

REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI CUNEO
COMUNE DI LIMONE PIEMONTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICA

LAVORI DI:
POTENZIAMENTO ED AMMODERNAMENTO
IMPIANTI D'INNEVAMENTO DELLA STAZIONE
SCIISTICA DI LIMONE PIEMONTE
- ZONA LIMONE -

OGGETTO:

RELAZIONE DI VERIFICA DELLO
SBARRAMENTO

ALLEGATO:

9

COMMITTENTE:



COMUNE DI LIMONE PIEMONTE

Via Roma, 32 - 12015 - LIMONE PIEMONTE (CN)

Partita IVA 00461550048 - Codice Fiscale 80003770049

PEC: comune.limonepiemonte.cn@legalmail.it

PROT.:

DATA :

GIUGNO 2024



Ferrari, Giraudo e Associati s.r.l.
Società Tra Professionisti

Corso Nizza, n° 67a - 12100 - CUNEO

Tel. 0171/480247

e-mail: franco@ferrariegiraudo.com

PROGETTISTA :

Dott. Ing. Franco Giraudo

AGGIORNAMENTO :

VISTI :

Sommario

PREMESSE.....	2
NORMATIVE.....	5
CARATTERISTICHE DELL'INVASO	5
VERIFICA DI STABILITA' DEGLI ARGINI DI UN INVASO	5
SERBATOIO PIENO	6
SERBATOIO VUOTO	7
SERBATOIO RAPIDAMENTE SVUOTATO	7
VERIFICA IDRAULICA.....	7
LOCALIZZAZIONE	8
DATI GENERALI	9
VERIFICA STABILITA' SCARPATA DI MONTE	11
VERIFICA STABILITA' SCARPATA DI VALLE	17
VERIFICA ARGINE agli elementi finiti.....	23
Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2).....	

PREMESSE

La presente relazione di verifica di stabilità dell'argine di valle, riguarda il progetto del "Potenziamneto ed ammodernamento impianti d'innevamento della Stazione sciistica di Limone Piemonte – Zona Limone " elaborato per il Comune di Limone Piemonte in cui è prevista la realizzazione di un invaso della capacità di circa 35.000 mc .

Il progetto durante la fase di Verifica è stato esaminato dagli Uffici Regionali che hanno indicato le seguenti prescrizioni per la prosecuzione dell'iter Autorizzativo:

- *In sede di progettazione definitiva andrà approfondita, mediante l'effettuazione di ulteriori indagini geognostiche e di laboratorio, la caratterizzazione geomeccanica del materiale proveniente dallo scavo da utilizzare per la realizzazione dell'invaso; nel caso in cui i parametri geotecnici non dovessero coincidere con quelli assunti per l'effettuazione delle verifiche di stabilità dell'insieme opera - versante ai sensi delle la caratterizzazione geomeccanica delle bancate rocciose affioranti nella zona di imposta dello sbarramento, al momento esclusivamente ipotizzata sulla base di una osservazione qualitativa, dovrà essere supportata da valutazioni quantitative desunte da rilievi mirati e stendimenti geomeccanici secondo le metodologie riconosciute nella letteratura scientifica, anche al fine di assegnare corretti parametri geotecnici per le verifiche di stabilità previste dalle NTC vigenti;*
- *si richiede di valutare attentamente la realizzazione del muro tirantato previsto all'interno del rilevato considerando eventuali soluzioni alternative, come un nucleo in materiale argilloso, soluzione maggiormente adottata e consona a dighe in materiale sciolto (per esigenze di abbattimento della linea piezometrica all'interno del rilevato; nel caso in cui la costruzione di tale muro non derivi da particolari esigenze statiche (nel qual caso si potrebbe valutare l'eliminazione del rilevato arginale ed il mantenimento del solo muro come opera di contenimento idrico) si ricorda che oltre ad implicare aumenti di costo dell'opera considerevoli, risulterà di difficile ispezione a fronte di eventuali cedimenti del rilevato o perdite idriche ed eventuali interventi di manutenzione dello stesso risulteranno particolarmente difficoltose*

In base alle prescrizioni di carattere geotecnico si sono effettuate

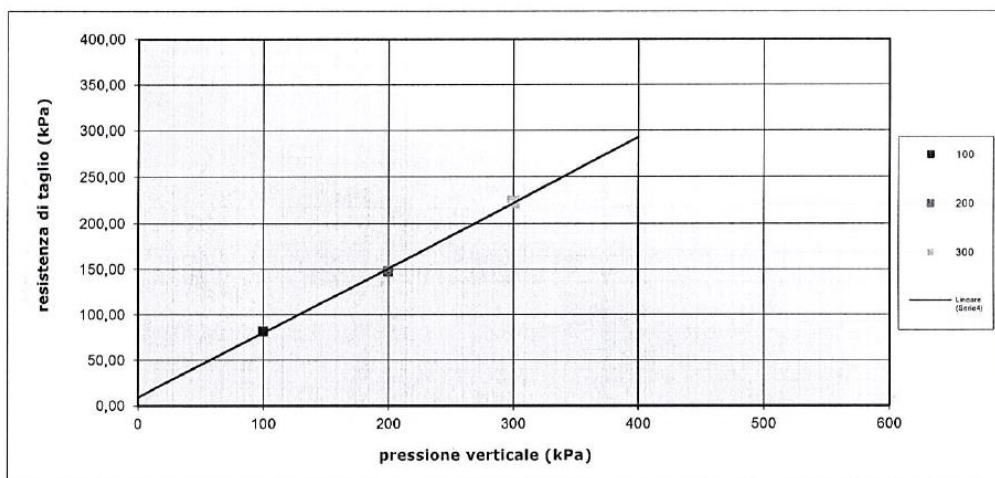
- ✓ tre perforazioni a carotaggio continuo della profondità di 20.00 m con il prelievo delle carote di terreno ,
- ✓ le prove di laboratorio con:
 - analisi granulometrica dei campioni
 - limiti di atterberg e valutazione indice
 - compattazione dei campioni disturbati e prove Proctor modificato
 - prove di taglio sui campioni compattati

Attraverso le prove di laboratorio , che sono state commentate nella relazione geologia a cui si rimanda, è stato possibile con le prove di taglio ricavare i parametri geotecnici sul materiale che verrà riutilizzato per la formazione dell'argine.

Le prove sono state eseguite su tre provini ottenuti compattando il materiale con una pressione di consolidazione di 100,200 e 300 Kpa e un tempo di consolidazione di 24 h.

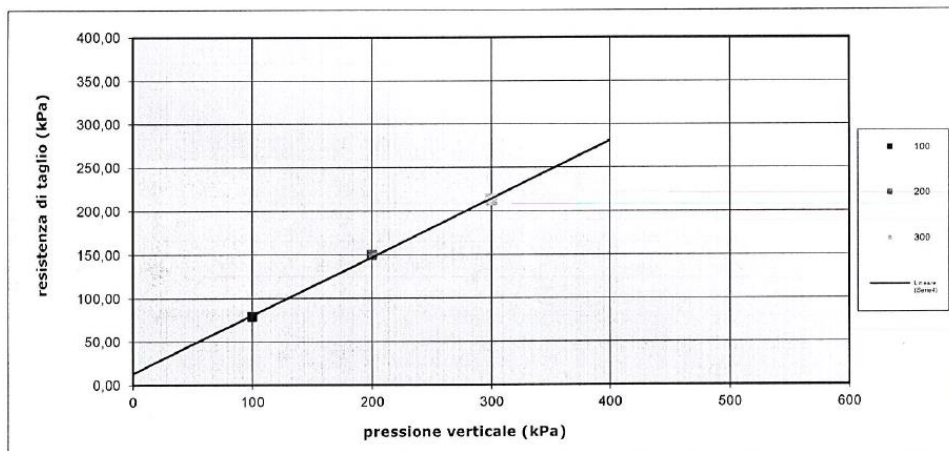
I risultati in base alle varie compattazioni hanno condotto al seguente grafico tensionale e ai parametri geotecnici riportati a seguire:

Per i primi tre provini



<i>Coesione efficace (*)</i>	c'	8,98	kPa
<i>Angolo di resistenza al taglio (*)</i>	ϕ'	35	°

Per gli ulteriori tre



<i>Coesione efficace (*)</i>	c'	13,05	kPa
<i>Angolo di resistenza al taglio (*)</i>	ϕ'	34	°

Il laboratorio nel certificato ha riportato la dicitura “ valori non validi al certificato di prova ai sensi della circolare n . 7618/STC del 08/09/10 in quanto i provini sonon stati ottenuti non da un prelievo diretto nel foro di sondaggio ma dalla compattazione del campione effettuat in laboratorio alle varie pressioni di consolidazione.

I valori ottenuti in laboratorio conducono a considerare nei calcoli i seguenti valori:

Denità Umida: g/cc	2.351 a 2.36
Densità secca: g/cc	2.200 a 2.216
Coesione efficace	da 8.98 Kpa a 13,05 Kpa
Angolo di resistenza a taglio	da 34 ° a 35 °

In base alle risultanze i parametri geotecnici assunti sono:

Denità Umida: g/cc	2.350
Densità secca: g/cc	2.200
Coesione efficace	8.98 Kpa
Angolo di resistenza a taglio	34 °

I valori ricavati in laboratorio sul materiale compattato verranno utilizzati in cantiere per verificare attraverso le prove su piastra, il grado di compattazione/consolidamento del materiale utilizzato per la formazione dell'argine.

A seguito delle prescrizioni formulate, le caratteristiche dell'argine risultano:

- la pendenza interna ed esterna delle scarpate di **27 °**
- il muro interno tirantato è stato rimosso dal progetto, in quanto lo strato in roccia si trova ad una profondità elevata
- si sono inseriti all'interno del corpo arginale dei clinometri e dei sensori tali da monitorare la rilevato arginale
- lo sbarramento è stato verificato tenendo in conto la spinta del ghiaccio
- si è proceduto alla riverifica del coefficiente di sicurezza nelle:
 - condizioni con carichi equivalenti
 - condizione di invaso pieno ma senza telo protettivo,
 - condizioni con telo protettivo impermeabile
 - con la rottura del telo nella parte inferiore
 - con azioni dinamiche indotte dall'azione sismica

La presente relazione illustra le verifiche effettuate considerando lo sbarramento nella sua totalità e analizzando separatamente le scarpate di monte e valle.

NORMATIVE

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008

Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018), Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (DM 26 giugno 2014)

CARATTERISTICHE DELL'INVASO

Altezza dell'argine inferiore a 15 m

Volume dell'invaso < 1000000 m³

VERIFICA DI STABILITA' DEGLI ARGINI DI UN INVASO

L'analisi di stabilità degli argini può essere eseguita dividendo lo stesso in due parti, una di monte ed una di valle, ed esaminandole separatamente.

La parte anteriore RMN è divisa dalla parte posteriore MNS da un ideale piano verticale passante avente per traccia la retta MN (Vedi Figura 1)

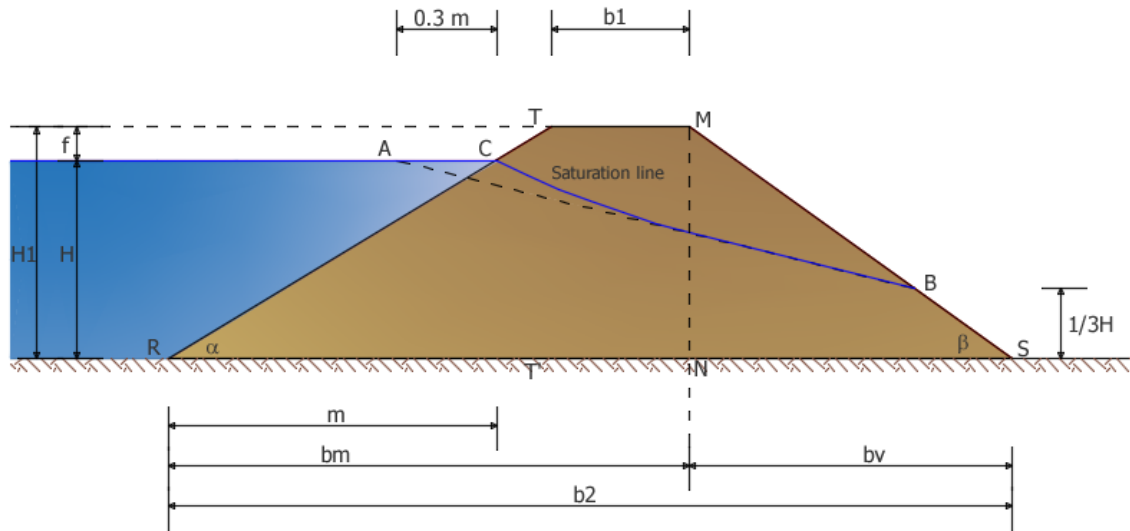


Fig. 1-Rappresentazione schematica del rilevato

Si avranno così due problemi parziali che saranno risolti facendo riferimento all'unità di spessore dell'argine.

La parte a valle MNS funziona da sostegno della parte a monte, la forza resistente si manifesta come uno sforzo di taglio che agisce lungo la sezione orizzontale di base.

