



# 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 ridatta 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





Pag. 3 di 118





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 vaso (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 vaso (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

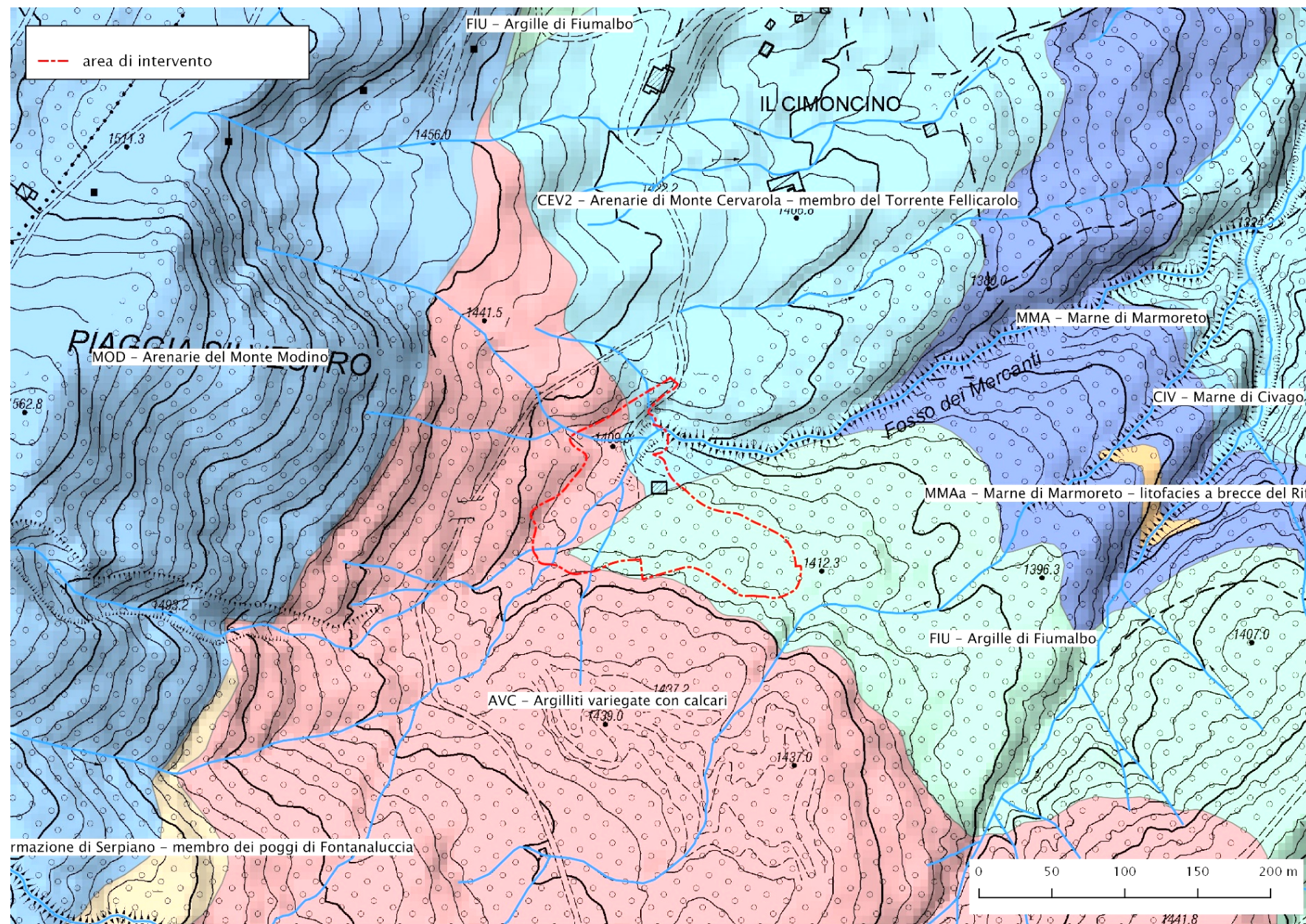
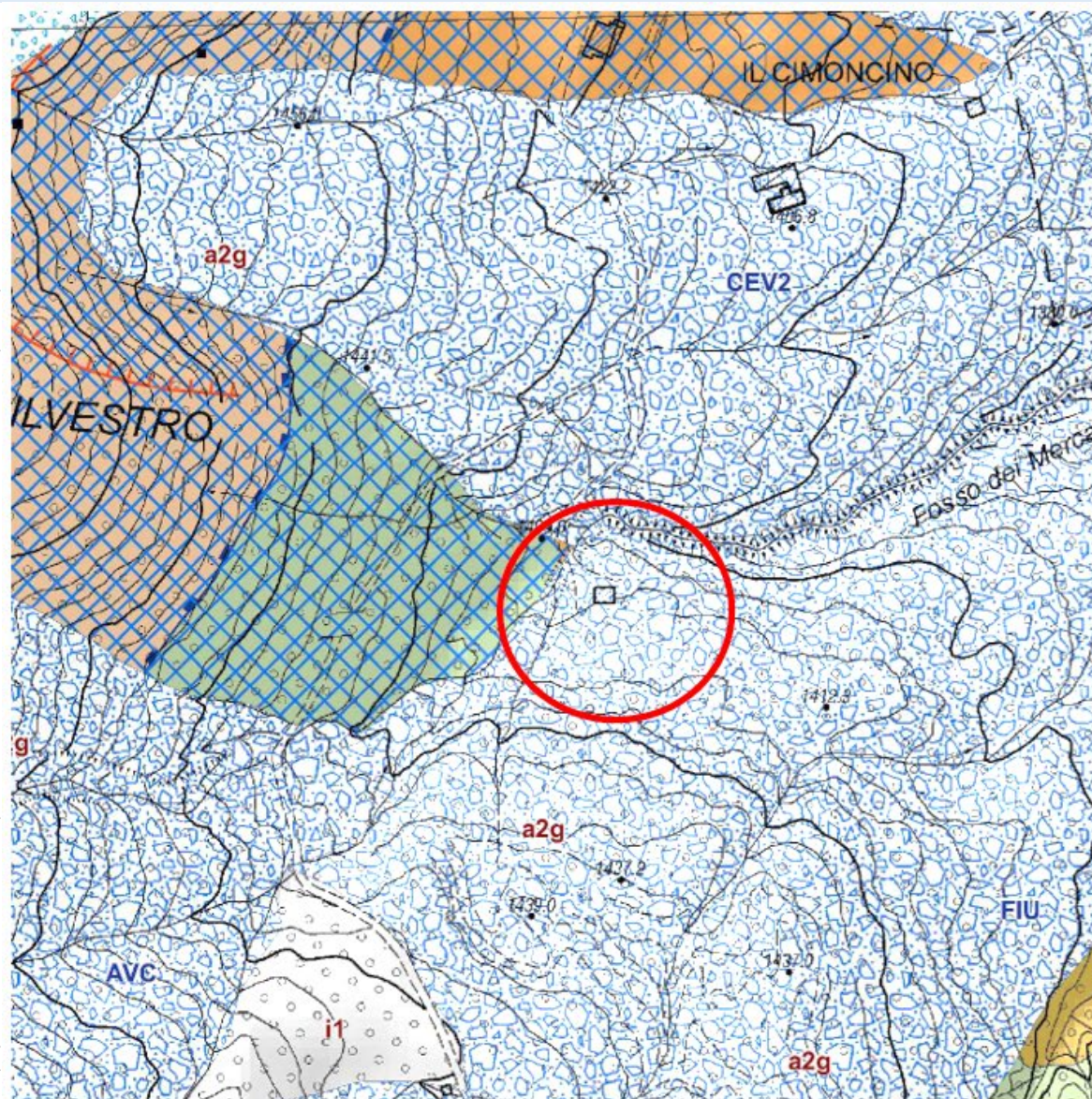


Figura 3 – Carta delle Unità Geologiche – ISPRA 2018





## Legenda

Province



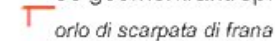
Comuni



Griglia 10.000



ee geomorf./antrop.



Coperture quaternarie



a2g - Deposito di frana quiescente complessa



a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV



i1 - Conoide torrentizia in evoluzione

Limiti di unità geologiche

— —contatto stratigrafico o litologico dedotto

— sovrascorrimento secondario tardivo che ritaglia impilamenti tettonici preesistenti certo

— sovrascorrimento secondario tardivo che ritaglia impilamenti tettonici preesistenti incerto

Unità geologiche (10K)



AVC - Argilliti variegato con calcari

CEV2 - Arenario di Monte Corvarola - membro del Torrente Fellicarolo

FIU - Argillo di Fiumalbo

MMA - Mame di Marmoreto

MOD - Arenarie del Monte Modino

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.

**i1 – Conoide torrentizia in evoluzione** Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole 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.

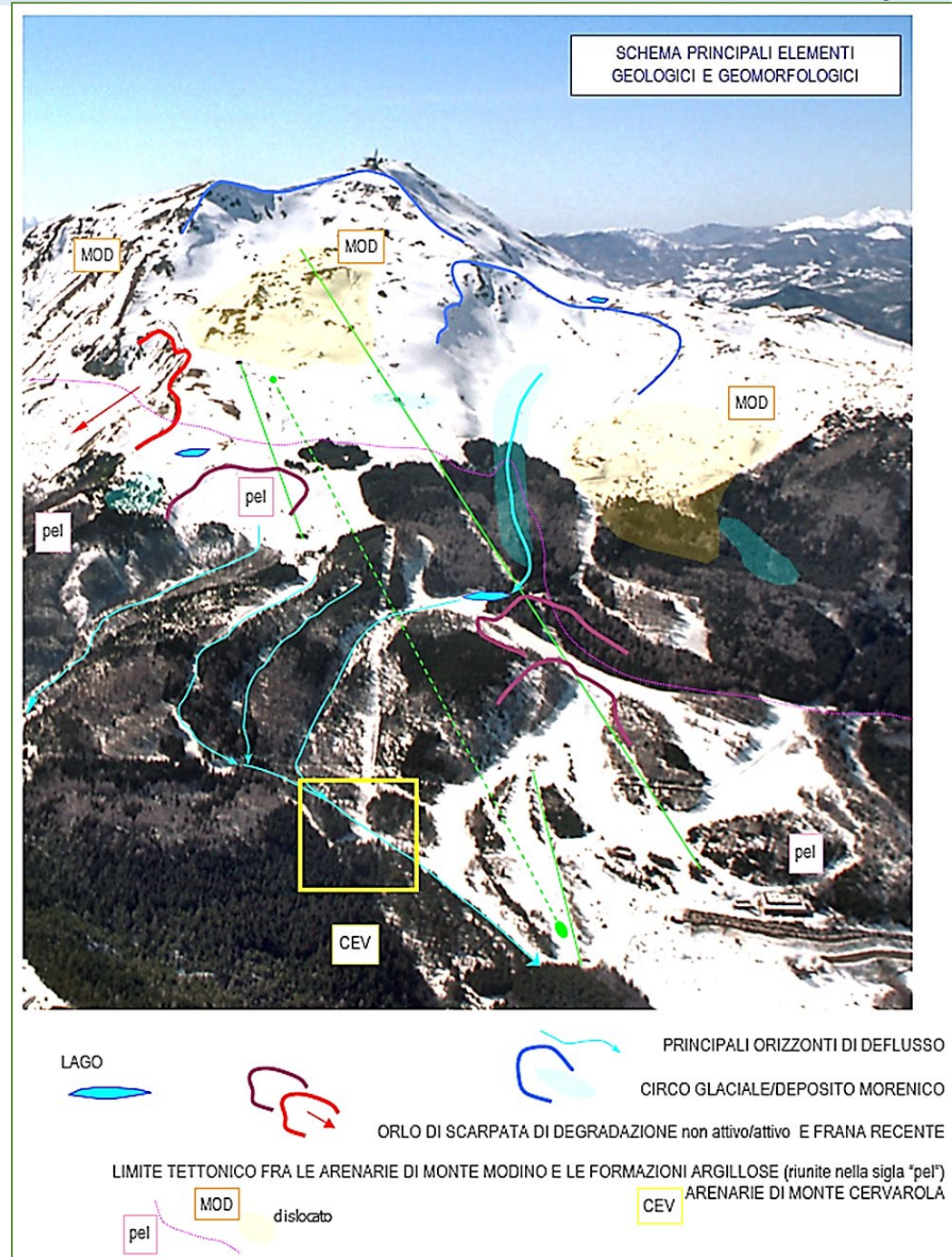
Il deposito gravitativo è senza evidenze di movimenti in atto o recenti, alla data del rilevamento o dell'aggiornamento. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni 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.







Pag. 10 di 118



## 7 CONDIZIONI DI STABILITÀ DA CARTOGRAFIA UFFICIALE

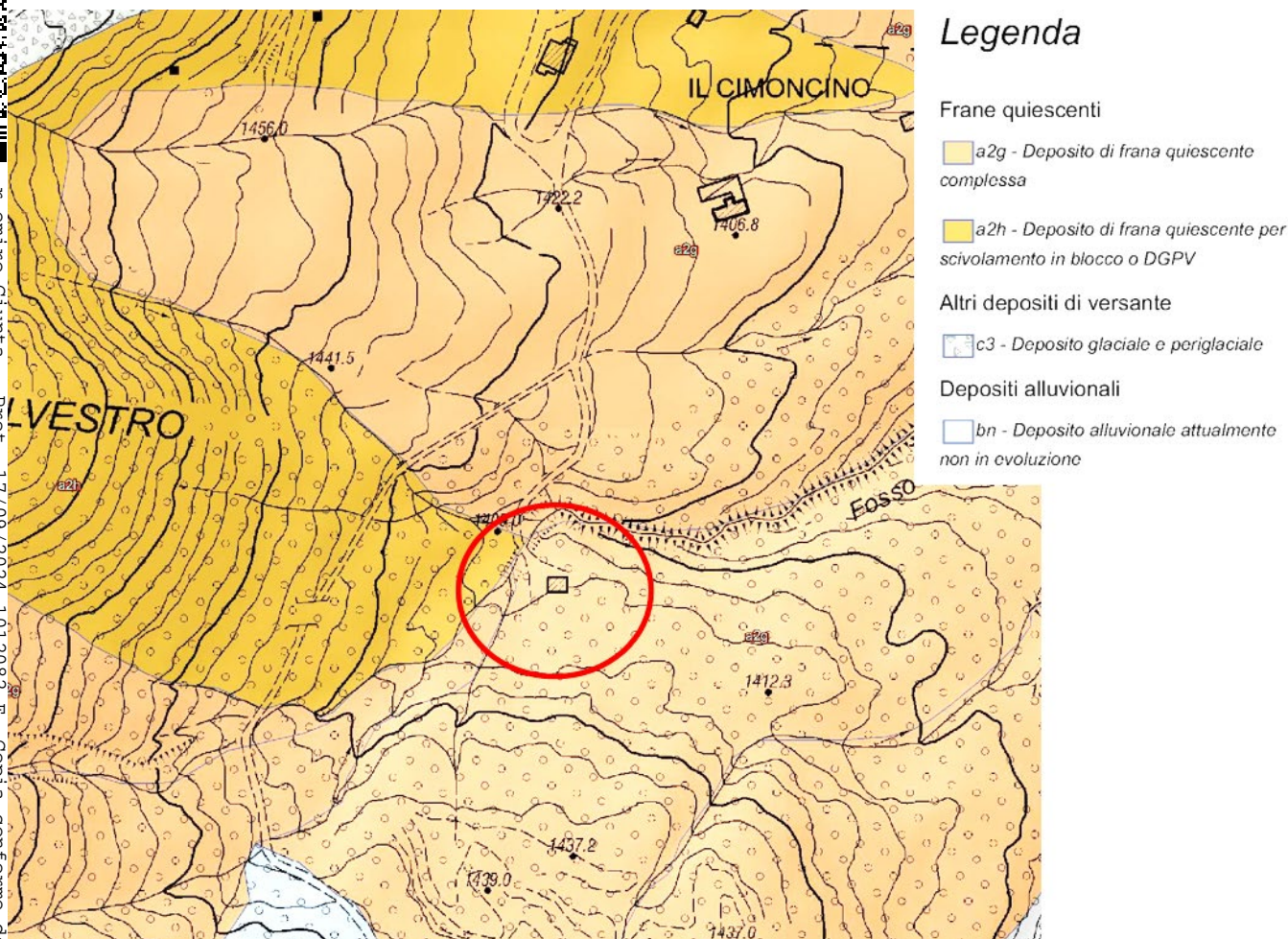


Figura 7 - Estratto Carta del Dissesto Emilia-Romagna 2020

La Carta del dissesto della Regione Emilia-Romagna e quella del Dissesto del PTCP 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

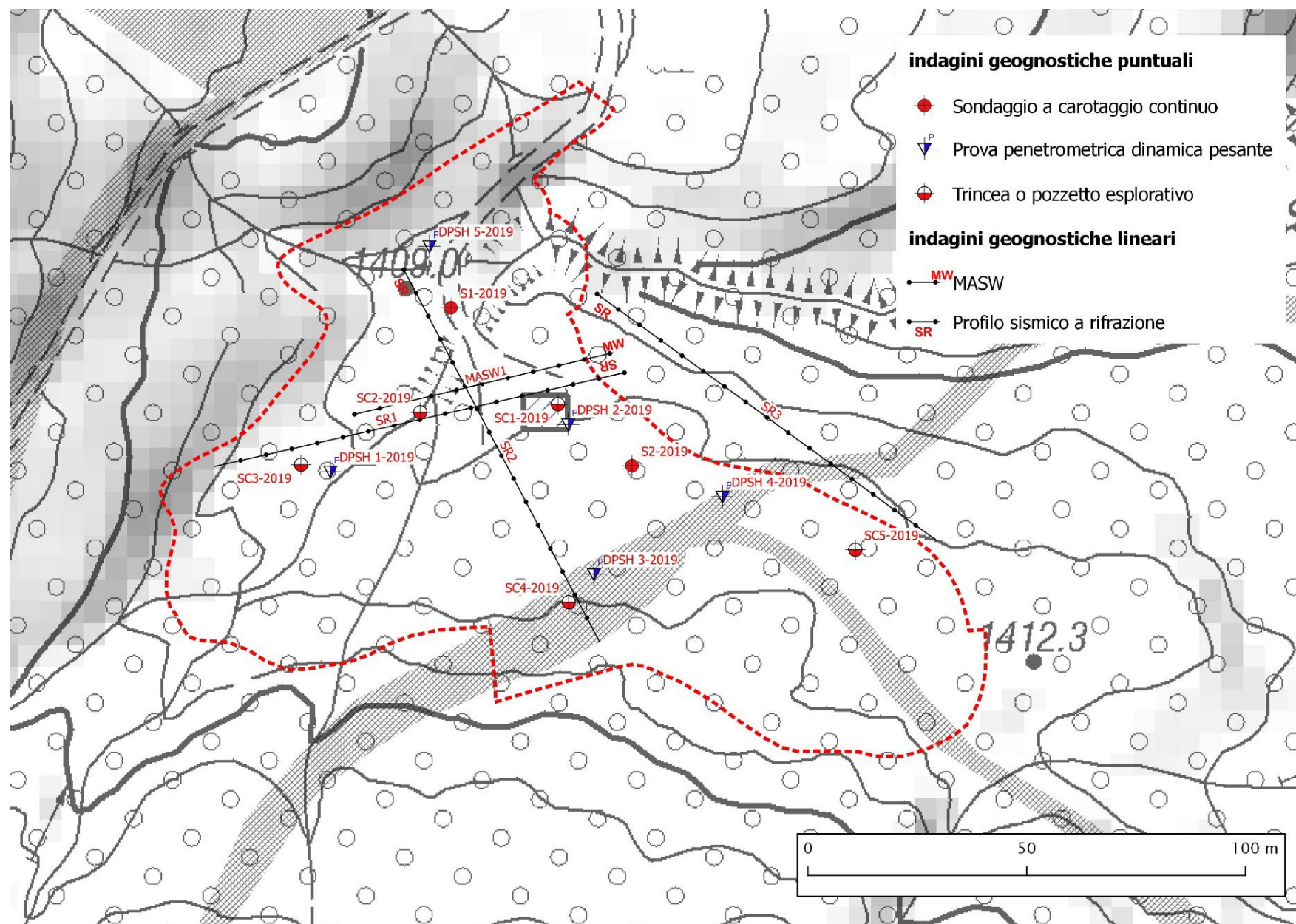


Figura 8 – Planimetria indagini geognostiche su CTR 13. È riportato in rosso il perimetro di progetto



