

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA PER MOVIMENTI FRANOSI	Rev: 00 Data: luglio 2021.
AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI	I.T.C. Fantini di Vergato	Pag: 1 di 130

***A043 – I.I.S. “L. Fantini”***

***Via Bologna, 240 - Vergato (BO)***

**Intervento di messa in sicurezza per movimenti franosi  
“I.T.C. Fantini” di Vergato (BO)**

**PROGETTO ESECUTIVO  
R.3\_RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E  
GEOTECNICA**

***Progettista e Dirigente :***

***Ing. Massimo Biagetti***

**R.U.P.  
*Ing. Marco Ferrarini***

Luglio 2021

 <p>CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA</p>	<p>PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA PER MOVIMENTI FRANOSI</p>	<p>Rev: 00 Data: luglio 2021.</p>
<p>AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI</p>	<p>I.T.C. Fantini di Vergato</p>	<p>Pag: 2 di 130</p>

### **PREMESSA ALLA RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA**

1 Viene di seguito riportato il medesimo documento oggetto di deposito sismico presso il Comune di Vergato; deposito avvenuto con trasmissione eseguita, in data 18/06/2021 , mediante 3 invii (in atti al fasc. 9.3.1.1/7/2020) indirizzati al Comune .

2 Il documento è stato firmato dall Dott. Geol. Thomas Veronese (residente a Codigoro, Via Roma n. 10) ed iscritto all’Ordine degli Ingegneri di Cremona al n° 1255 ) quale geologo (Mandante) in RTP con il progettista strutturale e progettista architettonico facente parte della Società Delta Engineering Services Srl (Mandataria) Sede a Ferrara in via Bertok n. 29/G , è stata incaricata della progettazione dell’intervento di messa in sicurezza per movimenti franosi dell’ Istituto “ITC Fantini” in Via Bologna,n. 240 – Vergato (BO). (Codice edificio 370591000 - CUP C29E19000280002); incarico contemplante l’elaborazione della documentazione necessaria per l’assolvimento degli obblighi di legge ai fini sismici in riferimento al rispetto di quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e relativa Circolare per la costruzione del nuovo tratto di muro di sostegno..

3 Per quanto sopra indicato, preso atto delle risultanze e degli esiti delle verifiche, si allega la relazione in oggetto afferente all’intervento di messa in sicurezza per movimenti franosi dell’ Istituto “ITC Fantini” in Via Bologna,n. 240 – Vergato (BO).

 <p>CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA</p>	<p>PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA PER MOVIMENTI FRANOSI</p>	<p>Rev: 00 Data: luglio 2021.</p>
<p>AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI</p>	<p>I.T.C. Fantini di Vergato</p>	<p>Pag: 3 di 130</p>

**ALLEGATO : RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E  
GEOTECNICA**

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Intervento di messa in sicurezza per movimenti franosi**  
**"I.T.C. FANTINI "**  
**Via Bologna, 10 - Vergato (BO)**  
**CUP C29E19000280002 (MUTUO BEI 2019)**

oggetto:

Relazione Geologica, Sismica e  
Geotecnica

relazione n°:

**C**

scala elab.to: --

data: 08/04/2021

codice: DES-694

revisione: 00

Prima emissione

Archivio:

DES-694-C-RELAZIONE\_GEOLOGICA-R0

PROPRIETA':

CITTA' METROPOLITANA di BOLOGNA

Dirigente d'Area per il Dirigente del Servizio Edilizia Scolastica,  
Istituzionale, Prevenzione e Protezione : Ing. Massimo Biagetti

RUP Ing. Marco Ferrarini

PROGETTISTI

Mandataria



DELTA ENGINEERING SERVICES s.r.l.

Ing. Davide Grablovitz (incaricato dell'integrazione tra le varie prestazioni nonché delle attività rilievi manufatti e planoaltimetrici, relaz. geotecnica, verifica sismica, progettazione definitiva)

Ing. Alberto Bassi (relazione idrologica e relazione idraulica)

Ing. Linda Cremon (relazione generale e tecnica, elaborati grafici, calcolo delle strutture e impianti, relazione sismica e sulle strutture , progettazione definitiva)

Geom. Matteo Ghirelli (rilevazioni topografiche, tracciamenti GPS e supporto grafico)

Arch. Alice Merlante (relazione archeologica preliminare)

Mandante



Dott. Geol. Thomas Veronese (relazione geologica)

CITTA' METROPOLITANA di BOLOGNA -Via Zamboni, 13 -40126 Bologna -Tel. 051/6598111

In base alle leggi vigenti dei diritti d'autore è vietata la copia o la riproduzione, anche parziale, di questo elaborato senza esplicita preventiva autorizzazione, ogni diritto è espressamente riservato ed esclusivo.



**Studio Servizi Tecnici**  
Settore geologia e ambiente

**DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE**

Via Roma, 10

44021 CODIGORO (Ferrara)

Tel e fax. 0533 / 713798 – cell. 335. 5240380

E-mail: t.veronese@studio-sst.it

**MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA**

**COMUNE di VERGATO**  
**PROVINCIA DI BOLOGNA**

**I.T.C. FANTINI – VIA BOLOGNA, 10 – VERGATO INTERVENTO DI MESSA IN  
SICUREZZA PER MOVIMENTI FRANOSI” Codice edificio 370591000 - CUP  
C29E19000280002 - CIG 8215583191.**



Committente:

**CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA**

Servizio Edilizia Scolastica, Istituzionale,

Prevenzione e Protezione della Citta

metropolitana di Bologna

(C.F. e P.IVA 03428581205)

**Studio S.S.T. Settore geologia e ambiente**

Geotecnica; Studio terreni di fondazione; Rilevamento geologico; Rilievi topografici; Geofisica - Contributi allo Studio di Impatto Ambientale; Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità e di realizzazione dei P.R.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di acquiferi per la tutela e per l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; subirrigazioni.

23 marzo 2021

Timbro  
*Thomas Veronese*

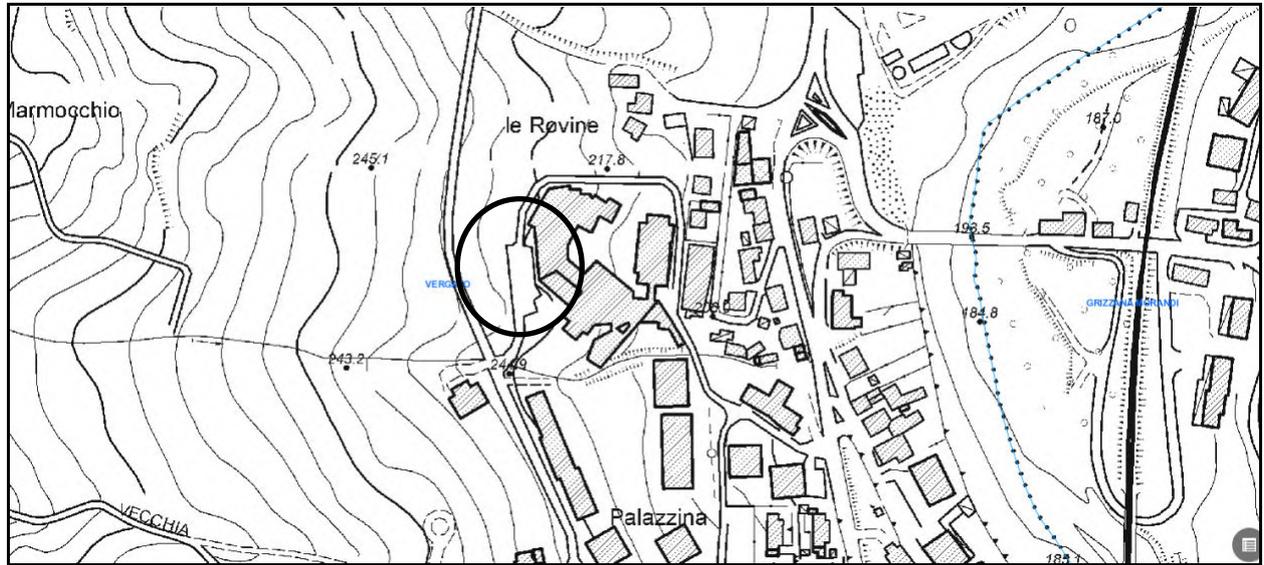
INDICE:

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. MODELLAZIONE GEOLOGICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA.....	4
2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI .....	9
2.3. GEOMORFOLOGIA APPLICATA.....	31
2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	39
<b>3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI.....</b>	<b>41</b>
3.1 DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA .....	41
<i>Categoria di suolo di fondazione</i> .....	41
<i>Azioni sismiche "D.M. 17 gennaio 2018"</i> .....	46
<i>Magnitudo di progetto</i> .....	50
<b>4. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE.....</b>	<b>52</b>
4.1. IL MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DI DETTAGLIO DEI PRIMI 40M.....	53
4.2. PROFILO DI VS DI DETTAGLIO DEI PRIMI 30M .....	54
4.3. PROFILO DI VS PROFONDO FINO AL BEDROCK SISMICO .....	55
4.4. MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO FINO AL BEDROCK SISMICO.....	57
4.5. CURVE SITO SPECIFICHE "Go" E "D" .....	58
4.6. CURVE SITO BIBLIOGRAFICHE "Go" E "D" PER TERRENI PROFONDI .....	62
4.7. GRUPPO DI SETTE ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI .....	62
<b>5. RISULTATI DELL'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....</b>	<b>63</b>
5.1. ANALISI PER SLV.....	63
5.2. ANALISI PER SLC.....	72
5.3. ANALISI PER SLD .....	75
5.4. ANALISI PER SLO .....	78

## 1. PREMESSA

Su incarico del Dott. Ing. Massimo Biagetti, Dirigente dell'Area Servizi territoriali metropolitani, Dirigente pro tempore del Servizio Edilizia Scolastica, Istituzionale, Prevenzione e Protezione della Città metropolitana di Bologna (C.F. e P.IVA 03428581205), con determinazione dirigenziale n. 845 del 06/08/2020 - pg 40308/2020 si redige la relazione geologica, sismica e geotecnica sulle indagini per il progetto “I.T.C. Fantini - Via Bologna,10 - Vergato: intervento di messa in sicurezza per movimenti franosi”.

In **FIGURA 1.1** si riporta l'ubicazione dell'area di intervento.



**FIGURA 1.1** – Ubicazione area di intervento

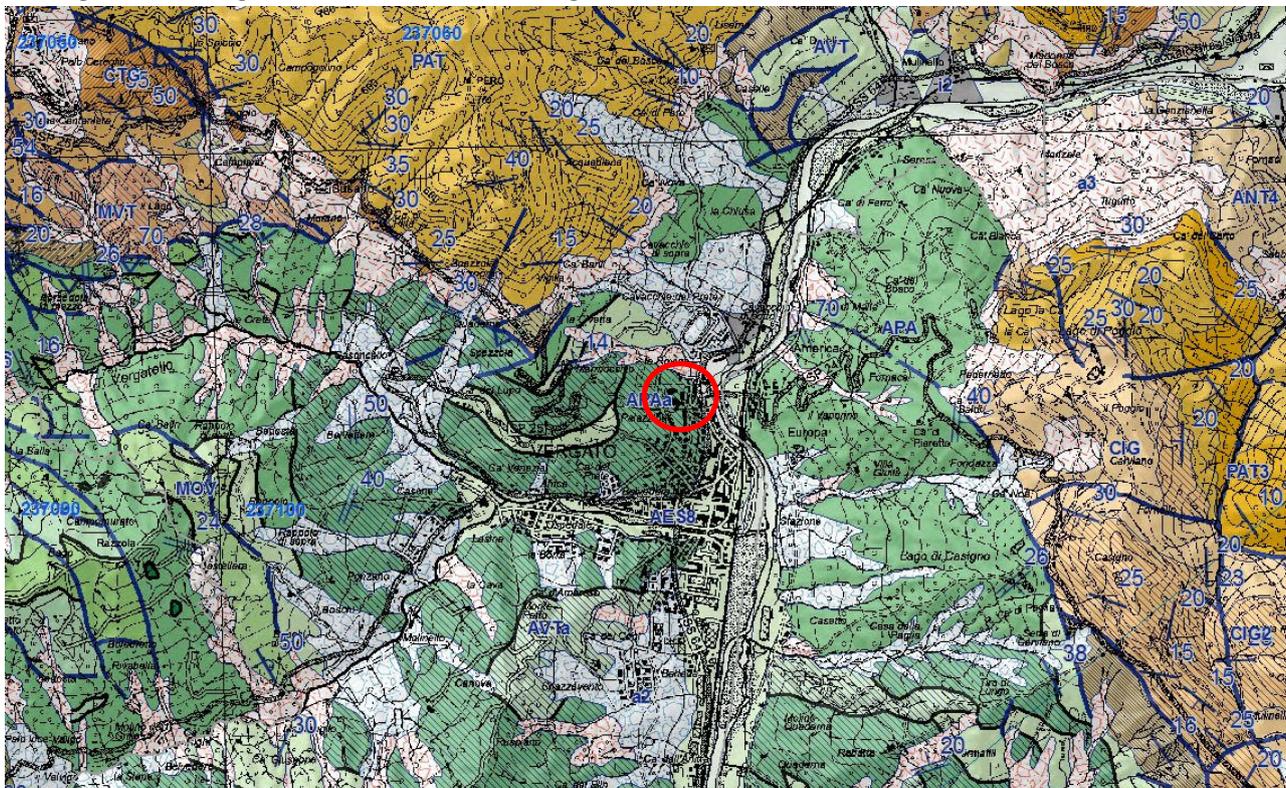
### **Normativa e Raccomandazioni di riferimento**

- Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare n. 7/2019 del C.S.LL.PP: Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 Gazzetta Ufficiale n. 35/2019 –11 febbraio 2019
- Delibera di Giunta Regionale Num. 630 del 29/04/2019, Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r . n. 24/2017).
- Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia - Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 Maggio 2007, N. 112.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)  
“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)  
“Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)”.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)  
“Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)”.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

## 2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

### 2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA

Nella **FIGURA 2.1** si riporta uno stralcio della Carta geologica del sito della Regione Emilia Romagna che inquadra l'area d'intervento a Vergato (BO) e mostra come il sito allo studio sia localizzato sull'Unità Geologica APAa Argille a Palombini, litofacies argillitica.

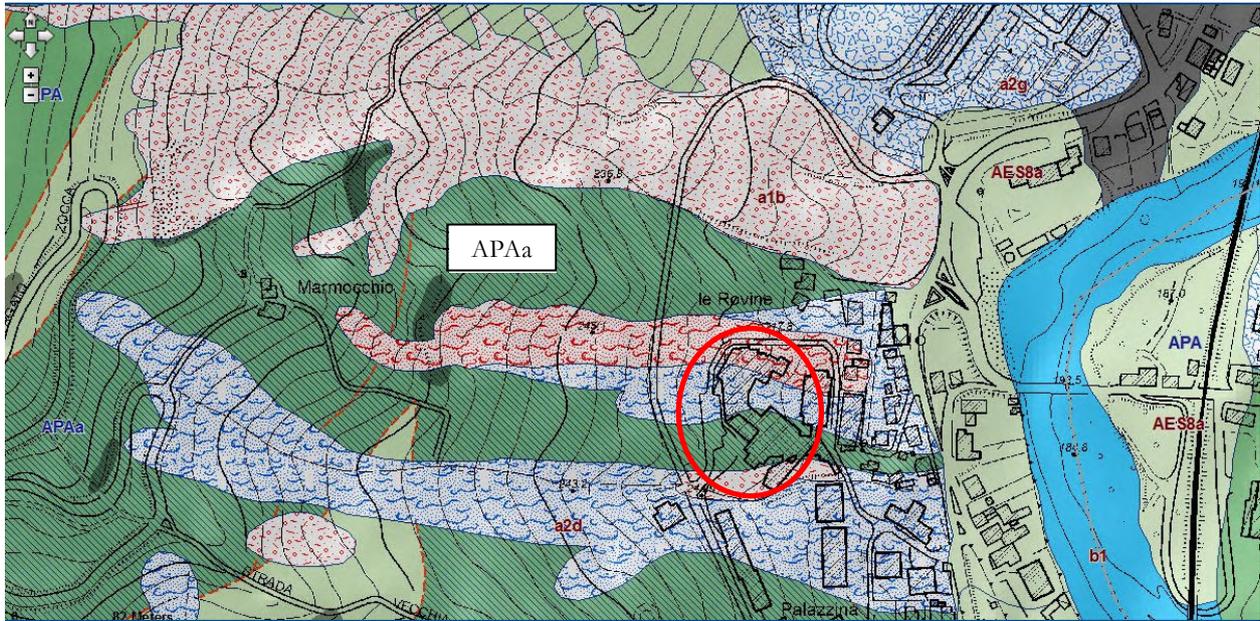


Unità geologiche (50K)	sigla	APAa
<a href="#">APAa - Argille a palombini - litofacies argillitica</a>	nome	litofacies argillitica
	nome completo	Argille a palombini - litofacies argillitica
	tipo	litofacies
	descrizione	Argilliti grigie e verdognole con fissilità spesso molto evidente a luoghi silicizzate
	legenda	APAa - Argille a palombini - litofacies argillitica
	etÀ	Berriasiano - Turoniano

Cretaceo inferiore circa 140.000.000-90.000.000 di anni fa.

**FIGURA 2.1** - Stralcio carta geologica

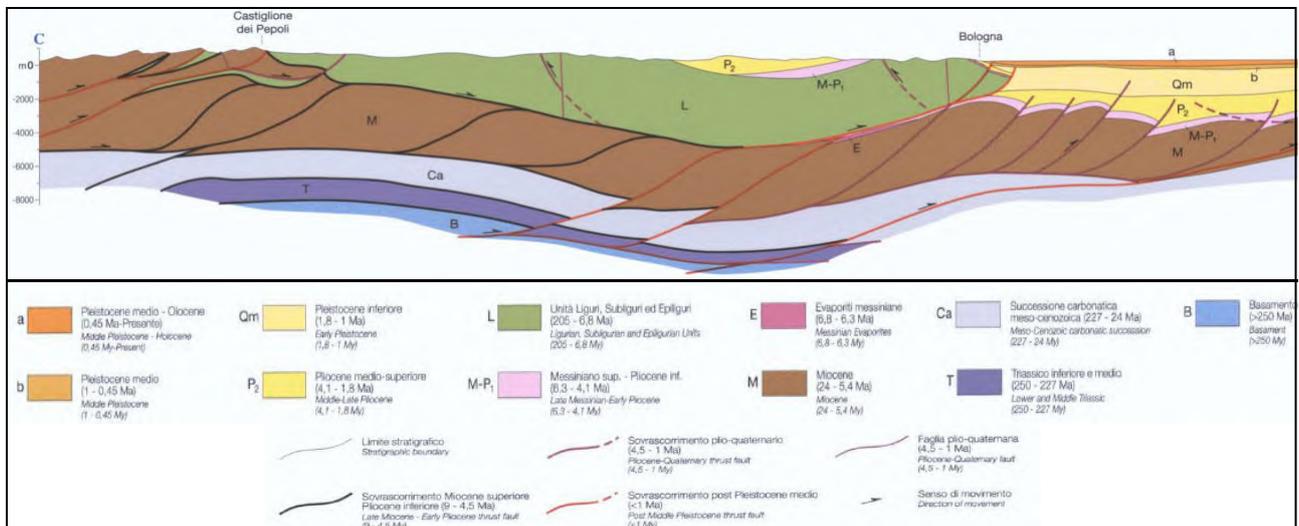
Fonte: [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sg/ss/user/viener.jsp?service=geologia](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sg/ss/user/viener.jsp?service=geologia)



Unità geologiche (10K)	
<a href="#">APAa - Argille a palombini - litozona argillitica</a>	sigla <b>APAa</b>
	etÀ inf.
	etÀ sup.
	nome <b>Argille a palombini - litozona argillitica</b>
	legenda <b>APAa - Argille a palombini - litozona argillitica</b>
	dominio <b>Dominio Ligure</b>
	gruppo <b>F06 - Argille a Palombini</b>
	sigla litotecnica <b>Dsc - Argille scagliose</b>
	litotecnica <b>Argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose")</b>

**FIGURA 2.2** - Stralcio carta geologica - dettaglio del sito allo studio  
Fonte: [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/riener.jsp?service=geologia](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/riener.jsp?service=geologia)

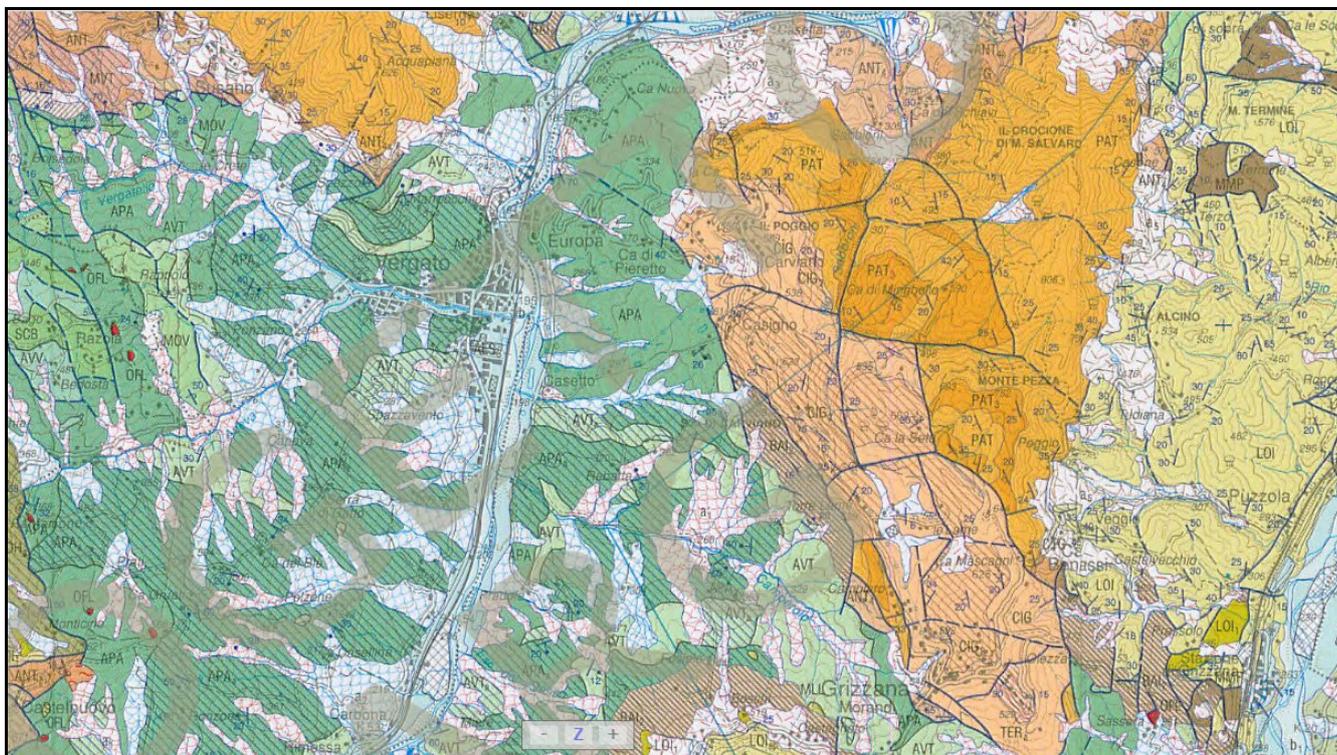
Nella **FIGURA 2.3** si riporta la sezione geologica passante per Castiglione dei Pepoli e Bologna, in cui si possono apprezzare le principali strutture ed i principali sovrascorrimenti, faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine dell'attribuzione alla Zona sismica 3, in cui Vergato è stato inserito nella OPCM 3274/2003.



**FIGURA 2.3** - Principali strutture dell'Appennino Bolognese (Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna)

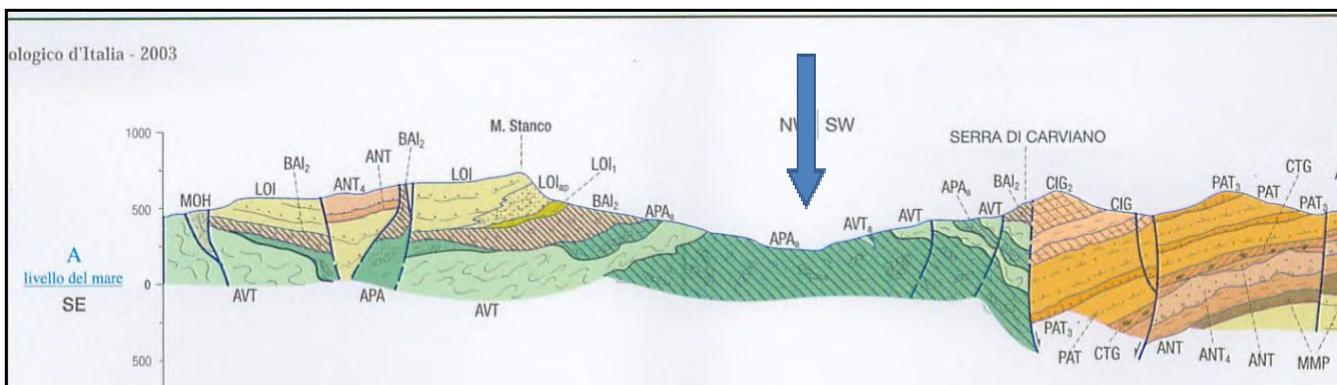
Altre informazioni importanti sono quelli reperiti sul sito di ISPRA Ambiente.

Dalla Carta Geologica d'Italia, foglio n° 237 Sasso Marconi (CARG scala 1:50.000) si ricava che lo spessore delle Argille a Palombini al di sotto di Vergato è molto esteso, almeno due/tre cento metri. In **FIGURA 2.4** si riporta uno stralcio della carta geologica Foglio 237.



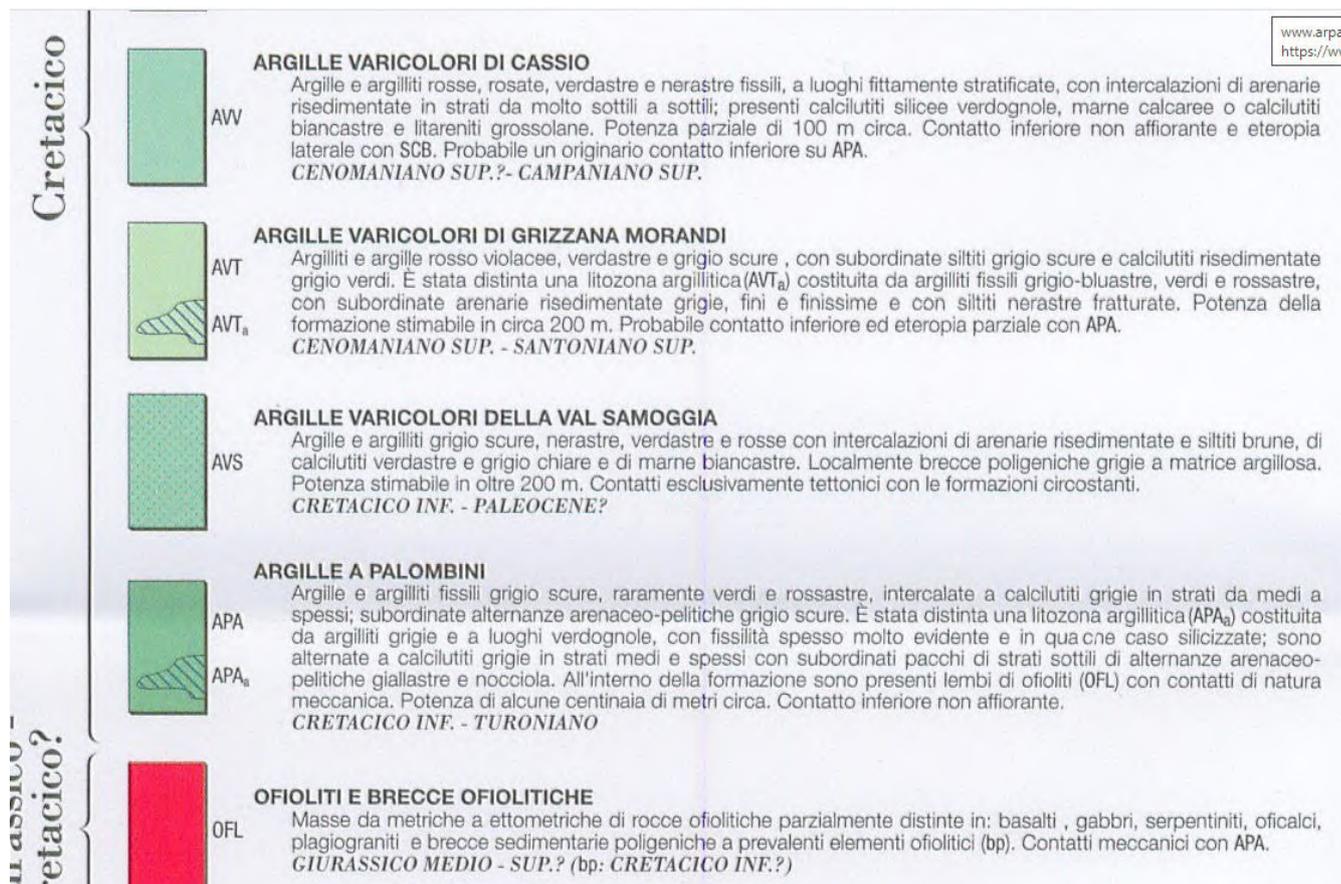
**FIGURA 2.4** Stralcio carta geologica d'Italia

[https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/237\\_SASSO\\_MARCONI/Foglio.html](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/237_SASSO_MARCONI/Foglio.html)



**FIGURA 2.5** Stralcio sezione geologica riportata nel Foglio 237 Sasso Marconi

[https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/237\\_SASSO\\_MARCONI/Foglio.html](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/237_SASSO_MARCONI/Foglio.html)



### Legenda

Tutto il territorio comunale di Vergato ricade all'interno della zona sismogenetica 913 (FIGURA 2.6), e potenzialmente è sede epicentrale di eventi sismici.

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 913 il valore di  $M = 6,14$  (INGV, Galadini e Galli, 2000).

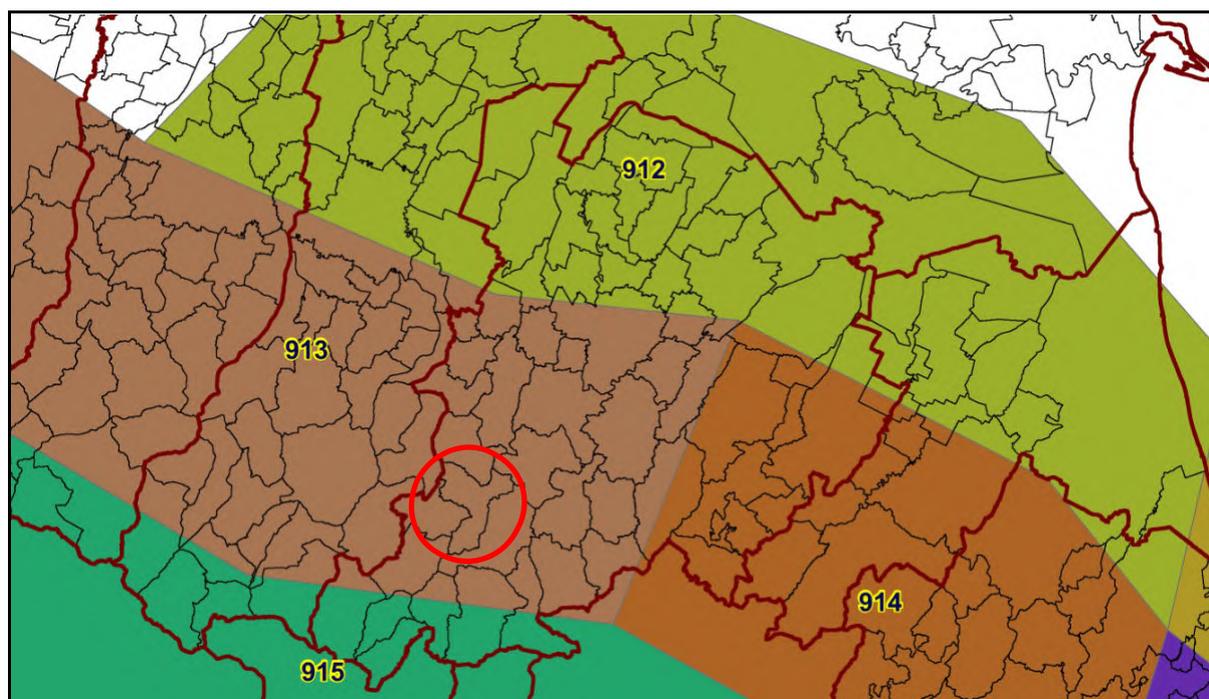


FIGURA 2.6 - Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale

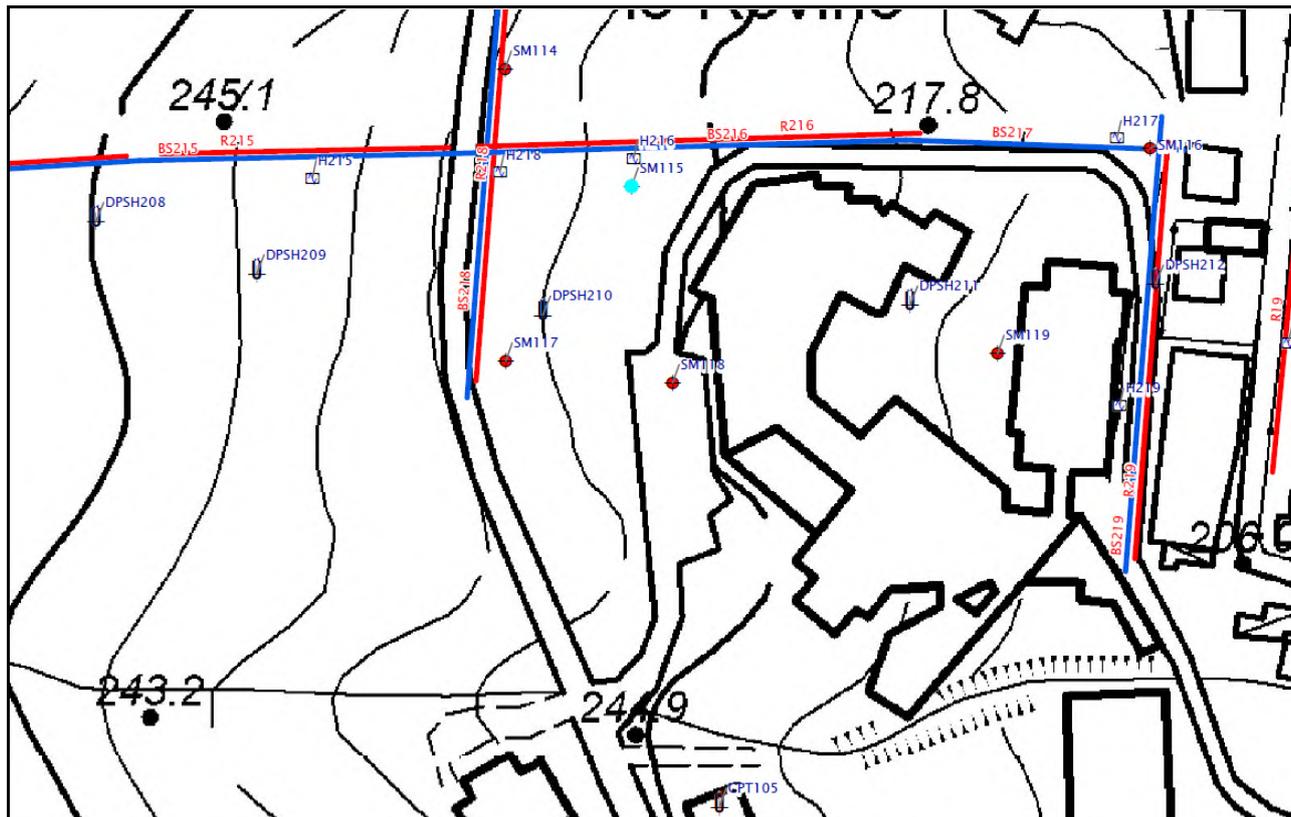


## 2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

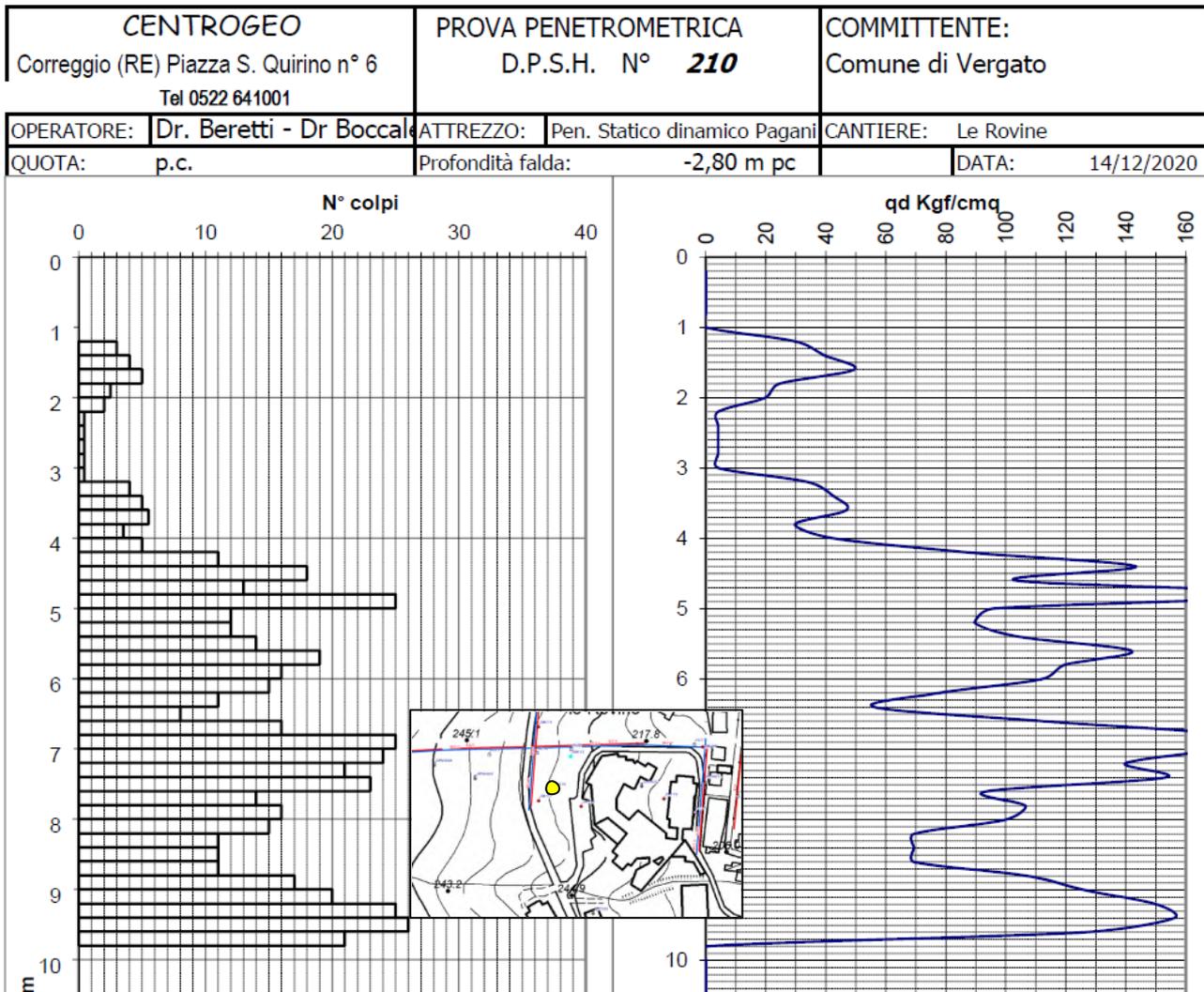
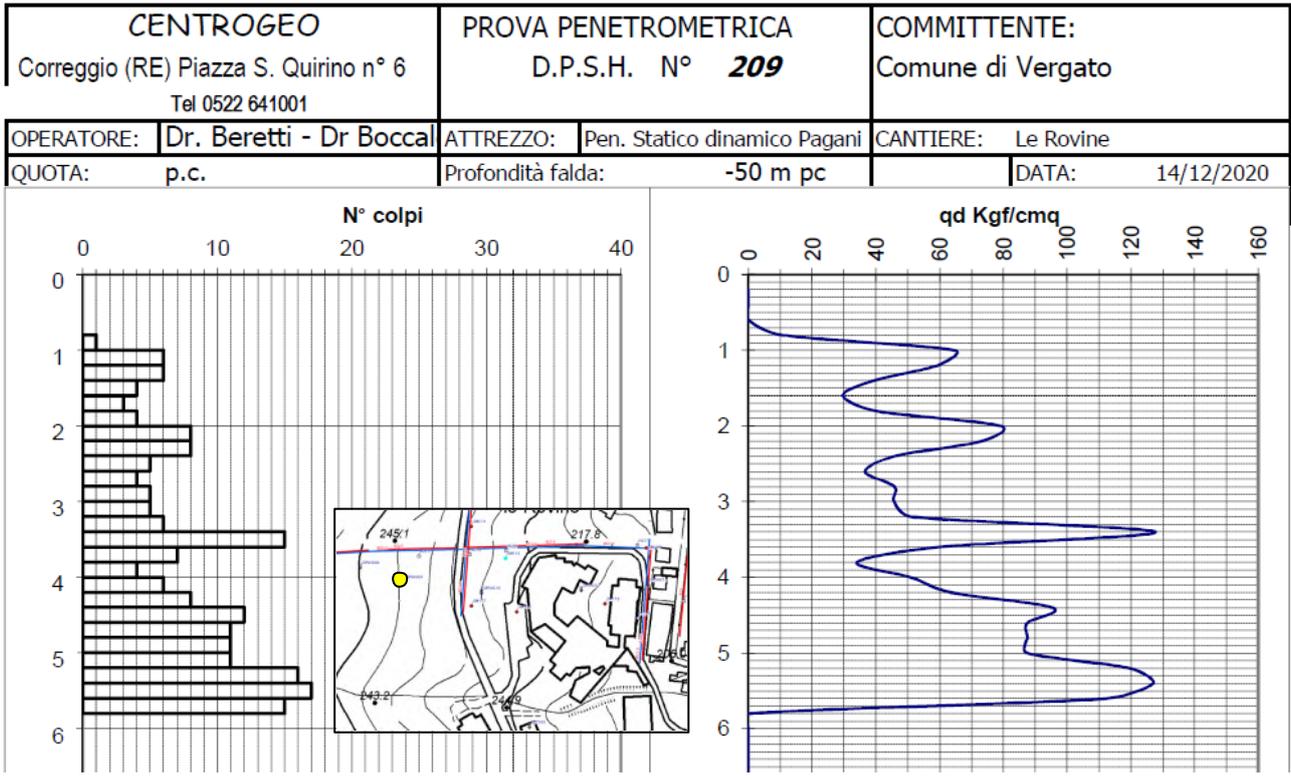
Il sito allo studio sorge sulla formazione delle Argille a Palombini, litozona argillitica. Sono formazioni pre flysch depositatesi durante il Cretacico inferiore, tra 140 milioni di anni fa e 80 milioni di anni fa. La caratteristica di queste argille è che sono intensamente tettonizzate, a causa della loro storia tettonica. Risultano infatti intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala dei campioni ("argille scagliose").

