

“FAVAZZINA”

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio
ad alta flessibilità

Comune di Scilla (RC)

COMMITTENTE



COORDINAMENTO / MANDANTE



Progettisti: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

PROGETTAZIONE GEOTECNICA /
MANDATARIA

GEODES

WATERWAYS

Progettista: Ing. Luisella Vai
Progettista: Ing. Luciano Serra

Verifiche di stabilità del rilevato del bacino di monte

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE	26/04/23	AC	LV	LS

Codice commessa: 1422

Codifica documento: 1422-J-GD-R-01-0

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. AZIONE SISMICA.....	3
4. CRITERI DI VERIFICA	6
5. ANALISI DI STABILITÀ.....	8
5.1 Prima fase di verifiche	8
5.1.1 Sezioni verificate e parametri assunti	8
5.1.2 Sezione 1	12
5.1.3 Sezione 4	20
5.1.4 Sezione 6	28
5.1.5 Conclusioni della prima fase di verifiche	33
5.2 Seconda fase di verifiche.....	34
6. SINTESI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	40

TABELLE

Tabella 3.1 - Stati limite e probabilità nel periodo di riferimento

Tabella 3.2 - Stati limite e tempi di ritorno

Tabella 3.3 - Posizione geografica del bacino in progetto

Tabella 3.4 - Parametri sismici su sito di riferimento rigido orizzontale

Tabella 4.1 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (A1 e A2)

Tabella 4.2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M1 e M2)

Tabella 5.1 – Parametri geotecnici caratteristici e di progetto dei materiali

Tabella 6.1 – Sintesi delle verifiche condotte

FIGURE

Figura 5.1 – Sezione 1

Figura 5.2 – Sezione 4

Figura 5.3 – Sezione 6

Figura 5.4 – Sezione 1 – Modello di calcolo

Figura 5.5 – Sezione 4 – Modello di calcolo

Figura 5.6 – Sezione 6 – Modello di calcolo

Figura 5.7 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.8 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.9 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.10 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.11 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.12 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.13 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.14 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.15 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.16 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.17 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.18 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.19 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.20 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.21 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.22 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.23 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.24 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.25 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.26 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.27 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.28 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.29 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.30 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.31 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.32 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.33 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.34 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.35 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.36 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.37 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.38 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.39 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.40 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.41 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.42 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.43 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.44 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.45 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.46 – Sezione 6 – Nuova configurazione

Figura 5.47 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Modello di calcolo

Figura 5.48 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.49 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.50 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.51 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.52 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.53 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.54 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.55 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

Figura 5.56 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata redatta nell'ambito del progetto preliminare approvativo di un sistema di pompaggio e produzione idroelettrica, situato nel comune di Scilla (RC), su commissione della società Frosio Next per conto di Edison.

Le verifiche riguardano lo sbarramento che forma il bacino artificiale superiore dell'impianto, sito in località Melia a circa 600 m s.l.m. (il bacino inferiore è costituito dal mare con opera di presa in località Favazzina).

Nel seguito si cita la normativa di riferimento (Capitolo 2), viene descritta la determinazione dell'azione sismica (Capitolo 3) e vengono illustrati i criteri di verifica (Capitolo 4); si descrivono quindi le analisi eseguite e i risultati ottenuti (Capitolo 5); si riportano infine la sintesi dei risultati delle analisi e le conclusioni (Capitolo 6).

La relazione è stata redatta in GEODES a cura degli ingegneri Antonella Chiappone e Luisella Vai, ed è stata verificata ed approvata dall'ingegner Luciano Serra di Waterways.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme di riferimento sono costituite da:

1. NTC18 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018
2. Circolare del 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 del 17 gennaio 2018
3. NTD14. D.M. del 26 giugno 2014. Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)
4. 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
5. 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
6. 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).

3. AZIONE SISMICA

Secondo le normative vigenti l'intero territorio nazionale è da considerarsi soggetto a rischio sismico e pertanto le verifiche devono sempre essere condotte tenendo in considerazione tra le azioni di progetto anche le azioni sismiche.

In questa fase della progettazione sono state condotte analisi preliminari semplificate, rispetto a quanto previsto dalla normativa, facendo riferimento a un calcolo di tipo pseudo-statico, dove l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, funzione dell'accelerazione massima attesa nel sito (a_{max}).

In base alle NTC18, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto per le analisi dinamiche e/o pseudo-statiche, occorre innanzi tutto definire la vita nominale, la classe d'uso e il periodo di riferimento per l'azione sismica.

Per l'opera in progetto si sono considerate:

- vita nominale (V_N) di 100 anni (*“Costruzioni con livelli di prestazioni elevati”*)
- classe d'uso IV (*“Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica”*) a cui è associato un coefficiente d'uso $C_U = 2.0$.

Il periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R) risulta quindi:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 2.0 = 200 \text{ anni.}$$

Le probabilità nel periodo di riferimento (P_{VR}), cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella seguente Tabella 3.1:

Tabella 3.1 - Stati limite e probabilità nel periodo di riferimento

Stati limite			P_{VR} (%)
Stati limite di esercizio	Operatività	SLO	81
	Danno	SLD	63
Stati limite ultimi	Salvaguardia della Vita	SLV	10
	Prevenzione del Collasso	SLC	5

I tempi di ritorno (T_R) corrispondenti sono riportati nella seguente Tabella 3.2.

Tabella 3.2 - Stati limite e tempi di ritorno

Stati limite			T_R (anni)
Stati limite di esercizio	Operatività	SLO	120
	Danno	SLD	201
Stati limite ultimi	Salvaguardia della Vita	SLV	1898
	Prevenzione del Collasso	SLC	2475

Assegnando la posizione geografica (latitudine e longitudine) del sito di interesse e i valori di V_N , C_U e V_R , il programma del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (SPETTRI-NTC - versione 1.0.3) definisce (sulla base di quanto richiesto dalle NTC18) il valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido (a_g) e dei parametri T_c^* (periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta) e F_0 (fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima sul sito di riferimento rigido orizzontale), in funzione dello stato limite considerato e del tempo di ritorno del sisma.

Per la determinazione dei suddetti parametri si è fatto riferimento alla posizione geografica in gradi decimali del bacino in progetto, come indicato nella seguente Tabella 3.3.

Tabella 3.3 - Posizione geografica del bacino in progetto

Latitudine	Longitudine
38.23550	15.74552

I parametri su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di ciascuno stato limite e della vita nominale ($V_N = 100$ anni) e classe d'uso ($C_U = 2.0$) dell'opera sono riportati nella seguente Tabella 3.4

Tabella 3.4 - Parametri sismici su sito di riferimento rigido orizzontale

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	120	0.138	2.323	0.322
SLD	201	0.177	2.356	0.337
SLV	1898	0.449	2.501	0.426
SLC	2475	0.496	2.515	0.441

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito è stata valutata con approccio semplificato mediante la relazione seguente:

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

dove:

- S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T);
- a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, riportata nella precedente Tabella 3.4.

Per il sito in esame è stata considerata una categoria di sottosuolo B "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Per la categoria B, il valore di S_s viene calcolato mediante la seguente formula:

$$S_s = 1.40 - 0.4 \cdot F_0 \cdot a_g / g$$

e deve essere $1.00 \leq S_s \leq 1.20$. Dai calcoli eseguiti S_s è pari a 1.00.

Per la determinazione del coefficiente di amplificazione topografica (S_T) si considera che l'opera è ubicata in corrispondenza della sommità di un pendio. Si assume pertanto una categoria topografica T2 alla quale corrisponde un valore di $S_T = 1.2$.

In questa fase della progettazione si è fatto riferimento allo stato limite di collasso (SLC) in modo da considerare una condizione limite ultima che, se verificata, rende verificate tutte le altre condizioni di stato limite sismico.

In caso di verifiche sismiche per lo SLC si ottiene:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.0 \cdot 1.2 \cdot 0.496 = 0.595$$

Sulla base di quanto definito al Paragrafo 7.11.3.5.2 delle NTC18, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g$$

$$k_v = \pm k_h / 2.$$

Il valore del coefficiente β_s viene assunto, con riferimento a quanto indicato nel Paragrafo 7.11.4 (Fronti di scavo e rilevati) delle NTC18, pari a 0.38.

Sono stati pertanto ottenuti i seguenti valori dei coefficienti sismici:

	k_h	k_v
SLC	0.22618	± 0.11309

4. CRITERI DI VERIFICA

In accordo con le NTC18, le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) devono rispettare la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Il valore di progetto dell'azione E_d è funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, delle resistenze dei materiali di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d , secondo la seguente espressione:

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

essendo γ_F e γ_M coefficienti di sicurezza parziali, rispettivamente sulle azioni e sulle resistenze dei materiali di progetto.

L'effetto delle azioni E_d viene espresso dalla seguente funzione:

$$E_d = \gamma_E E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

dove $\gamma_E = \gamma_F$. L'effetto delle azioni può essere anche valutato direttamente come prodotto delle azioni caratteristiche per il fattore di sicurezza parziale sulle azioni: $E_d = \gamma_E E_k$.

La resistenza di progetto del sistema geotecnico R_d è data dalla seguente espressione:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

dove γ_R è un coefficiente di sicurezza che opera direttamente sulla resistenza del sistema R , espressa sempre in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, delle resistenze dei materiali di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d , con γ_F e γ_M coefficienti di sicurezza parziali, rispettivamente sulle azioni e sulle resistenze dei materiali di progetto.

In base alle NTC18 le verifiche di stabilità a stato limite ultimo (SLU) dei fronti di scavo, dei pendii naturali e dei rilevati devono essere effettuate secondo dell'Approccio progettuale 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2).

I valori dei coefficienti parziali A2 e M2 della combinazione 2 sono riportati nelle Tabelle 4.1 e 4.2 che seguono (v. Tabelle 6.2.I e 6.2.II - NTC18), mentre il coefficiente (γ_R) sulle resistenze (R2), corrispondente al valore minimo del Fattore di Sicurezza, è da assumersi pari a 1.1 in condizioni statiche.

Le verifiche in condizioni sismiche pseudo-statiche si eseguono ponendo pari ad 1.0 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando un coefficiente parziale γ_R pari ad 1.2.

Tabella 4.1 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (A1 e A2)

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	EQU	(A1)	(A2)
		γ_F (o γ_M)		STR	GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali (*)	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(*) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 4.2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M1 e M2)

Parametro	Grandezza	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
		γ_M		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.0	1.00

5. ANALISI DI STABILITÀ

5.1 Prima fase di verifiche

5.1.1 Sezioni verificate e parametri assunti

Le analisi di stabilità sono state condotte su tre sezioni della diga ritenute significative:

- la sezione 1 (Figura 5.1) caratterizzata dallo scavo minimo (circa 2.6 m) a monte, da un'altezza del paramento di monte di circa 18 m e da un'altezza del paramento di valle di circa 20 m
- la sezione 4 (Figura 5.2) caratterizzata dalla massima altezza (circa 23 m) del paramento di valle, da un'altezza di circa 18 m del paramento di monte di cui circa 5.7 m di scavo nei materiali in posto
- la sezione 6 (Figura 5.3) caratterizzata da un'altezza del paramento di monte di circa 18 m completamente in scavo nei materiali in posto; il paramento di valle ha altezza di circa 0.8 m.

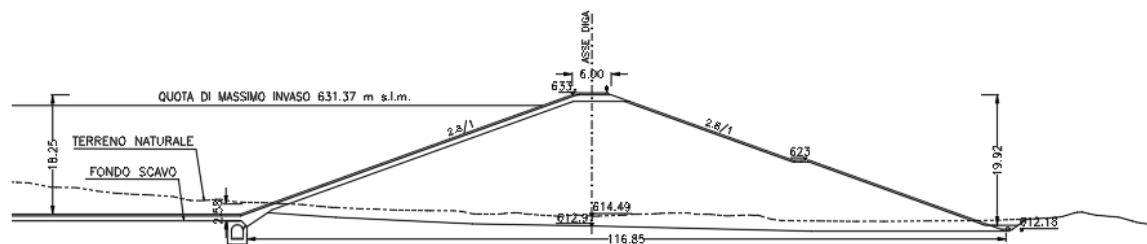


Figura 5.1 – Sezione 1

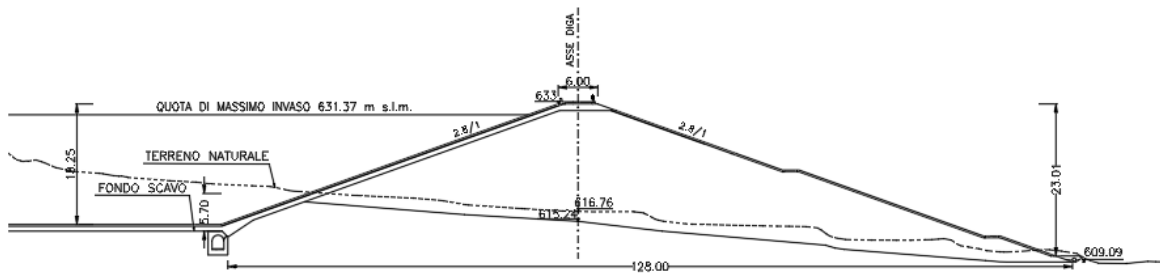


Figura 5.2 – Sezione 4

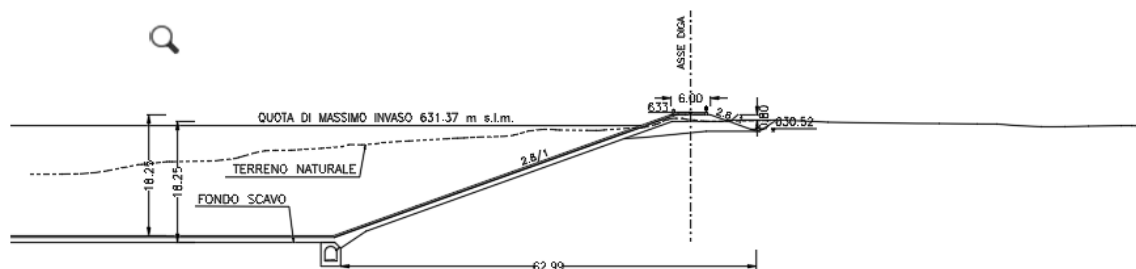


Figura 5.3 – Sezione 6

Le analisi sono state condotte sul paramento interno (monte) e sul paramento esterno (valle) della diga in assenza e in presenza del massimo invaso (631.37 m s.l.m.). Considerando che il paramento interno della diga sarà reso impermeabile mediante stesura di apposito manto, non è stata considerata presenza di carico idraulico all'interno del corpo diga.

Le analisi di stabilità sono state eseguite in condizioni bidimensionali con il Metodo dell'Equilibrio Limite e il codice di calcolo SlopeW ⁽¹⁾ in condizioni statiche e sismiche pseudo-statiche.

Il Fattore di Sicurezza (FS) è stato valutato con il metodo di Bishop.

Il volume definito dalla superficie di scorrimento risulta stabile se lungo la superficie di scorrimento si sviluppa un sistema di forze resistenti che equilibrano le forze agenti; tale equilibrio scaturisce dalla somma delle condizioni di equilibrio dei singoli elementi (costituiti da strisce verticali) in cui viene suddiviso il volume potenzialmente instabile.

Come detto, la stabilità globale deve essere verificata, con riferimento alla normativa italiana, secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R2) tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 4.1 e 4.2 per quanto riguarda le condizioni statiche con coefficiente sulle resistenze (γ_R), corrispondente al valore minimo del Fattore di Sicurezza, da assumersi pari a 1.1. In condizioni sismiche pseudo-statiche, le verifiche si eseguono ponendo pari ad 1.0 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando un coefficiente parziale γ_R , corrispondente al valore minimo del Fattore di Sicurezza, pari ad 1.2.

Nel seguito sarà usata come convenzione, per la componente dell'azione pseudo-statica in direzione verticale, la dicitura kv+ quando l'azione ha direzione coincidente con la gravità (verso il basso) e kv- quando l'azione ha direzione opposta rispetto alla gravità (verso l'alto).

Il carico variabile dovuto al traffico dei mezzi sulle piste è stato considerato quando sfavorevole ed è stato simulato con una pressione di 20 kPa, distribuita sulla sezione della pista. Mentre nei casi statici questo valore è stato moltiplicato per un coefficiente pari a 1.3 (v. Tabella 4.1), nei casi pseudo-statici esso è stato moltiplicato per un coefficiente pari a zero, facendo riferimento a quanto prescritto dalle NTC18 per ponti stradali e pedonali (si veda la Tabella 5.1.VI delle NTC18), non essendoci altro specifico riferimento nella norma.

⁽¹⁾ SlopeW, pacchetto GeoStudio 2007, Geo-Slope International Ltd., Calgary, Canada

Le superfici di scivolamento, a geometria circolare, sono state definite in maniera da imporre la zona di ingresso e la zona di uscita delle stesse sulla superficie del pendio, lasciando quindi al programma la generazione automatica delle stesse superfici e la ricerca della superficie a cui compete il Fattore di Sicurezza minimo in ciascuna condizione di calcolo. Sono state considerate superfici aventi profondità minima di 1 m.

Nella Tabella 5.1 è riportato il riepilogo dei parametri (peso di volume e parametri di resistenza) caratteristici e di progetto dei materiali interessati dalle analisi (Figure 5.4, 5.5 e 5.6), espressi, adottando un criterio di resistenza di Mohr-Coulomb, in termini di coesione e angolo di resistenza al taglio efficaci. Tali parametri geotecnici sono stati ricavati dalla letteratura e da esperienze su materiali analoghi. I valori dei parametri di resistenza di progetto sono stati ottenuti applicando ai valori caratteristici i coefficienti riduttivi per le resistenze previsti dalla normativa e riportati nella Tabella 4.2. Nella Tabella 5.1 i valori di progetto sono quelli da adottare in campo statico. Secondo quanto esplicitato dalla normativa, come detto in precedenza, le verifiche pseudo-statiche si eseguono ponendo pari ad 1.0 i coefficienti parziali sui parametri geotecnici; pertanto, in campo pseudo-statico, i parametri di progetto assumono il valore dei parametri caratteristici.

Tabella 5.1 – Parametri geotecnici caratteristici e di progetto dei materiali

Materiale	Valori caratteristici			Valori di progetto		
	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]
A – Rilevato della diga	19.0	0.0	40.0	19.0	0.0	33.873
B – Depositi continentali (Dat)	19.0	5.0	33.0	19.0	4.0	27.453
C – Calcareniti di Vinco (Sp)	20.0	20.0	37.0	20.0	16.0	31.083
D – Materiale drenante	19.0	0.0	35.0	19.0	0.0	29.256
E – Sottofondo della pista	19.0	0.0	40.0	19.0	0.0	33.873