La condizione di verifica viene espressa dalla relazione:

$$E \leq R$$

Dove con E si indica l'azione totale (sforzo di taglio) e con R la resistenza

SERBATOIO PIENO

$$E = T_V = S + F_o + F_V + F_S + F_T$$

$$F_o = k_h \cdot W_{(RTMSR)}$$

$$F_V = k_v \cdot F_o$$

$$F_T = \frac{1}{2} \cdot \gamma_m \cdot H_1^2 \cdot K_A$$

$$K_A = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\gamma_m = \sqrt{\gamma_g \cdot \gamma_a} = \sqrt{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot \gamma_a}$$

Dove

S spinta idrostatica dell'acqua invasata

F_O azione sismica orizzontale della massa strutturale
 F_V azione sismica verticale della massa strutturale
 F_S azione inerziale dell'acqua invasata (DM 26 giugno 2014)
 F_T spinta del terreno a monte della sezione MN,
 k_v coefficiente sismico verticale

k_h coefficiente sismico orizzontale,
 W (RTMSR) volume del corpo del rilevato.
 γ_w peso di volume dell'acqua invasata
 γ_s peso di volume del terreno saturo
 γ_a peso di volume del terreno asciutto
 H_1 altezza totale del rilevato
 H altezza della quota di massimo invaso

$$R = P_V \cdot \operatorname{tg}\varphi = \gamma_s \cdot A_{(SMNS)} \cdot \operatorname{tg}\varphi + c' \cdot b_v$$

Dove

A (SMNS) area del terreno resistente di valle

SERBATOIO VUOTO

$$E = T_m = F_O + F_V + F_T$$

$$F_T = \frac{1}{2} \cdot \gamma_a \cdot H_1^2 \cdot K_A$$

$$R_m = \gamma_a \cdot A_{(RTMNR)} \cdot \operatorname{tg}\varphi + c' \cdot b_m$$

A (RTMNR) area del terreno resistente di monte del rilevato

SERBATOIO RAPIDAMENTE SVUOTATO

Si considera a vantaggio della sicurezza la porzione di ammasso RTMNR. Lo sforzo totale di taglio T_m agente sulla base RN approssimativamente, assume il valore:

$$E = T_m = \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot H_1^2 \cdot K_A + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot H \right)^2 + k_h \cdot A_{(RTMNR)} \cdot \gamma_g \right]$$

La resistenza offerta dall'ammasso è:

$$R_m = \gamma_g \cdot A_{(RTMNR)} \cdot \operatorname{tg}\varphi + c' \cdot b_m$$

VERIFICA IDRAULICA

La verifica a sifonamento viene effettuata utilizzando la relazione empirica di Bligh nella forma:

$$L_a > c_m \cdot H$$

Dove:

$L_a = b_2$ sviluppo planimetrico del profilo di fondazione

c_m = rapporto critico di trascinamento, dipende dalla natura del terreno.

La portata di filtrazione per unità di spessore d'argine può essere determinata dalla seguente espressione:

$$Q = \frac{4}{9} \cdot K \cdot \left(\frac{H^2}{L_f} \right)$$

$$K = \sqrt{k_v \cdot k_o}$$

$$L_f = (1.13H + 2f) \cdot \text{ctg}\beta + b_1$$

Dove

H altezza della quota di massimo invaso

f franco

k_v permeabilità verticale

k_o permeabilità orizzontale

LOCALIZZAZIONE

Dati Sismici

Latitudine	44.201391
Longitudine	7.576201
Comune	Limone Piemonte
Provincia	Cuneo
Regione	Piemonte

Punti di interpolazione del reticolo

17564 - 17565 - 17343 - 17342

Tipo di opera

Tipo di costruzione

Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari

Vita nominale

50 anni

Classe d'uso


II - Normali affollamenti e industrie non

pericolose

Vita di riferimento

50 anni

D.M. 1996		SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica %	10,00		
Intensità sismica verticale/Orizzontale	0,50		
N.T.C. 2008/2018		SLV	SLD
Accelerazione al suolo a_g [m/s ²] ag/g = 0,141		1,385	0,480
Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0		2,476	2,488
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*		0,289	0,225
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S _s	Tipo B	1,200	1,200
Coeff. amplificazione topografica S ^T	T1	1,00	
Coefficiente di riduzione (β _s)	C	0,24	0,24
Coefficiente di riduzione (β _{s2})		0,38	0,47
Coeff. di intensità sismica orizzontale [PC] - Kh [%] = 4,07			1,41
Coeff. di intensità sismica orizzontale [A2-M2] - Kh [%] = 6,44			2,76
Intensità sismica Verticale/Orizzontale	0,50		



DATI GENERALI

GEOMETRIA

A valori assunti per l'azione sismica si riferiscono allo stato SLE in quanto il modello adottato dal programma non considera il tetto interno di rinforzo .

DATI GENERALI

GEOMETRIA

Franco di sicurezza	1.50	m
Inclinazione del paramento di monte	27.00	°
Inclinazione del paramento di valle	27.00	°
Larghezza di coronamento	4.00	m

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Peso unità di volume del terreno saturo	23.50	kN/mc
Peso unità di volume del terreno asciutto	22.00	kN/mc
Peso unità di volume dell'acqua	10.00	kN/mc
Angolo di resistenza a taglio	34.00	°
Coesione efficace	0.08	kN/mq

PERMEABILITA'

Coefficiente di permeabilità orizzontale	0.00	m/s
Coefficiente di permeabilità verticale	0.00	m/s
Rapporto critico di trascinamento	1.00	--

VERIFICHE

VERIFICA A SERBATOIO PIENO

Azione sismica orizzontale della massa strutturale	932.67	kN/m
Azione sismica verticale della massa strutturale	93.27	kN/m

Azione inerziale dell'acqua invasata	1588.63	kN/m
Spinta idrostatica dell'acqua invasata	451.25	kN/m
Spinta del terrapieno	294.77	kN/m
Totale delle forze agenti	3360.58	kN/m
Azione Resistente	3764.22	kN/m
Fattore sicurezza a scorrimento	1.12	--

VERIFICA A SERBATOIO VUOTO

Azione sismica orizzontale della massa strutturale	873.14	kN/m
Azione sismica verticale della massa strutturale	87.31	kN/m
Spinta del terrapieno	376.29	kN/m
Totale delle forze agenti	1336.75	kN/m
Azione Resistente	2414.90	kN/m
Fattore sicurezza a scorrimento	1.81	--

VERIFICA A SERBATOIO RAPIDAMENTE SVUOTATO

Totale delle forze agenti	912.28	kN/m
Azione Resistente	1481.87	kN/m
Fattore sicurezza a scorrimento	1.62	--

VERIFICA IDRAULICA

Portata di filtrazione	0.0001	mc/s
Lunghezza di filtrazione	30.96	m
Fattore sicurezza a sifonamento	4.97	--

-I presenti coefficienti di sicurezza, verranno rielaborati in seguito, attraverso l'analisi agli elementi finti

VERIFICA STABILITA' SCARPATA DI MONTE

In questi due paragrafi verranno verificate le scarpate di monte e di valle attraverso la verifica di stabilità del pendio seguendo l'impostazione riportata nei capitoli a seguire.

Le verifiche sono state condotte indipendentemente per le due scarpate di monte e valle, in quanto l'impostazione dei cerchi di scivolamento deve essere distinta tra monte e valle.

Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.20**.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

l	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
b	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
c	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
u	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

Metodo di Fellenius (metodo svedese)

Il coefficiente di sicurezza fornito da **Fellenius** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \tan \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i / \cos \alpha_i$).

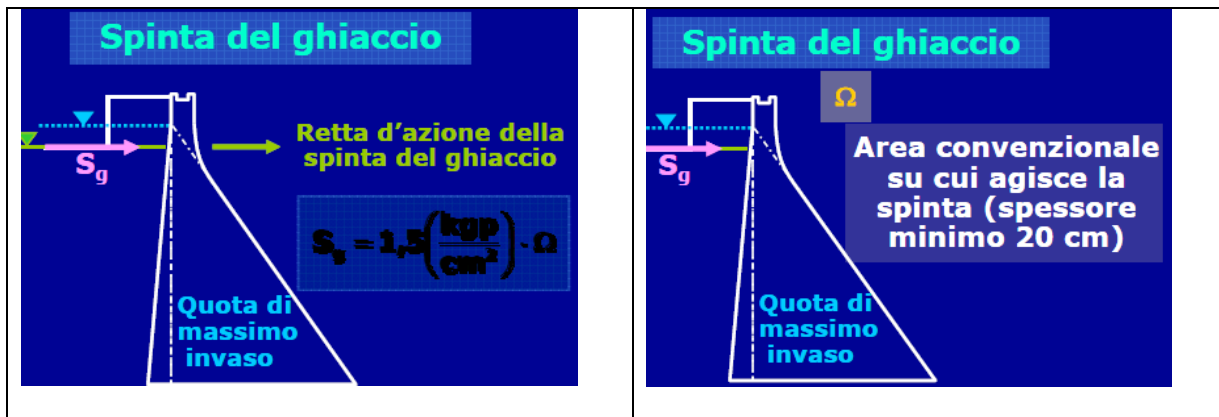
Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava **F**. Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza del pendio il minimo dei coefficienti così determinati.

Le verifiche sono state svolte per la sponda di monte e quella di valle. La pendenza di entrambe le scarpate è di 27°

Spinta del ghiaccio sullo sbarramento

Per il calcolo della spinta del ghiaccio, si sono considerate le azioni ricavate sperimentalmente e reperite in letteratura.

Il valore assunto, da applicarsi alla sommità in corrispondenza del livello di massimo riempimento, è pari a 1.5 Kg/cm² da applicarsi su un'altezza minima di 20 cm.



Assunto il valore di spessore pari a 20 cm (valore cautelativo in quanto verrà abbinato l'impianto di boulage che consente di ridurre o annullare la formazione del ghiaccio superficiale), la spinta risulta

$$S_{\text{ghiaccio}} = 1.5 \text{ Kg/cm}^2 \times 20 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 3000 \text{ Kg/ ml di sbarramento}$$

A titolo cautelativo, la spinta verrà inserita solo per la verifica della sponda di valle, in quanto per quella a monte risulta a favore di stabilità.

Dati

SCARPATA DI MONTE (LATO ACQUA)

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

n°	Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ' [°]	c' [kg/cmq]
1	Terreno 1	2200	2350	34.00	0,080

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	10,00
2	20,00	10,00
3	37,66	19,00
4	39,16	19,00
5	43,56	22,00
6	47,56	22,00
7	56,46	15,10
8	62,36	11,20
9	100,00	4,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito
Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Terreno 1)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	10,00
2	0,00	0,00
3	100,00	0,00
4	100,00	4,00
5	62,36	11,20
6	56,46	15,10
7	47,56	22,00
8	43,56	22,00
9	39,16	19,00
10	37,66	19,00
11	20,00	10,00

Descrizione falda

Livello di falda

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	48,00	20,00
3	54,00	16,00
4	62,36	11,20
5	100,00	4,00

Carichi sul profilo

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

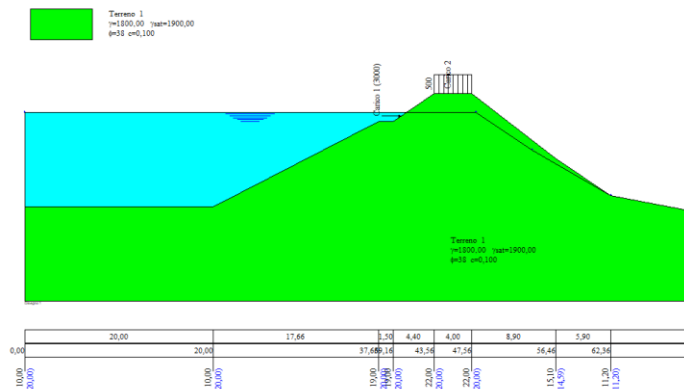
- N° Identificativo del sovraccarico agente
- Descrizione Descrizione carico
- Tipo Tipo carico
- Ψ_2 Coefficiente sismico carico variabile
- Carichi distribuiti
- P_i, P_f Posizione iniziale e finale del carico espressa in [m]
- V_x, V_x', V_y, V_y' Intensità del carico in direzione X e Y nei punti iniziale e finale, espresse in [kg/m]
- Carichi concentrati
- X Ascissa del punto di applicazione espressa in [m]
- V_x, V_y Intensità del carico in direzione X e Y espresse in [kg]

Carichi distribuiti

n°	Descrizione	Tipo	Ψ_2	P_i [m]	P_f [m]	V_y [kg/m]	V_x [kg/m]
2	Carico 2	Permanente	--	43,56 22,00	47,56 22,00	500 500	0 0

Carichi concentrati

n°	Descrizione	Tipo	Ψ_2	X [m]	Y [m]	V_y [kg]	V_x [kg]
1	Carico 1	Variabile	1,00	40,00	19,57	0	3000



Dati zona sismica- Come indicato in precedenza

Dati normativa**Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 - D.M. 17/01/2018**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.25	1.00
Coesione efficace	γ_c	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.00	1.00

Coefficiente di sicurezza richiesto

Tipo calcolo	Simbolo	Statico	Sismico
Pendio naturale	γ_R	1.00	1.00
Fronte di scavo	γ_R	1.10	1.20

Impostazioni delle superfici di rottura*Superfici di rottura circolari*

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia	[m]	$X_0 = 6,00$	$Y_0 = 12,00$
Passo maglia	[m]	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi		$N_x = 20$	$N_y = 20$
Raggio	[m]	$R = 30,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0,50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Opzioni di calcolo

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- BISHOP

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Le superfici sono state analizzate per i casi:

- Pendio naturale [PC] - Parametri caratteristici
- Fronte di scavo [A2-M2] - Parametri di progetto
- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di falda

Presenza di carichi concentrati

Presenza di carichi distribuiti

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a	1,00	m
- freccia inferiore a	0,50	m
- volume inferiore a	2,00	mc
- pendenza media della superficie inferiore a	1.00	[%]

Risultati analisi

Numero di superfici analizzate	19540
Coefficiente di sicurezza minimo	1.784
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	19540	1.784	1	-7.135	19550

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

F forma (C: circolare, S: spirale logaritmica, G: generica)

C_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

X_v ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

X_m ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [mc]

FS coefficiente di sicurezza. Tra parentesi il metodo di calcolo usato (F: Fellenius, B: Bishop, J: Janbu, C: Janbu completo, L: Bell, M: Morgenstern-Price P:

Spencer, S: Sarma, V: Maksimovic, G: GLE)

Caso caso di calcolo

Sisma H sisma orizzontale, V sisma verticale (+ verso l'alto, - verso il basso)

La colonna FS (fattore di sicurezza) potrebbe contenere più valori. Questo è dovuto alla presenza degli interventi quando considerati come incremento delle forze di interstriscia. In questo caso vengono analizzate più superfici di scorrimento ed ogni superficie è separata dalla successiva dall'intervento.

