GARASSINO s.r.l.

Via Curtatone, 25
20122 MILANO (ITALIA)
Tel.: +39 02 55190493
Fax: +39 02 55181865
E-Mail: garassinosrl@garassinosrl.it
Internet: www.garassinosrl.it

30° 1983 - 2013

COMUNE DI STELLA
PROVINCIA DI SAVONA

RECUPERO AMBIENTALE E MESSA IN SICUREZZA DELLA EX CAVA "CRIVEZZO"

PROGETTO ESECUTIVO DEI RIEMPIMENTI E DEI MOVIMENTI TERRA PER LA SISTEMAZIONE DELLA EX CAVA "CRIVEZZO"

ANALISI F.E.M. E ANALISI DI STABILITA' DEI RIEMPIMENTI

RELAZIONE DI PROGETTO

Commessa *Job* 2545
Protocollo / Rev *Doc. No.* 08.02

Indica le parti modificate con l'ultima revisione *Latest revision*

REV	DATA *DATE*	DESCRIZIONE *DESCRIPTION*	REDATTO *PREPARED*	CONTROLLATO *CHECKED*	APPROVATO *APPROVED*
00	24.01.17	Emissione	D.Maffezzoli	A.Garassino	A.Garassino
01	20.04.17	Revisione	D.Maffezzoli	A.Garassino	A.Garassino
02	09.05.17	Seconda revisione	D.Maffezzoli	A.Garassino	A.Garassino

INDICE

1. INTRODUZIONE 3
2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 4
3. STATO DI FATTO 7
4. LA GEOMETRIA DELL'INTERVENTO 10
5. ANALISI AD ELEMENTI FINITI DEL NUOVO RIEMPIMENTO 16
5.1 Risultati delle analisi in termini di deformazioni 19
5.2 Risultati delle analisi in termini di condizioni di sicurezza 33
6. ANALISI DI STABILITA' 36
7. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO 40
8. LICENZE SOFWARE DEI CODICI DI CALCOLO 41
9. INTERVENTI DA ESEGUIRE 42
10. CONCLUSIONI 44

1. INTRODUZIONE

Nel comune di Stella, in provincia di Savona, è in progetto il recupero ambientale e la messa in sicurezza della ex cava di estrazione di roccia calcarea grigia per la produzione di inerti per l'edilizia, denominata "Crivezzo".

Nel presente documento sono contenute le analisi del progetto esecutivo dei riempimenti e dei movimenti terra per la sistemazione della ex cava "Crivezzo"

A chiarimento delle scelte progettuali saranno nel proseguo raccolte le informazioni che hanno portato alla scelta della configurazione geometrica dei riempimenti a partire dal rilievo topografico dello stato attuale della cava e le successive analisi effettuate agli elementi finiti bidimensionali e quelle di stabilità dei riempimenti.

La cava si estende su una superficie di circa 30000 mq ed è lambita nella parte bassa, sul lato orientale, dal rio "Giglio Rosso".

Per quest'ultimo è previsto un intervento di sistemazione e di riprofilatura che non è stato oggetto del presente studio ma la cui geometria di sistemazione è stata assunta da studi ed elaborazioni grafiche redatte dall'Ing. Giorgio Franzoni a cui si rimanda per ulteriori dettagli (rif [4]).

La riprofilatura e sistemazione del rio Giglio Rosso è prevista in prima fase e consiste nel riportare l'alveo del corso d'acqua nella sua originaria posizione, antecedente alle operazioni di scavo della nella cava avvenute negli anni '60-'70.

Nel cuore della ex cava sono presenti dei materiali granulari raccolti negli anni e provenienti da parziali distacchi ed erosioni di materiale dal fronte della cava; tali materiali depositati verranno utilizzati per le lavorazioni iniziali di sistemazione del rio Giglio Rosso.

Il riempimento della cava avverrà gradatamente e per fasi stoccando dei materiali di risulta, prevalentemente costituiti da terre e rocce da scavo ed inerti riciclati provenienti da un unico centro di produzione: la ditta VALECO s.r.l. sita nel comune di Stella.

Il riempimento avrà anche lo scopo di eliminare gli elementi di rischio esistenti dovuti al fatto di avere i fronti di cava completamente esposti alle azioni erosive ed al degrado prodotti dagli agenti atmosferici.

2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Con riferimento alle informazioni ed ai dati raccolti nella relazione geologica di riferimento (si veda Rif[1]) vengono di seguito riportati i parametri geotecnici assegnati ai diversi materiali utilizzati per i riempimenti ed al substrato roccioso della cava.

Il materiale granulare presente nel cuore della cava e che verrà utilizzato in prima fase per i lavori di riprofilatura dell'alveo del rio Giglio Rosso verrà caratterizzato con i seguenti parametri geotecnici:

peso di volume	$\gamma = 19$ kN/m^3;
angolo di attrito	$\varphi = 43°$;
coesione efficace	c'= 15 kPa (fornita dalla compattazione del materiale);
modulo di Young	E = 50 000 kPa;
modulo edometrico	M = 25 000 kPa.

Il materiale di riempimento della cava che da ora in avanti chiameremo "**macinato**" verrà caratterizzato con i seguenti parametri geotecnici:

peso di volume	$\gamma = 14$ kN/m^3;
angolo di attrito	$\varphi = 41°$;
coesione efficace	c'= 15 kPa (fornita dalla compattazione del materiale);
modulo di Young	E = 25 000 kPa;
modulo edometrico	M = 12 000 kPa.

Il substrato roccioso in roccia dolomia verrà caratterizzato con i seguenti parametri geotecnici:

peso di volume	$\gamma = 26$ kN/m^3;
angolo di attrito	$\varphi = 29°$;
coesione	c = 650 kPa;
modulo di Young	E = 2 000 000 kPa;

Da ultimo, si riportano alcune considerazioni dal punto di vista sismico.

Le coordinate della cava necessarie per la definizione della accelerazione sismica sono le seguenti:

latitudine: 44.396079448058;

longitudine: 8.46410494112486.

L'accelerazione con riferimento ad un valore di vita nominale dell'opera di 50 anni in una classe d'uso II (coefficiente Cu=1) risulta essere: **a_g = 0.052 g (slu SLV)**.

Per quanto concerne, invece, i suoli di fondazione, secondo le NTC del Gennaio 2008, si classificano nella categoria A; si tratta cioè di "*ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori ad 800 m/s", eventualmente comprendente in superficie uno strato di alterazioni di 3m*"

Partendo da questi dati, è pertanto possibile ricavare i valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali:

$$K_h = \beta_S \frac{a_{\max}}{g} \qquad K_v = 0.5 \cdot K_h$$

in cui:

β_s= 0.2 è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito dipendente dalla categoria del sottosuolo;

g = accelerazione di gravità;

$a_{max} = S_S S_T a_g$ = 0.612 accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.019	2.580	0.158
SLD	50	0.024	2.552	0.187
SLV	475	0.052	2.631	0.303
SLC	975	0.064	2.744	0.324

Tabella 2.I - Accelerazioni sismiche su suolo rigido per il sito in studio

Ss = 1 è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, tabulato in normativa in funzione della categoria di suolo;

F_0 = 2.631 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima sul sito di riferimento rigido orizzontale;

S_T = 1.2 è il coefficiente di amplificazione topografica.

Sostituendo opportunamente i valori dei vari coefficienti di amplificazione nelle formule sopra indicate, si ottiene:

$$K_h = \beta_S \frac{a_{\max}}{g} = 0.20 \cdot 1.00 \cdot 1.20 \cdot 0.052 = 0.01248$$

$$K_v = 0.5 \cdot K_h = 0.5 \cdot 0.01248 = 0.00624$$

3. STATO DI FATTO

Il rilievo riportato nella seguente figura 3.1 si riferisce allo stato attuale della ex cava. Si vedono nella parte bassa (valle) a destra l'attuale condizione del corso d'acqua, ormai completamente deviato rispetto alla condizione originale, ed in alto e a sinistra il fronte della cava. Nella zona centrale si sono accumulati i detriti provenienti dalle erosioni e dai distacchi di materiale dal fronte di cava.

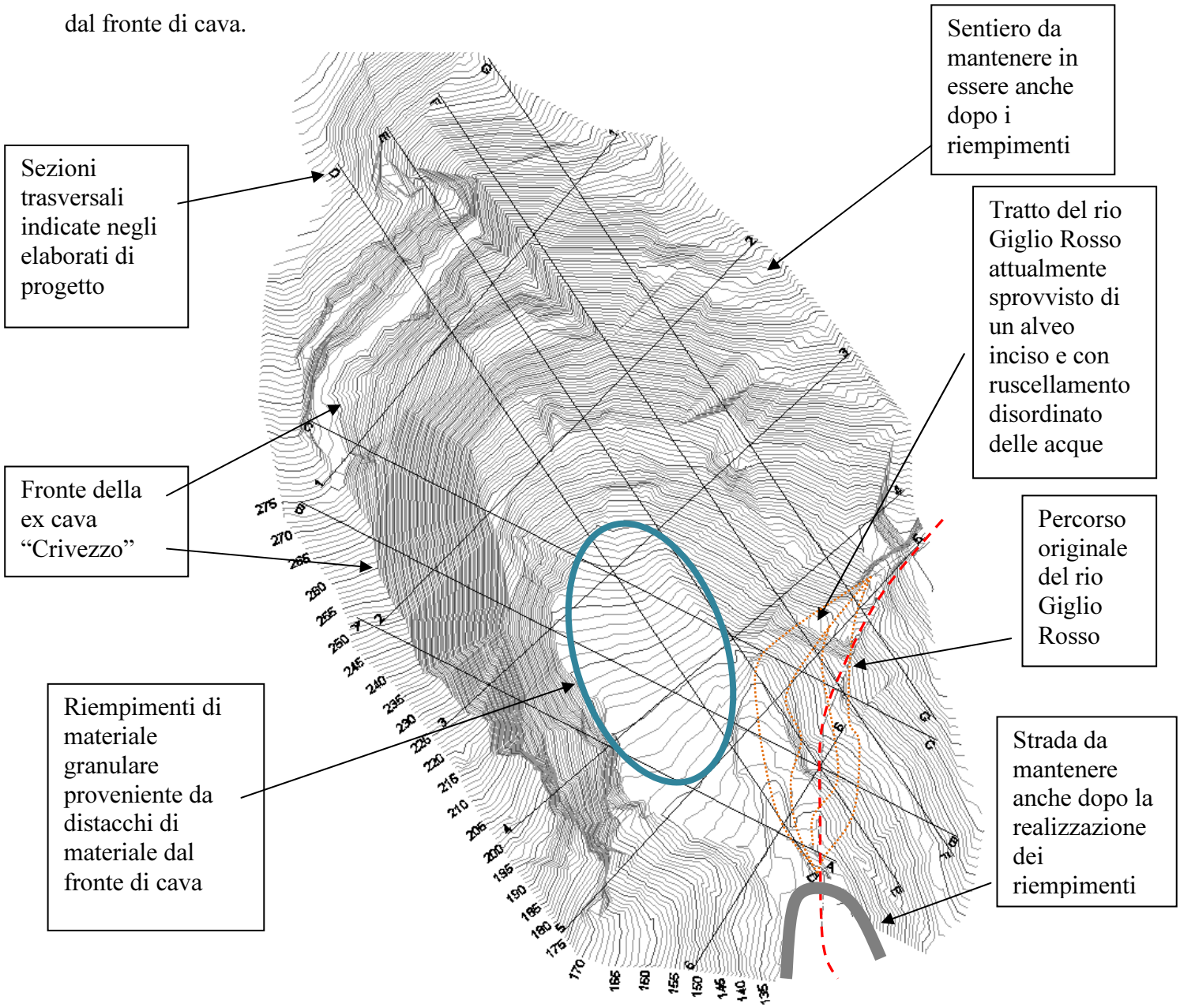


Figura 3.1 – Rilievo topografico della condizione attuale della ex cava "Crivezzo"



Figura 3.2 – Foto scattata dalla parte alta della ex cava verso valle

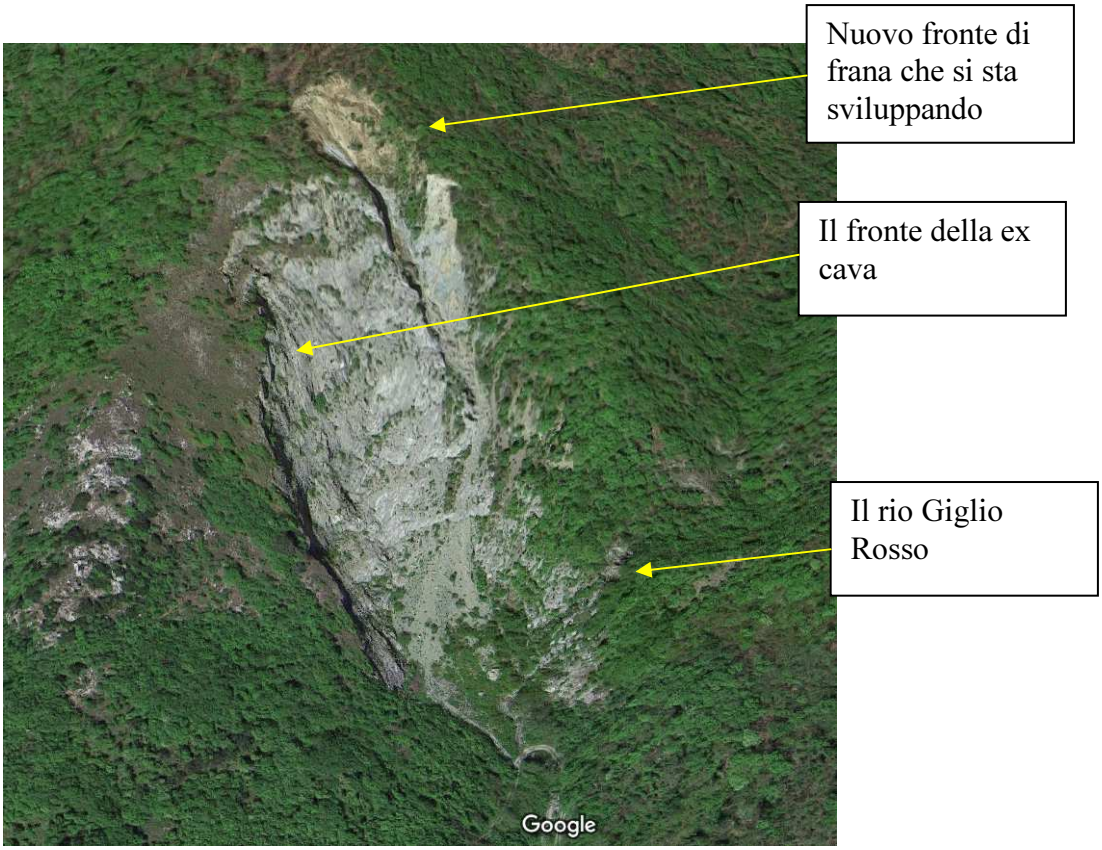


Figura 3.3 – Foto satellitare della ex cava "Crivezzo" (fonte GoogleMap®)



Figura 3.3 – Foto satellitare della ex cava "Crivezzo" (fonte GoogleMap®)
Dettaglio del rio Giglio Rosso e dei riempimenti

Come si evince dalle foto dello stato di fatto, l'intervento di sistemazione della ex cava, si rende necessario anche in virtù della nascita di più recenti fenomeni di forte erosione che coinvolgono la parte alta destra del fronte della ex cava e avrà l'intento di evitare in futuro la generazioni di altre nicchie di erosione della stessa natura.

4. LA GEOMETRIA DELL'INTERVENTO

Come suggerito dalle "Linee guida per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività a cielo aperto e in sotterraneo e opere connesse" del dipartimento Ambientale della Regione Liguria, la conformazione dei riempimenti è stata progettata seguendo in maggior misura due aspetti: la stabilità e la configurazione geometrica dei riempimenti.

