

5.5.3 Argine Nord statica

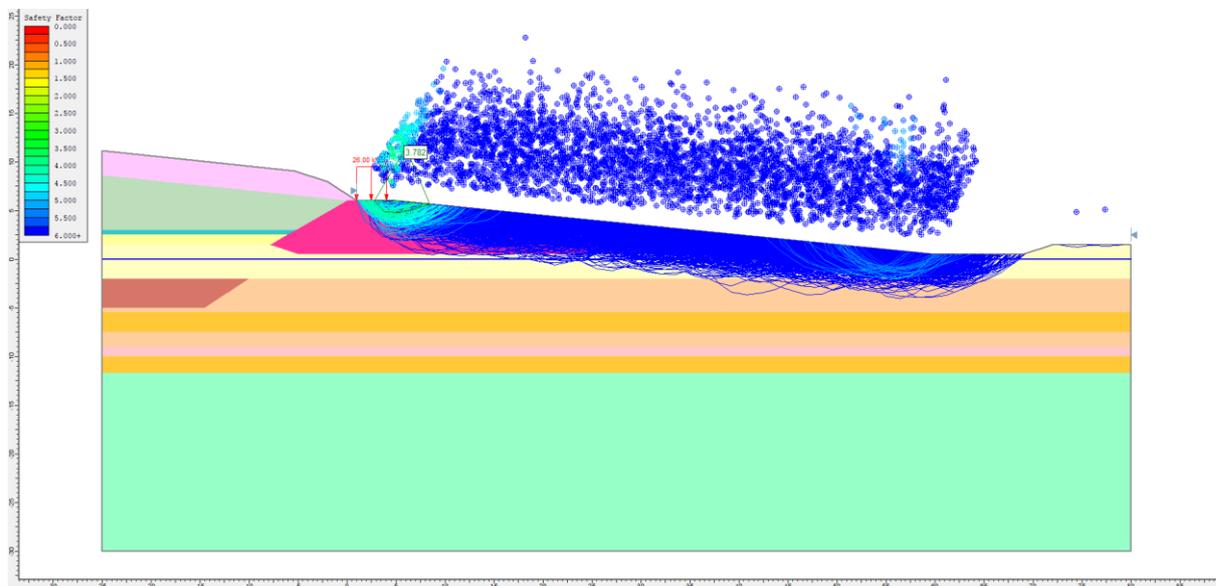


Figura 5.27 Bishop semplificato FS = 3.782

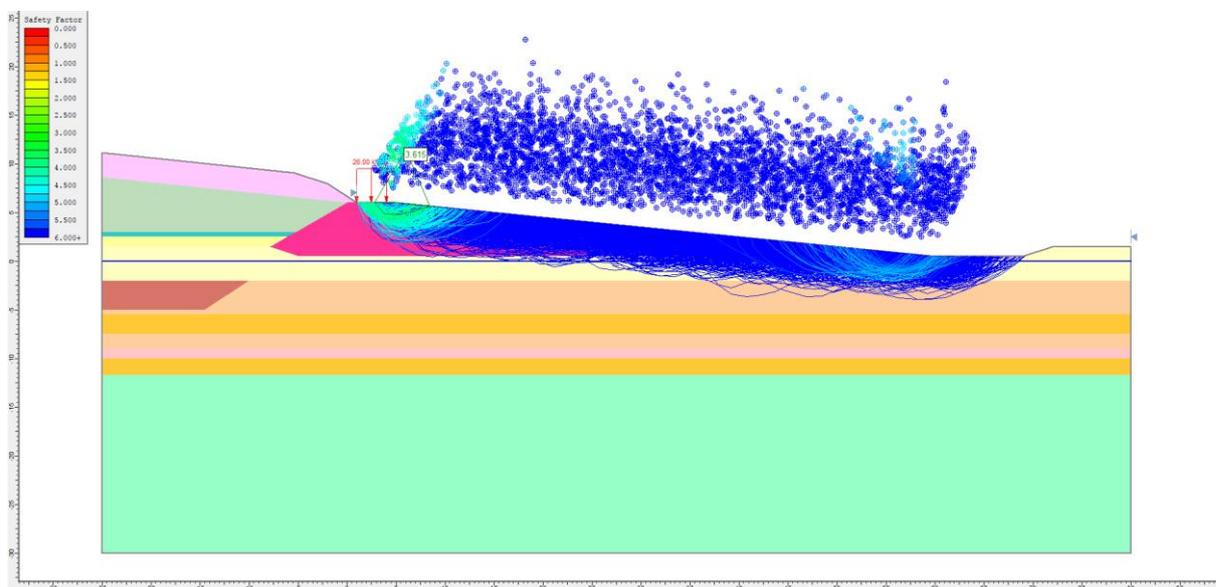


Figura 5.28 Janbu semplificato FS = 3.615

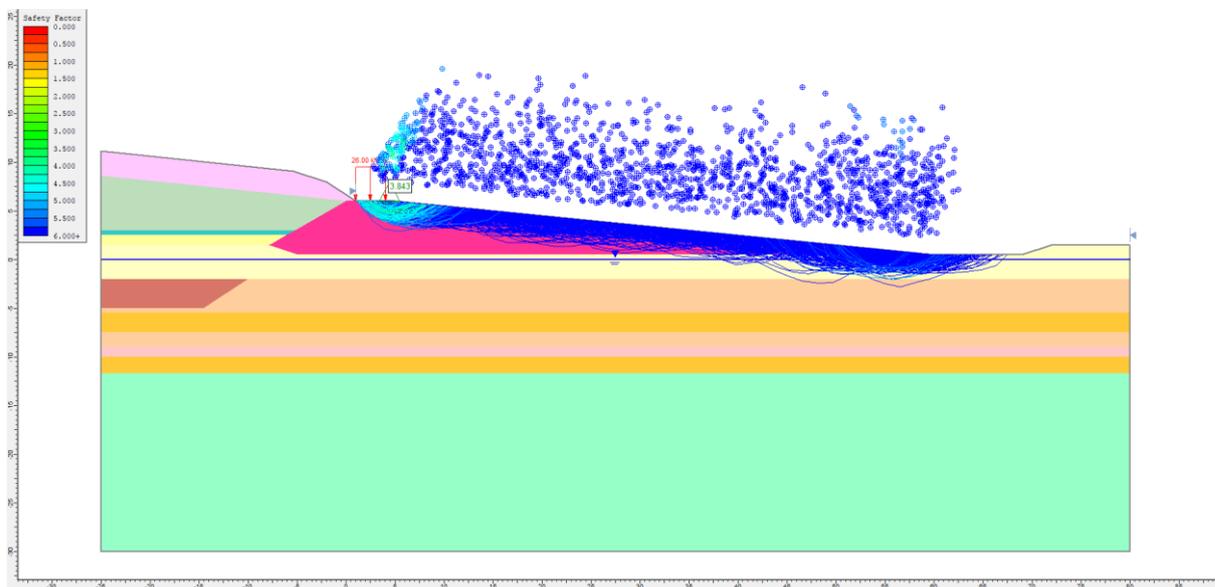


Figura 5.29 Spencer FS = 3.843

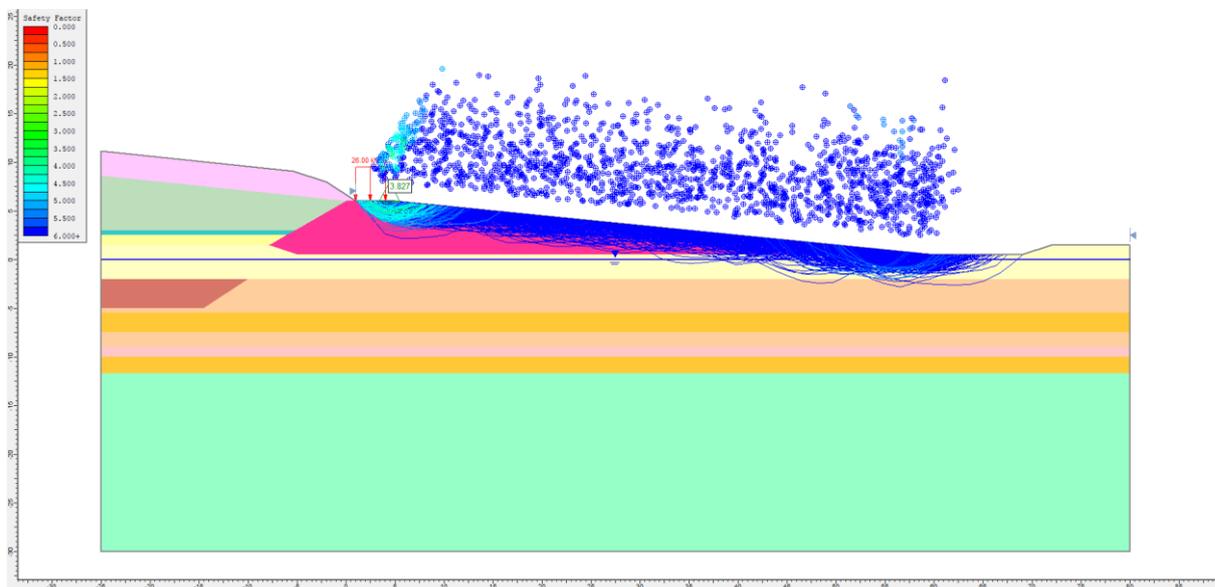


Figura 5.30 Morgenstern-Price FS = 3.827

5.5.4 Argine Nord sismica

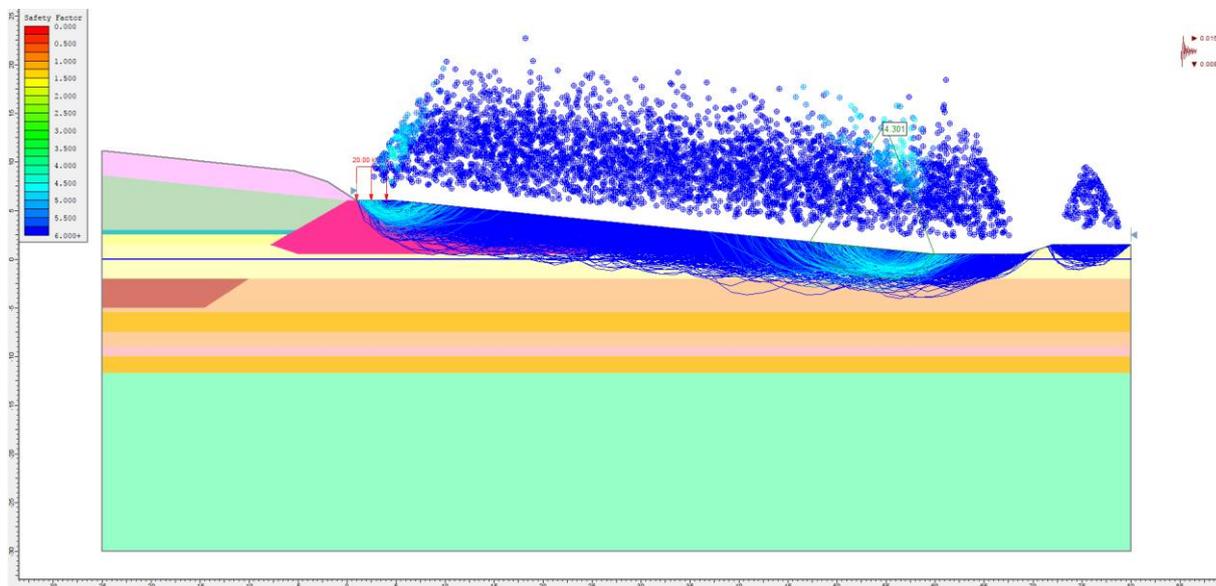


Figura 5.31 Bishop semplificato FS = 4.301

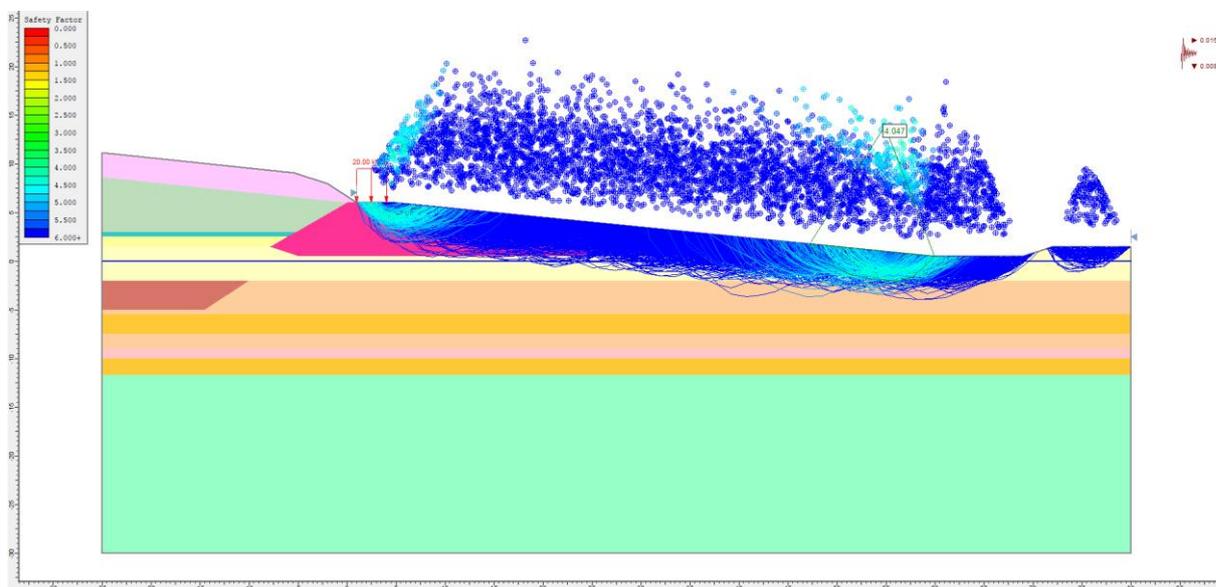


Figura 5.32 Janbu semplificato FS = 4.047

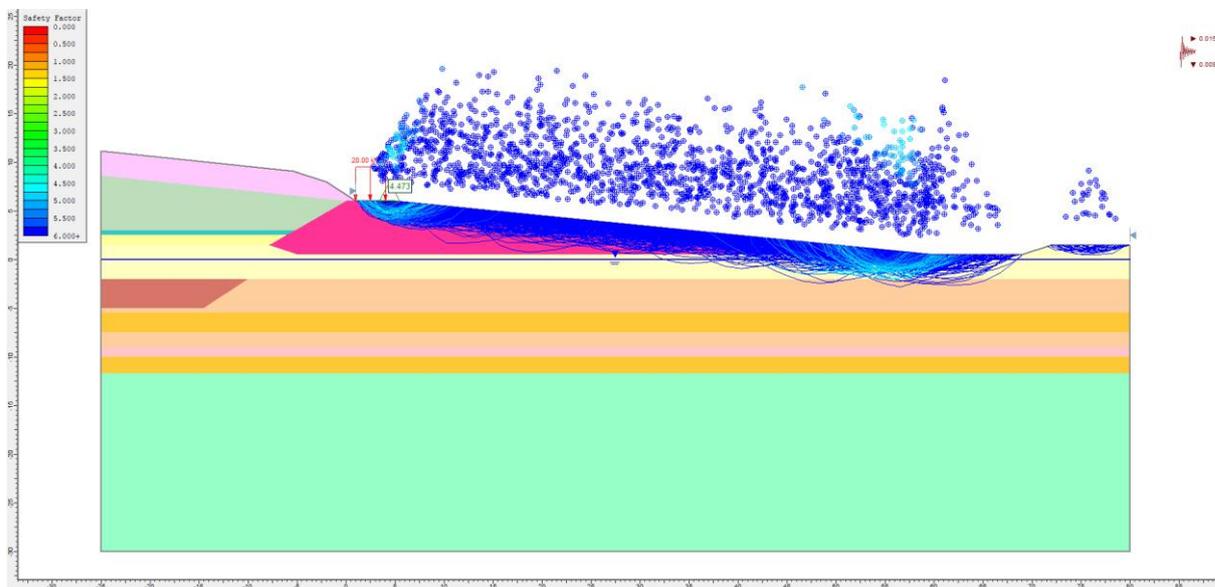


Figura 5.33 Spencer FS = 4.473

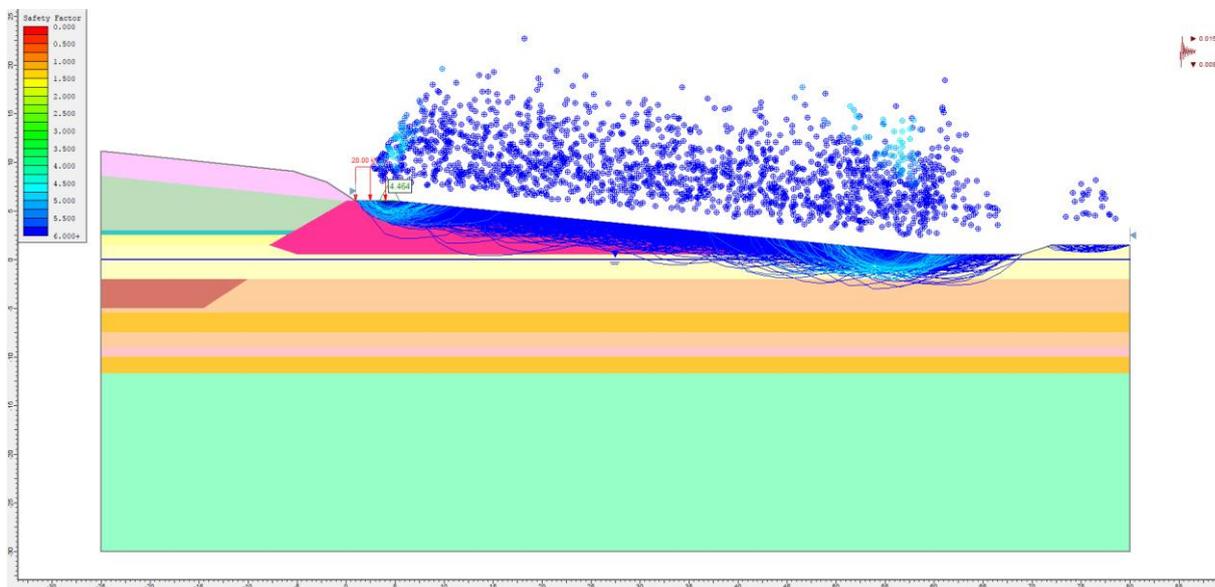


Figura 5.34 Morgenstern-Price FS = 4.464

5.5.5 Argine di contenimento statica

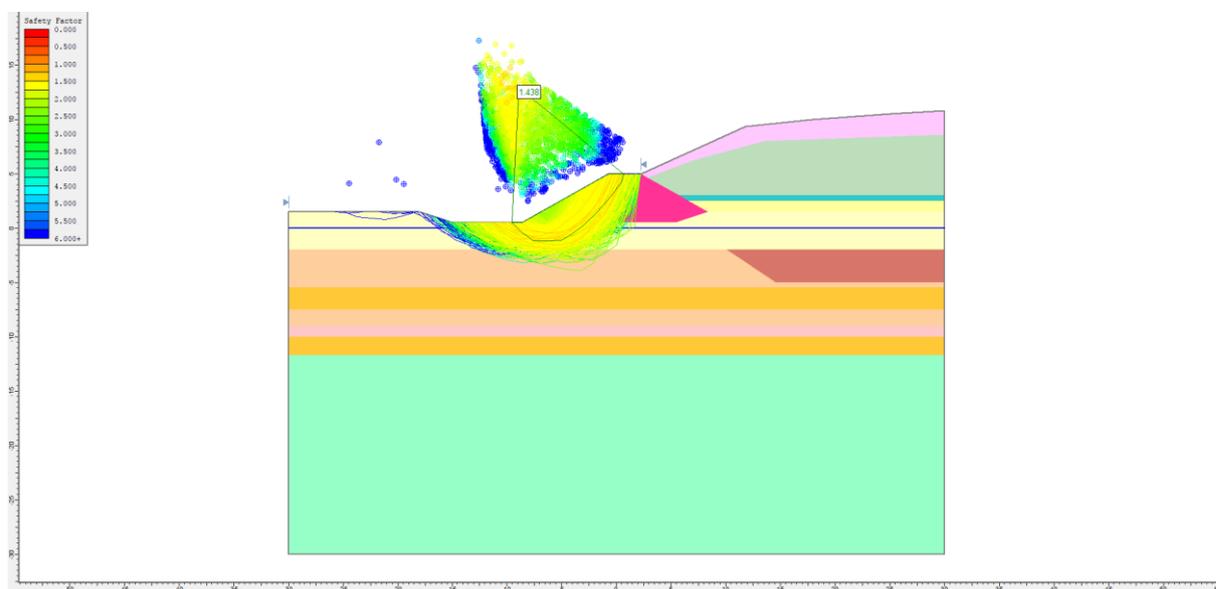


Figura 5.35 Bishop semplificato FS = 1.438

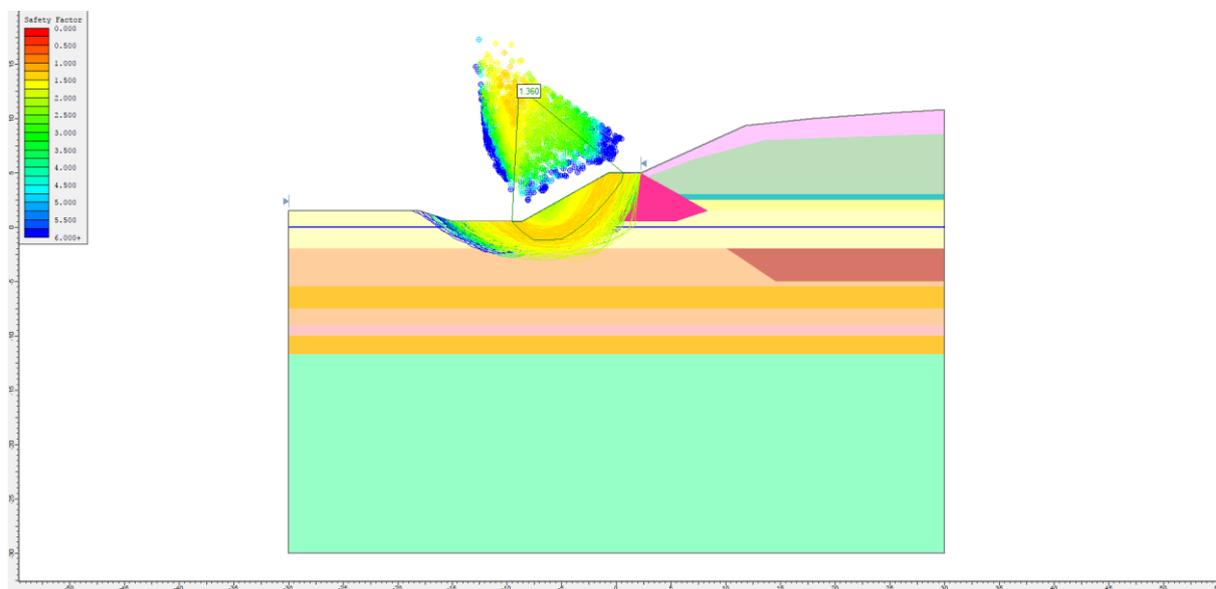


Figura 5.36 Janbu semplificato FS = 1.360

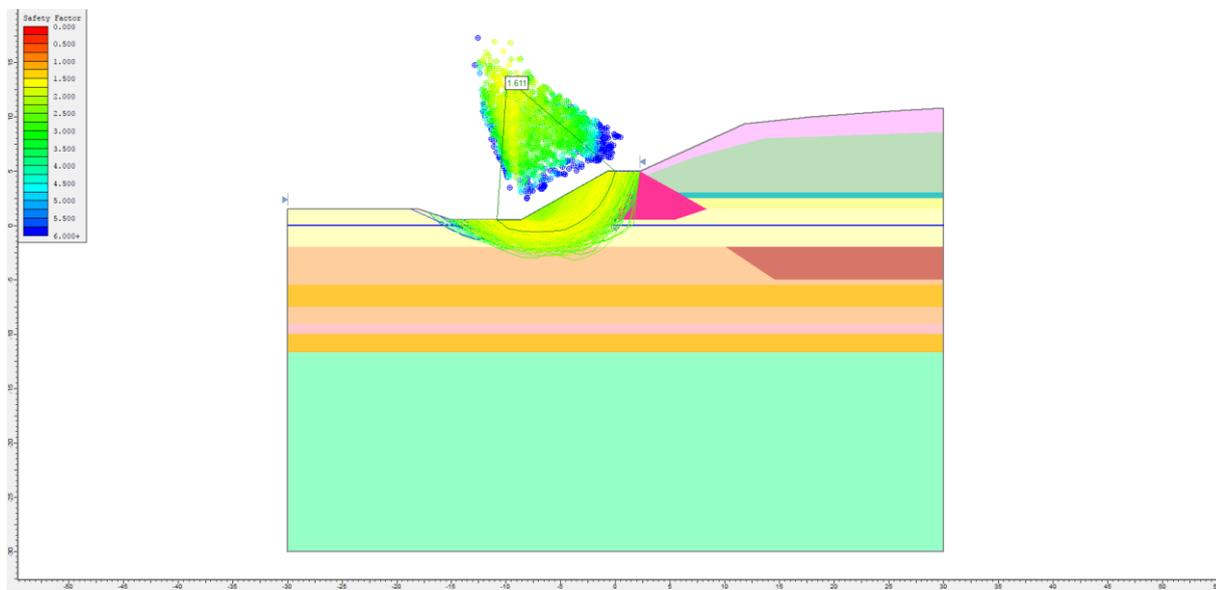


Figura 5.37 Spencer FS = 1.611

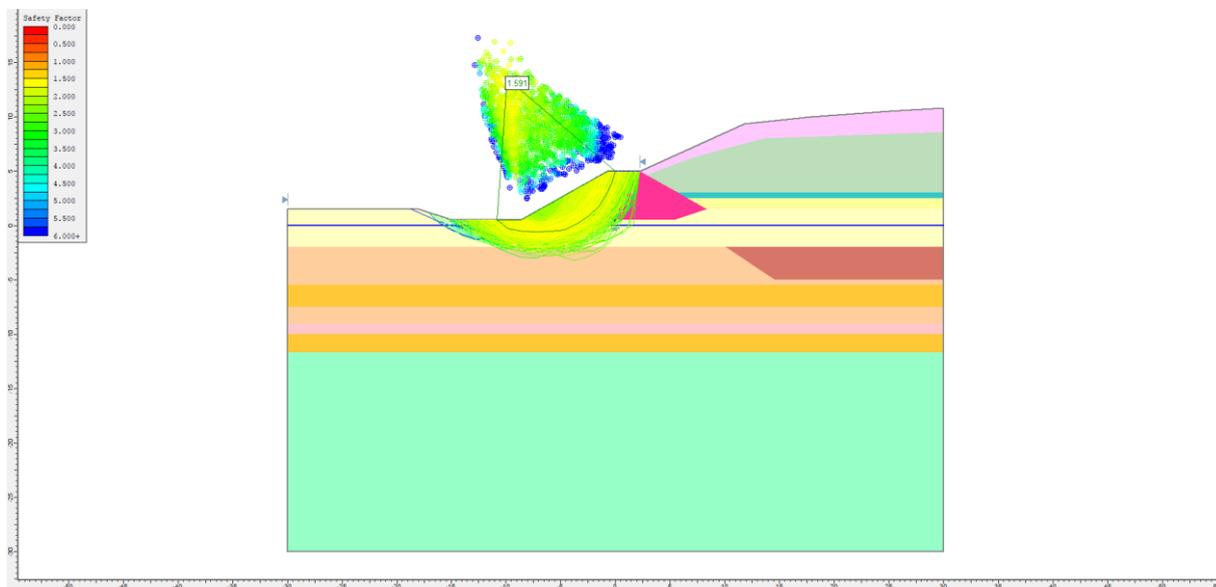


Figura 5.38 Morgenstern-Price FS = 1.591

5.5.6 Argine di contenimento sismica

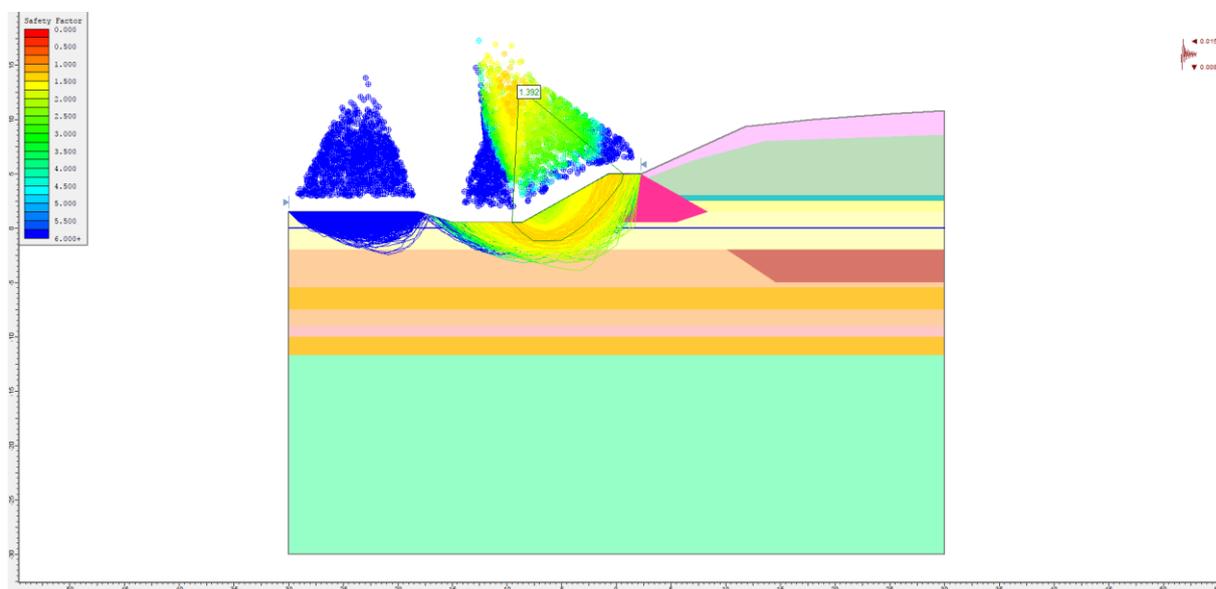


Figura 5.39 Bishop semplificato FS = 1.392

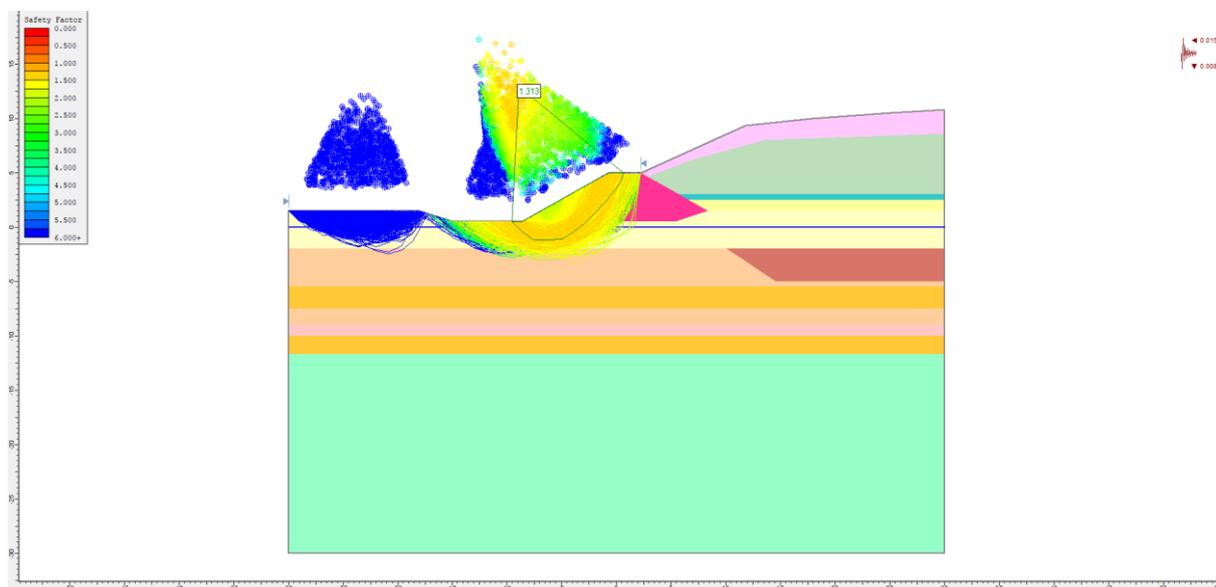


Figura 5.40 Janbu semplificato FS = 1.318

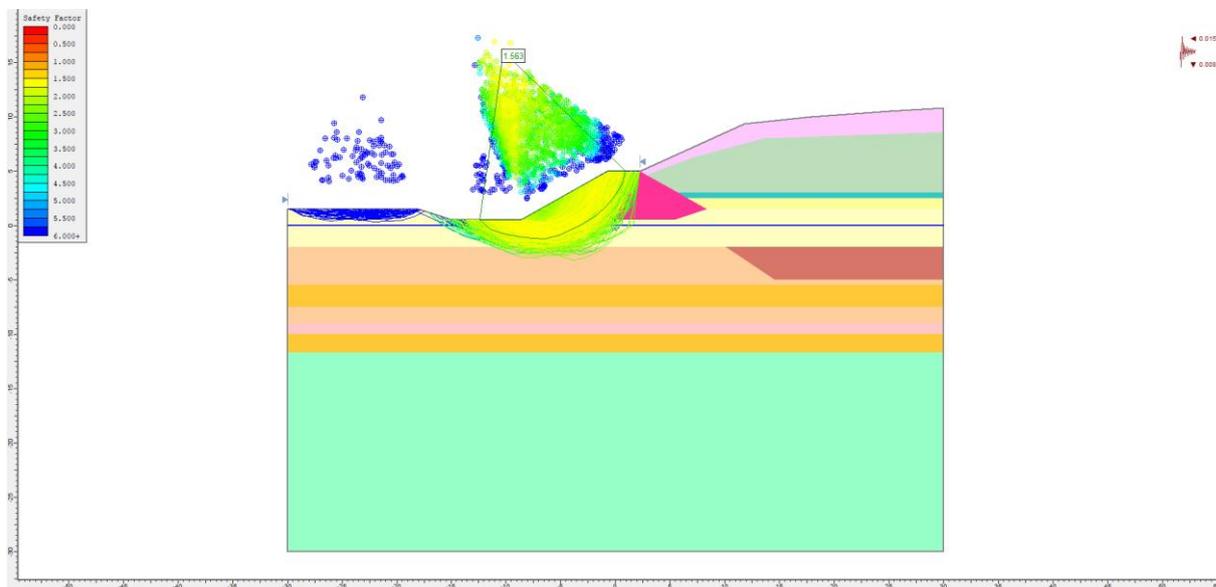


Figura 5.41 Spencer FS = 1.563

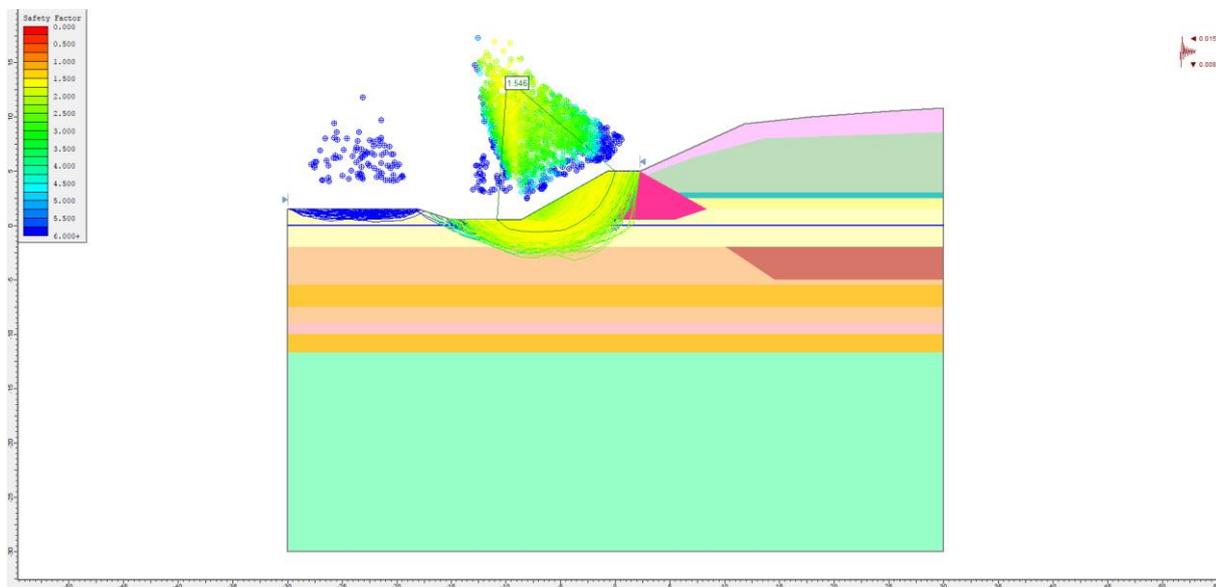


Figura 5.42 Morgenstern-Price FS = 1.546

6 MODELLAZIONE CON PLAXIS 2D

Il software di calcolo ad elementi finiti Plaxis 2D ha consentito non solo di ricavare i coefficienti di sicurezza per la stabilità globale, ma anche di quantificare i possibili cedimenti di argine e corpo rifiuti.

6.1 Codice di calcolo impiegato

Il programma PLAXIS 2D, impiegato per il calcolo delle sezioni, è stato realizzato da un gruppo di ricercatori della Delft University of Technology guidati dal Prof. P.A. Vermeer, con il supporto scientifico delle Università di Grenoble, Oxford e Stuttgart).

PLAXIS è un programma bidimensionale agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento elastoplastico del terreno seguendo contemporaneamente, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e degli elementi strutturali collegati.

