

## COMUNE DI ZOLA PREDOSA (BO)

STUDIO GEOLOGICO TECNICO DEI  
TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO DI  
UN'AREA SITA TRA LE VIE COLOMBO  
E GARIBALDI, SULLA QUALE È IN  
PROGETTO LA REALIZZAZIONE DI  
DUE FABBRICATI AD USO CIVILE  
ABITAZIONE.

Committente:

– Sig.ri Cini Enrico e Guidetti Grazia



Codice Lavoro: 2018.078/RG

Revisione 1.0      Dicembre 2018

# GEO-PROBE

– **Studio Geologico Associato** –

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono 051.613.51.18

Email: [geoprobe@geo-probe.com](mailto:geoprobe@geo-probe.com)

## INDICE

1. PREMESSA .....	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE .....	4
4. INDAGINE GEOGNOSTICA .....	6
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI ....	9
6. LAVORI IN PROGETTO E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE .....	10
7. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	11
8. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE.....	12
9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....	14
10. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA .....	15
11. MODELLAZIONE SISMICA .....	17
12. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	23
13. RESISTENZA DI PROGETTO DEI TERRENI IN CONDIZIONI STATICHE ....	25
14. CONSIDERAZIONI FINALI .....	29

### ALLEGATI:

- *certificati penetrometrie statiche;*
- *diagrammi penetrometrie statiche;*
- *stratigrafie trivellazioni a secco;*
- *indagini sismiche;*
- *classificazione orientativa dei terreni attraversati*  
*(Schmertmann, 1978).*

\* \* \*

## 1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dal Geom. Fabbri Daniele, per conto dei Sig.ri Cini Enrico e Guidetti Grazia, si trasmette, in conformità con le normative vigenti, la seguente relazione geologico-tecnica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area per la quale è in progetto la realizzazione di due fabbricati ad uso civile abitazione.

L'area in esame si ubica tra le vie Colombo e Garibaldi, in Comune di Zola Predosa (BO), (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 220111 – Zola Predosa).

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

- a) analisi e descrizione della situazione morfologica e geo-litologica generale;
- b) determinazione della natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
- c) determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi;
- d) caratterizzazione e modellazione geologico-geotecnica del sito;
- e) modellazione sismica dei terreni di fondazione;
- f) valutazione della resistenza di progetto dei terreni di fondazione in condizioni statiche.

TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME



Area in esame

Scala 1:5.000



## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- "Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 14 Gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 04/02/08, supplemento ordinario n. 30).
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare Cons. Sup. LL.PP. n. 617/2009.
- Delibera dell'Assemblea legislativa Regione Emilia Romagna progr. N. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 1661/2009 del 2 novembre 2009.
- Ordinanza del Commissario Delegato per la Ricostruzione n. 70 del 13/11/2012.
- "Raccomandazioni per la redazione della relazione geologica ai sensi delle N.C.T." a cura del Centro Studi del C.N.G.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 2193/2015 del 21 dicembre 2015.
- "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 17 Gennaio 2018 (G.U. n. 42 del 20/02/18, supplemento ordinario n. 8).

### 3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE

L'area in esame ricade nella zona compresa tra la fascia collinare pedepenninica e l'alta Pianura Padana, caratterizzata da moderate ondulazioni che decrescono progressivamente verso Nord; più esattamente si ubica ad una quota media di 80,00 m s.l.m., in un settore pressoché pianeggiante e/o moderatamente acclive.

Da un punto di vista geo-litologico, secondo quanto riportato nella Carta Geologica che copre il territorio della Regione Emilia – Romagna (TAV. 2 di seguito riportata), l'area oggetto di intervento ricade all'interno dei terreni classificati come appartenenti ai depositi quaternari (**AES8**), costituiti da sedimenti alluvionali fini (argille limose e/o argille sabbiose) e grossolani (ghiaie e sabbie) che si evidenziano a profondità superiori ai 10,00 m.

L'ambiente deposizionale in prossimità della superficie è fluviale continentale con alvei a canali frequenti e con tendenza allo sviluppo di meandri, mentre in profondità passa gradualmente ad ambienti di transizione.

L'insieme è pertanto costituito da lenti a granulometria variabile che sfumano rapidamente le une nelle altre, sia arealmente che verticalmente.

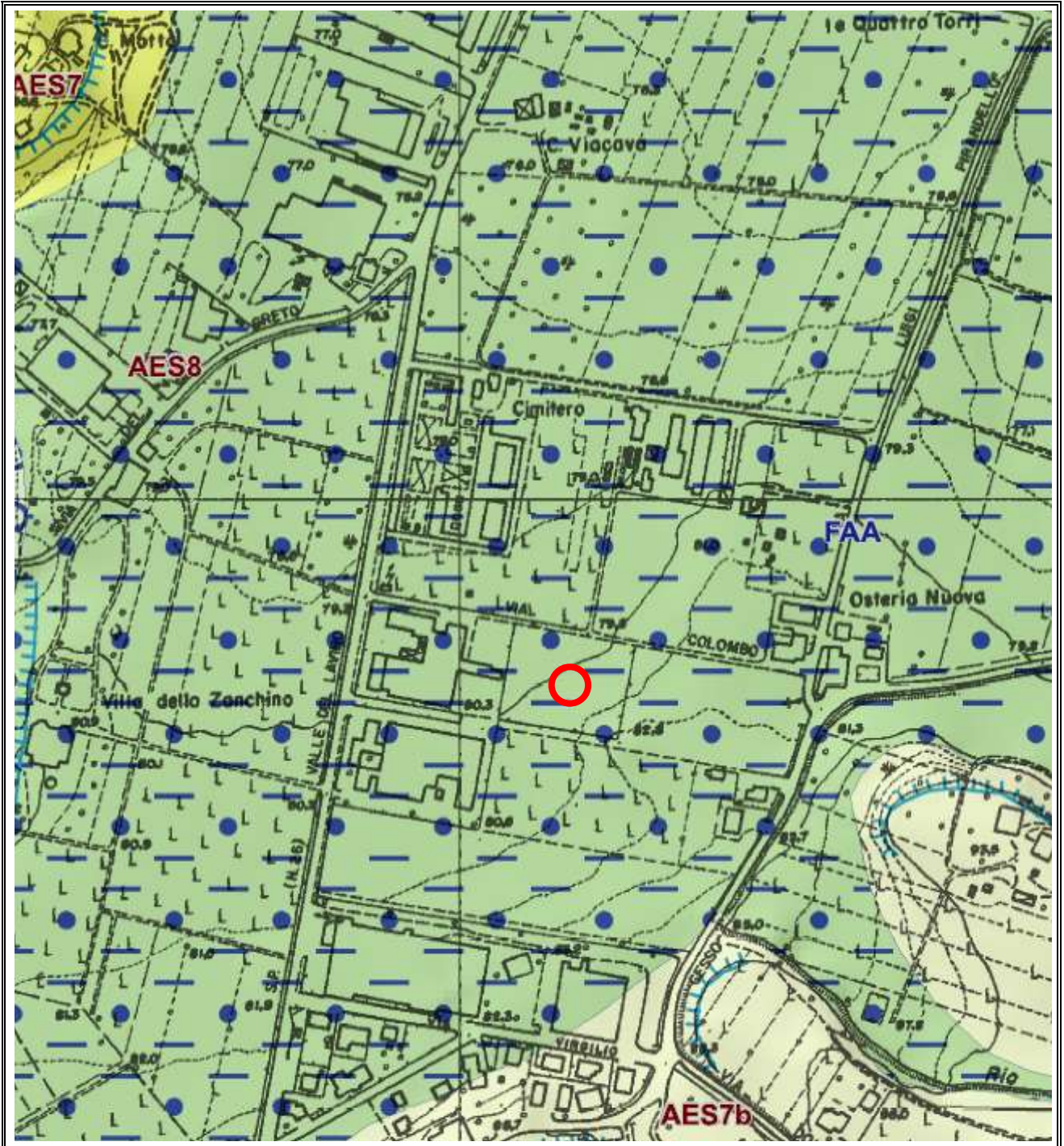
Più a Sud, in prossimità del settore collinare, suddetti depositi vanno a sormontare gli affioramenti pleistocenici della Formazione di Monte Adone (**IMO2**) caratterizzati da sabbie talvolta anche cementate.

Suddette litologie sono a loro volta ricoperte da sedimenti tardo-pleistocenici di modesto spessore caratterizzate a loro volta da litologie ghiaiose passanti a sabbie e limi (**AES7b** - *Subsintema di Vignola*).

In questo settore il controllo sedimentario è stato fortemente influenzato dai forti rigetti verticali delle faglie trascorrenti a vergenza antiappenninica; ciò ha determinato settori con spessori alluvionali piuttosto modesti benché già localizzati in area di conoide e zone con materassi alluvionali di notevole potenza ubicati poco più a Nord dei primi.

L'idrografia superficiale primaria è rappresentata dal Torrente Lavino che sviluppa il proprio corso ad Ovest dell'area in esame ad una distanza di circa 600,00 m, mentre quella secondaria, in parte mascherata dalla forte urbanizzazione, è costituita da piccoli fossi di scolo bordanti le zone coltivate, che raccolgono le acque di precipitazione eccessive per incanalarle verso i collettori principali.

## TAV. 2 - CARTA GEO-LITOLOGICA



Area in esame

Scala 1:5.000

AES8      *Subsintema di Ravenna;*AES7b      *Subsintema di Vignola;*FAA      *Argille Azzurre.*

#### 4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area interessata dall'intervento, allo scopo di verificare la successione stratigrafica che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e valutare le caratteristiche fisico meccaniche degli stessi, è stata eseguita un'indagine geognostica in sito, inoltre vengono utilizzati i risultati di un'indagine sismica locale eseguita nelle vicinanze, al fine di determinare il parametro  $V_{seq}$  e classificare la categoria di sottosuolo.

##### **4.1. Indagine geognostica in sito**

L'indagine geognostica in sito, eseguita dalla Geo-Probe S.r.l., è consistita nell'esecuzione di n. 5 penetrometrie statiche con punta meccanica (CPT) che, rispetto al p.c. attuale, hanno raggiunto profondità variabili da 8,80 m a 9,20 m e n. 2 sondaggio con il metodo della trivellazione a secco della lunghezza di 3,50 m.

I punti di indagine sono stati posizionati in corrispondenza delle aree oggetto di intervento; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 3.

Il penetrometro statico utilizzato, montato su Unimog Mercedes 400L con cella di carico da 200 kN, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm<sup>2</sup> per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm<sup>2</sup> per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo *Begemann*).

I risultati delle penetrometrie statiche vengono rappresentati in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove viene riportato il valore  $q_c$  (resistenza alla punta), il valore  $f_s$  (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, ed il rapporto  $R_f$  che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati (*Schmertmann J.H.*, 1978).

Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 20 cm.

Le trivellazioni a secco sono state eseguite mediante aste elicoidali del diametro di 120 mm mosse da propulsore idraulico montato a retro dell'autocarro Mercedes; le stratigrafie ottenute vengono riportate in allegato negli appositi moduli.

##### **4.2. Indagine sismica**

L'indagine sismica eseguita è consistita nell'esecuzione da parte dello Studio Associato CGA di n. 2 registrazioni sismiche HVSR (A1 e A2) e di n. 1 stendimento sismico MASW; la metodologia di indagine, l'ubicazione e l'elaborazione dei dati vengono riportate in allegato.

Vengono utilizzati i risultati di un'indagine sismica locale eseguita mediante metodologia di sismica passiva con misura del Rumore Sismico Passivo (HVSR) da parte della Geo-Probe S.r.l. immediatamente a Nord dell'area in esame.

Lo strumento utilizzato è il tromografo digitale Tromino prodotto dalla Micromed S.p.A.; si tratta di un sismografo di dimensioni molto contenute che contiene tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri) che permettono la registrazione del microtremore nel campo di frequenze compreso tra 0 e 256 Hz.

Il metodo di indagine utilizzato è quello a stazione singola dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR).

Il segnale di microtremore, dopo essere stato acquisito dai tre velocimetri, ad una frequenza di campionamento di 128Hz per un intervallo di tempo di 20', amplificato e digitalizzato a 24 bit equivalenti, viene suddiviso in intervalli di pochi secondi e mediante il software Grilla per ogni intervallo viene eseguita un'analisi spettrale nelle tre componenti e il calcolo dei rapporti spettrali H/V.

Il valore di tale rapporto è direttamente correlato alla frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza mentre la frequenza di risonanza è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  dalla relazione:

$$f_i = V_{si}/4h_i$$

dove:

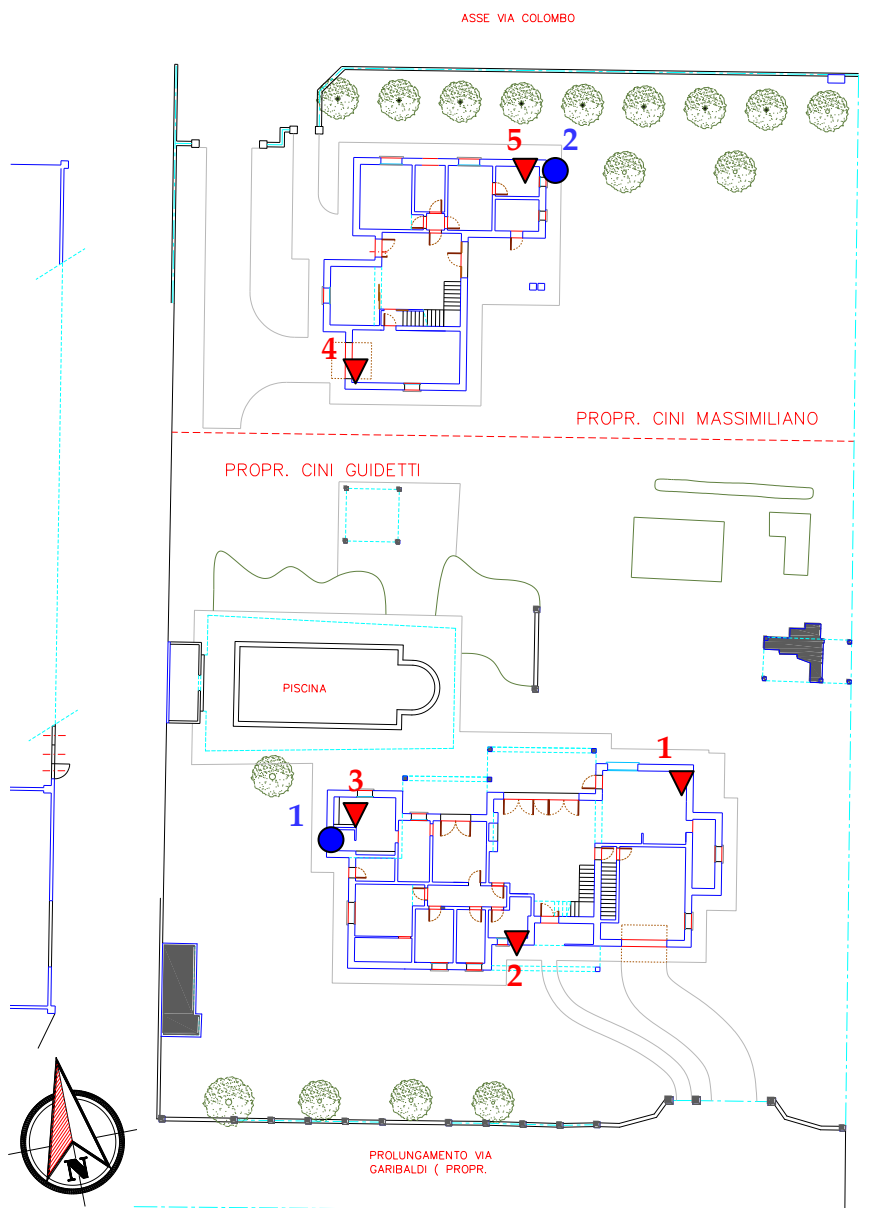
$f_i$  = frequenza dello strato  $i$ -esimo;

$V_{si}$  = velocità delle onde S dello strato  $i$ -esimo;

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo.

I risultati dell'indagine sismica vengono restituiti in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove vengono riportati gli spettri delle singole componenti del moto, le curve relative al rapporto spettrale orizzontale su verticale H/V e il grafico  $V_s$ /profondità.

