

COMUNE DI BUDRIO

Piano Urbanistico Attuativo ANS.A.7 in variante al Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata ex-comparto C2.21 ad uso residenziale sito a Vedrana di Budrio (BO)

LE PROPRIETA':

SVG IMMOBILIARE s.r.l.

DE VIZIO COSTRUZIONI s.r.l.

TIMBRO e FIRMA

I PROGETTISTI:

Studio Geotecnico Chili Giuliano
Via Bruno Bottau n° 4
40055 - Castenaso (BO)

TIMBRO e FIRMA



OGGETTO TAVOLA :

Relazione geologica, geotecnica e sismica

Scala:

1: ---

Tavola:

29

1.0 Premessa

1.1 Premessa

Nell'ambito della progettazione per il Piano Urbanistico Attuativo ANS. A.7 in variante al Piano particolareggiato di Iniziativa Privata ex Comparto C2.21 ad uso residenziale sito in Vedrana di Budrio (BO), i Committenti SVG immobiliare Srl e De Vizio Costruzioni srl, mi hanno incaricato della redazione della Relazione geologica di fattibilità e della Microzonazione sismica dell'area.

Nell'Elaborato verranno inseriti i seguenti paragrafi:

- Modalità di esecuzione delle prove
- Ubicazione dell'area e delle prove
- Inquadramento stratigrafico
- Inquadramento geomorfologico, idrogeologico ed idrologico con indicazione dei vincoli ambientali
- Inquadramento strutturale e sismico con elaborazione della micro zonazione sismica con la definizione delle Azioni sismiche di risposta sismica locale (III^ Livello), Analisi della suscettività alla liquefazione dei terreni granulari sotto falda; cedimenti sismici in free field.

Gli scopi prefissati sono stati raggiunti mediante l'esecuzione di n°3 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu) della lunghezza rispettivamente di 20,14 m e 19,24 m e 20,10. Per la definizione delle velocità delle onde sismiche di taglio (V_s eq) è stato eseguito un rilievo geofisico di sismica passiva a stazione singola (Tromino)

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

- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 e successive modificazioni.**
- **Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, D.M. n°30 del 14/01/ 2008.**
- **Decreto Ministeriale n°8 del 17/01/2018 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 del 29/04/2019**
- **Decreto Legislativo della Giunta Regione Emilia Romagna n.476 del 14/04/2021**
- **L.R. n. 19 del 30/10/2008.**
- **L.R. n. 24 del 17/12/2017**
- **PTCP Comune di Bologna adottato con delibera c.d. n. 3 del 11/02/2003.**
- **PSC Comune di Budrio (Quadro conoscitivo PSC in forma associata Terre di Pianura))**
- **Norme AGI 1977 – Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.**
- **Norme AGI 2005 – Aspetti Geotecnici della progettazione in zona sismica.**

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

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

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

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

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

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

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

Risorse Idriche sotterranee della RER – Di Dio 1998

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

Tavole allegate al Quadro conoscitivo PSC in forma associata “Terre di Pianura”

Carta interattiva D.I.S.S. 3.2.1 edita da INGV – Fonte sito INGV

Classificazione della PGA MPS 04 edita da INGV – Fonte Sito INGV

Sezioni geologiche della Carta Geologica dell'Emilia Romagna – Fonte sito della Cartografia geologica della RER

PGRA 2003 pubblicato da Regione Emilia Romagna fonte sito Ambiente –RER

PSAI 2003 pubblicato da ex Autorità di Bacino del Fiume Reno fonte sito Ambiente RER

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

2.0 Modalità di prova

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

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 SCTPu 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.
- 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 svantaggi 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 la 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 gas 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.

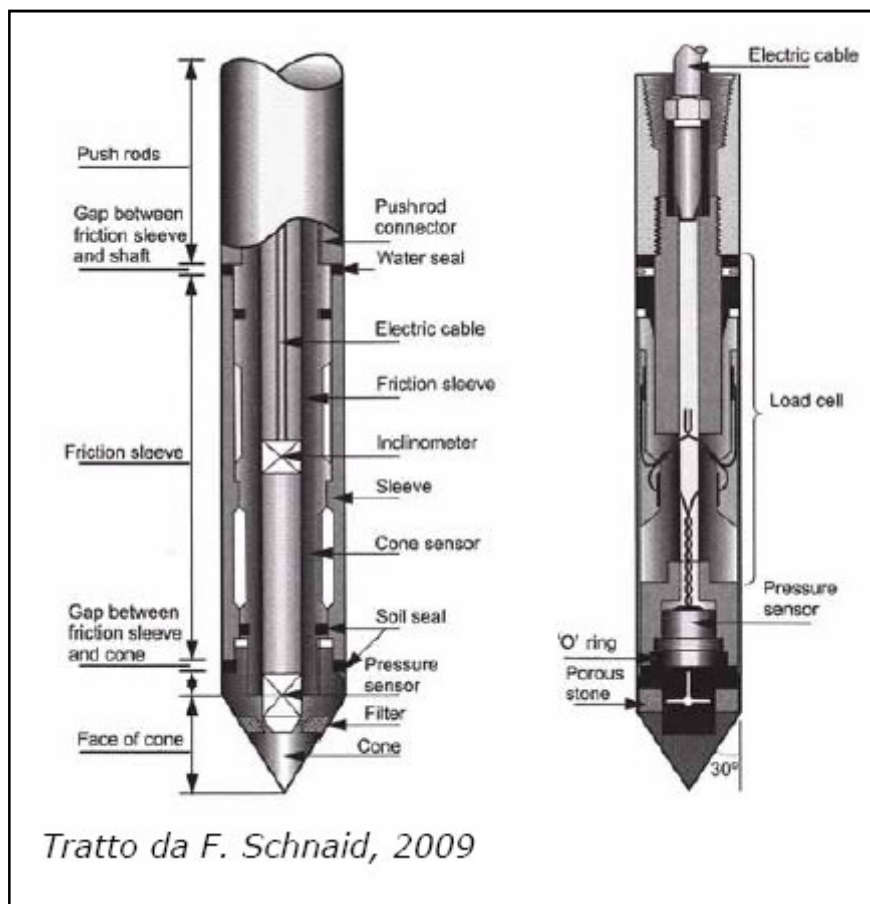


Fig. n. 2.1 -Punta per prove penetrometriche statiche con elettriche continue con misurazione delle pressioni interstiziali (CPTu)misurazione

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 allegato 1.

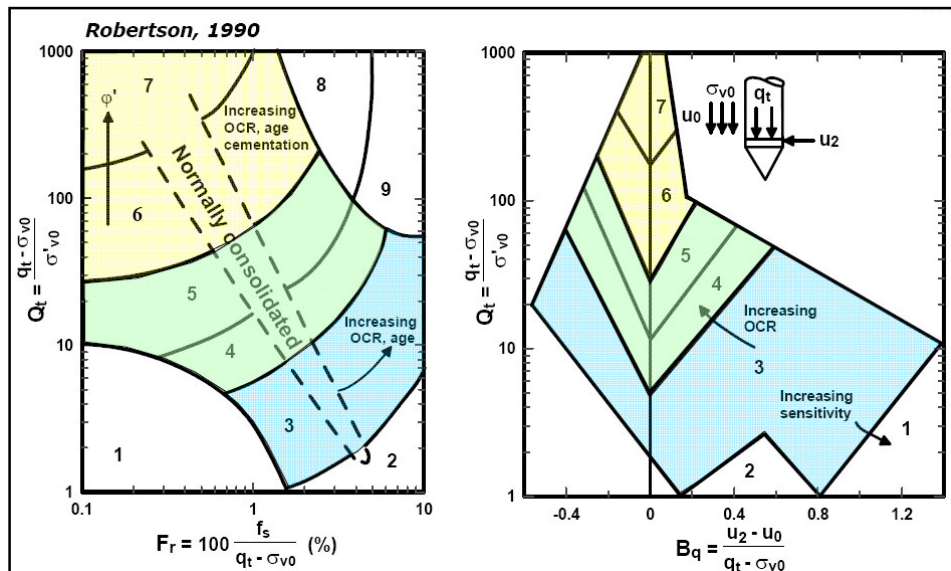


Fig. n. 2.2 -Diagrammi utilizzati per l'elaborazione dei dati rilevati ai fini della determinazione della stratigrafia incontrata da Robertson 1990

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

2.2 Prove geofisiche: Sismica – Tromografo digitale

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) rappresenta uno dei metodi utilizzati per estrarre informazioni relative al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ($10^{-15} \text{ [m/s}^2\text{]}^2$ in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

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

*Fig. n. 3.1 -Ubicazione dell'area: estratto dall'Elemento C.T.R. n. 221122 – Medicina sud in scala
1 : 5.000*

3.2 Ubicazione Prove



4.0 Stratigrafia e litologia

I terreni presenti nell'area oggetto di studio sono di origine sedimentaria "recente" di genesi legata con ogni probabilità alla dinamica deposizionale del torrente Idice

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

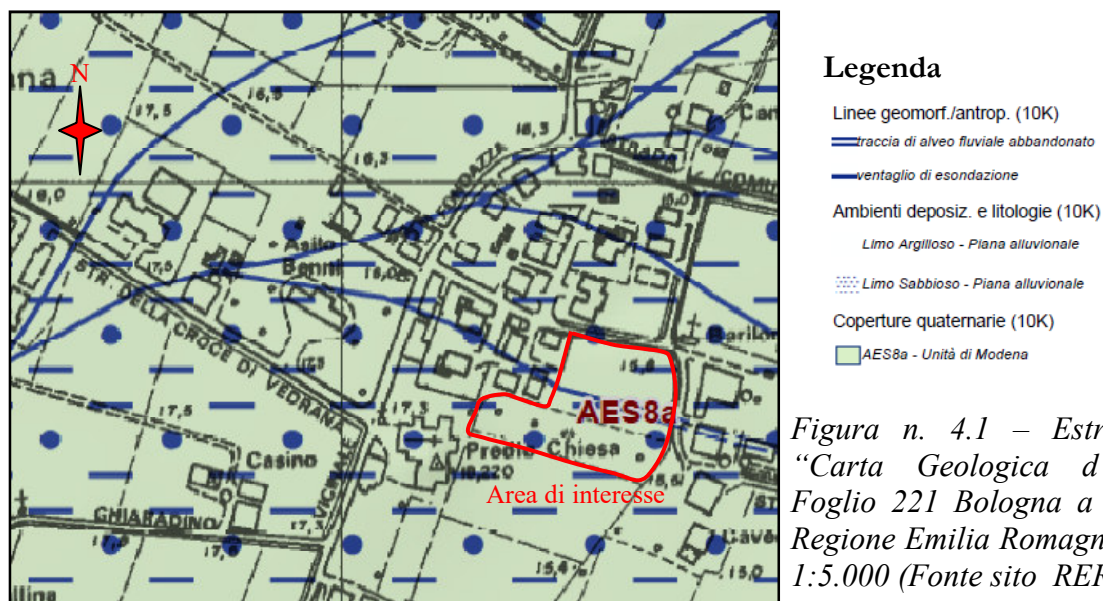


Figura n. 4.1 – Estratto dalla “Carta Geologica d’Italia” – Foglio 221 Bologna a cura della Regione Emilia Romagna- in scala 1:5.000 (Fonte sito RER)

In particolare i terreni affioranti nell'area oggetto d'intervento, appartengono all'Unità di Modena sommitale rispetto Subsistema di Ravenna (AES8), che rappresenta la porzione più superficiale di AES. Oltre lo sbocco delle valli appenniniche AES8 affiora estesamente occupando tutta la superficie della pianura. Il Subsistema è costituito da ghiaie, sabbie, limi e argille di canale, argine, rotta fluviale, e piana inondabile. I corpi ghiaiosi sono rari ed affiorano limitatamente agli sbocchi vallivi dei corsi d'acqua principali (che per la parte di pianura che ci interessa sono il Fiume Reno e il Torrente Idice) molto più estesamente, a distanze più lontane dal margine emerso della catena, affiorano invece le tessiture relative ai depositi di canale, argine, rotta e piana inondabile.

Nel sottosuolo della pianura AES8 uno spessore massimo di 28,00 m, del settore bolognese; la base di questo Membro del AES è localizzata all'interno di depositi alluvionali per questo si ritiene convenzionalmente che il letto del Subsistema sia posto subito al di sopra del primo strato ghiaioso profondo

Le prove eseguite sono state elaborate con programmi di calcolo elettronico (StaticProbing – Geostru) tenendo conto delle teorie proposte da Robertson (1990); gli strati individuati sono stati suddivisi secondo un criterio litologico definendo quelli a comportamento drenato da quelli a comportamento coesivo e tra quelli a comportamento coesivo è stata effettuata una ulteriore suddivisione in case al grado di consistenza.

Al termine delle elaborazioni, sui risultati, si possono formulare le seguenti osservazioni:

- La successione indagata è costituita in netta prevalenza da terreni fini e finissimi, che nello spessore compreso tra - 2,70 m e - 16,12 m si mostrano assai ricchi in materia organica tanto che si possono individuare strati, anche di spessore decimetrico, in cui la parte organica prende il sopravvento su quella terrigena generando terreni torbosi. Le frazioni con granulometria avente diametro superiore a 1/16 di mm (limo – limo sabbioso) e comportamento drenato sono

rappresentate da strati di limo sabbioso di difficile correlazione tra le prove e da uno strato sabbioso metrico posizionato tra $-17,5$ m e $-19,5$ m; nella CPTu 2 non è stato possibile raggiungere il letto di questo strato in quanto a quota $19,14$ si è raggiunto il rifiuto all'avanzamento. Poiché, in generale, i valori più elevati di uno strato di questo tipo si trovano nella parte medio alta, si può verosimilmente indicare per questo strato, nell'area in prossimità di CPTu 2, un limite inferiore ben al di sotto dei -20 m di profondità.

- La successione nei primi $2,70$ m mostra sequenze formate da alternanze di argilla limosa e limo argilloso in cui, come accennato in precedenza, si possono interporre strati di limo sabbioso; in questo spessore non si riscontrano strati con elevata percentuale di materia organica. Questo vale anche per la parte terminale della successione indagata Partendo da $16,10$ m fino al termine delle prove (circa 20 m dal p.c).

Nelle tabelle 4.1 ÷ 4.6 si riportano le stratigrafie di dettaglio delle prove eseguite; in appendice 1 si riportano gli stessi risultati in forma grafica. In appendice 2 si riporta il modello stratigrafico interpretativo risultante dal confronto tra le facies sedimentologiche presenti sulle tre verticali di indagine.

Prova n°1									
Committente: SVG srl - De Vizio Costruzioni srl							Data 28/05/2021		
Cantiere: PUA ANS. A7 - Vedrana						Falda - 4,0 m da p.c.			
Località: Via Guidotti - Vedrana - Budrio (BO)						pag1/2			
Prof. Strato		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	OCR	Dr	FC	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	%	
0,00	0,10	4,35	0,00	1,72	1,80	>9	100,00	93,47	Terreno agrario
0,10	0,18	15,27	0,12	1,90	2,20	>9	100,00	32,92	Limo sabbioso
0,18	0,26	21,78	0,46	1,99	2,07	>9	--	37,45	Limo argilloso
0,26	0,42	20,97	1,03	1,98	2,06	>9	--	51,68	Argilla limosa
0,42	0,70	16,67	1,07	1,94	2,02	>9	--	61,97	Argilla
0,70	1,04	19,37	1,10	1,97	2,05	>9	--	56,46	Argilla limosa
1,04	1,64	29,72	1,07	2,04	2,12	>9	--	39,97	Limo argilloso
1,64	1,92	18,72	0,97	1,96	2,04	>9	--	56,00	Argilla limosa
1,92	2,08	18,36	0,38	1,96	2,04	7,00	--	40,55	Limo argilloso
2,08	2,74	26,73	0,16	1,90	2,20	>9	50,93	23,03	Limo sabbioso
2,74	2,82	21,17	0,40	1,98	2,06	5,23	--	37,74	Limo argilloso
2,82	2,90	11,27	0,32	1,87	1,95	4,06	--	58,15	Argilla limosa
2,90	3,24	6,90	0,25	1,78	1,86	2,95	--	77,29	Argilla organica
3,24	3,36	12,06	0,25	1,88	1,96	2,75	--	52,31	Argilla limosa
3,36	3,48	5,66	0,17	1,74	1,82	1,77	--	82,52	Argilla organica
3,48	3,56	12,81	0,14	1,89	1,97	1,40	--	41,68	Limo argilloso
3,56	3,66	8,17	0,19	1,81	1,89	1,89	--	64,87	Argilla
3,66	3,76	14,89	0,25	1,92	2,00	2,45	--	44,01	Limo argilloso
3,76	4,86	5,33	0,12	1,72	1,80	1,01	--	79,57	Argilla organica
4,86	5,12	8,01	0,20	1,80	1,88	1,64	--	65,54	Argilla
5,12	5,26	7,52	0,40	1,79	1,87	3,30	--	83,07	Argilla organica
5,26	5,38	12,00	0,36	1,87	1,95	2,93	--	57,41	Argilla limosa
5,38	6,22	45,84	0,37	1,90	2,20	7,16	42,26	19,15	Limo sabbioso
6,22	6,42	11,14	0,26	1,86	1,94	1,85	--	58,14	Argilla
6,42	7,06	8,34	0,33	1,80	1,88	2,29	--	75,73	Argilla organica
7,06	7,28	11,56	0,33	1,87	1,95	2,21	--	56,57	Argilla limosa
7,28	8,08	13,97	0,83	1,90	1,98	5,39	--	66,10	Argilla
8,08	8,22	17,87	0,80	1,94	2,02	5,00	--	54,10	Argilla limosa
8,22	8,40	14,33	1,11	1,90	1,98	6,83	--	73,29	Argilla organica
8,40	8,56	21,15	0,50	1,97	2,05	3,02	--	41,70	Limo argilloso
8,56	8,82	14,14	0,40	1,90	1,98	2,36	--	52,17	Argilla limosa
8,82	9,08	16,40	0,95	1,93	2,01	5,56	--	61,61	Argilla
9,08	9,16	14,14	1,05	1,90	1,98	6,06	--	71,05	Argilla organica
9,16	9,36	14,35	0,84	1,90	1,98	4,80	--	65,70	Argilla
9,36	9,48	16,58	0,75	1,93	2,01	4,23	--	56,77	Argilla limosa
9,48	9,86	10,32	0,69	1,84	1,92	3,83	--	78,50	Argilla organica
9,86	10,12	13,06	0,34	1,88	1,96	1,81	--	52,63	Argilla limosa
10,12	10,48	13,59	0,81	1,89	1,97	4,30	--	67,53	Argilla
10,48	10,66	17,05	0,82	1,93	2,01	4,28	--	58,80	Argilla limosa
10,66	10,80	16,69	1,06	1,93	2,01	5,46	--	63,55	Argilla
10,80	10,90	13,60	1,03	1,89	1,97	5,26	--	73,21	Argilla organica
10,90	11,02	14,12	0,73	1,90	1,98	3,70	--	63,86	Argilla

Tabella 4.1 – Stratigrafia di dettaglio interpretata dai dati provenienti dalla Prova CPTu 1
Pag 1/2

Prova n°1									
Committente: SVG srl - De Vizio Costruzioni srl							Data 28/05/2021		
Cantiere: PUA ANS. A7 - Vedrana						Falda - 4,0 m da p.c.			
Località: Via Guidotti - Vedrana - Budrio (BO)						pag2/2			
Prof. Strato		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	OCR	Dr	FC	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	%	
11,02	11,22	9,90	0,71	1,83	1,91	3,56	--	82,82	Argilla organica
11,22	11,38	14,86	0,47	1,91	1,99	2,31	--	52,97	Argilla limosa
11,38	11,62	13,13	0,93	1,88	1,96	4,56	--	73,54	Argilla organica
11,62	11,96	14,21	0,72	1,90	1,98	3,46	--	63,63	Argilla
11,96	12,10	9,73	0,60	1,82	1,90	2,83	--	80,14	Argilla organica
12,10	12,40	11,54	0,29	1,86	1,94	1,31	--	55,31	Argilla limosa
12,40	12,72	13,67	0,67	1,89	1,97	3,07	--	62,45	Argilla
12,72	12,92	15,94	0,73	1,92	2,00	3,30	--	57,30	Argilla limosa
12,92	13,06	16,74	0,98	1,93	2,01	4,39	--	61,08	Argilla
13,06	13,14	17,27	0,92	1,93	2,01	4,09	--	58,63	Argilla limosa
13,14	14,18	17,64	1,22	1,94	2,02	5,24	--	64,85	Argilla
14,18	14,60	13,31	0,95	1,88	1,96	3,92	--	75,06	Argilla organica
14,60	14,78	14,42	0,82	1,90	1,98	3,32	--	67,40	Argilla
14,78	15,36	23,14	1,35	1,98	2,06	5,35	--	54,84	Argilla limosa
15,36	15,68	20,55	1,37	1,96	2,04	5,29	--	60,52	Argilla
15,68	15,98	21,17	1,13	1,97	2,05	4,30	--	55,33	Argilla limosa
15,98	16,12	19,13	1,33	1,95	2,03	4,99	--	63,37	Argilla
16,12	16,34	18,79	0,81	1,94	2,02	3,01	--	54,36	Limo argilloso
16,34	16,58	13,43	0,61	1,88	1,96	2,23	--	64,49	Argilla
16,58	16,98	23,02	0,53	1,98	2,06	1,89	--	38,91	Limo argilloso
16,98	17,08	54,58	1,03	1,80	2,10	5,44	16,18	22,90	Limo sabbioso
17,08	17,18	35,15	1,07	2,06	2,14	3,80	--	37,02	Limo argilloso
17,18	17,50	18,65	0,75	1,94	2,02	2,62	--	53,43	Argilla limosa
17,50	17,60	22,28	0,52	1,98	2,06	1,78	--	41,88	Limo argilloso
17,60	18,92	95,92	0,41	1,90	2,20	>9	30,13	7,13	Sabbia
18,92	19,18	80,09	0,28	1,90	2,20	<0.5	23,56	7,49	Sabbia
19,18	19,48	117,17	0,33	1,90	2,20	<0.5	33,98	3,89	Sabbia
19,48	19,82	79,56	0,36	1,90	2,20	>9	22,35	9,44	Sabbia
19,82	20,06	24,91	0,88	1,99	2,07	2,65	--	47,13	Argilla limosa
20,06	20,14	14,62	0,71	1,89	1,97	2,11	--	66,00	Argilla

Tabella 4.2 – Stratigrafia di dettaglio interpretata dai dati provenienti dalla Prova CPTu 1
Pag 2/2

Prova n° 2									
Committente: SVG srl - De Vizio Costruzioni srl				Data 28/05/2021					
Cantiere: PUA ANS. A7 - Vedrana				Falda - 4,0 m da p.c.					
Località: Via Guidotti - Vedrana - Budrio (BO)				pag1/2					
Prof. Strato		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	OCR	Dr	FC	Descrizione
m	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	n	%	%	
0,00	0,10	4,30	0,01	1,71	1,79	<0.5	100,00	75,51	Terreno agrario
0,10	0,28	19,16	0,39	1,97	2,05	>9	--	37,81	Limo argilloso
0,28	0,46	23,89	1,37	2,00	2,08	>9	--	51,66	Argilla limosa
0,46	0,62	19,29	1,55	1,97	2,05	>9	--	63,11	Argilla
0,62	0,80	23,98	1,27	2,00	2,08	>9	--	50,47	Argilla limosa
0,80	1,18	28,15	0,93	2,03	2,11	>9	--	39,40	Limo argilloso
1,18	1,60	19,34	0,85	1,97	2,05	>9	--	91,94	Argilla limosa
1,60	2,18	8,90	0,49	1,83	1,91	>9	--	77,36	Argilla organica
2,18	2,34	17,52	0,18	1,90	2,20	6,08	41,46	34,78	Limo sabbioso
2,34	2,66	19,66	0,29	1,97	2,05	4,34	--	35,60	Limo argilloso
2,66	3,14	6,34	0,23	1,76	1,84	2,95	--	84,79	Argilla organica
3,14	3,62	3,15	0,10	1,62	1,70	1,05	--	113,92	Torba
3,62	4,64	3,95	0,10	1,67	1,75	0,89	--	92,24	Argilla organica
4,64	4,84	2,91	0,14	1,60	1,68	1,20	--	123,17	Torba
4,84	5,44	5,07	0,17	1,71	1,79	1,43	--	87,67	Argilla organica
5,44	5,58	24,98	0,22	1,90	2,20	4,28	27,82	26,68	Limo sabbioso
5,58	6,76	7,30	0,35	1,78	1,86	2,76	--	87,52	Argilla organica
6,76	6,96	9,35	0,29	1,83	1,91	2,14	--	64,82	Argilla
6,96	7,16	8,66	0,39	1,81	1,89	2,85	--	74,61	Argilla organica
7,16	7,90	13,79	0,83	1,90	1,98	5,86	--	66,51	Argilla
7,90	8,22	12,43	0,87	1,88	1,96	5,86	--	75,34	Argilla organica
8,22	8,82	14,54	0,75	1,91	1,99	4,86	--	61,72	Argilla
8,82	8,92	14,81	1,17	1,91	1,99	7,33	--	71,27	Argilla organica
8,92	9,12	14,82	0,98	1,91	1,99	6,08	--	67,35	Argilla
9,12	9,46	11,47	0,93	1,86	1,94	5,65	--	81,01	Argilla organica
9,46	9,68	12,80	0,54	1,88	1,96	3,20	--	62,68	Argilla
9,68	10,30	12,77	0,86	1,88	1,96	4,96	--	72,61	Argilla organica
10,30	10,42	8,29	0,84	1,80	1,88	4,72	--	99,06	Torba
10,42	10,58	9,69	0,50	1,83	1,91	2,76	--	76,40	Argilla organica
10,58	10,68	12,24	0,53	1,87	1,95	2,91	--	64,93	Argilla
10,68	10,82	10,97	0,72	1,85	1,93	3,93	--	77,28	Argilla organica
10,82	10,96	13,05	0,60	1,88	1,96	3,24	--	64,30	Argilla
10,96	11,20	11,49	0,74	1,86	1,94	3,95	--	75,55	Argilla organica
11,20	11,30	6,91	0,55	1,76	1,84	2,89	--	100,64	Torba
11,30	11,82	10,92	0,40	1,85	1,93	2,04	--	64,98	Argilla
11,82	12,00	12,14	0,72	1,87	1,95	3,65	--	71,25	Argilla organica
12,00	12,76	14,07	0,77	1,90	1,98	3,78	--	64,38	Argilla
12,76	13,02	14,44	1,11	1,90	1,98	5,28	--	71,47	Argilla organica
13,02	13,54	15,52	1,11	1,91	1,99	5,15	--	68,52	Argilla
13,54	14,26	13,49	0,99	1,89	1,97	4,43	--	74,08	Argilla organica
14,26	15,04	17,34	1,17	1,93	2,01	5,00	--	64,77	Argilla
15,04	15,82	21,08	1,19	1,97	2,05	4,86	--	56,10	Argilla limosa
15,82	16,10	15,68	0,77	1,91	1,99	3,05	--	60,40	Argilla

Tabella 4.3 – Stratigrafia di dettaglio interpretata dai dati provenienti dalla Prova CPTu 2
Pag 1/2

Prova n° 2									
Committente: SVG srl - De Vizio Costruzioni srl				Data 28/05/2021					
Cantiere: PUA ANS. A7 - Vedrana				Falda - 4,0 m da p.c.					
Località: Via Guidotti - Vedrana - Budrio (BO)				pag1/2					
Prof. Strato	qc	fs	γ_n	γ_{sat}	OCR	Dr	FC	Descrizione	
m	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	n	%	%	
16,10	16,66	21,22	0,47	1,97	2,05	1,79	--	38,52	Limo argilloso
16,66	16,82	58,23	1,03	1,80	2,10	5,93	19,30	21,63	Limo sabbioso
16,82	16,90	24,89	0,61	2,00	2,08	2,28	--	40,49	Limo argilloso
16,90	17,32	18,23	0,66	1,94	2,02	2,44	--	53,36	Argilla limosa
17,32	18,64	133,33	0,37	1,90	2,20	<0.5	40,70	3,50	Sabbia
18,64	18,86	82,03	0,30	1,90	2,20	<0.5	25,33	7,29	Sabbia
18,86	19,24	166,29	0,63	1,90	2,20	<0.5	45,04	2,95	Sabbia

