

## **STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA**

**Dott. Geol. Luca Tassone**

**Via di Santa Lucia n. 116**

**00013 – Fonte Nuova (Rm)**

**Tel.: 339-7226323**

**e-mail: lu.tassone@gmail.com**

**pec: luca.tassone@epap.sicurezzapostale.it**

**P.I.: 08975981005**

**C. Fisc.: TSSLCU72C08H501N**

**ORDINE GEOLOGI**

**REGIONE LAZIO N° 1673**

**COMUNE DI POMEZIA**

**CITTÀ METROPOLITANA DI ROMA CAPITALE**

**COMMITTENTE**

**COMUNE DI POMEZIA**

### **RELAZIONE GEOLOGICA**

*“MESSA IN SICUREZZA ED ADEGUAMENTO ALLA VIGENTE NORMATIVA SISMICA DELLA SCUOLA PRIMARIA MARTIN PESCATORE”*



*Febbraio 2021*

**Dott. Geol. LUCA TASSONE**



## ***INDICE***

<b>1. PREMESSA</b>	<b>pag. 1</b>
<b>2. UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO</b>	<b>pag. 3</b>
<b>3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO</b>	<b>pag. 5</b>
<b>4. ASSETTO GEOLOGICO - STRATIGRAFICO</b>	<b>pag. 7</b>
<b>5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE – INTERAZIONE DELLE OPERE CON LA FALDA IDRICA</b>	<b>pag. 11</b>
<b>6. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI E SISMICITA' DELL'AREA</b>	<b>pag. 13</b>
<b>7. VALUTAZIONE DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE</b>	<b>pag. 16</b>
<b>8. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI</b>	<b>pag. 21</b>
<b>9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>pag. 23</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>pag. 25</b>

## **ALLEGATI**

- 1. UBICAZIONE INDAGINI SU PLANIMETRIA DI PROGETTO*
- 2. CARTA GEOLOGICA 1:2.000*
- 3A SEZIONE GEOLOGICA "A"*
- 3B SEZIONE GEOLOGICA "B"*
- 4. STRALCIO DELLE PERIMETRAZIONI DELL'AUTORITÀ' DI BACINO*
- 5. ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE MONODIMENSIONALE*
- 6. FASCICOLO INDAGINI*

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i risultati dello studio geologico effettuato su un'area ubicata nel Comune di Pomezia (RM), al fine di identificarne le caratteristiche geologiche-idrogeologiche-geomorfologiche richieste per l'esecuzione della *Messa in sicurezza ed adeguamento alla vigente normativa sismica*. Inizialmente, nel lavoro in questione, è stato individuato il **Livello di pericolosità dell'opera** secondo il *Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico - Regolamento 26 ottobre 2020, n. 26*; l'opera in progetto è risultata soggetta ad un Livello di pericolosità Medio (fig. 1)

PROGETTI	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Fig. 1 – Livello di vulnerabilità dell'opera indicato dal cerchio rosso

Infatti, l'opera in progetto rientra tra le classi d'uso III, ricade in zona sismica 2b e non è un'opera pubblica.

In seguito, sono stati raccolti i dati bibliografici di natura geologica ed idrogeologica relativi a studi precedenti svolti nell'area in oggetto.

Successivamente è stato eseguito un rilevamento geologico al fine di individuare i litotipi presenti nella zona di studio e le loro caratteristiche litologiche.

Per la modellazione geologica del terreno sono state eseguite le seguenti indagini:

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo di cui n.1 completato a downhole e n.1 attrezzato con piezometro tipo norton
- n.3 DPSH
- n.1 Masw
- n.1 ReMi
- n.2 HVSr

Queste indagini sono state realizzate al fine di ottenere dati riguardanti i parametri geotecnici utili per la classificazione dei terreni di destinazione del progetto.

I risultati delle indagini sono riportati nel *Fascicolo indagini* allegato alla presente relazione geologica.

Infine, è stata eseguita un'analisi numerica di risposta sismica locale monodimensionale che è riportata in allegato 5.

## 2. UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

L'area oggetto di questo studio è situata nel Comune di Pomezia, in Via Torralba n.6, relativamente all'I.C. Enea – Scuola Primaria Martin Pescatore, ad una quota media di 8 m s.l.m., e con coordinate UTM rispettivamente 289506E – 4611665N rispetto al **Fuso 33 - Map datum: WGS84**.

Quest'area ricade all'interno della sezione 387140 della Carta Tecnica Regionale, scala 1:10.000 (fig. 3), nella sezione 387141 della Carta Tecnica Regionale, scala 1:5.000 (fig. 4), e nella Tavoletta IGM 158 IVno, scala 1:25.000.

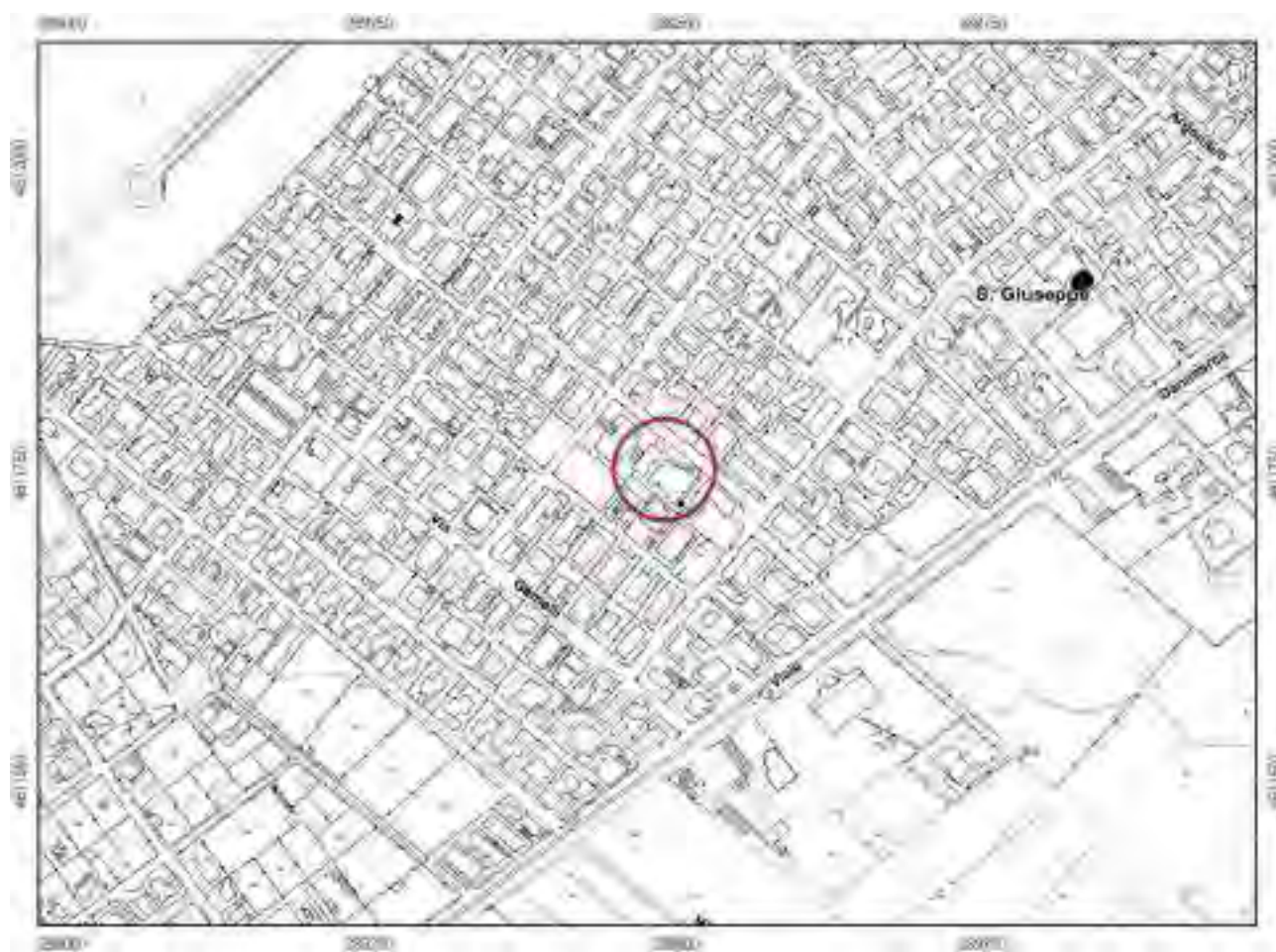


**Fig. 2** – Vista di porzione della Scuola Primaria Martin Pescatore





**Fig.3** - Stralcio della Carta Tecnica Regionale sezione 387140, scala 1:10.000  
Ubicazione dell'area di studio in rosso



**Fig.4** - Stralcio della Carta Tecnica Regionale (1:5.000) sezione 387141  
Ubicazione dell'area di studio in rosso

### 3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'area esaminata è collocata ad una quota di circa 8m s.l.m. si presenta sub-pianeggiante (max 2°), e la geomorfologia del settore di studio rispecchia le unità litologiche presenti, le quali generano una morfologia caratterizzata da modesti rilievi e vallecicole.

Dal punto di vista idrografico, il territorio indagato ricade all'interno di un sottobacino del Bacino Idrografico del Rio Torto RTO denominato GUR – RTO *Bacino della zona litoranea tra il fosso di Guardapasso escluso ed il Rio Torto* (REGIONE LAZIO; UFFICIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO) (fig. 5).

Questo bacino si sviluppa in direzione NE-SO dall'abitato di Pomezia fino alla costa.



**Fig. 5**– Bacino Idrografico del Rio Torto RTO. La freccia indica l'ubicazione dell'area di studio

Nell'area di studio non sono stati rilevati fenomeni franosi in atto o potenziali.

Si consiglia al progettista di avere cura che le opere in progetto siano dotate di un adeguato sistema di smaltimento delle acque meteoriche e di un sistema di drenaggio delle acque a scorrimento superficiale, ad evitare:

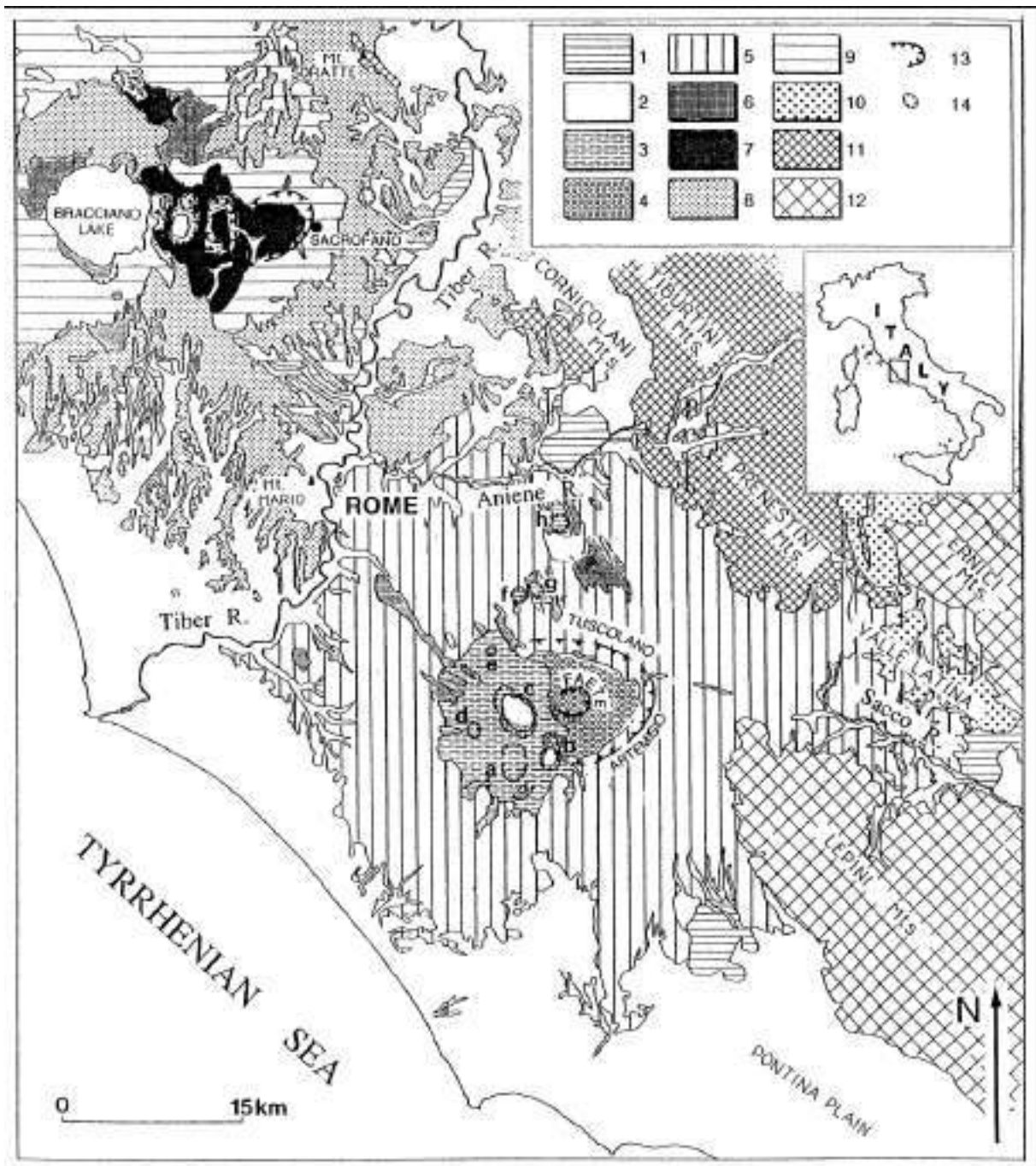
- a) qualsiasi azione di ruscellamento superficiale di acque selvagge, inalveandole in idonee canalizzazioni;
- b) la permeazione e la percolazione all'interno del terreno di fondazione

*La zona in oggetto non è soggetta al vincolo P.A.I. (allegato 4), e non ricade all'interno di parchi o aree protette.*



#### 4. ASSETTO GEOLOGICO - STRATIGRAFICO

L'area di studio ricade all'interno Foglio I.G.M. n° 158 Latina (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1962) della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, ed è composta dai depositi vulcanici provenienti dall'apparato dei Colli Albani eruttati durante la fase del Tuscolano-Artemisio (0,2-0,04 milioni di anni; DE RITA *et alii*, 1988; fig. 6) .



**Fig. 6** – Schema geologico dei Colli Albani. Ripreso da DE RITA *et alii*, 2002.

Legenda: 1: travertino; 2: unità sedimentarie Plio-Pleistoceniche; 3: Prodotti della fase vulcanica finale idromagmatica (a) Ariccia, (b) Nemi, (c) Albano, (d) Giuturna, (e) Valle Marciana, (f) Pantano Secco, (g) Prata Porci, (h) Castiglione; 4: Prodotti dei Colli Albani Faete; 5: Prodotti dei Colli Albani Tuscolano-Artemisio; 6: lava ; 7: prodotti idromagmatici dei Sabatini (Lago di Bracciano); 8: prodotti di ricaduta dei Sabatini; 9: ignimbriti dei Sabatini; 10: Flysch Tortoniano; 11: Depositi carbonatici bacinali Meso-Cenozoici; 12: Depositi carbonatici Meso-Cenozoici di piattaforma; 13: orlo di caldera; 14: cratere

La zona interessata dal progetto in questione è caratterizzata da depositi appartenenti a *Vulcanoclastiti* poste stratigraficamente al di sopra della *Unità di Riserva la Macchia* che passa verso il basso alla *Unità della Tenuta di Campo la Selva*. La formazione geologica stratigraficamente più bassa, individuata dalle indagini eseguite, è riconducibile alla *Formazione di Monte Vaticano*.

In tutta l'area si riscontrano 20-70cm di terreno di riporto.

Le vulcanoclastiti si presentano di colore marrone-rossastro ed arancione, a granulometria sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa, da moderatamente a mediamente addensate. Rare intercalazioni di tufo litoide.

L'*Unità di Riserva la Macchia* è costituita sabbie medie, colore marrone chiaro, grigio e giallastro, da moderatamente addensate a mediamente addensate, con intercalazioni di ghiaie in matrice sabbiosa.

L'*Unità della Tenuta di Campo la Selva* è caratterizzata da sabbie quarzose e ghiaie in matrice sabbiosa, di colore marroncina. A tratti gli strati ghiaiosi si presentano cementati.

La *Formazione di Monte Vaticano* è caratterizzata da argille e argille limose, grigie e grigio-azzurre, da consistenti a molto consistenti, con grado di consistenza che aumenta verso la parte bassa.

I risultati delle Indagini hanno evidenziato la presenza dei seguenti litotipi

- Terreno di riporto con spessore ridotto (max 0.8m)
- Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro moderatamente addensate
- Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro poco addensate
- Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate
- Tufo litoide
- Unità di Riserva la Macchia: sabbie di colore marrone chiaro, da mediamente addensate ad addensate
- Unità di Riserva la Macchia: sabbie grigio giallastre, da moderatamente a mediamente addensate
- Unità di Riserva la Macchia: ghiaie in matrice sabbiosa marroncina, da mediamente addensate a addensate
- Unità di Tenuta Campo Selva: ghiaie in matrice sabbiosa marroncina
- Formazione di Monte Vaticano: argille e argille limose consistenti

Al fine di chiarire il modello geologico di sottosuolo negli allegati 3A e 3B sono riportate le sezioni geologiche spinte fino a 30m dal p.c..

Questa carta è stata redatta in base alla cartografia geologica esistente (Foglio I.G.M. n° 387 Albano Laziale (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2009), al rilevamento geologico, ed in base ai risultati delle indagini.

## 5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE – INTERAZIONE DELLE OPERE CON LA FALDA IDRICA

L'area di studio ricade all'interno del *Complesso dei depositi alluvionali recenti* (CAPELLI *et alii*, 2005), nei pressi del limite con il *Complesso delle sabbie dunari*.

Il primo è caratterizzato da alluvioni ghiaiose, sabbiose, coperture eluviali e colluviali,

Il secondo *Complesso delle sabbie dunari* è caratterizzato da sabbie dunari, depositi interdunari, depositi di spiaggia recenti e dune deltizie..

Inoltre, l'area di studio è collocata all'interno del *Bacino idrogeologico dei corsi d'acqua del versante occidentale dei Colli Albani* (CAPELLI *et alii*, 2005).

Questo bacino possiede una superficie stimata in 509 km<sup>2</sup> ed è caratterizzato dai seguenti parametri idrogeologici in mm/anno (CAPELLI *et alii*, 2005):

Precipitazione: 750; Evapotraspirazione: 366; Ruscellamento: 135; Infiltrazione efficace: 253; Deflusso di base in alveo misurato: 62; Prelievi: 233.

In particolare, nell'area di studio è stato installato un piezometro tipo norton in corrispondenza del sondaggio S3; quindi, mediante delle misure freaticometriche, è stata individuata la falda principale ad una soggiacenza dal p.c. di circa 4.6m.

Questa falda è contenuta nei depositi sabbioso-ghiaiosi riconducibili alle *Unità di Riserva la Macchia* ed all'*Unità della Tenuta di Campo la Selva*. Le sottostanti argille della *Formazione di Monte Vaticano* costituiscono l'acquiclude dell'acquifero.

Di seguito, viene riportata la carta idrogeologica (fig. 8) ripresa dalla Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio (CAPELLI *et alii*, 2012).

***In definitiva, la scuola in oggetto non presenta interazioni con la falda idrica principale***

## 6. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI E SISMICITA' DELL'AREA

L'area di studio è condizionata principalmente da due distretti sismogenetici: l'area dell'Appennino centrale (Sismicità Regionale), l'area vulcanica dei Colli Albani (Sismicità locale). La sismicità regionale è rappresentata dalle strutture sismogenetiche dell'Appennino centrale collocate tra i 60 e 130 km da Roma e che hanno prodotto le intensità maggiori registrate nella capitale (VII-VIII MCS). In particolare i distretti dell'Aquilano e Fucino possono generare terremoti intensi con ipocentro collocabile tra i 10-15 km, come accaduto nell'ultimo sciame sismico dell'aprile 2009 che ha avuto come apice la scossa di Magnitudo Richter pari a 5,8.

La sismicità locale è principalmente dovuta all'attività dell'area vulcanica dei Colli Albani, caratterizzata da terremoti che raggiungono il V-VI MCS e con ipocentro tra i 5-10 km.

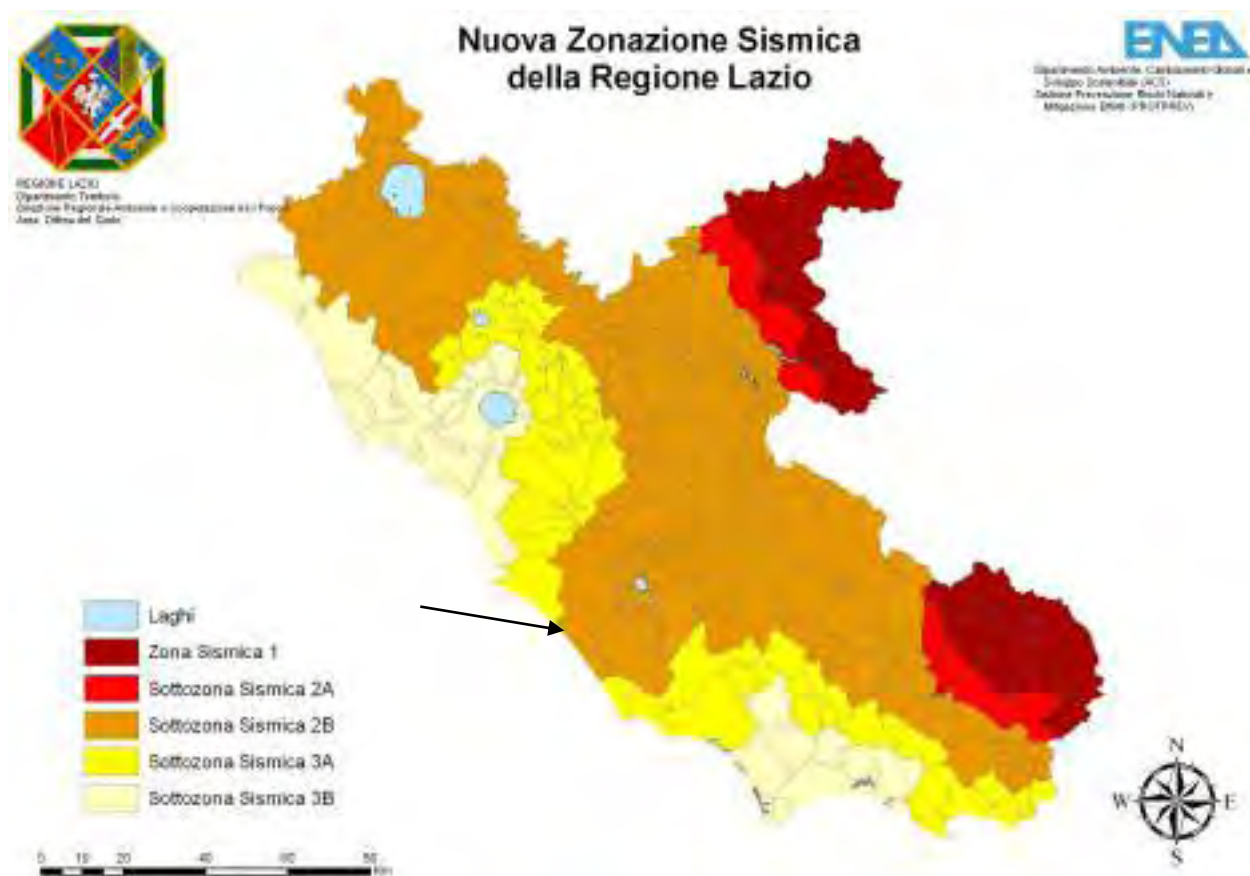
L'apparato vulcanico albano, d'altro canto, rappresenta una delle più attive strutture sismogenetiche fra quelle legate al vulcanismo recente e localizzate lungo il margine occidentale dell'Appennino. Come tutte le strutture del genere presenta una attività caratterizzata da limitata profondità degli ipocentri (generalmente inferiore ai 7 Km), distribuzione temporale degli eventi sismici "a sciame" e limitata intensità degli stessi (i valori di magnitudo non superano generalmente il valore di 4). Tra i terremoti più forti registrati sui Colli Albani, ricordiamo: 1806 (Rocca di Papa); 1892 (Lanuvio); 1899 (Frascati); 1927 (Nemi), tutti riferibili come VIII grado M.C.S. all'epicentro. In epoca recente, da ricordare lo sciame sismico del 1981, durato oltre 3 mesi e quello del 1989-1990, protrattosi per circa 1 anno, durante il quale sono state registrate oltre tremila scosse (tab. 1).

Tab.1 – Storia sismica di Pomezia (Ripresa da DBMI15)					
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
NF	1980 10 01 00 57 38.00	Frusinate	41	5	4.26
4	1987 04 11 02 26 23.43	Colli Albani	72	6	4.35
3	1989 04 23 23 32 20.51	Colli Albani	23	5	3.64
3	1989 10 19 23 33 25.26	Colli Albani	54	5-6	4.23
3	1989 10 23 21 19 17.62	Colli Albani	65	6	4.32
3	1989 12 19 14 28 20.92	Colli Albani	39	5-6	3.9
3	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5.77
4	1995 06 12 18 27 43.38	Campagna romana	125	5-6	3.79
3-4	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
5	2005 08 22 12 02 07.40	Costa laziale	57	5-6	4.78



Nel 1998-2001 è stata riformulata una nuova proposta di classificazione che ha aggiornato e modificato la vecchia classificazione del 1983. A seguito dei nuovi studi sulla sismica è stata redatta l'ordinanza del PCM n° 3274 del 20-03-2003, e con la Delibera di Giunta Regione Lazio n. 766 del 01.08.2003 - *"Riclassificazione sismica del territorio della Regione Lazio"* il Comune di Pomezia è stato classificato come Zona sismica **2**.

L'ultima riclassificazione sismica è relativa alla **DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE n. 387 del 22 Maggio 2009** (*Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28 Aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03*) che ha inserito il comune di Pomezia in **Zona 2 – Sottozona B** (fig. 9); quindi con un' *accelerazione di picco su terreno rigido* (accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni "ag" – riferimento elaborato all'84° percentile) compresa tra i seguenti valori:  $0.15 \leq a_g < 0.20$



**Fig. 9**– Stralcio dalla Mappa della Nuova Zonazione Sismica della Regione Lazio *DGR Lazio 387/2009*  
La freccia indica il Comune di Pomezia

Nel 17-01-2018 è stato pubblicato il Decreto Ministeriale che approva l'“Aggiornamento delle norme tecniche sulle costruzioni”; di seguito si presentano alcuni parametri relativi al sito in questione:

1. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO – Questo parametro è stato misurato mediante n.1 downhole, n.1 prospezione sismica ReMi, n.1 prospezione sismica Masw e n.1 misura HVSr (vedi allegato 6) elaborati in modo congiunto, che hanno fornito una Vs media nei 30 m al di sotto del piano di posa delle fondazioni ipotizzato a 1.8 m **V<sub>s</sub><sub>eq</sub>=330 m/s**.
2. Pertanto, nell'area di studio si ha una categoria di sottosuolo **C**: *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.*
3. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE – **T1** - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$
4. AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica **ST =1**

Infine, mediante la misura HVSr, è stato possibile determinare le frequenze di sito (allegato 6):

**f= 2.6Hz, f=0.6Hz, f<sub>0</sub> = 0.22Hz (frequenza fondamentale)**

Per quanto riguarda la risposta sismica locale di sito, si rimanda all'allegato 5.

## 7. VALUTAZIONE DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE

Vista la bassa soggiacenza della falda, 4.6m circa dal p.c., visto che le analisi granulometriche eseguite non escludono il rischio liquefazione, è stata eseguita una verifica di liquefazione mediante un metodo semplificato che utilizza la velocità delle onde di taglio secondo gli indirizzi dell'*Eurocodice 8 (ENV 1998-5)*.

In particolare, nella definizione degli spessori degli strati si è tenuto conto del modello geologico rappresentato nelle sezioni geologica, nonché dei risultati delle Masw, ReMi e downhole.

L'elaborazione è stata eseguita mediante il software *Liquiter* (Geostru) ed è stato utilizzato il Metodo basato sull'EC08.

Come la normativa europea, quella italiana ritiene che *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove sismiche a rifrazione (VS) viene stimata con la seguente correlazione:



$$V_{s1} = C_N \cdot V_S$$

Con

$$C_N = \left( \frac{1}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \leq 2.0$$

coeff. di normalizzazione rispetto alla pressione di confinamento.

$\sigma'_v$ , pressione verticale efficace espressa in [Kg/cm<sup>2</sup>].

$V_s$ , velocità misurata dell'onda di taglio S espressa in [m/s].

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta  $F_8 \leq 1.0$ .

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati e quindi deve essere  **$F_S \leq 1,25$** .

La probabilità di liquefazione  **$P_L$** , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$(4.8) P_L = \frac{1}{1 + \left( \frac{F_S}{0,72} \right)^{3,1}}$$

In particolare sono stati inseriti i dati di input riportati di seguito e nelle tabelle 2-3:

**Numero di strati = 4**

**Profondità della falda = 4.6 m**

**Magnitudo del sisma = 6**

**Accelerazione massima al suolo = 0.25**

TABELLA 2 – DATI DI INPUT PER VERIFICA LIQUEFAZIONE							
Strato Nr.	Descrizione (-)	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Nr. colpi medio (Nspt)	Velocità $V_s$ (m/s)
1	Piroclastiti	0	4.5	18.9	20.2	5.5	223
2	Sabbia pulita	4.5	8	20.4	20.6	30	301
3	Sabbia limoso-argillosa	8	12	20.4	20.6	40	351
4	Ghiaia sabbiosa	12	15	20.4	20.6	45	411

TABELLA 3 – DATI DI INPUT PER VERIFICA LIQUEFAZIONE				
Strato Nr.	Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo di suolo
1	5	8	$\leq 10$	C - Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza
2	21	12	$\leq 10$	C - Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza
3	21	12	$\leq 10$	C - Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza
4	10	5	$\leq 10$	B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o di argille molto consistenti

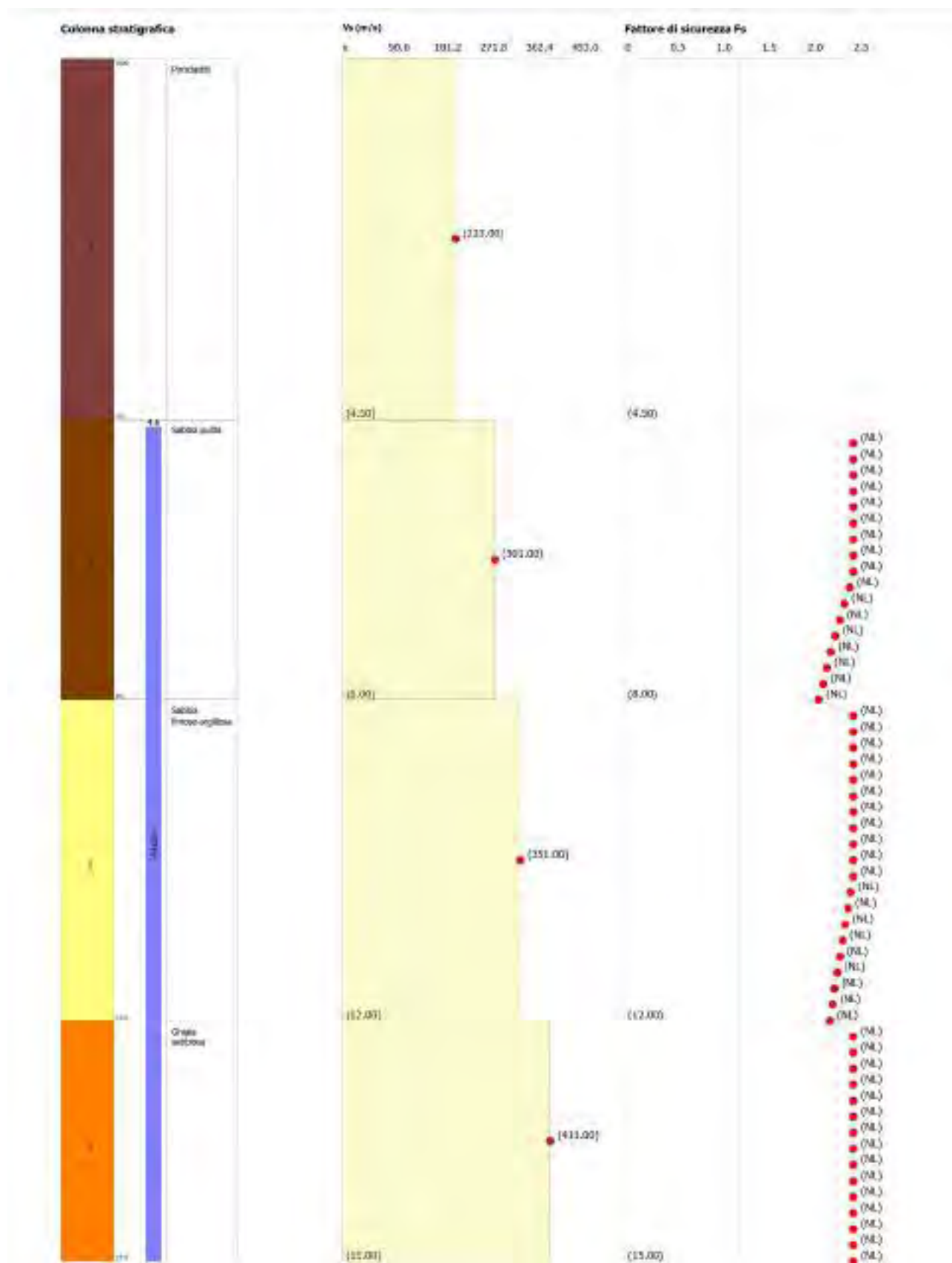


I risultati sono riportati in tabella 4 ed in fig. 10

**TABELLA 4 – RISULTATI DELLA VERIFICA DI LIQUEFAZIONE**

Correzione per la magnitudo (MSF) = 2.2

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	4.80	91.21	89.2487	309.6821	200.00	0.9633	0.2749	0.0868	3.17	NL	1.0002
2	5.00	95.33	91.4073	307.8373	200.00	0.9618	0.2714	0.0886	3.06	NL	1.1146
3	5.20	99.45	93.566	306.0462	200.00	0.9602	0.2679	0.0903	2.97	NL	1.2214
4	5.40	103.57	95.7247	304.306	200.00	0.9587	0.2646	0.0919	2.88	NL	1.342
5	5.60	107.69	97.8834	302.6142	200.00	0.9572	0.2614	0.0935	2.80	NL	1.4627
6	5.80	111.81	100.042	300.9684	200.00	0.9556	0.2582	0.0949	2.72	NL	1.598
7	6.00	115.93	102.2007	299.3664	200.00	0.9541	0.2552	0.0964	2.65	NL	1.7302
8	6.20	120.05	104.3594	297.8061	200.00	0.9526	0.2523	0.0977	2.58	NL	1.8771
9	6.40	124.17	106.518	296.2857	200.00	0.951	0.2494	0.099	2.52	NL	2.0162
10	6.60	128.29	108.6767	294.8033	200.00	0.9495	0.2466	0.1003	2.46	NL	2.1692
11	6.80	132.41	110.8354	293.3573	200.00	0.948	0.2439	0.1015	2.40	NL	2.3378
12	7.00	136.53	112.994	291.9461	200.00	0.9465	0.2413	0.1026	2.35	NL	2.4915
13	7.20	140.65	115.1527	290.5681	200.00	0.9449	0.2387	0.1038	2.30	NL	2.6587
14	7.40	144.77	117.3114	289.2221	200.00	0.9434	0.2362	0.1048	2.25	NL	2.8409
15	7.60	148.89	119.47	287.9067	200.00	0.9419	0.2338	0.1059	2.21	NL	2.9984
16	7.80	153.01	121.6287	286.6206	200.00	0.9403	0.2314	0.1069	2.17	NL	3.1676
17	8.00	157.13	123.7874	285.3628	200.00	0.9388	0.2291	0.1078	2.12	NL	3.3969
18	8.20	161.25	125.946	331.3302	200.00	0.9373	0.3179	0.1088	2.92	NL	1.2865
19	8.40	165.37	128.1047	329.9255	200.00	0.9357	0.3151	0.1097	2.87	NL	1.3563
20	8.60	169.49	130.2634	328.55	200.00	0.9342	0.3123	0.1105	2.83	NL	1.4158
21	8.80	173.61	132.4221	327.2028	200.00	0.9327	0.3096	0.1114	2.78	NL	1.495
22	9.00	177.73	134.5807	325.8828	200.00	0.9312	0.3069	0.1122	2.74	NL	1.5627
23	9.20	181.85	136.7394	324.5889	200.00	1.1494	0.3043	0.113	2.69	NL	1.653
24	9.40	185.97	138.8981	323.3204	200.00	1.1489	0.3018	0.1137	2.65	NL	1.7302
25	9.60	190.09	141.0567	322.0762	200.00	1.1484	0.2993	0.1145	2.61	NL	1.8122
26	9.80	194.21	143.2154	320.8557	200.00	1.1478	0.2968	0.1152	2.58	NL	1.8771
27	10.00	198.33	145.3741	319.6578	200.00	1.1473	0.2945	0.1159	2.54	NL	1.9684
28	10.20	202.45	147.5327	318.4821	200.00	1.1468	0.2921	0.1166	2.51	NL	2.0407
29	10.40	206.57	149.6914	317.3276	200.00	1.1462	0.2899	0.1172	2.47	NL	2.1427
30	10.60	210.69	151.8501	316.1938	200.00	1.1457	0.2876	0.1179	2.44	NL	2.2236
31	10.80	214.81	154.0088	315.08	200.00	1.1452	0.2854	0.1185	2.41	NL	2.3085
32	11.00	218.93	156.1674	313.9854	200.00	1.1446	0.2833	0.1191	2.38	NL	2.3977
33	11.20	223.05	158.3261	312.9097	200.00	1.1441	0.2812	0.1197	2.35	NL	2.4915
34	11.40	227.17	160.4848	311.8521	200.00	1.1436	0.2791	0.1202	2.32	NL	2.5901
35	11.60	231.29	162.6434	310.8122	200.00	1.143	0.2771	0.1208	2.29	NL	2.6939
36	11.80	235.41	164.8021	309.7893	200.00	1.1425	0.2751	0.1213	2.27	NL	2.7661
37	12.00	239.53	166.9608	308.7831	200.00	1.142	0.2732	0.1219	2.24	NL	2.8792
38	12.20	243.65	169.1194	360.4072	200.00	1.1414	0.3793	0.1277	2.97	NL	1.2214
39	12.40	247.77	171.2781	359.2662	200.00	1.1409	0.3768	0.1282	2.94	NL	1.2599
40	12.60	251.89	173.4368	358.143	200.00	1.1404	0.3744	0.1287	2.91	NL	1.3001
41	12.80	256.01	175.5955	357.0372	200.00	1.1398	0.3719	0.1292	2.88	NL	1.342
42	13.00	260.13	177.7542	355.9483	200.00	1.1393	0.3696	0.1297	2.85	NL	1.3856
43	13.20	264.25	179.9128	354.8757	200.00	1.1388	0.3672	0.1302	2.82	NL	1.4312
44	13.40	268.37	182.0715	353.8192	200.00	1.1382	0.3649	0.1306	2.79	NL	1.4787
45	13.60	272.49	184.2302	352.7781	200.00	1.1377	0.3627	0.1311	2.77	NL	1.5116
46	13.80	276.61	186.3888	351.7522	200.00	1.1372	0.3605	0.1315	2.74	NL	1.5627
47	14.00	280.73	188.5475	350.7411	200.00	1.1366	0.3583	0.132	2.71	NL	1.616
48	14.20	284.85	190.7062	349.7443	200.00	1.1361	0.3561	0.1324	2.69	NL	1.653
49	14.40	288.97	192.8648	348.7615	200.00	1.1356	0.354	0.1328	2.67	NL	1.691
50	14.60	293.09	195.0235	347.7924	200.00	1.135	0.352	0.1332	2.64	NL	1.7502
51	14.80	297.21	197.1822	346.8366	200.00	1.1345	0.3499	0.1336	2.62	NL	1.7912
52	15.00	301.33	199.3408	345.8938	200.00	1.134	0.3479	0.134	2.60	NL	1.8335



**Fig. 10** – Valutazione del rischio di liquefazione - Metodo di verifica: EC08 - Diagramma Vs-Fs

*Dalla verifica di liquefazione risulta che i terreni saturi presenti nell'area di studio non sono liquefacibili.*

## 8. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per la caratterizzazione geotecnica dei depositi presenti nei settori di studio, sono state effettuate n.3 prove penetrometriche DPSH (allegato 6), n.3 sondaggi a carotaggio continuo (allegato 6) corredati dal prelievo di n.4 campioni indisturbati con relative analisi di laboratorio e n.6 Spt in foro (allegato 6).

Comunque, in generale le indagini hanno attraversato n.10 strati/litotipi a differenti caratteristiche geotecniche, gli strati sono stati distinti nelle sezioni geologiche negli allegati 3A - 3B, e sono stati numerati dalle stringhe che corrispondono alle numerazioni riportate nella tabella 5:

Terreno di riporto con spessore ridotto (max 0.8m)

1. Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro moderatamente addensate
2. Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro poco addensate
3. Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate

3bis Tufo litoide

4. Unità di Riserva la Macchia: sabbie di colore marrone chiaro, da mediamente addensate ad addensate
5. Unità di Riserva la Macchia: sabbie grigio giallastre, da moderatamente a mediamente addensate

5bis Unità di Riserva la Macchia: ghiaie in matrice sabbiosa marroncina, da mediamente addensate a addensate

6. Unità di Tenuta Campo Selva: ghiaie in matrice sabbiosa marroncina
7. Formazione di Monte Vaticano: argille e argille limose consistenti

Sono stati caratterizzati dal punto di vista geotecnico i litotipi appartenenti agli strati 1-2-3-4-5-7.

Quindi, il modello geologico di dettaglio è visibile nelle sezioni geologiche negli allegati 3A - 3B.

I valori dei parametri geotecnici dei terreni interessati sono esposti nella tabella 5 seguente.

In particolare, in questa tabella sono stati inseriti i valori geotecnici distinti per litotipo e, soprattutto, sono riportati i valori medi dei parametri geotecnici ottenuti dalle prove di laboratorio, SPT e DPSH.

Per ulteriori parametri geotecnici si rimanda all'allegato 6

Per i moduli geofisici si rimanda all'allegato 6 ed in particolare ai risultati del downhole.

**TABELLA 5 – Valori dei coefficienti geotecnici**

	<i>1. Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro moderatamente addensate</i>	<i>2. Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro poco addensate</i>	<i>3. Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate</i>
<i>Densità relativa</i>	37	23.5	48.5
<i>Angolo d'attrito (°)</i>	29	24.8	32
<i>Peso unità di volume (kN/m<sup>3</sup>)</i>	18.9	16	19.4
<i>Peso unità di volume saturo (kN/m<sup>3</sup>)</i>	20.2	17	19.5
<i>Coesione drenata (Kpa)</i>	4	0	4
<i>Modulo Edometrico (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	74	39	116
	<i>4. Unità di Riserva la Macchia: sabbie di colore marrone chiaro, da mediamente addensate ad addensate</i>	<i>5. Unità di Riserva la Macchia: sabbie grigio giallastre, da moderatamente a mediamente addensate</i>	<i>7. Formazione di Monte Vaticano: argille e argille limose consistenti</i>
<i>Densità relativa</i>	60	35 - 45	n.d.
<i>Angolo d'attrito (°)</i>	36	27 - 29.5	20.2
<i>Peso unità di volume (kN/m<sup>3</sup>)</i>	17	17 - 19.4	17.8
<i>Peso unità di volume saturo (kN/m<sup>3</sup>)</i>	18	18 - 19.5	18.3
<i>Coesione drenata (Kpa)</i>	0	5 - 9.2	19.2
<i>Modulo Edometrico (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	180	80 - 110	n.d.

## 9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In definitiva, in base ai dati raccolti dall'analisi di terreno, alle informazioni reperite da bibliografia ed ai risultati delle indagini si può concludere che:

1. Le opere in progetto risultano soggette ad un Livello di Pericolosità medio
2. La zona interessata dal progetto in questione è caratterizzata da depositi appartenenti a *Vulcanoclastiti* poste stratigraficamente al di sopra della *Unità di Riserva la Macchia* che passa verso il basso alla *Unità della Tenuta di Campo la Selva*. La formazione geologica stratigraficamente più bassa, individuata dalle indagini eseguite, è riconducibile alla *Formazione di Monte Vaticano*.
3. In tutta l'area si riscontrano 20-70cm di terreno di riporto.
4. Non sono stati riscontrati elementi tettonici in superficie
5. In allegato 2 si riporta la carta geologica in scala 1:2.000
6. La zona in oggetto ricade all'interno del sottobacino del Bacino Idrografico del Rio Torto RTO denominato GUR – RTO *Bacino della zona litoranea tra il fosso di Guardapasso escluso ed il Rio Torto* (REGIONE LAZIO; UFFICIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO)
7. *Il sondaggio S3 è stato strumentato con piezometro; mediante misure freaticometriche nel sondaggio S3 è stata rilevata la soggiacenza della falda a 4.6m dal p.c., la superficie piezometrica può subire variazioni di profondità legate alla piovosità.*
8. ***Interazione delle opere con la falda idrica:*** poiché le fondazioni si presume che siano collocate a 1.8m dal p.c., l'opera in progetto non risulta interagente con la falda idrica che possiede la superficie piezometrica a 4.6m dal p.c.
9. *La zona in oggetto non è soggetta al vincolo P.A.I. (allegato 4), e non ricade all'interno di parchi o aree protette.*
10. Il comune di Pomezia non è ancora in possesso del Livello 1 di Microzonazione Sismica Validato.
11. Nell'area di studio si ha una categoria di sottosuolo **C**, anche se per la modellazione sismica vanno utilizzati i risultati della risposta sismica locale in allegato 5
12. Nell'area di studio si ha una categoria topografica **T1**
13. Nell'area di studio si ha un valore del coefficiente di amplificazione topografica **ST=1**
14. ***Caratteristiche stratigrafiche che possono influenzare la risposta sismica locale:*** dai risultati dei sondaggi e dai risultati delle misure HVSR, non sono presenti evidenti picchi connessi a



*variazioni stratigrafiche, che influenzano in maniera efficace la risposta sismica locale del sito. In particolare le frequenze di sito degne di nota sono (allegato 6):  $f = 2.6\text{Hz}$ ,  $f = 0.6\text{Hz}$ ,  $f_0 = 0.22\text{Hz}$  (frequenza fondamentale)*

15. ***Caratteristiche morfologiche che possono influenzare la risposta sismica locale:** poiché l'area ricade in un settore pianeggiante, non si hanno interferenze topografiche-morfologiche con la risposta sismica locale di sito*
16. *Dall'analisi di risposta sismica locale risulta che, per tutti gli stati limite, gli spettri di output risultano più bassi in valori di accelerazione rispetto agli spettri normalizzati desunti dalle categorie di sottosuolo.*
17. *Si consiglia al progettista di avere cura che le opere in progetto siano dotate di un adeguato sistema di smaltimento delle acque meteoriche ad evitare:*
  - *qualsiasi azione di ruscellamento superficiale di acque selvagge, inalveandole in idonee canalizzazioni;*
  - *la permeazione e la percolazione all'interno del terreno di fondazione.*
18. *Dai risultati della verifica di liquefazione risulta che i terreni saturi presenti nell'area di studio non sono liquefacibili.*
19. *Non risultano essere presenti eventuali prescrizioni previste dall'eventuale parere rilasciato ai sensi dell'articolo 89 del DPR380/2001*
20. *Tenendo conto delle prescrizioni menzionate al punto 16, l'area risulta idonea alla progettazione in questione*

## 10. BIBLIOGRAFIA

**BONI C., BONO P. & CAPELLI G.** (1983) – *Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio*. Regione Lazio, Assessorato alla Programmazione; Università degli Studi di Roma “La Sapienza”.

**CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C.** (2005) – *Strumenti e Strategie per la tutela e l’uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici*. Quaderni di tecniche e di protezione ambientale, **78**.

