

Regione Emilia-Romagna  
Accordo ai sensi dell'art.15 L241/90 – art.5 c.1  
PIANO DEGLI INTERVENTI

SCHEDA B2 CIMONE – POTENZIAMENTO  
E ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTI  
DI INNEVAMENTO E COSTRUZIONE  
O AUMENTO DELLA CAPACITÀ IDRICA DEGLI INVASI

## REALIZZAZIONE DI UN INVASO PER LO STOCCAGGIO IDRICO IN LOC. CIMONCINO FOSSO DEI MERCANTI



Proponente: Comune di Montecreto, anche per conto dei Comuni di Fanano, Riolunato, Sestola

## PROGETTO ESECUTIVO

Aprile 2022

---

# Elaborato A3 RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA SISMICA

---

Progettazione: **Studio Sargenti**



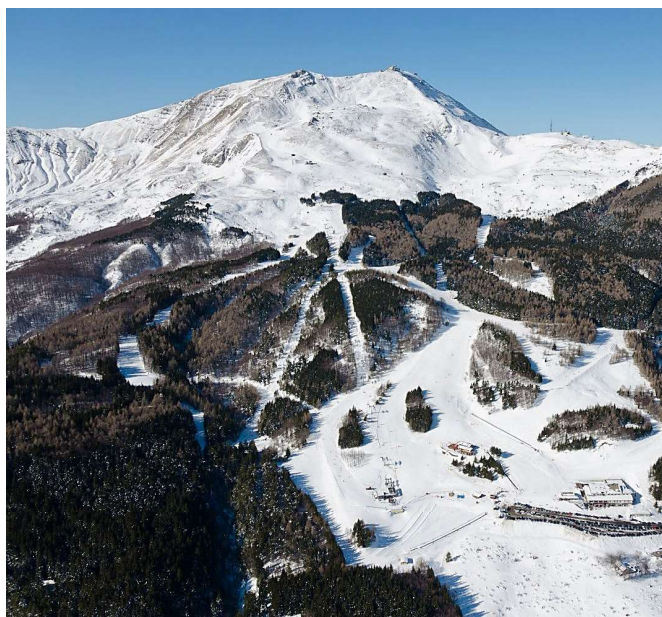
Ing. Elia Sargenti Geol. Daniele Sargenti  
con la collaborazione di Geol. Elisabetta Magnani

Direzione Lavori: Studio Sargenti – Geol. Daniele Sargenti

Fanano Sestola Vignola  
[www.studiosargenti.eu](http://www.studiosargenti.eu)  
[info@studiosargenti.eu](mailto:info@studiosargenti.eu) +39 3357245004

Regione Emilia-Romagna Accordo ai sensi dell'art.15 L241/90 – art.5 c.1

PIANO DEGLI INTERVENTI –SCHEDA B2 CIMONE: *POTENZIAMENTO E ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTI DI INNEVAMENTO E COSTRUZIONE O AUMENTO DELLA CAPACITÀ IDRICA DEGLI INVASI*



COMUNE DI FANANO PROVINCIA DI MODENA

## PROGETTO ESECUTIVO DI UN NUOVO PICCOLO INVASO “LAGO MERCANTI”

Proponente: Comune di Montecreto, anche per conto dei Comuni di Fanano  
Riolunato Sestola

Progettazione: Studio Sargenti – Fanano

### Elaborato A3 – RELAZIONE GEOLOGICA

### RELAZIONE SISMICA E GEOTECNICA

Marzo 2022

**Daniele Sargenti – Geologo**

con la collaborazione di Dott.ssa Geol. Elisabetta Magnani



**Studio Sargenti** [www.studiosargenti.eu](http://www.studiosargenti.eu) Geologia. Paesaggio. Ambiente. GIS. SIT.

Fanano Sestola Vignola MO **tel.** 3357245004 **e-mail** [info@studiosargenti.eu](mailto:info@studiosargenti.eu)

Software: MS Office 365 R2022 – GeoStru2022 – Qgis2022  
NanoCad5 – Adobe Acrobat Pro DC 2022

Copertura Assicurativa RCT Zürich 95NA0702

## 1 PREMESSA

La presente viene redatta per conto del Comune di Montecreto ed ha per oggetto la caratterizzazione geologica sismica e geotecnica dei terreni interessati dal **PROGETTO ESECUTIVO** per la realizzazione di un nuovo piccolo invaso "Lago Mercanti", in Comune di Fanano. All'elaborazione dei modelli di riferimento seguono verifiche della sicurezza e indicazioni di pertinenza per l'utilizzo dei materiali.

## 2 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

L'area oggetto di studio si trova all'interno del Comune di Fanano sul versante sinistro del Torrente Fellicarolo, in località Cimoncino.

Carta Tecnica Regionale:

- a) scala 1/25000 : TAVOLE 236 SO Sestola e 251 NO Fellicarolo
- b) scala 1/10000 : SEZIONI 236130 Roncoscaglia e 251010 Monte Cimone
- c) scala 1/5000 : ELEMENTO 236132

Bacino idrografico principale: Torrente Fellicarolo      Bacino idrografico secondario: Fosso dei Mercanti      Quota: 1412 m.s.m

## 3 RIFERIMENTO NORMATIVO

- Deliberazione della giunta regionale ER 476 del 2021
- Circolare Esplicativa con le Istruzioni alle Norme Tecniche per le Costruzioni – Consiglio Superiore dei LLPP – 21 gennaio 2019
- DM 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni"
- DM 26 giugno 2014 – Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)
- Deliberazione del Consiglio Provincia di Modena 82/2012
- PTCP Provincia di Modena 2009
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – istruzioni per l'applicazione delle norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14.01.2008. Circolare 2 febbraio 2009
- DM MIN 14.01.2008 – testo unitario – Norme tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997) – progettazione geotecnica – parte I: Regole Generali. UNI
- Eurocodice 7.2 (2002) – progettazione geotecnica – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Eurocodice 7.3 (2002) – progettazione geotecnica – parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI
- Delibera del Consiglio Regionale ER 3109/1990



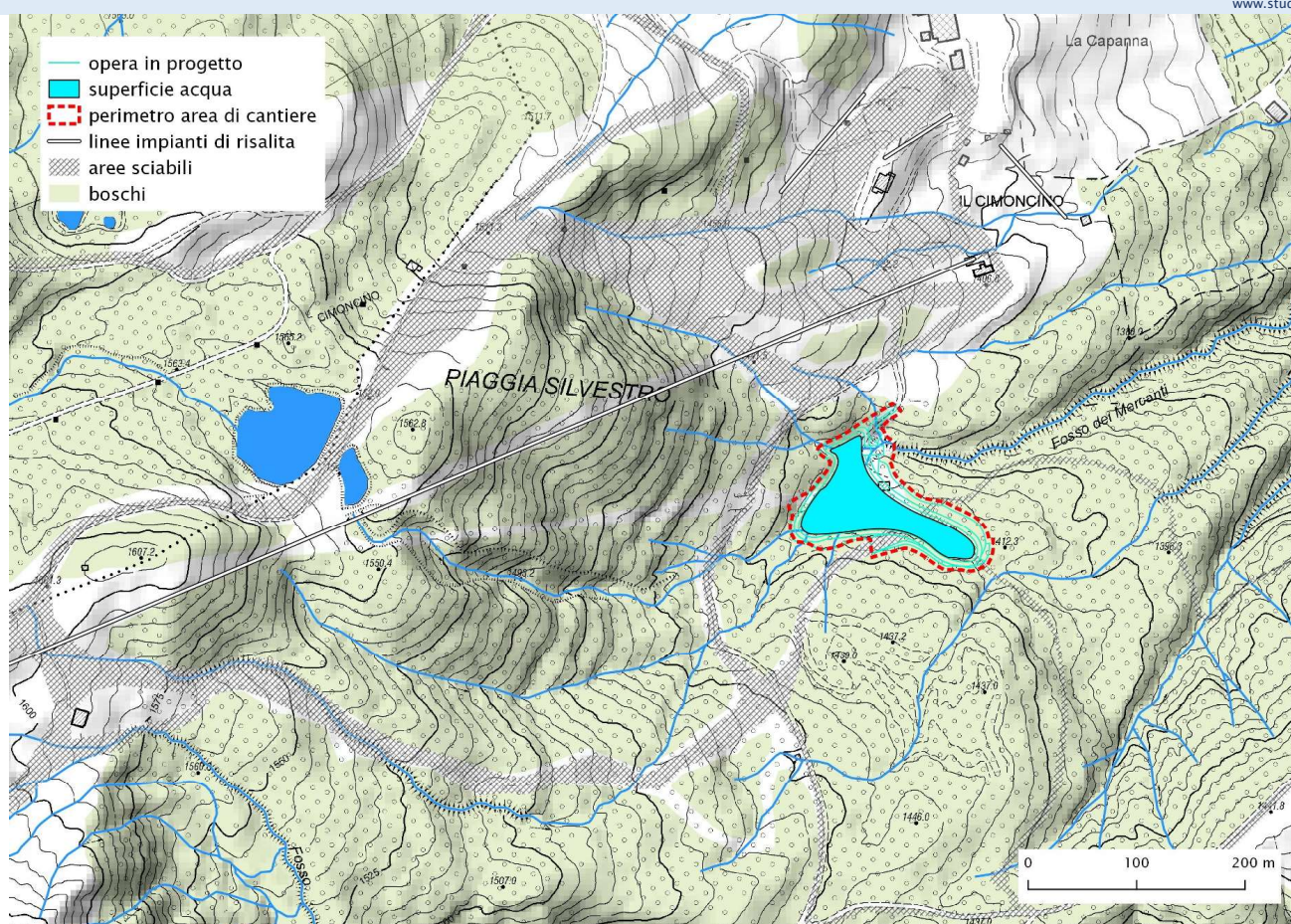


Figure 1 - Ubicazione area su CTR DTM 2013



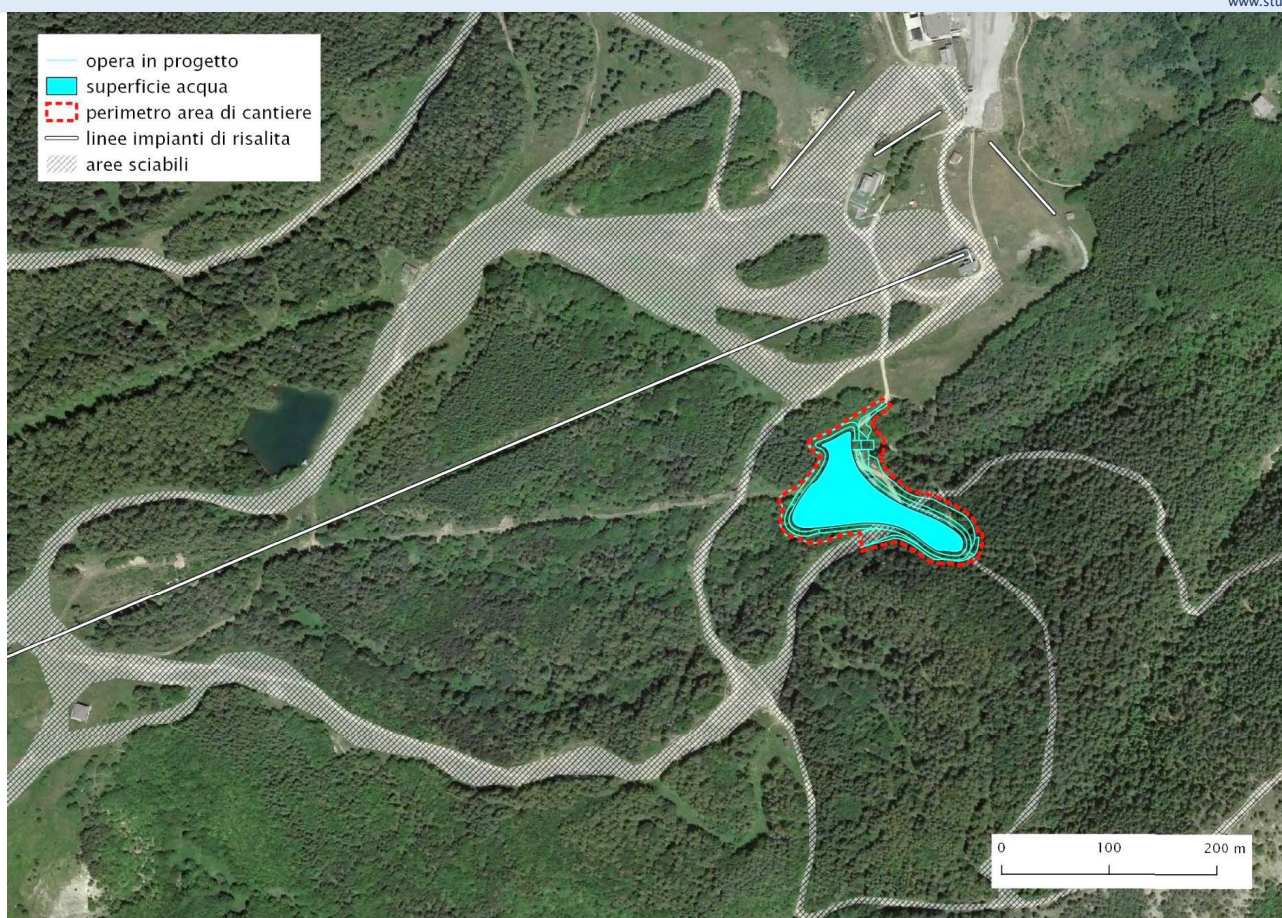


Figura 2 - Ubicazione area su GE 2019

#### 4 DATI di PROGETTO

L'invaso, di forma irregolare ottimizzata per le caratteristiche morfologiche dell'area in cui va a inserirsi, avrà le seguenti caratteristiche dimensionali:

Volume di invaso (mc)	18.200
Superficie specchio d'acqua alla massima regolazione (mq)	6.225
Quota di massima regolazione (m s.l.m)	1413,1
Quota di massimo invaso (m s.l.m)	1413,5
Quota di fondo bacino (m s.l.m)	1409,5
Quota del coronamento (m s.l.m)	1415,00
Altezza massima dell'invaso (m)	3,6
Franco netto (m)	1,5
Altezza massima dello sbarramento (m)	8

Complessivamente l'invaso, compresi i paramenti e i percorsi adiacenti alla vasca, avrà una dimensione lineare massima di circa 170 m (direzione est-ovest) e una larghezza variabile tra i 45 e i 120 m.

**L'opera è assimilabile a un bacino di accumulo con sbarramento in materiale sciolto, posto sull'asse del fosso dei Mercanti. La realizzazione dell'invaso avverrà attraverso lo scavo della porzione di monte dell'area di intervento e il successivo ricollocamento del materiale a valle per la realizzazione del rilevato di contenimento e dei percorsi di accesso all'invaso. Il progetto prevede un equilibrio tra sterri e riporti.**

Per gli altri elementi si rimanda agli elaborati di progetto.



## 5 QUADRO GEOLOGICO E GEMORFOLOGICO

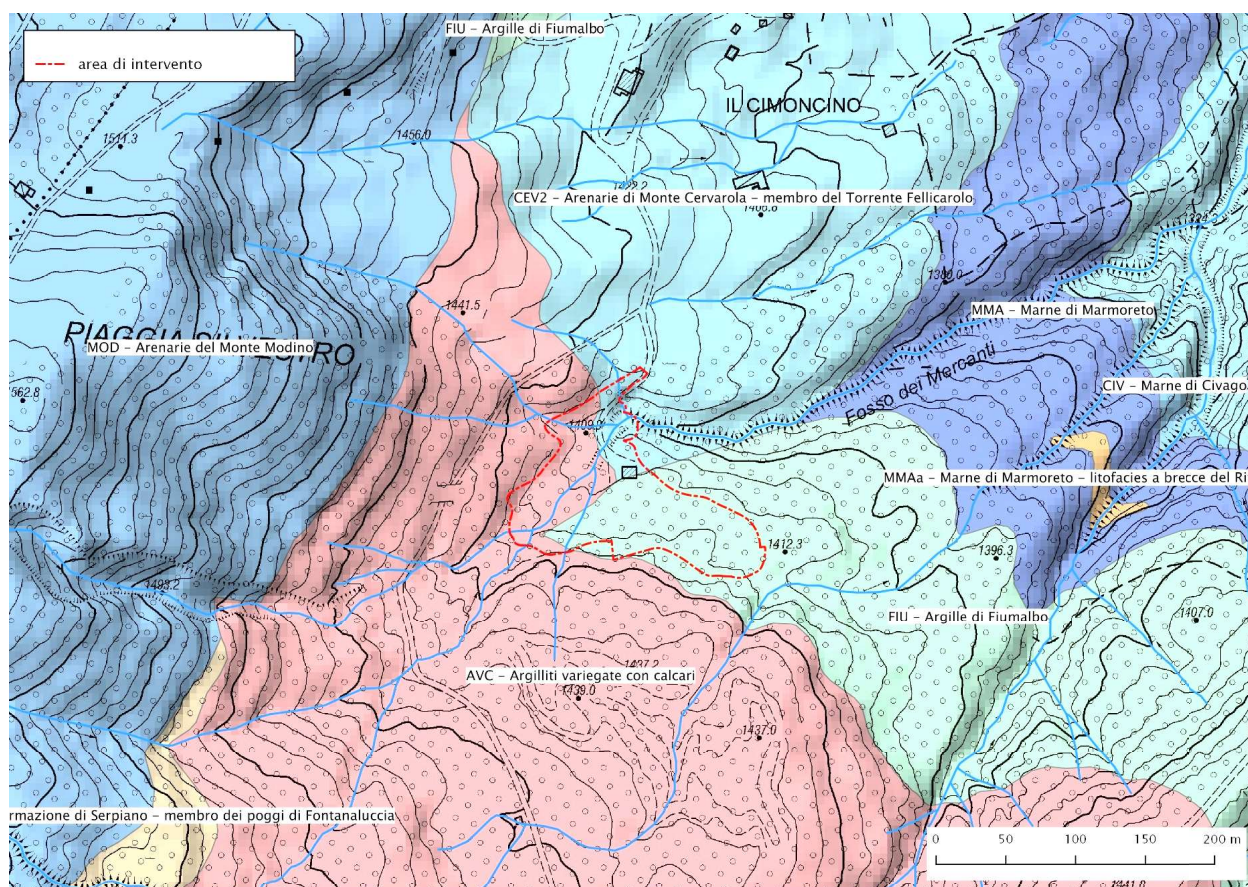


Figura 3 - Carta delle Unità Geologiche - ISPRA 2018



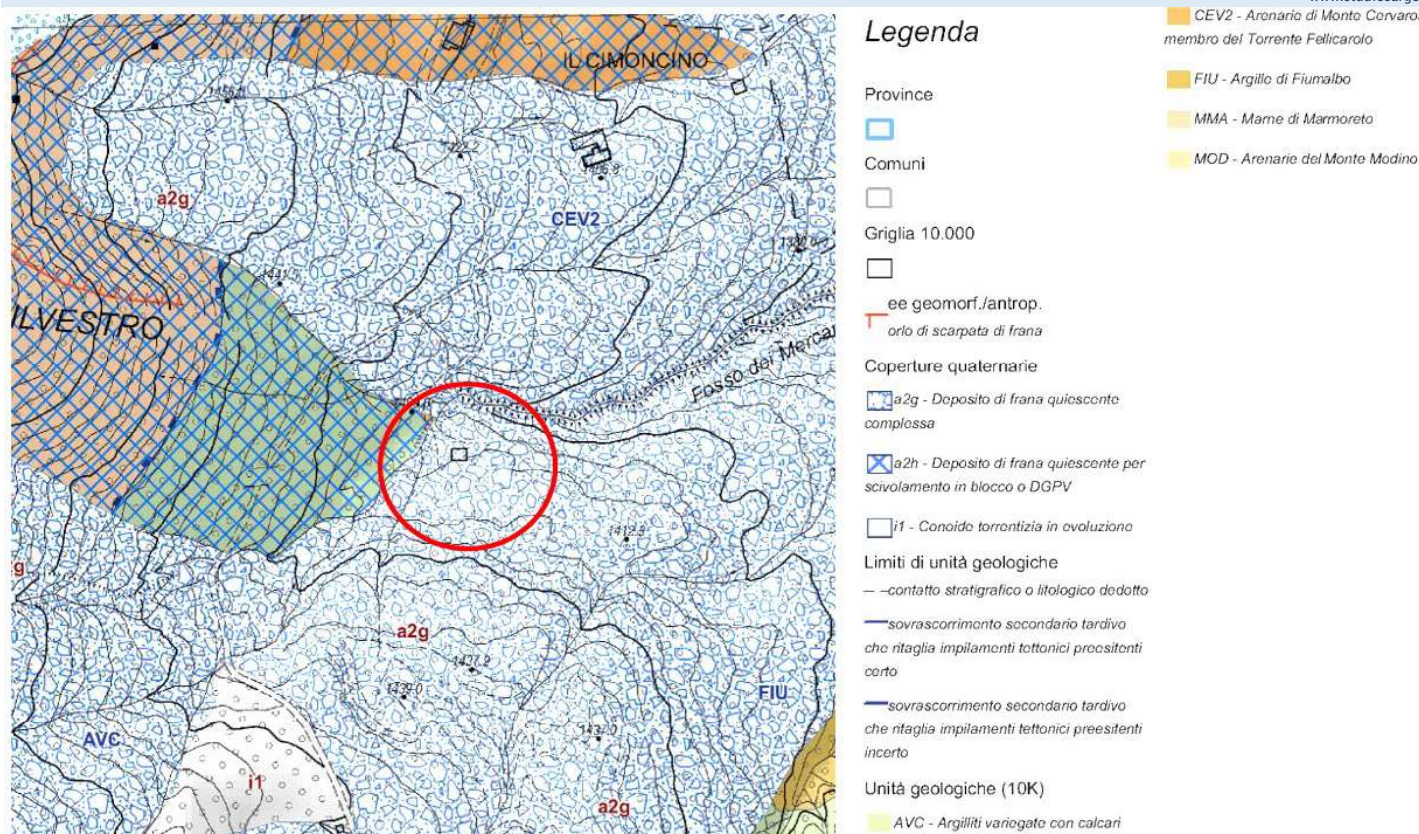


Figura 4 - Estratto Carta Geologica Emilia-Romagna 2020

La Carta Geologica della Regione Emilia Romagna pone l'area su coltre detritica di origine gravitativa. La stessa ricopre le formazioni AVC FIU e CEV in contatto come da cartografia ISPRA di pagina 6.

Di seguito, descrizione delle unità da bibliografia.

#### **CEV2 – Arenarie di Monte Cervarola – membro del Torrente Fellicarolo**

Appartengono al dominio Tosco-Umbro, la successione Cervarola è composta da depositi torbiditici di Avanfossa. Rocce costituite da alternanze tre livelli lapidei e livelli pelitici, gli ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici  $3 > L/P > 1/3$ .

#### **FIU – Argille di Fiumalbo**

gruppo G01 – Successione Modino – Depositi pre-torbiditici

sigla litotecnica Bp – Rocce costituite da alternanze con livelli pelitici prevalenti

litotecnica Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli pelitici prevalenti: rapporto  $L/P < 1/3$ .

#### **AVC – Argilliti variegata con calcari**

Appartengono al dominio Ligure, sono argille scagliose, intensamente tettonizzate, argilliti – unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose")

#### **MMA – Marne di Marmoreto**

Appartengono al dominio Tosco-Umbro, Successione Modino – Depositi pre-torbiditici. Sono argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici

#### **MOD – Arenarie del Monte Modino**

Appartengono al dominio Tosco-Umbro, Successione Modino – Depositi torbiditici. Sono ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti: rapporto  $L/P > 3$ .

#### **a2g – Deposito di frana quiescente complessa**

Il deposito è costituito dalla combinazione di due o più tipologie di movimento. Le frane complesse più frequenti sul territorio appenninico sono costituite da scivolamenti accompagnati da colamenti di fango o detrito. Il deposito gravitativo è senza evidenze di movimenti in atto o recenti, alla data del rilevamento o dell'aggiornamento. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi.

**II – Conoide torrentizia in evoluzione** Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallette trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, soggetti ad evoluzione dovuta alla dinamica torrentizia.

**a2h – Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV** Gli scivolamenti in blocco sono depositi costituiti da masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia che, pur scivolando lungo una o più superfici di scorrimento, traslativa e/o rotazionale, conservano al loro interno la coerenza stratigrafica della roccia di provenienza. Si trovano spesso nella parte alta dei versanti e su vaste superfici e sono in grande prevalenza in stato di attività quiescente o soggette a movimenti estremamente lenti. Le DGPV (Deformazioni gravitative profonde di versante) sono movimenti di masse che coinvolgono interi versanti e che si attuano attraverso una deformazione perlopiù lenta e progressiva della massa rocciosa senza che sia presente in profondità un vero piano di scorrimento. Anch'esse presentano caratteristiche di movimenti estremamente lenti. Le due tipologie sono spesso di difficile distinzione e pertanto sono state rappresentate insieme.

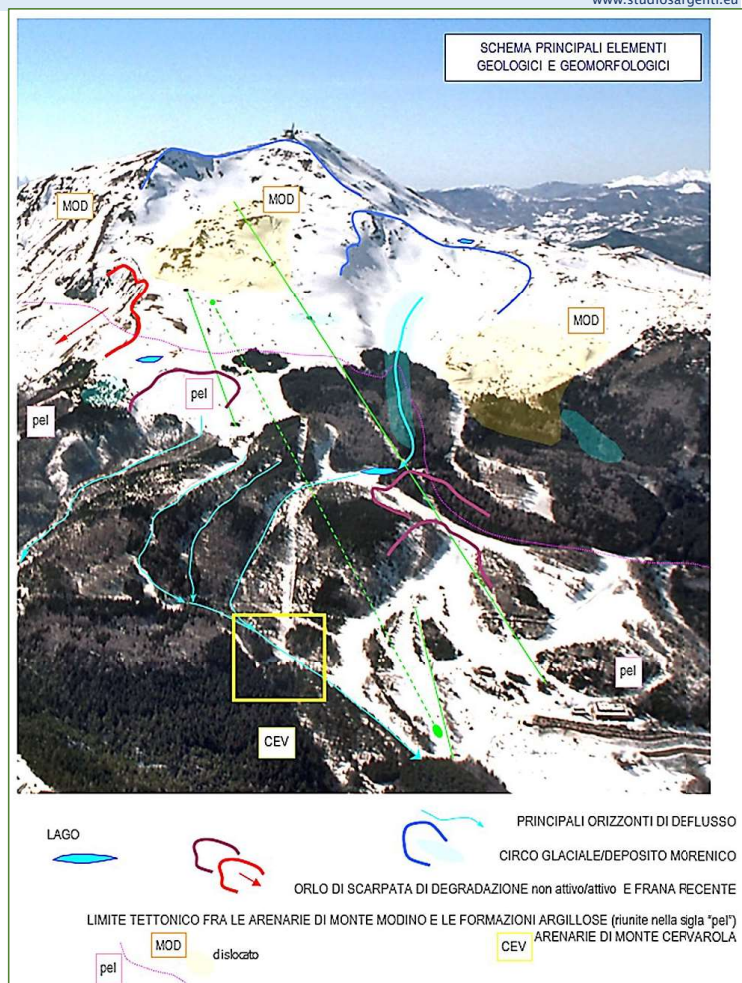
Il deposito gravitativo è senza evidenze di movimenti in atto o recenti, alla data del rilevamento o dell'aggiornamento. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi.

**Le risultanze dell'indagine geognostica porteranno a una ridefinizione delle coltri di copertura del bed-rock e a una parziale revisione della distribuzione delle formazioni di base.**

Figura 5 – Schema geologico e geomorfologico del versante. A cura dello scrivente. Nel riquadro giallo l'area di progetto

## 6 QUADRO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO

I caratteri idrogeologici e idraulici sono stati analizzati nel dettaglio e vengono riportati nella Relazione Idraulica al progetto, alla quale si rimanda. La struttura idrogeologica principale fa riferimento al serbatoio costituito dalle Arenarie di Monte Modino che emerge come importante orizzonte sorgentifero al contatto con le formazioni pelitiche di base fra i 1650 e i 1700msm.