Il programma PLAXIS è nato per specifiche esigenze di tipo geotecnico; esso permette di esaminare casi di stato piano di deformazione o di assialsimmetria.

La sua caratteristica peculiare è di utilizzare materiali con caratteristiche elastoplastiche, seguendo passo passo gli incrementi di carico (fino a grandi deformazioni, nel qual caso è possibile aggiornare la mesh) utilizzando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

Il modello utilizzato è invece un modello elastoplastico ad incrudimento tipo Hardening Soil Model (HSM).

Il terreno è schematizzato mediante un insieme di elementi finiti a forma triangolare a quindici nodi che forniscono una distribuzione cubica delle tensioni e delle deformazioni all'interno di ciascun elemento (essendo polinomi del 4° ordine le funzioni di forma interpolanti il campo degli spostamenti); di conseguenza il programma individua con accuratezza campi di tensione e di deformazione complessi anche con un limitato numero di elementi. Esiste la possibilità di mettere in conto la presenza di elementi lineari del tipo "beam", "truss" e "geotessili" resistenti solo a trazione, di considerare la presenza di molle elastoplastiche, e di ridurre le caratteristiche meccaniche del terreno a contatto con elementi di diversa natura.

I dati principali richiesti dal programma sono:

- a. geometria del problema (coordinate dei vertici di quadrilateri che vengono poi suddivisi in triangoli a 15 nodi, posizione di elementi beam, truss, geotessili, molle elastoplastiche, vincoli, falda);
- b. caratteristiche degli elementi di terreno:
- γ_{dry} = peso totale dell'unità di volume emerso,
 - γ_{wet} = peso totale dell'unità di volume immerso,
 - ϕ' = angolo d'attrito interno,
 - ψ = angolo di dilatanza,
 - G = modulo di elasticità tagliante,
 - ν = coefficiente di Poisson,
 - c' = coesione,
- c. coefficienti di permeabilità in direzione orizzontale e verticale;
- d. tipo di comportamento (drenato o non drenato);
- e. caratteristiche degli elementi lineari:
- EJ ed EA per gli elementi beam,
 - EA per gli elementi truss,
 - rigidezza elastica per elementi geotessili in trazione,
 - rigidezza e forza ultima per le molle elastoplastiche;
- f. definizione dei sistemi di carico;
- g. definizione delle pressioni idrostatiche, eventualmente variabili durante l'analisi del problema, o, quando sia richiesto, condizioni al contorno per il calcolo delle pressioni idrostatiche.