Il sito è stato interessato da diverse indagini geologiche nel tempo, sia ai tempi della progettazione della scuola sia nei periodi successivi ove si sono evidenziati movimenti franosi che hanno interessato l'area a monte dei muri di sostegno sul lato ovest della scuola Fantini.

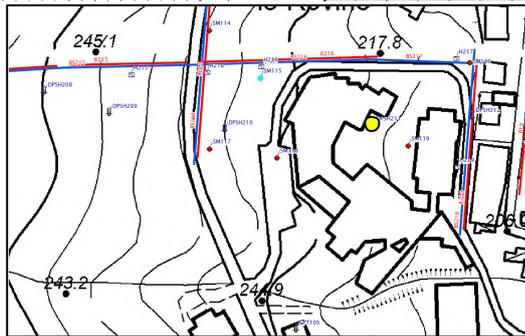
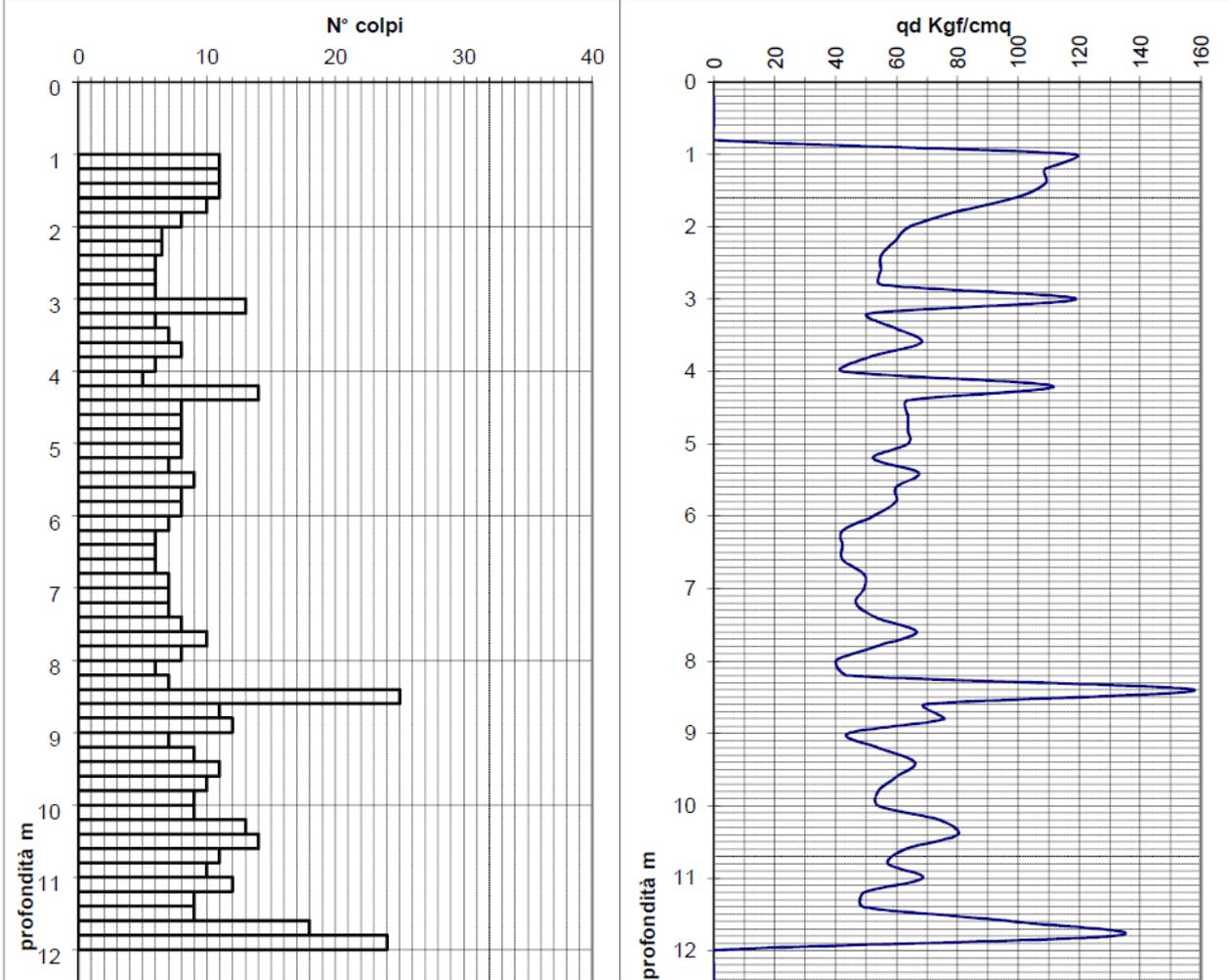
In particolare si segnalano le seguenti indagini fornite gentilmente dal dott. Geol. Gian Pietro Mazzetti, riportati nei suoi studi di microzonazione sismica in corso.



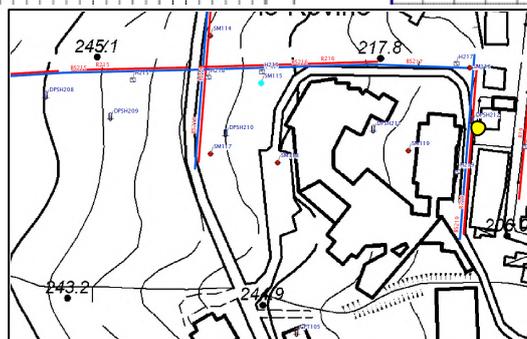
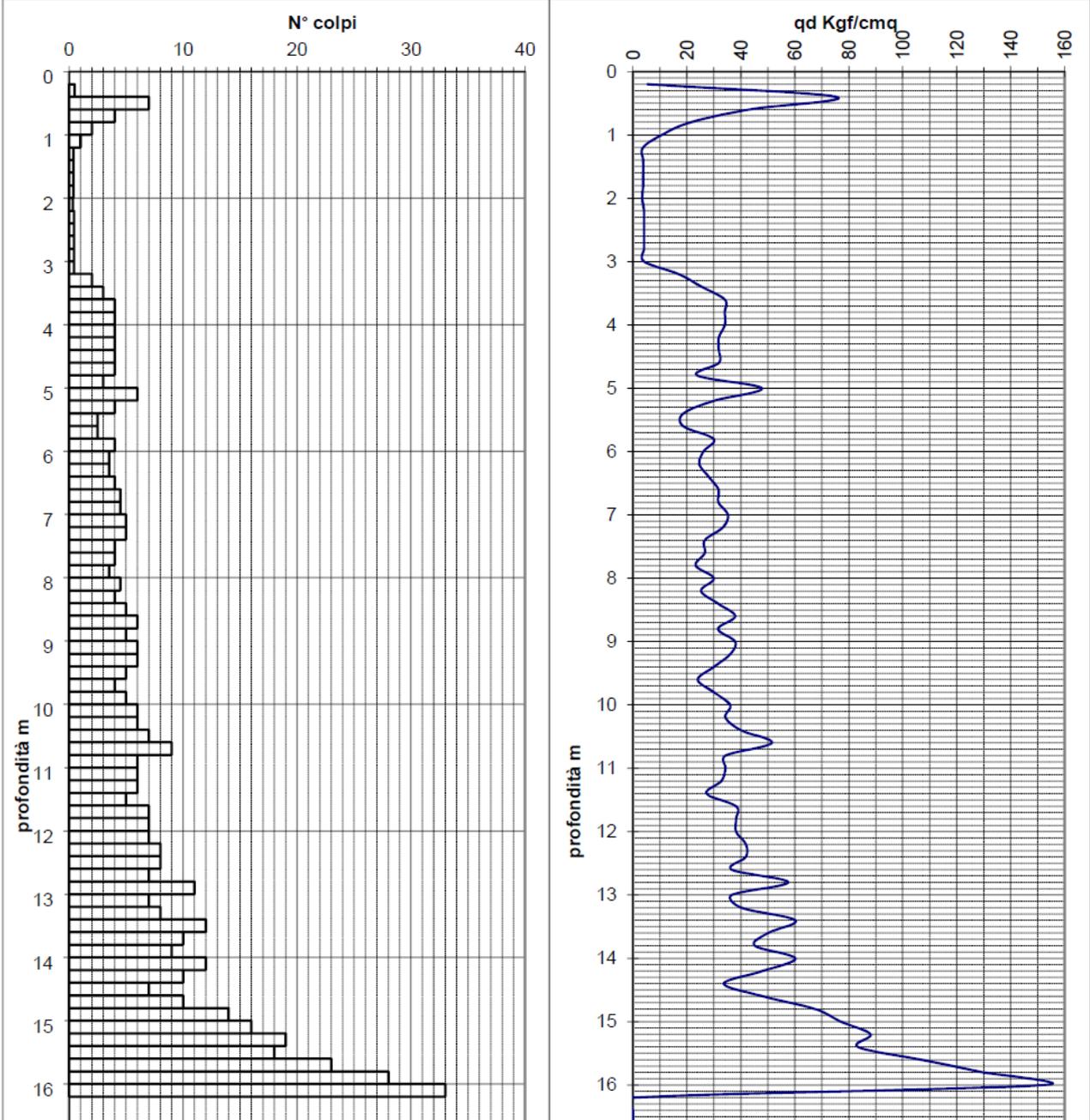
**FIGURA 2.8** - ubicazione indagini fornite dal Dott. Geol. Gian Pietro Mazzetti raccolte per gli studi di microzonazione sismica



<b>CENTROGEO</b> Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6 Tel 0522 641001		<b>PROVA PENETROMETRICA</b> D.P.S.H. N° <b>211</b>		<b>COMMITTENTE:</b> Comune di Vergato	
<b>OPERATORE:</b>	Dr. Beretti - Dr Boccali	<b>ATTREZZO:</b>	Pen. Statico dinamico Pagani	<b>CANTIERE:</b>	Le Rovine
<b>QUOTA:</b>	p.c.	<b>Profondità falda:</b>	-50 m pc	<b>DATA:</b>	14/12/2020



<b>CENTROGEO</b> Correggio (RE) Piazza S. Quirino n° 6 Tel 0522 641001		<b>PROVA PENETROMETRICA</b> D.P.S.H. N° <b>212</b>		<b>COMMITTENTE:</b> Comune di Vergato	
OPERATORE: <b>Dr. Beretti - Dr Boccali</b>		ATTREZZO: Pen. Statico dinamico Pagani		CANTIERE: Le Rovine	
QUOTA: p.c.		Profondità falda: -5,60 m pc		DATA: 14/12/2020	



MOD.0\_RSP\_CAR

<b>GEO-PROBE</b> s.r.l. Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072		Committente: Provincia di Bologna Località: Vergato (BO) Cantiere: Scuola Perforazione: Carotaggio Continuo d 101 mm Attrezzatura: Sonda Drill 830L		<b>SM 117</b>	
Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	
--	06.0413/RSP	0	12/04/2006	Dr. Regazzi	Dr. L. Conti

Profondità'	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Percentuale Carotaggio		Falda	P. P. [kg/cmq]	V. T. [kg/cmq]	Piezometro Norton
				20	40 60 80				
0.40		1	Limo argilloso molto alterato di colore nocciola; terreno ad umidità media.				1.4	0.6	
0.60		2	Trovante calcareo.				1.0	0.5	
		3	Limo argilloso di colore nocciola.				2.0	0.9	
2.50		4	Limo argilloso di medio elevata alterazione di colore nocciola; terreno ad umidità medio scarsa.				2.2	1.0	
		5					2.6	1.2	
3.70		6	Limo argilloso mediamente alterato di colore nocciola con screziature grigie e ruggine.				2.0	0.9	
		7					2.5	1.2	
5.30		8	Limo argilloso di colore nocciola con screziature nerastre.				2.1	1.0	
5.80		9	Limo argilloso di alterazione da media a scarsa di colore grigio con screziature nocciola; terreno ad umidità medio scarsa.				2.5	1.2	
		10					>4.5	>2.0	
7.60		11	Limo argilloso inalterato di colore grigio; terreno secco.				>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	

MOD.0\_RSP\_CAR

<b>GEO-PROBE</b> s.r.l. Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072		Committente: Provincia di Bologna Località: Vergato (BO) Cantiere: Scuola Perforazione: Carotaggio Continuo d 101 mm Attrezzatura: Sonda Drill 830L		<b>SM 118</b>	
Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	
--	06.0400/RSP	0	10/04/2006	Dr. Regazzi	Dr. L. Conti

Profondità'	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Percentuale Carotaggio		Falda	P. P. [kg/cmq]	V. T. [kg/cmq]	Piezometro Norton
				20	40 60 80				
0.60		1	Asfalto e rilevato grossolano; terreno ad umidità media.				2.9	1.2	
		2	Limo argilloso molto alterato di colore nocciola, presenza di abbondanti trovanti; terreno ad umidità media.				3.0	1.5	
2.10		3	Limo argilloso molto alterato di colore nocciola con screziature grigio nerastre, ocracee e ruggine.				1.7	0.8	
		4					2.1	0.9	
		5	Limo argilloso mediamente alterato di colore nocciola grigiastro; terreno ad umidità medio scarsa.				2.5	1.0	
4.00		6					3.7	1.9	
		7	Limo argilloso di alterazione medio scarsa di colore grigio nocciola; terreno ad umidità medio scarsa.				2.8	1.2	
5.10		8	Limo argilloso inalterato di colore grigio, presenza di trovanti calcarei; terreno secco.				2.2	1.0	
5.60		9					2.9	1.2	
		10					2.8	1.3	
							2.1	1.0	
							2.5	1.1	
							3.6	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	
							>4.5	>2.0	

MOD.0 RSP\_CAR

<b>GEO-PROBE</b> s.r.l. Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimaraosa, 119 - Tel. 051/61.33.072		Committente: Provincia di Bologna Località: Vergato (BO) <b>SM 119</b> Cantiere: Scuola Perforazione: Carotaggio Continuo d 101 mm Attrezzatura: Sonda Drill 830L			
Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
--	06.0414/RSP	0	11/04/2006	Dr. Regazzi	Dr. L. Conti

Profondita'	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Percentuale Carotaggio		Falda	P. P. [kg/cmq]	V. T. [kg/cmq]	Piezometro Norton
				20	40 60 80				
0.70	1		Asfalto, rilevato, ghiaia e laterizi; terreno ad umidità medio scarsa.				2.2	1.0	
	2		Argilla limosa di medio elevata alterazione di colore nocciola, presenza di trovanti di piccole dimensioni; terreno ad umidità media.				3.0	1.4	
2.30	3		Argilla limosa mediamente alterata di colore nocciola grigiastro con screziature ruggine; terreno ad umidità medio scarsa.				3.4	1.6	
	4						3.8	1.8	
	5						3.5	1.7	
	6						3.5	1.7	
	7		Trovante calcareo.				3.8	>2.0	
6.70	8		Argilla limosa di colore grigio con screziature ruggine.				4.1	>2.0	
7.10	9		Argilla limosa scarsamente alterata di colore grigio nocciola; terreno ad umidità medio scarsa.				>4.5	>2.0	
8.20	10		Argilla limosa inalterata di colore grigio; terreno secco.				3.7	>2.0	
9.90	11						>4.5	>2.0	
11.10							>4.5	>2.0	

E' poi stato preso in valutazione lo studio geologico del 2016 redatto dal Dott. Geol. Daniele Magagni, con le indagini allegate.

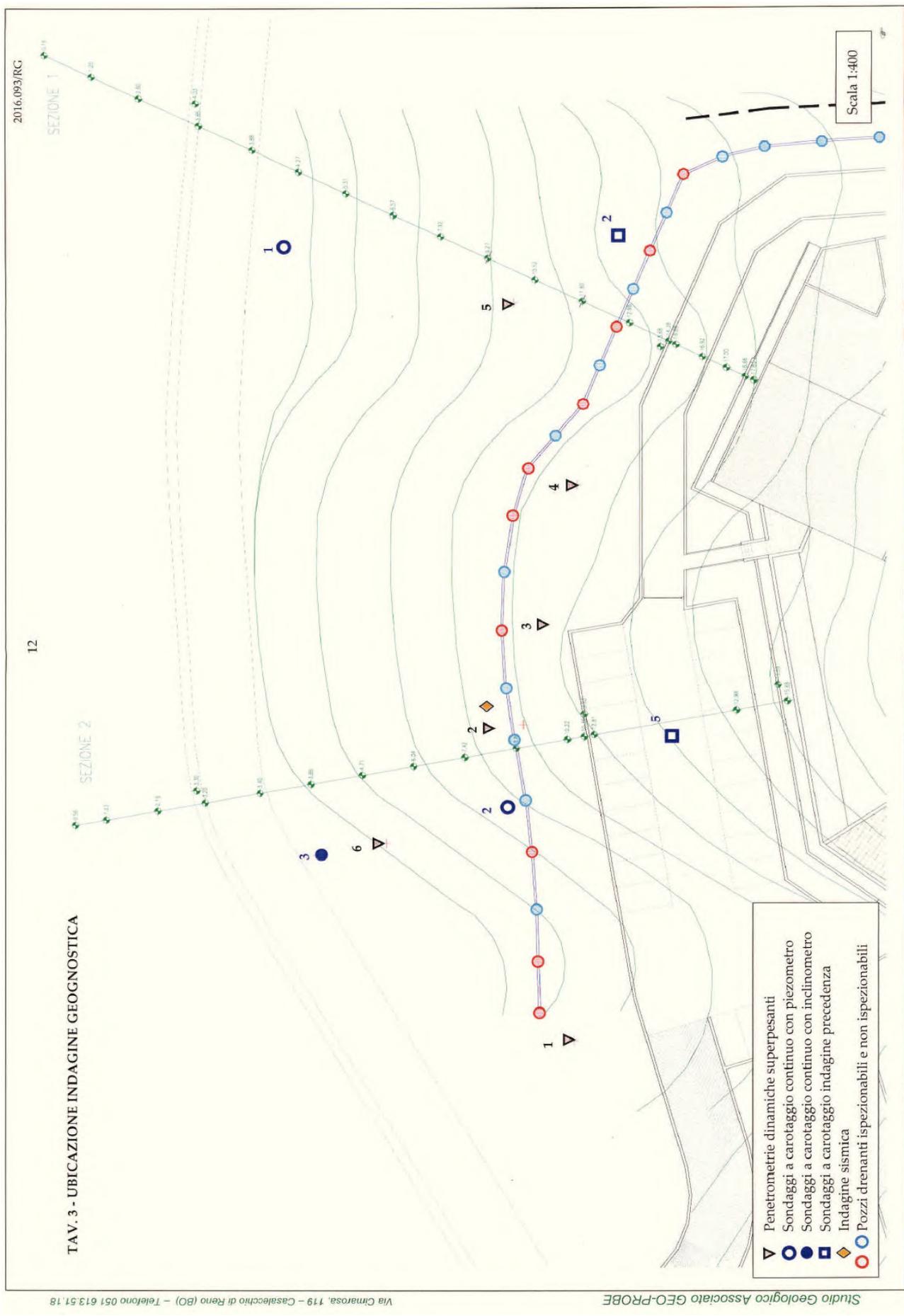


FIGURA 2.9 - ubicazione indagini contenute nella relazione del Dott. Geol. Daniele Magagni

**GEO-PROBE s.r.l.**

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

P.I. 04135500371

**DPSH 1**

Data prova: 27/12/2016

Quota ---

Codice lavoro: 2016.148

Committente: Città Metropolitana

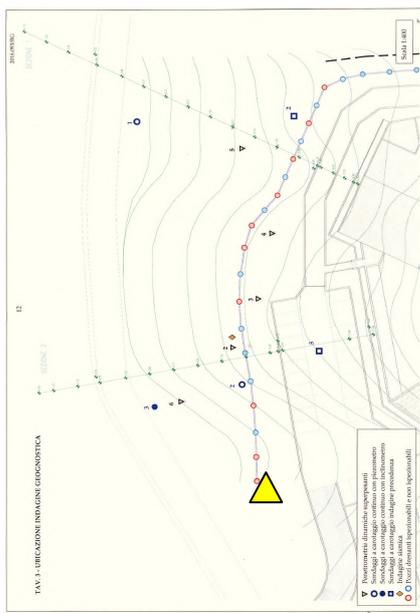
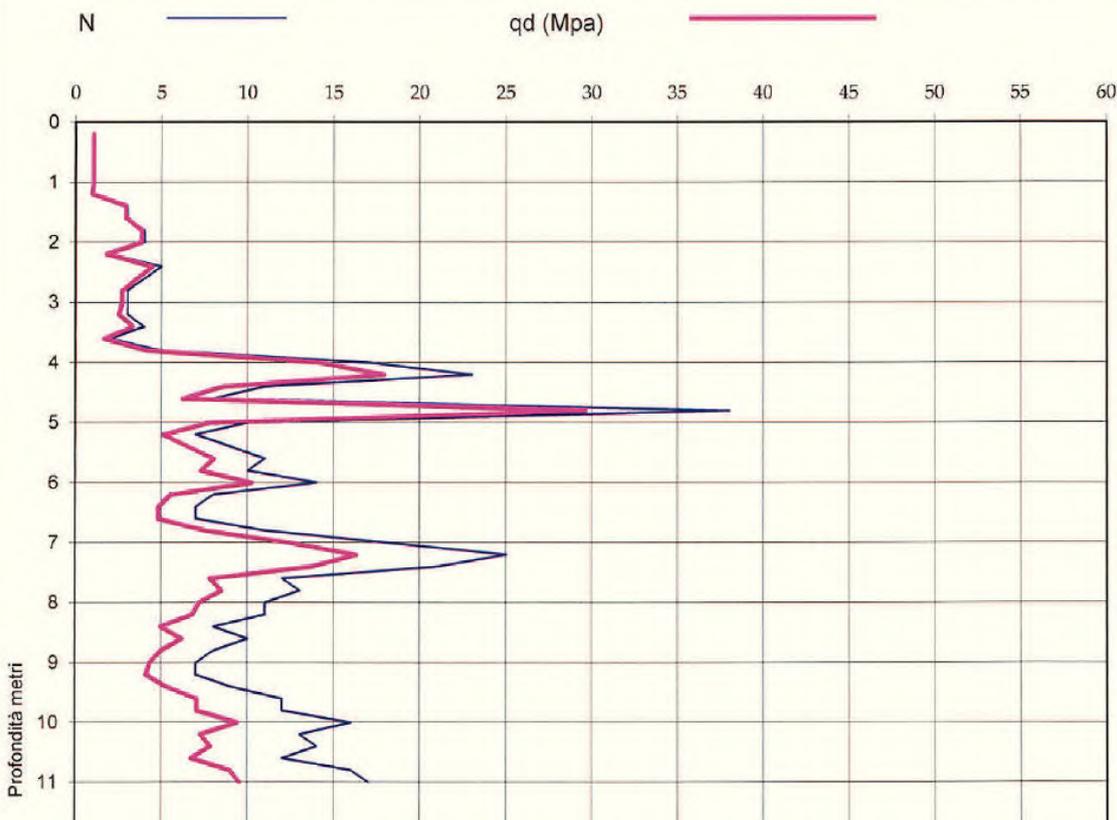
**Rapporto di prova N. 16.0779 /RSP**

Località: Vergato (BO)

Scuole Fantini

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH

stiche



**GEO-PROBE s.r.l.**

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
 Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072  
 P.I. 04135500371

**DPSH 2**

Data prova: 27/12/2016  
 Quota ---  
 Codice lavoro: 2016.148

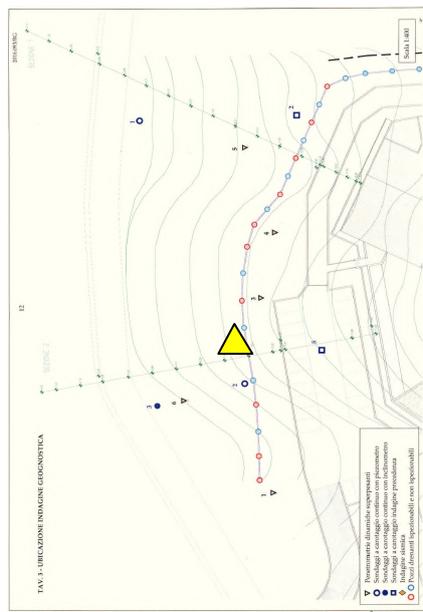
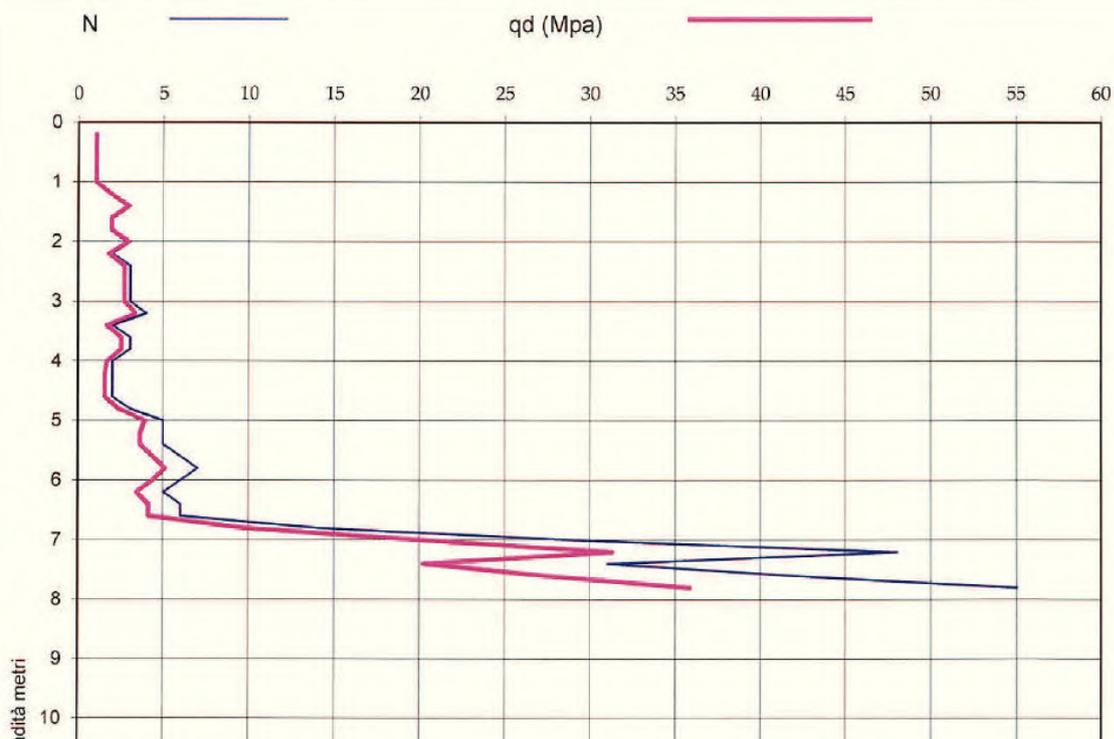
Committente: Città Metropolitana

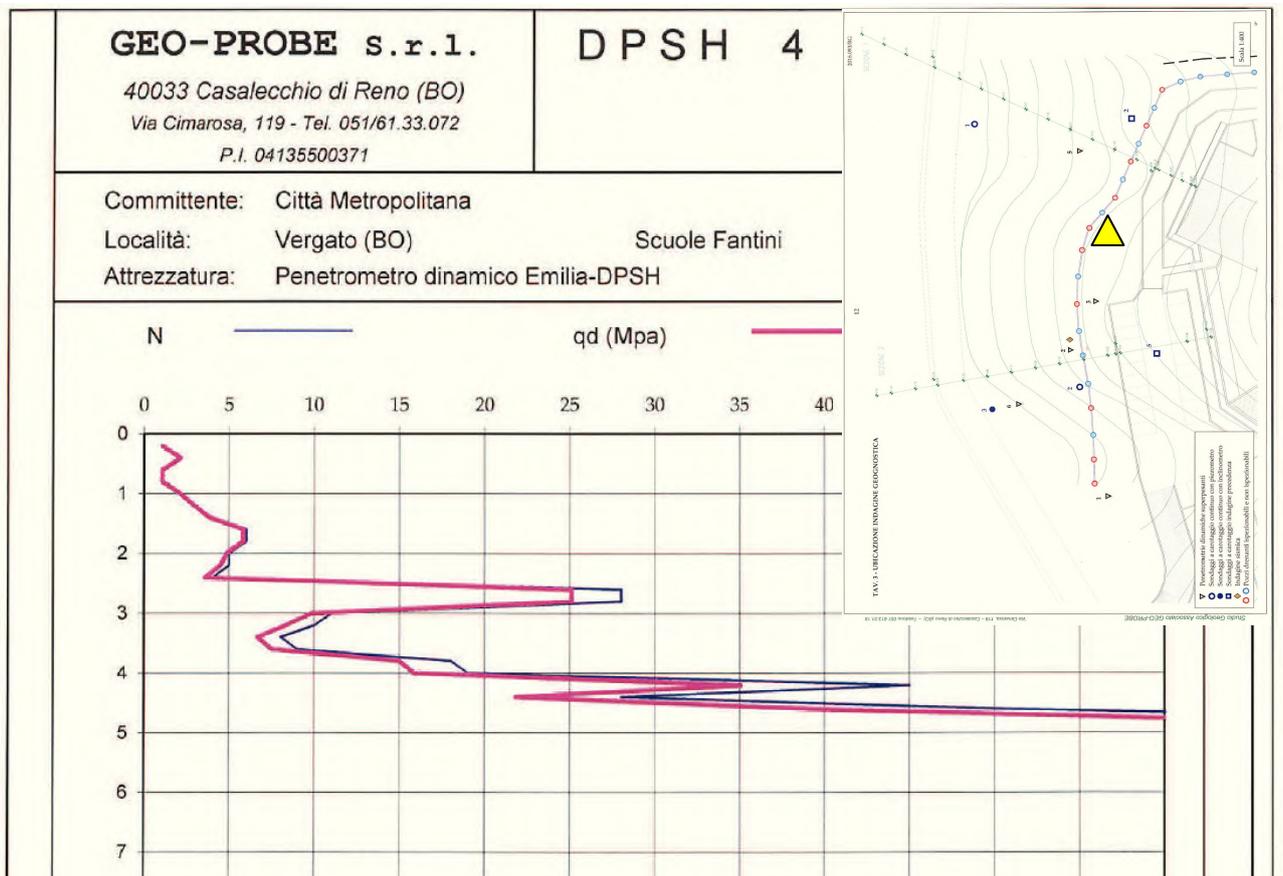
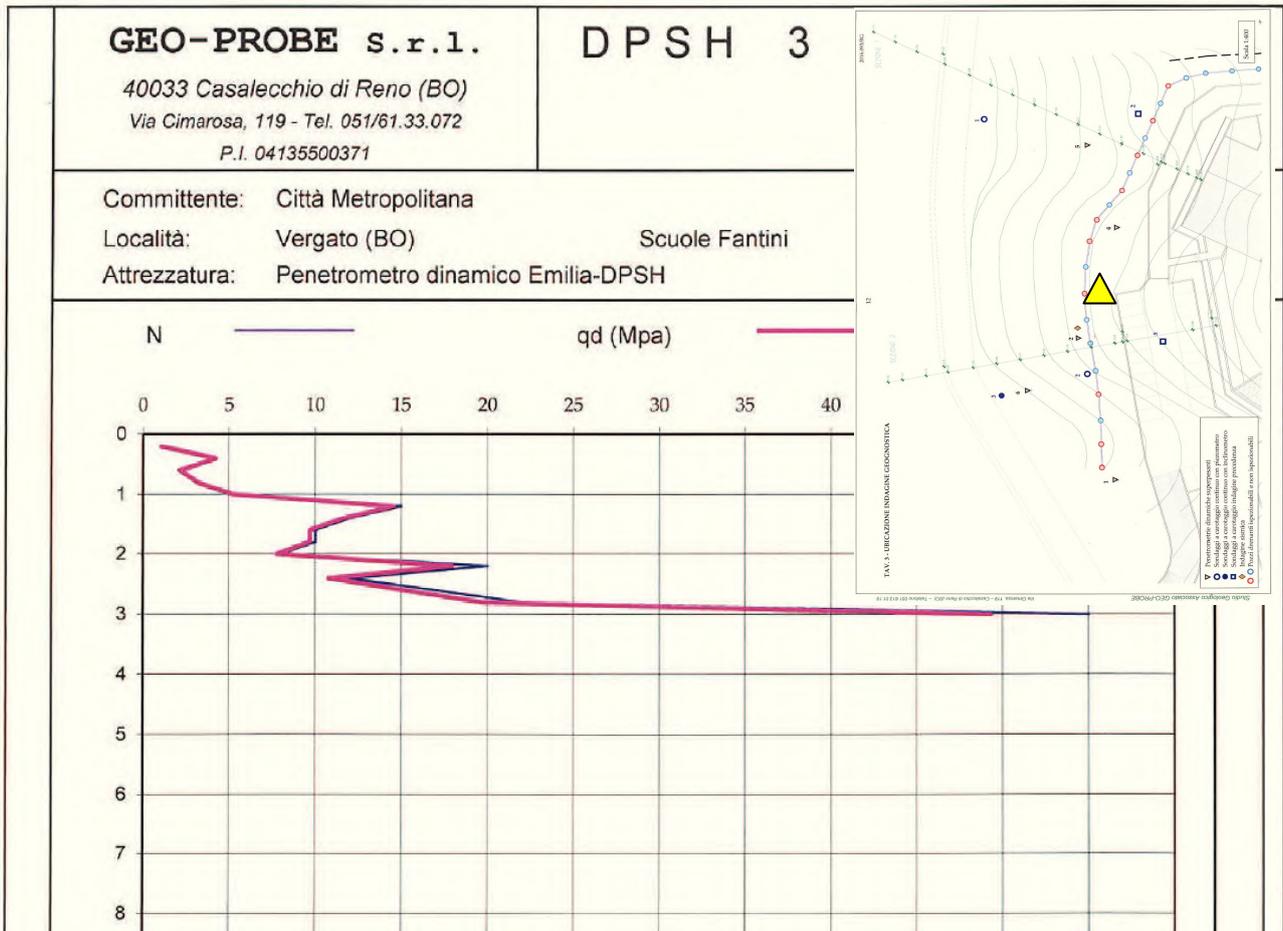
**Rapporto di prova N. 16.0780 /RSP**

Località: Vergato (BO)

Scuole Fantini

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH





**GEO-PROBE s.r.l.**

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072  
P.I. 04135500371

**DPSH 5**

Data prova: 27/12/2016  
Quota ---  
Codice lavoro: 2016.148

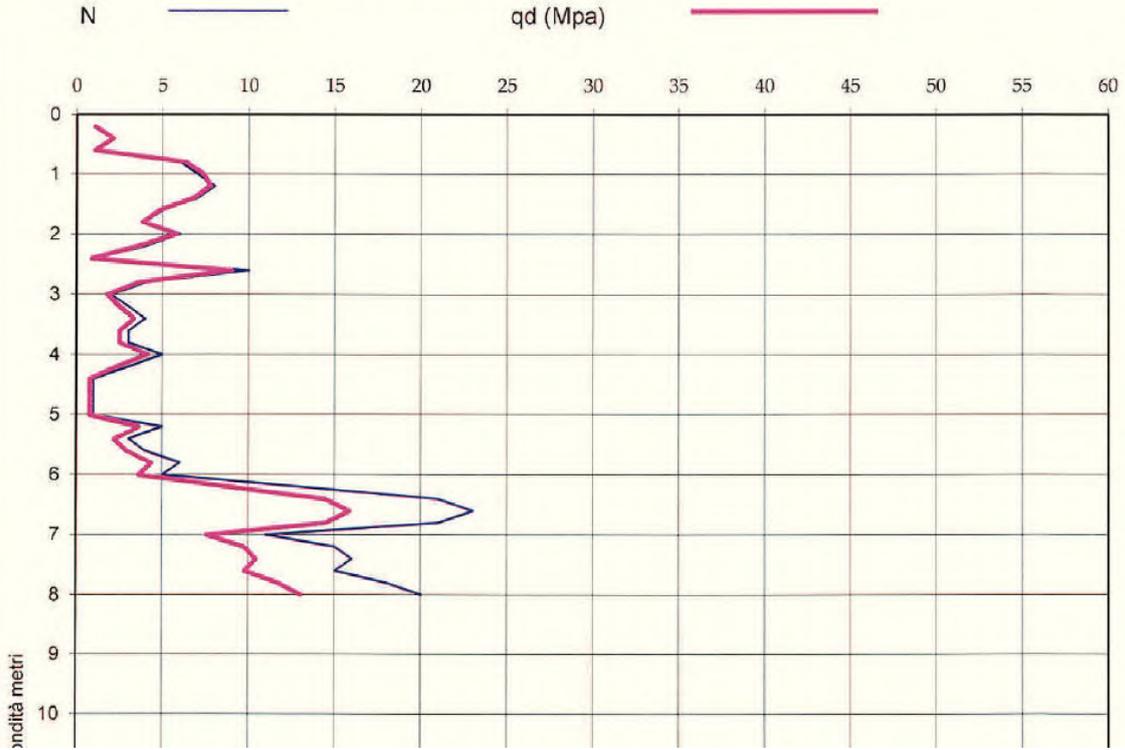
Committente: Città Metropolitana

Rapporto di prova N. 16.0783 /RSP

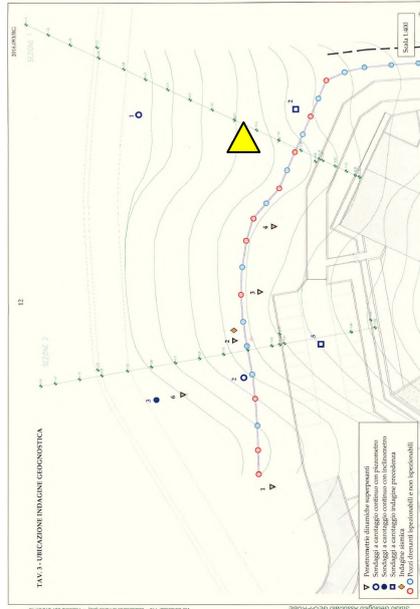
Località: Vergato (BO)

