



**CGT Group**



ISO 9001:2015

COMMITTENTE:



**ENEL GREEN POWER S.p.A.**

Unità Business Operation & Maintenance Italy Northern Central Area  
Viale Regina Margherita, 125 - 00198 - ROMA

NOME DEL PROGETTO:

**CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO  
DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE  
INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO,  
GEOMECCANICO E SISMICO**

OGGETTO:

**RELAZIONE FINALE**

CODICE CONTRATTO:

8400135119

DATA CONTRATTO:

25/01/2019

NOME ELABORATO:

**P41019GEORF0100**

CIG:

n.a.

CODICE DOCUMENTO	PROGETTO	ANNO	ATTIVITÀ	TIPO DOC.	NUM. DOC.	REV.
	<b>P410</b>	<b>19</b>	<b>GEO</b>	<b>RF</b>	<b>01</b>	<b>00</b>

TIPO DOCUMENTO  
RELAZIONE FINALE (RF)



**CGT Group**  
**LCG - Laboratorio Congiunto per le  
Geotecnologie Applicate all'Ambiente**  
**Università degli Studi di Siena**  
**CGT Engineering srl**  
Via Emilio Vezzosi 15, Arezzo, 52100  
www.cgtengineering.com  
Partita IVA 02255520518

PRESIDENTE  
Dott. Filippo BONCIANI

DIRETTORE TECNICO  
Prof. Geol. Eros AIELLO  
Ordine dei Geologi della Toscana N. 154



REDATTO: E. Aiello, F. Bonciani	DATA: 29.04.2020	SCALA:
APPROVATO: E. Aiello, F. Bonciani	DATA: 29.04.2020	n.a.
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE REVISIONE:
00	26/05/2020	Prima emissione

CGT ENGINEERING s.r.l.  
Sede legale via E. Vezzosi, 15 - 52100 - Arezzo  
Unità Locale n. AR/1: via Bruxelles, 10 - 52022 - Cavriglia (AR) c/o Incubatore di Cavriglia  
Unità Locale AR/2: via Vetri Vecchi, 34 - 52027 - San Giovanni Valdarno (AR) c/o Centro di GeoTecnologie  
p. IVA / C.F. 02255520518  
Numero REA AR-173054  
PEC: cgtengineering@legalmail.it

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 2 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	DESCRIZIONE DEI SONDAGGI E DELLE INSTALLAZIONI FISSE .....	10
	2.1 Documentazione tecnica relativa ai sondaggi eseguiti .....	12
	2.1.1 Sondaggio S1 .....	12
	2.1.2 Sondaggio S2 .....	14
	2.1.3 Sondaggio S3 .....	16
	2.1.4 Sondaggio S4 .....	18
	2.1.5 Sondaggio S5 .....	20
	2.1.6 Sondaggio S6 .....	22
3	DESCRIZIONE DEI RILIEVI INCLINOMETRICI E PIEZOMETRICI .....	24
	3.1 Modalità di acquisizione delle misure inclinometriche e struttura dei dati .....	26
	3.1.1 Elaborazione e restituzione dei dati .....	28
	3.2 Rilievi inclinometrici .....	32
	3.2.1 Inclinometri – Schede monografiche .....	32
	3.2.2 Inclinometro S1 .....	35
	3.2.3 Inclinometro S3 .....	43
	3.2.4 Inclinometro S5_90 .....	51
	3.3 Rilievi Piezometrici .....	59
4	ANALISI DI LABORATORIO E CONSULENZA GEOTECNICA SU CAMPIONI DI TERRENO .....	60
5	INDAGINI SISMICHE IN FORO .....	62
6	MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....	64
	6.1 Definizione dello stato di attività geomorfologica dei versanti .....	64
	6.1.1 Sezione 1 .....	65
	6.1.2 Sezione 2 .....	67
	6.1.3 Sezione 3 .....	69
	6.2 Parametrizzazione .....	70
	6.2.1 Il criterio di scelta delle caratteristiche meccaniche dei geomateriali .....	70
7	SISMICITA' .....	81
	7.1 Pericolosità sismica .....	84
	7.1.1 Pericolosità sismica di base .....	86
	7.1.2 Pericolosità sismica di sito .....	90
	7.2 Liquefazione .....	92
8	ANALISI DELLA STABILITA' DEI VERSANTI .....	94
	8.1 Sezione n. 1 .....	100
	8.2 Sezione n. 2 .....	124
	8.3 Sezione n. 3 .....	148
9	NOTE DI SINTESI .....	173
	BIBLIOGRAFIA .....	177

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 3 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1]. Progetto per la riduzione del rischio idraulico. Sopralzo della diga di levane a fini di laminazione. *Redazione del quadro conoscitivo geologico, geotecnico e geomeccanico*. CGT SPINOFF, Febbraio 2015.
- [2]. Progetto per la riduzione del rischio idraulico. Sopralzo della diga di levane a fini di laminazione. Consulenza geotecnica su prove di laboratorio. CGT SPINOFF, Febbraio 2015.
- [3]. Progetto per la riduzione del rischio idraulico. Sopralzo della diga di levane a fini di laminazione. *Indagini sismiche a stazione singola*. CGT SPINOFF, Febbraio 2015.
- [4]. Progetto per la riduzione del rischio idraulico. Sopralzo della diga di levane a fini di laminazione. *Carta geologica e geomorfologica di inquadramento*. CGT SPINOFF, Febbraio 2015.
- [5]. Progetto per la riduzione del rischio idraulico. Sopralzo della diga di levane a fini di laminazione. *Carta geologica di dettaglio – SETTORE A*. CGT SPINOFF, Febbraio 2015.
- [6]. Progetto di sopralzo della diga di levane a fini di laminazione per la riduzione del rischio idraulico. *Integrazione del quadro conoscitivo finalizzato alla verifica di stabilità di alcune porzioni rappresentative delle sponde a monte della diga. Rapporto conclusivo*. CGT SPINOFF, Settembre 2015.
- [7]. Progetto di sopralzo della diga di levane a fini di laminazione per la riduzione del rischio idraulico. *Integrazione del quadro conoscitivo finalizzato alla verifica di stabilità di alcune porzioni rappresentative delle sponde a monte della diga. ALLEGATO 1 – Indagini geofisiche*. CGT SPINOFF, Settembre 2015.
- [8]. Progetto di sopralzo della diga di levane a fini di laminazione per la riduzione del rischio idraulico. *Integrazione del quadro conoscitivo finalizzato alla verifica di stabilità di alcune porzioni rappresentative delle sponde a monte della diga. ALLEGATO 2 – Analisi geotecniche*. CGT SPINOFF, Settembre 2015.
- [9]. Progetto di sopralzo della diga di levane a fini di laminazione per la riduzione del rischio idraulico. *Integrazione del quadro conoscitivo finalizzato alla verifica di stabilità di alcune porzioni rappresentative delle sponde a monte della diga. Integrazioni al Rapporto conclusivo. Sulle caratteristiche meccaniche e idrauliche degli ammassi rocciosi con approfondimenti in spalla sinistra delle diga*. CGT SPINOFF, Settembre 2015.
- [10]. Progetto di sopralzo della diga di levane a fini di laminazione per la riduzione del rischio idraulico. *Integrazione del quadro conoscitivo finalizzato alla verifica di stabilità di alcune porzioni rappresentative delle sponde a monte della diga. Integrazioni al Rapporto conclusivo. Report di prova n.015015 – Prova di compressione uni assiale, prova di compressione triassiale*. CGT – Centro di GeoTecnologie dell'Università di Siena, Settembre 2015.
- [11]. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione generale per le dighe, le infrastrutture idriche ed elettriche - Divisione 7 – Idraulica - Geologia Applicata. Diga di Levane (AR) N. Arch. 684 Parere specialistico su: "Progetto definitivo di sopralzo della diga a scopo di laminazione".
- [12]. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici – Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche. Diga di Levane (n. arch.684) sul fiume Arno nel Comune di

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 4 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

Montevarchi (AR). Concessionario: ENEL S.p.A: PROGETTO DEFINITIVO DI SOPRALZO DELLA DIGA A SCOPO DI LAMINAZIONE – Relazione istruttoria.

- [13]. P41019GEOAT0100 – Giornale di cantiere.
- [14]. P41019GEOAT0203 – Tabelle dei dati strumentali di acquisizione delle letture inclinometriche;
- [15]. P41019GEOAT0301 – Report tecnico sui sondaggi. Stratigrafie e documentazione fotografica;
- [16]. P41019GEOAT0400 – Analisi di laboratorio e consulenza su campioni di terreno;
- [17]. P41019GEOAT0500 – Report sulle indagini Down Hole (Tecnoin);
- [18]. P41019GEOSG0103 – Ubicazione sondaggi e Modello Geologico di Riferimento;
- [19]. P41019GEOSG0202 – Modello Geotecnico di Riferimento (MGR).

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 5 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

# 1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta il Rapporto Finale (RF) riguardante le **Integrazioni e gli approfondimenti del quadro conoscitivo geologico, geotecnico, geomeccanico e sismico** che fanno seguito alle richieste contenute nel **Parere Specialistico** della Direzione 7 del M.I.T. ed alla **Relazione Istruttoria** della Direzione Generale Dighe e infrastrutture idriche ed elettriche del M.I.T.

L'incarico per lo svolgimento delle attività è stato formalizzato a CGT Engineering srl da ENEL GREEN POWER SpA tramite "Contratto di servizio per studio della riduzione del rischio idraulico del sopralzo della diga di Levane a fini di laminazione n. 8400135119" del 25/01/2019.

Il presente documento si compone dei seguenti elaborati, già richiamati tra i Documenti di riferimento (doc. rif.):

- P41019GEORF0100 – Relazione Finale (RF) 01 (questo documento);
- P41019GEOAT0100 – Allegato Tecnico (AT) 01 doc. rif. [13] – Giornale di cantiere;
- P41019GEOAT0203 – Allegato Tecnico (AT) 02 doc. rif. [14] – Tabelle dei dati strumentali di acquisizione delle letture inclinometriche;
- P41019GEOAT0301 – Allegato Tecnico (AT) 03 doc. rif. [15] – Report tecnico sui sondaggi. Stratigrafie e documentazione fotografica;
- P41019GEOAT0400 – Allegato Tecnico (AT) 04 doc. rif. [16] - Analisi di laboratorio e consulenza su campioni di terreno;
- P41019GEOAT0500 - Allegato Tecnico (AT) 04 doc. rif.[17] – Report sulle indagini Down Hole (Tecnoin);
- P41019GEOSG0103 – Sezioni geologiche (SG) doc. rif. [18] – Ubicazione sondaggi e sezioni di riferimento;
- P41019GEOSG0202 – Modello geotecnico di riferimento (MGR) doc. rif. [18];

Sulla scorta dei pareri formulati dalla Divisione 7 – Idraulica - Geologia Applicata e dalla Divisione Geotecnica e Strutture del MIT, si sono effettuati un approfondimento ed una integrazione di indagini sui versanti dell'invaso. Tale approfondimento ha riguardato preliminarmente gli aspetti geologici e quelli geomorfologici, con una intensa e dettagliata attività di campagna, superando, con attrezzature da rocciatori e creazione di corridoi nella fitta vegetazione a dimora, limitazioni di carattere "ambientale" e logistico che avevano impedito negli studi precedenti di effettuare osservazioni e rilievi di dettaglio diretti di varie porzioni dei versanti di interesse, anche a causa dell'appartenenza di diverse aree a proprietà private che non le avevano rese disponibili nemmeno al transito pedonale.

Inoltre, sono state effettuate nelle aree di interesse nuove indagini mediante terebrazioni, con ricostruzione stratigrafica, campionamento con analisi di laboratorio, prove di tipo S.P.T. in avanzamento di foro, prove sismiche down-hole, e materializzato un sistema di monitoraggio che ha utilizzato canne inclinometriche e celle piezometriche per un congruo periodo di tempo, come si evince dallo specifico report "INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO" – Rapporto di progresso del 11.12.2019, redatto da questa struttura.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 6 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Più che il modello geologico in senso stretto, è stato rivisto nel dettaglio l'aspetto geomorfologico, ineludibile per la definizione dei morfemi riguardanti i versanti di interesse, ed è stata rivisitata la definizione litotecnica delle sezioni prodotte in precedenza e soggette a verifica, nonché la loro caratterizzazione geotecnica. E' stata, infine, riproposta, anche per una più facile lettura, la Modellazione sismica nel capitolo relativo alla SISMICITA'.

### **Contenuti del Parere specialistico e della Relazione istruttoria delle due Direzioni.**

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione generale per le dighe, le infrastrutture idriche ed elettriche Divisione 7 – Idraulica - Geologia Applicata Diga di Levane (AR) N. Arch. 684 **Parere specialistico** su: "Progetto definitivo di sopralzo della diga a scopo di laminazione".

"- Nell'ambito della presente istruttoria si sono esaminati gli elaborati contenuti nel progetto definitivo, articolati secondo i vari aspetti progettuali previsti per l'approvazione, con particolare riguardo alle problematiche legate alle mutate caratteristiche d'invaso in ipotesi. Dall'esame degli elaborati progettuali è emerso che sono state considerate le varie problematiche di natura geologico geotecnica inerenti le nuove ipotesi progettuali, sia pur con gradi di approfondimento variabili e non uniformi da caso a caso.

Le varie fasi di indagini, articolate secondo un iter temporale che abbraccia oltre un decennio, hanno certamente delineato un contesto geologico e geomorfologico ben studiato e circostanziato, con un quadro d'insieme chiaro e univoco. Sono state certamente individuate le principali litologie affioranti nell'invaso, le condizioni strutturali dell'imposta e delle sponde afferenti il bacino, e sono stati consultati e acquisiti i necessari strumenti di censimento e di piano di settore vigenti, sia secondo gli aspetti tecnici che normativi.

In particolare, sono stati recepiti, in fase di studio, gli aspetti del piano di bacino PAI approvato dall'ADB dell'Arno riguardanti i principali dissesti noti e catalogati nell'area d'interesse, sia come pericolosità potenziale (PF2, PF3 e PF4 del piano stralcio 2009), sia come grado di attività noto nell'ambito di progetti paralleli (IFFI dell'ISPRA, min. Ambiente). Tali elementi hanno costituito base di studio per autonomi rilevamenti svolti nell'ambito progettuale, che hanno confermato e integrato quanto già noto in precedenza. In particolare, il rilievo geostrutturale eseguito lungo le sponde ha ben caratterizzato le tipologie di dissesto in ammasso roccioso che costituiscono elemento di pericolosità reale o potenziale nelle nuove ipotesi di livello d'invaso. Altrettanto approfondito risulta il modello geologico – geomeccanico dell'ammasso roccioso in fondazione, con una esauriente caratterizzazione delle principali caratteristiche meccaniche e strutturali delle arenarie stratificate che costituiscono l'imposta: le prove di laboratorio ed in sito sono esaurienti e forniscono un sufficiente supporto per la fase di calcolo secondo le norme vigenti.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 7 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Laddove si è avvertita la scarsità di un modello geologico robusto e affidabile è nella caratterizzazione dei materiali sciolti di copertura delle rocce del substrato, la cui conoscenza appare molto carente e poco precisa: la campagna d'indagini geognostiche a supporto è consistita di una serie di sondaggi del tutto insufficiente a ricostruire i parametri geotecnici necessari alla fase di verifica. Negli elaborati di progetto viene infatti riportata l'esecuzione di sei sondaggi eseguiti con carotatrice da pedologia, le cui caratteristiche non risultano note, e il prelievo di campioni "indisturbati" su cui sono state eseguite prove di laboratorio a parere degli scriventi insufficienti per natura e consistenza.

In particolare, si rammenta che le raccomandazioni AGI (Ass. Geot. It.) riguardo al prelievo di campioni indisturbati e relative prove meccaniche prevedono che solo campioni di qualità Q5 possano essere sottoposti a prove meccaniche, mentre le prove di taglio diretto condotte sui campioni sono state eseguite su provini ricostituiti (elab. A6, Allegato 02 - Analisi Geotecniche). Inoltre, nel corso delle suddette prove sono stati acquisiti solo i dati di picco  $c'$  e  $\phi'$ , omettendo l'acquisizione dei parametri residui  $c_r$  e  $\phi_r$ , essenziali per delle verifiche in condizioni prossime all'equilibrio limite. Il comportamento duttile dei materiali delle coltri e l'insieme dei dati geomorfologici noti, infatti, suggeriscono che la resistenza al taglio operativa lungo una superficie di scorrimento già individuata nel passato sia prossima all'unità (situazione di equilibrio limite), ed i parametri mobilizzati lungo questa superficie siano ormai quelli residui. Tale evenienza è confermata dall'attribuzione di uno stato di attività quiescente se non addirittura attivo per i dissesti in parola da parte degli autori stessi. Le analisi condotte secondo il codice di calcolo agli elementi finiti prevede, nelle condizioni più gravose, una fascia di debolezza al passaggio coltri/arenarie, con un valore di resistenza al taglio pari a  $c' = 19,00$  kPa, ed un angolo di attrito efficace  $\phi' = 24^\circ$ , del tutto ottimistici per una modellazione in condizioni residue (valori di tali parametri più in linea con la prassi usuale prevedono in genere angoli di attrito residui  $\phi_r \sim 11^\circ \div 15^\circ$ , ed una coesione  $c_r = 0$  kPa) e tali sarebbero stati più auspicabili in assenza di una conoscenza diretta da prove meccaniche, per una stima prudenziale dei parametri progettuali. Alla luce di quanto esposto vanno rivalutati i risultati ottenuti nelle verifiche di stabilità ottenute, viziati da dati di input non in linea con quelli reali.

Inoltre, non sono state allegate informazioni di alcun tipo sulla stratigrafia dei sondaggi acquisita, ma solo la profondità di prelievo dei campioni, peraltro tra 0.75 ed 1.00 m dal piano di campagna, quindi poco rappresentativi delle reali condizioni in profondità. Infine, non è stata posta in opera alcuna strumentazione di monitoraggio per il controllo delle deformazioni e delle pressioni interstiziali, così come non si hanno dati sulla superficie freatica nei versanti. Tale incertezza si ripercuote in una stima del tutto approssimativa delle reali volumetrie in gioco per i dissesti analizzati, nonché dei reali cinematismi in atto (velocità e rates deformativi).

Analogamente sono state investigate con indagini di tipo geofisico le sole litologie della sezione d'imposta, con acquisizione delle  $V_p$  e  $V_s$  nel corso dei cross hole. Ciò ha permesso di attribuire correttamente nell'analisi sismica la categoria di suolo A alle rocce dell'imposta, ma

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 8 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

non si hanno dati geofisici sui terreni delle coltri sulle sponde, pertanto l'attribuzione delle tipologie B a tali terreni non è supportata da dati geognostico - geotecnici certificati (Vs30 e/o N<sub>spt</sub> non sono allo stato attuale noti).

Alla luce di quanto sopra esposto lo scrivente ufficio è del parere che:

- Le indagini geognostiche sui terreni sciolti di copertura siano integrate e/o eseguite ex novo con un congruo numero di sondaggi a rotazione e a carotaggio continuo, spinti sino alle profondità compatibili con le presunte caratteristiche geometriche dei principali dissesti analizzati, condotti secondo le NTC08, le NTC 2014 e le raccomandazioni AGI. A corredo dei sondaggi devono essere presentate le stratigrafie e documentazione fotografica delle litologie riscontrate;
- Nel corso dei sondaggi siano prelevati un congruo numero di campioni indisturbati da sottoporre a nuove prove geotecniche di laboratorio, con l'acquisizione degli usuali parametri fisico - meccanici previsti dalle citate norme/raccomandazioni;
- Nel corso della campagna d'indagine sia acquisito l'insieme dei dati sui livelli idrici delle acque di falda riscontrati nel corso dei sondaggi, sul loro andamento nel tempo, mediante posa in opera di un appropriato numero e tipologia di postazioni piezometriche;
- Sia posta in opera, contestualmente alle perforazioni, una rete inclinometrica nelle postazioni di sondaggio, adatta alla stima del comportamento deformativo dei versanti, nelle condizioni attuali e future;
- Sulla base delle risultanze della campagna di indagini e delle prove di laboratorio sia compiuta una nuova verifica delle condizioni di stabilità previste dalla normativa, anche utilizzando modelli di calcolo più semplici ed affidabili, quali quelli all'equilibrio limite globale, con un utilizzo di minor numero di parametri geotecnici, e stima delle superfici critiche di scorrimento individuate.
- Alla luce dei nuovi risultati delle verifiche di stabilità complessiva potranno essere previsti, descritti e progettati eventuali interventi di stabilizzazione dei dissesti in esame, qualora resi necessari nelle nuove condizioni di esercizio ipotizzate.

Infine, per quanto riguarda anche le rimanenti tipologie di instabilità in roccia osservate e analizzate lungo le pareti subverticali affioranti in sponda destra, sebbene lo scrivente ufficio, sulla base degli atti di progetto, non ravvisi particolari criticità, si è dell'avviso di confermare quanto sopra a seguito di uno specifico sopralluogo di carattere geologico tecnico".

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche DIGA DI LEVANE (n. arch.684) sul fiume Arno nel Comune di Montevarchi (AR). Concessionario: ENEL S.p.A: PROGETTO DEFINITIVO DI SOPRALZO DELLA DIGA A SCOPO DI LAMINAZIONE - **RELAZIONE ISTRUTTORIA.**

Osservazioni istruttorie conclusive

.....omissis.....

"13 .**Stabilità delle sponde.** Le verifiche di stabilità delle sponde dovranno essere effettuate

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 9 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	
	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE	

secondo quanto previsto dalle NTC/2008, utilizzando metodi di comprovata affidabilità ed evitando il ricorso ad artifici numerici. Per la frana del settore B (individuata dalla sigla Fr\_B\_dx\_01) dovrà anche essere approfondita la necessità di monitorare lo scalzamento al piede, valutando la necessità di interventi di protezione e/o di stabilizzazione”.

Allo scopo di rispondere in maniera esauriente alle richieste suddette con azioni efficaci e pienamente soddisfacenti, si è provveduto innanzitutto a realizzare nuove terebrazioni geologico-geotecniche sui tre corpi di frana oggetto degli approfondimenti e così denominati:

FR\_A\_01sx  
FR\_A\_02sx  
FR\_B\_01dx

Nei paragrafi che seguono si descrivono le attività svolte nei siti di indagine e le caratteristiche stratigrafiche dei terreni carotati. Vengono, altresì, presentati i risultati dei rilievi effettuati sulle installazioni fisse ivi materializzate (tubi inclinometrici e celle piezometriche di Casagrande) e fornite interpretazioni di carattere geomorfologico riguardanti lo stato attuale dei versanti. E' presente, inoltre, un capitolo relativo alla Sismicità con la relativa Modellazione sismica, per consentire una migliore lettura del quadro conoscitivo, e vengono, infine, presentate le risultanze delle analisi di stabilità effettuate.

Un capitolo di sintesi chiude la Relazione.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE
pag. 10 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

## 2 DESCRIZIONE DEI SONDAGGI E DELLE INSTALLAZIONI FISSE

Nei mesi di Dicembre 2018 e Gennaio 2019 sono stati realizzati dalla ditta Tecno In di Napoli, 6 terebrazioni con profondità variabile tra 20 e 30 metri, in corrispondenza dei tre siti di interesse FR\_A\_01sx (sondaggi S1 e S2), FR\_A\_02sx (sondaggi S3 e S4) e FR\_B\_01dx (sondaggi S5 e S6).

I sondaggi sono stati realizzati a carotaggio continuo (S1, S3 e S5) e a distruzione (S2, S4 e S6) con l'obiettivo di indagare la stratigrafia di dettaglio dei siti, prelevare campioni di terreno e rocce per la caratterizzazione geotecnica dei materiali, e posizionare le installazioni necessarie per il monitoraggio degli spostamenti del terreno e delle oscillazioni della falda.

Le operazioni sono iniziate il 10/12/2018 e terminate il 25/01/2019. Nei giorni 29/01/2019 e 11-12/02/2019 i tecnici della ditta Tecno In hanno eseguito le prove geofisiche in foro di tipo Down Hole nei fori S5, S3 e S1 rispettivamente.

La reportistica sulle lavorazioni effettuate è fornita in apposito documento con valore di Giornale di cantiere (doc. rif. [13] P41019GEOAT0100).

In Tabella 1 è riportata la sintesi delle terebrazioni effettuate con indicazione delle caratteristiche principali delle lavorazioni eseguite e delle installazioni fisse materializzate.

Nell'Allegato Tecnico 03 doc. rif.[15] P41019GEOAT0301 – Report tecnico sui sondaggi. Stratigrafie e documentazione fotografica, sono riportate le stratigrafie in scala 1:100 e la documentazione fotografica del materiale estratto.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 11 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

NOME SONDAGGIO	Data inizio perforazione	Data fine perforazione	PROFONDITA' SONDAGGIO (m)	PERFORAZIONE CC (m)	PERFORAZIONE DN (m)	N. PROVE SPT	profondità prove SPT (m)		CAMPIONI INDISTURBATI	NOME / profondità campioni (m)		PROVE GEOFISICHE IN FORO	INCLINOMETRO	profondità inclinometro (m)	PIEZOMETRO	NUMERO CELLE	NOME / profondità celle (m)		
S1	10/12/2018	07/01/2019	30.00	30.00	0.00	5	S1SPT1	1.50	1	S1C1	3.00	DH	SI	30.00					
							S1SPT2	3.00			3.50								
							S1SPT3	4.50											
							S1SPT4	6.00											
							S1SPT5	7.50											
S2	08/01/2019	09/01/2019	30.00	0.00	30.00										Casagrande	2	Pz2c1	9.00	
																		Pz2c2	29.50
S3	10/01/2019	16/01/2019	30.00	30.00	0.00	3	S3SPT1	1.50	3	S3C1	3.00	DH	SI	30.00					
											3.50								
							S3SPT2	4.50			6.00								
											6.50								
							S3SPT3	16.50		S3C3	10.50								
											11.00								
S4	17/01/2019	17/01/2019	20.00	0.00	23.00										Casagrande	2	Pz4c1	15.50	
																		Pz4c2	22.50
S5	15/01/2019	23/01/2019	30.00	30.00	0.00	7	S5SPT1	2.50	2	S5C1	3.00	DH	SI	30.00					
							S5SPT2	4.50			3.50								
							S5SPT3	7.00											
							S5SPT4	8.50			5.00								
							S5SPT5	10.50			5.50								
							S5SPT6	12.00											
							S5SPT7	13.50											
S6	24/01/2019	25/01/2019	30.00	0.00	27.00										Casagrande	2	Pz6c1	13.50	
																		Pz6c2	27.00
TOT			170.00	90.00	80.00	15			6					90.00		6			

Tabella 1 - Tabella riassuntiva delle indagini eseguite nei tre siti di interesse.

## 2.1 Documentazione tecnica relativa ai sondaggi eseguiti

Di seguito sono riportate le schede descrittive complete dei sondaggi eseguiti.

### 2.1.1 Sondaggio S1

		<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>				<b>SONDAGGIO S1</b> Profondità: 30 m														
Committente: ENEL Green Power Ditta: TECNOIN Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_1_sx Periodo: inizio: 10/12/2018 fine: 08/01/2019 sonda: BERETTA T44 Coordinate: X = 1712834.0 m Y = 4820602.3 m Z = 210.2 m scala: 1:100		<b>INCLINOMETRO I1</b> Profondità: 30 m		Pagina 1 di 2																
metodo e diam. di perforazione	giacitura rivestimenti	campioni indisturbati	campioni rimarraggiati	profondità dal p.c. [m]	spessore dello strato [m]	sezione stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro		
rotazione carotaggio continuo $\phi 101$ mm dato non disponibile																				
				0.00	0.50			sabbia e ghiaietto fine in abbondante matrice coesiva limoso argillosa poco addensata color giallo ocra; presenza di laterizi	COLLUVIUM s.l. (Pleistocene sup. - Olocene)	box 01	R1			1.50 S1SPT1 4.4-5						
				1.00	1.00			limo e argilla a bassa consistenza di colore giallo ocra con resti vegetali			R2				1.95					
				3.00	3.50			sabbia sciolta fine e media con scarsa matrice passante a sabbia media sciolta priva di matrice con rarissimi ciottolotti subarrotondati; la sabbia ha un colore giallo chiaro ed un' elevata classazione granulometrica			R3				3.45	3.00 S1SPT2 7.7-8				
				4.00	3.50						R4				4.95	4.50 S1SPT3 7.8-9				
				5.00	1.00			ciottolame poligenico sciolto in matrice sabbiosa		R5				6.45	6.00 S1SPT4 6.6-7					
				6.00	1.50			tritume di roccia; arenaria in frammenti angolosi grossolani in matrice sabbiosa sciolta giallastra		box 02	R6			7.95	7.50 S1SPT5 R					
				7.00	1.00			sabbia sciolta con limo e argilla e pezzame litode diffuso in frammenti angolosi di arenaria			R7									
				8.00	0.50			tritume di roccia con sabbia; arenaria in frammenti sub angolosi e sub arrotondati grossolani immersi in sabbia		R8										
				9.00	3.40			siltiti e arenarie finissime con laminazioni piano parallele e ondulate		MACIGNO (Oligocene sup. - Miocene inf.)	box 03	R9								
				11.00	1.60			siltiti e arenarie finissime con laminazioni piano parallele e ondulate intensamente fratturate				R10								
				12.00	1.00			arenaria molto alterata di colore ocra				R11								
				13.00	3.60			arenaria grossolana moderatamente alterata di colore grigio marrone con livelli di microconglomerato				R12								
				14.00	0.60			arenarie fini e siltiti laminate di colore scuro		box 04	R13									
				15.00	0.90			siltiti e arenarie fini intensamente fratturate con argilliti destrutturate			R14									
				16.00	1.50			siltiti laminate di colore scuro												

Legenda  
 vene di calcare spatico  
 fratture aperte con superfici ossidate o concrezioni calciche

Documento  
P410.19.GEO.RF.01  
REV. 00  
del 26/05/2020  
pag. 13 di 179

CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO  
**RELAZIONE FINALE**

LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>		<b>SONDAGGIO S1</b>
	Committente: ENEL Green Power		Profondità: 30 m
	Ditta: TECNOIN		<b>INCLINOMETRO I1</b>
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_1_sx	sonda: BERETTA T44	Profondità: 30 m
Periodo: inizio: 10/12/2018 fine: 08/01/2019		scala: 1:100	Pagina 2 di 2
Coordinate X = 1712834.0 m Y = 4820602.3 m Z = 210.2 m			

metodo e diam. perforazione	diametro	investimenti	carpioni	colatori	colatori	rimasugliati	profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezioni stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.O.D. (%)	S.P.T.	podet penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	podet vane test	piezometro/falda	inclinometro
rotazione carotaggio continuo $\phi$ 101 mm							20.00	1.50			silti laminati di colore scuro con fratture ad alto angolo concrezionate	MACIGNO (Oligocene sup. - Miocene inf.)	R15								
							21.00					box 05	R16								
							22.00	2.50			arenaria massiva media e fine di colore grigio chiaro con fratture ad alto angolo concrezionate		R17								
							23.00						R18								
							24.00						R19								
							25.00						R20								
							26.00						R21								
							27.00				silti laminati di colore scuro con fratture ad alto angolo concrezionate, da mediamente ad intensamente fratturate										
							28.00														
							29.00														
							30.00														
							31.00														
							32.00														
							33.00														
							34.00														
							35.00														
							36.00														
							37.00														
							38.00														
							39.00														
							40.00														
											fine sondaggio										

**Legenda**  
 vane di calotte spatica  
 fratture aperte con superfici ossidate o concrezioni calciche

## 2.1.2 Sondaggio S2

	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>		<b>SONDAGGIO</b> <b>S2</b>
	Committente: ENEL Green Power	Profondità: 30 m	
	Ditta: TECNOIN	<b>PIEZOMETRO</b> <b>Pz2</b>	
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_1_sx	Cella 1: 8 m - Cella 2: 29 m	
	Periodo: inizio: 08/01/2019 fine: 09/01/2019 sonda: BERETTA T44 Coordinate X = 1712839.4 m Y = 4820598.6 Z = 410.2 m scala: 1:100	Pagina 1 di 2	

metodo e diam. perforazione	diametro rivestimenti	profondità dal p.c. (m)	potenza dello strato (m)	sezioni stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro
perforazione a distruzione		0.00														
		1.00														
		2.00														
		3.00														
		4.00														
		5.00														
		6.00														
		7.00														
		8.00														
		9.00														
		10.00														
		11.00														
		12.00														
		13.00														
		14.00														
		15.00														
		16.00														
		17.00														
		18.00														
		19.00														
	20.00															

Legenda

Documento  
P410.19.GEO.RF.01  
REV. 00  
del 26/05/2020  
pag. 15 di 179

CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE  
DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI  
LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE  
INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO,  
GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO



LABORATORIO CONGIUNTO PER LE  
GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

**RELAZIONE FINALE**

  	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>		<b>SONDAGGIO</b> <b>S2</b>
	Committente: ENEL Green Power		Profondità: 30 m
	Ditta: TECNOIN		<b>PIEZOMETRO</b> <b>Pz2</b>
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_1_sx		Cella 1: 8 m - Cella 2: 29 m
Periodo: inizio: 08/01/2019 fine: 09/01/2019 sonda: BERETTA T44		Coordinate: X = 1712839.4 m Y = 4820598.6 Z = 410.2 m scala: 1:100	Pagina 2 di 2

metodo e diam. perforazione	diametro rivestimenti	campioni indisturbati	campioni rimaschiati	profondità dal p.c. [m]	potenza dello sfrato [m]	sezione stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di caricaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro				
perforazione a distruzione				20.00																		
				21.00																		
				22.00																		
				23.00																		
				24.00																		
				25.00																		
				26.00																		
				27.00																		
				28.00																		
				29.00																		
				30.00																		
				31.00																		
				32.00																		
				33.00																		
				34.00																		
				35.00																		
				36.00																		
				37.00																		
				38.00																		
				39.00																		
40.00																						

Legenda

### 2.1.3 Sondaggio S3

	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>	<b>SONDAGGIO S3</b>	
	Committente: ENEL Green Power		Profondità: 30 m
	Ditta: TECNOIN		<b>INCLINOMETRO I3</b>
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_2_sx	Periodo: inizio: 10/01/2019 fine: 16/01/2019 sonda: BERETTA T44	Profondità: 30 m
	Coordinate: X = 1712902.3 m Y = 4820394.4 m Z = 229.9 m scala: 1:100		Pagina 1 di 2

metodo e diam. perforazione	campioni inestirpati	campioni inestirpati	campioni rimaschiati	profondità dal p.c. [m]	altezza dello strato [m]	sezione stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm²]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro
				0.00	0.40			suolo vegetale										
				1.00	1.60			suolo minerale addensato a tessitura sabbiosa con resti di apparati radicali e noduli calcarei (tipo calcinelli)	SUOLO (Olocene)					1.50				
				2.00	1.20			sabbia fine molto addensata di colore giallastro		box 01				1.95				
				3.00	1.00			sabbia moderatamente addensata di colore giallastro										
				3.50	1.00			sabbia fine con elevata cernita granulometrica di colore giallastro poco o per niente addensata fino a sabbio sciolta						4.50				
				4.00	1.00			ghiaietto fine in abbondante matrice limoso argillosa coesiva moderatamente addensata, presenza di livelli arrossati di paleosuoli con concrezioni calcaree						5.7-13				
				5.00	1.00			sabbia fine con limo e argilla moderatamente addensata						4.95				
				6.00	1.00			sabbia fine con limo e argilla addensata e molto addensata con rari inclusi grossolani; presenza occasionale di sostanza organica	SABBIE DI LEVANE (Pleistocene medio)									
				6.50	1.00			sabbia fine con limo e argilla addensata, con alternanze regolari di livelli centimetrici di sabbie fini rossastre e orizzonti di paleosuoli		box 02								
				7.00	1.00			limo con sabbia talora debolmente argillosa da moderatamente a per niente addensata; colore giallastro										
				8.00	1.00			sabbia sciolta fine e media di colore giallastro con elevata cernita granulometrica										
				10.00	1.80			sabbia sciolta fine e media di colore grigio con matrice limosa leggermente coesiva, da moderatamente a poco addensata		box 03								
				10.50	0.50			sabbia sciolta fine e media di colore giallastro con rari inclusi centimetrici										
				11.00	1.00			ciottolame con matrice sabbioso argillosa fortemente dilavata										
				12.50	2.00			sabbia limosa con argilla poco addensata e diffusi ciottolati da millimetrici a centimetrici e rari ciottoli pluri centimetrici; presenza di livelli a paleosuolo arrossati										
				13.00	1.00			ciottolami con elementi arrotondati di 3-7 cm e scarsa matrice limoso argillosa che tende a scomparire in tritume di roccia arenaria con aspetto di ghiaietto fine		box 04					16.50			
				14.00	1.00			tritume grossolano di roccia arenaria										
				14.50	1.20			arenaria quarzosa da fine massiva a finissima alternata a silti con laminazioni piano parallele e ondulate, di colore grigio										
				15.00	6.30													
				16.00	2.00													
				17.00	1.00													
				18.00	1.00													
				18.50	1.20													
				19.00	1.50													
				19.50	6.30													
				20.00	6.30													

Legenda

vene di calcite spatica    fratture aperte con superfici ossidate o concrezioni calcifiche    apparati radicali    noduli e concrezioni calcaree

Documento  
P410.19.GEO.RF.01  
REV. 00  
del 26/05/2020  
pag. 17 di 179

CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE  
INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO

**RELAZIONE FINALE**



LABORATORIO CONGIUNTO PER LE  
GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>		<b>SONDAGGIO</b> <b>S3</b>
	Committente: ENEL Green Power		Profondità: 30 m
	Ditta: TECNOIN		<b>INCLINOMETRO</b> <b>I3</b>
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_2_sx Periodo: inizio: 10/01/2019 fine: 16/01/2019 sonda: BERETTA T44 Coordinate: X = 1712902.3 m Y = 4820394.4 m Z = 229.9 m scala: 1:100		Profondità: 30 m Pagina 2 di 2

metodo e diam. perforazione	diametro	capioni	colore	profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezioni stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.O.D. (%)	S.P.T.	poCKET penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	poCKET vane test	piezometro/falda	inclinometro					
rotazione carotaggio continuo $\phi$ 101 mm dato non disponibile				20.00	6-30			arenaria quarzosa da fine massiva a finissima alternata a siltiti con laminazioni piano parallele e ondulate, di colore grigio  arenaria fine grigio giallastra massiva siltiti e arenarie finissime con laminazioni piano parallele e ondulate tritume grossolano di roccia arenaria  siltiti e arenarie finissime con laminazioni piano parallele e ondulate, di colore grigio, da moderatamente a intensamente fratturata  arenaria fine grigio chiara massiva moderatamente fratturata	MACIGNO (Oligocene sup. - Miocene inf.)	box 05	R15												
				21.00																			
				22.00																			
				23.00																			
				23.50																			
				24.00																			
				25.00																			
				25.30		0.30																	
				26.00		0.40																	
				26.50		0.50																	
			27.00																				
			28.00																				
			29.00																				
			30.00					fine sondaggio															
			31.00																				
			32.00																				
			33.00																				
			34.00																				
			35.00																				
			36.00																				
			37.00																				
			38.00																				
			39.00																				
			40.00																				

Legenda  
 vane di colite spatica  
 fratture aperte con superfici ossidate o concrezioni calciche

## 2.1.4 Sondaggio S4

	RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE		SONDAGGIO <b>S4</b>
	Committente: ENEL Green Power		Profondità: 22,5 m
	Ditta: TECNOIN		PIEZOMETRO <b>Pz4</b>
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_2_sx		Cella 1: 10 m - Cella 2: 22,5 m
Periodo: inizio: 17/01/2019 fine: 17/01/2019	sonda: BERETTA T44		
Coordinate X = 1712899.0 m Y = 4820389.5 m Z = 230.1 m	scala: 1:100		Pagina 1 di 1

metodo e diam. perforazione	diametro rivestimenti	campioni indisturbati	campioni rimaschiati	profondità dal p.c. [m]	altezza dello strato [m]	sezione stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro
perforazione a distruzione				00.00														
				1.00														
				2.00														
				3.00														
				4.00														
				5.00														
				6.00														
				7.00														
				8.00														
				9.00														
				10.00														
				11.00														
				12.00														
				13.00														
				14.00														
				15.00														
				16.00														
				17.00														
				18.00														
				19.00														
			20.00															

Legenda

	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>	<b>SONDAGGIO</b>
	Committente: ENEL Green Power	<b>S4</b>
	Ditta: TECNOIN	Profondità: 22.5 m
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Montevarchi, AR); FR_A_2_sx	<b>PIEZOMETRO</b>
Periodo: inizio: 17/01/2019 fine: 17/01/2019 sonda: BERETTA T44	<b>Pz4</b>	Cella 1: 10 m - Cella 2: 22.5 m
Coordinate X = 1712899.0 m Y = 4820389.5 m Z = 230.1 m scala: 1:100		Pagina 2 di 2

metodo e diam. perforazione	diametro rivestimenti	cappioni inseriti (rimane/rimangiati)	profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	frazioni e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro
			20.00														
			21.00														
			22.00														
			23.00														
			24.00														
			25.00														
			26.00														
			27.00														
			28.00														
			29.00														
			30.00														
			31.00														
			32.00														
			33.00														
			34.00														
			35.00														
			36.00														
			37.00														
			38.00														
			39.00														
			40.00														

Legenda

**2.1.5 Sondaggio S5**

	Committente:	ENEL Green Power	<b>SONDAGGIO S5</b> Profondità: 30 m <b>INCLINOMETRO I5</b> Profondità: 30 m Pagina 1 di 2
	Ditta:	TECNOIN	
	Località:	Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Terranuova Bracciolini, AR); FR_B_1_dx	
	Periodo:	inizio: 15/01/2019 fine: 23/01/2019 sonda: BERETTA T44	
	Coordinate	X = 1713991.2 m Y = 4820962.3 m Z = 232.5 m scala: 1:100	

metodo e diam. perforazione	campani rivestimenti	campani instaurati	campani rimaneggiati	profondità dal p.c. [m]	altezza dello strato [m]	sezione stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm²]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro
rotazione carotaggio continuo $\phi 101$ mm dato non disponibile				0.00	0.40			suolo vegetale										
				1.00	1.10			limo e argilla debolmente sabbiosa a bassa e media consistenza di colore giallo ocra	SABBIE DI LEVANE (Pleistocene medio)	R1					-1.20 rif			
				2.00	1.30			limo e argilla sabbiosa a moderatamente consistente di colore giallo ocra con paleosuoli arrossati		R2					-1.50 rif			
		SSC1		3.00	1.30			sabbia media e grossolana con ciottoli arrotondati, passante verso il basso a sabbia media e fine con scarsa matrice limosa		R3	box 01				2.55 SSSPT1			
		SSC2		4.50	0.50			sabbia media e grossolana con ghiaietto e ciottolotti centimetrici, di colore giallo ocra, presenza di sottili livelli di brecciole cementate		R4					3.00 SSSPT2			
				5.00	1.00			sabbia media e fine debolmente limosa	SABBIE DI LEVANE (Pleistocene medio)	R5					4.50 SSSPT2			
				6.00	0.80			sabbia media sciolta, con abbondanti ciottolotti subarrotondati di calcari, arenarie e diaspri		R6					4.95			
				7.00	0.50			sabbia media sciolta, con elevata classazione granulometrica		R7	box 02							
				8.00	0.80			sabbia media poco addensata, debolmente limosa e argillosa con ghiaietto poligenico subangoloso		R8								
				8.80	0.80			sabbia media addensata con concrezioni e noduli calcarei	R9									
				9.00	4.20			ciottolame con elementi centimetrici subarrotondati prevalentemente calcarei in matrice sabbioso limosa di colore da giallo ocra a grigio	CIOTTOLOMI DI LATERINA (Pleistocene medio)	R10	box 03							
				10.00	1.30			ciottolame puliti con elementi centimetrici subarrotondati prevalentemente calcarei praticamente privi di matrice		R11								
				11.00	1.60			ciottolame con elementi centimetrici subarrotondati prevalentemente calcarei in matrice sabbioso limosa di colore da giallo ocra a grigio		R12								
				12.00	0.60			sabbia limoso argillosa a bassa consistenza di colore rossastro		R13	box 04					<1		
			13.00	1.70			ghiaietto con elementi angolosi subcentimetrici prevalentemente calcarei in abbondante matrice limoso argillosa, di colore grigio a bassa consistenza	R14										
			14.00	1.70			materiale eterogeneo costituito da sabbie, ghiaietto e frammenti di roccia con matrice limosa consistente											
			15.00	0.60			tritume di roccia arenaria											
			16.00	0.60			arenaria intensamente fratturata											

Legenda  
 vene di calcare spatica  
 fratture aperte con superfici ossidate o concrezioni calcifiche  
 apparati radicali  
 noduli e concrezioni calcaree

Documento  
P410.19.GEO.RF.01  
REV. 00  
del 26/05/2020  
pag. 21 di 179

CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE  
DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI  
LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE  
INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO,  
GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO

**RELAZIONE FINALE**



LABORATORIO CONGIUNTO PER LE  
GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

  	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>		<b>SONDAGGIO</b>
	Committente: ENEL Green Power		<b>S5</b>
	Ditta: TECNOIN		Profondità: 30 m
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Terranuova Bracciolini, AR); FR_B_1_dx		<b>INCLINOMETRO</b>
Periodo: inizio: 15/01/2019 fine: 23/01/2019 sonda: BERETTA T44		<b>I5</b>	Profondità: 30 m
Coordinate X = 1713991.2 m Y = 4820962.3 m Z = 232.5 m scala: 1:100		Pagina 2 di 2	

metodo e diam. perforazione	diametro investimenti	carotaggi condotti	carotaggi rimaschiati	profondità dal p.c. [m]	potenza dielto strato [m]	sezione stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.O.D. (%)	S.P.T.	podet penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	podet vane test	piezometro/falda	inclinometro	
rotazione carotaggio continuo $\phi$ 101 mm	dato non disponibile			20.00	0.60			arenaria intensamente fratturata	MACIGNO (Oligocene sup. - Miocene inf.)	box 05									
				20.20	0.60			frammenti di roccia arenaria in abbondante matrice argilloso limosa con sabbia di consistenza plastica poco addensata											
				21.00	0.70		arenaria intensamente fratturata												
				21.50															
				22.00															
				23.00															
				24.00															
				25.00	8.00			arenaria quarzosa media e fine in livelli massivi moderatamente fratturata con livelli più intensamente fratturati (22.30 - 22.50 m)											
				26.00															
				27.00															
				28.00															
				29.00															
				29.50	0.50			siltiti e arenarie fini con laminazioni piano parallele e ondulate, di colore grigio scuro											
				30.00				fine sondaggio											
				31.00															
				32.00															
				33.00															
				34.00															
				35.00															
				36.00															
				37.00															
				38.00															
				39.00															
				40.00															

Legenda  
 vane di cabote spatica  
 fratture aperte con superfici ossidate o concrezioni calciche

## 2.1.6 Sondaggio S6

	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>										<b>SONDAGGIO S6</b>							
	Committente: ENEL Green Power Ditta: TECNOIN Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Terranuova Bracciolini, AR); FR_B_1_dx Periodo: inizio: 24/01/2019 fine: 25/01/2019 sonda: BERETTA T44 Coordinate: X = 1712988.2 m Y = 4820950.0 m Z = 232.5 m scala: 1:100										Profondità: 30 m <b>PIEZOMETRO Pz6</b> Cella 1: 13.5 m - Cella 2: 29 m Pagina 1 di 2							
metodo e diam. perforazione	diametro rivestimenti	campioni indisturbati	campioni rimangiati	profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	manovre di carotaggio	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	pocket vane test	piezometro/falda	inclinometro
perforazione a distribuzione				00.00														
				1.00														
				2.00														
				3.00														
				4.00														
				5.00														
				6.00														
				7.00														
				8.00														
				9.00														
				10.00														
				11.00														
				12.00														
				13.00														
				14.00														
				15.00														
				16.00														
				17.00														
				18.00														
				19.00														
				20.00														
Legenda																		

	<b>RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE</b>		<b>SONDAGGIO</b> <b>S6</b>
	Committente: ENEL Green Power	Ditta: TECNOIN	Profondità: 30 m
	Località: Indagine geognostica in loc. diga di Levane (Terranuova Bracciolini, AR); FR_B_1_dx	Periodo: inizio: 24/01/2019 fine: 25/01/2019 sonda: BERETTA T44	<b>PIEZOMETRO</b> <b>Pz6</b>
	Coordinate X = 1712988.2 m Y = 4820950.0 m Z = 232.5 m scala: 1:100	Cella 1: 8 m - Cella 2: 27 m	Pagina 2 di 2

metodo e diam. estrazione diagnostica	diagnostica investimenti	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	testi stratigrafici	fratture e strutture	descrizione litologica	Unità stratigrafica	cassetta	misura di caricamento	recupero (%)	R.Q.D. (%)	S.P.T.	pocket penetrometro [kg/cm <sup>2</sup> ]	pocket vane test.	piezometro/falda	inclinometro
				20.00														
				21.00														
				22.00														
				23.00														
				24.00														
				25.00														
				26.00														
				27.00														
				28.00														
				29.00														
				30.00														
				31.00														
				32.00														
				33.00														
				34.00														
				35.00														
				36.00														
				37.00														
				38.00														
				39.00														
				40.00														

Legenda

### 3 DESCRIZIONE DEI RILIEVI INCLINOMETRICI E PIEZOMETRICI

Come descritto nei capitoli precedenti, per l'esecuzione delle misure di spostamento del terreno in profondità e delle oscillazioni di profondità della falda, sono state monitorate le installazioni fisse materializzate nei sondaggi descritti al Capitolo 2 e corrispondenti a 3 tubazioni con guide su 4 lati per l'inserimento di sonda inclinometrica nei sondaggi S1, S3 e S5 e 6 celle piezometriche posizionate nei 3 fori di sondaggio S2, S4 e S6. La sintesi delle caratteristiche di dette installazioni è riportata in Tabella 1 (pag. 11).

In Tabella 2, Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5 sono riportate le date dei rilievi (inclinometrici e piezometrici) e le misure delle profondità di falda acquisite.

NOME SONDAGGIO	NUMERO RILIEVO	Data misura	INCLINOMETRO	profondità inclinometro (m)	PIEZOMETRO	NUMERO CELLE	NOME / profondità celle (m)		SOGGIACENZA (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s.l.m.)
S1	1	13/02/2019	SI	30.00						
S2	1	13/02/2019			Casagrande	2	Pz2c1	9.00	n.p.	n.p.
							Pz2c2	29.50	27.20	183.00
S3	1	12/02/2019	SI	30.00						
S4	1	12/02/2019			Casagrande	2	Pz4c1	15.50	n.p.	n.p.
							Pz4c2	22.50	n.p.	n.p.
S5	1	13/02/2019	SI	30.00						
S6	1	13/02/2019			Casagrande	2	Pz6c1	13.50	n.p.	n.p.
							Pz6c2	27.00	18.60	213.90

Tabella 2 - Rilievi eseguiti nelle installazioni e misure di falda acquisite (Rilievo 1).

NOME SONDAGGIO	NUMERO RILIEVO	Data misura	INCLINOMETRO	profondità inclinometro (m)	PIEZOMETRO	NUMERO CELLE	NOME / profondità celle (m)		SOGGIACENZA (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s.l.m.)
S1	2	22/03/2019	SI	30.00						
S2	2	22/03/2019			Casagrande	2	Pz2c1	9.00	n.p.	n.p.
							Pz2c2	29.50	n.p.	n.p.
S3	2	22/03/2019	SI	30.00						
S4	2	22/03/2019			Casagrande	2	Pz4c1	15.50	n.p.	n.p.
							Pz4c2	22.50	n.p.	n.p.
S5	2	22/03/2019	SI	30.00						
S6	2	22/03/2019			Casagrande	2	Pz6c1	13.50	n.p.	n.p.
							Pz6c2	27.00	19.00	213.50

Tabella 3 - Rilievi eseguiti nelle installazioni e misure di falda acquisite (Rilievo 2).