N°	F	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
1	C	22,00	30,00	19,50	16,03	39,78	102,01	1,784 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
2	C	22,00	30,00	19,00	16,67	39,23	88,18	1,787 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
3	C	22,00	30,00	19,00	16,67	39,23	88,18	1,790 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X_s ascissa sinistra della striscia espressa in m

Y_{ss} ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m

Y_{si} ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m

X_g ascissa del baricentro della striscia espressa in m

Y_g ordinata del baricentro della striscia espressa in m

α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)

φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq

L sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq

W peso della striscia espresso in kg

Q carico applicato sulla striscia espresso in kg

N sforzo normale alla base della striscia espresso in kg

T sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg

U pressione neutra alla base della striscia espressa in kg

E_s, E_d forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

X_s, X_d forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

ID Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce

23

Coordinate del centro

X[m]= 22,00

Y[m]= 30,00

Raggio del cerchio
 Intersezione a valle con il profilo topografico
 Intersezione a monte con il profilo topografico

R[m]= 19,50
 X_v[m]= 16,03
 X_m[m]= 39,78

Y_v[m]= 11,44
 Y_m[m]= 22,00

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s [m]	Y _{ss} [m]	Y _{si} [m]	X _d [m]	Y _{ds} [m]	Y _{di} [m]	X _g [m]	Y _g [m]	L [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cmq]
1	16,03	11,44	11,44	17,17	12,02	11,11	16,79	11,52	1,19	-16,08	34,00	0,080
2	17,17	12,02	11,11	18,31	12,60	10,85	17,80	11,65	1,17	-12,62	34,00	0,080
3	18,31	12,60	10,85	19,45	13,18	10,67	18,92	11,83	1,16	-9,20	34,00	0,080
4	19,45	13,18	10,67	20,60	13,76	10,55	20,05	12,05	1,15	-5,82	34,00	0,080
5	20,60	13,76	10,55	21,74	14,35	10,50	21,18	12,29	1,14	-2,45	34,00	0,080
6	21,74	14,35	10,50	22,88	14,93	10,52	22,32	12,58	1,14	0,91	34,00	0,080
7	22,88	14,93	10,52	24,02	15,51	10,60	23,46	12,89	1,14	4,26	34,00	0,080
8	24,02	15,51	10,60	25,16	16,09	10,76	24,60	13,24	1,15	7,64	34,00	0,080
9	25,16	16,09	10,76	26,30	16,67	10,98	25,74	13,63	1,16	11,04	34,00	0,080
10	26,30	16,67	10,98	27,45	17,25	11,28	26,88	14,05	1,18	14,48	34,00	0,080
11	27,45	17,25	11,28	28,59	17,84	11,65	28,02	14,50	1,20	17,98	34,00	0,080
12	28,59	17,84	11,65	29,73	18,42	12,10	29,16	15,00	1,23	21,55	34,00	0,080
13	29,73	18,42	12,10	30,87	19,00	12,63	30,30	15,54	1,26	25,20	34,00	0,080
14	30,87	19,00	12,63	31,62	19,00	13,04	31,24	15,92	0,85	28,31	34,00	0,080
15	31,62	19,00	13,04	32,37	19,00	13,49	31,99	16,13	0,87	30,84	34,00	0,080
16	32,37	19,00	13,49	33,47	19,75	14,23	32,92	16,62	1,33	34,08	34,00	0,080
17	33,47	19,75	14,23	34,57	20,50	15,09	34,02	17,39	1,40	38,08	34,00	0,080
18	34,57	20,50	15,09	35,67	21,25	16,09	35,11	18,21	1,49	42,32	34,00	0,080
19	35,67	21,25	16,09	36,77	22,00	17,27	36,21	19,11	1,61	46,87	34,00	0,080
20	36,77	22,00	17,27	37,39	22,00	18,02	37,07	19,78	0,97	50,66	34,00	0,080
21	37,39	22,00	18,02	38,00	22,00	18,85	37,68	20,18	1,04	53,61	34,00	0,080
22	38,00	22,00	18,85	38,89	22,00	20,26	38,40	20,73	1,66	57,58	34,00	0,080
23	38,89	22,00	20,26	39,78	22,00	22,00	39,19	21,42	1,96	62,90	34,00	0,080

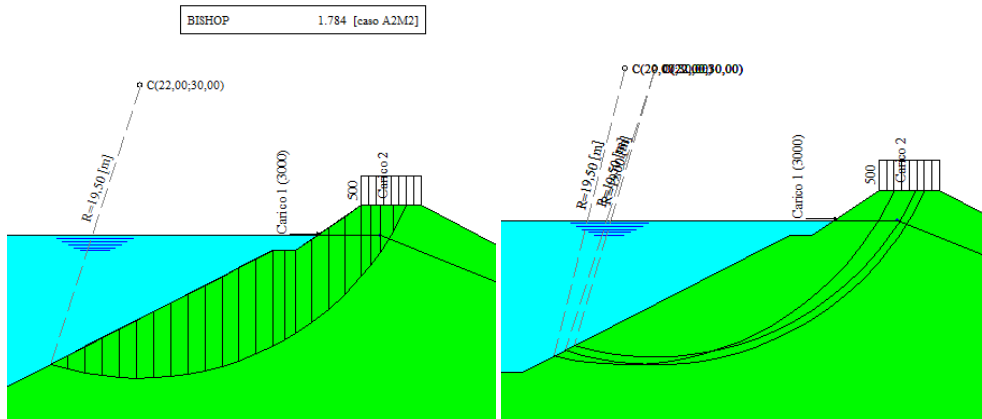
Metodo di BISHOP

Coefficiente di sicurezza F_s= **1.784**

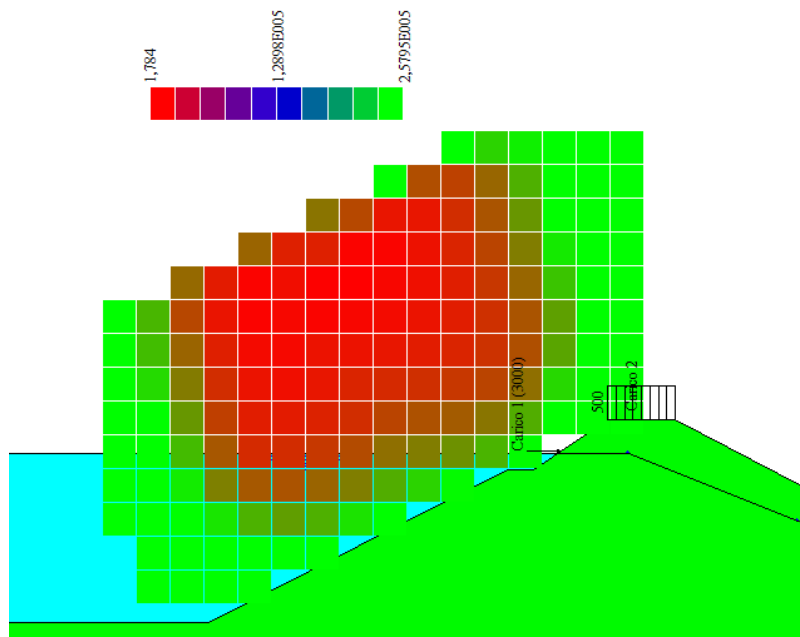
Forze applicate sulle strisce

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
1	1222	9444	946	890	10370	0	8725	0	0	
2	3567	8780	2294	1392	10553	8725	17135	0	0	
3	5719	8116	3436	1817	10687	17135	24955	0	0	
4	7684	7451	4411	2182	10777	24955	31967	0	0	
5	9466	6787	5245	2495	10825	31967	37997	0	0	
6	11068	6123	5959	2765	10834	37997	42903	0	0	
7	12491	5459	6569	2996	10804	42903	46577	0	0	
8	13732	4795	7085	3195	10733	46577	48934	0	0	
9	14789	4130	7515	3362	10620	48934	49914	0	0	
10	15655	3466	7864	3501	10460	49914	49480	0	0	
11	16324	2802	8134	3613	10249	49480	47620	0	0	
12	16783	2138	8325	3697	9977	47620	44347	0	0	
13	17019	1474	8433	3754	9633	44347	39706	0	0	
14	10864	750	5389	2419	6103	39706	35686	0	0	
15	10113	750	5020	2289	5886	35686	31409	0	0	
16	14261	688	7115	3285	8157	31409	25124	0	0	
17	14097	46	7282	3379	7461	25124	20814	0	0	
18	13510	0	7826	3625	6557	20814	12940	0	0	
19	12512	0	8267	3846	5341	12940	4833	0	0	
20	6112	308	4779	2242	2286	4833	376	0	0	
21	4966	307	4198	2052	1621	376	-3432	0	0	
22	4846	446	4975	2626	443	-3432	-6938	0	0	
23	1709	446	1647	1500	0	-6938	-7859	0	0	

lato monte-invaso



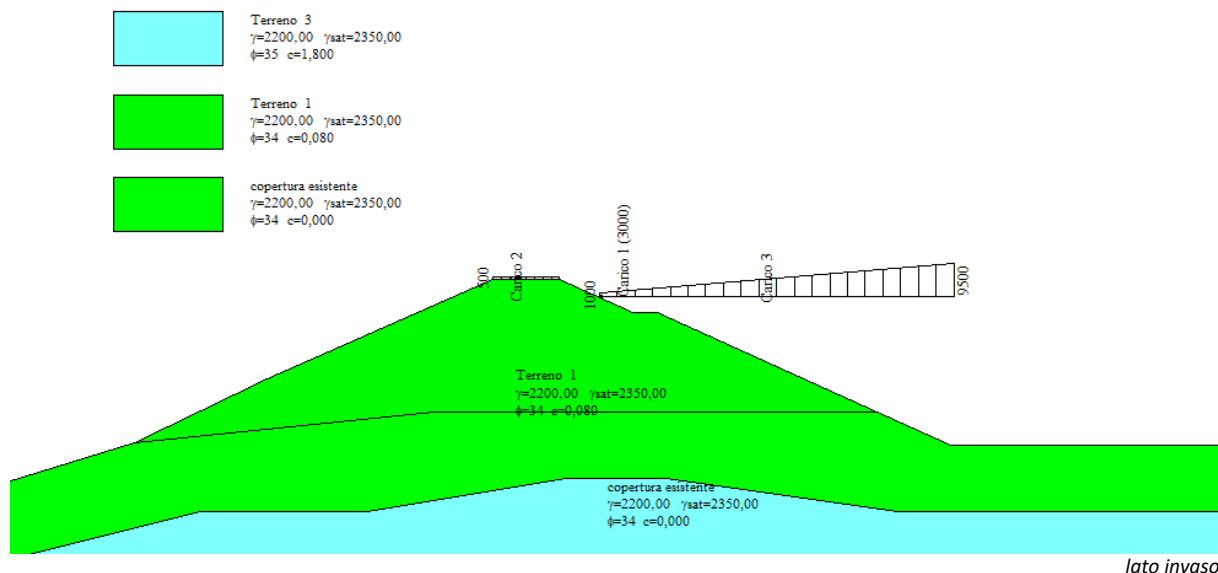
cerchio critico FS = **1.78** e involucro cerchi da 1.78 -1.8 scarpata di monte



VERIFICA STABILITA' SCARPATA DI VALLE

La scarpata di valle , per adattarla al programma di verifica, è stata ridisegnata in quanto la maglia dei centri deve essere sulla sinistra rispetto al profilo. Quanto sopra, ha comportato, che la sezione per la verifica di valle è vista dal lato opposto rispetto alla sezione analizzata nel paragrafo precedente.

lato valle



Dati

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

n°	Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ' [°]	c' [kg/cmq]
1	Terreno 1	2200	2350	34,00	0,080
2	copertura esistente	2200	2350	34,00	0,000
3	Terreno 3	2200	2350	35,00	1,800

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	10,00
2	20,00	16,10
3	25,90	20,10
4	34,80	26,00
5	38,80	26,00
6	43,20	24,00
7	44,70	24,00
8	57,94	18,00
9	62,36	16,00
10	100,00	16,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 3 (Terreno 3)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	6,00
2	0,00	0,00
3	100,00	0,00
4	100,00	12,00
5	82,00	12,00
6	66,00	12,00
7	52,00	14,00
8	46,00	14,00
9	34,00	12,00
10	24,00	12,00

Strato N° 2 costituito da terreno n° 1 (Terreno 1)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X [m]	Y [m]
1	57,94	18,00
2	44,70	24,00
3	43,20	24,00
4	38,80	26,00
5	34,80	26,00
6	25,90	20,10
7	20,00	16,10
8	38,00	18,00
9	56,00	18,00

Strato N° 3 costituito da terreno n° 2 (copertura esistente)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

n°	X [m]	Y [m]
1	100,00	12,00
2	100,00	16,00
3	62,36	16,00
4	57,94	18,00
5	56,00	18,00
6	38,00	18,00
7	20,00	16,10
8	0,00	10,00
9	0,00	6,00
10	24,00	12,00
11	34,00	12,00
12	46,00	14,00
13	52,00	14,00
14	66,00	12,00
15	82,00	12,00

Carichi sul profilo

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

N° Identificativo del sovraccarico agente

Descrizione Descrizione carico

Tipo Tipo carico

Ψ_2 Coefficiente sismico carico variabile

Carichi distribuiti

P_i, P_r Posizione iniziale e finale del carico espressa in [m]

