

*Studio Geotecnico Chili Giuliano*

Via Bruno Bottau n° 4 – 40055 Castenaso (BO)

p.i. 01625471204 - c.f. CHL GLN 59R28 A944U

Tel. 051789568 – Cell. 3482661550

**Città Metropolitana di Bologna**

**Comune di Calderara di Reno**

**RELAZIONE GEOLOGICA**



Progetto: per la realizzazione di una nuova tettoia per il riparo di macchinari (presse) nonché di vasche di raccolta di prima pioggia nel comparto a destinazione produttiva sito in Via Caduti di Ustica – Località Bargellino - Comune di Calderara di Reno

Proprietà: Compagnia Finanziaria Investimenti srl, Roda Metalli srl

Data: 08/06/2018



Relazione n. 31/18

## 1.0 Premessa

### 1.1 Premessa

Nell'ambito della progettazione per la realizzazione di una nuova tettoia per il riparo di macchinari (presse) nonché di vasche di raccolta di prima pioggia nel comparto a destinazione produttiva sito in Via Caduti di Ustica – Località Bargellino - Comune di Calderara di Reno, i Committenti Compagnia Finanziaria Investimenti srl e Roda Metalli srl mi hanno affidato la redazione della presente Relazione Geologica nella quale verranno definiti:

- l'inquadramento geologico generale dell'area;
- i livelli litologici presenti nel sito e la loro variazione spaziale;
- le caratteristiche geomorfologiche dell'area evidenziando eventuali vincoli presenti nell'area in esame;
- le caratteristiche idrogeologiche dell'area;
- la microzonazione sismica, la valutazione del rischio sismico, la risposta dei terreni della successione al sisma atteso per l'area in esame ed il comportamento dei terreni nei riguardi del fenomeno della liquefazione.

Gli scopi precedentemente elencati sono stati perseguiti mediante la realizzazione di n°4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (tipo Begeman) ed una prova penetrometrica statica mutuata dalla relazione geologica redatta per la costruzione della recinzione del comparto. Le prove sono di lunghezza variabile tra 7,60 m e 9,20 m; tutte le prove sono state fermate per raggiunto rifiuto all'avanzamento dell'attrezzatura di prova entro terreni ghiaiosi. La esecuzione di uno stendimento geofisico tipo ReMi per la valutazione della velocità media delle onde sismiche di taglio (onde S) nei primi 30 m di spessore e l'esecuzione di n°1 tomografia per la determinazione della frequenza tipica del terreno nell'area in esame hanno completato il quadro dei dati acquisiti in campagna..

Il presente elaborato verrà redatto secondo quanto prescritto dalla normativa vigente, di cui si riportano gli estremi:

- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 e successive modificazioni.**
- **Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, D.M. n°30 del 14/01/ 2008.**
- **Decreto Ministeriale n°8 del 22/01/2018 Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni – Supplemento alla G.U. n°42 del 20/02/2018**
- **Circolare applicativa NTC08 n. 617 C.S.LL.PP. del 2 febbraio 2009.**
- **Decreto Giunta Regionale Emilia Romagna n. 567 del 7/04/2003.**
- **Atto d'Indirizzo Tecnico dell'Assemblea Legislativa RER, Progr. N. 112, oggetto n. 2131 del 2/05/2007.**
- **Decreto Giunta Emilia Romagna n. 2193 del 15/12/2015**
- **L.R. n. 19 del 30/10/2008.**
- **PTCP Provincia di Bologna adottato con delibera c.d. n. 3 del 11/02/2003.**
- **PSC Associazione Terre d'acqua – Provincia di Bologna D.C.C. n°47 del 07/04/2011**
- **Norme AGI 1977 – Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.**
- **Norme AGI 2005 – Aspetti Geotecnici della progettazione in zona sismica.**

Il lavoro è stato completato dall'esame di dati pubblicati (sia su supporto cartaceo che informatico) quali:

Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 – Foglio 221 Bologna Est

Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna scala 1:250.000 – Boccaletti, Martelli e alii 2004

Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna scala 1:250.000 – Martelli e alii 2016

Carta Strutturale dell'Emilia Romagna scala 1:250.000 – Feroni et. alii 2002

Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna scala 1:250.000 – Preti et. alii 1999

Carta del Territorio di Pianura del Comune di Bologna scala 1:25.000 Bergonzoni e Elmi 2003

Risorse Idriche sotterranee della RER – Di Dio 1998

Carta Geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 – Castiglioni et. alii 1997

Prove e rilievi effettuati dallo Scrivente in zone limitrofe a quella oggetto di studio hanno completato lo studio del sito.

## 2.0 Modalità di prova

### 2.1. Prova penetrometrica statica (CPT) Norma ATSM (D..3441 – 79) aggiornata (D3441 – 86)

La prova Penetrometrica Statica (CPT) è conosciuta e usata in tutto il mondo essendo da tempo codificata in maniera univoca.

Essa consiste nell'infiggere una punta conica di dimensioni standard (area del cono 10 cm<sup>2</sup> ed angolo al vertice di 60°) nel terreno per mezzo di un martinetto idraulico misurando lo sforzo necessario; di seguito si infolge un manicotto avente dimensioni pure standardizzate (area laterale 150 cm<sup>2</sup>), anche in questo caso si misura lo sforzo necessario all'avanzamento.

I valori ottenuti opportunamente elaborati tramite programmi automatici di calcolo vengono poi diagrammati fornendo il grafico della resistenza alla punta (Rp) e il grafico del rapporto tra la resistenza alla punta (Rp) e la resistenza laterale (Rl); tale rapporto conosciuto in letteratura come rapporto di Begemann dà indicazioni sulla natura dei terreni offrendo la possibilità di riconoscere i coesivi dagli incoerenti e, tra i primi quelli a maggiore o minore contenuto in argilla.

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzata una macchina di marca Pagani tipo TG 73 da 200 kN con cella tipo Gouda a lettura analogica e costante di cella K = 20.

Di seguito si riporta la legenda relativa all'elaborazione di Rp ed Rl partendo dai dati di campagna

PENETROMETRO STATICO tipo:	
Caratteristiche:	
- punta conica meccanica Ø 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - ( area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )	
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm <sup>2</sup> )	
- velocità di avanzamento costante	$V = 2 \text{ cm / sec } (\pm 0,5 \text{ cm / sec})$
- spinta max nominale dello strumento	Smax variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. $\Rightarrow$ spinta )	$C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$
fase 1 - resistenza alla punta	$q_c \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = L_1 \times C_t / 10$
fase 2 - resistenza laterale locale	$f_s \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$
fase 3 - resistenza totale	$R_t \text{ ( Kg )} = (L_t) \times C_t$
	$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$
- L1. punta	= lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- L2. totale	= lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Lt. aste	= 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 manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale fs viene computata 20 cm sopra la punta .	

Tabella 2.1 caratteristiche dell'attrezzatura di prova e modalità di elaborazione per ricavare Rp ed Rl

## 2.2 Indagine geofisica: Sismica – Re.Mi

Per la caratterizzazione sismica del sottosuolo, in ottemperanza al D.M. 14.01.2008 è stata eseguita una prospezione geofisica con onde superficiali nota in letteratura come Re.Mi. (Refraction Microtremor, Louie, 2001). La caratterizzazione sismica del sottosuolo in termini di velocità delle onde di taglio “S” è stata effettuata fino alla profondità di 35 m dal piano campagna (p.c.), e ne ha determinato la categoria di sottosuolo corrispondente ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 (NTC 2008) mediante il calcolo del parametro VS30.

La tecnica geofisica adottata per questa indagine prevede acquisizioni passive del rumore sismico ambientale (microtremore). Attraverso l'analisi del contenuto di onde superficiali (in questo caso Onde di Rayleigh dette Onde R), che costituiscono un particolare tipo di onde dal comportamento dispersivo in un mezzo stratificato come il sottosuolo, è possibile ricavare indirettamente la velocità delle onde di taglio (VS) secondo l'equazione:

$$V_R = \left( \frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_S \quad \nu: \text{rapporto di Poisson}$$

Ovvero semplificando:

$$V_R \cong 0.92 V_S$$

La fase di elaborazione analizza il contenuto in frequenza delle onde registrate per la discriminazione dei diversi modi di vibrazione delle onde di Rayleigh (onde R) nella banda d'interesse, tipicamente compresa fra 4 e 40 Hz. Il riconoscimento del modo fondamentale delle onde R permette di definire la curva di dispersione (Velocità di fase-Frequenza) caratteristica del sottosuolo investigato.

Per l'indagine Re.Mi. sono state acquisite ripetute registrazioni del microtremore sismico come sorgente di onde superficiali i dati sono stati campionati per mezzo di un sismografo a 24 canali “Seistronix Abem Ras-24” (con convertitore A/D a 24 bit), attraverso l'impiego di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati in linea mediante cavi sismici, ad interdistanza ( $\Delta x$ ) pari a 3,0 metri.

## 2.3 Prove geofisiche: Sismica – Tromografo digitale

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) rappresenta uno dei metodi utilizzati per estrarre informazioni relative al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, 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 ( $10^{-15} \text{ [m/s}^2\text{]}^2$  in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

La tecnica prevede il rapporto spettrale tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale ed è ormai consolidata come strumento di stima affidabile delle principali frequenze di risonanza del sottosuolo, informazione di notevole importanza per l'ingegneria sismica. Riconosciuta questa capacità, ove sia nota una stima della stratigrafia locale, dalle frequenze di risonanza è possibile ricavare un modello di sottosuolo monodimensionale discreto caratterizzato da strati a diversa

impedenza sismica ( $V_s$ ,  $\rho$ ), mediante un approccio numerico di modellazione della curva HVSR (fitting della curva H/V sintetica).

Se consideriamo un sistema stratificato semplice a due strati 1D in cui gli strati si distinguono per diverse densità e velocità delle onde sismiche, si ha condizione di risonanza quando la lunghezza dell'onda incidente che viaggia nel mezzo con  $V_{s1}$  e  $\rho_1$ , è pari a 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  dello strato (o insieme di strati omogenei).

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) relativa alle onde "S" è descritta dall'equazione:

$$f_r = V_s / (4 h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Nonostante il microtremore sia costituito in gran parte da onde superficiali (in particolare da onde di Rayleigh), ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime.

### 3.0 Ubicazione

#### 3.1 Corografia

Gli elaborati tecnici in cui è riportata l'area oggetto dell'intervento sono:

Foglio CTR scala 1:50.000: 220 Bologna Ovest

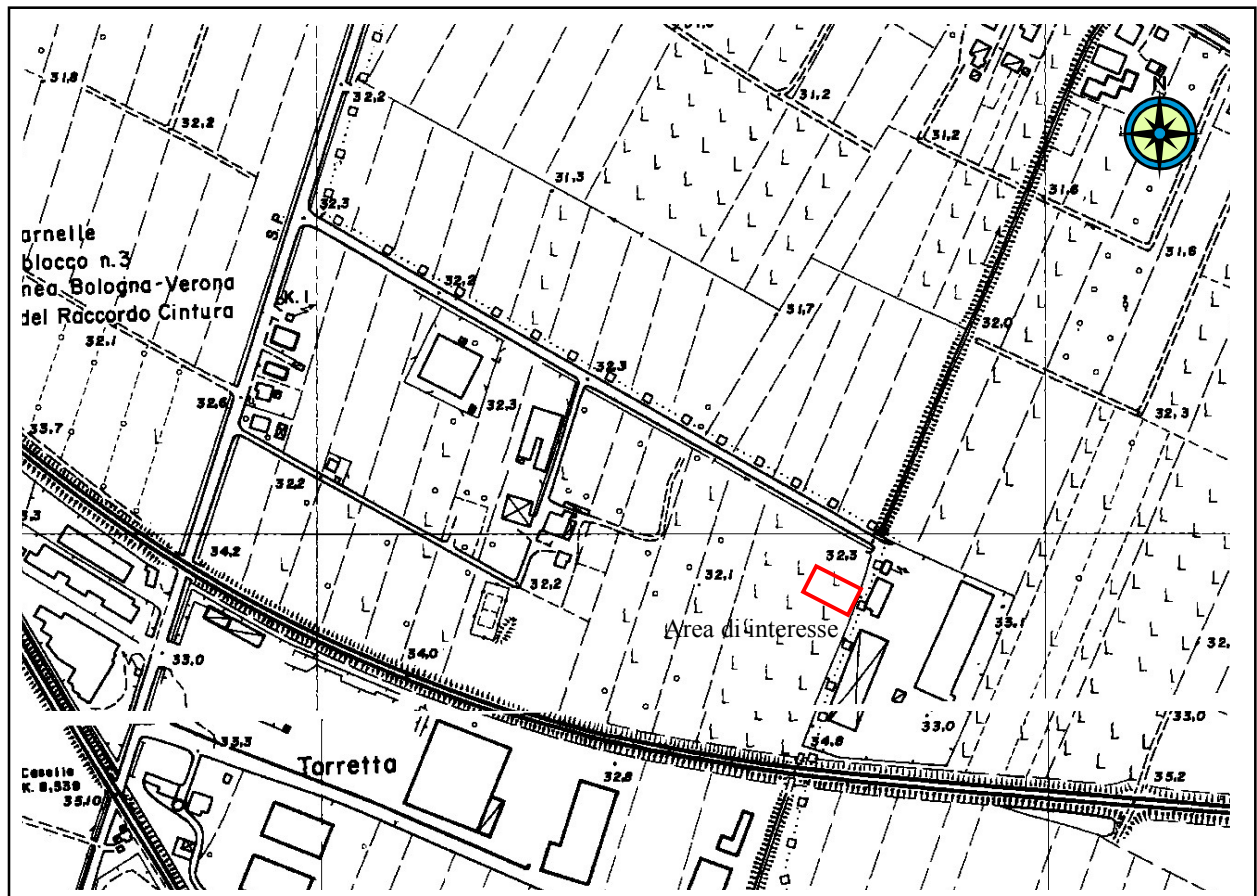
Tavoletta CTR scala 1:25.000: 220NE Bologna Nord Ovest

Sezione CTR scala 1:10.000: 220040 Calderara di Reno

Elemento CTR scala 1:5.000 220043 Caldera di Reno – 220084 il Bargellino

In fig. 3.1 si riporta la corografia dell'area in scala 1:5.000.

In fig. 3.2 si riporta l'ubicazione delle prove su planimetria di progetto scala 1:2.000.



Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	44,5497131	[°]	Longitudine (WGS84):	11,2702608	[°]
Latitudine (ED50):	44,5506516	[°]	Longitudine (ED50):	11,2712564	[°]

Fig. 3.1 - Ubicazione dell'area: estratto dall'Elemento C.T.R. 220043 Calderara di Reno – 220084 Il Bargellino in scala 1 : 5.000



### 3.2 Ubicazione della prove



CPT 1 32 T 680330.00 m E 4935443.00 m N  
CPT 2 32 T 680316.00 m E 4935445.00 m N  
CPT 3 32 T 680295.00 m E 4935446.00 m N  
CPT 4 32 T 680300.00 m E 4935460.00 m N  
CPT 5 32 T 680343.00 m E 4935446.00 m N

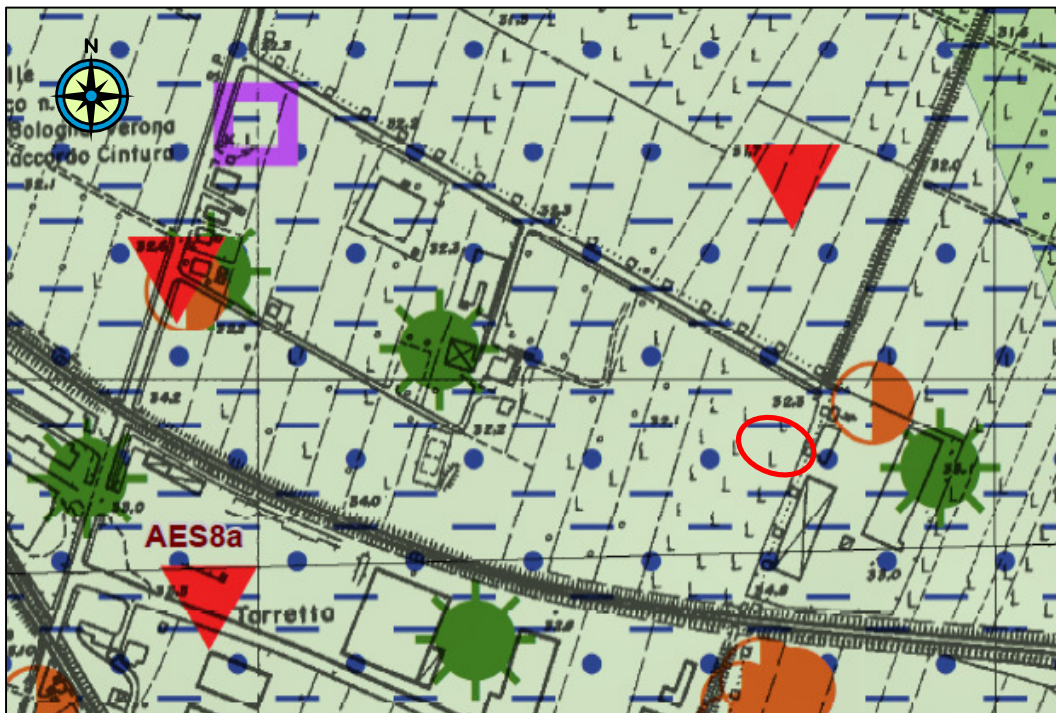
*Fig. 3.2 – Ubicazione delle Prove statiche e delle Indagini geofisiche Estratto da foto aerea fonte sito Google Earth scala 1:500*



## 4.0 Inquadramento stratigrafico e litologico

I terreni presenti nell'area oggetto di studio sono di origine sedimentaria “recente” di genesi legata con ogni probabilità alla dinamica deposizionale del fiume Reno e del torrente Lavino.