**REGIONE LAZIO** – *Piano di Tutela Regionale delle acque*

**SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA** (2009) - *Foglio 387 (Albano Laziale) della Carta Geologica d’Italia, scala 1:50.000*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

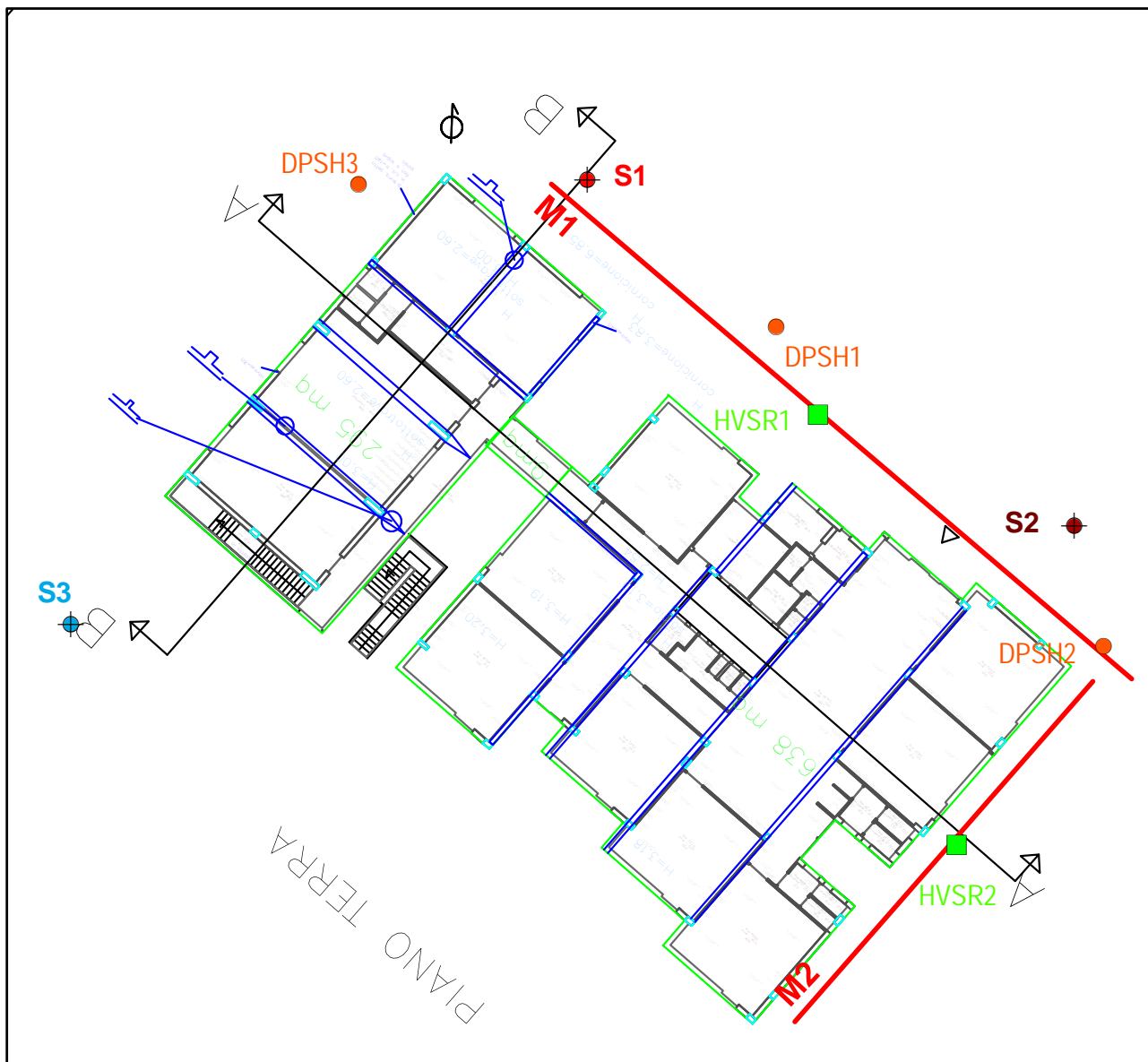
**VENTRIGLIA U.** (1971) – *Idrogeologia della provincia di Roma*. Amministrazione Provinciale di Roma.

Data: 21-02-2021

**Geologo Luca Tassone**

# ALLEGATO 1 - UBICAZIONE INDAGINI SU PIANTA

Scala 1:400



■ HVSR

— MASW

● DPSH

● Sondaggio a carotaggio continuo / Downhole

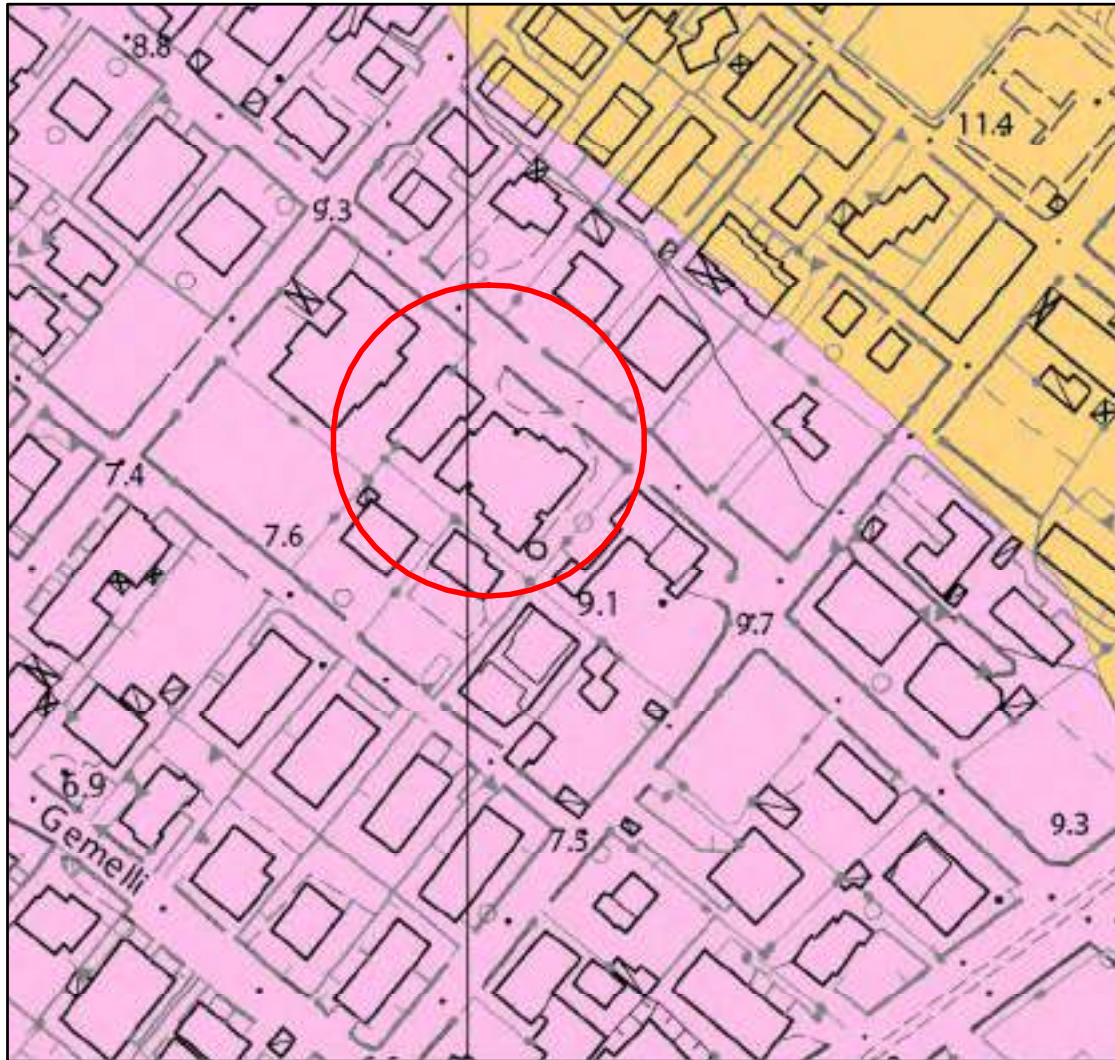
● Sondaggio a carotaggio continuo


● Sondaggio a carotaggio continuo / Piezometro


Geologo Luca Tassone

## ALLEGATO 2 - CARTA GEOLOGICA

Scala 1:2.000



 **Vulcanoclastiti** di colore marrone-rossastro ed arancione, a granulometria sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa, da moderatamente a mediamente addensate. Rare intercalazioni di tufo litoide. Pleistocene superiore

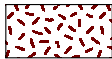
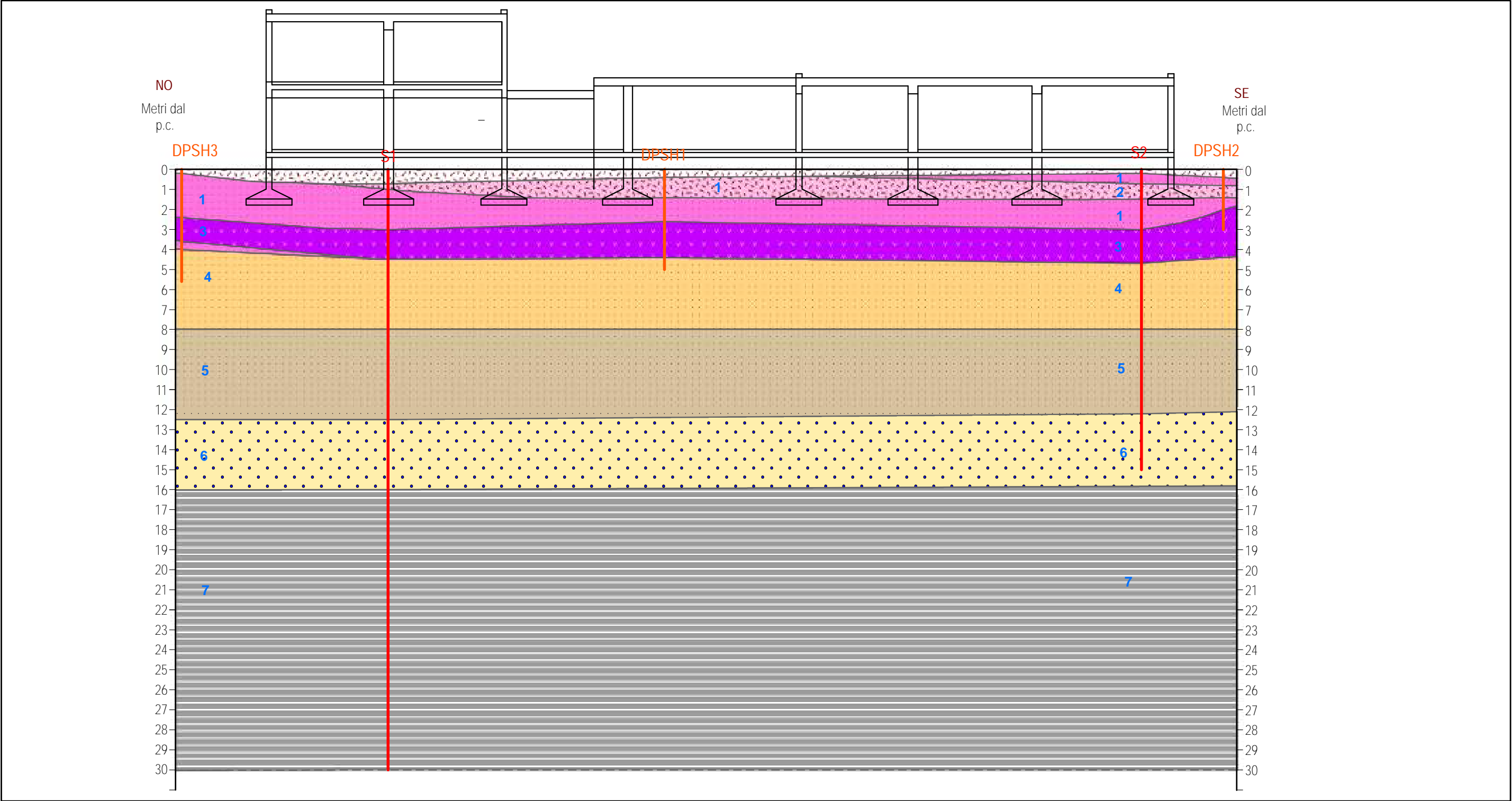
 **Unità di Riserva della Macchia:** sabbie medie, colore marrone chiaro, grigio e giallastro, da moderatamente addensate a mediamente addensate, con untercalazioni di ghiaie in matrice sabbiosa. (Pleistocene superiore)

 Area di studio

ALLEGATO 3A - SEZIONI GEOLOGICA "A"

Scala 1:200

Geologo Luca Tassone



Terreno di riporto



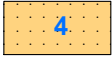
Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro moderatamente addensate



Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro poco addensate



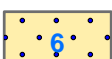
Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate



Unità di Riserva la Macchia: sabbie di colore marrone chiaro, da mediamente addensate ad addensate



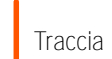
Unità di Riserva la Macchia: sabbie grigio giallastre, da moderatamente a mediamente addensate



Unità di Tenuta Campo Selva: ghiaie in matrice sabbiosa marroncina



Formazione di Monte Vaticano: argille e argille limose consistenti



Traccia DPSH



Traccia sondaggio

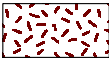
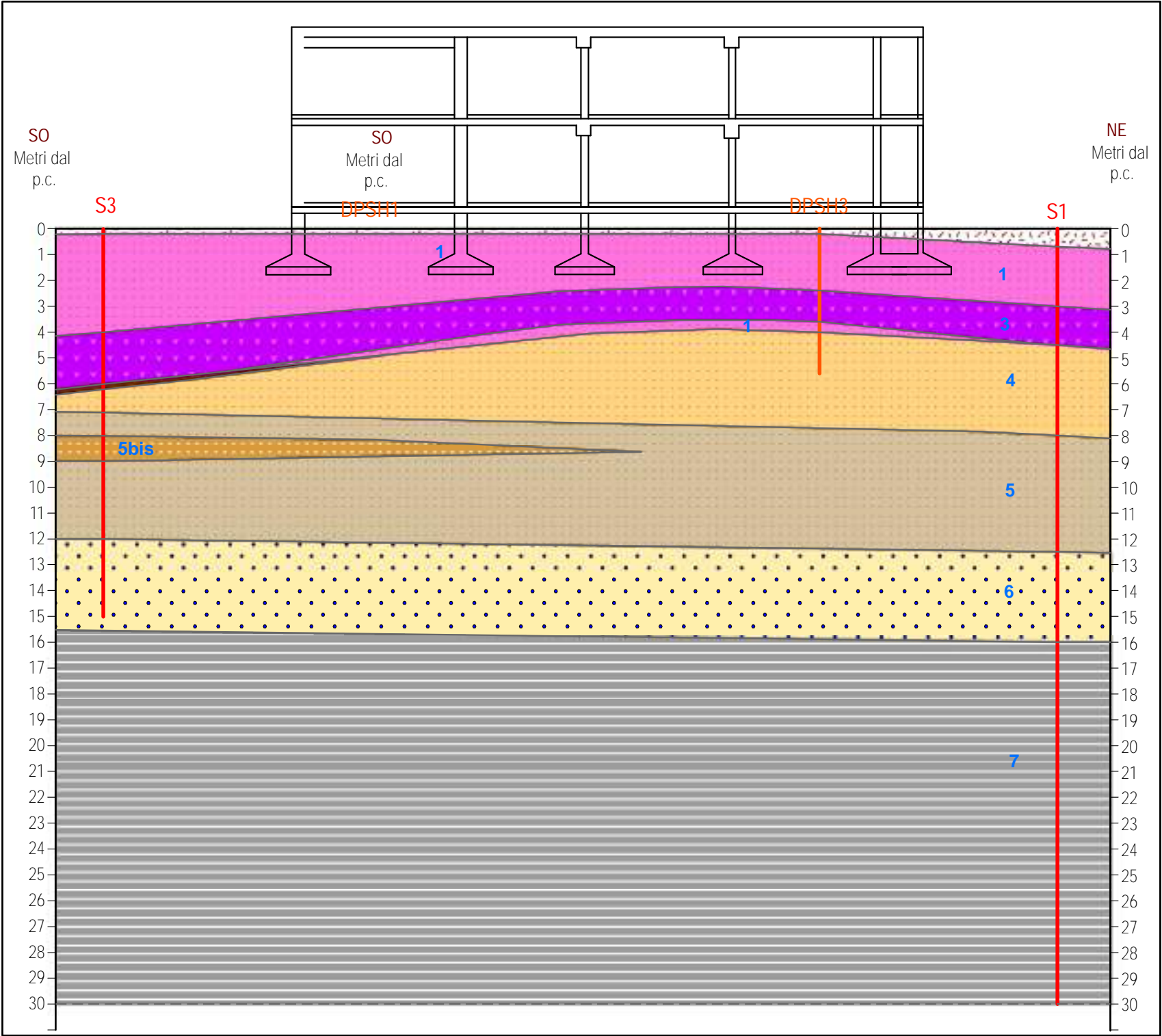
1 Numerazione di riferimento dello strato



ALLEGATO 3B - SEZIONI GEOLOGICA "B"

Scala 1:200

Geologo Luca Tassone



Terreno di riporto



Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro moderatamente addensate



Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro poco addensate



Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate



Tufo litoide



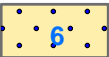
Unità di Riserva la Macchia: sabbie di colore marrone chiaro, da mediamente addensate ad addensate



Unità di Riserva la Macchia: sabbie grigio giallastre, da moderatamente a mediamente addensate



Unità di Riserva la Macchia: ghiaie in matrice sabbiosa marroncina, da mediamente addensate a addensate



Unità di Tenuta Campo Selva: ghiaie in matrice sabbiosa marroncina



Formazione di Monte Vaticano: argille e argille limose consistenti



Traccia DPSH



Traccia sondaggio





1 Numerazione di riferimento dello strato

## ALLEGATO 4

Stralcio delle perimetrazioni dell'Autorità di Bacino ripreso dal *“Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)”* Approvato con *Deliberazione Consiglio Regionale n° 17 del 04/04/2012 (B.U.R.L. 21 del 07/06/2012 S.O. n° 35)* aggiornato con *Decreti del Segretario Generale n° 1/2012, n° 2/2012, n° 3/2012, n° 4/2012, n° 5/2012, n° 6/2012, n° 1/2013, n° 2/2013, n° 4/2013, n° 5/2013, n° 6/2013, n° 7/2013, n° 8/2013, n° 9/2013, n° 10/2013, n° 11/2013, n° 12/2013, n° 1/2014, n° 2/2014, n° 4/2014, n° 1/2015, n° 2/2015, n° 3/2015, n° 4/2015, n° 5/2015, n° 6/2015, n° 7/2015*



Area di studio

AREE SOTTOPOSTE A TUTELA PER PERICOLO DI FRANA (artt. 6 - 16 - 17 - 18)	
	Aree a Pericolo A (c. 2 art. 6 e art. 16)
	Aree a Pericolo B (c. 2 art. 6 e art. 17)
	Aree a Pericolo C (c. 2 art. 6 e art. 18)
	Ambiti territoriali caratterizzati, allo stato delle conoscenze disponibili, dall'assenza di elementi documentali tali da consentire la definizione della pericolosità

## **ALLEGATO 5 - ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE MONODIMENSIONALE**

### **1.PREMESSA**

Nella presente relazione si riportano i risultati di un'analisi di risposta sismica locale relativa ad un sito ubicato in Via Torralba, nel Comune di Pomezia (RM).

In particolare, per la valutazione degli effetti sismici di sito sono state eseguite le seguenti operazioni:

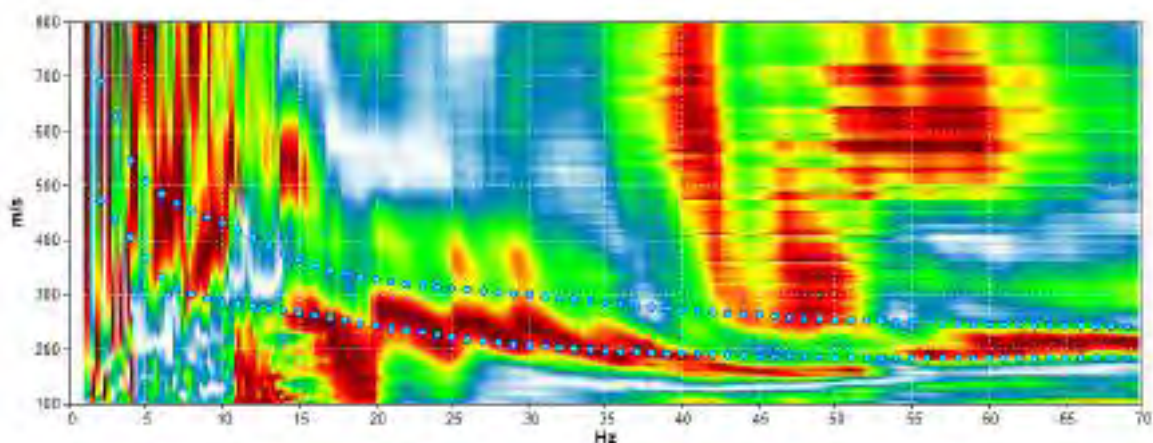
- ✓ Definizione del modello geologico-geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette (sondaggi, downhole, DPSH), indirette (Masw, ReMi, Misura HVSR), cartografie geologiche preesistenti
- ✓ Scelta dell'input sismico
- ✓ Stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza.
- ✓ Stima degli spettri di risposta elastici (smorzamento assunto pari al 5%) per gli Stati Limite (SLV – SLD – SLO - SLC).

### **2. DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SOTTOSUOLO**

Il modello di sottosuolo è stato ricavato in funzione del downhole, della ReMi, dell'elaborazione congiunta Masw -HVSR effettuata nel sito e della geologia a contorno. Infatti, la Masw M1 è stata elaborata congiuntamente con una misura HVSR (figg. 1 -2). Queste indagini hanno permesso di ricostruire il modello geologico di sottosuolo che interessa l'area di studio.

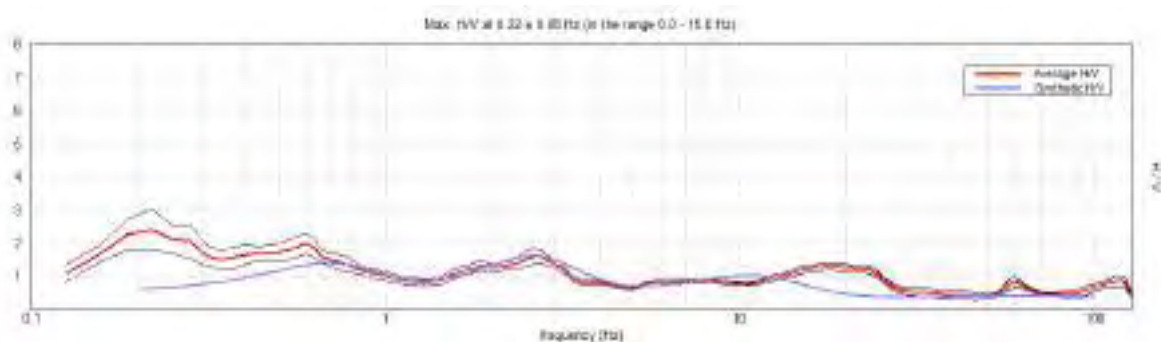
Infatti, mediante l'elaborazione congiunta Masw-HVSR è stato possibile ricostruire il modello geologico di sottosuolo fino a 179m dove è stato individuato il tetto di uno strato con velocità  $V_s=710$  m/s. Essendo uno strato con velocità molto simili al bedrock sismico, non avendo dati utili a maggiori profondità, in via cautelativa è stato posizionato il bedrock sismico in corrispondenza di questo strato con velocità  $V_s=710$ m/s, ossia alla profondità di 179m dal p.c..

# MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



**Fig. 1** –Masw elaborata congiuntamente con misura HVSR

## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



**Fig. 2** –Misura HVSR elaborata congiuntamente con Masw

In particolare, risulta necessaria ed importante la misura HVSR, mediante la quale è stato possibile stimare il modello di sottosuolo dell'area di studio fino ad elevate profondità.

Per quanto riguarda la caratterizzazione della geologia di sottosuolo, come sopramenzionato, si è fatto riferimento ai risultati delle indagini ed all'assetto geologico derivante da cartografie ed indagini pregresse:

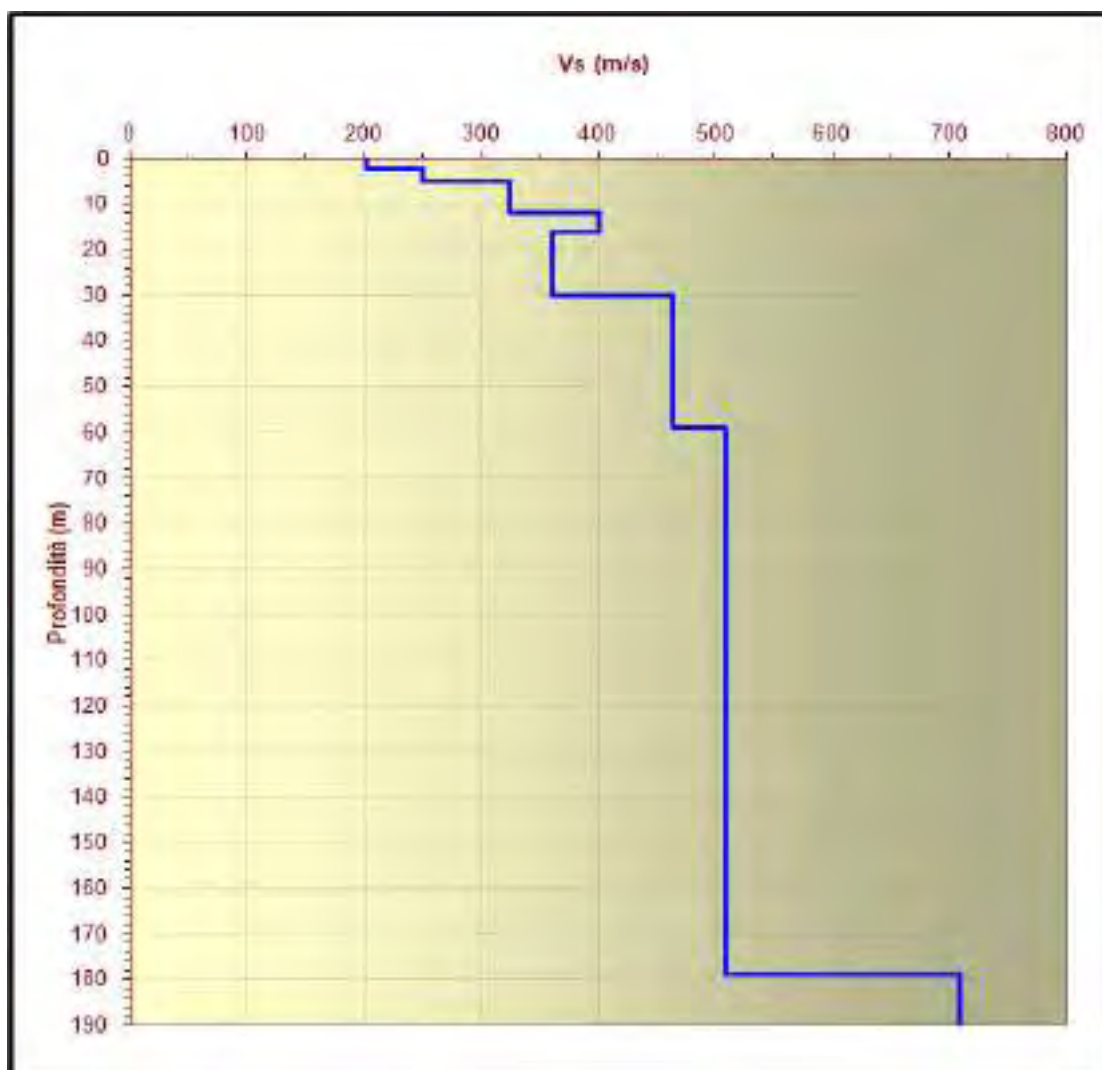
- ✓ Foglio Geologico 387 Albano Laziale, scala 1:50.000 – APAT, 2009
- ✓ Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Tutti i calcoli che seguono si riferiscono al piano di posa della fondazione ipotizzata a 1.8m

Il profilo di sottosuolo medio utilizzato per quest'analisi è riportato in fig. 3 e Tab.1 (non si deve tener conto di 1.8m dal p.c. non inseriti nella modellazione)

**TAB.1 - MODELLO MEDIO DI SOTTOSUOLO**

LITOTIPO	PROFONDITÀ ALLA BASE DELLO STRATO [m]	SPESSORE	Vs
		[m]	[m/s]
Terreno di riporto - Vulcanoclastiti pedogenizzate	2.2	2.2	203
Vulcanoclastiti moderatamente addensate	5	2.8	250
Unità di Riserva la Macchia - Sabbie mediamente addensate	12	7	325
Unità di Tenuta Campo Selva - Sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose mediamente addensate	16	4	400
Unità di Monte Vaticano - Argille limose consistenti	30	14	360
Unità di Monte Vaticano - Argille limose molto consistenti	59	29	464
Unità di Monte Vaticano Argille limose molto consistenti - Arenarie addensate	179	120	510
Bedrock	inf.	inf.	710

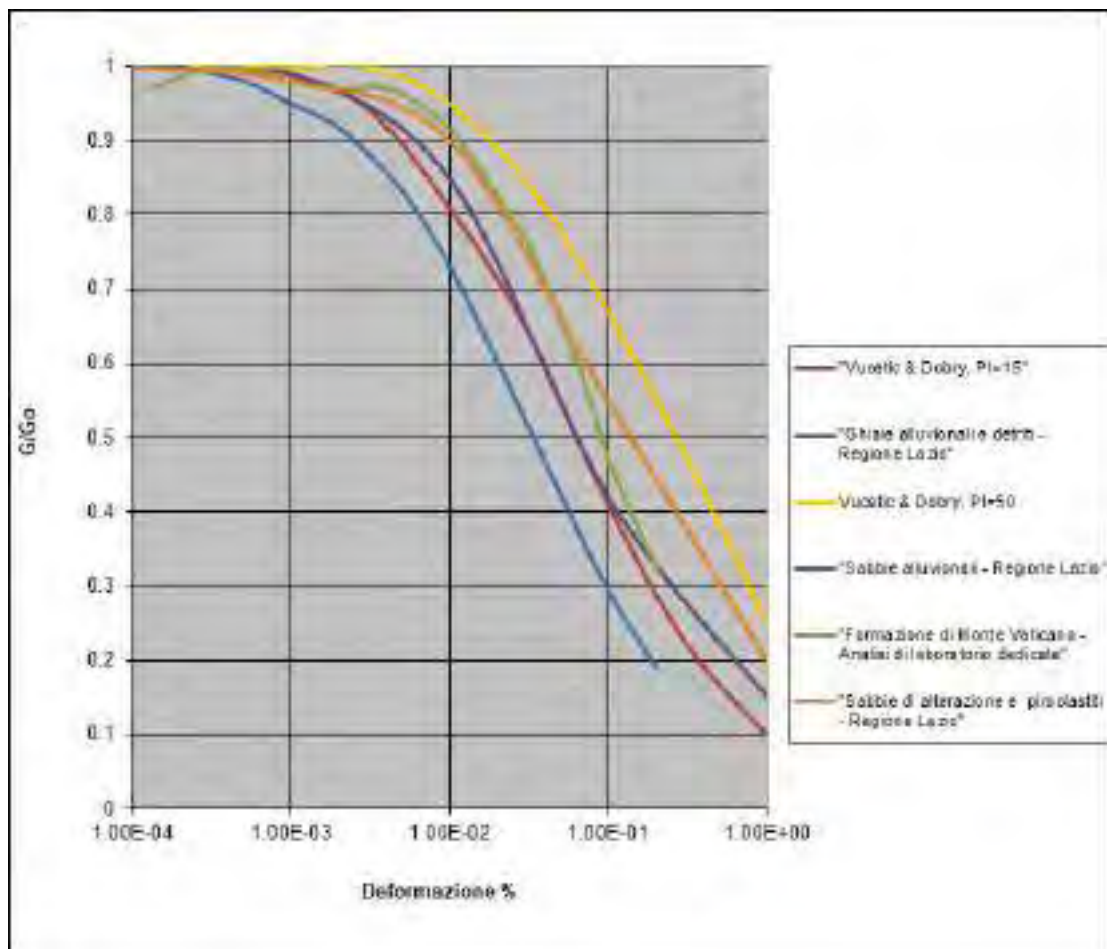


**Fig. 3** -Profilo di Vs semplificato impiegato per la modellazione del sito in esame con inizio modellazione a 1.8m dal p.c.

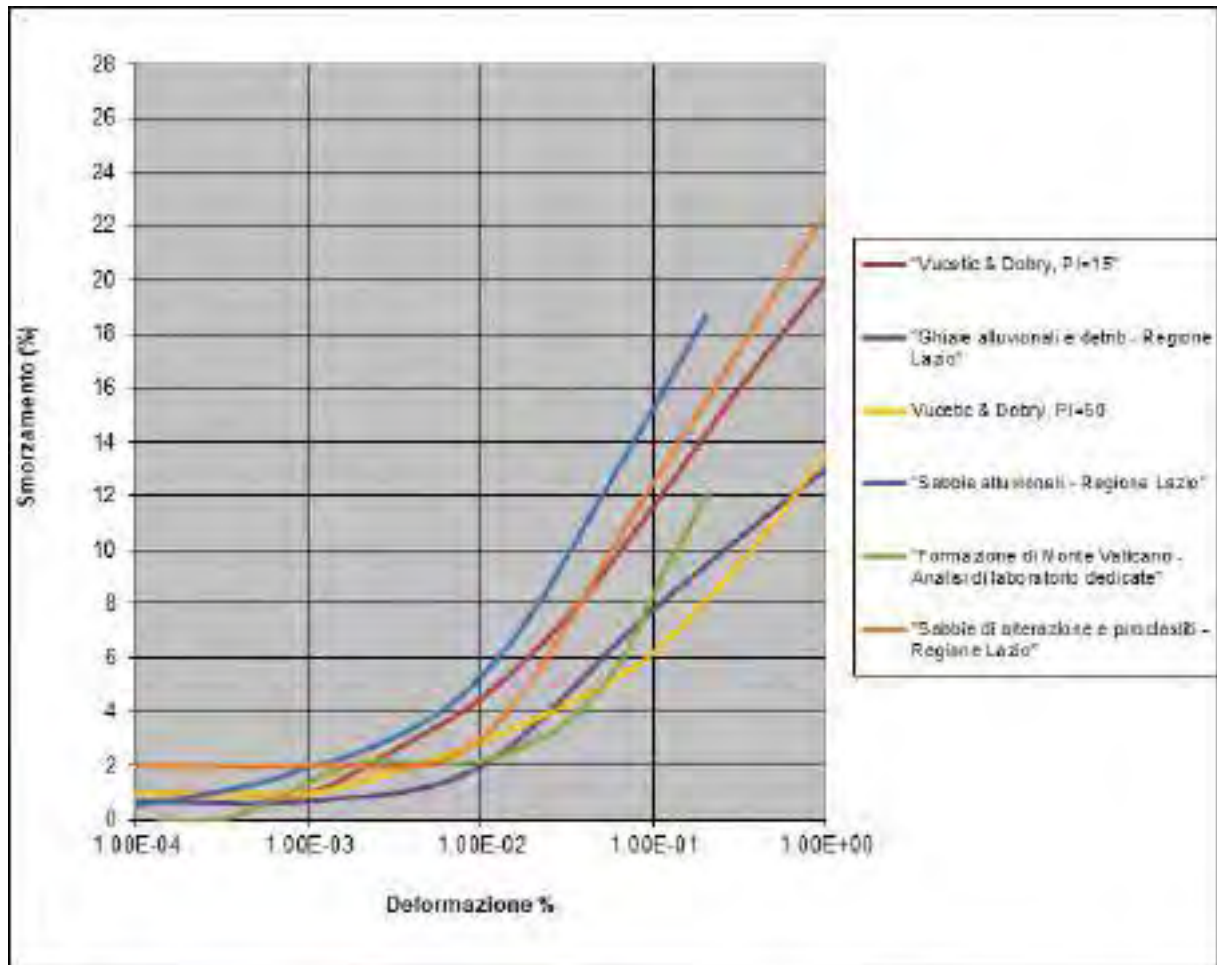


Una volta definito il modello di sottosuolo, sono state scelte le curve di decadimento associabili ai litotipi del modello di sottosuolo (figg. 4-5):

- ✓ Terreno di riporto - Vulcanoclastiti pedogenizzate = *Sabbie alluvionali – Regione Lazio*
- ✓ Vulcanoclastiti moderatamente addensate = *Vucetic & Dobry, PI=15*
- ✓ Unità di Riserva la Macchia - Sabbie mediamente addensate = *Sabbie di alterazione e depositi piroclastici – Regione Lazio*
- ✓ Unità di Tenuta Campo Selva - Sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose mediamente addensate = *Ghiaie alluvionali e detriti – Regione Lazio*
- ✓ Formazione di Monte Vaticano - Argille limose consistenti = *Curva di decadimento da analisi di laboratorio dedicate (vedi fascicolo indagini)*
- ✓ Formazione di Monte Vaticano - Argille limose molto consistenti = *Vucetic & Dobry, PI=50*
- ✓ Formazione di Monte Vaticano Argille limose molto consistenti - Arenarie addensate = *Vucetic & Dobry, PI=50*



**Fig. 4** -Curve di andamento del modulo di taglio in funzione della deformazione per i diversi tipi di materiale usate in questo studio.



**Fig. 5** -Curva di andamento dello smorzamento (%) in funzione della deformazione per i diversi tipi di materiale usate in questo studio.

### 3. SCELTA DELL'INPUT SISMICO

Una volta determinato il modello di sottosuolo si è passati alla definizione dell'input in termini di eventi sismici da sottoporre a simulazione. Il primo passo compiuto è stata la stima dell'accelerazione di base ( $a_g$ ) effettuata utilizzando il foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la stima dell'azione sismica di progetto (tab.2), utilizzando una  $V_N=50$  anni e Coefficiente d'uso della costruzione  $C_u=1.5$ .

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_a$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.048	2.485	0.260
SLD	75	0.062	2.458	0.274
SLV	712	0.135	2.639	0.286
SLC	1462	0.169	2.618	0.293

**TAB.2** - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_a$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL

Successivamente visto che l'estrazione degli accelerogrammi di input prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre il valore di  $a_g$ . In particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di **disaggregazione** (variabilità in termini di magnitudo e distanza), questi sono stati desunti dalla pagina del sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it> dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale (Tab. 3).



**TAB.3**

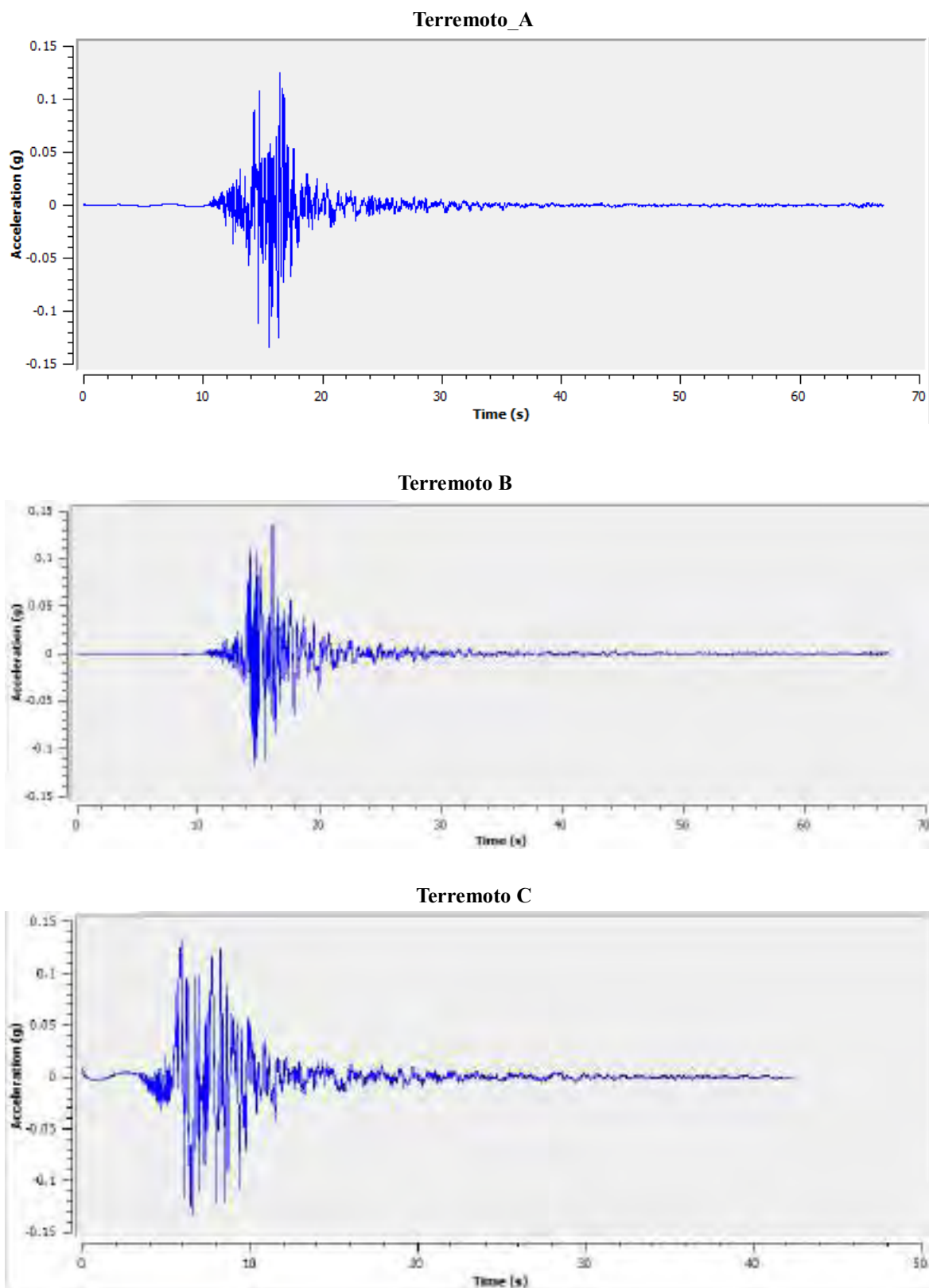
Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 41.630 lon. 12.487)										
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)									
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5
0-10	0	27.1	35.9	6.59	0	0	0	0	0	0
ott-20	0	7.66	15	4.1	0	0	0	0	0	0
20-30	0	0.305	1.59	0.714	0	0	0	0	0	0
30-40	0	0	0.0371	0.0815	0	0	0	0	0	0
40-50	0	0	0	0.0038	0	0	0	0	0	0
50-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80-90	0	0	0	0	0	0.0055	0.0497	0.062	0	0
90-100	0	0	0	0	0	0.0042	0.125	0.184	0	0
100-110	0	0	0	0	0	0	0.071	0.146	0	0
110-120	0	0	0	0	0	0	0.0317	0.106	0	0
120-130	0	0	0	0	0	0	0.01	0.0687	0	0
130-140	0	0	0	0	0	0	0.0014	0.0373	0	0
140-150	0	0	0	0	0	0	0	0.0148	0	0
150-160	0	0	0	0	0	0	0	0.0047	0	0
160-170	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0
170-180	0	0	0	0	0	0	0	0.0001	0	0
180-190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190-200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.67	9.12	0.96

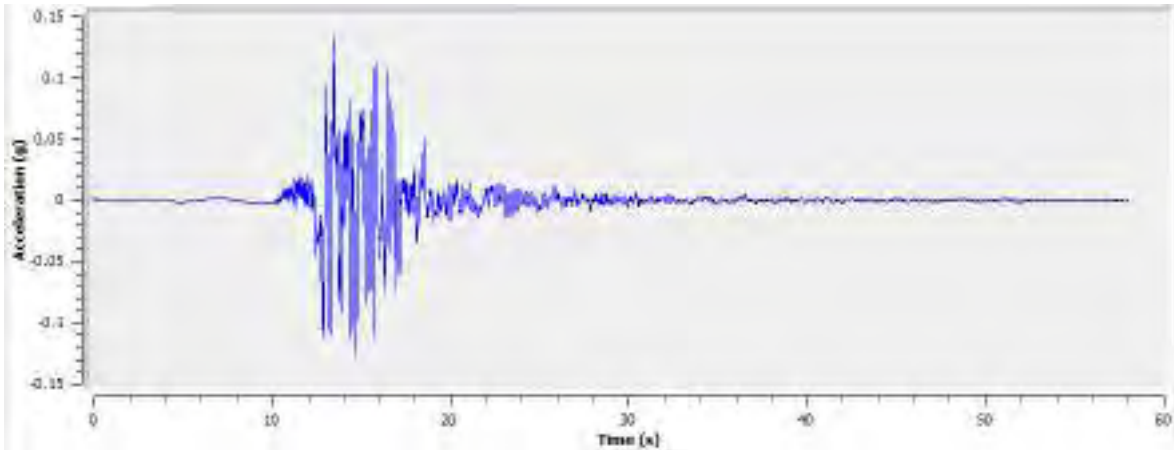
A questo punto, mediante l'utilizzo dei dati sopramenzionati, è stata avviata l'estrazione degli accelerogrammi di input. mediante il software **Rexel 3.5**, messo a punto dalla ReLUI di Napoli.

Questo software permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali per applicazioni ingegneristiche da più banche dati; quella utilizzata per questa analisi è la banca dati europea ESD (Ambraseys et al., 2004) da cui sono stati estratti 7 accelerogrammi per ogni stato limite (fig. 6)

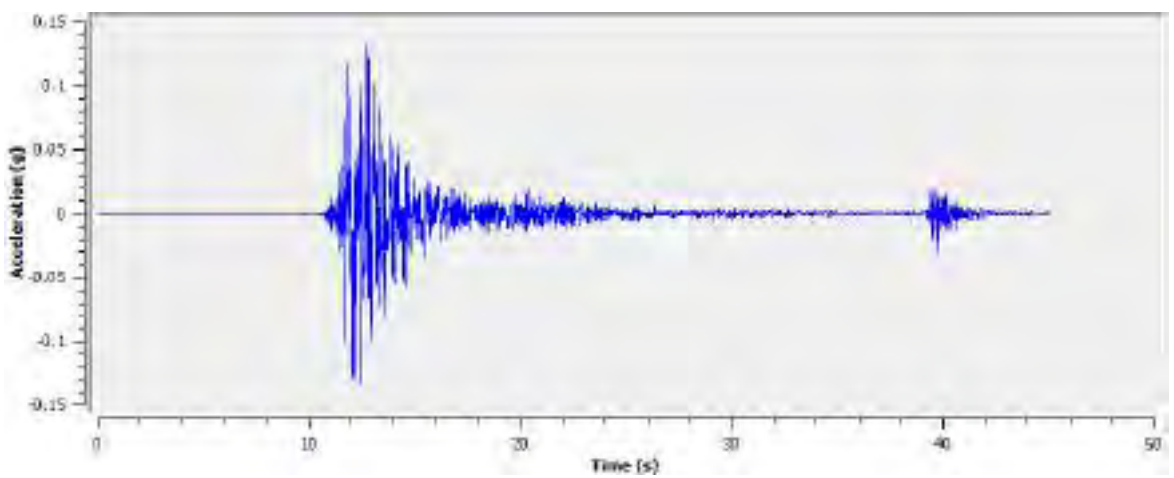
**Fig. 6**–Accelerogrammi di input (al bedrock) - SLV  $|PGA_0| = 0.135$  g.