NOME SONDAGGIO	NUMERO RILIEVO	Data misura	INCLINOMETRO	profondità inclinometro (m)	PIEZOMETRO	NUMERO CELLE	NOME / profondità celle (m)		SOGGIACENZA (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s.l.m.)
S1	3	26/08/2019	SI	30.00						
S2	3	26/08/2019			Casagrande	2	Pz2c1	9.00	n.p.	n.p.
							Pz2c2	29.50	29.00	181.20
S3	3	26/08/2019	SI	30.00						
S4	3	26/08/2019			Casagrande	2	Pz4c1	15.50	n.p.	n.p.
							Pz4c2	22.50	n.p.	n.p.
S5	3	26/08/2019	SI	30.00						
S6	3	26/08/2019			Casagrande	2	Pz6c1	13.50	n.p.	n.p.
							Pz6c2	27.00	19.60	212.90

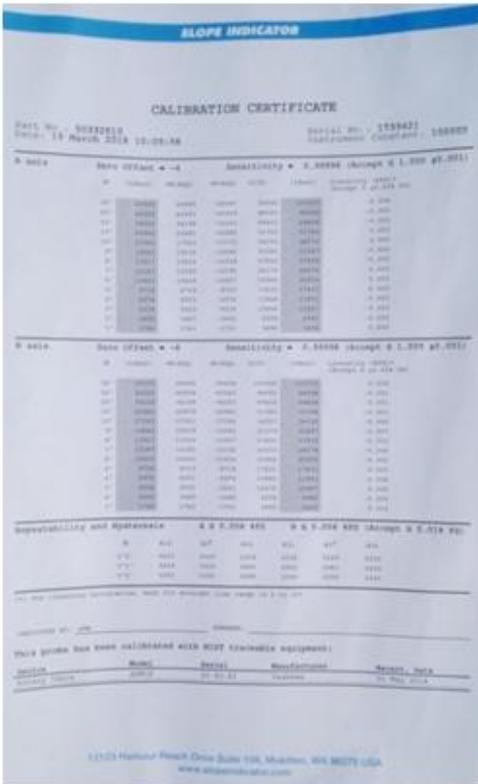
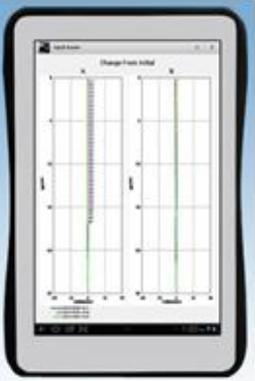
Tabella 4 - Rilievi eseguiti nelle installazioni e misure di falda acquisite (Rilievo 3).

NOME SONDAGGIO	NUMERO RILIEVO	Data misura	INCLINOMETRO	profondità inclinometro (m)	PIEZOMETRO	NUMERO CELLE	NOME / profondità celle (m)		SOGGIACENZA (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s.l.m.)
S1	4	11/12/2019	SI	30.00						
S2	4	11/12/2019			Casagrande	2	Pz2c1	9.00	n.p.	n.p.
							Pz2c2	29.50	29.00	181.20
S3	4	11/12/2019	SI	30.00						
S4	4	11/12/2019			Casagrande	2	Pz4c1	15.50	n.p.	n.p.
							Pz4c2	22.50	n.p.	n.p.
S5	4	11/12/2019	SI	30.00						
S6	4	11/12/2019			Casagrande	2	Pz6c1	13.50	n.p.	n.p.
							Pz6c2	27.00	19.30	213.20

Tabella 5 - Rilievi eseguiti nelle installazioni e misure di falda acquisite (Rilievo 4).

### 3.1 Modalità di acquisizione delle misure inclinometriche e struttura dei dati

La strumentazione removibile utilizzata per i rilievi inclinometrici è descritta nel dettaglio nella scheda seguente.

<b>STRUMENTAZIONE REMOVIBILE</b>																																								
<b>CARATTERISTICHE SONDA INCLINOMETRICA</b>																																								
		<table border="1"> <tr><td>Serial N.</td><td>1739421</td></tr> <tr><td>Costruttore</td><td>Slope Indicator</td></tr> <tr><td>Anno fabbricazione</td><td>2018</td></tr> <tr><td>Data calibrazione</td><td>30.05.2018</td></tr> <tr><td>Tipo di sonda</td><td>biassiale</td></tr> <tr><td>Sensori</td><td>MEMSx2</td></tr> <tr><td>Passo tra le ruote</td><td>500 mm</td></tr> <tr><td>Connettore per giunzione al cavo</td><td>Stagno (500 mm)</td></tr> <tr><td>Materiale sonda-rotelle</td><td>Acciaio inox</td></tr> <tr><td>Carrelli</td><td>Basculanti a due ruote</td></tr> <tr><td>Campo di misura</td><td>+/- 15°</td></tr> <tr><td>Accuratezza</td><td>0.01°</td></tr> <tr><td>Assetto azimutale</td><td>≤ 0.5°</td></tr> <tr><td>Risoluzione</td><td>0.001°</td></tr> <tr><td>Precisione totale minima</td><td>+/- 4mm (30 m tubo)</td></tr> <tr><td>Temperatura di esercizio</td><td>-20° +70°C</td></tr> <tr><td>Diametro (ruote escluse)</td><td>30 mm</td></tr> <tr><td>Costante sensore a Ka</td><td>10000</td></tr> <tr><td>Costante sensore b Kb</td><td>10000</td></tr> </table>	Serial N.	1739421	Costruttore	Slope Indicator	Anno fabbricazione	2018	Data calibrazione	30.05.2018	Tipo di sonda	biassiale	Sensori	MEMSx2	Passo tra le ruote	500 mm	Connettore per giunzione al cavo	Stagno (500 mm)	Materiale sonda-rotelle	Acciaio inox	Carrelli	Basculanti a due ruote	Campo di misura	+/- 15°	Accuratezza	0.01°	Assetto azimutale	≤ 0.5°	Risoluzione	0.001°	Precisione totale minima	+/- 4mm (30 m tubo)	Temperatura di esercizio	-20° +70°C	Diametro (ruote escluse)	30 mm	Costante sensore a Ka	10000	Costante sensore b Kb	10000
		Serial N.	1739421																																					
Costruttore	Slope Indicator																																							
Anno fabbricazione	2018																																							
Data calibrazione	30.05.2018																																							
Tipo di sonda	biassiale																																							
Sensori	MEMSx2																																							
Passo tra le ruote	500 mm																																							
Connettore per giunzione al cavo	Stagno (500 mm)																																							
Materiale sonda-rotelle	Acciaio inox																																							
Carrelli	Basculanti a due ruote																																							
Campo di misura	+/- 15°																																							
Accuratezza	0.01°																																							
Assetto azimutale	≤ 0.5°																																							
Risoluzione	0.001°																																							
Precisione totale minima	+/- 4mm (30 m tubo)																																							
Temperatura di esercizio	-20° +70°C																																							
Diametro (ruote escluse)	30 mm																																							
Costante sensore a Ka	10000																																							
Costante sensore b Kb	10000																																							
<b>CARATTERISTICHE CAVO E SOFTWARE</b>																																								
		<table border="1"> <tr><td colspan="2"><b>Cavo</b></td></tr> <tr><td>Tipo di cavo</td><td>Kevlar</td></tr> <tr><td>Lunghezza</td><td>100 m</td></tr> <tr><td>Errore metratura</td><td>&lt; 2.5 cm su 50 m</td></tr> <tr><td colspan="2"><b>Software acquisizione</b></td></tr> <tr><td>Digitilt Reader App</td><td>Number of inclinometers and surveys is limited only by device memory. Maximum depth 300m or 1000 ft. Depth intervals are multiples of 0.5m or 2 ft</td></tr> <tr><td>DigiPro2 Software</td><td>DigiPro2 software manages inclinometer data, generates plots and reports, and provides corrections for systematic errors.</td></tr> </table>	<b>Cavo</b>		Tipo di cavo	Kevlar	Lunghezza	100 m	Errore metratura	< 2.5 cm su 50 m	<b>Software acquisizione</b>		Digitilt Reader App	Number of inclinometers and surveys is limited only by device memory. Maximum depth 300m or 1000 ft. Depth intervals are multiples of 0.5m or 2 ft	DigiPro2 Software	DigiPro2 software manages inclinometer data, generates plots and reports, and provides corrections for systematic errors.																								
		<b>Cavo</b>																																						
Tipo di cavo	Kevlar																																							
Lunghezza	100 m																																							
Errore metratura	< 2.5 cm su 50 m																																							
<b>Software acquisizione</b>																																								
Digitilt Reader App	Number of inclinometers and surveys is limited only by device memory. Maximum depth 300m or 1000 ft. Depth intervals are multiples of 0.5m or 2 ft																																							
DigiPro2 Software	DigiPro2 software manages inclinometer data, generates plots and reports, and provides corrections for systematic errors.																																							

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 27 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

Al fine di accertarsi che il tubo-guida non avesse problemi, l'inserimento della sonda è stato preceduto da una verifica dell'assenza di eventuali ostacoli, torsioni o rotture del foro attraverso la discesa di una "sonda-testimone" che è stata inserita in andata ed in uscita lungo tutta la profondità del tubo inclinometrico.

All'interno dei tubi di indagine è stato poi inserito il trasduttore inclinometrico il quale, traslando lungo le apposite guide, rileva l'inclinazione del tubo. Una volta calata la sonda nel foro è importante ricordare che devono essere attesi alcuni minuti per la stabilizzazione termica; tale operazione può richiedere dai 5 ai 25 minuti a seconda delle differenze termiche fra l'ambiente esterno e l'interno foro (maggiore nei mesi estivi e minore nei mesi invernali).

La lettura inclinometrica consiste nel rilevare, a intervalli costanti di profondità partendo da fondo foro, le deviazioni fra l'asse della sonda e la verticale; dalle inclinazioni si risale direttamente agli spostamenti orizzontali del terreno nel tempo. La sonda viene calata con le ruote lungo il piano della direzione principale di movimento; tale piano definisce l'asse "A" mentre quello ortogonale definisce l'asse "B".

Fissate le rotelle di riferimento, sono stati definiti gli assi A e B in direzione e segno opposti; per convenzione, lungo l'asse principale, A+ (A0) indica la direzione più prossima alla massima inclinazione del versante, ovvero alla probabile direzione di movimento della frana mentre A- (A180) in direzione opposta. La sonda inclinometrica va inserita nel tubo in modo tale che la rotella superiore, corrispondente al canale A+, coincida con la scanalatura-guida posta più prossima alla massima inclinazione del versante (A0).

Le letture vengono effettuate ogni metro come da STMA010RE01ICI1. Una volta ultimate le letture inclinometriche per tutta la lunghezza del foro, la lettura viene ripetuta ruotando la sonda di 180° rispetto alla lettura precedente (Figura 1).

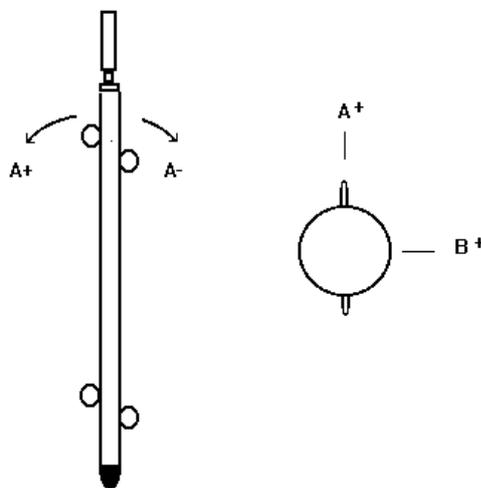


Figura 1 - Definizione degli assi A e B in direzione e segno.

### 3.1.1 Elaborazione e restituzione dei dati

Le misure effettuate sono stata elaborate con l'obiettivo di verificarne l'affidabilità e quindi di descrivere la geometria delle installazioni fisse e gli spostamenti eventuali lungo la lunghezza.

La letteratura esistente in materia, prodotta in gran parte dalla compagnia statunitense Slope Indicator, riporta che, per una installazione inclinometrica standard di 30 m di lunghezza, sottoposta a letture incrementali con passo di 0,5 m, l'accuratezza del sistema è di circa  $\pm 8$  mm (Figura 2). In presenza di installazioni perfettamente verticali e prive di eccessiva curvatura è possibile tendere all'obiettivo massimo di un errore attorno a  $\pm 1,5$  mm ogni 30 m.

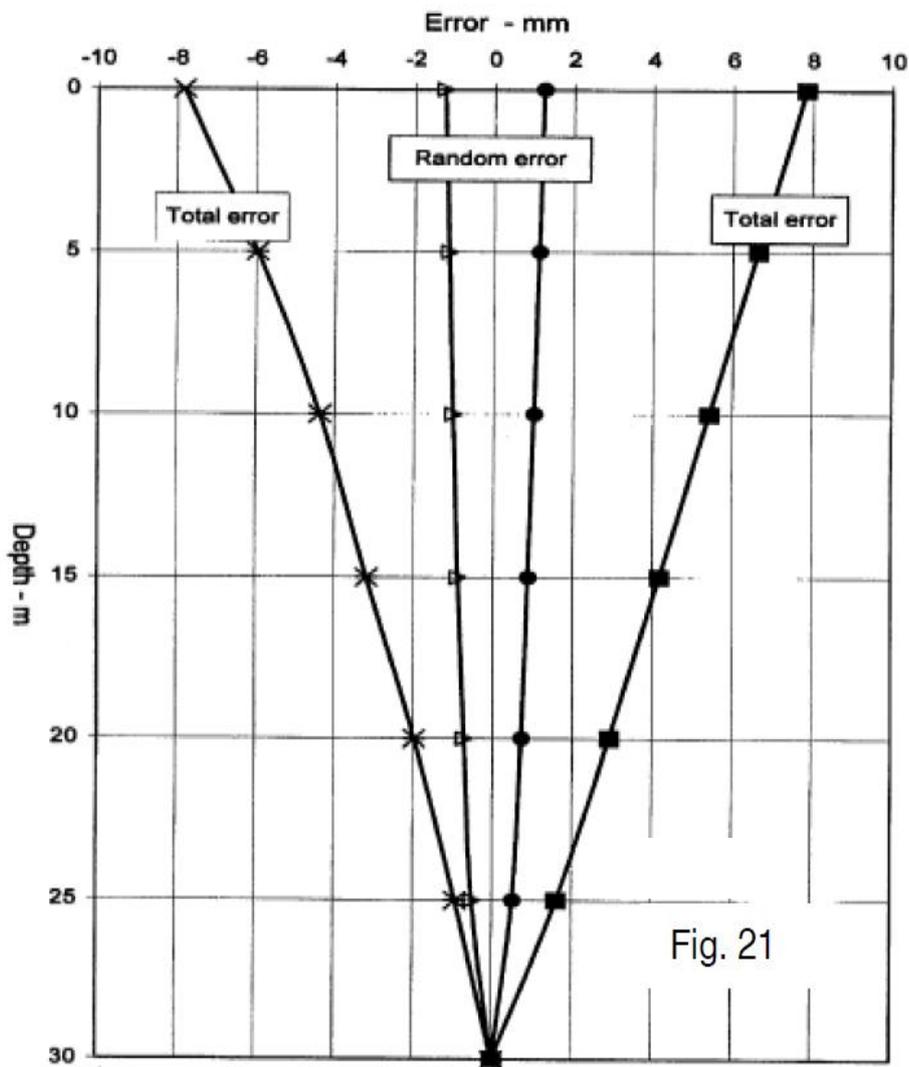


Figura 2 - Accuratezza del sistema: Il valore di accuratezza pari a  $\pm 8$  mm è considerato cautelativo e deriva dalla somma del contributo degli errori di tipo "random" e di quelli a carattere sistematico.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 29 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Gli errori random sono imputabili alla somma del contributo di una lunga serie di fattori che vanno dalle caratteristiche costruttive dei vari componenti della sonda (servo-accelerometri, connettori, rotelle), del cavo (tacche di riferimento, allungamento), della centralina di acquisizione (taratura, temperatura di esercizio) e del tubo inclinometrico (inclinazione, parallelismo delle guide, curvatura, ecc.). Va detto che, per lo più, questo tipo di errore tende a rimanere costante in tutte le serie di misure eseguite nella medesima installazione ed il suo valore può essere assimilato al limite di precisione massimo raggiungibile.

Gli errori sistematici, invece, tendono a variare fra una campagna di misure e le altre e possono essere generati da uno dei seguenti fattori, o dalla loro combinazione:

- errore di "scostamento" della sonda o errore di "non zero" (*bias-shift*);
- deriva di sensibilità della sonda;
- rotazione dell'allineamento del sensore;
- errori di posizionamento di profondità.

Questi errori possono essere anche corretti, quando se ne comprende l'origine, a seguito di un'attenta analisi dei dati.

Per verificare la rispondenza dei dati ai criteri di accettabilità occorre che i dataset vengano sottoposti ad un processo di refertazione. In tale contesto la "checksum" rappresenta un termine di grande importanza nel processo di analisi ed elaborazione delle misure e viene definita come la somma delle opposte letture (es. A0 + A180) rilevate allo stesso intervallo di profondità. Nei casi reali il *checksum* presenta un comportamento differente da quello teorico in quanto, come già detto, le misure di campagna sono affette da "condizioni" che vanno ad incidere sulla grandezza misurata cosicché all'interno del dataset, per le diverse profondità di lettura, non viene mantenuto costante il valore di *bias* ma si verifica una variazione dello stesso. Ciò non è necessariamente un segnale della presenza di un errore, ma importante che non vi siano valori anomali entro il dataset: il grafico del *checksum* deve assumere, infatti, un profilo grossomodo verticale, senza eccessive oscillazioni. Per quanto attiene il parametro di scostamento dei valori di *checksum*, la letteratura esistente in materia stabilisce che, affinché una lettura inclinometrica sia accettabile, i valori di *checksum* per l'asse A devono essere compresi fra  $\pm 10$  digit rispetto al valore medio delle *checksum* per questo asse. Per quanto attiene l'asse B l'intervallo di ammissibilità è doppio, cioè  $\pm 20$  digit rispetto al valore medio delle *checksum* per questo asse. Relativamente al parametro di scostamento della deviazione standard, invece, la letteratura riporta che i valori di deviazione standard delle *checksum* sui due assi dovrebbero essere compresi fra 3-5 unità rispetto al valore di deviazione standard dell'asse omologo per la lettura di zero.

Tali valori sono riportati nei "grafici diagnostici" di ogni lettura dove una tabella riassuntiva mostra i valori di interesse per il *checksum* relativamente ad ogni lettura e, per le letture di esercizio, relativamente alla lettura 0 (*difference checksum*).

Sono tollerabili scostamenti del valore di *checksum* rispetto alla media, superiori rispetto ai *range* sopra esplicitati (asse A ,asse B) solo qualora venga dimostrato che essi sono determinati dalla presenza di un numero di picchi inferiore al 10% del numero degli intervalli di lettura e che, in ogni caso, sia acclarato che la presenza di tali anomalie non inficia la qualità generale della lettura.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 30 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

Le risultanze delle campagne di misura sono restituite attraverso i seguenti grafici:

### MISURA DI RIFERIMENTO e MISURE DI ESERCIZIO

GRAFICI DIAGNOSTICI	
DEVIAZIONE INCREMENTALE (TILT)	Questo grafico rappresenta gli spostamenti laterali della tubazione per ciascun intervallo di letture. Idealmente la tubazione dovrebbe essere in condizione di perfetta verticalità. Maggiori sono gli scostamenti dalla verticale e maggiore è la curvatura della tubazione. Gli scostamenti dalla verticale sono potenziali cause della formazione di errori di posizionamento dei livelli di lettura della sonda, perciò tali grafici vengono utilizzati per verificare la presenza di questa tipologia di errore ( <i>depth error</i> ).
DEVIAZIONE CUMULATIVA (PROFILE)	Questo grafico mostra il profilo del tubo inclinometrico rispetto alla verticale. Dato che l'inclinazione della tubazione può contribuire alla generazione degli errori sistematici, il grafico della deviazione cumulativa viene utilizzato per la diagnosi e la correzione degli errori di "rotazione" ( <i>rotation errors</i> ). Il grafico viene anche utilizzato per verificare la verticalità del foro ai fini dell'accettabilità dello stesso, che come già anticipato non può superare il 2,5 %.
CHECKSUM	Questo grafico mostra il valore del <i>checksum</i> per ogni intervallo di lettura. questo grafico elimina gli "elementi caratteristici" della tubazione ed evidenzia i cambiamenti nel valore del <i>checksum</i> , che rappresentano potenziali fonti di errore nelle letture. Il campo di ammissibilità dei valori per questo parametro corrisponde a $\pm 10$ digit rispetto al valore medio per l'asse A e $\pm 20$ digit rispetto al valore medio per l'asse B.

### Solo MISURE DI ESERCIZIO

VERIFICA QUALITA' DEI DATI	
DIFFERENCE CHECKSUM	Mostra la differenza dei valori di <i>checksum</i> rispetto alla misura di riferimento e permette di avere una prima rapida stima sulla presenza eventuale di errori sistematici.
GRAFICI DI SPOSTAMENTO	
SPOSTAMENTO INCREMENTAL (TILT CHANGE)	Con questo grafico viene rappresentato il contributo "locale" dello spostamento ad ogni singolo intervallo di lettura riferito rispetto alla lettura di riferimento. Il grafico riesce a fornire una rappresentazione evidente dello spostamento puntuale e della profondità alla quale questo si verifica: esso è solitamente ben marcato da un picco. Il grafico degli spostamenti incrementali minimizza gli errori sistematici, poiché il valore rappresentato è affetto unicamente dalla frazione di errore riferito alla quota corrispondente.
SPOSTAMENTO CUMULATIVO (PROFILE CHANGE)	Il grafico rappresenta lo spostamento totale per ciascuna serie di letture, riferite alla misura di zero. Su distinti grafici vengono espresse le componenti di spostamento lungo i due assi principali A e B. Questo grafico consente di evidenziare in maniera palese la presenza di un piano di scivolamento e la relativa quota, ove esso sia presente. E' anche possibile che, in luogo di un piano netto, venga rappresentata una zona di taglio ( <i>shear zone</i> ), caratterizzata da un andamento curvo piuttosto che da un piano netto; in tal caso occorre un'attenta verifica sul dataset poiché anche la presenza di errori sistematici cumulati può determinare tale forma, simulando uno spostamento. In linea generale, ogni volta che il grafico rappresenta curve con forme anomale, fortemente inclinate e molto disperse, occorre procedere ad una valutazione della validità del dataset ed alla ricerca di eventuali errori sistematici.

I dati delle acquisizioni effettuate in campo per ogni inclinometro, relativi alla prima misura o lettura zero (MIS.000) saranno restituiti attraverso una scheda descrittiva dell'inclinometro e dell'acquisizione, una tabella riassuntiva contenente i dati raccolti e i 3 grafici per ogni asse sopra descritti.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 31 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

La scheda descrittiva è così strutturata:

#### INFORMAZIONI GENERALI INCLINOMETRO

- Progetto: nome del progetto
- Committente: nome del committente
- Cantiere: area di lavoro
- Comune (Prov.): comune e provincia in cui si trova l'installazione
- Zona: zona di appartenenza all'interno dell'area mineraria
- Distretto franoso: distretto franoso di appartenenza
- Inclino metro: identificativo dell'installazione
- Lettura: progressivo della lettura inclinometrica
- Anno installazione: anno d'installazione dell'inclinometro

#### CARATTERISTICHE INSTALLAZIONE

- Orientazione guida rif.: disegno raffigurante l'orientazione della guida di riferimento rispetto al Nord
- Lunghezza tubo [m]: lunghezza in metri del tubo inclinometrico
- h boccaforo [m]: altezza boccaforo dal suolo
- $\Phi$  interno [mm]: diametro interno del tubo
- Materiale: materiale di cui è costituito il tubo
- AZIMUT guida riferimento [°]: direzione della guida di riferimento A0 rispetto al Nord
- Tipo chiusura: aperto o chiuso
- COORDINATE [GAUSS BOAGA fuso W]: coordinate nel sistema Gauss Boaga

#### CARATTERISTICHE ACQUISIZIONE

- Operatore/i: operatore che ha eseguito il rilievo
- Data: data dell'acquisizione
- Cond. Meteo: condizioni meteo al momento dell'acquisizione
- Temperatura [°C]: temperatura al momento dell'acquisizione
- Procedura di lettura: senso di acquisizione delle letture con la sonda inclinometrica
- Prof. inizio letture [m]: profondità dalla quale inizia la rilevazione
- Passo di misura [m]: passo di acquisizione delle letture
- Livello acqua dal p.c. [m]: profondità falda
- Orario inserimento sonda: ora di inserimento della sonda nel tubo inclinometrico alla profondità di partenza
- Orario inizio rilevazioni: ora di inizio letture
- Tempo stabilizzazione termica: intervallo di tempo per stabilizzare la sonda

La tabella riassuntiva dei dati raccolti riporta esclusivamente i valori strumentali in digit acquisiti dai sensori sugli assi A e B ad ogni lettura. Tali valori sono riportati nell'Allegato Tecnico 02 doc. rif. [14] elaborato P41019GEOAT0201 - Tabelle dei dati strumentali di acquisizione delle letture inclinometriche.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 32 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Dai dati di acquisizione dello strumento sono stati elaborati, per ciascun inclinometro, i seguenti grafici descrittivi:

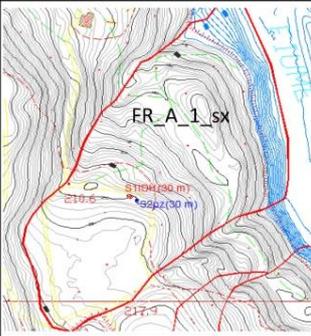
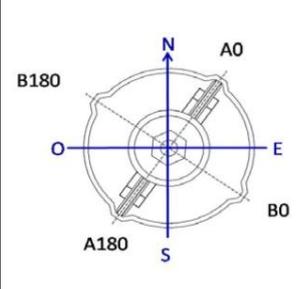
- grafico delle *checksum* per i valori del sensore A e del sensore B
- grafico dei valori di *tilt* per il sensore A e per il sensore B
- grafico dei valori di *profile* per il sensore A e per il sensore B
- grafico *difference checksum* per i valori del sensore A e del sensore B
- grafico dei valori di *tilt change* per il sensore A e per il sensore B
- grafico dei valori di *profile change* per il sensore A e per il sensore B.

## 3.2 Rilievi inclinometrici

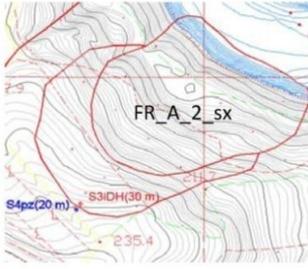
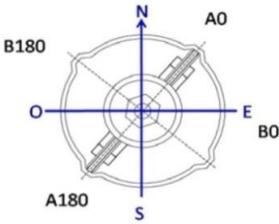
Nei paragrafi che seguono si riportano i dati di acquisizione dei rilievi inclinometrici ed i relativi grafici secondo quanto descritto nel Capitolo 3.1.

Le tabelle dei dati strumentali di acquisizione del Rilievo 1 sono forniti in apposito Allegato Tecnico (doc. rif. [14] P41019GEOAT0200) in grandezze adimensionali (digit).

### 3.2.1 Inclinometri – Schede monografiche

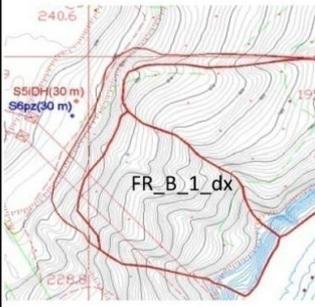
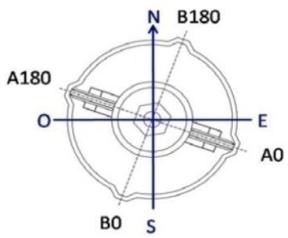
<b>Progetto</b>	Contratto di servizio per studio della riduzione del rischio idraulico del sopralzo della diga di Levane a fini di laminazione n. 8400135119 - Integrazione del quadro conoscitivo geologico, geotecnico geomeccanico e sismico		
<b>Committente</b>	ENEL GREEN POWER S.p.A.	<b>Inclinometro</b>	<b>I1</b>
<b>Cantiere</b>	Diga di Levane	<b>Lettura</b>	<b>000</b>
<b>Comune (Prov.)</b>	Montevarchi (AR)	<b>Data</b>	13/02/2019
<b>Zona</b>	Diga di Levane	<b>Data installazione</b>	08/01/2019
<b>Distretto franoso</b>	FR_A_1_sx		
CARATTERISTICHE INSTALLAZIONE			
<b>Orientazione guida rif.</b>	<b>Ubicazione</b>		
		<b>COORDINATE</b> [Gauss Boaga Roma 40 fuso ovesr, EPSG 3003]	X = 1712834.0 m Y = 4820602.3 Z = 210.2 m s.l.m.
		<b>LUNGHEZZA TUBO [m]</b>	29.5
		<b>h boccaforo [m]</b>	0.00
		<b>Materiale</b>	Al
		<b>Φ interno [mm]</b>	76
		<b>AZIMUT guida riferimento</b>	35
		<b>Tipo chiusura</b>	chiuso con lucchetto
			

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 33 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

<b>Progetto</b>	Contratto di servizio per studio della riduzione del rischio idraulico del sopralzo della diga di Levane a fini di laminazione n. 8400135119 - Integrazione del quadro conoscitivo geologico, geotecnico geomeccanico e sismico		
<b>Committente</b>	ENEL GREEN POWER S.p.A.	<b>Inclinometro</b>	<b>I3</b>
<b>Cantiere</b>	Diga di Levane	<b>Letture</b>	<b>000</b>
<b>Comune (Prov.)</b>	Montevarchi (AR)	<b>Data</b>	12/02/2019
<b>Zona</b>	Diga di Levane	<b>Data installazione</b>	16/01/2019
<b>Distretto franoso</b>	FR_A_2_sx		
CARATTERISTICHE INSTALLAZIONE			
Orientazione guida rif.	Ubicazione		
		<b>COORDINATE</b> [Gauss Boaga Roma 40 fuso oversr, EPSG 30031]	X= 1712902.3 m Y= 4820394.4 m Z= 229.9 m s.l.m.
		<b>LUNGHEZZA TUBO [m]</b>	29.5
		<b>h boccaforo [m]</b>	0.30
		<b>Materiale</b>	Al
		<b>Φ interno [mm]</b>	76
		<b>AZIMUT guida riferimento</b>	40°
		<b>Tipo chiusura</b>	chiuso con lucchetto
			

Il tubo inclinometrico ha una deviazione dalla verticale, misurata in testa, del 3.0% rispetto alla lunghezza totale (30 m) risultando leggermente al di fuori della tolleranza indicata dalle raccomandazioni ISRM 1994. Si ritiene tuttavia che tale modesta eccedenza non vada ad inficiare la validità delle misure eseguite.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 34 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

<b>Progetto</b>	Contratto di servizio per studio della riduzione del rischio idraulico del sopralzo della diga di Levane a fini di laminazione n. 8400135119 - Integrazione del quadro conoscitivo geologico, geotecnico geomeccanico e sismico		
<b>Committente</b>	ENEL GREEN POWER S.p.A.	<b>Inclinometro</b>	<b>15</b>
<b>Cantiere</b>	Diga di Levane	<b>Letture</b>	<b>000</b>
<b>Comune (Prov.)</b>	Terranuova (AR)	<b>Data</b>	13/02/2019
<b>Zona</b>	Diga di Levane	<b>Data installazione</b>	23/01/2019
<b>Distretto franoso</b>	FR_B_1_dx		
<b>CARATTERISTICHE INSTALLAZIONE</b>			
<b>Orientazione guida rif.</b>	<b>Ubicazione</b>		
		<b>COORDINATE</b> [Gauss Boaga Roma 40 fuso oversr, EPSG 3003]	X= 1713991.2 m Y= 4820962.3 m Z= 232.5 m s.l.m.
		<b>LUNGHEZZA TUBO [m]</b>	29.5
		<b>h boccaforo [m]</b>	0.00
		<b>Materiale</b>	Al
		<b>Φ interno [mm]</b>	76
		<b>AZIMUT guida riferimento</b>	110
		<b>Tipo chiusura</b>	aperto
			

Nel grafico delle Checksum lungo il canale A si evidenzia un problema, descritto nel testo, alla profondità di 26 m dal p.c. Il tubo inclinometrico ha una deviazione dalla verticale, misurata in testa, dello 0.55% rispetto alla lunghezza totale (30 m) risultando ampiamente dentro la tolleranza indicata dalle raccomandazioni ISRM 1994.

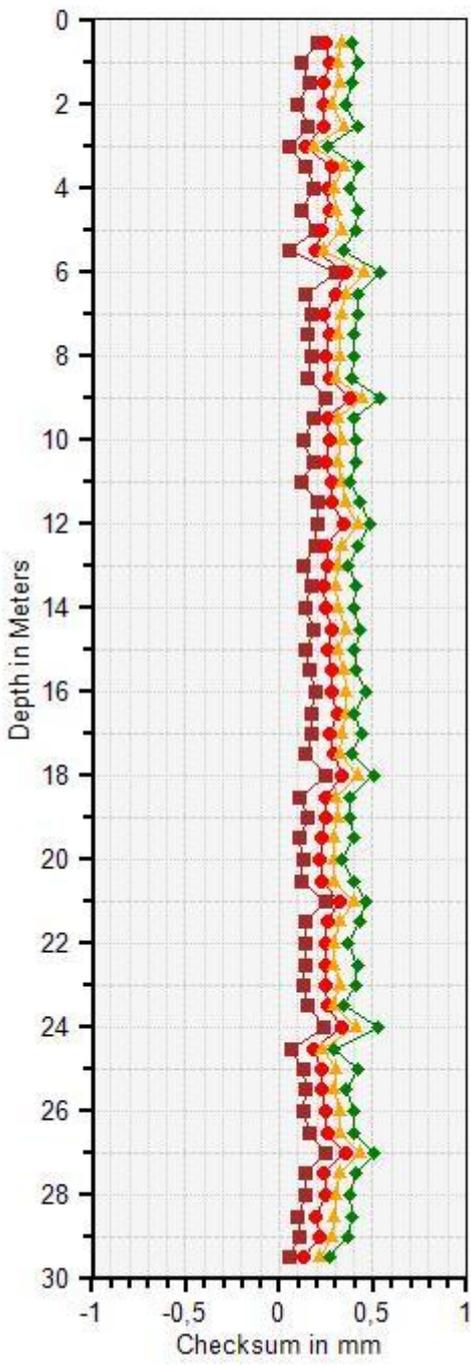
Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 35 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### 3.2.2 Inclinometro S1

<b>Data</b>	13/02/19	22/03/19	26/08/19	11/12/2019
<b>Cond. meteo</b>	sereno	soleggiato	variabile	Soleggiato
<b>Temperatura</b>	5°C	17°C	27°C	6°C
<b>Procedura di lettura</b>	dal basso	dal basso	dal basso	dal basso
<b>Passo di misura</b>	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
<b>Livello acqua dal p.c.</b>	27,4 m	29 m	29 m	29 m
<b>Orario inserimento sonda</b>	09:30	11:20	16:10	12:00
<b>Orario inizio acquisizioni</b>	10:00	11:35	16:25	16:15
<b>Tempo stabilizzazione termica</b>	30'	15'	15'	15'

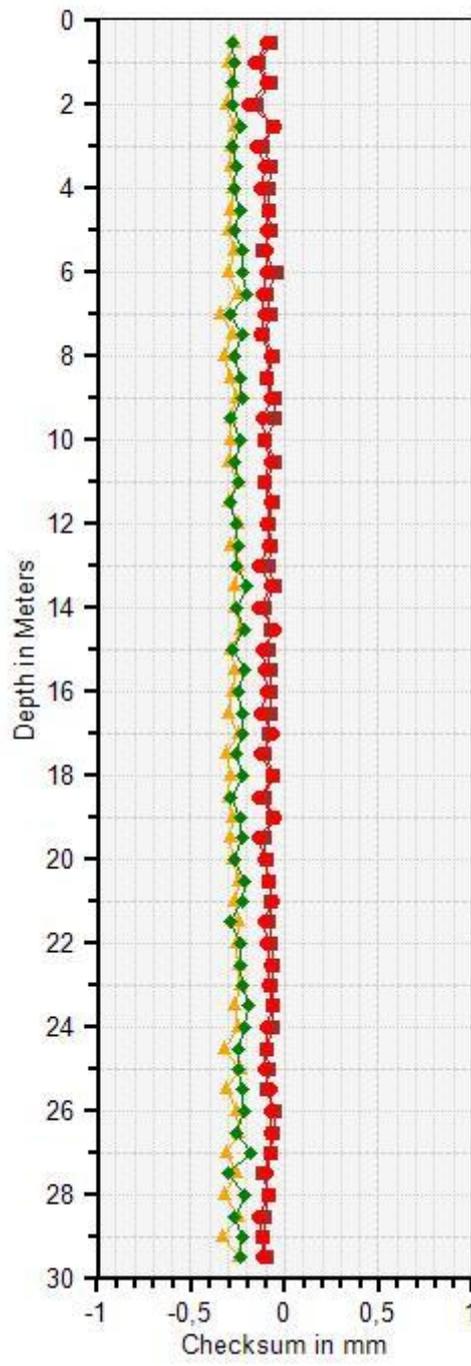
Levane LevaneS1 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



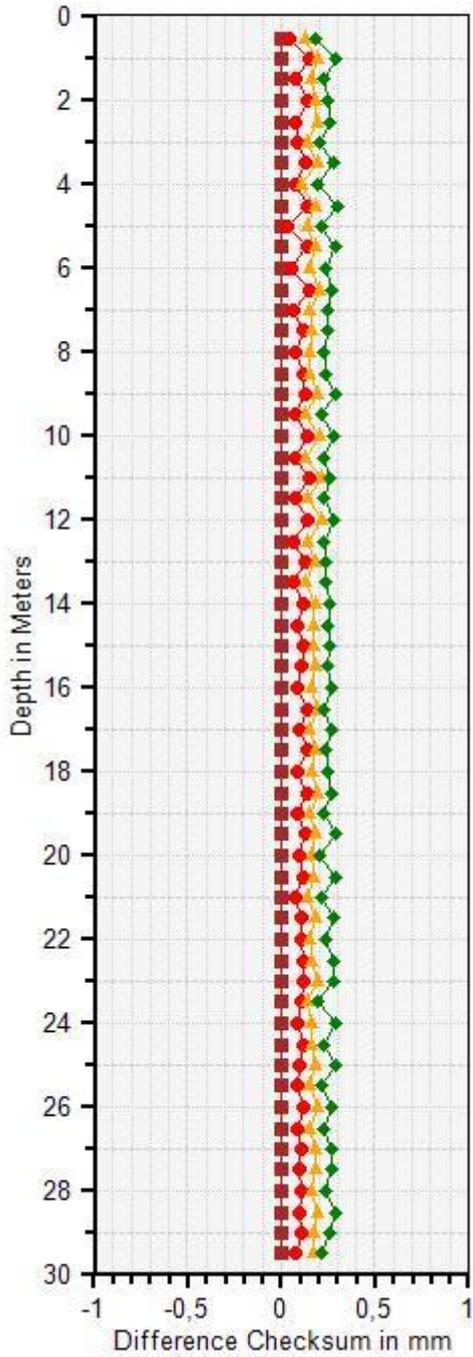
Levane LevaneS1 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



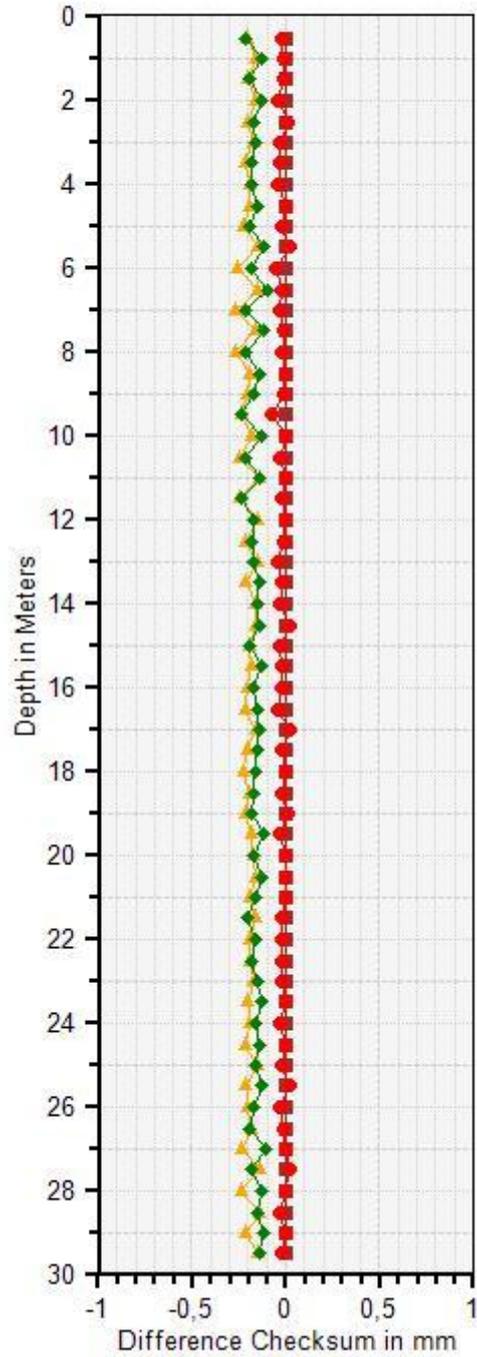
Levane LevaneS1 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



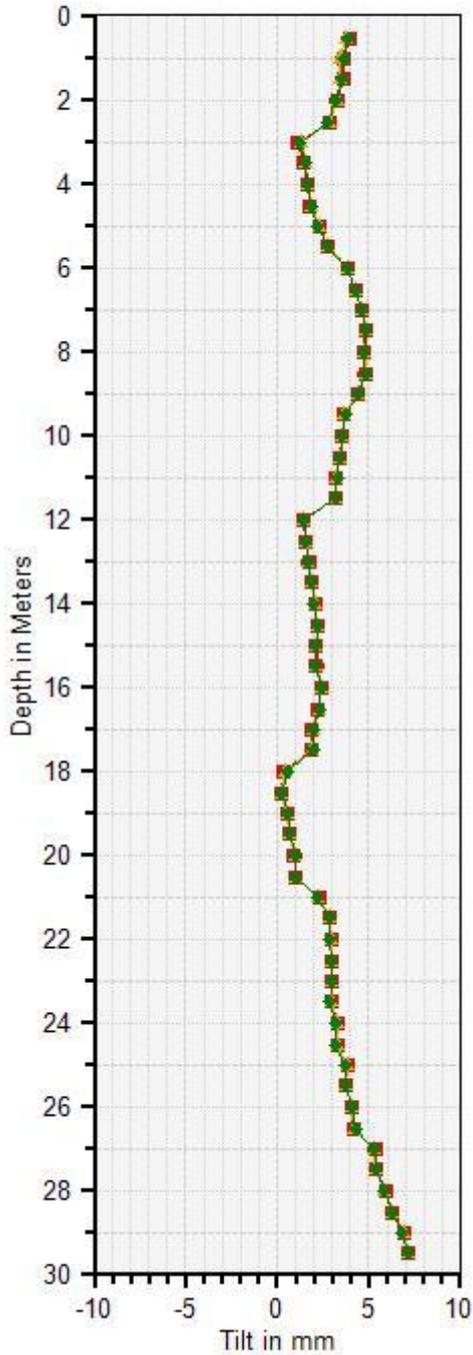
Levane LevaneS1 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



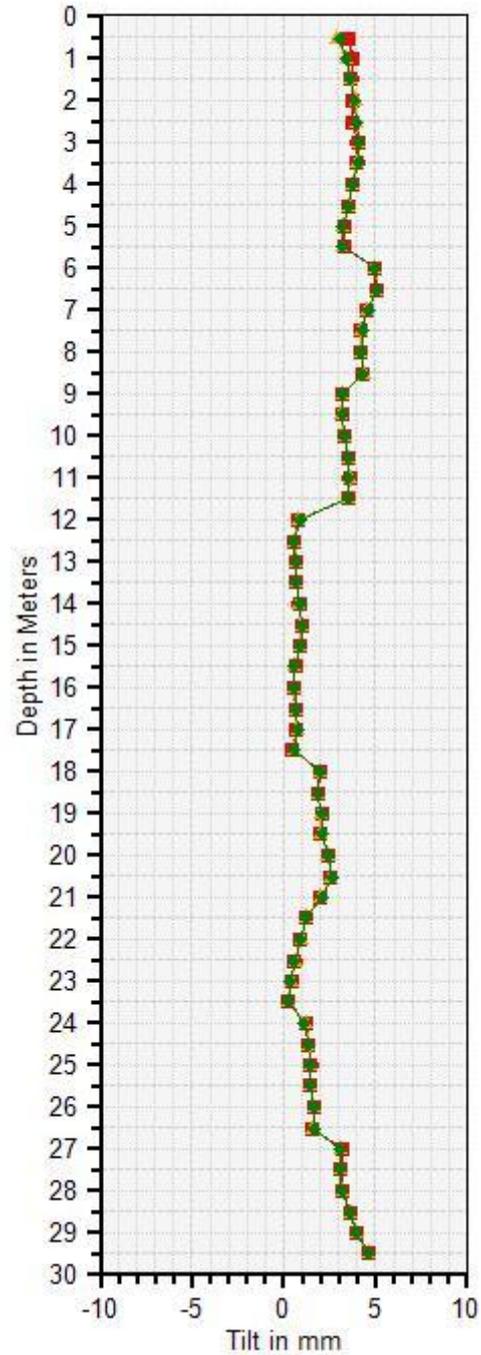
Levane LevaneS1 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



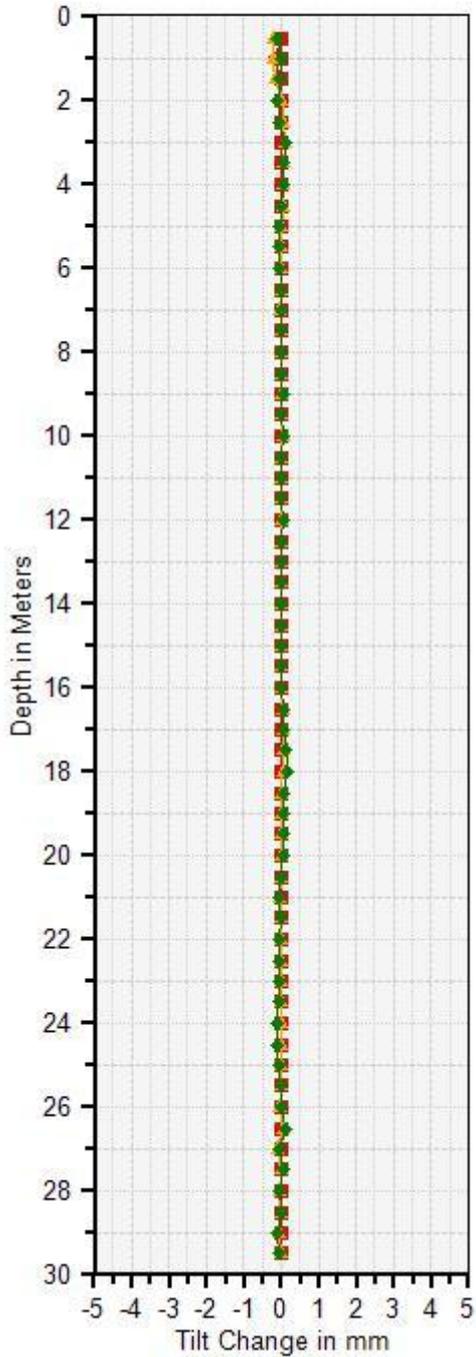
Levane LevaneS1 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



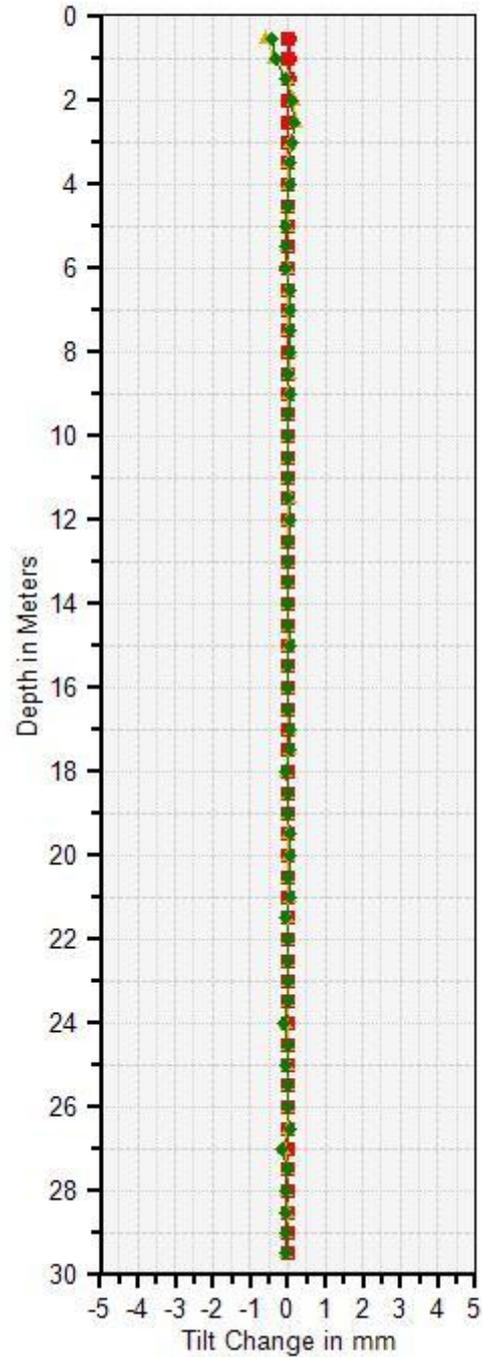
Levane LevaneS1 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



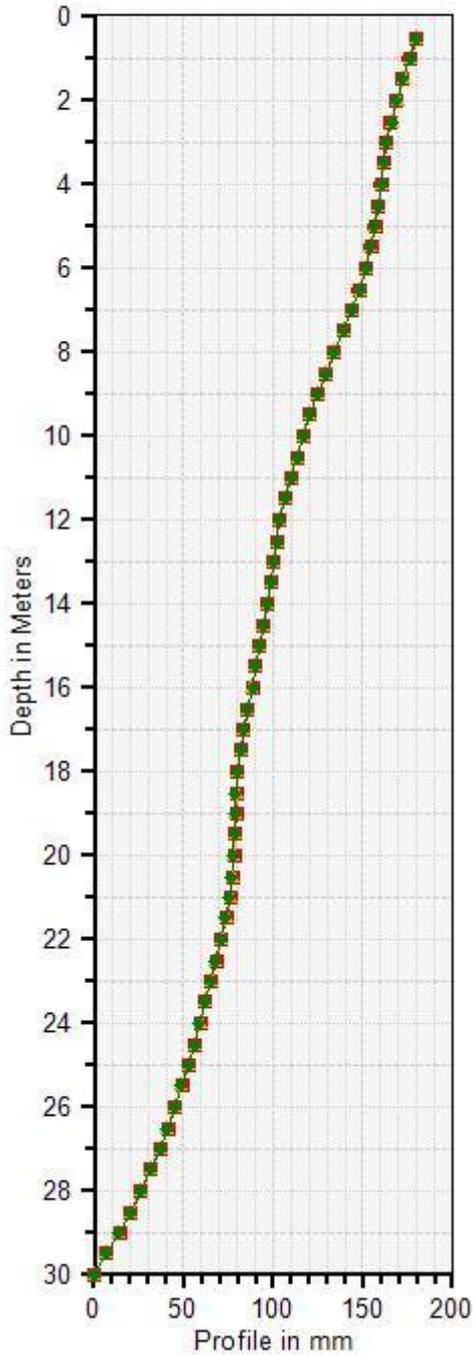
Levane LevaneS1 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



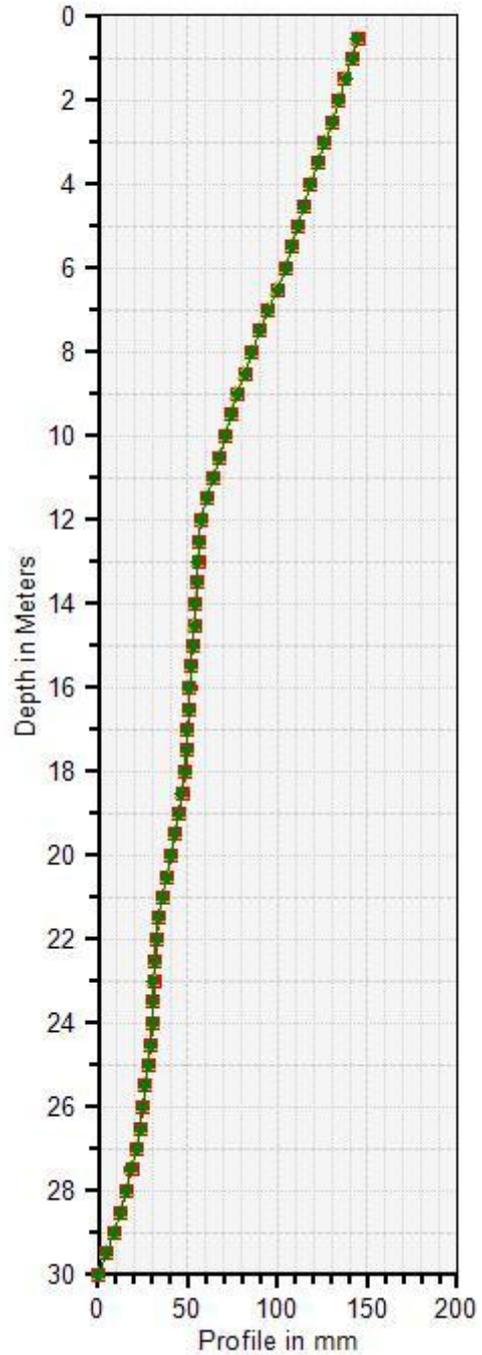
Levane LevaneS1 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