## TAV. 3 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



Scala 1:500

- ▼ Penetrometrie statiche
- Trivellazioni a secco
- ◆ Indagine sismica



## 5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica eseguita ci consente di ricostruire con discreta precisione la litologia del primo sottosuolo e di valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati.

Schematicamente possiamo ricostruire la seguente successione stratigrafica:

al tetto, al di sotto di un orizzonte di terreno di riporto dello spessore medio di  $0,75 \div 0,80$  m, sono inizialmente presenti dei limi argillosi e/o viceversa di colore da nocciola a giallo ocraceo, di consistenza da plastica ( $q_c = 1,0 \div 1,9$  MPa;  $R_f = 4,3 \div 6,7$  %) a plastico dura ( $q_c = 2,0 \div 3,4$  MPa;  $R_f = 4,2 \div 5,6$  %), con i valori più bassi misurati nella fascia meridionale, ed umidità media, che nella fascia Nord (CPT 4 e 5) sino a  $2,40 \div 2,60$  m assumono una consistenza da dura a molto dura ( $q_c = 5,1 \div 8,1$  MPa;  $R_f = 3,9 \div 5,6$  %) presumibilmente sovraconsolidati per essiccazione.

I suddetti terreni da una profondità variabile da 6,80 m a 8,00 m circa sono sopportati da ghiaie di addensamento da medio a medio buono ( $q_c = 17,0 \div 39,2$  MPa;  $R_f = 0,5 \div 0,7$  %) in matrice sabbiosa, localmente preceduti da una sottile lente sabbiosa di addensamento da medio a medio buono ( $q_c = 4,0 \div 8,4$  MPa;  $R_f = 1,2 \div 1,6$  %).

Al termine dell'indagine sino alla profondità raggiunta non è stata rilevata la presenza di falde freatiche di superficie e/o circolazioni idriche localizzate; indagini limitrofe hanno evidenziato la presenza di acqua a profondità mediamente superiori a  $15,00 \div 18,00$  m.

Per un maggiore dettaglio in allegato, oltre alle stratigrafie delle trivellazioni a secco, viene riportata la litologia dei terreni del primo sottosuolo rilevata in corrispondenza delle penetrometrie statiche e ricostruita mediante la teoria dello *Schmertmann* (1978).

## 6. LAVORI IN PROGETTO E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE

Si tratta della realizzazione di due fabbricati ad uso civile abitazione; di pianta articolata, presentano uno sviluppo verticale dato da un interrato, un primo piano ed un sottotetto mansardato.

Nell'area di intervento non si prevedono sostanziali variazioni morfologiche, conseguentemente il p.c. fine lavori corrisponderà approssimativamente a quello attuale.

L'indagine geognostica ha evidenziato come la litologia del primo sottosuolo, al di sotto di un orizzonte di terreno di riporto dello spessore medio di  $0,75 \div 0,80$  m, sino ad una profondità di  $6,80 \div 7,60$  m risulta caratterizzata dalla presenza di limi argillosi e/o viceversa di consistenza da plastica a plastico dura, con i valori più bassi misurati nella fascia meridionale, ed umidità media, che nella fascia Nord sino a  $2,40 \div 2,60$  m assumono una consistenza da dura a molto dura presumibilmente sovraconsolidati per essiccazione.

In considerazione della tipologia di intervento e delle caratteristiche fisico meccaniche che contraddistinguono i terreni del primo sottosuolo si ritiene che per i due fabbricati in progetto possa essere adottato un sistema fondale diretto nastro-forme, che in considerazione della presenza di un piano interrato, rispetto al p.c. attuale si attesterà ad una profondità di circa 3,50 m.

Durante la fase di scavo per la realizzazione dell'interrato potrà essere adottato un angolo di scarpata dell'ordine di  $55 \div 60^\circ$ , avendo cura di proteggere le pareti di scavo mediante teli impermeabili, in modo da evitare scoscendimenti in corrispondenza dei terreni superficiali, specie a seguito di precipitazioni particolarmente copiose e persistenti.

## 7. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La caratterizzazione geotecnica del sito viene fatta ricostruendo un modello in termini di unità geotecniche del volume significativo del terreno inteso come la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa.

Ciascuna unità geotecnica (U.G.) è ottenuta correlando i dati stratigrafici e i dati di resistenza misurati nel corso dell'indagine geognostica in modo da suddividere il volume significativo in elementi omogenei.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	0,75÷0,80	R	-	-	-	-	-
A	0,75÷0,80	6,80÷7,60	LA/AL	1,0÷3,4	19,1÷19,3	50÷145	-	0
A1	0,75	2,40÷2,60	LA/AL	5,1÷8,1	19,5÷19,8	200÷320	-	
B	6,80÷8,00	fine indag.	G/GS	17,0÷39,2	18,5	0	38÷44	80÷95
B1	7,20÷7,40	7,40÷8,00	S/SL	4,0÷8,4	18,5÷18,6	0	30÷34	35÷55

R = terreno di riporto;

LA/AL = limi argillosi e/o viceversa;

G/GS = ghiaie in matrice sabbiosa;

S/SL = sabbie limose.

## 8. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è stato possibile suddividere il volume significativo di terreno in unità geotecniche, delle quali di seguito, vengono definiti i parametri geomeccanici.

### Unità geotecnica 0

È costituita da terreno di riporto e si evidenzia sino ad una profondità media di 0,75÷0,80 m dal p.c. attuale.

### Unità geotecnica A

È costituita da limi argillosi e/o viceversa di consistenza da plastica a plastico dura ed umidità media.

L'unità A si evidenzia da 0,75÷0,80 m sino ad una profondità variabile da 6,80 m a 7,60 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 1	1,8	19,2	90	-
CPT 2	1,5	19,2	75	-
CPT 3	2,0	19,2	100	-
CPT 4	2,2	19,2	105	-
CPT 5	3,0	19,3	130	-

### Unità geotecnica A1

È costituita da limi argillosi e/o viceversa di consistenza da dura a molto dura ed umidità medio scarsa.

L'unità A1 si evidenzia nella fascia Nord da 0,75 m sino ad una profondità di 2,40÷2,60 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 4	6,1	19,6	240	-
CPT 2	6,3	19,6	250	-

### Unità geotecnica B

È costituita da ghiaie in matrice sabbiosa di addensamento da medio a medio buono ed umidità presumibilmente medio scarsa.

L'unità B si evidenzia, da 6,80÷8,00 m dal p.c. sino alla profondità indagata, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 1	30,7	18,5	0	40
CPT 2	28,5	18,5	0	39
CPT 3	32,5	18,5	0	40
CPT 4	31,4	18,5	0	40
CPT 5	27,6	18,5	0	39

### Unità geotecnica B1

È costituita da sabbie variabilmente limose di addensamento da medio a medio buono, di umidità presumibilmente medio scarsa.

L'unità B1 si evidenzia localmente da 7,20÷7,40 m sino ad una profondità media variabile da 7,40 m a 8,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	$\gamma$ (kN/mc)	Cu (kPa)	$\varphi$ (°)
CPT 1	8,4	18,5	0	34
CPT 4	4,4	18,5	0	31
CPT 5	4,9	18,5	0	31

## 9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Nel sito di indagine è stata effettuata una misura di microtremore della durata di 20', allo scopo di definire le frequenze di risonanza fondamentali dei terreni del sottosuolo e, tramite inversione, di ricostruire il modello di sottosuolo in termini di profondità e velocità delle onde di taglio.

L'indagine sismica è stata condotta su terreno naturale duro e asciutto in condizioni meteo buone, in presenza di vento di debole entità tale da non creare disturbo durante la registrazione.

Gli spettri delle singole componenti del moto non mostrano particolari andamenti imputabili a fonti di rumore antropico; anche l'accoppiamento dello strumento con il terreno risulta di buona qualità, dato che le tre curve presentano un andamento concordante, pertanto i picchi evidenziati nel diagramma HVSR sono da considerarsi naturali.

Il diagramma HVSR mostra un picco a 9,1 Hz, generato dal contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra i terreni argillosi di superficie e le sottostanti ghiaie evidenziato ad una profondità media di 8,00÷8,20 m.

Tale picco è stato utilizzato per ancorare il diagramma H/V ai dati stratigrafici ricavando una curva H/V teorica che consente di stimare l'andamento della velocità sismica lungo la verticale indagata.

La definizione dei sismostrati in termini di velocità delle onde di taglio permettono di calcolare il parametro  $V_{seq}$  richiesto dall'attuale normativa, secondo l'equazione:

$$V_{seq} = H / \sum (h_i / V_{si})$$

dove:

H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s;

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo;

$V_{si}$  = velocità dello strato  $i$ -esimo.

Nel caso in esame per i valori considerati i terreni del primo sottosuolo con riferimento al p.c., presentano una  $V_{seq}$  pari a 327 m/s.

Lo stendimento Masw ha evidenziato una  $V_{seq}$  pari a 262 m/s e le ulteriori due misurazioni HVSR hanno evidenziato una  $V_{seq}$  pari a 301 m/s.

## 10. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

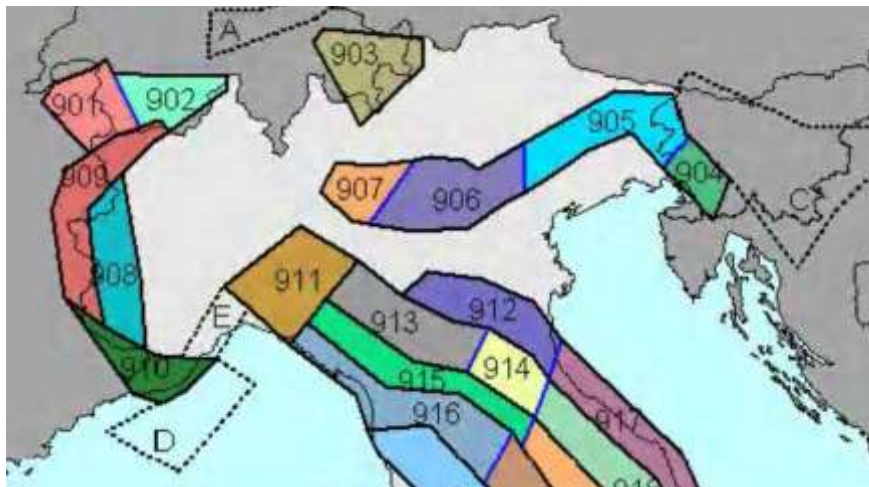
La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il Comune di Zola Predosa (TAV. 4 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni  $PGA = 0,150 - 0,175g$ .

La Magnitudo dell'area si ottiene, come riportato negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Gruppo di Lavoro MS 2008" sulla base della zonazione sismogenetica ZS 9, secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima.

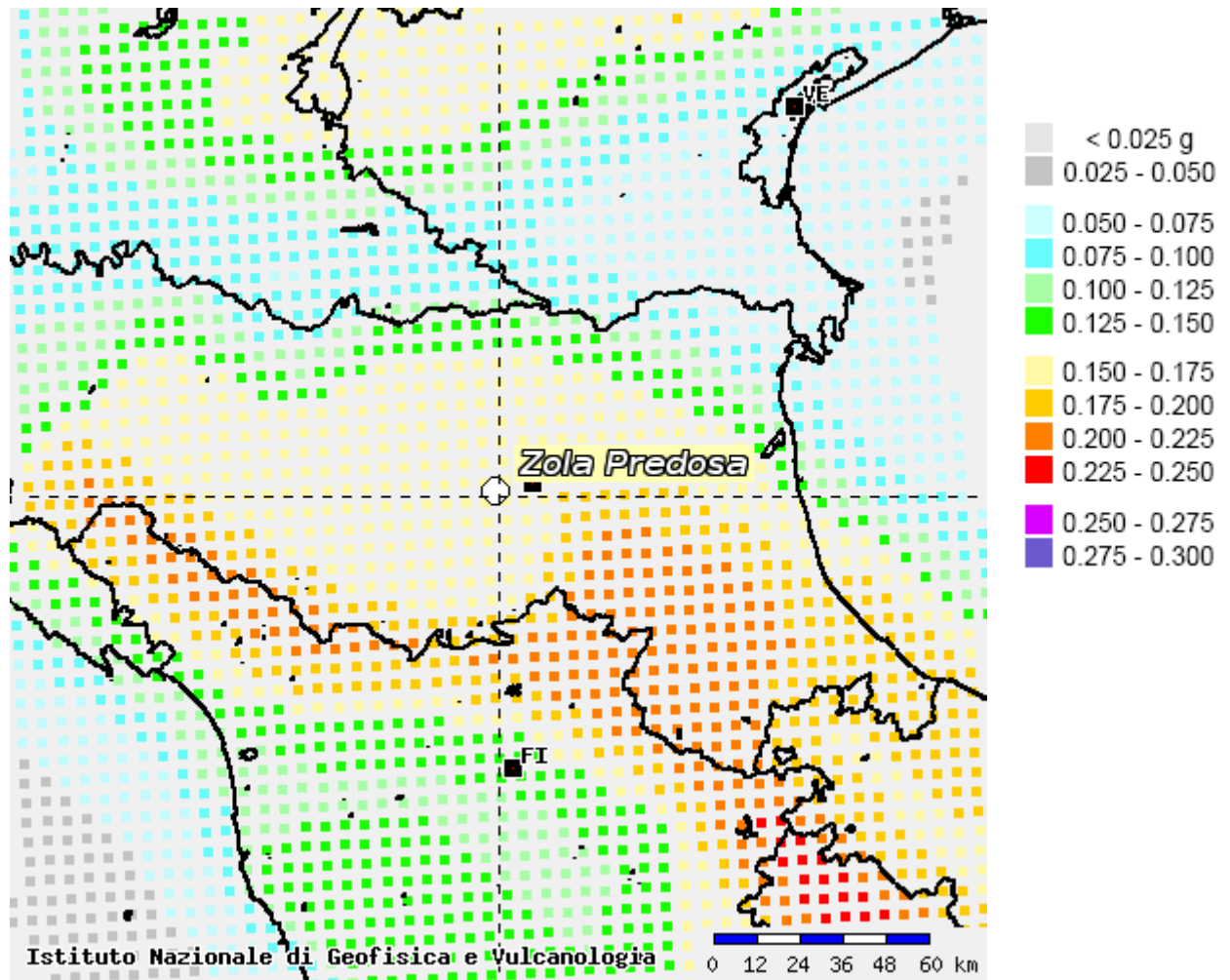
Come evidenziato dalla mappa delle zone sismogenetiche di cui si riporta uno stralcio, l'Emilia Romagna ricade nelle zone 911-914 alle quali è attribuito un valore di  $M$  pari a 6,14.



La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

TAV. 4 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA



## 11. MODELLAZIONE SISMICA

### 11.1. Vita nominale

La vita nominale di progetto di un'opera ( $V_N$ ) è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per diversi tipi di costruzione

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nell'area in esame sono previste opere tipo "2" "per le quali si prevede una vita nominale  $V_N$  minima di 50 anni.

### 11.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

<i>Classe I</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
<i>Classe II</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B di cui al D.M. 5/11/2001 n. 6792 "Norme funzionali e geotecniche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e impianti di produzione di energia elettrica.

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Le opere da realizzare nell'area in esame, sono relative alla Classe II, pertanto alle stesse è associato un coefficiente d'uso pari a  $C_U = 1,0$

### 11.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 50$  anni.

### 11.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame (individuato dalle coordinate WGS84 Lat. 44.482187; Long. 11.226728), considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica (VR) di 50 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

Stato limite		PVR (%)	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	81	30	0,054	2,487	0,257
	SLD	63	50	0,066	2,491	0,270
Stati limite ultimi	SLV	10	475	0,163	2,389	0,306
	SLC	5	975	0,207	2,415	0,315

### **11.5. Categoria di sottosuolo**

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e dai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vseq (in m/s) definita dalla espressione:

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{si}}}$$

con:

hi = spessore dell'i-esimo strato;

Vsi = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vseq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H = 30 nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II, di seguito riportata:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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

Come evidenziato dalle relazioni sismiche allegate, i terreni del primo sottosuolo sono caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, e al p.c. presentano una  $V_{seq}$  compresa tra 262 m/s e 327 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30,0 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*”

In considerazione di quanto sopra non si ritiene necessario un'analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

#### 11.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente classificazione.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

### 11.7. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1; per le altre categorie vengono calcolati in funzione di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  mediante le espressioni fornite nella seguente tabella.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,4 - 1,50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per il sito in esame otteniamo:

Stato limite	$S_s$	$C_c$
SLO	1,500	1,644
SLD	1,500	1,617
SLV	1,466	1,551
SLC	1,400	1,537

### 11.8. Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione della categoria topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

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

L'area in esame si pone in corrispondenza di una fascia pressoché pianeggiante, perciò si configura una categoria topografica tipo T1 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,0.

