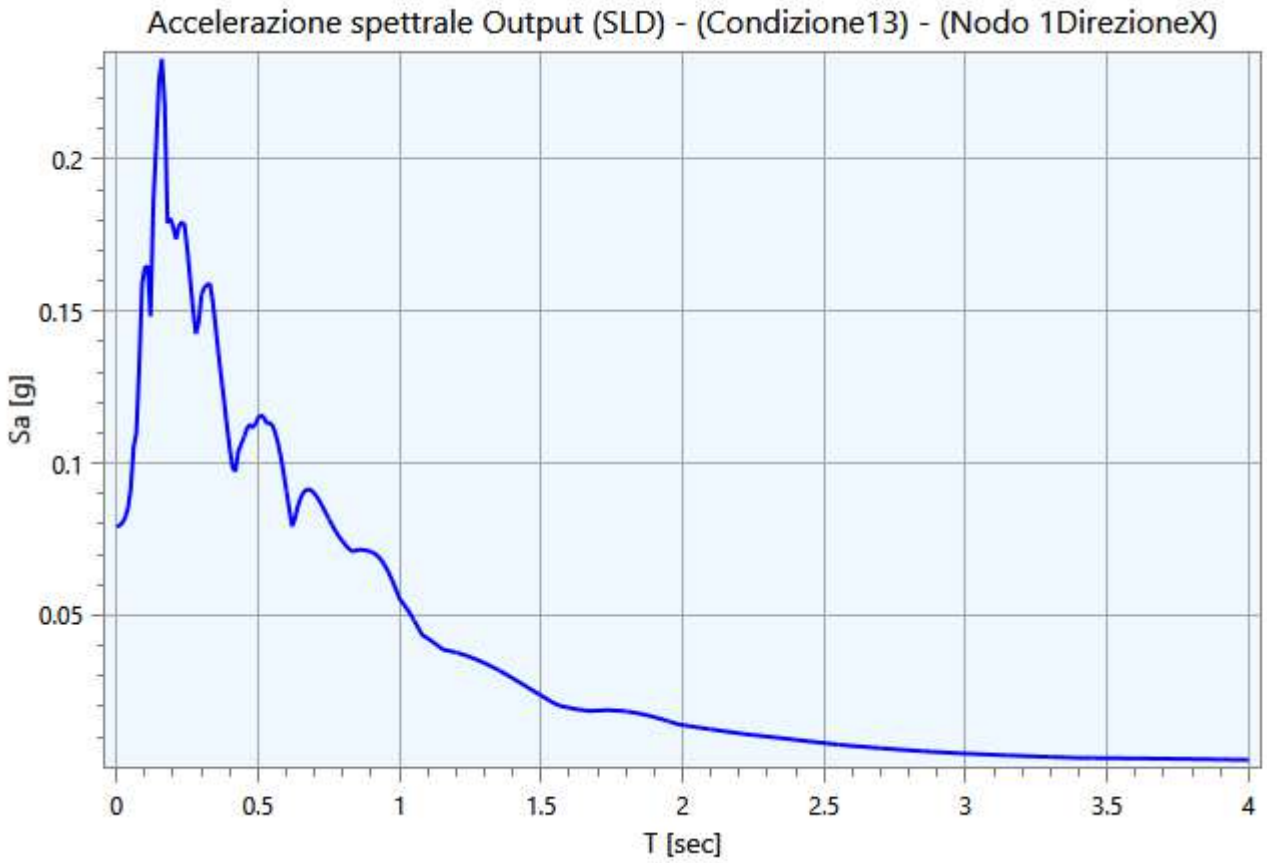

Accelerazione spettrale Output (slv) - (Condizione7) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.6
0.4
0.2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]


Accelerazione spettrale Output (SLD) - (Condizione9) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