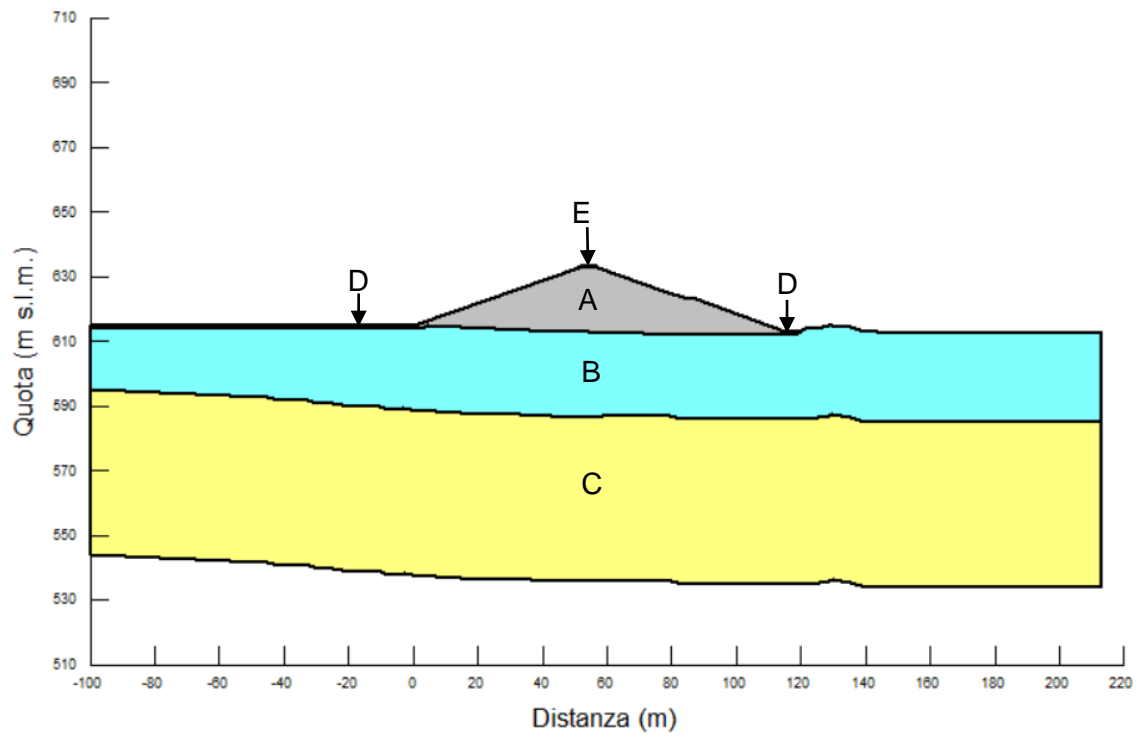


Figura 5.4 – Sezione 1 – Modello di calcolo

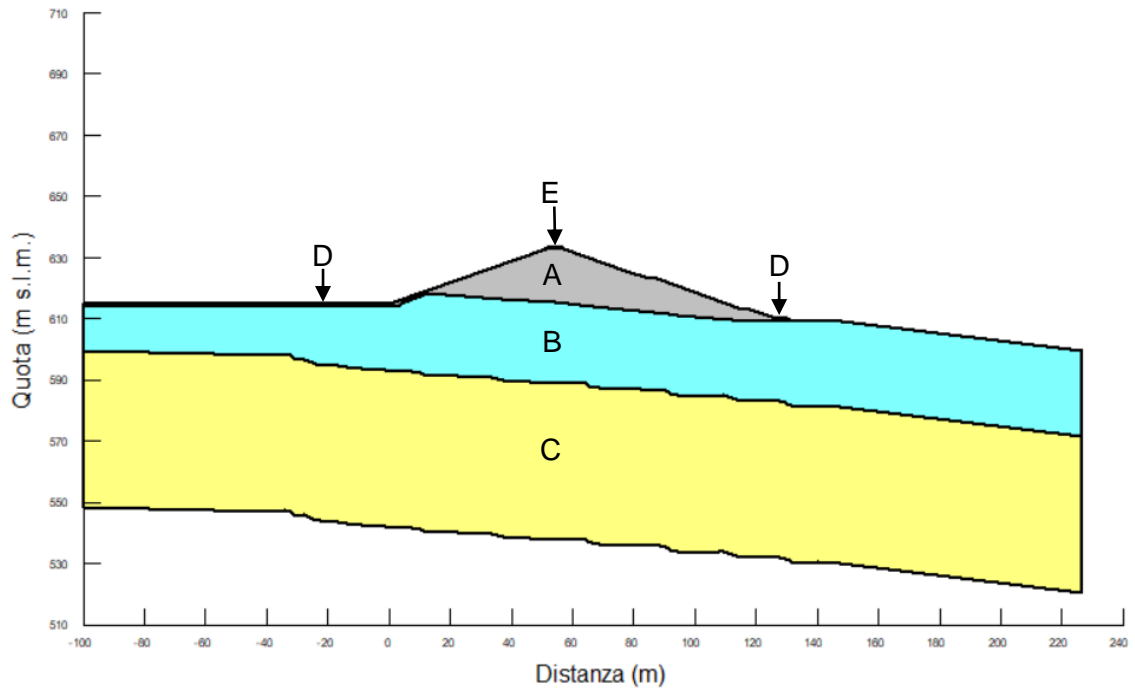


Figura 5.5 – Sezione 4 – Modello di calcolo

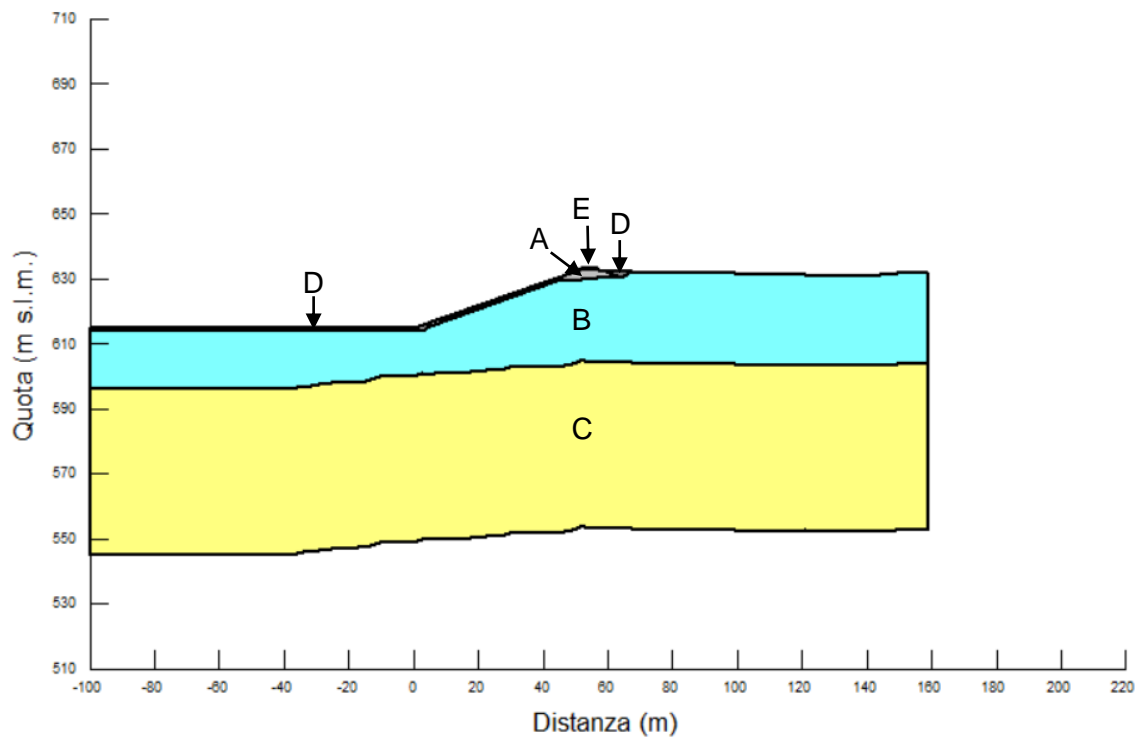


Figura 5.6 – Sezione 6 – Modello di calcolo

5.1.2 Sezione 1

Nelle Figure 5.7÷5.21 sono riportati i risultati delle analisi di stabilità condotte, in campo statico e in campo pseudo-statico, sulla sezione 1, con riferimento a entrambi i paramenti (interno ed esterno), in assenza e in presenza dell'invaso massimo. Le sopraccitate figure riportano i valori del Fattore di Sicurezza (FS) minimo secondo Bishop e le superfici associate a tali fattori di sicurezza.

Come si può notare, le verifiche di questa sezione risultano soddisfatte, sia in campo statico che in campo pseudo-statico, per entrambi i paramenti.