Tabella 4.4 – Stratigrafia di dettaglio interpretata dai dati provenienti dalla Prova CPTu 2

Prova n° 3									
Committente: SVG srl - De Vizio Costruzioni srl							Data 28/05/2021		
Cantiere: PUA ANS. A7 - Vedrana							Falda - 4,0 m da p.c.		
Località: Via Guidotti - Vedrana - Budrio (BO)							pag1/2		
Prof. Strato		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	OCR	Dr	FC	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	%	
0,00	0,12	3,46	0,00	1,68	1,76	>9	98,21	53,20	Terreno agrario
0,12	0,22	21,52	0,20	1,90	2,20	>9	100,00	28,41	Limo sabbioso
0,22	0,62	28,15	0,83	2,03	2,11	>9	--	37,44	Limo argilloso
0,62	1,50	14,49	0,76	1,92	2,00	>9	--	61,86	Argilla
1,50	2,20	41,85	1,73	2,10	2,18	>9	--	36,25	Limo argilloso
2,20	2,34	32,51	2,06	2,05	2,13	>9	--	48,14	Argilla limosa
2,34	2,42	19,52	1,85	1,96	2,04	>9	--	67,58	Argilla
2,42	2,90	9,76	0,70	1,84	1,92	>9	--	78,61	Argilla organica
2,90	2,98	19,13	0,45	1,96	2,04	5,60	--	42,31	Limo argilloso
2,98	3,24	12,67	0,52	1,89	1,97	6,12	--	64,63	Argilla
3,24	3,72	5,92	0,19	1,75	1,83	1,96	--	81,18	Argilla organica
3,72	3,82	9,32	0,16	1,83	1,91	1,51	--	56,42	Argilla limosa
3,82	3,96	6,38	0,23	1,76	1,84	2,15	--	79,81	Argilla organica
3,96	4,06	4,30	0,22	1,68	1,76	2,00	--	104,31	Torba
4,06	4,40	5,17	0,10	1,72	1,80	0,85	--	74,10	Argilla organica
4,40	4,70	3,66	0,14	1,65	1,73	1,17	--	104,50	Torba
4,70	4,92	16,11	0,16	1,93	2,01	1,32	--	36,06	Limo argilloso
4,92	5,26	24,46	0,60	2,00	2,08	5,01	--	38,74	Limo argilloso
5,26	5,38	34,85	0,58	1,90	2,20	7,35	36,91	27,37	Limo sabbioso
5,38	5,46	19,39	0,50	1,96	2,04	4,01	--	45,93	Limo argilloso
5,46	5,54	8,36	0,50	1,81	1,89	3,98	--	84,25	Argilla organica
5,54	5,66	13,65	0,40	1,90	1,98	3,14	--	54,41	Argilla limosa
5,66	5,76	18,35	0,37	1,95	2,03	2,86	--	42,39	Limo argilloso
5,76	5,84	9,68	0,29	1,83	1,91	2,20	--	65,03	Argilla
5,84	6,00	5,25	0,28	1,72	1,80	2,10	--	100,73	Torba
6,00	6,26	6,38	0,22	1,75	1,83	1,60	--	81,32	Argilla organica
6,26	6,56	8,37	0,55	1,81	1,89	4,04	--	104,81	Torba
6,56	6,74	6,86	0,28	1,77	1,85	1,98	--	81,38	Argilla organica
6,74	7,06	6,10	0,42	1,74	1,82	2,95	--	98,24	Torba
7,06	7,22	9,04	0,52	1,82	1,90	3,60	--	78,71	Argilla organica
7,22	7,34	6,82	0,57	1,76	1,84	3,90	--	100,20	Argilla
7,34	7,86	9,90	0,51	1,84	1,92	3,40	--	73,37	Argilla organica
7,86	8,00	13,43	0,82	1,89	1,97	5,34	--	67,87	Argilla
8,00	8,14	12,85	0,90	1,88	1,96	5,79	--	71,67	Argilla organica
8,14	8,40	13,40	0,86	1,89	1,97	5,44	--	68,29	Argilla
8,40	8,56	13,45	1,05	1,89	1,97	6,52	--	72,97	Argilla organica
8,56	8,82	15,02	1,04	1,91	1,99	6,35	--	67,36	Argilla
8,82	9,04	12,01	0,91	1,87	1,95	5,46	--	76,05	Argilla organica
9,04	9,42	14,19	0,81	1,90	1,98	4,75	--	64,04	Argilla
9,42	10,22	11,98	0,81	1,87	1,95	4,55	--	74,10	Argilla organica
10,22	10,44	11,78	0,52	1,86	1,94	2,80	--	67,70	Argilla
10,44	10,60	11,61	0,73	1,86	1,94	3,90	--	72,85	Argilla organica
10,60	10,82	13,33	0,82	1,89	1,97	4,33	--	68,48	Argilla

Tabella 4.5 – Stratigrafia di dettaglio interpretata dai dati provenienti dalla Prova CPTu 3
Pag 1/2

Prova n° 3									
Committente: SVG srl - De Vizio Costruzioni srl							Data 28/05/2021		
Cantiere: PUA ANS. A7 - Vedrana							Falda - 4,0 m da p.c.		
Località: Via Guidotti - Vedrana - Budrio (BO)						pag1/2			
Prof. Strato		qc	fs	γ_n	γ_{sat}	OCR	Dr	FC	Descrizione
m	m	Kg/cm²	Kg/cm²	t/m³	t/m³	n	%	%	
10,82	11,18	12,03	0,87	1,87	1,95	4,51	--	75,51	Argilla organica
11,18	11,38	8,13	0,54	1,79	1,87	2,73	--	87,27	Argilla organica
11,38	11,48	8,73	0,23	1,80	1,88	1,10	--	65,11	Argilla
11,48	11,78	13,46	0,44	1,89	1,97	2,16	--	54,93	Argilla limosa
11,78	11,96	16,51	1,10	1,93	2,01	5,39	--	64,97	Argilla
11,96	12,10	13,87	1,11	1,89	1,97	5,38	--	74,14	Argilla organica
12,10	12,36	14,85	0,86	1,91	1,99	4,12	--	64,17	Argilla
12,36	12,52	11,50	0,92	1,86	1,94	4,35	--	78,75	Argilla organica
12,52	13,48	14,81	0,89	1,90	1,98	4,06	--	64,51	Argilla
13,48	14,40	15,96	1,30	1,92	2,00	5,60	--	71,28	Argilla organica
14,40	14,52	16,06	1,09	1,92	2,00	4,57	--	66,97	Argilla
14,52	14,68	14,38	1,11	1,90	1,98	4,61	--	73,31	Argilla organica
14,68	15,30	15,70	1,04	1,91	1,99	4,23	--	67,00	Argilla
15,30	15,98	23,69	1,44	1,99	2,07	5,63	--	54,74	Argilla limosa
15,98	16,28	18,67	1,22	1,94	2,02	4,65	--	61,53	Argilla
16,28	16,60	16,59	0,54	1,92	2,00	2,00	--	50,98	Argilla limosa
16,60	16,74	23,96	0,46	1,99	2,07	1,67	--	36,27	Limo argilloso
16,74	16,86	17,89	0,64	1,94	2,02	2,34	--	52,18	Argilla limosa
16,86	17,30	19,14	0,48	1,95	2,03	1,71	--	43,02	Limo argilloso
17,30	17,44	48,58	0,78	1,90	2,20	4,42	12,56	23,07	Limo sabbioso
17,44	17,60	28,06	0,98	2,02	2,10	3,47	--	42,55	Limo argilloso
17,60	17,90	19,77	0,69	1,95	2,03	2,40	--	49,75	Argilla limosa
17,90	18,10	69,55	0,60	1,90	2,20	4,85	21,76	14,23	Sabbia limosa
18,10	19,18	97,95	0,26	1,90	2,20	<0.5	30,40	4,93	Sabbia
19,18	19,56	72,71	0,25	1,90	2,20	<0.5	20,58	8,00	Sabbia
19,56	19,76	108,92	0,23	1,90	2,20	<0.5	31,67	3,51	Sabbia
19,76	19,90	59,23	0,40	1,90	2,20	3,92	13,93	14,76	Sabbia limosa
19,90	20,00	24,42	1,07	1,99	2,07	3,29	--	53,75	Argilla limosa
20,00	20,10	23,81	0,75	1,99	2,07	2,29	--	45,20	Limo argilloso

Tabella 4.5 – Stratigrafia di dettaglio interpretata dai dati provenienti dalla Prova CPTu 3
Pag 2/2

5.0 Geomorfologia e idrologia

La zona oggetto d'intervento si trova a circa 15,5 m sul livello del mare. I caratteri morfologici dell'area, uniti a ragionamenti riguardo alla posizione di quota relativa del letto dei principali corsi d'acqua rispetto alla circostante pianura, consentono di inquadrare l'area entro l'unità di paesaggio di bassa pianura.

La zona di Vedrana si presenta con un tasso di antropizzazione mediamente spinto per cui è possibile riconoscere ancora eventuali strutture morfologiche derivate dalle dinamiche di deposizione del corso d'acqua che in passato influenzava la sedimentazione in questa zona.

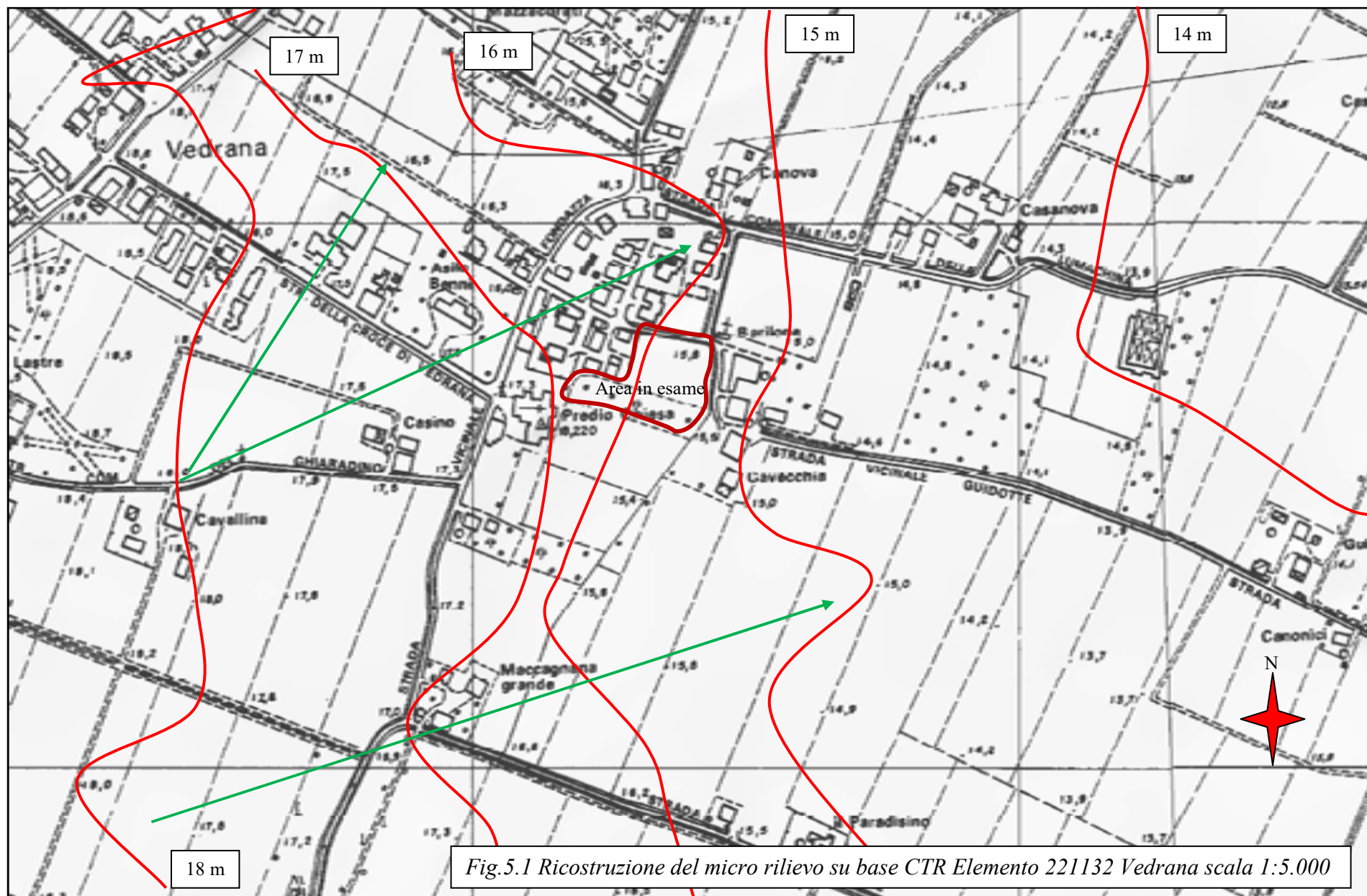
In particolare la ricostruzione delle linee di uguale quota (isoipse), effettuata con l'ausilio dei punti quotati presenti sulla carta CTR Elemento 221132 (Fig. 5.1) mette in evidenza che nell'area in esame la superficie morfologica ha un gradiente di abbassamento delle quote di circa il 3,5 ‰ verso NE, è possibile inoltre riconoscere, tra la quota 18 e la quota 16 e tra la quota 18 e la quota 15 due strutture derivate da una rotta d'argine: la prima, più a S, in corrispondenza del toponimo Maccagnana grande evidenza un abbassamento stretto e lungo sviluppato in direzione SO – NE che termina in un piccolo dosso sulla quota 15; il secondo di dimensioni maggiori che si sviluppa dal toponimo Cavallina verso la strada comunale Lumachina, questo si presenta con una superficie inizialmente concava di dimensioni elevate in lunghezza ma non in profondità che quasi subito diviene convessa assumendo una forma a ventaglio. Si nota inoltre che in corrispondenza della quota 14, subito ad E del Cimitero la superficie morfologica modifica il suo trend di abbassamento ruotando su direzioni da S- verso N e diminuendo il gradiente (già tra la quota 15 e la quota 14 la distanza tra due curve di ugual livello aumenta notevolmente).

Verosimilmente le strutture descritte possono essere ricondotte a due ventagli di rotta nell'ambito di argini prossimali e distali di un dosso fluviale che si sviluppa in direzione da SSO verso NNE e può essere ricondotto ad un antico tracciato del Torrente Idice.

Questo corso d'acqua durante l'ultima glaciazione, a causa della riattivazione dei fenomeni erosivi derivata dall'abbassamento del livello di base di circa 200 m, si è incassato entro i propri sedimenti fossilizzando il suo percorso fino al ponte della Rabuina (in località Vigorso). Il tracciato a valle del ponte della Rabuina è stato modificato con opere di arginatura durante l'epoca romana repubblicana che hanno imposto al corso d'acqua un tracciato che, scorrendo a S dell'attuale abitato di Budrio si sviluppava pressappoco lungo l'odierna Via Zanzalino N fino alla località Motta (posta immediatamente a S dell'argine dell'Idice odierno) perdendo poi, da qui la sua individualità. A causa del basso gradiente di pendenza questo tracciato dava sovente problemi di tracimazione e di rotta d'argine (vedi descrizioni precedenti) e fu modificato in epoca imperiale portandolo su direttrici Occidentali rispetto all'abitato di Budrio dapprima fino alla località Ronchi. In epoca medievale il tracciato di Idice venne deviato lungo la direttrice Mezzolara - Molinella – Marmorta terminandolo entro le paludi subito a E di Marmorta; un tale assetto non risultò comunque soddisfacente dal punto di vista idraulico per cui il tracciato venne modificato a partire dalla località Guarda e fatto affluire nel ramo di Primaro (abbandonato dal Po) in località San Pietro Capofiume e Santa Maria Codifiume. Il corso d'acqua subì altre modifiche in quanto la troppa lunghezza ne diminuiva il gradiente portando a numerose rotte d'argine in corrispondenza delle zone a valle di Mezzolara così nel XVII secolo fu deviato (definitivamente) verso Oriente a monte dell'abitato di Mezzolara facendolo confluire in Reno (a sua volta deviato entro il Primaro) nei pressi di Argenta.

La superficie di falda è stata misurata entro i fori di prova a profondità comprese tra i 4,0 m ed i 3,9 m in buon accordo, visto il periodo in cui sono state eseguite le prove, con quanto riportato nella Carta Idrogeologica allegato AC.1.2a al Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale in forma associata dei Comuni compresi nelle "Terre di Pianura" a cura del Dott. Giovanni Viel. In questo elaborato di cui si riporta un estratto in fig. 5.2 si evince che la direzione della falda nell'area in oggetto e nel suo intorno va da OSO verso ENE con un gradiente di abbassamento simile a quello del piano di campagna.

La permeabilità dei terreni superficiali nell'area va da molto bassa (dell'ordine di $1 \cdot 10^{-7}$ m/s) fino a media (dell'ordine dei 10^{-5} m/s) a seconda che ci si trovi in zone con terreni argillosi e argilloso limosi o in zone con terreni limoso sabbiosi..



Osservazioni eseguite rapportando la profondità della falda (posta entro terreni a permeabilità bassa) e la permeabilità nei terreni superficiali evidenzia come la vulnerabilità della stessa alla possibilità di inquinamenti dall'alto sia bassa mentre va da bassa a media la possibilità di espansione di inquinamenti in direzione orizzontale a seconda che ci si trovi in terreni di tipo argilloso o limoso sabbioso.

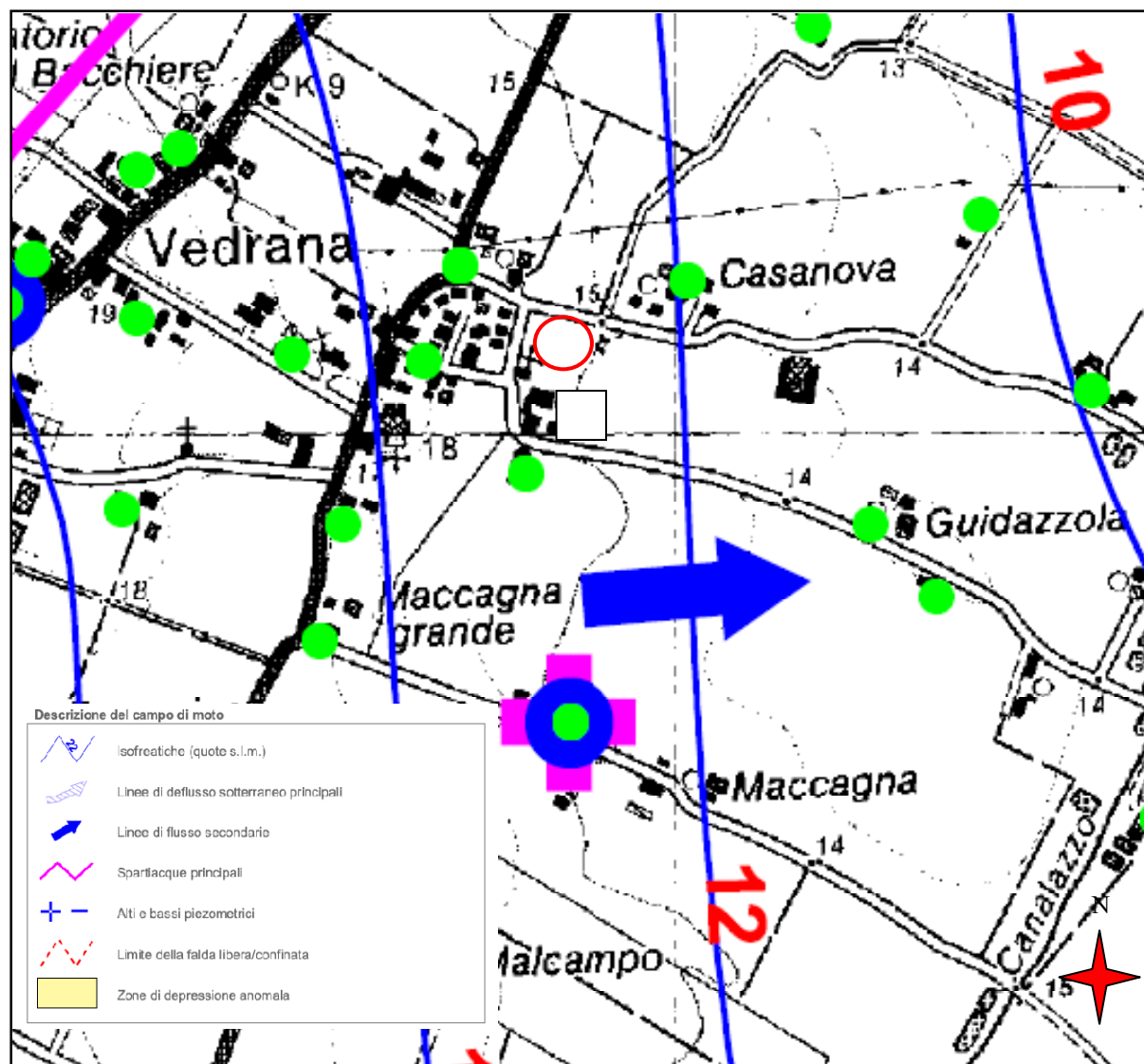


Fig.5.2 Carta Idrogeologica allegata al PSC "Terre di Pianura" tav. AC.1.2a a cura del Dott. Giovanni Viel scala 1:5.000

L'elemento idrologico principale più prossimo all'area è dato, come precedentemente indicato, dal torrente Idice che scorre a distanze comprese tra 2,4 km e 2,9 km rispettivamente a O e a N essendo la zona di Vedrana all'interno dell'ansa artificiale che corregge il corso dell'Idice. Un altro elemento idraulico di una certa importanza è dato, nel reticolo secondario di pianura, dal canale Emiliano Romagnolo che scorre a S dell'area in esame. L'area è stata oggetto recentemente (novembre 2019) di un evento di rotta d'argine derivato verosimilmente da debolezza indotta dallo scavo di tane di animali entro l'argine in destra.

Un esame del PSAI (2003) dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno evidenzia che l'area si trova al di fuori di quelle che possono essere influenzate da eventi alluvionali derivati da rotte dell'Idice; un esame del PGRA 2007 mette in evidenza che l'area si trova in categoria P2 (M – alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno 100 – 200 anni) sia per quello che riguarda il Reticolo Naturale primario e secondario che per quello che riguarda il reticolo secondario di Pianura; in fig. 5.3 si riporta un estratto delle carte di Pericolosità del PGRA 2007.

6.0 Inquadramento Strutturale e Sismico

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

Il campo di stress attivo rivela la presenza di un settore tirrenico della catena in cui predomina un campo deformativo estensionale, mentre nel settore Adriatico prevale una 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 sia di tipo compressivo che di tipo distensivo entro la struttura apicale delle anticlinali sepolte. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e di Ferrara

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

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 costituito da un sovrascorrimento di riattivazione Plio – Pleistocenica ($4,5 \pm 1$ Ma) che in pianta forma una arco con direzione SO – NE ad E della località di Buda mentre si pone in direzione circa E – O al di sotto dell'area in esame con vergenza verso N. Esso rappresenta il limite N della struttura conosciuta come anticlinale di Minerbio nella sua parte più orientale (infatti un foro pilota eseguito da Agip definito come Budrio 5A e pubblicato dalla RER) ha rinvenuto solamente tracce di gas frammisto ad acqua salata per tutta la lunghezza del foro di oltre 2500 m). La base del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore in questa zona si trova profondità comprese tra 150 e 200 m al di sotto del livello del mare. L'interpretazione del rilievo geofisico (vedi appendice 2) mette in luce che i terreni a contatto con la base del SERS, (generalmente dotati di $V_s > 800$ m/s) posti a 150 m da p.c., nel nostro caso indicano una V_s di circa 660 m/s per cui il bedrock sismico deve essere considerato alla profondità di circa 230 m a circa la metà dello spessore del Quaternario Marino (SERI).

Legenda

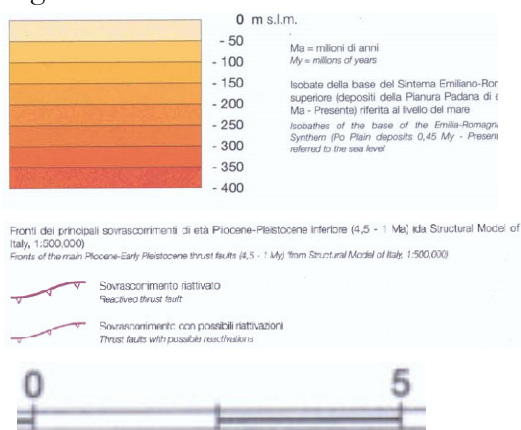


Fig. n. 6.1– Estratto dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna in scala 1:250.000 ingrandita alla scala 1:100.000 (a cura di Boccaletti e Martelli 2004)



Da un esame della Carta interattiva D.I.S.S: 3.2.1 risulta che la struttura sismogenetica più prossima al sito in esame è data dalla linea catalogata come ITCS 014 Castel San Pietro Terme – Castelvetro di Modena (vedi fig. 6.2) formata dal fascio di linee tettoniche che separa la parte sepolta della Catena da quella sollevata e che dista dall'area in esame circa 10 km.

I parametri di questa struttura riportati in tabella 6.1

Parametric Information								
Parameter		Quality	Evidence					
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.					
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.					
Strike [deg] min... max	85...135	OD	Based on geological data from various authors.					
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.					
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional geological data.					
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ	Inferred from geological data by Ponza et al. (2010) and Gunderson et al. (2013)					
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Inferred from geological data and analysis of regional seismicity					

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano su questa struttura nel settore centrale ed occidentale della regione occupata da questa struttura una concentrazione di sismicità sia di media intensità ($4.5 < M_w < 5.0$) che elevata (dannosa) ($M_w > 5.0$). I principali terremoti avvenuti sono (partendo da Est verso Ovest): 03/01/1505 (Bologna, M_w 5.5); 20/04/1929 (Area Bolognese, M_w 5.5) e 20/07/1399 (Area Modenese M_w 5.4). Un evento di M_w 5.4 è avvenuto il 6/02/1455 nell'area immediatamente a S (Area Bolognese).

La regione Emilia – Romagna è interessata da una sismicità media relativamente a quella nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter, e intensità del I IX- X grado della scala MCS; il Comune di Budrio è classificato entro la categoria III (bassa sismicità, $a_{max} = 0,15 a_g/g$) entro la Classificazione dei Comuni Sismici d'Italia allegata all'OPCM 03/2003.

Un esame della Carta MPS 04 edita da INGV evidenzia che nell'area in esame si ha una PGA calcolata su di un tempo di ritorno su 50 anni del 10% ed un percentile di 50 in un intervallo compreso tra 0.150 e $0.175 a_g/g$.

Secondo quanto prescritto dal NTUC 2018 per l'area analizzata deve essere stabilita a partire dalla 'pericolosità sismica di base' del sito (determinata da INGV con una rete di punti avente lato 7,5 km)

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale, mediante specifiche analisi che nella fattispecie consistono in un rilievo geofisico con stazione singola elaborato con tecnica HVSR (vedi appendice 3)

Dalle elaborazioni effettuate si è riscontrato che i terreni ricadono entro la categoria C essendo caratterizzati da un valore V_s pari a 342 m/s ***“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati e di terreni a grana fine mediamente consistenti con V_s eq compresa tra 160 m/s e 360 m/s”***

La frequenza di doppia risonanze del terreno è posta a 0,699 Hz.