Il primo aspetto è stato valutato seguendo i normali criteri indicati dalla normativa tecnica vigente (le norme Tecniche delle Costruzioni 2008 e le relative Istruzioni) mentre il secondo è stato studiato sulla base dei criteri suggeriti e cioè scegliendo "*una configurazione tale da inserirsi adeguatamente ne contesto paesistico [..]*".

La scelta di partenza sulla conformazione dei riempimento è stata quindi effettuata studiando l'andamento delle curve di livello nella zona prima che nascesse la cava stessa.

A tal scopo è stata recuperata una CTR con un rilievo topografico precedente seppur a larga scala e nella figura 4.1 si riporta la sovrapposizione del vecchio rilievo (in grigio) con quello attuale (rosso).

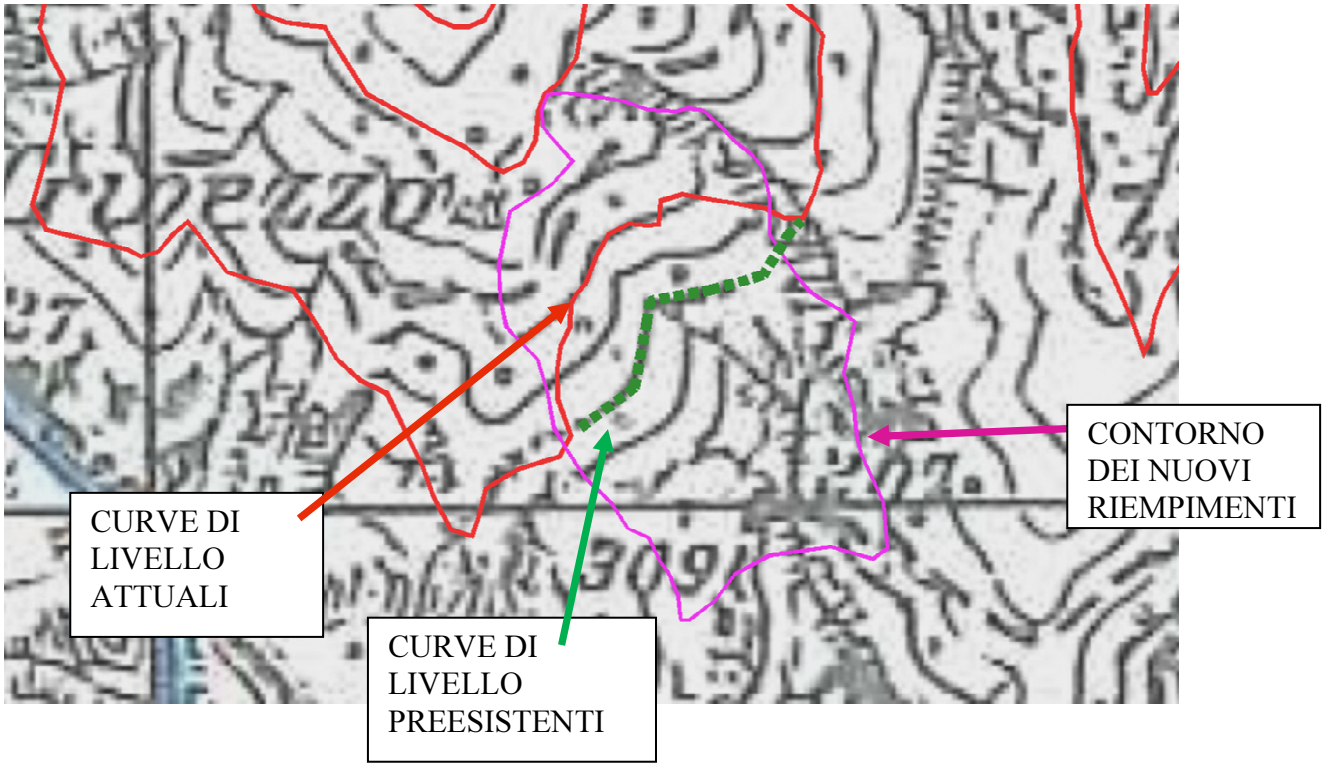


Figura 4.1 – Sovrapposizione del rilievo attuale e preesistente allo scopo di definire la corretta geometria dei nuovi riempimenti

Come si deduce dalla sovrapposizione di figura 4.1, la conformazione del versante originale sembrerebbe essere costituita da due lati i quali generava una convessità nella parte centrale.

Nella figura 4.2 seguente la sovrapposizione della forma originale del versante precedente alle operazioni di cava (linea verde tratteggiata) viene effettuata sopra ad una più recente CTR ove la cava è già presente.

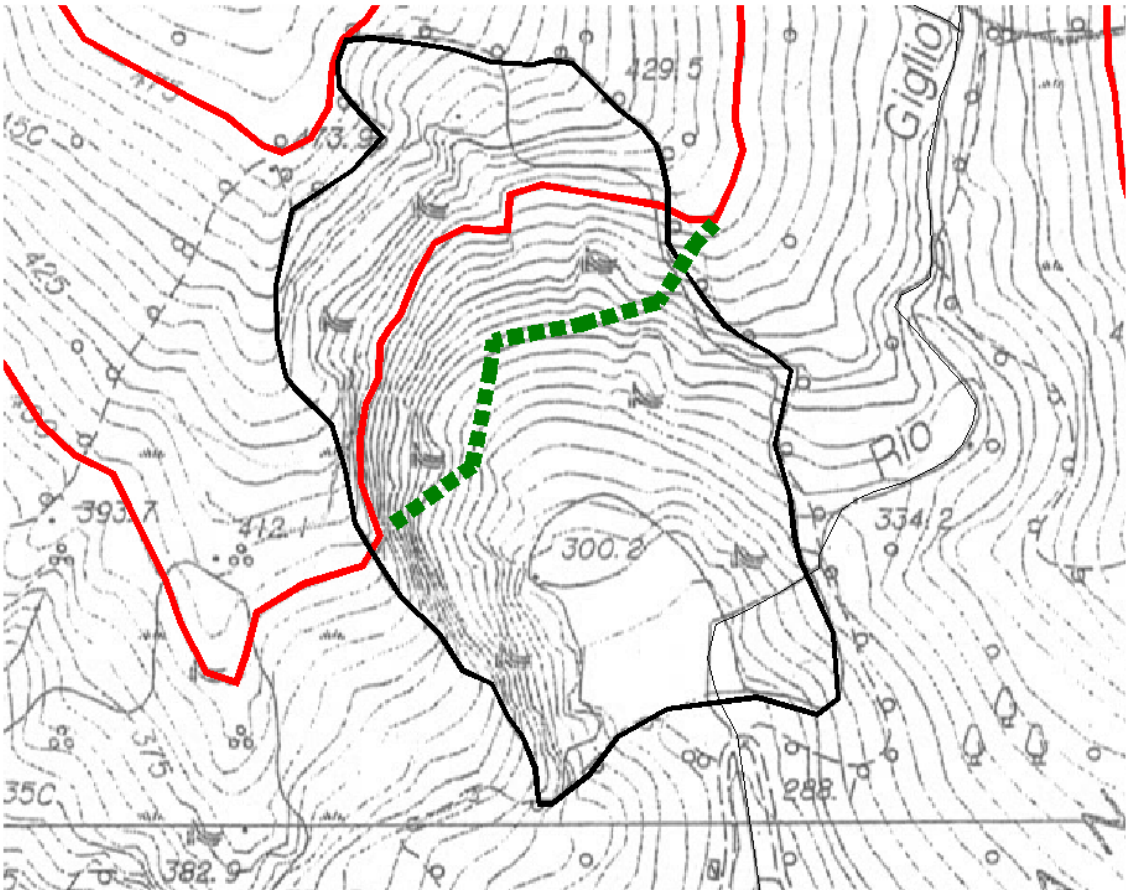


Figura 4.2 – Sovrapposizione della forma pregressa dei versanti (in verde) su una più recente carta CTR ove è presente la cava "Crivezzo"

Proseguendo nello studio si è poi riportato l'andamento del rilievo precedente (linea Verde tratteggiata) sul rilievo attuale (si veda la figura 4.3).

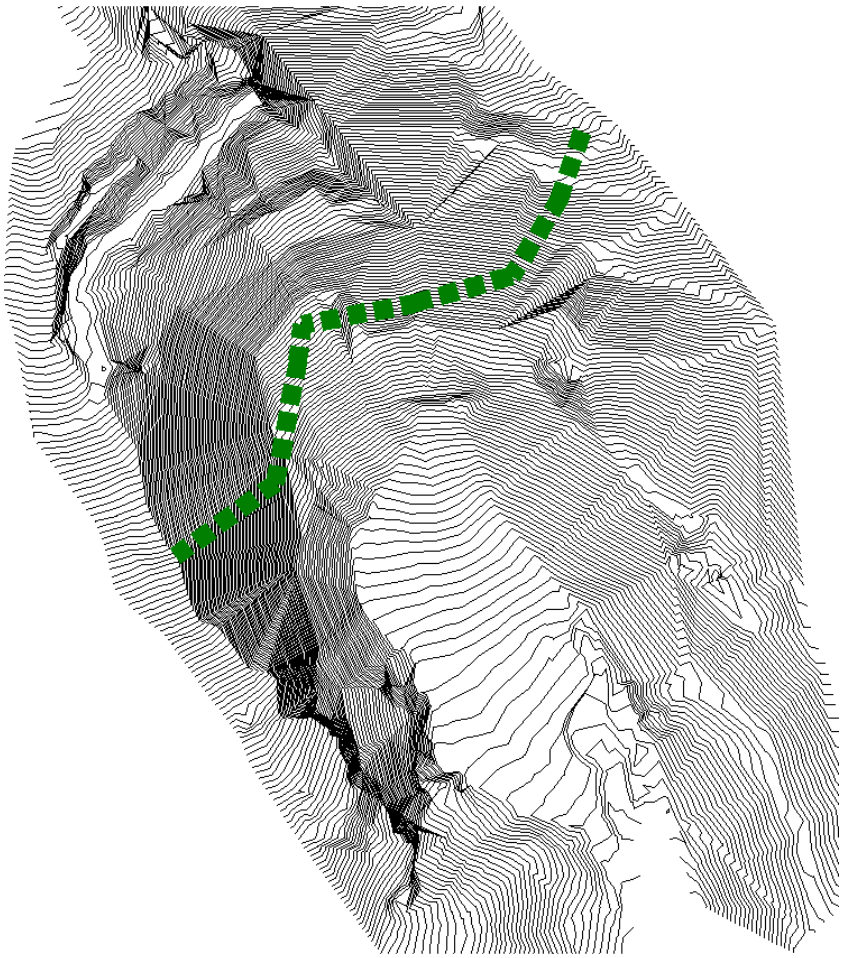


Figura 4.3 – Sovrapposizione della forma pregressa dei versanti (in verde) sul rilievo attuale della ex cava “Crivezzo”

La configurazione finale riportata nella figura 4.4 è stata quindi ottenuta avendo come indicazione gli studi riportati nelle figure precedenti e procedendo per tentativi nel rispetto dei tre vincoli assegnati: stabilità, posizione del rio Giglio Rosso e conformazione dei riempimenti.



Figura 4.4 – Riempimento di progetto eseguito con balze e scarpate inclinate di 40°

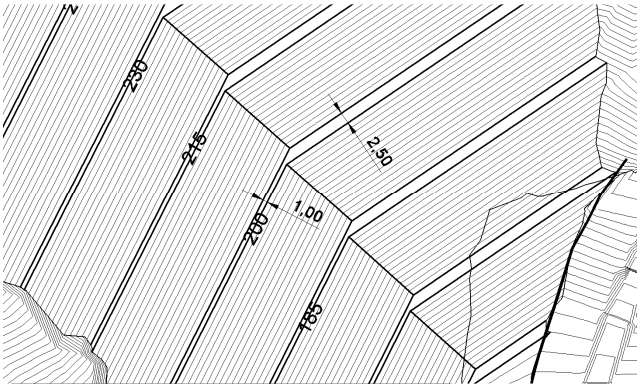


Figura 4.5 – Ingrandimento di dettaglio della larghezza delle balze

DATA *DATE*	DOCUMENTO *DOCUMENT*	COMMESSA *JOB*	PROTOCOLLO *DOC. No.*	REVISIONE *REVISION*	PAG. *PAGE*	PAG. TOT. *TOT. PAGES*
09.05.17	Relazione di progetto	2545	08	02	13	44

