INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEL MUNICIPIO E REGIMAZIONE DELLE ACQUE DI PERTINENZA DEL RETICOLO IDRICO MINORE PASSANTE PER L'EDIFICIO COMUNALE DI ENDINE GAIANO (BERGAMO)

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

CUP: F74H20000740001

COMMITTENTE:
AMMINISTRAZIONE COMUNALE

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E IDRAULICA

Maggio 2022

dott. geol. Alessandro Chiodelli

dott. Ing. Italo Madaschi

INDICE

1. PREMESSA 3

2. LINEAMENTI TERRITORIALI 3

2.1 Inquadramento geomorfologico di dettaglio 3

2.2 Inquadramento geolitologico 4

2.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico 7

3. INDAGINE GEOGNOSTICA 9

3.1 Premessa 9

3.2 Sondaggi meccanici a carotaggio continuo 10

3.3 Prove penetrometriche dinamiche 15

4. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SITO 20

4.1 Stratigrafia 20

4.2 Parametrizzazione geomeccanica 21

5. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO 26

5.1 Generalità 26

5.2 Indagine geofisica 27

5.3 Analisi di risposta sismica locale 37

6. VERIFICA IDRAULICA DELLA VALLETTA 45

7. INDICAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE 50

1. PREMESSA

Con determinazione n. 47 del 06.04.2022 il Responsabile del Settore Tecnico del Comune di Endine Gaiano (Bergamo) ha conferito l'incarico per la predisposizione del Progetto definitivo-esecutivo per l'*intervento di messa in sicurezza del municipio e regimazione delle acque di pertinenza del reticolo idrico minore passante per l'edificio comunale di Endine Gaiano (Bergamo)* CUP F74H20000740001.

Il presente documento costituisce la Relazione Geologico-Geotecnica e Idraulica (Elaborato B) del progetto.

Per la descrizione del dissesto e degli interventi di sistemazione previsti si rimanda alla Relazione Tecnico-Illustrativa.

2. LINEAMENTI TERRITORIALI

2.1 Inquadramento geomorfologico di dettaglio

L'area è posta alle falde meridionali del Monte Grione, in prossimità del fondovalle della Val Cavallina, in sponda idrografica destra, in contesto urbanizzato e in condizioni di pendio a moderata acclività. La quota di riferimento dell'intervento nel suo complesso è compresa tra 400 e 350 m s.l.m. circa.

Il pendio è caratterizzato dalla presenza di substrato roccioso subaffiorante, localmente ammantato da coperture detritiche (diamicton e brecce di versante) cementate, che costituiscono una tipicità del versante compreso tra Endine, Ranzanico e Bianzano, specialmente a quote medie ed alte.

Il reticolo oggetto d'intervento è una modesta valletta che trae origine dal pendio sotto la località Botta, con due distinti rami a 600-800 m s.l.m. che si uniscono a circa 540 m s.l.m.; a partire dalla Via Fanovo in giù, il reticolo è interamente tombottato ed è stato deviato al di sotto delle sedi stradali, dalle quali si discosta (rimanendo comunque interrato) solo in corrispondenza dell'edificio scolastico.

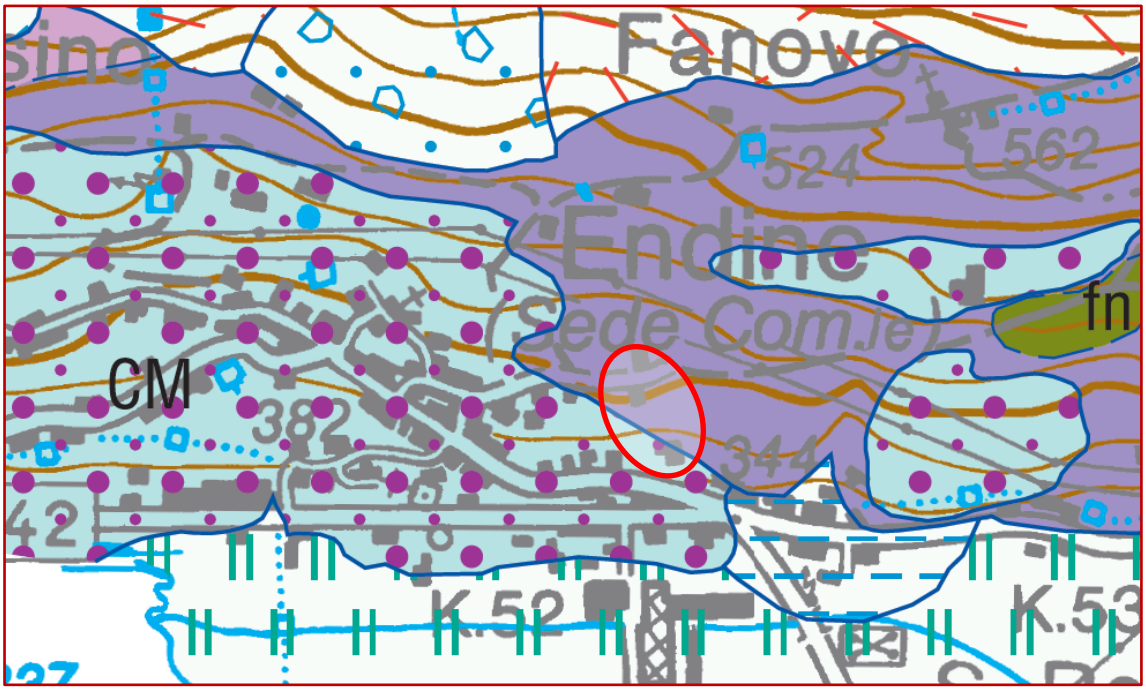
La Carta Geomorfologica del P.G.T. non indica particolari elementi critici ed ubica il sito su substrato roccioso.

Figura 1 – Stralcio della Carta Geomorfologica del P.G.T.
Indicata in rosso l'area di progetto

2.2 Inquadramento geolitologico

Dal punto di vista geologico, la zona si attesta nella formazione triassica dell'Argillite di Riva di Solto, costituita da argilliti sottilmente stratificate o laminate con intercalazioni marnose. La Carta Geologica d'Italia, che conferma tale classificazione, riporta anche la presenza di depositi glaciali quaternari appartenenti all'Unità della Colma del Piano, tuttavia non sono stati rilevati in sito. Lungo il versante sono inoltre presenti discontinue e per lo più sottili coperture detritiche, talora cementate (grazie all'abbondanza di carbonato di calcio circolante nelle acque).

Dal punto di vista tettonico, il sito di progetto non interferisce con lineamenti attivi o faglie capaci.



emerso

CM

sommerso

SUPERSINTEMA DELLA COLMA DEL PIANO

Diamicton e diamictiti a clasti eterometrici (depositi glaciali); conglomerati, ghiaie, sabbie stratificate (depositi alluvionali); limi e argille laminate (depositi lacustri). Superficie limite superiore erosiva, polifasica e poligenica; profilo di alterazione sviluppato, di spessore variabile. ***GELASIANO - PLEISTOCENE MEDIO***

ARS

ARGILLITE DI RIVA DI SOLTO

Argilliti e marne argillose nerastre, finemente laminate o fogliettate (litozona inferiore), con intercalazioni o alternanze cicliche di calcari micritici neri in strati sottili (litozona superiore). Nelle marne-argilliti sono localmente intercalate calcareniti bioclastiche e biocalciruditi fini a piccoli bivalvi e bactrilli. Spessore massimo: 200 m (litozona inferiore), 100-200 m (litozona superiore). Bacino poco profondo inizialmente ristretto. ***NORICO MEDIO - SUPERIORE***

Figura 2 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia – Progetto CARG (ISPRA)
Indicata in rosso l'area di progetto

Figura 3 – Affioramento di substrato roccioso argillitico lungo Via Partigiani, a monte dell'area di intervento

Figura 4 – Porzioni rocciose con aggrottamenti e stillicidi d'acqua sulla scarpata a monte di Via Donatori di Sangue

2.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico

La valletta passante per il sito e oggetto di sistemazione non è mai visibile a partire dal centro abitato fino al suo recapito finale, essendo completamente tombottata. Si tratta di un corso d'acqua modesto, a regime stagionale, parzialmente alimentato anche da sorgive e da commistioni con scarichi di acque meteoriche.

Per quanto concerne la permeabilità dei terreni, i valori sono bassi, data la presenza di substrato roccioso subaffiorante.

Sul pendio compreso tra Via Donatori di Sangue e Via Partigiani si riscontrano almeno due sorgenti con manufatti di captazione artigianali.

Visto il contesto, non vi è presenza di falda in senso stretto; frequenti ruscellamenti e stillicidi d'acqua si riscontrano tuttavia lungo il pendio, per lo più al contatto tra la coltre alteritica o detritica superficiale (abbastanza permeabile) ed il tetto del substrato roccioso argillitico (impermeabile).

Figura 5 – Sorgente in Via Donatori di Sangue

Figura 6 – Sorgente sotto Via Partigiani

3. INDAGINE GEOGNOSTICA

3.1 Premessa

Al fine di procedere con la definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo interessato dall'intervento, oltre alla documentazione bibliografica disponibile, sono state utilizzate le risultanze dell'indagine geognostica appositamente predisposta, comprensiva di:

- n. 3 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, con prove S.P.T. in foro e posa in opera di n. 1 piezometro;
- n. 4 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 2 misure sismiche passive a stazione singola di tipo H/V.

La posizione indicativa delle prove penetrometriche è visibile nell'immagine proposta a seguire. Per la posizione delle indagini sismiche si veda il capitolo relativo.