Analizzando la Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 (di cui un estratto ingrandito alla scala 1:5.000 si riporta in Fig. 4.1) si deduce che i terreni più superficiali appartengono al Supersistema Emiliano Romagnolo Superiore (AES 0,45 Ma – attuale); esso comprende tutti i sedimenti Quaternari (Olocenici) depositatisi in ambiente continentale; questi terreni rappresentano il termine finale della successione che costituisce il riempimento dell'avanfossa formatasi in seguito all'ultima fase parossistica (Pliocene Superiore) nell'orogenesi della Catena Appenninica.



### Legenda

#### **AES8** *Subsistema di Ravenna*

Elemento sommitale di AES. Ghiaie, sabbie limi ed argille di terrazzo alluvionale, conoide alluvionale e piana alluvionale. Limite superiore coincidente con il piano topografico.

PLEISTOCENE SUPERIORE – OLOCENE

#### **AES8a** *Unità di Modena*

Porzione sommitale di AES8 è costituita da una unità a limiti non conformi di rango gerarchico inferiore:

Essa affiora con continuità dalla piana intravalliva fino alla pianura alluvionale

ATTUALE

*Figura 4.1 – Estratto dalla “Carta Geologica d'Italia” – Foglio 221 Bologna a cura della Regione Emilia Romagna- in scala 1:50.000 ingrandita alla scala 1:2000 (Fonte sito RER)*

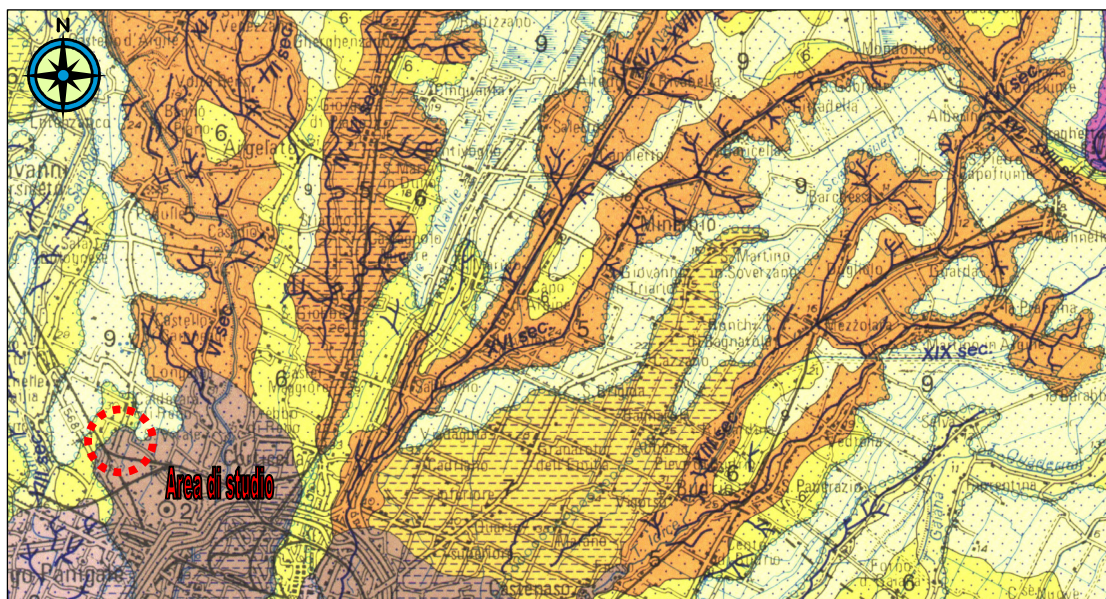
In particolare i terreni affioranti nell'area oggetto d'intervento, appartengono al Subsistema di Ravenna (AES 8). Tale sub sistema si sviluppa a partire da circa 16.000 anni fa in corrispondenza con la fase di alluvionamento seguente l'ultimo LGM (nel nostro caso la glaciazione Wurmiana). Le litologie che formano AES 8 sono costituite, nella parte di Pianura in cui ci troviamo,

essenzialmente da argilla di intercanale fino a sabbia da media a grossolana tipica di quelle porzioni interessate da corrente trattiva ed energia significativa; tra gli elementi granulometrici estremi si trova tutta la serie di terreni misti a partire da argille limose fino a limi sabbiosi. In alcuni tratti si possono sviluppare anche terreni in cui prevale la componente organica sono questi paleo suoli oppure zone in ambiente fluviale s.s in cui si avevano difficoltà nel fluire delle acque (“morte”).

I sedimenti di AES 8 nel nostro caso appartengono ad un antico alveo del fiume Reno (Reno 2) e sono giustapposti ed eteropici con quelli dell’Unità di Modena (AES8a) che è il termine più recente, sviluppatosi tra il IV<sup>o</sup> ed il VI<sup>o</sup> sec d.C, del Subsistema di Ravenna e che trae origine dalla dinamica fluviale nella sua facies di intercanale messa in atto dall’attuale corso del fiume Reno (Reno 3) interferente, nella parte più occidentale del lotto con un antico corso del torrente Lavino.

Nel sottosuolo della pianura AES8 ha, nelle zone di bassa pianura del settore bolognese, uno spessore massimo di 28,00 m.; la base di questo Membro del AES è localizzata all’interno di depositi alluvionali per questo si ritiene convenzionalmente che il letto del Subsistema sia posto subito al di sopra del primo strato ghiaioso profondo cui fa capo il Subsistema di Villa Verucchio (AES7 - Unità di Vignola).

Per quanto riguarda la situazione litologica locale, i dati bibliografici evidenziano (Figura 4.2) come l’area di studio, in prossimità della Località conosciuta come Il Bargellino sia caratterizzata da depositi derivati da deposizione fluviale in ambito di conoide distale in cui si possono rinvenire depositi a granulometria eterogenea dati da argille, limi, sabbie e ghiaie disposti secondo antichi percorsi dei corsi d’acqua principali che in quest’area possono variare la loro direzione repentinamente a causa delle improvvise variazioni della pendenza morfologica derivate da alti tassi di sedimentazione. I depositi delle unità pedostratigrafiche si trovano ai primi stadi di alterazione con un fronte di alterazione < 1 m (50 - 100 cm).



*Figura 4.2. Stralcio carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna - scala 1:250.000 (Preti et alii 1999)*

I dati relativi alla successione indagata sono stati restituiti ed elaborati mediante un programma di elaborazione elettronica (Static Probing edito dalla Geostru) che, utilizzando il rapporto di

Begemann, ha consentito di interpretare le litologie incontrate lungo le verticali delle prove CPT.

Le verticali di indagine sono state così suddivise secondo un criterio litologico; all'interno della stessa litologia, mediante il confronto dei parametri meccanici più significativi, sono poi stati suddivisi altri livelli (vedi tabelle 4.1 – 4.5). Al termine del lavoro di elaborazione si è tentata la correlazione tra le verticali di indagine al fine di verificare la continuità o meno dei livelli individuati in ogni prova; i risultati, costituiti da 1 modello stratigrafico con interpretazione della distribuzione dei livelli nel sottosuolo che sono l'oggetto dell'Appendice 2.

Dall'esame di questi elaborati si possono formulare le seguenti osservazioni:

- Le sezioni interpretate mostrano la presenza di terreni a litologia sabbioso limosa – limoso sabbiosa e argillosa suddivise in corpi adiacenti e giustapposti a formare complicati andamenti geometrici. Si può comunque verificare che le disposizioni dei diversi corpi sedimentari mostrano un andamento maggiormente regolare in direzione E – O (CPT 1 ÷ CPT 3) rispetto alla direzione N – S (tratto CPT 5 – CPT 1 e CPT 3 – CPT 4)
- Esaminando la sezione si nota come fino a – 5 m sia presente un corpo sedimentario a matrice finissima (argilla e argilla limosa) in cui si inseriscono corpi sabbiosi di discreta continuità laterale che mostrano un inspessimento e una presenza maggiore verso E (vedi i due tratti N – S della sezione).
- Al di sotto abbiamo un corpo argilloso con caratteristiche assai differenti dal corpo sedimentario più superficiale della stessa litologia. Esso infatti presenta resistenze alla punta di entità molto inferiore (circa la metà) ed uno sviluppo asimmetrico (di forma cuneiforme) nella direzione E – O con lo spessore maggiore nella parte occidentale del sito.
- A partire da circa – 7,0 m rispetto al piano del piazzale si rileva la presenza di terreni grossolani costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaia sabbiosa in cui si incastonano lenti argillose di potenza centimetrica e ad elevata discontinuità.
- La successione sedimentaria descritta nei tre punti precedenti mette in evidenza la presenza di due cicli distinti di cui quello più superficiale costituito da sedimenti a granulometria inferiore rispetto a quello sottostante. Questi corpi sedimentari sono stati interpretati dallo scrivente come derivati da un antico tracciato del torrente Lavino che aveva direzione circa SO – NE e impegnava queste zone con i terreni derivati dalle sue piene (tracimazioni o rotte d'argine). A partire dai – 7,0 m si hanno terreni ghiaioso sabbiosi e sabbioso ghiaiosi a significare un antico lobo della conoide del Fiume Reno.

Nelle tabelle 4.1 – 4.5 si fornisce la stratigrafia di dettaglio delle prove eseguite; le letture di campagna, il grafico della prova e valutazioni litologiche sono oggetto dell'appendice 1. La classificazione dei terreni presa in considerazione per la determinazione del tipo di terreno deriva dalla teoria di Schmertmann

PROVA ... Nr.1					Prova eseguita in data: 25/05/2018			
Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti					Profondità prova: 7,60 mt			
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)					Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno			
Falda: -6,80 m								
Prof. Strato		qc	fs	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	OCR	Dr	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	
0,0	0,6	0,14	-0,13	1,87	2,10		<5	Riporto
0,6	1,0	7,64	0,90	1,94	1,89	>9		Argille organiche
1,0	1,4	22,78	1,37	1,93	2,07	>9		Argilla molto compatta
1,4	1,8	10,78	1,53	1,99	1,94	>9		Argille organiche
1,8	3,2	25,41	1,70	1,90	2,09	>9		Argilla molto compatta
3,2	3,8	27,22	0,53	1,80	2,10	8,30	<5	Sabbie
3,8	4,2	19,62	0,73	1,96	2,04	6,79		Argille limose
4,2	4,4	27,69	1,40	2,02	2,10	>9		Argilla molto compatta
4,4	4,6	18,69	0,40	1,80	2,10	4,65	<5	Limo sabbioso
4,6	4,8	21,69	0,80	1,98	2,06	6,26		Argille limose
4,8	5,6	9,79	0,52	1,84	1,91	3,65		Argilla compatta
5,6	6,4	10,40	0,28	1,80	2,10	2,26	<5	Limo sabbioso
6,4	6,6	6,97	0,47	1,77	1,84	2,63		Argille organiche
6,6	7,0	20,47	0,53	1,80	2,10	3,85	<5	Limo sabbioso
7,0	7,2	10,10	1,73	1,84	1,91	>9		Argille organiche
7,2	7,6	408,10	1,00	1,90	2,20	<0.5	100,00	Sabbie e ghiaie addensate

Tabella 4.1 – Stratigrafia di dettaglio prova n°1.



PROVA ... Nr.2					Prova eseguita in data: 25/05/2018			
Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti					Profondità prova: 7,60 mt			
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)					Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno			
Falda: -6,80 m								
Prof. Strato		qc	fs	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	OCR	Dr	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	
0,0	0,6	0,14	-0,13	1,87	2,10		<5	Riporto
0,6	1,0	7,64	0,90	1,94	1,89	>9		Argille organiche
1,0	1,4	22,78	1,37	1,93	2,07	>9		Argilla molto compatta
1,4	1,8	10,78	1,53	1,99	1,94	>9		Argille organiche
1,8	3,2	25,41	1,70	1,90	2,09	>9		Argilla molto compatta
3,2	3,8	27,22	0,53	1,80	2,10	8,30	<5	Sabbie
3,8	4,2	19,62	0,73	1,96	2,04	6,79		Argille limose
4,2	4,4	27,69	1,40	2,02	2,10	>9		Argilla molto compatta
4,4	4,6	18,69	0,40	1,80	2,10	4,65	<5	Limo sabbioso
4,6	4,8	21,69	0,80	1,98	2,06	6,26		Argille limose
4,8	5,6	9,79	0,52	1,84	1,91	3,65		Argilla compatta
5,6	6,4	10,40	0,28	1,80	2,10	2,26	<5	Limo sabbioso
6,4	6,6	6,97	0,47	1,77	1,84	2,63		Argille organiche
6,6	7,0	20,47	0,53	1,80	2,10	3,85	<5	Limo sabbioso
7,0	7,2	10,10	1,73	1,84	1,91	>9		Argille organiche
7,2	7,6	408,10	1,00	1,90	2,20	<0.5	<5	Sabbie addensate
7,20	7,40	19,10	7,60	1,95	2,03	>9		Argilla molto compatta
7,40	8,20	219,89	1,58	1,90	2,20	>9	83,00	Sabbie e ghiaie addensate

Tabella 4.2 – Stratigrafia di dettaglio prova n°2.



PROVA ... Nr.3					Prova eseguita in data: 25/05/2018			
Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti					Profondità prova: 9,20 mt			
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)					Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno			
Falda: -6,80 m								
Prof. Strato		qc	fs	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	OCR	Dr	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	
0,0	1,0	0,14	-0,17	1,91			<5	
1,0	2,0	10,88	1,44	1,95	1,95	>9		Argille organiche
2,0	2,2	14,41	0,53	1,87	1,99	>9		Argille limose
2,2	2,8	21,41	1,62	1,83	2,06	>9		Argilla molto compatta
2,8	3,0	18,41	0,53	1,80	2,10	8,92	<5	Limo sabbioso
3,0	3,6	19,89	1,36	2,10	2,05	>9		Argilla molto compatta
3,6	3,8	23,55	0,87	2,00	2,08	8,63		Argille limose
3,8	4,0	20,55	0,33	1,90	2,20	4,96	<5	Sabbie
4,0	4,4	16,19	0,80	1,92	2,01	7,01		Argilla compatta
4,4	4,6	14,69	0,33	1,80	2,10	3,78	<5	Limo sabbioso
4,6	5,0	10,69	0,47	1,85	1,93	3,57		Argilla di media consistenza
5,0	6,6	7,51	0,60	1,78	1,86	3,83		Argille organiche
6,6	6,8	6,97	0,27	1,77	1,84	1,43		Argilla di media consistenza
6,8	7,0	11,97	0,73	1,87	1,95	3,96		Argilla inorganica compatta
7,0	7,2	7,10	1,20	1,77	1,84	6,28		Argille organiche
7,2	8,6	51,31	1,10	1,80	2,10	7,25	<5	Limo sabbiose
8,6	8,8	73,24	3,80	2,19	2,27	>9		Argille limose
8,8	9,2	402,81	2,17	1,90	2,20	>9	100,00	Sabbie e ghiaie addensate

Tabella 4.3 – Stratigrafia di dettaglio prova n°3

PROVA ... Nr.4					Prova eseguita in data: 25/05/2018			
Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti					Profondità prova: 8,4 mt			
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)					Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno			
Falda: -6,80 m								
Prof. Strato		qc	fs	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	OCR	Dr	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	
0,0	0,2	0,14	-1,07					Riporto
0,2	0,6	17,64	1,47	1,93	2,03	>9		Argilla molto compatta
0,6	1,6	14,22	1,59	1,88	1,99	>9		Argille organiche
1,6	3,0	22,09	1,08	2,01	2,07	>9		Argilla molto compatta
3,0	3,6	16,89	0,33	1,80	2,10	5,44	<5	Sabbie Sciolte
3,6	3,8	12,55	0,53	1,89	1,96	5,31		Argilla compatta
3,8	4,2	11,12	0,40	1,86	1,94	3,68		Argille limose
4,2	6,2	8,59	0,40	1,81	1,89	2,84		Argilla di media consistenza
6,2	7,4	7,68	0,85	1,78	1,86	4,65		Argille organiche
7,4	7,6	187,10	2,33	1,90	2,20	>9	<5	Sabbie addensate
7,6	7,8	71,10	1,67	1,80	2,10	>9	<5	Limo sabbioso
7,8	8,0	70,10	12,20	2,18	2,26	>9		Argilla molto compatta
8,0	8,4	377,24	3,50	1,90	2,20	>9	100,00	Sabbie e ghiaie addensate

Tabella 4.4 – Stratigrafia di dettaglio prova n°4.

