

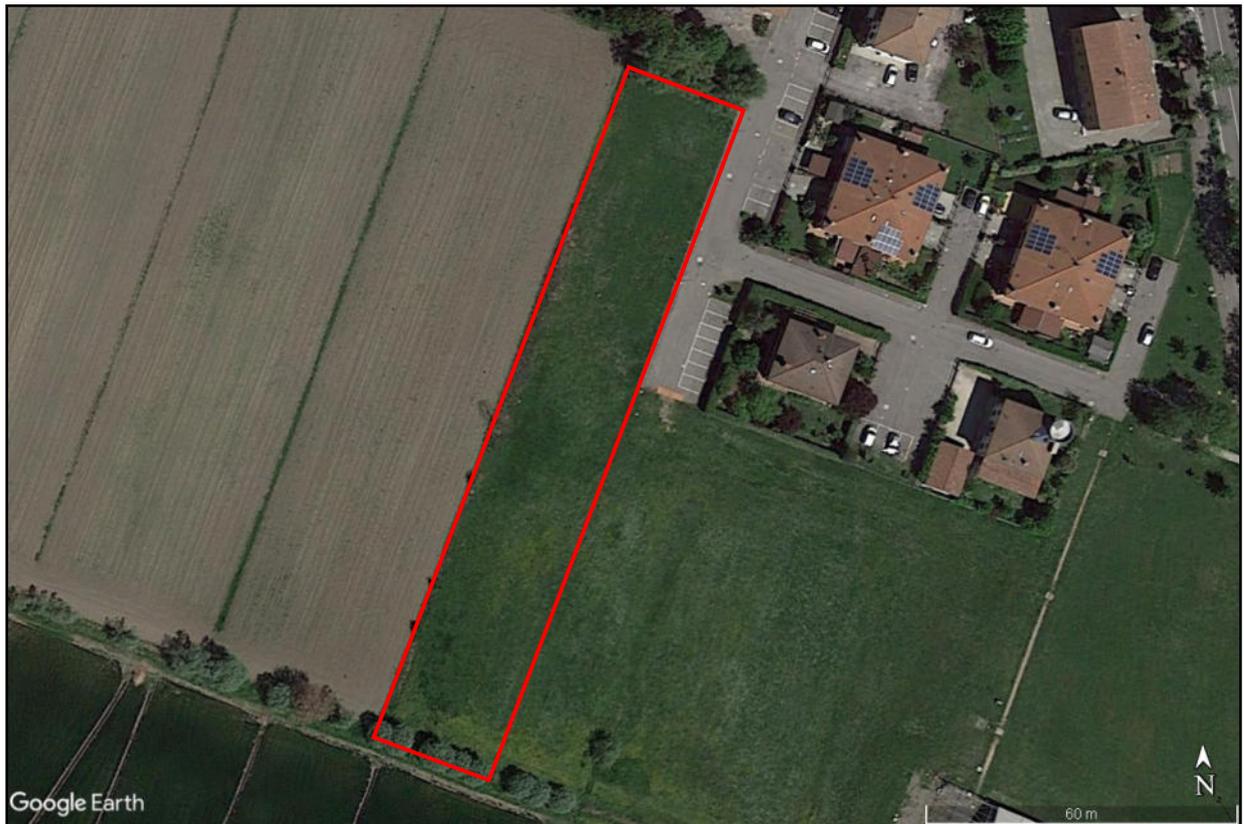
Studio Geotecnico Chili Giuliano

Via Bruno Bottau n°4
40055 Castenaso (BO)
p.i. 01625471204
c.f. CHL GLN 59R28 A944U

Città Metropolitana di Bologna

Comune di Sala Bolognese

RELAZIONE GEOLOGICA



Progetto: per edificare un nuovo comparto residenziale (Ambito ARS.SB_VIII un fregio alla Via Don G. Botti - Località Sala – Comune di Sala Bolognese –variante al POC con valenza di PUA

Proprietà: Futura Costruzioni srl

GE	PDC	RGL	RELAZIONE GEOLOGICA	-	CHILI
----	-----	-----	---------------------	---	-------

Data: 15/12/2019
Rev.02/04/2021



Relazione n. 52/19

1.0 Premessa

1.1 Premessa

Nell'ambito del progetto per la realizzazione di accordo operativo al fine di edificare un nuovo comparto residenziale (Ambito ARS.SB_VIII un fregio alla Via Don G. Botti - Località Sala – Comune di Sala Bolognese – Variante al POC con valenza di PUA, la Committente Futura Costruzioni srl, mi ha 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;
- Valutazione della fattibilità delle opere in base alle caratteristiche geotecniche
- 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 elencati sono stati perseguiti mediante la realizzazione di n°8 prove penetrometriche statiche eseguite con piezocono spinte fino a profondità variabili tra gli 11,00 ed i -20,08 m dal p.c. attuale; per la determinazione della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di spessore si sono eseguiti due rilievi geofisici di sismica passiva con stazione singola elaborati poi con la tecnica HVSR, seguendo quanto richiesto 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**
- **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 Legislativo della Giunta Regione Emilia Romagna n.2193 del 21/12/2015**
- **Decreto Legislativo della Giunta Regione Emilia Romagna n.630/2019**
- **L.R. n. 19 del 30/10/2008.**
- **PTCP Comune di Bologna adottato con delibera c.d. n. 3 del 11/02/2003.**
- **PSC Comune di Sala Bolognese (Quadro conoscitivo PSC in forma associata Terre d'Acqua)**
- **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 202 San Giovanni in Persiceto
- Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna scala 1:250.000 – Boccaletti, Martelli e alii 2004
- Carta Geomorfologica del Territorio di Pianura del Comune di Bologna scala 1:25.000 – Bergonzoni & Elmi
- 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 Geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 – Castiglioni et. alii 1997
- Risorse Idriche sotterranee della RER – Di Dio 1998
- Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna scala 1:250.000 – Martelli Severi et alii 2016

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

2.0 Modalità di prova

2.1. Prova penetrometrica statica SCPTu

La prova Penetrometrica Statica con cono sismico (SCPTu) è conosciuta ed usata in tutto il mondo essendo presente sul mercato dal 1974 come CPTE (punta Elettrica).

L'attrezzatura di prova è costituita da una punta conica del diametro di 35 mm e angolo di apertura del cono di 60° che viene infissa nel terreno con un velocità di 2 mm/s. La punta è seguita da un settore che porta un anello poroso necessario per misurare le variazioni delle pressione interstiziale al passaggio della punta, tale anello può essere posizionato in tre zone della punta ovvero: direttamente sul cono (u1), immediatamente sopra al cono (u2) e sul manicotto a tergo del cono (u3). Generalmente si usa un settore poroso solo ma esistono punte con 2 e con tre settori porosi applicati contemporaneamente.

Dietro al cono, generalmente subito a monte rispetto al settore poroso u2, si trova un tratto di 150 mm utilizzato per la misura della pressione di attrito laterale esercitata dal terreno dopo il passaggio della punta. Questa misura, definita come f_s , viene utilizzata in combinazione con la pressione di rottura del terreno (q_c) al fine di definire per via indiretta il tipo litologica attraversato.

Tutte le misure avvengono mediante celle di carico e sensori posizionati sulla punta e vengono trasmesse e registrate in tempo reale (tramite un cavo coassiale contenuto entro le aste di prolunga) da un elaboratore elettronico in superficie.

La punta SCPTu contiene anche sensori che permettono di misurare la velocità delle onde sismiche di taglio nel terreno dando modo di poter ricercare tutti quei parametri meccanici che definiscono il terreno dal punto della risposta sismica.

La procedura e la qualità della prova sono ancora oggetto di discussione normativa da parte dell'IRTP (International reference test procedure) che comunque ha definito 4 classi di qualità delle prove a seconda del tipo di progetto e dell'accuratezza con cui bisogna ricostruire il sottosuolo.

L'attrezzatura di esecuzione della prova deve essere così costituita:

- n°1 attrezzatura autocarrata o cingolata con capacità di spinta compresa tra 5 ton e 20 ton
- n°1 punta SCPTu dotata di celle di carico per la lettura di q_c ed f_s ; la cella deve essere dotata di anello poroso per effettuare le letture di u (nel nostro caso u2). Nella cella devono essere inseriti anche sensori che registrano la temperatura e l'inclinazione della attrezzatura di perforazione questo in quanto le Norme prevedono che oltre il 2% di inclinazione occorre eseguire delle correzioni sulla lettura della profondità ed inoltre la q_c è funzione della temperatura dei circuiti all'interno della punta.
- n° di aste di prolunga in numero idoneo a raggiungere la profondità prevista dalle indagini.

La modalità di esecuzione della prova prevede le seguenti fasi:

- Disaerazione della punta e del vano anteriore della cella di carico mediante iniezioni di olio siliconato; questa tecnica presenta diversi vantaggi consistenti nel fatto che se la punta viene utilizzata al di fuori di terreni saturi è altissima la probabilità di desaturazione della punta per fuoriuscita del liquido. Pertanto prima di iniziare una prova con questo tipo di saturazione bisogna eseguire un preforo (p.es con una punta meccanica CPT), estrarre le aste di preforo e introdurre nel foro la punta opportunamente confinata (p.es guaina in lattice di gomma). Per questo motivo è invalso l'uso di effettuare la desaturazione della punta mediante grasso siliconico che, avendo una densità maggiore fuoriesce in maniera

più lenta permettendo di raggiungere la falda prima che avvenga al desaturazione. La differenza tra le due modalità sta nel fatto che le reazioni ai cambiamenti di pressione nella punta saturata a liquido sono immediate mentre, pur non pregiudicando la validità della prova, quelle con la punta saturata a grasso sono più lente.

- Approfondimento della punta entro il terreno della punta in maniera continua con una velocità di avanzamento di $2 \pm 0,5$ cm/sec; uniche interruzioni concesse sono quelle per la aggiunta di aste di prolunga e per le prove di dissipazione (che verranno trattate in un paragrafo a parte). In merito alle aste di prolunga è ammessa una flessione al centro di 0,5 mm per le aste più profonde ed 1 mm per le aste più superficiali, è per questo che è buona norma inserire nella batteria di aste alcune prolunghe dotate di anello centratore (allargatore) che essendo a contatto con i terreni attraversati riduce la flessione delle aste durante la fase di spinta.
- Una volta raggiunta la profondità desiderata si ritira la batteria di perforazione

In fig. 2.1 è rappresentata una punta CPTu con indicate le sue parti interne.

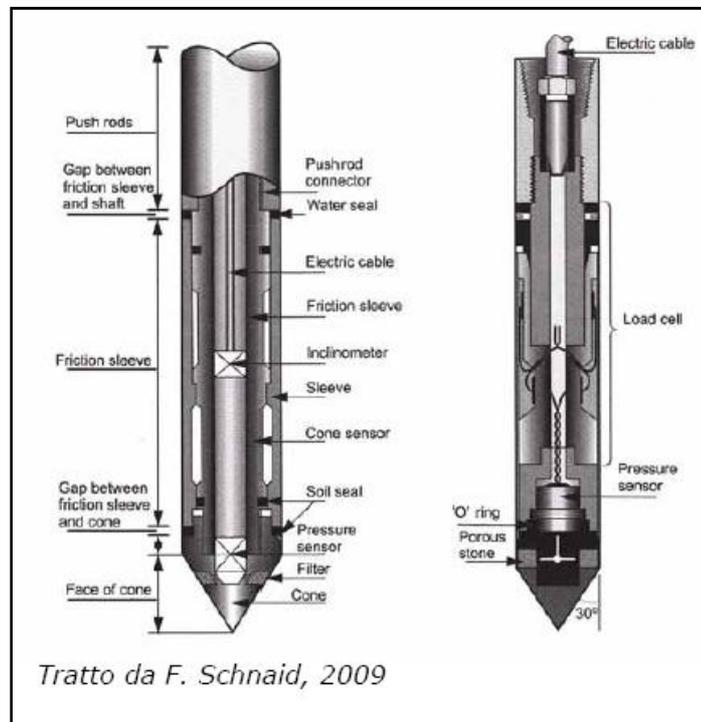


Fig. n. 2.1 -Punta per prove penetrometriche statiche con elettriche continue con misurazione delle pressioni interstiziali (CPTu)misurazione

La stratigrafia del terreno viene ricavata mediante il raffronto tra q_c , f_c e Δu in figura 2.2 si riportano i diagrammi realizzati da Robertson 1990 ed utilizzati per la determinazione della stratigrafia (parzialmente modificata) oggetto delle schede riportate in appendice 1.

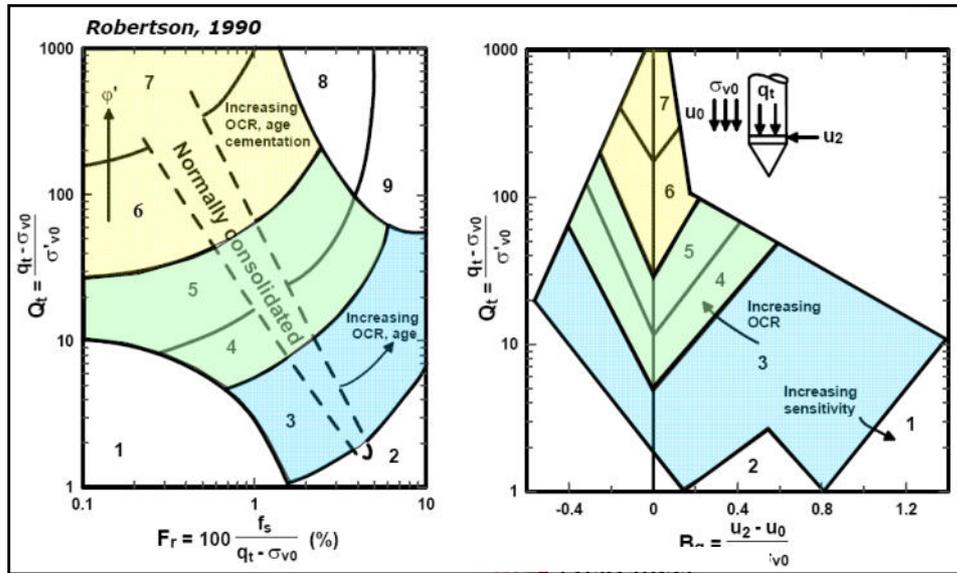


Fig. n. 2.2 -Diagrammi utilizzati per l'elaborazione dei dati rilevati ai fini della determinazione della stratigrafia incontrata da Robertson 1990

Il colore azzurro indica l'area in cui si hanno terreni dotati di comportamento coesivo (argille e argille limose, sabbie argillose etc.); l'area in verdino indica terreni a comportamento misto (limo argilloso sabbioso, limo sabbioso, sabbia fine limosa) e l'area in giallo indica terreni a comportamento drenato (sabbia media e fine con poco limo, sabbia media e sabbia grossolana).

La prova non è indicata per terreni ghiaiosi

La punta utilizzate per l'esecuzione delle prove è di Marca TECNO PENTA Tipo TP CPL2IN

2.2 Prove geofisiche: Sismica – Tomografo 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 [m/s²]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 , ρ), 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 ρ_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 Ubicazione

Foglio 202 scala 1:50.000 – San Giovanni in Persiceto.
Tavoletta 202 SE scala 1:25.000 – San Giovanni in Persiceto
Sezione 202160 scala 1:10.000 – Padulle
Elemento 202163 scala 1:5.000 – Sala

La corografia dell'area è rappresentata con gli estratti della C.T.R., scala 1:5.000 (Fig. 3.1).

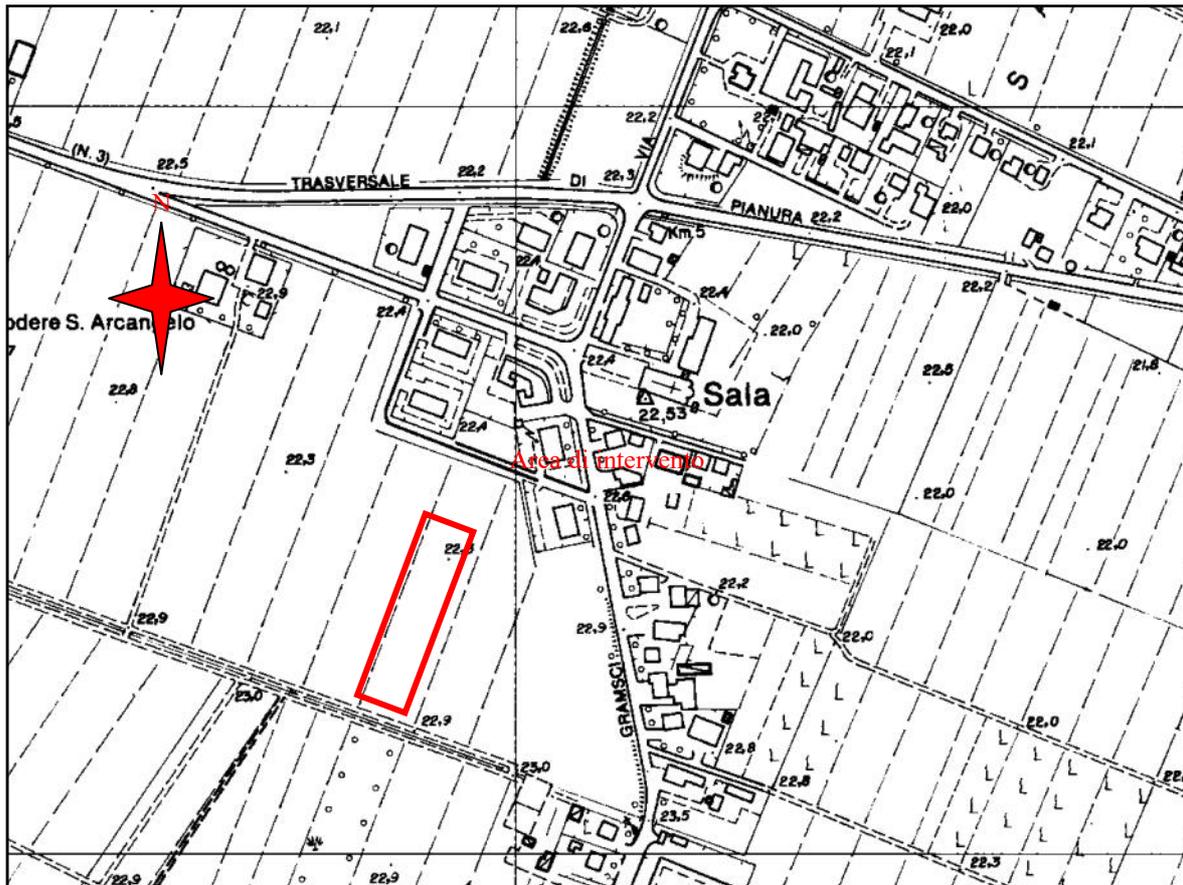


Fig. n. 3.1 - Ubicazione dell'area: estratto da C.T.R. Elemento 202163 Sala.
Scala 1 : 5.000.

3.2 Ubicazione delle prove



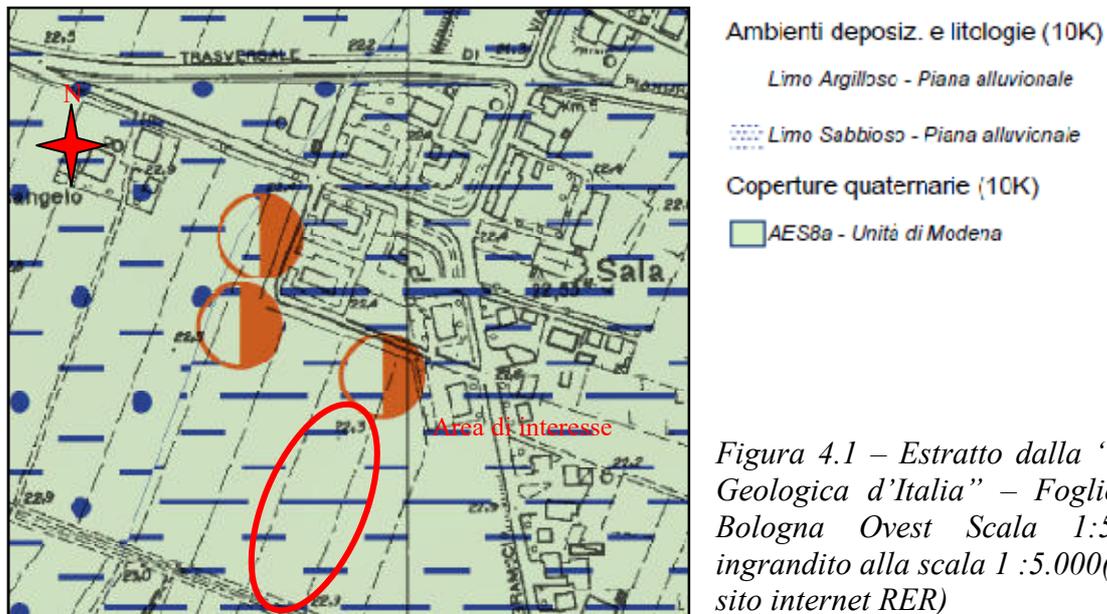
Fig. 3.2 Ubicazione prove geognostiche e geofisiche su foto aerea estratta dal sito Google Earth

4.0 Stratigrafia e litologia

I terreni più superficiali appartengono al Supersistema Emiliano – Romagnolo, costituito da depositi alluvionali formati dall'attività deposizionale del Po, dei suoi affluenti di destra ed i fiumi romagnoli e originatosi in seguito alla prosecuzione del sollevamento (Pleistocene medio) che ha determinato il definito instaurarsi della deposizione continentale.

In particolare i terreni affioranti nell'area oggetto d'intervento, appartengono all'Unità di Modena (AES8a), in come indicato dalla Carta Geologica d'Italia, di cui si riporta un estratto in fig. n. 4.1 (fonte Sito Internet del servizio di sismica e difesa del suolo della RER).

L'unità di Modena rappresenta la porzione sommitale del Subsistema di Ravenna AES₈, ed è costituita dai depositi più superficiali e più recenti, ghiaie, sabbie, limi e argille di canale, argine, rotta fluviale, e piana inondabile. I corpi ghiaiosi sono presenti esclusivamente nelle zone limitrofe agli alvei dei corsi d'acqua principali nelle aree prossime allo sbocco di questi nella pianura. La deposizione di AES8a è assai probabilmente da mettere in relazione con l'instaurarsi di un'importante fase di deterioramento climatico che, tra il IV e il VI secolo d.C., determinò un importante incremento della piovosità, con conseguente modifica della rete idrografica e alluvionamento di gran parte della pianura (Veggiani, 1994); questo fatto fu anche facilitato dal periodo storico che vedeva la decadenza dell'impero romano con conseguente abbandono di tutta la rete scolante e di bonifica della media e bassa pianura.



I terreni oggetto d'indagine sono costituiti da sedimenti d'origine recente geneticamente appartenenti al dominio dei torrenti Lavino, Samoggia e Ghironda essendo la loro confluenza a circa 1 km a S dell'area in esame.

I dati relativi alla successione indagata sono stati restituiti ed elaborati mediante un programma di elaborazione elettronica (Static Probing della Geostru); applicando della teoria di Robertson presentata nel paragrafo 2.0, si può interpretare la successione presente nell'area (vedi tabella 4.1 ÷ 4.8).

I terreni risultanti dall'interpretazione dei dati sono prevalentemente fini e finissimi (da limo argilloso ad argilla) con rari strati granulari, anche di spessore elevato, con granulometria variabile tra il limo sabbioso e la sabbia limosa.

In Allegato 1 – Modello litostratigrafico è stata rappresentata la successione presente mediante la correlazione tra le prove eseguite; dall'analisi di questo elaborato si possono formulare le seguenti osservazioni:

- Nei primi 3 m della successione indagata sono presenti terreni fini e finissimi in cui è

elevata (ma non prevalente) la componente organica.

- A circa 6 m di profondità, dalla prova n° 1 fino alla prova n°4 si rileva la presenza di uno strato limoso argilloso di elevata consistenza, tale livello verosimilmente rappresenta l'interfaccia tra il sub sintema di Ravenna e l'Unità di Modena.
- Immediatamente al di sopra dello strato evidenziato in precedenza si hanno, nella parte Occidentale del lotto lenti di sabbia limosa e limo sabbioso che ad una prima occhiata possono sembrare isolate ma considerando la posizione delle prove che li contengono si può immaginare la loro continuità nella parte Nord occidentale del lotto con un veloce assottigliamento verso E. Le prove eseguite nella parte orientale del lotto (n°1, n°3, n°6 e n°8) non presentano, per i primi 18 m, alcuna lente sabbiosa.
- Alla profondità di 18 m circa è verificata la presenza di una sottile lente di granulometria più elevata con lo spessore massimo e la granulometria più elevata nella parte N del lotto mentre verso la parte S lo spessore e la granulometria diminuiscono (si ha la presenza di limo sabbioso).
- Lenti granulari si rilevano anche nella prova n° 2 e nella prova n° 5 alla profondità di 10 m; anche queste denotano una veloce chiusura verso E.
- Nella zona compresa tra le prove 4 e 5, in corrispondenza degli 8 m si ha una lente metrica in cui è molto elevata la percentuale della componente organica che in alcuni casi diviene prevalente formando livelli sottili e realmente limitati di torbe.
- Lo spessore al di sotto dei 10 m dal p.c. attuale mette in evidenza la presenza di argille e argille limose di media consistenza fino alla profondità di 18 m. Successivamente abbiamo lo strato sabbioso limoso descritto precedentemente cui seguono di nuovo argille e argille limose mediamente consistenti e consistenti.
- In tutta la successione sono presenti lenti sottili e discontinue di limo argilloso di elevata resistenza.

Nelle tabelle 4.1 ÷ 4.11 sono riportate le stratigrafie di dettaglio con le resistenze di punta, quelle laterali ed i principali parametri fisici (peso specifico, OCR, Densità relativa, percentuale di frazione fine etc.) dei livelli incontrati. In appendice 1 si riportano i grafici delle prove con l'interpretazione litostratigrafica; in allegato 1 si produce in forma grafica la successione litostratigrafica interpretativa.

PROVA Nr.1		Prova eseguita in data 06/12/2019							
Committente : Futura Costruzioni srl		Profondità prova: 20.08 mt.							
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese		Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN							
Falda: -2.00 mt da p.c.		Pag.1/2							
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%		
0,00	0,12	6,7	0,03	1,9	2,2	59,98	52,72	>9	Limo sabbioso med.denso
0,12	0,3	9,99	0,43	1,86	1,94	66,82		>9	Argilla med.consistente
0,3	0,48	19,76	0,72	1,97	2,05	48,48		>9	Argilla limosa dura
0,48	0,82	15,33	1,32	1,93	2,01	70,15		>9	Argilla molto consistente
0,82	1,84	12,03	1,11	1,88	1,96	78,37		>9	Argilla organica consistente
1,84	2,06	13,02	0,71	1,9	1,98	64,32		>9	Argilla consistente
2,06	2,46	12,01	0,82	1,88	1,96	71,19		>9	Argilla consistente
2,46	3,8	9,98	0,58	1,85	1,93	72,44		8,71	Argilla med.consistente
3,8	3,96	12,71	0,46	1,89	1,97	58,48		6,08	Argilla deb.limosa consistente
3,96	4,84	12,17	0,57	1,88	1,96	63,62		6,94	Argilla consistente
4,84	5,1	14,72	0,33	1,91	1,99	47,27		3,67	Argilla limosa molto consistente
5,1	5,3	11,71	0,39	1,87	1,95	58,81		4,21	Argilla deb.limosa consistente
5,3	5,38	21,98	0,21	1,9	2,2	29,63	28,48	4,77	Limo sabbioso poco denso
5,38	5,6	16,99	0,43	1,94	2,02	46,32		4,46	Argilla limosa molto consistente
5,6	6,08	19,75	0,49	1,96	2,04	43,32		4,85	Limo argilloso duro
6,08	6,46	17,14	0,45	1,94	2,02	47,28		4,2	Argilla limosa molto consistente
6,46	6,92	13,94	0,33	1,9	1,98	49,89		2,91	Argilla limosa consistente
6,92	7,36	14,3	0,5	1,91	1,99	55,74		4,22	Argilla deb.limosa consistente
7,36	7,46	15,48	0,31	1,92	2	45,47		2,51	Argilla limosa molto consistente
7,46	7,7	13,16	0,35	1,89	1,97	53,73		2,8	Argilla deb.limosa consistente
7,7	8,04	18,74	0,47	1,95	2,03	45,54		3,67	Argilla limosa dura
8,04	8,16	14,84	0,5	1,91	1,99	56,97		3,81	Argilla deb.limosa consistente
8,16	8,46	22,48	0,51	1,99	2,07	40,83		3,8	Limo deb.argilloso duro
8,46	8,66	13,86	0,4	1,9	1,98	54,73		2,89	Argilla deb.limosa consistente
8,66	9,16	11,76	0,33	1,87	1,95	57,91		2,3	Argilla deb.limosa med.consistente
9,16	9,36	14,03	0,26	1,9	1,98	45,48		1,73	Argilla limosa consistente
9,36	10,04	12,64	0,35	1,88	1,96	53,94		2,27	Argilla deb.limosa consistente
10,04	10,12	15,65	0,27	1,92	2	42,5		1,68	Limo argilloso molto consistente
10,12	10,72	12,76	0,3	1,88	1,96	51,38		1,82	Argilla limosa consistente
10,72	10,88	13,5	0,53	1,89	1,97	58,52		3,18	Argilla deb.limosa consistente
10,88	11,94	14,43	0,61	1,9	1,98	58,74		3,5	Argilla deb.limosa consistente
11,94	12,78	15,9	0,61	1,92	2	54,82		3,26	Argilla deb.limosa consistente
12,78	13,78	10,85	0,38	1,85	1,93	62,84		1,88	Argilla med.consistente
13,78	14,38	10,9	0,29	1,85	1,93	58,43		1,34	Argilla deb.limosa med.consistente
14,38	14,9	10,97	0,2	1,85	1,93	52,38		0,88	Argilla limosa med.consistente
14,9	15,02	17,04	0,28	1,93	2,01	40,7		1,22	Limo deb.argilloso molto consistente
15,02	15,54	11,34	0,25	1,85	1,93	55,11		1,06	Argilla deb.limosa med.consistente
15,54	15,66	11,39	0,17	1,85	1,93	49,45		0,71	Argilla limosa med.consistente
15,66	16,26	11,37	0,23	1,85	1,93	54,09		0,93	Argilla deb.limosa med.consistente
16,26	16,64	12,72	0,29	1,87	1,95	52,51		1,16	Argilla limosa med.consistente
16,64	16,92	23,54	0,49	1,99	2,07	38,99		1,99	Limo deb.argilloso duro
16,92	17,14	14,59	0,56	1,9	1,98	60,38		2,25	Argilla consistente
17,14	17,62	12,9	0,48	1,87	1,95	63,22		1,88	Argilla med.consistente

Tabella 4.1 - Stratigrafia di dettaglio prova n°1 pag 1/2

PROVA Nr.1					Prova eseguita in data 06/12/2019				
Committente : Futura Costruzioni srl				Profondità prova: 20.08 mt.					
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese				Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN					
Falda: -2.00 mt da p.c.				Pag.2/2					
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%		
17,62	18,1	13,04	0,21	1,88	1,96	49,96		0,77	Argilla limosa med.consistente
18,08	18,5	48,32	0,43	1,9	2,2	15,43	36,61	3,71	Sabbia limosa poco densa
18,52	18,7	82,41	0,27	1,9	2,21	6,71	51,53	<0.5	Sabbia mediamente densa
18,66	19,3	48	0,32	1,9	2,22	16,02	35,84	3,76	Sabbia limosa poco densa
19,3	19,4	29,01	0,83	2,02	2,1	39,4		2,94	Limo deb.argilloso molto duro
19,44	20,1	12,37	0,3	1,86	1,94	57,57		0,99	Argilla deb.limosa med.consistente

Tabella 4.2 - Stratigrafia di dettaglio prova n°1 pag 2/2

PROVA Nr.2									Prova eseguita in data 09/12/2019	
Committente : Futura Costruzioni srl								Profondità prova: 11,04 mt.		
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese								Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN		
Falda: -2.00 mt da p.c.									Pag 1/1	
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione	
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%			
0,00	0,18	7,31	0,14	1,80	1,88	72,15		>9	Argilla limosa med.consistente	
0,18	0,44	19,34	0,86	1,97	2,05	51,37		>9	Argilla limosa dura	
0,44	0,74	26,94	0,90	2,02	2,10	42,07		>9	Limo argilloso molto duro	
0,74	1,28	9,88	0,83	1,85	1,93	83,00		>9	Argilla organica med.consistente	
1,28	1,58	12,20	0,84	1,89	1,97	71,83		>9	Argilla consistente	
1,58	1,88	9,12	0,67	1,83	1,91	81,30		>9	Argilla organica med.consistente	
1,88	2,88	9,86	0,57	1,85	1,93	74,45		>9	Argilla med.consistente	
2,88	2,98	19,37	0,43	1,96	2,04	41,69		6,74	Limo argilloso duro	
2,98	3,22	9,18	0,27	1,83	1,91	64,14		4,07	Argilla med.consistente	
3,22	3,86	9,63	0,51	1,84	1,92	73,84		7,17	Argilla med.consistente	
3,86	4,08	7,48	0,55	1,80	1,88	92,92		7,22	Torba	
4,08	4,60	7,71	0,33	1,80	1,88	78,13		4,09	Argilla organica med.consistente	
4,60	4,94	13,92	0,20	1,90	1,98	14,07		2,29	Limo argilloso consistente	
4,94	5,53	35,37	0,14	1,90	2,20	16,00	42,30	<0,5	Sabbia limosa med.densa	
5,53	6,00	64,53	0,30	1,90	2,20	10,61	58,17	>9	Sabbia med.densa	
6,00	6,56	38,78	0,25	1,90	2,20	18,21	42,60	7,86	Sabbia limosa med.densa	
6,56	7,06	54,35	0,28	1,90	2,20	13,02	51,15	>9	Sabbia deb.limosa med.densa	
7,06	7,36	16,78	0,29	1,93	2,01	42,42		2,31	Limo argilloso molto consistente	
7,36	7,72	12,03	0,37	1,87	1,95	59,89		2,87	Argilla deb.limosa consistente	
7,72	8,30	10,85	0,21	1,85	1,93	55,02		1,52	Argilla deb.limosa med.consistente	
8,30	8,78	10,04	0,24	1,84	1,92	61,63		1,66	Argilla med.consistente	
8,78	8,88	11,57	0,16	1,87	1,95	50,47		1,05	Argilla limosa med.consistente	
8,88	9,36	53,60	0,25	1,90	2,20	14,02	47,52	>9	Sabbia deb.limosa med.densa	
9,36	10,12	37,45	0,36	1,90	2,20	21,21	36,44	4,86	Limo sabbioso poco denso	
10,12	10,52	19,04	0,44	1,95	2,03	47,33		2,62	Argilla limosa dura	
10,52	11,04	59,98	0,25	1,90	2,20	11,27	48,51	>9	Sabbia deb.limosa med.densa	