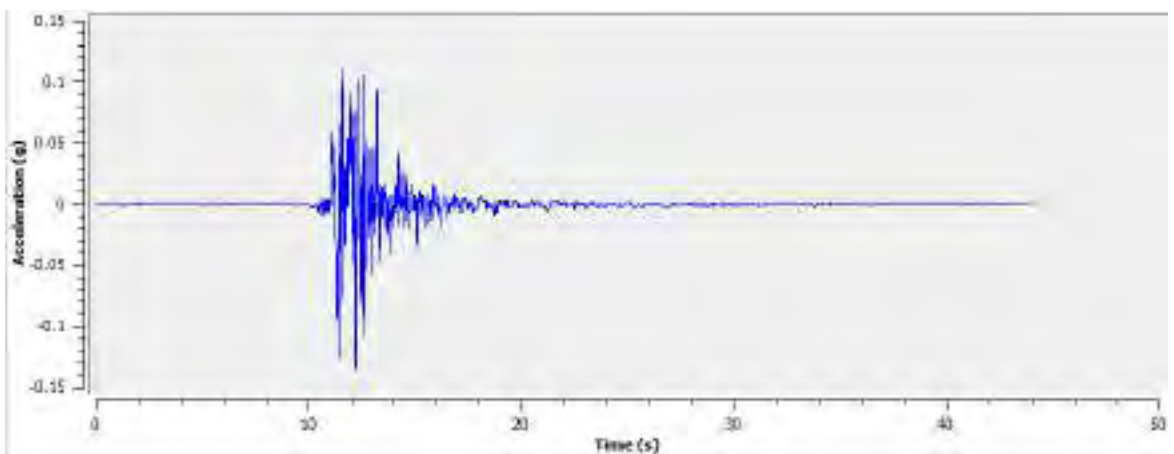
Terremoto D



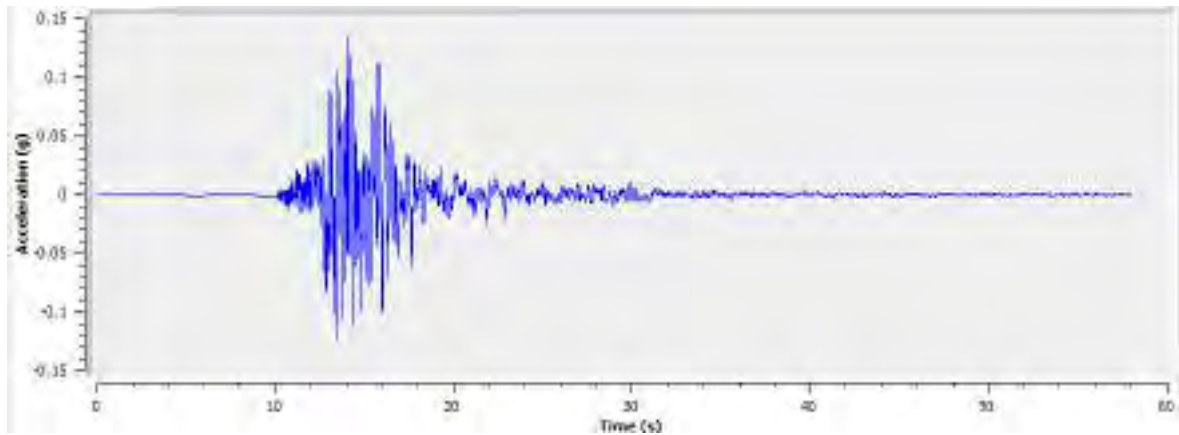
Terremoto E



Terremoto F



### Terremoto G



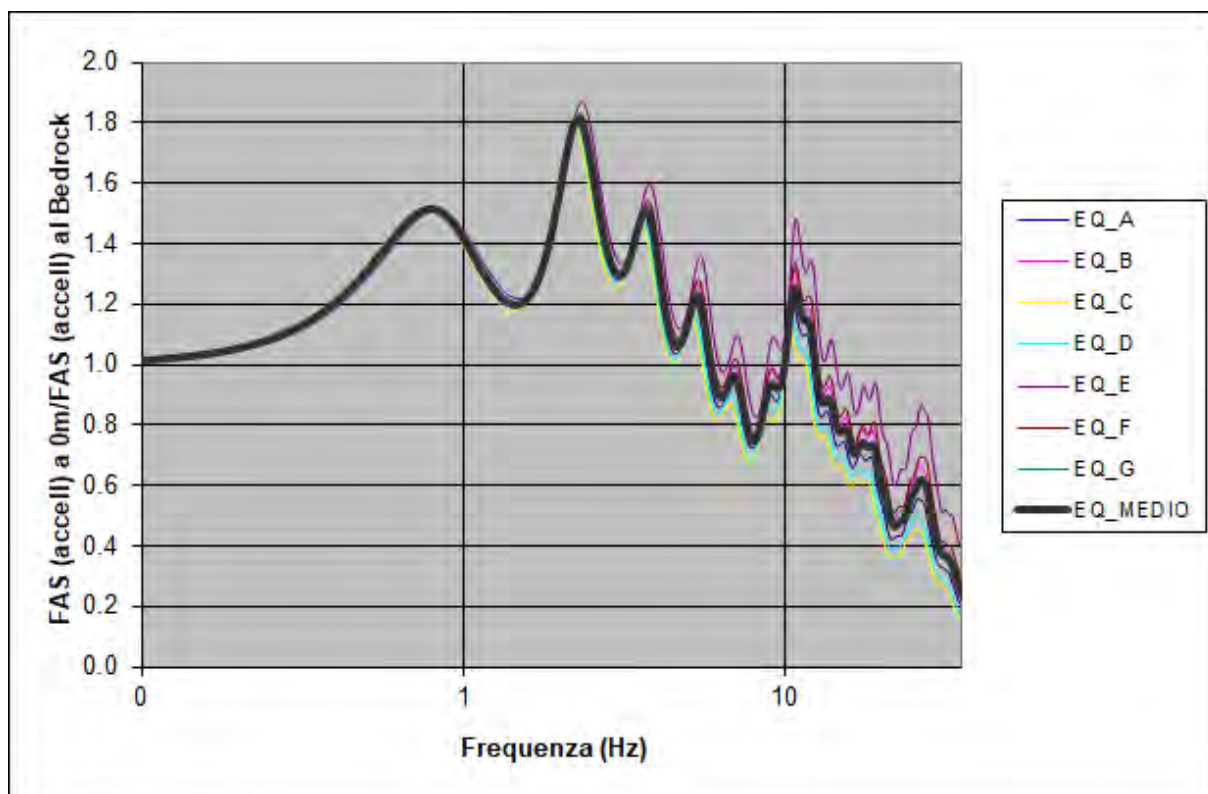
Quindi, per ogni stato limite sono stati utilizzati sette accelerogrammi idonei allo stato limite in questione; questi accelerogrammi sono stati importati nel software “*Strata*” e sono stati scalati in funzione dell’ag di riferimento per ogni stato limite (vedi tabella 2).

Una volta scalati sono stati utilizzati nella modellazione di risposta sismica locale eseguita appunto mediante il software “*Strata*”.

#### 4. FUNZIONE DI TRASFERIMENTO DEL SITO

Sebbene non richiesto come output ai fini progettuali, la funzione di trasferimento del sito (fig.7) è un ottimo ed immediato strumento per visualizzare la modalità con cui il sito, sulla base delle sue caratteristiche sismostratigrafiche, influisce sul segnale in ingresso, poiché determina i livelli di amplificazione nel dominio delle frequenze.

Per il calcolo del moto atteso in superficie si è partiti dai 7 accelerogrammi reali di input (componente orizzontale del moto; 7 per ogni stato limite) relativi ad un sito in roccia (A) con valore di accelerazione di picco **ag** = 0.135g per SLV. Tale valore di **ag** deriva dai dati imposti secondo le NTC (2018) per il sito di studio, scalato per un coefficiente d'uso 1.5 che corrisponde ad una classe d'uso III, vita nominale =50 anni, secondo lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).



**Fig. 7** - Funzione di trasferimento (rapporto di amplificazione tra lo spettro del moto in superficie ed al bedrock) per i 7 terremoti

## 5. SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI (SLE) PER GLI STATI LIMITE SLV – SLD – SLO

Il risultato della risposta sismica locale sono gli spettri di risposta elastici per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi prescelti ed il loro valore medio (figg. 8-10-12-14). Gli spettri di risposta medi sono dati in forma numerica in Tabella 4 ed in forma grafica nelle figg. 9-11-13-15 confrontati con gli spettri di risposta relativi alla categoria di sottosuolo C per gli stessi Stati Limite (SLV – SLD – SLO-SLC).

Per SLV lo spettro da approccio semplificato di normativa fornisce valori più cautelativi rispetto allo spettro ottenuto per via numerica per tutti i periodi.

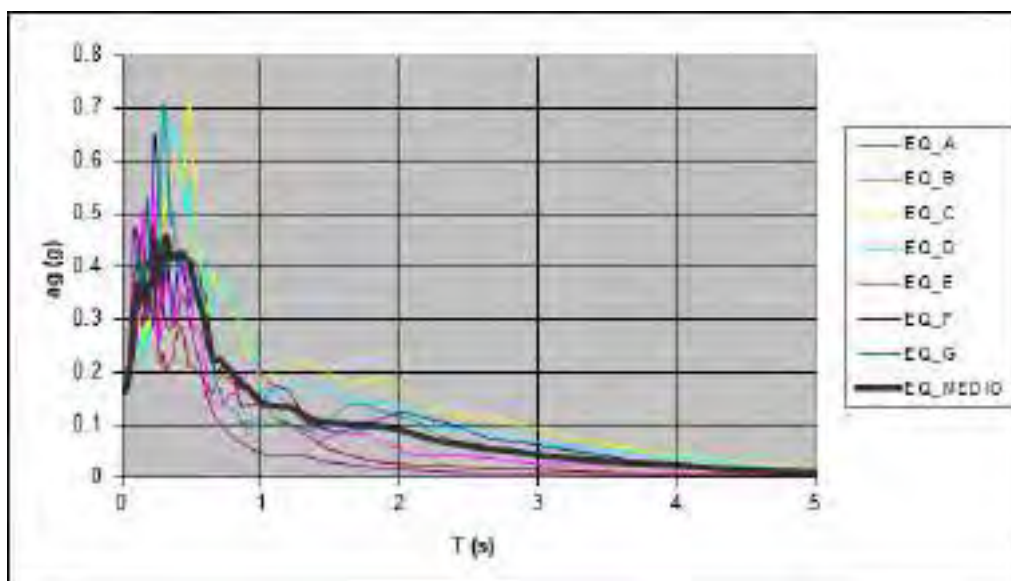


Fig. 8 - Spettri di risposta ottenuti da 7 accelerogrammi di input e la loro media (nero) - SLV

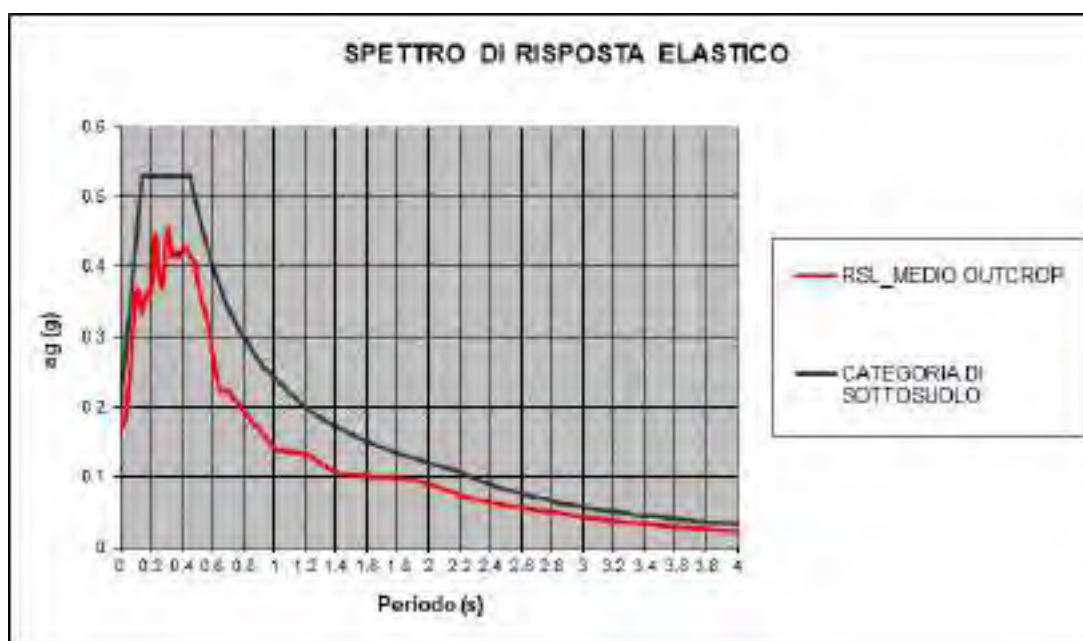
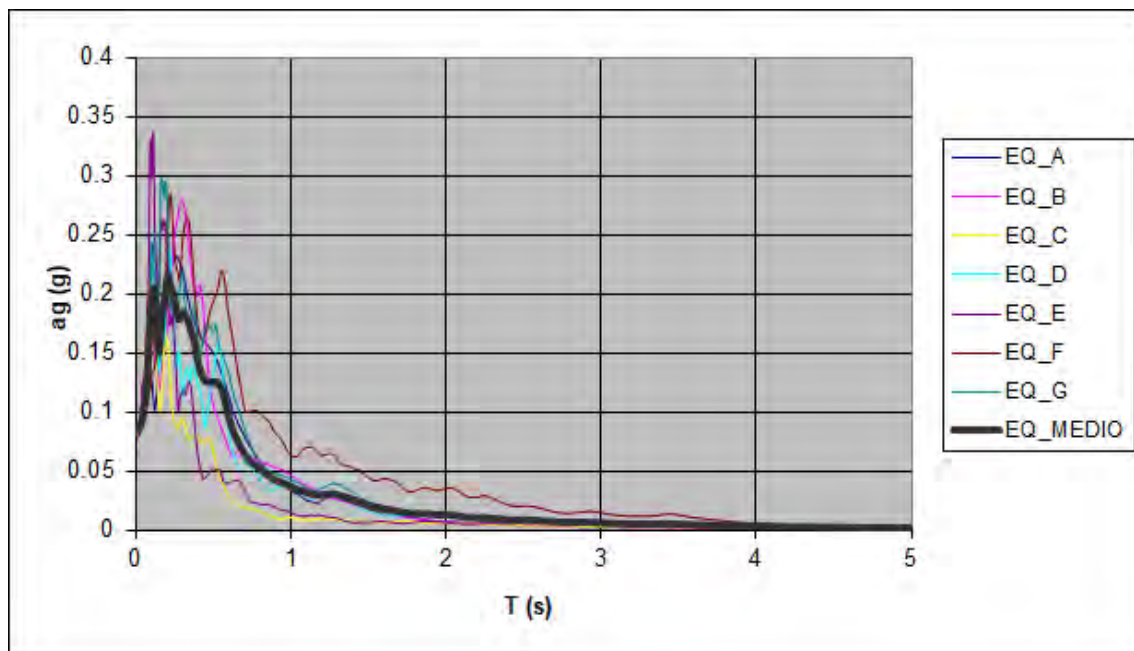
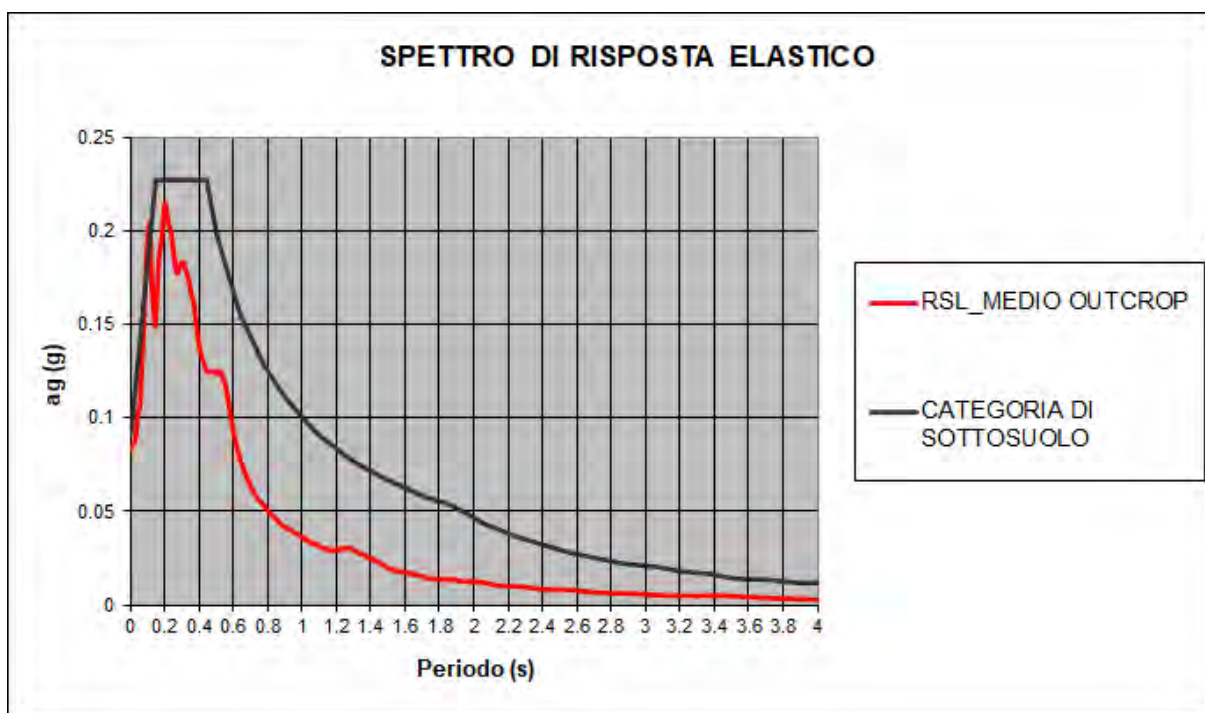


Fig. 9 - Confronto tra lo spettro di risposta medio ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e lo spettro secondo l'approccio semplificato di normativa (NTC, 2018) per la categoria C (SLV)

Per SLD lo spettro da approccio semplificato di normativa fornisce valori più cautelativi rispetto allo spettro ottenuto per via numerica per tutti i periodi.



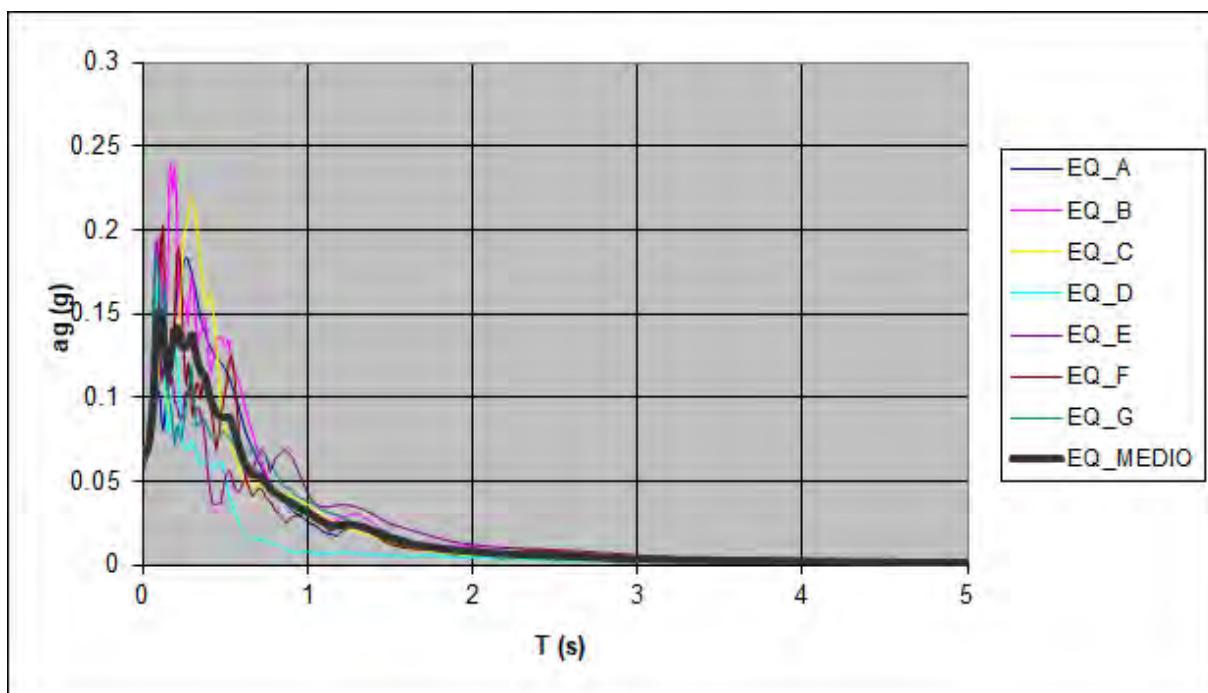
**Fig. 10** - Spettri di risposta ottenuti da 7 accelerogrammi di input e la loro media (nero) - SLD



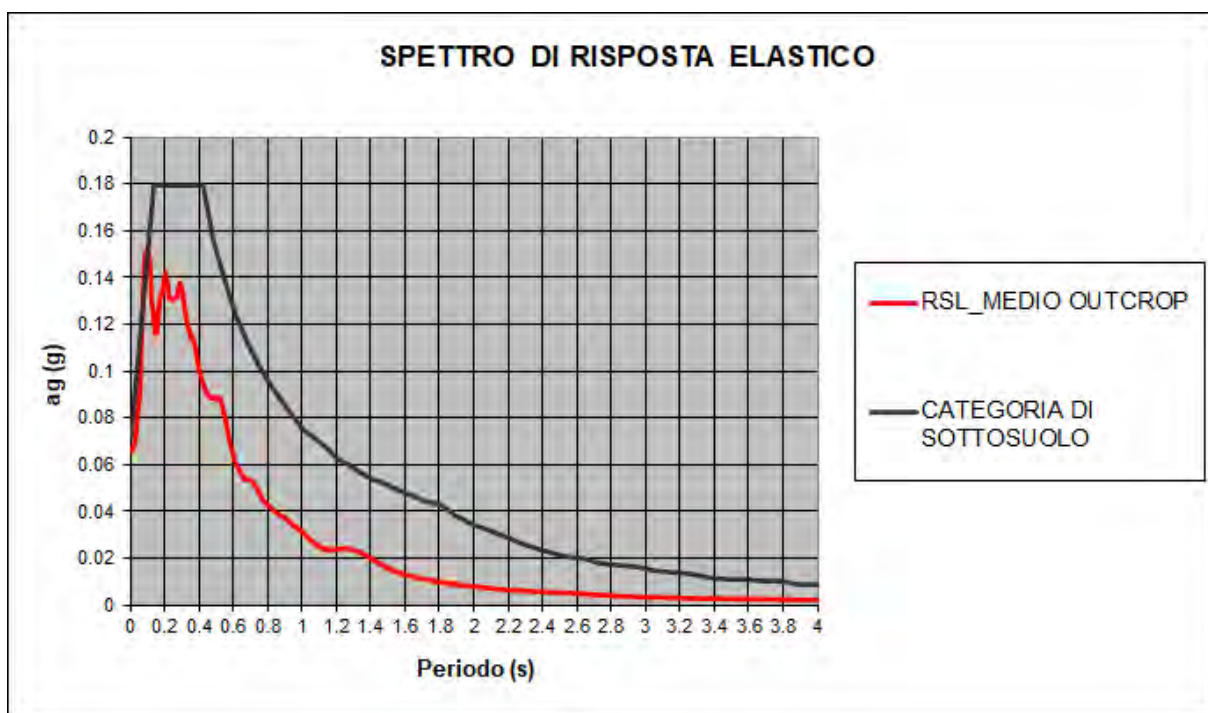
**Fig. 11** - Confronto tra lo spettro di risposta medio ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e lo spettro secondo l'approccio semplificato di normativa (NTC, 2018) per la categoria C (SLD)



Per SLO lo spettro da approccio semplificato di normativa fornisce valori più cautelativi rispetto allo spettro ottenuto per via numerica per tutti i periodi.



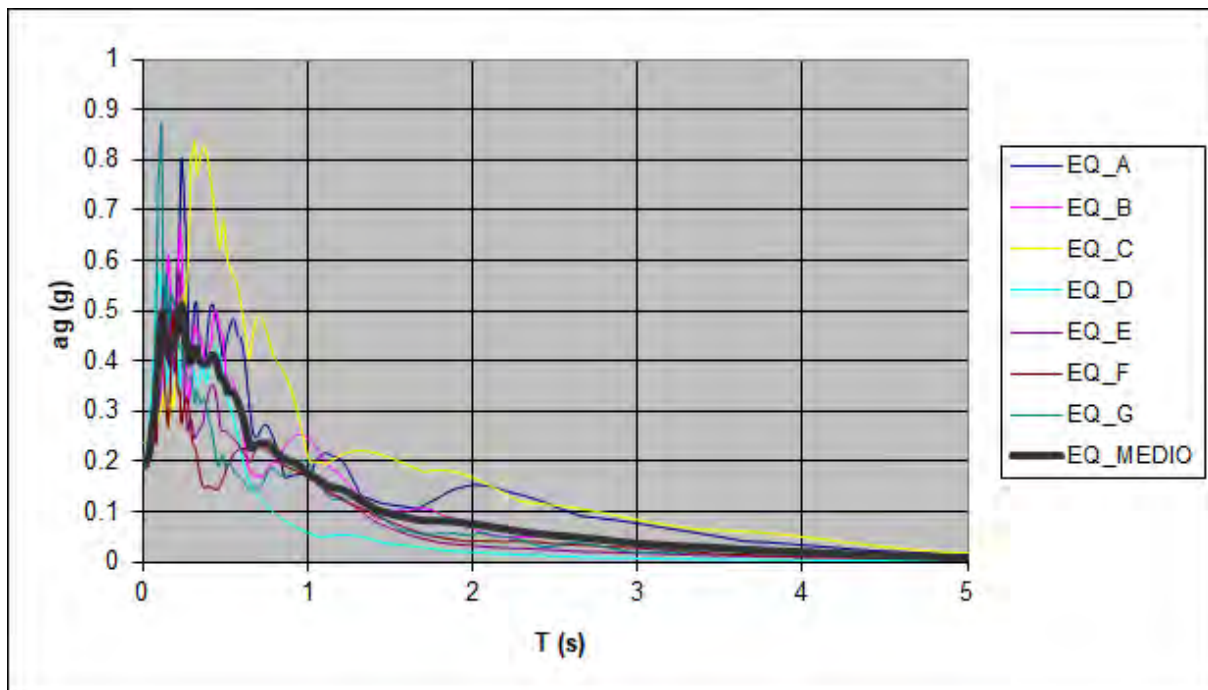
**Fig. 12** - Spettri di risposta ottenuti da 7 accelerogrammi di input e la loro media (nero) - SLO



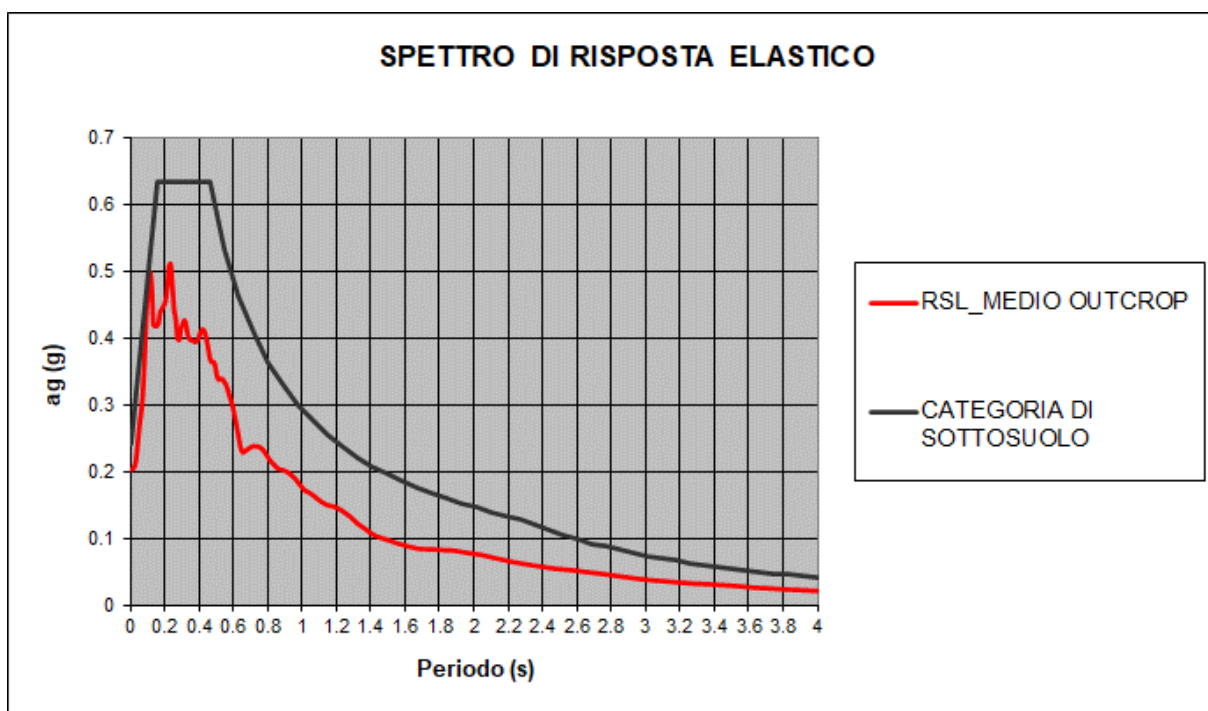
**Fig. 13** - Confronto tra lo spettro di risposta medio ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e lo spettro secondo l'approccio semplificato di normativa (NTC, 2018) per la categoria C (SLO)



Per SLC lo spettro da approccio semplificato di normativa fornisce valori più cautelativi rispetto allo spettro ottenuto per via numerica per tutti i periodi ad eccezione dell'intervallo [0.08-0.25].



**Fig. 14** - Spettri di risposta ottenuti da 7 accelerogrammi di input e la loro media (nero) - SLC



**Fig. 15** - Confronto tra lo spettro di risposta medio ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e lo spettro secondo l'approccio semplificato di normativa (NTC, 2018) per la categoria C (SLC)

Tabella 4 - Spettri di risposta medi calcolati per il sito				
Periodo (s)	Spettro di risposta medio (g) SLC	Spettro di risposta medio (g) SLV	Spettro di risposta medio (g) SLD	Spettro di risposta medio (g) SLO
0.01	0.282938743	0.227339681	0.109724972	0.08751278
0.02	0.285313478	0.229362888	0.111323835	0.088943761
0.03	0.28906015	0.23293513	0.114238028	0.091738503
0.04	0.294518861	0.238795431	0.120965884	0.097486297
0.05	0.32761863	0.259454094	0.125330472	0.104356202
0.06	0.344378371	0.281107221	0.13801558	0.116635966
0.07	0.385093272	0.319337259	0.165863171	0.145210578
0.08	0.478508097	0.399336903	0.210353125	0.18529374
0.09	0.595033782	0.484181122	0.236839555	0.211581224
0.1	0.695036344	0.500244507	0.248953335	0.204467045
0.11	0.700237774	0.528028995	0.263473649	0.193089213
0.12	0.75761111	0.556434479	0.266624257	0.183183751
0.13	0.739731277	0.567398056	0.253953285	0.171205664
0.14	0.687442616	0.534244141	0.23213277	0.170212535
0.15	0.710695052	0.553444837	0.224472598	0.162192078
0.16	0.744699763	0.60059877	0.238703739	0.166544252
0.17	0.757218981	0.60933991	0.262706681	0.186530628
0.18	0.812139086	0.626112896	0.282671387	0.200899205
0.19	0.807791865	0.629882584	0.306612176	0.206418161
0.2	0.788209144	0.585342481	0.294995708	0.190239359
0.21	0.740031805	0.547847486	0.274585432	0.183074887
0.22	0.704205365	0.545815991	0.26039719	0.171434717
0.23	0.685881327	0.556077695	0.251140107	0.159720601
0.24	0.683637016	0.582652446	0.248248538	0.156584547
0.25	0.633138115	0.554179682	0.242835274	0.159055763
0.26	0.581234362	0.504499054	0.228675079	0.159154749
0.27	0.555647908	0.477857216	0.211177075	0.155167554
0.28	0.521373906	0.469625129	0.213720338	0.15526764
0.29	0.511469185	0.491144263	0.218823968	0.152650873
0.3	0.518946823	0.517616085	0.222946877	0.150345114
0.31	0.515007389	0.527236714	0.226106064	0.145104046
0.32	0.50783354	0.523594352	0.224385805	0.139139667
0.33	0.503431868	0.507303939	0.218498612	0.134611392
0.34	0.495254561	0.495629117	0.208089879	0.131025849
0.35	0.486949347	0.486560774	0.199091247	0.129412089
0.36	0.483715311	0.49029827	0.193887045	0.128620508
0.37	0.482587546	0.500358177	0.193812138	0.130947235
0.38	0.488994283	0.505982993	0.187600954	0.128902373
0.39	0.490520879	0.500498503	0.177273497	0.124784724
0.4	0.494153106	0.497662649	0.171407536	0.121278709
0.41	0.504560445	0.507356445	0.169651272	0.116460638
0.42	0.50860467	0.511860375	0.165383028	0.112335393
0.43	0.506613699	0.512847283	0.158367738	0.109609015
0.44	0.50053722	0.512370591	0.153847609	0.107090426

0.45	0.486485984	0.505073383	0.149795716	0.103897317
0.46	0.466745982	0.492571461	0.146964929	0.101233805
0.47	0.446218183	0.488060691	0.145679659	0.100173236
0.48	0.439062107	0.482756361	0.144240652	0.099503117
0.49	0.439430661	0.478537156	0.14373195	0.099721889
0.5	0.430241665	0.470444852	0.14447123	0.099570465
0.51	0.418996492	0.458161504	0.14511474	0.09904267
0.52	0.41503928	0.444084965	0.146599156	0.099295518
0.53	0.41692688	0.432376162	0.147769	0.099004417
0.54	0.416804972	0.420113961	0.146523373	0.097463222
0.55	0.414207574	0.412667955	0.14393655	0.094571953
0.56	0.410082666	0.40447663	0.139364412	0.090865449
0.57	0.403969759	0.394948423	0.133981638	0.087021724
0.58	0.397297269	0.384875102	0.127889808	0.083585778
0.59	0.387763561	0.372326013	0.121112101	0.080471515
0.6	0.375381476	0.357419115	0.114922917	0.07761719
0.61	0.360953801	0.34041284	0.109512147	0.075244081
0.62	0.346345938	0.327362502	0.105092212	0.073658477
0.63	0.33075598	0.316969686	0.100922521	0.072036243
0.64	0.320281833	0.309507667	0.096897045	0.070358518
0.65	0.322993643	0.309863729	0.092813336	0.068603666
0.66	0.325995796	0.309291916	0.088944408	0.066869983
0.67	0.32835012	0.311019704	0.08699281	0.066742749
0.68	0.330489173	0.313228399	0.085176308	0.066790853
0.69	0.33264293	0.314668891	0.083053107	0.066936811
0.7	0.334635143	0.314071586	0.080345311	0.066789243
0.71	0.336490743	0.311926602	0.078109866	0.066399447
0.72	0.337359187	0.307997408	0.076105469	0.065804153
0.73	0.337076087	0.303682936	0.074804739	0.064934029
0.74	0.33548627	0.298432419	0.074174515	0.063931702
0.75	0.333864541	0.29377912	0.073472774	0.062848627
0.76	0.334214904	0.292262718	0.072972288	0.061980664
0.77	0.332985127	0.289574725	0.072208126	0.060421238
0.78	0.330291279	0.285962345	0.071165919	0.058821442
0.79	0.326147222	0.281514334	0.069790184	0.058246905
0.8	0.320957794	0.277203816	0.068409486	0.057366367
0.81	0.316254115	0.273900218	0.067050312	0.056204773
0.82	0.3103377	0.269427763	0.065554336	0.05484211
0.83	0.305902656	0.265974042	0.063912774	0.05376266
0.84	0.301465032	0.261487309	0.062350858	0.052710295
0.85	0.295868001	0.255815025	0.060793681	0.051570789
0.86	0.290074248	0.249753153	0.059149161	0.050498883
0.87	0.285958384	0.244894818	0.057316222	0.049429883
0.88	0.2830996	0.241226748	0.055470453	0.04835953
0.89	0.280312226	0.238643943	0.054352535	0.047716686
0.9	0.277008635	0.235405016	0.053508261	0.047055653
0.91	0.274687599	0.231869036	0.052716825	0.046040556
0.92	0.272380118	0.227963014	0.051904284	0.044817163
0.93	0.269783398	0.22353859	0.051301901	0.044067966
0.94	0.266775493	0.219617713	0.050608607	0.043286668
0.95	0.263321455	0.215864493	0.049807372	0.042467191
0.96	0.259586957	0.211626993	0.048891955	0.041607261
0.97	0.255592342	0.207559029	0.048161464	0.040758593

0.98	0.25104137	0.203490912	0.047688127	0.040026019
0.99	0.246015377	0.19896584	0.047057469	0.039214713
1	0.24079534	0.194136732	0.046320685	0.038336905
1.01	0.236756836	0.190584713	0.045800912	0.037540901
1.02	0.232334828	0.186835763	0.045328326	0.036759366
1.03	0.22739062	0.183372282	0.04475813	0.035962276
1.04	0.222806082	0.180412935	0.044037088	0.0351223
1.05	0.218979976	0.178544306	0.043113624	0.034232235
1.06	0.216535502	0.177269751	0.04208293	0.033298103
1.07	0.214091455	0.175807397	0.04127228	0.032368886
1.08	0.211288306	0.173640072	0.04033034	0.031462904
1.09	0.208187782	0.17143314	0.039620981	0.030673608
1.1	0.204854422	0.168969194	0.03901059	0.029916073
1.11	0.201475961	0.166081273	0.038398439	0.029181313
1.12	0.198282301	0.16419231	0.037830349	0.028467118
1.13	0.195237124	0.163385296	0.037428737	0.027828084
1.14	0.192108148	0.162363474	0.03698775	0.027308389
1.15	0.188961208	0.161134814	0.036641038	0.027015768
1.16	0.185959149	0.159786367	0.036238124	0.026752411
1.17	0.183166636	0.158403179	0.035792911	0.026499711
1.18	0.180874092	0.157100843	0.035289505	0.026352042
1.19	0.178521278	0.155598125	0.03475463	0.026156343
1.2	0.176637122	0.154384391	0.034377034	0.026060932
1.21	0.17504826	0.153442319	0.034255143	0.026173921
1.22	0.173256803	0.152359913	0.03401255	0.026216499
1.23	0.17127287	0.151101037	0.034022031	0.026201243
1.24	0.169218969	0.149757581	0.034017362	0.026146636
1.25	0.167181826	0.148318845	0.034006673	0.02607228
1.26	0.165062563	0.146739967	0.03408769	0.026076911
1.27	0.162809485	0.145038075	0.034098699	0.02603982
1.28	0.16037103	0.143241574	0.033966645	0.025965766
1.29	0.157693045	0.141361944	0.033649633	0.025809604
1.3	0.154819362	0.139467929	0.033187262	0.025582414
1.31	0.151853948	0.13753459	0.032606712	0.025272844
1.32	0.148805843	0.135563751	0.032008291	0.024919604
1.33	0.146543186	0.134279338	0.031464166	0.024548775
1.34	0.144339542	0.13297615	0.030970375	0.024128403
1.35	0.142057928	0.13164301	0.030551907	0.023700571
1.36	0.139670338	0.130278607	0.03011329	0.023257673
1.37	0.137181671	0.128888147	0.029632638	0.022816797
1.38	0.135100919	0.127558278	0.029142138	0.022335116
1.39	0.13303248	0.126586754	0.028849122	0.021889172
1.4	0.130960759	0.125579207	0.028550726	0.02143841
1.41	0.128916105	0.124526638	0.028254862	0.02098284
1.42	0.126940377	0.123455927	0.027975681	0.020527027
1.43	0.125100476	0.122450192	0.027686061	0.020051678
1.44	0.123221964	0.121418773	0.027385441	0.019564706
1.45	0.121243158	0.120361657	0.027111861	0.019110194
1.46	0.119431935	0.119463874	0.026773435	0.018625661
1.47	0.117862311	0.118927221	0.026378554	0.018120452
1.48	0.1165067	0.118421029	0.025939509	0.017601089
1.49	0.115399249	0.117851589	0.025472981	0.017064516
1.5	0.114146854	0.117233649	0.025039694	0.016552218

1.51	0.112796188	0.116567317	0.024690631	0.016155746
1.52	0.111409423	0.115858188	0.024394057	0.015773756
1.53	0.110010924	0.115308013	0.024236181	0.015468339
1.54	0.108672765	0.114945646	0.024203408	0.015196504
1.55	0.10754743	0.114646508	0.02419855	0.014932194
1.56	0.106441016	0.114341262	0.02419301	0.014667218
1.57	0.105309852	0.113993953	0.024157114	0.014393036
1.58	0.104290664	0.113607421	0.02419084	0.014109965
1.59	0.10343571	0.113183562	0.024207215	0.013838591
1.6	0.10251645	0.112718654	0.02416192	0.013566088
1.61	0.101524331	0.112221024	0.024060442	0.013320386
1.62	0.100461028	0.111684496	0.023930608	0.013118179
1.63	0.099491486	0.111221918	0.023792254	0.012926012
1.64	0.098694255	0.110912924	0.023642689	0.01273359
1.65	0.097827087	0.110548094	0.023515236	0.012568019
1.66	0.096910557	0.11012969	0.023393826	0.012415303
1.67	0.09605777	0.109662008	0.023250852	0.01225953
1.68	0.095233824	0.109141727	0.023081784	0.012099899
1.69	0.094607599	0.1087113	0.022880294	0.011934263
1.7	0.094146128	0.108433921	0.022694621	0.011800655
1.71	0.093751029	0.108190401	0.022480466	0.011660972
1.72	0.093374207	0.107889748	0.022240846	0.011508783
1.73	0.092983871	0.107900768	0.021986794	0.011345837
1.74	0.092559455	0.10783973	0.021764517	0.011197859
1.75	0.092113773	0.107703966	0.021562637	0.011049737
1.76	0.091724426	0.107594981	0.02137974	0.010896708
1.77	0.091586544	0.107601995	0.021219696	0.010740594
1.78	0.091407542	0.107530369	0.021083084	0.01058381
1.79	0.091194555	0.10738342	0.020968813	0.010428957
1.8	0.090943696	0.107166336	0.020874941	0.010278126
1.81	0.090644023	0.106883461	0.020793185	0.010130891
1.82	0.090372469	0.106585513	0.020713632	0.009986169
1.83	0.090203187	0.106347124	0.020624159	0.009843066
1.84	0.089944866	0.106047785	0.020511809	0.009700668
1.85	0.089842616	0.105689708	0.020363853	0.009558447
1.86	0.089795002	0.105272667	0.020170922	0.009416497
1.87	0.089627726	0.104797102	0.019931474	0.009274893
1.88	0.089345427	0.104442222	0.019740354	0.009134389
1.89	0.088962828	0.104142816	0.019562718	0.009003532
1.9	0.088542269	0.103792846	0.01942812	0.008922963
1.91	0.088110551	0.103438598	0.019284155	0.008844344
1.92	0.087632774	0.103018979	0.019142408	0.008766793
1.93	0.087124741	0.102539233	0.019012098	0.008689663
1.94	0.086633232	0.102003108	0.018908479	0.00862239
1.95	0.086124941	0.101409025	0.018823647	0.008554329
1.96	0.085590052	0.100762952	0.018756832	0.008489357
1.97	0.085107116	0.100145375	0.018711889	0.008425642
1.98	0.084633779	0.099484304	0.018675536	0.008358004
1.99	0.084140396	0.098778831	0.018642105	0.008286137
2	0.083622385	0.098033765	0.018604888	0.008209661
2.01	0.083093993	0.097255051	0.018557077	0.008128196
2.02	0.082584255	0.096444984	0.018491169	0.008041295
2.03	0.082074739	0.095625563	0.018397495	0.007948681

2.04	0.081610223	0.094779274	0.018279807	0.007850089
2.05	0.081093259	0.093904269	0.018131667	0.007745387
2.06	0.080492138	0.093016948	0.017938603	0.007681466
2.07	0.079886261	0.09215937	0.017708139	0.00761647
2.08	0.079338383	0.091379597	0.017448445	0.007547836
2.09	0.078733707	0.090574174	0.017173242	0.007475607
2.1	0.078078731	0.089741213	0.01689395	0.007400131
2.11	0.077393641	0.088880848	0.016620049	0.007321992
2.12	0.076806298	0.087993091	0.016359426	0.007242076
2.13	0.076214815	0.087079323	0.01611725	0.007160553
2.14	0.075603892	0.086142703	0.015896334	0.007077819
2.15	0.075010156	0.08518534	0.015697132	0.006994196
2.16	0.074420141	0.084206964	0.01551898	0.006909727
2.17	0.07381224	0.083210611	0.015361206	0.006824383
2.18	0.073189861	0.082198002	0.015221105	0.006738329
2.19	0.072553199	0.081169285	0.015102832	0.006656627
2.2	0.071941298	0.080184003	0.014997879	0.006576082
2.21	0.071421053	0.079229329	0.014903535	0.006509045
2.22	0.070887428	0.078265856	0.014817625	0.006465808
2.23	0.070358099	0.077328223	0.014725378	0.006421369
2.24	0.069812492	0.076483992	0.014619459	0.006374783
2.25	0.069337649	0.075774077	0.014506893	0.006337722
2.26	0.068824591	0.075054986	0.014377165	0.006304495
2.27	0.068261844	0.074324169	0.014222163	0.006267657
2.28	0.067649115	0.073707309	0.014105057	0.006242745
2.29	0.066989385	0.073107165	0.013962505	0.006222232
2.3	0.066293486	0.072512712	0.013802673	0.006200229
2.31	0.065813419	0.072126063	0.013626199	0.006173836
2.32	0.06536606	0.071736936	0.013433634	0.006142714
2.33	0.064915398	0.071349398	0.013263948	0.006106787
2.34	0.064482448	0.070975619	0.01310692	0.006066378
2.35	0.064075123	0.070584896	0.012941419	0.006021509
2.36	0.063672161	0.070177136	0.012771901	0.005972677
2.37	0.063287343	0.069751152	0.012601735	0.005925172
2.38	0.062953298	0.069308298	0.01243458	0.005887852
2.39	0.06260627	0.068862261	0.012271837	0.005855864
2.4	0.062245387	0.068460009	0.012114925	0.005821742
2.41	0.061873452	0.068058678	0.011983421	0.005784711
2.42	0.061495803	0.067723227	0.011884307	0.005744739
2.43	0.061122613	0.067379441	0.011792953	0.005701886
2.44	0.060754685	0.067031175	0.011734526	0.005676069
2.45	0.06040029	0.06667876	0.011689048	0.005651552
2.46	0.06006312	0.066321973	0.011650488	0.005624384
2.47	0.059749954	0.065959586	0.011617119	0.005594503
2.48	0.059464854	0.065592984	0.011587959	0.005562351
2.49	0.059200817	0.065220215	0.011561141	0.005527917
2.5	0.058953279	0.064842307	0.011534559	0.005491464
2.51	0.058716428	0.064464098	0.011505976	0.005453386
2.52	0.058487382	0.064083892	0.011474942	0.005415625
2.53	0.058270248	0.063703314	0.011444812	0.005383039
2.54	0.058062192	0.063319294	0.011402378	0.005348192
2.55	0.057849202	0.062933254	0.011345059	0.005311094
2.56	0.057616126	0.062541531	0.011270899	0.005271861

2.57	0.057353877	0.062148994	0.011179619	0.005230748
2.58	0.057066161	0.061754466	0.011071894	0.005187865
2.59	0.056748902	0.061362024	0.010949787	0.005143439
2.6	0.056406839	0.060973988	0.01082781	0.005097805
2.61	0.056100817	0.060678648	0.010704296	0.005051144
2.62	0.05583375	0.060383221	0.010573352	0.005003524
2.63	0.055548768	0.06008827	0.010438124	0.004955075
2.64	0.055268003	0.059793606	0.010300759	0.004905475
2.65	0.05498573	0.059500011	0.010163271	0.004854771
2.66	0.054692774	0.059208784	0.0100277	0.004803049
2.67	0.054409363	0.058928214	0.009897605	0.004751826
2.68	0.05413036	0.058654858	0.009776116	0.004703172
2.69	0.053843188	0.058378888	0.009659484	0.004657794
2.7	0.053543445	0.05809794	0.009547352	0.004610998
2.71	0.053231296	0.057812549	0.009440098	0.004562757
2.72	0.052903318	0.057518164	0.009338134	0.004513154
2.73	0.052559239	0.057216994	0.009241552	0.004462213
2.74	0.05219781	0.056906721	0.009152331	0.004411445
2.75	0.05181993	0.056589087	0.00908404	0.00436937
2.76	0.051428553	0.056265285	0.009020933	0.004326022
2.77	0.051040645	0.055935202	0.008962374	0.004281528
2.78	0.050649306	0.055601246	0.008908123	0.004235947
2.79	0.050256195	0.055264316	0.008857744	0.004189584
2.8	0.049862716	0.054926017	0.008811169	0.004142533
2.81	0.049468402	0.054583317	0.008767707	0.004095003
2.82	0.049071933	0.054234442	0.008727002	0.004047275
2.83	0.048674153	0.053879622	0.008688555	0.003999472
2.84	0.048276204	0.053518659	0.008651338	0.003951889
2.85	0.047879768	0.053153956	0.008615847	0.003904749
2.86	0.04748659	0.052787987	0.008581978	0.003858388
2.87	0.047098801	0.052423327	0.008546212	0.003813146
2.88	0.046716577	0.052058866	0.008506874	0.003769304
2.89	0.046337453	0.051693107	0.008464263	0.003728508
2.9	0.045961711	0.051325771	0.008416276	0.003690575
2.91	0.045586954	0.050956832	0.008360158	0.003654572
2.92	0.045215057	0.050582636	0.008294789	0.003620618
2.93	0.044842404	0.050202639	0.008220379	0.003588702
2.94	0.044482247	0.049825618	0.00814466	0.003558762
2.95	0.044126907	0.049443493	0.008067813	0.003530566
2.96	0.04377287	0.049093721	0.007997471	0.003503985
2.97	0.043491159	0.048791679	0.007929998	0.003478731
2.98	0.043213206	0.048485835	0.007858583	0.003454607
2.99	0.042939149	0.048176255	0.007782735	0.003431369
3	0.042669813	0.047863312	0.007703952	0.0034088
3.01	0.042404726	0.047547648	0.007623724	0.003386777
3.02	0.042143641	0.047228188	0.007543572	0.003365156
3.03	0.041885416	0.046904715	0.007464838	0.003343905
3.04	0.041630284	0.046578135	0.007389765	0.003324492
3.05	0.041377491	0.04624766	0.007318648	0.003306005
3.06	0.04112727	0.045915218	0.007250817	0.003287908
3.07	0.040880271	0.045582258	0.0071868	0.003270136
3.08	0.040636266	0.045249827	0.007128684	0.003252658
3.09	0.040394952	0.044919439	0.007078017	0.003235374

