



COMUNE DI VALLEFOGLIA  
PROVINCIA DI PESARO E URBINO



IL RESPONSABILE  
SETTORE TECNICO  
Dr. Gabriele Giorgi

LAVORO:

00002064

VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA  
AI SENSI DELL'ART. 89 DEL DPR 380/2001 DELLA  
VARIANTE URBANISTICA AL P.R.G. VIGENTE  
RELATIVA A UN'AREA SITA IN LOCALITÀ  
MONTE DI COLBORDOLO (SCHEDA N. 8)

COMMITTENTE:

AMM.NE COM.LE VALLEFOGLIA

ELABORATO:

UNICO

OGGETTO:

INTEGRAZIONE

SCALA:

TIMBRO E FIRMA:

RIFER.:

526/18

DATA:

NOVEMBRE 2018



COMUNE DI VALLEFOGLIA  
ADOTTATO CON DELIBERA DI  
CONSIGLIO GIUNTA COMUNALE  
31 GEN 2019

IL SEGRETARIO COMUNALE  
Dott. Romano Bartolucci

Consulenza  
& Progetto  
Geologia Ambiente Territorio

Studio Tecnico Associato Geologi Specialisti  
Enrico Gennari  
Donato Mengarelli  
Federico Biagiotti

Via Montello 4 - 61100 Pesaro  
tel. 0721 32068 - fax 0721 375384 - P.I.: 0148106 041 4  
[www.consulenzaeprogetto.it](http://www.consulenzaeprogetto.it) - [info@consulenzaeprogetto.it](mailto:info@consulenzaeprogetto.it)



**VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA AI SENSI DELL'ART. 89  
DEL DPR 380/2001 DELLA VARIANTE URBANISTICA AL P.R.G. VIGENTE  
RELATIVA A UN'AREA SITA IN LOCALITÀ MONTE DI COLBORDOLO  
(SCHEDA N. 8)**

|                     |
|---------------------|
| <b>INTEGRAZIONE</b> |
|---------------------|

**SOMMARIO**

|                                                                                          |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1. Premessa.....                                                                         | 3        |
| 2. Indagini geognostiche .....                                                           | 5        |
| 3. Caratterizzazione e modellazione geologica del sito (art. 6.2.1 D.M. 17.01.2018)..... | 8        |
| 4. Caratterizzazione e modellazione sismica .....                                        | 11       |
| 4.1. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche (D.M. 17.01.2018) .....           | 11       |
| 4.2. Valutazioni delle azioni sismiche .....                                             | 12       |
| 5. Considerazioni conclusive .....                                                       | 17       |
| ALLEGATI .....                                                                           | 18       |
| 1. Planimetria ubicazione indagini geognostiche                                          | 1: 1.000 |
| 2. Ricostruzione litostratigrafica                                                       | 1: 300   |
| 3. Indagini in sito                                                                      |          |



## 1. **PREMESSA**

Facendo seguito alla richiesta di integrazioni formulata nel parere rilasciato dal Servizio Tutela Gestione e Assetto del Territorio della Regione Marche - P.F. Tutela del Territorio di Pesaro e Urbino - riguardante la proposta di variante al P.R.G. del Comune di Vallefoglia descritta nella scheda di progetto n° 8, sono state condotte delle analisi suppletive, supportate da indagini in sito appositamente eseguite, in approfondimento a quanto riportato nel rapporto redatto dallo scrivente per la verifica di compatibilità geomorfologica (ns. rif. n° 511/18 - Luglio 2018), che si richiama quale parte integrante e sostanziale della presente documentazione.

La variante urbanistica consiste nella **trasformazione in Zona F1 per attrezzature d'interesse generale di una porzione di Zona ad uso agricolo E** situata lungo il versante nord-occidentale del rilievo collinare del monte di Colbordolo, a valle del cimitero di Montefabbri (in Figura 1.1 è riportata la vista a volo d'uccello dell'area in esame, che ha un'estensione pari a circa 12.100 mq).



**Figura 1.1:** Ripresa a volo d'uccello dell'area oggetto di variante (da Google Earth).

Lo studio, volto alla definizione delle condizioni di fattibilità della variante in oggetto in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche locali, fa riferimento al seguente quadro normativo:

- **Decreto Ministeriale 17.01.2018** - Norme Tecniche per le Costruzioni.
- **Circolare 02.02.2009 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> La nota n. 3187 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, pubblicata in data 21/03/2018 afferma che "... nelle more dell'emanazione della nuova Circolare, in lavorazione presso questo Consesso, si potranno seguire le indicazioni riportate nella precedente Circolare, per quanto non in contrasto con quanto riportato nel nuovo D.M. 17.01.2018".

- **Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
- **Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 e s.m.i.** - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- **D.P.R. n. 380 del 06/06/2001** "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".
- **Decreto Ministeriale 11.03.1988** - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".



## 2. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione delle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche dei terreni presenti nell'area di studio e, soprattutto, per la ricostruzione dettagliata della successione litostratigrafica locale, in data 06/11/2018 sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche, allineate lungo una linea di massima pendenza passante per una piccola macchia di vegetazione non interessata dalla lavorazione agricola del fondo (vedi planimetria di cui all'Allegato 1).



**Figura 2.1:** Penetrometro sul punto d'indagine n° 1.



**Figura 2.2:** Penetrometro sul punto d'indagine n° 2.

La profonda aratura del fondo agricolo ha reso infatti impossibile l'accesso al penetrometro su gran parte dell'area in esame, soprattutto in presenza di terreni resi soffici dalle recenti e abbondanti piogge; si è dovuto così posizionare le due prove penetrometriche laddove la regolarità della superficie topografica e la presenza di una copertura vegetale, seppur minima, consentivano la percorribilità allo strumento in uso.

Trattasi di un penetrometro Pagani modello TG63 200 KN, allestito per l'esecuzione sia di prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT), più adatte nel caso di terreni a granulometria fine e media (dalle argille alle sabbie) non cementati e/o troppo compatti/consistenti, sia di prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH), maggiormente idonee ad attraversare terreni a granulometria grossolana (ghiaie) e/o dotati di elevata compattezza/consistenza.

Nel caso delle prove statiche viene adottato lo standard di riferimento ASTM D 3441-86, che prevede l'utilizzo di una punta meccanica dotata di manicotto laterale (Begemann, 1953) avente le seguenti caratteristiche geometriche:

- $d = 35.7$  mm (diametro di base del cono)
- $\alpha = 60^\circ$  (angolo di apertura del cono)
- $A_c = 10$  cmq (area di base del cono)
- $A_m = 150$  cmq (area laterale del manicotto).

Nel caso delle prove dinamiche lo standard di riferimento DIN 4094 prevede invece le seguenti caratteristiche tecniche strumentali:

- $\alpha = 90^\circ$  (angolo di apertura della punta)
- $A = 20.43$  cmq (sezione della punta)
- $M = 63.5$  kg (peso del maglio)
- $H = 75$  cm (altezza di caduta del maglio)
- $N = 20$  cm (passo di lettura)
- $K = 1.47$  (coefficiente di correlazione).

La prova n° 1, iniziata con il metodo statico, si è dovuta arrestare ad appena 1.0 m di profondità dal piano campagna per il raggiungimento di valori di resistenza alla punta estremamente elevati ( $R_p = 500$  kg/cmq), attribuibili ai terreni calcareo - marnosi della formazione in sito, integra e compatta.

Si è quindi tentato di proseguire la prova in questione con il metodo dinamico superpesante, ma con scarsi risultati in quanto anch'essa si è dovuta arrestare per aver raggiunto immediatamente il rifiuto della prova ( $N > 100$  colpi).

Sulla scorta di tale esperienza la prova n° 2 è stata eseguita con il metodo dinamico superpesante a partire direttamente dal piano campagna; anche in questo caso si è dovuto interrompere la terebrazione a breve profondità (2.0 m dal p.c.) per il raggiungimento di valori di resistenza alla punta  $N > 100$  colpi.

Si è ritenuto inutile condizionare i fori con dei piezometri a tubo aperto, in quanto la modesta profondità raggiunta dalle due prove risulta incompatibile con la presenza di acque di falda, anche in virtù della posizione morfologica dell'area.

La presenza di abbondanti frammenti litici a partire fin dal piano campagna ha inoltre reso impossibile prelevare campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove di laboratorio.

A fianco della prova DPSH2 è stata effettuata un'indagine geofisica di superficie del tipo "sismica passiva a stazione singola", allo scopo di conseguire i seguenti obiettivi:

- 1) ricostruire la stratigrafia sismica del sottosuolo,



- 2) caratterizzare la frequenza fondamentale di risonanza al fine di mettere in luce possibili fenomeni di doppia risonanza tra terreno ed opera in caso di terremoto,
- 3) definire il profilo della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) nei terreni presenti nel sito, per calcolare il parametro  $V_{s_{eq}}$  e fornire quindi la categoria di suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018).

Il metodo d'indagine, basato sulla tecnica dei rapporti spettrali HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), consiste nella registrazione di microtremori ambientali, ossia di vibrazioni di ampiezza inferiore a quella percettibile dall'uomo, che vengono generate principalmente dai fenomeni atmosferici (vento, onde oceaniche, ecc.) e che sono presenti ovunque sulla superficie terrestre.

Il segnale registrato, dopo essere stato amplificato e convertito in segnale digitale, viene inviato ad un PC, dove, attraverso un apposito software di calcolo, viene elaborato, fino ad ottenere una curva dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e quella verticale del moto (H/V).

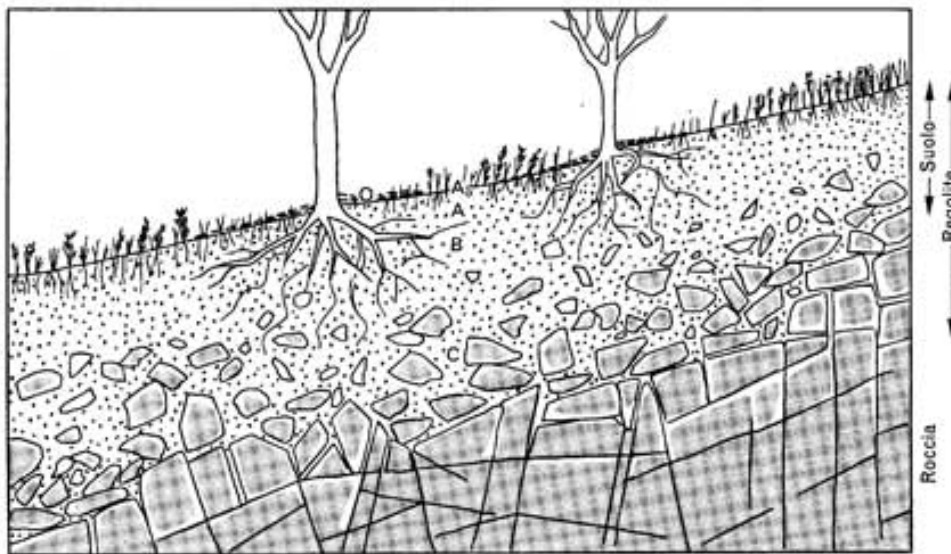
La misura in sito è stata effettuata mediante tromografo digitale, uno strumento compatto e pratico, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri), disposti ortogonalmente tra loro, lungo gli assi N-S, E-W e verticale.