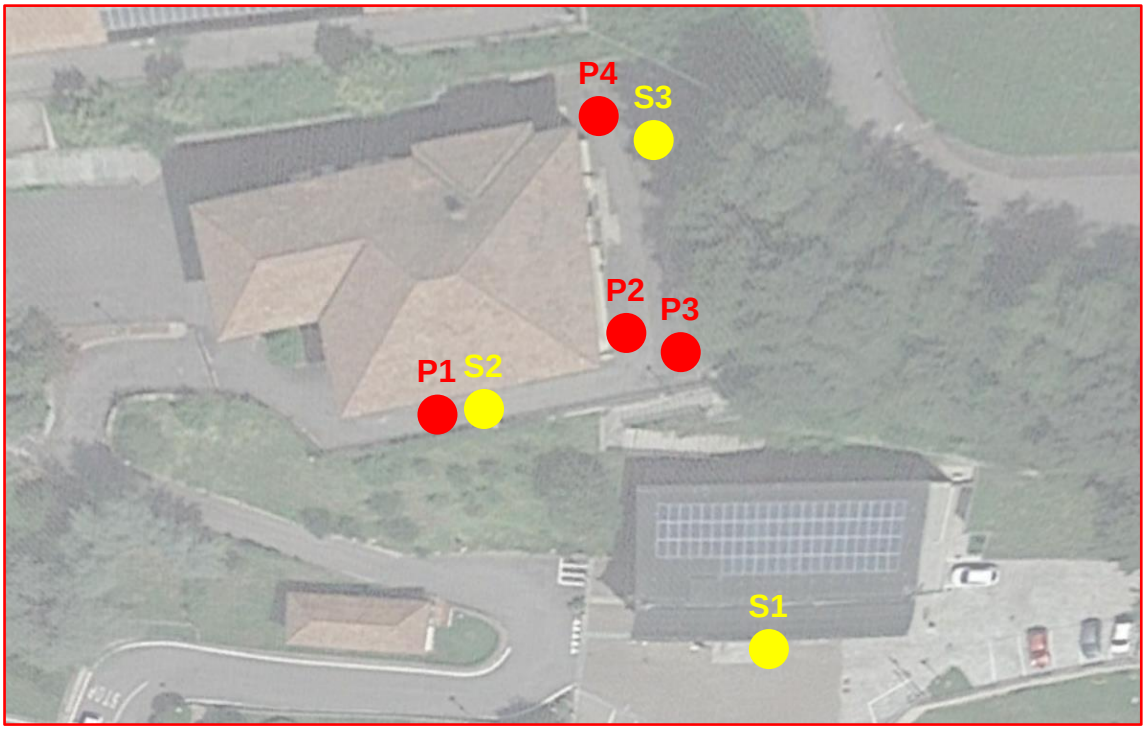


Figura 7 – Ubicazione delle indagini geognostiche in relazione all'opera di progetto (S1-S3: sondaggi; P1-P4: prove penetrometriche dinamiche)

Le indagini hanno consentito di:

- ricostruire la stratigrafia dei terreni attraversati;
- attribuire a ciascun livello di terreno riconosciuto i principali parametri geotecnici, calibrati sulla base dello specifico contesto litotecnico e sulla scorta dell'interpretazione stratigrafico - geotecnica dei dati forniti dalle prove in sito (valori medi di N_{SPT}).

3.2 Sondaggi meccanici a carotaggio continuo

I sondaggi sono stati realizzati a rotazione con carotaggio continuo e spinto alla profondità di 20 m (S1-S2) e 10 m (S3) dal p.c.; a tal fine è stato utilizzato un tubo di rivestimento (127 mm) per stabilizzare le pareti del foro ed, in testa alle aste di perforazione, è stato installato l'apposito carotiere per il prelievo dei campioni di terreno (carote) da 101 mm, così da consentire la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

SONDAGGIO S1 ***piazzale antistante il municipio attuale***

Figura 8 – Esecuzione del sondaggio S1

DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI
via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (Bg)
e_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

SONDAGGIO S2 ***lato sud dell'ex municipio (zona paratia berlinese***

Figura 9 – Esecuzione del sondaggio S2

SONDAGGIO S3 ***piazzale lato est dell'ex municipio***

Figura 10 – Esecuzione del sondaggio S3

Dott. Geol. A. Chiodelli
Via Garibaldi, 4
24030 Mozzo (BG)
3389041561
alessandrochiodelli1973@gmail.com

STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO

Data:	21-04-2022	Luogo:	Endine Gaiano (Bergamo) - municipio
Committente:	-	Finalità:	Ricostruzione stratigrafica
Ditta esecutrice:	-	Quota piano campagna s.l.m.:	350 m
Responsabile sondaggio:	Dott. Geol. A. Chiodelli	Profondità raggiunta:	20 m
Tipo di sondaggio:	carotaggio continuo		
Tipo di sonda:	-		

Sondaggio **S1**

Pagina **1/1**

Scala	Quota	Litologia	Descrizione	RQD %	S.P.T.	Camp.	Cass.	Metodo perfor.	Metodo stabil.	Falda	Piezom.
0–7			Riporto molto eterogeneo		7 - 3 - 5 3 - 4 - 7 9 - 7 - 6 R		S1 - C1 S1 - C2				
7–10	7,00		Regolite completamente disgregata grigia-nerastra-bruna		24-21-23 22-28-31		S1 - C2				
10–20	10,00		Argillite completamente disgregata con abbondante frazione fine nera, asciutta Qualche trovante calcareo-marnoso a 13,70 m, 16,70 m e 17,30 m		29-35-39 42 - R 34-47-49		S1 - C3 S1 - C4				

LEGENDA

- Metodi di perforazione: Carotiere semplice; Carotiere doppio; Elica continua
- Metodi di stabilizzazione: Fanghi bentonitici; Rivestimento metallico
- Prove S.P.T. in foro: P.A. Punta aperta; P.C. Punta chiusa; R Rifiuto
- Prelievi di campioni: I Campione indisturbato; D Campione disturbato
- Piezometro e inclinometro: Tubo aperto; Casagrande; Elettrico; Intervallo fenestrato; Chiusura al fondo; Inclinometro

Dott. Geol. A. Chiodelli
Via Garibaldi, 4
24030 Mozzo (BG)
3389041561
alessandrochiodelli1973@gmail.com

STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO

Data:	22-04-2022	Luogo:	Endine Gaiano (Bergamo) - ex municipio
Committente:	-	Finalità:	Ricostruzione stratigrafica
Ditta esecutrice:	-	Quota piano campagna s.l.m.:	365 m
Responsabile sondaggio:	Dott. Geol. A. Chiodelli	Profondità raggiunta:	20 m
Tipo di sondaggio:	carotaggio continuo		
Tipo di sonda:	-		

Sondaggio **S2**

Pagina **1/1**

Scala	Quota	Litologia	Descrizione	RQD %	S.P.T.	Camp.	Cass.	Metodo perfor.	Metodo stabil.	Falda	Piezom.
0–2			Riporto		7-15-21		S2 - C1				
2	2,00		Regolite bruna completamente disgregata, con porzioni più alterate ocra e qualche trovante; a partire da 6 m colore più grigio		20-22-31						
3–5					28-35-41						
6					30-R		S2 - C2				
7	7,40		Argillite completamente disgregata con abbondante frazione fine nera, asciutta Porzioni più brunastre a 10,5-12 m e 15-17 m Qualche trovante argillitico o marnoso a 10-10,3 m, 13-14,7 m, 15-17 m, 18 m e 19 m		R						
8–9					47-R						
10					R		S2 - C3				
11–12					R						
13–14											
15							S2 - C4				
16–20											

LEGENDA

- Metodi di perforazione: Carotiere semplice; Carotiere doppio; Elica continua
- Metodi di stabilizzazione: Fanghi bentonitici; Rivestimento metallico
- Prove S.P.T. in foro: P.A. Punta aperta; P.C. Punta chiusa; R Rifiuto
- Prelievi di campioni: I Campione indisturbato; D Campione disturbato
- Piezometro e inclinometro: Tubo aperto; Casagrande; Elettrico; Intervallo fenestrato; Chiusura al fondo; Inclinometro

Dott. Geol. A. Chiodelli
Via Garibaldi, 4
24030 Mozzo (BG)
3389041561
alessandrochiodelli1973@gmail.com

STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO

Data:	22-04-2022	Luogo:	Endine Gaiano (Bergamo) - ex municipio
Committente:	-	Finalità:	Ricostruzione stratigrafica
Ditta esecutrice:	-	Quota piano campagna s.l.m.:	365 m
Responsabile sondaggio:	Dott. Geol. A. Chiodelli	Profondità raggiunta:	10 m
Tipo di sondaggio:	carotaggio continuo		
Tipo di sonda:	-		

Sondaggio **S3**

Pagina **1/1**

Scala	Quota	Litologia	Descrizione	RQD %	S.P.T.	Camp.	Cass.	Metodo perfor.	Metodo stabil.	Falda	Piezom.
0											
1	0,50		Riporto Regolite grigia completamente disgregata		42-R		S3 - C1				
2											
3					R						
4	3,80		Regolite grigia asciutta disgregata Trovanti a 8-9 m Livelletto bruno alterato a 7,80-8,00 m								
5											
6					R						
7							S3 - C2				
8					R						
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

LEGENDA

Metodi di perforazione
- Carotiere semplice
- Carotiere doppio
- Elica continua

Metodi di stabilizzazione
- Fanghi bentonitici
- Rivestimento metallico

Prove S.P.T. in foro
- P.A. Punta aperta
- P.C. Punta chiusa
- R Rifiuto

Prelievi di campioni
- I Campione indisturbato
- D Campione disturbato

Piezometro e inclinometro
- Tubo aperto
- Casagrande
- Elettrico
- Intervallo fenestrato
- Chiusura al fondo
- Inclinometro

Di seguito vengono riassunte le prove S.P.T. in foro.

PROVA	QUOTA DA P.C.	N1	N2	N3	N_{SPT}
S1_SPT1	1,50 m	7	3	5	**8**
S1_SPT2	3,00 m	3	4	7	**11**
S1_SPT3	4,50 m	9	7	6	**13**
S1_SPT4	6,00 m				**R**
S1_SPT5	7,50 m	24	21	23	**44**
S1_SPT6	9,00 m	22	28	31	**> 50**
S1_SPT7	10,50 m	29	35	39	**> 50**
S1_SPT8	12,00 m	42			**R**
S1_SPT9	13,50 m	34	47	49	**> 50**
S2_SPT1	1,50 m	7	15	21	**36**
S2_SPT2	3,00 m	20	22	31	**> 50**
S2_SPT3	4,50 m	28	35	41	**> 50**
S2_SPT4	6,00 m	30			**R**
S2_SPT5	7,50 m				**R**
S2_SPT6	9,00 m	47			**R**
S2_SPT7	10,50 m				**R**
S2_SPT8	12,00 m				**R**
S3_SPT1	1,50 m	42			**R**
S3_SPT2	3,00 m				**R**
S3_SPT3	6,00 m				**R**
S3_SPT4	7,50 m				**R**

Risultati delle prove S.P.T. in foro

Le letture piezometriche effettuate nei piezometri installati all'interno dei sondaggi S1-S3 non hanno rilevato la presenza di acqua.