### **11.9 Accelerazione massima al sito**

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza e per lo stato limite SLV si ottiene un valore pari a 2,344 m/sec<sup>2</sup>.

### **11.10 Coefficiente sismico orizzontale e verticale**

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

$$k_h = \frac{\beta_s \times a_{\max}}{g}$$

dove:

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel nostro caso assumendo un valore di  $\beta_s$  pari a 0,24, si ottiene un coefficiente sismico orizzontale ( $k_h$ ) pari a 0,057.

Il coefficiente sismico verticale ( $k_v$ ) si ottiene mediante la relazione:

$$k_v = 0,5 k_h = 0,0285$$

## 12. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In occasione di un evento sismico particolare attenzione deve essere posta nella liquefazione dei terreni, ovvero la fluidificazione degli stessi con perdita improvvisa della resistenza al taglio, tendenza all'addensamento e conseguente riduzione di volume.

La verifica alla liquefazione può essere omessa quando risulta soddisfatta almeno uno delle seguenti circostanze come da N.T.C. 7.11.3.4.2:

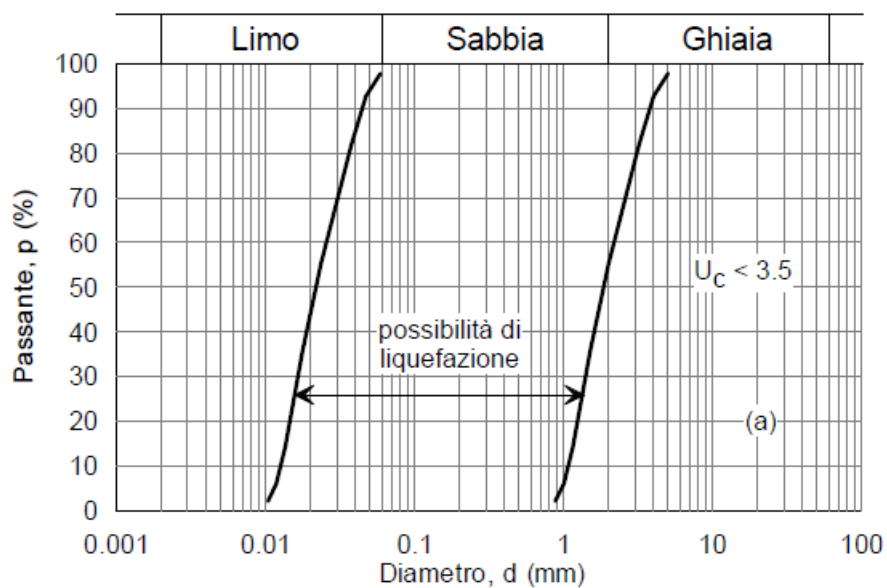
1. Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5; come visto in precedenza sulla base degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Gruppo di Lavoro MS 2008" le valutazioni vengono effettuate utilizzando la magnitudo massima attestata di 6,14 (*non soddisfatta*).
2. Accelerazione massima attesa al p.c. in condizioni di campo libero minore di 0,1g; nel nostro caso  $a_{max} = F.A. \cdot a_g = 0,239g$  (*non soddisfatta*).

Quando le condizioni 1 e 2 non risultano soddisfatte, le indagini devono essere finalizzate alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle successive condizioni:

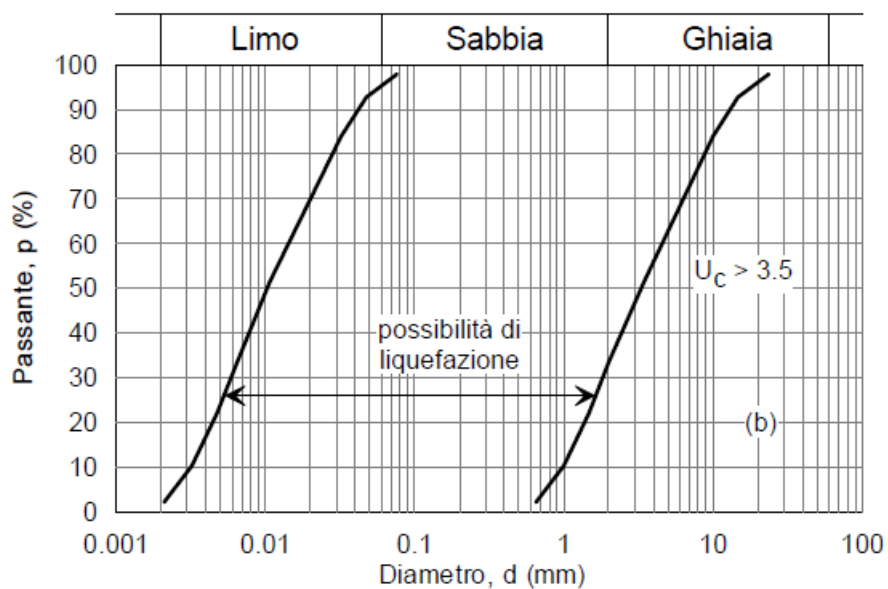
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15,00 m dal p.c., per p.c. suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali; nel nostro caso al termine dell'indagine all'interno dei fori di prova non è stata rilevata la presenza di falde freatiche e/o circolazioni idriche localizzare; indagini limitrofe hanno evidenziato la presenza di acqua a profondità mediamente superiori a 18,00÷20,00m, (*soddisfatta*);
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $(q_{cln}) > 180$ ; le prove eseguite hanno evidenziato come la litologia di superficie è essenzialmente caratterizzata dalla presenza di terreni argillosi e limosi, sopportati a partire da 7,50÷8,00 m da ghiaie ben addensate (*soddisfatta*).
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U < 3,5$  ed in figura (b) per terreni con  $U > 3,5$ ; a livello operativo l'applicazione di questo criterio implica l'esecuzione di un sondaggio con prelievo di campioni di sabbia satura.

Essendo soddisfatta almeno una delle seguenti circostanze come da N.T.C. 7.11.3.4.2, la verifica viene omessa.

(a)



(b)



### 13. RESISTENZA DI PROGETTO DEI TERRENI IN CONDIZIONI STATICHE

In accordo con le NTC sono stati effettuati i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU).

Secondo la Normativa la valutazione del grado di sicurezza si ottiene adottando il "Metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali" e verificando la relazione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

Ed: valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione nelle varie combinazioni di calcolo;

Rd: valore di progetto della resistenza del terreno.

La verifica del valore di progetto della resistenza del terreno viene eseguita secondo la teoria proposta da *Brinch-Hansen* (1970), estensione dell'equazione di *Buisman* (1935) e *Terzaghi* (1943), basata sulle seguenti ipotesi:

- omogeneità ed isotropia del terreno;
- non resistenza del terreno agli sforzi tensionali di trazione;
- rigidità infinita della struttura di fondazione rispetto al terreno.

Per le considerazioni suddette la formula di *Brinch-Hansen* viene ad assumere la seguente struttura:

$$R_d = (1/2 \gamma' B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma z_\gamma + c' N_c s_c d_c i_c g_c b_c z_c + q' N_q s_q d_q i_q g_q b_q z_q) r_g / \gamma_R$$

dove:

$\gamma'$  = peso di volume del terreno posto al disotto della fondazione;

B = larghezza della fondazione;

$N_\gamma$ ;  $N_c$ ;  $N_q$  = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;

$c'$  = coesione del terreno;

$q = (\gamma \cdot D)$  = sovraccarico agente ai bordi della fondazione dove  $\gamma$  è il peso di volume del terreno e D è l'incastro della fondazione;

$s_\gamma$ ;  $s_c$ ;  $s_q$  = fattori di forma della fondazione;

$d_\gamma$ ;  $d_c$ ;  $d_q$  = fattori di profondità della fondazione;

$i_\gamma$ ;  $i_c$ ;  $i_q$  = fattori inclinazione carico sulla fondazione;

$g_\gamma$ ;  $g_c$ ;  $g_q$  = fattori dipendenti dall'inclinazione del terreno;

$b_\gamma$ ;  $b_c$ ;  $b_q$  = fattori dipendenti dall'inclinazione della fondazione;

$z\gamma$ ;  $z_c$ ;  $z_q$  = fattori correzione sismico inerziale;

$r_g$  = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles);

$\gamma_R$  = coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali.

Per quanto in progetto si ipotizza l'adozione di un sistema fondale diretto nastriforme attestato ad una profondità di circa 3,50 m dal p.c. attuale, pertanto i terreni interessati dall'intervento sono rappresentati dai limi argillosi di consistenza da plastica a plastico dura.

Trovandoci in presenza di terreni prevalentemente coesivi la verifica della capacità portante degli stessi viene eseguita in condizioni non drenate (condizioni più critiche); in questo caso l'angolo di attrito interno del terreno ( $\varphi$ ) viene considerato uguale a zero e la resistenza al taglio totale viene affidata alla sola coesione non drenata il cui valore viene ricavato empiricamente mediante la relazione:

$$C_u = \frac{q_{cm} - \sigma'_{vo}}{N_{cp}}$$

dove:

$q_{cm}$  = valore medio di resistenza meccanica del terreno posto al disotto del piano di posa delle fondazioni;

$\sigma'_{vo}$  = tensione verticale efficace;

$N_{cp}$  = coefficiente adimensionale funzione della litologia e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Per le condizioni suddette la formula di *Brinch-Hansen*, non considerando i fattori correttivi che tengono conto dell'approfondimento della fondazione, ipotizzando il piano di posa della fondazione orizzontale, che il carico trasmesso sulla stessa risulti centrato, e per una inclinazione del terreno  $\beta = 16$ , si riduce a:

$$R_d = (cud \cdot N_c \cdot z_c \cdot s_c \cdot g_c + q) \cdot r_g / \gamma_R$$

dove:

$cud$  = coesione non drenata di progetto;

$N_c = (2 + \pi)$  = fattore capacità portante;

$z_c$  = fattore correzione sismico inerziale;

$s_c$  = fattore di forma della fondazione; pari a  $1 + 0,2 \cdot (B/L)$ ;

$g_c$  = fattore dipendente dall'inclinazione del terreno;

$q = (\gamma \cdot D)$  = sovraccarico agente ai bordi della fondazione; dove  $\gamma$  è il peso di volume del terreno e D è l'incastro della fondazione;

$r_g$  = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles), pari a  $1 - 0,25 \log_{10}(B/2)$ ; per valori di  $B < 2$  m, lo stesso si assume unitario;

Per la verifica del valore di progetto della capacità portante del terreno, la normativa prevede l'utilizzo di valori di progetto ( $V_d$ ) ottenuti applicando, ai valori caratteristici ( $V_k$ ), dei coefficienti parziali riduttivi funzione della tipologia di Approccio utilizzata.

Per i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU) verrà utilizzato sia l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), che risulta dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico, che l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Nella tabella seguente vengono riportati i coefficienti parziali riduttivi previsti dalla normativa per i parametri geotecnici del terreno.

Tabella 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE		
		$\gamma_M$	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi' k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c' k$	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00

Il valore caratteristico della coesione non drenata ( $c_{uk}$ ), trovandoci in presenza di una fondazione rigida cui è associata un importante volume significativo di terreno, è definito come il 5° percentile della distribuzione lognormale della media dei dati delle verticali indagate nel volume di influenza, al quale viene applicato il coefficiente M1 o M2 previsto dalla Normativa per ottenere il valore di  $c_{ud}$ .

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma viene introdotto il fattore correttivo  $z_c$  ottenuto dalla formula:

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

dove:

$k_h$  = coefficiente sismico orizzontale.

Per un valore di  $k_h$  pari a 0,057, si ottiene un valore di  $z_c$  pari a 0,982.

Il valore  $\gamma_R$  (coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali) si ricava dalla seguente tabella:

Tabella 6.4.I

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Nel nostro caso, non considerando la superficie efficace della fondazione, otteniamo:

**- Fondazione diretta nastriforme ( $B < 2,50$  m)**

**- *Proprietà Cini – Guidetti***

**- *Approccio 2 ( $A1+M1+R3$ )***

$$c_{uk} = 60 \text{ kN/m}^2;$$

$$c_{ud} = 60,0 \text{ kN/m}^2;$$

$$z_c = 0,982;$$

$$s_c = 1,0;$$

$$q = 19,2 \text{ kN/m}^2;$$

$$r_g = 1,0;$$

$$\gamma_R = 2,3.$$

$$R_d = (60,0 \cdot 5,14 \cdot 0,982 \cdot 1,0 + 19,2) \cdot 1,0/2,3 = 140,0 \text{ kN/m}^2$$

**- *Proprietà Cini Massimiliano***

**- *Approccio 2 ( $A1+M1+R3$ )***

$$c_{uk} = 80 \text{ kN/m}^2;$$

$$c_{ud} = 80,0 \text{ kN/m}^2;$$

$$z_c = 0,982;$$

$$s_c = 1,0;$$

$$q = 19,2 \text{ kN/m}^2;$$

$$r_g = 1,0;$$

$$\gamma_R = 2,3.$$

$$R_d = (80,0 \cdot 5,14 \cdot 0,982 \cdot 1,0 + 19,2) \cdot 1,0/2,3 = 183,9 \text{ kN/m}^2$$

Sarà cura del progettista, sulla base della conoscenza dei parametri, della geometria e delle azioni di progetto, la verifica della disequazione  $E_d < R_d$  per entrambi gli approcci considerati.

#### 14. CONSIDERAZIONI FINALI

L'area in esame ricade nella zona compresa tra la fascia collinare pedepenninica e l'alta Pianura Padana, caratterizzata da moderate ondulazioni che decrescono progressivamente verso Nord; più esattamente si ubica ad una quota media di 80,00 m s.l.m., in un settore pressoché pianeggiante e/o moderatamente acclive.

La litologia del primo sottosuolo al tetto, al di sotto di un orizzonte di terreno di riporto dello spessore medio di  $0,75 \div 0,80$  m, risulta inizialmente caratterizzata dalla presenza di limi argillosi e/o viceversa di colore da nocciola a giallo ocreo, di consistenza da plastica ( $q_c = 1,0 \div 1,9$  MPa;  $R_f = 4,3 \div 6,7$  %) a plastico dura ( $q_c = 2,0 \div 3,4$  MPa;  $R_f = 4,2 \div 5,6$  %), con i valori più bassi misurati nella fascia meridionale, ed umidità media, che nella fascia Nord sino a  $2,40 \div 2,60$  m assumono una consistenza da dura a molto dura ( $q_c = 5,1 \div 8,1$  MPa;  $R_f = 3,9 \div 5,6$  %) presumibilmente sovraconsolidati per essiccazione.

I suddetti terreni da una profondità variabile da 6,80 m a 8,00 m circa sono sopportati da ghiaie di addensamento da medio a medio buono ( $q_c = 17,0 \div 39,2$  MPa;  $R_f = 0,5 \div 0,7$  %) in matrice sabbiosa, localmente preceduti da una sottile lente sabbiosa di addensamento da medio a medio buono ( $q_c = 4,0 \div 8,4$  MPa;  $R_f = 1,2 \div 1,6$  %).

Al termine dell'indagine sino alla profondità raggiunta non è stata rilevata la presenza di falde freatiche di superficie e/o circolazioni idriche localizzate; indagini limitrofe hanno evidenziato la presenza di acqua a profondità mediamente superiori a  $15,00 \div 18,00$  m.

In considerazione della tipologia di intervento e delle caratteristiche fisico meccaniche che contraddistinguono i terreni del primo sottosuolo si ritiene che per i due fabbricati in progetto possa essere adottato un sistema fondale diretto nastro-forme, che in considerazione della presenza di un piano interrato, rispetto al p.c. attuale si attesterà ad una profondità di circa 3,50 m.