PROVA ... Nr.5					Prova eseguita in data: 25/05/2018			
Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti					Profondità prova: 7,6 mt			
Strumento utilizzato: Deep Drill 200					Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno			
Falda: -6,80 m								
Prof. Strato		qc	fs	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	OCR	Dr	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	
0,00	0,60	0,14	-0,89					Riporto
0,60	1,00	49,14	1,90	2,05	2,20	>9		Argille limose
1,00	1,80	39,78	2,28	1,99	2,17	>9		Argilla molto compatta
1,80	2,00	25,28	0,67	1,80	2,10	>9	<5	Limo sabbioso
2,00	2,40	40,41	2,20	1,94	2,17	>9		Argilla molto compatta
2,40	3,20	22,95	1,20	1,97	2,07	>9		Argilla molto compatta
3,20	3,40	24,55	0,73	1,80	2,10	>9	<5	Limo sabbioso
3,40	3,60	19,55	0,87	1,96	2,04	8,90		Argilla compatta
3,60	3,80	20,55	0,53	1,80	2,10	6,90	<5	Limo sabbioso
3,80	5,00	13,17	0,66	1,89	1,97	5,38		Argilla compatta
5,00	5,40	15,83	0,43	1,80	2,10	3,94	<5	Limo sabbioso
5,40	5,60	16,83	0,80	1,93	2,01	5,25		Argilla compatta
5,60	5,80	18,83	0,47	1,80	2,10	3,99	<5	Limo sabbioso
5,80	6,20	12,40	0,80	1,88	1,96	4,81		Argille organiche
6,20	7,00	27,97	0,47	1,80	2,10	3,97	<5	Sabbie
7,00	7,20	45,10	2,67	2,11	2,18	>9		Argilla molto compatta
7,20	7,60	351,10	1,33	1,90	2,20	>9	100	Sabbie e ghiaie addensate

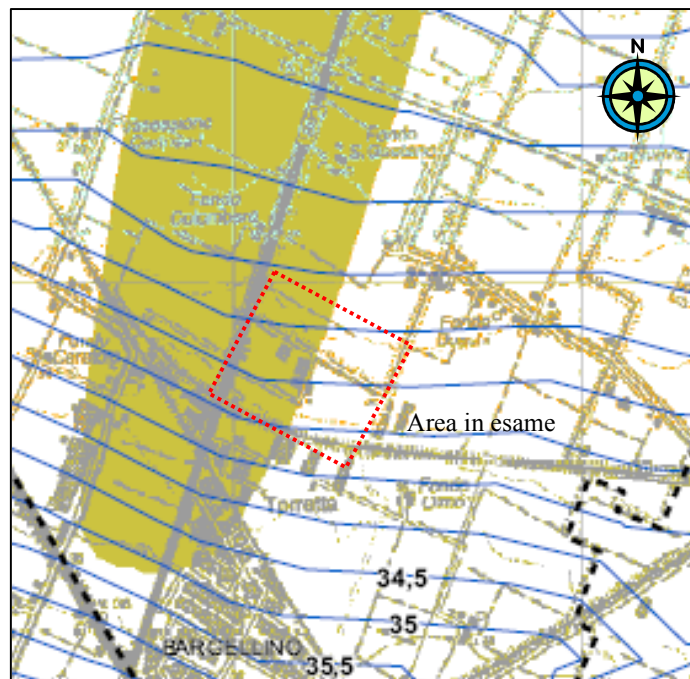
Tabella 4.5 – Stratigrafia di dettaglio prova n°5.

## 5.0 Inquadramento Geomorfologico ed Idrogeologico

L'area oggetto di indagine è posta ad una quota media di 32,2 m slm; in base alla sua posizione rispetto al margine sollevato della Catena appenninica, al tipo di tracciato dei corsi d'acqua principali, al rapporto del loro letto con il livello della pianura ed alla presenza o meno di arginature si può inserire l'area in un paesaggio di alta pianura al passaggio con la media..

Prendendo in considerazione le quote inserite entro la CTR ricordata in fig 3.1 si è tentato di ricostruire il microrilievo in un intorno significativo dell'area oggetto di studio; il risultato è di scarso interesse in quanto l'area presenta forti alterazioni del suo piano naturale in considerazione sia delle pratiche agrarie che della forte antropizzazione; in conclusione si possono trarre le seguenti osservazioni:

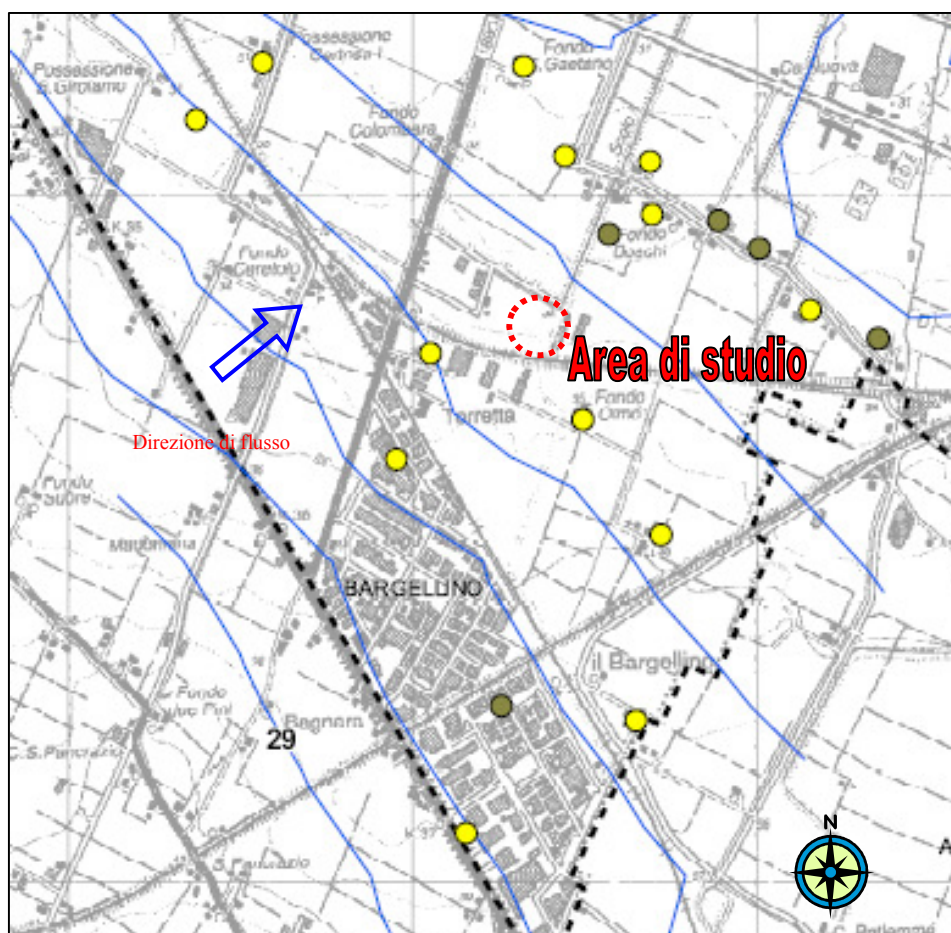
- La superficie morfologica, digrada verso NO con un gradiente di circa il 2%.
- L'andamento della quota 32 mostra un andamento blandamente ondulato indicante una convessità della superficie morfologica che si allunga verso NO. Come mostrato anche nell'estratto della Carta morfologica allegata la Quadro Conoscitivo del PSC in forma associata Terre D'Acqua alla scala 1:25.000 ingrandita alla scala 1:10.000 riportata in fig. 5.1



*Figura 5.1. Estratto dalla Carta Geomorfologica allegata al Quadro Conoscitivo del PSC in forma associata Terre d'Acqua in scala 1:25.000 ingrandita alla scala 1:10.000 a cura dei Dott. Franchi, Asti, Melotti*

Le prove eseguite tuttavia indicano che il tracciato fluviale restituito in carta con il colore verde è in realtà più spostato ad Est (almeno nella sua parte più meridionale) ed è riferibile ad attività del torrente Lavino.

In questo sito la direzione della prima falda è stata ricostruita tramite le campagne di misure effettuate sui piezometri ed ha fornito un risultato con andamento generale simile a quello riportato nell'elaborato allegato al PSC Terre d'Acqua di cui si riporta un estratto in fig. 5.2; nella ricostruzione puntuale si nota la presenza di una dorsale con andamento circa E – O da cui si diparte una superficie di falda che a N si sviluppa su una direzione circa SO – NE mentre a S la superficie freatica indica un andamento verso SO. La situazione locale della falda è probabilmente dovuta alla presenza di un pozzo, al di fuori del lotto, che ha sviluppato il suo cono di influenza fino al di sotto dell'area in esame.



*Fig. 5.2 – estratto dalla carta Idrogeologica allegata al PSC dell'Associazione di Comuni "Terre d'Acqua" scala 1:25.000 a cura dei Dott. Franchi, Asti, Melotti ingrandita alla scala 1:10.000*



La permeabilità dei terreni superficiali (primo metro) è stata stimata in base alla litologia presente nel sito. Come si vede nel paragrafo 4.0 i terreni superficiali in tutte le prove sono di tipo argilloso che comporta un ordine di grandezza della permeabilità  $K$  di  $10^{-8}$  m/s.

La vulnerabilità della falda è in generale bassa per quello che riguarda infiltrazioni di tipo verticale

Nell'area non sono presenti elementi idraulici importanti e comunque un esame del PSAI dell'Autorità di bacino del fiume Reno esclude per l'area il rischio di esondazione. Nel PSC si riportano prescrizioni per quello che riguarda la portata del Canale (tombato) che si trova in fregio all'area in esame in quanto una impermeabilizzazione troppo spinta, senza un adeguato compenso idraulico, porterebbe tale Canale in condizioni di criticità per quello che riguarda lo smaltimento delle acque meteoriche.

Dal punto di vista della classificazione dell'area in merito all'amplificazione sismica derivata dalla topografia si può inserire questa zona entro la categoria T1 (piano di campagna con pendenza minore di  $15^\circ$ ).

## 6.0 Inquadramento Strutturale e Sismico

La convergenza tra la placca Europea e quella Africana produce nell'Appennino Settentrionale un pattern deformativo ed un'attività sismica molto complessi.

Il campo di stress attivo rivela la presenza di un settore tirrenico della catena in cui predomina un campo deformativo estensionale, mentre nel settore Adriatico prevale una zona di compressione.

Alcune teorie spiegano questa disposizione dei campi tensionali con la presenza di una zona di subduzione derivata dal blocco del movimento verso NE imposto dall'arco alpino (al di sotto del Veneto il basamento e la successione mesozoica si presentano quasi in deformati). Questa subduzione, che si svilupperebbe in direzione SO, porta il basamento dell'Appennino al di sotto del Tirreno creando un inarcamento in corrispondenza della parte NO della Toscana (finestra tettonica delle Alpi Apuane) e la creazione di un cuneo di subduzione a tergo (catena Appenninica sollevata e sepolta) con le scaglie che troverebbero lo strato di distacco nei gessi triassici.

In quest'ultimo settore, si colloca l'Emilia – Romagna in cui evidenze geologiche, sezioni sismiche e studi morfotettonici, indicano che la tettonica passata e presente è generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive, come sovrascorrimenti e piegamenti (vedi fig. 6.1 – Estratto dalla Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna – Boccaletti e alii 2004 ed. SELCA).



### Strutture sepolte Buried structures

Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo  
Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of surface morphological data and subsol geological data

Fronti dei principali sovrascorrimenti di età Pliocene-Pleistocene inferiore (4,5 - 1 Ma) (da Structural Model of Italy, 1:500,000)  
Fronts of the main Pliocene-Early Pleistocene thrust faults (4,5 - 1 My) (from Structural Model of Italy, 1:500,000)

Sovrascorrimento riattivato  
Reactivated thrust fault

Sovrascorrimento con possibili riattivazioni  
Thrust faults with possible reactivations

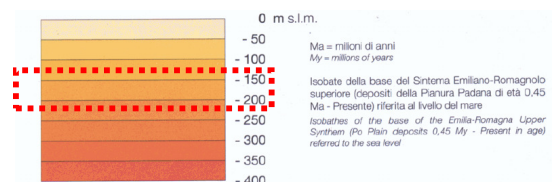


Fig. n°6.1– Estratto dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000 ingrandita alla scala 1:100.000

L'analisi sismotettonica dell'Emilia – Romagna ha messo in evidenza come parte delle strutture individuate da profili sismici che interessano il riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico siano caratterizzate da attività molto recente ad attuale. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e di Ferrara.

A tali strutture (in particolare alla dorsale Ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale osservati in alcune aree di Pianura Padana, nelle province di Reggio Emilia e Modena (Pellegrini & Mezzani, 1978).

La carta sismotettonica, inoltre evidenzia che l'area in esame si trova entro depositi di conoide e di deposizione intramontana messi in posto a partire dall'Olocene (0,8 Ma – Presente, campitura in celeste) ai lati di questi depositi il substrato che corrisponde al tetto del Pliocene (1,6 Ma) viene indicato a profondità comprese tra i 150 m ed i – 200 m dal livello del mare.

Dall'analisi della Carta Strutturale edita dalla Regione Emilia Romagna si può verificare come l'area del Bargellino sia posta immediatamente a settentrione di una delle linee tettoniche compressive di maggiore significato conosciuta come linea pedemontana il cui sistema borda tutta la fronte della parte sollevata della catena Appenninica. Altre strutture minori si dipartono da questa dando origine a scaglie che in pianta assumono la forma di una arco. L'età di questa linea tettonica è posizionabile nel Pliocene inferiore (4,5 Ma) ma essa, e tutte quelle nella sua prossimità sono state riattivate anche in tempi recenti (Pleistocene inferiore, 1 Ma).

Lembi di questa struttura sono ancora attivi come testimoniano sismi anche di  $M > 5.5$  avvenuti in prossimità della città di Bologna; un esame della Carta interattiva D.I.S.S. 3.1.1 ha permesso di individuare la struttura sismo genetica più prossima al sito di interesse (vedi fig. 6.2) determinandola in quella denominata ITC S 047 Castelvetro di Modena – Castel San Pietro e di calcolare l'accelerazione massima nel bed rock sismico (terreno di tipo A) del sito considerato (vedi Tabella 6.1)



Fig. n°6.2– Estratto dalla Carta delle strutture sismo genetiche D.I.S.S. 3.1.1 edita da INGV

Le caratteristiche principali di questa struttura sono:

Direzione: 85° N – 135° N

Inclinazione: 20° – 40°

Immersione: 80° N – 100° N

Profondità minima e massima degli eventi: 2,0 – 8,0 Km

Magnitudo massima (stimata): 6,0 Mw

Scorrimento relativo: 0,1 – 0,5 mm/anno

Il catalogo storico e strumentale ci mostra che nella parte centrale e occidentale della struttura si sono avuti numerosi sismi sia di media grandezza che catastrofici di questi ultimi si ricorda (da O verso E):

3/010/1505 Bologna M = 5,5

20/04/1929 area bolognese M = 5,5

20/07/1399 area modenese M = 5,4

Si deve ricordare poi l'evento successo immediatamente a S della struttura in questione il 06/02/1455 di M = 5,4

L'area in oggetto si trova ad una distanza di 4,78 km; come citato in precedenza nella Tabella 6.1 sono evidenziate le distanze e le accelerazioni al suolo per sismi della M massima aspettata nel sito e di M = 6.0 in considerazione degli ultimi avvenimenti tellurici che hanno interessato la Regione Emilia Romagna.




<input checked="" type="radio"/> Siti rigidi o depositi alluvionali profondi con spessori maggiori di 20 metri <input type="radio"/> Depositi superficiali con spessore compreso tra 5 e 20 metri								
<input checked="" type="checkbox"/> Imposta distanza con il mouse								
Sorgente sismogenetica	P1		P2		Distanza (Km)		Magnitudo (Mw)	Accelerazione al suolo (g)
	Lat. (°)	Long. (°)	Lat. (°)	Long. (°)				
<input type="radio"/> ITC S 047	44.550447	11.266458	44.5075	11.266458	4.78		5.6	0.223
<input checked="" type="radio"/> ITC S 047	44.550447	11.266458	44.5075	11.266458	4.78		6.0	0.311
<input type="radio"/>								

Tabella 6.1 calcolo dell'accelerazione massima al suolo da D.I.S.S. 3.1.1 edito da INGV.

## 6.2 Inquadramento Sismico e determinazione dell'azione sismica di progetto

La regione Emilia – Romagna è interessata da una sismicità media relativamente a quella nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6.0 della scala Richter, e intensità del IX- X grado della scala MCS; il Comune di Calderara di Reno è classificato entro la categoria III<sup>^</sup> (bassa sismicità) entro la Classificazione dei Comuni Sismici d'Italia allegata all'OPCM 03/2003.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla 'pericolosità sismica di base del sito che costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche



Secondo quanto prescritto da NTUC per l'area analizzata deve essere stabilita dalla “*pericolosità sismica di base*” del sito che costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale, mediante specifiche analisi che fornissero la quantificazione della Velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di spessore ( $V_{s30}$ ) e la frequenza di risonanza tipica del terreno. Tali scopi, come indicato nel paragrafo 1.0 e 2.0 sono stati ottenuti mediante rilievi geofisici con tecnica ReMi per quello che riguarda il calcolo di  $V_s$  30 e HVSr (indagine tomografica) per quello che riguarda la ricerca della frequenza tipica del terreno.; i risultati sono riportati in appendice 3 e 4.

Dalle elaborazioni effettuate si è riscontrato che i terreni di fondazione ricadono entro la categoria C essendo caratterizzati da un valore  $V_s$  pari a  $270 \pm 20$  m/s.