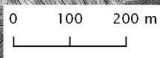


Figura 6 - Carta dei caratteri idrologici

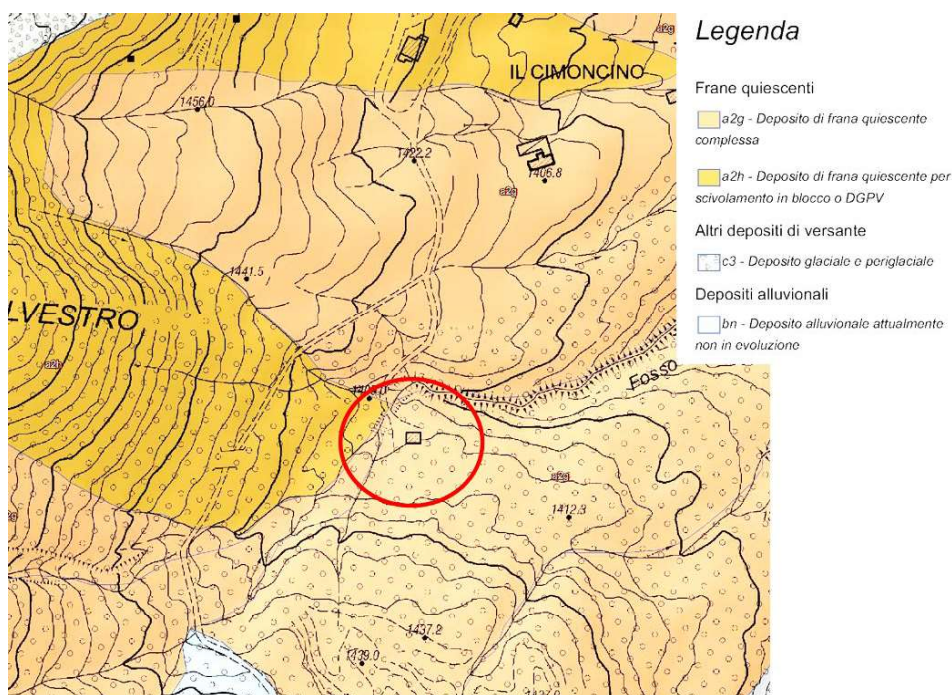


Figura 7 - Estratto Carta del Dissesto Emilia-Romagna 2020

La Carta del dissesto della Regione Emilia-Romagna e quella del Dissesto del PTCF pongono l'area di progetto su deposito di frana quiescente.

Le risultanze dell'indagine geognostica porteranno a rivedere questa interpretazione.

Sul sito è insediata dagli anni '80 la sciovia Mercanti, dismessa dal 2005 e smantellata nel 2017, fatto salvo il fabbricato della stazione di partenza, oggi ancora ben conservato e posizionato in corrispondenza dell'area di progetto.

Il fabbricato (età di oltre 35 anni) e la sciovia (23 anni in esercizio) non hanno mostrato alcuna deformazione nel periodo.

Si ritiene pertanto che anche a seguito dell'analisi di stabilità di cui al Capitolo 12. il sito sia idoneo ad ospitare il piccolo invaso, così come da progetto esecutivo.

Per quanto riguarda i rischi connessi alla potenziale rottura dell'argine, sono valutati nella Relazione Tecnica al progetto come molto bassi.



## 8 INDAGINE GEOGNOSTICA

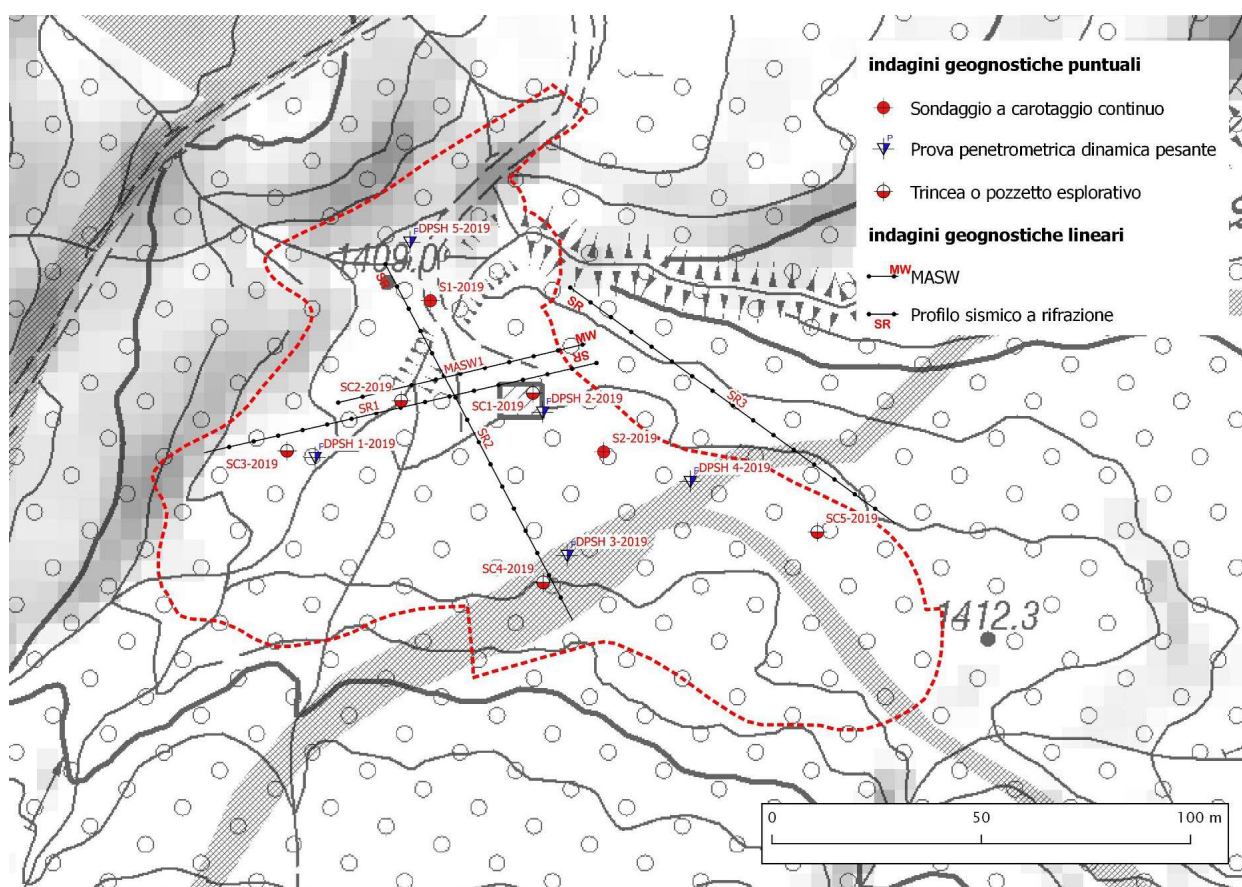


Figura 8 – Planimetria indagini geognostiche su CTR 2013. È riportato in rosso il perimetro di progetto



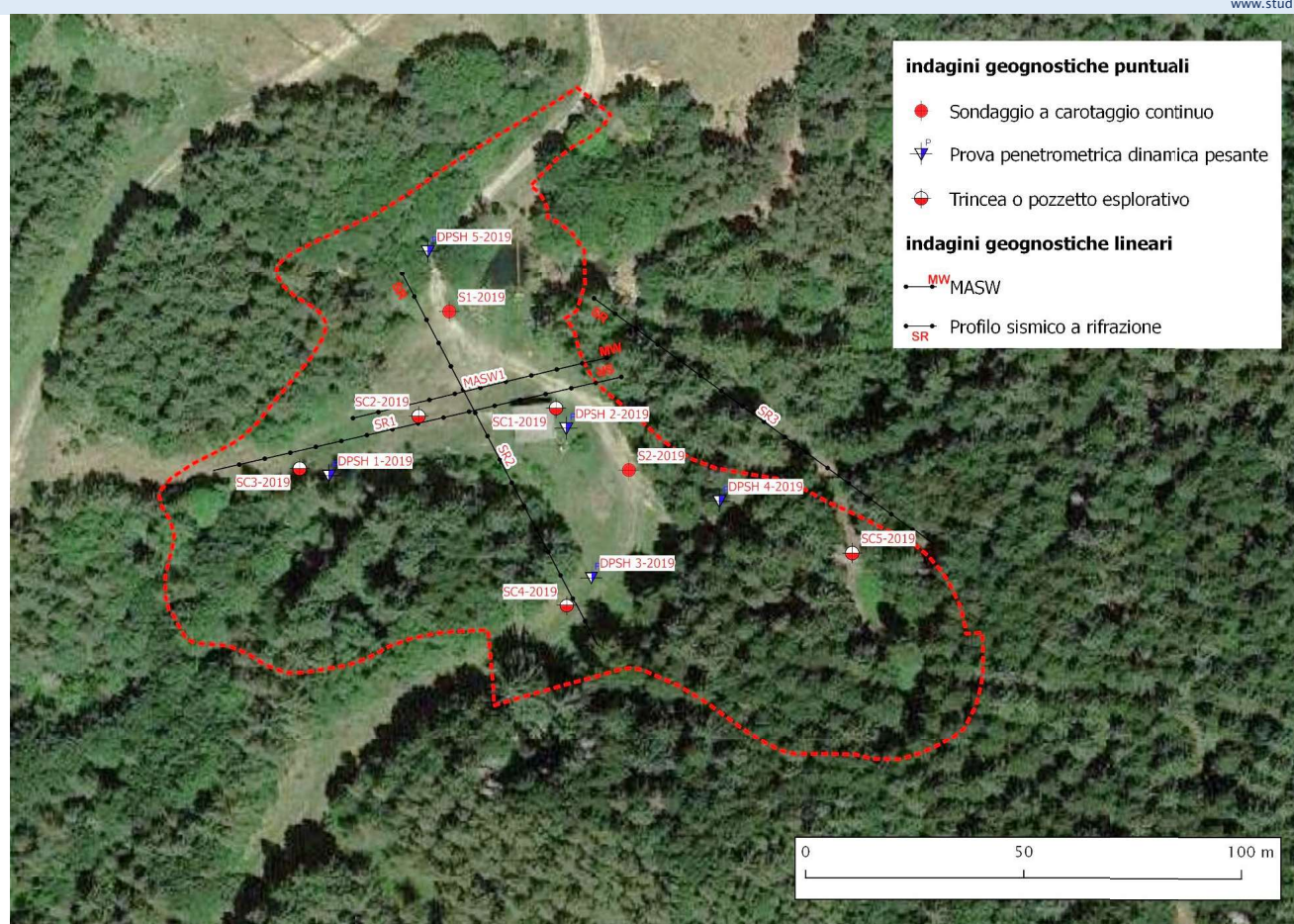


Figura 9 – Planimetria indagini geostitiche su GE 2019 – In rosso il perimetro dell'area di progetto

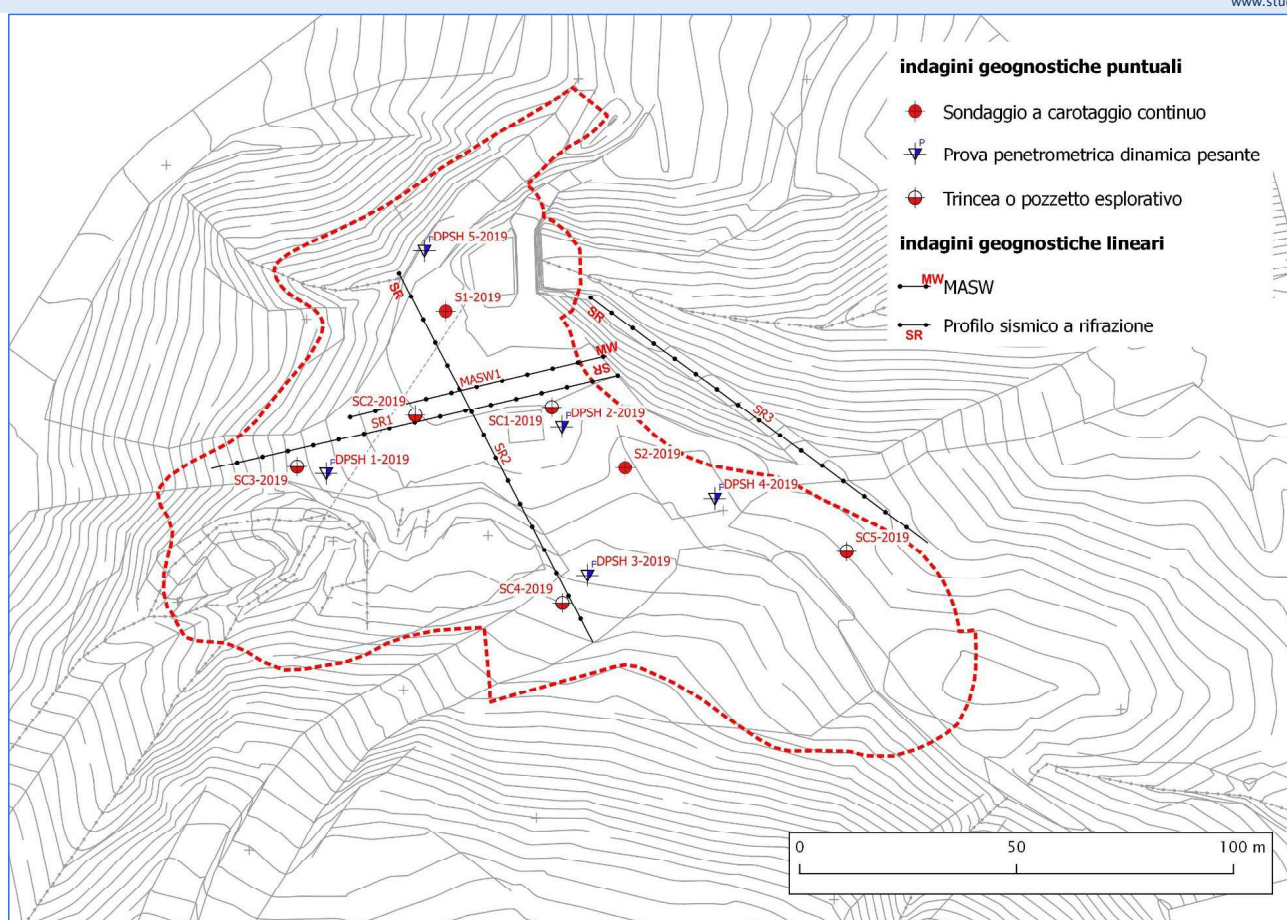


Figura 10 - Ubicazioni indagini geostatiche su rilievo topografico di progetto

## 8.1 PIANO DI INDAGINE

Al fine di determinare i modelli geologico, sismico e geotecnico sito specifici, sono state predisposte le seguenti indagini geognostiche:

- 2 sondaggi a carotaggio continuo
- 5 sondaggi diretti con escavatore
- 5 prove penetrometriche dinamiche DPSH
- 3 prospezioni sismiche a rifrazione
- 1 prospezione sismica MASW

## 8.2 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Nei giorni 5÷8 agosto 2019 sono stati effettuati, dalla Ditta Prove Penetrometriche srl di Castelnuovo Rangone, sotto la mia direzione, 2 sondaggi a carotaggio continuo ubicati sul fronte di valle dell'area di progetto. Le perforazioni sono state spinte fino alla profondità di 15m/cad ed hanno interessato, al di sotto del primo spessore di 1.5÷3m una sequenza monotona riferibile alla formazione delle Argille di Fiumalbo (FIU). La stessa si presenta con alternanze tra livelli lapidei come siltiti, arenarie cementate, calcareniti e calcilutiti e livelli pelitici, con livelli pelitici prevalenti: rapporto  $L/P < 1/3$ .

Le perforazioni sono state estremamente difficoltose vista la natura della roccia. È stato necessario utilizzare acqua in pressione per quasi tutte le verticali. Dunque, le immagini fotografiche restituiscono i materiali attraversati fortemente rimaneggiati.

Nel corso dei fori sono state effettuate 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile.

Sono stati inoltre prelevati 4 campioni disturbati per le classificazioni di laboratorio.

Visti il problema in esame e le risultanze delle prove penetrometriche che restituivano valori elevati per il substrato, sono state rinunciate prove SPT in foro.



AGENZIA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ		Completamento: Dott. Geol. Daniele Sargenti		Sondaggio: S1																					
UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO SARGENTI		Riferimento: Fanano (MO), fraz. Canevare		Data: dal 05/08/19 al 07/08/19																					
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI		Coordinate:		Cantiere: Via Cimonicino																					
Decreto 3493/2016 del 20/06/2016 - Art. 30 DPR 30/2001 - Circolare 70/2017/2018		Perforazione: a carotaggio continuo		Scala: 1:50																					
P.E.C. SARGENTI		STRATIGRAFIA - S1		Pagina 3/6																					
DESCRIZIONE																									
<p>1.0 m - 1.1 m: Terreno vegetato.</p> <p>1.1 m - 1.2 m: Limo argilloso, nocciola, asciutto, con inclusi frammenti arenacei.</p> <p>1.2 m - 1.3 m: Limo argilloso, nocciola scura, umido, con abbondanti inclusi arenacei.</p> <p>1.3 m - 1.4 m: Alternanza irregolare di marne e peli, grigio chiaro, asciutta con abbondanti inclusi litoidi eterogenei ed eterogenei.</p> <p>1.4 m - 1.5 m: Livelli decimetrici di arenaria silti profondi 1.60 - 1.70 m / 2.20 - 2.30 m / 3.60 - 3.70 m</p> <p>1.5 m - 1.6 m: CAMPIONE DISTURBATO N.1</p> <p>1.6 m - 1.7 m: Alternanza irregolare di marne e peli, grigio chiaro, asciutta con abbondanti inclusi litoidi eterogenei ed eterogenei.</p> <p>1.7 m - 1.8 m: Livello decimetrico di arenaria alla profondità 4.40 - 4.50 m.</p> <p>1.8 m - 1.9 m: Alternanza decimetrica di peli, grigio scuro, compatta con abbondanti frammenti litoidi eterogenei ed eterogenei e arenaria medio fine, grigio chiaro.</p> <p>1.9 m - 2.0 m: CAMPIONE DISTURBATO N.2</p> <p>2.0 m - 2.1 m: Alternanza irregolare di peli, grigio scuro, compatta con calcinoli e abbondanti inclusi litoidi eterogenei ed eterogenei e arenaria medio fine, grigio chiaro.</p> <p>2.1 m - 2.2 m: Rari livelli di calcare, frastuono, grigio chiaro alla profondità 12.10 - 12.20 m / 13.40 - 13.50 m</p>																									
<p>Decreto di Conoscenza Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54853 del 20/06/2006 - Settore C - Prove in Gito</p> <p>Rilevato del livello dell'acqua nel corso della perforazione</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Giorno</th> <th>07/08/19</th> <th>07/08/19</th> <th>07/08/19</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ora</td> <td>09:45</td> <td>12:45</td> <td>16:30</td> </tr> <tr> <td>Livello dell'acqua (m)</td> <td>1.90</td> <td>3.30</td> <td>3.20</td> </tr> <tr> <td>Prof. perforazione (m)</td> <td>7.00</td> <td>15.00</td> <td>15.00</td> </tr> <tr> <td>Prof. investimento (m)</td> <td>6.00</td> <td>4.50</td> <td>3.50</td> </tr> </tbody> </table>						Giorno	07/08/19	07/08/19	07/08/19	Ora	09:45	12:45	16:30	Livello dell'acqua (m)	1.90	3.30	3.20	Prof. perforazione (m)	7.00	15.00	15.00	Prof. investimento (m)	6.00	4.50	3.50
Giorno	07/08/19	07/08/19	07/08/19																						
Ora	09:45	12:45	16:30																						
Livello dell'acqua (m)	1.90	3.30	3.20																						
Prof. perforazione (m)	7.00	15.00	15.00																						
Prof. investimento (m)	6.00	4.50	3.50																						

Il Responsabile di sito,  
Dott. Stefano Vignoli

PROVE PENETROMETRICHE Srl  
Elaborazione Dati  
Il Tecnico



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



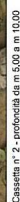
Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



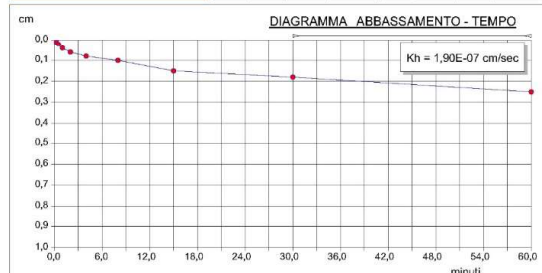
Il Responsabile di sito  
Sig. Stefano Vigni



# PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE

Committente: Dott. Geol. Daniele Sargenti	Pagina 2/2
Riferimento: R08456 del 08/08/19	Prova: 1
Località: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimondino	Data: 05/08/19
Sondaggio: 1	Orario prova: 15:30

Prova eseguita in abbassamento							
Livello di base dell'acqua [Hw] (m)	5,00						
Livello dell'acqua del p.c. [H] (m)	-0,20						
Diametro del tratto di prova [D] (m)	0,127						
Profondità del rivestimento [Hc] (m)	4,50						
Profondità del foro [Hf] (m)	5,00						
Spessore del tratto di prova [L] (m)	0,50						
Coefficiente di forma	0,50						
		T	H	dH	k	T	H
		min	cm	cm	cm/sec	min	cm
		0,00	520,00	0,00			
		0,25	519,99	0,01	3,25E-06		
		0,50	519,98	0,02	3,25E-06		
		1,00	519,96	0,04	3,25E-06		
		2,00	519,94	0,08	1,62E-06		
		4,00	519,92	0,08	8,12E-07		
		8,00	519,90	0,10	4,06E-07		
		15,00	519,85	0,15	5,80E-07		
		30,00	519,82	0,18	1,62E-07		
		60,00	519,75	0,25	1,90E-07		

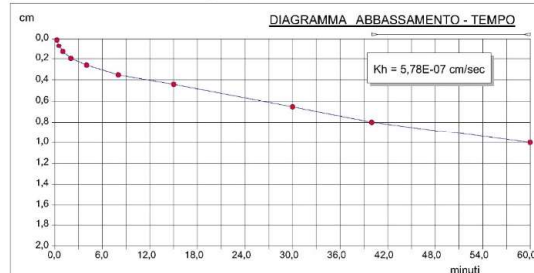


Il Responsabile di sito  
Dott. Daniele Sargenti

# PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE

Committente: Dott. Geol. Daniele Sargenti	Pagina 2/2
Riferimento: R08457 del 08/08/19	Prova: 2
Località: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimondino	Data: 05/08/19
Sondaggio: 1	Orario prova: 16:47

Prova eseguita in abbassamento							
Livello di base dell'acqua [Hw] (m)	5,60						
Livello dell'acqua del p.c. [H] (m)	-0,50						
Diametro del tratto di prova [D] (m)	0,127						
Profondità del rivestimento [Hc] (m)	5,00						
Profondità del foro [Hf] (m)	5,60						
Spessore del tratto di prova [L] (m)	0,60						
Coefficiente di forma	0,60						
		T	H	dH	k	T	H
		min	cm	cm	cm/sec	min	cm
		0,00	610,00	0,00			
		0,25	609,99	0,01	2,31E-06		
		0,50	609,93	0,07	1,41E-06		
		1,00	609,87	0,13	6,80E-06		
		2,00	609,81	0,19	3,73E-06		
		4,00	609,74	0,26	1,87E-06		
		8,00	609,65	0,35	1,33E-06		
		15,00	609,56	0,44	7,32E-07		
		30,00	609,35	0,65	8,19E-07		
		40,00	609,20	0,80	8,48E-07		
		60,00	609,00	1,00	5,78E-07		



Il Responsabile di sito  
Dott. Daniele Sargenti



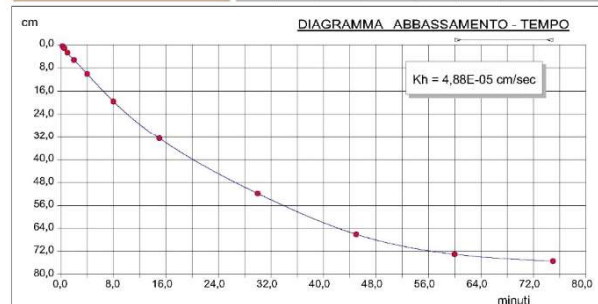
# PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE

Committente: Dott. Geol. Daniele Sargenti	Pagina 2/2
Riferimento: R08461 del 09/08/19	Prova: 1
Località: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimoncino	Data: 07/08/19
Sondaggio: 2	Orario prova: 16:00

Prova eseguita in abbassamento	1,60
Livello di base dell'acqua [Hw] (m)	-0,20
Diametro del tratto di prova [D] (m)	0,127
Profondità del rivestimento [Hc] (m)	0,95
Profondità del foro [H] (m)	1,60
Spessore del tratto di prova [L] (m)	0,65
Coefficiente di forma	0,65

T	H	dH	k	T	H	dH	k
min	cm	cm	cm/sec	min	cm	cm	cm/sec
0,00	180,00	0,00					
0,25	179,60	0,40	2,89E-04				
0,50	179,30	1,10	5,10E-04				
1,00	177,30	2,70	5,82E-04				
2,00	174,80	5,20	4,61E-04				
4,00	170,00	10,00	4,52E-04				
8,00	160,50	19,50	4,67E-04				
15,00	147,50	32,50	3,92E-04				
30,00	128,20	51,80	3,04E-04				
45,00	114,00	66,00	2,54E-04				
60,00	107,00	73,00	1,37E-04				
75,00	104,62	75,38	4,88E-05				



I risultati delle prove di permeabilità sono dunque i seguenti:

Sondaggio 1 prova 1 -5.0m  $k=1.9E-7cm/s$

Sondaggio 1 prova 2 -5.6m  $k=5.78E-7cm/s$

Sondaggio 2 prova 1 -1.6m  $k=4.88E-5cm/s$

Il Responsabile di sito  
Dott. Stefano Vigni

*Stefano Vigni*

### 8.3 SONDAGGI CON ESCAVATORE

Vista la complessità del sito, ho predisposto per sondaggi di verifica diretta con escavatore, al fine di meglio definire l'interpretazione geomorfologica sito specifica.

**Sondaggio Sc1:** 17-07-2019 Profondità 4.3m

0÷1.4m Materiali riportati con vari elementi antropici

1.4÷4.3m Argille e argilliti grigie con calcari, molto consistenti da 2.5m (AVC)



Figure 11 – Sondaggio Sc1

**Sondaggio Sc2:** (44.1964418; 10.7297349) 9-11-2019 Profondità 3m

0÷2m Lembi di marne e siltiti in scarsa matrice pelitica  
2÷3m formazione argilloso-pelitica (FIU) in facies eluviale

A 2m è presente una venuta di acqua



Figure 12 - Sondaggio Sc2



**Sondaggio Sc3:** (44.1963392; 10.7293909) 9-11-2019 Profondità 3m:

Da 0 a 3m Ghiaia con clasti arenacei di dimensioni eterogenee da leggermente a molto arrotondati  
(deposito torrentizio)

Importante venuta di acqua continua. Siamo sull'asse del fosso principale intubato. Sul fondo sembrano affiorare AVC.



Figure 13 – Sondaggio Sc3

**Sondaggio Sc4:** (44.1960445; 10.7301477) 9-11-2019 Profondità 3,20m:

Da 0 a 1.5m detrito con clasti arenacei in matrice limosa argillosa ocra, umido  
Da 1.5 a 3,20m argille e argilliti grigie compatte con calcari (AVC)



Figure 14 – Sondaggio Sc4

**Sondaggio Sc5:** (44.1961401;10.7309704) 9-11-2019 Profondità 3m:

Da 0 a 0.8m suolo ossidato giallo alterato da apparato radicale

Da 0.8 a 3m siltiti e peliti molto compatte di colore bruno (FIU)

Venuta di acqua in superficie e altro livello di acqua a 2m circa



Figure 15 – Sondaggio Sc5



#### 8.4 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI

Sono state effettuate 5 prove penetrometriche DPSH, alcune delle quali combacianti con punti dello stendimento dell'indagine a rifrazione e vicine ai sondaggi con escavatore.

Le caratteristiche dello strumento utilizzato, "penetrometro statico-dinamico di tipo olandese", conforme alla certificazione CE, da 200 kN, mod. TG 63-200, sono le seguenti:

PESO MASSA BATTENTE	M	= 63,50
kg ALTEZZA CADUTA LIBERA	H	= 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms	= 0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D	= 51,00
mm AREA BASE PUNTA CONICA	A	= 20,43
cm <sup>2</sup> ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha$	= 60 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	= 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma	= 6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1	= 0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta$	= 0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N	= N(20) =

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi) misurando il numero di colpi N necessari. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere a volte lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e la consistenza in generale del terreno. La scelta dell'utilizzo del penetrometro super pesante DPSH TG 63-200 PAGANI, è stata effettuata in base alla tipologia di substrato da indagare e alla posizione delle prove. L'area da indagare presenta blocchi litoidi che il penetrometro super pesante permette di romperne alcuni di piccole dimensioni e quindi continuare l'indagine.

Inoltre, questo tipo di penetrometro è cingolato e motorizzato e questo ha permesso di spostarsi attraverso un terreno impervio e di raggiungere tutti i punti d'indagine prefissati.