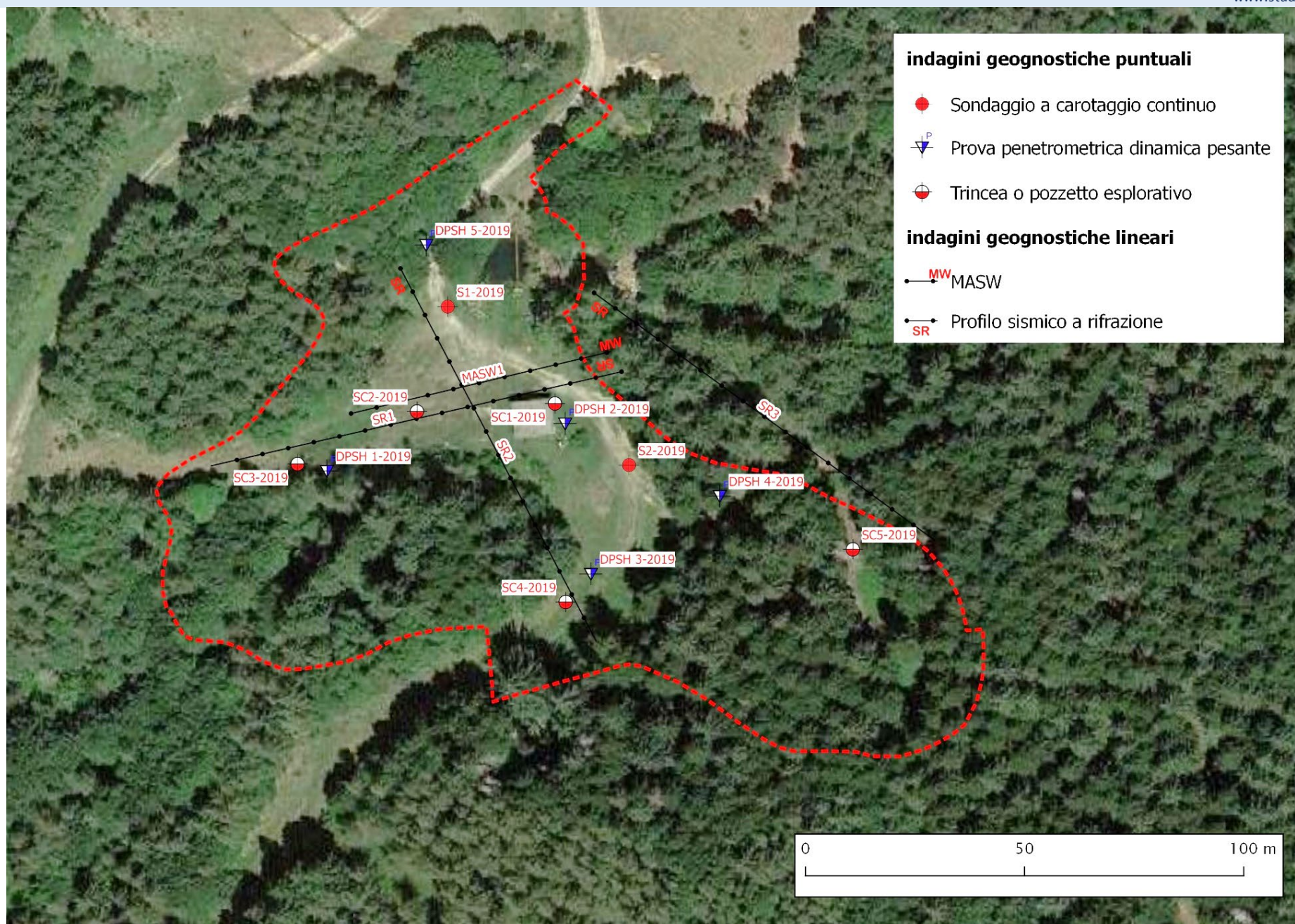


Figura 9 – Planimetria indagini geognostiche su GE 2019 – In rosso il perimetro dell'area di progetto



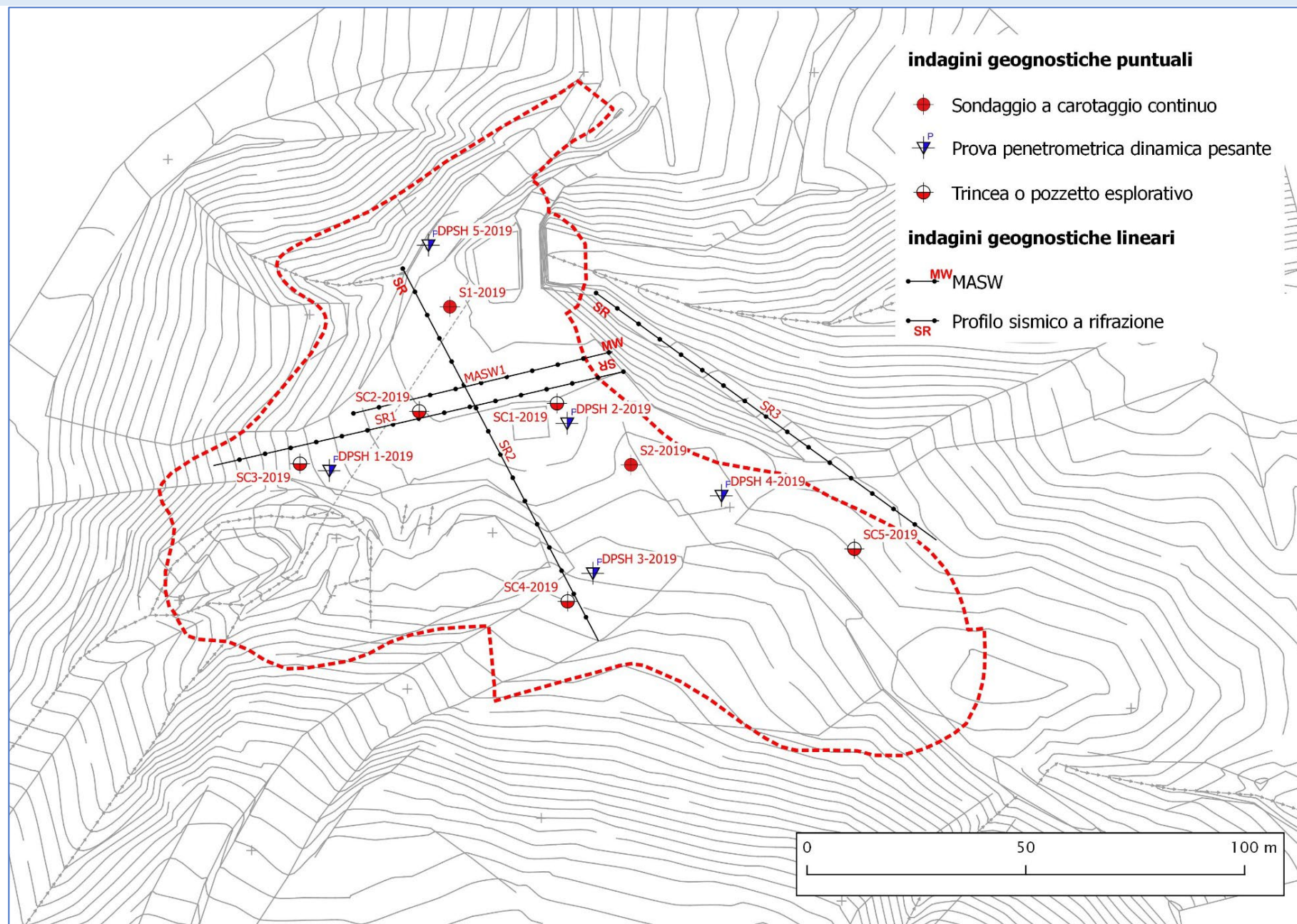


Figura 10 - Ubicazioni indagini geognostiche su rilievo topografico di progetto

## 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.



<b>AGENZIA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ</b> UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA DNV Certificazione Ufficiale - Settore « C » - Prove in sito AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI Decreto 54953/29-05-2006 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 26/19/PTC/2010		Committente: Dott. Geol. Daniele Sargenti Riferimento: Fanano (MO), fraz. Canevare Coordinate: Perforazione: a carotaggio continuo SCALA 1:50		Sondaggio: S1 Data: dal 05/08/19 al 07/08/19 Cantiere: Via Cimonicino	
<b>PROVE PENETROMETRICHE</b> 41961 Cantieri Sargenti (MO) Via dei Mulini, 9 Tel. 052 555667 / Fax 052 555186		<b>STRATIGRAFIA - S1</b>		Pagina 3/6	
Profondità (m)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Caratteristiche	DATI TECNICI	
0,0 - 0,3		Terrano vegetale.		RAPPORTO DI PROVA N. R08455 del 08/08/2019	
0,3 - 0,5		Lime argilloso, nodiccia, asciutto, con inclusi frammenti arenacei.		Sondaggio a carotaggio continuo eseguito con Sonda Elietari EK200S attrezzata con carotiere semplice T1 da 101 mm.	
0,5 - 0,7		Lime argilloso, nodiccia scura, umido, con abbondanti inclusi arenacei.		Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
0,7 - 0,9		Alternanza irregolare di marne e peliti, grigie chiare, asciutte con abbondanti inclusi litoidi eterogenei ed eterogenei.		Il Responsabile di Sito: Dott. Stefano Vigni	
0,9 - 1,0		Livelli decimetrici di arenarie alla profondità 1,60 - 1,70 m / 2,20 - 2,30 m / 3,60 - 3,70 m		Aiuti-responsabile di sito: Sig. Alfredo Tonielli	
1,0 - 1,2					
1,2 - 1,4					
1,4 - 1,6		CAMPIONE DISTURBATO N.1	1,40 x 4,00		
1,6 - 1,8		Alternanza irregolare di marne e peliti, grigie chiare, asciutte con abbondanti inclusi litoidi eterogenei ed eterogenei.			
1,8 - 2,0		Livello decimetrico di arenarie alla profondità 4,40 - 4,50 m.	1,20 x 0,27		
2,0 - 2,2		Alternanza decimetrica di pelite, grigio scura, compatta con abbondanti frammenti litoidi eterogenei ed eterogenei e arenaria medio fine, grigia chiara.	5,78 x 0,27		
2,2 - 2,4					
2,4 - 2,6					
2,6 - 2,8					
2,8 - 3,0		CAMPIONE DISTURBATO N.2	2,80 x 1,50		
3,0 - 3,2		Alternanza irregolare di pelite, grigio scura, compatta con calcinelli e abbondanti inclusi litoidi eterogenei ed eterogenei e arenaria medio fine, grigia chiara.			
3,2 - 3,4					
3,4 - 3,6					
3,6 - 3,8					
3,8 - 4,0					
4,0 - 4,2					
4,2 - 4,4					
4,4 - 4,6					
4,6 - 4,8					
4,8 - 5,0					
5,0 - 5,2					
5,2 - 5,4					
5,4 - 5,6					
5,6 - 5,8					
5,8 - 6,0					
6,0 - 6,2					
6,2 - 6,4					
6,4 - 6,6					
6,6 - 6,8					
6,8 - 7,0					
7,0 - 7,2					
7,2 - 7,4					
7,4 - 7,6					
7,6 - 7,8					
7,8 - 8,0					
8,0 - 8,2					
8,2 - 8,4					
8,4 - 8,6					
8,6 - 8,8					
8,8 - 9,0					
9,0 - 9,2					
9,2 - 9,4					
9,4 - 9,6					
9,6 - 9,8					
9,8 - 10,0					
10,0 - 10,2					
10,2 - 10,4					
10,4 - 10,6					
10,6 - 10,8					
10,8 - 11,0					
11,0 - 11,2					
11,2 - 11,4					
11,4 - 11,6					
11,6 - 11,8					
11,8 - 12,0					
12,0 - 12,2					
12,2 - 12,4					
12,4 - 12,6					
12,6 - 12,8					
12,8 - 13,0					
13,0 - 13,2					
13,2 - 13,4					
13,4 - 13,6					
13,6 - 13,8					
13,8 - 14,0					
14,0 - 14,2					
14,2 - 14,4					
14,4 - 14,6					
14,6 - 14,8					
14,8 - 15,0					



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



Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 - Settore C - Prove in Sito									
Rilevo del livello dell'acqua nel corso della perforazione									
Giorno	07/08/19	07/08/19	07/08/19						
Ora	08:45	12:45	16:30						
Livello dell'acqua (m)	1,96	3,30	3,20						
Prof. perforazione (m)	7,00	15,00	15,00						
Prof. rivestimento (m)	6,00	4,50	0,00						

Il Responsabile di sito,  
Sig. Stefano Vigni

PROVE PENETROMETRICHE Srl  
Elaborazione Dati  
Il Tecnico



AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA DNV		Committente: Dott. Geol. Daniele Sargenti		Sondaggio: S2	
Certificazione Ufficiale - Settore « C » - Prove in sito AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI Decreto 54953/29-05-2006 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7619/STC/2010		Riferimento: Fanano (MO), fraz. Canevare		Data: dal 07/08/19 al 08/08/19	
PROV. PENETRATIVE 41801 Concessionario Rampea (MO) Via per Salsomaggiore, 8 Tel. 049 425046 / Fax 049 425046		Coordinate: Perforazione: a carotaggio continuo		Cantiere: Via Cimonicino	
SCALA 1:50		<b>STRATIGRAFIA - S2</b>		Pagina 3/6	
DESCRIZIONE		DATI TECNICI		RAPPORTO DI PROVA N. R09460 del 09/08/2019 Sondaggio a carotaggio continuo eseguito con Sonda Elettrici EK200S attrezzata con carotiere semplice T1 da 101 mm. Il Responsabile di Sito: Dott. Stefano Vigni Aiuti-responsabile di sito: Sig. Alfredo Tonielli	
LITOLOGIA		Capacità		Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
1. Terrano vegetale.		1.396.06		1. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
2. Limo argilloso, nocciola scura, compatto, asciutto con inclusi frammenti litoidi etrometrici di natura arenacea e calcarea.		1.396.06		2. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
3. Arenaria brecciata poco cementata, grigia.		1.396.06		3. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
4. Pelite marmosa, grigia nocciola, con inclusi abbondanti frammenti litoidi arenacei.		1.396.06		4. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
5. Argilla con sabbia, nocciola scura, con inclusi abbondanti frammenti litoidi arenacei.		1.396.06		5. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
6. CAMPIONE DISTURBATO N. 1		1.396.06		6. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
7. Argilla con sabbia, nocciola scura, con inclusi abbondanti frammenti litoidi arenacei.		1.396.06		7. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
8. Pelite, localmente marmosa, grigio scura, compatta, con abbondanti inclusi litoidi arenacei alternata irregolarmente a livelli di calcare ed di arenaria medio grossolana, grigia.		1.396.06		8. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
9. Livello di calcare, grigio chiaro alla profondità 8,00 - 8,20 m		1.396.06		9. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
10. CAMPIONE DISTURBATO N. 2		1.396.06		10. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
11. Pelite, localmente marmosa, grigio scura, compatta, con abbondanti inclusi litoidi arenacei alternata irregolarmente a livelli di calcare ed di arenaria medio grossolana, grigia.		1.396.06		11. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
12. Livelli di calcare, grigio chiaro alle profondità 9,50 - 9,70 m / 10,20 - 10,30 m / 11,20 - 11,30 m		1.396.06		12. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
13.		1.396.06		13. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
14.		1.396.06		14. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	
15.		1.396.06		15. Diametro rivestimento: 127 mm per 12,00 m.	

Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 - Settore C - Prove in Sito

Rilevato del livello dell'acqua nel corso della perforazione	
Giorno	08/08/19 08/08/19 08/08/19
Ora	08:45 14:15 16:30
Livello dell'acqua (m)	2,10 1,90 2,15
Prof. perforazione(m)	4,30 12,00 15,00
Prof. rivestimento(m)	3,30 11,50 12,00

Il Responsabile di sito  
Sig. Stefano Vigni



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



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



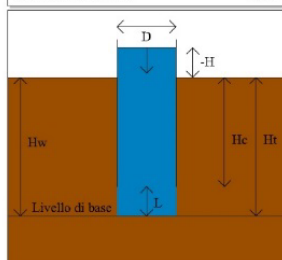
Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



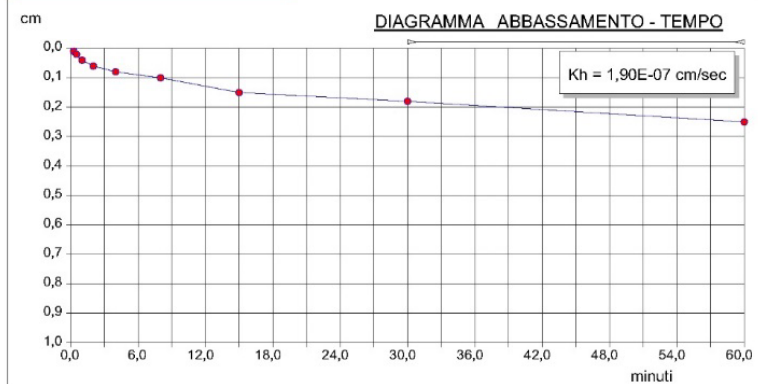
### PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE

Committente: Dott. Geol. Daniele Sargenti	Pagina 2/2
Riferimento: R08456 del 08/08/19	Prova: 1
Località: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimoncino	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 dal 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 min	H cm	dH cm	k cm/sec	T min	H cm	dH cm	k cm/sec
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	0,06	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				

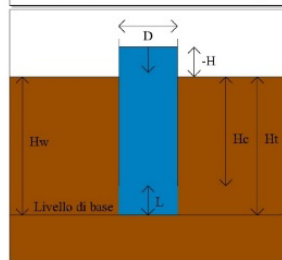


Il Responsabile di sito  
Dott. Stefano Vigni

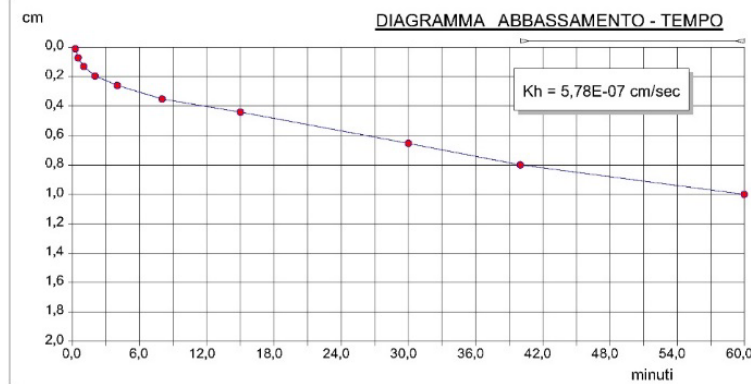
### PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE

Committente: Dott. Geol. Daniele Sargenti	Pagina 2/2
Riferimento: R08457 del 08/08/19	Prova: 2
Località: Fanano (MO), fraz. Canevare, via Cimoncino	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 dal 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 min	H cm	dH cm	k cm/sec	T min	H cm	dH cm	k cm/sec
0,00	610,00	0,00					
0,25	609,99	0,01	2,31E-06				
0,50	609,93	0,07	1,41E-05				
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				



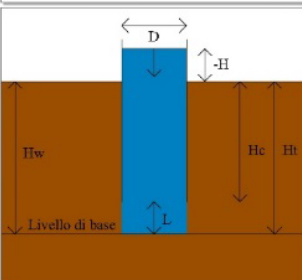
Il Responsabile di sito  
Dott. Stefano Vigni



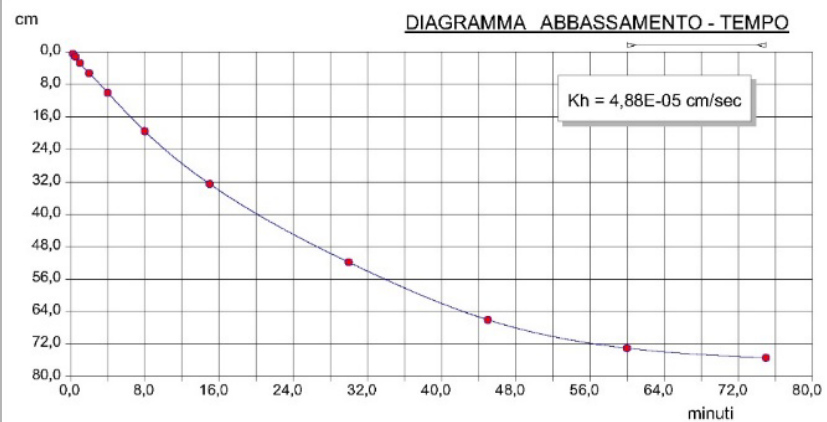
## PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE

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  
 Livello di base dell'acqua [Hw] (m) 1,60  
 Livello dell'acqua dal p.c. [H] (m) -0,20  
 Diametro del tratto di prova [D] (m) 0,127  
 Profondità del rivestimento [Hc] (m) 0,95  
 Profondità del foro [Hf] (m) 1,60  
 Spessore del tratto di prova [L] (m) 0,65  
 Coefficiente di forma 0,65



T min	H cm	dH cm	k cm/sec	T min	H cm	dH cm	k cm/sec
0,00	180,00	0,00					
0,25	179,60	0,40	2,89E-04				
0,50	178,90	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				



Il Responsabile di sito  
Dott. Stefano Vigni

*Stefano Vigni*

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



### 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

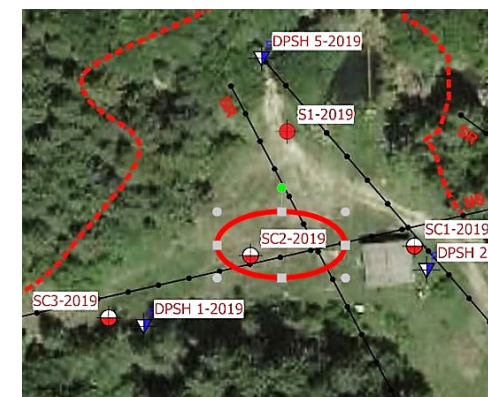


Figure 12 – Sondaggio Sc2



**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 oca, 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'infiiggere 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



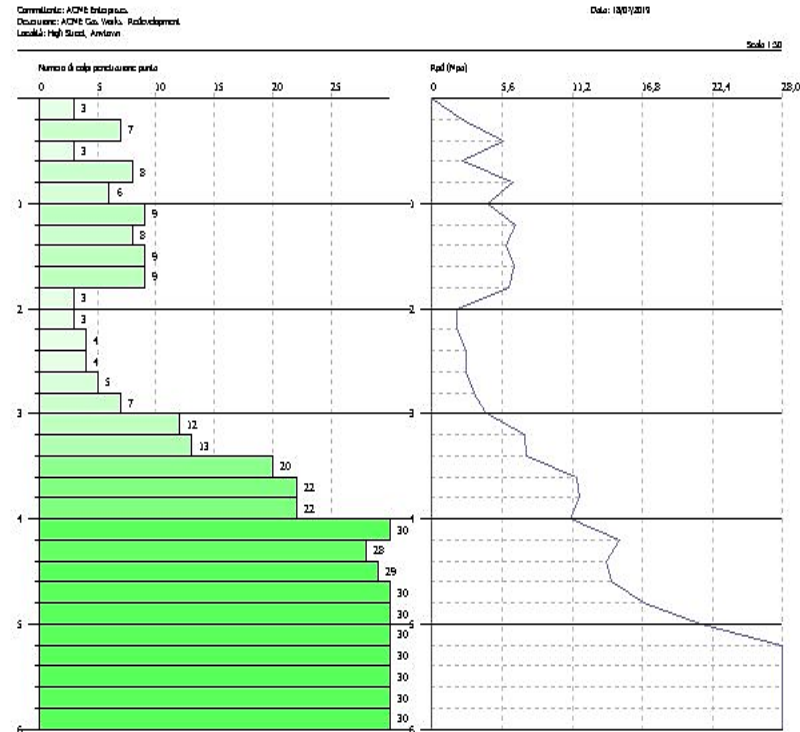


PROVA DPSH-1

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)

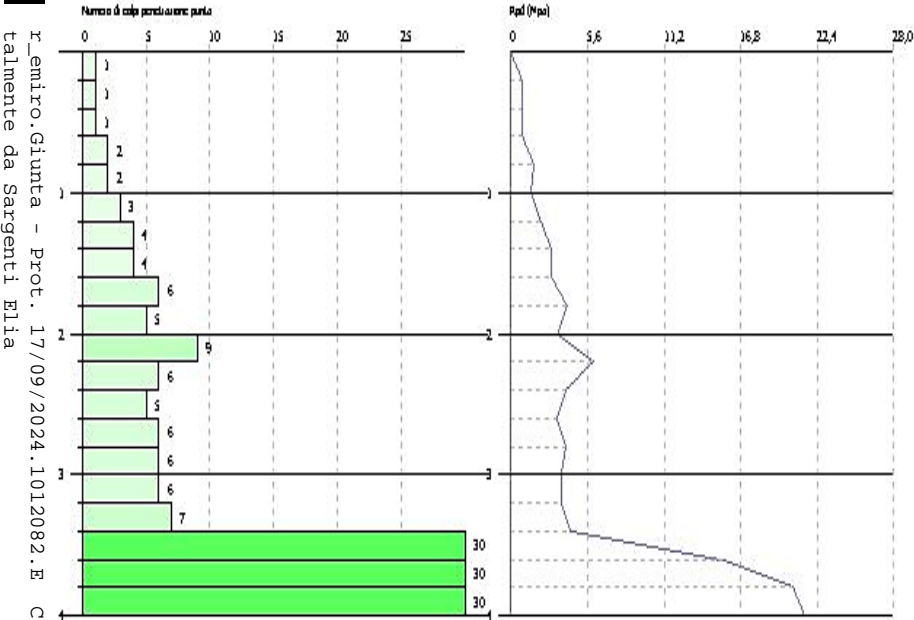


Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	3	0,855	2,44	2443,38
0,40	7	0,851	5,68	5675,45
0,60	3	0,847	2,42	2421,57
0,80	8	0,843	6,43	6429,53
1,00	6	0,840	4,44	4441,98
1,20	9	0,836	6,64	6635,29
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 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	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 (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 18/07/2019  
 Profondità prova 6,40m  
 Falda non rilevata

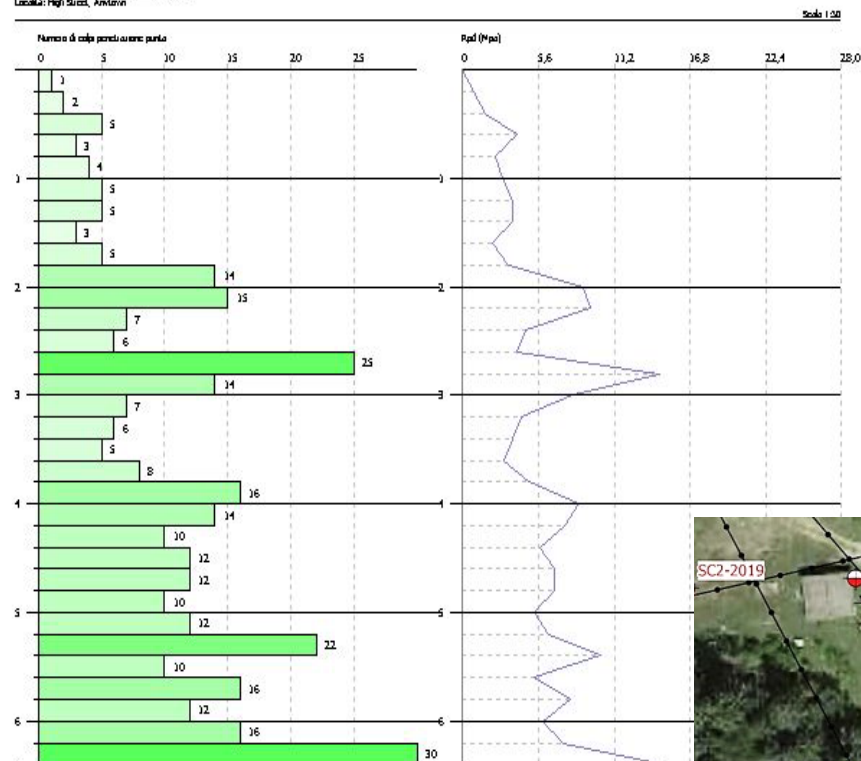
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	1	0,855	0,81	814,46
0,40	2	0,851	1,62	1621,56
0,60	5	0,847	4,04	4035,95
0,80	3	0,843	2,41	2411,08
1,00	4	0,840	2,96	2961,32
1,20	5	0,836	3,69	3686,28
1,40	5	0,833	3,67	3671,29
1,60	3	0,830	2,19	2194,01
1,80	5	0,826	3,64	3642,46
2,00	14	0,773	8,88	8877,93
2,20	15	0,770	9,47	9474,42
2,40	7	0,817	4,69	4691,35
2,60	6	0,814	4,01	4006,88
2,80	25	0,711	14,59	14587,06
3,00	14	0,759	8,14	8143,79
3,20	7	0,806	4,33	4325,91
3,40	6	0,803	3,70	3695,96
3,60	5	0,801	3,07	3070,27
3,80	8	0,798	4,90	4897,35
4,00	16	0,746	8,59	8592,19
4,20	14	0,744	7,49	7494,73
4,40	10	0,791	5,70	5697,02
4,60	12	0,789	6,82	6817,44
4,80	12	0,787	6,80	6798,98
5,00	10	0,785	5,33	5325,15
5,20	12	0,783	6,37	6373,75
5,40	22	0,681	10,16	10163,56
5,60	10	0,779	5,29	5285,20
5,80	16	0,727	7,89	7893,51
6,00	12	0,775	5,97	5968,44
6,20	16	0,724	7,43	7426,82
6,40	40	0,572	14,68	14675,05

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P3

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

Committente: AQNE Italia s.p.a.  
 Direzione: AQNE Gas Viechi, Piacenza  
 Località: Tighi (Sesto, Aniene)  
 Data: 18/07/2019





r\_giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia



PROVA DPSH- 4

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

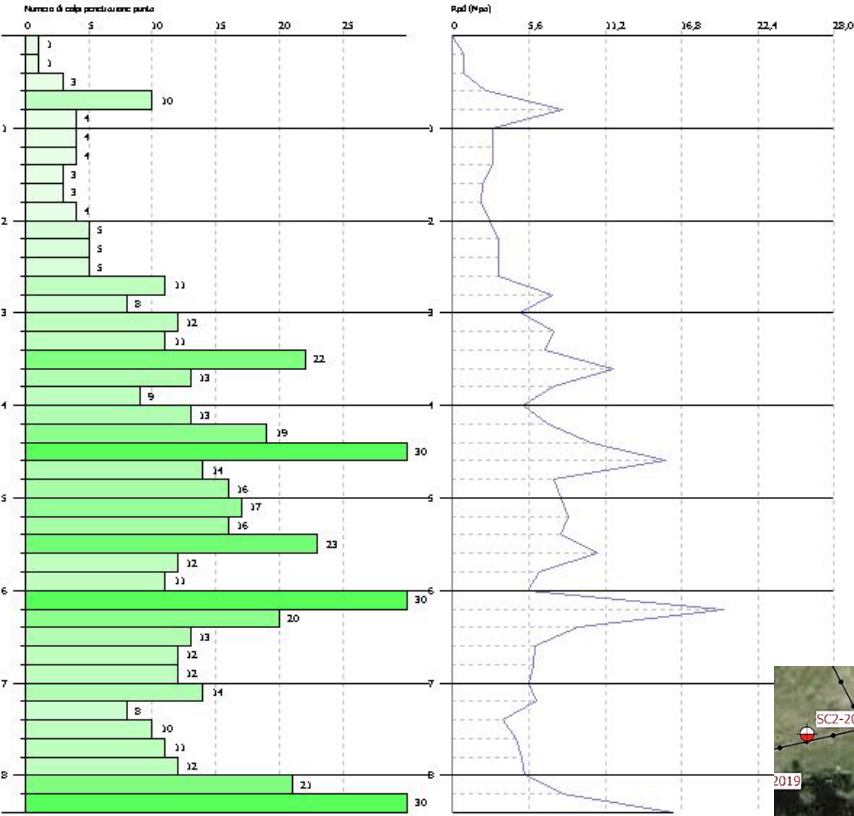
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

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

Committente: ACQUA Italia spa.  
Documenti: ACQUA Gas, Verba, Progettazione  
Località: Poggi Stessi, Ancona

Data: 18/07/2019

Scala 1:20



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Hammer - 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

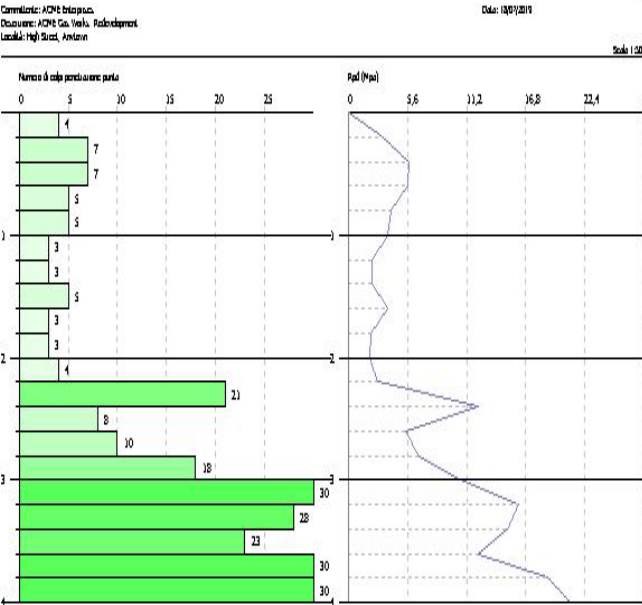


PROVA DPSH- 5

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

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P5  
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	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



Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia



## 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 Hz per 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

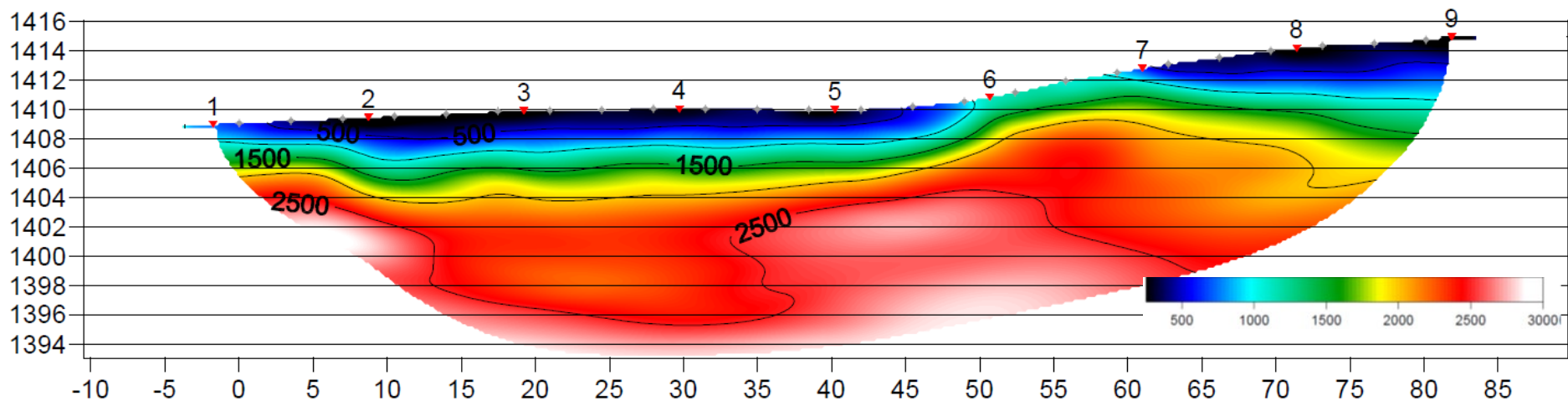


Figura 17 - Tomografia Prospezione a rifrazione SR1

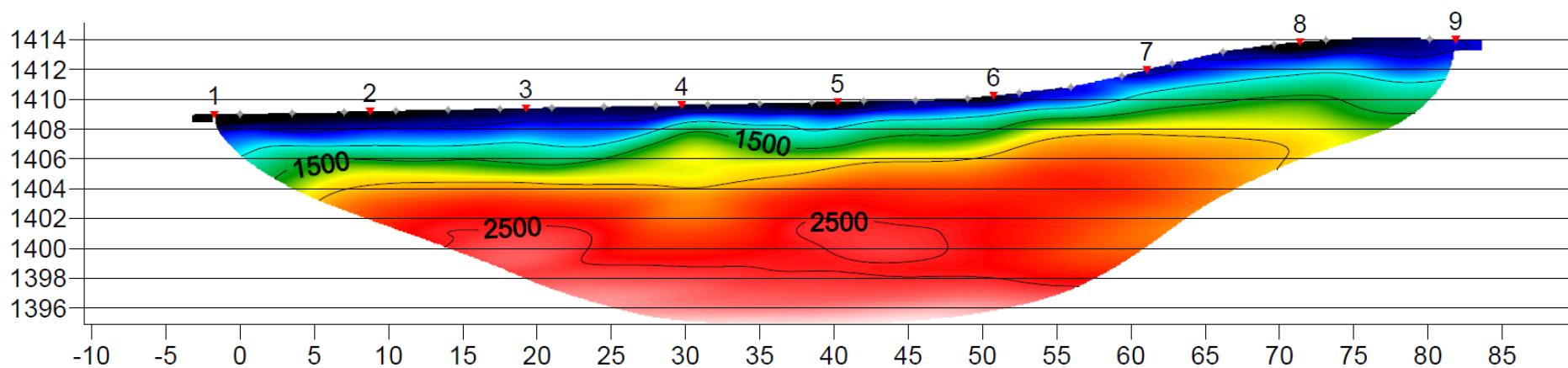


Figura 18 - Tomografia Prospezione a rifrazione SR2



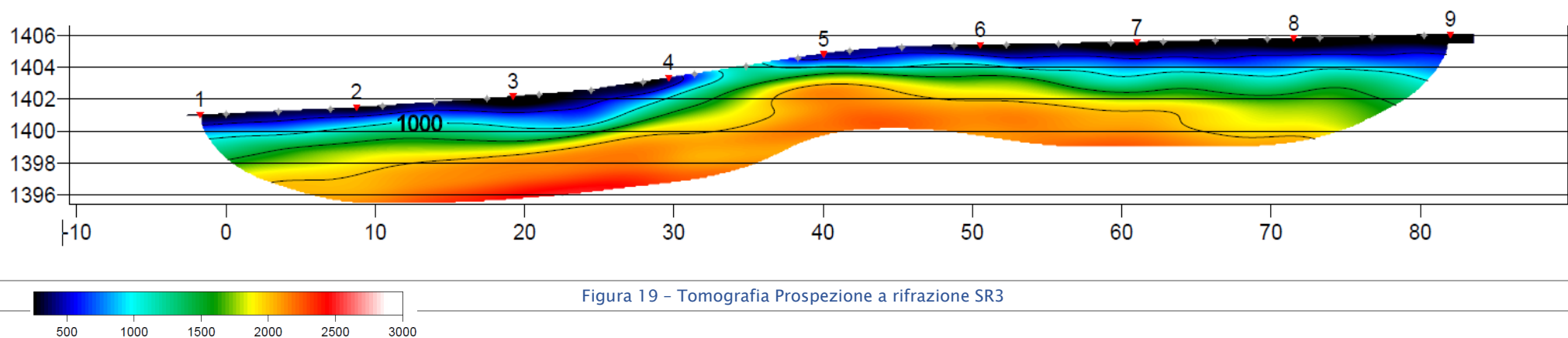


Figura 19 - Tomografia Prospezione a rifrazione SR3

## 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	Spessore 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

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

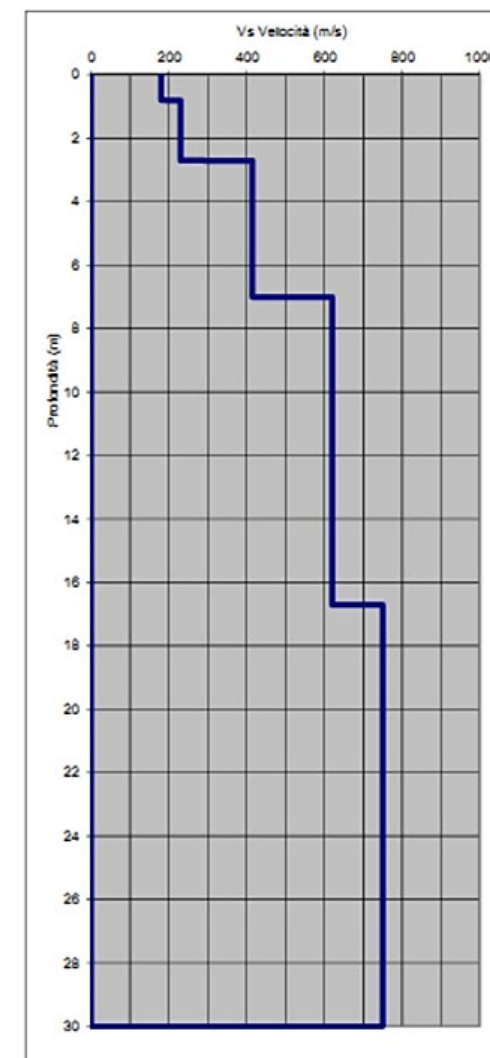


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs



## 8.7 PROVE DI LABORATORIO

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



AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ  
UNI EN ISO 9001:2015  
CERTIFICATO DA DNV-GL