Tale categoria è così definita nelle NTUC2008: “*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180mt/sec e 360 mt/sec (ovvero  $15 < NSPT,30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 \text{ kPa} < cu,30 < 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fina)*”.

I fattori di amplificazione da utilizzare per la costruzione degli spettrogrammi di accelerazione, desunti dal Decreto della Giunta dell'Emilia Romagna n°2193/15 RER (vedi par. 1.0) saranno quelli previsti per il tipo morfologico PIANURA 1 e si riportano di seguito:

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5
F.A. SI2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1
F.A. SI3	3.4	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0

Tabella 6.2 – Valori di amplificazione, relativi all'ambito Pianura 2.

Nel sito i rilievi HRSV hanno dato i seguenti risultati:

- Si rilevano blandi picchi a frequenze di circa 1,0 Hz
- In tutte le prove si ha una coalescenza di picchi tra 3,6 e 10,6 Hz; questi picchi sono più significativi avendo un rapporto H/V maggiore di 2
- Nel rilievo a stazione singola si rileva un picco importante a 15,6 Hz (questo picco è dato, con ogni probabilità dall'interfaccia al tetto delle ghiaie.

Inserendo nei dati di progetto i parametri che tengano conto del tipo di costruzione (costruzione di tipo 1 vedi tabella 2.4.1 del NTUC), della classe d'uso dell'opera (considerata di classe II – vedi tabella 2.4.II del NTUC) e dell'amplificazione derivata dalla topografica (categoria T1 – vedi tabella 3.2.IV del NTUC) si ottengono gli accelerogrammi associati ai diversi stati limite; nel nostro caso



si considerano gli SLO, SLV, SLD e SLC di cui si riporta in appendice 4 i grafici e le relative tabelle di calcolo.

Classe d'uso II. Rientrano in questa classe le costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in

Si riportano in allegato gli spettri di risposta per lo Stato Limite di Esercizio, di Danno per lo Stato Limite di Vita e per lo Stato Limite di Collasso; di seguito si riportano le tabelle con i parametri sismici e i coefficienti sismici relativi ai due stati

Applicando tali fattori alle formule per la costruzione dei grafici sismici (componente orizzontale e componente verticale del moto) si ottengono, per il sito in esame i seguenti parametri:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16507	44,563670	11,245570	2497,49
2	16508	44,564970	11,315690	3863,83
3	16730	44,515000	11,317460	5397,05
4	16729	44,513690	11,247430	4523,08

Tabella 6.3 – Siti di Riferimento.

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,482	0,258
SLD	50	0,063	2,500	0,272
SLV	475	0,165	2,418	0,299
SLC	975	0,215	2,428	0,301

Tabella 6.4 – Parametri Sismici

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,019	0,058	0,083
kv	0,008	0,010	0,029	0,042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,756	0,934	2,358	2,924
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Tabella 6.5 – Coefficienti Sismici.

## 7.0 Verifica del potenziale di liquefazione

Poiché dall'analisi della stratigrafia emerge che nel sito sono presenti livelli assimilabili a orizzonti sabbiosi saturi e continui, in ottemperanza a quanto richiesto dal decreto della Giunta Regionale n.2193/15, si rende necessario effettuare le verifiche relativamente alla probabilità che avvenga il fenomeno della liquefazione delle sabbie in corrispondenza di un evento sismico. Visti gli sviluppi degli ultimi eventi sismici avvenuti si considererà nei calcoli un evento di  $M = 6.0$ .

Le prove eseguite indicano che la falda freatica si trova a profondità di circa 6,8 m dal p.c. ma si tratta di una misura eseguita durante un periodo siccitoso pertanto si ritiene più utile utilizzare le profondità indicate da ricerche bibliografiche che indicano come livello più prossimo al p.c. la misura di - 5,0 m dal p.c. Non si tiene conto di misure superiori perché riferibili a situazioni locali di falde sospese e molto probabilmente effimere.

I calcoli sono stati eseguiti solamente per le prove CPT 1; CPT 2 e CPT 5 tengono conto dei terreni fino al tetto delle ghiaie in quanto la presenza di ghiaia e l'alta resistenza alla punta permettono di escludere la loro suscettività rispetto al fenomeno.

Per la verifica è stato utilizzato un programma di calcolo conosciuto come Liquiter edito dalla Geotru

Per il calcolo si utilizzerà, come richiesto dal decreto citato la teoria di Boulanger e Idriss 2014 di cui si forniscono alcuni cenni:

Nel metodo proposto da **Idriss e Boulanger** l'indice di comportamento  $I_C$  per il tipo di suolo è ricavato con le formule riportate di seguito:

$$I_c = \left[ \left( \log_{10} Q - 3,47 \right)^2 + \left( \log_{10} R_f + 1,22 \right)^2 \right]^{0,5} \quad (7.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{P_a} \left( \frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (7.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (7.0c)$$

dove

$q_c$  è la resistenza alla punta misurata

$P_a$  è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$

$f_s$  è l'attrito del manicotto

$n$  è un'esponente che dipende dal tipo di suolo, variabile tra 0,5 e 1.

Calcolato  $I_C$ , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left( \frac{q_c}{Pa} \right) \quad (7.1)$$

$$C_Q = \left( \frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n \leq 1,7 \quad (7.2)$$

dove **n** si determina per via iterativa dalla seguente relazione:

$$n = 1,338 - 0,249 \cdot q_{c1N}^{0,264} \quad (7.3)$$

La correzione della resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata mediante la seguente procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (7.4a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \left( 11,9 + \frac{q_{c1N}}{14,6} \right) \cdot \exp \left[ 1,63 - \frac{9,7}{FC + 2} - \left( \frac{15,7}{FC + 2} \right)^2 \right] \quad (7.4b)$$

Dove la frazione di fine FC(%) viene calcolata mediante l'espressione seguente:

$$FC(\%) = 2,8 \cdot (I_c)^{2,60} \quad (7.5)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR**<sub>7,5</sub>) si calcola da:

$$CRR = \exp \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{113} + \left( \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right)^2 - \left( \frac{(q_{c1N})_{cs}}{140} \right)^3 + \left( \frac{(q_{c1N})_{cs}}{137} \right)^4 - 2,80 \right] \quad (7.6)$$

Per  $z_w > z$ , con  $z_w$  profondità della falda, e per  $(q_{c1N})_{cs} \leq 160$  il terreno è non liquefacibile (NL).  
Il rapporto di sforzo ciclico **CSR** (*Cyclic Stress Ratio*) si determina da:

$$CSR = 0,65 \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d \quad (7.7)$$

Dove per il coefficiente di riduzione delle tensioni **r<sub>d</sub>** si utilizza la formula, con M si indica la magnitudo:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (7.8a)$$

$$\alpha = -1,1012 - 1,126 \cdot \sen \left[ \frac{z}{11,73} + 5,133 \right] \quad (7.8b)$$

$$\beta = 0,106 + 0,118 \cdot \sen \left[ \frac{z}{11,28} + 5,142 \right] \quad (7.8c)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma} \quad (7.9)$$

Per determinare il fattore di scala della magnitudo **MSF**, la formula di **Idriss & Boulanger** utilizza l'espressione:

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \cdot 8.64 \cdot \exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 1.325 \leq 1.8 \quad (7.10)$$

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{qc_{lnCS}}{180}\right)^3 \leq 2.2$$

Il fattore di correzione della pressione di confinamento  $K_{\sigma}$  è dato da:

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right) \leq 1 \quad (7.11a)$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37.3 - 8.27 \cdot (q_{cIN})^{0.264}} \leq 0.3 \quad (7.11b)$$

In appendice 6 si riportano sia in forma grafica che analitica i risultati ottenuti con questo procedimento; i valori calcolati indicano che, per le profondità raggiunte prima del rifiuto (la ghiaia non è liquefacibile in quanto non è contemplata entro il fuso critico) i valori di  $I_L$  sono compresi tra il 0,0 della prova CPT 1 e l'1,22 della prova CPT 1. Con questi valori la suscettività alla liquefazione dei terreni al di sotto dell'opera da costruire è bassa.

## 8.0 Conclusioni

Dalle prove eseguite e dalla consultazione dei dati bibliografici acquisiti si possono trarre le seguenti conclusioni:

I terreni presenti sono di genesi sedimentaria derivati dalla dinamica deposizionale del fiume Reno nel periodo Recente (0,0 – 0,016 Ma) per questo motivo sono classificati entro la Carte Geologica d'Italia scala 1:50.000 come appartenenti al Supersistema Emiliano Romagnolo Superiore (AES) di cui formano il Subsistema di Ravenna (AES8). Questo Subsistema è composto da terreni di tutte le frazioni granulometriche con le frazioni superiori limitate alle parti intravallive e di alta pianura. Nell'area in è stata rilevata la presenza di due contesti differenti con il primo che occupa lo spessore compreso dal piano di campagna a – 5,0 m circa dato da un complesso di terreni argillosi e argilloso limosi con inserite lenti e strati di limo sabbioso o sabbia limosa. Al di sotto, fino al termine delle prove troviamo, dopo uno strato argilloso di forma a cuneo (con la parte più spessa nel settore occidentale del lotto), livelli assai competenti dati da sabbia ghiaiosa e ghiaia.

Dalla consultazione della bibliografia si pensa che la parte superiore sia associabile alla dinamica deposizionale di un antico corso del torrente Lavino avente direzione circa SO – NE, mentre la parte più profonda è associabile a dinamiche deposizionali del fiume Reno con provenienza da SSE.

La superficie di falda è stata misurata, alla data delle prove, ad una quota situata a 6,80 m dal piano del piazzale; misure effettuate nell'area in tempi differenti indicano per la falda superficiale (probabilmente di tipo sospeso) variazioni comprese tra i – 5,50 m ed i – 10,0 m. Per le valutazioni sul rischio di liquefazione dei terreni sotto falda si è tenuto un livello (a favore di sicurezza, di – 5,0 m da p.c.

Sulla base di quanto prescritto dal NTC08 è stata determinata la velocità media delle onde sismiche di taglio è di circa  $270 \pm 20$  m/sec; pertanto, per quanto riguarda l'amplificazione delle onde sismiche derivata dalla stratigrafia dei terreni, l'area ricade entro la categoria C *depositi a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*. Nelle prove a stazioni singole si è rilevato un picco di frequenza elevato a circa 10,3 hz

I fattori di amplificazione che permettono di calcolare la velocità al suolo delle onde sismiche devono fare riferimento al tipo Pianura 1 riportato entro il Decreto della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna 20193/15

Di calcoli eseguiti risulta che i terreni a componente granulare prevalente posti sotto falda sono da ritenersi o non liquefacibili o ad attitudine alla liquefazione bassa per sismi di  $M = 6.0$ .

Castenaso li 08/06/2018



Chili Giuliano  
(CCIR n°565 Sez A)



## Appendice

## Appendice 1

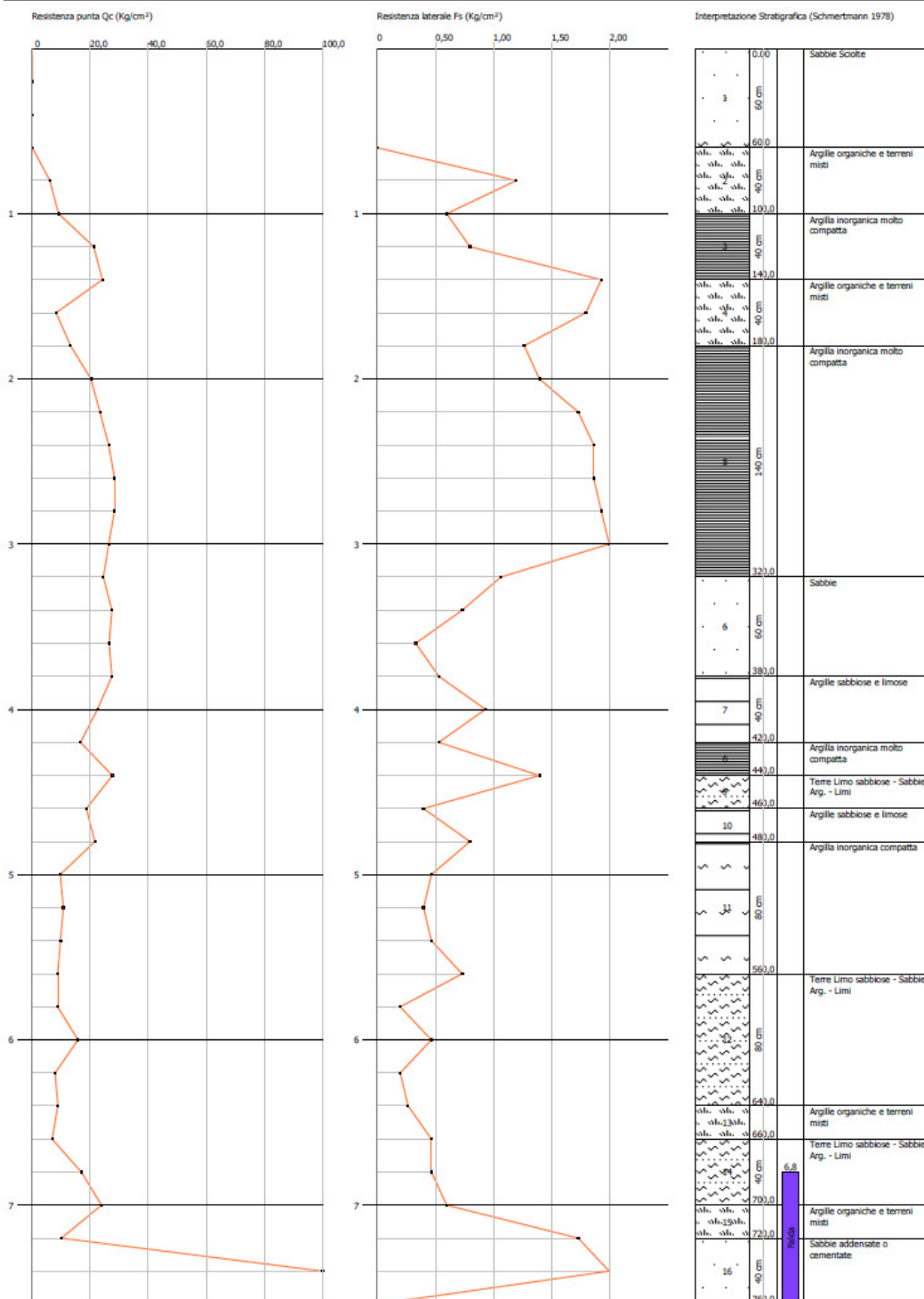
Prova Penetrometrica Statica CPT

Lecture di campagna, Diagrammi  
e  
Interpretazioni litologiche

PROVA ... Nr.1

Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti  
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)  
 Prova eseguita in data: 25/05/2018  
 Profondità prova: 7,60 mt  
 Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,40	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,60	0,00	0,0	0,138	-0,4	-0,345	-289,9
0,80	6,00	0,0	6,138	1,2	5,115	19,6
1,00	9,00	27,0	9,138	0,6	15,23	6,6
1,20	21,00	30,0	21,276	0,8	26,595	3,8
1,40	24,00	36,0	24,276	1,933	12,559	8,0
1,60	8,00	37,0	8,276	1,8	4,598	21,7
1,80	13,00	40,0	13,276	1,267	10,478	9,5
2,00	20,00	39,0	20,276	1,4	14,483	6,9
2,20	23,00	44,0	23,414	1,733	13,511	7,4
2,40	26,00	52,0	26,414	1,867	14,148	7,1
2,60	28,00	56,0	28,414	1,867	15,219	6,6
2,80	28,00	56,0	28,414	1,933	14,699	6,8
3,00	26,00	55,0	26,414	2,0	13,207	7,6
3,20	24,00	54,0	24,552	1,067	23,01	4,3
3,40	27,00	43,0	27,552	0,733	37,588	2,7
3,60	26,00	37,0	26,552	0,333	79,736	1,3
3,80	27,00	32,0	27,552	0,533	51,692	1,9
4,00	22,00	30,0	22,552	0,933	24,171	4,1
4,20	16,00	30,0	16,69	0,533	31,313	3,2
4,40	27,00	35,0	27,69	1,4	19,779	5,1
4,60	18,00	39,0	18,69	0,4	46,725	2,1
4,80	21,00	27,0	21,69	0,8	27,113	3,7
5,00	9,00	21,0	9,69	0,467	20,749	4,8
5,20	10,00	17,0	10,828	0,4	27,07	3,7
5,40	9,00	15,0	9,828	0,467	21,045	4,8
5,60	8,00	15,0	8,828	0,733	12,044	8,3
5,80	8,00	19,0	8,828	0,2	44,14	2,3
6,00	15,00	18,0	15,828	0,467	33,893	3,0
6,20	7,00	14,0	7,966	0,2	39,83	2,5
6,40	8,00	11,0	8,966	0,267	33,581	3,0
6,60	6,00	10,0	6,966	0,467	14,916	6,7
6,80	16,00	23,0	16,966	0,467	36,33	2,8
7,00	23,00	30,0	23,966	0,6	39,943	2,5
7,20	9,00	18,0	10,104	1,733	5,83	17,2
7,40	364,00	390,0	365,104	2,0	182,552	0,5
7,60	450,00	480,0	451,104	0,0		0,0