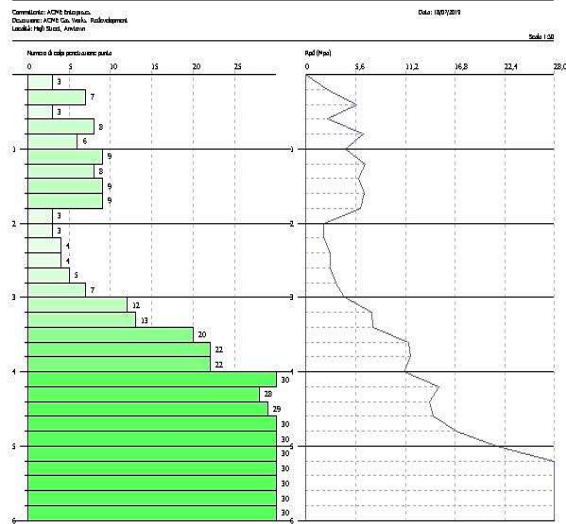
Registrando il numero di colpi per fare avanzare la punta del penetrometro di 20 cm nel sottosuolo e moltiplicandolo per il coefficiente di correlazione delle  $N_{SPT}$ , 1,47, si ottengono i valori equivalenti  $N_{SPT}$ . Da questi valori è possibile stimare attraverso correlazioni empiriche di diversi autori i valori dei seguenti parametri geotecnici:

COESIONE NON DRENATA  
 ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO  
 MODULO EDOMETRICO  
 MODULO DI YOUNG  
 PESO UNITÀ DI VOLUME  
 PESO UNITÀ DI VOLUME SATURO

**PROVA DPSH-1**  
Strumento utilizzato  
Prova eseguita in data  
Profondità prova  
Falda non rilevata  
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
18/07/2019  
5,20m

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1**  
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)



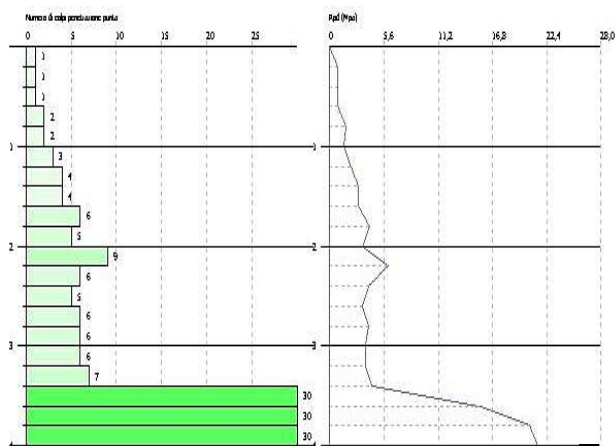
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	3	0,855	2,44	2443,38
0,40	7	0,851	5,68	5675,45
0,60	3	0,847	2,42	2421,57
0,80	8	0,843	6,43	6429,53
1,00	6	0,840	4,44	4441,98
1,20	9	0,836	6,64	6635,29
1,40	8	0,833	5,87	5874,06
1,60	9	0,830	6,58	6582,04
1,80	9	0,826	6,56	6556,43
2,00	3	0,823	2,03	2025,44
2,20	3	0,820	2,02	2017,91
2,40	4	0,817	2,68	2680,77
2,60	4	0,814	2,67	2671,26
2,80	5	0,811	3,33	3327,49
3,00	7	0,809	4,34	4340,25
3,20	12	0,806	7,42	7415,84
3,40	13	0,753	7,51	7509,54
3,60	20	0,751	11,51	11514,36
3,80	22	0,698	11,78	11780,90
4,00	22	0,696	11,02	11022,45
4,20	30	0,694	14,98	14980,39
4,40	28	0,691	13,94	13936,13
4,60	29	0,689	14,39	14387,96
4,80	40	0,587	16,90	16904,61
5,00	54	0,585	21,43	21429,73
5,20	78	0,583	30,85	30847,21



# **PROVA DPSH-2**

Strumento utilizzato DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 18/07/2019  
 Profondità prova 4,00m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo <del>coefficiente</del> riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione <del>Hermiller</del> - Olandesi (kPa)
0,20	1	0,855	0,81	814,46
0,40	1	0,851	0,81	810,78
0,60	1	0,847	0,81	807,19
0,80	2	0,843	1,61	1607,38
1,00	2	0,840	1,48	1480,66
1,20	3	0,836	2,21	2211,77
1,40	4	0,833	2,94	2937,03
1,60	4	0,830	2,93	2925,35
1,80	6	0,826	4,37	4370,96
2,00	5	0,823	3,38	3375,73
2,20	9	0,820	6,05	6053,73
2,40	6	0,817	4,02	4021,16
2,60	5	0,814	3,34	3339,07
2,80	6	0,811	3,99	3992,99
3,00	6	0,809	3,72	3720,21
3,20	6	0,806	3,71	3707,92
3,40	7	0,803	4,31	4311,95
3,60	31	0,651	15,47	15470,38
3,80	45	0,598	20,65	20647,01
4,00	50	0,596	21,45	21451,85





### PROVA DPSH- 3

Strumento utilizzato DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 18/07/2019  
 Profondità prova 6,40m  
 Falda non rilevata

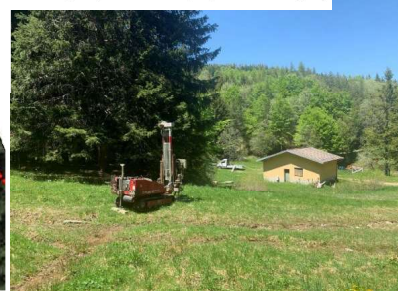
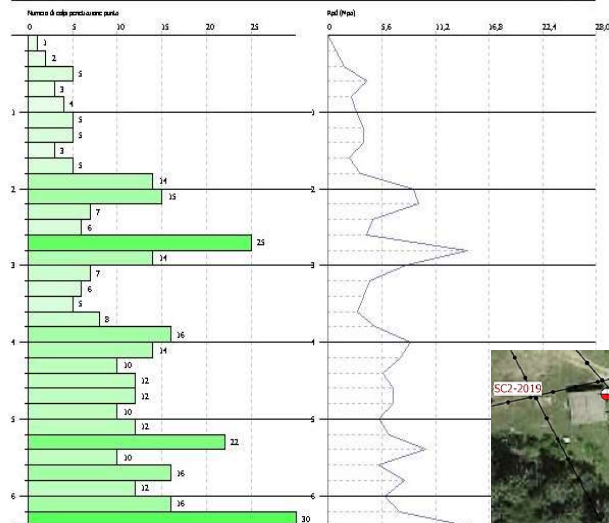
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

#### PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P3 Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Clienti: ACME S.p.A.  
 Direzione: ACME S.p.A. - P.le Europa, 1 - 20121 Milano  
 Località: High Street, Amsterdam

Data: 18/07/2019

Scala: 1:50



## PROVA DPSH- 4

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 18/07/2019  
 Profondità prova 8,40m  
 Falda non rilevata

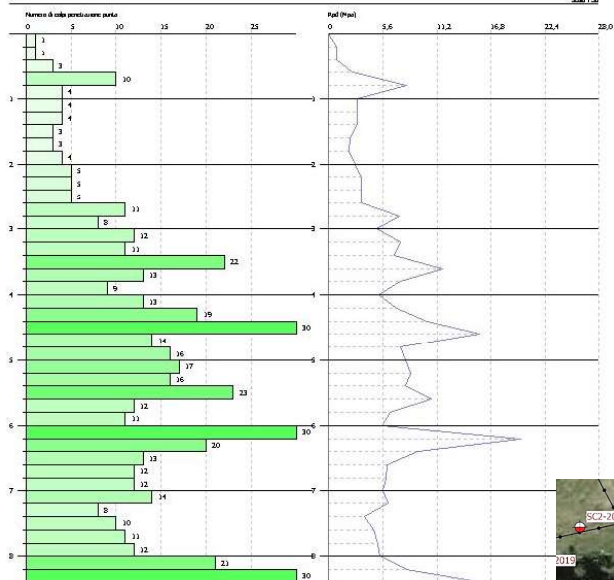
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

### PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P4 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Client: ACQUA INTEGRATA  
 Direzione: ACQUA DEL VALLE - RIVOLUZIONE  
 Località: PIAZZA S. ANTONIO

Data: 18/07/2019

Scala: 1:50



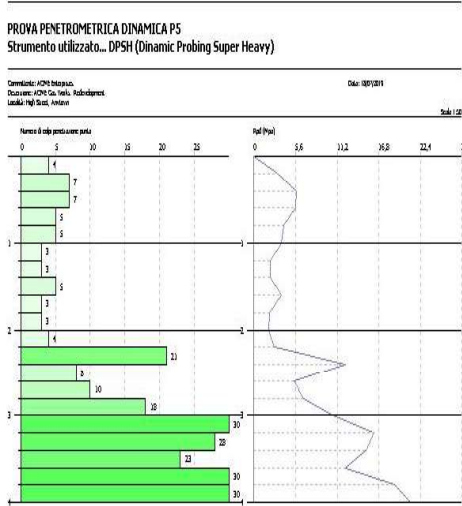
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	1	0,855	0,81	814,46
0,40	1	0,851	0,81	810,78
0,60	3	0,847	2,42	2421,57
0,80	10	0,843	8,04	8036,92
1,00	4	0,840	2,96	2961,32
1,20	4	0,836	2,95	2949,02
1,40	4	0,833	2,94	2937,03
1,60	3	0,830	2,19	2194,01
1,80	3	0,826	2,19	2185,48
2,00	4	0,823	2,70	2700,58
2,20	5	0,820	3,36	3363,18
2,40	5	0,817	3,35	3350,96
2,60	5	0,814	3,34	3339,07
2,80	11	0,811	7,32	7320,49
3,00	8	0,809	4,96	4960,29
3,20	12	0,806	7,42	7415,84
3,40	11	0,803	6,78	6775,93
3,60	22	0,701	11,82	11822,39
3,80	13	0,748	7,46	7459,82
4,00	9	0,796	5,16	5157,03
4,20	13	0,744	6,96	6959,40
4,40	19	0,741	10,14	10140,50
4,60	34	0,639	15,64	15644,93
4,80	14	0,737	7,43	7428,26
5,00	16	0,735	7,98	7977,57
5,20	17	0,733	8,45	8452,89
5,40	16	0,731	7,93	7934,35
5,60	23	0,679	10,60	10595,77
5,80	12	0,777	6,33	6327,14
6,00	11	0,775	5,47	5471,07
6,20	54	0,574	19,87	19870,39
6,40	20	0,722	9,26	9261,65
6,60	13	0,720	6,01	6006,24
6,80	12	0,769	5,92	5916,63
7,00	12	0,767	5,60	5599,38
7,20	14	0,716	6,09	6093,83
7,40	8	0,764	3,72	3718,23
7,60	10	0,763	4,64	4638,97
7,80	11	0,761	5,09	5093,41
8,00	12	0,760	5,27	5273,82
8,20	21	0,659	8,00	7998,34
8,40	50	0,557	16,11	16114,02



PROVA DPSH- 5

Strumento utilizzato DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
Prova eseguita in data 18/07/2019  
Profondità prova 4,00m  
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herpinier-Olandesi (KPa)
0,20	4	0,855	3,26	3257,84
0,40	7	0,851	5,68	5675,45
0,60	7	0,847	5,65	5650,33
0,80	5	0,843	4,02	4018,46
1,00	5	0,840	3,70	3701,65
1,20	3	0,836	2,21	2211,77
1,40	3	0,833	2,20	2202,77
1,60	5	0,830	3,66	3656,69
1,80	3	0,826	2,19	2185,48
2,00	3	0,823	2,03	2025,44
2,20	4	0,820	2,69	2690,55
2,40	21	0,717	12,35	12351,70
2,60	8	0,814	5,34	5342,51
2,80	10	0,811	6,65	6654,99
3,00	18	0,759	10,47	10470,58
3,20	32	0,656	16,10	16095,26
3,40	28	0,703	15,10	15100,96
3,60	23	0,701	12,36	12359,77
3,80	38	0,648	18,89	18892,04
4,00	49	0,596	21,02	21022,81





## 8.5 PROSPEZIONE SISMICHE A RIFRAZIONE

Il 31 luglio 2019 sono state eseguite 3 prospezioni sismiche a rifrazione da Tecnogeofisica srl di Carpi. Per effettuare le prove sono stati utilizzati stendimenti di 24 geofoni da 14 Hzper e come sorgente impulsiva una mazza battente da 10 kg con piastra di battuta in alluminio 15x15 cm, da disporre sul terreno. L'indagine sismica a rifrazione è un'indagine indiretta e utilizza le propagazioni delle onde P nel terreno, prodotte ogni volta che quest'ultimo è sollecitato con una fonte di energia. Vengono misurati i tempi di primo arrivo delle onde P e quindi il modo di propagazione di queste onde nel terreno. La modalità di propagazione delle onde sismiche, consente di stimare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e quindi la compattezza dei terreni da queste attraversati. Mediante le distanze tra il punto di scoppio e quello dei geofoni ed i relativi tempi di primo arrivo dei segnali sismici, si ricostruiscono opportuni grafici "le dromocrone" (o curve tempi-distanze), dalle quali tramite opportuno programma di calcolo, si risale alle velocità sismiche proprie dei singoli strati, al loro spessore, alla profondità della base del rifrattore, alla forma ed inclinazione delle relative superfici di separazione (rifrattore). Questo tipo di indagine indiretta, opportunamente tarata su indagini geognostiche dirette, consente di risalire, con discreta attendibilità:

alla composizione litologica dei terreni, al loro grado di fratturazione (in alcuni casi particolari)

alla ricostruzione della geometria delle unità sismo-stratigrafiche sottostanti la coltre superficiale ed alla profondità della roccia di fondo.

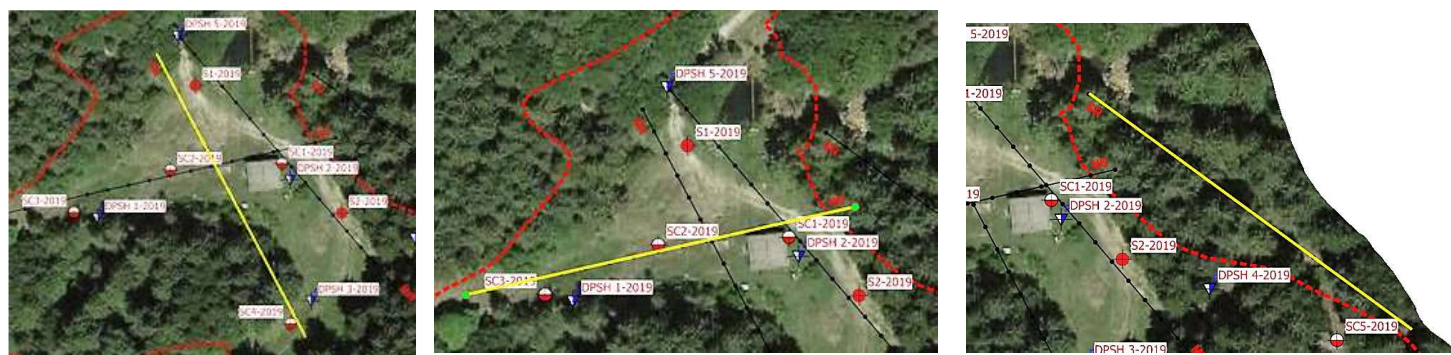


Figure 16 – Ubicazione SR1 SR2 SR3

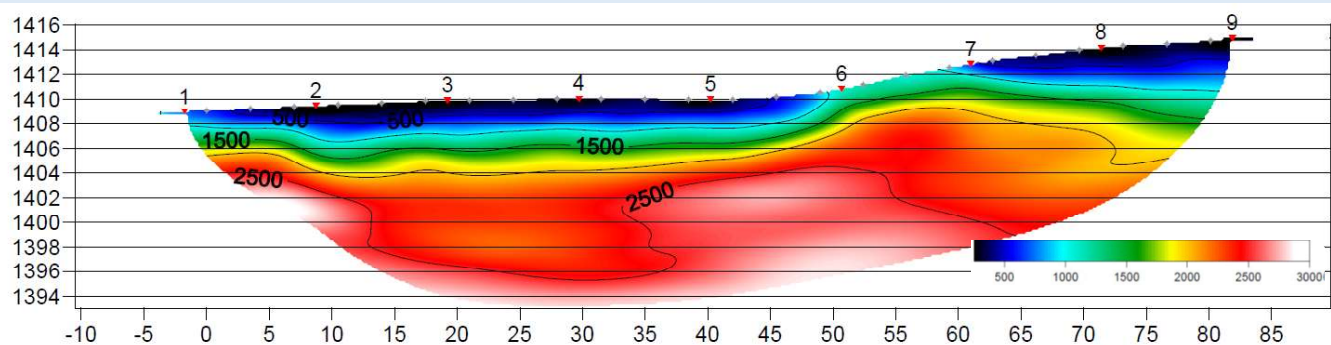


Figura 17 – Tomografia Prospezione a rifrazione SR1

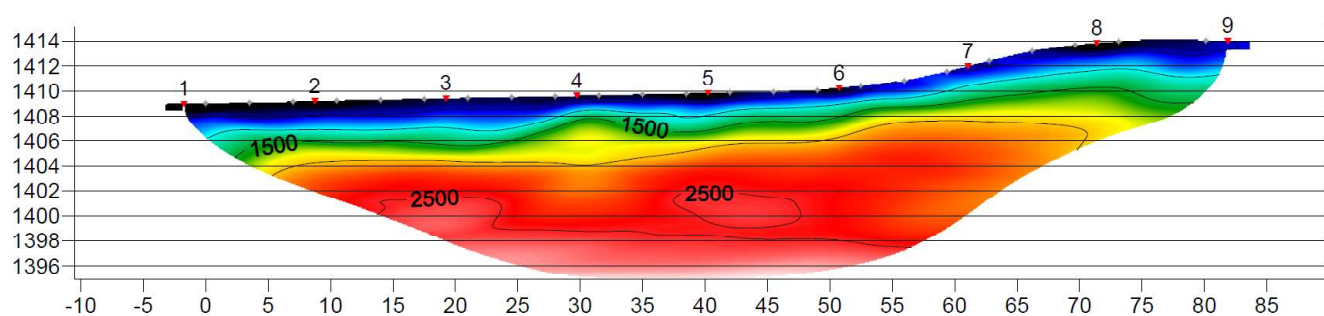
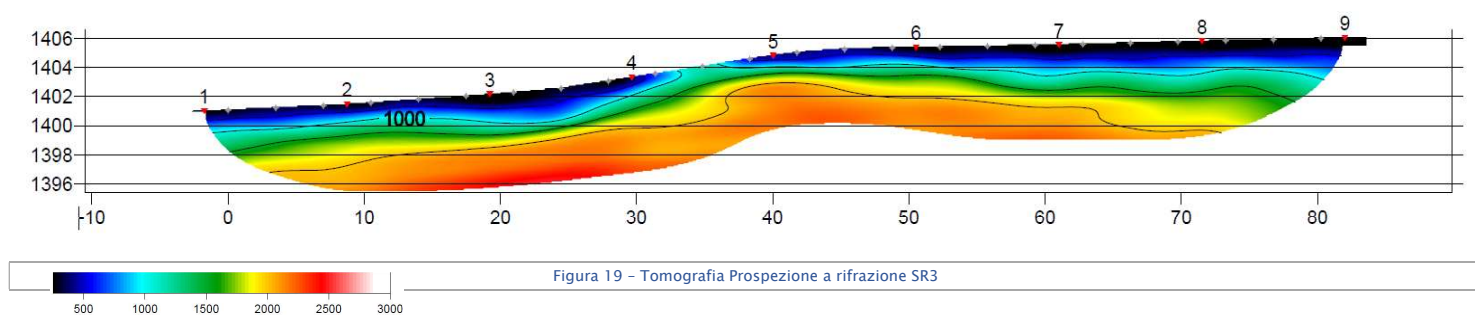


Figura 18 – Tomografia Prospezione a rifrazione SR2





## 8.6 PROSPEZIONE SISMICA MASW

Il 31 luglio 2019 è stata eseguita 1 prova MASW. Tramite il rilievo delle velocità delle onde S (velocità delle onde trasversali) nel sottosuolo permettono di stimare il parametro  $V_{s,eq}$  e categorizzare il sottosuolo dal punto di vista sismico, elaborando così l'effetto della risposta sismica locale. Per le MASW vengono utilizzate le onde di Rayleigh (onde superficiali) che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche P e onde di taglio polarizzate verticalmente, Sv. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh è visualizzato con grafici  $V(fase)/f(frequenza)$ , tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito poi in profili Vs / profondità.

Dal punto di vista operativo le indagini sono state eseguite con uno stendimento 24 geofoni (ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio.

Strato	Risultati elaborazione			Vel m/sec
	Profondità da	Spessore a	Vel m	
Strato1	0.00	0.80	0.80	180
Strato2	0.80	2.70	1.90	230
Strato3	2.70	7.00	4.30	415
Strato4	7.00	16.70	9.70	620
Strato5	16.70	30.00	13.30	750

$$V_{s30} = 531 \text{ m/sec}$$

velocità calcolata dal p.c. naturale

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

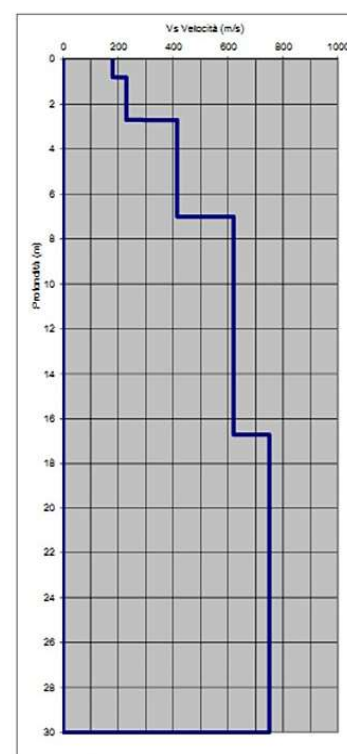


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

## 8.7 PROVE DI LABORATORIO


Vengono di seguito riportate le sintesi delle classificazioni sui 4 campioni disturbati prelevati in S1 e S2

			
<b>RAPPORTO DI PROVA N°: R08475</b> Allegato 1		DATA DI EMISSIONE: 27/08/19 Inizio analisi: 19/08/19 Apertura campione: 19/08/19 Fine analisi: 27/08/19	
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: del			
COMMITTENTE: Dott. Geol. Daniele Sargenti			
RIFERIMENTO: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimoncino			
SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA' m: 4.00 - 4.45			
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO</b>			
Classificazione secondo: UNI 11531/14			
<b>ANALISI GRANULOMETRICA</b>		<b>LIMITI DI CONSISTENZA</b>	
Passante setaccio 10 (2 mm) 48,5 % Passante setaccio 40 (0.42 mm) 40,1 % Passante setaccio 230 (0.063 mm) 30,7 %	Limite di liquidità 33,0 % Limite di plasticità 19,9 % Indice di plasticità 13,1 %		
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A2-6 INDICE DI GRUPPO: 0</b>			
Tipi usuali dei materiali principali: Ghiaia limosa o argillosa e sabbia			

SGEO - Laboratorio 6.2 - 2018

			
<b>RAPPORTO DI PROVA N°: R08476</b> Allegato 1		DATA DI EMISSIONE: 27/08/19 Inizio analisi: 19/08/19 Apertura campione: 19/08/19 Fine analisi: 27/08/19	
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: del			
COMMITTENTE: Dott. Geol. Daniele Sargenti			
RIFERIMENTO: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimoncino			
SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 PROFONDITA' m: 8.60 - 9.00			
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO</b>			
Classificazione secondo: UNI 11531/14			
<b>ANALISI GRANULOMETRICA</b>		<b>LIMITI DI CONSISTENZA</b>	
Passante setaccio 10 (2 mm) 86,0 % Passante setaccio 40 (0.42 mm) 73,1 % Passante setaccio 230 (0.063 mm) 57,5 %	Limite di liquidità 31,3 % Limite di plasticità 18,9 % Indice di plasticità 12,4 %		
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A6 INDICE DI GRUPPO: 5</b>			
Tipi usuali dei materiali principali: Argille poco compressibili			

SGEO - Laboratorio 6.2 - 2018

		AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA DNV-GL	
RAPPORTO DI PROVA N°: R08477 Allegato 1		DATA DI EMISSIONE: 27/08/19 Inizio analisi: 19/08/19	
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: del		Apertura campione: 19/08/19 Fine analisi: 27/08/19	
COMMITTENTE: Dott. Geol. Daniele Sargenti			
RIFERIMENTO: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimoncino			
SONDAGGIO: 2 CAMPIONE: 1 PROFONDITÀ: m 3.00 - 3.30			
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO</b>			
Classificazione secondo: UNI 11531/14			
<b>ANALISI GRANULOMETRICA</b>		<b>LIMITI DI CONSISTENZA</b>	
Passante setaccio 10 (2 mm) 28,3 %		Limite di liquidità 31,6 %	
Passante setaccio 40 (0.42 mm) 21,0 %		Limite di plasticità N.D. %	
Passante setaccio 230 (0.063 mm) 11,3 %		Indice di plasticità - - - %	
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A1-a INDICE DI GRUPPO: 0</b>			
Tipi usuali dei materiali principali: Ghiaia o breccia, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane			

SCED - Laboratorio 6.2 - 2018

		AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA DNV-GL	
RAPPORTO DI PROVA N°: R08478 Allegato 1		DATA DI EMISSIONE: 27/08/19 Inizio analisi: 19/08/19	
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: del		Apertura campione: 19/08/19 Fine analisi: 27/08/19	
COMMITTENTE: Dott. Geol. Daniele Sargenti			
RIFERIMENTO: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimoncino			
SONDAGGIO: 2 CAMPIONE: 2 PROFONDITÀ: m 8.65 - 9.00			
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO</b>			
Classificazione secondo: UNI 11531/14			
<b>ANALISI GRANULOMETRICA</b>		<b>LIMITI DI CONSISTENZA</b>	
Passante setaccio 10 (2 mm) 65,8 %		Limite di liquidità 31,4 %	
Passante setaccio 40 (0.42 mm) 55,7 %		Limite di plasticità 21,0 %	
Passante setaccio 230 (0.063 mm) 40,1 %		Indice di plasticità 10,4 %	
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A6 INDICE DI GRUPPO: 1</b>			
Tipi usuali dei materiali principali: Argille poco compressibili			

SCED - Laboratorio 6.2 - 2018



## 9 RELAZIONE SUL MODELLO SISMICO

### 9.1 PREMESSA

Il territorio del Comune di Fanano è stato inserito nella **zona sismica 3** dalla nuova Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 ed ai sensi della D.G.R. n. 1677/05 Allegato B, con applicazione effettiva dal 23/10/2005. Esso risulta in particolare collocato in una zona caratterizzata da valori di PGA compresi tra 0.15 e 0.20 g e da un'intensità macrosismica pari al 7° grado (Scala MCS) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e con periodo di ritorno pari a 475 anni.

Viene elaborata un'analisi di **Risposta Sismica Locale (RSL) monodimensionale, prima semplificata e successivamente avanzata/rigorosa**. È stato scelto di adottare un'analisi monodimensionale in quanto il volume significativo di terreno è caratterizzato da situazione stratigrafica tipica e ben definita (C7.11.3.1 NTC).

Seguendo le disposizioni generali descritte nel paragrafo 2 della DGR n.476 del 2021 e sulla base della Cartografia ufficiale del Dissesto, l'area in esame è soggetta ad analisi di terzo livello di Microzonazione Sismica. In particolare, è stato scelto di adottare il terzo livello di approfondimento in quanto l'area rientra nel punto C del paragrafo 2.1 della DGR 476/2021, come "aree di versante potenzialmente instabili".

### 9.2 RISPOSTA SISMICA LOCALE SEMPLIFICATA

#### 9.2.1 CATEGORIA DI SUOLO

Sulla base della prospezione MASW sito specifica effettuata il 31 luglio 2019 che restituisce valori di  $V_{s30}=531\text{m/s}$ , è possibile assumere una categoria di suolo **B**, "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti"

A	<i>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.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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.</i>
E	<i>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.</i>

### 9.2.2 CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda la categoria topografica da attribuire al sito, si fa riferimento allo stato di progetto in cui i paramenti dell'invaso e dell'argine assumeranno pendenze  $> 15^\circ$ . È possibile dunque classificarlo in classe T2.

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

### 9.2.3 RISCHIO LIQUEFAZIONE

Per caratteristiche litologiche è da escludere il rischio di liquefazione per i terreni in oggetto.