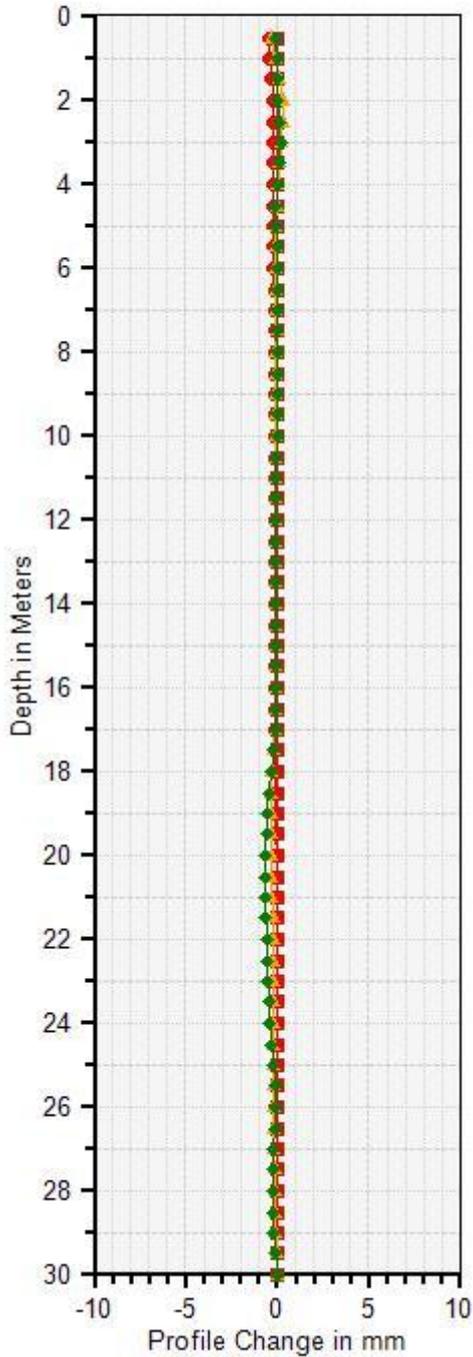
Levane LevaneS1 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



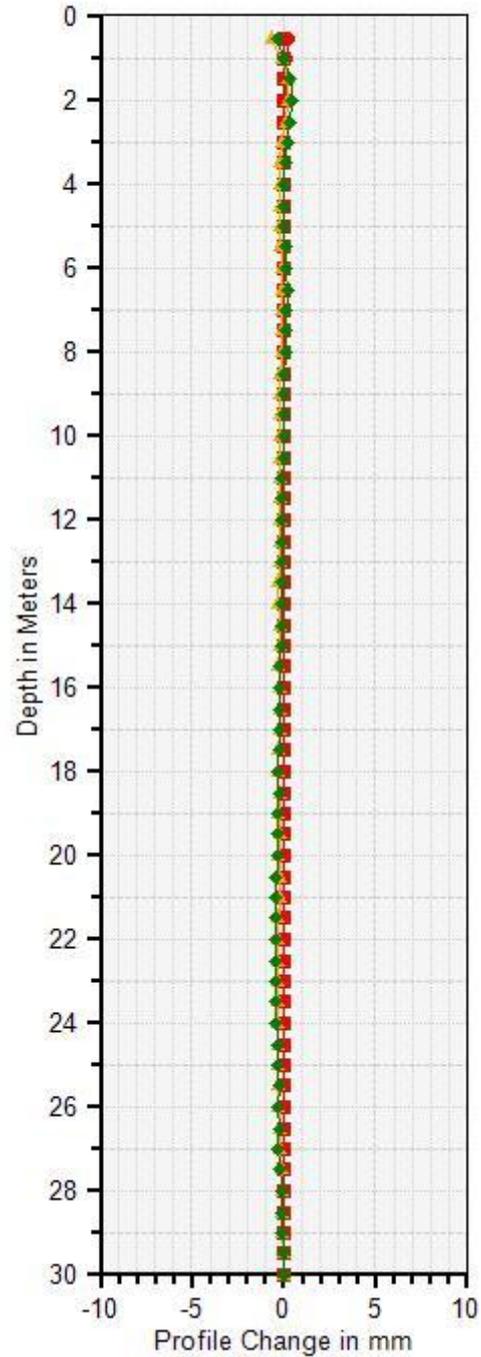
Levane LevaneS1 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



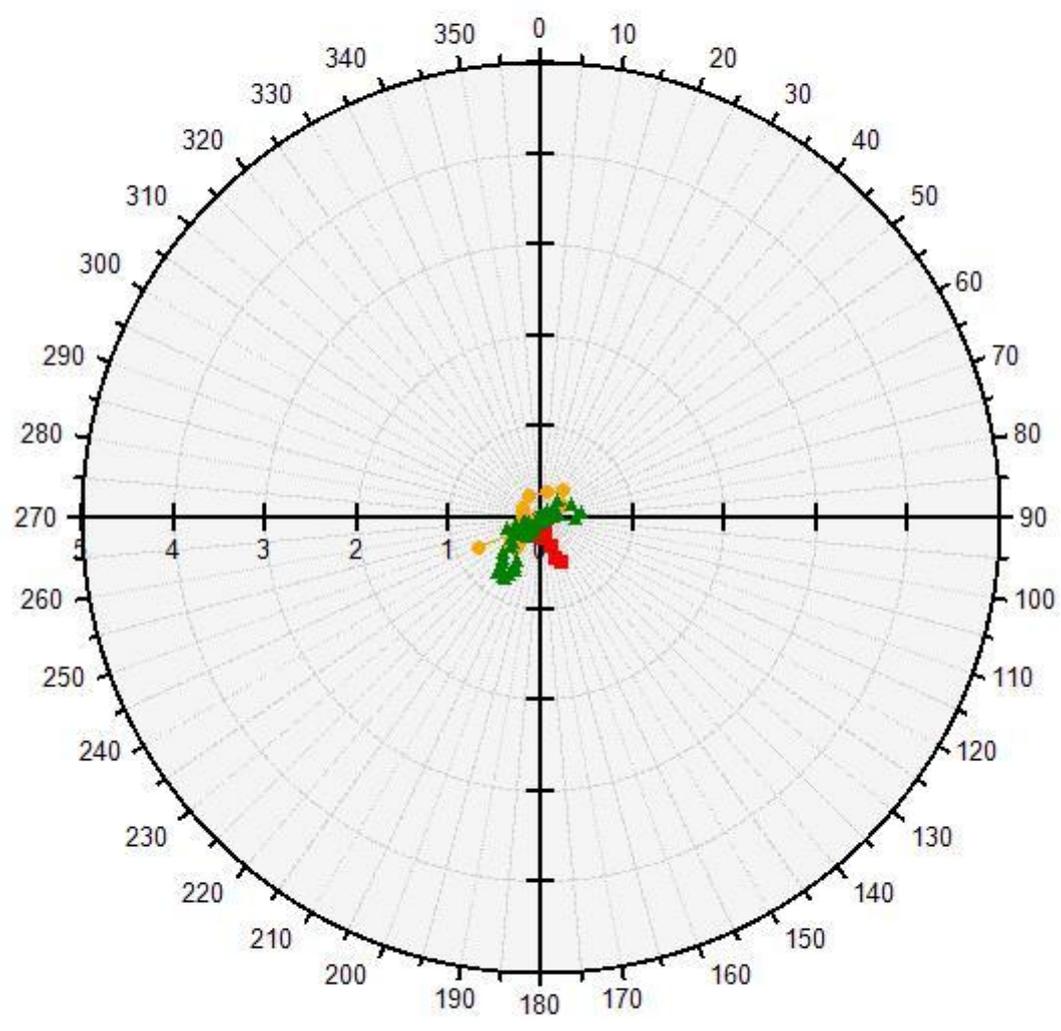
Levane LevaneS1 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



### Levane LevaneS1 Top View

■ 22/03/2019   ■ 26/08/2019   ■ 11/12/2019



Resultant Profile\_Change in mm

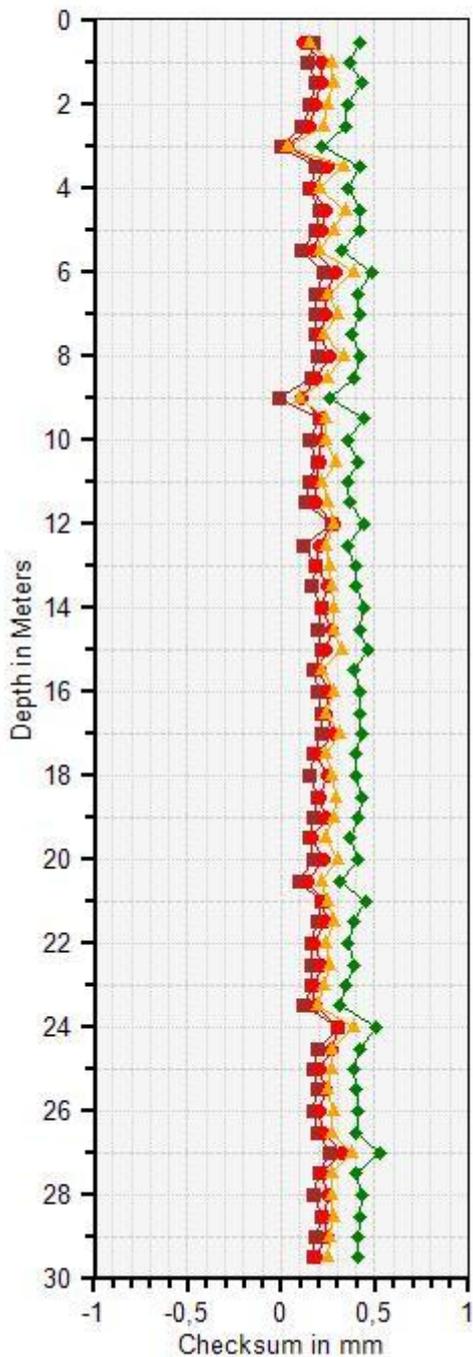
Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 <b>LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE</b>
pag. 43 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

### 3.2.3 Inclinometro S3

<b>Data</b>	12/02/19	22/03/19	26/08/19	11/12/19
<b>Cond. meteo</b>	sereno	soleggiato	variabile	soleggiato
<b>Temperatura</b>	8°C	17°C	27°C	6°C
<b>Procedura di lettura</b>	dal basso	dal basso	dal basso	dal basso
<b>Passo di misura</b>	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
<b>Livello acqua dal p.c.</b>	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto
<b>Orario inserimento sonda</b>	10:50	10:15	16:20	11:00
<b>Orario inizio acquisizioni</b>	11:05	11:30	15:35	11:15
<b>Tempo stabilizzazione termica</b>	15'	15'	15'	15'

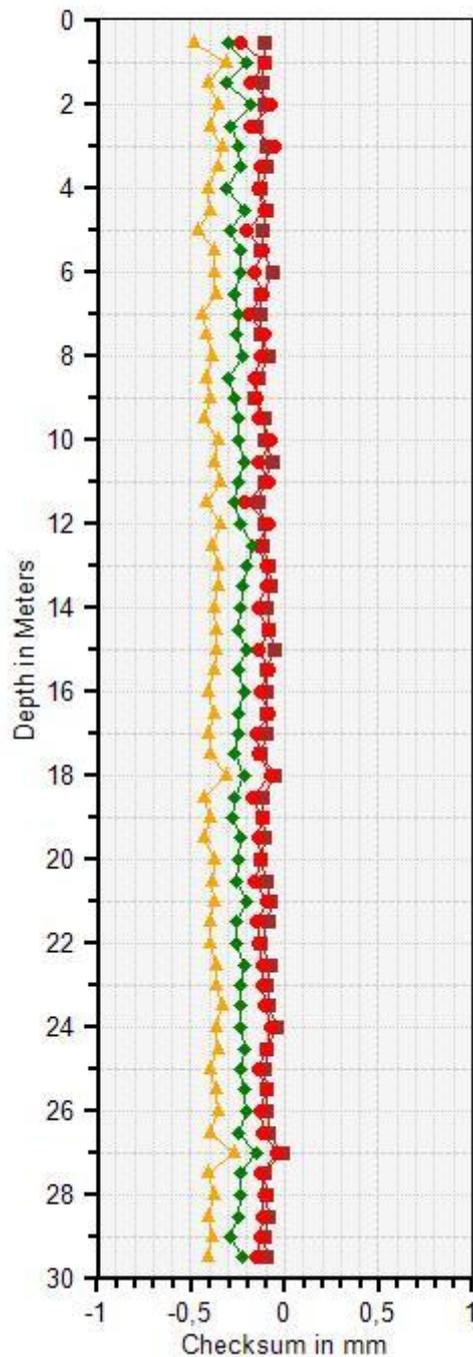
Levane S3 A

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



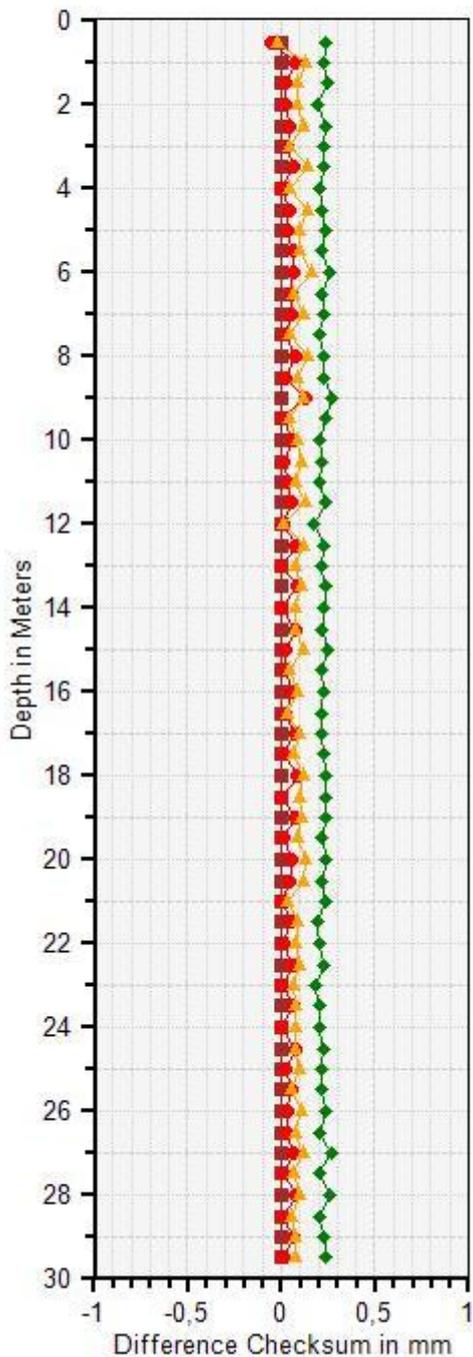
Levane S3 B

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



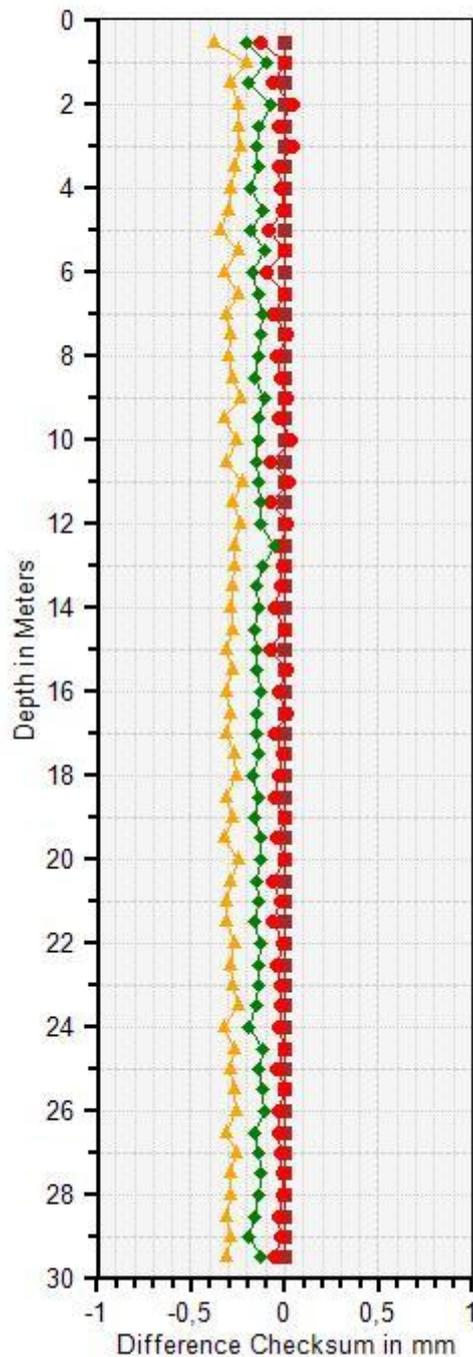
Levane S3 A

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



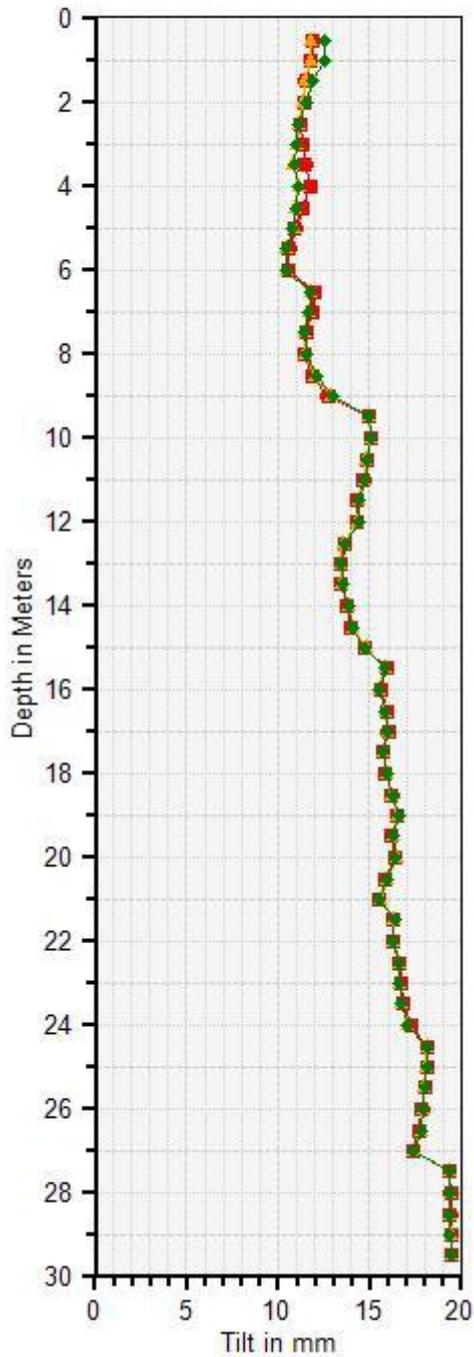
Levane S3 B

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



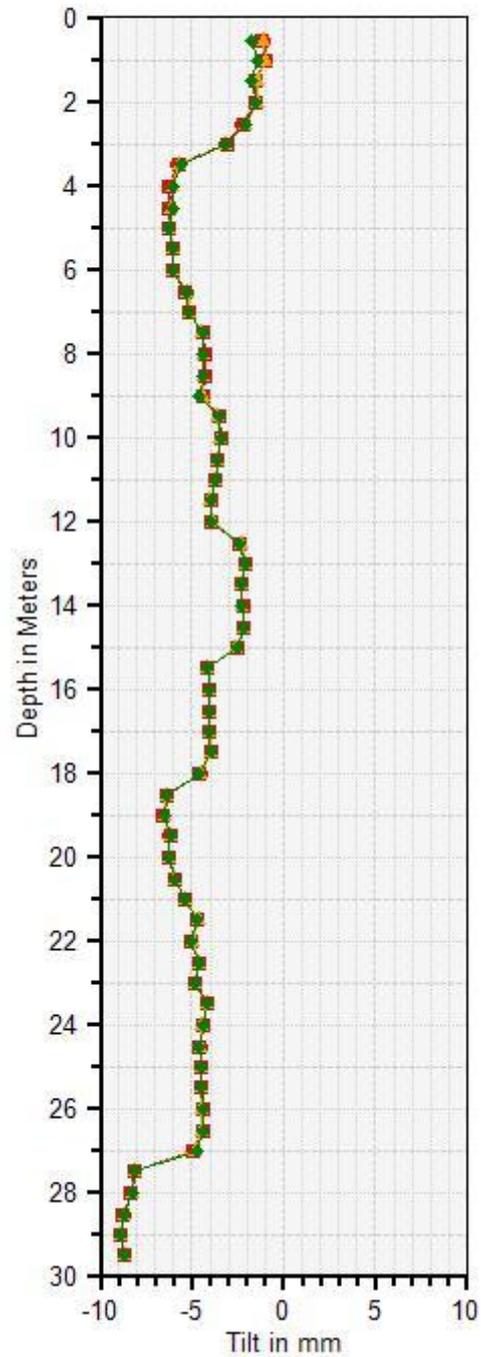
Levane S3 A

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



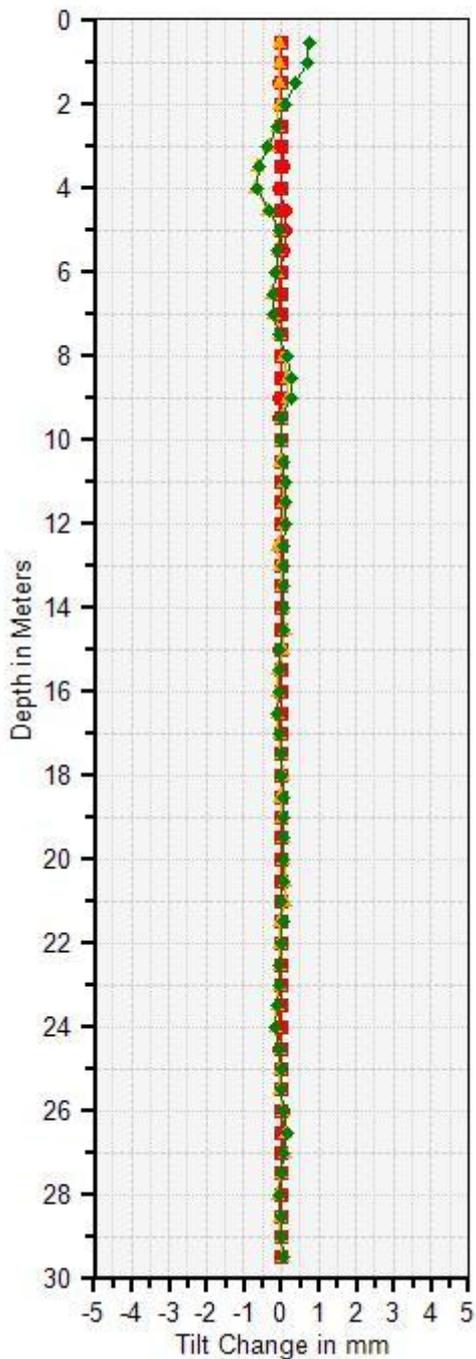
Levane S3 B

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



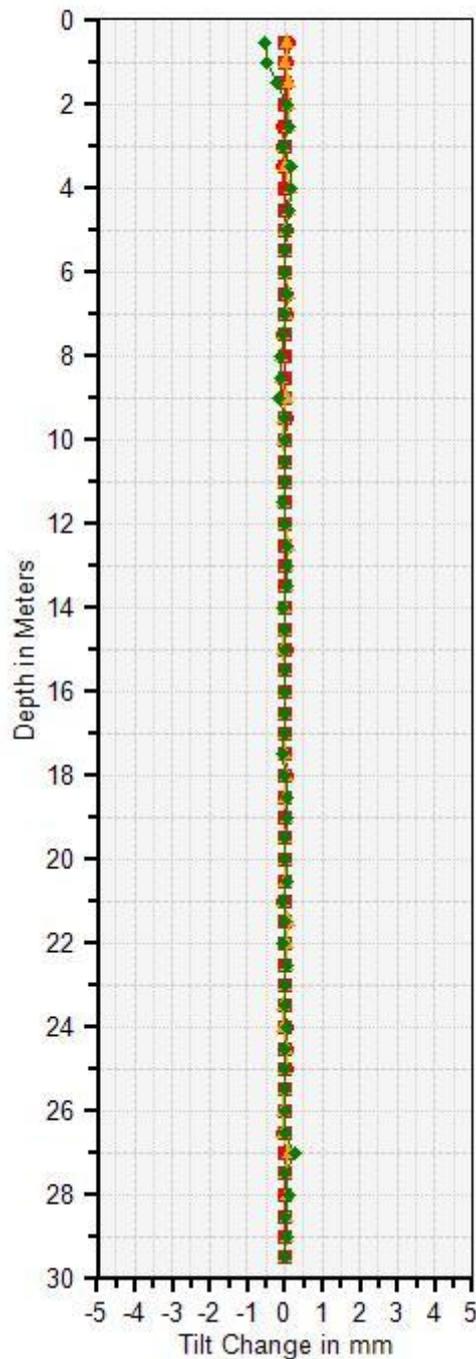
Levane S3 A

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



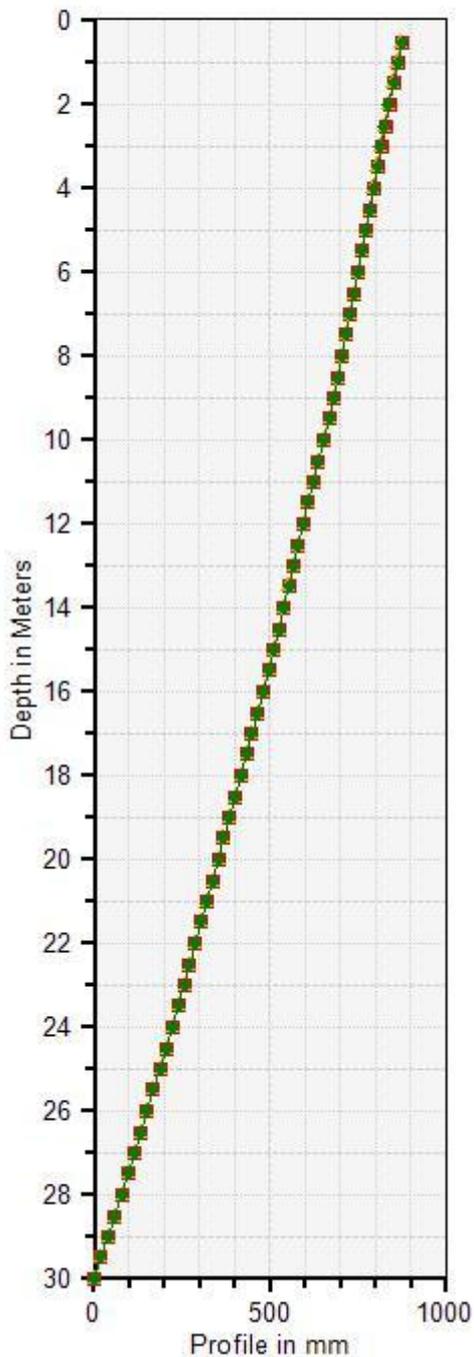
Levane S3 B

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



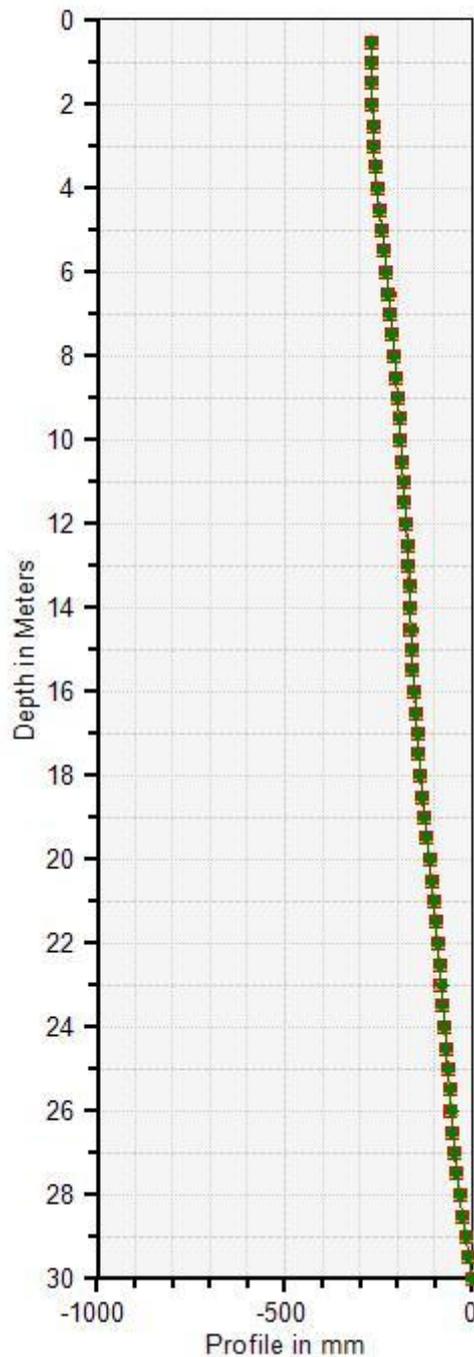
Levane S3 A

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



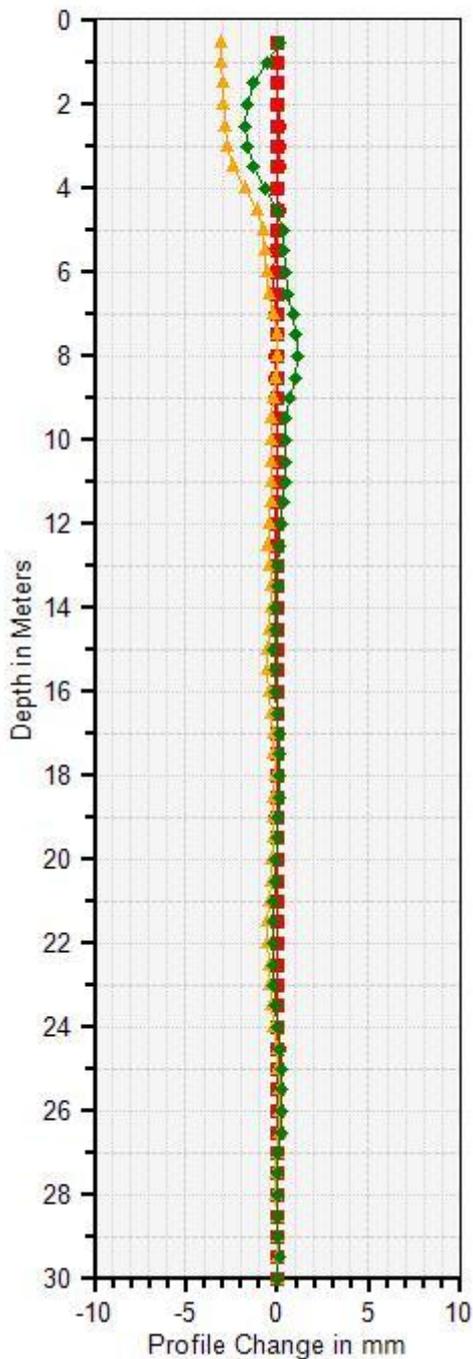
Levane S3 B

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



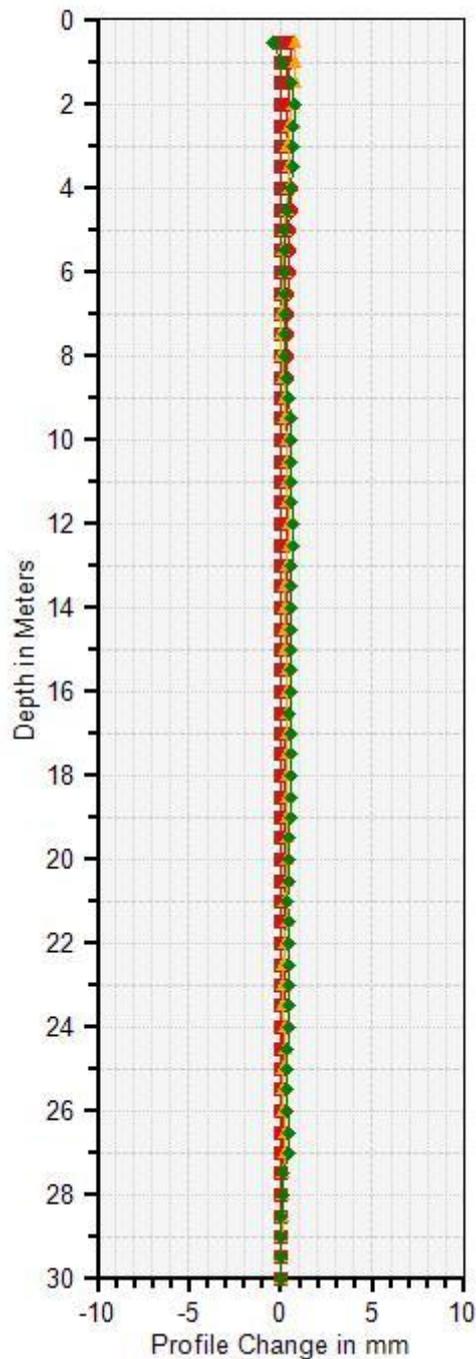
Levane S3 A

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



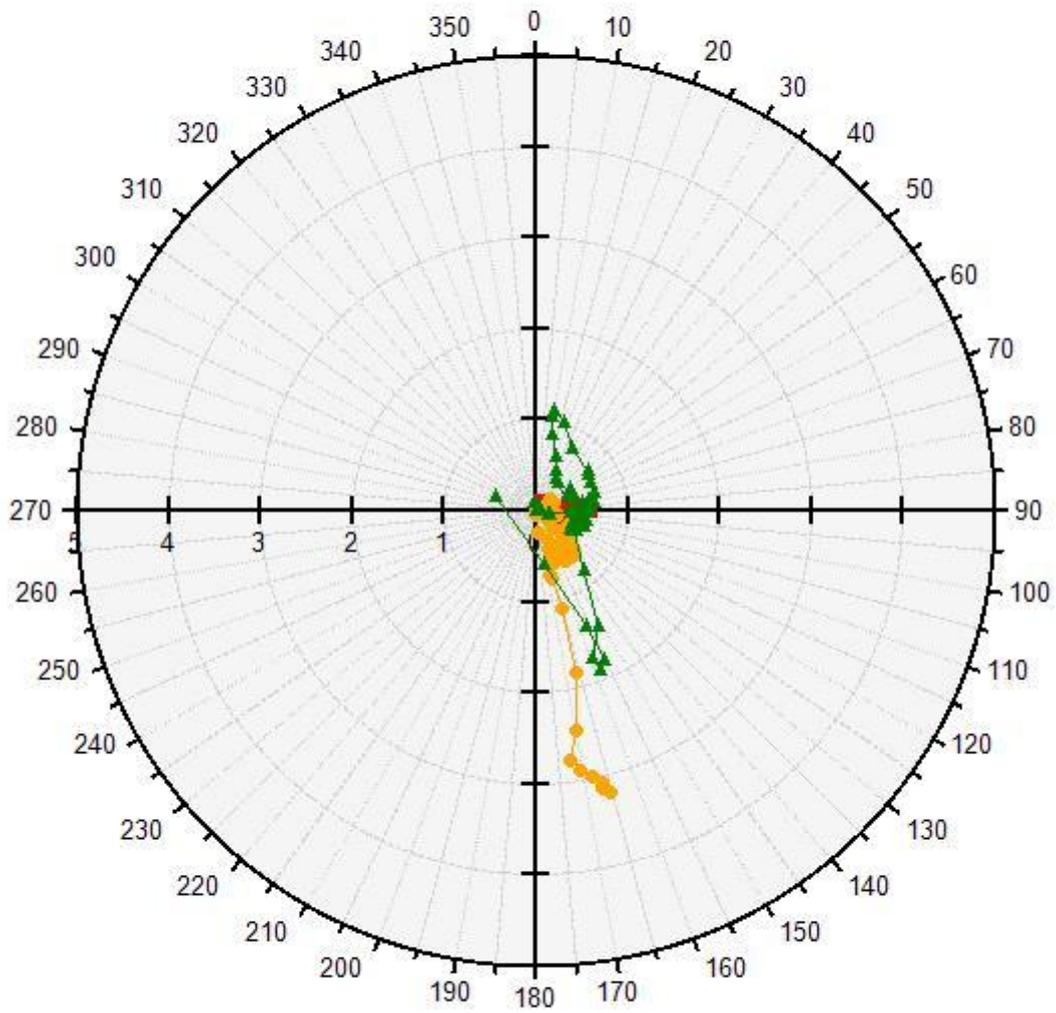
Levane S3 B

12/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



### Levane S3 Top View

■ 22/03/2019    ● 26/08/2019    ▲ 11/12/2019



Resultant Profile\_Change in mm

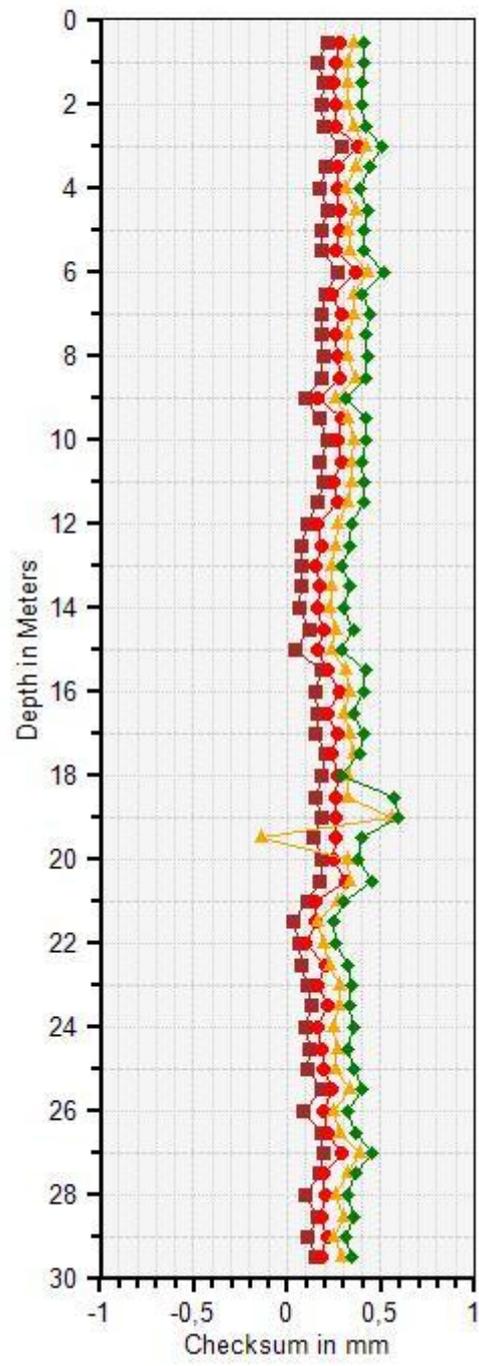
Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 51 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### 3.2.4 Inclinometro S5\_90

<b>Data</b>	13/02/19	22/03/19	26/08/19	11/12/19
<b>Cond. meteo</b>	sereno	soleggiato	variabile	soleggiato
<b>Temperatura</b>	8°C	18°C	27°C	6°C
<b>Procedura di lettura</b>	dal basso	dal basso	dal basso	dal basso
<b>Passo di misura</b>	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
<b>Livello acqua dal p.c.</b>	16,5 m	16,5 m	16,5 m	Asciutto
<b>Orario inserimento sonda</b>	12:00	12:40	17:10	10:00
<b>Orario inizio acquisizioni</b>	12:15	13:00	17:25	10:15
<b>Tempo stabilizzazione termica</b>	15'	20'	15'	15'

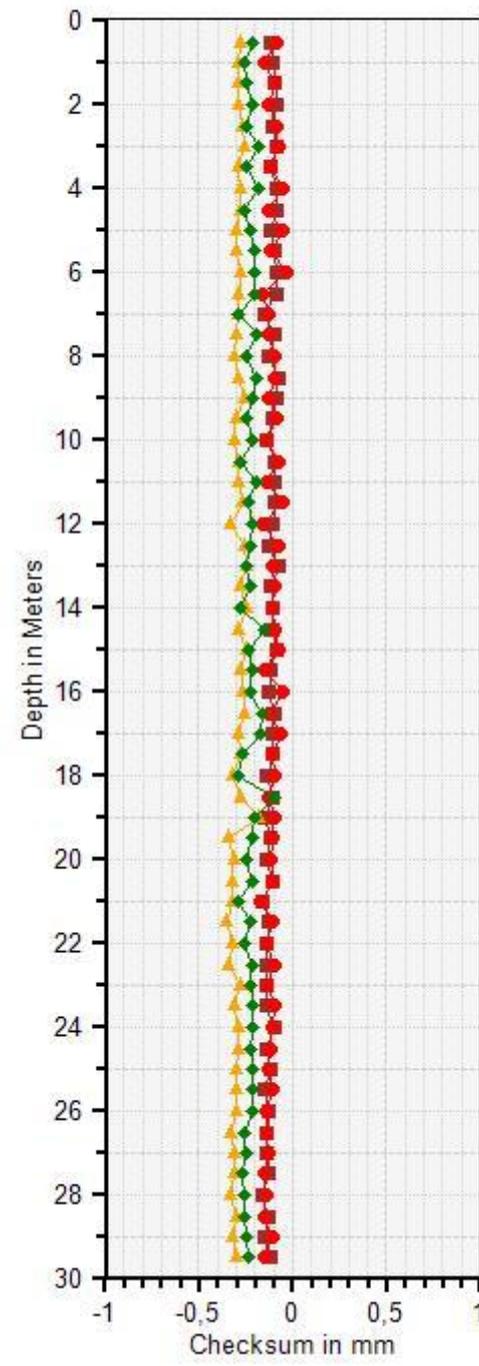
Levane LevaneS5\_90 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



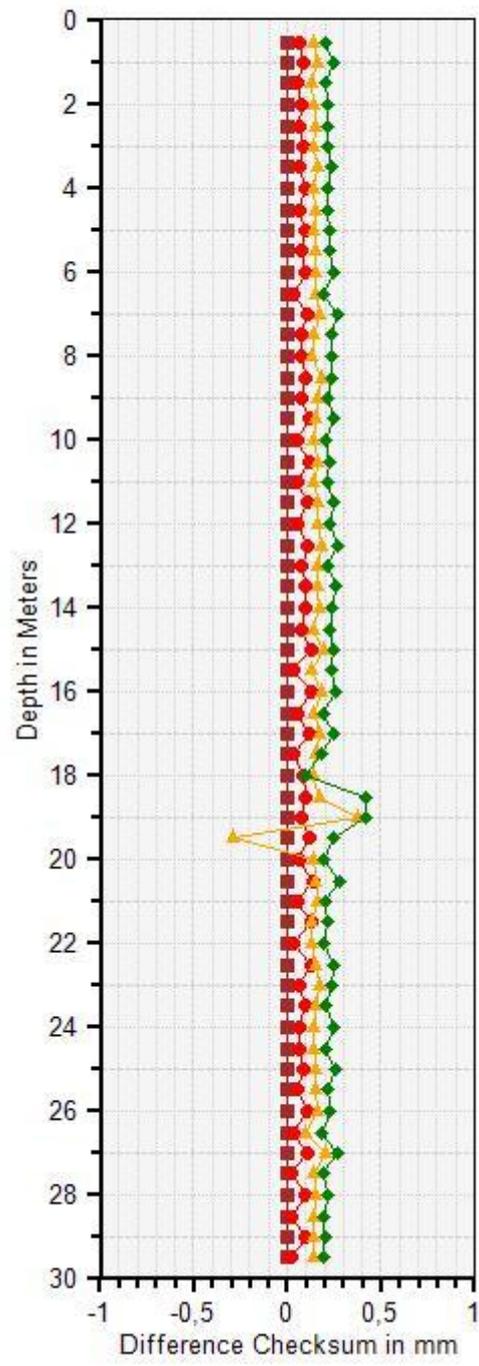
Levane LevaneS5\_90 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



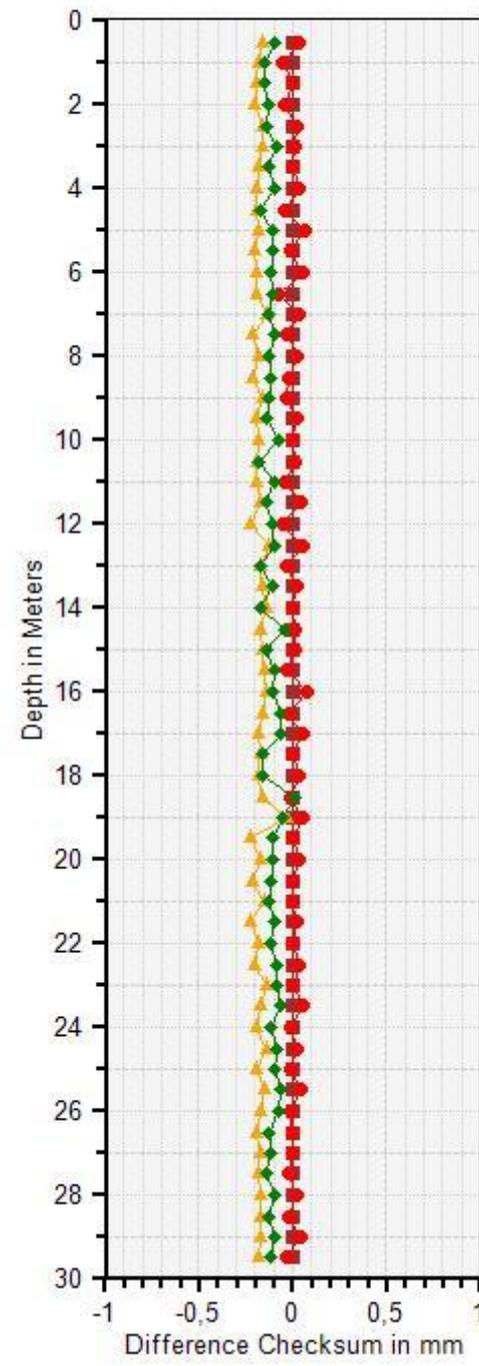
Levane LevaneS5\_90 A

■ 13/02/2019    ● 22/03/2019  
▲ 26/08/2019    ◆ 11/12/2019



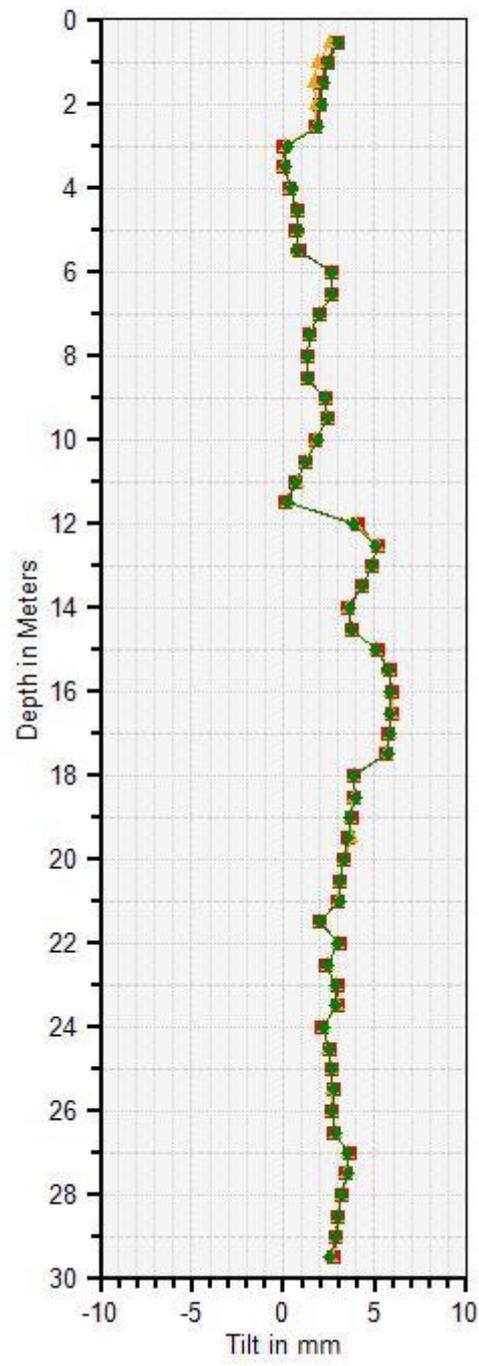
Levane LevaneS5\_90 B

■ 13/02/2019    ● 22/03/2019  
▲ 26/08/2019    ◆ 11/12/2019



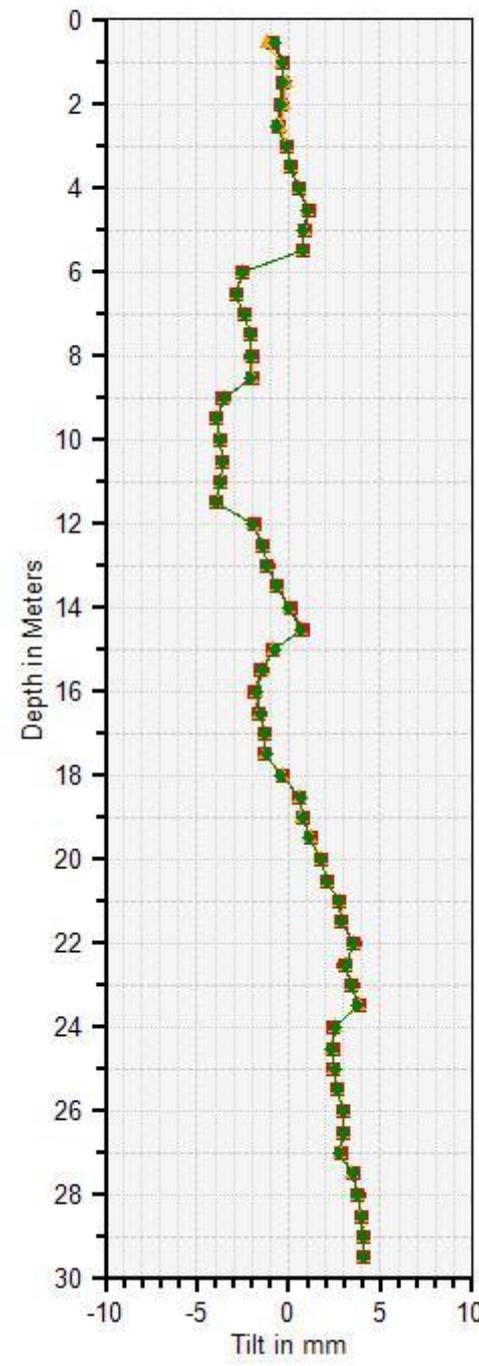
Levane LevaneS5\_90 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



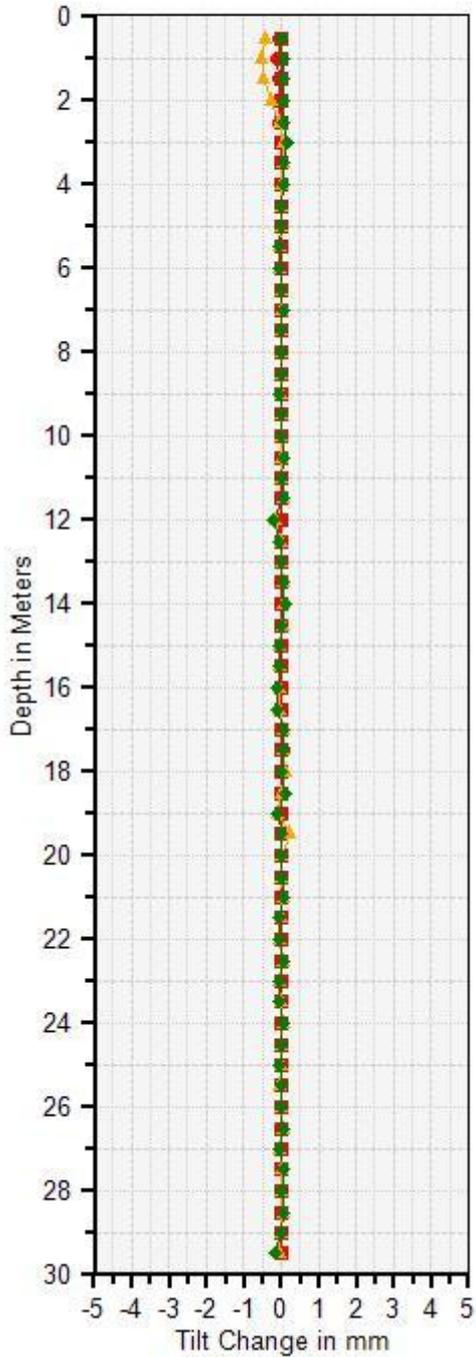
Levane LevaneS5\_90 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