### **3. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (ART. 6.2.1 D.M. 17.01.2018)**

Sulla base delle informazioni acquisite mediante il rilievo geologico - geomorfologico di superficie e le prospezioni geognostiche e geofisiche eseguite è stato possibile ricostruire il modello geologico locale, graficamente rappresentato nella sezione litostratigrafica di cui all'Allegato 2.

La successione litostratigrafica locale è riconducibile essenzialmente allo schema di Figura 3.1, dove viene raffigurato il risultato del disfacimento di una formazione rocciosa in situ, che porta alla formazione di un mantello detritico costituente la coltre di materiale eluviale, noto anche con il termine *regolite*, che in superficie può essere rappresentato da uno spessore variabile di suolo.

Nel caso specifico il processo di disfacimento, dovuto a fenomeni sia di tipo chimico che meccanico, viene favorito dalla lavorazione agricola del terreno, specialmente dalle operazioni di aratura profonda.



**Figura 3.1:** Schema stratigrafico regolite / roccia in posto (da “Geomorfologia” di G.B. Castiglioni - UTET).

L'ossatura del rilievo collinare su cui insiste l'area in esame è costituita dai terreni della Formazione del Bisciario; il substrato roccioso è confinato a modeste profondità dal piano campagna, come testimoniato sia dalla brevità delle prove penetrometriche, sia dalla abbondantissima presenza in superficie di frammenti spigolosi calcarei eterometrici, appartenenti alla Formazione stessa, portati a giorno dall'aratura del campo (vedi Figura 3.2).



**Figura 3.2:** Frammenti calcarei della Formazione del Bisciario affioranti in superficie.

Facendo riferimento alla sezione illustrativa dell'Allegato 2, la successione stratigrafica dell'area investigata può essere schematizzata nel modo seguente.

**1) Da 0.0 a 0.4÷0.8 m dal p.c.**

Terreno agrario / vegetale (suolo), costituito da materiale sciolto di natura prevalentemente argillosa, con abbondante presenza di frammenti litici spigolosi ed eterometrici di natura calcarea. Nell'unica misura eseguita all'interno dello strato in oggetto la prova penetrometrica statica CPT1 ha fatto registrare un valore di resistenza alla punta di  $R_p = 23 \text{ kg/cm}^2$ , mentre la prova dinamica DPSH2 ha fornito valori di resistenza pari a  $N_{20} = 1 \div 5$  colpi.

**2) Da 0.4÷0.8 a 0.6÷1.6 m dal p.c.**

Formazione alterata e decompressa, costituita da un'alternanza di strati calcarei e marnosi, fratturati. La prova penetrometrica statica ha fornito valori di resistenza alla punta  $R_p = 137 \text{ kg/cm}^2$ , mentre la prova dinamica ha fatto registrare valori di  $N_{20} = 10 \div 16$  colpi.

**3) Al di sotto di 0.6÷1.6 m dal p.c.**

Formazione integra e compatta, litologicamente simile all'orizzonte n° 2, ma non interessata da alterazione. Le prove penetrometriche, sia quella statica che quella di-

namica, sono andate entrambe a rifiuto non appena raggiunto il tetto dello strato.

L'esiguo spessore del mantello detritico e le ottime caratteristiche geomeccaniche dei terreni della formazione in sito, confinata quindi a modestissima profondità dal piano campagna, consentono di omettere le verifiche numeriche di stabilità del tratto di versante investigato.

Entro le profondità investigate non sono state rinvenute tracce di presenza di acqua di falda.

#### 4. **CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA**

In base a quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018, la valutazione dell'azione sismica su di un'opera si deve basare sulla conoscenza di due elementi fondamentali:

- la pericolosità sismica di base
- la risposta sismica locale.

La **pericolosità sismica di base** viene definita *“in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale”* (sottosuolo di categoria A di cui alla Tabella 4.1) e dal corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione.

Le modifiche che un segnale sismico subisce, rispetto a quello del sito di riferimento, rappresentano invece la **risposta sismica locale**, che dipende dalle caratteristiche stratigrafiche (categoria di sottosuolo) e morfologiche (categoria topografica) del sito in esame.

##### 4.1. **Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche (D.M. 17.01.2018)**

Ai fini della definizione della risposta sismica locale, il D.M. 17.01.2018 prevede che, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite in Tabella 4.1, si possa fare riferimento a un approccio semplificato, basato sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori di velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio  $V_s$ .

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

**Tabella 4.1:** Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tabella 3.2.II - D.M. 17.01.2018).

Più precisamente la categoria di sottosuolo viene identificata in base al valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{seq}$ ), attraverso la seguente formula:

$$V_{seq} = H / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{s,i})$$

dove:

H = profondità del substrato sismico (terreno con  $V_s \geq 800$  m/s)

$h_i$  = spessore in metri dello strato i-esimo

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

N = numero degli strati.

Nel caso specifico, sulla base dei risultati dell'indagine sismica appositamente eseguita in corrispondenza della prova penetrometrica DPSH2, il valore di  $V_{seq}$ , riferito a una profondità H = 26.74 metri, risulta  **$V_{seq} = 398$  m/s**, corrispondente alla **categoria di sottosuolo B**.

Per quanto riguarda invece le condizioni topografiche, tenuto conto di un'acclività media del versante pari a  $12^\circ \div 13^\circ$ , il sito in esame può essere inquadrato nella **categoria topografica "T1"** di cui alla Tabella 4.2.

| Categoria            | Caratteristiche della superficie topografica                                                                    |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>T<sub>1</sub></b> | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| <b>T<sub>2</sub></b> | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$                                                                    |
| <b>T<sub>3</sub></b> | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| <b>T<sub>4</sub></b> | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i \geq 30^\circ$               |

**Tabella 4.2:** Categorie topografiche (Tabella 3.2.III - NTC 2018).

#### 4.2. Valutazioni delle azioni sismiche

Il territorio comunale di Vallefoglia, sulla base di quanto previsto dall'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003, risulta classificato in zona sismica 2.

In Tabella 4.3 si riportano, per ognuna delle quattro zone principali in cui è suddiviso il territorio italiano, i valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

| zona sismica | accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ ) | accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g/g$ ) |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | $> 0.25$                                                                                    | 0.35                                                                                   |
| 2            | <b><math>0.15 \div 0.25</math></b>                                                          | <b>0.25</b>                                                                            |
| 3            | $0.05 \div 0.15$                                                                            | 0.15                                                                                   |
| 4            | $< 0.05$                                                                                    | 0.05                                                                                   |

**Tabella 4.3:** Valori di accelerazione di picco al suolo per ogni zona sismica (OPCM 3274).



Con l'entrata in vigore delle precedenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008), ora sostituite dal D.M. 17.01.2018, **la stima della pericolosità sismica viene invece definita mediante un approccio “sito dipendente”** e non più tramite un criterio “zona dipendente”.

Per poter individuare le azioni sismiche di progetto vengono di seguito definite la **pericolosità sismica di base** e la **risposta sismica locale** relative al sito in oggetto.

Per un determinato sito, per il quale il modello geologico e la caratterizzazione litologica e geotecnica siano stati adeguatamente definiti, la pericolosità sismica è definita da forme spettrali caratterizzate, per ogni probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  (relativa allo stato limite considerato) nel periodo di riferimento  $V_R$ , dai seguenti parametri (Cap. 3.2 - NTC 2018):

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

Preso atto della destinazione d'uso prevista per l'area oggetto di variante, per la definizione dei coefficienti sismici da utilizzare nelle successive analisi delle azioni sismiche viene fatto riferimento a costruzioni di tipo ordinario, inquadrabili come **opera di tipo 2** (Par. 2.4.1 - N.T.C. 2018), a cui corrisponde una **vita nominale ( $V_N$ ) di 50 anni**; viene inoltre considerata una **classe d'uso II** (Par. 2.4.2 - NTC 2018), a cui corrisponde un **coefficiente d'uso  $C_U = 1$**  (Par. 2.4.3 - NTC 2018).

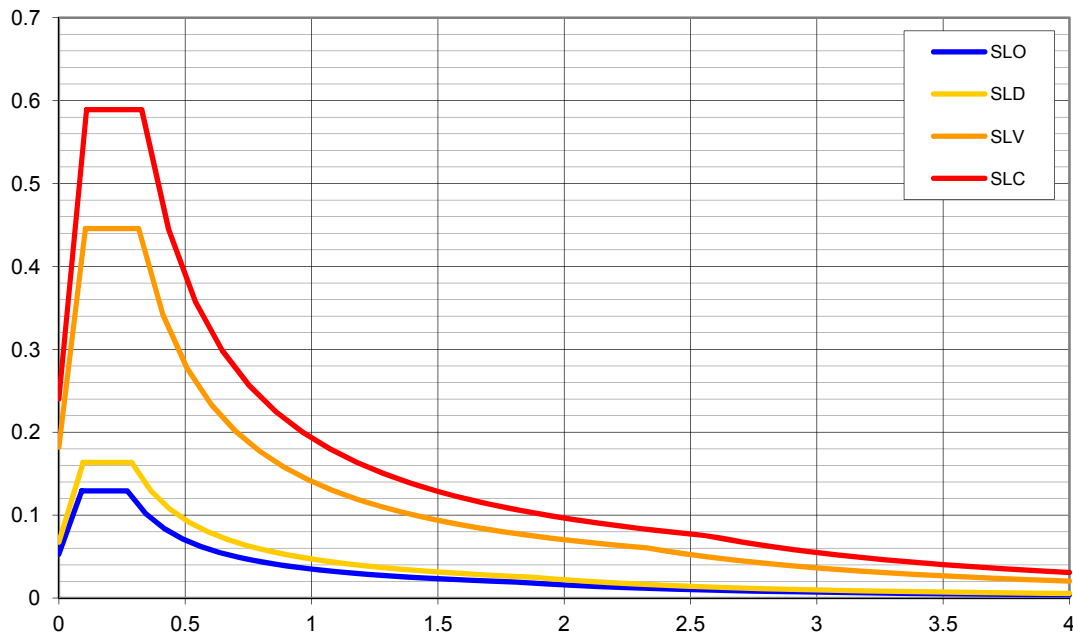
La valutazione delle azioni sismiche verranno pertanto svolte in relazione ad un **periodo di riferimento  $V_R$** :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.0 = 50 \text{ anni.}$$