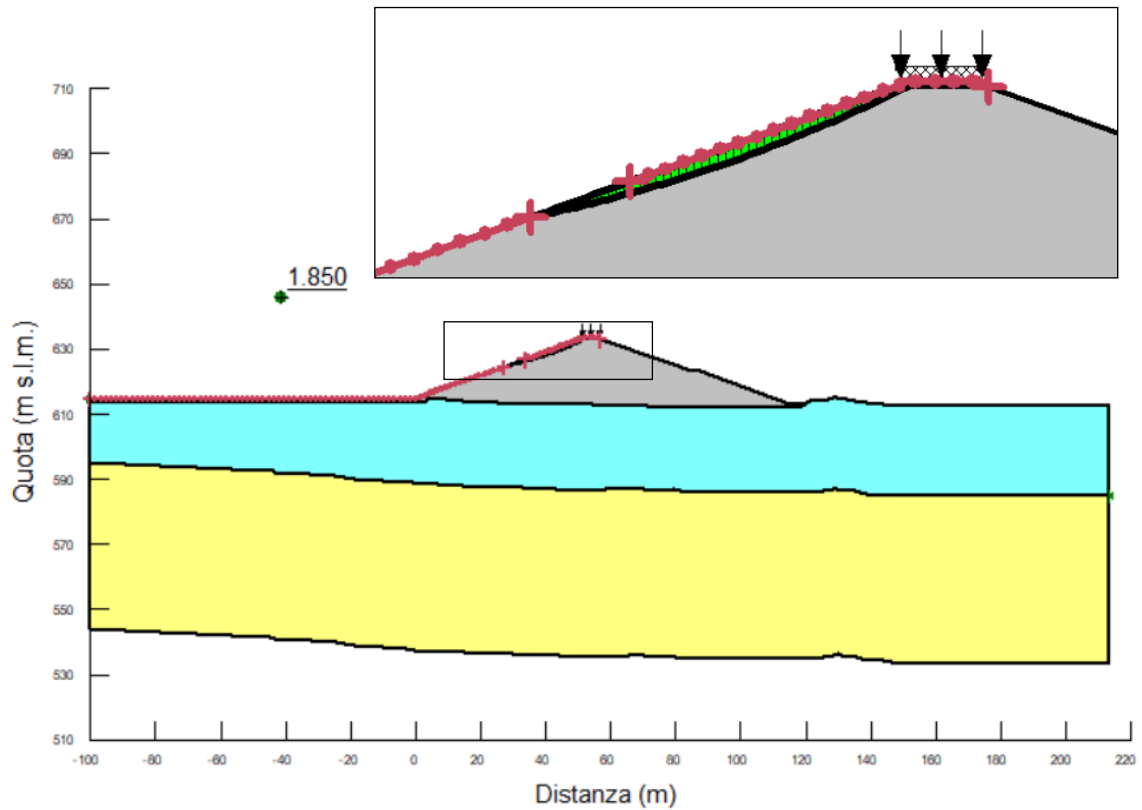


Figura 5.7 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

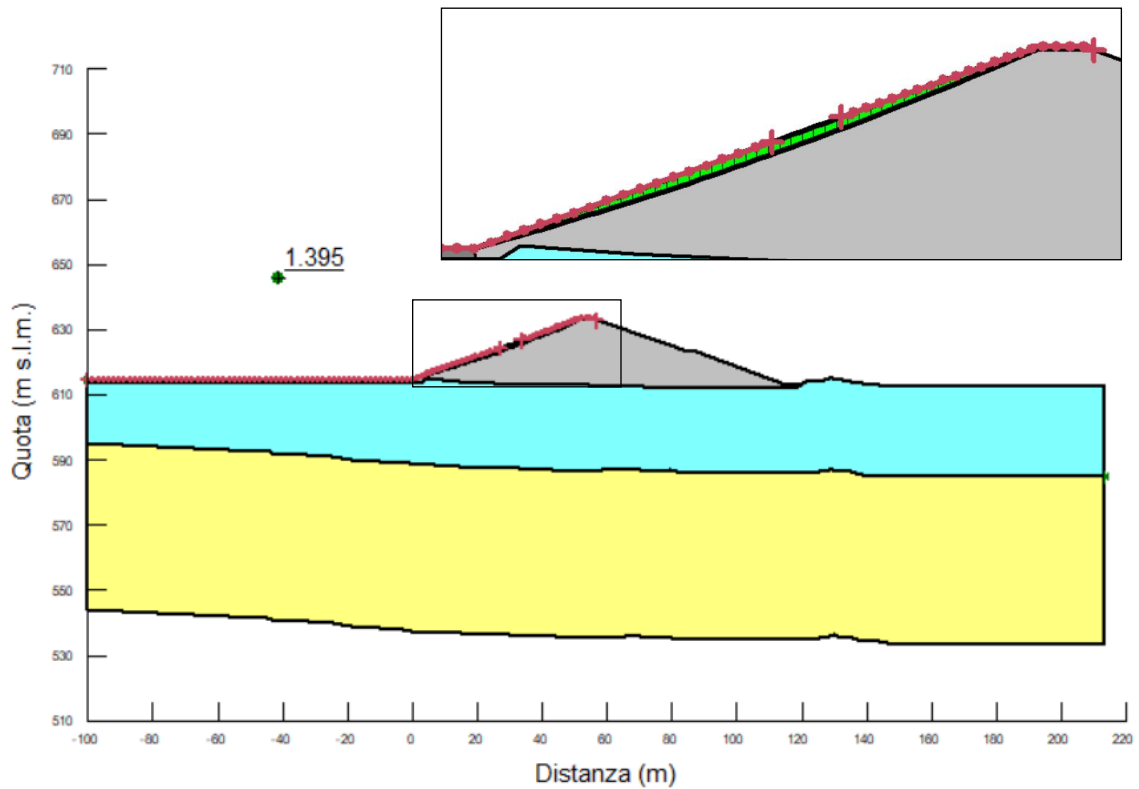


Figura 5.8 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

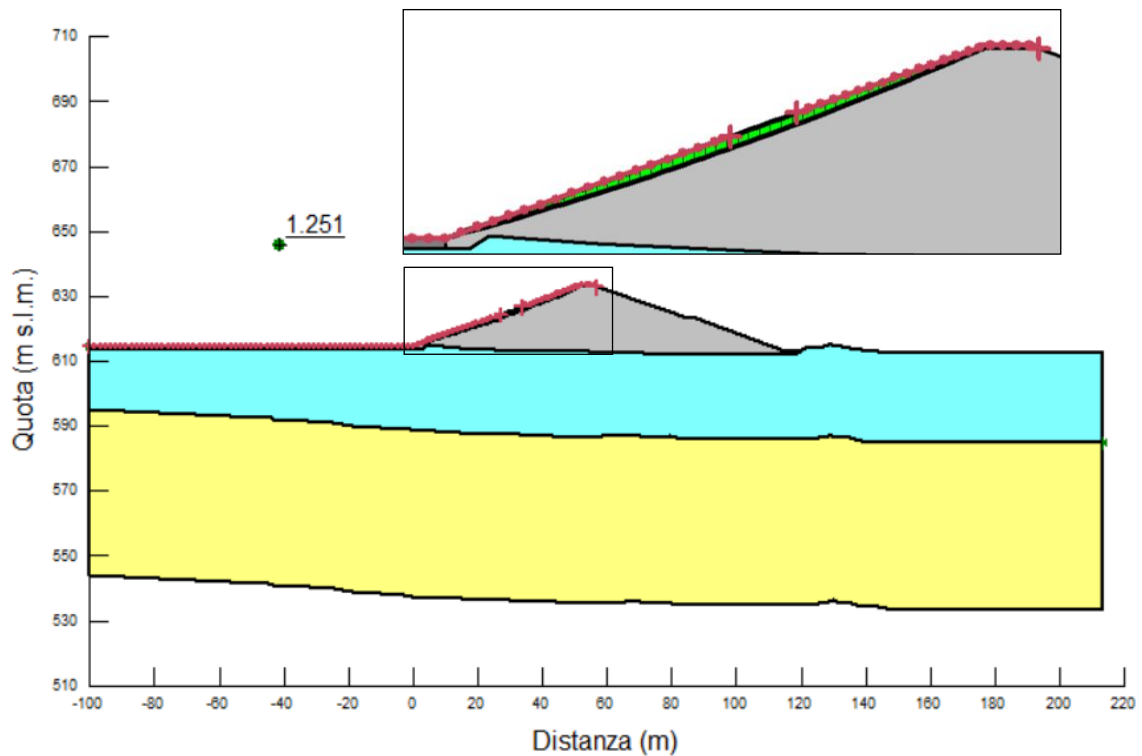


Figura 5.9 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

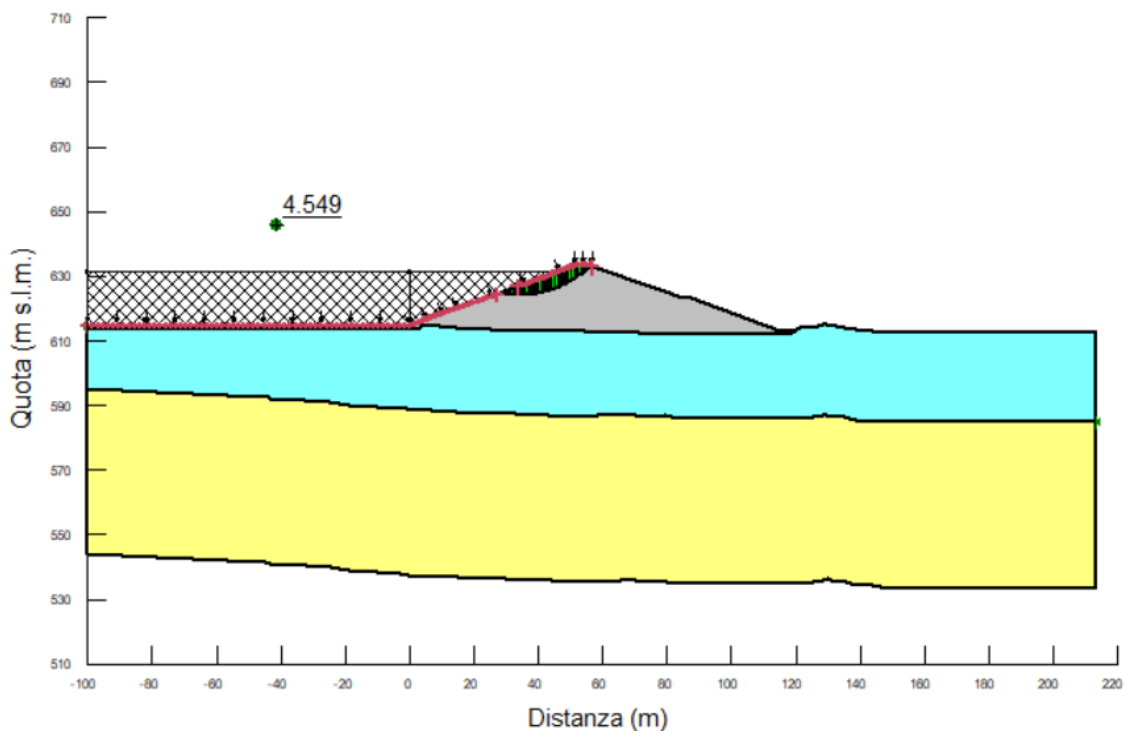


Figura 5.10 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

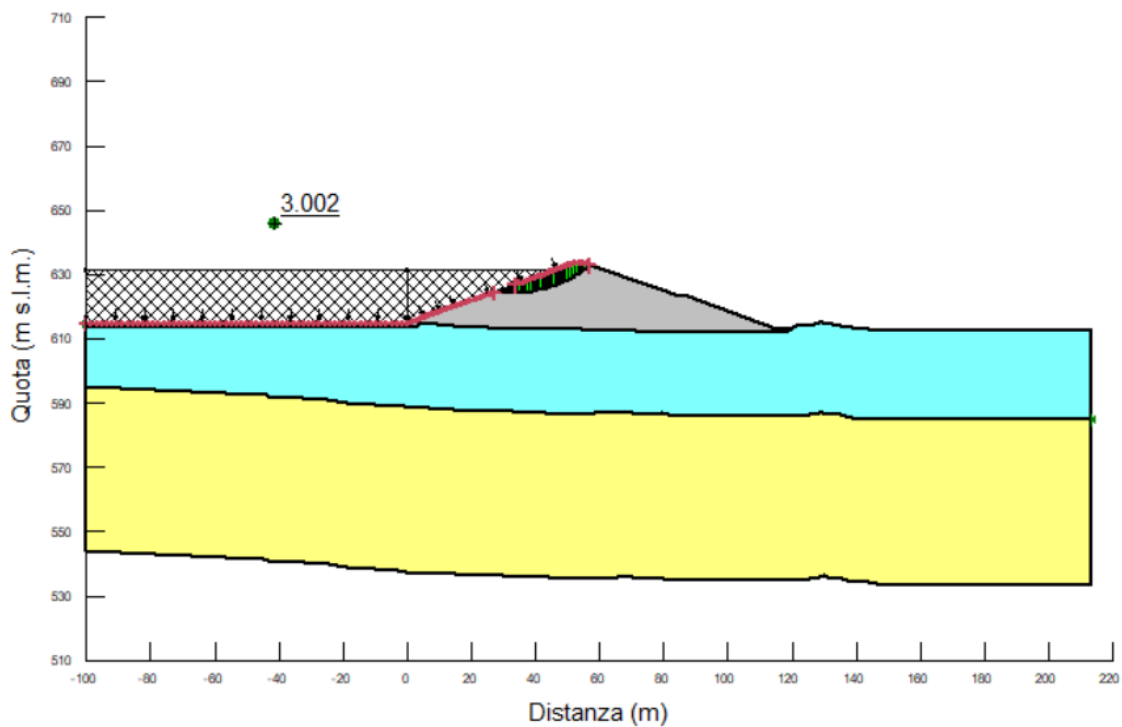


Figura 5.11 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

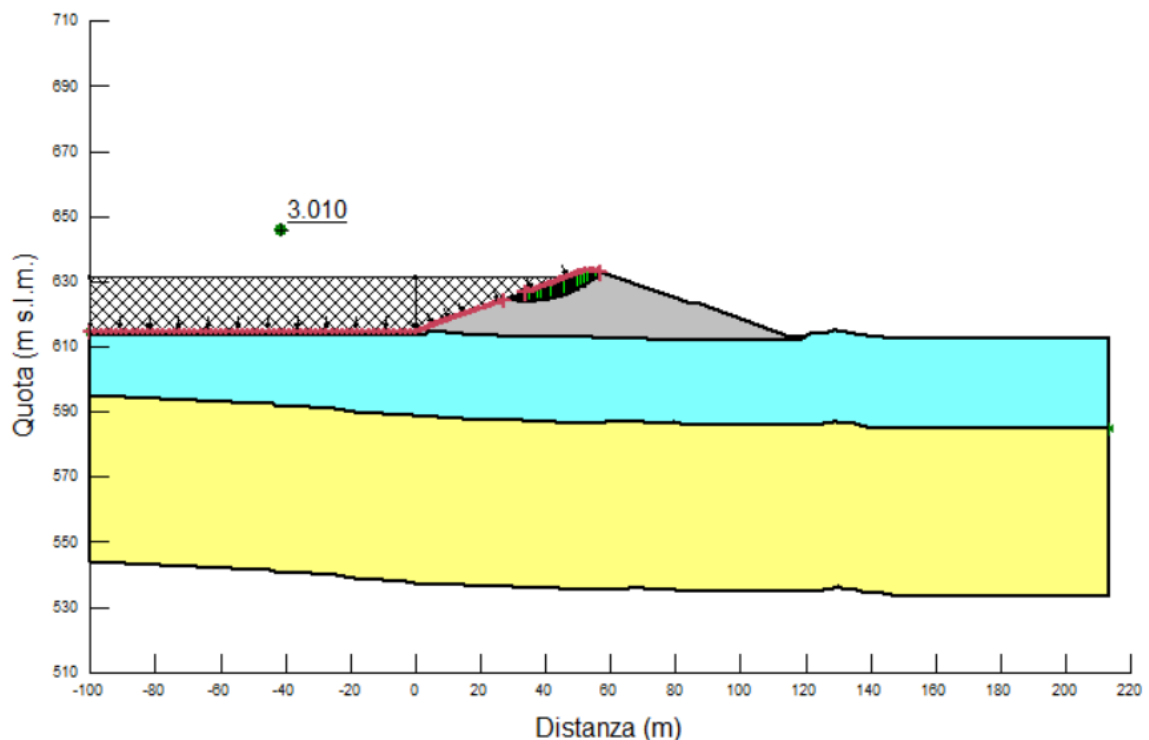


Figura 5.12 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

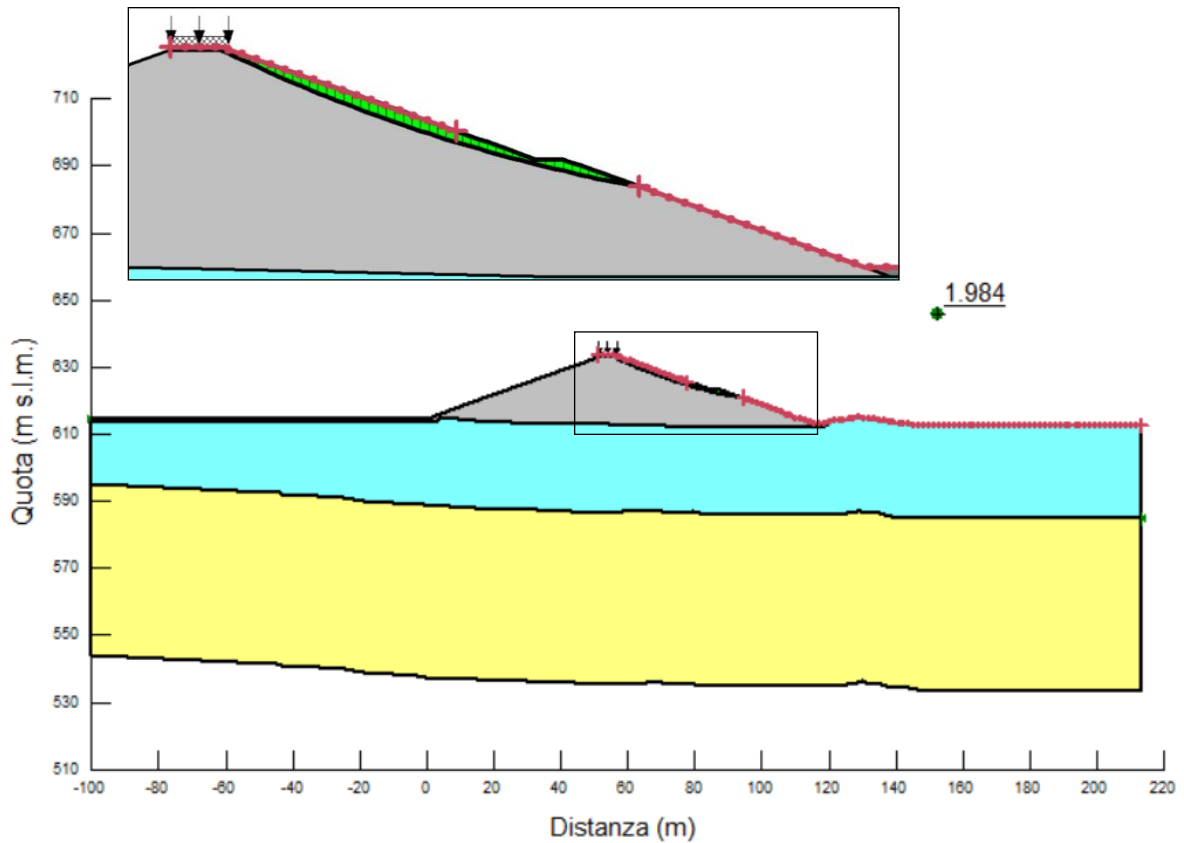


Figura 5.13 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

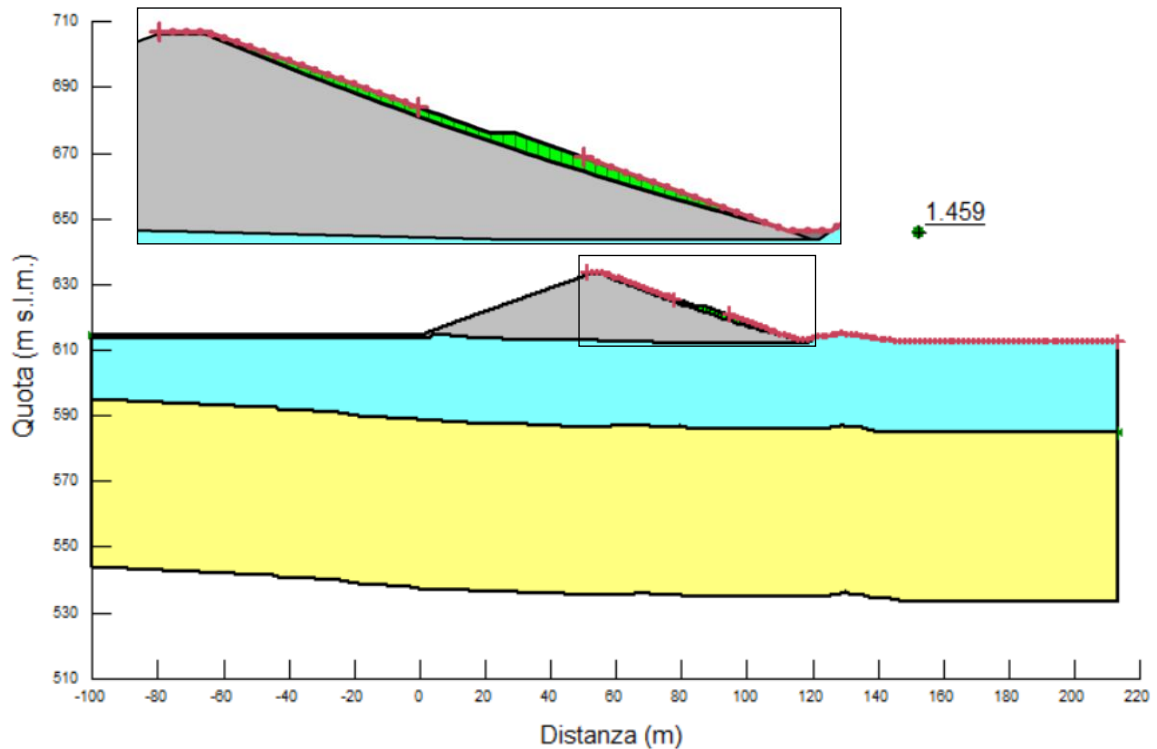


Figura 5.14 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

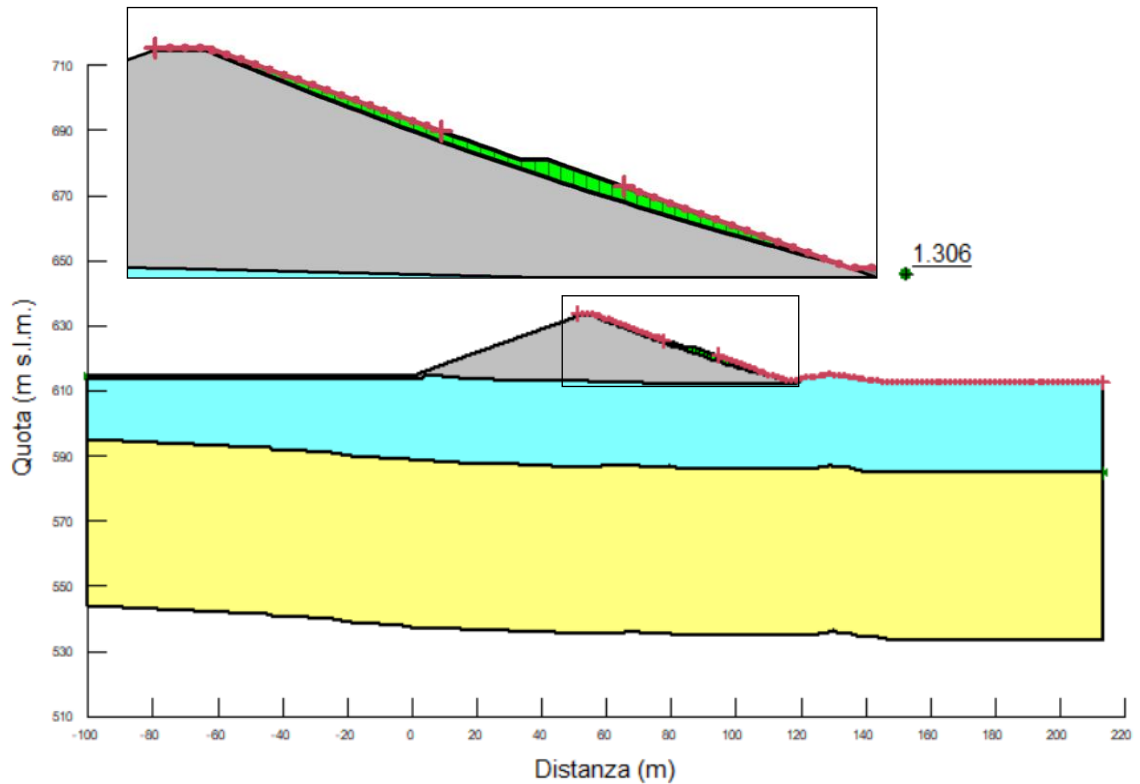


Figura 5.15 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

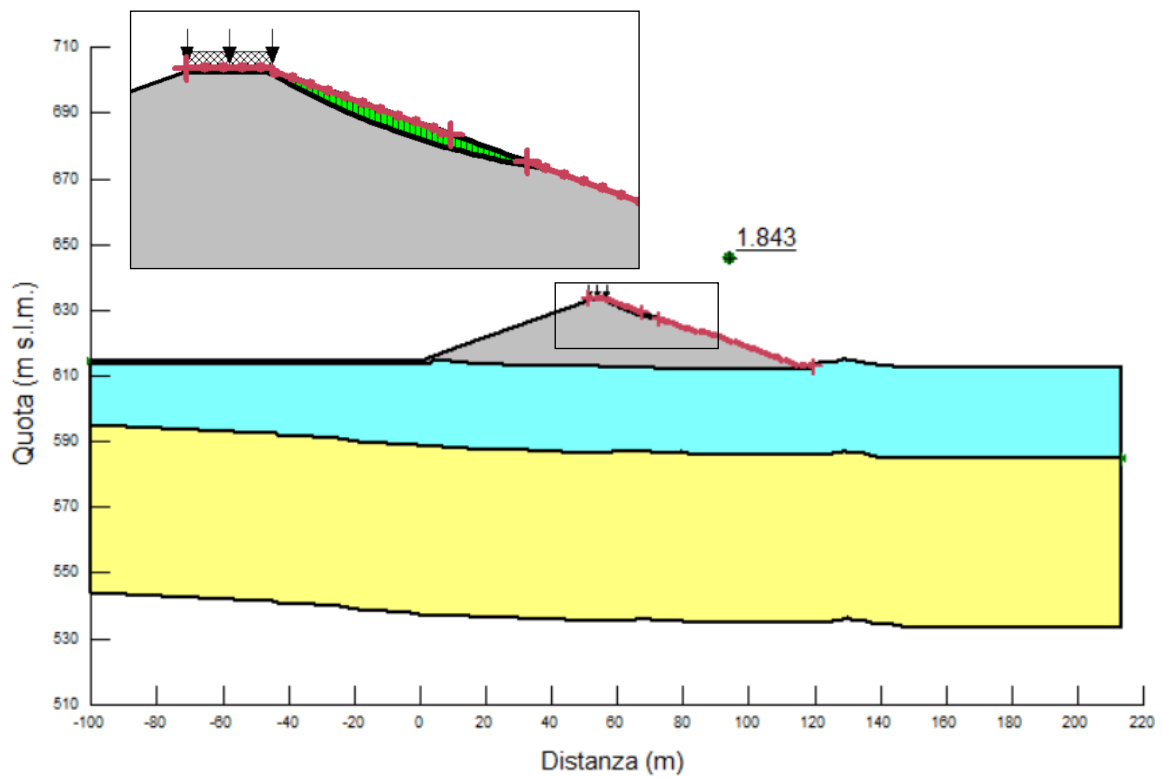


Figura 5.16 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