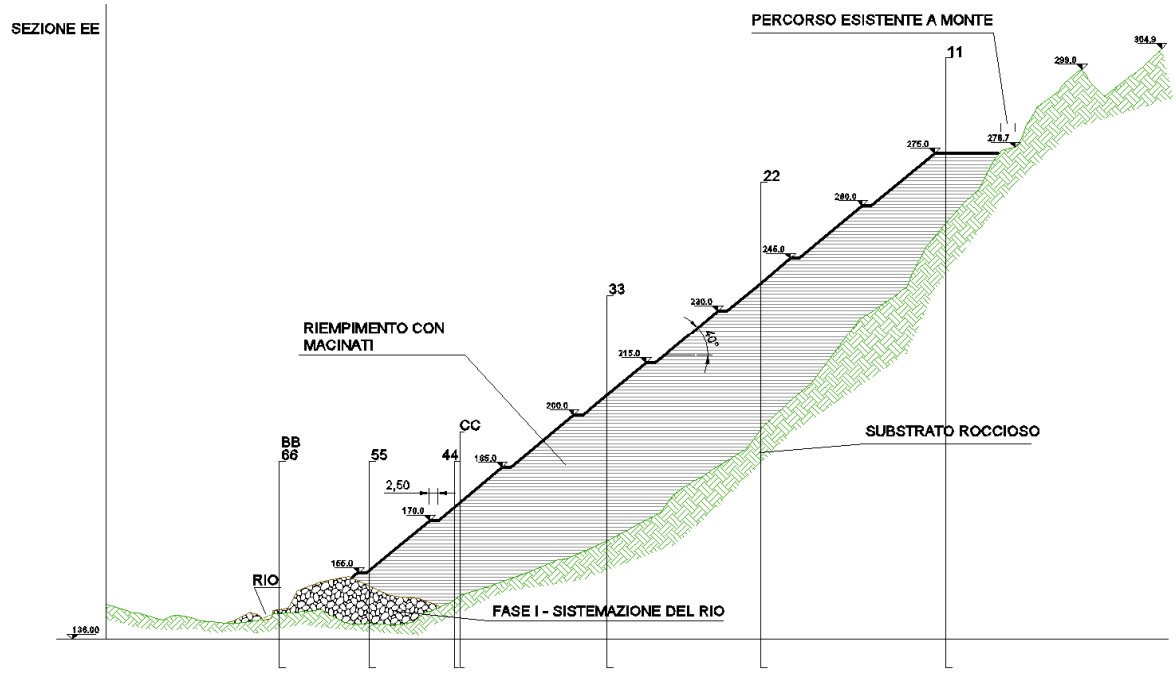


Figura 4.6 – Sezione trasversale EE con balze larghe 2.5 m

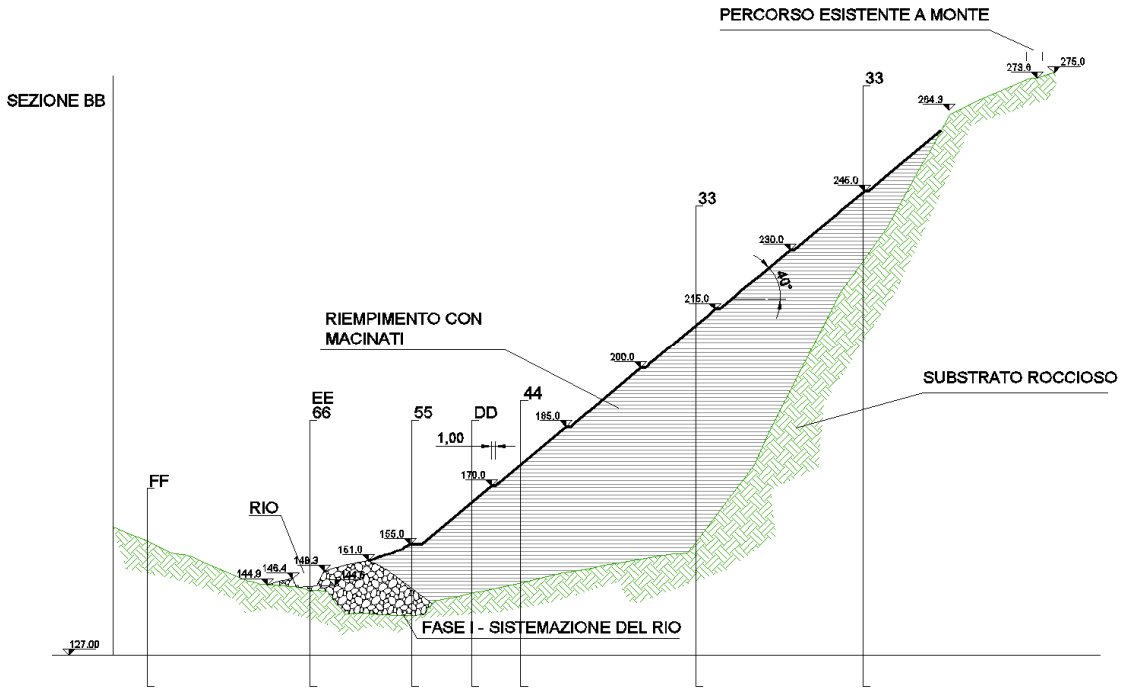


Figura 4.7 – Sezione trasversale BB con balze larghe 1 m

MOVIMENTAZIONE TERRE		
FASE I - SISTEMAZIONE DEL RIO (riempimenti con materiale granulare recuperato da fondo cava)		
	AREE E VOLUMI	
	AREA IN PIANTA	VOLUME
STERRO	512 mq	598 mc
RIPORTO	2804 mq	13372 mc
PROGETTO DI RIEMPIMENTO FINALE (riempimenti con macinati) volumi determinati dalla fase I		
	AREE E VOLUMI	
	AREA IN PIANTA	VOLUME
RIPORTO	24900 mq	614300 mc

Tabella 4.I – Riepilogo dei volumi di movimentazione terra

5. ANALISI AD ELEMENTI FINITI DEL NUOVO RIEMPIMENTO

Partendo dalla configurazione dei riempimenti di figura 4.4 e considerando le sezioni trasversali BB ed EE come quelle più rappresentative dei due lati del riempimento sono state effettuate delle analisi con il programma ad elementi finiti bidimensionali PLAXIS 2D.

Lo scopo di tali analisi è quello di valutare le deformazioni complessive del corpo del riempimento nelle diverse fasi di esecuzione dello stesso.

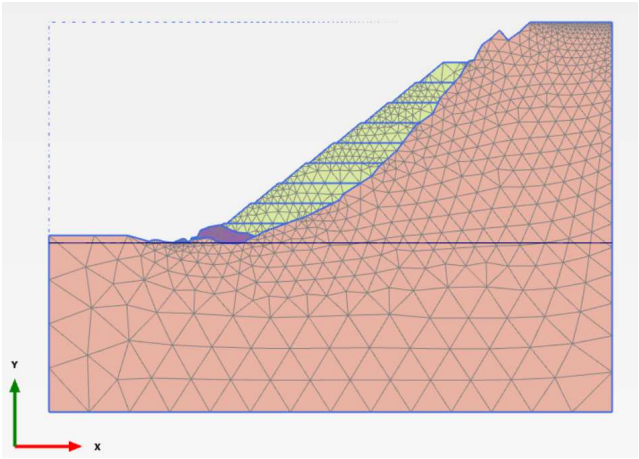


Fig 5.2 - Geometria studiata con Plaxis sezione BB

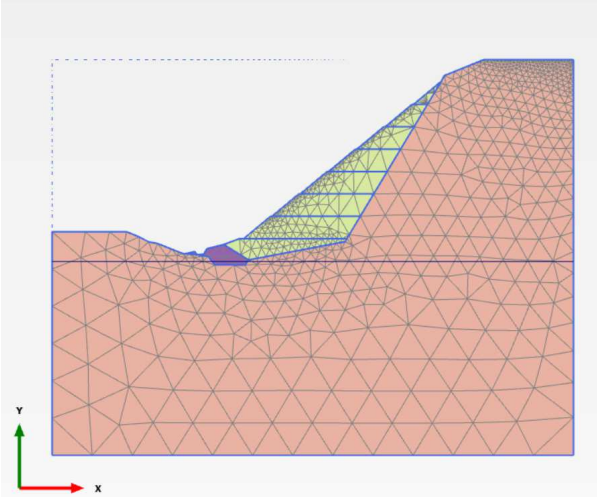


Fig 5.1 – Geometria studiata con Plaxis sezione EE

L'analisi è stata condotta tramite il codice Plaxis 2D 2015, sviluppato dalla Delft University of Tecnology, che sfrutta la potenzialità degli elementi triangolari a 15 nodi caratterizzabili con modelli costitutivi di varia natura (elastici, elasto-plastici, elasto-plastico anisotropi) con il fine di rappresentare un modello matematico il più aderente possibile alla realtà.

L'analisi parte generando lo stato di sforzo geostatico con un modello elastico-incrudente (Hardening-soil) che consente al modello di avere "memoria" delle condizione pregresse di carico-scarico.

Nelle analisi sono state effettuate considerando i parametri caratteristici (non fattorati) del capitolo 2 e pertanto sono da considerarsi delle analisi di deformazione.

Inoltre si considera la sola condizione drenata (parametri efficaci) allo scopo di valutare la deformazione ultima. E' da osservare che essendo la natura dei riempimenti di tipo granulare, tutte le deformazioni calcolate saranno scontate nell'immediato, in fase di esecuzione del rilevato stesso.

Si generano quindi gli sforzi efficaci precedenti agli scavi della cava (mediante l'attivazione di tutto il modello, compresa la parte del nuovo riempimento, e assegnando a tutte le parti le caratteristiche del substrato roccioso) e da questo punto si simula lo scavo della cava stessa, in tal modo si va a valutare lo stato di sforzo attualmente esistente.

Da questo punto in poi, dopo aver azzerato gli spostamenti, partono le diverse fasi di sistemazione e riempimento della cava.

In sequenza le fasi sono le seguenti:

- modellazione del rio con il riempimento in materiale granulare;
- realizzazione del riempimento per fasi giungendo, per ciascuna di esse, alla quota superiore della balza in progetto;
- completamento del riempimento;

A questo punto sono stati effettuati due studi: nel primo si considera un innalzamento del livello di falda che va ad interessare gli strati di base del riempimento granulare e del riempimento della discarica, nel secondo, mantenendo basso il livello di falda, si fa un'analisi sismica applicando un'accelerazione pseudostatica (Kh e Kv) pari a quella valutata nel capitolo 2.

I due studi partono ciascuno dalla fase di riempimento completo e non sono successivi:

- **analisi statica con innalzamento del livello di falda al piede** (valutata a partire dal completamento del riempimento);
- **analisi sismica** con falda bassa (valutata sempre a partire dal completamento del riempimento);

5.1 Risultati delle analisi in termini di deformazioni

Di seguito vengono esposti gli output di Plaxis in termini di stato di deformazione (shading)

Come si evince dagli output le deformazioni si concentrano naturalmente dal lato dei rilevati rivolto verso le scarpate.

La progressione della massima deformazione è continua al crescere del rilevato ma come detto in precedenza, l'entità del cedimento verrà scontata immediatamente dopo la posa di ciascuno strato e non sarà apprezzabile a lavoro ultimato.

Di seguito un riepilogo delle deformazioni calcolate nell'analisi ad elementi finiti.

SEZIONE BB				
		deformazioni		
fase	quota del riempimento	u tot	uy	ux
	m s.l.m.	cm	cm	cm
riempimento Giglio Rosso	-	6.6	6.5	0
1° fase	155	12	12	2.3
2° fase	170	36.37	35.77	11.3
3° fase	185	69.75	67.72	25.5
4° fase	200	108	101	44.4
5° fase	215	137	122.6	67.7
6° fase	230	156.8	137.4	79.8
7° fase	245	168.9	145.8	89
8° fase	var.	173.2	148.7	92.6
falda alta (da 8° fase)		173.2	148.7	92.8
sisma con falda bassa (da 8° fase)		173	148.6	92.4

Tabella 5.1.I – Riepilogo delle deformazioni per la sezione BB

SEZIONE EE				
		deformazioni		
fase	quota del riempimento	u tot	uy	ux
	m s.l.m.	cm	cm	cm
riempimento Giglio Rosso	-	6.25	6.2	0
1° fase	155	7.86	7.8	2.2
2° fase	170	30.34	29.47	10.05
3° fase	185	56.38	52.77	21.61
4° fase	200	84.9	77	37.56
5° fase	215	112	97.71	56.18
6° fase	230	132.5	113	72.42
7° fase	245	151.2	128	84.77
8° fase	260	163.7	136	95.1
9° fase	275	171.1	140	103
falda alta (da 9° fase)		171.4	141	104
sisma con falda bassa (da 9° fase)		176.4	143	108

Tabella 5.1.II– Riepilogo delle deformazioni per la sezione EE

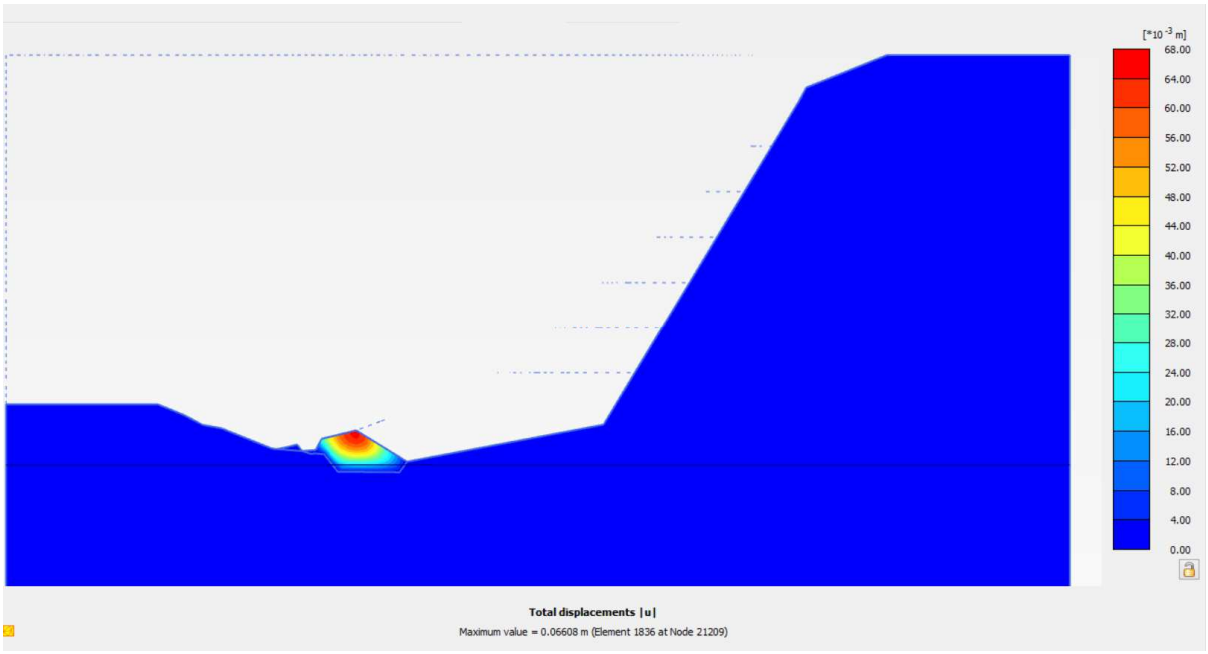


Figura 5.1.1 – Sezione BB – Fase riempimento Giglio Rosso – Spostamenti totali (Shading)

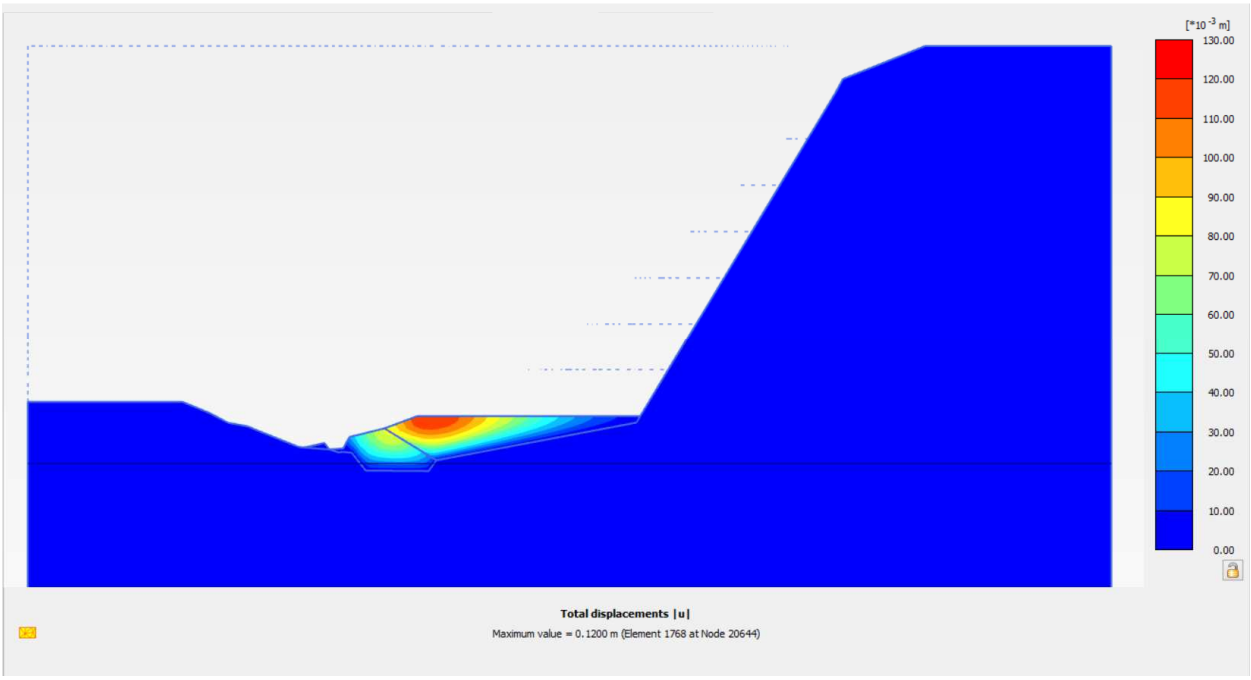


Figura 5.1.2 – Sezione BB – 1° fase – Spostamenti totali (Shading)