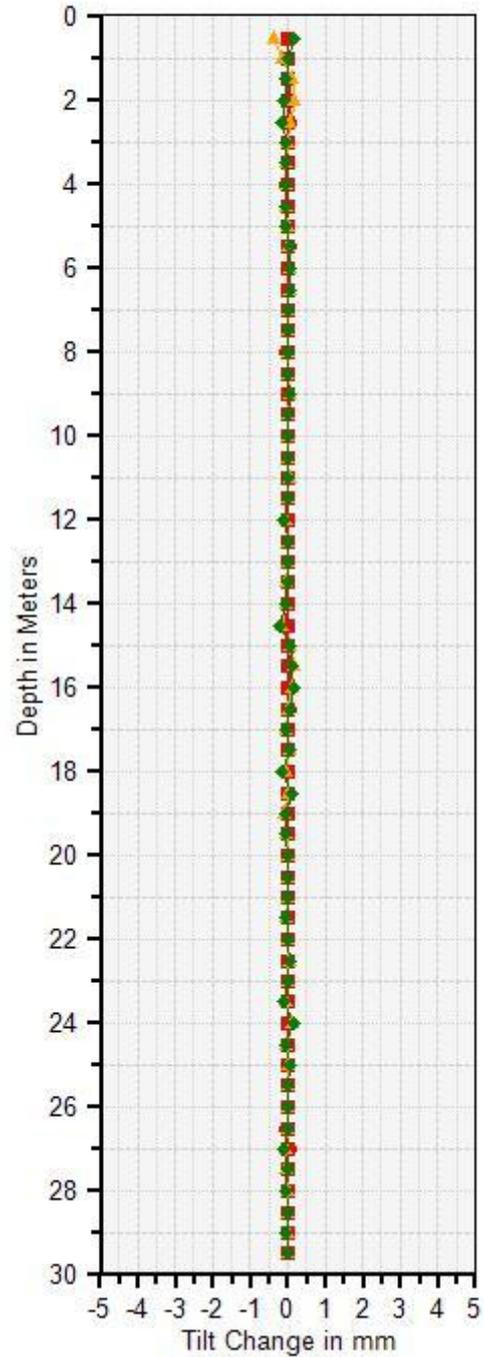
Levane LevaneS5\_90 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



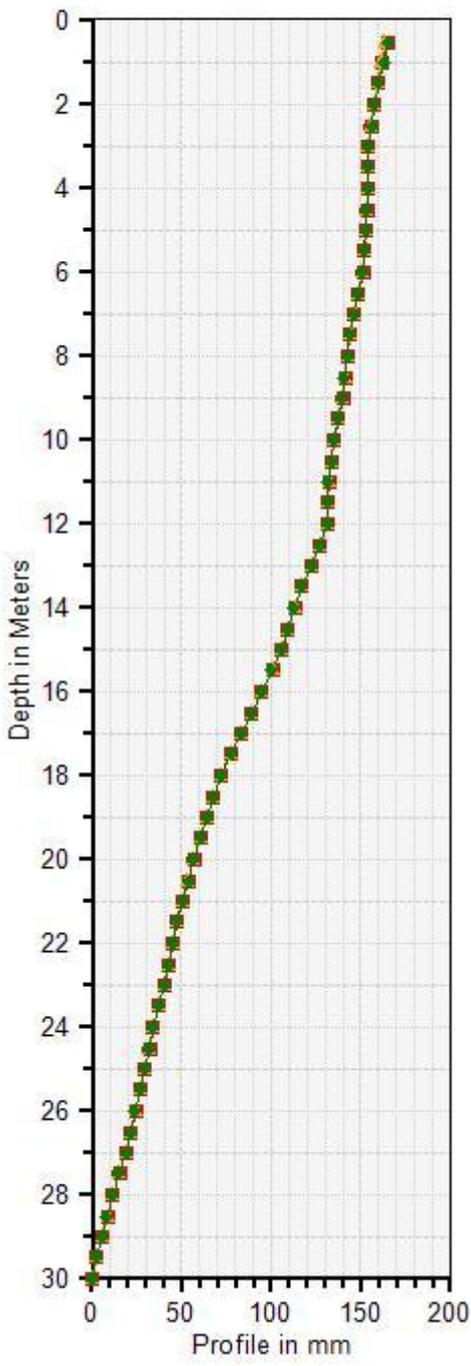
Levane LevaneS5\_90 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



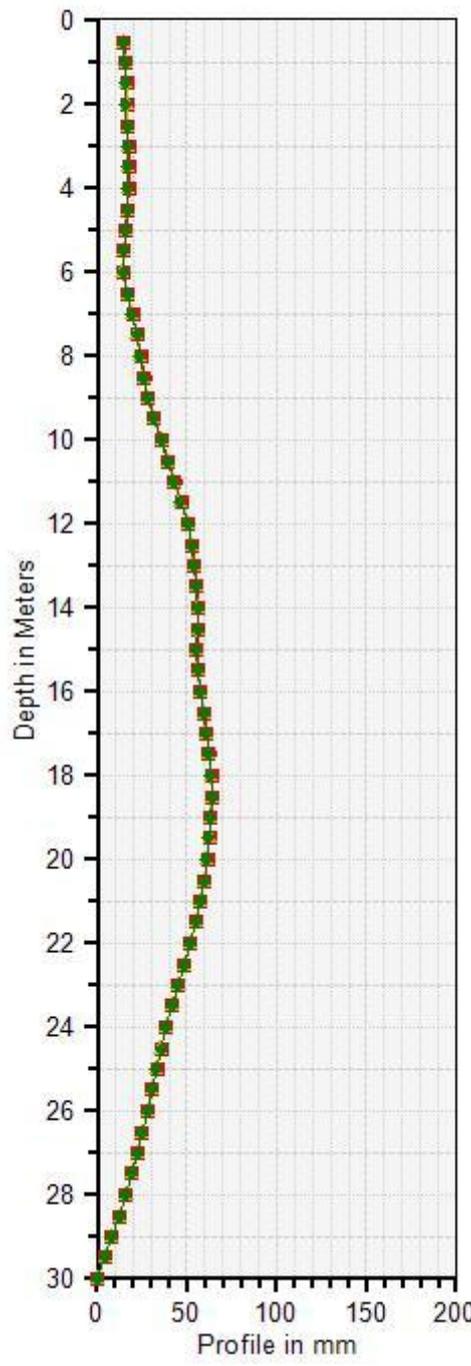
Levane LevaneS5\_90 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



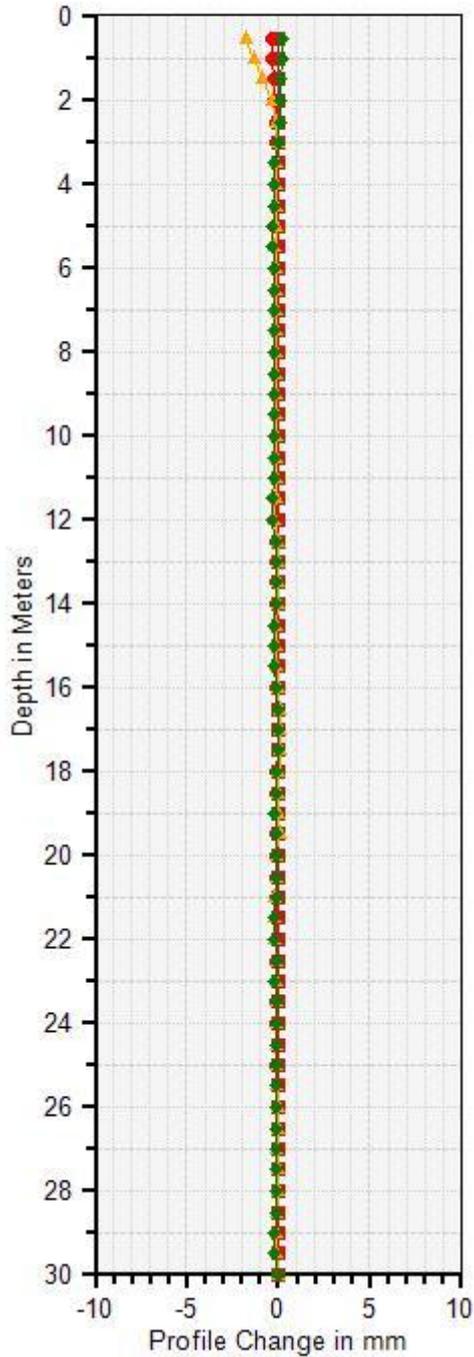
Levane LevaneS5\_90 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



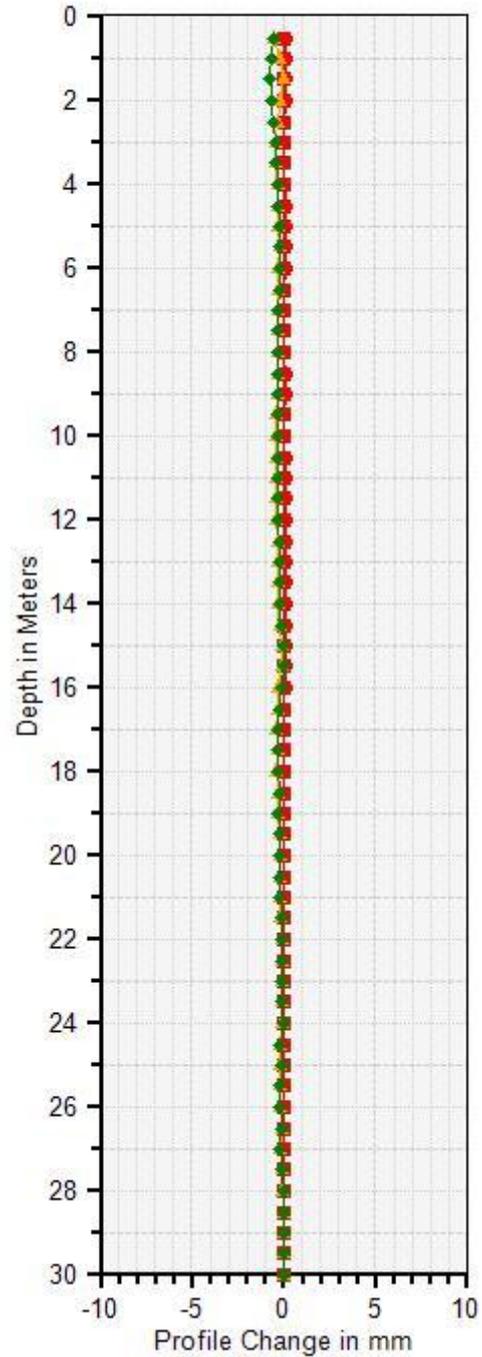
Levane LevaneS5\_90 A

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



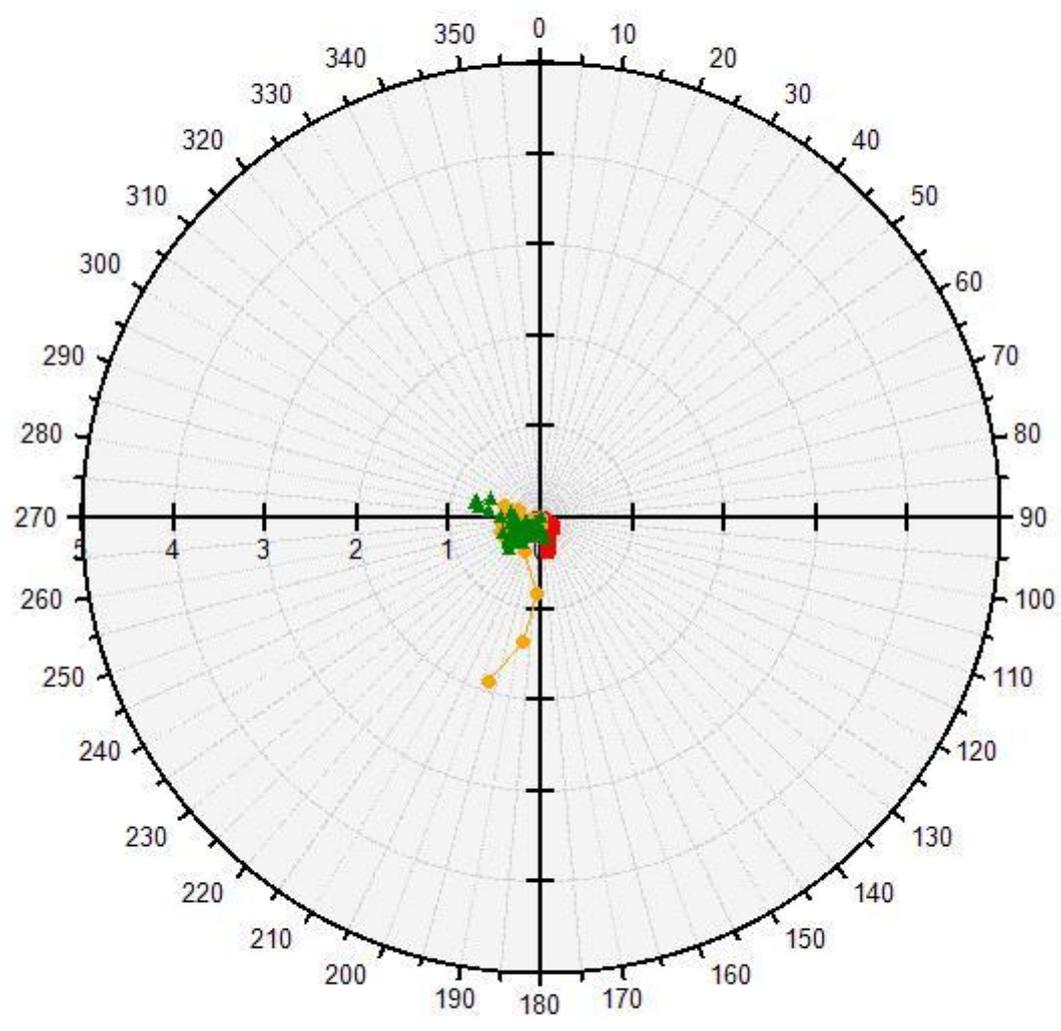
Levane LevaneS5\_90 B

13/02/2019 22/03/2019  
26/08/2019 11/12/2019



### Levane LevaneS5\_90 Top View

■ 22/03/2019    ● 26/08/2019    ▲ 11/12/2019



Resultant Profile\_Change in mm

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 59 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### 3.3 Rilievi Piezometrici

In concomitanza con le letture inclinometriche sono state eseguite anche letture piezometriche sui relativi sondaggi associati ed attrezzati a piezometro. Ogni piezometro è dotato di 2 Celle di Casagrande posizionate a differenti altezze. Nella tabella sono sintetizzate le risultanze delle letture eseguite. I valori riportati indicano la soggiacenza rispetto al p.c.

NOME PIEZOMETRO	S2pz		S4pz		S6pz	
	C1 (9.0 m)	C2 (29.5 m)	C1 (15.5 m)	C2 (22.5 m)	C1 (13.5 m)	C2 (27.0 m)
12/02/2019			n.p.	n.p.		
13/02/2019	n.p.	<b>27.2</b>			n.p.	<b>18.6</b>
22/03/2019	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.
26/08/2019	n.p.	<b>29.0</b>	n.p.	n.p.	n.p.	<b>19.6</b>
11/12/2019	n.p.	<b>29.0</b>	n.p.	n.p.	n.p.	<b>19.3</b>

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 60 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## 4 ANALISI DI LABORATORIO E CONSULENZA GEOTECNICA SU CAMPIONI DI TERRENO

Nel corso delle terebrazioni sono stati raccolti n. 6 campioni indisturbati di terreno per le analisi geotecniche di laboratorio. I campioni, tutti ottenuti per infissione di fustella di tipo Shelby e risultati idonei per le analisi richieste, sono stati prelevati alle profondità elencate in Tabella 6 e sottoposti alle prove indicate, come da piano delle analisi.

num. progr.	SONDAGGIO	CARATTERISTICHE CAMPIONE						PROVE ESEGUITE								
		CAMPIONE	PROF. top (m)	PROF. bottom (m)	h CAMPIONE (m)	QUALITA' AGI 1977	QUALITA' Eurocodice 7	Cont. acqua	Peso Volume	Peso spec.	Limiti cons.	Granulom.	TD	TR	TXCIU	TTC
1	S1	S1CI1	3.0	3.5	0.44	Q4/Q5	C2/C1	x	x	x	x	x	x	x		
2		S3CI1	3.0	3.5	0.37	Q4/Q5	C2/C1	x	x	x	x	x	x			
3	S3	S3CI2	6.0	6.5	0.56	Q4/Q5	C2/C1	x	x	x	x	x		x		
4		S3CI3	10.5	11.0	0.61	Q4/Q5	C2/C1	x	x	x	x	x		x	x	
5	S5	S5CI1	3.0	3.5	0.45	Q4/Q5	C2/C1	x	x	x	x	x	x			
6		S5CI2	5.0	5.5	0.51	Q4/Q5	C2/C1	x	x	x	x	x	x		x	
<b>TOTALE</b>								<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Tabella 6 - Tabella riassuntiva dei campioni prelevati e delle prove eseguite.

I rapporti di prova completi sono raccolti nell'Allegato Tecnico 03 (P41019GEOAT0400 doc. rif. [16]).

Si fornisce di seguito (Tabella 7) la tabella riassuntiva dei parametri elaborata attraverso considerazioni ed osservazioni che derivano essenzialmente dall'esecuzione delle analisi di laboratorio. L'appropriata e completa valutazione dei risultati e la scelta dei parametri di progetto compete, come da normativa, al progettista. Ma anche in sede di apertura dei campioni gli scriventi hanno potuto effettuare una selezione, insieme con i tecnici di laboratorio, riguardante quei campioni di classe di qualità 4/5 che, in relazione all'effettivo grado di disturbo, potevano essere sottoposti a particolari tipi di prove o meno (v. § 6.2).

**RELAZIONE FINALE**

**TABELLA RIASSUNTIVA**

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA'	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA	Contenuto d'acqua	LL	LP	IP	Peso di Volume	Gs	$\phi$ (*)	c (*)	EDO	NOTE
N.	N.	(m)	%	%	%	%	%	%	%	%	kN/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa		
1	1	3,00 – 3,50	0,9	35,7	42,4	21,0	14,9	28,4	20,2	8,2	19,5	2,68	31 <sup>CD</sup> 15 <sup>RESB</sup>	9 <sup>CD</sup> 0 <sup>RESB</sup>	-	-
3	1	3,00 – 3,50	19,2	55,2	16,6	9,0	10,8	N.L.	N.P.	-	16,9	2,66	32 <sup>CD</sup> 17 <sup>RESB</sup>	3 <sup>CD</sup> 0 <sup>RESB</sup>	-	-
3	12	6,00 – 6,50	2,8	4,2	57,1	35,9	21,5	44,0	25,7	18,3	20,1	2,75	13 <sup>RESB</sup>	0 <sup>RESB</sup>	-	TTC
3	13	10,50 – 11,00	0,1	24,8	47,8	27,3	18,9	32,6	22,3	10,3	20,1	2,71	28 <sup>TXCIU</sup> 14 <sup>RESB</sup>	20 <sup>TXCIU</sup> 0 <sup>RESB</sup>	-	-
5	1	3,00 – 3,50	42,3	40,2	12,8	4,7	12,5	N.L.	N.P.	-	21,8	2,64	32 <sup>CD</sup> 17 <sup>RESB</sup>	2 <sup>CD</sup> 0 <sup>RESB</sup>	-	-
5	12	5,00 – 5,50	0,2	29,0	51,9	18,9	20,0	29,8	23,1	6,7	20,4	2,70	30 <sup>CD</sup> 16 <sup>RESB</sup>	14 <sup>CD</sup> 0 <sup>RESB</sup>	-	TTC

Località: Diga di Levane (AR)  
Data: 02/04/2019

Verbale accettazione: 014

(\*) = N.B. I valori riportati sono da considerarsi consulenza di laboratorio. La scelta definitiva dei parametri è di competenza del Committente.  
CD = Prova di taglio diretto consolidata drenata  
RESB = Prova di taglio residuo con apparecchio di Bromhead  
TXCIU = Prova triassiale consolidata non drenata  
TTC = Prova di taglio torsionale ciclico

Tabella 7 - Sintesi dei parametri ottenuti dalle analisi di laboratorio.

## 5 INDAGINI SISMICHE IN FORO

Le indagini geofisiche in foro di tipo Downhole sono state eseguite dalla ditta Tecnoin esecutrice dei sondaggi. La descrizione completa delle attrezzature utilizzate, le modalità esecutive e le risultanze delle indagini sono riportate nell'Allegato Tecnico 05, elaborato P41019GEOAT0500 - Report sulle indagini Downhole (Tecnoin) doc. rif. [17].

Le indagini sono state condotte fino alla profondità di 30 m da p.c. all'interno dei fori attrezzati con tubazione inclinometrica in Alluminio corrispondenti ai sondaggi S1, S3 ed S5.

Le prove sono state eseguite nei giorni 11/02/2019 (indagine in sondaggio S5) e 12/02/2019 (indagini nei fori S1 ed S3).

Dalle risultanze delle prove si rileva l'ottima corrispondenza tra i livelli stratigrafici descritti nei log ed i sismostrati individuati nelle prove geofisiche che restituiscono valori di velocità di trasmissione delle onde sismiche in linea con le attese e le ipotesi basate sulla qualità dei terreni e degli ammassi rocciosi estratti.

In particolare si possono individuare tre strati con caratteristiche di velocità di trasmissione delle onde sismiche diverse:

STRATO 1:  $V_p < 1200$  m/s –  $V_s < 400$  m/s

STRATO 2:  $1200 < V_p \leq 2500$  m/s –  $400 \leq V_s < 1000$

STRATO 3:  $V_p > 2500$  m/s –  $V_s \geq 1000$  m/s

Nell'indagine DHS05 una modesta anomalia mostra  $V_p$  di circa 1000 m/s in corrispondenza di un livello (tra 10 e 14 m di profondità) dove  $V_s$  raggiunge e supera i 400 m/s. In questo caso considerazioni di natura litologica hanno portato ad attribuire tale livello allo STRATO 2 per quanto si tratti di velocità limite tra un sismostrato e l'altro.

Gli spessori dei sismo strati individuati sono di seguito riportati:

SONDAGGIO	SISMOSTRATO	PROF. top (m)	PROF. bottom (m)	SPESSORE (m)
S1	STRATO 1	0.0	10.0	10.0
	STRATO 2	10.0	19.0	9.0
	STRATO 3	19.0	30.0	11.0
S3	STRATO 1	0.0	13.0	13.0
	STRATO 2	13.0	19.0	6.0
	STRATO 3	19.0	30.0	11.0
S5	STRATO 1	0.0	10.0	10.0
	STRATO 2	10.0	19.0	9.0
	STRATO 3	19.0	30.0	11.0

Tabella 8 - Tabella riassuntiva della stratigrafia sismica nei sondaggi S1, S3 e S5.

La correlazione tra i sismo strati ed i livelli stratigrafici individuati nei log di sondaggio è mostrata nella tavola del Modello Geotecnico di Riferimento elaborato P41019GEOSG0200 - Modello Geotecnico di Riferimento (MGR) doc. rif. [18].

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 63 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

L'elaborazione delle Vs ai sensi delle NTC2018 per la determinazione del parametro  $V_{s,eq}$  è mostrata in Tabella 9.

Codice indagine	Valore $V_{s,eq}$
DH S01	474 m/s
DH S03	471m/s
DH S05	462 m/s

Tabella 9 - Velocità equivalenti in onde S (NTC2018).

Sulla base delle risultanze delle indagini è possibile procedere con la classificazione dei siti in termini di Categorie di Sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 secondo quanto riportato in Tabella 10.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</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>

Tabella 10 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (da Tabella 3.2.II, Supplemento ordinario n. 8 alla Gazzetta Ufficiale – Serie Generale n. 42 del 20.02.2018).

L'andamento dei profili di Vs ed il calcolo delle Velocità equivalenti (Tabella 9) permette di assegnare a tutti i 3 siti di indagine la **categoria di sottosuolo B**.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 64 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## 6 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

### 6.1 Definizione dello stato di attività geomorfologica dei versanti

Per le definizioni adottate in questo report si è fatto riferimento alle raccomandazioni del WP/WLI e alla versione di Cruden & Varnes (1996). Sulla scorta di detta classificazione viene considerata attiva una frana attualmente in movimento, riattivata una frana nuovamente attiva dopo un periodo di inattività, sospesa una frana che non si muove attualmente, ma che si è mossa nell'ultimo ciclo stagionale.

Inoltre, una frana che non si muove da più di un anno (ciclo stagionale) è definita inattiva o, meglio, quiescente, se si rilevano elementi che rendano possibile una sua riattivazione, oppure stabilizzata naturalmente o artificialmente, se non si ritiene possibile una sua riattivazione.

Infine, è relitto un fenomeno gravitativo che si è verificato in condizioni geomorfologiche e/o climatiche diverse dalle attuali, del quale si ritiene impossibile una riattivazione ad opera dei fattori di innesco che l'hanno determinato. E' stato escluso volutamente il termine "paleofrana", che nella letteratura specialistica attuale è rigorosamente in disuso per le ambiguità che mostra specie riguardo al fattore "attività".

In estrema sintesi, l'osservazione di immagini da foto aerea e da satellite consente di individuare, nell'ambito dell'area di interesse, diverse frane "naturalmente stabilizzate" che si sono sviluppate in condizioni geomorfologiche e/o climatiche considerevolmente diverse dalle attuali.

Queste forme in questa rivisitazione vengono, pertanto, reinterpretate rispetto al recente passato come "naturalmente stabilizzate" sulla scorta di osservazioni ormai pluriennali e dall'incrocio, effettuato in maniera estremamente approfondita in quest'ultimo step di studio analitico, tra le informazioni morfologiche, quelle derivanti dalle caratteristiche litostratigrafiche e geometriche acquisite con la recente campagna di indagini (terebrazioni e indagini geofisiche), dalle risposte del monitoraggio geotecnico e dai rilievi di grande dettaglio in campagna, che solo in questa occasione sono stati concessi dalle varie proprietà, superando nel contempo le problematiche condizioni logistiche, legate all'accentuata acclività e agli ostacoli vegetazionali presenti, che caratterizzano l'area di interesse.

Riconsiderando, quindi, sotto il profilo geomorfologico i versanti da verificare, si ripostula la caratterizzazione geotecnica che discende dall'esistenza e dal tipo di attività gravitativa assegnabile ai pendii e si evidenzia in apposito paragrafo la modellazione sismica.

Si passano in rassegna, pertanto, le varie sezioni dei versanti dell'invaso di Levane, precisando che questo percorso di indagine è stato applicato anche per le restanti sezioni tracciate in Figura 3.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 <b>LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE</b>
pag. 65 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

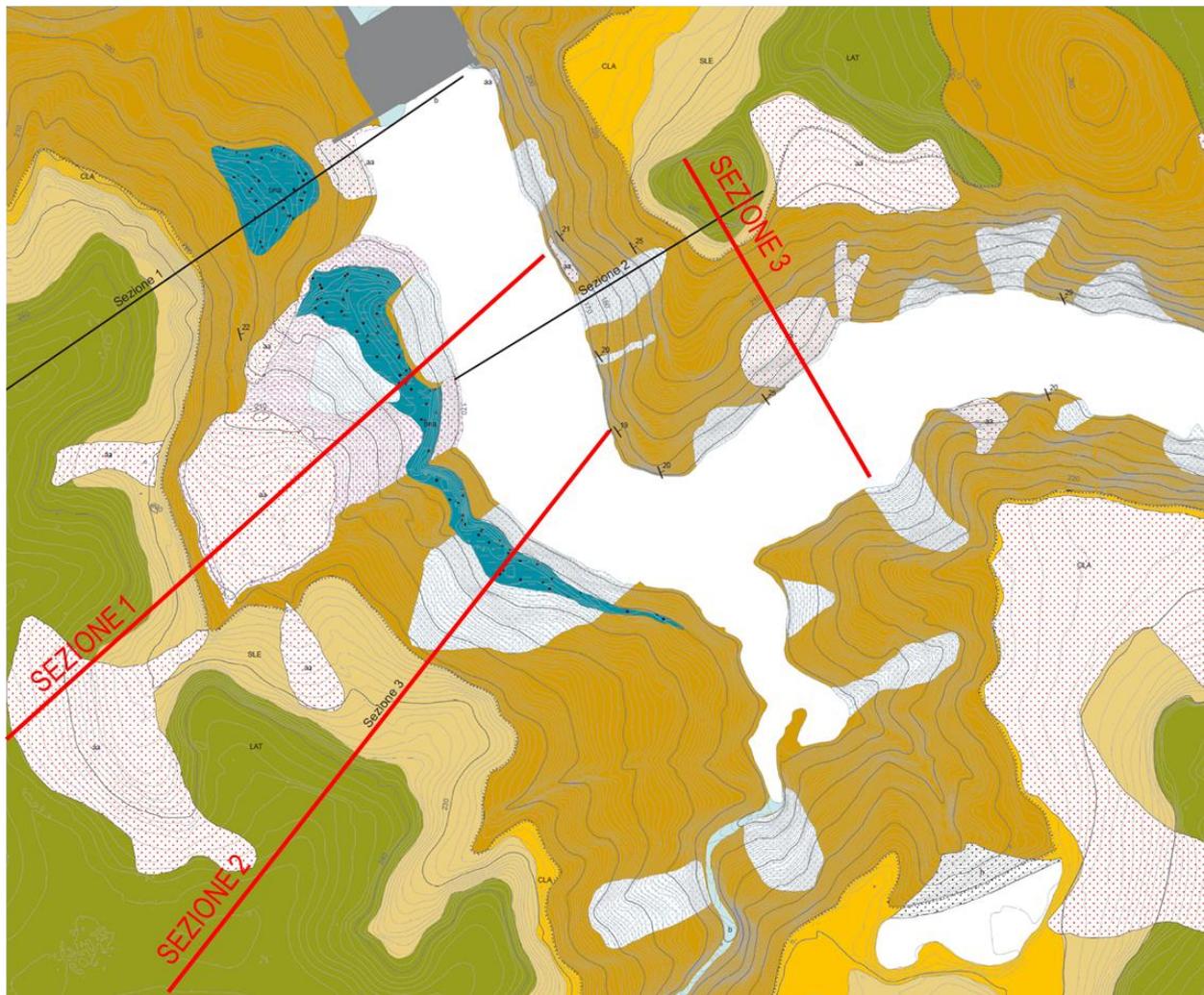


Figura 3 - Planimetria con traccia delle sezioni.

### 6.1.1 Sezione 1

Il versante in sinistra idraulica, immediatamente a monte della diga, si caratterizza per la presenza di un substrato arenaceo-pelitico con notevoli spessori di copertura detritica. Le unità del substrato sono state assegnate nella cartografia geologica dell'area al Dominio Toscano, Unità del Falterona, Formazione delle Arenarie del M. Falterona (cfr. Arenarie del Pratomagno), Membro di Montalto (Oligocene sup. – Miocene inf.). Quest'ultimo è contraddistinto dalla presenza di arenarie a granulometria da media a medio-grossolana in strati da decimetrici fino a qualche metro con intercalazioni da centimetriche a decimetriche di peliti siltose alternate a pacchi plurimetrici di strati sottili di arenarie fini e siltiti. In questa area affiora per alcuni metri di spessore la facies ad arenarie fini e siltiti, al di sotto delle quali è presente molto verosimilmente la facies arenacea. Le arenarie e peliti hanno una stratificazione ben evidente a scala decimetrica con giacitura media verso est-nord (immersione/inclinazione=65-70°/18-20°). Il versante sul quale queste insistono ha una geometria simile a quella dei piani di stratificazione.

L'evoluzione morfodinamica del versante ha portato allo sviluppo di una potente coltre detritica derivante dalla degradazione delle rocce del substrato e dal trasporto legato alla gravità e al ruscellamento che ha concentrato il detrito nelle zone morfologicamente depresse del versante stesso. Tale materiale, assieme alla porzione di substrato più alterata dal punto di



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 67 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

metodo classico adottato per definire le unità stratigrafiche da punto a punto lungo affioramenti continui.

In tal modo si è ricostruito, sempre sotto il profilo geomorfologico, il cosiddetto corpo di frana, seguendo il suo asse di sviluppo da monte a valle nell'ambito del perimetro definito dalla restituzione di foto aeree e satellitari e dall'osservazione diretta, la cui documentazione è contenuta nei rapporti precedentemente prodotti.

Si è potuto, pertanto, riconoscere una serie di caratteristiche distintive, una sorta di "impronta" geomorfologica utile a definire lo stato di attività, legato al livello di conservazione delle forme, classificabile tramite un determinato grado di rimodellamento.

Il grado di rimodellamento è stato definito utilizzando tre configurazioni:

1. da nullo a basso, con il corpo di frana che conserva tutti gli aspetti originali (superfici di taglio nette, accumuli ben individuabili, indicatori cinematici palesi);
2. da basso a medio, con il corpo di frana che presenta gli aspetti originali, ma che è stato interessato in tutto o in parte da una modestissima azione di rimodellamento specie da parte delle acque superficiali;
3. da medio ad alto, quando il corpo di frana risulta in larga parte o completamente modificato rispetto alle condizioni originarie, ma è comunque possibile definirne l'origine gravitativa.

GRADO DI RIMODELLAMENTO	STATO DI ATTIVITA'
Da nullo a basso	Attivo
Da basso a medio	Quiescente
Da medio a alto	Stabilizzato o relitto

Tabella 11 - Grado di rimodellamento stato di attività.

Nel corpo attraversato dalla sezione 1 l'assenza di uno stato di attività emerge non solo da quanto detto in precedenza e dall'impronta geomorfologica (corpo di frana in larga parte modificato rispetto alle condizioni originarie, ma di cui è possibile definirne l'origine gravitativa), ma anche dai controlli diretti effettuati negli ultimi decenni su detto versante dai tecnici aziendali responsabili del monitoraggio. Inoltre, i risultati del monitoraggio inclinometrico, facente parte di questo approfondimento di indagine, hanno confermato tale assunto con l'assenza di movimenti (v. allegati).

Quanto descritto insieme con quanto emerso ed esposto in precedenza consente, dunque, di definire il grado di rimodellamento come tipico di una **frana stabilizzata naturalmente**.

### 6.1.2 Sezione 2

Il corpo di frana si trova poco a monte di quello della sezione 1, lungo lo stesso versante. Pertanto, le condizioni geologiche sono simili, con lo stesso tipo di substrato roccioso arenaceo e arenaceo-pelitico con assetto ed inclinazione circa uguali alla sezione precedente.

L'evoluzione morfodinamica del versante è anche in questo caso caratterizzata dallo sviluppo di una coltre detritica derivante dalla degradazione delle rocce di substrato e dal trasporto per effetto combinato della gravità e del ruscellamento. Tale geomateriale, assieme alla porzione di substrato più alterata e scadente dal punto di vista geotecnico, in conseguenza dell'aumento dell'energia del rilievo indotta dall'incisione di alveo operata dal fiume, è stato interessato da un movimento generalizzato di tipo scorrimento roto-traslativo che ha sfruttato le superfici di strato per muoversi verso l'alveo fino a raggiungere un nuovo stato di equilibrio (Figura 5).

Rispetto al caso precedente la porzione più epidermica del geomateriale della coltre, confinata nei primi metri, potrebbe subire una rilevante azione di scalzamento al piede per la

posizione rispetto all'ansa fluviale. Tuttavia, bisogna pur tenere conto che il volume di materiale eventualmente coinvolto sarebbe modestissimo, trattandosi di una pellicola metrica appartenente ad un corpo di frana che nel suo complesso presenta un volume di 35.000 m<sup>3</sup>. La tipologia dell'eventuale movimento sarebbe ascrivibile al fenomeno gravitativo del soil creep.

Come nel caso precedente, anche per il corpo attraversato dalla sezione 2 l'assenza di uno stato di attività globale emerge non solo da quanto detto in precedenza, dall'osservazione di tutte le foto aeree consultate che abbracciano un intervallo temporale di oltre 60 anni (1954 - oggi) e dall'impronta geomorfologica (corpo di frana in larga parte modificato rispetto alle condizioni originarie, ma di cui è possibile definirne l'origine gravitativa), ma anche dai controlli diretti effettuati negli ultimi decenni su detto versante dai tecnici aziendali responsabili del monitoraggio. Inoltre, i risultati del monitoraggio inclinometrico, facente parte di questo approfondimento di indagine, hanno confermato l'assenza di movimenti (v. allegati monitoraggio).

Quanto descritto insieme con quanto emerso ed esposto in precedenza consente, dunque, di definire il grado di rimodellamento del corpo individuato come tipico di una **frana stabilizzata naturalmente**, con la presenza di una partizione superficiale metrica che potrebbe subire disequilibri per scalzamento al piede, eliminabili con una difesa di sponda.

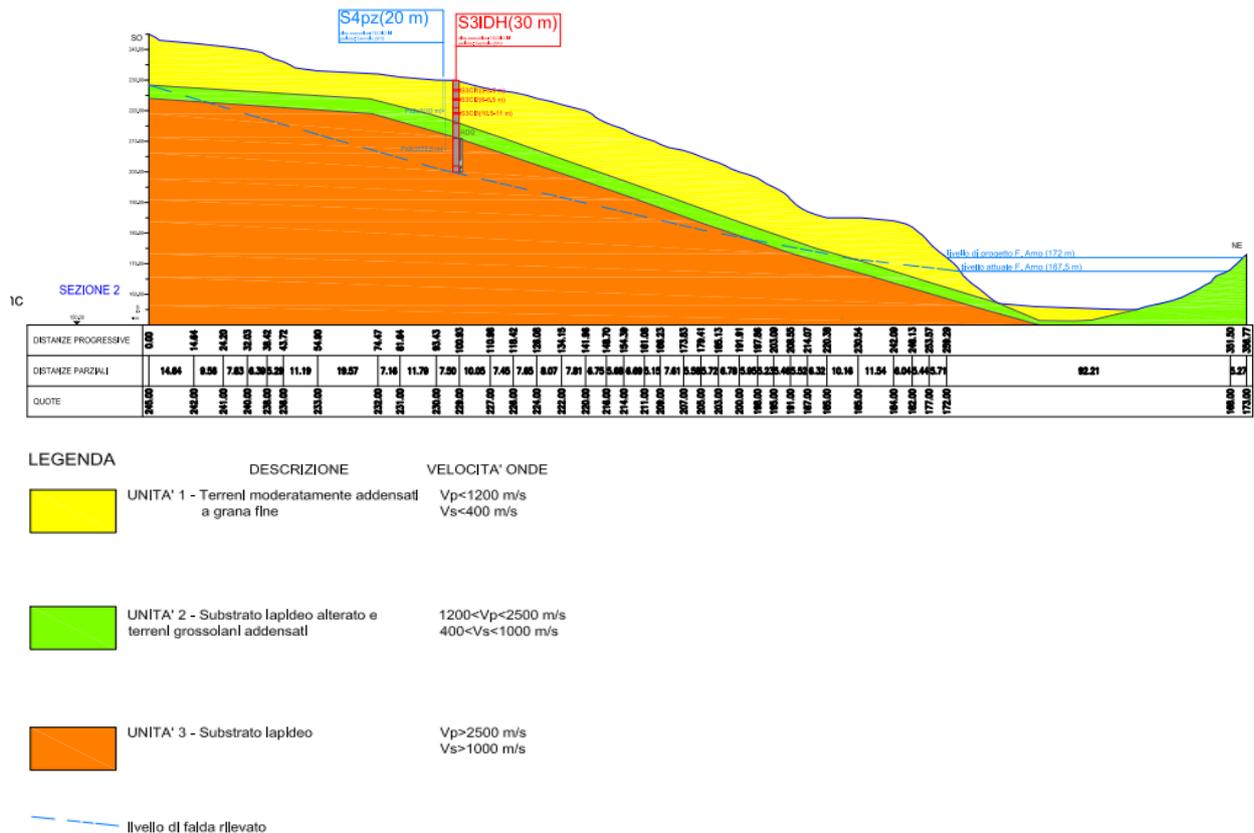


Figura 5 - Sezione 2. Modello Geologico di Riferimento (MGR) basato sui rilievi in sito, terebrazioni e indagini geofisiche.



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 70 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## 6.2 Parametrizzazione

Nel novero delle integrazioni di indagini effettuate, in sede di analisi di laboratorio dei campioni prelevati nell'ambito delle terebrazioni effettuate sulle aree di interesse, il laboratorio delle Terre ha precisato quanto segue:

"Il settore geotecnico del Laboratorio, basandosi sulla classificazione della qualità dei campioni proposta nelle Raccomandazioni AGI (1977) e nell'UNI ENV 1997-2:2002 "Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Progettazione assistita da prove di laboratorio", ha definito una classe di qualità intermedia del campione tra Q4 e Q5. La necessità di tale classificazione è giustificata in molti casi dalla coesistenza di porzioni di carota Q4 e di porzioni Q5 in uno stesso campione. Evidentemente le prove meccaniche vengono effettuate nella porzione Q5, mentre i risultati della porzione Q4 possono essere assimilati a quelli che si ottengono da campioni rimaneggiati.

La più appropriata e completa valutazione dei risultati, in ogni caso, viene rimandata, come da normativa, al progettista che trova nelle certificazioni delle prove tutti i dati sorgente necessari."

I campioni, pertanto, sono stati esaminati e controllati all'apertura anche da chi redige queste note e ulteriormente valutati con le porzioni di carota presenti nelle cassette catalogatrici, per potere procedere successivamente alla validazione dei risultati proposti dal laboratorio sulla scorta della classe di qualità effettiva decisa dal geotecnico in stretta collaborazione con i tecnici di laboratorio.

### 6.2.1 Il criterio di scelta delle caratteristiche meccaniche dei geomateriali

Le caratteristiche meccaniche relative alla resistenza di un geomateriale (angolo d'attrito, coesione efficace  $c'$  e resistenza al taglio non drenata  $c_u$ ) vengono rilevate dal laboratorio di analisi delle terre solo su campioni di tipo indisturbato di Classe di qualità Q5 (AGI, 1977), o A (EC7,1997). Nel caso di specie alcuni campioni sono risultati di Classe Q4/Q5, ossia in larga parte a disturbo limitato (Q4). I risultati che ne sono derivati, pertanto, fanno riferimento a materiali rimaneggiati nei quali la resistenza al taglio efficace è risultata fortemente penalizzata, come ci si aspetta in seguito al disturbo limitato, al rimaneggiamento da terebrazione o nel caso della ricostruzione in laboratorio di un campione.

I campioni di Classe Q5 (A), validati da chi scrive, sono risultati: I2 e I3 – Sondaggio 3 e I2 – Sondaggio 5.

In caso di carenza di dati per i motivi sopra riportati, in alternativa, in campo geotecnico si fa riferimento alle prove in situ.

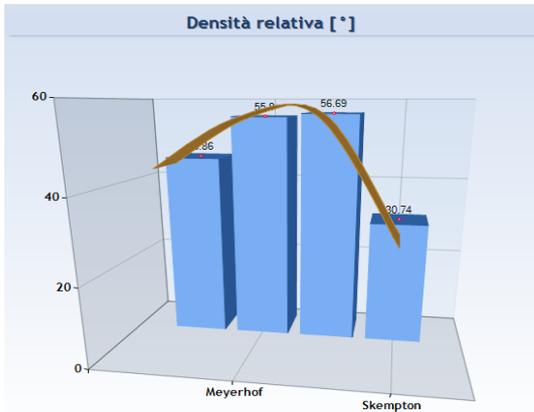


<b>Caratteristiche della coltre</b>			
<b>Profondità (m)</b>	<b>Nspt medio</b>	<b>Composizione granulometrica</b>	<b>IP %</b>
1,5 - 3,0	9	Limo con argilla sabbioso	>10
3,0 - 4,0	15	Limo con sabbia e argilla	8,2
4,0 - 5,0	19	Sabbia con limo argilloso e livelli cementati di ghiaietto, con ciottoli	6,7
5,0 - 7,0	13	Limo con sabbia argilloso	>10
7,0 - al top del bedrock	Rif.	Limo con argilla e sabbia e geomateriali grossolani addensati	>10

Il geomateriale della coltre è sovraconsolidato per fenomeni di seppellimento e aging.

### 6.2.1.1 Parametri desunti dalle prove in situ

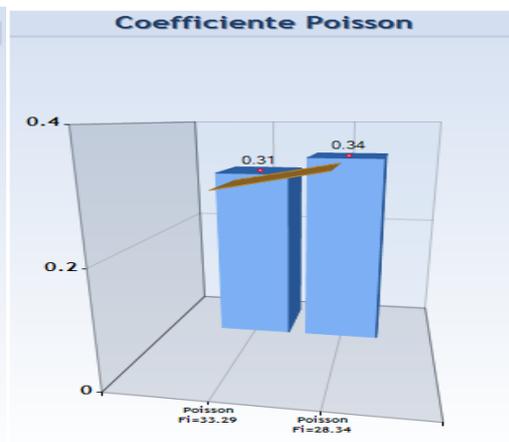
<b>Profondità (m)</b>	<b>Nspt medio</b>	<b>Composizione granulometrica</b>	<b>IP %</b>
1,5 - 3,0	9	Limo con argilla sabbioso	>10



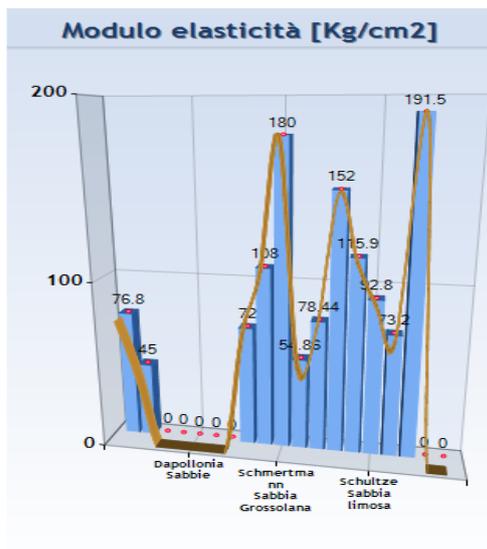
Skempton=30.74 (Limi e sabbie)

$$a: Dr = 6.2277645 + 3.1873281 \cdot NSPT_{corr} - 0.05536254 \cdot NSPT_{corr}^2 + 0.0004253959 \cdot NSPT_{corr}^3$$

$$b: Dr = 10 \cdot \sqrt{\frac{NSPT_{corr} \cdot \sqrt{\frac{98}{cd \cdot 198.0665}}}{32 + 0.288 \cdot i_{eff} \cdot 98.0665}}$$



**RELAZIONE FINALE**

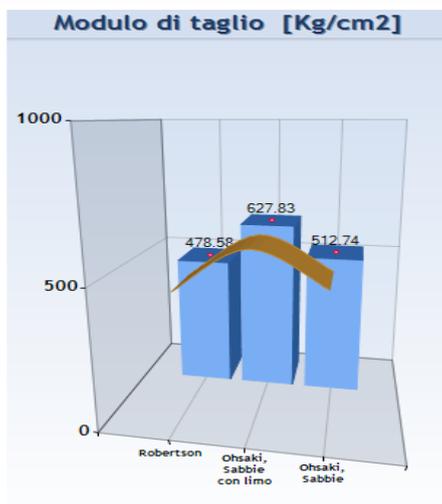


Schultze Sabbia limosa=92.80 (Sabbia limosa)

$$E_{ymin} = a + b \cdot NSPT_{corr} - c$$

$$E_{ymax} = a + b \cdot NSPT_{corr} + c$$

Schultze-Menzenbach  
Sabbie fini (assenza di falda): a= 52, b= 3.3, c= 19.3  
Sabbie fini (presenza di falda): a= 71, b= 4.9, c= 36.9  
Sabbia media: a= 39, b= 4.5, c= 36.4  
Sabbia limosa: a= 24, b= 5.3, c=21.1  
Limi siltosi sabbiosi valore minimo: a= 12, b= 5.8, c=9  
Sabbia ghiaiosa: a= 43, b= 11.8, c=42.3  
Sabbia e ghiaia: a= 38, b= 10.5, c=93.2

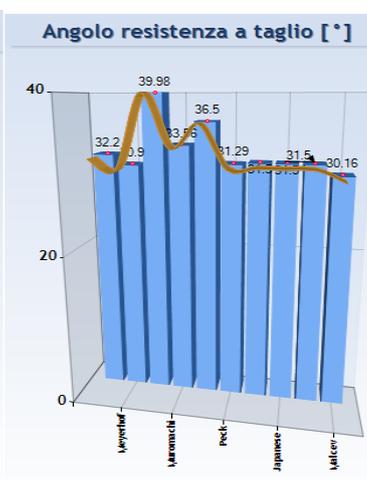
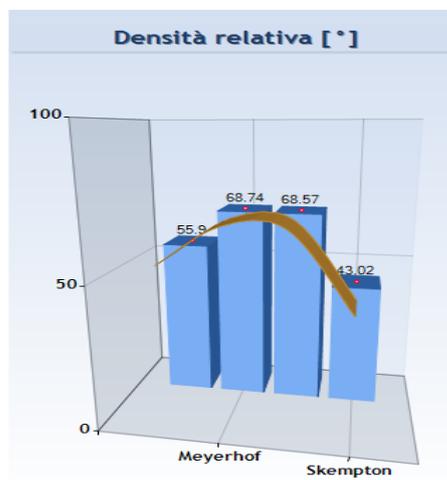


Ohsaki, Sabbie con limo=627.83 (Sabbie con fine plastico (limo o argilla))

$$G' = \frac{a \cdot NSPT_{corr}^b}{10}$$

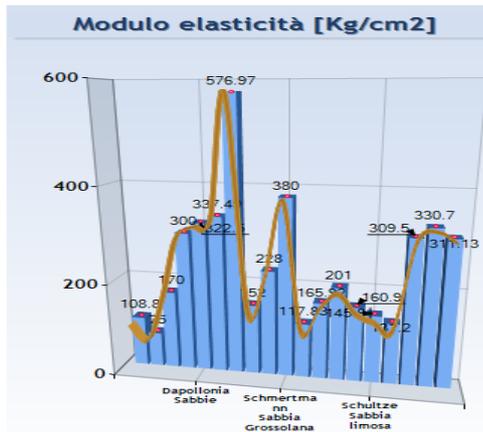
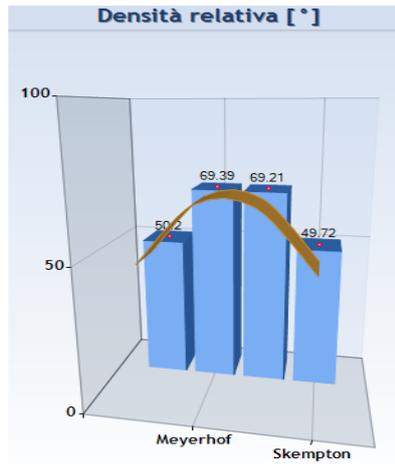
Ohsaki Iwasaki  
Sabbie con fine plastico (limo o argilla): a= 1182, b= 0.76  
Sabbie pulita: a= 650, b= 0.9C4

Profondità (m)	Nspt medio	Composizione granulometrica	IP %
3,0 - 4,0	15	Limo con sabbia e argilla	8,2



**RELAZIONE FINALE**

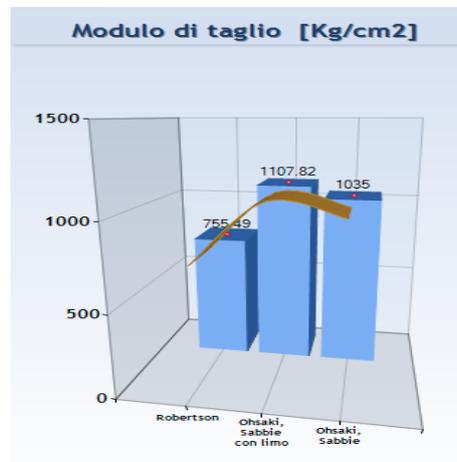
Profondità (m)	Nspt Medio	Composizione granulometrica	IP %
4,0 - 5,0	19	Sabbia con limo argilloso e livelli cementati di ghiaietto, con ciottoli	<<10



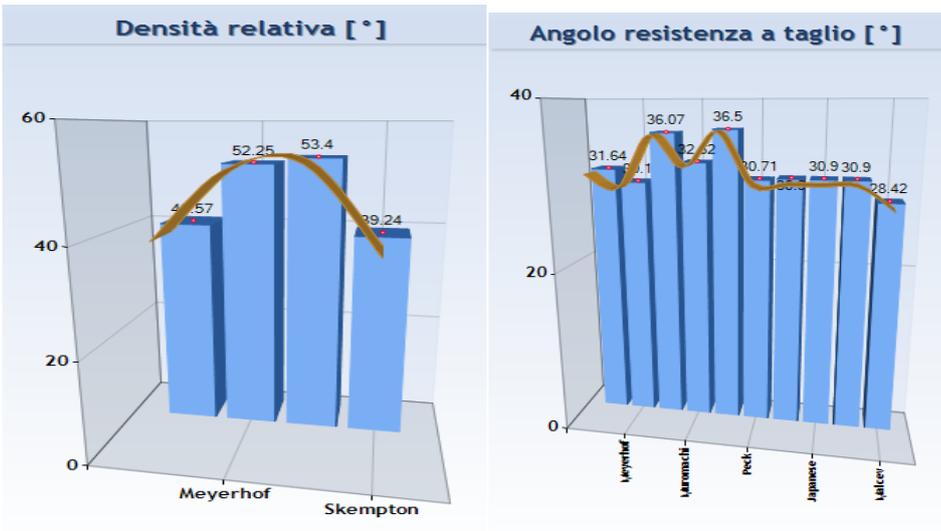
Bowles Sabbia limosa e Limo sabbioso=75.00 (Sabbia limosa e Limo sabbioso)

$$E_y = \alpha \cdot (NSPT_{corr} + b)$$

Bowles (1982)  
Sabbia argillosa: a= 3.2, b= 15  
Sabbia limosa e Limo sabbioso: a=3, b= 6  
Sabbia media: a= 5, b= 15  
Sabbia e ghiaia: a= 12, b=6



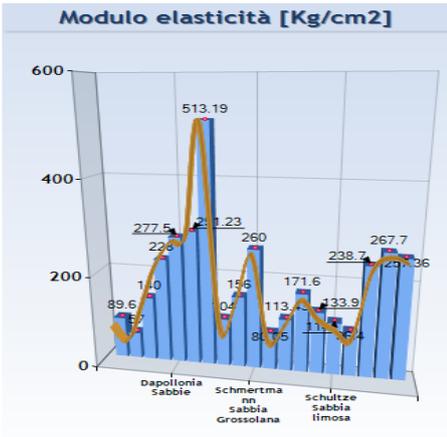
Profondità (m)	Nspt medio	Composizione granulometrica	IP %
5,0 - 7,0	13	Limo con sabbia argilloso	>10



Meyerhof=30.10 (Sabbie e sabbie limose)

$$\varphi = a + b \cdot NSPT - c \cdot NSPT^2$$

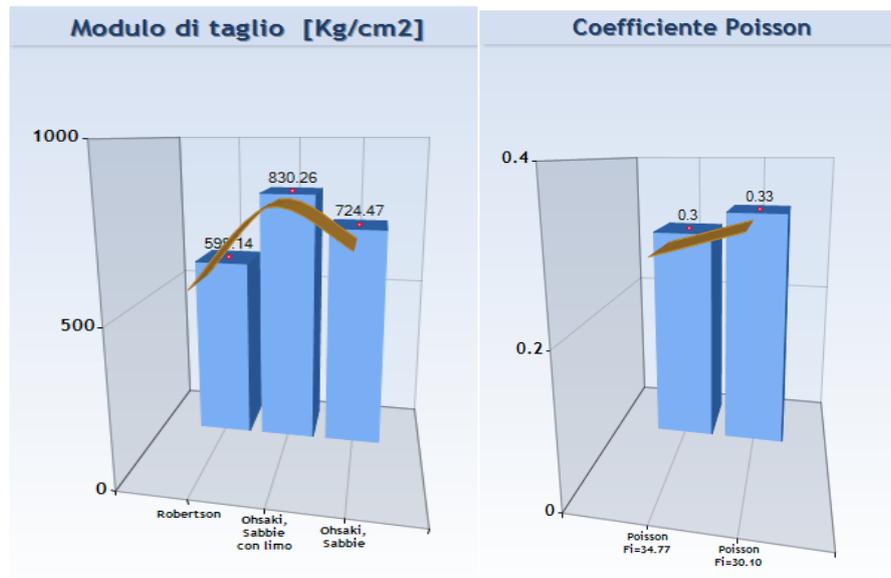
Meyerhof Sabbie e Limo 1965 Sabbie e limo <= 5%: a= 29.47, b= 0.46, c=0.004 Sabbie e limo > 5%: a= 23.7, b=



Bowles Sabbia limosa e Limo sabbioso=57.00 (Sabbia limosa e Limo sabbioso)

$$E_y = a \cdot (NSPT_{corr} + b)$$

Bowles (1982)  
Sabbia argillosa: a= 3.2, b= 15  
Sabbia limosa e Limo sabbioso: a=3, b= 6  
Sabbia media: a= 5, b= 15  
Sabbia e ghiaia: a= 12, b=6



Profondità (m)	Nspt medio	Composizione granulometrica	IP %
7,0 - bedrock	Rif.	Limo con argilla e sabbia e geomateriali grossolani addensati	>10

Leroueil & Hight 2003; Mesri & Abel-Gjaffar 1993; Lade 2016; Mayne & Stewart 1988, Casey (2014) hanno analizzato una serie numerosa di siti e campioni, indipendentemente gli uni dagli altri, ricavando delle relazioni che consentono di rilevare da prove in situ, in caso di impossibilità di campionamento di qualità Q5 (sensu AGI), la resistenza al taglio.