A seguire sono rappresentate le modellazioni adottate dal programma per:

- legame costitutivo fra la tensione deviatorica (differenza fra la tensione assiale σ_1 e la tensione di confinamento radiale σ_3) e la deformazione assiale (ϵ_1);

- relazione fra ε_v (deformazione volumetrica $\Delta V/V_0$) e ε_1 (deformazione assiale).

Il calcolo prevede in genere la suddivisione delle diverse fasi (corrispondenti all'applicazione di carichi, o a modifiche della configurazione geometrica per scavi o riporti, o a modifiche delle pressioni idrostatiche, o a dissipazione di pressioni neutre) in passi di calcolo, ed e' possibile quindi seguire l'evoluzione delle condizioni del terreno parallelamente alle prevedibili fasi costruttive.

Il programma è concepito in modo tale da applicare per passi i carichi desiderati, aggiornando di volta in volta i valori delle deformazioni e delle tensioni.

All'interno di ogni passo di carico il programma perviene all'equilibrio attraverso una serie di iterazioni sfruttando la matrice di rigidità iniziale (metodo di Newton-Raphson modificato).

Il controllo della convergenza, al termine della i-esima iterazione viene effettuato attraverso la relazione:

$$\varepsilon_i = \frac{\|\overline{P}_i\|}{\|\Sigma F\|}$$

dove:

- ε_i = errore della i-esima iterazione;
- $\|\overline{P}_i\|$ = norma del vettore costituito dalle forze nodali non bilanciate; $\|\overline{P}_i\|$ può essere definito come $\|\Sigma F - P_i\|$, dove P_i è il vettore dei carichi nodali equivalenti al termine della i-esima iterazione (relativo allo stato tensionale ottenuto via legame costitutivo dallo stato deformativo);
- $\|\Sigma F\|$ = norma del vettore dei carichi nodali equivalenti relativo al livello finale di carico del passo in esame.

In output sono disponibili, per ogni passo:

- spostamenti in tutti i nodi del sistema,
- stato tensionale in tutti i punti di integrazione (12 per triangolo),
- sollecitazioni di momento flettente, sforzo normale e taglio negli elementi beam e sforzo normale negli elementi truss, negli elementi geotessili e nelle molle elastoplastiche.

Varie routine grafiche permettono di visualizzare velocemente gli spostamenti e lo stato tensionale in ciascuna fase.