3.3 Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche sono state eseguite secondo gli standard previsti dalle raccomandazioni A.G.I. e secondo la normativa internazionale I.S.S.M.F.E. del 1977, con l'utilizzo di penetrometro superpesante avente le caratteristiche tecniche indicate a seguire:

Peso massa battente	73 kg
Volata	0,75 m
Diametro punta conica	51 mm
Area base punta conica	20,43 cm^2
Angolo apertura punta conica	60°
Lunghezza delle aste	0,90 m
Peso aste per metro	6,31 kg

Profondità giunzione 1° metro	0,30 m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero di colpi punta	N = N(30)
Rivestimento	No
Energia specifica per colpo	8,93 kg/cm^2
Coefficiente di correlazione N_{SPT}	**1,134**

Tabella 1 - Caratteristiche del penetrometro utilizzato

Le prove penetrometriche hanno raggiunto le seguenti profondità:

PROVA PENETROMETRICA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA DAL P.C.
P1	2,40 m
P2	5,40 m
P3	1,80 m
P4	1,20 m

Tabella 2 - Profondità raggiunte dalle prove penetrometriche

Durante l'esecuzione delle penetrometrie, non è stata riscontrata la presenza di acqua.

Le prove hanno raggiunto profondità poco significative, attestandosi di fatto nel livello più superficiale di terreni rimaneggiati. Soltanto la prova P2 ha raggiunto una profondità abbastanza significativa, riuscendo probabilmente a superare l'intera coltre di riporto e la porzione più superficiale e disgregata della regolite.

Si sottolinea che le prove sono state realizzate soltanto attorno all'ex municipio.

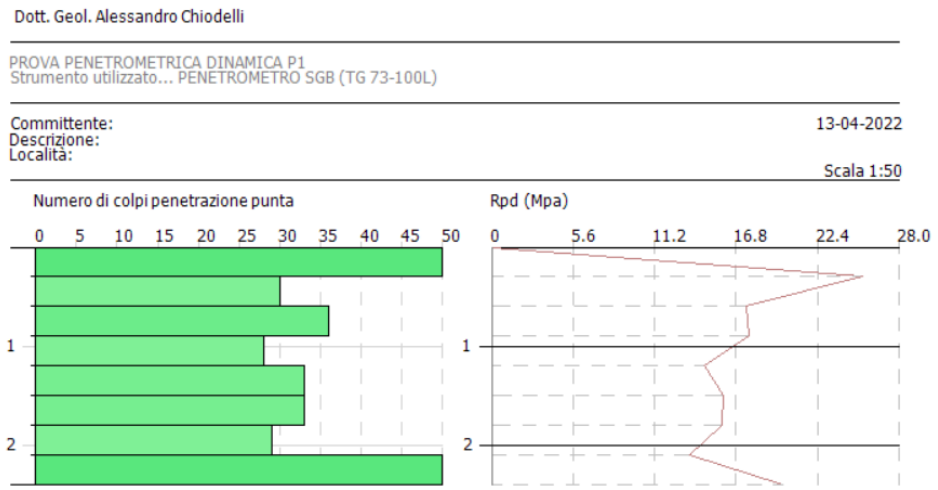
PAGANI
1

PAGANI
2

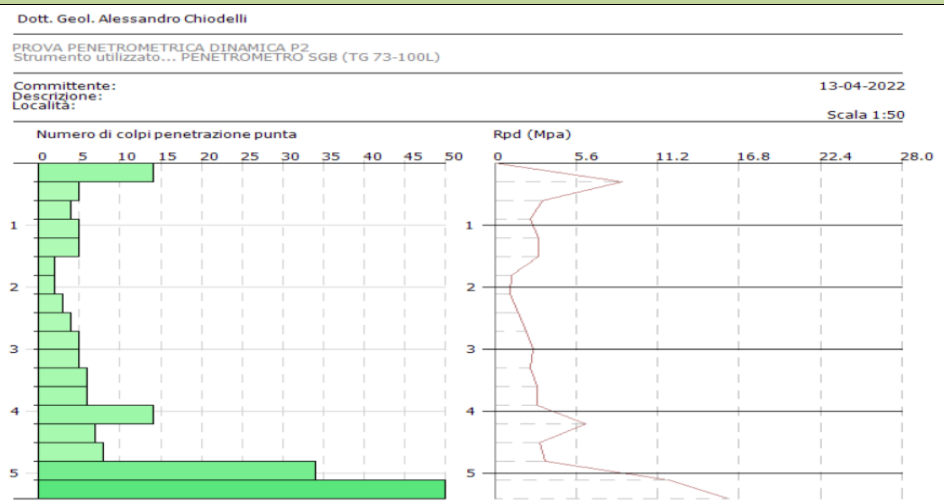
3

PAGANI
4

PROVA P1



PROVA P2

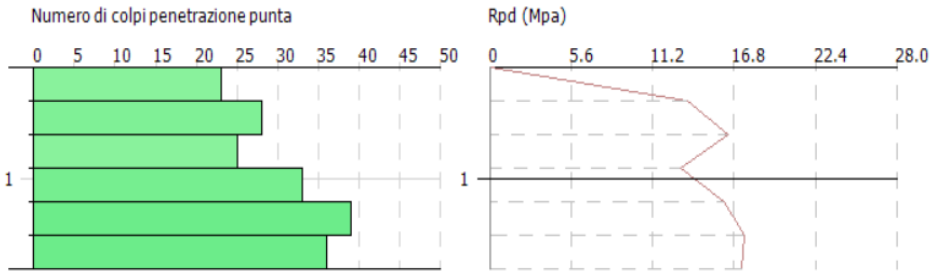


PROVA P3

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P3
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: 13-04-2022
Descrizione:
Località:
Scala 1:50

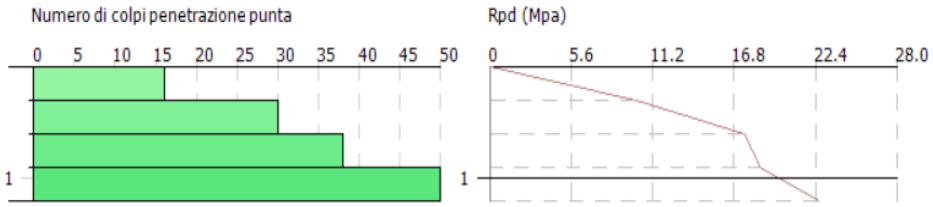


PROVA P4

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P4
Strumento utilizzato... PENETROMETRO SGB (TG 73-100L)

Committente: 13-04-2022
Descrizione:
Località:
Scala 1:50



4. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SITO

4.1 Stratigrafia

Dalle osservazioni di terreno, dall'esperienza dello scrivente e dalle indagini geognostiche eseguite, è possibile delineare tre diversi modelli geologici del sito (par. 6.2.1 delle N.T.C. 2018), uno per l'area del municipio attuale, uno per la zona di realizzazione della paratia berlinese, ed uno per il pendio sul lato est della scuola, interessato dal rifacimento del tombotto e dalla realizzazione di una nuova sezione di muro:

MUNICIPIO ATTUALE

LIVELLO	PROFONDITÀ	LITOLOGIA	INTERPRETAZIONE GEOLOGICA
R	Dal p.c. a 7,00 m circa	Riporto grossolano	Terreno rimaneggiato
A	Da 7,00 m a 10,00 m circa	Frammenti rocciosi in matrice eterogenea	Regolite
B	Da 10,00 m a 20,00 m circa	Roccia disgregata	Argillite di Riva di Solto

TRATTO DELLA NUOVA PARATIA

LIVELLO	PROFONDITÀ	LITOLOGIA	INTERPRETAZIONE GEOLOGICA
R	Dal p.c. a 2,00 m circa	Riporto grossolano	Terreno rimaneggiato
A	Da 2,00 m a 7,40 m circa	Frammenti rocciosi in matrice eterogenea	Regolite
B	Da 7,40 m a 20,00 m circa	Roccia disgregata	Argillite di Riva di Solto

PENDIO LATO EST SCUOLA

LIVELLO	PROFONDITÀ	LITOLOGIA	INTERPRETAZIONE GEOLOGICA
S	Dal p.c. a 3,00 m circa	Fini massivi con clasti sparsi, diamicton	Coltre di alterazione e/o detritica superficiale
A+B	Da 3,00 m a 10,00 m circa	Frammenti rocciosi in matrice eterogenea, roccia disgregata	Regolite e roccia Argillite di Riva di Solto

Gli spessori dei livelli riconosciuti sono indicativi e possono essere soggetti a variazioni laterali anche discretamente significative.

4.2 Parametrizzazione geomeccanica

A partire dagli esiti ottenuti dall'indagine geognostica eseguita in sito e sulla base della modellazione geologica e sismo-stratigrafica indicata nei capitoli recedenti, è possibile procedere alla caratterizzazione e modellazione geotecnica (par 6.2.2 delle NTC 2018) del volume di terreno significativo. I valori caratteristici sono stati ricavati con metodi geostatistici, calibrati anche in base alle condizioni specifiche del sito, a valori di letteratura ed all'esperienza dello scrivente.