In particolare, Casey (2014) ha condotto in laboratorio delle ricerche basate su un elevato numero di campioni che hanno portato a definire in maniera più approfondita il valore di  $c'$ , colmando una lacuna nella pratica geotecnica:

$$0.03 < c'/\sigma'_p < 0.11 \quad (1)$$

Nel caso di specie, trattasi di geomateriali preconsolidati in seguito a compressione, all'invecchiamento (aging), alle fluttuazioni delle acque sotterranee, rappresentando il prodotto di una lunga fase morfogenetica legata ai fenomeni post-glaciali del Pleistocene superiore, di età compresa tra 2,58 milioni di anni fa (Ma) e 11.700 anni fa. Pertanto, nel range proposto da Casey (2014), per questi geomateriali sovraconsolidati si assumono valori pari a 0.095.

Per potere utilizzare la relazione (1) è necessario fare riferimento alla pressione di preconsolidazione  $\sigma'_p$ .

Mayne & Holts (1988) suggeriscono la seguente correlazione per determinare la tensione di preconsolidazione:

$$\sigma'_p = 0,32(q_t - \sigma_{vo}) \quad (2)$$

in cui

$q_t$ : resistenza alla punta normalizzata  $\simeq$   $q_c$  normalizzata ( $t/m^2$ )

### Correlazione tra $N_{spt}$ e $q_c$ da CPT

Un interesse particolare riveste la relazione tra  $q_c$  e NSPT in quanto l'uso sempre più spinto delle prove CPT, a seguito della loro semplicità, affidabilità e ripetibilità, impone la ricerca di un legame tra le due prove così da poter introdurre i dati CPT nelle note correlazioni di progetto basate sui dati SPT e viceversa. Nel Regno Unito dove, a causa del tipo del terreno, le SPT sono ancora molto utilizzate, è divenuta pratica comune convertire il valore di  $N$  nella resistenza del cono delle CPT ( $q_c$ ) e poi usare il metodo olandese per l'interpretazione. Essenzialmente il rapporto  $q_c/NSPT$ , relativo a terreni non coesivi e misti, nella pratica risulta avere variazioni regolari attorno al valore medio.  $q_c/NSPT$  è influenzato principalmente dalla granulometria, ma anche dalla densità del materiale granulare, annotando che questo rapporto tende a diminuire con l'aumentare di  $DR$  (E. Pasqualini).

Robertson et al. (1983) hanno presentato un rapporto  $q_c/N$  come funzione della grandezza dei grani:  $D_{50}$  (Figura 8, Figura 9).

### Trattazione Robertson (1983)

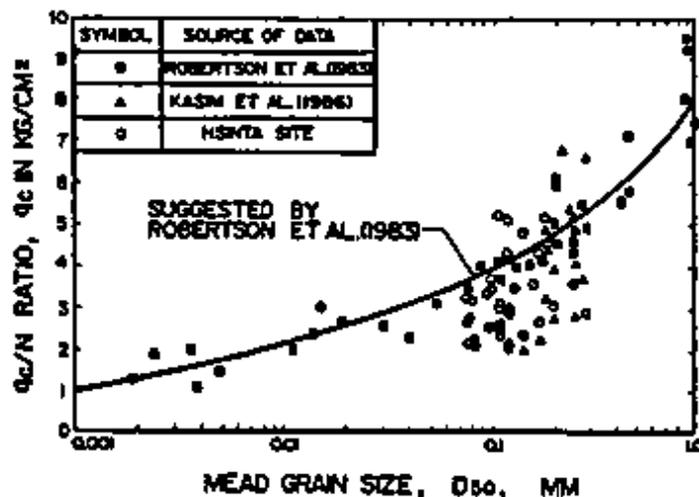


Figura 8 - Variazione del rapporto  $q_c/N$  ( $kg/cm^2$ ) con la granulometria.

In quei casi, dove solo i risultati delle SPT sono utilizzabili, si possono tradurre i valori di  $N$  delle SPT nei valori  $q_c$  delle CPT. Perciò si utilizzano dati di correlazioni pubblicati da molti autori. Una selezione è presente nella tabella seguente.

Soil type	$q_c$ / N	Nr of comp. tests	Author
A	6-10		Schmertmann (1970)
A	10		Meigh-Nixon (1961)
B	5-6		Schmertmann (1970)
C	8		Meigh-Nixon (1961) and Y. Lacroix (1971)
C	10	122	De Alencar Velloso (1959)
C	4		Mayerhof (1956)
D	1-4		Schmertmann (1970)
D	6	104	De Alencar Velloso (1959)
E	1-5	131	De Alencar Velloso (1959)
F	2	120	De Alencar Velloso (1959)
F	2		Schmertmann (1970)
F	4-5		Franki
G	1-5	202	De Alencar Velloso (1959)
G	2-3		Franki

$q_c$  in  $\text{kgf}/\text{cm}^2$   
N in blows/300 mm

A = sandy gravels and gravels  
B = coarse sands and sands with little gravel  
C = sand  
D = clean, fine to medium sands and slightly silty sands  
E = sandy silt  
F = sandy clay, silty sand, cohesive silt-sand mixtures  
G = clay, silty clay, clayey silt

Figura 9 - Correlazioni  $q_c$ -N.

Moh (1985) ha effettuato numerose ricerche per la correlazione tra  $q_c$  ed N. Nel suo lavoro, il rapporto  $q_c/N$  per sabbie limose può variare tra 3 e 6, ponendo  $q_c = 4 N$  per sabbia argillosa, limo sabbioso e commistione di sabbia e limo. Si è assunto tale valore. Inoltre, lo stesso autore riporta la tabella seguente.

Type of Soil	$q_c/N$			
	Lee et al (1984)	Schmertmann (1978)	Simons	Lacroix
Medium to fine sand or silty fine sand	4.0	3 - 4	5.5	4 - 6
Silty fine sand	3.7	3 - 4	4	4 - 6
Fine sandy silt and silt	3.0	2	2.5	2 - 4

Moh (1985) - Relationship between  $q_c'$  and N.

Applicando la (2) e la (1) e "normalizzando"  $q_c$  si ricava quanto segue.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 79 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

<b>Caratteristiche della coltre</b>				
Profondità (m)	Nspt medio	Composizione granulometrica	$\sigma'_p$ (kPa)	$c'$ (kPa)
<b>1,5 -3,0</b>	9	Limo con argilla sabbioso	94,14	9,0
<b>3,0 - 4,0</b>	15	Limo con sabbia e argilla	163,2	14,7
<b>4,0 - 5,0</b>	19	Sabbia con limo argilloso e livelli cementati di ghiaietto, con ciottoli	207,1	18,64
<b>5,0 - 7,0</b>	13	Limo con sabbia argilloso	119,25	11,0
<b>7,0 - al top del bedrock</b>	Rif.	Limo con argilla e sabbia e geomateriali grossolani addensati	-	20

La caratterizzazione geotecnica della coltre deriva, dunque, da: analisi di laboratorio su campioni appositamente prelevati e validati, dalle prove in situ, dai dati del VEL, dai sondaggi e dati di base dei Piani Strutturali Comunali, dall'archivio CGT-Centro di GeoTecnologie dell'Università di Siena.

<b>Parametri della coltre</b>									
Profondità (m)	Nspt medio	Composizione granulometrica	IP %	DR %	$\phi'_k$ (°)	$c'_k$ (kPa)	$E'_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )	G (kg/cmq)	$\nu$
<b>1,5 -3,0</b>	9	Limo con argilla sabbioso	>10	30,74	30	9,0	118	478	0,34
<b>3,0 - 4,0</b>	15	Limo con sabbia e argilla	8,2	66,41	31,5	14,7	118	820	0,33
<b>4,0 - 5,0</b>	19	Sabbia con limo argilloso e livelli cementati di ghiaietto, con ciottoli	<10	70,21	32,3	18,64	108	755	0,32
<b>5,0 - 5,50</b>	Lab.	Limo con sabbia argilloso	6,7	-	30	14	-	-	-
<b>5,50 - 7,0</b>	13	Limo con sabbia argilloso	>10	40	32,6	11,0	89,6	598	0,33
<b>7,0 - bedrock</b>	Lab.	Limo con argilla e con sabbia	>10	-	28	20	-	-	-

## **Unità 1**

I valori appresso riportati sono espressi direttamente in termini caratteristici (sensu NTC18).

- *Limo con sabbia e argilla o argilloso con passate di livelli cementati e geomateriali addensati alla base* (sensu A.G.I.); spessore medio 13.0 m

$\gamma_k = 19.8 \text{ kN/m}^3$  peso di volume

$\gamma_{k \text{ sat}} = 21.0 \text{ kN/m}^3$  peso di volume saturo

DR = 52% Densità relativa

$c'_k = 14.5 \text{ kPa}$  coesione efficace

$\phi'_k = 30,7^\circ$  angolo d'attrito efficace

$\nu = 0.33$  Coefficiente di Poisson

G = 65 MPa Modulo di rigidità

$E' = 10,55 \text{ MPa}$  Modulo di Young

K =  $10^{-3} \text{ m/s}$  -  $10^{-4} \text{ m/s}$  (con % limosa più rilevante) Coefficiente di permeabilità

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 80 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## **Unità 2**

Trattasi di una fascia di alterazione del substrato alla quale si assegnano, a favore di sicurezza, i parametri dell'Unità 1, con la sola variante del peso di volume per il maggiore addensamento:

$$\gamma_k = 21.0 \text{ kN/m}^3$$

Nella *Sezione 3* all'interno dell'Unità 2 è compreso anche uno spessore di ciottolami addensati in matrice limoso-sabbiosa debolmente cementati, riconducibili alla Formazione di Laterina, parametrizzati come la fascia di alterazione. La potenza di questo livello è compresa tra 3 e 6 m.

## **Unità 3**

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso deriva da una campagna di rilevamento attraverso l'esecuzione di n. 8 stazioni di osservazione e misura su entrambi i fianchi dell'asta fluviale a monte della diga, ed analoghe osservazioni lungo tutte le sponde. Per il dettaglio si rimanda al "Quadro conoscitivo geologico, geotecnico, geomeccanico e sismico" edito per ENEL Produzione S.p.A. da CGT – SpinOff dell'Università di Siena, nel febbraio 2015.

- *Arenarie del Monte Falterona - Spessore rilevato 16.0. m*

In condizioni sature le arenarie assumono i seguenti valori:

$$\gamma_k \text{ sat} = 24.0 \text{ kN/m}^3 \text{ peso di volume saturo}$$

$$\phi'k = 24^\circ \text{ angolo d'attrito} *$$

$$c'k = 190 \text{ kPa coesione} *$$

$$E = 5 \text{ GPa Modulo di deformazione}$$

$$G = 686 \text{ MPa Modulo di rigidità}$$

$$\nu = 0.3$$

$K =$  permeabilità compresa tra  $1,1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  e  $1,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  (risulta condizionata dalla frequenza, apertura, giacitura e continuità dei sistemi di fratture).

\*si assume un criterio di resistenza anisotropo considerando lungo l'immersione della stratificazione un valore di resistenza ridotto caratterizzato da un angolo d'attrito  $\phi'k = 24^\circ$  e da una coesione  $c'k = 60 \text{ kPa}$ .

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 81 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## 7 SISMICITA'

Il **rischio sismico** rappresenta, nella corrente accezione, il probabile danno che un determinato sito può subire in occasione di un sisma. In maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate. La **pericolosità sismica** può essere direttamente riferita alla vibrazione che un sito può subire durante un sisma, mentre la **vulnerabilità** definisce lo stato di conservazione del patrimonio edilizio e delle strutture sociali potenzialmente rese inattive dal sisma. Il parametro relativo alla **quantificazione economica** delle realtà danneggiate è di difficilissima valutazione poiché comprende, oltre a edifici, strutture produttive ed infrastrutture, anche vite umane e beni artistici e culturali.

La *valutazione del rischio sismico*, in aree ad estensione regionale, viene effettuata Mediante la **macrozonazione sismica**, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa severità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a variegate situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la **microzonazione sismica**. Infatti, l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, etc.).

La microzonazione sismica mira ad individuare gli strumenti necessari a prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona di dimensioni urbane, tramite opportuni criteri d'uso del territorio.

Le indagini per la *valutazione del rischio sismico* sono, pertanto, suddivise in due fasi.

### **-Macrozonazione sismica**

Fornisce un quadro generale del potenziale sismico e quindi della pericolosità sismica di una regione, con l'individuazione delle aree sismiche e di quelle non soggette a sisma.

Nell'ambito dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 si sono individuate 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle (Categorie) individuate dalla L.n.64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova costituzione. In quest'ultima zona le regioni possono imporre l'obbligo della progettazione antisismica e stabilire norme e criteri specifici. Sulla scorta di questa nuova classificazione il territorio dei Comuni ai quali afferisce l'area della diga è inserito in **Zona 3** con i seguenti parametri :

<i>zona</i>	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) (ag/g)
<b>3</b>	<b>0,15</b>

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 82 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

La OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 disciplina i criteri alla base degli studi per la definizione della pericolosità sismica utili alla riclassificazione sismica del territorio nazionale, ma definisce anche con :

-la lett. g) la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche che dovranno prevedere:

la definizione di eventuali sottozone nell'ambito di uno stesso comune e secondo quanto previsto alla lett. a) per descrivere meglio l'azione sismica, soprattutto in relazione alle esigenze di valutazione e di recupero degli edifici esistenti.

-la lett. c) sulla base della valutazione di *ag* l'assegnazione di un territorio ad una delle zone sismiche potrà avvenire, secondo la tab. di cui alla lett. a), con la tolleranza di 0,025 *ag*.

La Regione Toscana, con D.G.R. n. 431 del 19.06.2006, ha proposto la riclassificazione sismica regionale mantenendo in via preliminare un atteggiamento di cautela soprattutto nelle situazioni che potrebbero comportare una declassificazione dei comuni dalla zona a media sismicità alla zona a bassa sismica (da zona 2 a zona 3).

A tale proposito ha ritenuto opportuno, nel processo di declassificazione dei comuni, mantenere lo stesso livello di protezione assicurato dalle azioni sismiche della zona 2, provvedendo di conseguenza all'individuazione di una zona **3S**. Tuttavia, il territorio considerato è **rimasto** inserito in **zona 3**.

A distanza di sei anni dall'entrata in vigore della precedente classificazione sismica, la Regione Toscana ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. La **nuova mappa sismica** è stata approvata con la delibera n. 878 dell'8 ottobre 2012. L'aggiornamento della classificazione sismica, redatto ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio *sito-dipendente* introdotto dalle vigenti Norme.

Il territorio di interesse rimane inserito in **zona 3** anche nella più recente classificazione.

### **Nuovi criteri per la pericolosità sismica e la classificazione sismica del territorio nazionale (D.M. 14.01.2008 e Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici- voto n. 36 del 27.07.2007, D.M. 17.01.2018 e Circolare CSLPP n.7/2019)**

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica è intesa come accelerazione massima orizzontale *ag* in condizioni di campo libero su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s), con superficie topografica orizzontale (di categoria di sottosuolo A; NTC, § 3.2.2), ma è definita anche in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente *Se* (T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, come definite nelle NTC nel periodo di riferimento VR. In alternativa è consentito l'uso di accelerogrammi, purché congruenti con la pericolosità sismica del sito.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, reiterato dall'aggiornamento delle NTC18, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 83 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Con l'entrata in vigore del citato D.M. la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

Pertanto (secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008), la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (v. tabella 1 nell'Allegato B di D.M. 14 gennaio 2008).

Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T\*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### **-Microzonazione sismica**

Individua le risposte sismiche locali nell'ambito di una zona dell'ordine di grandezza di un comune o di una città metropolitana, fornendo informazioni di dettaglio relative agli effetti locali, ottimizzando quindi i dati rilevati tramite la macrozonazione.

Lo studio di pericolosità di base è condotto con riferimento a condizioni standard di suolo, ovvero substrato roccioso affiorante con superficie topografica orizzontale. È noto che le caratteristiche dello scuotimento del terreno sono fortemente influenzate dalle condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali che modificano, a volte in modo significativo, il moto sismico corrispondente alla pericolosità sismica di base. Tali modificazioni sono note in letteratura come *effetti di sito* o alternativamente *amplificazione/deamplificazione sismica locale*. La quantificazione degli effetti di sito richiede la conoscenza dei risultati dello studio di pericolosità sismica di base, nonché di dati relativi alle caratteristiche lito-stratigrafiche e geomorfologiche del sito oggetto di studio. L'attività di valutazione su un territorio (tipicamente a scala comunale) delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico - geotecniche e dalle irregolarità topografiche locali è chiamata appunto microzonazione sismica. Essa prende l'avvio dai risultati di macrozonazione e si riferisce generalmente a un territorio di limitata estensione. Le NTC08 prevedono che l'azione sismica di base, definita su suolo rigido e superficie topografica orizzontale, sia opportunamente modificata per tener conto delle condizioni lito-stratigrafiche e topografiche del sito in esame.

### **VS30 e caratterizzazione dei suoli**

L'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 ha aggiornato la normativa sismica in vigore con l'attribuzione alle diverse località del territorio nazionale di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo.

Inoltre, tale Ordinanza ha proposto l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque (A - B - C - D- E) tipologie di suoli da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio equivalenti sui primi 30 metri di terreno (VSeq). Tale classificazione è confermata dal D.M. 14.01.08, ma

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 84 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

come approccio semplificato per valutare l'effetto della Risposta Sismica Locale in funzione della definizione dell'azione sismica di progetto, limitato solo ad alcuni casi.

## 7.1 Pericolosità sismica

Sulla scorta del D.M. 26.06.2014 nel capito H. DIGHE ESISTENTI, paragrafo H.2.1- intervento di adeguamento, paragrafo H3. – e sottoparagrafo H.3.4.1. – Azioni sismiche, per le dighe esistenti si deve assumere una Vita Nominale  $V_N$  pari a 50 anni ed un periodo di riferimento  $V_R$  pari a 100 anni.

Il periodo di riferimento dell'azione sismica è definito, pertanto, in funzione della vita nominale  $V_N$  e del coefficiente d'uso  $C_U$  secondo la relazione valida per le dighe di nuova costruzione e con riferimento alla tabella H1.

Tab.H1

Dighe:	$V_N$ (anni)	$C_U$	$V_R$ (anni)
strategiche	≥ 50	2,0	100
rilevanti		1,5	75

Conseguentemente, i periodi di riferimento minimi risultano:

Tab. H2

Dighe:	$V_R$ (anni)
strategiche	100
rilevanti	75
imp. normale	50

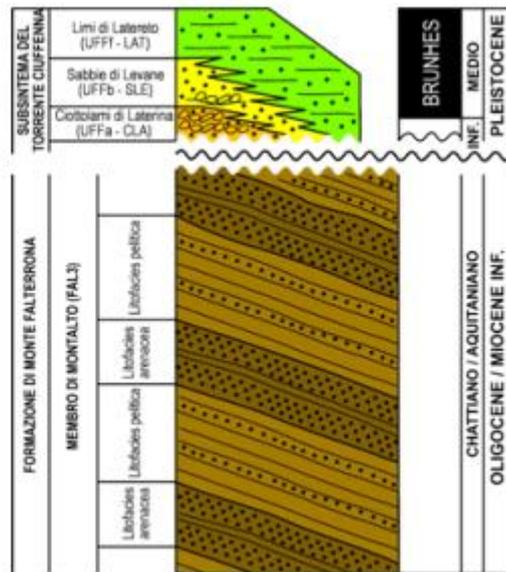
e, con riferimento alle prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  definite nelle vigenti NTC, i periodi di ritorno dell'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite di cui al cap. C.6 sono:

Tab.H3

Dighe:	SLO $P_{VR}(\%)=81$	SLD $P_{VR}(\%)=63$	SLV $P_{VR}(\%)=10$	SLC $P_{VR}(\%)=5$
strategiche	60	100	950	1946
rilevanti	45	75	710	1460
imp. normale	30	50	475	975

I versanti sottesi dall'invaso sono caratterizzati dalla presenza delle unità del Sintema del Valdarno, riferibili tutte al Sintema di Monticello-Ciuffenna e costituite da depositi ciottolosi e sabbiosi alla base (Ciottolami di Laterina, Pleistocene inf.-medio), che evolvono verso terreni francamente sabbiosi o sabbioso-ciottolosi (Sabbie di Levane, Pleistocene inf.medio) ed infine a depositi sabbioso-limosi (Limi di Latereto e Pian di Tegna, Pleistocene medio). Questi ultimi costituiscono i litotipi dei terrazzi che giacciono in discordanza sul bedrock stratigrafico e sismico.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 85 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE



## RISPOSTA SISMICA LOCALE IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DEL SITO

Nel sito di interesse sono state realizzate indagini sismiche, riportate in allegato, che hanno consentito di individuare la Categoria di Sottosuolo.

### **Categoria di sottosuolo**

La caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo di fondazione è stata individuata in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio equivalenti relative ai primi 30 metri di terreno (VS30), mediante Cross-Hole.

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

con:

- h<sub>i</sub> spessore dell'*i*-esimo strato (in m);
- V<sub>S,i</sub> velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato (m/s);
- N numero di strati;
- H profondità del substrato SISMICO (m)

Da quanto emerso si è individuata la **Categoria di sottosuolo B**.

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

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

Via

Lat.  Long.  Alt.  m

Datum

Parametri sismici

Lat. (ED50)  Long. (ED50)

Classe dell'edificio

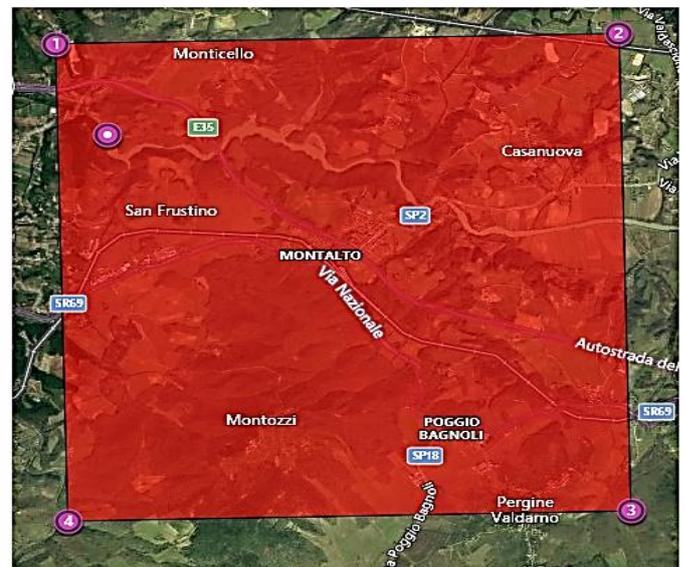
Coefficiente d'uso Cu

Vita nominale  anni

Interpolazione

	Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [f]	TC* [s]
Px	Operatività (SLO)	60	0.059	2.608	0.276
	Danno (SLD)	101	0.071	2.612	0.285
	Salvaguardia vita (SLV)	949	0.163	2.427	0.305
	Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.201	2.438	0.312
P1	Operatività (SLO)	60	0.059	2.615	0.276
	Danno (SLD)	101	0.070	2.617	0.286
	Salvaguardia vita (SLV)	949	0.161	2.423	0.307
	Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.199	2.434	0.314
P2	Operatività (SLO)	60	0.062	2.588	0.277

Periodo riferimento azione sismica



### 7.1.1 Pericolosità sismica di base

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: IV  
 Coefficiente d'uso (Cu): 2  
 Periodo di riferimento (Vr): 100 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLO: 60 [anni]

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 87 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 101 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 949 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43,5096016 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11,6339359 [°]  
 Latitudine (ED50): 43,5105629 [°]  
 Longitudine (ED50): 11,6349058 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	21174	43,520040	11,628520	1172,98
2	21175	43,521110	11,697440	5177,15
3	21397	43,471130	11,698890	6772,53
4	21396	43,470050	11,630040	4521,80

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]
	30	0,046	2,565	0,258
	50	0,055	2,604	0,272
SLO	60	0,059	2,615	0,276
	72	0,062	2,626	0,280
SLD	101	0,070	2,617	0,286
	140	0,078	2,619	0,291
	201	0,090	2,571	0,296
	475	0,129	2,402	0,304
SLV	949	0,161	2,423	0,307
	975	0,162	2,424	0,307
SLC	1950	0,199	2,434	0,314
	2475	0,213	2,438	0,316

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 88 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,048	2,551	0,258
	50	0,058	2,588	0,274
SLO	60	0,062	2,588	0,277
	72	0,066	2,587	0,281
SLD	101	0,074	2,595	0,286
	140	0,084	2,547	0,292
	201	0,098	2,487	0,295
	475	0,136	2,404	0,304
SLV	949	0,169	2,426	0,308
	975	0,170	2,427	0,308
SLC	1950	0,208	2,445	0,314
	2475	0,223	2,451	0,316

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,048	2,552	0,258
	50	0,057	2,588	0,273
SLO	60	0,061	2,589	0,276
	72	0,065	2,589	0,279
SLD	101	0,074	2,596	0,284
	140	0,084	2,557	0,290
	201	0,099	2,474	0,290
	475	0,136	2,424	0,293
SLV	949	0,170	2,438	0,296
	975	0,171	2,438	0,297
SLC	1950	0,210	2,446	0,308
	2475	0,225	2,449	0,312

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 89 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,046	2,564	0,258
	50	0,055	2,602	0,271
SLO	60	0,058	2,615	0,275
	72	0,062	2,627	0,278
SLD	101	0,070	2,619	0,284
	140	0,078	2,600	0,289
	201	0,093	2,495	0,293
	475	0,129	2,415	0,295
SLV	949	0,161	2,436	0,297
	975	0,162	2,437	0,297
SLC	1950	0,199	2,440	0,308
	2475	0,213	2,441	0,312

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,059	2,608	0,276
SLD	101	0,071	2,612	0,285
SLV	949	0,163	2,427	0,305
SLC	1950	0,201	2,438	0,312

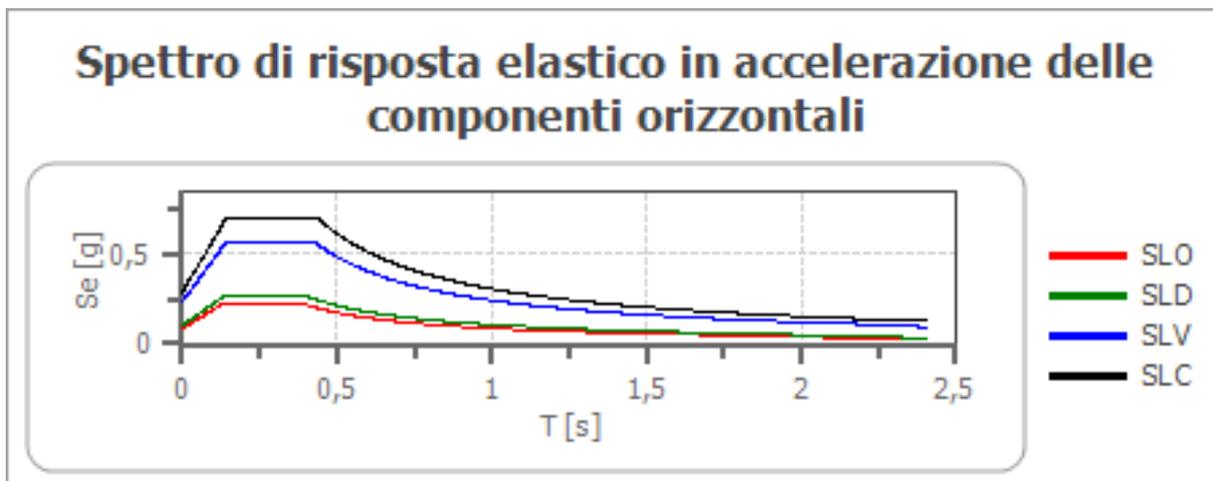
## 7.1.2 Pericolosità sismica di sito

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	0,017	0,020	0,056	0,081
kv	0,009	0,010	0,028	0,041
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,836	1,000	2,298	2,841
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

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

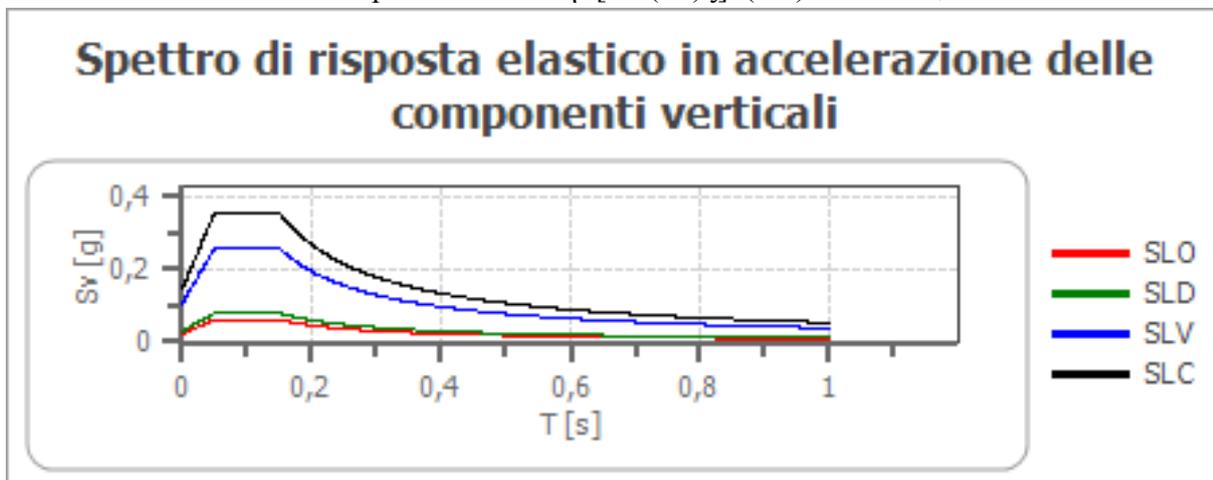


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	2,0	0,059	2,608	0,276	1,200	1,420	1,200	1,440	1,000	0,131	0,392	1,837	0,085	0,222
SLD	2,0	0,071	2,612	0,285	1,200	1,410	1,200	1,440	1,000	0,134	0,402	1,883	0,102	0,266
SLV	2,0	0,163	2,427	0,305	1,200	1,400	1,200	1,440	1,000	0,142	0,427	2,251	0,234	0,569
SLC	2,0	0,201	2,438	0,312	1,200	1,390	1,200	1,440	1,000	0,145	0,434	2,405	0,290	0,706

## 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 [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	2,0	0,059	2,608	0,276	1	1,420	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,023	0,061
SLD	2,0	0,071	2,612	0,285	1	1,410	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,031	0,080
SLV	2,0	0,163	2,427	0,305	1	1,400	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,106	0,258
SLC	2,0	0,201	2,438	0,312	1	1,390	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,146	0,356

## 7.2 Liquefazione

I terrazzi ed i materiali detritici presenti sulle superfici sommitali sub-pianeggianti dei terrazzi più alti circostanti l'invaso non interagiscono con l'invaso stesso, come evidenziato nell'ambito della descrizione degli aspetti geomorfologici. Tuttavia, in una visione strettamente ambientale e facendo riferimento ad un'area vasta, si è ritenuto opportuno, anche sulla scorta di quanto previsto dalle NTC18, verificare il rischio di liquefazione e, quindi, la conseguente suscettibilità dei terreni a tale fenomeno, per identificare in ogni caso un elemento di rischio di cui il tutore del territorio di pertinenza vorrà tenere conto.

### CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE

Gli Autori dei metodi utilizzati, ai fini progettuali, suggeriscono di adottare un valore di **FS > 1,5** per le sabbie medio-sciolte e **FS > 1,3** per le sabbie medio-dense.

Metodo di calcolo		<input checked="" type="radio"/> Seed e Idriss	Risultati	
		<input type="radio"/> Tokimatsu e Yoshimi		
Immissione Dati			Pressione totale del terreno (kg/cmq)	
Profondità di calcolo (m)	2		0,37	
Profondità della falda dal p. c. (m)	0,5		Pressione efficace del terreno (kg/cmq)	
Peso di volume del terreno (t/mc)	1,85		0,22	
Numero di colpi SPT o SCPT	10		Fattore correttivo per la frazione argillosa (%)	
Frazione argillosa (%)	20		6,00	
Accelerazione sismica massima (g)	0,199		Numero di colpi standard corretto Na	
			24,4783	
			Resistenza alla liquefazione (R)	
			0,6499	
			Sforzo di taglio normalizzato (T)	
			0,211	
			Coefficiente di sicurezza (Fs = R / T)	
			3,0801	
			Il deposito non è liquefacibile	

Metodo di calcolo		<input type="radio"/> Seed e Idriss	Risultati	
		<input checked="" type="radio"/> Tokimatsu e Yoshimi		
Immissione Dati			Pressione totale del terreno (kg/cmq)	
Profondità di calcolo (m)	2		0,37	
Profondità della falda dal p. c. (m)	0,5		Pressione efficace del terreno (kg/cmq)	
Peso di volume del terreno (t/mc)	1,85		0,22	
Numero di colpi SPT o SCPT	10		Fattore correttivo per la frazione fine (%)	
Magnitudo del sisma (Richer)	4,840		5,00	
Accelerazione sismica massima (g)	0,199		Numero di colpi standard corretto Na	
			18,4783	
			Resistenza alla liquefazione (R)	
			0,6059	
			Sforzo di taglio normalizzato (T)	
			0,081	
			Coefficiente di sicurezza (Fs = R / T)	
			7,4772	
			Il deposito non è liquefacibile	

Tipo di deposito		<input type="radio"/> Sabbie pulite
		<input checked="" type="radio"/> Sabbie limose
Consistenza del deposito		<input type="radio"/> Sabbie sciolte
		<input checked="" type="radio"/> Sabbie medio-dense

Metodo di calcolo  Seed e Idriss  
 Tokimatsu e Yoshimi

Immissione Dati	
Profondità di calcolo (m)	2
Profondità della falda dal p. c. (m)	0.5
Peso di volume del terreno (γ <sub>mc</sub> )	1.85
Numero di colpi SPT o SCPT	4
Frazione argillosa (%)	20
Accelerazione sismica massima (g)	0.159

Risultati	
Pressione totale del terreno (kg/cm <sup>2</sup> )	0.37
Pressione efficace del terreno (kg/cm <sup>2</sup> )	0.22
Fattore correttivo per la frazione argillosa (%)	6.00
Numero di colpi standard corretto N <sub>a</sub>	13.3913
Resistenza alla liquefazione (R)	0.1567
Sforzo di taglio normalizzato (T)	0.211
Coefficiente di sicurezza (F <sub>s</sub> = R / T)	0.7523

Il deposito è liquefacibile

Metodo di calcolo  Seed e Idriss  
 Tokimatsu e Yoshimi

Immissione Dati	
Profondità di calcolo (m)	2
Profondità della falda dal p. c. (m)	0.5
Peso di volume del terreno (γ <sub>mc</sub> )	1.85
Numero di colpi SPT o SCPT	4
Magnitudo del sisma (Richio)	4.840
Accelerazione sismica massima (g)	0.159

Risultati	
Pressione totale del terreno (kg/cm <sup>2</sup> )	0.37
Pressione efficace del terreno (kg/cm <sup>2</sup> )	0.22
Fattore correttivo per la frazione fine (%)	5.00
Numero di colpi standard corretto N <sub>a</sub>	7.3913
Resistenza alla liquefazione (R)	0.1491
Sforzo di taglio normalizzato (T)	0.081
Coefficiente di sicurezza (F <sub>s</sub> = R / T)	1.8402

Il deposito non è liquefacibile

Tipo di deposito  Sabbie pulite  
 Sabbie limose

Consistenza del deposito  Sabbie sciolte  
 Sabbie medio-dense

Solo con falda a piano campagna, per terreni non coesivi saturi posti nell'ambito dei primi metri di profondità, può verificarsi il fenomeno della liquefazione secondo Seed & Idriss.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 94 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## 8 ANALISI DELLA STABILITA' DEI VERSANTI

Si procede alle verifiche di stabilità dei versanti che insistono sul bacino idrico modellando le seguenti sezioni caratteristiche dell'assetto morfologico, litologico e geostrutturale del terreno.

Si ritiene opportuno riportare quanto richiesto dalle normative attuali per le verifiche di stabilità relative all'area di interesse.

### **D. M. II.TT. 26 giugno 2014 - NT Dighe C.10. - Stabilità delle sponde**

Le condizioni di sicurezza delle sponde lungo i versanti che delimitano l'invaso, devono essere verificate nei confronti dei possibili limiti, comprendendo, tra questi, in funzione anche dei volumi mobilitabili, la possibilità di ostruzione e/o danneggiamento degli scarichi, la formazione di onde, l'innalzamento del livello di invasore, alle quali possa conseguire la tracimazione della diga. Le verifiche devono riguardare sia le condizioni statiche delle sponde sia le loro condizioni durante e dopo il sisma.

Le indagini per lo studio della stabilità delle sponde devono comprendere l'accertamento delle condizioni geologiche e geomorfologiche dei relativi versanti e la caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce, con particolare riguardo ai parametri di resistenza e al regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo. Particolare attenzione alla stabilità delle sponde deve essere destinata nei serbatoi per la laminazione delle piene, con specifico riferimento alle condizioni di invasore e svasso rapidi.

Le verifiche di sicurezza devono essere svolte secondo le indicazioni delle NTC.

### **NTC18 - 6.3.4. VERIFICHE DI SICUREZZA**

*"Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinatismi, considerando forma e posizione della eventuale superficie di scorrimento, le proprietà meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi e il regime delle pressioni interstiziali.*

*Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.*

*Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.*

*Quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.*

*La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la tensione di taglio agente lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinatismo atteso o accertato, sia le azioni, presi con il loro valore caratteristico".*

Le NTC18 suggeriscono solo l'uso dei parametri caratteristici per i pendii naturali o rinaturalizzati. Poiché il volume interessato da una frana è notevole, secondo le Istruzioni del CSLP, *i valori caratteristici sono prossimi ai valori medi.*

Il livello di sicurezza è espresso, in generale, come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 95 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

$$F_s = t_s / t_m$$

$t_s$  resistenza al taglio disponibile

$t_m$  sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale) sotto l'azione dei carichi.

Le verifiche devono essere eseguite anche per le combinazioni sismiche previste dalle NTC, secondo quanto disposto nel § 7.11 delle NTC stesse.

Per l'applicazione di dette norme occorre distinguere secondo i normatori tra pendio naturale, di cui si è discusso in altro capitolo, e pendio artificiale e/o pendio "strutturalmente manomesso" (e.g.: costruzioni, opere geotecniche). Sulla scorta di tale distinzione si farà riferimento all'Approccio di progetto stabilito dalle NTC (DA1 – C2) o meno, secondo quanto sinteticamente indicato nella tabella seguente.

Modalità di bonifica e consolidamento di un versante		- DA - Approccio di progetto richiesto
<b>REGIMAZIONE IDRICA</b> a) erosione al piede b) drenaggi superficiali c) drenaggi profondi	Eliminazione di disequilibri e detensionamenti.  Riduzione pressioni interstiziali	Nessun Approccio Uso dei parametri caratteristici k $F_s = t_s / t_m$
<b>CONSOLIDAMENTO MECCANICO</b> a) Rimodellamento del pendio b) Scoronamento c) Gradonamento d) Tecniche per trasferire gli sforzi tangenziali ad elementi strutturali: <b>paratie, berlinesi, muri di sostegno, terre armate</b>	Riduzione della pendenza	Nessun Approccio. Uso dei parametri caratteristici k $F_s = t_s / t_m$
	Incremento delle forze resistenti	<b>DA1 – C2 (A2+M2+R2)</b>
<b>TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA</b> a) Inerbimenti b) Gradonate con talee o piantine c) Vimate d) Grate	Ricostituzione copertura vegetale. Contributi all'incremento di forze resistenti.	Nessun Approccio  Uso dei parametri caratteristici k $F_s = t_s / t_m$ 

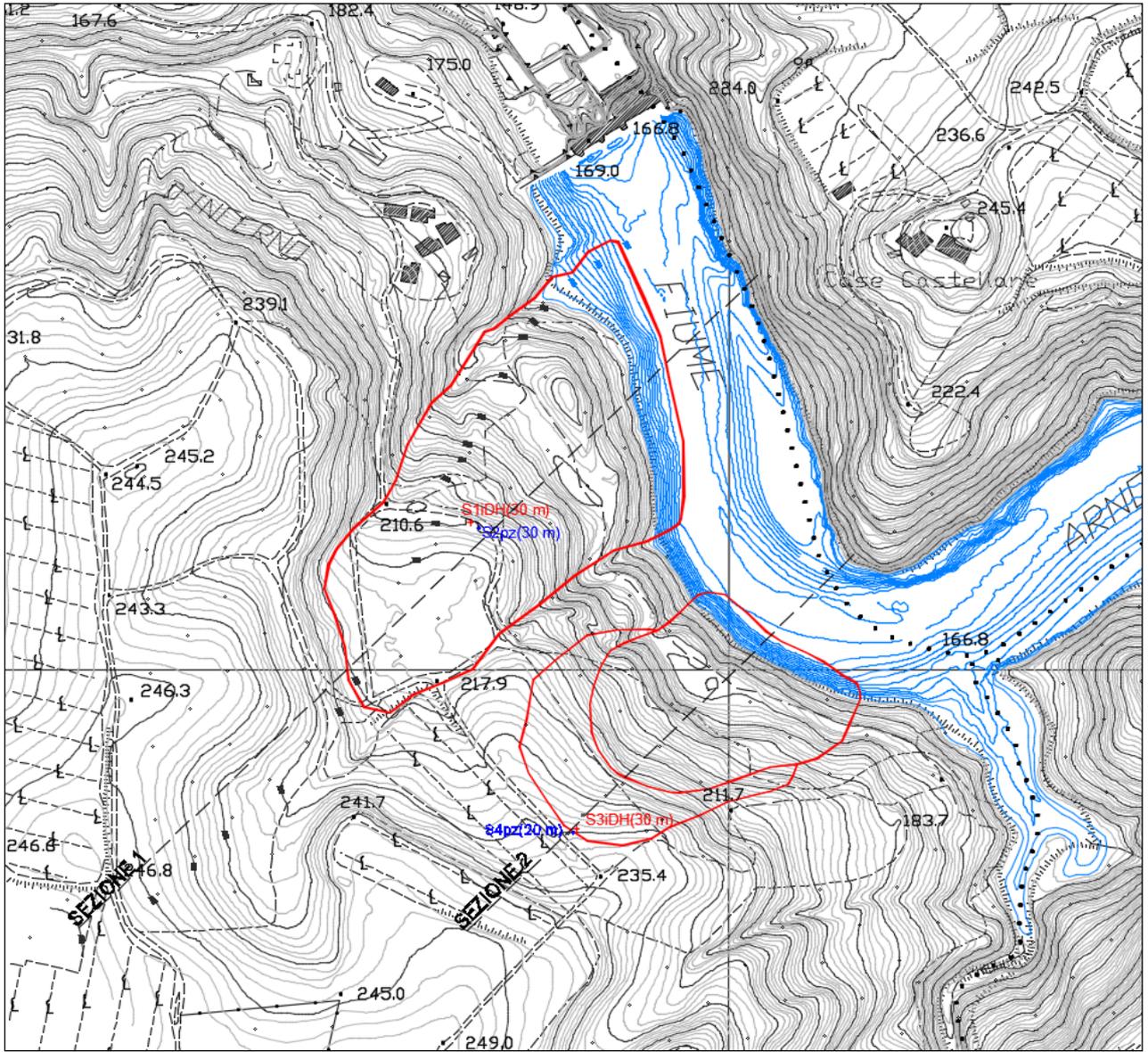
Interventi di riduzione del rischio geomorfologico e approcci di progetto, sensu NTC 18.

E. Aiello – CGT UNISI

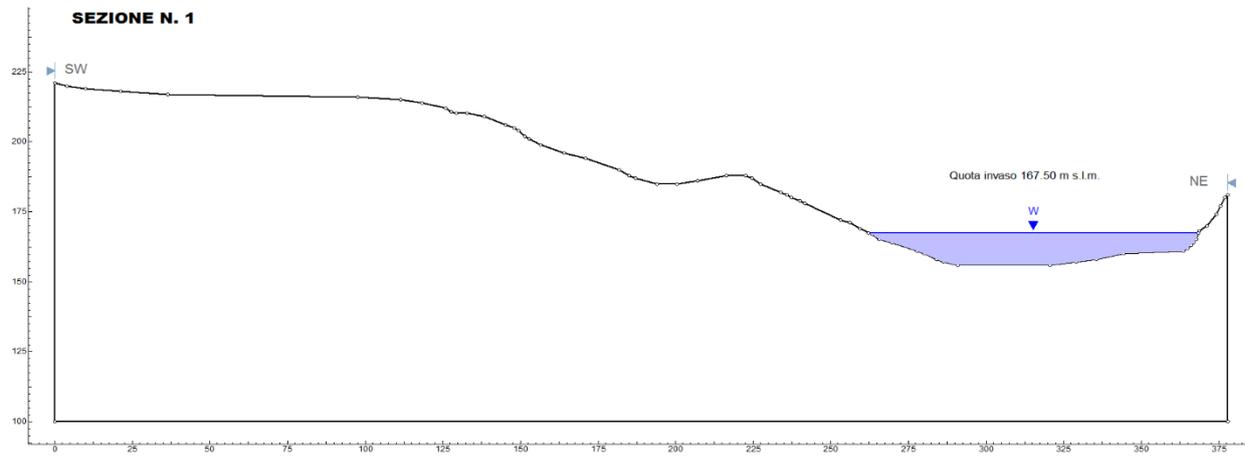
Stante quanto emerge dalle NTC 18, le verifiche di stabilità verranno effettuate considerando i versanti come pendio naturale.

**La sintesi dei risultati è riportata alla fine di questo capitolo.**

Si procede alla verifica di stabilità dei versanti che insistono sul bacino idrico modellando le seguenti sezioni caratteristiche dell'assetto morfologico, litologico e geostrutturale.