Il programma permette di risolvere i seguenti problemi:

- filtrazione, e sue conseguenze sul campo delle deformazioni e delle tensioni,
- carichi applicati, analisi delle deformazioni e delle tensioni, valutazione del carico limite,
- analisi della stabilità dei pendii,
- interazione terreno-struttura,
- effetto della presenza di geotessili,
- analisi della consolidazione.

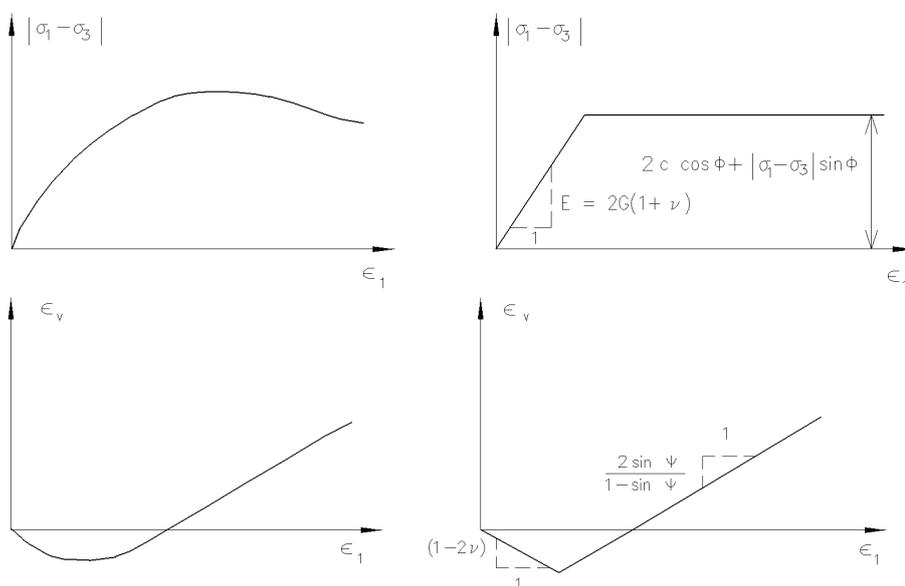


Figura 6.1 Relazione fra la prova triassiale standard (drenata) e modello elastoplastico. σ_1 è la tensione assiale, σ_3 tensione radiale costante di confinamento, ε_v deformazione volumetrica, ε_1 è la deformazione assiale

6.2 Unità stratigrafiche, corpi arginali e RSU

In Plaxis 2D i terreni di fondazione, il corpo arginale e i rifiuti vecchi al di sotto del p.c., sono stati modellati con un modello costitutivo di tipo Hardening Soil, mentre per i rifiuti nuovi è stato usato un modello costitutivo di tipo Mohr – Coulomb. La stratigrafia implementata rispecchia quanto definito nel capitolo geotecnico; i primi due orizzonti di terreno al di sotto del p.c. coincidono rispettivamente con lo strato di riporto e quello di 3m di rifiuti.

Nelle immagini seguenti si riportano le principali caratteristiche meccaniche degli elementi appena descritti.

Property	Unit	Value	Value	Value	Value
Material set					
Identification number		1	2	3	4
Identification		A1	S1	A2	A3
Material model		Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type		Undrained (A)	Drained	Undrained (B)	Undrained (A)
Colour		 RGB 161, 226, 232	 RGB 134, 234, 162	 RGB 236, 232, 156	 RGB 195, 229, 249
Comments					
General properties					
γ_{unsat}	kN/m ³	18.80	18.60	20.20	19.80
γ_{sat}	kN/m ³	18.80	18.60	20.20	19.80
Advanced					
Void ratio					
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0
Material set					
Identification number		1	2	3	4
Identification		A1	S1	A2	A3
Material model		Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type		Undrained (A)	Drained	Undrained (B)	Undrained (A)
Colour		 RGB 161, 226, 232	 RGB 134, 234, 162	 RGB 236, 232, 156	 RGB 195, 229, 249
Stiffness					
E_{50}^{ref}	kN/m ²	1400	12.70E3	3500	2170
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	1400	12.70E3	3500	2170
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	4200	38.10E3	10.50E3	6510
power (m)		0.8000	0.5000	0.9000	0.8000
Alternatives					
Use alternatives		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C_c		0.2464	0.02717	0.09857	0.1590
C_s		0.07393	8.150E-3	0.02957	0.04770
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
Strength					
c_{ref}	kN/m ²	16.70	8.000	80.00	12.00
φ (phi)	°	24.40	33.50	0.000	23.70
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 6.2 Caratteristiche meccaniche principali dei terreni di fondazione – prima parte

Property	Unit	Value	Value	Value	Value	Value
Material set						
Identification number		6	7	8	9	10
Identification		ARGINE	SUP	ARGILLA	DRENANTE	COPERTURA
Material model		Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type		Drained	Drained	Undrained (A)	Drained	Drained
Colour		 RGB 182, 226, 190	 RGB 230, 181, 132	 RGB 200, 182, 137	 RGB 185, 207, 205	 RGB 222, 115, 186
Comments						
General properties						
Y_{unsat}	kN/m ³	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Y_{sat}	kN/m ³	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Advanced						
Void ratio						
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Material set						
Identification number		6	7	8	9	10
Identification		ARGINE	SUP	ARGILLA	DRENANTE	COPERTURA
Material model		Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type		Drained	Drained	Undrained (A)	Drained	Drained
Colour		 RGB 182, 226, 190	 RGB 230, 181, 132	 RGB 200, 182, 137	 RGB 185, 207, 205	 RGB 222, 115, 186
Stiffness						
E_{50}^{ref}	kN/m ²	20.00E3	8700	3000	8000	5000
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	20.00E3	8700	3000	8000	5000
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	60.00E3	26.10E3	9000	24.00E3	15.00E3
power (m)		0.5000	0.5000	0.8000	0.5000	0.5000
Alternatives						
Use alternatives		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C_c		0.01725	0.03966	0.1150	0.04312	0.06900
C_s		5.175E-3	0.01190	0.03450	0.01294	0.02070
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
Strength						
c_{ref}	kN/m ²	7.000	1.000	10.00	0.1000	5.000
φ (phi)	°	35.00	30.00	24.00	32.00	32.00
ψ (psi)	°	2.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 6.3 Caratteristiche meccaniche principali dei terreni di fondazione – seconda parte

Property	Unit	Value
Material set		
Identification number		5
Identification		RIFIUTI
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		 RGB 125, 149, 227
Comments		
General properties		
Y_{unsat}	kN/m ³	8.000
Y_{sat}	kN/m ³	8.000
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0
Material set		
Identification number		5
Identification		RIFIUTI
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		 RGB 125, 149, 227
Stiffness		
E	kN/m ²	500.0
ν (ν_u)		0.3000
Alternatives		
G	kN/m ²	192.3
E_{oed}	kN/m ²	673.1
Strength		
c_{ref}	kN/m ²	10.00
φ (ϕ)	°	30.00
ψ (ψ)	°	0.000

Figura 6.4 Caratteristiche meccaniche principali dei rifiuti nuovi

Property	Unit	Value
Material set		
Identification number		11
Identification		RIFIUTI VECCHI
Material model		Hardening soil
Drainage type		Drained
Colour		 RGB 241, 228, 246
Comments		
General properties		
Y_{unsat}	kN/m ³	10.00
Y_{sat}	kN/m ³	10.00
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0
Material set		
Identification number		11
Identification		RIFIUTI VECCHI
Material model		Hardening soil
Drainage type		Drained
Colour		 RGB 241, 228, 246
Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m ²	1000
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	1000
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	3000
power (m)		0.8000
Alternatives		
Use alternatives		<input type="checkbox"/>
C_c		0.3450
C_s		0.1035
e_{init}		0.5000
Strength		
c_{ref}	kN/m ²	3.000
φ (ϕ)	°	22.00
ψ (ψ)	°	0.000

Figura 6.5 Caratteristiche meccaniche principali dei rifiuti vecchi

6.3 Fasi di calcolo

Nel seguito si presenta l'albero delle fasi adottate nel codice Plaxis 2D.



Figura 6.6 Fasi di calcolo per le sezioni arginali

Vista la dimensione dell'opera e il poco tempo a disposizione, si fissa per la fase Step 1 un tempo di costruzione pari a 10 giorni. La fase successiva di consolidazione viene fatta durare 20 giorni, in modo da cominciare la coltivazione dei rifiuti già dopo 1 mese dall'inizio della costruzione arginale. In sommità degli argini Nord e Sud, al fine di simulare la presenza del traffico stradale dovuto ai mezzi di lavoro, si applica un carico uniformemente distribuito pari a 20kPa; tale carico si omette per l'Argine di contenimento.

Al fine di simulare la fase di colmata e quella di realizzazione del sistema di copertura della discarica, si stimano per le fasi Rifiuti e Capping dei tempi di consolidazione rispettivamente pari a 730 giorni e 365 giorni.

Infine la consolidazione finale a lungo termine viene fatta arrestare solo quando si esaurisce la sovrappressione neutrale nei terreni di fondazione, ovvero quando nel sistema i cedimenti sono ormai maturati.

I calcoli condotti con metodo agli elementi finiti per propria natura non consentono di fattorizzare i parametri geotecnici come usualmente richiesto dalla normativa attuale per le analisi di stabilità di rilevati. In questo caso quindi il coefficiente globale di sicurezza calcolato con approcci FEM può essere derivato dal semplice confronto matematico fra coefficienti parziali applicati ai parametri geotecnici moltiplicato per il coefficiente di sicurezza globale. In questo caso, considerando terreni in condizioni non drenate, si impiegano il coefficiente $\gamma_{cu} = 1.4$ sul materiale ed il coefficiente globale $\gamma_R = 1.1$; si ricava un FS minimo pari a 1.54.

Per una migliore comprensione della fessistica si riportano le seguenti immagini di calcolo, valide per il modello dell'argine Sud ma del tutto analoghe a quelle degli altri argini modellati.

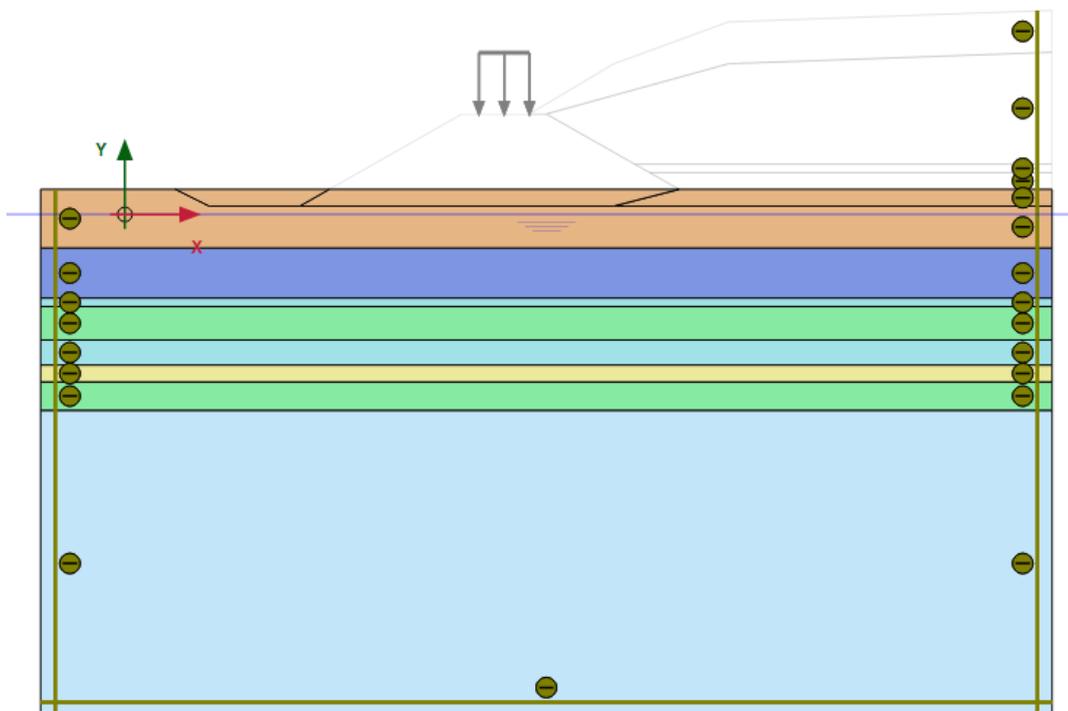


Figura 6.7 Fase iniziale di terreno indisturbato

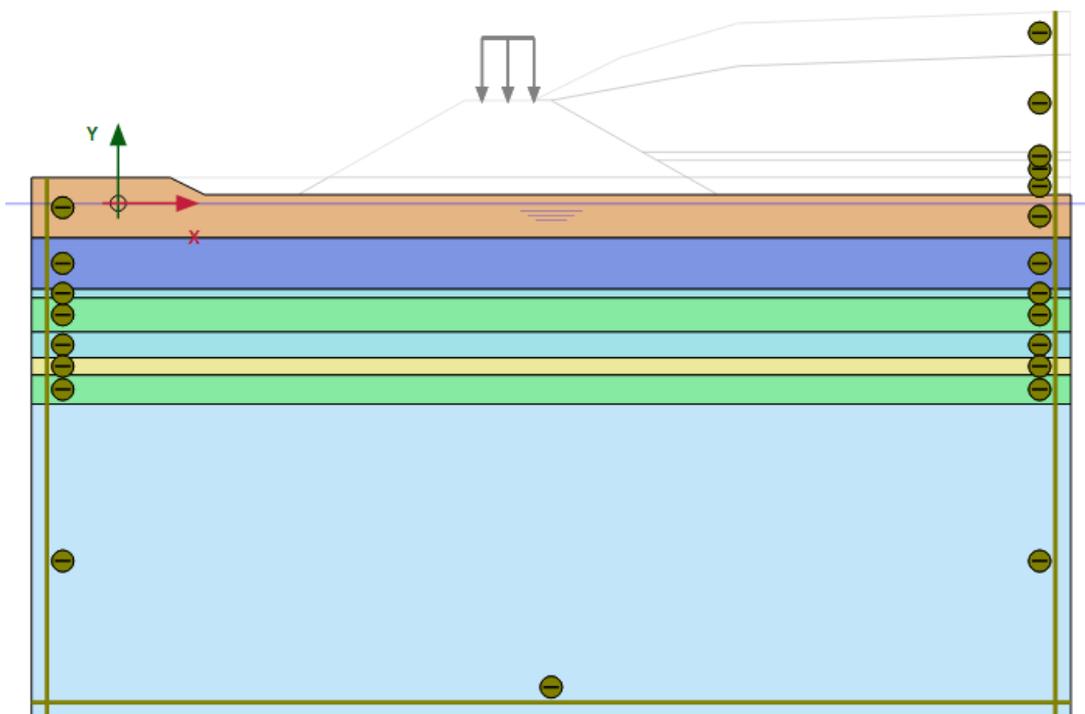


Figura 6.8 Scavo – scotico e livellamento del primo mezzo metro circa di terreno in preparazione del piano di posa di rilevato e corpo rifiuti

