

Impianto "PESCOPAGANO"

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio ad alta flessibilità

Comune di Pescopagano (PZ)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE

STRATEGIES FOR WATER



Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

Verifiche di stabilità del rilevato del serbatoio di valle



| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|------|----------------------|------------|---------|------------|-----------|
| 0 | PROGETTO PRELIMINARE | 24/05/2021 | Esterno | L. Papetti | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Codice commessa: 1295

Codifica documento: 1295-I-FN-R-02-0

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 2 | RIFERIMENTI NORMATIVI | 3 |
| 3 | GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E SISMICITÀ DEL SITO | 4 |
| 3.1 | Caratteri geologici e stratigrafici | 4 |
| 3.2 | Geomorfologia dell'area | 6 |
| 3.3 | Sismicità storica | 7 |
| 4 | MODELLO DI CALCOLO | 8 |
| 4.1 | Procedura generale | 8 |
| 4.2 | Metodo pseudo-statico per le verifiche sismiche | 10 |
| 4.3 | Definizione dei carichi e delle azioni sismiche | 11 |
| 5 | PRIMA FASE DI ANALISI | 13 |
| 5.1 | Tipologia della diga | 13 |
| 5.2 | Caratteristiche dei materiali | 13 |
| 5.3 | Prima serie di verifiche in condizioni statiche e sismiche | 15 |
| 5.4 | Quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza | 15 |
| 5.5 | Verifiche integrative | 15 |
| 5.6 | Modifica della sezione della diga | 16 |
| 6 | SECONDA ED ULTIMA FASE DI ANALISI | 16 |
| 6.1 | Sezione e materiali della diga | 16 |
| 6.2 | Analisi effettuate | 17 |
| 6.3 | Pendio naturale | 17 |
| 6.4 | Sezione mista diga-pendio | 18 |
| 6.5 | Quadro riassuntivo | 18 |
| 6.5.1 | Considerazioni generali | 18 |
| 6.5.2 | Sezione maestra, paramento di monte | 19 |
| 6.5.3 | Sezione maestra, paramento di valle | 19 |
| 6.5.4 | Sezione in pendio naturale | 19 |
| 6.5.5 | Sezione mista, paramento di monte | 19 |
| 7 | CONCLUSIONI | 20 |
| 8 | ALLEGATI | 21 |
| 8.1 | Prima fase di analisi | 21 |
| 8.2 | Seconda fase di analisi | 45 |

1 PREMESSA

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito del progetto di fattibilità dell'impianto idroelettrico con pompaggio di Pescopagano ed ha per oggetto le verifiche di stabilità del rilevato arginale e delle sponde naturali del serbatoio di valle. Il lavoro è stato svolto su incarico di Frosio Next di Brescia.

I dati di base disponibili sono stati forniti da Frosio Next e sono consistiti nei seguenti elaborati:

- Relazione geologica ed allegati;
- Rapporto sui sondaggi profondi;
- Rapporto sulle indagini geofisiche;
- Rapporto sui rilievi geomeccanici;
- Note successive alle indagini.

I parametri geotecnici definiti in input al programma per le verifiche di stabilità sono stati stimati sulla base delle informazioni disponibili e su dati della letteratura tecnica disponibili per i litotipi presenti nel sito di interesse.

In fase di sviluppo del progetto definitivo dovranno essere condotte ulteriori indagini geotecniche e geomeccaniche finalizzate a definire in modo più specifico i parametri di resistenza sia dei terreni di fondazione che dei materiali che verranno utilizzati per la costruzione del rilevato.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Gli studi, le indagini e le verifiche di stabilità sono stati condotti facendo riferimento ai seguenti testi normativi:

- **NTD14.** *D.M. del 26 giugno 2014. Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).*
- **MIT-DGD19.** *Circolare - Direzione generale per le dighe e infrastrutture idriche ed elettriche - 3 Luglio 2019, n. 16790 - ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA TECNICA DI CUI AL D.M. 26.06.2014 (NTD14) E AL D.M. 17.01.2018 (NTC18).*
- **MIT-DGD18.** *Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26 giugno 2014 (NTD14) e del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC18). Direzione generale per le dighe e infrastrutture idriche ed elettriche. Luglio 2018.*
- **NTC18.** *D.M. del 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".*
- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP.** – *Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*
- **MIT-DGD17.** *Note esplicative per le Verifiche Sismiche delle Grandi Dighe ai sensi del D.M. 26 giugno 2014 (NTD) e del D.M. 14 gennaio 2008 (NTC). Direzione generale per le dighe e infrastrutture idriche ed elettriche, Divisione 6 – Strutture e geotecnica. Marzo 2017.*

3 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E SISMICITÀ DEL SITO

3.1 CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI

Dal punto di vista geologico-strutturale, l'area si colloca a ridosso della zona assiale della catena appenninica meridionale.

L'appennino lucano è composto da unità tettoniche che nel Mesozoico costituivano distinti domini paleogeografici di bacino pelagico e di piattaforma. La ricostruzione paleogeografica più largamente accettata individua, da ovest (aree interne) verso est, le seguenti unità:

- Unità Liguridi e Sicilidi (Trias -Eocene): successioni di dominio oceanico nelle quali si rinvencono anche sequenze ofiolitiche;
- Unità di Piattaforma Appenninica (Trias -Cretaceo inf.) successioni sedimentarie che raggiungono spessori di 3000 m aventi facies tipiche di ambienti di scogliera, lagune di retroscogliera, margini di scogliera, scarpate, ecc.;
- Unità del Bacino di Lagonegro (Trias – Miocene): successioni depositatesi in un bacino localizzato ad est della Piattaforma Appenninica, con caratteristiche litologiche tipiche dei depositi bacinali sia in facies distali che prossimali;
- Unità della Piattaforma Apula (Mesozoico): caratterizzata da una potente successione carbonatica (circa 6000 m) depositatasi in un vasto altofondo intraoceanico di bassissima profondità, emerso definitivamente al termine del Mesozoico.

Lo sviluppo della catena appenninica ha avuto luogo a partire dall'Eocene coinvolgendo dapprima le unità tettoniche più interne e nel corso del processo deformativo spinto fino al Pleistocene (1,5 m.a.) le successioni appartenenti ai domini paleogeografici esterni.

Il quadro paleogeografico subisce quindi sostanziali modifiche: le unità Sicilidi e Liguridi si accavallano sulle unità di Piattaforma Appenninica la quale viene smembrata e successivamente impilata sulle unità del Bacino Lagonegrese. Con la progressione dell'avanzamento del fronte della catena, anche le unità lagonegresi vengono coinvolte direttamente nella deformazione.

Tra il margine orientale delle coltri alloctone e la Piattaforma Apula (avampaese autoctono dell'Appennino Meridionale) si instaura nel Miocene il Bacino Irpino (Cocco et al. 1972).

Successivamente sulle unità Lagonegresi ed Iripine si individuano i bacini plio-pleistocenici di Muro Lucano e dell'Ofanto nei quali si depositano inizialmente sedimenti argillosi di prodelta e di piattaforma e, in seguito al sollevamento progressivo della catena orientale, sabbie e conglomerati di fan-delta.

Le successioni affioranti nell'area di studio sono, a partire dal più antico al più recente:

UNITÀ LAGONEGRESI

Flysch Galestrino (Cretaceo inf.)

Flysch Rosso (Cretaceo inf. - Oligocene)

UNITÀ DI BACINO INTRAMONTANO

Unità di Ariano Irpino (Pliocene medio-inf.)

DEPOSITI CONTINENTALI

Depositi alluvionali, detriti di falda, eluvioni, detriti di frana (Pleistocene – Olocene).

Una descrizione sintetica dei caratteri delle singole unità è la seguente:

Flysch Galestrino

È costituito da argille e argilliti fogliettate, grigio chiare e verdastre e di colore senape quando alterate, con intercalazioni di strati decimetrici di marne e calcari marnosi a frattura prismatica. La successione è costituita da sedimenti pelagici di bacino con spessori di alcune centinaia di metri.

Flysch Rosso

Rappresenta il prodotto della sedimentazione al margine occidentale e nella zona assiale del Bacino Lagonegrese (depositi pelagici e torbiditici). In questi depositi sono frequenti frane intraformazionali e sedimenti messi in posto da flussi gravitativi. Membro calcareo-marnoso – alternanze di calcareniti a grana media e grossa spesso bioclastiche, con frammenti di lamellibranchi e gasteropodi, in strati e banchi spesso gradati e laminati, calcilutiti silicizzate, con intercalazioni di marne rosate e argille marnose brune e rossastre.

Membro marnoso-argilloso – alternanza di argille e marne di colore variabile dal rosso al verde, calcilutiti a volte silicizzate e calcisiltiti marnose biancastre o rosate, in strati centimetrici, calcareniti bioclastiche torbiditiche in strati centimetrici e decimetrici.

Flysch di Castelvetere

Rappresenta il prodotto della sedimentazione nel margine occidentale del bacino Irpino. È costituito da arenarie quarzoso-feldspatiche a grana medio-grossolana in banchi e strati spesso amalgamati, intercalati a conglomerati grossolani lentiformi, e da alternanze di silt e argille marnose. Alle successioni terrigene sono intercalati olistoliti calcarei provenienti dalla Piattaforma Appenninica.

Unità di Ariano

I depositi dell'Unità di Ariano rappresentano il prodotto della sedimentazione nel Bacino dell'Ofanto e di Muro Lucano e poggiano in discordanza sia sulle Unità Lagonegresi che su quelle della Piattaforma Appenninica. L'intera successione pliocenica è costituita da litofacies legate ai cicli di trasgressione e regressione che hanno determinato il coltamento dei bacini intramontani. Nell'area di studio è possibile distinguere:

Argille siltose grigio-azzurre, argille marnose, massicce o stratificate, limi argillosi talora sabbiosi, con rare e sottili intercalazioni di associazioni pelitico-sabbiose; Sabbie bioclastiche quarzoso-calcaree e quarzose a luoghi disuniformemente cementate, con intercalazioni di livelli limoso-argillosi e livelli o lenti conglomeratiche.

Depositi caotici di detriti e frane pleistoceniche

Coltre di materiale caotico a matrice argillosa contenente blocchi calcarei, calcareo-marnosi ed arenacei. Ricoprono i depositi dell'Unità di Ariano con spessori variabili da qualche metro ad alcune decine di metri. Gli accumuli di frana si sarebbero formati a seguito dell'intensa attività tettonica post-Calabrianica che ha determinato il ringiovanimento del rilievo. In letteratura si ritrovano anche con varie definizioni, tra cui "melange tettonico".

Depositi alluvionali

I depositi alluvionali sono localizzati sulla piana alluvionale dell'alveo attuale del fiume Ofanto e in alveo dei vari tributari, tra cui il t. Ficocchia, ed i fossi confluenti. Lembi residui di depositi alluvionali terrazzati si trovano a quote superiori ai 200 metri nel Piano di Mesole e Piano della Contista.

Sono costituiti da ghiaie poligeniche, immerse in matrice sabbiosa, con lenti ghiaiose e sabbioso-limose. Nei tratti al piede o in attraversamento di versanti nel Flysch Rosso è normale il rinvenimento di blocchi calcarei anche di grosse dimensioni.

Coltre detritica

In corrispondenza di solchi o di avvallamenti, si rinvencono le coperture detritiche composte da pezzame lapideo, di natura prevalentemente calcarea, dalle dimensioni molto variabili, inglobato in limi argillosi di colore generalmente marrone e argilliti profondamente alterate.

3.2 GEOMORFOLOGIA DELL'AREA

L'area di indagine è localizzata sulla catena montuosa appenninica nella zona nord-occidentale della Basilicata i cui rilievi più alti - Monte Carruozzo (1227 m), Monte Nuovo (1140 m), Toppo di Castelgrande (1248 m) – fanno da spartiacque al bacino del Fiume Ofanto. Lungo il versante settentrionale ha sede il lago artificiale del Saetta, che costituisce il limite verso monte dell'area di interesse.

Da qui prosegue verso Nord lungo il corso del torrente Ficocchia, fino ad arrivare alla confluenza con il Fiume Ofanto. Il corso d'acqua risulta incassato, sia quando attraversa le unità del substrato pre-pliocenico, sia in corrispondenza dei terreni di riempimento del bacino dell'Ofanto, con fianchi vallivi molto acclivi.

Dal punto di vista morfologico si individuano diversi paesaggi: quello caratterizzato da rilievi a dominante argillosa, con versanti dolci, a volte interrotti da dorsali calcaree, e che in alcuni tratti formano degli ampi pianori; si alterna il paesaggio caratterizzato da rilievi molto acclivi, in corrispondenza delle aree nelle quali affiorano le successioni a prevalente componente carbonatica.

Sono presenti diversi movimenti gravitativi, sviluppati prevalentemente in corrispondenza dei versanti con prevalente componente argillosa. Una di queste instabilità si sviluppa in corrispondenza del contatto stratigrafico tra il Flysch Rosso ed il Flysch Galestrino, in prossimità della spalla sinistra dello sbarramento del Saetta, e potrebbe interferire con una delle opere in progetto. Da osservazioni di campagna si può desumere che si tratti di movimento complesso del tipo scorrimento traslativo-colata, con profondità massima della superficie di scorrimento valutabile in alcuni metri.

Sull'area sono state eseguite opere di stabilizzazione del movimento franoso, di cui risultano evidenti drenaggi, fossi di guardia e piantumazioni, e non sono riscontrabili segni di movimenti recenti che coinvolgono l'intero corpo di frana. Tuttavia, in corrispondenza della zona di coronamento, sono presenti fratture di trazione.

3.3 SISMICITÀ STORICA

L'Appennino meridionale presenta una storia sismica tra le più severe dell'Italia, sia in termini di intensità, che di frequenza di terremoti. L'elevata attività neotettonica dell'Appennino si manifesta con un generale sollevamento, in media dell'ordine di 1 mm/y, ancora in atto, in seguito al quale si sviluppano grossi sistemi di faglie estensionali con direzione NW-SE, NE-SW, E-W, NNW-SSE.

I terremoti individuati tra i più significativi per l'area Vulture-Ofantina sono i seguenti:

- Benevento, anno 375, scala MCS IX (Me = 6,0)
- Irpinia, anno 989, scala MCS IX (Me = 6,0)
- Potenza, anno 1273, scala MCS IX (Me = 5,8)
- Italia centro-meridionale, anno 1456, scala MCS XI (Me = 7,1)
- Basilicata, anno 1561, scala MCS X (Me = 6,4)
- Campania, Basilicata, anno 1688, scala MCS XI (Me = 6,6)
- Basilicata, Irpinia, anno 1694, scala MCS XI (M = 6,8)
- Irpinia, Beneventano, anno 1702, scala MCS X (Me = 6,3)
- Irpinia, anno 1732, scala MCS X (Me = 6,5)
- Italia Meridionale, Molise, anno 1805, scala X (Me = 6,5)
- Basilicata, anno 1826, scala MCS VIII (Me = 5,8)
- Vulture, anno 1851, scala MCS VIII (M = 5,6)
- Basilicata, anno 1857, scala MCS XI (Me = 6,9)
- Irpinia, anno 1910, scala MCS VIII (Me = 5,8)
- Campania, Basilicata, anno 1930, scala MCS X (Me = 6,7)
- Irpinia, anno 1962, scala MCS IX (Me = 6,2)
- Irpinia, anno 1980, scala MCS X (M = 6,9)
- Basilicata, anno 1990, scala MCS VII (M = 5,0)
- Basilicata, anno 1991, scala MCS VI (M = 4,5)

L'analisi della sismicità storica è stata effettuata sulla base dei dati contenuti nel Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990 pubblicato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e dalla SGA (storia geofisica ambiente), integrati con i dati più recenti.

Le intensità dei terremoti sono state espresse sulla base della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) che stima le intensità macrosismiche dei terremoti risentite nelle aree epicentrali sulla base dell'osservazione e delle descrizioni storiche dei danni causati dal terremoto e sulla base di magnitudo equivalente.

Anche le fonti storiche raccontano ampiamente come il comune di Pescopagano sia stata duramente segnato, sin dalle proprie origini, dalla violenza dei terremoti, registrando ingenti danni sia nel patrimonio edilizio sia in termini di vite umane (Lioi, 2008). Tra i terremoti recenti di maggiore intensità vanno evidenziati quelli del 1930 e del 1980. Il primo ha avuto epicentro fra Lacedonia e Bisaccia e, da simulazioni numeriche del processo di frattura, è associato ad una faglia normale orientata in direzione appenninica e immergente verso SW (Emolo et alii, 2000).

L'evento del 1980, con epicentro tra Teora, Castelnuovo di Conza e Conza della Campania, si è sviluppato a seguito dell'attivazione della faglia di Monte Marzano (faglia Irpina), con orientazione NW-SE, che si è attivata per una lunghezza di oltre 35 km e in alcuni punti ha provocato la rottura superficiale del terreno, con un rigetto variabile tra 20 cm e 1 metro (Valensise & Pantosti, 2001; Galli, 2010). La rottura si è propagata dall'ipocentro con tre distinti fenomeni di rottura lungo differenti segmenti di faglia, di cui quelli legati al sistema principale immergenti verso NE, ed uno (subevento 3) sviluppatosi su una faglia antitetica immergente verso SW.

4 MODELLO DI CALCOLO

4.1 PROCEDURA GENERALE

È ben noto dalla letteratura tecnica e dall'esperienza dei fenomeni osservati che il grado di stabilità di un pendio sia evidenziato dalle deformazioni che esso manifesta nel tempo e nello spazio e quindi i metodi di analisi dovrebbero valutare le deformazioni che si sviluppano in conseguenza delle azioni, delle condizioni al contorno e degli stati iniziali agenti sul pendio.

Tuttavia, un approccio analitico basato sulle deformazioni è risultato particolarmente complesso da applicare almeno fino ad una decina di anni fa quando non erano disponibili strumenti di calcolo con le capacità di quelli attuali ed a costi contenuti.

Di conseguenza, i primi metodi che sono stati formulati per la valutazione delle condizioni di stabilità di un pendio o di un rilevato furono si basavano su ipotesi semplificative che tenevano in conto unicamente delle equazioni di equilibrio delle forze agenti (sia delle azioni esterne agenti sul sistema che di quelle resistenti interne dei materiali costituenti il mezzo). Si rammenta che la completa e corretta definizione del problema necessita anche la formulazione e il soddisfacimento delle equazioni di congruenza delle deformazioni attraverso le leggi costitutive dei materiali.

L'ipotesi posta alla base di questi metodi semplificati è che una volta note le caratteristiche di resistenza dei materiali, la distribuzione del campo delle pressioni neutre, la geometria del pendio ed altre proprietà specifiche dei terreni e del pendio, le analisi di stabilità ci devono permettere di stabilire se le forze resistenti del sistema sono sufficientemente maggiori di quelle tendenti a mobilitare il sistema stesso.

In genere questi metodi di calcolo si riassumono nella definizione prima e nel calcolo poi di un fattore di sicurezza che più propriamente sarebbe opportuno definire indice di stabilità.

Nell'ambito di questi metodi l'ipotesi fondamentale è che la resistenza dei terreni è espressa dalla nota legge di Coulomb generalizzata successivamente da Mohr. Nella sua forma generale l'equazione di Mohr-Coulomb è espressa dalla seguente espressione:

$$\tau_f = c' + \sigma' \cdot \operatorname{tg}\varphi' = c' + (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg}\varphi'$$

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_{mob}}$$

Nelle precedenti espressioni c' e φ' rappresentano i parametri di resistenza in termini di tensioni efficaci ed u è la pressione neutra dell'acqua interstiziale, mentre T_{mob} rappresenta lo sforzo di taglio mobilitato dal sistema di forze agenti lungo la potenziale superficie di scorrimento.

Nell'ambito del presente studio si farà sempre riferimento ad una situazione statica bidimensionale in deformazione piana, in tale ambito è quindi possibile sostituire il termine "superficie di scorrimento" con quello di "linea di scorrimento".

In riferimento ai metodi di stabilità globale che si fondano sul concetto di equilibrio limite è utile precisare che il problema si presenta con una duplice indeterminazione:

- Una di carattere geometrico poiché sono infinite per forma e posizione le potenziali linee di scorrimento che possono essere tracciate all'interno di un rilevato o di un pendio. Pertanto, resta affidata alla sensibilità del progettista l'individuazione della o delle linee più critiche tra le infinite cinematicamente possibili;
- Una di carattere statico in quanto nella definizione delle tre equazioni dell'equilibrio statico e del coefficiente di sicurezza F allo scorrimento, il problema risulta staticamente indeterminato. In pratica, il numero di incognite è maggiore del numero di equazioni disponibili e quindi non è possibile ottenere una soluzione univoca del problema. Per rendere il problema determinato è necessario determinare le incognite sovrabbondanti con delle ipotesi arbitrarie.

Sono quindi stati sviluppati nel tempo numerosi procedimenti che differiscono e per la forma delle potenziali linee di scorrimento e per le ipotesi assunte per rendere il problema staticamente determinato.

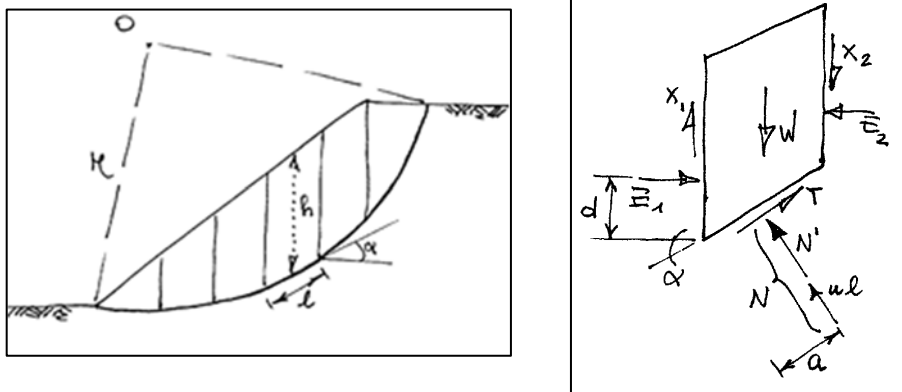


Figura 1 - Schema di pendio - linea di potenziale scorrimento – suddivisione in strisce

La procedura generale che viene adottata in questi metodi prevede che la massa di terreno che si trova al di sopra della linea di scorrimento venga suddivisa in un certo numero di "strisce" e da ciò è derivata la definizione di metodi delle strisce. Il numero di suddivisioni in strisce dipende dalla geometria del pendio e della eterogeneità dei terreni presenti all'interno della potenziale massa instabile delimitata dalla linea di scorrimento (vedi Figura 1).

4.2 METODO PSEUDO-STATICO PER LE VERIFICHE SISMICHE

Le analisi di stabilità globale condotte con il metodo pseudo-statico di un pendio sono eseguite introducendo delle forze "statiche equipollenti", applicate al centro di massa di potenziali masse instabili individuate sul corpo della diga tenendo eventualmente conto anche del contributo derivante dalla spinta dinamica dell'acqua dell'invaso sul paramento di monte. In questo tipo di analisi si assume implicitamente e senza nessun fondamento fisico e teorico che le forze "pseudo-statiche" siano rappresentative e che producano gli stessi effetti delle reali azioni sismiche (vedi figura 12.2).

Secondo la normativa vigente NTC18 (capitolo 7.11.3.5.2) nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile (vedi Figura 2). Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza pseudo-statica possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{e} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v rispettivamente i coefficienti sismici orizzontale e verticale espressi come di seguito:

$$\begin{cases} k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} \\ k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \end{cases}$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

a = accelerazione orizzontale massima attesa al sito per un terremoto con tempo di ritorno $T_R = 1950$ anni corrispondente allo stato limite di collasso SLC

g = accelerazione di gravità

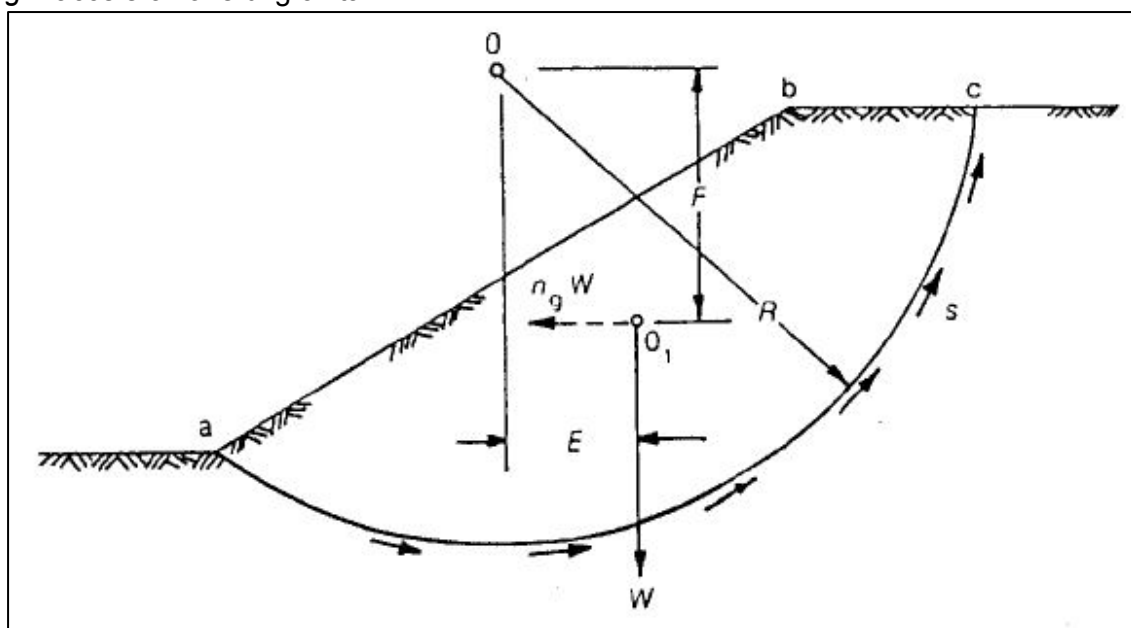


Figura 2 – Schema esemplificativo della forza pseudo-statica agente sulla massa potenzialmente instabile di un pendio

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione seguente:

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$$

Dove:

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al capitolo 3.2.3.2 delle NTC18;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido e orizzontale (PGA) per un terremoto con tempo di ritorno fissato in funzione dello stato limite che si intende analizzare in accordo alle prescrizioni normative e del periodo di riferimento PVR dell'opera (vedi capitolo 3.2.3.2 nelle NTC18).

Per il sito in esame di coordinate geografiche: Lat.: 40,8603 – Long.: 15,4254

I parametri sismici di riferimento sono i riportati nella seguente Tabella 1.

| Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_C^* [s] |
| SLO | 60 | 0,089 | 2,318 | 0,318 |
| SLD | 101 | 0,118 | 2,324 | 0,333 |
| SLV | 949 | 0,355 | 2,289 | 0,413 |
| SLC | 1950 | 0,466 | 2,355 | 0,428 |

Tabella 1 – Parametri di riferimento al sito per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno stato limite

4.3 DEFINIZIONE DEI CARICHI E DELLE AZIONI SISMICHE

I carichi agenti che sono considerati nell'ambito delle analisi di stabilità globale in condizioni sismiche sono quelli considerati per le analisi statiche con l'aggiunta dell'azione sismica:

- Il peso proprio dei diversi materiali;
- La spinta che l'acqua nel serbatoio esercita sul paramento di monte del rilevato;
- L'azione sismica rappresentata con forze "statiche equivalenti".

Per quanto concerne la definizione dell'azione sismica in termini di coefficienti sismici, è necessario definire la categoria di sottosuolo presente al sito. Tenendo conto dell'assetto geologico e delle proprietà geotecniche dei terreni e delle rocce presenti nell'area di imposta della diga, con riferimento alla tabella 3.2.II delle NTC18 che si riporta di seguito la categoria di sottosuolo pertinente per il sito di interesse è la B.

È inoltre necessario definire la categoria topografica dell'area di interesse ed a tal fine si fa riferimento alla tabella 3.2.III delle NTC18 che si riporta di seguito:

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Considerando le caratteristiche topografiche del sito di interesse la categoria pertinente per il sito di interesse è la T2.

Per la definizione dei coefficienti S_S ed S_T , di cui al precedente capitolo 12.6.1, necessari per la determinazione della a_{max} al sito si fa riferimento rispettivamente alle tabelle 3.2.IV e 3.2.5 delle NTC18 che si riportano di seguito.

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_S e di C_C*

| Categoria sottosuolo | S_S | C_C |
|----------------------|---|------------------------------|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$ |

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

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

Per il caso in esame si calcola quindi:

$$S_S = 1,40 - 0,4 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g}$$

Facendo riferimento allo stato limite di collasso SLC e ad un periodo di riferimento dell'opera pari a 100 anni, dalla Tabella 1 precedente si ottiene:

$$\begin{cases} T_R = 1950 \text{ anni} \\ \frac{a_g}{g} = 0,466 \\ F_0 = 2,355 \end{cases}$$

E quindi: $S_S = 1,40 - 0,40 \cdot 2,355 \cdot 0,466 = 0,961 = 1$

Mentre il coefficiente $S_T = 1,2$.

Per la definizione dei coefficienti sismici rimane ora da definire il coefficiente β_S di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ed a questo fino si è fatto riferimento alle prescrizioni indicate al capitolo 7.11.4 delle NTC18 che fornire le seguenti indicazioni:

$\beta_S = 0,38$ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)

$\beta_S = 0,47$ nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD)

Nel nostro caso essendo una verifica allo stato limite ultimo $\beta_S = 0,38$

A questo punto si dispone di tutti i parametri per la definizione dei coefficienti sismici orizzontale e verticale e questi sono definiti come di seguito:

$$\begin{cases} k_h = \beta_S \cdot \frac{a_{max}}{g} = \beta_S \cdot (S_S \cdot S_T) \cdot \frac{a_g}{g} = 0,38 \cdot (1,0 \cdot 1,2) \cdot 0,466 = 0,2 \\ k_v = \pm 0,5 \cdot k_h = \pm 0,5 \cdot 0,085 = 0,1 \end{cases}$$

5 PRIMA FASE DI ANALISI

5.1 TIPOLOGIA DELLA DIGA

La sezione diga inizialmente adottata presenta pendenza dei paramenti di 1 su 2,5. Il paramento di valle è stato dotato di banchine. I materiali da costruzione adottati sono quelli che derivano dagli scavi del bacino e delle opere in sotterraneo dell'impianto.

La schematizzazione della diga è riportata nelle figure che espongono la suddivisione e le caratteristiche dei materiali.

5.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Poiché non sono disponibili prove ed indagini in sito e di laboratorio finalizzate alla definizione dei parametri di resistenza dei materiali, si è proceduto alla stima degli stessi prendendo a riferimento i dati della letteratura tecnica disponibili per i litotipi presenti al sito di interesse.

Si mette in evidenza che l'obiettivo delle analisi di stabilità è stato quello di individuare e definire una sezione dell'opera di sbarramento che ottemperasse ad una duplice esigenza, da un lato aumentare al massimo possibile le pendenze dei rinfianchi per limitare i costi, dall'altro soddisfare i requisiti di sicurezza imposti dalle normative vigenti tenendo conto della natura e delle caratteristiche dei materiali disponibili in loco.

Sono state quindi definite tre serie di parametri identificate con le sigle Geo1, Geo2, Geo3. La serie dei parametri Geo1 è quella che rappresenta le caratteristiche più verosimili dei materiali costituenti i terreni di fondazione ed il rilevato della diga, le serie Geo2 e Geo3 sono state definite al fine di identificare i parametri che permettevano di raggiungere le condizioni di sicurezza minime imposte dalle normative vigenti, nel caso queste non fossero state raggiunte con i parametri Geo1.

L'ipotesi progettuale di partenza è stata quella di un rilevato zonato con due porzioni: una di monte realizzata con materiali trattati con lavaggio e basso contenuto di frazioni fini limo-argillose, la seconda di valle realizzata con materiali non trattati. I materiali utilizzati sono quelli provenienti dagli scavi della caverna e della galleria di collegamento tra serbatoio superiore ed inferiore e da cave di prestito localizzate nei paraggi del sito di costruzione.

Le seguenti figure illustrano il modello geometrico di calcolo della sezione del rilevato e dei terreni di fondazione con i relativi materiali e con i parametri geotecnici di riferimento per ciascuno dei tre set che sono stati definiti: Geo1, Geo2 e geo3.

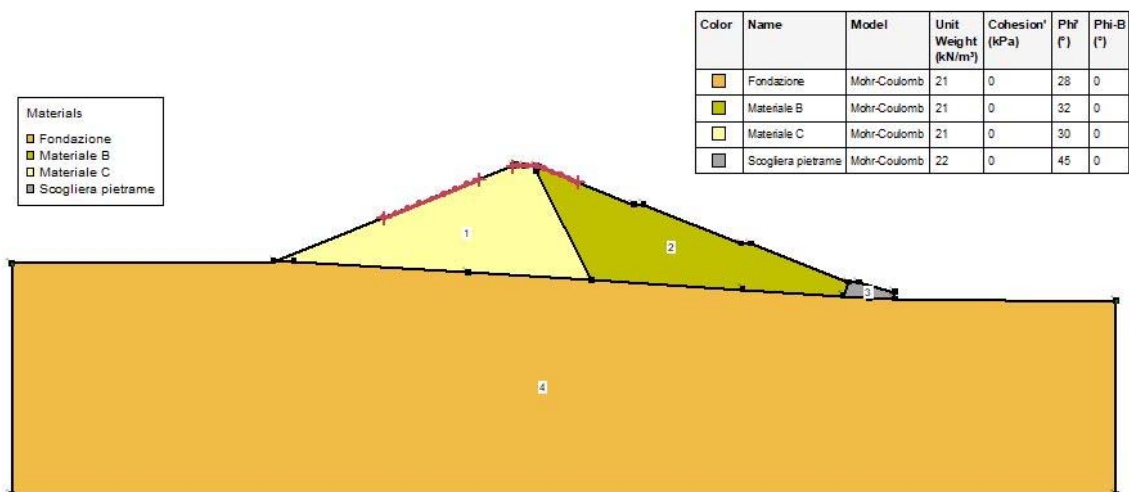


Figura 3 – modello geometrico, materiali e parametri geotecnici serie Geo1

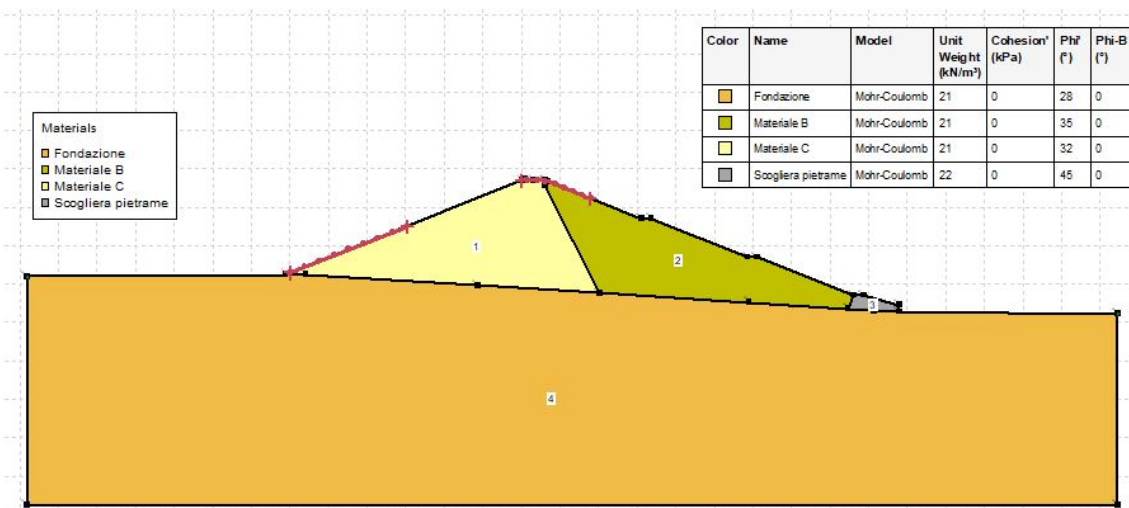


Figura 4 - modello geometrico, materiali e parametri geotecnici serie Geo2

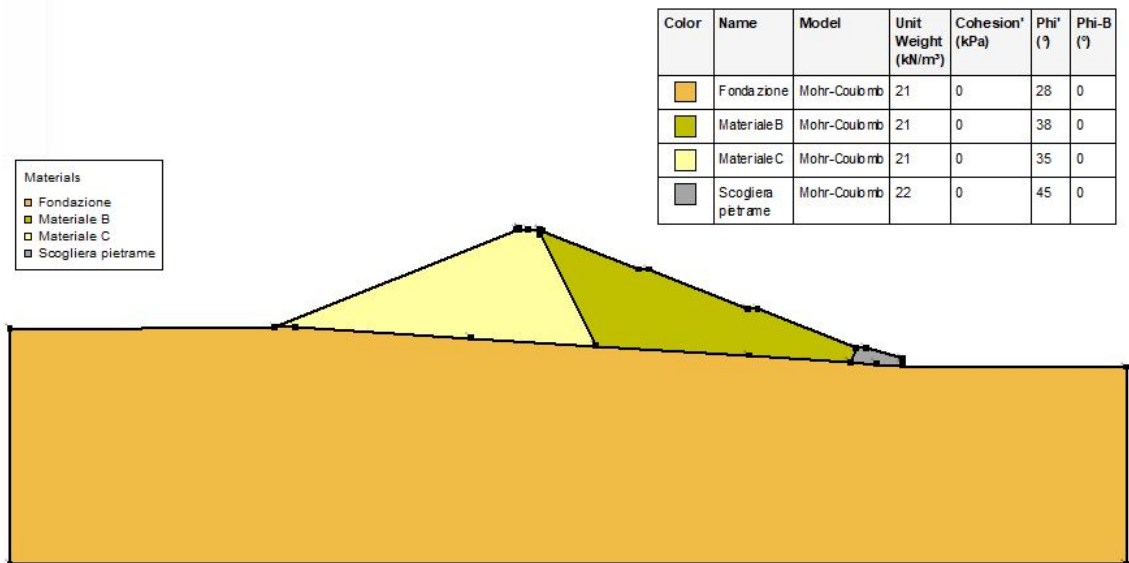


Figura 5 - modello geometrico, materiali e parametri geotecnici serie Geo3

5.3 PRIMA SERIE DI VERIFICHE IN CONDIZIONI STATICHE E SISMICHE

È stata condotta una prima serie di analisi di stabilità globale al fine di verificare la compatibilità della sezione definita per il rilevato con le caratteristiche meccaniche dei materiali. Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche condotte.

5.4 QUADRO RIASSUNTIVO DEI FATTORI DI SICUREZZA

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi dei fattori di sicurezza ottenuti per le diverse ipotesi di progetto inerenti alle condizioni di carico statiche e sismiche ed i parametri di resistenza dei materiali.

| Verifiche | Condizioni statiche | | | Condizioni sismiche | | |
|-----------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|
| | caso a | Caso b | Caso c | caso a | Caso b | Caso c |
| Geo1 | 1,44 | 1,45 | 1,47 | 0,85 | 0,85 | 0,86 |
| Geo2 | 1,56 | 1,57 | 1,60 | 0,92 | 0,92 | 0,93 |
| Geo3 | 1,75 | 1,76 | 1,78 | 1,03 | 1,03 | 1,04 |

Tabella 2 – Quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza calcolati per il paramento di monte

| Verifiche | Condizioni statiche | | | Condizioni sismiche | | |
|-----------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|
| | caso a | Caso b | Caso c | caso a | Caso b | Caso c |
| Geo1 | 1,71 | 1,71 | 1,70 | 0,98 | 0,98 | 0,92 |
| Geo2 | 1,92 | 1,91 | 1,90 | 1,11 | 1,09 | 1,09 |
| Geo3 | 2,03 | 2,09 | 1,95 | 1,17 | 1,23 | 1,24 |

Tabella 3 - Quadro riassuntivo dei fattori di sicurezza calcolati per il paramento di valle

Si osserva la significativa riduzione dei coefficienti di sicurezza passando dalle condizioni statiche alle condizioni sismiche. Si rileva anche in maniera eloquente che fattori di sicurezza maggiori di 1 si ottengono solo con i parametri geotecnici Geo3 per il paramento di monte e con i parametri geotecnici Geo2 e Geo3 per il paramento di valle. D'altro canto, è stato già messo in evidenza che i parametri più realistici per il caso in esame sono quelli Geo1 mentre i parametri delle serie Geo2 e Geo3 sono del tutto incompatibili con le caratteristiche dei materiali disponibili in sito.

5.5 VERIFICHE INTEGRATIVE

Sono state effettuate ulteriori verifiche, sempre utilizzando materiali provenienti dagli scavi, ma utilizzando solo i parametri geotecnici più conservativi e modificando le pendenze dei paramenti della diga.

I tentativi sono stati effettuati con pendenze dei paramenti a 1 su 3, 1 su 3,5 ed 1 su 4. Le verifiche di stabilità con sismica sono state insoddisfacenti, ma il fattore determinante che ha portato a modificare sostanzialmente la struttura della diga è stato il fatto che la dimensione dell'opera con pendenze dei paramenti sicuri non consentiva l'inserimento

del manufatto arginale nella valle ed interferiva con il torrente che ivi scorre (torrente Ficocchia).

5.6 MODIFICA DELLA SEZIONE DELLA DIGA

Si è quindi proceduto a definire una nuova sezione che preveda l'utilizzo combinato di materiali disponibili in loco e di materiali provenienti da cave di roccia calcarea disponibili a distanze di circa 7/10 km dal sito di interesse. Inoltre è stata abbassata la quota di coronamento diminuendo l'importanza del rilevato arginale e aumentando invece la porzione scavata.

Nelle verifiche infatti si è notato che le sponde naturali sono sicure anche in presenza di carichi sismici con pendenze di 1 su 2,5 per effetto di una loro coesione, ammissibile in materiali in sito e non adottabile invece per materiali rimaneggiati, anche se trattati e compattati.

6 SECONDA ED ULTIMA FASE DI ANALISI

6.1 SEZIONE E MATERIALI DELLA DIGA

La nuova sezione della diga prevede l'introduzione nella sezione del rilevato di rinfianchi a monte ed a valle costituiti da tout-venant di cava di calcari compattato con un contenuto d'acqua pari all'ottimo del Proctor, compattati a strati.

Per la parte centrale della diga sono invece stati utilizzati i materiali provenienti dagli scavi, di cui si prevede la selezione per ridurre il contenuto di fini e la compattazione in strati da 20 cm.

Tra la fascia di materiale calcareo e il sottostante materiale fino è previsto un filtro granulare selezionato per evitare la contaminazione del calcare.

Un filtro a tappeto in fondazione assicura il drenaggio del corpo diga.

Il paramento di monte è impermeabilizzato con un manto in conglomerato bituminoso a doppio strato (sandwich) con strato drenante intermedio.

Sono state analizzate differenti spessori del materiale calcareo, fino a giungere per tentativi successivi a risultati soddisfacenti per uno spessore complessivo del pacchetto fascia calcarea e filtri di 10 metri.

SEZIONE MAESTRA - MATERIALI

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------------|--|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Yellow | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
| Light Green | Nucleo Flysh rimaneggiato e compattato | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 30 | 0 |
| Brown | Rinfianchi tout-venant calcareo | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 42 | 0 |

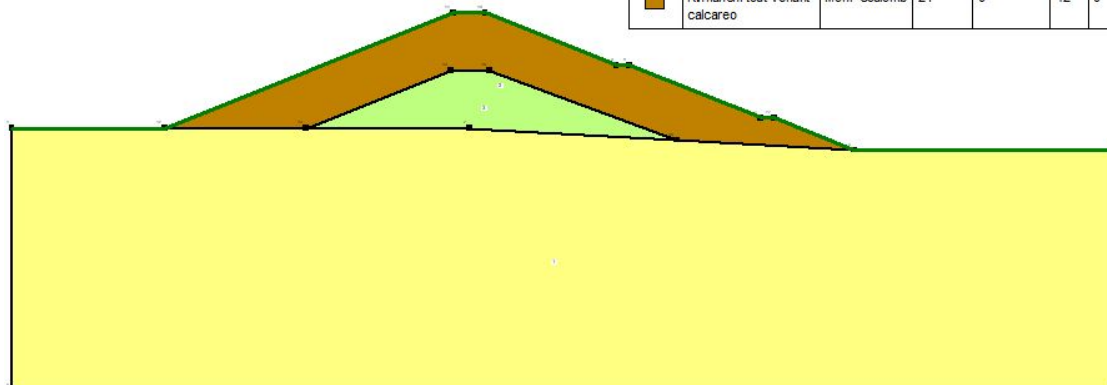


Figura 6.1

6.2 ANALISI EFFETTUATE

Le analisi sono state effettuate sulla sezione maestra della diga, sul pendio naturale che costituisce parte delle sponde del bacino, su una sezione mista costituita dalla diga nella porzione superiore e dal pendio naturale nella porzione inferiore.

In tutte le sezioni il paramento di monte è impermeabilizzato con un manto bituminoso validamente drenato, il che consente di non analizzare l'analisi a svasso rapido ed a serbatoio pieno.

Il paramento di valle è stato analizzato solo per la sezione maestra.

Le analisi sono state effettuate in condizioni statiche e sismiche.

6.3 PENDIO NATURALE

La sezione ed i parametri utilizzati per le verifiche di stabilità sono riportati nella seguente figura 6.2.

Pendio naturale e parametri geotecnici

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Yellow | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 20 | 28 | 0 |

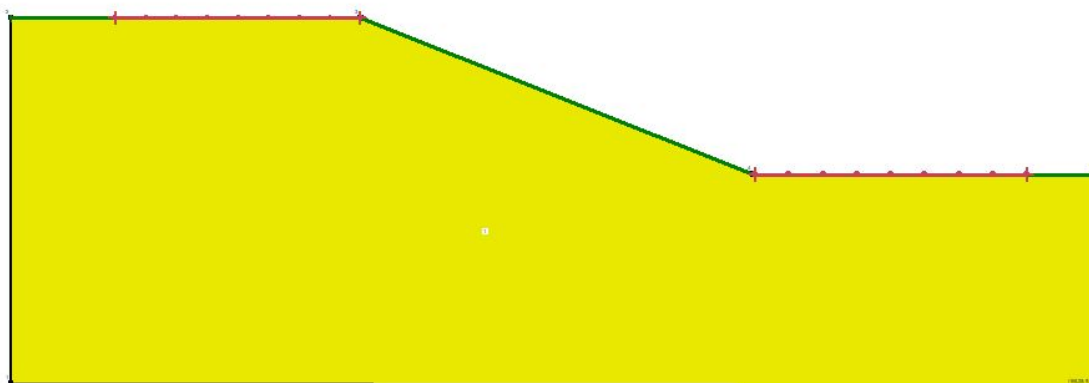


Figura 6.2

6.4 SEZIONE MISTA DIGA-PENDIO

La sezione ed i parametri utilizzati per le verifiche di stabilità sono riportati nella seguente figura 6.3.

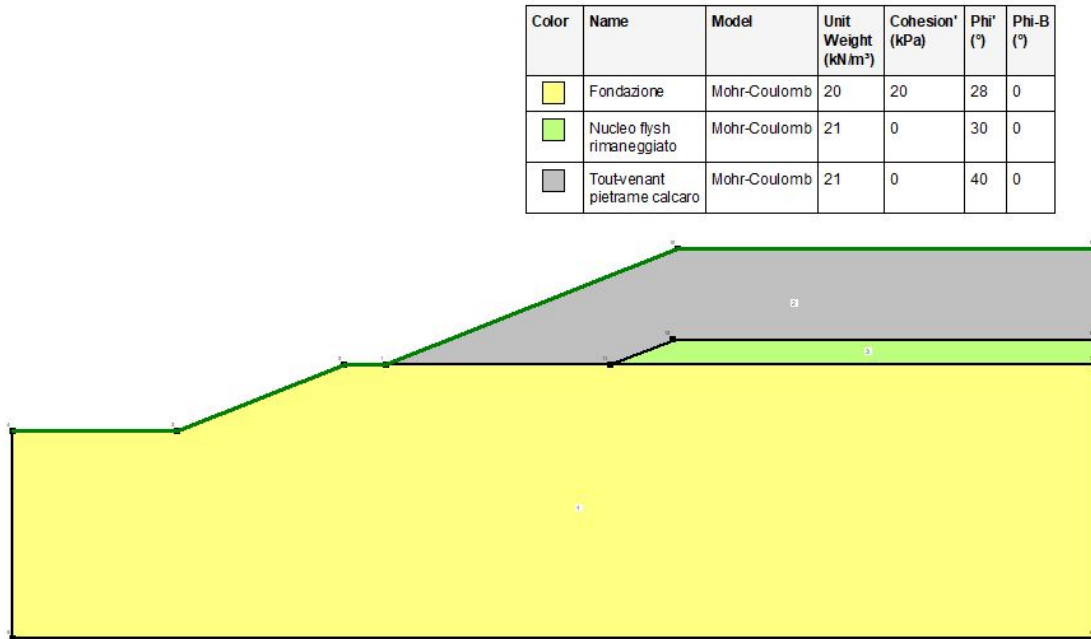


Figura 6.3

6.5 QUADRO RIASSUNTIVO

6.5.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Con riferimento ai risultati delle diverse analisi effettuate si evidenzia quanto segue:

- Per la sezione maestra della diga le verifiche sono state condotte solo per le condizioni sismiche con i parametri geotecnici di riferimento e verosimili per i materiali di interesse. Sono stati oggetto di analisi sia il paramento di valle che quello di monte. Su ciascun paramento sono state indagate tre diverse zone della struttura:
 - caso a – superfici di scorrimento che interessano il rilevato e i terreni di fondazione;
 - caso b – superfici di scorrimento che interessano il rilevato fino al piede;
 - caso c – superfici che interessano la sola parte superiore del rilevato.
- Per il pendio naturale le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che di sisma. Sono state considerate due serie di parametri geotecnici identificate come Geo1 e Geo2. I parametri Geo2 differiscono dalla serie Geo1 in quanto è stata annullata la coesione. I risultati hanno messo in evidenza che anche una coesione minima contribuisce in modo significativo alla stabilità in condizioni sismiche. L'esistenza di tale coesione minima è ammissibile.
- La sezione mista diga-pendio è stata analizzata sia in condizioni statiche che in presenza di sisma con i parametri di riferimento verosimili per i materiali in esame e con due situazioni:

- caso a – superfici che si estendono interessando il fondo dello scavo e
- caso b – superfici che si estendono fino alla mezzzeria della scarpata.

6.5.2 SEZIONE MAESTRA, PARAMENTO DI MONTE

La seguente tabella sintetizza i risultati ottenuti.

| Verifiche | Condizioni sismiche | | |
|--------------------|---------------------|--------|--------|
| | caso a | caso b | caso c |
| Paramento di monte | 1,10 | 1,12 | 1,32 |

6.5.3 SEZIONE MAESTRA, PARAMENTO DI VALLE

La seguente tabella sintetizza i risultati ottenuti.

| Verifiche | Condizioni sismiche | | |
|--------------------|---------------------|--------|--------|
| | caso a | caso b | caso c |
| Paramento di valle | 1,08 | 1,10 | 1,32 |

6.5.4 SEZIONE IN PENDIO NATURALE

La seguente tabella sintetizza i risultati ottenuti.

| Verifiche | Condizioni statiche | Condizioni di sisma |
|----------------|---------------------|---------------------|
| Parametri Geo1 | 2,04 | 1,25 |
| Parametri Geo2 | 1,41 | 0,84 |

6.5.5 SEZIONE MISTA, PARAMENTO DI MONTE

La seguente tabella sintetizza i risultati ottenuti.

| Verifiche | Condizioni statiche | Condizioni di sisma |
|-----------|---------------------|---------------------|
| Caso a | 1,82 | 1,35 |
| Caso b | 2,00 | 1,23 |

7 CONCLUSIONI

I risultati della analisi di stabilità hanno chiaramente messo in evidenza che l'ipotesi iniziale di realizzare una diga con esclusivamente materiali provenienti da scavi non è praticabile a causa delle sollecitazioni sismiche particolarmente gravose nel sito di interesse.

Una soluzione soddisfacente è stata individuata abbassando l'altezza della diga e costituendone i rin fianchi con materiale calcareo proveniente da cave di cui si è verificata l'esistenza nelle vicinanze.

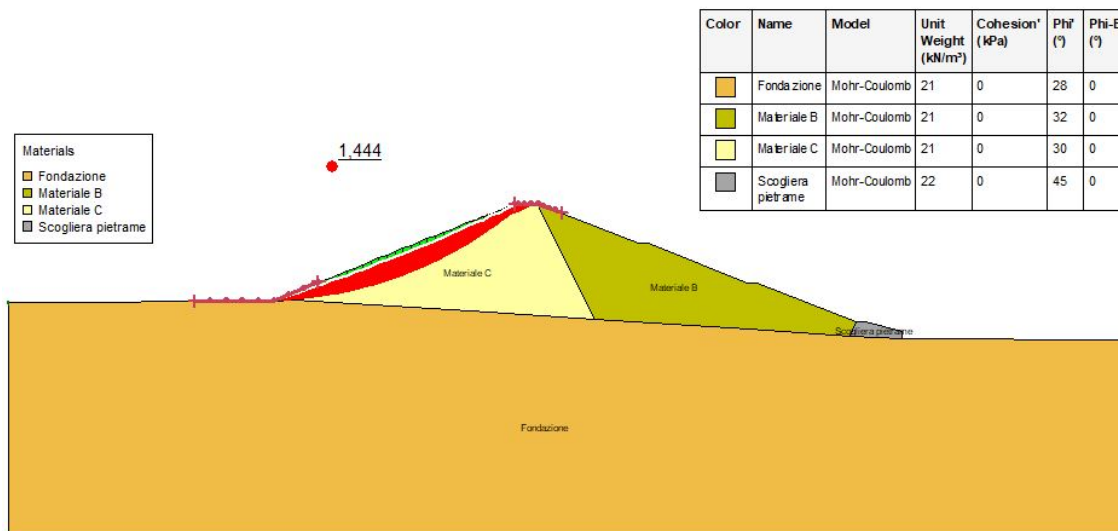
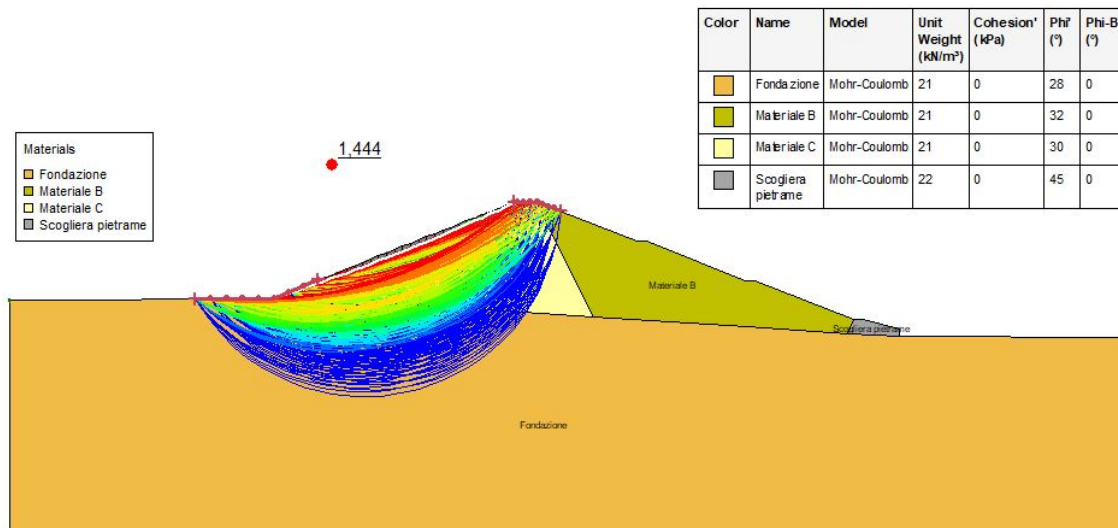
Le analisi effettuate vanno considerate come un ragionevole predimensionamento. Verifiche accurate vanno eseguite con base su dati oggettivi ricavati da una idonea campagna di indagini in sito ed in laboratorio. La sezione della diga e la conformazione del bacino di valle dell'impianto saranno ottimizzati durante il progetto definitivo. Queste analisi saranno anche di tipo dinamico.

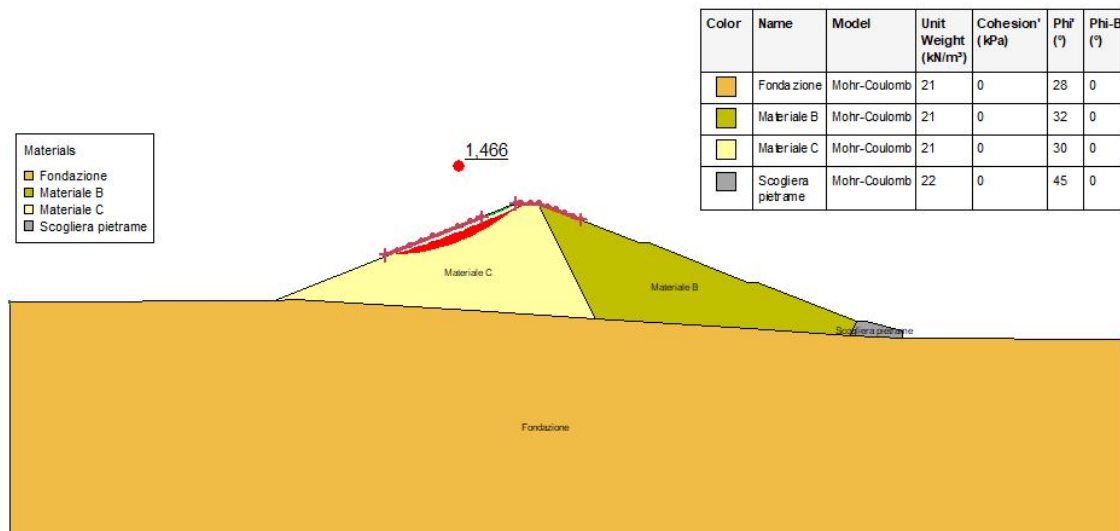
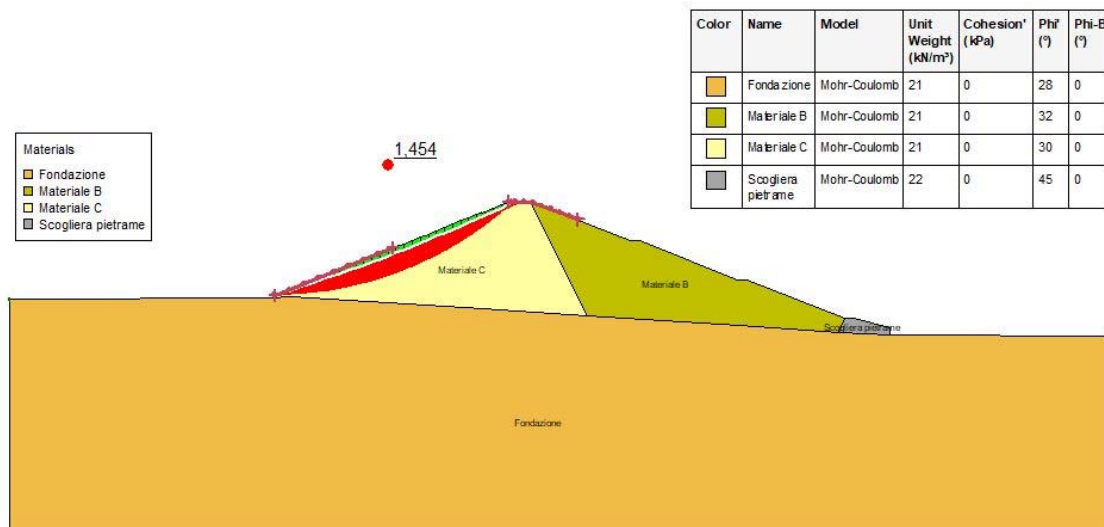
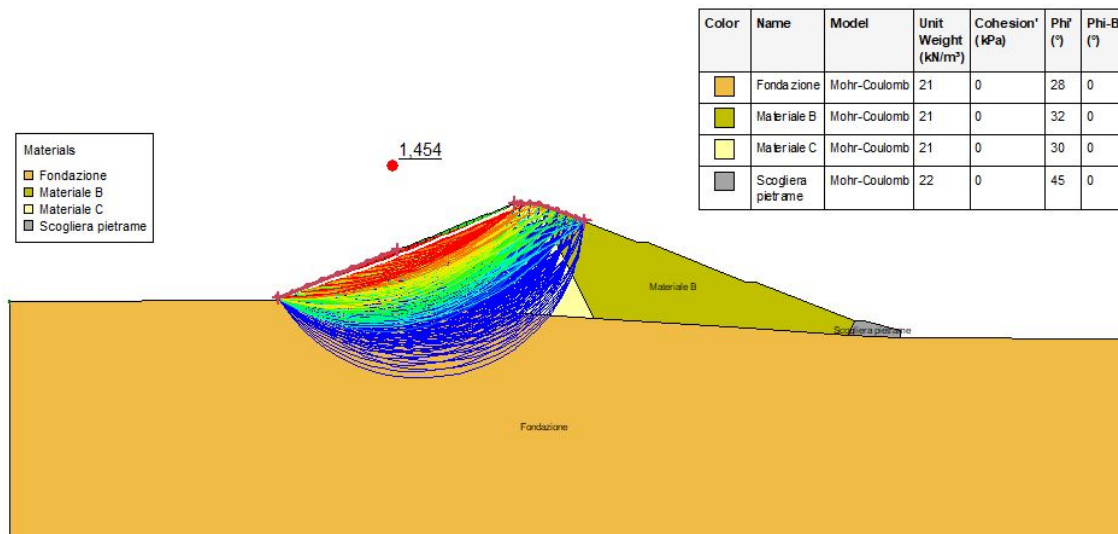
8 ALLEGATI

8.1 PRIMA FASE DI ANALISI

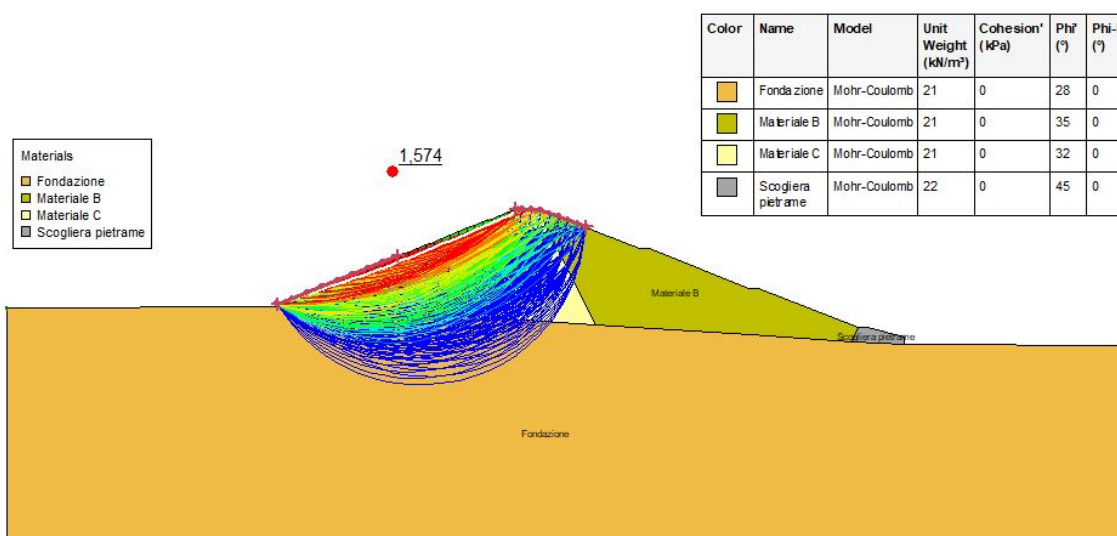
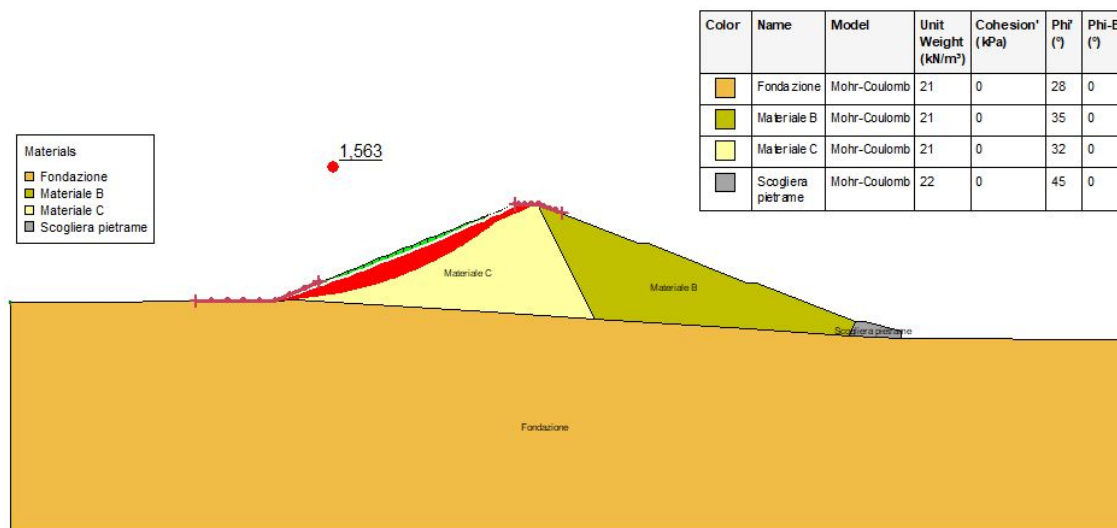
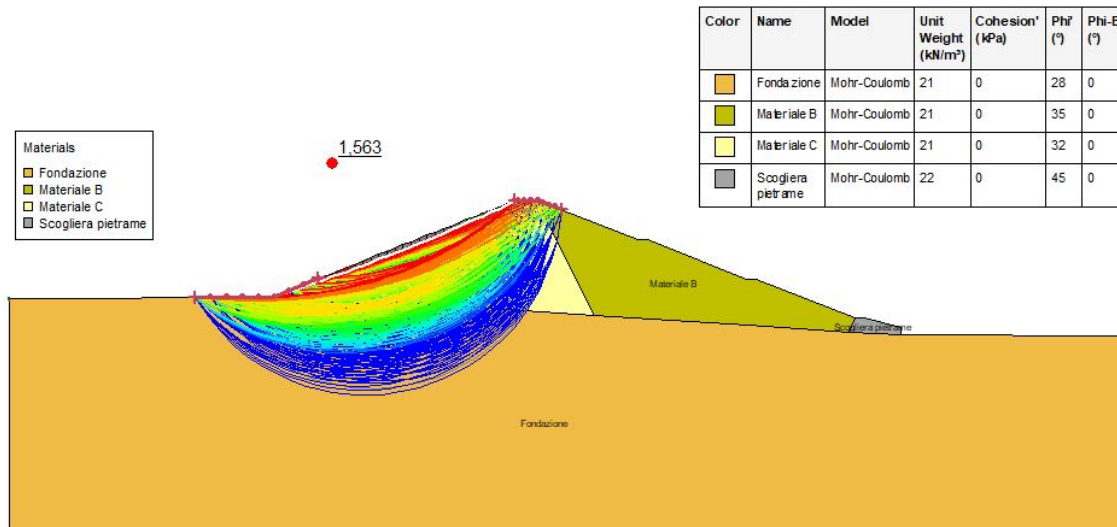
Verifiche in condizioni statiche paramento di monte

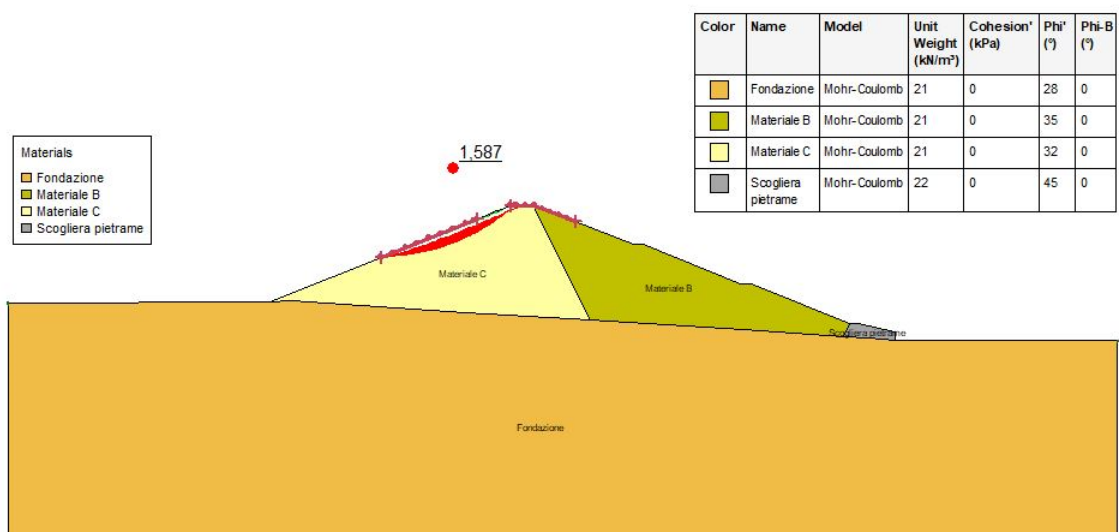
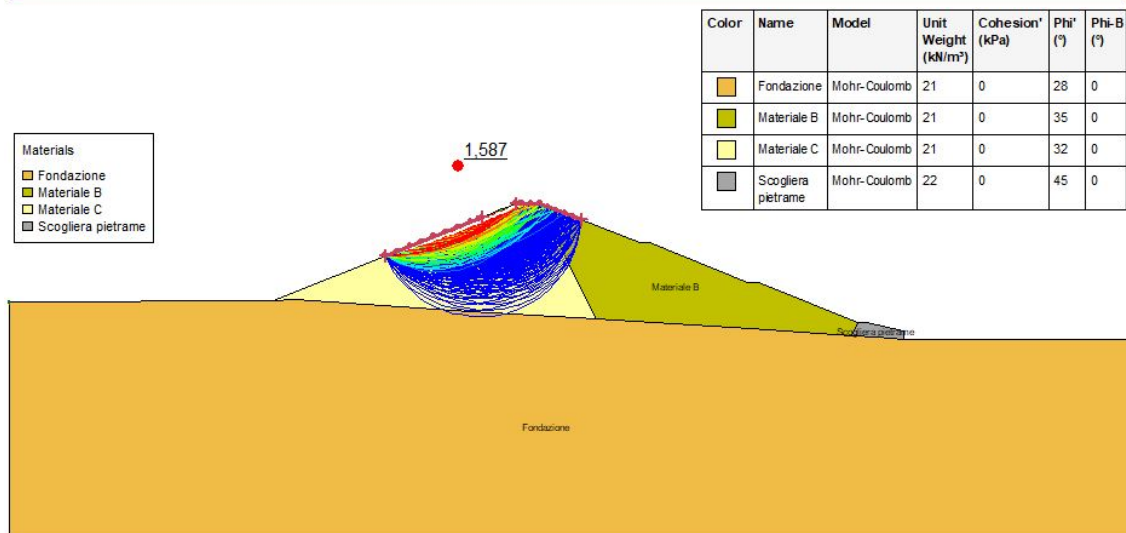
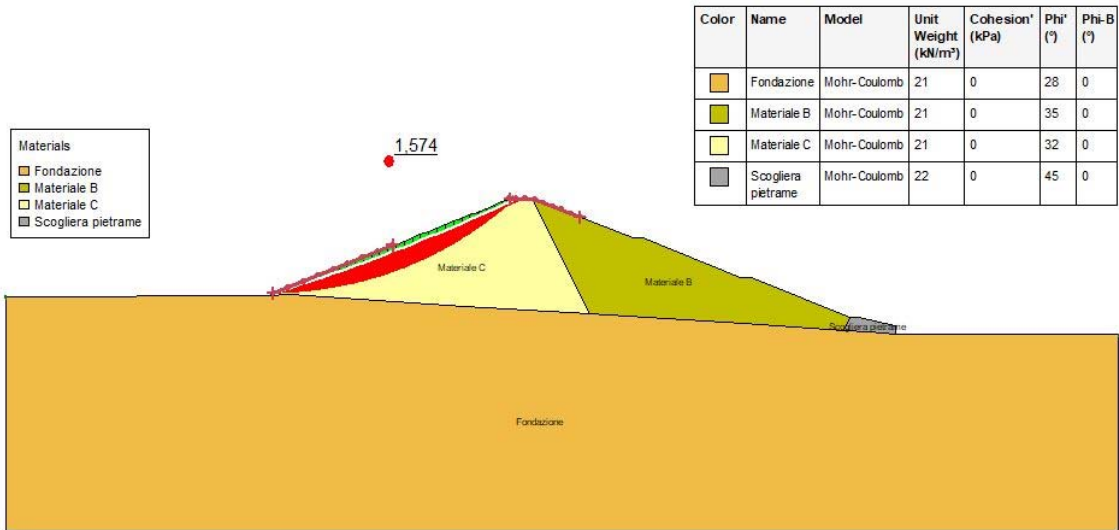
Parametri geotecnici Geo1



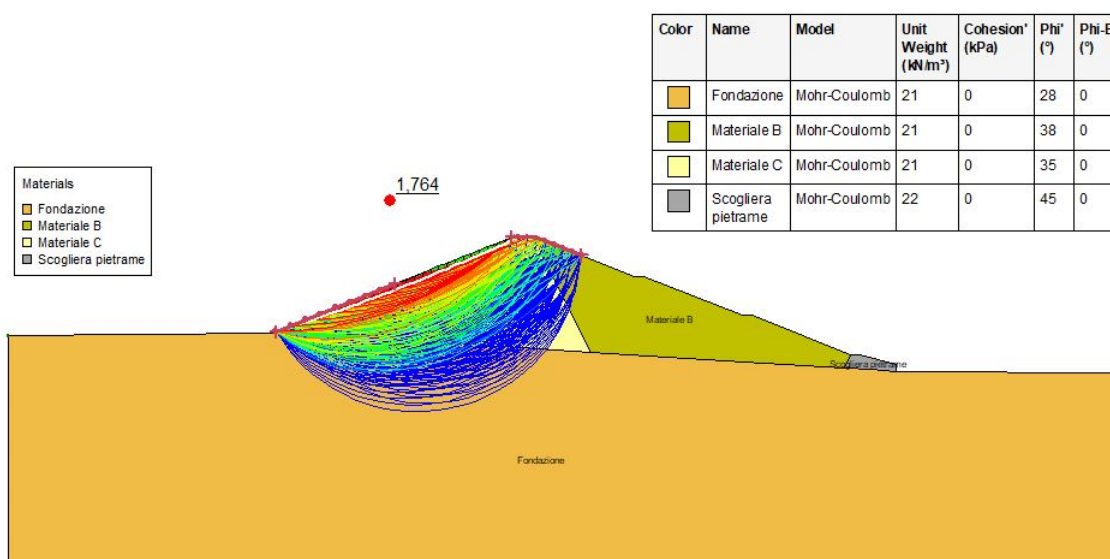
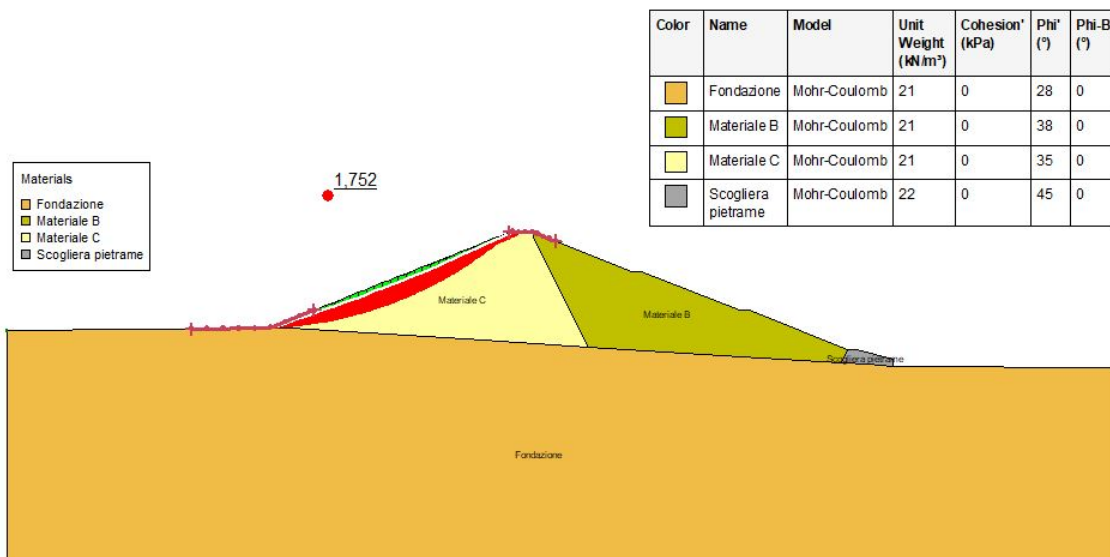
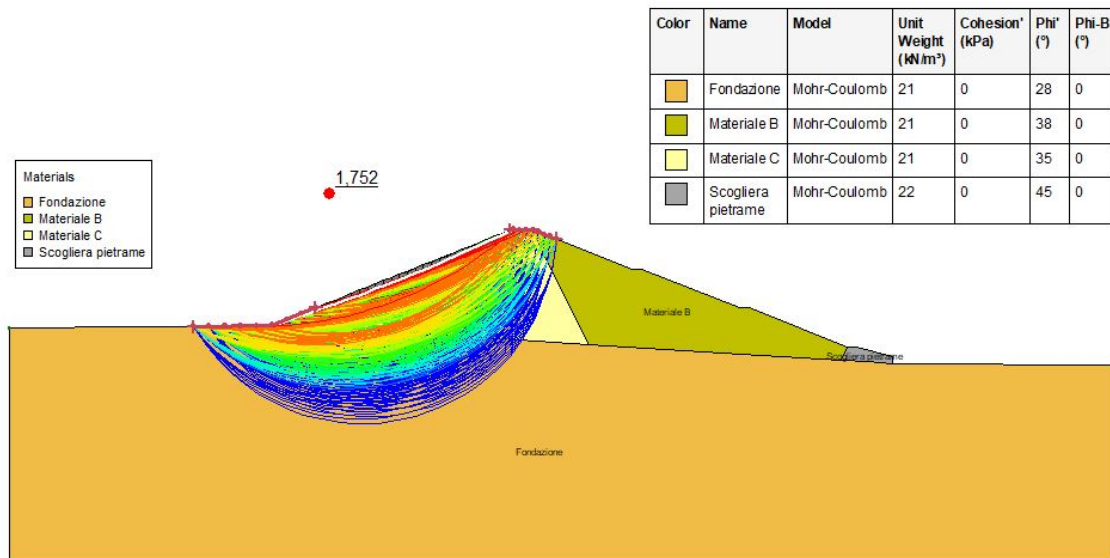


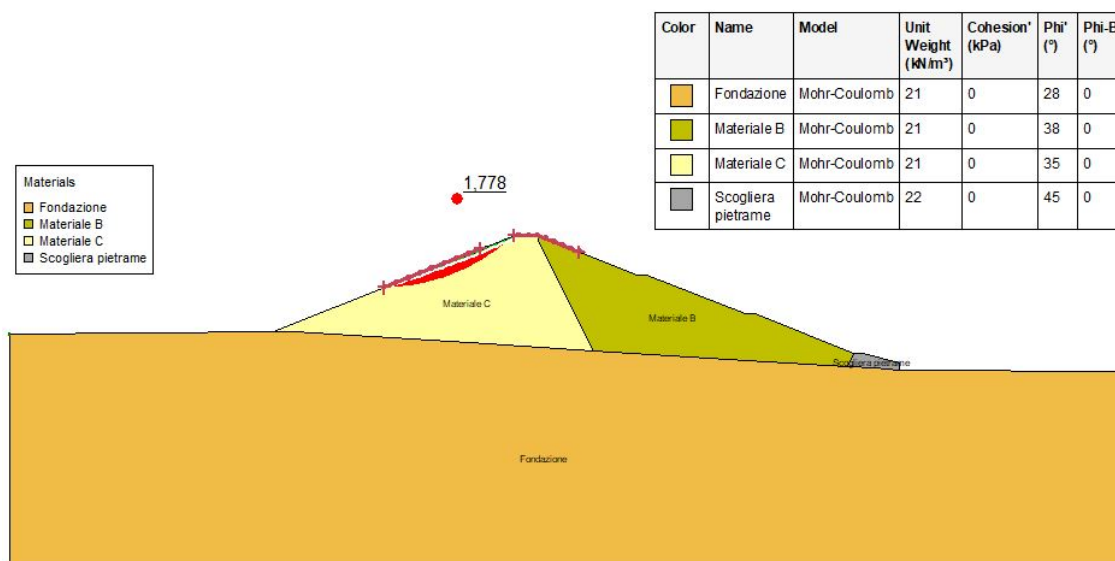
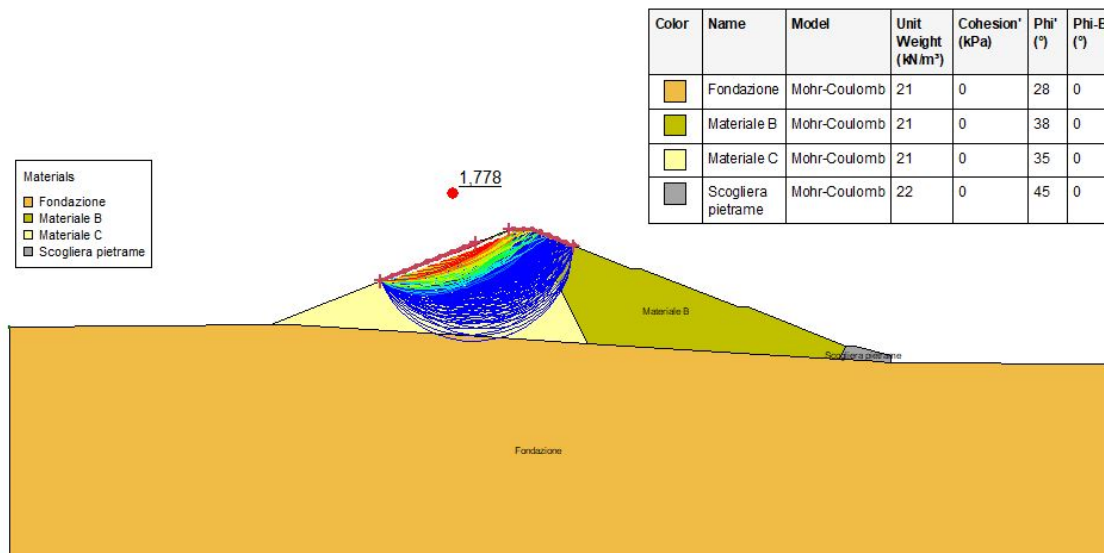
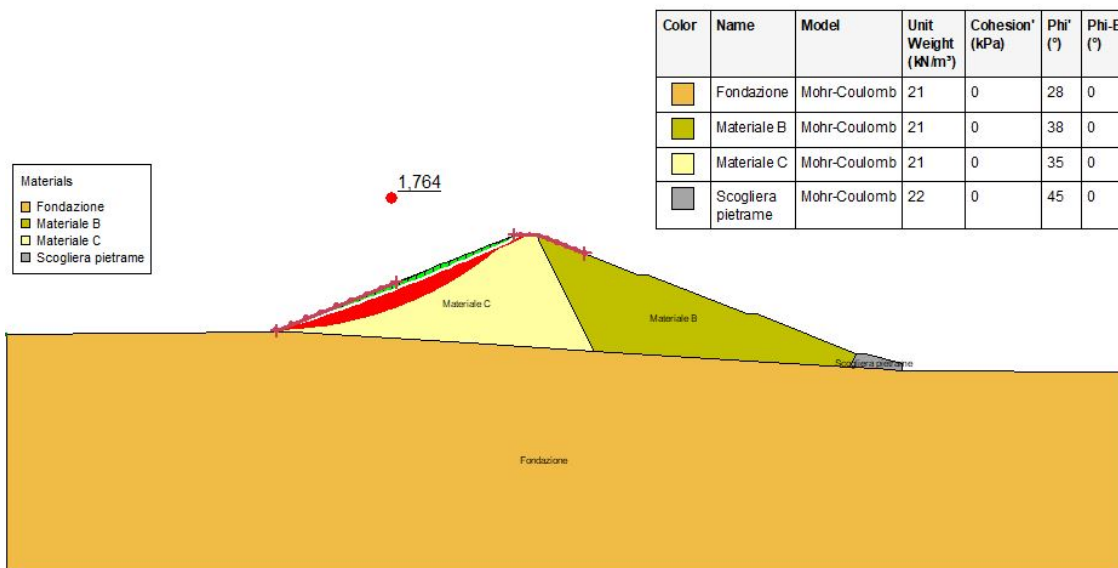
Ipotesi parametri geotecnici Geo2





Ipotesi parametri geotecnici Geo3

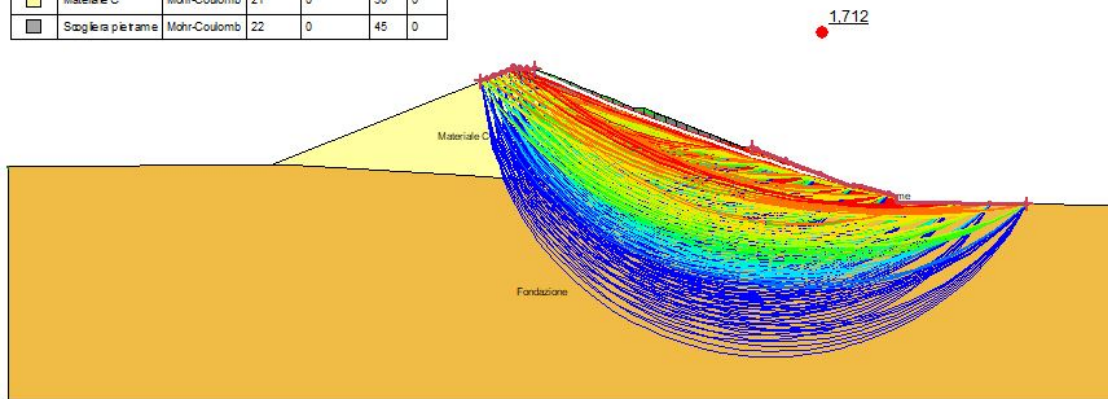




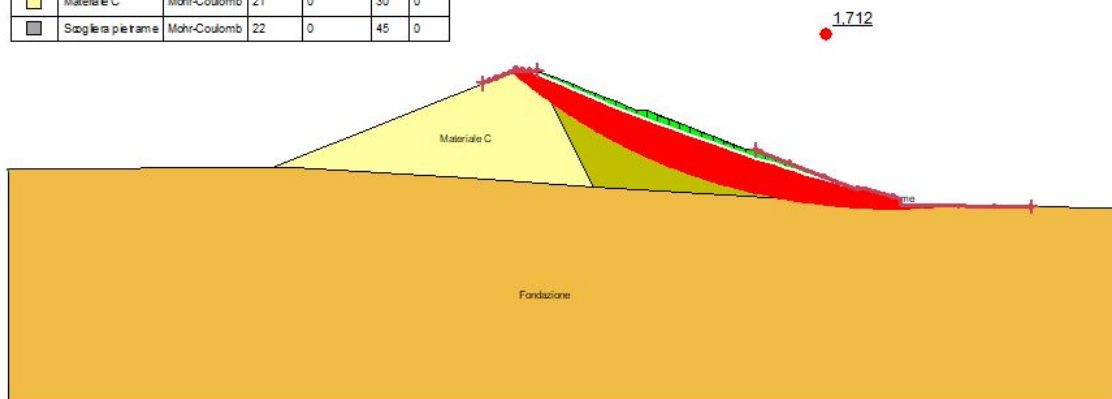
Verifiche in condizioni statiche paramento di valle

Parametri geotecnici Geo1

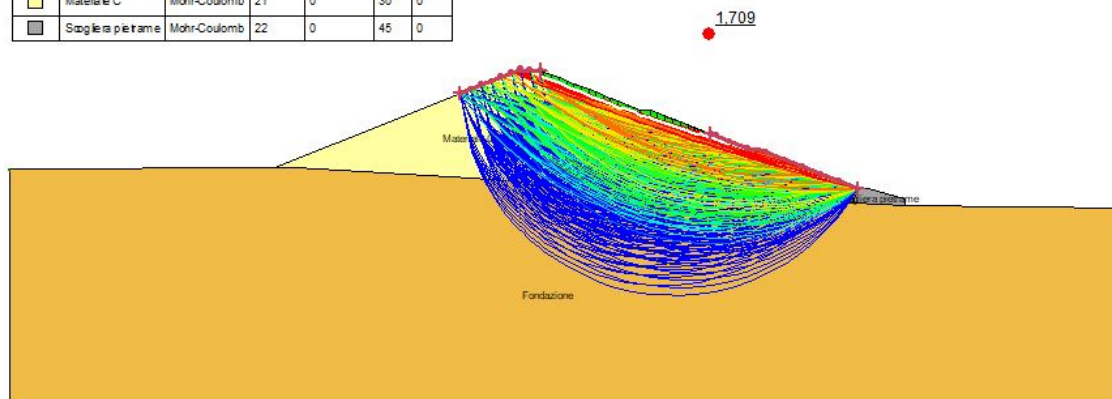
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|-------------------|--------------|----------------------------------|----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Saglie a pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



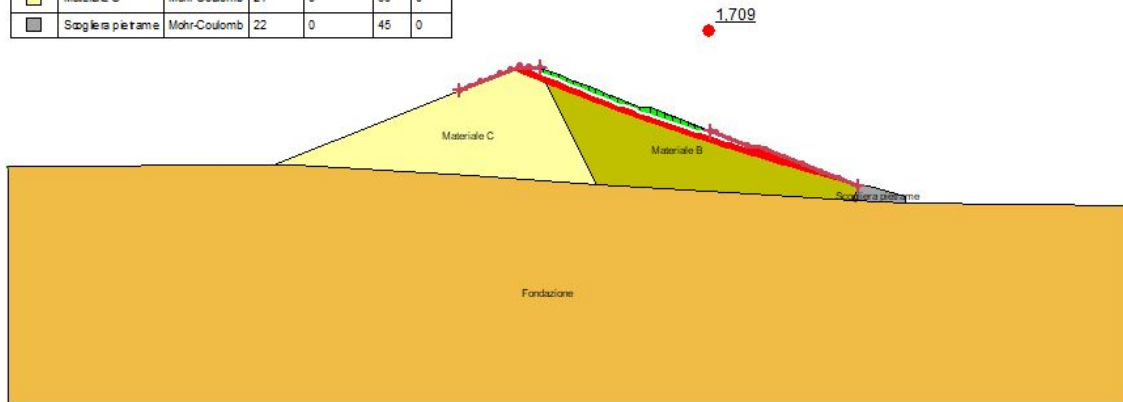
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|-------------------|--------------|----------------------------------|----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Saglie a pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



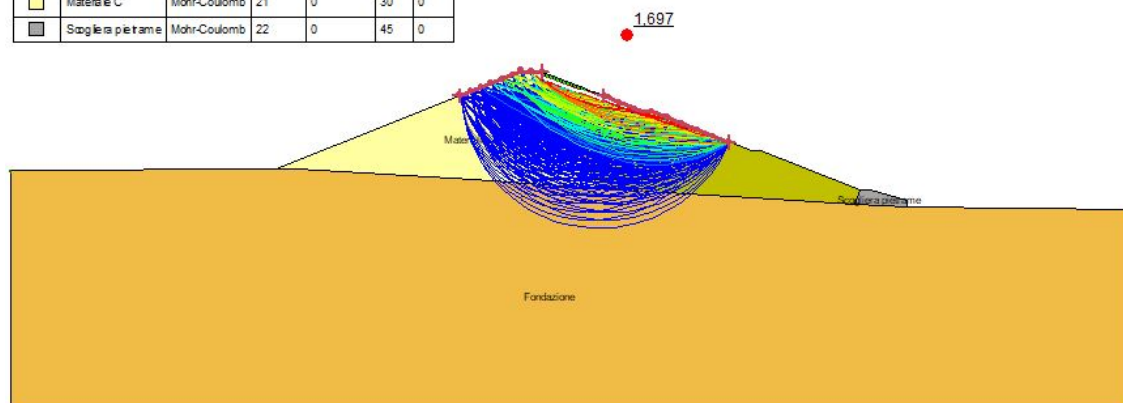
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|-------------------|--------------|----------------------------------|----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Saglie a pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



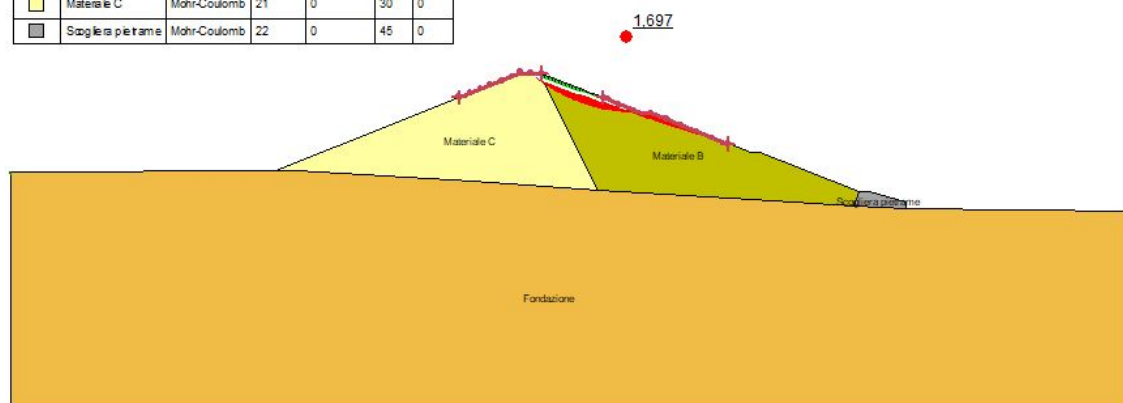
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|---------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Saglie in pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |







| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|---------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Saglie in pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

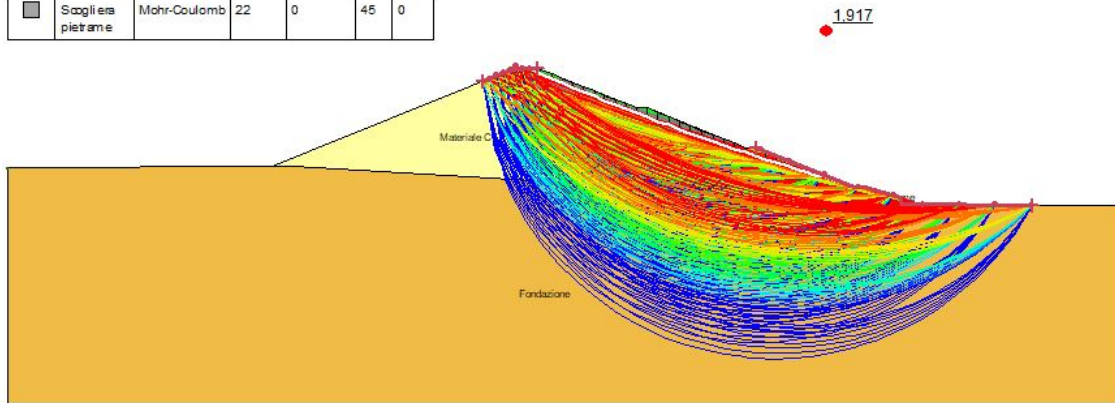






| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|---------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Saglie in pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

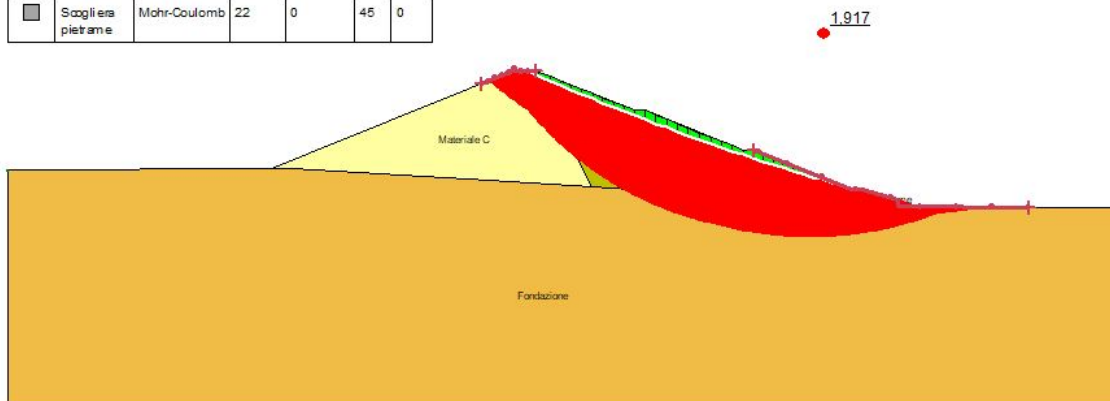






Parametri geotecnici Geo2

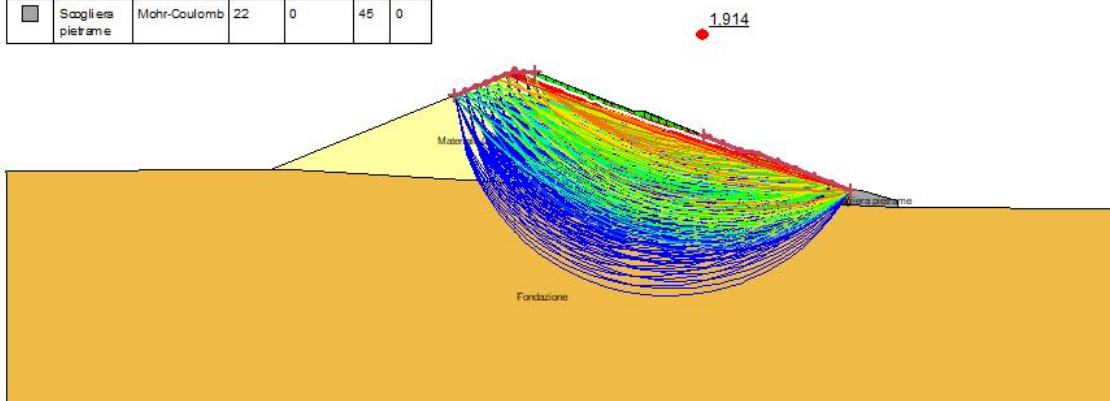
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



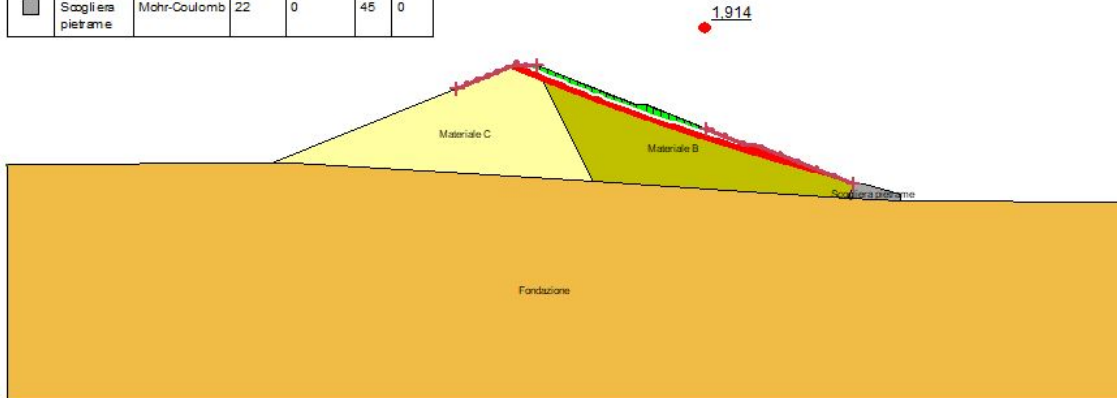
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



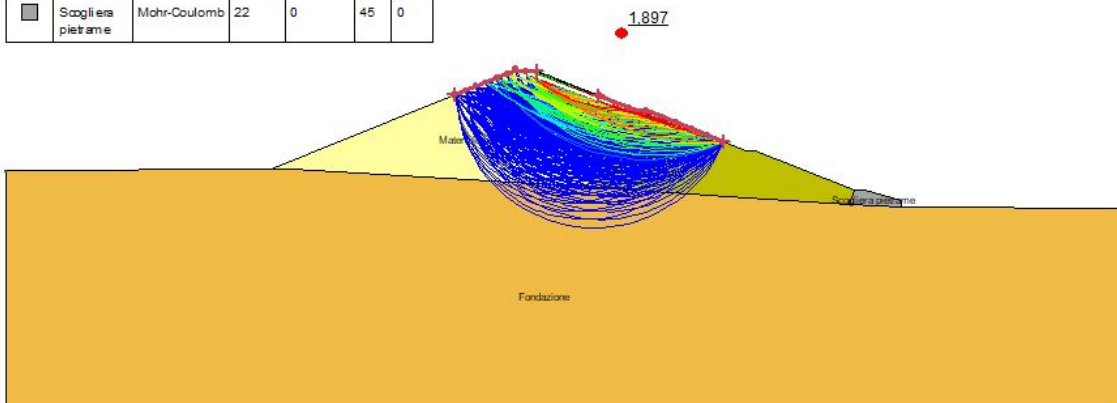
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



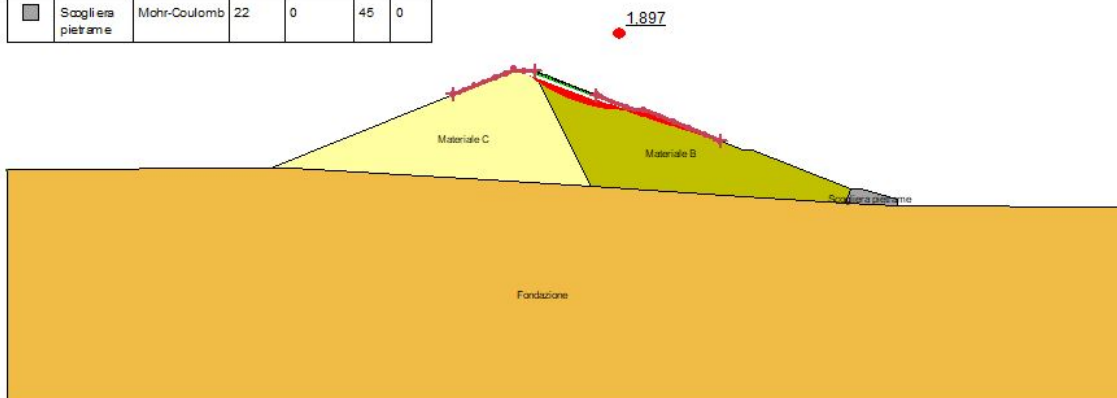
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Grey | Sogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Grey | Sogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

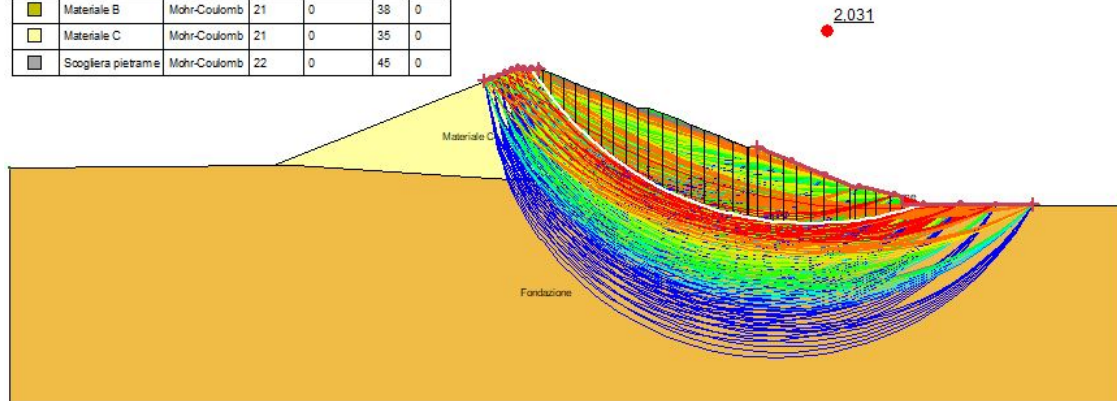


| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Grey | Sogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

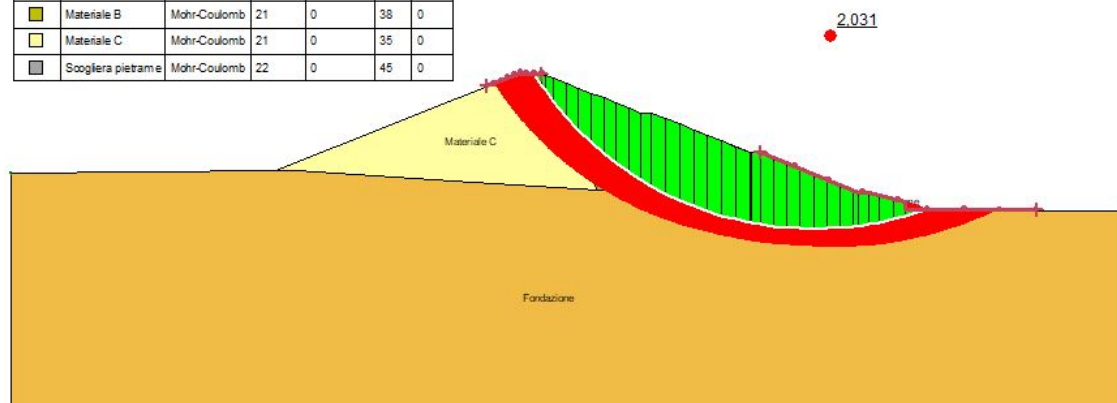


Parametri geotecnici Geo3

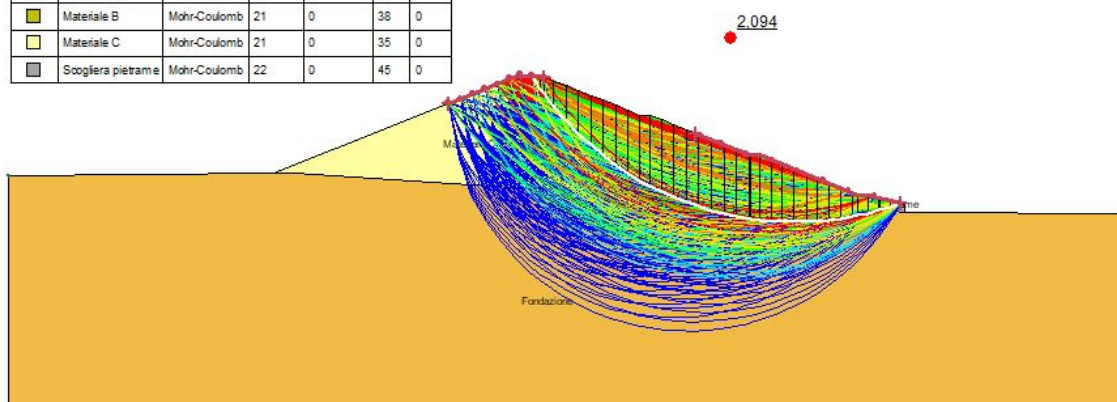
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|-------------------|--------------|----------------------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Sooglera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



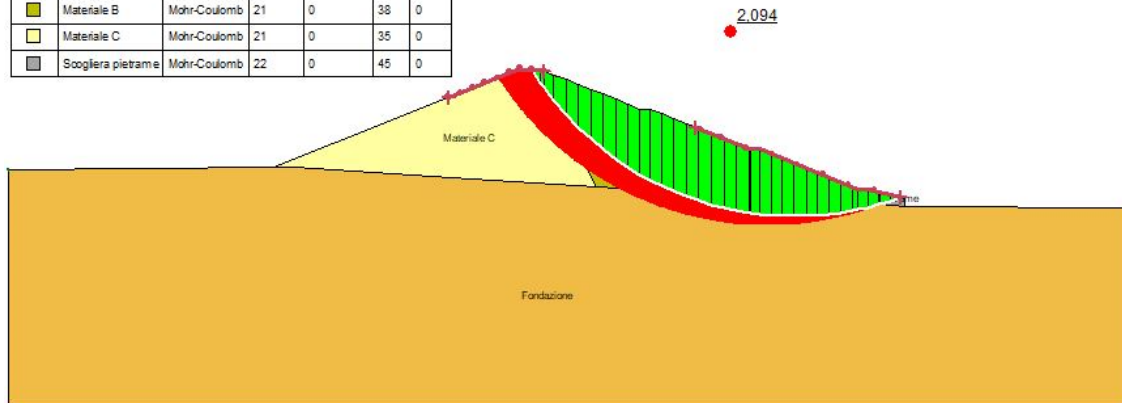
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|-------------------|--------------|----------------------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Sooglera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



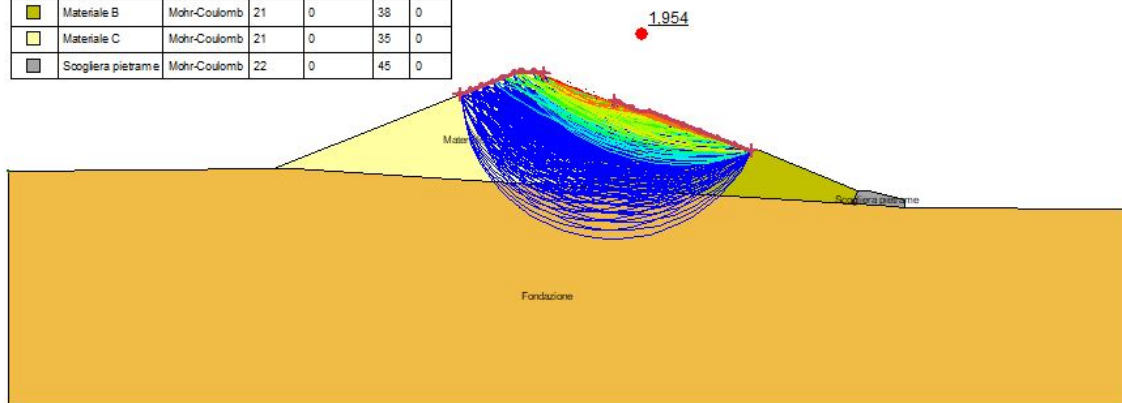
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|-------------------|--------------|----------------------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Sooglera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



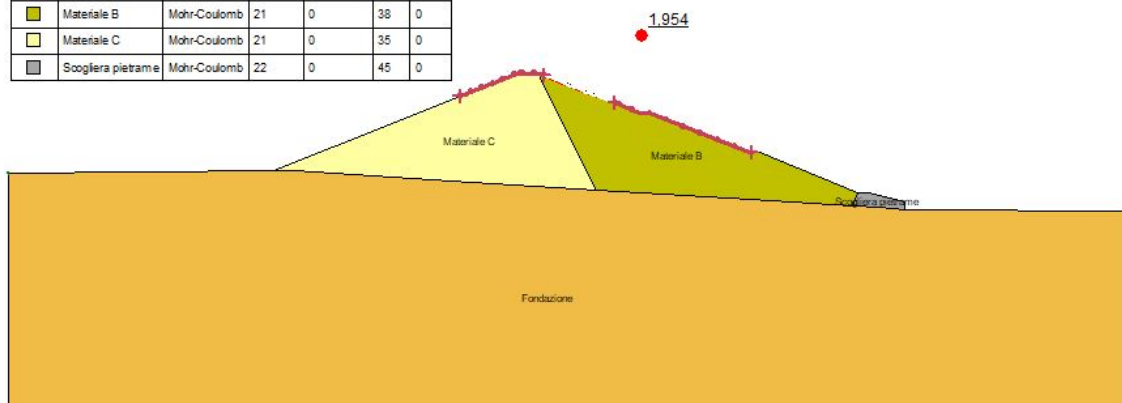
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion* (kPa) | Phi* (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion* (kPa) | Phi* (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

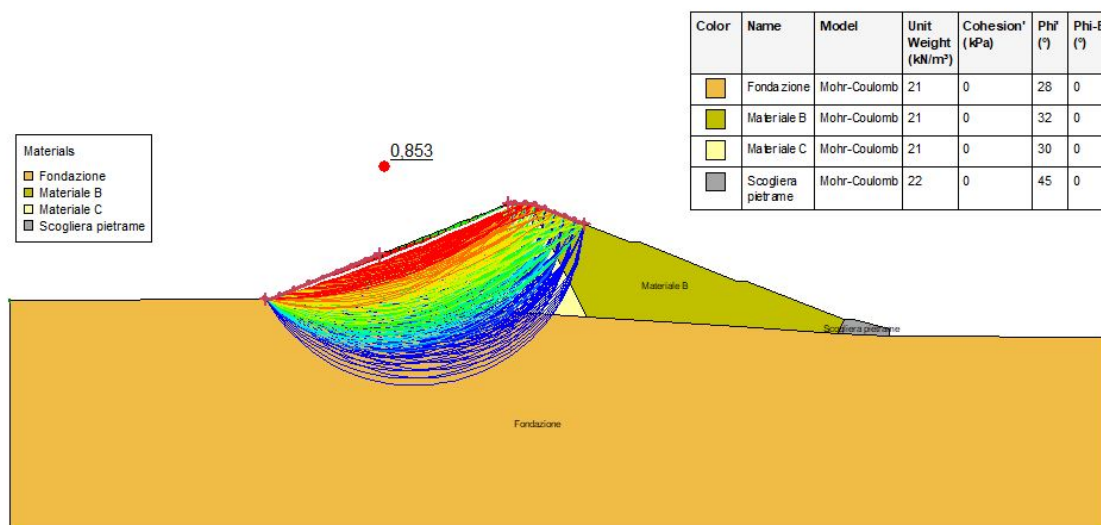
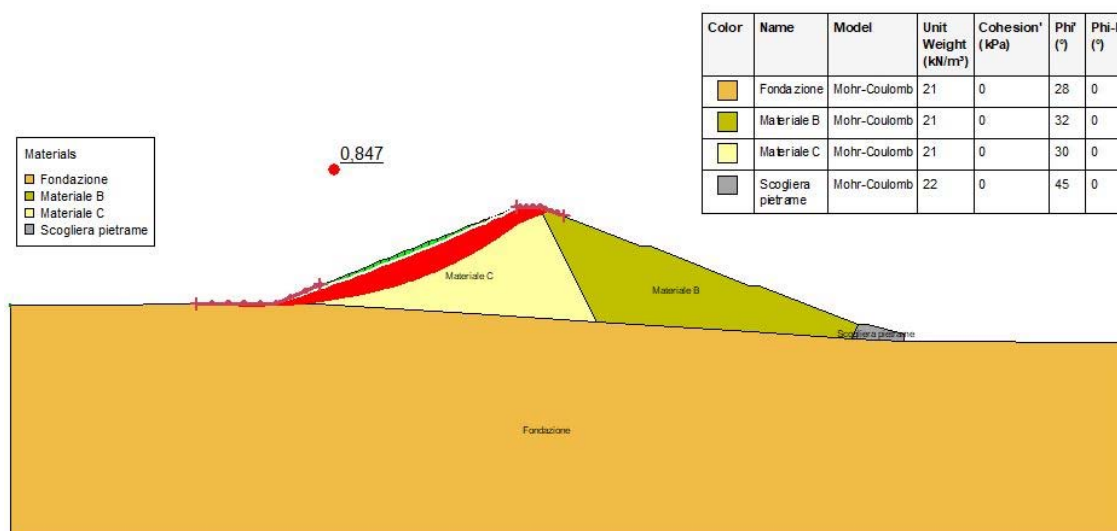
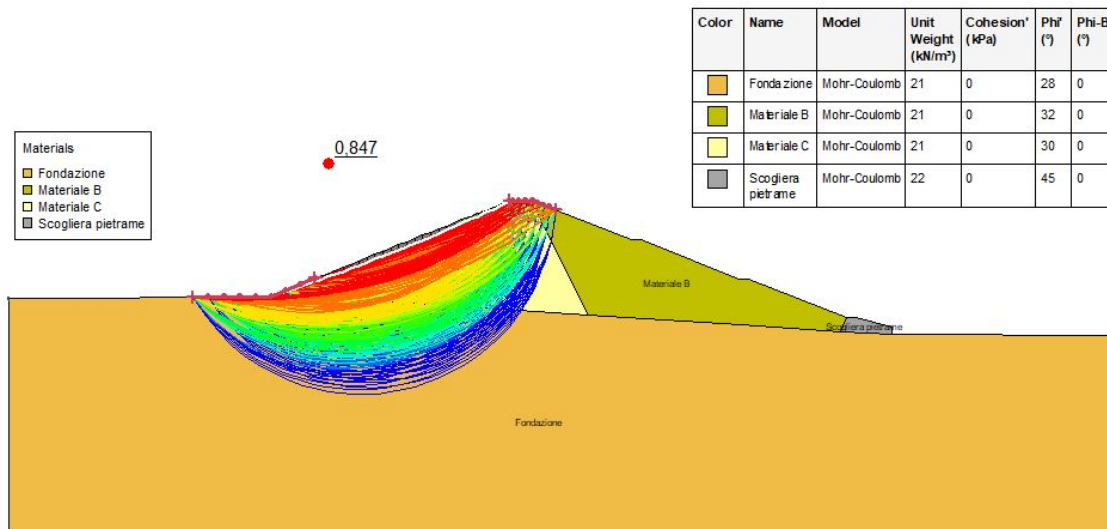


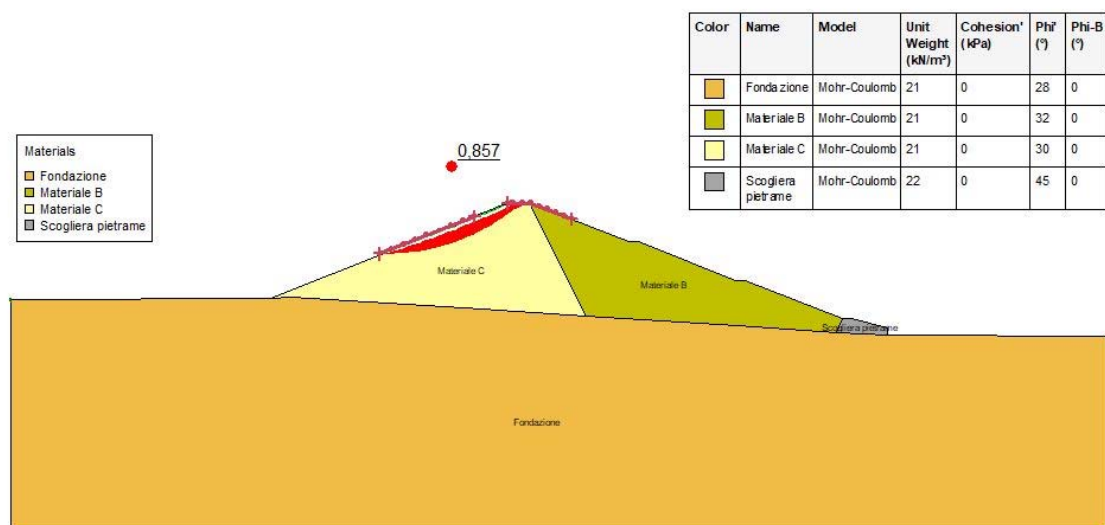
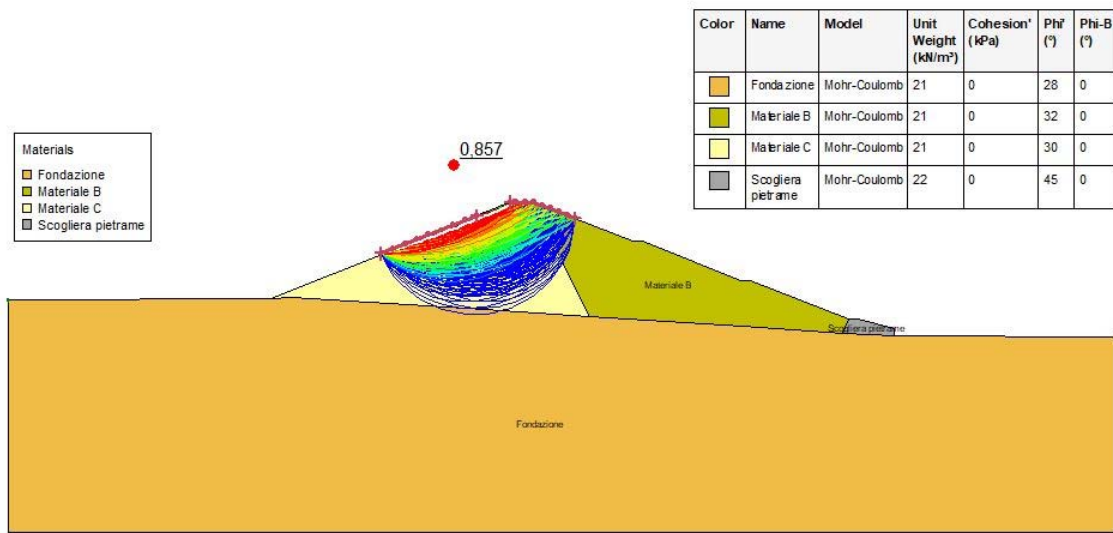
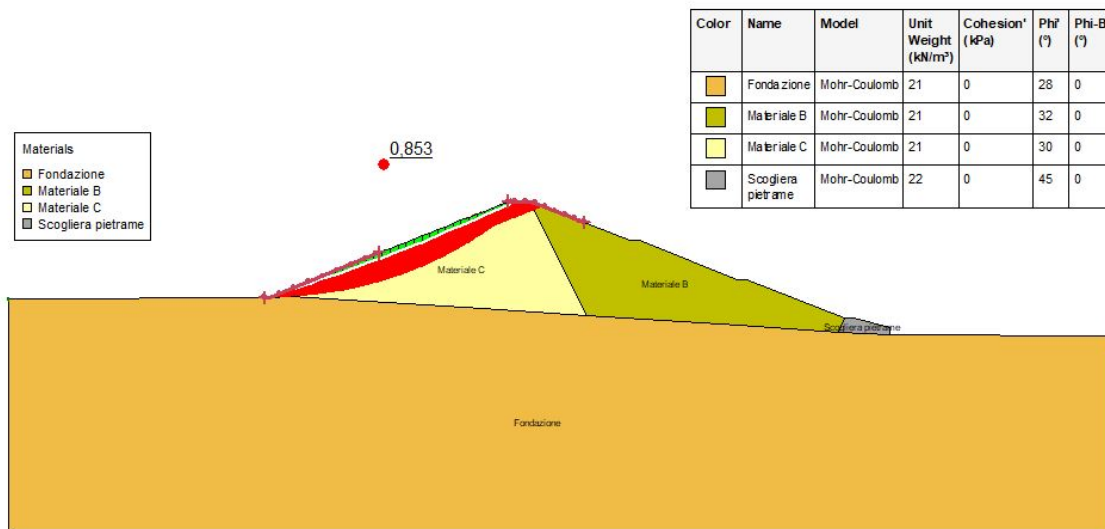
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion* (kPa) | Phi* (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



Verifiche in condizioni sismiche paramento di monte

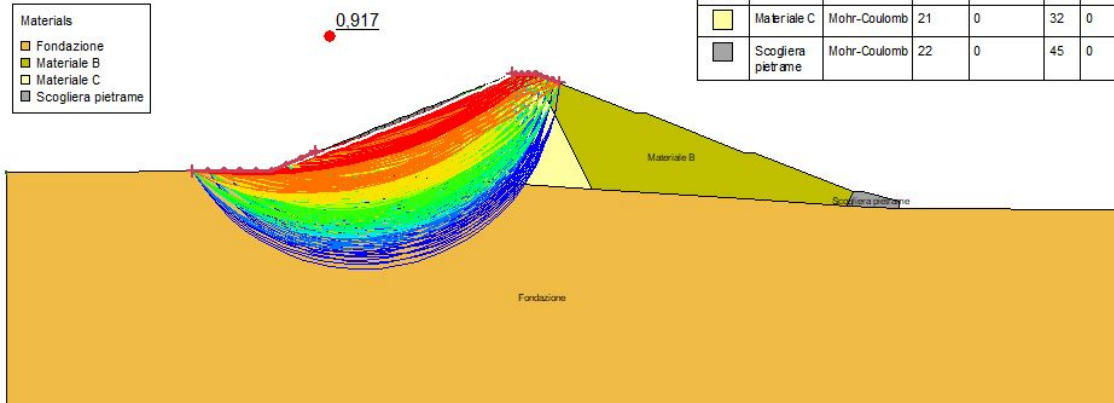
Parametri geotecnici Geo1



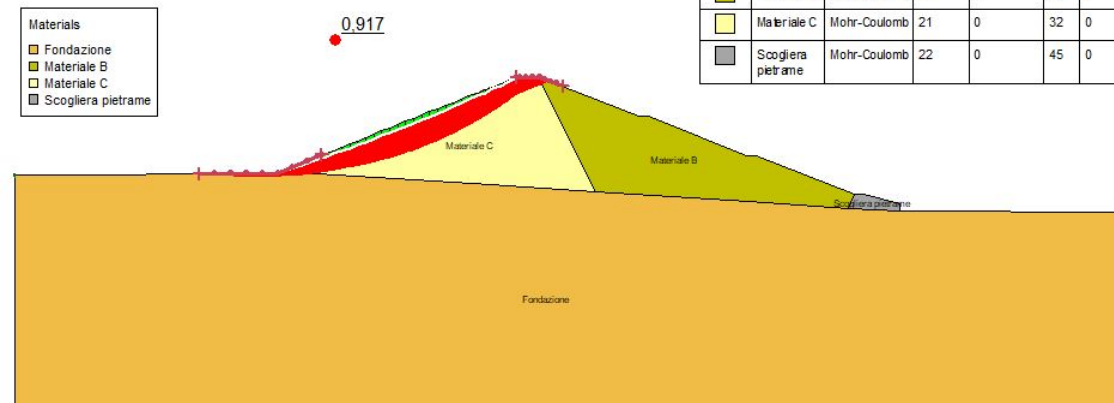


Parametri geotecnici Geo2

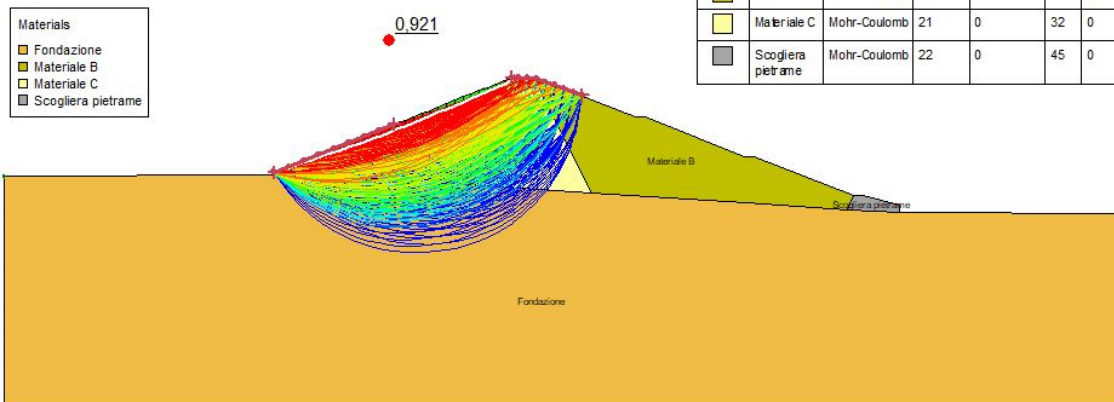
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Grey | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

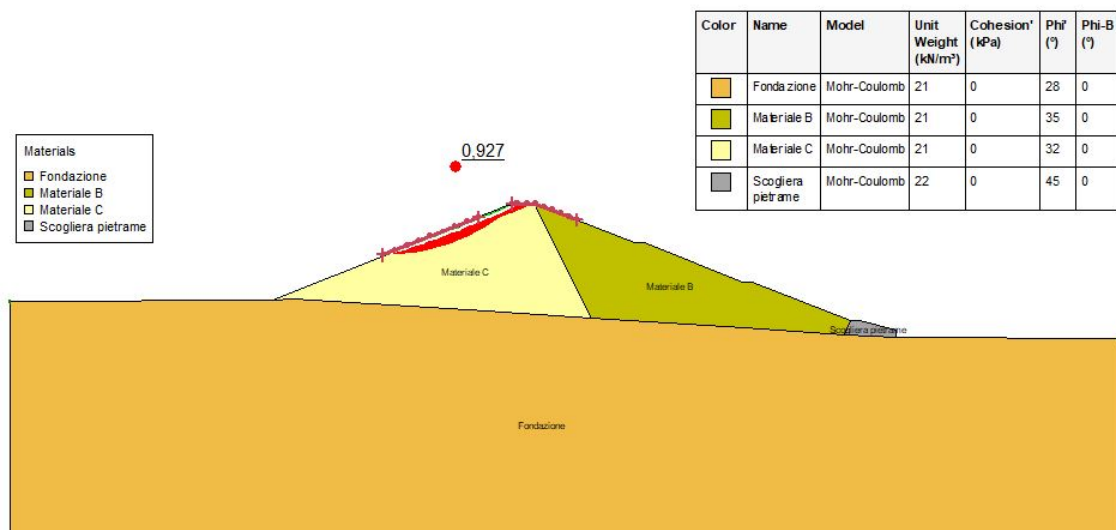
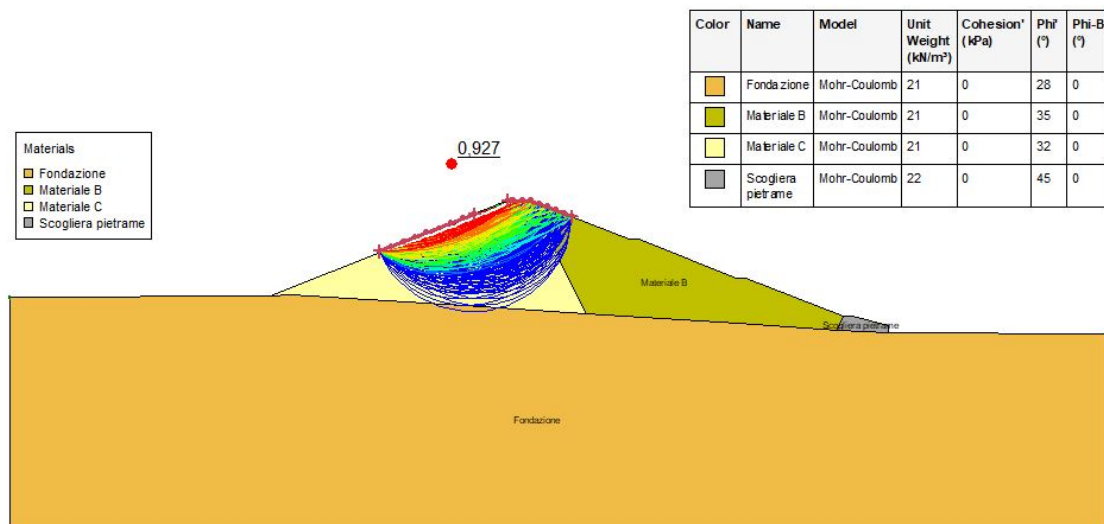
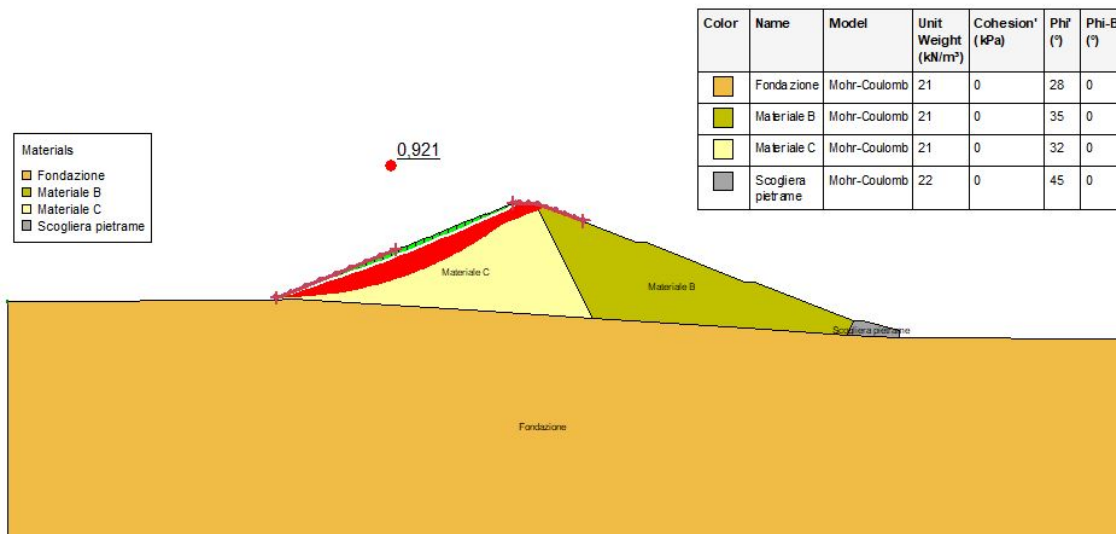


| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Grey | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



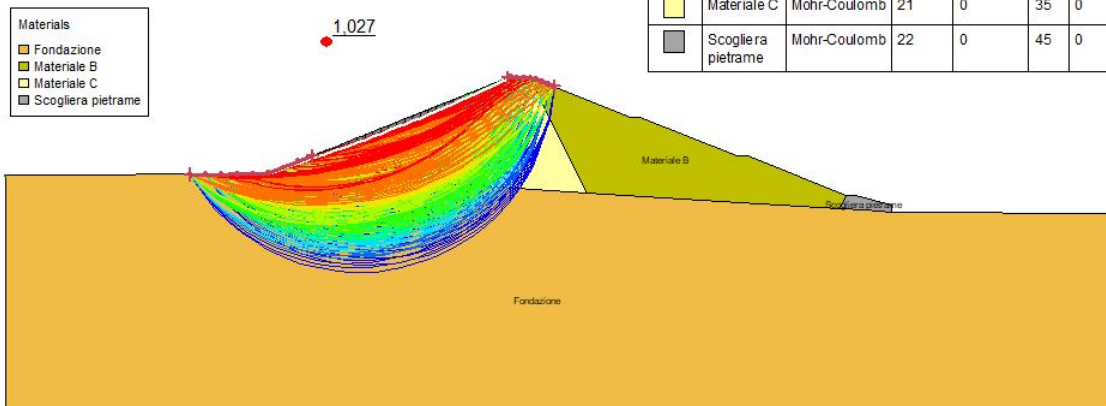
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Grey | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



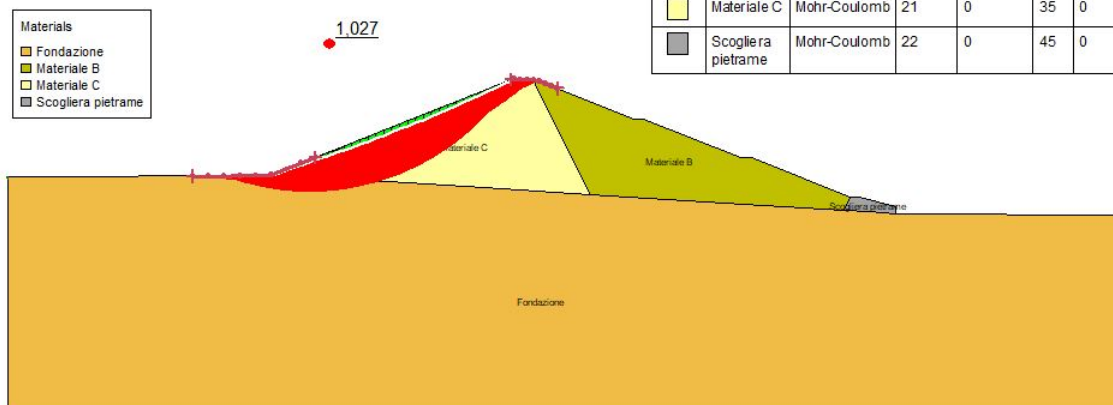


Parametri geotecnici Geo3

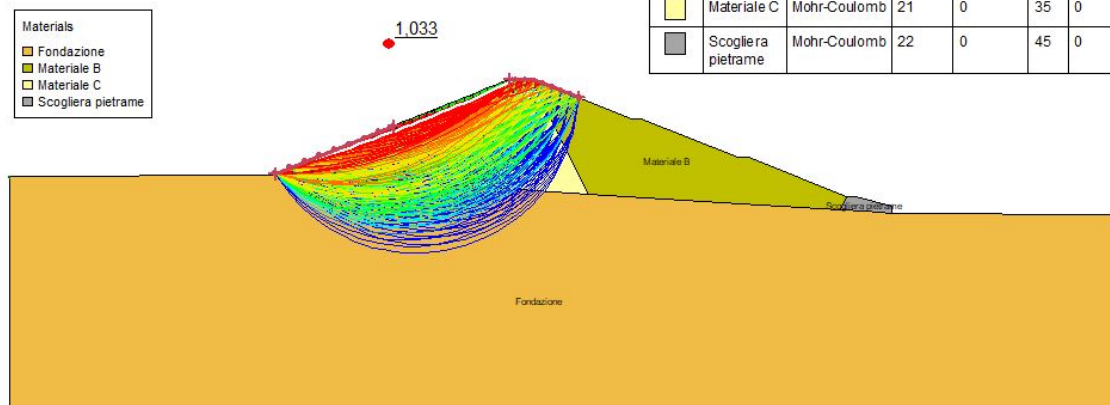
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Grey | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

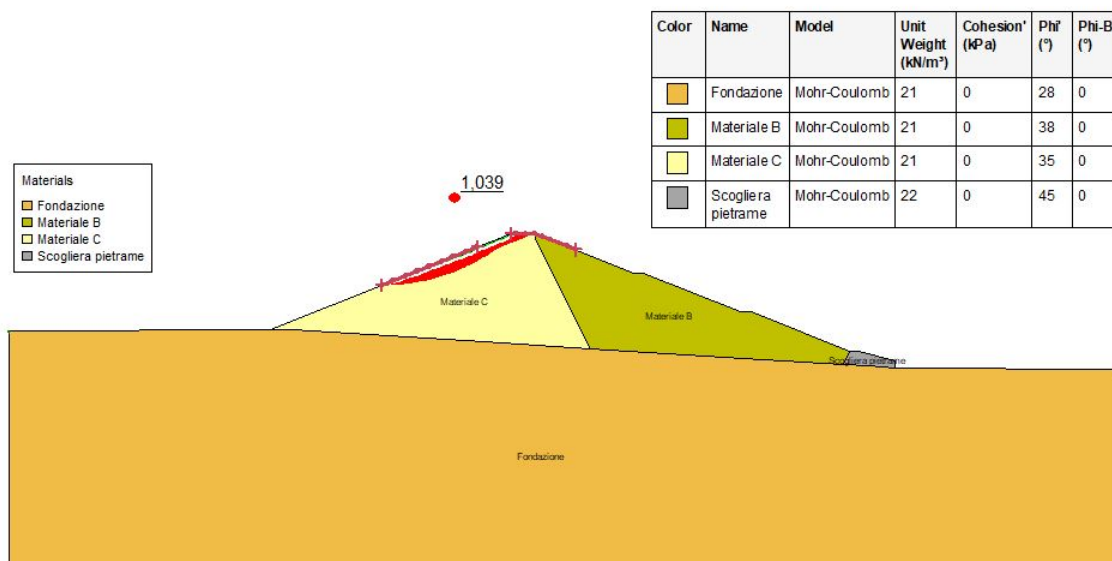
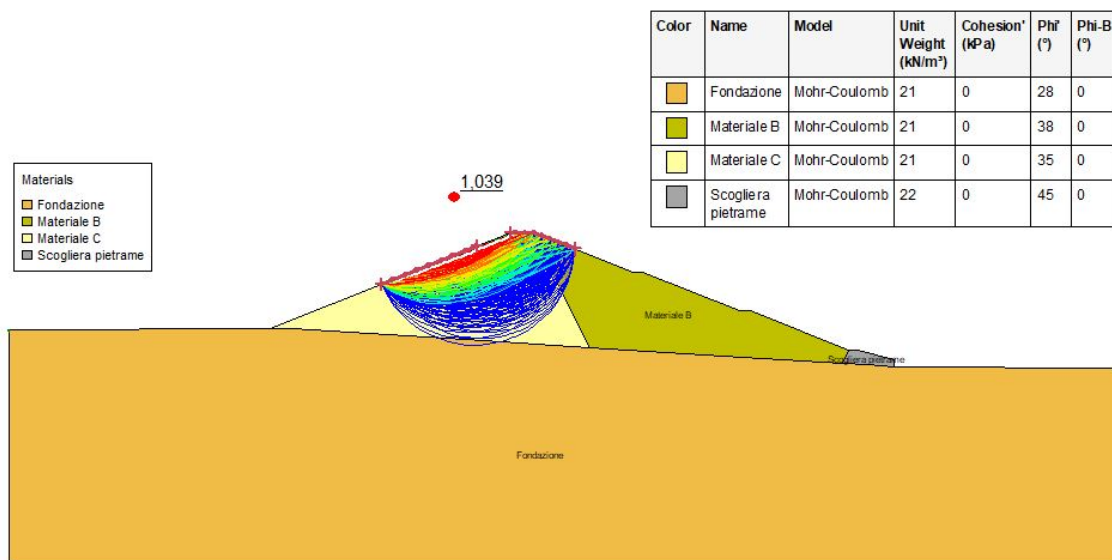
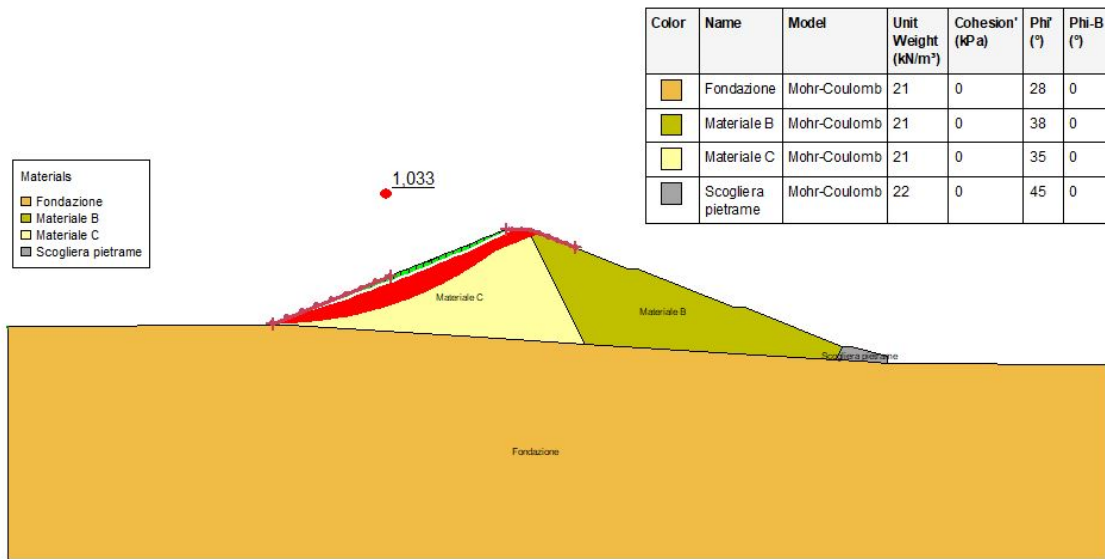


| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Grey | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| Grey | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

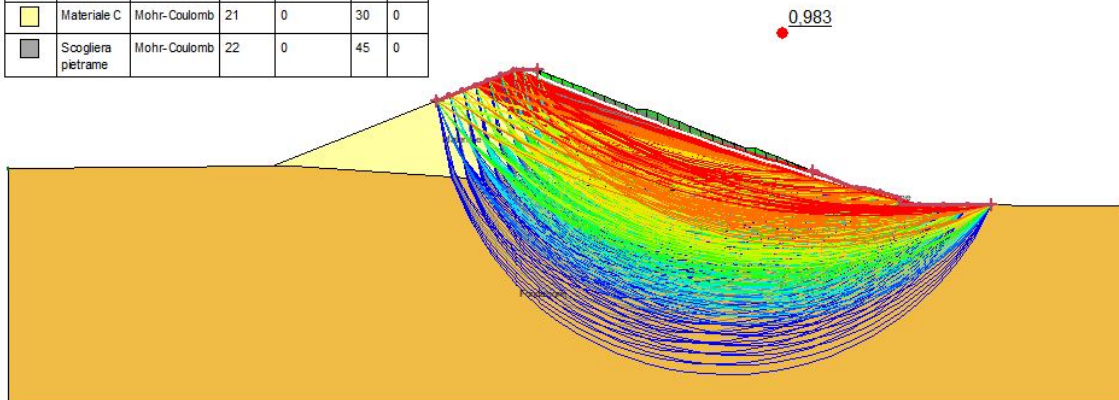




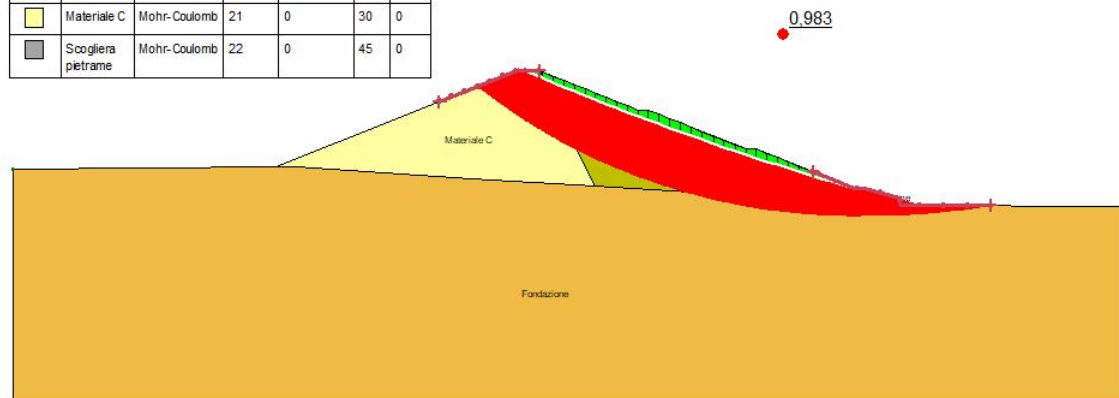
Verifiche in condizioni sismiche paramento di valle

Parametri geotecnici Geo1

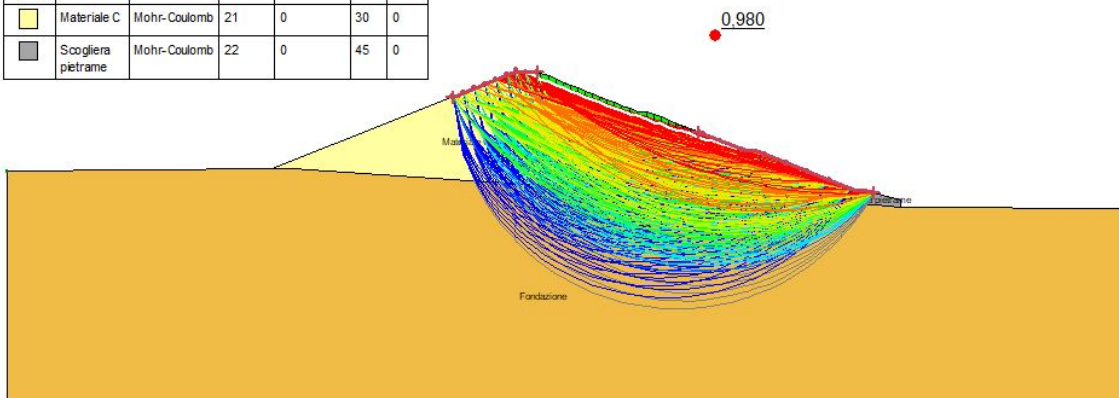
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



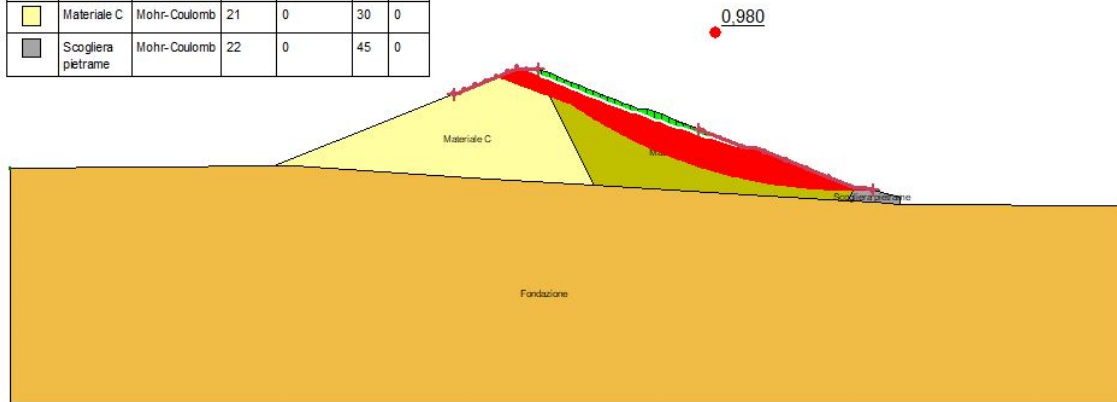
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



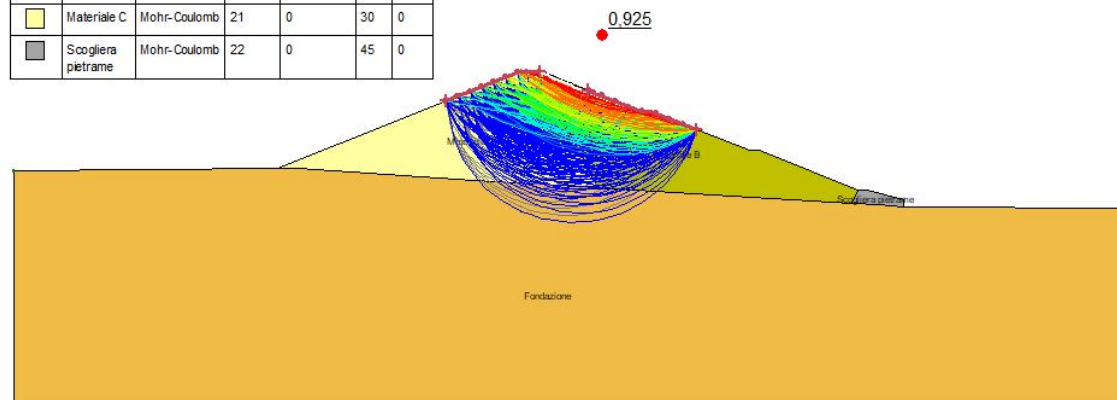
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



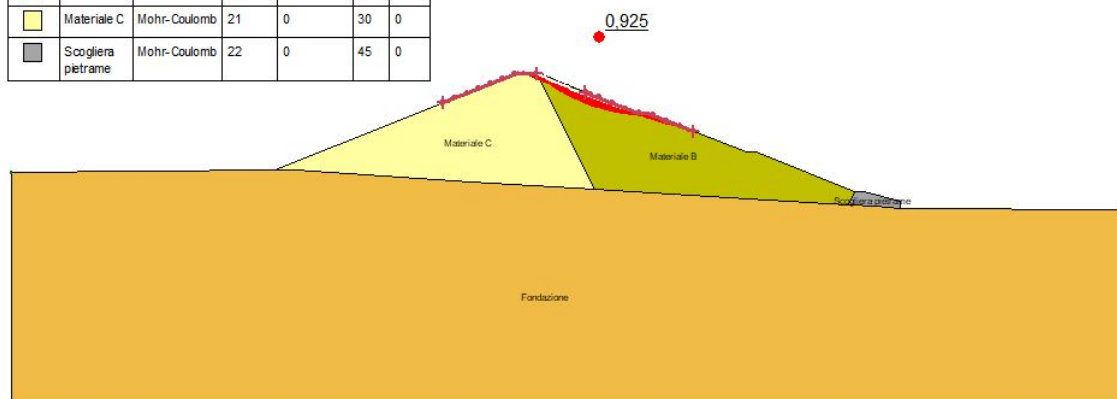
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| Grey | Scogliera petrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |







| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| Grey | Scogliera petrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

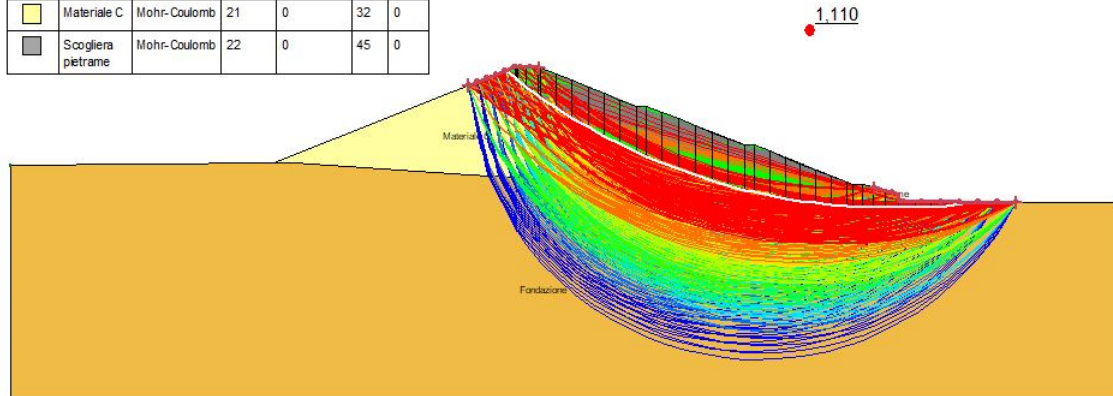






| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|--------|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Orange | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| Green | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| Yellow | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| Grey | Scogliera petrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

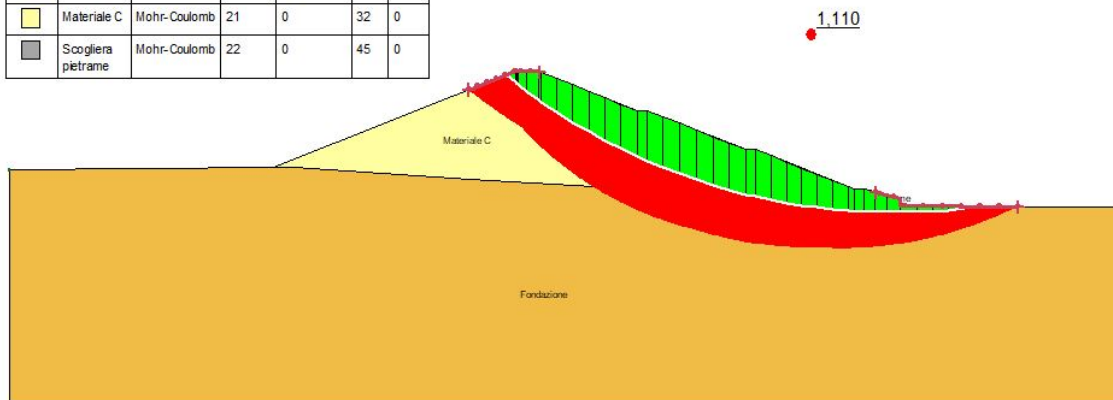






Parametri geotecnici Geo2

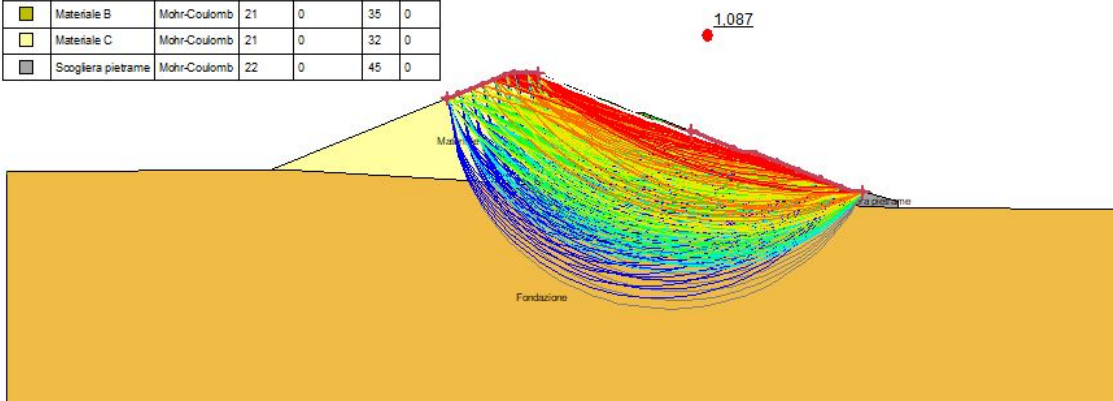
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



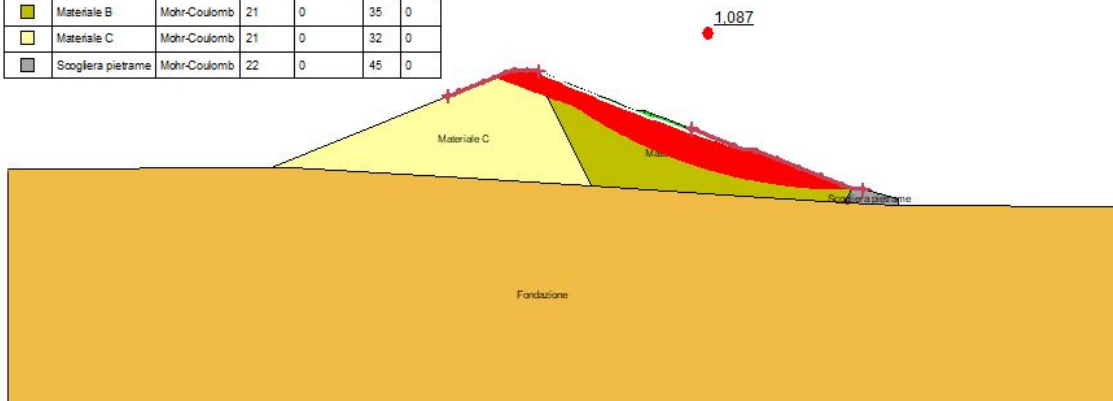
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



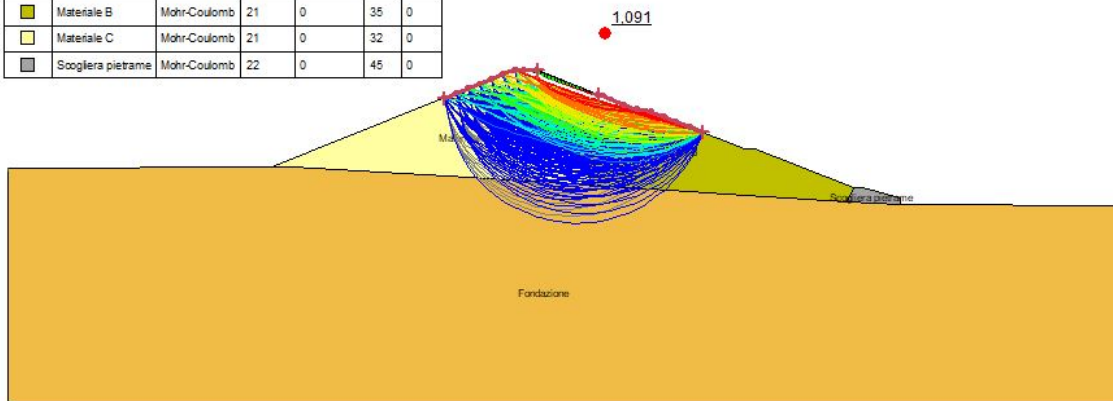
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



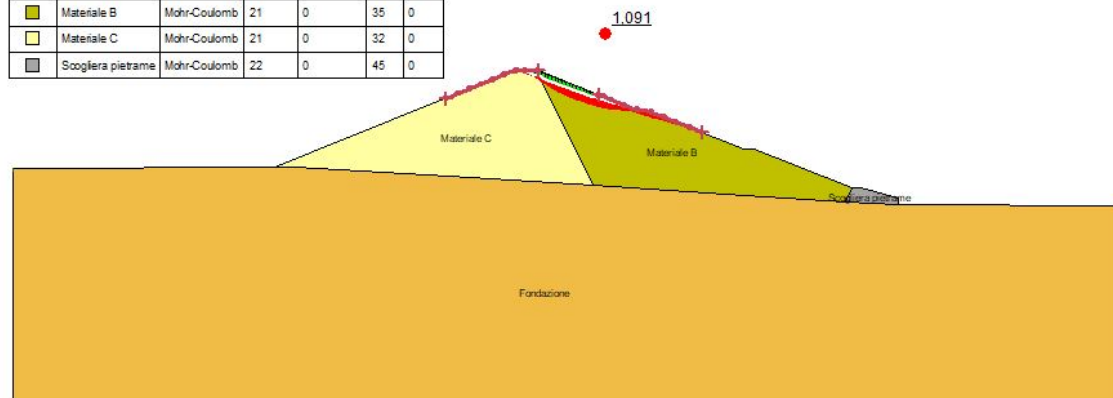
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |







| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

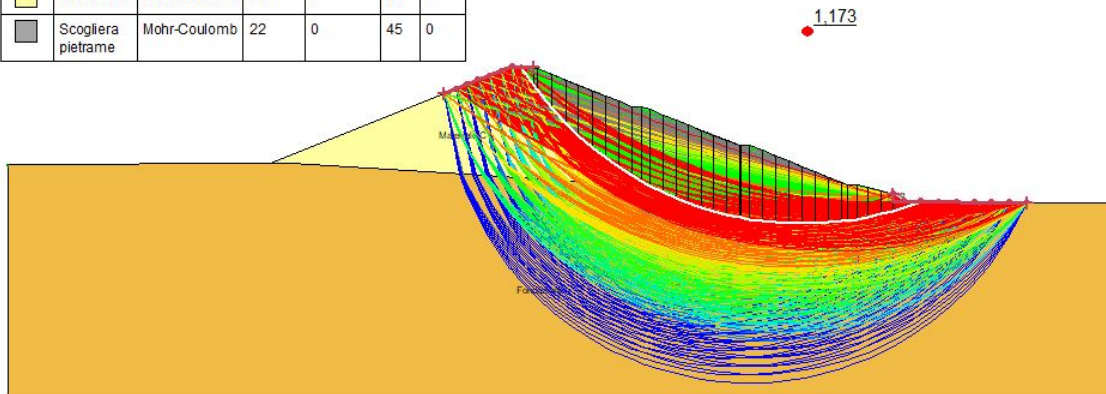






| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion (kPa) | Phi (°) | Phi-B (°) |
|-------|--------------------|--------------|----------------------------------|----------------|---------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 35 | 0 |
| ■ | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 32 | 0 |
| ■ | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

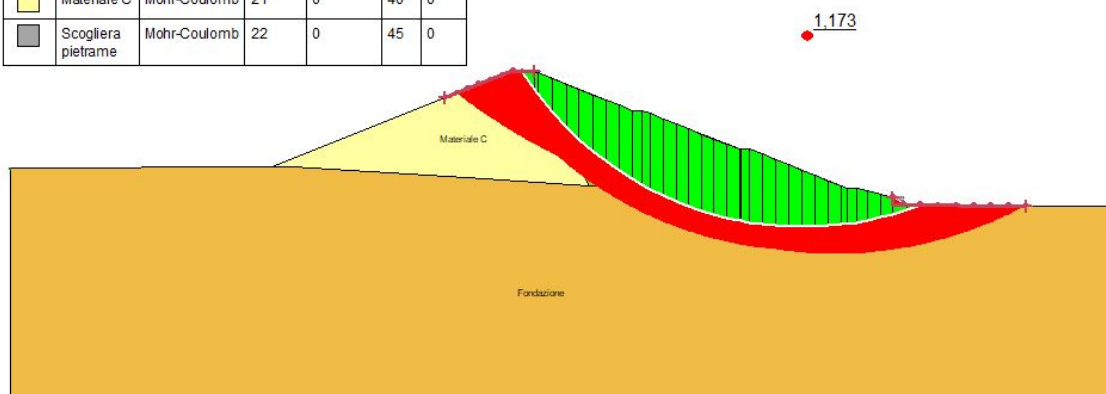






Ipotesi parametri geotecnici Geo3

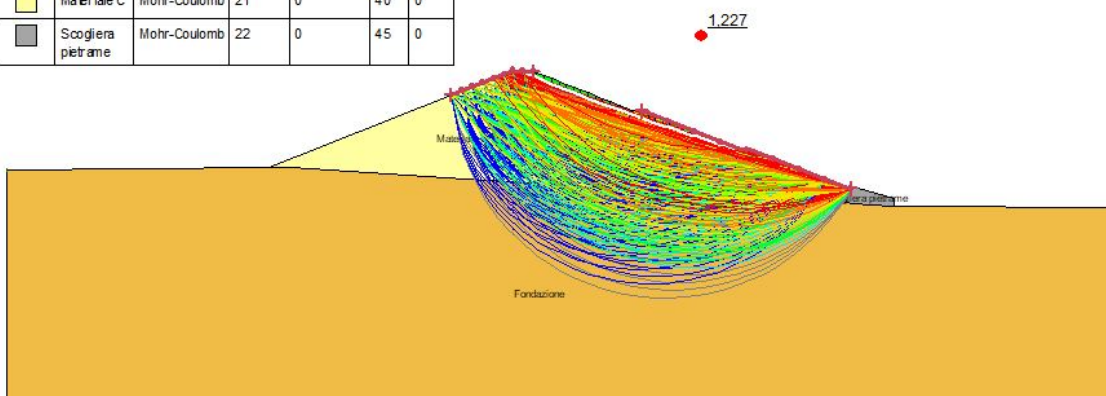
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |







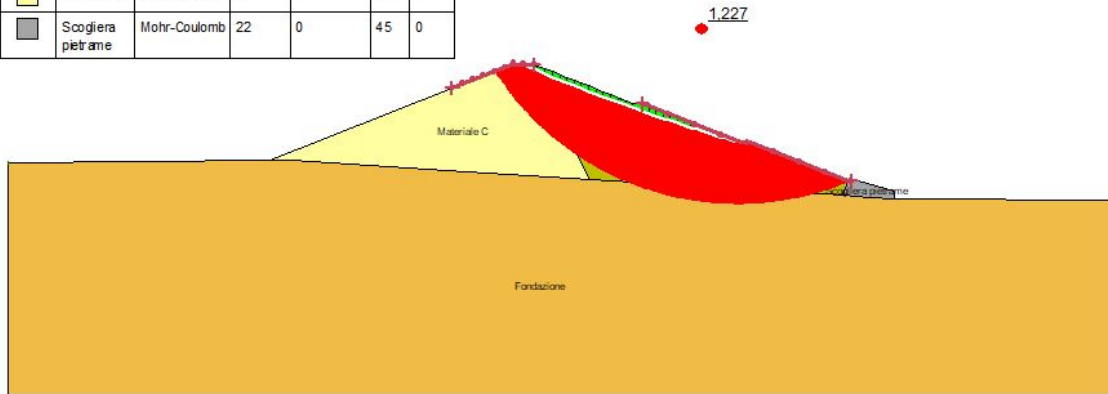
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |







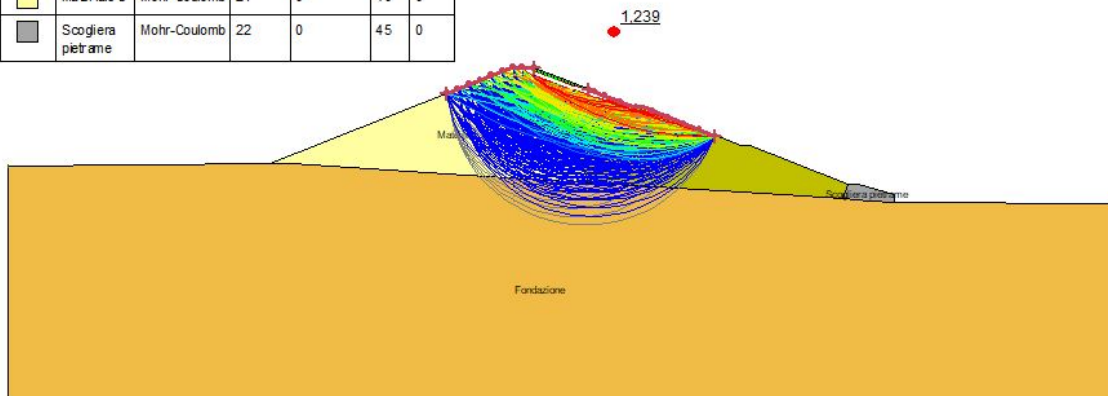
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |







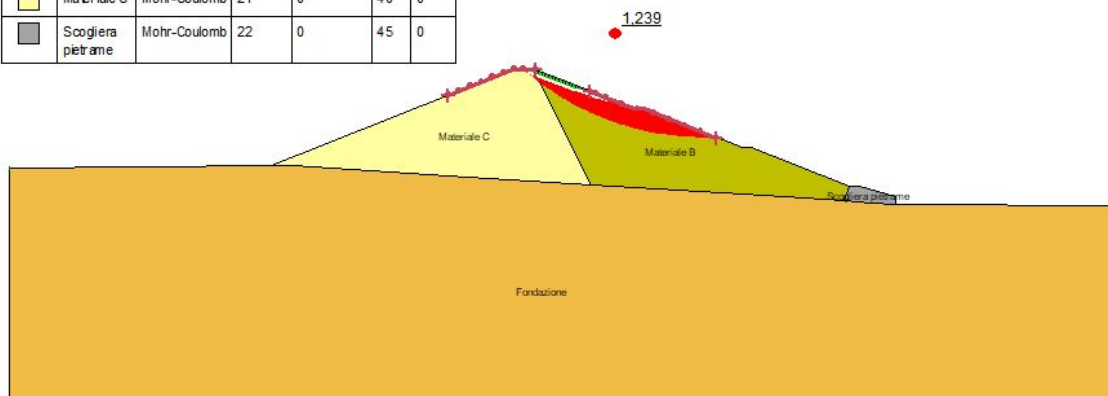
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|-----------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|-----------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |



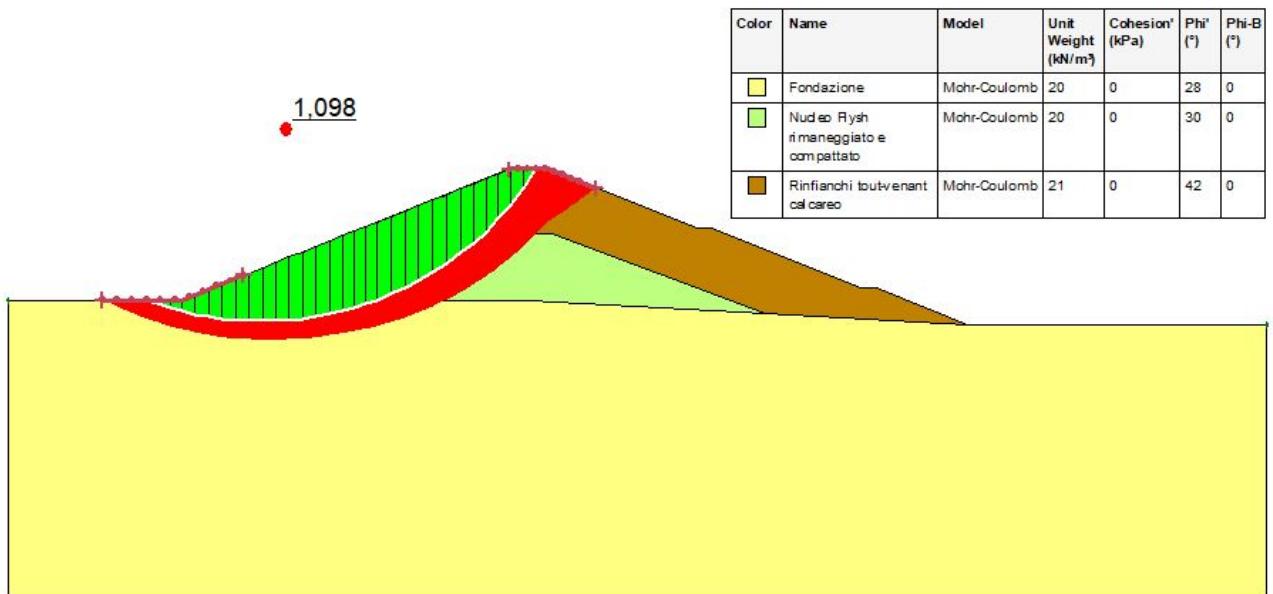
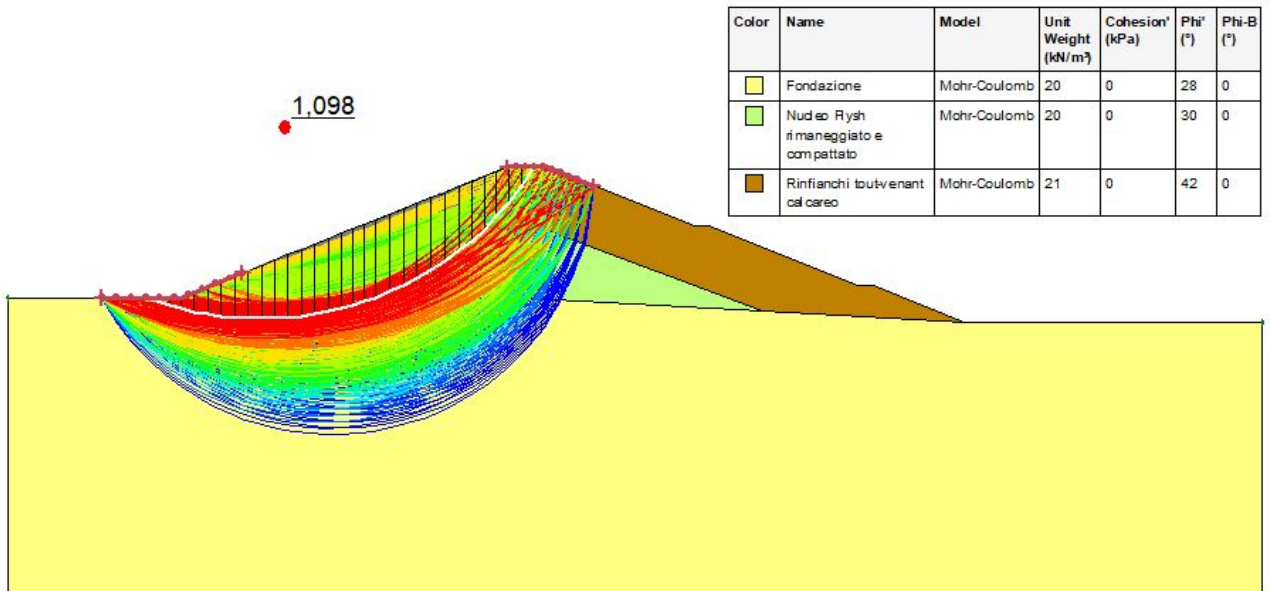
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|-----------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |
|  | Materiale B | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 38 | 0 |
|  | Materiale C | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |
|  | Scogliera pietrame | Mohr-Coulomb | 22 | 0 | 45 | 0 |

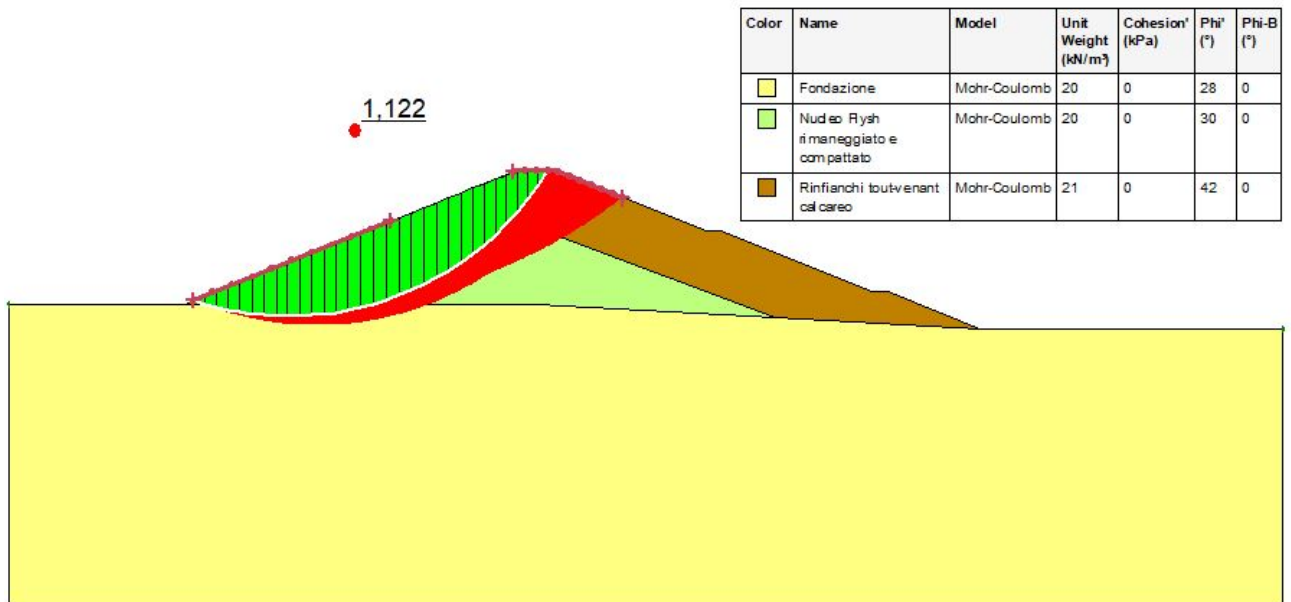
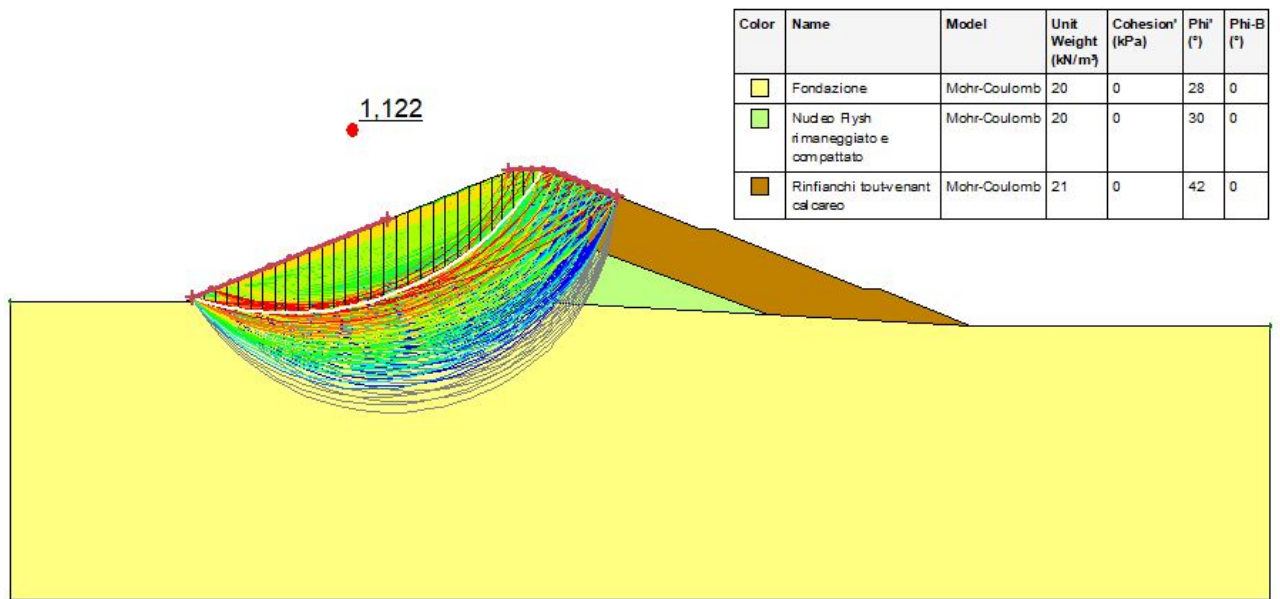


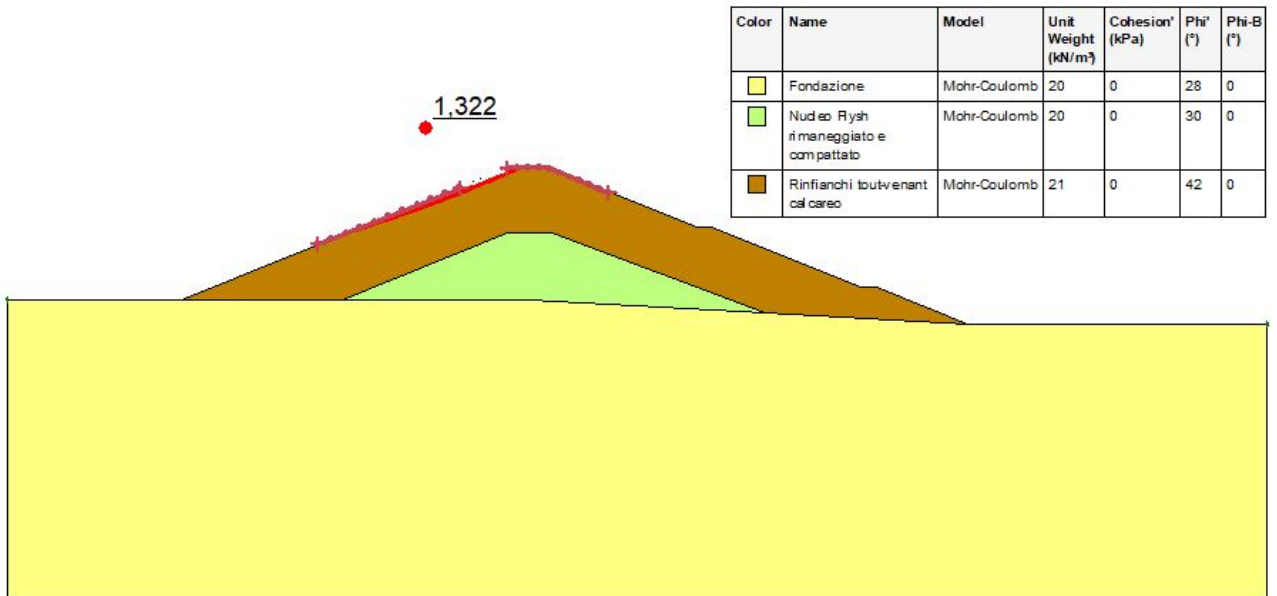
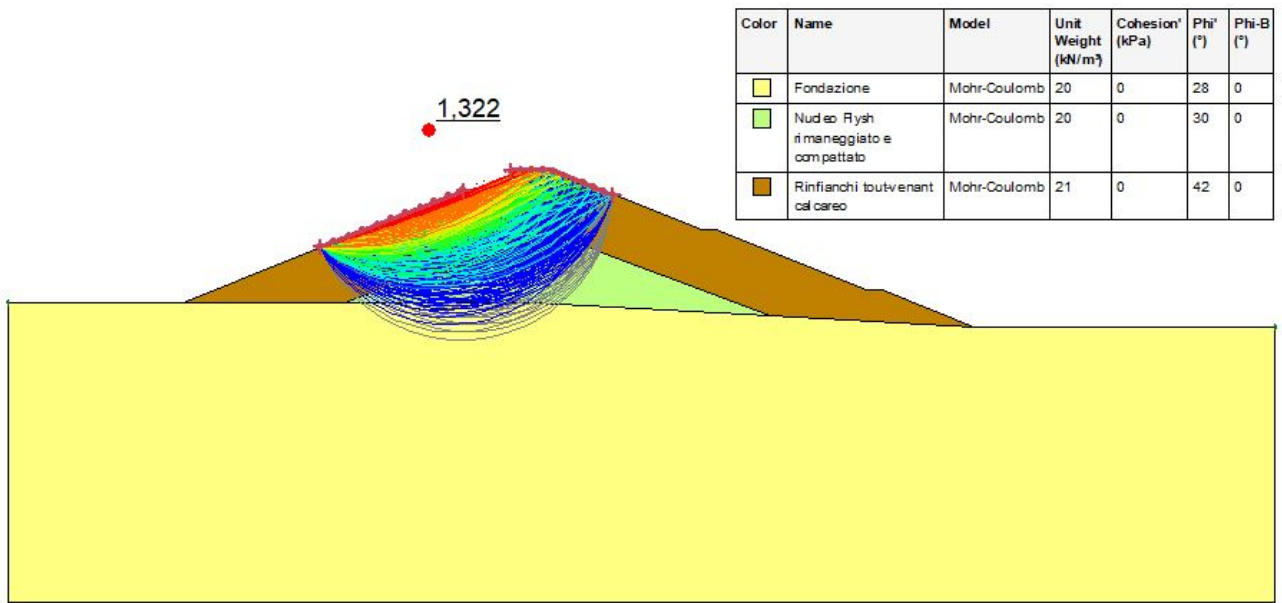
8.2 SECONDA FASE DI ANALISI

Diga – sezione maestra

Verifiche in condizioni sismiche paramento di monte






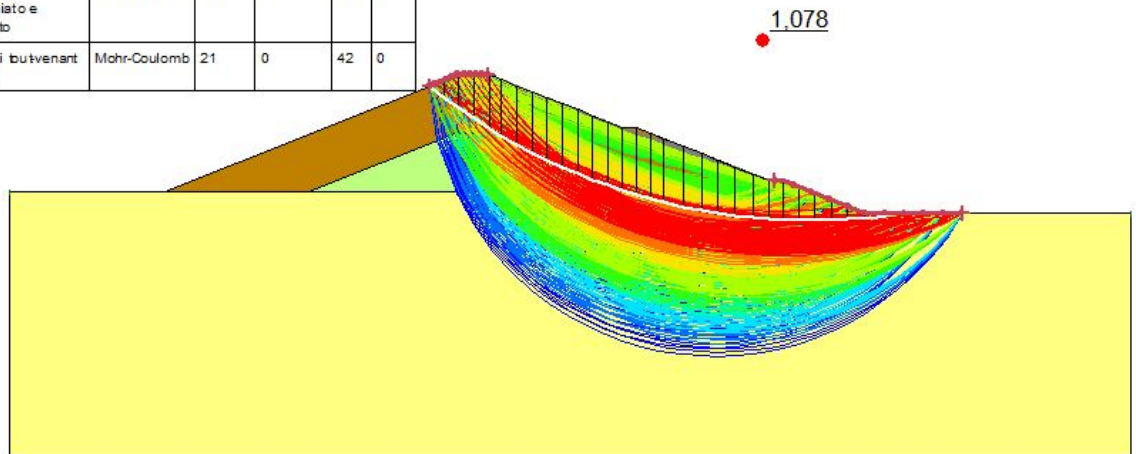







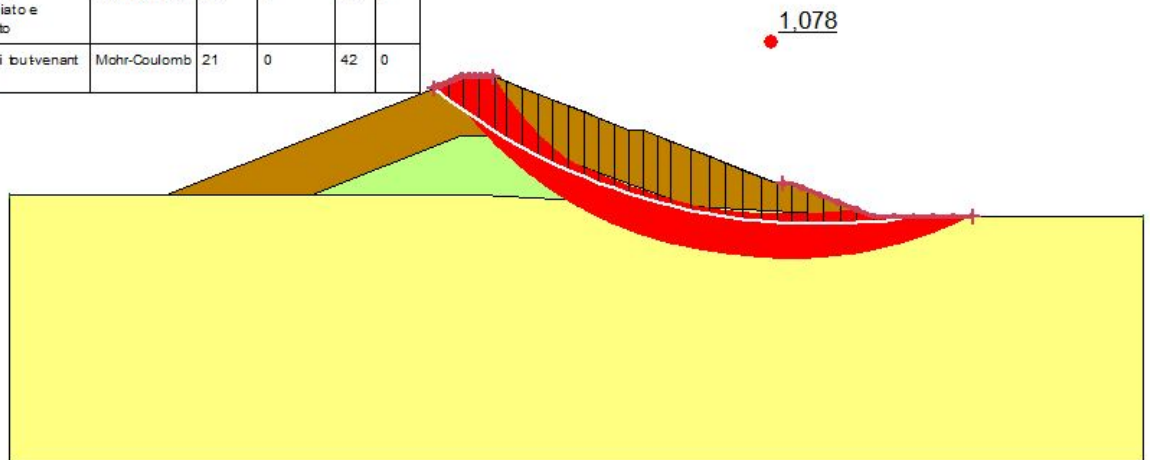
Diga sezione maestra

Verifiche in condizioni sismiche paramento di valle

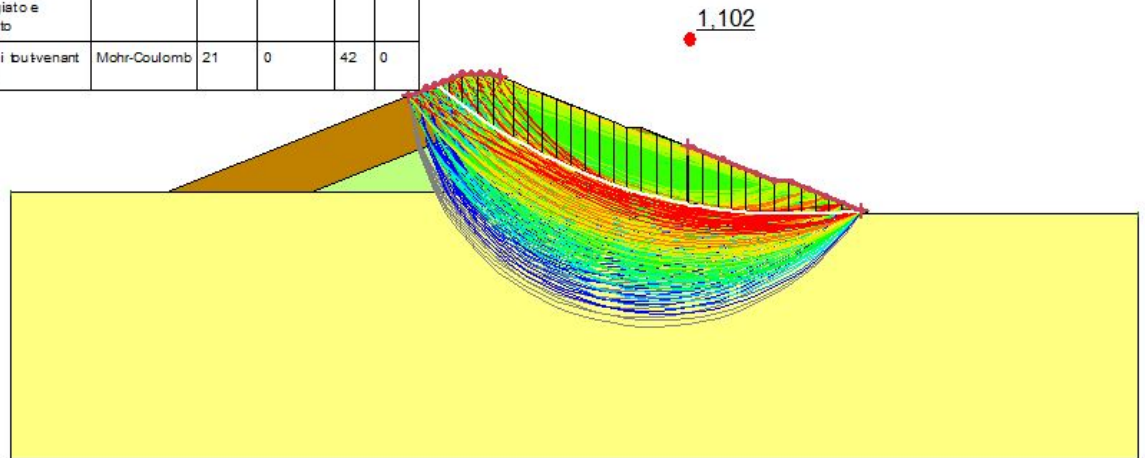
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
|  | Nucleo Flysh rima neggiato e compatato | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 30 | 0 |
|  | Rinfiandhi butvenant calcareo | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 42 | 0 |



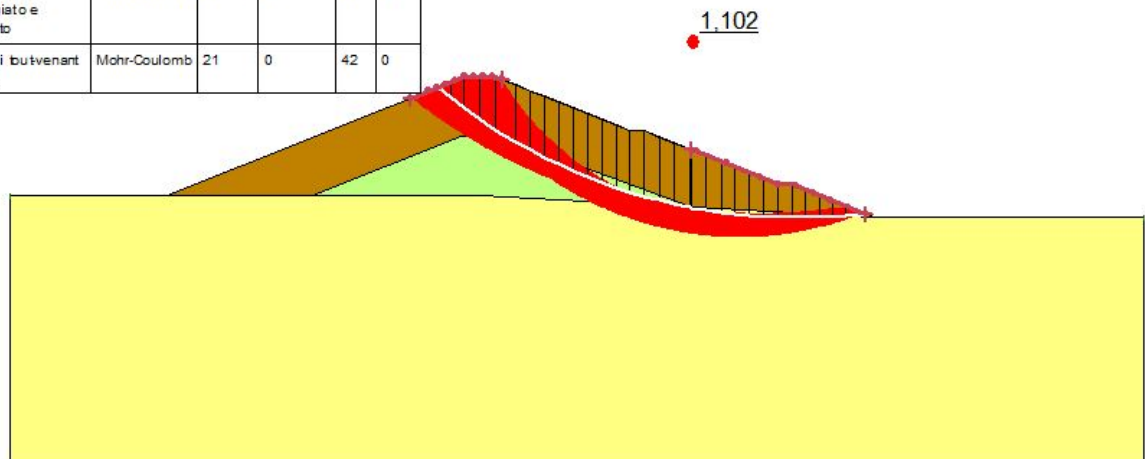
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|--|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
|  | Nucleo Flysh rima neggiato e compatato | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 30 | 0 |
|  | Rinfiandhi butvenant calcareo | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 42 | 0 |






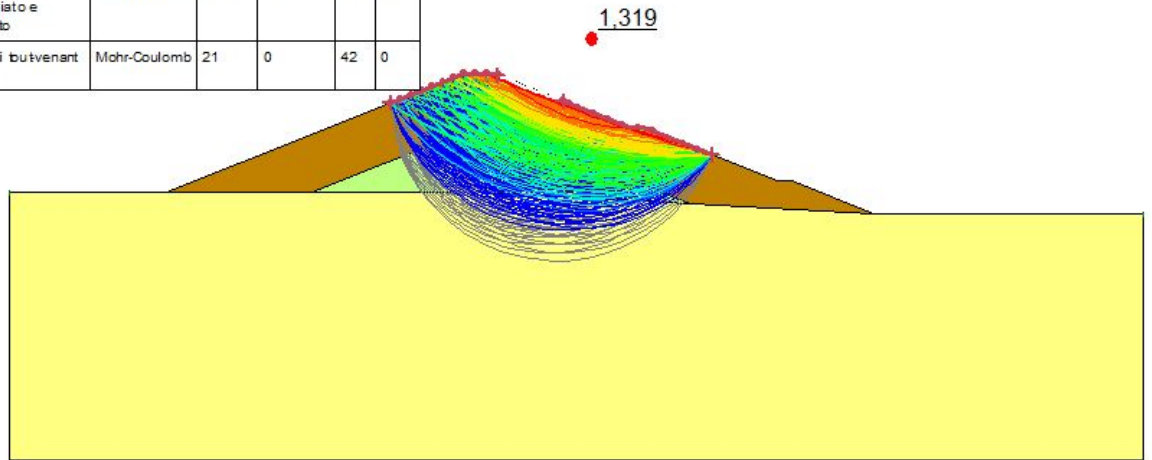
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|--|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo Rys rimaneggiato e compattato | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Rinfianchi butvenant calcareo | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 42 | 0 |






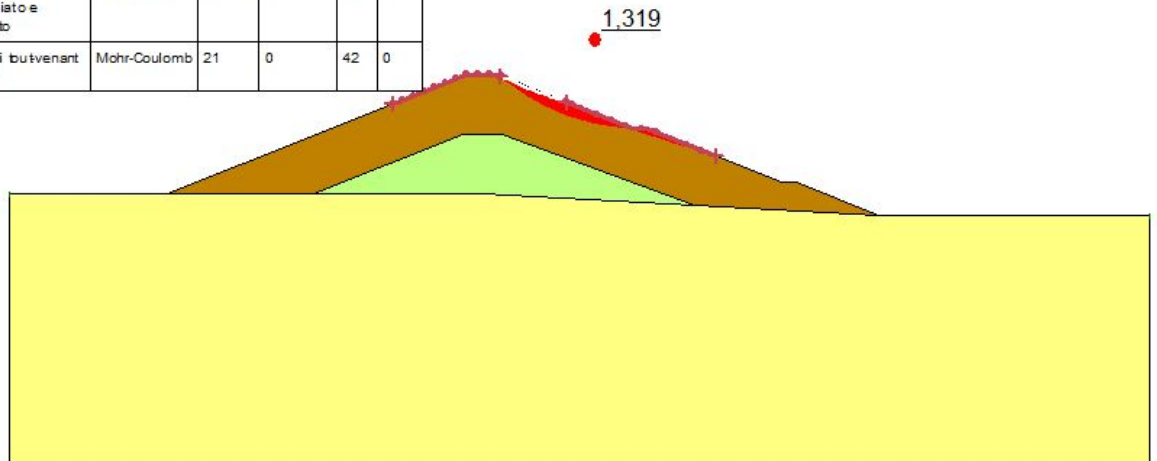
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|--|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo Rys rimaneggiato e compattato | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Rinfianchi butvenant calcareo | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 42 | 0 |



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|------------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
|  | Nucleo Flysh rimeggiato e compatto | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 30 | 0 |
|  | Rinfianchi butvenant calcareo | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 42 | 0 |



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|---|------------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
|  | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
|  | Nucleo Flysh rimeggiato e compatto | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 30 | 0 |
|  | Rinfianchi butvenant calcareo | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 42 | 0 |

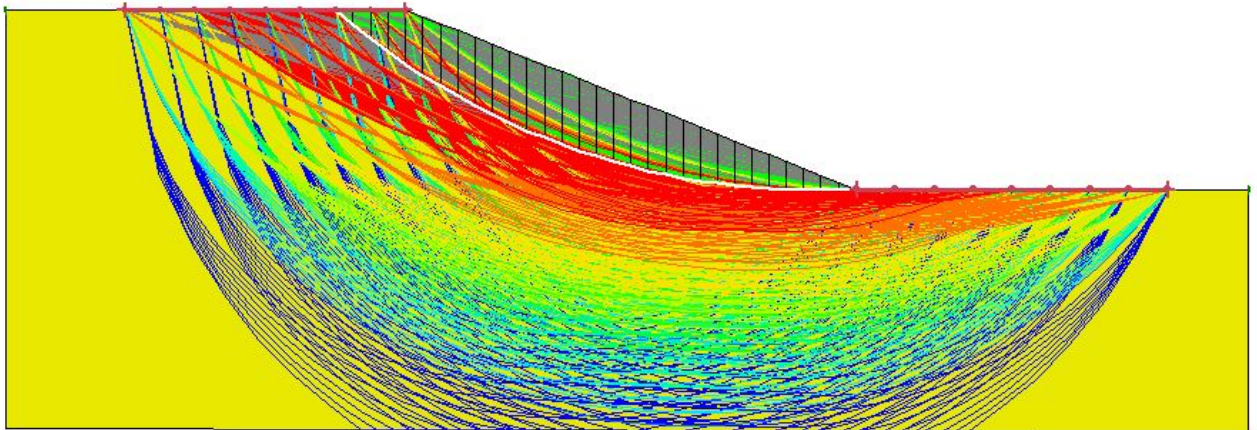


Pendio naturale – parametri geotecnici Geo1

Condizioni Sisma

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 20 | 28 | 0 |

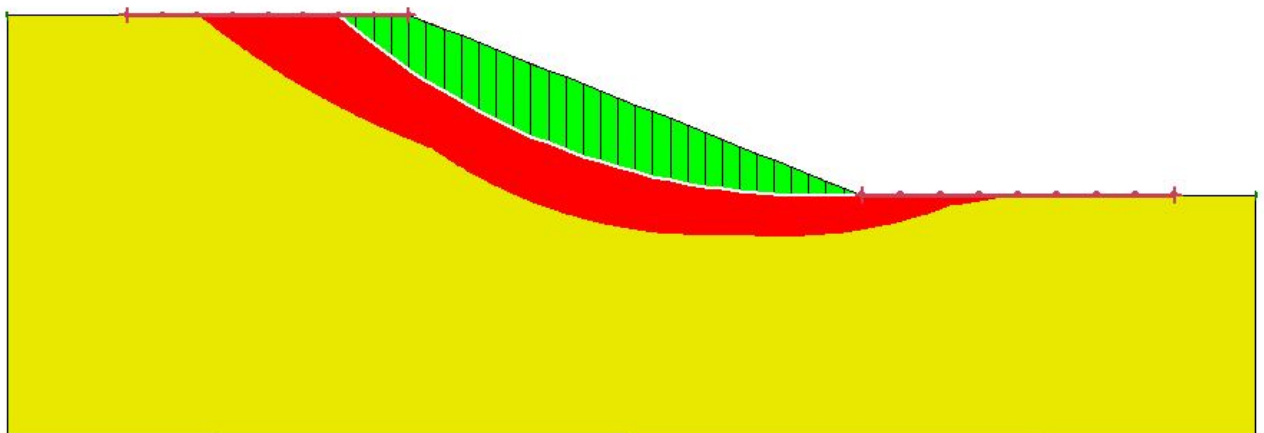
1,246



Condizioni Sisma

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 20 | 28 | 0 |

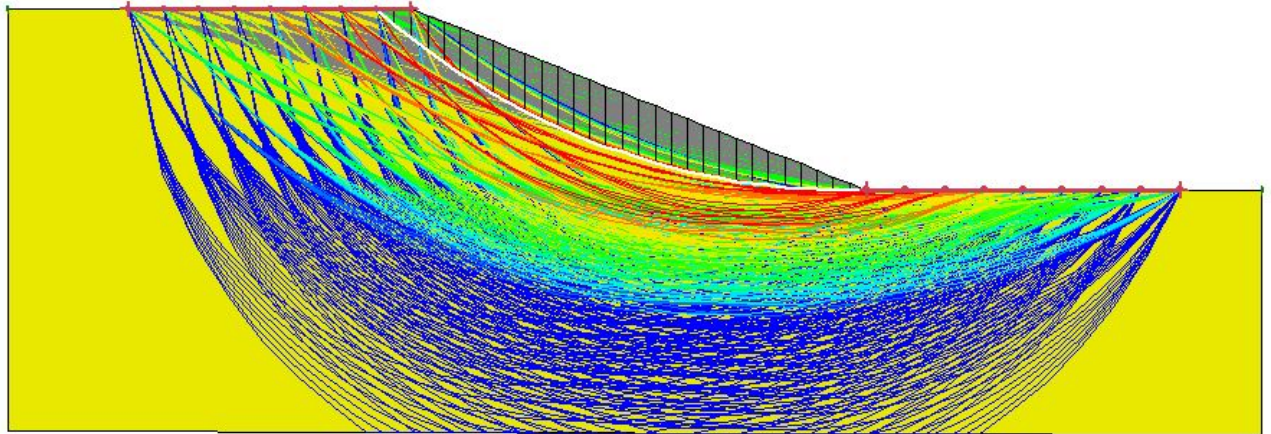
1,246



Condizioni Statiche

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 20 | 28 | 0 |

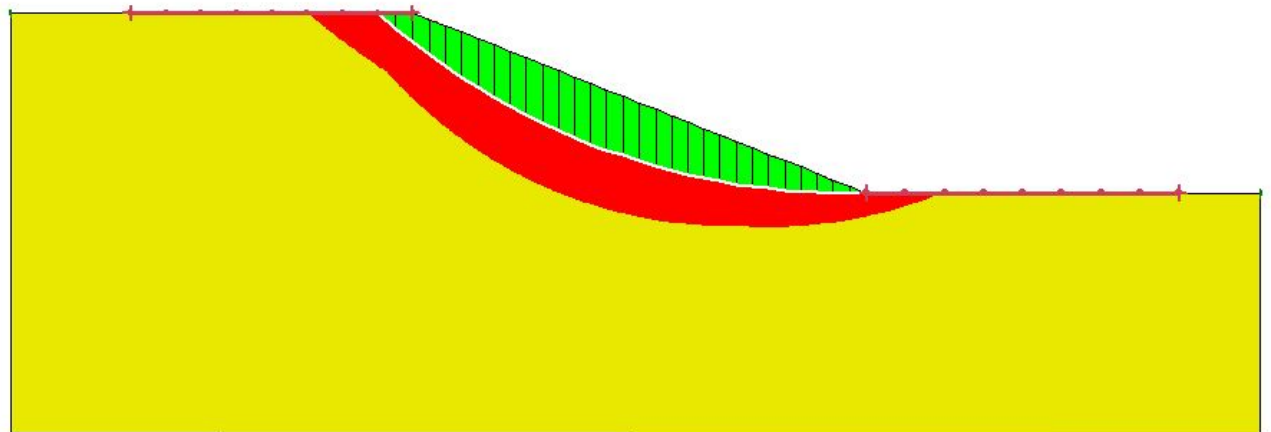
2.035



Condizioni Statiche

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 20 | 28 | 0 |

2.035

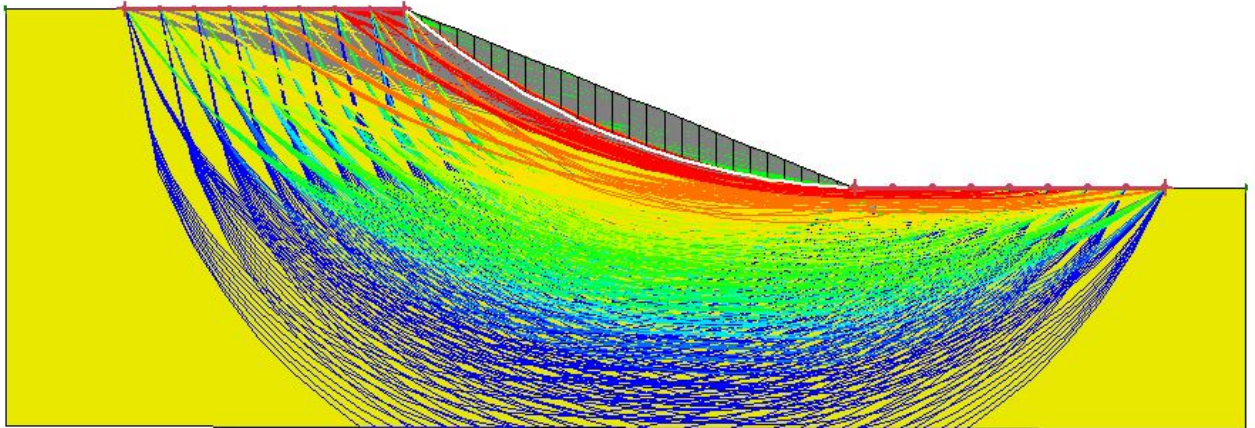


Pendio naturale parametri geotecnici Geo2

Condizioni Sisma

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |

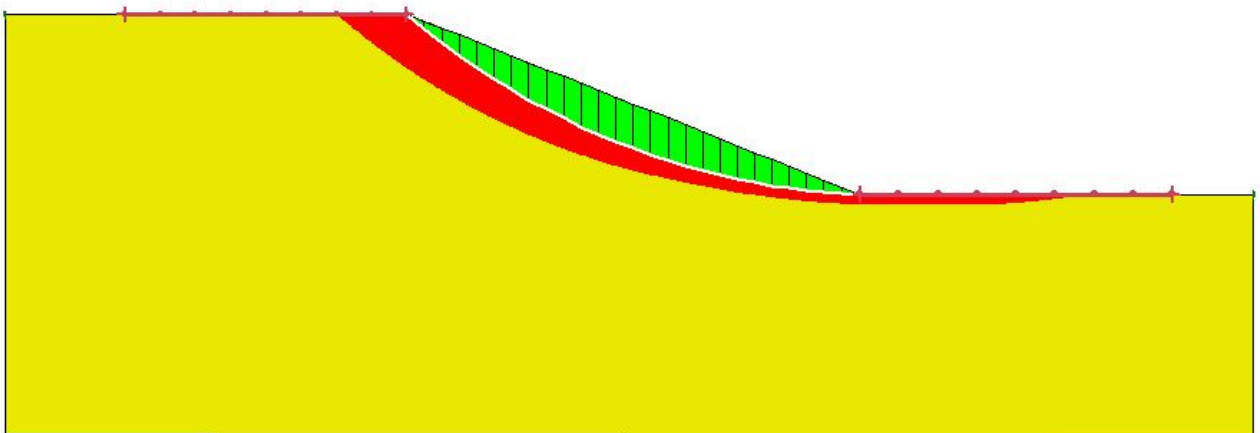
0.836



Condizioni Sisma

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |

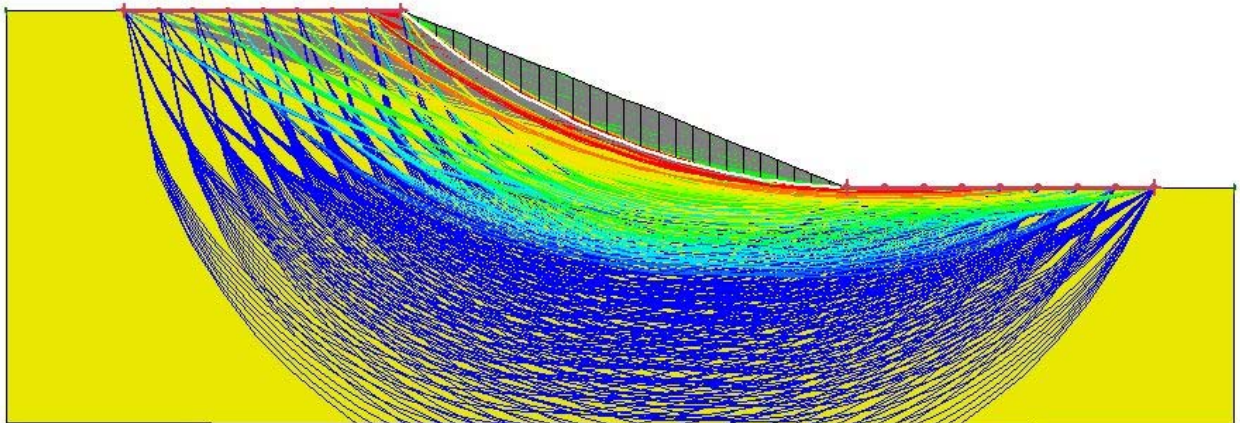
0.836



Condizioni statiche Geo2

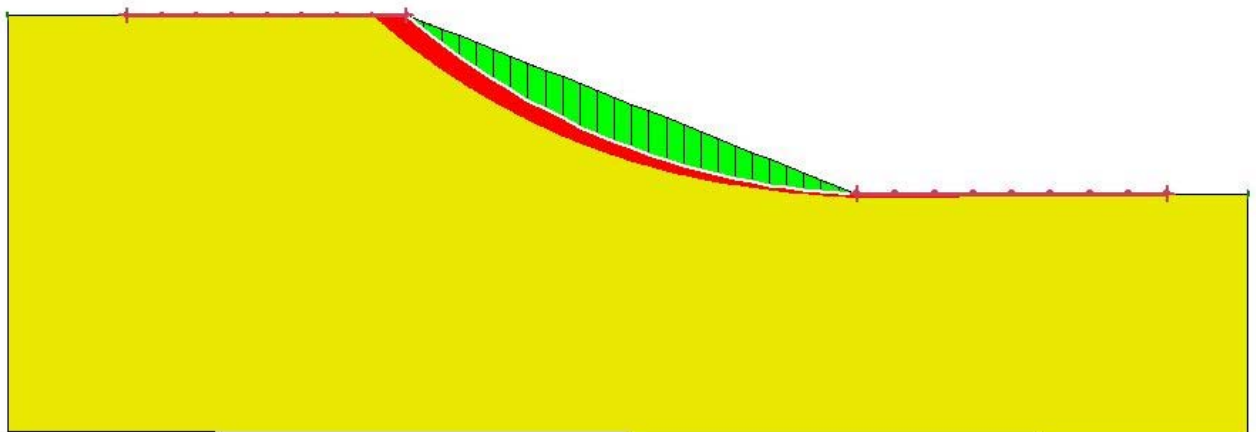
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |

1.411



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Terreno naturale | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 28 | 0 |

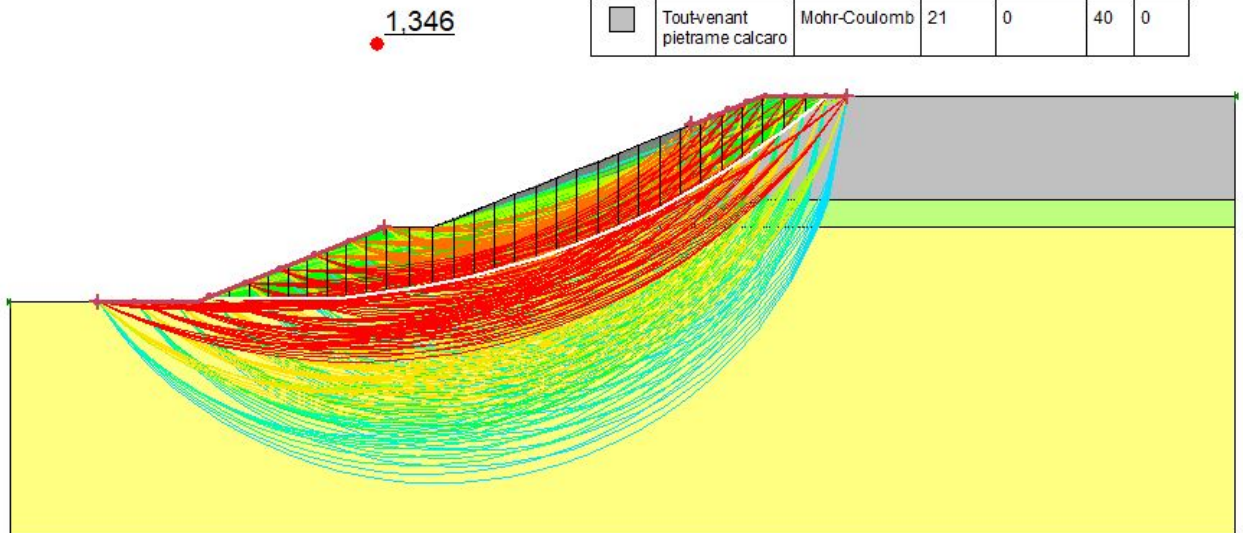
1.411



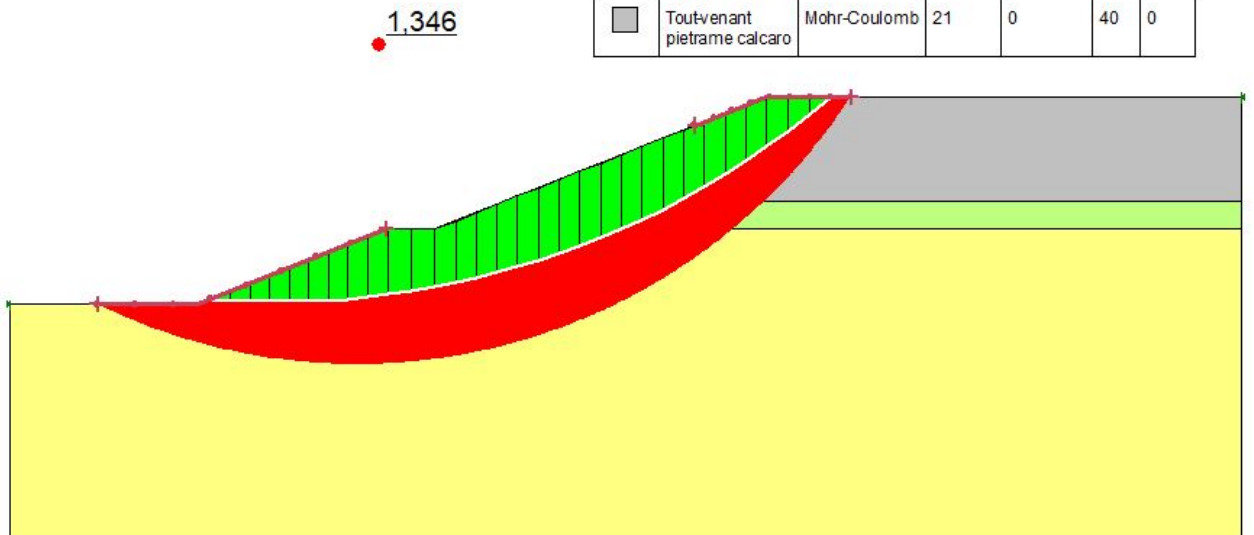
Sezione mista diga – scavo pendio

Condizioni di sisma

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------------|-----------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Yellow | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 20 | 28 | 0 |
| Light Green | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| Grey | Toutvenant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |



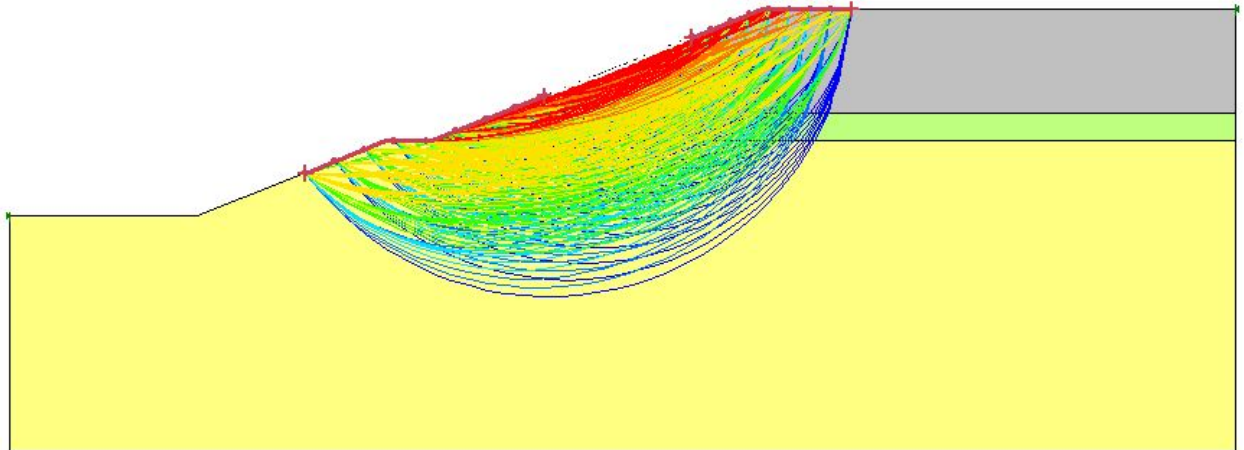
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------------|-----------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Yellow | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 20 | 28 | 0 |
| Light Green | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| Grey | Toutvenant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |



Condizioni di sisma

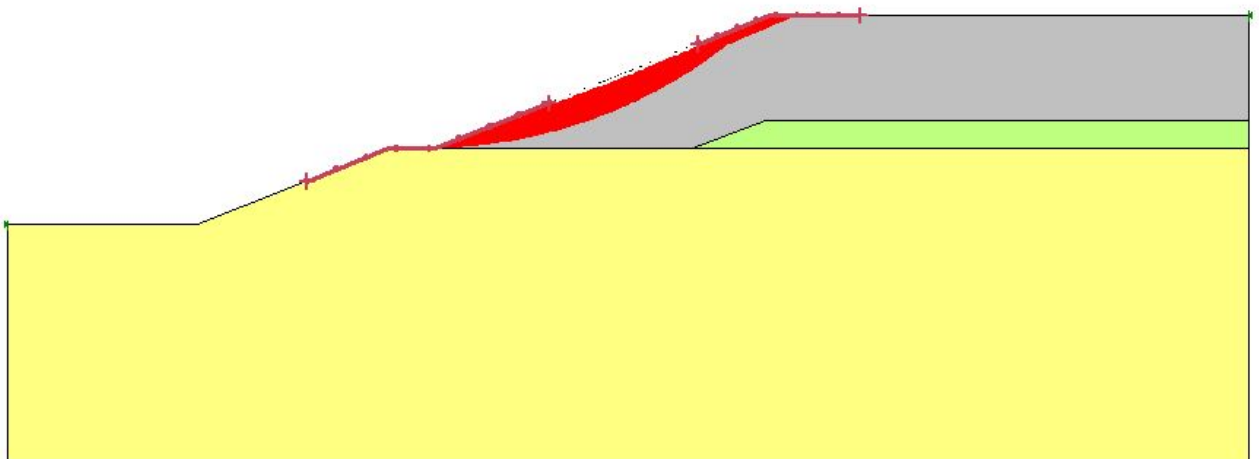
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 20 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Tout-venant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |

1,229



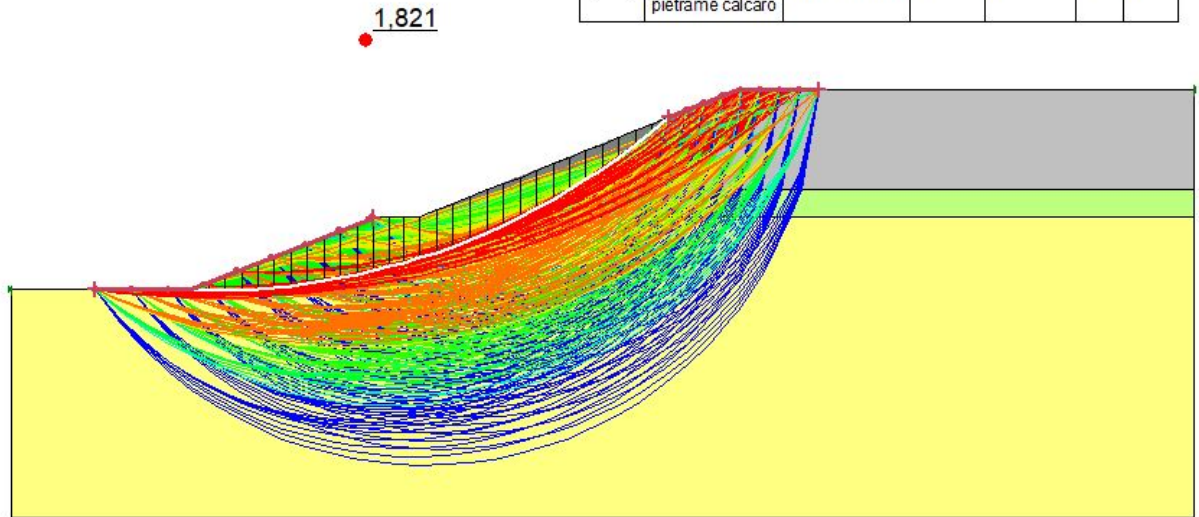
| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 20 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Tout-venant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |

1,229

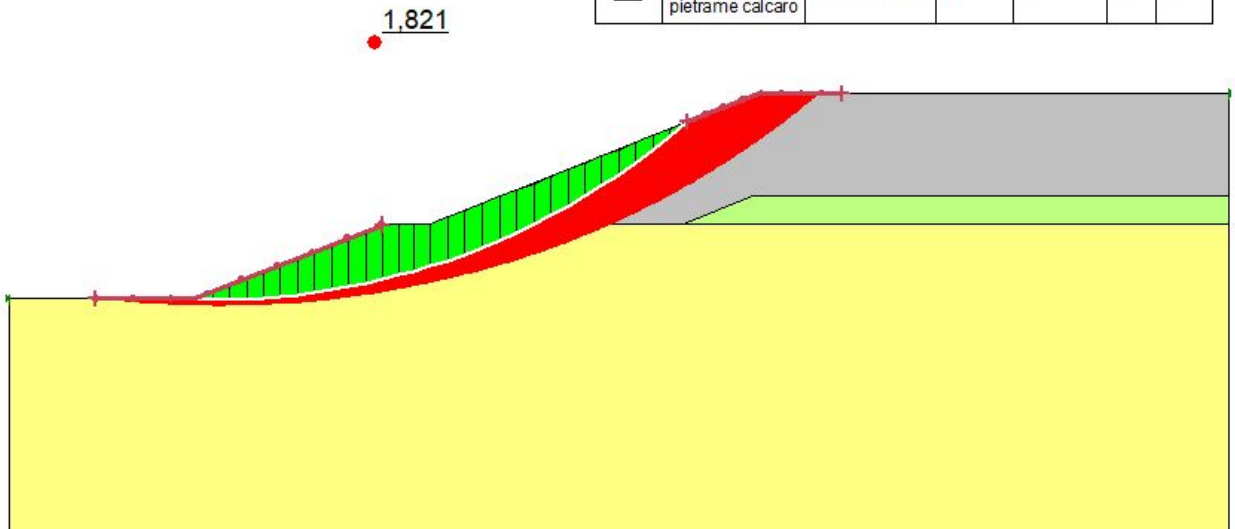


Condizioni statiche

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|-----------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Toutvenant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |

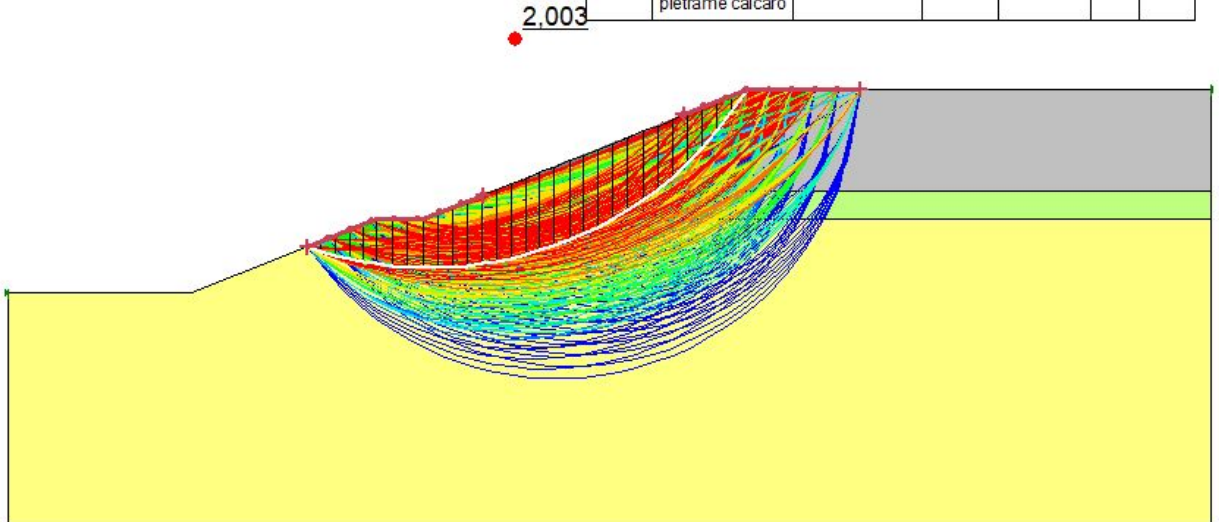


| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|-----------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Toutvenant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |

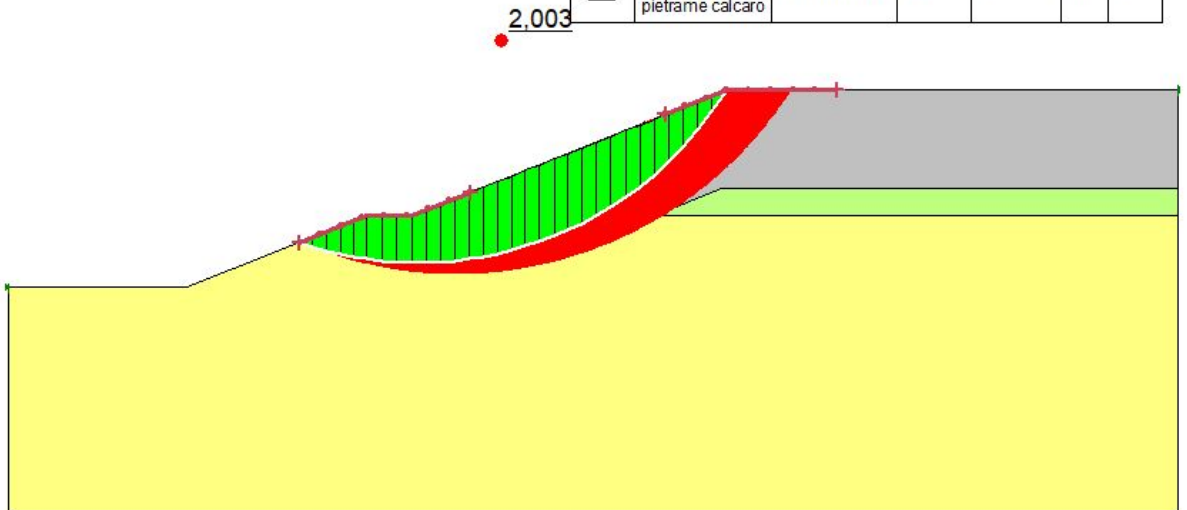


Condizioni statiche

| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Tout-venant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |



| Color | Name | Model | Unit Weight (kN/m ³) | Cohesion' (kPa) | Phi' (°) | Phi-B (°) |
|-------|------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| ■ | Fondazione | Mohr-Coulomb | 20 | 0 | 28 | 0 |
| ■ | Nucleo flysh rimaneggiato | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 30 | 0 |
| ■ | Tout-venant pietrame calcaro | Mohr-Coulomb | 21 | 0 | 40 | 0 |





Tel: +39 030 3702371 – Mail: info@frosionext.com - Sito: www.frosionext.com
Via Pier Fortunato Calvi 11 - Brescia (BS), CAP 25123
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179