I terreni del primo sottosuolo sono caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, e al p.c. presentano una  $V_{seq}$  compresa tra 262 m/s e 327 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30,0 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."*

In considerazione di quanto sopra non si ritiene necessario un'analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Nell'area in esame sedimenti potenzialmente liquefabili sono inesistenti, essendo la litologia di superficie rappresentata essenzialmente da limi ed argille di

buona consistenza sopportati a partire da 7,50÷8,00 m da ghiaie ben addensate non interessate da circolazioni idriche.

Durante la fase di scavo per la realizzazione dell'interrato potrà essere adottato un angolo di scarpata dell'ordine di 55÷60°, avendo cura di proteggere le pareti di scavo mediante teli impermeabili, in modo da evitare scoscendimenti in corrispondenza dei terreni superficiali, specie a seguito di precipitazioni particolarmente copiose e persistenti.

I terreni limo argillosi presenti all'ipotizzato piano di fondazione nella fascia meridionale (proprietà Cini - Guidetti) nel caso di un sistema fondale diretto nastriforme, non considerando la superficie efficace dello stesso, consentono valori di resistenza di progetto dell'ordine di 140,0 kN/m<sup>2</sup> (Approccio 2), mentre nella fascia Nord (proprietà Cini Massimiliano), sempre per le stesse condizioni, consentono valori di resistenza di progetto dell'ordine di 183,9 kN/m<sup>2</sup> (Approccio 2).

In considerazione di quanto sopra si può pertanto affermare che da un punto di vista geologico, seguendo le prescrizioni riportate in precedenza, non vi è nulla che impedisca la realizzazione di quanto in progetto.

Casalecchio di Reno, 21 Dicembre 2018



## ALLEGATI

## Indagine geognostica

Committente: Cini - Guidetti  
 Località : Zola Predosa (BO)  
 Cantiere : via Colombo - via Garibaldi  
 n° prova : 1  
 Profondità falda : assente  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **18.0697 /RSP**

Data prova: 27/09/2018  
 Quota: --  
 Codice lavoro: 2018.115  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
18		1.76	52.32	34	2.96	1,0 m
12	20	1.18	78.48	15	6.67	
19	31	1.86	78.48	24	4.21	
32	44	3.14	98.10	32	3.13	
34	49	3.33	98.10	34	2.94	
19	34	1.86	91.56	20	4.92	2,0 m
26	40	2.55	104.64	24	4.11	
16	32	1.57	85.02	18	5.42	
22	35	2.16	111.18	19	5.15	
21	38	2.06	104.64	20	5.08	
24	40	2.35	124.26	19	5.28	3,0 m
17	36	1.67	98.10	17	5.89	
18	33	1.76	117.72	15	6.67	
20	38	1.96	98.10	20	5.00	
21	36	2.06	91.56	22	4.45	
19	33	1.86	98.10	19	5.27	4,0 m
14	29	1.37	85.02	16	6.19	
11	24	1.08	65.40	16	6.06	
10	20	0.98	58.86	17	6.00	
16	25	1.57	85.02	18	5.42	
10	23	0.98	45.78	21	4.67	5,0 m
11	18	1.08	58.86	18	5.46	
12	21	1.18	65.40	18	5.56	
16	26	1.57	85.02	18	5.42	
15	28	1.47	71.94	20	4.89	
14	25	1.37	78.48	17	5.72	6,0 m
13	25	1.27	78.48	16	6.16	
16	28	1.57	91.56	17	5.84	
16	30	1.57	91.56	17	5.84	
20	34	1.96	85.02	23	4.34	
21	34	2.06	104.64	20	5.08	7,0 m
24	40	2.35	91.56	26	3.89	
86	100	8.43	98.10	86	1.16	
186	201	18.24	117.72	155	0.65	
352	370	34.51	13.08	2638	0.04	
400	402	39.22				8,0 m

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	27/09/2018	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente: Cini - Guidetti  
 Località : Zola Predosa (BO)  
 Cantiere : via Colombo - via Garibaldi  
 n° prova : 2  
 Profondità falda : assente  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **18.0698 /RSP**

Data prova: 27/09/2018  
 Quota: --  
 Codice lavoro: 2018.115  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
19		1.86	111.18	17	5.97	1,0 m
18	35	1.76	91.56	19	5.19	
18	32	1.76	26.16	67	1.48	
26	30	2.55	98.10	26	3.85	
15	30	1.47	98.10	15	6.67	
15	30	1.47	85.02	17	5.78	2,0 m
17	30	1.67	111.18	15	6.67	
16	33	1.57	85.02	18	5.42	
19	32	1.86	117.72	16	6.32	
15	33	1.47	85.02	17	5.78	
14	27	1.37	65.40	21	4.76	3,0 m
19	29	1.86	91.56	20	4.92	
14	28	1.37	65.40	21	4.76	
16	26	1.57	98.10	16	6.25	
16	31	1.57	85.02	18	5.42	
15	28	1.47	85.02	17	5.78	4,0 m
11	24	1.08	58.86	18	5.46	
10	19	0.98	58.86	17	6.00	
13	22	1.27	71.94	18	5.64	
13	24	1.27	78.48	16	6.16	
11	23	1.08	71.94	15	6.67	5,0 m
12	23	1.18	71.94	16	6.11	
10	21	0.98	58.86	17	6.00	
16	25	1.57	98.10	16	6.25	
13	28	1.27	71.94	18	5.64	
15	26	1.47	78.48	19	5.34	6,0 m
14	26	1.37	58.86	23	4.29	
15	24	1.47	91.56	16	6.23	
16	30	1.57	71.94	22	4.59	
16	27	1.57	71.94	22	4.59	
15	26	1.47	78.48	19	5.34	7,0 m
24	36	2.35	150.42	16	6.39	
19	42	1.86	98.10	19	5.27	
19	34	1.86	117.72	16	6.32	
221	239	21.67	130.80	166	0.60	
370	390	36.27	215.82	168	0.59	8,0 m
87	120	8.53	124.26	69	1.46	
325	344	31.86	189.66	168	0.60	
400	429	39.22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	27/09/2018	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente: Cini - Guidetti  
 Località : Zola Predosa (BO)  
 Cantiere : via Colombo - via Garibaldi  
 n° prova : 3  
 Profondità falda : assente  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **18.0699 /RSP**

Data prova: 27/09/2018  
 Quota: --  
 Codice lavoro: 2018.115  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
						1,0 m
14		1.37	85.02	16	6.19	
18	31	1.76	91.56	19	5.19	
29	43	2.84	91.56	31	3.22	
42	56	4.12	117.72	35	2.86	
32	50	3.14	124.26	25	3.96	2,0 m
29	48	2.84	117.72	24	4.14	
31	49	3.04	117.72	26	3.87	
28	46	2.75	150.42	18	5.48	
25	48	2.45	130.80	19	5.34	
22	42	2.16	104.64	21	4.85	3,0 m
22	38	2.16	130.80	16	6.06	
21	41	2.06	117.72	17	5.72	
20	38	1.96	104.64	19	5.34	
18	34	1.76	85.02	21	4.82	
22	35	2.16	91.56	24	4.25	4,0 m
24	38	2.35	104.64	22	4.45	
14	30	1.37	85.02	16	6.19	
13	26	1.27	65.40	19	5.13	
17	27	1.67	85.02	20	5.10	
14	27	1.37	78.48	17	5.72	5,0 m
13	25	1.27	78.48	16	6.16	
17	29	1.67	85.02	20	5.10	
18	31	1.76	91.56	19	5.19	
19	33	1.86	104.64	18	5.62	
13	29	1.27	71.94	18	5.64	6,0 m
28	39	2.75	111.18	25	4.05	
16	33	1.57	85.02	18	5.42	
22	35	2.16	91.56	24	4.25	
21	35	2.06	85.02	24	4.13	
318	331	31.18	189.66	164	0.61	7,0 m
276	305	27.06	156.96	172	0.58	
400	424	39.22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	27/09/2018	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente: Cini - Guidetti  
 Località : Zola Predosa (BO)  
 Cantiere : via Colombo - via Garibaldi  
 n° prova : 4  
 Profondità falda : assente  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

**Rapporto di prova N°:** **18.0700 /RSP**

Data prova: 27/09/2018  
 Quota: --  
 Codice lavoro: 2018.115  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
52		5.10	143.88	35	2.82	
55	77	5.39	143.88	37	2.67	
52	74	5.10	156.96	32	3.08	
49	73	4.80	150.42	32	3.13	
58	81	5.69	196.20	29	3.45	1,0 m
64	94	6.27	268.14	23	4.27	
72	113	7.06	274.68	26	3.89	
64	106	6.27	248.52	25	3.96	
59	97	5.78	281.22	21	4.86	
62	105	6.08	287.76	21	4.73	2,0 m
58	102	5.69	215.82	26	3.80	
40	73	3.92	170.04	23	4.34	
23	49	2.25	124.26	18	5.51	
26	45	2.55	130.80	19	5.13	
23	43	2.25	124.26	18	5.51	3,0 m
20	39	1.96	117.72	17	6.00	
19	37	1.86	98.10	19	5.27	
16	31	1.57	78.48	20	5.00	
18	30	1.76	91.56	19	5.19	
17	31	1.67	78.48	21	4.71	4,0 m
17	29	1.67	85.02	20	5.10	
17	30	1.67	78.48	21	4.71	
20	32	1.96	98.10	20	5.00	
22	37	2.16	104.64	21	4.85	
21	37	2.06	117.72	17	5.72	5,0 m
17	35	1.67	91.56	18	5.49	
23	37	2.25	104.64	22	4.64	
32	48	3.14	117.72	27	3.75	
28	46	2.75	130.80	21	4.76	
29	49	2.84	117.72	24	4.14	6,0 m
20	38	1.96	104.64	19	5.34	
22	38	2.16	117.72	18	5.46	
21	39	2.06	58.86	35	2.86	
50	59	4.90	91.56	54	1.87	
31	45	3.04	104.64	29	3.44	7,0 m
29	45	2.84	137.34	21	4.83	
20	41	1.96	98.10	20	5.00	
42	57	4.12	71.94	57	1.75	
30	41	2.94	85.02	35	2.89	
49	62	4.80	65.40	73	1.36	8,0 m
250	260	24.51	130.80	187	0.53	
390	410	38.24				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	27/09/2018	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente: Cini - Guidetti  
 Località : Zola Predosa (BO)  
 Cantiere : via Colombo - via Garibaldi  
 n° prova : 5  
 Profondità falda : assente  
 Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN  
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **18.0701 /RSP**

Data prova: 27/09/2018  
 Quota: --  
 Codice lavoro: 2018.115  
 Procedura di prova: --

L1 kg/cm <sup>2</sup>	L2 kg/cm <sup>2</sup>	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
39		3.82	215.82	18	5.64	
46	79	4.51	170.04	27	3.77	
42	68	4.12	150.42	27	3.65	
34	57	3.33	137.34	24	4.12	
61	82	5.98	307.38	19	5.14	1,0 m
62	109	6.08	268.14	23	4.41	
73	114	7.16	294.30	24	4.11	
81	126	7.94	313.92	25	3.95	
83	131	8.14	300.84	27	3.70	
59	105	5.78	268.14	22	4.64	2,0 m
57	98	5.59	281.22	20	5.03	
53	96	5.20	274.68	19	5.29	
52	94	5.10	248.52	21	4.87	
30	68	2.94	156.96	19	5.34	
31	55	3.04	170.04	18	5.59	3,0 m
26	52	2.55	143.88	18	5.64	
25	47	2.45	124.26	20	5.07	
27	46	2.65	143.88	18	5.44	
33	55	3.24	150.42	22	4.65	
35	58	3.43	156.96	22	4.57	4,0 m
31	55	3.04	150.42	20	4.95	
23	46	2.25	124.26	18	5.51	
22	41	2.16	104.64	21	4.85	
30	46	2.94	111.18	26	3.78	
31	48	3.04	98.10	31	3.23	5,0 m
37	52	3.63	124.26	29	3.43	
35	54	3.43	104.64	33	3.05	
30	46	2.94	104.64	28	3.56	
37	53	3.63	156.96	23	4.33	
35	59	3.43	176.58	19	5.15	6,0 m
28	55	2.75	163.50	17	5.96	
34	59	3.33	150.42	22	4.51	
35	58	3.43	150.42	23	4.38	
26	49	2.55	117.72	22	4.62	
43	61	4.22	163.50	26	3.88	7,0 m
34	59	3.33	124.26	27	3.73	
69	88	6.76	111.18	61	1.64	
40	57	3.92	78.48	50	2.00	
46	58	4.51	78.48	57	1.74	
43	55	4.22	71.94	59	1.71	8,0 m
174	185	17.06	98.10	174	0.58	
390	405	38.24				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	27/09/2018	Dr. Conti	Dr. Luca Conti







- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimara, 119 - Tel. 051/61.33.072

**CPT** (CONE PENETRATION TEST)

4  
N.

**Rapporto di Prova N°:** **18.0700 /RSP**

Committente: Cini - Guidetti

Località : Zola Predosa (BO)

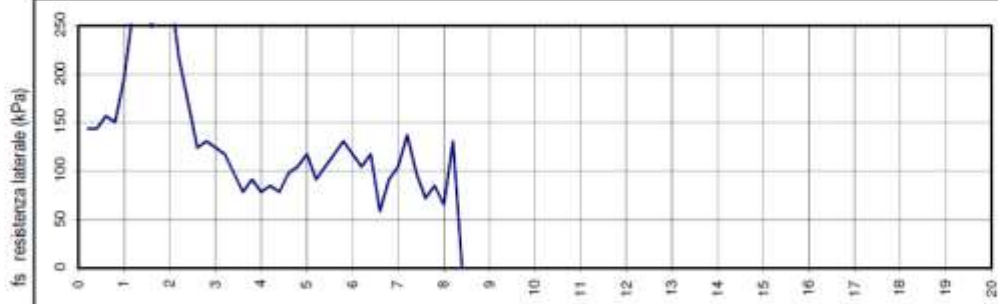
via Colombo - via Garibaldi

Attrezzatura: Penetrometro da 100 kN

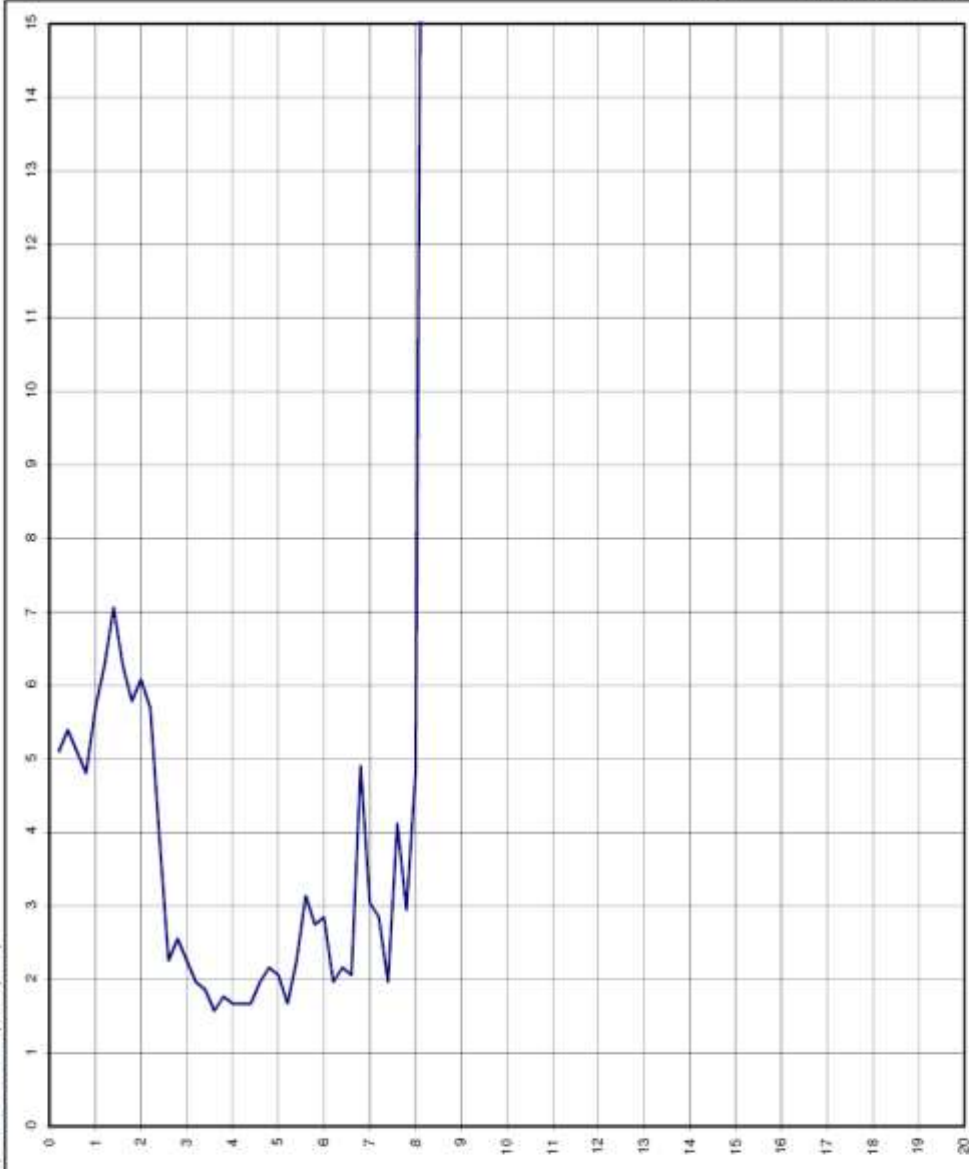
Quota:

Data prova: 27/09/2018

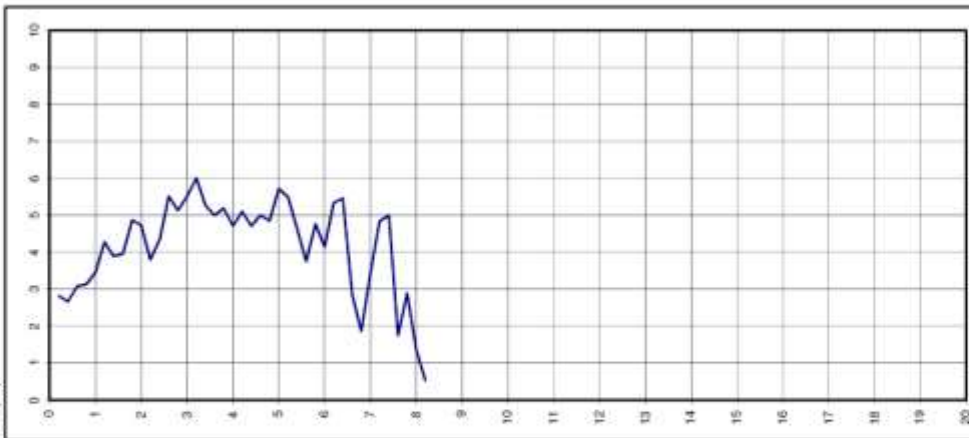
Codice lavoro: 2018.115



qc resistenza alla punta (MPa)



RI (%)



**Note:** ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
--	--	0	27/09/2018	Dr. Conti	Dr. Luca Conti



<b>GEO-PROBE</b> s.r.l. <i>Indagini Geognostiche</i>  40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimara, 119 - Tel. 051/61.33.072	Committente: <u>Cini - Guidetti</u>		Quota: <u>--</u>		Rep. Pr. N°18.0702/RSP	
	Località: <u>Zola Predosa (BO)</u>		Profondità: <u>4.00 m</u>		Codice Lavoro 2018.115	
	Cantiere: <u>via Colombo - via Garibaldi</u>		Data Inizio: <u>27/09/2018</u>		SONDAGGIO	
	Perforazione: <u>Trivellazione a secco d 120 mm</u>		Data Fine: <u>27/09/2018</u>		FOGLIO	
	Attrezzatura: <u>Unimog 400L</u>		Il geologo: <u>Dr. Conti</u>		<b>1</b> <b>1/1</b>	
Procedura di Prova --	Rapporto di Prova N° 18.0702/RSP	Rev. 0	Data di emissione 27/09/2018	Lo Sperimentatore Dr. Conti	Il Direttore di Laboratorio Dr. L. Conti	

Profondità [m]	Scala 1:50	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Campioni	Falda	Piezometro Norton
0.80	1		Terreno di riporto.			
	2		Limo debolmente argilloso di colore giallo ocraceo; terreno a consistenza plastica ed umidità media.			
4.00	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					

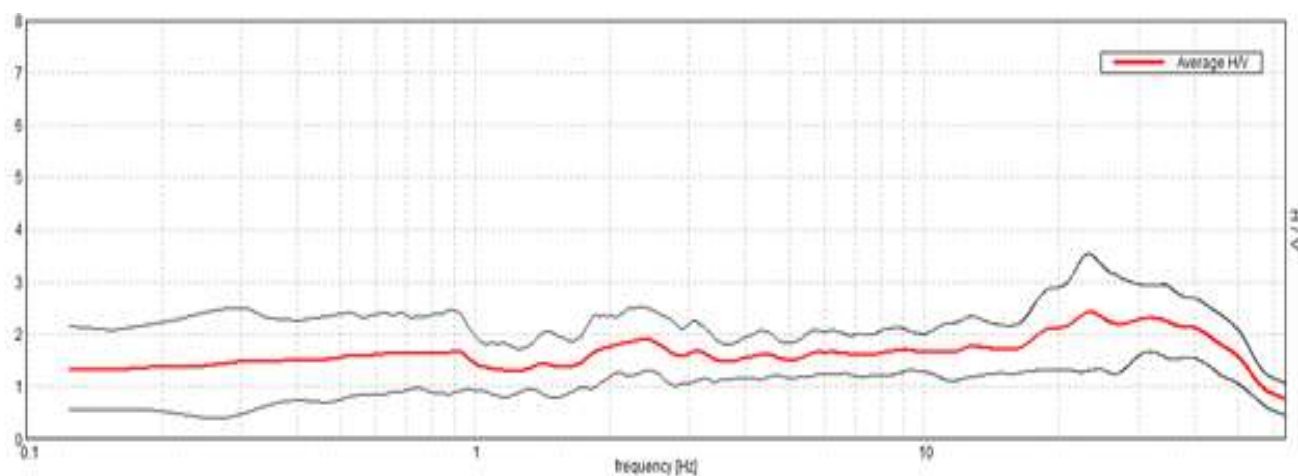
<b>GEO-PROBE</b> Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072		Committente: Cini - Guidetti		Quota: --		Rep. Pr. N°18.0703/RSP	
		Località: Zola Predosa (BO)		Profondità: 4.00 m		Codice Lavoro 2018.115	
		Cantiere: via Colombo - via Garibaldi		Data Inizio: 27/09/2018		SONDAGGIO	
		Perforazione: Trivellazione a secco d 120 mm		Data Fine: 27/09/2018		FOGLIO	
		Altrezzaatura: Unimog 400L		Il geologo: Dr. Conti		2      1/1	
Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio		
--	18.0703/RSP	0	27/09/2018	Dr. Conti	Dr. L. Conti		

Profondità [m]	Scala 1:50	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Campioni	Falda	Piezometro Norton
0.75	1		Terreno di riporto.			
	2		Limo debolmente argilloso di colore nocciola; terreno a consistenza plastico dura ed umidità media.			
	3					
	4					
-4.00	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					

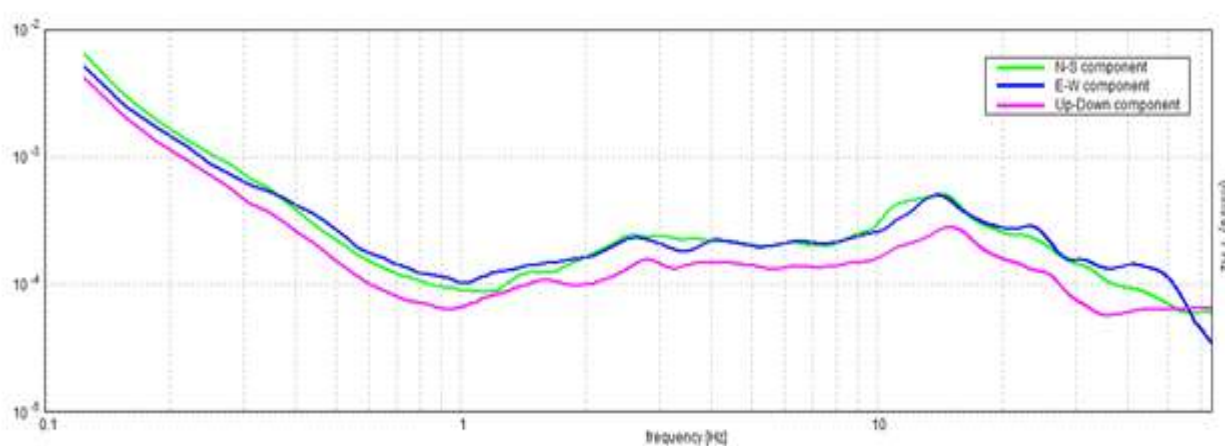
## Indagini sismiche

Committente:	-	Data prova:	07/04/2017
Località:	Zola Predosa	Ora inizio registrazione:	10:57:24
Cantiere:	via Pirandello	Ora fine registrazione:	11:17:24
Strumento:	TRZ-0184/01-12	Procedura di Prova:	
Note:	-	Frequenza di campionamento:	128 Hz

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

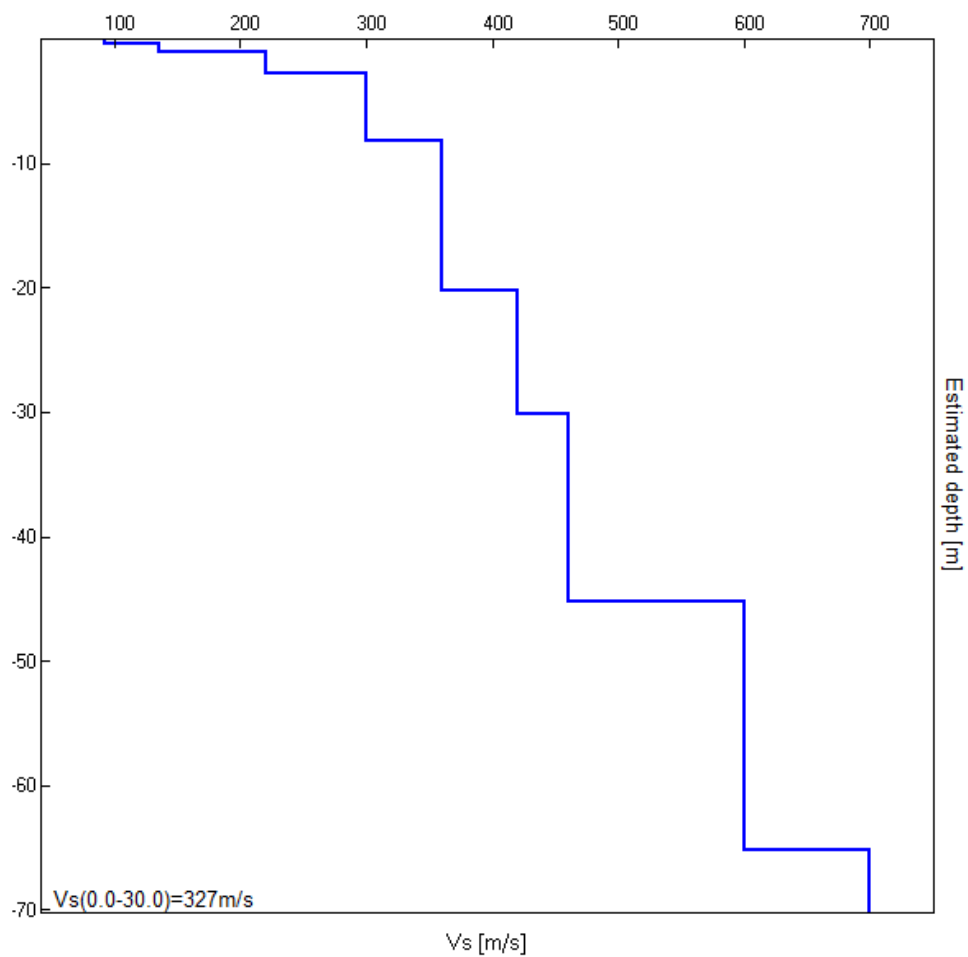


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	92
1.00	0.60	136
2.80	1.80	220
8.20	5.40	300
20.20	12.00	360
30.20	10.00	420
45.20	15.00	460
65.20	20.00	600
inf.	inf.	700

$V_s(0.0-30.0) = 327 \text{ m/s}$





**Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Geoprobe S.r.l.
Prova:	MASW 24 ch
Località:	Via Colombo - Zola Predosa (BO)
Data:	15-dic-18
Certificato:	A1316GF639MASWL1



## SOMMARIO

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>METODOLOGIA D'INDAGINE .....</b>	<b>4</b>
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	4
MODALITÀ ESECUTIVE .....	4
<b>ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>6</b>
SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	6
<i>Analisi delle immagini di dispersione</i> .....	6
<i>Interpretazione</i> .....	6
Densità Dinamica: .....	7
Modulo di taglio: .....	7
Modulo di Young: .....	7
<b>PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>8</b>
PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI .....	9
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>10</b>



## INTRODUZIONE

Su incarico di Geoprobe S.r.l. è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot in Via Colombo - Zola Predosa (BO).

L'ubicazione della zona di indagine è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica a shot singolo con metodo MASW;
- elaborazione dei dati raccolti.



## METODOLOGIA D'INDAGINE

### INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della  $V_{s30}$ .

Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

- acquisizione delle onde superficiali;
- costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

### MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.

Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.



Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale X610S-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

MASW	n° geofoni	Spacing [m]	Offset [m]	Lunghezza array [m]
L1	24	1.00	7.00	30.00

Tabella n° 1 - Array della stendimento MASW.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

**SISMOGRAFO M.A.E. X610-S**

Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico: 144 dB (teorico)
Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Intervallo di campionamento: 1/90, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Archiviazione dati in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A
Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding
Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi)
Condizioni ambientali: -20/80°C

Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.

**GEOFONI GEOSPACE GS-11D**

Natural Frequency	4.3 ± 0.75 Hz
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	0.32 V/cm/s
Normalized Transduction Coefficient (V/in/sec)	0.42 (sq.root of R <sub>c</sub> )
Open Circuit Damping	0.34 ± 10%
Damping Coefficient with 380 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistances ± 5%	50, 16 Ohms
Moving Mass ± 5%	23.6 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0.18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.1 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	5%

**Dimensioni**

Height (less terminal*)	3.35 cm
Diameter	3.18 cm
Weight	111 g

\* terminal height is 0.3429 cm

Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.



## ELABORAZIONE DATI

### SISMICA CON METODOLOGIA MASW

#### **ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE**

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

#### **INTERPRETAZIONE**

Il profilo delle  $V_s$  è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda_f$$

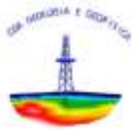
dove:

$z_f$  = profondità di propagazione della frequenza  $f$ ;

$a$  = coefficiente adimensionale;

$\lambda_f$  = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza  $f$ .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 6.7* del *Kansas Geological Survey*).



In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.

Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

**Densità Dinamica:**

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

Dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$V_p$  = velocità onde di compressione;

**Modulo di taglio:**

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

$\rho$  = massa volumica ( $\gamma/g$ );

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$g$  = accelerazione di gravità;

$V_s$  = velocità onde di taglio;

**Modulo di Young:**

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Dove:

$G$  = modulo di taglio;

$\nu$  = Coefficiente di Poisson.



## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I certificati delle indagini sismiche MASW eseguite sono riportate in appendice 1.