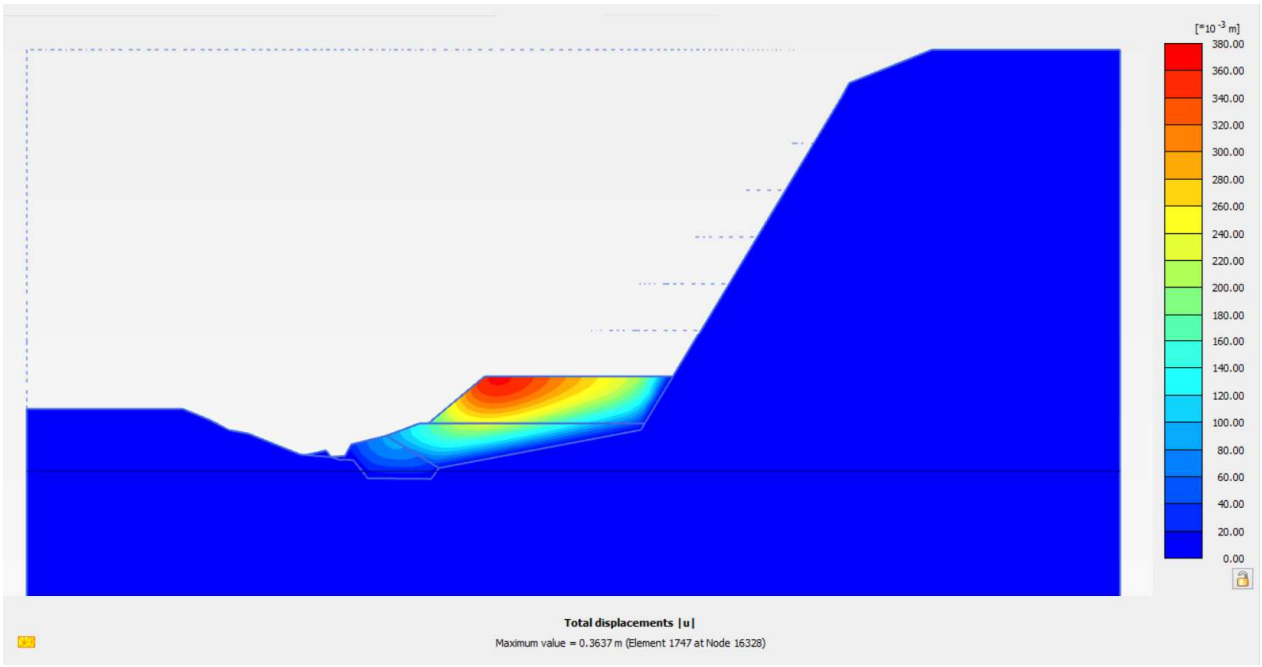


Figura 5.1.3 – Sezione BB – 2° fase – Spostamenti totali (Shading)

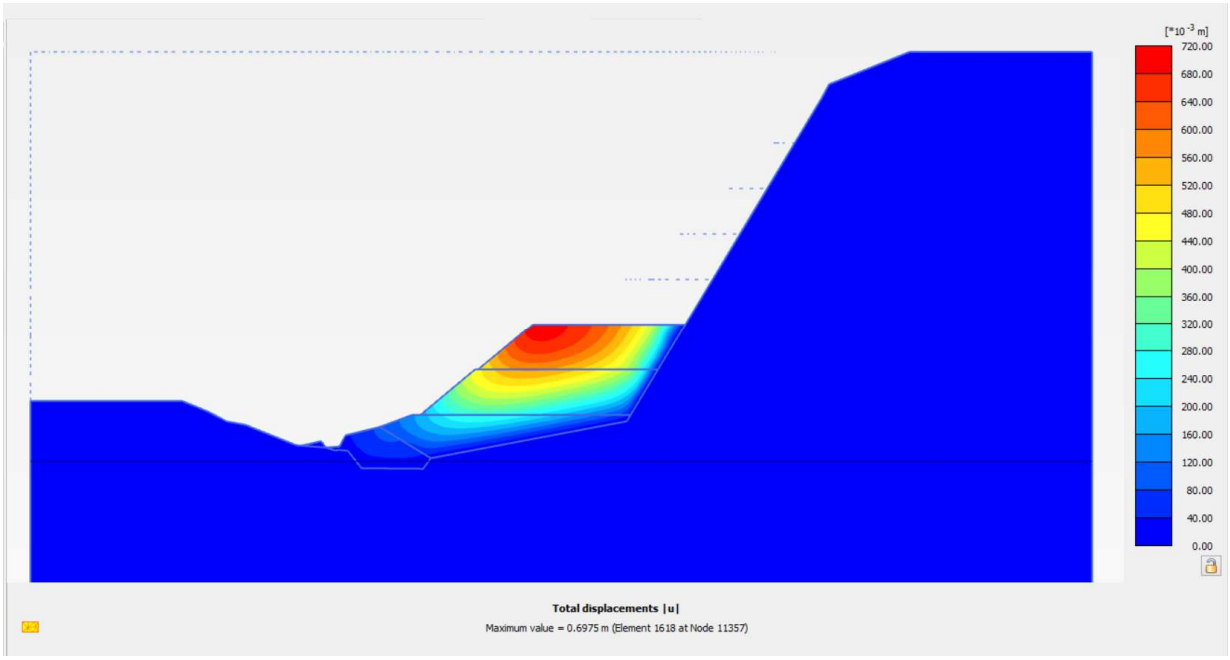


Figura 5.1.4 – Sezione BB – 3° fase – Spostamenti totali (Shading)

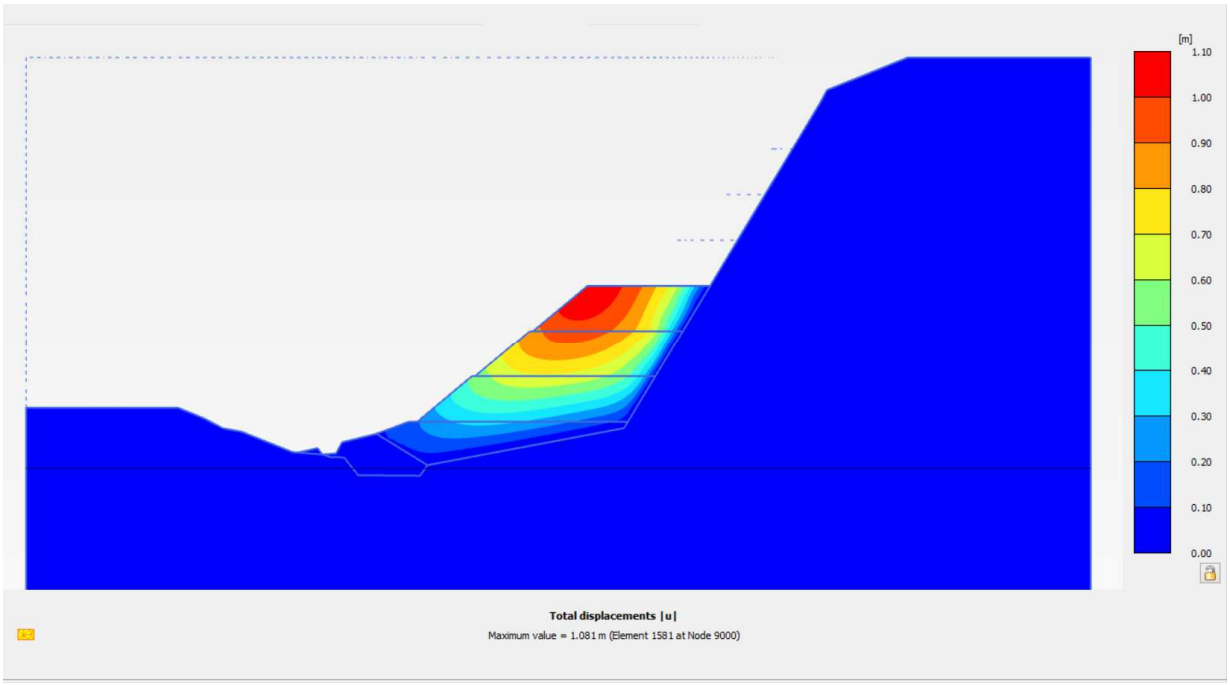


Figura 5.1.5 – Sezione BB – 4° fase – Spostamenti totali (Shading)

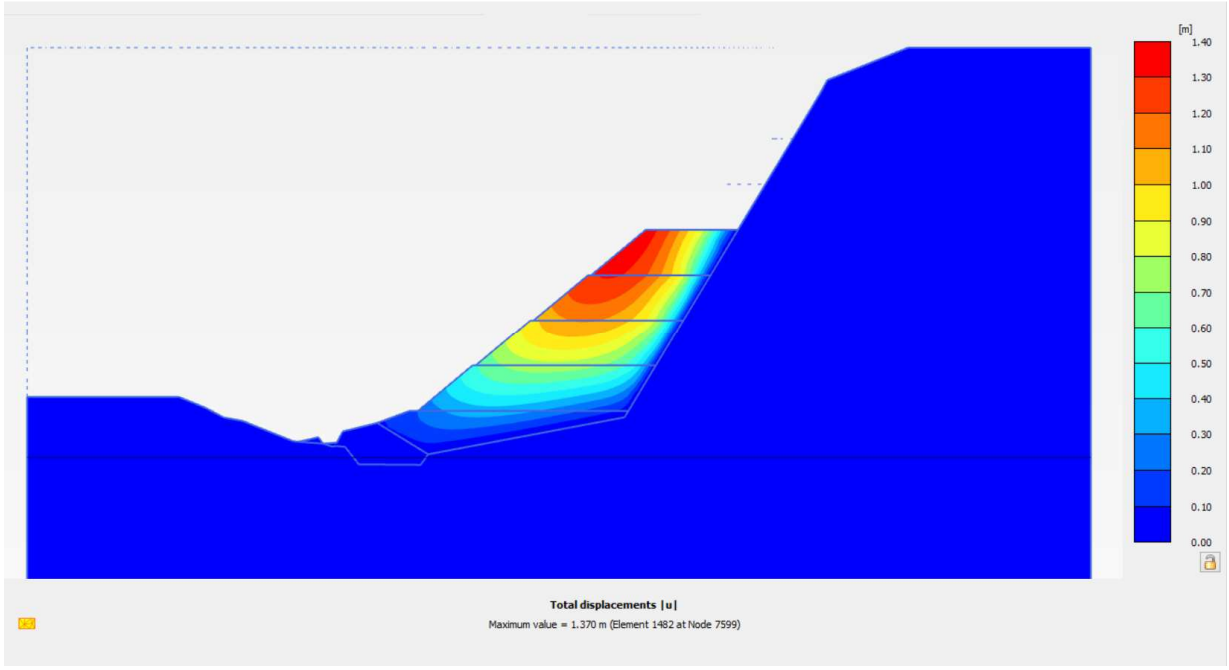


Figura 5.1.6 – Sezione BB – 5° fase – Spostamenti totali (Shading)

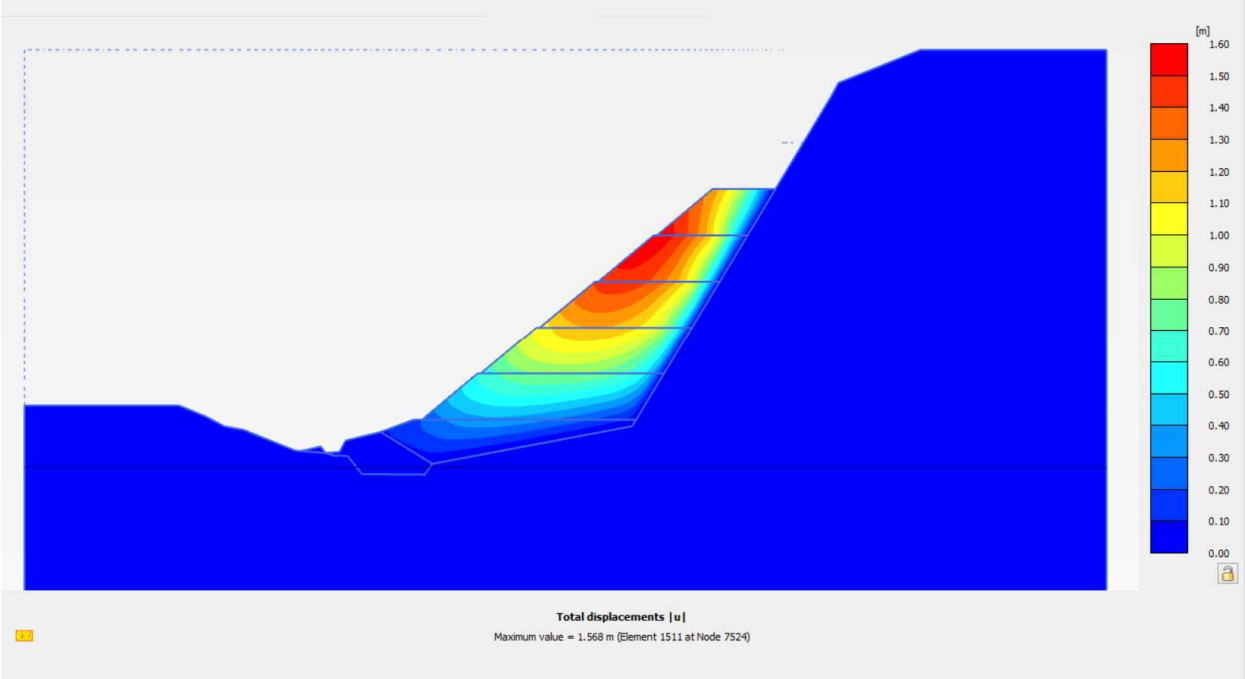


Figura 5.1.7 – Sezione BB – 6° fase – Spostamenti totali (Shading)

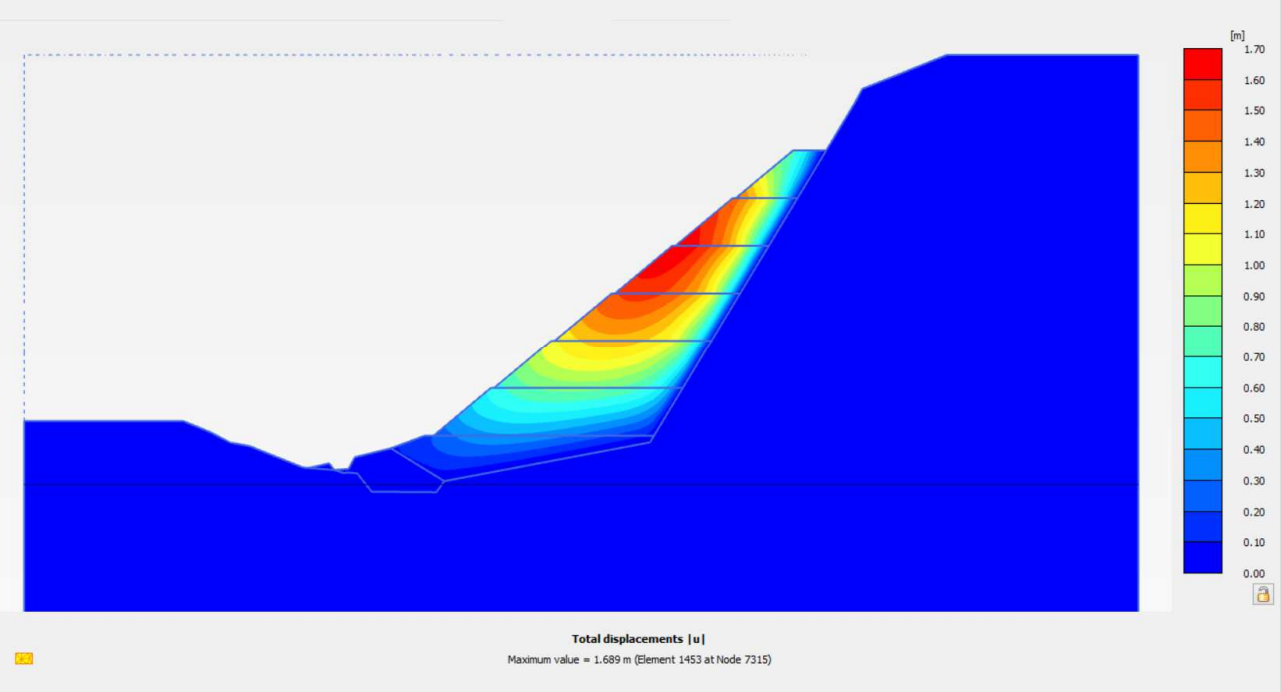


Figura 5.1.8 – Sezione BB – 7° fase – Spostamenti totali (Shading)