In base ai dati sopra citati i parametri sismici (Tabella 4.4) e le relative forme spettrali in accelerazione orizzontale riferiti ad un suolo rigido e ad una topografia orizzontale (Figura 4.1) per il sito in oggetto risultano quindi i seguenti:

| Stato limite                                | $P_{VR}$ | $T_R$ | $a_g$ (g) | $F_o$ | $T_c^*$ (s) |
|---------------------------------------------|----------|-------|-----------|-------|-------------|
| SLO (stato lim. di operatività)             | 81       | 30    | 0,053     | 2,440 | 0,271       |
| SLD (stato lim. di danno)                   | 63       | 50    | 0,067     | 2,425 | 0,288       |
| SLV (stato lim. di salvaguardia della vita) | 10       | 475   | 0,182     | 2,451 | 0,316       |
| SLC (stato lim. di prevenzione al collasso) | 5        | 975   | 0,240     | 2,454 | 0,328       |

**Tabella 4.4:** Parametri sismici per il sito in oggetto.



**Figura 4.1:** Spettri di risposta elastici normalizzati per i diversi Stati Limite riferiti ad un suolo rigido e ad una topografia orizzontale (cat. A – T1 da NTC 2018).

La categoria di suolo e le condizioni topografiche definite al paragrafo precedente determinano il valore del **coefficiente sismico di amplificazione al sito (S)**:

$$S = S_s \cdot S_T$$

dove:

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tabella 4.5)

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica (Tabella 4.6).

| Categoria di sottosuolo | $S_s$                                                     | $C_c$                        |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
| <b>A</b>                | 1.00                                                      | 1.00                         |
| <b>B</b>                | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.20$ | $1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$ |
| <b>C</b>                | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50$ | $1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$ |
| <b>D</b>                | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.80$ | $1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$ |
| <b>E</b>                | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.60$ | $1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$ |

**Tabella 4.5:** Espressioni di  $S_s$  e  $C_c$  (coeff. che modifica il valore del periodo  $T_c$ ) (Tab. 3.2.IV - NTC 2018).

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento                                               | $S_T$ |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>T<sub>1</sub></b>  | -                                                                                     | 1.00  |
| <b>T<sub>2</sub></b>  | In corrispondenza della sommità del pendio                                            | 1.2   |
| <b>T<sub>3</sub></b>  | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1.2   |
| <b>T<sub>4</sub></b>  | In corrispondenza della cresta del rilievo con pendenza media maggiore di 30°         | 1.4   |

**Tabella 4.6:** Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V delle NTC 2018).

Tale coefficiente amplifica le forme spettrali di riferimento sopra riportate e determina il valore di **accelerazione massima attesa al sito ( $a_{\max}$ )**.

$$a_{\max} \text{ (m/s}^2\text{)} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

Per i vari stati limite, nel sito in oggetto, otteniamo i seguenti valori dei coefficienti di amplificazione e di accelerazione massima attesa al sito:

| Stato limite | $S_S$ | $C_c$ | $S_T$ | $S$   | $a_{\max} \text{ (m/s}^2\text{)}$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| <b>SLO</b>   | 1,200 | 1,430 | 1,000 | 1,200 | 0.622                             |
| <b>SLD</b>   | 1,200 | 1,410 | 1,000 | 1,200 | 0.792                             |
| <b>SLV</b>   | 1,200 | 1,390 | 1,000 | 1,200 | 2.141                             |
| <b>SLC</b>   | 1,160 | 1,370 | 1,000 | 1,160 | 2.731                             |

**Tabella 4.7:** Coefficienti di amplificazione sismica.

Nel caso specifico gli spettri di risposta elastici orizzontali e verticali in accelerazione per il sito in oggetto, a seguito degli effetti sismici locali, assumono le forme rappresentate in Figura 4.2 e Figura 4.3, riportate nella pagina successiva.

Per la determinazione delle azioni sismiche, attraverso l'accelerazione massima attesa al sito di cui sopra, sono stati ricavati i coefficienti sismici orizzontali ( $k_{hk}$ ) e verticali ( $k_{vk}$ ), che, nell'analisi pseudo - statica, rappresentano le accelerazioni nel sottosuolo generate dal sisma (effetto cinematico):

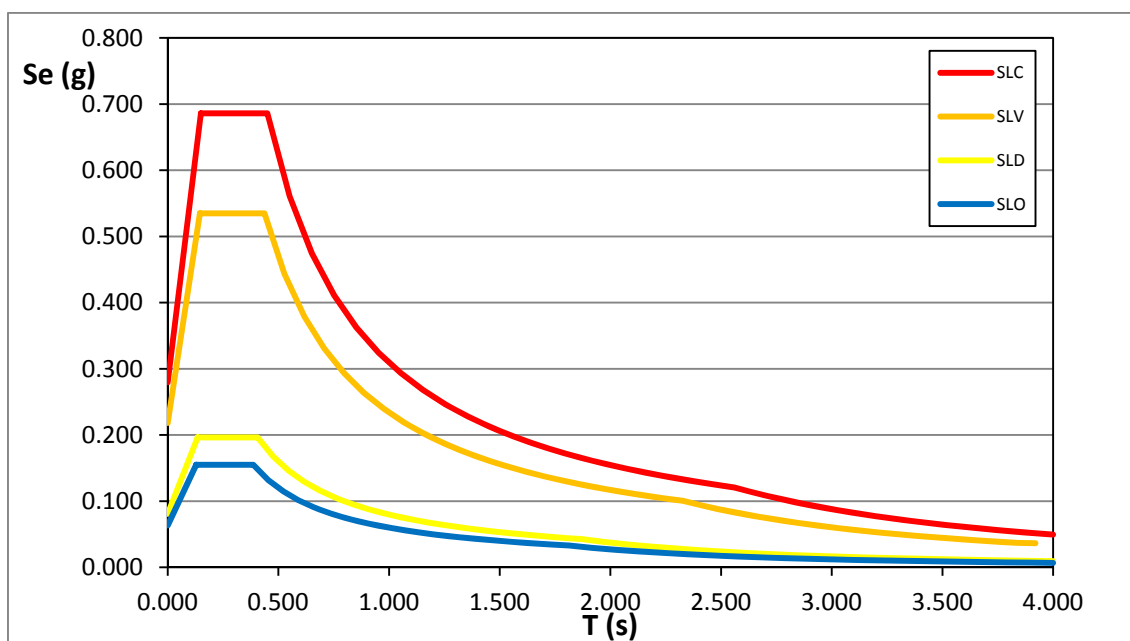
$$k_{hk} = \beta_s \cdot a_{\max}/g$$

$$k_{vk} = \pm 0.5 \cdot k_{hk}.$$

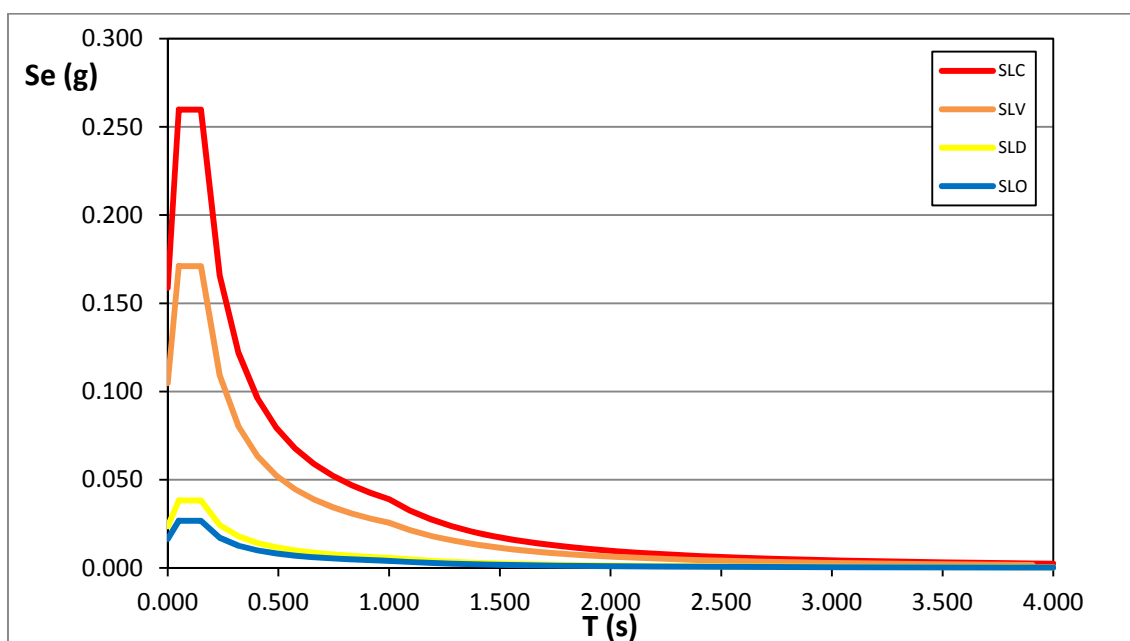
Nel caso specifico, nell'ipotesi di **verifiche di fondazioni e/o di stabilità dei pendii**, considerando la **categoria di sottosuolo B**, si ottengono i seguenti valori:

| Stato limite                      | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $a_{\max} \text{ (m/s}^2\text{)}$ | 0.622 | 0.792 | 2.141 | 2.731 |
| $\beta_s$                         | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.280 |
| $k_{hk}$                          | 0.013 | 0.016 | 0.052 | 0.078 |
| $k_{vk}$                          | 0.006 | 0.008 | 0.026 | 0.039 |

**Tabella 4.8:** Coefficienti sismici orizzontali e verticali.



**Figura 4.2:** Spettri elastici di risposta orizzontali.



**Figura 4.3:** Spettri elastici di risposta verticali.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A seguito delle valutazioni svolte sulla base dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche appositamente eseguite, si ravvedono **condizioni geologiche e geomorfologiche favorevoli** alla variante urbanistica al P.R.G. comunale vigente relativa a un'area situata sul Monte di Colbordolo, a nord-ovest del cimitero di Montefabbri, definita nella Scheda di Progetto n° 8.