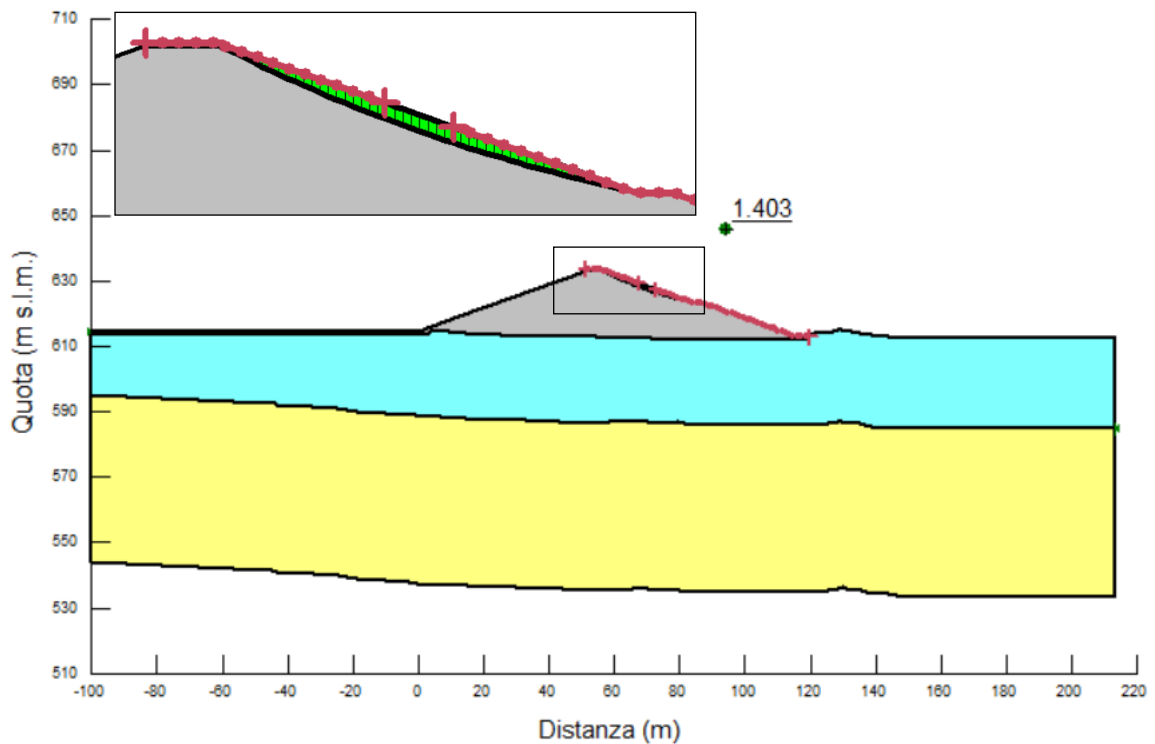


Figura 5.17 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

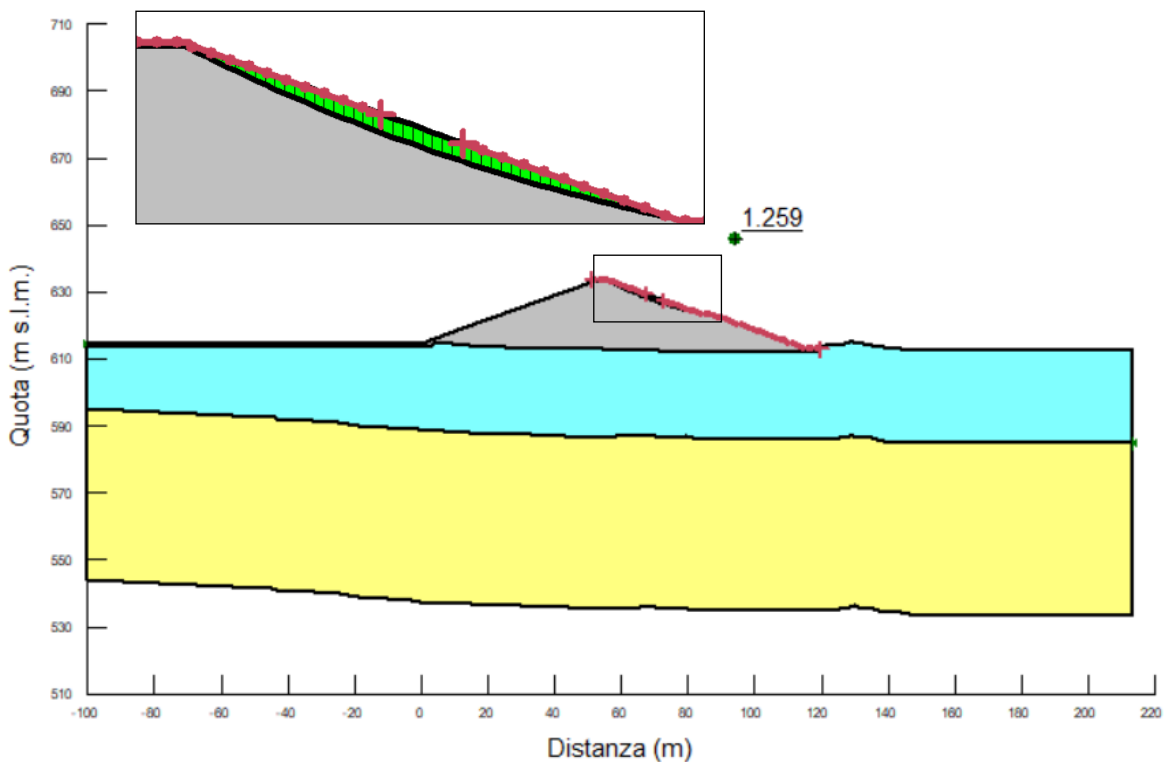


Figura 5.18 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

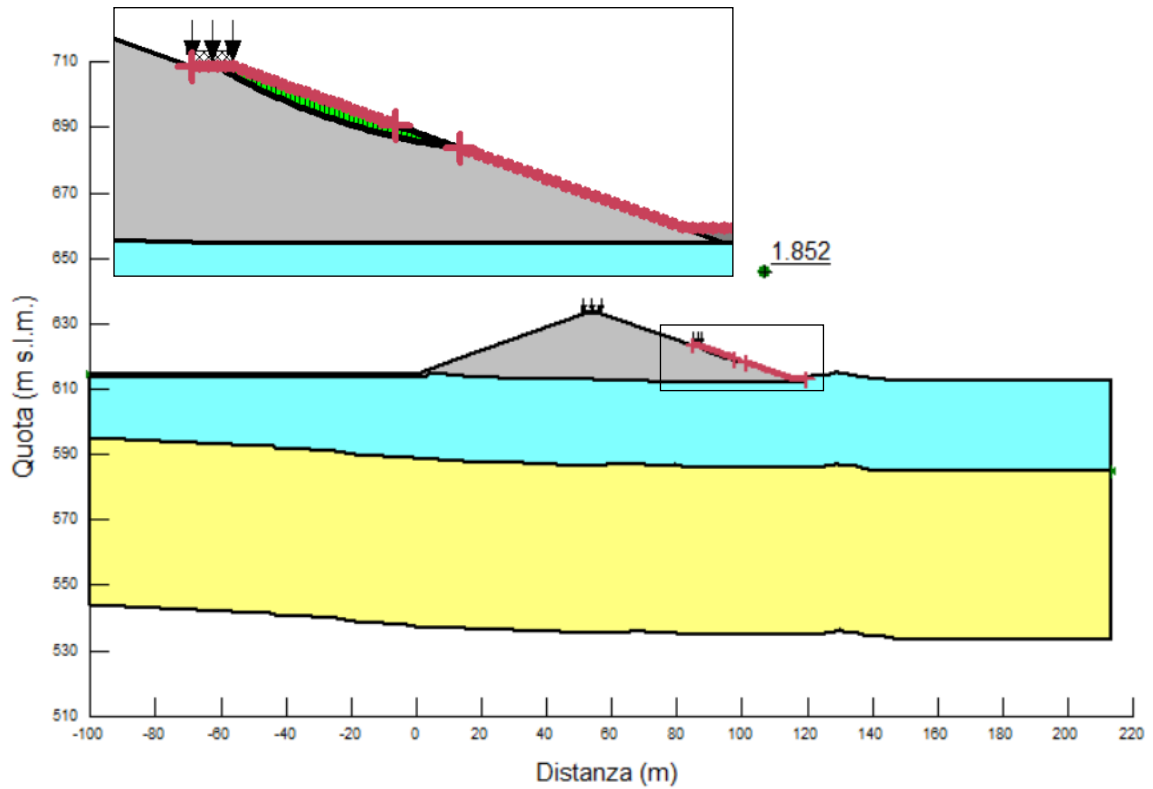


Figura 5.19 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

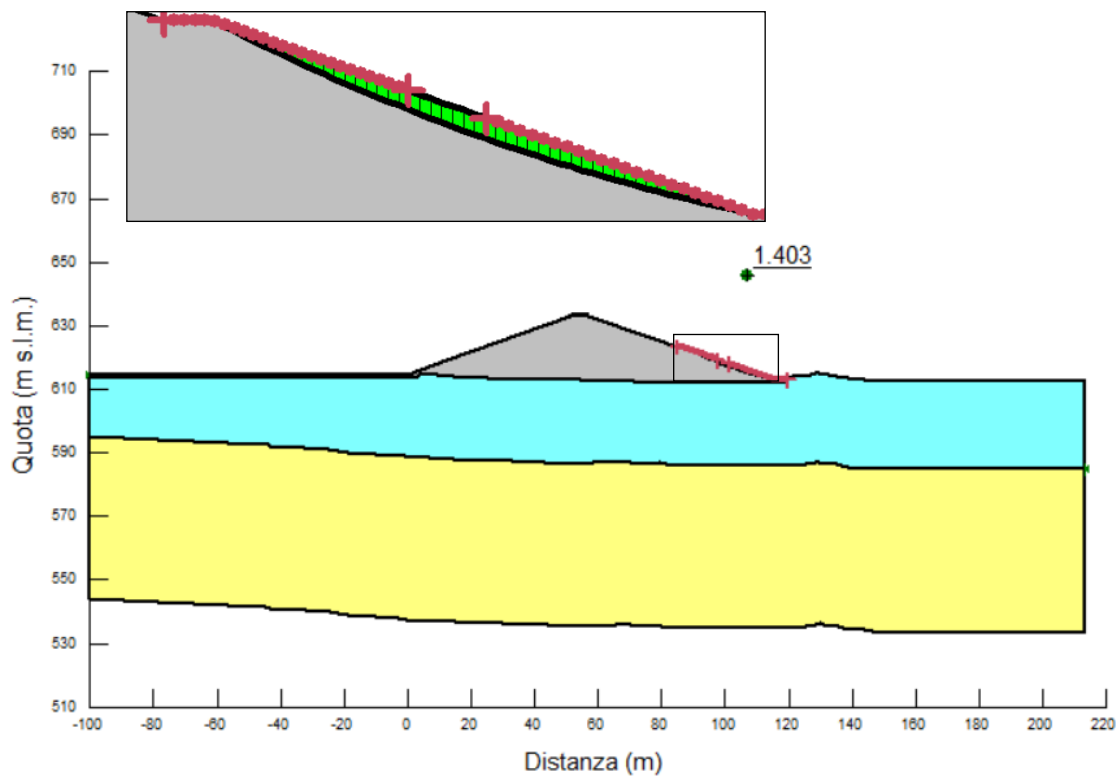


Figura 5.20 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

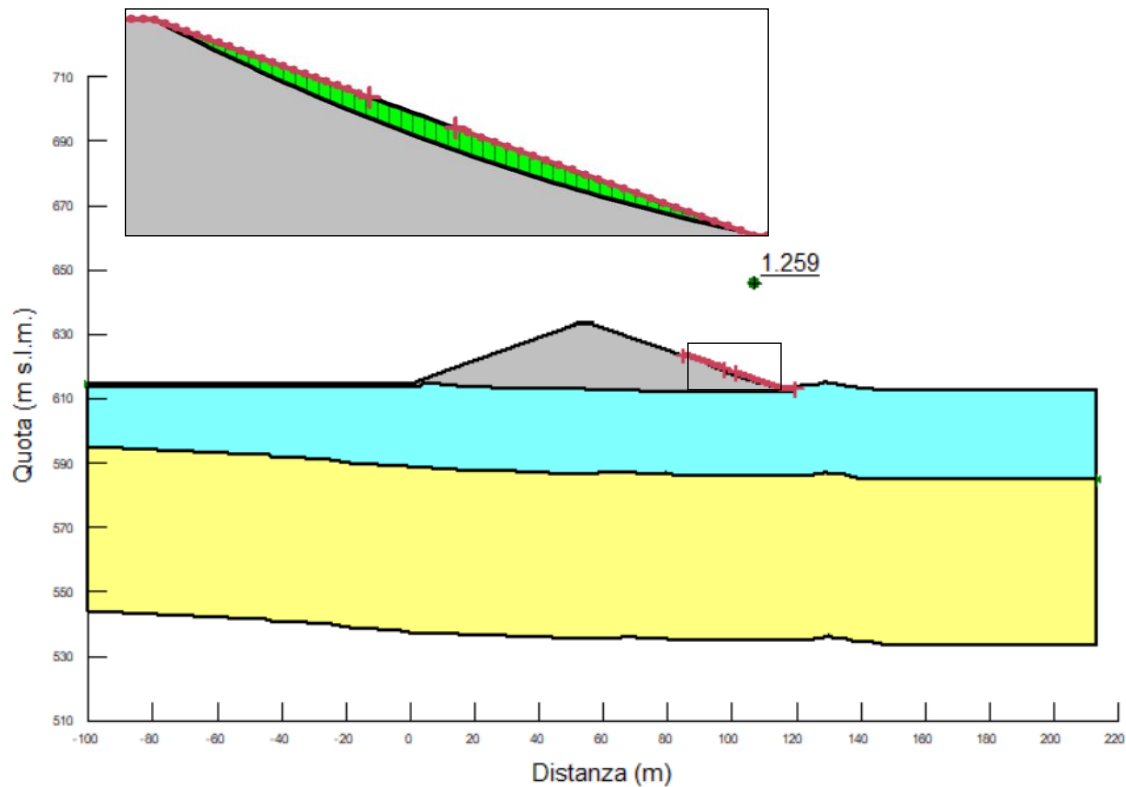


Figura 5.21 – Sezione 1 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

5.1.3 Sezione 4

Nelle Figure 5.22÷5.36 sono riportati i risultati delle analisi di stabilità condotte, in campo statico e in campo pseudo-statico, sulla sezione 4, con riferimento a entrambi i paramenti (interno ed esterno), in assenza e in presenza dell'invaso massimo. Le sopraccitate figure riportano i valori del Fattore di Sicurezza (FS) minimo secondo Bishop e le superfici associate a tali fattori di sicurezza.

Come si può notare, le verifiche di questa sezione risultano soddisfatte, sia in campo statico che in campo pseudo-statico, per entrambi i paramenti.