$V_{xi}, V_{xr}, V_{yi}, V_{yr}$ Intensità del carico in direzione X e Y nei punti iniziale e finale, espresse in [kg/m]

Carichi concentrati

X Ascissa del punto di applicazione espressa in [m]

V_x, V_y Intensità del carico in direzione X e Y espresse in [kg]

Carichi distribuiti

n°	Descrizione	Tipo	Ψ_2	P_i [m]	P_r [m]	V_y [kg/m]	V_x [kg/m]
2	Carico 2	Permanente	--	34,80	38,80	200	0
				26,00	26,00	200	0
3	Carico 3	Variabile	1,00	44,70	62,36	1000	0
				24,00	24,00	9500	0

Carichi concentrati

n°	Descrizione	Tipo	Ψ_2	X [m]	Y [m]	V_y [kg]	V_x [kg]
----	-------------	------	----------	----------	----------	---------------	---------------

n°	Descrizione	Tipo	Ψ_2	X [m]	Y [m]	Vy [kg]	Vx [kg]
1	Carico 1	Variabile	1,00	42,00	24,55	0	-3000

Dati zona sismica come indicato in precedenza

Impostazioni delle superfici di rottura

Superfici di rottura circolari

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia	[m]	$X_0 = 4,00$	$Y_0 = 24,00$
Passo maglia	[m]	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi		$Nx = 11$	$Ny = 12$
Raggio	[m]	$R = 25,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0,50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Opzioni di calcolo

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- JANBU

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Le superfici sono state analizzate per i casi:

- Pendio naturale [PC] - Parametri caratteristici
- Fronte di scavo [A2-M2] - Parametri di progetto
- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di carichi concentrati

Presenza di carichi distribuiti

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a	1,00	m
- freccia inferiore a	0,50	m
- volume inferiore a	2,00	mc
- pendenza media della superficie inferiore a	1.00	[%]

Risultati analisi

Numero di superfici analizzate	4668
Coefficiente di sicurezza minimo	1.263
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
JANBU	4668	1.263	1	5.436	4668

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

F forma (C: circolare, S: spirale logaritmica, G: generica)

C_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

X_v ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

X_m ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [mc]

FS coefficiente di sicurezza. Tra parentesi il metodo di calcolo usato (F: Fellenius, B: Bishop, J: Janbu, C: Janbu completo, L: Bell, M: Morgenstern-Price P: Spencer, S: Sarma, V: Maksimovic, G: GLE)

Caso caso di calcolo

Sisma H sisma orizzontale, V sisma verticale (+ verso l'alto, - verso il basso)

La colonna FS (fattore di sicurezza) potrebbe contenere più valori. Questo è dovuto alla presenza degli interventi quando considerati come incremento delle forze di interstriscia. In questo caso vengono analizzate più superfici di scorrimento ed ogni superficie è separata dalla successiva dall'intervento.

N°	F	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	X _v [m]	X _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
1	C	20,00	42,00	28,00	14,75	42,98	94,83	1,263 (J)	[A2M2]	[SLV] H +V
2	C	20,00	42,00	27,50	15,81	42,37	79,26	1,266 (J)	[A2M2]	[SLV] H +V
3	C	20,00	42,00	28,50	13,75	43,58	111,43	1,268 (J)	[A2M2]	[SLV] H +V
4	C	20,00	40,00	26,50	13,85	42,50	102,73	1,268 (J)	[A2M2]	[SLV] H +V

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cm ²
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cm ²
W	peso della striscia espresso in kg
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kg
N	sforzamento normale alla base della striscia espresso in kg
T	sforzamento tangenziale alla base della striscia espresso in kg
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
E _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce	21	
Coordinate del centro	X[m]= 20,00	Y[m]= 42,00
Raggio del cerchio	R[m]= 28,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X _v [m]= 14,75	Y _v [m]= 14,50
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 42,98	Y _m [m]= 26,00

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s [m]	Y _{ss} [m]	Y _{si} [m]	X _d [m]	Y _{ds} [m]	Y _{di} [m]	X _g [m]	Y _g [m]	L [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cm ²]
1	14,75	14,50	14,50	16,06	14,90	14,28	15,62	14,56	1,33	-9,45	34,00	0,000
2	16,06	14,90	14,28	17,37	15,30	14,12	16,78	14,66	1,32	-6,74	34,00	0,000
3	17,37	15,30	14,12	18,69	15,70	14,03	18,07	14,79	1,32	-4,04	34,00	0,000
4	18,69	15,70	14,03	20,00	16,10	14,00	19,37	14,96	1,31	-1,34	34,00	0,000
5	20,00	16,10	14,00	21,33	16,75	14,03	20,70	15,23	1,33	1,36	34,00	0,000
6	21,33	16,75	14,03	22,67	17,40	14,13	22,02	15,58	1,34	4,10	34,00	0,000
7	22,67	17,40	14,13	24,00	18,05	14,29	23,35	15,97	1,34	6,84	34,00	0,000
8	24,00	18,05	14,29	25,33	18,70	14,51	24,68	16,39	1,35	9,60	34,00	0,000
9	25,33	18,70	14,51	26,67	19,35	14,81	26,01	16,85	1,37	12,38	34,00	0,000
10	26,67	19,35	14,81	28,00	20,00	15,17	27,34	17,33	1,38	15,19	34,00	0,000
11	28,00	20,00	15,17	29,36	20,60	15,61	28,68	17,85	1,43	18,06	34,00	0,000
12	29,36	20,60	15,61	30,72	21,20	16,13	30,04	18,39	1,46	21,02	34,00	0,000
13	30,72	21,20	16,13	32,08	21,80	16,74	31,40	18,97	1,49	24,03	34,00	0,000
14	32,08	21,80	16,74	33,44	22,40	17,43	32,75	19,59	1,53	27,11	34,00	0,000
15	33,44	22,40	17,43	34,80	23,00	18,23	34,11	20,26	1,57	30,29	34,00	0,070
16	34,80	23,00	18,23	36,15	23,60	19,13	35,47	20,99	1,63	33,57	34,00	0,080
17	36,15	23,60	19,13	37,51	24,20	20,15	36,82	21,76	1,70	36,98	34,00	0,080
18	37,51	24,20	20,15	38,87	24,80	21,32	38,18	22,61	1,79	40,55	34,00	0,080
19	38,87	24,80	21,32	40,23	25,40	22,64	39,53	23,52	1,90	44,32	34,00	0,080
20	40,23	25,40	22,64	41,59	26,00	24,17	40,86	24,52	2,05	48,36	34,00	0,080
21	41,59	26,00	24,17	42,98	26,00	26,00	42,05	25,39	2,30	52,80	34,00	0,080

Metodo di JANBU

Coefficiente di sicurezza F_s= 1.263

Forze applicate sulle strisce

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	E _s [kg]	E _d [kg]	X _s [kg]	X _d [kg]	ID
1	895	0	927	495	0	0	518	0	0	
2	2593	0	2595	1386	0	518	1843	0	0	

N°	W [kg]	Q [kg]	N [kg]	T [kg]	U [kg]	Es [kg]	Ed [kg]	Xs [kg]	Xd [kg]	ID
3	4109	0	3986	2129	0	1843	3683	0	0	
4	5445	0	5137	2744	0	3683	5799	0	0	
5	7067	0	6500	3472	0	5799	8144	0	0	
6	8787	0	7902	4221	0	8144	10582	0	0	
7	10319	0	9096	4859	0	10582	12905	0	0	
8	11660	0	10101	5396	0	12905	14939	0	0	
9	12807	0	10930	5838	0	14939	16539	0	0	
10	13754	0	11591	6192	0	16539	17588	0	0	
11	14683	0	12249	6543	0	17588	17992	0	0	
12	15034	0	12445	6648	0	17992	17669	0	0	
13	15142	0	12470	6661	0	17669	16594	0	0	
14	14990	0	12315	6578	0	16594	14777	0	0	
15	14557	0	11580	7054	0	14777	13028	0	0	
16	13816	0	10895	6853	0	13028	10816	0	0	
17	12733	0	10007	6423	0	10816	8178	0	0	
18	11259	0	8805	5837	0	8178	5342	0	0	
19	9331	0	7210	5055	0	5342	2639	0	0	
20	6856	0	5092	4016	0	2639	560	0	0	
21	2793	694	2028	2538	0	560	0	0	0	

Analisi degli spostamenti

Simbologia adottata

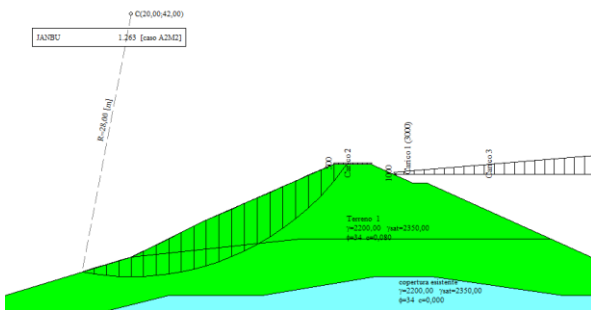
n° Indice dell'accelerogramma
 u Spostamento

Superficie n° 1

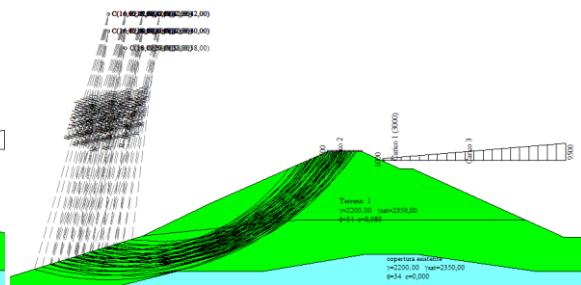
n°	u
1	0,000090

Accelerazione sismica critica
 Spostamento massimo
 Velocità massima

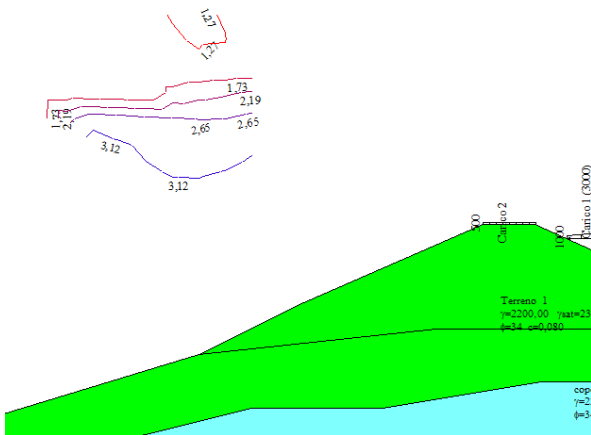
$K_c = 0,264$
 $U_{max} = 0,000090$ [m]
 $V_{max} = 0,004954$ [m/s]



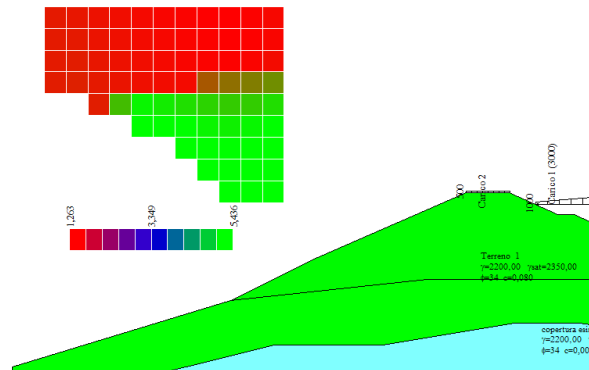
superficie critica



cerchi con Fs da 1.2-1.5



Curve Coefficienti Fs



Fs a colori

VERIFICA ARGINE agli elementi finiti

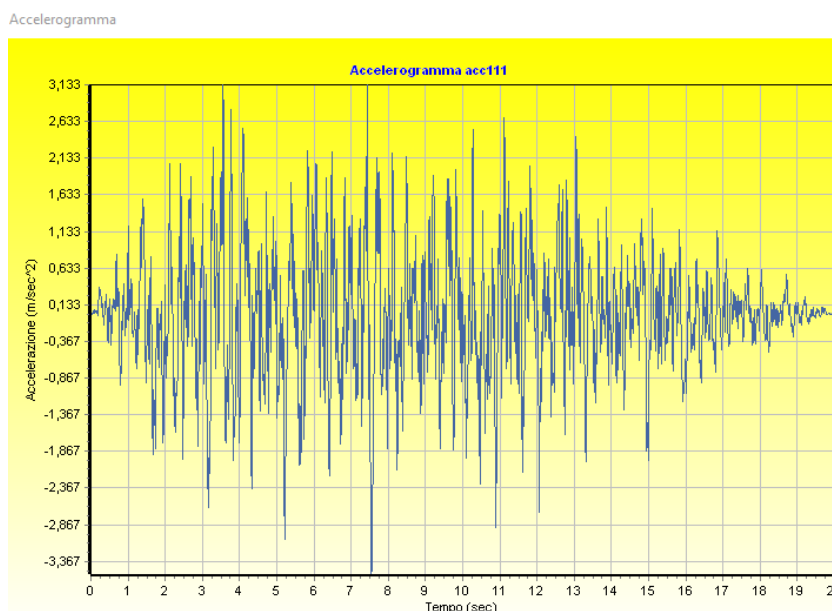
L'argine in parola è stato inoltre analizzato con un programma geotecnico agli elementi finiti della *Aztec informatica – Aztec Fem GT 16-* al fine di valutare le sollecitazioni indotte dai carichi e dalla spinta dell'acqua invasata, tenendo anche in considerazione l'azione dinamica. Il programma sviluppa il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti interni al corpo arginale seguendo le seguenti fasi:

Elenco fasi				
N°	Descrizione	Stato	Tipo Analisi	
1	Argine senza strato impermeabile	Attiva	Stato iniziale	
2	Argine senza strato impermeabile	Attiva	Equilibrio	
3	Argine senza strato impermeabile	Attiva	Riduzione parametri	
4	Argine senza strato impermeabile	Attiva	Filtrazione	
5	Argine con strato impermeabile	Attiva	Filtrazione	
6	Argine con rottura strato impermeabile	Attiva	Filtrazione	
7	Argine con rottura strato impermeabile	Attiva	Riduzione parametri	
8	Argine con rottura strato impermeabile	Attiva	Dinamica	
9	Argine con rottura strato impermeabile-d	Attiva	Riduzione parametri	

Le fasi 6-7 considerano la rottura del telo e viene calcolato il F_s con la riduzione dei parametri.