3.1	0.040156245	0.044591997	0.007030633	0.003218094
3.11	0.039918184	0.044266582	0.006986376	0.003200653
3.12	0.03967965	0.043943054	0.006944987	0.003182782
3.13	0.039438933	0.043619162	0.006906587	0.003164375
3.14	0.039224718	0.043322322	0.006870805	0.003145176
3.15	0.039014684	0.043027822	0.00683747	0.003125206
3.16	0.038794739	0.042729092	0.006806342	0.003104347
3.17	0.038565694	0.042427015	0.006777476	0.003082779
3.18	0.038329851	0.042121015	0.006755422	0.003064102
3.19	0.038086255	0.041812897	0.006735603	0.003045026
3.2	0.037836687	0.041503936	0.00671761	0.003025547
3.21	0.037582236	0.041194366	0.006701251	0.003005851
3.22	0.037324692	0.040900255	0.006686191	0.002985854
3.23	0.037061808	0.040665916	0.006672215	0.002965604
3.24	0.036793982	0.04043102	0.006658698	0.002944973
3.25	0.036521786	0.040193599	0.006645141	0.002923922
3.26	0.036277312	0.039956688	0.006631123	0.002902376
3.27	0.036118579	0.039717677	0.006615891	0.002880266
3.28	0.03597536	0.039474219	0.006599003	0.002857657
3.29	0.035833143	0.039227062	0.006579518	0.002834519
3.3	0.035691615	0.0389764	0.006562631	0.002811029
3.31	0.035548645	0.038723371	0.006579712	0.002787443
3.32	0.035404102	0.038468319	0.006602834	0.002763959
3.33	0.035255589	0.038211741	0.006640706	0.002751724
3.34	0.035100449	0.037955283	0.006678343	0.002742338
3.35	0.034935495	0.037698968	0.006719916	0.002737599
3.36	0.034758888	0.03745266	0.006759105	0.002733928
3.37	0.034631771	0.037245887	0.006792159	0.002729761
3.38	0.034488582	0.037038737	0.006817481	0.002725003
3.39	0.034328878	0.036835158	0.006836717	0.002719561
3.4	0.034158713	0.036631836	0.006845744	0.002713363
3.41	0.033976678	0.03642528	0.006849161	0.002706271
3.42	0.033794796	0.03621637	0.006841876	0.002698255
3.43	0.03360967	0.036005304	0.006824398	0.002689346
3.44	0.033421951	0.035791765	0.006796303	0.002679607
3.45	0.03323116	0.03557603	0.006756605	0.002669159
3.46	0.033022738	0.035359695	0.006706164	0.002658197
3.47	0.032804639	0.035142844	0.006646947	0.002647209
3.48	0.032586139	0.034926419	0.00658204	0.002637333
3.49	0.032356851	0.034710142	0.006510761	0.002627267
3.5	0.032118961	0.034494642	0.006434809	0.002617042
3.51	0.031874673	0.034278449	0.006355474	0.002606727
3.52	0.031625799	0.034061199	0.006274009	0.0025981
3.53	0.031374554	0.03384223	0.006193747	0.002589401
3.54	0.031120938	0.033620671	0.006114284	0.002580601
3.55	0.030864824	0.033394786	0.006034332	0.002571564
3.56	0.030606612	0.033164254	0.005954932	0.002562296
3.57	0.030347863	0.032928677	0.005876248	0.002552689
3.58	0.030088462	0.032688783	0.005798771	0.002543946
3.59	0.029829445	0.032445701	0.005722975	0.00253627
3.6	0.029572212	0.032200612	0.005649242	0.002528243
3.61	0.029317916	0.031955131	0.005577605	0.002519931
3.62	0.029067286	0.031709956	0.005508098	0.002511457



3.63	0.028833685	0.031501747	0.005443972	0.00250287
3.64	0.028684961	0.031332358	0.005388645	0.002494285
3.65	0.028537831	0.031163051	0.005334409	0.00248571
3.66	0.028391343	0.030992601	0.005281134	0.002477175
3.67	0.028244789	0.030820108	0.00522854	0.002468626
3.68	0.028096738	0.03064405	0.005176551	0.00246005
3.69	0.027944777	0.030462898	0.00512623	0.002451339
3.7	0.027787337	0.030275473	0.005079761	0.002442528
3.71	0.027623489	0.030080801	0.005038423	0.002433599
3.72	0.027453159	0.029890951	0.004997136	0.002424209
3.73	0.027275595	0.029697365	0.004955986	0.002414208
3.74	0.027091472	0.029499399	0.004914766	0.002403528
3.75	0.026936099	0.0293151	0.004873484	0.002392102
3.76	0.026804027	0.029126177	0.004832236	0.002379904
3.77	0.026667859	0.028933943	0.004791138	0.002366985
3.78	0.026528106	0.028740461	0.004750436	0.002353416
3.79	0.026385715	0.028548874	0.004710004	0.002339152
3.8	0.026241578	0.028359141	0.004669851	0.002324287
3.81	0.026097495	0.028171219	0.00462992	0.002308772
3.82	0.025953081	0.027985054	0.004590191	0.002292652
3.83	0.02580816	0.027800462	0.004550427	0.002275864
3.84	0.025662514	0.027616724	0.004510953	0.002259018
3.85	0.025516345	0.027432382	0.004474392	0.002245724
3.86	0.025368993	0.027246063	0.004439936	0.002234015
3.87	0.025222258	0.027064308	0.004404815	0.002222028
3.88	0.025073402	0.026879654	0.004368887	0.002209636
3.89	0.024920907	0.026689039	0.004332144	0.00219678
3.9	0.024764295	0.026491528	0.004294689	0.002183457
3.91	0.024602973	0.026287016	0.004256386	0.002169577
3.92	0.02443742	0.026076649	0.004217316	0.002155137
3.93	0.024268752	0.025861782	0.004177675	0.00214012
3.94	0.024099516	0.025650522	0.00413836	0.002124596
3.95	0.023940672	0.025450107	0.004103793	0.002108614
3.96	0.023780678	0.025253757	0.004074379	0.00209228
3.97	0.023620556	0.025059179	0.004045922	0.002075727
3.98	0.023461001	0.024873567	0.004020895	0.00205908
3.99	0.023304616	0.024693244	0.003996298	0.002042468
4	0.023169496	0.024515702	0.003973532	0.002027291
4.01	0.023034299	0.024340831	0.003952578	0.002013593
4.02	0.022896456	0.024168019	0.003931176	0.002000002
4.03	0.022756378	0.023996302	0.003909126	0.00198656
4.04	0.022614307	0.023824734	0.003886299	0.001973286
4.05	0.022470906	0.023654174	0.003862384	0.001960168
4.06	0.022336264	0.023495268	0.003837234	0.001947213
4.07	0.022208515	0.023331281	0.003810592	0.001934381
4.08	0.022072869	0.023160643	0.003782267	0.001921633
4.09	0.021923529	0.022982568	0.003752181	0.001908899
4.1	0.021760394	0.022803714	0.00372501	0.001896117
4.11	0.021603051	0.022624642	0.003697658	0.001883234
4.12	0.021445414	0.022438054	0.003670175	0.001871479
4.13	0.021276227	0.022244795	0.003641282	0.001859762
4.14	0.021113348	0.022046344	0.003610758	0.001847804
4.15	0.020940964	0.021844134	0.003587811	0.001835585

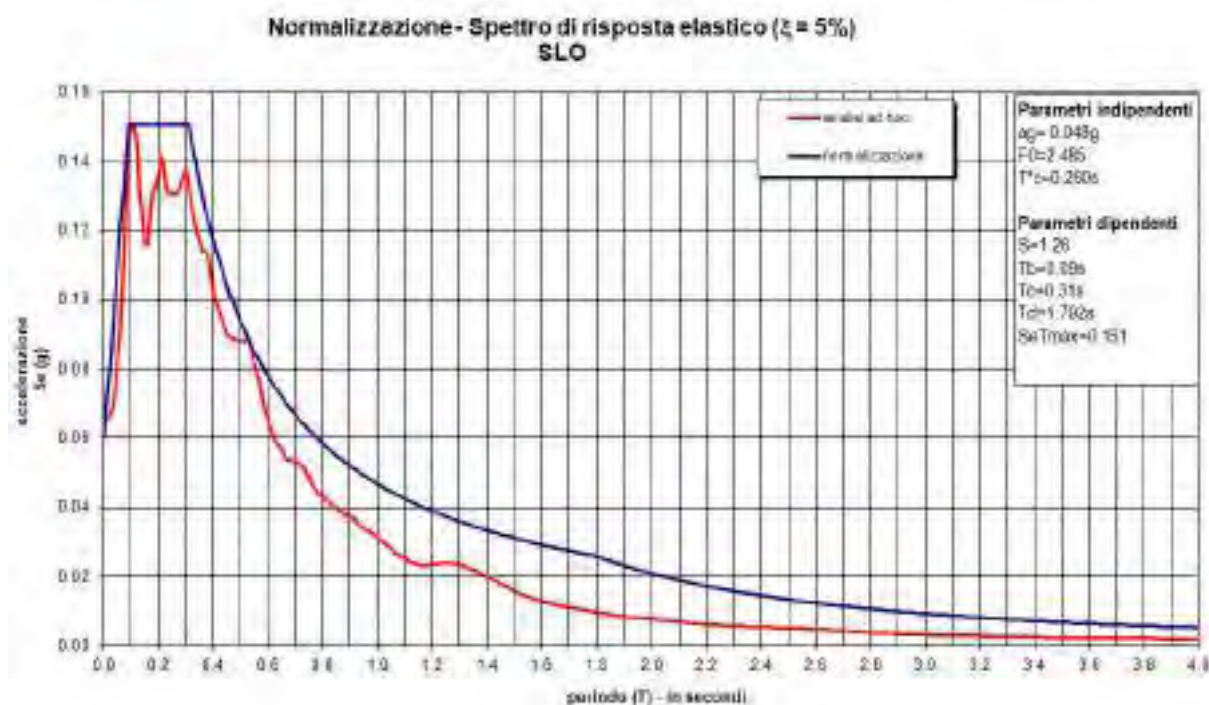
4.16	0.020760774	0.021639912	0.003564	0.00182315
4.17	0.020574744	0.021435073	0.003538789	0.001810516
4.18	0.020384215	0.02123117	0.003512304	0.001797734
4.19	0.020190721	0.021029545	0.00348477	0.001784866
4.2	0.019995262	0.020831338	0.003459342	0.001771953
4.21	0.019798628	0.020637174	0.003434893	0.00175904
4.22	0.01960127	0.020447248	0.003409719	0.00174615
4.23	0.019406307	0.020262855	0.003388159	0.001733322
4.24	0.019221673	0.020097615	0.003368992	0.001720561
4.25	0.019035449	0.019934959	0.003349174	0.001707886
4.26	0.018847357	0.019774053	0.003328794	0.001695284
4.27	0.018657269	0.019613712	0.00330841	0.001683104
4.28	0.018464828	0.019452967	0.00328754	0.001671094
4.29	0.018269977	0.019290399	0.003266061	0.001659109
4.3	0.018084923	0.01913415	0.003243856	0.001647112
4.31	0.01791473	0.018988565	0.003220945	0.001635063
4.32	0.017741038	0.01883837	0.003197249	0.001622946
4.33	0.017563966	0.018682977	0.003172825	0.001610754
4.34	0.01738379	0.018522639	0.003147612	0.001598463
4.35	0.017201126	0.01835732	0.003121765	0.001586097
4.36	0.017016734	0.018187968	0.003096599	0.001574656
4.37	0.016831247	0.018015106	0.003071248	0.001563401
4.38	0.016645329	0.017839853	0.003045267	0.001552063
4.39	0.016459904	0.017663421	0.003018855	0.001541195
4.4	0.016275981	0.017486995	0.00299208	0.001530244
4.41	0.016094225	0.017311801	0.002965074	0.001519241
4.42	0.01591559	0.017138606	0.002938022	0.001508234
4.43	0.015740553	0.016968577	0.002912916	0.001497245
4.44	0.015569594	0.016802215	0.002888355	0.001486314
4.45	0.015403007	0.016640061	0.002863845	0.001475461
4.46	0.015240844	0.016482512	0.00283943	0.001464729
4.47	0.015083157	0.016329403	0.002815182	0.00145413
4.48	0.01492969	0.01618061	0.002791176	0.001443703
4.49	0.014780223	0.016035832	0.002767376	0.001433454
4.5	0.014634307	0.015894401	0.002743814	0.001423395
4.51	0.014491423	0.015755606	0.00272051	0.001413534
4.52	0.014352018	0.015618676	0.002697385	0.001403872
4.53	0.014221437	0.015483247	0.002674399	0.001394406
4.54	0.014095194	0.015354109	0.002651538	0.001385127
4.55	0.013975874	0.015224801	0.002628799	0.001376023
4.56	0.01385667	0.015094801	0.0026061	0.00136708
4.57	0.013737131	0.014964247	0.002583869	0.001358285
4.58	0.013617002	0.01483917	0.002564697	0.001349624
4.59	0.013496175	0.014712621	0.002545628	0.001341079
4.6	0.013374604	0.014584346	0.002526624	0.001332634
4.61	0.013252425	0.014454664	0.002507635	0.001324275
4.62	0.013130438	0.014325817	0.002488641	0.001315989
4.63	0.013010611	0.014195625	0.002469634	0.001307767
4.64	0.012890466	0.01406441	0.002450612	0.001299598
4.65	0.012770257	0.013932605	0.002431589	0.001291476
4.66	0.012650314	0.013800729	0.002412605	0.001283397
4.67	0.012530976	0.013669167	0.002393656	0.001275354
4.68	0.012412388	0.013538393	0.002374741	0.001267345

4.69	0.012294793	0.013408816	0.002355883	0.001259368
4.7	0.012178399	0.013280945	0.002337102	0.00125142
4.71	0.012063379	0.013154992	0.00231842	0.001243498
4.72	0.011949855	0.013031215	0.002299863	0.001235602
4.73	0.011837976	0.012909811	0.00228144	0.001227735
4.74	0.011727776	0.012806864	0.002263163	0.001219893
4.75	0.011638612	0.012706656	0.002245058	0.001212075
4.76	0.011551082	0.01260815	0.002227144	0.001204279
4.77	0.011464181	0.012511368	0.002209404	0.001196507
4.78	0.011377834	0.01241631	0.002191823	0.00118876
4.79	0.011298688	0.012322968	0.002174394	0.001181037
4.8	0.011224749	0.012231262	0.002157111	0.001173339
4.81	0.011152063	0.012140981	0.002139967	0.001165668
4.82	0.011080492	0.012051964	0.002122953	0.001158027
4.83	0.011009907	0.011964052	0.002106054	0.001150417
4.84	0.010940205	0.011877072	0.00208926	0.001142841
4.85	0.010871276	0.011790855	0.002072562	0.001135303
4.86	0.010803106	0.011705175	0.002056233	0.001127806
4.87	0.010735527	0.011619921	0.002040521	0.001120351
4.88	0.010668411	0.011534965	0.002024949	0.001112941
4.89	0.010601685	0.011450248	0.002009525	0.001105575
4.9	0.010535259	0.011365727	0.001994763	0.001098806
4.91	0.01046914	0.011281299	0.00198119	0.001092715
4.92	0.01040327	0.011196961	0.001967787	0.001086658
4.93	0.010337539	0.011112734	0.001954541	0.001080628
4.94	0.010271927	0.011030383	0.001941461	0.001074619
4.95	0.010206368	0.010949236	0.001928557	0.001068625
4.96	0.010140884	0.010868265	0.001915846	0.001062639
4.97	0.010079476	0.010789403	0.001903336	0.001056654
4.98	0.0100226	0.010720233	0.001891049	0.001050664
4.99	0.009966295	0.010651097	0.00187901	0.001044664
5	0.009910538	0.010582108	0.00186722	0.001038648

## 6. SPETTRI NORMALIZZATI

In quest'ultimo capitolo si riportano gli spettri di risposta sismica locale normalizzati per ogni stato limite (fig. 16-17-18-19). Nelle figure degli spettri sono riportati anche i parametri dipendenti e indipendenti.

Comunque si consiglia il progettista di utilizzare i risultati della tabella 4, ossia gli spettri di risposta sismica locale di sito ottenuti dall'analisi numerica monodimensionale.



**Fig. 16-** Spettro di risposta sismica locale normalizzato (SLO)

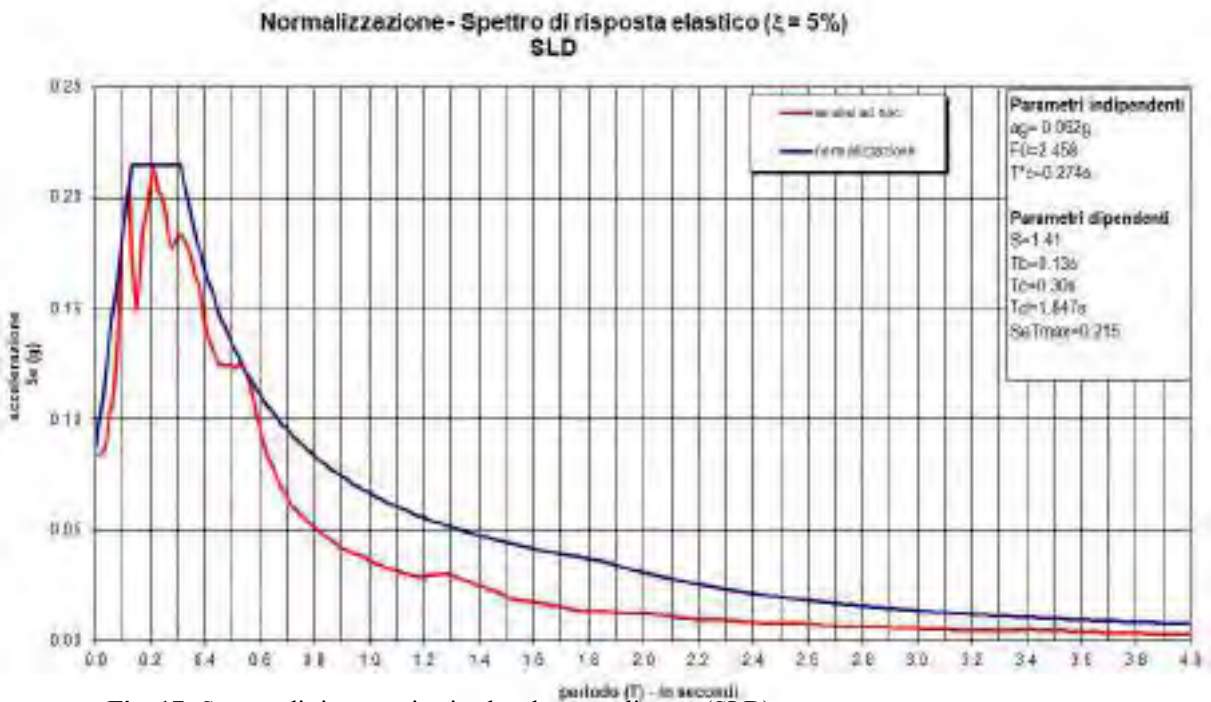


Fig. 17- Spettro di risposta sismica locale normalizzato (SLD)

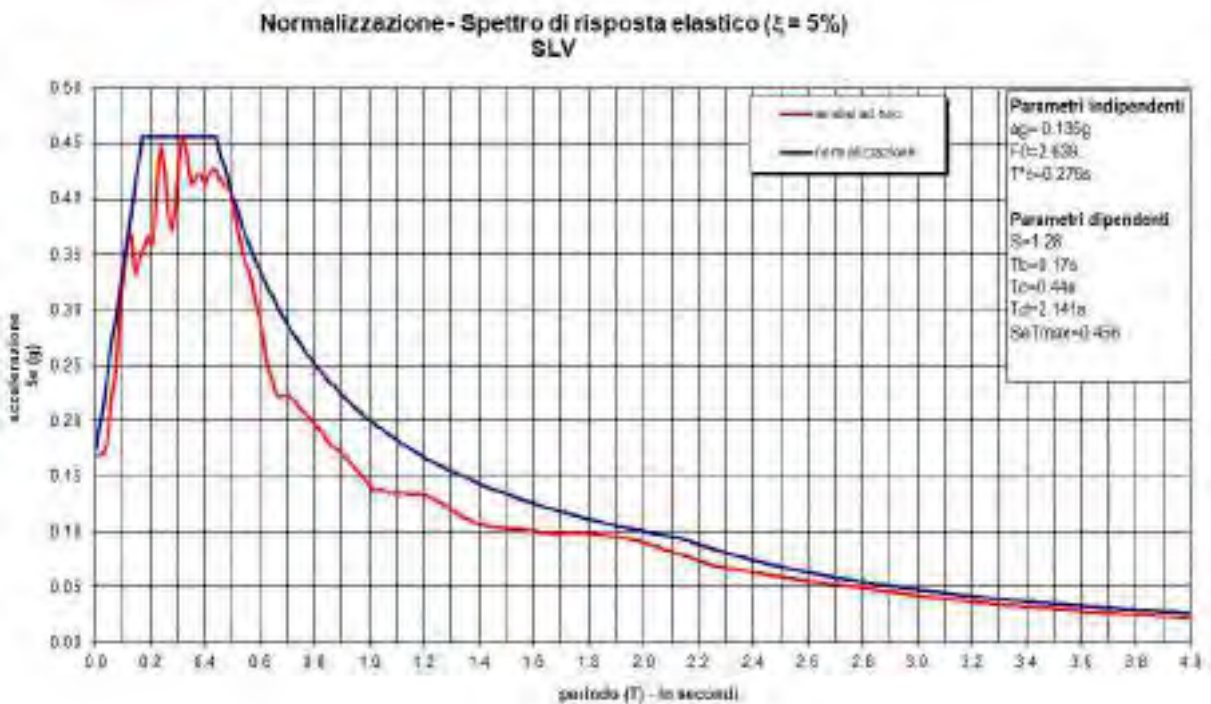
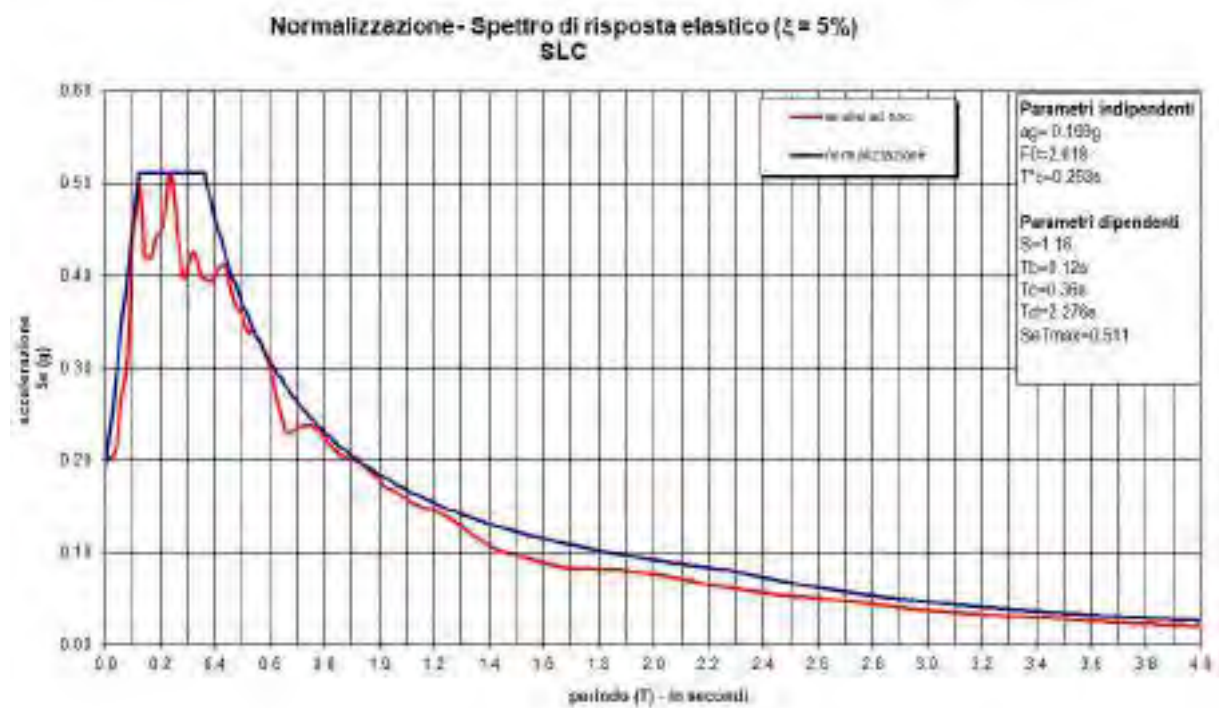


Fig. 18- Spettro di risposta sismica locale normalizzato (SLV)



**Fig. 19-** Spettro di risposta sismica locale normalizzato (SLC)

Data: 20/02/2021

Geologo Luca tassone

***ALLEGATO 6 - FASCICOLO INDAGINI***

***“Indagini e prove eseguite secondo le disposizioni del Regolamento regionale  
Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure  
per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico -  
Regolamento 26 ottobre 2020, n. 26”***

***ELENCO PROVE ESEGUITE***

- Stratigrafie sondaggi a carotaggio continuo
- Prove di Laboratorio
- DPSH
- Determinazione categoria di sottosuolo – N.3 Indagini Geofisiche: n.1 Prospezione sismica Masw, n.1 prospezione sismica ReMi e n.1 Misura HVSR elaborata in maniera congiunta con la Masw
- Report Misure HVSR
- Downhole

*Data: 28-02-2021*

***Geologo Luca Tassone***



Committente: Comune di Pomezia	Sondaggio: S1
Riferimento: I.C. Enea - Scuola Primaria Martin Pescatore	Data: 28/12/2020
Coordinate: 289488E - 461199N - UTM33 WGS84	Quota: 7
Perforazione: a carotaggio continuo	

## LEGENDA STRATIGRAFIA

Ø mm	R v	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test		Cass.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Rivestimento
- 3) Scala metrica
- 4) Simbolo litologico
- 5) Descrizione della litologia dello strato
- 6) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 7) Resistenza alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)
- 8) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 9) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 10) Prova S.P.T.
- 11) Valore di N<sub>spt</sub>
- 12) Cassette catalogatrici

*She = Shelby*  
*Den = Denison*  
*Ost = Osterberg*  
*Maz = Mazier*  
*Crp = Craps*  
*nk3 = NK3*  
*Ind = Indisturbato*  
*Dis = Disturbato*  
*SDi = Semi disturbato*  
*SPT = SPT*  
*Amb = Ambientale*

Committente: Comune di Pomezia	Sondaggio: S1
Riferimento: I.C. Enea - Scuola Primaria Martin Pescatore	Data: 28/01/2020
Coordinate: 289488E - 461199N - UTM33 WGS84	Quota: 7
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :75	<b>STRATIGRAFIA</b>	Pagina 1/2
-------------	---------------------	------------

Ø mm	R v	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test		Cass.
								m	S.P.T.	N
		1		Terreno di riporto caratterizzato da vulcanoclastiti marrone scuro da scavo e rideposizione, con residui edilizia recente						
		2		Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro, a granulometria sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa, moderatamente addensate	1) She < 1.50 1.80					1
		3		Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate, verso la parte bassa si ha un passaggio graduale alle sabbie sottostanti						
		4								
		5		Sabbie medie, colore marrone chiaro, da moderatamente addensate a mediamente addensate				5.0	5-11-21	32
		6								
		7						7.5	6-12-20	32
		8		Sabbie grigie con ghiaietto, con diametro max Ø=1cm, moderatamente addensate						2
		9		Sabbie a granulometria media, di colore grigio-giallastro, da moderatamente a mediamente addensate						
		10			2) She < 10.00 10.50			10.5	6-9-19	28
		11								
		12						11.8	2-5-7	12
		13		Sabbie a granulometria media, di colore grigio-giallastro, da moderatamente a mediamente addensate, con ghiaietto. Rapporto ciottoli/matrice= 3/4. Diametro massimo ghiaietto Ø=1cm						3
		14		Ghiaie a matrice sabbiosa marroncina, con ciottoli con diametro max Ø=4cm, rapporto ciottoli/matrice= 4/1, con porzioni in cui aumenta la parte matriciale ed il rapporto diventa 1/1; quest'ultime si presentano parzialmente cementate.						
		15								

Committente: Comune di Pomezia	Sondaggio: S1
Riferimento: I.C. Enea - Scuola Primaria Martin Pescatore	Data: 28/01/2020
Coordinate: 289488E - 461199N - UTM33 WGS84	Quota: 7
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1:75	<b>STRATIGRAFIA</b>	Pagina 2/2
------------	---------------------	------------

Ø mm	R v	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Cass.
								m	S.P.T.	N	
		16		Ghiaie a matrice sabbiosa marroncina, con ciottoli con diametro max Ø=4cm, rapporto ciottoli/matrice= 4/1, con porzioni in cui aumenta la parte matriciale ed il rapporto diventa 1/1; quest'ultime si presentano parzialmente cementate.							
		17		Sabbie di colore grigio chiaro - marrone chiaro, parzialmente cementate, con ghiaietto, con rapporto ciottoli/matrice=1/2. Presenza di livelli limoso-sabbiosi consistenti		3					
		18		Argille grigio chiare, da poco consistenti a molto consistenti, con rari microciottoli con diametro Ø=2mm.		1.5					4
		18		Argille grigio chiaro, con ciottoli con diametro max Ø=3cm.							
		19		Argille grigio chiare, da poco consistenti a molto consistenti, con rari microciottoli con diametro Ø=2mm.	3) She < 18.40 19.00	2.3		19.0	4-9-12	21	
		20				1.5					
		21				1					
		22				2					
		23				2.2					5
		24				1.9					
		25				2.2					
		26				2.5					
		27				1.4					
		28				2.7					6
		29				3.2					
101		30				3.2					

Committente: Comune di Pomezia	Sondaggio: S2
Riferimento: I.C. Enea - Scuola Primaria Martin Pescatore	Data: 29/12/2020
Coordinate: UTM33 WGS84	Quota: 7
Perforazione: a carotaggio continuo	

## LEGENDA STRATIGRAFIA

ø mm	R v	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Cass.
1	2	3	4	5	6	7

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Rivestimento
- 3) Scala metrica
- 4) Simbolo litologico
- 5) Descrizione della litologia dello strato
- 6) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 7) Cassette catalogatrici

Committente: Comune di Pomezia	Sondaggio: S2
Riferimento: I.C. Enea - Scuola Primaria Martin Pescatore	Data: 29/01/2020
Coordinate: UTM33 WGS84	Quota: 7
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :75			STRATIGRAFIA		Pagina 1/1	
ø mm	R v	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Cass.
		1		Terreno di riporto caratterizzato da vulcanoclastiti marrone rossastro da scavo e rideposizione, con residui edilizia recente		
		2		Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro, a granulometria sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa, moderatamente addensate		
		3				1
		4		Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate, verso la parte bassa si ha un passaggio graduale alle sabbie sottostanti		
		5		Sabbie medie, colore marrone chiaro, da moderatamente addensate a mediamente addensate		
		6				
		7				2
		8		Sabbie a granulometria media, di colore grigio-giallastro, da moderatamente a mediamente addensate		
		9				
		10				
		11				
		12				
		13		Sabbie a granulometria media, di colore grigio-giallastro, da moderatamente a mediamente addensate, con ghiaietto. Rapporto ciottoli/matrice= 3/4. Diametro massimo ghiaietto Ø=2cm		3
		14		Ghiaie a matrice sabbiosa marroncina, con ciottoli con diametro max Ø=4cm, rapporto ciottoli/matrice= 4/1, con porzioni in cui aumenta la parte matriciale ed il rapporto diventa 1/1; quest'ultime si presentano parzialmente cementate.		
		15		Sabbie a granulometria media, di colore grigio-giallastro, da moderatamente a mediamente addensate		
		16		Sabbie di colore grigio chiaro - marrone chiaro, parzialmente cementate, con ghiaietto, con rapporto ciottoli/matrice=1/2. Presenza di livelli limoso-sabbiosi consistenti		

Committente: Comune di Pomezia	Sondaggio: S3
Riferimento: I.C. Enea - Scuola Primaria Martin Pescatore	Data: 30/12/2020
Coordinate: UTM33 WGS84	Quota: 7
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :75			STRATIGRAFIA			Pagina 1/1					
ø mm	R v	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Campioni	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Cass.	PzA
							m	S.P.T.	N		
		1		Terreno di riporto caratterizzato da vulcanoclastiti marrone rossastro da scavo e rideposizione, con residui edilizia recente							
		2		Vulcanoclastiti di colore marrone-rossastro, a granulometria sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa, moderatamente addensate							
		3									
		4									
		5		Vulcanoclastiti arancioni, a granulometria limoso-sabbiosa, mediamente addensate, verso la parte bassa si ha un passaggio graduale alle sabbie sottostanti							
		6									
		7		Tufo da litoide a semilitoide marrone-arancione							
		8		Sabbie medie, colore marrone chiaro, da moderatamente addensate a mediamente addensate							
		9		Sabbie grigie con ghiaietto, con diametro max Ø=1cm, moderatamente addensate							
		10		Sabbie marroni-grigiastre, a granulometria media, moderatamente addensate, con raro ghiaietto con diametro max Ø=2mm							
		11		Ghiaie a matrice sabbiosa marroncina, con ciottoli con diametro max Ø=4cm, rapporto ciottoli/matrice= 4/1, con porzioni in cui aumenta la parte matriciale ed il rapporto diventa 1/1; quest'ultime si presentano parzialmente cementate.							
		12		Sabbie a granulometria media, di colore grigio, marrone verso il basso moderatamente addensate							
		13		Limi poco sabbiosi, marrone - rossastro, con ghiaie con diametro max Ø=1cm, poco addensati. Rapporto matrice/ciottoli= 5/1							
		14		Ghiaie a matrice sabbiosa marroncina, con ciottoli con diametro max Ø=4cm, rapporto ciottoli/matrice= 4/1, con porzioni in cui aumenta la parte matriciale ed il rapporto diventa 1/1; quest'ultime si presentano parzialmente cementate.							
		15		Sabbie di colore grigio chiaro - marrone chiaro, parzialmente cementate, con ciottoli, rapporto ciottoli/matrice =1/2. Presenza di livelli limoso-sabbiosi consistenti.							

Committente: Comune di Pomezia	Sondaggio: S3
Riferimento: I.C. Enea - Scuola Primaria Martin Pescatore	Data: 30/12/2020
Coordinate: UTM33 WGS84	Quota: 7
Perforazione: a carotaggio continuo	

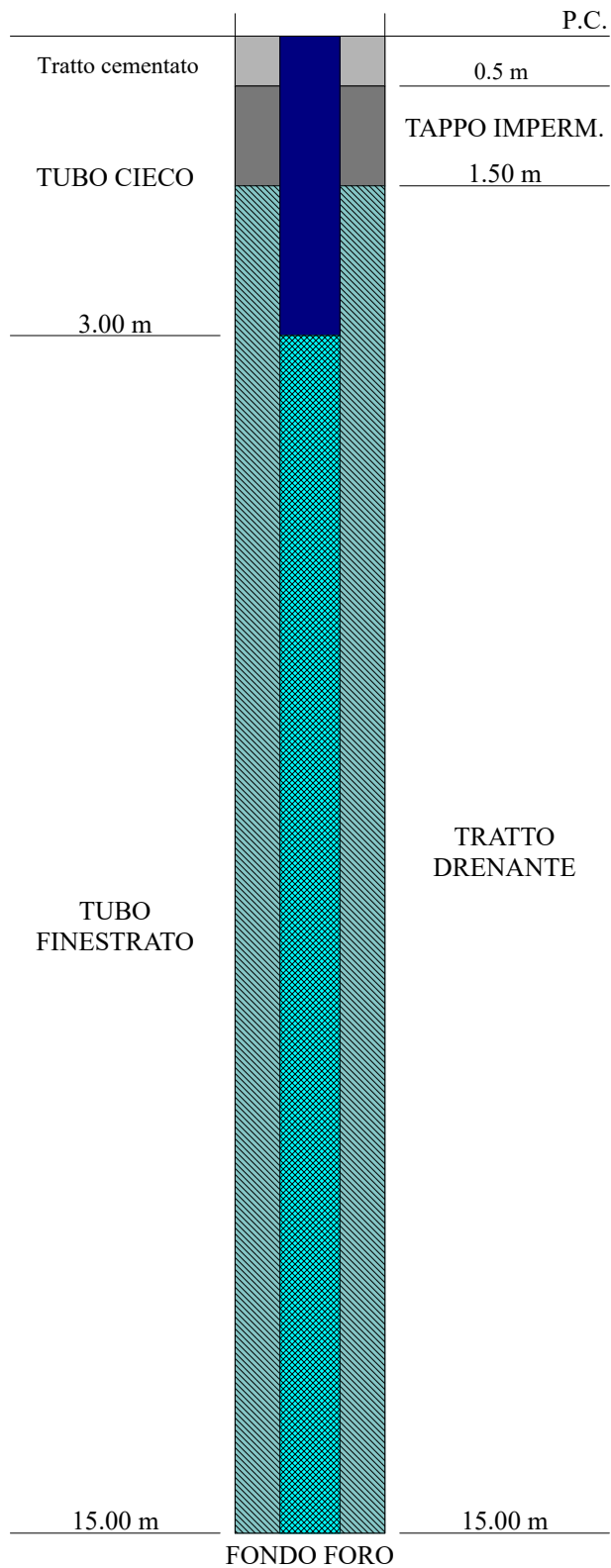
## SCHEDA PIEZOMETRO

Tipo di piezometro	Norton
Denominazione	S3
Data di installazione	30/12/2020
Lunghezza del tubo (m)	15
Diametro del tubo (mm)	25.4
Tubo finestrato (m)	12
Tratto cementato (m)	0.5
Tappo impermeabile (m)	1
Tratto filtrante (m)	13.5
Tipo di filtro	Ghiaietto calibrato
Tipo di chiusino	plastica
Spurgo eseguito	no

## RILIEVO DEL LIVELLO DELL'ACQUA

[illegible]

### SCHEMA PIEZOMETRO





COMMITTENTE:	COMUNE DI POMEZIA
RIFERIMENTO:	Pomezia - Scuola Via Torralba
SONDAGGIO:	S1
CAMPIONE:	C1
PROFONDITA':	m 1.5-1.8

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	13,4	%
Peso di volume	18,9	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	16,6	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	20,2	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,68	
Indice dei vuoti	0,577	
Porosità	36,6	%
Grado di saturazione	62,4	%
Limite di liquidità	Non determinabile	
Limite di plasticità	Non plastico	
Indice di plasticità	Non determinabile	
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	87,4	%
Limo	4,8	%
Argilla	7,8	%
D 10	0,031870	mm
D 50	0,208099	mm
D 60	0,230965	mm
D 90	0,386129	mm
Passante set. 10	100,0	%
Passante set. 42	94,3	%
Passante set. 200	12,6	%

### PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

### COMPRESSIONE

$\sigma$	kPa	$\sigma_{Rim}$	kPa
$c_u$	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

### TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
$c'$	0,0	kPa	$\phi'$ 36,0 °
$c'_{Res}$		kPa	$\phi'_{Res}$ °

### COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	$c_d$	kPa	$\phi_d$ °
C.U.	$c'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$ °
	$c_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$ °
U.U.	$c_u$	kPa	$\phi_u$ °

### PROVA EDOMETRICA

$\sigma$ kPa	E kPa	$C_v$ cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec

Sabbia debolmente limoso argillosa di colore marrone bruno.

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00627</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 22/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 22/01/21	Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.5-1.8

### **CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

**Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 13,4 %**

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo  
☐ Stratificato  
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 1,19 mm

Sabbia debolmente limoso argillosa di colore marrone bruno.

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00626</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 22/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 22/01/21	Fine analisi: 22/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba
SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 1.5-1.8

### **PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 18,9 kN/m³**

Sabbia debolmente limoso argillosa di colore marrone bruno.

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00625</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 01/02/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 22/01/21	Fine analisi: 01/02/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba
SONDAGGIO: S1                                      CAMPIONE: C1                                      PROFONDITA': m 1.5-1.8

### **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,68**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,67**

Metodo: ☒ A      ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 21,4 °C

Dimensione massima delle particelle: 1,19 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Sabbia debolmente limoso argillosa di colore marrone bruno.

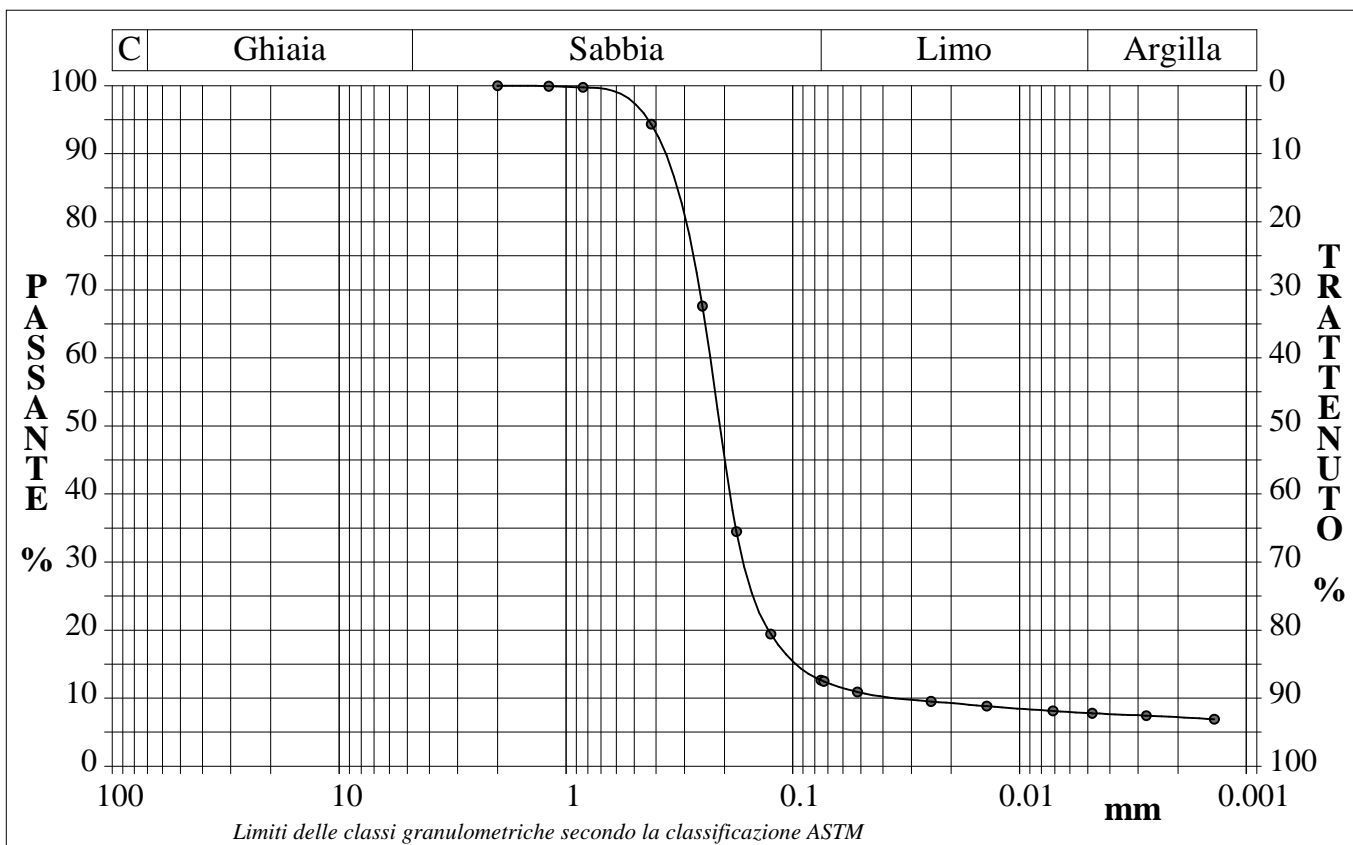
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00624</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 27/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 22/01/21	Fine analisi: 29/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.5-1.8

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D10	0,03187 mm
Sabbia	87,4 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	94,3 %	D30	0,15960 mm
Limo	4,8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	12,6 %	D50	0,20810 mm
Argilla	7,8 %			D60	0,23097 mm
Coefficiente di uniformità	7,25	Coefficiente di curvatura	3,46	D90	0,38613 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
2,0000	100,00	0,1770	34,47	0,0245	9,51	0,0014	6,91		
1,1900	99,93	0,1250	19,44	0,0139	8,82				
0,8410	99,74	0,0750	12,63	0,0071	8,13				
0,4200	94,33	0,0729	12,47	0,0048	7,78			Setacci	7
0,2500	67,60	0,0518	10,90	0,0028	7,43			Punti sediment.	8

Sabbia debolmente limoso argillosa di colore marrone bruno.

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 00623** Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21

DATA DI EMISSIONE: 03/02/21

Inizio analisi: 22/01/21

Apertura campione: 22/01/21

Fine analisi: 26/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA

RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

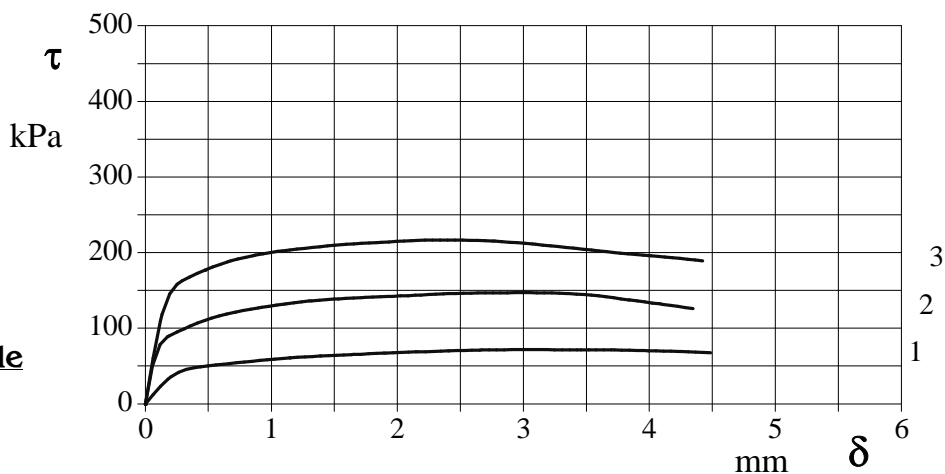
PROFONDITA': m 1.5-1.8

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

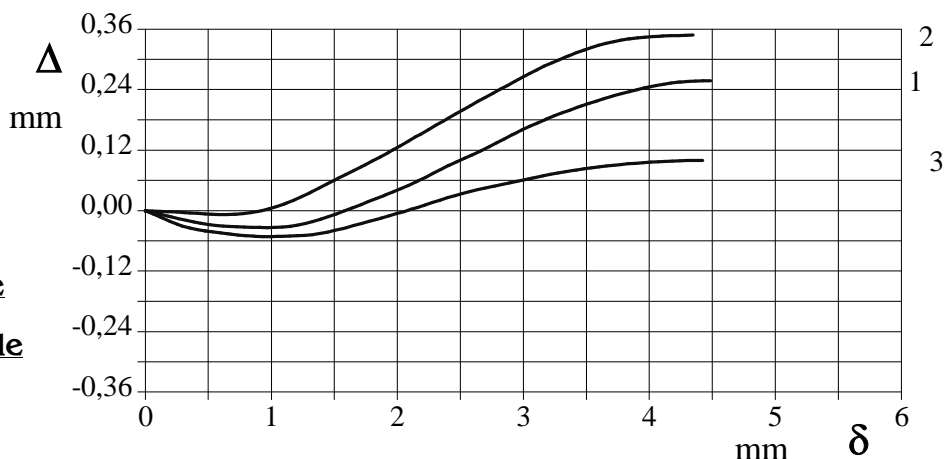
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	13,5    16,3	13,5    17,0	13,4    16,9
Peso di volume (kN/m³):	19,0	18,9	18,7
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,031 mm / min		

**DIAGRAMMA**  
**Tensione**  
**Deformazione orizzontale**



**DIAGRAMMA**  
**Deformazione verticale**  
**Deformazione orizzontale**



Sabbia debolmente limoso argillosa di colore marrone bruno.