41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Via per Modena, 8

RAPPORTO DI PROVA N°: R08475	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: 1      CAMPIONE: 1      PROFONDITA': m 4.00 - 4.45

**CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO**

Classificazione secondo: UNI 11531/14

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Passante setaccio 10 (2 mm)	48,5 %
Passante setaccio 40 (0.42 mm)	40,1 %
Passante setaccio 230 (0.063 mm)	30,7 %

**LIMITI DI CONSISTENZA**

Limite di liquidità	33,0 %
Limite di plasticità	19,9 %
Indice di plasticità	13,1 %

**CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A2-6**

**INDICE DI GRUPPO: 0**

Tipi usuali dei materiali principali:  
Ghiaia limosa o argillosa e sabbia



AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ  
UNI EN ISO 9001:2015  
CERTIFICATO DA DNV-GL

41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Via per Modena, 8

RAPPORTO DI PROVA N°: R08476	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: 1      CAMPIONE: 2      PROFONDITA': m 8.60 - 9.00

**CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO**

Classificazione secondo: UNI 11531/14

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Passante setaccio 10 (2 mm)	86,0 %
Passante setaccio 40 (0.42 mm)	73,1 %
Passante setaccio 230 (0.063 mm)	57,5 %

**LIMITI DI CONSISTENZA**

Limite di liquidità	31,3 %
Limite di plasticità	18,9 %
Indice di plasticità	12,4 %

**CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A6**

**INDICE DI GRUPPO: 5**

Tipi usuali dei materiali principali:  
Argille poco compressibili



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

### CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Classificazione secondo: UNI 11531/14

#### ANALISI GRANULOMETRICA

Passante setaccio 10 (2 mm)	28,3 %
Passante setaccio 40 (0.42 mm)	21,0 %
Passante setaccio 230 (0.063 mm)	11,3 %

#### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	31,6 %
Limite di plasticità	N.D. %
Indice di plasticità	- - - %

CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A1-a      INDICE DI GRUPPO: 0

Tipi usuali dei materiali principali:

Ghiaia o breccia, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane



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

### CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Classificazione secondo: UNI 11531/14

#### ANALISI GRANULOMETRICA

Passante setaccio 10 (2 mm)	65,8 %
Passante setaccio 40 (0.42 mm)	55,7 %
Passante setaccio 230 (0.063 mm)	40,1 %

#### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	31,4 %
Limite di plasticità	21,0 %
Indice di plasticità	10,4 %

CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A6      INDICE DI GRUPPO: 1

Tipi usuali dei materiali principali:

Argille poco compressibili



## 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

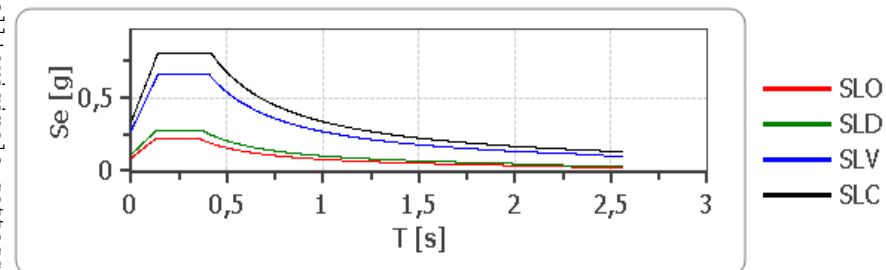
Categoria sottosuolo: **B**

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
a <sub>max</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	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

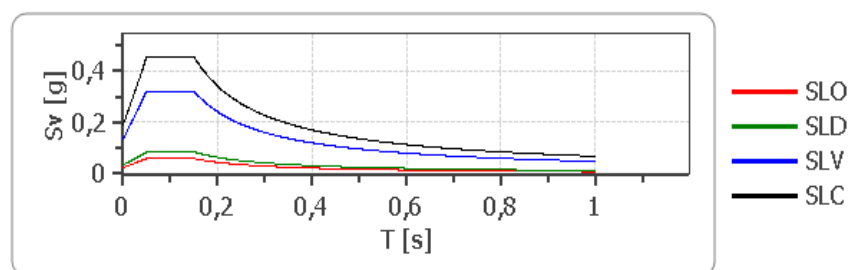
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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

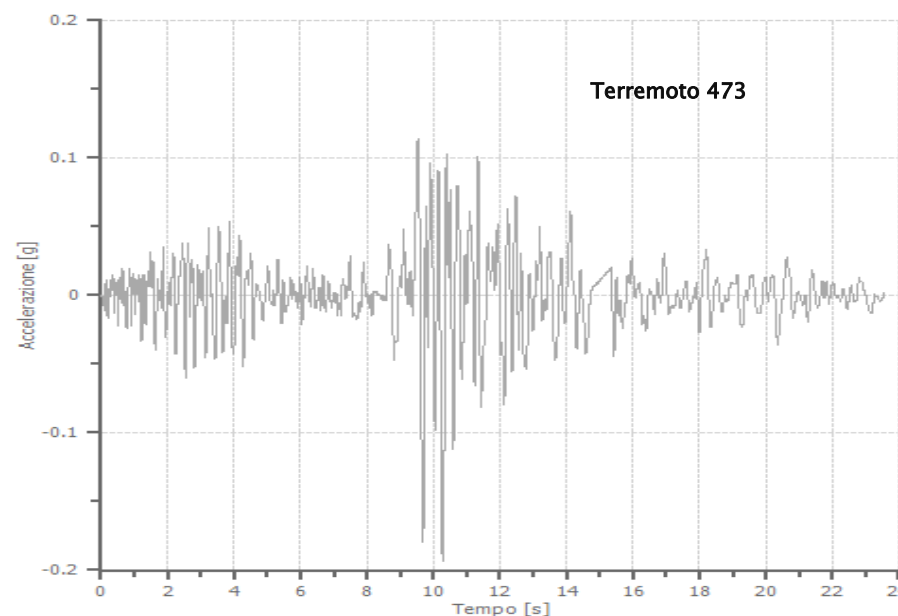
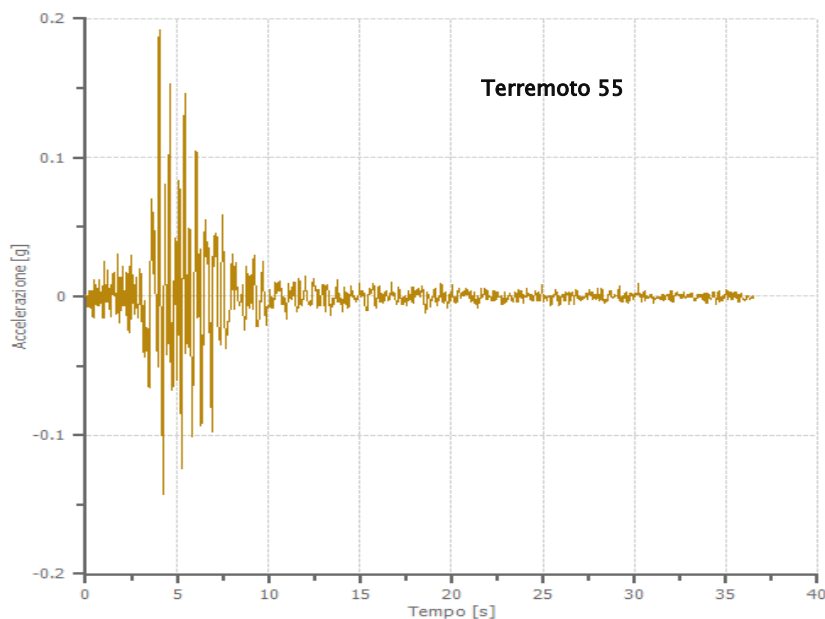


Figure 20 – Tracce 55 e 473



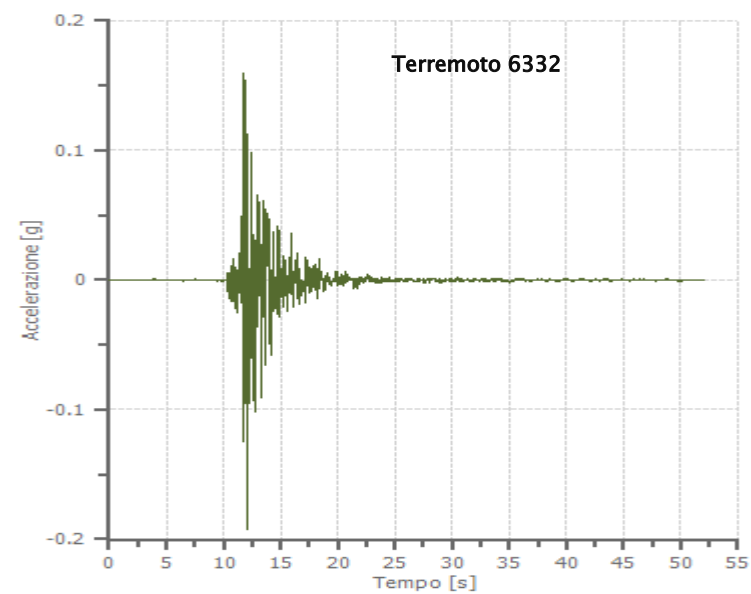
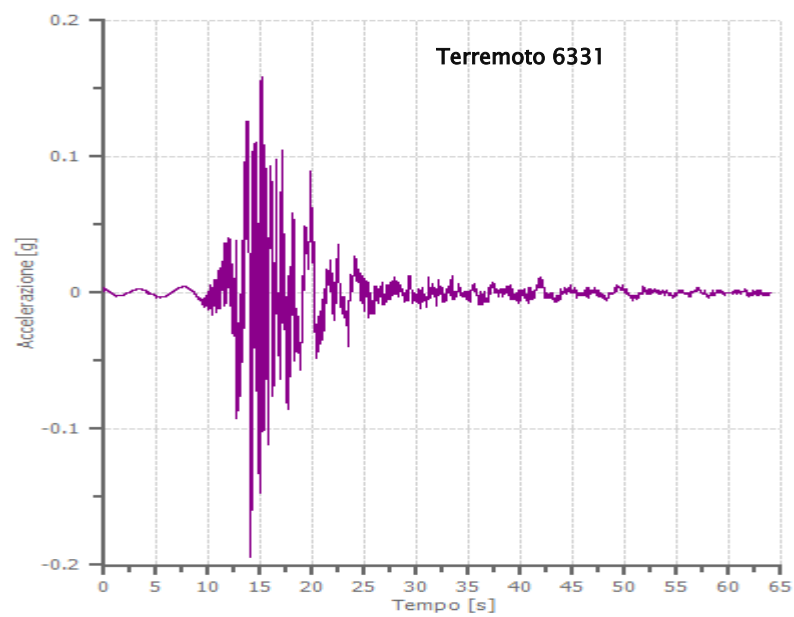
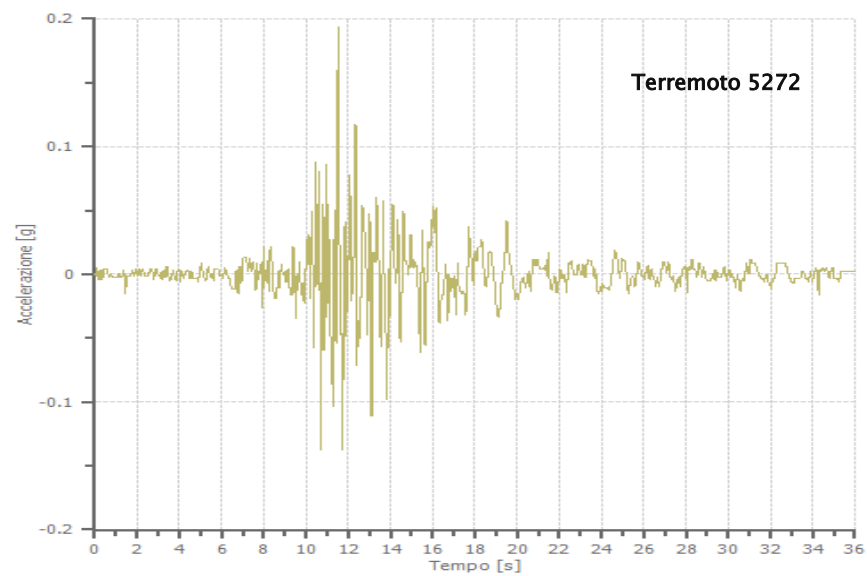
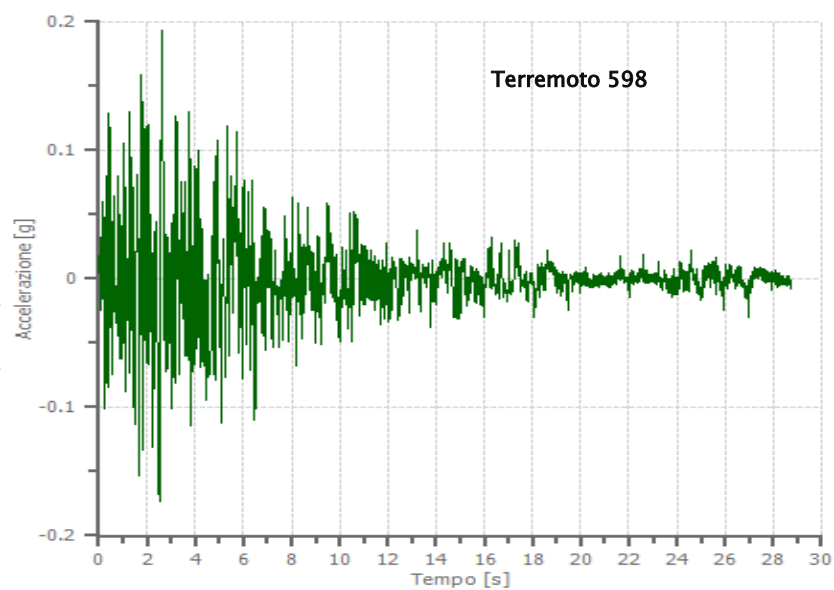


Figure 21 – Tracce 598 5272 6331 6332

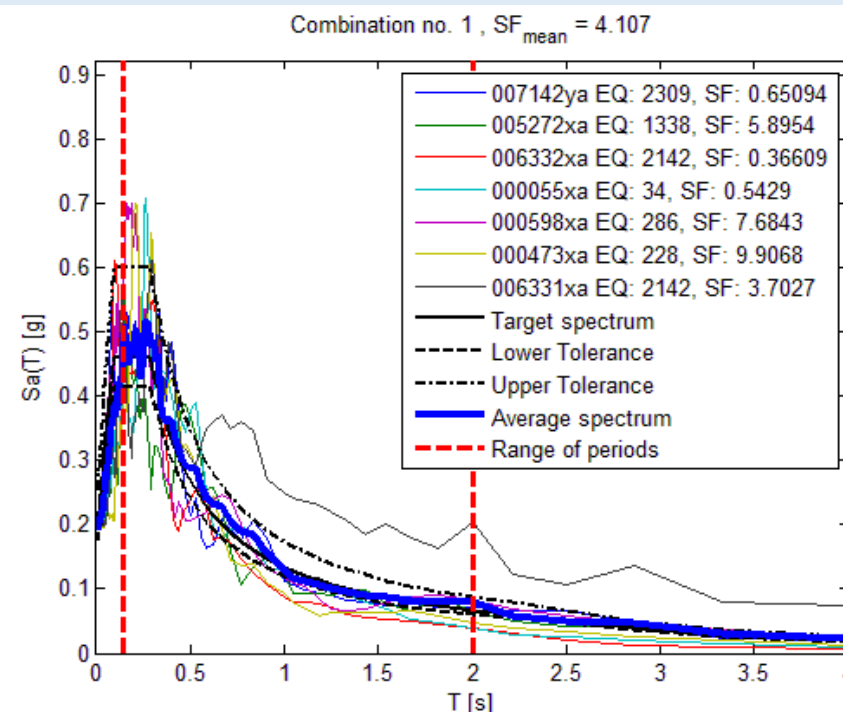
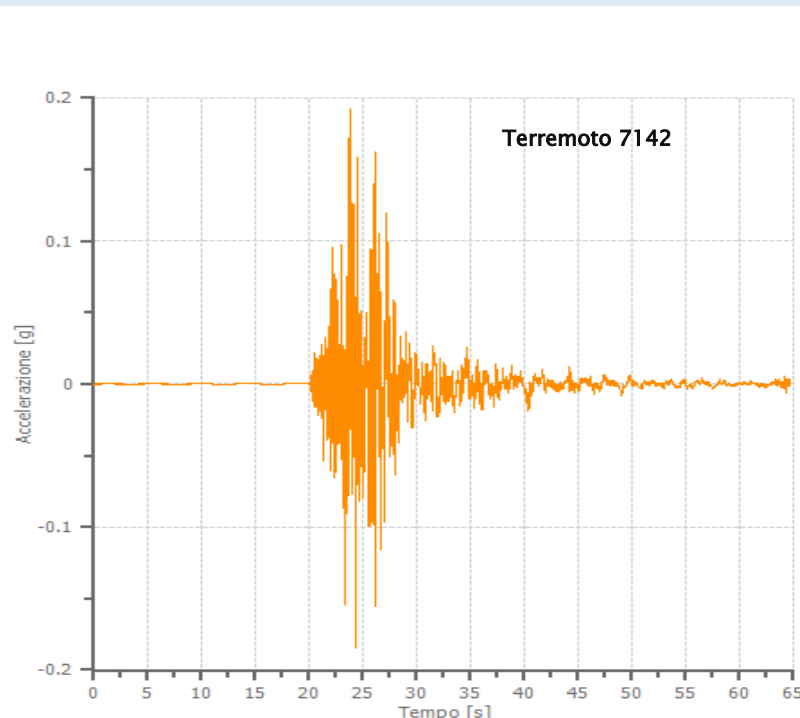


Figura 22 - A sx Traccia 7142 A dx: Sintesi tracce selezionate da Rexel

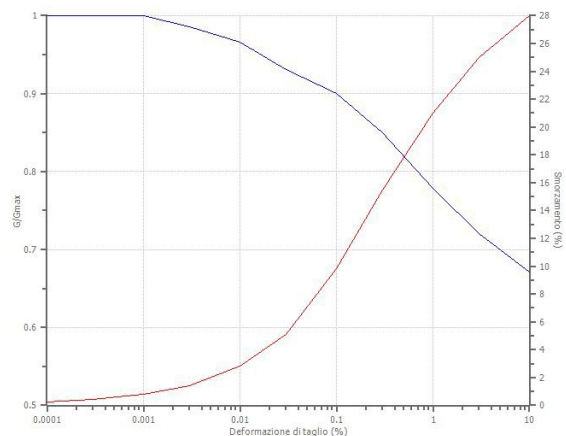
### 9.3.3 Terreni

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  $D$ .