PARAMETRI CARATTERISTICI

ZONA MUNICIPIO

IN CONDIZIONI DI RESISTENZE COMPENSATE

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO ELASTICO
Livello R Riporto 0 – 7 m	16,00 kN/m³	18,55 kN/m³	22°-23°	-	15199,17 kN/m²
Livello A Regolite 7 – 10 m	19,44 kN/m³	20,00 kN/m³	29°-30°	-	44065,89 kN/m²
Livello B Roccia debole 10 – 20 m	22,00 kN/m³	22,50 kN/m³	32°-35°	-	55349,01 kN/m²

IN CONDIZIONI DI RESISTENZE NON COMPENSATE

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO ELASTICO
Livello R Riporto 0 – 7 m	15,83 kN/m³	18,33 kN/m³	21°-22°	-	11459,59 kN/m²
Livello A Regolite 7 – 10 m	18,35 kN/m³	18,61 kN/m³	27°-28°	-	41566,80 kN/m²
Livello B Roccia debole 10 – 20 m	21,00 kN/m³	21,50 kN/m³	30°-32°	-	47356,87 kN/m²

DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI
via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (Bg)
e_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

PARAMETRI CARATTERISTICI

ZONA NUOVA PARATIA BERLINESE

IN CONDIZIONI DI RESISTENZE COMPENSATE

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO ELASTICO
Livello R Riporto 0 – 2 m	16,00 kN/m^3	18,50 kN/m^3	22°-23°	-	15000 kN/m^2
Livello A Regolite 2 – 7,4 m	20,78 kN/m^3	21,17 kN/m^3	29°-30°	-	40955,28 kN/m^2
ivello B Roccia debole 7,4 – 20 m	22,00 kN/m^3	22,50 kN/m^3	32°-35°	-	60000 kN/m^2

IN CONDIZIONI DI RESISTENZE NON COMPENSATE

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO ELASTICO
Livello R Riporto 0 – 2 m	15,50 kN/m^3	18,00 kN/m^3	21°-22°	-	10000 kN/m^2
Livello A Regolite 2 – 7,4 m	18,64 kN/m^3	19,87 kN/m^3	27°-28°	-	26598,97 kN/m^2
Livello B Roccia debole 7,4 – 20 m	21,00 kN/m^3	21,50 kN/m^3	30°-32°	-	50000 kN/m^2

DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI
via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (Bg)
e_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

PARAMETRI CARATTERISTICI
PENDIO LATO EST SCUOLA

IN CONDIZIONI DI RESISTENZE COMPENSATE

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO ELASTICO
Livello S Coltre superficiale 0 – 3 m	17,00 kN/m^3	18,00 kN/m^3	26°	-	6000 kN/m^2
Livello A Regolite	Stessi parametri del corrispondente livello della zona paratia				
Livello B Roccia debole	Stessi parametri del corrispondente livello della zona paratia				

IN CONDIZIONI DI RESISTENZE NON COMPENSATE

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO ELASTICO
Livello R Riporto 0 – 3 m	16,00 kN/m^3	17,00 kN/m^3	21°-22°	-	4000 kN/m^2
Livello A Regolite	Stessi parametri del corrispondente livello della zona paratia				
Livello B Roccia debole	Stessi parametri del corrispondente livello della zona paratia				

DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI
via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (Bg)
e_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

In tutte le tabelle, i parametri riportati in rosso sono stati stimati sulla scorta dell'esperienza dello scrivente o da correlazioni note in letteratura, in modo cautelativo, anche per via della scarsa applicabilità delle correlazioni SPT alla situazione specifica.

Si rammenta che relativamente alla determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, secondo quanto stabilito dalle istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) riguardanti le NTC, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (es. fondazioni superficiali e frane); nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (es. terreno alla base di un palo e verifica a scorrimento di un muro) appare giustificato l'utilizzo dei valori caratteristici prossimi ai valori minimi.
Si precisa altresì che i valori caratteristici dei parametri geotecnici indicati sono da intendersi come una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato (criterio prudenziale); tuttavia, pur potendo ragionevolmente essere estesi all'intero sito di progetto, occorre precisare che significative variazioni litologiche verticali o laterali impreviste dei terreni potrebbero alterarli in modo anche significativo.

5. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

5.1 Generalità

L'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 ha classificato l'intero territorio nazionale dal punto di vista sismico.

In seguito a delibera della Giunta regionale (10 ottobre 2014 – n. X/2129) è entrata in vigore l'attuale classificazione sismica del territorio, la quale ha attribuito al comune di Endine Gaiano la zona sismica 3.

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	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 3 - Accelerazioni orizzontali in funzione della zona sismica

Con la pubblicazione del D.M. 14 gennaio 2008 si definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 ("Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale"); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica ("criterio zona dipendente"), ma definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo ag sia di forma dello spettro di risposta ("criterio sito dipendente").

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una "pericolosità sismica di base" in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La suesposta metodologia viene confermata anche nelle N.T.C. 2018, laddove la pericolosità sismica di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta (F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, TC* – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (reticolo di riferimento) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la risposta sismica locale.

I valori dei parametri a_g, F_0 e TC* sono consultabili sul sito: http://esse1.mi.ingv.it/.

5.2 Indagine geofisica

È stata eseguita un'indagine geofisica con l'obiettivo di ricavare, per il sito in esame, il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla v_{S30} (N.T.C. 2018). A tal fine è stata eseguita una campagna di indagine sismica comprendente n. 2 sismiche passive a stazione singola con tecnica H/V. Nella figura seguente viene evidenziata l'ubicazione delle indagini eseguite.

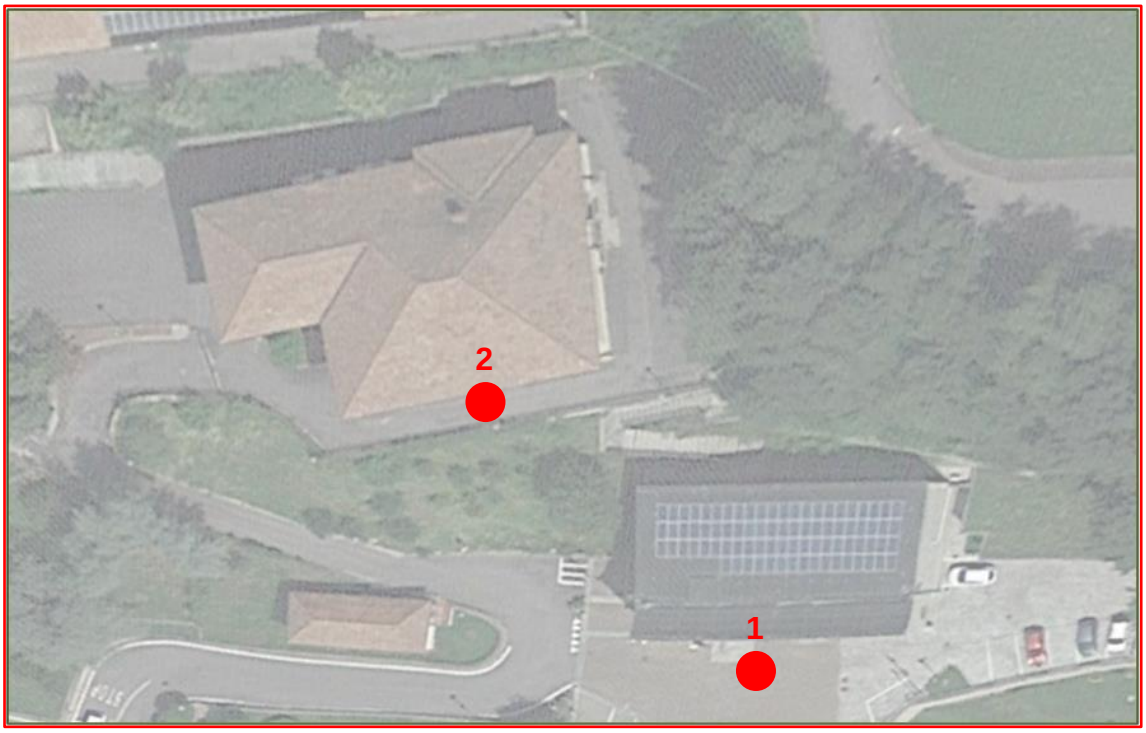


Figura 11 – Ubicazione delle indagini geofisiche eseguite

5.2.1 Tecnica H/V

Cenni metodologici

La tecnica H/V, appartenente alla sismica passiva, nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basata sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità.

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice. Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti

di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia. Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

$$f_r = \frac{V_s}{4H}$$

dove Vs indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e H lo spessore dello strato che risuona alla frequenza f_r. Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V, possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.

Frequenze di vibrazione e doppia risonanza

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni differenti. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il fenomeno della doppia risonanza. Le ampiezze di oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti.

La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche, come quelle proposte nelle NTC08, oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.

Acquisizione dati

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica H/V in oggetto si è utilizzato il tromometro digitale Tromino 3G prodotto dalla Moho s.r.l., dotato di tre canali velocimetrici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, due livelli di amplificazione (saturazione ±1.2 mm/s in banda) e frequenze di campionamento 128, 256, 512, 1024 Hz su tutti i canali.

Le misure vengono eseguite posizionando lo strumento al suolo, avendo cura della sua messa in bolla, e successivamente registrando per alcuni minuti.

Elaborazione ed interpretazione dei risultati

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., eseguendo su ciascuna tromografia le seguenti operazioni.

- Analisi della traccia. La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V. Tali curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.
- Modellazione. L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un minimo locale della componente spettrale verticale.

5.2.2 Indagine H/V

MISURA 1

Frequenza di campionamento	128 Hz	***Condizioni meteorologiche***	Sereno
Data registrazione	20/04/2022	***Lunghezza finestre***	20 s
Terreno di misura	Suolo	***Tipo di lisciamento***	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	***Lisciamento***	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	***Durata della registrazione***	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sondaggio		