Tabella 4.3 - Stratigrafia di dettaglio prova n°2

PROVA Nr.3		Prova eseguita in data 06/12/2019						
Committente : Futura Costruzioni srl		Profondità prova: 20.08 mt.						
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese		Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN						
Falda: -2.00 mt da p.c.		Pag 1/2						
Profondità	qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%	
0,00	0,14	8,56	0,09	1,83	1,91	50,82		>9 Argilla limosa med.consistente
0,14	0,26	10,35	0,39	1,86	1,94	64,51		>9 Argilla med.consistente
0,26	0,48	23,02	0,93	2,00	2,08	46,34		>9 Argilla limosa molto dura
0,48	1,08	15,15	1,25	1,92	2,00	69,53		>9 Argilla molto consistente
1,08	1,54	12,41	1,29	1,89	1,97	80,66		>9 Argilla organica consistente
1,54	1,68	11,47	0,80	1,88	1,96	72,82		>9 Argilla consistente
1,68	2,02	8,71	0,69	1,83	1,91	84,55		>9 Argilla organica med.consistente
2,02	2,20	11,16	0,54	1,87	1,95	66,25		>9 Argilla consistente
2,20	3,88	9,83	0,64	1,85	1,93	77,29		>9 Argilla organica med.consistente
3,88	4,06	7,30	0,51	1,79	1,87	90,43	6,71	Argilla organica med.consistente
4,06	4,78	11,68	0,59	1,87	1,95	67,99	7,24	Argilla consistente
4,78	5,30	8,70	0,34	1,82	1,90	70,62	3,80	Argilla med.consistente
5,30	5,94	9,21	0,17	1,83	1,91	57,55	1,72	Argilla deb.limosa med.consistente
5,94	6,18	11,38	0,22	1,87	1,95	51,85	2,13	Argilla limosa med.consistente
6,18	7,46	26,21	0,67	2,01	2,09	38,66	5,99	Limo deb.argilloso molto duro
7,46	7,64	42,62	0,80	1,80	2,10	29,17	43,63	>9 Limo sabbioso med.denso
7,64	7,88	19,50	0,61	1,96	2,04	49,62	4,85	Argilla limosa dura
7,88	8,80	9,75	0,23	1,84	1,92	62,81	1,68	Argilla med.consistente
8,80	8,90	12,45	0,20	1,88	1,96	49,70	1,38	Argilla limosa consistente
8,90	9,46	9,69	0,24	1,83	1,91	63,04	1,63	Argilla med.consistente
9,46	9,72	10,27	0,19	1,84	1,92	55,89	1,22	Argilla limosa med.consistente
9,72	9,84	30,12	0,22	1,90	2,20	23,57	30,92	4,13 Limo sabbioso poco denso
9,84	10,04	19,90	0,32	1,96	2,04	38,47	2,06	Limo deb.argilloso molto duro
10,04	10,10	31,70	0,49	1,90	2,20	29,01	32,00	5,11 Limo sabbioso poco denso
10,10	10,20	25,56	0,58	2,01	2,09	38,23	3,72	Limo deb.argilloso molto duro
10,20	10,44	39,50	0,36	1,90	2,20	18,04	37,92	5,07 Sabbia limosa poco densa
10,44	12,06	18,57	0,58	1,95	2,03	65,46	3,38	Argilla molto consistente
12,06	12,90	15,08	0,61	1,91	1,99	57,36	3,24	Argilla deb.limosa consistente
12,90	13,54	10,25	0,44	1,84	1,92	70,18	2,21	Argilla med.consistente
13,54	13,86	10,08	0,21	1,83	1,91	57,31	0,97	Argilla deb.limosa med.consistente
13,86	14,24	10,17	0,32	1,83	1,91	62,57	1,50	Argilla med.consistente
14,24	15,22	9,40	0,21	1,82	1,90	58,46	0,92	Argilla deb.limosa med.consistente
15,22	16,50	11,23	0,29	1,85	1,93	56,28	1,21	Argilla deb.limosa med.consistente
16,50	17,00	14,35	0,63	1,90	1,98	59,47	2,60	Argilla deb.limosa consistente
17,00	17,34	11,14	0,51	1,85	1,93	66,76	2,05	Argilla med.consistente
17,34	17,56	10,43	0,23	1,83	1,91	55,64	0,87	Argilla deb.limosa med.consistente
17,56	17,64	12,48	0,22	1,87	1,95	48,20	0,83	Argilla limosa med.consistente
17,64	18,48	12,49	0,32	1,87	1,95	54,98	1,19	Argilla deb.limosa med.consistente
18,48	18,64	16,09	0,29	1,92	2,00	43,57	1,04	Limo argilloso consistente
18,64	18,78	14,05	0,40	1,89	1,97	56,31	1,46	Argilla deb.limosa med.consistente
18,78	18,86	29,15	0,35	1,90	2,20	28,22	22,04	2,38 Limo sabbioso poco denso
18,86	19,22	15,48	0,40	1,91	1,99	34,76	1,44	Argilla deb.limosa consistente
19,22	19,44	17,38	0,38	1,93	2,01	47,67	1,34	Argilla limosa molto consistente

Tabella 4.4 - Stratigrafia di dettaglio prova n°3 pag 1/2

PROVA Nr.1						Prova eseguita in data 06/12/2019				
Committente : Futura Costruzioni srl					Profondità prova: 20.08 mt.					
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese					Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN					
Falda: -2.00 mt da p.c.										Pag.2/2
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione	
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%			
17,62	18,08	13,04	0,21	1,88	1,96	49,96		0,77	Argilla limosa med.consistente	
18,08	18,52	48,32	0,43	1,9	2,2	15,43	36,61	3,71	Sabbia limosa poco densa	
18,52	18,66	82,41	0,27	1,9	2,21	6,71	51,53	<0.5	Sabbia mediamente densa	
18,66	19,3	48	0,32	1,9	2,22	16,02	35,84	3,76	Sabbia limosa poco densa	
19,3	19,44	29,01	0,83	2,02	2,1	39,4		2,94	Limo deb.argilloso molto duro	
19,44	20,08	12,37	0,3	1,86	1,94	57,57		0,99	Argilla deb.limosa med.consistente	

Tabella 4.5 - Stratigrafia di dettaglio prova n°3 pag 2/2

PROVA Nr.4		Prova eseguita in data 09/12/2019						
Committente : Futura Costruzioni srl		Profondità prova: 11,00 mt.						
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese		Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN						
Falda: -2.00 mt da p.c.		Pag 1/1						
Profondità	qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%	
0,00	0,28	17,69	0,53	1,95	2,03	44,92		>9 Limo argilloso duro
0,28	0,68	16,58	1,39	1,94	2,02	61,56		>9 Argilla molto consistente
0,68	0,84	11,18	0,97	1,87	1,95	79,53		>9 Argilla organica molto consistente
0,84	1,14	13,41	1,08	1,90	1,98	72,32		>9 Argilla consistente
1,14	1,36	9,95	0,91	1,85	1,93	83,46		>9 Argilla organica med.consistente
1,36	2,24	9,87	0,53	1,85	1,93	71,33		>9 Argilla med.consistente
2,24	2,38	9,02	0,68	1,83	1,91	82,35		>9 Argilla organica med.consistente
2,38	2,58	11,74	0,36	1,88	1,96	57,44	6,23	Argilla deb.limosa consistente
2,58	2,76	10,09	0,52	1,85	1,93	70,80	8,66	Argilla med.consistente
2,76	3,00	8,41	0,52	1,82	1,90	80,44	8,32	Argilla organica med.consistente
3,00	3,74	11,03	0,57	1,87	1,95	68,97	8,33	Argilla med.consistente
3,74	3,96	8,46	0,48	1,82	1,90	79,42	6,47	Argilla organica med.consistente
3,96	4,34	8,23	0,21	1,81	1,89	64,25	2,66	Argilla med.consistente
4,34	4,98	40,79	0,17	1,90	2,20	15,16	47,51	>9 Sabbia deb.limosa med.densa
4,98	5,92	51,11	0,21	1,90	2,20	12,02	51,99	>9 Sabbia deb.limosa med.densa
5,92	6,50	18,09	0,48	1,95	2,03	45,31	4,4	Argilla limosa dura
6,50	6,64	12,47	0,29	1,88	1,96	51,63	2,51	Argilla limosa consistente
6,64	7,26	17,84	0,42	1,95	2,03	44,03	3,52	Limo argilloso molto consistente
7,26	7,48	10,47	0,3	1,85	1,93	63,11	2,38	Argilla med.consistente
7,48	7,72	7,41	0,32	1,78	1,86	84,07	2,49	Argilla organica poco consistente
7,72	8,04	9,30	0,31	1,83	1,91	61,72	2,34	Argilla med.consistente
8,04	8,18	7,33	0,5	1,78	1,86	96,96	3,75	Torba
8,18	8,30	7,41	0,37	1,78	1,86	87,40	2,72	Argilla organica poco consistente
8,30	8,40	6,39	0,33	1,75	1,83	47,07	2,4	Torba
8,40	8,62	9,42	0,38	1,83	1,91	73,54	2,74	Argilla med.consistente
8,62	8,80	8,48	0,39	1,81	1,89	80,24	2,76	Argilla organica med.consistente
8,80	9,00	8,31	0,2	1,80	1,88	68,23	1,35	Argilla med.consistente
9,00	9,18	14,58	0,29	1,91	1,99	47,58	1,97	Argilla limosa consistente
9,18	9,26	25,54	0,34	1,90	2,20	30,87	26,62	4,02 Limo sabbioso poco denso
9,26	9,36	20,13	0,4	1,97	2,05	41,34	2,69	Limo deb.argilloso duro
9,36	9,66	12,02	0,38	1,87	1,95	60,67	2,5	Argilla med.consistente
9,66	9,94	18,49	0,41	1,95	2,03	44,42	2,64	Limo argilloso duro
9,94	11,00	12,64	0,55	1,88	1,96	62,66	3,37	Argilla consistente

Tabella 4.6 - Stratigrafia di dettaglio prova n°4

PROVA Nr.5		Prova eseguita in data 09/12/2019						
Committente : Futura Costruzioni srl		Profondità prova: 11,02 mt.						
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese		Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN						
Falda: -2.00 mt da p.c.		Pag 1/1						
Profondità	qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%	
0,00	0,14	10,28	0,19	1,86	1,94	49,94		>9 Argilla limosa med.consistente
0,14	0,64	14,64	1,09	1,92	2,00	68,19		>9 Argilla molto consistente
0,64	0,78	12,25	1,34	1,89	1,97	82,26		>9 Argilla organica consistente
0,78	1,34	12,95	1,15	1,90	1,98	75,01		>9 Argilla consistente
1,34	1,56	8,52	0,70	1,82	1,90	85,48		>9 Argilla organica med.consistente
1,56	1,84	9,70	0,51	1,85	1,93	71,67		>9 Argilla med.consistente
1,84	2,10	11,60	0,70	1,88	1,96	68,29		>9 Argilla consistente
2,10	2,42	9,11	0,77	1,83	1,91	84,22		>9 Argilla organica med.consistente
2,42	2,52	13,14	0,46	1,90	1,98	57,06	7,92	Argilla deb.limosa consistente
2,52	2,82	10,03	0,47	1,85	1,93	68,57	7,76	Argilla med.consistente
2,82	3,42	9,32	0,60	1,84	1,92	77,92		>9 Argilla organica med.consistente
3,42	3,80	11,53	0,60	1,87	1,95	67,23	8,35	Argilla consistente
3,80	4,02	8,92	0,52	1,83	1,91	77,82	6,89	Argilla organica med.consistente
4,02	4,40	9,77	0,30	1,84	1,92	60,75	3,78	Argilla med.consistente
4,40	4,60	18,88	0,35	1,96	2,04	39,75	4,22	Limo deb.argilloso duro
4,60	4,70	27,00	0,39	1,90	2,20	30,28	35,80	7,65 Limo deb.sabbioso poco denso
4,70	4,82	15,73	0,32	1,93	2,01	46,44	3,69	Argilla limosa molto consistente
4,82	5,42	55,59	0,35	1,90	2,20	13,98	55,19	>9 Sabbia deb.limosa med.densa
5,42	5,58	38,82	0,66	1,80	2,10	26,69	44,09	>9 Limo sabbioso med.denso
5,58	5,66	31,09	0,65	2,04	2,12	32,22	6,51	Argilla e limo estr.duro
5,66	6,06	53,78	0,54	1,90	2,20	17,44	52,57	>9 Sabbia limosa med.densa
6,06	6,76	39,41	0,20	1,90	2,20	16,54	42,62	>9 sabbia limosa med.densa
6,76	6,92	11,61	0,24	1,87	1,95	56,54	1,98	Argilla deb.limosa med.consistente
6,92	7,04	13,42	0,22	1,89	1,97	46,82	1,78	Argilla limosa consistente
7,04	7,16	13,13	0,57	1,89	1,97	63,20	4,67	Argilla consistente
7,16	7,54	8,25	0,45	1,81	1,89	83,63	3,59	Argilla orgnica med.consistente
7,54	8,06	10,25	0,29	1,84	1,92	63,63	2,19	Argilla med.consistente
8,06	8,18	6,30	0,22	1,75	1,83	88,05	1,59	Argilla organica poco consistente
8,18	8,26	11,87	0,18	1,87	1,95	50,92	1,27	Argilla limosa med.consistente
8,26	8,42	8,23	0,18	1,80	1,88	68,22	1,25	Argilla med.consistente
8,42	8,52	12,26	0,21	1,88	1,96	51,20	1,46	Argilla limosa consistente
8,52	8,62	7,01	0,21	1,77	1,85	80,44	1,45	Argilla organica poco consistente
8,62	9,00	9,28	0,22	1,82	1,90	64,22	1,49	Argilla med.consistente
9,00	9,30	13,61	0,29	1,90	1,98	51,41	1,94	Argilla limosa consistente
9,30	9,40	12,82	0,39	1,88	1,96	57,51	2,59	Argilla deb.limosa consistente
9,40	9,54	17,95	0,37	1,94	2,02	44,42	2,43	Limo argilloso molto consistente
9,54	9,78	8,20	0,24	1,80	1,88	72,74	1,52	Argilla med.consistente
9,78	10,34	66,89	0,27	1,90	2,20	9,88	52,81	<0,5 Sabbia med.densa
10,34	10,62	46,94	0,62	1,90	2,20	21,04	42,15	6,47 Limo sabbioso med.denso
10,62	10,88	55,47	0,59	1,90	2,20	17,59	46,53	6,82 sabbia limosa med.densa
10,88	11,02	15,33	0,50	1,91	1,99	55,39	2,86	Argilla consistente

Tabella 4.7 - Stratigrafia di dettaglio prova n°5

PROVA Nr.6		Prova eseguita in data 09/12/2019							
Committente : Futura Costruzioni srl		Profondità prova: 20.08 mt.							
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese		Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN							
Falda: -2.00 mt da p.c.									
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%		
0,00	0,24	10,16	0,35	1,86	1,94	58,38		>9	Argilla deb.limosa med.consistente
0,24	0,50	10,73	0,89	1,87	1,95	79,42		>9	Argilla organica consistente
0,50	0,58	8,21	0,83	1,82	1,90	92,95		>9	Torba
0,58	1,10	9,57	0,78	1,85	1,93	82,16		>9	Argilla organica med.consistente
1,10	1,74	9,79	0,51	1,85	1,93	71,18		>9	Argilla med.consistente
1,74	3,18	9,34	0,65	1,84	1,92	78,88		>9	Argilla organica med.consistente
3,18	4,40	13,18	0,83	1,90	1,98	67,40		>9	Argilla consistente
4,40	4,82	14,98	0,68	1,92	2,00	57,61		8,12	Argilla deb.limosa molto consistente
4,82	5,38	13,90	0,96	1,90	1,98	68,05		>9	Argilla consistente
5,38	5,58	12,52	0,41	1,88	1,96	56,73		4,31	Argilla deb.limosa consistente
5,58	6,42	9,74	0,32	1,84	1,92	64,78		3,13	Argilla med.consistente
6,42	7,26	9,67	0,26	1,84	1,92	56,00		2,30	Argilla deb.limosa med.consistente
7,26	7,50	13,03	0,30	1,89	1,97	49,51		2,51	Argilla limosa consistente
7,50	8,78	11,27	0,37	1,86	1,94	58,90		2,88	Argilla deb.limosa med.consistente
8,78	9,06	9,46	0,34	1,83	1,91	66,23		2,45	Argilla med.consistente
9,06	9,48	6,14	0,26	1,74	1,82	85,80		1,80	Argilla organica poco consistente
9,48	12,28	10,83	0,47	1,85	1,93	65,87		2,91	Argilla med.consistente
12,28	12,76	9,23	0,48	1,82	1,90	75,66		2,64	Argilla organica med.consistente
12,76	13,36	9,55	0,29	1,82	1,90	63,80		1,50	Argilla med.consistente
13,36	13,52	8,52	0,38	1,80	1,88	75,69		1,95	Argilla organica poco consistente
13,52	16,04	10,16	0,35	1,83	1,91	63,87		1,64	Argilla med.consistente
16,04	16,62	8,94	0,37	1,80	1,88	69,88		1,59	Argilla poco consistente
16,62	16,78	9,67	0,18	1,82	1,90	55,56		0,74	Argilla deb.limosa med.consistente
16,78	17,66	10,03	0,24	1,83	1,91	57,81		0,95	Argilla deb.limosa med.consistente
17,66	18,58	22,78	0,59	1,98	2,06	42,38		2,34	Limo argilloso duro
18,58	19,06	41,25	0,49	1,90	2,20	22,24	32,29	3,47	Limo sabbioso poco denso
19,06	19,94	9,90	0,27	1,82	1,90	66,15		0,95	Argilla med.consistente
19,94	20,04	12,50	0,35	1,87	1,95	58,51		1,22	Argilla deb.limosa med.consistente

Tabella 4.8 - Stratigrafia di dettaglio prova n°6

PROVA Nr.7									Prova eseguita in data 09/12/2019	
Committente : Futura Costruzioni srl									Profondità prova: 11,063 mt.	
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese									Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN	
Falda: -2.00 mt da p.c.									Pag 1/1	
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione	
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%			
0,00	0,14	6,23	0,07	1,78	1,86	67,53		>9	Argilla limosa med.consistente	
0,14	0,38	12,19	0,70	1,89	1,97	65,51		>9	Argilla consistente	
0,38	0,76	10,92	1,07	1,87	1,95	87,55		>9	Argilla organica consistente	
0,76	0,84	8,26	0,97	1,82	1,90	96,24		>9	Torba	
0,84	1,58	8,84	0,77	1,83	1,91	85,97		>9	Argilla organica med.consistente	
1,58	1,86	10,67	0,61	1,86	1,94	59,06		>9	Argilla med.consistente	
1,86	2,18	9,72	0,74	1,85	1,93	79,46		>9	Argilla organica med.consistente	
2,18	2,40	11,80	0,34	1,88	1,96	55,94		6,19	Argilla deb.limosa consistente	
2,40	2,68	10,74	0,59	1,86	1,94	69,56		>9	Argilla med.consistente	
2,68	3,08	10,31	0,69	1,85	1,93	75,55		>9	Argilla organica med.consistente	
3,08	3,46	12,40	0,65	1,89	1,97	65,18		>9	Argilla consistente	
3,46	3,58	14,11	0,62	1,91	1,99	58,46		8,85	Argilla deb.limosa consistente	
3,58	3,96	14,59	0,91	1,91	1,99	64,67		>9	Argilla molto consistente	
3,96	4,38	12,29	0,86	1,88	1,96	72,21		>9	Argilla consistente	
4,38	5,10	16,02	0,80	1,93	2,01	57,72		>9	Argilla deb.limosa molto consistente	
5,10	5,36	12,59	0,71	1,89	1,97	66,83		7,70	Argilla consistente	
5,36	5,78	13,17	0,41	1,89	1,97	55,83		4,24	Argilla deb.limosa consistente	
5,78	6,28	8,53	0,31	1,81	1,89	70,00		3,01	Argilla med.consistente	
6,28	6,42	9,43	0,20	1,83	1,91	58,34		1,84	Argilla deb.limosa med.consistente	
6,42	6,82	7,56	0,21	1,79	1,87	70,01		1,88	Argilla med.consistente	
6,82	6,92	12,30	0,20	1,88	1,96	48,05		1,74	Argilla limosa med.consistente	
6,92	7,26	9,98	0,25	1,84	1,92	60,35		2,14	Argilla med.consistente	
7,26	7,82	10,42	0,28	1,85	1,93	58,94		2,30	Argilla deb.limosa med.consistente	
7,82	7,92	18,37	0,45	1,95	2,03	44,28		3,61	Limo argilloso duro	
7,92	8,00	11,46	0,45	1,87	1,95	65,79		3,58	Argilla med.consistente	
8,00	8,12	14,49	0,40	1,91	1,99	51,54		3,14	Argilla limosa med.consistente	
8,12	8,30	12,46	0,56	1,88	1,96	63,60		4,36	Argilla consistente	
8,30	8,88	13,37	0,47	1,89	1,97	57,36		3,51	Argilla deb.limosa consistente	
8,88	9,06	14,43	0,37	1,91	1,99	49,69		2,65	Argilla limosa consistente	
9,06	9,36	10,31	0,41	1,84	1,92	65,90		2,88	Argilla med.consistente	
9,36	9,98	11,39	0,31	1,86	1,94	55,38		2,07	Argilla deb.limosa med.consistente	
9,98	10,12	12,66	0,60	1,88	1,96	62,87		3,95	Argilla consistente	
10,12	10,44	13,28	0,55	1,89	1,97	58,97		3,55	Argilla deb.limosa consistente	
10,44	11,06	13,32	0,71	1,89	1,97	64,25		4,42	Argilla consistente	

Tabella 4.9 - Stratigrafia di dettaglio prova n°7

PROVA Nr.8						Prova eseguita in data 09/12/2019			
Committente : Futura Costruzioni srl				Profondità prova: 20.08 mt.					
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese				Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN					
Falda: -2.00 mt da p.c.									
								Pag 1/2	
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%		
0,00	0,16	10,48	0,23	1,86	1,94	53,84		>9	Argilla limosa consistente
0,16	0,70	12,24	1,05	1,89	1,97	75,72		>9	Argilla organica consistente
0,70	1,44	9,08	0,73	1,84	1,92	82,62		>9	Argilla organica med.consistente
1,44	1,52	6,92	0,64	1,79	1,87	95,82		>9	Torba
1,52	1,64	7,54	0,41	1,80	1,88	80,30		>9	Argilla organica med.consistente
1,64	1,78	10,38	0,51	1,86	1,94	67,96		>9	Argilla med.consistente
1,78	2,48	8,96	0,68	1,83	1,91	82,54		>9	Argilla organica med.consistente
2,48	3,02	10,95	0,65	1,86	1,94	71,43		>9	Argilla consistente
3,02	4,10	14,40	0,81	1,91	1,99	63,36		>9	Argilla molto consistente
4,10	4,32	11,77	0,75	1,88	1,96	71,21		>9	Argilla consistente
4,32	4,80	12,93	0,41	1,89	1,97	55,16		4,90	Argilla deb.limosa consistente
4,80	5,38	14,13	0,84	1,91	1,99	65,36		>9	Argilla consistente
5,38	5,64	12,23	0,33	1,88	1,96	54,54		3,42	Argilla deb.limosa consistente
5,64	5,78	10,38	0,35	1,85	1,93	63,11		3,54	Argilla med.consistente
5,78	6,30	11,53	0,30	1,87	1,95	55,40		2,90	Argilla deb.limosa med.consistente
6,30	6,78	9,99	0,28	1,84	1,92	60,51		2,55	Argilla med.consistente
6,78	7,04	14,70	0,47	1,91	1,99	53,39		4,15	Argilla deb.limosa consistente
7,04	7,42	12,14	0,37	1,88	1,96	58,09		3,14	Argilla deb.limosa consistente
7,42	7,54	19,81	0,53	1,96	2,04	44,34		4,40	Limo argilloso duro
7,54	8,00	12,30	0,43	1,88	1,96	60,22		3,45	Argilla consistente
8,00	8,56	13,63	0,52	1,90	1,98	56,48		3,97	Argilla deb.limosa consistente
8,56	9,00	10,54	0,36	1,85	1,93	62,79		2,60	Argilla med.consistente
9,00	9,12	11,21	0,29	1,86	1,94	56,22		2,02	Argilla deb.limosa med.consistente
9,12	10,16	10,35	0,37	1,84	1,92	63,86		2,48	Argilla med.consistente
10,16	10,42	13,93	0,52	1,90	1,98	56,96		3,33	Argilla deb.limosa consistente
10,42	11,66	12,62	0,57	1,88	1,96	63,36		3,44	Argilla med.consistente
11,66	12,42	15,42	0,59	1,92	2,00	54,87		3,30	Argilla deb.limosa consistente
12,42	13,16	11,79	0,48	1,86	1,94	63,85		2,53	Argilla med.consistente
13,16	13,48	12,01	0,35	1,87	1,95	57,06		1,76	Argilla deb.limosa med.consistente
13,48	14,08	10,09	0,30	1,83	1,91	62,58		1,45	Argilla med.consistente
14,08	14,22	14,30	0,36	1,90	1,98	50,98		1,72	Argilla limosa consistente
14,22	14,44	11,45	0,33	1,86	1,94	59,37		1,55	Argilla deb.limosa med.consistente
14,44	14,62	19,28	0,42	1,95	2,03	42,53		1,97	Limo argilloso molto consistente
14,62	15,06	11,24	0,32	1,85	1,93	60,75		1,45	Argilla med.consistente
15,06	15,90	14,19	0,60	1,90	1,98	59,11		2,69	Argilla deb.limosa consistente
15,90	16,36	12,72	0,58	1,87	1,95	63,64		2,50	Argilla med.consistente
16,36	16,44	12,44	0,21	1,87	1,95	48,55		0,85	Argilla limosa med.consistente
16,44	17,26	11,32	0,28	1,85	1,93	56,02		1,11	Argilla deb.limosa med.consistente
17,26	17,54	15,58	0,35	1,91	1,99	47,38		1,37	Argilla limosa consistente
17,54	17,64	12,97	0,50	1,88	1,96	63,39		1,98	Argilla med.consistente
17,64	17,84	23,11	0,57	1,98	2,06	41,50		2,25	Limo argilloso duro
17,84	18,00	11,66	0,41	1,85	1,93	66,61		1,58	Argilla med.consistente
18,00	18,10	23,05	0,40	1,98	2,06	36,58		1,52	Limo deb,argilloso duro

Tabella 4.10 - Stratigrafia di dettaglio prova n°8 pag 1/2

PROVA Nr.8						Prova eseguita in data 09/12/2019			
Committente : Futura Costruzioni srl				Profondità prova: 20.08 mt.					
Località: Via Don Botti - Sala Bolognese				Strumento utilizzato: TECNO PENTA TP CPL2IN					
Falda: -2.00 mt da p.c.									
								Pag 2/2	
Profondità		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	FC	Dr	OCR	Descrizione
m	m	kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	%	%		
18,10	18,56	46,79	0,31	1,90	2,20	15,87	35,87	3,89	Sabbia limosa poco densa
18,56	18,68	26,10	0,70	2,01	2,09	41,02		2,63	Limo deb.argilloso molto duro
18,68	18,82	35,68	0,44	1,90	2,20	24,93	27,82	2,97	Limo sabbioso poco denso
18,82	19,08	24,57	0,71	1,99	2,07	43,32		2,62	Limo argilloso duro
19,08	20,00	11,78	0,33	1,85	1,93	62,00		1,14	Argilla med.consistente

Tabella 4.11 - Stratigrafia di dettaglio prova n°8 pag 2/2

5.0 Inquadramento geomorfologico ed idrologico

L'area oggetto dell'intervento si trova a poco più di 1,5 km ad Ovest del fiume Reno ad una quota sul livello del mare di 22,5 m.

Dall'esame delle linee di livello che ricostruiscono il micro rilievo riportate nell'elaborato allegato al Quadro Conoscitivo del PSC Unione Terre d'Acqua (di cui riporta un estratto in fig. 5.1), nonostante l'alto grado di antropizzazione dell'area si possono formulare alcune osservazioni:

1. La superficie topografica ha una forma abbastanza regolare con una falda immergente da SSO verso NNE. Nel quadro generale tuttavia spicca zona di alto topografico che si trova a SO della zona in esame, verosimilmente si tratta dell'accumulo di materiale di rotta d'argine
2. L'inclinazione della superficie mostra una pendenza di circa lo 0,5 ‰.
3. L'area si trova in una zona perimetrata come depressa o a debolissima pendenza che si trova immediatamente a S di una zona depressa a deflusso idrico difficoltoso.

Data la posizione rispetto all'attuale corso del Fiume Samoggia essa può essere situata nella parte distale di una rotta d'argine avente direzione da SSO verso NNE.

Altre forme rilevanti sono date dagli argini del tracciato odierno del torrente Samoggia rilevati fino a 5 m rispetto alla quota media del p.c.

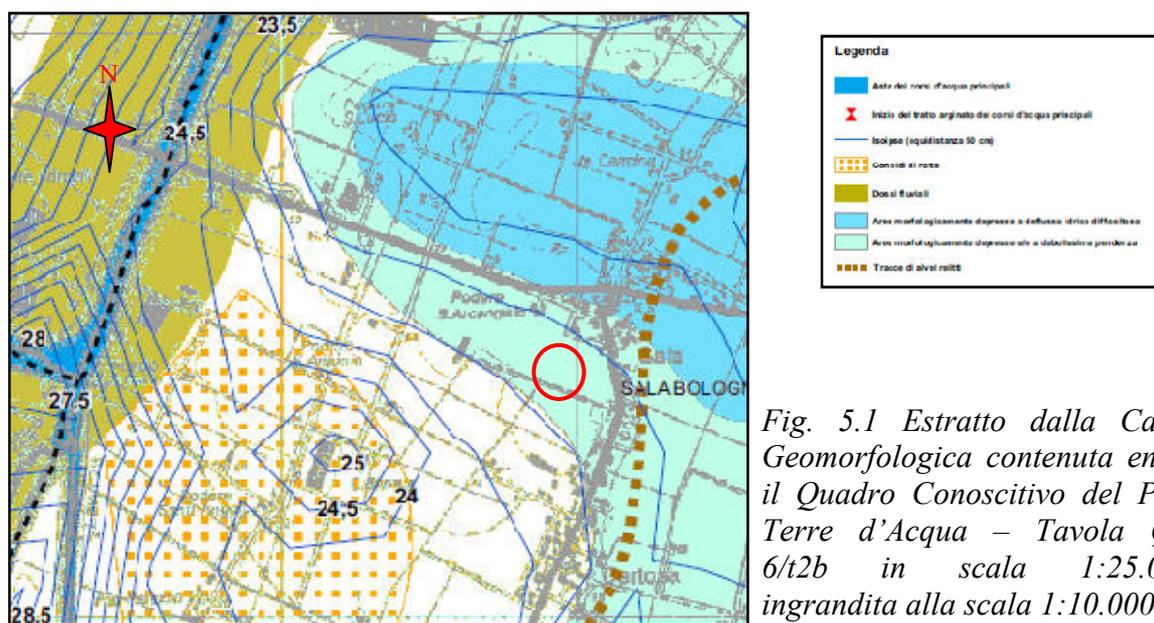


Fig. 5.1 Estratto dalla Carta Geomorfologica contenuta entro il Quadro Conoscitivo del PSC Terre d'Acqua – Tavola QC 6/t2b in scala 1:25.000 ingrandita alla scala 1:10.000.

La falda più superficiale è stata misurata a fine della prova rilevandone il livello a - 2,0 m dal p.c. attuale in disaccordo con quanto riportato dall'elaborato (Tav. QC 6/t8b di cui un estratto si riporta in fig. 5.2) allegato al PSC in forma associata "Terre d'Acqua" (quota del livello di falda a - 1,0 m). Si deve tenere conto che nell'area, rispetto a quanto riportato nella CTR la quota è aumentata di circa 1,0 m un seguito a riporti di terreno avvenuti durante la costruzione dei fabbricati posti sul lato E di via Don G.. Botti.

La direzione della falda in quest'area va da S verso N con un gradiente di 0,9 ‰ e mostra un andamento drenante rispetto al corso d'acqua associato (Fiume Reno).

La permeabilità verticale del terreno incontrato dalle prove può essere stimata, in base alla classificazione litologica, in un ordine di grandezza di circa 10^{-10} m/s. Vista la permeabilità, il tipo litologico superficiale e la sua distribuzione si può verosimilmente prevedere per l'area una vulnerabilità bassa alla veicolazione di eventuali inquinanti, sia in senso orizzontale che in senso verticale.

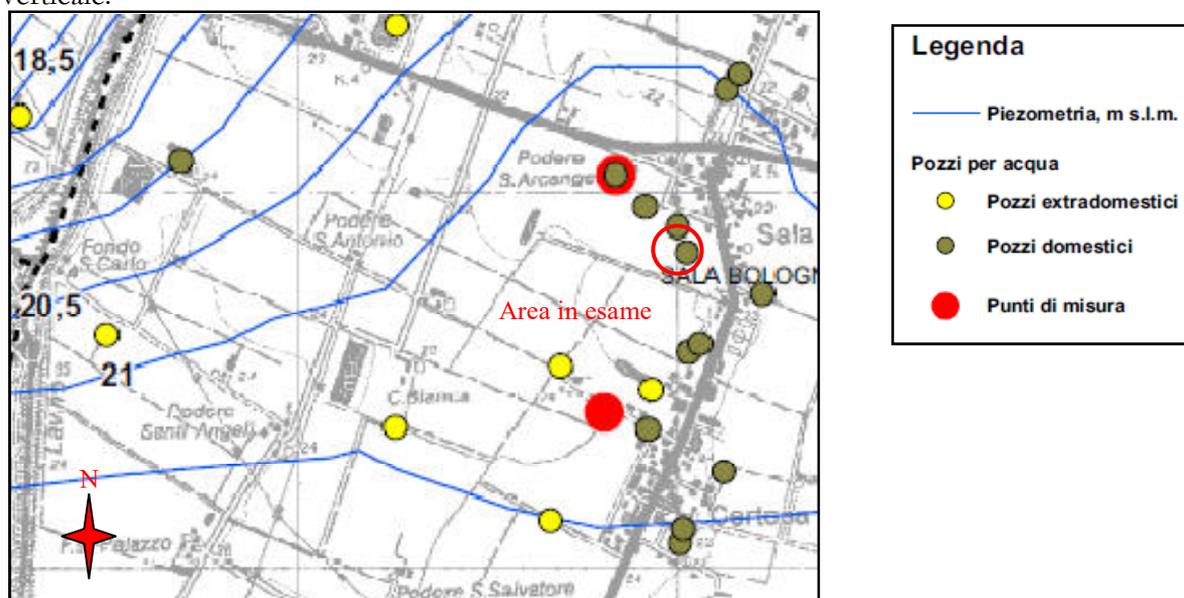


Fig. 5.2 Estratto dalla Carta della Piezometria della falda superficiale contenuta entro il Quadro Conoscitivo del PSC Terre d'Acqua – Tavola QC 6/t8c in scala 1:25.000 ingrandita alla scala 1:10.000.