### 9.2.4 INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO NTC 2018 – GEOSTRU PS ADVANCED 2022

Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]

Tipo di interpolazione: Superficie rigata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	44,1967850 [°]
Longitudine (WGS84):	10,7297220 [°]
Latitudine (ED50):	44,1977386 [°]
Longitudine (ED50):	10,7307243 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]
1	18053	44,201960	10,701010
2	18054	44,203580	10,770730

3	18276	44,153600	10,772980
4	18275	44,151980	10,703400

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,061	2,456	0,251
SLD	50	0,078	2,437	0,261
	72	0,091	2,425	0,266
	101	0,105	2,443	0,268
	140	0,122	2,418	0,273
	201	0,141	2,399	0,278
SLV	475	0,192	2,377	0,291
SLC	975	0,239	2,415	0,298
	2475	0,312	2,476	0,319

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,060	2,469	0,251
SLD	50	0,077	2,444	0,262
	72	0,090	2,436	0,267
	101	0,103	2,437	0,271
	140	0,117	2,453	0,276
	201	0,135	2,467	0,277
SLV	475	0,188	2,387	0,291
SLC	975	0,236	2,386	0,300
	2475	0,308	2,452	0,318

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,447	0,251
SLD	50	0,079	2,430	0,261
	72	0,094	2,438	0,262
	101	0,109	2,429	0,266
	140	0,124	2,417	0,273
	201	0,145	2,391	0,278
SLV	475	0,199	2,378	0,286
SLC	975	0,254	2,388	0,289
	2475	0,336	2,413	0,316

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,062	2,437	0,250
SLD	50	0,080	2,434	0,258



	72	0,094	2,440	0,261
	101	0,109	2,432	0,266
	140	0,126	2,408	0,272
	201	0,147	2,378	0,277
SLV	475	0,200	2,384	0,285
SLC	975	0,257	2,393	0,288
	2475	0,340	2,407	0,317

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,061	2,459	0,251
SLD	50	0,077	2,439	0,261
SLV	475	0,191	2,381	0,290
SLC	975	0,239	2,402	0,297

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

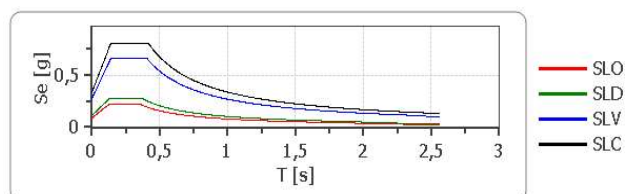
Categoria sottosuolo: **B**

Categoria topografica: **T2** Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

#### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,018	0,022	0,066	0,094
kv	0,009	0,011	0,033	0,047
$\bar{a}_{max}$ [m/s²]	0,859	1,094	2,697	3,295
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,061	2,459	0,251	1,200	1,450	1,200	1,440	1,000	0,121	0,364	1,843	0,088	0,215
SLD	1,0	0,077	2,439	0,261	1,200	1,440	1,200	1,440	1,000	0,125	0,376	1,910	0,112	0,272
SLV	1,0	0,191	2,381	0,290	1,200	1,410	1,200	1,440	1,000	0,136	0,409	2,364	0,275	0,655
SLC	1,0	0,239	2,402	0,297	1,170	1,400	1,200	1,404	1,000	0,139	0,416	2,557	0,336	0,807

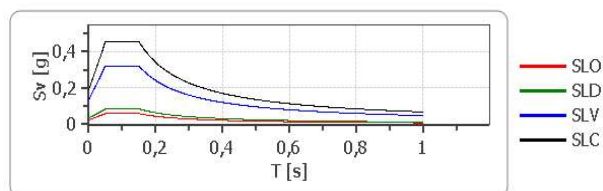
#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,061	2,459	0,251	1	1,450	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,024	0,060
SLD	1,0	0,077	2,439	0,261	1	1,440	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,035	0,085
SLV	1,0	0,191	2,381	0,290	1	1,410	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,135	0,322
SLC	1,0	0,239	2,402	0,297	1	1,400	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,190	0,456

### 9.3 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE ANALITICA/RIGOROSA

#### 9.3.1 Introduzione teorica

Per l'analisi di risposta sismica locale avanzata/rigorosa, è stato utilizzato il software di Geostru RSL III 2022, versione: 2022.21.5.988. Questo software è utilizzato per la valutazione della risposta sismica locale secondo un approccio locale di terzo livello. Con questo è possibile valutare quantitativamente il fattore di amplificazione puntuale di una particolare stratigrafia in base ad una modellazione monodimensionale degli strati di terreno presenti in situ. La procedura di calcolo adoperata da RSL si basa su metodi numerici che simulano la propagazione delle onde sismiche in un deposito di terreno orizzontalmente stratificato a partire dalla sottostante formazione rocciosa.

Il metodo numerico utilizzato dal programma si basa su un modello lineare equivalente, dove le proprietà elastiche e lo smorzamento vengono fatti variare in funzione del livello di formativo; ciò semplifica la trattazione del problema della non linearità del comportamento dei terreni

sottoposti a cicli di carico. Le analisi di RSL sono state condotte considerando lo Stato Limite Ultimo della Salvaguardia della vita umana (SLV) e smorzamento pari al 5%.

### 9.3.2 Accelerogrammi di base per SLV

Per lo SLV si è fatto riferimento agli accelerogrammi selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database", estratti utilizzando il programma Rexel. Nella tabella sottostante sono riportate le caratteristiche delle singole tracce considerate.

Nome terremoto	Luogo	Data	Magnitudo	Movimento	Distanza dall'epicentro
7142	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14
5272	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique	24
6332	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6
55	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23
598	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	27
473	Vrancea	31/05/1990	6.3	thrust	7
6331	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	22

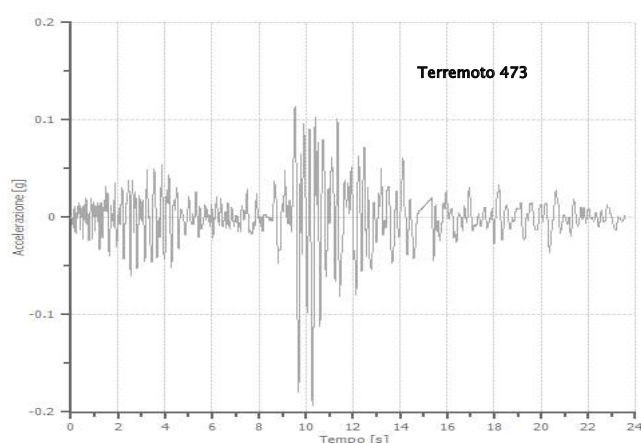
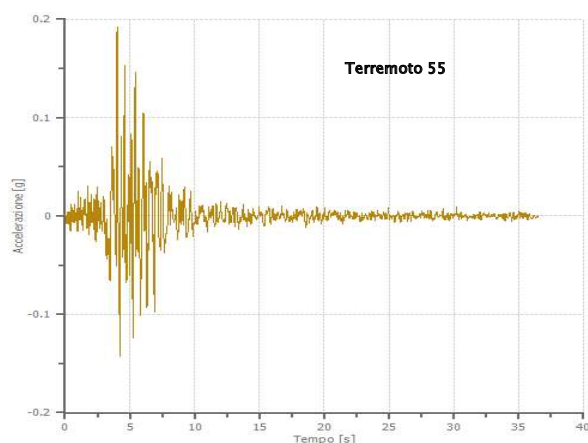


Figure 20 - Tracce 55 e 473

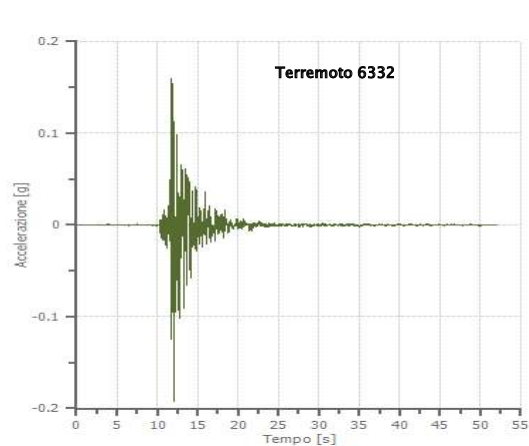
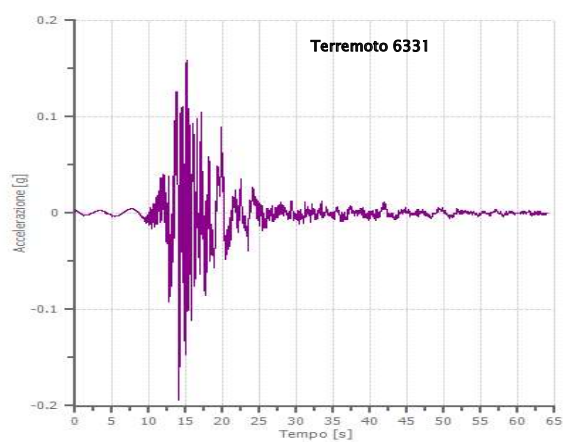
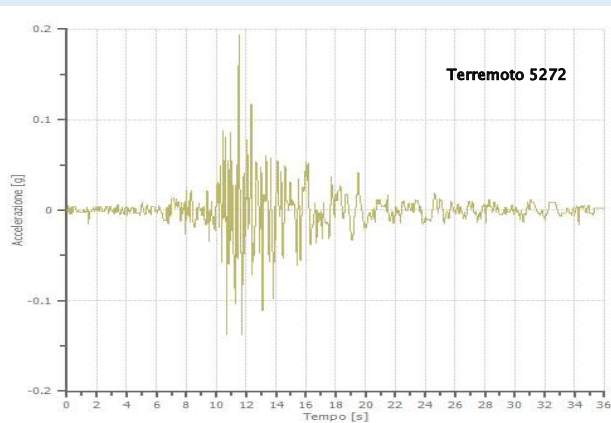
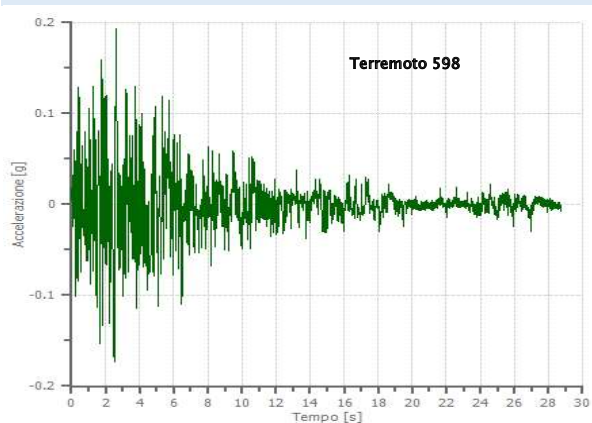


Figure 21 – Tracce 598 5272 6331 6332



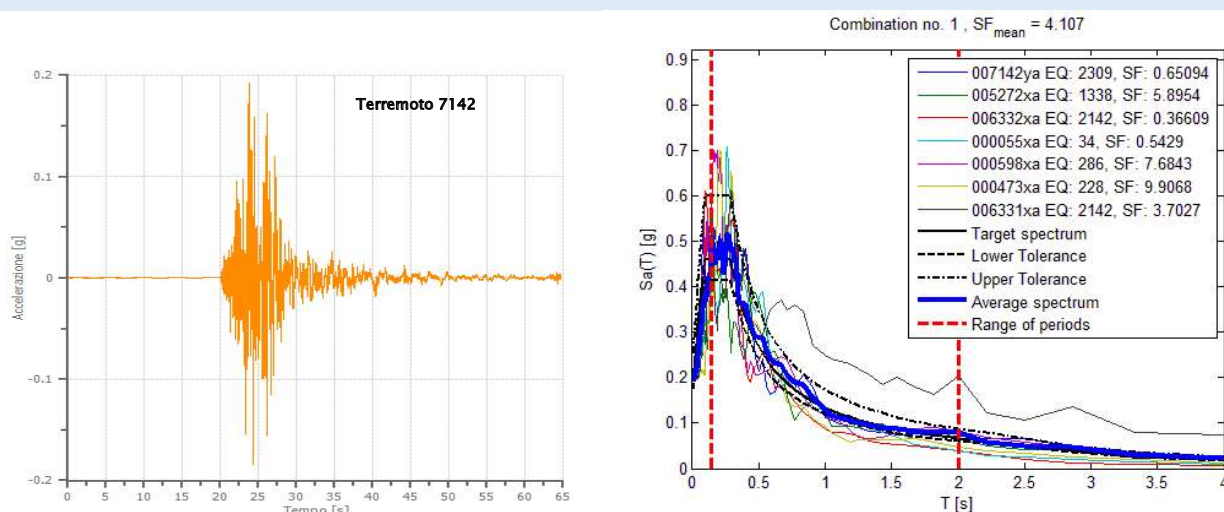


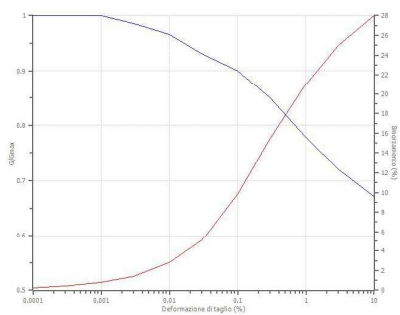
Figura 22 – A sx Traccia 7142 A dx: Sintesi tracce selezionate da Rexel

### 9.3.3 Terreni

Le curve di decadimento utilizzate per i terreni presenti nell'area di studio sono state "Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)" fino alla profondità di 0.8 m, scelta considerando la litologia prevalente dello strato, Vucetic & Dorby (1991)  $PI=15$ , da 0.8m a 7m, scelta considerando le risultanze delle prove di laboratorio eseguite nell'agosto del 2019, che riportano l'indice di plasticità e la classificazione del terreno a queste profondità, ed infine EPRI Rock (1993) 0–6 metri, da 7m a 16.7m. Queste curve sono state selezionate considerando la litologia prevalente del sito e le caratteristiche dei terreni. Esse descrivono il comportamento non lineare del terreno, infatti si può osservare come all'aumentare del livello di deformazione dovuto al sisma si ha una diminuzione del modulo di taglio  $G$  ed un aumento del rapporto di smorzamento  $D$ .

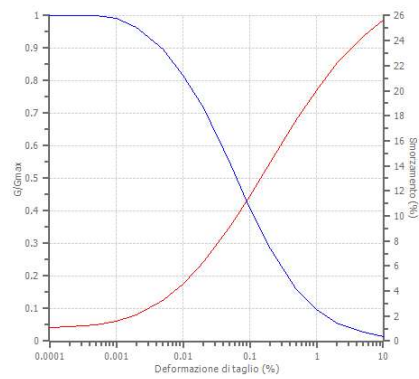
"Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)"

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.986	0.003	1.4
0.01	0.966	0.01	2.8
0.03	0.931	0.03	5.1
0.1	0.9	0.1	9.8
0.3	0.85	0.3	15.5
1	0.779	1	21
3	0.72	3	25
10	0.671	10	28



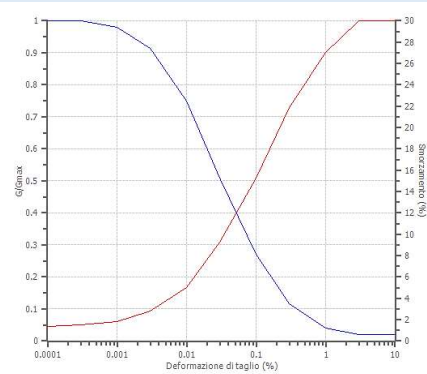
Vucetic & Dorby (1991) PI=15

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1	0.0001	1.097
0.0002	1	0.0002	1.163
0.0005	1	0.0005	1.287
0.001	0.992	0.001	1.578
0.002	0.965	0.002	2.076
0.005	0.898	0.005	3.239
0.01	0.818	0.01	4.568
0.02	0.719	0.02	6.312
0.05	0.549	0.05	9.136
0.1	0.408	0.1	11.55
0.2	0.287	0.2	14.2
0.5	0.158	0.5	17.69
1	0.096	1	19.98
2	0.055	2	22.14
5	0.028	5	24.34
10	0.014	10	25.66



EPRI Rock (1993) 0-6 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1	0.0001	3.5
0.0003	1	0.0003	4
0.001	0.98	0.001	5.5
0.003	0.914	0.003	9.25
0.01	0.75	0.01	14.5
0.03	0.509	0.03	21
0.1	0.27	0.1	26.5
0.3	0.116	0.3	32.5
1	0.04	1	32.5
3	0.02	3	32.5
10	0.02	10	32.5



9.3.4 Stratigrafia sismica

La stratigrafia utilizzata deriva dalle risultanze delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area di studio.

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Coltre eluviale	---	0.8	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	62.75	19	180	7.6
2	Coltre eluviale	0.8	1.9	Vucetic & Dorby (1991) PI=15	102.46	19	230	33.3
3	BR	2.7	4.3	Vucetic & Dorby (1991) PI=15	386.23	22	415	98.6
4	BR	7	9.7	EPRI Rock (1993) 0-6 metri	862.06	22	620	252.6
5	BR	∞	---	Smorzame nto costante	1261.47	22	750	359.3

Profilo			Velocità onde di taglio	
	0.80 [m]	0.80 [m]	180.0 [m/s]	
	1.90 [m]	2.70 [m]	230.0 [m/s]	
	4.30 [m]	7.00 [m]	415.0 [m/s]	
	9.70 [m]	16.70 [m]	620.0 [m/s]	
	∞	∞	750.0 [m/s]	

#### 9.3.5 Spettri di risposta elastica risultanti

Lo spettro medio derivato dall'elaborazione degli accelerogrammi in funzione della stratigrafia è stato normalizzato per ottenere i valori dei parametri T0, TB, TC, TD. Per fare ciò sono stati utilizzati i seguenti fattori di amplificazione.

#### Fattori di amplificazione ICMS 2018

**Fa** 1.308 [-]

**Fv** 1.025 [-] Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo	Periodo massimo	Int. Housner input	Int. Housner output	Int. Housner input/output	FA
[s]	[s]	[m]	[m]	[m]	
0.1	3	0.681	0.709	0.033	1.042



### 9.3.5.1 Spettro MEDIO di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0	0.2537	0.26	0.5764	0.52	0.299	0.98	0.1363	2.25	0.0573
0.01	0.2538	0.27	0.5793	0.53	0.2966	1	0.1313	2.3	0.0559
0.02	0.2537	0.28	0.55	0.54	0.2887	1.05	0.1196	2.35	0.0547
0.03	0.2679	0.29	0.5334	0.55	0.2779	1.1	0.1145	2.4	0.053
0.04	0.3295	0.3	0.5315	0.56	0.2666	1.15	0.1082	2.5	0.0503
0.05	0.4178	0.31	0.5265	0.57	0.2593	1.2	0.1047	2.6	0.052
0.06	0.4422	0.32	0.5056	0.58	0.2525	1.25	0.101	2.7	0.0519
0.07	0.4847	0.33	0.4695	0.6	0.2475	1.3	0.0977	2.8	0.0495
0.08	0.5495	0.34	0.4297	0.62	0.2422	1.35	0.0942	2.9	0.0455
0.09	0.5581	0.35	0.4066	0.64	0.2386	1.4	0.0916	3	0.0412
0.1	0.5742	0.36	0.3935	0.66	0.2363	1.45	0.0912	3.1	0.0372
0.11	0.5772	0.37	0.3879	0.68	0.2298	1.5	0.0913	3.2	0.0343
0.12	0.545	0.38	0.3922	0.7	0.2184	1.55	0.0874	3.3	0.0315
0.13	0.5962	0.39	0.3927	0.72	0.2071	1.6	0.0843	3.4	0.029
0.14	0.6092	0.4	0.3837	0.74	0.2002	1.65	0.0833	3.5	0.0271
0.15	0.667	0.41	0.367	0.76	0.1958	1.7	0.0826	3.6	0.0261
0.16	0.6315	0.42	0.3504	0.78	0.1911	1.75	0.082	3.7	0.0257
0.17	0.5777	0.43	0.3381	0.8	0.1893	1.8	0.0808	3.8	0.0252
0.18	0.5846	0.44	0.3308	0.82	0.1892	1.85	0.0789	3.9	0.025
0.19	0.5763	0.45	0.3221	0.84	0.1864	1.9	0.0806	4	0.0244
0.2	0.5802	0.46	0.3119	0.86	0.1803	1.95	0.0807		
0.21	0.6018	0.47	0.3085	0.88	0.1716	2	0.0785		
0.22	0.5722	0.48	0.3033	0.9	0.1624	2.05	0.0746		
0.23	0.5206	0.49	0.3028	0.92	0.1519	2.1	0.0696		
0.24	0.4981	0.5	0.3003	0.94	0.1456	2.15	0.0642		
0.25	0.5337	0.51	0.3006	0.96	0.1407	2.2	0.0599		

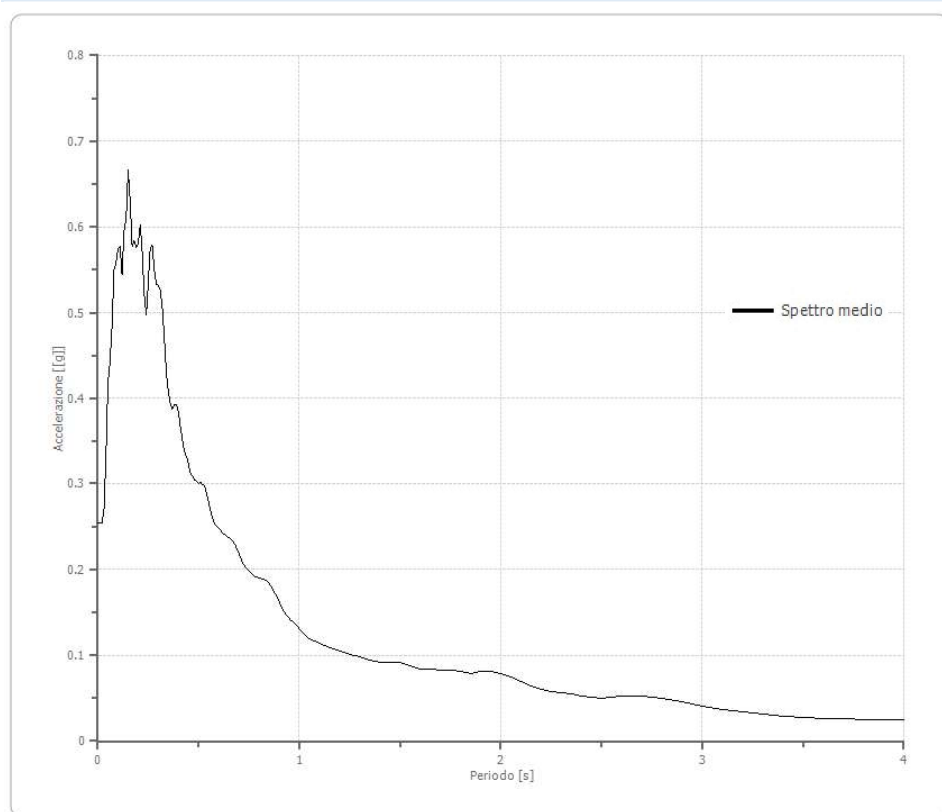


Figura 23 - Spettro medio

### 9.3.5.2 Spettro NORMALIZZATO di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico normalizzato è stato calcolato seguendo le linee guida dell'Ordinanza n.55 del 24/04/2018, Allegato 1, Appendice 1.

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0	0.2143	0.26	0.5857	0.52	0.3178	0.98	0.1686	2.25	0.0734
0.01	0.2538	0.27	0.5857	0.53	0.3118	1	0.1652	2.3	0.0718
0.02	0.2933	0.28	0.5857	0.54	0.306	1.05	0.1574	2.35	0.0703
0.03	0.3328	0.29	0.5698	0.55	0.3004	1.1	0.1502	2.4	0.0688
0.04	0.3723	0.3	0.5508	0.56	0.2951	1.15	0.1437	2.5	0.0661
0.05	0.4118	0.31	0.533	0.57	0.2899	1.2	0.1377	2.6	0.0636
0.06	0.4513	0.32	0.5164	0.58	0.2849	1.25	0.1322	2.7	0.0612
0.07	0.4908	0.33	0.5007	0.6	0.2754	1.3	0.1271	2.8	0.059
0.08	0.5303	0.34	0.486	0.62	0.2665	1.35	0.1224	2.9	0.057
0.09	0.5698	0.35	0.4721	0.64	0.2582	1.4	0.118	3	0.0551
0.1	0.5857	0.36	0.459	0.66	0.2504	1.45	0.114	3.1	0.0533
0.11	0.5857	0.37	0.4466	0.68	0.243	1.5	0.1102	3.2	0.0516
0.12	0.5857	0.38	0.4348	0.7	0.236	1.55	0.1066	3.3	0.0501
0.13	0.5857	0.39	0.4237	0.72	0.2295	1.6	0.1033	3.4	0.0486
0.14	0.5857	0.4	0.4131	0.74	0.2233	1.65	0.1001	3.5	0.0472
0.15	0.5857	0.41	0.403	0.76	0.2174	1.7	0.0972	3.6	0.0459
0.16	0.5857	0.42	0.3934	0.78	0.2118	1.75	0.0944	3.7	0.0447
0.17	0.5857	0.43	0.3843	0.8	0.2065	1.8	0.0918	3.8	0.0435
0.18	0.5857	0.44	0.3755	0.82	0.2015	1.85	0.0893	3.9	0.0424
0.19	0.5857	0.45	0.3672	0.84	0.1967	1.9	0.087	4	0.0413
0.2	0.5857	0.46	0.3592	0.86	0.1921	1.95	0.0847		
0.21	0.5857	0.47	0.3516	0.88	0.1878	2	0.0826		
0.22	0.5857	0.48	0.3442	0.9	0.1836	2.05	0.0806		
0.23	0.5857	0.49	0.3372	0.92	0.1796	2.1	0.0787		
0.24	0.5857	0.5	0.3305	0.94	0.1758	2.15	0.0769		
0.25	0.5857	0.51	0.324	0.96	0.1721	2.2	0.0751		

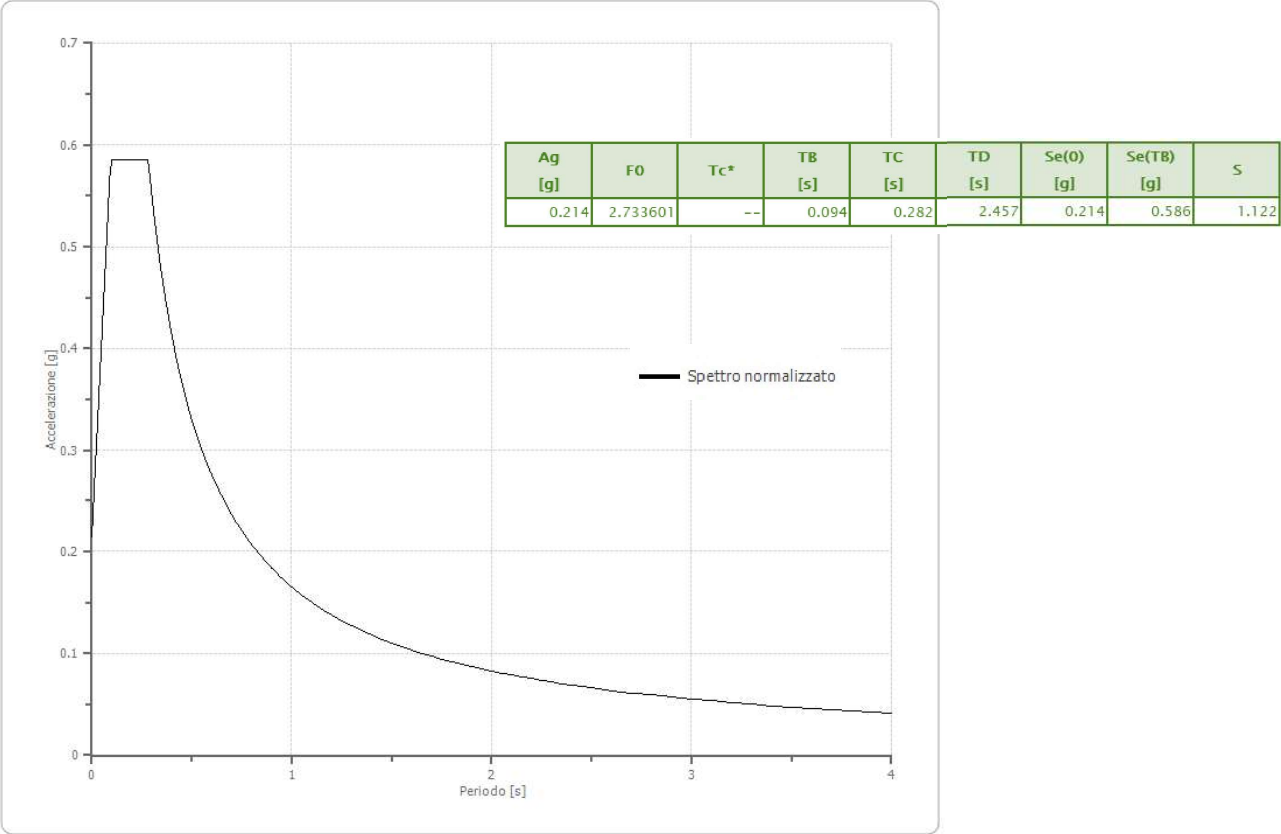


Figura 24 - Spettro normalizzato



### 9.3.5.3 Confronto tra gli spettri prodotti

Di seguito è riportato il grafico che confronta gli spettri risultanti dall'elaborazione di ogni accelerogramma, lo spettro medio e lo spettro normalizzato secondo le linee guida dell'Ordinanza n.55 del 24/04/2018, Allegato 1, Appendice 1.