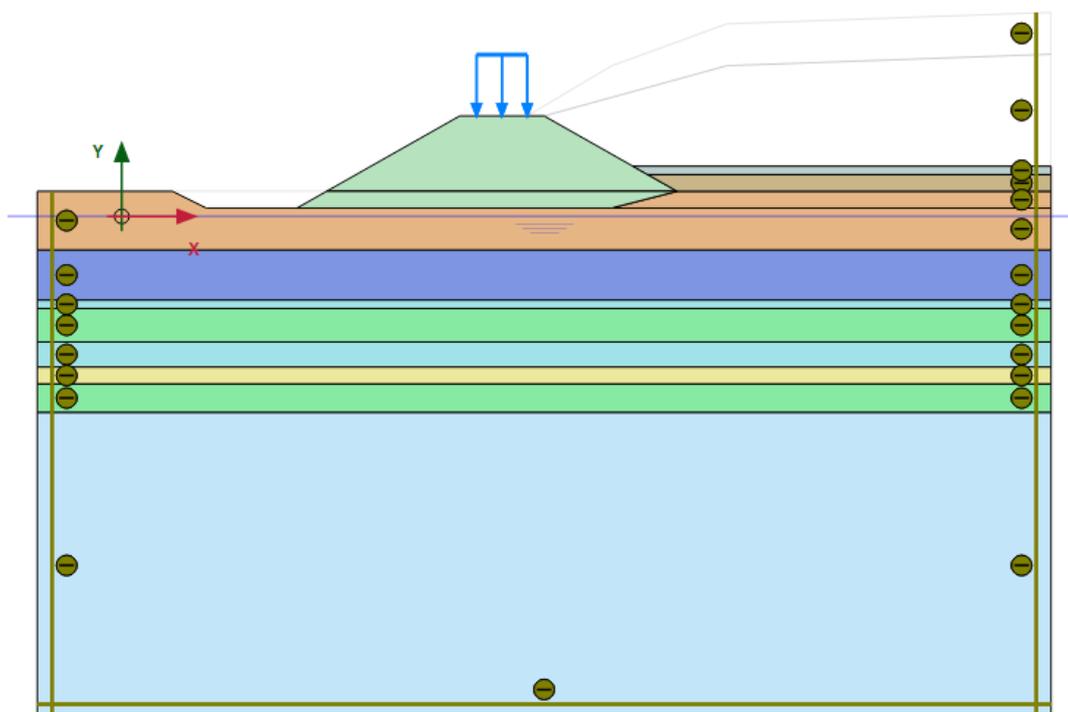


Figura 6.9 Step 1 – costruzione arginale e strato di sottofondo della discarica

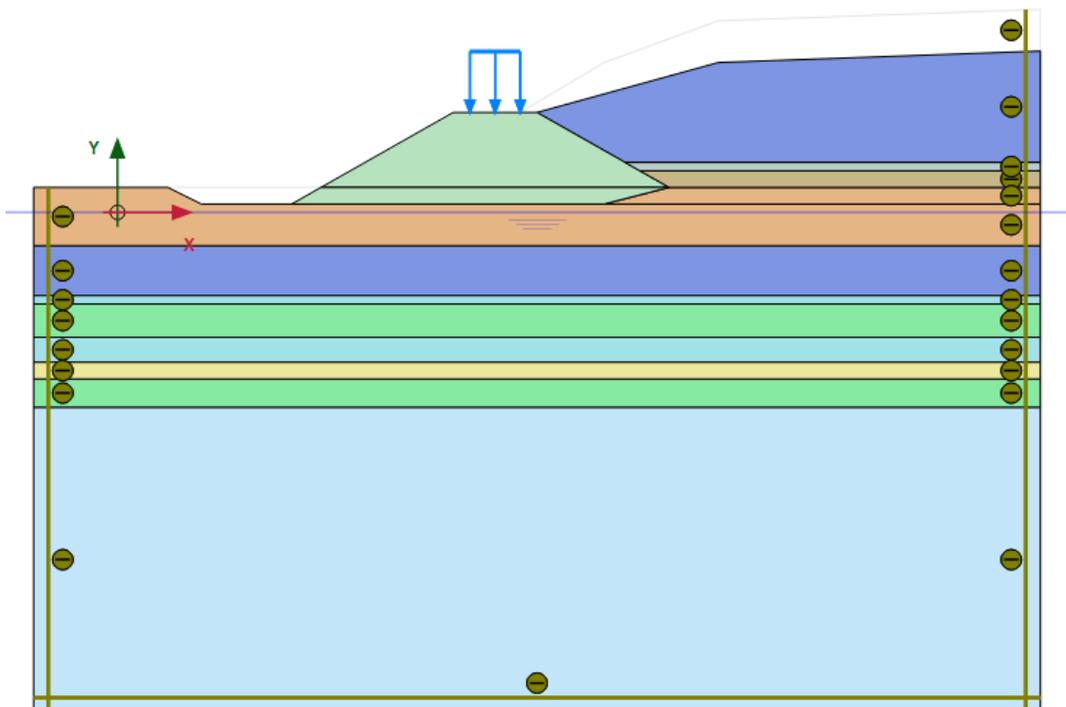


Figura 6.10 Rifiuti - riempimento della discarica

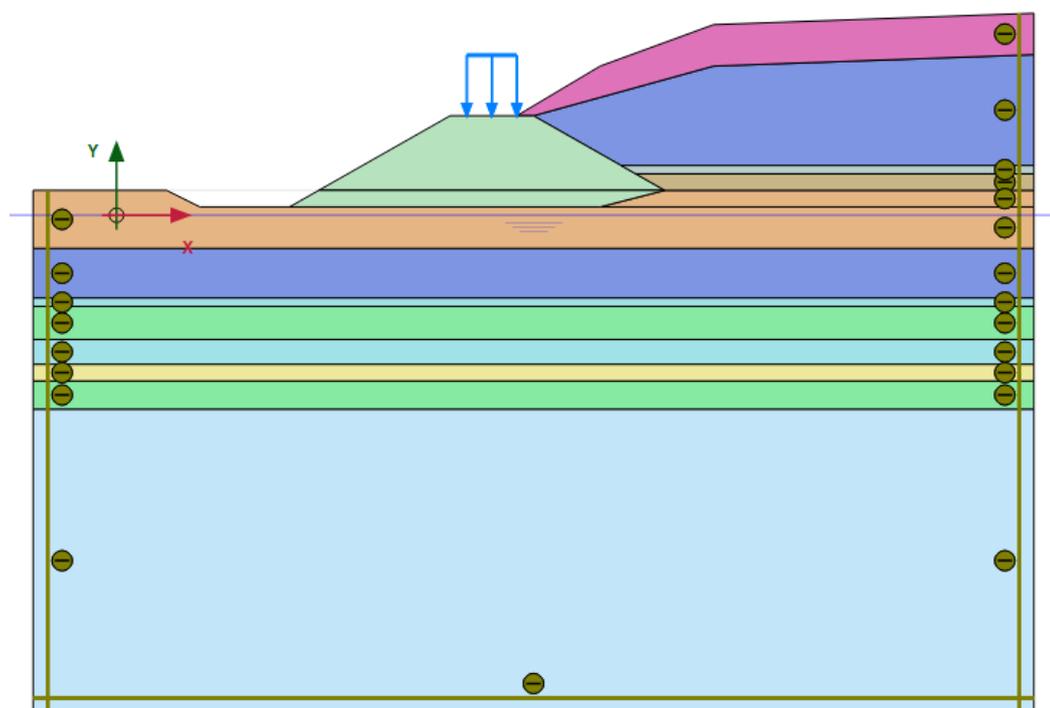
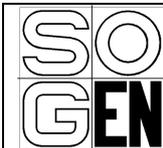


Figura 6.11 Capping - realizzazione del sistema di copertura



SOCIETA' DI INGEGNERIA GEOTECNICA E STRUTTURALE

FILE NR.
17089G1200B.doc

LAVORO: COMPLETAMENTO DELLA MESSA IN SICUREZZA
DELLA DISCARICA PIAVE NUOVO - IESOLO - RELAZIONE
GEOTECNICA

CLIENTE:
INSULA S.p.a.

FOGLIO
82 di 133

6.4 Risultati

6.4.1 Argine Sud

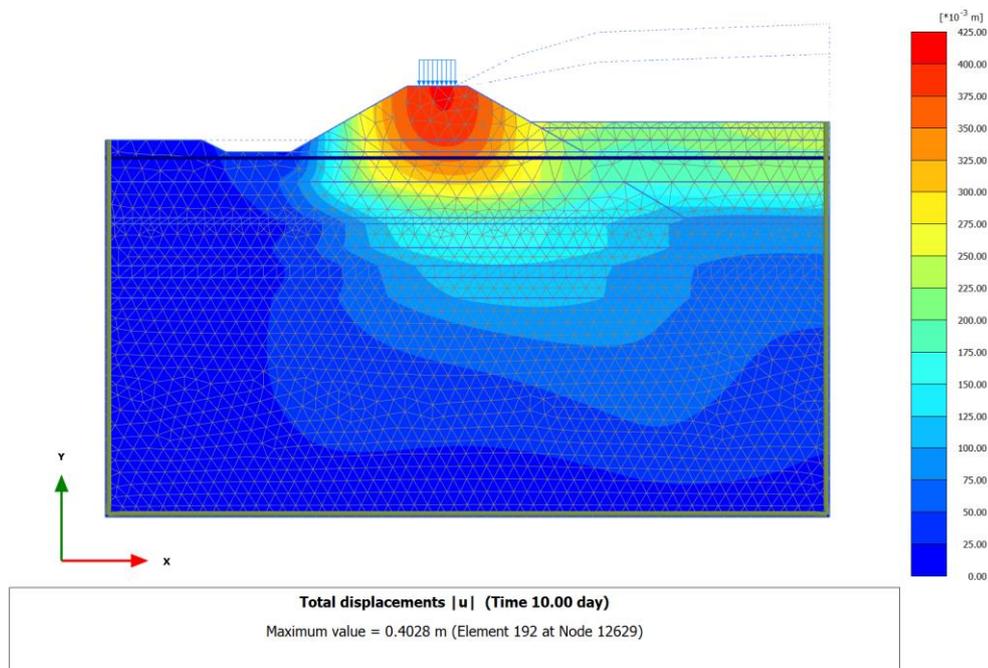


Figura 6.12 Deformazioni al termine dello Step 1

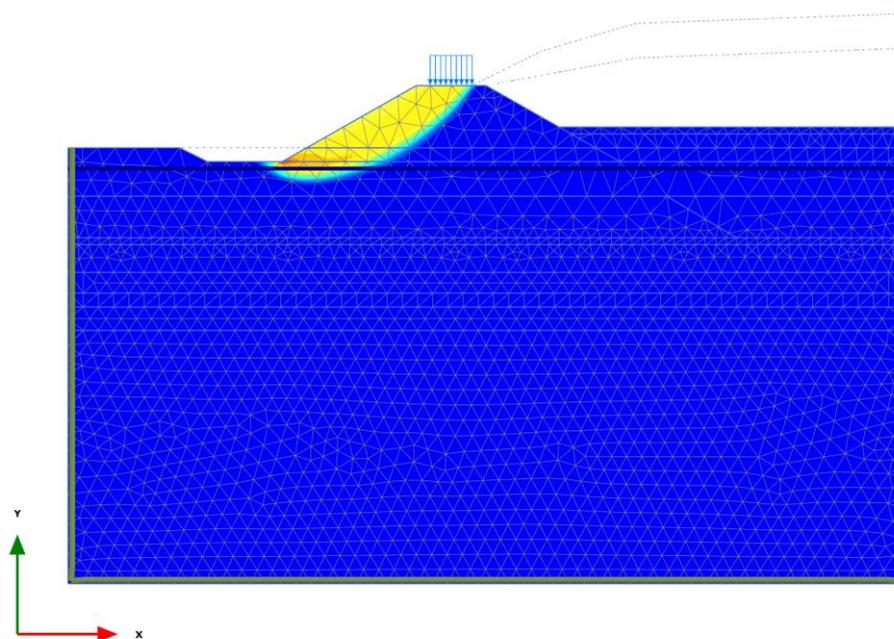


Figura 6.13 Superfici di potenziale scorrimento al termine dello Step 1 (FS = 1.661)

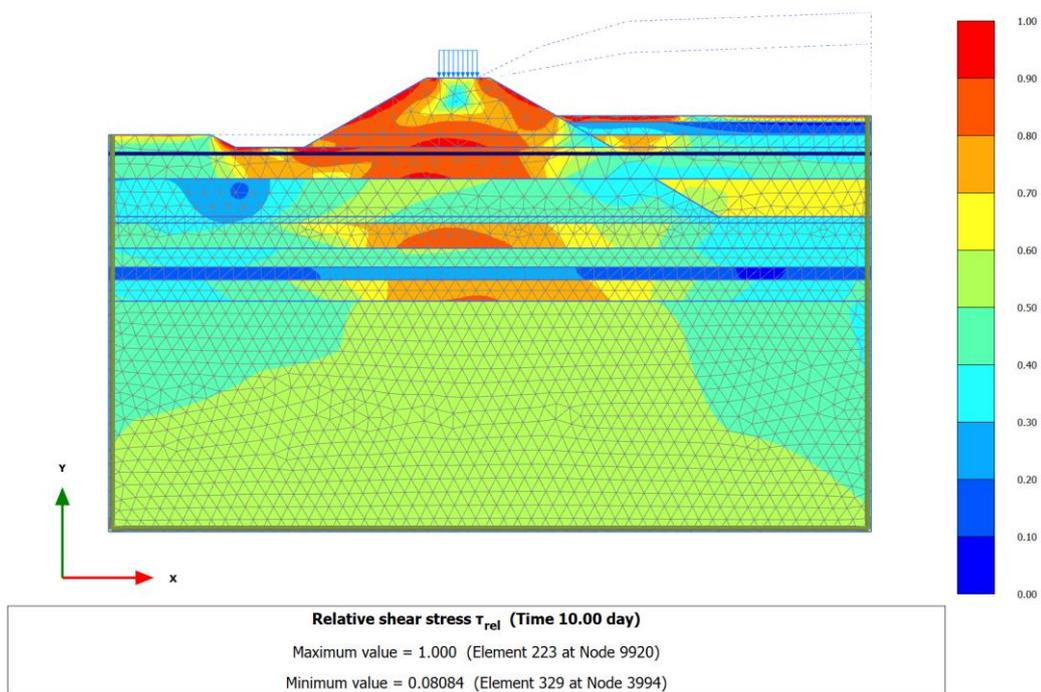


Figura 6.14 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine dello Step 1