La fase 8 considera l'azione sismica utilizzando l'accelerogramma ottenuto dalla zonizzazione dell'area d'intervento

L'accelerogramma utilizzato viene riportato a seguire:

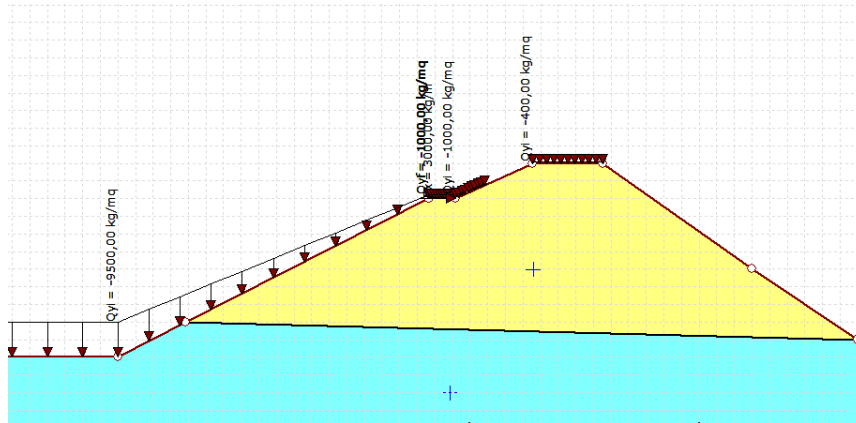


La fase 9 attraverso la riduzione dei parametri valuta il F_s con l'azione sismica considerando la rottura del telo.

Il telo è stato introdotto utilizzando uno strato di materiale impermeabile.

Vediamo di illustrare le varie fasi :

Fase 1-2-3-4



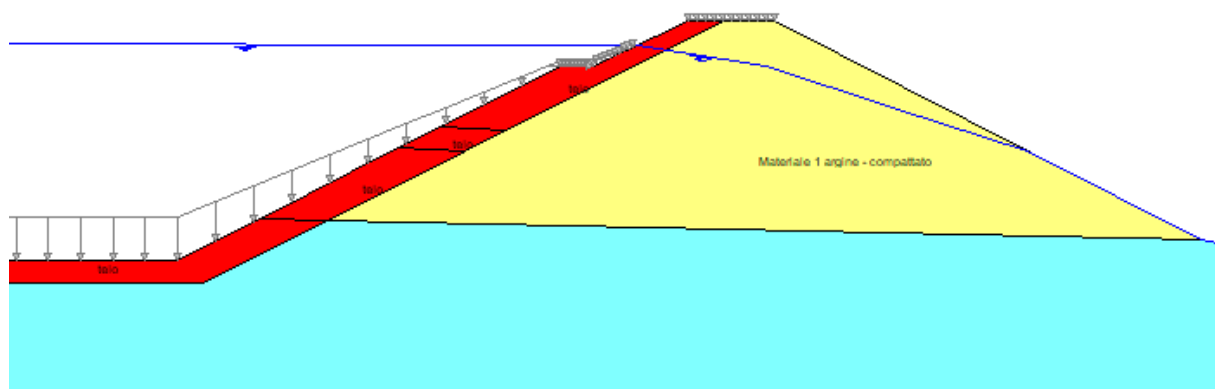
L'argine è stato modellato nelle sue forme con la pendenza delle scarpate a monte e valle di 27° e l'acqua è stata assunta quale carico equivalente. Al livello dell'acqua la spinta di 3000 kg/ml . La fase 2, si sono valutate le tensioni interne al materiale, mentre nella fase 3 si è calcolato il FS riducendo i parametri interni del terreno dell'argine (giallo) e dello strato di copertura (azzurro). Nella fase 4 si è esaminata la condizione in presenza della falda senza lo strato impermeabile (condizione questa molto cautelativa in quanto in progetto è prevista la posa della guaina di rivestimento)

Fase 5-6-7

In queste fasi si è introdotta la presenza del telo individuato dallo strato rosso (impermeabile)

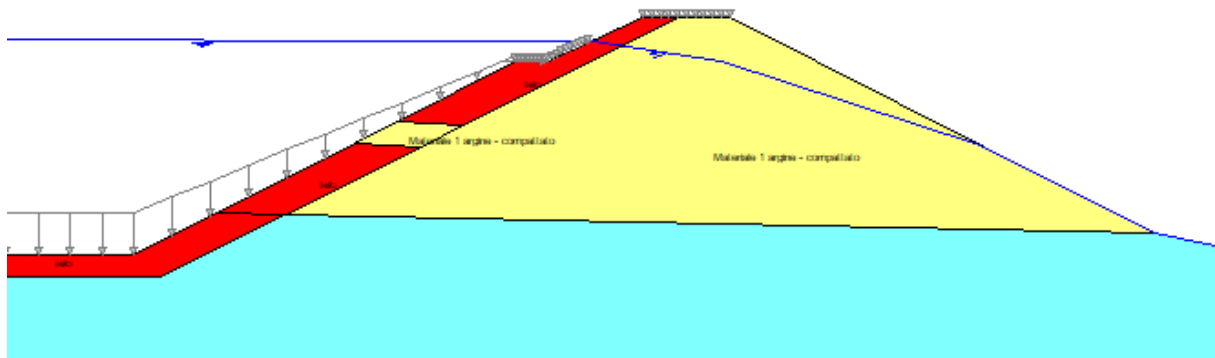
Nella fase 6 si valuta la rottura del telo

Anche in queste fasi l'acqua è stata assunta quale carico equivalente. Nella fase 7 si è valutato il FS considerando la rottura del telo

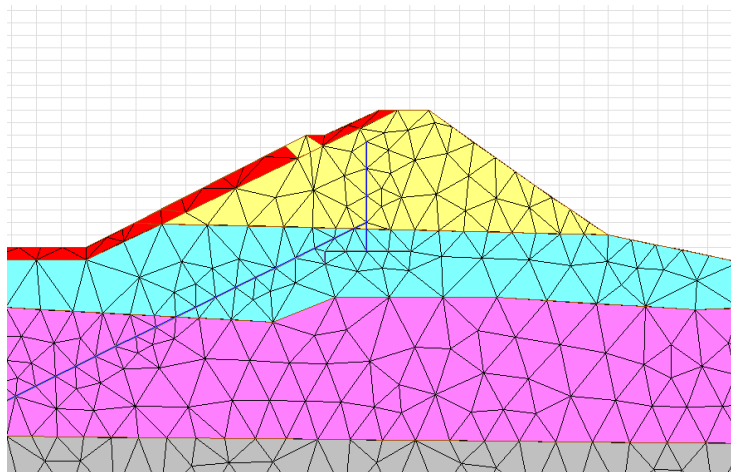


Fase 8-9

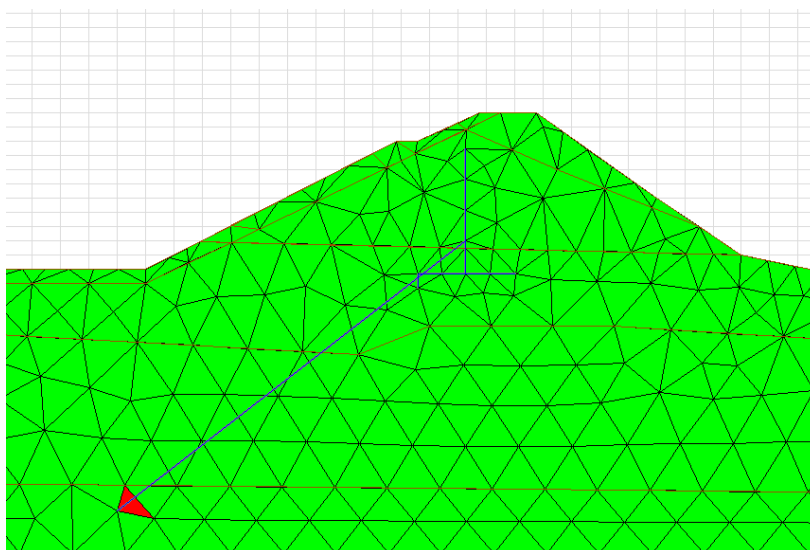
Sono fasi in cui è stata introdotta l'azione sismica utilizzando l'accelerogramma di progetto. Nella condizione 9 si è valutato il FS seguendo la procedura delle fasi precedenti.



Il terreno viene discretizzato con una maglia fatta con triangoli a 6 nodi come riportato nell'estratto a seguire:



La qualità della maglia viene esaminata direttamente dal programma e può essere rappresentata a colori (rossi i triangoli più critici, quasi inesistenti).



Metodo di Calcolo

Una volta definita la geometria del problema, le caratteristiche dei materiali, i carichi e tutti gli altri oggetti presenti fase per fase occorre procedere alla generazione del modello. In un software ad Elementi Finiti (**FEM**) il modello è costituito da una mesh di elementi connessi tra di loro in corrispondenza dei nodi. I nodi sono definiti tramite una posizione nello spazio (coordinate nodali X e Y) e da una condizione di vincolo (spostamento libero o vincolato in una o più direzioni). Inoltre, in un nodo possiamo avere un carico concentrato definito mediante le componenti X e Y. Gli elementi sono poligoni semplici (triangoli o quadrilateri) definiti tramite i nodi e caratterizzati da proprietà materiali quali rigidità e resistenza.

Gli elementi disponibili in **Aztec FEM** sono i seguenti

Elemento Q4	Elemento quadrangolare con 4 nodi
Elemento Q8	Elemento quadrangolare con 8 nodi (4 nodi di vertice e 4 nodi di lato)
Elemento Q9	Elemento quadrangolare con 9 nodi (4 nodi di vertice, 4 nodi di lato ed 1 nodo al centro dell'elemento)
Elemento CST	Elemento triangolare con 3 nodi disposti nei vertici
Elemento LST	Elemento triangolare con 6 nodi (3 nodi di vertice e 3 nodi di lato)
Elemento T15	Elemento triangolare con 15 nodi (3 nodi di vertice, 9 nodi di lato 3 nodi interni).

Le incognite del problema sono: gli spostamenti nodali in una analisi di spostamenti (2 incognite per nodo) gli spostamenti nodali e la sovrappressione neutre nel caso di una analisi di spostamenti con

consolidazione (3 incognite per nodo) i potenziali ai nodi in un problema di filtrazione (1 incognita per nodo)

Lo spostamento in un punto $P(x,y)$ all'interno di un elemento è legato agli spostamenti nodali dell'elemento tramite le funzioni di forma $N(x,y)$ dell'elemento:

$$u(x,y) = \sum_{i=1}^{N_{nodi}} N_i U_i$$

dove N_{nodi} è il numero di nodi dell'elemento, U_i è lo spostamento del nodo i -esimo

Le funzioni di forma di un elemento godono delle seguenti proprietà

$$\sum_{i=1}^{N_{nodi}} N_i(x,y) = 1$$

$$N_i(x_j, y_j) = 0 \text{ per } i \neq j$$

$$N_i(x_j, y_j) = 1 \text{ per } i = j$$

la sommatoria del valore di tutte le funzioni di forma in un dato punto è l'unità (regola di partizione dell'unità) il valore della funzione di forma relativa al nodo i assume il valore 0(zero) se calcolata in un altro nodo, j , ed il valore 1 se calcolata in corrispondenza del nodo stesso.