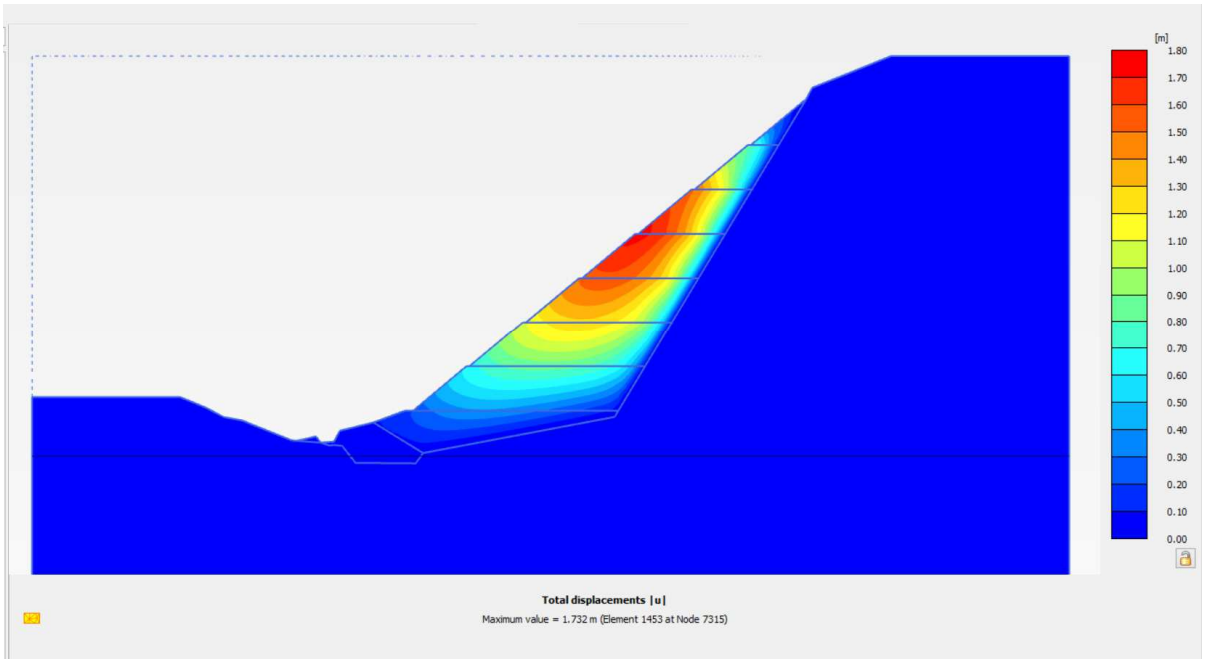


Figura 5.1.9 – Sezione BB – 8° fase – Spostamenti totali (Shading)

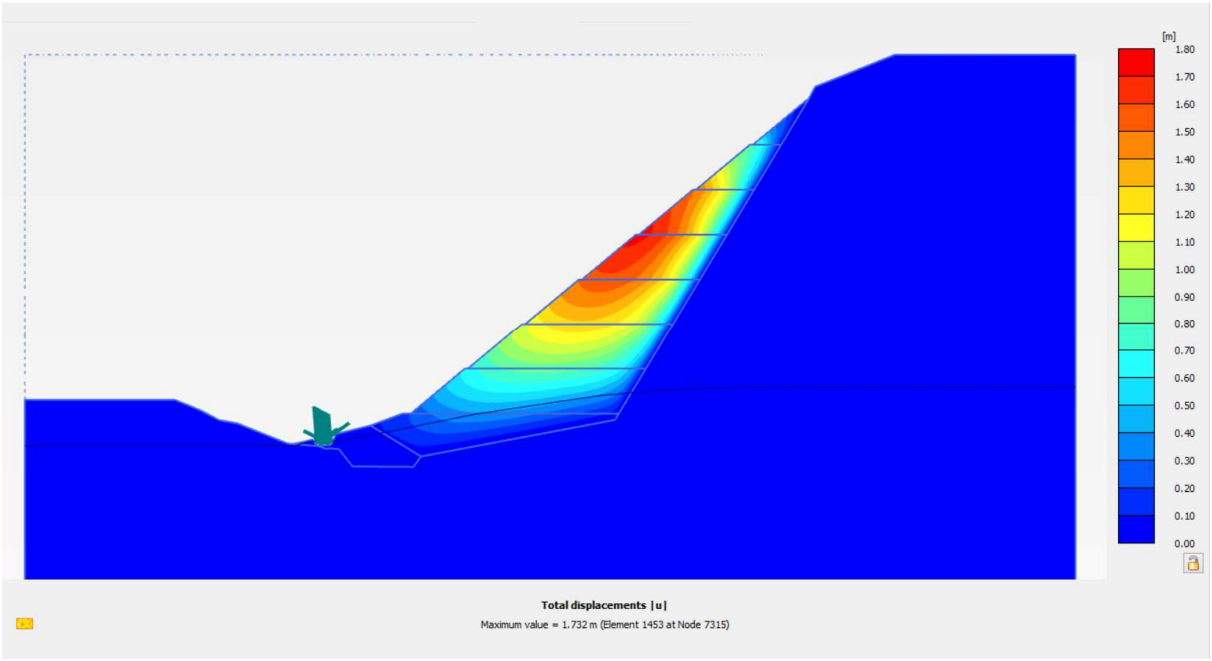


Figura 5.1.10 – Sezione BB – innalzamento falda – Spostamenti totali (Shading)

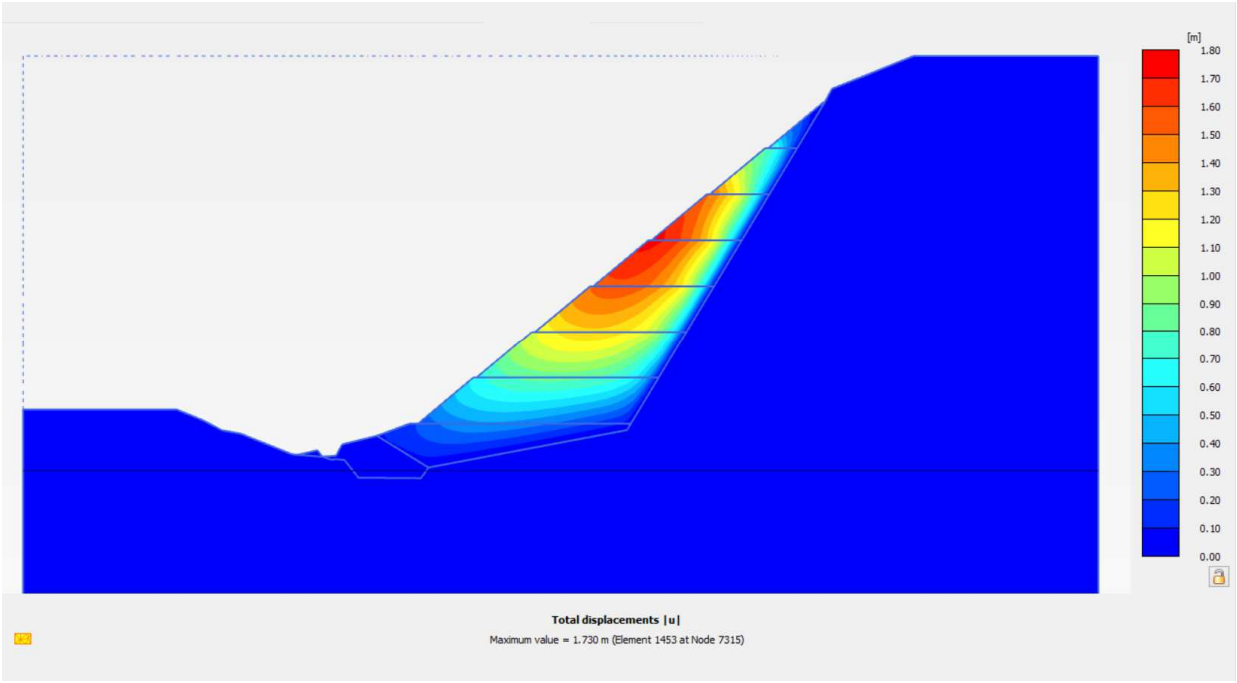


Figura 5.1.11 – Sezione BB – Sisma – Spostamenti totali (Shading)

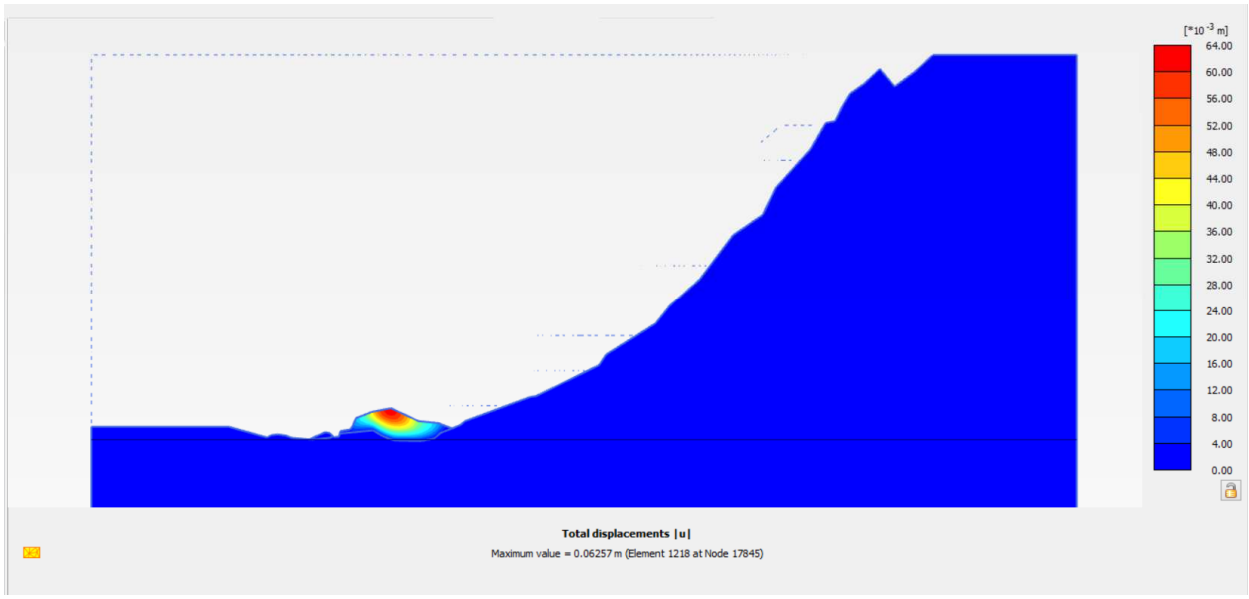


Figura 5.1.12 – Sezione EE – Riempimento Giglio Rosso – Spostamenti totali (Shading)

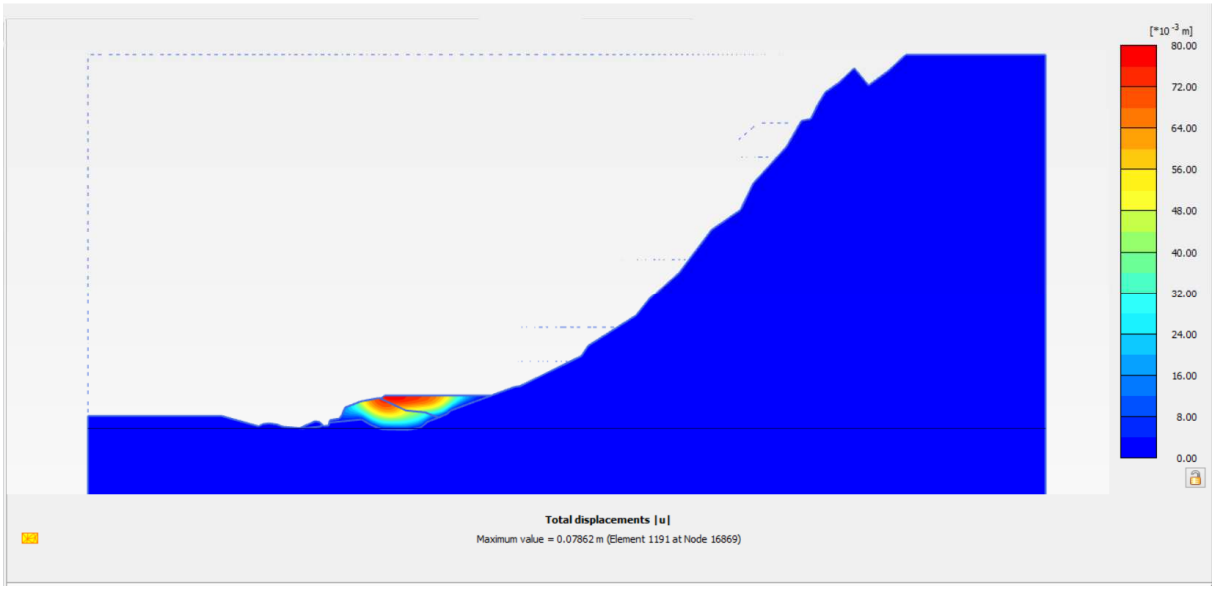


Figura 5.1.13 – Sezione EE – 1° fase – Spostamenti totali (Shading)

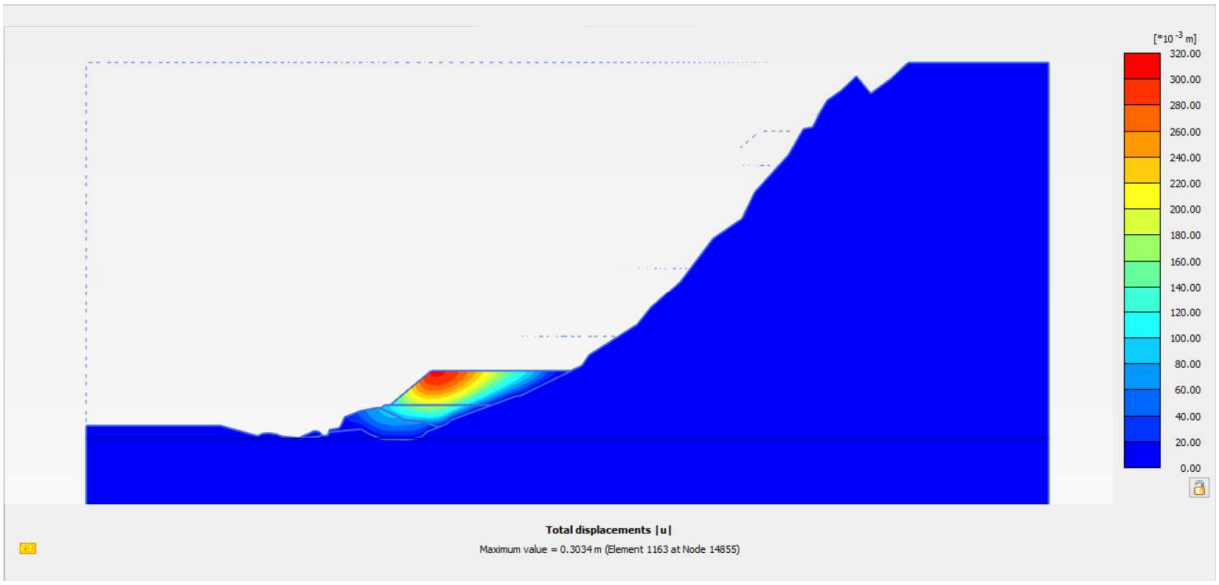


Figura 5.1.13 – Sezione EE – 2° fase – Spostamenti totali (Shading)