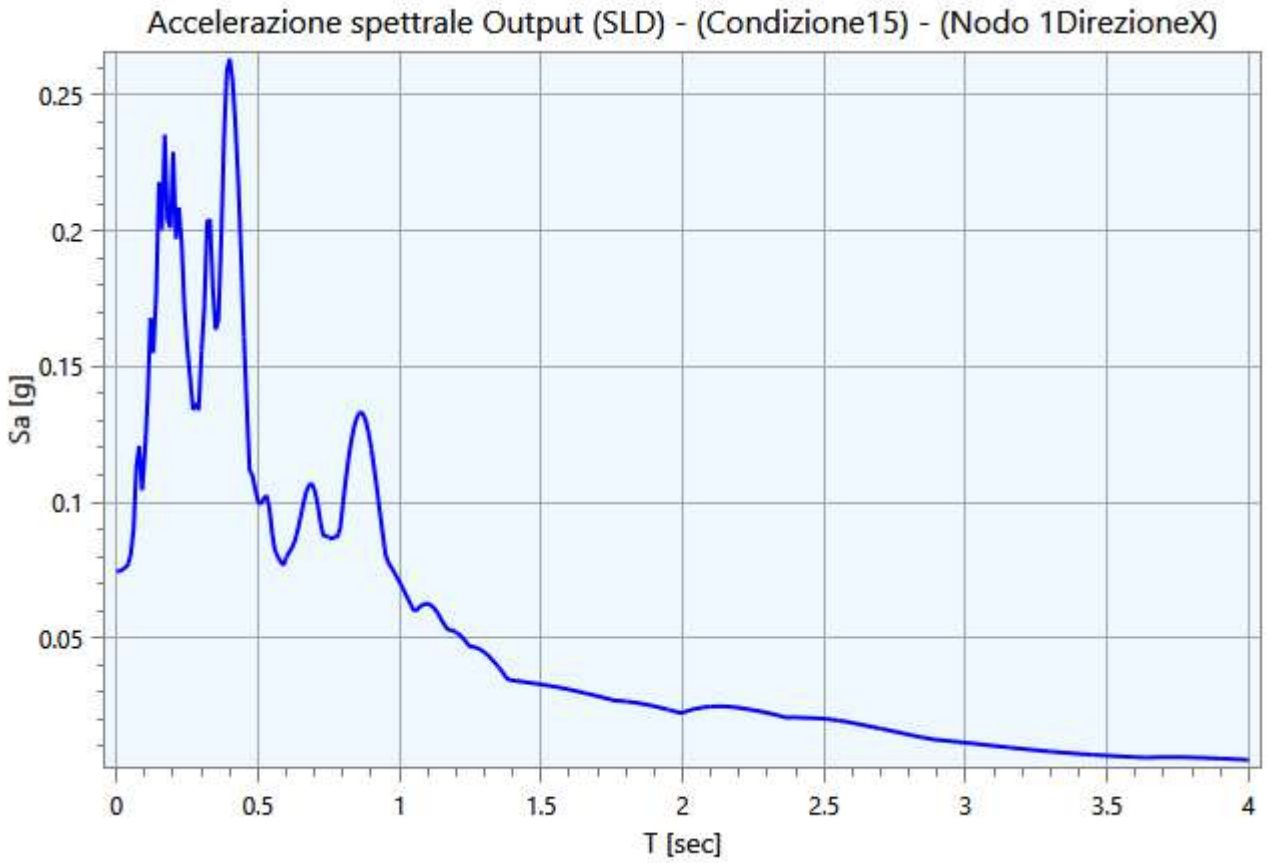

Accelerazione spettrale Output (SLD) - (Condizione10) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]


Accelerazione spettrale Output (SLD) - (Condizione11) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.3
0.2
0.1
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]


Accelerazione spettrale Output (SLD) - (Condizione12) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.15
0.1
0.05
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