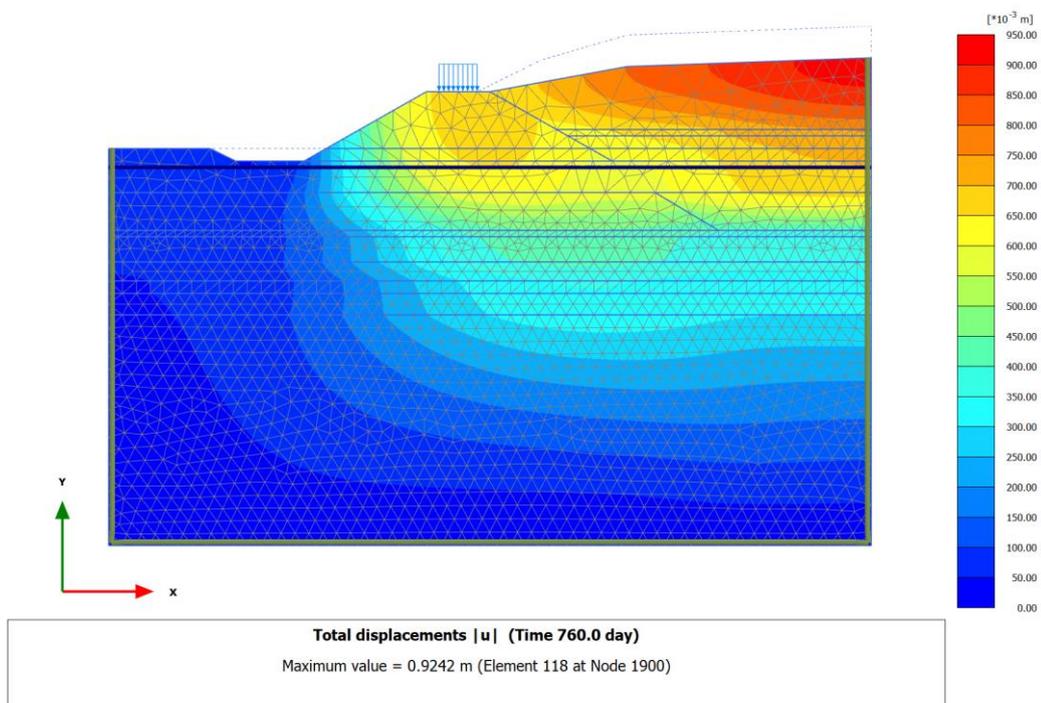


Figura 6.15 Deformazioni al termine del riempimento della discarica

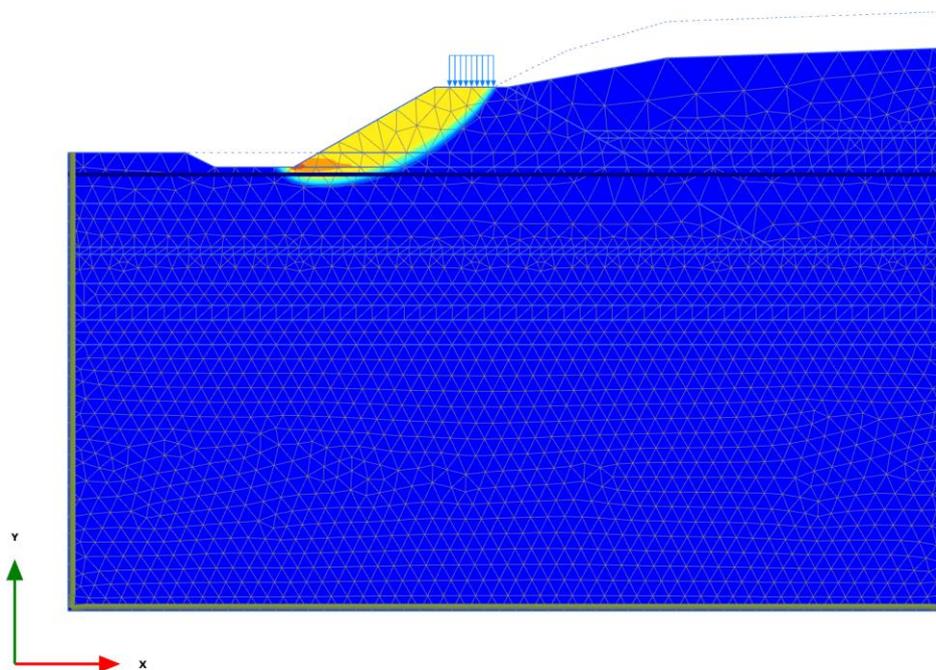


Figura 6.16 Superfici di potenziale scorrimento al termine del riempimento della discarica (FS = 1.697)

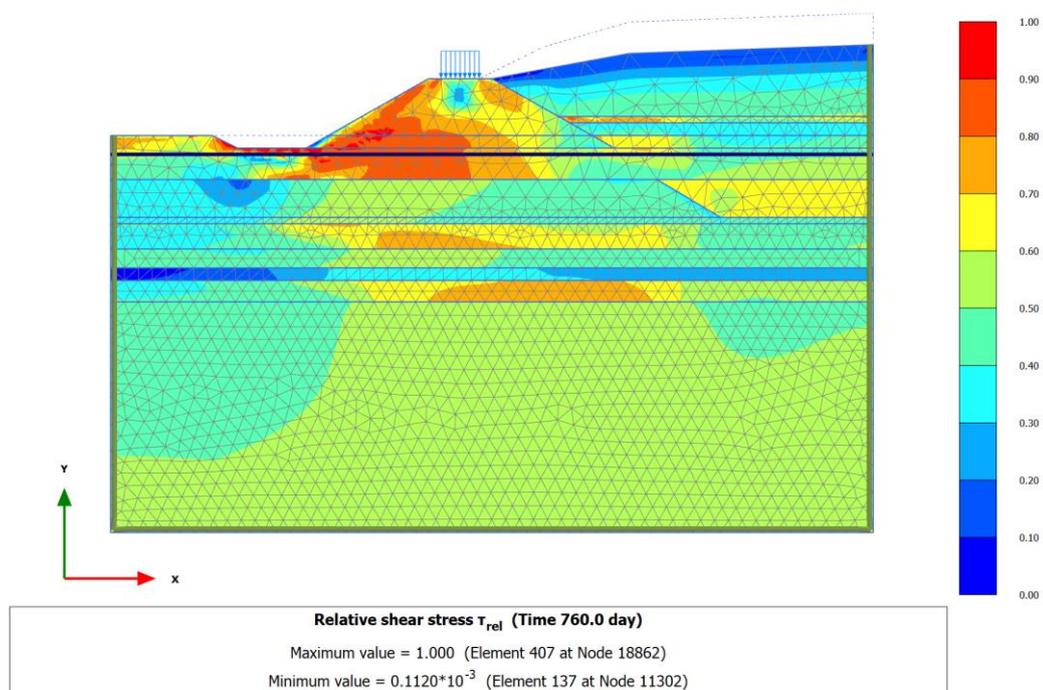


Figura 6.17 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine del riempimento della discarica

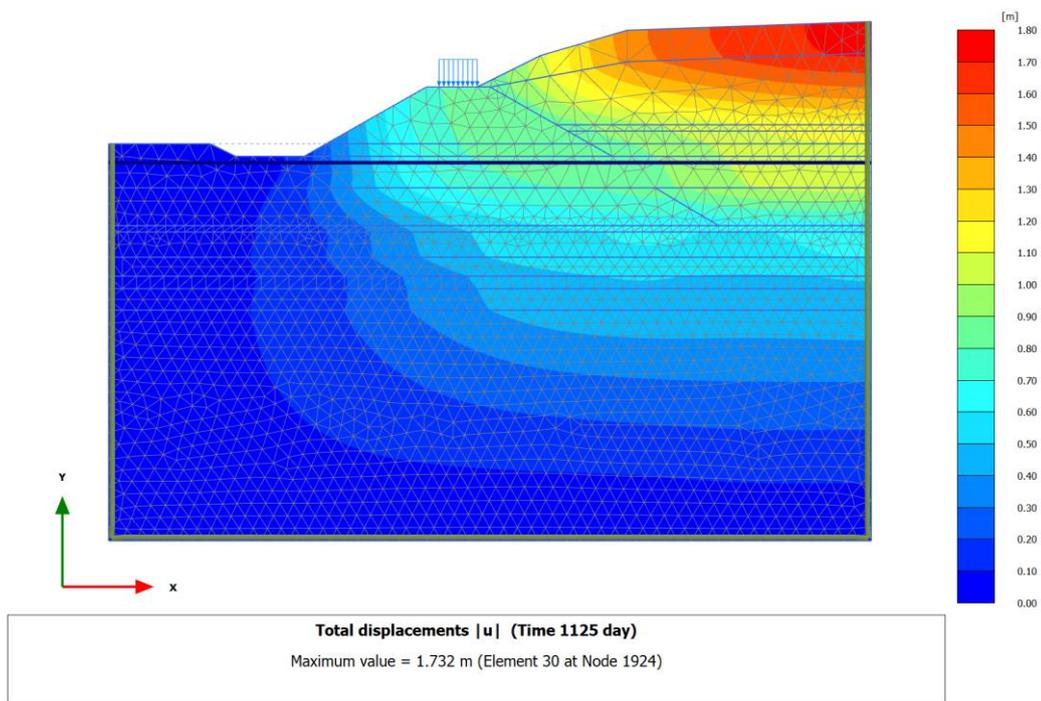


Figura 6.18 Deformazioni al termine del ricoprimento della discarica

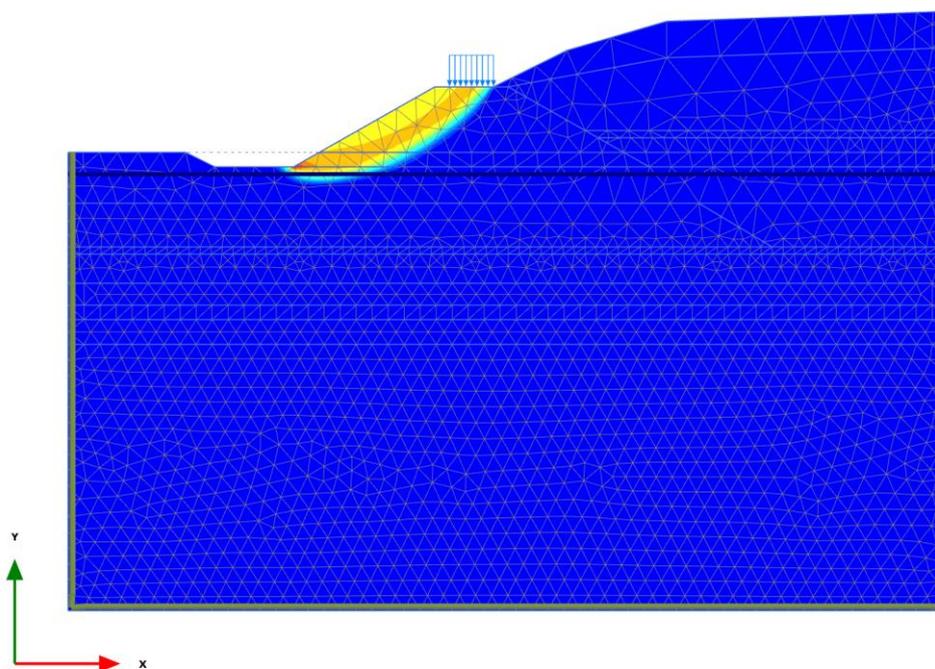


Figura 6.19 Superfici di potenziale scorrimento al termine del ricoprimento della discarica (FS = 1.703)

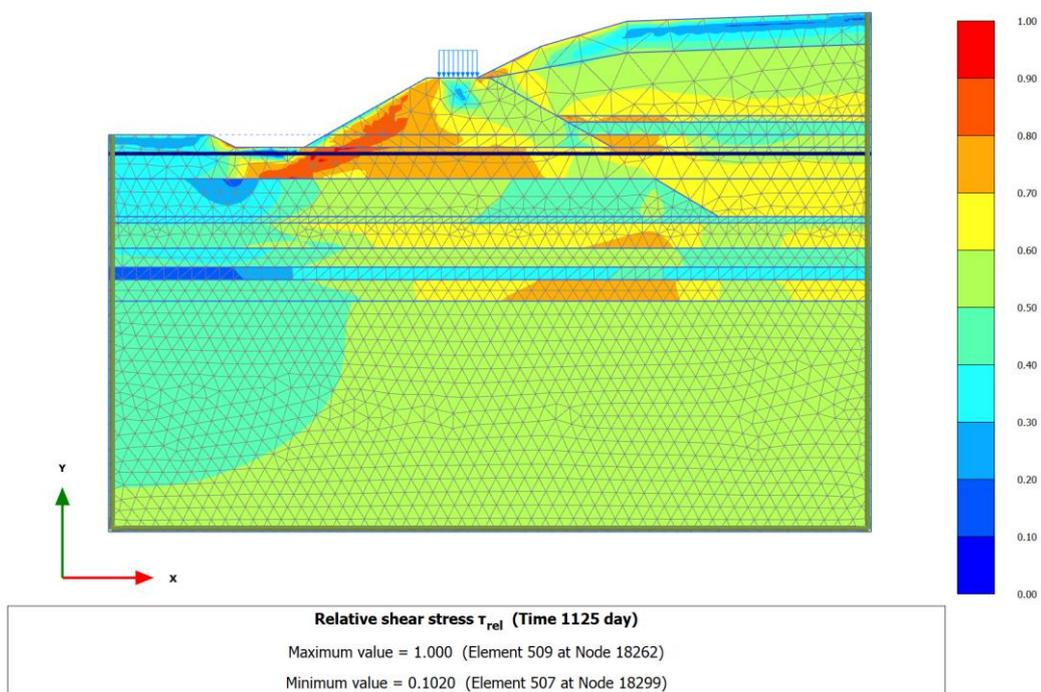


Figura 6.20 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine del ricoprimento della discarica