Analisi della traccia

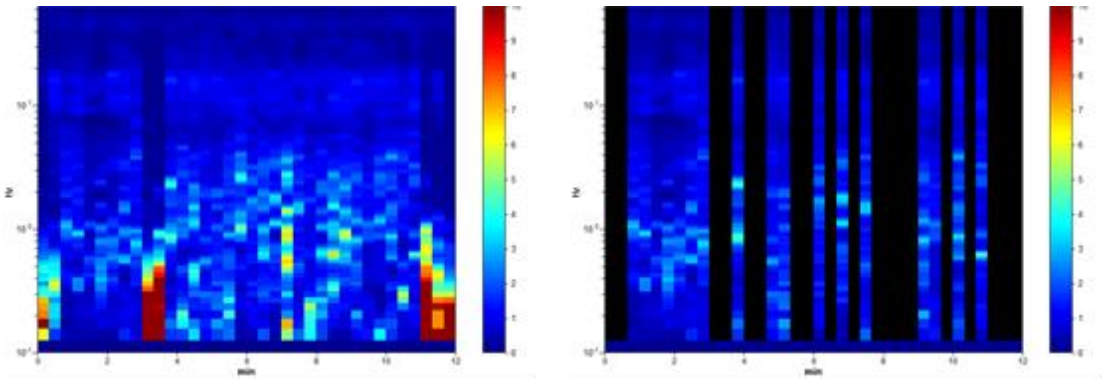


Figura 12 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

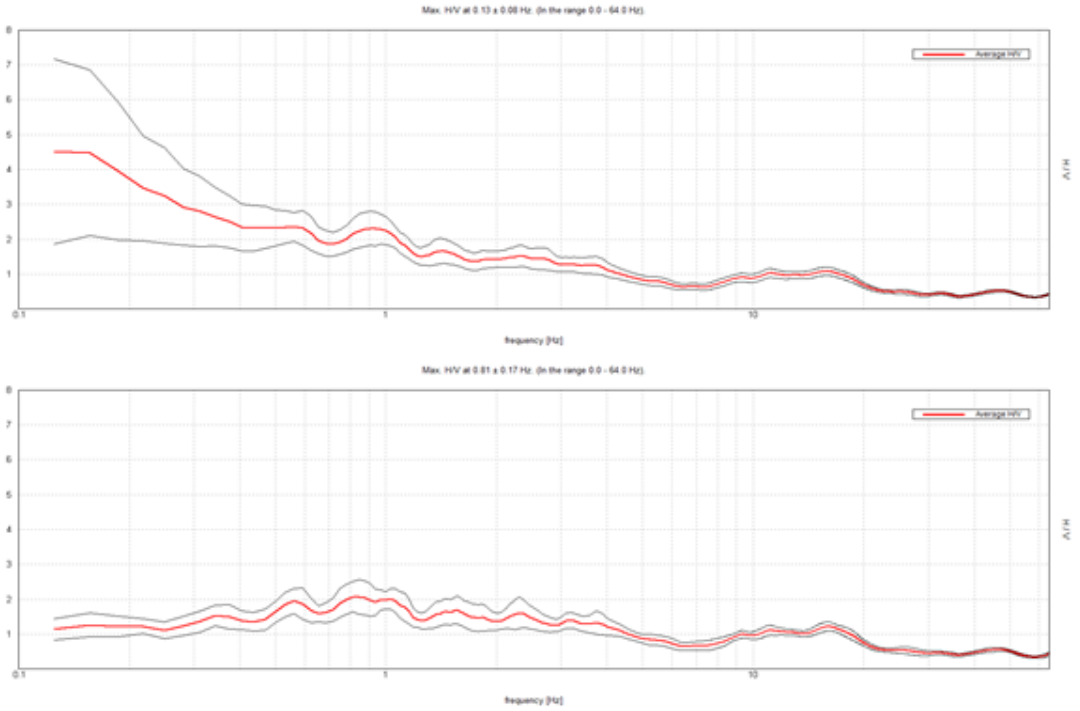


Figura 13 – Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

MISURA 2

Frequenza di campionamento	128 Hz	***Condizioni meteorologiche***	Sereno
Data registrazione	20/04/2022	***Lunghezza finestre***	20 s
Terreno di misura	Suolo	***Tipo di lisciamento***	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	***Lisciamento***	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	***Durata della registrazione***	12' 00"
Vincolo stratigrafico	Sondaggio		

Analisi della traccia

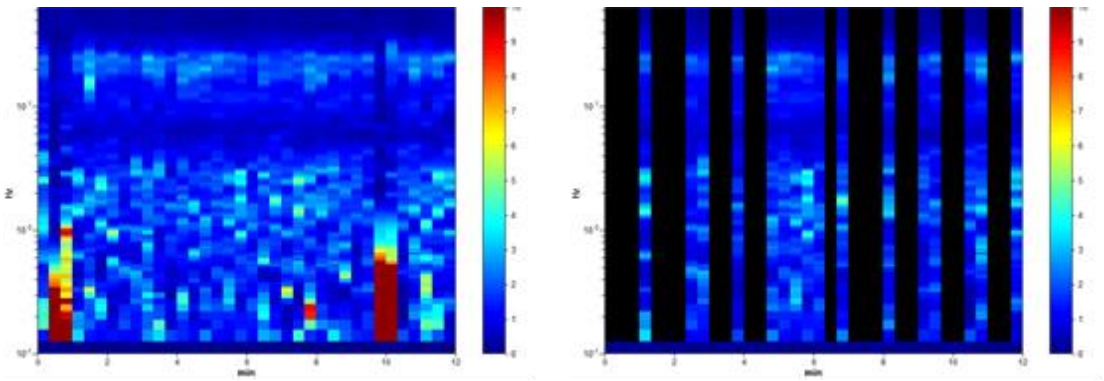


Figura 14 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

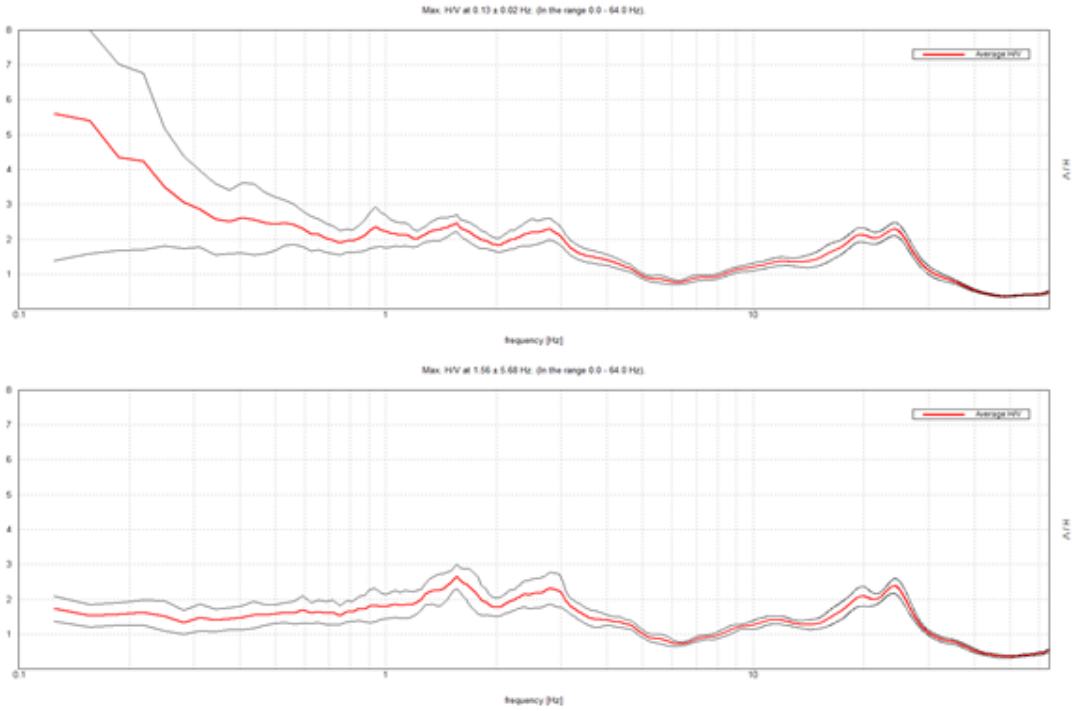


Figura 15 – Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

5.2.3 Risultati

Le misure risultano discretamente correlabili lateralmente e non evidenziano significative inversioni di velocità. I vincoli stratigrafici sono costituiti da stratigrafie sito specifiche e quindi di buona affidabilità. Per la modellazione del profilo sismostratigrafico è stata utilizzata la misura 3 poiché migliore in termini di pulizia del segnale. Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 24,2 Hz, 19,7 Hz, 11,2 Hz, 9,0 Hz, 4,0 Hz, 2,8 Hz e 1,5 Hz. Sulla base dei valori di Vs ottenuti è stata determinata una Vseq pari a 403 m/s. Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un riflettore superficiale piuttosto soffice (Vs ≈ 194 m/s) al quale segue il substrato argillitico fortemente alterato nella parte superficiale. Il bedrock sismico (875 m/s) si trova a circa 60 m da p.c.

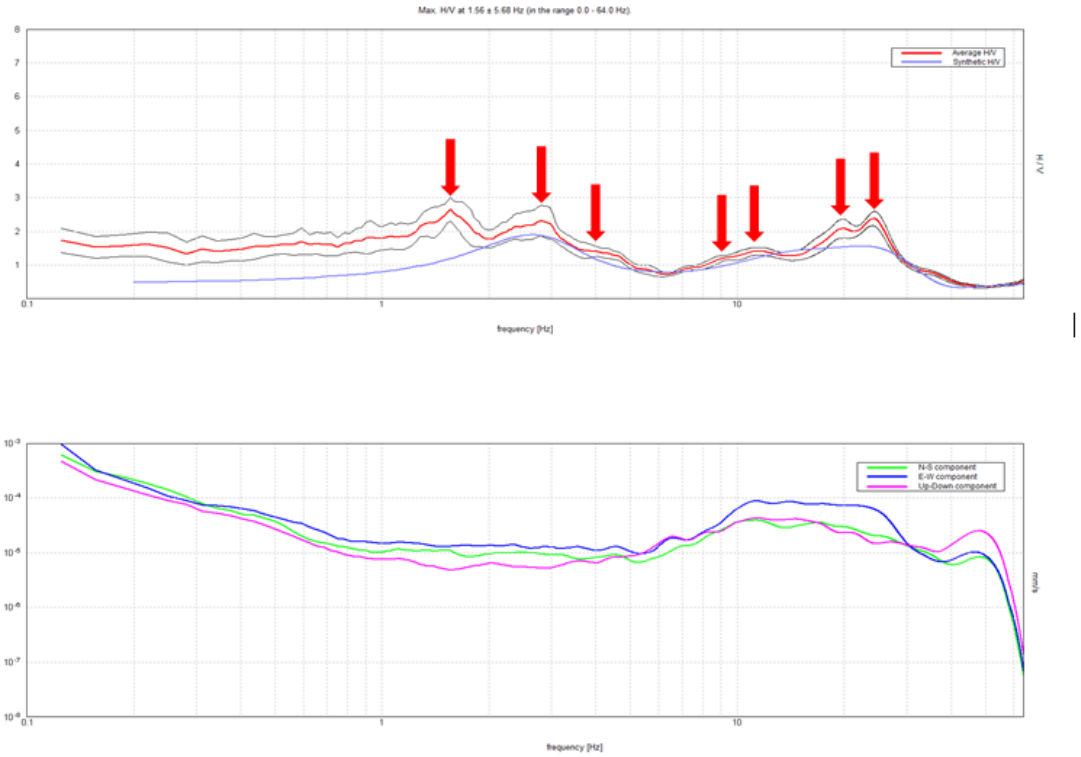


Figura 16 – Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica.

Di seguito sono riassunti il profilo verticale delle Vs edil modello sismo stratigrafico del sito.