I fattori di amplificazione da utilizzare per la costruzione degli spettri di risposta sismica del terreno in accelerazione (componente orizzontale e componente verticale), desunti DGR Regione Emilia Romagna n°476/21 (vedi par. 1.0) saranno quelli previsti per il tipo morfologico PIANURA 2 e si riportano di seguito:

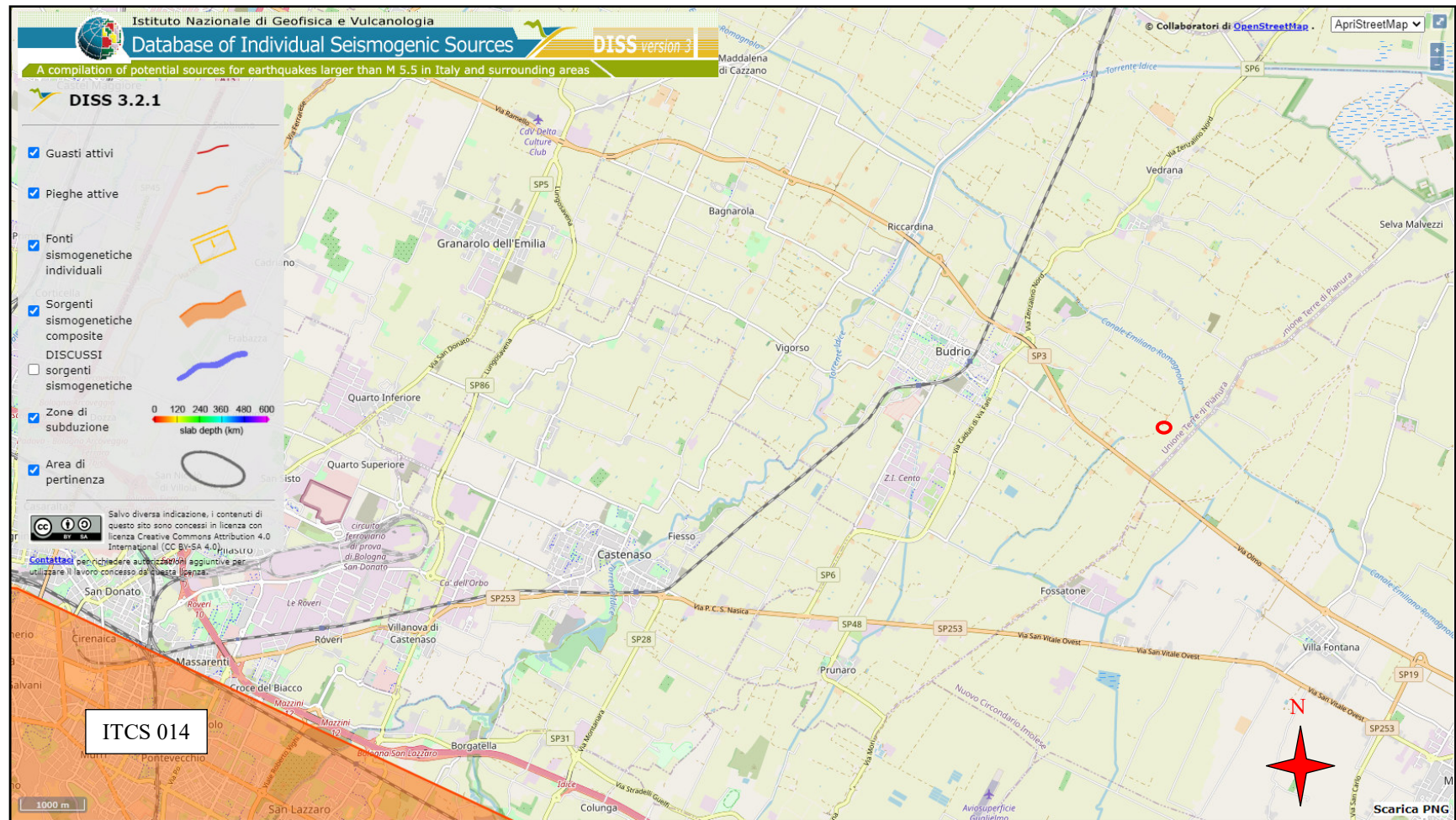


Fig. n. 6.2– Estratto dalla Carta Interattiva D.I.S.S. 3.2.1 edita da INGV scala 1:100.000 fonte sito internet INGV

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

Tabella 6.1 – Fattori di amplificazione 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 6.2 – Fattori di amplificazione SA1 ($0,1 \text{ s} \leq T \leq 0,5 \text{ s}$), SA2 ($0,4 \text{ s} \leq T \leq 0,8 \text{ s}$), SA3 ($0,7 \text{ s} \leq T \leq 1,1 \text{ s}$), SA4 ($0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,5 \text{ s}$),

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 6.3 – Fattori di amplificazione SI1 ($0,1 \text{ s} \leq T \leq 0,5 \text{ s}$), SI2 ($0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,0 \text{ s}$), SI3 ($0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,5 \text{ s}$)

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

Inserendo i dati di progetto i parametri che tengano conto del tipo di costruzione (costruzione di tipo 1 vedi tabella 2.4.I del NTUC), della classe d'uso dell'opera (considerata di classe II – vedi tabella 2.4.II del NTUC) e dell'amplificazione derivata dalla topografica (categoria T1 – vedi tabella 3.2.IV del NTUC) si ottengono gli spettri di risposta sismica associati ai diversi stati limite; di cui si riporta in appendice 4 i grafici della componente orizzontale, della componente verticale e le relative tabelle di calcolo.

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

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16511	44,568630	11,526010	4289,90
2	16512	44,569770	11,596110	2082,60
3	16734	44,519790	11,597660	4393,17
4	16733	44,518650	11,527620	5777,94

Tabella 6.3 – siti di riferimento

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,052	2,463	0,259
SLD	50	0,065	2,470	0,273
SLV	475	0,174	2,455	0,293
SLC	975	0,228	2,433	0,296

Tabella 6.4 – parametri sismici

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,016	0,020	0,060	0,088
kv	0,008	0,010	0,030	0,044
amax [m/s ²]	0,768	0,960	2,452	3,066
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Tabella 6.5 – coefficienti sismici

In appendice 4 si riportano i grafici degli spettri di risposta sismica relativi ai diversi Stati Limite di progetto e la tabella con i parametri di calcolo.

7.0 Analisi Risposta sismica locale III[^] Livello

7.1 Generalità

Con l'ausilio del rilievo geofisico con stazione singola eseguito nel sito dalle Sezioni stratigrafiche edite dalla Regione Emilia Romagna, è stato calcolato il modello per la risposta sismica locale al III[^] Livello come richiesto dal DGR 476/21. Il calcolo dello spettro normalizzato nel sito è stato eseguito utilizzando il programma di calcolo elettronico RSL III edito da Geostru per la risposta sismica locale monodimensionale.

7.2 Descrizione metodo di calcolo

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:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (7.1)$$

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:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (7.2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (7.3)$$

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

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (7.4)$$

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

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (7.5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (7.6)$$

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:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7.7)$$

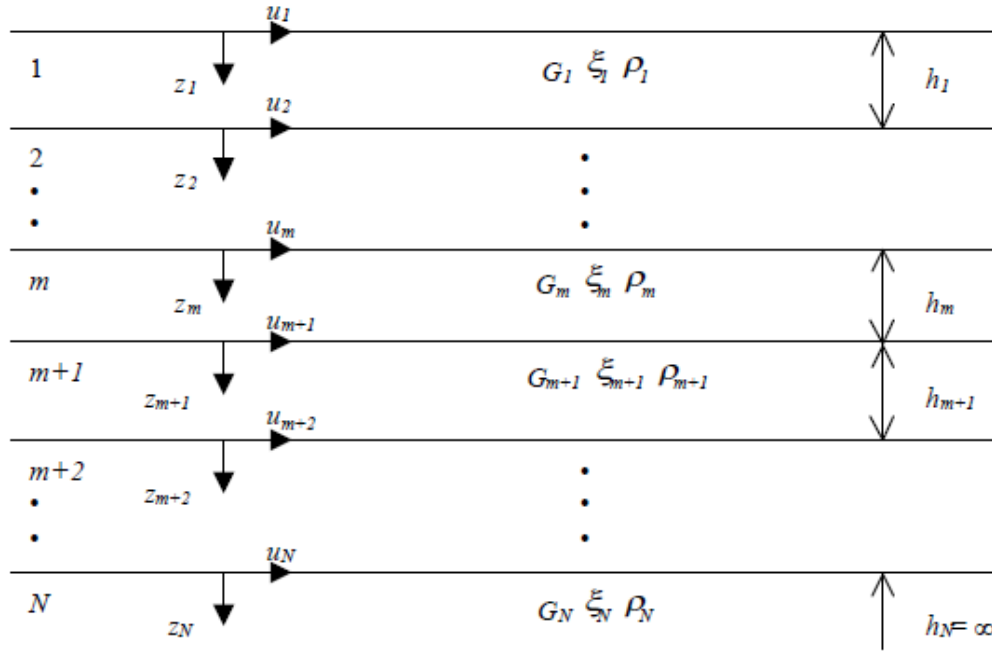


Fig. n. 6.2 Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (7.8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (7.9)$$

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

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (7.10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (7.11)$$

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:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (7.12)$$

Usando la (7.10), (7.11) e la (7.12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (7.13)$$

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

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (7.14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (7.15)$$

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

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (7.16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (7.17)$$

Sommando la (7.13) alla (7.17) e sottraendo la (7.17) alla (7.13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (7.18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (7.19)$$

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

$$\alpha_m^* = \frac{k_{m+1}^* G_m^*}{k_m^* G_{m+1}^*} \quad (7.20)$$

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 (7.18) e (7.19) 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:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (7.21)$$

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,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (7.22)$$

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

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (7.23)$$

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

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (7.24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (7.25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 7.2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

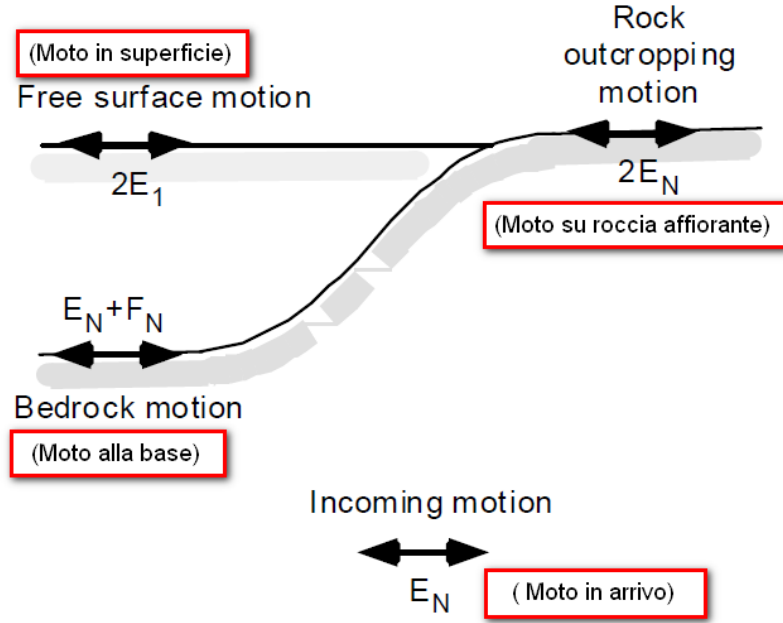


Figura 7.2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (7.26)$$

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:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (7.27)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (7.28)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (7.29)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (7.30)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (7.31)$$

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.

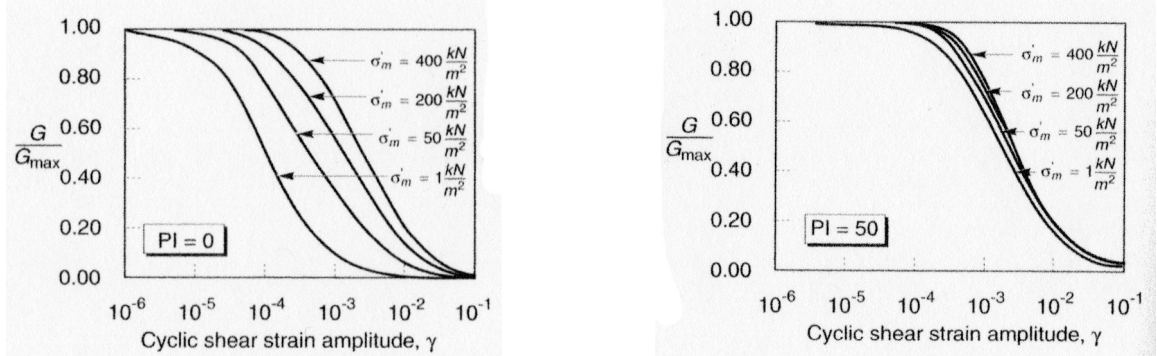


Figura 7.3: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (7.27) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (7.32)$$

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

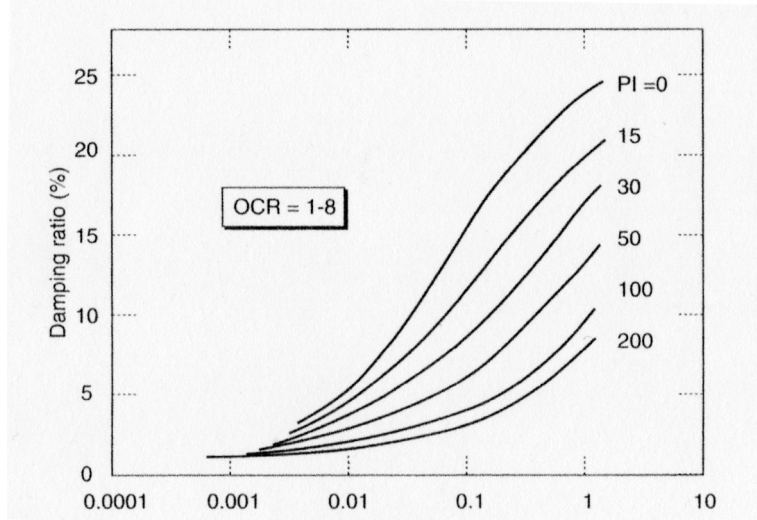


Figura 7.4: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso

I risultati di calcolo sono riportati sia in forma grafica che in forma analitica in allegato 4; si riporta nelle tabelle 7.1 e 7.2 il confronto tra lo spettro di Normativa e quello Normalizzato per lo SLV componente orizzontale

Spettro Normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0,236	2,698822	--	0,230	0,690	2,543	0,236	0,636	1,446

Spettro di Normativa

Ag	F0	Tc*	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)	S
[g]			[s]	[s]	[s]	[g]	[g]	
0,163	2,402	0,304	0,158	0,473	2,252	0,239	0,574	1,47

8.0 Verifica del potenziale di liquefazione

Poiché nella successione sono stati individuati strati di terreni granulari sotto falda si deve procedere con il calcolo della suscettività alla liquefazione secondo i criteri imposti dal D.G.R. Emilia Romagna n°476/19. Si è proceduto pertanto al calcolo (i cui risultati sono riportati in Appendice 4) mediante un programma per elaboratore elettronico – Liquer edito dalla Geostru – utilizzando il metodo di Boulanger e Idriss (2014) di cui si riporta la descrizione.

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:

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

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

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

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:

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

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

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

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:

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

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

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

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

$$C_\sigma = \frac{1}{37,3 - 8,27 \cdot (q_{c1N})^{0,264}} \leq 0,3 \quad (8.11b)$$

I calcoli effettuati indicano per le tre prove :

CPTu 1 $I_L = 0,50$

CPTu 2 $I_L = 0,19$

CPTu 3 $I_L = 0,22$

In tutti i casi, secondo la classificazione di Somnez (2003) la suscettività è bassa.

9.0 Caratterizzazione geotecnica

Il presente paragrafo è finalizzato alla classificazione dal punto di vista geotecnico dell'ambito in esame. Si utilizzerà il criterio che confronta la R_p derivata dalla realizzazione di prove penetrometriche statiche negli spessori 1,0 m – 6,0 m e 6,01 m – 10,0 m in quanto nel primo intervallo si collocano generalmente i piani delle strutture di fondazione superficiali, la sua conoscenza può avere attinenza con la quantificazione della pressione unitaria che può essere distribuita nei sedimenti ed anche per la valutazione dell'interazione terreno – struttura. I

Il secondo intervallo è quello in cui normalmente si sviluppano ed esauriscono gli spostamenti del terreno indotti dalla struttura di nuova costruzione sempre per fondazioni superficiali.

Questa zonizzazione è riferita ad edifici di normale impegno costruttivo, distribuzioni omogenee di sovrappressioni, e strutture superficiali a geometria semplice.

Questo tipo di zonizzazione suddivide gli ambiti in 5 classi:

Classe A: R_p scadente ($R_p < 10 \text{ kg/cm}^2$) sia nel I° che nel II° intervallo

Classe B: R_p scadente ($R_p < 10 \text{ kg/cm}^2$) nel I° intervallo ed R_p da medio ($10 \text{ kg/cm}^2 < R_p < 15 \text{ kg/cm}^2$) a discreto ($R_p > 15 \text{ kg/cm}^2$) nel II° intervallo

Classe C: R_p da medio ($10 \text{ kg/cm}^2 < R_p < 15 \text{ kg/cm}^2$) a discreto ($R_p > 15 \text{ kg/cm}^2$) nel primo intervallo e R_p scadente ($R_p < 10 \text{ kg/cm}^2$) nel II° intervallo

Classe D: R_p da medio ($10 \text{ kg/cm}^2 < R_p < 15 \text{ kg/cm}^2$) a discreto ($R_p > 15 \text{ kg/cm}^2$) in entrambi gli intervalli; si possono distinguere 3 sottoclassi:

D1 R_p che segue l'andamento della Classe B (valori del I° intervallo minori rispetto a quelli del II°)

D2 R_p che segue l'andamento della Classe C (valori del I° intervallo maggiori rispetto a quelli del II°)

D3 R_p discreta in egual misura nel primo e nel II° intervallo

Nella tabella 9.1 si riportano i valori delle R_p e la classificazione del sito.

Prova	R_p 1 - 6	R_p 6 - 10	Classe
	kg/cm^2	kg/cm^2	
CPTu 1	17,07	19,25	D3
CPTu 2	21,03	9,25	C
CPTu 3	19,91	16,58	D3

Nella classe D3 l'edificabilità con normali tecniche costruttive è in genere assicurata (soprattutto per la classe D3)

Nella Classe C sono aree in cui sono utilizzabili normali tecniche costruttive (fondazioni superficiali nastriformi legate tra loro) per insediamenti di normale impegno (edifici di massimo 3 piani). In questa classe di edificabilità possono presentarsi limitazioni per quello che riguarda l'interazione terreno struttura relativamente all'entità delle pressioni di contatto e ai cedimenti sia assoluti che differenziali. In fig. 10.1 si riportano in forma grafica i risultati ottenuti



10.0 Conclusioni

Dai dati elaborati dalle prove eseguite nell'area, dalla bibliografia consultata e dai precedenti lavori eseguiti dallo Scrivente nella zona si possono trarre le seguenti conclusioni:

I terreni presenti sono di genesi sedimentaria derivati dalla dinamica deposizionale del torrente Idice e sono classificati entro l'Unità di Modena (AES 8 a) che è quella più recente del Sintema di Ravenna (AES8) che tra quelli che compongono il Sintema Emiliano Romagnolo superiore è quella sommitale. La composizione di questa Unità nell'area è data da terreni fini e finissimi in cui si intercalano terreni di granulometria più elevata (limo sabbioso). Lo spessore di questa Unità è di difficile definizione ma in questo contesto si posiziona verosimilmente a circa - 2,70 m dal p.c. attuale in corrispondenza dell'interfaccia con lo strato di dimensioni plurimetriche (arriva fino a -16 m da p.c.) composto da terreni fini e finissimi alternanti a terreni dello stesso tipo in cui è elevata la percentuale di componente organica (ed in alcuni livelli diviene prevalente costituendo strati torbosi. A partire dai - 16 m fino al termine delle prove si hanno strati fini e finissimi (alternanze di limi argillosi e argille limose con intercalazioni di limo argilloso (facies di argine distale) ed uno strato composto da sabbia poco limosa di spessore circa 2,0 m.

La falda freatica, misurata in un pozzo è attestata, ad estrazione delle aste, ad un livello di 4,0 m dal p.c., misura che ben si accorda (livello indicato a -3,0 m) con quanto riportato sulla Carta Idrogeologica (tav AC 1.2a del PSC Terre di Pianura)

La geomorfologia del sito si può inserire nella categoria T1 essendo l'area in ambito di pianura

Sulla base di quanto prescritto dal TU è stata determinata la velocità media delle onde sismiche di taglio è di circa 342m/sec; pertanto l'area ricade entro la categoria C *depositi a grana grossa mediamente addensati e terreni a grana fine mediamente consistenti con V_s eq. Compresa tra 160 m/s e 360 m/s*. La frequenza di doppia risonanza si trova a 0,699 hz con il bed rock posto a circa - 150 m dal p.c.

I fattori di amplificazione che permettono di calcolare la velocità al suolo delle onde sismiche devono fare riferimento al tipo Pianura 2 riportato entro il DGR dell'Emilia Romagna 476/21.

L'analisi della risposta sismica al III^ livello è stata eseguita utilizzando i sismostrati individuati dall'elaborazione dei dati di sismica passiva rilevati con stazione singola confrontati con le litologie presenti entro la sezione 069 pubblicata nel sito della Cartografia geologica della Regione Emilia Romagna. A scopo esemplificativo si riportano i dati principali degli spettri per lo Stato limite di Vita Orizzontale; per le componenti verticali e per lo Stato Limite di Danno si veda l'appendice 5.

Spettro Normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0,236	2,698822	--	0,230	0,690	2,543	0,236	0,636	1,446

Spettro di Normativa

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0,163	2,402	0,304	0,158	0,473	2,252	0,239	0,574	1,47

Dall'esame della prova eseguita, si rileva che non ostante il cospicuo spessore di terreni fini e finissimi nell'ambito dei 20 m di spessore si trovano strati che possono essere soggetti al fenomeno della liquefazione. Si è pertanto proceduto alla verifica della suscettività alla liquefazione utilizzando la teoria di Boulanger e Idriss (2014). I risultati ottenuti sono oggetto dell'appendice 6; in questa sede si riportano i risultati che per le diverse prove sono:

CPTu 1 $I_L = 0,50$

CPTu 2 $I_L = 0,19$

CPTu 3 $I_L = 0,22$

I valori calcolati indicano, secondo la classificazione di Somnez (2003) una suscettività bassa

Utilizzando i criteri utilizzati per la determinazione della classe di edificabilità, nell'area si è verificata la presenza di due tipi di classi la Classe D3 e la Classe C. Nella Classe D3 edifici di normale impegno (3 piani fuori terra) si possono utilizzare le normali tecniche costruttive (fondazioni superficiali a trave continua legate tra loro) mentre nella Classe C pur potendo edificare strutture di normale impegno con le normali tecniche costruttive si deve porre attenzione sia ai carichi specifici sul terreno che ai cedimenti che si possono sviluppare dai nuovi carichi imposti. Le valutazioni riportate in precedenza danno una indicazione relativamente sia all'impegno del fabbricato che ai limiti imposti dal terreno; comunque la legislazione vigente impone di eseguire indagini specifiche, in numero adeguato all'impegno del fabbricato, per ogni edificio che si intende costruire. A queste condizioni gli interventi sono fattibili.

Castenaso lì 30/06/2021



Chili Giuliano
(OGGIR n°565 Sez A)

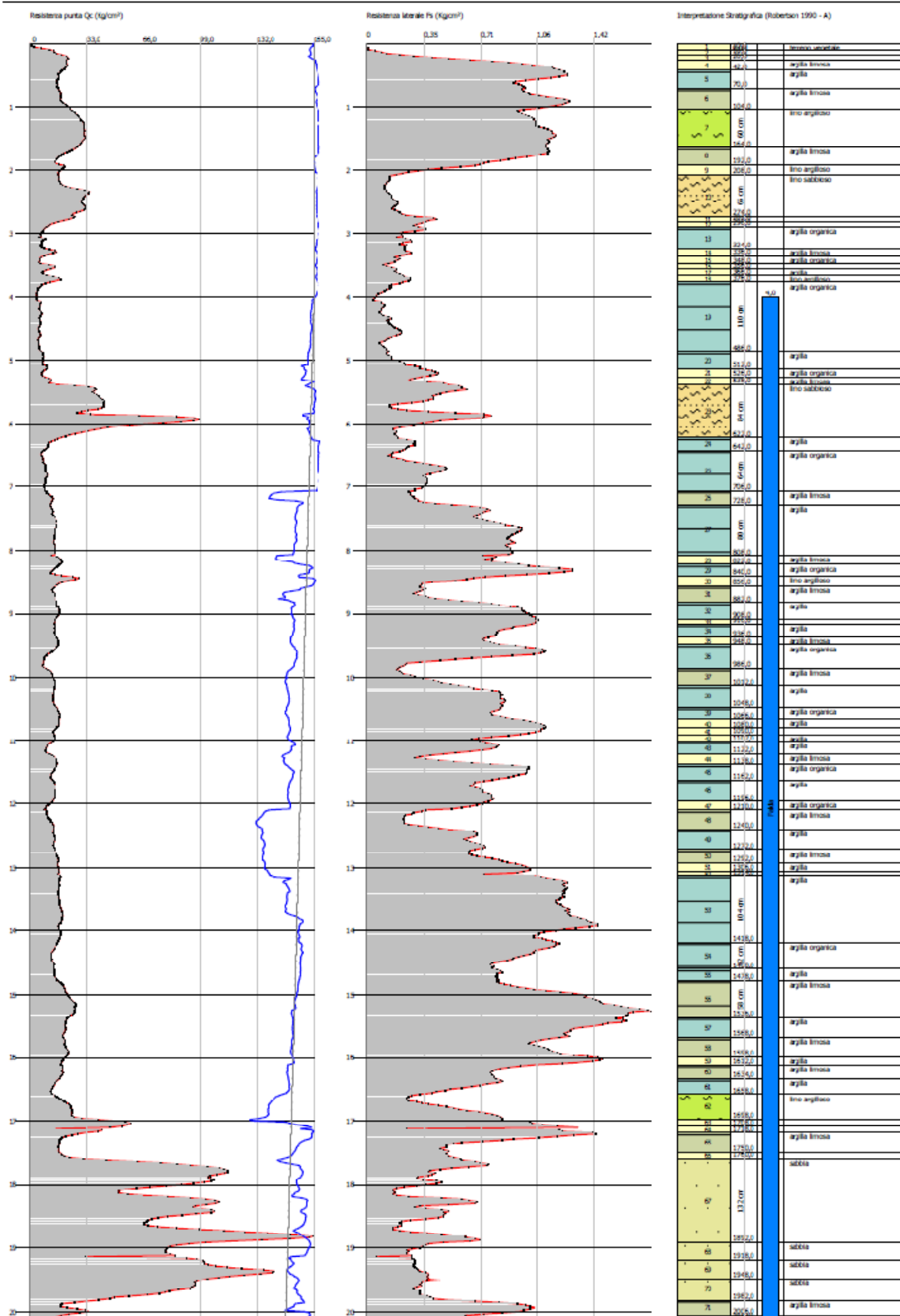
Appendici

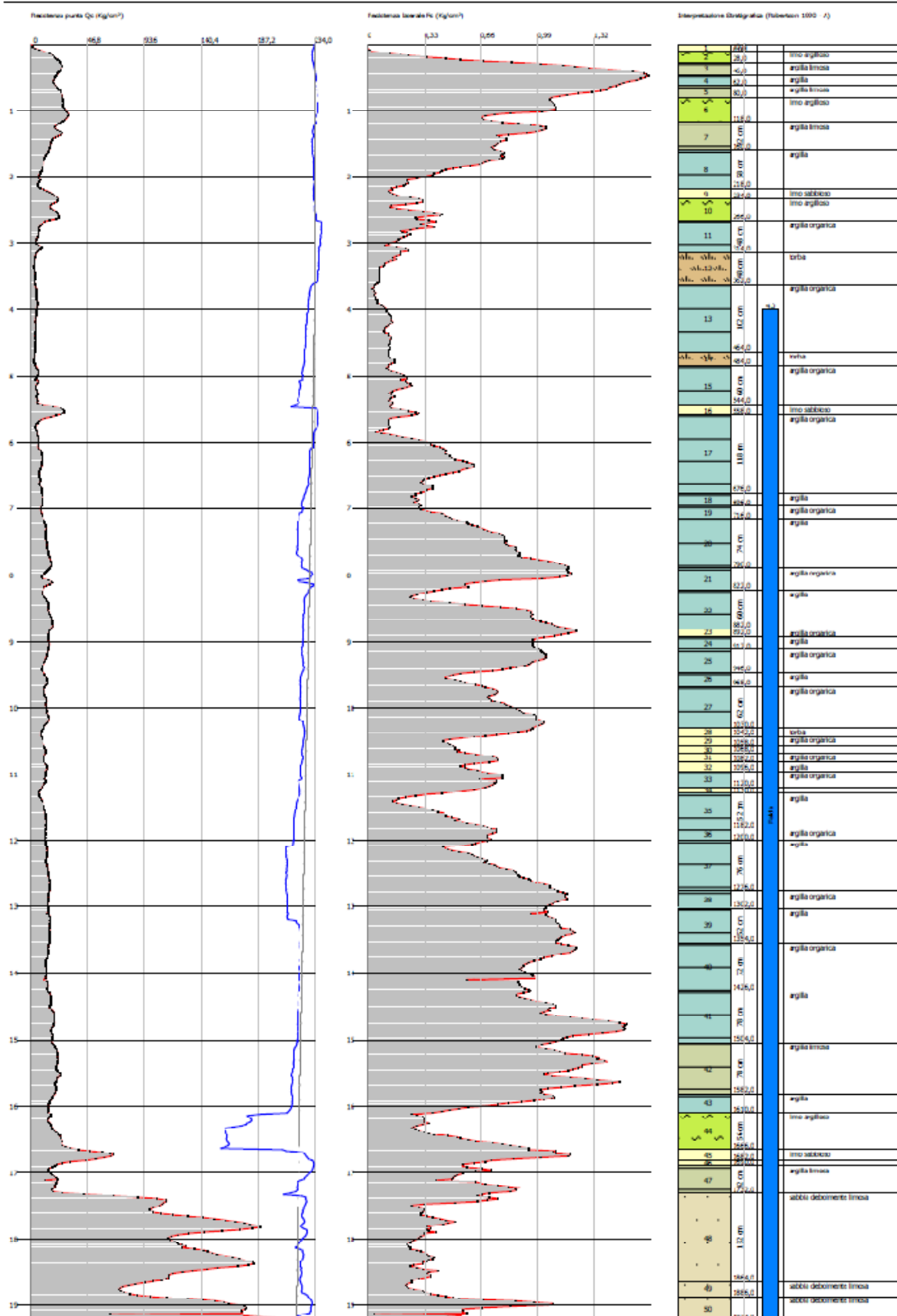
Appendice 1

Prove Penetrometriche Statiche (CPTu)