Dati

Metodo di Calcolo Sistema Riferimento e Convenzioni di Segno

Metodo di calcolo utilizzato : Metodo degli Elementi Finiti (FEM)

Ipotesi di Deformazione Piana in regime di piccole deformazioni

Calcolo eseguito per fasi

Asse X diretto da sinistra a destra

Asse Y diretto dal basso verso alto

Rotazioni POSITIVE antiorarie

Carichi, spostamenti e reazioni seguono convenzione segno assi

TENSIONI DI TRAZIONE POSITIVE

TENSIONI DI COMPRESSIONE NEGATIVE

Simbologia adottata

n° Indice progressivo coordinate punto
 X, Y Ascissa e Ordinata del punto, espresse in [m]

Falde

n° Indice punto
 X, Y Ascissa e Ordinata punto falda, espresse in [m]

Carichi concentrati e linee di carico

Descrizione	Descrizione del carico concentrato
X, Y	Ascissa e Ordinata carico concentrato, espresse in [m]
Px	Valore del carico concentrato in direzione X, espresso in [kg]
Py	Valore del carico concentrato in direzione Y, espresso in [kg]
Dinamico	Carico dinamico
Inerziale	Carico inerziale

Vincoli puntuali e vincoli di linea

n°	Indice identificativo del vincolo puntuale
X, Y	Ascissa e Ordinata vincolo puntuale, espresse in [m]
Vx, Vy	Tipo di vincolo in direzione X e Y (L: Libero, V: Vincolato rigidamente, E: Vincolato elasticamente, I: Spostamento imposto)
Rx, Ry	Rigidezza in direzione X e Y del vincolo, espresso in [kg/cm]
Sx, Sy	Spostamento impresso in direzione X e Y del vincolo, espresso in [cm]

Descrizione materiali

Materiale 1

Tipo materiale	Terreno
Descrizione	Materiale 1 argine - compattato
Comportamento	Isotropo
Criterio	Mohr-Coulomb Modificato
Comportamento in falda	Non Drenato
Peso Volume γ [kg/mc]	2200.0
Peso Volume Saturo ϕ_{sat} [kg/mc]	2200.0
Angolo di attrito ϕ°	34.0
Coesione efficace [kg/cm ²]	0.090
Angolo di attrito non drenato $^\circ$	34.00
Coesione non drenata [kg/cm ²]	0.100
Angolo di dilatazione ψ°	0.00
Modulo Elastico E(Young) [kg/cm ²]	200.00
Modulo di Poisson ν	0.35
Rigidezza a taglio G [kg/cm ²]	74.07
Rigidezza volumetrica K(Bulk Modulus) [kg/cm ²]	222.22
Modulo Elastico Carico-Scarico E_{UR} (Young) [kg/cm ²]	200.00
Coefficiente permeabilità K_x (cm/sec)	0.00000100
Coefficiente permeabilità K_y (cm/sec)	0.00000100
Parametri soggetti a riduzione	Angolo di attrito ϕ coesione c

Materiale 4

Tipo materiale	Terreno
Descrizione	Materiale Terreno di copertura
Comportamento	Isotropo
Criterio	Mohr-Coulomb Modificato
Comportamento in falda	Non Drenato
Peso Volume γ [kg/mc]	2200.0
Peso Volume Saturo ϕ_{sat} [kg/mc]	2200.0
Angolo di attrito ϕ°	35.0
Coesione efficace [kg/cm ²]	0.090
Angolo di attrito non drenato $^\circ$	35.00
Coesione non drenata [kg/cm ²]	0.090
Angolo di dilatazione ψ°	0.00
Modulo Elastico E(Young) [kg/cm ²]	300.00
Modulo di Poisson ν	0.35
Rigidezza a taglio G [kg/cm ²]	111.11
Rigidezza volumetrica K(Bulk Modulus) [kg/cm ²]	333.33
Modulo Elastico Carico-Scarico E_{UR} (Young) [kg/cm ²]	300.00
Coefficiente permeabilità K_x (cm/sec)	0.00001000
Coefficiente permeabilità K_y (cm/sec)	0.00001000
Parametri soggetti a riduzione	Nessuno

Materiale 8

Tipo materiale	Terreno
Descrizione	telo
Comportamento	Isotropo
Criterio	Mohr-Coulomb Modificato
Comportamento in falda	Impermeabile
Peso Volume γ [kg/mc]	2000.0
Peso Volume Saturo ϕ_{sat} [kg/mc]	2000.0
Angolo di attrito ϕ°	38.0
Coesione efficace [kg/cm ²]	0.100
Angolo di attrito non drenato $^\circ$	0.00
Coesione non drenata [kg/cm ²]	0.200
Angolo di dilatazione ψ°	0.00
Modulo Elastico E(Young) [kg/cm ²]	200.00
Modulo di Poisson ν	0.35
Rigidezza a taglio G [kg/cm ²]	74.07
Rigidezza volumetrica K(Bulk Modulus) [kg/cm ²]	222.22
Modulo Elastico Carico-Scarico E_{UR} (Young) [kg/cm ²]	200.00
Coefficiente permeabilità K_x (cm/sec)	0.00000000
Coefficiente permeabilità K_y (cm/sec)	0.00000000
Parametri soggetti a riduzione	Angolo di attrito ϕ coesione c

Impostazioni analisi

Analisi Elastoplastica

Metodo di Analisi **Newton-Raphson Modificato**

Usa Matrice Tangente
 Numero Passi di Carico 20
 Numero Massimo Iterazioni 100

TOLLERANZA SOLUZIONE

Usa Tolleranza su Norma Energia 1.000000E-04
 Usa Tolleranza su Norma Spostamenti 1.000000E-02
 Usa Tolleranza su Incremento Carico 5.000000E-02
 Usa Tolleranza su Carico Corrente 1.000000E-03

Metodo Rientro Elastoplastico **Backward Eulero Single Step**
 Tolleranza Rientro Elastoplastico 1.000000E-10

Fase n° 1 - Argine senza strato impermeabile

Tipo Analisi **Stato Iniziale**
 Modalita Analisi **Analisi Drenata con Parametri Efficaci**

Peso proprio : **Peso proprio tensione iniziale**
 Stato tensionale iniziale : **Analisi Elastoplastica**

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	32,47	29,00
5	33,97	29,00
6	38,37	31,00
7	42,37	31,00
8	54,15	25,00
9	62,00	21,00
10	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	62,00	21,00

Linee di vincolo

n°	Descrizione	X [m]	Y [m]	Vx	Rx [kg/cm]	Sx [cm]	Vy	Ry [kg/cm]	Sy [cm]
1	Linea di Vincolo	0,00	0,00	V	--	--	L	--	--
		0,00	20,00	V	--	--	L	--	--
2	Linea di Vincolo	80,00	0,00	V	--	--	L	--	--
		80,00	17,28	V	--	--	L	--	--
3	Linea di Vincolo	0,00	0,00	V	--	--	V	--	--
		80,00	0,00	V	--	--	V	--	--

Carichi concentrati

n°	Descrizione	X [m]	Y [m]	Px [kg]	Py [kg]	Dinamico	Inerziale
1	Carico	33,97	29,00	3000,00	0,00	NO	NO

Carichi distribuiti

n°	Descrizione	X [m]	Y [m]	Px [kg]	Py [kg]	Dinamico	Inerziale
1	Carico	0,00	20,00	0,00	-9500,00	NO	NO
		14,81	20,00	0,00	-9500,00		
2	Carico	14,81	20,00	0,00	-9500,00	NO	NO
		32,47	29,00	0,00	-1000,00		
3	Carico	32,47	29,00	0,00	-1000,00	NO	NO
		33,97	29,00	0,00	-1000,00		
4	Carico	33,97	29,00	0,00	-1000,00	NO	NO
		36,00	29,92	0,00	0,00		
5	Carico	38,37	31,00	0,00	-400,00	NO	NO
		42,37	31,00	0,00	-400,00		

Fase n° 2 - Argine senza strato impermeabile

Tipo Analisi **Equilibrio**
 Modalità Analisi **Analisi Drenata con Parametri Efficaci**

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	32,47	29,00
5	33,97	29,00
6	38,37	31,00
7	42,37	31,00
8	54,15	25,00
9	62,00	21,00
10	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	62,00	21,00

Fase n° 3 - Argine senza strato impermeabile

Tipo Analisi **Riduzione parametri**
 Modalità Analisi **Analisi Drenata con Parametri Efficaci**

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	32,47	29,00
5	33,97	29,00
6	38,37	31,00
7	42,37	31,00
8	54,15	25,00
9	62,00	21,00
10	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	62,00	21,00

Fase n° 4 - Argine senza strato impermeabile

Tipo Analisi **Filtrazione**
 Modalità Analisi **Steady State**

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	32,47	29,00
5	33,97	29,00
6	38,37	31,00
7	42,37	31,00
8	54,15	25,00
9	62,00	21,00
10	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	62,00	21,00

Falde

Falda n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	30,00
2	36,00	29,92
3	42,00	29,00
4	48,00	27,00
5	54,00	25,08
6	62,00	21,00
7	80,00	17,28

Fase n° 5 - Argine con strato impermeabile

Tipo Analisi **Filtrazione**

Modalità Analisi **Steady State**

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	25,00	25,19
5	27,00	26,21
6	32,47	29,00
7	33,97	29,00
8	38,37	31,00
9	40,00	31,00
10	42,37	31,00
11	54,15	25,00
12	62,00	21,00
13	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	21,79	21,89
3	62,00	21,00

n°	X [m]	Y [m]
1	21,79	21,89
2	28,09	25,04
3	30,00	26,00
4	40,00	31,00

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	19,00
2	16,00	19,00
3	21,79	21,89

n°	X [m]	Y [m]
1	25,00	25,19
2	28,09	25,04

n°	X [m]	Y [m]
1	27,00	26,21
2	30,00	26,00

Falde

Falda n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	30,00
2	36,00	29,92
3	42,00	29,00
4	48,00	27,00
5	54,00	25,08
6	62,00	21,00
7	80,00	17,28

Fase n° 6 - Argine con rottura strato impermeabile

Tipo Analisi **Filtrazione**

Modalità Analisi **Steady State**

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	25,00	25,19
5	27,00	26,21
6	32,47	29,00
7	33,97	29,00
8	38,37	31,00
9	40,00	31,00
10	42,37	31,00
11	54,15	25,00
12	62,00	21,00
13	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	21,79	21,89
3	62,00	21,00

n°	X [m]	Y [m]
1	21,79	21,89
2	28,09	25,04

n°	X [m]	Y [m]
3	30,00	26,00
4	40,00	31,00

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	19,00
2	16,00	19,00
3	21,79	21,89

n°	X [m]	Y [m]
1	25,00	25,19
2	28,09	25,04

n°	X [m]	Y [m]
1	27,00	26,21
2	30,00	26,00

Falde

Falda n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	30,00
2	36,00	29,92
3	42,00	29,00
4	48,00	27,00
5	54,00	25,08
6	62,00	21,00
7	80,00	17,28

Fase n° 7 - Argine con rottura strato impermeabile

Tipo Analisi **Riduzione parametri**

Modalità Analisi **Analisi Drenata con Parametri Efficaci**

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	25,00	25,19
5	27,00	26,21
6	32,47	29,00
7	33,97	29,00
8	38,37	31,00
9	40,00	31,00
10	42,37	31,00
11	54,15	25,00
12	62,00	21,00
13	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	21,79	21,89
3	62,00	21,00

n°	X [m]	Y [m]
1	21,79	21,89
2	28,09	25,04
3	30,00	26,00
4	40,00	31,00

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	19,00
2	16,00	19,00
3	21,79	21,89

n°	X [m]	Y [m]
1	25,00	25,19
2	28,09	25,04

n°	X [m]	Y [m]
1	27,00	26,21
2	30,00	26,00

Falde

Falda n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	30,00
2	36,00	29,92
3	42,00	29,00
4	48,00	27,00
5	54,00	25,08
6	62,00	21,00
7	80,00	17,28

Fase n° 8 - Argine con rottura strato impermeabileTipo Analisi **Dinamica**Modalità Analisi **Analisi Drenata con Parametri Efficaci**Carichi dinamici : **Accelerogramma** Accelerogramma : **acc1** Tempo utilizzo Tu = 1.0000 [secondi]

Tempo simulazione Ts = 10.0000 [secondi]

Profilo e superfici

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	25,00	25,19
5	27,00	26,21
6	32,47	29,00
7	33,97	29,00
8	38,37	31,00
9	40,00	31,00
10	42,37	31,00
11	54,15	25,00
12	62,00	21,00
13	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	21,79	21,89
3	62,00	21,00

n°	X [m]	Y [m]
1	21,79	21,89
2	28,09	25,04
3	30,00	26,00
4	40,00	31,00

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	19,00
2	16,00	19,00
3	21,79	21,89

n°	X [m]	Y [m]
1	25,00	25,19
2	28,09	25,04

n°	X [m]	Y [m]
1	27,00	26,21
2	30,00	26,00

Falde

Falda n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	30,00
2	36,00	29,92
3	42,00	29,00
4	48,00	27,00
5	54,00	25,08
6	62,00	21,00
7	80,00	17,28

Fase n° 9 - Argine con rottura strato impermeabile-dopo azione sismicaTipo Analisi **Riduzione parametri**Modalità Analisi **Analisi Drenata con Parametri Efficaci***Profilo e superfici*

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	20,00
2	14,81	20,00
3	18,66	21,96
4	25,00	25,19
5	27,00	26,21
6	32,47	29,00
7	33,97	29,00
8	38,37	31,00
9	40,00	31,00
10	42,37	31,00
11	54,15	25,00
12	62,00	21,00
13	80,00	17,28

n°	X [m]	Y [m]
1	18,66	21,96
2	21,79	21,89
3	62,00	21,00

n°	X [m]	Y [m]
1	21,79	21,89
2	28,09	25,04
3	30,00	26,00
4	40,00	31,00

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	19,00
2	16,00	19,00
3	21,79	21,89

n°	X [m]	Y [m]
1	25,00	25,19
2	28,09	25,04

n°	X [m]	Y [m]
1	27,00	26,21
2	30,00	26,00

Falde

Falda n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	30,00
2	36,00	29,92
3	42,00	29,00
4	48,00	27,00
5	54,00	25,08
6	62,00	21,00
7	80,00	17,28

Risultati

Sintesi

Simbologia adottata

Ifa Indice fase
 Lambda Moltiplicatore
 F_phi, F_c Fattore riduzione angolo di attrito e cosione

n°	Lambda	F_phi	F_c
1	1,000	---	---
2	1,000	---	---
3	---	1,8588	1,8588
7	---	1,4885	1,4885
8	1,000	---	---
9	---	1,4740	1,4740

Filtrazione

Simbologia adottata

Ifa Indice fase
 Hmin, Hmax Potenziale min e max, espresso in [m]
 Vx, min, Vx, max Velocità in direzione Y minima e massima, espressa in [cm/sec]
 Vy, min, Vy, max Velocità in direzione X minima e massima, espressa in [cm/sec]
 Qent, Qusc Portata entrante ed uscente, espressa in [cmc/sec]

Ifa	Hmin [m]	Hmax [m]	Vx, min [cm/sec]	Vx, max [cm/sec]	Vy, min [cm/sec]	Vy, max [cm/sec]	Qent [cmc/sec]	Qusc [cmc/sec]
4	17,28	30,00	-2,75308E-8	3,55564E-6	-4,89836E-6	5,56304E-6	4,09102E-9	-4,09102E-9
5	17,28	29,71	-1,53259E-6	2,82511E-6	-3,07530E-6	4,07979E-6	1,27106E-9	-1,27106E-9
6	17,28	29,95	-1,36834E-6	3,39812E-6	-5,12307E-6	4,33371E-6	1,50483E-9	-1,50483E-9

Spostamenti nodali massimi e minimi

Simbologia adottata

Ifa Indice fase
 Ux, min, Ux, max Spostamenti in direzione X minimo e massimo, espresse in [cm]
 Uy, min, Uy, max Spostamenti in direzione Y minimo e massimo, espresse in [cm]

Ifa	Ux, min [cm]	Uy, min [cm]	Ux, max [cm]	Uy, max [cm]
1	-0,569499	-4,307191	1,081243	0,217859
2	-0,569499	-4,307191	1,081243	0,217859
3	-11,505511	-8,371733	1,112954	0,220381
7	-0,606277	-41,707757	40,713942	0,000000
8	-0,075610	-16,940661	5,825527	0,000000
9	-0,563204	-27,899208	21,772612	0,000000

Tensioni nodali massimi e minimi

Simbologia adottata

Ifa	Indice fase
$\sigma_{X, \min}, \sigma_{X, \max}$	Tensioni normale X minima e massima, espresse in [kg/cmq]
$\sigma_{Y, \min}, \sigma_{Y, \max}$	Tensioni normale Y minima e massima, espresse in [kg/cmq]
$\sigma_{Z, \min}, \sigma_{Z, \max}$	Tensioni normale Z minima e massima, espresse in [kg/cmq]
$\tau_{XY, \min}, \tau_{XY, \max}$	Tensioni tangenziale XY minima e massima, espresse in [kg/cmq]

Ifa	$\sigma_{X, \min}$ [kg/cmq]	$\sigma_{X, \max}$ [kg/cmq]	$\sigma_{Y, \min}$ [kg/cmq]	$\sigma_{Y, \max}$ [kg/cmq]	$\sigma_{Z, \min}$ [kg/cmq]	$\sigma_{Z, \max}$ [kg/cmq]	$\tau_{XY, \min}$ [kg/cmq]	$\tau_{XY, \max}$ [kg/cmq]
1	-3,270603	0,002472	-6,097380	0,047790	-3,278794	-0,016035	-0,357889	0,459984
2	-3,270603	0,002472	-6,097380	0,047790	-3,278794	-0,016035	-0,357889	0,459984
3	-3,266528	0,043767	-6,089586	0,078913	-3,274640	-0,004077	-0,422169	0,461032
7	-2,426892	0,066761	-4,516873	0,063934	-2,430304	-0,001716	-0,301115	0,864660
8	-2,419483	0,055985	-4,503157	0,059819	-2,422924	-0,015053	-0,263340	0,758294
9	-2,426586	0,067857	-4,516346	0,064700	-2,430001	-0,000367	-0,294503	0,754324

I fattori di sicurezza.

fase 3 con riduzione dei parametri- valore **1.86** (carichi equivalenti e senza telo e senza infiltrazione)

fase 7 con riduzione dei parametri- valore **1.48** (fase di filtrazione rottura del telo)

fase 9 con riduzione dei parametri- valore **1.47** (fase di filtrazione rottura del telo e a seguito dinamica)

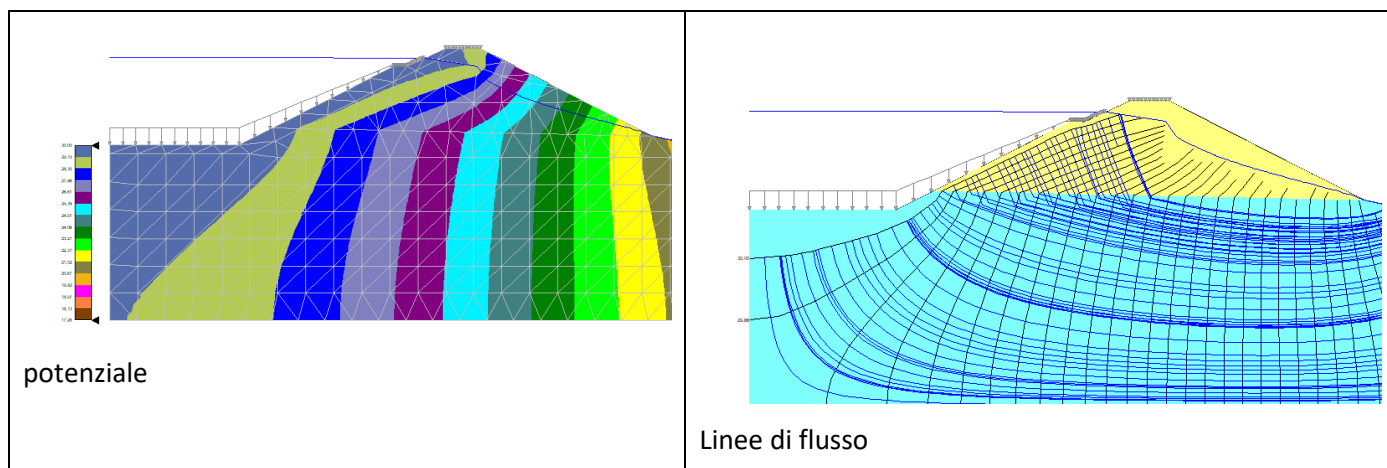
Analizzando i FS si può affermare che in qualunque condizione il Fs supera 1.3 anche immaginando l'inesistenza del telo (situazione non di progetto). Scende a **1.48** con la rottura del telo. Se consideriamo senza l'infiltrazione (condizione con telo impermeabile) i valori sono di **1.86** .

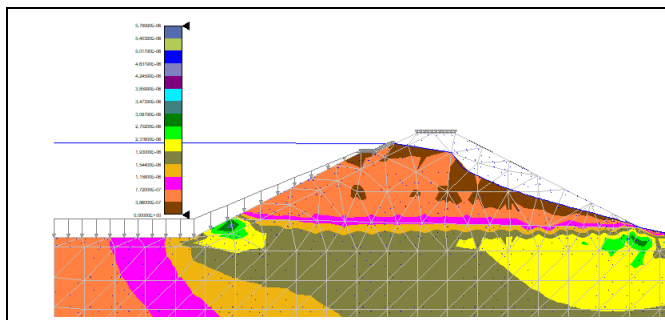
Il FS di sicurezza, scende a **1.47** sotto l'azione dinamica.

Vediamo ora la mappatura dei risultati

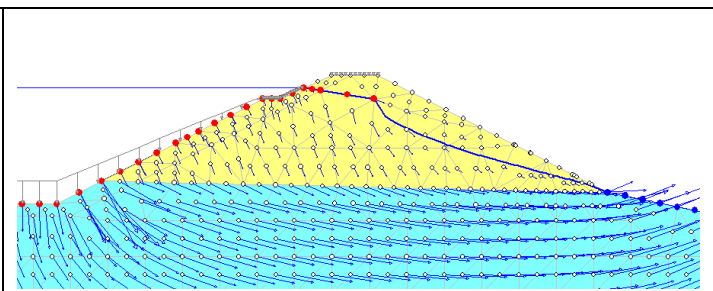
Risultati infiltrazione:

senza telo



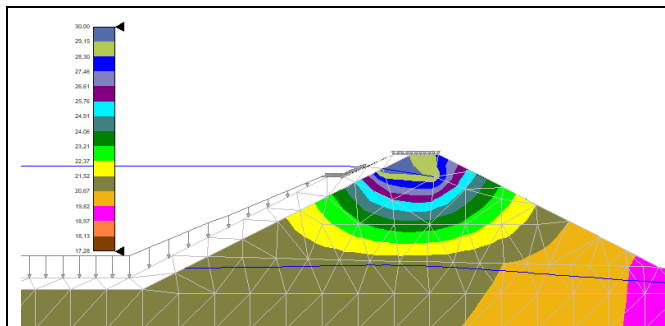


velocità

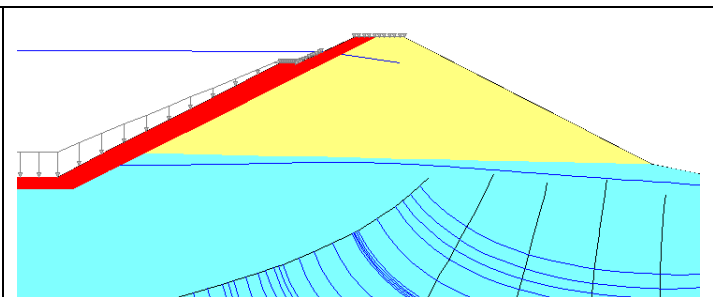


Flusso velocità

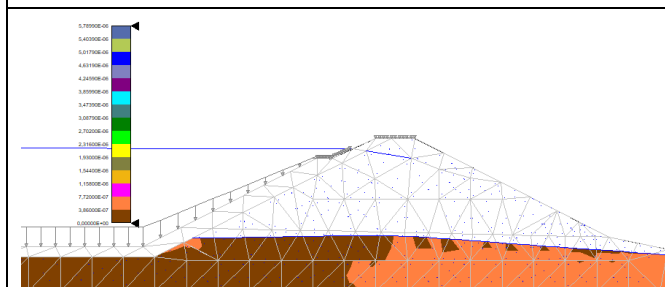
con telo



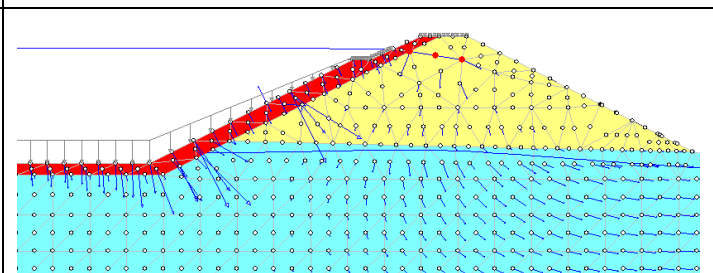
Potenziale



Linee di flusso. Si noti che il flusso è limitato allo starto
sotterraneo- che verrà drenato