PROVA ... Nr.2

Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

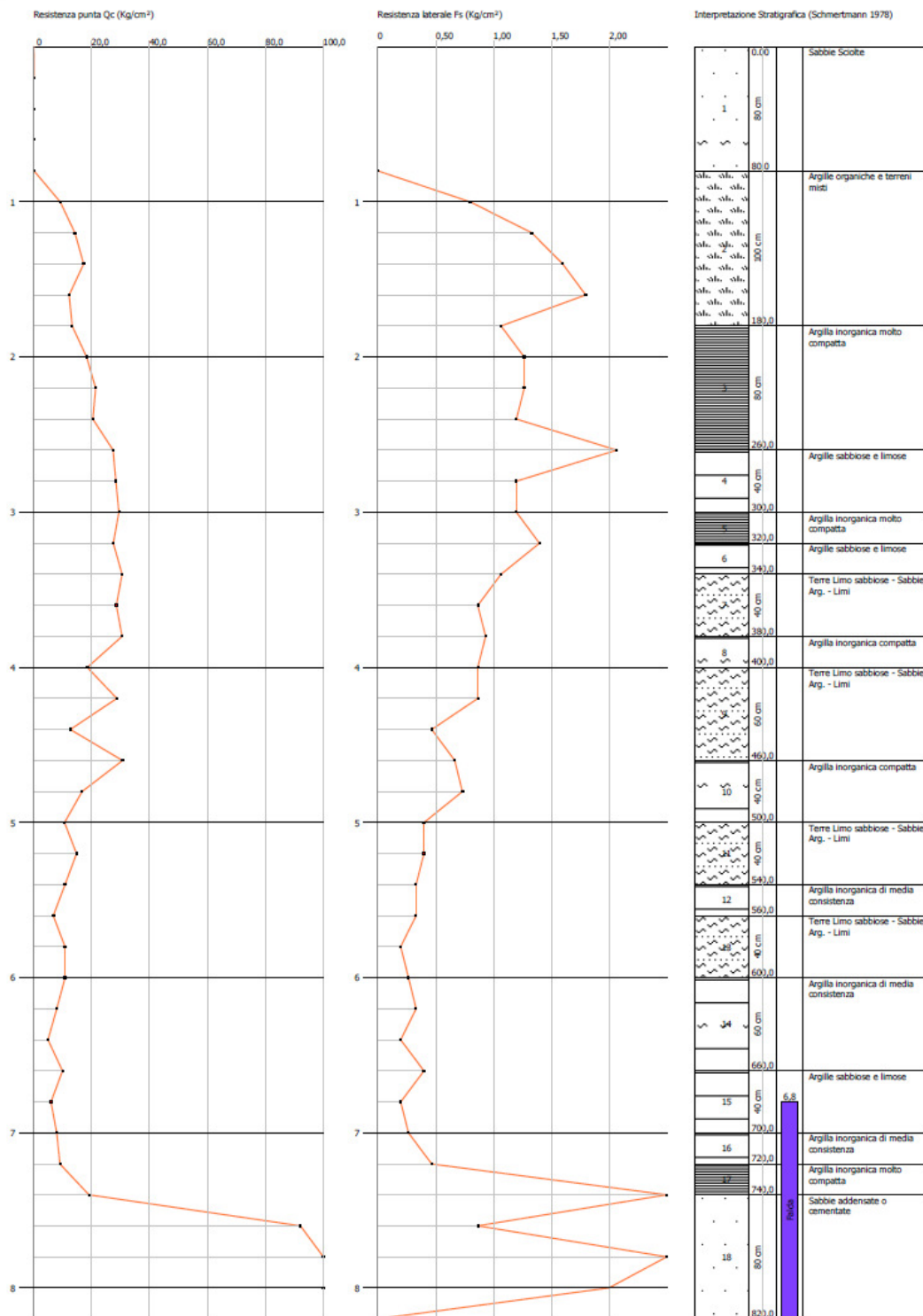
Prova eseguita in data: 25/05/2018

Profondità prova: 8,20 mt

Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,40	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,60	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,80	0,00	0,0	0,138	-0,6	-0,23	-434,8
1,00	9,00	0,0	9,138 0,8		11,423	8,8
1,20	14,00	26,0	14,276	1,333	10,71	9,3
1,40	17,00	37,0	17,276 1,6		10,798	9,3
1,60	12,00	36,0	12,276	1,8	6,82	14,7
1,80	13,00	40,0	13,276	1,067	12,442	8,0
2,00	18,00	34,0	18,276	1,267	14,425	6,9
2,20	21,00	40,0	21,414	1,267	16,901	5,9
2,40	20,00	39,0	20,414 1,2		17,012	5,9
2,60	27,00	45,0	27,414	2,067	13,263	7,5
2,80	28,00	59,0	28,414 1,2		23,678	4,2
3,00	29,00	47,0	29,414 1,2		24,512	4,1
3,20	27,00	45,0	27,552	1,4	19,68	5,1
3,40	30,00	51,0	30,552	1,067	28,634	3,5
3,60	28,00	44,0	28,552	0,867	32,932	3,0
3,80	30,00	43,0	30,552	0,933	32,746	3,1
4,00	18,00	32,0	18,552	0,867	21,398	4,7
4,20	28,00	41,0	28,69	0,867	33,091	3,0
4,40	12,00	25,0	12,69	0,467	27,173	3,7
4,60	30,00	37,0	30,69	0,667	46,012	2,2
4,80	16,00	26,0	16,69	0,733	22,769	4,4
5,00	10,00	21,0	10,69 0,4		26,725	3,7
5,20	14,00	20,0	14,828	0,4	37,07	2,7
5,40	10,00	16,0	10,828	0,333	32,517	3,1
5,60	6,00	11,0	6,828	0,333	20,505	4,9
5,80	10,00	15,0	10,828	0,2	54,14	1,8
6,00	10,00	13,0	10,828	0,267	40,554	2,5
6,20	7,00	11,0	7,966	0,333	23,922	4,2
6,40	4,00	9,0	4,966	0,2	24,83	4,0
6,60	9,00	12,0	9,966 0,4		24,915	4,0
6,80	5,00	11,0	5,966	0,2	29,83	3,4
7,00	7,00	10,0	7,966	0,267	29,835	3,4
7,20	8,00	12,0	9,104	0,467	19,495	5,1
7,40	18,00	25,0	19,104	7,6	2,514	39,8
7,60	91,00	205,0	92,104	0,867	106,233	0,9
7,80	277,00	290,0	278,104	3,467	80,215	1,2
8,00	157,00	209,0	158,104 2,0		79,052	1,3
8,20	350,00	380,0	351,242	0,0		0,0





PROVA ... Nr.3

Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti

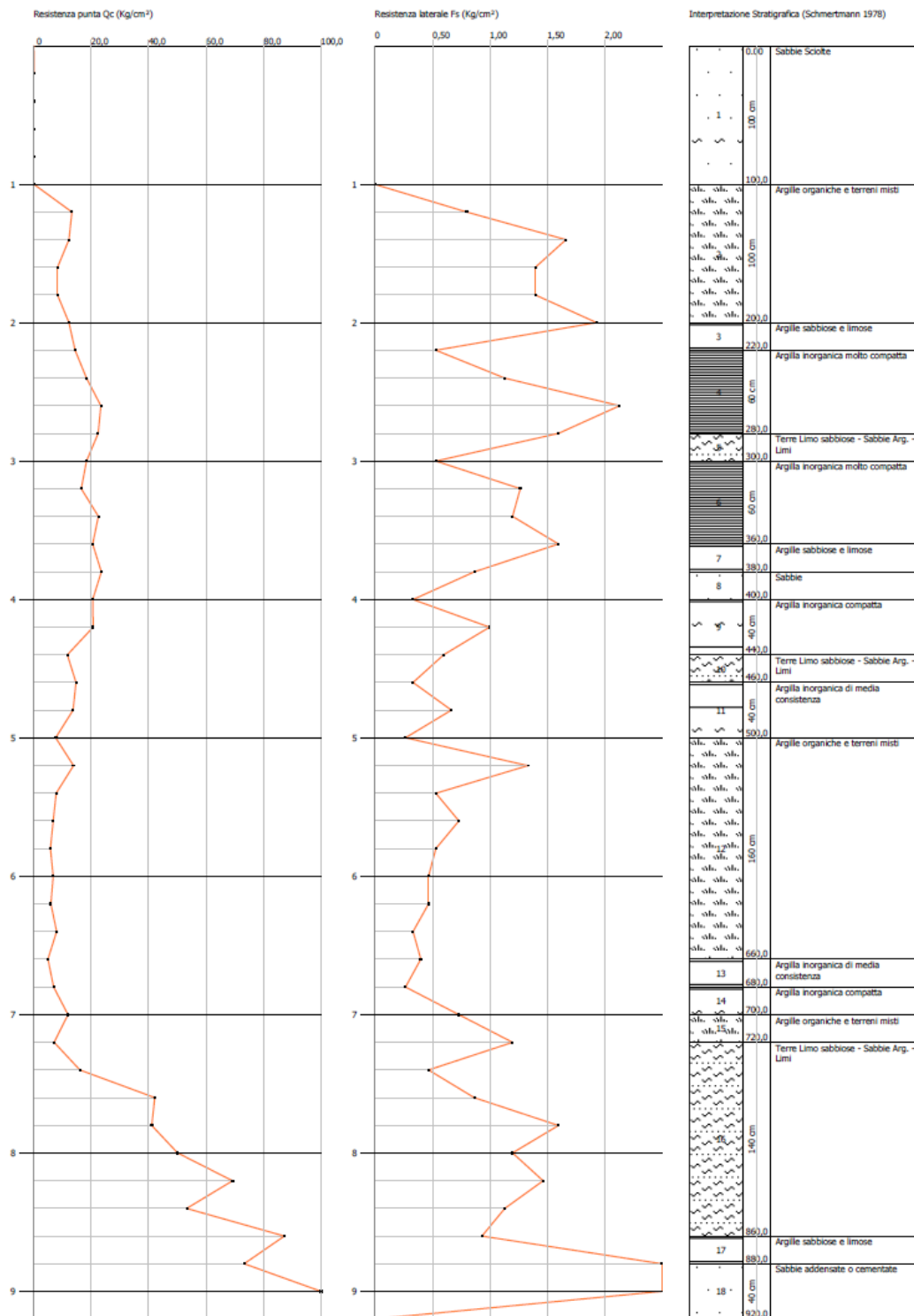
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 25/05/2018

Profondità prova: 9,20 mt

Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,40	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,60	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,80	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
1,00	0,00	0,0	0,138	-0,867	-0,159	-628,3
1,20	13,00	0,0	13,276	0,8	16,595	6,0
1,40	12,00	24,0	12,276	1,667	7,364	13,6
1,60	8,00	33,0	8,276	1,4	5,911	16,9
1,80	8,00	29,0	8,276	1,4	5,911	16,9
2,00	12,00	33,0	12,276	1,933	6,351	15,7
2,20	14,00	43,0	14,414	0,533	27,043	3,7
2,40	18,00	26,0	18,414	1,133	16,252	6,2
2,60	23,00	40,0	23,414	2,133	10,977	9,1
2,80	22,00	54,0	22,414	1,6	14,009	7,1
3,00	18,00	42,0	18,414	0,533	34,548	2,9
3,20	16,00	24,0	16,552	1,267	13,064	7,7
3,40	22,00	41,0	22,552	1,2	18,793	5,3
3,60	20,00	38,0	20,552	1,6	12,845	7,8
3,80	23,00	47,0	23,552	0,867	27,165	3,7
4,00	20,00	33,0	20,552	0,333	61,718	1,6
4,20	20,00	25,0	20,69	1,0	20,69	4,8
4,40	11,00	26,0	11,69	0,6	19,483	5,1
4,60	14,00	23,0	14,69	0,333	44,114	2,3
4,80	13,00	18,0	13,69	0,667	20,525	4,9
5,00	7,00	17,0	7,69	0,267	28,801	3,5
5,20	13,00	17,0	13,828	1,333	10,374	9,6
5,40	7,00	27,0	7,828	0,533	14,687	6,8
5,60	6,00	14,0	6,828	0,733	9,315	10,7
5,80	5,00	16,0	5,828	0,533	10,934	9,1
6,00	6,00	14,0	6,828	0,467	14,621	6,8
6,20	5,00	12,0	5,966	0,467	12,775	7,8
6,40	7,00	14,0	7,966	0,333	23,922	4,2
6,60	4,00	9,0	4,966	0,4	12,415	8,1
6,80	6,00	12,0	6,966	0,267	26,09	3,8
7,00	11,00	15,0	11,966	0,733	16,325	6,1
7,20	6,00	17,0	7,104	1,2	5,92	16,9
7,40	15,00	33,0	16,104	0,467	34,484	2,9
7,60	41,00	48,0	42,104	0,867	48,563	2,1
7,80	40,00	53,0	41,104	1,6	25,69	3,9
8,00	49,00	73,0	50,104	1,2	41,753	2,4
8,20	68,00	86,0	69,242	1,467	47,2	2,1
8,40	52,00	74,0	53,242	1,133	46,992	2,1
8,60	86,00	103,0	87,242	0,933	93,507	1,1
8,80	72,00	86,0	73,242	3,8	19,274	5,2
9,00	393,00	450,0	394,242	4,333	90,986	1,1
9,20	410,00	475,0	411,38	0,0		0,0



PROVA ... Nr.4

Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 25/05/2018

Profondità prova: 8,40 mt

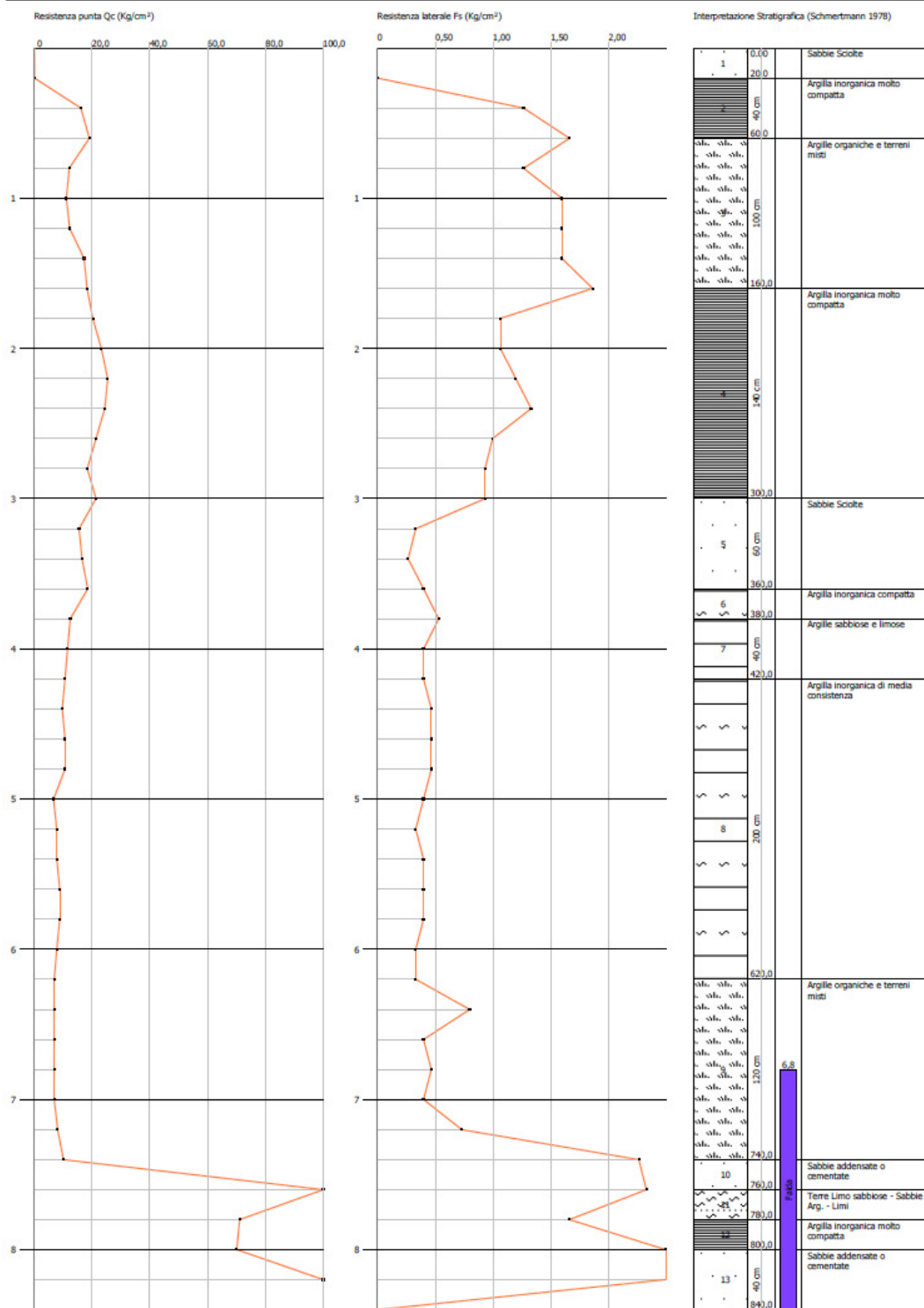
Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	-1,067	-0,129	-773,2
0,40	16,00	0,0	16,138	1,267	12,737	7,9
0,60	19,00	38,0	19,138	1,667	11,481	8,7
0,80	12,00	37,0	12,138	1,267	9,58	10,4
1,00	11,00	30,0	11,138	1,6	6,961	14,4
1,20	12,00	36,0	12,276	1,6	7,673	13,0
1,40	17,00	41,0	17,276	1,6	10,798	9,3
1,60	18,00	42,0	18,276	1,867	9,789	10,2
1,80	20,00	48,0	20,276	1,067	19,003	5,3
2,00	23,00	39,0	23,276	1,067	21,814	4,6
2,20	25,00	41,0	25,414	1,2	21,178	4,7
2,40	24,00	42,0	24,414	1,333	18,315	5,5
2,60	21,00	41,0	21,414	1,0	21,414	4,7
2,80	18,00	33,0	18,414	0,933	19,736	5,1
3,00	21,00	35,0	21,414	0,933	22,952	4,4
3,20	15,00	29,0	15,552	0,333	46,703	2,1
3,40	16,00	21,0	16,552	0,267	61,993	1,6
3,60	18,00	22,0	18,552	0,4	46,38	2,2
3,80	12,00	18,0	12,552	0,533	23,55	4,2
4,00	11,00	19,0	11,552	0,4	28,88	3,5
4,20	10,00	16,0	10,69	0,4	26,725	3,7
4,40	9,00	15,0	9,69	0,467	20,749	4,8
4,60	10,00	17,0	10,69	0,467	22,891	4,4
4,80	10,00	17,0	10,69	0,467	22,891	4,4
5,00	6,00	13,0	6,69	0,4	16,725	6,0
5,20	7,00	13,0	7,828	0,333	23,508	4,3
5,40	7,00	12,0	7,828	0,4	19,57	5,1
5,60	8,00	14,0	8,828	0,4	22,07	4,5
5,80	8,00	14,0	8,828	0,4	22,07	4,5
6,00	7,00	13,0	7,828	0,333	23,508	4,3
6,20	6,00	11,0	6,966	0,333	20,919	4,8
6,40	6,00	11,0	6,966	0,8	8,708	11,5
6,60	6,00	18,0	6,966	0,4	17,415	5,7
6,80	6,00	12,0	6,966	0,467	14,916	6,7
7,00	6,00	13,0	6,966	0,4	17,415	5,7
7,20	7,00	13,0	8,104	0,733	11,056	9,0
7,40	9,00	20,0	10,104	2,267	4,457	22,4
7,60	186,00	220,0	187,104	2,333	80,199	1,2
7,80	70,00	105,0	71,104	1,667	42,654	2,3
8,00	69,00	94,0	70,104	12,2	5,746	17,4
8,20	347,00	530,0	348,242	7,0	49,749	2,0
8,40	405,00	510,0	406,242	0,0		0,0