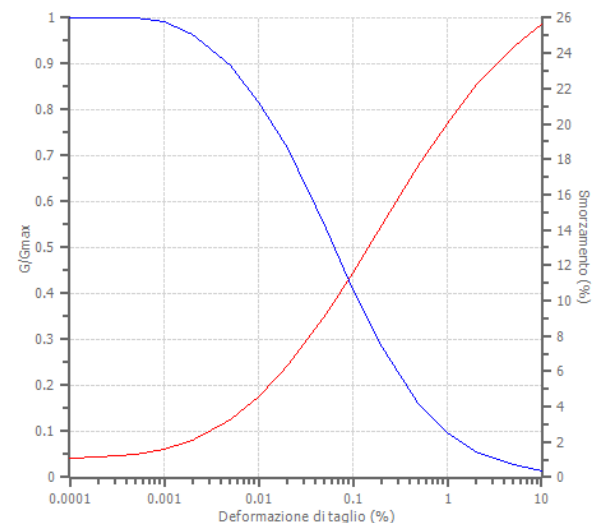
Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

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



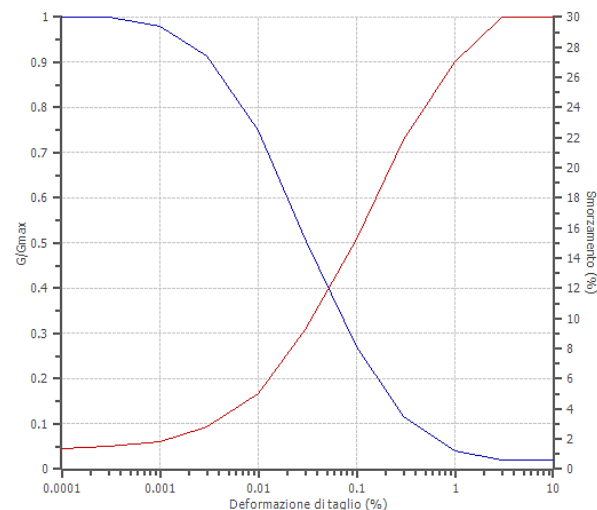
Vucetic & Dorby (1991) PI=15

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	oo	--	Smorzame nto costante	1261.47	22	750	359.3

Profilo		
	0.80 [m]	0.80 [m]
	1.90 [m]	2.70 [m]
	4.30 [m]	7.00 [m]
	9.70 [m]	16.70 [m]
		oo

Velocità onde di taglio	
180.0 [m/s]	
230.0 [m/s]	
415.0 [m/s]	
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		



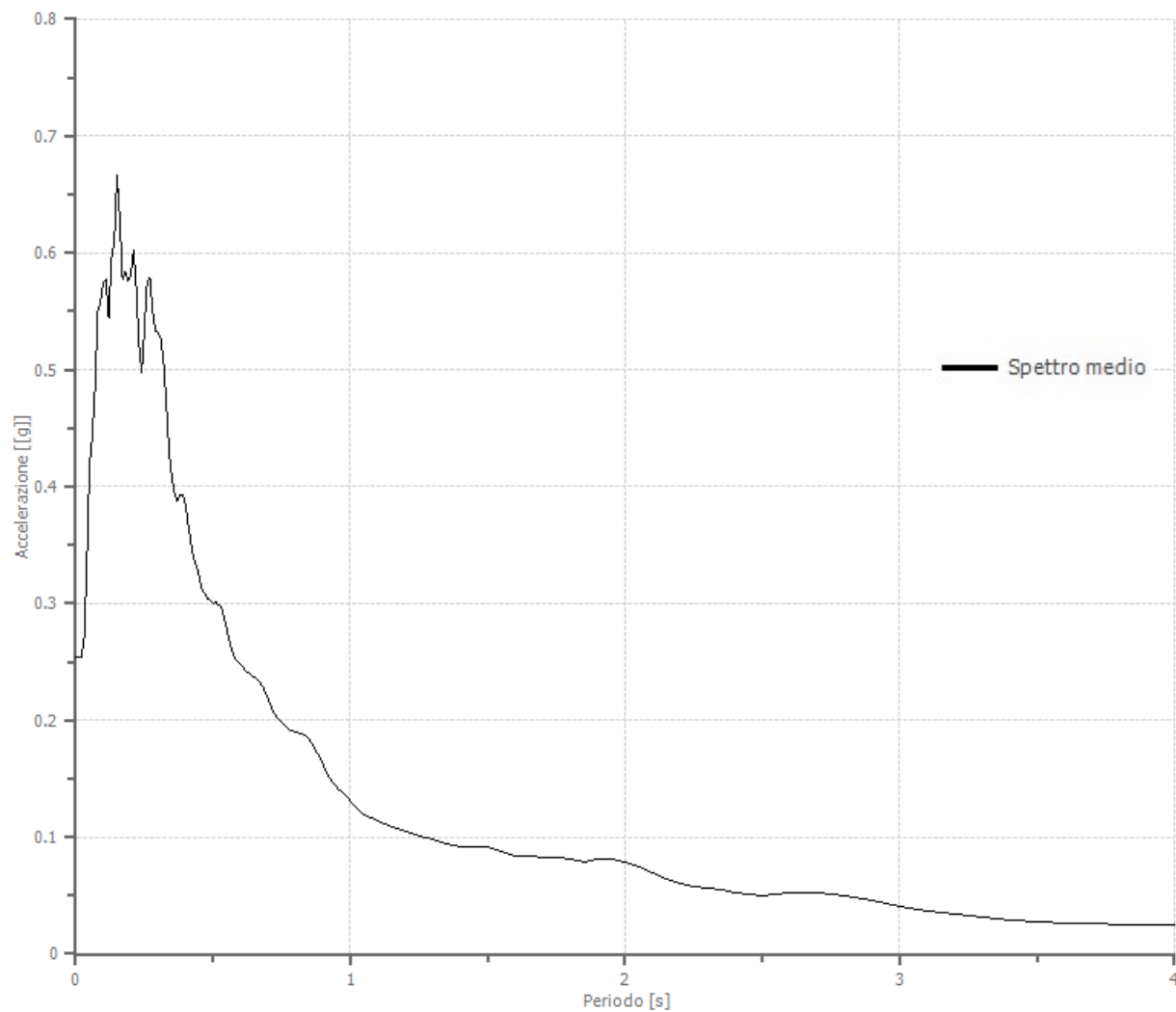


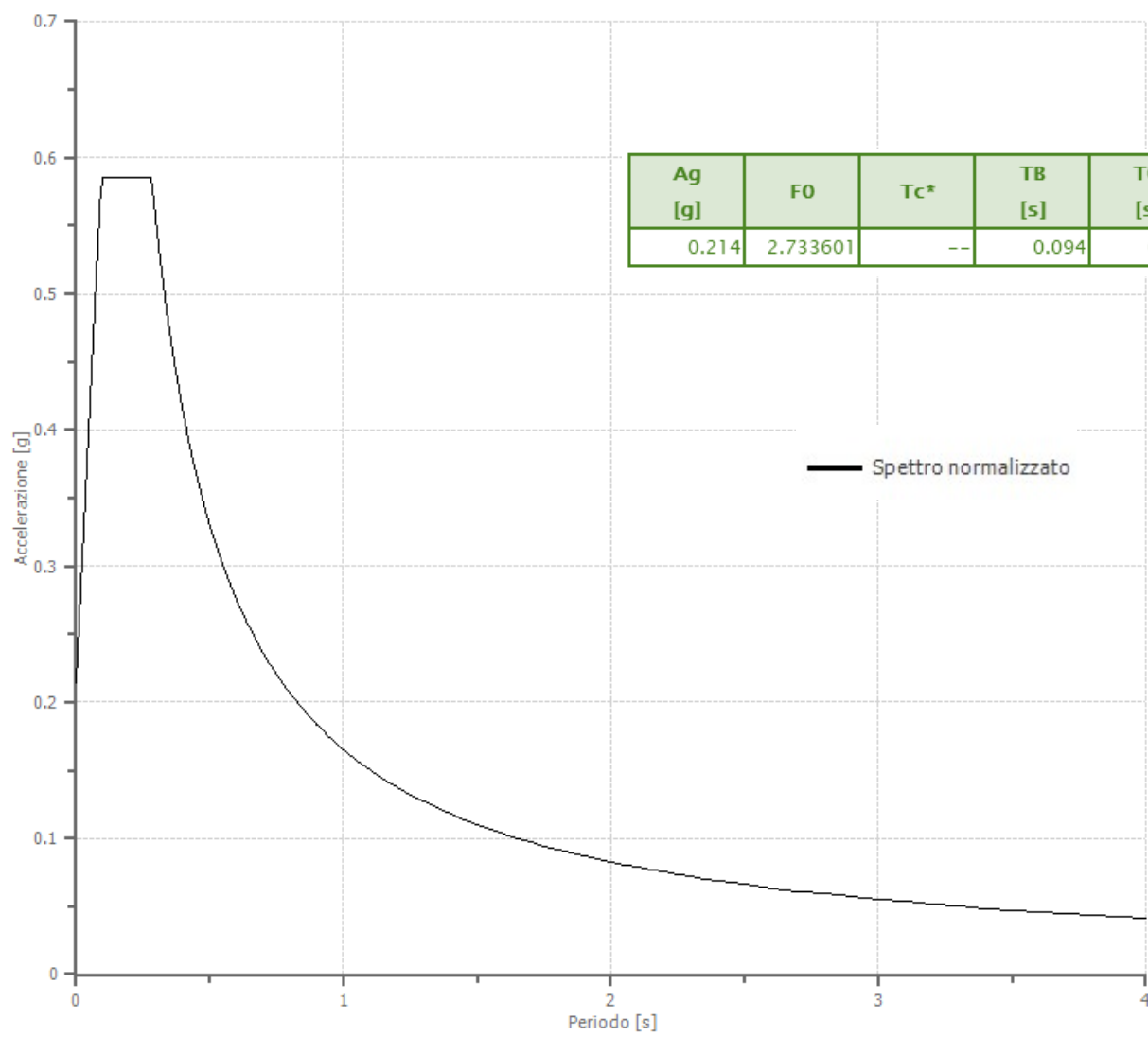
Figura 23 – Spettro medio

### 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		





Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.214	2.733601	--	0.094	0.282	2.457	0.214	0.586	1.122

Figura 24 – Spettro normalizzato

### 9.3.5.3 Confronto tra gli spettri prodotti

Di seguito è riportato il grafico che confronta gli spettri risultati 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.

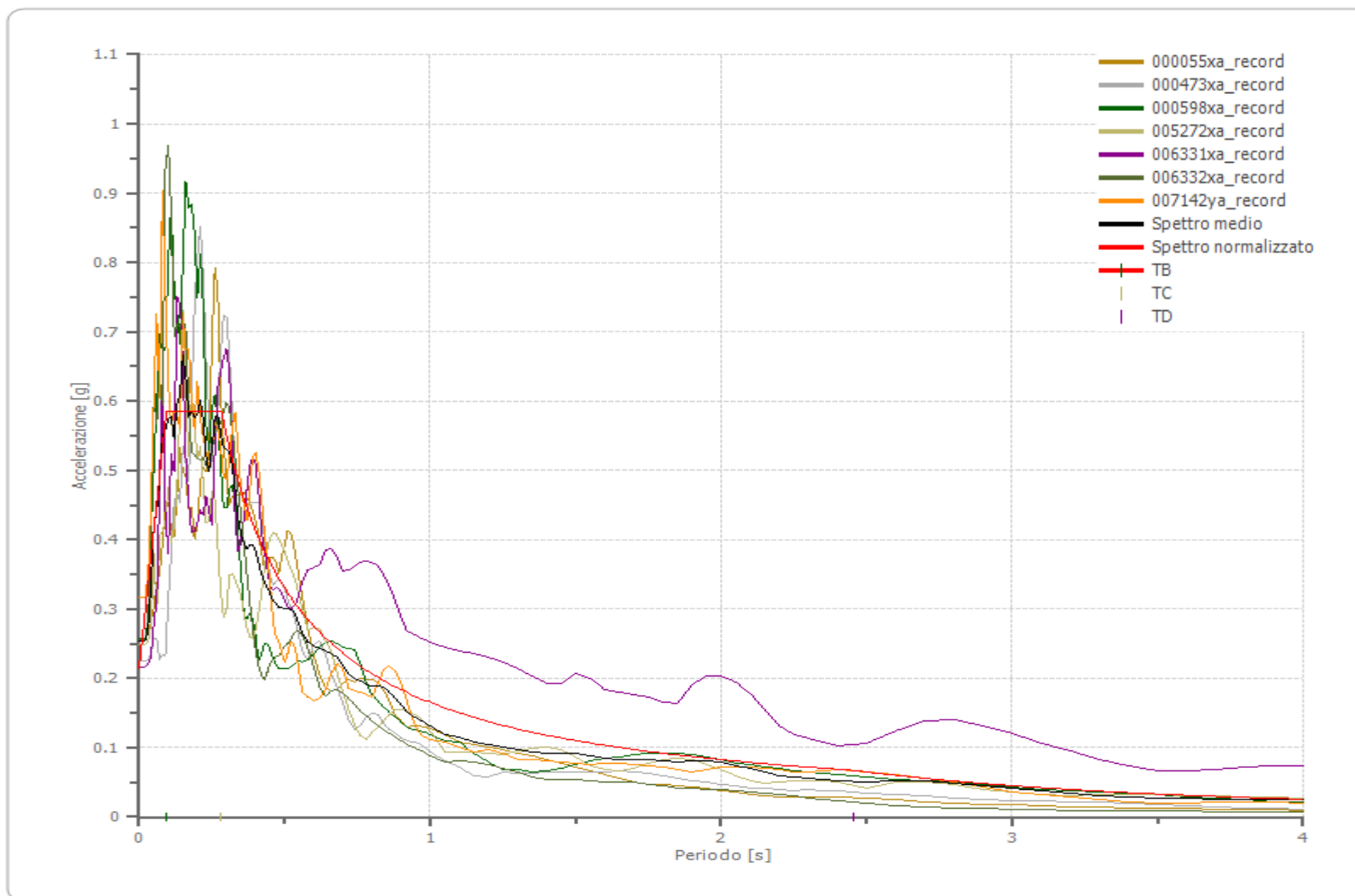
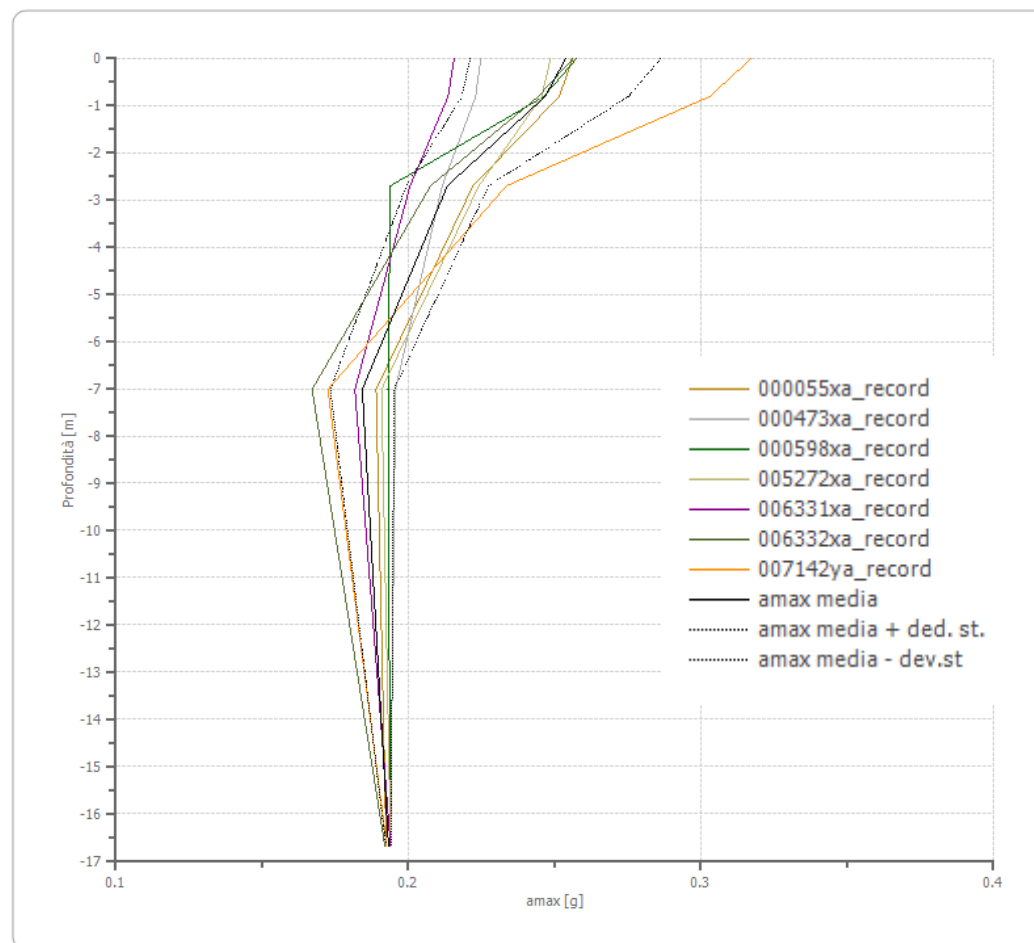


Figura 25 - Spettri calcolati



# 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  $a_{max}$

### 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	

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.

## 9.4 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
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	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):

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

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

$\beta_s = 0.38$  nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)  
 $\beta_s = 0.47$  nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).

$$\beta_s = 0.38$$

$$K_h = 0.38 \cdot 0.214 = 0.08$$

$$K_v = 0.5 \cdot 0.08 = 0.04$$

$$a_{\max}/g = 0.214$$

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:

$$\beta_m = 0.38$$

$$K_h = 0.38 \cdot 0.214 = 0.08$$

$$K_v = 0.5 \cdot 0.08 = 0.04$$

$$a_{\max}/g = 0.214$$



## 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.

$$\beta_s = 0.24$$



$$K_h = 0.24 \cdot 0.214 = 0.05$$

$$a_{\max}/g = 0.214$$

$$K_v = 0.5 \cdot 0.05 = 0.025$$

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

$$\beta_s = 0.38$$



$$K_h = 0.38 \cdot 0.214 = 0.08$$

$$a_{\max}/g = 0.214$$

$$K_v = 0.5 \cdot 0.08 = 0.04$$

## 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  $\rightarrow H = 7\text{m}$

la velocità delle onde S nei terreni di copertura  $\rightarrow V_{s7}$

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

Nel nostro caso  $V_{s7} = 7 / [(0.8/180) + (1.9/230) + (4.3/415)] = 303\text{m/s}$

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	1,9	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 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

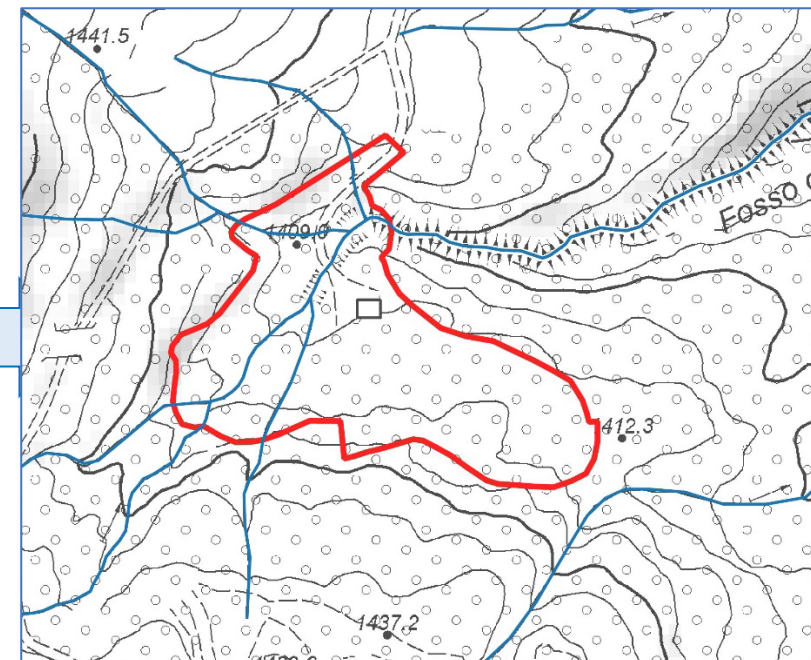
$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	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



Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia

<b>Riferimento territoriale per le tabelle di cui alla DGR. 476/2021 – III Livello</b>	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 ( $V_{seq30}$ )	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 ( $a_g/g = a_{ref} * F.A. P.G.A. * S_T$ )	0.354
Accelerazione massima orizzontale di picco alla superficie ( $a_g/g$ ) RSL avanzata	0.214
Accelerazione massima orizzontale di picco alla superficie ( $a_g/g$ ) 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"