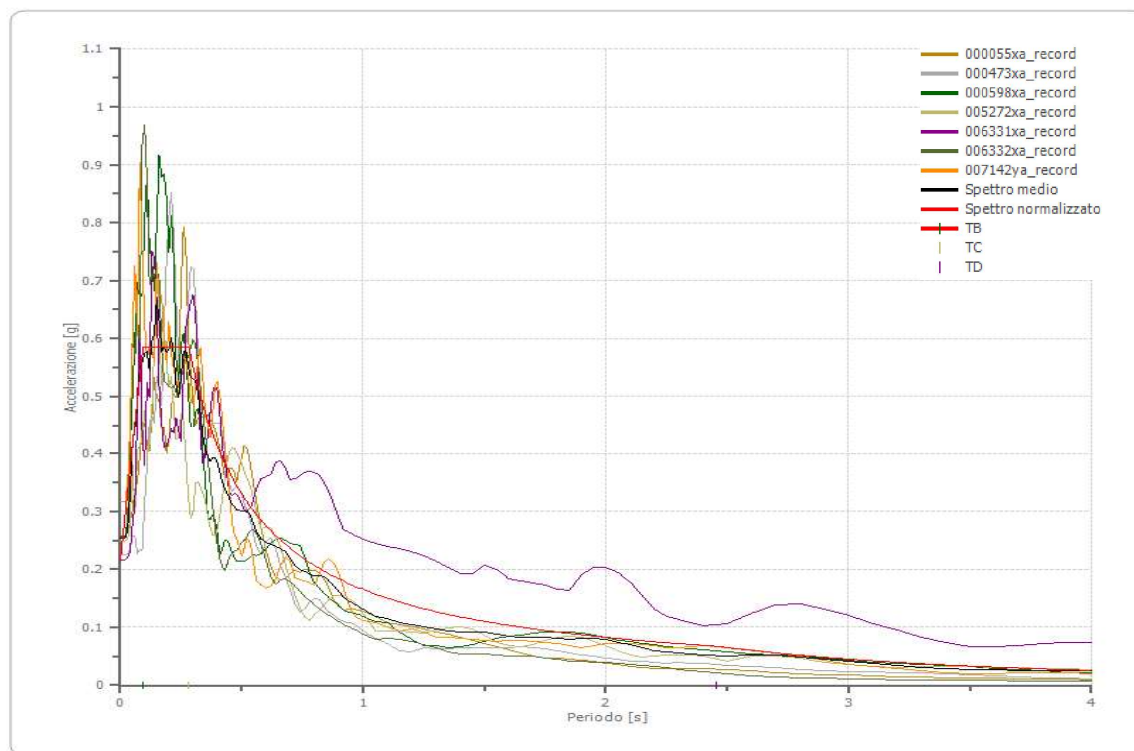


Figura 25 - Spettri calcolati

# Profilo $a_{max}$

	0 [m]	0.8 [m]	2.7 [m]	7 [m]	16.7 [m]
000055xa_record [g]	0.256	0.252	0.222	0.189	0.192
000473xa_record [g]	0.225	0.223	0.212	0.196	0.194
000598xa_record [g]	0.257	0.246	0.194	0.193	0.194
005272xa_record [g]	0.249	0.246	0.224	0.191	0.194
006331xa_record [g]	0.216	0.214	0.201	0.182	0.194
006332xa_record [g]	0.256	0.244	0.208	0.167	0.192
007142ya_record [g]	0.317	0.303	0.233	0.172	0.193
media [g]	0.254	0.247	0.213	0.184	0.193
Dev. St. [g]	0.033	0.028	0.014	0.011	0.001

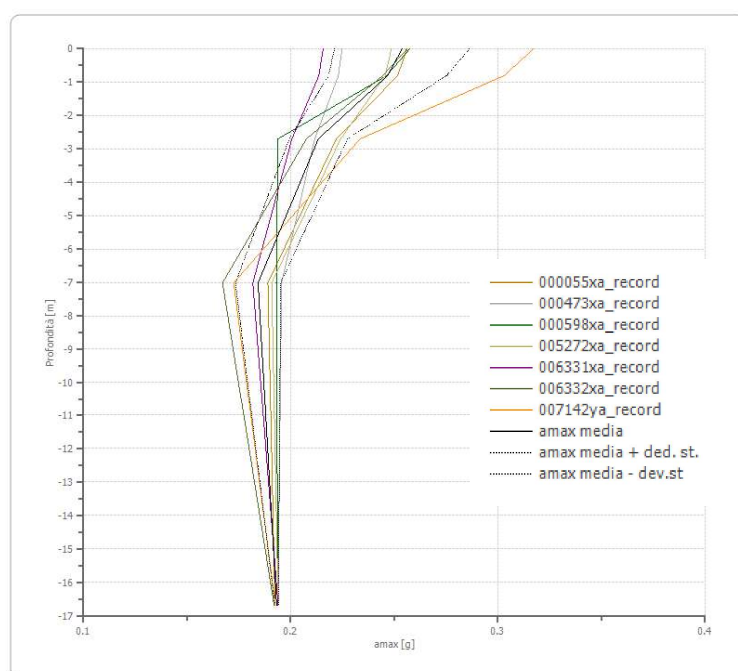
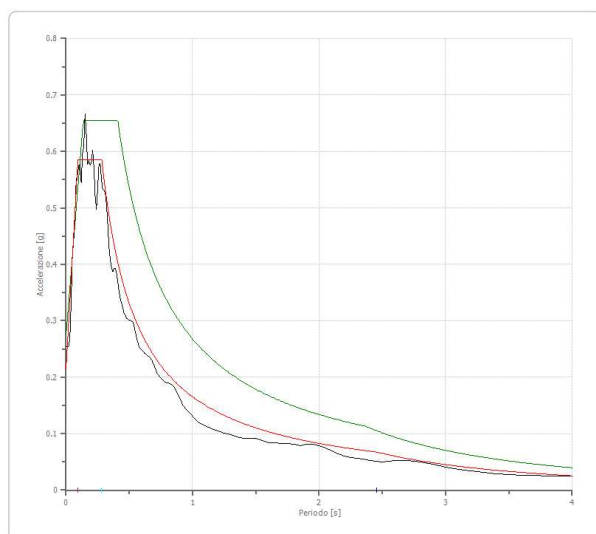


Figure 26 - Profilo  $a_{max}$



l'amplificazione che essa subisce. In particolare, lo spettro semplificato riporta valori superiori rispetto allo spettro normalizzato e mostra una durata maggiore del plateau, ciò significa che il tratto ad accelerazione costante è più breve nel secondo caso.

Lo spettro normalizzato risulta con accelerazioni sempre inferiori rispetto allo spettro semplificato.

### 9.3.6 Conclusioni

Confronto tra spettro da analisi semplificata, spettro elastico normalizzato e spettro medio

Figura 27- Spettro normalizzato, spettro da analisi semplificata e spettro medio

Si può osservare come l'accelerazione massima al suolo, cioè il punto intercetto con l'asse delle Y, risulti minore per lo spettro normalizzato ( $Se(0)=a_{max}=0.214g$ ) rispetto a quello semplificato ( $Se(0)=a_{max}=ag*St*Ss=0.275g$ ). Ciò che cambia maggiormente è il valore di accelerazione nel punto dove inizia il plateau, e quindi

		Analisi semplificata				Analisi avanzata-rigorosa	
		SLO	SLD	SLV	SLC	Spettro normalizzato	Spettro medio
Tr	anni	30	50	475	975	475	475
ag	g	0.061	0.077	0.191	0.239		
F0		2.459	2.439	2.381	2.402	2.734	
Tc*	s	0.251	0.261	0.29	0.297	0.282	
Ss		1.2	1.2	1.2	1.17		
St		1.2	1.2	1.2	1.2		
Cc		1.45	1.44	1.41	1.4		
TB	s	0.121	0.125	0.136	0.139	0.094	
TC	s	0.364	0.376	0.409	0.416	0.282	
TD	s	1.844	1.908	2.364	2.556	2.457	
Se (0)	g	0.088	0.111	0.275	0.336	0.214	0.254
Se(TB)	g	0.216	0.27	0.655	0.806	0.586	

#### 9.4 CALCOLO COEFFICIENTE SISMICO ORIZZONTALE (KH) E VERTICALE (KV)

Secondo le NTC 2018, per eseguire le analisi di stabilità dei pendii e fondazioni in condizioni sismiche occorre introdurre i coefficienti sismici orizzontale e verticale (§ 7.11.3.5.2)

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

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

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

Per eseguire le analisi in condizioni sismiche di fronti di scavo e rilevati occorre introdurre i seguenti coefficienti (§ 7.11.4):

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

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

$$\beta_s = 0,38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

$$\beta_s = 0,47 \text{ nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).}$$

$$\beta_s = 0,38$$

$$K_h = 0,38 \cdot 0,214 = 0,08$$

$$a_{max}/g = 0,214$$

$$K_v = 0,5 \cdot 0,08 = 0,04$$

Per eseguire le analisi in condizioni sismiche di muri di sostegno occorre introdurre i seguenti coefficienti (§ 7.11.6.2):

$$k_h = \beta_m \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

$\beta_m$  (coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito) per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.  
 $\beta_m = 0,38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)  
 $\beta_m = 0,47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Nel sito in esame risulterebbero i seguenti coefficienti:

$$\beta_m = 0,38$$

$$K_h = 0,38 \cdot 0,214 = 0,08$$

$$a_{max}/g = 0,214$$

$$K_v = 0,5 \cdot 0,08 = 0,04$$



### Coefficienti sismici caso di studio

#### Analisi di stabilità del pendio (§ 7.11.3.5.2), quindi:

L'accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido risulta  $a_g=0.191g$ , di conseguenza il coefficiente di riduzione  $\beta_s$  per la categoria di sottosuolo presente nel sito (Categoria B) risulta 0.24.

$\beta_s = 0.24$		$K_h = 0.24 * 0.214 = 0.05$
$a_{max}/g = 0.214$		$K_v = 0.5 * 0.05 = 0.025$

#### Analisi di fronti di scavo e rilevati (§ 7.11.4), quindi:

$\beta_s = 0.38$		$K_h = 0.38 * 0.214 = 0.08$
$a_{max}/g = 0.214$		$K_v = 0.5 * 0.08 = 0.04$

### 9.5 MICROZONAZIONE SISMICA – DGR ER 476 DEL 2021

#### 9.5.1 Premessa

Il Comune di Fanano è dotato di Studio di Microzonazione Sismica. Lo stesso non comprende l'area di progetto. Si procede pertanto, essendo in Variante Urbanistica, alle determinazioni di cui alla DGR 476/2021.

L'analisi litostratigrafica di dettaglio restituisce un quadro che fa escludere un deposito di frana generalizzato sull'area di progetto, definendo una copertura del substrato pelitico dell'ordine dei 3m, anche in considerazione del fatto che esistono volumi di materiali riportati in occasione dell'insediamento della Sciovia Mercanti negli anni '80 (vedi Capitolo 10).

Si produce comunque un'analisi di III livello di approfondimento. Le due formazioni pelitiche del substrato hanno comportamento analogo alla sollecitazione sismica (vedi profili SR).

#### 9.5.2 FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A.

L'area in studio rientra nella zona "Appennino (zone collinari e montane) con substrato non rigido caratterizzato da  $V_s < 800m/s$ "

Con riferimento alla prova MASW e considerate le risultanze dei sondaggi con perforatrice e delle prospezioni a rifrazione, è possibile identificare il **BR sismico** alla profondità di 7m.

Per il calcolo dei fattori F.A. sono da valutare due dati:

lo spessore dei terreni di copertura fino al bed-rock → **H = 7m**

la velocità delle onde S nei terreni di copertura → **V<sub>s7</sub>**

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{si}}} \quad V_{si} = \text{velocità in m/s dello strato } i\text{-esimo} \quad h_i = \text{spessore in metri dello strato } i\text{-esimo}$$

Nel nostro caso **V<sub>s7</sub> = 7 / [(0.8/180) + (1.9/230) + (4.3/415)] = 303m/s**

Di conseguenza:

In caso di coperture su substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, si devono usare le seguenti tabelle

Appennino, coperture su substrato non rigido

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

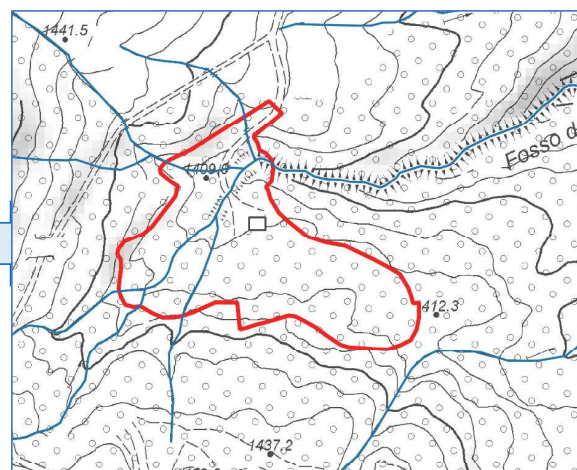
$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

Riferimento territoriale per le tabelle di cui alla DGR. 476/2021 – III Livello	Appennino e margine appenninico-padano
Accelerazione massima orizzontale di picco al suolo per $T_0$ ( $a_{refg}$ ) Fanano	0.179
Velocità di riferimento di taglio del substrato marino ( $>V_s$ )	<800 m/s
Spessore del deposito di copertura considerato (H)	7 m
Velocità equivalente delle onde di taglio del deposito di copertura considerato ( $V_{SH}$ )	303 m/s
Profondità Bed Rock sismico	7 m
Velocità onde di taglio Bed Rock sismico ( $V_s$ )	620÷750 m/s
Velocità equivalente delle onde di taglio ( $V_{Seq 30}$ )	531 m/s
Coefficiente di amplificazione per categoria topografica ( $S_T$ )	1.2
Fattore di Amplificazione del P.G.A. (F.A. P.G.A.)	1.65
Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale ( $SI1$ $0.1s < T_0 < 0.5s$ .)	1.5
Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale ( $SI2$ $0.5s < T_0 < 1.0s$ .)	1.35
Fattore di amplificazione Intensità Spettrale ( $SA1$ $0.1s < T_0 < 0.5s$ .)	1.55
Accelerazione massima orizzontale di picco alla superficie ( $ag/g = a_{ref} * F.A. P.G.A. * S_T$ )	0.354
Accelerazione massima orizzontale di picco alla superficie ( $ag/g$ ) RSL avanzata	0.214
Accelerazione massima orizzontale di picco alla superficie ( $ag/g$ ) RSL semplificata	0.275
Rischio liquefazione: Assente	
Cedimenti sismici: Non ragionevolmente stimabili. Assenza di terreni coesivi soffici, terreni granulari saturi e insaturi.	
Versante potenzialmente instabile: Effettuate verifiche positive	



## 10 MODELLO GEOLOGICO SITOSPECIFICO

Le risultanze dell'indagine geognostica portano a ridefinire rispetto alla cartografia ufficiale, in particolare per quanto riguarda i depositi recenti.

Le formazioni di base si confermano quelle identificate in cartografia ISPRA ma la loro distribuzione risulta diversa. In particolare, non si rileva la presenza di CEV. Gli affioramenti di FIU dietro all'Albergo Cimoncino e il loro rinvenimento nel sondaggio diretto a carotaggio continuo presso la stazione di partenza della ex-seggiovia, portano a proporre una fascia di raccordo.

Vengono confermati i contatti con MOD a monte, in corrispondenza dei cambi di pendenza fra la formazione arenacea e le sottostanti peliti.

L'area di progetto è stata parzialmente rimodellata in occasione della costruzione della Sciovia Mercanti negli anni '80. Durante le operazioni di cantiere il Fosso dei Mercanti è stato intubato per un tratto di 63m, con tubo in cls D100cm.

Nell'occasione, furono realizzati riporti con blocchi di arenarie di Monte Modino di massimo 3m sul fronte di valle della pianella di progetto. Gli stessi si rinvenivano in affioramento in posto subito a nord dell'asse del Fosso dei Mercanti, dove si presentano in parte sub arrotondati, con chiara influenza glaciale. Il dorso rappresenta un cordone residuo consolidato al margine meridionale del corpo di frana quiescente, questo ben riconoscibile, con distacco a nord di Piaggia Silvestro fra i 1475 e i 1500msm.

Per il resto, oltre ai materiali di rimodellazione delle aree cartografate alla pagina che segue, si rinvenivano direttamente le formazioni pelitiche AVC e FIU in facies eluviale. Solamente all'interno della vallecchia incisa dal Fosso principale emerge un deposito torrentizio di ghiaie grossolane eterogenee, poco mature, di derivazione arenacea (MOD). Lo stesso viene confinato in una piccola conoide e all'interno dell'incisione torrentizia, con limite ricavabile dall'area demaniale (impianto Catasto 1895).

Materiali detritici, francamente morenici, con enormi massi di MOD, chiudono più a monte e sono ben osservabili lungo la pista a monte dell'area in analisi.

**È dunque assente una generale copertura detritica di origine gravitativa che sormonti le diverse unità pelitiche di base.** Mancano per altro a monte aree di distacco riconoscibili anche solo come residue.

**Si esclude dunque la presenza di un accumulo di frana nell'area di cantiere per ragioni stratigrafiche.**

Sono invece probabili erosioni fluvio-glaciali lungo gli assi di deflusso attuale, con depositi nei cambi di pendenza locali.

Alle pagine che seguono si riporta cartografia interpretativa delle unità rilevate. Per le sezioni, si veda il Capitolo "Analisi di Stabilità"



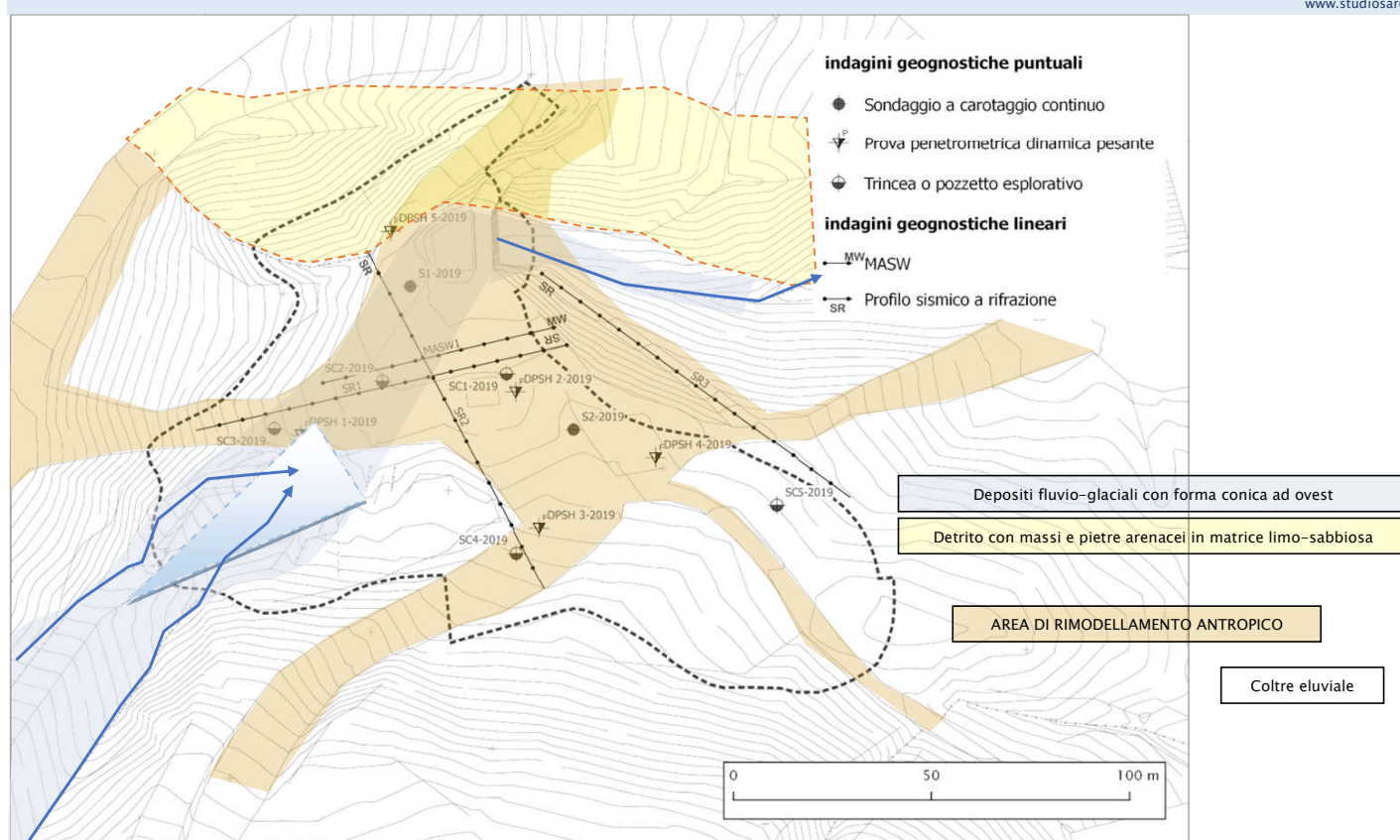


Figura 28 - Carta dei depositi superficiali e del rimodellamento antropico

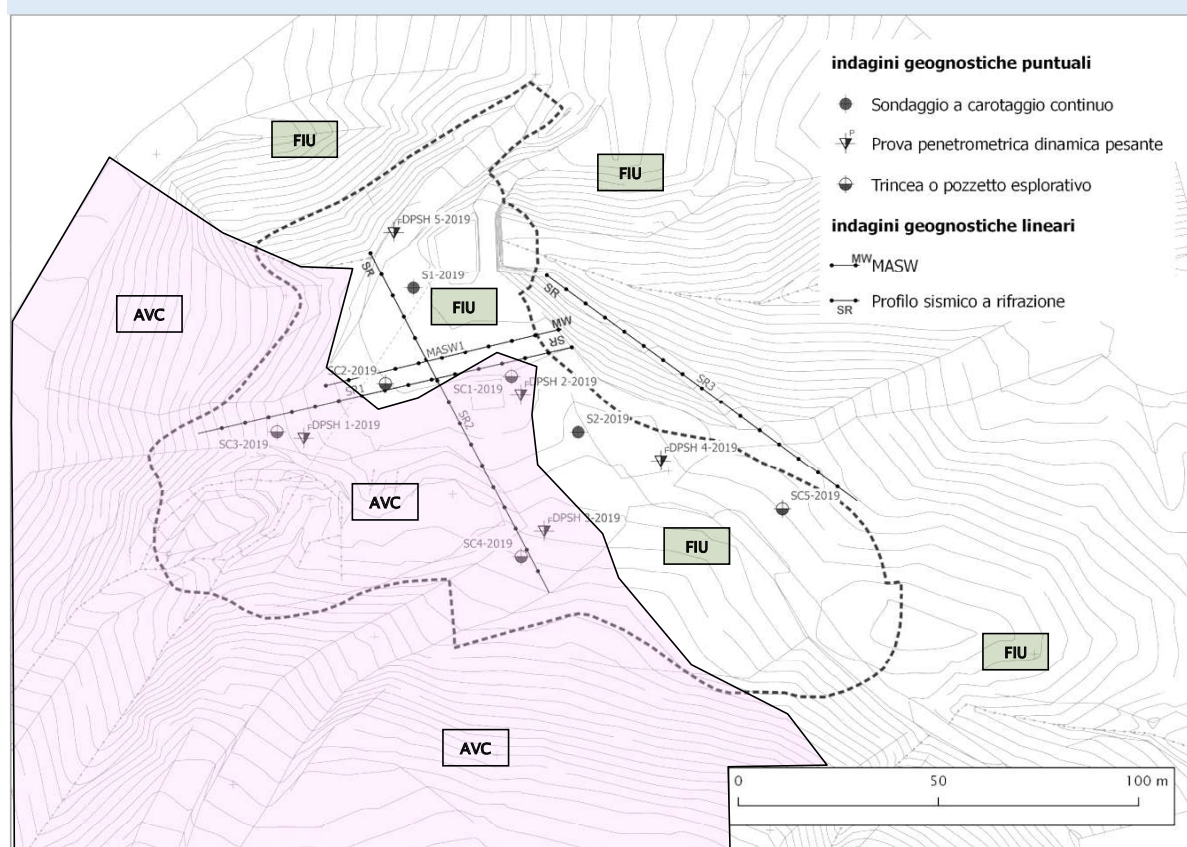


Figura 29 - Carta del substrato

## 11 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico viene elaborato sulla base delle risultanze dell'indagine geognostica a cui è seguita una revisione del modello stratigrafico locale. In particolare, si fa riferimento a due unità: una coltre di 3m prevalentemente eluviale ma anche caratterizzata da sedimenti ghiaiosi alluvionali e materiali di riporto per modificazione antropica, a cui seguono le formazioni AVC e FIU.

Per la caratterizzazione del primo spessore di 8m vengono utilizzate le prove penetrometriche dinamiche DPSH

### DPSH-1

#### Coesione non drenata (KPa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer	MEDIA
Dt LA	9,4	3,2	62,17	115,23	49,03		90,42		81,79	112,87	46,09	120,92	115,23	88,19
BR	58,59	5,4	387,85	718,24		194,96	575,85	809,15	405,21	653,91	287,33		718,24	527,86

#### Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Trofimenko v (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat	MEDIA
Dt LA	9,4	3,2	4,23	9,58	11,52	8,44
BR	58,59	5,4	26,36	58,78	57,46	47,53

#### Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia	MEDIA
Dt LA	9,4	3,2	8,6	9,22	8,91
BR	58,59	5,4	64,08	57,46	60,77

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Dt LA	9,4	3,2	Meyerhof	19,12
BR	58,59	5,4	Meyerhof	24,52

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Dt LA	9,4	3,2	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
BR	58,59	5,4	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

#### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Shioi-Fukui 1982 (ROAD BRIDGE)	MEDIA
Dt LA	9,4	3,2	9,4	29,69	22,69	26,87	26,42
BR	58,59	5,4	58,59	43,74	36,74	44,65	41,71

## DPSH-2

### Coesione non drenata (KPa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer	MEDIA
Dt A	2,09	1	12,85	25,6	14,71	19,71	39,32	18,73		10,2	25,6	25,6	21,37
Dt LA	8,45	3,4	55,9	103,56	49,03	81,2		73,84	105,32	41,38	102,28	103,56	79,56

### Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Trofimenko v (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat	MEDIA
Dt A	2,09	1	0,94	2,27	2,56	1,92
Dt LA	8,45	3,4	3,8	8,63	10,36	7,6

### Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia	MEDIA
Dt A	2,09	1	0,36	2,05	1,205
Dt LA	8,45	3,4	7,53	8,29	7,91

### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Peso unità di volume (kN/m³)
Dt A	2,09	1	15,4
Dt LA	8,45	3,4	18,83

### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Classificazione
Dt A	2,09	1	POCO CONSISTENTE
Dt LA	8,45	3,4	CONSISTENTE

### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE)	MEDIA
Dt A	2,09	1	27,6	20,6	20,6	22,93
Dt LA	8,45	3,4	29,41	22,41	26,26	26,03

DPSH-3

**Coesione non drenata (KPa)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer	MEDIA
Dt L	12,12	3,8	80,22	148,57	49,03	116,9		104,24	134,94	59,43	158,48	148,57	111,15
BR	20,67	6,2	136,8	253,4	98,07	200,64		171,42	210,35	101,3	270,76	253,4	188,46

**Modulo Edometrico (Mpa)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat	MEDIA
Dt L	12,12	3,8	5,45	12,3	11,89	9,88
BR	20,67	6,2	9,3	20,85	20,27	16,81

**Modulo di Young (Mpa)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia	MEDIA
Dt L	12,12	3,8	11,67	11,89	11,78
BR	20,67	6,2	21,31	20,27	20,79

**Peso unità di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Dt L	12,12	3,8	Meyerhof	19,81
BR	20,67	6,2	Meyerhof	20,59

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Dt L	12,12	3,8	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
BR	20,67	6,2	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

**Angolo di resistenza al taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE)	MEDIA
Dt L	12,12	3,8	12,12	30,46	23,46	28,48	27,47
BR	20,67	6,2	20,67	32,91	25,91	32,61	30,48



DPSH-4

Coesione non drenata (KPa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer	MEDIA
Dt AL	6,02	2,6	36,87	73,75	24,52	57,57		53,15	86,69	29,52	72,47	73,75	56,48
BR	21,3	8,2	141,02	261,05	98,07	206,82		176,13	216,24	104,44	252,42	261,05	190,8

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat	MEDIA
Dt AL	6,02	2,6	2,71	6,2	7,38	5,43
BR	21,3	8,2	9,58	21,48	20,89	17,32

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia	MEDIA
Dt AL	6,02	2,6	4,79	5,9	5,34
BR	21,3	8,2	22,02	20,89	21,45

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Dt AL	6,02	2,6	Meyerhof	17,75
BR	21,3	8,2	Meyerhof	20,59

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Dt AL	6,02	2,6	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
BR	21,3	8,2	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE)	MEDIA
Dt AL	6,02	2,6	6,02	28,72	21,72	24,5	24,98
BR	21,3	8,2	21,3	33,09	26,09	32,87	30,68

DPSH-5

**Coesione non drenata (KPa)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M.S. M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer	MEDIA
Dt AL	6,69	2,2	40,99	81,98		26,48	64,04		58,84	91,79	32,85	88,85	81,98	<b>63,09</b>
BR	33,69	3,8	223	412,96		122,39	328,92	519,56	263,5	342,55	165,14		412,96	<b>310,11</b>

**Modulo Edometrico (Mpa)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Trofimenko v (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat	MEDIA
Dt AL	6,69	2,2	3,01	6,87	8,2	<b>6,03</b>
BR	33,69	3,8	15,16	33,87	33,04	<b>27,36</b>

**Modulo di Young (Mpa)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia	MEDIA
Dt AL	6,69	2,2	5,54	6,56	<b>6,05</b>
BR	33,69	3,8	35,99	33,04	<b>34,51</b>

**Peso unità di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Dt AL	6,69	2,2	Meyerhof	18,04
BR	33,69	3,8	Meyerhof	21,97

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Dt AL	6,69	2,2	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTE NTE
BR	33,69	3,8	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTE NTE

**Angolo di resistenza al taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Shioi-Fukui 1982 (ROAD BRIDGE)	MEDIA
Dt AL	6,69	2,2	6,69	28,91	21,91	25,02	<b>25,28</b>
BR	33,69	3,8	33,69	36,63	29,63	37,48	<b>34,58</b>

Sarà dunque possibile riferirsi ai parametri geotecnici, derivanti dall'elaborazione delle 5 prove penetrometriche correlata con l'indagine geofisica a rifrazione e alla MASW che fornisce i valori delle Vs.