Probe CPT - Cone Penetration Nr.4  
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti  
Cantiere: Tettoia Presse e vasche  
Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Data: 25/05/2018



PROVA ... Nr.5

Committente: COmpagnia Finanziaria Investimenti

Strumento utilizzato: DEEP DRILL

Prova eseguita in data: 21/07/2016

Profondità prova: 7,60 mt

Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

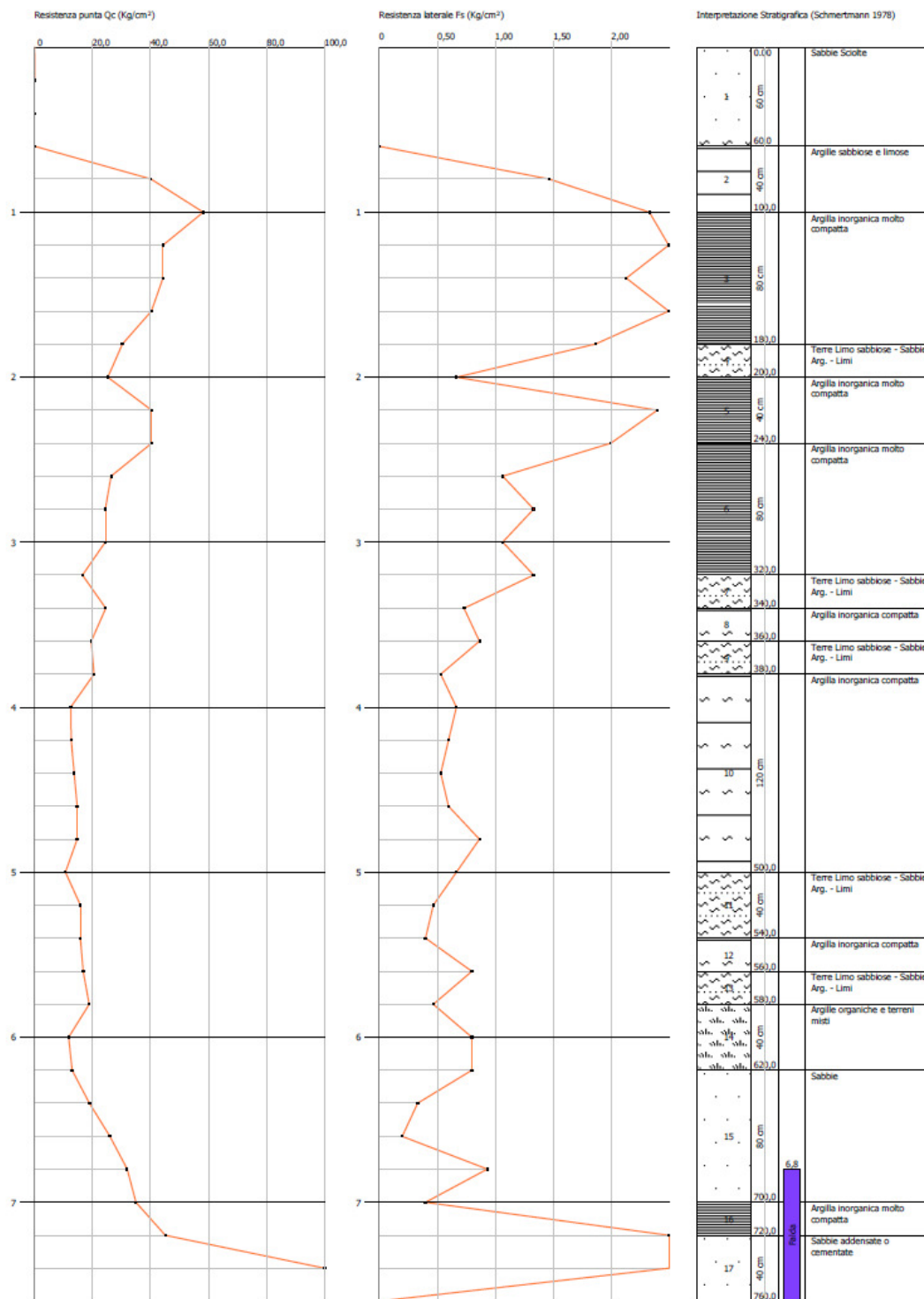
Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,40	0,00	0,0	0,138	0,0		0,0
0,60	0,00	0,0	0,138	-2,667	-0,052	-1932,6
0,80	20,00	0,0	40,138	1,467	27,361	3,7
1,00	29,00	40,0	58,138	2,333	24,92	4,0
1,20	22,00	39,5	44,276	2,6	17,029	5,9
1,40	22,00	41,5	44,276	2,133	20,758	4,8
1,60	20,00	36,0	40,276	2,533	15,901	6,3
1,80	15,00	34,0	30,276	1,867	16,216	6,2
2,00	12,50	26,5	25,276	0,667	37,895	2,6
2,20	20,00	25,0	40,414	2,4	16,839	5,9
2,40	20,00	38,0	40,414	2,0	20,207	4,9
2,60	13,00	28,0	26,414	1,067	24,755	4,0
2,80	12,00	20,0	24,414	1,333	18,315	5,5
3,00	12,00	22,0	24,414	1,067	22,881	4,4
3,20	8,00	16,0	16,552	1,333	12,417	8,1
3,40	12,00	22,0	24,552	0,733	33,495	3,0
3,60	9,50	15,0	19,552	0,867	22,551	4,4
3,80	10,00	16,5	20,552	0,533	38,559	2,6
4,00	6,00	10,0	12,552	0,667	18,819	5,3
4,20	6,00	11,0	12,69	0,6	21,15	4,7
4,40	6,50	11,0	13,69	0,533	25,685	3,9
4,60	7,00	11,0	14,69	0,6	24,483	4,1
4,80	7,00	11,5	14,69	0,867	16,943	5,9
5,00	5,00	11,5	10,69	0,667	16,027	6,2
5,20	7,50	12,5	15,828	0,467	33,893	3,0
5,40	7,50	11,0	15,828	0,4	39,57	2,5
5,60	8,00	11,0	16,828	0,8	21,035	4,8
5,80	9,00	15,0	18,828	0,467	40,317	2,5
6,00	5,50	9,0	11,828	0,8	14,785	6,8
6,20	6,00	12,0	12,966	0,8	16,208	6,2
6,40	9,00	15,0	18,966	0,333	56,955	1,8
6,60	12,50	15,0	25,966	0,2	129,83	0,8
6,80	15,50	17,0	31,966	0,933	34,262	2,9
7,00	17,00	24,0	34,966	0,4	87,415	1,1
7,20	22,00	25,0	45,104	2,667	16,912	5,9
7,40	150,00	170,0	301,104	2,667	112,9	0,9
7,60	200,00	220,0	401,104	0,0		0,0



Probe CPT - Cone Penetration Nr.5  
Strumento utilizzato DEEP DRILL

Committente: Compagnia Finanziaria Investimenti  
Cantiere: Tettoia Presse e vasche  
Località: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

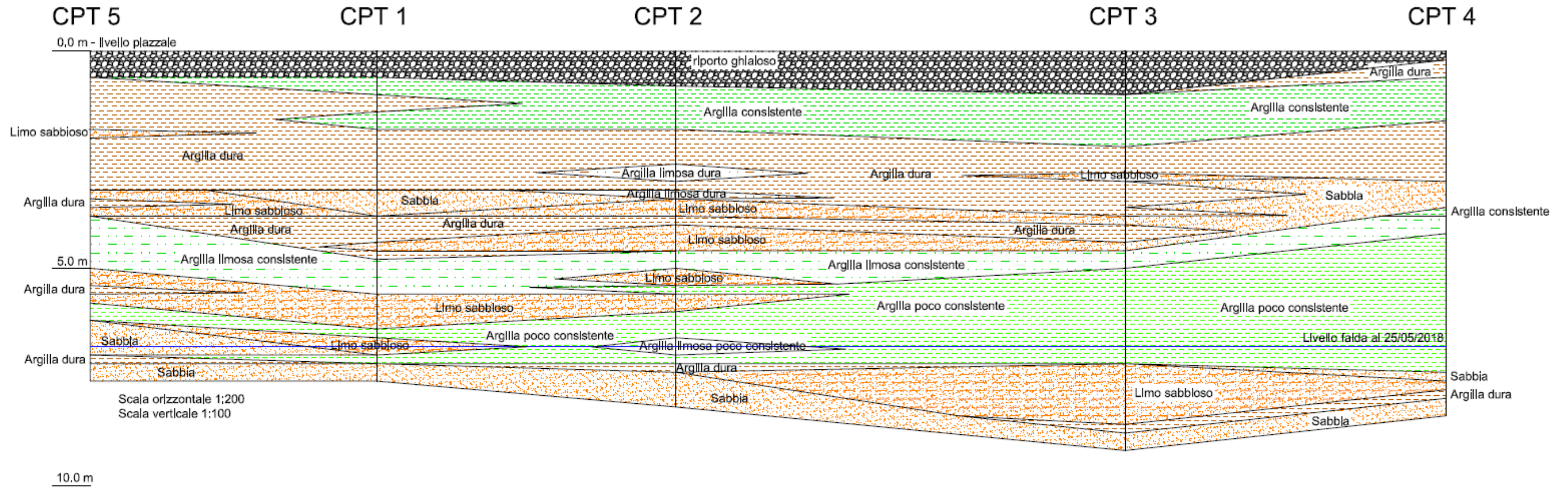
Data: 21/07/2016



## Appendice 2

### Modello stratigrafico interpretativo

## Modello stratigrafico



## Appendice 3

### Indagine Geofisica ReMI

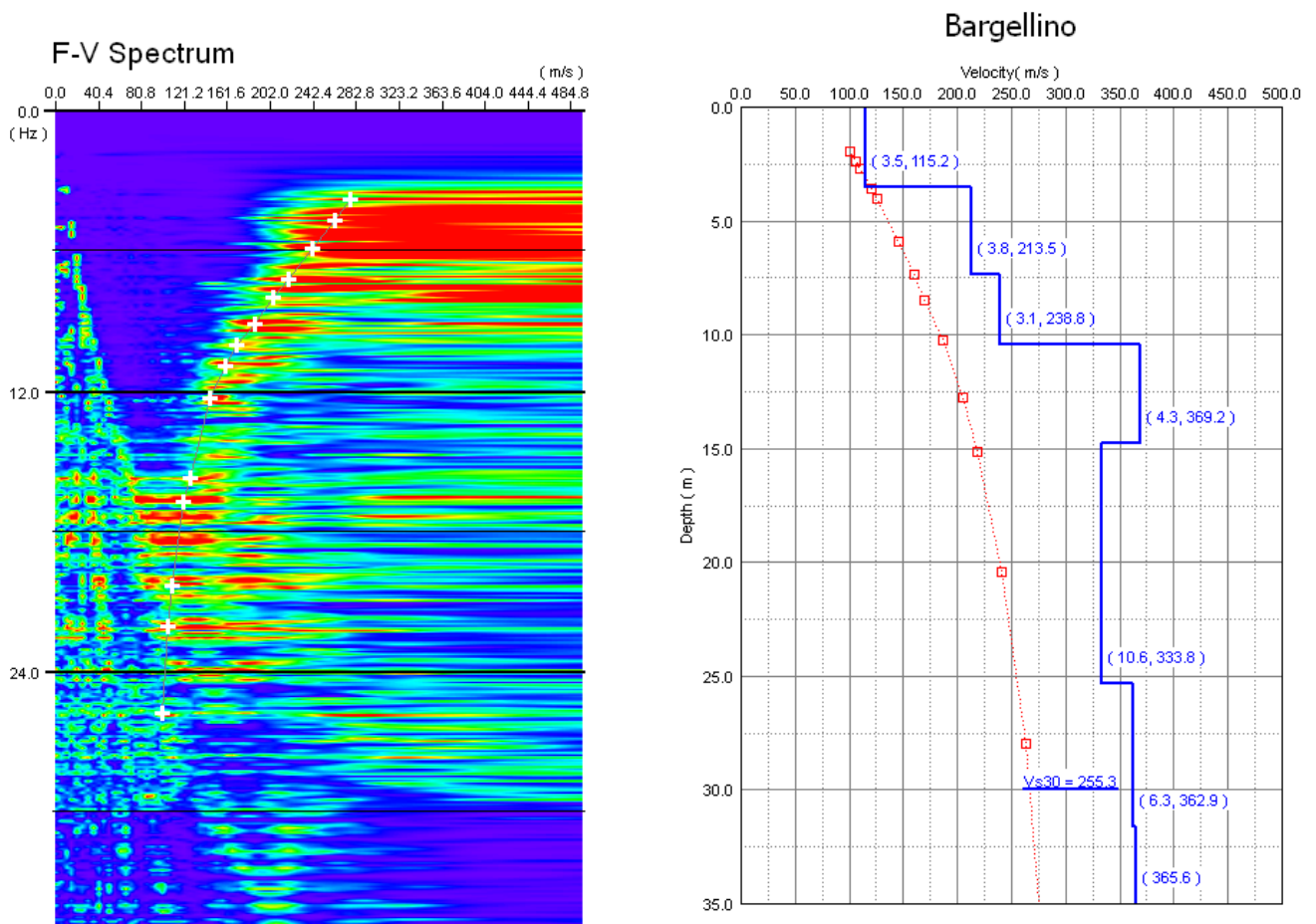
REMI Bargellino 1 – Via Caduti di Ustica Calderara di Reno BO]

Tabella riassuntiva dei parametri relativi al modello di sottosuolo ottenuto

n. strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore strato (m)	Velocità onde S (m/s)
1	3.5	3.5	115
2	7.3	3.8	214
3	10.4	3.1	239
4	14.7	4.3	369
5	25.3	10.6	334
6	31.6	6.3	363
7	35.0	3.4	366

$V_{S30} = 255 \text{ m/s}$  da piano campagna

$V_{S30} = 270 \text{ m/s}$  da -2m dal p.c. → CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C



Picking della curva sperimentale delle onde R (croci bianche).