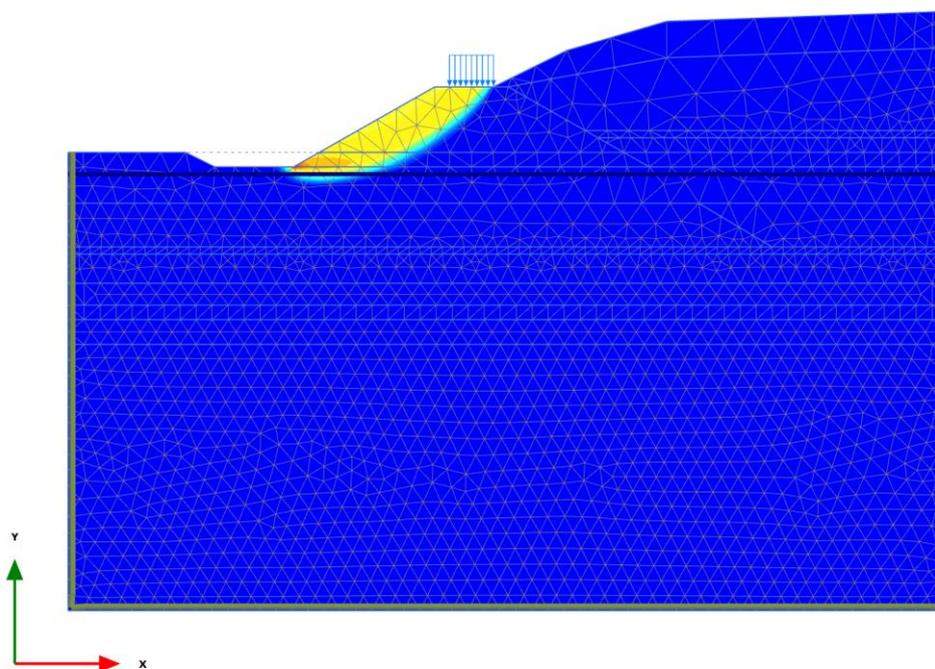


Figura 6.21 Superfici di potenziale scorrimento a lungo termine dal ricoprimento della discarica (FS = 1.700)

6.4.2 Argine Nord

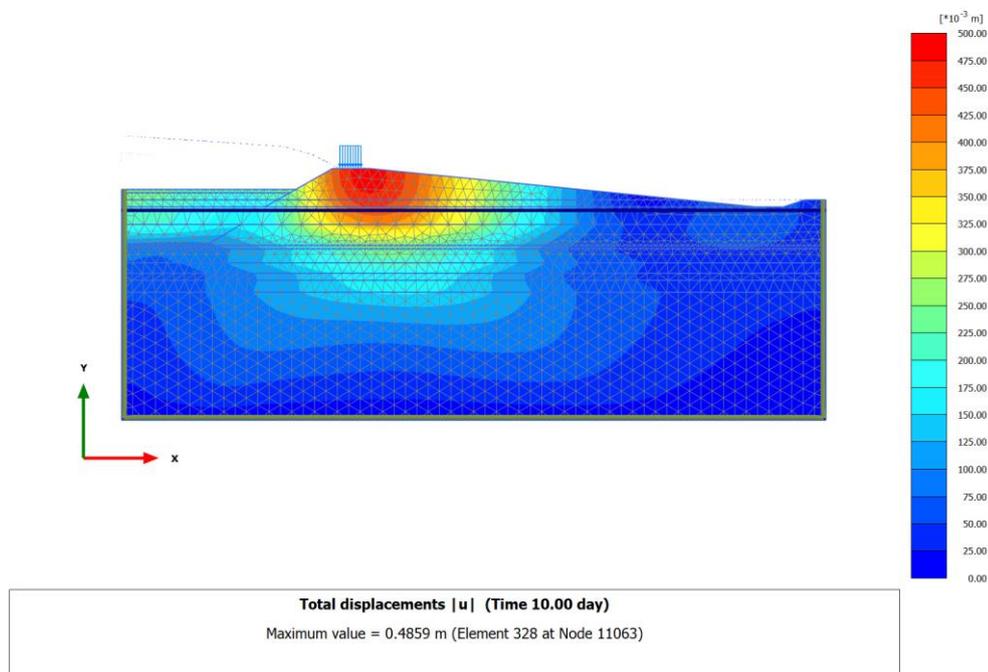


Figura 6.22 Deformazioni al termine dello Step 1

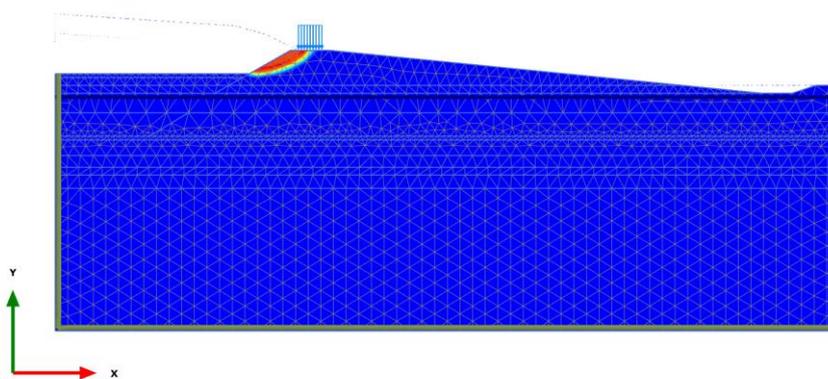


Figura 6.23 Superfici di potenziale scorrimento al termine dello Step 1 (FS = 2.388)

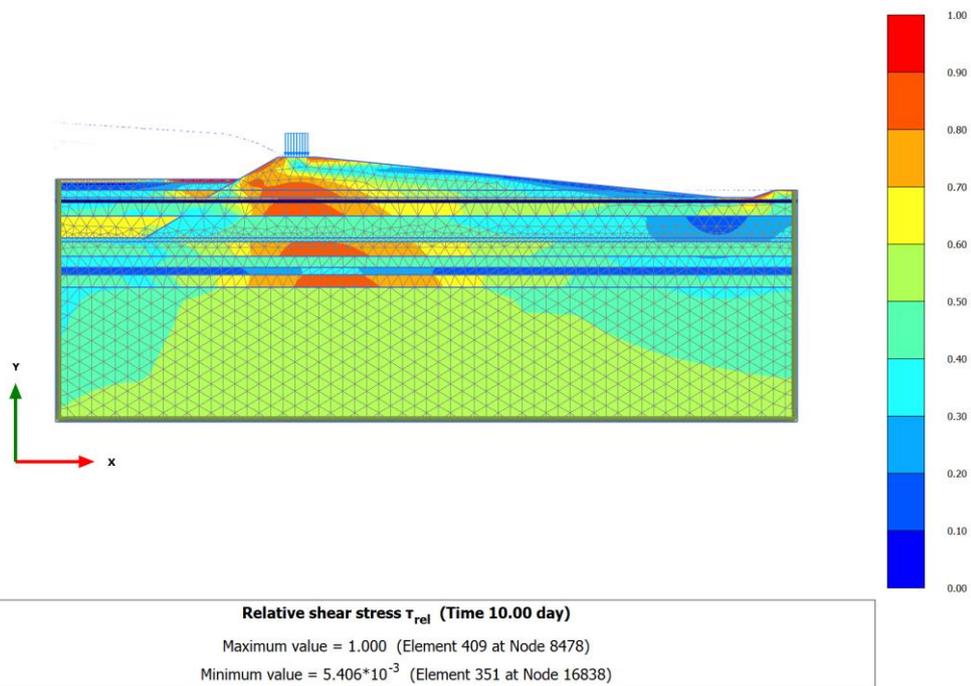


Figura 6.24 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine dello Step 1

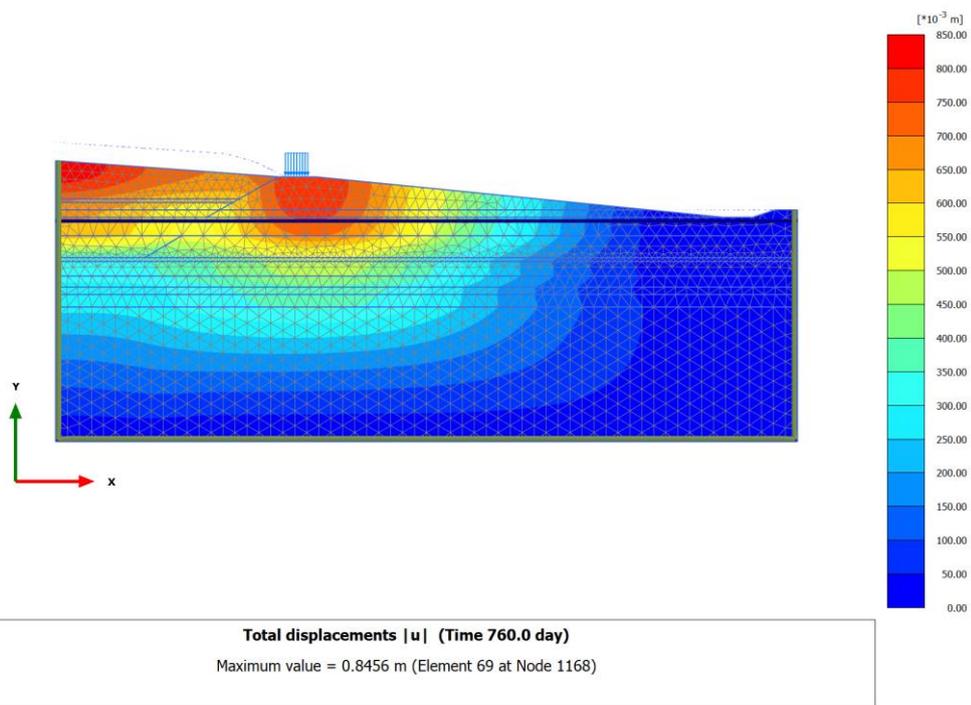


Figura 6.25 Deformazioni al termine del riempimento della discarica

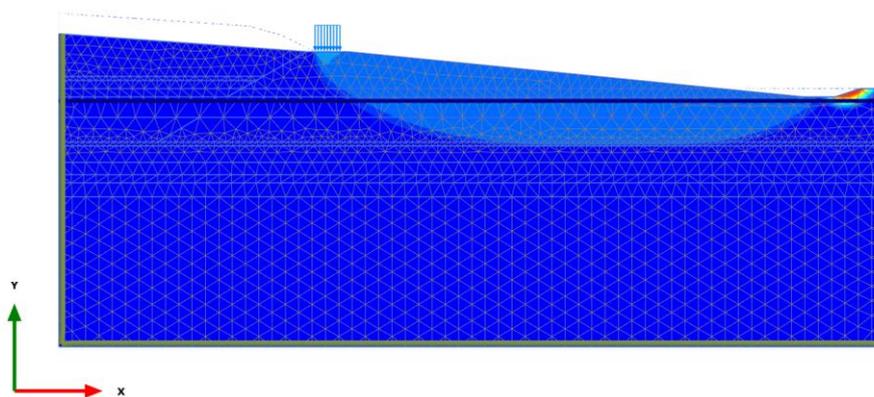


Figura 6.26 Superfici di potenziale scorrimento al termine del riempimento della discarica (FS = 4.427)

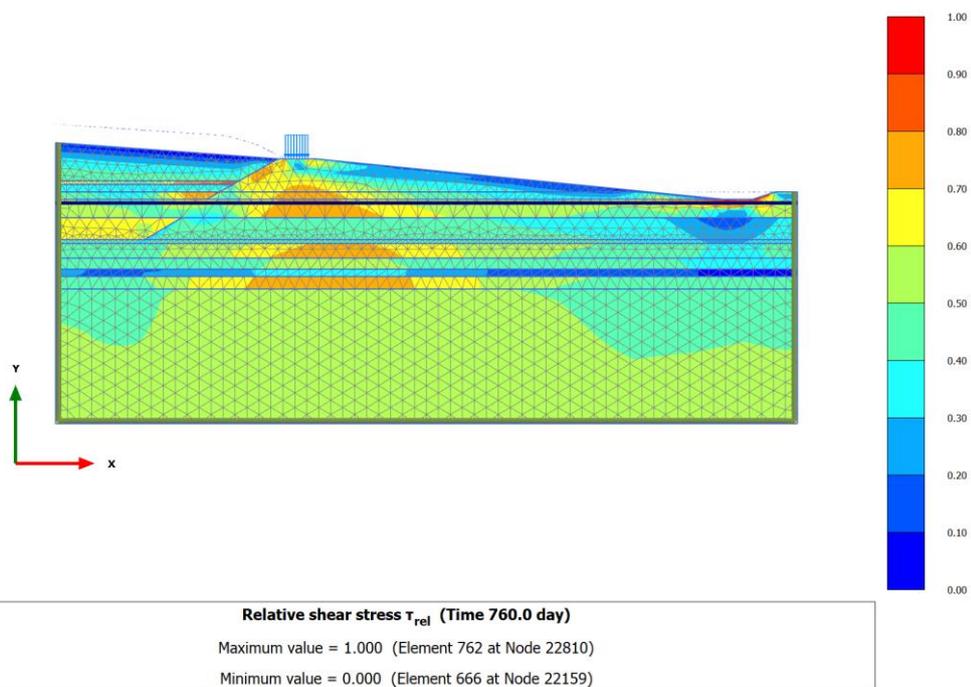


Figura 6.27 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine del riempimento della discarica