Diagrammi

Valutazioni litologiche

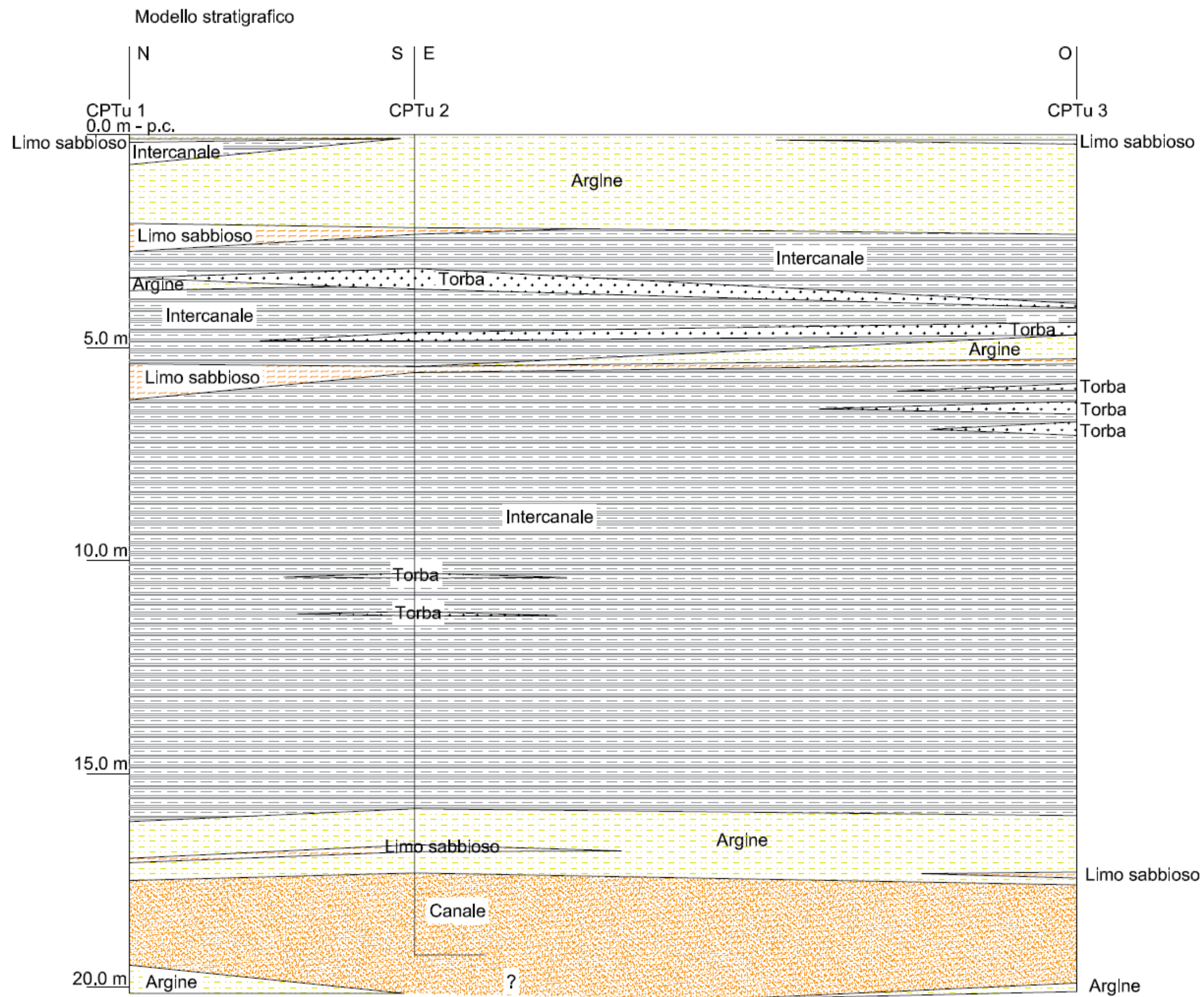






Appendice 2

Modello stratigrafico interpretativo



Legenda
 Argine = Alternanza Al - La - A
 Intercanale = Alternanza A - Ao - T
 Canale = Alternanza S - SI

Scala orizzontale 1:500
 Scala verticale 1:100

Appendice 3

prova sismica a stazione singola

Tromografia

Elaborazione con metodo HVSR

STATION INFORMATION

Station code: -

Model: SARA Geobox

Sensor: Geobox pack 2.0 hz

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: -

Address: Via Guidotti - Vedrana - Budrio (BO)

Latitude: 44,5556412

Longitude: 11,5764608

Coordinate system: WGS84

Elevation: 15.8 m s.l.m.

Weather: Soleggiato, non ventoso, Temperatura 29°C

Notes: -

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

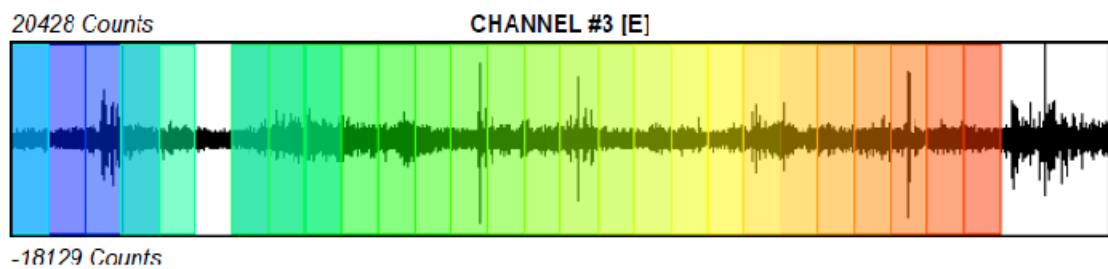
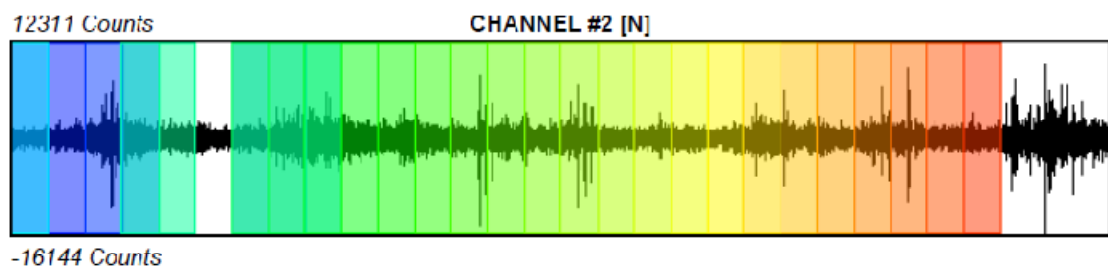
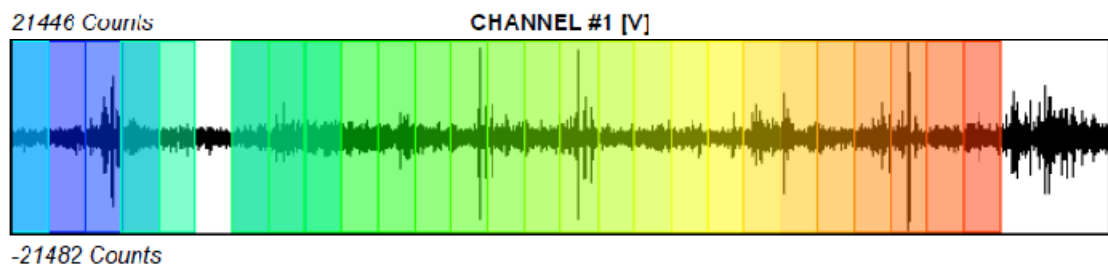
Recording start time: 2021/05/28 13:43:42

Recording length: 19.98 min

Windows count: 31

Average windows length: 40

Signal coverage: 103.42%



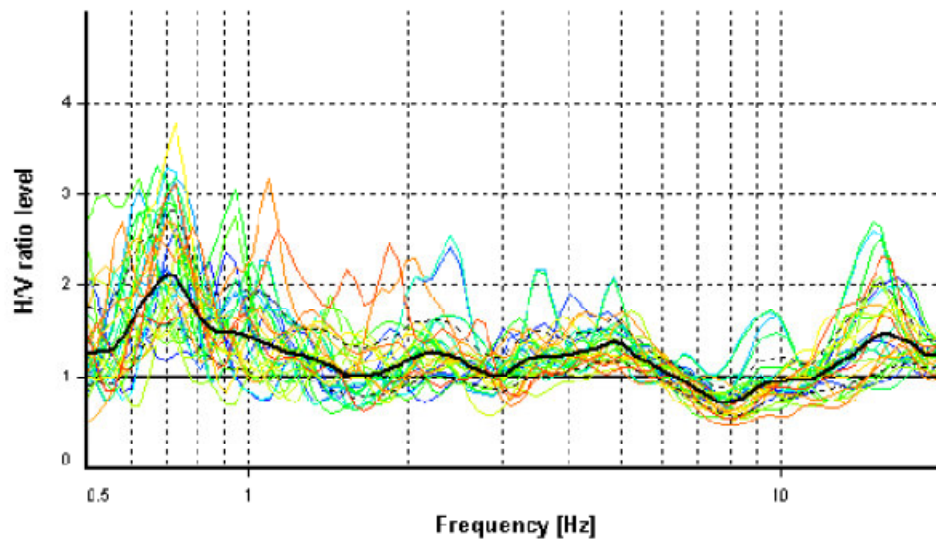
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

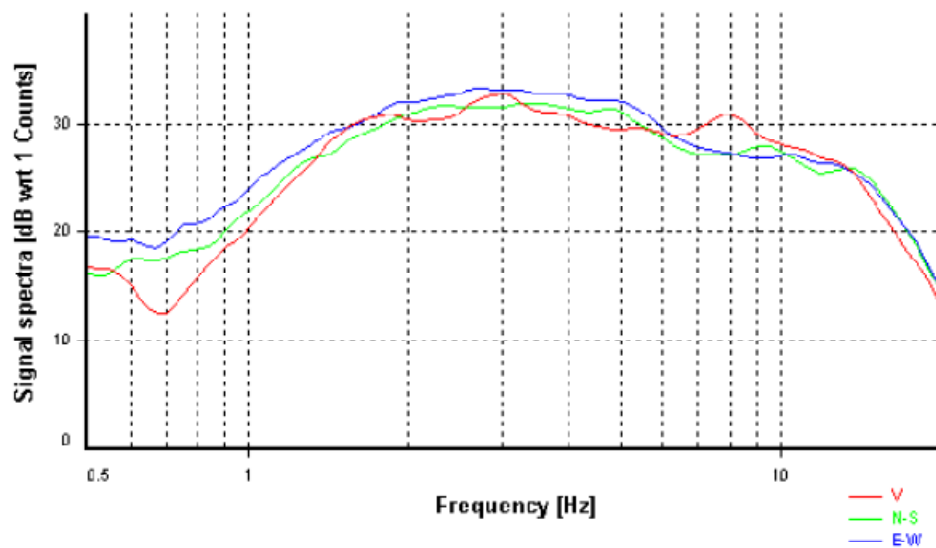
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

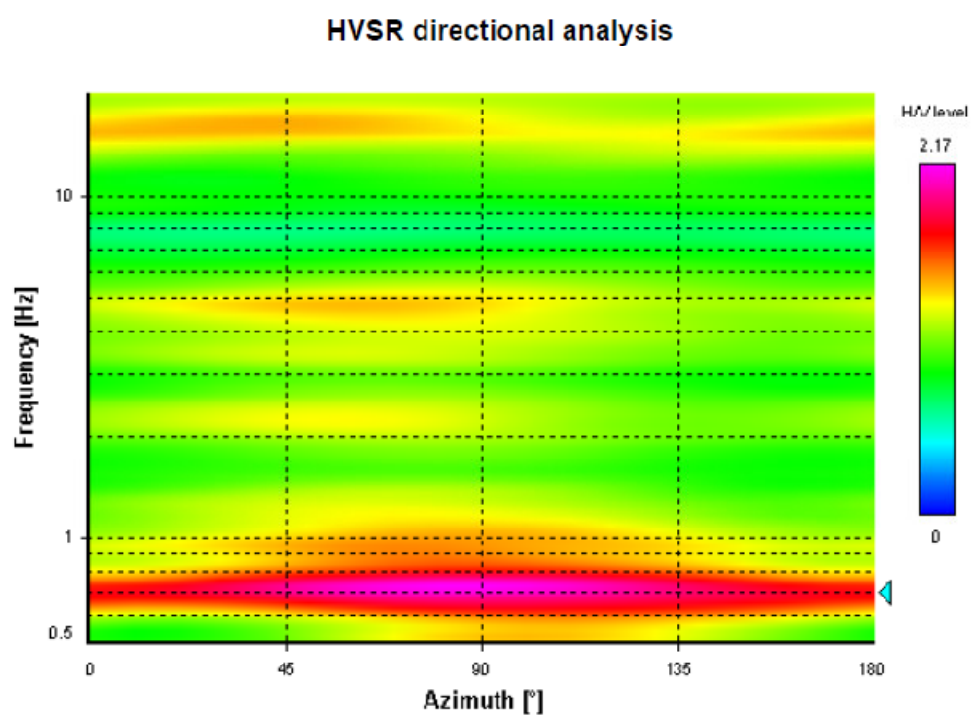
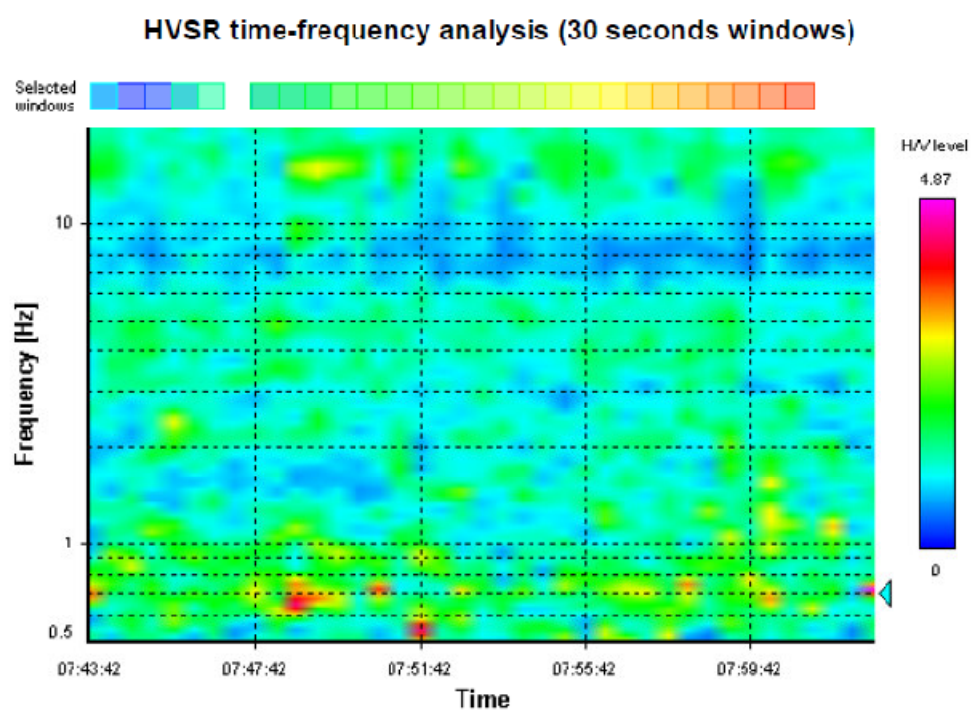
Instrumental correction: Disabled

HVSR average



Signal spectra average





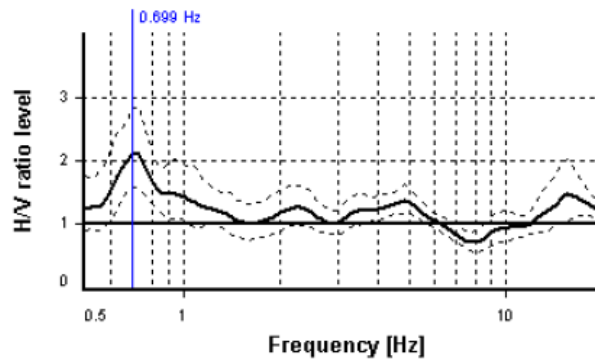
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.699 Hz

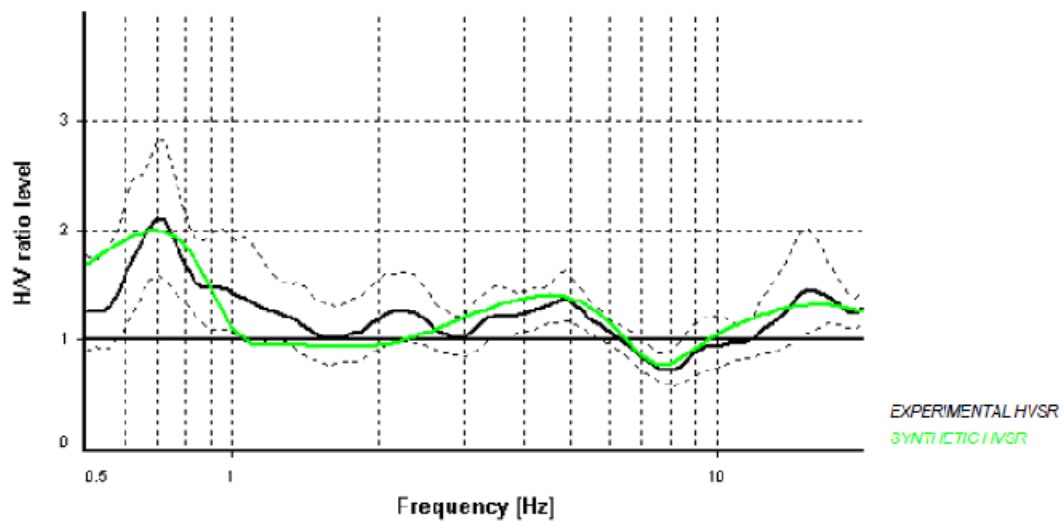
A_0 amplitude = 2.115

Average $f_0 = 0.710 \pm 0.089$

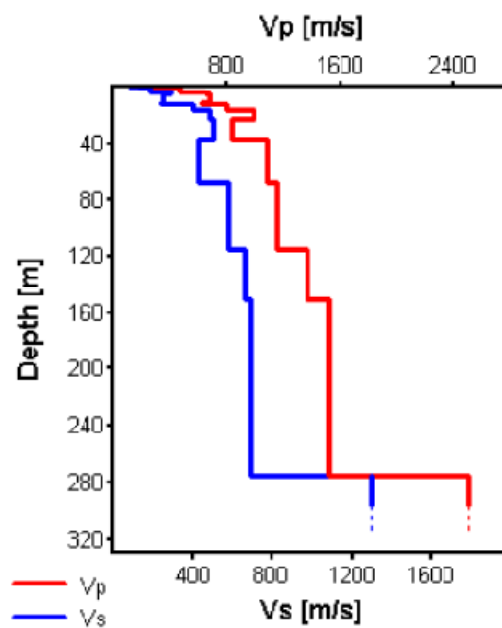


HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	31 valid windows (length > 14.3 s) out of 31	OK
$n_c(f_0) > 200$	867.03 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 28	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.52912 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.11 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.8% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08867 < 0.10488	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.33824 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Synthetic HVSR modelling



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
0.5	0.5	188	80	1850
0.7	1.2	313	130	2020
2.2	3.4	457	180	2250
1.8	5.2	638	290	2190
6	11.2	673	250	2070
1	12.2	612	240	1950
5	17.2	793	400	2190
5	22.2	989	480	2110
15	37.2	831	500	2210
30	67.2	1065	420	2130
48	115.2	1152	580	2300
35	150.2	1361	660	2350
125	275.2	1523	690	2450
-	> 275.2	2500	1300	2500



Vs_{eq 31} = 342 m/s (Offset = 1 m)

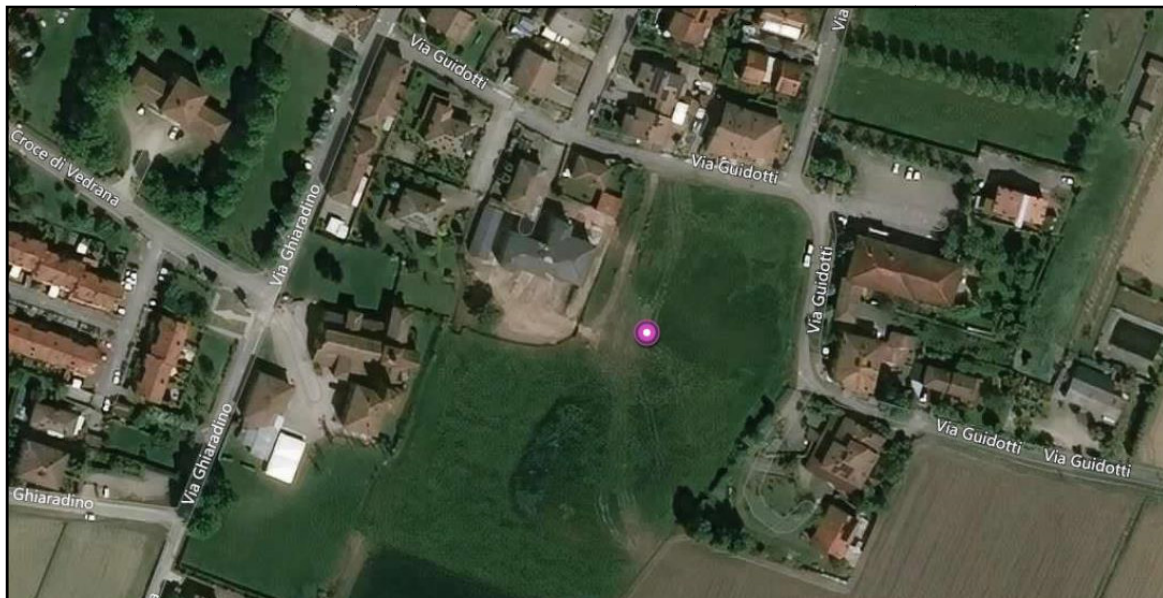
Appendice 4

Spettri di risposta sismica
II^ Livello
(Spettri di Normativa)

PERICOLOSITÀ SISMICA

Data:

27/06/2021



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

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

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 44,5556412 [°]
Longitudine (WGS84): 11,5764608 [°]
Latitudine (ED50): 44,5565796 [°]
Longitudine (ED50): 11,5774488 [°]

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

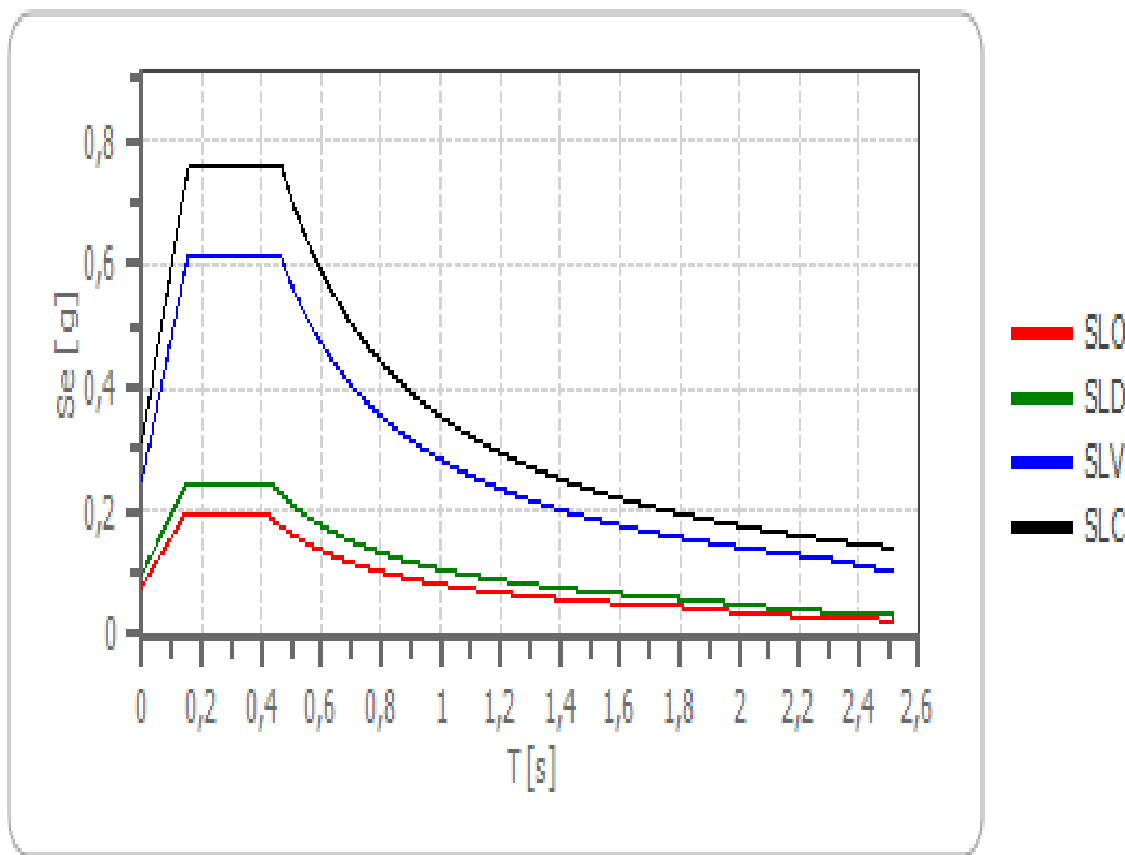
Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,052	2,463	0,259	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,425	1,809	0,078	0,193
SLD	1,0	0,065	2,470	0,273	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,146	0,439	1,861	0,098	0,242
SLV	1,0	0,174	2,455	0,293	1,440	1,580	1,000	1,440	1,000	0,154	0,462	2,295	0,250	0,614
SLC	1,0	0,228	2,433	0,296	1,370	1,570	1,000	1,370	1,000	0,155	0,465	2,513	0,313	0,761