La stratigrafia sismica delle singole prove è riportata nelle seguenti tabelle:

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	1.34	128.99
2	1.68	251.64
3	2.10	141.31
4	2.63	286.56
5	3.28	271.99
6	4.10	198.40
7	5.13	313.78
8	6.41	397.62
9	8.01	406.77
10	8.67	472.88

Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica Linea L1

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della  $V_{seq}$  è stata ottenuta utilizzando la formula:

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

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

$V_{s,i}$  = Velocità onde di taglio dello strato  $i$ esimo;

$N$  = numero degli strati;

$H$  = profondità del substrato ( $H = 30$  m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La  $V_{seq}$ , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

<b>Veq [m/s]</b>	<b>262.01</b>
------------------	---------------

Tabella n° 5 – Valore calcolato di  $V_{seq}$  Linea L1



## PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

In Appendice 1 sono rappresentate graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma_{din}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (Mpa)	G0 (Mpa)
0.00	315.95	128.99	14.93	70.91	25.33
1.34	315.95	128.99	14.93	70.91	25.33
3.02	616.39	251.64	16.95	306.45	109.45
5.12	346.15	141.31	15.19	86.61	30.93
7.75	701.94	286.56	17.37	407.35	145.48
11.03	666.24	271.99	17.20	363.36	129.77
15.13	485.99	198.40	16.20	182.09	65.03
20.26	768.60	313.78	17.68	496.90	177.46
26.67	973.96	397.62	18.49	834.61	298.07
34.68	996.39	406.77	18.57	877.27	313.31
43.34	1158.32	472.88	19.11	1220.00	435.71

Tabella n° 6 – Parametri geofisici

San Giovanni in Persiceto, 17 dicembre 2018

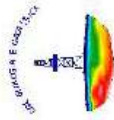
I Geologi :





## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici



COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.

CANTIERE: Via Colombo - Zola Predosa (BO)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVA A1316GF639MASWL1





COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.

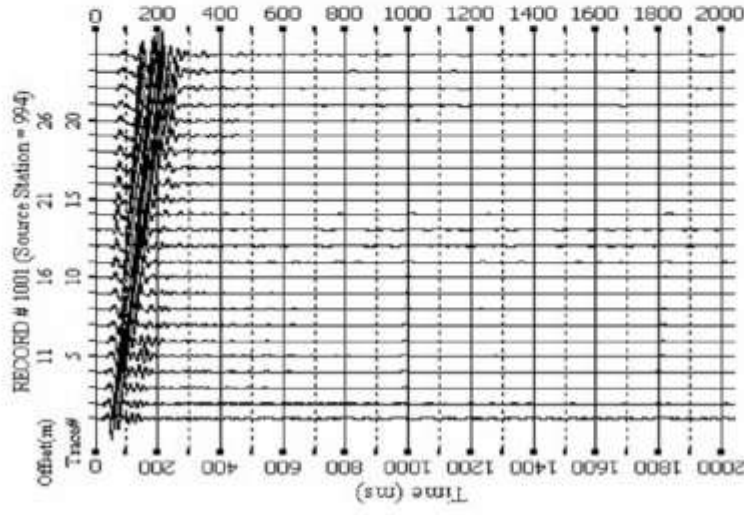
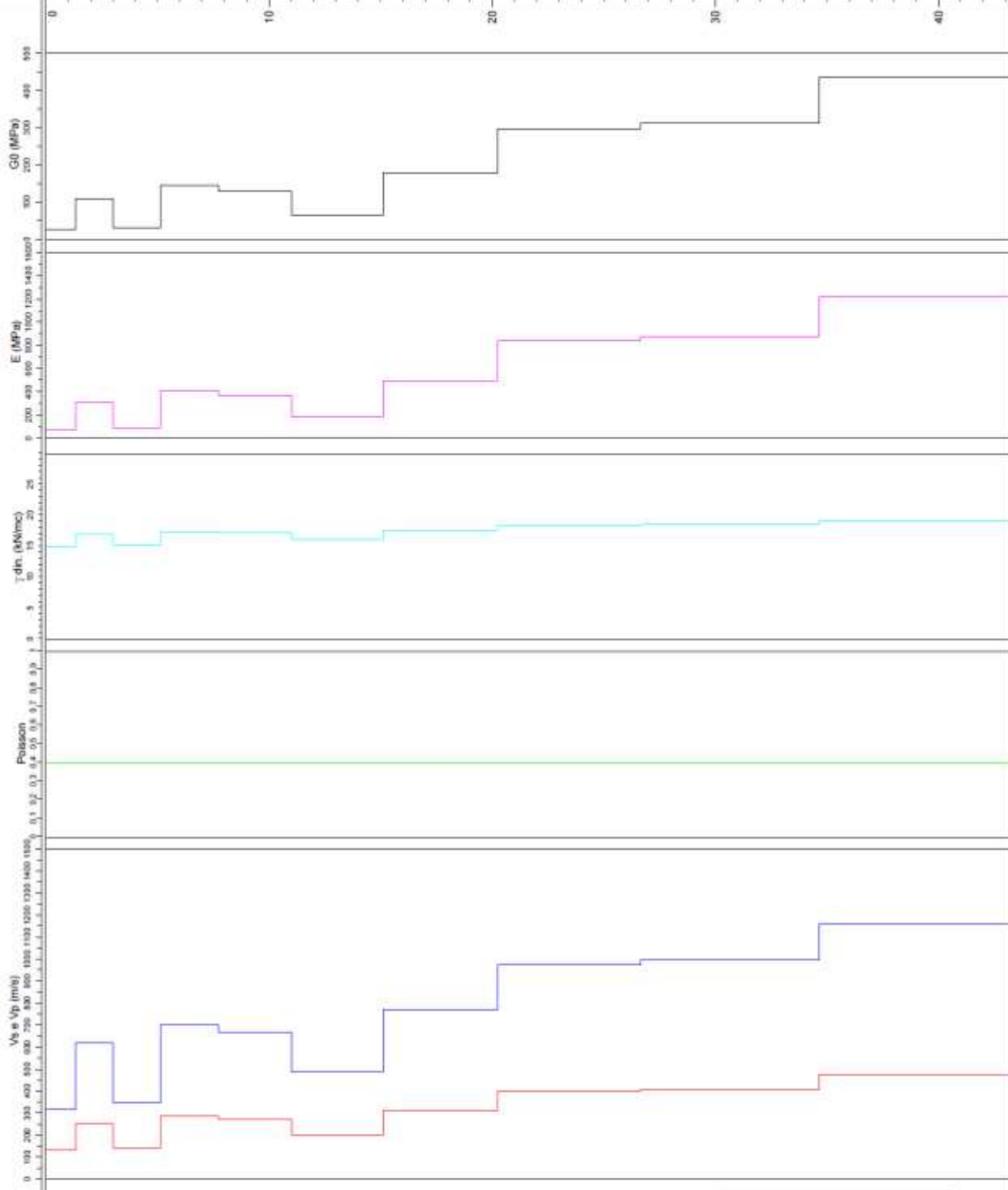
CANTIERE: Via Colombo - Zola Predosa (BO)

PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 15/12/2018

CERTIFICATO N°: A1316GF63SMASWL1



Sismogramma A1316GF63SMASWL1

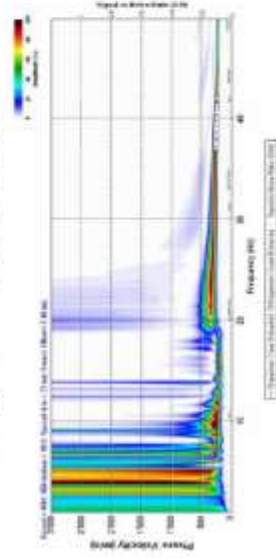


Immagine di dispersione A1316GF63SMASWL1



**Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**

Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328

C.F. e Partita IVA 04112290376

Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Geoprobe S.r.l.
Prova:	HVSR A1
Località:	Via Colombo - Zola Predosa (BO)
Data:	14-dic-18
Certificato:	A1316GF639A1HVSR



## SOMMARIO

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR.....</b>	<b>4</b>
ELABORAZIONE DATI .....	4
<b>INTERPRETAZIONE.....</b>	<b>5</b>
Verifiche SESAME.....	5
Sismostratigrafia.....	5
Frequenza caratteristica di sito $f_0$ .....	5
Ampiezza del picco H/V.....	6
Calcolo $V_{s\text{ eq}}$ .....	6
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>7</b>



## INTRODUZIONE

Su incarico di Geoprobe S.r.l. è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova , eseguita in località Via Colombo - Zola Predosa (BO).

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica HVSR;
- elaborazione dei dati raccolti.

L'ubicazione delle indagini è rappresentata in figura n° 1.



## INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR

Il metodo HVSR (Nogoshi e Igarashi 1971; Nakamura 1989) si basa sulla stima del rapporto tra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali (H) e verticali (V) dei microtermori sismici ambientali registrati contemporaneamente e da una singola stazione.

La registrazione dei microtremori viene effettuato utilizzando un sensore a tre componenti (orientati sugli assi z, x e y di una terna cartesiana con l'asse delle ordinate posto in coincidenza con il Nord del campo magnetico terrestre) con **frequenza naturale** pari a **2 Hz**.

La stazione registrante è un **sismografo a 24 bit reali** di fabbricazione **MAE**, modello **A6000S**.

I tempi di acquisizione sono funzione delle frequenze fondamentali che si intendono campionare, nel caso specifico il campionamento viene eseguito con target frequenze nel range  $0.2 < f_0 < 20$  Hz tempo di registrazione pari a 40' con frequenza di campionamento di 200 Hz.

### ELABORAZIONE DATI

Il calcolo del rapporto H/V si sviluppa secondo i seguenti step:

1. Scomposizione dei segnali in finestre temporali, nel caso specifico di almeno 20 s ognuna;
2. Scelta delle finestre nelle quali il segnale registrato risulta maggiormente stazionario (almeno 15);
3. Calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate;
4. Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
5. Calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre e costruzione della curva H/V definitiva.

Il picco a più elevato rapporto H/V e a frequenza più bassa, individuato sulla curva definitiva, è rappresentativo del salto di impedenza sismica tra la copertura e il bed rock sismico locale.

La frequenza corrispondente a tale picco è la frequenza fondamentale del sito ( $f_0$ ), dalla quale conoscendo il comportamento sismico della copertura e utilizzando la semplice regola matematica del IV d'onda è possibile stimare la profondità del bed rock sismico locale.



## INTERPRETAZIONE

I certificati delle indagini sismiche HVSR eseguite sono riportati in appendice 1.

### Verifiche SESAME

$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5H$	
$\exists f^- \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco} > [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Tabella n° 1 – Verifiche SESAME

### Sismostratigrafia

La stratigrafia sismica della prova HVSR è riportata nella seguente tabella:

Strato	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	2.00	120.00
2	25.00	308.51
3	87.00	595.92
4	BEDROCK	804.01

Tabella n° 2 – Dati della sismostratigrafia

### Frequenza caratteristica di sito $f_0$

Frequenza $f_0$ [Hz]
16.6±2.4

Tabella n° 3 – Frequenza caratteristica di sito  $f_0$



## Ampiezza del picco H/V

Ampiezza del picco [H/V]
3.4±0.4

Tabella n° 4 – Profondità del bed rock sismico

## Calcolo $V_{s\ eq}$

La  $V_{s\ eq}$ , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

$V_{eq}$ [m/s]	301.18
----------------	--------

Tabella n° 5 – Valore calcolato di  $V_{s\ eq}$  Linea L1

San Giovanni in Persiceto, 17/12/2018

I Geologi :





## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici



COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.

CANTIERE: Via Colombo - Zola Predosa (BO)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVA A1316GF639A1HVSR

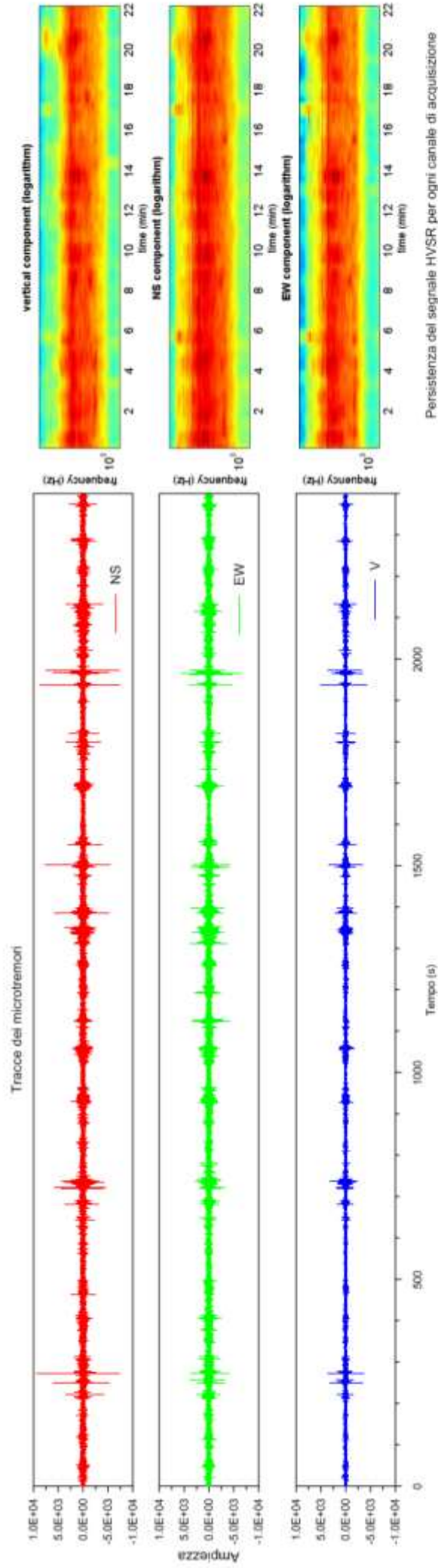




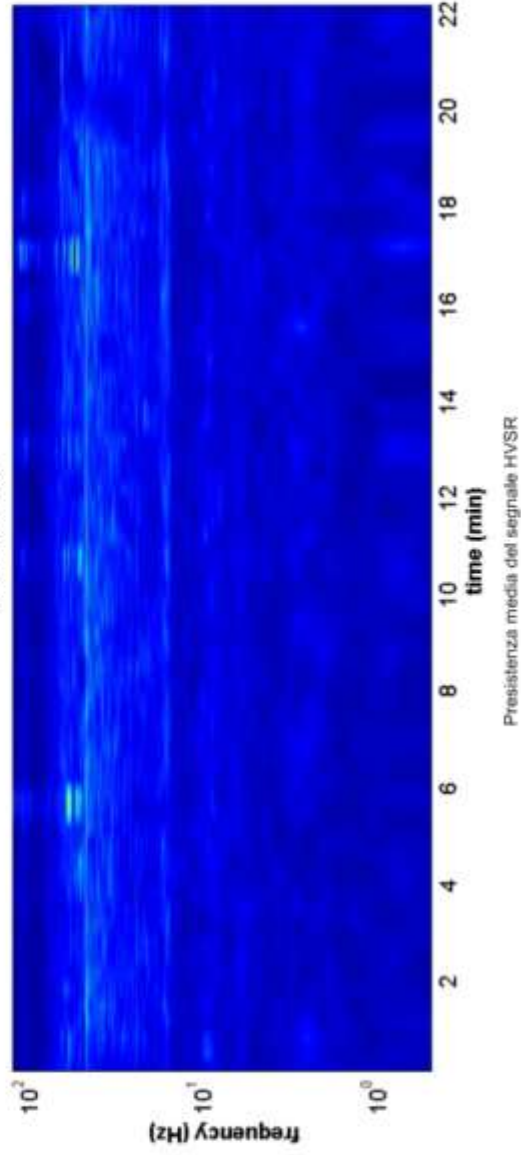
Committente: Geoprobe S.r.l.