Scuole Fantini

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH



ie



**GEO-PROBE s.r.l.**

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072  
P.I. 04135500371

**DPSH 6**

Data prova: 27/12/2016  
Quota ---  
Codice lavoro: 2016.148

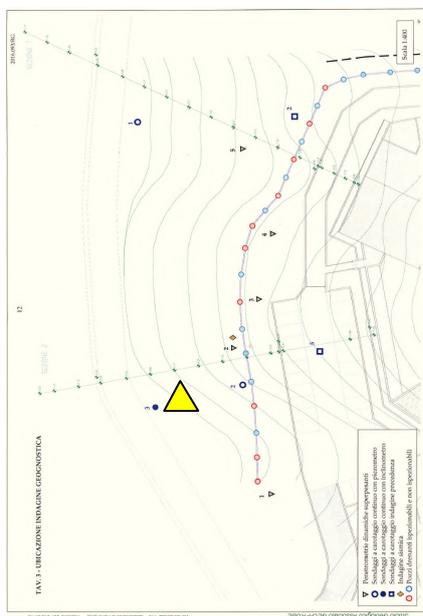
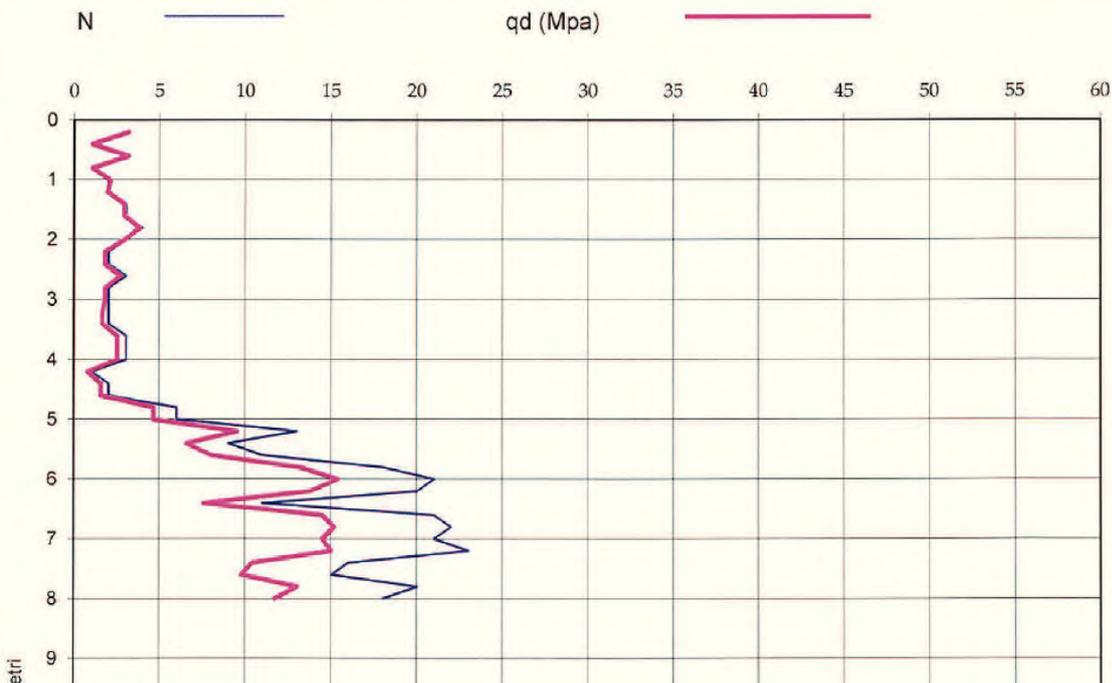
Committente: Città Metropolitana

Rapporto di prova N. 16.0784 /RSP

Località: Vergato (BO)

Scuole Fantini

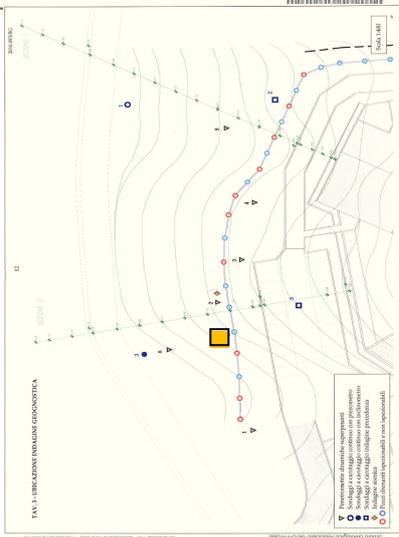
Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH





<b>GEO-PROBE</b> 3 r.l. Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimara, 119 - Tel. 051/61.33.072		Committente: Città Metropolitana		Quota: ---		Rap. Pr. N°16.078/RSP	
		Località: Vergato (BO)		Profondità: 10.20 m		Codice Lavori 2016 148	
		Cantiere: Scuole Fantini		Data Inizio: 27/12/2016		SONDAGGIO	
		Perforazione: Carotaggio Continuo diam. 101		Data Fine: 27/12/2016		FOGLIO	
		Attrezzatura: Sonda Drill 830L		Il geologo: Dr. Conti		2 / 1/1	
Procedura di Prova IO_001	Rapporto di Prova N° 16.078/RSP	Rev. 0	Data di emissione 27/12/2016	Lo Sperimentatore Dr. Conti	Il Direttore di Laboratorio Dr. Conti		

Scala 1:50	Manovre	Lunghezza carattere	Rivestimento	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Percentuale Carotaggio				Campioni	Prof. SPT	N° colpi SPT	Tipo di punta	Scala 1:50		Falda	Piezometro Norion
							20	40	60	80					P. P. [kg/cmq]	V. T. [kg/cmq]		
1	1.40	1.50				Argilla limosa di colore da grigio nocciola con piccoli trovanti calcarei, elevata alterazione; terreno ad umidità media.								1	1.4	0.6		
2	0.90	1.50												2	2.3	1.2		
3	0.70	1.50												3	3.3	1.7		
4	0.70	1.50												4	3.7	1.8		
5	1.20	1.50												5	2.9	1.5		
6	1.10	1.50		5.30		Argilla limosa di colore grigio nocciola, media alterazione; terreno ad umidità medio scarsa.								6	2.6	1.4		
7	0.80	1.50												7	2.8	1.4		
8	0.90	1.50												8	2.8	1.5		
9	1.00	1.50												9	3.3	1.7		
10	0.70	1.50												10	>4.5	>2.0		
																	8.95	







E' stato inoltre presa in considerazione la relazione geologica del 1991 redatta dal Dott. Alberto Monesi in cui è riportata la stratigrafia di due carotaggi effettuati nel sito ove sarebbe poi sorta la nuova scuola. Il piano campagna della figura è quello prima dello sbancamento ed aveva quota compresa tra 222m e 223m.

## RELAZIONE GEOLOGICA 1991

### 3) Indagine geognostica

Allo scopo di conoscere la natura dei terreni e le relative caratteristiche geomeccaniche è stata condotta una campagna geognostica comprendente:

- 2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 16-20 m con prelievo continuo di campioni sui quali sono state eseguite prove di laboratorio;
- installazione entro il foro di sondaggio n. 1 di un piezometro a tubo aperto: tubo in p.v.c. forato rivestito con materiale drenante per tutta la lunghezza.

#### A) Successioni stratigrafiche e caratteristiche meccaniche dei terreni

La successione stratigrafica (tav. 2) emersa dai sondaggi è la seguente, procedendo dall'alto verso il basso:

- da 0,0 m a 0,50 m dal p.c. terreno vegetale
- da 0,50 m a 10,00  $\frac{m}{\cdot}$  17,00 dal p.c. = terreno alterato grigio costituito da argille con limo e sabbia con inglobati piccoli frammenti litoidi di varia natura.

Le analisi di plasticità hanno fornito un limite di liquidità compreso tra il 34% ed il 39% ed un limite di plasticità tra il 20% ed il 24%. Sulla carta di plasticità di Casagrande i punti rappresentativi di questi campioni ricadono nel campo delle argille inorganiche. Il contenuto d'acqua allo stato naturale è risultato variabile dal 12,84% al 19,45% con valore medio 16,02%: valore inferiore al limite di plasticità.

La consistenza del terreno è stata misurata con il pocket penetrometer: essa è risultata variabile da compatta a molto compatta.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate, le prove di taglio diretto su provini rimaneggiati hanno fornito i seguenti valori:

#### a) valori di picco

- angolo di resistenza al taglio =  $17^\circ - 19^\circ$
- coesione intercetta =  $0,02 - 0,200 \text{ Kg/cm}^2$

#### b) valori residuali

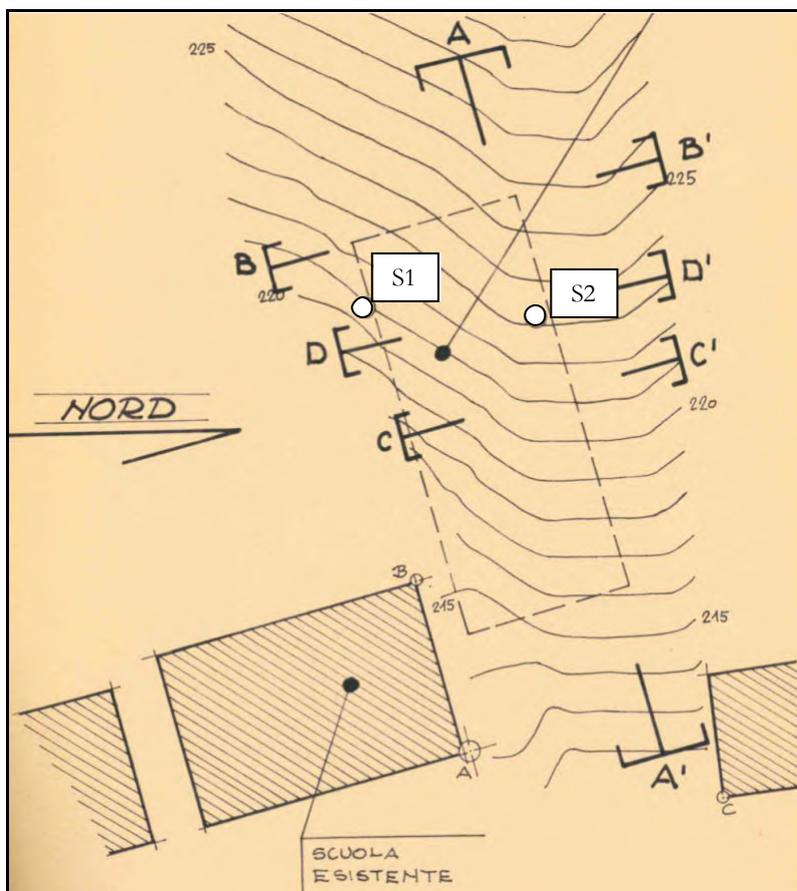
- angolo di resistenza al taglio =  $9^\circ$
- coesione intercetta = 0

- da 10,00  $\pm$  17,00 m a 13,50  $\pm$  19,30 m dal p.c.: terreno intermedio di limitato spessore rappresentato da argilla grigia con tracce di struttura scagliosa di consistenza da media a compatta o da frammenti litoidi di varia pezzatura in matrice argillosa;
- da 13,50  $\pm$  19,30 m a 16,00 - 20,00 m dal p.c.: substrato inalterato costituito da argilla di colore grigio scuro a struttura scagliosa. I limiti di plasticità hanno fornito valori simili a quelli del terreno alterato. Il contenuto naturale di acqua è risultato variabile dal 1'8,06% al 9,27% con valore medio 8,66%: valore inferiore al limite di plasticità. La consistenza del terreno è sempre risultata compattissima.

B) Misure piezometriche

Misure limitate nel tempo hanno evidenziato la presenza di acqua nel sondaggio n. 1 alla profondità di 11,47 m dal p.c.

La presenza di un elevato spessore di terreno di alterazione (13,50 - 19,30 m), con intercalato uno strato contenente numerosi resti vegetali, superiormente al substrato in posto rappresentato dai terreni caotici eterogenei, fa ritenere che l'area in esame sia stata anticamente interessata da un movimento franoso (paleofrana).





**FIGURA 2.10.** - ubicazione indagini della prima relazione geologica del 1991 a firma del dott. Alberto Monesi.

### SONDAGGIO N. 1

PROF. m.	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE TERRENI	$\mu$	$\gamma$	LL	LP	IP	pp	$c$		$\varphi$	IG	
									$c_{CR}$	$\varphi'$			
0,50		Terreno vegetale											
1,00	v v v	Argilla grigia alterata con piccoli frammenti litoidi di consistenza variabile da compatta a molto compatta, tra le quote 7,00 e 8,00 presenza di numerosi resti vegetali e di H <sub>2</sub> O.	19,45	1,98	39	23	16	4,750					
2,00	v v v												
3,00	v v v												
4,00	v v v		16,84		35	21	14	4,000					
5,00	v v v												
6,00	v v v		16,60	1,98	37	24	13	4,250					
7,00	v v v		16,64		35	22	13	2,750					
8,00	v v v							3,500					
9,00	v v v		14,51		36	24	12	N. D.	0,200 0,00	17° 9°			
10,00	v v v							2,750					
11,00	— . — .	Argilla grigia con tracce di struttura scagliosa di consistenza variabile da compatta a molto compatta.	16,65	1,98	35	23	12	2,750					
12,00	— . — .												N. D.
13,00	— . — .												
13,50	— . — .												
14,00		Argilla scagliosa grigia asciutta e compattissima.	9,27		34	20	14	N. D.					
15,00													
16,00													

## SONDAGGIO N. 2

PROF. m.	STRATIGRA- FIA	DESCRIZIONE TERRENI	$\mu$	$\gamma$	LL	LP	IP	pp	C		$\varphi$		IG								
									$c_r$		$\varphi'$										
0,50		Terreno vegetale																			
1,00	v v v	Argilla grigia alterata con piccoli frammenti litoidi di consistenza variabile da compatta a molto compatta. Tra le quote 7,00 e 8,00 m presenza di resti vegetali.	14,65	1,98	33	22	11	7 5,000													
2,00	v v v																				
3,00	v v v																				
4,00	v v v																				
5,00	v v v																				
6,00	v v v																				
7,00	v v v																				
8,00	v v v																				
9,00	v v v																				
10,00	v v v																				
11,00	v v v																				
12,00	v v v																				
13,00	v v v																				
14,00	v v v																				
15,00	v v v																				
16,00	v v v													14,76	34	21	13	N.D.			
17,00	v v v																				
18,00		Frammenti litoidi con argilla grigia alterata compatta.																			
19,00																					
19,30																					
20,00		Argilla scagliosa asciutta e compattissima.	8,06		33	19	14	N.D.													

Mettendo a sistema tutti i dati sopra riportati si ricostruisce il modello geologico stratigrafico.

Al letto vi è la copertura di suolo pedogenizzato.

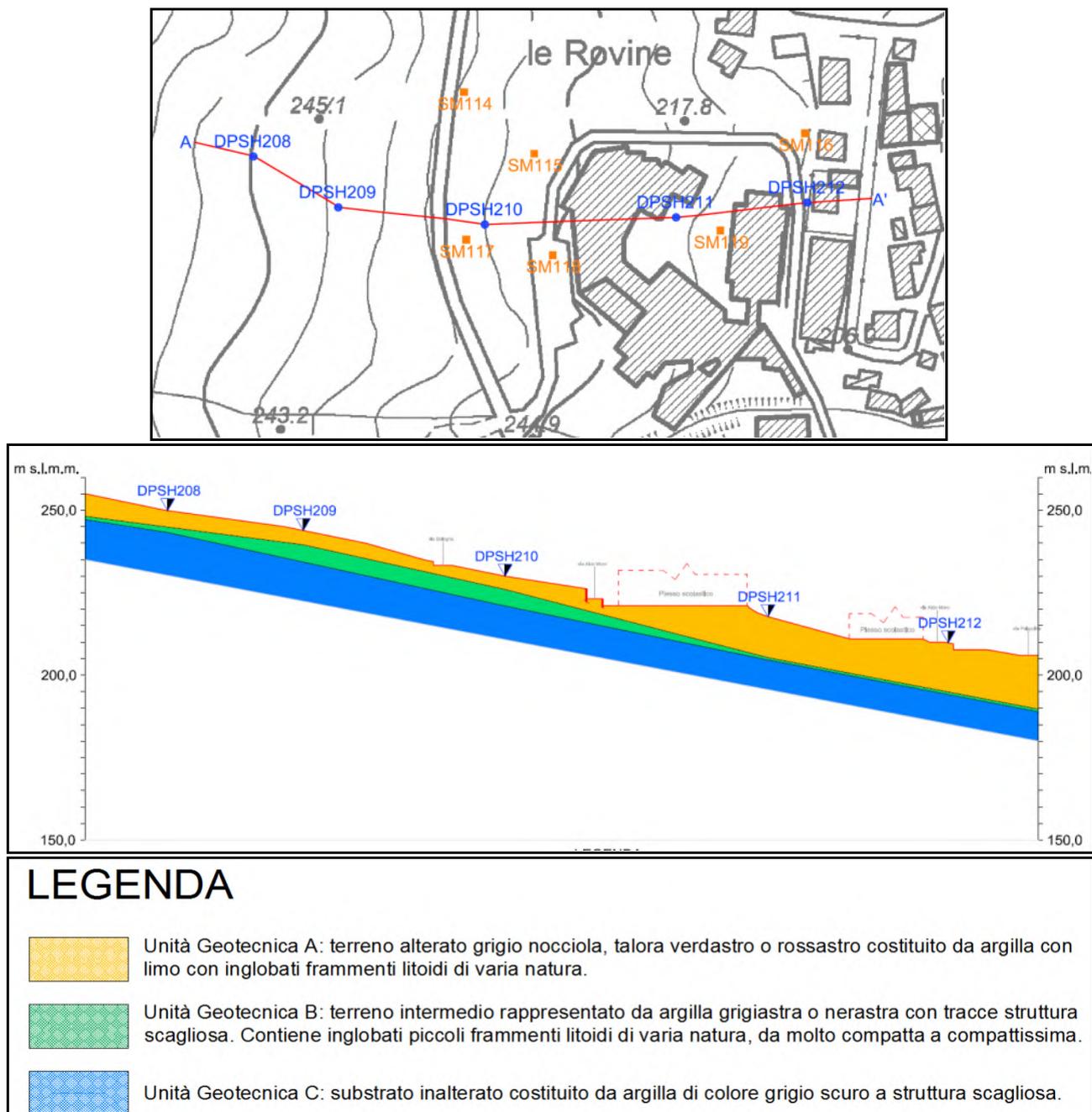
Segue:

Unità A) terreno alterato grigio nocciola, talora verdastro o rossastro costituito da argilla con limo con inglobati frammenti litoidi di varia natura.

Unità B) terreno intermedio rappresentato da argilla grigiastra o nerastra con tracce struttura scagliosa. Contiene inglobati piccoli frammenti litoidi di varia natura, da molto compatta a compattissima.

Unità C) substrato inalterato costituito da argilla di colore grigio scuro a struttura scagliosa.

Di seguito si riporta la sezione schematica:



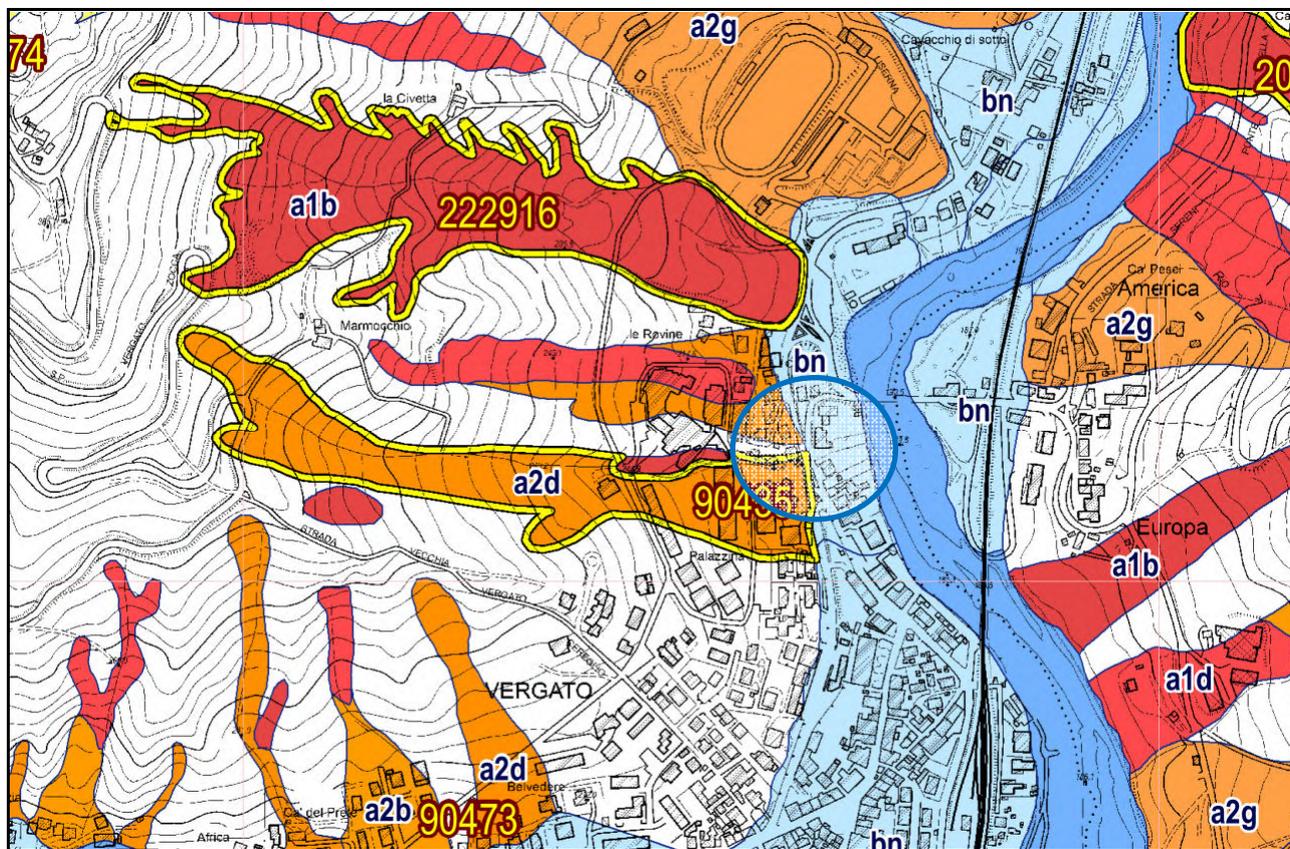
**FIGURA 2.11** - ubicazione sezione e sezione litologica

Da queste indagini e dalla fotointerpretazione aerea di immagini fotografiche in B/N del sito, si possono ricostruire i caratteri geomorfologici del sito.

### 2.3. GEOMORFOLOGIA APPLICATA

Analizzando la **FIGURA 2.12**, che riporta uno stralcio della Cartografia dei dissesti della Regione Emilia Romagna, si può notare come il sito allo studio sia interessato da corpi di frana.

La costruzione della scuola ha interessato un deposito di frana attivo per scivolamento (**a1b**) e un deposito di frana quiescente per scivolamento (**a2d**).



#### LEGENDA

##### Depositi di frana

-  a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato
-  a1a - Deposito di frana attiva per crollo e/o ribaltamento
-  a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
-  a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango
-  a1e - Deposito di frana attiva per colamento detritico
-  a1g - Deposito di frana attiva complessa
-  a1h - Deposito di frana attiva per scivolamento in blocco o DGPV
-  a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
-  a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
-  a2g - Deposito di frana quiescente complessa
-  a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV

### Eventi di frana storicamente documentati



Frana con eventi storicamente documentati di limitata estensione



Frana con eventi storicamente documentati

### Altri depositi di versante



a6 - Detrito di falda



a3 - Deposito di versante s.l.; a5 - Antico deposito di versante



a4 - Deposito eluvio-colluviale; e1 - Deposito di salsa; d1 - Deposito eolico; f1 - Deposito palustre; f2 - Deposito lacustre

### Depositi alluvionali



b1 - Depositi alluvionali attualmente in evoluzione

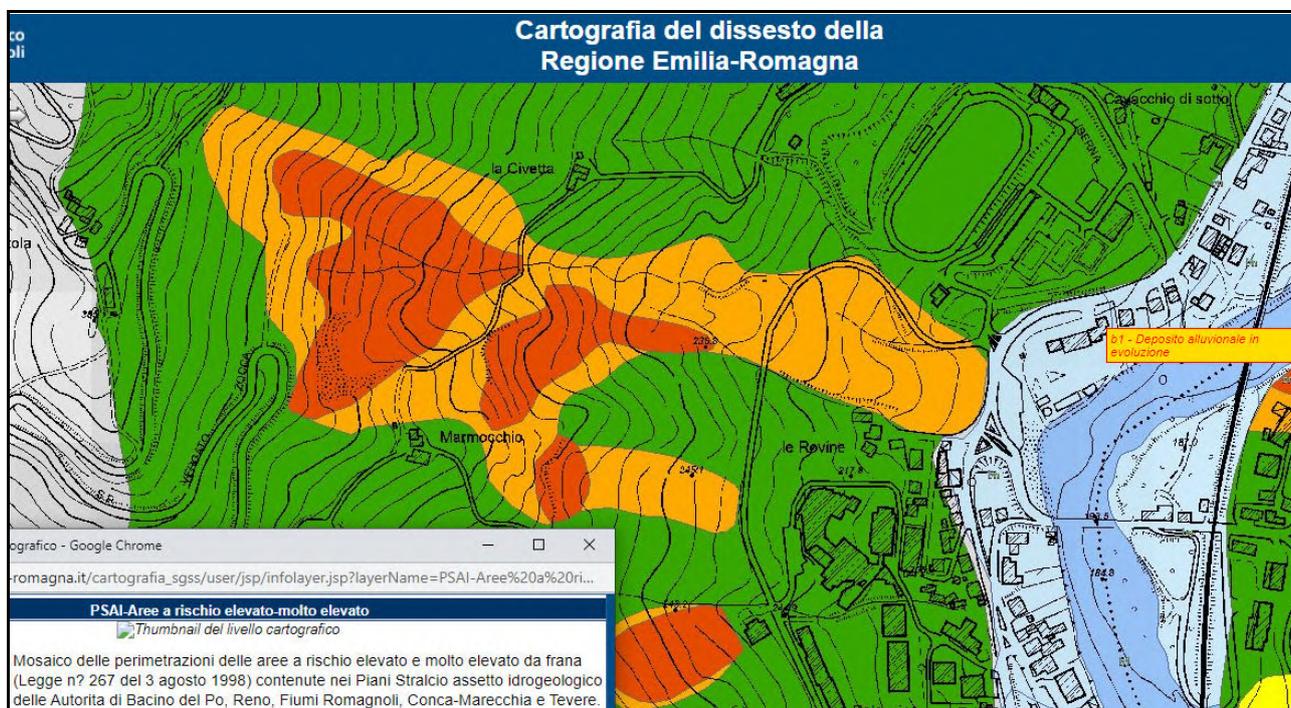


bn - Depositi alluvionali attualmente non in evoluzione

**FIGURA 2.12** - Stralcio della Carta del dissesto

[https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto)

Sempre nel webgis regionale si coglie che il sito allo studio è esterno alle aree classificate nel PSAI come a rischio elevato - molto elevato.

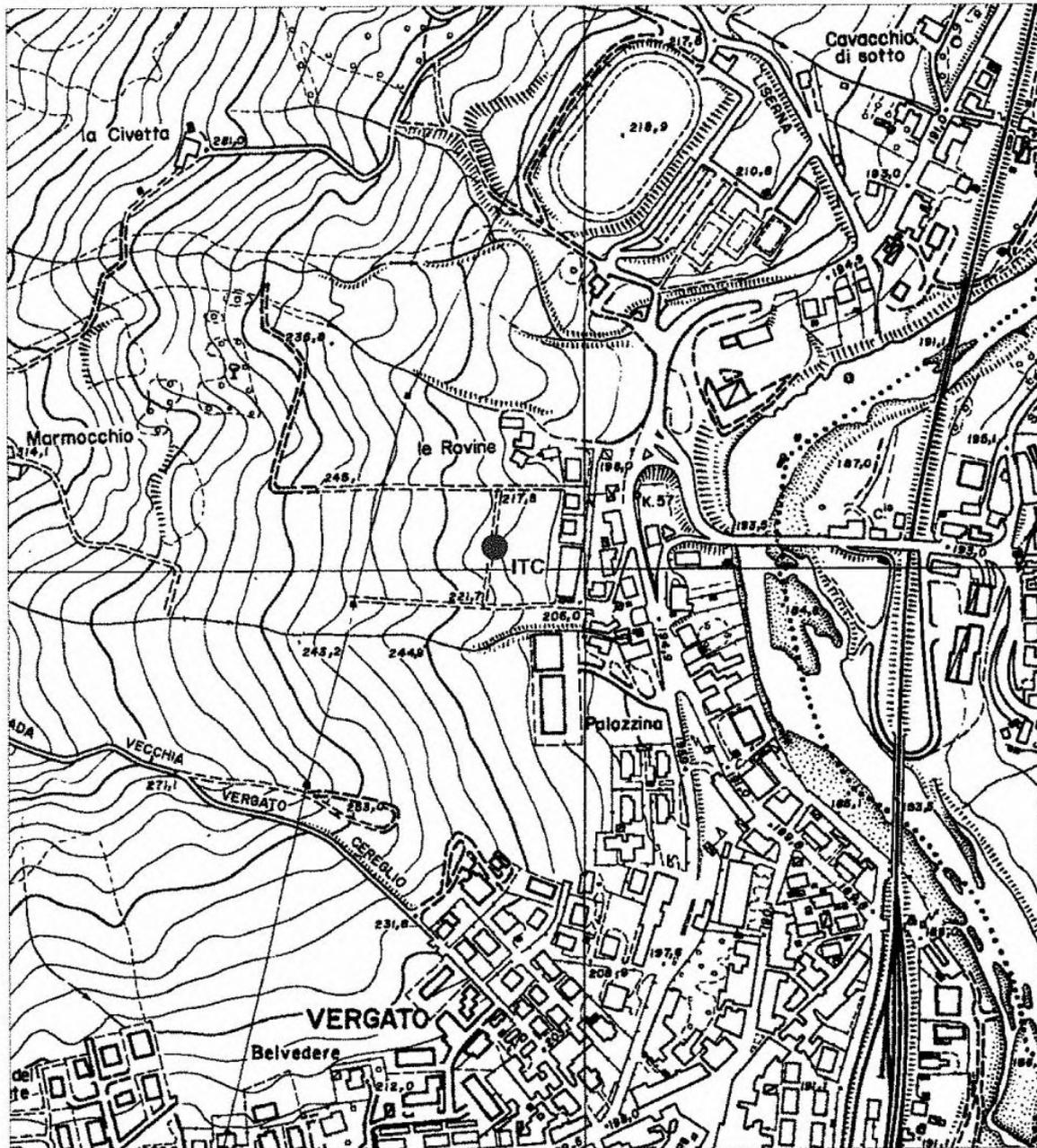


**FIGURA 2.13** - Stralcio della Carta del dissesto - PSAI Aree a rischio elevato - molto elevato

[https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto)

Le misure inclinometriche raccolte nell'intervallo 2003-2013 mostrano che il movimento di scivolamento interessa sostanzialmente lo spessore superficiale di circa 2m (**FIGURA 2.14**).

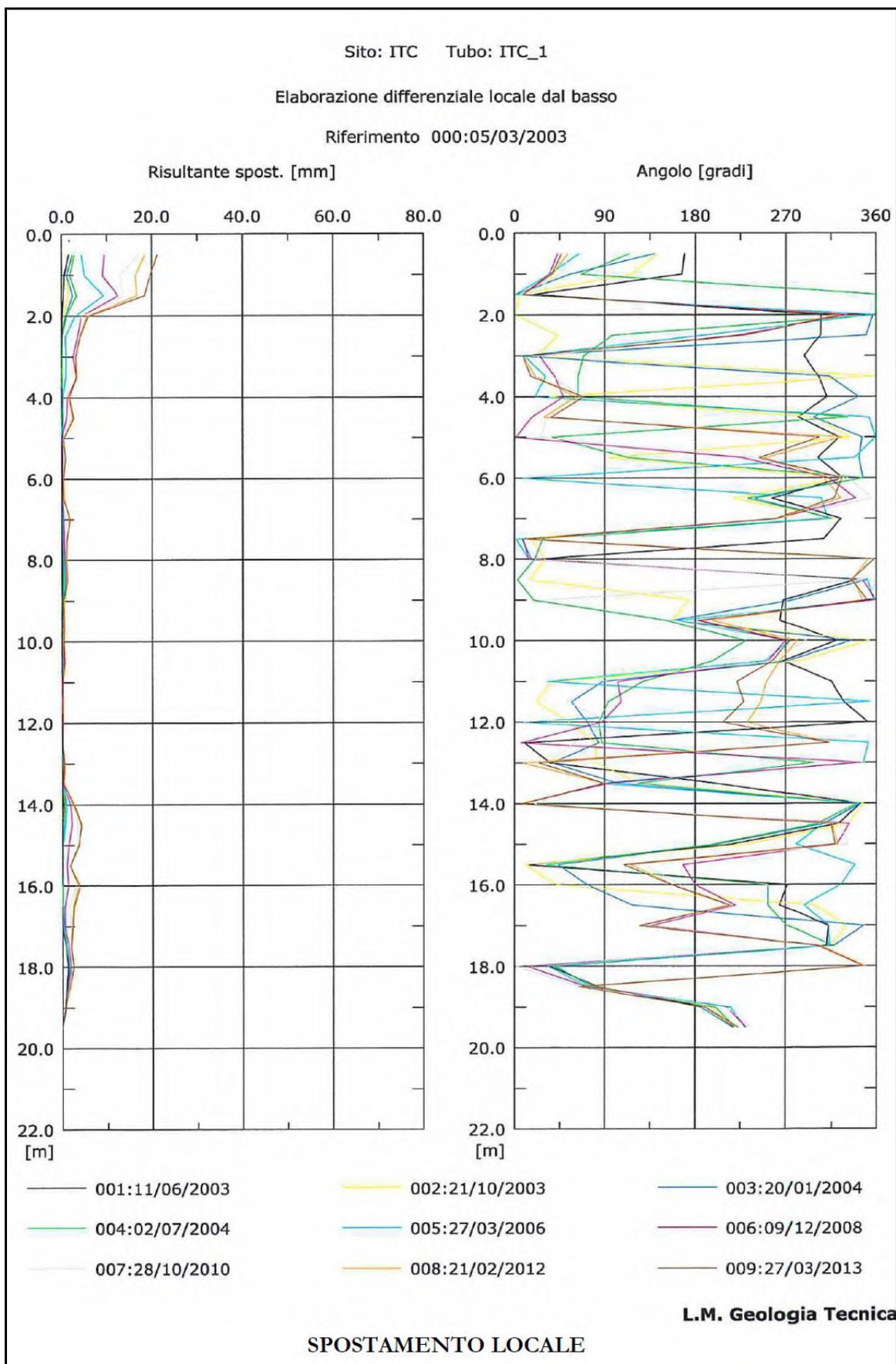
## UBICAZIONE TUBO INCLINOMETRICO



Stralcio Elemento C.T.R. n° 237104 "Vergato"

Scala 1:5000

FIGURA 2.14 - Ubicazione inclinometro oggetto di monitoraggio periodo 2003-2013



Il muro di contenimento posto a monte della scuola, è dotato di pali di sostegno per il tratto a nord ed è ben preservato e stabile; la parte sud, costruita a quanto pare senza pali di fondazione, si è mosso ed è soggetto ad un dissesto strutturale, che ha determinato una lesione pressoché verticale e uno slittamento dello stesso verso

valle. Questo movimento verso valle ha sospinto il piazzale creando quelle forme corrugate sull'asfalto. Il successivo muro posto a sostenere il piazzale del parcheggio invece è perfettamente allineato e stabile.

A monte del muro sono presenti dei pozzi drenanti classici disposti su una fila distante circa 7m dal muro.



*Muro a monte deformato, muro a valle del parcheggio perfettamente allineato*



**FIGURA 2.15**-Muro di sostegno a monte del parcheggio e muro di sostegno a valle del parcheggio



2003



2008



2011



2011



2014



2017



2019

#### 2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

L'assetto idrogeologico dell'area non è facilmente determinabile.

La litologia prevalentemente argillosa delle Argille a Palombini fa sì che la formazione sia sostanzialmente impermeabile e non sia di per sé sede di un acquifero freatico. Le Argille a Palombini sono però state fortemente sollecitate nella loro storia tettonica dal Cretacico inferiore ad oggi, e quindi sono fratturate e possono avere una porosità secondaria. Quindi possono alternarsi porzioni volumetriche asciutte e lineazioni bagnate sature di acqua.

La zona a monte effettivamente, pur essendo stata soggetta a lavorazioni con fossi di scolo per l'allontanamento delle acque meteoriche, appare comunque in alcune zone soggetta ristagni di acque.

Nel foro di carotaggio eseguito per la posa della tubazione per eseguire una prova geofisica in down hole si è riscontrato che tra 6m e 7m di profondità vi era un livello bagnato.

Nel piezometro posto anni fa nel parcheggio della scuola alla base del muro di contenimento, la quota dell'acqua era a -5m dal piano parcheggio. Queste quote non sono però affidabili, in quanto la bocca pozzo del piezometro è posto a fondo pozzetto e le acque meteoriche possono infiltrarsi dentro andando a fare un livello. Se quella fosse una quota di falda, allora tutta la scuola gronderebbe di acqua nelle parti di cortile poste a quote più basse, cosa che non si verifica.

A monte del muro di sostegno sono collocati dei pozzi di drenaggio che dovrebbero intercettare le acque di infiltrazione provenienti da monte fino alla quota di imposta delle fondazioni della scuola, evitando che questa venga coinvolta dai movimenti franosi superficiali delle Argille a Palombini alterate.

Nella relazione del 2016 viene riportata una tabella con le misure nei fori di indagine attrezzate di tubi piezometrici. Quello che si ricava è un risultato piuttosto disomogeneo che non aiuta a definire un assetto idrogeologico chiaro, come è giusto attendersi in questo tipo di formazione litologica.

Uno schema del livello statico dell'acqua all'interno dei tubi piezometrici, misurato a distanza di alcuni giorni dall'esecuzione dell'indagine, viene riportato di seguito nell'apposita tabella.

N.	Lungh. Piez. m	Livello acqua m da p.c.
C 1	10,00	1,45
C 2	10,00	8,95
C 3	18,20 (*)	1,09
DPSH 1	10,00	5,30
DPSH 2	7,70	6,65
DPSH 3	3,00	assente
DPSH 4	4,80	assente
DPSH 5	7,20	5,50
DPSH 6	6,00	1,04

(\*) tubo inclinometrico.

#### **L'intervento ricade in zona di Vincolo Idrogeologico (RD 3267 del 1923).**

Il **Vincolo Idrogeologico** venne istituito e normato con il Regio Decreto n. 3267 del 30 dicembre 1923 e con il Regio Decreto n. 1126 del 16 maggio 1926. La sua disciplina è stata in seguito rivista e ridefinita (L. R. n. 47 del 7 dicembre 1978), adeguandola alle necessità attuali, pur mantenendo lo spirito originale il quale, data l'epoca, si è rivelato assolutamente lungimirante. Lo scopo principale del Vincolo idrogeologico è quello di preservare l'ambiente fisico: non è preclusivo della possibilità di trasformazione o di nuova utilizzazione del territorio, ma mira alla tutela degli interessi pubblici e alla prevenzione del danno pubblico.

Gli interventi previsti dal progetto sono finalizzati a stabilizzare un'area che provoca il movimento traslativo verso valle di un muro costruito su del terreno di riporto, posato dopo lo sbancamento per la costruzione della scuola Fantini.

Questa apparente instabilità dell'area ha fatto sì che siano stati prescritti degli studi specifici di analisi di risposta sismica locale per la determinazione delle azioni sismiche destabilizzanti del versante, evitando il ricorso agli spettri semplificati.

### 3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

#### 3.1 DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

“La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma **generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5)** sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).”