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

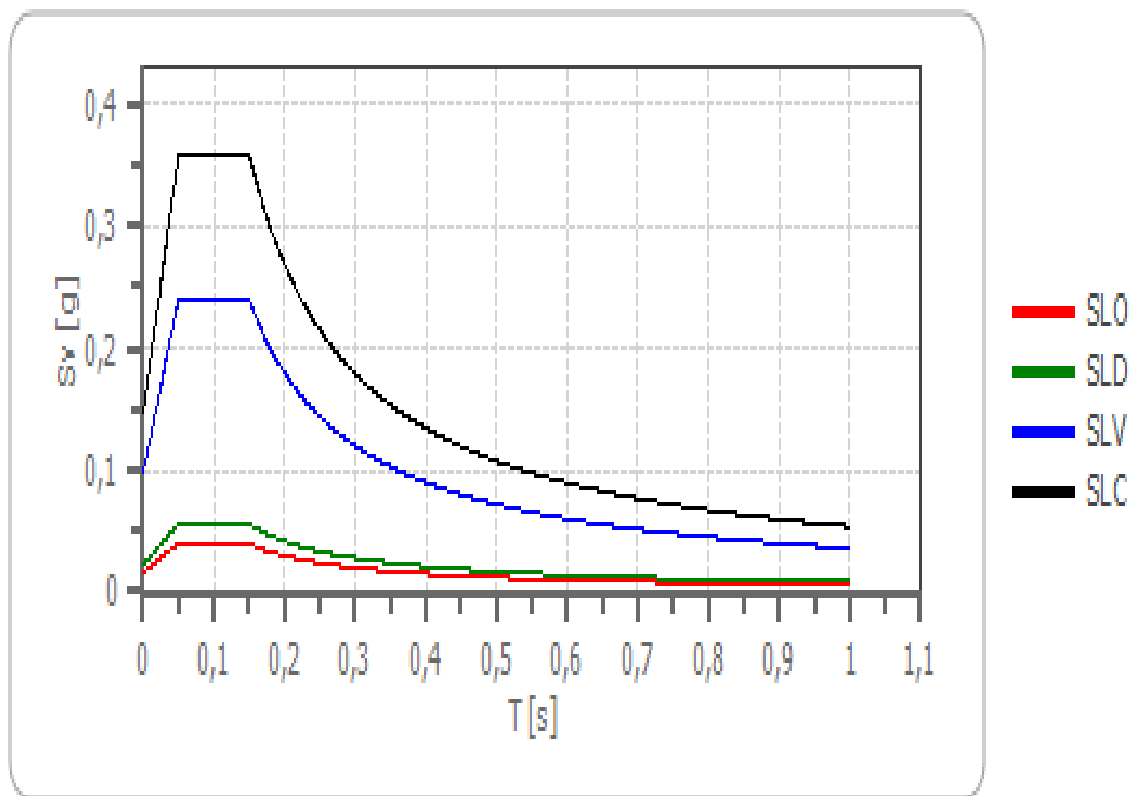
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:

1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,052	2,463	0,259	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,040
SLD	1,0	0,065	2,470	0,273	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,023	0,056
SLV	1,0	0,174	2,455	0,293	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,098	0,240
SLC	1,0	0,228	2,433	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,147	0,358

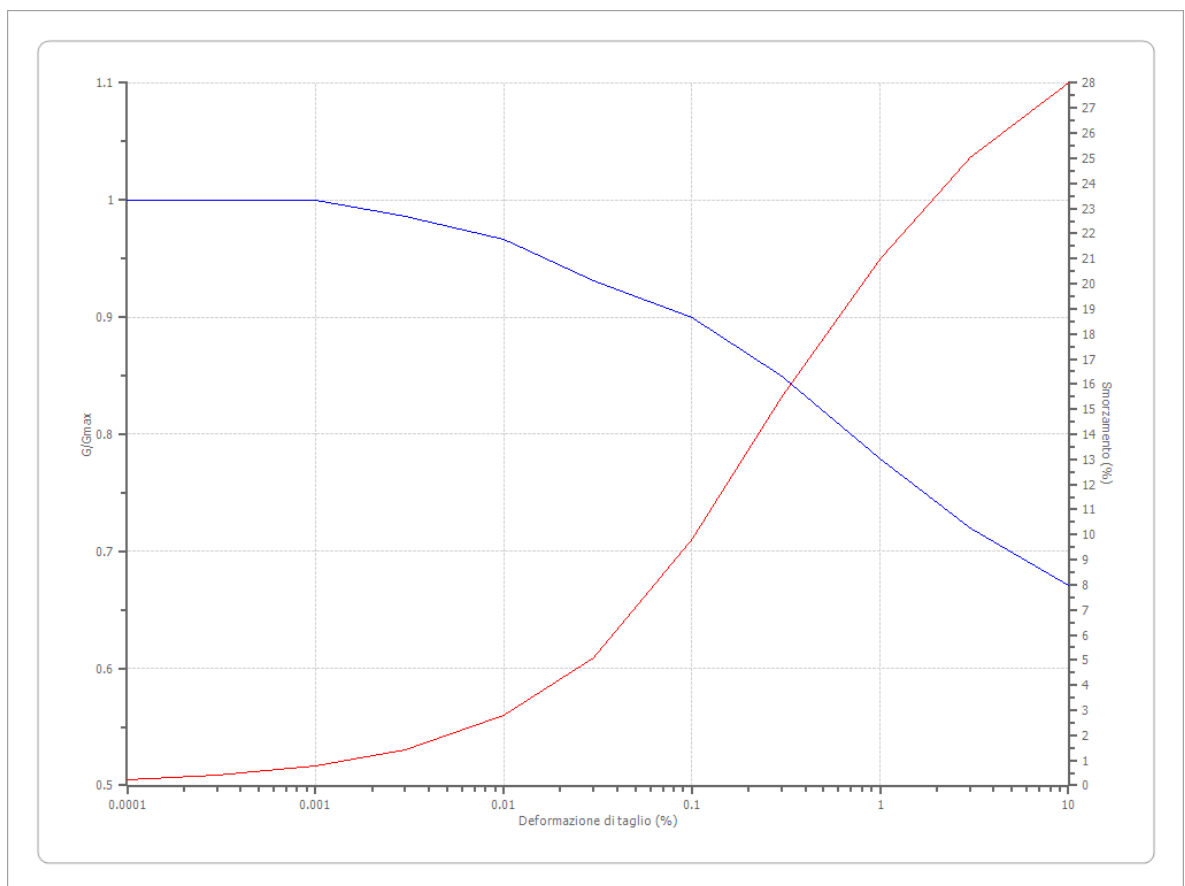
Appendice 5

Spettri di risposta sismica
III^ Livello
(Spettri di Risposta Sismica Locale)

Dati Generali

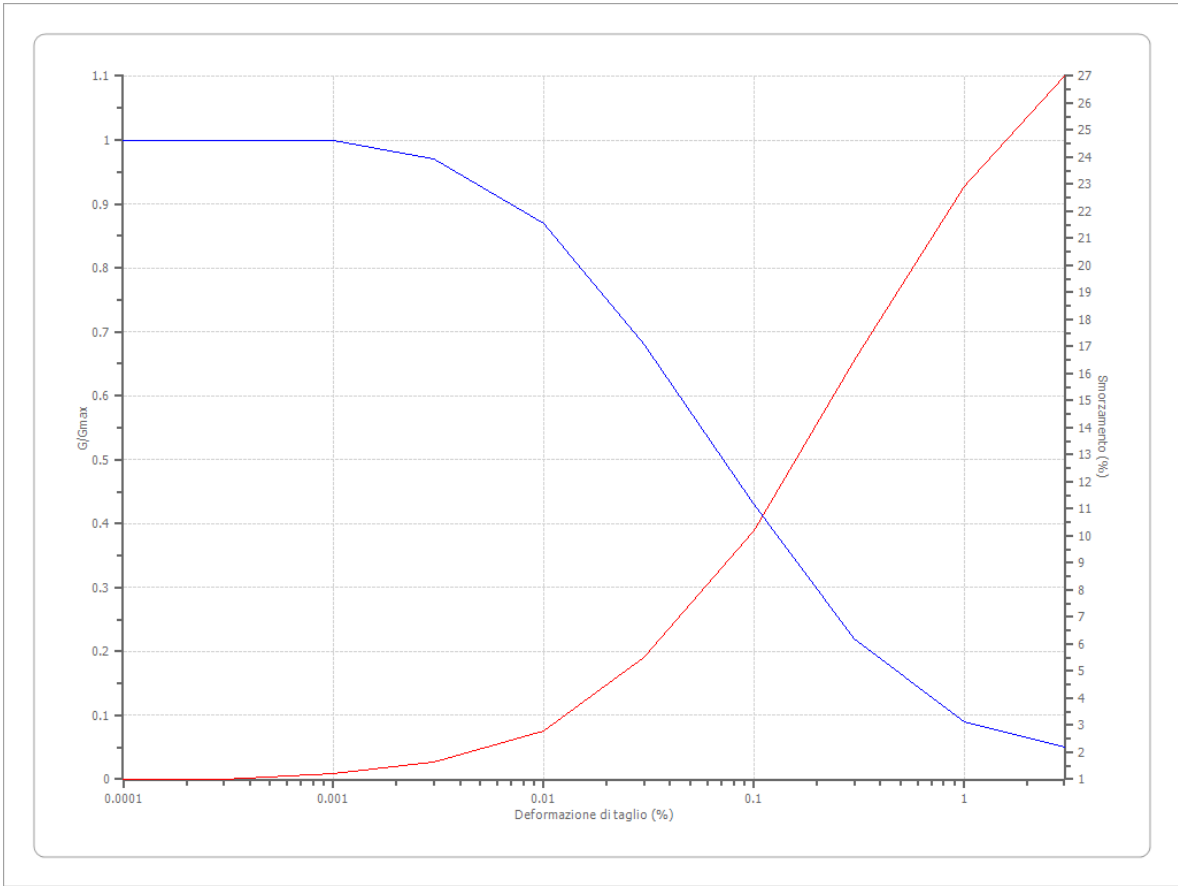
Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

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



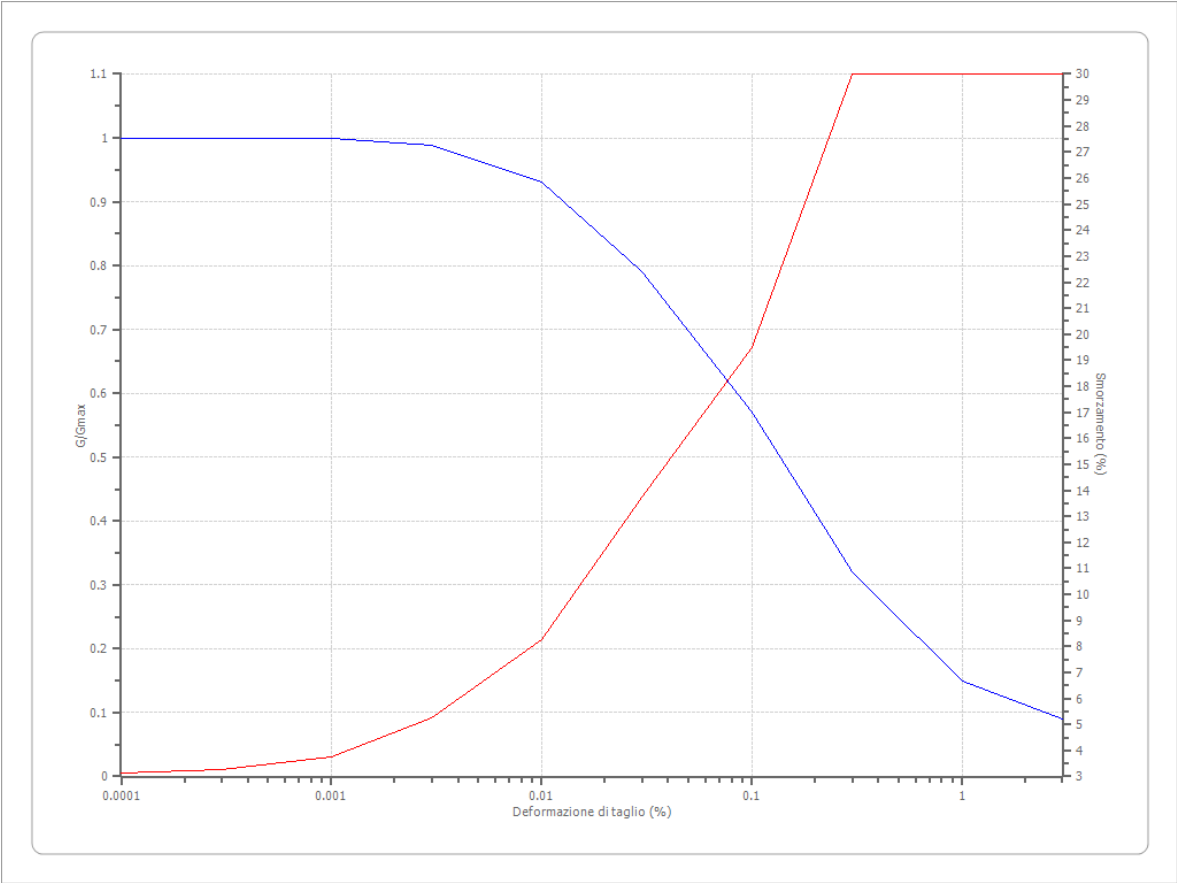
EPRI Sand (1993) 15,54-36,57 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0,0001	1,000	0,0001	1,000
0,0003	1,000	0,0003	1,000
0,001	1,000	0,001	1,200
0,003	0,970	0,003	1,640
0,010	0,870	0,010	2,800
0,030	0,680	0,030	5,490
0,100	0,430	0,100	10,200
0,300	0,220	0,300	16,500
1,000	0,090	1,000	22,900
3,000	0,050	3,000	27,000



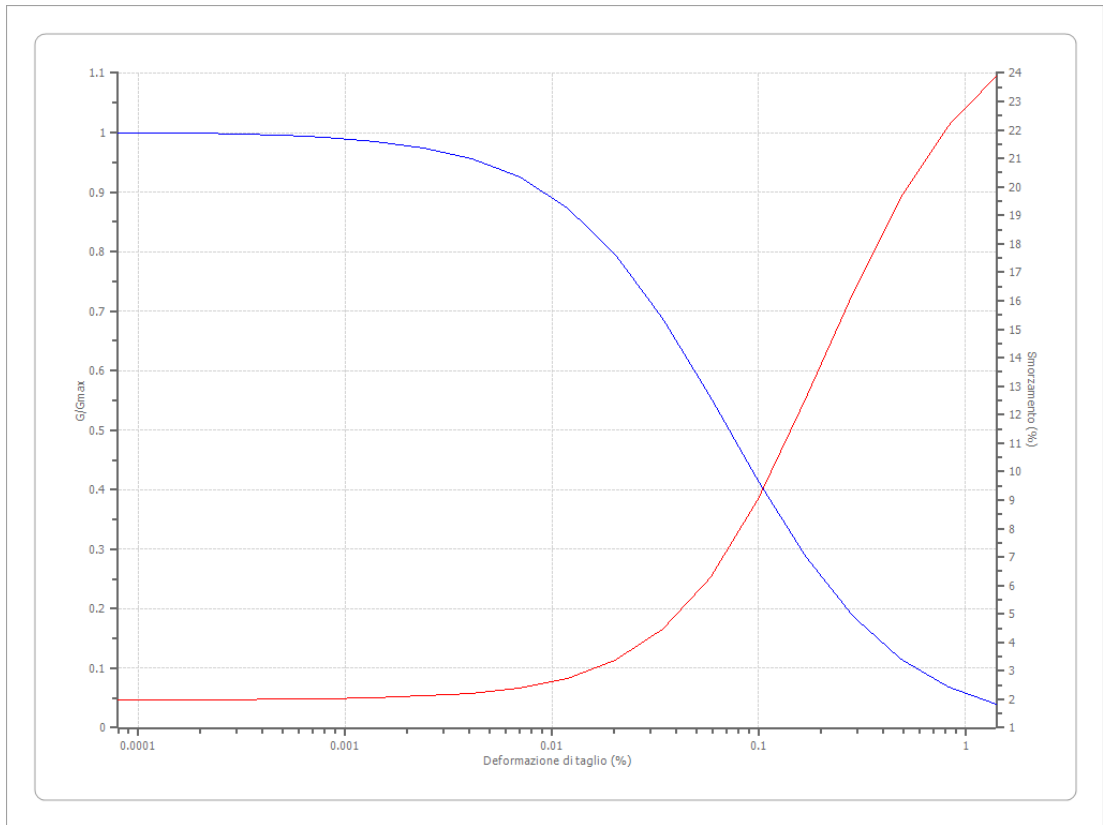
EPRI Rock (1993) 152,70-304,80 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0,0001	1,000	0,0001	3,130
0,0003	1,000	0,0003	3,270
0,001	1,000	0,001	3,750
0,003	0,988	0,003	5,250
0,010	0,930	0,010	8,250
0,030	0,791	0,030	13,750
0,100	0,570	0,100	19,500
0,300	0,321	0,300	30,000
1,000	0,150	1,000	30,000
3,000	0,090	3,000	30,000



Lombardia - Limi sabbiosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0,00008	1,000	0,00008	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	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	γ_n [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Terreno agrario	--	0,5	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	12,07	--	18,5	80	4,6
2	Argilla	0,5	0,7	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	34,8	--	20,2	130	16,3
3	Argilla	1,2	2,2	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	74,31	--	22,5	180	48,1
4	Limo sabbioso	3,4	1,8	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	187,75	--	21,9	290	92,6
5	Argilla	5,2	6	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	131,88	--	20,7	250	145
6	Sabbia	11,2	1	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	114,5	--	19,5	240	182,5
7	Argilla	12,2	5	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	357,19	--	21,9	400	217,6
8	Sabbia	17,2	5	EPRI Sand (1993) 15,54-36,57 metri	495,56	--	21,1	480	276
9	Argilla limosa	22,2	15	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	563,2	--	22,1	500	396,4
10	Sabbia	37,2	30	Lombardia - Limi sabbiosi	383,01	--	21,3	420	660,9
11	Argilla	67,2	48	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	788,71	--	23	580	1149,9
12	Argilla	115,2	35	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	1043,49	--	23,5	660	1706
13	Argilla	150,2	125	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	1189,04	--	24,5	690	2863,7
14	Bedrock sismico	oo	--	EPRI Rock (1993) 152,70-304,80 metri	4306,83	--	25	1300	3781,8

Strato con falda:

4

Strato rilevamento accelerogramma:

14 Interno

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
0.00 [m]	0.00 [m]	0.00 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
0.50 [m]	0.50 [m]	0.50 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
1.20 [m]	1.20 [m]	1.20 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
3.40 [m]	3.40 [m]	3.40 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
5.20 [m]	5.20 [m]	5.20 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
15.00 [m]	15.00 [m]	15.00 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
30.00 [m]	30.00 [m]	30.00 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
67.20 [m]	67.20 [m]	67.20 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
115.20 [m]	115.20 [m]	115.20 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
150.20 [m]	150.20 [m]	150.20 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
275.20 [m]	275.20 [m]	275.20 [m]	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]
oo	oo	oo	0.00 [m/s]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]	0.00 [kPa]

Elaborazione

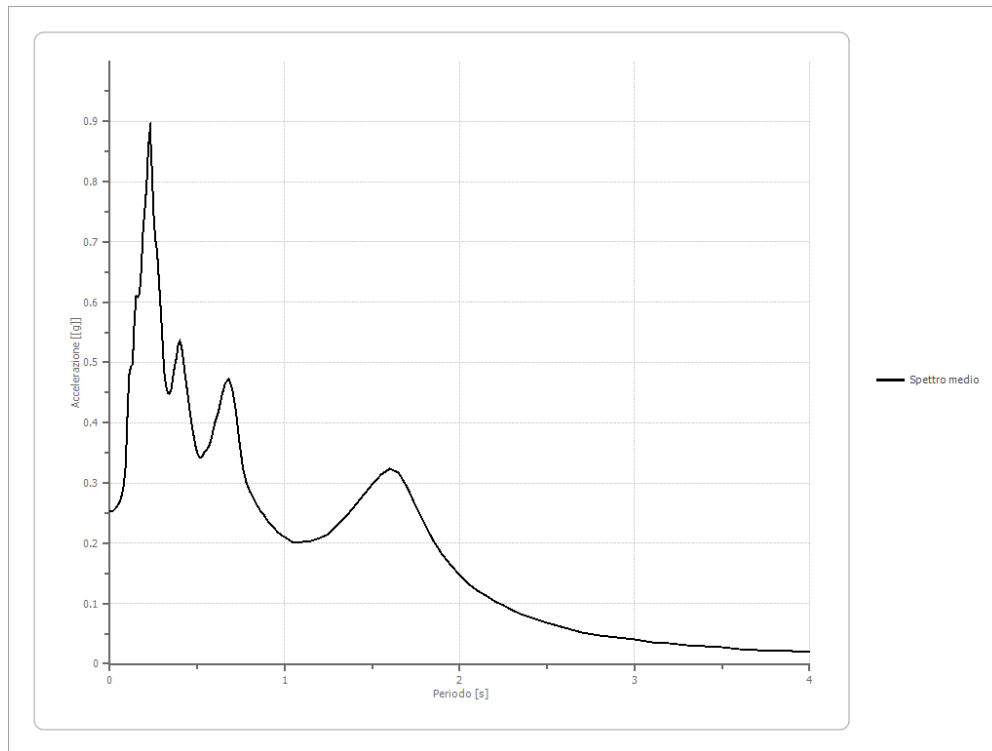
Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0,5
 Tipo di modulo elastico Shake 91
 Massimo errore percentuale di convergenza 3,88 E-04

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0,160 [s]
Tvi	0,980 [s]
Tao	0,230 [s]
Tvo	1,650 [s]
Sami	2,203 [m/s ²]
Svmi	0,125 [m/s]
Samo	6,241 [m/s ²]
Svmo	0,685 [m/s]
Fa	2,833 [-]
Fv	5,471 [-]
TB	0,230 [s]
TC	0,690 [s]
TD	2,543 [s]
SA(0)	0,236 [g]
SA(TB)	0,636 [g]

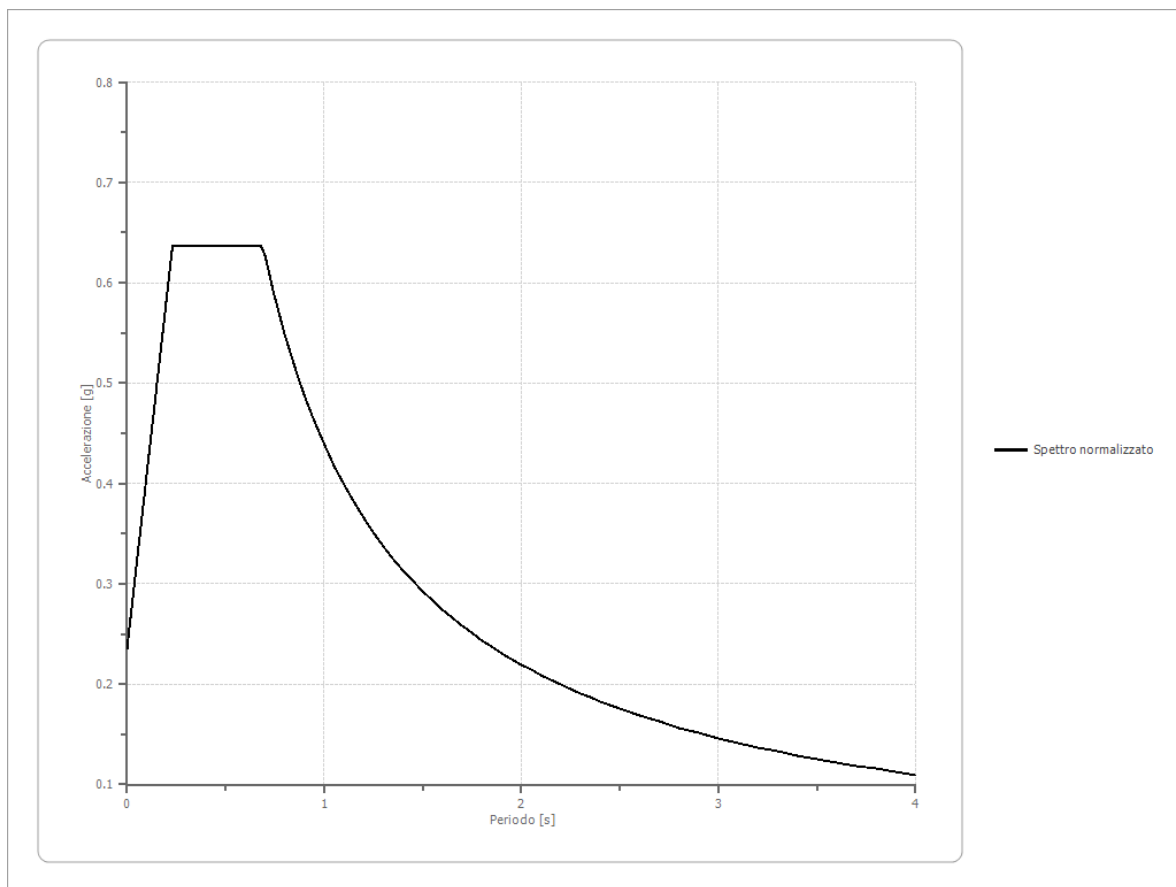
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0,00	0,2532	0,26	0,7042	0,52	0,3419	0,98	0,2142	2,25	0,0967
0,01	0,2532	0,27	0,6845	0,53	0,3450	1,00	0,2101	2,30	0,0892
0,02	0,2545	0,28	0,6370	0,54	0,3504	1,05	0,2014	2,35	0,0827
0,03	0,2568	0,29	0,5924	0,55	0,3540	1,10	0,2027	2,40	0,0782
0,04	0,2602	0,30	0,5410	0,56	0,3583	1,15	0,2042	2,50	0,0683
0,05	0,2650	0,31	0,4850	0,57	0,3647	1,20	0,2083	2,60	0,0592
0,06	0,2715	0,32	0,4630	0,58	0,3733	1,25	0,2155	2,70	0,0526
0,07	0,2817	0,33	0,4493	0,60	0,3996	1,30	0,2294	2,80	0,0477
0,08	0,2979	0,34	0,4484	0,62	0,4173	1,35	0,2451	2,90	0,0435
0,09	0,3273	0,35	0,4539	0,64	0,4448	1,40	0,2624	3,00	0,0398
0,10	0,4098	0,36	0,4741	0,66	0,4667	1,45	0,2800	3,10	0,0364
0,11	0,4791	0,37	0,4932	0,68	0,4722	1,50	0,2975	3,20	0,0333
0,12	0,4931	0,38	0,5066	0,70	0,4561	1,55	0,3134	3,30	0,0307
0,13	0,4965	0,39	0,5296	0,72	0,4205	1,60	0,3239	3,40	0,0287
0,14	0,5682	0,40	0,5354	0,74	0,3691	1,65	0,3173	3,50	0,0267
0,15	0,6105	0,41	0,5253	0,76	0,3258	1,70	0,2935	3,60	0,0249
0,16	0,6076	0,42	0,5039	0,78	0,3006	1,75	0,2613	3,70	0,0231
0,17	0,6152	0,43	0,4795	0,80	0,2862	1,80	0,2309	3,80	0,0216
0,18	0,6554	0,44	0,4581	0,82	0,2751	1,85	0,2035	3,90	0,0203
0,19	0,7193	0,45	0,4345	0,84	0,2638	1,90	0,1809	4,00	0,0192
0,20	0,7557	0,46	0,4118	0,86	0,2545	1,95	0,1633		
0,21	0,7938	0,47	0,3933	0,88	0,2471	2,00	0,1473		
0,22	0,8599	0,48	0,3768	0,90	0,2380	2,05	0,1325		
0,23	0,8867	0,49	0,3609	0,92	0,2319	2,10	0,1211		
0,24	0,8213	0,50	0,3488	0,94	0,2252	2,15	0,1125		
0,25	0,7461	0,51	0,3431	0,96	0,2192	2,20	0,1043		