L'idrologia superficiale vede come elemento principale il Torrente Samoggia che scorre ad O dell'area in esame alla distanza di circa 1,5 km. Altri elementi idraulici sono dati dal Torrente Ghironda e dal Torrente Lavino che a circa 1 km verso S si gettano nel torrente Samoggia.

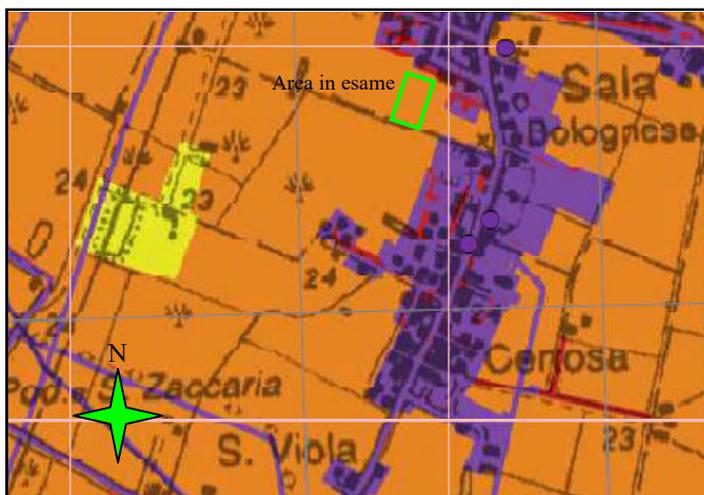
Il quadro è completato da canali di bonifica di II[^] e III[^] livello.

Dall'analisi del PSAI e del PSC risulta che l'area non si trova in zone di possibile esondazione mentre rientra tra quelle passibili di allagamento per deflusso scarso o impedito come riportato nella fig. 5.3



Fig. 5.3 Estratto dal Piano Stralcio per il bacino del torrente Samoggia – II Richio Idraulico e Assetto Rete Idrografica – Tav. B.2 “Aree passibili di inondazioni, aree di potenziale allagamento, sezioni trasversali” su base CTR scala 1:25.000 ingrandita alla scala 1:10.000

A tale proposito il Piano per la Gestione del rischio di alluvione indica per l'area in esame un rischio medio per quello che riguarda il reticolo principale mentre per quello che riguarda il reticolo secondario il rischio diviene da medio (senza immobili) a molto elevato (uniformandosi a quello circostante) in relazione alla presenza dell'aumento degli elementi esposti (fabbricati di nuova costruzione) e della loro vulnerabilità. Nelle figure 5.4 e 5.5 si riportano gli stralci delle carte di rischio relative al reticolo principale ed al reticolo secondario di pianura.



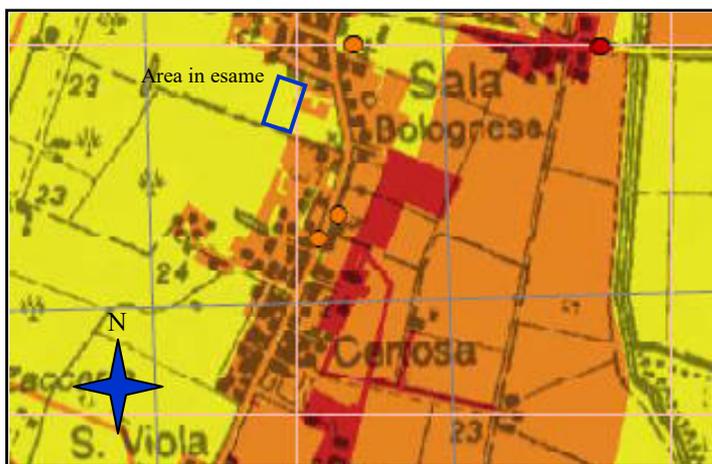
CLASSI DI RISCHIO CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
	P3	P2	P1
D4	R4	R4	R2
D3	R4	R3	R2
D2	R3	R2	R1
D1	R1	R1	R1

Figura 2 – Matrice del rischio di tipo A



Tipologia Matrice	Ambito
Matrice A	Corsi d'acqua naturali principali ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Corsi d'acqua naturali principali e secondari UoM ITI021, ITR081, ITI01319 (distretto appennino settentrionale) e reticolo secondario collinare-montano ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Aree costiere marine
Matrice C	Reticolo Secondario artificiale di Pianura

Fig. 5.4 Piano di gestione del rischio di alluvioni –Reticolo Naturale principale e secondario – Tavoleta 220SE San Giovanni in Persiceto scala 1:25.000 ingrandita alla scala 1:10.000



CLASSI DI RISCHIO CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'	
	P3	P2
D4	R3	R2
D3	R3	R1
D2	R2	R1
D1	R1	R1

Figura 4 – Matrice del rischio di tipo C



Tipologia Matrice	Ambito
Matrice A	Corsi d'acqua naturali principali ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Corsi d'acqua naturali principali e secondari UoM ITI021, ITR081, ITI01319 (distretto appennino settentrionale) e reticolo secondario collinare-montano ITN008 (distretto padano)
Matrice B	Aree costiere marine
Matrice C	Reticolo Secondario artificiale di Pianura

Fig. 5.5 Piano di gestione del rischio di alluvioni –Reticolo secondario di pianura – Tavoleta 220SE San Giovanni in Persiceto scala 1:25.000 ingrandita alla scala 1:10.000

Da quanto descritto in precedenza si può inserire l'area in oggetto tra quelle appartenenti alla categoria T1 per quello che riguarda il coefficiente di amplificazione delle onde sismiche di taglio derivato dalla topografia.

6.0 Inquadramento 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 deformativi estensionale, mentre nel settore Adriatico prevale una compressione attiva. In quest'ultimo settore, in cui si colloca l'Emilia – Romagna, evidenze geologiche, sezioni sismiche e studi morfotettonici, indicano infatti che la tettonica attiva sia generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti. 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 . Dall'analisi della Carta Strutturale edita dalla Regione Emilia Romagna e della Carta Sismotettonica edita sempre ad opera dello stesso Ente, di cui si riporta un estratto in fig. 6.1, si può verificare che l'area in oggetto si trova entro un contesto tettonico compressivo. Al di sopra di una zona di sinclinale depressa tra due anticlinali fagliate una avente direzione SE – NO associata ad una linea compressiva N vergente passante per San Giovanni in Persiceto ed una più settentrionale passante per Cento S vergente ad andamento parallelo alla prima, il tetto del Pleistocene Marino (0.45 Ma) si trova ad una profondità attorno ai 170 m dal p.c. dal p.c. attuale.

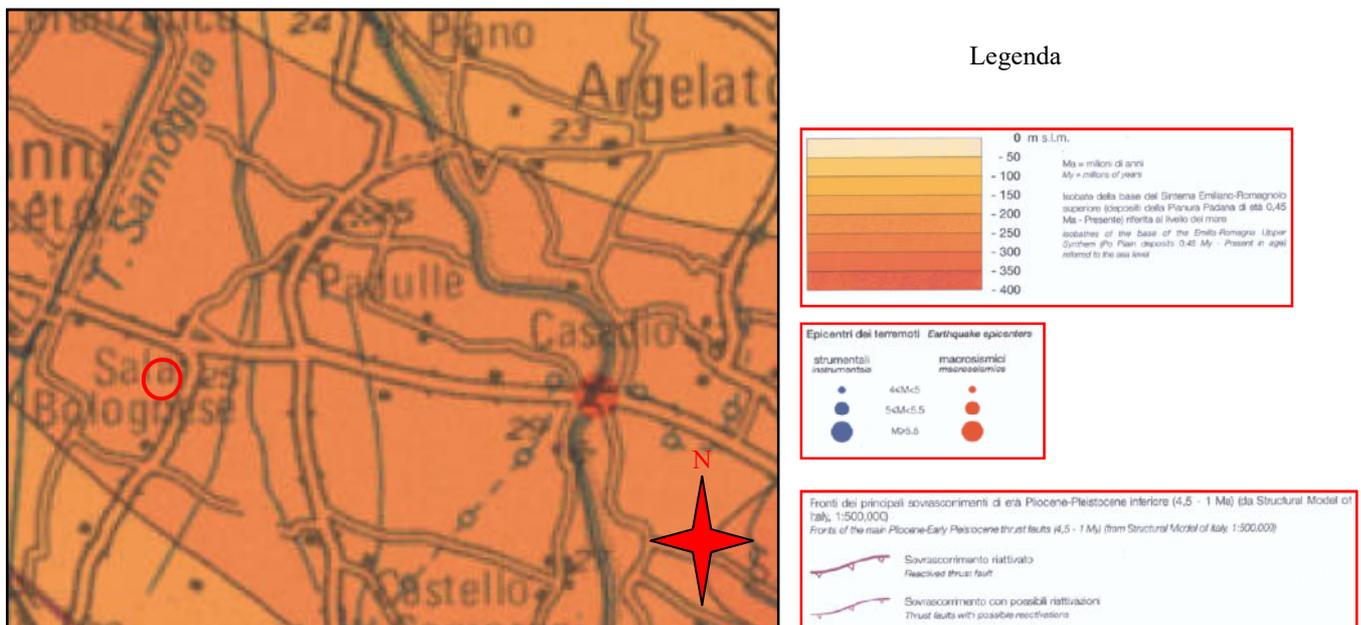


Fig. 6.1 – Estratto dalla Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna (Boccaletti e Martelli 2004) scala 1:250.000

Dall'analisi della Carta Sismogenetica di pianura (ed 2004) risulta che nelle immediate vicinanze dell'area in esame non sono presenti elementi strutturali sismogenetici

La consultazione della Carta Interattiva D.I.S.S. 3.2.1 (edita da INGV di cui in fig. 6.2 si riporta un estratto dal sito internet dello stesso Istituto) indica che l'area può essere soggetta all'azione sismica della linea sismogenetica classificata come ITCS 051 Carpi – Poggio Renatico che dista dall'area in esame circa 25,5 km.

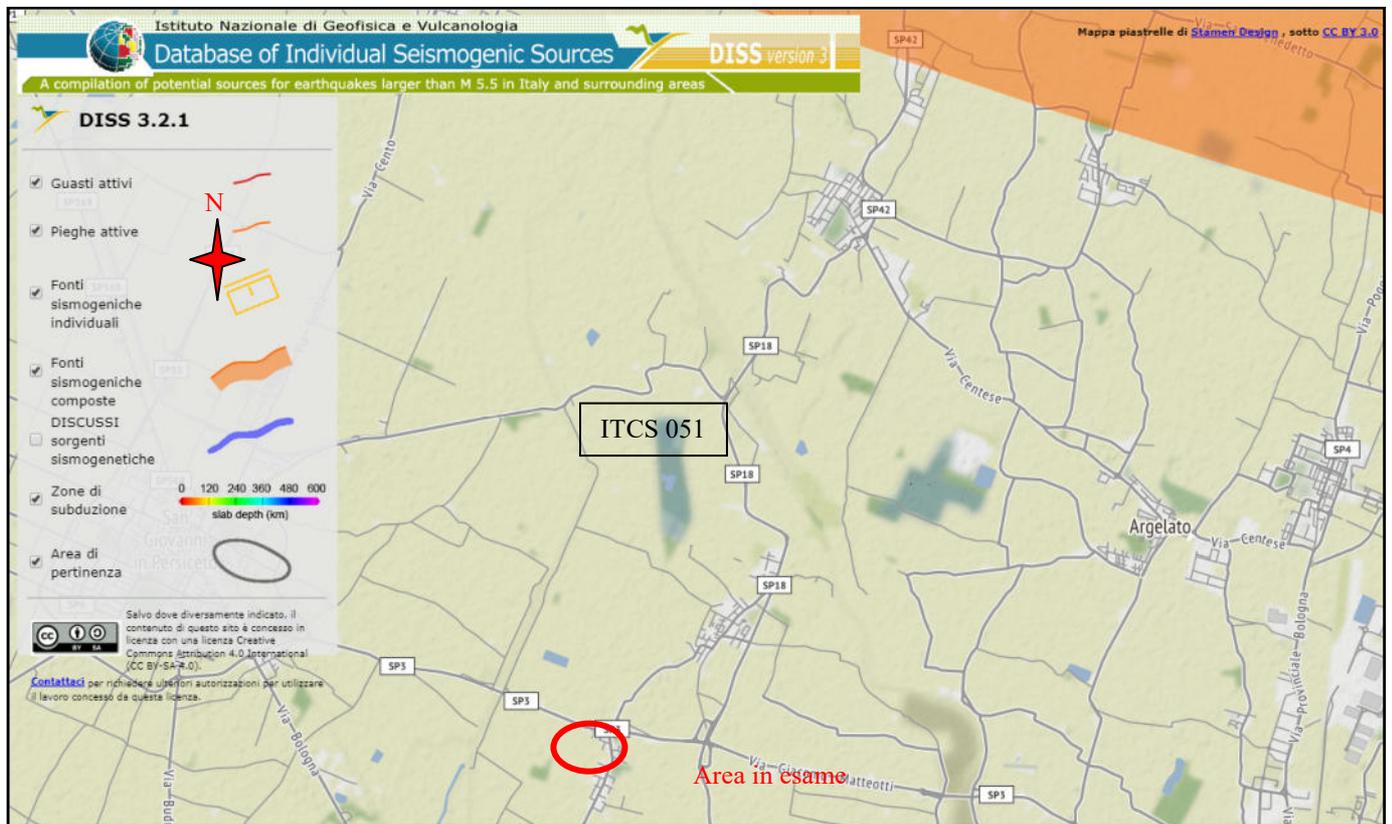


Fig. 6.2 – Estratto dalla Carta interattiva D.I.S.S. 3.2.1 a cura di INGV portata alla scala 1:100.000. Fonte sito internet INGV

Le caratteristiche di questa sorgente sono riportate in tabella 6.1 da questa tabella si evince che la Magnitudo massima data nel tempo da questa sorgente ha un' intensità di 5,6 gradi Richter.

Parametric Information									
Parameter		Quality	Evidence						
Min depth [km]	2.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.						
Max depth [km]	10.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.						
Strike [deg] min... max	50...120	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.						
Dip [deg] min... max	25...45	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.						
Rake [deg] min... max	80...100	OD	Inferred from geological and active stress data.						
Slip Rate [mm/y] min... max	0.5...1.04	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).						
Max Magnitude [Mw]	6.0	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).						
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement									

Tabella 6.1 – Parametri della sorgente sismogenetica ITCS 051 Carpi - Poggio Renatico

Questa sorgente composta interessa la Regione attraversandola dalla bassa valle del Reno alla bassa valle del Secchia lungo il fronte del sovrascorrimento dato dall'Arco di Ferrara. Questo sistema di faglia è l'arco esterno N vergente al limite NE della Catena Nord Appenninica, sepolto al di sotto della pianura padana; esso marca il più avanzato sovrascorrimento degli Appennini che può dare sismi catastrofici. Questa sorgente è stata aggiornata durante sviluppo del Progetto Europeo GeoMol.

Tra il 20 ed il 29 Maggio 2012 due sismi di Mw 5.9 and 5.8 ed il loro sciame sismico colpirono la parte centrale della Pianura Padana a circa 40 km a N di Bologna. Durante la sequenza sismica uno sforzo di pura compressione fu generato dal sovrascorrimento facente parte della parte O dell'Arco Ferrarese attivando un fronte di rottura di 50 km nella parte sepolta della struttura tettonica al fronte della catena Nord Appenninica.

Il meccanismo focale degli eventi maggiori è in accordo con gli indicatori che lo stress tettonico attuale mostra nell'area.

In tempi precedenti al 2012 una sequenza di terremoti storici ha colpito l'area. Nei cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) si rileva una attività sparsa di sismi di magnitudo intermedia ($4.5 < M_w < 5.0$), con l'eccezione del sisma catastrofico che ha colpito Ferrara il 22 Febbraio 1346 ($M_w 5.8$).

La regione Emilia – Romagna è interessata una sismicità media relativamente a quella nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter, e intensità del IX- X grado della scala MCS. Secondo quanto riportato dalla Classificazione dei Comuni Sismici d'Italia, riportata in allegato all'OPCM 03/2003, il Comune di Sala Bolognese rientra tra quelli classificati in 3^a categoria (sismicità bassa).

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 dal TU, per la definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale, mediante specifiche analisi.

Sull'area sono state eseguite analisi geofisiche per mezzo di rilievi di sismica passiva con stazione singola (tromino); questi rilievi sono stati elaborati con il sistema la modalità HVSR (Nakamura) utilizzando un programma di calcolo automatico – Geoexplorer edito dalla Società S.A.R.A..

In tal modo è stato definito il parametro di V_s eq che nel nostro caso corrisponde al V_{s30} ; i risultati ottenuti indicano per l'area una velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di spessore variabile tra 191 e 193 m/s; la frequenza tipica del terreno nella zona della prova n° 1 è risultata di 0,674 hz mentre nella zona della prova 2 è risultata di 0,726 hz. I risultati dei rilievi sismici si riportano in appendice 3

Questi risultati permettono di inserire l'area tra quelle che il NTUC 2018 indica venti terreni appartenenti alla categoria sismica di tipo C “*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 , caratterizzati da un miglioramento delle capacità meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”.

I fattori di amplificazione da utilizzare per la costruzione degli spettri di risposta in accelerazione (orizzontale e verticale) di II^a livello, desunti DGR dell'Emilia Romagna n°630/19 saranno quelli previsti per il tipo morfologico PIANURA 2 e si riportano di seguito:

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Tabella 6.2 – Fattori di Amplificazione sismica della PGA.

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Tabella 6.3 – Fattori di Amplificazione SA1 ($0.1s < T < 0.5s$); SA2 ($0.4s < T < 0.8s$); SA3 ($0.7s < T < 1.1s$); SA4 ($0.5s < T < 1.5s$);

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Tabella 6.4 – Fattori di Amplificazione SI1 ($0.1s < T < 0.5s$); SI2 ($0.5s < T < 1.0s$); SI3 ($0.5s < T < 1.5s$);

Gli spettri di risposta del terreno, che definiscono la pericolosità sismica (di II^ livello) si riportano in appendice 4; essi sono caratteristici di ogni sito e vengono calcolati dai parametri sismici riportati in tabella 6.6; applicando a questi parametri i coefficienti sismici (tabella 6.7) derivati dal tipo di terreno, classificabile in categoria C, come indicato in precedenza e dalla classe topografica (T1).

Nelle tabelle 6.5 ÷ 6.7 si riportano i dati utilizzati per il calcolo degli spettri di risposta del terreno:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]
1	16285	44,613660	11,243670
2	16286	44,614960	11,313840
3	16064	44,664940	11,312050
4	16063	44,663640	11,241840

Tabella 6.5 – Siti di riferimento

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,478	0,257
SLD	50	0,060	2,517	0,272
SLV	475	0,163	2,530	0,278
SLC	975	0,214	2,517	0,282

Tabella 6.6 – Parametri sismici

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,018	0,057	0,083
kv	0,007	0,009	0,028	0,041
amax [m/s ²]	0,715	0,879	2,317	2,894
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Tabella 6.7 – Coefficienti sismici

7.0 Verifica della pericolosità sismica di III[^] Livello

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato; Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si

comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega t) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega \eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

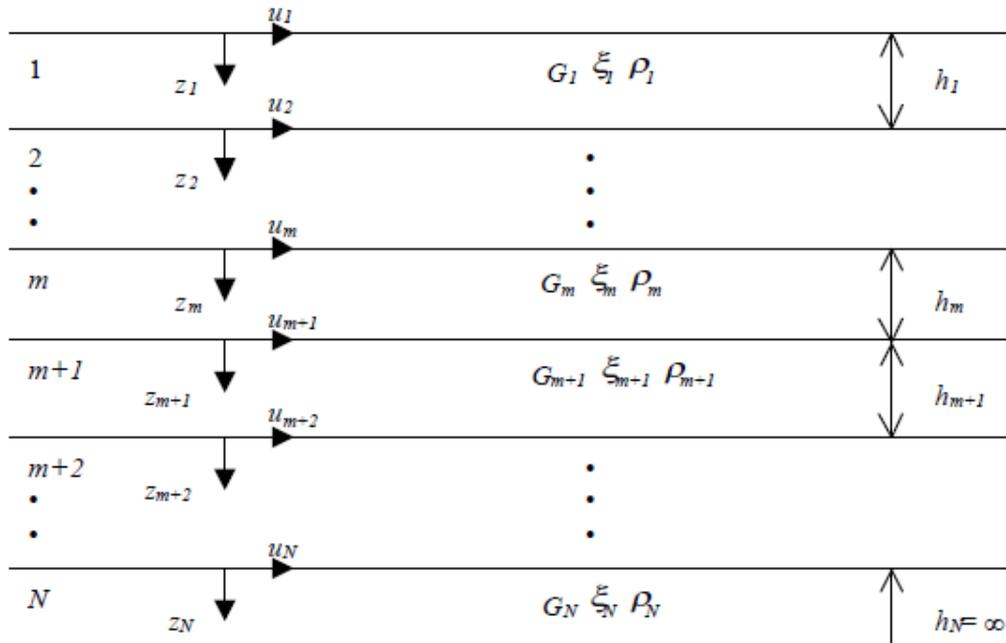


Fig. 7.1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z,t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z,t) \quad \ddot{u}(z,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z,t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z,t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (Ee^{ik^*z} - Fe^{-ik^*z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale τ dalla seguente espressione:

$$\tau(z,t) = G^* \gamma(z,t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

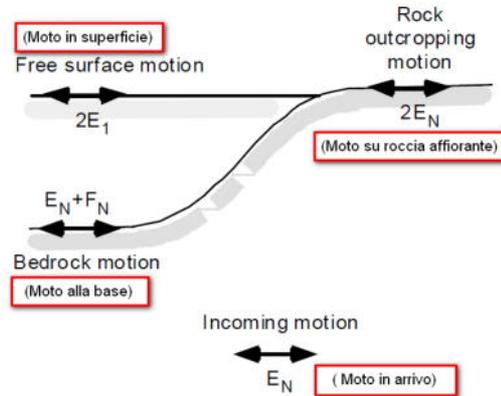


Fig. 7.2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

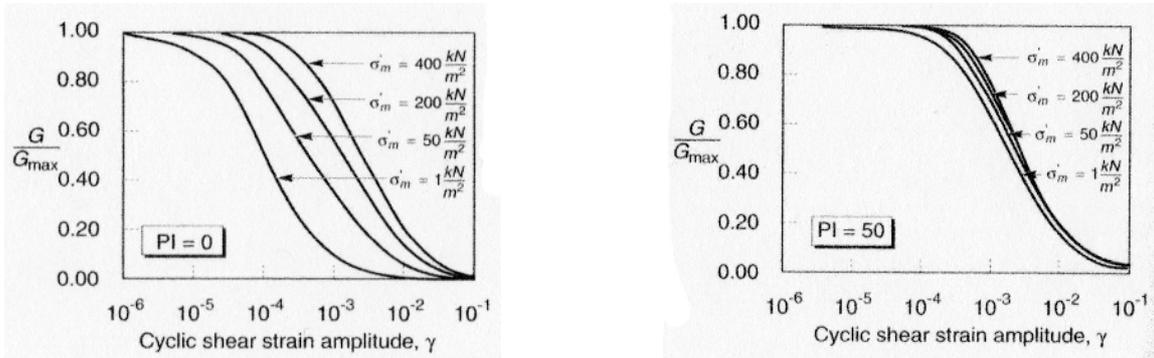


Fig. 7.3:: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

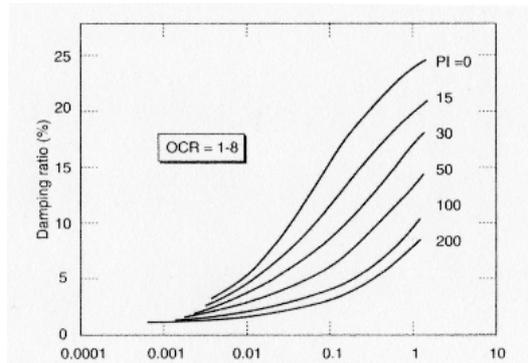


Fig. 7.4 Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso

In appendice 5 si riportano sia in forma di tabella che grafica i dati di ingresso e i risultati dei calcoli

8.0 Verifica del potenziale di liquefazione

Secondo quanto riportato nel DGR 630/19 i siti di interesse devono essere sottoposti alla verifica dell'attitudine a dare fenomeni di liquefazione dei terreni granulari sotto falda. Nell'area in esame sono stati ritrovati spessori significativi di terreni aventi questa granulometria (sabbie e limi sabbiosi) entro le prove n°1, n°2, n°3, n°4 e n°5. Le altre prove non vengono tenute in considerazione in quanto o sono costituite solamente da terreni coesi o gli strati granulari sono molto profondi e di spessore esiguo (inferiore ai 30 cm).

Sebbene il PSC "Terre d'Acqua" (Tav. QC 6/t7b) riporti che l'area non rientra tra quelle che possano dare luogo al fenomeno della liquefazione vedi anche fig. 8.1

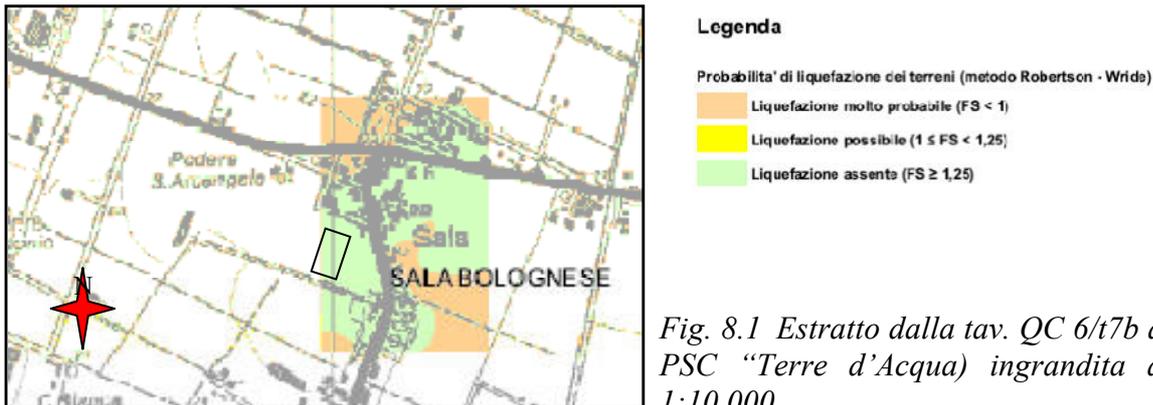


Fig. 8.1 Estratto dalla tav. QC 6/t7b allegata la PSC "Terre d'Acqua) ingrandita alla scala 1:10.000

Tuttavia secondo quanto richiamato dal DGR 63/19 si procederà ugualmente al calcolo del potenziale di avere il fenomeno della liquefazione di tali terreni utilizzando il metodo proposto da Boulanger e Idriss 2014

Di seguito si fornisce una descrizione sintetica del metodo di calcolo.

Metodo di Idriss & Boulanger (2014)

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:

$$I_c = \left[\left(\log_{10} Q - 3,47 \right)^2 + \left(\log_{10} R_f + 1,22 \right)^2 \right]^{0,5} \quad (8.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (8.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (8.0c)$$

dove

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{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:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{Pa} \right) \quad (8.1)$$

$$C_Q = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \leq 1,7 \quad (8.2)$$

dove n si determina per via iterativa dalla seguente relazione:

$$n = 1,338 - 0,249 \cdot q_{c1N}^{0,264} \quad (8.3)$$

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

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (8.4a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(11,9 + \frac{q_{c1N}}{14,6} \right) \cdot \exp \left[1,63 - \frac{9,7}{FC+2} - \left(\frac{15,7}{FC+2} \right)^2 \right] \quad (8.4b)$$

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

$$FC(\%) = 2,8 \cdot (I_c)^{2,60} \quad (8.5)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR**_{7,5}) si calcola da:

$$CRR = \exp \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{113} + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{137} \right)^4 - 2,80 \right] \quad (8.6)$$

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:

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d \quad (8.7)$$

Dove per il coefficiente di riduzione delle tensioni r_d si utilizza la formula, con M si indica la magnitudo:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (8.8a)$$

$$\alpha = -1,1012 - 1,126 \cdot \text{sen} \left[\frac{z}{11,73} + 5,133 \right] \quad (8.8b)$$

$$\beta = 0,106 + 0,118 \cdot \text{sen} \left[\frac{z}{11,28} + 5,142 \right] \quad (8.8c)$$

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

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (8.9)$$

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

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \cdot 8,64 \cdot \exp \left(-\frac{M}{4} \right) - 1,325 \leq 1,8 \quad (8.10)$$

$$MSF_{max} = 1,09 + \left(\frac{qc1ncs}{180} \right)^3 \leq 2,2$$

Il fattore di correzione della pressione di confinamento K_σ è dato da:

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right) \leq 1 \quad (8.11a)$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37,3 - 8,27 \cdot (q_{clN})^{0,264}} \leq 0,3 \quad (8.11b)$$

In appendice 5 si riportano in forma grafica e di tabella i risultati del calcolo mentre in fig. 8.2 si riporta la distribuzione dell'Indice di Suscettività alla liquefazione dei terreni.

Nota: nelle prove 6, 7 e 8 non sono stati eseguiti i calcoli di ISL in quanto la successione si presenta costituita essenzialmente da terreni dotati di coesione (non liquefacibili per definizione) con l'unico strato granulare presente posto a -18,0m di profondità e di spessore poco più che decimetrico.



Fig. 8.2 Distribuzione dell'Indice di suscettività alla liquefazione nell'area dell'Ambito ARS. SB_VII



9.0 Definizione della Zonizzazione Geotecnica

Per definire la zonizzazione geotecnica si utilizza il principio utilizzato da IDott. Viel per la redazione di tutti i Piani Strutturali Comunali che ha redatto ed alla cui Relazione Geologica si per la descrizione più approfondita del metodo.

In questa sede si vogliono solamente ricordare i principi fondamentali per questa classificazione; essa si basa sulla definizione della resistenza media alla punta di un penetrometro statico compresa negli intervalli tra 0,0 m ÷ 5,00 m e 5,00 m ÷ 10,00 m.

Questi intervalli sono significativi in quanto nel primo sono impostate la maggioranza delle strutture di fondazione degli edifici che utilizzano fondazioni superficiali e nel secondo si ha che, per la stessa tipologia di edifici, viene a trovarsi il volume significativo del terreno reagente con il carico degli edifici nel quale si esauriscono la maggior parte dei cedimenti.

Le prove eseguite hanno fornito i seguenti risultati:

Definizione della Classe geotecnica del terreno			
	Rp	Rp	Classe
	0,0 m - 5,0 m	5,01 m - 10,0 m	
	kg/cm ²	kg/cm ²	
CPTu 1	11.90	11.69	D2
CPTu 2	15.50	34.25	D1
CPTu 3	11.43	16.39	D1
CPTu 4	15.21	20.26	D1
CPTu 5	12.98	25.86	D1
CPTu 6	11.17	10.16	D2
CPTu 7	11.61	11.39	D2
CPTu 8	11.54	11.90	D1

Tabella 9.1 – definizione della Classe di geotecnica del terreno

Come evidenziato nella tabella 6.1 i valori della resistenza alla punta elaborati dalle prove penetrometriche eseguite possono essere racchiusi nei seguenti casi:

- 1) CPTu 2, CPTu3, CPTu4, CPTu5 e CPTu8 – La resistenza dei primi 5 metri è normale (1 MPa < Rp < 1,5 MPa) e da leggermente a molto inferiore rispetto a quella dei 5 metri sottostanti.
- 2) CPTu 1, CPTu6 e CPTu8 – La resistenza dei primi 5 metri è normale e leggermente superiore rispetto ai 5 metri inferiori e comparabile con quella dei metri da 5 a 10

Con queste caratteristiche si classificano i terreni dal punto di vista geotecnico nelle classi “D1” e “D2”

Si riporta, per completezza la descrizione completa delle classi di terreno richiamate in precedenza.

D = Zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali (1.000 < rp < 1.500 kPa) a discrete (> 1.500 kPa) per entrambi gli strati considerati. In questa zona di edificabilità, le possibili variazioni di caratteristiche tra il primo ed il secondo intervallo possono essere molto grandi, tali da richiedere ulteriori suddivisioni in sottoclassi. Le due sottoclassi "D1", "D2", rappresentano rispettivamente un andamento del parametro meccanico (rp) vicino, rispettivamente, alle situazioni della classe "E", oppure della classe "C". L'edificabilità con normali tecniche costruttive è in genere assicurata, per questa classe. Nei casi in cui sono verificate caratteristiche meccaniche classificabili come classe "D1" o classe "D2", vi possono essere limitazioni anche per edifici di normale impegno o a causa dei cedimenti assoluti o differenziali, oppure alle pressioni di esercizio. La sottoclasse "D3", rappresenta le situazioni di distribuzione omogeneamente più che discreta (>1.500 kPa) dei valori meccanici.

10.0 Conclusioni

Dalle prove eseguite nell'area, si possono trarre le seguenti conclusioni:

La successione sedimentaria presente nell'area oggetto d' intervento appartiene al Supersistema Emiliano - Romagnolo costituito da depositi alluvionali del Po e dei suoi numerosi affluenti.

Nello spessore indagato si sono attraversate dall'alto al basso l'Unità di Modena (AES 8a) e parte del Subsistema di Ravenna (AES 8) che del Quaternario continentale (Olocene – 0 – 0,16 Ma) sono i termini più recenti.

La successione è costituita prevalentemente da terreni fini e finissimi che vedono il loro sviluppo maggiore sul lato E del lotto; dalla parte O nelle prove n° 2, n°4 e n°5 a circa 5,5 m e a 10,0 m circa si hanno livelli sabbiosi che si chiudono velocemente verso E ma che nelle verticali cirtate possono raggiungere spessori da pluridecimetrici a metrici. La successione, principalmente nella parte più prossima al p.c. (primi 3,0 m circa), vede all'interno dei terreni un' elevata percentuale di materia organica che comunque non prevale mai sulla componente terrigena. La di sotto dei 3,0 m si trovano argille anche tenere ma non organiche; unica eccezione una lente posta tra la prova n°4 e la prova n°5 a circa 8,0 m di profondità in cui si rilevano anche due livelli (sottili e discontinui) di torba.