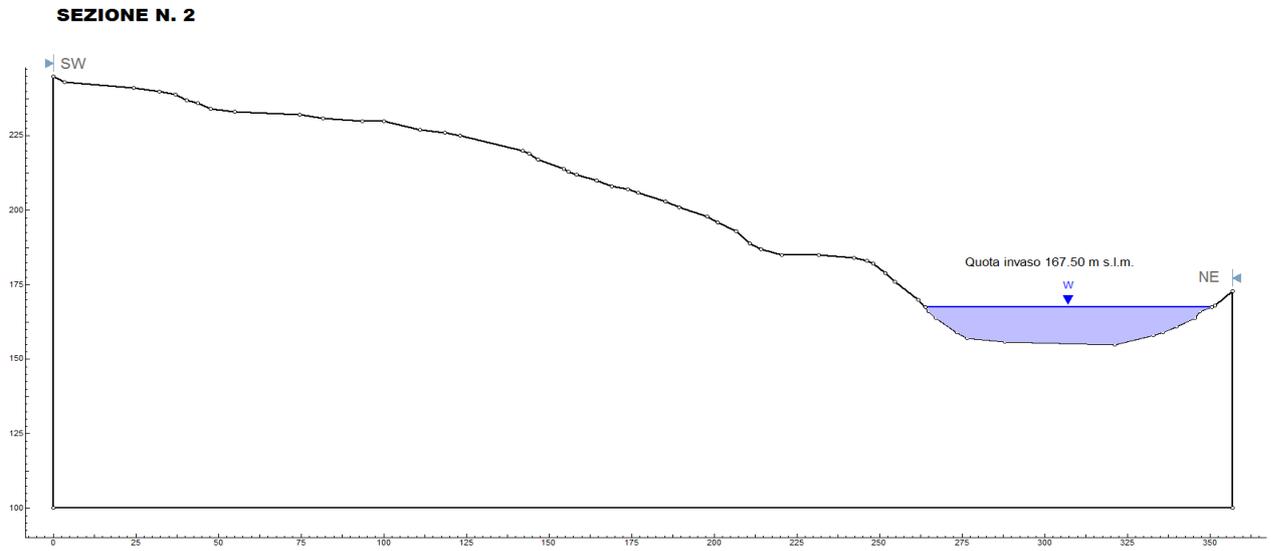


*Planimetria con le tracce delle sezioni di verifica n. 1 e n. 2*

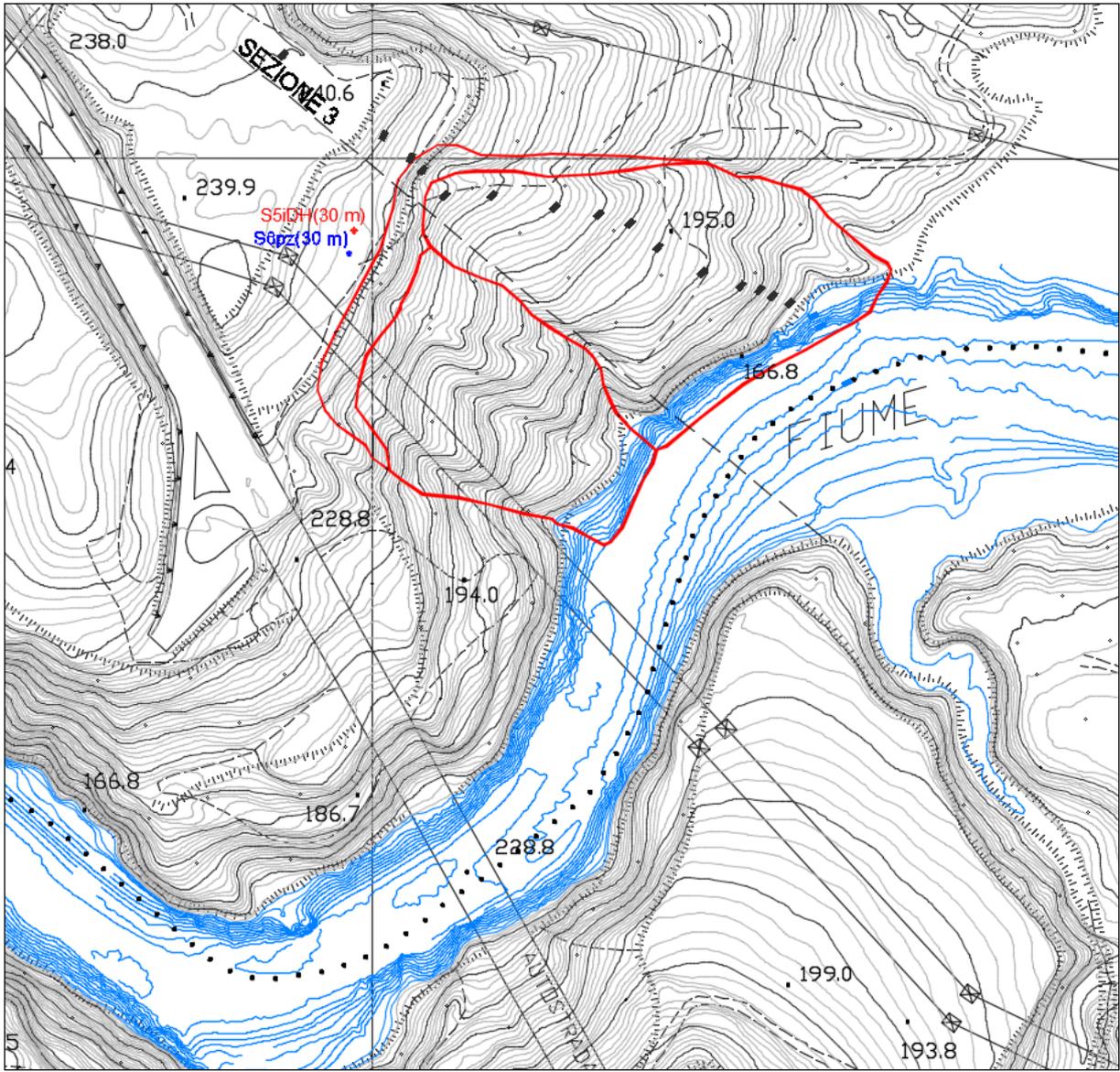


Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE
pag. 97 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

*Profilo della sezione di verifica n. 1*

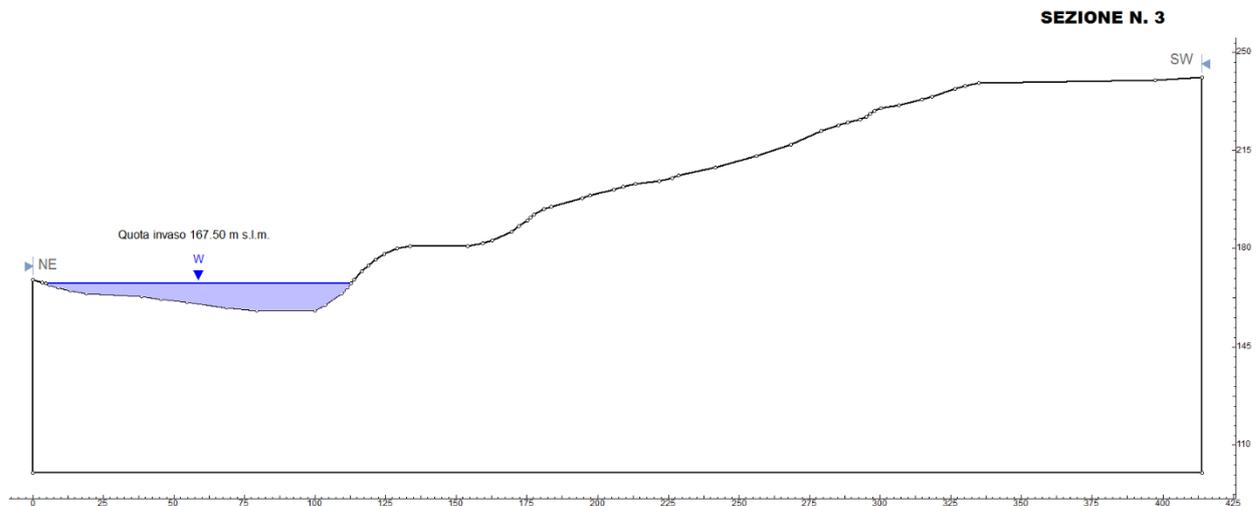


*Profilo della sezione di verifica n. 2*



*Planimetria con la traccia della sezione di verifica n. 3*

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 99 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE



*Profilo della sezione di verifica n. 3*

Nelle verifiche si farà riferimento alle seguenti unità geotecniche: i cui valori appresso riportati sono espressi direttamente in termini caratteristici (sensu NTC18).

Unità 1) Coperture - Spessore medio 13.0 m

peso di volume  $\gamma_k = 19.8 \text{ kN/m}^3$   
 peso di volume saturo  $\gamma_{ksat} = 21.0 \text{ kN/m}^3$   
 coesione efficace  $c'_k = 14.5 \text{ kPa}$   
 angolo d'attrito efficace  $\phi'_k = 30.7^\circ$

Unità 2) Spessore di alterazione del substrato litoide

peso di volume  $\gamma_k = 21.0 \text{ kN/m}^3$   
 peso di volume saturo  $\gamma_{ksat} = 22.0 \text{ kN/m}^3$   
 coesione  $c'_k = 14.5 \text{ kPa}$   
 angolo d'attrito  $\phi'_k = 30.7^\circ$

Unità 3) Substrato litoide - Arenarie del Monte Falterona - Spessore rilevato 16.0. m

peso di volume  $\gamma_k = 24.0 \text{ kN/m}^3$   
 coesione\*  $c'_k = 190 \text{ kPa}$   
 angolo d'attrito\*  $\phi'_k = 24^\circ$

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 100 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

\*si assume un criterio di resistenza anisotropo considerando lungo l'immersione della stratificazione un valore di resistenza ridotto caratterizzato da un angolo d'attrito  $\phi'k = 24^\circ$  e da una coesione  $c'k = 60$  kPa.

Sono eseguite le seguenti verifiche di stabilità:

- A) quota di invaso a livello attuale di 167.50 m s.l.m.;
- B) quota di invaso a livello di progetto di 172.0 m s.l.m.;
- C) condizioni di rapido svaso del battente di progetto a quello attuale.

Per la tipologia di verifica A) sono state eseguite analisi sia in condizioni statiche che sismiche (cfr. Tab. C6 NTD14).

## 8.1 Sezione n. 1

A) Verifica di stabilità globale con quota invaso attuale pari a 167.50 m s.l.m.

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;
- Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)
- Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;
- Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;
- Tipo di analisi: Deterministica;
- Filtrazione: Superficie freatica;
- Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;
- Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici;
- Introduzione delle azioni sismiche mediante i coefficienti  $k_h = 0.056$  e  $k_v = + / - 0.028$ .

La verifica del versante è svolta con il criterio del pendio naturale.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 101 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Si procede con il calcolo in condizioni statiche.

### ***SLIDE - An Interactive Slope Stability Program***

#### ***General Settings***

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### ***Analysis Options***

---

##### **Analysis Methods Used**

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m_{\alpha} < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

##### ***Groundwater Analysis***

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

##### ***Random Numbers***

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

##### ***Surface Options***

---

- Surface Type: Non-Circular Path Search
- Number of Surfaces: 5000
- Pseudo-Random Surfaces: Enabled
- Convex Surfaces Only: Disabled
- Segment Length: Auto Defined
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined
- Upper Angle: Auto Defined

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 102 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

- Lower Angle: Auto Defined

### Material Properties

Property	UNITA' 1	UNITA' 2	UNITA' 3
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Anisotropic strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19.8	21	
Saturated Unit Weight [kN/m3]	21	22	
Cohesion [kPa]	14.5	14.5	
Friction Angle [deg]	30.7	30.7	
Cohesion 1 [kPa]			60
Cohesion 2 [kPa]			190
Friction Angle 1 [deg]			24
Friction Angle 2 [deg]			24
Angle from 1 [deg]			-15
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	Automatically Calculated

### Global Minimums

Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.539610
- Axis Location: 280.442, 238.320
- Left Slip Surface Endpoint: 218.136, 188.000
- Right Slip Surface Endpoint: 283.314, 158.283
- Left Slope Intercept: 218.136 188.000
- Right Slope Intercept: 283.314 167.500
- Resisting Moment=488523 kN-m
- Driving Moment=317303 kN-m
- Resisting Horizontal Force=5250.02 kN
- Driving Horizontal Force=3409.96 kN
- Total Slice Area=647.026 m2

### Global Minimum Coordinates

Method: gle/morgenstern-price

X	Y
218.136	188
218.656	186.018
230.346	171.588
246.962	163.292
264.746	157.942
283.314	158.283

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 103 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

283.315	167.5
---------	-------

### Valid Surfaces

Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 4326

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.53961

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.519944	10.2017	UNITA' 1	14.5	30.7	6.91844	10.6517	-6.48129	0	-6.48129
2	2.84477	210.526	UNITA' 1	14.5	30.7	25.3272	38.994	41.2525	0	41.2525
3	2.84477	391.256	UNITA' 1	14.5	30.7	40.1045	61.7453	79.5701	0	79.5701
4	2.84477	501.364	UNITA' 1	14.5	30.7	47.8183	73.6215	99.572	0	99.572
5	2.84477	601.6	UNITA' 1	14.5	30.7	54.3232	83.6365	116.439	0	116.439
6	0.311435	73.4022	UNITA' 2	14.5	30.7	58.935	90.7369	128.398	0	128.398
7	2.76922	663.844	UNITA' 2	14.5	30.7	80.3619	123.726	184.722	0.765085	183.957
8	2.76922	671.819	UNITA' 2	14.5	30.7	77.5651	119.42	187.936	11.23	176.706
9	2.76922	667.88	UNITA' 2	14.5	30.7	73.4019	113.01	187.605	21.695	165.91
10	2.76922	684.819	UNITA' 2	14.5	30.7	71.6331	110.287	193.484	32.16	161.324
11	2.76922	683.11	UNITA' 2	14.5	30.7	67.8478	104.459	194.133	42.6249	151.508
12	2.76922	684.789	UNITA' 2	14.5	30.7	64.5924	99.4471	196.157	53.0899	143.067
13	2.96406	715.713	UNITA' 2	14.5	30.7	70.6391	108.757	219.783	61.0365	158.746
14	2.96406	679.355	UNITA' 2	14.5	30.7	65.1938	100.373	211.091	66.4649	144.626
15	2.96406	655.397	UNITA' 2	14.5	30.7	61.2228	94.2592	206.223	71.8932	134.33
16	2.96406	628.065	UNITA' 2	14.5	30.7	56.8512	87.5287	200.316	77.3216	122.994
17	2.96406	581.815	UNITA' 2	14.5	30.7	50.2416	77.3524	188.606	82.7499	105.856
18	2.96406	558.076	UNITA' 2	14.5	30.7	46.5407	71.6545	185.645	89.3863	96.2592
19	2.7646	486.073	UNITA' 2	14.5	30.7	54.9829	84.6522	211.66	93.5103	118.15
20	2.7646	457.113	UNITA' 2	14.5	30.7	49.0069	75.4515	195.667	93.0125	102.654
21	2.7646	423.797	UNITA' 2	14.5	30.7	42.8616	65.9902	179.234	92.5147	86.7195
22	2.7646	387.491	UNITA' 2	14.5	30.7	35.7276	55.0066	160.238	92.017	68.2209
23	2.7646	350.958	UNITA' 2	14.5	30.7	28.5437	43.9461	141.112	91.5192	49.5929
24	2.7646	309.008	UNITA' 2	14.5	30.7	20.6463	31.7872	120.136	91.0214	29.1147
25	1.98072	191.576	UNITA' 1	14.5	30.7	12.8071	19.7179	99.3822	90.5942	8.78796

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 104 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.53961

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	218.136	188	0	0	0
2	218.656	186.018	-16.4512	-0.173755	0.605127
3	221.5	182.507	56.1786	3.82335	3.89338
4	224.345	178.995	221.218	27.4918	7.0841
5	227.19	175.484	434.494	77.4093	10.1018
6	230.035	171.972	688.449	157.448	12.882
7	230.346	171.588	719.408	168.333	13.1696
8	233.115	170.205	751.743	209.407	15.5658
9	235.885	168.823	796.285	253.361	17.65
10	238.654	167.44	851.927	299.994	19.399
11	241.423	166.057	920.607	349.674	20.7983
12	244.192	164.674	1000.69	401.044	21.8393
13	246.962	163.292	1092.62	452.968	22.5175
14	249.926	162.4	1078.67	454.308	22.8396
15	252.89	161.509	1073.15	449.861	22.7433
16	255.854	160.617	1075.1	439.364	22.2285
17	258.818	159.726	1084.76	422.868	21.2971
18	261.782	158.834	1103.63	400.654	19.9526
19	264.746	157.942	1115.13	366.707	18.2033
20	267.511	157.993	924.486	268.934	16.2198
21	270.275	158.044	753.747	186.779	13.9176
22	273.04	158.095	583.868	116.952	11.3268
23	275.804	158.145	424.7	63.3902	8.48923
24	278.569	158.196	272.63	26.0541	5.45894
25	281.334	158.247	110.935	4.45717	2.3008
26	283.314	158.283	416.668	0	0

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 105 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
0	205.797
19.0338	202.446
65.8512	192.73
128.31	183.934
174.908	177.458
262.185	167.5
377.836	167.5

#### External Boundary

X	Y
377.836	181
376.897	180
375.663	177
374.07	174
371.18	170
368.656	168
367.647	165
366.709	164
366.09	163
365.068	162
363.562	161
344.337	160
335.608	158
329.09	157
320.452	156
290.857	156
286.226	157
283.844	158
280.102	160
277.851	161
269.646	164
265.622	165
263.155	167
259.245	169
256.023	171
253.171	172
241.678	178
240.065	179

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 
pag. 106 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

X	Y
237.216	180
235.757	181
233.797	182
227.337	185
224.592	187
222.403	188
216.181	188
207.1	186
200.473	185
193.929	185
187.149	187
184.913	188
181.819	190
170.884	194
164.112	196
156.37	199
152.76	201
151.447	202
149.343	204
147.943	205
145.264	206
138.375	209
132.808	210.154
129.373	210.287
127.703	210.685
125.876	212
118.21	214
111.371	215
97.4668	216
36.3572	217
21.0188	218
9.86602	219
3.87244	220
0	221
0	204.925
0	100
377.836	100
377.836	125.159

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 107 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

**Material Boundary**

X	Y
9.86602	219
37.5122	211.719
51.9186	209.457
73.5422	205.935
86.731	205.016
94.2456	204.25
104.872	203.14
115.147	202.68
131.818	201.2
142.705	198.356
151.77	194.23
166.159	189.092
186.759	183.26
210.683	177.595
231.795	171.461
251.745	165.789
286.226	157

**Material Boundary**

X	Y
290.857	156
308.822	151.607
339.02	151.637
352.868	154.113
357.967	156.355
363.562	161

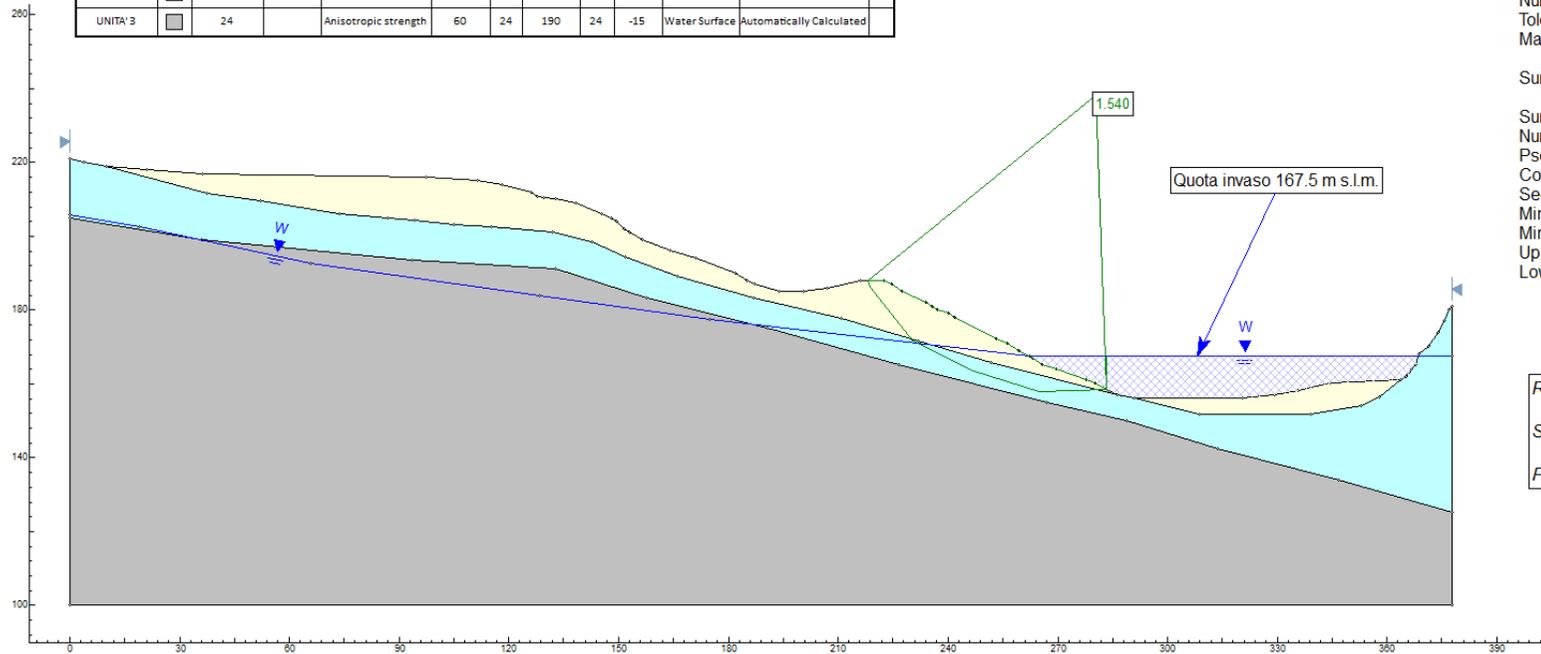
**Material Boundary**

X	Y
0	204.925
35.9241	198.941
93.5059	193.55
132.818	191.187
157.702	183.375
190.675	174.962
226.684	165.014
266.84	154.998
288.793	150
313.677	142.188
346.65	133.776
377.836	125.159

Si rileva una condizione di sostanziale stabilità del versante.

### SEZIONE 1

Material Name	Color	Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	Sat. Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	Strength Type	Cohesion [kPa]	Phi [deg]	Cohesion 2 [kPa]	Phi 2 [deg]	Angle [ccw to 1] [deg]	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

#### Results

Surfaces with a factor of safety below 1.200

FS min. = 1.540

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 109 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Si procede con il calcolo in condizioni sismiche

### ***SLIDE - An Interactive Slope Stability Program***

#### ***Loading***

- 
- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056
  - Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.028

#### ***Global Minimums***

##### **Method: gle/morgenstern-price**

- FS: 1.321660
- Axis Location: 280.442, 238.320
- Left Slip Surface Endpoint: 218.136, 188.000
- Right Slip Surface Endpoint: 283.314, 158.283
- Left Slope Intercept: 218.136 188.000
- Right Slope Intercept: 283.314 167.500
- Resisting Moment=461506 kN-m
- Driving Moment=349188 kN-m
- Resisting Horizontal Force=4985.79 kN
- Driving Horizontal Force=3772.38 kN
- Total Slice Area=647.026 m<sup>2</sup>

#### ***Global Minimum Coordinates***

##### **Method: gle/morgenstern-price**

X	Y
218.136	188
218.656	186.018
230.346	171.588
246.962	163.292
264.746	157.942
283.314	158.283
283.315	167.5

#### ***Valid Surfaces***

##### **Method: gle/morgenstern-price**

- Number of Valid Surfaces: 4581

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 110 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.32166

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.519944	10.2017	UNITA' 1	14.5	30.7	7.27074	9.60944	-8.23663	0	-8.23663
2	2.84477	210.526	UNITA' 1	14.5	30.7	27.4807	36.3202	36.7494	0	36.7494
3	2.84477	391.256	UNITA' 1	14.5	30.7	43.2854	57.2086	71.9293	0	71.9293
4	2.84477	501.364	UNITA' 1	14.5	30.7	51.3973	67.9298	89.986	0	89.986
5	2.84477	601.6	UNITA' 1	14.5	30.7	58.1028	76.7922	104.912	0	104.912
6	0.311435	73.4022	UNITA' 2	14.5	30.7	62.8395	83.0525	115.456	0	115.456
7	2.76922	663.844	UNITA' 2	14.5	30.7	88.5614	117.048	173.476	0.765085	172.71
8	2.76922	671.819	UNITA' 2	14.5	30.7	85.2119	112.621	176.485	11.23	165.255
9	2.76922	667.88	UNITA' 2	14.5	30.7	80.3266	106.164	176.076	21.695	154.381
10	2.76922	684.819	UNITA' 2	14.5	30.7	78.0513	103.157	181.476	32.16	149.316
11	2.76922	683.11	UNITA' 2	14.5	30.7	73.5668	97.2303	181.959	42.6249	139.334
12	2.76922	684.789	UNITA' 2	14.5	30.7	69.6893	92.1056	183.793	53.0899	130.703
13	2.96406	715.713	UNITA' 2	14.5	30.7	77.5824	102.537	209.309	61.0365	148.272
14	2.96406	679.355	UNITA' 2	14.5	30.7	71.5035	94.5033	201.206	66.4649	134.741
15	2.96406	655.397	UNITA' 2	14.5	30.7	67.1129	88.7004	196.861	71.8932	124.968
16	2.96406	628.065	UNITA' 2	14.5	30.7	62.3239	82.371	191.63	77.3216	114.308
17	2.96406	581.815	UNITA' 2	14.5	30.7	55.0899	72.8101	180.955	82.7499	98.2055
18	2.96406	558.076	UNITA' 2	14.5	30.7	51.3739	67.8988	179.32	89.3863	89.934
19	2.7646	486.073	UNITA' 2	14.5	30.7	64.4036	85.1196	212.447	93.5103	118.937
20	2.7646	457.113	UNITA' 2	14.5	30.7	57.2945	75.7239	196.125	93.0125	103.113
21	2.7646	423.797	UNITA' 2	14.5	30.7	50.1195	66.241	179.657	92.5147	87.142
22	2.7646	387.491	UNITA' 2	14.5	30.7	41.7269	55.1488	160.477	92.017	68.4603
23	2.7646	350.958	UNITA' 2	14.5	30.7	33.2858	43.9925	141.19	91.5192	49.6711
24	2.7646	309.008	UNITA' 2	14.5	30.7	24.0788	31.824	120.198	91.0214	29.1769
25	1.98072	191.576	UNITA' 1	14.5	30.7	14.9514	19.7607	99.4543	90.5942	8.86015

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.32166

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	218.136	188	0	0	0
2	218.656	186.018	-19.5377	-0.228447	0.669908
3	221.5	182.507	43.0255	3.24167	4.3087
4	224.345	178.995	194.228	26.7217	7.83352

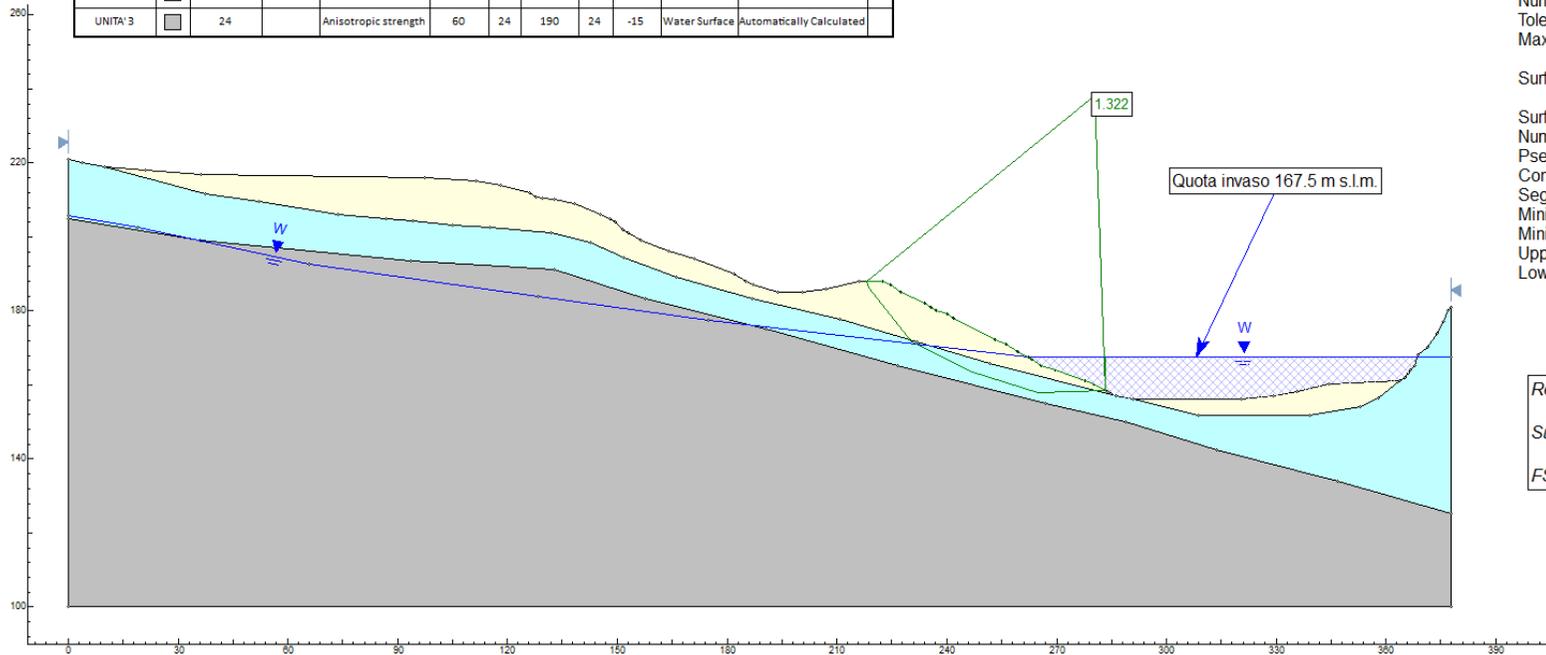
Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 <b>LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE</b>
pag. 111 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
5	227.19	175.484	391.897	77.2948	11.1574
6	230.035	171.972	628.492	159.124	14.2078
7	230.346	171.588	657.393	170.29	14.5226
8	233.115	170.205	688.897	212.444	17.1389
9	235.885	168.823	734.295	258.65	19.4044
10	238.654	167.44	792.451	308.925	21.2976
11	241.423	166.057	865.332	363.865	22.8064
12	244.192	164.674	951.217	422.026	23.9254
13	246.962	163.292	1050.48	482.124	24.653
14	249.926	162.4	1046.93	488.148	24.998
15	252.89	161.509	1052.17	488.282	24.8947
16	255.854	160.617	1065.21	481.929	24.3432
17	258.818	159.726	1086.27	468.792	23.3432
18	261.782	158.834	1116.7	448.801	21.8952
19	264.746	157.942	1138.51	414.477	20.0041
20	267.511	157.993	945.292	304.426	17.8509
21	270.275	158.044	772.315	211.868	15.3405
22	273.04	158.095	599.773	132.999	12.503
23	275.804	158.145	437.843	72.3482	9.38265
24	278.569	158.196	282.881	29.9279	6.03924
25	281.334	158.247	117.731	5.23666	2.54683
26	283.314	158.283	416.668	0	0

Si rileva ancora una condizione di stabilità a grande scala, mentre localmente si segnala il raggiungimento di un marcato disequilibrio in un corpo detritico presente al piede del pendio.

# SEZIONE 1

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1	Yellow	19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2	Cyan	21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3	Grey	24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Loading  
 Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056  
 Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.028



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

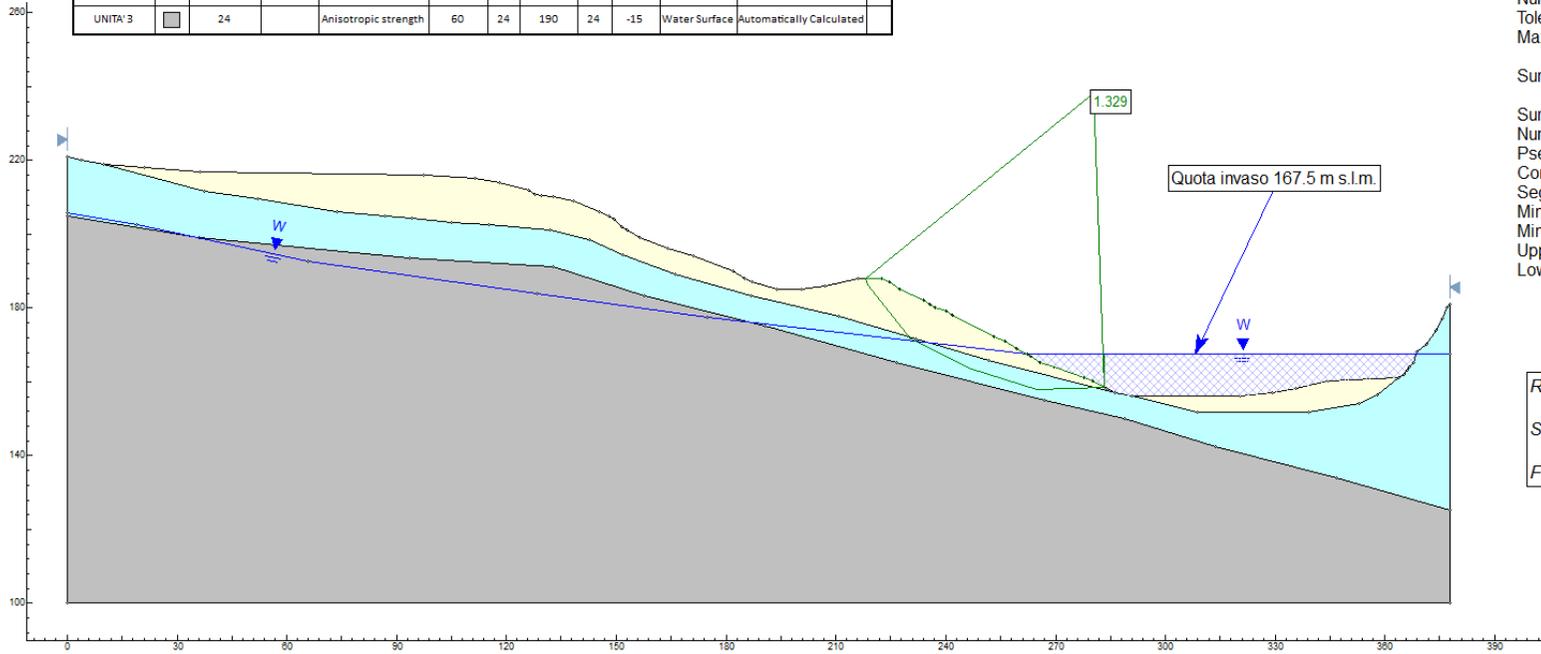
Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

**Results**  
 Surfaces with a factor of safety below 1.200  
 FS min. = 1.322

# SEZIONE 1

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Loading  
 Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056  
 Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.028



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

## Results

Surfaces with a factor of safety below 1.200

FS min. = 1.329

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 114 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

*B) Verifica di stabilità globale con quota invaso di progetto pari a 172.00 m s.l.m.*

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica;*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici.*

La verifica del versante è svolta con il criterio del pendio naturale.

Si procede con il calcolo.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 115 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

## **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

### **List Of Coordinates**

#### **Water Table**

X	Y
0	205.797
35.9241	198.941
65.8512	192.73
128.31	183.934
253.171	172
377.836	172

### **Global Minimums**

#### **Method: gle/morgenstern-price**

- FS: 1.565980
- Axis Location: 280.442, 238.320
- Left Slip Surface Endpoint: 218.136, 188.000
- Right Slip Surface Endpoint: 283.314, 158.283
- Left Slope Intercept: 218.136 188.000
- Right Slope Intercept: 283.314 172.000
- Resisting Moment=453339 kN-m
- Driving Moment=289492 kN-m
- Resisting Horizontal Force=4848.94 kN
- Driving Horizontal Force=3096.42 kN
- Total Slice Area=761.01 m2

### **Global Minimum Coordinates**

#### **Method: gle/morgenstern-price**

X	Y
218.136	188
218.656	186.018
230.346	171.588
246.962	163.292
264.746	157.942
283.314	158.283
283.315	172

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 116 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Valid Surfaces

Method: *gle/morgenstern-price*

- Number of Valid Surfaces: 4326

### Slice Data

- Global Minimum Query (*gle/morgenstern-price*) - Safety Factor: 1.56598

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.519944	10.2017	UNITA' 1	14.5	30.7	6.85816	10.7397	-6.33302	0	-6.33302
2	2.84477	210.526	UNITA' 1	14.5	30.7	25.0842	39.2814	41.7366	0	41.7366
3	2.84477	391.256	UNITA' 1	14.5	30.7	39.9628	62.581	80.9775	0	80.9775
4	2.84477	501.364	UNITA' 1	14.5	30.7	47.9238	75.0477	101.974	0	101.974
5	2.84477	604.242	UNITA' 1	14.5	30.7	53.18	83.2788	121.911	6.07459	115.837
6	0.311435	74.2961	UNITA' 2	14.5	30.7	53.3084	83.4799	139.879	23.7041	116.175
7	2.76922	673.511	UNITA' 2	14.5	30.7	70.3711	110.2	192.104	30.9276	161.177
8	2.76922	682.164	UNITA' 2	14.5	30.7	67.3243	105.429	195.037	41.8955	153.141
9	2.76922	678.438	UNITA' 2	14.5	30.7	62.9355	98.5557	194.429	52.8634	141.566
10	2.76922	695.548	UNITA' 2	14.5	30.7	60.9742	95.4843	200.224	63.8313	136.393
11	2.76922	694.009	UNITA' 2	14.5	30.7	57.0749	89.3782	200.908	74.7992	126.109
12	2.76922	695.858	UNITA' 2	14.5	30.7	53.7536	84.177	203.117	85.7671	117.349
13	2.96406	727.75	UNITA' 2	14.5	30.7	57.9064	90.6802	222.536	94.2343	128.302
14	2.96406	691.587	UNITA' 2	14.5	30.7	52.4954	82.2067	214.232	100.201	114.031
15	2.96406	679.103	UNITA' 2	14.5	30.7	49.6932	77.8185	213.934	107.294	106.64
16	2.96406	688.46	UNITA' 2	14.5	30.7	49.7889	77.9684	222.932	116.039	106.893
17	2.96406	687.308	UNITA' 2	14.5	30.7	48.306	75.6462	227.767	124.785	102.982
18	2.96406	688.569	UNITA' 2	14.5	30.7	47.825	74.893	235.245	133.531	101.714
19	2.7646	608.116	UNITA' 2	14.5	30.7	54.9515	86.053	258.164	137.655	120.509
20	2.7646	579.156	UNITA' 2	14.5	30.7	48.5573	76.0397	240.802	137.158	103.644
21	2.7646	545.84	UNITA' 2	14.5	30.7	42.8479	67.0989	225.246	136.66	88.5862
22	2.7646	509.534	UNITA' 2	14.5	30.7	35.7846	56.038	206.12	136.162	69.9581
23	2.7646	473.002	UNITA' 2	14.5	30.7	28.6325	44.8379	186.759	135.664	51.0952
24	2.7646	431.051	UNITA' 2	14.5	30.7	20.7178	32.4436	165.387	135.166	30.2208
25	1.98072	279.015	UNITA' 1	14.5	30.7	12.7299	19.9347	143.892	134.739	9.1534

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 117 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

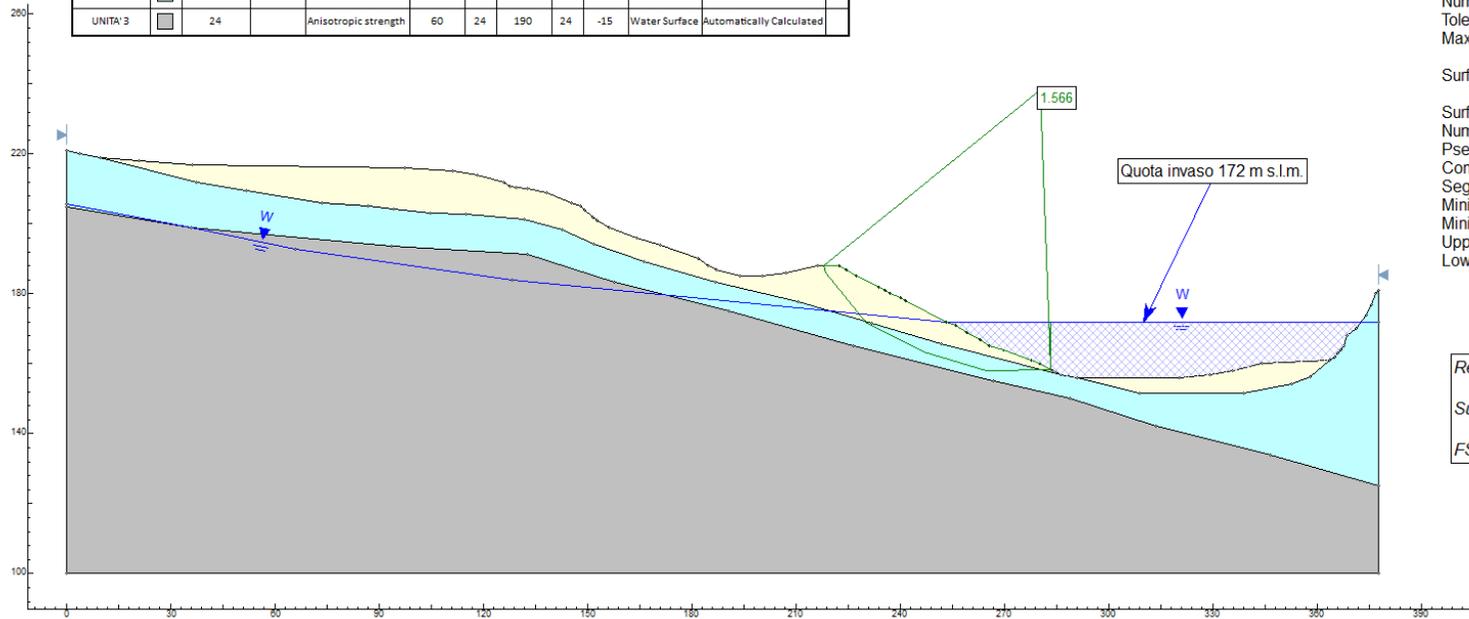
- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.56598

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	218.136	188	0	0	0
2	218.656	186.018	-16.1282	-0.139684	0.496218
3	221.5	182.507	58.849	3.28423	3.19423
4	224.345	178.995	229.162	23.3532	5.81875
5	227.19	175.484	450.485	65.8129	8.31174
6	230.035	171.972	726.818	136.306	10.6218
7	230.346	171.588	763.937	146.58	10.8616
8	233.115	170.205	834.089	190.527	12.867
9	235.885	168.823	916.759	239.193	14.6231
10	238.654	167.44	1010.78	291.87	16.1065
11	241.423	166.057	1118.26	348.301	17.3001
12	244.192	164.674	1237.52	406.691	18.1923
13	246.962	163.292	1369.06	465.419	18.7757
14	249.926	162.4	1395.29	481.891	19.0534
15	252.89	161.509	1430.21	491.629	18.9702
16	255.854	160.617	1468.85	492.239	18.527
17	258.818	159.726	1487.21	475.407	17.7272
18	261.782	158.834	1492.74	444.38	16.578
19	264.746	157.942	1456.83	392.846	15.0913
20	267.511	157.993	1211.74	289.054	13.4169
21	270.275	158.044	1006.3	204.479	11.4861
22	273.04	158.095	789.421	129.665	9.32773
23	275.804	158.145	583.08	71.3656	6.97796
24	278.569	158.196	381.282	29.8793	4.48085
25	281.334	158.247	157.936	5.20352	1.88704
26	283.314	158.283	922.866	0	0

Si rileva una condizione di equilibrio incrementato dal carico di piede determinato dall'innalzamento del livello di invaso.

# SEZIONE 1

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Sat. Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

## Results

Surfaces with a factor of safety below 1.300

FS min. = 1.566

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 119 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### C) Verifica di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica*
- *Rapido svaso: Livello idrometrico dalla quota di 172.0 alla quota finale di 167.50 m s.l.m.*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici;*
- *Materiali generanti eccesso di pressioni neutre: Metodo B-bar = 1.00.*

#### **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

##### **Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: Rapid Drawdown
- Rapid Drawdown Method: Effective Stress using B-Bar

##### **List Of Coordinates**

---

###### **Water Table**

X	Y
0	205.797
35.9241	198.941
65.8512	192.73
128.31	183.934
253.171	172
377.836	172

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 120 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Drawdown Line

X	Y
0	205.797
19.0338	202.446
65.8512	192.73
128.31	183.934
174.908	177.458
262.185	167.5
377.836	167.5

### Global Minimums

#### Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.381390
- Axis Location: 280.442, 238.320
- Left Slip Surface Endpoint: 218.136, 188.000
- Right Slip Surface Endpoint: 283.314, 158.283
- Left Slope Intercept: 218.136 188.000
- Right Slope Intercept: 283.314 167.500
- Resisting Moment=442867 kN-m
- Driving Moment=320596 kN-m
- Resisting Horizontal Force=4758.82 kN
- Driving Horizontal Force=3444.96 kN
- Total Slice Area=761.01 m<sup>2</sup>

### Global Minimum Coordinates

#### Method: gle/morgenstern-price

X	Y
218.136	188
218.656	186.018
230.346	171.588
246.962	163.292
264.746	157.942
283.314	158.283
283.315	167.5

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 121 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Valid Surfaces

#### Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 4343

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.38139

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.519944	10.2017	UNITA' 1	14.5	30.7	7.2147	9.96632	-7.63559	0	-7.63559
2	2.84477	210.526	UNITA' 1	14.5	30.7	27.3427	37.771	39.1928	0	39.1928
3	2.84477	391.256	UNITA' 1	14.5	30.7	43.6151	60.2494	77.0506	0	77.0506
4	2.84477	501.364	UNITA' 1	14.5	30.7	52.3629	72.3336	97.4028	0	97.4028
5	2.84477	604.242	UNITA' 1	14.5	30.7	58.1253	80.2937	116.884	6.07459	110.809
6	0.311435	74.2961	UNITA' 2	14.5	30.7	58.197	80.3927	134.68	23.7041	110.976
7	2.76922	673.511	UNITA' 2	14.5	30.7	78.9764	109.097	190.247	30.9276	159.32
8	2.76922	682.164	UNITA' 2	14.5	30.7	75.6773	104.54	193.54	41.8955	151.644
9	2.76922	678.438	UNITA' 2	14.5	30.7	70.8033	97.807	193.168	52.8634	140.305
10	2.76922	695.548	UNITA' 2	14.5	30.7	68.5877	94.7464	198.982	63.8313	135.15
11	2.76922	694.009	UNITA' 2	14.5	30.7	64.1404	88.6029	199.603	74.7992	124.804
12	2.76922	695.858	UNITA' 2	14.5	30.7	60.2938	83.2893	201.621	85.7671	115.854
13	2.96406	727.75	UNITA' 2	14.5	30.7	65.8868	91.0153	223.101	94.2343	128.866
14	2.96406	691.587	UNITA' 2	14.5	30.7	59.545	82.2548	214.313	100.201	114.112
15	2.96406	666.723	UNITA' 2	14.5	30.7	56.1061	77.5044	209.228	103.117	106.111
16	2.96406	635.642	UNITA' 2	14.5	30.7	55.3083	76.4023	202.476	98.2201	104.255
17	2.96406	584.477	UNITA' 2	14.5	30.7	53.2025	73.4934	189.449	90.0929	99.3562
18	2.96406	558.113	UNITA' 2	14.5	30.7	51.6721	71.3793	185.314	89.5185	95.7955
19	2.7646	486.073	UNITA' 2	14.5	30.7	60.7568	83.9289	210.442	93.5103	116.932
20	2.7646	457.113	UNITA' 2	14.5	30.7	54.1358	74.7827	194.54	93.0125	101.528
21	2.7646	423.797	UNITA' 2	14.5	30.7	47.2654	65.2919	178.058	92.5147	85.5434
22	2.7646	387.491	UNITA' 2	14.5	30.7	39.3709	54.3865	159.193	92.017	67.1765
23	2.7646	350.958	UNITA' 2	14.5	30.7	31.4516	43.4469	140.271	91.5192	48.7521
24	2.7646	309.008	UNITA' 2	14.5	30.7	22.7663	31.4491	119.567	91.0214	28.5455
25	1.98072	191.576	UNITA' 1	14.5	30.7	14.1964	19.6107	99.2014	90.5942	8.60725

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 122 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.38139

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	218.136	188	0	0	0
2	218.656	186.018	-18.8976	-0.178699	0.541783
3	221.5	182.507	40.6613	2.47758	3.48684
4	224.345	178.995	186.698	20.7728	6.34885
5	227.19	175.484	379.225	60.4892	9.06276
6	230.035	171.972	623.706	127.708	11.5717
7	230.346	171.588	657.29	137.697	11.8319
8	233.115	170.205	700.857	174.792	14.0038
9	235.885	168.823	758.144	215.971	15.9006
10	238.654	167.44	828.464	261.19	17.4985
11	241.423	166.057	912.98	310.472	18.7813
12	244.192	164.674	1010.71	362.653	19.7385
13	246.962	163.292	1121.93	416.426	20.3634
14	249.926	162.4	1124.84	424.154	20.6604
15	252.89	161.509	1138.77	427.391	20.5716
16	255.854	160.617	1158.4	423.847	20.0971
17	258.818	159.726	1174.39	409.878	19.2397
18	261.782	158.834	1185.02	385.165	18.0056
19	264.746	157.942	1180.81	347.652	16.4054
20	267.511	157.993	974.028	253.682	14.5982
21	270.275	158.044	788.959	175.036	12.5089
22	273.04	158.095	606.784	108.817	10.167
23	275.804	158.145	437.445	58.4569	7.61149
24	278.569	158.196	277.258	23.7224	4.89036
25	281.334	158.247	109.643	3.94409	2.06016
26	283.314	158.283	416.668	0	0

Il fenomeno del rapido svasso non determina significativi impatti sulla stabilità del versante.

# SEZIONE 1

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Rapid Drawdown (RD) Undrained Strength	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Yes	Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Yes	Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	No	Water Surface	Automatically Calculated	

Analysis Methods used:

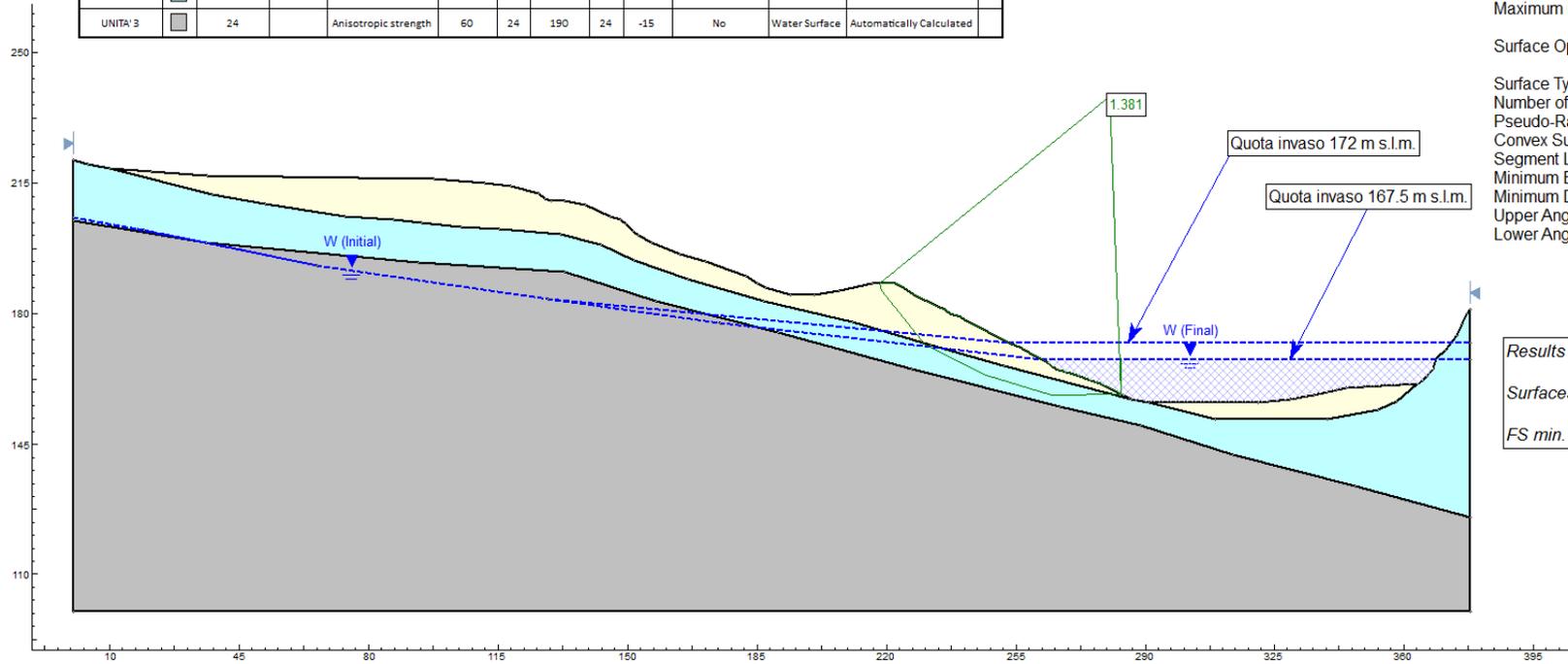
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

Results

Surfaces with a factor of safety below 1.300  
 FS min. = 1.381



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 124 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

## 8.2 Sezione n. 2

A) *Verifica di stabilità globale con quota invaso attuale pari a 167.50 m s.l.m.*

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica;*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici;*
- *Introduzione delle azioni sismiche mediante i coefficienti  $k_h = 0.056$  e  $k_v = + / - 0.028$ .*

La verifica del versante è svolta con il criterio del pendio naturale.

Si procede con il calcolo in condizioni statiche.