Prova: HVSR A1 Località: Via Colombo - Zola Predosa (BO) Data: Friday, December 14, 2018

Segnale acquisito e persistenza del segnale



HVSR vs time

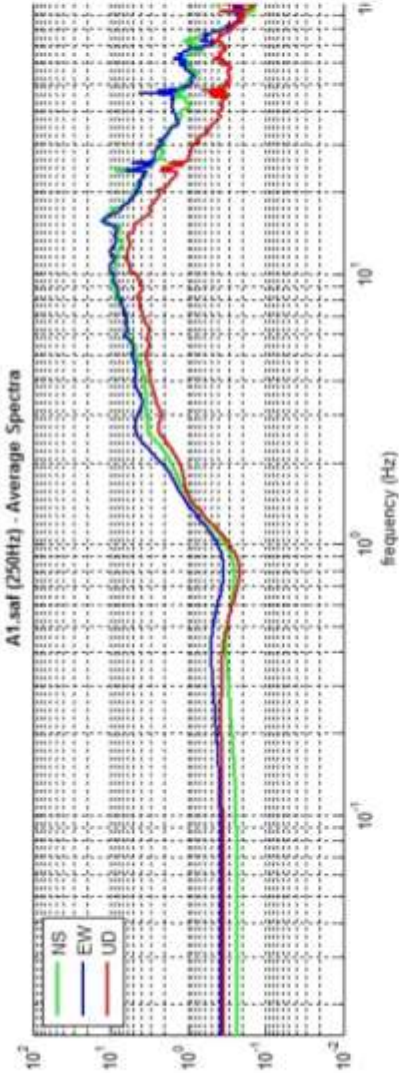




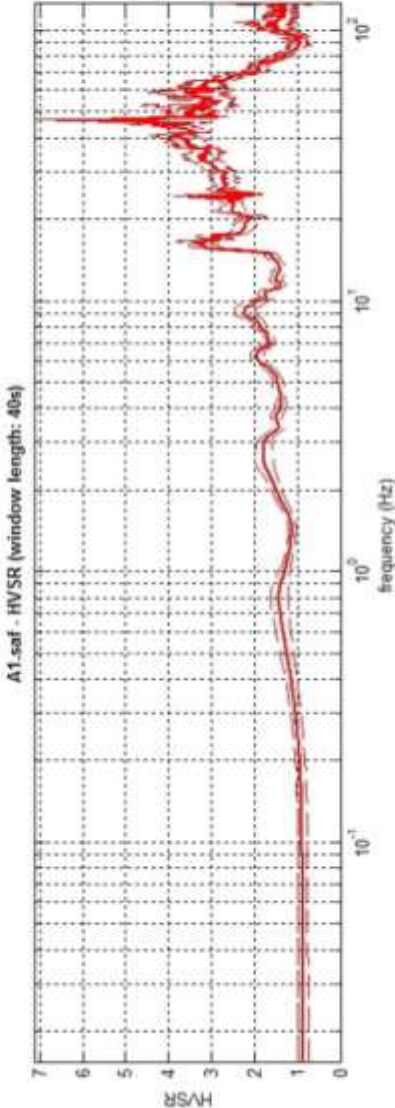
Committente: Geoprobe S.r.l.

Prova: HVSR A1 Località: Via Colombo - Zola Predosa (BO) Data: Friday, December 14, 2018

Analisi del segnale



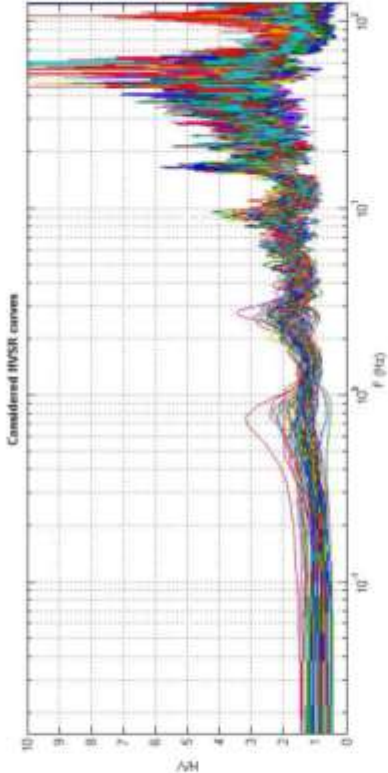
Spettro frequenza/ampiezza per ogni canale di acquisizione



Curva HVSR

Strato	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	2.00	170.00
2	25.00	308.51
3	87.00	595.92
4	BEDROCK	804.01

Interpretazione



Curva HVSR di ogni finestra utilizzata nel calcolo

Dataset: A1.saf  
Sampling frequency (Hz): 250  
Window length (sec): 40  
Length of analysed temporal sequence (min): 22.7  
Tapering (%): 30

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 16.6 (a2.4)  
Peak HVSR value: 3.4 (a0.4)

Criteria for a reliable HV curve  
#1. [f0 > 10/Lw]: 16.6 > 0.25 (OK)  
#2. [nc > 200]: 44457 > 200 (OK)  
#3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

Criteria for a clear HV peak (at least 5 should be fulfilled)  
#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AHV(f-) < A0/2]: yes, at frequency 15.0Hz (OK)  
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AHV(f+) < A0/2]: (NO)  
#3. [A0 > 2]: 3.4 > 2 (OK)  
#4. [fpeak(AHv(f)) a sigmaA(f)] = f0 a 5%: (OK)  
#5. [sigmaA < epsilon(f0)]: 2.356 > 0.829 (NO)  
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.364 < 1.58 (OK)



**Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**

Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328

C.F. e Partita IVA 04112290376

Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Geoprobe S.r.l.
Prova:	HVSR A2
Località:	Via Colombo - Zola Predosa (BO)
Data:	14-dic-18
Certificato:	A1316GF639A2HVSR



## SOMMARIO

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR.....</b>	<b>4</b>
ELABORAZIONE DATI .....	4
<b>INTERPRETAZIONE.....</b>	<b>5</b>
Verifiche SESAME .....	5
Sismostratigrafia.....	5
Frequenza caratteristica di sito $f_0$ .....	5
Ampiezza del picco H/V.....	6
Calcolo $V_{s\ eq}$ .....	6
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>7</b>



## INTRODUZIONE

Su incarico di Geoprobe S.r.l. è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova , eseguita in località Via Colombo - Zola Predosa (BO) .

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica HVSR;
- elaborazione dei dati raccolti.

L'ubicazione delle indagini è rappresentata in figura n° 1.



## INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR

Il metodo HVSR (Nogoshi e Igarashi 1971; Nakamura 1989) si basa sulla stima del rapporto tra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali (H) e verticali (V) dei microtermori sismici ambientali registrati contemporaneamente e da una singola stazione.

La registrazione dei microtremori viene effettuato utilizzando un sensore a tre componenti (orientati sugli assi z, x e y di una terna cartesiana con l'asse delle ordinate posto in coincidenza con il Nord del campo magnetico terrestre) con **frequenza naturale** pari a **2 Hz**.

La stazione registrante è un **sismografo a 24 bit reali** di fabbricazione **MAE**, modello **A6000S**.

I tempi di acquisizione sono funzione delle frequenze fondamentali che si intendono campionare, nel caso specifico il campionamento viene eseguito con target frequenze nel range  $0.2 < f_0 < 20$  Hz tempo di registrazione pari a 40' con frequenza di campionamento di 200 Hz.

### ELABORAZIONE DATI

Il calcolo del rapporto H/V si sviluppa secondo i seguenti step:

1. Scomposizione dei segnali in finestre temporali, nel caso specifico di almeno 20 s ognuna;
2. Scelta delle finestre nelle quali il segnale registrato risulta maggiormente stazionario (almeno 15);
3. Calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate;
4. Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
5. Calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre e costruzione della curva H/V definitiva.

Il picco a più elevato rapporto H/V e a frequenza più bassa, individuato sulla curva definitiva, è rappresentativo del salto di impedenza sismica tra la copertura e il bed rock sismico locale.

La frequenza corrispondente a tale picco è la frequenza fondamentale del sito ( $f_0$ ), dalla quale conoscendo il comportamento sismico della copertura e utilizzando la semplice regola matematica del IV d'onda è possibile stimare la profondità del bed rock sismico locale.



## INTERPRETAZIONE

I certificati delle indagini sismiche HVSR eseguite sono riportati in appendice 1.

### Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5H$	
$\exists f^- \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco} > [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Tabella n° 1 – Verifiche SESAME

### Sismostratigrafia

La stratigrafia sismica della prova HVSR è riportata nella seguente tabella:

Strato	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	2.24	125.00
2	25.00	308.00
3	80.00	650.00
4	BEDROCK	808.00

Tabella n° 2 – Dati della sismostratigrafia

### Frequenza caratteristica di sito $f_0$

Frequenza $f_0$ [Hz]
10.0±3.9

Tabella n° 3 – Frequenza caratteristica di sito  $f_0$



## Ampiezza del picco H/V

Ampiezza del picco [H/V]
2.3±0.2

Tabella n° 4 – Profondità del bed rock sismico

## Calcolo $V_{s,eq}$

La  $V_{s,eq}$ , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

$V_{eq}$ [m/s]	301.50
----------------	--------

Tabella n° 5 – Valore calcolato di  $V_{s,eq}$  Linea L1

San Giovanni in Persiceto, 17/12/2018

I Geologi :





## APPENDICE 1

Figure ed elaborati grafici



COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.

CANTIERE: Via Colombo - Zola Predosa (BO)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVA A1316GF639A2HVS/R

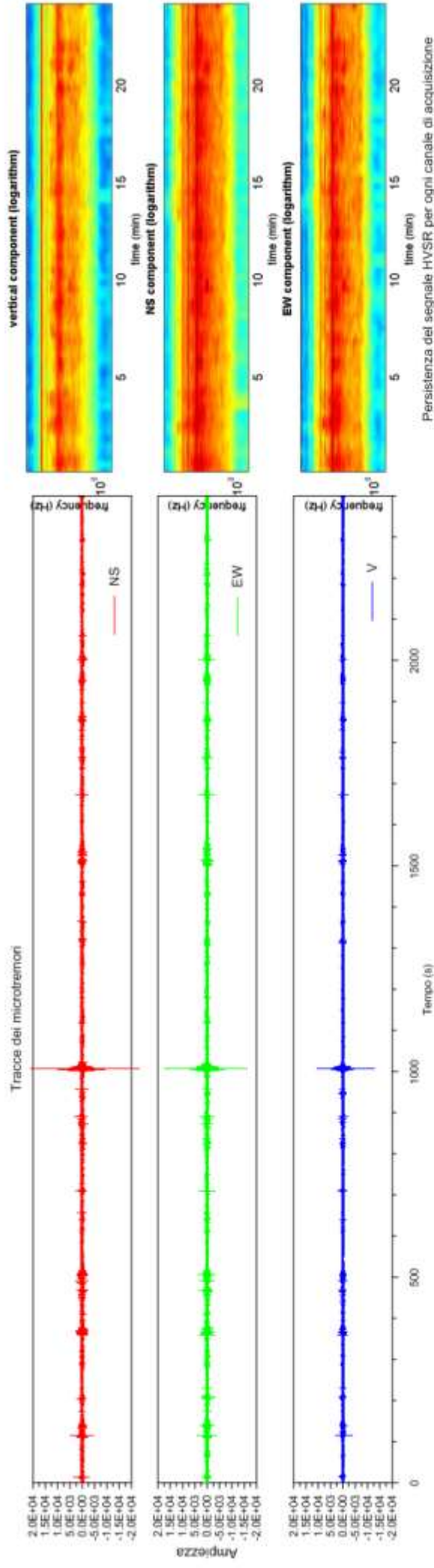




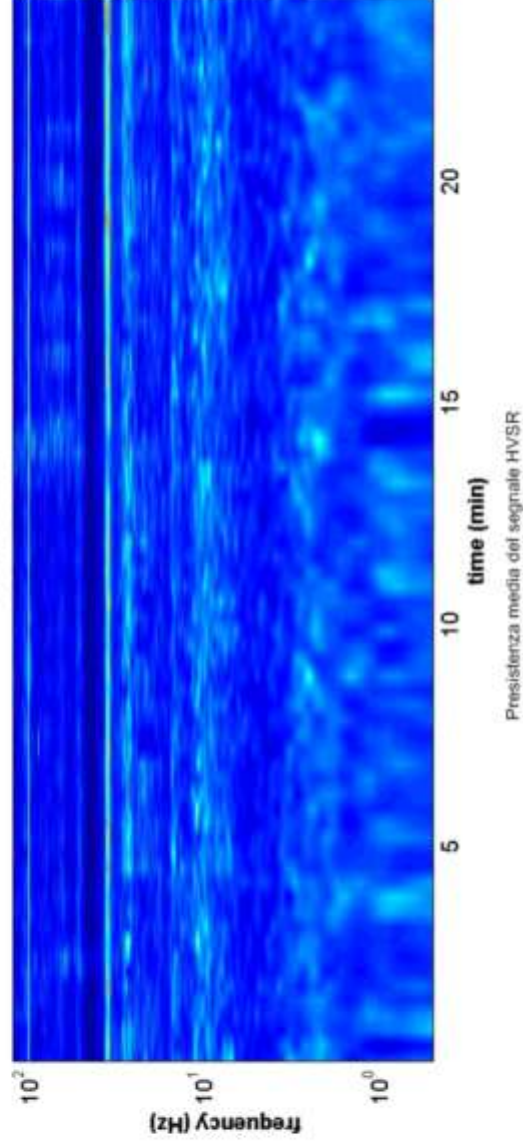
Committente: Geoprobe S.r.l.

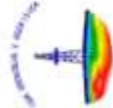
Prova: HVSR A2 Località: Via Colombo - Zola Predosa (BO) Data: Friday, December 14, 2018

Segnale acquisito e persistenza del segnale



### HVSR vs time

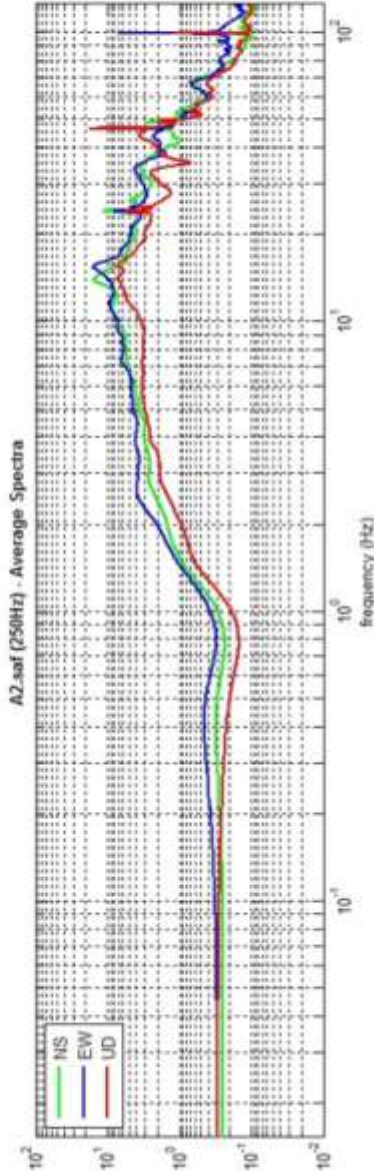




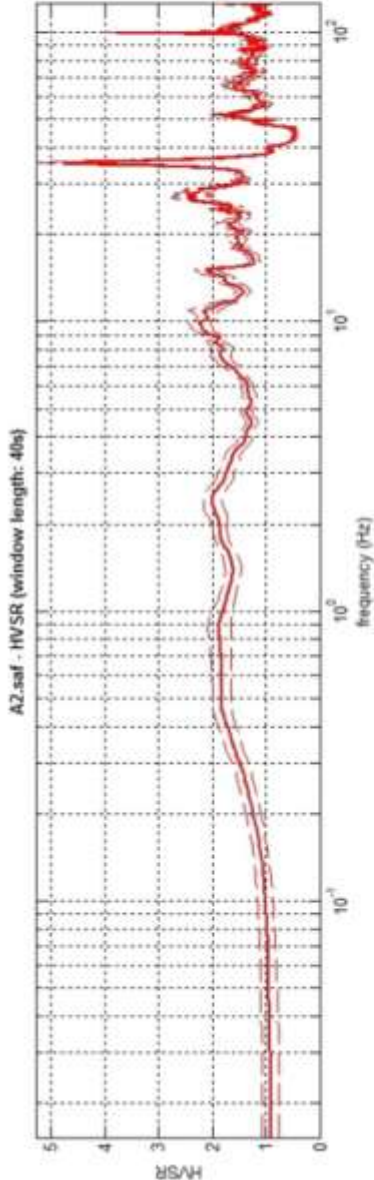
Committente: Geoprobe S.r.l.

Prova: HVSR Località: Via dell'Arcoveggio 48 - Bologna Data: Tuesday, October 30, 2018

Analisi del segnale



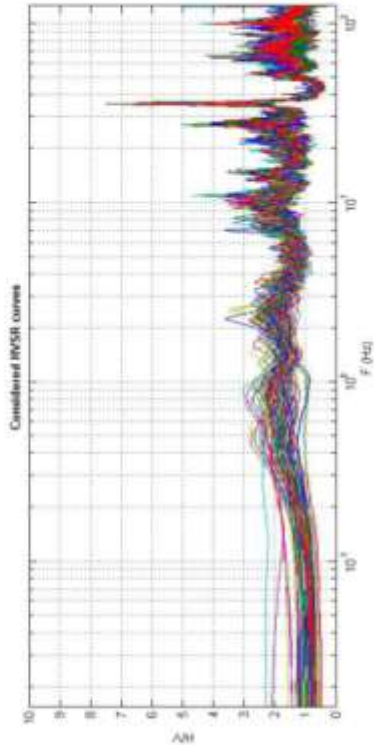
Spettri frequenza/ampiezza per ogni canale di acquisizione



Curva HVSR

Strato	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	2.24	125.00
2	25.00	308.00
3	80.00	650.00
4	BEDROCK	808.00

Interpretazione



Curva HVSR di ogni finestra utilizzata nel calcolo

Dataset: A2.saf  
Sampling frequency (Hz): 250  
Window length (sec): 40  
Length of analysed temporal sequence (min): 24.9  
Tapering (%): 40

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 10.0 (q3.9)  
Peak HVSR value: 2.3 (q0.2)

Criteria for a reliable HV curve

- #1. [f0 > 10/Lw]: 10.0 > 0.25 (OK)
- #2. [nc > 200]: 29098 > 200 (OK)
- #3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

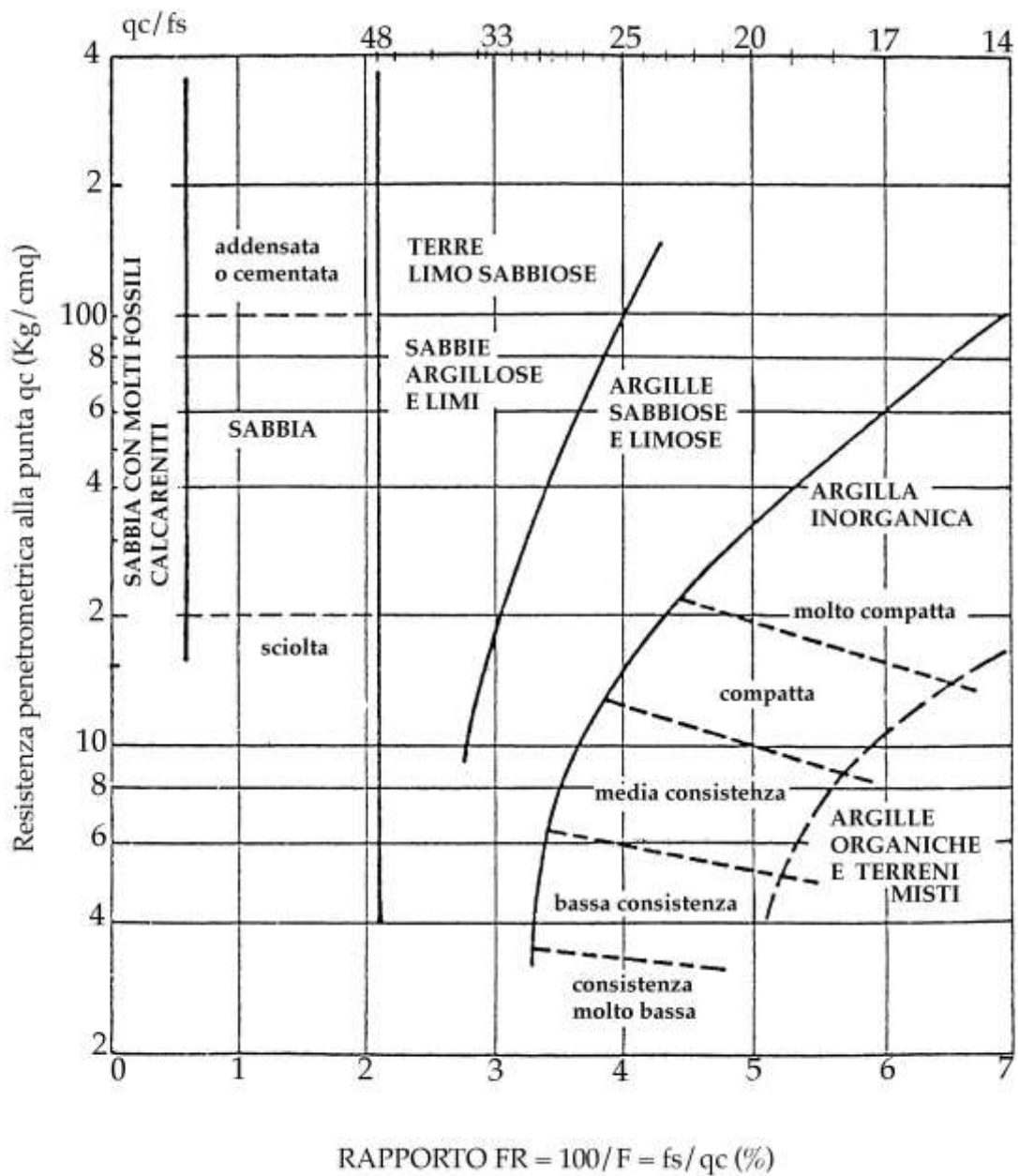
Criteria for a clear HV peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AHV(f-) < A0/2]: (NO)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AHV(f+) < A0/2]: (NO)
- #3. [A0 > 2]: 2.3 > 2 (OK)
- #4. [peak(AHv(f)) q sigmaA(f)] = f0 q 5%: (OK)
- #5. [sigmaA(f) < epsilon(f0)]: 3.862 > 0.498 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.223 < 1.58 (OK)

## **Classificazione orientativa dei terreni** *(Schmertmann, 1978)*

# CLASSIFICAZIONE ORIENTATIVA DEI TERRENI IN BASE AI DATI PENETROMETRICI STATICI $q_c$ E $f_s$

(Schmertmann, 1978)



Ciri - Guidetti

via Colombo - via Garibaldi - Zola Predosa (BO)

CPT 1

18115001

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma* kg/m3	Sigma*V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K orizz Kg/cm3	Perm cm/sec
1.40		Argilla limosa	1921	1921	0.269	0.854	0	0	0.011570	1.7285	2.72e-003
1.80		Limo argilloso	1945	1945	0.347	1.650	0	0	0.010101	2.2000	6.24e-003
2.00		Argilla compatta	1924	1924	0.385	0.950	0	0	0.018797	1.9000	2.49e-004
2.20		Argilla limosa	1936	1936	0.424	1.300	0	0	0.007692	2.6000	8.38e-004
2.40		Argilla compatta	1918	1918	0.462	0.800	0	0	0.028409	1.6000	1.03e-004
3.00		Argilla molto compatta	1930	1930	0.578	1.117	0	0	0.012916	2.2333	1.31e-004
3.40		Argilla compatta	1921	1921	0.655	0.875	0	0	0.022857	1.7500	2.03e-005
3.80		Argilla compatta	1927	1927	0.732	1.025	0	0	0.015736	2.0500	3.36e-004
4.20		Argilla compatta	1919	1919	0.809	0.825	0	0	0.026350	1.6500	9.80e-005
4.40		Argilla media	1896	1896	0.847	0.450	0	0	0.018519	0.9000	1.37e-004
		Argilla compatta									
6.60		Argilla compatta	1912	1912	1.267	0.677	0	0	0.036913	1.3545	8.85e-005
7.20		Argilla compatta	1929	1929	1.383	1.083	0	0	0.013846	2.1667	5.56e-004
7.40		Sabbia	1850	1850	1.420	0.000	34	56	0.007752	4.3000	1.46e-001
7.60		Ghiaia	1850	1850	1.457	0.000	38	82	0.005376	9.3000	3.45e-001
8.00		Ghiaia	1850	1850	1.531	0.000	41	100	0.002560	18.8000	9.45e-001

Cini - Guidetti

via Colombo - via Garibaldi - Zola Predosa (BO)

CPT 2

18115002

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m <sup>3</sup>	Gamma* kg/m <sup>3</sup>	Sigma*V kg/cm <sup>2</sup>	CU kg/cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	K oriz Kg/cm <sup>3</sup>	Perm cm/sec
1.40		Argilla compatta	1924	1924	0.269	0.936	0	0	0.019482	1.8714	1.37e-004
1.60		Argilla limosa	1936	1936	0.308	1.300	0	0	0.007692	2.6000	1.39e-003
		Argilla compatta									
4.20		Argilla organica/t.	1917	1917	0.806	0.777	0	0	0.030534	1.5538	6.32e-005
4.40		Argilla compatta	1896	1896	0.844	0.450	0	0	0.018519	1.8000	8.62e-005
7.00		Argilla compatta									
7.20		Argilla molto	1912	1912	1.342	0.688	0	0	0.036313	1.3769	9.04e-005
7.60		Argilla compatta	1933	1933	1.380	1.200	0	0	0.010965	2.4000	1.04e-005
7.80		Argilla compatta	1924	1924	1.457	0.950	0	0	0.018797	1.9000	4.77e-005
8.00		Ghiaia	1850	1850	1.531	0.000	40	97	0.003384	14.7750	3.73e-001
8.20		Sabbia	1850	1850	1.568	0.000	34	54	0.007663	4.3500	8.92e-002
8.40		Ghiaia	1850	1850	1.642	0.000	40	100	0.002759	18.1250	4.15e-001

Cini - Guidetti

via Colombo - via Garibaldi - Zola Predosa (BO)

CPT 3

18115003

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m <sup>3</sup>	Gamma* kg/m <sup>3</sup>	Sigma*V kg/cm <sup>2</sup>	CU kg/cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	K oriz Kg/cm <sup>3</sup>	Perm cm/sec
1.40		Argilla compatta	1914	1914	0.268	0.729	0	0	0.034314	1.4571	3.72e-005
1.60		Argilla limosa	1940	1940	0.307	1.450	0	0	0.006897	2.9000	4.39e-003
1.80		Sabbia argillosa e	1850	1850	0.344	0.000	37	57	0.011905	2.8000	8.50e-003
2.00		Argilla limosa	1944	1944	0.383	1.600	0	0	0.006250	3.2000	1.04e-003
2.20		Argilla limosa	1940	1940	0.422	1.450	0	0	0.006897	2.9000	7.76e-004
2.40		Argilla limosa	1943	1943	0.460	1.550	0	0	0.006452	3.1000	1.27e-003
		Argilla molto compatta									
		Argilla compatta	1932	1932	0.692	1.150	0	0	0.012077	2.3000	7.44e-005
3.60											
3.80		Argilla compatta	1922	1922	0.731	0.900	0	0	0.021368	1.8000	2.86e-004
4.20		Argilla compatta	1932	1932	0.808	1.150	0	0	0.012077	2.3000	6.11e-004
		Argilla compatta									
		Argilla compatta	1916	1916	1.153	0.767	0	0	0.031557	1.5333	9.16e-005
6.00											
6.20		Argilla limosa	1939	1939	1.192	1.400	0	0	0.007143	2.8000	9.54e-004
6.40		Argilla compatta	1918	1918	1.230	0.800	0	0	0.028409	1.6000	1.03e-004
6.80		Argilla limosa	1929	1929	1.307	1.075	0	0	0.009302	2.1500	7.73e-004
		Ghiaia									
7.40		Ghiaia	1850	1850	1.418	0.000	41	100	0.003018	16.5667	4.27e-001

Ciri - Guidetti

via Colombo - via Garibaldi - Zola Predosa (BO)

CPT 4

18115004

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma* kg/m3	Sigma*V kg/cm2	CU kg/cm2	FI °	DR %	Mv cm2/Kg	K orizz Kg/cm3	Perm cm/sec
0.80		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	0.148	0.000	43	81	0.009615	3.4667	7.55e-003
1.60		Argilla sabbiosa e limosa	1970	1970	0.306	3.225	0	0	0.003101	4.3000	8.78e-004
2.20		Argilla sabbiosa e limosa	1967	1967	0.424	2.983	0	0	0.003352	3.9778	2.55e-004
2.40		Argilla sabbiosa e limosa	1952	1952	0.463	2.000	0	0	0.005000	2.6667	4.64e-004
3.20		Argilla molto compatta	1932	1932	0.617	1.150	0	0	0.012077	2.3000	6.68e-005
4.40		Argilla compatta	1921	1921	0.848	0.867	0	0	0.023389	1.7333	2.16e-004
5.00		Argilla compatta	1928	1928	0.963	1.050	0	0	0.014881	2.1000	1.35e-004
5.20		Argilla compatta	1920	1920	1.002	0.850	0	0	0.024510	1.7000	9.36e-005
5.40		Argilla compatta	1932	1932	1.040	1.150	0	0	0.012077	2.3000	3.48e-004
6.00		Argilla limosa	1941	1941	1.157	1.483	0	0	0.006742	2.9667	6.94e-004
6.60		Argilla compatta	1928	1928	1.273	1.050	0	0	0.014881	2.1000	4.38e-004
6.80		Sabbia	1850	1850	1.310	0.000	32	38	0.013333	2.5000	4.60e-002
7.20		Argilla limosa	1942	1942	1.387	1.500	0	0	0.006667	3.0000	7.99e-004
7.40		Argilla compatta	1926	1926	1.426	1.000	0	0	0.016667	2.0000	2.00e-004
7.60		Sabbia	1850	1850	1.463	0.000	31	30	0.015873	2.1000	5.64e-002
7.80		Limo argilloso	1942	1942	1.502	1.500	0	0	0.011111	2.0000	7.87e-003
8.00		Sabbia	1850	1850	1.539	0.000	31	35	0.013605	2.4500	1.04e-001
8.40		Ghiaia	1850	1850	1.613	0.000	40	99	0.003125	16.0000	5.04e-001

Cini - Guidetti  
via Colombo - via Garibaldi - Zola Predosa (BO)  
CPT 5

18115005

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m <sup>3</sup>	Gamma* kg/m <sup>3</sup>	Sigma*V kg/cm <sup>2</sup>	CU kg/cm <sup>2</sup>	FI °	DR %	Mv cm <sup>2</sup> /Kg	K oriz Kg/cm <sup>3</sup>	Perm cm/sec
0.60	C	Argilla sabbiosa e limosa	1954	1954	0.117	2.117	0	0	0.004724	2.8222	4.75e-004
0.80	C	Argilla limosa	1946	1946	0.156	1.700	0	0	0.005882	3.4000	7.62e-004
1.20	B	Argilla sabbiosa e limosa	1968	1968	0.235	3.075	0	0	0.003252	4.1000	1.21e-004
1.80	B	Argilla sabbiosa e limosa	1978	1978	0.354	3.950	0	0	0.002532	5.2667	7.45e-004
2.60	B	Argilla sabbiosa e limosa	1964	1964	0.511	2.763	0	0	0.003620	3.6833	8.70e-005
3.00	C	Argilla molto compatta	1942	1942	0.588	1.525	0	0	0.006557	3.0500	4.85e-005
3.60	C	Argilla molto compatta	1936	1936	0.705	1.300	0	0	0.009158	2.6000	7.16e-005
4.20	C	Argilla limosa	1945	1945	0.821	1.650	0	0	0.006061	3.3000	2.33e-004
4.60	C	Argilla molto compatta	1931	1931	0.899	1.125	0	0	0.012698	2.2500	1.25e-004
		Argilla limosa	1946	1946	1.171	1.679	0	0	0.005957	3.3571	1.41e-003
6.00											
6.20	C	Argilla molto compatta	1939	1939	1.210	1.400	0	0	0.007764	2.8000	1.83e-005
6.60	C	Argilla limosa	1947	1947	1.288	1.725	0	0	0.005797	3.4500	4.00e-004
6.80	C	Argilla molto compatta	1936	1936	1.326	1.300	0	0	0.009158	2.6000	3.41e-004
7.00	C	Argilla sabbiosa e limosa	1955	1955	1.365	2.150	0	0	0.004651	2.8667	1.11e-003
7.20	C	Argilla limosa	1946	1946	1.404	1.700	0	0	0.005882	3.4000	1.60e-003
7.40	r	Sabbia	1850	1850	1.441	0.000	33	48	0.009662	3.4500	6.64e-002
		Sabbia	1850	1850	1.552	0.000	31	30	0.015504	2.1500	5.04e-002
8.00	D										
8.40	B	Ghiaia	1850	1850	1.626	0.000	39	95	0.003546	14.1000	5.57e-001