Il passaggio tra AES 8a e AES 8 si trova verosimilmente a circa 6,0 m di profondità dove si rilevano argille di consistenza da media a buona in contatto con un livello metrico di limo argilloso duro eroso dai livelli sabbiosi citati in precedenza.

La falda freatica è stata rinvenuta nei fori di prova a – 2,0 m dal p.c. attuale in apparente disaccordo con quanto riportato nelle tavole del Quadro Conoscitivo allegate al PSC “Terre d'Acqua” in quanto il livello presente sull'elaborato è riferito al piano di campagna presenta all'epoca in cui sono state edite le CTR (1975) mentre in tempi recenti nell'area è stata eseguito un riporto di terreno che ha innalzato il p.c. di almeno 0,80 m. La permeabilità è molto bassa stimabile sull'ordine dei 10-11 cm/sec mentre la direzione della falda va da S a N. La falda è alimentata dalle acque del torrente Samoggia.

La geomorfologia del sito permette di inserire l'area nella categoria T1 tra quelle richiamate dal NTC 2018 relativamente alla amplificazione sismica delle onde di taglio originata da assetti morfologici.

I dati ottenuti dalle prove in situ permettono di inserire i terreni nella categoria C essendo in media di 192 m/s il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di spessore, la frequenza di doppia risonanza terreno fabbricato è posta a frequenze comprese tra 0,674 Hz e 0,726 Hz

I fattori di amplificazione che permettono di calcolare gli spettri di risposta sismica del terreno in accelerazione per l'analisi al II^ livello debbono fare riferimento al tipo Pianura 2 riportato entro il DGR dell'Emilia Romagna 630/19.

L'analisi di III livello evidenzia che al bed rock le azioni sismiche di riferimento sono:

Fattore di amplificazione PGA 14.85

Fattore di amplificazione SA 1 $0.1 < T < 0.5$

Fattore di amplificazione SA 2 $0.5 < T < 1.0$

Fattore di amplificazione SA 3 $1.0 < T < 2.5$

Questi valori inducono al suolo, le seguenti sollecitazioni nei diversi stati limite

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.163	0.212
Fo	2.485	2.503	2.402	2.413
Tc* [s]	0.257	0.272	0.304	0.308
Ss	1.50	1.50	1.47	1.39
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.61	1.56	1.55
TB [s]	0.141	0.146	0.158	0.159
TC [s]	0.423	0.439	0.473	0.477
TD [s]	1.804	1.852	2.252	2.448
Se(0) [g]	0.077	0.095	0.239	0.295
Se(TB) [g]	0.190	0.237	0.574	0.713

L'indice di liquefazione segue la distribuzione dei terreni granulari per cui abbiamo che nella parte occidentale del lotto le prove che presentano quantità significative di questa tipologia di terreno (da limo sabbioso a sabbia limosa) mostrano una elevata suscettività alla liquefazione mentre quelli sul lato orientale danno bassa suscettività alla liquefazione. In fase esecutiva si dovrà tenere conto di questa situazione ed agire secondo quanto indicato nel DGR 630/19 prevedendo, prima di mettere in atto gli interventi anche una integrazione delle indagini geognostiche (con prove penetrometriche) al fine di meglio definire le aree di intervento.

Dall'esame degli elaborati allegati al PSAI dell'ex Autorità di Bacino del Reno risulta che l'area si trova in una zona a deflusso scarso in ragione del basso gradiente di pendenza della superficie morfologica fatto rimarcato dalla classe di rischio rispetto al reticolo secondario di pianura contenuta nel PGRA.

In base ai risultati presentati e tenendo conto delle risultanze derivate dall'amplificazione sismica dei terreni e della propensione alla liquefazione delle frazioni granulometriche più elevate (limi sabbiosi e sabbie) l'intervento su questa area è fattibile.

Castenaso li 15/12/2019

Chili Giuliano
(COGER 565 Sez A)



Appendice

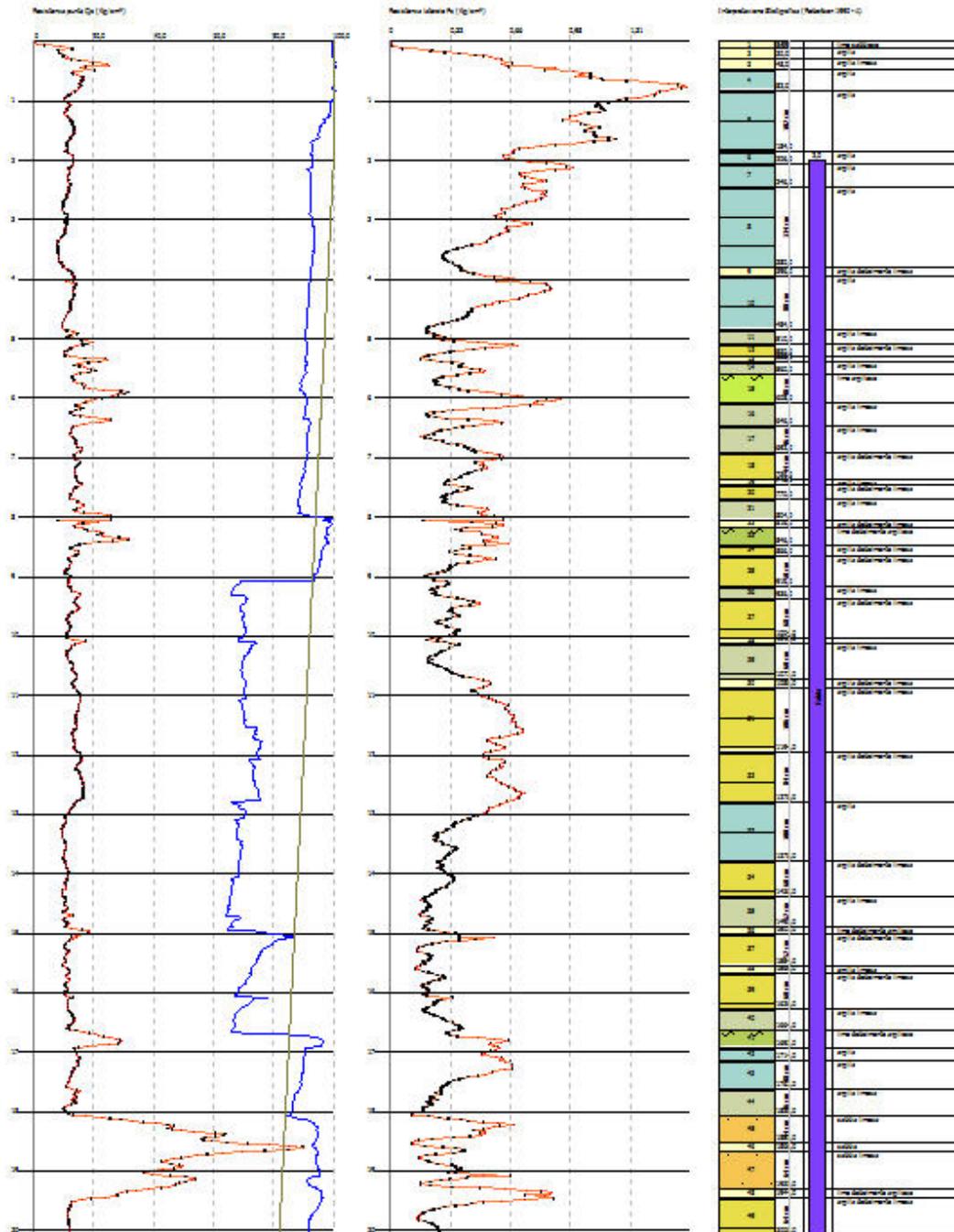
Appendice 1

Grafici prove – Valutazioni Litologiche

Probe CPTU - Piezocene Nr.1
 Strumento utilizzato TECNO PENTA TP CPLZIN

Committente: Futura Costruzioni srl
 Cantiere: Camparò
 Località: Sola Solognara - Via Don Sald

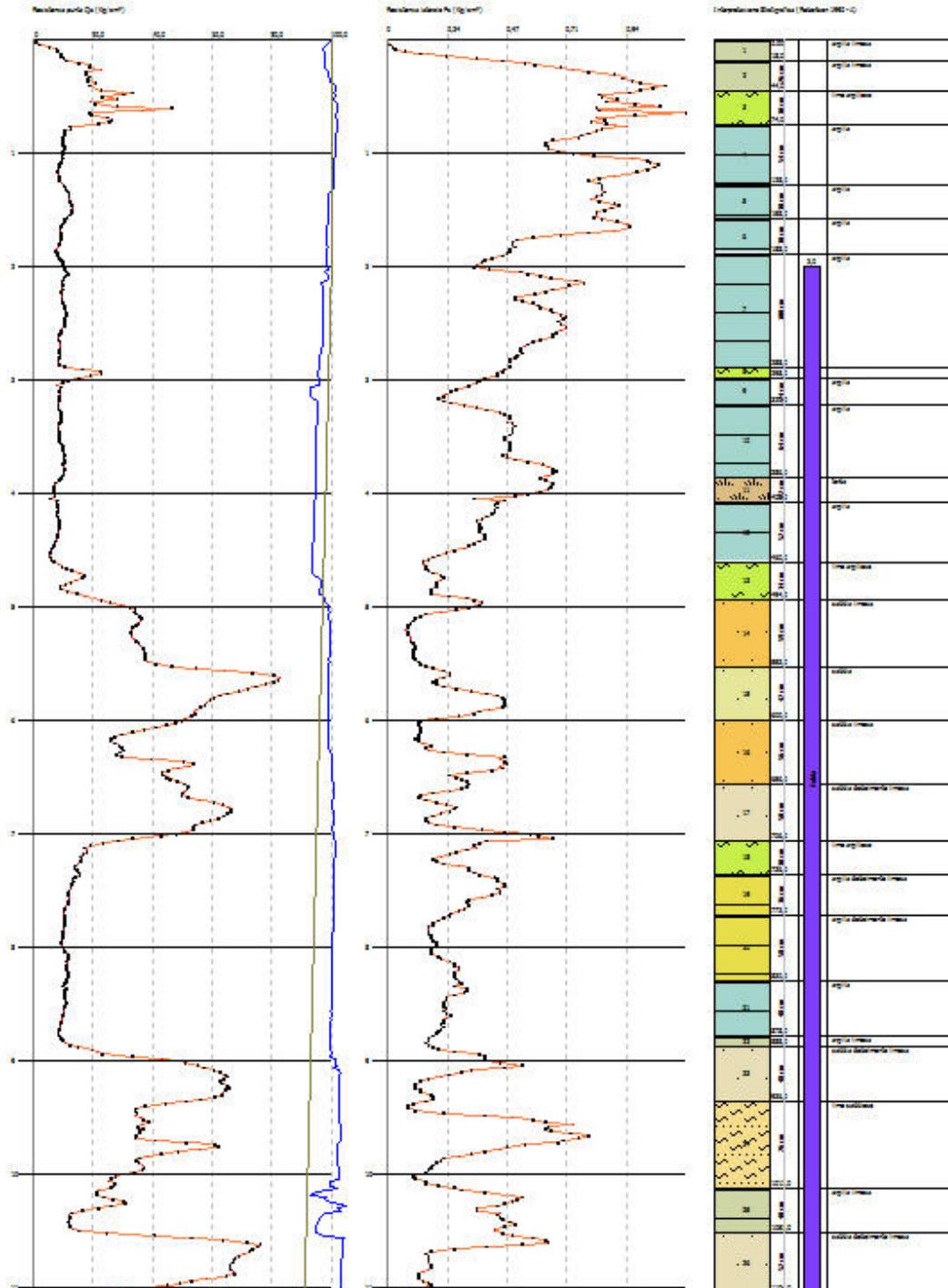
Data: 06/12/2019



Probe CPTU - Piezocene Nr. 2
 Strumento utilizzato: TEONTO PENTA TP CPL21N

Committente: Futura Costruzioni srl
 Cantiere: Caserale
 Località: Sola Solognola - Via Don Sodi

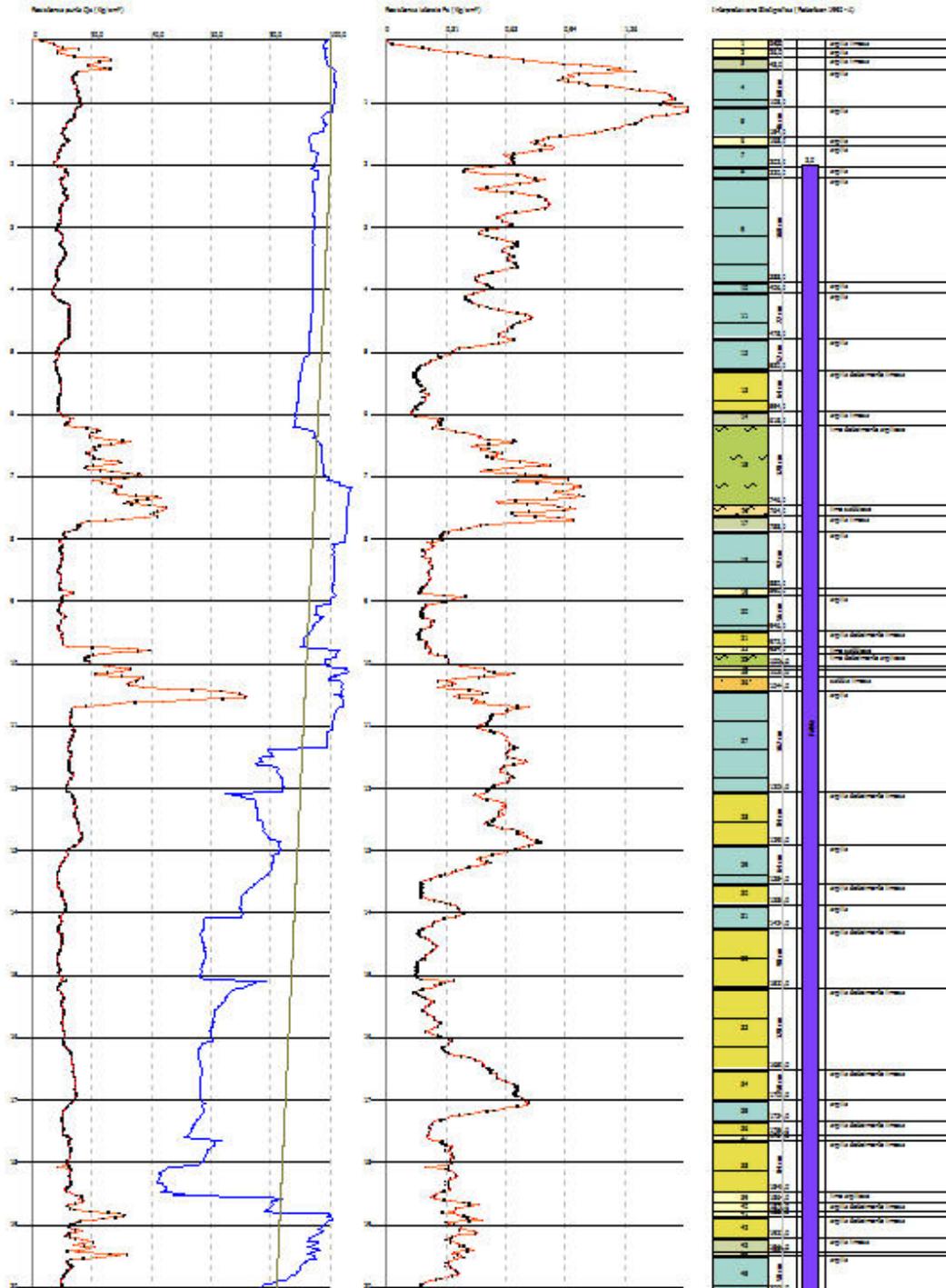
Data: 06/12/2019



Probe CPTU - Piezocene Nr. 3
 Strumento utilizzato: TEONTO PENTA TP CPL21N

Committente: Futura Costruzioni srl
 Cantiera: Casale
 Località: Sole Solognola - Via Don Sodi

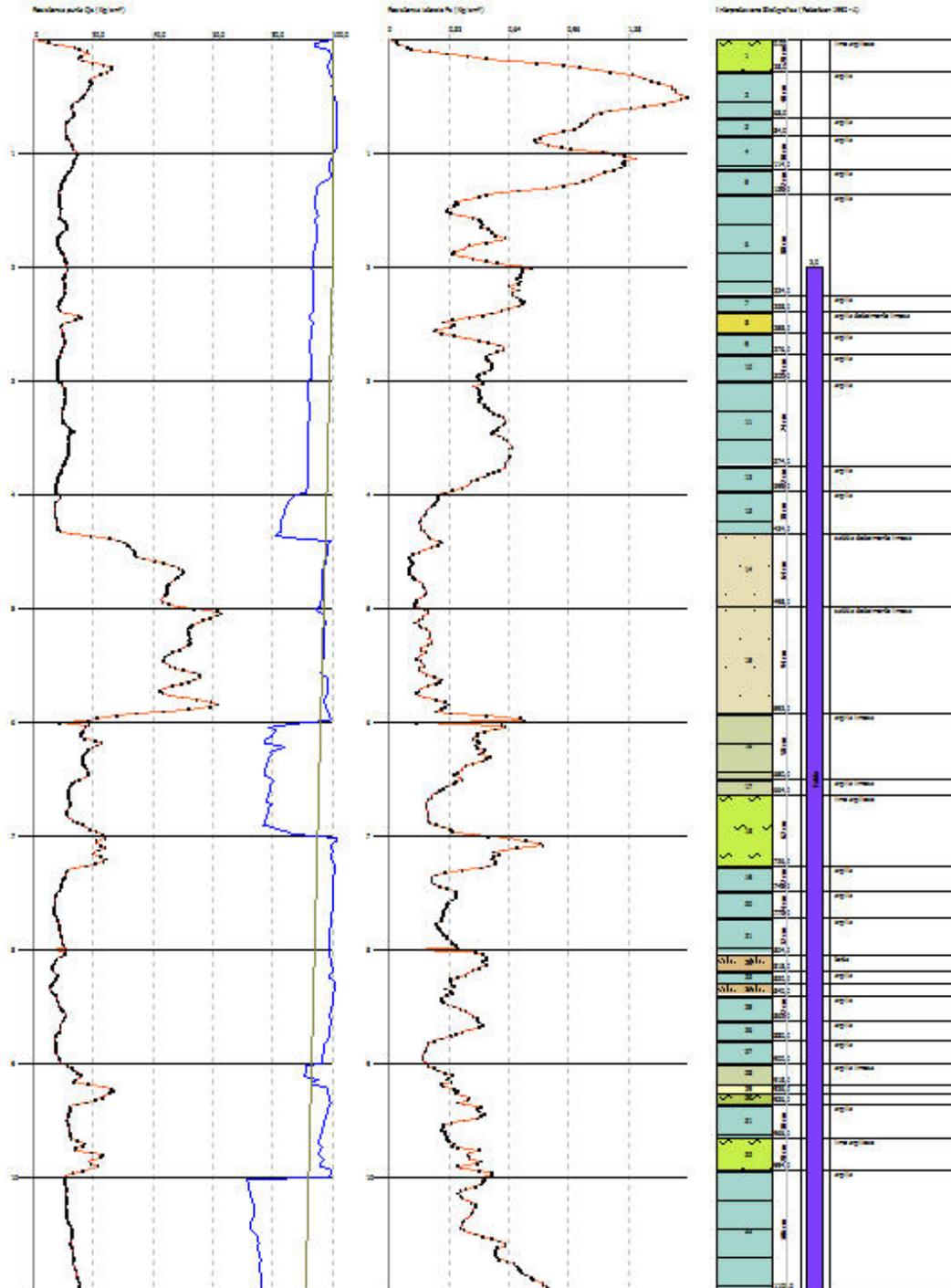
Data: 06/12/2019



Probe CPTU - Piezocene Nr.4
 Strumento utilizzato TECNO PENTA TP CPL21N

Committente: Futura Costruzioni srl
 Cantiera: Caserta
 Località: Sole Solograte - Via Don Sodi

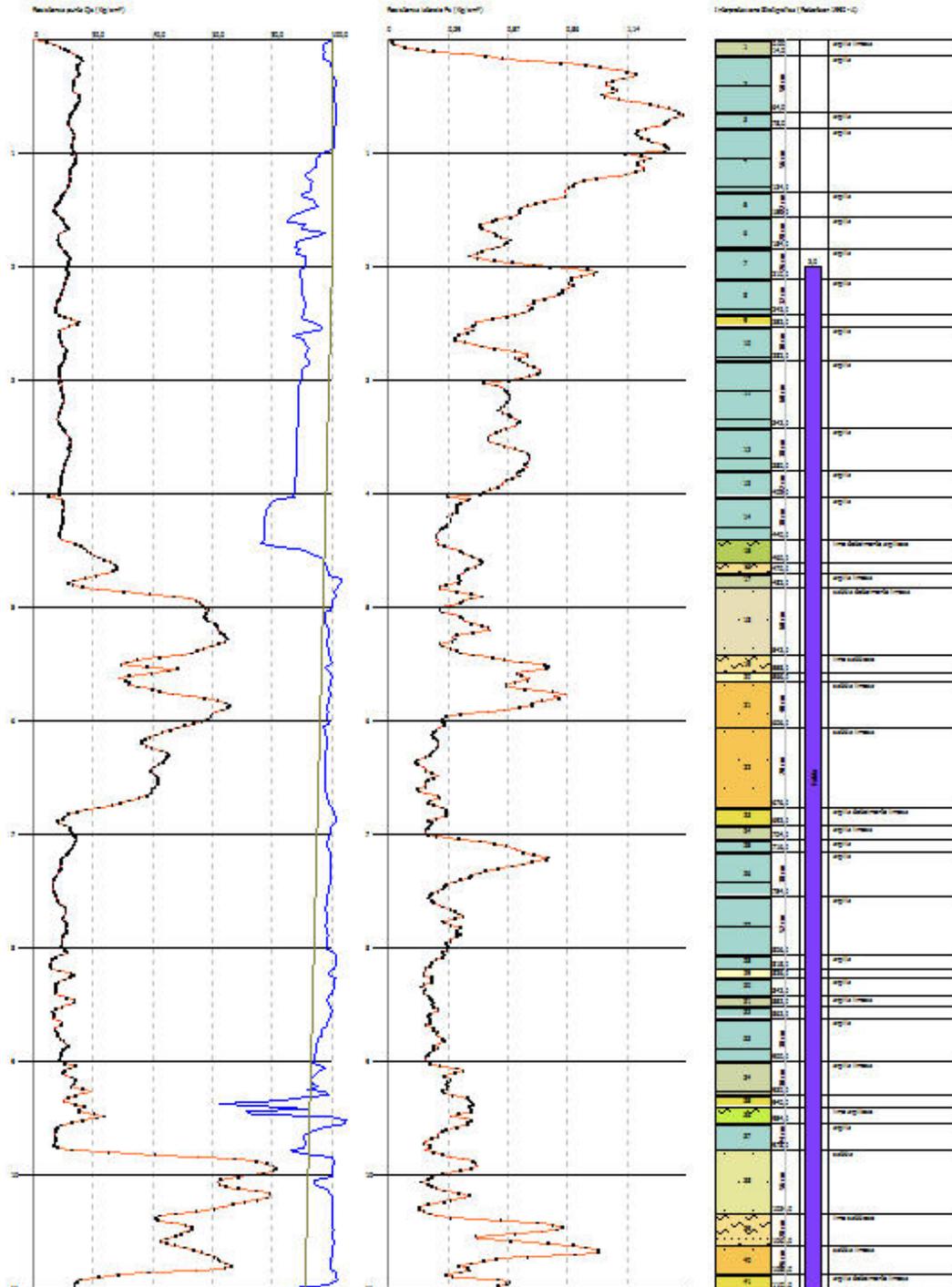
Data: 06/12/2019

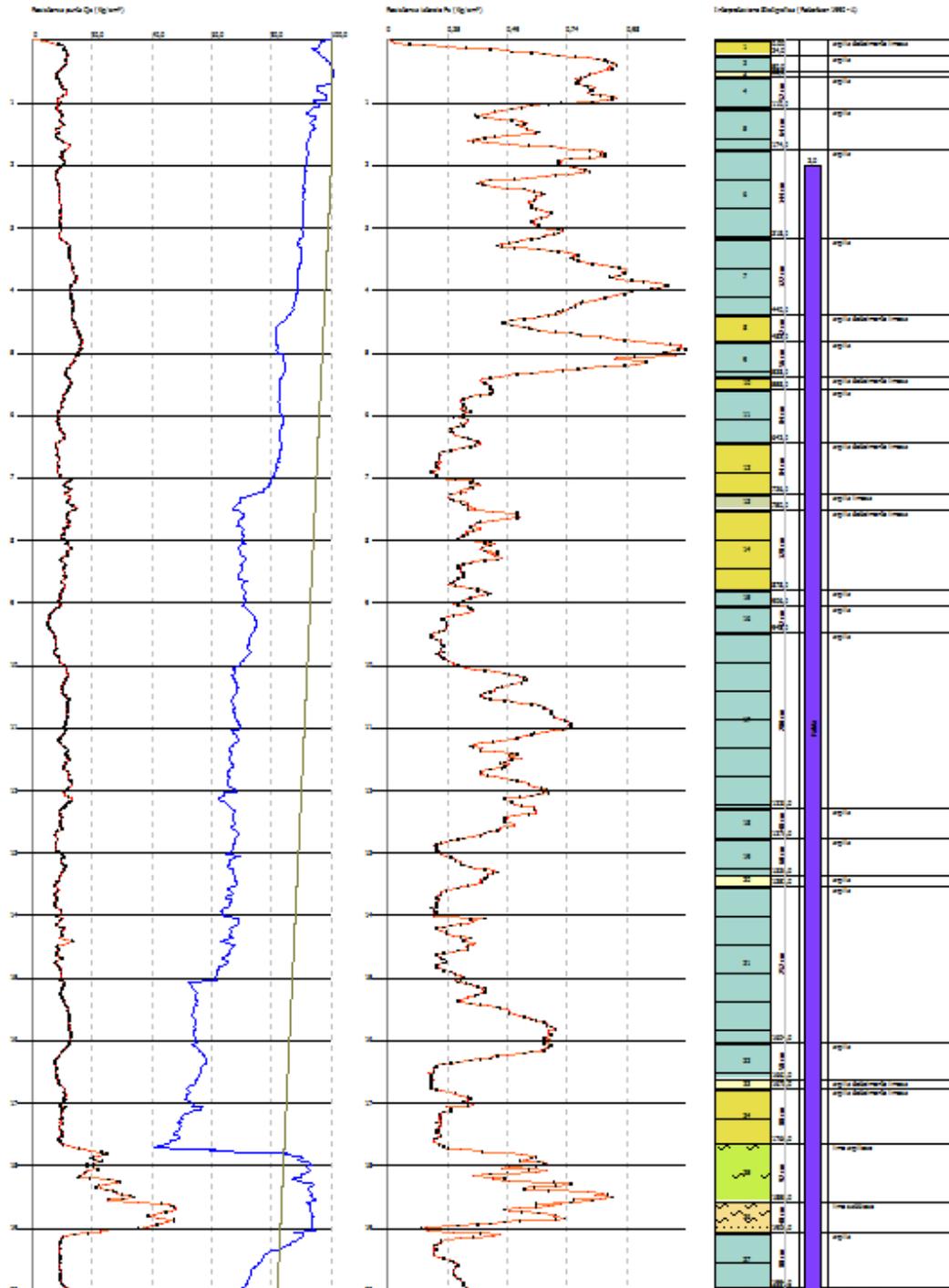


Probe CPTU - Piezocene Nr.5
 Strumento utilizzato TEONTO PENTA TP CPL21N

Committente: Futura Costruzioni srl
 Cantiera: Caserta
 Località: Sole Solograte - Via Don Sodi

Data: 09/12/2019

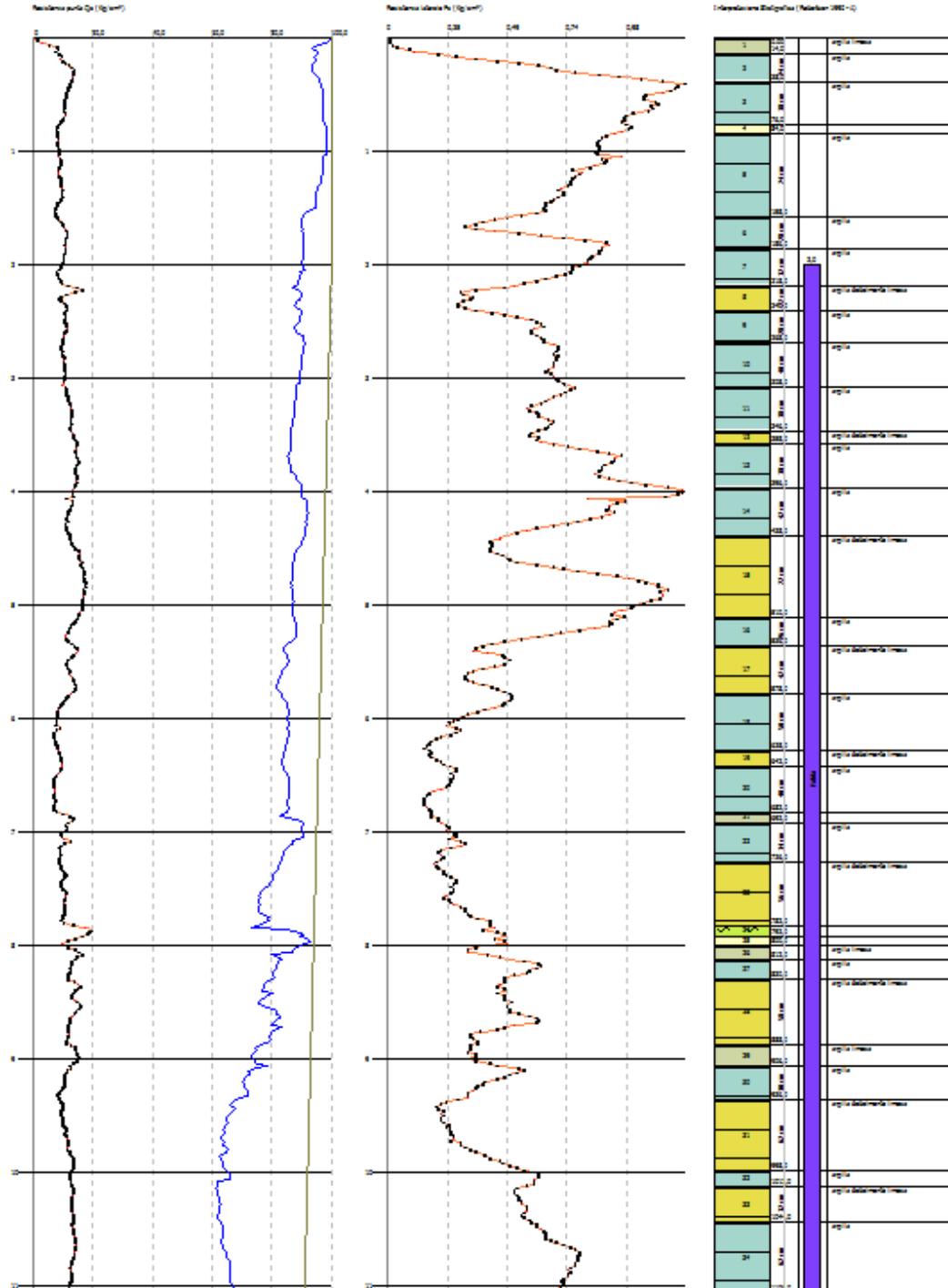


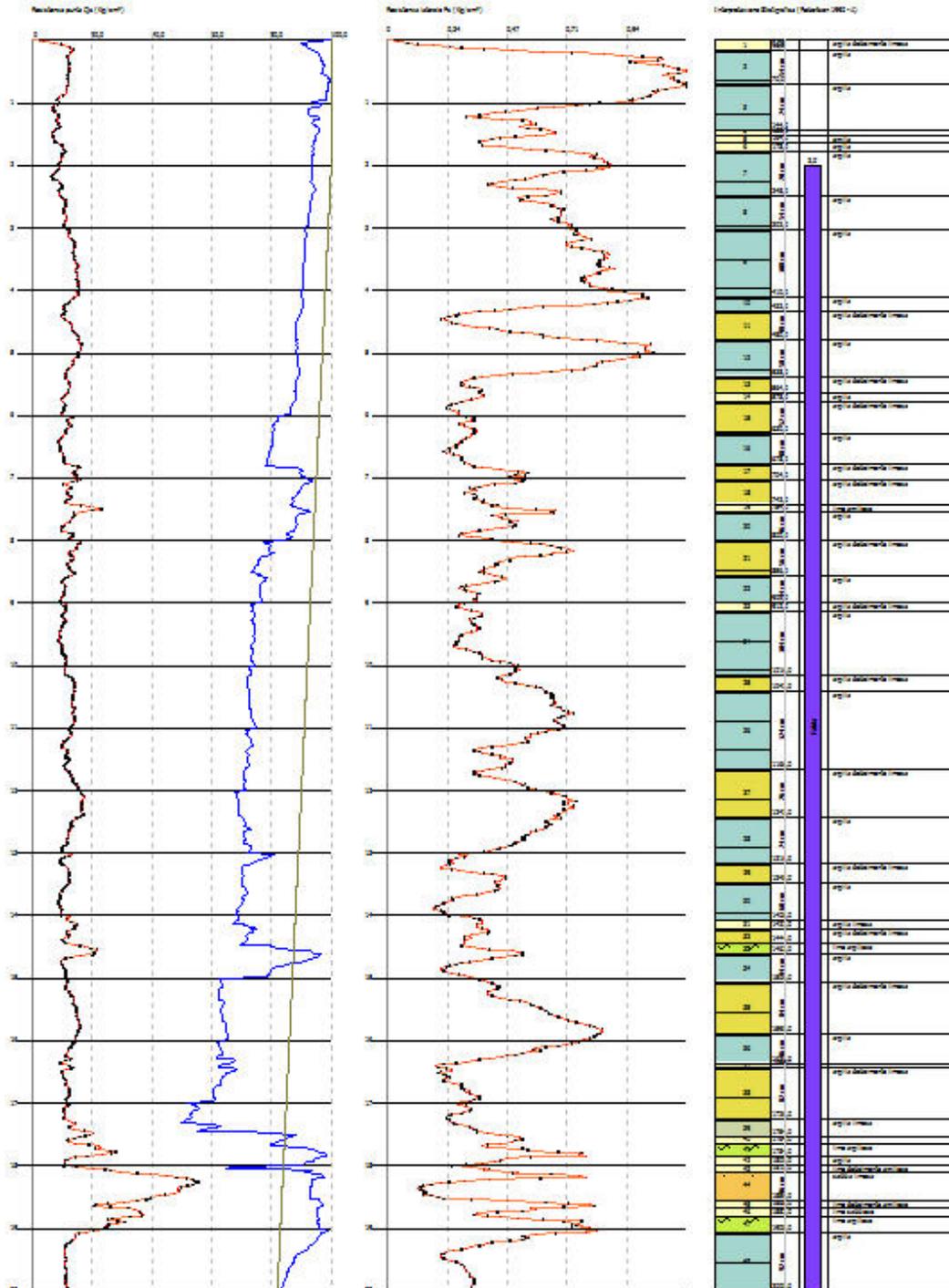


Probe CPTU - Piezocene Nr.7
 Strumento utilizzato TEONTO PENTA TP CPL21N

Committente: Futura Costruzioni srl
 Cantiera: Caserta
 Località: Sola Solograte - Via Don Sodi