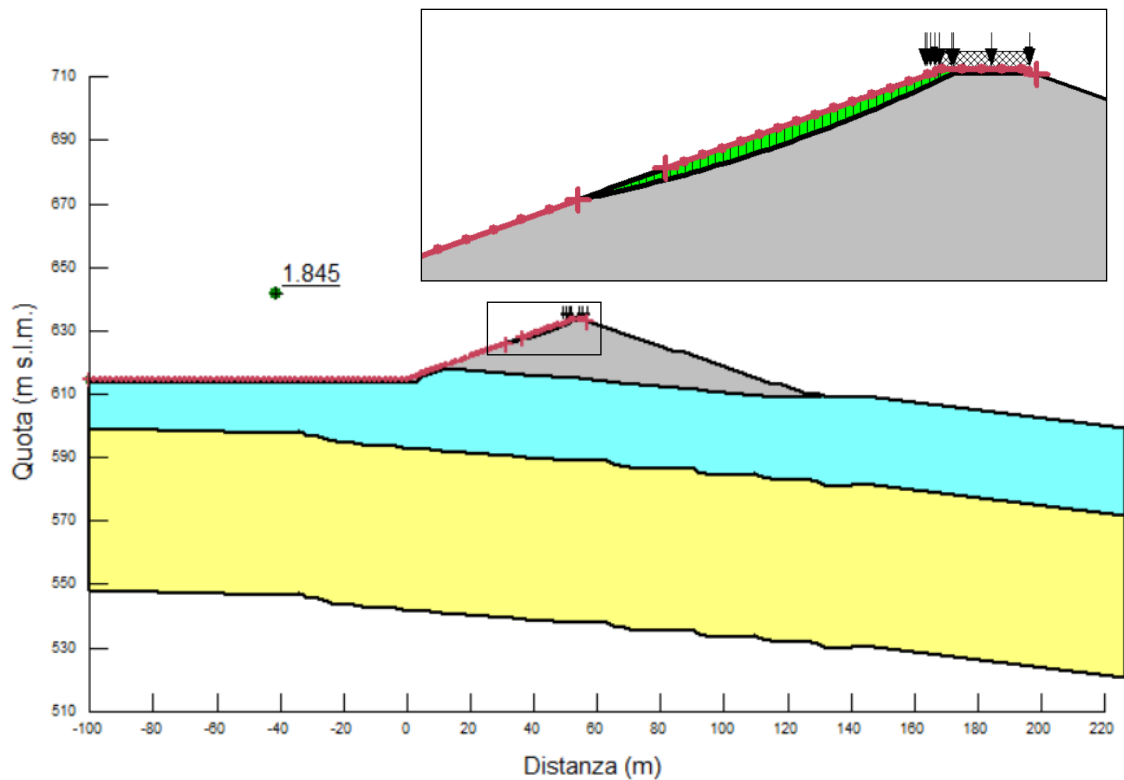


Figura 5.22 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

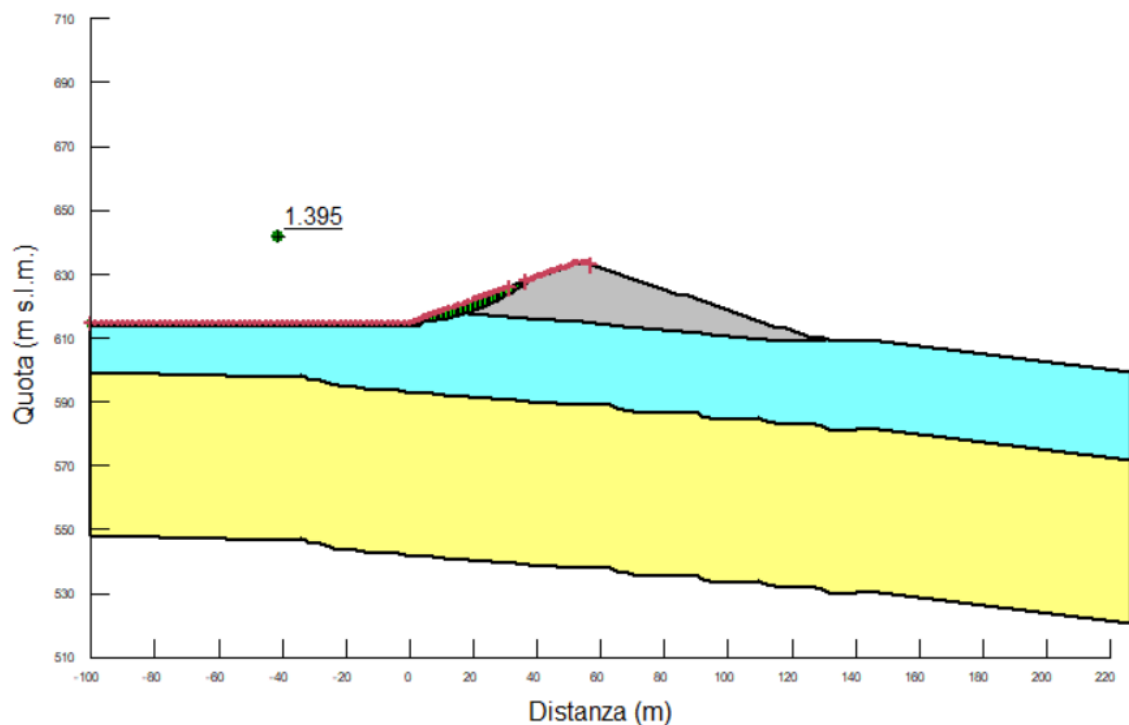


Figura 5.23 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

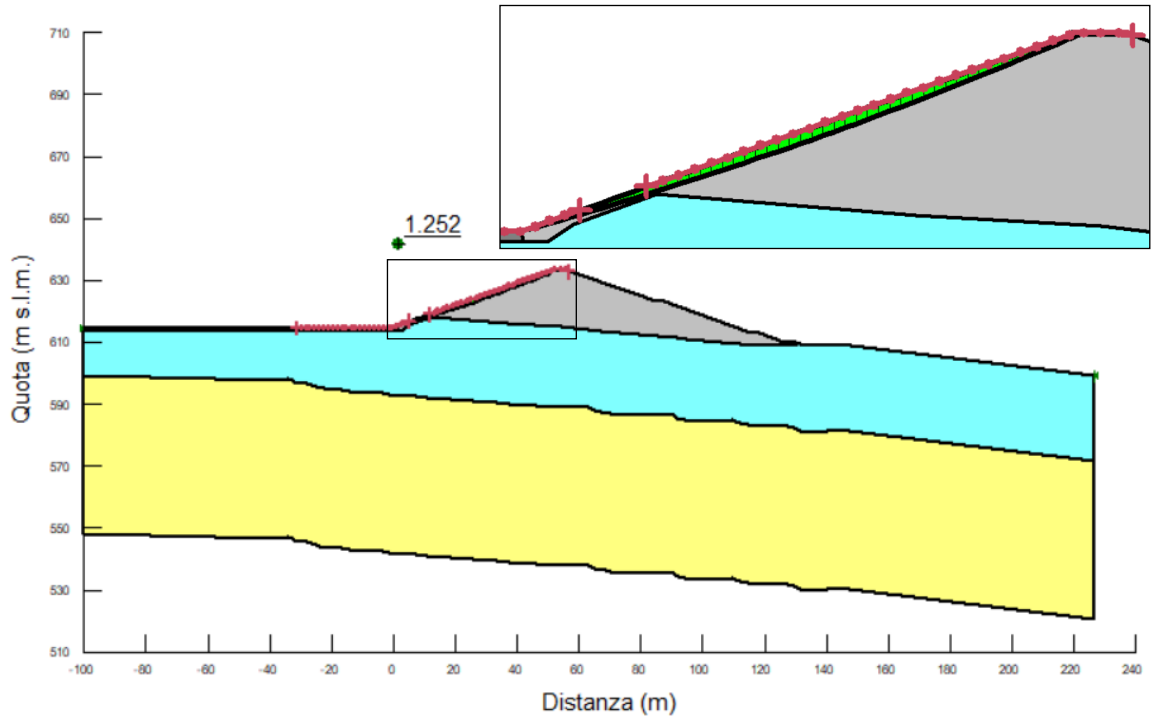


Figura 5.24 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

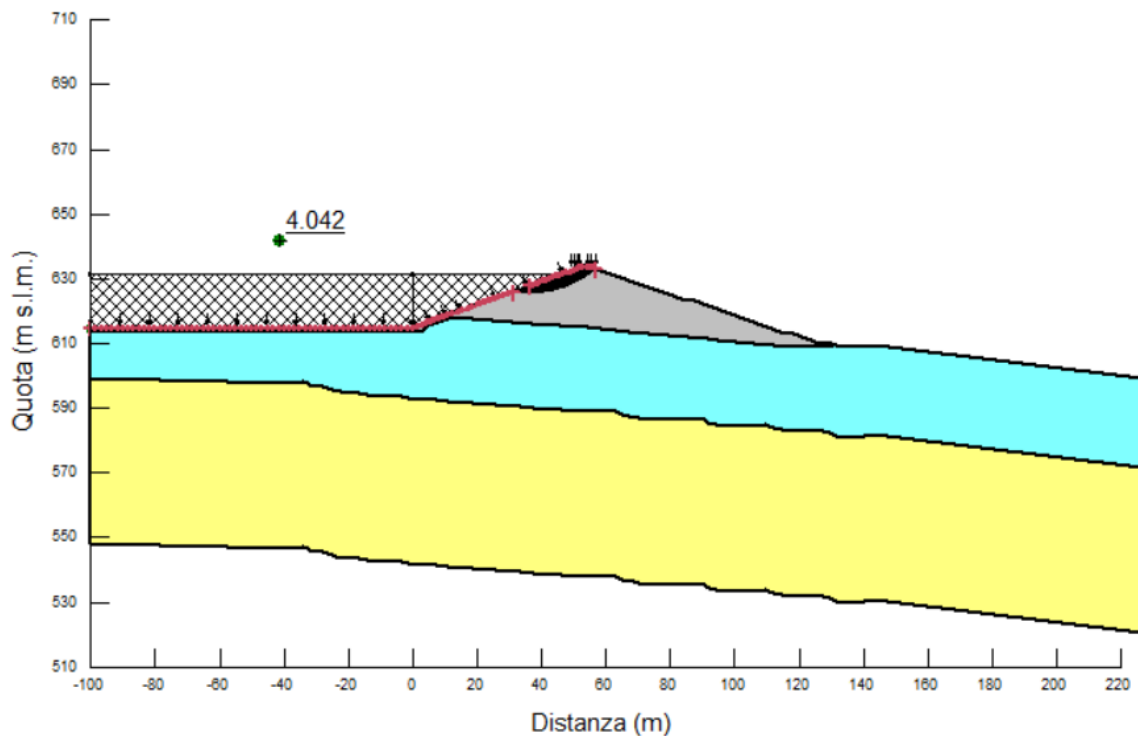


Figura 5.25 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

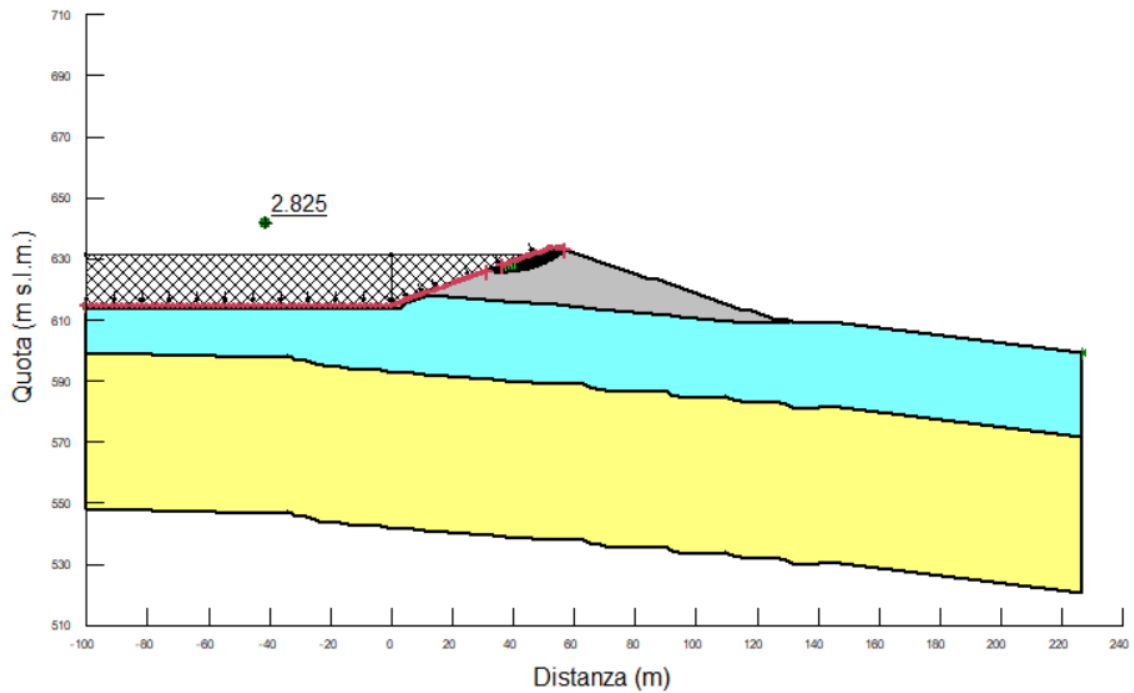


Figura 5.26 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

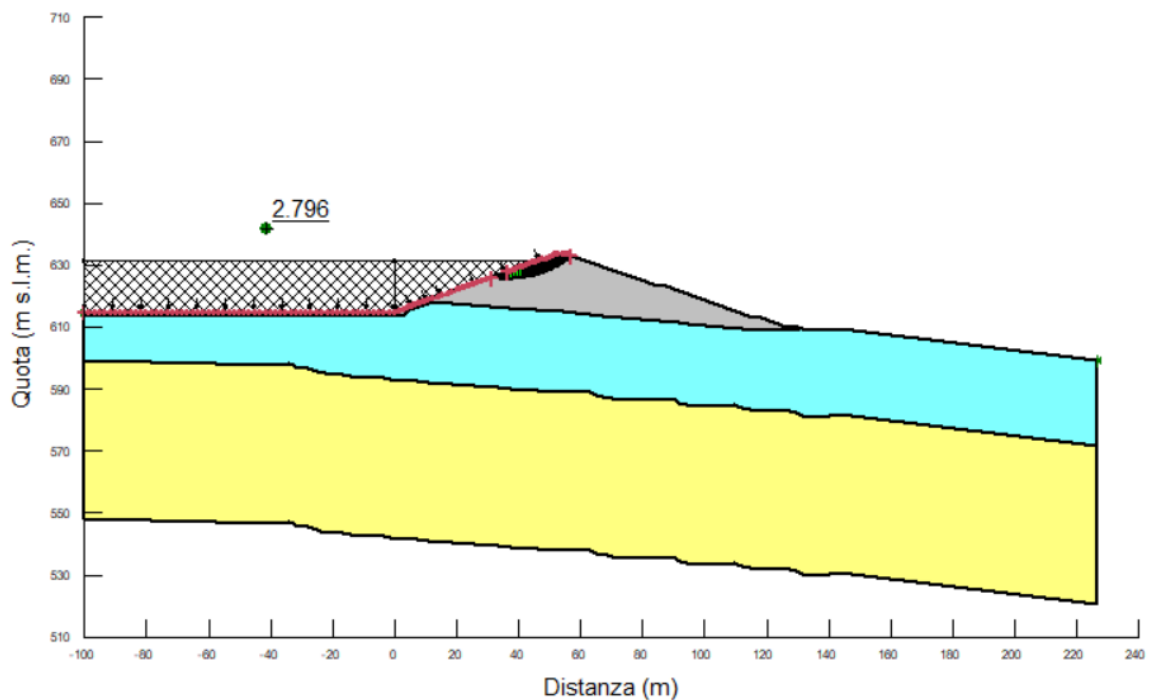


Figura 5.27 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

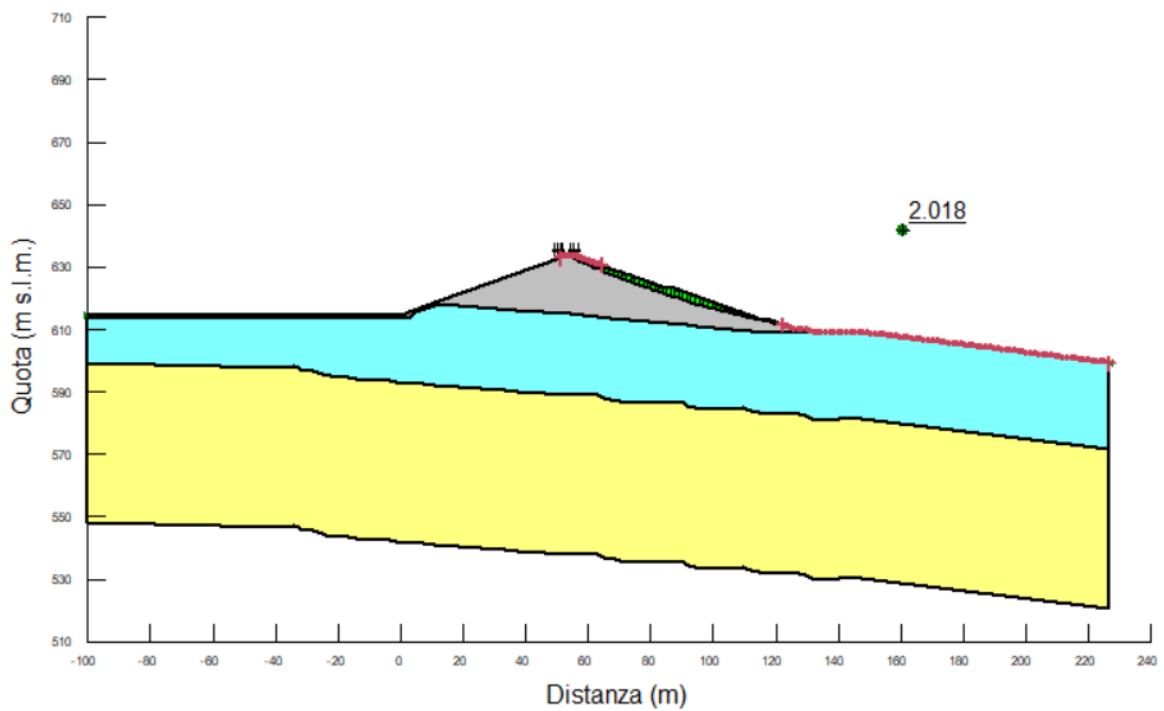


Figura 5.28 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

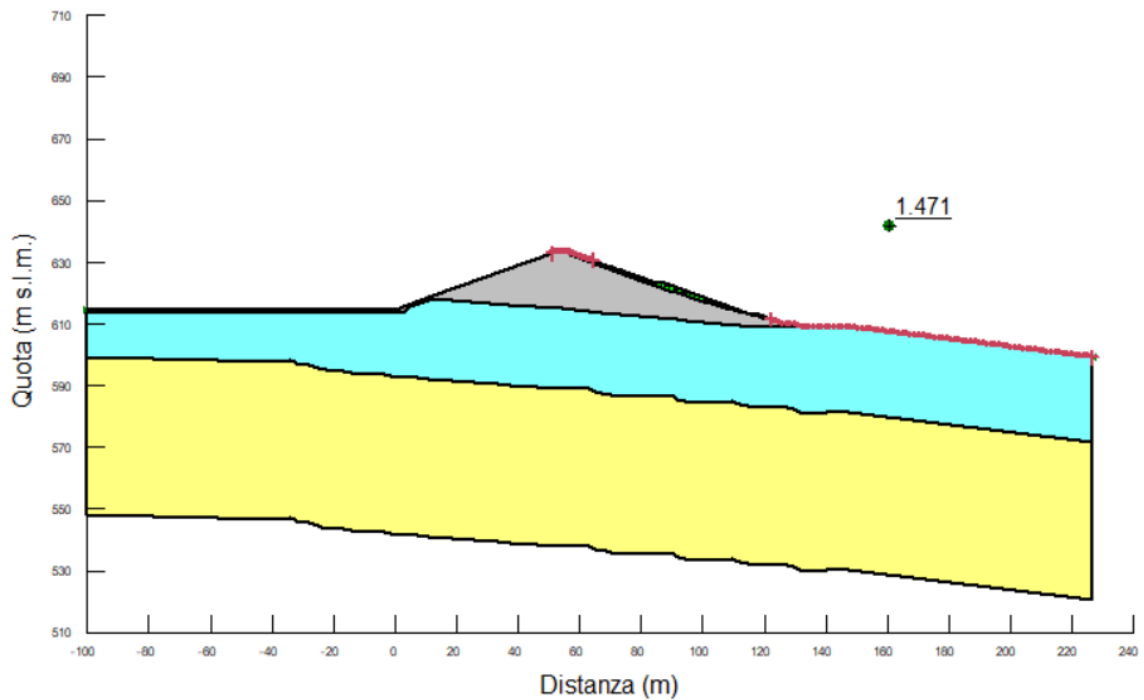


Figura 5.29 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

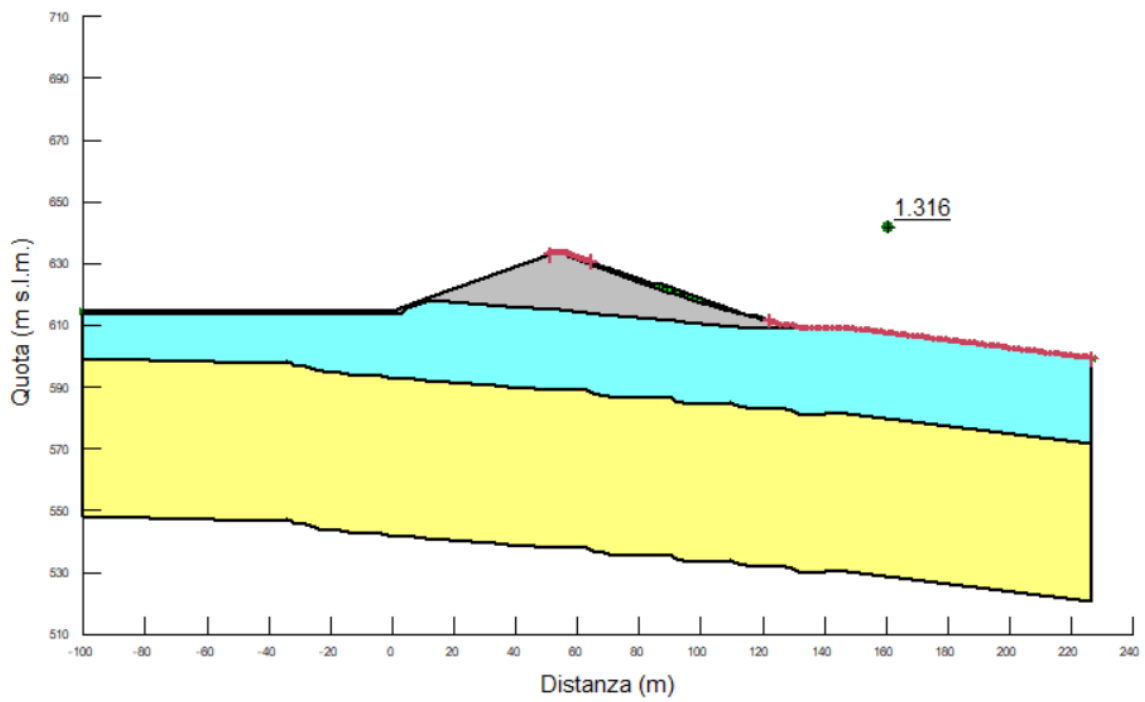


Figura 5.30 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie globale a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

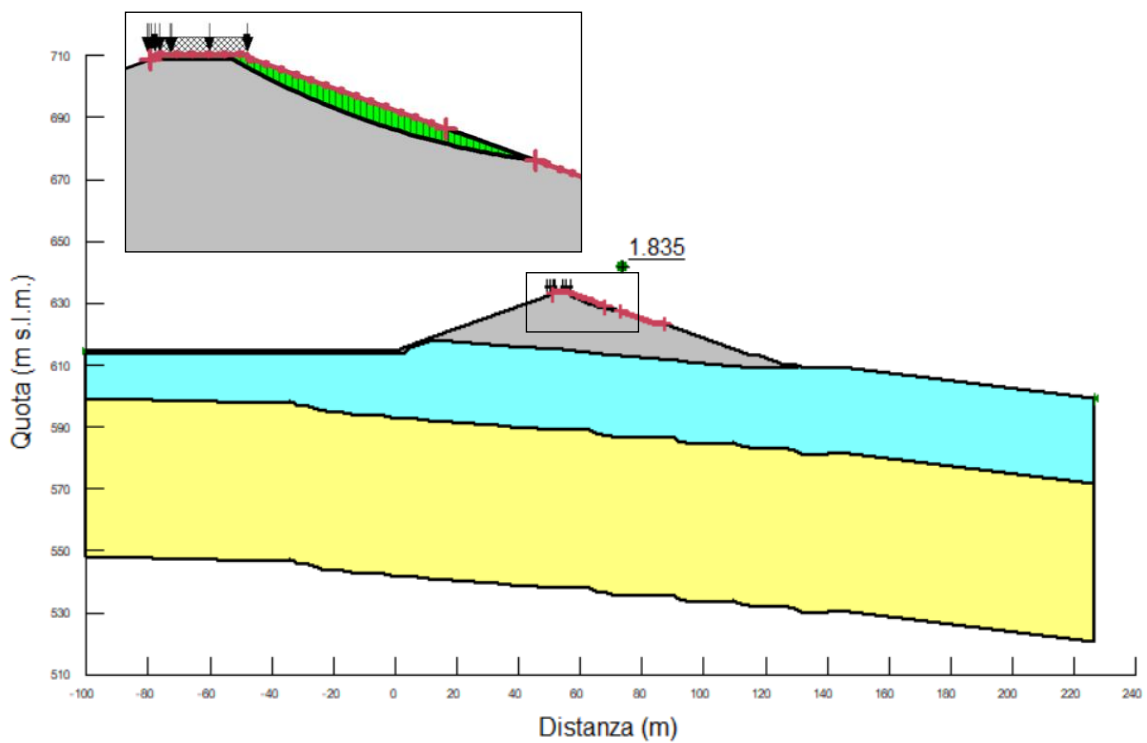


Figura 5.31 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

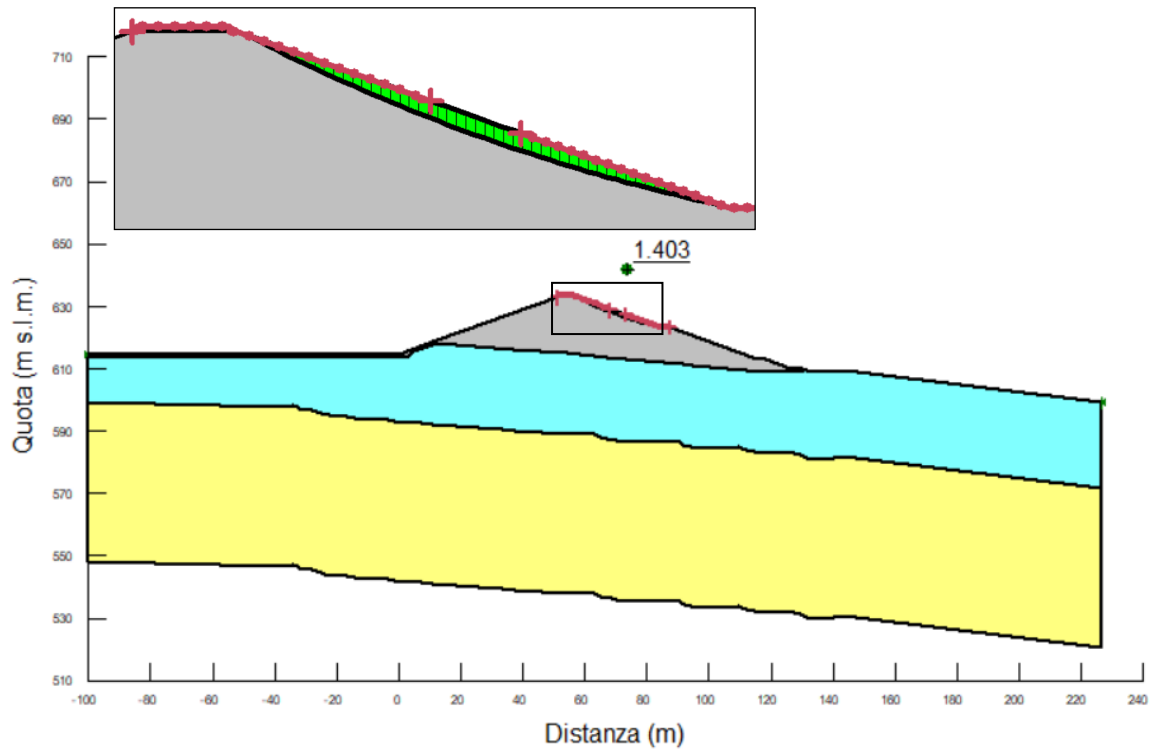


Figura 5.32 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

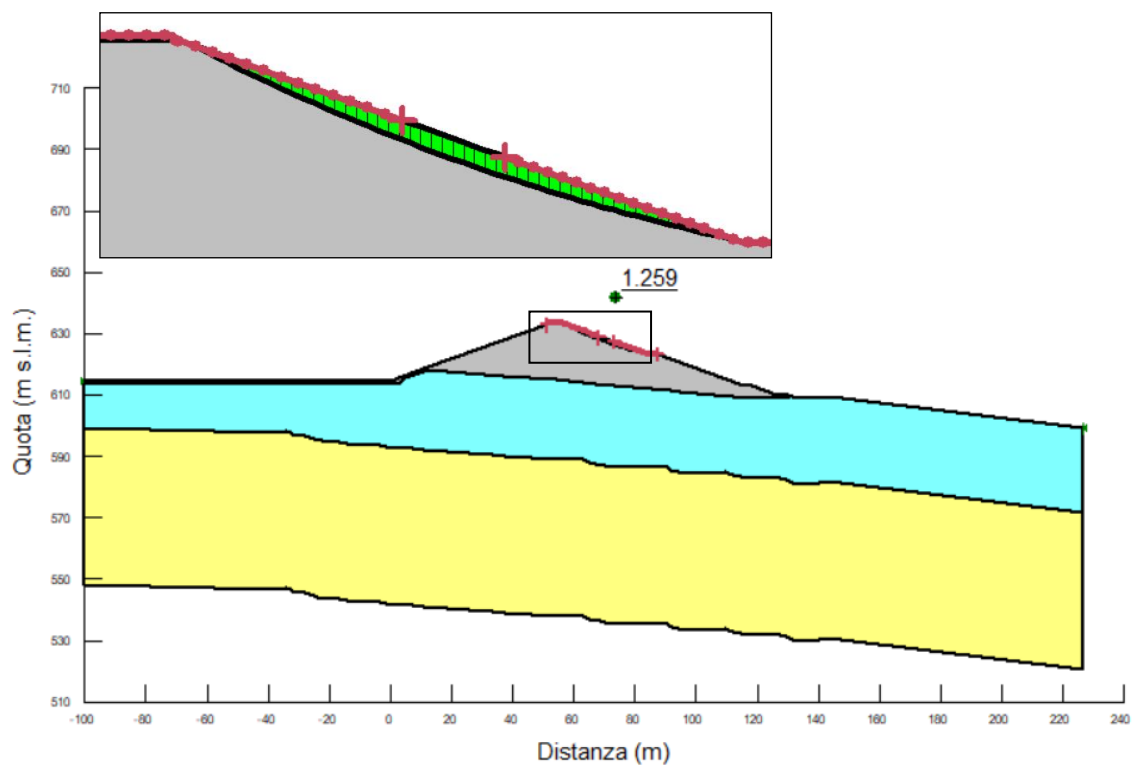


Figura 5.33 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma superiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