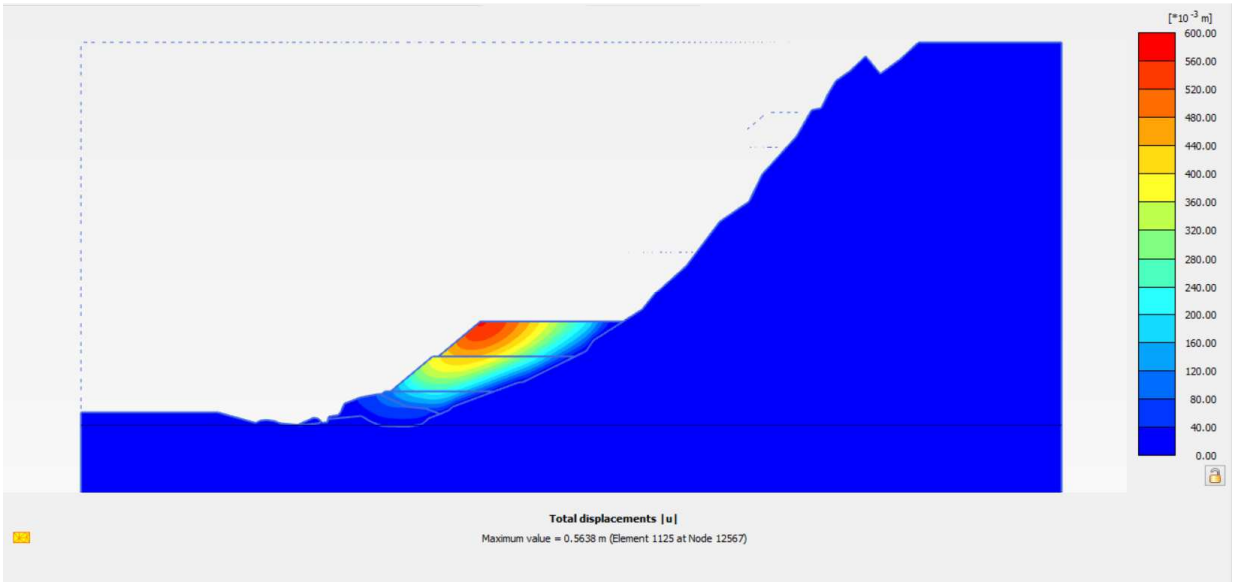


Figura 5.1.14 – Sezione EE – 3° fase – Spostamenti totali (Shading)

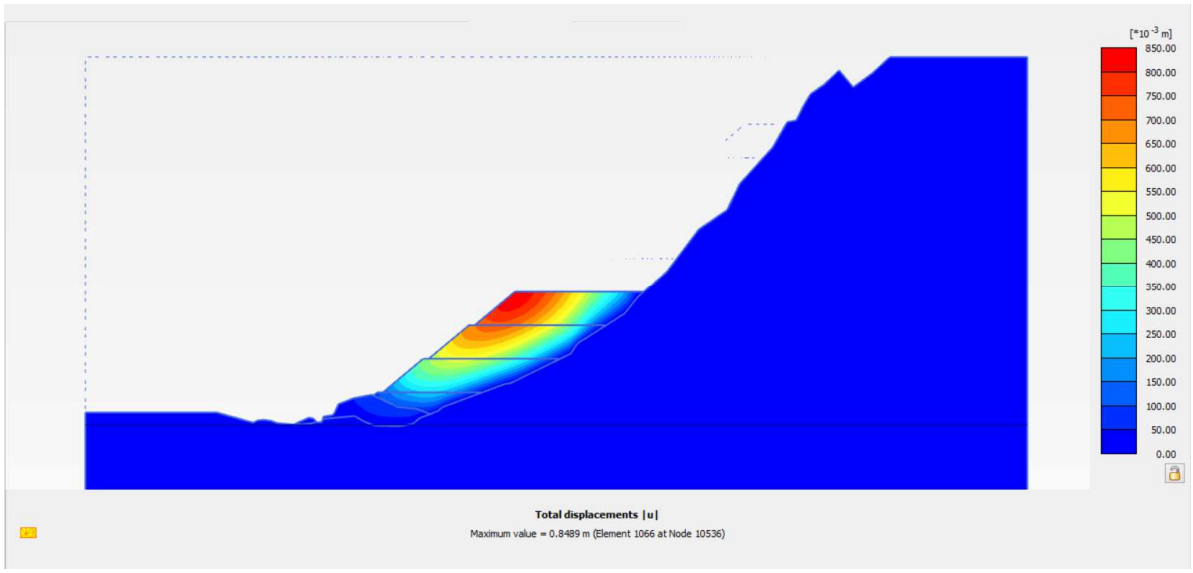


Figura 5.1.15 – Sezione EE – 4° fase – Spostamenti totali (Shading)

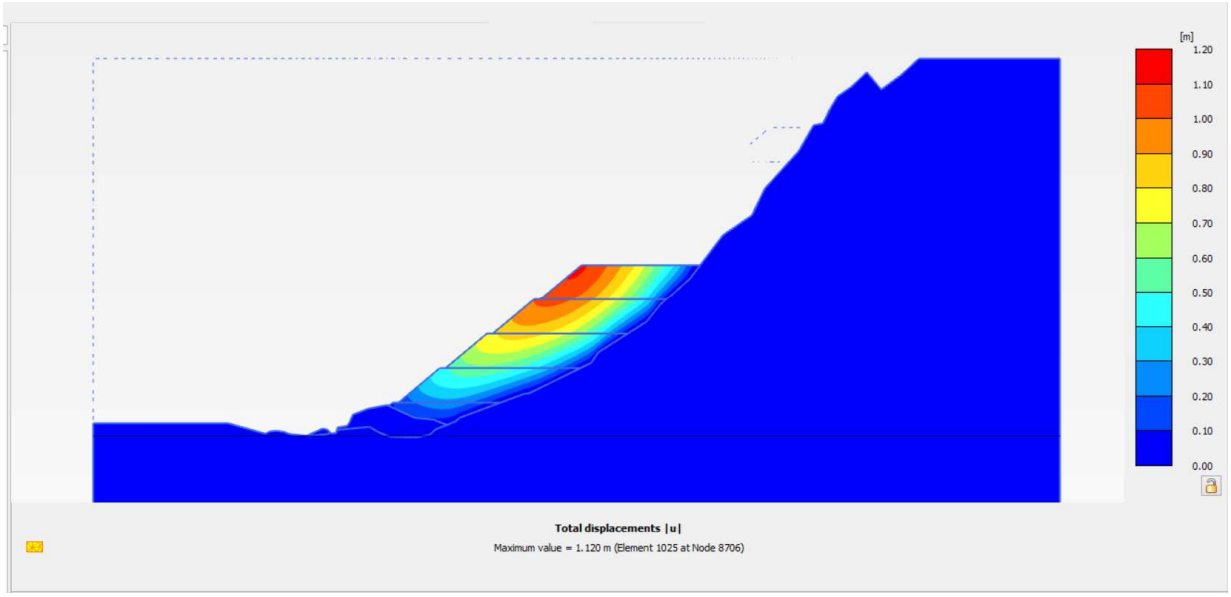


Figura 5.1.16 – Sezione EE – 5° fase – Spostamenti totali (Shading)

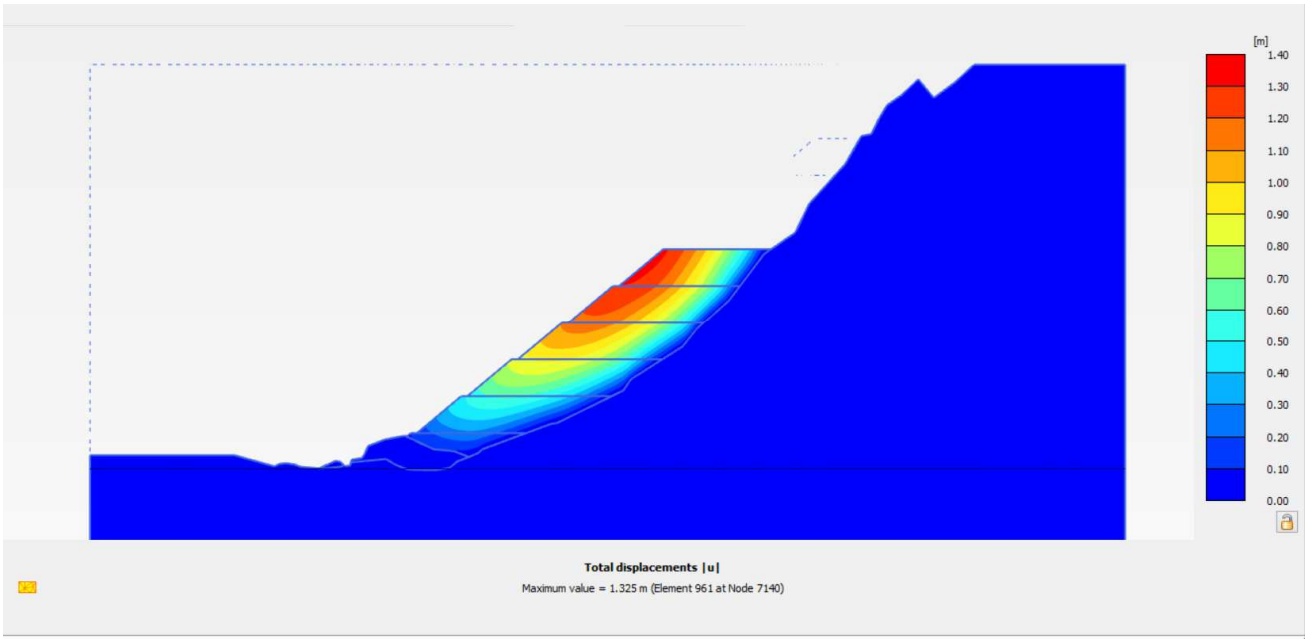


Figura 5.1.17 – Sezione EE – 6° fase – Spostamenti totali (Shading)

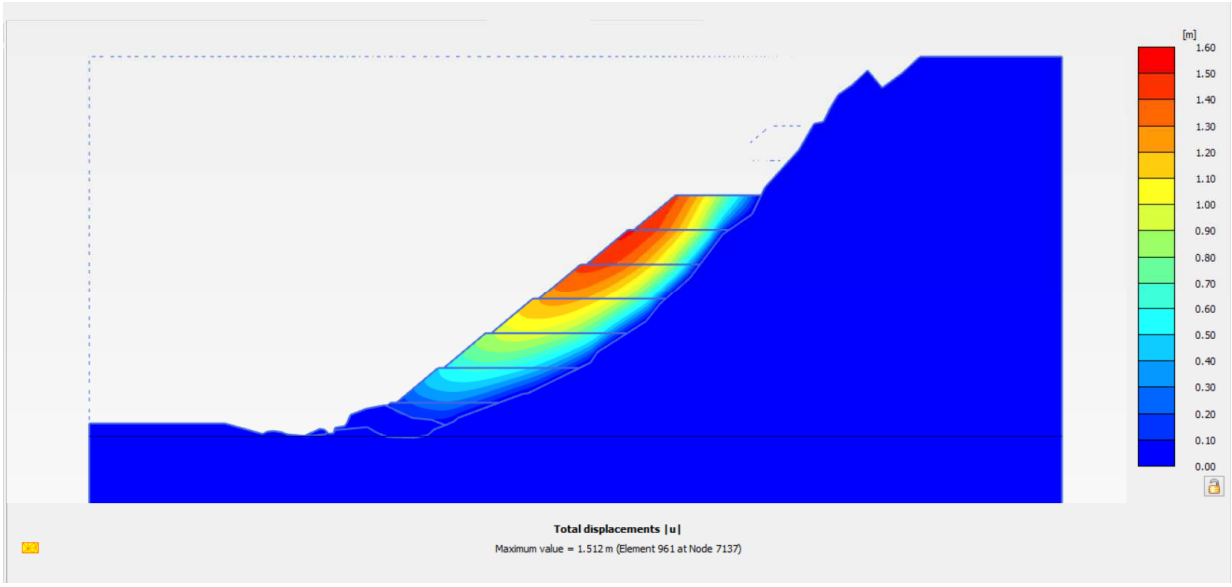


Figura 5.1.18 – Sezione EE – 7° fase – Spostamenti totali (Shading)

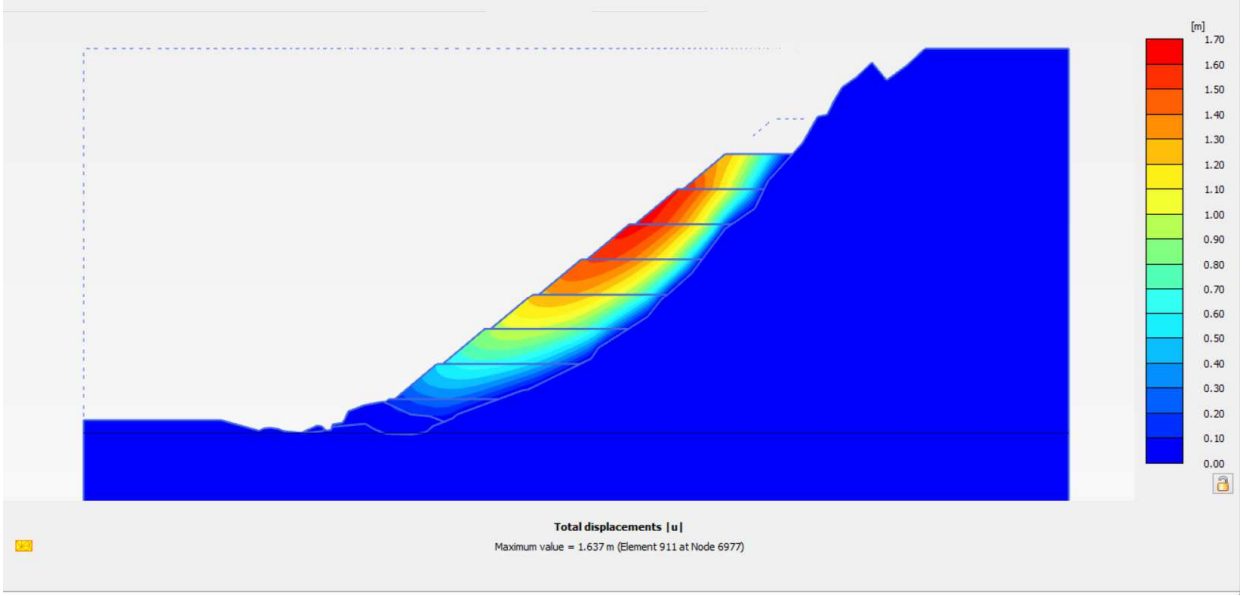


Figura 5.1.19 – Sezione EE – 8° fase – Spostamenti totali (Shading)