#### *Categoria di suolo di fondazione*

La categoria di suolo dipende dal valore di  $V_{s30}$ . Il parametro  $V_{s30}$  rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio “S” nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

dove,

$V_{s30}$  : velocità media ponderata delle onde di taglio “S”,

$h_i$  : spessore dello strato  $i$ -esimo,

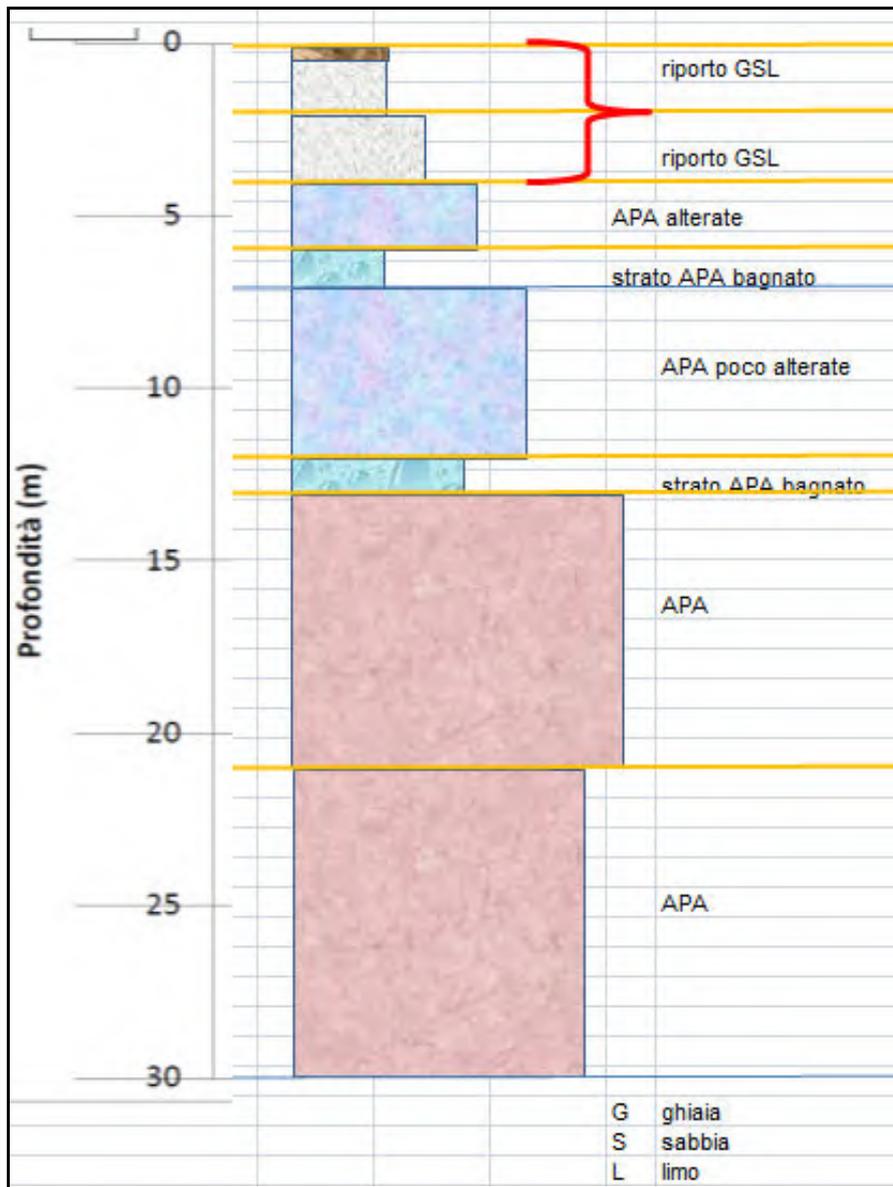
$v_i$  : velocità delle onde di taglio “S” nello strato  $i$ -esimo.

Al fine di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sito in esame, è stato eseguito un carotaggio continuo fino a 30m di profondità, opportunamente attrezzato è stato utilizzato per l'esecuzione di una prova Down Hole in foro.

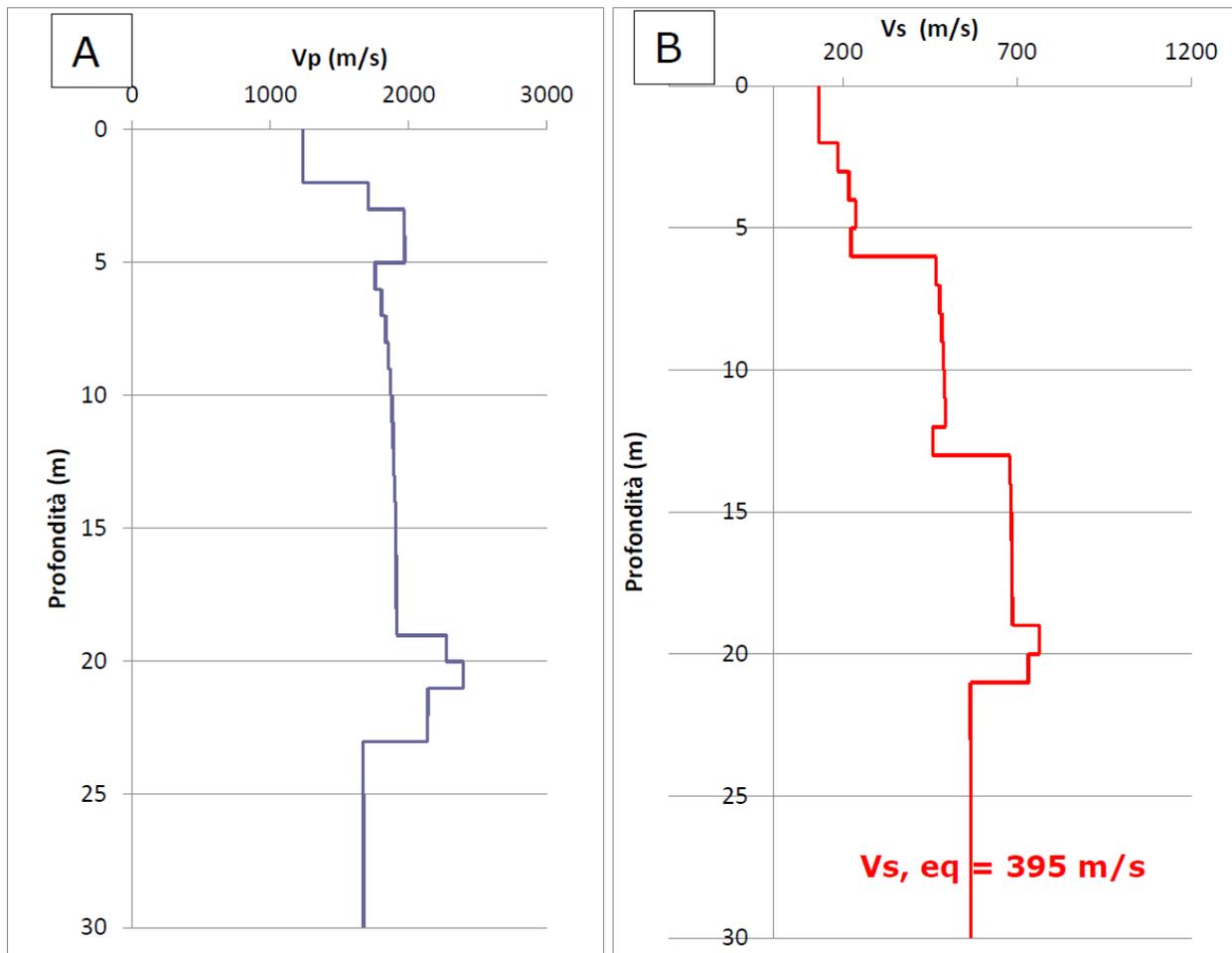
In **FIGURA 3.1** si riporta l'ubicazione della prova geofisica Down Hole eseguita nel parcheggio vicino al muro di sostegno lesionato.



**FIGURA 3.1**– Ubicazione della prova H/V



## Modelli velocità P e S



A) Modello velocità onde P, B) Modello velocità onde S

## Velocità P e S

### VELOCITA'

Committente: Dott. Geol. Thomas Veronese  
Data: 08/01/2021  
Cantiere: Vergato (BO)  
Profondità Indagine: **30 m**

PROFONDITÀ (m)	ARRIVI P (m/s)	ARRIVI S (m/s)
----------------	----------------	----------------

1	1233.5314	130.4640
2	1233.5314	130.4640
3	1705.1106	184.8599
4	1967.5822	217.2833
5	1969.5035	236.5389
6	1756.4999	223.2262
7	1801.2977	467.4355
8	1831.1417	476.8871
9	1851.8966	483.5232
10	1866.8544	488.3385
11	1877.9757	491.9323
12	1886.4404	494.6829
13	1893.0299	458.8475
14	1898.2666	680.0093
15	1902.4780	681.8890
16	1905.9236	683.4259
17	1908.7753	684.7030
18	1911.1616	685.7706
19	1913.1817	686.6745
20	2272.4807	765.1337
21	2394.7119	732.6304
22	2138.3768	565.8701
23	2132.5397	566.2824
24	1670.6031	566.6427
25	1671.3546	566.9601
26	1672.0121	567.2418
27	1672.6049	567.4921
28	1673.1323	567.7164
29	1673.6000	567.9174
30	1674.0291	568.0982

Per quanto concerne la valutazione della 'Classe di suolo di fondazione' secondo il D.M. 17/01/2018, tale indagine geofisica ha permesso di misurare con una certa precisione la velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di terreno ( $V_{s30}$ ).

E' stato quindi possibile ricavare un valore di  $V_{s30}$  che, calcolato dal piano campagna, è pari a 290 m/s e colloca il sito in esame in categoria B.

La  $V_{s30}$  misurata è stata di:

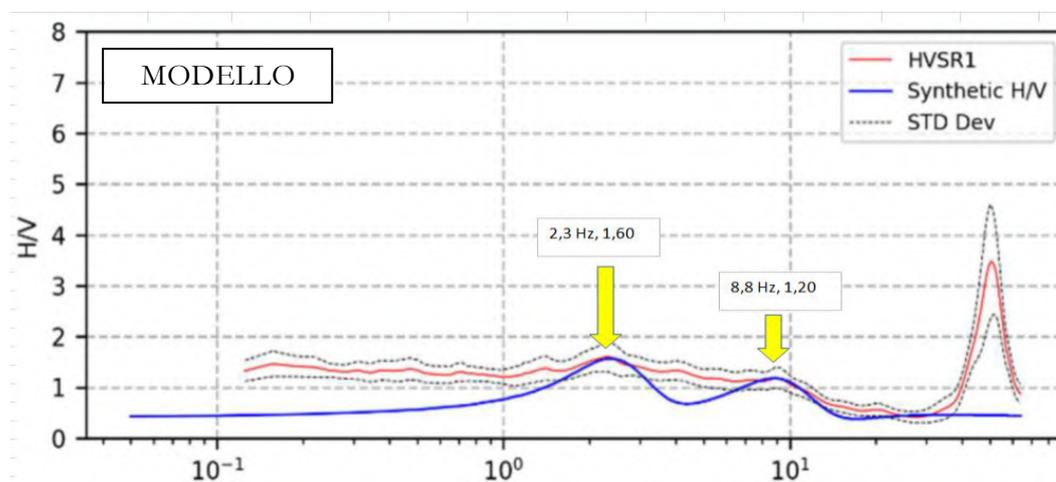
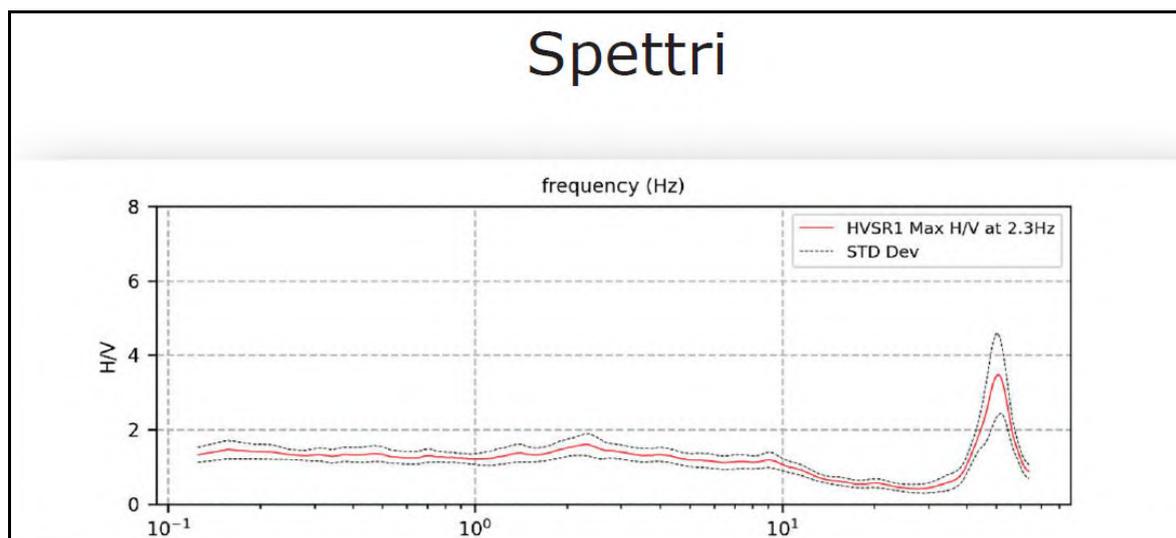
$$V_{s30} = 395 \text{ m/s}$$

per cui la categoria di suolo di fondazione risulta essere B:

**Categoria di suolo di fondazione = B**

Tramite l'indagine HVSR è stato inoltre possibile definire le principali frequenze di vibrazione del terreno.

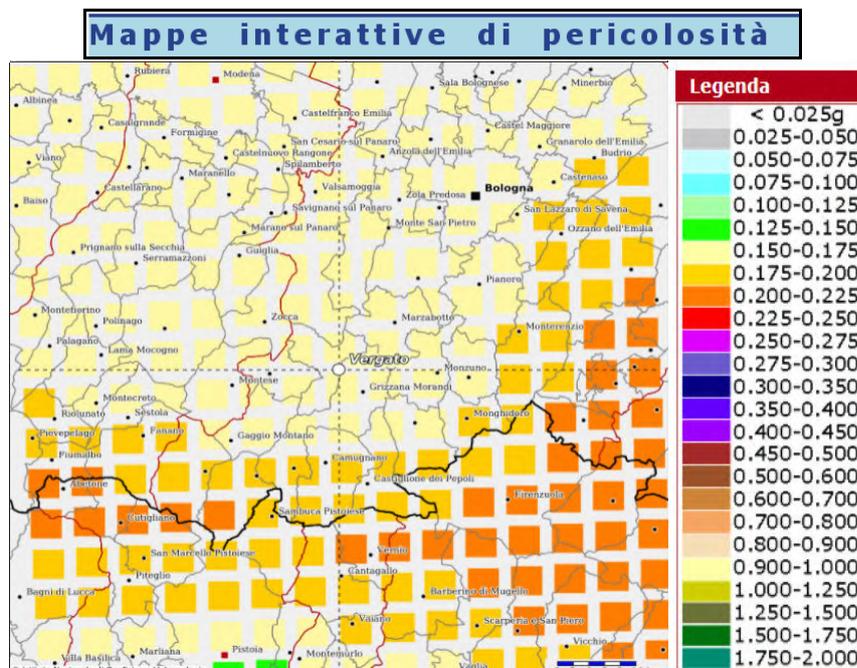
Per il sottosuolo in oggetto si riscontra una frequenza di vibrazione principale pari a circa 2, Hz (individuata da un largo picco di frequenza 5-7 Hz).



Azioni sismiche "D.M. 17 gennaio 2018"

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 14/01/2008, prevede per il comune di Vergato (Bo) una accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T=0$  e su suolo rigido ( $V_{S30}>800\text{m/sec}$ ), appartenente all'intervallo 0,150 – 0,175, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale.

In **FIGURA 3.2** si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.



**FIGURA 3.2**– Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Per la scelta della strategia di progettazione, il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, *le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , 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
- $T^*C$      periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*C$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

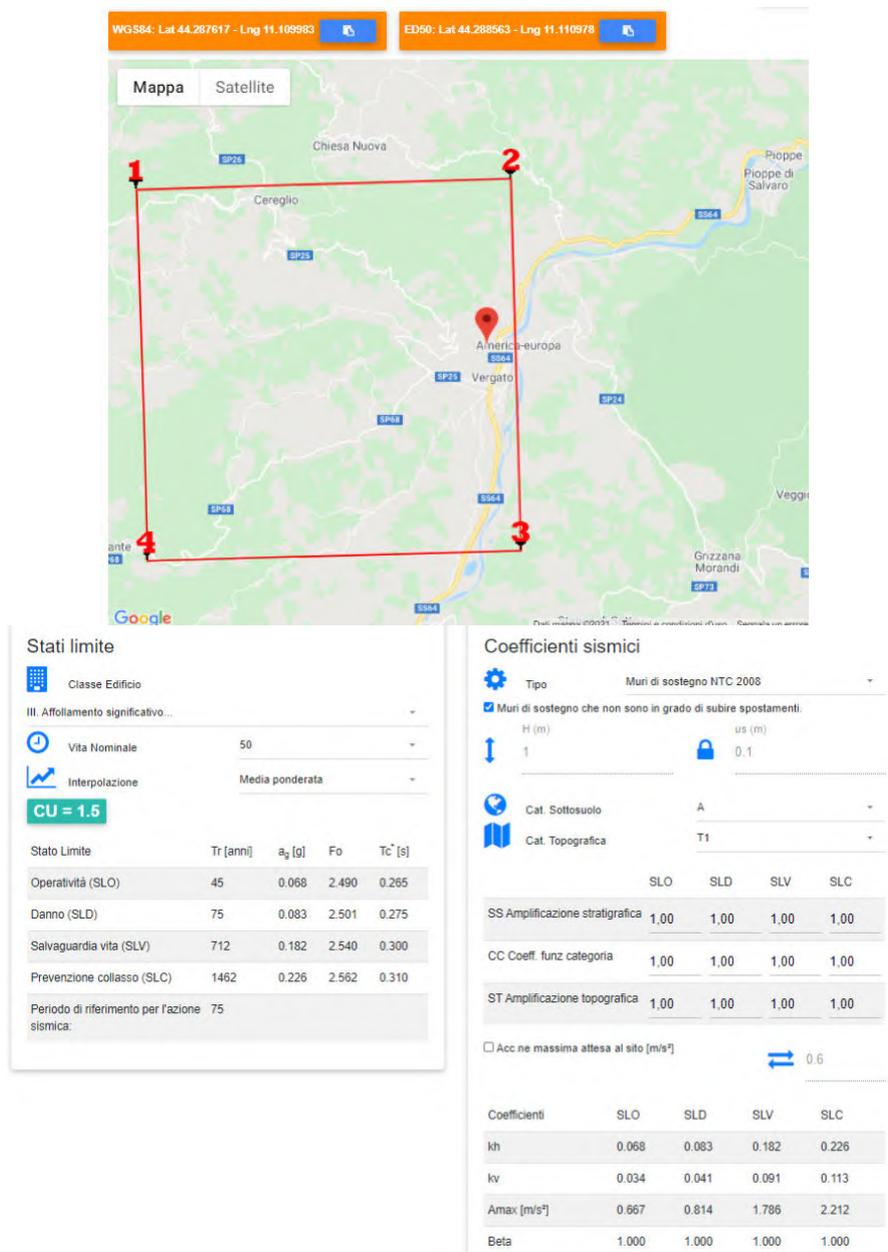
Nella **Tabella 3.1** tratta dalla normativa si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi stati limiti a cui si può spingere la progettazione.

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 3.1** - D.M. 14-01-2008 Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio “sito dipendente”.

Come indicato nell’Allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$ ) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (**FIGURA 3.3**). La pendenza del versante è di circa  $11^\circ$  (si passa in 100m di distanza da 215m a 235m)



**FIGURA 3.3**– Vertici della griglia di riferimento e parametri spettrali per struttura classe uso III.

Si valutano i parametri spettrali  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$  per il sito di progetto (approccio “sito-dipendente”) a titolo esemplificativo considerando l’amplificazione stratigrafica e topografica (**T1**) (Tab. 3.2.III del D.M.2018) la categoria del sottosuolo (**B** - Tab. 3.2.II del D.M.2018) per la classe d’uso della costruzione (**III**) (Paragrafo 2.4.2 del D.M. 2018).

Dislivello del versante = 20m su 100m di distanza.

$$\arctg(20m/100m)=11^\circ$$

**Tabella 3.2.IV – 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 $i > 30^\circ$

**Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente 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 del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

*Parametri sismici Classe d'uso III*

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno NTC 2008

Sito in esame.

latitudine: 44,288485

longitudine: 11,110998

Classe: 3

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17614 Lat: 44,3096 Lon: 11,0454 Distanza: 5723,603

Sito 2 ID: 17615 Lat: 44,3110 Lon: 11,1152 Distanza: 2530,092

Sito 3 ID: 17837 Lat: 44,2611 Lon: 11,1172 Distanza: 3088,604

Sito 4 ID: 17836 Lat: 44,2596 Lon: 11,0475 Distanza: 5989,130

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75anni

Coefficiente  $c_u$ : 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

$T_r$ : 45 [anni]

$a_g$ : 0,068 g

$F_o$ : 2,490

$T_c^*$ : 0,265 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 75 [anni]  
ag: 0,083 g  
Fo: 2,501  
Tc\*: 0,275 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 712 [anni]  
**ag: 0,182 g**  
Fo: 2,540  
Tc\*: 0,300 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 1462 [anni]  
ag: 0,226 g  
Fo: 2,562  
Tc\*: 0,310 [s]

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1,430  
St: 1,000  
Kh: 0,015  
Kv: 0,007  
Amax: 0,800  
Beta: 0,180

SLD:

Ss: 1,200  
Cc: 1,420  
St: 1,000  
Kh: 0,018  
Kv: 0,009  
Amax: 0,977  
Beta: 0,180

SLV:

Ss: 1,200  
Cc: 1,400  
St: 1,000  
Kh: 0,052  
Kv: 0,026  
**Amax: 2,144**  
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,170

Cc: 1,390  
St: 1,000  
Kh: 0,082  
Kv: 0,041  
Amax: 2,588  
Beta: 0,310

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.287539

longitudine: 11.110003

### Magnitudo di progetto

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 913 il valore di  $M = 6,14$  (INGV, Galadini e Galli, 2000).

**Tabella 2.8-1 – Valori di  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)**

Nome ZS	Numero ZS	$M_{wmax}$
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Nella **FIGURA 3.4** sono riportati i sismi che hanno avuto risentimenti nel comune di Vergato in tempi storici. Quello che spicca è il terremoto del 25 giugno del 1869, che ha avuto qui intensità macrosismica pari a 7-8. La sua magnitudo momento è stimata pari a  $M_w=5,3$ .

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v3.0						
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano						
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)						
Seismic history of	Vergato					
PlaceID	IT_40298					
Coordinates (lat, lon)	44.283, 11.112					
Municipality (ISTAT 20	Vergato					
Province	Bologna					
Region	Emilia-Romagna					
No. of reported earthq	37					
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw	
5	1830 01 26 04 30	Alto Reno	11	5	4,53	
6-7	1864 03 15	Zocca	13	6-7	4,84	
7-8	1869 06 25 13 58	Appennino bolognese	18	7-8	5,43	
NF	1892 12 29 13 47 48	Castel del Rio	36	5-6	4,37	
3	1895 05 18 19 55 12	Fiorentino	401	8	5,5	
5	1895 08 07 19 49 32	Appennino tosco-emiliano	84	5	4,67	
NF	1897 09 06 03 10 44	Valdarno inferiore	104	5-6	4,59	
F	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37	
4	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5,1	
NF	1908 06 02 22 30	Frignano	18	4-5	4,5	
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5,34	
NF	1911 02 19 07 18 30	Forlivese	181	7	5,26	
2-3	1911 09 13 22 29 02	Chianti	115	7	5,08	
3	1913 02 13 16 39	Corno alle Scale	26	5	4,18	
NF	1913 07 21 22 35	Appennino romagnolo	43	5-6	4,79	
3	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5,82	
4	1919 06 29 15 06 13	Mugello	565	10	6,38	
6	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	750	10	6,53	
2	1922 08 02 21 13	Frignano	21	5	4,32	
4-5	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5,05	
5	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5,13	
5	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5,29	
3	1929 08 17 04 25	Bolognese	10	4-5	3,89	
4	1930 05 24 22 02	Appennino tosco-emiliano	43	5	4,91	
2	1931 09 05 01 25 53	Mugello	28	6	4,88	
3	1931 12 15 03 23	Mugello	35	6	4,62	
3	1937 12 10 18 04	Frignano	28	6	5,3	
5-6	1962 05 11 01 05 31	Appennino bolognese	15	5-6	4,69	
2-3	1983 11 09 16 29 52	Parmense	850	6-7	5,04	
NF	1984 04 29 05 02 59	Umbria settentrionale	709	7	5,62	
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43	
NF	1992 04 17 11 59 07.29	Appennino bolognese	56	4-5	4,11	
2	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4,82	
3	1999 07 07 17 16 12.59	Frignano	32	5	4,67	
NF	2000 05 10 16 52 011.6	Faentino	151	5-6	4,82	
NF	2002 06 18 22 23 038.1	Frignano	186	4	4,3	
5	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24	

**FIGURA 3.4:** Sismi che hanno colpito l'area in esame in un raggio di 30 km  
[https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)

#### 4. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per le analisi che i progettisti eseguiranno sulla stabilità del versante e del muro di sostegno viene richiesto esplicitamente dalla stazione appaltante di procedere alla definizione delle azioni sismiche mediante analisi di risposta sismica locale, senza dunque fare ricorso agli spettri semplificati.

La funzione di amplificazione di un sito fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto "filtrante" di un deposito di terreno sulle onde sismiche. Essa mette in evidenza in quale campo di frequenze la presenza del terreno può indurre effetti significativi di amplificazione del moto sismico incidente o, viceversa, se tali effetti possano addirittura tradursi in un'attenuazione delle ampiezze in superficie.

La conoscenza della sola funzione di amplificazione non è comunque sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie di un deposito. In termini applicativi, scopo finale di un'analisi di risposta sismica locale è infatti quello di disporre di uno spettro di risposta dell'accelerazione (associato ad un terremoto presunto ed ad un dato fattore di smorzamento strutturale), che includa realisticamente l'effetto di amplificazione del sottosuolo. Ciò premesso la funzione di amplificazione (o meglio la funzione di trasferimento) rappresenta comunque un indispensabile elemento per determinare il moto in superficie. Si riporta in **FIGURA 4.1.** lo schema del processo che porta alla determinazione del moto sismico alla superficie di un deposito di terreno su basamento roccioso, a cui è applicata l'eccitazione sismica rappresentata, anziché da un'onda armonica stazionaria, da un moto irregolare come nel caso di un sisma reale.

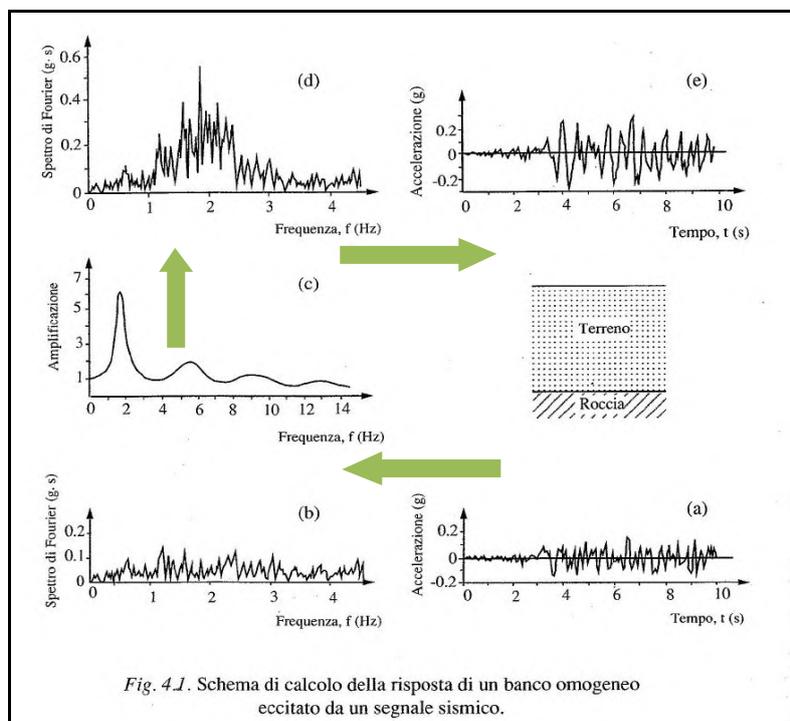


Fig. 4.1. Schema di calcolo della risposta di un banco omogeneo eccitato da un segnale sismico.

**FIGURA 4.1**

Per procedere a questo tipo di studio serve:

- modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m/40m di terreno;
- profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m/40m;
- profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
- modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- curve sitospecifiche di decadimento del modulo  $G_0$ , espresse attraverso il rapporto  $G/G_0$ , e curve di smorzamento  $D$  ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 30m/40m;
- curve bibliografiche idonee di  $G_0$  e  $D$ , da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
- gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

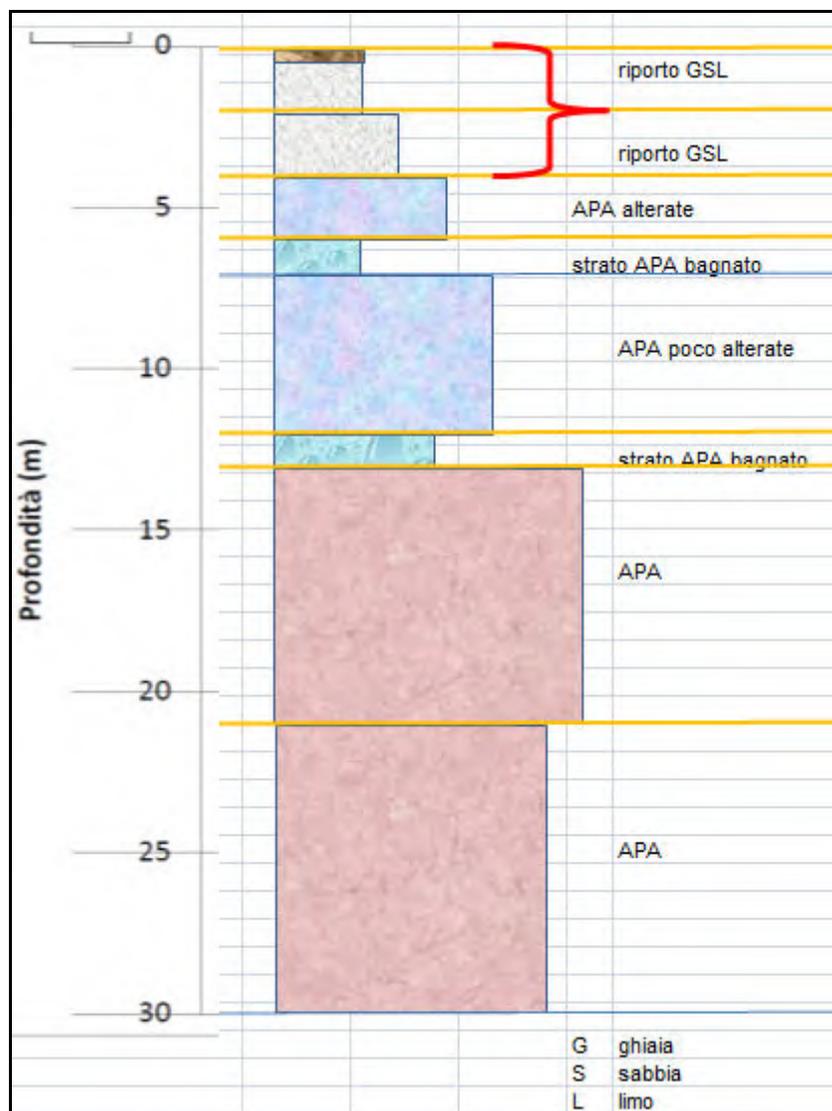
I dati da ricercare sono evidenziati nei paragrafi successivi.

#### 4.1. IL MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DI DETTAGLIO DEI PRIMI 40m

- modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m di terreno;
- profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m;
- profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
- modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- curve sitospecifiche di decadimento del modulo  $G_0$ , espresse attraverso il rapporto  $G/G_0$ , e curve di smorzamento  $D$  ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 30m/40m;
- curve bibliografiche idonee di  $G_0$  e  $D$ , da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
- gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

Il dettaglio stratigrafico del sito allo studio è ricostruito attraverso le numerose indagini bibliografiche e mediante la perforazione di un foro di sondaggio a 30m di profondità, da allestire per eseguire successivamente una prova geofisica in down hole.

I dati acquisiti sono sintetizzati nella **FIGURA 4.2**.

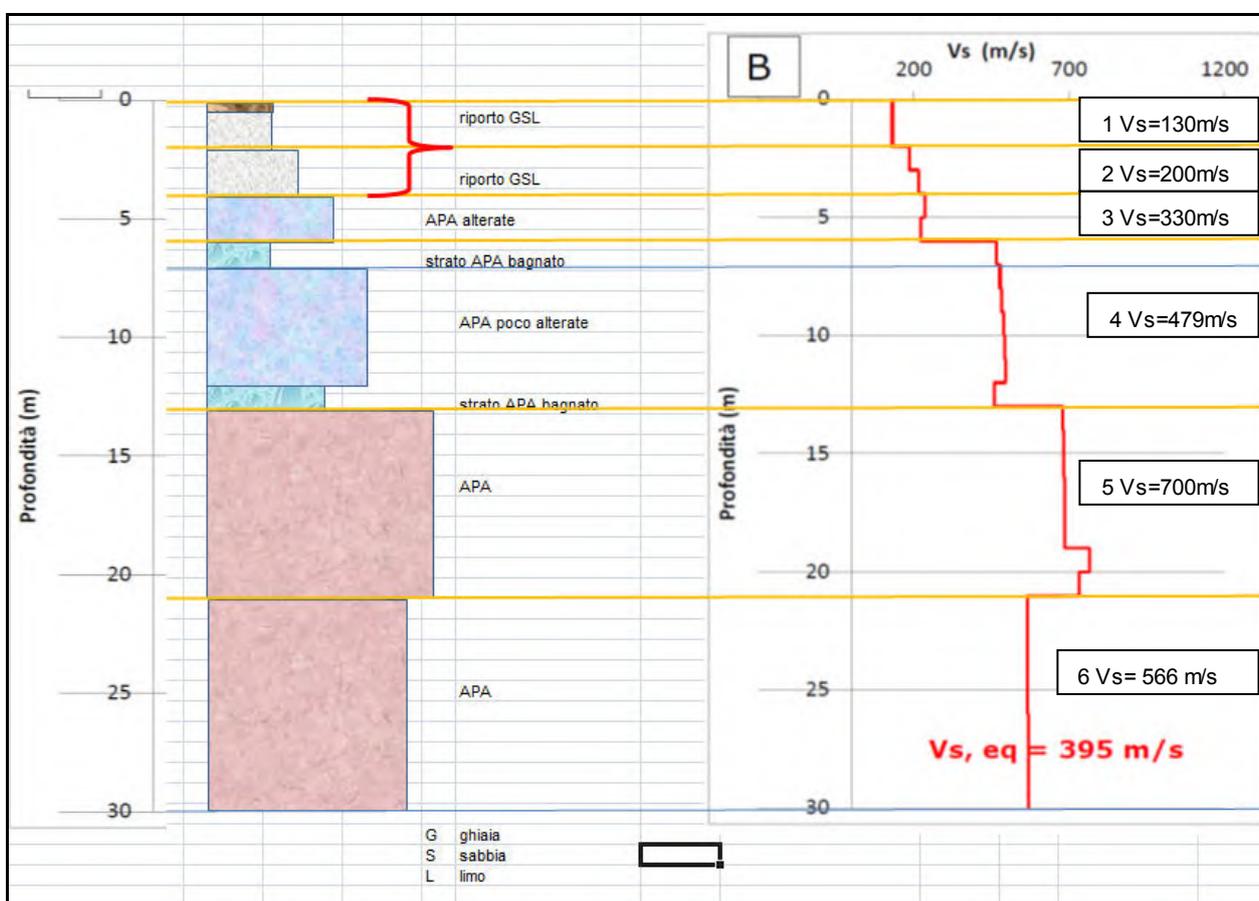


**FIGURA 4.2** – Sezione lito-stratigrafica rilevata con il carotaggio eseguito fino a 30m di profondità

#### 4.2. PROFILO DI VS DI DETTAGLIO DEI PRIMI 30M

- modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m di terreno;
- profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m;**
- profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
- modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- curve sitespecifiche di decadimento del modulo  $G_0$ , espresse attraverso il rapporto  $G/G_0$ , e curve di smorzamento  $D$  ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 30m;
- curve bibliografiche idonee di  $G_0$  e  $D$ , da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
- gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

Il profilo di dettaglio delle velocità di propagazione delle onde di taglio dei primi 30,0 m è ricavato da una prova down hole eseguita in foro di sondaggio. I primi 30 m di terreno vengono suddivisi in 6 strati pseudomogenei per stratigrafia e per velocità media di propagazione delle onde di taglio Vs (**FIGURA 4.3**).

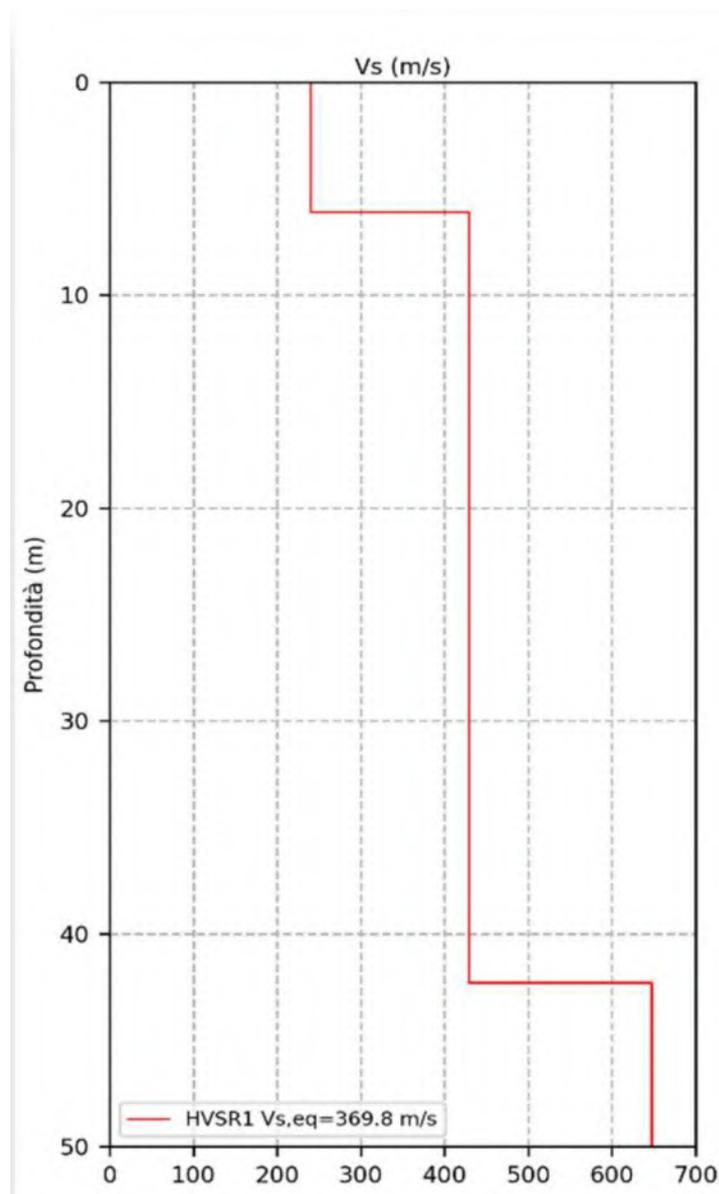


**FIGURA 4.3** – profilo di Vs e suddivisione in strati pseudomogenei

#### 4.3. PROFILO DI VS PROFONDO FINO AL BEDROCK SISMICO

- a. modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m di terreno;
- b. profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m;
- c. **profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;**
- d. modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- e. curve sitespecifiche di decadimento del modulo  $G_0$ , espresse attraverso il rapporto  $G/G_0$ , e curve di smorzamento  $D$  ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 30m;
- f. curve bibliografiche idonee di  $G_0$  e  $D$ , da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
- g. gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve H/V sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve H/V sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche (Fäh et al., 2001; Castellaro and Mulargia, 2009). Il profilo di Vs profondo probabile adottato è riportato di seguito in **FIGURA 4.4**. Su dove collocare il bedrock sismico si potrebbe discutere a lungo.