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00623</b>	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 22/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 22/01/21	Fine analisi: 26/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.5-1.8

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]



**CERTIFICATO DI PROVA N°: 00623** Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21

DATA DI EMISSIONE: 03/02/21

Inizio analisi: 22/01/21

Apertura campione: 22/01/21

Fine analisi: 26/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA

RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

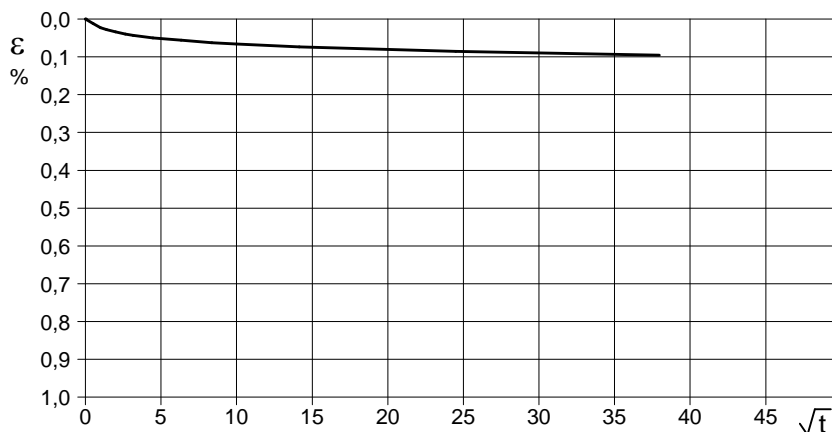
PROFONDITA': m 1.5-1.8

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

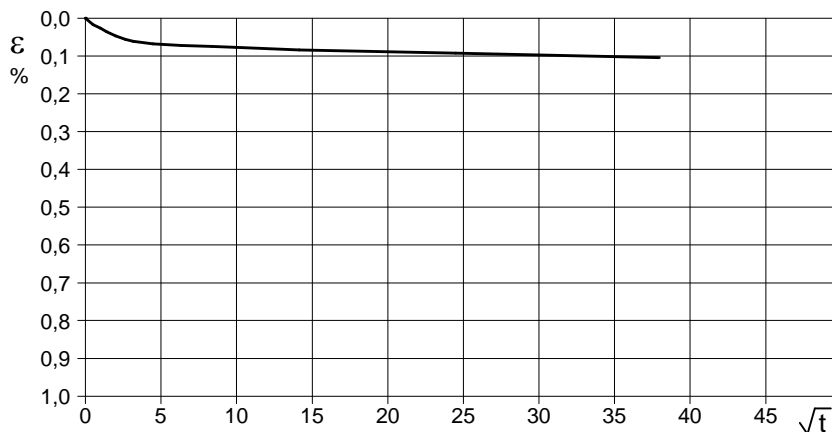
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,735
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	18,0
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,028



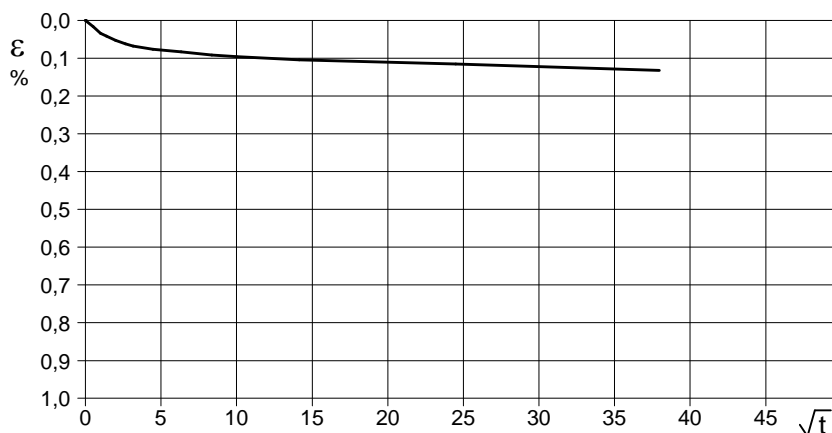
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,735
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	15,6
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,032



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,734
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	15,4
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,032



1  
35316

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 10 x T<sub>100</sub>

Vs = Df / tf

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00623</b>	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 22/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 22/01/21	Fine analisi: 26/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA				
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba				
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.5-1.8	

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA

RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 10.0-10.5

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	19,5	%
Peso di volume	20,4	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	17,1	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	20,6	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,71	
Indice dei vuoti	0,557	
Porosità	35,8	%
Grado di saturazione	95,0	%
Limite di liquidità	54,7	%
Limite di plasticità	34,0	%
Indice di plasticità	20,7	%
Indice di consistenza	1,70	
Passante al set. n° 40	SI	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	67,7	%
Limo	20,8	%
Argilla	11,5	%
D 10	0,003627	mm
D 50	0,158832	mm
D 60	0,201621	mm
D 90	0,393039	mm
Passante set. 10	99,9	%
Passante set. 42	92,8	%
Passante set. 200	32,3	%

### PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

### COMPRESSIONE

$\sigma$	kPa	$\sigma_{Rim}$	kPa
$c_u$	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

### TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
$c'$	11,7	kPa	$\phi'$ 33,1 °
$c'_{Res}$		kPa	$\phi'_{Res}$ °

### COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	$c_d$	kPa	$\phi_d$ °
C.U.	$c'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$ °
	$c_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$ °
U.U.	$c_u$	kPa	$\phi_u$ °

### PROVA EDOMETRICA

$\sigma$ kPa	E kPa	$C_v$ cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro bruno ( $R_p = 160$  kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00622</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 25/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 25/01/21	Fine analisi: 26/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba
SONDAGGIO: S1                      CAMPIONE: C2                      PROFONDITA': m 10.0-10.5

### **CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

**Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 19,5 %**

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo  
☐ Stratificato  
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 2,00 mm

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro bruno (Rp = 160 kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00621</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 25/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 25/01/21	Fine analisi: 25/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	10.0-10.5

### **PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 20,4 kN/m<sup>3</sup>**

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro bruno (Rp = 160 kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00620</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 01/02/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 25/01/21	Fine analisi: 01/02/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	10.0-10.5

### **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

$\gamma_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,71

$\gamma_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,71

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 21,3 °C

Dimensione massima delle particelle: 2,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro bruno ( $R_p = 160$  kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00619</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 29/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 25/01/21	Fine analisi: 30/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba
SONDAGGIO: S1      CAMPIONE: C2      PROFONDITA': m 10.0-10.5

## LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

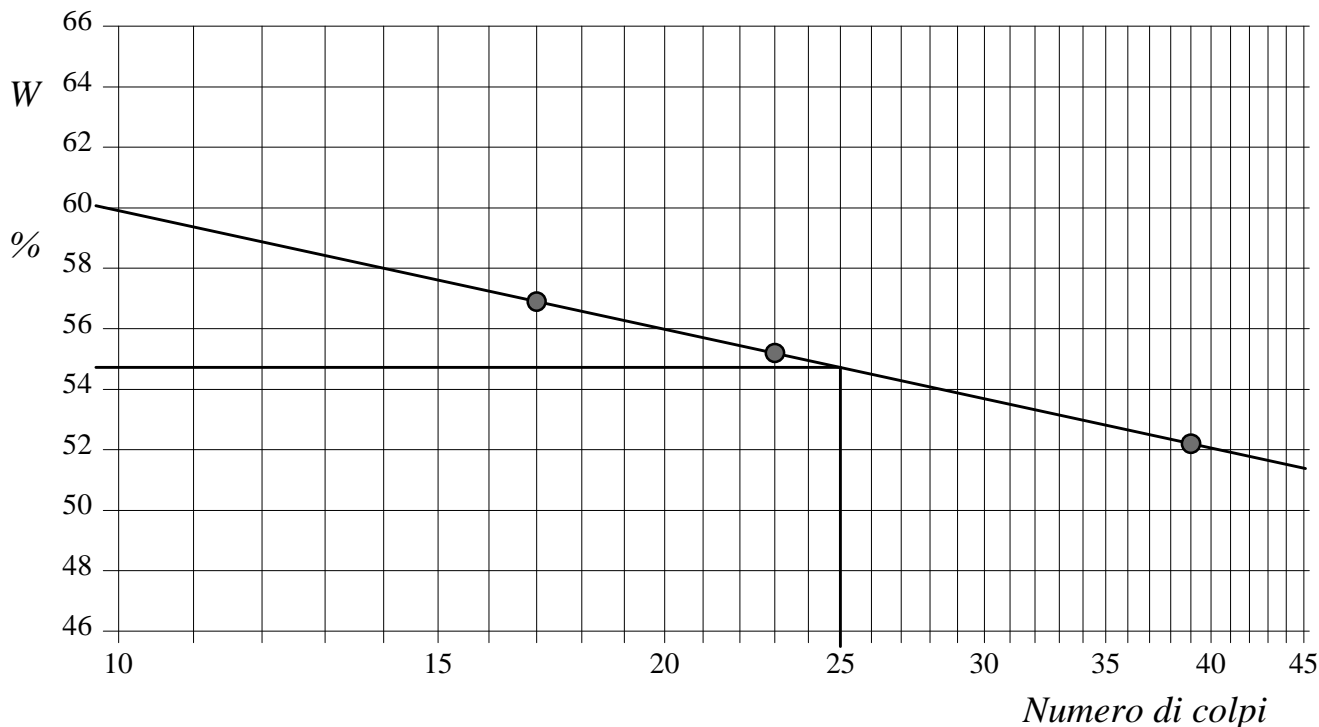
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

Limite di liquidità	54,7 %
Limite di plasticità	34,0 %
Indice di plasticità	20,7 %

La prova è stata eseguita sulla frazione  
granulometrica passante al setaccio  
n° 40 (0.42 mm)

LIMITE DI LIQUIDITA'						LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	17	23	39			Umidità (%)	33,6	34,4
Umidità (%)	56,9	55,2	52,2			Umidità media	34,0	

### Determinazione del Limite di liquidità



Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro bruno ( $R_p = 160$  kPa).



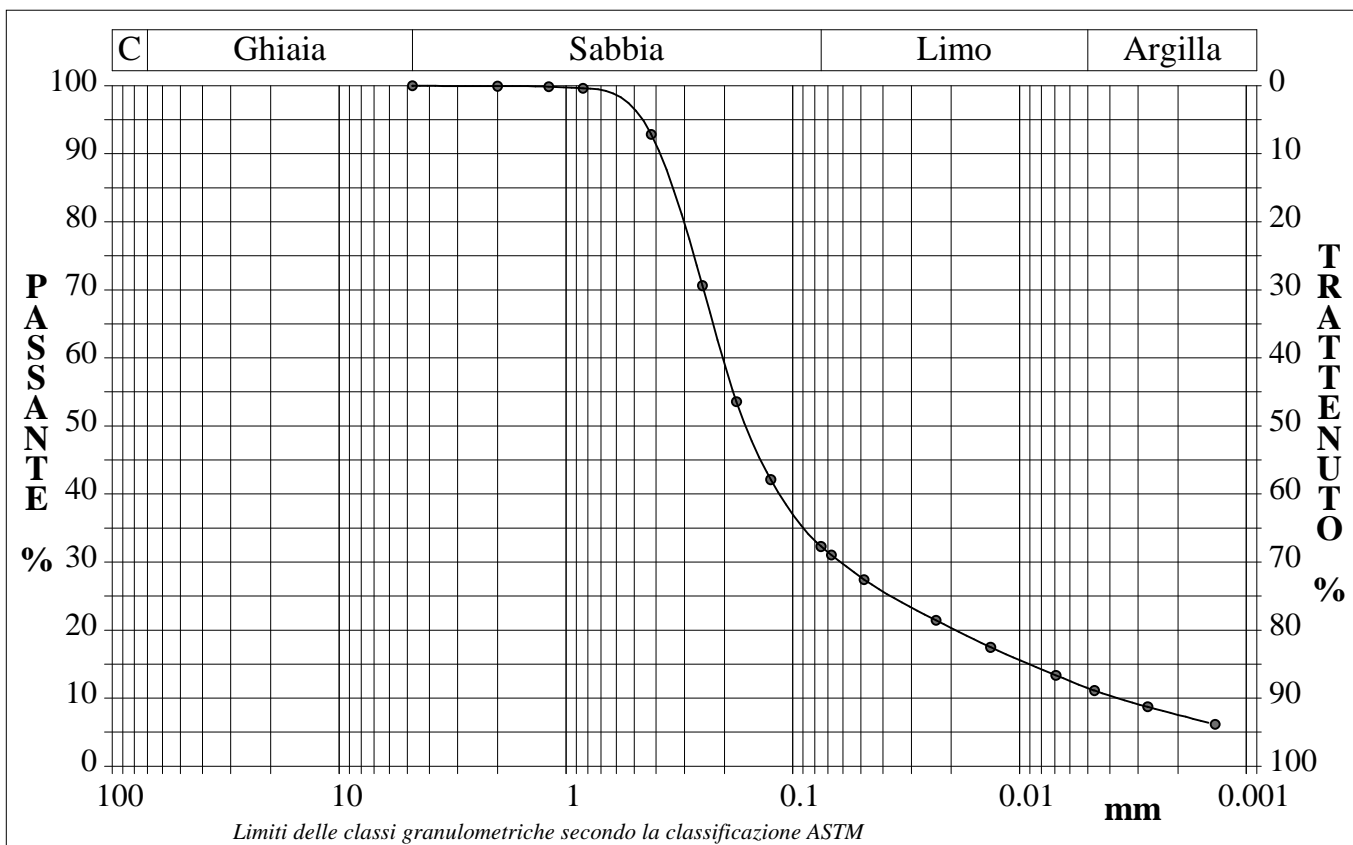
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00618</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 27/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 25/01/21	Fine analisi: 29/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	10.0-10.5

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,9 %	D10	0,00363 mm
Sabbia	67,7 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	92,8 %	D30	0,06139 mm
Limo	20,8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	32,3 %	D50	0,15883 mm
Argilla	11,5 %			D60	0,20162 mm
Coefficiente di uniformità	55,59	Coefficiente di curvatura	5,15	D90	0,39304 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,7500	100,00	0,2500	70,63	0,0484	27,44	0,0027	8,72		
2,0000	99,93	0,1770	53,57	0,0233	21,43	0,0014	6,15		
1,1900	99,86	0,1250	42,11	0,0134	17,48				
0,8410	99,63	0,0750	32,28	0,0069	13,36			Setacci	8
0,4200	92,84	0,0676	31,04	0,0047	11,12			Punti sediment.	8

Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro bruno ( $R_p = 160$  kPa).

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 00617** Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21

DATA DI EMISSIONE: 03/02/21

Inizio analisi: 26/01/21

Apertura campione: 25/01/21

Fine analisi: 28/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA

RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C2

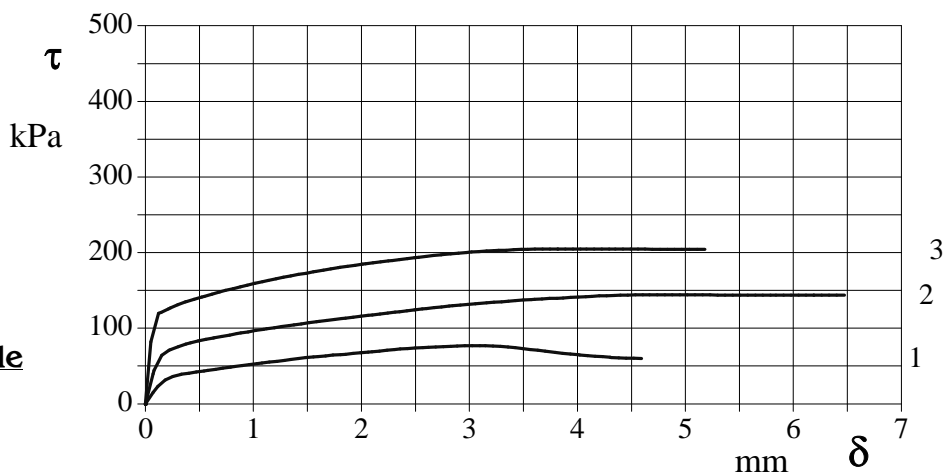
PROFONDITA': m 10.0-10.5

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

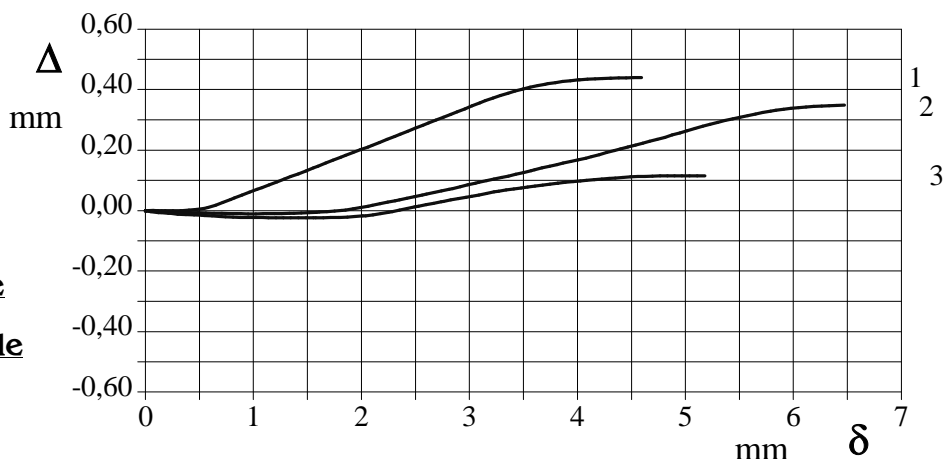
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	19,1    19,9	19,8    23,9	19,5    20,1
Peso di volume (kN/m³):	20,6	19,8	20,9
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,033 mm / min		

**DIAGRAMMA**  
**Tensione**  
**Deformazione orizzontale**



**DIAGRAMMA**  
**Deformazione verticale**  
**Deformazione orizzontale**



Sabbia limosa, debolmente argillosa, di colore grigiastro bruno ( $R_p = 160$  kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00617</b>	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 25/01/21	Fine analisi: 28/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	10.0-10.5

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 00617** Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21

DATA DI EMISSIONE: 03/02/21

Inizio analisi: 26/01/21

Apertura campione: 25/01/21

Fine analisi: 28/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA

RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C2

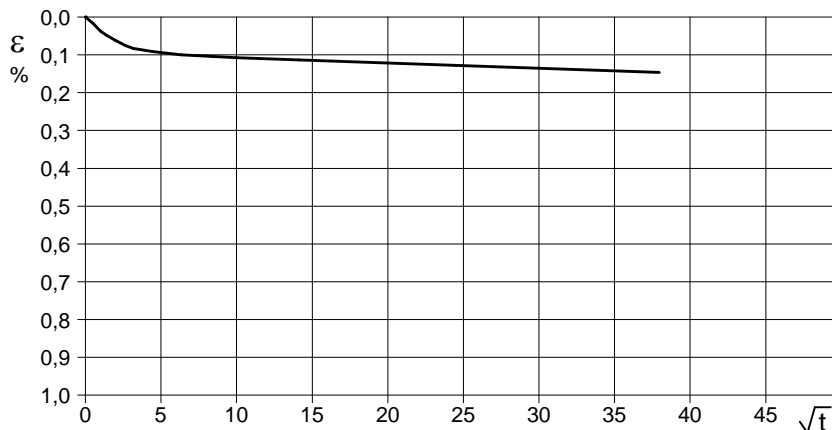
PROFONDITA': m 10.0-10.5

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

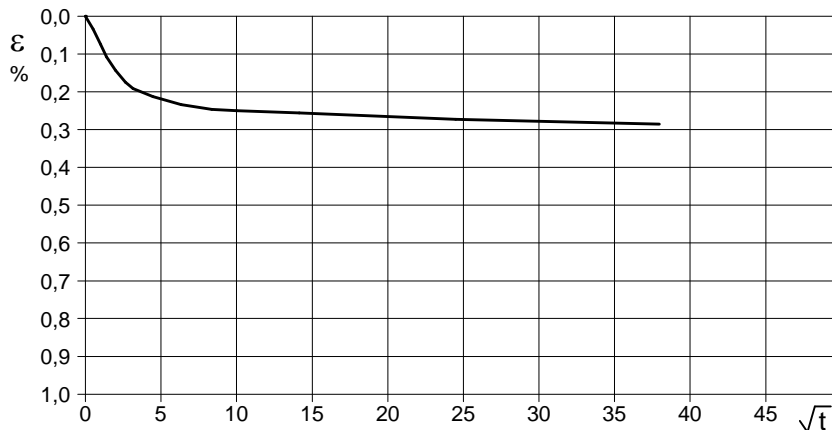
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,734
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	15,5
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,032



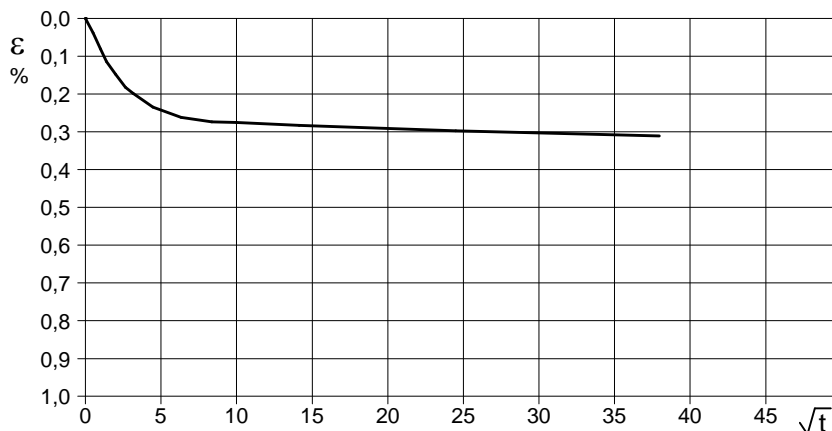
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,731
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	14,8
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,034



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,731
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	14,8
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,034



2  
35317

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

$t_f = 10 \times T_{100}$

$V_s = D_f / t_f$

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00617</b>	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 25/01/21	Fine analisi: 28/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	10.0-10.5

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00616</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 26/01/21	Fine analisi: 27/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba
SONDAGGIO: S1                      CAMPIONE: C3                      PROFONDITA': m 18.4-19.0

### **CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

**Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 28,5 %**

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo  
☐ Stratificato  
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Argilla limosa di colore grigio azzurro (Rp = 230-260 kPa).



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00615</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 26/01/21	Fine analisi: 26/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C3	PROFONDITA': m	18.4-19.0

### **PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 17,8 kN/m³**

Argilla limosa di colore grigio azzurro ( $R_p = 230-260$  kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00614</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 01/02/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 26/01/21	Fine analisi: 01/02/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba
SONDAGGIO: S1                      CAMPIONE: C3                      PROFONDITA': m 18.4-19.0

### **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,57**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,57**

Metodo: ☒ A      ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 23,2 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Argilla limosa di colore grigio azzurro (Rp = 230-260 kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00613</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 26/01/21	Fine analisi: 27/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C3	PROFONDITA': m	18.4-19.0

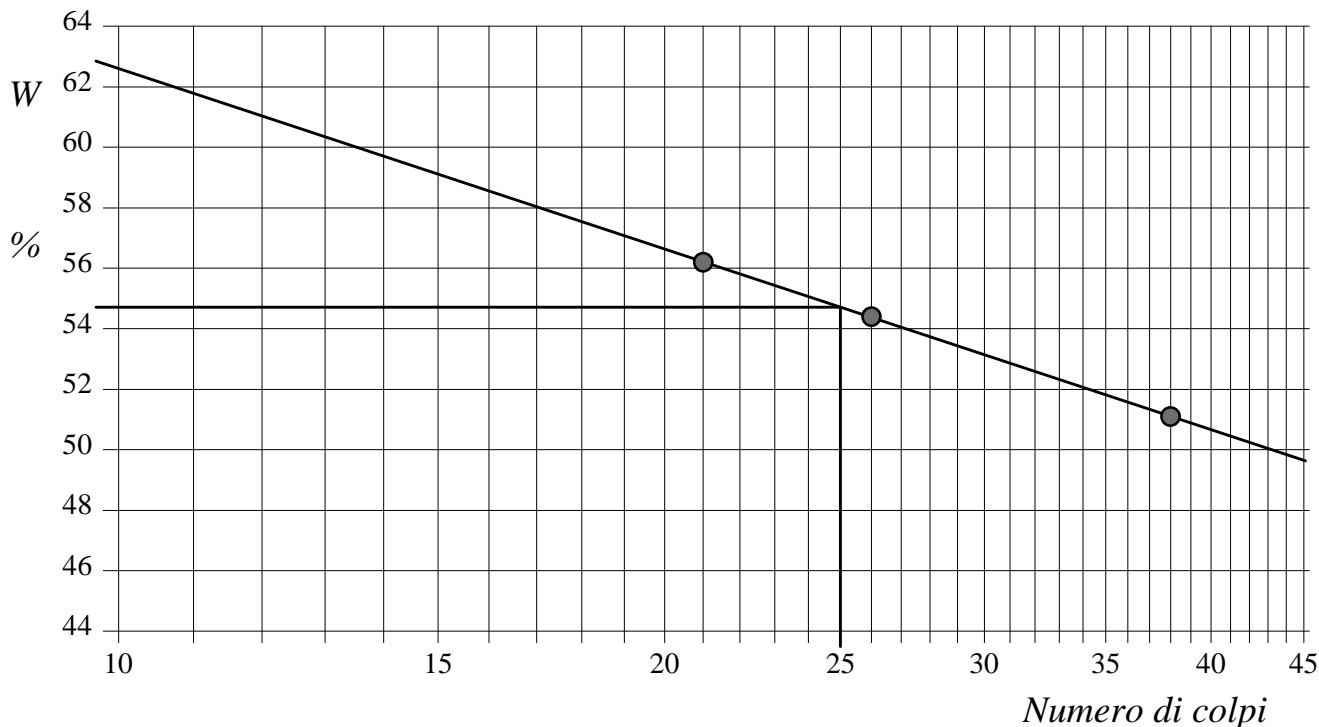
### LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

Limite di liquidità	54,7 %
Limite di plasticità	35,3 %
Indice di plasticità	19,4 %

LIMITE DI LIQUIDITA'						LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	21	26	38			Umidità (%)	36,1	34,5
Umidità (%)	56,2	54,4	51,1			Umidità media	35,3	

#### Determinazione del Limite di liquidità



Argilla limosa di colore grigio azzurro ( $R_p = 230-260$  kPa).

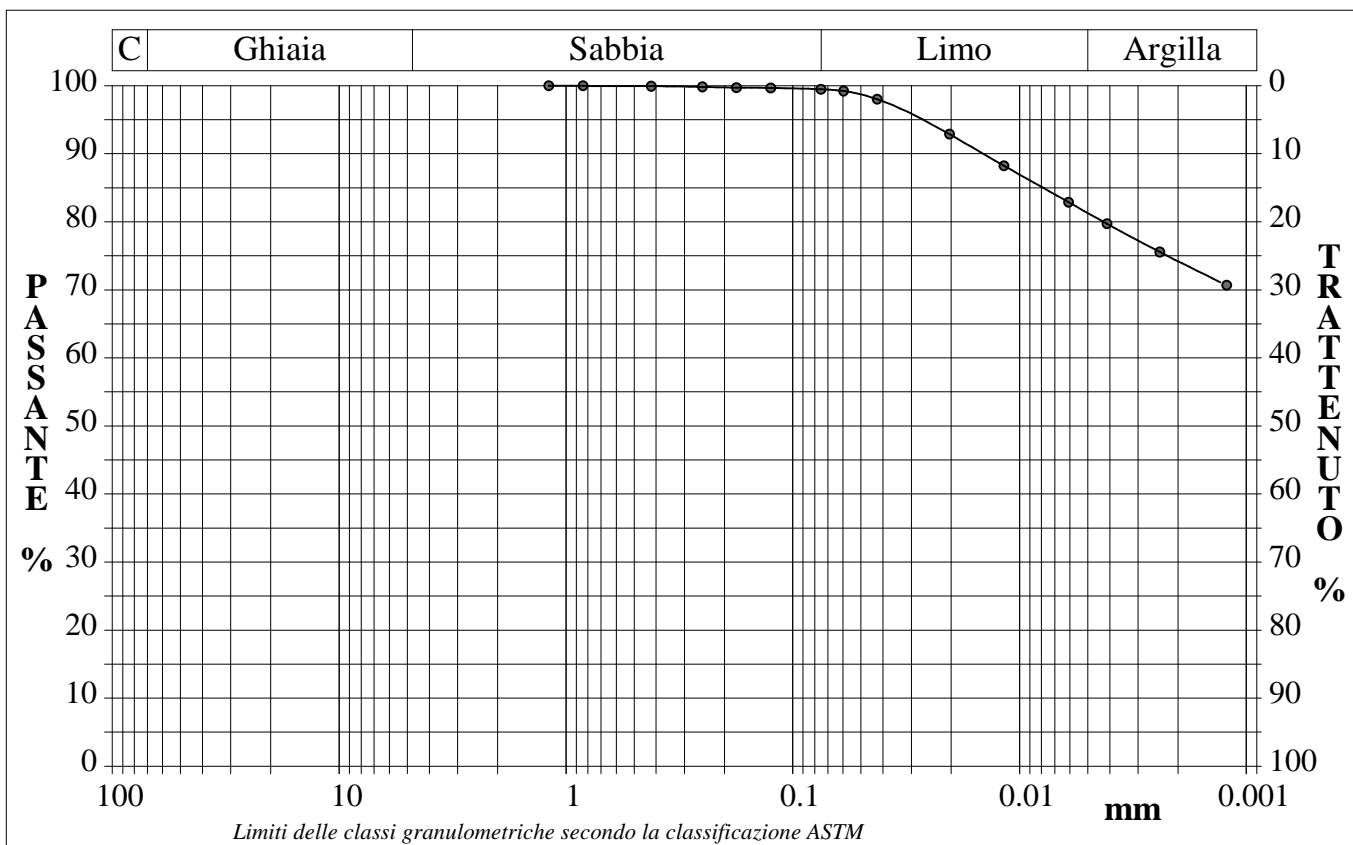
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00612</b>	Pagina 1/1	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 03/02/21	<b>Inizio analisi:</b> 27/01/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21</b>		<b>Apertura campione:</b> 26/01/21	<b>Fine analisi:</b> 29/01/21

<b>COMMITTENTE:</b> COMUNE DI POMEZIA
<b>RIFERIMENTO:</b> Pomezia - Scuola Via Torralba
<b>SONDAGGIO:</b> S1 <b>CAMPIONE:</b> C3 <b>PROFONDITA': m</b> 18.4-19.0

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D10	---	mm
Sabbia	0,5 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99,9 %	D30	---	mm
Limo	18,2 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	99,5 %	D50	---	mm
Argilla	81,3 %			D60	---	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura	---	D90	0,01444 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
1,1800	100,00	0,1250	99,66	0,0117	88,25				
0,8410	99,98	0,0750	99,47	0,0061	82,88				
0,4200	99,93	0,0597	99,22	0,0041	79,71				
0,2500	99,83	0,0424	98,00	0,0024	75,56			Setacci	6
0,1770	99,71	0,0203	92,88	0,0012	70,68			Punti sediment.	8

Argilla limosa di colore grigio azzurro ( $R_p = 230-260$  kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00611</b>	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 26/01/21	Fine analisi: 28/01/21

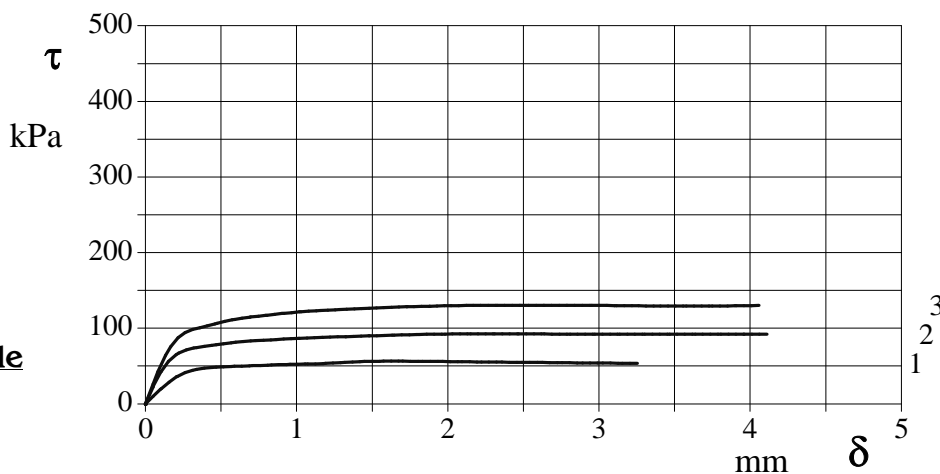
COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C3	PROFONDITA': m	18.4-19.0

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

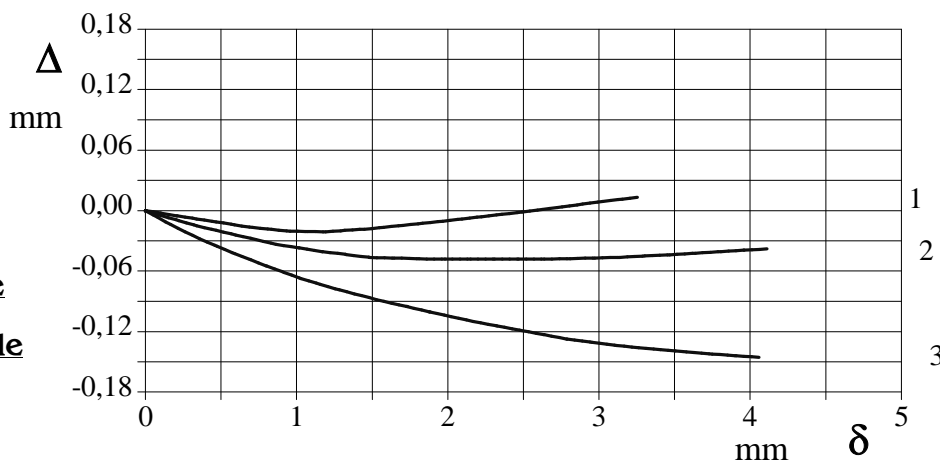
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	29,0 29,6	28,3 28,8	28,1 26,7
Peso di volume (kN/m³):	17,9	17,7	17,8
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,013 mm / min		

**DIAGRAMMA**  
**Tensione**  
**Deformazione orizzontale**



**DIAGRAMMA**  
**Deformazione verticale**  
**Deformazione orizzontale**



Argilla limosa di colore grigio azzurro ( $R_p = 230-260$  kPa).

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00611</b>	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 26/01/21	Fine analisi: 28/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C3	PROFONDITA': m	18.4-19.0

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 00611** Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21

DATA DI EMISSIONE: 03/02/21

Inizio analisi: 26/01/21

Apertura campione: 26/01/21

Fine analisi: 28/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA

RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C3

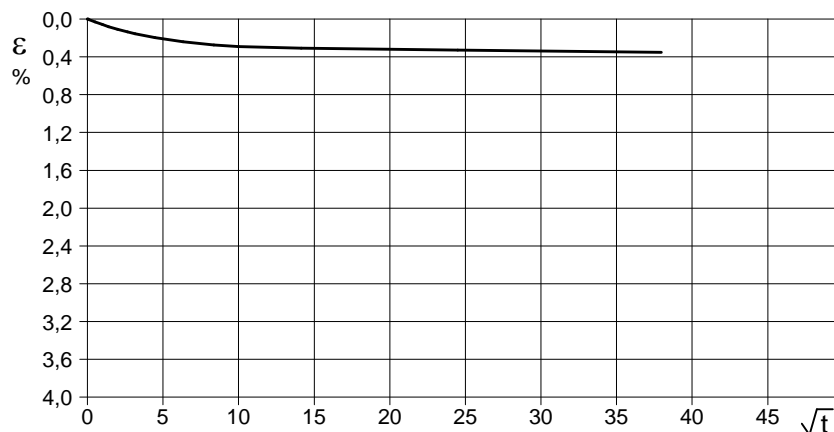
PROFONDITA': m 18.4-19.0

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

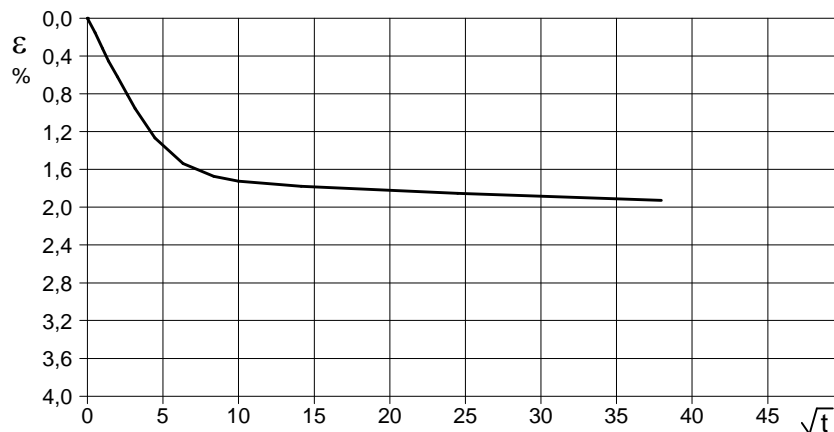
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,730
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	42,4
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,012



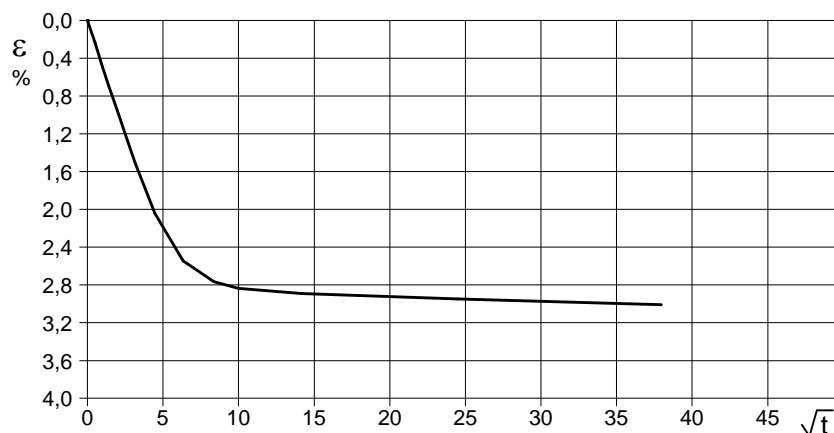
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,698
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	38,5
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,013



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	1,737
Altezza finale (cm)	1,677
Sezione (cm²):	35,88
T <sub>100</sub> (min)	39,4
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,013



3  
35318

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

$t_f = 10 \times T_{100}$

$V_s = D_f / t_f$

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 00611</b>	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 03/02/21	Inizio analisi: 26/01/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 5 del 12/01/21		Apertura campione: 26/01/21	Fine analisi: 28/01/21

COMMITTENTE: COMUNE DI POMEZIA			
RIFERIMENTO: Pomezia - Scuola Via Torralba			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C3	PROFONDITA': m	18.4-19.0

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]



<b>COMMITTENTE:</b> Comune di Pomezia			
<b>RIFERIMENTO:</b> Pomezia Scuola Via Torralba			
<b>SONDAGGIO:</b> 1	<b>CAMPIONE:</b> 3	<b>PROFONDITA':</b> m	18,40-19,00

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 2/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

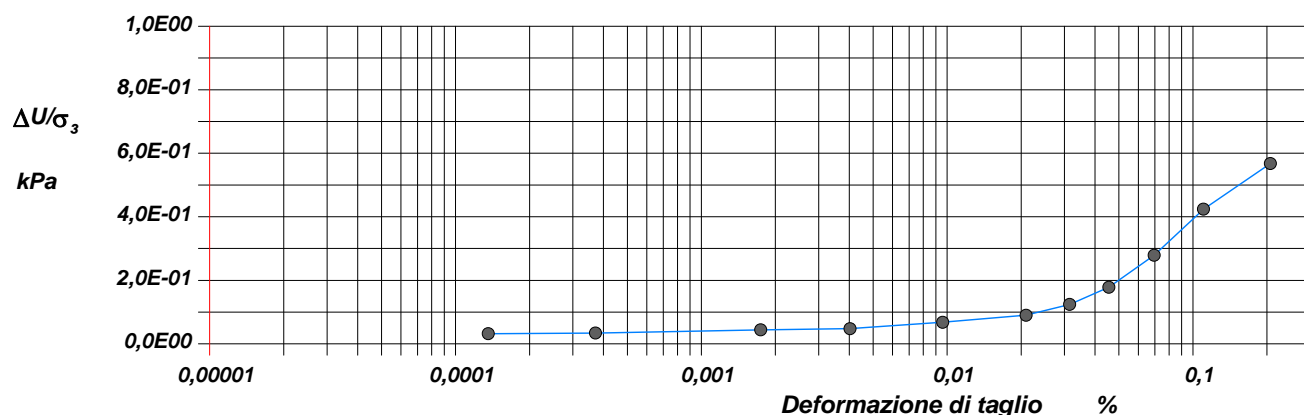
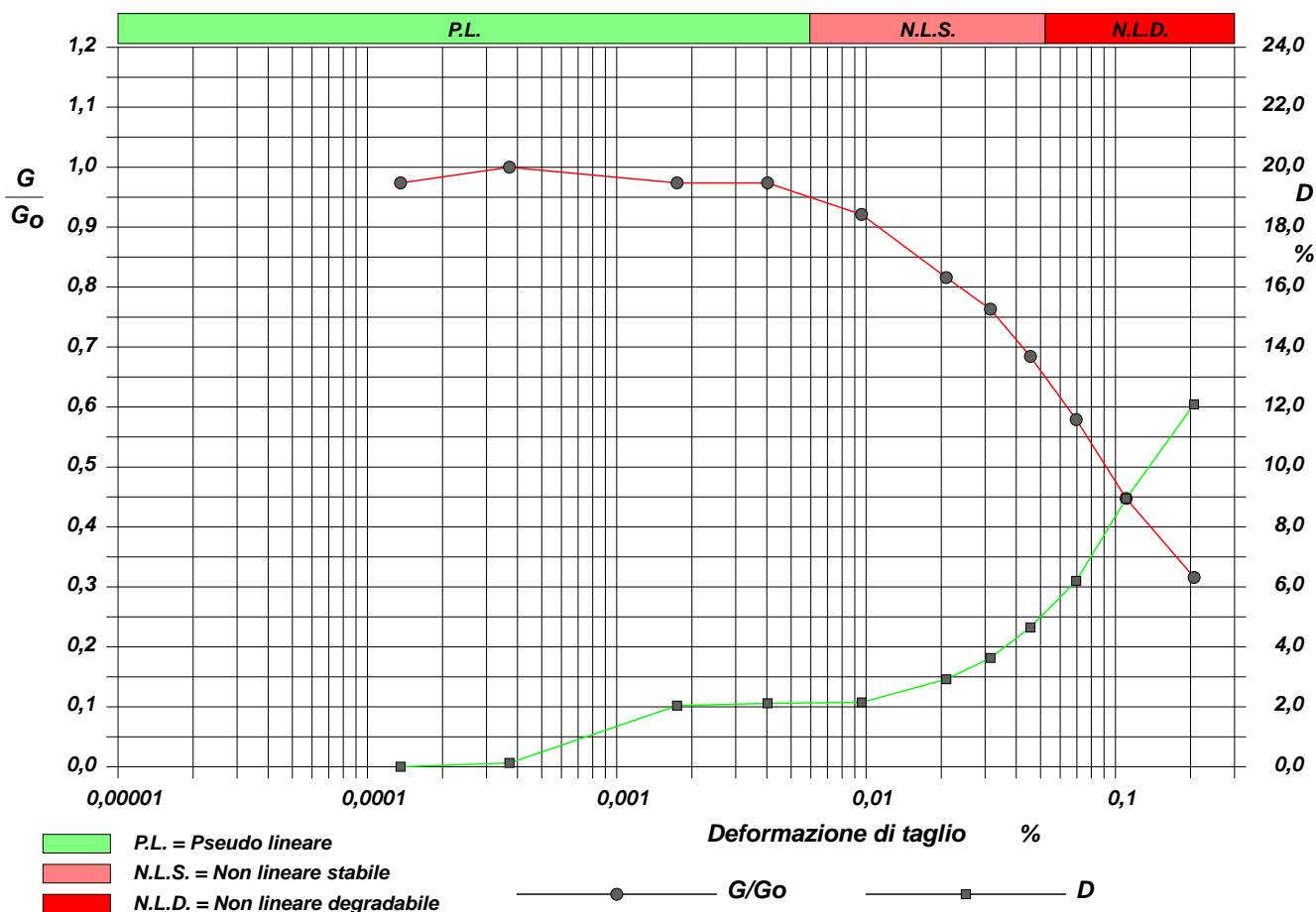
CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Legge costitutiva del terreno



031-21

SGEO - Laboratorio 6.2 - 2020

LO SPERIMENTATORE  
dott. Geol. MAIO Susy

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dott. Geol. CARBONE Raffaele

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 3/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

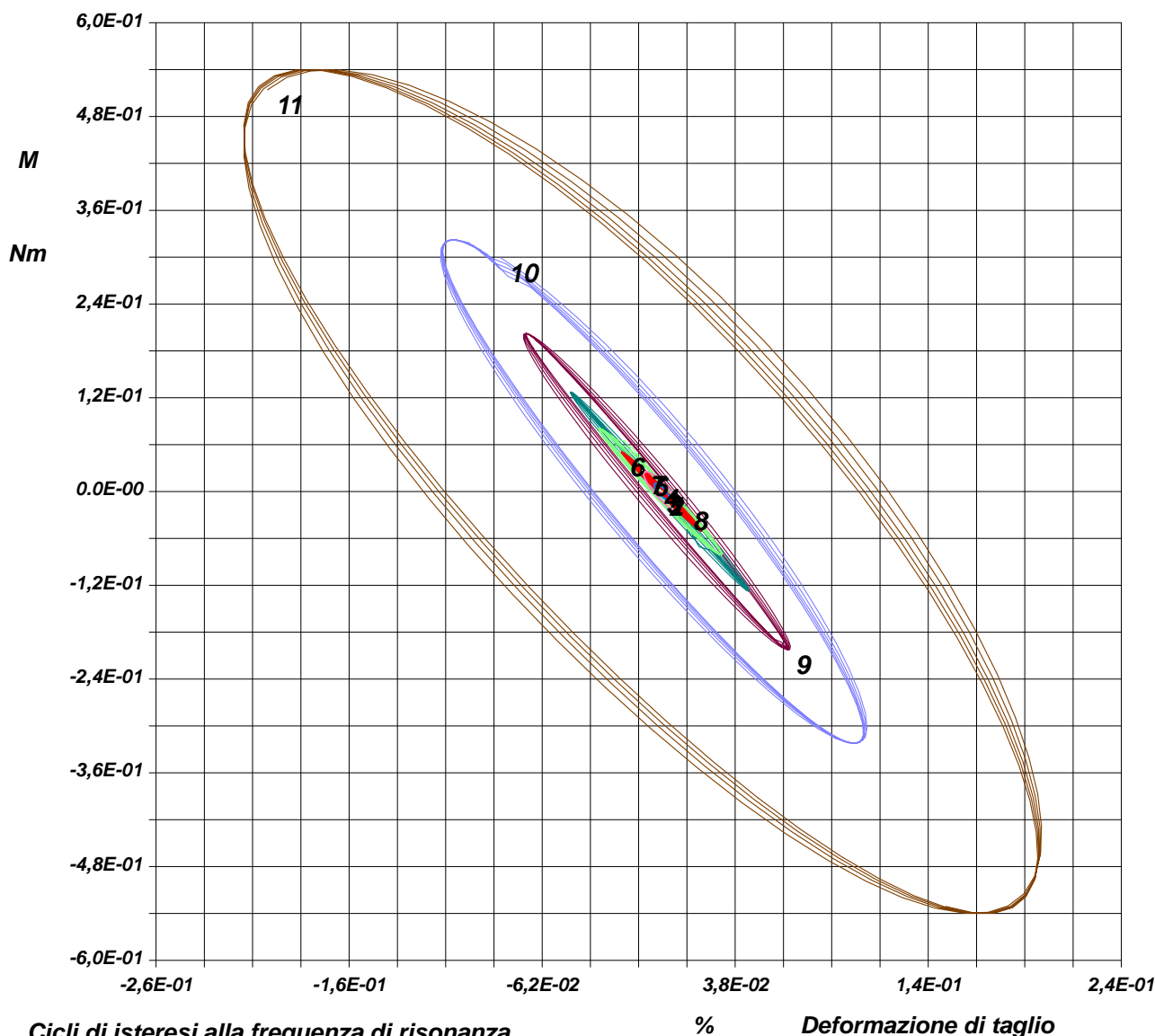
CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Diagramma Deformazione di taglio - Momento torcente



031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 4/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 1

Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio

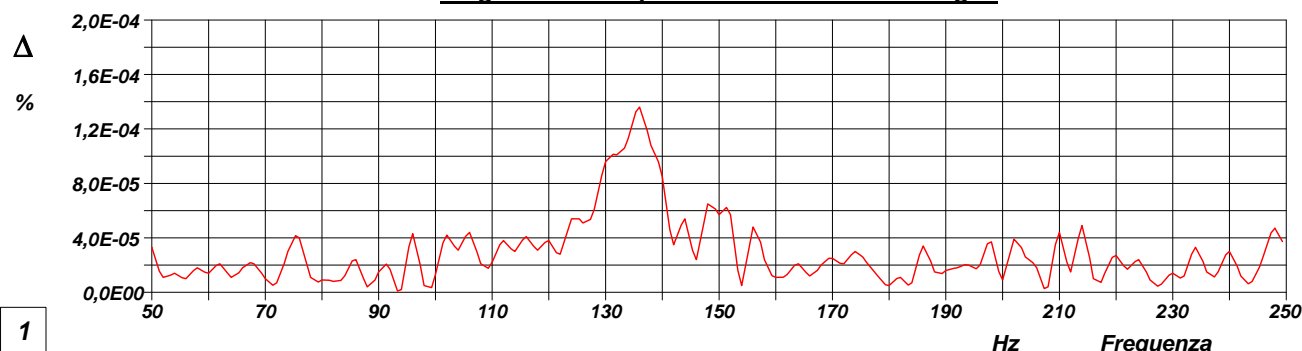


Diagramma Tempo - Momento torcente

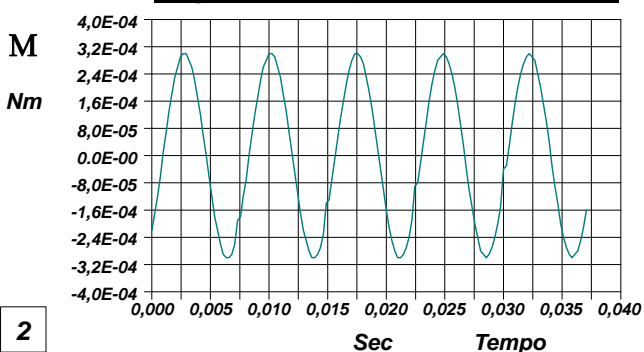


Diagramma Def. di taglio - Momento torc.