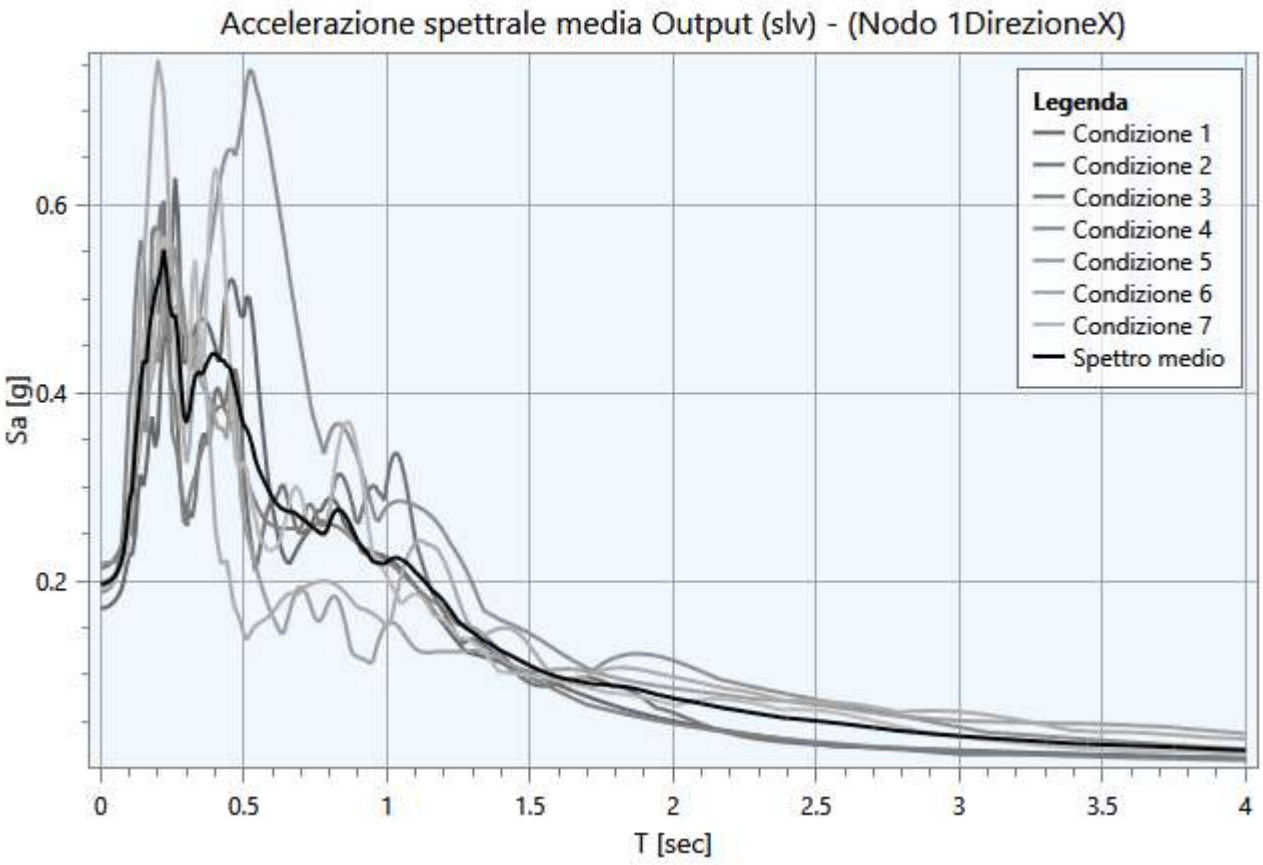

Accelerazione spettrale Output (SLD) - (Condizione13) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