**FIGURA 4.4** Profilo di Vs profondo interpretato da prova HVSR





Il modello stratigrafico ed il modello di Vs fino al bed rock sismico adottato è:

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	
1	0.00	2.00	1	130.00	Ghiaie sabbiose di riporto
2	2.00	2.00	2	200.00	
3	4.00	2.00	3	230.00	Argille a Palombini alterate
4	6.00	7.00	4	479.00	Argille a Palombi alterate
5	13.00	8.00	5	700.00	Argille a Palombini
6	21.00	21.00	5	566.00	Argille a Palombini
7	42.00	18.00	6	647.00	Argille a Palombini
8	60.00	Half-Space	Bedrock	800.00	

#### 4.5. CURVE SITO SPECIFICHE "Go" E "D"

- modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m/40m di terreno;
- profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m/40m;
- profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
- modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- curve sitospecifiche di decadimento del modulo Go, espresse attraverso il rapporto G/Go, e curve di smorzamento D ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 30m/40m nelle località di Bondeno (nuove scuole), Bondeno Ponte Burana e Mirabello;**
- curve bibliografiche idonee di Go e D, da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
- gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

Le prove di colonna risonante consentono di determinare il modulo di taglio G e lo smorzamento dei terreni al variare delle deformazione di taglio imposta, da valori molto piccoli (intorno a 10<sup>-5</sup>%) fino a circa 10<sup>-2</sup>%. Vengono largamente impiegate in tutti i casi in cui i terreni sono sottoposti a sollecitazioni dinamiche, per lo studio dei problemi di deformazione dei terreni e di propagazione delle onde.

E' fondamentale avere queste curve per i terreni sottostanti al manufatto allo studio, poiché la risposta sismica del terreno in campo dinamico è fortemente influenzato dal tipo di sedimento, ovvero dalla sua granulometria e dalla struttura e morfologia dei grani, dal suo indice di plasticità, dalle sue condizioni di confinamento in termini di carico efficace, ecc., quindi il riferimento a dati bibliografici deve essere attentamente valutato. Nel caso in esame si fa riferimento a curve ottenute dallo scrivente da terreni prelevati in sito mediante carotaggio continuo.



Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -  
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -  
Email: ismgeo@ismgeo.it

**PROVA DI COLONNA RISONANTE**  
**Foglio 1**

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

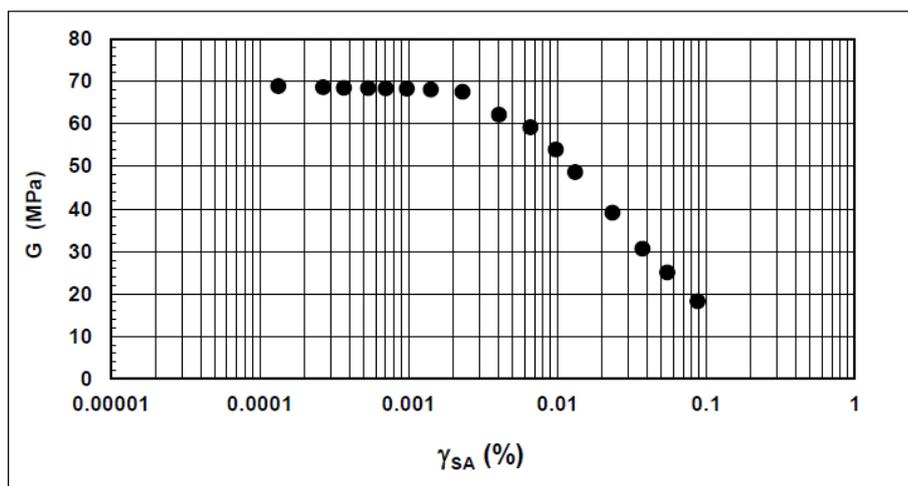
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>5.40 - 5.50</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

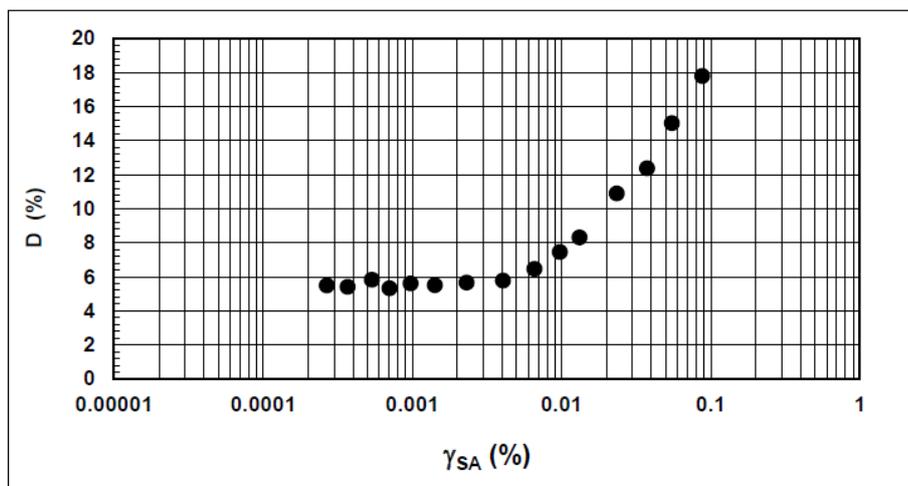
**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	98.00	20.92	14.1	0.445	100	100	1.0	300.0	0.85	50.0	98.0	21.27	16.3	0.448	98	superficie di appoggio	INDISTURBATO
																eccitazione	FUSTELLAZIONE
																peso specifico (-)	PIETRA POROSA
																	TORSIONALE
																	2.700



**Legenda:**

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- $\gamma_w$  = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- $\sigma'$  = tensioni efficaci
- K =  $\sigma_r / \sigma_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- $\gamma_{SA}$  = def.di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



APA alterate



Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

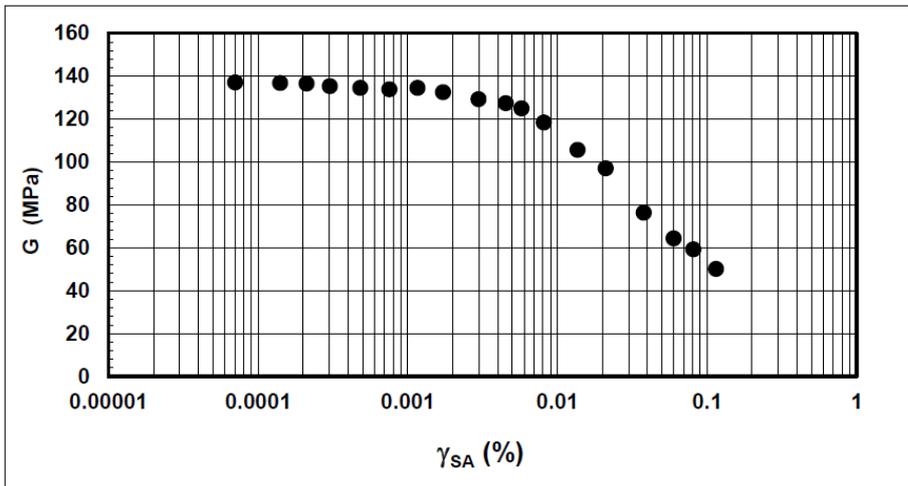
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>14.50 - 14.60</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

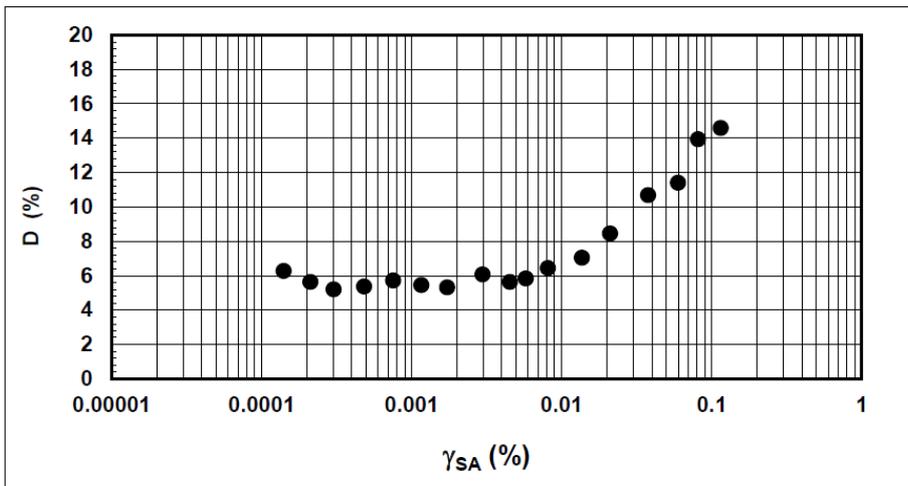
**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%		
50.00	97.60	20.93	10.3	0.396	300	300	1.0	300.0	0.85	50.0	97.1	21.67	13.8	0.391	95	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.700

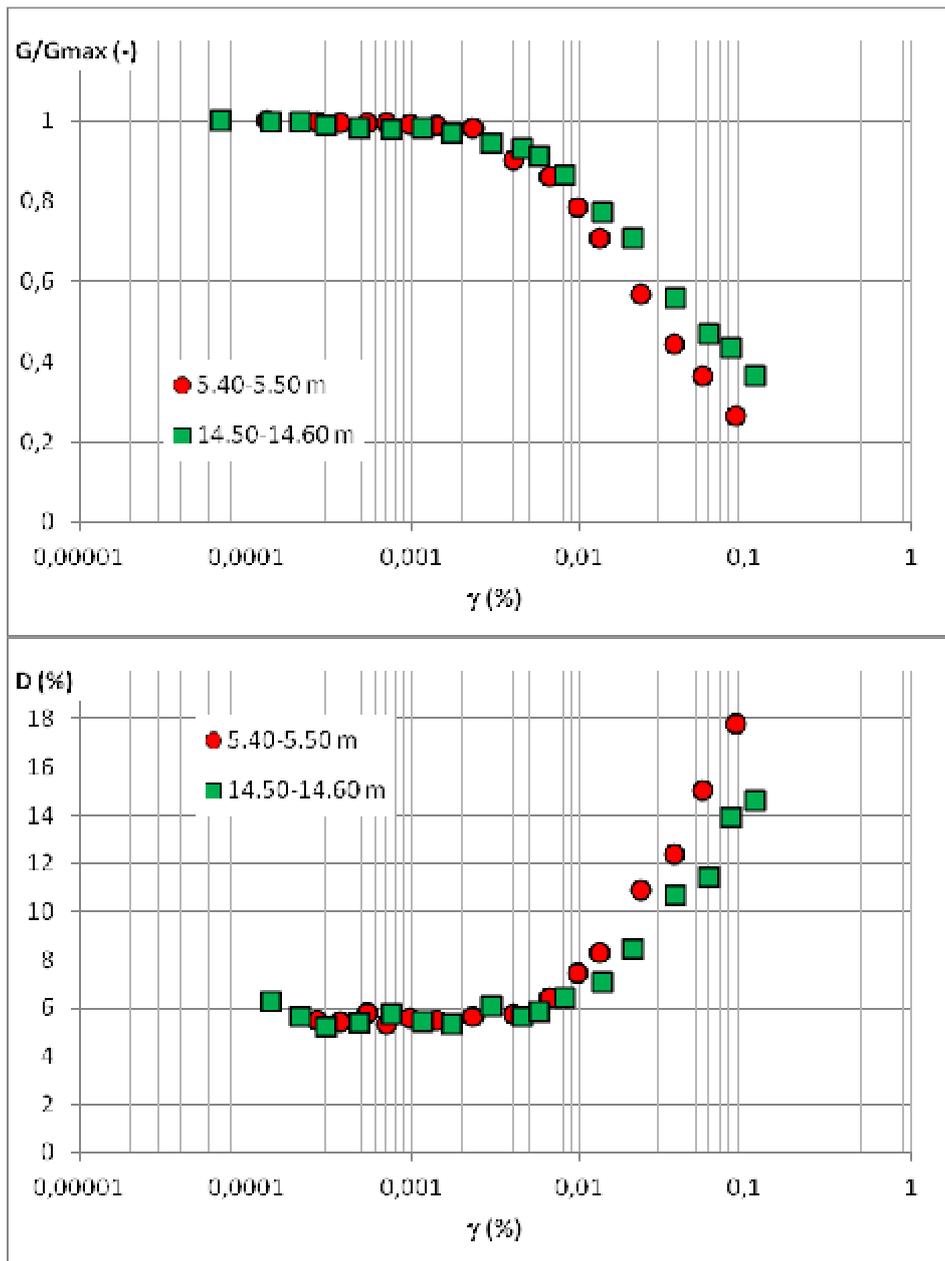


**Legenda:**

- $\Phi$  = diametro del provino
- H = altezza del provino
- $\gamma_w$  = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- $\sigma'$  = tensioni efficaci
- K =  $\sigma_r / \sigma_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- $\gamma_{SA}$  = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



APA inalterate



#### 4.6. CURVE SITO BIBLIOGRAFICHE "Go" E "D" PER TERRENI PROFONDI

- modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m/40m di terreno;
- profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m/40m;
- profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
- modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- curve sitospecifiche di decadimento del modulo Go, espresse attraverso il rapporto G/Go, e curve di smorzamento D ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 30m/40m;
- curve bibliografiche idonee di Go e D, da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.**
- gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

Nell'analisi attuata è stato fatto riferimento a dati bibliografici solo per lo strato ghiaioso presente nei primi 4m.

Il riferimento è la curva di Rollings.

Capitolo 5 - Caratterizzazione dinamica dei terreni di Senigallia e analisi della risposta sismica locale		GHIAIE ROLLINS (1998)			
5.2.3 Curve G( $\gamma$ )/Go e D( $\gamma$ )		gamma	G/Go	gamma	D
Per i terreni a grana fine e per il substrato marnoso sono state utilizzate le curve sperimentali ottenute nel Laboratorio Geotecnico dell'Università di Firenze (Figure 5.7 e 5.10 rispettivamente)		0,00003	1,00	0,00003	0,05
Per le sabbie si è fatto riferimento alle curve proposte da Vucetic e Dobry (1991) (Figura 5.15), relative a materiali con indice di plasticità uguale a zero.		0,00008	1,00	0,00008	0,10
Per gli strati ghiaiosi si è fatto riferimento alle seguenti relazioni di Rollins (1998):		0,00080	0,97	0,00080	0,48
$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{[1 + 20\gamma(1 + 10^{-10\gamma})]}$		0,00140	0,95	0,00140	0,70
$D = 0.8 + 18(1 + 0.15\gamma^{-0.9})^{-0.75}$		0,00310	0,89	0,00310	1,18
		0,00420	0,86	0,00420	1,43
		0,00700	0,79	0,00700	1,98
		0,01000	0,74	0,01000	2,48
		0,01800	0,63	0,01800	3,51
		0,02400	0,57	0,02400	4,12
		0,03800	0,48	0,03800	5,24
		0,09300	0,32	0,09300	7,78
		0,22000	0,18	0,22000	10,19

#### 4.7. GRUPPO DI SETTE ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI

- modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 40m di terreno;
- profilo di Vs di dettaglio dei primi 40m;
- profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
- modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
- curve sitospecifiche di decadimento del modulo Go, espresse attraverso il rapporto G/Go, e curve di smorzamento D ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 40m;
- curve bibliografiche idonee di Go e D, da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
- gruppo di minimo 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.**

La procedura per l'estrazione dei 7 accelerogrammi è stata eseguita con il software Rexel 3.5. E' stata selezionata la settupla spettrocompatibile da utilizzare nell'analisi di risposta sismica locale per i 4 stati limiti SLO, SLD, SLV e SLC.

La classe d'uso del muro è III e la Vita Nominale è di 50 anni. Questi accelerogrammi sono selezionati per studiare eventi sismici con tempi di ritorno:

SLO-Tr: 45 [anni]	PGA=0,068g,
SLD-Tr: 75 [anni]	PGA=0,083g
<b>SLV-Tr: 712 [anni]</b>	PGA=0,182g
SLC-Tr: 1462 [anni]	PGA=0,226g

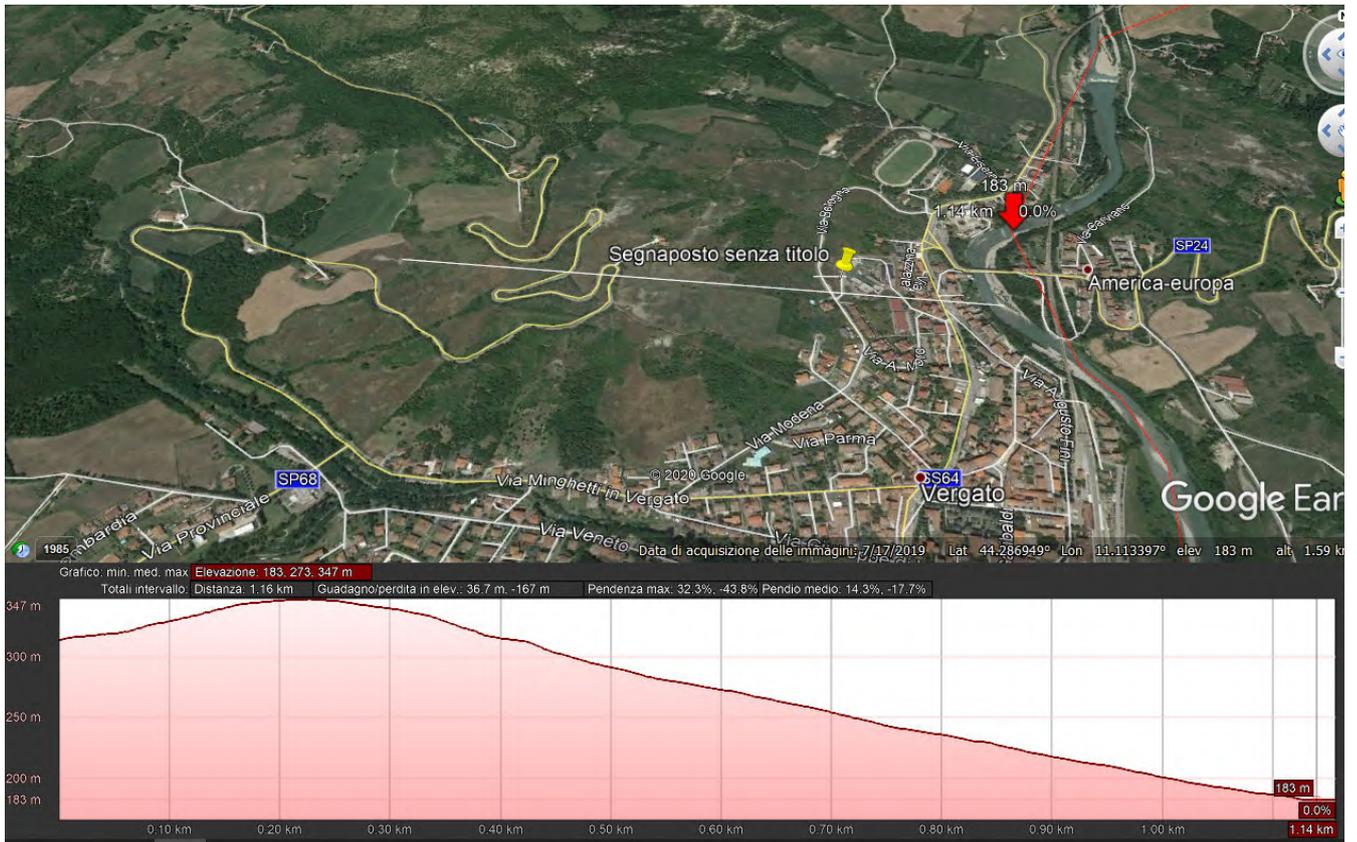
Con i 7 accelerogrammi adottati per ogni stato limite, al fine di caratterizzare il moto sismico, è possibile definire uno spettro di risposta medio compatibile con quello imposto dall'analisi. Ora ci sono tutti gli elementi per poter procedere ad una analisi di risposta sismica locale monodimensionale; il tipo di analisi per cui si opta è di tipo EQL, ovvero Equivalente Lineare.

## 5. RISULTATI DELL'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

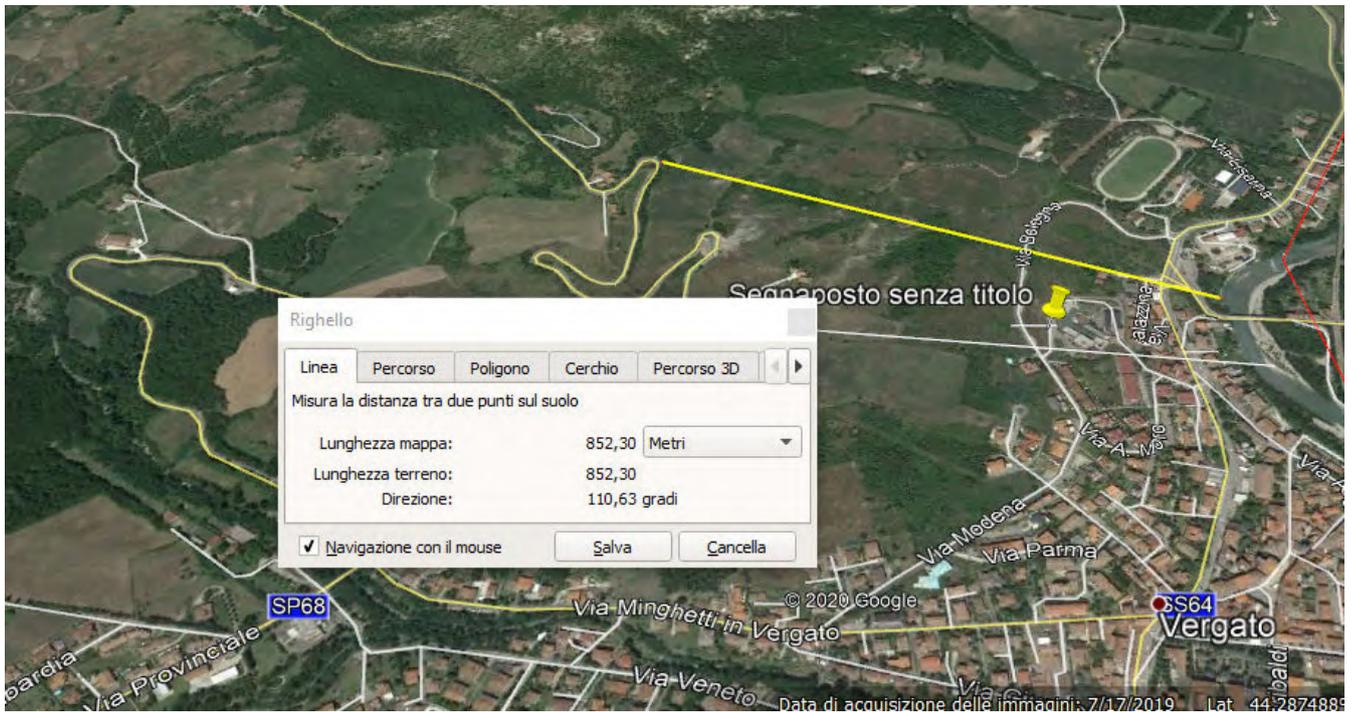
### 5.1. Analisi per SLV

Si sono valutati i criteri di scelta tra analisi monodimensionale e analisi bidimensionale, dipendenti dalla semilarghezza della valle, dal dislivello tra la cresta e l'asse della valle,





Altezza dell'asse della valle 183m.



Semilarghezza della valle dalla cresta all'asse 852m

## Scelta del modello di analisi

Per le valli, può essere utilizzato il criterio che, in base al rapporto profondità (h)/semi-larghezza (l) del bacino, prevede una distinzione in:

- valli superficiali ( $h/l < 0.25$ ): la risposta in frequenza a centro valle non è influenzata dal rapporto di forma ( $f_{1D} = f_{2D}$ );
- valli profonde ( $h/l > 0.25$ ): le frequenze che caratterizzano la risposta bidimensionale sono maggiori di quelle valutate su profili 1D ( $f_{2D} > f_{1D}$ ).

Un criterio non solo geometrico prevede che i modelli 1D possono essere utilizzati se è verificata la condizione nella quale:

$$\frac{h}{l} \leq 0.65 / \sqrt{C_v - 1}$$

Dove  $h$  è la profondità della valle (massimo spessore del deposito),  $l$  è la sua semi-ampiezza e  $C_v$  è il rapporto tra la velocità  $V_s$  nel substrato sismico e quella media nei terreni di riempimento della valle.

I codici di calcolo 1D possono essere utilizzati per la zona centrale della valle e solo nel caso in cui sia soddisfatto il più restrittivo dei due criteri precedenti.

In presenza di **creste**, **cucuzzoli**, **dorsali** (amplificazioni topografiche) è necessario utilizzare codici di calcolo 2D se la pendenza del fianco è maggiore di  $i=15^\circ$  (in accordo con quanto indicato nelle NTC).



POLITECNICO MILANO 1863

347m-183m=164m							
h/L=164m/852m(metà larghezza valle)=0,19<0,25 quindi va bene RSL monodimensionale							
0,19<0.65x(Cv-1)^0,5=0.65x((800/550)-1)^0,5=0,43							
Soddisfatti tutti e due i criteri per cui si può usare l'analisi monodimensionale.							

Quindi si può procedere con l'analisi 1D, per cui si adotta il codice di calcolo STRATA..



La falda freatica viene assunta a -30,0m dal p.c. , in quanto sostanzialmente lo spessore investigato con il carotaggio appariva secco.

General Settings | Soil Types | **Soil Profile** | Motion(s) | Output Specification | Compute | Results

Soil Types

Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G <sub>max</sub> Model	Damping Model	Notes
1 1	18.00	Ghiale Rollings	Ghiale Rollings	
2 2	19.00	Ghiale Rollings	Ghiale Rollings	
3 3	20.00	APA alterate	APA alterate	
4 4	20.50	APA alterate	APA alterate	
5 5	21.00	APA	APA	
6 6	21.00	APA	APA	
7 7	21.50	APA	APA	

Darendel and Stokoe Model Parameters

Mean effective stress: 0,10 atm  
 Plasticity Index: 0  
 Over-consolidation ratio: 1,00  
 Excitation frequency: 0,1 Hz  
 Number of cycles: 1

Nonlinear Property

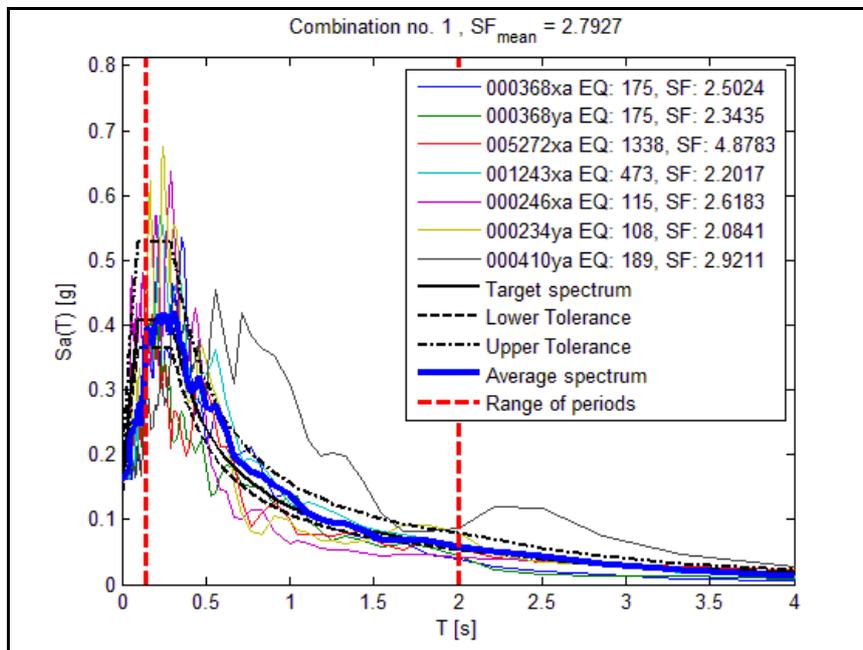
Bedrock Layer  
 unit weight: 22,00 kN/m<sup>3</sup> | Damping: 0,50 %

Water Table Depth  
 Depth: 30,00 m

General Settings | Soil Types | **Soil Profile** | Motion(s) | Output Specification | Compute | Results

Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	1	130.00
2	2.00	2.00	2	200.00
3	4.00	2.00	3	230.00
4	6.00	7.00	4	479.00
5	13.00	8.00	5	700.00
6	21.00	21.00	5	566.00
7	42.00	18.00	6	647.00
8	60.00	Half-Space	Bedrock	800.00



General Settings   Soil Types   Soil Profile   Motion(s)   Output Specification   Compute   Results

Motion Input Location  
Specify the location to input the motion(s): Bedrock

Input Motions  
View

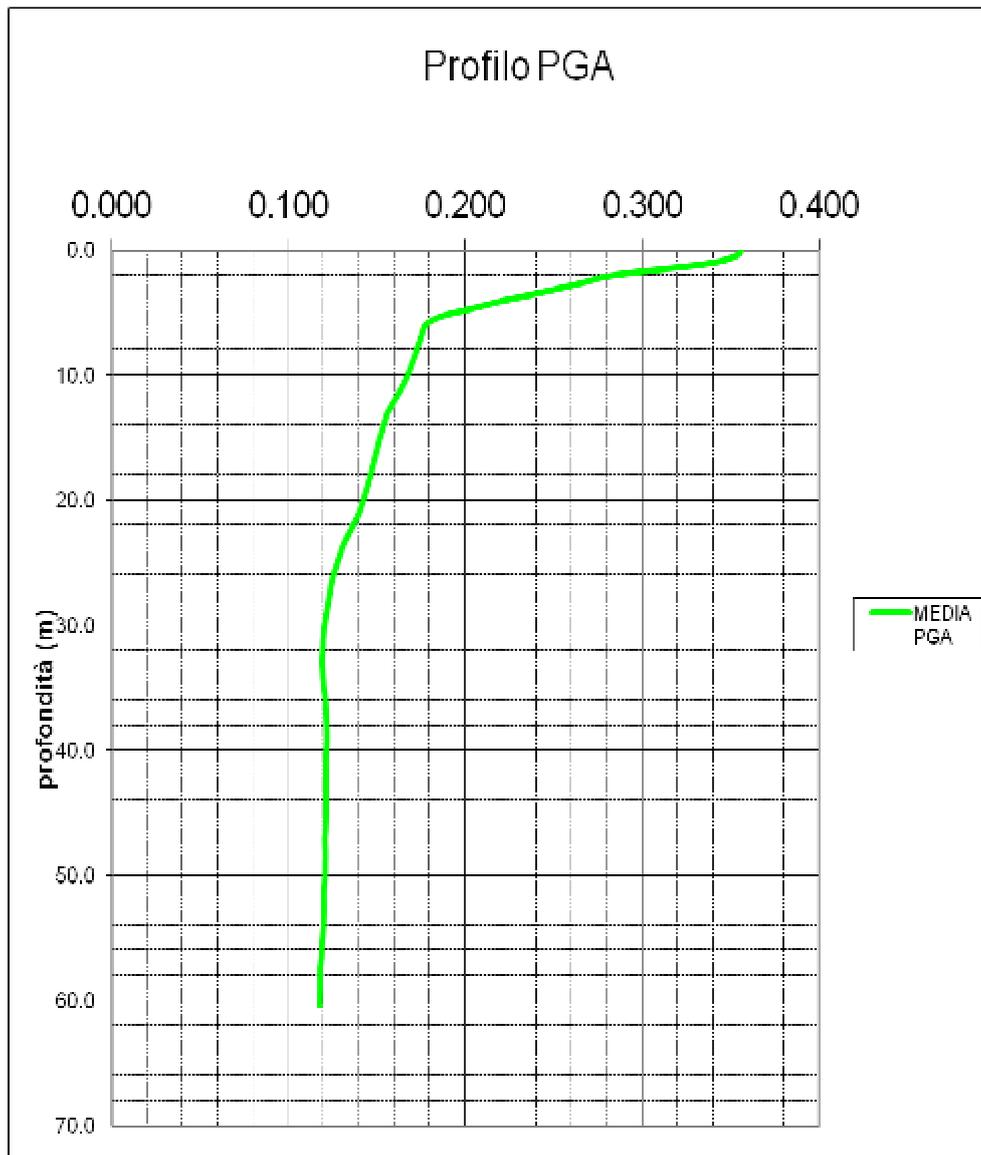
	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> Set2\000234ya_record.txt		Outcrop	0.18	15.16	0.24
2	<input checked="" type="checkbox"/> Set2\000246xa_record.txt		Outcrop	0.18	12.13	0.30
3	<input checked="" type="checkbox"/> Set2\000368xa_record.txt		Outcrop	0.18	16.04	0.29
4	<input checked="" type="checkbox"/> Set2\000368ya_record.txt		Outcrop	0.18	10.30	0.27
5	<input checked="" type="checkbox"/> Set2\000410ya_record.txt		Outcrop	0.18	24.87	0.34
6	<input checked="" type="checkbox"/> Set2\001243xa_record.txt		Outcrop	0.19	13.94	0.26
7	<input checked="" type="checkbox"/> Set2\005272xa_record.txt		Outcrop	0.18	9.45	0.57

### Spettri di Input

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mecl	Epicentra	PGA_X [m]	PGA_Y [m]	PGV_X [m]	PGV_Y [m]	EC8 Site class
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	22	0.628	0.6706	0.0563	0.0385	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	22	0.628	0.6706	0.0563	0.0385	A
5272	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987		6 oblique	24	0.3222	0.243	0.0168	0.0228	A
1243	473	ST575	Izmit (afte rshoc	13/09/1999	5.8	oblique	15	0.7138	3.112	0.0551	0.1454	A
246	115	ST61	Valnerina	19/09/1979	5.8	normal	22	0.6002	0.8701	0.0403	0.0518	A
234	108	ST68	Montenegro (af	24/05/1979	6.2	thrust	30	0.6669	0.7541	0.0445	0.0649	A
410	189	ST161	Golbasi	05/05/1986		6 oblique	29	0.3831	0.538	0.0289	0.0749	A
mean:					5,942857		23,42857	0,563171	0,979771	0,0426	0,0624	

Lon. [-]:	11.1099		Site class:	A
Lat. [-]:	44.2875		Top. cat.:	T1
Vn:	50 years		CU:	II
SL:	SLV			

Nel grafico che segue (**FIGURA 5.1**) è riportato profilo di PGA medio, ricavato dall'analisi dei 7 accelerogrammi, dal bedrock fino al piano campagna.



			F.A.
P.G.A. bedrock		0.182	
P.G.A. superficie	accelerg 1	0.414	<b>2.27</b>
P.G.A. superficie	accelerg 2	0.364	<b>2.00</b>
P.G.A. superficie	accelerg 3	0.330	<b>1.81</b>
P.G.A. superficie	accelerg 4	0.361	<b>1.99</b>
P.G.A. superficie	accelerg 5	0.296	<b>1.63</b>
P.G.A. superficie	accelerg 6	0.377	<b>2.07</b>
P.G.A. superficie	accelerg 7	0.363	<b>1.99</b>
<b>P.G.A. superficie</b>	<b>Strata Media</b>	<b>0.356</b>	<b>1.96</b>

FIGURA 5.1. - profilo di PGA medio lungo la sezione stratigrafica studiata

La funzione di trasferimento che regola queste amplificazioni è la seguente (FIGURA 5.2):

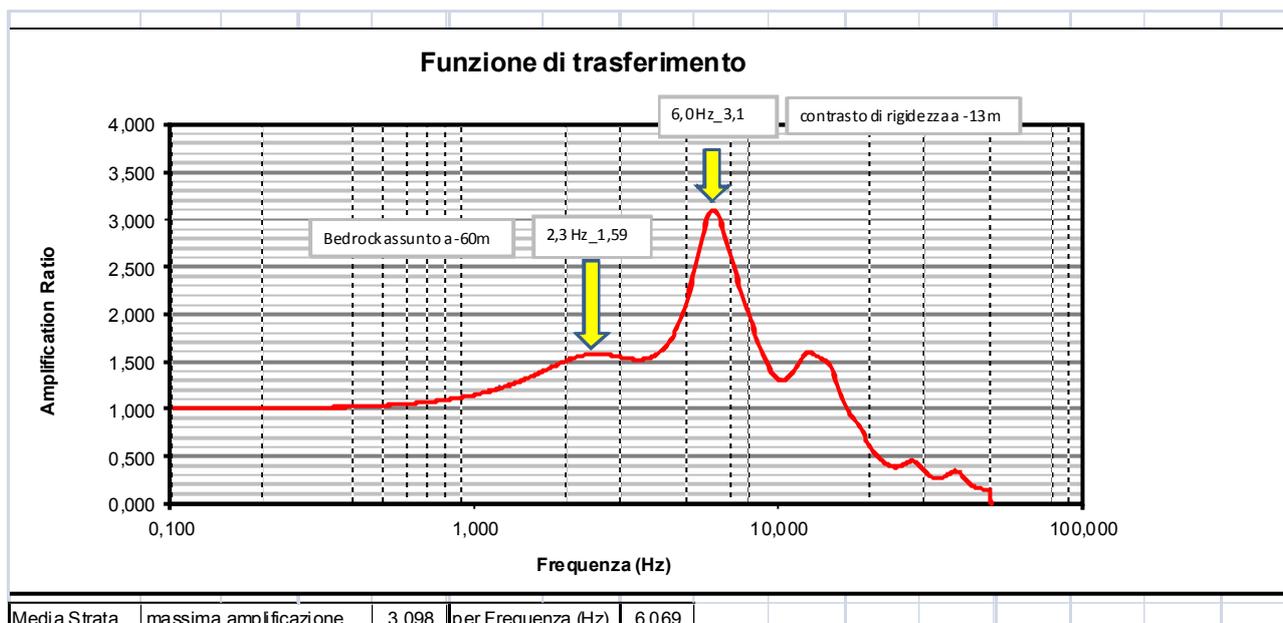


FIGURA 5.2 – Funzione di trasferimento calcolata con la RSL

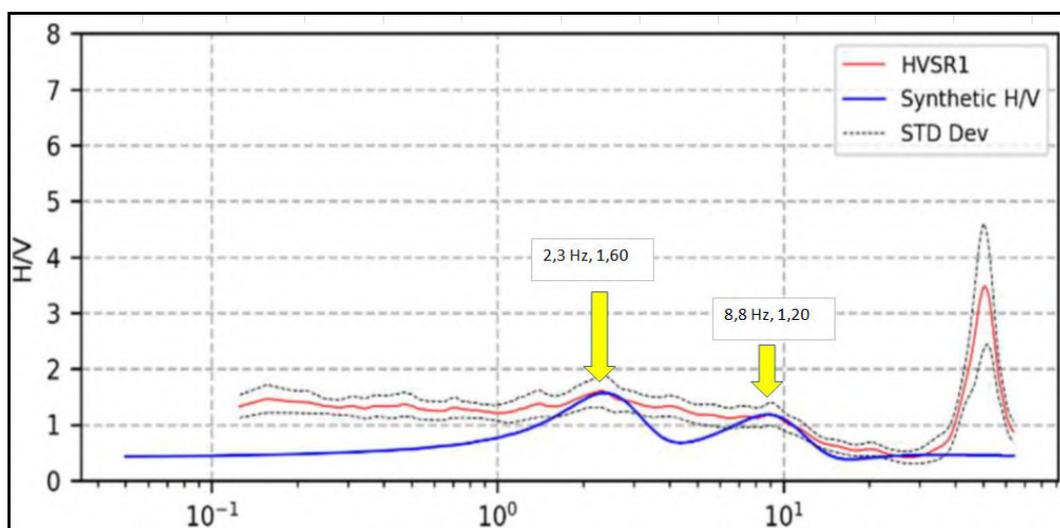


FIGURA 5.2 BIS – Funzione di trasferimento misurata con prova HVSR

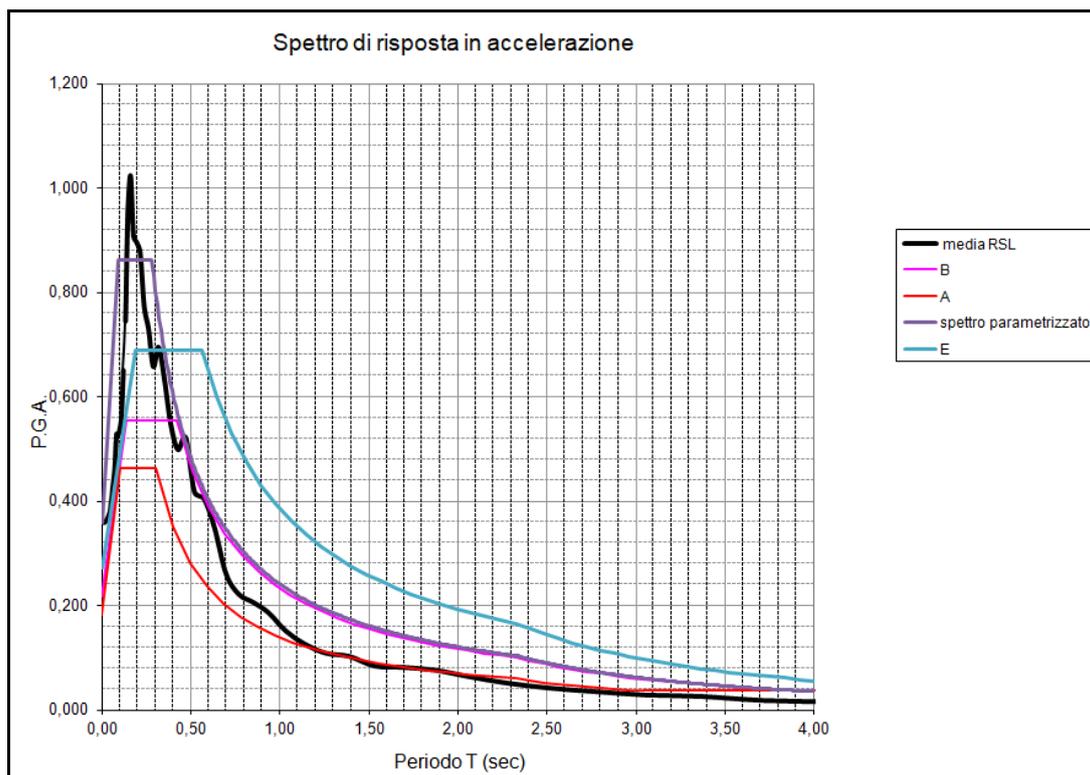
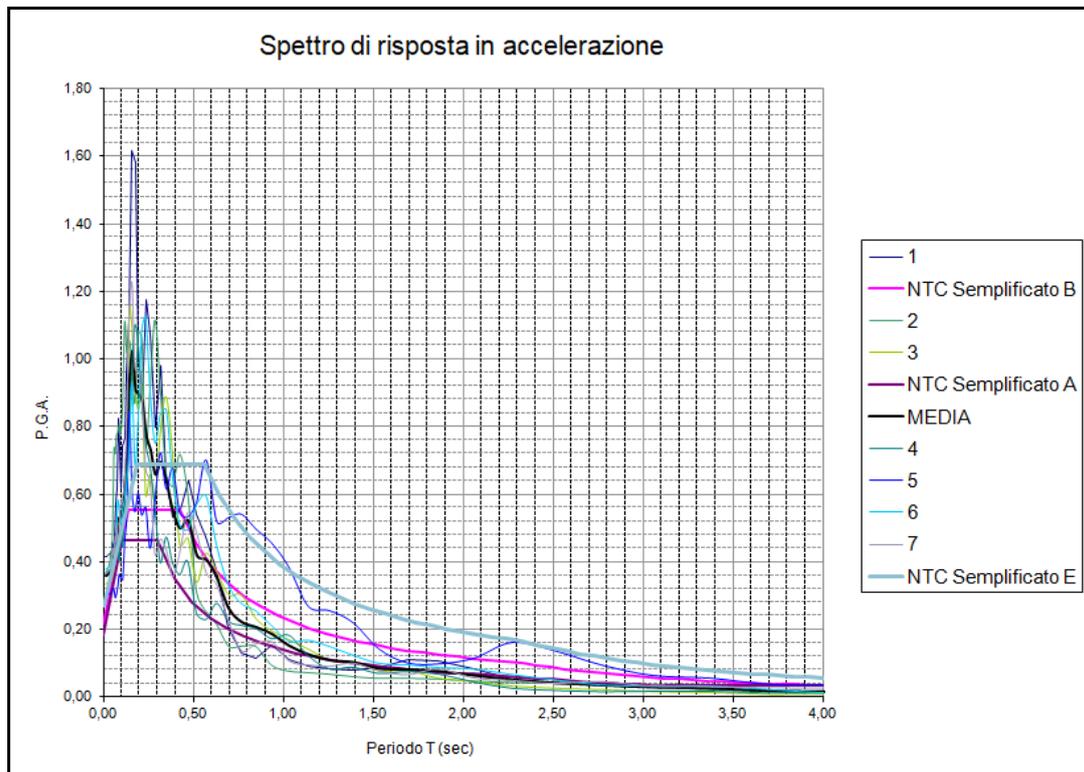
Dalla prova HVSR si ricava che la frequenza di risonanza del terreno è evidenziata in un primo picco a circa 2,3Hz. Il rapporto di amplificazione è 1,60. Come si può vedere anche nella funzione di trasferimento ottenuta dalla RSL si evidenzia il picco a 2,3 Hz con un rapporto di amplificazione di 1,59.