Il modello geologico dell'area in esame è rappresentato da una modesta coltre di terreno agrario / vegetale (spessore massimo 0.8 m ca.), sovrastante i terreni formazionali in sito, alterati e decompressi nei primi 0.2÷0.8 m di spessore, costituiti da un'alternanza di strati calcarei e marnosi, attribuibili alla Formazione del Bisciario.

Le prove penetrometriche sono andate tutte a rifiuto entro i litotipi del substrato integro e compatto, arrestandosi a profondità comprese tra 1 e 2 metri dal piano campagna.

Le ottime caratteristiche geotecniche dei terreni formazionali investigati con le prove penetrometriche garantiscono sufficienti margini di sicurezza nei confronti di fenomeni gravitativi, rendendo superflua l'esecuzione di apposite verifiche numeriche di stabilità.

Tenuto conto della destinazione d'uso prevista per l'area di variante, si consiglia di ubicare eventuali manufatti nel settore sud-occidentale del comparto, parzialmente interessato dalla presenza di vegetazione arbustiva e arborea, evitando il settore nord-orientale, dove il CARG individua una piccola frana (vedi Allegato 1), non cartografata né dal P.A.I., né dall'IFFI.

Ai fini della caratterizzazione sismica dell'area si fa presente che:

- 1) il valore della velocità equivalente delle onde di taglio, riferito a uno spessore di terreno  $H = 26.74$  m, è pari a  $V_{seq} = 398$  m/s, per cui il sito in esame rientra nella **categoria di sottosuolo B**;
- 2) la pendenza media del versante di  $12^\circ \div 13^\circ$  consente di attribuire il sito alla **categoria topografica T1**.







# **ALLEGATI**

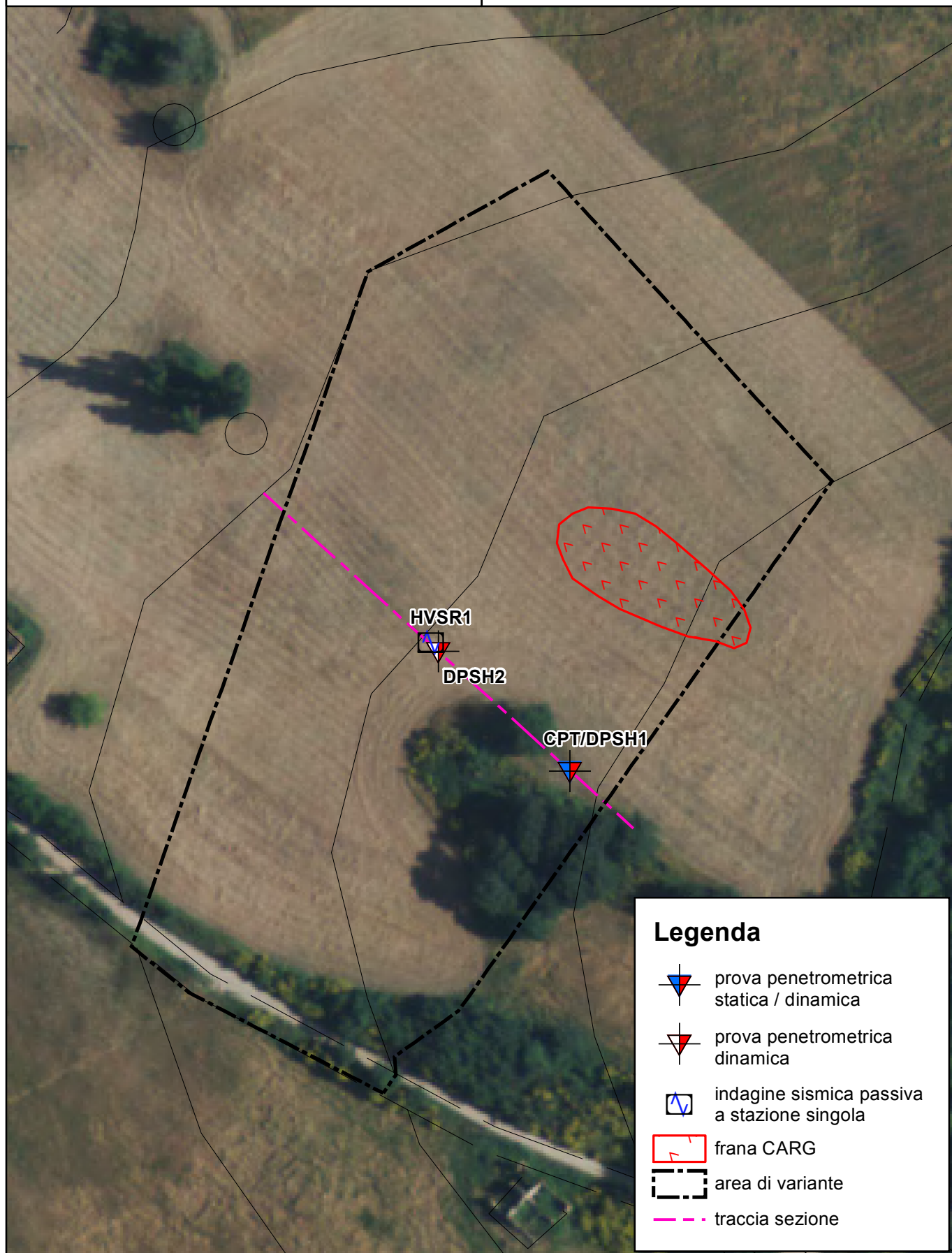


Committente:

Comune di Vallefoglia

Lavoro:

Variante urbanistica al P.R.G. vigente di un'area  
sita in località Monte di Colbordolo (Scheda n° 8)



**Consulenza & Progetto**  
Geologia Ambiente Territorio

Titolo:

**PLANIMETRIA UBICAZIONE  
INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Scala:

1:1,000

Allegato:

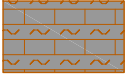
1

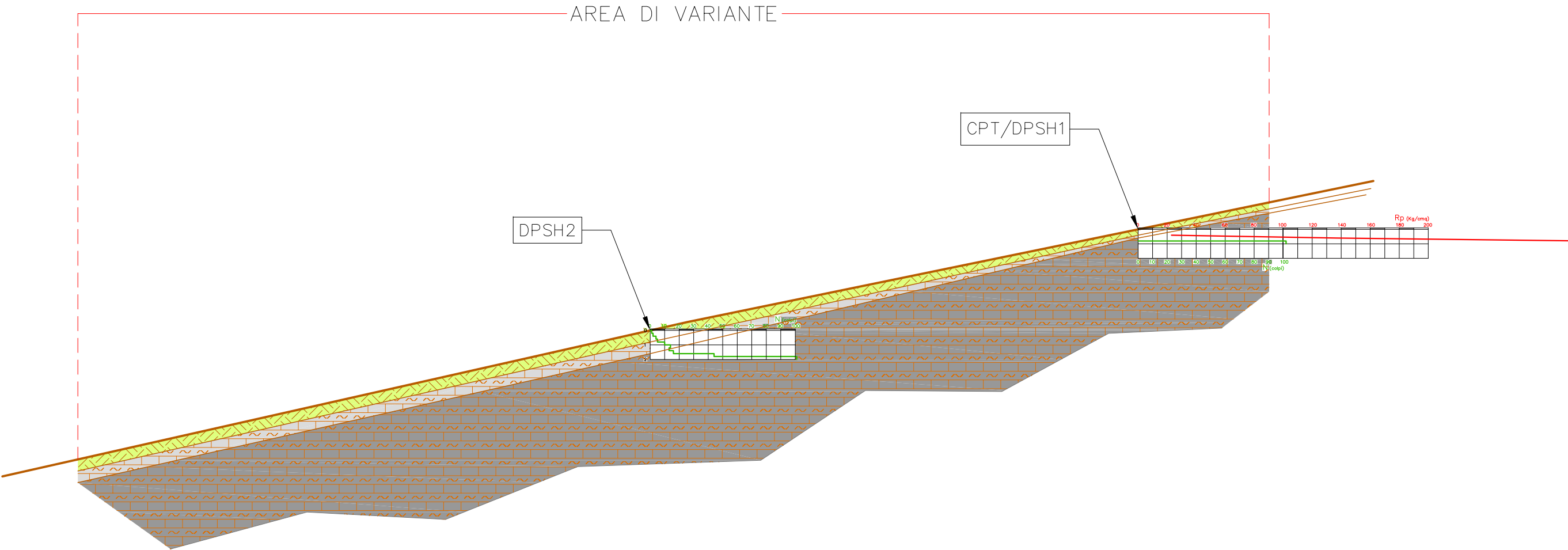


LEGENDA

 terreno vegetale / agrario

 formazione alterata

 formazione integra e compatta





**Indagini in sito**





Commessa n. 151S/2018

## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

Committente: **Comune di Vallefoglia**

Cantiere: **Colbordolo**

Località: **Vallefoglia (PU)**

Prova n. **CPT 1** Del **06/11/18**

Inizio a **0,00** ml

Fine a **1,00** ml

Q.ta falda

Note:

Attrezzatura di spinta: sonda penetrometrica **Pagani TG 63-100 KN**

Tipologia di prova: CPT (Cone Penetration Test) con punta meccanica Begemann

Standard di riferimento:

ASTM D 3441-86 ; AGI Raccomandazioni 1977; ISSMFE Procedure di riferimento

Geometria punta:

Diam. Di base del cono: 35,7 mm

Angolo di apertura del cono : 60°

Area di base del cono : 10 cmq

Diam. Del manicotto d'attrito: 36,0 mm

Area laterale del manicotto: 150 cmq

Legenda:

Qc: Resistenza alla punta (Kg/cmq)

Rt : Resistenza tot. Punta+manicotto (Kg/cmq)

Fs : Resistenza laterale specifica (Kg/cmq)