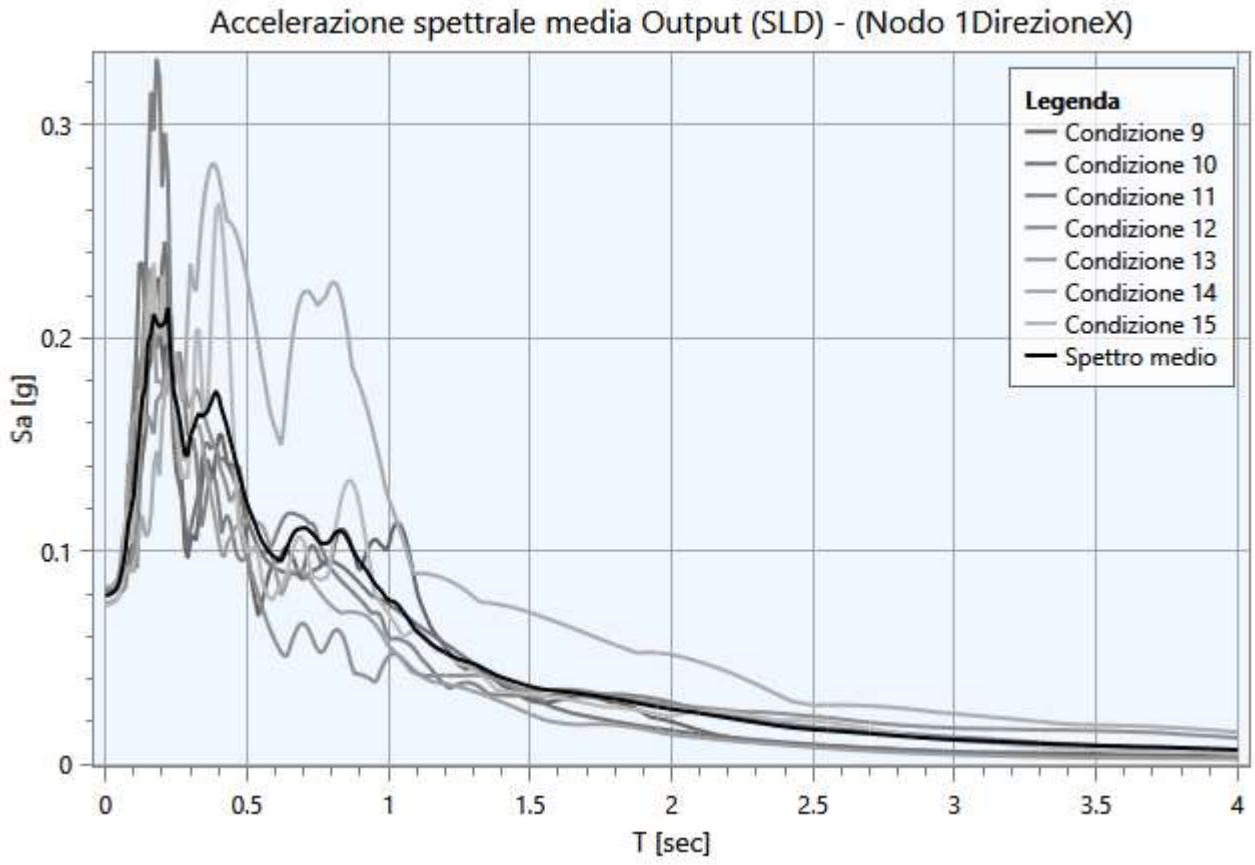
Accelerazione spettrale Output (SLD) - (Condizione14) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]


Accelerazione spettrale Output (SLD) - (Condizione15) - (Nodo 1DirezioneX)
Sa [g]
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
T [sec]

5.3 - Interpretazione dei risultati

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:





5.4 - Parametrizzazione dello spettro di risposta derivante dalla RSL

La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (*GdL MS, 2008 – parti I e II – punto 2.5.4.3.1 pag 92)*. Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede:

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione (TA);
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione (SA) nell'intorno tra $0.5\ TA - 1.5\ TA$;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità (TV);
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità (SV) nell'intorno tra $0.8\ TV - 1.2\ TV$;
- il calcolo del valore di $T_c = 2\pi \frac{SV}{SA}$;
- il calcolo del valore di $T_b = 1/3\ T_c$;
- il calcolo del valore $T_d = 4\ a_g + 1.6$ con a_g uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra T_0, T_b, T_c, T_d, T_4.