La funzione di trasferimento misurata con la prova HVSR, conferma e valida l'Analisi della Risposta Sismica locale.

Il picco a 6Hz che emerge dalla RSL è riconducibile al contrasto presente a circa 13m di profondità.

Vs=	312 m/sec
	6 Hz
h=	13,0 m

Si riporta ora un grafico in excel, con lo spettro in accelerazione medio ricavato dalla analisi di RSL condotta con i 7 accelerogrammi, diagrammato con gli spettri semplificati da NTC di tipo A, B e tipo E (FIGURA 5.3).



**FIGURA 5.3**– spettro in accelerazione da RSL.

	accelerg 1	accelerg 2	accelerg 3	accelerg 4	accelerg 5	accelerg 6	accelerg 7	media
0,01	0,41	0,37	0,33	0,36	0,30	0,38	0,37	0,358
0,01	0,41	0,37	0,33	0,37	0,30	0,38	0,37	0,359
0,01	0,42	0,37	0,33	0,37	0,30	0,38	0,37	0,359
0,01	0,42	0,37	0,33	0,37	0,30	0,38	0,37	0,359
0,01	0,42	0,37	0,33	0,37	0,30	0,38	0,37	0,360
0,02	0,42	0,37	0,33	0,37	0,30	0,38	0,37	0,360
0,02	0,42	0,37	0,33	0,37	0,30	0,38	0,37	0,361
0,02	0,42	0,37	0,34	0,37	0,30	0,38	0,37	0,362
0,02	0,42	0,38	0,34	0,37	0,30	0,38	0,37	0,363
0,02	0,42	0,38	0,34	0,37	0,30	0,38	0,37	0,364
0,03	0,42	0,38	0,34	0,37	0,30	0,38	0,37	0,365
0,03	0,42	0,39	0,34	0,37	0,30	0,38	0,37	0,367
0,03	0,42	0,40	0,34	0,38	0,31	0,39	0,38	0,370
0,04	0,42	0,40	0,34	0,38	0,31	0,39	0,38	0,372
0,04	0,43	0,43	0,34	0,38	0,31	0,39	0,38	0,376
0,04	0,44	0,41	0,35	0,38	0,31	0,40	0,40	0,381
0,05	0,46	0,46	0,35	0,39	0,32	0,40	0,42	0,395
0,05	0,44	0,58	0,34	0,39	0,32	0,40	0,44	0,409
0,06	0,47	0,74	0,36	0,39	0,32	0,41	0,42	0,429
0,07	0,57	0,72	0,39	0,40	0,29	0,39	0,48	0,446
0,07	0,62	0,78	0,42	0,42	0,30	0,46	0,46	0,476
0,08	0,82	0,78	0,42	0,44	0,32	0,58	0,51	0,529
0,09	0,73	0,81	0,45	0,40	0,36	0,55	0,52	0,526
0,10	0,62	0,78	0,49	0,52	0,35	0,52	0,57	0,536
0,11	0,74	0,88	0,52	0,44	0,35	0,55	0,59	0,559
0,12	0,77	1,11	0,58	0,58	0,46	0,58	0,64	0,651
0,13	0,96	1,02	0,67	0,67	0,54	0,64	0,84	0,745
0,14	1,11	1,06	1,15	0,77	0,84	0,73	1,15	0,958
0,16	1,62	0,99	1,09	0,98	0,61	0,93	1,22	1,024
0,17	1,58	0,87	0,93	1,10	0,55	0,68	0,97	0,909
0,19	1,01	1,08	0,85	1,04	0,60	0,83	0,97	0,896
0,21	0,88	1,06	0,92	0,88	0,54	1,08	0,89	0,875
0,23	1,18	0,74	0,60	0,75	0,56	1,12	0,67	0,773
0,26	1,07	0,91	0,66	0,68	0,44	0,90	0,64	0,730
0,29	0,80	1,12	0,58	0,56	0,58	0,75	0,42	0,658
0,32	0,98	0,91	0,78	0,40	0,72	0,84	0,47	0,695
0,35	0,65	0,66	0,89	0,47	0,61	0,85	0,44	0,634
0,38	0,53	0,62	0,71	0,39	0,68	0,65	0,36	0,546
0,42	0,56	0,72	0,45	0,36	0,54	0,51	0,43	0,499
0,47	0,64	0,60	0,47	0,40	0,53	0,50	0,55	0,521
0,52	0,54	0,31	0,34	0,25	0,58	0,57	0,49	0,418
0,57	0,47	0,25	0,42	0,23	0,70	0,59	0,37	0,405
0,63	0,38	0,21	0,37	0,28	0,52	0,45	0,33	0,349
0,70	0,20	0,15	0,30	0,22	0,53	0,33	0,23	0,260
0,77	0,13	0,15	0,30	0,21	0,54	0,28	0,14	0,221
0,85	0,11	0,15	0,23	0,20	0,50	0,25	0,16	0,206
0,93	0,15	0,09	0,19	0,17	0,45	0,21	0,16	0,186
1,03	0,11	0,08	0,17	0,18	0,38	0,17	0,11	0,151
1,14	0,09	0,07	0,14	0,12	0,27	0,17	0,10	0,125
1,26	0,08	0,07	0,11	0,08	0,25	0,15	0,09	0,108
1,39	0,08	0,06	0,10	0,09	0,22	0,12	0,10	0,102
1,53	0,09	0,06	0,08	0,07	0,14	0,10	0,08	0,084
1,69	0,11	0,06	0,08	0,07	0,10	0,10	0,07	0,081
1,86	0,11	0,05	0,05	0,07	0,10	0,09	0,08	0,076
2,06	0,08	0,05	0,04	0,04	0,11	0,08	0,06	0,063
2,27	0,05	0,04	0,03	0,02	0,16	0,07	0,05	0,051
2,51	0,04	0,04	0,02	0,02	0,14	0,05	0,04	0,042
2,77	0,04	0,04	0,02	0,01	0,09	0,04	0,05	0,035
3,05	0,03	0,03	0,01	0,02	0,06	0,03	0,03	0,028
3,37	0,03	0,02	0,01	0,02	0,06	0,03	0,03	0,025
3,72	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02	0,03	0,018
4,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,03	0,015
4,53	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,009
5,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,006

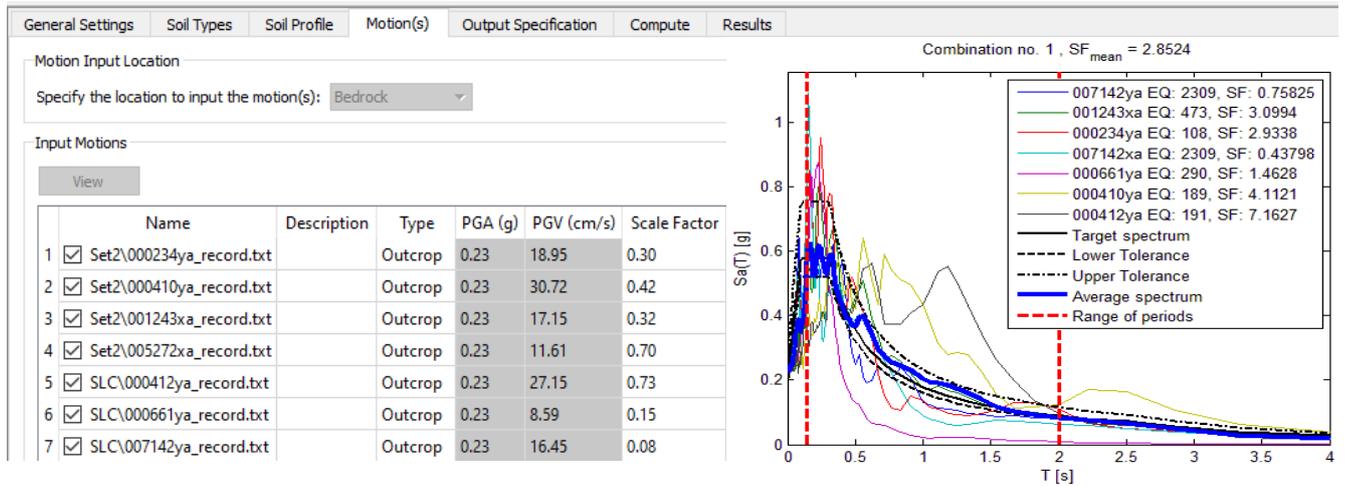
*Tabella 5.1. – valori tabellari spettro*

Si rimarca il fatto che lo spettro medio è stato derivato dalla analisi condotta con il gruppo di 7 accelerogrammi spettrocompatibili estratti con Rexel dalla banca dati "European Strong-motion Database".

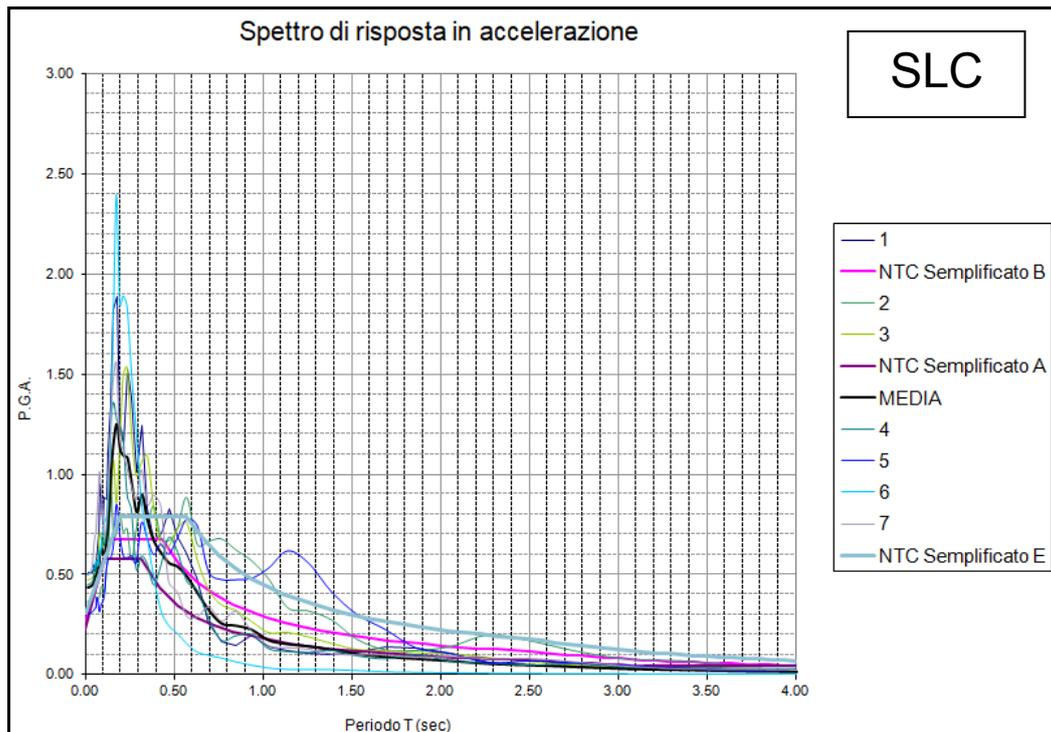
## 5.2. Analisi per SLC

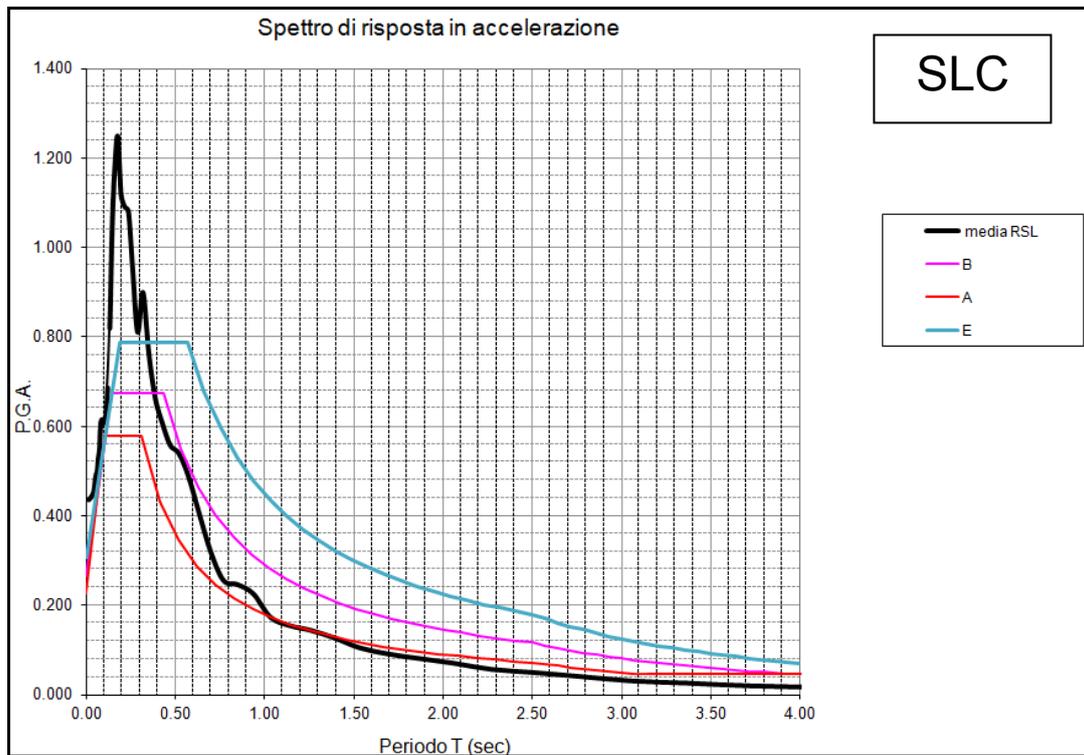
Ora si riporta lo spettro dal RSL per lo Stato Limite di Collasso, per edificio di classe d'uso III.

Sono stati estratti 7 accelerogrammi con Rexel le SLC. Si è ripetuta tutta la procedura con STRATA e si è ottenuto:



			F.A.
P.G.A. bedrock		<b>0.226</b>	
P.G.A. superficie	accelerg 1	0.502	<b>2.22</b>
P.G.A. superficie	accelerg 2	0.362	<b>1.60</b>
P.G.A. superficie	accelerg 3	0.471	<b>2.08</b>
P.G.A. superficie	accelerg 4	0.444	<b>1.96</b>
P.G.A. superficie	accelerg 5	0.306	<b>1.35</b>
P.G.A. superficie	accelerg 6	0.496	<b>2.20</b>
P.G.A. superficie	accelerg 7	0.493	<b>2.18</b>
<b>P.G.A. superficie</b>	<b>Strata Media</b>	<b>0.433</b>	<b>1.91</b>





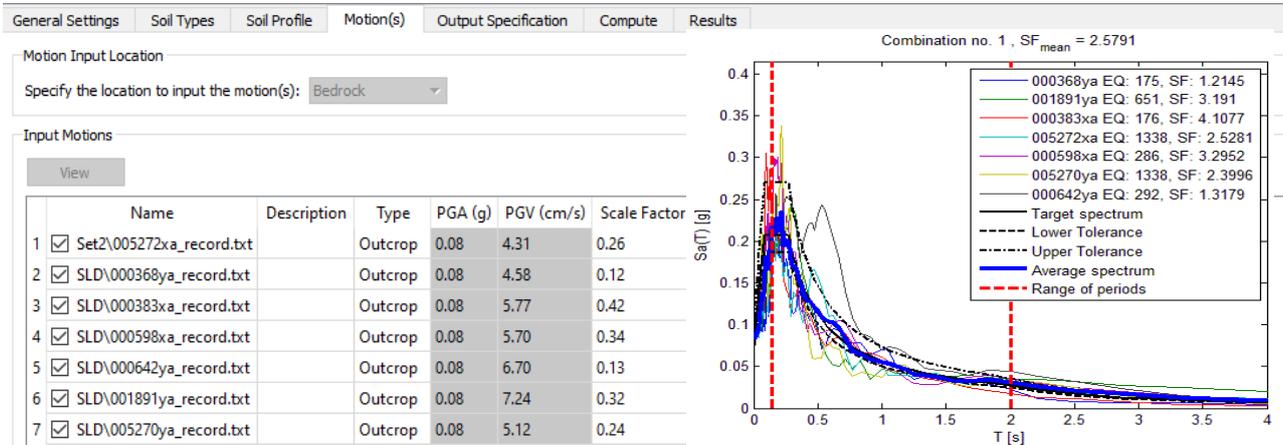
	accelerg 1	accelerg 2	accelerg 3	accelerg 4	accelerg 5	accelerg 6	accelerg 7	media
0.01	0.50	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.435
0.01	0.50	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.435
0.01	0.51	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.436
0.01	0.51	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.436
0.01	0.51	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.437
0.02	0.51	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.437
0.02	0.51	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.438
0.02	0.51	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.50	0.438
0.02	0.51	0.37	0.47	0.45	0.31	0.50	0.51	0.439
0.02	0.51	0.37	0.47	0.46	0.31	0.51	0.51	0.441
0.03	0.51	0.37	0.48	0.46	0.31	0.51	0.51	0.442
0.03	0.51	0.37	0.48	0.46	0.31	0.51	0.52	0.444
0.03	0.51	0.38	0.48	0.46	0.31	0.51	0.52	0.446
0.04	0.51	0.38	0.48	0.46	0.31	0.52	0.53	0.449
0.04	0.51	0.38	0.48	0.46	0.32	0.52	0.55	0.453
0.04	0.52	0.38	0.49	0.48	0.32	0.53	0.60	0.465
0.05	0.55	0.39	0.49	0.51	0.32	0.53	0.65	0.480
0.05	0.54	0.39	0.50	0.53	0.33	0.55	0.69	0.492
0.06	0.56	0.39	0.51	0.52	0.33	0.57	0.71	0.498
0.07	0.63	0.37	0.49	0.57	0.39	0.56	0.80	0.528
0.07	0.71	0.38	0.56	0.56	0.36	0.54	0.90	0.548
0.08	0.95	0.39	0.71	0.62	0.31	0.60	1.02	0.608
0.09	0.88	0.44	0.69	0.60	0.35	0.64	0.93	0.615
0.10	0.76	0.44	0.63	0.67	0.36	0.72	0.82	0.606
0.11	0.88	0.41	0.68	0.65	0.40	0.76	0.69	0.616
0.12	0.87	0.52	0.72	0.71	0.53	0.79	0.75	0.686
0.13	1.11	0.63	0.78	0.87	0.58	0.97	0.93	0.818
0.14	1.34	0.95	0.89	1.27	0.59	1.24	1.29	1.043
0.16	1.83	0.68	1.07	1.36	0.65	1.83	1.49	1.181
0.17	1.89	0.71	0.86	1.28	0.85	2.40	1.56	1.247
0.19	1.24	0.81	1.14	1.24	0.71	1.85	1.18	1.119
0.21	1.16	0.71	1.49	1.18	0.60	1.90	1.12	1.091
0.23	1.52	0.73	1.53	0.90	0.58	1.84	1.03	1.079
0.26	1.38	0.57	1.21	0.82	0.60	1.51	0.94	0.944
0.29	1.01	0.72	0.99	0.53	0.56	1.22	0.88	0.810
0.32	1.25	0.90	1.06	0.59	0.76	0.86	1.03	0.899
0.35	0.83	0.77	1.09	0.55	0.68	0.68	0.85	0.764
0.38	0.67	0.84	0.83	0.45	0.60	0.49	0.90	0.663
0.42	0.71	0.68	0.65	0.55	0.65	0.32	0.84	0.607
0.47	0.83	0.67	0.64	0.69	0.60	0.24	0.47	0.557
0.52	0.69	0.73	0.73	0.62	0.68	0.21	0.42	0.539
0.57	0.61	0.89	0.76	0.47	0.78	0.15	0.29	0.488
0.63	0.48	0.65	0.57	0.42	0.75	0.11	0.29	0.407
0.70	0.26	0.67	0.42	0.28	0.51	0.10	0.34	0.320
0.77	0.17	0.68	0.35	0.17	0.48	0.08	0.27	0.255
0.85	0.15	0.62	0.32	0.20	0.48	0.06	0.32	0.246
0.93	0.20	0.57	0.27	0.20	0.48	0.05	0.22	0.225
1.03	0.14	0.48	0.21	0.13	0.53	0.03	0.15	0.173
1.14	0.12	0.33	0.21	0.12	0.62	0.03	0.13	0.154
1.26	0.10	0.32	0.19	0.11	0.56	0.03	0.13	0.144
1.39	0.10	0.27	0.15	0.12	0.41	0.02	0.10	0.127
1.53	0.11	0.18	0.12	0.10	0.30	0.02	0.10	0.105
1.69	0.14	0.12	0.12	0.08	0.22	0.01	0.10	0.091
1.86	0.14	0.12	0.11	0.10	0.13	0.01	0.09	0.081
2.06	0.10	0.14	0.10	0.07	0.10	0.01	0.09	0.070
2.27	0.06	0.20	0.08	0.06	0.06	0.01	0.08	0.056
2.51	0.05	0.17	0.06	0.05	0.07	0.00	0.08	0.049
2.77	0.04	0.12	0.04	0.06	0.06	0.00	0.06	0.041
3.05	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.00	0.04	0.031
3.37	0.03	0.07	0.04	0.04	0.03	0.00	0.03	0.026
3.72	0.02	0.05	0.03	0.04	0.02	0.00	0.03	0.019
4.10	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.00	0.02	0.016
4.53	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.011
5.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.008

SLC

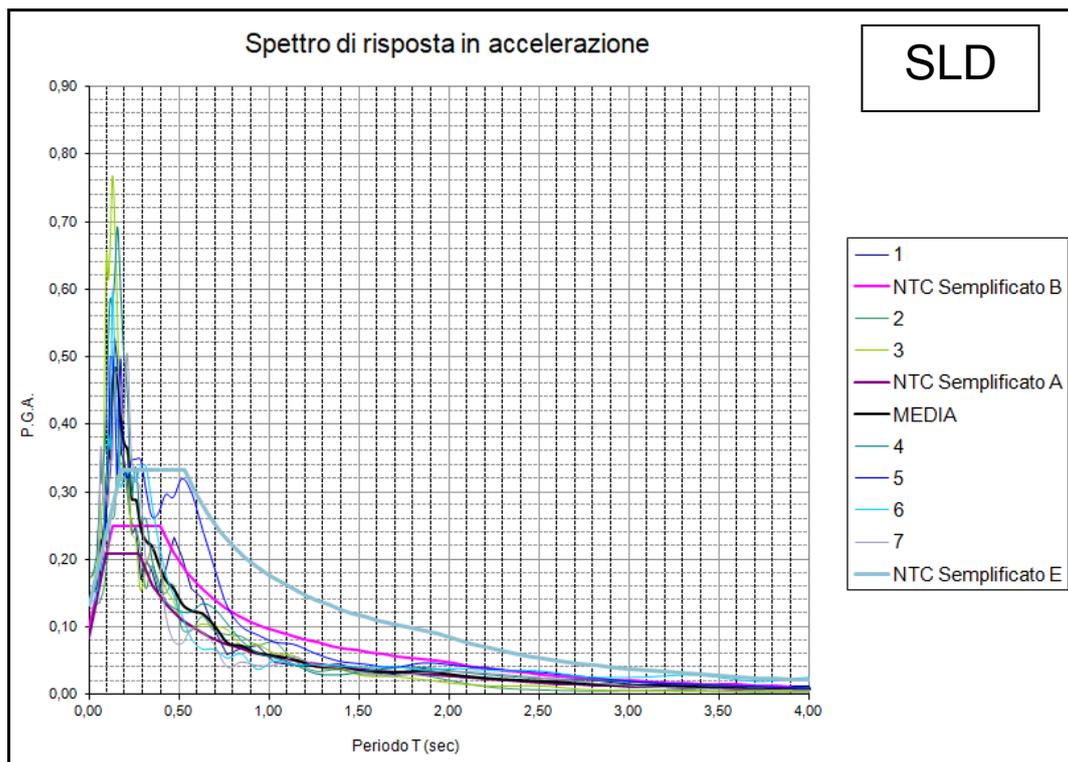
### 5.3. Analisi per SLD

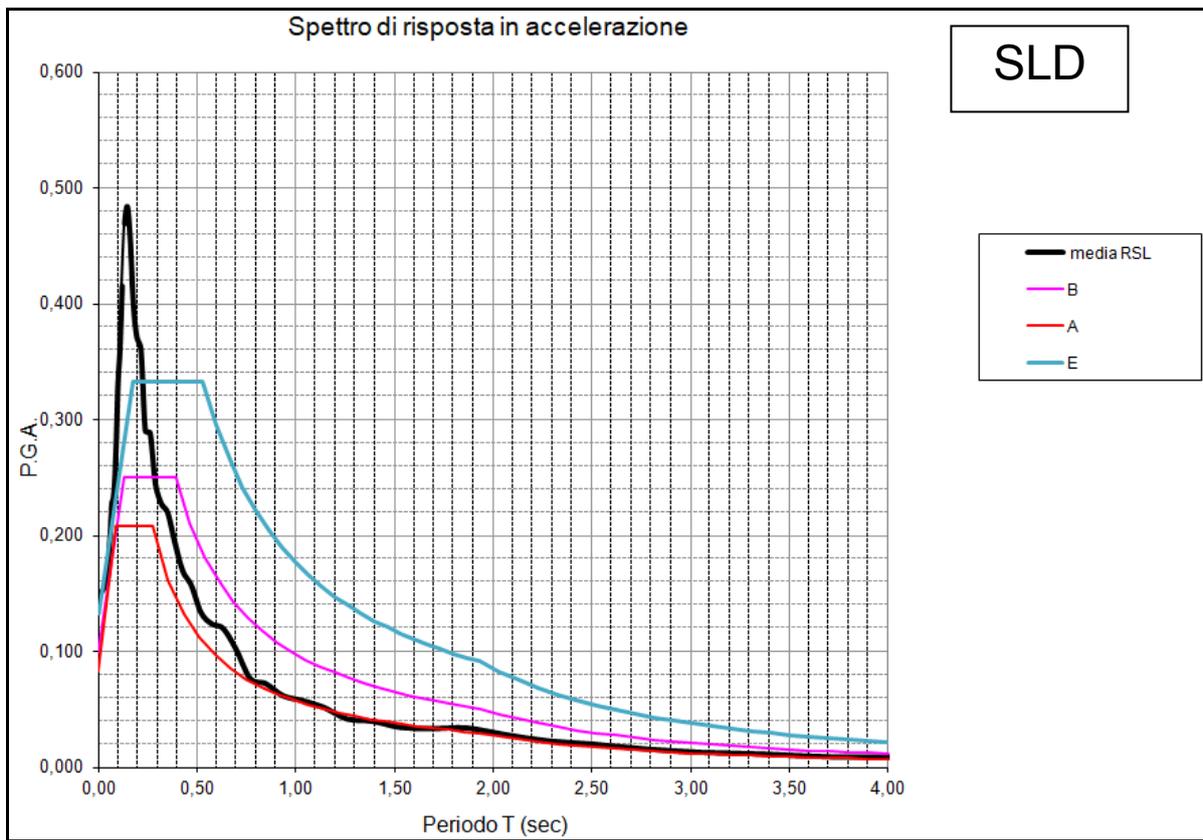
Ora si riporta lo spettro dal RSL per lo Stato Limite di Danno, per edificio di classe d'uso III.

Sono stati estratti 7 accelerogrammi con Rexel le SLD. Si è ripetuta tutta la procedura con STRATA e si è ottenuto:



			F.A.
P.G.A. bedrock		<b>0.083</b>	
P.G.A. superficie	accelerg 1	0.149	<b>1.79</b>
P.G.A. superficie	accelerg 2	0.129	<b>1.55</b>
P.G.A. superficie	accelerg 3	0.167	<b>2.02</b>
P.G.A. superficie	accelerg 4	0.173	<b>2.08</b>
P.G.A. superficie	accelerg 5	0.149	<b>1.80</b>
P.G.A. superficie	accelerg 6	0.138	<b>1.66</b>
P.G.A. superficie	accelerg 7	0.146	<b>1.76</b>
<b>P.G.A. superficie</b>	<b>Strata Media</b>	<b>0.149</b>	<b>1.80</b>





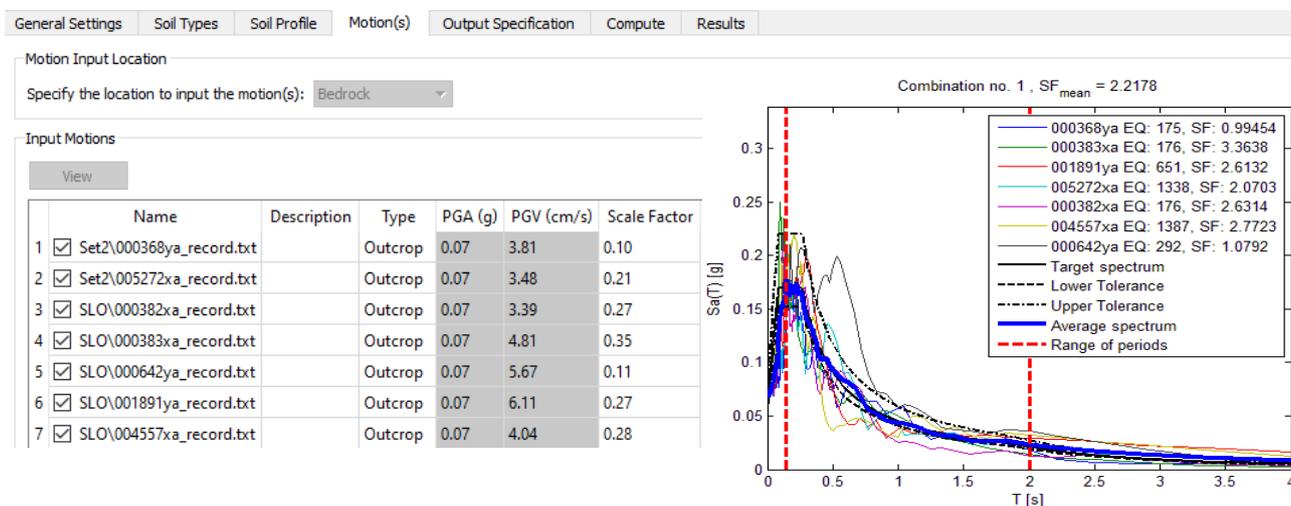
	accelerg 1	accelerg 2	accelerg 3	accelerg 4	accelerg 5	accelerg 6	accelerg 7	media
0.01	0.15	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.15	0.151
0.01	0.15	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.15	0.151
0.01	0.15	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.15	0.152
0.01	0.15	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.15	0.152
0.01	0.15	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.15	0.152
0.02	0.15	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.15	0.152
0.02	0.15	0.13	0.18	0.18	0.15	0.14	0.15	0.153
0.02	0.15	0.13	0.18	0.18	0.15	0.14	0.15	0.153
0.02	0.15	0.13	0.18	0.18	0.15	0.14	0.15	0.154
0.02	0.15	0.13	0.18	0.18	0.15	0.14	0.15	0.155
0.03	0.15	0.13	0.18	0.18	0.16	0.14	0.15	0.155
0.03	0.15	0.13	0.18	0.19	0.16	0.14	0.16	0.157
0.03	0.15	0.13	0.18	0.19	0.16	0.14	0.16	0.159
0.04	0.16	0.13	0.19	0.20	0.16	0.14	0.16	0.161
0.04	0.16	0.13	0.19	0.20	0.17	0.15	0.17	0.167
0.04	0.17	0.13	0.19	0.21	0.17	0.16	0.17	0.171
0.05	0.19	0.14	0.20	0.24	0.18	0.15	0.17	0.179
0.05	0.19	0.14	0.21	0.26	0.18	0.19	0.19	0.192
0.06	0.17	0.14	0.23	0.30	0.19	0.20	0.27	0.208
0.07	0.20	0.14	0.24	0.35	0.21	0.18	0.36	0.228
0.07	0.20	0.15	0.28	0.31	0.20	0.20	0.34	0.231
0.08	0.23	0.15	0.31	0.34	0.23	0.23	0.28	0.247
0.09	0.24	0.17	0.48	0.37	0.23	0.28	0.30	0.280
0.10	0.29	0.19	0.65	0.42	0.32	0.31	0.30	0.331
0.11	0.30	0.21	0.61	0.53	0.36	0.38	0.28	0.362
0.12	0.33	0.26	0.66	0.59	0.50	0.36	0.35	0.415
0.13	0.42	0.26	0.77	0.58	0.50	0.59	0.35	0.469
0.14	0.53	0.27	0.70	0.62	0.44	0.49	0.47	0.484
0.16	0.49	0.36	0.55	0.69	0.33	0.40	0.48	0.457
0.17	0.36	0.34	0.32	0.61	0.50	0.31	0.44	0.399
0.19	0.35	0.34	0.36	0.51	0.34	0.32	0.41	0.371
0.21	0.31	0.30	0.36	0.45	0.32	0.33	0.50	0.361
0.23	0.24	0.26	0.24	0.30	0.35	0.33	0.36	0.291
0.26	0.25	0.25	0.23	0.34	0.35	0.31	0.32	0.289
0.29	0.17	0.21	0.16	0.26	0.35	0.34	0.31	0.245
0.32	0.20	0.16	0.19	0.26	0.30	0.34	0.20	0.228
0.35	0.18	0.19	0.22	0.20	0.26	0.28	0.22	0.220
0.38	0.15	0.16	0.19	0.17	0.27	0.23	0.22	0.194
0.42	0.19	0.15	0.16	0.14	0.30	0.18	0.12	0.170
0.47	0.23	0.16	0.14	0.13	0.29	0.15	0.08	0.157
0.52	0.20	0.10	0.11	0.12	0.32	0.12	0.08	0.134
0.57	0.16	0.10	0.10	0.12	0.30	0.08	0.10	0.124
0.63	0.14	0.12	0.11	0.14	0.24	0.07	0.09	0.120
0.70	0.10	0.10	0.10	0.13	0.19	0.07	0.07	0.102
0.77	0.06	0.09	0.10	0.11	0.13	0.05	0.04	0.077
0.85	0.07	0.09	0.07	0.08	0.10	0.06	0.05	0.072
0.93	0.07	0.07	0.07	0.06	0.09	0.04	0.04	0.062
1.03	0.05	0.08	0.06	0.06	0.08	0.05	0.04	0.058
1.14	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07	0.04	0.06	0.052
1.26	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.04	0.042
1.39	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.040
1.53	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.035
1.69	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.034
1.86	0.04	0.03	0.02	0.04	0.05	0.04	0.03	0.034
2.06	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.028
2.27	0.02	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.03	0.023
2.51	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.020
2.77	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.016
3.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.013
3.37	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.012
3.72	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.009
4.10	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.009
4.53	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.005
5.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.004

SLD

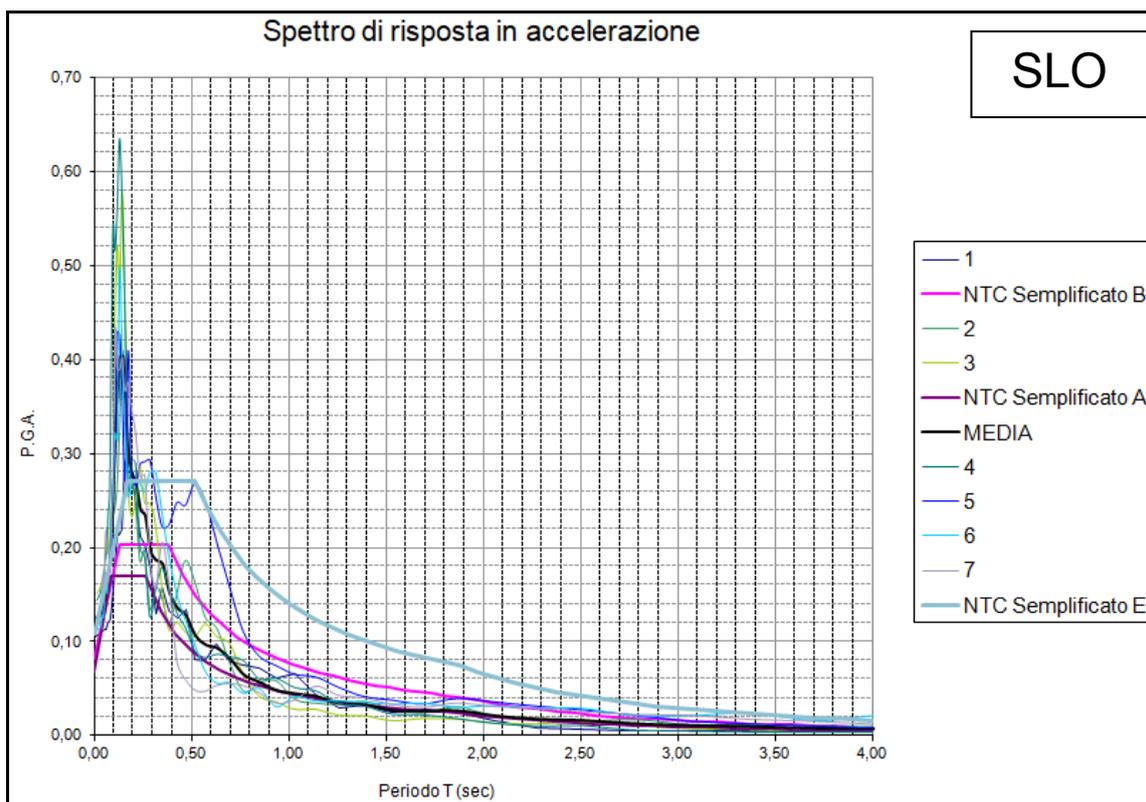
## 5.4. Analisi per SLO

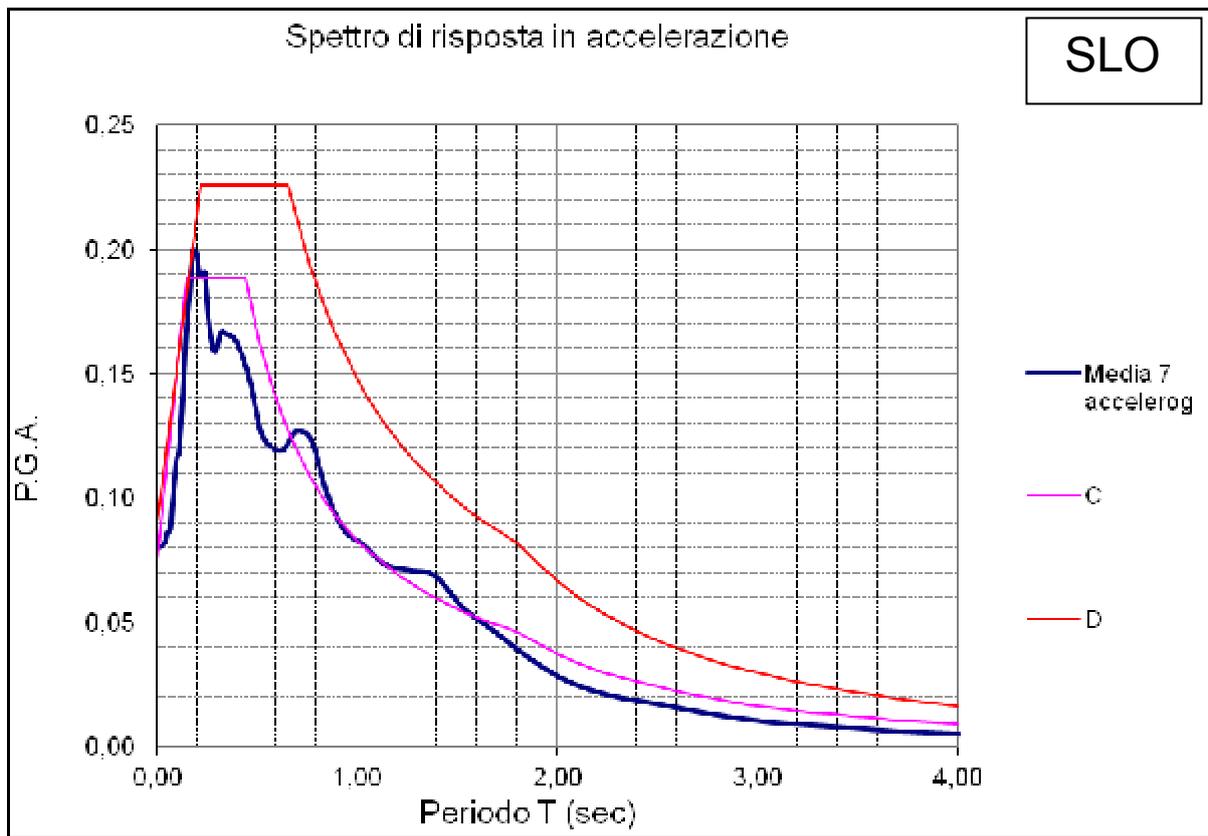
Ora si riporta lo spettro dal RSL per lo Stato Limite di Operatività, per edificio di classe d'uso III.