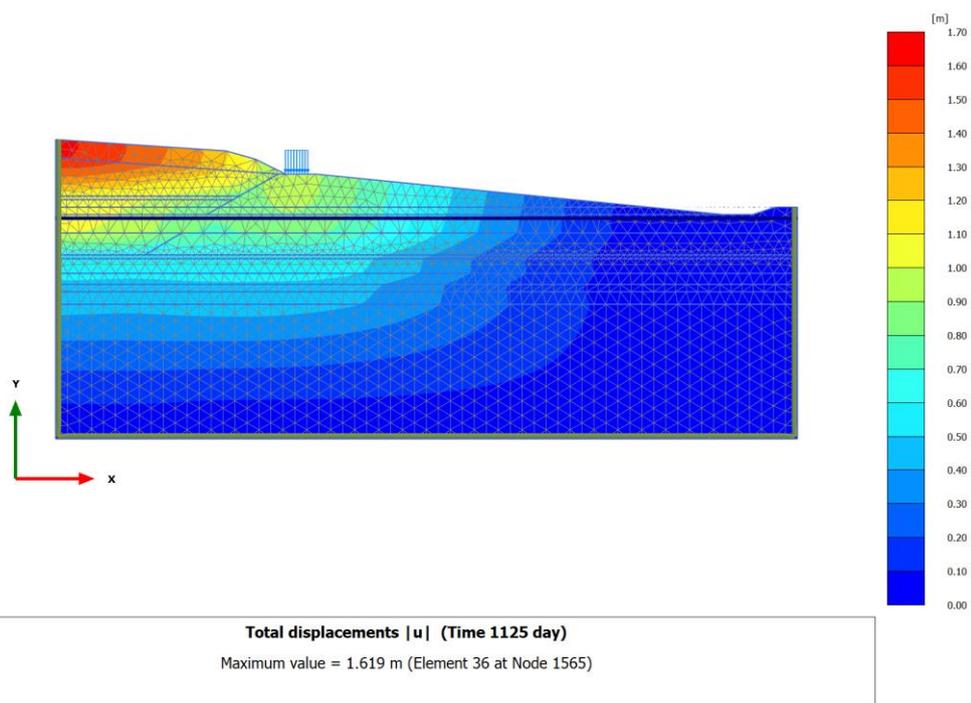


Figura 6.28 Deformazioni al termine del ricoprimento della discarica

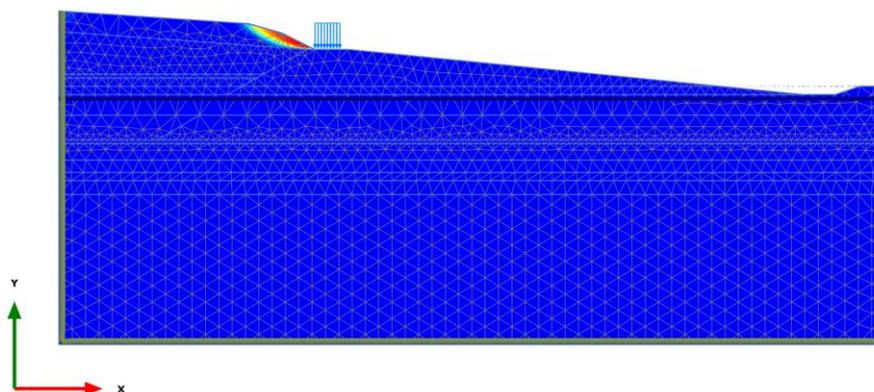


Figura 6.29 Superfici di potenziale scorrimento al termine del ricoprimento della discarica (FS = 2.691)

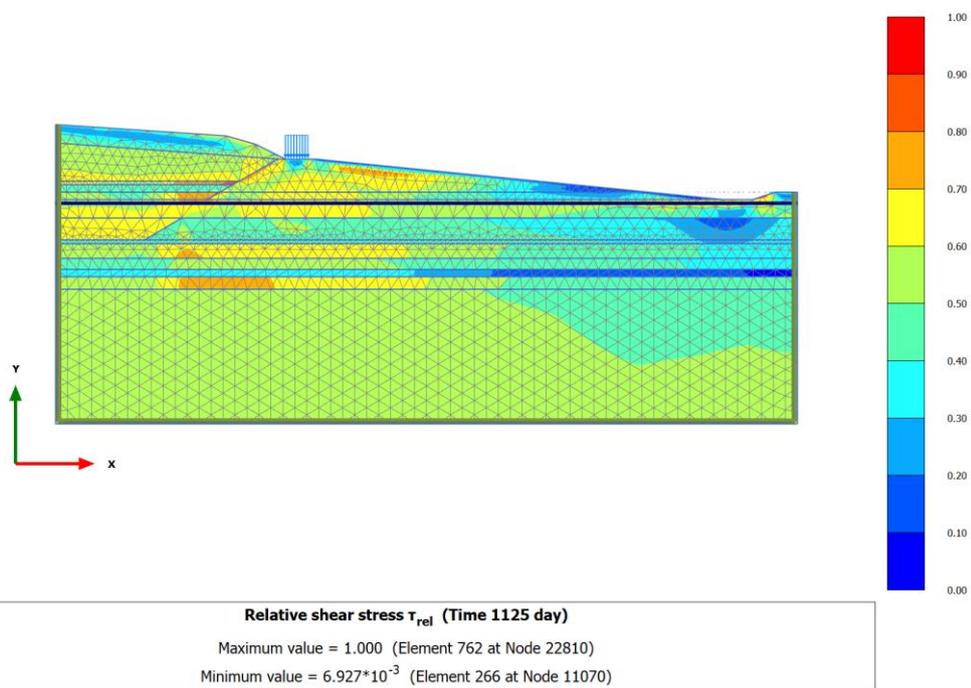


Figura 6.30 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine del ricoprimento della discarica

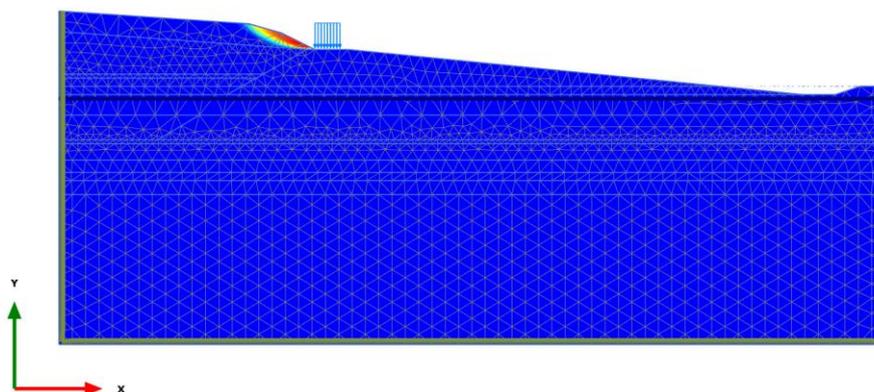


Figura 6.31 Superfici di potenziale scorrimento a lungo termine dal ricoprimento della discarica (FS = 2.688)

6.4.3 Argine di contenimento

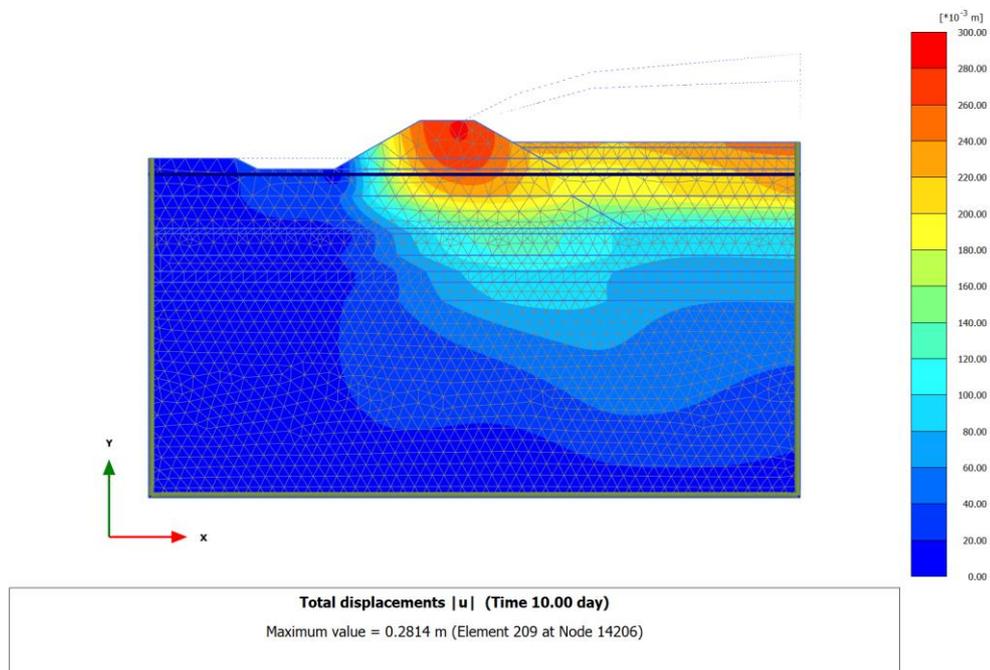


Figura 6.32 Deformazioni al termine dello Step 1

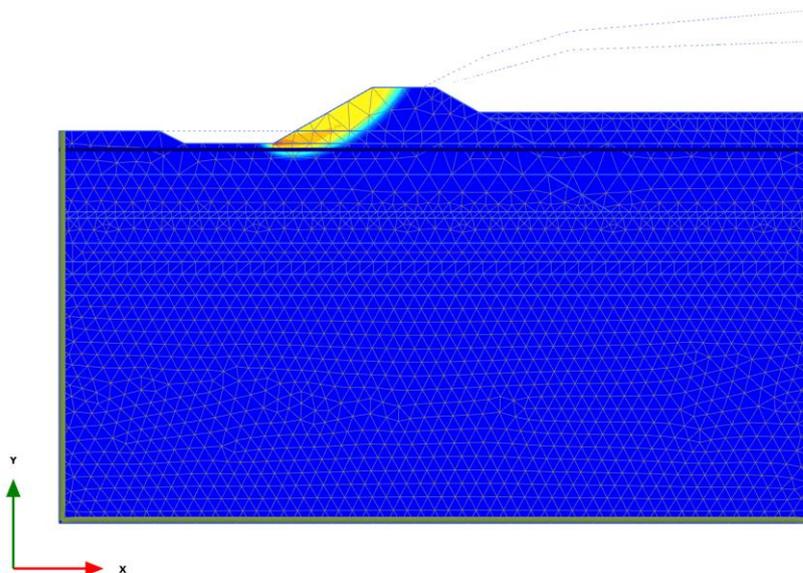


Figura 6.33 Superfici di potenziale scorrimento al termine dello Step 1 (FS = 1.822)

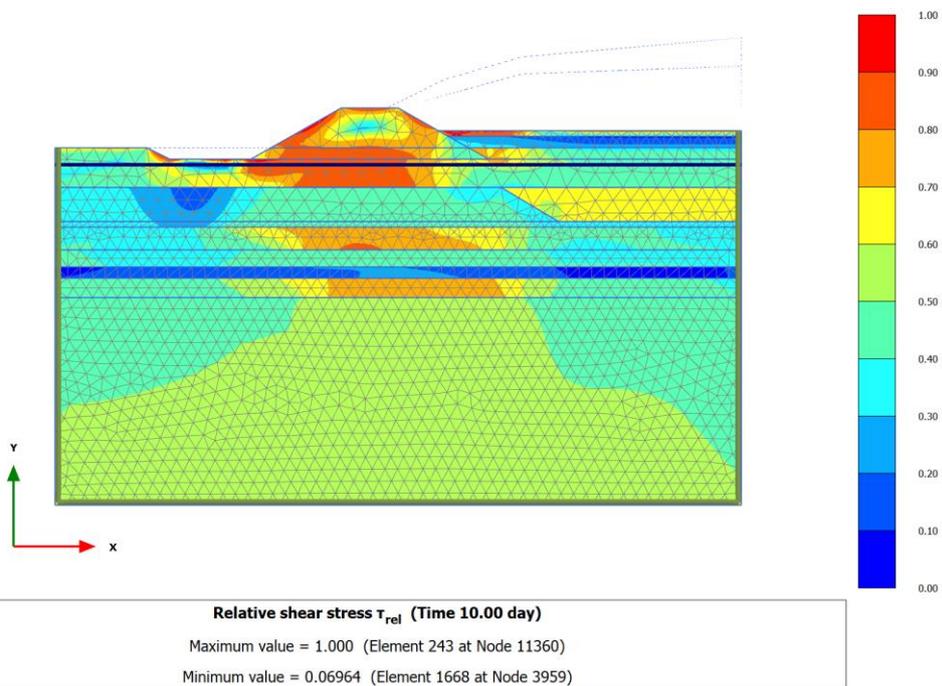


Figura 6.34 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine dello Step 1

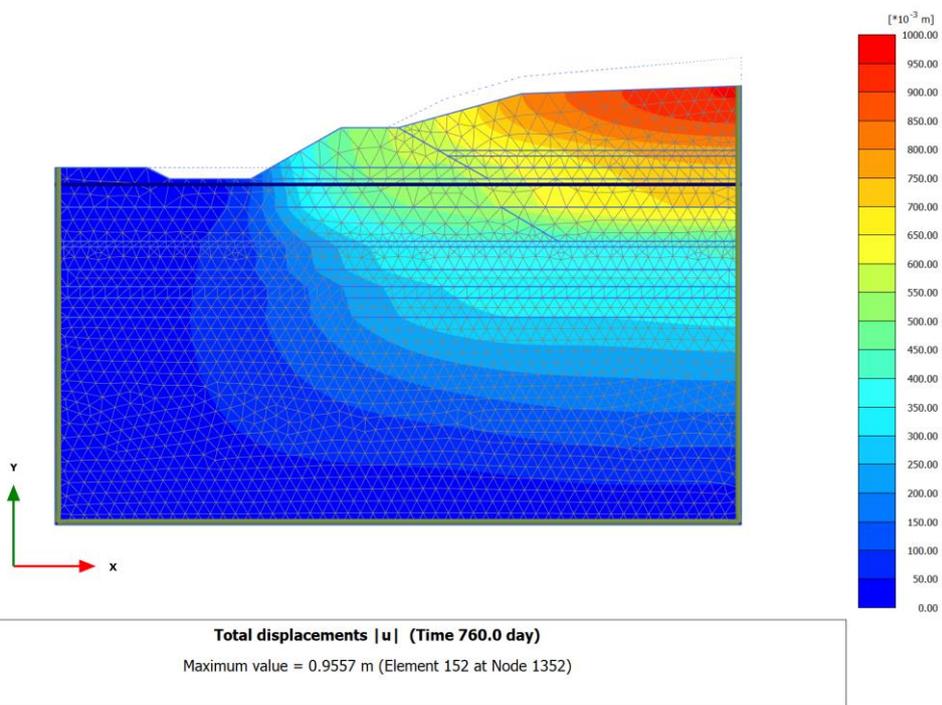


Figura 6.35 Deformazioni al termine del riempimento della discarica