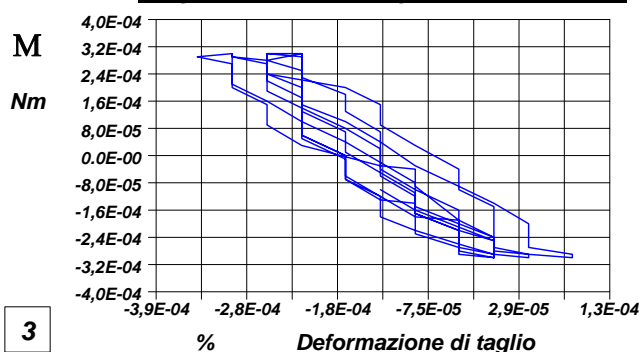
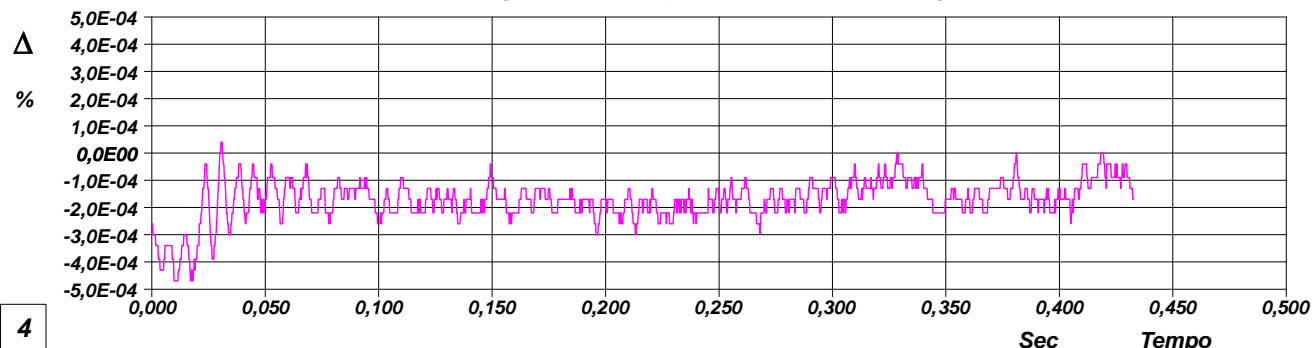


Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 5/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 2

Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio

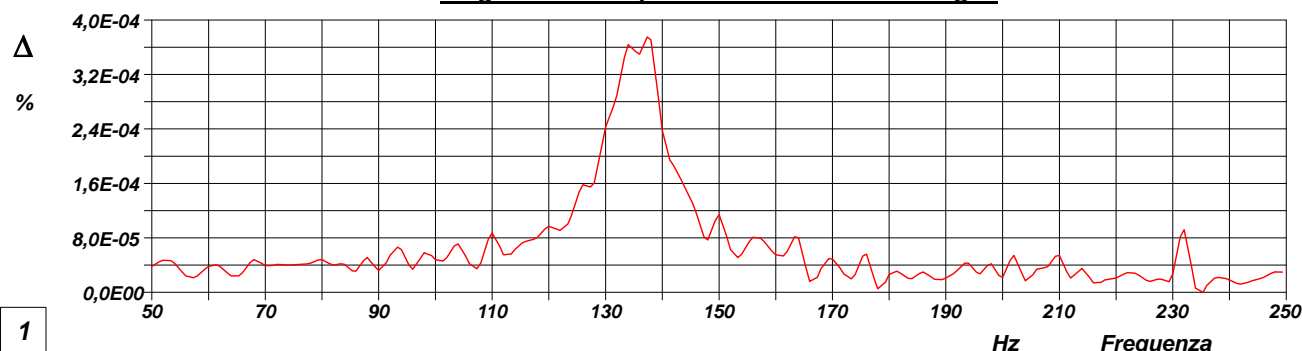


Diagramma Tempo - Momento torcente

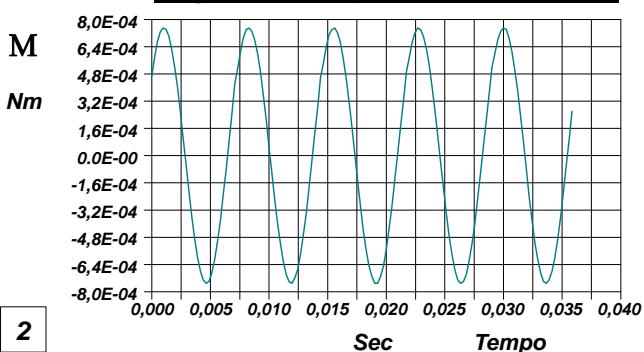


Diagramma Def. di taglio - Momento torc.

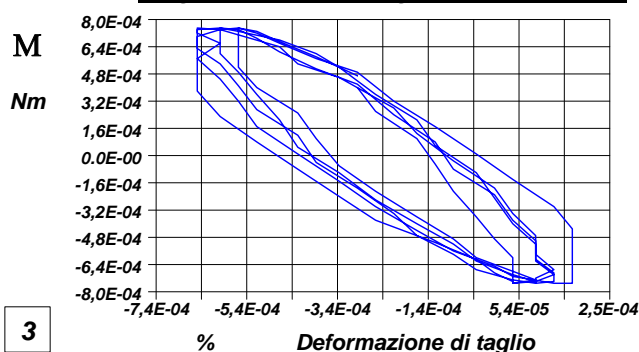
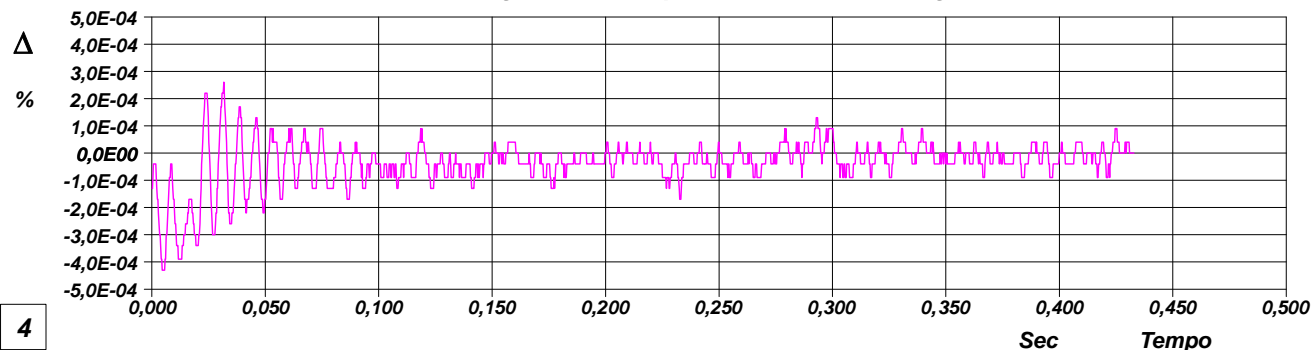


Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 6/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

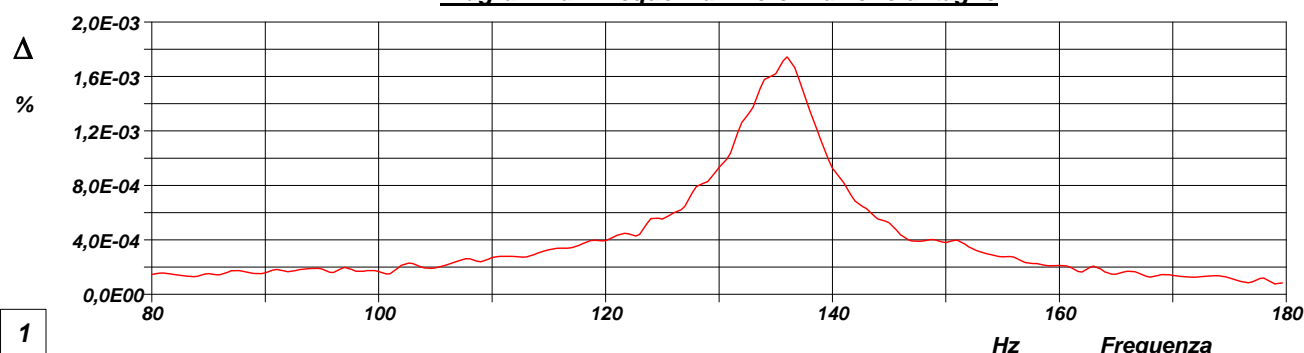
PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

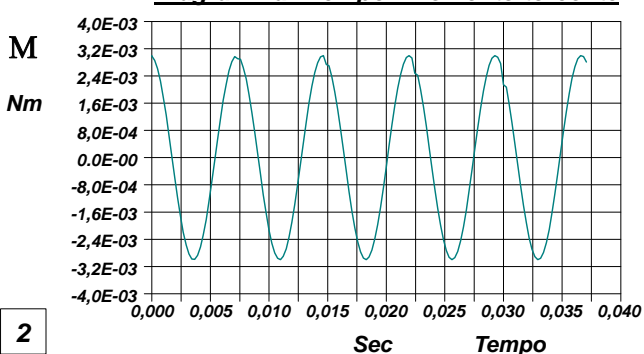
Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 3

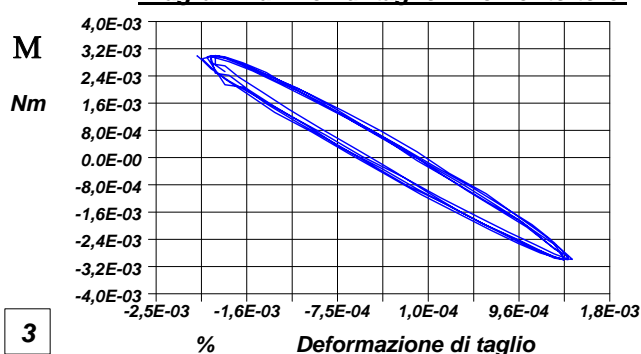
#### Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio



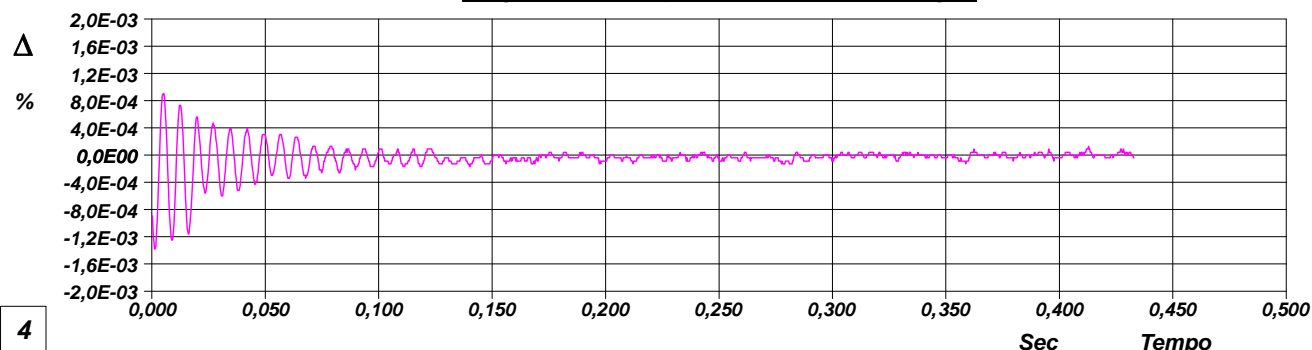
#### Diagramma Tempo - Momento torcente



#### Diagramma Def. di taglio - Momento torc.



#### Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21



CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 7/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 4

Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio

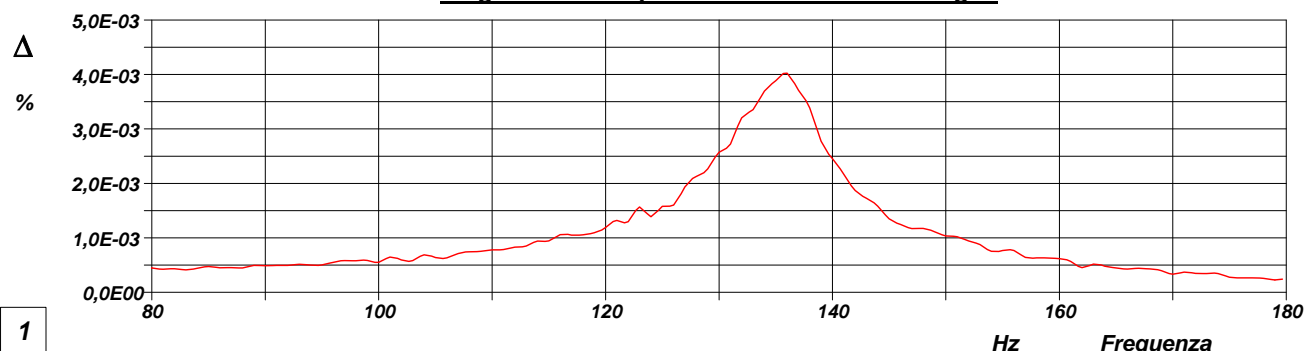


Diagramma Tempo - Momento torcente

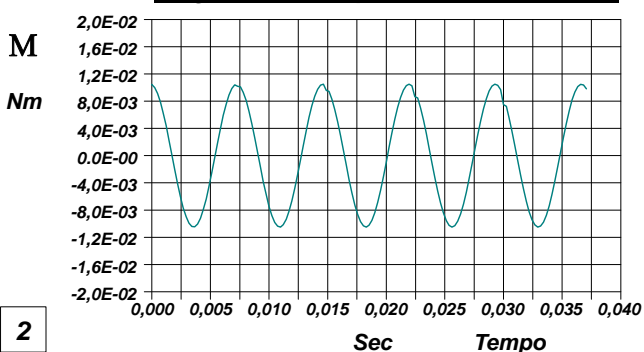


Diagramma Def. di taglio - Momento torc.

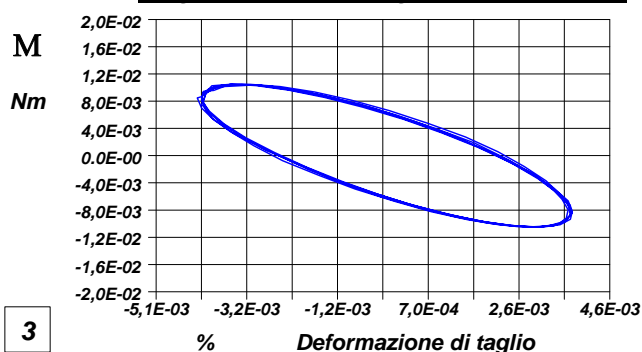
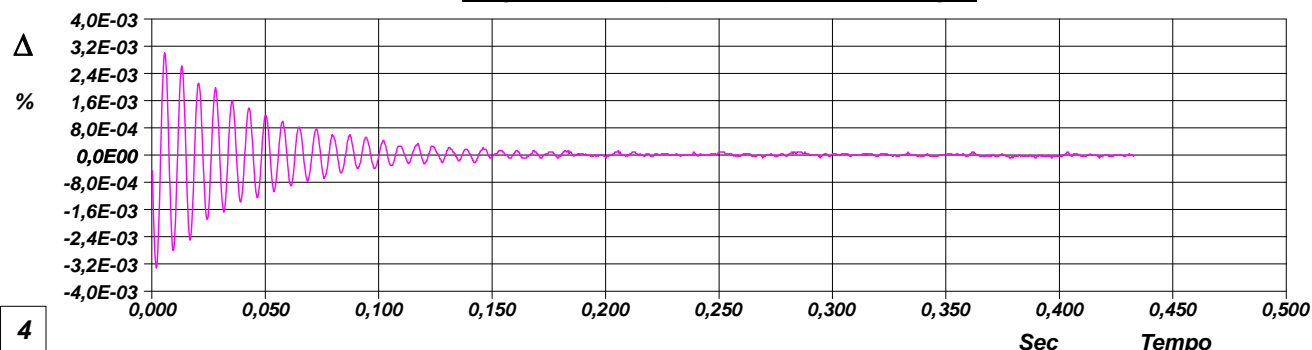


Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 8/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 5

Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio

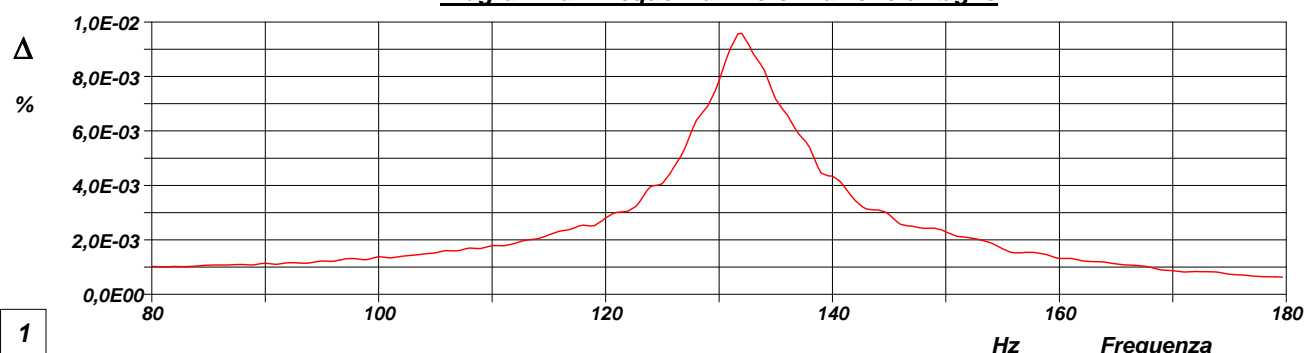


Diagramma Tempo - Momento torcente

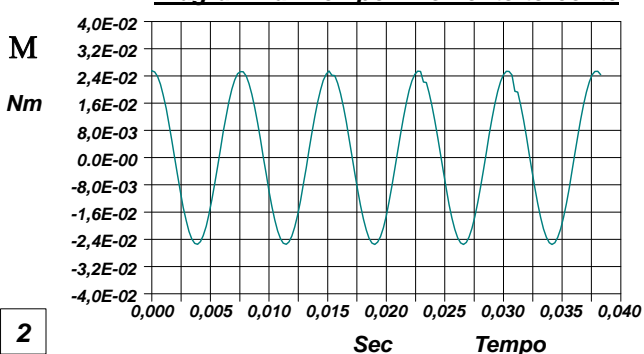


Diagramma Def. di taglio - Momento torc.

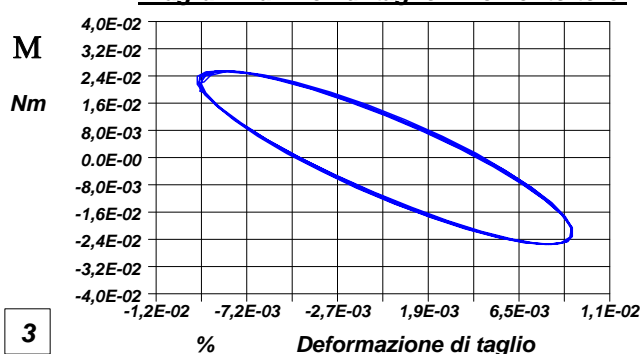
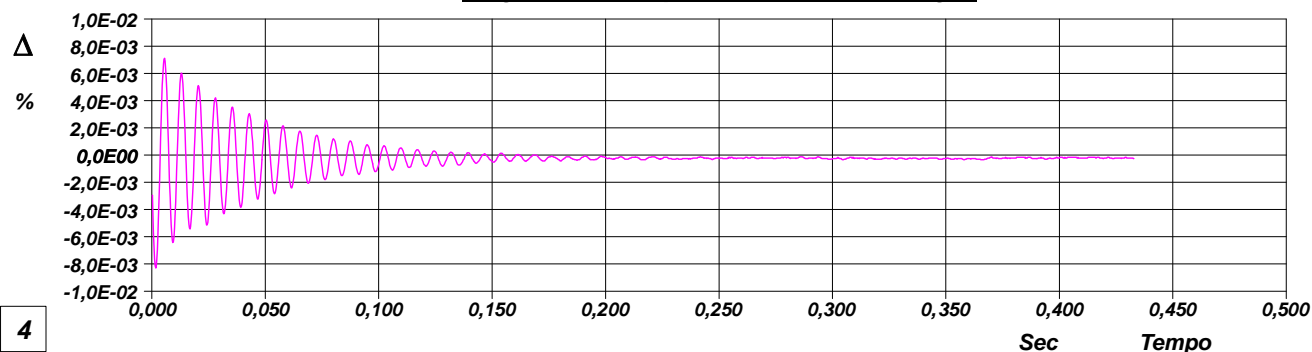


Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21



CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 9/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

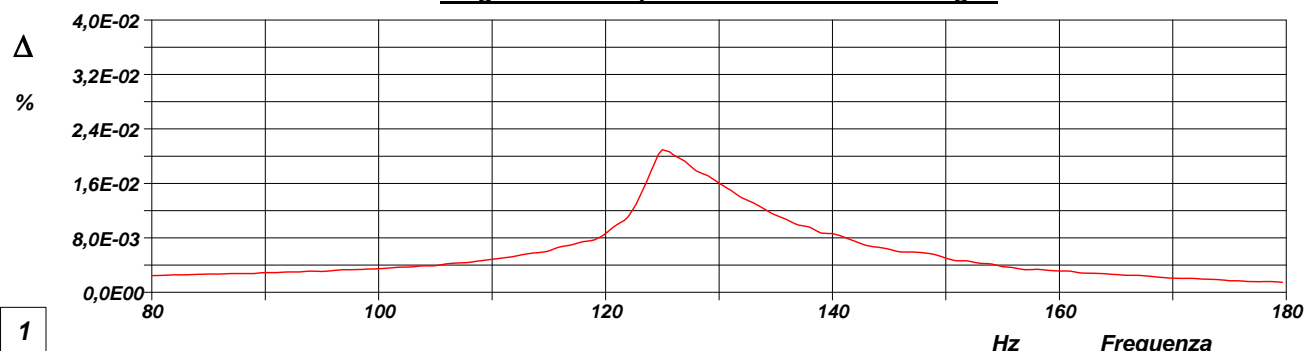
PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

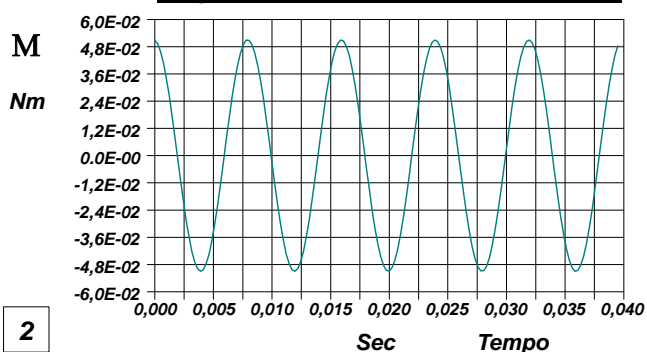
Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 6

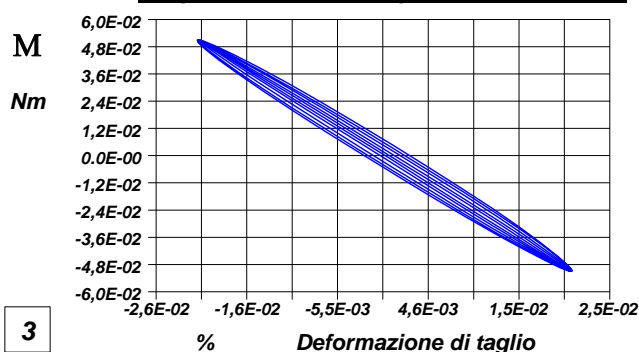
#### Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio



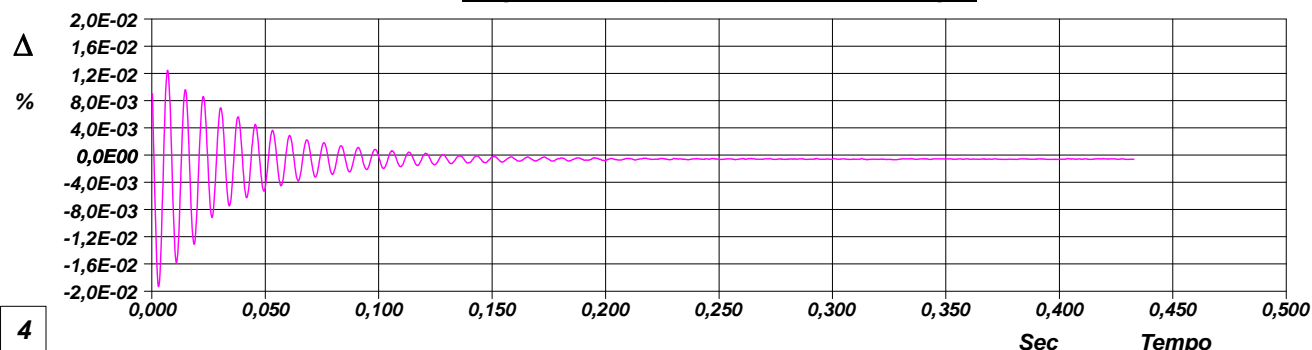
#### Diagramma Tempo - Momento torcente



#### Diagramma Def. di taglio - Momento torc.



#### Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 10/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

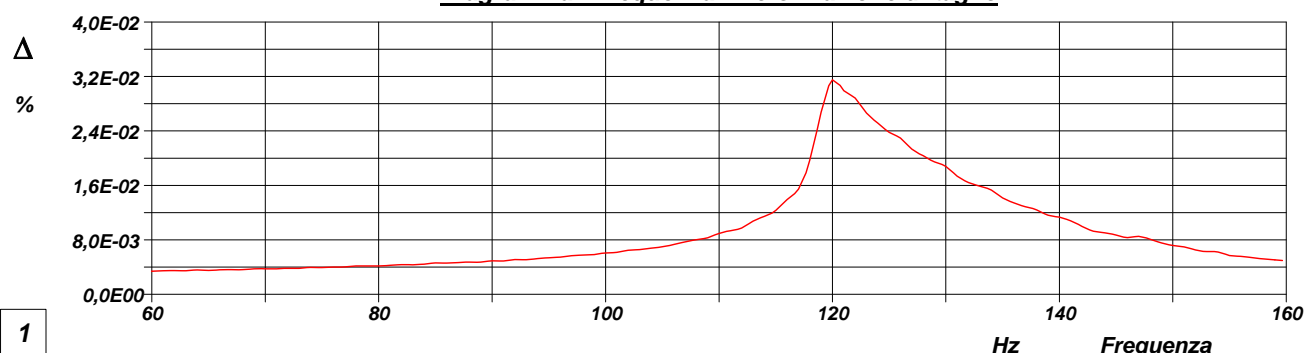
PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

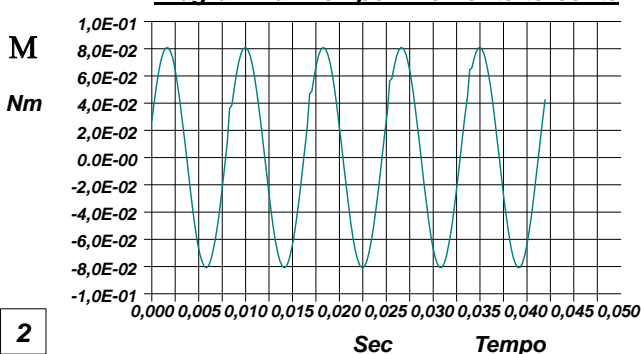
Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 7

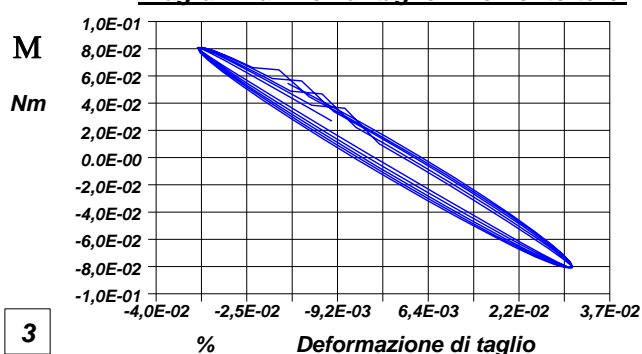
#### Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio



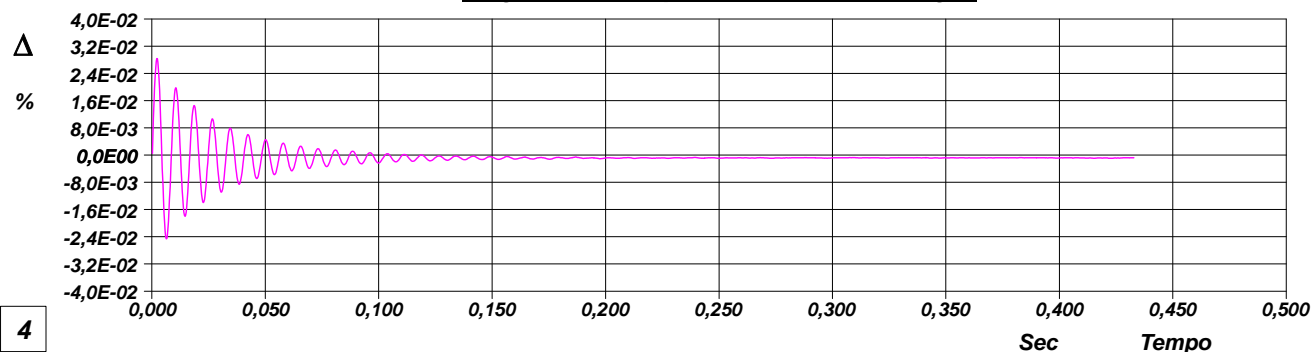
#### Diagramma Tempo - Momento torcente



#### Diagramma Def. di taglio - Momento torc.



#### Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 11/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

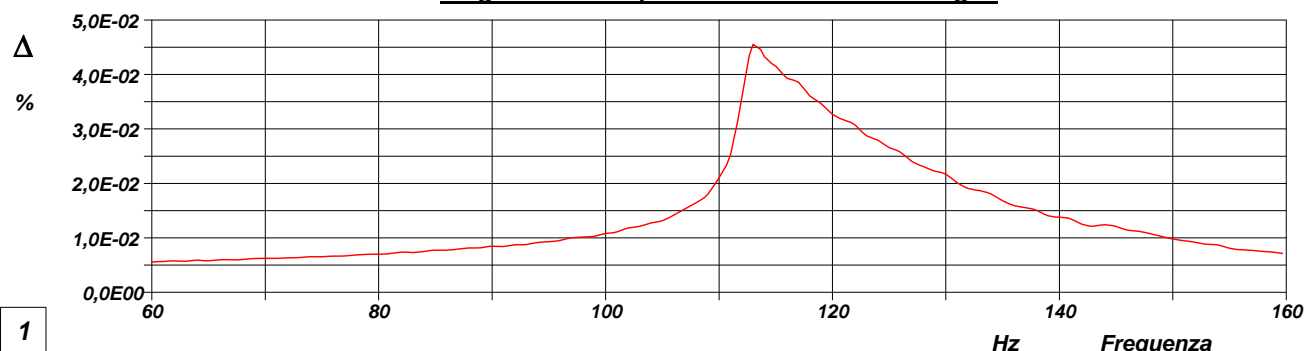
PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

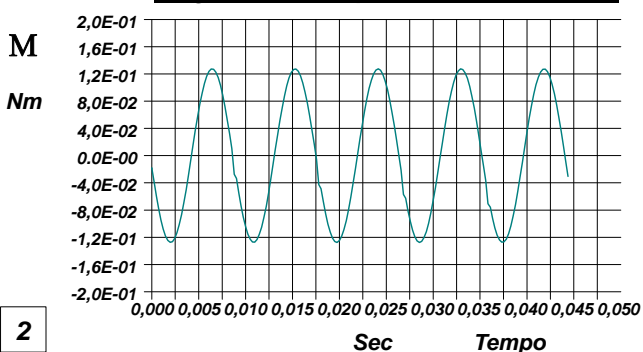
Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 8

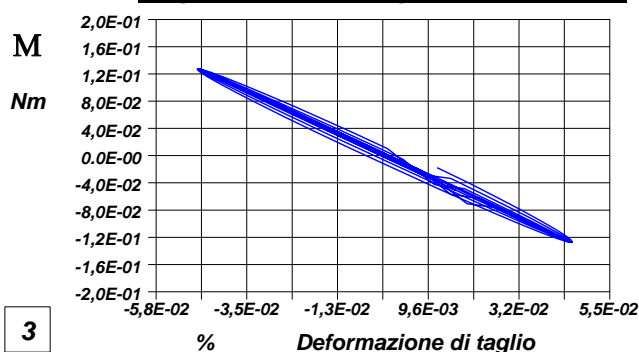
#### Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio



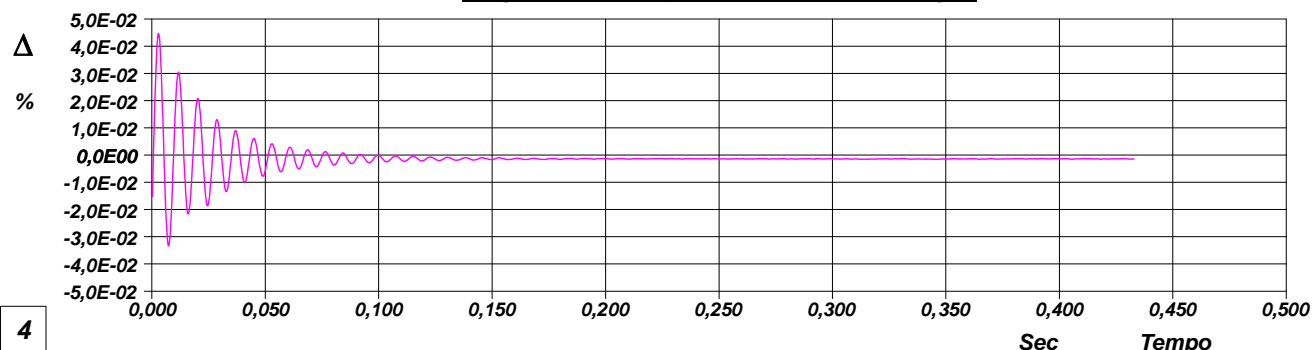
#### Diagramma Tempo - Momento torcente



#### Diagramma Def. di taglio - Momento torc.



#### Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 12/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

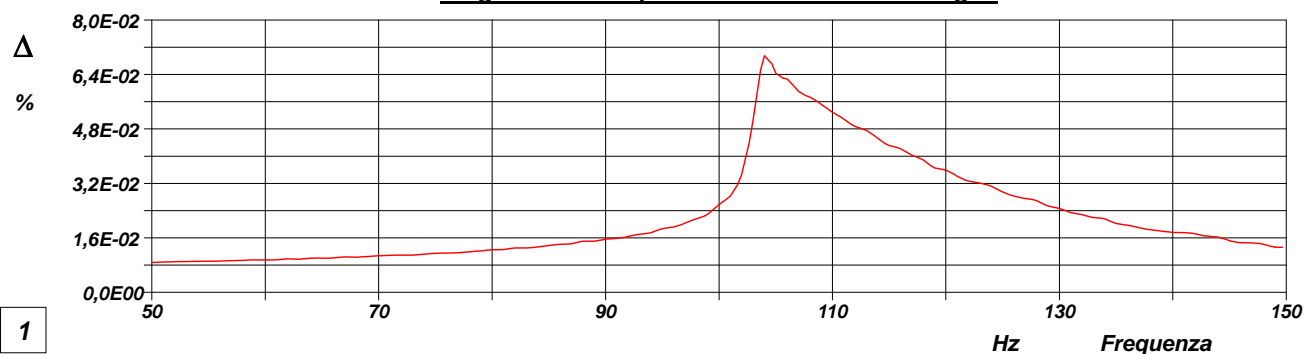
PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

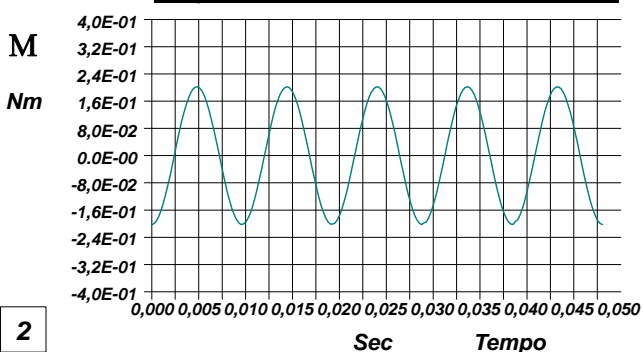
Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 9

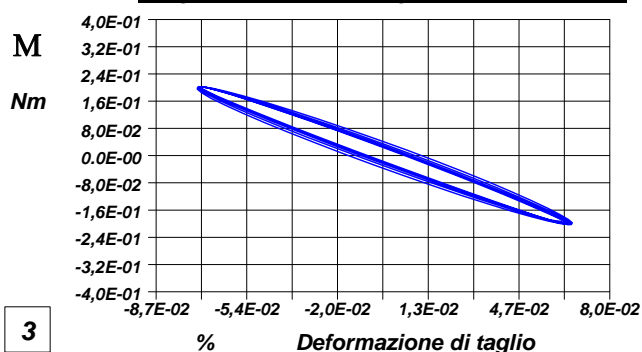
#### Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio



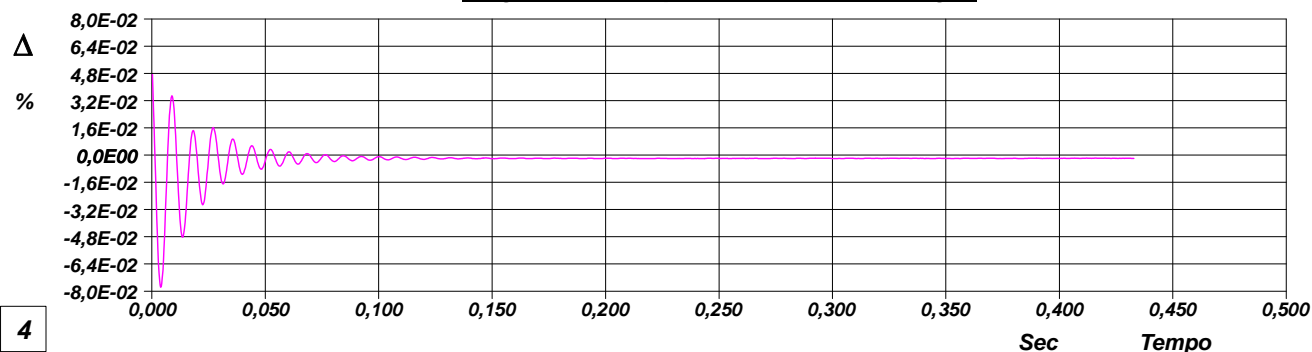
#### Diagramma Tempo - Momento torcente



#### Diagramma Def. di taglio - Momento torc.



#### Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 13/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

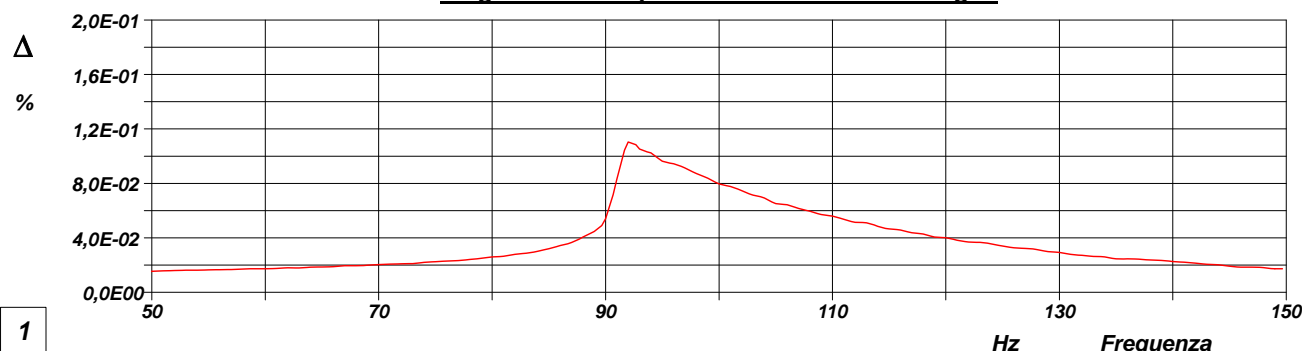
PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

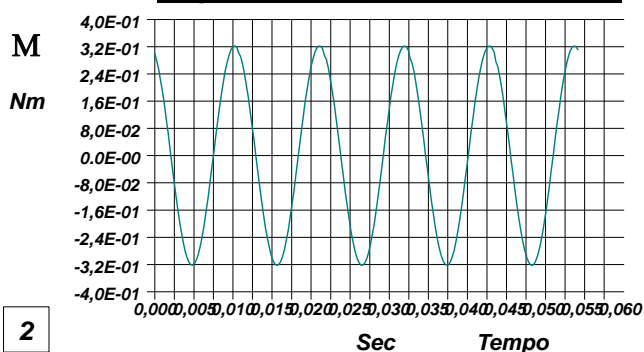
Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 10

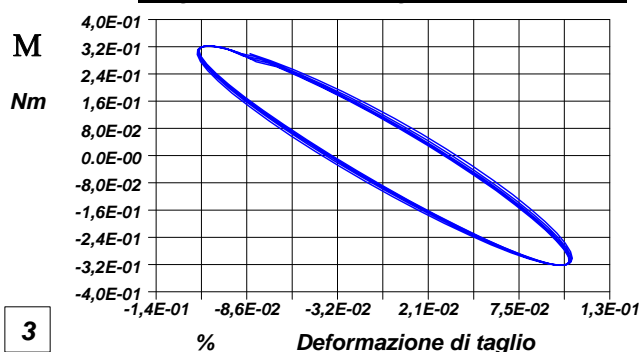
#### Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio



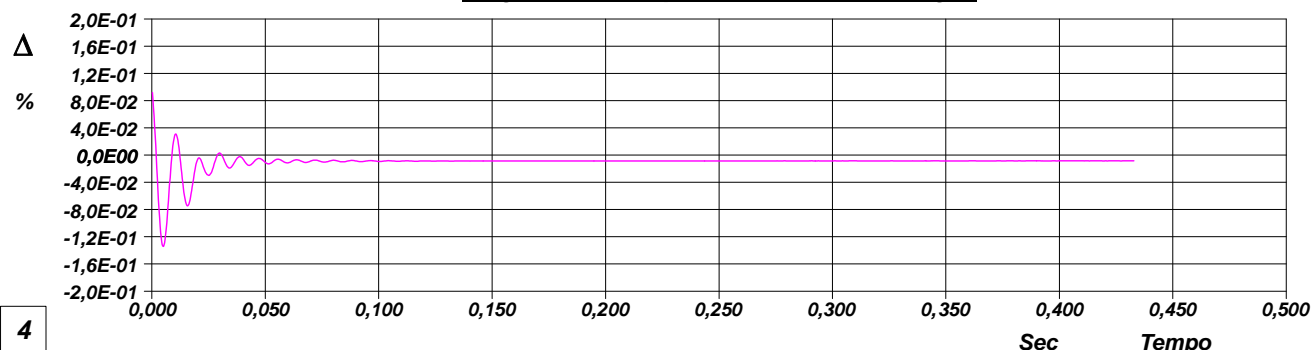
#### Diagramma Tempo - Momento torcente



#### Diagramma Def. di taglio - Momento torc.



#### Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21

CERTIFICATO DI PROVA N°: 00451 Pagina 14/14

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 015 del 21/01/21

DATA DI EMISSIONE: 01/02/21

Inizio analisi: 21/01/21

Apertura campione: 21/01/21

Fine analisi: 23/01/21

COMMITTENTE: Comune di Pomezia

RIFERIMENTO: Pomezia Scuola Via Torralba

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 18,40-19,00

## PROVA DI COLONNA RISONANTE

Modalità di prova: Norma ASTM D4015 -15e1

### Test 11

Diagramma Frequenza - Deformazione di taglio

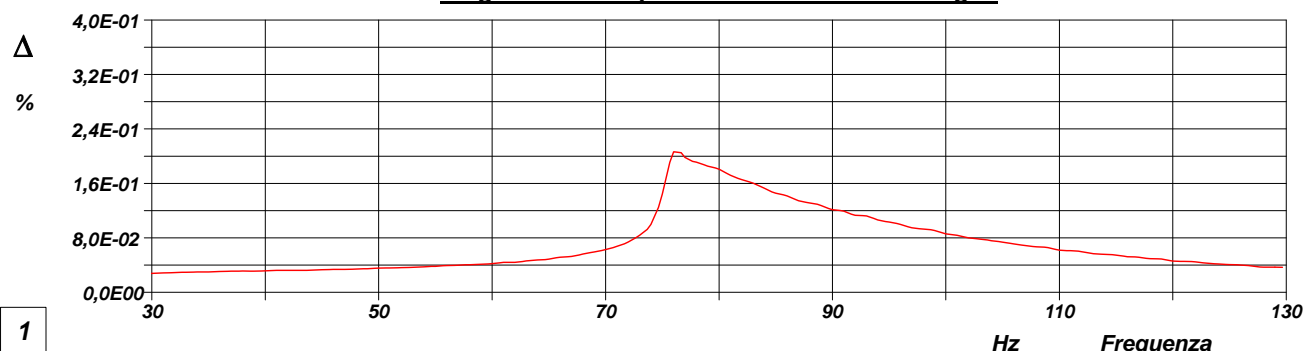


Diagramma Tempo - Momento torcente

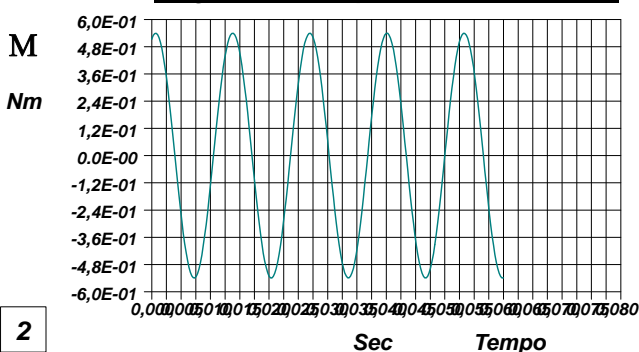


Diagramma Def. di taglio - Momento torc.