***SLIDE - An Interactive Slope Stability Program***

### **General Settings**

- 
- Units of Measurement: Metric Units
  - Time Units: days
  - Permeability Units: meters/second
  - Failure Direction: Left to Right
  - Data Output: Standard
  - Maximum Material Properties: 20
  - Maximum Support Properties: 20

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 <p>LABORATORIO CONGIUNTO PER LE          GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE</p>
pag. 125 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

### ***Analysis Options***

---

#### **Analysis Methods Used**

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### ***Groundwater Analysis***

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### ***Random Numbers***

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### ***Surface Options***

---

- Surface Type: Non-Circular Path Search
- Number of Surfaces: 5000
- Pseudo-Random Surfaces: Enabled
- Convex Surfaces Only: Disabled
- Segment Length: Auto Defined
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined
- Upper Angle: Auto Defined
- Lower Angle: Auto Defined

### Material Properties

Property	UNITA' 1	UNITA' 2	UNITA' 3
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Anisotropic strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19.8	21	
Saturated Unit Weight [kN/m3]	21	22	
Cohesion [kPa]	14.5	14.5	
Friction Angle [deg]	30.7	30.7	
Cohesion 1 [kPa]			60
Cohesion 2 [kPa]			190
Friction Angle 1 [deg]			24
Friction Angle 2 [deg]			24
Angle from 1 [deg]			-15
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	Automatically Calculated

### Global Minimums

Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.126260
- Axis Location: 284.186, 209.534
- Left Slip Surface Endpoint: 237.454, 184.436
- Right Slip Surface Endpoint: 276.225, 157.090
- Left Slope Intercept: 237.454 184.436
- Right Slope Intercept: 276.225 167.500
- Resisting Moment=134159 kN-m
- Driving Moment=119119 kN-m
- Resisting Horizontal Force=2071.28 kN
- Driving Horizontal Force=1839.08 kN
- Total Slice Area=295.303 m2

### Global Minimum Coordinates

Method: gle/morgenstern-price

X	Y
237.454	184.436
252.481	166.961
276.225	157.09
276.226	167.5

### Valid Surfaces

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 127 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

**Method: gle/morgenstern-price**

- Number of Valid Surfaces: 4797

**Slice Data**

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.12626

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.50268	23.8926	UNITA' 1	14.5	30.7	13.4417	15.1388	1.07593	0	1.07593
2	1.50268	71.6779	UNITA' 1	14.5	30.7	23.8005	26.8055	20.7248	0	20.7248
3	1.50268	119.463	UNITA' 1	14.5	30.7	33.3897	37.6055	38.914	0	38.914
4	1.50268	164.282	UNITA' 1	14.5	30.7	41.7538	47.0256	54.7792	0	54.7792
5	1.50268	205.033	UNITA' 1	14.5	30.7	48.872	55.0426	68.2813	0	68.2813
6	1.50268	245.368	UNITA' 1	14.5	30.7	55.6347	62.6591	81.1091	0	81.1091
7	1.50268	278.518	UNITA' 1	14.5	30.7	60.908	68.5983	91.1119	0	91.1119
8	1.50268	302.83	UNITA' 1	14.5	30.7	64.5735	72.7265	98.0644	0	98.0644
9	1.50268	318.059	UNITA' 1	14.5	30.7	66.74	75.1666	102.174	0	102.174
10	1.50268	333.592	UNITA' 1	14.5	30.7	64.6461	72.8083	108.826	10.6236	98.2025
11	1.58295	339.025	UNITA' 1	14.5	30.7	96.8903	109.124	180.002	20.6374	159.365
12	1.58295	309.257	UNITA' 1	14.5	30.7	87.1207	98.1206	166.094	25.2609	140.833
13	1.58295	289.251	UNITA' 1	14.5	30.7	79.8966	89.9844	157.015	29.8844	127.13
14	1.58295	269.686	UNITA' 1	14.5	30.7	72.6097	81.7774	147.816	34.5078	113.308
15	1.58295	250.12	UNITA' 1	14.5	30.7	65.2049	73.4377	138.394	39.1313	99.2622
16	1.58295	230.201	UNITA' 1	14.5	30.7	57.6554	64.935	128.697	43.7548	84.9419
17	1.58295	195.241	UNITA' 1	14.5	30.7	45.8432	51.6314	110.914	48.3783	62.5361
18	1.58295	165.596	UNITA' 1	14.5	30.7	37.3756	42.0946	100.18	53.7061	46.4744
19	1.58295	158.173	UNITA' 1	14.5	30.7	34.6107	38.9806	101.392	60.1617	41.2298
20	1.58295	155.353	UNITA' 1	14.5	30.7	31.4965	35.4733	101.94	66.6173	35.3231
21	1.58295	154.955	UNITA' 1	14.5	30.7	28.6745	32.2949	103.043	73.0729	29.97
22	1.58295	154.586	UNITA' 1	14.5	30.7	25.2047	28.387	102.917	79.5285	23.3884
23	1.58295	154.217	UNITA' 1	14.5	30.7	20.97	23.6177	101.34	85.9841	15.3561
24	1.58295	155.621	UNITA' 1	14.5	30.7	16.0758	18.1055	98.5122	92.4397	6.07247
25	1.58295	159.636	UNITA' 1	14.5	30.7	12.4397	14.0104	98.0706	98.8953	-0.824717

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 128 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.12626

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	237.454	184.436	0	0	0
2	238.957	182.689	-18.3331	-1.24489	3.88465
3	240.459	180.941	-17.9064	-2.41382	7.67731
4	241.962	179.194	-0.113476	-0.0226616	11.2936
5	243.465	177.446	32.827	8.58916	14.6627
6	244.967	175.699	78.6585	25.1487	17.7301
7	246.47	173.951	136.737	51.0108	20.4584
8	247.973	172.203	204.366	86.0115	22.8248
9	249.475	170.456	278.633	128.854	24.8182
10	250.978	168.708	356.824	177.407	26.4358
11	252.481	166.961	449.788	235.938	27.6794
12	254.064	166.303	414.755	226.033	28.5895
13	255.647	165.645	386.047	214.816	29.0938
14	257.229	164.987	362.807	202.73	29.1957
15	258.812	164.329	345.057	190.448	28.8957
16	260.395	163.671	332.837	178.405	28.1919
17	261.978	163.012	326.195	166.78	27.0802
18	263.561	162.354	326.563	156.151	25.5555
19	265.144	161.696	316.695	138.454	23.6142
20	266.727	161.038	291.112	113.248	21.257
21	268.31	160.38	258.434	86.4367	18.4932
22	269.893	159.722	216.376	59.3767	15.3451
23	271.476	159.064	164.262	34.4713	11.8519
24	273.059	158.406	102.349	14.518	8.07343
25	274.642	157.748	51.6856	3.69613	4.09036
26	276.225	157.09	531.556	0	0

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 129 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
0	228.365
37.5571	217.207
94.5616	200.849
180.091	180.963
228.26	171.686
263.744	167.5
356.773	167.5

#### External Boundary

X	Y
356.773	173
351.502	168
346.908	166
345.274	164
339.812	161
335.71	159
332.785	158
321.014	155
287.858	156
276.366	157
273.222	159
266.92	164
264.782	166
261.703	170
254.457	176
251.766	179
248.131	182
246.055	183
242.087	184
231.465	185
220.382	185
214.065	187
210.736	189
206.629	193
200.941	196
197.857	198
189.245	201
185.126	203

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 130 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	
		LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

X	Y
176.941	206
173.831	207
168.81	208
164.383	210
158.316	212
155.904	213
154.387	214
146.616	217
143.953	219
141.956	220
122.936	225
118.424	226
110.975	227
99.8584	229.9
93.4287	230
81.6373	231
74.4748	232
54.9007	233
47.5292	234
43.7154	236
40.3051	237
36.8878	239
32.0334	240
24.1996	241
3.4566	243
0	245
0	228.365
0	224.023
0	100
356.773	100
356.773	126.616

#### Material Boundary

X	Y
47.5292	234
71.7936	223.878
92.4778	218.567
98.8584	216.581
116.819	210.43
131.739	205.105
156.651	196.293
191.275	183.85

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 131 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

X	Y
216.894	174.989
232.858	170.46
250.72	164.817
276.366	157
289.436	151.398
301.058	151.307
306.452	151.572
321.014	155

#### Material Boundary

X	Y
0	228.365
39.3228	225.887
71.7936	223.878

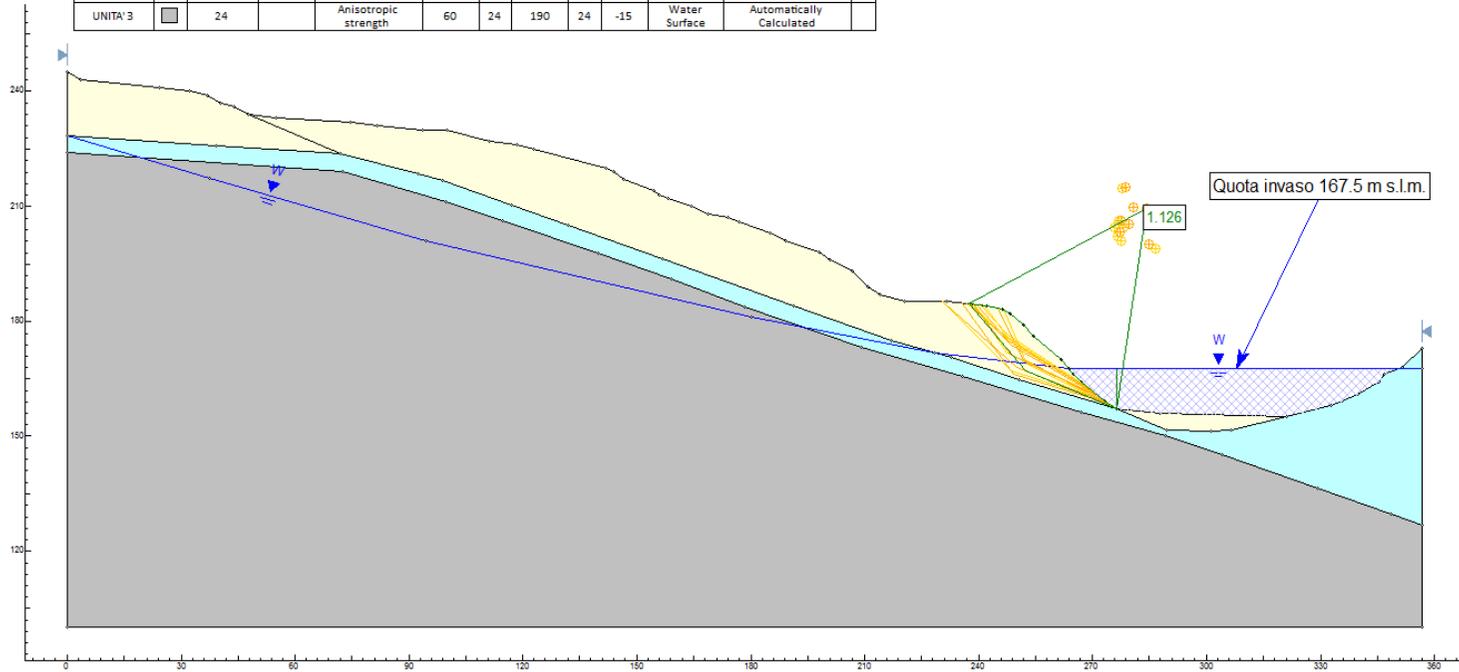
#### Material Boundary

X	Y
0	224.023
72.4889	219.001
99.7263	211.233
114.609	206.211
139.733	197.587
159.019	190.854
178.3	183.779
209.192	173.235
235.596	165.628
267.044	156.296
289.29	150
304.174	144.978
329.297	136.355
348.583	129.621
356.773	126.616

Si rileva una condizione di sostanziale stabilità del versante a scala generale ma locali insufficienze di equilibrio in porzioni acclivi della sponda.

## SEZIONE 2

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1)(deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

**Results**

Surfaces with a factor of safety below 1.300

FS min. = 1.126

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 133 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Si procede con il calcolo in condizioni sismiche

**SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

**Loading**

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.028

**Global Minimums**

**Method: gle/morgenstern-price**

- FS: 1.011930
- Axis Location: 284.186, 209.534
- Left Slip Surface Endpoint: 237.454, 184.436
- Right Slip Surface Endpoint: 276.225, 157.090
- Left Slope Intercept: 237.454 184.436
- Right Slope Intercept: 276.225 167.500
- Resisting Moment=133570 kN-m
- Driving Moment=131996 kN-m
- Resisting Horizontal Force=2076.83 kN
- Driving Horizontal Force=2052.35 kN
- Total Slice Area=295.303 m2

**Global Minimum Coordinates**

**Method: gle/morgenstern-price**

X	Y
237.454	184.436
252.481	166.961
276.225	157.09
276.226	167.5

**Valid Surfaces**

**Method: gle/morgenstern-price**

- Number of Valid Surfaces: 4836

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 134 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.01193

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.50268	23.8926	UNITA' 1	14.5	30.7	14.636	14.8106	0.523117	0	0.523117
2	1.50268	71.6779	UNITA' 1	14.5	30.7	26.0415	26.3522	19.9614	0	19.9614
3	1.50268	119.463	UNITA' 1	14.5	30.7	36.3673	36.8012	37.5595	0	37.5595
4	1.50268	164.282	UNITA' 1	14.5	30.7	45.1783	45.7173	52.576	0	52.576
5	1.50268	205.033	UNITA' 1	14.5	30.7	52.5229	53.1495	65.0931	0	65.0931
6	1.50268	245.368	UNITA' 1	14.5	30.7	59.4118	60.1206	76.834	0	76.834
7	1.50268	278.518	UNITA' 1	14.5	30.7	64.6959	65.4677	85.8393	0	85.8393
8	1.50268	302.83	UNITA' 1	14.5	30.7	68.3075	69.1224	91.9948	0	91.9948
9	1.50268	318.059	UNITA' 1	14.5	30.7	70.4043	71.2442	95.5683	0	95.5683
10	1.50268	333.592	UNITA' 1	14.5	30.7	67.6471	68.4541	101.493	10.6236	90.869
11	1.58295	339.025	UNITA' 1	14.5	30.7	109.219	110.522	182.357	20.6374	161.72
12	1.58295	309.257	UNITA' 1	14.5	30.7	98.3901	99.5639	168.525	25.2609	143.264
13	1.58295	289.251	UNITA' 1	14.5	30.7	90.3734	91.4516	159.486	29.8844	129.601
14	1.58295	269.686	UNITA' 1	14.5	30.7	82.2357	83.2168	150.24	34.5078	115.732
15	1.58295	250.12	UNITA' 1	14.5	30.7	73.943	74.8251	140.73	39.1313	101.599
16	1.58295	230.201	UNITA' 1	14.5	30.7	65.4944	66.2757	130.955	43.7548	87.2
17	1.58295	195.241	UNITA' 1	14.5	30.7	52.2546	52.878	113.014	48.3783	64.6361
18	1.58295	165.596	UNITA' 1	14.5	30.7	43.4861	44.0049	103.398	53.7061	49.6921
19	1.58295	158.173	UNITA' 1	14.5	30.7	41.0926	41.5828	105.774	60.1617	45.6124
20	1.58295	155.353	UNITA' 1	14.5	30.7	37.7363	38.1865	106.51	66.6173	39.893
21	1.58295	154.955	UNITA' 1	14.5	30.7	34.5376	34.9496	107.514	73.0729	34.4413
22	1.58295	154.586	UNITA' 1	14.5	30.7	30.3682	30.7305	106.864	79.5285	27.3353
23	1.58295	154.217	UNITA' 1	14.5	30.7	25.0843	25.3836	104.314	85.9841	18.3299
24	1.58295	155.621	UNITA' 1	14.5	30.7	18.7394	18.9629	99.9559	92.4397	7.51622
25	1.58295	159.636	UNITA' 1	14.5	30.7	13.9861	14.1529	98.3109	98.8953	-0.584383

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 135 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

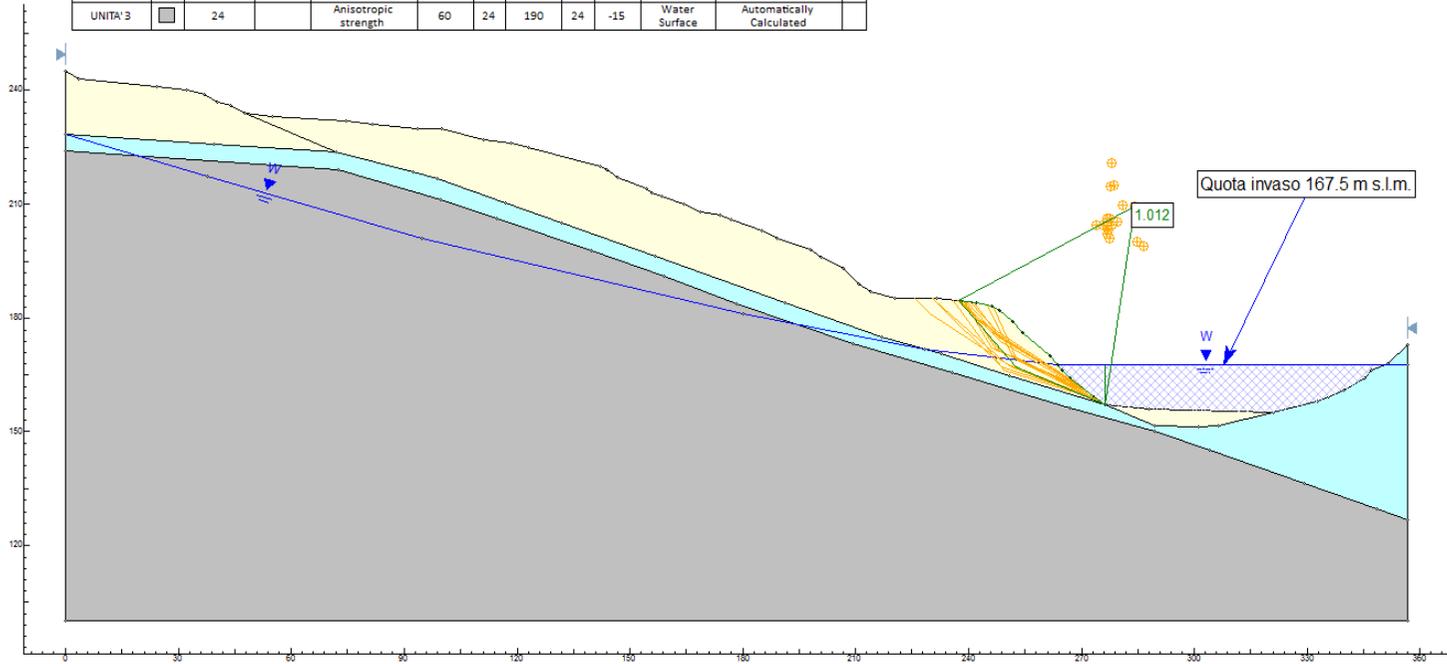
- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.01193

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	237.454	184.436	0	0	0
2	238.957	182.689	-19.6393	-1.68996	4.91818
3	240.459	180.941	-19.6931	-3.36409	9.69403
4	241.962	179.194	-1.76219	-0.445959	14.2017
5	243.465	177.446	31.7415	10.5246	18.3441
6	244.967	175.699	78.4162	31.7711	22.0558
7	246.47	173.951	137.563	65.0328	25.3024
8	247.973	172.203	206.4	110.081	28.0727
9	249.475	170.456	281.953	165.233	30.3716
10	250.978	168.708	361.467	227.741	32.2128
11	252.481	166.961	456.329	303.336	33.6132
12	254.064	166.303	423.228	292.288	34.6296
13	255.647	165.645	396.42	279.537	35.1897
14	257.229	164.987	375.175	265.664	35.3026
15	258.812	164.329	359.572	251.493	34.9698
16	260.395	163.671	349.681	237.522	34.1864
17	261.978	163.012	345.554	223.892	32.9401
18	263.561	162.354	348.524	211.186	31.2135
19	265.144	161.696	339.927	188.324	28.987
20	266.727	161.038	313.924	154.757	26.2422
21	268.31	160.38	279.932	118.647	22.9693
22	269.893	159.722	235.951	82.0509	19.1749
23	271.476	159.064	181.528	48.2747	14.8923
24	273.059	158.406	117.17	21.0619	10.1904
25	274.642	157.748	64.3732	5.83363	5.17812
26	276.225	157.09	531.556	0	0

Si rileva ancora una condizione di stabilità a grande scala mentre localmente si segnala il raggiungimento di un marcato disequilibrio in un corpo detritico presente al piede del pendio.

## SEZIONE 2

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Loading  
 Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056  
 Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.028



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

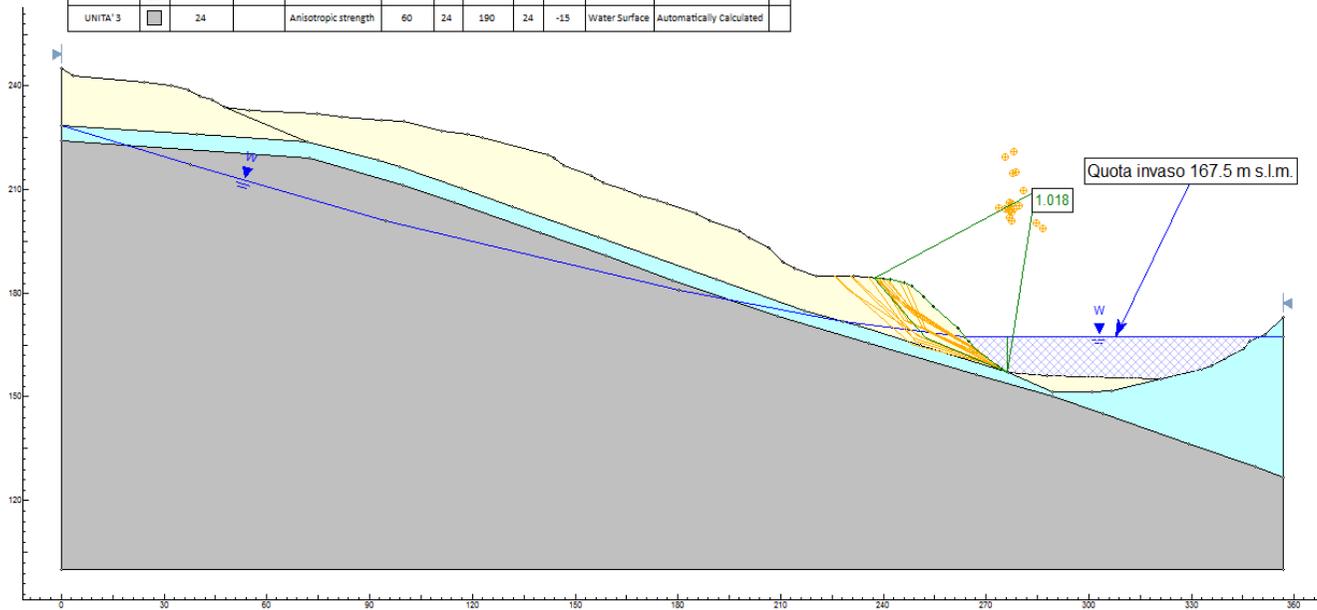
### Results

Surfaces with a factor of safety below 1.200

FS min. = 1.012

## SEZIONE 2

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Loading  
 Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056  
 Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.028



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

Results

Surfaces with a factor of safety below 1.200

FS min. = 1.018

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 138 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

*B) Verifica di stabilità globale con quota invaso di progetto pari a 172.00 m s.l.m.*

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica;*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici.*

La verifica del versante è svolta con il criterio del pendio naturale.

Si procede con il calcolo.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 139 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	
		LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### ***SLIDE - An Interactive Slope Stability Program***

#### ***List Of Coordinates***

##### **Water Table**

X	Y
0	228.365
94.5616	200.849
180.091	180.963
259.288	172
356.773	172

#### ***Global Minimums***

##### **Method: gle/morgenstern-price**

- FS: 1.122470
- Axis Location: 284.186, 209.534
- Left Slip Surface Endpoint: 237.454, 184.436
- Right Slip Surface Endpoint: 276.225, 157.090
- Left Slope Intercept: 237.454 184.436
- Right Slope Intercept: 276.225 172.000
- Resisting Moment=122272 kN-m
- Driving Moment=108931 kN-m
- Resisting Horizontal Force=1871.61 kN
- Driving Horizontal Force=1667.4 kN
- Total Slice Area=360.662 m2

#### ***Global Minimum Coordinates***

##### **Method: gle/morgenstern-price**

X	Y
237.454	184.436
252.481	166.961
276.225	157.09
276.226	172

#### ***Valid Surfaces***

##### **Method: gle/morgenstern-price**

- Number of Valid Surfaces: 4793

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 140 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.12247

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.50268	23.8926	UNITA' 1	14.5	30.7	13.4292	15.0739	0.966582	0	0.966582
2	1.50268	71.6779	UNITA' 1	14.5	30.7	23.8414	26.7613	20.6503	0	20.6503
3	1.50268	119.463	UNITA' 1	14.5	30.7	33.6583	37.7804	39.2087	0	39.2087
4	1.50268	164.282	UNITA' 1	14.5	30.7	42.3643	47.5526	55.667	0	55.667
5	1.50268	205.033	UNITA' 1	14.5	30.7	49.8786	55.9872	69.8724	0	69.8724
6	1.50268	245.368	UNITA' 1	14.5	30.7	57.0688	64.058	83.4651	0	83.4651
7	1.50268	279.181	UNITA' 1	14.5	30.7	61.7274	69.2871	95.101	2.82884	92.2722
8	1.50268	306.194	UNITA' 1	14.5	30.7	59.9218	67.2604	107.163	18.3039	88.8587
9	1.50268	324.217	UNITA' 1	14.5	30.7	56.308	63.204	115.806	33.7789	82.0267
10	1.50268	340.692	UNITA' 1	14.5	30.7	52.4992	58.9288	124.081	49.2539	74.8267
11	1.58295	346.519	UNITA' 1	14.5	30.7	77.7895	87.3164	181.977	59.3405	122.637
12	1.58295	316.765	UNITA' 1	14.5	30.7	67.9236	76.2422	168.025	64.0387	103.986
13	1.58295	296.775	UNITA' 1	14.5	30.7	60.8353	68.2858	159.322	68.7368	90.5855
14	1.58295	277.223	UNITA' 1	14.5	30.7	53.9191	60.5226	150.946	73.435	77.5107
15	1.58295	262.131	UNITA' 1	14.5	30.7	48.6578	54.6169	146.049	78.4844	67.5648
16	1.58295	259.766	UNITA' 1	14.5	30.7	47.9855	53.8623	151.234	84.94	66.2938
17	1.58295	249.721	UNITA' 1	14.5	30.7	47.5466	53.3696	156.86	91.3955	65.464
18	1.58295	235.441	UNITA' 1	14.5	30.7	43.6486	48.9943	155.946	97.8511	58.0949
19	1.58295	228.052	UNITA' 1	14.5	30.7	37.9158	42.5594	151.564	104.307	47.257
20	1.58295	225.232	UNITA' 1	14.5	30.7	33.4261	37.5198	149.532	110.762	38.7703
21	1.58295	224.834	UNITA' 1	14.5	30.7	29.9445	33.6118	149.406	117.218	32.1877
22	1.58295	224.465	UNITA' 1	14.5	30.7	25.9746	29.1557	148.357	123.674	24.6828
23	1.58295	224.097	UNITA' 1	14.5	30.7	21.3468	23.9611	146.064	130.129	15.9347
24	1.58295	225.501	UNITA' 1	14.5	30.7	16.1337	18.1096	142.664	136.585	6.07908
25	1.58295	229.516	UNITA' 1	14.5	30.7	12.4645	13.991	142.183	143.04	-0.857167

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 141 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

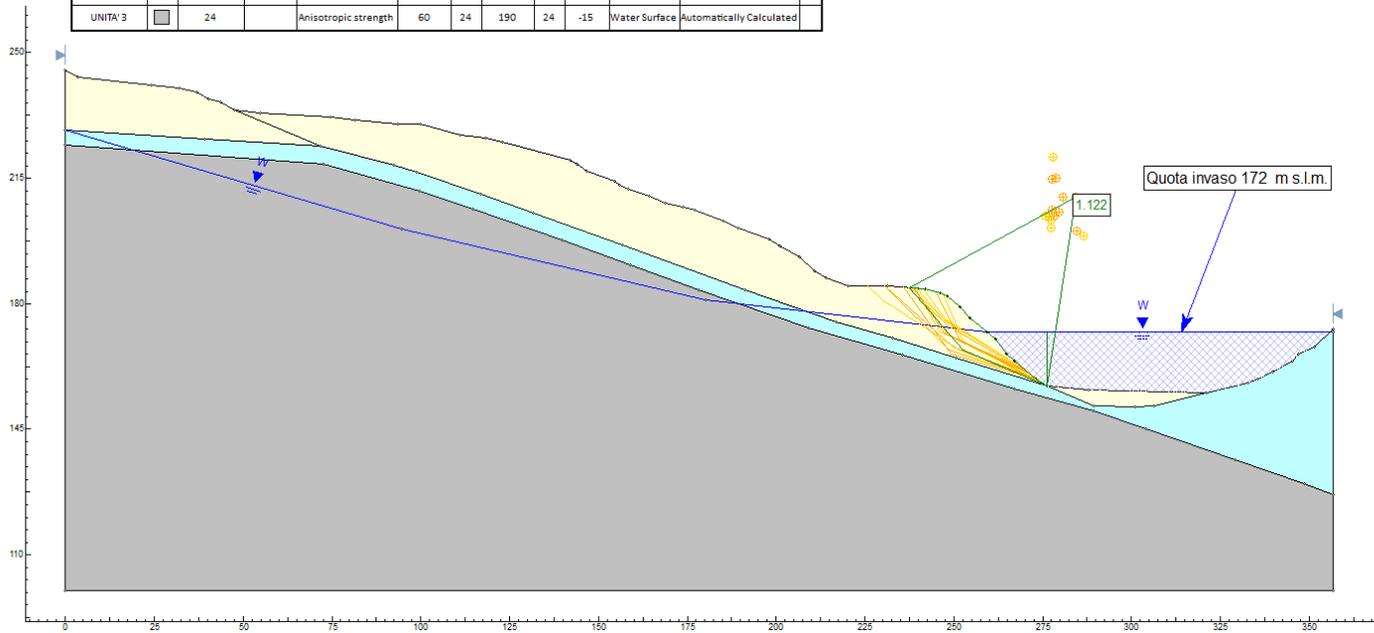
- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.12247

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	237.454	184.436	0	0	0
2	238.957	182.689	-18.4224	-0.950887	2.95475
3	240.459	180.941	-18.04	-1.84851	5.85052
4	241.962	179.194	0.0721016	0.0109451	8.63166
5	243.465	177.446	33.9075	6.74378	11.2486
6	244.967	175.699	81.3141	19.7617	13.6597
7	246.47	173.951	141.706	40.184	15.8319
8	247.973	172.203	215.456	68.9277	17.7403
9	249.475	170.456	312.988	110.022	19.3677
10	250.978	168.708	431.036	162.899	20.7028
11	252.481	166.961	569.248	226.976	21.7386
12	254.064	166.303	566.28	234.585	22.5021
13	255.647	165.645	569.695	240.967	22.9272
14	257.229	164.987	578.566	245.744	23.0132
15	258.812	164.329	592.835	248.718	22.76
16	260.395	163.671	608.054	247.745	22.1679
17	261.978	163.012	608.728	236.58	21.2384
18	263.561	162.354	568.638	206.681	19.9745
19	265.144	161.696	500.887	166.453	18.3825
20	266.727	161.038	437.95	129.504	16.4732
21	268.31	160.38	377.105	95.8738	14.2645
22	269.893	159.722	308.304	64.3093	11.7824
23	271.476	159.064	229.605	36.626	9.06332
24	273.059	158.406	141.228	15.2277	6.15406
25	274.642	157.748	74.0475	4.0251	3.11144
26	276.225	157.09	1090.44	0	0

Non si rilevano sostanziali modificazioni alle precedenti condizioni di precario equilibrio a scala locale.

## SEZIONE 2

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Sat. Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	



Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

Results

Surfaces with a factor of safety below 1.300

FS min. = 1.122

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 143 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### C) Verifica di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica*
- *Rapido svaso: Livello idrometrico dalla quota di 172.0 alla quota finale di 167.50 m s.l.m.*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici;*
- *Materiali generanti eccesso di pressioni neutre: Metodo B-bar = 1.00.*

#### **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

#### **Groundwater Analysis**

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: Rapid Drawdown
- Rapid Drawdown Method: Effective Stress using B-Bar

#### **List Of Coordinates**

##### **Water Table**

X	Y
0	228.365
94.5616	200.849
180.091	180.963
259.288	172
356.773	172

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 144 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Drawdown Line

X	Y
0	228.365
37.5571	217.207
94.5616	200.849
180.091	180.963
228.26	171.686
263.744	167.5
356.773	167.5

### Global Minimums

#### Method: gle/morgenstern-price

- FS: 0.966669
- Axis Location: 284.186, 209.534
- Left Slip Surface Endpoint: 237.454, 184.436
- Right Slip Surface Endpoint: 276.225, 157.090
- Left Slope Intercept: 237.454 184.436
- Right Slope Intercept: 276.225 167.500
- Resisting Moment=117054 kN-m
- Driving Moment=121090 kN-m
- Resisting Horizontal Force=1793.78 kN
- Driving Horizontal Force=1855.63 kN
- Total Slice Area=360.662 m<sup>2</sup>

### Global Minimum Coordinates

#### Method: gle/morgenstern-price

X	Y
237.454	184.436
252.481	166.961
276.225	157.09
276.226	167.5

### Valid Surfaces

#### Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 4798

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 145 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 0.966669

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.50268	23.8926	UNITA' 1	14.5	30.7	14.809	14.3154	-0.310849	0	-0.310849
2	1.50268	71.6779	UNITA' 1	14.5	30.7	26.4196	25.539	18.5917	0	18.5917
3	1.50268	119.463	UNITA' 1	14.5	30.7	37.3394	36.0948	36.3698	0	36.3698
4	1.50268	164.282	UNITA' 1	14.5	30.7	47.0047	45.438	52.1056	0	52.1056
5	1.50268	205.033	UNITA' 1	14.5	30.7	55.3297	53.4855	65.6593	0	65.6593
6	1.50268	245.368	UNITA' 1	14.5	30.7	63.2637	61.1551	78.5761	0	78.5761
7	1.50268	279.181	UNITA' 1	14.5	30.7	68.3178	66.0407	89.6332	2.82884	86.8044
8	1.50268	306.194	UNITA' 1	14.5	30.7	65.8656	63.6702	101.116	18.3039	82.8121
9	1.50268	324.217	UNITA' 1	14.5	30.7	61.3308	59.2866	109.208	33.7789	75.4294
10	1.50268	340.692	UNITA' 1	14.5	30.7	56.5164	54.6327	116.845	49.2539	67.5912
11	1.58295	346.519	UNITA' 1	14.5	30.7	91.3715	88.326	183.678	59.3405	124.337
12	1.58295	316.765	UNITA' 1	14.5	30.7	79.654	76.9991	169.299	64.0387	105.26
13	1.58295	296.775	UNITA' 1	14.5	30.7	71.0244	68.6571	159.948	68.7368	91.2109
14	1.58295	277.223	UNITA' 1	14.5	30.7	62.4634	60.3814	150.708	73.435	77.2732
15	1.58295	257.146	UNITA' 1	14.5	30.7	55.565	53.713	141.378	75.3353	66.0425
16	1.58295	235.166	UNITA' 1	14.5	30.7	53.1078	51.3377	131.441	69.3998	62.0415
17	1.58295	197.139	UNITA' 1	14.5	30.7	48.5296	46.9121	112.765	58.1774	54.5879
18	1.58295	165.598	UNITA' 1	14.5	30.7	43.9833	42.5173	100.915	53.7292	47.1863
19	1.58295	158.173	UNITA' 1	14.5	30.7	40.49	39.1404	101.661	60.1617	41.4993
20	1.58295	155.353	UNITA' 1	14.5	30.7	36.6418	35.4205	101.852	66.6173	35.2345
21	1.58295	154.955	UNITA' 1	14.5	30.7	33.1441	32.0394	102.612	73.0729	29.5395
22	1.58295	154.586	UNITA' 1	14.5	30.7	28.9422	27.9775	102.227	79.5285	22.6989
23	1.58295	154.217	UNITA' 1	14.5	30.7	23.9327	23.135	100.527	85.9841	14.5429
24	1.58295	155.621	UNITA' 1	14.5	30.7	18.2808	17.6715	97.7813	92.4397	5.34155
25	1.58295	159.636	UNITA' 1	14.5	30.7	14.0942	13.6244	97.4208	98.8953	-1.47455

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 146 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 0.966669

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	237.454	184.436	0	0	0
2	238.957	182.689	-22.7578	-1.47749	3.71456
3	240.459	180.941	-29.8994	-3.85353	7.34398
4	241.962	179.194	-22.3537	-4.26812	10.8097
5	243.465	177.446	-1.80792	-0.45227	14.0449
6	244.967	175.699	29.9351	9.15062	16.9974
7	246.47	173.951	72.3494	25.8053	19.6301
8	247.973	172.203	126.505	50.9044	21.9194
9	249.475	170.456	204.406	90.3768	23.8523
10	250.978	168.708	303.25	144.151	25.4242
11	252.481	166.961	422.662	211.974	26.6347
12	254.064	166.303	399.148	207.976	27.5218
13	255.647	165.645	384.687	204.661	28.0138
14	257.229	164.987	377.71	201.79	28.1132
15	258.812	164.329	378.18	199.565	27.8205
16	260.395	163.671	383.411	196.49	27.1342
17	261.978	163.012	385.987	188.685	26.0511
18	263.561	162.354	383.507	175.327	24.5683
19	265.144	161.696	363.826	152.075	22.6844
20	266.727	161.038	329.265	122.466	20.4021
21	268.31	160.38	288.521	92.2626	17.7331
22	269.893	159.722	239.229	62.7653	14.7011
23	271.476	159.064	180.854	36.2866	11.3452
24	273.059	158.406	113.805	15.4343	7.72337
25	274.642	157.748	59.2395	4.05032	3.91134
26	276.225	157.09	531.556	0	0

Il fenomeno del rapido svasso determina instabilità a scala locale.



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 148 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

### 8.3 Sezione n. 3

A) *Verifica di stabilità globale con quota invaso attuale pari a 167.50 m s.l.m.*

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica;*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici;*
- *Introduzione delle azioni sismiche mediante i coefficienti  $k_h = 0.056$  e  $k_v = + / - 0.028$ .*

La verifica del versante è svolta con il criterio del pendio naturale.

Si procede con il calcolo in condizioni statiche.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 149 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

**Slide Analysis Information - SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

**General Settings**

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

**Analysis Options**

---

**Analysis Methods Used**

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

**Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

**Random Numbers**

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Surface Options**

---

- Surface Type: Non-Circular Path Search
- Number of Surfaces: 5000
- Pseudo-Random Surfaces: Enabled
- Convex Surfaces Only: Disabled
- Segment Length: Auto Defined
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined
- Upper Angle: Auto Defined
- Lower Angle: Auto Defined

### Material Properties

Property	UNITA' 1	UNITA' 2	UNITA' 3
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Anisotropic strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19.8	21	
Saturated Unit Weight [kN/m3]	21	22	
Cohesion [kPa]	14.5	14.5	
Friction Angle [deg]	30.7	30.7	
Cohesion 1 [kPa]			60
Cohesion 2 [kPa]			190
Friction Angle 1 [deg]			24
Friction Angle 2 [deg]			24
Angle from 1 [deg]			-15
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	Automatically Calculated

### Global Minimums

#### Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.482850
- Axis Location: 101.949, 203.370
- Left Slip Surface Endpoint: 105.529, 161.313
- Right Slip Surface Endpoint: 137.742, 181.000
- Left Slope Intercept: 105.529 167.502
- Right Slope Intercept: 137.742 181.000
- Resisting Moment=84543.3 kN-m
- Driving Moment=57013.9 kN-m
- Resisting Horizontal Force=1830.5 kN
- Driving Horizontal Force=1234.45 kN
- Total Slice Area=183.294 m2

### Global Minimum Coordinates

#### Method: gle/morgenstern-price

X	Y
105.529	161.313
132.831	174.114
137.742	181

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 151 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Valid Surfaces

#### Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 4694

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.48285

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.3001	77.1271	UNITA' 1	14.5	30.7	9.31212	13.8085	56.555	57.7196	-1.16458
2	1.3001	73.5244	UNITA' 1	14.5	30.7	11.2711	16.7133	55.4671	51.7395	3.72764
3	1.3001	69.9218	UNITA' 1	14.5	30.7	12.9304	19.1739	53.6312	45.7595	7.87167
4	1.3001	71.0914	UNITA' 1	14.5	30.7	16.3708	24.2754	56.2431	39.7794	16.4637
5	1.3001	72.9182	UNITA' 1	14.5	30.7	18.0829	26.8142	54.5387	33.7993	20.7394
6	1.3001	82.1423	UNITA' 1	14.5	30.7	21.2019	31.4393	56.4236	27.8945	28.5291
7	1.3001	104.768	UNITA' 1	14.5	30.7	28.0978	41.6648	69.2695	23.5187	45.7508
8	1.3001	124.142	UNITA' 1	14.5	30.7	34.4372	51.0652	80.7255	19.143	61.5825
9	1.3001	142.63	UNITA' 1	14.5	30.7	40.6034	60.2088	91.7499	14.7672	76.9827
10	1.3001	157.874	UNITA' 1	14.5	30.7	45.9966	68.206	100.842	10.3914	90.4509
11	1.3001	170.992	UNITA' 1	14.5	30.7	50.8884	75.4599	108.684	6.0156	102.668
12	1.3001	181.117	UNITA' 1	14.5	30.7	55.0468	81.6261	114.693	1.63982	113.053
13	1.3001	189.978	UNITA' 1	14.5	30.7	57.7521	85.6377	119.809	0	119.809
14	1.3001	196.46	UNITA' 1	14.5	30.7	59.1708	87.7414	123.353	0	123.353
15	1.3001	201.775	UNITA' 1	14.5	30.7	60.2929	89.4054	126.155	0	126.155
16	1.3001	201.302	UNITA' 1	14.5	30.7	59.961	88.9131	125.326	0	125.326
17	1.3001	200.009	UNITA' 1	14.5	30.7	59.4229	88.1152	123.982	0	123.982
18	1.3001	198.717	UNITA' 1	14.5	30.7	58.8863	87.3195	122.642	0	122.642
19	1.3001	194.15	UNITA' 1	14.5	30.7	57.523	85.298	119.238	0	119.238
20	1.3001	185.822	UNITA' 1	14.5	30.7	55.2009	81.8547	113.438	0	113.438
21	1.3001	177.49	UNITA' 1	14.5	30.7	52.8663	78.3928	107.608	0	107.608
22	1.22784	145.426	UNITA' 1	14.5	30.7	32.8872	48.7668	57.712	0	57.712
23	1.22784	104.622	UNITA' 1	14.5	30.7	26.4014	39.1493	41.5141	0	41.5141
24	1.22784	62.7734	UNITA' 1	14.5	30.7	19.0602	28.2634	23.1802	0	23.1802
25	1.22784	20.9245	UNITA' 1	14.5	30.7	10.796	16.0088	2.54119	0	2.54119

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 152 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	
		LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.48285

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	105.529	161.313	187.852	0	0
2	106.829	161.923	28.0845	2.06683	4.209
3	108.129	162.532	51.4919	7.51807	8.30677
4	109.429	163.142	70.3497	15.2006	12.1926
5	110.729	163.751	96.2683	27.2123	15.7841
6	112.029	164.361	105.102	36.2322	19.0208
7	113.329	164.971	100.646	40.385	21.8635
8	114.63	165.58	94.8781	42.8225	24.2917
9	115.93	166.19	90.3523	44.6503	26.2977
10	117.23	166.799	87.1074	46.0872	27.8826
11	118.53	167.409	85.3174	47.3933	29.0519
12	119.83	168.019	85.0948	48.7582	29.8121
13	121.13	168.628	86.6047	50.3415	30.1685
14	122.43	169.238	88.5059	51.3547	30.124
15	123.73	169.847	90.0881	51.3399	29.6782
16	125.03	170.457	91.418	50.3148	28.8276
17	126.33	171.067	92.8226	48.4572	27.5664
18	127.631	171.676	94.3481	45.7891	25.8883
19	128.931	172.286	95.9943	42.315	23.7882
20	130.231	172.895	97.947	38.1227	21.2669
21	131.531	173.505	100.422	33.2778	18.3341
22	132.831	174.114	103.422	27.7399	15.0145
23	134.059	175.836	44.3784	9.07987	11.5632
24	135.287	177.557	5.2698	0.7275	7.86005
25	136.514	179.279	-11.2753	-0.783892	3.97697
26	137.742	181	0	0	0

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 153 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-2.77556e-017	167.502
112.618	167.502
149.446	172.134
192.125	181.075
230.354	191.177
273.547	206.992
282.597	211.518
298.664	213.9
323.937	218.222
352.876	221.876
413.773	227.632

#### External Boundary

X	Y
413.773	100
413.773	218.068
413.773	227.632
413.773	241
397.218	240
334.775	239
330.027	238
326.533	237
318.308	234
314.738	233
306.684	231
300.227	230
297.956	229
296.305	228
295.03	227
292.939	226
288.622	225
285.116	224
278.996	222
268.499	217
256.259	213
241.633	209
228.656	206
226.419	205

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 <p>LABORATORIO CONGIUNTO PER LE          GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE</p>
pag. 154 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

X	Y
221.646	204
213.302	203
208.913	202
205.829	201
197.338	199
194.442	198
183.622	195
180.891	194
177.48	192
176.061	191
175.148	190
172.067	188
169.48	186
162.646	183
159.455	182
154.079	181
133.524	181
128.977	180
124.328	178
121.305	176
118.772	174
116.615	172
113.775	169
111.397	166
110.225	165
109.426	164
103.624	160
100.049	158
79.2449	158
68.6181	159
54.6952	161
45.339	162
38.6359	163
18.875	164
13.3476	165
8.954	166
5.84983	167
3.35429	168
0	172.003
0	135.46
0	100

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 155 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

**Material Boundary**

X	Y
18.875	164
37.2149	159.327
51.0067	155.343
67.6175	153.839
90.6034	153.743
100.049	158

**Material Boundary**

X	Y
100.049	158
129.545	162.42
148.881	165.343
165.335	168.176
186.452	173.213
204.479	179.056
222.83	186.035
244.646	195.647
258.126	201.815
272.004	210.015
274.193	211.63
289.131	222.648
302.173	223.7
328.502	224.974
378.033	227.219
413.773	227.632

**Material Boundary**

X	Y
274.193	211.63
282.343	212.172
290.492	212.713
302.173	213.5
329.632	215.143
361.668	216.768
399.374	218.066
413.773	218.068

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 156 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

**Material Boundary**

X	Y
289.131	222.648
295.03	227

**Material Boundary**

X	Y
0	135.46
127.4	156.17
161.444	161.975
185.645	167.135
205.222	173.315
224.583	180.41
239.027	187.28
256.852	197.018
282.343	212.172

Si rileva una condizione di sostanziale stabilità del versante.

### SEZIONE 3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1	Yellow	19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2	Cyan	21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3	Grey	24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	

Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

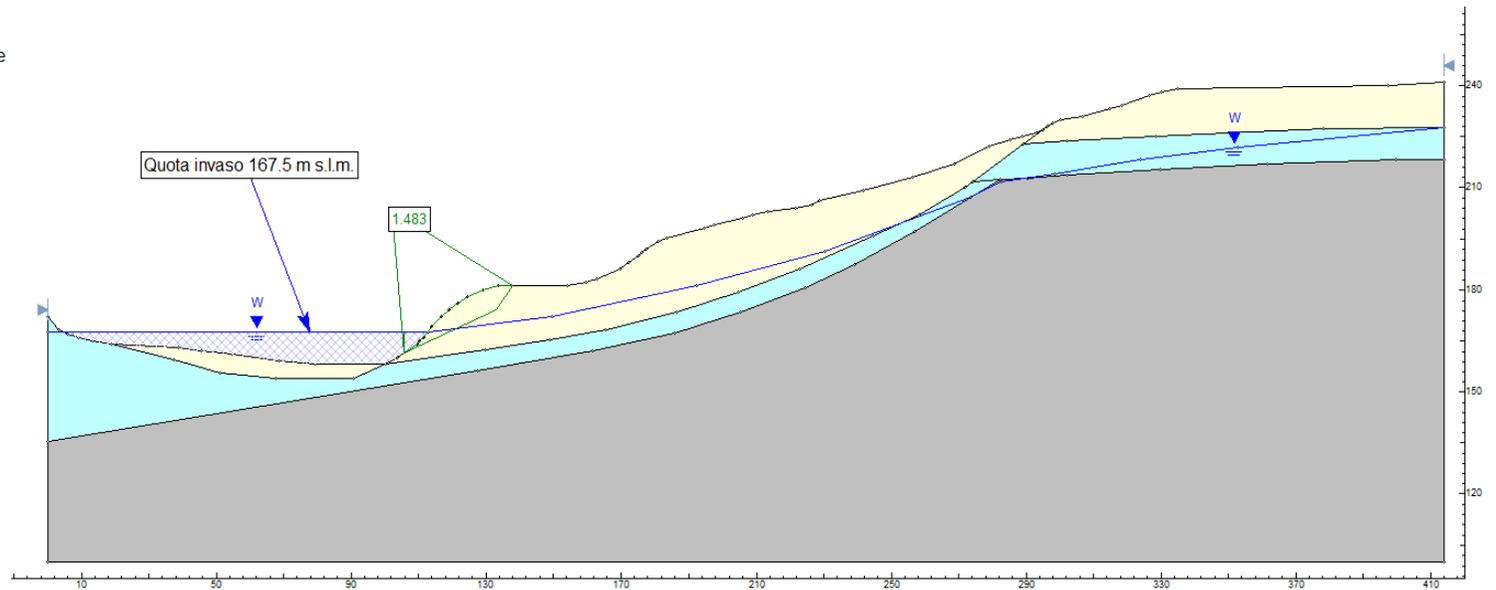
Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

#### Results

Surfaces with a factor of safety below 1.300

FS min. = 1.483



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 158 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

Si procede con il calcolo in condizioni sismiche

### **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

#### **Loading**

- 
- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056
  - Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.028

#### **Global Minimums**

---

##### **Method: gle/morgenstern-price**

- FS: 1.310440
- Axis Location: 101.949, 203.370
- Left Slip Surface Endpoint: 105.529, 161.313
- Right Slip Surface Endpoint: 137.742, 181.000
- Left Slope Intercept: 105.529 167.502
- Right Slope Intercept: 137.742 181.000
- Resisting Moment=84616 kN-m
- Driving Moment=64570.8 kN-m
- Resisting Horizontal Force=1832.22 kN
- Driving Horizontal Force=1398.18 kN
- Total Slice Area=183.294 m<sup>2</sup>

#### **Global Minimum Coordinates**

---

##### **Method: gle/morgenstern-price**

X	Y
105.529	161.313
132.831	174.114
137.742	181

#### **Valid Surfaces**

---

##### **Method: gle/morgenstern-price**

- Number of Valid Surfaces: 4755

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 159 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.31044

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.3001	77.1271	UNITA' 1	14.5	30.7	10.7652	14.1071	57.058	57.7196	-0.661628
2	1.3001	73.5244	UNITA' 1	14.5	30.7	13.689	17.9386	57.5308	51.7395	5.79127
3	1.3001	69.9218	UNITA' 1	14.5	30.7	16.055	21.0391	56.7726	45.7595	11.0131
4	1.3001	71.0914	UNITA' 1	14.5	30.7	20.7917	27.2463	61.2465	39.7794	21.4671
5	1.3001	72.9182	UNITA' 1	14.5	30.7	22.2288	29.1295	58.4381	33.7993	24.6388
6	1.3001	82.1423	UNITA' 1	14.5	30.7	24.8597	32.5772	58.3399	27.8945	30.4454
7	1.3001	104.768	UNITA' 1	14.5	30.7	32.3144	42.3461	70.4171	23.5187	46.8984
8	1.3001	124.142	UNITA' 1	14.5	30.7	39.3476	51.5627	81.564	19.143	62.421
9	1.3001	142.63	UNITA' 1	14.5	30.7	46.2358	60.5893	92.3906	14.7672	77.6234
10	1.3001	157.874	UNITA' 1	14.5	30.7	52.3099	68.549	101.42	10.3914	91.0289
11	1.3001	170.992	UNITA' 1	14.5	30.7	57.8642	75.8276	109.303	6.0156	103.288
12	1.3001	181.117	UNITA' 1	14.5	30.7	62.6294	82.0721	115.444	1.63982	113.804
13	1.3001	189.978	UNITA' 1	14.5	30.7	65.5914	85.9536	120.341	0	120.341
14	1.3001	196.46	UNITA' 1	14.5	30.7	67.0073	87.8091	123.466	0	123.466
15	1.3001	201.775	UNITA' 1	14.5	30.7	68.0989	89.2395	125.876	0	125.876
16	1.3001	201.302	UNITA' 1	14.5	30.7	67.5897	88.5722	124.752	0	124.752
17	1.3001	200.009	UNITA' 1	14.5	30.7	66.8596	87.6155	123.14	0	123.14
18	1.3001	198.717	UNITA' 1	14.5	30.7	66.1398	86.6723	121.552	0	121.552
19	1.3001	194.15	UNITA' 1	14.5	30.7	64.5076	84.5333	117.949	0	117.949
20	1.3001	185.822	UNITA' 1	14.5	30.7	61.8047	80.9914	111.984	0	111.984
21	1.3001	177.49	UNITA' 1	14.5	30.7	59.0799	77.4207	105.971	0	105.971
22	1.22784	145.426	UNITA' 1	14.5	30.7	34.1129	44.7029	50.8675	0	50.8675
23	1.22784	104.622	UNITA' 1	14.5	30.7	28.165	36.9085	37.7401	0	37.7401
24	1.22784	62.7734	UNITA' 1	14.5	30.7	20.804	27.2624	21.4944	0	21.4944
25	1.22784	20.9245	UNITA' 1	14.5	30.7	11.863	15.5457	1.7612	0	1.7612

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 160 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.31044

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	105.529	161.313	187.852	0	0
2	106.829	161.923	29.4905	3.51488	6.79684
3	108.129	162.532	54.1787	12.8111	13.3038
4	109.429	163.142	74.1489	25.9475	19.2869
5	110.729	163.751	100.807	46.1493	24.5982
6	112.029	164.361	109.695	61.2432	29.1748
7	113.329	164.971	104.431	67.8649	33.018
8	114.63	165.58	97.7077	71.4209	36.1655
9	115.93	166.19	92.2604	73.84	38.6718
10	117.23	166.799	88.1454	75.5293	40.5923
11	118.53	167.409	85.5798	76.9914	41.976
12	119.83	168.019	84.7053	78.6042	42.8605
13	121.13	168.628	85.7238	80.7007	43.2712
14	122.43	169.238	87.1168	81.8654	43.22
15	123.73	169.847	88.0852	81.2983	42.7055
16	125.03	170.457	88.7084	79.0714	41.7126
17	126.33	171.067	89.3803	75.5679	40.2133
18	127.631	171.676	90.1563	70.8623	38.1671
19	128.931	172.286	91.0361	64.991	35.5232
20	130.231	172.895	92.2427	58.1454	32.2254
21	131.531	173.505	94.0332	50.4659	28.2216
22	132.831	174.114	96.4089	41.8795	23.4799
23	134.059	175.836	42.6446	14.1307	18.3331
24	135.287	177.557	6.4494	1.44195	12.6029
25	136.514	179.279	-8.48735	-0.955636	6.42418
26	137.742	181	0	0	0

Si rileva ancora una condizione di sostanziale stabilità.