Qc/Fs: Rapporto di interpretazione stratigrafica

Commessa n. 151S/2018

Prova n. CPT 1

Committente: Comune di Vallefoglia

Cantiere: Colbordolo

| Prof.    | Qc            | Rt            | Fs            | Qc/Fs  |
|----------|---------------|---------------|---------------|--------|
| <i>m</i> | <i>Kg/cmq</i> | <i>Kg/cmq</i> | <i>Kg/cmq</i> |        |
| -0,2     |               |               |               |        |
| -0,4     | 23            | 43            | 1,33          | 17,25  |
| -0,6     | 187           | 199           | 0,80          | 233,75 |
| -0,8     | 309           | 407           | 6,53          | 47,30  |
| -1,0     | 500           | 600           | 6,67          | 75,00  |
| -1,2     |               |               |               |        |
| -1,4     |               |               |               |        |
| -1,6     |               |               |               |        |
| -1,8     |               |               |               |        |
| -2,0     |               |               |               |        |
| -2,2     |               |               |               |        |
| -2,4     |               |               |               |        |
| -2,6     |               |               |               |        |
| -2,8     |               |               |               |        |
| -3,0     |               |               |               |        |
| -3,2     |               |               |               |        |
| -3,4     |               |               |               |        |
| -3,6     |               |               |               |        |
| -3,8     |               |               |               |        |
| -4,0     |               |               |               |        |
| -4,2     |               |               |               |        |
| -4,4     |               |               |               |        |
| -4,6     |               |               |               |        |
| -4,8     |               |               |               |        |
| -5,0     |               |               |               |        |

| Prof.    | Qc            | Rt            | Fs            | Qc/Fs |
|----------|---------------|---------------|---------------|-------|
| <i>m</i> | <i>Kg/cmq</i> | <i>Kg/cmq</i> | <i>Kg/cmq</i> |       |
| -5,2     |               |               |               |       |
| -5,4     |               |               |               |       |
| -5,6     |               |               |               |       |
| -5,8     |               |               |               |       |
| -6,0     |               |               |               |       |
| -6,2     |               |               |               |       |
| -6,4     |               |               |               |       |
| -6,6     |               |               |               |       |
| -6,8     |               |               |               |       |
| -7,0     |               |               |               |       |
| -7,2     |               |               |               |       |
| -7,4     |               |               |               |       |
| -7,6     |               |               |               |       |
| -7,8     |               |               |               |       |
| -8,0     |               |               |               |       |
| -8,2     |               |               |               |       |
| -8,4     |               |               |               |       |
| -8,6     |               |               |               |       |
| -8,8     |               |               |               |       |
| -9,0     |               |               |               |       |
| -9,2     |               |               |               |       |
| -9,4     |               |               |               |       |
| -9,6     |               |               |               |       |
| -9,8     |               |               |               |       |
| -10,0    |               |               |               |       |

Commessa n. **151S/2018**

Prova n. **CPT 1**

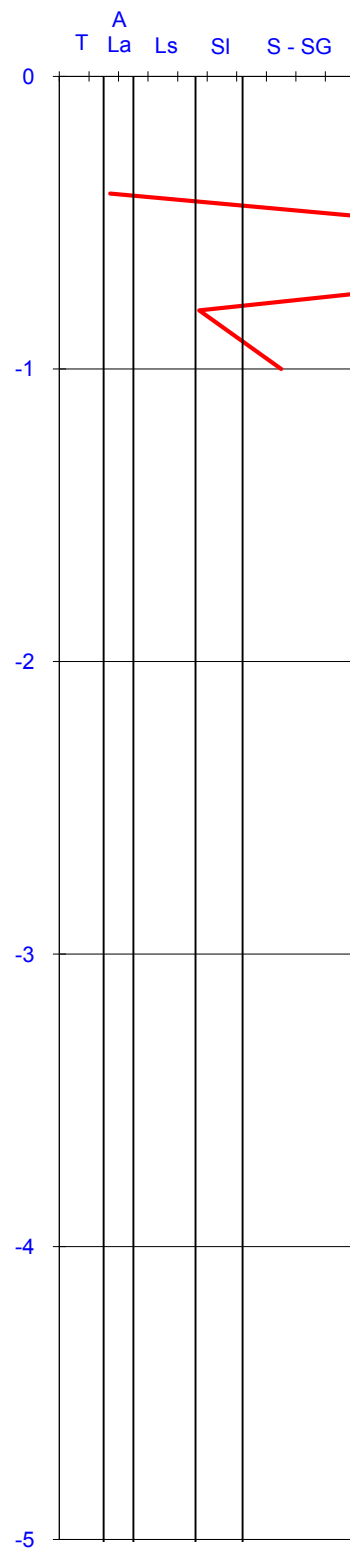
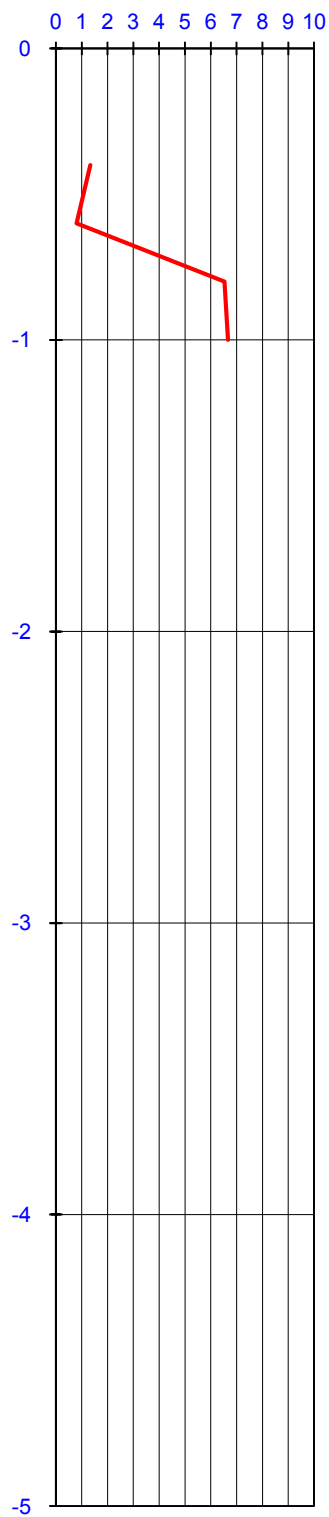
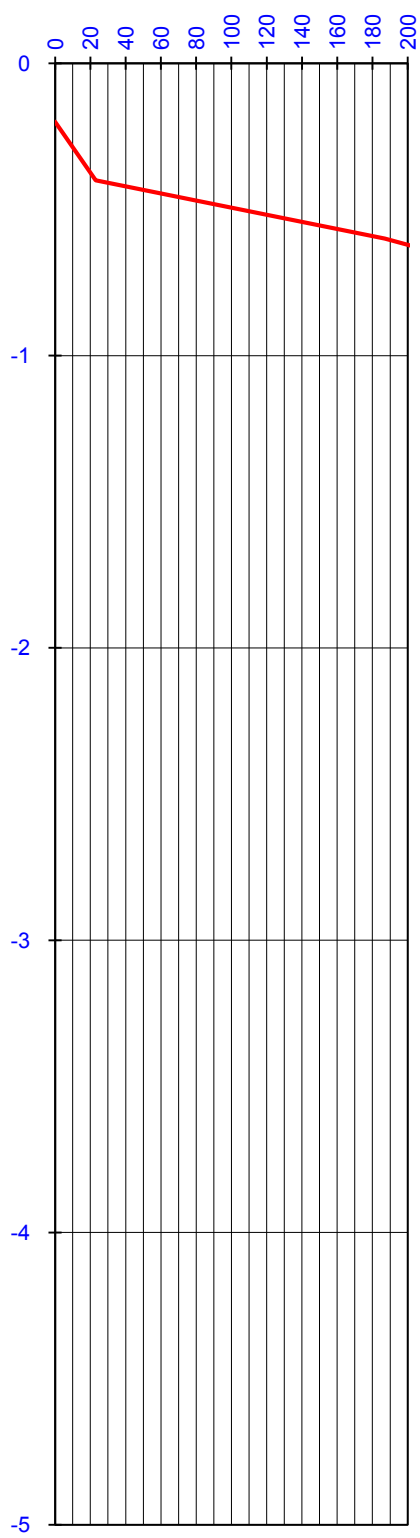
Committente: **Comune di Vallefoglia**

Cantiere: **Colbordolo**

Qc (Kg/cmq)

Fs (Kg/cmq)

Qc/Fs





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |               |                   |         |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|---------|-------------------|-------|--------------|------|---------------|--------|-----------|-----------|-------------|-------|
| Commessa n. 18-151S                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Data 06/11/18 |                   |         |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
| <b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |               |                   |         |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
| Committente: <b>Comune di Vallefoglia</b><br>Cantiere: <b>Colbordolo</b><br>Località: <b>Vallefoglia (PU)</b><br><br>Penetrometro: <b>Pagani TG 63 100 KN</b>                                                                                                                                                                                                                                                 |               |                   |         |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
| Prova n. <b>1</b> Del <b>06/11/18</b><br>Inizio a <b>0,00</b> ml<br>Fine a <b>1,00</b> ml<br>Q.ta falda<br>Note:                                                                                                                                                                                                                                                                                              |               |                   |         |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
| <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Peso del maglio</td> <td style="width: 20%;">63,5 Kg</td> <td style="width: 30%;">Altezza di caduta</td> <td style="width: 20%;">75 cm</td> </tr> <tr> <td>Angolo punta</td> <td>90 °</td> <td>Sezione punta</td> <td>20 cmq</td> </tr> <tr> <td>Peso aste</td> <td>6,3 Kg/ml</td> <td>Avanzamento</td> <td>20 cm</td> </tr> </table> |               | Peso del maglio   | 63,5 Kg | Altezza di caduta | 75 cm | Angolo punta | 90 ° | Sezione punta | 20 cmq | Peso aste | 6,3 Kg/ml | Avanzamento | 20 cm |
| Peso del maglio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 63,5 Kg       | Altezza di caduta | 75 cm   |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
| Angolo punta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 90 °          | Sezione punta     | 20 cmq  |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
| Peso aste                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 6,3 Kg/ml     | Avanzamento       | 20 cm   |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |
| Note: Installato micropiezometro a tubo aperto (diam. 20 mm), sino alla profondità di 5,0 m da p.c. Da tale profondità il foro è risultato ostruito.                                                                                                                                                                                                                                                          |               |                   |         |                   |       |              |      |               |        |           |           |             |       |