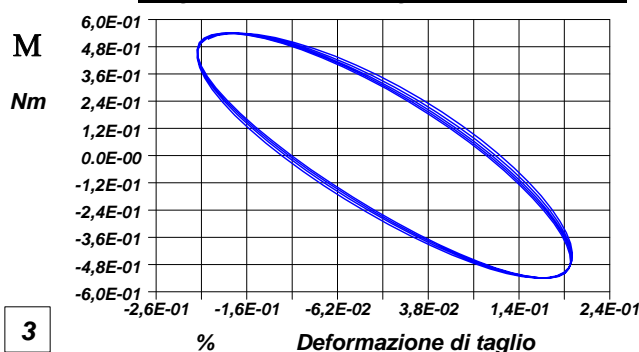
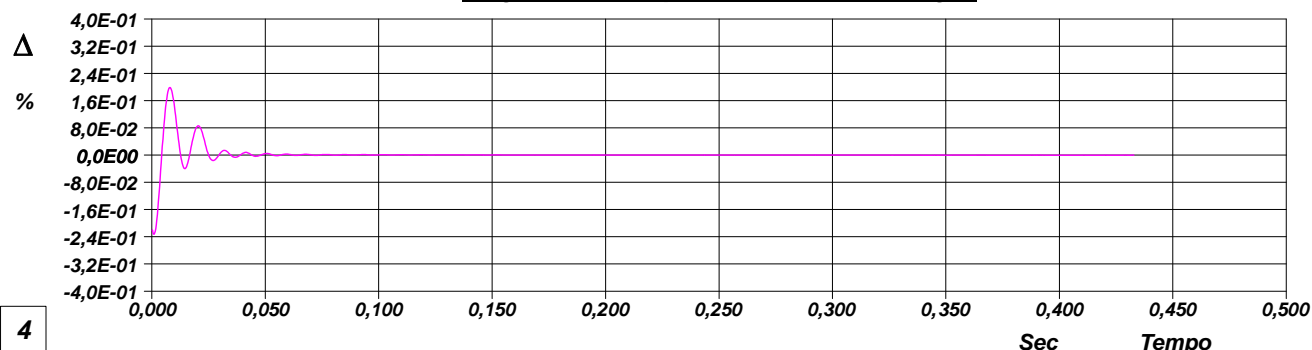


Diagramma Tempo - Deformazione di taglio



1 - Campo delle frequenze indagate

2 - Ampiezza del momento torcente in condizioni di oscillazioni forzate

3 - Cicli di isteresi alla frequenza di risonanza

4 - Smorzamento per oscillazioni libere

031-21



**DPSH**

Committente: Comune di Pomezia  
 Descrizione: Vulnerabilità Sismica Scuola  
 Primaria Martin Pescatore  
 Località: Via Torralba - Pomezia

**Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)**

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

**DPSH1****DPSH2****DPSH3**

**Correlazione con Nspt**

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M            peso massa battente.

M'           peso aste.

H            altezza di caduta.

A            area base punta conica.

δ            passo di avanzamento.

**Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd**

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd           resistenza dinamica punta (area A).

e            infissione media per colpo (δ/ N).

M           peso massa battente (altezza caduta H).

P           peso totale aste e sistema battuta.



### Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa'/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60      rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

$C_S$                       parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

$C_d$                       funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

$C_r$                       parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,

- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## **Valutazioni statistiche e correlazioni**

### **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### ***Media***

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media minima***

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Massimo***

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Minimo***

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Scarto quadratico medio***

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media deviata***

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media (+ s)***

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Media (– s)**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Distribuzione normale R.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

### **Distribuzione normale R.N.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove  $n$  è il numero di letture.

### **Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento  $d = 1$  m.

### **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

#### **Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

### ***Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda***

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

### ***Angolo di Attrito***

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per **sabbie** con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### ***Densità relativa (%)***

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per **ghiaie**  $D_r$  viene sovrastimato, per **limi** sottostimato.

- Skempton (1986) elaborazione valida per **limi** e **sabbie** e **sabbie da fini a grossolane** NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per **sabbie fini** e **ghiaiose** NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### ***Modulo Di Young ( $E_y$ )***

- Terzaghi - elaborazione valida per **sabbia pulita** e **sabbia con ghiaia** senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### ***Modulo Edometrico***

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

#### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### ***Peso di volume saturo***

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

#### ***Modulo di poisson***

- Classificazione A.G.I.

#### ***Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)***

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

***Velocità onde di taglio  $V_s$  (m/s)***

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

***Modulo di deformazione di taglio (G)***

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

***Modulo di reazione ( $K_0$ )***

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )***

- Robertson (1983) -  $Q_c$

**PROVA ...DPSH1**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 04-01-2021

Profondità prova 5.00 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	5	0.855	41.53	48.59
0.40	16	0.801	124.51	155.49
0.60	5	0.847	41.16	48.59
0.80	4	0.843	32.78	38.87
1.00	3	0.840	22.65	26.97
1.20	5	0.836	37.59	44.95
1.40	6	0.833	44.92	53.94
1.60	8	0.830	59.66	71.92
1.80	10	0.826	74.29	89.90
2.00	9	0.823	61.96	75.27
2.20	9	0.820	61.73	75.27
2.40	9	0.817	61.51	75.27
2.60	9	0.814	61.29	75.27
2.80	12	0.811	81.43	100.36
3.00	11	0.809	69.55	86.00
3.20	12	0.806	75.62	93.82
3.40	15	0.753	88.36	117.28
3.60	16	0.751	93.93	125.10
3.80	16	0.748	93.62	125.10
4.00	13	0.746	71.19	95.42
4.20	11	0.794	64.09	80.74
4.40	10	0.791	58.09	73.40
4.60	16	0.739	86.82	117.44
4.80	24	0.687	121.04	176.17
5.00	50	0.585	202.34	345.86

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.4	10.5	102.04	Incoerente	0.0	1.5	15.79	Terreno di riporto
1.4	4.6	42.66	Incoerente	0.09	1.5	6.92	Vulcanoclastiti poco addensate
2.6	9	77.15	Incoerente	0.31	1.5	13.54	Vulcanoclastiti moderatamente addensate
4.4	12.89	99.69	Incoerente	0.43	1.5	19.39	Vulcanoclastiti mediamente addensate
4.8	20	146.8	Incoerente	0.47	1.5	30.08	Sabbie da mediamente addensate a addensate
5	50	345.86	Incoerente	0.51	1.5	75.2	Rifiuto strumentale

## TERRENI INCOERENTI

## Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Skempton 1986
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	52.38	44.43
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	31.39	25.77
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	41.19	40.29
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	47.07	50.32
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	57.14	63.59



## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	15.79	30.39	32.77
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	6.92	25.19	26.76
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	13.54	29.25	31.46
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	19.39	32.05	34.69
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	30.08	36.24	39.53

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	15.79	126.32	153.95
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	6.92	55.36	---
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	13.54	108.32	142.70
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	19.39	155.12	171.95
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	30.08	240.64	225.40

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Farrent 1963
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	15.79	94.74	112.11
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	6.92	---	49.13
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	13.54	81.24	96.13
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	19.39	116.34	137.67
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	30.08	180.48	213.57

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	15.79	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	6.92	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	13.54	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	19.39	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	30.08	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

## Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	15.79	Terzaghi-Peck 1948	1.55
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	6.92	Terzaghi-Peck 1948	1.44
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	13.54	Terzaghi-Peck 1948	1.52
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	19.39	Terzaghi-Peck 1948	1.59
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	30.08	Terzaghi-Peck 1948	1.70

## Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	15.79	Terzaghi-Peck 1948	1.96
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	6.92	Terzaghi-Peck 1948	1.90
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	13.54	Terzaghi-Peck 1948	1.95
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	19.39	Terzaghi-Peck 1948	1.99
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	30.08	Terzaghi-Peck 1948	2.06

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno di riporto	15.79	0.40	15.79	869.75	674.72
[2] - Vulcanoclastiti poco addensate	6.92	1.40	6.92	400.51	407.58
[3] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	13.54	2.60	13.54	752.72	614.23
[4] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	19.39	4.40	19.39	1054.96	764.93
[5] - Sabbie da mediamente addensate a addensate	30.08	4.80	30.08	1594.02	1000.32

## PROVA ...DPSH2

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 04-01-2021

Profondità prova 3.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.31	9.72
0.40	4	0.851	33.07	38.87
0.60	9	0.847	74.08	87.46
0.80	10	0.843	81.95	97.18
1.00	2	0.840	15.10	17.98
1.20	3	0.836	22.55	26.97
1.40	6	0.833	44.92	53.94
1.60	8	0.830	59.66	71.92
1.80	9	0.826	66.86	80.91
2.00	11	0.823	75.73	92.00
2.20	24	0.720	144.54	200.72
2.40	30	0.717	179.93	250.90
2.60	37	0.664	205.55	309.44
2.80	38	0.661	210.20	317.81
3.00	51	0.609	242.70	398.74

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.4	2.5	24.3	Incoerente	0.03	1.5	3.76	Terreno di riporto
0.8	9.5	92.32	Incoerente	0.11	1.5	14.29	Vulcanoclastiti moderatamente addensate
1.4	3.67	32.96	Incoerente	0.2	1.5	5.52	Vulcanoclastiti poco addensate
2	9.33	81.61	Incoerente	0.32	1.5	14.03	Vulcanoclastiti moderatamente addensate
2.8	32.25	269.72	Incoerente	0.47	1.5	48.5	Vulcanoclastiti addensate
3	51	398.74	Incoerente	0.58	1.5	76.7	Rifiuto strumentale

## TERRENI INCOERENTI

## Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Skempton 1986
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	21.01	17.45
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	46.96	41.71
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	24.76	22.21
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	41.8	41.22
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	70.38	79.12

## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	3.76	22.51	23.67
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	14.29	29.64	31.91
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	5.52	24.1	25.51
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	14.03	29.51	31.75
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	48.5	41.97	46.14

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	3.76	30.08	---
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	14.29	114.32	146.45
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	5.52	44.16	---
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	14.03	112.24	145.15
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	48.5	388.00	317.50

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Farrent 1963
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	3.76	---	26.70
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	14.29	85.74	101.46
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	5.52	---	39.19
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	14.03	84.18	99.61
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	48.5	291.00	344.35

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	3.76	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	14.29	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	5.52	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	14.03	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	48.5	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

## Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	3.76	Terzaghi-Peck 1948	1.40
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	14.29	Terzaghi-Peck 1948	1.53
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	5.52	Terzaghi-Peck 1948	1.42
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	14.03	Terzaghi-Peck 1948	1.53
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	48.5	Terzaghi-Peck 1948	1.84

## Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	3.76	Terzaghi-Peck 1948	1.87
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	14.29	Terzaghi-Peck 1948	1.95
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	5.52	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	14.03	Terzaghi-Peck 1948	1.95
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	48.5	Terzaghi-Peck 1948	2.15

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno di riporto	3.76	0.40	3.76	225.73	280.77
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.29	0.80	14.29	791.85	634.80
[3] - Vulcanoclastiti poco addensate	5.52	1.40	5.52	323.84	355.01
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	14.03	2.00	14.03	778.30	627.71
[5] - Vulcanoclastiti addensate	48.5	2.80	48.5	2497.53	1339.36

## PROVA ...DPSH3

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 04-01-2021

Profondità prova 5.60 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.31	9.72
0.40	6	0.851	49.61	58.31
0.60	9	0.847	74.08	87.46
0.80	7	0.843	57.37	68.02
1.00	7	0.840	52.84	62.93
1.20	7	0.836	52.63	62.93
1.40	7	0.833	52.41	62.93
1.60	7	0.830	52.20	62.93
1.80	8	0.826	59.43	71.92
2.00	7	0.823	48.19	58.54
2.20	9	0.820	61.73	75.27
2.40	9	0.817	61.51	75.27
2.60	11	0.814	74.91	92.00
2.80	13	0.761	82.78	108.72
3.00	15	0.759	88.98	117.28
3.20	15	0.756	88.66	117.28
3.40	10	0.803	62.81	78.18
3.60	10	0.801	62.62	78.18
3.80	7	0.798	43.70	54.73
4.00	7	0.796	40.90	51.38
4.20	12	0.794	69.91	88.08
4.40	27	0.691	137.03	198.19
4.60	42	0.589	181.66	308.29
4.80	46	0.587	198.24	337.65
5.00	48	0.585	194.24	332.02
5.20	42	0.583	169.38	290.52
5.40	48	0.581	192.92	332.02
5.60	51	0.579	204.30	352.78



Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.2	1	9.72	Incoerente	0.02	1.5	1.5	Terreno di riporto
2.4	7.55	67.86	Incoerente	0.25	1.5	11.36	Vulcanoclastiti moderatamente addensate
3.6	12.33	98.61	Incoerente	0.47	1.5	18.54	Vulcanoclastiti mediamente addensate
4	7	53.06	Incoerente	0.51	1.5	10.53	Vulcanoclastiti moderatamente addensate
5.4	37.86	269.54	Incoerente	0.55	1.5	56.94	Sabbie addensate
5.6	51	352.78	Incoerente	0.57	1.5	76.7	Rifiuto strumentale

## TERRENI INCOERENTI

## Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Skempton 1986
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	6.37	10.89
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	38.49	35.91
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	45.29	49
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	32.23	34.15
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	73.26	86.75

## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	1.5	19.74	20.48
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	11.36	28.05	30.07
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	18.54	31.68	34.26
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	10.53	27.57	29.51
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	56.94	44.22	48.75

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	1.5	12.00	---
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	11.36	90.88	131.80
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	18.54	148.32	167.70
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	10.53	84.24	127.65
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	56.94	455.52	359.70

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Farrent 1963
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	1.5	---	10.65
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	11.36	68.16	80.66
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	18.54	111.24	131.63
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	10.53	63.18	74.76
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	56.94	341.64	404.27

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	1.5	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	11.36	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	18.54	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	10.53	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	56.94	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

## Peso unità di volume

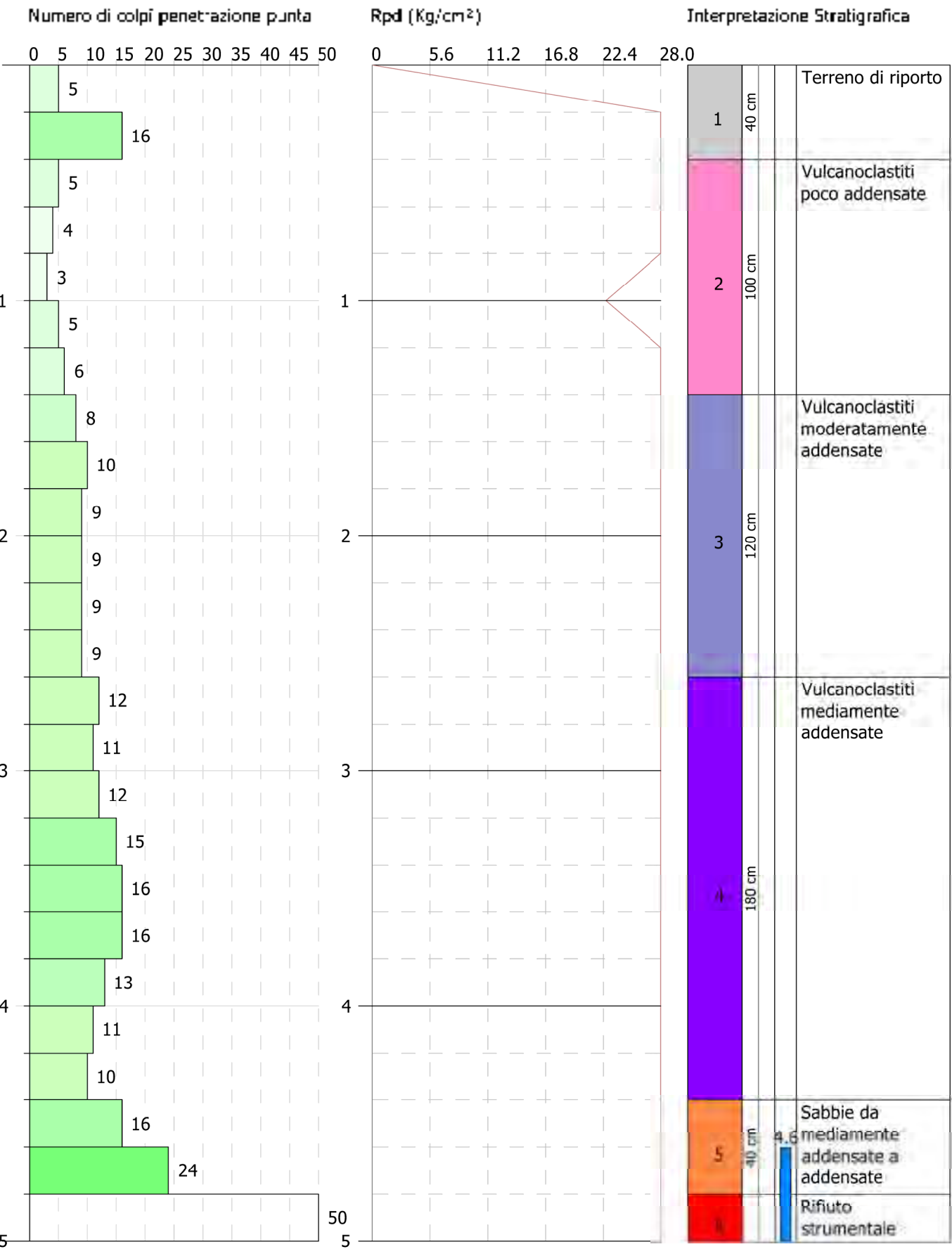
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	1.5	Terzaghi-Peck 1948	1.36
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	11.36	Terzaghi-Peck 1948	1.49
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	18.54	Terzaghi-Peck 1948	1.58
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	10.53	Terzaghi-Peck 1948	1.48
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	56.94	Terzaghi-Peck 1948	1.89

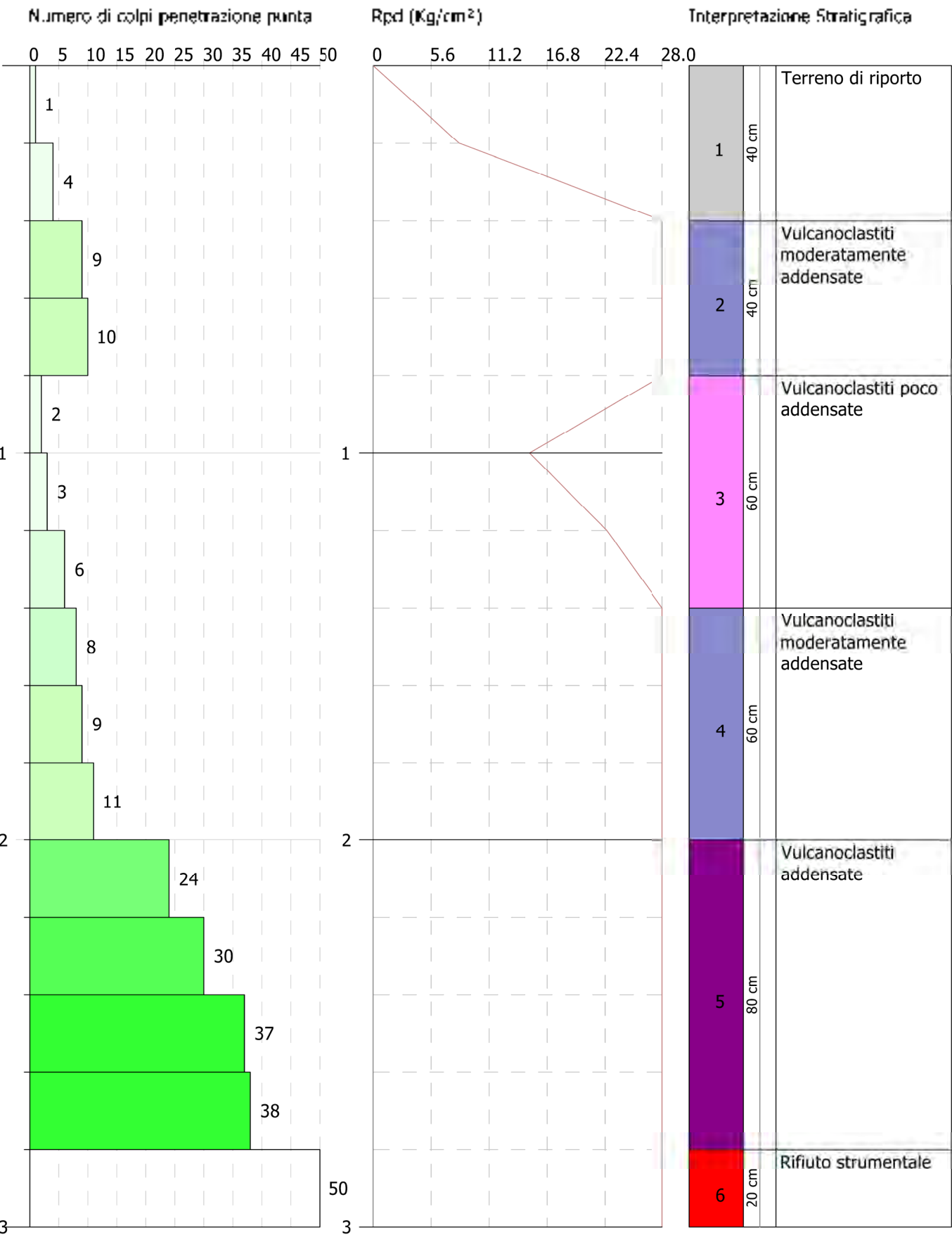
## Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	1.5	Terzaghi-Peck 1948	1.85
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	11.36	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	18.54	Terzaghi-Peck 1948	1.98
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	10.53	Terzaghi-Peck 1948	1.92
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	56.94	Terzaghi-Peck 1948	2.18

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno di riporto	1.5	0.20	1.5	95.16	160.14
[2] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	11.36	2.40	11.36	638.22	551.75
[3] - Vulcanoclastiti mediamente addensate	18.54	3.60	18.54	1011.43	744.26
[4] - Vulcanoclastiti moderatamente addensate	10.53	4.00	10.53	594.29	526.76
[5] - Sabbie addensate	56.94	5.40	56.94	2904.06	1477.30

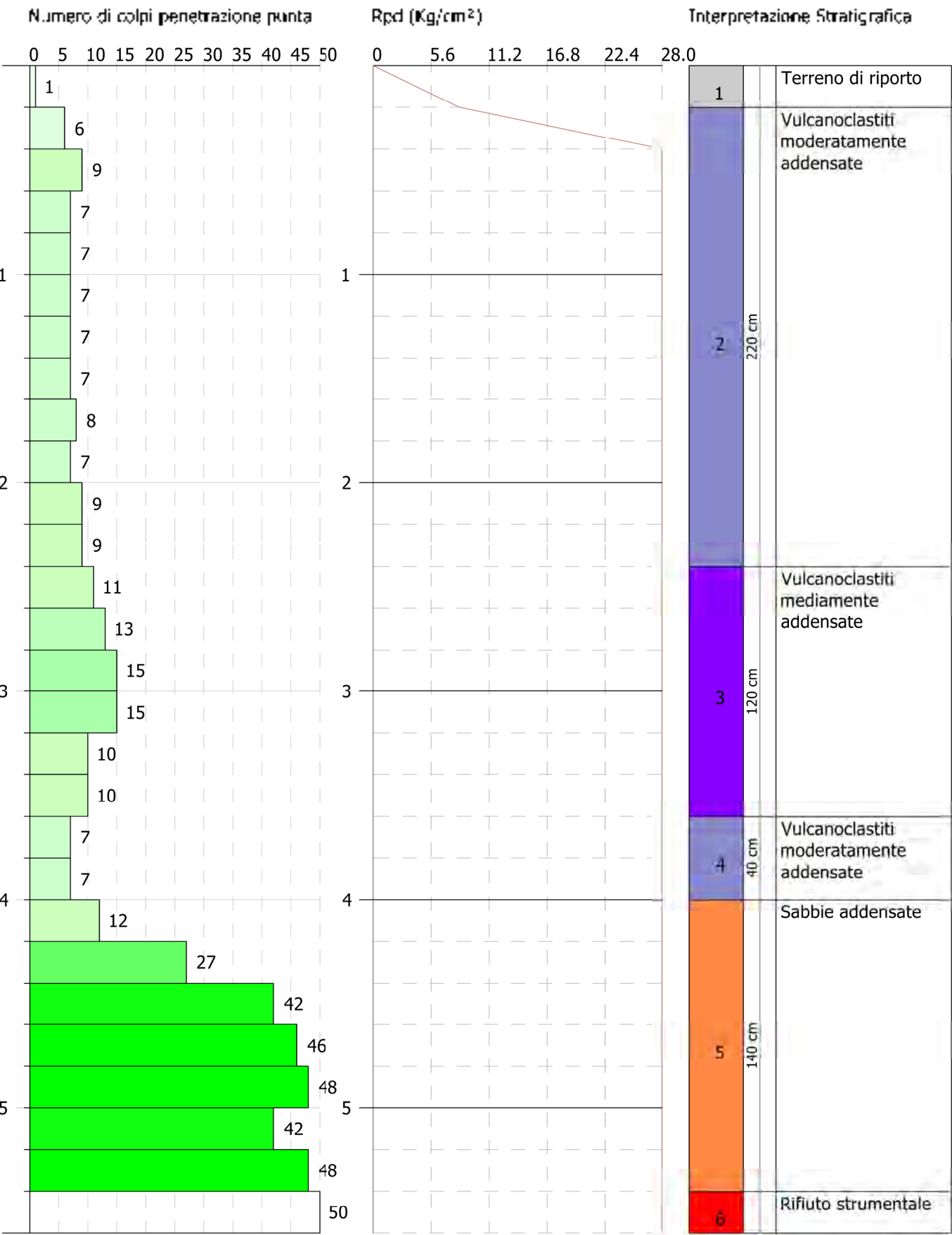




Committente: Comune di Pomezia  
Descrizione: Vulnerabilità Sismica Scuola Primaria Martin Pescatore  
Località: Via Torralba - Pomezia

04-01-2021

Scala 1:26



## **DETERMINAZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO**

### ***PROSPEZIONI SISMICHE MASW – MISURA HVSR***

#### **1. PREMESSA**

Su incarico del comune di Pomezia sono state effettuate n.2 registrazioni di rumore sismico ambientale (misura HVSR), n.1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh; figg. 1-1bis-2) ed una prospezione sismica di tipo passivo ReMi (Refraction Microtremor ovvero analisi del sottosuolo mediante l'uso di microtremori) in un'area ricadente Via Torralba, nel comune di Pomezia (RM - fig. 3), al fine di classificare sismicamente il suolo, ossia definire la categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

In particolare, la Masw M1 è stata elaborata in maniera congiunta con la misura HVSR1.

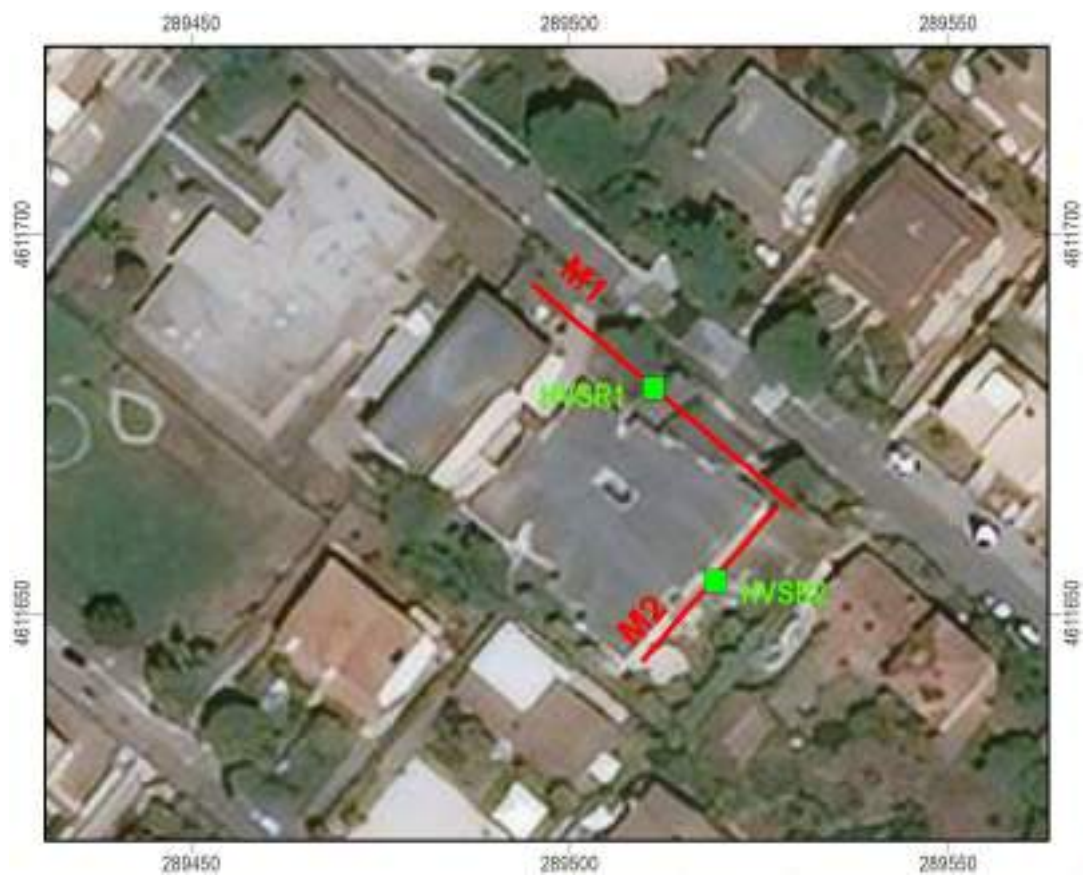


**Fig. 1** - Foto della preparazione della Masw M1





**Fig. 2bis** - Foto della misura HVSR 2



**Fig. 3** – Ubicazione delle indagini geofisiche su ortofoto  
M1 Masw in rosso – R2 ReMi in rosso - HVSR in verde

*Scala 1:1.000*



## 2.1 CENNI TEORICI SUL METODO MASW

Lo scopo della prova MAS W consiste nel determinare il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh ( $V_R$ ) e un successivo processo di inversione, attraverso il quale viene fornita una stima indiretta della distribuzione delle  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

La prova si applica quando la profondità delle coperture da esplorare è compresa tra i 10 e i 50 m, presentando una maggiore attendibilità per profondità indagate inferiori ai 20 m. Si rende necessaria soprattutto quando interessano dati medi relativi ad ampi volumi di terreno e quando i risultati da ottenere devono essere di qualità e precisione buone.

Per l'esecuzione della prova è necessaria una superficie pianeggiante più o meno ampia in relazione alla profondità di indagine.

Si suppone che il volume di terreno interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo e isotropo.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze, opportunamente regolabile, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

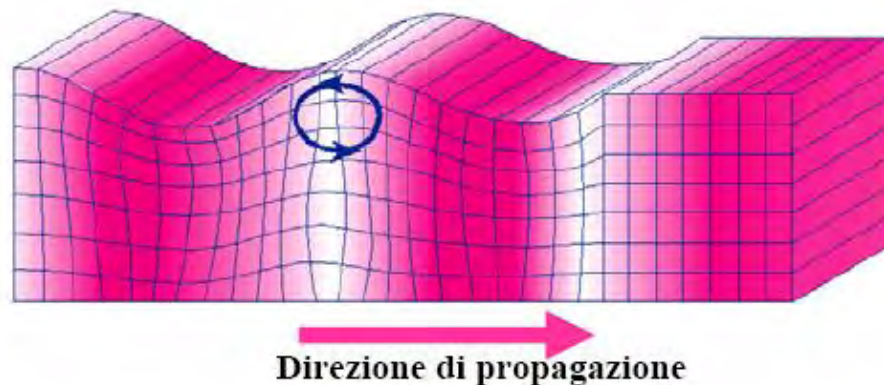
L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di rigidezza può scomporsi in due fasi fondamentali:

- ✓ deduzione della curva di dispersione (velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza) caratteristica del sito in esame;
- ✓ processo di inversione, finalizzato a ottenere partendo dalla curva suddetta una stima del profilo di rigidezza a essa associato.

Ai fini di questa prova, di tutte le componenti di moto prodotte nel terreno dalla sorgente, interessano quelle che si trasmettono lungo la superficie (onde superficiali) e di queste quelle di Rayleigh, polarizzate sul piano verticale e caratterizzate da componenti sia longitudinali sia trasversali.

Tali onde si propagano lungo fronti d'onda cilindrici, coassiali rispetto alla sorgente, con attenuazione proporzionale all'inverso della radice di  $r$  (dove  $r$  è la distanza dalla sorgente) inferiore all'attenuazione delle onde di volume (proporzionale invece a  $1/r$ ) e perciò già a

distanze non molto grandi le onde di superficie tendono a prevalere nettamente su quelle di volume (fig. 4).



**Fig. 4** - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La componente verticale del moto indotta dalle onde di Rayleigh è predominante su quella orizzontale e si attenua con la profondità rapidamente fino a diventare insignificante a una quota di poco superiore alla lunghezza d'onda  $\lambda$  della sollecitazione indotta. Perciò per indagare profondità sempre maggiori e ricavare la velocità caratteristica delle onde di Rayleigh è opportuno aumentare progressivamente la lunghezza d'onda della sollecitazione prodotta dalla sorgente, costruendo così una curva in cui sia riportata al variare della lunghezza d'onda  $\lambda$ , e quindi della profondità investigata, la velocità delle onde di Rayleigh calcolata (curva di dispersione).

La velocità  $V_R$  risulta sperimentalmente assai prossima a quella delle onde di taglio  $V_s$  (variando in funzione del coefficiente di Poisson tra 0.86 e 0.95), tramite la quale si possono ricavare le caratteristiche meccaniche del terreno per mezzo delle relazioni precedentemente citate.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone di un *sistema sorgente* - *sistema di ricezione* - *sistema di acquisizione dati* (fig. 7).

## 2.2 CENNI TEORICI SUL METODO ReMi

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso di microtremori (Refraction Microtremor ) prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University e fornisce una caratterizzazione semplificata di volumi relativamente ampi del sottosuolo in profili verticali 1D sino alla profondità di 100 metri.

ReMi può caratterizzare un orizzonte meno veloce che è sottostante ad uno più veloce (velocity reversal) che rappresenta una condizione non distinguibile con il metodo tradizionale della sismica a rifrazione.

In situazioni dove un terreno più "competente" è sovrapposto a una zona più debole legata a subsidenza o al collasso di materiali più deboli sottostanti o a spazi vuoti, ReMi ha la capacità di individuare la velocità delle onde S dell'orizzonte debole sottostante.

La fonte di energia delle onde di superficie per il ReMi può essere il rumore ambientale o i semplici passi per stendimenti che indagano profondità limitate o rumore di veicoli per lunghezze maggiori.

I profili ReMi si eseguono con successo in aree urbane con attività considerevole, usando il rumore ambientale come fonte di energia. Per indagini presso autostrade, il passaggio dei veicoli può servire da sorgente di energia.

Le velocità delle onde S (onde di taglio), il tipico parametro misurato dei materiali geologici, sono una funzione dei moduli dei vari materiali nel profilo del sottosuolo.

Le basi della teoria sono le stesse dell'analisi spettrale delle onde di superficie ( SASW ) e della multi analisi delle onde di superficie ( MASW ).

I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è in questo caso la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni; le scelte dei parametri di acquisizione influenzano molto il risultato finale.

Infatti, normalmente si accetta l'approssimazione secondo cui la massima profondità di indagine MASW per la quale calcolare il valore VS, può essere paragonato alla metà della lunghezza d'onda  $l_{max}$  misurata dai ricevitori (Park et al., 1999), quest'ultima in generale è considerata circa pari alla lunghezza L dello stendimento.

Nel caso REMI è necessario rilevare un numero di microtremori elevato, ciò sarà ottenibile semplicemente allungando i tempi di registrazione del segnale rispetto ai metodi attivi.

### 3.CENNI TEORICI SULLE MISURE HVSR PER LA STIMA DELLE $V_{SEQ}$

Le basi teoriche di questa tecnica si basano sul rumore sismico ambientale (CASTELLARO *et alii*, 2005), presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Si chiama anche *microtremore* in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10-15 [m/s^2]^2$  in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in fig. 5, dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda.

A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Il metodo in questione fu reso popolare principalmente da NAKAMURA (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale ed è ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli, informazione che è comunque di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato di terreno  $N$  relativa alle relative alle onde S è:

$$f_r = V_s / 4 h \quad (1)$$

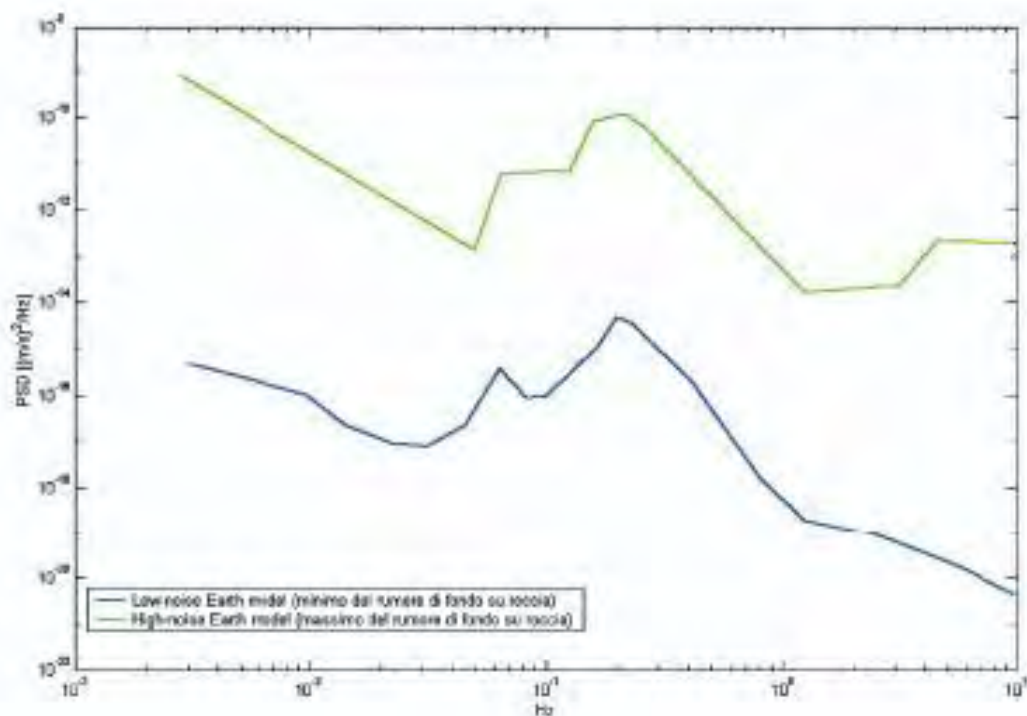
in cui  $V_s$  è la velocità media delle onde S nello strato  $N$  ed  $h$  è lo spessore.

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sullo

spessore  $h$  degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per

- a) il contenuto in frequenza,
- b) la risposta strumentale
- c) l'ampiezza del segnale

quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto (MULARGIA *et alii*, 2007) .



**Fig. 5** - Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo i modelli standard del servizio geologico USA (USGS) (J. Peterson, Observations and modelling of background seismic noise, Open-file report 93-322, USGS, 1993).

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini.

Quindi, l'equazione [1] permette di calcolare le  $V_{seq}$  conoscendo la frequenza fondamentale di risonanza dei depositi (misurata dal tromino) e la profondità dei depositi stessi.

Questa tecnica è basata sulla inversione dei rapporti spettrali del tremore sismico (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR) registrato in una stazione singola. La curva sperimentale HVSR viene fittata con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte) di sottosuolo oppure i risultati della prova Masw (come in questo lavoro), generando in tal modo un ***fit congiunto*** sia sul *Phase velocity spectra* delle Masw che sulla curva H/V sperimentale.

La procedura di inversione consiste di 3 passi:

1. Nel caso in cui non si abbia un *Phase velocity spectra* (derivante da una misura Masw, Remi, ecc..) si procede all'identificazione di un orizzonte stratigrafico superficiale (di solito ad alcuni metri di profondità)
2. identificazione del marker HVSR corrispondente,
3. fit della curva HVSR teorica utilizzando 1) e 2) come vincoli.

In questo lavoro, avendo effettuato delle Masw, si è proceduto ad un ***fit congiunto*** sia sul *Phase velocity spectra* di una delle Masw che sulla curva H/V sperimentale (CASTELLARO & MULARGIA, 2007).

La curva HVSR teorica è calcolata assumendo un campo di tremore con sorgenti puntuali distanti posizionate casualmente sulla superficie, ed un campo d'onde che si propagano in un mezzo stratificato 1-D, con i coefficienti di accoppiamento di Ben-Menahem e Singh (1981), correzione di stabilità di Dunkin per i propagatori e con valori di  $Q=10$  indipendente dalla frequenza.

#### 4. CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'INDAGINE MASW, REMI E DELLA MISURA HVSR (RUMORE SISMICO AMBIENTALE)

Come sopramenzionato, per la determinazione delle  $V_{seq}$ , nell'ambito di questo lavoro sono state effettuate tre tipologie di indagine: Masw, ReMi, misura HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR).

Di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche delle indagini Masw-ReMi e della misura HVSR.

##### 4.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'INDAGINE MASW E REMI

L'analisi delle onde superficiali è stata effettuata utilizzando un sistema sismico digitale multicanale (**SoilSpy Rosina**) di concezione totalmente nuova progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali (Re.Mi. - M.A.S.W. - S.A.S.W. – SPAC - ESAC).

Il **SoilSpy Rosina** (fig. 6) è composto da un cavo di trasmissione digitale dati lungo il quale sono disposti i moduli di amplificazione/digitalizzazione collegati ai sensori (comunemente geofoni). Il sistema si connette ad un PC portatile per l'impostazione dei parametri di acquisizione, per il salvataggio dei dati e la loro preanalisi (fig. 7).



**Fig. 6** - Sistema sismico digitale multicanale **SoilSpy Rosina**

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza sono stati utilizzati geofoni da 4.5 Hz (tipo Geospace),



Nell'esecuzione delle prove MASW attive è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico (fig. 7); quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

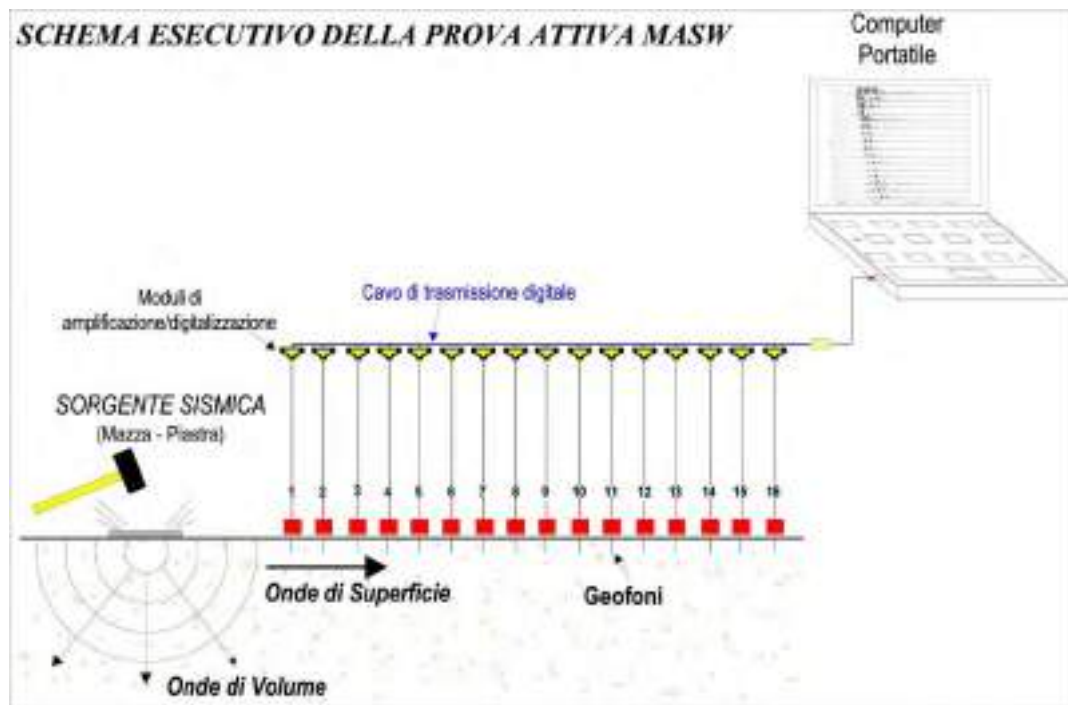


Fig. 7 – Schema esecutivo delle prove attive Masw eseguite

#### 4.2 SCHEMA ARRAY SISMICO

Le prospezioni sismiche Masw e ReMi sono state eseguite con due stendimenti geofonici caratterizzati dalle seguenti caratteristiche:

- M1 – lunghezza 45m, 16 geofoni con interasse pari a 3m; sorgente a 3 m dal primo geofono *Trigger* (fig.8).
- M2 - lunghezza 26m, 14 geofoni con interasse pari a 2m; sorgente a 1.5 m dal primo geofono *Trigger* (fig.9).

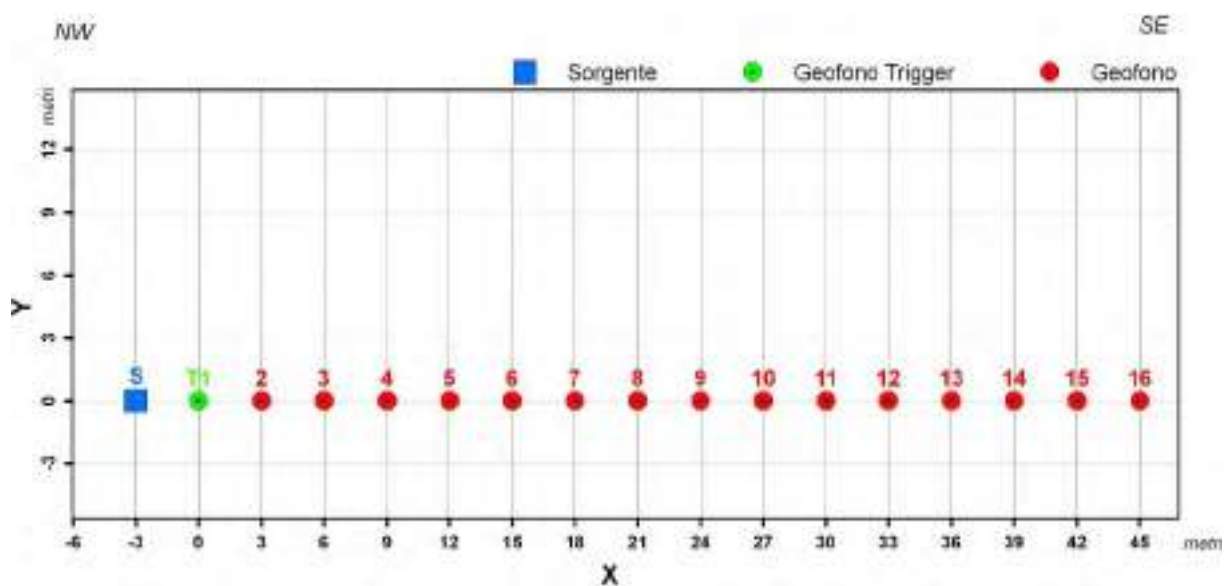


Fig. 8 – Schema di posizionamento stesa M1

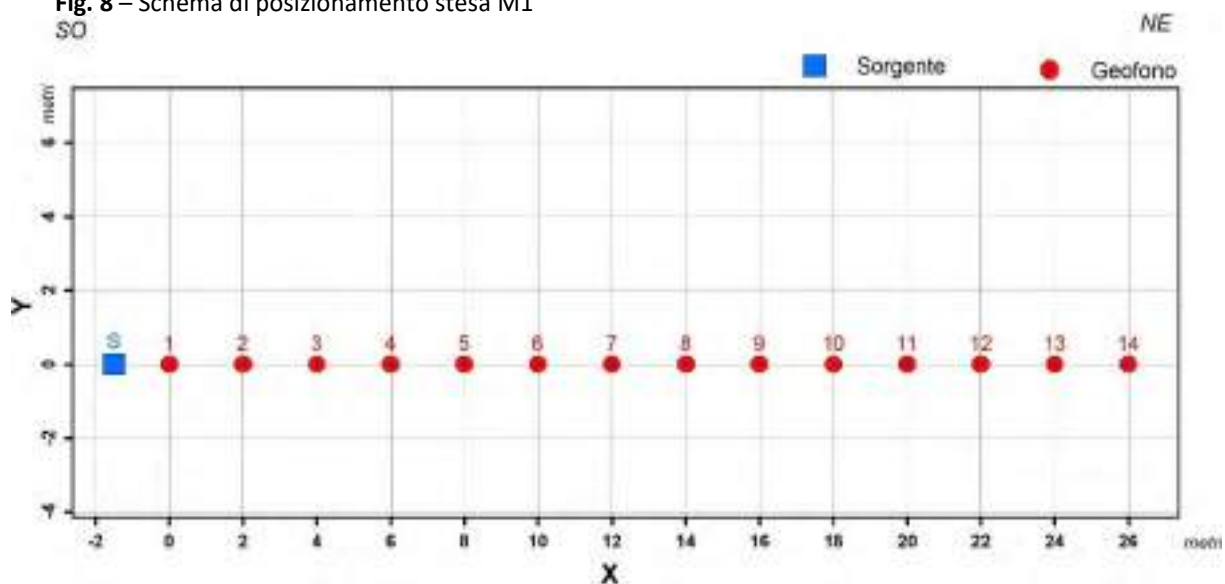


Fig. 9 – Schema di posizionamento stesa R2

#### 4.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA MISURA HVSR

La misura del rumore sismico ambientale è stata effettuata mediante il tromografo digitale Tromino (fig. 10), mediante due acquisizioni di 16 minuti ad una frequenza di 256 Hz.