Modello discreto di sottosuolo (1D) descritto in termini di  $V_s$  e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

## DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (D.M. 14-01-2008, NTC 2008)

A partire dal modello sismico monodimensionale sopra riportato, è possibile calcolare il valore del parametro  $V_{s30}$ , che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Per il calcolo del  $V_{s30}$  si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i} \quad [\text{m/s}]$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (in m/s) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $n$  strati presenti nei 30 m soprastanti. Utilizzando la formula sopra riportata ed eseguendo il calcolo per diverse quote fondali, si ottengono i seguenti valori:

**$V_{s30}$ :**

$V_{s30} (0.0\text{-}30.0\text{m}) = 255 \pm 20 \text{ m/s}$

$V_{s30} (2.0\text{-}32.0\text{m}) = 270 \pm 20 \text{ m/s}$

Si tenga in considerazione che, per sua natura, dall'indagine ReMi si ricostruisce un modello di sottosuolo monodimensionale "medio" (affetto da errore relativo) dell'intero volume investigato. Sulla base di tale considerazione ed alla luce del valore del  $V_{s30}$  calcolato, si associa al sito in esame la categoria di sottosuolo di fondazione "**C**" ai sensi del D.M. 14-01-2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni): "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < \text{NSPT}_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u30} < 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fina)*".



## Appendice 4

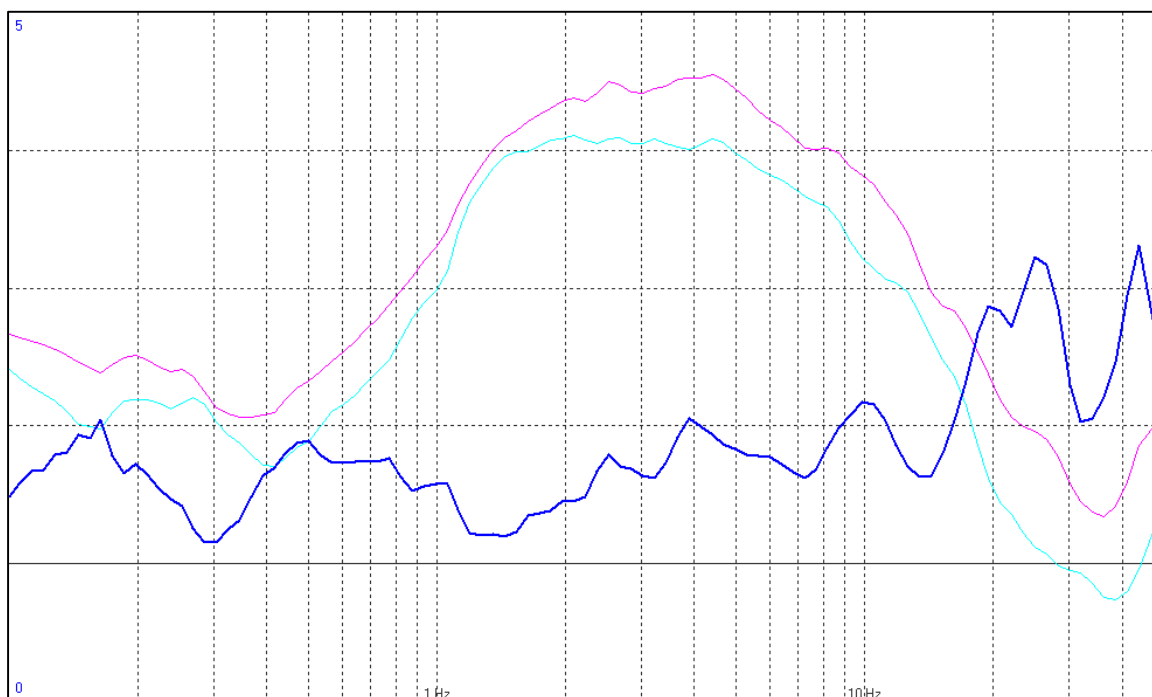
### Indagine Geofisica HVSR

## INDAGINE SISMICA MEDIANTE TECNICA HVSR (LOC. BARGELLINO)

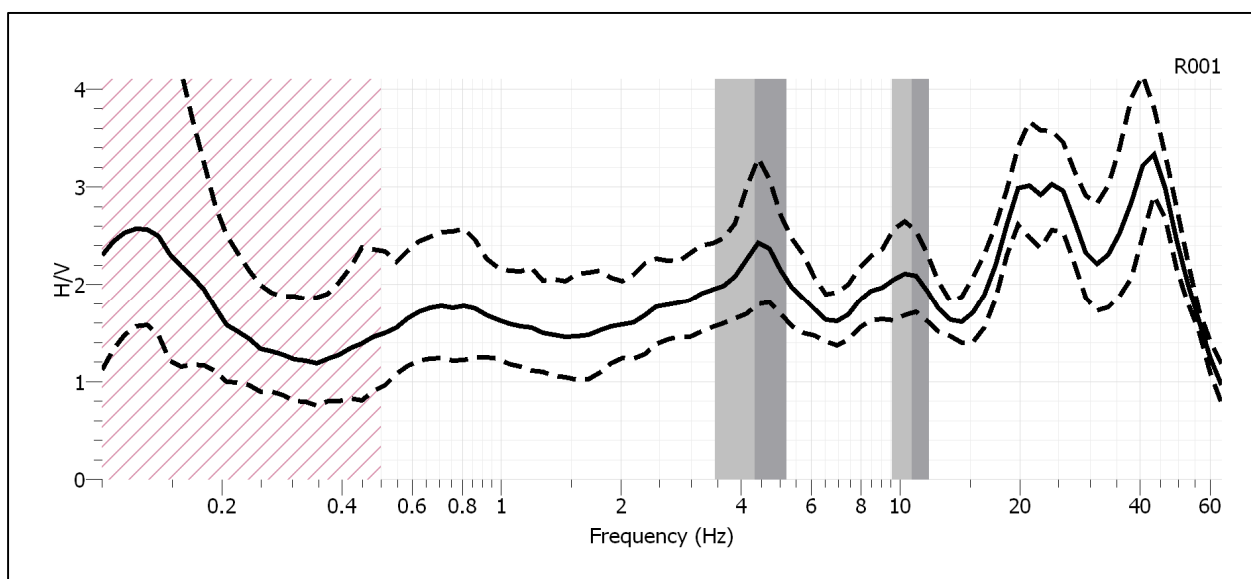
SI ESEGUE UNA STIMA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA TIPICHE DEL SOTTOSUOLO  
INVESTIGATO MEDIANTE TECNICA HVSR

### BARGELLINO

COMPONENTI SPETTRALI SINGOLE E CURVA HV (IN BLU)



PICCHI MAX CURVA H/V A 4.66 Hz, 10.62 Hz E  $F_r < 1$  Hz



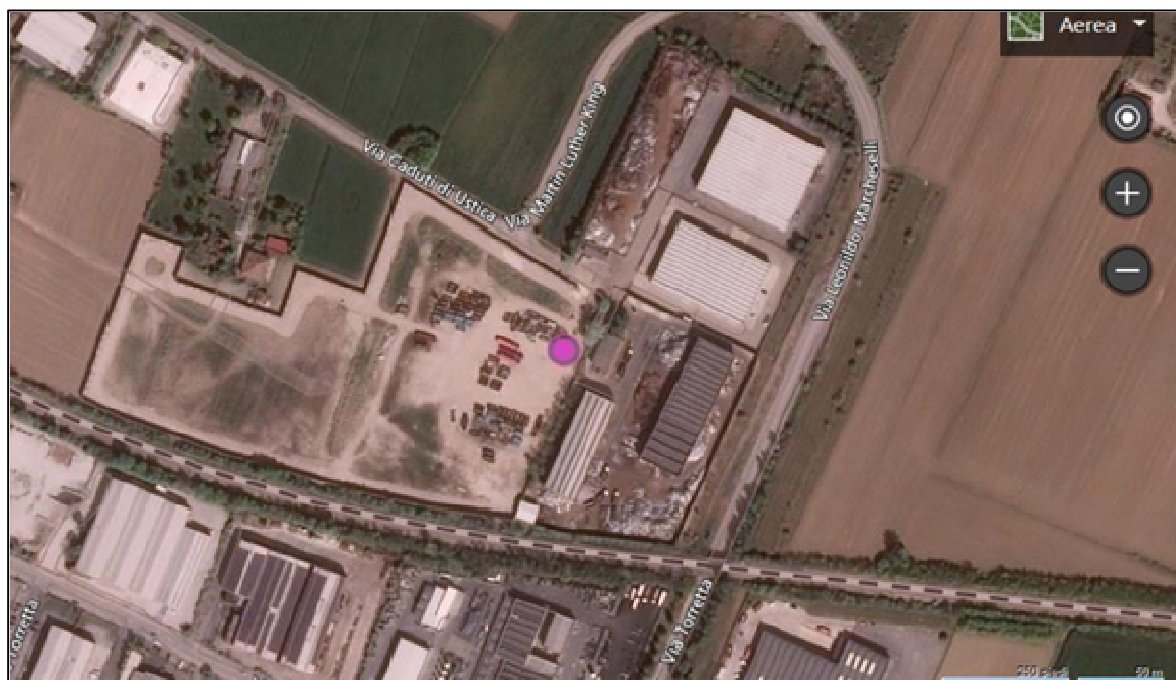
### **Frequenze tipiche del terreno**

Nella banda d'interesse ingegneristico per le possibili interazioni sottosuolo-struttura dovute ad effetti di doppia risonanza, la misura con stazione singola e interpretazione HVSR condotta mostra alcuni modi vibrazionali del sottosuolo investigato. In generale per l'area di studio, si individuano un blando picco H/V per frequenze inferiori ad 1 Hz, una coalescenza di picchi più significativi in termini di rapporto H/V (di poco superiore a 2) nella banda di frequenza di 10.6 Hz circa. Si rilevano inoltre alcuni picchi elevati ( $H/V > 3$ ) per frequenze superiori a 15Hz circa. Per una stima indicativa delle frequenze tipiche delle strutture di progetto si può fare riferimento ad abachi semplificati (es. Masi et al.) o più speditivamente alla nota formula  $[F = 10 \div 12 / n^{\circ} \text{piani}]$  da confrontare con le evidenze misurate nel sottosuolo.

Appencie 5

Spettri di risposta sismica

Livello 2



Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	44,5497131 [°]
Longitudine (WGS84):	11,2702608 [°]
Latitudine (ED50):	44,5506516 [°]
Longitudine (ED50):	11,2712564 [°]

## Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale  $q$ :

1,50

Fattore di struttura spettro verticale  $q$ :

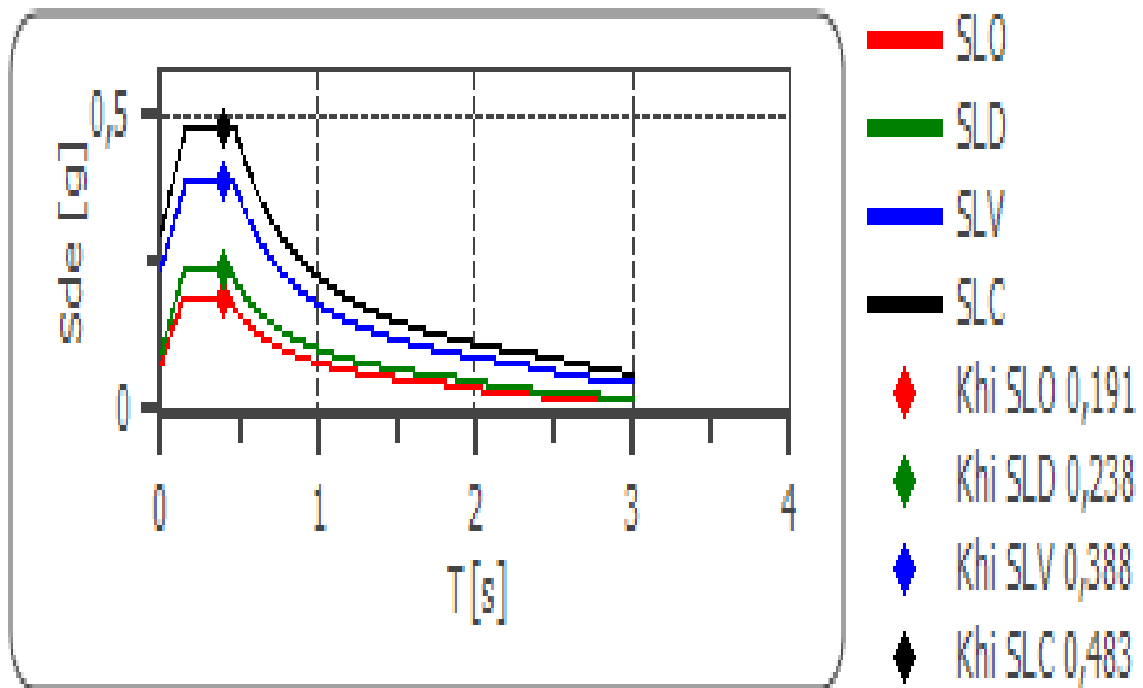
1,50

Periodo fondamentale  $T$ :

0,40 [s]

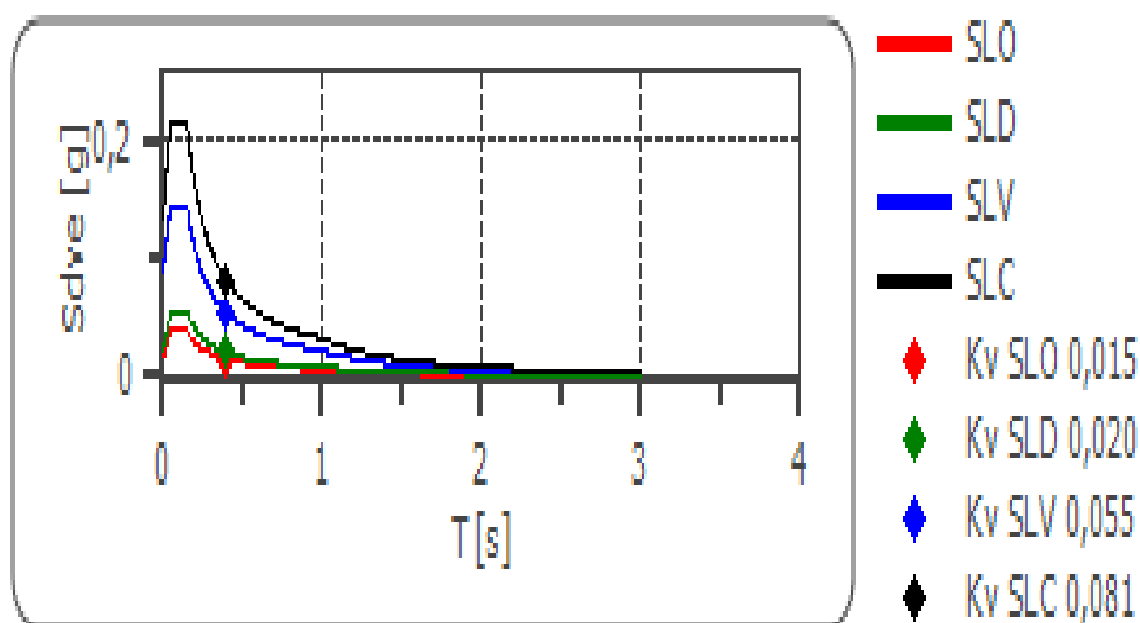
	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0,191	0,238	0,388	0,483
$k_v = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0,015	0,020	0,055	0,081

## Spettro di progetto delle componenti orizzontali





# Spettro di progetto delle componenti verticali

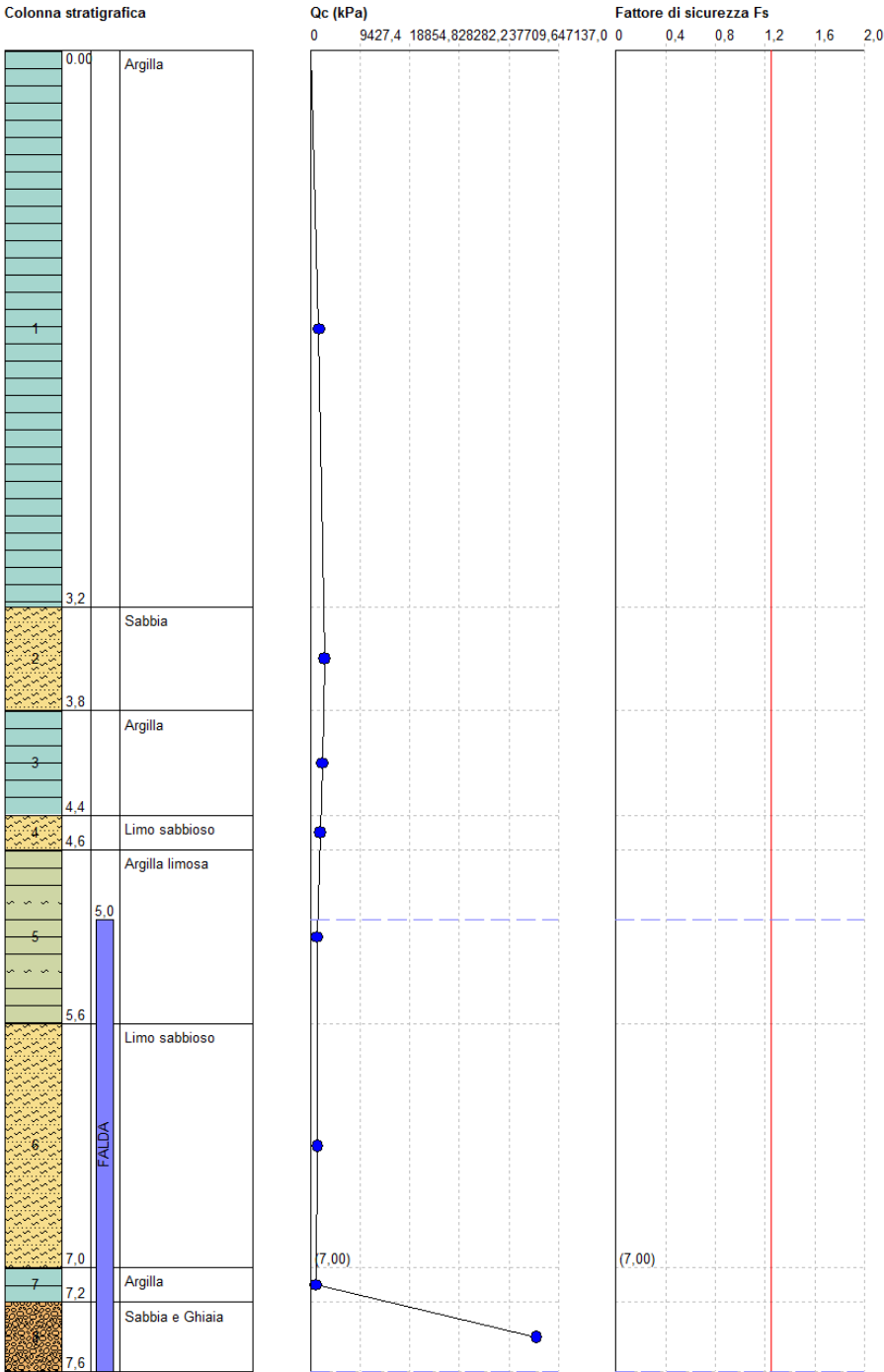


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,051	2,482	0,258	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,423	1,806	0,077	0,191
SLO verticale	1,0	0,051	2,482	0,258	1,500	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,039
SLD orizzontale	1,0	0,063	2,500	0,272	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,854	0,095	0,238
SLD verticale	1,0	0,063	2,500	0,272	1,500	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,022	0,054
SLV orizzontale	1,0	0,165	2,418	0,299	1,460	1,560	1,000	1,460	1,500	0,155	0,466	2,259	0,240	0,388
SLV verticale	1,0	0,165	2,418	0,299	1,460	1,560	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,090	0,145
SLC orizzontale	1,0	0,215	2,428	0,301	1,390	1,560	1,000	1,390	1,500	0,157	0,470	2,458	0,298	0,483
SLC verticale	1,0	0,215	2,428	0,301	1,390	1,560	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,134	0,217