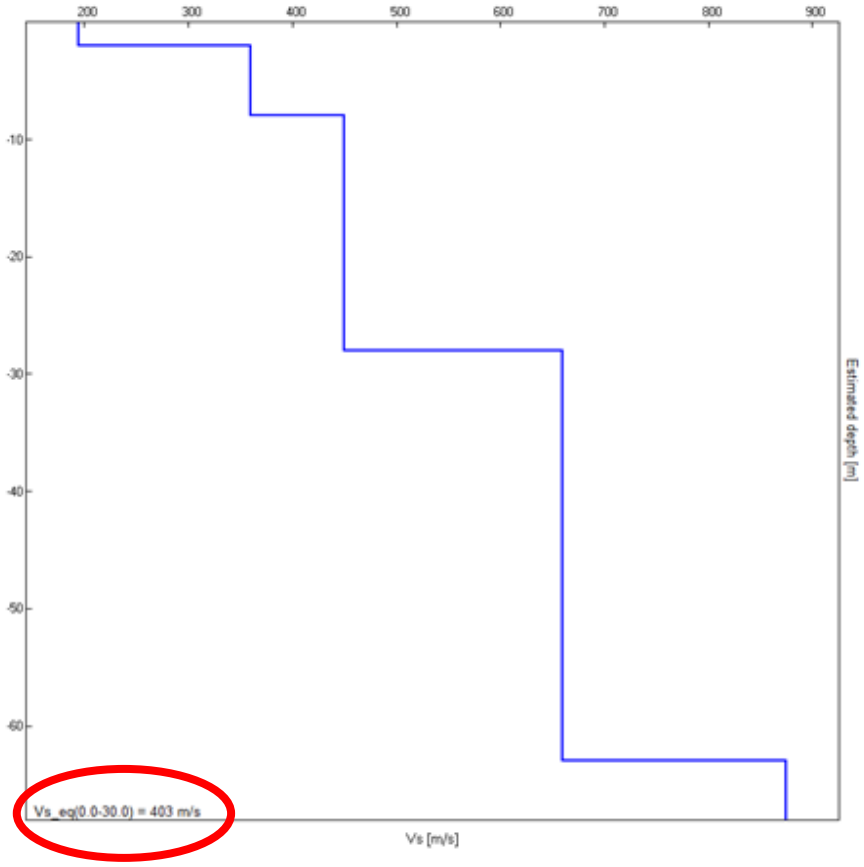


Figura 17 – Andamento della Vs con la profondità

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2	2	194
8	6	360
28	20	450
63	35	660
∞	∞	875

È bene ricordare, infine, che le procedure di misura impiegate per l'indagine geofisica si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di intrinseche limitazioni. L'indagine, infatti, è basata sull'applicazione di conoscenze e di leggi scientifiche ufficialmente riconosciute ma anche su calcoli e valutazioni professionali circa fenomeni suscettibili di interpretazione. Inoltre, qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di Vs ricavati con queste tecniche, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro. Per questi motivi la presente indagine geofisica non può e non deve sostituire una appropriata campagna di esplorazione diretta.

5.3 Analisi di risposta sismica locale

5.3.1 Carta della Pericolosità Sismica Locale

Secondo la Carta della Pericolosità Sismica Locale del P.G.T., l'area di intervento è compresa parzialmente entro un ambito di amplificazione litologica Z4c. Pertanto, è necessario eseguire l'approfondimento relativo all'amplificazione secondo quanto previsto dalle normative regionali in materia di costruzioni in zona sismica (D.G.R. 2616/2011; L.R. 33/2015; D.G.R. 5001/2016).

5.2.2 Amplificazione stratigrafica e analisi di 2° livello

La valutazione eseguita secondo i criteri regionali ha fornito i seguenti risultati:

- scheda litologica: limoso sabbiosa tipo 2;
- curva (profondità - Vs strato superficiale): n. 2;
- periodo proprio del sito T = 0,46 s;
- Fa (0,1 - 0,5) = 2,07;
- Fa (0,5 - 1,5) = 1,44.

Vs_{eq}	Intervallo	Valori Soglia			
		B	C	D	E
403 m/s (categoria B)	0,1 - 0,5	1,4	1,9	2,2	2,0
	0,5 - 1,5	1,7	2,4	4,2	3,1

I fattori di amplificazione ottenuti, considerando una variabilità di + 0,1 che tiene in conto l'incertezza di tali risultati, risultano superiori al valore soglia. Pertanto, la normativa è da considerarsi insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo due volte superiore rispetto a quella derivante dalla campagna geognostica (B), che nel caso in esame corrisponde dunque alla D.

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

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

Figura 18 – Categoria di suolo da utilizzare ai fini progettuali

5.2.3 Amplificazione topografica ed effetto di instabilità

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella seguente.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

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

Figura 19 – Categoria topografica e relativo valore di S_T

Visto che l'intervento di progetto è posta in zona acclive, viene assegnato un valore di S_T pari a 1,20.

5.2.4 Parametri sismici sito-specifici

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) prevedono l'assegnazione dei valori necessari per la determinazione delle azioni sismiche in ogni sito considerato, in particolare:

- a_g = accelerazione massima orizzontale del sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in acc. orizzontale;
- Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. orizzontale.

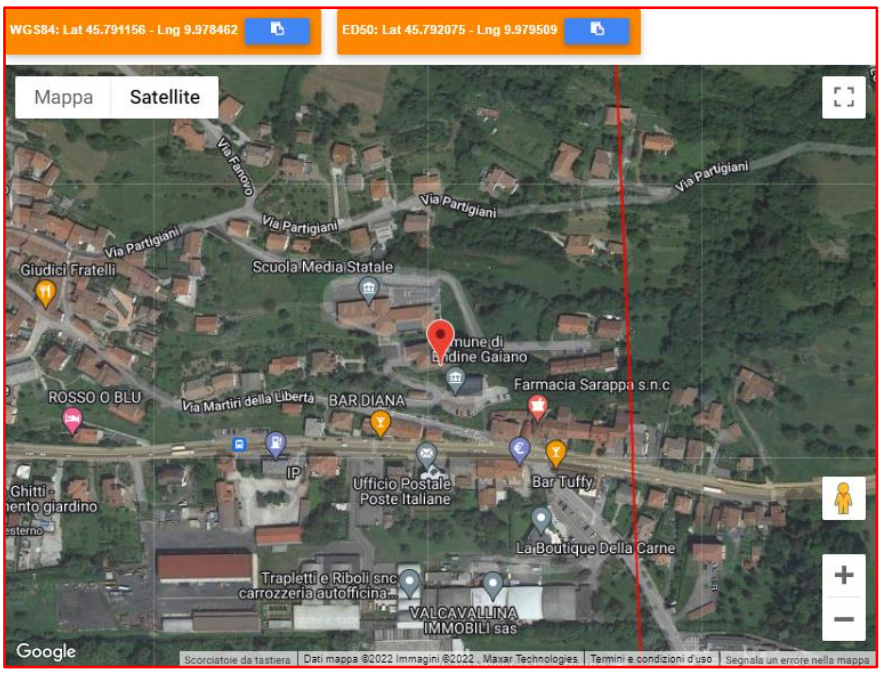


Figura 20 – Localizzazione sismica del sito

Stati limite

Classe Edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Nominale 50

Interpolazione Superficie rigata

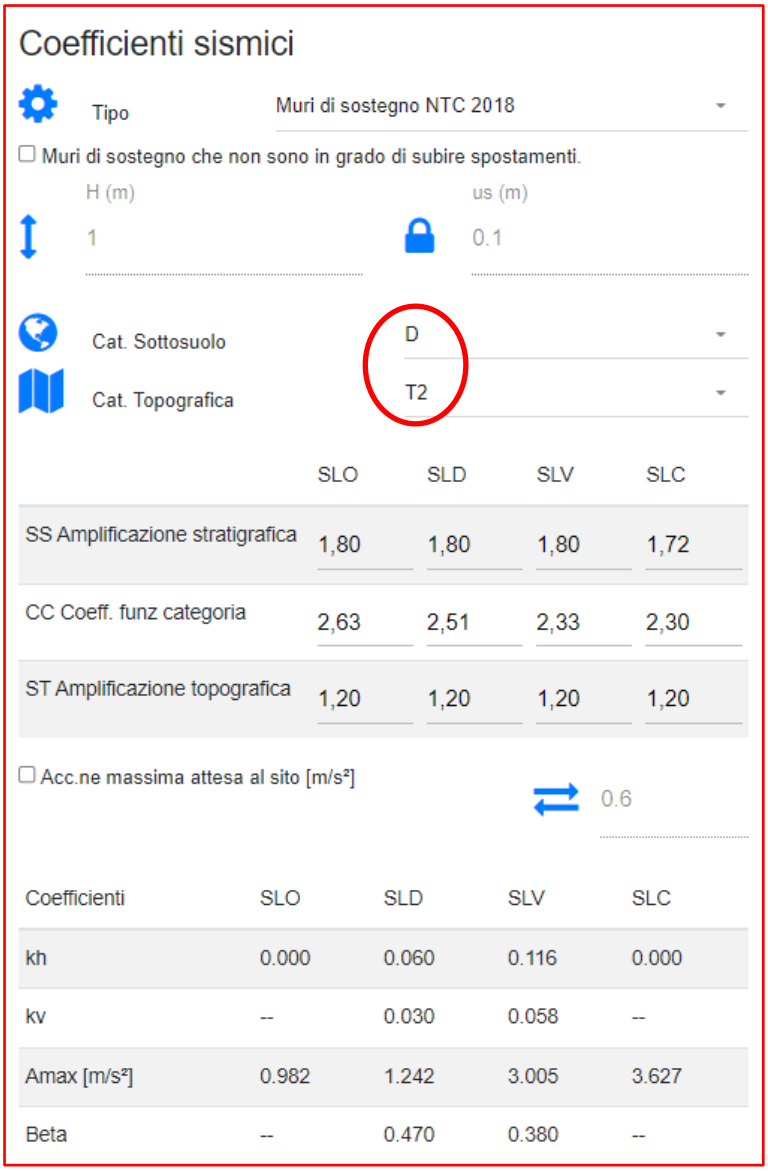
CU = 2

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	60	0.046	2.456	0.225
Danno (SLD)	101	0.059	2.468	0.249
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.142	2.486	0.287
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.179	2.515	0.297
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