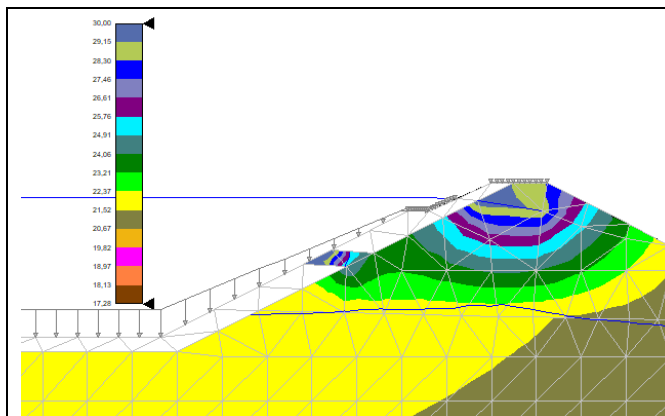


velocità

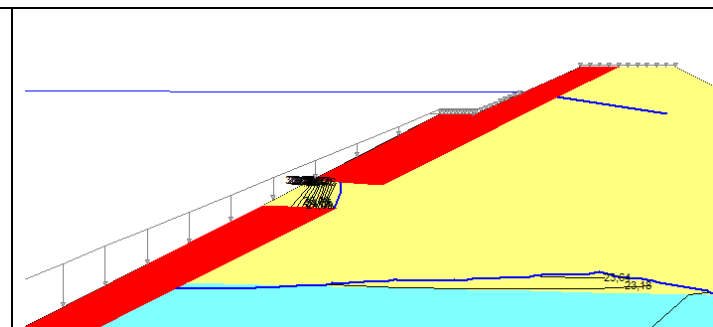


Flusso velocità

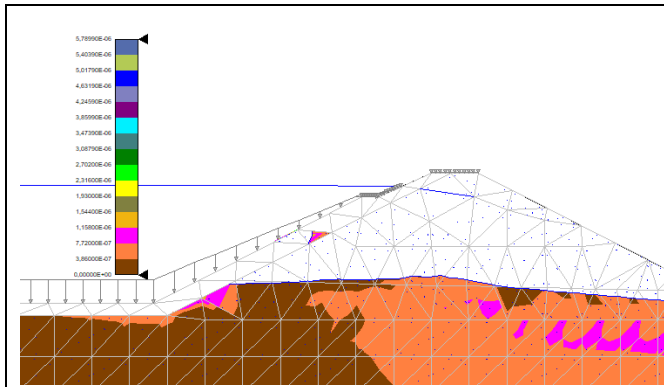
con rottura del telo



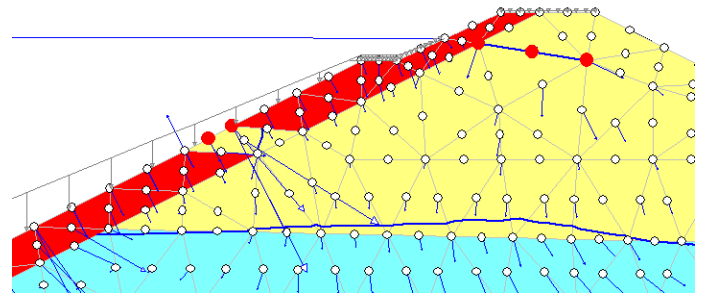
potenziale



Linee di flusso

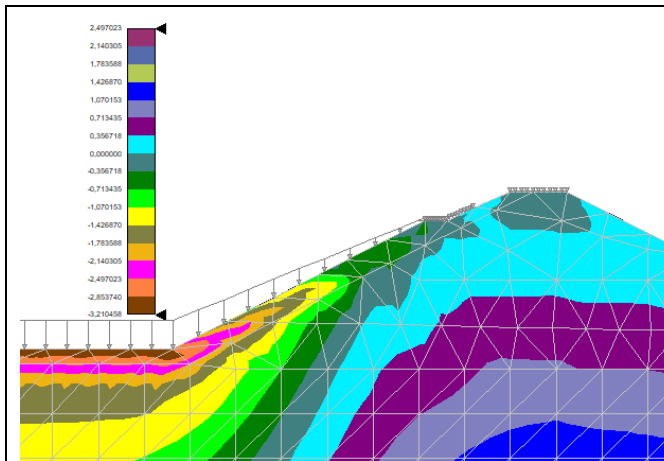


velocità

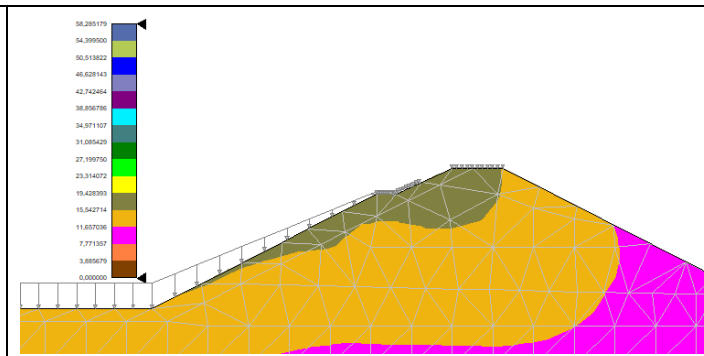


Flusso velocità proveniente anche dalla lacerazione

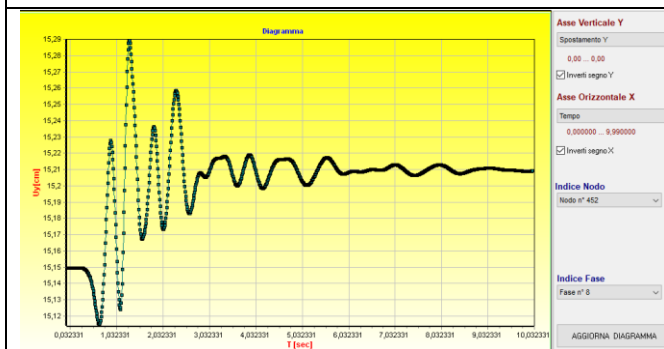
dinamica



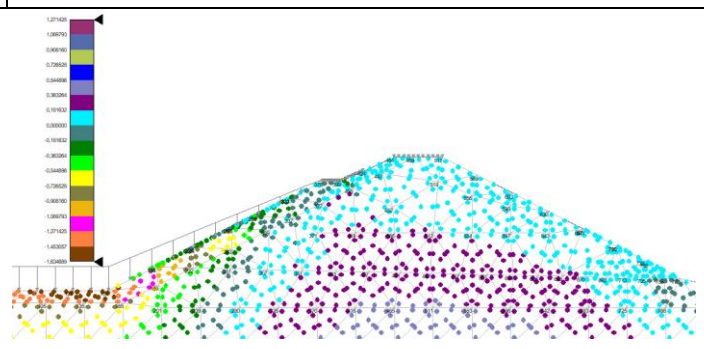
Tensioni σ



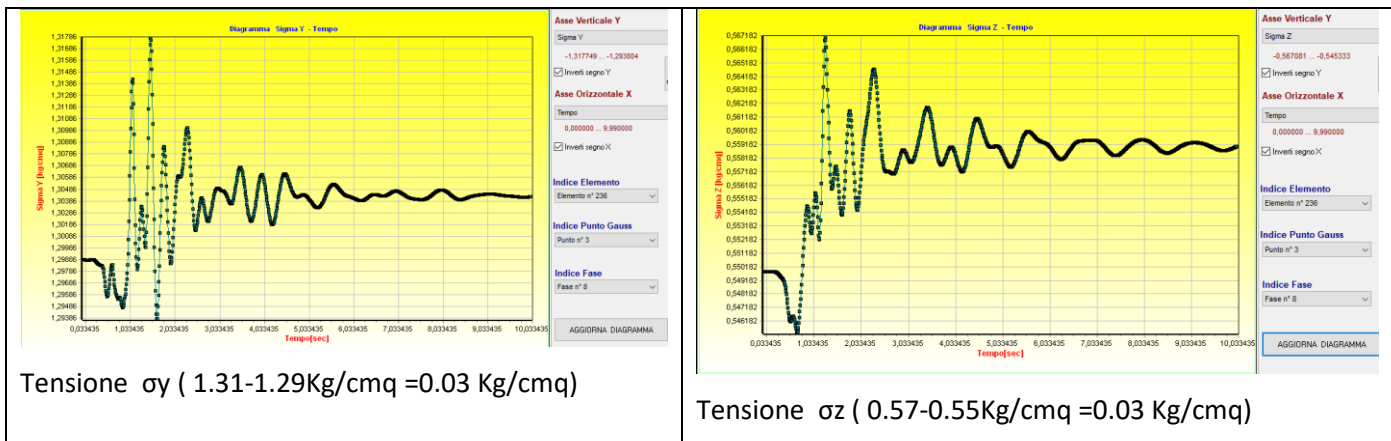
Spostamenti totali



Spostamento nodo (15.29 cm-15.12 cm = 0.17 cm)

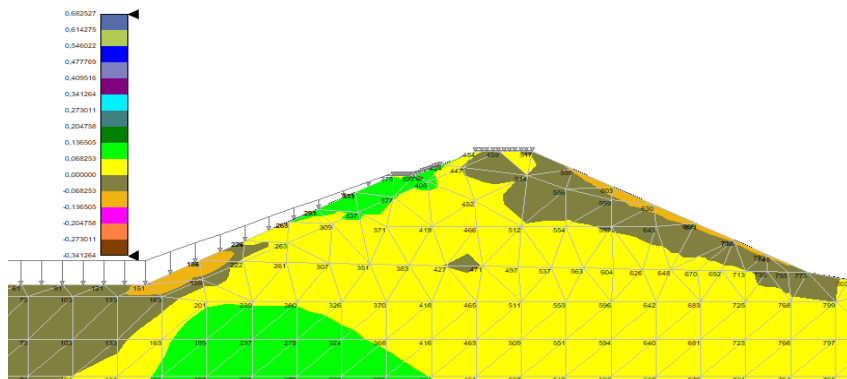


Tensione σ

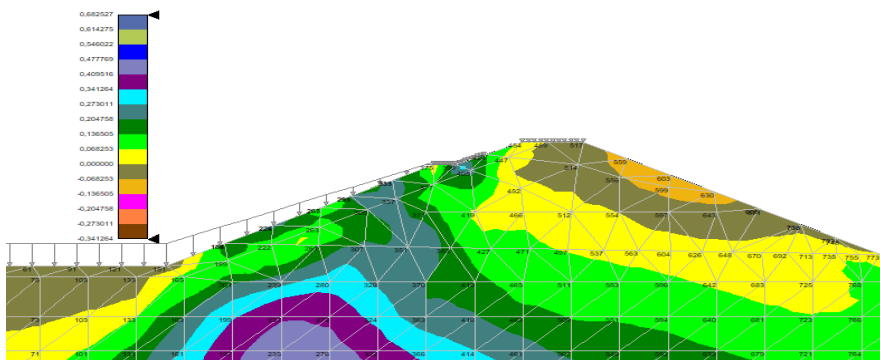


Le tensioni tangenziali τ_{xy}

Vengono evidenziati a colori gli incrementi delle tensioni tangenziali al fine di illustrare le zone dove abbiamo $\Delta\tau_{xy}$ maggiori. I valori sono stati calcolati con la riduzione dei parametri senza telo – con riduzione parametri

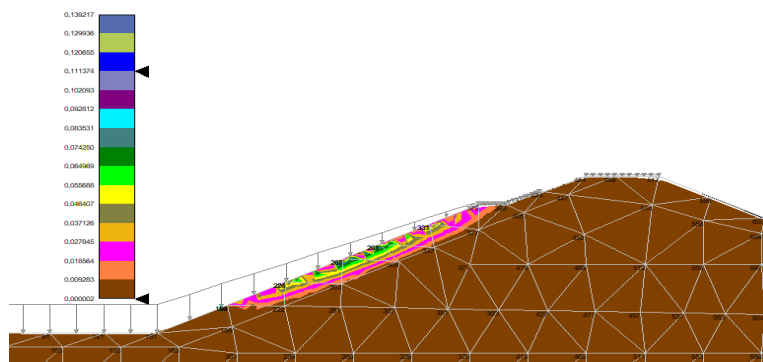


Con telo rotto e dinamica

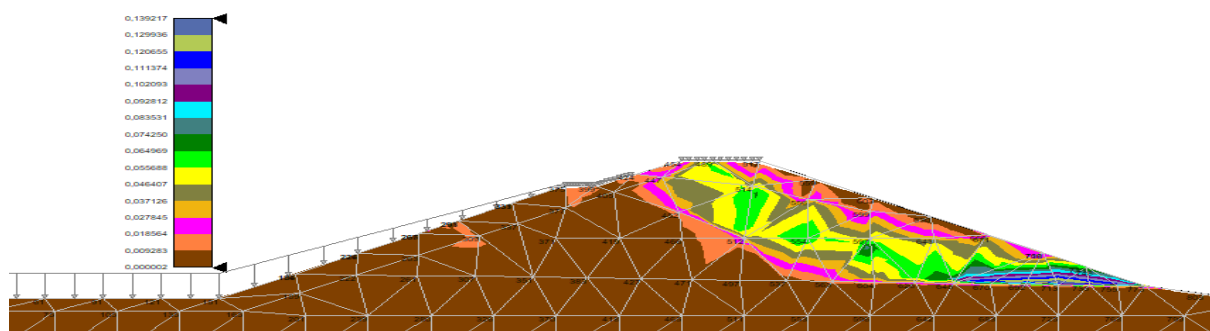


Al fine di valutare le zone di maggiore criticità del rilevato si riportano a seguire i punti critici di deformata deviatorica plastica (punti in cui il terreno è passato con la riduzione dei parametri in campo plastico)

Deformazione deviatorica plastica



senza telo con riduzione parametri



con rottura del telo – con riduzione parametri- rottura telo

Come si può notare , con il telo in fase di rottura le condizioni critiche si presentano a valle.

Si rimanda nel merito ai FS calcolati nelle varie condizioni

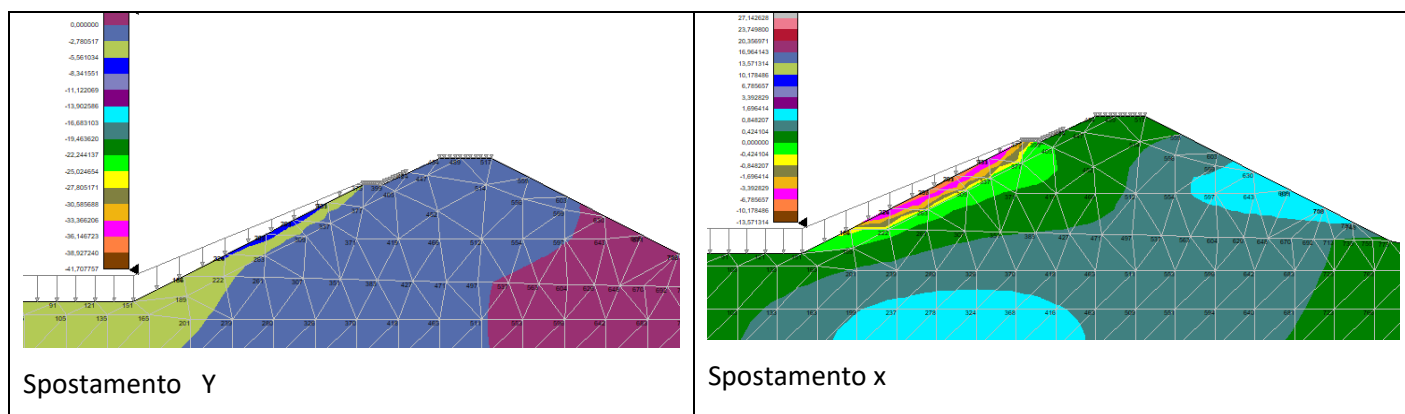
Conclusioni

I risultati ottenuti durante le verifiche , sia nella condizione globale, che nella casistica localizzata sui pendii (di monte e valle), sia in presenza del moto d'infiltrazione, sia con la rottura del telo hanno condotto a dei fattori di sicurezza superiori a quelli imposti dalle Normative in vigore.

In fase di cantiere dovrà essere posta particolare attenzione all'esecuzione del rilevato arginale che dovrà rispettare i valori indicati nelle prove geologiche dopo aver estratto il campione, rimaneggiato e compattato.. Eseguita la struttura e compattato il rilevato si procederà con le prove in loco su piastra . I risultati verranno confrontati con quanto previsto in progetto.

Sul rilevato verranno quindi posizionati due inclinometri digitali con trasmissione dei dati ad una stazione di controllo.

Il valore massimo di spostamento in orizzontale e verticali sono valutabili nei grafici



Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche di stabilità sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

I metodi di calcolo implementati sono i classici metodi delle strisce, basati sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Nel modulo terreni si adotta il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Nel modulo rocce si può adottare il criterio di rottura di Hoek-Brown o di Barton.

Il programma consente di inserire degli interventi di stabilizzazione, che possono intervenire secondo sue modalità diverse: variazione delle forze di interstriscia o resistenza a taglio equivalente.

L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	STAP - Stabilità Pendii Terreni
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	Studio di Ingegneria Ferrari e Giraud s.s.
Licenza	AIU38917G
Titolo	FEM GT - Modellatore ad elementi finiti per la Geotecnica
Versione	16.5
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	Studio di Ingegneria Ferrari e Giraud s.s.
Licenza	AIU38917G

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

IL TECNICO

ing. Franco Giraud