Data: 09/12/2019





Appendice 2

Rilievi Geofisici
Sismica passiva con stazione singola
(Tromino)

Elaborazione metodo HVSR (Nakamura)

Prova n° 1

STATION INFORMATION

Station code: -

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: -

Address: Via Don G. Botti - Sala Bolognese

Latitude: 44,6158884

Longitude: 11,2558829

Elevation: 22.8

Weather: Soleggiato, non ventoso, Temperatura 14°C

Notes: Coordinate Sistema WGS 84

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

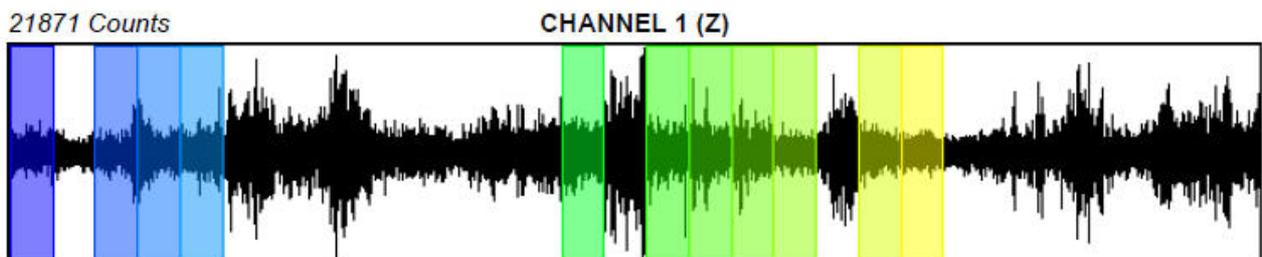
Recording start time: 2019/12/06 14:05:56

Recording length: 19.68 min

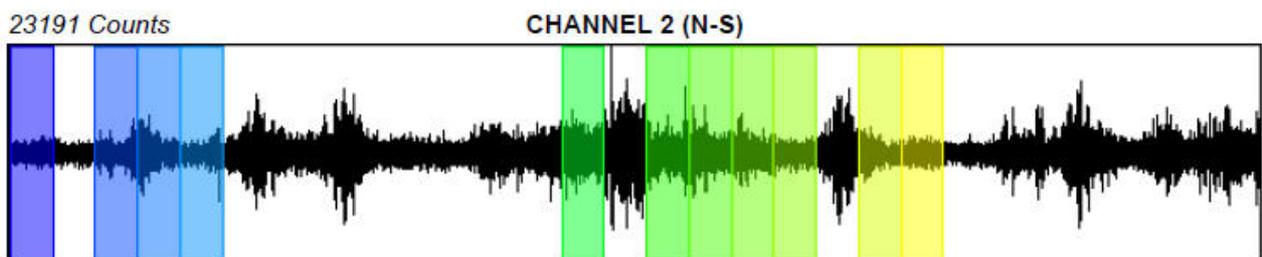
Windows count: 11

Average windows length: 40

Signal coverage: 37.26 %



-22406 Counts



-16769 Counts



-22761 Counts

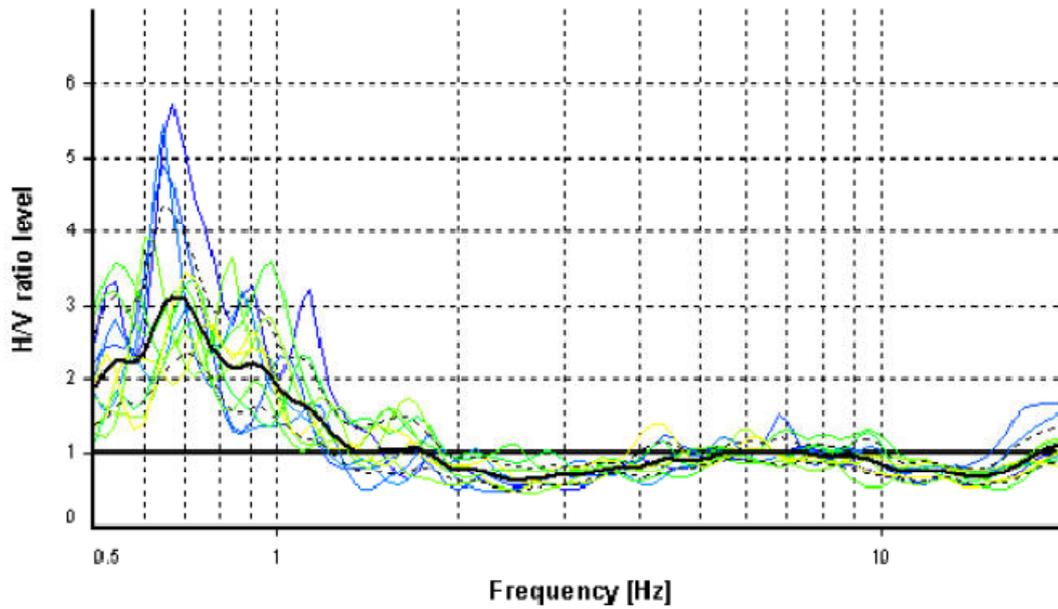
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

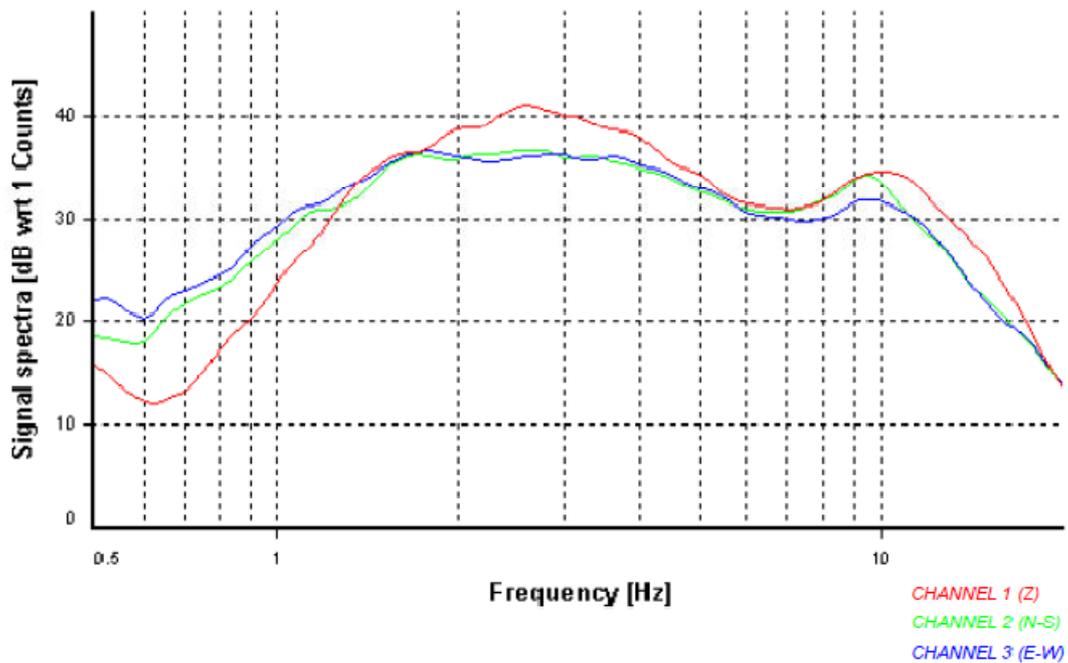
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

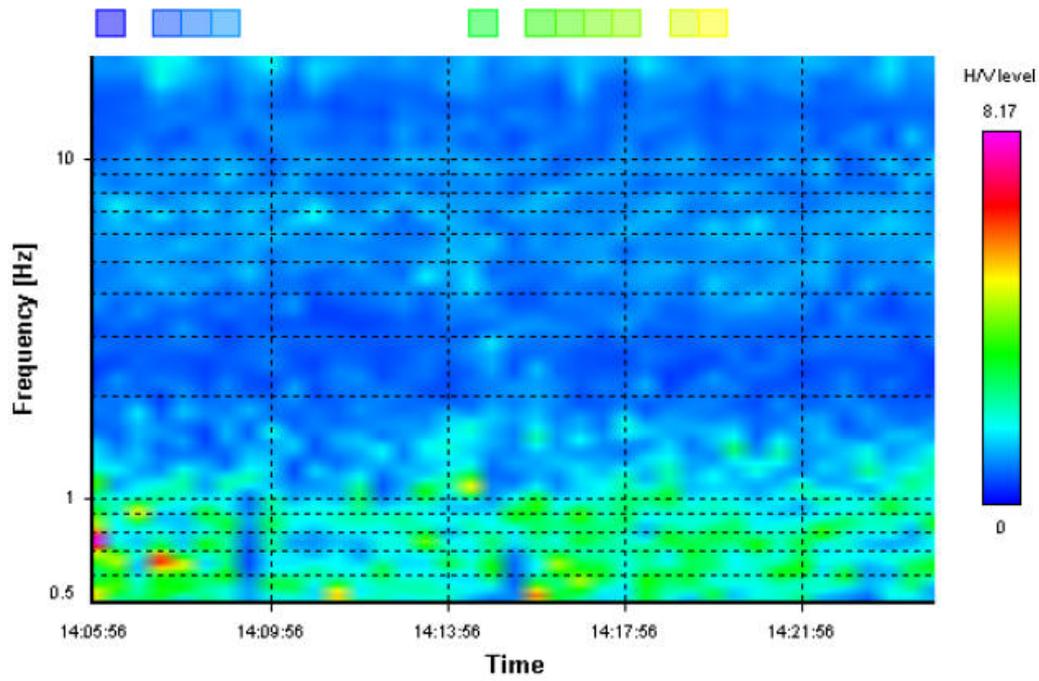
HVSR average



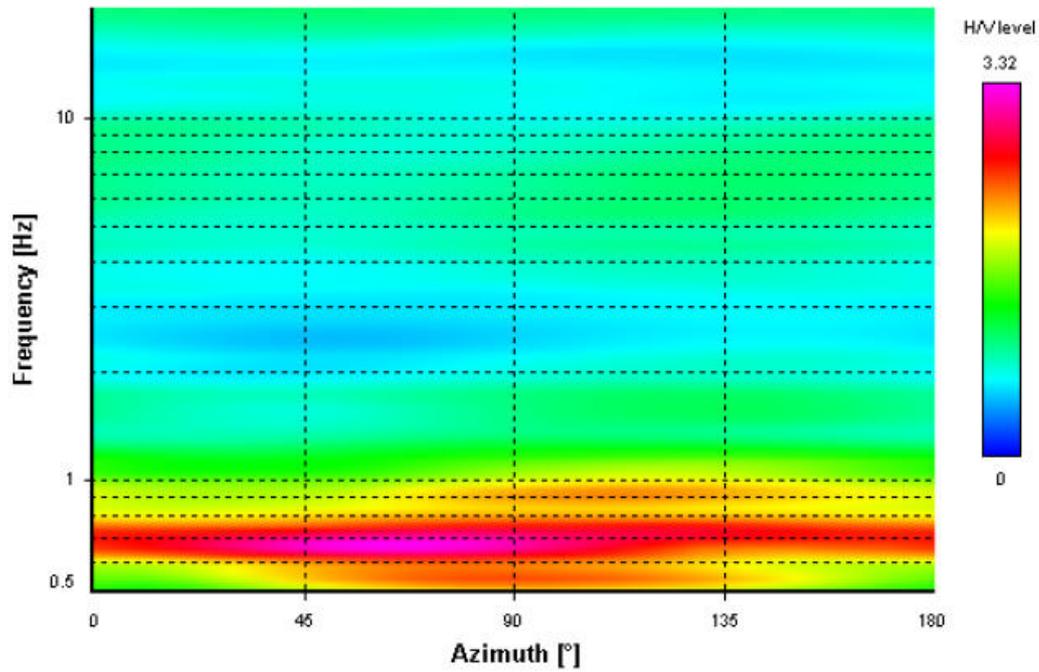
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)

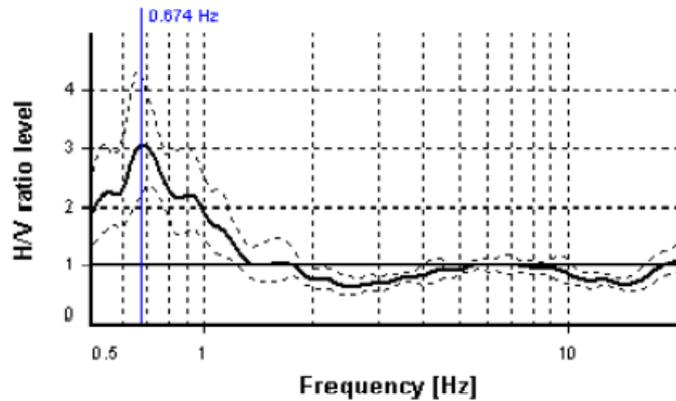


HVSR directional analysis



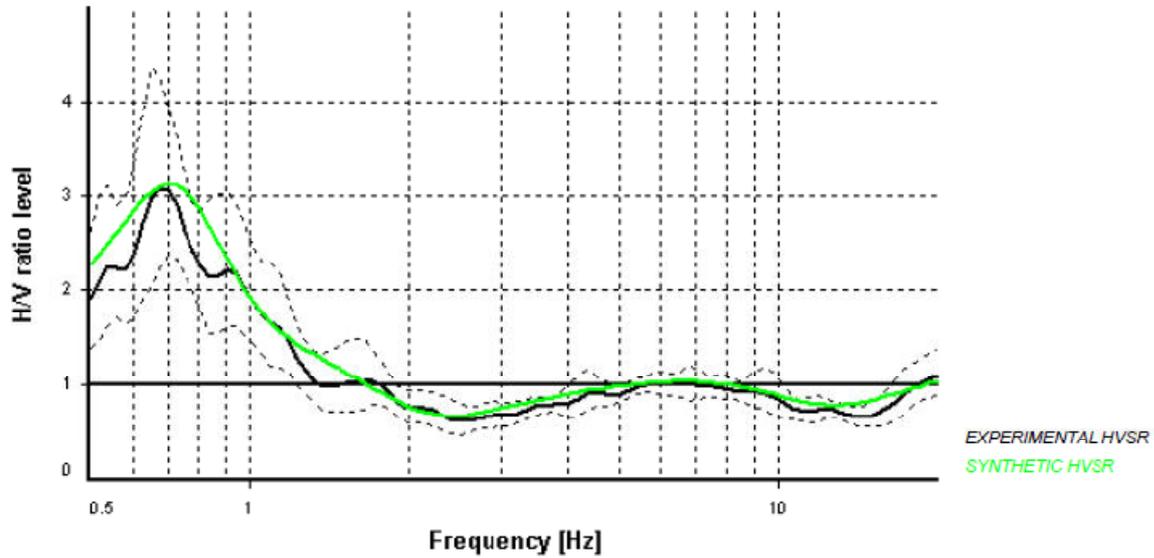
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency
0.674 Hz

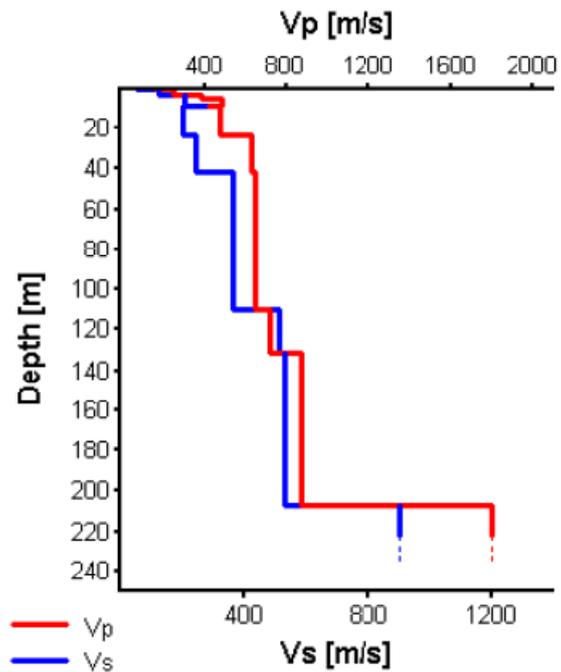


HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	11 valid windows (length > 14.84 s) out of 11	OK
$n_c(f_0) > 200$	296.4 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 27	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0$	0 Hz	NO
$\exists f^* \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0$	1.17806 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.08 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.8% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1318 >= 0.10105	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.38642 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Synthetic HVSR modelling



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
0.3	0.3	160	49	2030
3.4	3.7	250	120	1880
1.96	5.66	380	200	2200
3.26	8.92	490	200	1880
0.08	9	420	270	2200
14.70	23.7	480	195	1900
18	41.7	630	235	2300
68	109.7	650	360	2250
22	131.7	720	510	2400
75	206.7	870	530	2350
-	> 206.7	1800	900	2500



Vs 30 = 193 m/s (Offset = 1 m)

Prova n°2

STATION INFORMATION

Station code: -

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: -

Address: Via Don G. Botti - Sala Bolognese

Latitude: 44,6143710

Longitude: 11,2546498

Elevation: 22.0

Weather: Soleggiato non ventoso Temp. 15°C

Notes: Coordinate Sistema WGS84

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

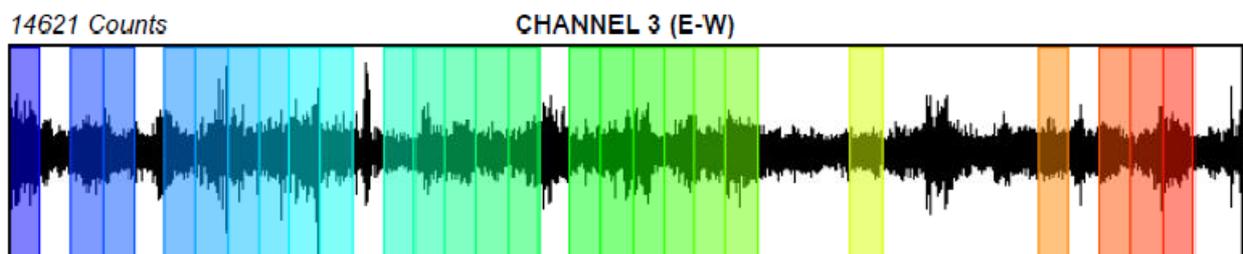
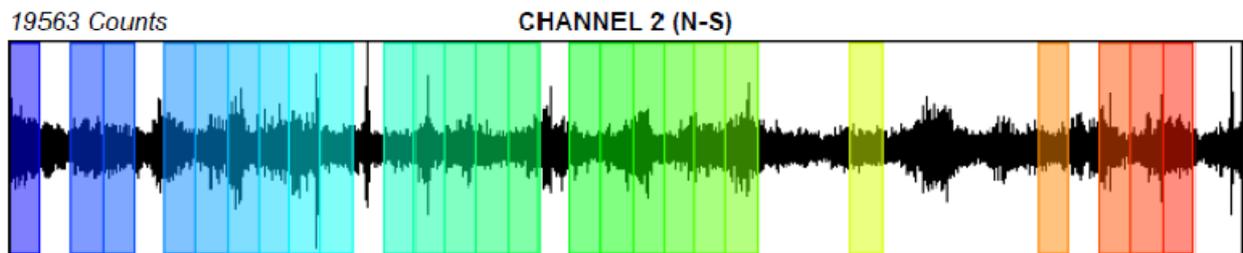
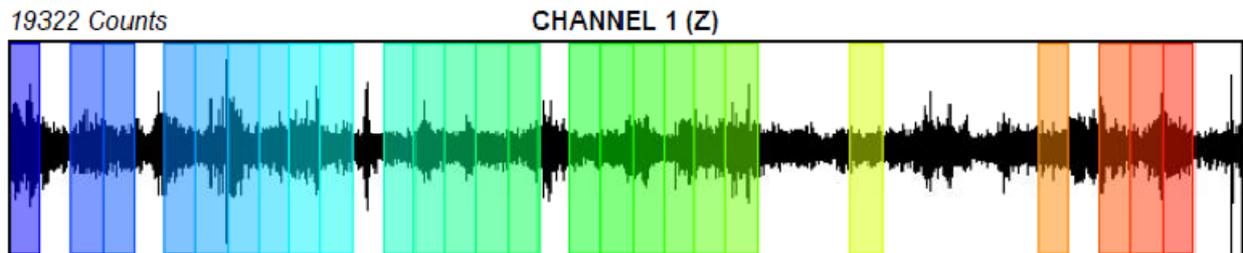
Recording start time: 2020/01/17 13:27:04

Recording length: 26.37 min

Windows count: 25

Average windows length: 40

Signal coverage: 63.21 %



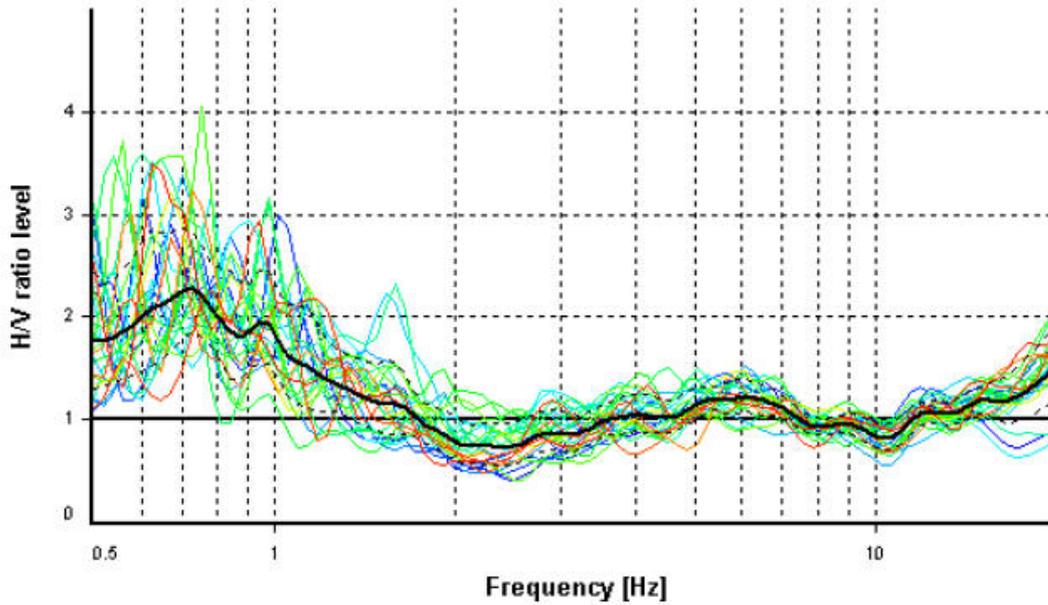
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwith = 5%)

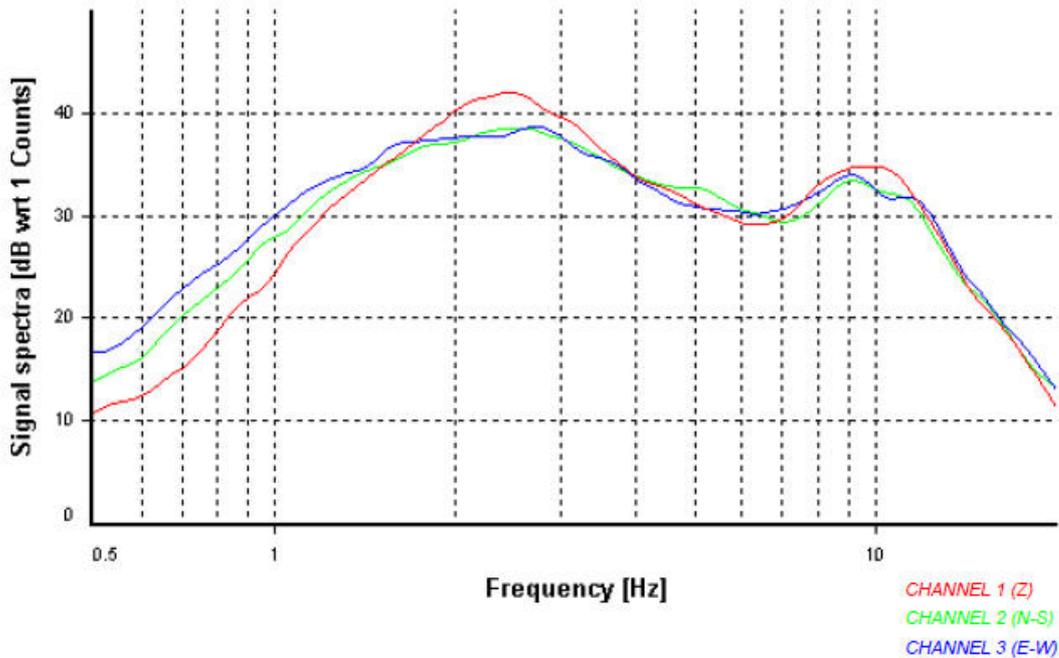
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwith coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

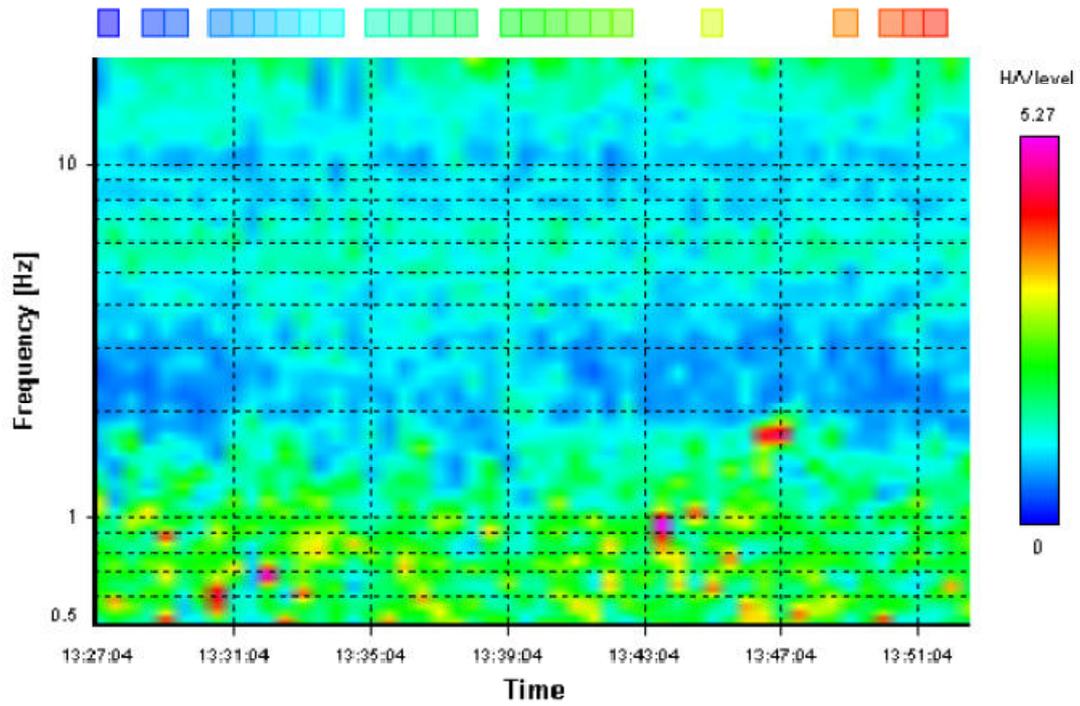
HVSR average



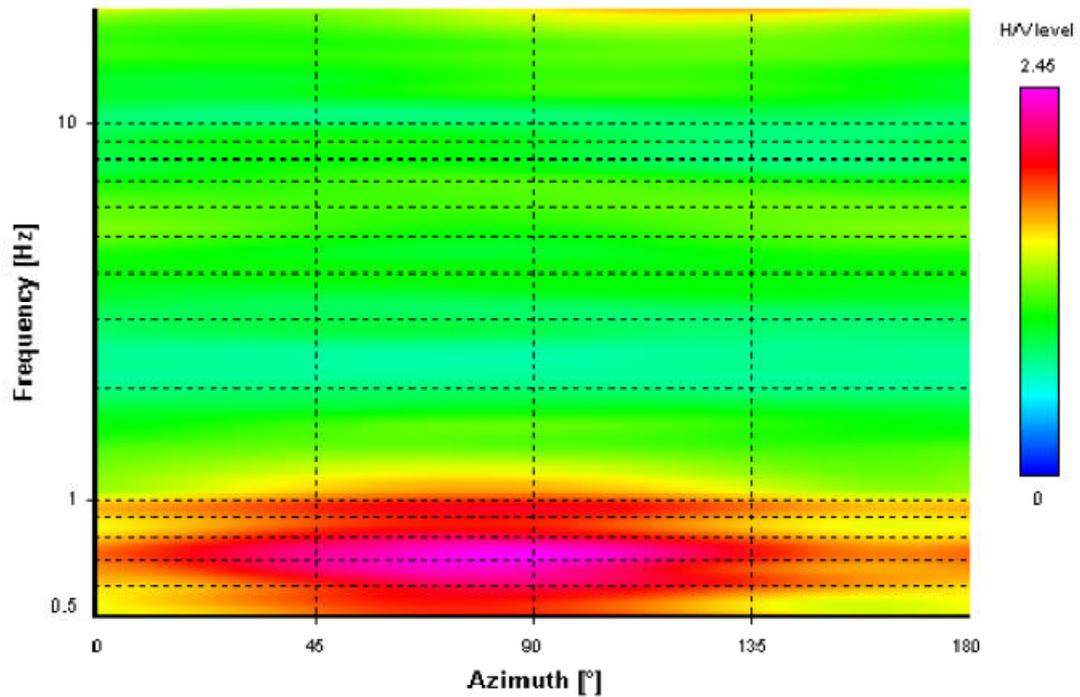
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



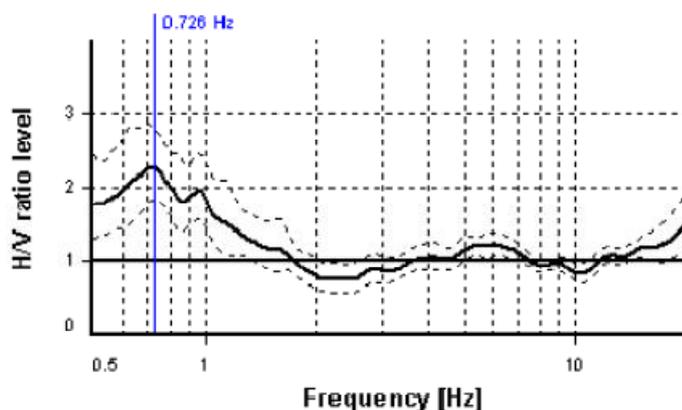
HVSR directional analysis



SESAME CRITERIA

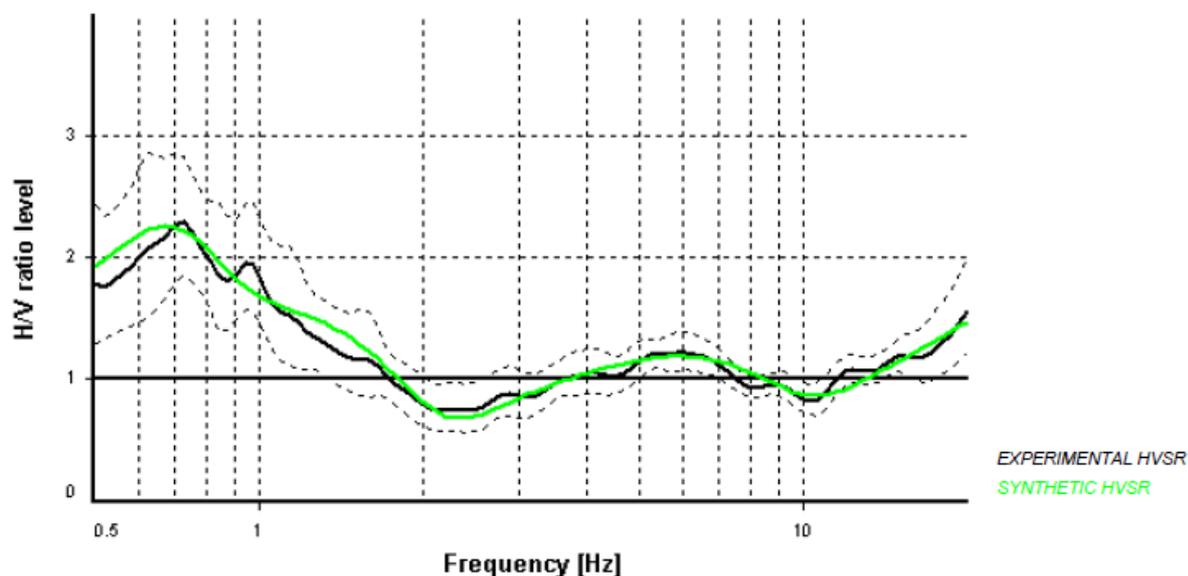
Selected f_0 frequency

0.726 Hz

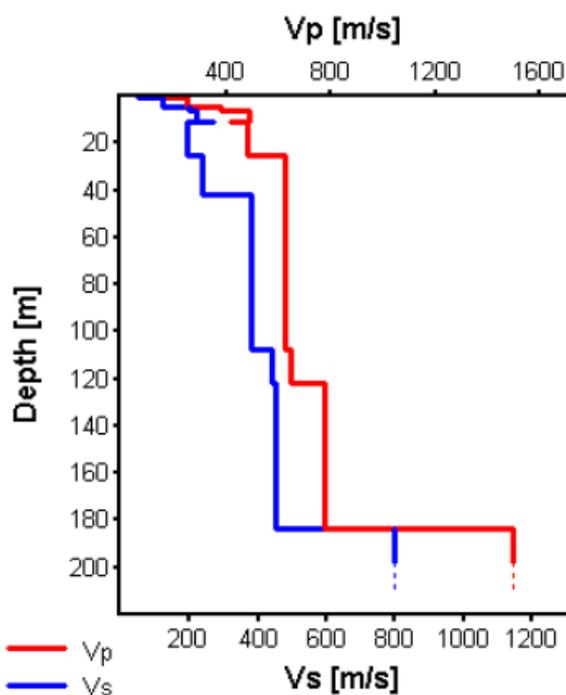


HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	25 valid windows (length > 13.78 s) out of 25	OK
$n_c(f_0) > 200$	725.76 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{HMM}(f) < A_0$	0 Hz	NO
$\exists f^* \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{HMM}(f^*) < A_0$	1.64743 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.29 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HMM}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.66% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.13414 >= 0.10886	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.23381 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Synthetic HVSR modelling