## Appendice 6

### Suscettività alla Liquefazione

Compagnia Finanziaria Investimenti - Roda Metalli  
Tettoia presse e vasche raccolta acque  
Prova CPT 1  
data 08/06/2018



## DATI GENERALI

### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Costruzione tettoia presse e vasche di decantazione acque di prima pioggia

Cliente: Compagnia Finanziaria di investimento, Roda Metalli

Indirizzo, Coordinate: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Data 08/06/2018

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa	1,25
-----------------------------	------

### FALDA

Profondità falda idrica	5 m
-------------------------	-----

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock	0,15
-----------------------	------

Fattore amplificazione	2,418
------------------------	-------

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1,46
--	------

Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
--	---

Magnitudo momento sismico (Mw)	6
--------------------------------	---

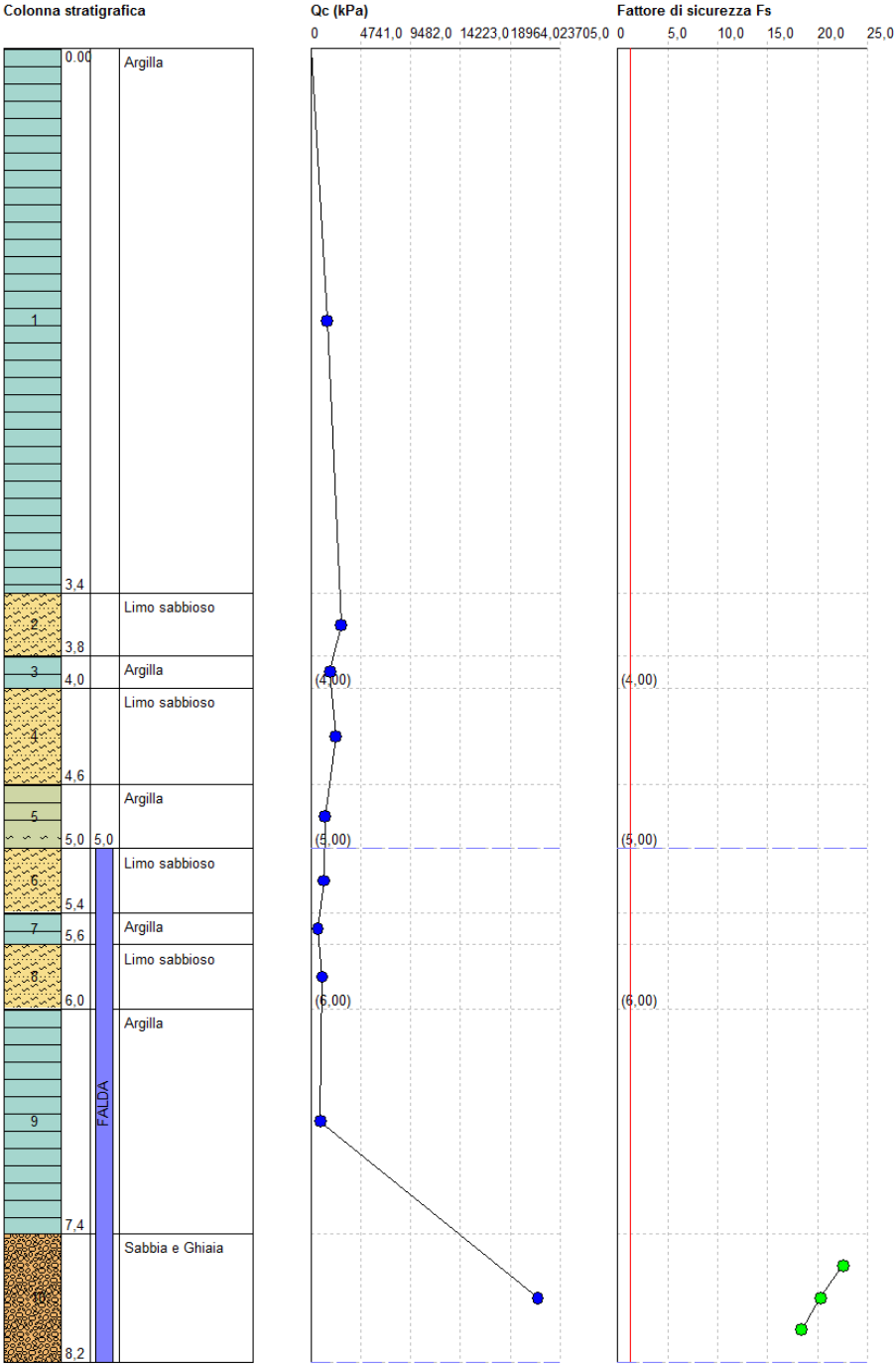
Distanza epicentro	5 Km
--------------------	------

Peak ground acceleration (PGA)	0,219
--------------------------------	-------

PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	qc	fs
Nr		m	m	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KPa	KPa
1	Argilla	0,00	3,20	19,79	20,60	1596,71	116,82
2	Sabbia	3,20	3,80	18,36	21,42	2667,46	52,23
3	Argilla	3,80	4,40	20,30	21,11	2186,48	93,59
4	Limo sabbioso	4,40	4,60	18,36	21,42	1831,62	39,20
5	Argilla limosa	4,60	5,60	19,18	19,99	1192,95	56,15
6	Limo sabbioso	5,60	7,00	18,36	21,42	1252,83	37,34
7	Argilla	7,00	7,20	18,67	19,48	990,19	169,83
8	Sabbia e Ghiaia	7,20	7,60	19,38	22,44	39994,19	98,00

Correzione per la magnitudo (MSF) 1,48

Quota	$\sigma_n$	$\sigma'_n$	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	I <sub>L</sub>	Rischio
m	KPa	KPa					KPa							
5,2	101,866	99,905										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5,4	105,864	101,941										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5,6	109,862	103,978										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5,8	114,146	106,301	12,364	3,279	2,992	0,9596303	0	0,926	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6	118,43	108,623	12,364	3,292	3,001	0,9418062	0	0,921	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,2	122,714	110,946	12,364	3,304	3,01	0,9245918	0	0,915	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,4	126,998	113,269	12,364	3,317	3,019	0,9079542	0	0,91	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,6	131,282	115,591	12,364	3,329	3,027	0,8918653	0	0,905	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,8	135,566	117,914	12,364	3,342	3,036	0,8762739	0	0,899	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7	139,85	120,237	12,364	3,355	3,044	0,8611989	0	0,894	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,2	143,746	122,171	9,772	20,064	3,638	0,8444853	0	0,888	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,4	148,234	124,698										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso														



## DATI GENERALI

### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Costruzione tettoia presse e vasche di decantazione acque di prima pioggia

Cliente: Compagnia Finanziaria di investimento, Roda Metalli

Indirizzo, Coordinate: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Data 08/06/2018

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa	1,25
-----------------------------	------

### FALDA

Profondità falda idrica	5 m
-------------------------	-----

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock	0,15
-----------------------	------

Fattore amplificazione	2,418
------------------------	-------

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1,46
--	------

Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
--	---

Magnitudo momento sismico (Mw)	6
--------------------------------	---

Distanza epicentro	5 Km
--------------------	------

Peak ground acceleration (PGA)	0,219
--------------------------------	-------

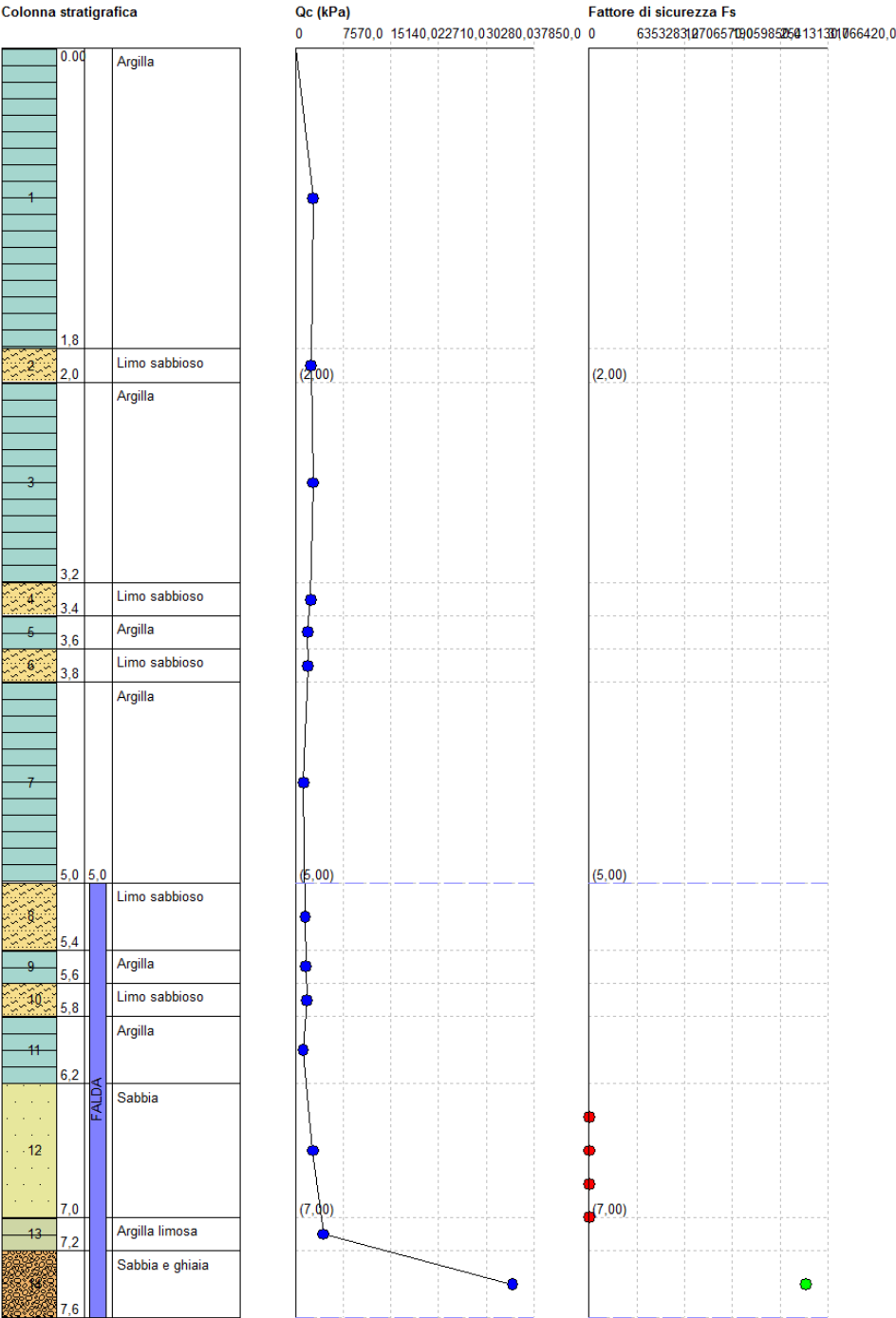


PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	qc	fs
Nr		m	m	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KPa	KPa
1	Argilla	0,00	3,40	19,69	20,50	1557,91	96,04
2	Limo sabbioso	3,40	3,80	18,36	21,42	2896,10	88,20
3	Argilla	3,80	4,00	19,89	20,71	1818,10	84,97
4	Limo sabbioso	4,00	4,60	18,36	21,42	2354,25	65,37
5	Argilla	4,60	5,00	19,38	20,20	1341,62	55,57
6	Limo sabbioso	5,00	5,40	18,36	21,42	1257,14	35,97
7	Argilla	5,40	5,60	17,95	18,77	669,14	32,63
8	Limo sabbioso	5,60	6,00	18,36	21,42	1061,14	22,93
9	Argilla	6,00	7,40	18,56	19,38	910,52	132,50
10	Sabbia e Ghiaia	7,40	8,20	19,38	22,44	21549,12	155,23

Correzione per la magnitudo (MSF)

1,72

Quota	$\sigma_n$	$\sigma'_n$	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	$I_L$	Rischio
m	KPa	KPa					KPa							
5,2	101,32	99,359	12,407	3,112	2,953	1,016832	0	0,942	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5,4	105,604	101,681	12,407	3,124	2,962	0,9970053	0	0,937	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5,6	109,358	103,474										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5,8	113,642	105,797	10,473	2,42	2,983	0,9627213	0	0,926	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6	117,926	108,119	10,473	2,431	2,993	0,9443575	0	0,921	0	0	0	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,2	121,802	110,034										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,4	125,678	111,949										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,6	129,554	113,863										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6,8	133,43	115,778										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7	137,306	117,693										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,2	141,182	119,607										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,4	145,058	121,522										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,6	149,546	124,049	212,673	0,725	1,607	0,9037789	201,12	0,877	3,397	0,15	22,573	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,8	154,034	126,575	212,673	0,726	1,61	0,8947129	199,32	0,871	3,064	0,151	20,3	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8	158,522	129,102	212,673	0,726	1,614	0,8859143	197,59	0,866	2,781	0,151	18,375	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso														



## DATI GENERALI

### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Costruzione tettoia presse e vasche di decantazione acque di prima pioggia

Cliente: Compagnia Finanziaria di investimento, Roda Metalli

Indirizzo, Coordinate: Via Caduti di Ustica - Calderara di Reno

Data 08/06/2018

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa	1,25
-----------------------------	------

### FALDA

Profondità falda idrica	5 m
-------------------------	-----

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock	0,15
-----------------------	------

Fattore amplificazione	2,418
------------------------	-------

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1,46
--	------

Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
--	---

Magnitudo momento sismico (Mw)	6
--------------------------------	---

Distanza epicentro	5 Km
--------------------	------

Peak ground acceleration (PGA)	0,219
--------------------------------	-------

PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	qc	fs
Nr		m	m	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	KPa	KPa
1	Argilla	0,00	1,80	20,71	21,52	2807,11	111,82
2	Limo sabbioso	1,80	2,00	18,36	21,42	2477,05	65,37
3	Argilla	2,00	3,20	20,71	21,52	2819,46	150,23
4	Limo sabbioso	3,20	3,40	18,36	21,42	2406,10	71,83
5	Argilla	3,40	3,60	19,99	20,81	1916,10	84,97
6	Limo sabbioso	3,60	3,80	18,36	21,42	2014,10	52,23
7	Argilla	3,80	5,00	19,28	20,09	1290,37	64,29
8	Limo sabbioso	5,00	5,40	18,36	21,42	1551,14	42,53
9	Argilla	5,40	5,60	19,69	20,50	1649,14	78,40
10	Limo sabbioso	5,60	5,80	18,36	21,42	1845,14	45,77
11	Argilla	5,80	6,20	19,18	19,99	1214,91	78,40
12	Sabbia	6,20	7,00	18,36	21,42	2740,67	45,77
13	Argilla limosa	7,00	7,20	21,42	22,24	4420,19	261,37
14	Sabbia e ghiaia	7,20	7,60	19,38	22,44	34408,19	130,73

Correzione per la magnitudo (MSF)

1,72

[illegible]