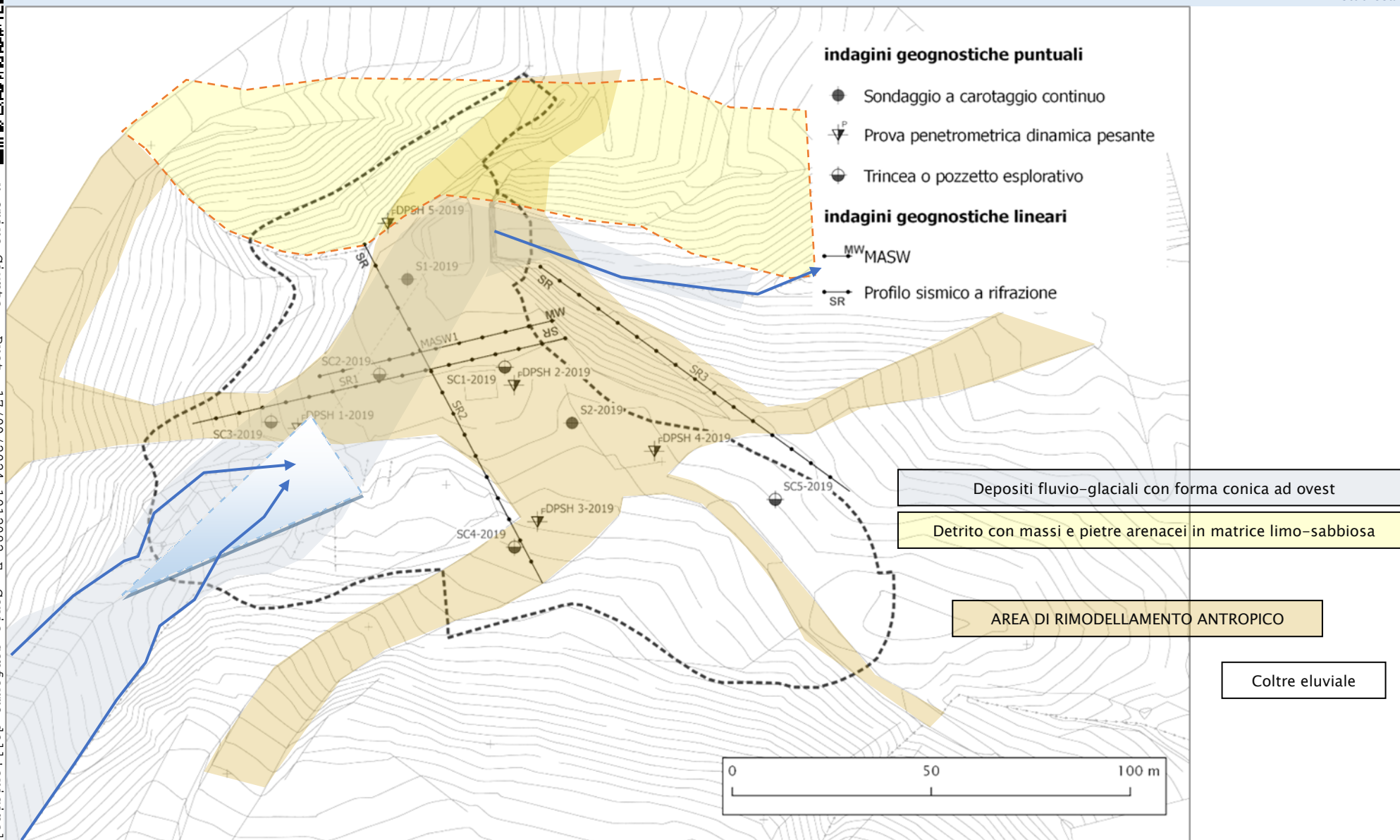


Figura 28 - Carta dei depositi superficiali e del rimodellamento antropico



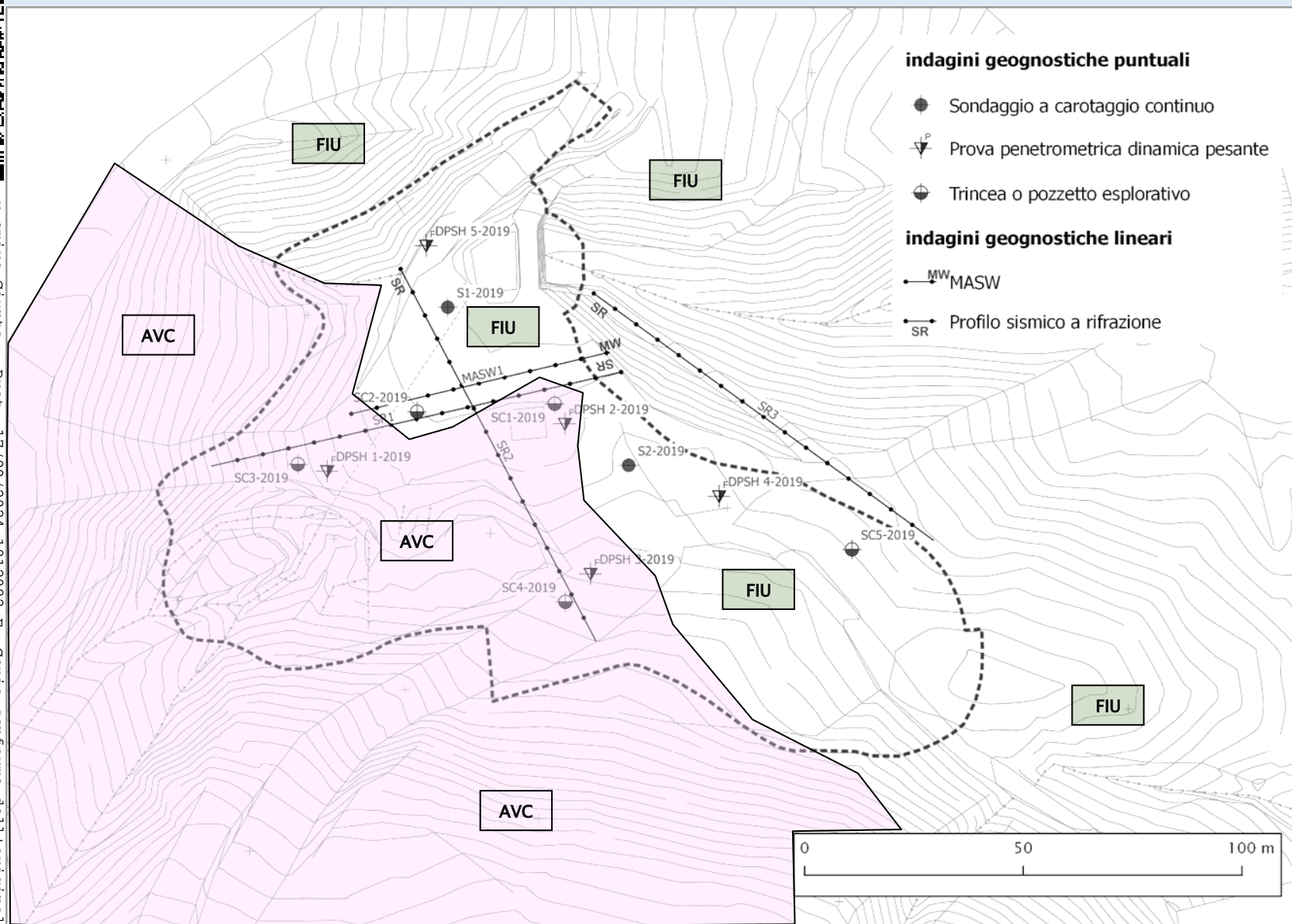


Figura 29 – Carta del substrato

## 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

#### 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

#### 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

#### 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 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



r\_entro.Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia

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)	Trofimenko v (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)	Trofimenko v (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	63,09
BR	33,69	3,8	223	412,96		122,39	328,92	519,56	263,5	342,55	165,14		412,96	310,11

## 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	6,03
BR	33,69	3,8	15,16	33,87	33,04	27,36

## Modulo di Young (Mpa)

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

## 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. CONSISTENTE
BR	33,69	3,8	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-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE)	MEDIA
Dt AL	6,69	2,2	6,69	28,91	21,91	25,02	25,28
BR	33,69	3,8	33,69	36,63	29,63	37,48	34,58

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:



	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	Φ'k	Cuk	γk	γsatk						WL	WP		
				kN/mq	°	kN/mq	kN/mc	kN/mc	kN/mq	kN/mq	m/s	m/s	cm/s	%	%	%	
Unità 1	da 0.5 a 3m	Dt	CONSISTENTE	10	26	79	19	20	8000	7250	230	0÷1500	4.88x10^(-5)	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^(-7)	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.

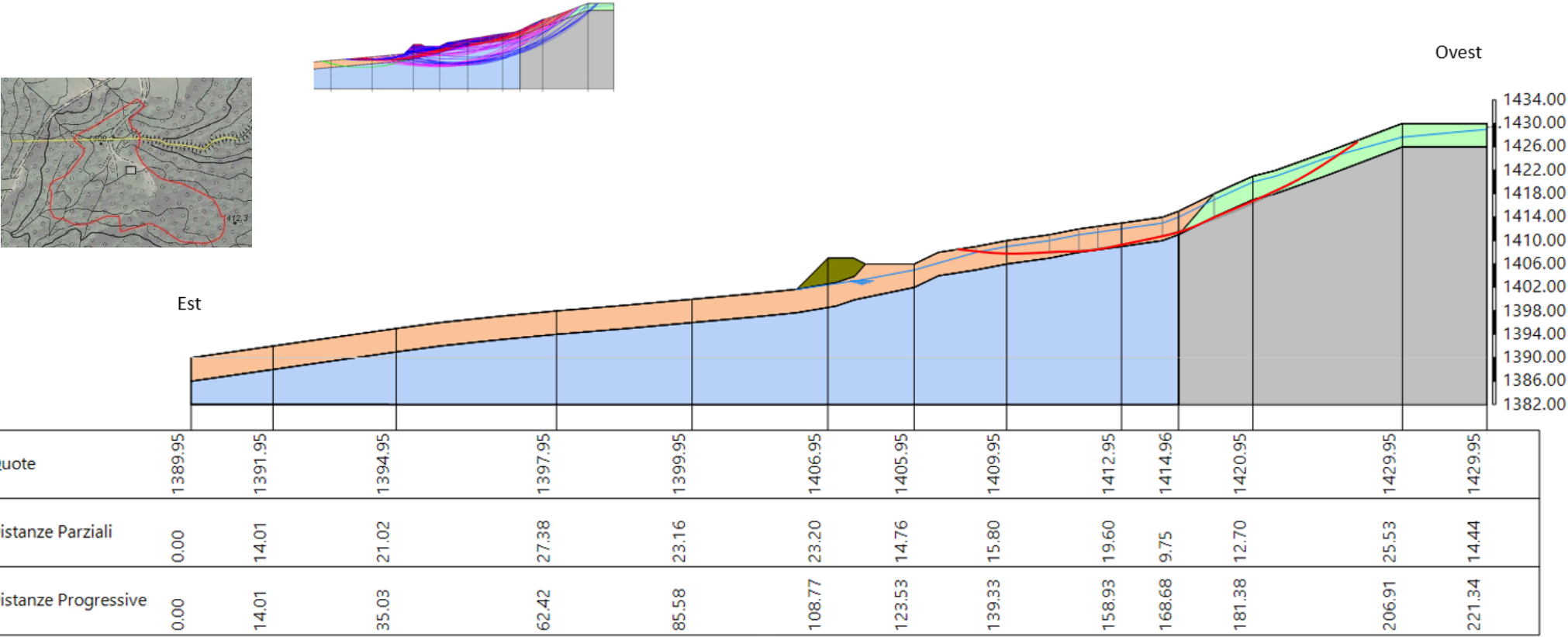
Per i pendii naturali in condizioni sismiche (SLV) non si assumono Approcci di progetto DA1 o DA2 e dunque non si introduce il coefficiente globale  $\gamma_P$  ma si utilizzano solo i parametri caratteristici.

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.

Sezione A - Stato di FATTO  
Condizioni sismiche  
Fattore di sicurezza minimo: 1.25

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



Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo  
Numero di strati

NTC 2018  
5.0

r\_entro.Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia

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 coniglio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del coniglio; Li: Lunghezza della base del coniglio; Wi: Peso del coniglio ; 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

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

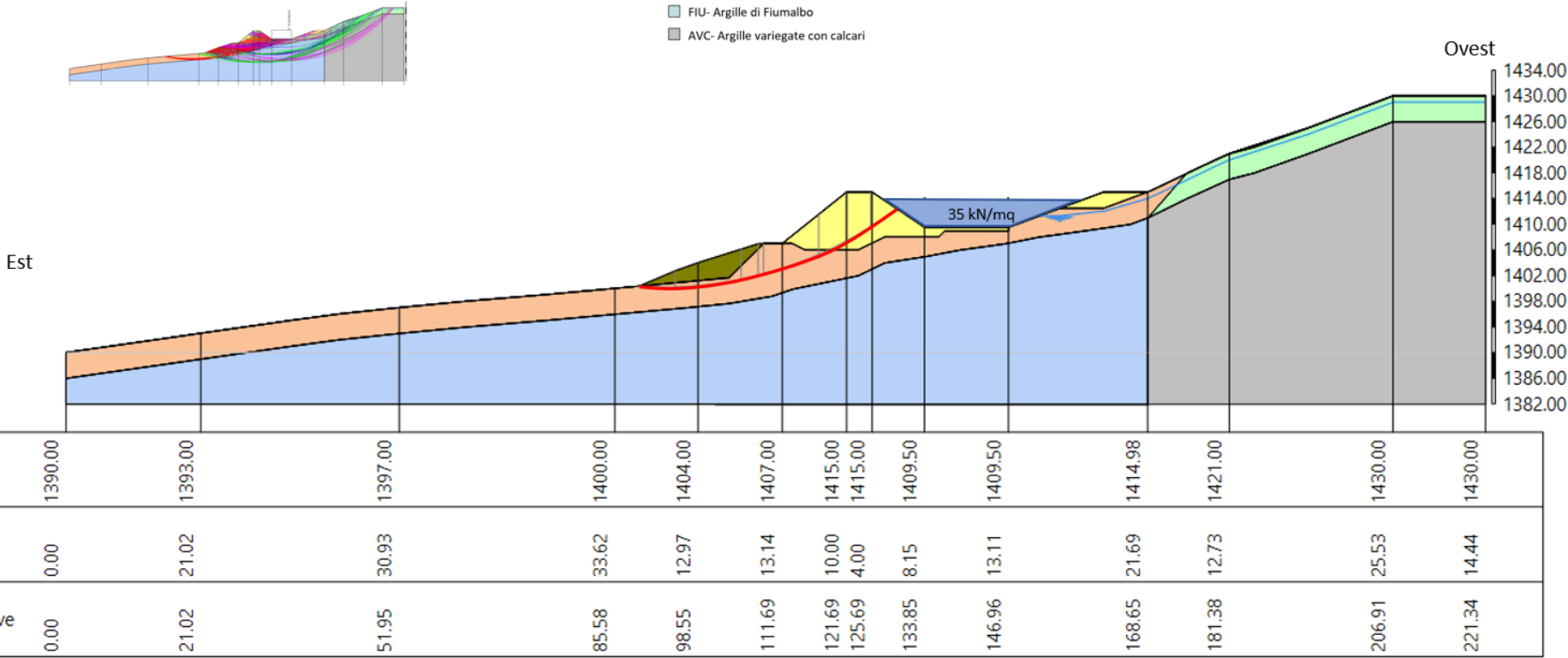
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	3.45	-5.8	3.5	30.11	1.51	0.75	10.0	26.0	0.0	34.0	37.1
2	5.22	-3.2	5.2	158.38	7.92	3.96	10.0	26.0	29.1	134.2	85.3
3	7.31	0.6	7.3	388.97	19.45	9.72	10.0	26.0	122.7	264.8	146.5
4	5.0	4.3	5.0	339.42	16.97	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

r\_entro Giunata - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia

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

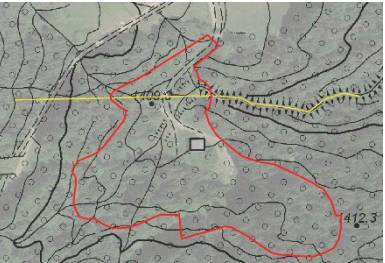


Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

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



r\_emiro.giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia

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.





17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia

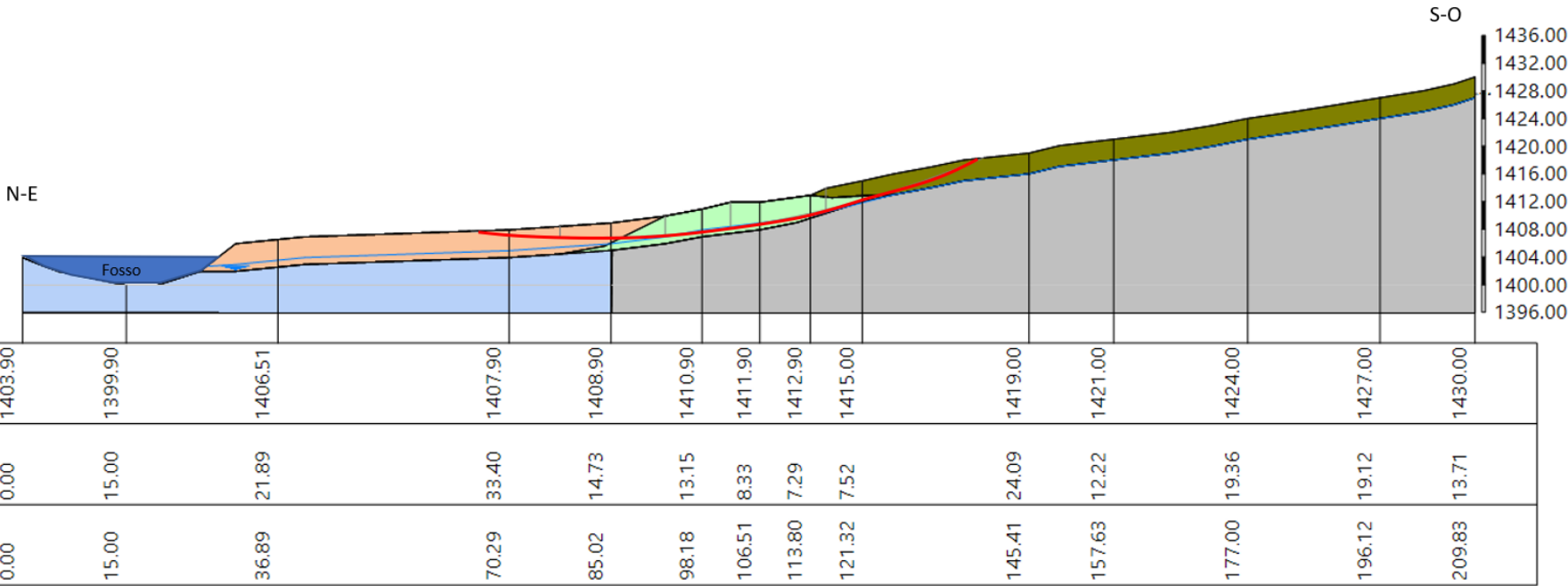
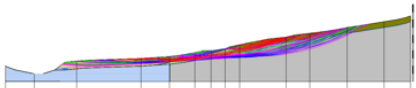
Superfici analizzate: 220  
Fattore di sicurezza minimo: 1.58  
 $x_c = 93.161$   $y_c = 1460.126$   $R_c = 59.945$   $F_s = 1.58$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh·Wi (kN)	Kv·Wi (kN)	c (kN/m2)	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

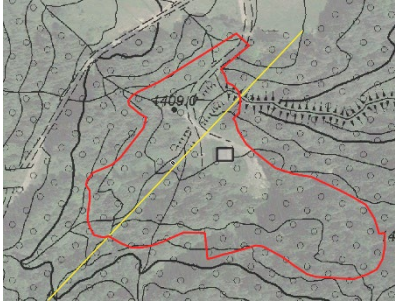
Condizioni sismiche  
Fattore di sicurezza minimo: 3.33

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



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

r\_entro, giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
talmente da Sargenti Elia  
Copia conforme dell'originale sottoscritto digi

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

$$x_c = 81.837 \quad y_c = 1552.419 \quad R_c = 145.705$$

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



r\_emiro.giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
Copia conforme dell'originale  
sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia

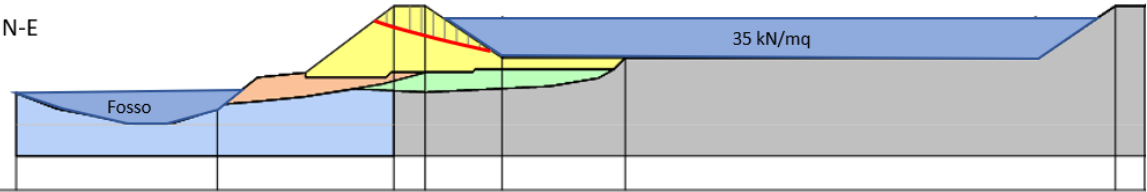
5	5.34	5.4	5.4	308.84	15.44	7.72	10.0	26.0	2.3	302.8	54.9
6	4.12	7.3	4.2	276.65	13.83	6.92	10.0	26.0	10.9	262.0	46.2
7	11.51	10.4	11.7	660.84	33.04	16.52	10.0	26.0	2.6	647.6	118.1
8	2.27	13.1	2.3	121.13	6.06	3.03	10.0	26.0	0.0	119.2	22.2
9	5.25	14.7	5.4	280.26	14.01	7.01	10.0	26.0	0.0	276.2	51.6
10	17.44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