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
0.45	0.45	160	47	2030
4	4.45	250	120	1880
1.96	6.41	380	200	2200
4.8	11.21	490	220	1880
0.20	11.41	420	270	2200
14.3	25.71	480	195	1900
16	41.71	630	235	2300
66	107.71	630	380	2250
14	121.71	650	440	2400
62	183.71	780	450	2350
-	> 183.71	1500	800	2500



Vs 30 = 191 m/s (Offset = 1 m)

Appendice 3

Spettri di risposta sismica in accelerazione

Analisi di II^o livello

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Data: 15/12/2019

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: Superficie rigata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 44,6149521 [°]
Longitudine (WGS84): 11,2548990 [°]
Latitudine (ED50): 44,6158905 [°]
Longitudine (ED50): 11,2558956 [°]

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

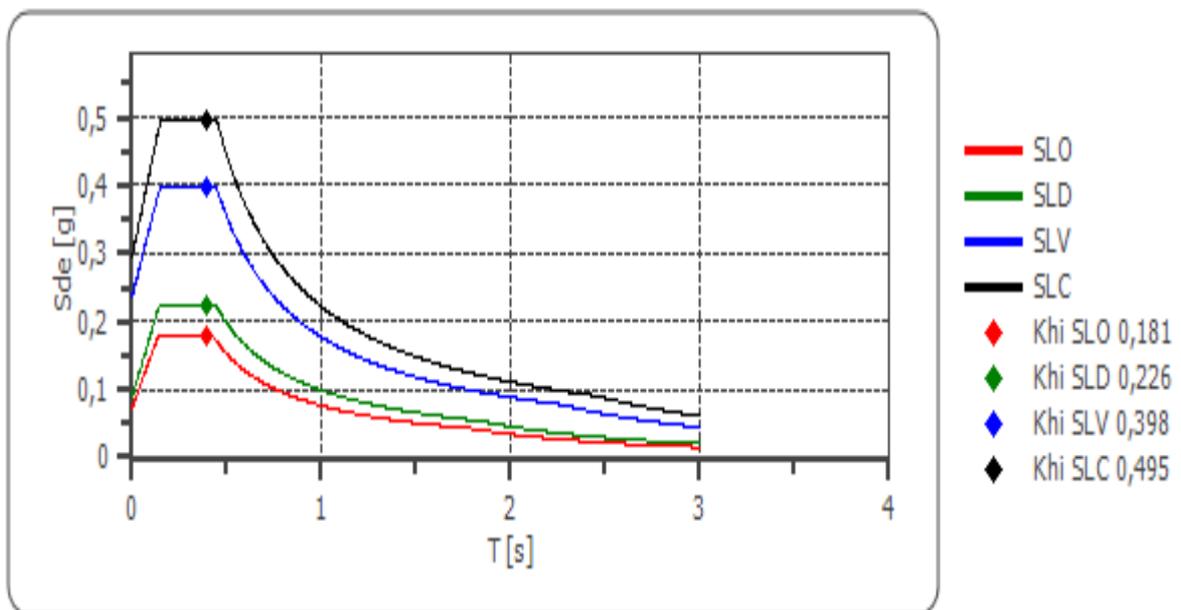
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica:
T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Spettro di progetto

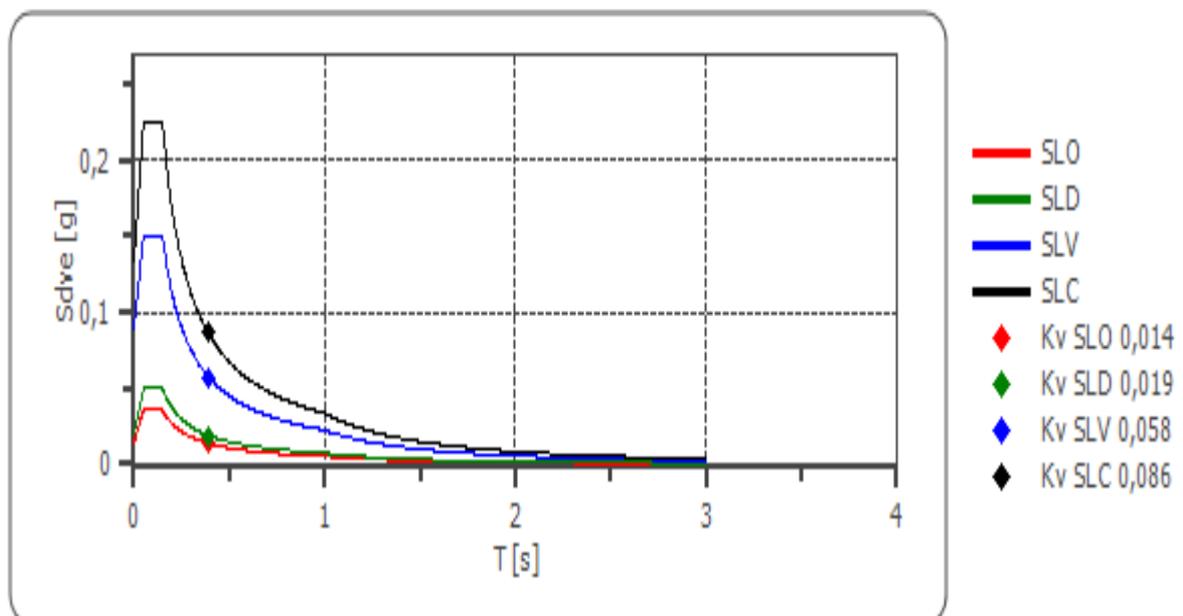
Fattore di struttura spettro orizzontale q : 1,50
Fattore di struttura spettro verticale q : 1,50
Periodo fondamentale T: 0,39 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0,181	0,226	0,398	0,495
$k_v = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0,014	0,019	0,058	0,086

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	0,049	2,478	0,257	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,794	0,073	0,181
SLO verticale	1,0	0,049	2,478	0,257	1,500	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,014	0,036
SLD orizzontale	1,0	0,060	2,517	0,272	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,839	0,090	0,226
SLD verticale	1,0	0,060	2,517	0,272	1,500	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,050
SLV orizzontale	1,0	0,163	2,530	0,278	1,450	1,600	1,000	1,450	1,500	0,148	0,444	2,252	0,236	0,398
SLV verticale	1,0	0,163	2,530	0,278	1,450	1,600	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,089	0,150
SLC orizzontale	1,0	0,214	2,517	0,282	1,380	1,590	1,000	1,380	1,500	0,150	0,449	2,455	0,295	0,495
SLC verticale	1,0	0,214	2,517	0,282	1,380	1,590	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,134	0,224

Appendice 4

Analisi Pericolosità sismica di III Livello (Analisi Locale)

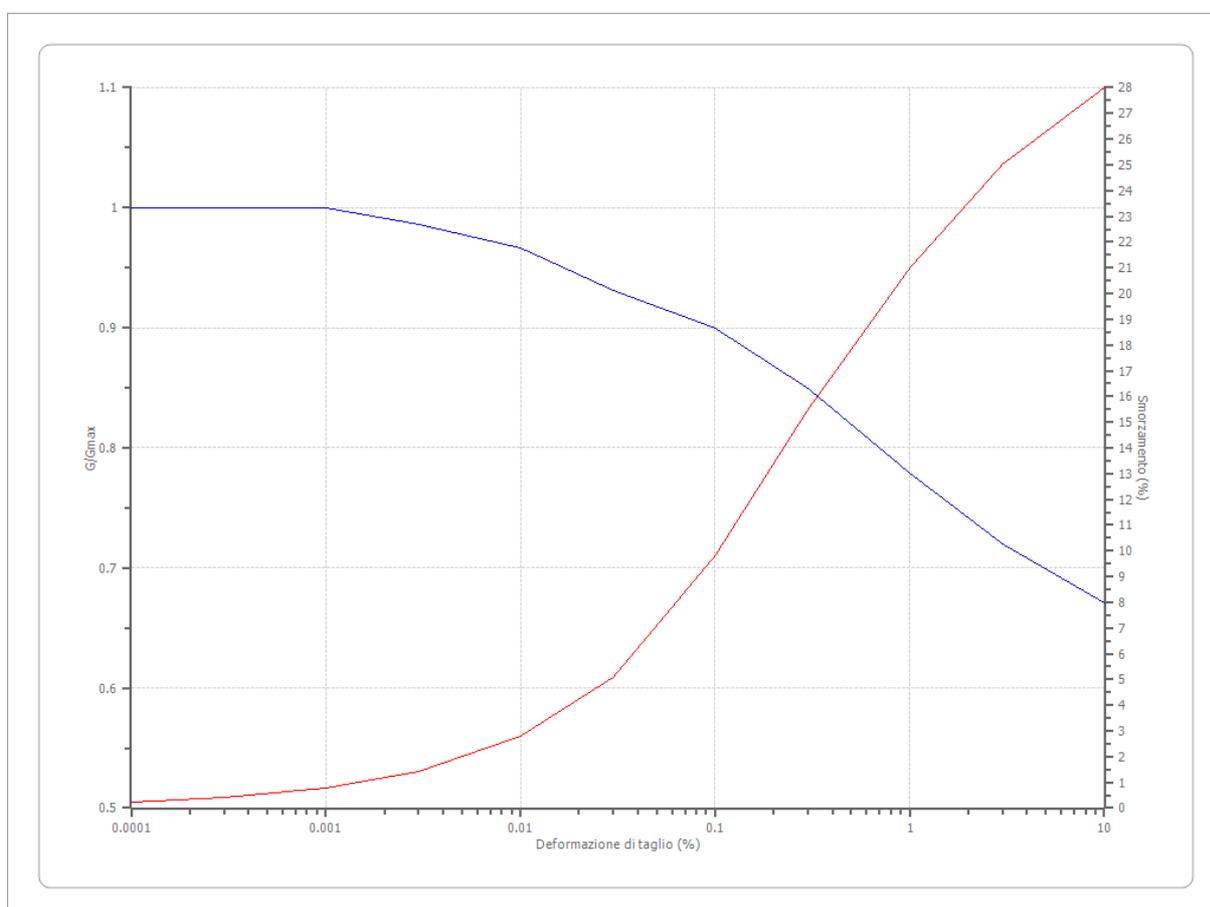
Dati generali

Descrizione PUA - Via Don G. Botti
Committente Futura Costruzioni srl
Cantiere Nuovi edifici residenziali
Operatore della prova Chili G.
Data della prova 1512/2019
Via Via Garibaldi, Padulle, Bologna
Latitudine 44,6141167[°]
Longitudine 11,2552376[°]

Terreni

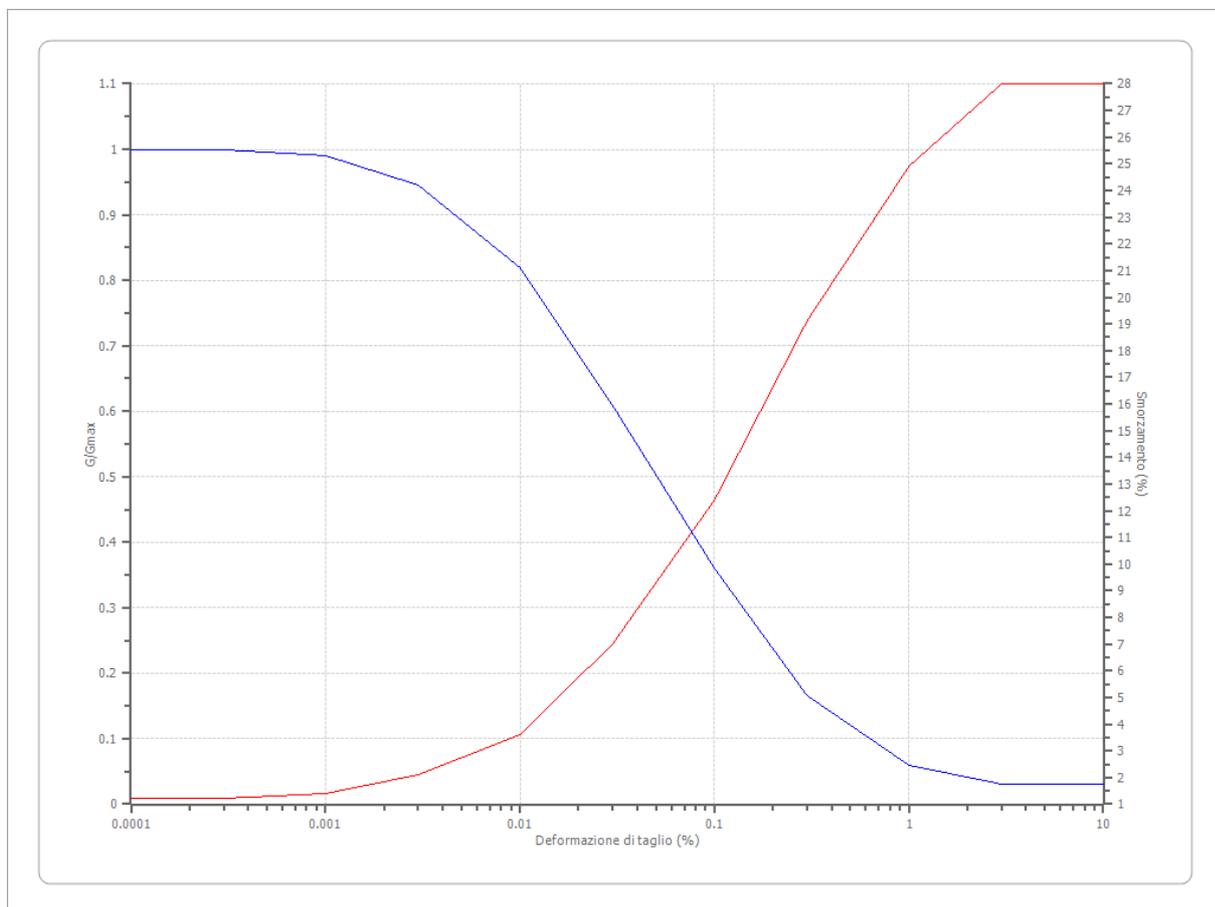
Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000



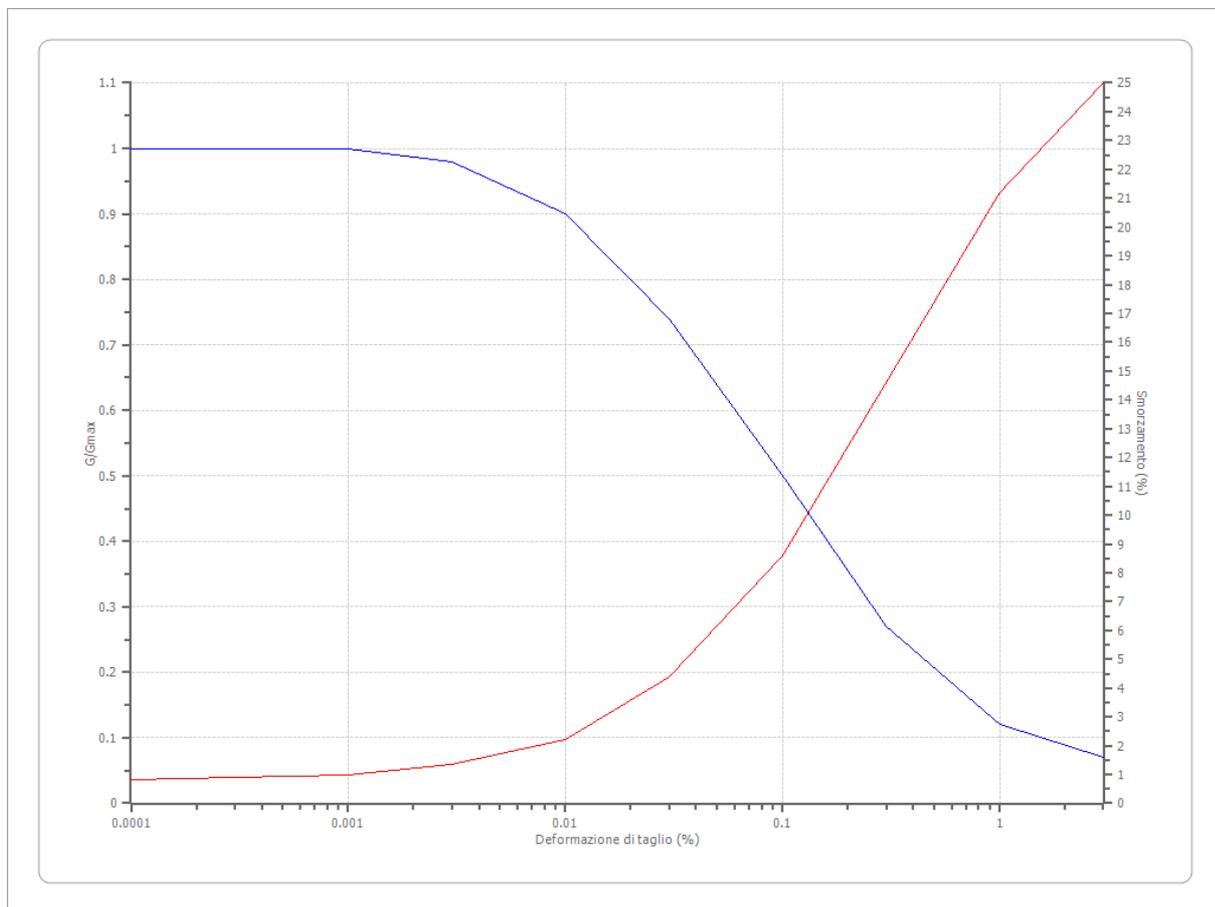
EPRI Sand (1993) 6,4-15,24 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.200
0.0003	1.000	0.0003	1.200
0.001	0.990	0.001	1.400
0.003	0.946	0.003	2.100
0.010	0.820	0.010	3.600
0.030	0.608	0.030	7.000
0.100	0.360	0.100	12.400
0.300	0.165	0.300	19.100
1.000	0.060	1.000	24.900
3.000	0.030	3.000	28.000
10.000	0.030	10.000	28.000



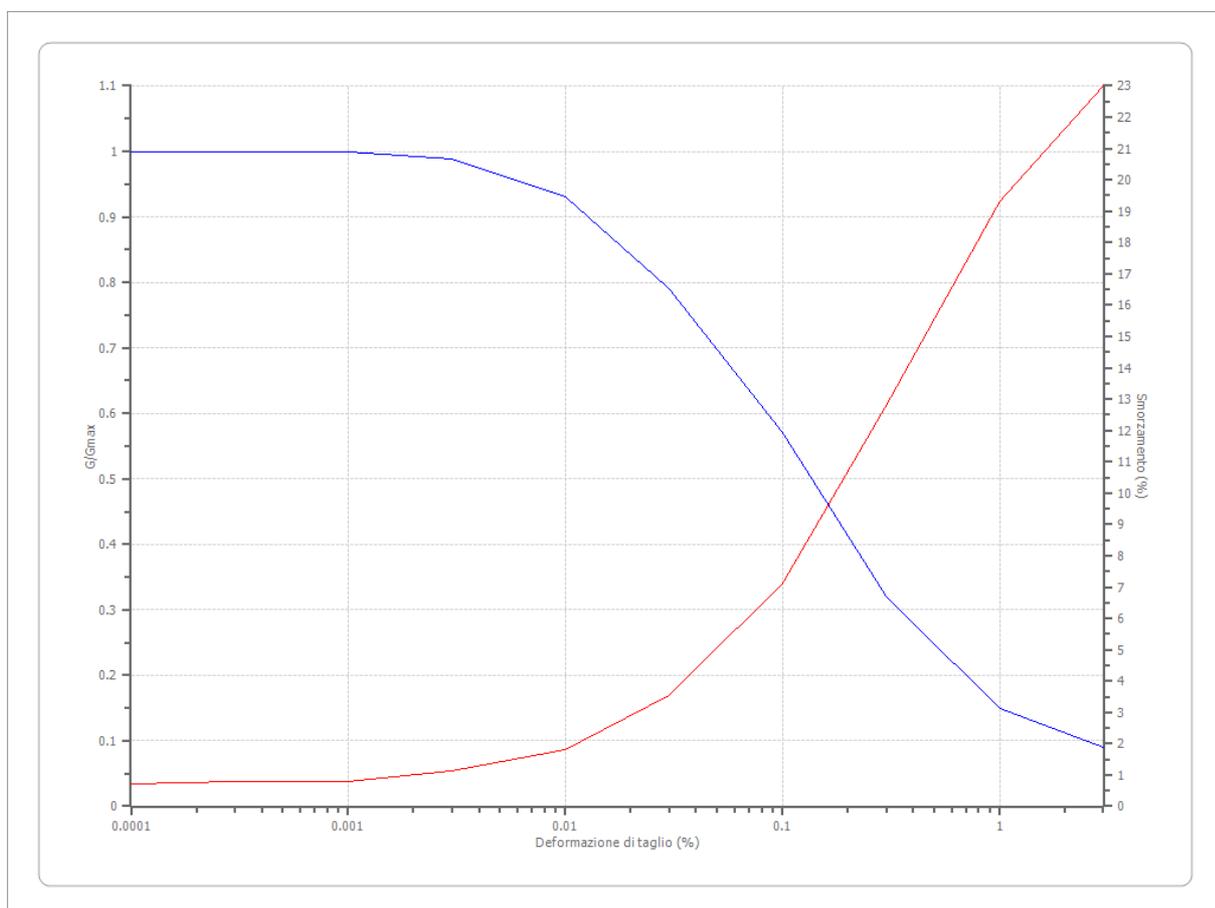
EPRI Sand (1993) 36,88-76,20 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.800
0.0003	1.000	0.0003	0.900
0.001	1.000	0.001	1.000
0.003	0.980	0.003	1.330
0.010	0.900	0.010	2.200
0.030	0.740	0.030	4.360
0.100	0.500	0.100	8.600
0.300	0.270	0.300	14.610
1.000	0.120	1.000	21.200
3.000	0.070	3.000	25.000



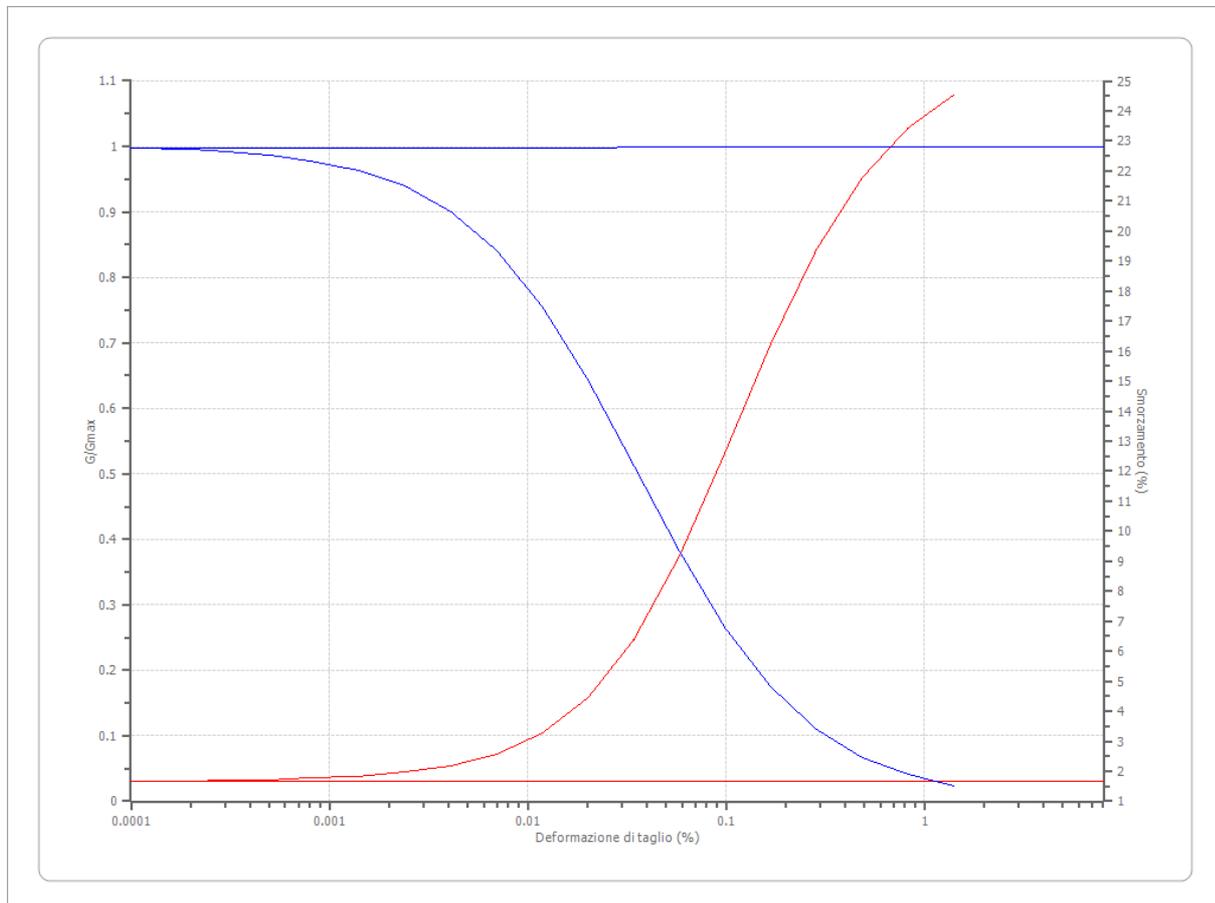
EPRI Sand (1993) 76,50-152,40 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.700
0.0003	1.000	0.0003	0.800
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.988	0.003	1.120
0.010	0.930	0.010	1.800
0.030	0.791	0.030	3.530
0.100	0.570	0.100	7.100
0.300	0.321	0.300	12.780
1.000	0.150	1.000	19.300
3.000	0.090	3.000	23.000



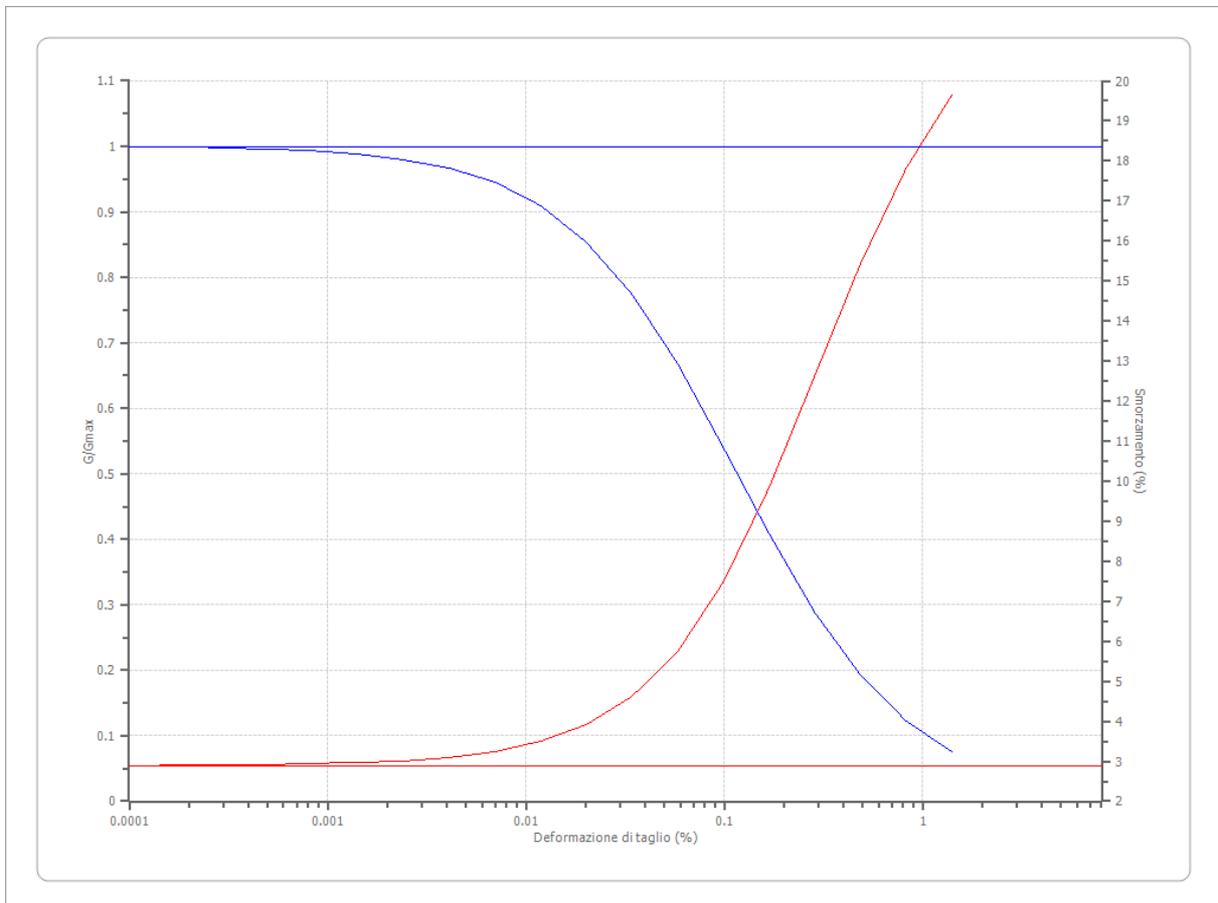
Lombardia - Limi argillosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
8.000	1.000	8.000	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093



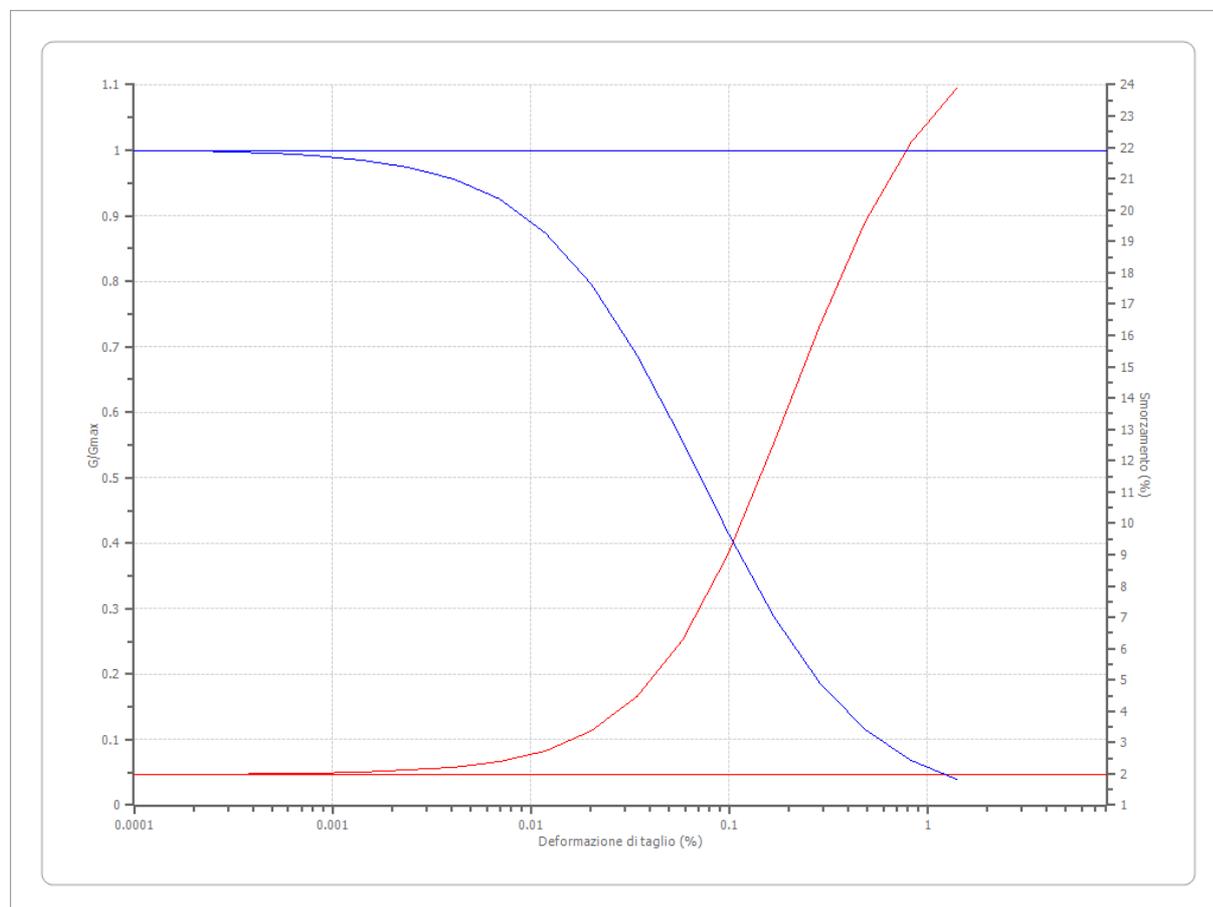
Lombardia - Argille limose

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
8.000	1.000	8.000	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