Si tratta di un apparecchio portatile compatto di circa 10 x 7 x 14 cm e 1 kg di peso dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza alcun cavo esterno.

## 5. ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

L'utilizzo di entrambe le indagini permette una stima delle  $V_{seq}$  nettamente più precisa poichè permette un'elaborazione o *fit congiunto* creando una taratura contemporanea tra i risultati delle due misurazioni, ossia della *curva H/V* e dello *spettro di velocità di fase delle onde di superficie (curve di dispersione)* proveniente dall'indagine in array attiva (Masw).

Inoltre, questa metodologia permette una buona ricostruzione della sismostratigrafia dell'area; ossia dà la possibilità di ricostruire, dal p.c. in profondità, le variazioni di densità ossia le variazioni litologiche principali.

### 5.1 ACQUISIZIONE DEI DATI MASW

L'acquisizione dei dati Masw è stata effettuata mediante il software SoilSpy 3.16 della Micromed S.p.A. che è lo strumento che permette di impostare i parametri di acquisizione, di visualizzare i tracciati e di effettuarne una prima analisi

Le impostazioni dei parametri di acquisizione delle stese in oggetto sono:

#### **Settaggio Trigger:**

*Trigger* = Geofono 1

*Durata del Pre-trigger* = 1/16 sec

*Durata totale di acquisizione del segnale* = 3 sec

**Settaggio Gain** = 1 $\mu$ V/digit (corrisponde a un input massimo di segnale  $\pm 32.7$  mV) per tutti i moduli di digitalizzazione

**Frequenza di campionamento** = 1024 Hz

Successivamente è stato creato un'Average di tutte le energizzazioni effettuate scegliendo le migliori.

I dati sperimentali, acquisiti e pre-elaborati sono stati importati nel programma Grilla (Micromed S.p.A.), il quale permette l'archiviazione dei tracciati acquisiti con SoilSpy Rosina e contiene un modulo per il calcolo degli spettri di velocità di fase delle onde di superficie e la modellazione di curve di dispersione teoriche nel modo fondamentale e superiori.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

In questo grafico è possibile distinguere il “modo fondamentale” delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Il calcolo dei **phase velocity spectra** è stato svolto con i seguenti parametri:

- *Min. Freq. [Hz] = 1 Hz*
- *Max. Freq. [Hz] = 70 Hz*
- *Step V [m/s] = 1 m/s*
- *Win. Length [s] = 3 sec*

## 5.2 ELABORAZIONE DELLA CURVA H/V

L'elaborazione della curva H/V è stata effettuata mediante il software Grilla in dotazione a Tromino.

In sintesi, il segnale dei velocimetri è stato acquisito per un tempo  $t$  (16 min), e digitalizzato a 24 bit.

Il software Grilla, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza  $L$  (in questo lavoro generalmente 30 s),
  2. elimina il trend da ciascuna finestra,
  3. ne fa il “taper” con una finestra Bartlett,
  4. fa il “pad” di ciascuna finestra con degli zero,
  5. calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra,
  6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra,
  7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamento  $f$ ,
- e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra. Per produrre l'HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale.

Le curve H/V presenti in questo lavoro sono state ottenute secondo i seguenti parametri e processi:

**Lunghezza Traccia:** 0h16'00".

**Analizzato 75% della traccia**

**Frequenza di campionamento:** 256 Hz

**Window size:** 10 s

**Lisciamento finestra:** Triangular window

**Lisciamento:** 10%

### 5.3 INTERPRETAZIONE E RISULTATI

Il Fit congiunto (misura HVSR +Masw M1) si compone nel modo seguente: una volta acquisite le curve si è proceduto all'esecuzione di un "picking" (*fit congiunto*) sia sui **phase velocity spectra** che sulla **curva H/V** ottenute. La misura HVSR è stata elaborata congiuntamente con la Masw M1 mentre la ReMi R2 è stata elaborata in maniera disgiunta.

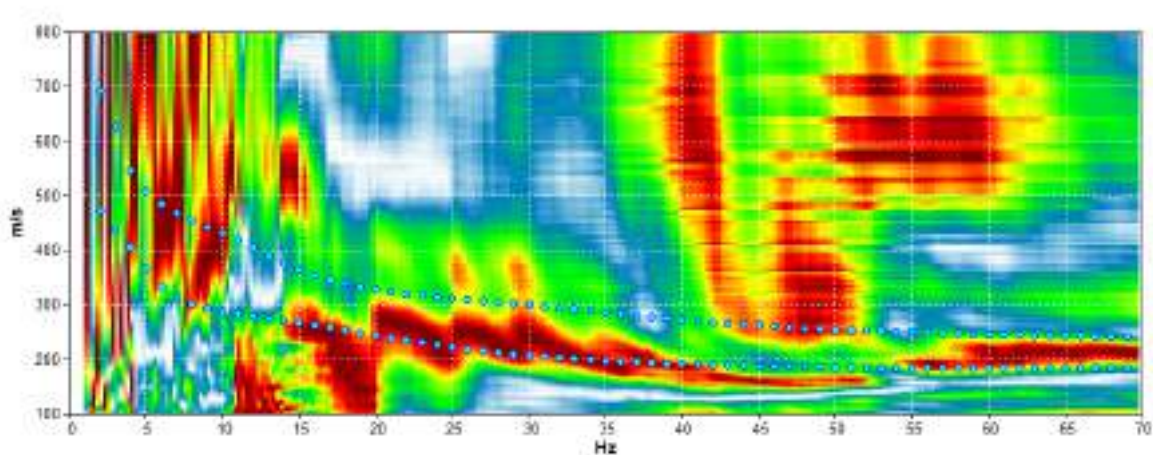
Il picking è stato effettuato attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (sulla curva di dispersione figg. 11-12) e contemporaneamente tarando solo Masw M1 con la curva sperimentale HVSR (figg. 13-14).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma velocità di fase - frequenza per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

Questa metodologia (*fit congiunto solo per la Masw M1*) permette di vincolare tra loro i dati delle due curve e quindi riduce notevolmente l'errore dell'interprete, fornendo in tal modo un risultato nettamente più preciso sia dal punto di vista delle Vseq, sia della sismostratigrafia.

THEORETICAL RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



**Fig. 11** - Phase velocity spectra con picking ottenuto dalla prospezione Masw M1

THEORETICAL RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE

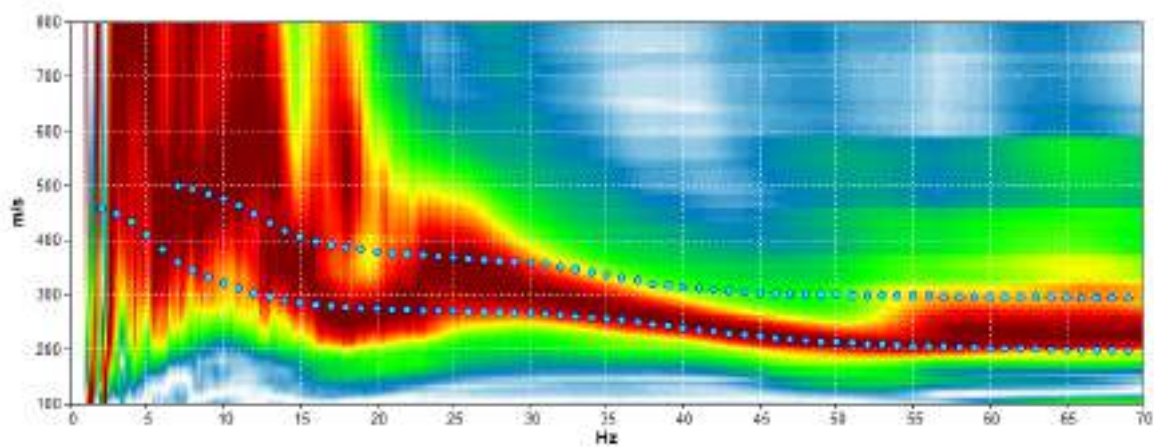


Fig. 12 - Phase velocity spectra con picking ottenuto dalla prospezione ReMi R2

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

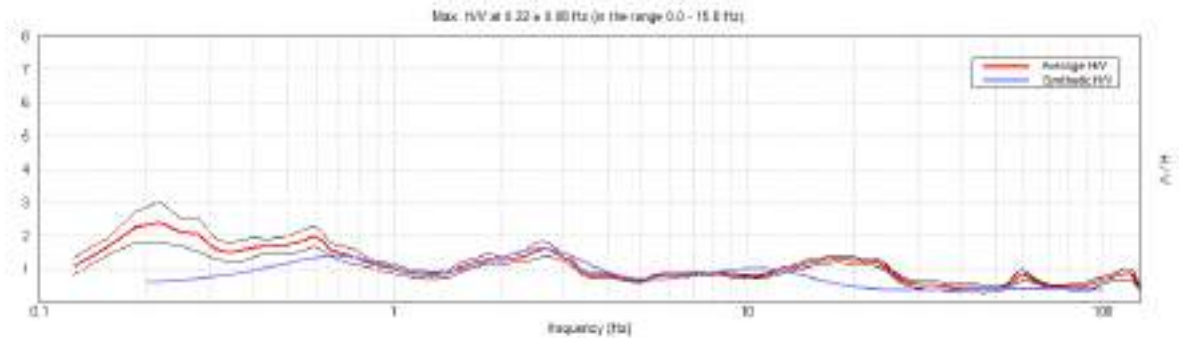
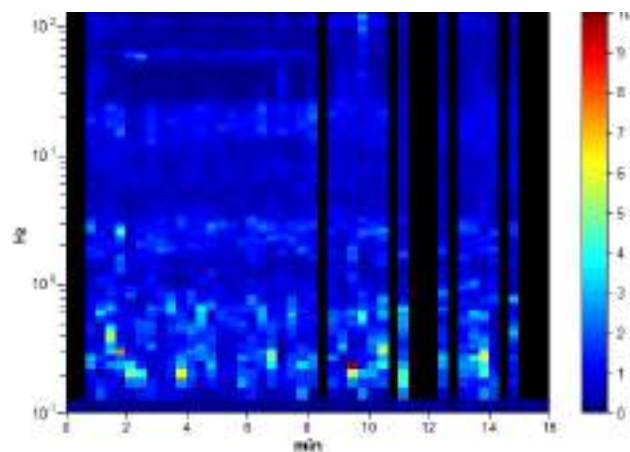
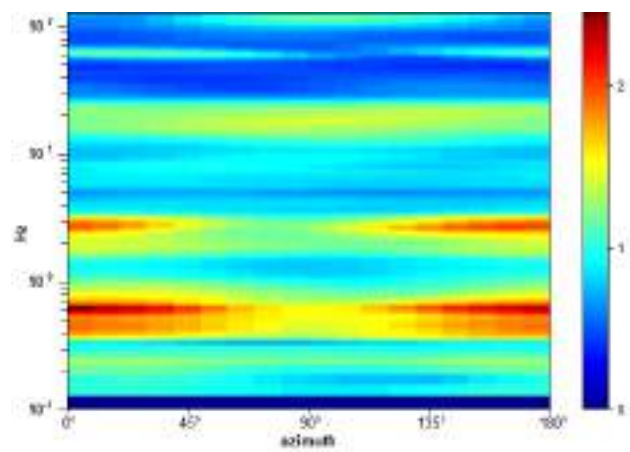


Fig. 13 - Fit della curva HVSR sintetica (linea rossa) e sperimentale (linea blu)

H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

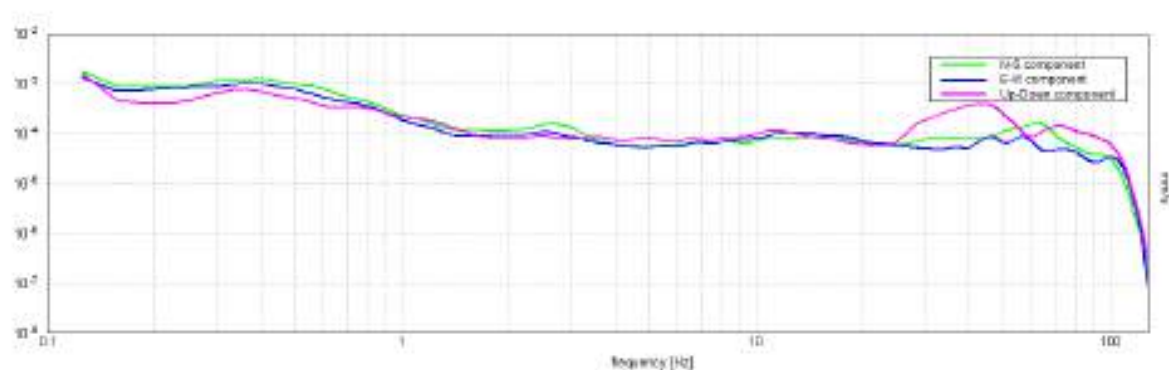


Fig. 14 - SERIE TEMPORALE H/V - SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI- HVSR

L'analisi dei **phase velocity spectra** e della **curva HVSR** consente in questo modo di ricostruire n.2 modelli sismici monodimensionali del sottosuolo, i quali risultano costituiti dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità. Dall'inversione delle curve di dispersione e della curva HVSR si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (tab. 1-2; figg.15-16), rappresentativi dell'area investigata :

Tab.1 - MODELLO MEDIO DI VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE DI TAGLIO (Masw – Misura HVSR)			
Strato	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/s]
1	1.4	1.4	199
2	2.4	1	168
3	6.1	3.7	250
4	19	12.9	311
5	29	10	342
6	59	30	464
7	179	120	510
8	inf.	inf.	710

Tab.2 - MODELLO MEDIO DI VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE DI TAGLIO (ReMi)			
Strato	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/s]
1	2.3	2.3	202
2	6.2	3.9	322
3	8.7	2.5	246
4	11.3	2.6	336
5	30.8	19.5	377
6	inf.	inf.	500



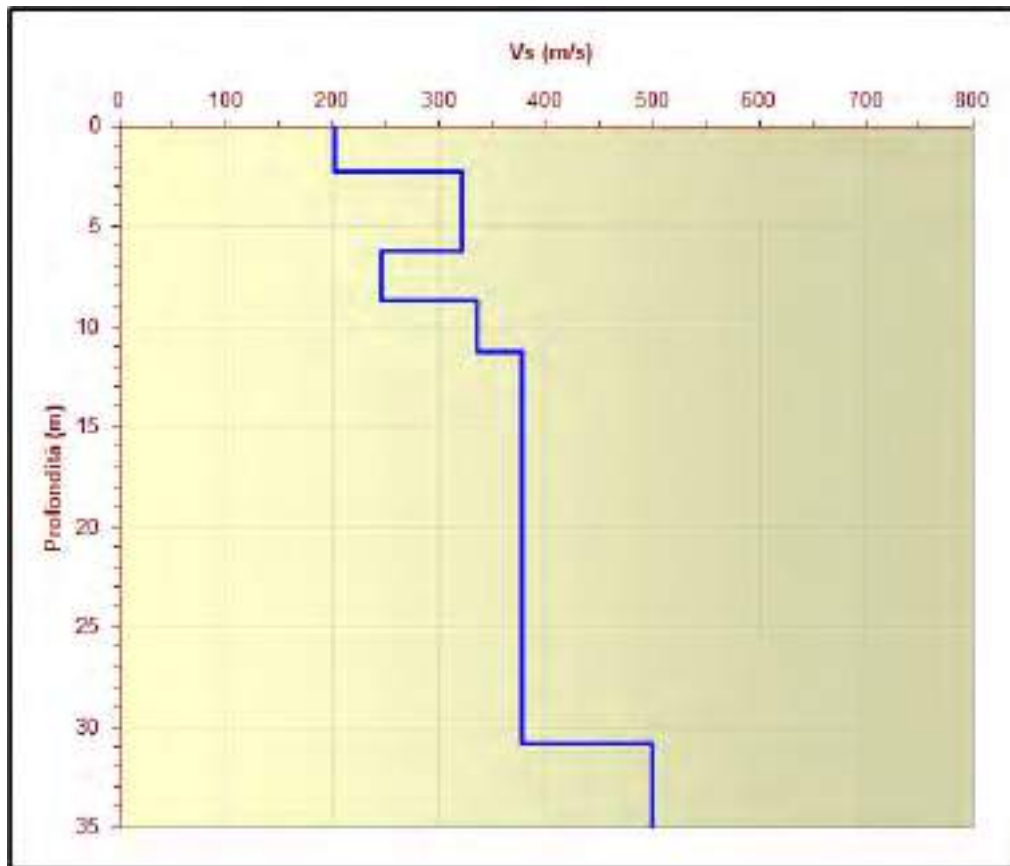


Fig. 15 Andamento delle Vs con la profondità fino a 35 m dal p.c. (ReMi R2)

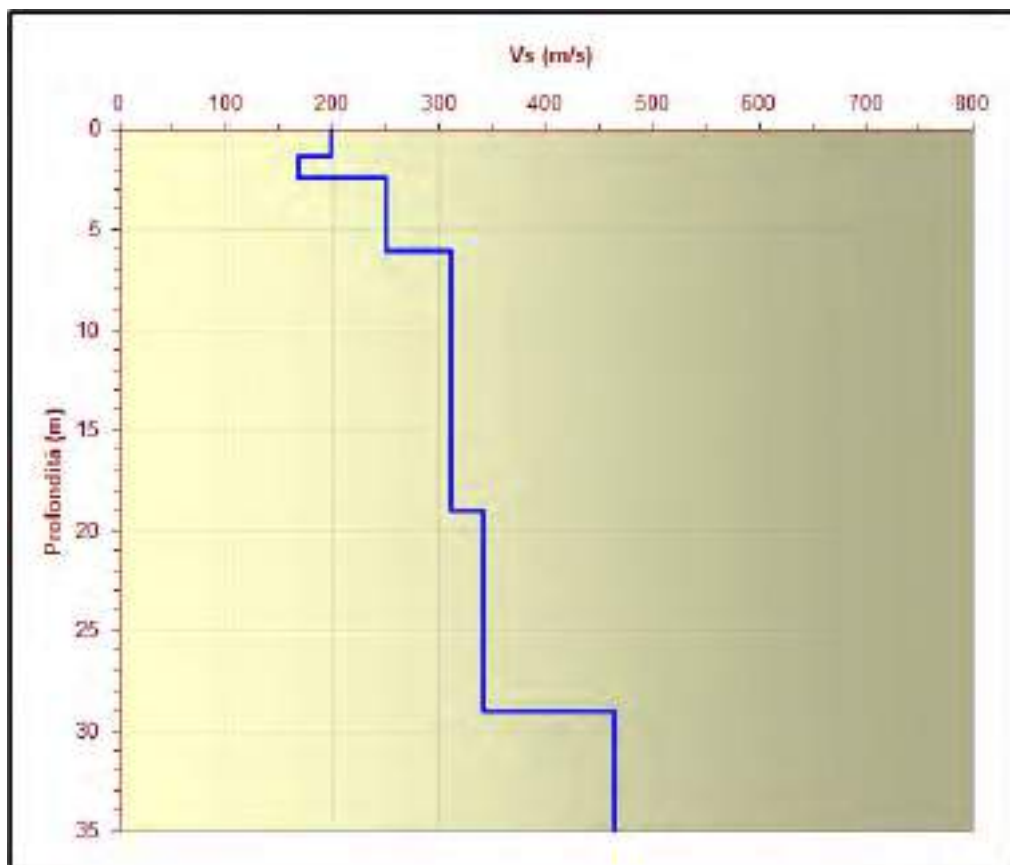


Fig. 16- Andamento delle Vs con la profondità fino a 35 m dal p.c. (Misura HVSR – Masw M1)



A partire dai modelli sismici monodimensionali, è possibile calcolare il valore delle  $V_{s,eq}$ , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità dal piano di posa della fondazione. Per il calcolo delle  $V_{s,eq}$  si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 17.01.2018 (“*Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni*”):

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

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 VS non inferiore a 800 m/s.

Non essendo stato intercettato il bedrock sismico ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) nei primi 30m al di sotto del piano fondazione, ipotizzato a 2m dal piano di misura, la  $V_{s,eq} = V_{s30}$

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore dalla base piano fondazione ipotizzato a 1.8m dal p.c.:

$$ReMi R2 - V_{s\_eq}(1.8-31.8)=348\text{m/s}$$

$$Masw M1/HVSR - V_{s\_eq}(1.8-31.8)=315\text{m/s}$$

$$\textbf{Media } V_{s_{eq}} - V_{s\_eq}(1.8-31.8)=\textbf{331.5m/s}$$

cui corrisponde la **categoria di sottosuolo di tipo C**

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO	
Categoria	Descrizione
<b>C</b>	<i>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.</i>

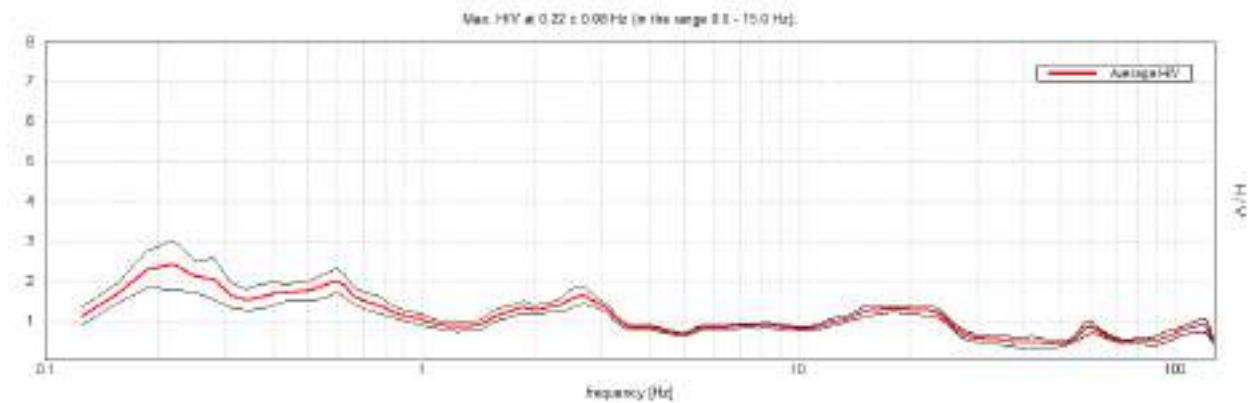
## REPORT MISURE HVSR

### MISURA HVSR1

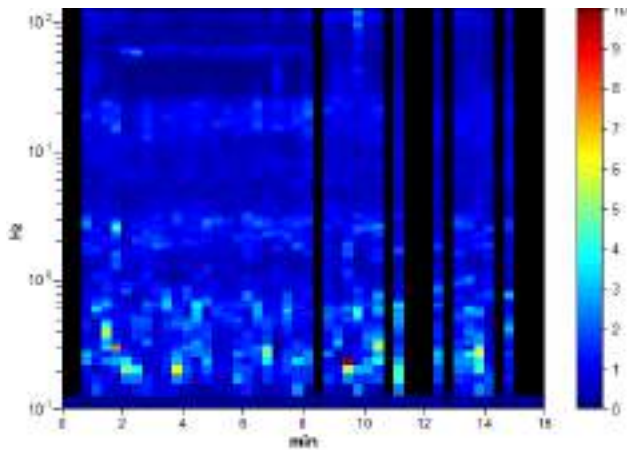
Instrument: TZ3-0109/02-19  
 Start recording: 04/01/21 11:15:45  
 End recording: 04/01/21 11:31:45  
 Trace length: 0h16'00".  
 Analyzed 75% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 256 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%



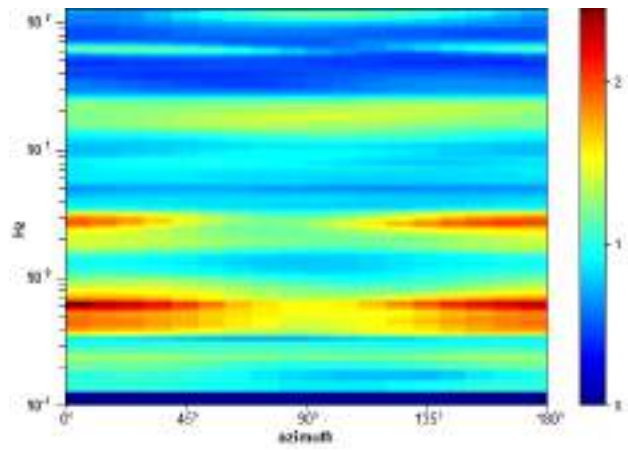
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



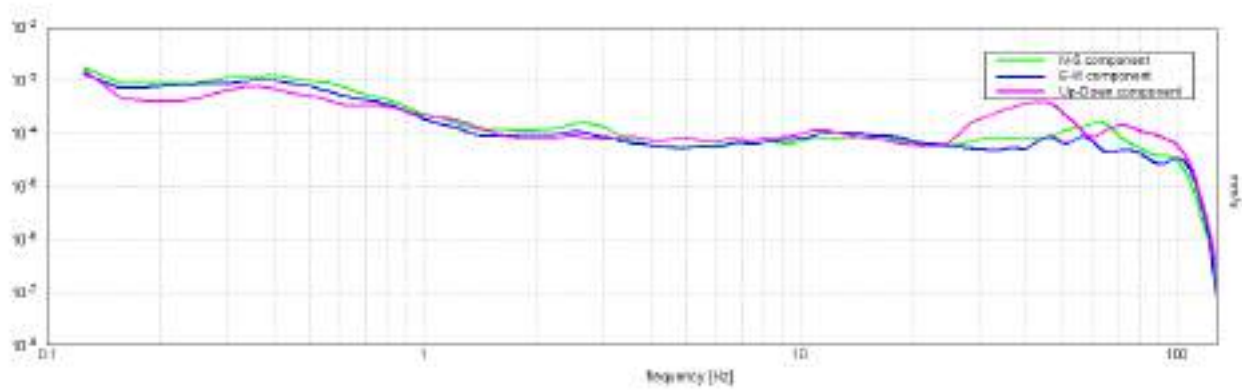
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

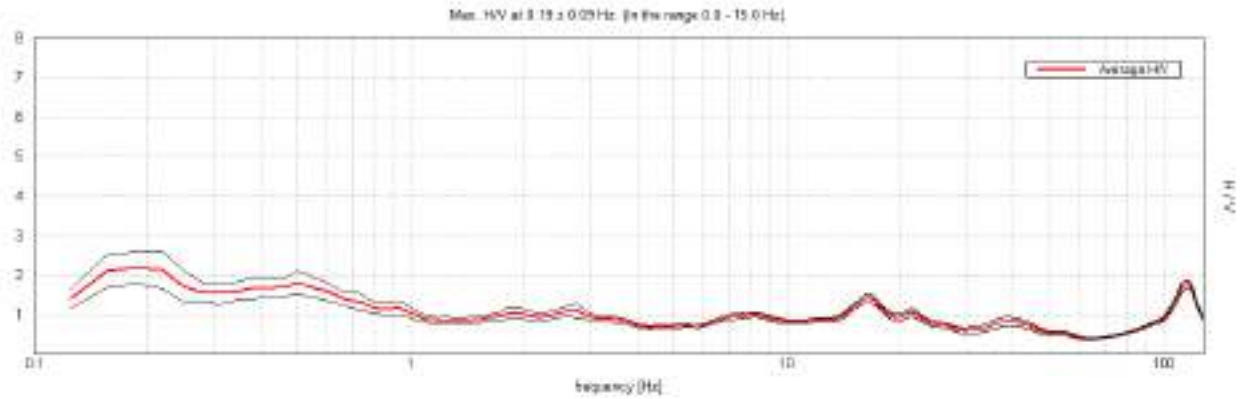


## MISURA HVSR2

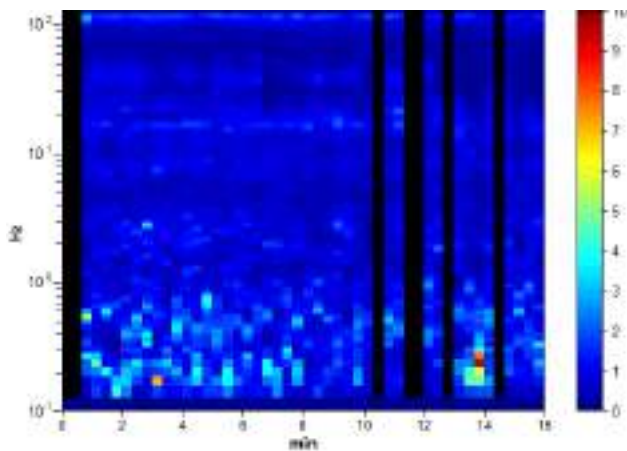
Instrument: TZ3-0109/02-19  
 Start recording: 04/01/21 10:15:38  
 End recording: 04/01/21 10:31:38  
 Trace length: 0h16'00".  
 Analyzed 85% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 256 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%



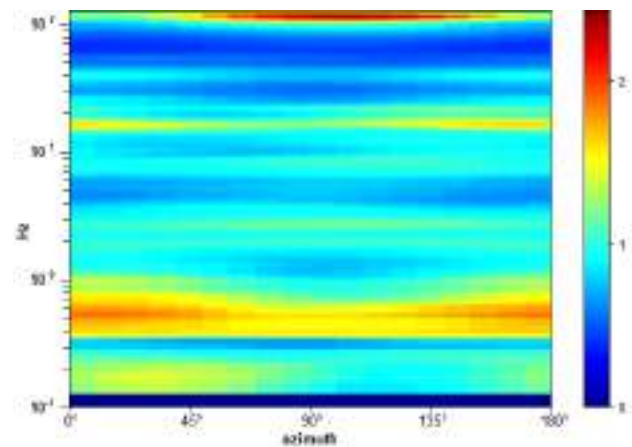
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



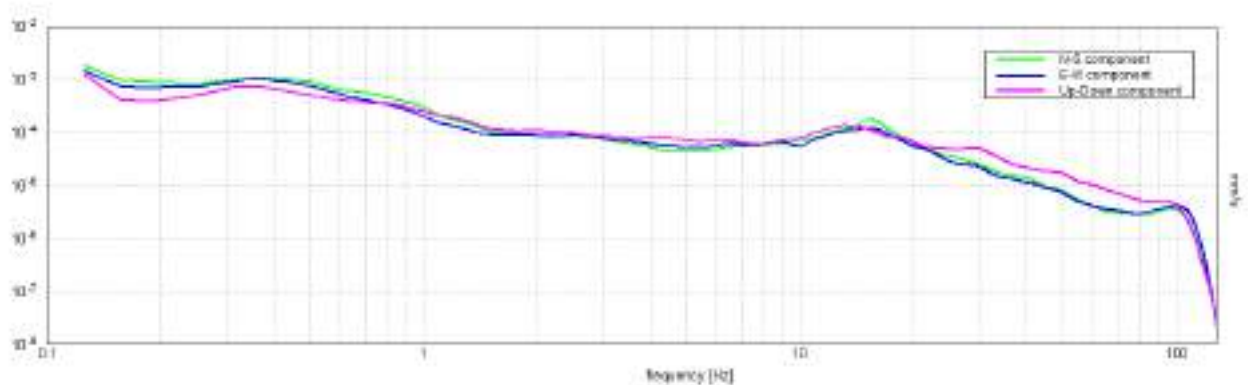
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



## ***PROSPEZIONE SISMICA DOWNHOLE***

### **1.PREMESSA**

Su incarico del Comune di Pomezia è stata effettuata un'indagine sismica in foro (down hole fig. 1) in un'area ricadente in Via Torrelba, nel comune di Pomezia (RM) (fig. 2), al fine di classificare sismicamente il suolo e definire la velocità media delle onde S da 0 fino a 30 m (fine misura 30 m dal p.c.).



**Fig. 1** - Foto della preparazione della prospezione sismica down hole effettuata

## 2.CENNI TEORICI SUL METODO DOWN-HOLE

La prospezione sismica in foro con il metodo “down hole” consente la determinazione in sito delle velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali ( $V_p$ ) e trasversali ( $V_s$ ) lungo una direzione sub-verticale.

Nel metodo sismico down hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio.

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono:

- 1) una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
- 2) uno o più geofoni multidimensionali, con appropriata risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- 3) un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- 4) un trasduttore (*trigger*) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

I fori di misura vengono poi rivestiti mediante tubazioni, generalmente in PVC, e riempiti con una malta a ritiro controllato, generalmente composta di acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

Prima di ogni cosa, è però importante assicurarsi che il foro sia libero da strozzature e che il tubo di rivestimento non presenti lesioni.

Il down hole, in questo lavoro, è stato interpretato con il metodo diretto: inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto ( $t$ ) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (figura 3),  $r$  la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:

$$1.0) t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico  $t_{corr} - z$  in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (figura 4).

Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri:

1) coefficiente di Poisson medio:

$$2.0) \nu_{\text{medio}} = 0.5 \frac{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

2) modulo di deformazione a taglio medio:

$$3.0) G_{\text{medio}} = \rho V_s^2$$

3) modulo di Young medio:

$$5.0) E_{\text{medio}} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$



### 3.STRUMENTAZIONE ADOTTATA

Per l'esecuzione del DH è stato utilizzato sistema sismico digitale multicanale (**SoilSpy Rosina**; fig. 3) composto da un cavo di trasmissione digitale dati lungo il quale sono disposti i moduli di amplificazione/digitalizzazione collegati ai sensori (comunemente geofoni). Il sistema si connette ad un PC portatile per l'impostazione dei parametri di acquisizione, per il salvataggio dei dati e la loro preanalisi.



**Fig. 3** - Sistema sismico digitale multicanale **SoilSpy Rosina**

Come trasduttore delle onde sismiche è stato impiegato il SENSORE SS-BH 5C (*Sara electronics instruments*) consistente in un geofono quinquassiale a 4,5 Hz, montato su un dispositivo stagno di calata e bloccaggio elettrico ed innestato su apposito cavo sismico (fig. 4).



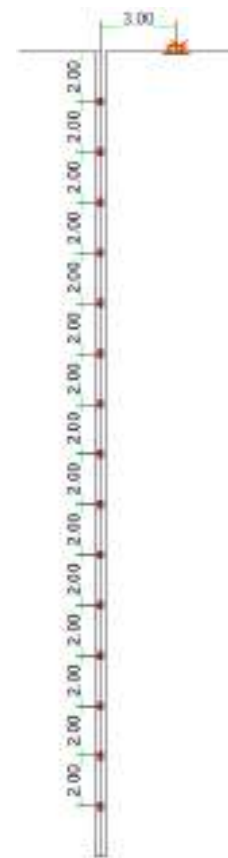
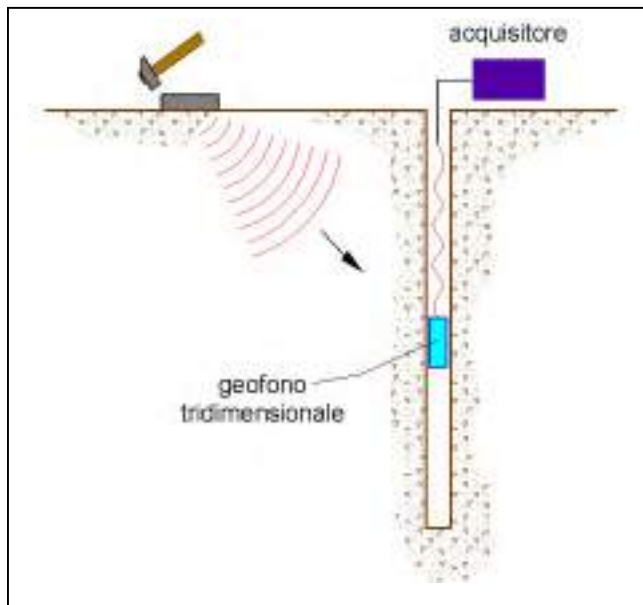
**Fig. 4** – Sensore sismico quinquassiale da foro SS-BH 5C



#### 4.MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Una volta verificato che il foro è completamente libero e misurata la profondità del sondaggio, è stato posizionato il geofono nel foro alla profondità di 2 m dal p.c..

Quindi il geofono è stato bloccato alle pareti del foro e sono state eseguite almeno tre battute orizzontali destre, tre battute orizzontali sinistre e tre battute verticali. Per ciascuna tripletta viene acquisita la media. Successivamente è stato sbloccato il geofono e fatto avanzare fino a 2m dal p.c., le successive acquisizioni sono state eseguite con passo di 2 metri (per un totale di 30 acquisizioni in onde S -destra e sinistra-, e 15 in onde P) , fino ad arrivare a fondo foro (30m dal p.c.; fig. 6).



L'acquisizione dei dati è stata effettuata mediante il software SoilSpy Rosina 4.0 della Micromed S.p.A. che è lo strumento che permette di impostare i parametri di acquisizione, di visualizzare i tracciati e di effettuarne una prima analisi.

Le impostazioni dei parametri di acquisizione della prospezione in oggetto sono:

***Durata totale di acquisizione del segnale*** = 0.25 sec

***Settaggio Gain*** = 0.5 – 0.2  $\mu\text{V}/\text{digit}$

***Frequenza di campionamento*** = 4000 Hz

## 5.INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

Le singole registrazioni sismiche sono state scelte ed unite in tre sismogrammi (Ssx - Sdx – P) contenenti ognuno le registrazioni relative allo stessa modalità di acquisizione (Ssx = Vs sinistra; Sdx = Vs destra; P = Vp.).

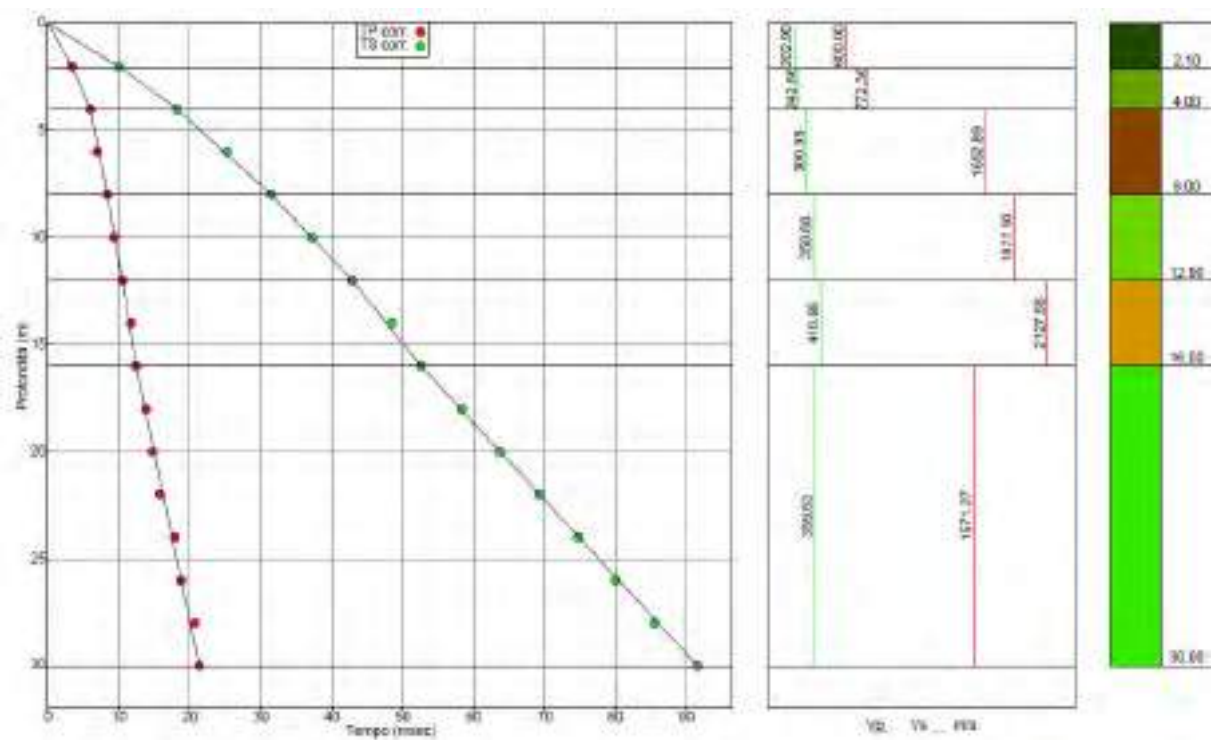
Su tali sismogrammi è stato effettuato il riconoscimento dei primi arrivi delle fasi P ed S; tali tempi, dopo la correzione per l'offset (distanza tra punto di energizzazione e asse del foro) sono stati usati per il calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche in funzione della profondità. I risultati ottenuti vengono esplicitati analiticamente nelle tabelle riassuntive di seguito riportate (tab.1 – 2).

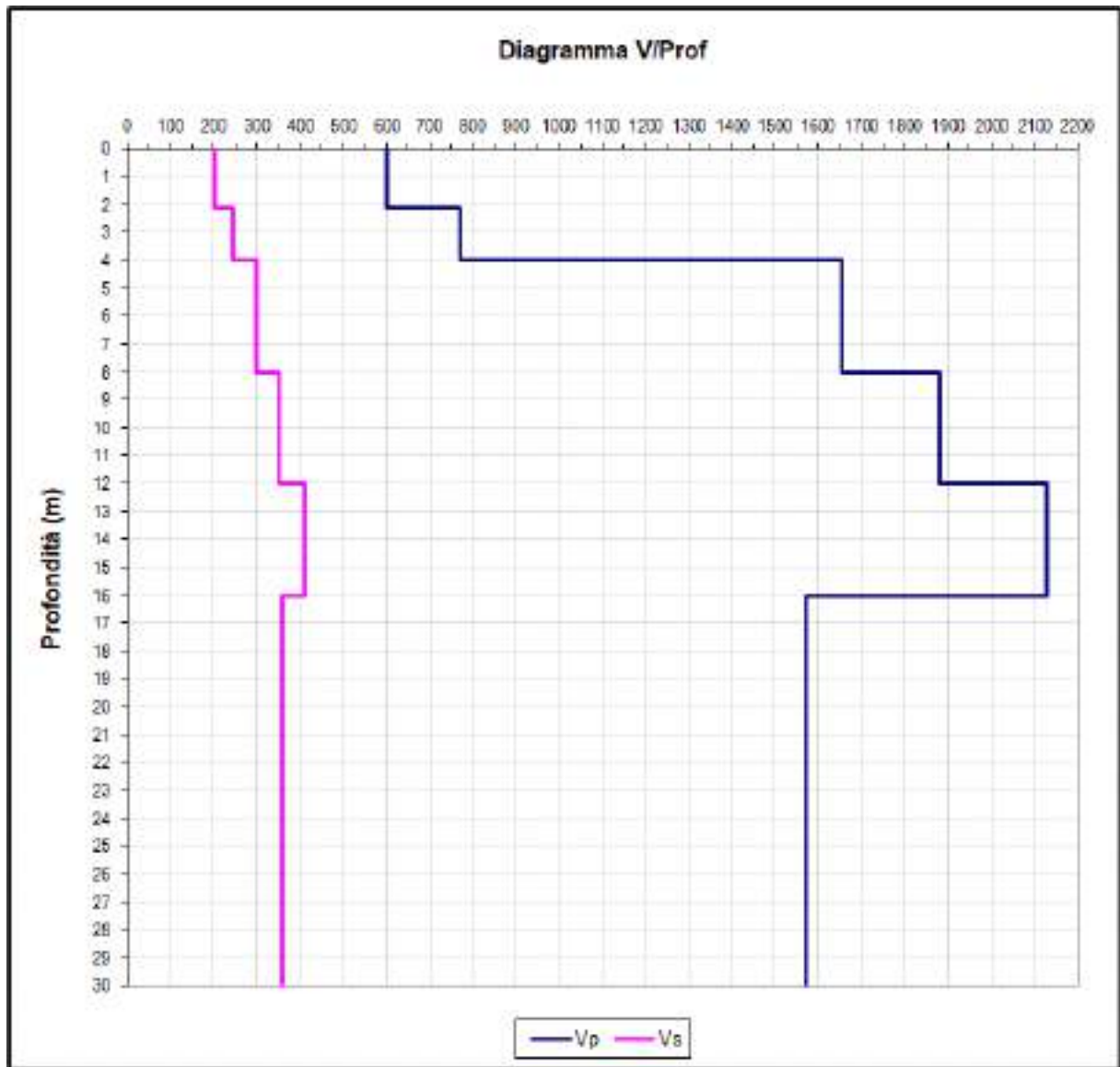
TABELLA 1 - DATI SPERIMENTALI				Distanza dell'energizzazione dal sondaggio (m): 3		
Registrazione	Profondità	Distanza dalla sorgente	Tempi di arrivo P	Tempi di arrivo P corretti	Tempi di arrivo Smed	Tempi di arrivo S corretti
Nr.	(m)	(m)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)
1	2	3.6056	6.08	3.3726	17.92	9.9402
2	4	5	7.45	5.96	22.72	18.176
3	6	6.7082	7.77	6.9497	28.19	25.2139
4	8	8.544	8.95	8.3801	33.61	31.47
5	10	10.4403	9.79	9.3771	38.9	37.2595
6	12	12.3693	10.83	10.5066	44.19	42.8706
7	14	14.3178	11.96	11.6945	49.54	48.4403
8	16	16.2788	12.61	12.394	53.53	52.6132
9	18	18.2483	13.98	13.7898	59.13	58.3255
10	20	20.2238	14.88	14.7154	64.38	63.6677
11	22	22.2036	15.92	15.774	69.92	69.2788
12	24	24.1868	17.94	17.8015	75.35	74.7681
13	26	26.1725	18.86	18.7357	80.49	79.9595
14	28	28.1603	20.78	20.6618	86.01	85.5205
15	30	30.1496	21.41	21.3038	92.01	91.5534

TABELLA 2 - RISULTATI					
Profondità	Vp medio	Vs medio	Poisson medio	Modulo di taglio medio	Young medio
(m)	(m/s)	(m/s)		(MPa)	(MPa)
2.1	600	203	0.44	81	234
4	772	243	0.45	121	350
8	1653	301	0.48	186	553
12	1878	351	0.48	260	771
16	2128	411	0.48	366	1083
30	1571	360	0.47	261	769
				Vs(0-30)= 328 m/s	

Le dromocrone (grafici tempi – profondità) e i diagrammi velocità - profondità sono riportati di seguito.

**GRAFICO TEMPO/PROFONDITÀ - DROMOCRONE**





A partire dal modello sismico monodimensionale, è possibile calcolare il valore delle  $V_{s,eq}$ , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità dal piano di posa della fondazione. Per il calcolo delle  $V_{s,eq}$  si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 17.01.2018 (*“Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni”*):

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

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 VS non inferiore a 800 m/s.

La  $V_{s,eq}$  è stata stimata nei 30m al di sotto del piano fondazione. Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = p.c.):

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$V_s(0.0-30.0) = 328\text{m/s}$$