### SEZIONE 3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	

Loading  
 Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056  
 Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.028



#### Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

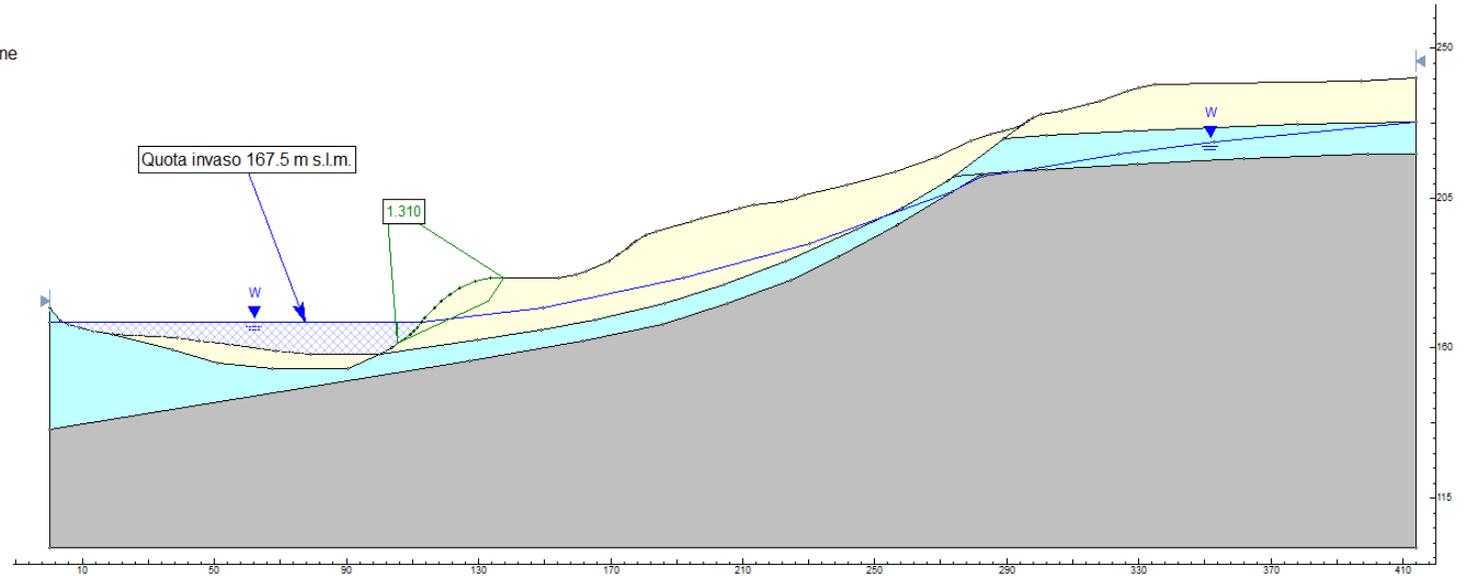
#### Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

#### Results

Surfaces with a factor of safety below 1.200

FS min. = 1.310



### SEZIONE 3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	

Loading  0.056  
 Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.056   
 Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.028 

Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

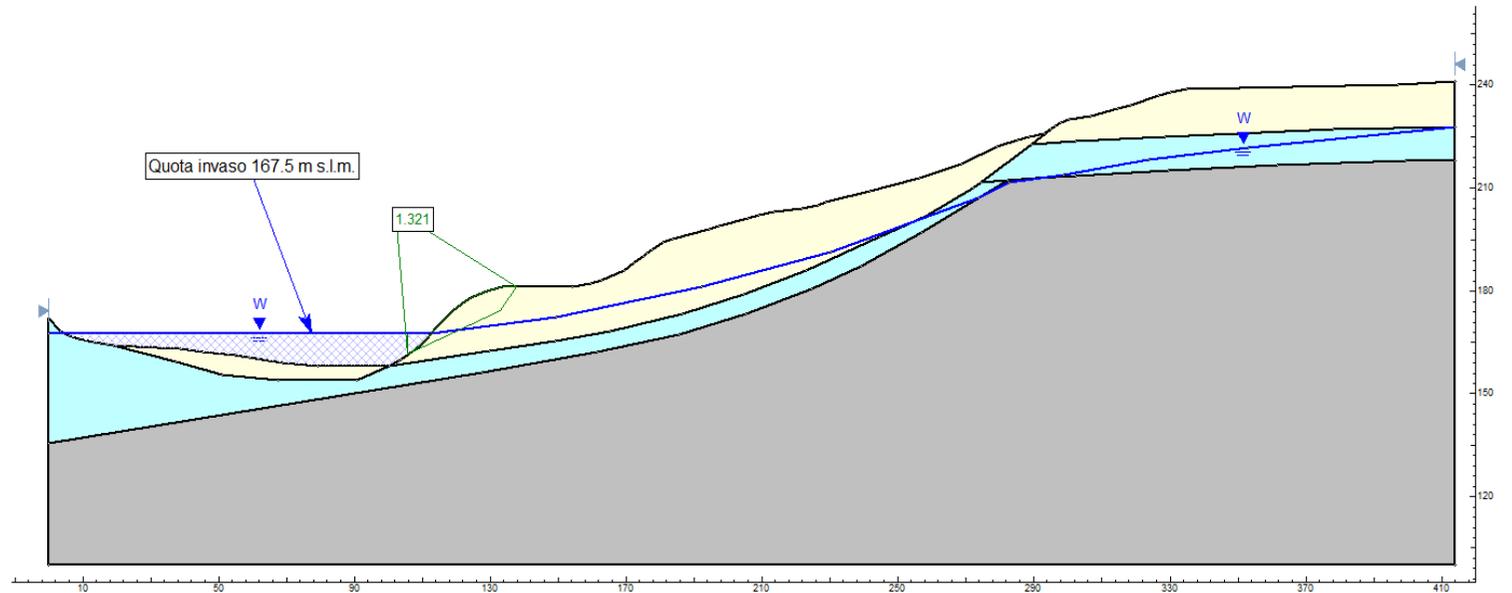
Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

#### Results

Surfaces with a factor of safety below 1.200

FS min. = 1.321



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 163 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

*B) Verifica di stabilità globale con quota vaso di progetto pari a 172.00 m s.l.m.*

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica;*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici.*

La verifica del versante è svolta con il criterio del pendio naturale

Si procede con il calcolo.

***SLIDE - An Interactive Slope Stability Program***

#### ***List Of Coordinates***

##### **Water Table**

X	Y
-0	172
116.615	172
192.125	181.075
230.354	191.177
273.547	206.992
282.597	211.518
290.492	212.713
323.937	218.222
352.876	221.876
413.773	227.632

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 164 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

### Global Minimums

---

**Method: gle/morgenstern-price**

- FS: 1.462360
- Axis Location: 101.949, 203.370
- Left Slip Surface Endpoint: 105.529, 161.313
- Right Slip Surface Endpoint: 137.742, 181.000
- Left Slope Intercept: 105.529 172.000
- Right Slope Intercept: 137.742 181.000
- Resisting Moment=75373.4 kN-m
- Driving Moment=51542.5 kN-m
- Resisting Horizontal Force=1617.04 kN
- Driving Horizontal Force=1105.78 kN
- Total Slice Area=223.759 m2

### Global Minimum Coordinates

---

**Method: gle/morgenstern-price**

X	Y
105.529	161.313
132.831	174.114
137.742	181

### Valid Surfaces

---

**Method: gle/morgenstern-price**

- Number of Valid Surfaces: 4689

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 165 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Slice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.46236

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.3001	134.499	UNITA' 1	14.5	30.7	9.38612	13.7259	100.545	101.849	-1.30405
2	1.3001	130.897	UNITA' 1	14.5	30.7	11.3664	16.6217	99.4418	95.8688	3.57302
3	1.3001	127.294	UNITA' 1	14.5	30.7	13.1399	19.2153	97.8303	89.8887	7.9416
4	1.3001	128.464	UNITA' 1	14.5	30.7	17.5983	25.7351	102.831	83.9086	18.922
5	1.3001	130.29	UNITA' 1	14.5	30.7	20.1809	29.5118	103.212	77.9285	25.283
6	1.3001	136.486	UNITA' 1	14.5	30.7	24.1098	35.2572	106.907	71.9484	34.959
7	1.3001	142.861	UNITA' 1	14.5	30.7	26.1836	38.2898	106.035	65.9683	40.0665
8	1.3001	146.429	UNITA' 1	14.5	30.7	27.4751	40.1785	103.236	59.9882	43.2477
9	1.3001	151.033	UNITA' 1	14.5	30.7	29.1063	42.5639	101.273	54.0082	47.2652
10	1.3001	164.097	UNITA' 1	14.5	30.7	33.4468	48.9112	107.474	49.5196	57.9547
11	1.3001	177.204	UNITA' 1	14.5	30.7	38.0966	55.711	114.48	45.0723	69.4073
12	1.3001	187.312	UNITA' 1	14.5	30.7	42.0727	61.5255	119.825	40.6251	79.2002
13	1.3001	195.731	UNITA' 1	14.5	30.7	45.7031	66.8344	124.319	36.1778	88.1415
14	1.3001	201.506	UNITA' 1	14.5	30.7	48.7286	71.2588	127.323	31.7306	95.5924
15	1.3001	206.114	UNITA' 1	14.5	30.7	51.5131	75.3307	129.734	27.2833	102.451
16	1.3001	204.933	UNITA' 1	14.5	30.7	52.8462	77.2802	128.57	22.8361	105.734
17	1.3001	202.934	UNITA' 1	14.5	30.7	53.985	78.9455	126.927	18.3889	108.539
18	1.3001	200.934	UNITA' 1	14.5	30.7	55.1191	80.604	125.273	13.9416	111.332
19	1.3001	195.66	UNITA' 1	14.5	30.7	55.3812	80.9873	121.472	9.49437	111.977
20	1.3001	186.625	UNITA' 1	14.5	30.7	54.6209	79.8754	115.152	5.04713	110.105
21	1.3001	177.633	UNITA' 1	14.5	30.7	53.8028	78.679	108.69	0.599886	108.09
22	1.22784	145.426	UNITA' 1	14.5	30.7	34.3749	50.2685	60.2408	0	60.2408
23	1.22784	104.622	UNITA' 1	14.5	30.7	27.2177	39.8021	42.6137	0	42.6137
24	1.22784	62.7734	UNITA' 1	14.5	30.7	19.3454	28.2899	23.2249	0	23.2249
25	1.22784	20.9245	UNITA' 1	14.5	30.7	10.8314	15.8394	2.25585	0	2.25585

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 166 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.46236

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	105.529	161.313	560.203	0	0
2	106.829	161.923	40.9354	1.93724	2.70946
3	108.129	162.532	77.2338	7.2514	5.36372
4	109.429	163.142	109.074	15.1555	7.91043
5	110.729	163.751	171.157	31.1118	10.3024
6	112.029	164.361	213.434	47.3143	12.4993
7	113.329	164.971	250.073	64.5264	14.4685
8	114.63	165.58	260.119	75.4962	16.1847
9	115.93	166.19	251.891	80.0471	17.6295
10	117.23	166.799	230.54	78.4364	18.7898
11	118.53	167.409	208.477	74.4705	19.6573
12	119.83	168.019	188.184	69.3385	20.2269
13	121.13	168.628	169.799	63.4697	20.4954
14	122.43	169.238	153.39	57.2338	20.4619
15	123.73	169.847	139.081	50.9685	20.1262
16	125.03	170.457	126.92	44.92	19.4901
17	126.33	171.067	117.2	39.344	18.5569
18	127.631	171.676	109.961	34.3172	17.3324
19	128.931	172.286	105.203	29.8211	15.826
20	130.231	172.895	103.104	25.8056	14.0517
21	131.531	173.505	103.869	22.1339	12.0295
22	132.831	174.114	107.51	18.5435	9.78618
23	134.059	175.836	45.9887	6.0507	7.49531
24	135.287	177.557	6.02893	0.535212	5.07307
25	136.514	179.279	-10.2143	-0.45665	2.55981
26	137.742	181	0	0	0

Si rileva una condizione di equilibrio non perturbato dall'innalzamento dell'invaso.

### SEZIONE 3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	Water Surface	Automatically Calculated	

Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

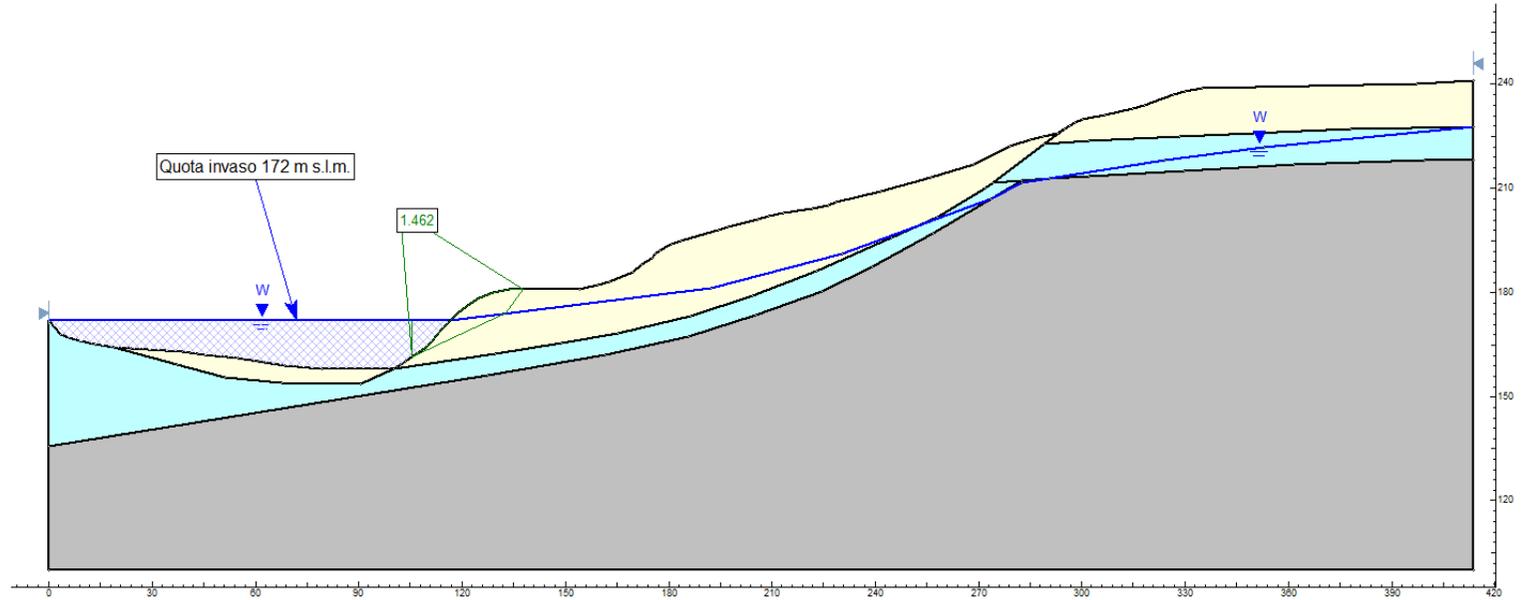
Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

#### Results

Surfaces with a factor of safety below 1.300

FS min. = 1.462



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 168 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

### C) Verifica di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

Si opera avvalendosi del programma di calcolo SLIDE 6.033 della Rocscience inc. di Toronto – Canada che implementa il metodo di Morgenstern-Prince (GLE), codice computerizzato ampiamente diffuso e supportato da numerose validazioni.

Le assunzioni di calcolo adottate sono le seguenti:

- *Programma di calcolo: SLIDE 6.033 della Rocscience di Toronto;*
- *Metodo di calcolo: GLE (General Limit Equilibrium)*
- *Sezione di verifica impostata su sezione determinata da modello digitale del terreno;*
- *Criterio di resistenza a rottura: Mohr-Coulomb per le terre e Anisotropo per l'ammasso stratificato assumendo valori di resistenza ridotti lungo i piani di stratificazione;*
- *Tipo di analisi: Deterministica;*
- *Filtrazione: Superficie freatica*
- *Rapido svaso: Livello idrometrico dalla quota di 172.0 alla quota finale di 167.50 m s.l.m.*
- *Forma superfici critiche: Ricerca di superfici di forma generica;*
- *Utilizzo dei parametri di resistenza caratteristici;*
- *Materiali generanti eccesso di pressioni neutre: Metodo B-bar = 1.00.*

#### **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

#### **Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: Rapid Drawdown
- Rapid Drawdown Method: Effective Stress using B-Bar

#### **List Of Coordinates**

---

##### **Water Table**

X	Y
0	172.003
116.615	172
192.125	181.075
230.354	191.177
273.547	206.992
282.597	211.518
290.492	212.713
323.937	218.222
352.876	221.876
413.773	227.632

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 169 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### Drawdown Line

X	Y
-2.77556e-017	167.502
112.618	167.502
149.446	172.134
192.125	181.075
230.354	191.177
273.547	206.992
282.597	211.518
298.664	213.9
323.937	218.222
352.876	221.876
413.773	227.632

### Global Minimums

#### Method: gle/morgenstern-price

- FS: 1.265830
- Axis Location: 101.949, 203.370
- Left Slip Surface Endpoint: 105.529, 161.313
- Right Slip Surface Endpoint: 137.742, 181.000
- Left Slope Intercept: 105.529 167.502
- Right Slope Intercept: 137.742 181.000
- Resisting Moment=73198.5 kN-m
- Driving Moment=57826.7 kN-m
- Resisting Horizontal Force=1573.45 kN
- Driving Horizontal Force=1243.02 kN
- Total Slice Area=223.76 m2

### Global Minimum Coordinates

#### Method: gle/morgenstern-price

X	Y
105.529	161.313
132.831	174.114
137.742	181

### Valid Surfaces

#### Method: gle/morgenstern-price

- Number of Valid Surfaces: 4697

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 170 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

**Slice Data**

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.26583

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.3001	77.1271	UNITA' 1	14.5	30.7	10.6636	13.4984	56.0327	57.7196	-1.6869
2	1.3001	73.5244	UNITA' 1	14.5	30.7	13.0033	16.46	55.0406	51.7395	3.30108
3	1.3001	69.9218	UNITA' 1	14.5	30.7	15.0213	19.0144	53.3626	45.7595	7.60313
4	1.3001	71.0914	UNITA' 1	14.5	30.7	19.1162	24.1979	56.1124	39.7794	16.333
5	1.3001	72.9182	UNITA' 1	14.5	30.7	21.2359	26.881	54.6513	33.7993	20.852
6	1.3001	82.521	UNITA' 1	14.5	30.7	23.9473	30.3132	57.0726	30.4401	26.6325
7	1.3001	107.15	UNITA' 1	14.5	30.7	26.888	34.0357	71.4026	38.5006	32.902
8	1.3001	128.437	UNITA' 1	14.5	30.7	29.0905	36.8236	83.7466	46.1493	37.5973
9	1.3001	148.6	UNITA' 1	14.5	30.7	31.6495	40.0629	95.1902	52.137	43.0532
10	1.3001	164.097	UNITA' 1	14.5	30.7	36.9925	46.8262	103.963	49.5196	54.4434
11	1.3001	177.204	UNITA' 1	14.5	30.7	42.6669	54.0091	111.613	45.0723	66.5409
12	1.3001	187.312	UNITA' 1	14.5	30.7	47.593	60.2447	117.668	40.6251	77.0427
13	1.3001	195.731	UNITA' 1	14.5	30.7	52.1195	65.9744	122.871	36.1778	86.693
14	1.3001	201.506	UNITA' 1	14.5	30.7	55.9216	70.7872	126.529	31.7306	94.7985
15	1.3001	206.114	UNITA' 1	14.5	30.7	59.3932	75.1817	129.483	27.2833	102.2
16	1.3001	204.933	UNITA' 1	14.5	30.7	61.1241	77.3727	128.726	22.8361	105.889
17	1.3001	202.934	UNITA' 1	14.5	30.7	62.5428	79.1685	127.303	18.3889	108.914
18	1.3001	200.934	UNITA' 1	14.5	30.7	63.854	80.8283	125.651	13.9416	111.709
19	1.3001	195.66	UNITA' 1	14.5	30.7	64.0571	81.0854	121.637	9.49437	112.142
20	1.3001	186.625	UNITA' 1	14.5	30.7	62.9828	79.7255	114.9	5.04713	109.852
21	1.3001	177.633	UNITA' 1	14.5	30.7	61.738	78.1498	107.798	0.599886	107.198
22	1.22784	145.426	UNITA' 1	14.5	30.7	37.1371	47.0093	54.7518	0	54.7518
23	1.22784	104.622	UNITA' 1	14.5	30.7	29.6746	37.563	38.8426	0	38.8426
24	1.22784	62.7734	UNITA' 1	14.5	30.7	21.2869	26.9456	20.9607	0	20.9607
25	1.22784	20.9245	UNITA' 1	14.5	30.7	11.9591	15.1382	1.07492	0	1.07492

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 171 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

### Interslice Data

- Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.26583

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	105.529	161.313	187.852	0	0
2	106.829	161.923	30.166	2.21375	4.19716
3	108.129	162.532	56.0927	8.1667	8.28366
4	109.429	163.142	77.8405	16.7718	12.1593
5	110.729	163.751	107.418	30.2784	15.7418
6	112.029	164.361	120.294	41.352	18.9708
7	113.329	164.971	119.025	47.625	21.8076
8	114.63	165.58	110.411	49.6926	24.231
9	115.93	166.19	97.1319	47.8653	26.2335
10	117.23	166.799	80.1999	42.3128	27.8158
11	118.53	167.409	64.8572	35.9262	28.9833
12	119.83	168.019	52.219	29.8364	29.7424
13	121.13	168.628	42.2861	24.5107	30.0983
14	122.43	169.238	35.0589	20.2852	30.0538
15	123.73	169.847	30.5384	17.3543	29.6086
16	125.03	170.457	28.7249	15.765	28.7592
17	126.33	171.067	29.6204	15.4194	27.5
18	127.631	171.676	33.2252	16.0794	25.8248
19	128.931	172.286	39.5395	17.3802	23.7286
20	130.231	172.895	48.5646	18.8489	21.2122
21	131.531	173.505	60.3019	19.9265	18.2859
22	132.831	174.114	74.7517	19.9934	14.9741
23	134.059	175.836	26.0426	5.31332	11.5315
24	135.287	177.557	-4.4313	-0.610018	7.83814
25	136.514	179.279	-14.4093	-0.998957	3.96581
26	137.742	181	0	0	0

### SEZIONE 3

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion 2 (kPa)	Phi 2 (deg)	Angle (ccw to 1) (deg)	Rapid Drawdown (RD) Undrained Strength	Water Surface	Hu Type	Hu
UNITA' 1		19.8	21	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Yes	Water Surface	Custom	1
UNITA' 2		21	22	Mohr-Coulomb	14.5	30.7				Yes	Water Surface	Custom	1
UNITA' 3		24		Anisotropic strength	60	24	190	24	-15	No	Water Surface	Automatically Calculated	

Analysis Methods used:

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine  
 Number of slices: 25  
 Tolerance: 0.005  
 Maximum number of iterations: 50

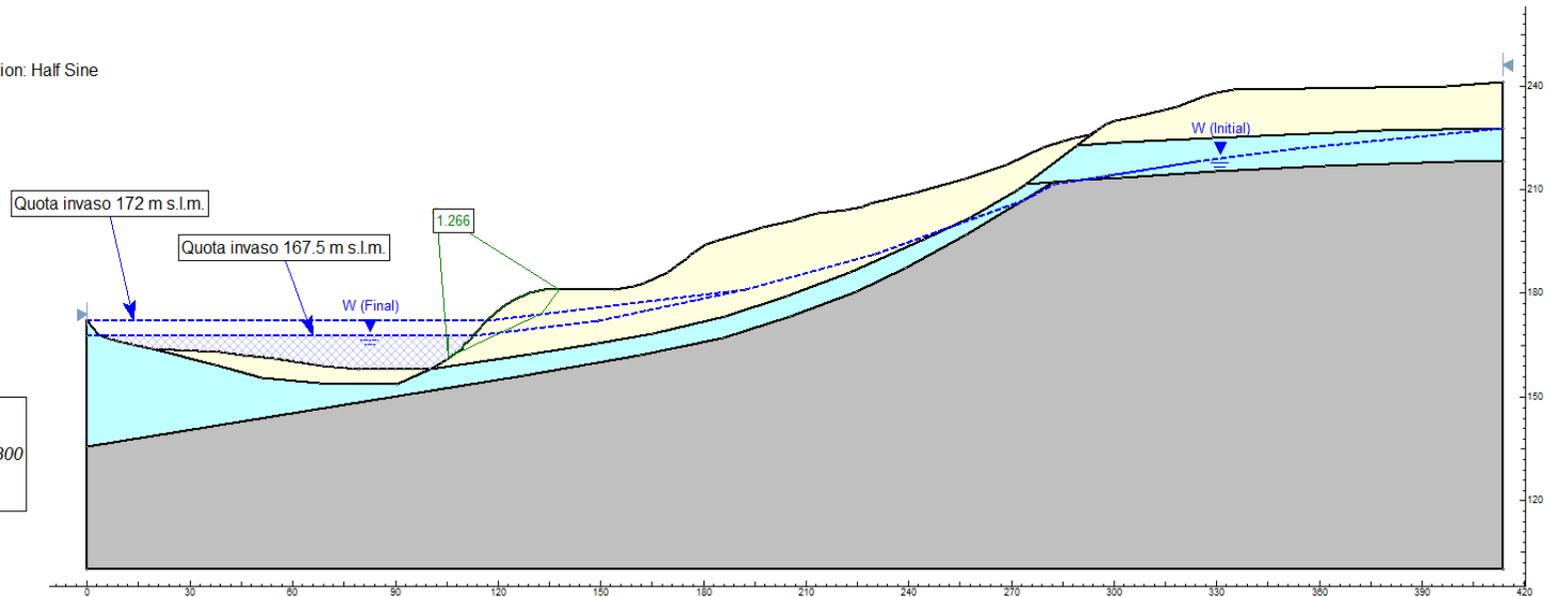
Surface Options

Surface Type: Non-Circular Path Search  
 Number of Surfaces: 5000  
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled  
 Convex Surfaces Only: Disabled  
 Segment Length: Auto Defined  
 Minimum Elevation: Not Defined  
 Minimum Depth: Not Defined  
 Upper Angle: Auto Defined  
 Lower Angle: Auto Defined

**Results**

Surfaces with a factor of safety below 1.300

FS min. = 1.266



Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 <b>LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE</b>
pag. 173 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

## 9 NOTE DI SINTESI

Per quanto riguarda i criteri di accettazione relativi ai fattori di sicurezza, le disposizioni in materia di analisi di stabilità dei pendii naturali (EC7 e NTC18) chiariscono, come detto all'inizio del capitolo, che il livello di sicurezza è espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie di scorrimento, presunta o reale, presa con il suo valore caratteristico, e il valore dello sforzo di taglio mobilitato lungo detta superficie sotto l'azione dei carichi.

Al progettista viene lasciata la libertà di giudizio sull'accettabilità del risultato così ottenuto, da motivarsi sulla base del livello di conoscenza acquisito, sulla scorta dell'affidabilità del modello geotecnico utilizzato e sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana. Dette disposizioni valgono anche per le verifiche in condizioni sismiche.

### SEZIONE 1 – QUADRO RIASSUNTIVO

SEZIONE 1	FS statico	FS sismico
Invaso esercizio quota = 167.50 m s.l.m.	1.540	1.306
Massimo invaso quota = 172.00 m s.l.m.	1.566	Non applicato
Rapido svaso da quota = 172.00 m s.l.m. a 167.50 m s.l.m.	1.381	Non applicato

### SEZIONE 2 – QUADRO RIASSUNTIVO

SEZIONE 2	FS statico	FS sismico
Invaso esercizio quota = 167.50 m s.l.m.	1.126	1.012
Massimo invaso quota = 172.00 m s.l.m.	1.122	Non applicato
Rapido svaso da quota = 172.00 m s.l.m. a 167.50 m s.l.m.	0.967	Non applicato

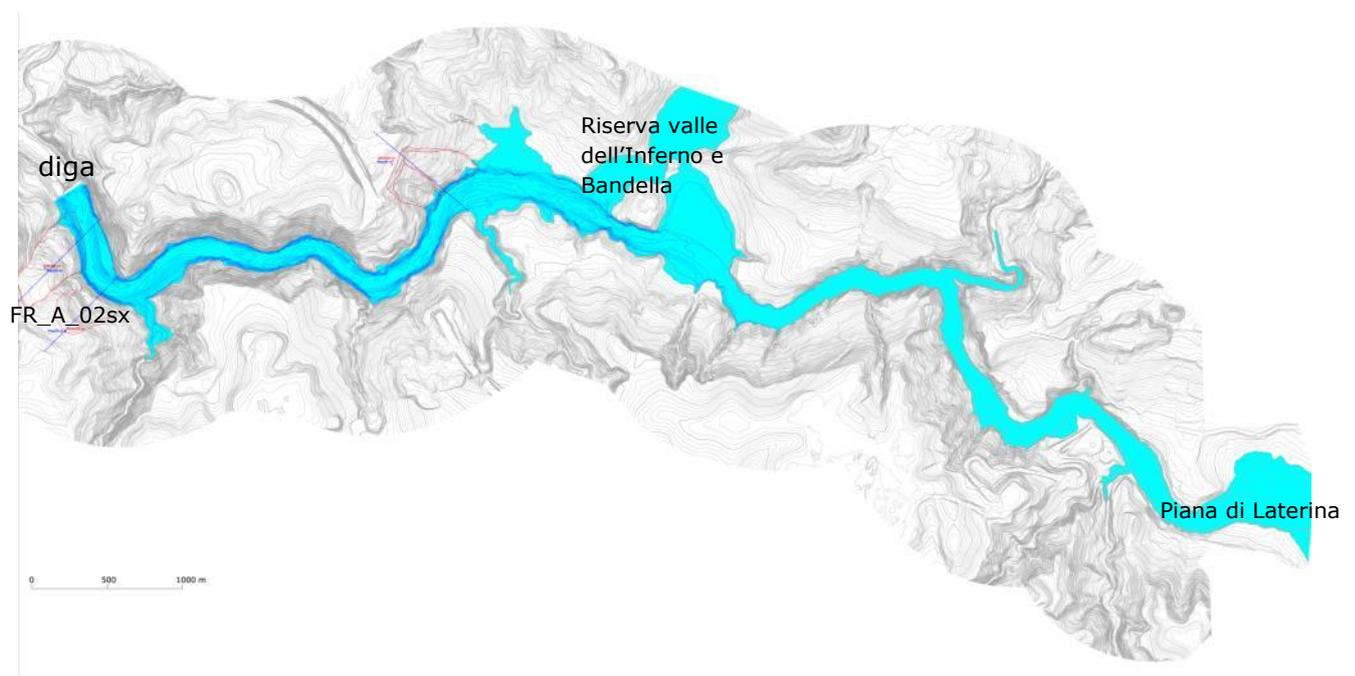
Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 <b>LCG</b> <b>CGT</b> Centro di Geotecnologie <b>CGTENGINEERING</b>
pag. 174 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	
		LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE

### SEZIONE 3 – QUADRO RIASSUNTIVO

SEZIONE 3	FS statico	FS sismico
Invaso esercizio quota = 167.50 m s.l.m.	1.483	1.310
Massimo invaso quota = 172.00 m s.l.m.	1.462	Non applicato
Rapido svaso da quota = 172.00 m s.l.m. a 167.50 m s.l.m.	1.265	Non applicato

Il Fattore di sicurezza  $F_s$  minimo che evidenzia un deficit di equilibrio, risultante dalle analisi di stabilità, si verifica per la sezione 2 (frana FR\_A\_02sx) in condizioni di rapido svaso, con livello di invaso a 167,5 m s.l.m.. Con le condizioni di rapido svaso si sta rappresentando, come è noto, una configurazione di emergenza.

Pertanto, per valutare le conseguenze di detta configurazione estrema si è effettuata una stima, eseguita sulla base di criteri cautelativi, che ha portato a valutare nel 28% l'area della sezione d'alveo ostruita a seguito del verificarsi dell'evento franoso individuato dal suddetto  $F_s$  palestante un deficit di equilibrio, nell'ipotesi che tutto il materiale mobilizzabile, stimabile tra 15.000 e 20.000 mc, vada a scaricarsi al di sotto del livello dell'invaso. Questo provocherebbe un innalzamento di detto livello di circa 2,5 metri, raggiungendo la quota assoluta di 170 m s.l.m..



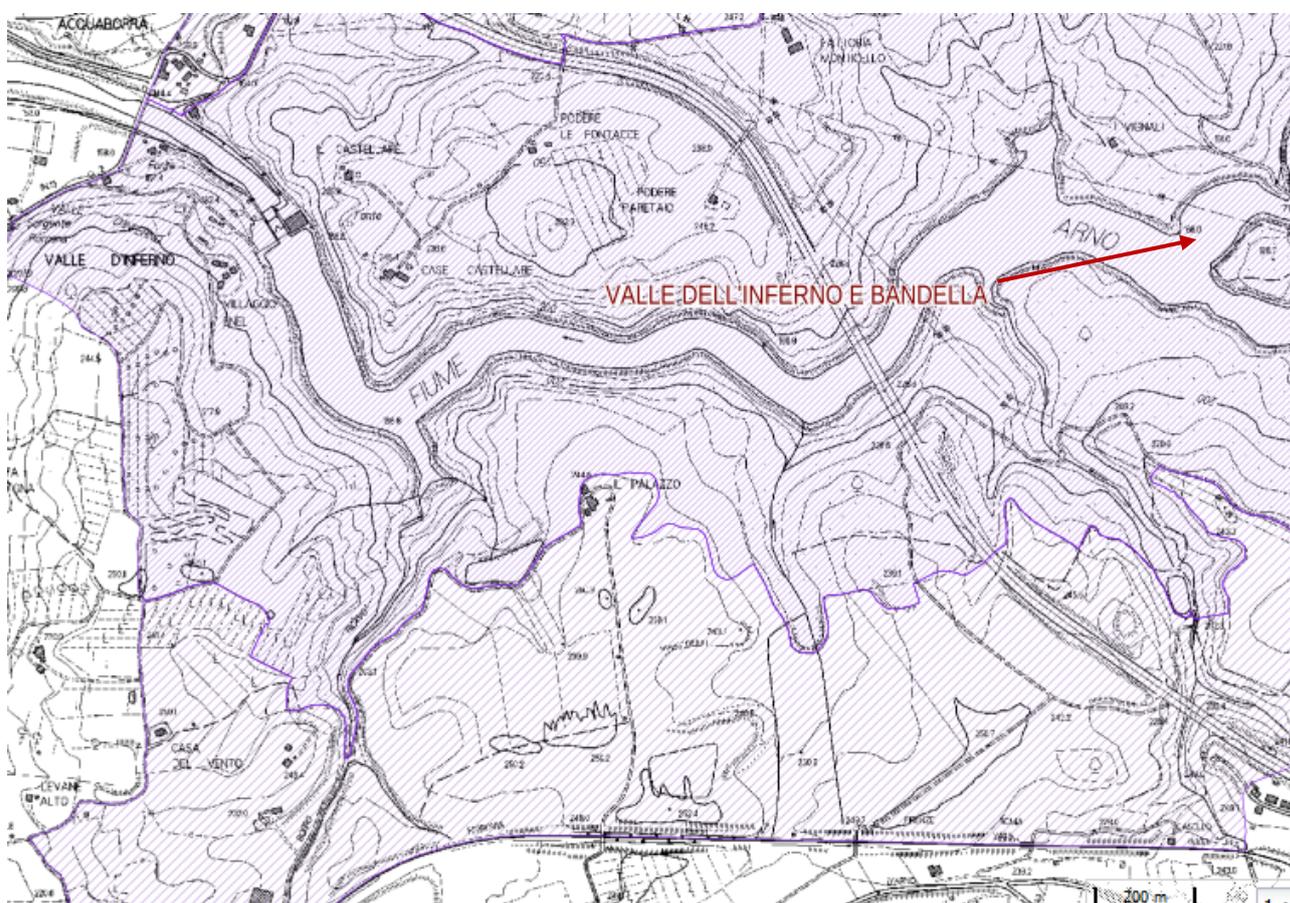
*Vista generale dell'area di interesse*

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 175 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

Detto aumento di livello porterebbe all'allagamento di porzioni effettivamente modeste delle sponde, all'interno dell'area caratterizzata da pareti alte e ripide, e solo in località Valle dell'Inferno e Bandella troverebbe la possibilità di un modesto ampliamento dell'area di allagamento interessando le sponde basse della zona della riserva.

Tuttavia, tale allagamento sarebbe già stato causato dal precedente passaggio dell'ipotetica piena dell'Arno tale da portare al rapido svaso partendo dal massimo livello d'invaso di 172 m slm alla diga.

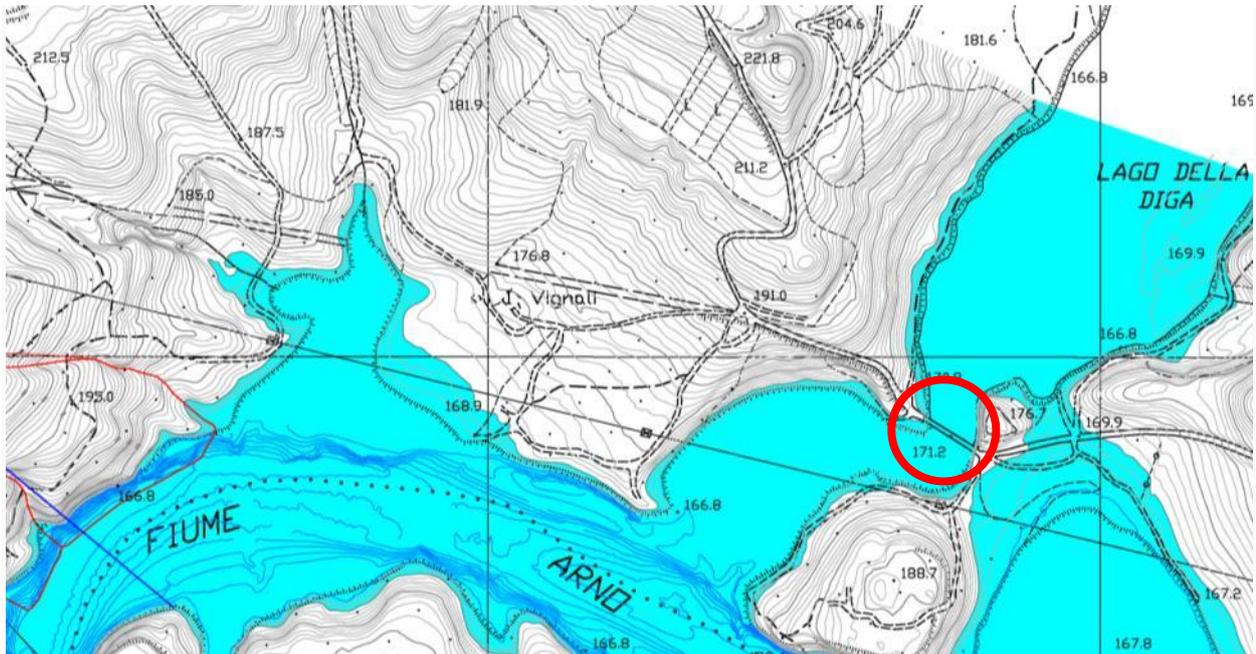
Fatte queste considerazioni, insieme alle non rilevanti conseguenze del modesto volume rilasciabile, la condizione di rapido svaso individuata per la sezione 2 non rappresenta una criticità per la diga e l'invaso.



*Ubicazione Valle dell'Inferno e Bandella*

In ogni caso, le uniche condizioni di rischio che si possono evidenziare, non legate al rilascio di geomateriali dal versante per frana, ma all'esonazione dell'Arno, riguardano il percorso pedonale e la passerella all'interno dell'area dell'Oasi, la cui quota risulta, dalla cartografia attualmente disponibile, pari a 172,4 m s.l.m..

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 176 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE



*Fascia di rischio moderato nel cerchio rosso.*

Ai fini di protezione civile si suggerisce, pertanto, di installare dei sistemi di allertamento e una apposita cartellonistica. Trattasi di sistemi in grado di monitorare allagamenti generati da eventi critici sia in zone circoscritte, che estese. Le stazioni, materializzate in queste aree critiche sottoposte a monitoraggio, vengono equipaggiate con specifici sensori per misurare in tempo reale il livello d'acqua presente, essendo quindi in grado di attivare automaticamente dispositivi di allertamento locali come avvisatori acustici e pannelli luminosi. L'elevata disponibilità dei dati, assicurata dai sistemi di trasmissione GSM/LTE, permette di avere sempre sotto controllo la realtà che si sta monitorando e, all'occorrenza, è possibile configurare l'invio automatico di messaggi di allarme in corrispondenza del superamento di una o più soglie prestabilite. Infine, le attuali centraline installate in campo raramente sono soggette a guasti e, ormai, grazie ad un'attenta ottimizzazione dei consumi energetici, non necessitano di particolare manutenzione, comportando quindi costi di gestione decisamente contenuti.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	
pag. 177 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

## BIBLIOGRAFIA

- Bashar Tarawneh (2014) Correlation of Standard and Cone Penetration Tests for Sandy and Silty Sand to Sandy Silt Soil; *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* • September 2014.
- Bruzzi, D., Pezzetti, G. e Piccoli, S. (1986) - "La strumentazione geotecnica nel monitoraggio dei movimenti franosi profondi", XVI CNG, Bologna, pagg. 153-164.
- Bruzzi, D., (1994) - "Sistemi di monitoraggio", Atti del II corso di aggiornamento professionale, Ordine dei Geologi della Toscana, pagg. 1-7.
- Bringiotti M, Bottero D. (1999) - "Consolidamenti e fondazioni" Ed. PEI, 574 pagg. Collotta T., Ghini D., Lazzari, A., Neri, A. e Moretti, P.C. (1987) - "Il controllo della stabilità dei pendii mediante installazione di tubi inclinometrici", *Autostrade*, anno XXIX, n° 11/12.
- Casey, B., and J. T. Germaine (2014), An evaluation of three triaxial systems with results from 0.1 to 100 MPa, *Geotech. Test. J.*, 37(6), 1-7, doi:10.1520/GTJ20130178.
- Casey, B., J. T. Germaine, P. B. Flemings, and B. P. Fahy (2015a), Estimating horizontal stresses for mudrocks under one-dimensional compression, *J. Mar. Pet. Geol.*, 65, 178-186, doi:10.1016/j.marpetgeo.2015.02.001.
- Casey, B., J. T. Germaine, N. O. Abdulhadi, N. S. Kontopoulos, and C. A. Jones (2015b), Undrained Young's modulus of fine-grained soils, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 142(2), doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001382.
- Cornforth Derek H., (2005) - "Landslides in Practice", Wiley, pagg. 70-82.
- De Groot, D. J. (1992), The multidirectional direct simple shear apparatus with application to design of offshore arctic structures, DSc thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- Devin P., Frassoni, A. e Rossi, P.P. (1988) - "La strumentazione per il controllo e l'osservazione dei movimenti di versante", Secondo ciclo di conferenze di meccanica e ingegneria delle rocce, Politecnico di Torino, pagg. 5.1-5.21
- Di Biagio E., Pezzetti, G. e Bruzzi, D. (1999) - "Classification, certification and specification of instruments for field measurements", *Proceedings of FMGM*, Singapore.
- Dunncliff, J. (1993) - "Geotechnical instrumentation for monitoring field performance", Wiley & Sons, 577 pagg.
- Dunncliff, J. (1995) - "Keynote paper - Monitoring and instrumentation of landslides", *Proc. 6th ISL*, pagg. 1881-1895.
- Durville, J.L., Gouin, T. e Pouget, P. (1994) - "Surveillance des pentes instables. Guide technique", Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 125 pagg.
- Fjær, E., R. M. Holt, P. Horsrud, A. M. Raaen, and R. Risnes (2008), *Petroleum Related Rock Mechanics*, 2nd ed., Elsevier, Netherlands.
- Grecchi M., Muggiati G. (2006) - "Elementi di Monitoraggio geotecnico e strutturale" Ed. Geomon Milano 500 pagg.
- Grennan, J. T. (2010), Characterization of a low plasticity silt MS thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. Hubbert, M. K., and D. G. Willis (1957), Mechanics of hydraulic fracturing, *Trans. Soc. Pet. Eng. AIME*, 201, 153-168.
- Hubbert, M. K., and W. W. Rubey (1959), Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting Part I. Mechanics of fluid-filled porous solids and its application to overthrust faulting, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 70(2), 115-166.
- ISA - Instrument Society of America - (1938) - "Standard and Practice for Instrumentation" Std. ISA-S51.1 Process Instrumentation Terminology, 7th Edition, 1983 and seq.
- Jáky, J. (1948), Pressure in silos, in *Proceedings of the 2nd International Conference on Mudrock Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 1, pp. 103-107, A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Jones, C. A. (2010), Engineering properties of resedimented Ugnu Clay from the Alaskan north slope MS thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE
pag. 178 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

- Karig, D., and J. Morgan (1994), Tectonic deformation: Stress paths and strain histories, in *The Geological Deformation of Sediments*, pp. 167–204, Chapman and Hall, New York.
- Kenney, T. C. (1959), Discussion of geotechnical properties of glacial lake clays by Wu (1958), *J. Mudrock Mech. Found. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 85(3), 67–79.
- Ladd, C. C. (1991), Stability evaluation during staged construction, "22nd Karl Terzaghi Lecture, *J. Geotech. Eng., Am. Soc. Civ. Eng.*, 117(4), 540–615.
- Ladd, C. C., R. Foott, K. Ishihara, F. Schlosser, and H. Poulos (1977), Stress-deformation and strength characteristics, in *Proceedings of the 9th International Conference on Mudrock Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 2, pp. 421–494, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, Japan.
- Ladd, R. S. (1978), Preparing test specimens using undercompaction, *Geotech. Test. J.*, 1(1), 16–23. Lambe, T. W., and R. V. Whitman (1969), *Soil Mechanics*, John Wiley, New York.
- Logan, J. M., and K. A. Rauenzahn (1987), Frictional dependence of gouge mixtures of quartz and montmorillonite on velocity, composition, and fabric, *Tectonophysics*, 144(1987), 87–108.
- Mannucci G., Notarpietro A., (2005) - "Linee Guida per il controllo dei fenomeni franosi", Vol.1, IREALP, 124 pagg.
- Mannucci G., Notarpietro A., (2007) - "Linee Guida per il controllo dei fenomeni franosi", Vol.2, IREALP, 79 pagg.
- Matthews, W. R., and J. Kelly (1967), How to predict formation pressure and fracture gradient, *Oil Gas J.*, 65(8), 92–106.
- Maugeri, M., Costa, C.P. e Randazzo, F. (1981) - "Reliability of the inclinometer measurements", *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Comptes Rendus du Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations*, vol.10, Vol. 2, pagg. 519-522.
- Mayne P.W. . Stress History of Soils from Cone Penetration Tests. *Soils and Rocks*, São Paulo, 40(3): 203-216. ABMS - Brazilian Association for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering SPG - Portuguese Geotechnical Society Volume 40, N. 3, September-December 2017.
- Mayne, P.W. (2016). Evaluating effective stress parameters and undrained shear strengths of soft-firm clays from CPTu and DMT. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization 5 – Lehane, Acosta-Martínez & Kelly (Eds) © 2016 Australian Geomechanics Society, Sydney, Australia.*
- Mayne, P.W. (2014). KN2: Interpretation of geotechnical parameters from seismic piezocone tests. *Proceedings, 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'14, Las Vegas), ISSMGE Technical Committee TC 102, Edited by P.K. Robertson and K.I. Cabal: p 47-73.*
- Mayne, P. W., and F. H. Kulhawy (1982), K<sub>0</sub>-OCR relationships in mudrock, *J. Geotech. Eng. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 108(6), 851–872.
- Mesri, G., and A. Castro (1987), C<sub>a</sub>/C<sub>c</sub> concept and K<sub>0</sub> during secondary compression, *J. Geotech. Eng.*, 113(3), 230–247, doi:10.1061/(ASCE) 0733-9410(1987)113:3(230).
- Mesri, G., and T. M. Hayat (1993), "The coefficient of Earth pressure at rest," *Canadian, Geotech. J.*, 30, 647–666. Michalowski, R. L. (2005), Coefficient of Earth pressure at rest, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 131(11), 1429–1433, doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:11(1429).
- Mikkelsen P.E., (2003) "Advances in Inclinometer Data Analysis", *Symposium on Field Measurements in Geomechanics, FMGM 2003, Oslo, Norway, September.*
- Moh, Z.C., Chin, C.T., Liu, C.j. and Woo, S.M. (1989) – Engineering Correlations for Soil Deposits in Tapei, *Journal of the Chinese Institute of Engineering*, Vol. 12, N03, pp.273 -283.
- Moh, Z.C. (1985) – Site investigation and in situ testing. *Commemorative Volume of 50th anniversary of ISSMFE, Southeast Asian Geotechnical Society.*
- Moh, Z.C. and Ou, C.D. (1979) – Engineering Characteristics of the Tapei Silt, *Proc. 6th Asian Regional Conf. On SMFE, Singapore Vol.1, pp.155 – 158.*

Documento P410.19.GEO.RF.01 REV. 00 del 26/05/2020	CONTRATTO DI SERVIZIO PER STUDIO DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL SOPRALZO DELLA DIGA DI LEVANE A FINI DI LAMINAZIONE INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E SISMICO	 LABORATORIO CONGIUNTO PER LE GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALL'AMBIENTE
pag. 179 di 179	<b>RELAZIONE FINALE</b>	

- Nikolinakou, M. A., P. B. Flemings, and M. R. Hudec (2014), Modeling stress evolution around a rising salt diapir, *J. Mar. Pet. Geol.*, 51, 230–238, doi:10.1016/j.marpetgeo.2013.11.021.
- RFI (2003) – Manuale di progettazione – Geologia
- Roscoe, K. H., and J. B. Burland (1968), On the generalized stress-strain behaviour of “wet” clay, in *Engineering Plasticity*, pp. 535–609, Cambridge Univ. Press.
- Santagata, M., and J. T. Germaine (2005), Effect of OCR on sampling disturbance of cohesive mudrocks and evaluation of laboratory reconsolidation procedures, *Can. Geotech. J.*, 42(2), 459–474, doi:10.1139/t04-104.
- Sappa, M. e Sappa, G. (1995) - “Observations on inclinometer measurements”, FMGM95 (Proceedings of the 4th International Symposium Bergamo April 10-12, 1995), pagg. 333-340.
- Schmidt, B. (1966), Discussion of “Earth pressures at rest related to stress history” by Brooker and Ireland (1965), *Can. Geotech. J.*, 3(4), 239–242.
- Seed, H. B., R. J. Woodward, and R. Lundgren (1964), Fundamental aspects of the Atterberg limits, *J. Mudrock Mech. Found. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 90(SM6), 75–105.
- Sheahan, T. C., C. C. Ladd, and J. T. Germaine (1996), Rate-dependent undrained shear behavior of saturated clay, *J. Geotech. Eng.*, 122(2), 99–108.
- Skempton, A. W. (1960), Effective stress in soils, concrete and rocks, in *Proc. of the Conference on Pore Pressure and Suction in Soils*, pp. 4–16, Butterworths, London.
- SISGEO (2005) – Manuale d’uso Inclinometri.
- SLOPE INDICATOR (2001) – Data reduction and Error Correction.
- SLOPE INDICATOR (2003) – DigiPro for Windows.
- SLOPE INDICATOR (2004) – Guide to Geotechnical Instrumentation.
- SLOPE INDICATOR (2006) – Digit Inclinometer Probe.
- SPEA (2001) - Lavori di indagine geotecnica, Norme tecniche d’appalto Stevens, W.R. e Zehrbach, B.E. (2000) - “Inclinometer data analysis for remediated landslides”, *Geotechnical measurements; lab and field*. Ed. Marr, W. Allen, Geotechnical Special Publication, vol. 106, pagg. 126-137.
- Stigall, J., and B. Dugan (2010), Overpressure and earthquake initiated slope failure in the Ursa region, northern Gulf of Mexico, *J. Geophys. Res.*, 115, B04101, doi:10.1029/2009JB006848.
- Thiercelin, M. J., and R. A. Plumb (1994), Core-based prediction of lithologic stress contrasts in East Texas formations, *SPE Form. Eval.*, 9(4), 251–258.
- UNI - Normativa UNI 4546 Novembre 1984 - Misure e misurazioni – Termini e definizioni fondamentali.
- Zoback, M. D. (2007), *Reservoir Geomechanics*, Cambridge Univ. Press, New York.

### Nota

Esistono in letteratura vari algoritmi basati sulla classificazione per prevedere il tipo e lo stato del terreno usando i dati  $N_{spt}$ , CPT o CPTu.

Ad esempio Begemann, 1965; Douglas e Olsen, 1981; Jones e Rust, 1982; Senneset e Janbu, 1985; Robertson et al., 1986; Olsen e Malone, 1988; Campanella e Robertson, 1988; Robertson, 1990, 2009; Jefferies e Davies, 1991, 1993; Olsen, 1994; Olsen e Koester, 1995; Olsen e Mitchell, 1995; Eslami e Fellenius, 1997; Robertson e Wride, 1998; Jefferies and Been, 2006; Jung et al., 2008; Schneider et al., 2008; Cetin e Ozan, 2009.