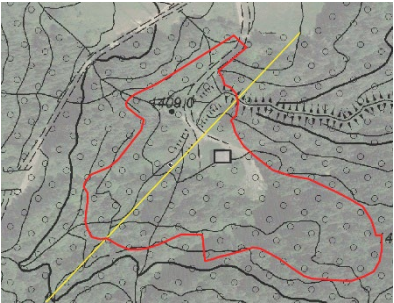
- Argine
- Ghiaia
- Eluvio FIU
- Eluvio AVC
- FIU- Argille di Fiumalbo
- AVC- Argille variegate con calcari



Quote	1403.90	1401.90	1415.00	1415.00	1408.40	1408.40	1415.00	1414.93
Distanze Parziali	0.00	25.63	22.52	4.00	9.78	15.72	62.50	3.73
Distanze Progressive	0.00	25.63	48.16	52.16	61.94	77.66	140.16	143.89

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  
Superficie di forma circolare  
Coefficienti sismici derivati da risposta sismica locale di terzo livello- Stabilità dei pendii-  
Coefficiente azione sismica orizzontale  
Coefficiente azione sismica verticale  
Coefficienti parziali azioni  
Sfavorevoli: Permanenti, variabili  
Favorevoli: Permanenti, variabili  
Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno  
Tangente angolo di resistenza al taglio  
Coesione efficace  
Coesione non drenata  
Riduzione parametri geotecnici terreno  
Stratigrafia  
Carichi distribuiti

Condizione drenata

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

Progetto: Ristrutturazione e ampliamento del complesso scolastico di via S. Maria, 17/09/2024. 1012082.E  
Copia conforme dell'originale sottoscritto dagli  
r\_entro, Giunta - Prot. 17/09/2024. 1012082.E  
talmente da Sargenti Elia

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 (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

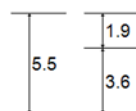
34.00 °

Inclinazione del paramento di valle

38.00 °

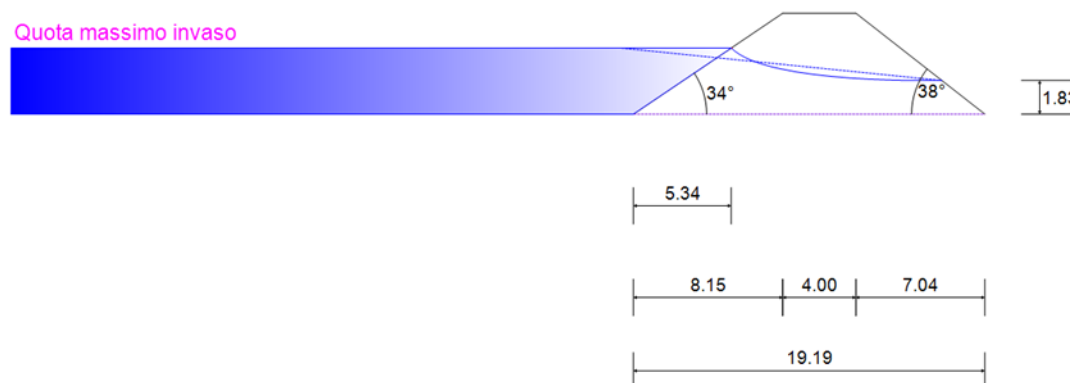
Larghezza di coronamento

4 m



4.00 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>

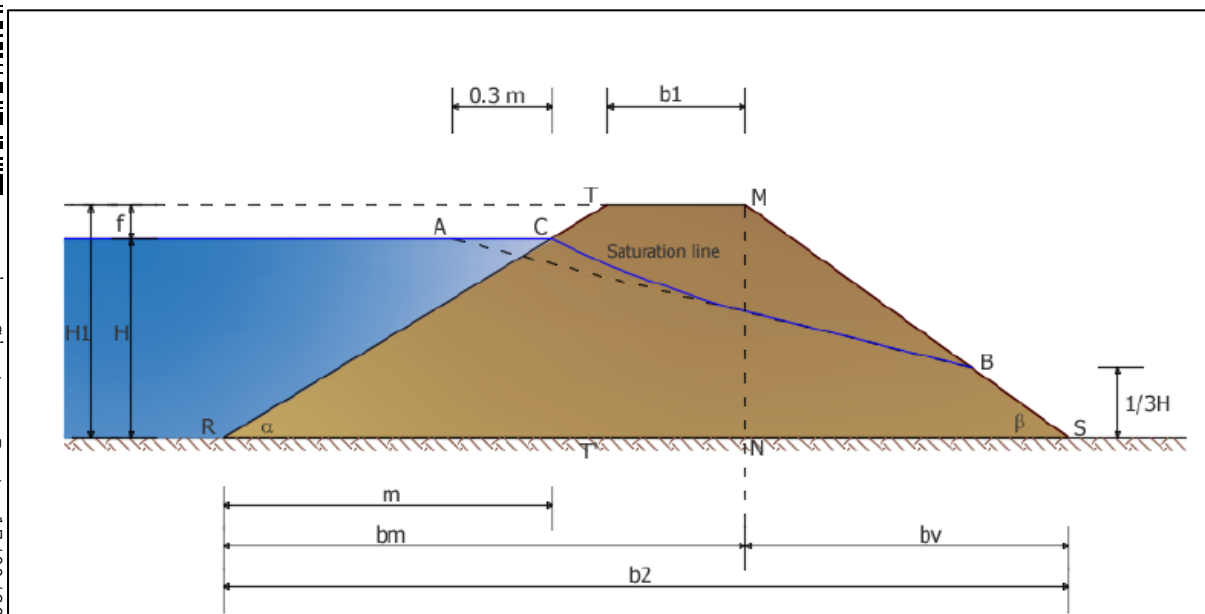
**12.3.1.2 VERIFICA SCORRIMENTO A SERBATOIO VUOTO**

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



$$Q = 0.44 * (\sqrt[3]{0.0000001 * 0.0000001 * 3.6^2 / 14.07}) = 0.00000004 \text{ mc/s}$$

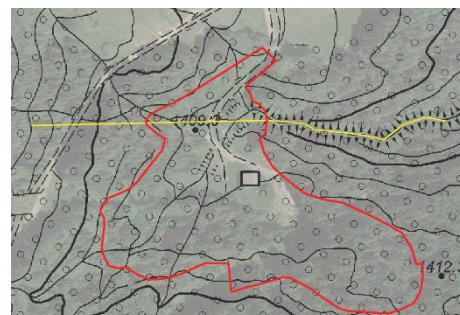
Portata di filtrazione 0.00000004 mc/s

Lunghezza di filtrazione 14.07 m

Fattore sicurezza a sifonamento 5.33

#### 12.3.1.5 VERIFICA STABILITA' LOCALE SEZIONE AA

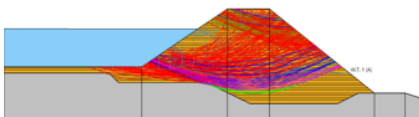
	FS minimo Stabilità LOCALE
INVASO PIENO	1.24
RAPIDAMENTE SVUOTATO	3.18
INVASO VUOTO	1.43



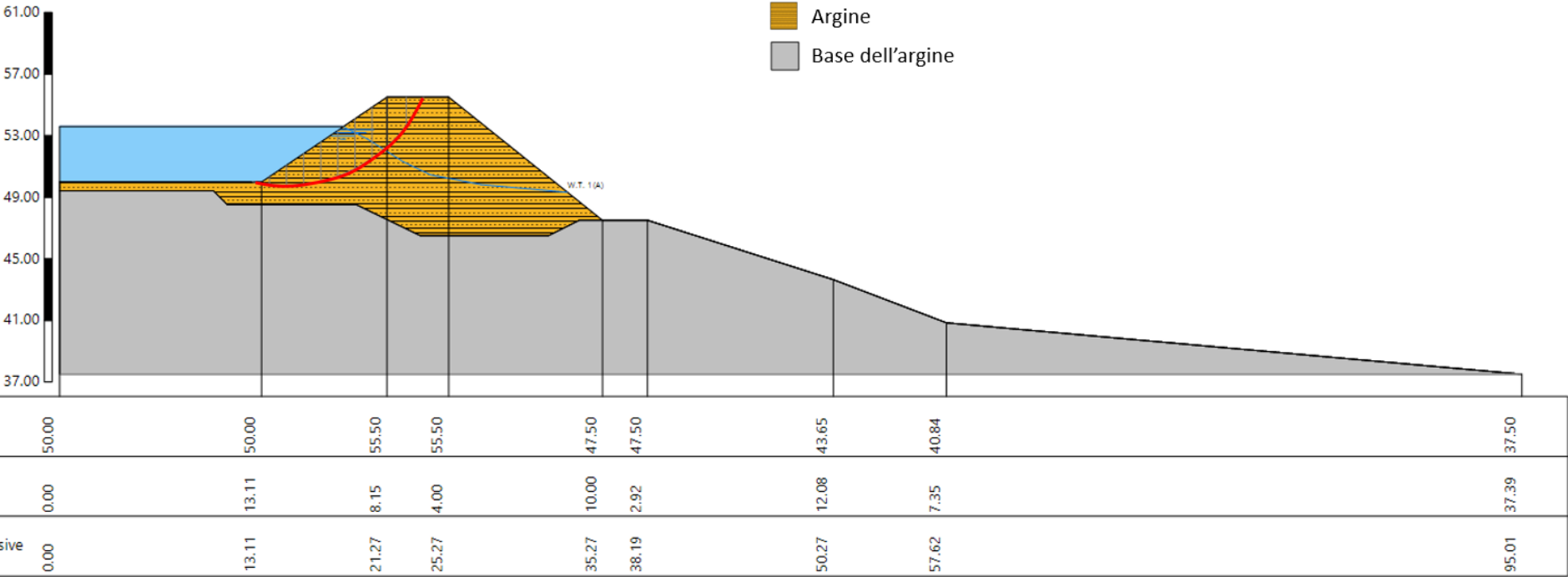


Analisi stabilità LOCALE – Sezione A

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



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	

r\_emiro.giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digi

Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia  
r\_entro, Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E

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]

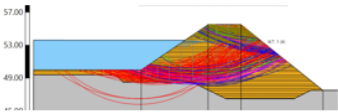
Fs minimo individuato	1.24
Ascissa centro superficie	64.64 m
Ordinata centro superficie	59.68 m
Raggio superficie	9.91 m

Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.237

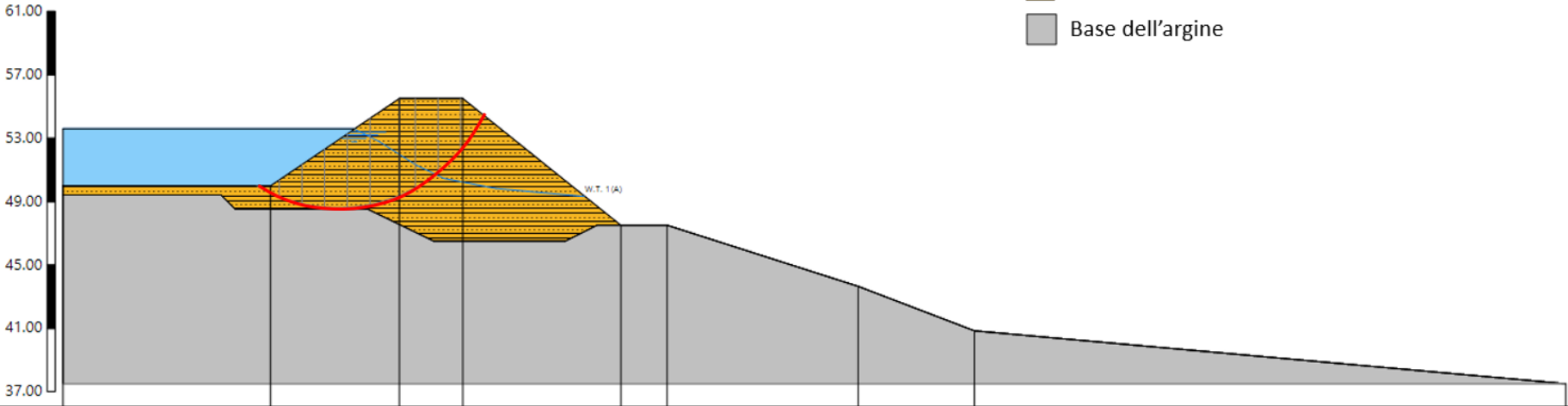
$x_c = 64.645$   $y_c = 59.676$   $R_c = 9.909$   $F_s = 1.237$

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



Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia  
r\_entro, Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E

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 3.18  
Ascissa centro superficie 67.36 m  
Ordinata centro superficie 58.77 m  
Raggio superficie 10.16 m

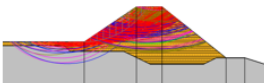
Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 3.176

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

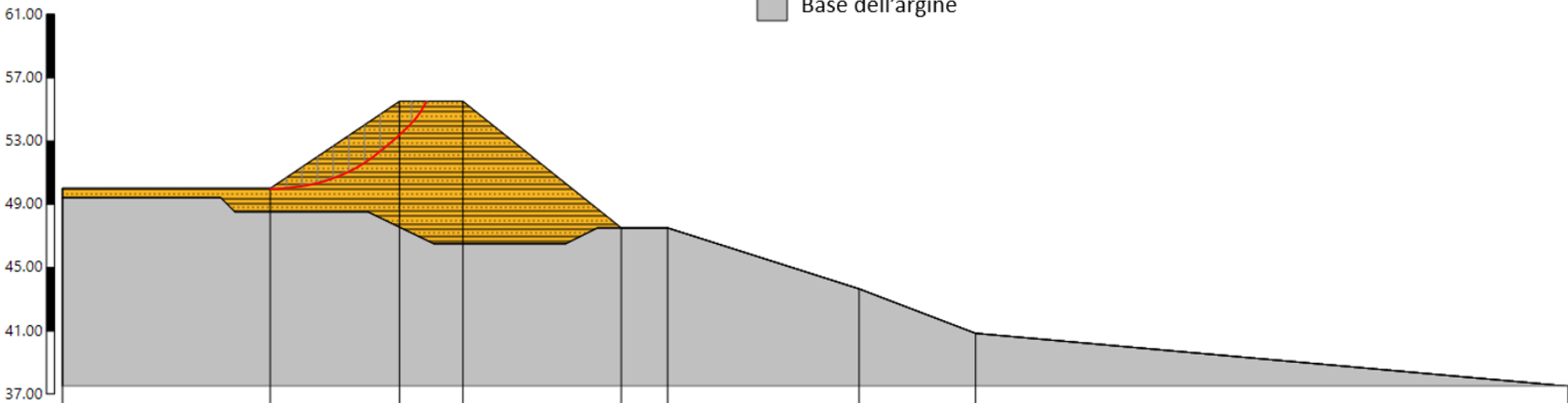
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.43	-25.8	1.6	12.01	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	28.8	31.9
2	1.43	-17.1	1.5	56.8	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	68.6	30.0
3	1.43	-8.8	1.4	97.58	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	103.2	29.0
4	1.43	-0.6	1.4	131.73	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	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

r\_emiro.giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digi

Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
r\_entro, Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
talmente da Sargenti Elia

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

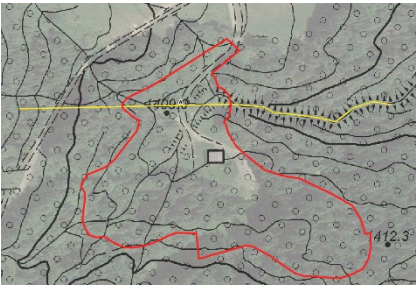
Numero superfici calcolate: 200 Fattore di sicurezza minimo: 1.428

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

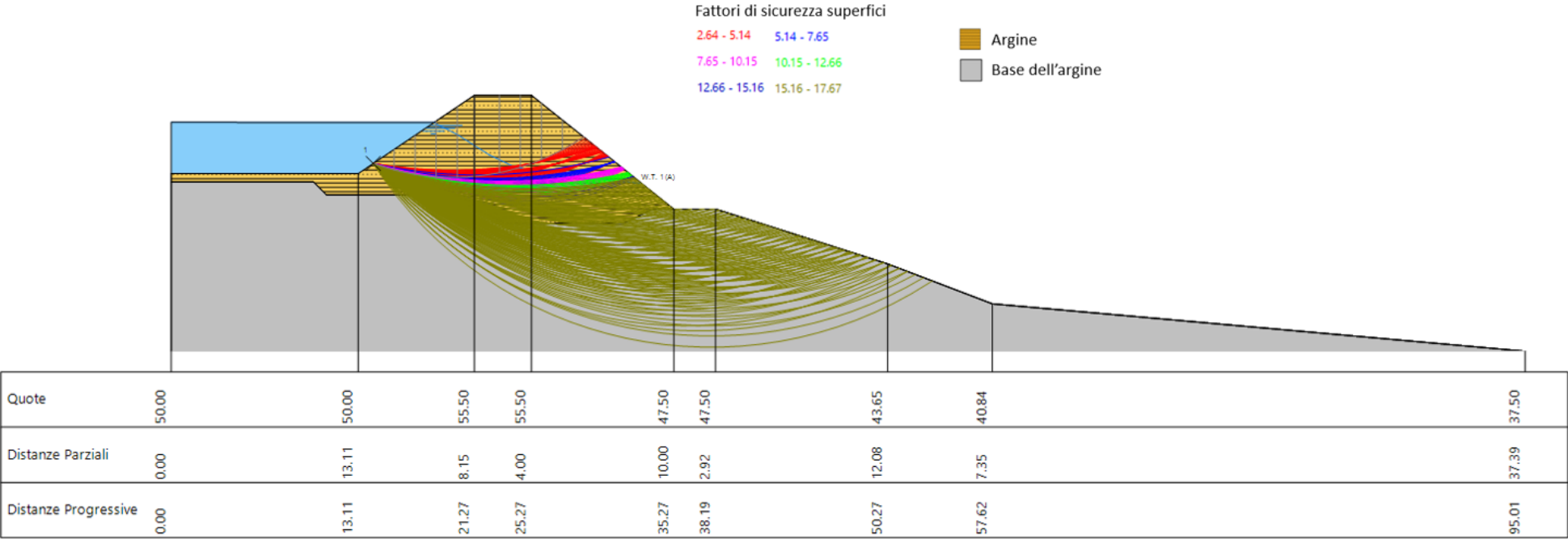
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh·Wi (kN)	Kv·Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0.99	2.4	1.0	6.71	0.54	0.27	10.0	35.0	0.0	6.4	8.4
2	0.99	7.3	1.0	18.8	1.5	0.75	10.0	35.0	0.0	17.3	12.9
3	0.99	12.3	1.0	29.11	2.33	1.16	10.0	35.0	0.0	26.2	16.6
4	0.99	17.3	1.0	37.55	3.0	1.5	10.0	35.0	0.0	33.2	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



r entro giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia



Progetto: Sargenti Elia  
Data: 17/09/2024  
Protocollo: 1012082.E  
Copia conforme dell'originale sottoscritto dagli

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	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

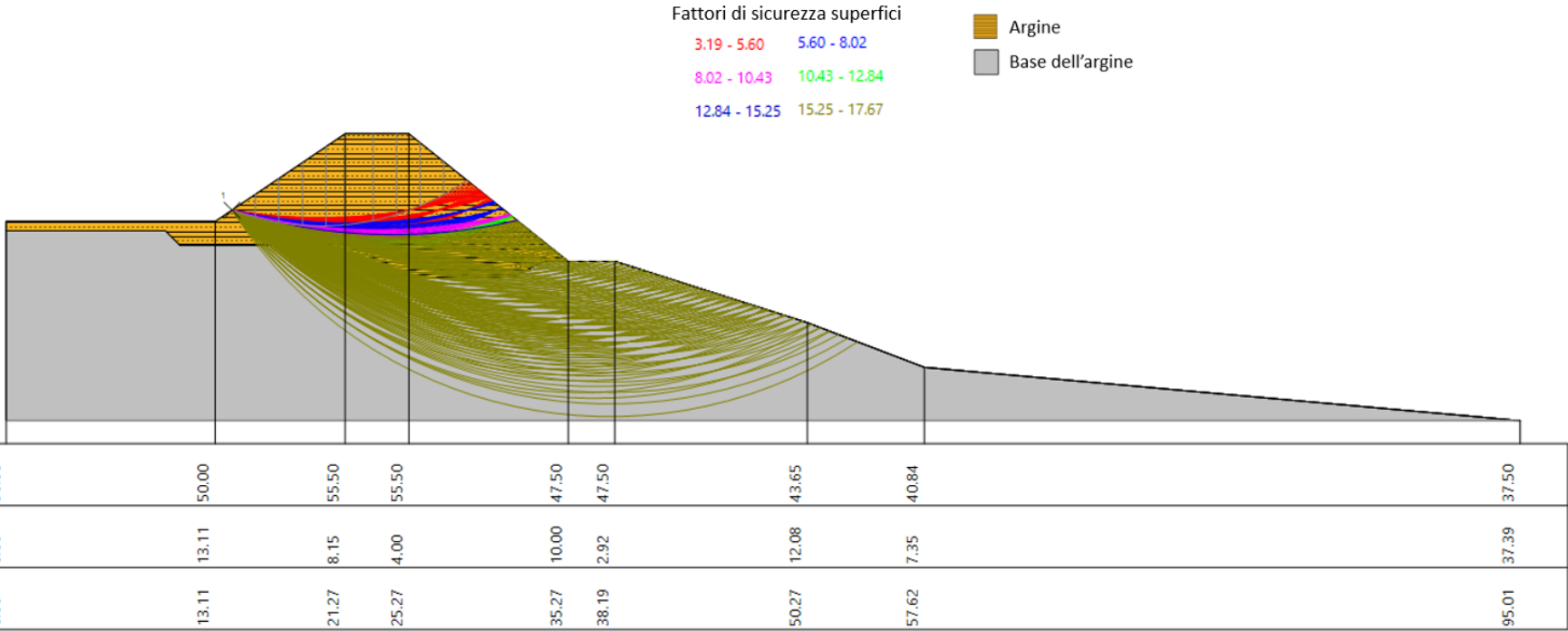
$x_c = 69.731$   $y_c = 65.987$   $R_c = 16.267$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	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

r\_entro Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E
Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia

Analisi stabilità GLOBALE – Sezione A

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



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

talmente da Sargenti Elia  
r\_entro, giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
Copia conforme dell'originale sottoscritto digi

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

$x_c = 69.73$   $y_c = 65.90$   $R_c = 16.185$

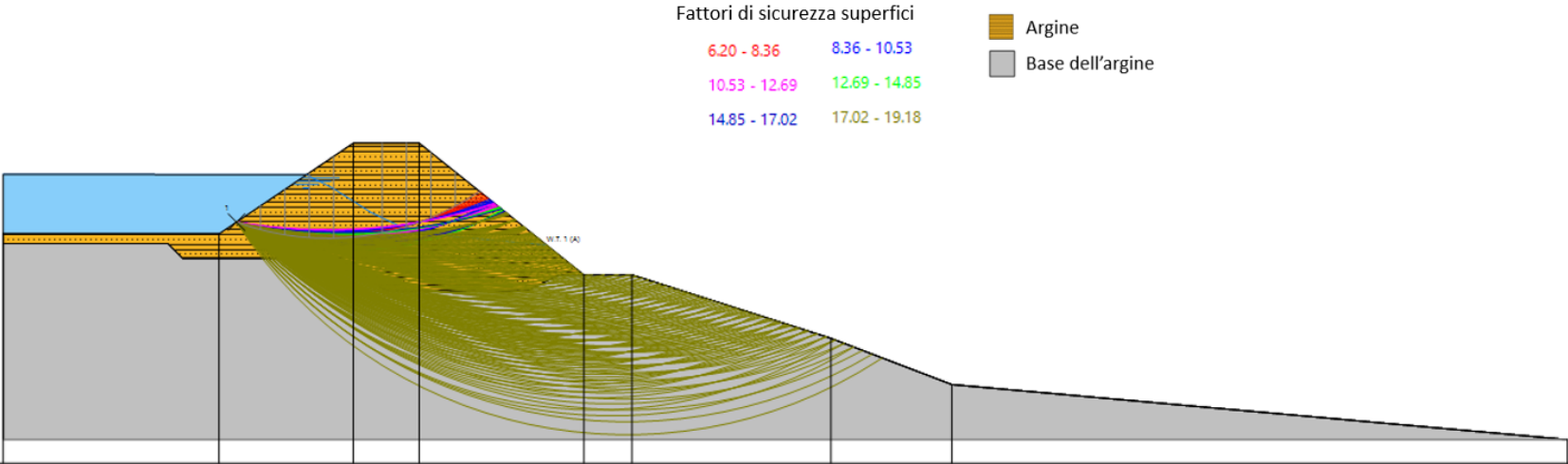
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.48	-17.4	1.5	23.21	1.86	0.93	10.0	35.0	0.0	27.1	9.0
2	1.48	-12.0	1.5	66.08	5.29	2.64	10.0	35.0	0.0	71.2	17.0
3	1.48	-6.7	1.5	104.47	8.36	4.18	10.0	35.0	0.0	108.0	23.6
4	1.48	-1.4	1.5	138.59	11.09	5.54	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



r\_emiro.giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia

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



Fattori di sicurezza superfici

6.20 - 8.36	8.36 - 10.53
10.53 - 12.69	12.69 - 14.85
14.85 - 17.02	17.02 - 19.18

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	

ri-entrate, giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
Copia conforme dell'originale sottoscritto digi-  
talmente da Sargenti Elia

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

r\_entro.Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia

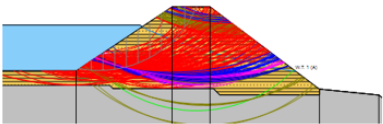
12.3.1.7 VERIFICA STABILITA' LOCALE SEZIONE BB

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

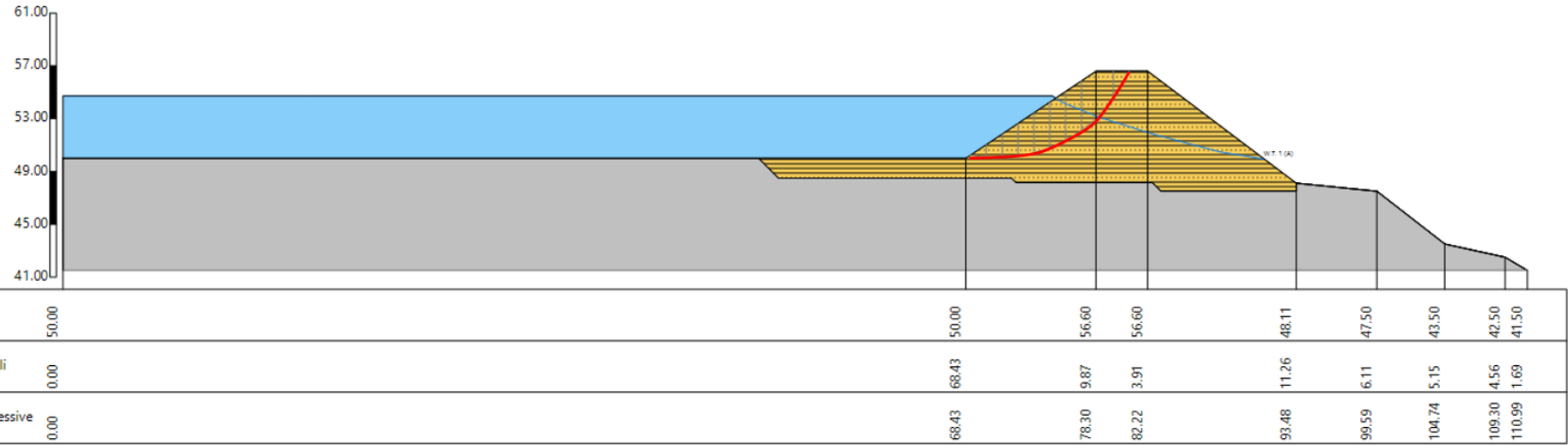


Analisi stabilità LOCALE – Sezione B

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



Argine  
Base dell'argine



Quote	00.05	50.00	56.60	56.60	48.11	47.50	43.50	42.50	41.50
Distanze Parziali	00.0	68.43	9.87	3.91	11.26	6.11	5.15	4.56	1.69
Distanze Progressive	00.0	68.43	78.30	82.22	93.48	99.59	104.74	109.30	110.99

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 derivai da Risposta sismica locale analitica-rigorosa - FRONTI DI SCAVO E RILEVATI

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.08
Coefficiente azione sismica verticale	0.04

r\_emiro.giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
Copia conforme dell'originale sottoscritto digi  
talmente da Sargenti Elia



r\_entro, Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
talmente da Sargenti Elia  
Copia conforme dell'originale sottoscritto digi

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]

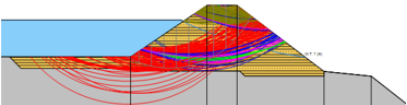
Fs minimo individuato 1.15  
Ascissa centro superficie 120.8 m  
Ordinata centro superficie 60.97 m  
Raggio superficie 10.92 m

Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.149

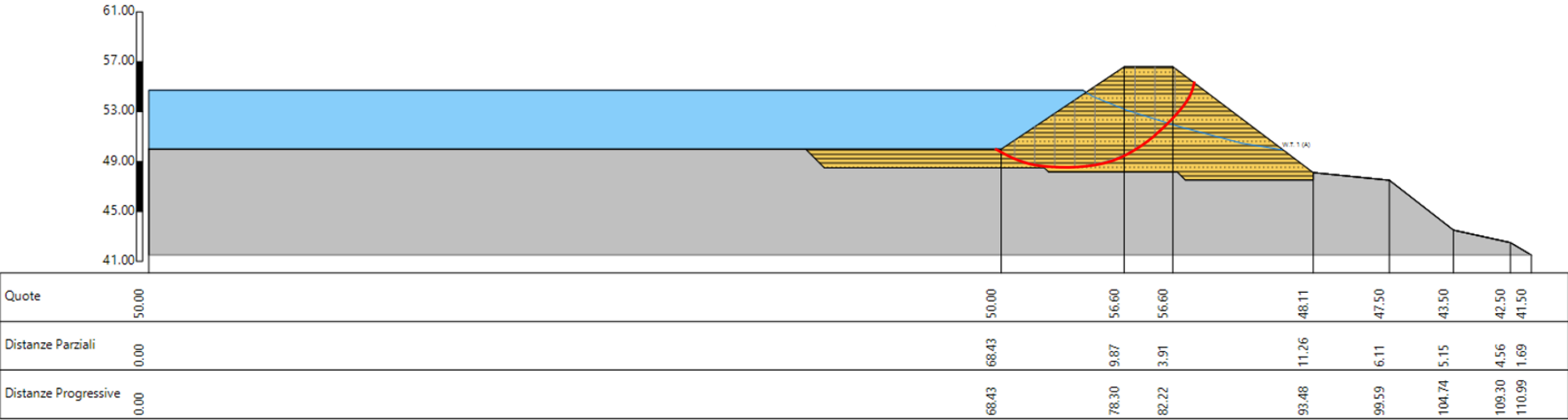
xc = 120.801 yc = 60.967 Rc = 10.924 Fs=1.149

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

=====

r\_entro.Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
talmente da Sargenti Elia  
Copia conforme dell'originale sottoscritto digi

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]

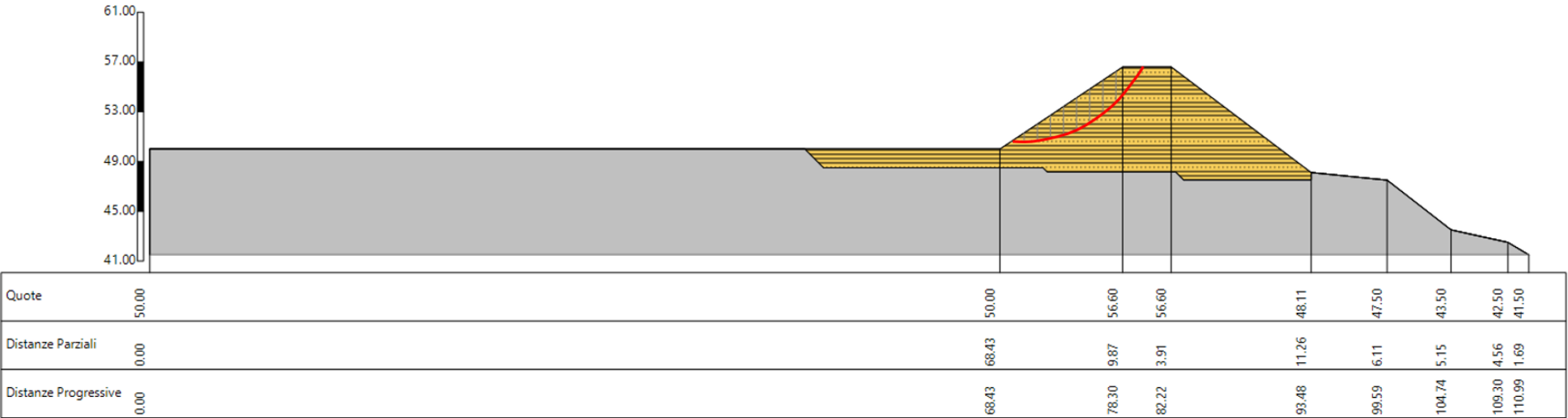
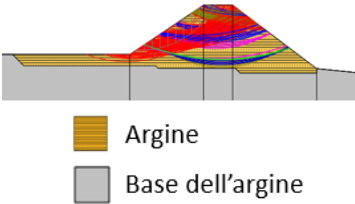
Fs minimo individuato	2.69
Ascissa centro superficie	123.52 m
Ordinata centro superficie	60.06 m
Raggio superficie	11.52 m

Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 2.686

$x_c = 123.522$   $y_c = 60.06$   $R_c = 11.524$

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	
=====	



r\_entro, Giunta - Prot. 17/09/2024.1012082.E  
talmente da Sargenti Elia  
Copia conforme dell'originale sottoscritto digi

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

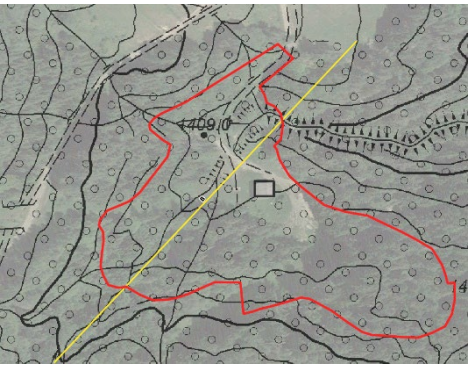
Numero superfici calcolate: 221 Fattore di sicurezza minimo: 1.383

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

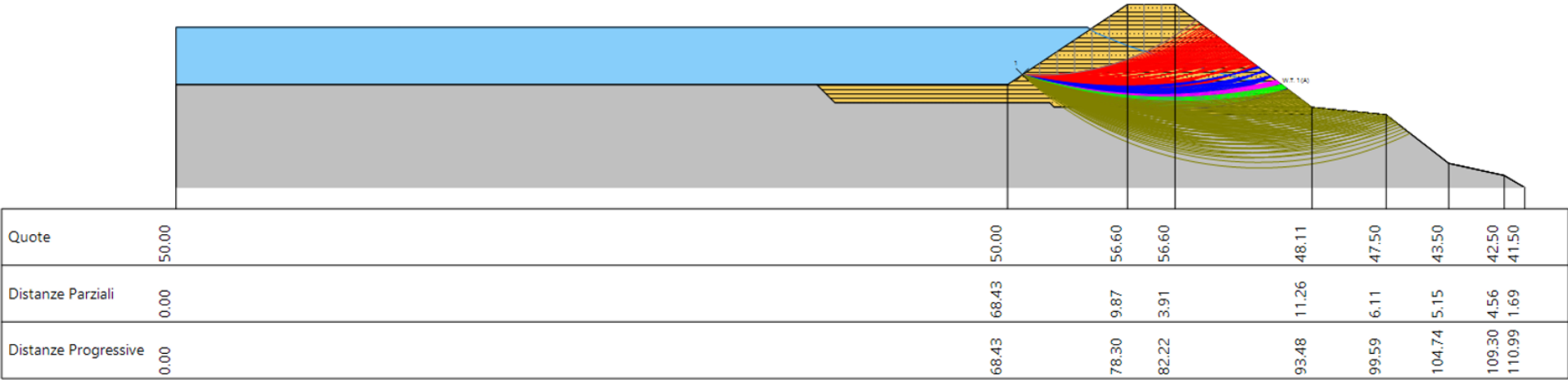
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh · Wi (kN)	Kv · Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.05	-0.2	1.1	8.13	0.65	0.33	10.0	35.0	0.0	8.2	9.8
2	1.05	5.2	1.1	22.74	1.82	0.91	10.0	35.0	0.0	21.4	15.4
3	1.05	10.6	1.1	35.13	2.81	1.41	10.0	35.0	0.0	32.0	20.0
4	1.05	16.1	1.1	45.22	3.62	1.81	10.0	35.0	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



**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 1.55

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

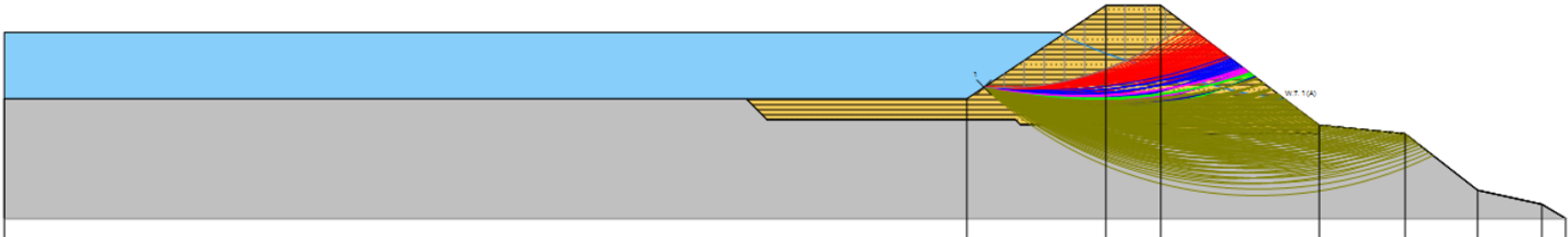
Invaso rapidamente svuotato – Condizioni statiche, condizioni NON drenate

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



Quote	5000	5000	5660	5660	48.11	47.50	43.50	42.50	41.50
Distanze Parziali	000	68.43	987	3.91	11.26	6.11	5.15	4.56	1.69
Distanze Progressive	000	68.43	78.30	82.22	93.48	99.59	104.74	109.30	110.99



**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**

Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Sargenti Elia

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

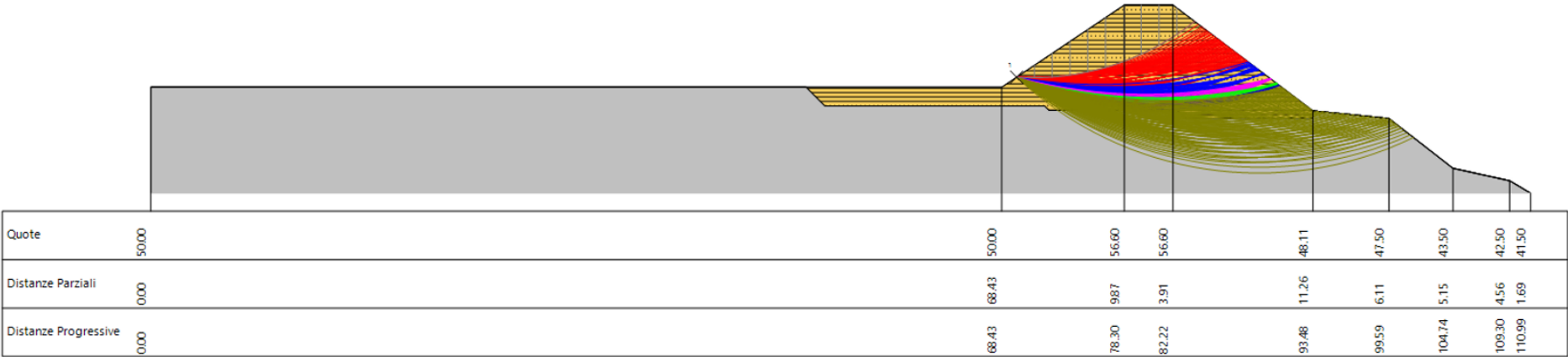
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh·Wi (kN)	Kv·Wi (kN)	c (kN/m2)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1.43	-1.7	1.4	16.15	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	16.9	24.7
2	1.43	2.2	1.4	46.12	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	45.2	24.7
3	1.43	6.1	1.4	72.99	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	70.7	24.9
4	1.43	10.1	1.5	96.71	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	93.8	25.1
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)	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	1.77
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/m2)	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	$0.2 \div 0.8\% \cdot 8\text{m} = 1.6 \div 6.4\text{cm}$	$50\% \text{ di } 5.92\text{cm} = 3.2\text{cm}$
<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/m2)	Coesione non drenata (kN/m2)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m3)	Peso saturo (kN/m3)
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

## Sommar

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