Infine, per il valore della coesione efficace del primo strato si fa riferimento alla consolidata esperienza locale.

Per la coesione efficace dello strato 2 (Bedrock) ci si riferisce a parametri minimi derivati dalla caratterizzazione degli ammassi rocciosi (scadenti) effettuata dallo scrivente.

Sarà dunque possibile adottare i seguenti valori caratteristici:

www.studiosargent																	
	Prof.		AGI	Coesione e efficace	Angolo attrito efficace	Coesione non drenata	Peso volume	Peso Volume saturato	Modulo elastico Ek	Modulo Edometrico Mok	Vs	Vp	Coefficiente permeabilità orizzontale (Kh)	Limiti di consistenza		Indice di plasticità IP	Class ificaz ione terre no UNI 1153/ 14
				c'k	$\Phi'$ k	Cuk	$\gamma$ k	$\gamma_{sat}$ k						WL	WP		
				kN/mq	°	kN/mq	kN/mc	kN/mc						kN/mq	kN/mq		
Unità 1	da 0,5 a 3m	Dt	CONSISTENTE	10	26	79	19	20	8000	7250	230	0÷1500	4.88x10 <sup>-5</sup>	31,6			A1-a indice grupp o 0
Unità 2	da 3 a 15m	BR	MOLTO CONSISTENTE	100	34		22	23	34000	27000	415÷620	1500÷2500	3.84x10 <sup>-7</sup>	31.3÷33	18.9÷21	10.4÷13	A2-6 e A6

Non si rilevano falde continue degne di nota. Presenti venute in corrispondenza dell'asse del fosso, imputabili allo stesso e contenute nelle corrispondenti ghiaie.

## 12 VERIFICHE DELLA SICUREZZA e delle PRESTAZIONI

### 12.1 RISCHIO IDRAULICO

Per le valutazioni relative al rischio idraulico, si rimanda direttamente alla Relazione Idraulica al Progetto Definitivo.

### 12.2 RISCHIO FRANA - VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE OPERE SUL VERSANTE

Le risultanze dell'indagine sito specifica fanno escludere la presenza di corpi di frana nell'ambito dell'area di influenza del progetto, per ragioni stratigrafiche.

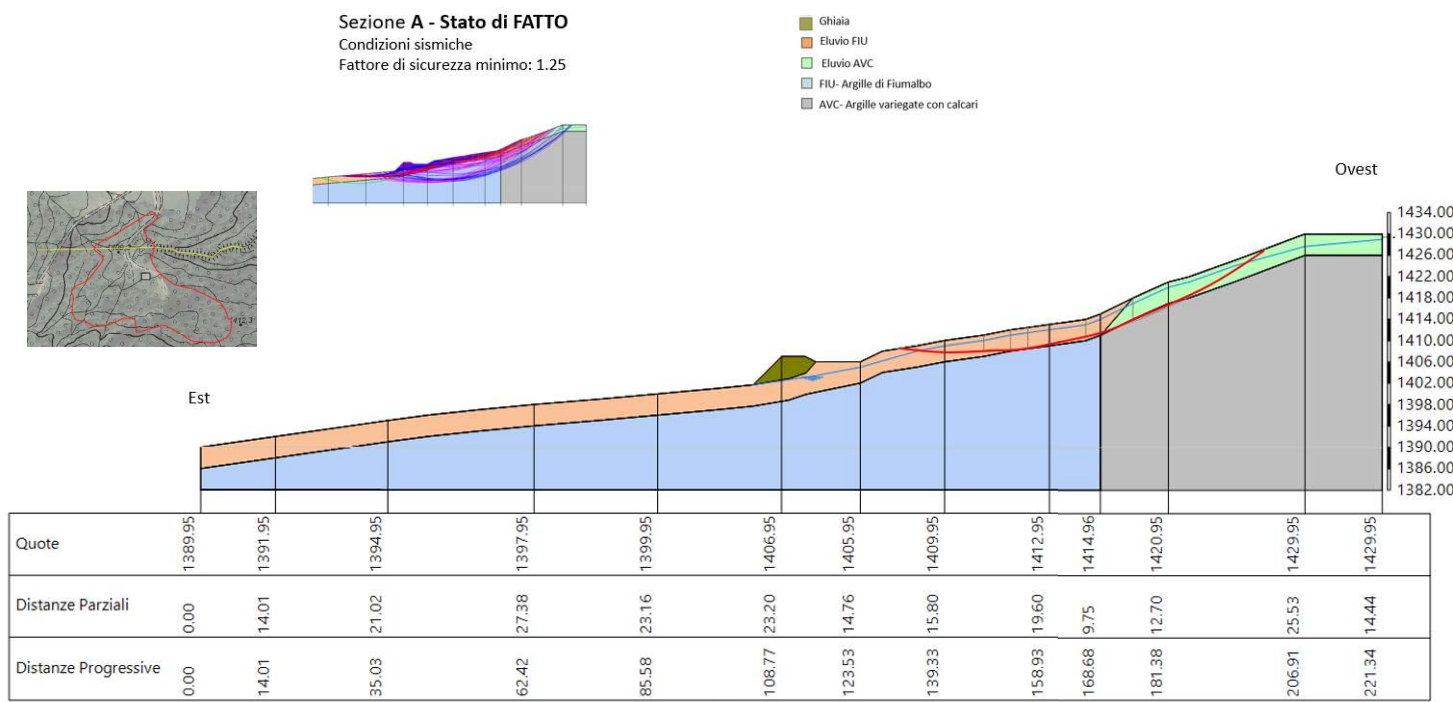
Al fine di valutare gli impatti delle opere, si effettuano comunque verifiche di stabilità dello stato di fatto e di progetto sulle sezioni significative e più sfavorevoli (AA e BB'), in condizioni sismiche.

L'azione sismica viene valutata con metodo pseudostatico globale e introdotta direttamente sui conci (NTC2018), in tutte le fasi di verifica.

Per i pendii naturali in condizioni sismiche (SLV) non si assumono Approcci di progetto DA1 o DA2 e dunque non si introduce il coefficiente globale  $\gamma_P$  ma si utilizzano solo i parametri caratteristici.

Per tutte le opere poste lungo il pendio, in presenza di azioni sismiche, le verifiche di stabilità si effettuano con Approccio1 Combinazione2 (A2+M2+R2) introducendo solamente il coefficiente globale  $\gamma_P = 1.1$  ( $\gamma_A=1$   $\gamma_M=1$ ), anche nello stato di fatto, per omogeneità di confronto.

L'acqua dell'invaso viene assimilata a un carico distribuito di 35kN/mq. Le verifiche vengono effettuate con software Geostru Slope 2022.



Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 5.0

Numero dei conci 10.0  
 Grado di sicurezza ritenuto accettabile 1.1  
 Coefficiente parziale resistenza (R) 1.1  
 Analisi Condizione drenata  
 Superficie di forma circolare

**Coefficienti sismici derivati da risposta sismica locale di terzo livello- Stabilità dei pendii-**

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.05  
 Coefficiente azione sismica verticale 0.025

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
 Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
 Coesione efficace 1.25  
 Coesione non drenata 1.4  
 Riduzione parametri geotecnici terreno No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)		Litologia	
1	0	45	17		Permeabile	Ghiaia	
2	10	26	19	20	Permeabile	Eluvio FIU	
3	10	26	19	20	Permeabile	Eluvio AVC	
4	100	34	22	23	Impermeabile	FIU	
5	100	34	22	23	Impermeabile	AVC	

**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato 1.26  
 Ascissa centro superficie 141.99 m  
 Ordinata centro superficie 1502.7 m  
 Raggio superficie 94.96 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.



Superfici analizzate: 221

Fattore di sicurezza minimo: 1.25

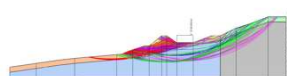
$x_c = 141.995$   $y_c = 1502.70$   $R_c = 94.962$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	3.45	-5.8	3.5	30.11	1.51	0.75	10.0	26.0	0.0	34.0	37.1
2	5.22	-3.2	5.2	158.38	7.92	3.96	10.0	26.0	29.1	134.2	85.3
3	7.31	0.6	7.3	388.97	19.45	9.72	10.0	26.0	122.7	264.8	146.5
4	5.0	4.3	5.0	339.42	16.97	8.49	10.0	26.0	119.9	211.7	111.1
5	3.25	6.8	3.3	241.26	12.06	6.03	10.0	26.0	88.2	145.2	75.0
6	4.04	9.1	4.1	299.66	14.98	7.49	10.0	26.0	109.2	178.1	92.6
7	7.01	12.4	7.2	481.93	24.1	12.05	10.0	26.0	171.1	284.7	152.5
8	2.74	15.5	2.8	177.09	8.85	4.43	10.0	26.0	61.2	104.4	57.4
9	6.07	18.2	6.4	473.36	23.67	11.83	10.0	26.0	175.8	266.9	140.6
10	24.81	28.7	28.3	1696.87	84.84	42.42	10.0	26.0	600.6	953.3	541.7

## Sezione A - Stato di PROGETTO

Condizioni sismiche

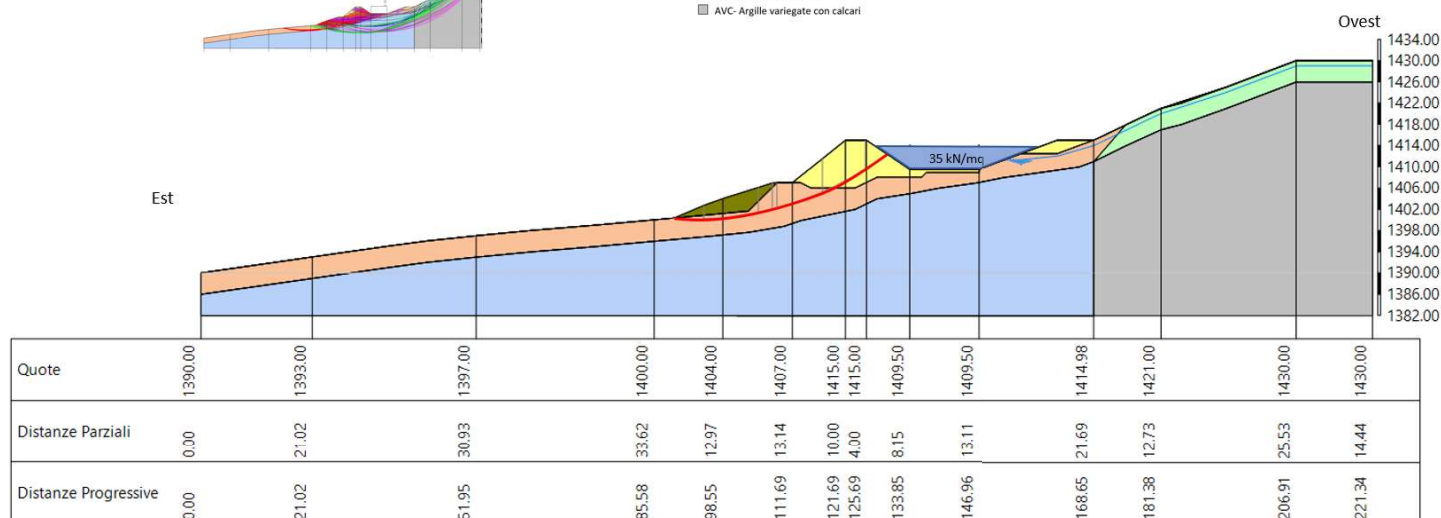
Fattore di sicurezza minimo: 1.58



- Argine
- Ghiaia
- Eluvio FIU
- Eluvio AVC
- FIU- Argille di Fiumalbo
- AVC- Argille variegata con calcari

Est

Ovest



### Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	6.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	



### Coefficienti sismici derivati da risposta sismica locale di terzo livello- Stabilità dei pendii-

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.05
Coefficiente azione sismica verticale	0.025

#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)		Litologia	
1			45	17		Permeabile	Ghiaia	
2	10		35	21	22	Impermeabile	Argine	
3	10		26	19	20	Permeabile	Eluvio FIU	
4	10		26	19	20	Permeabile	Eluvio AVC	
5	100		34	22	23	Impermeabile	FIU	
6	100		34	22	23	Impermeabile	AVC	

#### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m2)
1	133.9	1409.5	146.9	1409.5	35

#### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 1.58  
Ascissa centro superficie 93.16 m  
Ordinata centro superficie 1460.13 m  
Raggio superficie 59.94 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

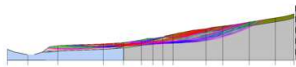
Superfici analizzate: 220

Fattore di sicurezza minimo: 1.58

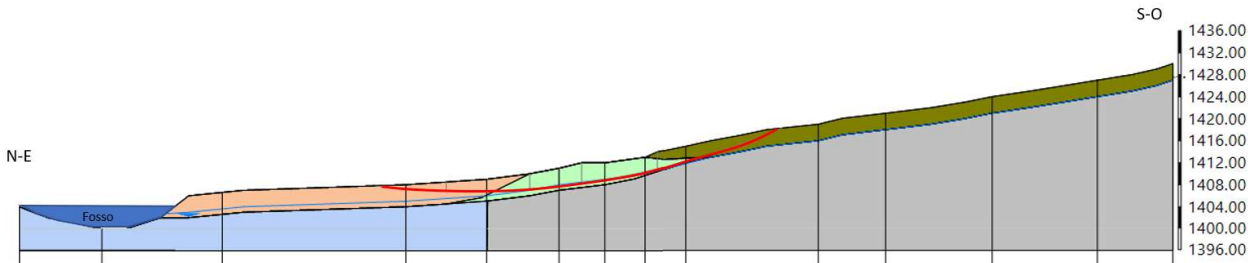
$x_c = 93.161$   $y_c = 1460.126$   $R_c = 59.945$   $F_s = 1.58$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0.24	-3.4	0.2	0.08	0.0	0.0	10.0	26.0	0.0	0.2	1.4
2	5.63	-1.0	5.6	132.69	6.63	3.32	10.0	26.0	0.0	133.9	70.0
3	3.58	3.4	3.6	191.81	9.59	4.8	10.0	26.0	0.0	187.8	73.3
4	6.7	8.4	6.8	491.46	24.57	12.29	10.0	26.0	0.0	471.5	171.3
5	2.64	13.0	2.7	232.15	11.61	5.8	10.0	26.0	0.0	220.4	77.4
6	0.87	14.6	0.9	79.33	3.97	1.98	10.0	26.0	0.0	75.1	26.3
7	8.6	19.5	9.1	757.02	37.85	18.93	10.0	26.0	0.0	713.6	252.7
8	4.32	26.1	4.8	633.07	31.65	15.83	10.0	35.0	0.0	577.4	260.3
9	3.76	30.5	4.4	515.58	25.78	12.89	10.0	35.0	0.0	471.7	215.1
10	4.04	34.9	4.9	240.33	12.02	6.01	10.0	35.0	0.0	213.3	114.3

Sezione B - Stato di FATTO  
Condizioni sismiche  
Fattore di sicurezza minimo: 3.33



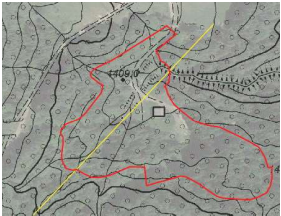
- Deposito fluvio-glaciale
- Eluvio FIU
- Eluvio AVC
- FIU- Argille di Fiumalbo
- AVC- Argille varieghe con calcari



Quote	1403.90	1399.90	1406.51	1407.90	1408.90	1410.90	1411.90	1412.90	1415.00	1419.00	1421.00	1424.00	1427.00	1430.00
Distanze Parziali	0.00	15.00	21.89	33.40	14.73	13.15	8.33	7.29	7.52	24.09	12.22	19.36	19.12	13.71
Distanze Progressive	0.00	15.00	36.89	70.29	85.02	98.18	106.51	113.80	121.32	145.41	157.63	177.00	196.12	209.83

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	5.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	



Coefficienti sismici derivati da risposta sismica locale di terzo livello- Stabilità dei pendii-

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.05
Coefficiente azione sismica verticale	0.025



#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)		Litologia	
1			45	17		Permeabile	Ghiaia	
2	10		26	19	20	Permeabile	Eluvio FIU	
3	10		26	19	20	Permeabile	Eluvio AVC	
4	100		34	22	23	Impermeabile	FIU	
5	100		34	22	23	Impermeabile	AVC	

#### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 3.33  
Ascissa centro superficie 81.84 m  
Ordinata centro superficie 1552.42 m  
Raggio superficie 145.71 m

#### Superfici analizzate: 112

Fattore di sicurezza minimo: 3.332

xc = 81.837 yc = 1552.419 Rc = 145.705

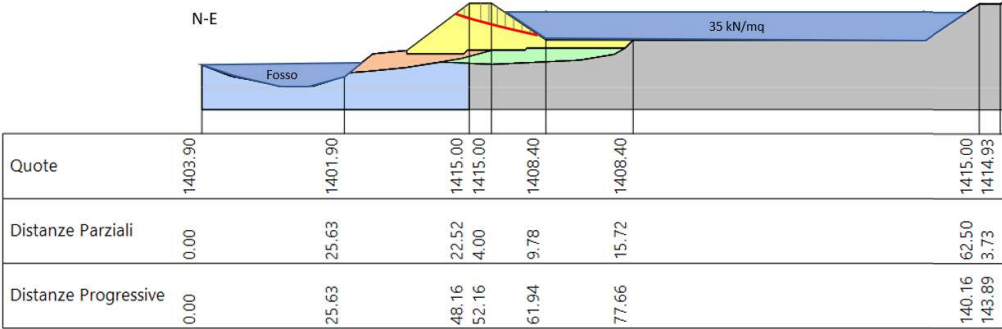
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	5.5	-5.6	5.5	40.88	2.04	1.02	10.0	26.0	0.0	43.1	20.8
2	7.36	-3.1	7.4	171.42	8.57	4.29	10.0	26.0	0.0	174.0	43.3
3	7.36	-0.2	7.4	270.97	13.55	6.77	10.0	26.0	0.0	271.2	56.2
4	7.82	2.8	7.8	373.49	18.67	9.34	10.0	26.0	0.0	370.5	70.7

5	5.34	5.4	5.4	308.84	15.44	7.72	10.0	26.0	2.3	302.8	54.9
6	4.12	7.3	4.2	276.65	13.83	6.92	10.0	26.0	10.9	262.0	46.2
7	11.51	10.4	11.7	660.84	33.04	16.52	10.0	26.0	2.6	647.6	118.1
8	2.27	13.1	2.3	121.13	6.06	3.03	10.0	26.0	0.0	119.2	22.2
9	5.25	14.7	5.4	280.26	14.01	7.01	10.0	26.0	0.0	276.2	51.6
10	17.44	19.4	18.5	549.97	27.5	13.75	0.0	45.0	0.0	531.9	145.1

Sezione B - Stato di PROGETTO  
Condizioni sismiche  
Fattore di sicurezza minimo: 2.6

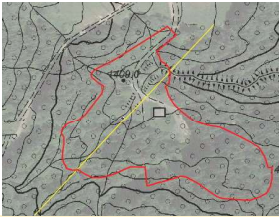


- Argine
- Ghiala
- Eluvio FIU
- Eluvio AVC
- FIU- Argille di Fiumalbo
- AVC- Argille variegate con calcari



Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	6.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.1



Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare

**Coefficienti sismici derivati da risposta sismica locale di terzo livello- Stabilità dei pendii-**

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.05  
Coefficiente azione sismica verticale 0.025

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)		Litologia	
1	10		35	21	22	Impermeabile	Argine	
2			45	17		Permeabile	Ghiaie	
3	10		26	19	20	Permeabile	Eluvio FIU	
4	10		26	19	20	Permeabile	Eluvio AVC	
5	100		34	22	23	Impermeabile	FIU	
6	100		34	22	23	Impermeabile	AVC	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m2)
1	62	1408.4	130	1408.4	35

# Risultati analisi pendio

=====

Fs minimo individuato 2.6

Ascissa centro superficie 86.6 m

Ordinata centro superficie 1539.25 m

Raggio superficie 132.52 m

=====

**Superfici analizzate: 131**

**Fattore di sicurezza minimo: 2.603**

$x_c = 86.599$   $y_c = 1539.253$   $R_c = 132.524$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.49	17.6	1.6	24.91	1.25	0.62	10.0	35.0	0.0	22.7	11.0
2	0.93	17.1	1.0	40.48	2.02	1.01	10.0	35.0	0.0	38.4	12.8
3	2.05	16.4	2.1	123.73	6.19	3.09	10.0	35.0	0.0	118.3	36.4
4	1.49	15.6	1.5	105.64	5.28	2.64	10.0	35.0	0.0	101.3	30.1
5	1.49	14.9	1.5	112.55	5.63	2.81	10.0	35.0	0.0	108.0	31.8
6	1.49	14.3	1.5	93.36	4.67	2.33	10.0	35.0	0.0	89.4	27.2
7	1.49	13.6	1.5	73.6	3.68	1.84	10.0	35.0	0.0	70.3	22.5
8	1.49	12.9	1.5	53.27	2.66	1.33	10.0	35.0	0.0	50.6	17.7
9	1.49	12.3	1.5	32.38	1.62	0.81	10.0	35.0	0.0	30.4	12.7
10	1.49	11.6	1.5	10.93	0.55	0.27	10.0	35.0	0.0	9.6	7.6

	Versante Stato di fatto Fs min	Superfici analizzate	Versante Stato di progetto Fs min	Superfici analizzate
Sezione A	1.25	221	1.58	112
Sezione B	3.332	112	2.603	131

L'elaborazione analitica conferma le buone condizioni di stabilità del versante anche in condizioni sismiche, che viene mantenuta nello stato di progetto. Confermo pertanto che l'opera possa essere realizzata in sicurezza, nel rispetto delle specifiche di progetto.

## 12.3 VERIFICA STABILITA' ARGINI

### 12.3.1 VERIFICHE ARGINI IN TERRA

Per quanto riguarda i rischi connessi alla potenziale rottura dell'argine, sono valutati nella Relazione Tecnica al progetto come molto bassi.

Geostru ESD 2021 versione 2021.1.4.22 è un software per la verifica degli argini in terra di invasi, o piccole dighe sia in condizioni statiche che sismiche. In particolare, verifica in condizioni di serbatoio pieno, serbatoio vuoto, serbatoio rapidamente svuotato, verifica idraulica a sifonamento, determinazione della portata di filtrazione attraverso l'opera, lunghezza di filtrazione, andamento della linea di saturazione. Le verifiche sono eseguite seguendo le indicazioni delle Nuove norme tecniche per le costruzioni (DM 2018), Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (DM 26 giugno 2014).

AZIONE SISMICA CONSIDERATA PER FRONTI DI SCAVO E RILEVATI: Risposta sismica locale di terzo livello del 10.01.2022

Coefficiente sismico orizzontale: 0.08

Coefficiente sismico verticale: 0.04

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Strato		Coesione e (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )
1	Argine	10	70	35	21	22
3	Base argine	100		34	22	23

#### GEOMETRIA SEZIONE PIU' GRAVOSA

Franco di sicurezza

1.90 m

Inclinazione del paramento di monte

34.00 °

Inclinazione del paramento di valle

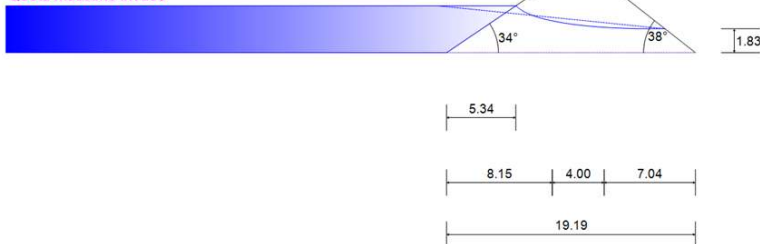
38.00 °

Larghezza di coronamento

4 m



Quota massimo invaso





#### PERMEABILITA'

Coefficiente di permeabilità orizzontale	$10^{-7}$	m/s
Coefficiente di permeabilità verticale	$10^{-7}$	m/s
Rapporto critico di trascinamento	1.00	--

#### 12.3.1.1 VERIFICA SCORRIMENTO A SERBATOIO PIENO

Azione sismica orizzontale della massa strutturale	112.26 kN/m
Azione sismica verticale della massa strutturale	4.49 kN/m
Azione inerziale dell'acqua invasata	34.17 kN/m
Spinta idrostatica dell'acqua invasata	64.80 kN/m
Spinta del terrapieno	65.07 kN/m
Totale delle forze agenti	280.79 kN/m
Azione Resistente	666.83 kN/m
<b>Fattore sicurezza a scorrimento</b>	<b>2.37 --</b>

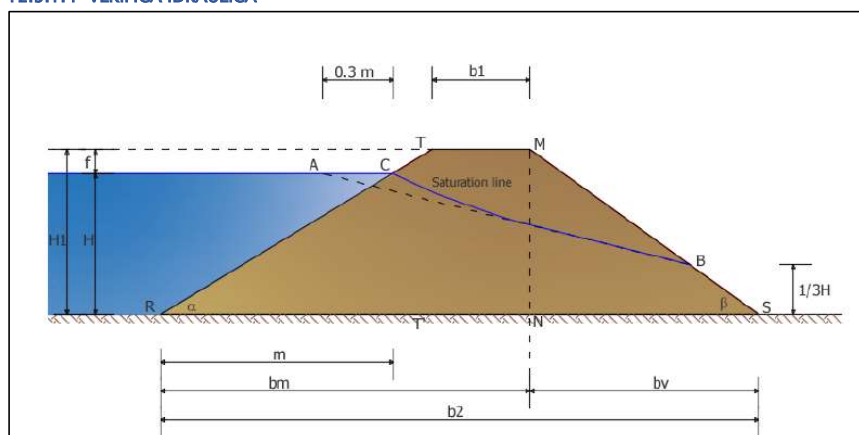
#### 12.3.1.2 VERIFICA SCORRIMENTO A SERBATOIO VUOTO

Azione sismica orizzontale della massa strutturale	107.16 kN/m
Azione sismica verticale della massa strutturale	4.29 kN/m
Spinta del terrapieno	86.07 kN/m
Totale delle forze agenti	197.51 kN/m
Azione Resistente	706.59 kN/m
<b>Fattore sicurezza a scorrimento</b>	<b>3.58 --</b>

#### 12.3.1.3 VERIFICA SCORRIMENTO A SERBATOIO RAPIDAMENTE SVUOTATO

Totale delle forze agenti	161.62 kN/m
Azione Resistente	373.27 kN/m
<b>Fattore sicurezza a scorrimento</b>	<b>2.31 --</b>

#### 12.3.1.4 VERIFICA IDRAULICA



$$Q = 0.44 * (\sqrt{0.0000001 * 0.0000001 * 3.6^2 / 14.07}) = 0.00000004 \text{ mc/s}$$