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

| Prof. | Nc  | Rd                 |
|-------|-----|--------------------|
| m     | N20 | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,2   |     |                    |
| 0,4   |     |                    |
| 0,6   |     |                    |
| 0,8   |     |                    |
| 1     | 100 | 1116,76            |
| 1,2   |     |                    |
| 1,4   |     |                    |
| 1,6   |     |                    |
| 1,8   |     |                    |
| 2     |     |                    |
| 2,2   |     |                    |
| 2,4   |     |                    |
| 2,6   |     |                    |
| 2,8   |     |                    |
| 3     |     |                    |
| 3,2   |     |                    |
| 3,4   |     |                    |
| 3,6   |     |                    |
| 3,8   |     |                    |
| 4     |     |                    |
| 4,2   |     |                    |
| 4,4   |     |                    |
| 4,6   |     |                    |
| 4,8   |     |                    |
| 5     |     |                    |
| 5,2   |     |                    |
| 5,4   |     |                    |
| 5,6   |     |                    |
| 5,8   |     |                    |
| 6     |     |                    |
| 6,2   |     |                    |
| 6,4   |     |                    |
| 6,6   |     |                    |
| 6,8   |     |                    |
| 7     |     |                    |

| Prof. | Nc  | Rd                 |
|-------|-----|--------------------|
| m     | N20 | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 7,2   |     |                    |
| 7,4   |     |                    |
| 7,6   |     |                    |
| 7,8   |     |                    |
| 8     |     |                    |
| 8,2   |     |                    |
| 8,4   |     |                    |
| 8,6   |     |                    |
| 8,8   |     |                    |
| 9     |     |                    |
| 9,2   |     |                    |
| 9,4   |     |                    |
| 9,6   |     |                    |
| 9,8   |     |                    |
| 10    |     |                    |
| 10,2  |     |                    |
| 10,4  |     |                    |
| 10,6  |     |                    |
| 10,8  |     |                    |
| 11    |     |                    |
| 11,2  |     |                    |
| 11,4  |     |                    |
| 11,6  |     |                    |
| 11,8  |     |                    |
| 12    |     |                    |
| 12,2  |     |                    |
| 12,4  |     |                    |
| 12,6  |     |                    |
| 12,8  |     |                    |
| 13    |     |                    |
| 13,2  |     |                    |
| 13,4  |     |                    |
| 13,6  |     |                    |
| 13,8  |     |                    |
| 14    |     |                    |

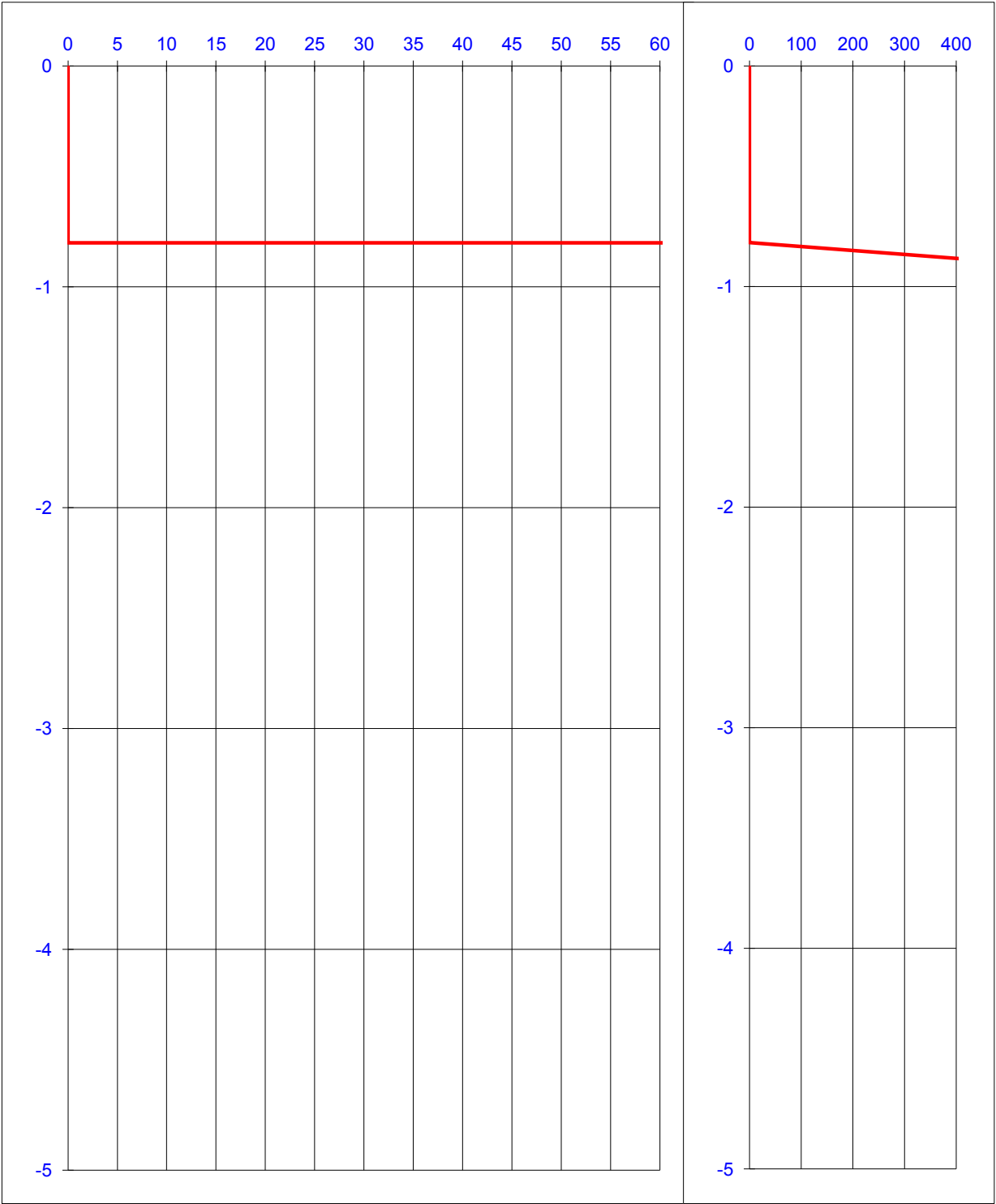
| Prof. | Nc  | Rd                 |
|-------|-----|--------------------|
| m     | N20 | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 14,2  |     |                    |
| 14,4  |     |                    |
| 14,6  |     |                    |
| 14,8  |     |                    |
| 15    |     |                    |
| 15,2  |     |                    |
| 15,4  |     |                    |
| 15,6  |     |                    |
| 15,8  |     |                    |
| 16    |     |                    |
| 16,2  |     |                    |
| 16,4  |     |                    |
| 16,6  |     |                    |
| 16,8  |     |                    |
| 17    |     |                    |
| 17,2  |     |                    |
| 17,4  |     |                    |
| 17,6  |     |                    |
| 17,8  |     |                    |
| 18    |     |                    |
| 18,2  |     |                    |
| 18,4  |     |                    |
| 18,6  |     |                    |
| 18,8  |     |                    |
| 19    |     |                    |
| 19,2  |     |                    |
| 19,4  |     |                    |
| 19,6  |     |                    |
| 19,8  |     |                    |
| 20    |     |                    |
| 20,2  |     |                    |
| 20,4  |     |                    |
| 20,6  |     |                    |
| 20,8  |     |                    |
| 21    |     |                    |

DPSH Dynamic Probing Super Heavy

Prova n. 1 del 06/11/18  
Cantiere Colbordolo  
Committente Comune di Vallefoglia  
Livello falda

Numero di colpi  
N20

Resistenza dinamica  
(Kg/cmq)









|                                                                                                                                                      |                              |                   |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------|
| Commessa n. 18-151S                                                                                                                                  |                              | Data 06/11/18     |                 |
| <b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH</b>                                                                                                            |                              |                   |                 |
| Committente:                                                                                                                                         | <b>Comune di Vallefoglia</b> |                   |                 |
| Cantiere:                                                                                                                                            | <b>Colbordolo</b>            |                   |                 |
| Località:                                                                                                                                            | <b>Vallefoglia (PU)</b>      |                   |                 |
| Penetrometro:                                                                                                                                        | <b>Pagani TG 63 100 KN</b>   |                   |                 |
| Prova n.                                                                                                                                             | <b>2</b>                     | Del               | <b>06/11/18</b> |
| Inizio a                                                                                                                                             | <b>0,00</b>                  | ml                |                 |
| Fine a                                                                                                                                               | <b>2,00</b>                  | ml                |                 |
| Q.ta falda                                                                                                                                           |                              |                   |                 |
| Note:                                                                                                                                                |                              |                   |                 |
| Peso del maglio                                                                                                                                      | <b>63,5 Kg</b>               | Altezza di caduta | <b>75 cm</b>    |
| Angolo punta                                                                                                                                         | <b>90 °</b>                  | Sezione punta     | <b>20 cmq</b>   |
| Peso aste                                                                                                                                            | <b>6,3 Kg/ml</b>             | Avanzamento       | <b>20 cm</b>    |
| Note: Installato micropiezometro a tubo aperto (diam. 20 mm), sino alla profondità di 5,0 m da p.c. Da tale profondità il foro è risultato ostruito. |                              |                   |                 |

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

| Prof. | Nc  | Rd                 |
|-------|-----|--------------------|
| m     | N20 | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,2   | 1   | 11,75              |
| 0,4   | 2   | 23,20              |
| 0,6   | 4   | 45,81              |
| 0,8   | 5   | 56,54              |
| 1     | 10  | 111,68             |
| 1,2   | 14  | 154,43             |
| 1,4   | 13  | 141,66             |
| 1,6   | 16  | 172,27             |
| 1,8   | 44  | 468,14             |
| 2     | 100 | 1051,53            |
| 2,2   |     |                    |
| 2,4   |     |                    |
| 2,6   |     |                    |
| 2,8   |     |                    |
| 3     |     |                    |
| 3,2   |     |                    |
| 3,4   |     |                    |
| 3,6   |     |                    |
| 3,8   |     |                    |
| 4     |     |                    |
| 4,2   |     |                    |
| 4,4   |     |                    |
| 4,6   |     |                    |
| 4,8   |     |                    |
| 5     |     |                    |
| 5,2   |     |                    |
| 5,4   |     |                    |
| 5,6   |     |                    |
| 5,8   |     |                    |
| 6     |     |                    |
| 6,2   |     |                    |
| 6,4   |     |                    |
| 6,6   |     |                    |
| 6,8   |     |                    |
| 7     |     |                    |