Lombardia - Limi sabbiosi

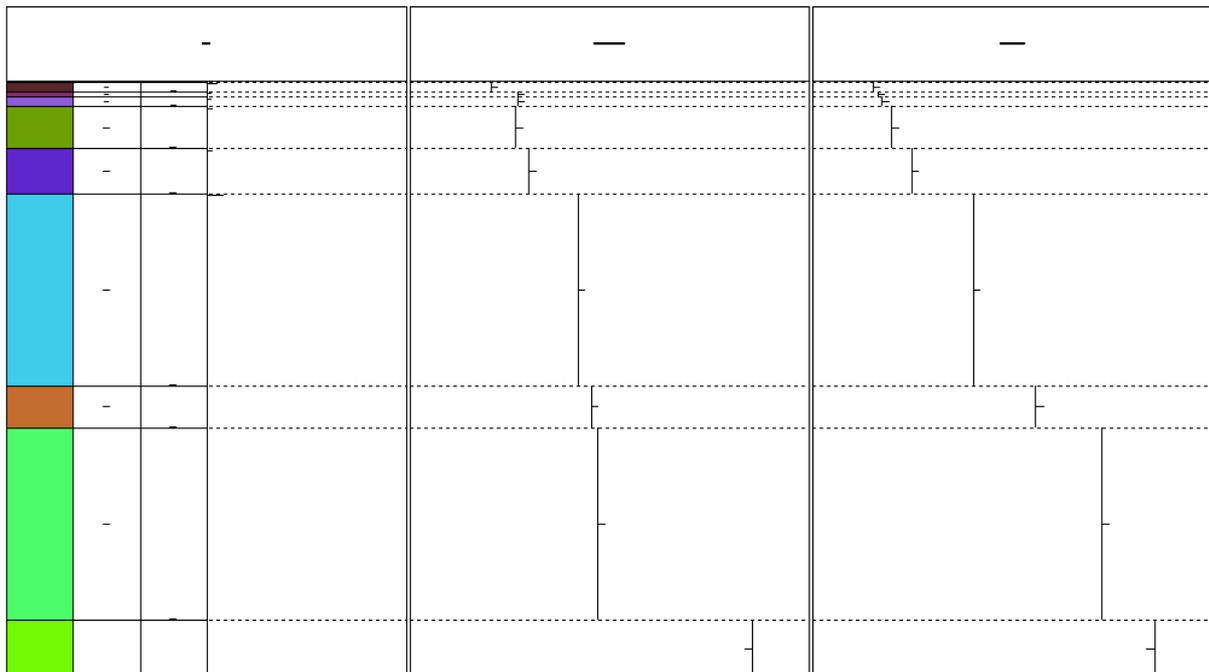
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
8.000	1.000	8.000	1.9826
0.0001	0.99915	0.0001	1.98695
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.02525
0.0014	0.98555	0.0014	2.05825
0.0024	0.97465	0.0024	2.11705
0.0041	0.956	0.0041	2.222
0.007	0.9246	0.007	2.4103
0.0119	0.87385	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.36165
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.556	0.0583	6.2701
0.099	0.41535	0.099	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.55055
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.11545	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.15295
1.4063	0.0405	1.4063	23.89285



Stratigrafia

n.	Descrizione	Quota [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	γ_n [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Limo argilloso	--	0.3	Lombardia - Limi argillosi	4.97	20.3	49.0	1.6
2	Argilla limosa	0.3	3.4	Lombardia - Argille limose	27.60	18.8	120.0	35.1
3	Sabbia limosa	3.7	2.0	EPRI Sand (1993) 6,4-15,24 metri	89.70	22.0	200.0	79.3
4	Argilla limosa	5.7	3.3	Lombardia - Argille limose	76.66	18.8	200.0	106.3
5	Limo sabbioso	9.0	0.1	Lombardia - Limi sabbiosi	163.49	22.0	270.0	121.7
6	Argilla	9.1	14.7	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	73.65	19.0	195.0	189.9
7	Sabbia	23.8	16.0	EPRI Sand (1993) 36,88-76,20 metri	129.48	23.0	235.0	362.9
8	Argilla	39.8	68.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	331.19	22.5	380.0	899.9
9	Sabbia	107.8	15.0	EPRI Sand (1993) 76,50-152,40 metri	431.56	24.0	420.0	1437.8
10	Argilla	122.8	68.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	463.77	23.5	440.0	2009.7
11	Bedrock sismico	oo	--	Smorzamento costante	2064.22	25.0	900.0	2475.2

Strato con falda: 2
 Strato rilevamento accelerogramma: 11 Interno



Elaborazione

Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake 91
 Massimo errore percentuale di convergenza --

Fattori di amplificazione ICMS 2008

Tai	0.220 [s]
Tvi	0.900 [s]
Tao	0.090 [s]
Tvo	0.720 [s]
Sami	3.797 [m/s ²]
Svmi	0.197 [m/s]
Samo	55.372 [m/s ²]
Svmo	2.380 [m/s]
Fa	14.582 [-]
Fv	12.060 [-]
TB	0.090 [s]
TC	0.270 [s]
TD	2.252 [s]
SA(0)	3.753 [g]
SA(TB)	5.644 [g]

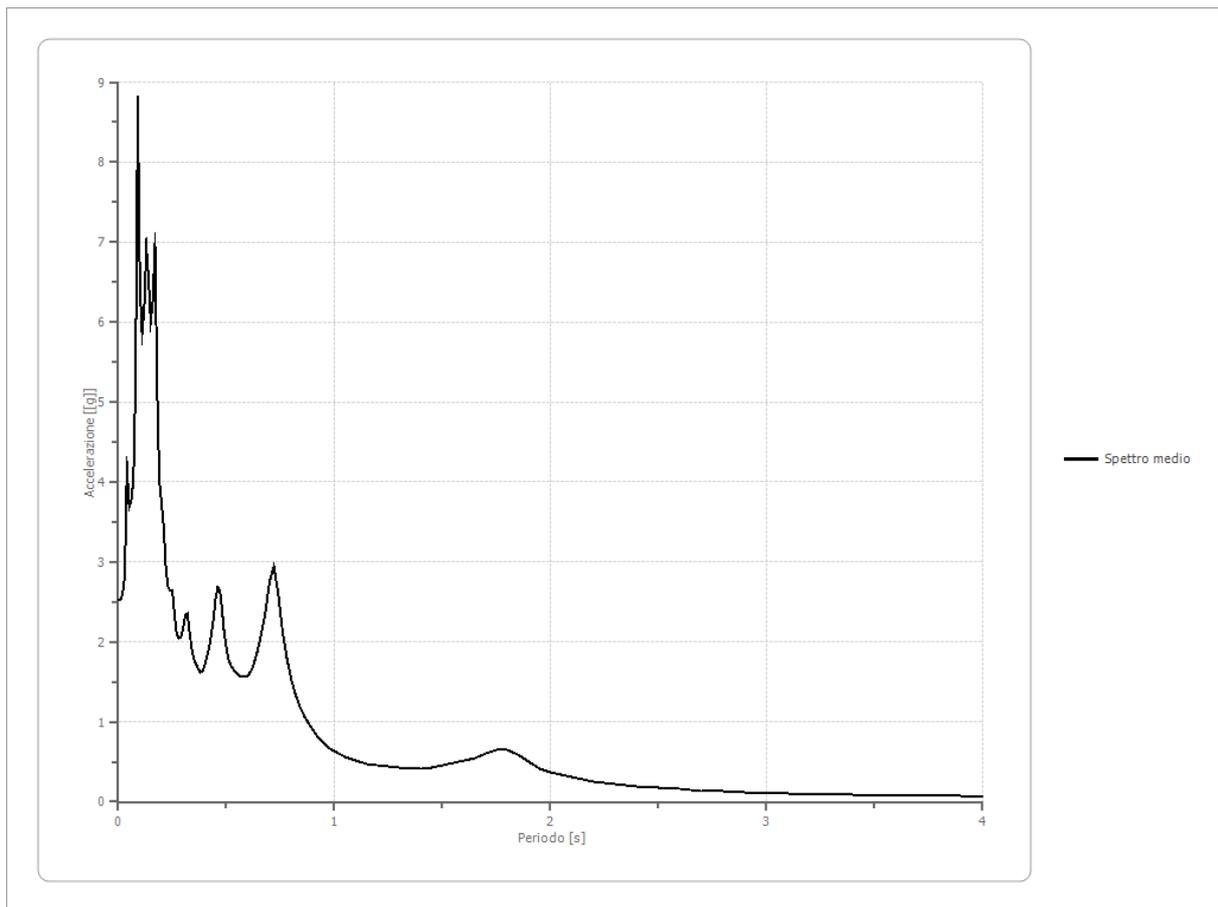
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.058	0.513	0.200	8.818
0.500	1.000	0.095	1.017	0.500	10.696
1.000	2.500	0.418	3.905	0.040	9.351

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	2.5247	0.26	2.3509	0.52	1.7093	0.98	0.6641	2.25	0.2321
0.01	2.5253	0.27	2.1101	0.53	1.6683	1.00	0.6265	2.30	0.2182
0.02	2.6024	0.28	2.0429	0.54	1.6361	1.05	0.5617	2.35	0.2065
0.03	2.8216	0.29	2.0658	0.55	1.6054	1.10	0.5110	2.40	0.1944
0.04	4.1818	0.30	2.1695	0.56	1.5761	1.15	0.4670	2.50	0.1745
0.05	3.6896	0.31	2.3449	0.57	1.5673	1.20	0.4553	2.60	0.1548
0.06	3.7683	0.32	2.3637	0.58	1.5640	1.25	0.4426	2.70	0.1391
0.07	4.0178	0.33	2.1185	0.60	1.5814	1.30	0.4203	2.80	0.1271
0.08	5.2341	0.34	1.9095	0.62	1.6706	1.35	0.4171	2.90	0.1173
0.09	8.6967	0.35	1.7826	0.64	1.8476	1.40	0.4112	3.00	0.1078
0.10	6.4363	0.36	1.7176	0.66	2.0729	1.45	0.4265	3.10	0.0998
0.11	5.8502	0.37	1.6634	0.68	2.3640	1.50	0.4529	3.20	0.0934
0.12	6.1736	0.38	1.6270	0.70	2.7519	1.55	0.4826	3.30	0.0875
0.13	6.9193	0.39	1.6329	0.72	2.9423	1.60	0.5114	3.40	0.0825
0.14	6.5592	0.40	1.7028	0.74	2.6141	1.65	0.5501	3.50	0.0791

0.15	6.0100	0.41	1.8136	0.76	2.1400	1.70	0.6038	3.60	0.0758
0.16	6.2800	0.42	1.9309	0.78	1.7946	1.75	0.6465	3.70	0.0727
0.17	6.9768	0.43	2.0765	0.80	1.5298	1.80	0.6498	3.80	0.0698
0.18	5.1242	0.44	2.2726	0.82	1.3409	1.85	0.5821	3.90	0.0669
0.19	3.9998	0.45	2.5266	0.84	1.1915	1.90	0.4953	4.00	0.0643
0.20	3.7415	0.46	2.6856	0.86	1.0772	1.95	0.4181		
0.21	3.4464	0.47	2.6550	0.88	0.9845	2.00	0.3707		
0.22	2.9356	0.48	2.4095	0.90	0.9012	2.05	0.3375		
0.23	2.6985	0.49	2.1155	0.92	0.8268	2.10	0.3053		
0.24	2.6381	0.50	1.9259	0.94	0.7598	2.15	0.2756		
0.25	2.6386	0.51	1.7878	0.96	0.7089	2.20	0.2512		



Spettro normalizzato di risposta elastico

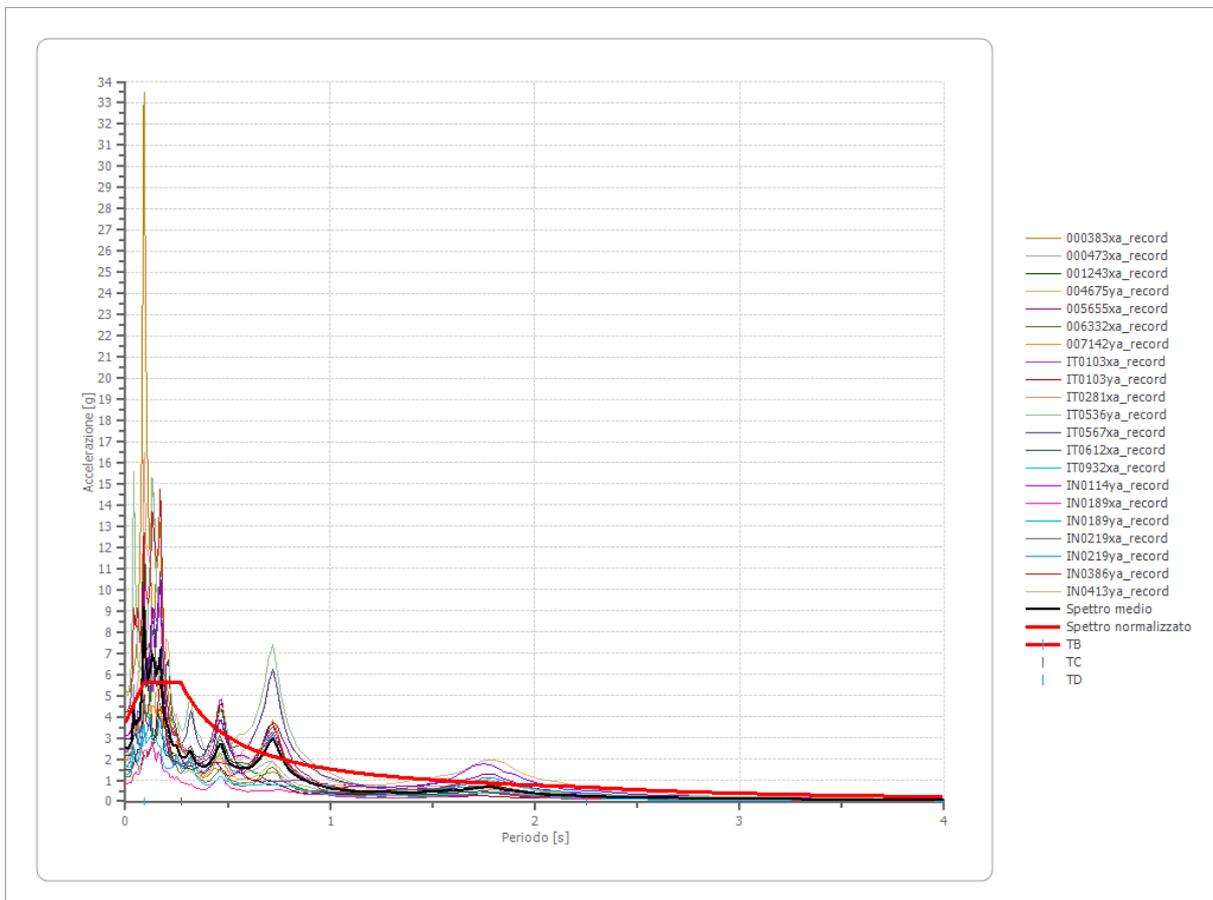
Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	3.7530	0.26	5.6444	0.52	2.9318	0.98	1.5557	2.25	0.6776
0.01	3.9630	0.27	5.6444	0.53	2.8765	1.00	1.5245	2.30	0.6628
0.02	4.1731	0.28	5.4448	0.54	2.8232	1.05	1.4519	2.35	0.6487
0.03	4.3832	0.29	5.2571	0.55	2.7719	1.10	1.3860	2.40	0.6352
0.04	4.5933	0.30	5.0818	0.56	2.7224	1.15	1.3257	2.50	0.6098
0.05	4.8034	0.31	4.9179	0.57	2.6746	1.20	1.2705	2.60	0.5864
0.06	5.0135	0.32	4.7642	0.58	2.6285	1.25	1.2196	2.70	0.5646
0.07	5.2236	0.33	4.6198	0.60	2.5409	1.30	1.1727	2.80	0.5445
0.08	5.4337	0.34	4.4840	0.62	2.4589	1.35	1.1293	2.90	0.5257
0.09	5.6437	0.35	4.3558	0.64	2.3821	1.40	1.0890	3.00	0.5082

0.10	5.6444	0.36	4.2348	0.66	2.3099	1.45	1.0514	3.10	0.4918
0.11	5.6444	0.37	4.1204	0.68	2.2420	1.50	1.0164	3.20	0.4764
0.12	5.6444	0.38	4.0120	0.70	2.1779	1.55	0.9836	3.30	0.4620
0.13	5.6444	0.39	3.9091	0.72	2.1174	1.60	0.9528	3.40	0.4484
0.14	5.6444	0.40	3.8114	0.74	2.0602	1.65	0.9240	3.50	0.4356
0.15	5.6444	0.41	3.7184	0.76	2.0060	1.70	0.8968	3.60	0.4235
0.16	5.6444	0.42	3.6299	0.78	1.9545	1.75	0.8712	3.70	0.4120
0.17	5.6444	0.43	3.5455	0.80	1.9057	1.80	0.8470	3.80	0.4012
0.18	5.6444	0.44	3.4649	0.82	1.8592	1.85	0.8241	3.90	0.3909
0.19	5.6444	0.45	3.3879	0.84	1.8149	1.90	0.8024	4.00	0.3811
0.20	5.6444	0.46	3.3142	0.86	1.7727	1.95	0.7818		
0.21	5.6444	0.47	3.2437	0.88	1.7324	2.00	0.7623		
0.22	5.6444	0.48	3.1761	0.90	1.6939	2.05	0.7437		
0.23	5.6444	0.49	3.1113	0.92	1.6571	2.10	0.7260		
0.24	5.6444	0.50	3.0491	0.94	1.6219	2.15	0.7091		
0.25	5.6444	0.51	2.9893	0.96	1.5881	2.20	0.6930		

Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
3.753	1.504	--	0.090	0.270	2.252	3.753	5.644	23.024

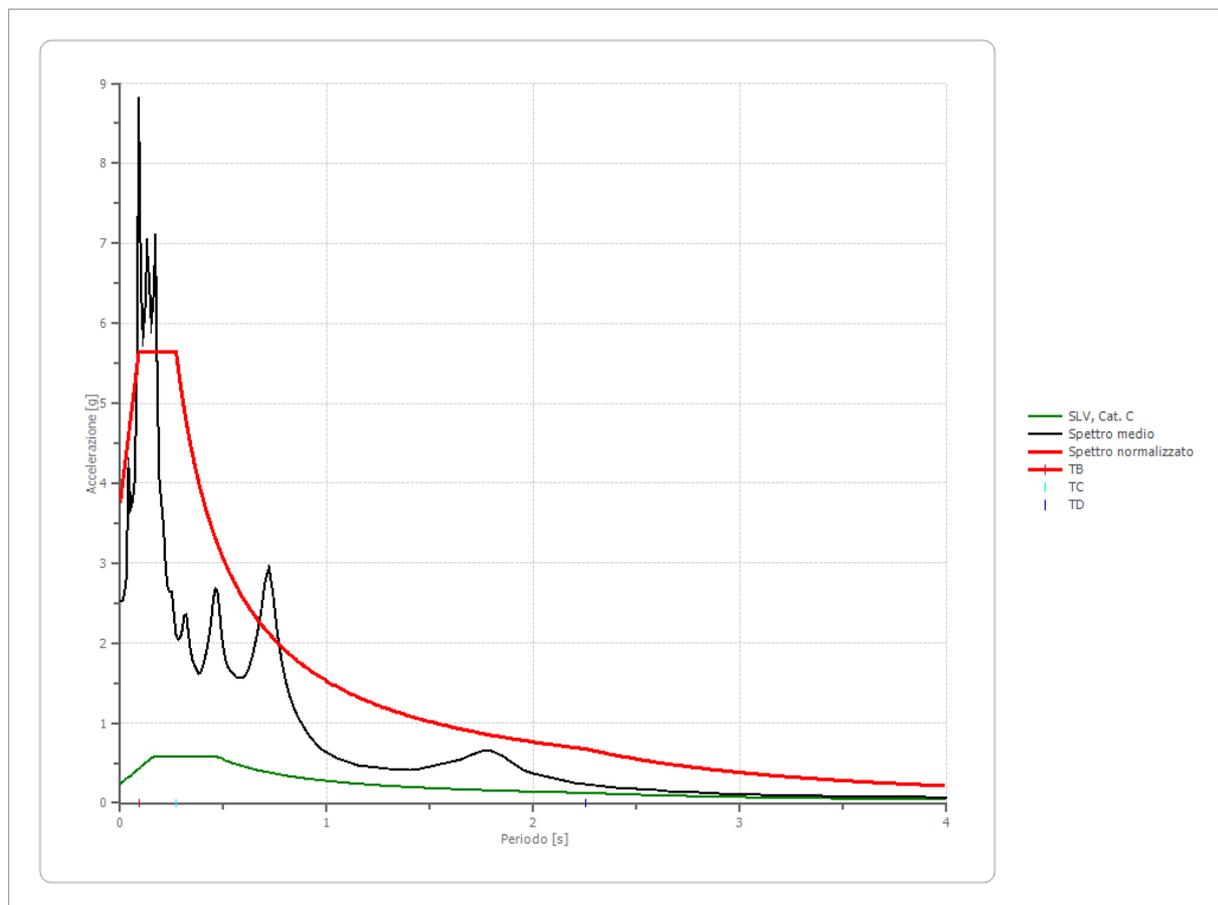
Confronto tra gli spettri



Stato Limite di Vita Componente Orizzontale

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

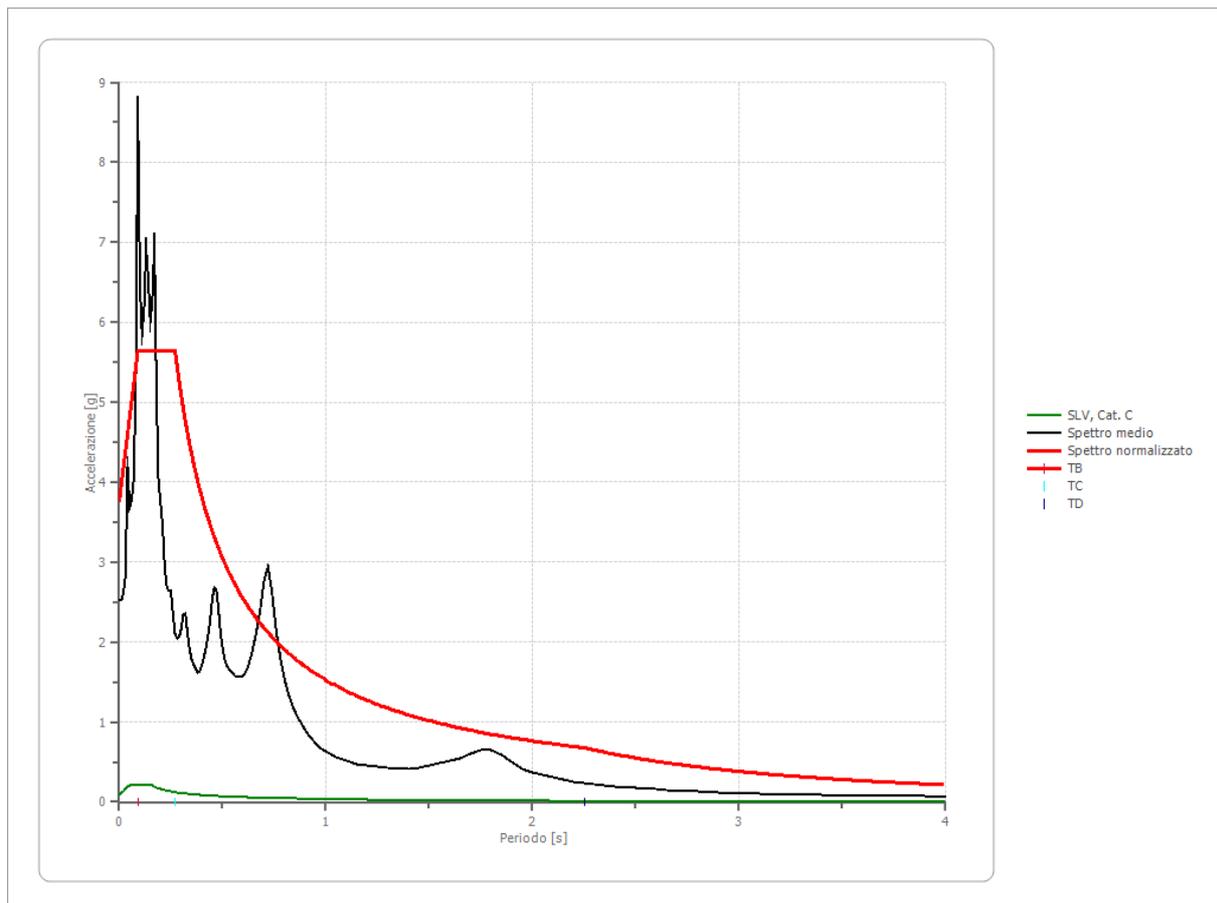
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.163	0.212
Fo	2.485	2.503	2.402	2.413
Tc* [s]	0.257	0.272	0.304	0.308
Ss	1.50	1.50	1.47	1.39
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.61	1.56	1.55
TB [s]	0.141	0.146	0.158	0.159
TC [s]	0.423	0.439	0.473	0.477
TD [s]	1.804	1.852	2.252	2.448
Se(0) [g]	0.077	0.095	0.239	0.295
Se(TB) [g]	0.190	0.237	0.574	0.713



Stato Limite di Vita Componente Verticale

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

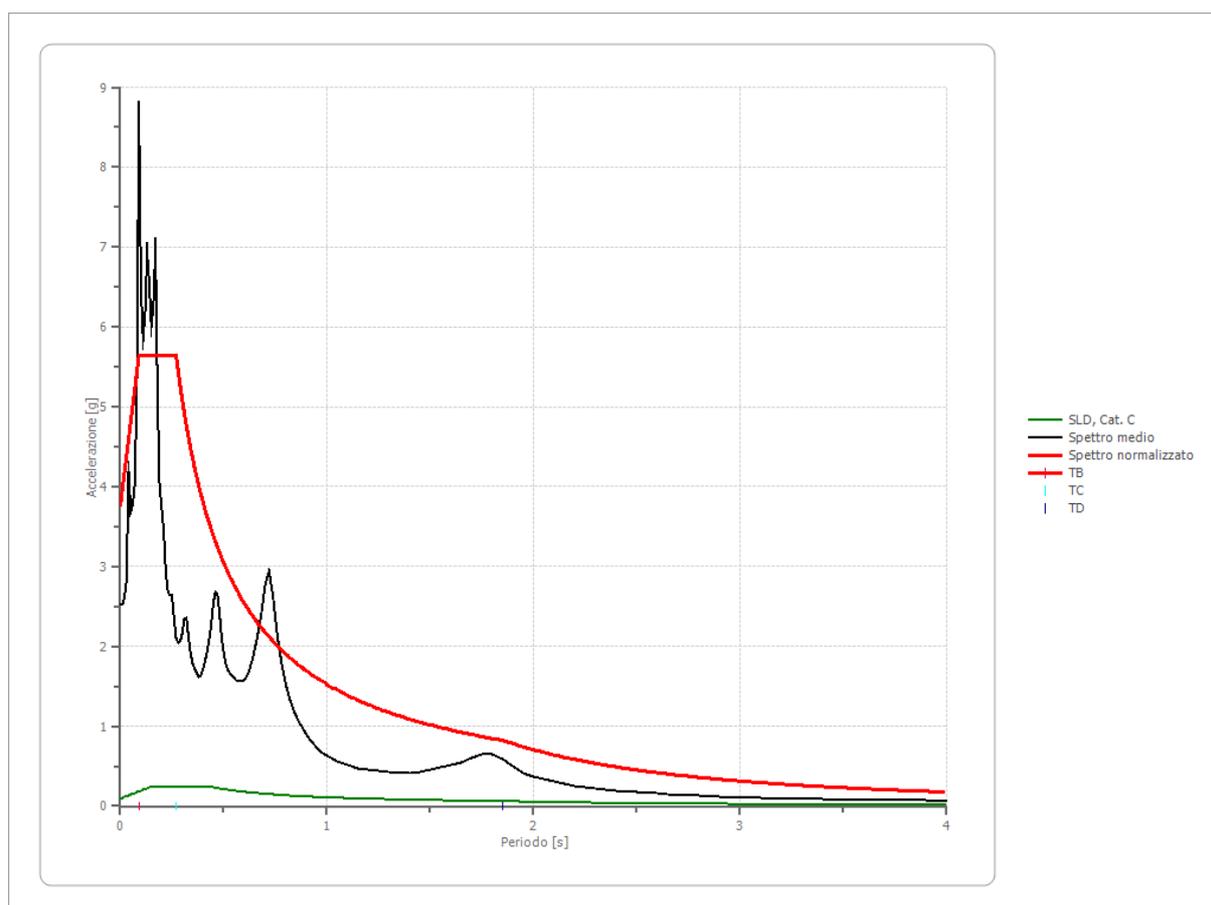
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.163	0.212
Fo	2.485	2.503	2.402	2.413
Tc* [s]	0.257	0.272	0.304	0.308
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00
TB [s]	0.050	0.050	0.050	0.050
TC [s]	0.150	0.150	0.150	0.150
TD [s]	1.000	1.000	1.000	1.000
Se(0) [g]	0.016	0.021	0.089	0.132
Se(TB) [g]	0.039	0.053	0.213	0.318
Fv	1.499889			



Stato Limite di Danno Componente Orizzontale

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

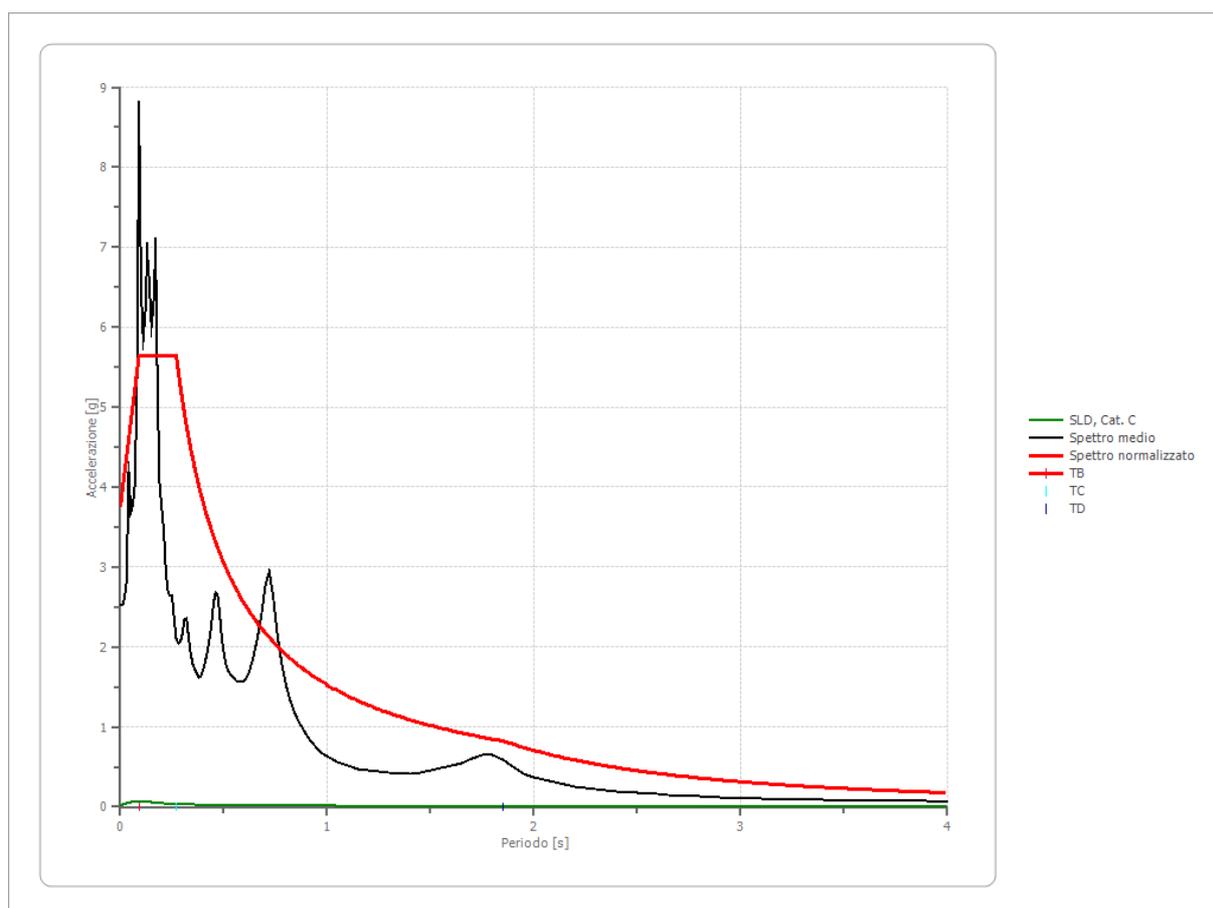
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.163	0.212
Fo	2.485	2.503	2.402	2.413
Tc* [s]	0.257	0.272	0.304	0.308
Ss	1.50	1.50	1.47	1.39
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.61	1.56	1.55
TB [s]	0.141	0.146	0.158	0.159
TC [s]	0.423	0.439	0.473	0.477
TD [s]	1.804	1.852	2.252	2.448
Se(0) [g]	0.077	0.095	0.239	0.295
Se(TB) [g]	0.190	0.237	0.574	0.713