Portata di filtrazione 0.00000004 mc/s

Lunghezza di filtrazione 14.07 m

**Fattore sicurezza a sifonamento 5.33**

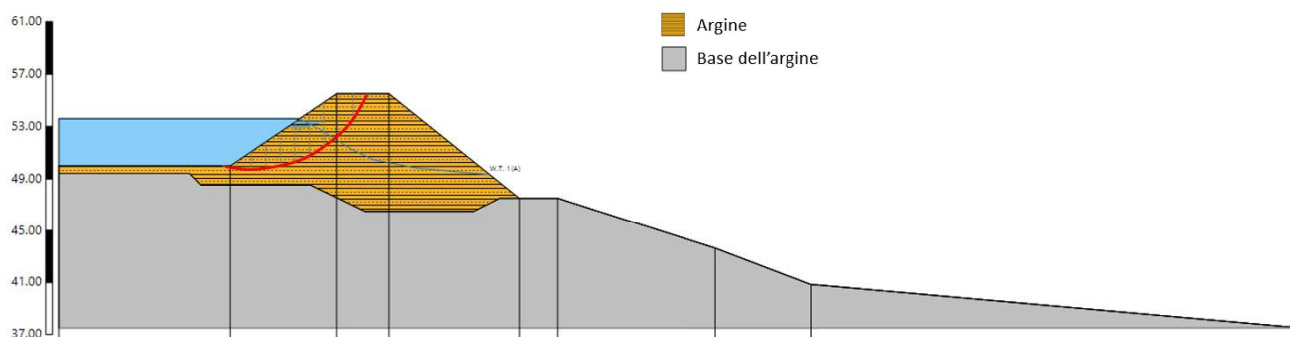
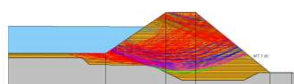
#### 12.3.1.5 VERIFICA STABILITA' LOCALE SEZIONE AA

	FS minimo Stabilità LOCALE
INVASO PIENO	1.24
RAPIDAMENTE SVUOTATO	3.18
INVASO VUOTO	1.43



# Analisi stabilità LOCALE – Sezione A

**Invaso pieno** – Condizioni sismiche, falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 1.24



Quote	50.00	50.00	55.50	55.50	47.50	47.50	43.65	40.84	37.50
Distanze Parziali	0.00	13.11	8.15	4.00	10.00	2.92	12.08	7.35	37.39
Distanze Progressive	0.00	13.11	21.27	25.27	35.27	38.19	50.27	57.62	95.01

## Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
<b>Coefficiente parziale resistenza (R)</b>	<b>1.2</b>
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

=====

Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa - FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

<b>Coefficiente azione sismica orizzontale</b>	<b>0.08</b>
<b>Coefficiente azione sismica verticale</b>	<b>0.04</b>
<b>Coefficienti parziali azioni</b>	

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia
1	10	70	35	21	22	Argine
2	100		34	22	23	Base argine

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

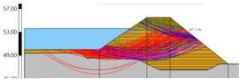
Fs minimo individuato 1.24  
Ascissa centro superficie 64.64 m  
Ordinata centro superficie 59.68 m  
Raggio superficie 9.91 m

Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.237

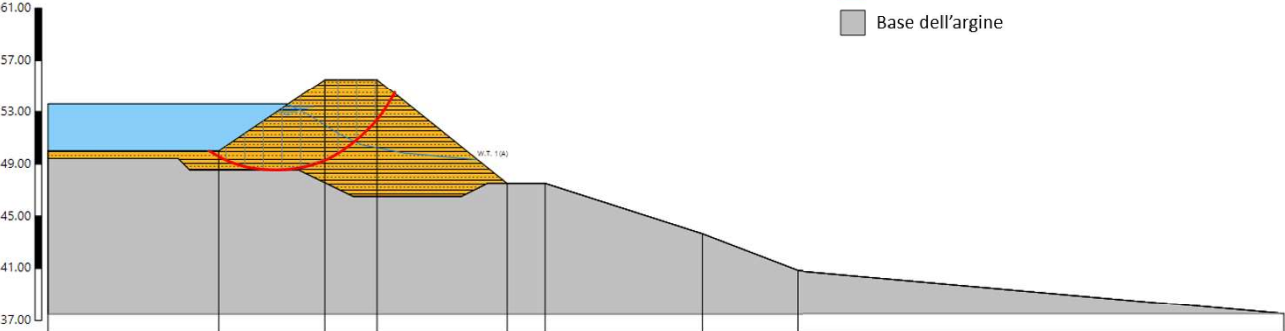
xc = 64.645 yc = 59.676 Rc = 9.909 Fs=1.237

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.11	-9.2	1.1	1.44	0.12	0.06	10.0	35.0	0.0	2.9	9.0
2	1.11	-2.7	1.1	12.75	1.02	0.51	10.0	35.0	0.0	13.4	13.8
3	1.11	3.7	1.1	22.79	1.82	0.91	10.0	35.0	0.0	21.7	17.7
4	1.11	10.2	1.1	31.11	2.49	1.24	10.0	35.0	0.0	27.9	20.8
5	1.11	16.9	1.2	37.65	3.01	1.51	10.0	35.0	0.0	32.3	23.1
6	1.11	23.7	1.2	75.97	6.08	3.04	10.0	35.0	31.3	37.4	25.8
7	1.11	31.0	1.3	78.81	6.3	3.15	10.0	35.0	18.9	50.4	32.5
8	0.97	38.3	1.2	67.27	5.38	2.69	10.0	35.0	3.7	54.3	33.9
9	1.25	47.3	1.8	67.83	5.43	2.71	10.0	35.0	0.0	57.3	39.4
10	1.11	58.8	2.1	24.1	1.93	0.96	10.0	35.0	0.0	12.7	20.5

Analisi stabilità LOCALE – Sezione A  
Invaso rapidamente svuotato – Condizioni statiche, condizioni NON drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 3.18



Argine  
Base dell'argine



Quote	50.00	50.00	55.50	55.50	47.50	47.50	43.65	40.84	37.50
Distanze Parziali	0.00	13.11	8.15	4.00	10.00	2.92	12.08	7.35	37.39
Distanze Progressive	0.00	13.11	21.27	25.27	35.27	38.19	50.27	57.62	95.01

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)	
=====	
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.1
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	
=====	
Coefficienti parziali azioni	



Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	10	70	35	21	22	Argine
2	100		34	22	23	Base argine

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato 3.18  
Ascissa centro superficie 67.36 m  
Ordinata centro superficie 58.77 m  
Raggio superficie 10.16 m

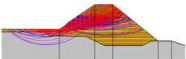
**Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 3.176**

$x_c = 67.365$   $y_c = 58.77$   $R_c = 10.158$

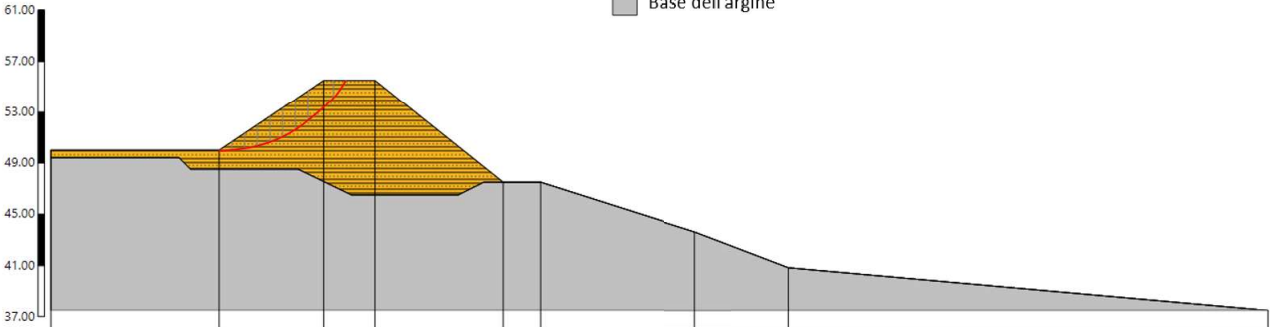
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.43	-25.8	1.6	12.01	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	28.8	31.9
2	1.43	-17.1	1.5	56.8	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	68.6	30.0
3	1.43	-8.8	1.4	97.58	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	103.2	29.0
4	1.43	-0.6	1.4	131.73	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	132.1	28.7
5	1.43	7.5	1.4	159.48	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	157.0	28.9
6	1.87	17.1	2.0	238.59	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	237.6	39.1
7	1.0	25.7	1.1	129.45	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	133.0	22.2
8	1.43	33.7	1.7	163.64	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	173.7	34.5
9	1.43	44.2	2.0	127.38	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	138.8	40.1
10	1.43	57.4	2.7	58.41	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	25.1	53.3

Analisi stabilità LOCALE – Sezione A

**Invaso vuoto**– Condizioni sismiche, senza falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 1.43



Argine  
Base dell'argine



Quote	50.00	50.00	55.50	55.50	47.50	47.50	43.65	40.84	37.50
Distanze Parziali	0.00	13.11	8.15	4.00	10.00	2.92	12.08	7.35	37.39
Distanze Progressive	0.00	13.11	21.27	25.27	35.27	38.19	50.27	57.62	95.01

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.2
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa - FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia
1	10	70	35	21	22	Argine
2	100		34	22	23	Base argine

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato 1.43  
Ascissa centro superficie 63.13 m  
Ordinata centro superficie 61.66 m  
Raggio superficie 11.65 m

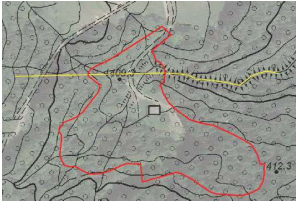
#### Numero superfici calcolate: 200 Fattore di sicurezza minimo: 1.428

xc = 63.132 yc = 61.657 Rc = 11.645 Fs=1.428

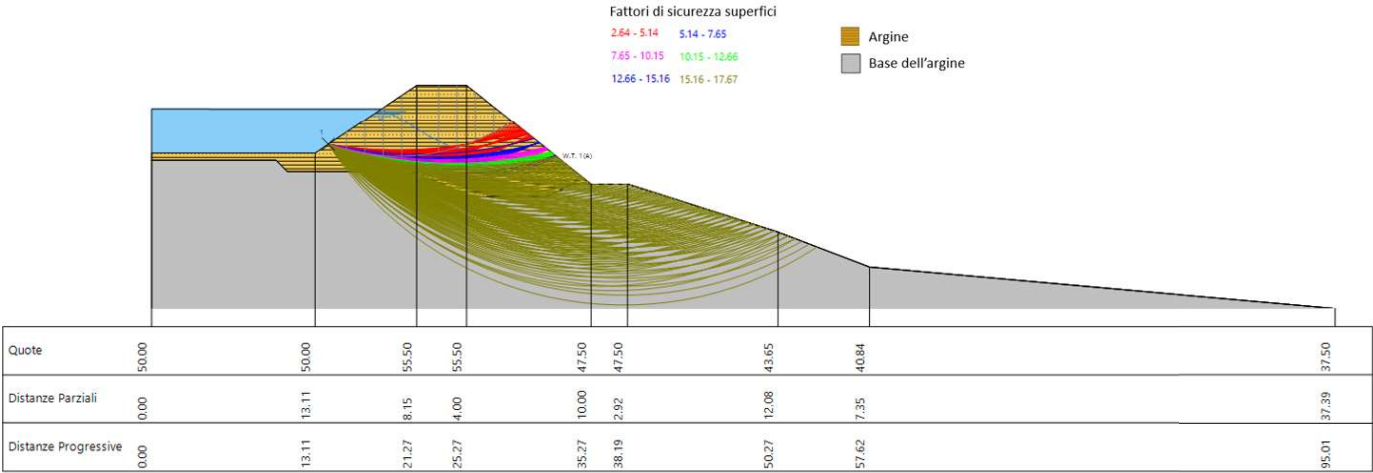
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0.99	2.4	1.0	6.71	0.54	0.27	10.0	35.0	0.0	6.4	8.4
2	0.99	7.3	1.0	18.8	1.5	0.75	10.0	35.0	0.0	17.3	12.9
3	0.99	12.3	1.0	29.11	2.33	1.16	10.0	35.0	0.0	26.2	16.6
4	0.99	17.3	1.0	37.55	3.0	1.5	10.0	35.0	0.0	33.2	19.6
5	0.99	22.5	1.1	43.98	3.52	1.76	10.0	35.0	0.0	38.5	22.0
6	0.99	27.9	1.1	48.19	3.86	1.93	10.0	35.0	0.0	42.0	23.7
7	0.99	33.5	1.2	49.87	3.99	1.99	10.0	35.0	0.0	43.5	24.7
8	1.22	40.4	1.6	59.24	4.74	2.37	10.0	35.0	0.0	51.8	30.5
9	0.76	47.1	1.1	28.54	2.28	1.14	10.0	35.0	0.0	24.2	16.4
10	0.99	53.9	1.7	15.17	1.21	0.61	10.0	35.0	0.0	7.9	13.0

12.3.1.6 VERIFICA STABILITA' GLOBALE SEZIONE AA

	FS minimo Stabilità GLOBALE
INVASO PIENO	2.64
RAPIDAMENTE SVUOTATO	6.2
INVASO VUOTO	3.19



Analisi stabilità **GLOBALE – Sezione A**  
**Invaso pieno** – Condizioni sismiche, falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 2.64



#### Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	<b>1.2</b>
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

=====

#### Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa - FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

#### Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

=====

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

=====

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia	
1	10	70	35	21	22	Argine	
2	100		34	22	23	Base argine	

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

=====

Fs minimo individuato	2.64
Ascissa centro superficie	69.73 m
Ordinata centro superficie	65.99 m
Raggio superficie	16.27 m



=====

**Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 2.638**

$x_c = 69.731$   $y_c = 65.987$   $R_c = 16.267$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.48	-17.3	1.5	13.47	1.08	0.54	10.0	35.0	0.0	16.8	8.6
2	1.48	-11.9	1.5	38.35	3.07	1.53	10.0	35.0	0.0	42.2	14.1
3	1.48	-6.6	1.5	60.65	4.85	2.43	10.0	35.0	0.0	63.2	18.7
4	1.48	-1.4	1.5	143.6	11.49	5.74	10.0	35.0	49.1	95.2	25.7
5	1.2	3.3	1.2	137.94	11.04	5.52	10.0	35.0	30.6	105.9	27.2
6	1.75	8.5	1.8	208.96	16.72	8.36	10.0	35.0	26.0	178.3	45.0
7	1.48	14.4	1.5	164.16	13.13	6.57	10.0	35.0	5.5	153.8	38.8
8	1.48	19.8	1.6	149.53	11.96	5.98	10.0	35.0	0.0	145.6	37.2
9	1.48	25.5	1.6	94.58	7.57	3.78	10.0	35.0	0.0	92.5	25.6
10	1.48	31.4	1.7	33.15	2.65	1.33	10.0	35.0	0.0	31.3	12.4

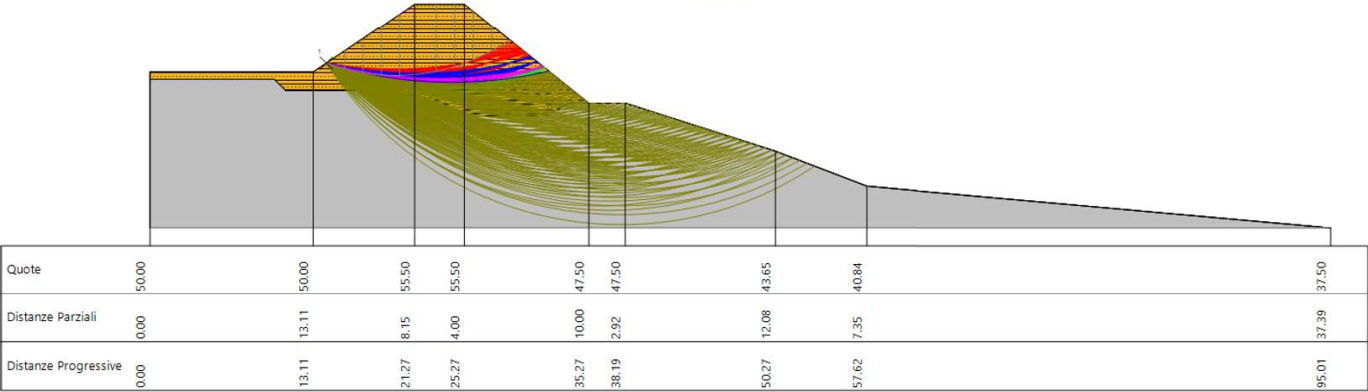
Analisi stabilità GLOBALE – Sezione A

**Invaso vuoto** – Condizioni sismiche, senza falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 3.19

Fattori di sicurezza superfici

3.19 - 5.60	5.60 - 8.02
8.02 - 10.43	10.43 - 12.84
12.84 - 15.25	15.25 - 17.67

Argine  
Base dell'argine



Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.2
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

=====

Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa – FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia	
1	10	70	35	21	22	Argine	
2	100		34	22	23	Base argine	

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato 3.19  
Ascissa centro superficie 69.73 m  
Ordinata centro superficie 65.9 m  
Raggio superficie 16.18 m

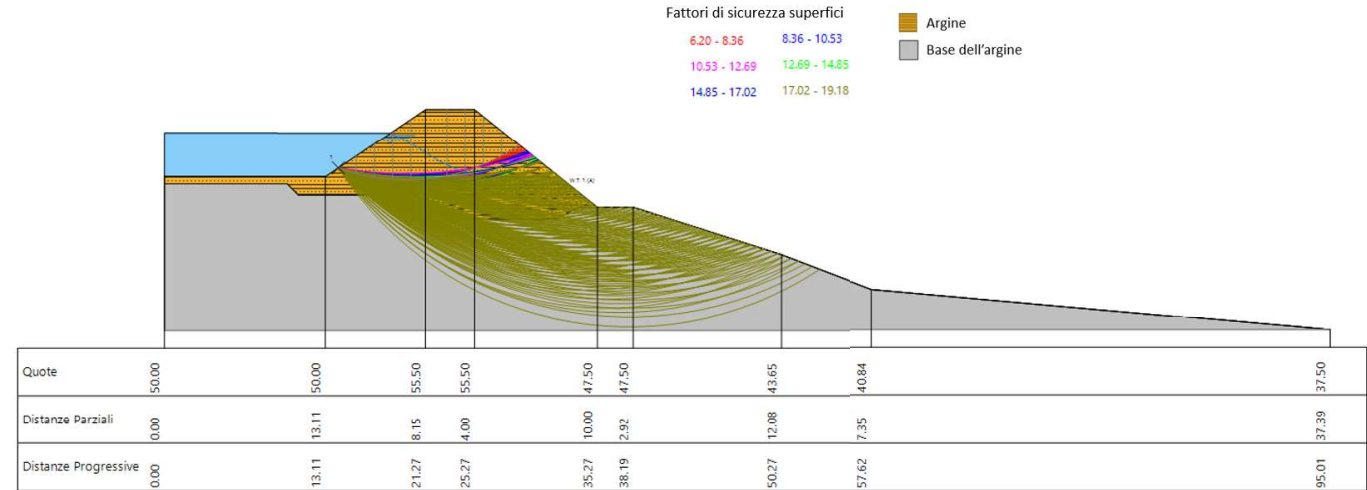
**Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 3.191**

xc = 69.73 yc = 65.90 Rc = 16.185

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh • Wi (kN)	Kv • Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.48	-17.4	1.5	23.21	1.86	0.93	10.0	35.0	0.0	27.1	9.0
2	1.48	-12.0	1.5	66.08	5.29	2.64	10.0	35.0	0.0	71.2	17.0
3	1.48	-6.7	1.5	104.47	8.36	4.18	10.0	35.0	0.0	108.0	23.6
4	1.48	-1.4	1.5	138.59	11.09	5.54	10.0	35.0	0.0	139.4	29.3
5	1.2	3.3	1.2	135.31	10.82	5.41	10.0	35.0	0.0	133.9	27.6
6	1.75	8.6	1.8	205.84	16.47	8.23	10.0	35.0	0.0	201.9	41.5

7	1.48	14.4	1.5	163.61	13.09	6.54	10.0	35.0	0.0	160.4	33.3
8	1.48	19.9	1.6	149.5	11.96	5.98	10.0	35.0	0.0	147.7	31.1
9	1.48	25.6	1.6	94.69	7.58	3.79	10.0	35.0	0.0	94.6	21.6
10	1.48	31.5	1.7	33.2	2.66	1.33	10.0	35.0	0.0	32.5	10.5

Analisi stabilità GLOBALE – Sezione A  
Invaso rapidamente svuotato – Condizioni statiche, falda nell'argine, condizioni NON drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 6.2



Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.1
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia	
1	10	70	35	21	22	Argine	
2	100		34	22	23	Base argine	

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato 6.2  
Ascissa centro superficie 69.73 m  
Ordinata centro superficie 65.99 m  
Raggio superficie 16.27 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 6.198**

xc = 69.73 yc = 65.99 Rc = 16.27

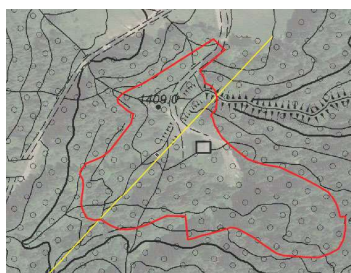
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.48	-17.3	1.5	24.3	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	30.4	15.9
2	1.48	-11.9	1.5	69.18	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	74.0	15.5
3	1.48	-6.6	1.5	109.4	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	111.9	15.3



4	1.48	-1.4	1.5	145.17	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	145.6	15.2
5	1.2	3.3	1.2	141.24	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	140.8	12.3
6	1.75	8.5	1.8	216.08	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	215.8	18.2
7	1.48	14.4	1.5	171.36	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	172.9	15.7
8	1.48	19.8	1.6	156.63	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	160.7	16.1
9	1.48	25.5	1.6	99.07	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	101.7	16.8
10	1.48	31.4	1.7	34.73	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	29.8	17.8

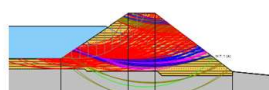
#### 12.3.1.7 VERIFICA STABILITA' LOCALE SEZIONE BB

	FS minimo Stabilità LOCALE
INVASO PIENO	1.15
RAPIDAMENTE SVUOTATO	2.69
INVASO VUOTO	1.38

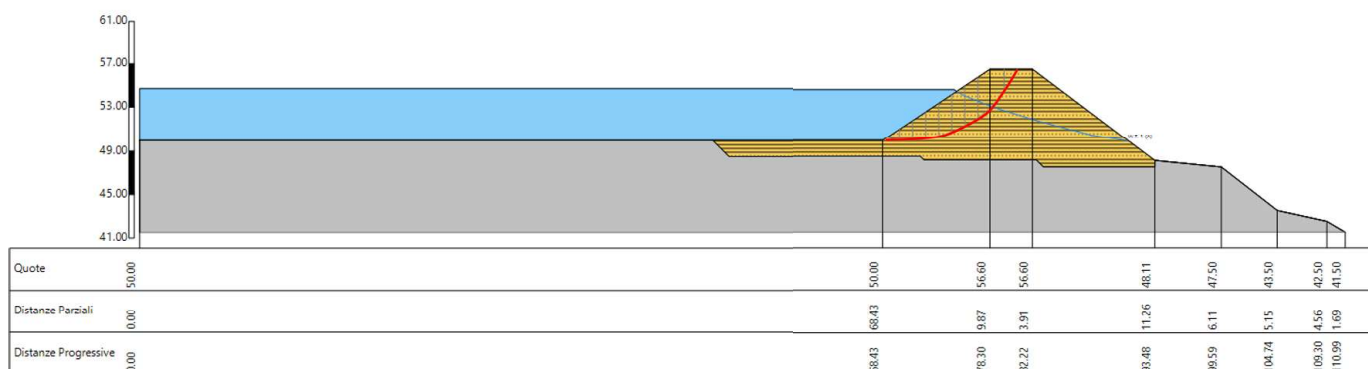


# Analisi stabilità LOCALE – Sezione B

**Invaso pieno** – Condizioni sismiche, falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 1.15



Argine  
Base dell'argine



## Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.2
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

=====

## Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa – FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia
1	10	70	35	21	22	Argine
2	100		34	22	23	Base argine

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

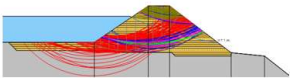
Fs minimo individuato 1.15  
Ascissa centro superficie 120.8 m  
Ordinata centro superficie 60.97 m  
Raggio superficie 10.92 m

#### Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.149

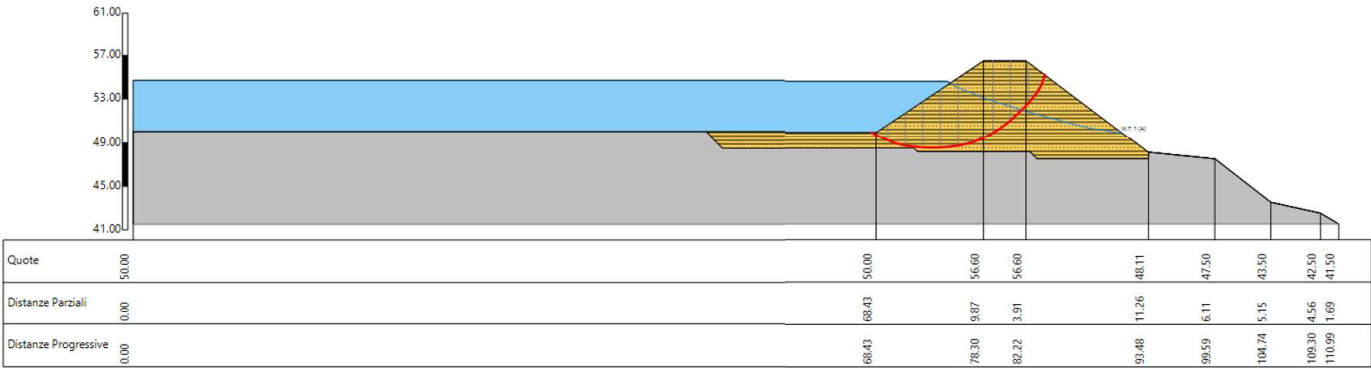
xc = 120.801 yc = 60.967 Rc = 10.924 Fs=1.149

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.2	-7.5	1.2	7.32	0.59	0.29	10.0	35.0	0.0	9.2	13.5
2	1.2	-1.2	1.2	20.46	1.64	0.82	10.0	35.0	0.0	20.9	19.3
3	1.2	5.2	1.2	31.65	2.53	1.27	10.0	35.0	0.0	29.6	23.8
4	1.2	11.6	1.2	40.86	3.27	1.63	10.0	35.0	0.0	36.1	27.3
5	1.2	18.1	1.3	48.0	3.84	1.92	10.0	35.0	0.0	40.7	29.9
6	1.2	24.9	1.3	95.12	7.61	3.8	10.0	35.0	40.1	45.5	32.7
7	1.2	32.1	1.4	97.48	7.8	3.9	10.0	35.0	25.7	59.3	40.5
8	1.1	39.6	1.4	86.33	6.91	3.45	10.0	35.0	9.5	64.2	43.0
9	1.31	48.6	2.0	79.58	6.37	3.18	10.0	35.0	0.0	66.0	47.9
10	1.2	60.1	2.4	29.82	2.39	1.19	10.0	35.0	0.0	15.6	25.4

Analisi stabilità LOCALE – Sezione B  
Invaso rapidamente svuotato – Condizioni statiche, falda nell’argine, condizioni NON drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 2.69



Argine  
Base dell’argine



Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)		
=====		
Calcolo eseguito secondo		NTC 2018
Numero di strati		2.0
Numero dei conci		10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile		1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)		1.1
Analisi	Condizione non drenata	
Superficie di forma circolare		
=====		
Coefficienti parziali azioni		
=====		
Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
=====		

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia
1	10	70	35	21	22	Argine
2	100		34	22	23	Base argine

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	2.69
Ascissa centro superficie	123.52 m
Ordinata centro superficie	60.06 m
Raggio superficie	11.52 m

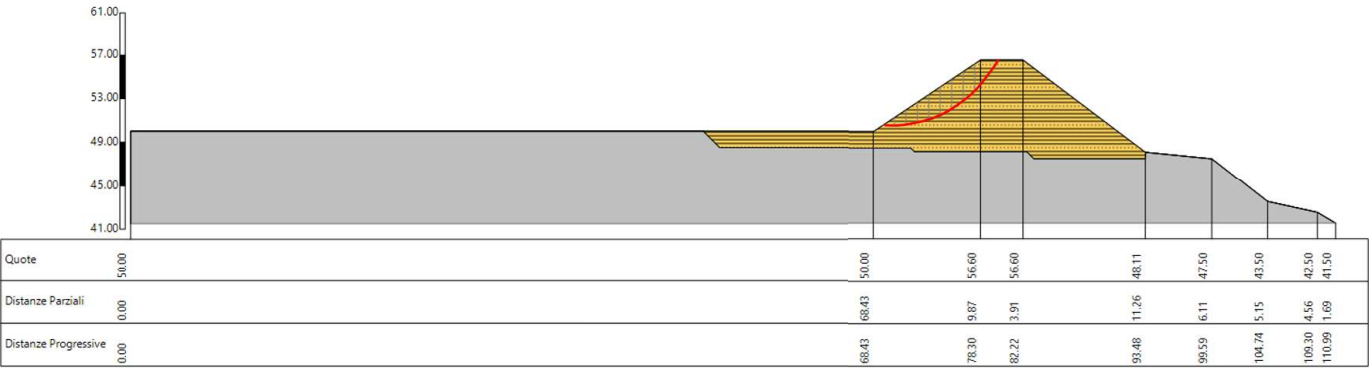
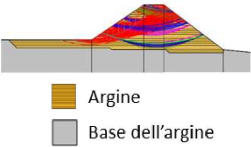
Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 2.686

xc = 123.522 yc = 60.06 Rc = 11.524

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.61	-24.8	1.8	21.03	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	42.5	42.0
2	1.61	-16.2	1.7	80.35	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	95.2	39.7
3	1.61	-8.0	1.6	130.62	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	137.3	38.5
4	1.61	0.1	1.6	172.64	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	172.6	38.1
5	1.61	8.1	1.6	206.67	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	203.3	38.5
6	2.35	18.3	2.5	346.98	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	346.1	58.8
7	0.86	26.9	1.0	129.59	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	133.7	23.0
8	1.61	34.2	1.9	215.57	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	229.3	46.1
9	1.61	44.7	2.3	169.06	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	184.7	53.6
10	1.61	57.8	3.0	73.34	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	23.9	71.6

Analisi stabilità LOCALE – Sezione B

Invaso vuoto– Condizioni sismiche, senza falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 1.38



Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	1.2
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa - FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

Coefficienti parziali azioni



Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia
1	10	70	35	21	22	Argine
2	100		34	22	23	Base argine

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato 1.38  
Ascissa centro superficie 119.89 m  
Ordinata centro superficie 61.87 m  
Raggio superficie 11.29 m

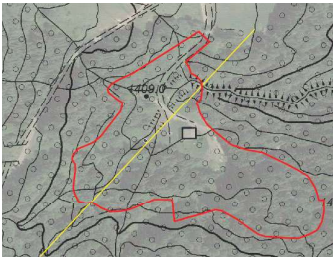
Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.383

$x_c = 119.894$   $y_c = 61.873$   $R_c = 11.289$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.05	-0.2	1.1	8.13	0.65	0.33	10.0	35.0	0.0	8.2	9.8
2	1.05	5.2	1.1	22.74	1.82	0.91	10.0	35.0	0.0	21.4	15.4
3	1.05	10.6	1.1	35.13	2.81	1.41	10.0	35.0	0.0	32.0	20.0
4	1.05	16.1	1.1	45.22	3.62	1.81	10.0	35.0	0.0	40.3	23.6
5	1.05	21.8	1.1	52.84	4.23	2.11	10.0	35.0	0.0	46.4	26.4
6	1.05	27.7	1.2	57.72	4.62	2.31	10.0	35.0	0.0	50.3	28.4
7	1.05	33.9	1.3	59.44	4.76	2.38	10.0	35.0	0.0	51.8	29.5
8	1.05	40.7	1.4	57.31	4.58	2.29	10.0	35.0	0.0	50.2	29.6
9	0.54	46.2	0.8	26.79	2.14	1.07	10.0	35.0	0.0	23.5	14.6
10	1.57	55.2	2.7	42.04	3.36	1.68	10.0	35.0	0.0	31.0	29.6

12.3.1.8 VERIFICA STABILITA' GLOBALE SEZIONE BB

	FS minimo Stabilità GLOBALE
INVASO PIENO	1.55
RAPIDAMENTE SVUOTATO	3.69
INVASO VUOTO	1.77

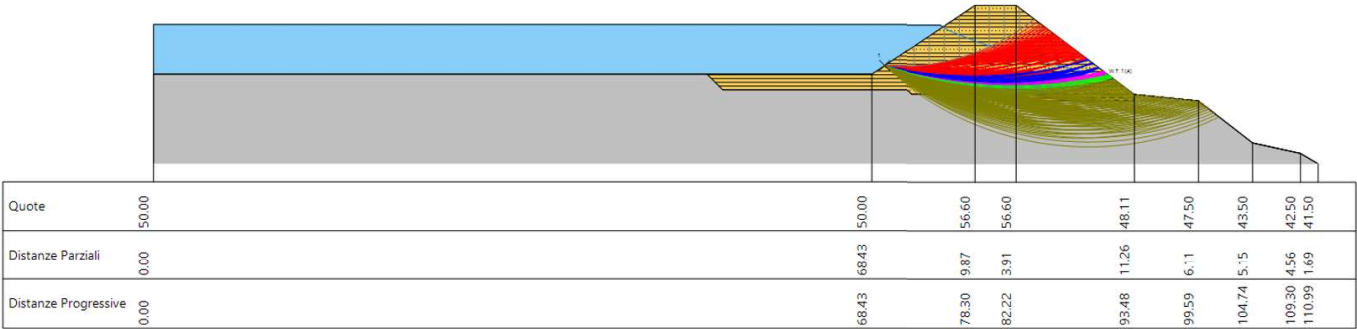


Analisi stabilità **GLOBALE – Sezione B**  
**Invaso pieno** – Condizioni sismiche, falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 1.55

Fattori di sicurezza superfici

1.55 - 4.24	4.24 - 6.92
6.92 - 9.61	9.61 - 12.30
12.30 - 14.98	14.98 - 17.67

■ Argine  
■ Base dell'argine



#### Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	<b>1.2</b>
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

=====

#### Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa - FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

#### Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

=====

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

=====

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia	
1	10	70	35	21	22	Argine	
2	100		34	22	23	Base argine	

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

=====

Fs minimo individuato	1.55
Ascissa centro superficie	120.99 m
Ordinata centro superficie	71.65 m
Raggio superficie	20.89 m

=====

Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.553

xc = 120.994 yc = 71.652 Rc = 20.886 Fs=1.553

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.43	-1.7	1.4	8.96	0.72	0.36	10.0	35.0	0.0	9.3	11.2
2	1.43	2.2	1.4	25.58	2.05	1.02	10.0	35.0	0.0	24.9	17.1
3	1.43	6.1	1.4	40.48	3.24	1.62	10.0	35.0	0.0	38.3	22.1
4	1.43	10.1	1.5	53.63	4.29	2.15	10.0	35.0	0.0	49.8	26.5
5	1.43	14.1	1.5	115.78	9.26	4.63	10.0	35.0	37.8	71.6	34.8
6	1.5	18.3	1.6	137.25	10.98	5.49	10.0	35.0	24.7	103.0	47.2
7	1.36	22.5	1.5	122.36	9.79	4.89	10.0	35.0	8.2	104.1	47.0
8	1.43	26.7	1.6	108.38	8.67	4.34	10.0	35.0	0.0	98.4	45.6
9	1.43	31.2	1.7	84.54	6.76	3.38	10.0	35.0	0.0	76.1	37.6
10	1.43	36.0	1.8	32.56	2.6	1.3	10.0	35.0	0.0	26.2	19.3

Analisi stabilità GLOBALE – Sezione B

Invaso rapidamente svuotato – Condizioni statiche, condizioni NON drenate

Fattore di sicurezza minimo: 3.69

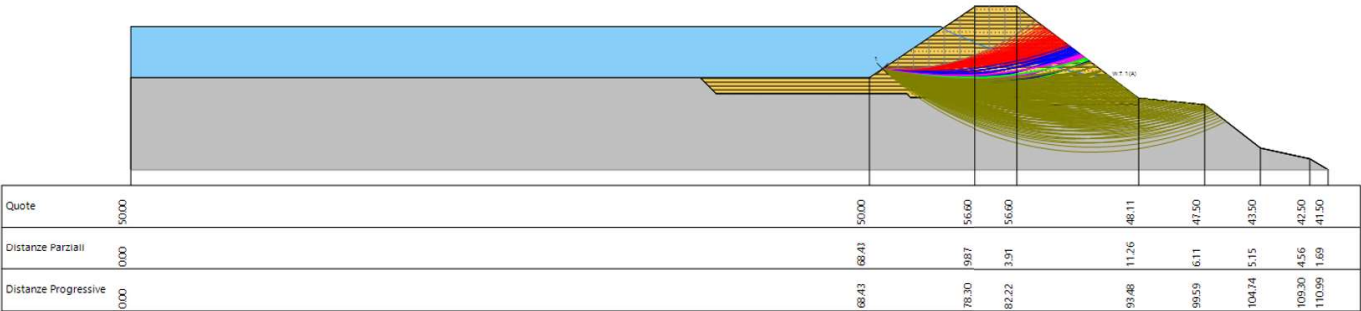
Fattori di sicurezza superfici

3.69 - 6.27 6.27 - 8.85

8.85 - 11.43 11.43 - 14.02

14.02 - 16.60 16.60 - 19.18

Argine  
Base dell'argine



#### Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo NTC 2018

Numero di strati 2.0

Numero dei conci 10.0

Grado di sicurezza ritenuto accettabile 1.1

Coefficiente parziale resistenza (R) 1.1

Analisi **Condizione non drenata**

Superficie di forma circolare

=====

#### Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

=====

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25

Coesione efficace 1.25

Coesione non drenata 1.4

Riduzione parametri geotecnici terreno No

=====

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia	
1	10	70	35	21	22	Argine	
2	100		34	22	23	Base argine	

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

=====

Fs minimo individuato 3.69

Ascissa centro superficie 120.99 m

Ordinata centro superficie 71.65 m

Raggio superficie 20.88 m

=====

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 3.687**

xc = 120.99 yc = 71.65 Rc = 20.884

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.43	-1.7	1.4	16.15	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	16.9	24.7
2	1.43	2.2	1.4	46.12	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	45.2	24.7
3	1.43	6.1	1.4	72.99	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	70.7	24.9
4	1.43	10.1	1.5	96.71	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	93.8	25.1
5	1.43	14.1	1.5	117.18	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	114.4	25.5
6	1.5	18.3	1.6	141.22	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	139.7	27.3
7	1.36	22.5	1.5	127.1	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	127.0	25.4
8	1.43	26.7	1.6	113.48	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	113.1	27.7
9	1.43	31.2	1.7	88.5	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	86.0	28.9
10	1.43	36.0	1.8	34.1	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	20.0	30.5

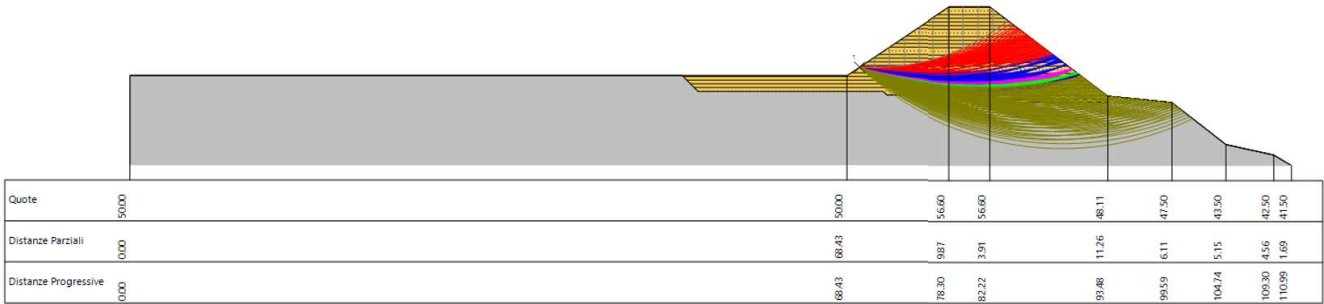
Analisi stabilità GLOBALE – Sezione B

Invaso vuoto– Condizioni sismiche, senza falda nell'argine, condizioni drenate  
Fattore di sicurezza minimo: 1.77

Fattori di sicurezza superfici

1.77 - 4.42	4.42 - 7.07
7.07 - 9.72	9.72 - 12.37
12.37 - 15.02	15.02 - 17.67

Argine  
Base dell'argine





#### Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza (R)	<b>1.2</b>
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

=====

#### Coefficienti sismici derivati da Risposta sismica locale analitica-rigorosa - FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

#### Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

=====

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

=====

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)	Litologia	
1	10	70	35	21	22	Argine	
2	100		34	22	23	Base argine	

#### Risultati analisi pendio [NTC 2018]

=====

Fs minimo individuato	1.77
Ascissa centro superficie	120.99 m
Ordinata centro superficie	71.65 m
Raggio superficie	20.88 m

=====

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.771**

$x_c = 120.99$   $y_c = 71.65$   $R_c = 20.884$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.43	-1.7	1.4	15.41	1.23	0.62	10.0	35.0	0.0	15.8	11.9
2	1.43	2.2	1.4	44.02	3.52	1.76	10.0	35.0	0.0	43.3	21.0
3	1.43	6.1	1.4	69.67	5.57	2.79	10.0	35.0	0.0	67.0	28.8
4	1.43	10.1	1.5	92.31	7.38	3.69	10.0	35.0	0.0	87.4	35.6
5	1.43	14.1	1.5	111.85	8.95	4.47	10.0	35.0	0.0	104.9	41.5
6	1.5	18.3	1.6	134.8	10.78	5.39	10.0	35.0	0.0	125.8	48.9
7	1.36	22.5	1.5	121.33	9.71	4.85	10.0	35.0	0.0	113.0	44.2
8	1.43	26.7	1.6	108.32	8.67	4.33	10.0	35.0	0.0	100.8	40.8
9	1.43	31.2	1.7	84.48	6.76	3.38	10.0	35.0	0.0	78.4	33.7
10	1.43	36.0	1.8	32.55	2.6	1.3	10.0	35.0	0.0	27.6	17.4

Le verifiche di stabilità effettuate, in condizioni di esercizio con il sistema di tenuta in funzione e con le prescrizioni fornite, hanno evidenziato la condizione  $E_d < R_d$  anche in condizioni sismiche (verifica pseudo-statica), con margini di sicurezza sempre superiori a quelli richiesti dalla normativa.

## 12.4 CEDIMENTI CORPO ARGINE

### 12.4.1 Cedimento del terreno di fondazione (s1)

I cedimenti del terreno di fondazione sono una combinazione di:

- cedimenti primari (istantanei) dovuti al carico
- cedimenti secondari (a lungo termine) dovuto alla ripartizione dei carichi, ecc.

Nel nostro caso i cedimenti della base sono da considerarsi trascurabili, viste le caratteristiche del substrato. In ogni caso, modesti cedimenti locali immediati potranno essere equilibrati durante la costruzione dell'argine.

### 12.4.2 Cedimento del corpo argine / cedimento proprio del corpo (s2)

i cedimenti del corpo diga sono una combinazione di:

- cedimenti / deformazioni in fase di costruzione del rilevato
- cedimenti massimi a fine lavori (in caso di buon costipamento:  $s = \text{ca. } 0,2-0,8\% \times \text{Altezza max argine}$ )

	A metà argine	Sul lato argine
Cedimenti primari terreno di fondazione	eluvio BR	eluvio BR
Cedimenti secondari terreno di fondazione	eluvio BR	eluvio BR
Cedimenti durante la costruzione del rilevato	Vengono equilibrati	Vengono equilibrati
Cedimenti massimi a fine lavori	$0,2 \div 0,8\% \times 8\text{m} = 1,6 \div 6,4\text{cm}$	50% di $5,92\text{cm} = 3,2\text{cm}$
<b>Cedimento totale S1+S2 = 1,6÷6,4cm</b>		

### 12.4.3 Cedimenti sismici

Non essendo in presenza di terreni coesivi soffici, sono da escludere cedimenti sismici.

## 13 MATERIALI E COMPATTAZIONE

### 13.1 PREMESSA

La progettazione della vasca è stata effettuata a partire dalla scelta del sito, naturalmente idoneo ad ospitare il bacino, fino all'uso dei materiali scavati per:

- la costruzione dell'argine
- l'impermeabilizzazione precauzionale di parti del fondo e di eventuali superfici di sponda
- la ghiaia per il masso filtrante, i drenaggi, il canale di scarico dello sfioratore e le piste di coronamento e di accesso

La ricerca, dunque, di un'interazione stretta con il sistema ambientale che riduca al minimo l'apporto di materiali esterni.

**La progettazione si è sviluppata attraverso modellazione 3D con algoritmi specifici creati per l'occasione, in modo da avere sempre il controllo anche del sistema dimensionale, ad ogni variazione. Ciò consente di restituire valori molto prossimi agli stati di progetto, di cantiere e di esercizio, anche per quanto riguarda la misura delle superfici e dei volumi (pur con tolleranze  $\pm 10\%$ ).**

### 13.2 MOVIMENTI TERRA

I volumi complessivi di scavo per la realizzazione dell'opera sono misurati in 15.360mc di materiale ben rippabili di cui:

- 2500mc di suolo compresi apparati radicali arborei ed erbacei (spessore massimo strato 1.3m) a matrice limo-argillosa con inclusi litoidi marnosi e di arenaria fine*
- 7950mc di Ghiaia torrentizia naturale di cui 5400mc in sezione di scavo e 2550mc con sostituzione di materiale argilloso*
- 6260mc Argille AVC in facies eluviale*
- 1200mc di materiali di disfacimento in sito di flysch pelitico/marnoso con livelli arenacei (FIU)*



Figure 30 – Materiale tipo b.



Figure 31 – Materiali argillosi di tipo c. (Eluvio AVC)



Figura 32 – Materiali pelitici tipo d. (Eluvio FIU)

Materiali di scavo	Utilizzo
a. Suolo	Ripristini a verde
b. Ghiaie torrentizie	Costruzione argine. Masso filtrante. Drenaggio base argine. Riempimento geocelle. Opere in pietrame grossolano.
c. Argille con calcari (Eluvio AVC)	Costruzione argine in combinazione con tipo b. dopo vagliatura calcari D20cm. Sigillature.
d. Peliti con lembi arenacei (Eluvio FIU)	Costruzione argine in combinazione con tipi b. e c. dopo vagliatura arenarie D20cm. Sigillature.

Parte dei materiali di tipo b. e la vagliatura dei calcari del tipo c. frantumati e vagliati, possono essere utilizzati per il fondo delle piste di coronamento e di cantiere, il drenaggio all'unghia del paramento esterno dell'argine e il riempimento delle geocelle del paramento interno dell'argine di ritenuta per un totale di 1012mc

Materiale frantumato 0÷120mm	Utilizzo
Vagliatura 0÷40	Finitura piste di servizio. Riempimento geocelle.
Vagliatura 40÷70	Filtro masso drenante argine. Drenaggio unghia paramento esterno.
Vagliatura 70÷120	Base piste di servizio.



### 13.3 ARGINE IN TERRA

Valutati i quantitativi di materiali argillosi disponibili si è optato per la rinuncia al telo impermeabile in favore di una struttura omogenea costruita con Ghiaie argillose o Peliti ghiaiose compattate in strati progressivi di 0.3m, alternando le frazioni A/G in modo che i vuoti della frazione ghiaiosa vengano riempiti dalla frazione argillosa. Ciò consentirà di potere contare sulla resistenza strutturale delle ghiaie e sulla impermeabilità e coesione delle argille.

È una modalità nota in letteratura per argini di sbarramento di grande rilievo (cfr. "Le dighe in materiali sciolti e miste" Ministero delle infrastrutture e della mobilità Sostenibile – Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche – Aggiornamento 05/01/2022)

Consente inoltre di non lasciare in sito abbondante materiale plastico che nel tempo potrebbe essere soggetto ad alterazioni e lacerazioni.

Nell'area destinata ad accogliere la fondazione del manufatto deve essere ovviamente rimossa l'intera vegetazione e ogni altro materiale organico. Lo strato di interfaccia fra il terreno di fondazione e il terreno costituente il rilevato è un'area molto critica sia per il controllo della stabilità, che per il controllo della filtrazione. La preparazione della fondazione prevede la rimozione di tutti i materiali soffici, sciolti e non adatti a sopportare il carico che verrà trasmesso dalla costruzione dello sbarramento. Prima della stesa del materiale costituente il rilevato, il terreno di fondazione andrà scassato lungo l'allineamento dello sbarramento, creando così una buona superficie di contatto fra la fondazione e il terreno di riporto del rilevato. Ciò garantisce migliori condizioni di stabilità e riduce i rischi di filtrazione. La base sarà costituita da materiali molto resistenti corrispondenti alle tipologie b. (Ghiaie) e c. (Peliti FIU) con caratteri meccanici molto buoni.

L'argine deve essere costruito in modo rapido per strati di spessore uniforme di 0.3m alternati nelle due tipologie litologiche A/G/A/G stesi longitudinalmente e compattati per l'intera lunghezza, seguendo un processo continuo al fine di inibire il rischio di discontinuità. Le prove in corso d'opera dovranno verificare il raggiungimento dei parametri di resistenza assunti a progetto per l'argine (vedi tabella a fianco).

Lito	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )
GA AG	10	70	35	21	22

Occorre non lasciare aperture e garantire una pendenza delle superfici lavorate tale da consentire il deflusso rapido dell'acqua piovana di ruscellamento (4÷5%). Ogni qualvolta si prevede che possano verificarsi piogge, lo strato di materiale deve venire rullato per evitare che si formino pozze. In caso di sospensione dei lavori, occorre evitare la creazione di discontinuità lavorando le superfici precedenti con scarificatori per permettere la saldatura con quello posato successivamente.

Gli strati di materiale non devono mai essere posati su acqua stagnante o su acqua di ruscellamento.

**La compattazione degli strati dovrà avvenire attraverso la sola rullatura con rulli a cilindro liscio e/o rulli costipatori a piede di montone.**

Il contenuto d'acqua ottimale dei materiali argillosi e pelitici da compattare sarà da stabilire direttamente in cantiere con prove Proctor, eventualmente correggendo quello naturale, ma indicativamente i valori di progetto **si possono stimare fra il 10 e il 15%**.

Al fine di ridurre il numero di passate a 4 per ogni strato si suggerisce l'utilizzo di rulli con peso maggiore di 5000kg per metro di ampiezza del cilindro. Il paramento interno dell'argine realizzato dovrà essere protetto con geocelle alveolari in cui inserire materiale granulare.

#### 13.4 IMPERMEABILIZZAZIONE DEL FONDO DELLA VASCA E DEGLI ARGINI NATURALI

Il fondo della vasca può essere naturalmente idoneo alla ritenuta dell'acqua in tutta la parte in scavo a monte. Per la parte di valle andranno stesi e compattati i materiali argillosi privi della frazione litoide >20cm. Gli stessi andranno raccordati con i primi con fascia di sovrapposizione larga minimo 5m e spessore minimo di 0.6m in modo da garantire continuità di tenuta.

#### 13.5 CORPO DI FILTRAZIONE E DRENAGGI

Il paramento esterno dell'argine sarà dotato di corpo di filtrazione costituito da ghiaia naturale scavata in sito con filtro al tetto e a monte con pietrisco vagliato pietrame 40/70mm. Lo stesso assicurerà il presidio nei confronti di remoti innalzamenti della filtrazione, ponendosi anche come elemento stabilizzante il corpo dell'argine.

All'unghia dello stesso paramento andrà realizzato drenaggio di controllo con fossetto in terra naturale con base in pietrisco 40/70mm.

### 14 PRESCRIZIONI RACCOMANDAZIONI E NOTE FINALI

#### 14.1 VERIFICHE E CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

Durante gli scavi che precedono la costruzione dell'argine verrà eseguito l'accertamento continuo della rispondenza delle caratteristiche dei terreni e delle rocce alle previsioni del progetto esecutivo. In particolare, il controllo di eventuali altre venute d'acqua sulla linea dei fossi che dovessero sfuggire alle catture di progetto potranno essere facilmente gestite con l'utilizzo dei materiali ghiaiosi naturali per realizzare bottini di presa.

Nel corso della costruzione dell'opera di sbarramento e dell'esercizio sperimentale, dovranno essere progressivamente aggiornati i modelli geologici, i modelli geotecnici, e i modelli idrologici e idraulici, nonché i modelli comportamentali dello sbarramento, da utilizzare per la migliore interpretazione dei dati di monitoraggio, ai fini anche delle attività di collaudo.

Per la costruzione dei rilevati arginali si fa riferimento anche alle norme UNI EN 11531-1 (ex-UNI 10006), "Criteri per l'impiego dei materiali - terre e miscele di aggregati non legati".

Sul materiale costituente il corpo arginale posto in opera dovranno indicativamente essere eseguite le seguenti prove di controllo, su disposizione della Direzione Lavori:

12 Prove Proctor in 3 sequenze da 4 prove

12 Prove di carico su piastra in 3 sequenze da 4 prove con verifica dei parametri di resistenza al taglio in back analysis, in modo da confrontarsi con il modello teorico di progetto.

L'acquisizione e l'elaborazione delle osservazioni sperimentali dovranno garantire la continua verifica della rispondenza del comportamento reale dell'opera a quello atteso. Sono di norma da prevedere le seguenti osservazioni e misure:

- livelli nel serbatoio e nelle eventuali falde a valle;
- portate e volumi scaricati;
- perdite d'acqua dalla struttura e dal suo contorno;
- deformazioni e spostamenti della struttura.

Gli strumenti di misura devono essere idonei alla teletrasmissione in tempo reale dei dati acquisiti secondo il protocollo informatico definito dall'Autorità di controllo. Le misure strumentali devono potersi in ogni caso acquisire anche con lettura diretta dallo strumento.

Per quanto riguarda i movimenti terra, dovranno essere ottemperate le disposizioni relative alle TERRE E ROCCE DA SCAVO ai sensi dell'art. 186 del D.lgs. 03/04/2006 n. 152 modificato dal D.lgs. 16/01/2008 n. 4, dal successivo DM n. 161 del 10 agosto 2012 e dal DPR 120/2017.

#### 14.2 MANUTENZIONE E MONITORAGGIO IN ESERCIZIO

**Le prestazioni di un'opera nel tempo, in particolare di questa natura, dipendono strettamente dalla regolarità delle manutenzioni.**

Si raccomanda pertanto la scrupolosa osservanza del Piano di Manutenzione e monitoraggio che dovrà essere appositamente approntato.

Per il monitoraggio del sistema è prevista l'installazione di 5 capisaldi dei quali 2 corrispondono a due stazioni di rilievo topografico.

Fanano, 10 marzo 2022

Daniele Sargenti – Geologo

## Sommaio

1	PREMESSA.....	2
2	LOCALIZZAZIONE DELL'AREA .....	2
3	RIFERIMENTO NORMATIVO.....	2
4	DATI di PROGETTO .....	5
5	QUADRO GEOLOGICO E GEMORFOLOGICO .....	6
6	QUADRO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO.....	9
7	CONDIZIONI DI STABILITÀ DA CARTOGRAFIA UFFICIALE.....	11
8	INDAGINE GEOGNOSTICA.....	12
8.1	Piano di indagine .....	15
8.2	SONDAGGI A carotaggio continuo.....	15
8.3	SONDAGGI CON ESCAVATORE.....	20
8.4	Prove penetrometriche dinamiche pesanti.....	25
8.5	Prospezione sismiche a rifrazione .....	31
8.6	Prospezione sismica MASW .....	34
8.7	PROVE DI LABORATORIO .....	35
9	RELAZIONE SUL MODELLO SISMICO .....	37
9.1	PREMESSA .....	37
9.2	Risposta sismica locale semplificata.....	37
9.2.1	CATEGORIA DI SUOLO .....	37
9.2.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	38
9.2.3	RISCHIO LIQUEFAZIONE .....	38
9.2.4	INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO NTC 2018 – GEOSTRU PS ADVANCED 2022 .....	38
9.3	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE ANALITICA/RIGOROSA .....	41
9.3.1	Introduzione teorica.....	41
9.3.2	Accelerogrammi di base per SLV .....	42
9.3.3	Terreni .....	44
9.3.4	Stratigrafia sismica.....	46
9.3.5	Spettri di risposta elastica risultanti .....	47
9.3.6	Conclusioni .....	54

9.4	Calcolo coefficiente sismico orizzontale (KH) e verticale (Kv).....	55
9.5	Microzonazione sismica – DGR ER 476 del 2021 .....	56
9.5.1	Premessa.....	56
9.5.2	FATTORI DI AMPLIFICAZIONE F.A. ....	56
10	MODELLO GEOLOGICO SITOSPECIFICO .....	60
11	MODELLO GEOTECNICO.....	63
12	VERIFICHE DELLA SICUREZZA e delle PRESTAZIONI .....	68
12.1	Rischio idraulico .....	68
12.2	Rischio frana – VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE OPERE SUL VERSANTE .....	68
12.3	VERIFICA STABILITA' ARGINI.....	80
12.3.1	VERIFICHE ARGINI IN TERRA .....	80
12.4	CEDIMENTI CORPO ARGINE .....	110
12.4.1	Cedimento del terreno di fondazione (s1) .....	110
12.4.2	Cedimento del corpo argine / cedimento proprio del corpo (s2) .....	110
12.4.3	Cedimenti sismici .....	110
13	MATERIALI E COMPATTAZIONE .....	111
13.1	PREMESSA .....	111
13.2	MOVIMENTI TERRA.....	111
13.3	Argine in terra .....	114
13.4	Impermeabilizzazione del fondo della vasca e degli argini naturali .....	115
13.5	CORPO DI FILTRAZIONE E DRENAGGI .....	115
14	PRESCRIZIONI RACCOMANDAZIONI E NOTE FINALI.....	115
14.1	VERIFICHE E CONTROLLI IN CORSO D'OPERA.....	115
14.2	Manutenzione e monitoraggio in esercizio .....	116