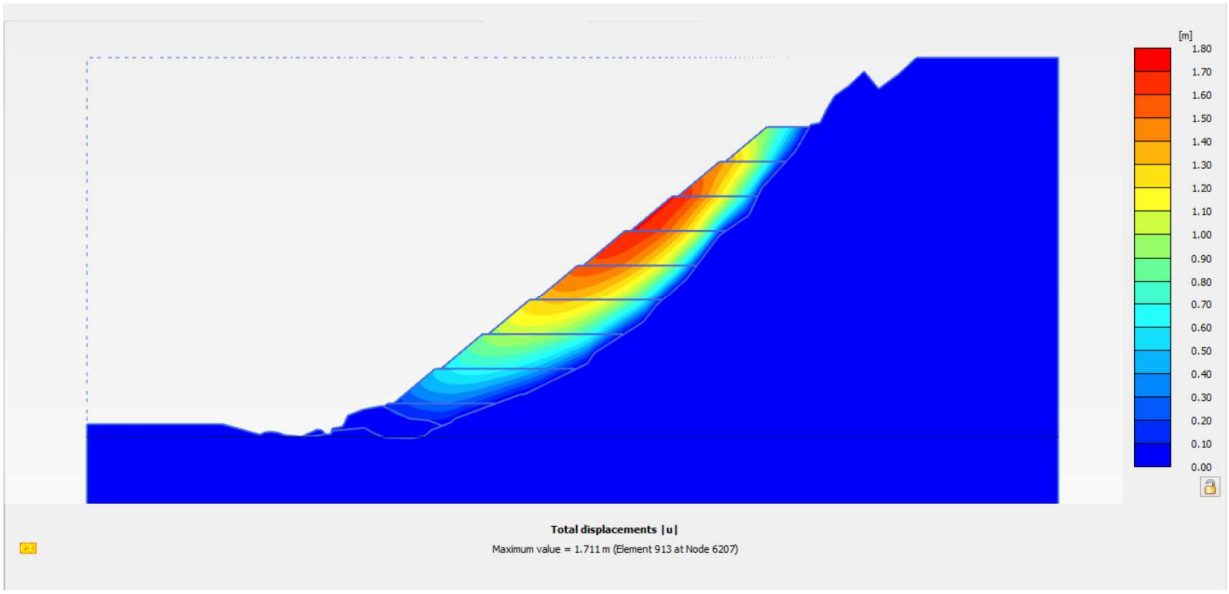


Figura 5.1.20 – Sezione EE – 9° fase – Spostamenti totali (Shading)

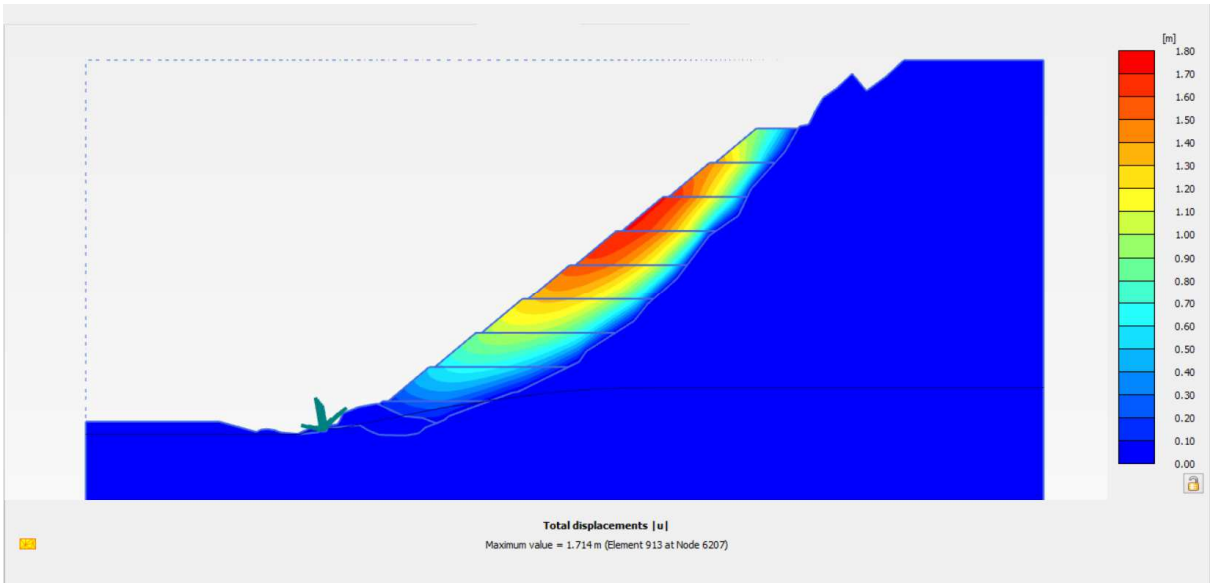


Figura 5.1.21 – Sezione EE – Innalzamento falda – Spostamenti totali (Shading)

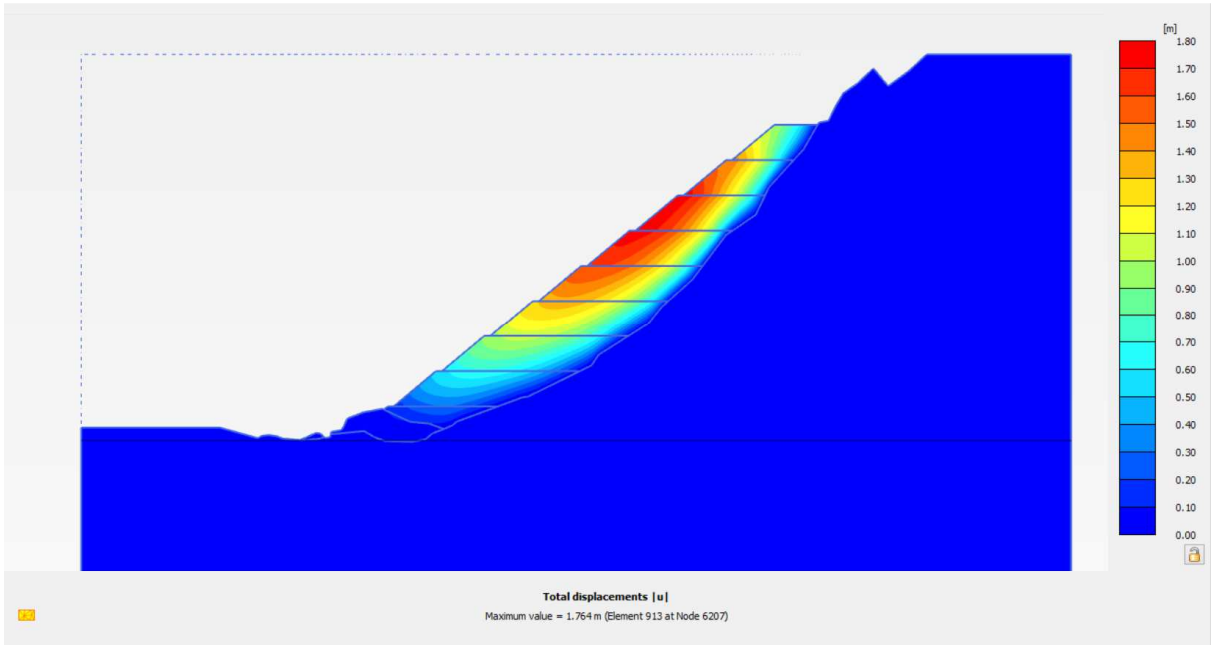


Figura 5.1.21 – Sezione EE – Innalzamento falda – Spostamenti totali (Shading)

5.2 Risultati delle analisi in termini di condizioni di sicurezza

Il programma Plaxis consente di effettuare un'analisi di un fattore di sicurezza in "deformazioni". Per determinarlo il programma riduce progressivamente i parametri geotecnici f e c' fino a portare il modello al collasso.

Minime irregolarità nel modello possono pertanto far bloccare il calcolo anche a valori poco sopra l'unità. E' da osservare che in realtà tali singolarità potranno essere contenute all'interno di un comportamento tridimensionale non percepibile nella singola sezione 2D oppure essere effettive e produrre locali rilasci di terreno sistemabili in fase di esecuzione del rilevato stesso

Tale parametro non è confrontabile con i valori dei fattori di sicurezza imposti da normativa in quanto le analisi non sono condotte allo stato limite ultimo ma in condizioni di esercizio.

Nel nostro caso specifico sono state portate a termine due ϕ-c reduction, una successivamente alla condizione statica con falda innalzata ed una dopo l'applicazione del sisma con falda bassa.

Come si vede le superfici di collasso partono dal livelli più alti del rilevato ed in prossimità dell'interfaccia tra il riempimento e il substrato roccioso ove vi è un brusco cambio di rigidezza.

Gli output più chiari dell'ultima fase di calcolo ove avviene incipiente collasso è ben mostrata negli spostamenti incrementali che rappresentano lo step ultimo della progressione delle deformazioni.

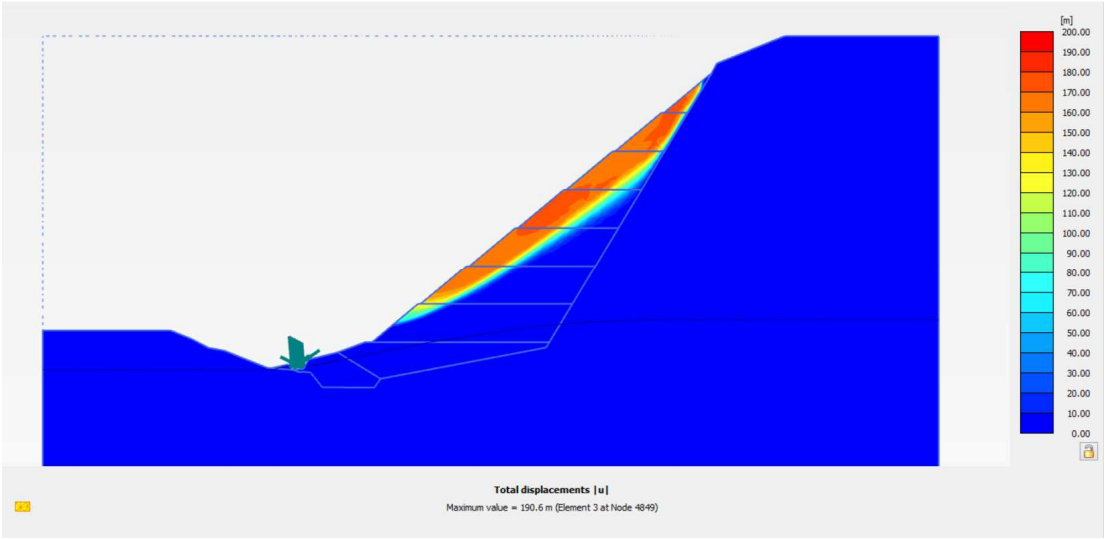


Figura 5.2.1 – Andamento degli spostamenti incrementali in "***ϕ-c reduction***" - sez BB – condizione statica con falda alta - Fs = 1.291

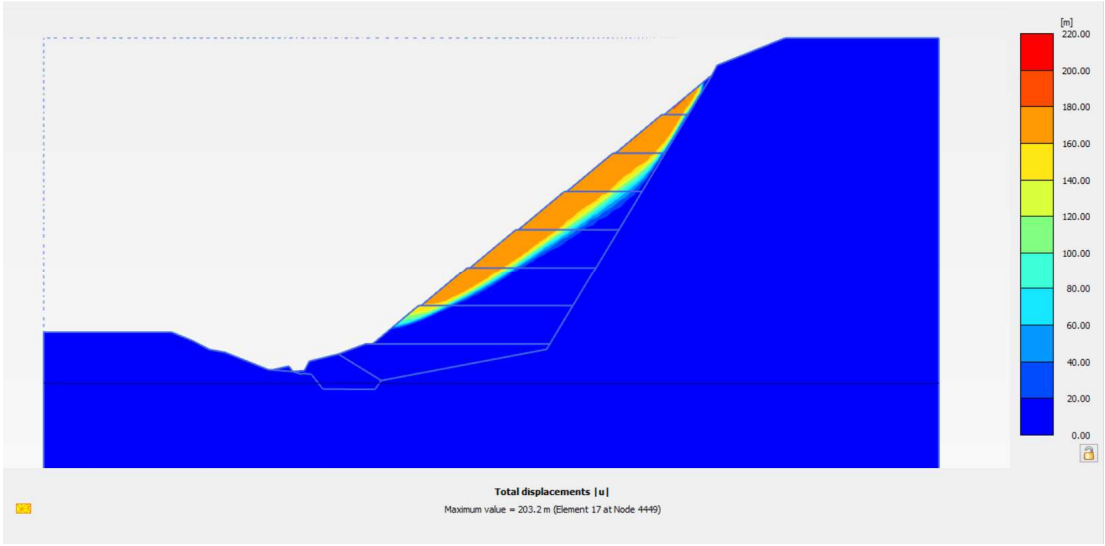


Figura 5.2.2 - Andamento degli spostamenti incrementali in "***ϕ-c reduction***" - sez BB – condizione sismica- Fs = 1.328

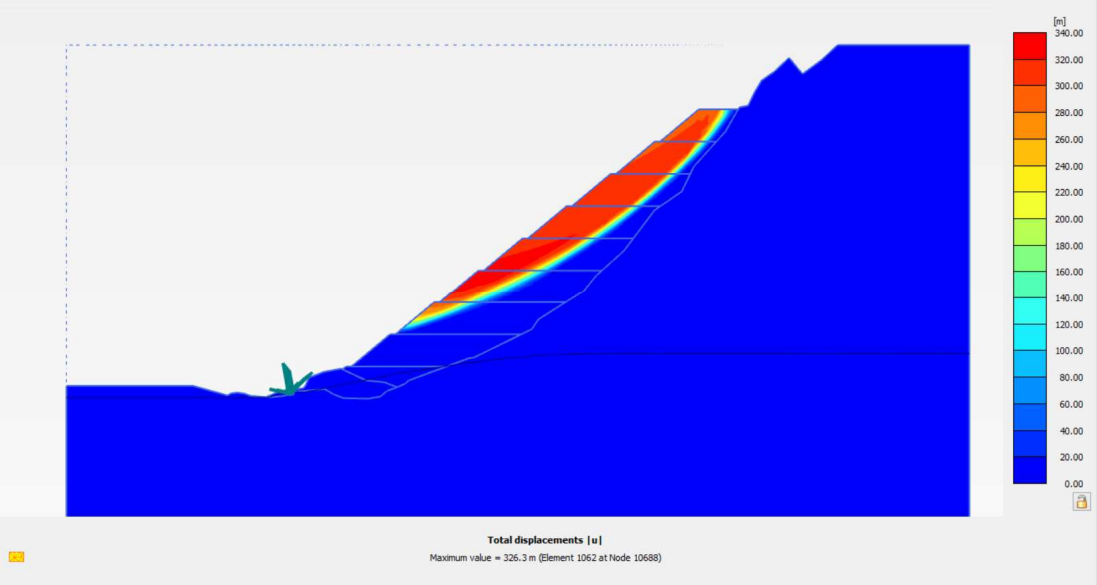


Figura 5.2.3 - Andamento degli spostamenti incrementali in "***ϕ-c reduction"*** - sez EE – condizione statica con falda alta - Fs = 1.348

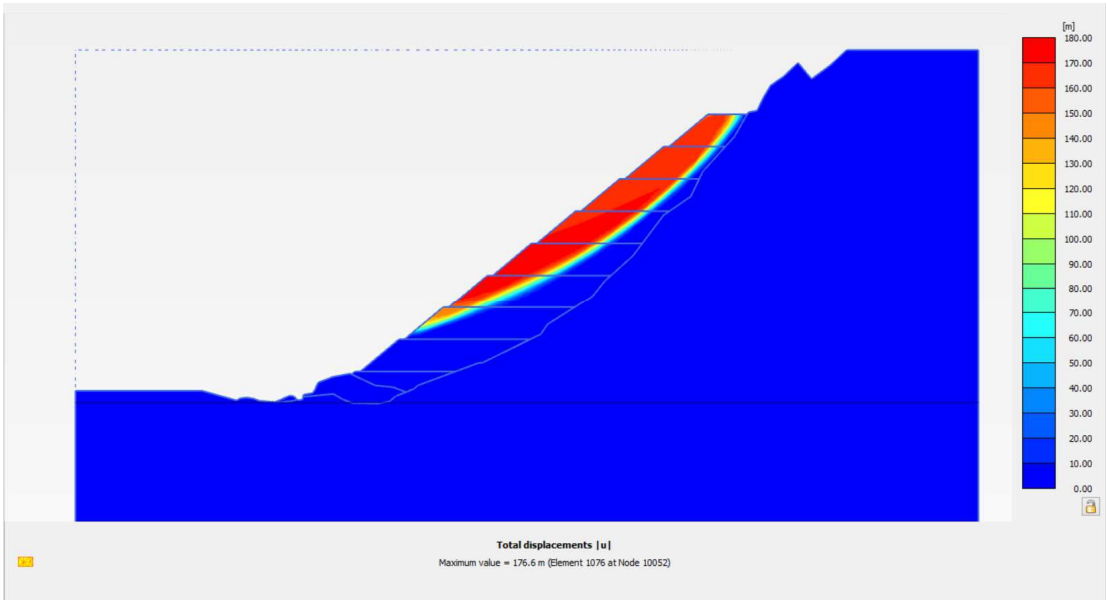


Figura 5.2.4 - Andamento degli spostamenti incrementali in "***ϕ-c reduction"*** - sez EE – condizione sismica - Fs = 1.316

6. ANALISI DI STABILITA'

Nel presente capitolo si presentano le modalità secondo cui sono state eseguite le analisi di stabilità; verranno poi schematicamente forniti i risultati di tali calcoli.