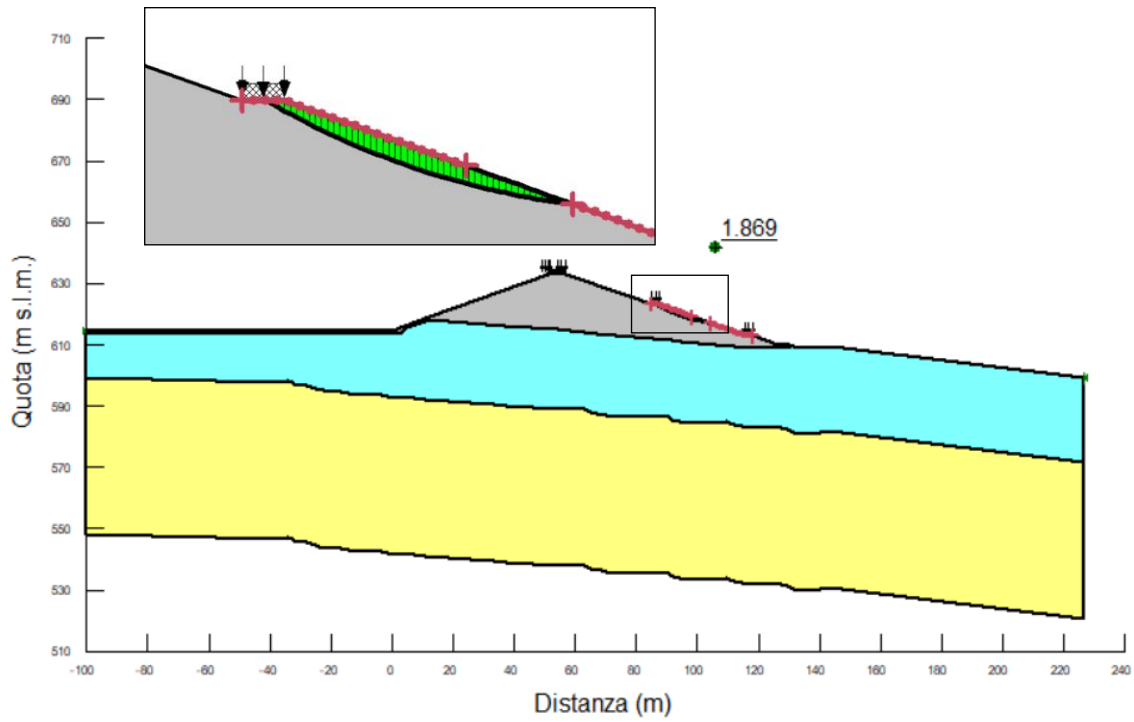


Figura 5.34 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

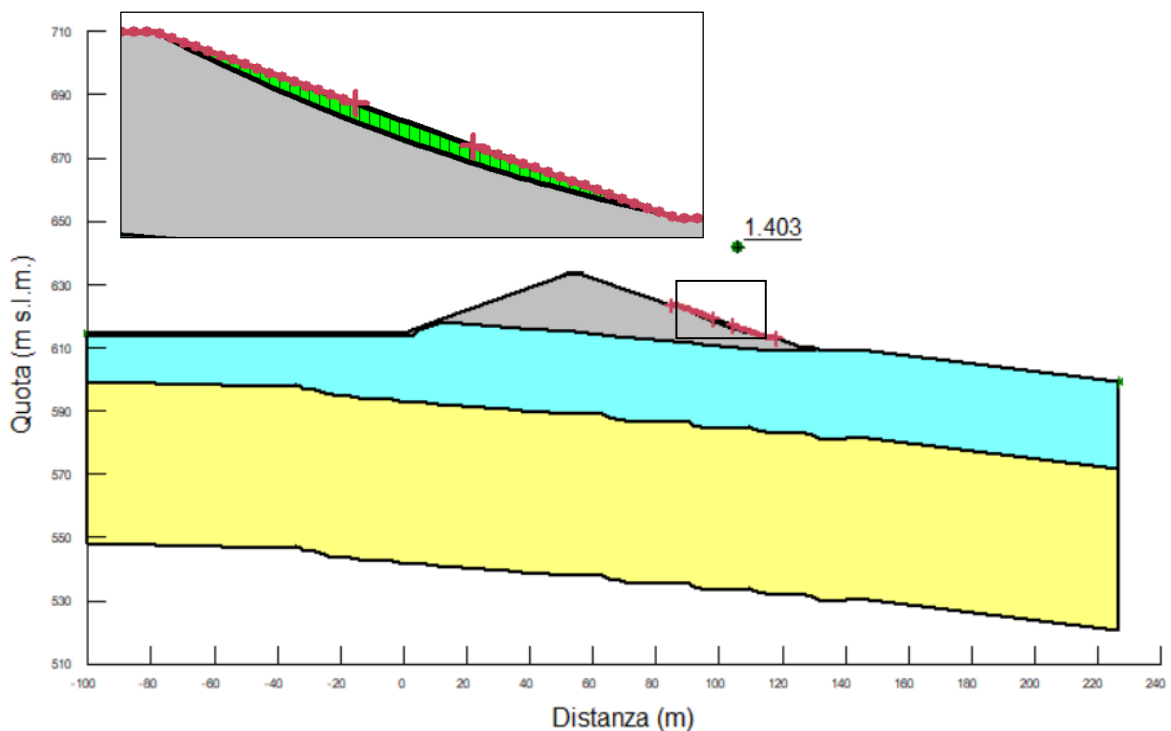


Figura 5.35 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

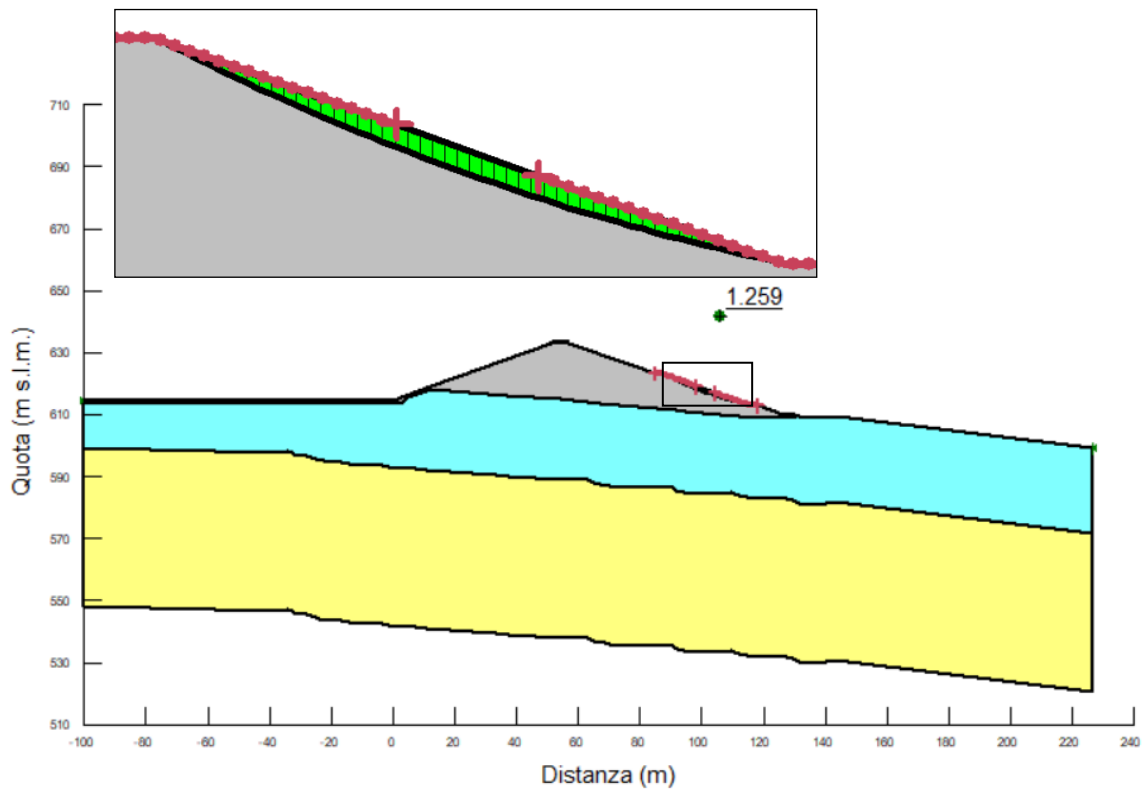


Figura 5.36 – Sezione 4 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Berma inferiore – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

5.1.4 Sezione 6

Nelle Figure 5.37÷5.45 sono riportati i risultati delle analisi di stabilità condotte, in campo statico e in campo pseudo-statico, sulla sezione 6, con riferimento a entrambi i paramenti (interno ed esterno), in assenza e in presenza dell'invaso massimo. Le sopraccitate figure riportano i valori del Fattore di Sicurezza (FS) minimo secondo Bishop e le superfici associate a tali fattori di sicurezza.

Come si può notare, le verifiche di questa sezione risultano soddisfatte in tutti i casi analizzati ad eccezione della verifica del paramento interno in assenza di invaso nella condizione pseudo-statica con componente verticale dell'azione sismica diretta verso l'alto (kv-) (Figura 5.39) dove il Fattore di Sicurezza minimo calcolato (1.173) è inferiore al Fattore di Sicurezza minimo richiesto dalla normativa (1.2).

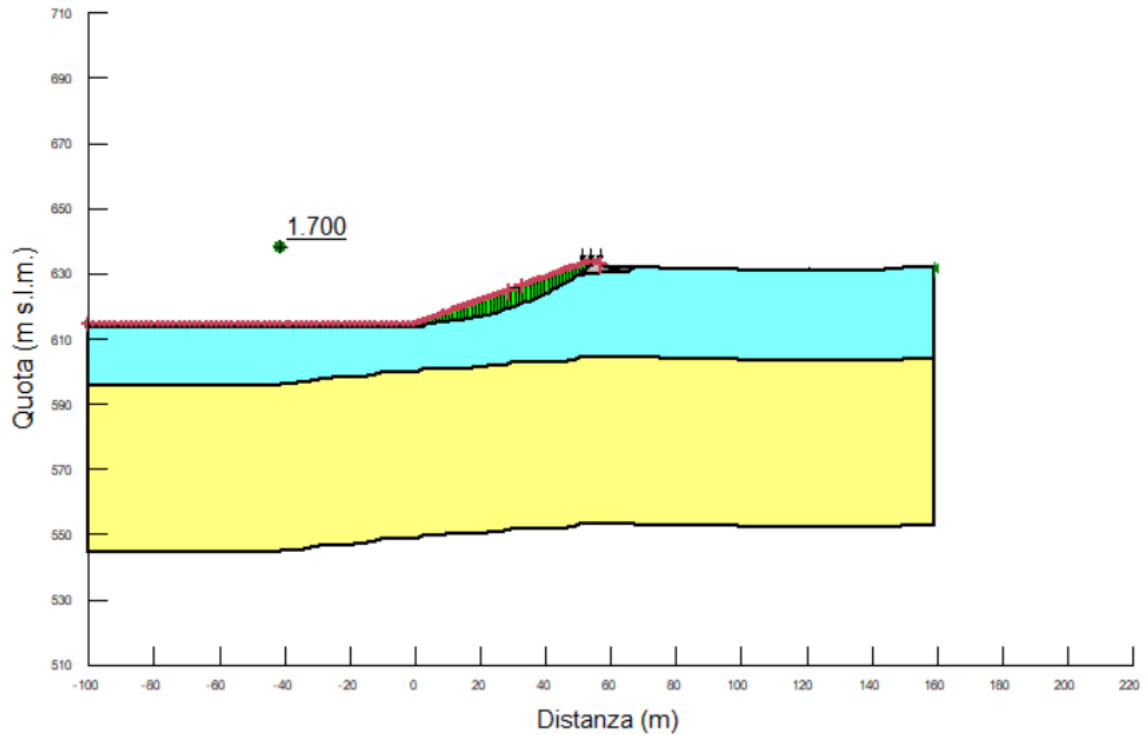


Figura 5.37 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

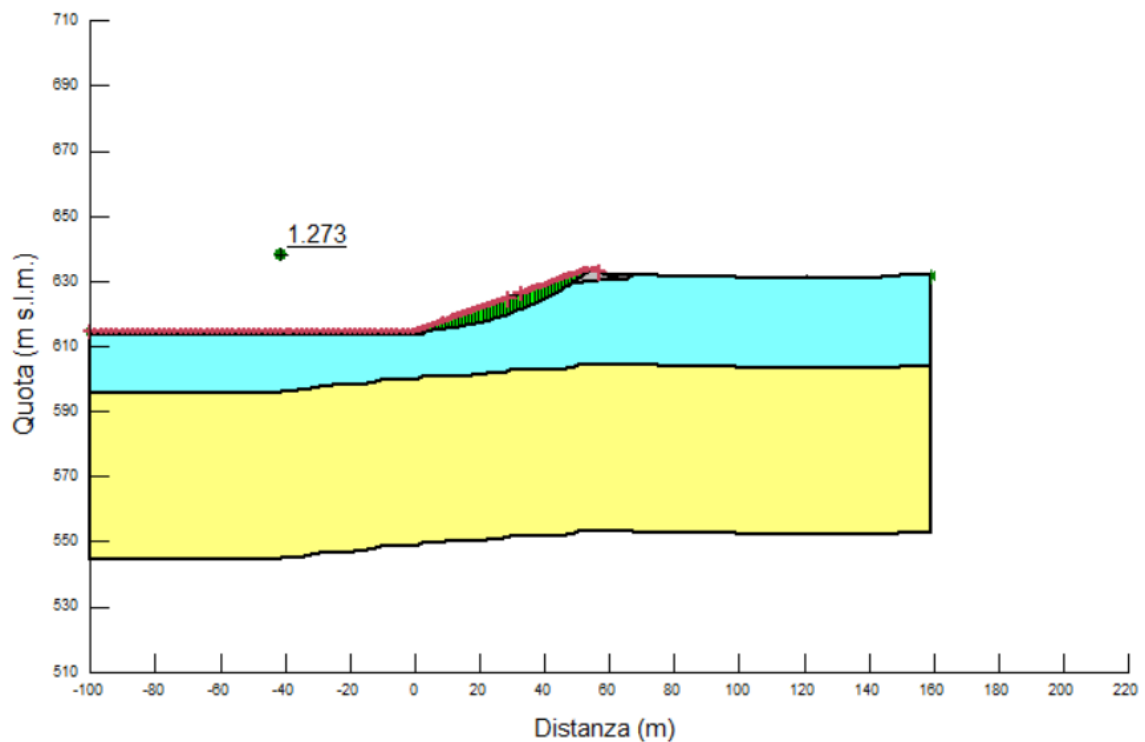


Figura 5.38 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

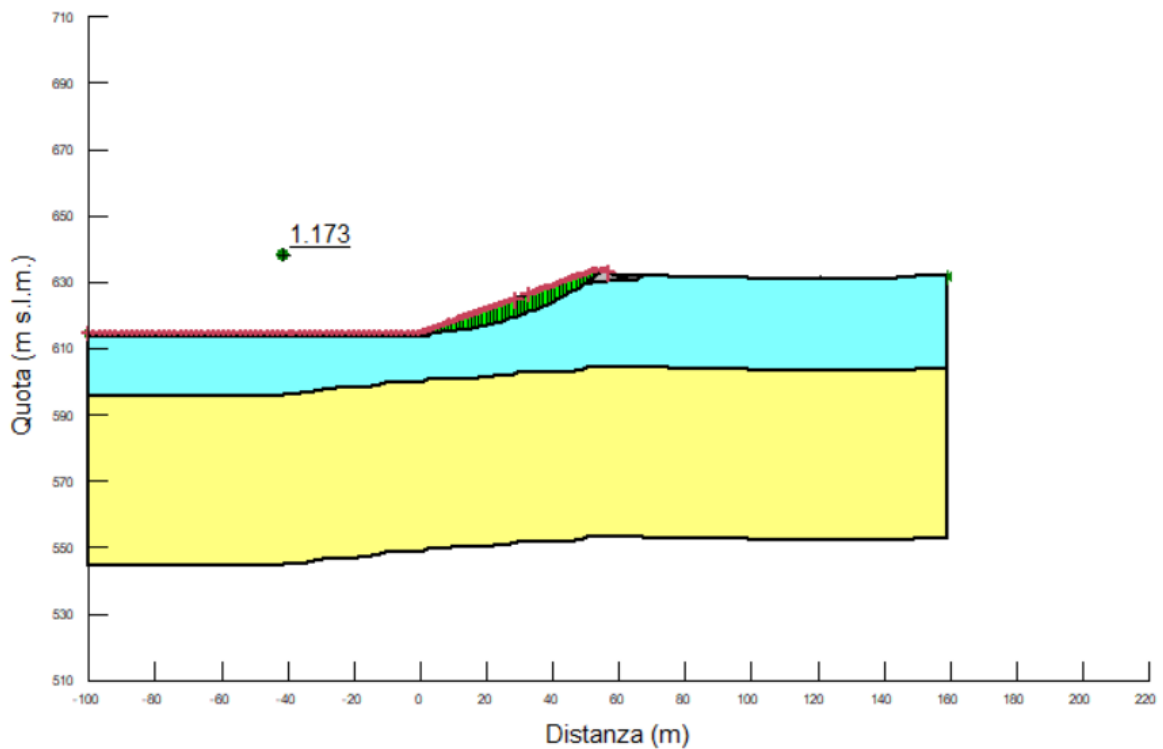


Figura 5.39 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

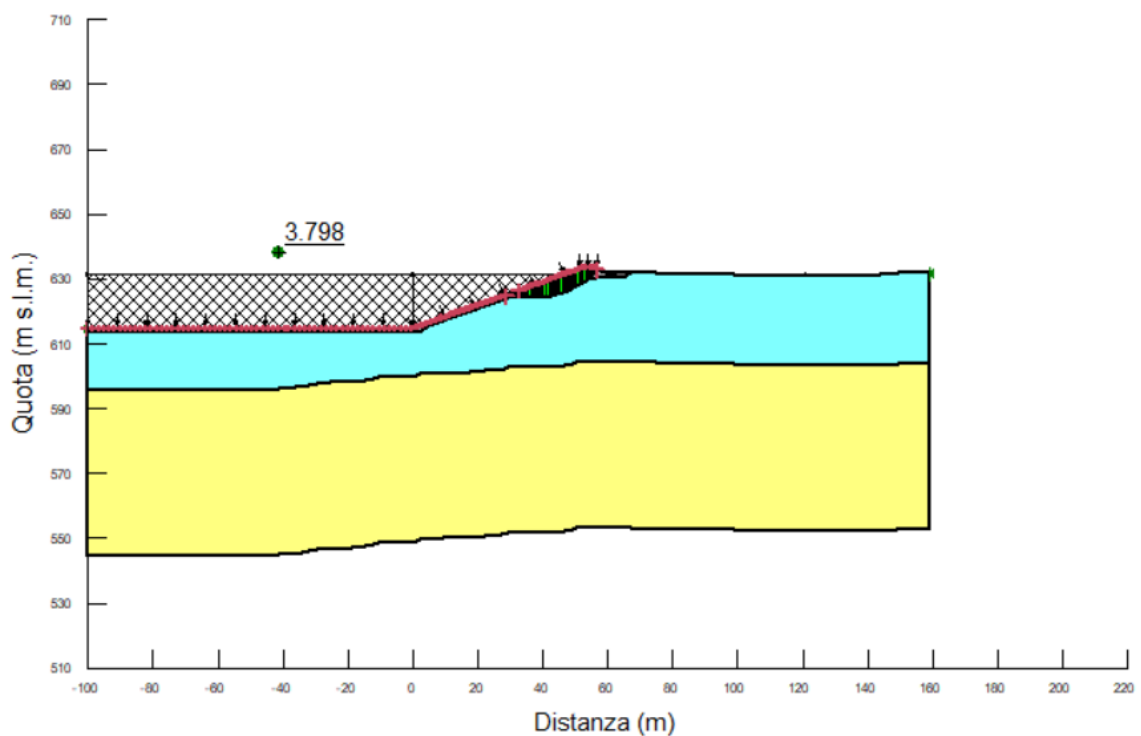


Figura 5.40 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

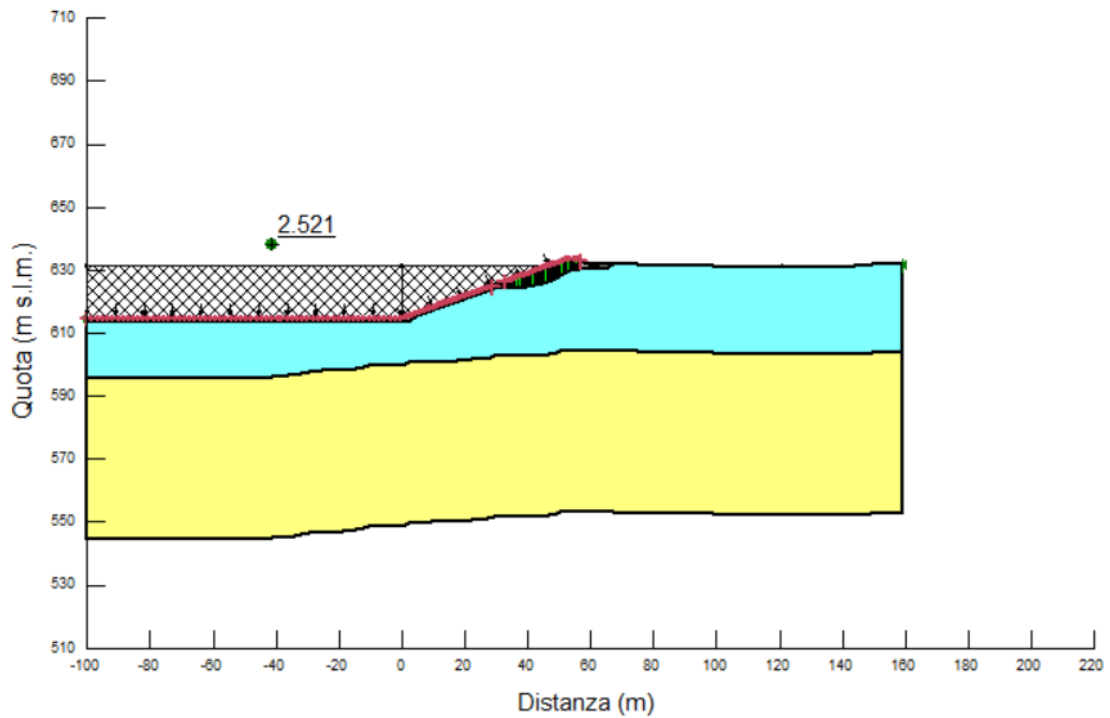


Figura 5.41 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invasivo – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

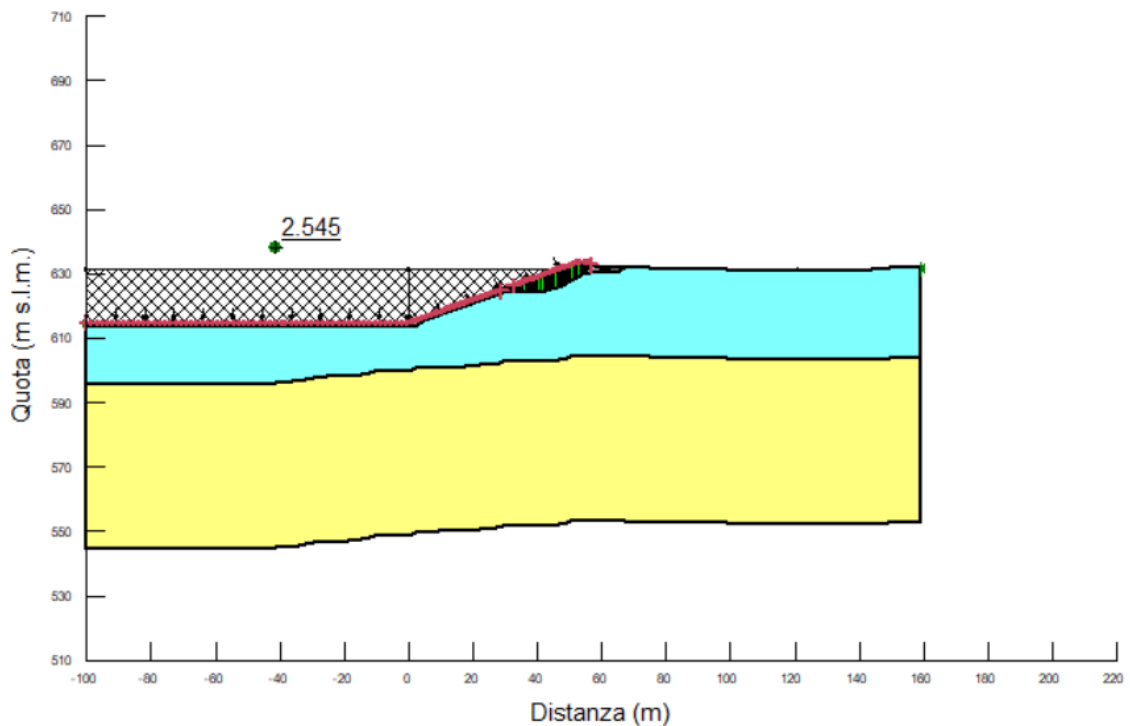


Figura 5.42 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invasivo – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