Spettro normalizzato di risposta elastico

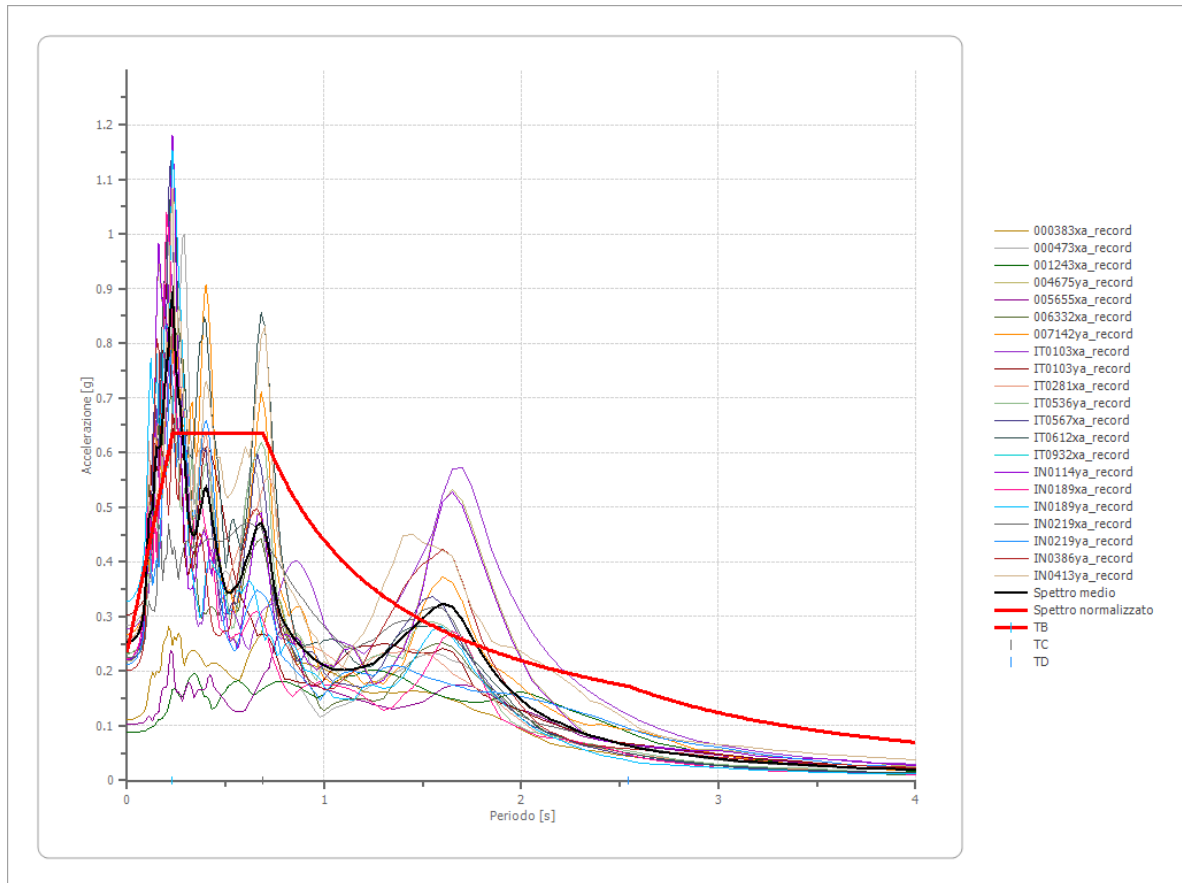
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0,00	0,2357	0,26	0,6362	0,52	0,6362	0,98	0,4477	2,25	0,1950
0,01	0,2532	0,27	0,6362	0,53	0,6362	1,00	0,4388	2,30	0,1908
0,02	0,2706	0,28	0,6362	0,54	0,6362	1,05	0,4179	2,35	0,1867
0,03	0,2880	0,29	0,6362	0,55	0,6362	1,10	0,3989	2,40	0,1828
0,04	0,3054	0,30	0,6362	0,56	0,6362	1,15	0,3816	2,50	0,1755
0,05	0,3228	0,31	0,6362	0,57	0,6362	1,20	0,3657	2,60	0,1688
0,06	0,3403	0,32	0,6362	0,58	0,6362	1,25	0,3510	2,70	0,1625
0,07	0,3577	0,33	0,6362	0,60	0,6362	1,30	0,3375	2,80	0,1567
0,08	0,3751	0,34	0,6362	0,62	0,6362	1,35	0,3250	2,90	0,1513
0,09	0,3925	0,35	0,6362	0,64	0,6362	1,40	0,3134	3,00	0,1463
0,10	0,4099	0,36	0,6362	0,66	0,6362	1,45	0,3026	3,10	0,1415
0,11	0,4274	0,37	0,6362	0,68	0,6362	1,50	0,2925	3,20	0,1371
0,12	0,4448	0,38	0,6362	0,70	0,6268	1,55	0,2831	3,30	0,1330
0,13	0,4622	0,39	0,6362	0,72	0,6094	1,60	0,2742	3,40	0,1291
0,14	0,4796	0,40	0,6362	0,74	0,5930	1,65	0,2659	3,50	0,1254
0,15	0,4970	0,41	0,6362	0,76	0,5773	1,70	0,2581	3,60	0,1219
0,16	0,5145	0,42	0,6362	0,78	0,5625	1,75	0,2507	3,70	0,1186
0,17	0,5319	0,43	0,6362	0,80	0,5485	1,80	0,2438	3,80	0,1155
0,18	0,5493	0,44	0,6362	0,82	0,5351	1,85	0,2372	3,90	0,1125
0,19	0,5667	0,45	0,6362	0,84	0,5224	1,90	0,2309	4,00	0,1097
0,20	0,5841	0,46	0,6362	0,86	0,5102	1,95	0,2250		
0,21	0,6016	0,47	0,6362	0,88	0,4986	2,00	0,2194		
0,22	0,6190	0,48	0,6362	0,90	0,4875	2,05	0,2140		
0,23	0,6362	0,49	0,6362	0,92	0,4769	2,10	0,2089		
0,24	0,6362	0,50	0,6362	0,94	0,4668	2,15	0,2041		
0,25	0,6362	0,51	0,6362	0,96	0,4571	2,20	0,1994		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0,236	2,698822	--	0,230	0,690	2,543	0,236	0,636	1,446

Confronto tra gli spettri

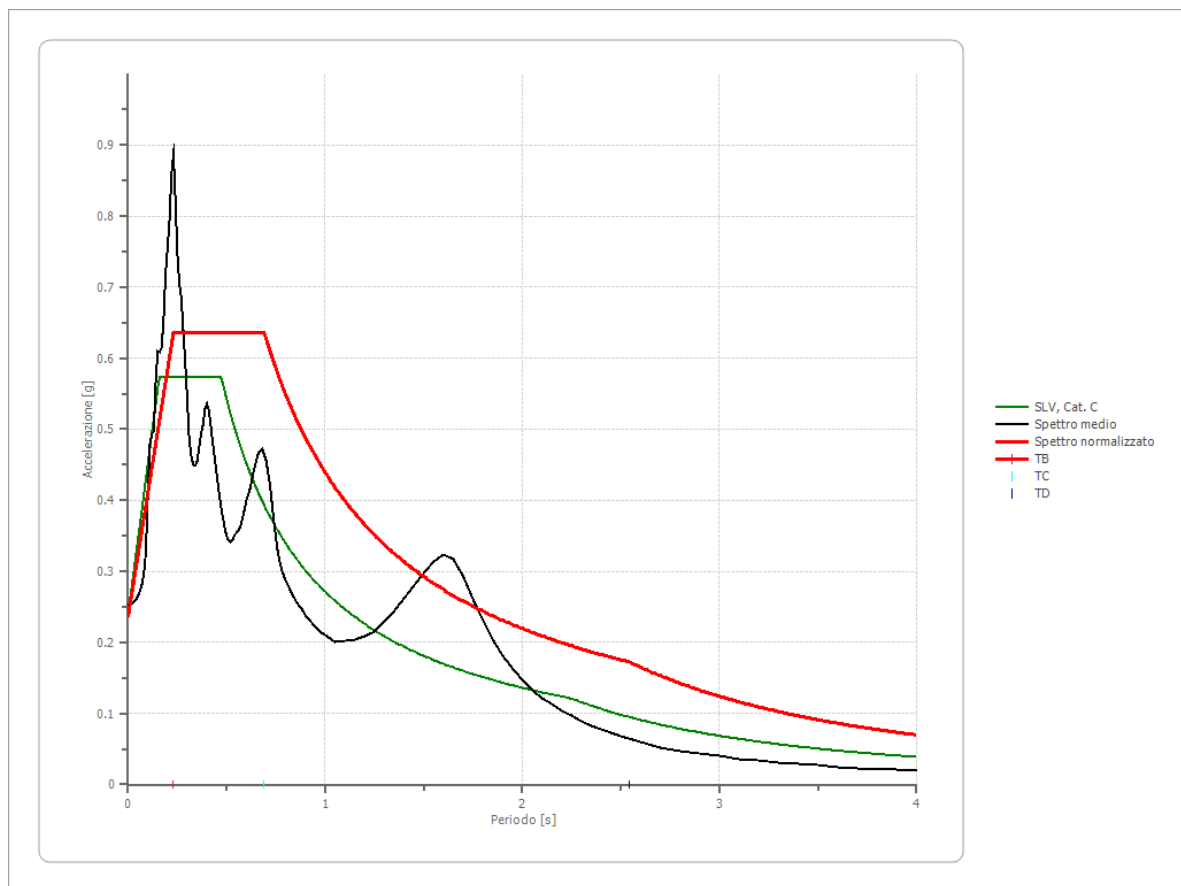


Stato Limite di Vita Componente Orizzontale

Confronto spettro normativa

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



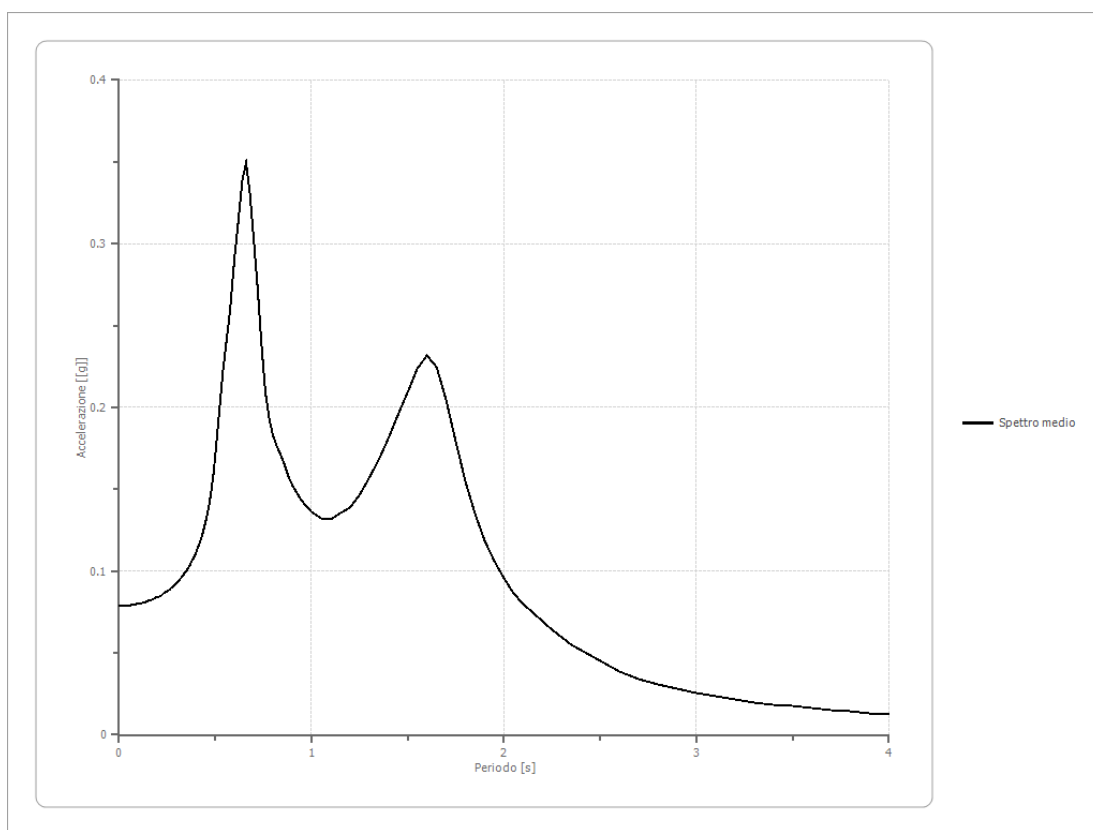
Stato Limite di Vita Componente Verticale

Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

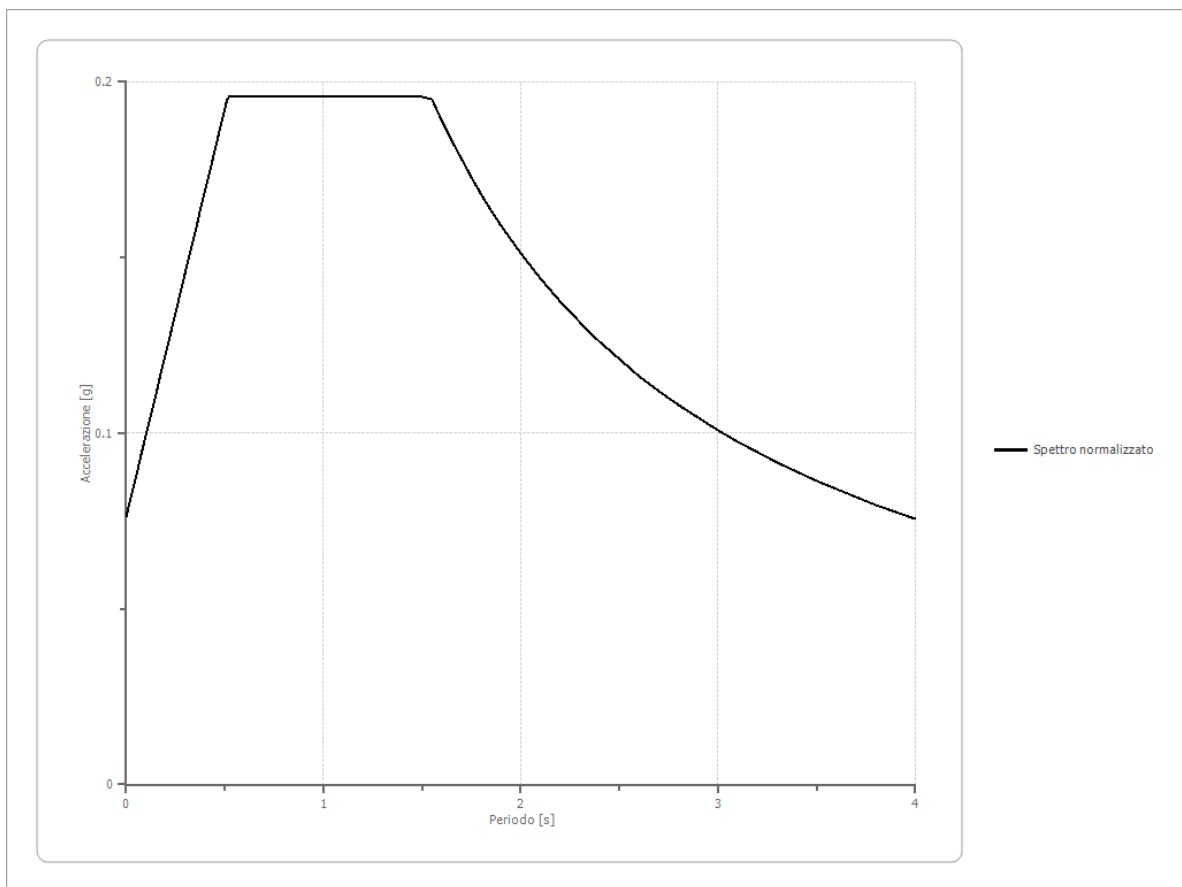
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0785	0.26	0.0887	0.52	0.1970	0.98	0.1390	2.25	0.0641
0.01	0.0785	0.27	0.0896	0.53	0.2102	1.00	0.1362	2.30	0.0593
0.02	0.0786	0.28	0.0907	0.54	0.2223	1.05	0.1320	2.35	0.0551
0.03	0.0786	0.29	0.0918	0.55	0.2327	1.10	0.1318	2.40	0.0518
0.04	0.0787	0.30	0.0929	0.56	0.2430	1.15	0.1352	2.50	0.0450
0.05	0.0788	0.31	0.0942	0.57	0.2521	1.20	0.1389	2.60	0.0388
0.06	0.0790	0.32	0.0956	0.58	0.2640	1.25	0.1469	2.70	0.0341
0.07	0.0792	0.33	0.0971	0.60	0.2923	1.30	0.1574	2.80	0.0307
0.08	0.0793	0.34	0.0986	0.62	0.3145	1.35	0.1684	2.90	0.0280
0.09	0.0796	0.35	0.1004	0.64	0.3385	1.40	0.1814	3.00	0.0256
0.10	0.0798	0.36	0.1022	0.66	0.3493	1.45	0.1960	3.10	0.0234
0.11	0.0801	0.37	0.1043	0.68	0.3303	1.50	0.2098	3.20	0.0213
0.12	0.0804	0.38	0.1065	0.70	0.3020	1.55	0.2242	3.30	0.0199
0.13	0.0807	0.39	0.1089	0.72	0.2727	1.60	0.2319	3.40	0.0186
0.14	0.0811	0.40	0.1116	0.74	0.2386	1.65	0.2248	3.50	0.0175
0.15	0.0815	0.41	0.1145	0.76	0.2092	1.70	0.2042	3.60	0.0163
0.16	0.0820	0.42	0.1178	0.78	0.1933	1.75	0.1784	3.70	0.0153
0.17	0.0824	0.43	0.1214	0.80	0.1829	1.80	0.1547	3.80	0.0143
0.18	0.0829	0.44	0.1257	0.82	0.1764	1.85	0.1351	3.90	0.0134
0.19	0.0835	0.45	0.1304	0.84	0.1709	1.90	0.1183	4.00	0.0126
0.20	0.0841	0.46	0.1358	0.86	0.1649	1.95	0.1062		
0.21	0.0847	0.47	0.1421	0.88	0.1581	2.00	0.0957		
0.22	0.0854	0.48	0.1497	0.90	0.1526	2.05	0.0865		
0.23	0.0861	0.49	0.1591	0.92	0.1487	2.10	0.0801		
0.24	0.0869	0.50	0.1709	0.94	0.1447	2.15	0.0744		
0.25	0.0878	0.51	0.1837	0.96	0.1416	2.20	0.0691		



Spettro normalizzato di risposta elastico

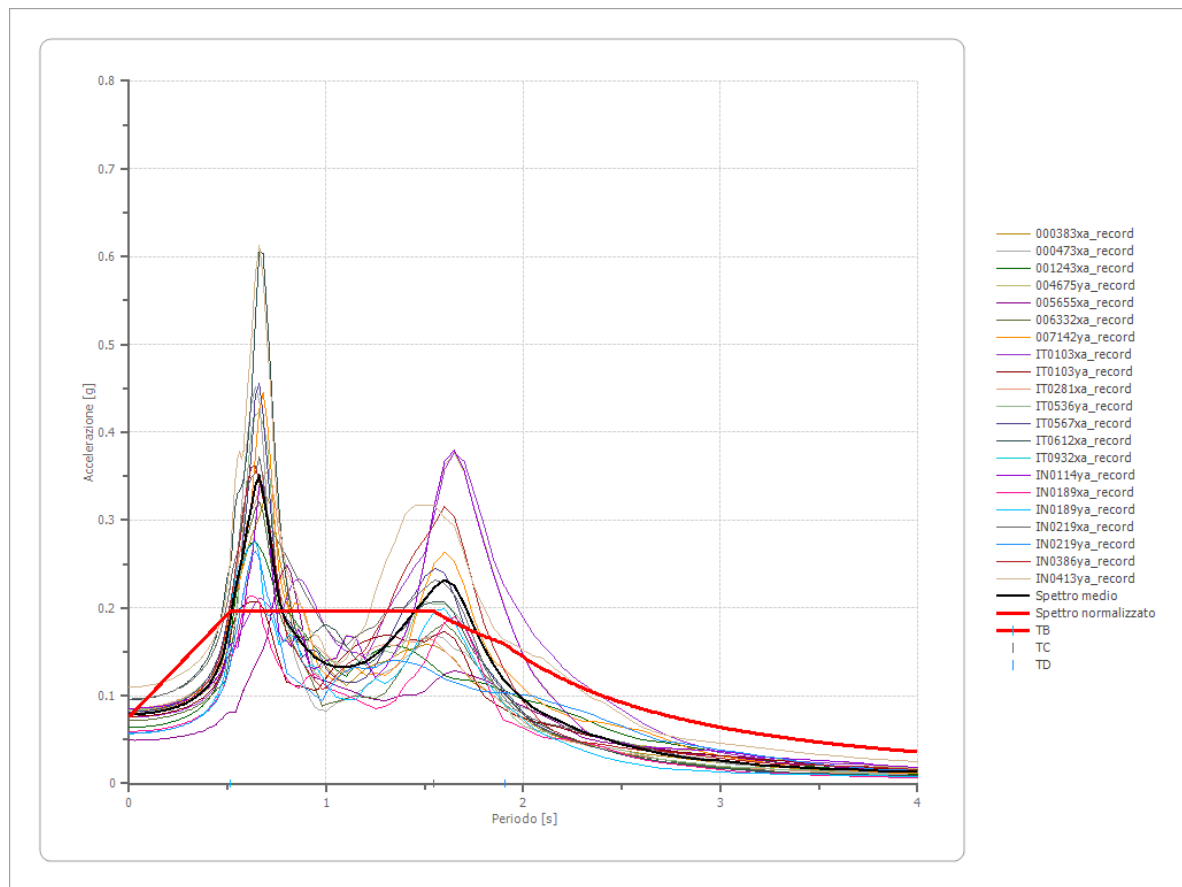
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0762	0.26	0.1366	0.52	0.1959	0.98	0.1959	2.25	0.1344
0.01	0.0785	0.27	0.1390	0.53	0.1959	1.00	0.1959	2.30	0.1315
0.02	0.0809	0.28	0.1413	0.54	0.1959	1.05	0.1959	2.35	0.1287
0.03	0.0832	0.29	0.1436	0.55	0.1959	1.10	0.1959	2.40	0.1260
0.04	0.0855	0.30	0.1459	0.56	0.1959	1.15	0.1959	2.50	0.1210
0.05	0.0878	0.31	0.1483	0.57	0.1959	1.20	0.1959	2.60	0.1163
0.06	0.0902	0.32	0.1506	0.58	0.1959	1.25	0.1959	2.70	0.1120
0.07	0.0925	0.33	0.1529	0.60	0.1959	1.30	0.1959	2.80	0.1080
0.08	0.0948	0.34	0.1552	0.62	0.1959	1.35	0.1959	2.90	0.1043
0.09	0.0971	0.35	0.1576	0.64	0.1959	1.40	0.1959	3.00	0.1008
0.10	0.0995	0.36	0.1599	0.66	0.1959	1.45	0.1959	3.10	0.0976
0.11	0.1018	0.37	0.1622	0.68	0.1959	1.50	0.1959	3.20	0.0945
0.12	0.1041	0.38	0.1645	0.70	0.1959	1.55	0.1951	3.30	0.0916
0.13	0.1064	0.39	0.1669	0.72	0.1959	1.60	0.1890	3.40	0.0890
0.14	0.1088	0.40	0.1692	0.74	0.1959	1.65	0.1833	3.50	0.0864
0.15	0.1111	0.41	0.1715	0.76	0.1959	1.70	0.1779	3.60	0.0840
0.16	0.1134	0.42	0.1738	0.78	0.1959	1.75	0.1728	3.70	0.0817
0.17	0.1157	0.43	0.1762	0.80	0.1959	1.80	0.1680	3.80	0.0796
0.18	0.1181	0.44	0.1785	0.82	0.1959	1.85	0.1635	3.90	0.0775
0.19	0.1204	0.45	0.1808	0.84	0.1959	1.90	0.1592	4.00	0.0756
0.20	0.1227	0.46	0.1831	0.86	0.1959	1.95	0.1551		
0.21	0.1250	0.47	0.1855	0.88	0.1959	2.00	0.1512		
0.22	0.1273	0.48	0.1878	0.90	0.1959	2.05	0.1475		
0.23	0.1297	0.49	0.1901	0.92	0.1959	2.10	0.1440		
0.24	0.1320	0.50	0.1924	0.94	0.1959	2.15	0.1407		
0.25	0.1343	0.51	0.1948	0.96	0.1959	2.20	0.1375		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.076	2.569991	--	0.515	1.544	1.905	0.076	0.196	0.468

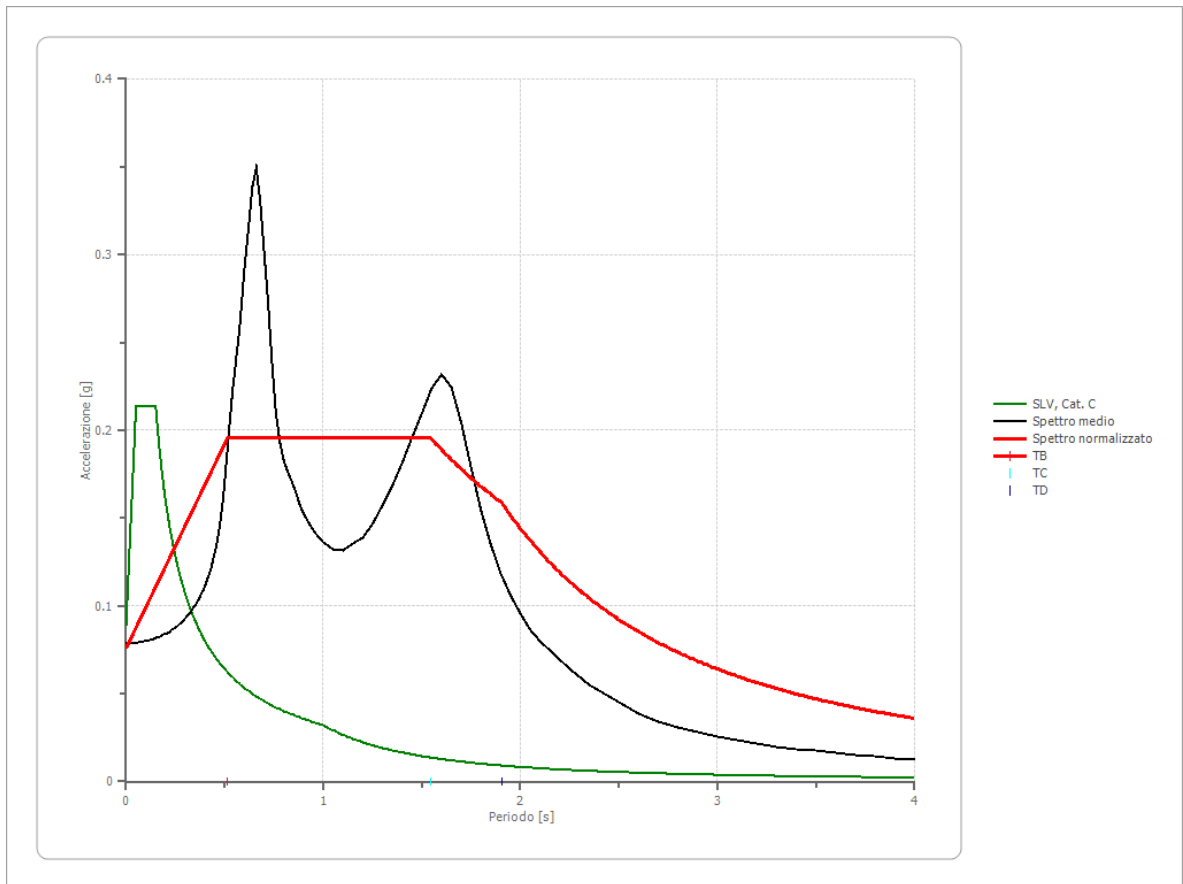
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