Le verifiche di stabilità dei versanti sono state effettuate con il programma di calcolo STAP 11.0, sviluppato dalla Aztec Informatica, che consente l'analisi agli stati limite con l'approccio progettuale 1 combinazione 2 del nuovo testo Unico.

Tale approccio utilizza una serie di fattori moltiplicativi (coefficienti di sicurezza parziali) applicati direttamente sia ai carichi che ai parametri geotecnici. Il fattore di sicurezza minimo γ_R dovrà essere superiore ad 1.1 come prescritto dal D.M. 14.01.08 (coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere in materiali sciolti e di fronti di scavo).

Il metodo di verifica si basa sull'equilibrio limite a conci di Bishop per superfici di scivolamento di forma circolare. Nel corso dell'analisi il programma opera automaticamente la fattorazione sia dei carichi, sia dei parametri geotecnici che intervengono nei calcoli.

Di seguito, in Tabella 6.I, si riportano i coefficienti di sicurezza parziali utilizzati in fase di calcolo.

caso	**AZIONI**				**PARAMETRI**			
	Permanenti		Variabili		tan φ'	c'	c_u	q_u
	sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli				
statico	1.0	1.0	1.3	0.0	1.25	1.25	1.4	1.6
sismico	1.0	1.0	1.0	0.0	1.25	1.25	1.4	1.6

Tabella 6.I – Coefficienti di sicurezza parziali

Le sezioni studiate sono BB ed EE.

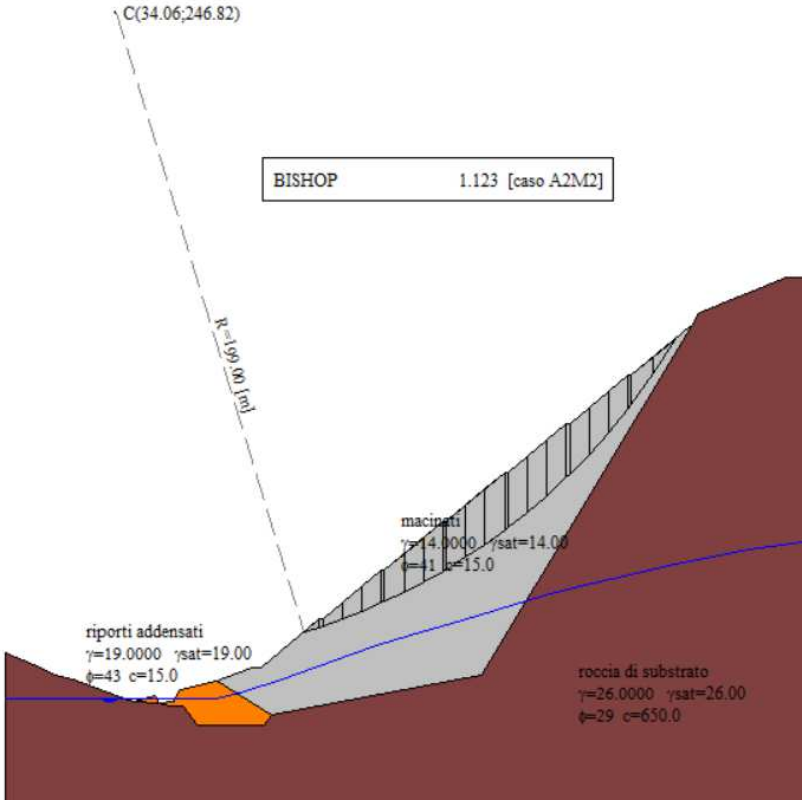


Fig. 6.1 Sezione BB - statica con falda alta - Fs = 1.123

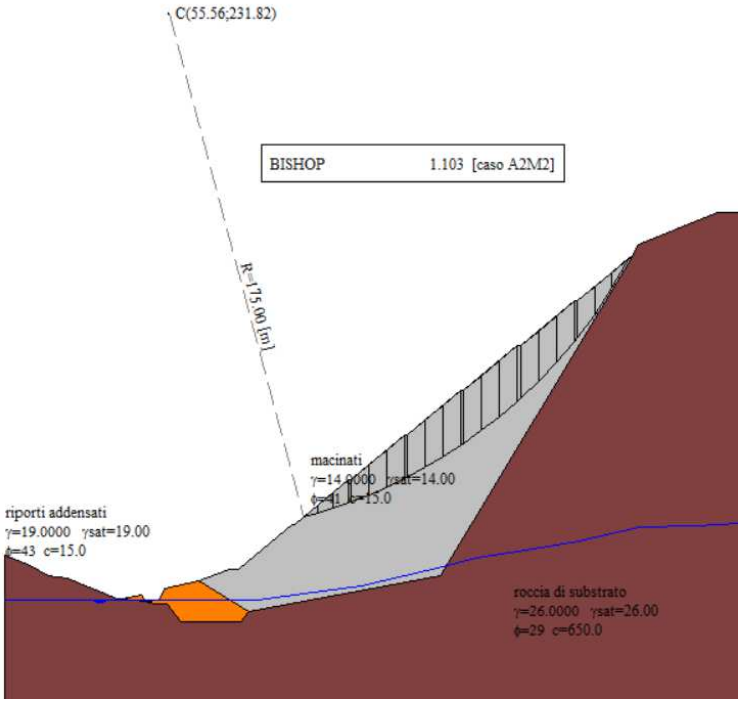


Fig. 6.2 Sezione BB - sismica - Fs = 1.103

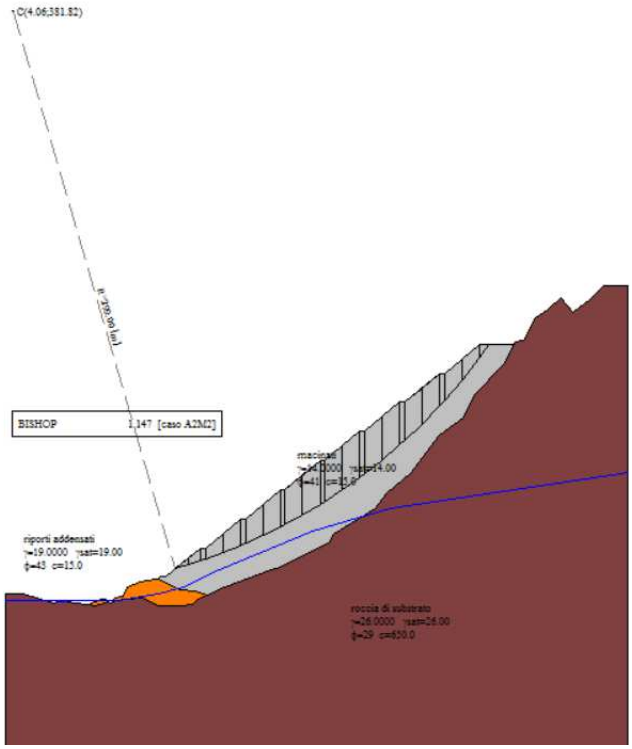


Fig. 6.3 Sezione EE - statica con falda alta - Fs = 1.147

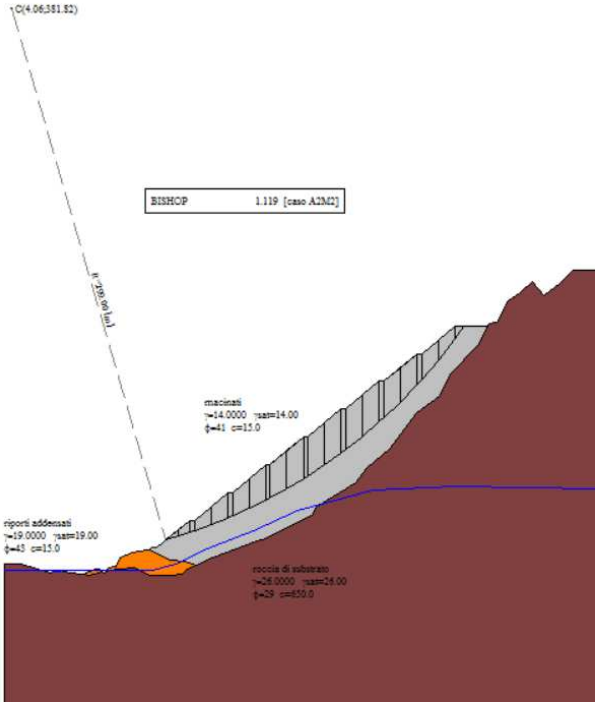


Fig. 6.4 Sezione EE - statica con falda alta - Fs = 1.119

Le analisi sono state effettuate considerando due differenti condizioni di carico:

- statica con falda alta, in condizioni drenate;
- sismica con falda bassa.

Nella tabella seguente (Tabella 6.II) sono riassunti i risultati ottenuti dalle analisi effettuate.

Sez. di riferimento	**Fattori di Sicurezza**	
	Analisi Statica	**Analisi Sismica**
Sez BB	1.123	1.103
Sez EE	1.147	1.119

Tabella 6.II – Risultati delle analisi di stabilità

Tulle le verifiche effettuate hanno portato a valori del coefficiente superiori ad 1.1 e quindi risultano soddisfatte.

7. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Nel corso della presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti documenti e normative:

Rif. [1] **Dott. Federico Pittaluga (marzo 2016):** "*Relazione geologica riguardante lo studio di fattibilità per la messa in sicurezza dell'ex cava Crivezzo (frazione San Bernardo, Località Crivezzo, Comune di Stella – SV-)*.

Rif. [2] **Studio Tecnico Passalacqua :** "*studio di fattibilità per la messa in sicurezza della ex cava Crivezzo"*.

Rif. [3] **Dr. Agr. Carlo Benelli :** "*Relazione tecnica agronomo forestale per la progettazione del ripristino vegetazionale"*.

Rif. [4] **Ing. Giogio Franzoni :** "*Relazione Idraulica per sistemazione del Rio Giglio Rosso"*.

Normative:

- D.M. Infrastrutture 14 Gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008).
- Circolare Min.Infr. e Trasp. 2 Febbraio 2009, n. 617/C.S.LL.PP.: Applicazione norme tecniche per le costruzioni (NTC).

8. LICENZE SOFWARE DEI CODICI DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il codice di calcolo STAP 11.
Di seguito si riportano tutti i dati relativi alla licenza software fornita alla Garassino s.r.l. dalla casa di produzione.

Nome programma: STAP Full (Terreni e rocce) 11.0
Versione n° 011
Licenza d'uso n°: AIU083286
Data: GENNAIO 2010

Le verifiche agli elementi finiti sono state condotte utilizzando il codice di calcolo PLAXIS 2D.

PLAXIS 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti, sviluppato dall'Università di Delft (Olanda), utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazioni piane o a condizioni assialsimmetriche.

Nome programma: PLAXIS 2D
Versione n° 2015.02
Licenza d'uso n°: 2-1315666

9. INTERVENTI DA ESEGUIRE

Viste le analisi effettuate e le successive verifiche l'intervento potrà essere effettuato percorrendo le seguenti fasi di lavoro:

FASE 1

Passo n° 1 – SCOTICO (da estendere anche a tutte le parti relative alla Fase 2)

- Pulizia dell'intera area di fondo cava, rimuovendo il terreno superficiale vegetato, le erbe e gli arbusti.
- Scavo generalizzato di 30 cm (medio) con locali approfondimenti in presenza di radici.

Passo n° 2 – SCAVO DEL TERRENO GRANULARE PRESENTE NEL CUORE DELLA CAVA E SUCCESSIVA MOVIMENTAZIONE A VALLE OVE VERRA' RIPRISTINATO L'ALVEO ORIGINALE DEL RIO GIGLIO ROSSO:

- Scavo della coltre di terreno granulare proveniente dalla erosione e dai distacchi localizzati del fronte della ex cava fino a giungere al substrato roccioso.
- Realizzazione delle opere di regimazione del rio (briglie). Si rimanda agli elaborati del progetto specificatamente dedicati alla sistemazione del rio Giglio Rosso per ulteriori dettagli.
- Preparazione delle sponde dell'alveo con massi ciclopici ben disposti.
- Riempimento laterale compattato del materiale presente nel centro della ex cava.

FASE 2

Passo n° 0 – SCOTICO (già eseguito in Fase 1)

- *Pulizia dell'intera area di fondo cava, rimuovendo il terreno superficiale vegetato, le erbe e gli arbusti.*
- *Scavo generalizzato di 30 cm (medio) con locali approfondimenti in presenza di radici.*

Passo n° 1 – LIVELLAMENTO E BONIFICA A GRADONI:

- Ove il fondo di substrato lo renda possibile, soprattutto nella parte basa dei riempimenti, verranno effettuati dei piani di livellamento. Su tali livellamenti saranno disposti i primi strati di macinato per la esecuzione del riempimento finale.

Passo n° 2 – STESA E COMPATTAZIONE

- Il materiale macinato sarà preventivamente areato, se troppo umido, e verrà steso uniformemente sulle aree preparate con strati di spessore non superiore a 50 cm e successivamente compattate con almeno 6 passate di rullo liscio.
- Le passate di rullo dovranno essere incrociate e la velocità di transito non dovrà essere superiore a 4 km/h

Passo n° 3 – I DRENAGGI SUPERFICIALI

- Ove presenti le balze, il rilevato verrà arretrato e si realizzeranno le cunette di raccolta acque prima di proseguire con i riempimenti.
- Le cunette superficiali verranno realizzate in terra e rivestite con geostuoia sintetica tridimensionale tipo Trenchmat o similare. Anche le scarpate saranno ricoperte con una bricchettatura composta da un insieme di materiali lignei di recupero al fine di preservarle dall'erosione.

10. CONCLUSIONI

Il presente documento è stato redatto al fine di raccogliere le analisi del progetto esecutivo dei riempimenti per la messa in sicurezza della ex cava “Crivezzo”.

In particolare sono state effettuate delle analisi in deformazioni con il programma ad elementi finiti PLAXIS 2D che ha permesso lo studio del comportamento del riempimento in termini deformativi confermandone la fattibilità.

Le deformazioni calcolate, seppur di notevole entità, saranno scontate nell’immediato durante le fasi di realizzazione di ciascun piano di abbancamento.

Successivamente sono state effettuate le analisi di stabilità per due sezioni trasversali rappresentative (BB ed EE) con i criteri stabiliti dalla normativa vigente (SLU di Testo Unico 2008) le quali hanno fornito valori dei fattori di sicurezza tutti superiori ad 1.1.

Il progetto di Fase I è contenuto in un altro progetto a cui si rimanda per ulteriore dettaglio.

GARASSINO S.r.l.