Stato Limite di Danno Componente Verticale

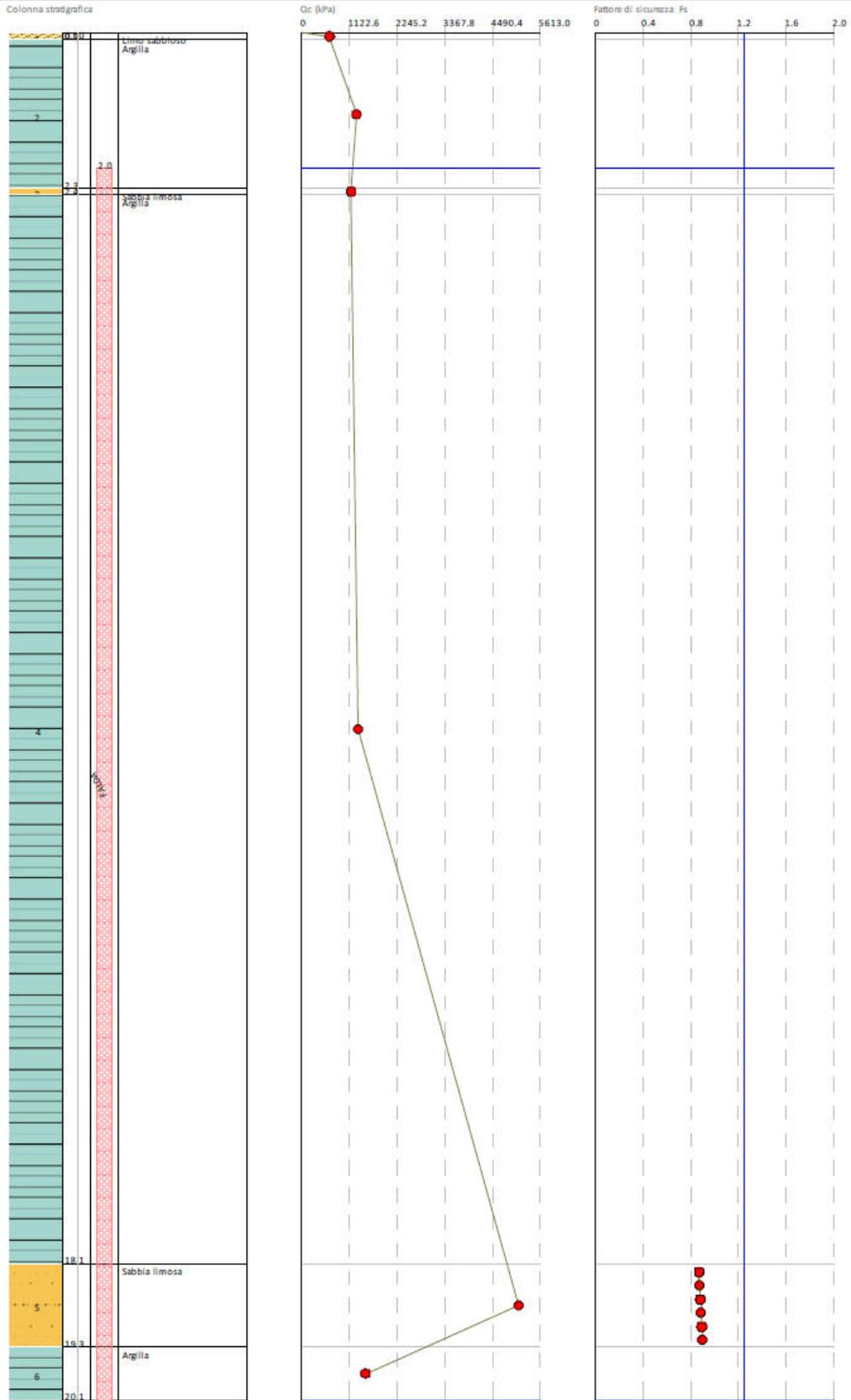
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.163	0.212
Fo	2.485	2.503	2.402	2.413
Tc* [s]	0.257	0.272	0.304	0.308
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00
TB [s]	0.050	0.050	0.050	0.050
TC [s]	0.150	0.150	0.150	0.150
TD [s]	1.000	1.000	1.000	1.000
Se(0) [g]	0.016	0.021	0.089	0.132
Se(TB) [g]	0.039	0.053	0.213	0.318
Fv	1.499889			



Appendice 5

Calcolo suscettività alla liquefazione



Prova n°1

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Nuovo Comparto Residenziale Ambito Ars. SB _ VII

Cliente: Futura Costruzioni srl

Indirizzo, Coordinate: Via Don G.Botti

Data 15/12/2019

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.15

Fattore amplificazione 2.402

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) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6

Distanza epicentro 25.5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.255

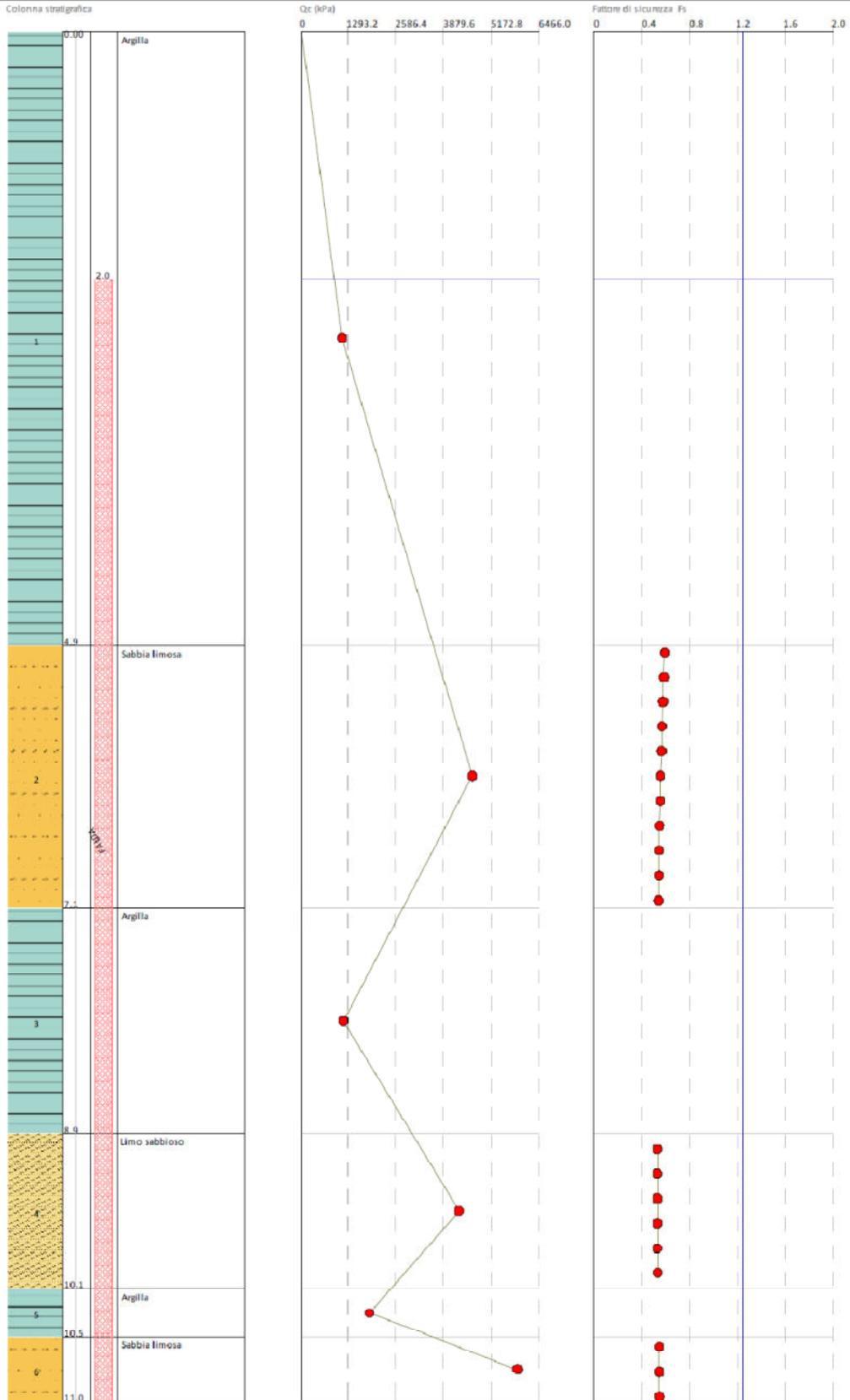
PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	γ_n	γ_{sat}	qc	fs
Nr		m	m	KN/m ³	KN/m ³	KPa	KPa
1	Limo sabbioso	0	0.12	19.38	22.44	656.60	2.94
2	Argilla	0.12	2.30	19.38	20.20	1284.78	96.04
3	Sabbia limosa	2.30	2.38	18.36	21.42	1160.32	81.34
4	Argilla	2.38	18.08	19.28	20.09	1328.88	41.16
5	Sabbia limosa	18.08	19.30	19.38	22.44	5101.88	34.30
6	Argilla	19.30	20.08	19.48	20.30	1505.28	39.20

Idriss & Boulanger, 2014

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.08

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
2.20	42.800	40.839									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.40	46.935	43.013									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.60	50.953	45.069									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.80	54.971	47.126									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.00	58.989	49.183									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.20	63.007	51.239									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.40	67.025	53.296									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.60	71.043	55.353									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.80	75.061	57.409									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.00	79.079	59.466									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.20	83.097	61.523									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.40	87.115	63.579									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.60	91.133	65.636									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.80	95.151	67.693									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.00	99.169	69.749									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.20	103.187	71.806									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.40	107.205	73.863									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.60	111.223	75.919									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.80	115.241	77.976									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.00	119.259	80.033									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.20	123.277	82.089									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.40	127.295	84.146									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.60	131.313	86.203									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.80	135.331	88.259									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.00	139.349	90.316									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.20	143.367	92.373									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.40	147.385	94.430									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.60	151.403	96.486									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.80	155.421	98.543									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.00	159.439	100.600									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.20	163.457	102.656									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
8.40	167.475	104.713									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.60	171.493	106.770									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.80	175.511	108.826									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.00	179.529	110.883									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.20	183.547	112.940									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.40	187.565	114.996									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.60	191.583	117.053									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.80	195.601	119.110									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.00	199.619	121.166									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.20	203.637	123.223									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.40	207.655	125.280									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.60	211.673	127.336									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.80	215.691	129.393									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.00	219.709	131.450									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.20	223.727	133.506									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.40	227.745	135.563									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.60	231.763	137.620									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.80	235.781	139.676									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.00	239.799	141.733									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.20	243.817	143.790									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.40	247.835	145.846									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.60	251.853	147.903									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.80	255.871	149.960									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.00	259.889	152.016									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.20	263.907	154.073									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.40	267.925	156.130									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.60	271.943	158.186									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.80	275.961	160.243									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.00	279.979	162.300									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.20	283.997	164.356									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.40	288.015	166.413									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso



Prova n°2

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Nuovo Comparto Residenziale Ambito Ars. SB _ VII

Cliente: Futura Costruzioni srl

Indirizzo, Coordinate: Via Don G.Botti

Data 15/12/2019

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.15

Fattore amplificazione 2.402

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) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6

Distanza epicentro 25.5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.255

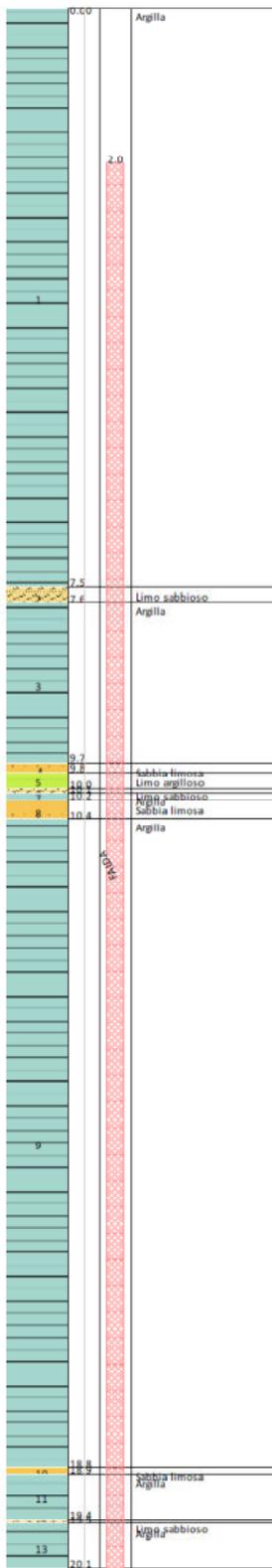
PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	γ_n	γ_{sat}	qc	fs
Nr		m	m	KN/m ³	KN/m ³	KPa	KPa
1	Argilla	0,00	4.94	19.07	19.89	1125.04	54.88
2	Sabbia limosa	4.94	7.06	19.38	22.44	4640.30	23.52
3	Argilla	7.06	8.88	19.07	19.89	1165.22	25.48
4	Limo sabbioso	8.88	10.12	19.38	22.44	4282.60	31.36
5	Argilla	10.12	10.52	19.89	20.71	1865.92	43.12
6	Sabbia limosa	10.52	11.04	19.38	22.44	5878.04	24.50

Idriss & Boulanger, 2014

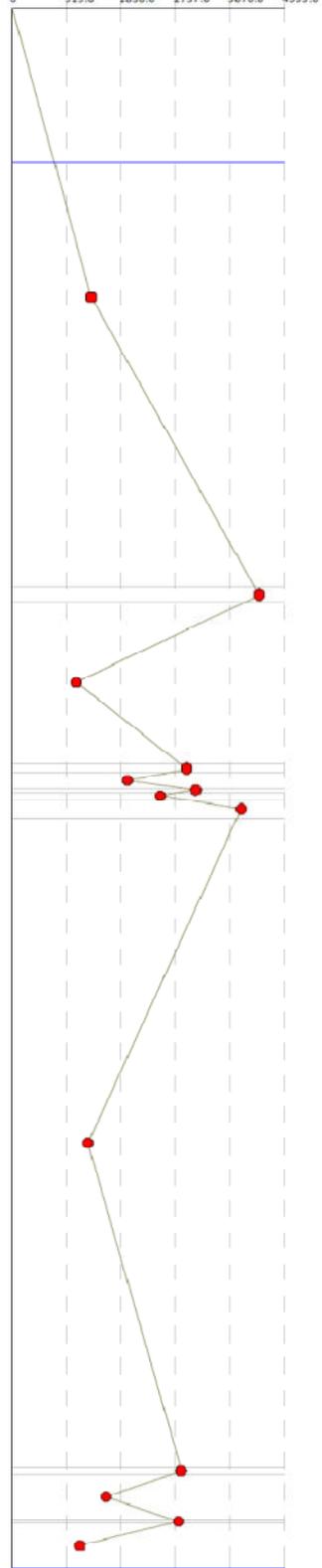
Correzione per la magnitudo (MSF) 1.09

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
2.20	42.118	40.157									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.40	46.096	42.173									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.60	50.074	44.190									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.80	54.052	46.207									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.00	58.030	48.223									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.20	62.008	50.240									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.40	65.986	52.257									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.60	69.964	54.273									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.80	73.942	56.290									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.00	77.920	58.307									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.20	81.898	60.323									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.40	85.876	62.340									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.60	89.854	64.357									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.80	93.832	66.373									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.00	97.963	68.543	45.796	0.518	1.953	126.937	80.113	0.947	0.132	0.224	0.589	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.20	102.451	71.070	45.796	0.518	1.961	1.243.202	79.258	0.942	0.131	0.225	0.581	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.40	106.939	73.596	45.796	0.519	1.970	1.218.437	78.455	0.937	0.129	0.226	0.573	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.60	111.427	76.123	45.796	0.519	1.978	1.194.456	77.682	0.931	0.128	0.226	0.567	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.80	115.915	78.650	45.796	0.520	1.986	1.171.618	76.951	0.926	0.127	0.226	0.561	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.00	120.403	81.176	45.796	0.520	1.994	1.149.636	76.253	0.921	0.126	0.226	0.555	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.20	124.891	83.703	45.796	0.521	2.001	1.128.385	75.581	0.915	0.125	0.226	0.551	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.40	129.379	86.230	45.796	0.521	2.009	1.108	74.942	0.910	0.124	0.226	0.546	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.60	133.867	88.756	45.796	0.522	2.016	1.088.335	74.329	0.905	0.123	0.226	0.543	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.80	138.355	91.283	45.796	0.522	2.024	1.069.331	73.741	0.899	0.122	0.226	0.539	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
7.00	142.843	93.810	45.796	0.523	2.031	1.051.005	73.177	0.894	0.121	0.226	0.536	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
7.20	146.974	95.979									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.40	150.952	97.996									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.60	154.930	100.013									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.80	158.908	102.029									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.00	162.886	104.046									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.20	166.864	106.063									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

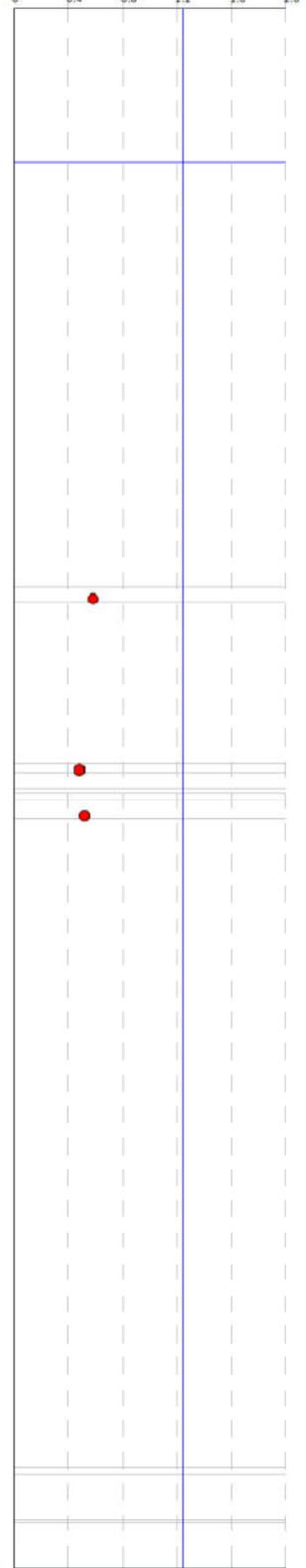
Colonna stratigrafica



Q_c (kPa)



Fattore di sicurezza F_s



Prova n°3

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Nuovo Comparto Residenziale Ambito Ars. SB _ VII

Cliente: Futura Costruzioni srl

Indirizzo, Coordinate: Via Don G.Botti

Data 15/12/2019

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.15

Fattore amplificazione 2.402

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) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6

Distanza epicentro 25.5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.255

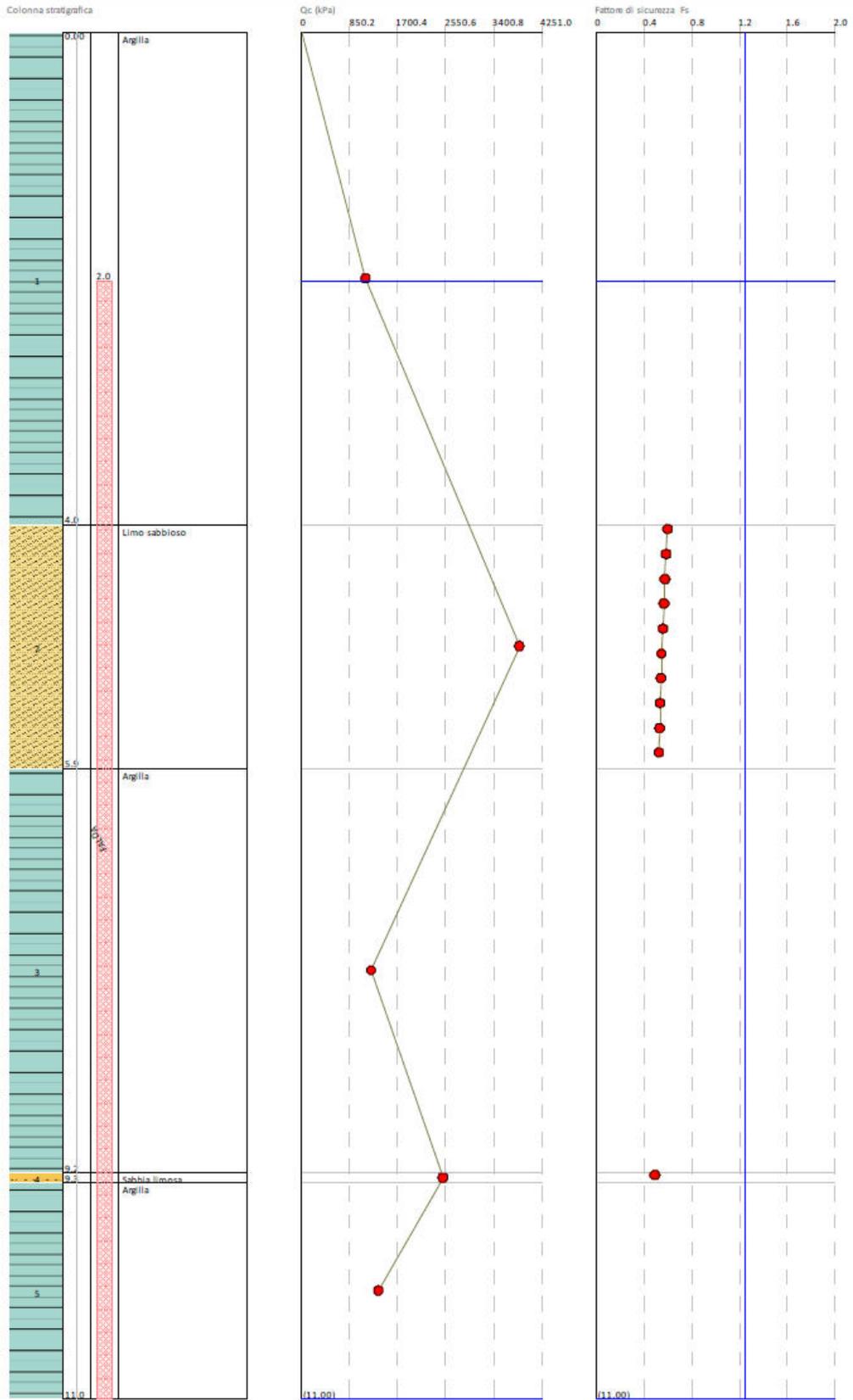
PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	γ_n	γ_{sat}	qc	fs
Nr		m	m	KN/m ³	KN/m ³	KPa	KPa
1	Argilla	0	7.46	19.38	20.20	1337.70	63.70
2	Limo sabbioso	7.46	7.64	18.36	21.42	4176.76	78.4
3	Argilla	7.64	9.72	18.97	19.79	1082.90	26.46
4	Sabbia limosa	9.72	9.84	19.38	22.44	2951.76	21.56
5	Limo argilloso	9.84	10.04	19.99	20.81	1950.20	31.36
6	Limo sabbioso	10.04	10.10	19.38	22.44	3106.60	48.02
7	Argilla	10.10	10.20	20.50	21.32	2504.88	56.84
8	Sabbia limosa	10.20	10.44	19.38	22.44	3871.00	35.28
9	Argilla	10.44	18.78	19.18	19.99	1283.80	40.18
10	Sabbia limosa	18.78	18.86	19.38	22.44	2856.70	34.30
11	Argilla	18.86	19.44	19.58	20.40	1587.60	38.22
12	Limo sabbioso	19.44	19.50	19.38	22.44	2817.50	36.26
13	Argilla	19.50	20.08	18.87	19.69	1148.56	28.42

Idriss & Boulanger, 2014

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.09

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
2.20	42.800	40.839									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.40	46.840	42.917									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.60	50.880	44.996									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.80	54.920	47.075									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.00	58.960	49.153									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.20	63.000	51.232									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.40	67.040	53.311									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.60	71.080	55.389									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.80	75.120	57.468									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.00	79.160	59.547									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.20	83.200	61.625									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.40	87.240	63.704									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.60	91.280	65.783									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.80	95.320	67.861									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.00	99.360	69.940									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.20	103.400	72.019									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.40	107.440	74.097									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.60	111.480	76.176									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.80	115.520	78.255									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.00	119.560	80.333									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.20	123.600	82.412									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.40	127.640	84.491									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.60	131.680	86.569									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.80	135.720	88.648									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.00	139.760	90.727									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.20	143.800	92.805									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.40	147.840	94.884									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.60	152.051	97.134	41.221	1.948	2.395	1.028.638	82.882	0.877	0.132	0.228	0.581	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
7.80	156.074	99.195									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.00	160.032	101.192									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.20	163.990	103.189									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
8.40	167.948	105.185									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.60	171.906	107.182									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.80	175.864	109.179									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.00	179.822	111.175									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.20	183.780	113.172									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.40	187.738	115.169									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.60	191.696	117.166									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.80	195.866	119.374	29.132	0.782	2.367	0.88414	62.158	0.815	0.108	0.222	0.488	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
10.00	200.093	121.640									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.20	204.404	123.990									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.40	208.892	126.516	38.204	0.963	2.318	0.8534923	68.400	0.798	0.114	0.218	0.521	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
10.60	212.988	128.651									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.80	216.986	130.688									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.00	220.984	132.724									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.20	224.982	134.761									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.40	228.980	136.798									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.60	232.978	138.834									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.80	236.976	140.871									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.00	240.974	142.908									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.20	244.972	144.944									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.40	248.970	146.981									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.60	252.968	149.018									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12.80	256.966	151.054									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.00	260.964	153.091									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.20	264.962	155.128									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.40	268.960	157.164									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.60	272.958	159.201									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13.80	276.956	161.238									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.00	280.954	163.274									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.20	284.952	165.311									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14.40	288.950	167.348									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso



Prova n°4

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Nuovo Comparto Residenziale Ambito Ars. SB _ VII

Cliente: Futura Costruzioni srl

Indirizzo, Coordinate: Via Don G.Botti

Data

15/12/2019

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.15

Fattore amplificazione 2.402

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) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6

Distanza epicentro 25.5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.255

PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	γ_n	γ_{sat}	qc	fs
Nr		m	m	KN/m ³	KN/m ³	KPa	KPa
1	Argilla	0.00	3.96	19.18	19.99	1131.90	68.60
2	Limo sabbioso	3.96	5.92	22.44	19.38	3864.14	18.62
3	Argilla	5.92	9.18	19.18	19.99	1225.98	36.26
4	Sabbia limosa	9.18	9.26	22.44	19.38	2502.92	33.32
5	Argilla	9.26	11.00	19.38	20.20	1362.2	48.02

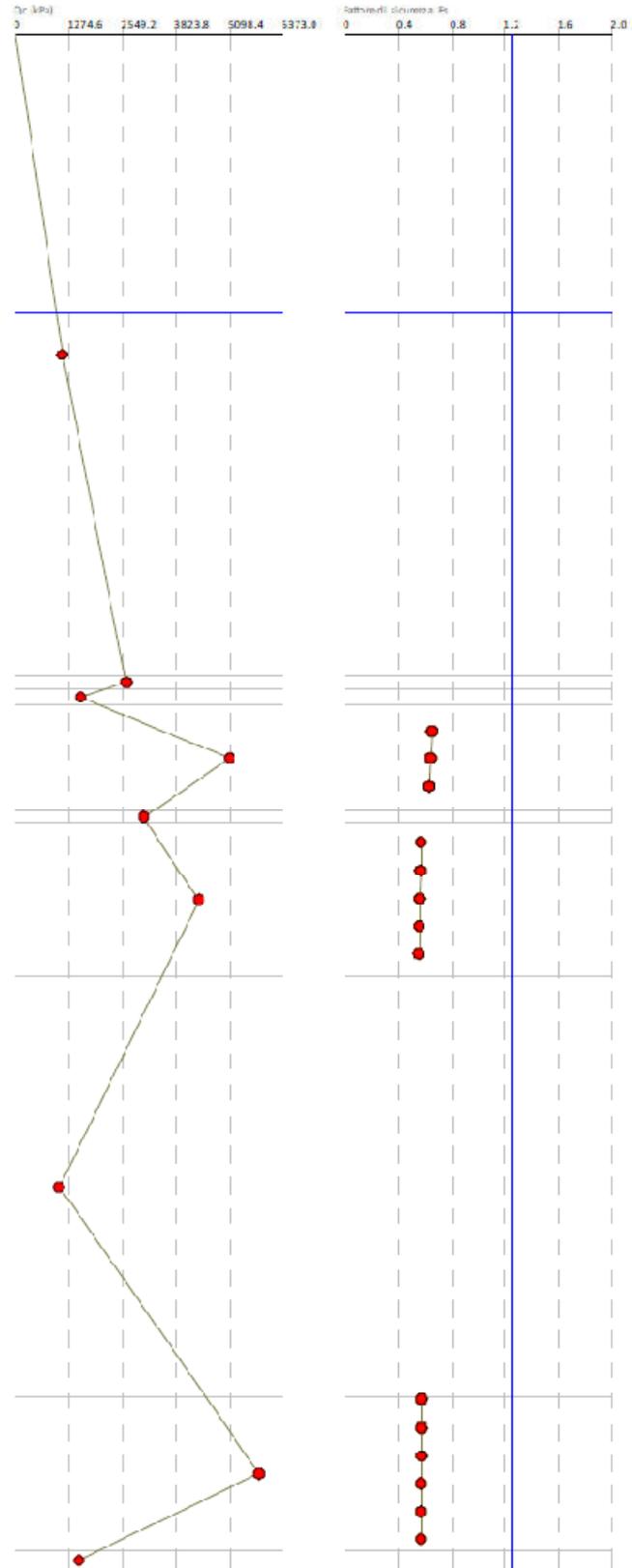
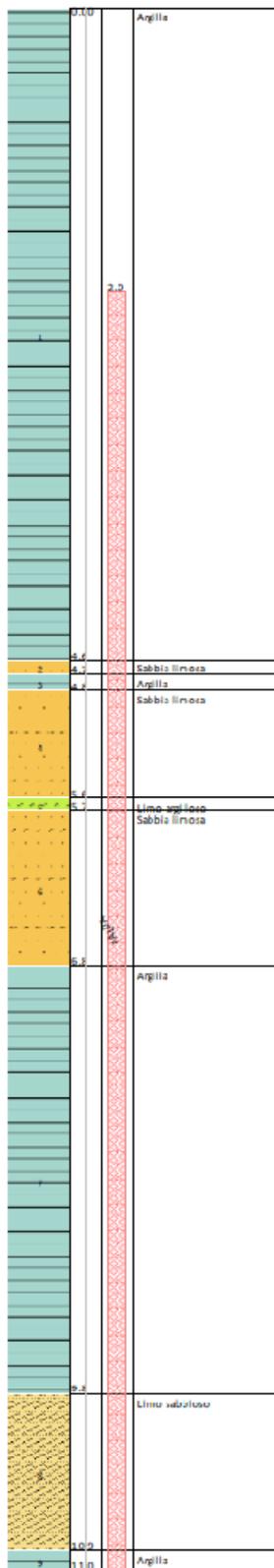
Idriss & Boulanger, 2014

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.08

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qcI	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
2.20	42.358	40.397									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.40	46.356	42.433									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.60	50.354	44.470									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.80	54.352	46.507									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.00	58.350	48.543									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.20	62.348	50.580									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.40	66.346	52.617									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.60	70.344	54.653									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.80	74.342	56.690									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.00	78.316	58.702	38.136	0.492	1.973	1.406.563	76.251	0.972	0.129	0.215	0.599	Terreno suscettibile di liquefazione	Alto
4.20	82.192	60.617	38.136	0.492	1.980	1.381.321	75.590	0.967	0.128	0.217	0.587	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
4.40	86.068	62.532	38.136	0.493	1.988	1.356.379	74.941	0.962	0.126	0.220	0.576	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
4.60	89.944	64.446	38.136	0.493	1.995	1.332.952	74.337	0.957	0.126	0.221	0.567	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
4.80	93.820	66.361	38.136	0.494	2.003	1.310.318	73.757	0.952	0.125	0.223	0.558	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.00	97.696	68.276	38.136	0.494	2.010	1.288.067	73.190	0.947	0.124	0.225	0.550	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.20	101.572	70.190	38.136	0.495	2.017	1.266.959	72.656	0.942	0.123	0.226	0.543	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.40	105.448	72.105	38.136	0.495	2.024	1.246.526	72.143	0.937	0.122	0.227	0.537	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.60	109.324	74.020	38.136	0.496	2.031	1.226.518	71.643	0.931	0.121	0.228	0.531	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.80	113.200	75.934	38.136	0.496	2.037	1.207.381	71.168	0.926	0.120	0.229	0.526	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.00	117.124	77.898									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.20	121.122	79.934									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.40	125.120	81.971									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.60	129.118	84.008									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6.80	133.116	86.044									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.00	137.114	88.081									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.20	141.112	90.118									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.40	145.110	92.154									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.60	149.108	94.191									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.80	153.106	96.228									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.00	157.104	98.265									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.20	161.102	100.301									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
8.40	165.100	102.338									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.60	169.098	104.375									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.80	173.096	106.411									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.00	177.094	108.448									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.20	181.080	110.472	24.702	1.435	2.544	0.9358155	64.670	0.832	0.111	0.226	0.491	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
9.40	185.071	112.502									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.60	189.111	114.581									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9.80	193.151	116.659									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.00	197.191	118.738									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.20	201.231	120.817									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.40	205.271	122.895									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.60	209.311	124.974									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10.80	213.351	127.053									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11.00	217.391	129.131									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
IPL (Iwasaki)=7.22 Zcrit=20 m Rischio=Alto													

Colonna stratigrafica



Prova n° 5

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: Nuovo Comparto Residenziale Ambito Ars. SB _ VII

Cliente: Futura Costruzioni srl

Indirizzo, Coordinate: Via Don G.Botti

Data 15/12/2019

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.15

Fattore amplificazione 2.402

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) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6

Distanza epicentro 25.5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.255

PARAMETRI GEOTECNICI							
Strato	Descrizione	Da	A	γ_n	γ_{sat}	qc	fs
Nr		m	m	KN/m ³	KN/m ³	KPa	KPa
1	Argilla	0.00	4.60	19.07	19.89	1107.4	68.60
2	Sabbia limosa	4.60	4.70	19.38	22.44	2646.00	38.22
3	Argilla	4.70	4.82	19.69	20.50	1541.54	31.36
4	Sabbia limosa	4.82	5.58	19.38	22.44	5101.88	40.18
5	Limo argilloso	5.58	5.66	20.81	21.62	3046.82	63.70
6	Sabbia limosa	5.66	6.76	19.38	22.44	4373.74	31.36
7	Argilla	6.76	9.78	18.87	19.69	1032.92	28.42
8	Limo sabbioso	9.78	10.88	19.38	22.44	5792.78	43.12
9	Argilla	10.88	11.02	19.48	20.30	1502.34	49.00

Idriss & Boulanger, 2014

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.1

Quota	σ_v	σ'_v	Q	F(%)	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
m	KPa	KPa					KPa						
2.20	42.118	40.157									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.40	46.096	42.173									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.60	50.074	44.190									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2.80	54.052	46.207									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.00	58.030	48.223									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.20	62.008	50.240									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.40	65.986	52.257									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.60	69.964	54.273									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3.80	73.942	56.290									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.00	77.920	58.307									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.20	81.898	60.323									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.40	85.876	62.340									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.60	89.854	64.357									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4.80	94.148	66.689									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.00	98.597	69.177	50.352	0.803	2.020	1.254.287	89.307	0.947	0.145	0.224	0.648	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.20	103.085	71.704	50.352	0.804	2.028	1.229.651	88.347	0.942	0.143	0.224	0.638	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.40	107.573	74.231	50.352	0.805	2.035	1.205.745	87.419	0.937	0.141	0.225	0.628	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
5.60	112.045	76.741									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5.80	116.484	79.218	43.165	0.737	2.085	1.169.639	78.528	0.926	0.129	0.226	0.570	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.00	120.972	81.745	43.165	0.737	2.092	1.147.406	77.836	0.921	0.127	0.226	0.564	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.20	125.460	84.272	43.165	0.738	2.100	1.125.928	77.171	0.915	0.126	0.226	0.560	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.40	129.948	86.798	43.165	0.739	2.107	1.105.323	76.536	0.910	0.125	0.226	0.555	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.60	134.436	89.325	43.165	0.740	2.115	1.085.422	75.926	0.905	0.124	0.226	0.551	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
6.80	138.814	91.742									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.00	142.752	93.718									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.20	146.690	95.695									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.40	150.628	97.672									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.60	154.566	99.648									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7.80	158.504	101.625									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.00	162.442	103.602									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8.20	166.380	105.578									0	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