Figura 21 – Determinazione dello stato limite ag, F0 e TC* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento (www.geostru.it)

5.2.5 Inerzia del terreno (kh, kv) sito-specifica

Considerato che la categoria di suolo è la D e che il coefficiente di amplificazione topografica S_T è uguale a 1,2, applicando le formule delle N.T.C. 2018, si trova:



Coefficienti sismici

Tipo: Muri di sostegno NTC 2018

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 — us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: D

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	1,72
CC Coeff. funz categoria	2,63	2,51	2,33	2,30
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.060	0.116	0.000
kv	--	0.030	0.058	--
Amax [m/s²]	0.982	1.242	3.005	3.627
Beta	--	0.470	0.380	--

Figura 22 – Coefficienti sismici (www.geostru.it) per muri di sostegno

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: D

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	1,72
CC Coeff. funz categoria	2,63	2,51	2,33	2,30
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.020	0.025	0.074	0.089
kv	0.010	0.013	0.037	0.044
Amax [m/s²]	0.982	1.242	3.005	3.627
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Figura 23 – Coefficienti sismici (www.geostru.it) per stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti sismici

Tipo: Paratie NTC 2018

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 — us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: D

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	1,72
CC Coeff. funz categoria	2,63	2,51	2,33	2,30
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.052	0.066	0.159	0.192
kv	--	--	--	--
Amax [m/s²]	0.982	1.242	3.005	3.627
Beta	0.520	0.520	0.520	0.520

Figura 24 – Coefficienti sismici (www.geostru.it) per paratie

5.2.6 Verifica a liquefazione

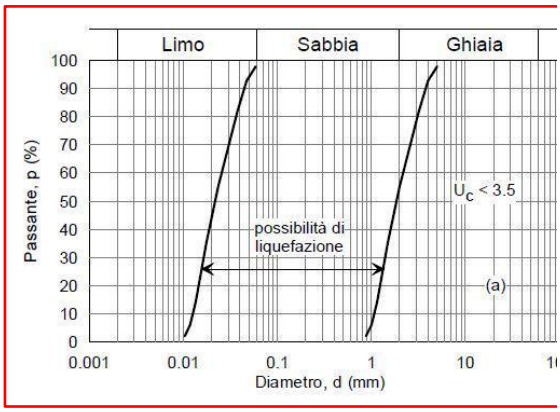
Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

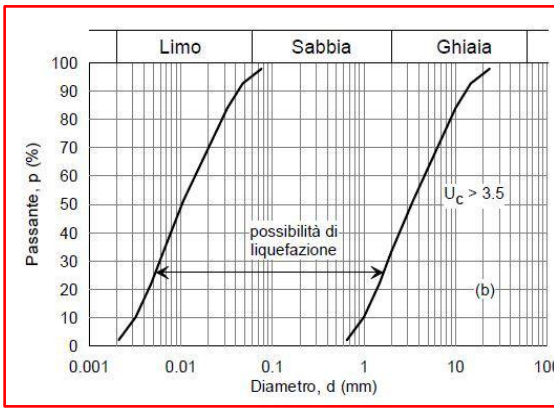
Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi

di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$> 30 oppure q_{c1N}> 180 dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura successiva, con riferimento al valore del coefficiente di uniformità Uc.





In questo caso, viste l'assenza di falda e la presenza di substrato roccioso, non vi sono le condizioni granulometriche né idrogeologiche affinché si verifichi la liquefazione.

6. VERIFICA IDRAULICA DELLA VALLETTA

È stata eseguita la verifica idraulica della valletta tombottata, considerando la sezione di chiusura in corrispondenza del piazzale dell'ex municipio, al fine di verificare la massima piena attesa con tempo di ritorno 100 anni, come da stralcio cartografico seguente.

Si premette che la verifica eseguita è di tipo speditivo; lo scrivente rimane a disposizione per eventuali approfondimenti o per l'esecuzione di verifiche con metodologie più accurate. Inoltre, la verifica non è stata eseguita considerando l'intero sviluppo della valletta sul versante a monte dell'abitato, ma esclusivamente le acque decadenti dalla zona compresa tra Via Partigiani e Via Donatori di Sangue; questo approccio è motivato dal fatto che non si è in presenza di un reticolo naturale classico, ma di una tubazione che recepisce in prevalenza acque di sorgive locali e acque di sgrondo degli edifici e dei piani stradali.

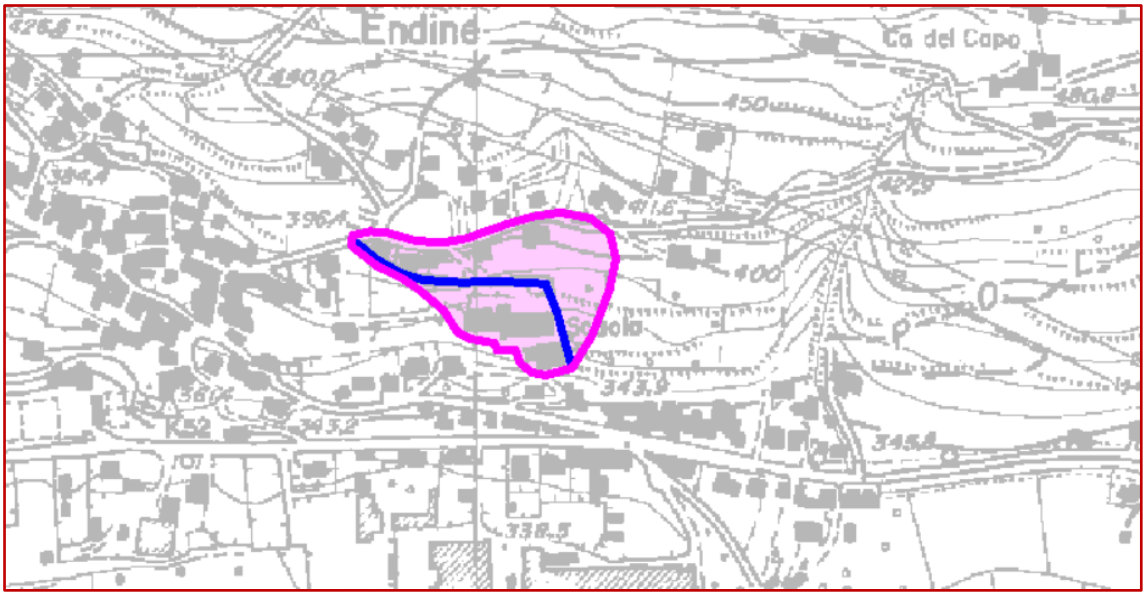


Figura 25 – Tratto di reticolo e bacino considerati per la verifica

Per stimare la portata al colmo in corrispondenza della sezione di riferimento del bacino idrografico è stata applicata la formula razionale (modello afflussi-deflussi).

DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI
via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (Bg)
e_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

Formula Razionale (Modello afflussi-deflussi)

La formula razionale è una delle più utilizzate ed affidabili; considera diversi parametri ed uno ietogramma ad intensità costante. La formula esprime la portata al colmo di piena come prodotto tra l'intensità di precipitazione di assegnata durata, il coefficiente di deflusso, la superficie del bacino ed il tempo di corrivazione.

Il metodo razionale è definito dalla nota espressione:

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_{(t)} S}{T_c}$$

dove:

Qc = portata al colmo (m^3/s)

c = coefficiente di deflusso (-)

h(t) = massima precipitazione in mm al tempo di riferimento

S = superficie del bacino (km^2)

Tc = tempo di corrivazione

Sulla base delle caratteristiche litologiche e dell'assetto vegetazionale, è stata ritenuta congrua l'attribuzione di un coefficiente di deflusso (c) pari a 0,30, essendo collocato prevalentemente in bosco.

L'intensità di pioggia (i) è definita dal rapporto tra la quantità di acqua caduta nel bacino in rapporto al tempo di corrivazione "t_c" determinato con la seguente relazione (Giandotti):

$$t_c = (4\sqrt{A} + 1{,}5L) / 0{,}8\sqrt{H_m - H_o}$$

dove:

L = massima lunghezza del reticolo drenante

Hm = quota media del bacino

Ho = quota minima del bacino

A = superficie del bacino(km^2)

Ognuno dei bacini analizzati ha un proprio tempo di corrivazione.

L'altezza di pioggia attesa (mm) è funzione del tempo di ritorno previsto pari a 100 anni.

$$h = a \cdot \theta^n$$

DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI
via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (Bg)
e_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

dove θ è il tempo di progetto, la durata della pioggia in ore.

Sulla base dei valori riportati nell'Allegato 3 – *Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense* delle Norme di Attuazione del P.A.I., al bacino in esame vengono associati i seguenti parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (validi per tutti i bacini analizzati, visto che la cella di riferimento rimane sempre la stessa):

Cella	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
EH65	52,54	0,319	66,72	0,316	72,81	0,315	80,76	0,314

Area del bacino: circa 0,018 km^2

Quota sezione di chiusura: 365 m s.l.m. circa

Altezza media del bacino: 388,56 m s.l.m.

Curva di probabilità pluviometrica: cella EH65

Portata di massima piena con T_R = 100 anni: 0,450 m^3/s

(secondo la formula razionale)

STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I.
"Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione :

Punto di sezione :

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO			DATI RISULTANTI
S	0,018	[Km²] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione
L	0,249	[Km] Lunghezza asta principale	[ore]
Hm	388,56	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{(Hm - Ho)}}$ ⟹ **0,23**
Ho	365,00	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA

Curva di probabilità pluviometrica

$$h_{(t)} = at^n$$

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione
a = fattore della curva relativo ad un determitato Tr
n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr
Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE
(Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
EH65			52,54	0,32	66,72	0,32	72,81	0,32	80,76	0,31

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr		h(t)
20	⟹	33,08
100	⟹	42,18
200	⟹	46,10
500	⟹	51,21

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] **0,23**
Tr = tempo di ritorno

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278\frac{ch_{(t)}S}{T_c}$$

dove
Q_c portata al colmo
c ⟹ **0,5** coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$ massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S ⟹ **0,018** [Km²] Superficie Bacino
T_c ⟹ **0,23** [ore] Tempo di corrivazione

Tempo di ritorno (anni)		Portate al colmo = Q_c [mc/sec]
20	⟹	0,353
100	⟹	0,450
200	⟹	0,492
500	⟹	0,547

La portata ottenuta è pari a 0,450 m³/s, per un tempo di ritorno pari a 100 anni. Per un tempo di 20 anni, si colloca su valori inferiori (0,353 m³/s circa).