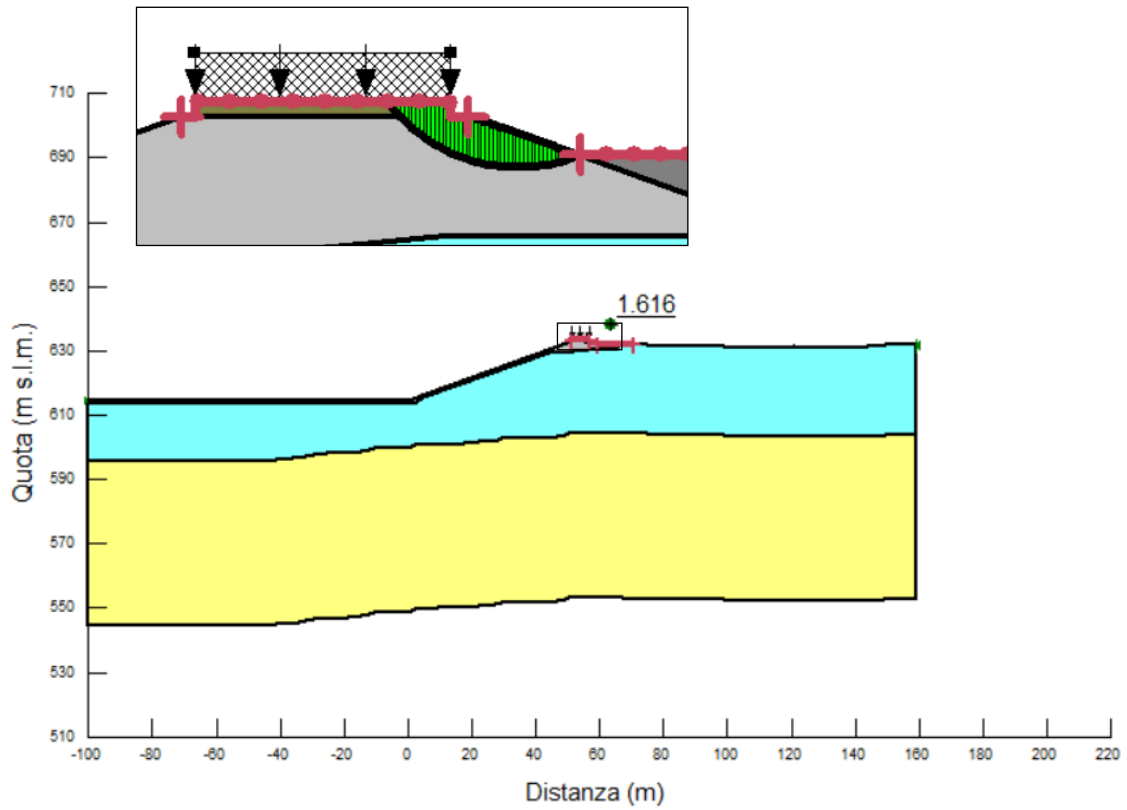


Figura 5.43 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

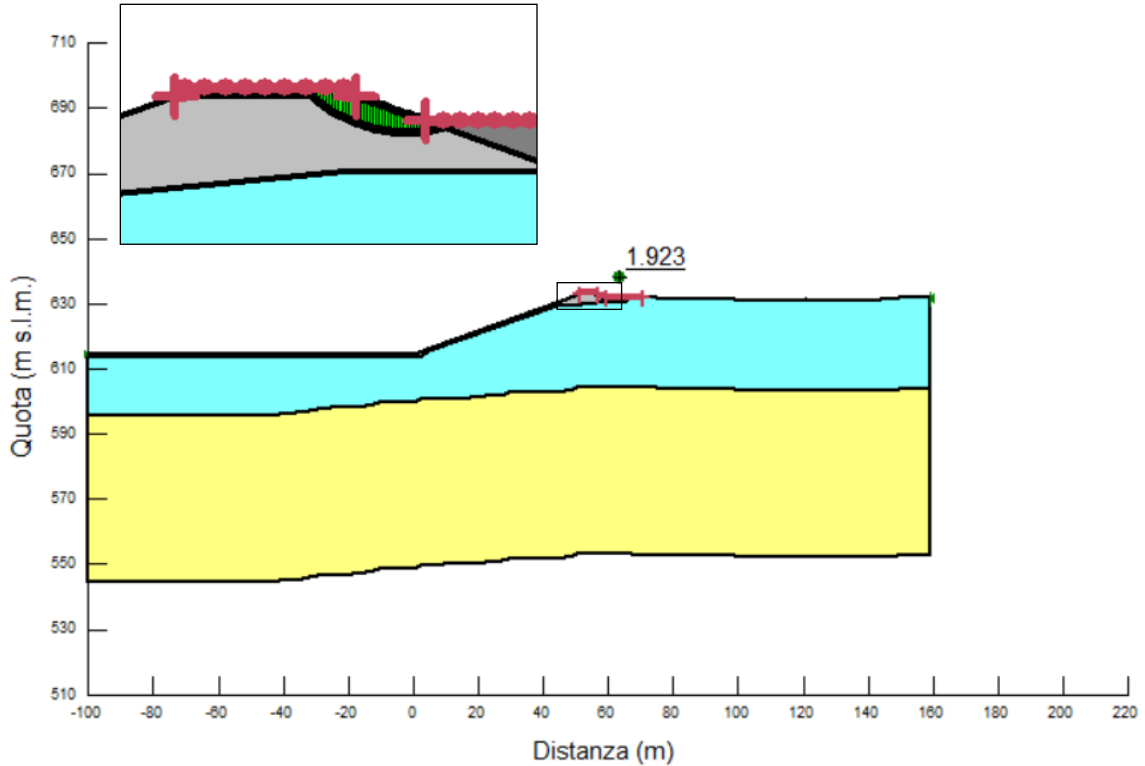


Figura 5.44 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

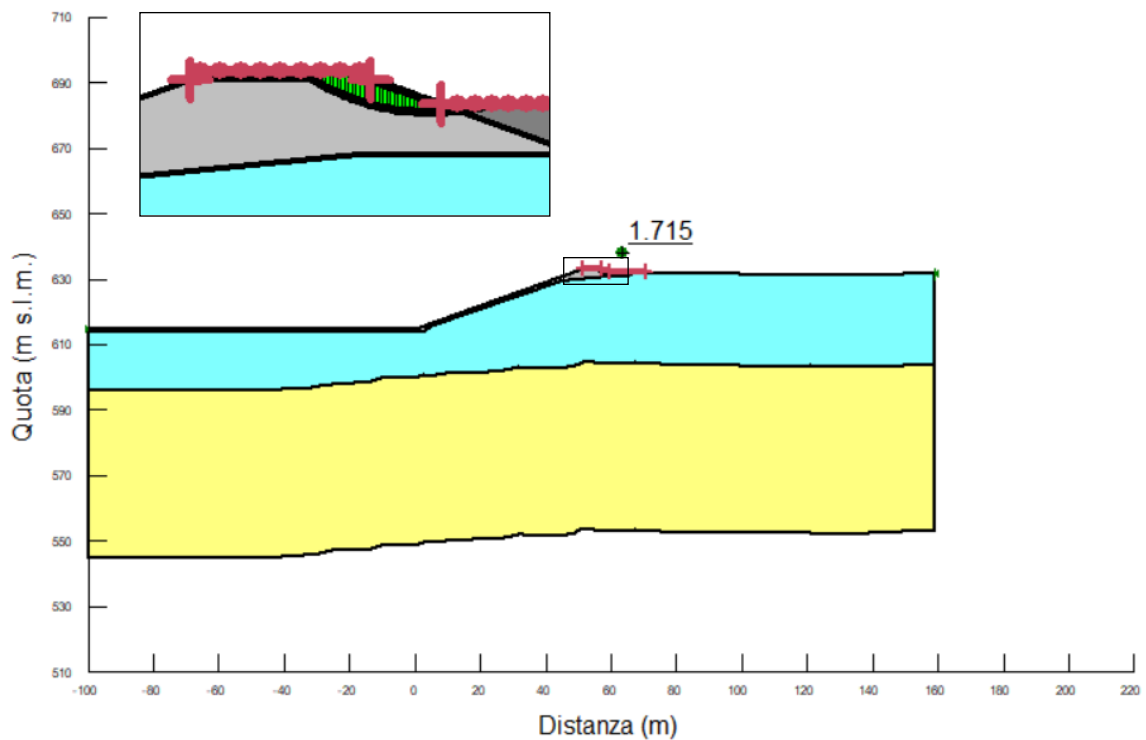


Figura 5.45 – Sezione 6 – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

5.1.5 Conclusioni della prima fase di verifiche

Le verifiche condotte sulle sezioni 1 e 4 sono tutte soddisfatte. I cerchi critici sono quasi totalmente compresi nel materiale A costituente il corpo diga, e le formazioni di fondazione (materiale B) non sono mai interessate.

In caso di presenza di acqua nel serbatoio le verifiche conducono a fattori di sicurezza migliori per via del carico idrico che è stabilizzante.

Nella sezione 6, in cui la diga è praticamente inesistente, le verifiche di fatto consistono in un controllo della stabilità del pendio del bacino inciso nella formazione di base (materiale B). Le condizioni a serbatoio pieno sono ampiamente soddisfatte. In assenza di invaso si rileva invece un fattore di sicurezza leggermente inferiore a 1,2 nel caso di sismica negativa (Figura 5.39).

5.2 Seconda fase di verifiche

Poiché il Fattore di Sicurezza determinato al precedente Paragrafo 5.1.4 è risultato, per la sezione 6 in assenza di invaso e nella condizione pseudo-statica con kv-, inferiore a quello previsto da normativa, si è modificata la sezione della diga introducendo, in tutte le sezioni per la parte in scavo, una fascia di 4,7 metri di spessore lungo il pendio del bacino, costituita da materiale della diga.

I parametri geotecnici adottati sono gli stessi utilizzati nella prima fase delle verifiche di stabilità, e le condizioni di carico sono identiche; la geometria della diga variata e il modello di calcolo sono riportati a seguire (Figure 5.46 e 5.47) e si limitano alla sezione 6.

Le verifiche sulle sezioni 1 e 4 modificate non sono state ripetute dato che esse erano già verificate nelle condizioni senza la fascia aggiuntiva, e quindi sono certamente stabili in ogni condizione di carico.

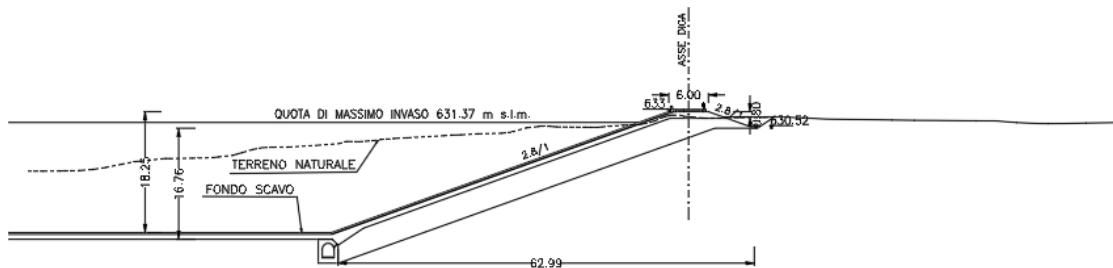


Figura 5.46 – Sezione 6 – Nuova configurazione

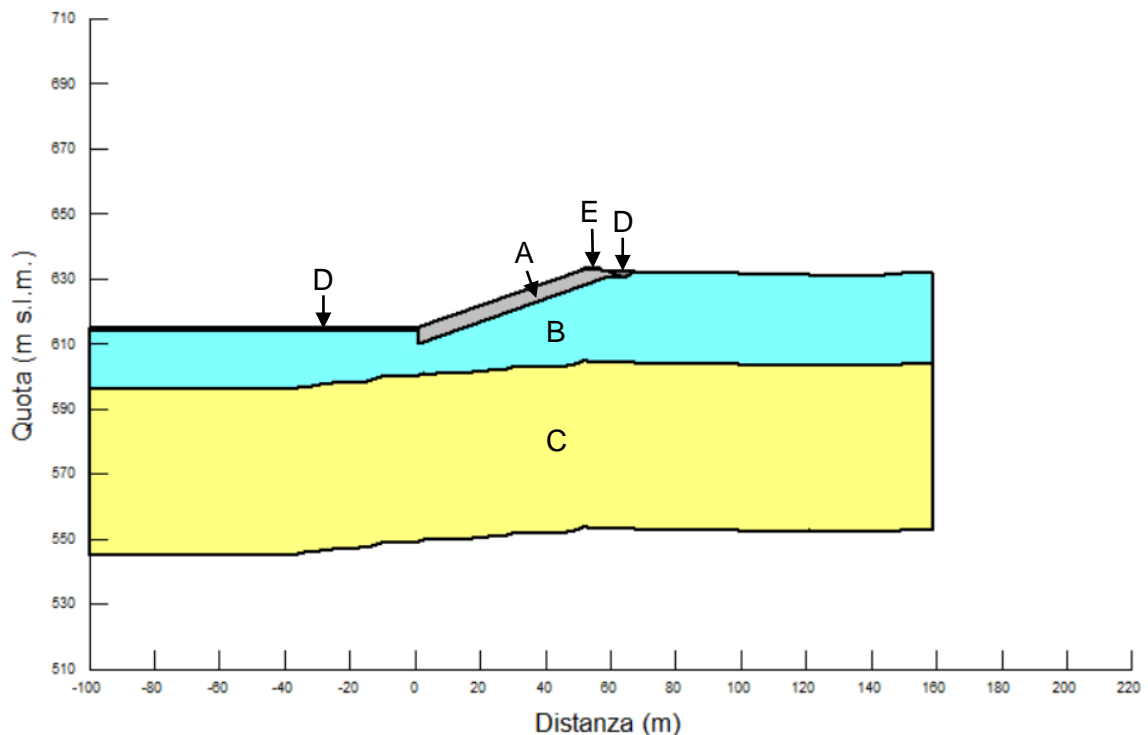


Figura 5.47 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Modello di calcolo

I calcoli effettuati sulla sezione 6 sono riportati nelle Figure 5.48-5.56, in campo statico e in campo pseudo-statico, in assenza e in presenza dell'invaso massimo.

Le figure, come per quelle della prima fase, riportano i valori del Fattore di Sicurezza (FS) minimo secondo Bishop e le superfici associate. Tutte le verifiche effettuate sono soddisfatte.

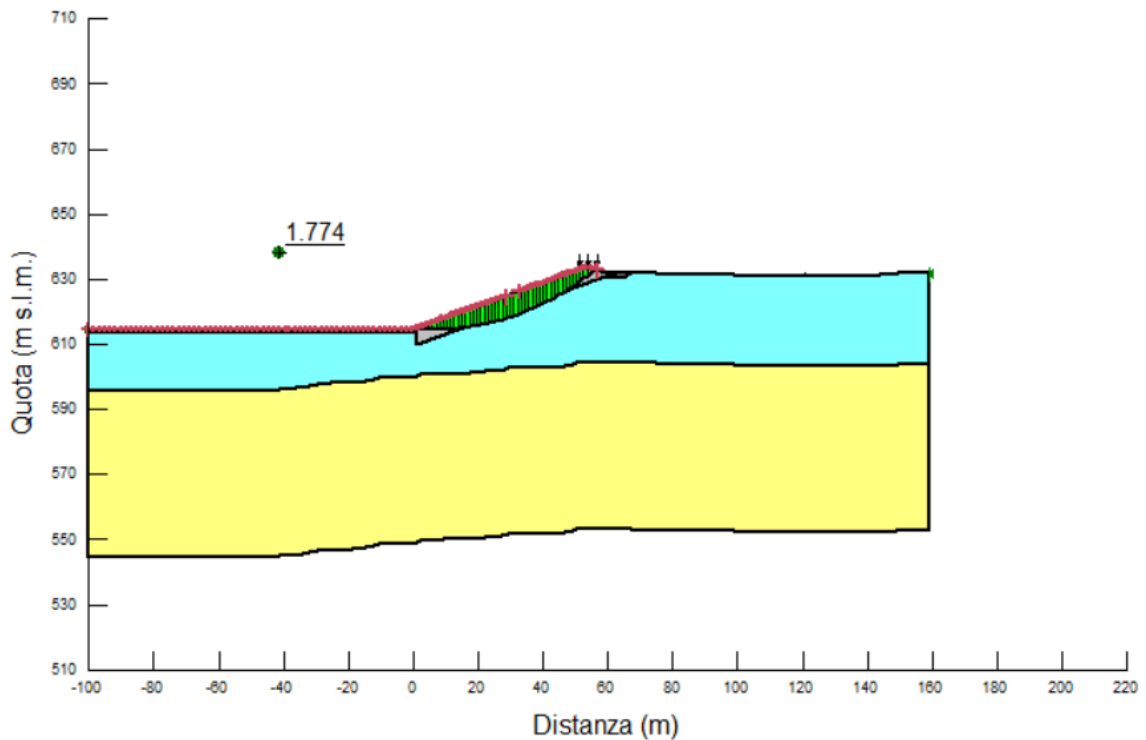


Figura 5.48 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

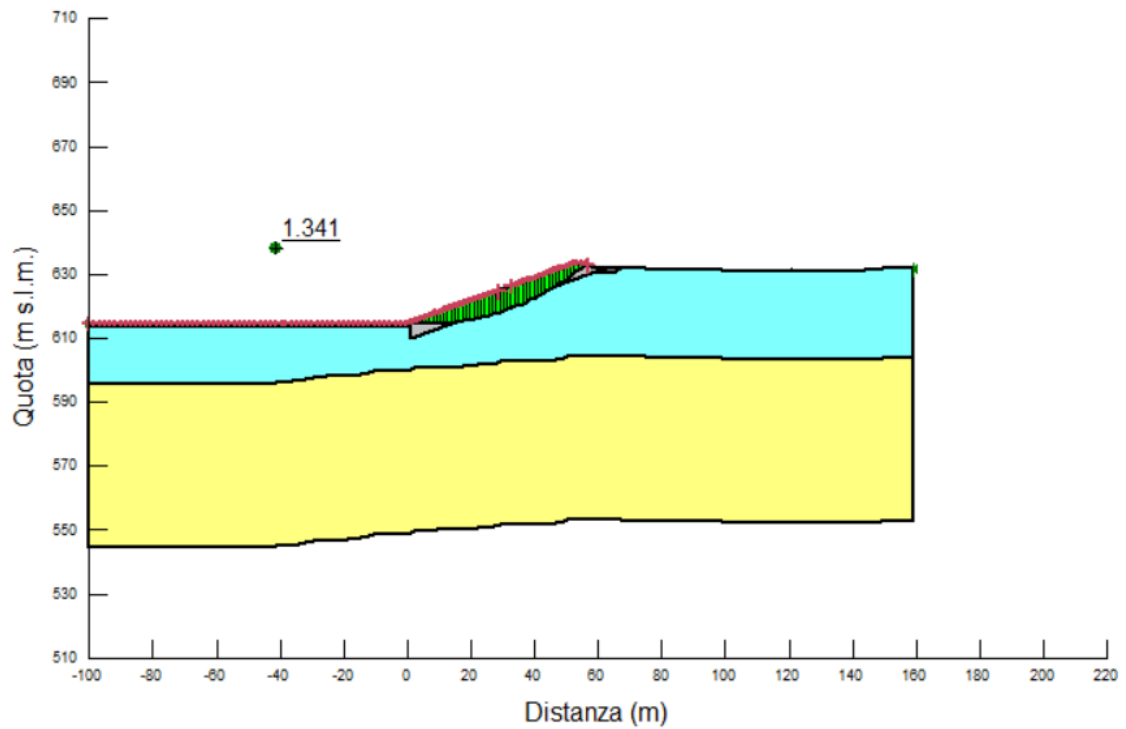


Figura 5.49 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

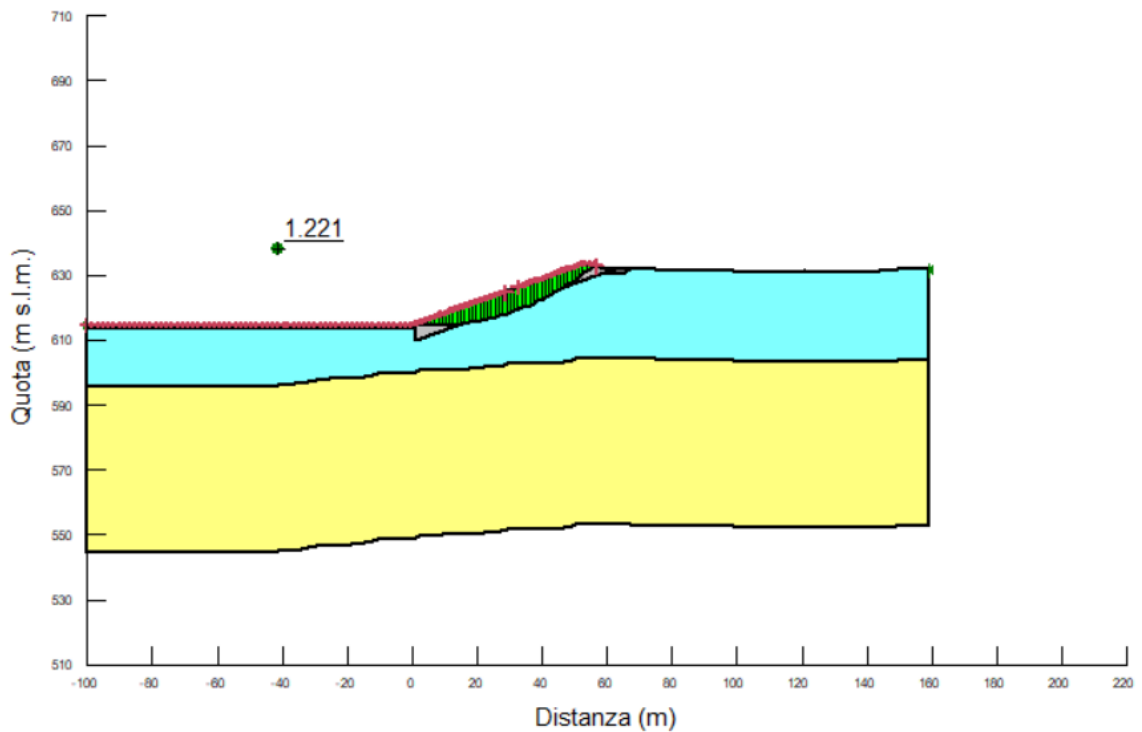


Figura 5.50 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Assenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

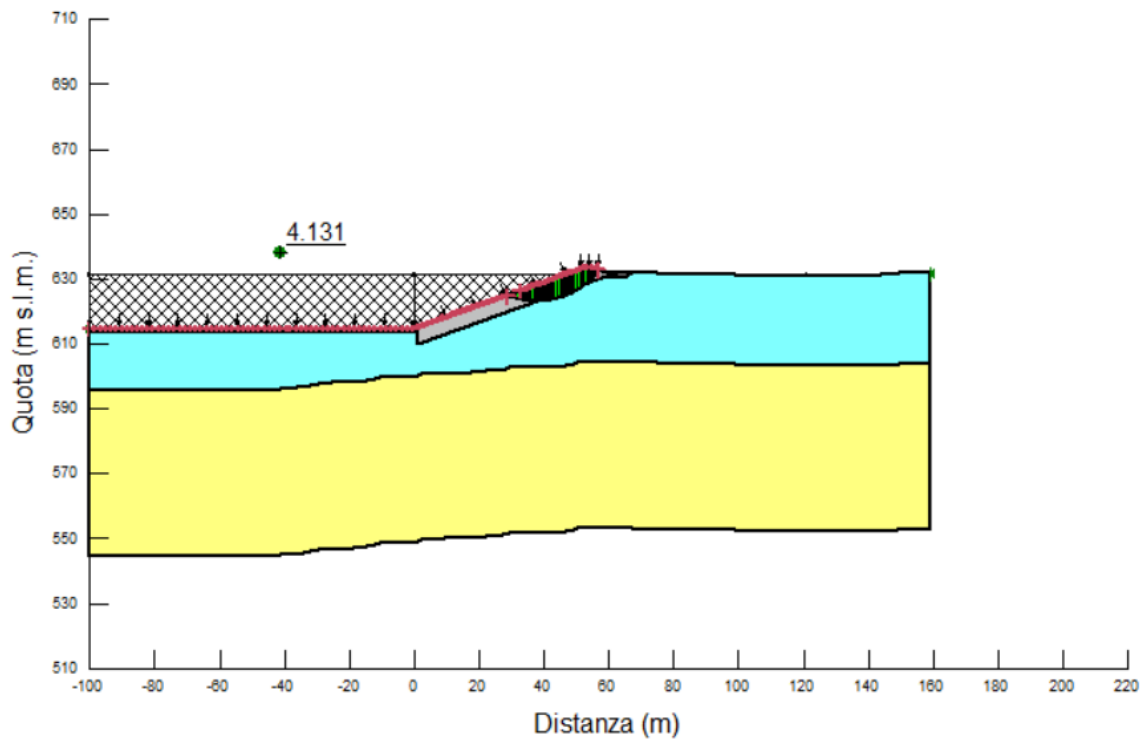


Figura 5.51 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

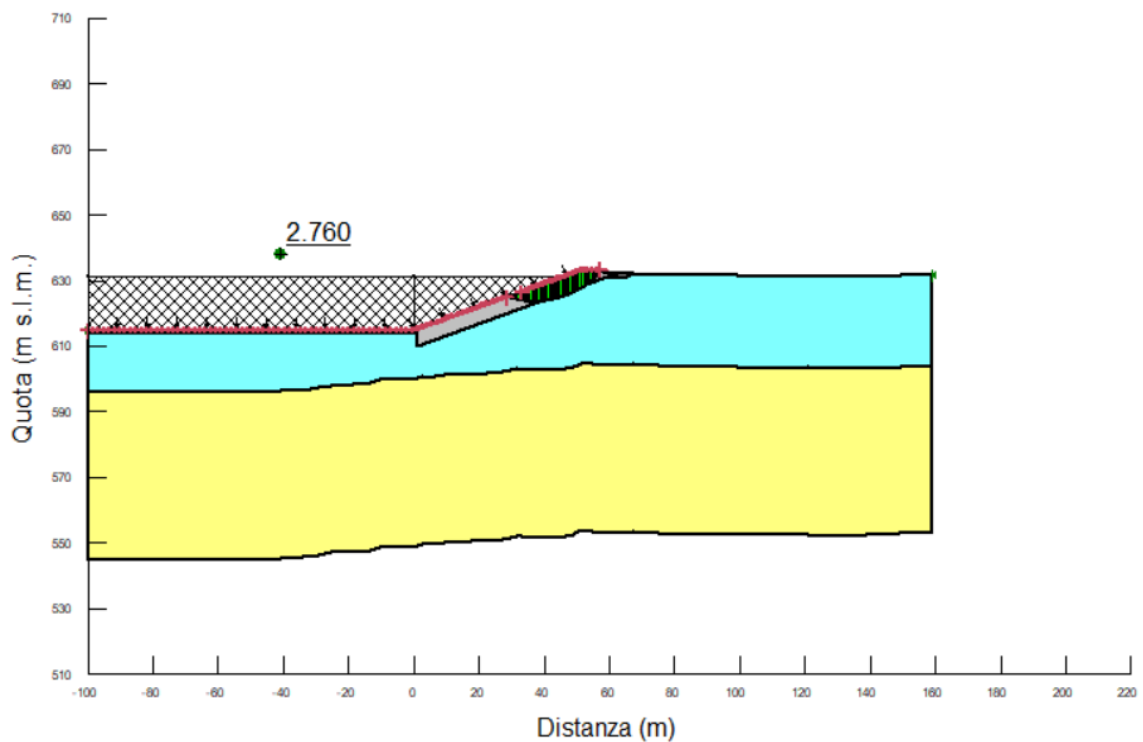


Figura 5.52 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

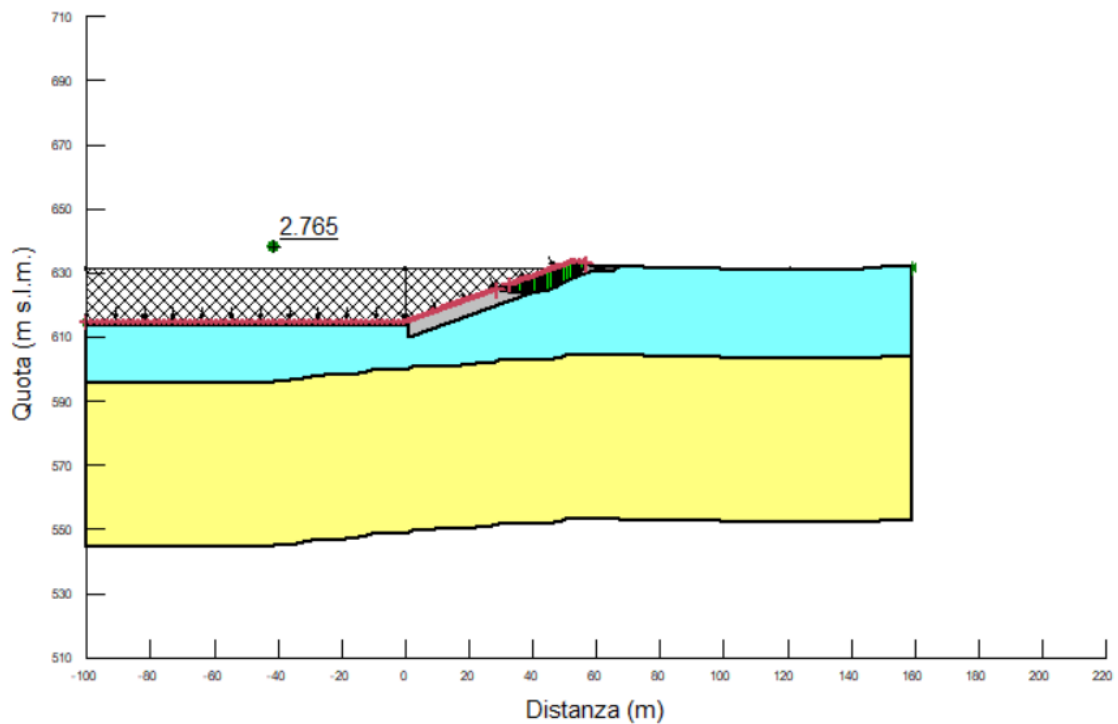


Figura 5.53 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento interno – Presenza di invaso – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

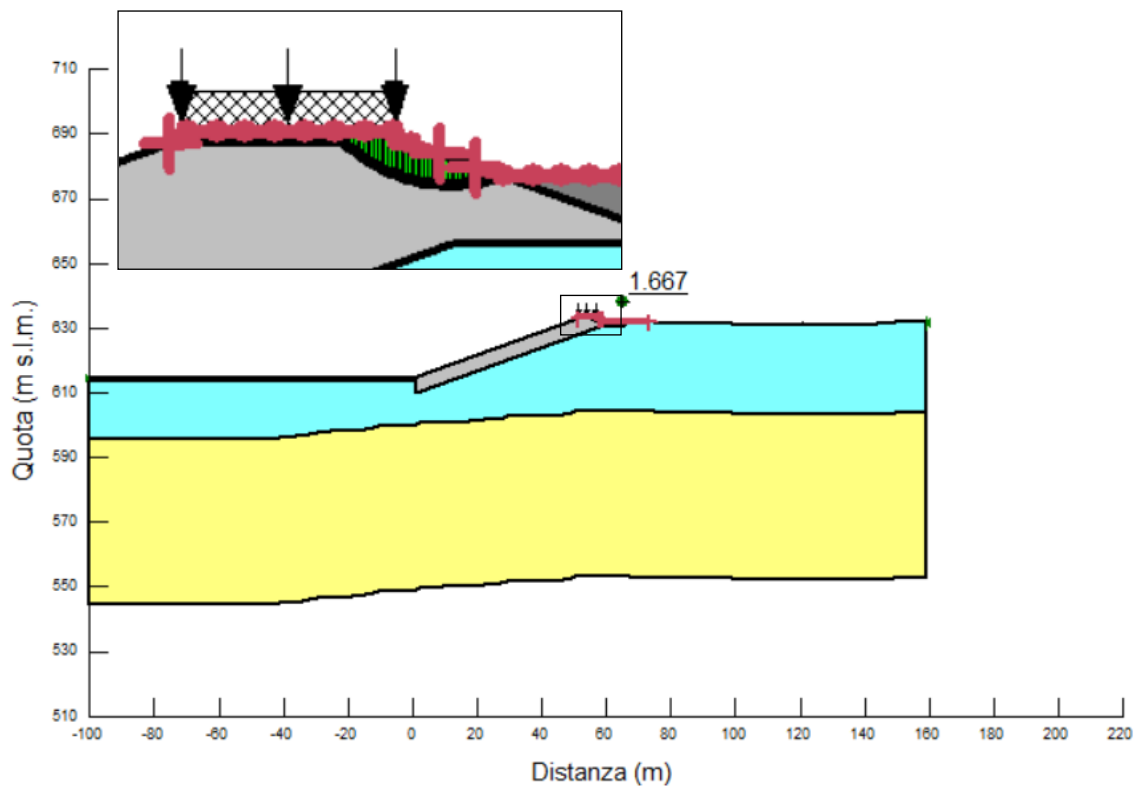


Figura 5.54 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni statiche – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

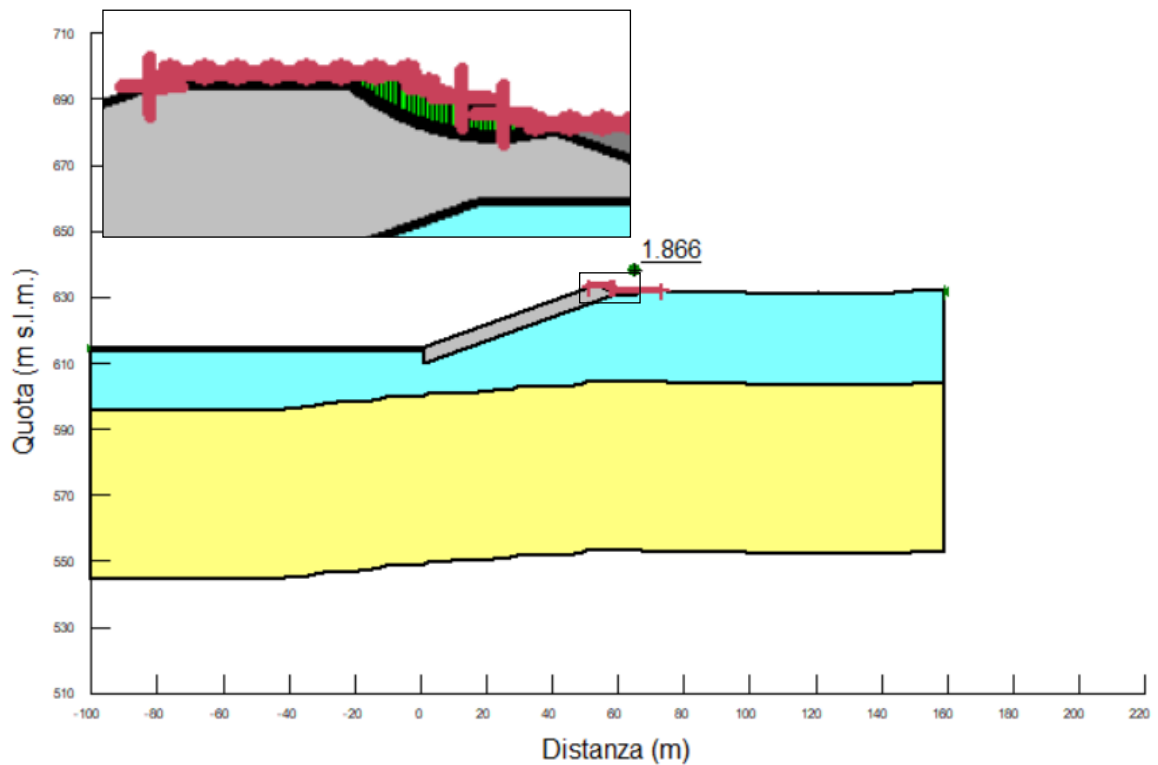


Figura 5.55 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv+) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

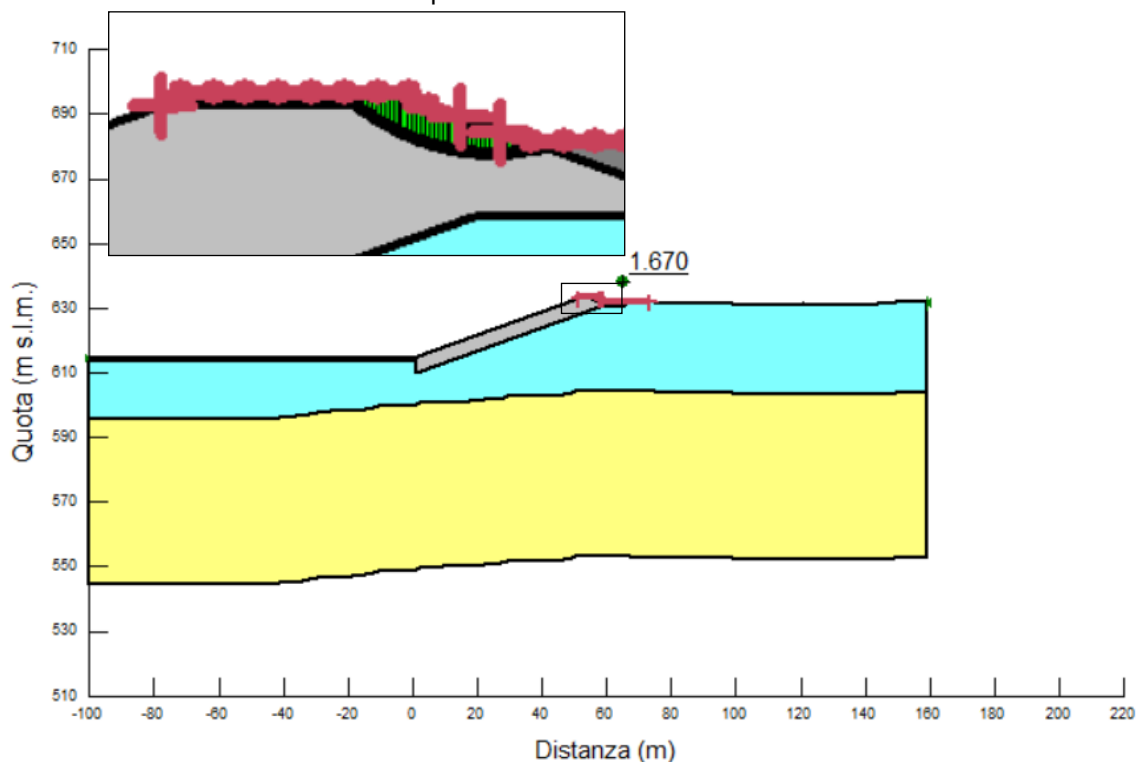


Figura 5.56 – Sezione 6 – Nuova configurazione – Analisi con il Metodo dell'Equilibrio Limite – Paramento esterno – Condizioni pseudo-statiche (kv-) – Superficie a Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop e valore del Fattore di Sicurezza

6. SINTESI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nella presente relazione sono state riportate le analisi di stabilità, condotte con il Metodo dell'Equilibrio Limite, dell'argine di contenimento del bacino artificiale superiore di accumulo dell'impianto di pompaggio.

La Tabella 6.1 seguente riporta una sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi in termini di Fattore di Sicurezza minimo secondo Bishop. Il Fattore di Sicurezza minimo ottenuto dai calcoli è confrontato con quello minimo previsto dalla normativa.

Tabella 6.1 – Sintesi delle verifiche condotte

Analisi	FS minimo calcolato	FS minimo da normativa	Verifica Superata
Sezione 1 – Prima fase di analisi			
<i>Paramento interno</i>			
• Assenza di invaso			
Condizioni statiche	1.850	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.395	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.251	1.2	Sí
• Presenza di invaso			
Condizioni statiche	4.549	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	3.002	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	3.010	1.2	Sí
<i>Paramento esterno</i>			
• Superficie globale			
Condizioni statiche	1.984	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.459	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.306	1.2	Sí
• Berma superiore			
Condizioni statiche	1.843	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.403	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.259	1.2	Sí
• Berma inferiore			
Condizioni statiche	1.852	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.403	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.259	1.2	Sí
Sezione 4 – Prima fase di analisi			
<i>Paramento interno</i>			
• Assenza di invaso			
Condizioni statiche	1.845	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.395	1.2	Sí

Analisi	FS minimo calcolato	FS minimo da normativa	Verifica Superata
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.252	1.2	Sí
• Presenza di invaso			
Condizioni statiche	4.042	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	2.825	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	2.796	1.2	Sí
<i>Paramento esterno</i>			
• Superficie globale			
Condizioni statiche	2.018	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.471	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.316	1.2	Sí
• Berma superiore			
Condizioni statiche	1.835	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.403	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.259	1.2	Sí
• Berma inferiore			
Condizioni statiche	1.869	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.403	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.259	1.2	Sí
Sezione 6 – Prima fase di analisi			
<i>Paramento interno</i>			
• Assenza di invaso			
Condizioni statiche	1.700	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.273	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.173	1.2	NO
• Presenza di invaso			
Condizioni statiche	3.798	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	2.521	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	2.545	1.2	Sí
<i>Paramento esterno</i>			
Condizioni statiche	1.616	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.923	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.715	1.2	Sí

Sezione 6 – Sezione tipo diga modificata			
<i>Paramento interno</i>			
• Assenza di invaso			
Condizioni statiche	1.774	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.341	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.221	1.2	Sí
• Presenza di invaso			
Condizioni statiche	4.131	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	2.760	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	2.765	1.2	Sí
<i>Paramento esterno</i>			
Condizioni statiche	1.667	1.1	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv+	1.866	1.2	Sí
Condizioni pseudo-statiche kv-	1.670	1.2	Sí

Le verifiche condotte sulle sezioni della diga nella configurazione inizialmente prevista sono risultate soddisfatte in tutti i casi ad eccezione della verifica del paramento interno della sezione 6, caratterizzata da un'altezza del paramento di monte di circa 18 m completamente in scavo nei materiali in posto, in assenza di invaso, nella condizione pseudo-statica con componente verticale dell'azione sismica diretta verso l'alto (kv-) (Figura 5.39), dove il Fattore di Sicurezza minimo calcolato (1.173) è risultato inferiore al Fattore di Sicurezza minimo richiesto dalla normativa (1.2).

Si è quindi modificata la configurazione della diga e dello scavo del bacino rinforzando il paramento del bacino nella parte in scavo con una fascia di 4,7 metri di materiale di migliore qualità (materiale A).

In queste condizioni risulta soddisfatta anche la sezione diga e sponda del bacino raffigurata nella sezione 6 in assenza di invaso, nella condizione pseudo-statica kv- con Fattore di Sicurezza minimo pari a 1.221 (Figura 5.50).

In sede di progettazione esecutiva tutte le sezioni saranno riverificate adottando i parametri geotecnici derivanti da campioni dei materiali di fondazione e di costituzione del corpo diga. Essendo stati in questa sede adottati dei parametri cautelativi si prevede che la sezione tipo della diga potrà essere ottimizzata.