Sono stati estratti 7 accelerogrammi con Rexel le SLO. Si è ripetuta tutta la procedura con STRATA e si è ottenuto:



			F.A.
P.G.A. bedrock		<b>0.068</b>	
P.G.A. superficie	accelerg 1	0.106	<b>1.55</b>
P.G.A. superficie	accelerg 2	0.117	<b>1.72</b>
P.G.A. superficie	accelerg 3	0.148	<b>2.18</b>
P.G.A. superficie	accelerg 4	0.142	<b>2.08</b>
P.G.A. superficie	accelerg 5	0.124	<b>1.82</b>
P.G.A. superficie	accelerg 6	0.113	<b>1.66</b>
P.G.A. superficie	accelerg 7	0.125	<b>1.84</b>
<b>P.G.A. superficie</b>	<b>Strata Media</b>	<b>0.124</b>	<b>1.82</b>





	193xa	359xa	382xa	383xa	1960xa	5079xa	5085xa	MEDIA
0.01	0.08	0.07	0.07	0.079313	0.086885	0.08422	0.091774	0.08
0.01	0.08	0.07	0.07	0.079361	0.086901	0.084262	0.09178	0.08
0.01	0.08	0.07	0.07	0.079422	0.086927	0.084313	0.091787	0.08
0.01	0.08	0.07	0.07	0.079493	0.086952	0.084368	0.0918	0.08
0.01	0.08	0.07	0.07	0.079579	0.086983	0.084445	0.091811	0.08
0.02	0.08	0.08	0.07	0.079685	0.08702	0.084538	0.091824	0.08
0.02	0.08	0.08	0.07	0.079816	0.087066	0.084653	0.09184	0.08
0.02	0.08	0.08	0.07	0.079976	0.087123	0.084792	0.09186	0.08
0.02	0.08	0.08	0.07	0.080173	0.087193	0.084961	0.091884	0.08
0.02	0.08	0.08	0.07	0.080376	0.087283	0.085166	0.091914	0.08
0.03	0.08	0.08	0.07	0.080674	0.087396	0.08541	0.09194	0.08
0.03	0.08	0.08	0.07	0.081051	0.087543	0.08559	0.091985	0.08
0.03	0.08	0.08	0.07	0.081542	0.087749	0.085833	0.092044	0.08
0.04	0.08	0.08	0.07	0.082241	0.088118	0.085931	0.092132	0.08
0.04	0.08	0.08	0.07	0.083269	0.088533	0.086021	0.092187	0.08
0.04	0.08	0.08	0.07	0.0843	0.088248	0.087801	0.092522	0.08
0.05	0.09	0.09	0.07	0.086747	0.087849	0.092865	0.092033	0.09
0.05	0.09	0.09	0.07	0.087771	0.087651	0.095376	0.092456	0.09
0.06	0.09	0.08	0.07	0.087518	0.089762	0.099803	0.09246	0.09
0.07	0.09	0.08	0.08	0.091989	0.088069	0.096245	0.094555	0.09
0.07	0.10	0.09	0.08	0.103039	0.091436	0.115378	0.095044	0.10
0.08	0.10	0.10	0.08	0.114988	0.096137	0.143384	0.094459	0.10
0.09	0.11	0.09	0.09	0.132668	0.107397	0.148292	0.093432	0.11
0.10	0.11	0.10	0.10	0.148003	0.114915	0.154326	0.094401	0.12
0.11	0.11	0.10	0.13	0.163265	0.114431	0.129572	0.097325	0.12
0.12	0.10	0.12	0.16	0.1464	0.134086	0.145004	0.10748	0.13
0.13	0.10	0.15	0.16	0.143081	0.15379	0.200103	0.126546	0.15
0.14	0.12	0.17	0.19	0.185542	0.245693	0.173137	0.119126	0.17
0.16	0.14	0.21	0.16	0.177044	0.236116	0.201486	0.158692	0.18
0.17	0.15	0.38	0.17	0.173766	0.186623	0.217795	0.183555	0.20
0.19	0.16	0.34	0.16	0.190378	0.1779	0.179108	0.223359	0.20
0.21	0.20	0.22	0.14	0.178694	0.210354	0.170643	0.220726	0.19
0.23	0.22	0.20	0.19	0.134555	0.20978	0.196117	0.196196	0.19
0.26	0.23	0.18	0.19	0.116563	0.159857	0.118481	0.225867	0.17
0.29	0.22	0.14	0.19	0.114882	0.220679	0.099462	0.176222	0.16
0.32	0.20	0.12	0.18	0.137443	0.30184	0.096919	0.204153	0.17
0.35	0.19	0.13	0.13	0.145666	0.239734	0.105763	0.295126	0.17
0.38	0.19	0.14	0.11	0.137235	0.193577	0.13528	0.306661	0.16
0.42	0.18	0.11	0.13	0.138267	0.139095	0.162542	0.278282	0.16
0.47	0.16	0.12	0.12	0.125387	0.144607	0.131862	0.253328	0.14
0.52	0.16	0.10	0.11	0.108042	0.16375	0.098698	0.170045	0.13
0.57	0.14	0.10	0.14	0.098938	0.146708	0.096322	0.136703	0.12
0.63	0.12	0.08	0.13	0.108461	0.131079	0.114774	0.175018	0.12
0.70	0.12	0.08	0.15	0.125403	0.12178	0.141377	0.173312	0.13
0.77	0.12	0.08	0.11	0.130917	0.105628	0.143684	0.231127	0.12
0.85	0.10	0.06	0.07	0.098638	0.097348	0.13831	0.208061	0.10
0.93	0.07	0.06	0.06	0.100943	0.085172	0.124686	0.142174	0.09
1.03	0.06	0.05	0.05	0.087183	0.070144	0.105637	0.244748	0.08
1.14	0.05	0.05	0.05	0.084984	0.056515	0.082644	0.280436	0.07
1.26	0.05	0.05	0.04	0.068003	0.063485	0.070548	0.307182	0.07
1.39	0.05	0.05	0.04	0.063798	0.061574	0.053908	0.334106	0.07
1.53	0.04	0.06	0.03	0.044902	0.057697	0.03615	0.266483	0.06
1.69	0.02	0.05	0.03	0.04545	0.042999	0.02792	0.206451	0.05
1.86	0.02	0.04	0.03	0.032184	0.034917	0.02084	0.16605	0.04
2.06	0.01	0.03	0.02	0.021672	0.026116	0.014602	0.13816	0.03
2.27	0.01	0.03	0.02	0.016346	0.017864	0.011238	0.103242	0.02
2.51	0.01	0.02	0.02	0.015364	0.012652	0.009915	0.087278	0.02
2.77	0.00	0.02	0.01	0.010888	0.009454	0.008162	0.084727	0.01
3.05	0.00	0.01	0.01	0.007493	0.007658	0.006334	0.069855	0.01
3.37	0.00	0.01	0.01	0.005576	0.009354	0.005138	0.053845	0.01
3.72	0.00	0.01	0.01	0.004493	0.005815	0.004273	0.04026	0.01
4.10	0.00	0.01	0.00	0.004601	0.003751	0.003459	0.026347	0.00
4.53	0.00	0.00	0.00	0.003861	0.002926	0.002707	0.019045	0.00
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00345	0.003209	0.002059	0.013951	0.00

SLO

Codigoro, li 23 marzo 2021

Dott. Geol. Thomas Veronese

*Thomas Veronese*

<b>Dott. Geol. Thomas Veronese</b> <b>Via Romea, 80</b> <b>44023 Vaccolino (FE)</b>	Inizio Esecuzione 14/12/2020	Fine Esecuzione 16/12/2020	Metodo Perfor. Car. semplice e tricono		Sondaggio S1		
	Quota p.c.		Attrezzo SGB Perforazioni BG				
Committente Città Metropolitana di Bologna			Località Vergato Bo Scuola Fantini				
<b>Campioni</b> Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]	<b>Foto Piazzamento e Cassette</b>		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente
			Data	Mt. p.c.	20.00		Operatore



Cassetta da 0 m da p.c. a -5 m da p.c.



Cassetta da 5 m da p.c. a -10 m da p.c.



Cassetta da 10 m da p.c. a -15 m da p.c.



Cassetta da 15 m da p.c. a -20 m da p.c.



Dott. Geol. <b>Thomas Veronese</b> Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)			Inizio Esecuzione 14/12/2020		Fine Esecuzione 16/12/2020		Metodo Perfor. Car. semplice e tricono		Sondaggio S1					
Committente Città Metropolitana di Bologna			Quota p.c.		Attrezzatura SGB Perforazioni BG									
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]			Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente					
Data			Mt. p.c.		20.00		Operatore							
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	N1	N2		
6	6,00		C1	5,1-5,30	5,4-5,50	Argille a Palombini con clasti lapidei ad umidità crescente verso il basso grigio scura (Vs=230m/s)								
7	7,00		C2	6,4-6,50		Argille a Palombini rammollite e molto umide (prob. piano di sviluppo) (Vs=479m/s)		1.8 2.00						
8							>4			16	49			
9						Argille a Palombini molto consistenti grigio scure	>4							
	11,13		C3	9-9,20			>4							









Via Pastrengo, 9 – 24068 Seriate (Bg)  
Tel: 035 303120  
Fax: 035 290388  
E-mail: [ismgeo@ismgeo.it](mailto:ismgeo@ismgeo.it)

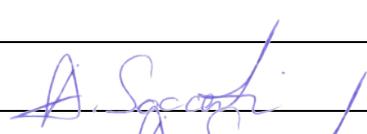
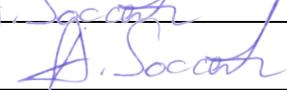
Istituto  
Sperimentale  
Modelli  
GEOtecnici

*Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C*

## VERGATO (BO)

### PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Prog. L001;Doc. RAT 019/2021

Redatto da:	Andrea Saccenti 	29/01/2021
Rivisto e Approvato da:	Andrea Saccenti 	

## LISTA DI DISTRIBUZIONE

Nominativo	Riferimento
Committente: Dott. Geol. Thomas VERONESE	Dott. Geol. ThomasVeronese

## STORIA DELLE MODIFICHE

Data	Versione	Descrizione cambiamenti	Riferimento
Gennaio 2021	00	Prima versione	

## Documenti in ingresso

[1] Programma di prova

INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>ATTIVITÀ DI LABORATORIO.....</b>	<b>4</b>
2.1.	Campioni esaminati e programma di prova.....	4
2.2.	Tipi di prove eseguite.....	4
2.3.	Conservazione, apertura e descrizione dei campioni .....	4
2.3.1.	Conservazione ed apertura dei campioni indisturbati .....	4
2.4.	Prove di classificazione .....	4
2.4.1.	Determinazione dei Limiti di liquidità e di plasticità (LLP).....	4
2.5.	Prove meccaniche .....	5
2.5.1.	Preparazione di provini per prove meccaniche .....	5
2.5.2.	Prova di colonna risonante (RC).....	5

**Allegato A – Certificati prove eseguite**

## 1. PREMESSA

L'Istituto Sperimentale Modelli Geotecnici ISMGEO S.r.l. di Seriate ha eseguito, su incarico del Dott. Geol. Thomas VERONESE, una campagna di prove geotecniche di laboratorio su campioni prelevati presso il sito di VERGATO (BO).

Il presente rapporto contiene la descrizione del programma di prova adottato, le modalità di prova ed i relativi certificati.

## 2. ATTIVITÀ DI LABORATORIO

### 2.1. Campioni esaminati e programma di prova

Le prove hanno interessato 2 campioni, appartenenti a 1 sondaggio.

Tutte le prove sono state condotte nel rispetto delle procedure tecniche interne, redatte sulla base delle raccomandazioni AGI e ASTM, tenendo conto degli sviluppi dello stato dell'arte.

Ogni prova è stata identificata con i seguenti termini:

Committente: Dott. Geol. Thomas Veronese

Cantiere: Vergato (BO)

Sondaggio: Codice di identificazione del sondaggio

Campione: Codice di identificazione del campione

Profondità: Profondità di prelievo da piano campagna del materiale sottoposto a prova

Prova: Codice della prova (sigla di identificazione e numero d'ordine progressivo).

Le sigle adottate per l'identificazione delle prove sono indicate tra parentesi nel testo seguente e sono riportate sul certificato di prova relativo.

In tab.1 è riportato l'elenco dei campioni disponibili e le prove su di essi eseguite.

### 2.2. Tipi di prove eseguite

Sulla base del programma di prova, della natura e delle caratteristiche dei materiali, sono state eseguite le seguenti prove:

- Determinazione dei limiti di plasticità e di liquidità (LLP)
- Prova di colonna risonante (RC)

### 2.3. Conservazione, apertura e descrizione dei campioni

#### 2.3.1. Conservazione ed apertura dei campioni indisturbati

Dopo il controllo dei dati identificativi, i campioni ricevuti sono stati ricoverati in camera climatica in cui temperatura e umidità relativa vengono mantenute costanti rispettivamente a 20°C e oltre 85 %.

Per ogni campione indisturbato aperto sono stati rilevati i dati identificativi (sondaggio e numero d'ordine progressivo). Il modulo di prova è stato quindi compilato con data di consegna, data di apertura e con ogni altra informazione disponibile riguardo le modalità di campionamento.

Per tutti i campioni in fustella esaminati è stata adottata l'estrusione orizzontale: con un estrusore pneumatico, provvisto di variatore di pressione e di teste intercambiabili in funzione del diametro interno del carotiere, il campione è stato estratto e depositato su un banco posto allo stesso livello del bordo della fustella; dopo una cauta scorticazione del terreno per liberarlo dal velo costituito dal fango di perforazione è stata ottenuta una ripresa fotografica.

### 2.4. Prove di classificazione

#### 2.4.1. Determinazione dei Limiti di liquidità e di plasticità (LLP)

Per la definizione del limite di liquidità è stato impiegato il Cucchiaino di Casagrande eseguendo tre determinazioni e definendo per interpolazione il contenuto d'acqua corrispondente alla chiusura del solco

dopo 25 colpi; per il limite di plasticità il contenuto d'acqua è stato determinato su cilindretti di terreno rullati a mano fino alla comparsa delle screpolature in corrispondenza di un diametro degli stessi di 3 mm. La prova è stata condotta sul materiale preventivamente setacciato al vaglio n. 40 ASTM (0.425 mm). I risultati sono presentati sul certificato "Caratteristiche Generali del Campione"

## 2.5. Prove meccaniche

### 2.5.1. Preparazione di provini per prove meccaniche

I provini da campioni coesivi indisturbati sono stati ottenuti utilizzando il metodo della fustellazione: esso consiste nella infissione graduale e guidata di una fustella di acciaio inox dotata di bordo tagliente (scarpa) nel terreno previa rimozione del materiale eccedente in prossimità della scarpa stessa; la fustella viene intrusa verticalmente mediante l'impiego di uno stativo che consente anche l'applicazione della pressione di infissione. Questa procede sino a che circa un centimetro di materiale ecceda sia nella parte superiore che in quella inferiore della fustella; la rasatura con un coltello affilato consente di avere superfici perfettamente piano - parallele.

### 2.5.2. Prova di colonna risonante (RC)

La prova di colonna risonante è stata eseguita utilizzando una apparecchiatura del tipo "fixed-free", cioè con la base del provino fissa e la testa libera di ruotare, che impiega un sistema elettromagnetico per applicare una torsione ciclica del provino.

Per lo schema dell'attrezzatura impiegata si veda la fig.15.

Attrezzatura - Il sistema elettromagnetico è alimentato da un generatore di onde sinusoidali a frequenza variabile. Il segnale elettrico utilizzato per produrre la torsione e quello dell'accelerometro, che misura il moto della testa, sono visualizzati sugli assi X-Y di un oscilloscopio e danno luogo ad una configurazione ellittica quando il campione è in risonanza. I valori della frequenza di risonanza e dell'accelerazione indotta sono stati utilizzati per il calcolo del modulo di taglio e delle deformazioni. La curva di decadimento, prodotta interrompendo in risonanza l'eccitazione torsionale, ha permesso di valutare lo smorzamento del materiale espresso come percentuale dello smorzamento critico. Un trasduttore di pressione con relativo condizionatore-amplificatore di segnale e una buretta per misurare le variazioni di volume hanno completato la strumentazione adottata.

Strumentazione - Per la rilevazione dei parametri di prova sono stati collegati all'attrezzatura impiegata i seguenti strumenti elettronici:

- accelerometro piezoelettrico, range 0.1%5 g;
- amplificatore di carica, max. input 10 kpcmb, max. gain 250 mV/pcmb, Max output 5 Vpp con massimo errore  $\pm 0.1\%$ ;
- trasduttore di spostamento  $\pm 5$  mm, classe di accuratezza 0.25% del fondo scala;
- trasduttore di pressione, fondo scala 35 bar, classe di accuratezza 0.2% del fondo scala;
- condizionatore di segnale, max. output 5 Vac, frequenza 5 kHz, classe di accuratezza 0.1% del valore di uscita;
- oscilloscopio digitale, range 5%5000 mV, classe di accuratezza 2% del range;
- generatore di segnale programmabile, range di frequenza 0.1%5 MHz, 4 forme d'onda, massimo errore  $\pm 1\%$ ;
- unità di controllo/acquisizione, 16 canali di ingresso;
- multimetro, range da 1 mV a 300 Vac;
- timer-counter programmabile, 10 digits display range 0.1%120 MHz, risoluzione  $\frac{1}{2}$  digit.

Modalità di prova - Il provino, ottenuto secondo le modalità descritte ai punti 2.7.1 o 2.7.2 è stato assemblato e saturato secondo le modalità proprie del metodo di preparazione. Successivamente le prove sono state eseguite secondo la seguente procedura:

- il provino è stato consolidato isotropicamente al valore di tensione minima prefissato, corrispondente alla metà della tensione verticale agente in sito;

- sono state eseguite misure di modulo e di smorzamento avendo cura di mantenere le deformazioni di taglio a valori tanto piccoli da restare nel campo elastico del materiale; al termine di ogni determinazione si è consentito al campione di dissipare l'eventuale eccesso di pressione interstiziale sviluppatasi nella fase di eccitazione;
- raggiunto il valore di tensione efficace isotropa pari a quella verticale del sito, la determinazione del modulo e del damping del terreno è stata estesa a valori crescenti di deformazione di taglio fino ai massimi valori consentiti dal sistema.

I valori di modulo, smorzamento e deformazioni calcolati sono tutti riferiti alle dimensioni e alla massa volumica del provino al termine della relativa consolidazione.

Certificazione - Per ogni prova, oltre ai dati di identificazione del provino sono stati riportati sul certificato "Prova di colonna risonante" i valori del modulo e dello smorzamento (espresso come percentuale di quello critico) in funzione della deformazione dinamica in singola ampiezza ed i valori del modulo iniziale,  $G_{max}$ , in funzione della tensione di consolidazione.

## Allegato A

### Certificati prove eseguite

---

Tipologia	Titolo	Versione e Data	Identificativo	Data stampa	Pag.	di
Prog. L001; Doc. RAT 019/2021	VERGATO (BO)	29/01/2021	21_ Vergato (BO)	29/01/21	<b>7</b>	<b>7</b>

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	29/01/2021	Sirtoli	Sirtoli

<b>Committente:</b>	<b>Dott. Geol. Veronese</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	
<b>Campione:</b>	
<b>Profondità prelievo [m]:</b>	<b>5.10 – 5.50</b>
<b>Data prova:</b>	



Sperimentatore: Diaby  
 Direttore: Saccenti  
 Data emissione: 27/01/2021  
 Rev.

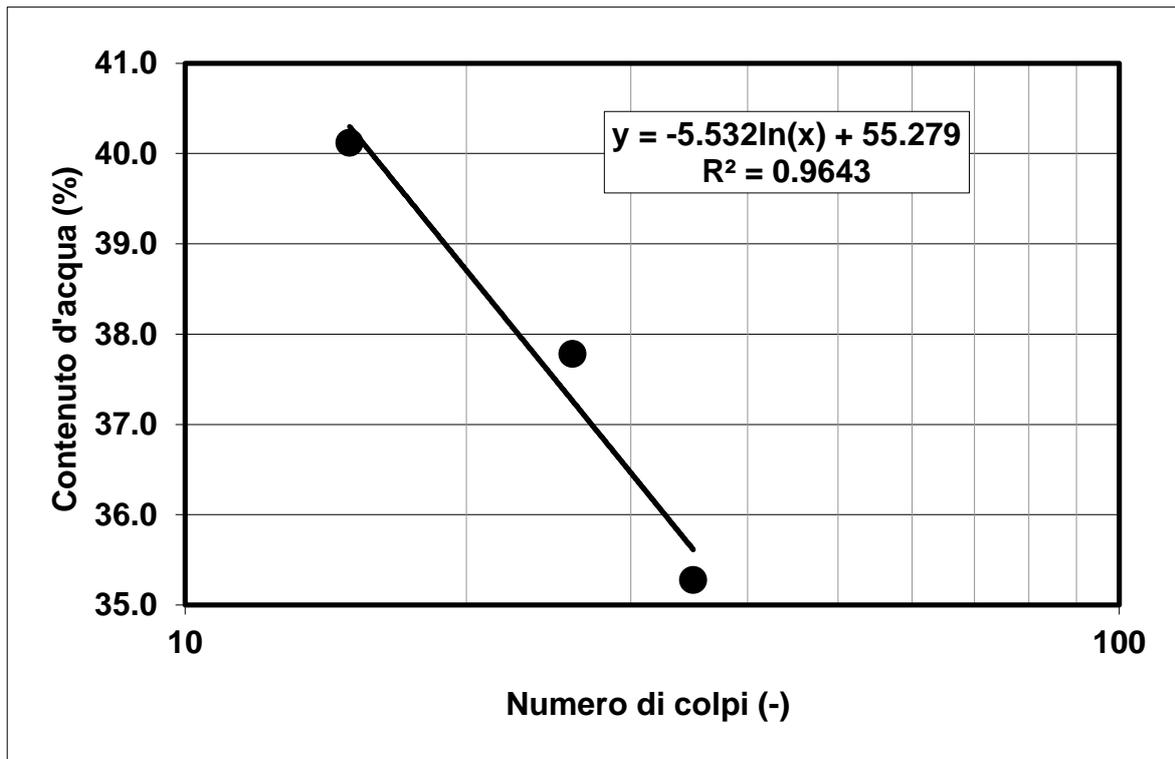
Normativa di riferimento: ASTM D4318  
 N° certificato di prova:  
 N° verbale di accettazione: 003/2021

**Committente:** Dott. Geol. Veronese  
**Cantiere:** VERGATO (BO)  
**Sondaggio:** -  
**Campione:** -  
**Profondità prova [m]:** 5.40 - 5.50  
**Prova:** LLP1  
**Data prova:** 11/01/2021

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	35	26	15
massa tara (g)	22.20	22.34	22.26
massa umido + tara (g)	51.23	60.16	72.52
massa secco + tara (g)	43.66	49.79	58.13
umidità (%)	35.27	37.78	40.12

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.31	22.32
massa umido + tara (g)	32.70	34.48
massa secco + tara (g)	31.06	32.56
umidità (%)	18.74	18.75

<b>LL (%)</b>	<b>37.5</b>
<b>LP (%)</b>	<b>18.7</b>
<b>IP (%)</b>	<b>18.7</b>



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

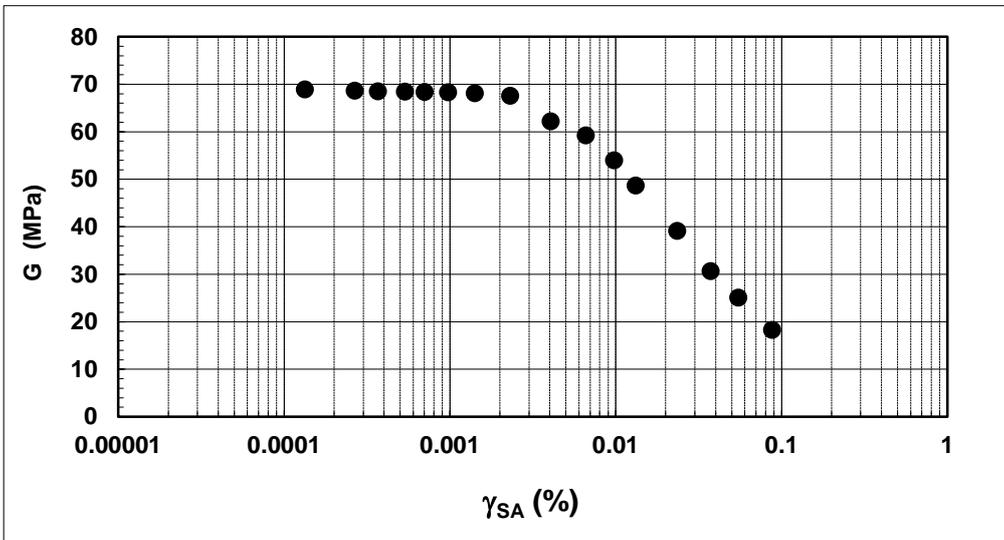
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>5.40 - 5.50</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

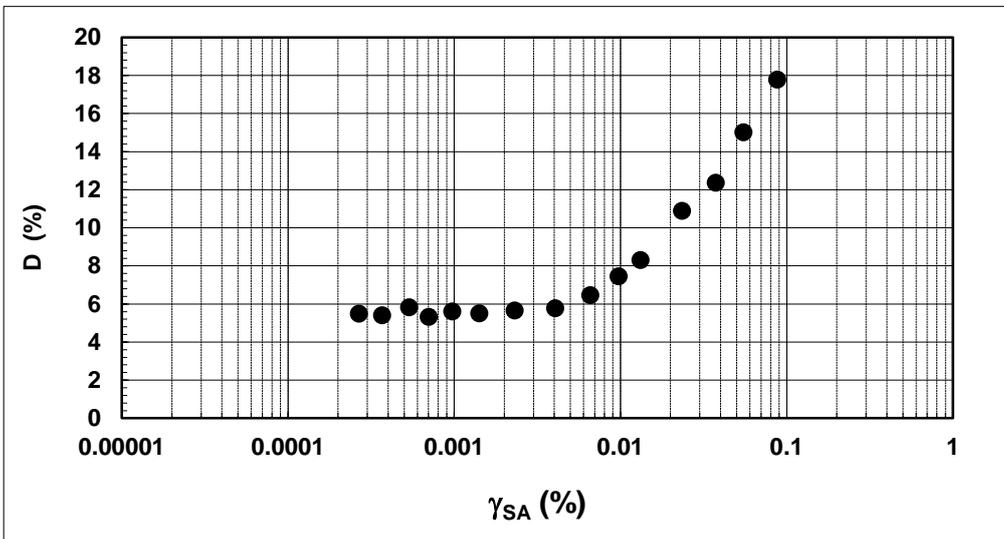
**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione											Informazioni generali	
Φ	H	γ <sub>w</sub>	w	e	σ' <sub>a</sub>	σ' <sub>r</sub>	K	B.P.	B	D	H	γ <sub>w</sub>	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	98.00	20.92	14.1	0.445	100	100	1.0	300.0	0.85	50.0	98.0	21.27	16.3	0.448	98	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.700



**Legenda:**

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ<sub>w</sub> = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ<sub>r</sub> / σ<sub>a</sub>
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ<sub>SA</sub> = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

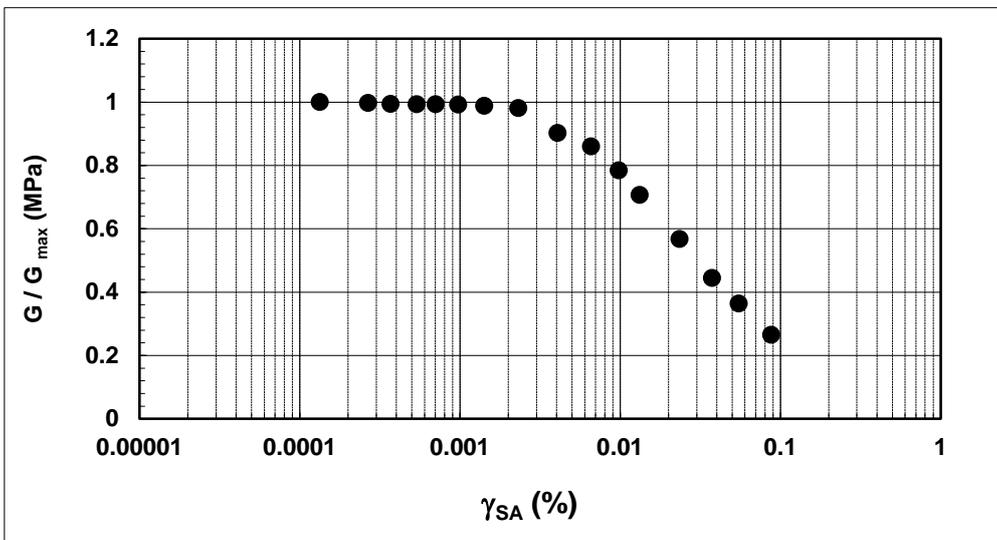
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>5.40 - 5.50</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

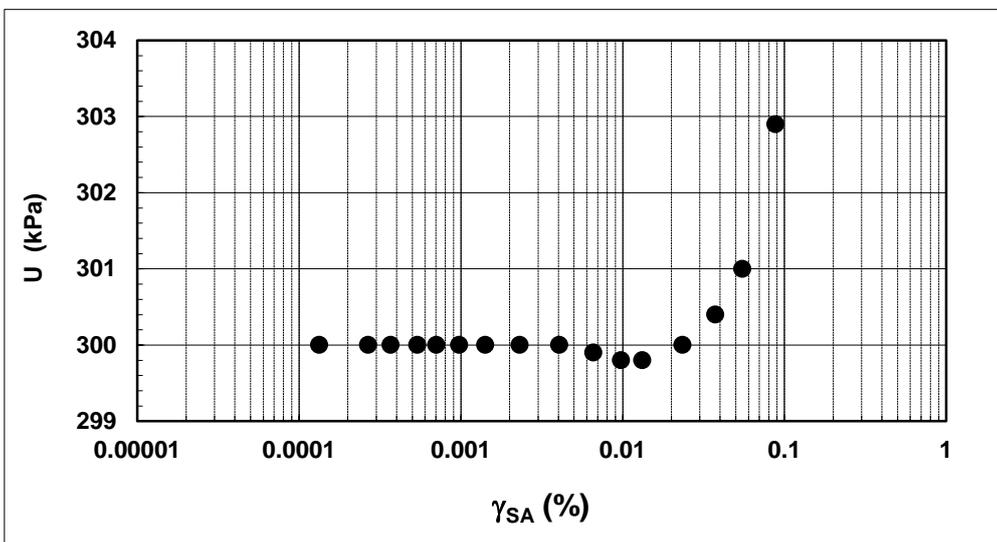
**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	98.00	20.92	14.1	0.445	100	100	1.0	300.0	0.85	50.0	98.0	21.27	16.3	0.4	98	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico	2.700



**Legenda:**

- $\Phi$  = diametro del provino
- H = altezza del provino
- $\gamma_w$  = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- $\sigma'$  = tensioni efficaci
- K =  $\sigma_r / \sigma_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- $\gamma_{SA}$  = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



<b>Note:</b>	
--------------	--

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>5.40 - 5.50</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

### Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	metodo di preparazione	
50.00	98.00	20.92	14.1	0.445	100	100	1.0	300.0	0.85	50.0	98.0	21.27	16.3	0.448	superficie di appoggio	<b>INDISTURBATO</b>
															eccitazione	<b>FUSTELLAZIONE</b>
																<b>PIETRA POROSA</b>
																<b>TORSIONALE</b>

### Valori numerici

G	G/G <sub>MAX</sub>	$\gamma$	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
68.86	1.000	0.00013		300.0
68.63	0.997	0.00027	5.49	300.0
68.47	0.994	0.00037	5.40	300.0
68.40	0.993	0.00054	5.82	300.0
68.38	0.993	0.00070	5.31	300.0
68.31	0.992	0.00097	5.60	300.0
68.06	0.988	0.00142	5.50	300.0
67.51	0.980	0.00231	5.66	300.0
62.15	0.903	0.00406	5.77	300.0
59.19	0.860	0.00659	6.45	299.9
53.99	0.784	0.00977	7.44	299.8
48.66	0.707	0.01320	8.30	299.8
39.10	0.568	0.02348	10.89	300.0
30.64	0.445	0.03745	12.36	300.4
25.07	0.364	0.05493	15.02	301.0
18.28	0.265	0.08789	17.77	302.9

### Legenda:

$\Phi$  = diametro del provino

H = altezza del provino

$\gamma_w$  = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

$\sigma'$  = tensioni efficaci

$K = \sigma'_r / \sigma'_a$

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

$\gamma_{SA}$  = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	29/01/2021	Sirtoli	Sirtoli

<b>Committente:</b>	<b>Dott. Geol. Veronese</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	
<b>Campione:</b>	
<b>Profondità prelievo [m]:</b>	<b>9.00 – 9.20</b>
<b>Data prova:</b>	



Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	29/01/2021	Sirtoli	Sirtoli

<b>Committente:</b>	<b>Dott. Geol. Veronese</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	
<b>Campione:</b>	
<b>Profondità prelievo [m]:</b>	<b>14.10 – 14.60</b>
<b>Data prova:</b>	





## DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

D.P.R. 06.06.2001 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A e B

Sperimentatore: Diaby  
Direttore: Saccenti  
Data emissione: 27/01/2021  
Rev.