Verificando un tombotto circolare di diametro 80 cm, posto un coefficiente di scabrosità di Kutter pari a 0,15, si ottiene una capacità di smaltimento per 50 cm di altezza dell'acqua pari a circa 1,692 m³/s, quindi sufficiente anche per tempi di ritorno superiori (fino a 500

anni). La pendenza ipotizzata per la simulazione è peraltro piuttosto bassa, pari appena al 2%.

Con riferimento alle valutazioni idrauliche proposte, si precisa che si tratta di semplici stime basate su dati bibliografici. Pertanto, dopo la realizzazione dell'opera sarà necessario procedere con un periodo di monitoraggio del corretto funzionamento del sistema.

7. INDICAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE

Sulla scorta del modello geologico e geotecnico rilevato, è possibile fornire le seguenti indicazioni operative, di cui si deve tener conto durante l'esecuzione degli interventi di progetto:

- gli scavi devono essere eseguiti adottando tutti gli accorgimenti necessari per preservare la sicurezza dei fronti, dei manufatti e delle maestranze; i lavori devono essere sospesi in condizioni meteorologiche avverse; è necessario evitare di lasciare esposte le pareti di scavo all'azione degli agenti meteorici (posa di teli impermeabili) e mantenere carichi accidentali (camion, gru, attrezzature, stoccaggio di materiali) lontano dai cigli;
- strade, accessi e parcheggi dovranno essere chiusi durante le fasi più critiche dei lavori, con particolare ma non esclusivo riferimento alla realizzazione degli scavi per il tombotto ed alla formazione della paratia berlinese;
- gli scavi devono essere sospesi in caso di condizioni meteo avverse o nell'imminenza di fenomeni meteorologici potenzialmente pericolosi (anche a seguito dell'emanazione di allertamenti di Protezione Civile);
- è necessario prestare la massima attenzione a preservare l'integrità delle strutture adiacenti, quali muri di sostegno preesistenti, manufatti tecnici, sottoservizi, piazzali ed edifici;
- si raccomanda di ammorsare le fondazioni in roccia, laddove consentito dalla qualità dell'ammasso, con apposti spinotti ancorati con resine epossidiche;
- tutti gli elementi di raccolta e convogliamento delle acque dovranno essere perfettamente integri, e si dovrà prestare attenzione, durante le fasi di cantiere, a non danneggiarli accidentalmente;
- si dovrà prestare la massima attenzione al mantenimento delle condizioni ambientali, evitando con particolare attenzione sversamenti accidentali di sostanze chimiche, carburanti o lubrificanti.

Mozzo, Maggio 2022

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
ALESSANDRO CHIODELLI
geologo specialista
Albo n. 1361 AP
sezione A

DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI
via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (Bg)
e_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

FOTOGRAFIE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI

Figura 26 – Sondaggio **S1**, cassetta 1 (0-5 m)

Figura 27 – Sondaggio **S1**, cassetta 2 (5-10 m)

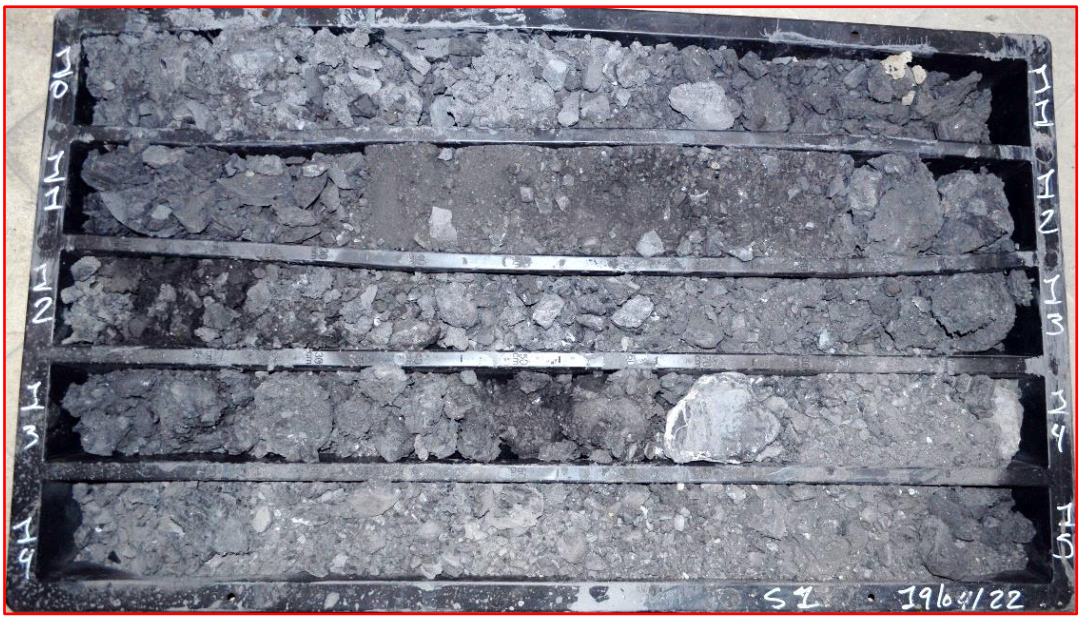


Figura 28 – Sondaggio **S1**, cassetta 3 (10-15 m)

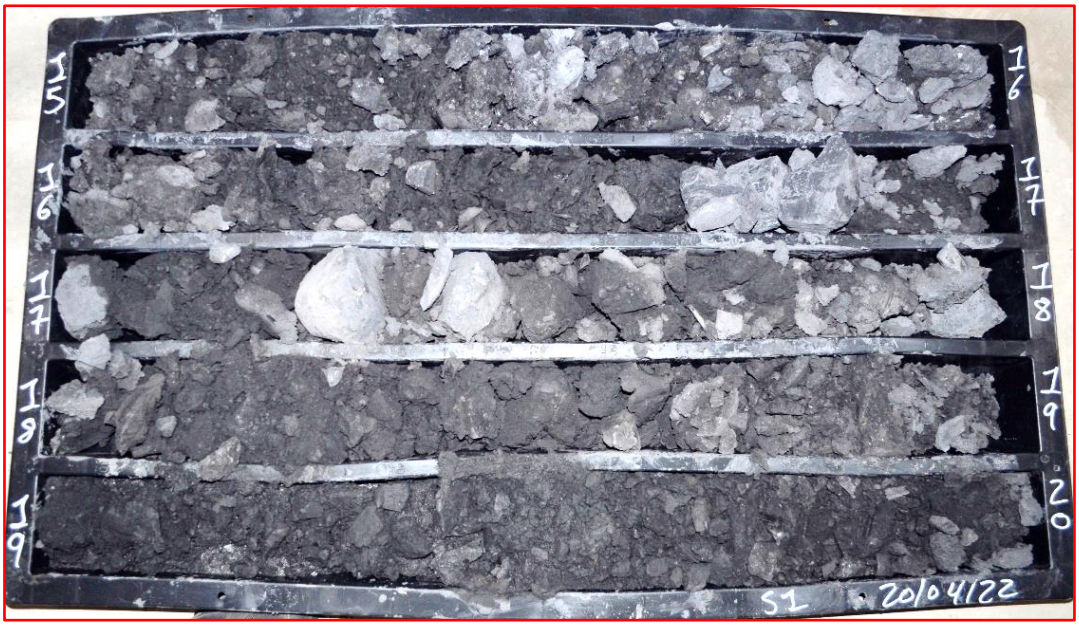


Figura 29 – Sondaggio **S1**, cassetta 4 (15-20 m)

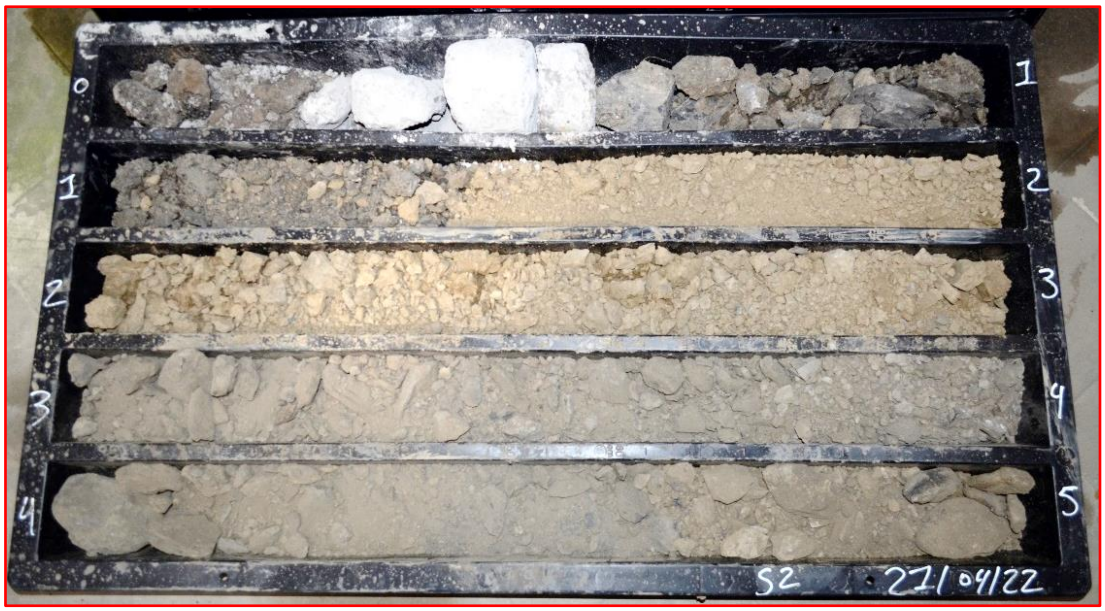


Figura 30 – Sondaggio **S2**, cassetta 1 (0-5 m)

Figura 31 – Sondaggio **S2**, cassetta 2 (5-10 m)

Figura 32 – Sondaggio **S2**, cassetta 3 (10-15 m)

Figura 33 – Sondaggio **S2**, cassetta 4 (15-20 m)

Figura 34 – Sondaggio **S3**, cassetta 1 (0-5 m)

Figura 35 – Sondaggio **S3**, cassetta 2 (5-10 m)