| Prof. | Nc  | Rd                 |
|-------|-----|--------------------|
| m     | N20 | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 7,2   |     |                    |
| 7,4   |     |                    |
| 7,6   |     |                    |
| 7,8   |     |                    |
| 8     |     |                    |
| 8,2   |     |                    |
| 8,4   |     |                    |
| 8,6   |     |                    |
| 8,8   |     |                    |
| 9     |     |                    |
| 9,2   |     |                    |
| 9,4   |     |                    |
| 9,6   |     |                    |
| 9,8   |     |                    |
| 10    |     |                    |
| 10,2  |     |                    |
| 10,4  |     |                    |
| 10,6  |     |                    |
| 10,8  |     |                    |
| 11    |     |                    |
| 11,2  |     |                    |
| 11,4  |     |                    |
| 11,6  |     |                    |
| 11,8  |     |                    |
| 12    |     |                    |
| 12,2  |     |                    |
| 12,4  |     |                    |
| 12,6  |     |                    |
| 12,8  |     |                    |
| 13    |     |                    |
| 13,2  |     |                    |
| 13,4  |     |                    |
| 13,6  |     |                    |
| 13,8  |     |                    |
| 14    |     |                    |

| Prof. | Nc  | Rd                 |
|-------|-----|--------------------|
| m     | N20 | Kg/cm <sup>2</sup> |
| 14,2  |     |                    |
| 14,4  |     |                    |
| 14,6  |     |                    |
| 14,8  |     |                    |
| 15    |     |                    |
| 15,2  |     |                    |
| 15,4  |     |                    |
| 15,6  |     |                    |
| 15,8  |     |                    |
| 16    |     |                    |
| 16,2  |     |                    |
| 16,4  |     |                    |
| 16,6  |     |                    |
| 16,8  |     |                    |
| 17    |     |                    |
| 17,2  |     |                    |
| 17,4  |     |                    |
| 17,6  |     |                    |
| 17,8  |     |                    |
| 18    |     |                    |
| 18,2  |     |                    |
| 18,4  |     |                    |
| 18,6  |     |                    |
| 18,8  |     |                    |
| 19    |     |                    |
| 19,2  |     |                    |
| 19,4  |     |                    |
| 19,6  |     |                    |
| 19,8  |     |                    |
| 20    |     |                    |
| 20,2  |     |                    |
| 20,4  |     |                    |
| 20,6  |     |                    |
| 20,8  |     |                    |
| 21    |     |                    |

## DPSH Dynamic Probing Super Heavy

Prova n. **2** del **06/11/18**

Cantiere **Colbordolo**

Committente **Comune di Vallefoglia**

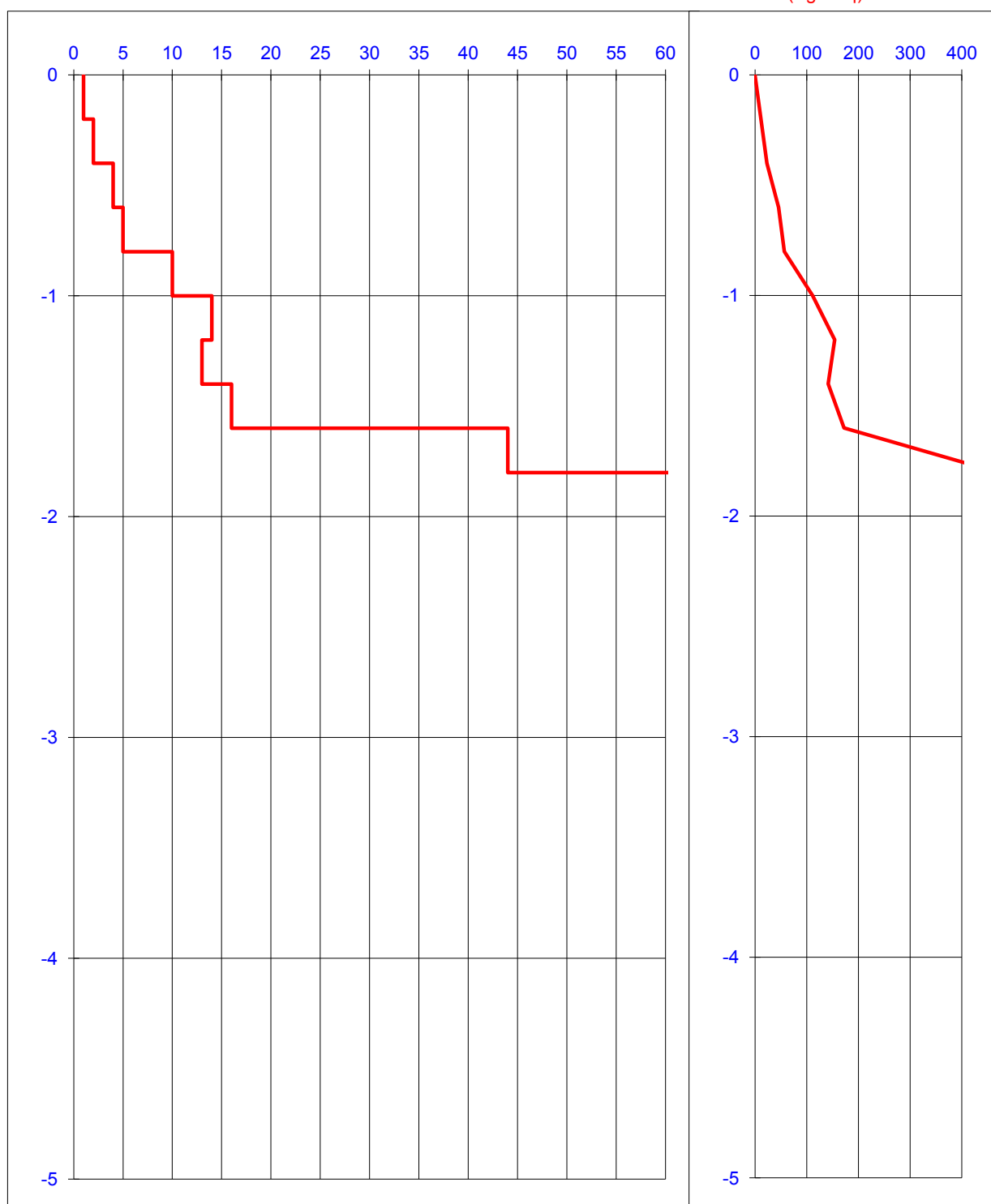
Livello falda

**Numero di colpi**

N20

**Resistenza dinamica**

(Kg/cmq)





## DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO MEDIANTE TROMOGRAFO DIGITALE TROMINO MICROMED ENG Y PLUS.

Il Tromino® è un tromografo digitale dotato di 3 canali velocimetri ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a circa 1,5mm/s), n°3 canali velocimetri a basso guadagno per la registrazione di vibrazioni forti (fino a 5 v/cm/sec); 3 canali accelerometrici per monitoraggi di vibrazioni; 1 canale analogico per trigger esterno. La strumentazione è dotata di GPS integrato, antenna interna e/o esterna per la localizzazione e la sincronizzazione in caso di collegamento fra diverse unità e di modulo radio per sincronizzazione e trasmissioni di allarmi in caso di superamento soglie imposte.

Nel caso della necessità di determinazione della categoria di suolo tramite  $V_{s30}$  è necessario disporre di una stratigrafia di riferimento del sito per poter eseguire il fitting della curva sperimentale HVSR con la curva teorica; possono essere utilizzati i dati provenienti da prove penetrometriche o da sondaggi normalmente eseguiti per l'indagine geognostica.

La procedura di fit della curva HVSR fornisce un modello stratigrafico sismico dell'andamento di  $V_s$  con la profondità da cui calcolare  $V_{seq}$ . Questa tecnica confrontata con quelle classiche in array (REMI Esac MASW) fornisce stime di  $V_s$  confrontabili ed offre il vantaggio di riconoscere eventuali eterogeneità laterali (impossibile con tecniche di Array) essere veloce, a basso costo. La velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) viene determinata attraverso un codice di calcolo, il programma Grilla®, appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) secondo la teoria descritta in AKI (1964) Ben-Menahem e Singh (1981). In appendice sono riportati i risultati analitici ottenuti.

Nel sito in esame, è stato registrato anche un aumento delle proprietà meccaniche con la profondità. Secondo la tab. 3.2.II della normativa, il sottosuolo nell'area da edificare appartiene alla categoria "B".

La strumentazione fornisce inoltre:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare **strutture** aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle **costruzioni**.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di **sisma** la **costruzione** potrà essere o meno a rischio.

## COLBORDOLO, MONTEFABBRI 54

Strumento: TEP-0029/01-09

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 06/11/18 11:14:11 Fine registrazione: 06/11/18 11:30:11

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; 09+ 09-

Posizione GPS: 012°42.0773 E, 43°49.1373 N (282.2 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 08

Durata registrazione: 0h16'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

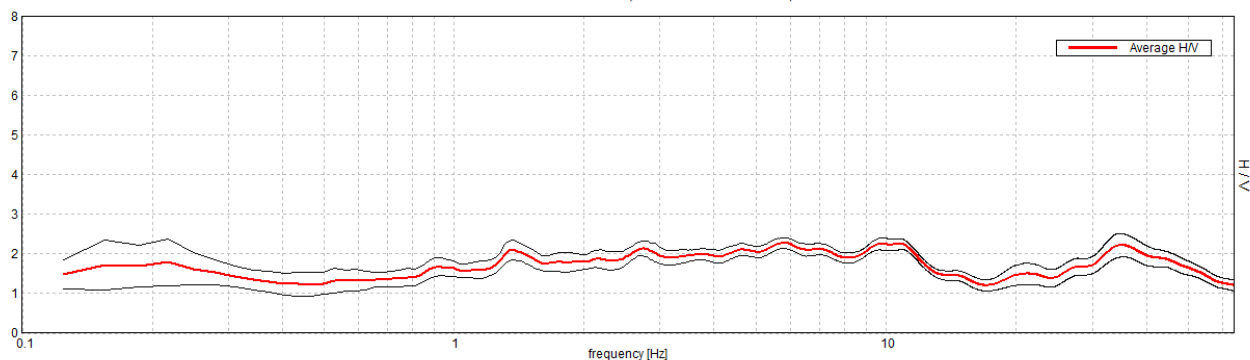
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

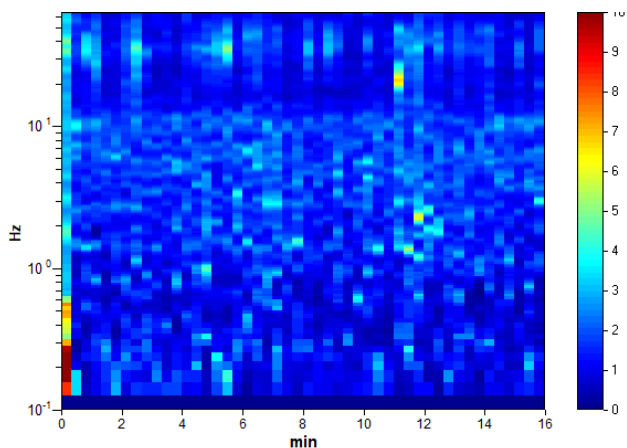
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

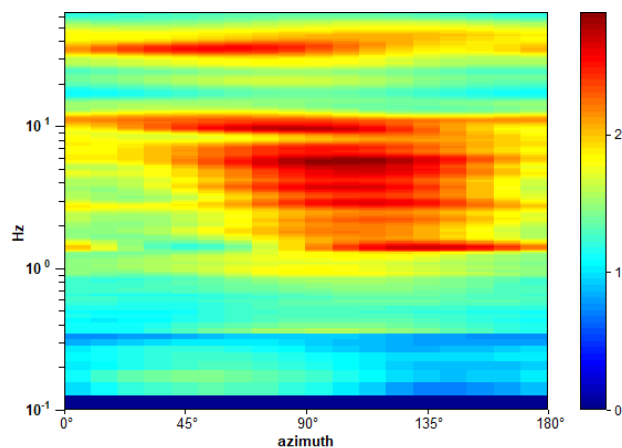
Picco H/V a 5.75 ± 3.93 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).