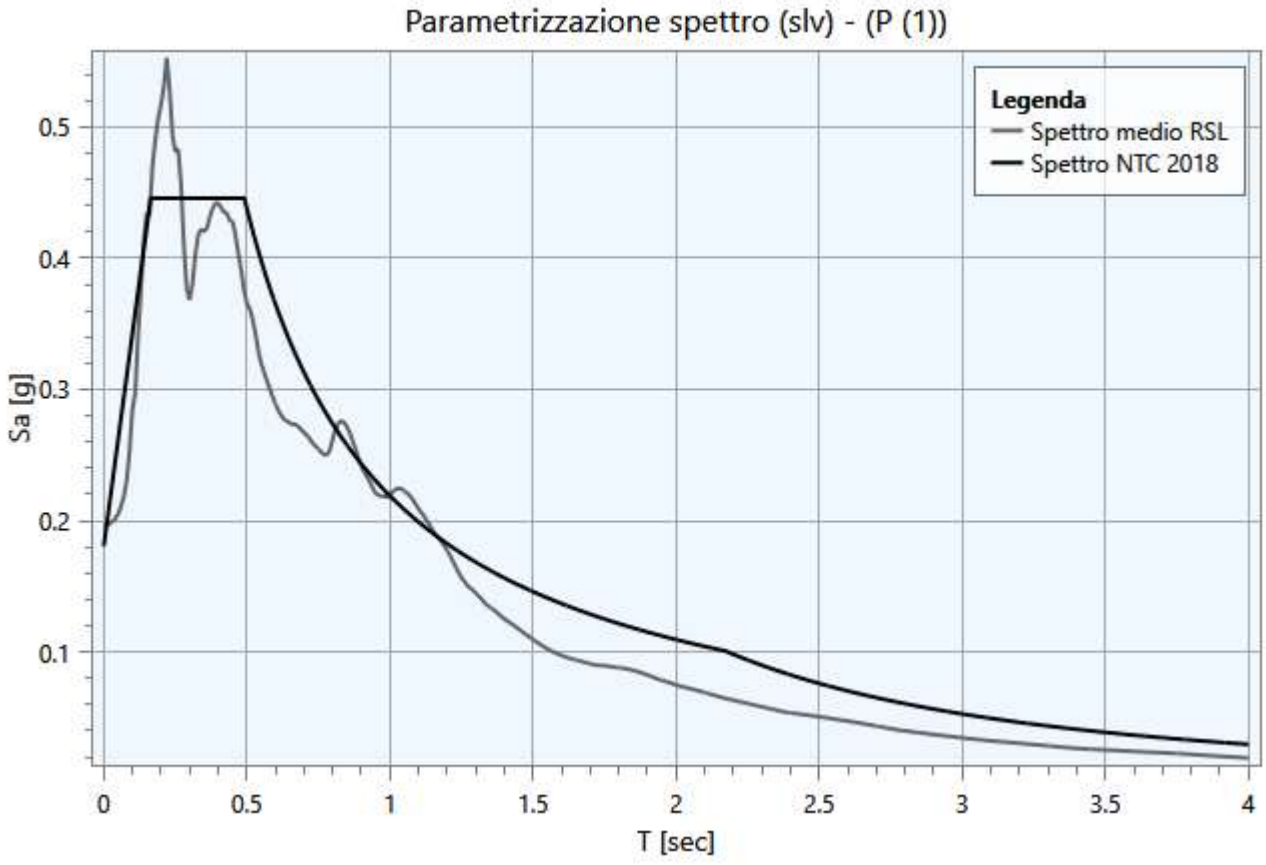
Di seguito vengono riportati, per ogni analisi, i parametri degli spettri parametrizzati per i vari punti di controllo presenti nella sezione oggetto di studio.

SLV

Punto di controllo	$A_g\ [g]$	$F0$	S	$A_{max}\ [g]$	$T_b\ [sec]$	$T_c\ [sec]$	$T_d\ [sec]$
P (1)	0.143	2.466	1.263	0.181	0.164	0.491	2.172

dove:

- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$: valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a T=0 dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.



SLD

Punto di controllo	$A_g\ [g]$	$F0$	S	$A_{max}\ [g]$	$T_b\ [sec]$	$T_c\ [sec]$	$T_d\ [sec]$
P (1)	0.048	2.456	1.515	0.073	0.154	0.462	1.792

dove:

- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$: valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a T=0 dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.