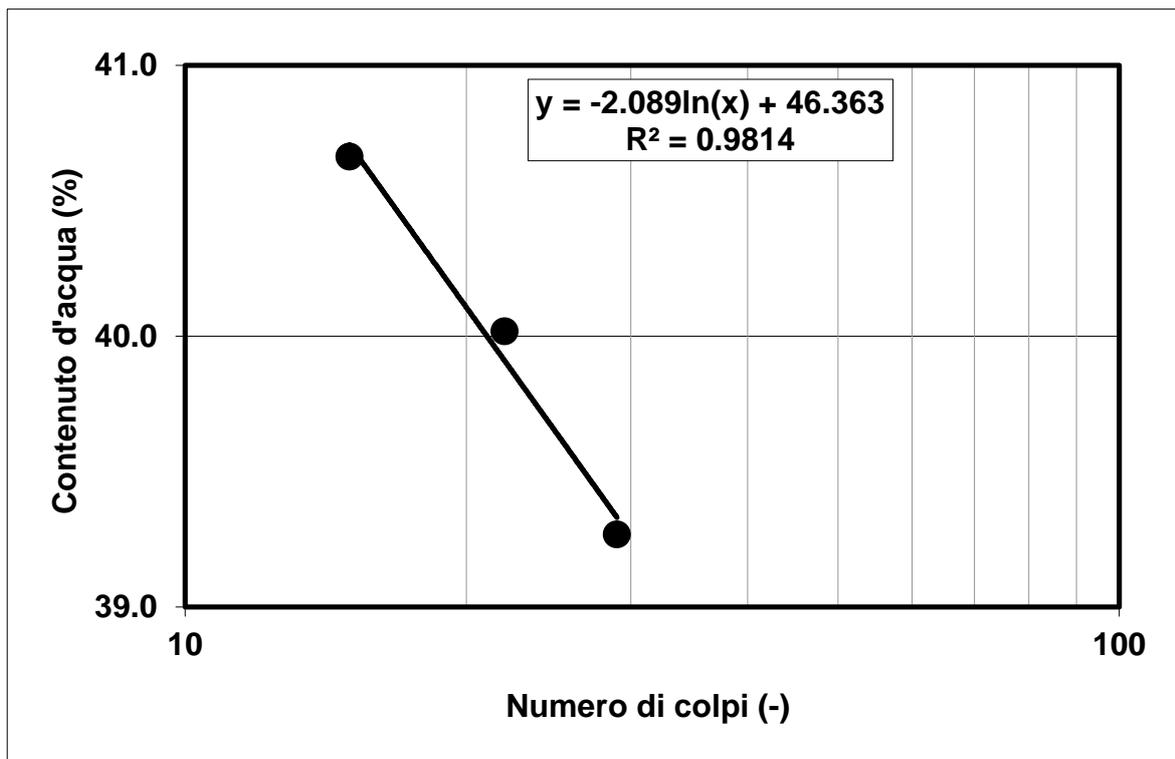
Normativa di riferimento: ASTM D4318  
N° certificato di prova:  
N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. Geol. Veronese</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>14.50 - 14.60</b>
<b>Prova:</b>	<b>LLP1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>11/01/2021</b>

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	22	15	29
massa tara (g)	21.93	22.11	22.26
massa umido + tara (g)	72.00	74.00	72.41
massa secco + tara (g)	57.69	59.00	58.27
umidità (%)	40.02	40.66	39.27

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.33	22.25
massa umido + tara (g)	34.74	35.81
massa secco + tara (g)	32.75	33.61
umidità (%)	19.10	19.37

<b>LL (%)</b>	<b>39.6</b>
<b>LP (%)</b>	<b>19.2</b>
<b>IP (%)</b>	<b>20.4</b>



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

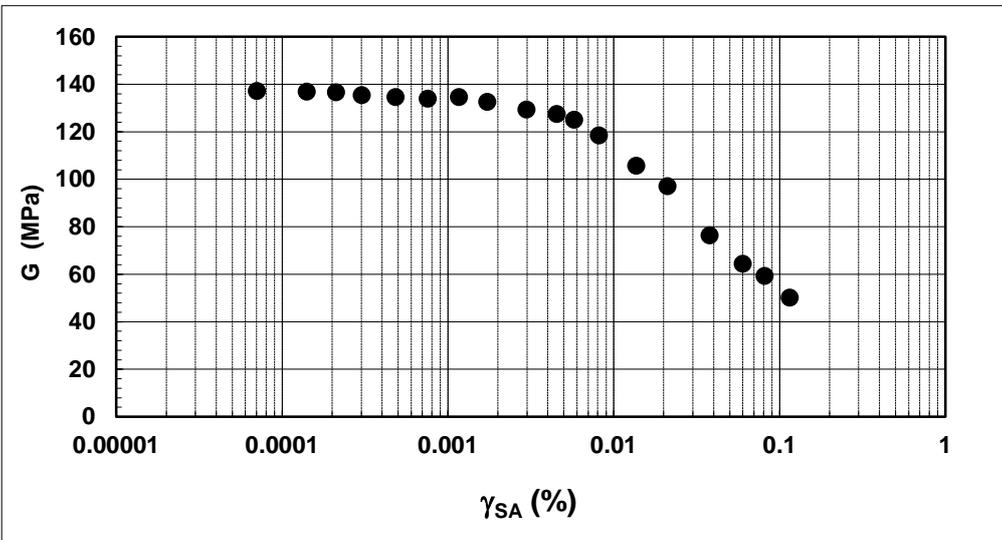
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>14.50 - 14.60</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

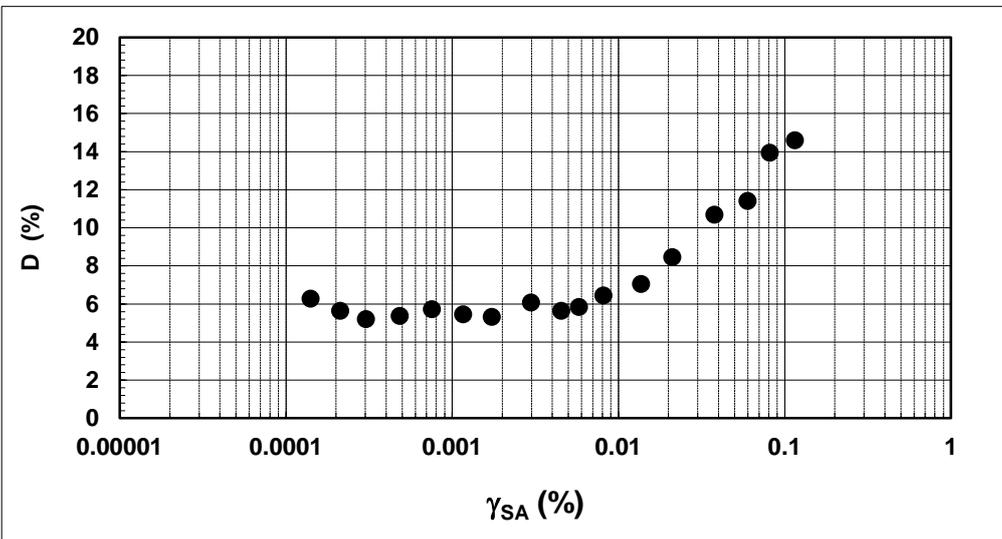
**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ <sub>w</sub>	w	e	σ' <sub>a</sub>	σ' <sub>r</sub>	K	B.P.	B	D	H	γ <sub>w</sub>	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	97.60	20.93	10.3	0.396	300	300	1.0	300.0	0.85	50.0	97.1	21.67	13.8	0.391	95	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.700



**Legenda:**

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ<sub>w</sub> = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ<sub>r</sub> / σ<sub>a</sub>
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ<sub>SA</sub> = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



<b>Note:</b>	
--------------	--

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

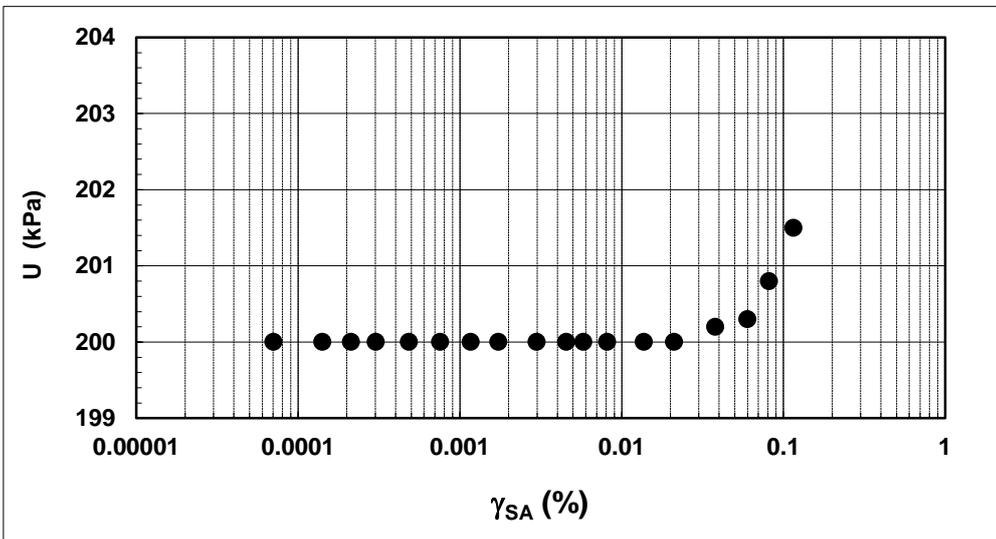
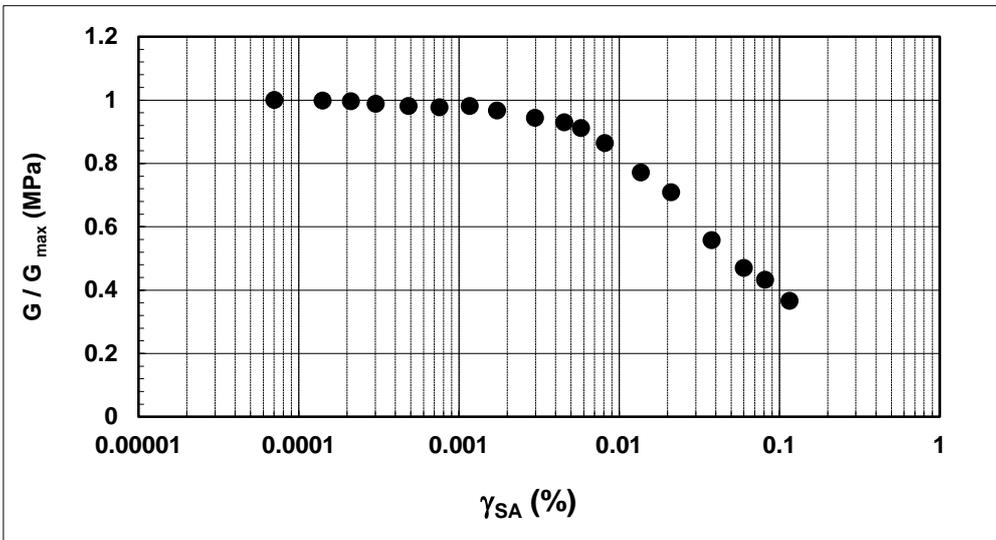
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>14.50 - 14.60</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	97.60	20.93	10.3	0.396	300	300	1.0	300.0	0.85	50.0	97.1	21.67	13.8	0.4	95	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico	2.700



<b>Note:</b>	
--------------	--

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/01/2021	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 003/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>VERGATO (BO)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	-
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>14.50 - 14.60</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>12/01/2021</b>

### Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	metodo di preparazione	
50.00	97.60	20.93	10.3	0.396	300	300	1.0	300.0	0.85	50.0	97.1	21.67	13.8	0.391	superficie di appoggio	INDISTURBATO
															eccitazione	PIETRA POROSA
																TORSIONALE

### Valori numerici

G	G/G <sub>MAX</sub>	$\gamma$	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
137.08	1.000	0.00007		200.0
136.85	0.998	0.00014	6.26	200.0
136.55	0.996	0.00021	5.64	200.0
135.36	0.988	0.00030	5.20	200.0
134.51	0.981	0.00048	5.36	200.0
133.89	0.977	0.00076	5.72	200.0
134.51	0.981	0.00116	5.44	200.0
132.56	0.967	0.00173	5.31	200.0
129.36	0.944	0.00298	6.06	200.0
127.47	0.930	0.00454	5.64	200.0
124.97	0.912	0.00579	5.84	200.0
118.43	0.864	0.00814	6.45	200.0
105.65	0.771	0.01369	7.05	200.0
97.10	0.708	0.02110	8.45	200.0
76.35	0.557	0.03789	10.68	200.2
64.36	0.469	0.05993	11.41	200.3
59.27	0.432	0.08133	13.93	200.8
50.08	0.365	0.11551	14.59	201.5

### Legenda:

$\Phi$  = diametro del provino

H = altezza del provino

$\gamma_w$  = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

$\sigma'$  = tensioni efficaci

K =  $\sigma'_r / \sigma'_a$

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

$\gamma_{SA}$  = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:



Geologia Geofisica Ambiente  
[www.envia.it](http://www.envia.it)

**Opera**  
Indagini Sismiche – Via Aldo Moro,  
Vergato (BO)

**Committente**  
Geol. Thomas Veronese

**Elab.**  
2021\_0007\_RET\_C\_INDAGINI\_SISMICHE\_V00.docx  
Rev. 0 del 14/01/2021

G. Dal Forno- P. Durante  
+39 051 0956972  
[giulio.dalforno@envia.it](mailto:giulio.dalforno@envia.it)  
[paolo.durante@envia.it](mailto:paolo.durante@envia.it)

PROVINCIA DI BOLOGNA  
**COMUNE DI VERGATO**

INDAGINI SISMICHE – VIA ALDO MORO  
**RELAZIONE GEOFISICA**

0	14/01/21	Prima Emissione	U.Grechi	P. Durante	G. Dal Forno
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>PREPARATO</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>APPROVATO</b>

## Sommario

1. Premessa .....	2
2. Normativa di riferimento .....	2
3. Il metodo <i>HVSR</i> .....	3
4. Il metodo <i>Down Hole</i> .....	4
5. Risultati dell'indagine <i>HVSR</i> .....	5
6. Risultati della prova sismica <i>Down Hole</i> (DH) .....	6
7. Bibliografia .....	7

### ELENCO ALLEGATI

***Allegato 1*** - Documentazione fotografica

***Allegato 2*** - Elaborati prova *HVSR*

***Allegato 3*** - Elaborati prova *Down Hole*

## 1. Premessa

Su richiesta del Dott. Geol. Thomas Veronese è stata effettuata un'indagine di tipo *HVSR* ed un'indagine di tipo *Down Hole* in Via Aldo Moro, nel Comune di Vergato, al fine di stimare il parametro  $V_{S,eq}$  caratteristico dell'area, ossia la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di profondità rispetto alla quota di imposta della fondazione, come prescritto dall'art. 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018. Il presente documento contiene anche i risultati dell'elaborazione e la restituzione dei profili di velocità delle onde compressive (P) e di taglio (S) e la derivazione dei parametri elastici del mezzo indagato per i primi 30 m di sottosuolo derivati dalla prova sismica *Down Hole*.

## 2. Normativa di riferimento

Il D.M. 17 gennaio 2018 prevede che, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si renda necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi (art. 7.11.3). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del decreto, per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_S$  (cfr. Tabella 1).

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{S,i}$  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  $V_S$  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. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

**Tabella 1** – Classificazione dei suoli secondo il D.M. 17 gennaio 2018 (Tabella 3.2.II).

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è ottenuta ponendo  $H = 30$ .

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

### 3. Il metodo HVSR

Il metodo *HVSR* (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei  $\mu m/s$ ). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007).

Esiste un consenso generale sull'efficacia del metodo *HVSR* nel fornire stime sulla frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, almeno nel caso di un modello semplice unidimensionale con strato sofficce al di sopra di uno strato rigido (Lachet and Bard, 1994; Lermo and Chavez-Garcia, 1994; Ibs-von Seht and

Wohlenberg, 1999). In questo caso semplice, tale frequenza  $f_0$  è legata allo spessore  $h$  e alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  dello strato sofficie attraverso la seguente relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4h} \quad \text{Hz(2)}$$

Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve  $H/V$  sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve  $H/V$  sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche (Fäh et al., 2001; Castellaro and Mulargia, 2009).

La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

#### 4. Il metodo Down Hole

Nel metodo sismico Down-Hole (DH) [ASTM D7400-07] viene misurato il tempo necessario per le onde compressive (P) e di taglio (S) per propagarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio.

Una volta stimate le velocità  $V_p$  e  $V_s$ , in presenza di profili di densità dedotti da correlazioni con le stesse velocità sismiche o da prove geotecniche in sito o di laboratorio, è possibile derivare i valori dei parametri elastici lungo la verticale di sondaggio.

Tra le principali correlazioni tra la velocità delle onde sismiche e la densità  $\rho$  si possono indicare quella introdotta da Gardner et al. [1974]:

$$\rho = 310 V_p^{0.25} \quad (2)$$

Con  $V_p$  espressa in m/s e  $\rho$  in kg/m<sup>3</sup>, e quella di Brocher [2005b]:

$$\rho = 1.6612V_p - 0.4721V_p^2 + 0.0671V_p^3 - 0.0043V_p^4 + 0.000106V_p^5 \quad (3)$$

Con  $V_p$  espressa in km/s e  $\rho$  in g/cm<sup>3</sup>.

Note  $V_p$ ,  $V_s$  e  $\rho$  è possibile derivare i principali parametri elastici dalle seguenti formule [cfr. Shearer, 1999]:  
coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1} \quad (4)$$

1) modulo di taglio:

$$G = \rho V_s^2 \quad (5)$$

2) modulo elastico:

$$E = 2\rho V_s^2 (1 + \nu) \quad (6)$$

3) modulo di compressibilità volumetrica:

$$K = \rho \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right) \quad (7)$$

### 5. Risultati dell'indagine HVSR

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro  $V_{s,eq}$  è stato utilizzato un tromografo digitale, "TROMINOENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz.

E' stata acquisita una misura di rumore sismico per un tempo di registrazione pari a 20 minuti. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla* (Micromed S.p.A.). I parametri utilizzati per la procedura sono riportati nella tabella sottostante.

Instrument:	TEP-0119/01-10
Start recording:	08/01/21 12:15:12
End recording:	08/01/21 112:35:13
Channel labels:	NORTH - SOUTH; EAST - WEST; UP - DOWN
GPS	data not available
Trace length:	0h20'00". Analyzed 85% trace (manual window selection)
Sampling frequency:	128 Hz
Window size:	20 s
Smoothing window:	Triangular window
Smoothing:	14%

Il grafico dello spettro di ampiezza delle componenti registrate dai canali velocimetrici (E-W, N-S, Up-Down) è riportato in [allegato 2](#), assieme alla storia temporale e alla curva  $H/V$  sperimentale per il sito in esame. Per l'elaborazione sono state utilizzate le tre componenti velocimetriche.

La curva  $H/V$  presenta una forte inversione alle frequenze comprese tra 40 e 10 Hz causate dalla pavimentazione rigida e ghiaia di riporto, inoltre alla frequenza di circa 50 Hz è presente un massimo imputabile al passaggio tra pavimentazione asfaltata e sottostante riporto. La massima frequenza imputabile alla curva  $H/V$  risulta essere di circa 2.4 Hz.

L'inversione della curva  $H/V$  sperimentale per ottenere un profilo delle onde di taglio S è stata vincolata sulla base delle informazioni derivate da un carotaggio rese disponibili dalla committenza.

Dal modello di velocità delle onde di taglio ottenuto è stato stimato il parametro  $V_{s,eq}$  rispetto all'attuale piano campagna pari a **370 m/s**.

## 6. Risultati della prova sismica *Down Hole* (DH)

La prova DH è stata realizzata all'interno del foro di sondaggio di lunghezza pari a 30 m, rivestito con tubazione in PVC a sezione circolare.

La sorgente P è stata posizionata a 2,80 m dal foro di sondaggio, la sorgente S a 2,5 m. L'acquisizione è stata eseguita con la frequenza di una misura per ogni metro.

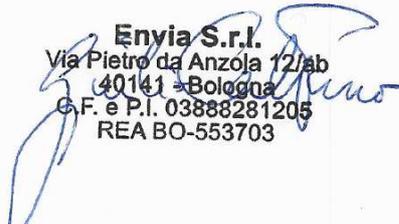
I risultati ottenuti dall'elaborazione della prova DH sono inseriti nell'[Allegato 3](#) secondo l'elenco seguente:

- Tempi di arrivo onde compressive e di taglio;
- Profilo velocità onde compressive e di taglio;
- Coefficiente di Poisson dinamico;
- Modulo di taglio dinamico;
- Modulo di elasticità dinamico;
- Modulo di compressibilità volumetrica dinamico.

Dal modello di velocità delle onde di taglio ottenuto è stato stimato il parametro  $V_{s,eq}$  rispetto all'attuale piano campagna pari a **395 m/s**.

Ai sensi dell'art. 3 Il D.M. 17 gennaio 2018, unicamente sulla base del parametro  $V_{s,eq}$  relativo all'attuale piano campagna, il sottosuolo ricade in **categoria B**. Tuttavia, il geologo incaricato, sulla base della conoscenza stratigrafica dell'area, derivata dalla sua esperienza professionale e dalle indagini geognostiche condotte nel sito in oggetto, nonché considerando le caratteristiche dell'opera in progetto e la tipologia di fondazioni, è tenuto a validare l'attribuzione alla suddetta categoria o considerare, ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018, un approfondimento mediante uno studio di risposta sismica locale.

Bologna, 14 Gennaio 2021



**Envia S.r.l.**  
Via Pietro da Anzola 12/ab  
40141 - Bologna  
G.F. e P.I. 03888281205  
REA BO-553703

## 7. Bibliografia

**Castellaro S. and Mulargia F., (2009).** The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys. Volume 166, Number 4, 567-592.*

**Fäh D., Kind F. and Giardini D., (2001).** A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophys. J. Int.* **145**, 535-549.

Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations, *Sesame European Research Project, December 2004.*

**Ibs-von Seht M. and Wohlenberg J., (1999).** Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **89**, 250-259.

**Lachet C. and Bard P. Y., (1994).** Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth* **42**, 377-397.

**Lermo J. and Chavez-Garcia F. J., (1994).** Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **84**, 1350-1364.

**Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., (2007).** Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica. *Il Geologo dell'Emilia Romagna Anno VII-2007 N.25 - Nuova serie.*

**Mulargia F., Castellaro S., (2009).** Experimental Uncertainty on the Vs(z) Profile and Seismic Soil Classification. *Seismological Research Letters*, Vol. 80, No. 6:985-988.

**Nakamura Y., (1989).** A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTI*, **30**, 25-33.

**Nogoshi M. e Igarashi T., (1970).** On the propagation characteristics of microtremors, *J. Seism. Soc. Japa*, **23**, 264-280.

**Roser J., and Gosar A., (2010).** Determination of Vs30 for seismic ground classification in the Ljubljana area, Slovenia. *ACTA GEOTECHNICA SLOVENICA*, 2010/1, 61-76.

---

## NORMATIVA

**D. Min. Infrastrutture 18 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni.**



Geologia Geofisica Ambiente  
[www.envia.it](http://www.envia.it)

**Opera**  
Indagine Sismiche – Via Aldo Moro,  
Vergato (BO)

**Committente**  
Geol. Thomas Veronese

**Elab.**  
2021\_0007\_ALL1\_DOCFOTO\_V00.docx  
Rev. 0 del 14/01/2021

G. Dal Forno - P. Durante  
+39 051 0956972  
[giulio.dalforno@envia.it](mailto:giulio.dalforno@envia.it)

---

PROVINCIA DI BOLOGNA  
**COMUNE DI VERGATO**

INDAGINI SISMICHE – VIA ALDO MORO  
**ALL.1: DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**

0	14/01/2021	Prima Emissione	U.Grechi	P. Durante	G. Dal Forno
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>PREPARATO</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>APPROVATO</b>



Foto 1 – Ubicazione misura HVSR



Foto 2 – Esecuzione misura *DOWN HOLE*



Geologia Geofisica Ambiente  
[www.envia.it](http://www.envia.it)

**Opera**  
Indagine Sismiche – Via Aldo Moro,  
Vergato (BO)

**Committente**  
Geol. Thomas Veronese

**Elab.**  
2021\_0007\_ALL1\_DOCFOTO\_V00.docx  
Rev. 0 del 14/01/2021

G. Dal Forno - P. Durante  
+39 051 0956972  
[giulio.dalforno@envia.it](mailto:giulio.dalforno@envia.it)

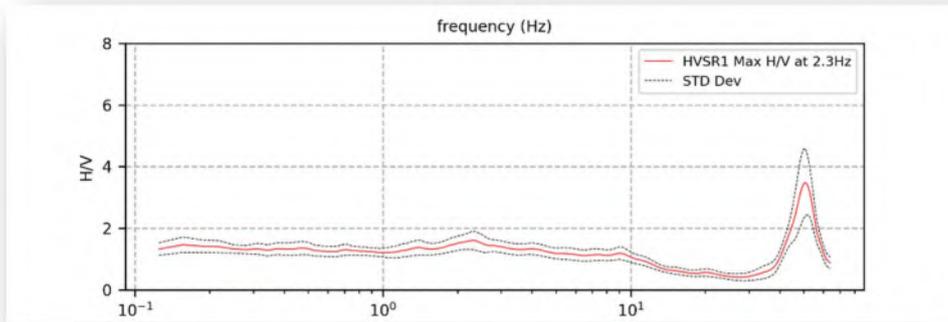
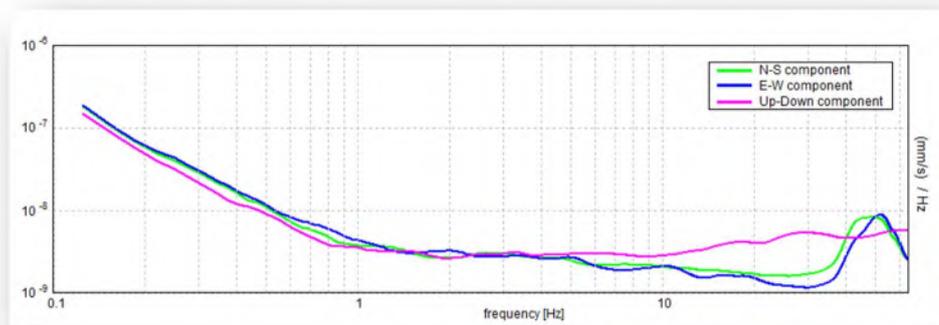
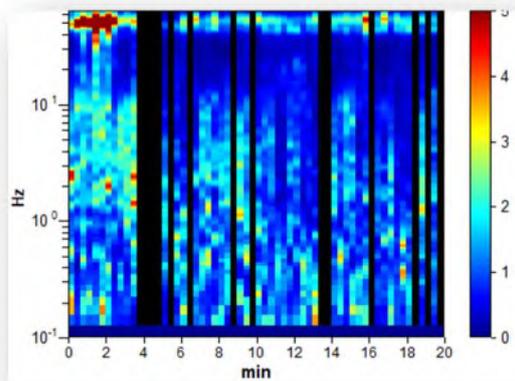
PROVINCIA DI BOLOGNA  
**COMUNE DI VERGATO**

**INDAGINE SISMICA HVSR – VIA ALDO MORO**

**ALL.2: HVSR**

0	14/01/2021	Prima Emissione	U.Grechi	P. Durante	G. Dal Forno
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>PREPARATO</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>APPROVATO</b>

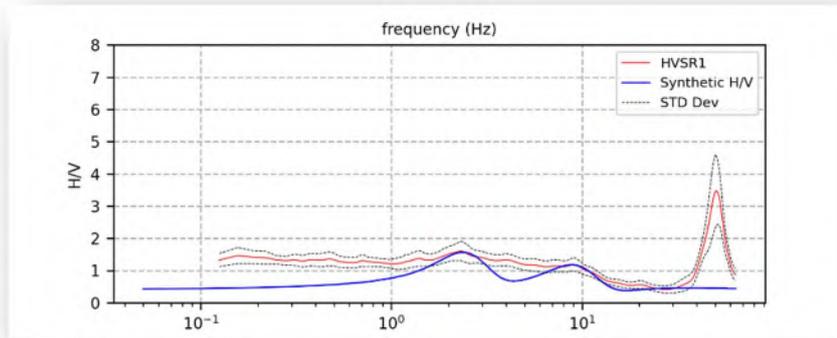
# Spettri

**A****B****C**

**A:** Curva H/V **B:** Andamento componenti velocimetriche (E-W, N-S, Up-Down); **C:** Storia temporale H/V (le bande di colore nero corrispondono alle finestre di registrazione eliminate)

# Modello

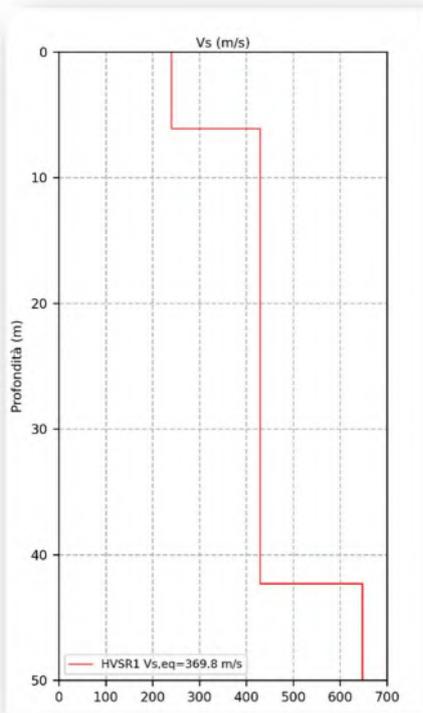
**A**



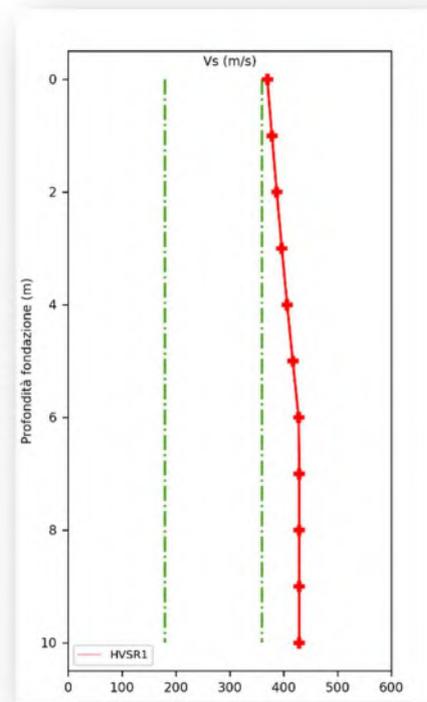
**B**

Prova	Letto (m da p.c.)	spessore (m)	Vs (m/s)
HVSR1	6.1	6.1	240.0
	42	36.2	429.0
	inf.	inf.	647.0

**C**



**D**



**A:** confronto tra curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (azzurro) ottenuta per il sito in oggetto; **B:** tabella dei valori di profondità, spessore, velocità Vs; **C:** modello della velocità delle onde di taglio (Vs) in funzione della profondità; **D:** andamento del parametro Vs30 in funzione della variazione della profondità del piano fondale della struttura in progetto.



Geologia Geofisica Ambiente  
[www.envia.it](http://www.envia.it)

**Opera**  
Indagine Sismiche – Via Aldo Moro,  
Vergato (BO)

**Committente**  
Geol. Thomas Veronese

**Elab.**  
2021\_0007\_ALL1\_DOCFOTO\_V00.docx  
Rev. 0 del 14/01/2021

G. Dal Forno - P. Durante  
+39 051 0956972  
[giulio.dalforno@envia.it](mailto:giulio.dalforno@envia.it)

PROVINCIA DI BOLOGNA  
**COMUNE DI VERGATO**

**INDAGINE SISMICA DOWN HOLE – VIA ALDO MORO**

**ALL.3: DOWN HOLE**

0	14/01/2021	Prima Emissione	U.Grechi	P. Durante	G. Dal Forno
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>PREPARATO</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>APPROVATO</b>

## Tempi di arrivo

### TEMPI DI ARRIVO

Committente: Dott. Geol. Thomas Veronese  
 Data: 08/01/2021  
 Cantiere: Vergato (BO)  
 Profondità Indagine **30 m**

PROFONDITÀ (m)	ARRIVI P (sec)	ARRIVI S (sec)
----------------	----------------	----------------

1	0.0041	0.0120
2	0.0045	0.0155
3	0.0050	0.0191
4	0.0054	0.0227
5	0.0058	0.0263
6	0.0063	0.0303
7	0.0069	0.0323
8	0.0074	0.0342
9	0.0079	0.0362
10	0.0084	0.0381
11	0.0089	0.0401
12	0.0094	0.0421
13	0.0100	0.0442
14	0.0105	0.0456
15	0.0110	0.0471
16	0.0115	0.0485
17	0.0120	0.0500
18	0.0125	0.0514
19	0.0131	0.0528
20	0.0135	0.0541
21	0.0139	0.0555
22	0.0144	0.0572
23	0.0148	0.0590
24	0.0154	0.0607
25	0.0160	0.0625
26	0.0166	0.0642
27	0.0172	0.0660
28	0.0178	0.0677
29	0.0184	0.0695
30	0.0190	0.0713

## Velocità P e S

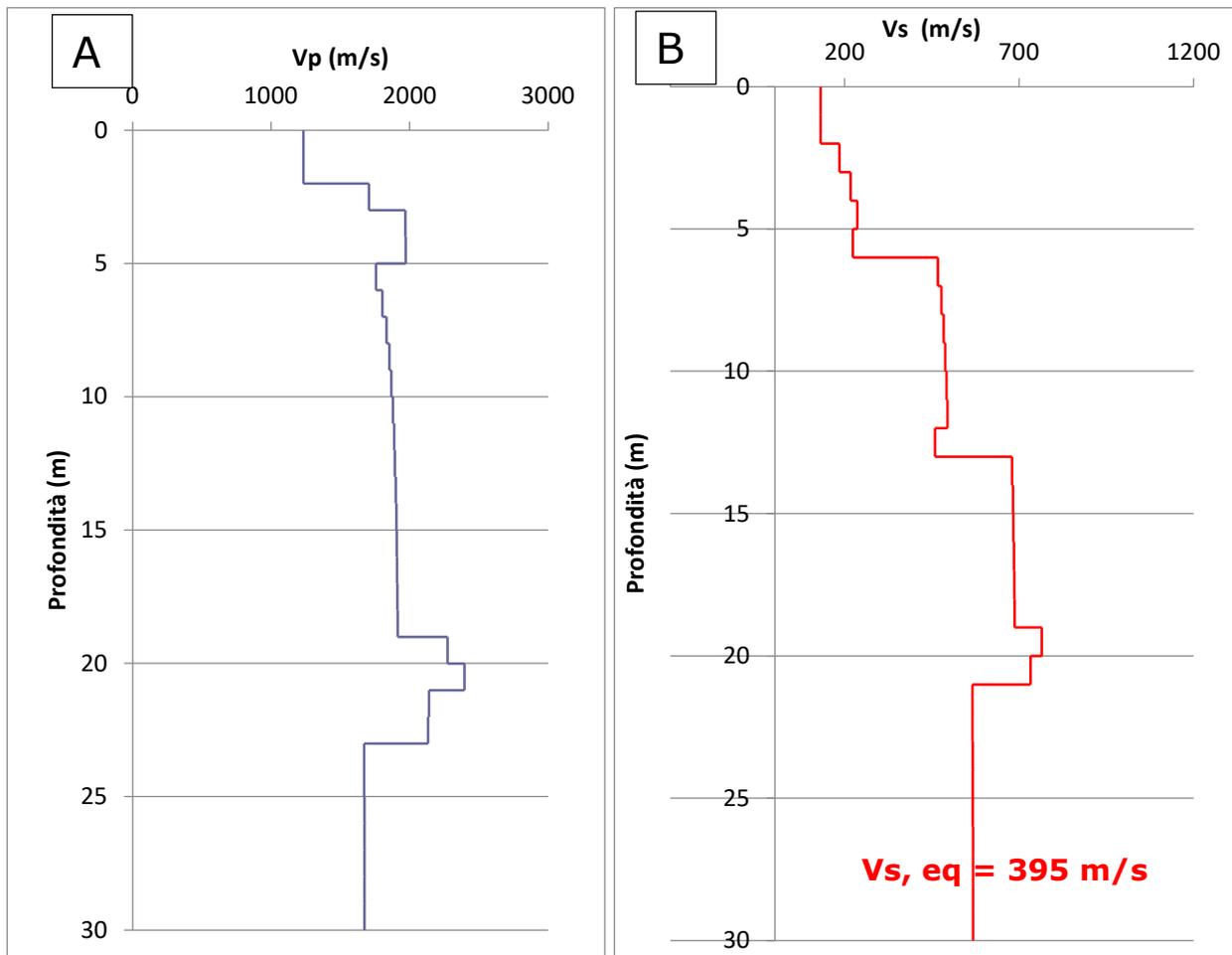
### VELOCITA'

Committente: Dott. Geol. Thomas Veronese  
 Data: 08/01/2021  
 Cantiere: Vergato (BO)  
 Profondità Indagine: **30 m**

PROFONDITÀ (m)	ARRIVI P (m/s)	ARRIVI S (m/s)
----------------	----------------	----------------

1	1233.5314	130.4640
2	1233.5314	130.4640
3	1705.1106	184.8599
4	1967.5822	217.2833
5	1969.5035	236.5389
6	1756.4999	223.2262
7	1801.2977	467.4355
8	1831.1417	476.8871
9	1851.8966	483.5232
10	1866.8544	488.3385
11	1877.9757	491.9323
12	1886.4404	494.6829
13	1893.0299	458.8475
14	1898.2666	680.0093
15	1902.4780	681.8890
16	1905.9236	683.4259
17	1908.7753	684.7030
18	1911.1616	685.7706
19	1913.1817	686.6745
20	2272.4807	765.1337
21	2394.7119	732.6304
22	2138.3768	565.8701
23	2132.5397	566.2824
24	1670.6031	566.6427
25	1671.3546	566.9601
26	1672.0121	567.2418
27	1672.6049	567.4921
28	1673.1323	567.7164
29	1673.6000	567.9174
30	1674.0291	568.0982

## Modelli velocità P e S



A) Modello velocità onde P, B) Modello velocità onde S

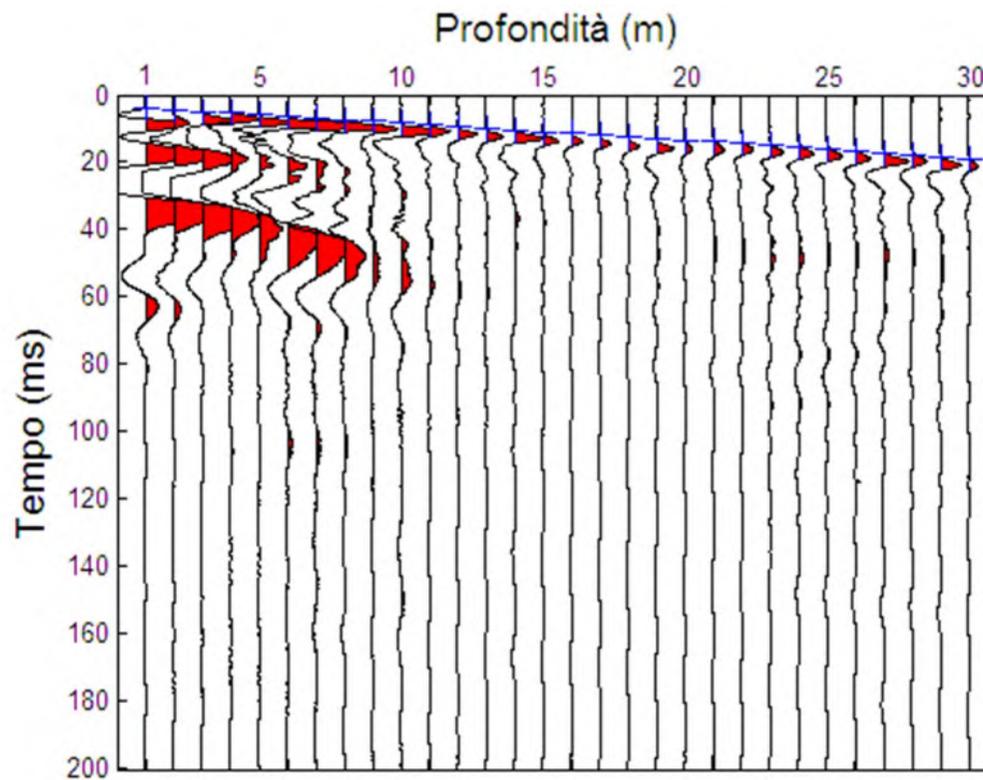
## Tabella Parametri elastici

### PARAMETRI ELASTICI

Committente: Dott. Geol. Thomas Veronese  
 Data: 08/01/2021  
 Cantiere: Vergato (BO)  
 Profondità  
 Indagine: 30

Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Coeff. di Poisson (ν)	Modulo di Taglio (G- MPa)	Modulo Elastico (E- MPa)	Modulo di Compr. Vol. (K- MPa)
1	1233.53	130.46	1837.17	0.49	31.27	93.46	2753.74
2	1233.53	130.46	1837.17	0.49	31.27	93.46	2753.74
3	1705.11	184.86	1992.05	0.49	68.07	203.41	5700.92
4	1967.58	217.28	2064.64	0.49	97.48	291.22	7863.05
5	1969.50	236.54	2065.15	0.49	115.55	344.95	7856.53
6	1756.50	223.23	2006.89	0.49	100.00	298.37	6058.51
7	1801.30	467.44	2019.57	0.46	441.27	1291.94	5964.48
8	1831.14	476.89	2027.88	0.46	461.18	1349.99	6184.73
9	1851.90	483.52	2033.60	0.46	475.45	1391.55	6340.35
10	1866.85	488.34	2037.70	0.46	485.94	1422.12	6453.75
11	1877.98	491.93	2040.72	0.46	493.85	1445.17	6538.74
12	1886.44	494.68	2043.02	0.46	499.95	1462.93	6603.81
13	1893.03	458.85	2044.80	0.47	430.51	1264.67	6753.65
14	1898.27	680.01	2046.21	0.43	946.20	2699.29	6111.77
15	1902.48	681.89	2047.35	0.43	951.96	2715.56	6140.94
16	1905.92	683.43	2048.27	0.43	956.69	2728.91	6164.86
17	1908.78	684.70	2049.04	0.43	960.63	2740.02	6184.68
18	1911.16	685.77	2049.68	0.43	963.93	2749.33	6201.30
19	1913.18	686.67	2050.22	0.43	966.72	2757.22	6215.39
20	2272.48	765.13	2140.36	0.44	1253.03	3598.88	9382.47
21	2394.71	732.63	2168.58	0.45	1163.98	3371.74	10884.05
22	2138.38	565.87	2108.06	0.46	675.02	1974.23	8739.40
23	2132.54	566.28	2106.62	0.46	675.54	1975.38	8679.60
24	1670.60	566.64	1981.89	0.43	636.35	1826.33	4682.82
25	1671.35	566.96	1982.11	0.43	637.14	1828.57	4687.37
26	1672.01	567.24	1982.31	0.43	637.83	1830.54	4691.35
27	1672.60	567.49	1982.49	0.43	638.45	1832.31	4694.94
28	1673.13	567.72	1982.64	0.43	639.01	1833.88	4698.14
29	1673.60	567.92	1982.78	0.43	639.51	1835.30	4700.97
30	1674.03	568.10	1982.91	0.43	639.95	1836.57	4703.57

## Sismogramma onde P



# Sismogramma onde S