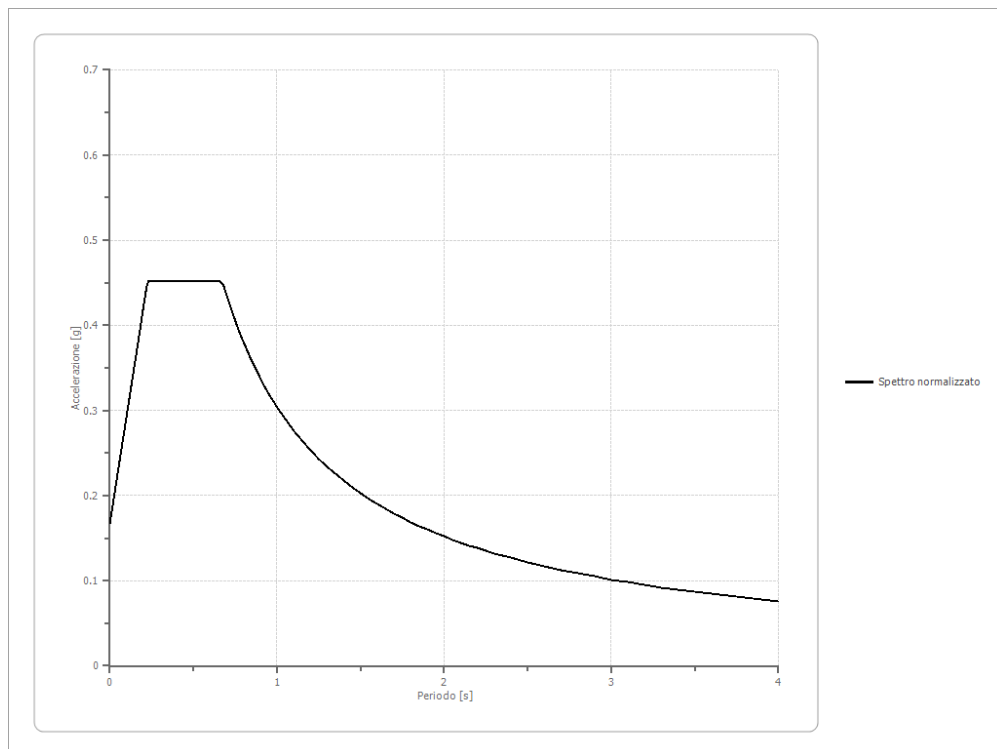
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.163	0.212
Fo	2.485	2.503	2.402	2.413
Tc* [s]	0.257	0.272	0.304	0.308
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	0.00	0.00	0.00	0.00
TB [s]	0.050	0.050	0.050	0.050
TC [s]	0.150	0.150	0.150	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

Spettro normalizzato di risposta elastico

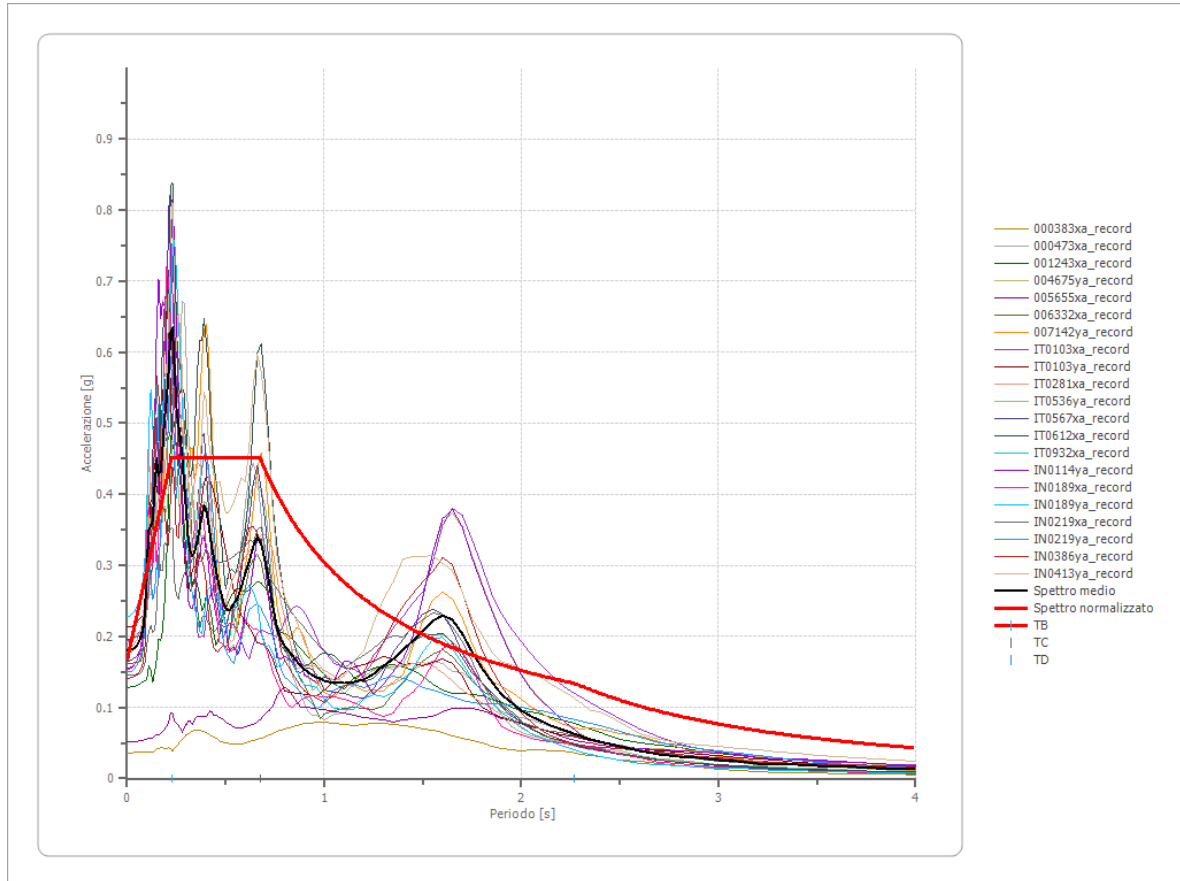
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1669	0.26	0.4511	0.52	0.4511	0.98	0.3102	2.25	0.1351
0.01	0.1796	0.27	0.4511	0.53	0.4511	1.00	0.3040	2.30	0.1322
0.02	0.1922	0.28	0.4511	0.54	0.4511	1.05	0.2896	2.35	0.1294
0.03	0.2049	0.29	0.4511	0.55	0.4511	1.10	0.2764	2.40	0.1267
0.04	0.2175	0.30	0.4511	0.56	0.4511	1.15	0.2644	2.50	0.1216
0.05	0.2302	0.31	0.4511	0.57	0.4511	1.20	0.2534	2.60	0.1169
0.06	0.2428	0.32	0.4511	0.58	0.4511	1.25	0.2432	2.70	0.1126
0.07	0.2555	0.33	0.4511	0.60	0.4511	1.30	0.2339	2.80	0.1086
0.08	0.2681	0.34	0.4511	0.62	0.4511	1.35	0.2252	2.90	0.1048
0.09	0.2808	0.35	0.4511	0.64	0.4511	1.40	0.2172	3.00	0.1013
0.10	0.2934	0.36	0.4511	0.66	0.4511	1.45	0.2097	3.10	0.0981
0.11	0.3061	0.37	0.4511	0.68	0.4471	1.50	0.2027	3.20	0.0950
0.12	0.3188	0.38	0.4511	0.70	0.4343	1.55	0.1962	3.30	0.0921
0.13	0.3314	0.39	0.4511	0.72	0.4223	1.60	0.1900	3.40	0.0894
0.14	0.3441	0.40	0.4511	0.74	0.4109	1.65	0.1843	3.50	0.0869
0.15	0.3567	0.41	0.4511	0.76	0.4001	1.70	0.1788	3.60	0.0845
0.16	0.3694	0.42	0.4511	0.78	0.3898	1.75	0.1737	3.70	0.0822
0.17	0.3820	0.43	0.4511	0.80	0.3801	1.80	0.1689	3.80	0.0800
0.18	0.3947	0.44	0.4511	0.82	0.3708	1.85	0.1643	3.90	0.0780
0.19	0.4073	0.45	0.4511	0.84	0.3620	1.90	0.1600	4.00	0.0760
0.20	0.4200	0.46	0.4511	0.86	0.3535	1.95	0.1559		
0.21	0.4326	0.47	0.4511	0.88	0.3455	2.00	0.1520		
0.22	0.4453	0.48	0.4511	0.90	0.3378	2.05	0.1483		
0.23	0.4511	0.49	0.4511	0.92	0.3305	2.10	0.1448		
0.24	0.4511	0.50	0.4511	0.94	0.3235	2.15	0.1414		
0.25	0.4511	0.51	0.4511	0.96	0.3167	2.20	0.1382		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.167	2.702617	--	0.225	0.674	2.268	0.167	0.451	2.650

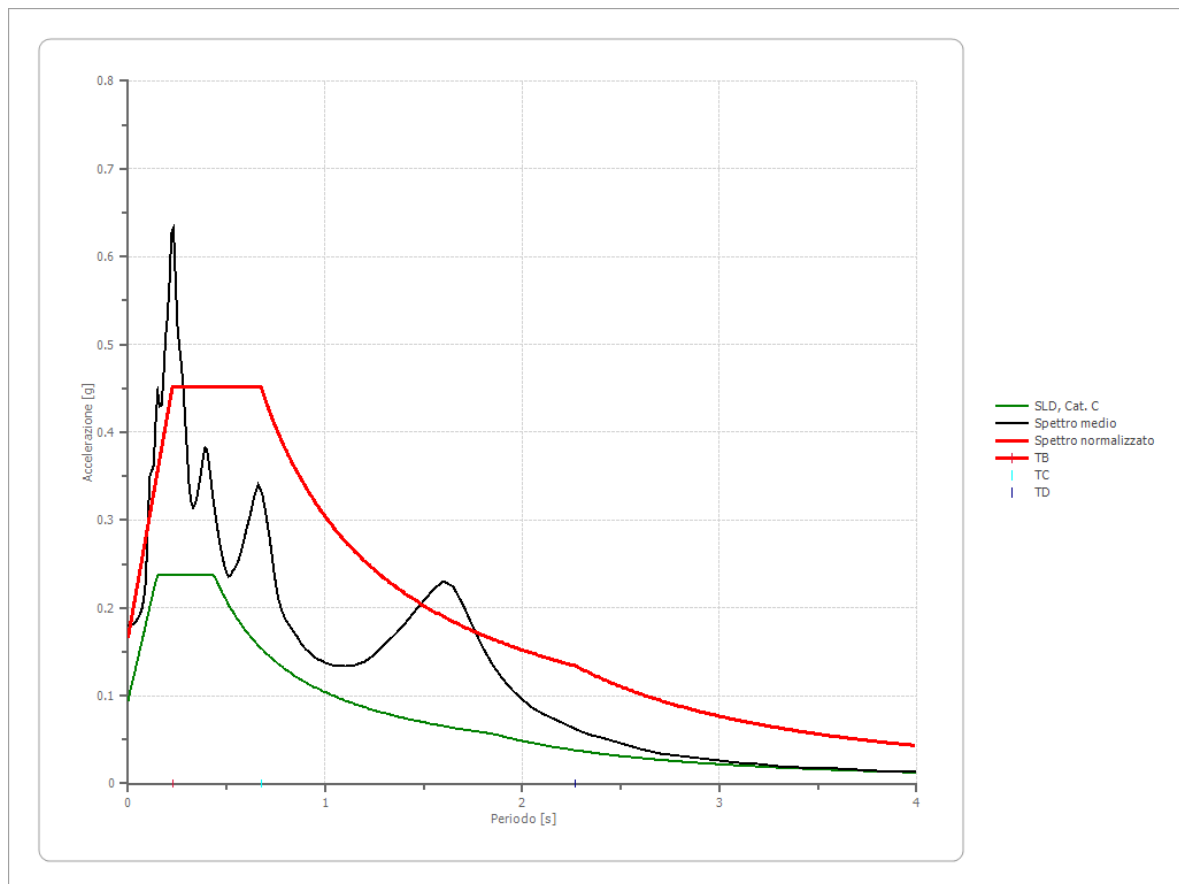
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

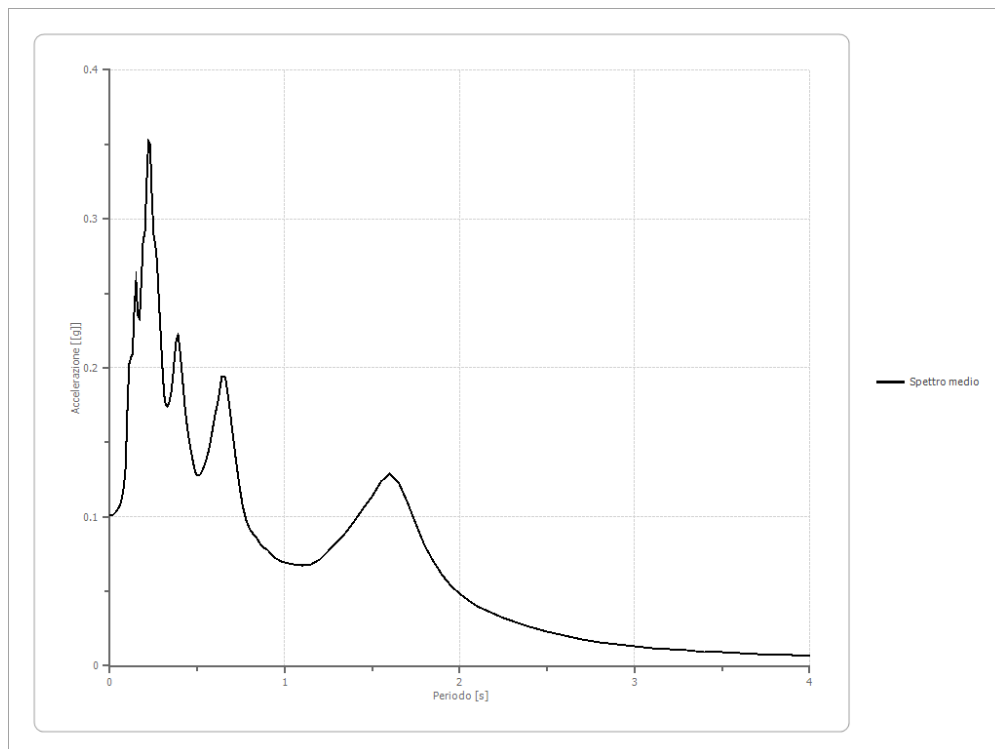
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.051	0.063	0.163	0.212
Fo	2.485	2.503	2.402	2.413
Tc* [s]	0.257	0.272	0.304	0.308
Ss	1.50	1.50	1.47	1.39
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.64	1.61	1.56	1.55
TB [s]	0.141	0.146	0.158	0.159
TC [s]	0.423	0.439	0.473	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

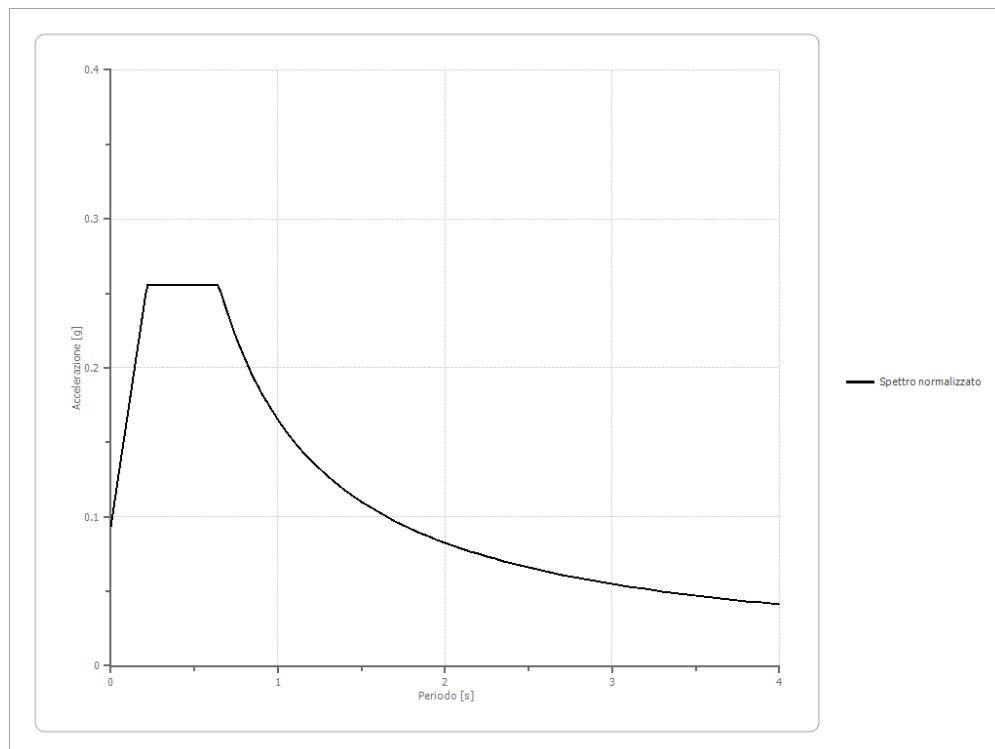
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1010	0.26	0.2827	0.52	0.1292	0.98	0.0701	2.25	0.0324
0.01	0.1010	0.27	0.2706	0.53	0.1318	1.00	0.0692	2.30	0.0299
0.02	0.1016	0.28	0.2454	0.54	0.1345	1.05	0.0681	2.35	0.0280
0.03	0.1026	0.29	0.2237	0.55	0.1381	1.10	0.0672	2.40	0.0264
0.04	0.1040	0.30	0.2009	0.56	0.1419	1.15	0.0683	2.50	0.0231
0.05	0.1060	0.31	0.1822	0.57	0.1471	1.20	0.0711	2.60	0.0200
0.06	0.1090	0.32	0.1745	0.58	0.1536	1.25	0.0771	2.70	0.0175
0.07	0.1134	0.33	0.1739	0.60	0.1677	1.30	0.0831	2.80	0.0157
0.08	0.1204	0.34	0.1776	0.62	0.1784	1.35	0.0894	2.90	0.0144
0.09	0.1334	0.35	0.1824	0.64	0.1943	1.40	0.0976	3.00	0.0132
0.10	0.1715	0.36	0.1933	0.66	0.1935	1.45	0.1060	3.10	0.0120
0.11	0.2021	0.37	0.2078	0.68	0.1774	1.50	0.1139	3.20	0.0110
0.12	0.2066	0.38	0.2191	0.70	0.1579	1.55	0.1238	3.30	0.0102
0.13	0.2097	0.39	0.2221	0.72	0.1386	1.60	0.1289	3.40	0.0094
0.14	0.2404	0.40	0.2129	0.74	0.1214	1.65	0.1232	3.50	0.0088
0.15	0.2584	0.41	0.1997	0.76	0.1069	1.70	0.1100	3.60	0.0084
0.16	0.2353	0.42	0.1857	0.78	0.0976	1.75	0.0948	3.70	0.0079
0.17	0.2329	0.43	0.1723	0.80	0.0918	1.80	0.0808	3.80	0.0074
0.18	0.2580	0.44	0.1623	0.82	0.0886	1.85	0.0698	3.90	0.0070
0.19	0.2853	0.45	0.1539	0.84	0.0856	1.90	0.0606	4.00	0.0066
0.20	0.2910	0.46	0.1466	0.86	0.0822	1.95	0.0539		
0.21	0.3233	0.47	0.1401	0.88	0.0793	2.00	0.0483		
0.22	0.3525	0.48	0.1339	0.90	0.0777	2.05	0.0436		
0.23	0.3500	0.49	0.1299	0.92	0.0754	2.10	0.0403		
0.24	0.3150	0.50	0.1279	0.94	0.0728	2.15	0.0376		
0.25	0.2895	0.51	0.1277	0.96	0.0713	2.20	0.0349		



Spettro normalizzato di risposta elastico

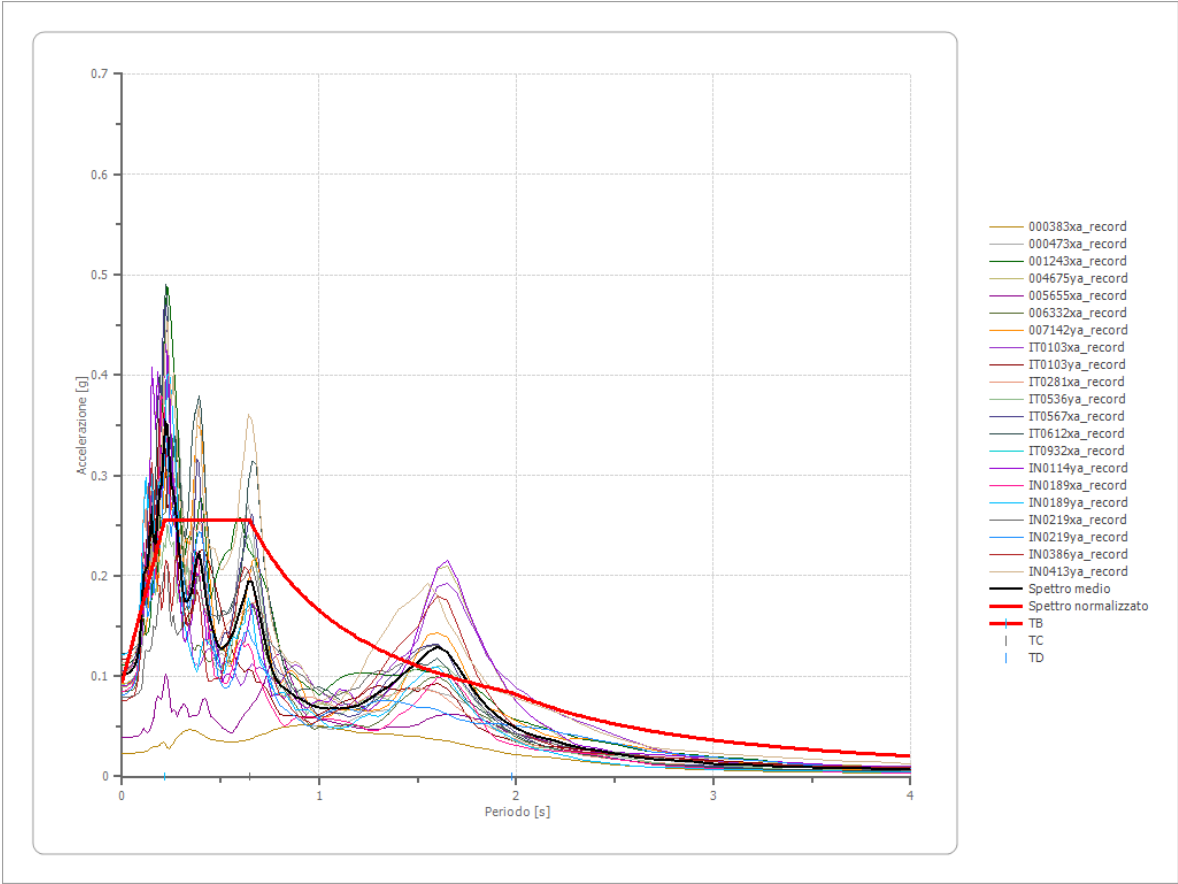
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0935	0.26	0.2552	0.52	0.2552	0.98	0.1686	2.25	0.0734
0.01	0.1010	0.27	0.2552	0.53	0.2552	1.00	0.1652	2.30	0.0718
0.02	0.1085	0.28	0.2552	0.54	0.2552	1.05	0.1574	2.35	0.0703
0.03	0.1160	0.29	0.2552	0.55	0.2552	1.10	0.1502	2.40	0.0688
0.04	0.1235	0.30	0.2552	0.56	0.2552	1.15	0.1437	2.50	0.0661
0.05	0.1310	0.31	0.2552	0.57	0.2552	1.20	0.1377	2.60	0.0636
0.06	0.1385	0.32	0.2552	0.58	0.2552	1.25	0.1322	2.70	0.0612
0.07	0.1460	0.33	0.2552	0.60	0.2552	1.30	0.1271	2.80	0.0590
0.08	0.1535	0.34	0.2552	0.62	0.2552	1.35	0.1224	2.90	0.0570
0.09	0.1610	0.35	0.2552	0.64	0.2552	1.40	0.1180	3.00	0.0551
0.10	0.1684	0.36	0.2552	0.66	0.2504	1.45	0.1140	3.10	0.0533
0.11	0.1759	0.37	0.2552	0.68	0.2430	1.50	0.1102	3.20	0.0516
0.12	0.1834	0.38	0.2552	0.70	0.2361	1.55	0.1066	3.30	0.0501
0.13	0.1909	0.39	0.2552	0.72	0.2295	1.60	0.1033	3.40	0.0486
0.14	0.1984	0.40	0.2552	0.74	0.2233	1.65	0.1001	3.50	0.0472
0.15	0.2059	0.41	0.2552	0.76	0.2174	1.70	0.0972	3.60	0.0459
0.16	0.2134	0.42	0.2552	0.78	0.2118	1.75	0.0944	3.70	0.0447
0.17	0.2209	0.43	0.2552	0.80	0.2065	1.80	0.0918	3.80	0.0435
0.18	0.2284	0.44	0.2552	0.82	0.2015	1.85	0.0893	3.90	0.0424
0.19	0.2359	0.45	0.2552	0.84	0.1967	1.90	0.0870	4.00	0.0413
0.20	0.2434	0.46	0.2552	0.86	0.1921	1.95	0.0847		
0.21	0.2509	0.47	0.2552	0.88	0.1878	2.00	0.0826		
0.22	0.2552	0.48	0.2552	0.90	0.1836	2.05	0.0806		
0.23	0.2552	0.49	0.2552	0.92	0.1796	2.10	0.0787		
0.24	0.2552	0.50	0.2552	0.94	0.1758	2.15	0.0769		
0.25	0.2552	0.51	0.2552	0.96	0.1721	2.20	0.0751		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.093	2.730276	--	0.216	0.647	1.974	0.093	0.255	1.484

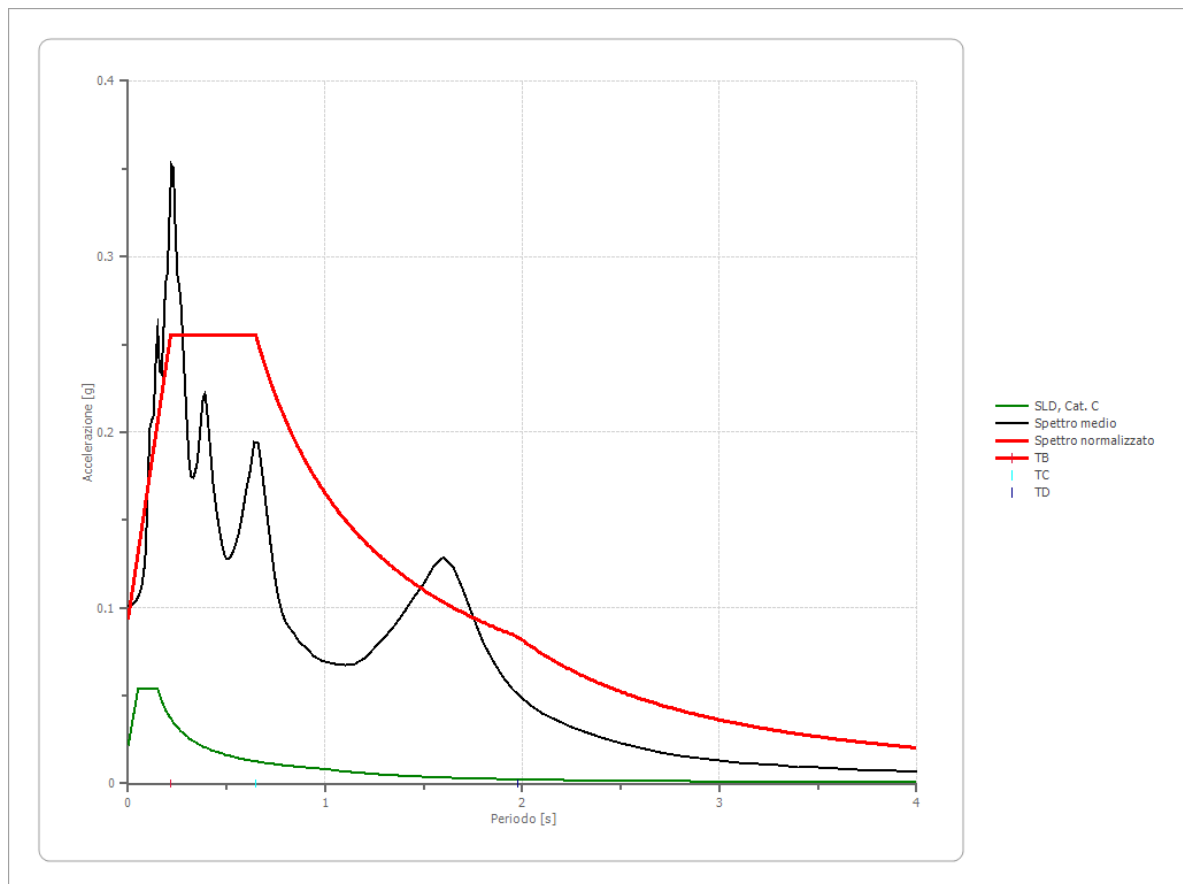
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

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 6

Calcolo della Suscettività
alla
Liquefazione dei terreni granulari

DATI GENERALI

Data 29/06/2021
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen, 2018

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA

Profondità falda idrica 3 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0,175

Fattore amplificazione 2,445

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza $V_{s30}=180-360$

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

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (M_w) 6

Distanza epicentro 10 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0,2625

Prova n°1

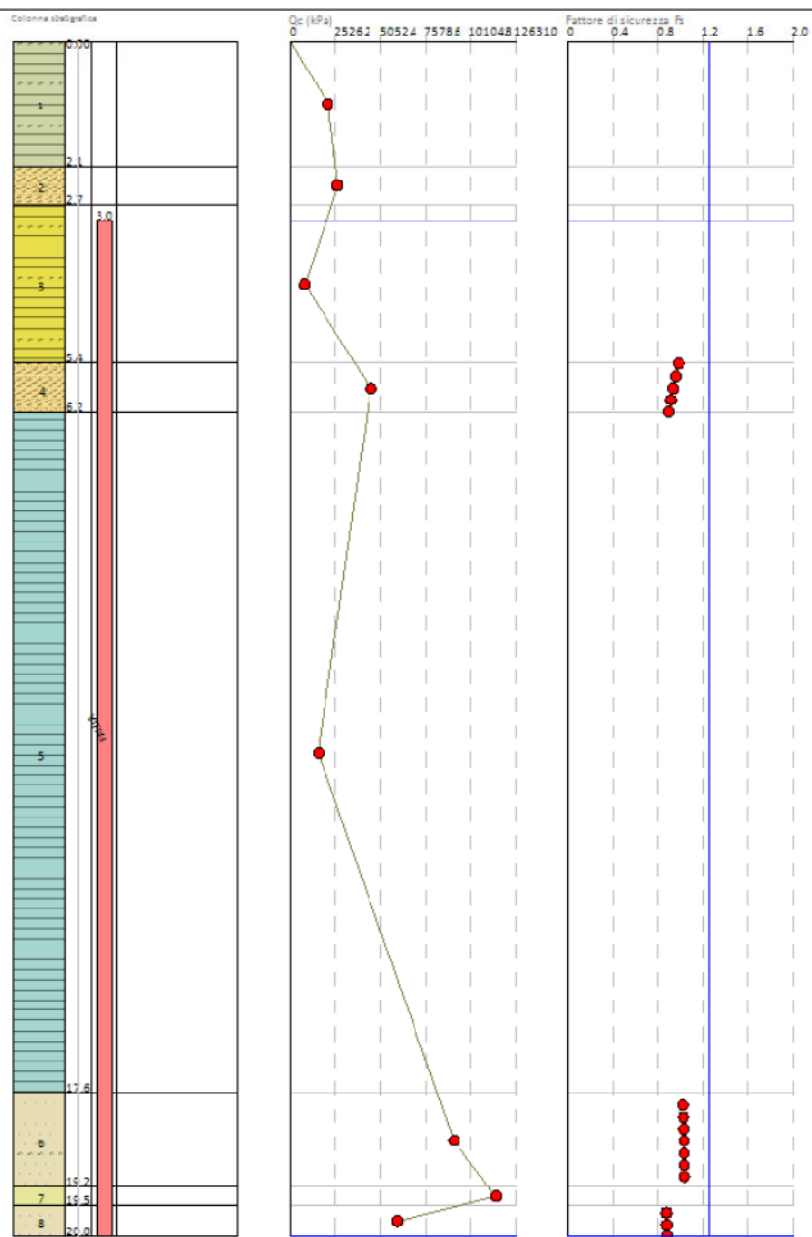
Studio Geotecnico Chili Giuliano
Via Bruno Bottau 4 - 40055 Castenaso (BO)
Tel. 051789568 - Mob. 3482661550
email giuliano.chili@gmail.com

Committente: SVG Immobiliare srl - de Vizio Costruzioni

Lavoro: PUA ANS .A.7

Località: Via Guidotti - Vedrana di Budrio

CPTu 1



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 limosa	0,00	2,08	2,06	21,01	2073,68	88,20
2	Limo sabbioso	2,08	2,74	2,20	22,44	2619,54	15,68
3	Argilla deb,limosa	2,74	5,38	1,88	19,18	773,22	19,60
4	Limo sabbioso	5,38	6,22	2,20	22,44	4492,32	36,26
5	Argilla	6,22	17,60	2,00	20,40	1568,00	79,38
6	Sabbia	17,60	19,18	2,20	22,44	9144,38	38,22
7	Sabbia	19,18	19,48	2,20	22,44	11482,66	32,34
8	Sabbia	19,48	20,00	2,20	22,44	5962,32	53,90

Correzione per la magnitudo (MSF)

1,09

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
1	3,2	10,062	8,1										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2	3,4	13,898	9,975										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3	3,6	17,734	11,85										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4	3,8	21,57	13,724										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5	4	25,406	15,599										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6	4,2	29,242	17,474										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7	4,4	33,078	19,348										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8	4,6	36,914	21,223										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9	4,8	40,75	23,098										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10	5	44,586	24,972										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11	5,2	48,422	26,847										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12	5,4	52,323	28,787	44,336	0,817	1,91	1,9483	121,837	0,937	0,184	0,291	0,985	Terreno suscettibile di liquefazione	Basso
13	5,6	56,811	31,314	44,336	0,817	1,924	1,87867	119,07	0,931	0,178	0,288	0,956	Terreno suscettibile di liquefazione	Basso
14	5,8	61,299	33,84	44,336	0,818	1,936	1,81491	116,522	0,926	0,172	0,286	0,931	Terreno suscettibile di liquefazione	Basso
15	6	65,787	36,367	44,336	0,819	1,948	1,7601	114,322	0,921	0,168	0,284	0,911	Terreno suscettibile di liquefazione	Basso
16	6,2	70,275	38,894	44,336	0,82	1,96	1,70528	112,105	0,915	0,164	0,282	0,891	Terreno suscettibile di liquefazione	Alto
17	6,4	74,396	41,053										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18	6,6	78,476	43,172										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19	6,8	82,556	45,29										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
20	7	86,636	47,409										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
21	7,2	90,716	49,528										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
22	7,4	94,796	51,646										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
23	7,6	98,876	53,765										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
24	7,8	102,956	55,884										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
25	8	107,036	58,002										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
26	8,2	111,116	60,121										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
27	8,4	115,196	62,24										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
28	8,6	119,276	64,358										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
29	8,8	123,356	66,477										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
30	9	127,436	68,596										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
31	9,2	131,516	70,714										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
32	9,4	135,596	72,833										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
33	9,6	139,676	74,952										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
34	9,8	143,756	77,07										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
35	10	147,836	79,189										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
36	10,2	151,916	81,308										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
37	10,4	155,996	83,426										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
38	10,6	160,076	85,545										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
39	10,8	164,156	87,664										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
40	11	168,236	89,782										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
41	11,2	172,316	91,901										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
42	11,4	176,396	94,02										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
43	11,6	180,476	96,138										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
44	11,8	184,556	98,257										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
45	12	188,636	100,376										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
46	12,2	192,716	102,494										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
47	12,4	196,796	104,613										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
48	12,6	200,876	106,732										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
49	12,8	204,956	108,85										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
50	13	209,036	110,969										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
51	13,2	213,116	113,088										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
52	13,4	217,196	115,206										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
53	13,6	221,276	117,325										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
54	13,8	225,356	119,444										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
55	14	229,436	121,562										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
56	14,2	233,516	123,681										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
57	14,4	237,596	125,8										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
58	14,6	241,676	127,919										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
59	14,8	245,756	130,037										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
60	15	249,836	132,156										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
61	15,2	253,916	134,275										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
62	15,4	257,996	136,393										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
63	15,6	262,076	138,512										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
64	15,8	266,156	140,631										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
65	16	270,236	142,749										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
66	16,2	274,316	144,868										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
67	16,4	278,396	146,987										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
68	16,6	282,476	149,105										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
69	16,8	286,556	151,224										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
70	17	290,636	153,343										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
71	17,2	294,716	155,461										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
72	17,4	298,796	157,58										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
73	17,6	302,876	159,699										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
74	17,8	307,364	162,225	90,248	0,432	1,857	0,76203	96,909	0,606	0,138	0,196	1,023	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto basso
75	18	311,852	164,752	90,248	0,433	1,861	0,75424	96,382	0,601	0,137	0,194	1,025	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto basso
76	18,2	316,34	167,279	90,248	0,433	1,865	0,74694	95,888	0,597	0,136	0,193	1,027	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto basso
77	18,4	320,828	169,805	90,248	0,433	1,869	0,73978	95,402	0,593	0,135	0,191	1,029	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto basso
78	18,6	325,316	172,332	90,248	0,433	1,873	0,73275	94,925	0,589	0,134	0,19	1,031	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto basso
79	18,8	329,804	174,859	90,248	0,434	1,877	0,72586	94,456	0,584	0,134	0,188	1,033	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto basso
80	19	334,292	177,385	90,248	0,434	1,881	0,71909	93,995	0,58	0,133	0,187	1,035	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto basso
81	19,2	338,78	179,912										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
82	19,4	343,268	182,439										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
83	19,6	347,756	184,965	58,844	0,96	2,253	0,66268	77,383	0,568	0,109	0,182	0,872	Terreno suscettibile di liquefazione	Alto
84	19,8	352,244	187,492	58,844	0,961	2,257	0,65591	76,956	0,564	0,109	0,181	0,874	Terreno suscettibile di liquefazione	Alto
IPL (Sonmez)=0,5 Zcrit=20 m Rischio=Basso														

Prova 2

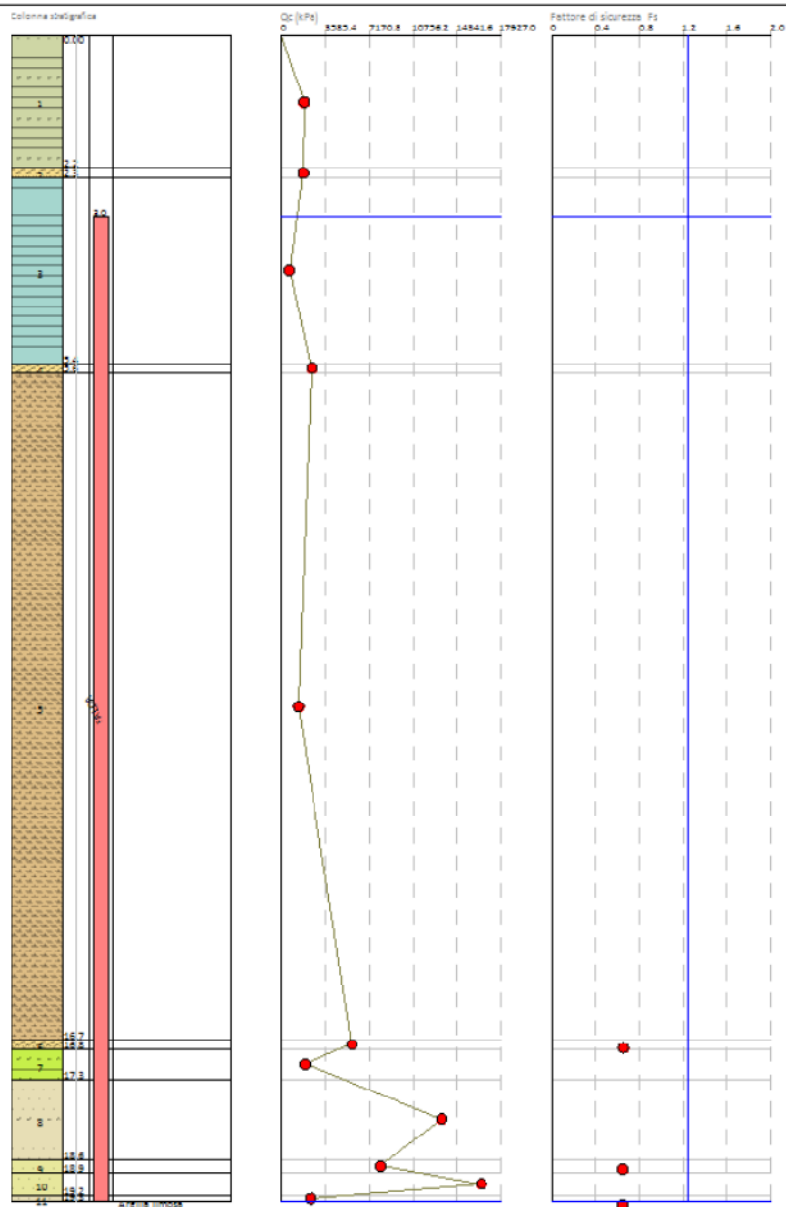
Studio Geotecnico Chili Giuliano
Via Bruno Bottau 4 - 40055 Castenaso (BO)
Tel. 051789568 - Mob. 3482661550
email giuliano.chili@gmail.com

Committente: SVG Immobiliare srl - de Vizio Costruzioni

Lavoro: PUA ANS .A.7

Località: Via Guidotti - Vedrana di Budrio

CPTu 2



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 limosa	0,00	2,18	19,89	20,71	1778,70	80,36
2	Limo sabbioso	2,18	2,34	19,38	22,44	1716,96	17,64
3	Argilla	2,34	5,44	17,85	18,67	585,06	15,68
4	Limo sabbioso	5,44	5,58	19,38	22,44	2448,04	21,56
5	Argilla organica	5,58	16,66	19,28	20,09	1336,72	76,44
6	Limo sabbioso	16,66	16,82	18,36	21,42	5706,54	100,94
7	Limo argilloso	16,82	17,32	19,89	20,71	1891,40	63,70
8	Sabbia	17,32	18,64	19,38	22,44	13066,34	36,26
9	Sabbia	18,64	18,86	19,38	22,44	8038,94	29,40
10	Sabbia	18,86	19,24	19,38	22,44	16296,42	61,74
11	Argilla limosa	19,90	20,00	20,30	21,11	2363,76	89,18

Correzione per la magnitudo (MSF)

1,09

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
1	3,2	61,976	60,015										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2	3,4	65,71	61,787										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3	3,6	69,444	63,56										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4	3,8	73,178	65,333										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5	4	76,912	67,105										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6	4,2	80,646	68,878										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7	4,4	84,38	70,651										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8	4,6	88,114	72,423										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9	4,8	91,848	74,196										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10	5	95,582	75,969										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11	5,2	99,316	77,741										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12	5,4	103,05	79,514										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13	5,6	107,34	81,843										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14	5,8	111,358	83,9										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
15	6	115,376	85,956										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
16	6,2	119,394	88,013										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
17	6,4	123,412	90,07										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18	6,6	127,43	92,126										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19	6,8	131,448	94,183										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
20	7	135,466	96,24										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
21	7,2	139,484	98,296										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
22	7,4	143,502	100,353										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
23	7,6	147,52	102,41										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
24	7,8	151,538	104,466										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
25	8	155,556	106,523										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
26	8,2	159,574	108,58										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
27	8,4	163,592	110,636										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
28	8,6	167,61	112,693										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
29	8,8	171,628	114,75										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
30	9	175,646	116,806										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
31	9,2	179,664	118,863										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
32	9,4	183,682	120,92										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
33	9,6	187,7	122,976										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
34	9,8	191,718	125,033										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
35	10	195,736	127,09										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
36	10,2	199,754	129,146										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
37	10,4	203,772	131,203										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
38	10,6	207,79	133,26										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
39	10,8	211,808	135,316										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
40	11	215,826	137,373										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
41	11,2	219,844	139,43										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
42	11,4	223,862	141,486										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
43	11,6	227,88	143,543										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
44	11,8	231,898	145,6										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
45	12	235,916	147,656										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
46	12,2	239,934	149,713										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
47	12,4	243,952	151,77										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
48	12,6	247,97	153,826										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
49	12,8	251,988	155,883										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
50	13	256,006	157,94										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
51	13,2	260,024	159,996										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
52	13,4	264,042	162,053										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
53	13,6	268,06	164,11										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
54	13,8	272,078	166,166										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
55	14	276,096	168,223										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
56	14,2	280,114	170,28										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
57	14,4	284,132	172,336										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
58	14,6	288,15	174,393										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
59	14,8	292,168	176,45										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
60	15	296,186	178,506										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
61	15,2	300,204	180,563										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
62	15,4	304,222	182,62										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
63	15,6	308,24	184,676										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
64	15,8	312,258	186,733										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
65	16	316,276	188,79										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
66	16,2	320,294	190,846										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
67	16,4	324,312	192,903										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
68	16,6	328,33	194,96										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
69	16,8	332,534	197,203	56,319	1,878	2,455	0,62702	76,583	0,629	0,119	0,181	0,658	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
70	17	336,691	199,398										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
71	17,2	340,833	201,578										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
72	17,4	345,113	203,897										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
73	17,6	349,601	206,424										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
74	17,8	354,089	208,951										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
75	18	358,577	211,477										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
76	18,2	363,065	214,004										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
77	18,4	367,553	216,531										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
78	18,6	372,041	219,057										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
79	18,8	376,529	221,584	79,338	0,384	1,982	0,60265	70,303	0,584	0,111	0,169	0,654	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
80	19	381,017	224,111										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
81	19,2	385,505	226,637										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
82	19,4	0	0	79,338	0,384	1,982	0,60265	70,303	0,572	0,111	0,169	0,654	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
83	19,6	0	0	79,338	0,384	1,982	0,60265	70,303	0,568	0,111	0,169	0,654	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
84	19,8	0	0	79,338	0,384	1,982	0,60265	70,303	0,564	0,111	0,169	0,654	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
IPL (Sonmez)=0,19 Zcrit=20 m Rischio=Basso														

Prova 3

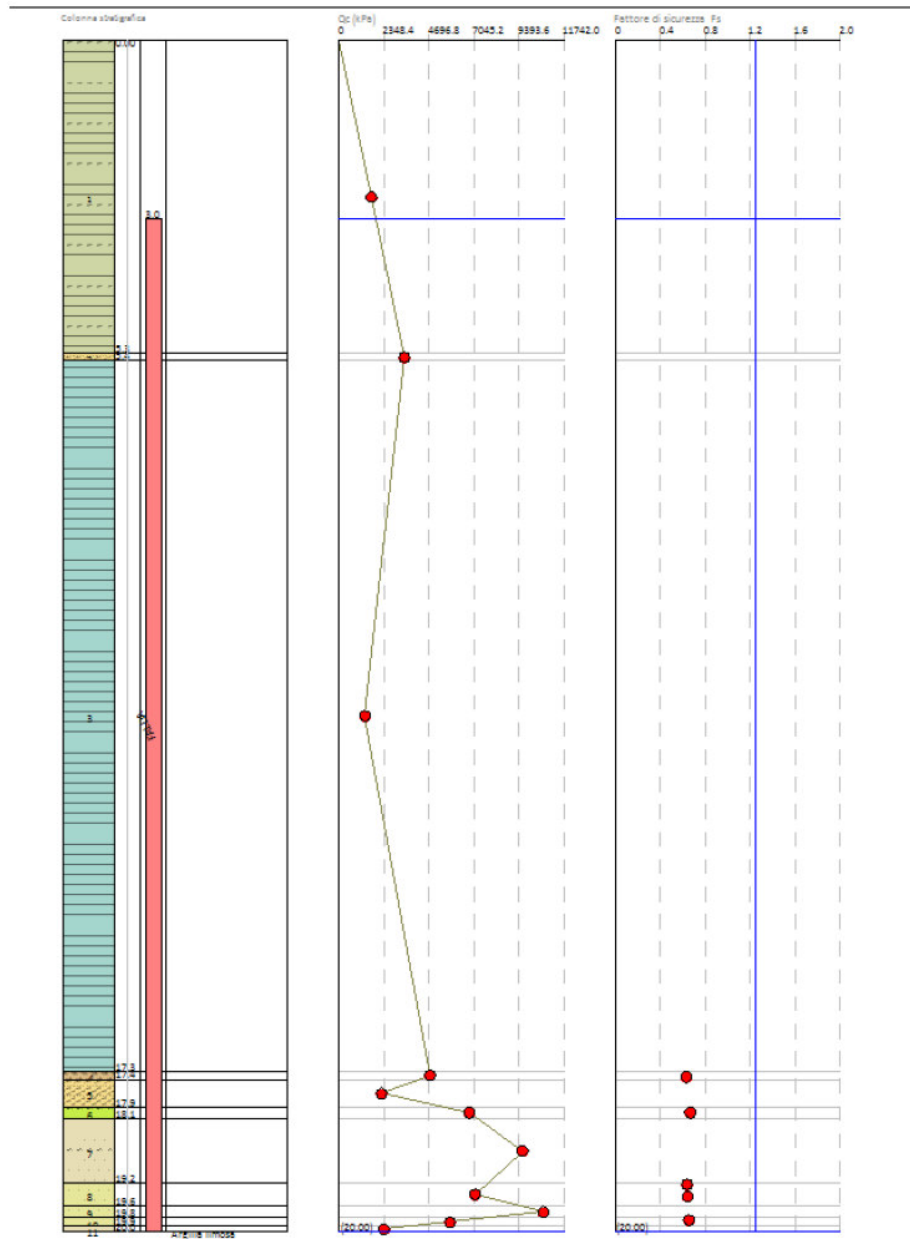
Studio Geotecnico Chili Giuliano
Via Bruno Bottau 4 - 40055 Castenaso (BO)
Tel. 051789568 - Mob. 3482661550
email giuliano.chili@gmail.com

Committente: SVG Immobiliare srl - de Vizio Costruzioni

Lavoro: PUA ANS .A.7

Località: Via Guidotti - Vedrana di Budrio

CPTu 3



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 limosa	0,00	5,26	19,79	20,60	1701,28	67,62
2	Limo sabbioso	5,26	5,38	19,38	22,44	3415,30	56,84
3	Argilla organica	5,38	17,30	19,28	20,09	1361,22	79,38
4	Limo sabbioso	17,30	17,44	19,38	22,44	4760,84	76,44
5	Limo argilloso	17,44	17,90	20,20	21,01	2219,70	77,42
6	Sabbia limosa	17,90	18,10	19,38	22,44	6815,90	58,80
7	Sabbia	18,10	19,18	19,38	22,44	9599,10	25,48
8	Sabbia	19,18	19,56	19,38	22,44	7125,58	24,50
9	Sabbia	19,56	19,76	19,38	22,44	10674,16	22,54
10	Sabbia limosa	19,76	19,90	19,38	22,44	5804,54	39,20
11	Argilla limosa	19,90	20,00	20,30	21,11	2363,76	89,18

Correzione per la magnitudo (MSF)

1,08

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
1	3,2	63,49	61,529										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2	3,4	67,61	63,687										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3	3,6	71,73	65,846										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4	3,8	75,85	68,005										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5	4	79,97	70,163										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6	4,2	84,09	72,322										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7	4,4	88,21	74,481										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8	4,6	92,33	76,639										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9	4,8	96,45	78,798										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10	5	100,57	80,957										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11	5,2	104,69	83,115										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
12	5,4	109,021	85,485										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
13	5,6	113,039	87,541										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
14	5,8	117,057	89,598										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
15	6	121,075	91,655										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
16	6,2	125,093	93,711										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
17	6,4	129,111	95,768										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
18	6,6	133,129	97,825										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
19	6,8	137,147	99,881										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
20	7	141,165	101,938										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
21	7,2	145,183	103,995										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
22	7,4	149,201	106,051										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
23	7,6	153,219	108,108										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
24	7,8	157,237	110,165										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
25	8	161,255	112,221										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
26	8,2	165,273	114,278										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
27	8,4	169,291	116,335										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
28	8,6	173,309	118,391										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
29	8,8	177,327	120,448										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
30	9	181,345	122,505										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
31	9,2	185,363	124,561										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
32	9,4	189,381	126,618										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
33	9,6	193,399	128,675										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
34	9,8	197,417	130,731										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
35	10	201,435	132,788										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
36	10,2	205,453	134,845										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
37	10,4	209,471	136,901										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
38	10,6	213,489	138,958										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
39	10,8	217,507	141,015										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
40	11	221,525	143,071										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
41	11,2	225,543	145,128										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
42	11,4	229,561	147,185										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
43	11,6	233,579	149,241										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
44	11,8	237,597	151,298										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
45	12	241,615	153,355										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
46	12,2	245,633	155,411										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
47	12,4	249,651	157,468										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
48	12,6	253,669	159,525										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
49	12,8	257,687	161,582										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
50	13	261,705	163,638										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
51	13,2	265,723	165,695										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
52	13,4	269,741	167,751										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
53	13,6	273,759	169,808										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
54	13,8	277,777	171,865										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
55	14	281,795	173,922										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
56	14,2	285,813	175,978										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
57	14,4	289,831	178,035										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
58	14,6	293,849	180,092										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
59	14,8	297,867	182,148										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
60	15	301,885	184,205										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
61	15,2	305,903	186,262										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
62	15,4	309,921	188,318										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

Nr.	Quota	σ_n	σ'_n	Q	F	Ic	CQ	qc1	rd	CRR	CSR	Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
	m	KPa	KPa		%			Kpa						
63	15,6	313,939	190,375										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
64	15,8	317,957	192,432										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
65	16	321,975	194,488										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
66	16,2	325,993	196,545										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
67	16,4	330,011	198,602										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
68	16,6	334,029	200,658										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
69	16,8	338,047	202,715										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
70	17	342,065	204,772										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
71	17,2	346,083	206,828										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
72	17,4	350,336	209,12	46,986	1,733	2,528	0,5841553	69,454	0,615	0,111	0,176	0,634	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
73	17,6	354,595	211,418										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
74	17,8	358,797	213,658										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
75	18	363,142	216,042	67,268	0,911	2,227	0,5986072	73,577	0,601	0,115	0,172	0,665	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
76	18,2	367,63	218,569										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
77	18,4	372,118	221,095										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
78	18,6	376,606	223,622										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
79	18,8	381,094	226,149										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
80	19	385,582	228,675										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
81	19,2	390,07	231,202	70,324	0,364	2,045	0,5715771	65,041	0,576	0,106	0,166	0,639	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
82	19,4	394,558	233,729	70,324	0,364	2,049	0,5660832	64,817	0,572	0,106	0,165	0,641	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
83	19,6	399,046	236,255										Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
84	19,8	403,534	238,782	57,286	0,726	2,284	0,5378749	64,989	0,564	0,106	0,163	0,653	Terreno suscettibile di liquefazione	Molto alto
IPL (Sonmez)=0,22 Zcrit=20 m Rischio=Basso														