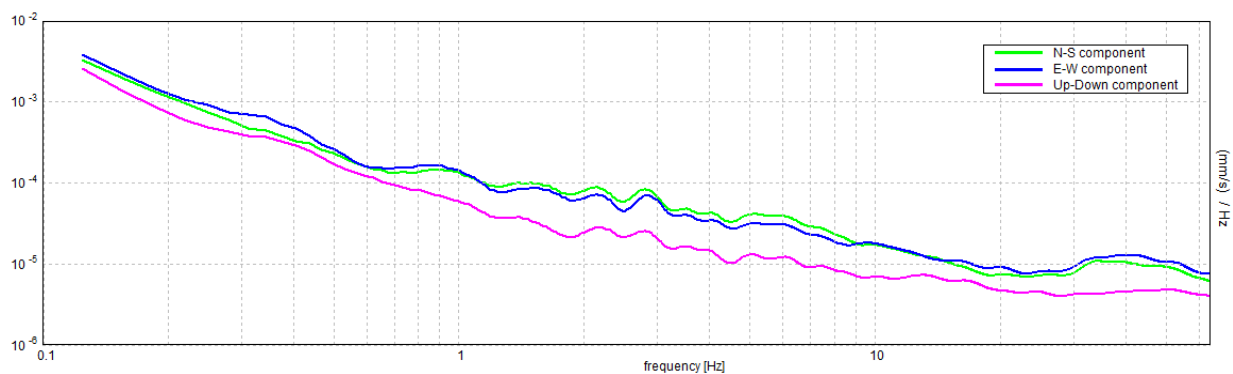
### SERIE TEMPORALE H/V



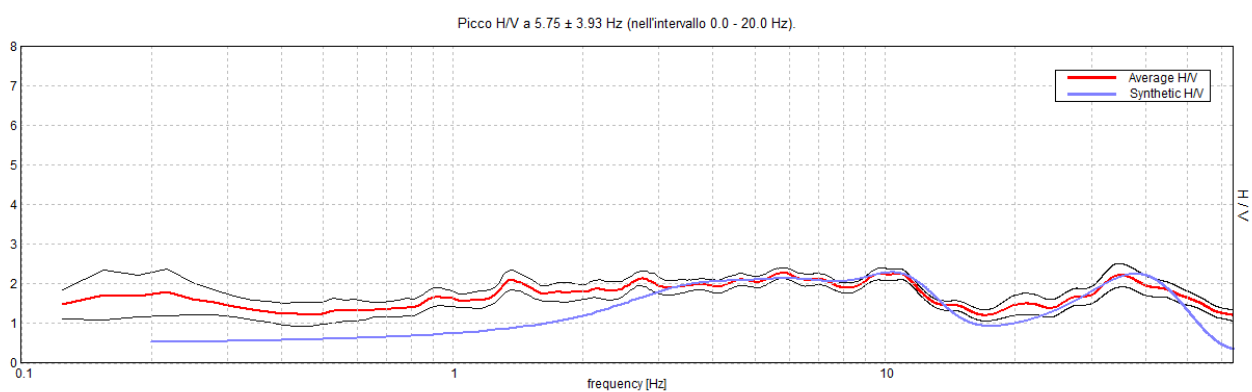
### DIREZIONALITA' H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



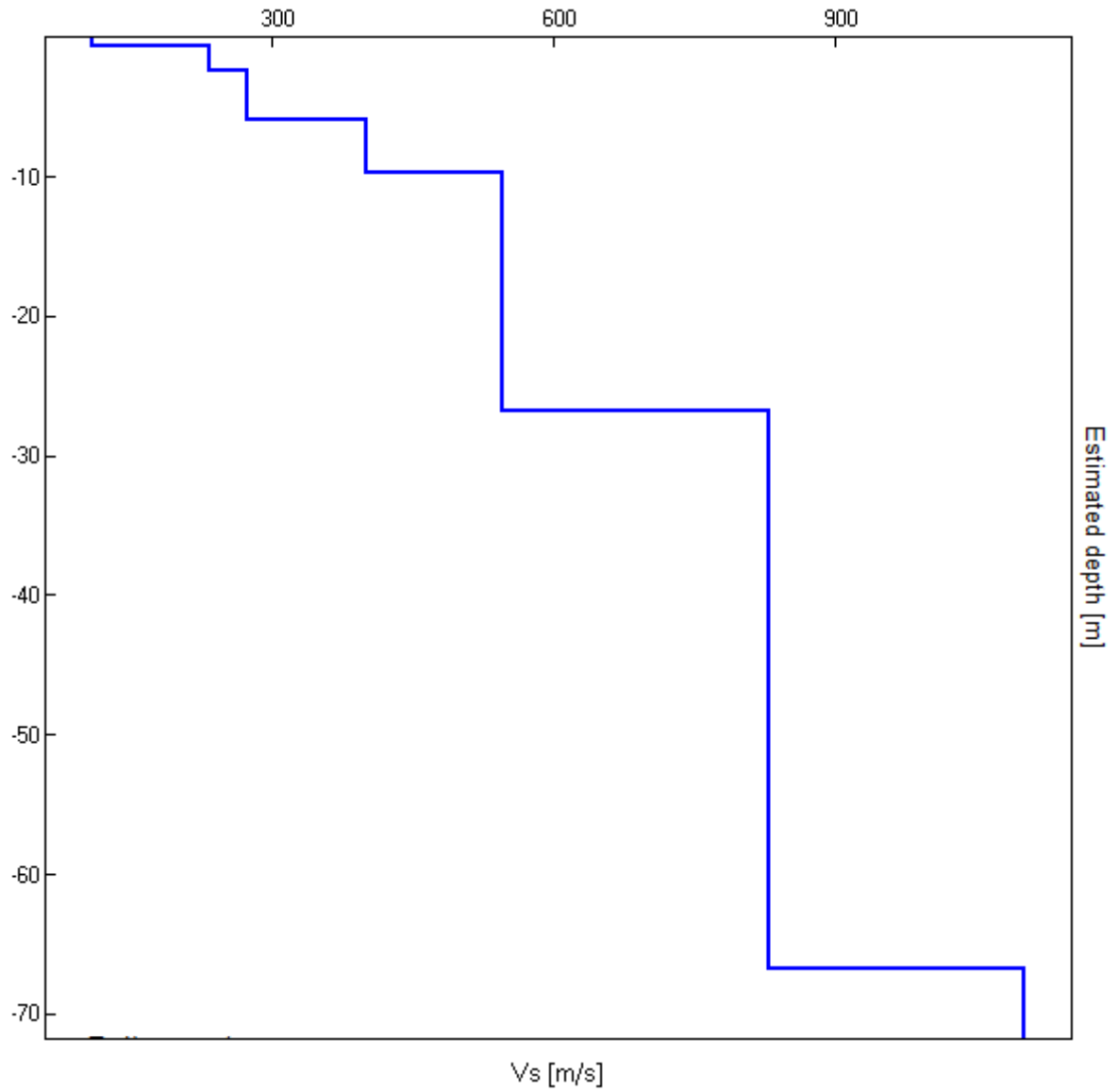
## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 0.69                                  | 0.69         | 110      | 0.40                |
| 2.44                                  | 1.75         | 235      | 0.35                |
| 5.94                                  | 3.50         | 275      | 0.35                |
| 9.74                                  | 3.80         | 400      | 0.35                |
| 26.74                                 | 17.00        | 545      | 0.35                |
| 66.74                                 | 40.00        | 830      | 0.30                |
| inf.                                  | inf.         | 1100     | 0.25                |

$V_{s\_eq} = 398$  m/s





[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $5.75 \pm 3.93$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|                                                                                                                                        |                         |    |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$                                                                                                                       | $5.75 > 0.50$           | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$                                                                                                                       | $5520.0 > 200$          | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 277 | OK |  |

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|                                                              |                    |    |    |
|--------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    |                    |    | NO |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     |                    |    | NO |
| $A_0 > 2$                                                    | $2.27 > 2$         | OK |    |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.68371  < 0.05$ |    | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $3.93136 < 0.2875$ |    | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.1298 < 1.58$    | OK |    |

|                        |                                                                                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_w$                  | lunghezza della finestra                                                                                                                    |
| $n_w$                  | numero di finestre usate nell'analisi                                                                                                       |
| $n_c = L_w n_w f_0$    | numero di cicli significativi                                                                                                               |
| $f$                    | frequenza attuale                                                                                                                           |
| $f_0$                  | frequenza del picco H/V                                                                                                                     |
| $\sigma_f$             | deviazione standard della frequenza del picco H/V                                                                                           |
| $\varepsilon(f_0)$     | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                                               |
| $A_0$                  | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$                                                                                               |
| $A_{H/V}(f)$           | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$                                                                                                 |
| $f^-$                  | frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$                                                                             |
| $f^+$                  | frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$                                                                              |
| $\sigma_A(f)$          | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$                                                                                        |
| $\theta(f_0)$          | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$                                                                 |

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

| Intervallo di freq. [Hz]                        | < 0.2      | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0  | 1.0 – 2.0  | > 2.0      |
|-------------------------------------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz]                         | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$               | 3.0        | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48       | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |