

FIUME PANARO (PROVINCIA DI MODENA)

AVVIO ADEGUAMENTO STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL SISTEMA ARGINALE ALLA PORTATA PROGETTUALE DI RIFERIMENTO, TRAMITE INTERVENTI DI SISTEMAZIONE MORFOLOGICA DELL'ALVEO, ADEGUAMENTO IN QUOTA E IN SAGOMA, A VALLE DELLA CASSA AL CONFINE PROVINCIALE. INTERVENTO REALIZZABILE PER STRALCI FUNZIONALI.

(Ordinanza n. 8 del 23/06/2015, allegato 1, codice intervento n. 11784, come modificata Ordinanza n. 2 del 23/02/2016)

(MO-E-1346)

PROGETTO ESECUTIVO

STRALCIO NUOVO RILEVATO ARGINALE IN SINISTRA IDRAULICA

TRA IL PONTE SANT'AMBROGIO E LA CONFLUENZA CON IL T. TIEPIDO IN COMUNE DI MODENA

NOVEMBRE 2020

ELABORATO:

RELAZIONE GEOTECNICA

| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDAZIONE | VERIFICA |
|------|-----------------|---------------|-----------|----------|
| 00 | PRIMA EMISSIONE | NOVEMBRE 2020 | P. Meda | P. Meda |
| 01 | | | | |

RUP: *Dott. Ing. FEDERICA PELLEGRINI*

Supporto al RUP: *Dott. Geol. STEFANO PARODI*

ATI:

MANDATARIA



20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264
fax 0226681553 – E-Mail: etatec@etatec.it

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI
Dott. Ing. STEFANO CROCI
Dott. Ing. FILIPPO MALINGENGO
Dott. Ing. VINCENZO CICCARELLI

MANDANTI

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI

20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264
fax 0226681553 – E-Mail: studiopaoletti@etatec.it

Dott. Ing. CRISTINA GIUSEPPINA PASSONI

Studio Associato di Geologia Spada
di Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna



24020 RANICA (BG) – via Donizetti, 17
tel. 035516090-035513738
E-Mail: info@studiogeospada.it

Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI
Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI



ARCHITETTURA E CITTA' STUDIO ASSOCIATO
architettura e paesaggio

43123 PARMA – via Archimede, 2
tel. 052194885, fax 0521961008
E-Mail: info@assarch.it

Dott. Arch. PAOLA CAVALLINI
Dott. Arch. MICHELE MUSIARI



28047 OLEGGIO (NO) – viale Paganini, 9
tel. 032194885, fax 0321961008
PEC atuttoprogetto@pec.it, E-Mail info@atuttoprogetto.com

Geom. PAOLO MASSARA
Geom. FILIPPO BELLONI
Geom. VALENTINA MANTOAN



46020 QUINGENTOLE (MN) – Strada Fienili, 39/a
tel. 038642287, fax 038642591
E-Mail: mail@archeologica.it

Dott. ALBERTO MANICARDI
Dott.ssa ELISA LERCO

TIPOLOGIA

PE

COMMESSA

250–28

DOCUMENTO

ATTI

NUMERO

A.5

SCALA

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA..... | 3 |
| 2. SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA | 4 |
| 3. MODELLO GEOTECNICO (CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA) .5 | |
| 4. CRITERI ED IPOTESI DI CALCOLO | 11 |
| 4.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 11 |
| 4.2 METODI DI CALCOLO E DI VERIFICA | 11 |
| 4.3 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI..... | 12 |
| 4.4 LIVELLI IDRICI | 12 |
| 4.5 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI | 12 |
| 4.6 CRITERI E DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA | 13 |
| 4.7 SITUAZIONI PROGETTUALI..... | 14 |
| 4.8 COMBINAZIONI DI CARICO E CRITERI DI VERIFICA | 14 |
| 5. TRATTO N. 1 - VERIFICHE DEL NUOVO RILEVATO ARGINALE..... | 16 |
| 5.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO | 16 |
| 5.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO | 16 |
| 5.3 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEL RILEVATO DELLA VIA EMILIA IN SEGUITO ALLA REALIZZAZIONE DELL’ARGINE | 22 |
| 6. TRATTO N. 2 - VERIFICHE DEL COMPLESSO FONDAZIONE-TERRENO DEL NUOVO MURO ARGINALE | 28 |
| 6.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO | 28 |
| 6.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO | 28 |
| 7. TRATTI N. 3 E N. 5 - VERIFICHE DEL NUOVO RILEVATO ARGINALE | 34 |
| 7.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO | 34 |
| 7.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO | 35 |
| 8. TRATTO N. 4 - VERIFICHE DEL SOVRALZO DEL RILEVATO ARGINALE | 41 |
| 8.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO | 41 |
| 8.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO | 41 |
| 9. TRATTO N. 6 - VERIFICHE DEL SOVRALZO DEL RILEVATO ARGINALE | 48 |
| 9.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO | 48 |

| | |
|---|----|
| 9.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO | 49 |
| 10. TRATTO N. 7 - VERIFICHE DEL COMPLESSO FONDAZIONE-TERRENO DEL NUOVO MURO ARGINALE | 55 |
| 10.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO | 55 |
| 10.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO | 55 |

1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica è redatta a supporto della progettazione esecutiva dei lavori di adeguamento strutturale e funzionale del sistema arginale sul Fiume Panaro (provincia di Modena) relativi allo stralcio del nuovo rilevato arginale in sinistra idraulica, tra il ponte Sant’Ambrogio e la confluenza con il Torrente Tiepido in Comune di Modena. In particolare, sono di seguito illustrate ed analizzate le verifiche di carattere geotecnico che consentono la definizione degli interventi di progetto.

Le sezioni prese in esame sono quelle più rappresentative degli interventi previsti in progetto, che sono stati suddivisi in n. 7 tratti omogenei come descritto al successivo § 2. Per ciascun tratto è stata analizzata la geometria, la stratigrafia e la caratterizzazione geotecnica, così da permettere la costruzione della geometria rappresentativa delle condizioni più gravose previste lungo il tratto analizzato.

La definizione del modello geotecnico del sottosuolo (caratterizzazione geologico-tecnica) è riportata al successivo § 3. I criteri e le ipotesi di calcolo vengono definiti nel successivo § 4. Seguono, ai §§ 5÷10, i calcoli di verifica delle sezioni analizzate.

2. SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA

Le analisi e le verifiche illustrate nel seguito riguardano diverse sezioni rappresentative degli argini lungo il tratto di intervento. Facendo riferimento alla stratigrafia ed alla caratterizzazione geotecnica propria della sezione di riferimento, sono state analizzate le condizioni di progetto più gravose per ogni tipologia di intervento.

Ai fini delle verifiche contenute nella presente relazione, gli interventi sono stati suddivisi in n. 7 tratti omogenei. In Tabella 1 è riportata la localizzazione di ciascun tratto con riferimento alle sezioni di progetto, la tipologia di intervento prevista ed il paragrafo della presente relazione in cui sono contenute le verifiche.

| Tratto | Sezioni di progetto | Tipologia di intervento | Paragrafo |
|----------|---------------------|---|-----------|
| 1 | 1 ÷ 32 | Nuovo rilevato | 5 |
| 2 | 33 ÷ 41 | Nuovo muro arginale in calcestruzzo | 6 |
| 3 | 42 ÷ 44 | Nuovo rilevato | 7 |
| 4 | 45 ÷ 53 | Sovralzo e adeguamento argine esistente | 8 |
| 5 | 54 ÷ 85 | Nuovo rilevato | 7 |
| 6 | 86 ÷ 94 | Sovralzo e adeguamento argine esistente | 9 |
| 7 | 95 ÷ 99 | Sovralzo e adeguamento muro in calcestruzzo | 10 |

Tabella 1 – Suddivisione in tratti omogenei degli interventi in progetto

La scelta dei parametri, stante il grande numero dei dati elaborati e la tipologia di opere coinvolte, si è basata su una media ragionata del valore che influenza il comportamento dello

strato in oggetto, prendendo in considerazione tutti i dati di cui sopra.

In caso di variazioni importanti all'interno dello stesso strato si è fatto sempre riferimento, in via cautelativa, ai valori medi minimi individuati nelle prove e nelle analisi di riferimento.

La caratterizzazione dei parametri è stata effettuata sempre sia in condizioni drenate (lungo termine) che in condizioni non drenate (comportamento a breve termine) per consentire le verifiche di stabilità delle opere in qualsiasi situazione, al fine di valutare caso per caso le condizioni di maggiore criticità (con l'eccezione dei livelli granulari, in cui il comportamento è solamente drenato).

Le formule di letteratura e le correlazioni utilizzate per ricavare i parametri dei terreni di utilizzate dal software sono indicate di seguito:

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_m \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c, cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{ln}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBTn: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c, cutoff} \text{)}$$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBTn: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBTn: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c, cutoff} \text{)}$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{m, 20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_m$$

(applicable only to SBTn: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, cutoff}$)

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{q1,CS})$$

:: Drained Friction Angle, ϕ (°) ::

$$\phi = \phi_{cv} + 15.94 \cdot \log(Q_{tn,CS}) - 26.88$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c, cutoff}$)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$\sigma = 14$ for $Q_{tn} > 14$

$\sigma = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$

$M_{CPT} = \sigma \cdot (q_t - \sigma_v)$

If $I_c \leq 2.20$

$$M_{CPT} = 0.03 \cdot (q_t - \sigma_v) \cdot 10^{0.35 \cdot \psi + 1.58}$$

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_t}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, cutoff}$)

:: Peak Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_c^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_c + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_c < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337-1355 (2009)

Si reputa comunque opportuna, per una maggiore chiarezza, una breve disamina delle principali formule utilizzate per i parametri di resistenza e di permeabilità dei terreni.

Per tali analisi sono state utilizzate le seguenti formule di letteratura (per maggiori dettagli si veda Robertson et al, 2012):

Resistenza al taglio non drenata

$$C_u = (q_t - \sigma_{v0}) / N_k$$

σ_{v0} = tensione verticale agente alla profondità considerata

N_k = fattore di cono – funzione del valore di F_r

q_t = resistenza alla punta

Angolo di resistenza al taglio di picco in condizioni drenate (ϕ'_p)

E' stata utilizzata la formula di Kulhawy & Mayne (1990), che ha validità per terreni granulari (nel nostro caso dai limi sabbiosi fino alla sabbie).

$$\phi'_p = 17.6 + 11 \cdot \log \left[\frac{q_t}{P_{atm}} \cdot \left(\frac{P_{atm}}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \right]$$

P_{atm} = 101 kPa – pressione atmosferica

Angolo di resistenza al taglio di picco in condizioni drenate (ϕ'_p) – terreni fini

E' stata utilizzata la formula di Mayne & Campanella (2005), che ha validità per terreni coesivi (dalle argille ai limi), basata sulla resistenza alla punta normalizzata (Q_t) e su un parametro

delle pressioni neutre (B_q).

$$q'_p \cong 29.5 \cdot B_q^{0.121} \left[0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t \right]$$

$$0.1 < B_q < 1.0$$

dove:

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{p_a}$$

$$B_q = \frac{u - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$$

I valori restituiti da quest'ultima formula non sono sempre risultati affidabili e quindi sono stati utilizzati con molta attenzione e previo controllo con i dati di letteratura, di altri studi e di laboratorio.

Permeabilità

La permeabilità è stata valutata con la modalità indicata da Robertson (2010) e comunque secondo il seguente schema di massima:

| SBT Zone | SBT | Range of k (m/s) | SBT I_c |
|----------|-------------------------------|---|---------------------|
| 1 | Sensitive fine-grained | 3×10^{-10} to 3×10^{-8} | NA |
| 2 | Organic soils - clay | 1×10^{-10} to 1×10^{-8} | $I_c > 3.60$ |
| 3 | Clay | 1×10^{-10} to 1×10^{-9} | $2.95 < I_c < 3.60$ |
| 4 | Silt mixture | 3×10^{-9} to 1×10^{-7} | $2.60 < I_c < 2.95$ |
| 5 | Sand mixture | 1×10^{-7} to 1×10^{-5} | $2.05 < I_c < 2.60$ |
| 6 | Sand | 1×10^{-5} to 1×10^{-3} | $1.31 < I_c < 2.05$ |
| 7 | Dense sand to gravelly sand | 1×10^{-3} to 1 | $I_c < 1.31$ |
| 8 | *Very dense/ stiff soil | 1×10^{-8} to 1×10^{-3} | NA |
| 9 | *Very stiff fine-grained soil | 1×10^{-9} to 1×10^{-7} | NA |

*Overconsolidated and/or cemented

Si tratta di una valutazione basata prevalentemente sulla granulometria.

Di seguito si procede all'illustrazione sintetica della sezione predisposta (Figura 1).

Per la preparazione della sezione geologico tecnica si è fatto riferimento ai seguenti elementi, in ordine spaziale da ovest verso est: CPTu 1-2, S1+dati sui campioni, CPTu 3-4-5-6-7-9, S2+dati sui campioni, CPTu8-10.

Sulla base della distribuzione latero-verticale del parametro SBT sono stati definiti 5 livelli geologico-tecnici, che sono stati caratterizzati da un punto di vista fisico e geotecnico, utilizzando i dati di cui sopra, come riportato nella tabella sottostante (Tabella 2).

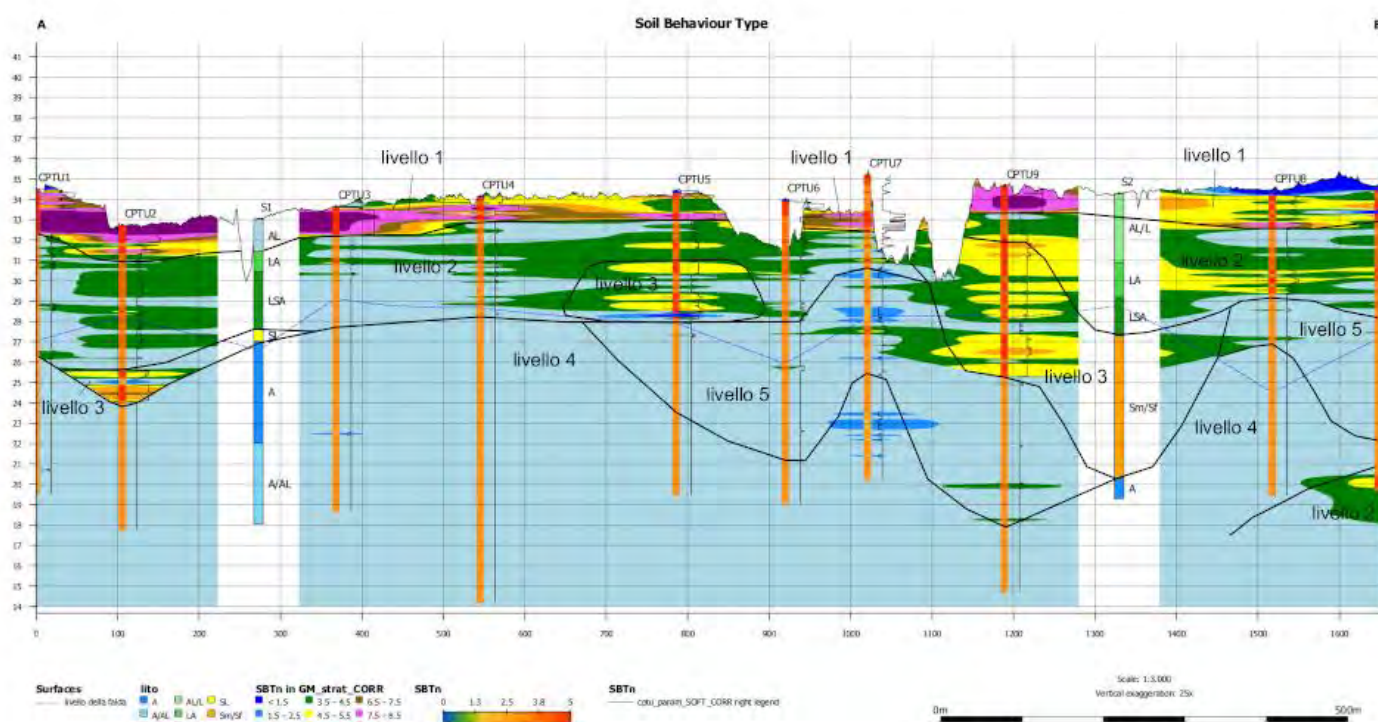


Figura 1 - Sezione geologico – tecnica, basata sul parametro SBT, in cui sono stati distinti cinque livelli.

| livelli | Caratterizzazione litologica | K (m/sec) | C_u (kPa) | C' (kPa) | Φ' | γ (kN/mc) | γ_s (kN/mc) |
|-------------------------|--|--------------|--------------|------------|---------|------------------|--------------------|
| Livello 1 | Alternanze di sabbie e limi loc. argillosi addensati | $1E-5/1E-7$ | >80 | 0 | 34-36 | 19 | 20 |
| Livello 2 | Limi argillosi e sabbiosi con locali lenti sottili di argille e/o sabbie | $1E-7/1E-8$ | 70 | 3/9 | 30.5/35 | 19.6 | 20.5 |
| Livello 3 | Sabbie da fini a medie, sabbie limose | $1E-5/1E-6$ | Solo drenato | 0 | 32-35 | 19.5 | 20.5 |
| Livello 4 | Argille limose con locali livelli di limi sabbiosi | $1E-9/1E-10$ | >52 | 17/25 | 22/23.6 | 19 | 20.5 |
| Livello 5 | Alternanze di limi e argille limose | $1E-8/1E-9$ | 66/112 | 10 | 27/30 | 19 | 20 |
| Nuovo rilevato arginale | Limi e limi sabbiosi non plastici | $1-5 E-7$ | 65 | 10 | 30 | 19 | 20 |

Tabella 2 - Caratterizzazione geologico-tecnica dei livelli individuati

| <i>livelli</i> | <i>Cptu7</i> | <i>livelli</i> | <i>Cptu8</i> | <i>livelli</i> | <i>Cptu9</i> | <i>livelli</i> | <i>Cptu10</i> | <i>livelli</i> | <i>S1</i> | <i>livelli</i> | <i>S2</i> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| <i>1</i> | <i>0-2.6</i> | <i>1</i> | <i>0-1.3</i> | <i>1</i> | <i>0-1.3</i> | <i>1</i> | <i>0-1.5</i> | <i>1</i> | <i>0-1.6</i> | <i>1</i> | <i>0-1</i> |
| <i>2</i> | <i>2.6-4.3</i> | <i>2</i> | <i>1.3-5.1</i> | <i>2</i> | <i>1.3-2.8</i> | <i>2</i> | <i>1.5-6.5</i> | <i>2</i> | <i>1.6-5.4</i> | <i>2</i> | <i>1-7</i> |
| <i>5</i> | <i>4.3-9.7</i> | <i>5</i> | <i>5.1-7.5</i> | <i>3</i> | <i>2.8-9.4</i> | <i>5</i> | <i>6.5-12.2</i> | <i>3</i> | <i>5.4-6.0</i> | <i>3</i> | <i>7-14</i> |
| <i>4</i> | <i>9.7-15</i> | <i>4</i> | <i>7.5-15</i> | <i>5</i> | <i>9.4-16.5</i> | <i>4</i> | <i>12.2-14</i> | <i>4</i> | <i>6.0-15</i> | <i>4</i> | <i>14-15</i> |
| | | | | <i>4</i> | <i>16.5-20</i> | <i>2</i> | <i>14-15</i> | | | | |

Tabella 3 - Quota di tetto e letto dei livelli geologico-tecnici in ciascuna indagine geognostica.

4. CRITERI ED IPOTESI DI CALCOLO

4.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli e le verifiche sono conformi alle norme:

- D.M. 17 gennaio 2018 – “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (di seguito NTC)
- Circolare Ministeriale del 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018» (di seguito: Circolare NTC)

Si fa inoltre riferimento, per quanto riguarda le combinazioni di carico e le situazioni progettuali (v. successivo § 4.8), al D.M. 26 giugno 2014 - Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).

Infine, per la determinazione dei parametri sismici con approccio probabilistico, si fa riferimento agli Allegati A e B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008.

4.2 METODI DI CALCOLO E DI VERIFICA

Le analisi sono condotte su sezioni trasversali, con modellazione bidimensionale dei fenomeni, e riguardano essenzialmente calcoli di filtrazione e di stabilità.

I calcoli di filtrazione sono condotti attraverso analisi ad elementi finiti, sia in condizioni stazionarie che in regime transitorio, così da modellare in modo realistico il passaggio di una piena. Questo tipo di calcolo restituisce il reticolo di filtrazione ed il campo delle pressioni interstiziali nel terreno, consentendo di verificare le condizioni idrauliche (velocità, portata, ecc.) e fornendo l’input, relativamente alle condizioni di filtrazione nel terreno, per le verifiche di stabilità.

Per le verifiche di stabilità si ricorre a modelli basati sui classici metodi all’equilibrio limite, che consistono nel confrontare la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata. Vengono prese in esame superfici circolari; la ricerca delle superfici viene condotta automaticamente dal programma di calcolo, che genera migliaia di possibili cerchi di scivolamento. Tra i vari metodi di verifica utilizzati (Bishop, Janbu corretto e Morgenstern e Price), nelle figure che seguono si riportano i risultati del solo metodo di Morgenstern e Price, mentre nelle tabelle quelli di tutti e tre i metodi. Le verifiche in condizioni sismiche sono

condotte mediante una analisi di tipo pseudo-statico in condizioni non drenate, che considera un sistema di forze orizzontali e verticali applicate ai volumi di terreno coinvolti. Le verifiche di stabilità vengono eseguite separatamente lato fiume e, ove significativo, lato campagna.

Le analisi sono condotte attraverso il software Rocscience SLIDE versione 6.0. Questo software consente dapprima il calcolo dell'andamento della falda (e quindi delle pressioni interstiziali) in regime stazionario o transitorio; questi risultati del moto di filtrazione sono assunti come input delle verifiche di stabilità globale all'equilibrio limite.

4.3 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

I parametri geotecnici caratteristici, adottati nei calcoli, sono ottenuti a partire da quelli della precedente Tabella 2 con questi criteri:

- permeabilità: valore medio tra quelli indicati;
- coesione non drenata e drenata, angolo di attrito: valore minimo tra quelli indicati;
- pesi di volume: valori indicati.

4.4 LIVELLI IDRICI

Con riferimento a quanto illustrato nella “Relazione idraulica” (Allegato A.3.2 del presente progetto) la legge di variazione dei livelli del Fiume Panaro nel corso di una piena assunta nei calcoli è illustrata graficamente in Figura 2. In particolare la piena di progetto, considerata per le verifiche, è caratterizzata da:

- Salita del livello del fiume fino a testa argine in 24 ore;
- Mantenimento della quota di testa argine per 48 ore;
- Discesa in 24 ore.

4.5 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

Sulla testa degli argini si considera un sovraccarico accidentale uniformemente distribuito con valore caratteristico di 10kPa, per tenere in conto del possibile transito e stazionamento anche di mezzi pesanti necessari a future manutenzioni delle scarpate arginali.

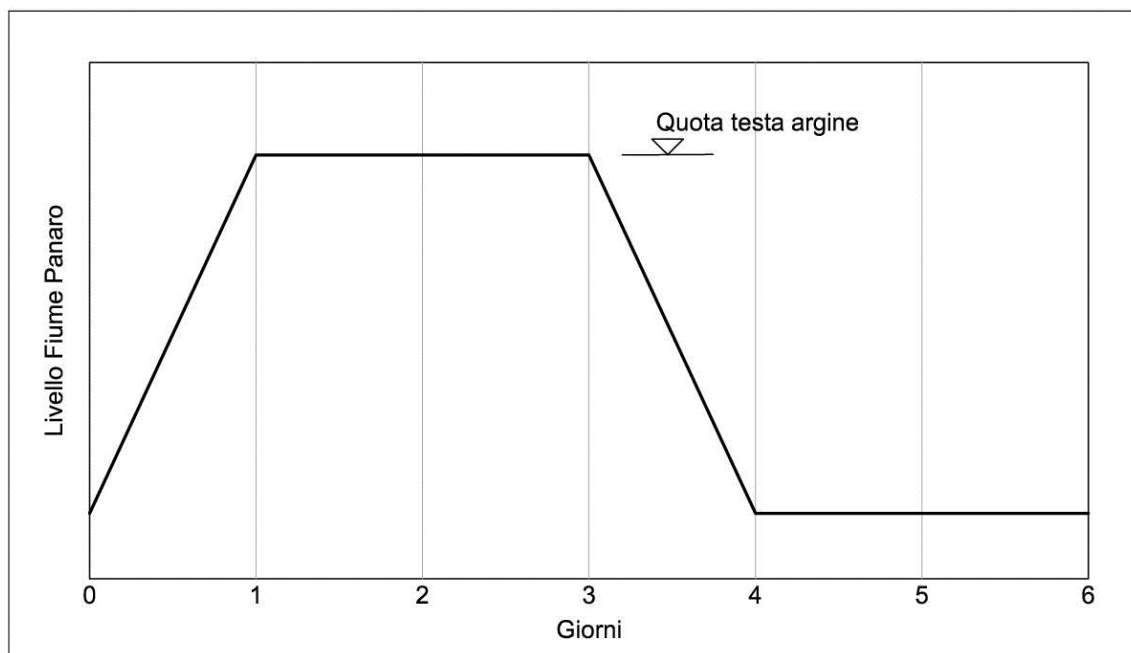


Figura 2 – Schematizzazione assunta nei calcoli del livello del fiume Panaro durante la piena di progetto

4.6 CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Per quanto concerne la determinazione delle azioni sismiche si rimanda alla “Relazione Sismica e delle Strutture”, Allegato A.6 del presente progetto, mentre si riassumono di seguito i parametri sismici utilizzati nelle verifiche contenute della presente relazione.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte mediante l'analisi di tipo pseudostatico, in cui le forze statiche equivalenti sono:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

dove W è il peso di volume coinvolto e con:

$$k_h = \beta \cdot a_{\max}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

essendo β il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa nel sito.

Il coefficiente β è quello indicato al § 7.11.4 delle NTC relativamente alle verifiche di stabilità globale degli argini (ed in generale di stabilità globale del complesso fondazione-terreno) e, per le verifiche che seguono, vale:

$$\beta = 0,38$$

I coefficienti sismici adottati nelle verifiche sono pertanto:

$$k_h = 0,38 \cdot 2,652/g = 0,10$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot 0,10 = \pm 0,05$$

4.7 SITUAZIONI PROGETTUALI

Le situazioni progettuali prese in esame sono:

- in condizioni di piena: viene analizzato il regime transitorio della falda, conseguente al passaggio in alveo della piena di progetto;
- in condizioni sismiche: con il livello di falda stazionario viene analizzata l'introduzione delle azioni sismiche.

Infatti, in conformità con le indicazioni del vigente regolamento per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta di cui al DM 26 giugno 2014, l'azione sismica di progetto viene introdotta nelle condizioni idriche di esercizio, ammettendo di fatto la non contemporaneità di piena e sisma, cioè di due eventi eccezionali indipendenti.

Le verifiche di stabilità agli SLU riguardano entrambe le situazioni progettuali; sono soddisfatte se viene rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione e $R_d = R/\gamma_R$ il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le analisi sono condotte sia lato fiume sia, ove significativo, lato campagna, in entrambe le situazioni progettuali.

4.8 COMBINAZIONI DI CARICO E CRITERI DI VERIFICA

Con riferimento al § 6.8 delle NTC, le verifiche in condizioni statiche sono effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali per le azioni e per i materiali riportati rispettivamente nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II delle NTC, riportate nelle successive Tabella 4 e Tabella 5.

| | Effetto | Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E) | EQU | (A1) | (A2) |
|--------------------------------|-------------|---|-----|------|------|
| Carichi permanenti G_1 | Favorevole | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | Sfavorevole | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti $G_2^{(1)}$ | Favorevole | γ_{G2} | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Azioni variabili Q | Favorevole | γ_{Q1} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 4 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I NTC)

| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale γ_M | (M1) | (M2) |
|--|--|-------------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

Tabella 5 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II NTC)

Il coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti risulta (v. Tabella 6.8.I NTC):

$$\gamma_R = 1,1$$

Siccome il software di calcolo utilizzato fornisce come risultato il rapporto $FS = E_d/R$, le verifiche sono soddisfatte se questo rapporto è $\geq \gamma_R = 1,1$.

Per le verifiche in condizioni sismiche si fa riferimento al § 7.11.4 delle NTC. Quindi vengono posti pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e si impiegano le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a:

$$\gamma_R = 1,2$$

Pertanto le verifiche in condizioni sismiche sono soddisfatte se il rapporto $FS = E_d/R$ fornito dal software utilizzato risulta $\geq \gamma_R = 1,2$.

5. TRATTO N. 1 - VERIFICHE DEL NUOVO RILEVATO ARGINALE

La sezione più significativa nel Tratto n. 1 è la Sezione 2 di progetto, cioè quella a ridosso del rilevato stradale della Via Emilia. L'intervento nel tratto in esame consiste nella formazione di un nuovo rilevato arginale di altezza mediamente di 1,00÷1,50 m, che raggiunge i 2,00 m circa proprio in corrispondenza della Sezione 2 di progetto, di seguito esaminata.

5.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO

La sezione oggetto di verifica consiste in un rilevato arginale non in froldo, realizzato su un piano campagna pressoché pianeggiante. Le pendenze delle scarpate del nuovo rilevato (h/v) sono di 2,2/1 lato fiume e 2,0/1 lato campagna; l'altezza del rilevato arginale è di 2,00 m. La testa dell'argine, larga 5,00 m, è a quota 35,80 m s.l.m.; la falda in condizioni stazionarie all'inizio del calcolo di filtrazione è cautelativamente assunta a quota 29,00 m s.m.

La geometria di calcolo è riportata in Figura 3. La numerazione dei livelli indicata in figura è coerente con la caratterizzazione geotecnica indicata al precedente § 3. Il fiume Panaro si trova sulla destra guardando la sezione.

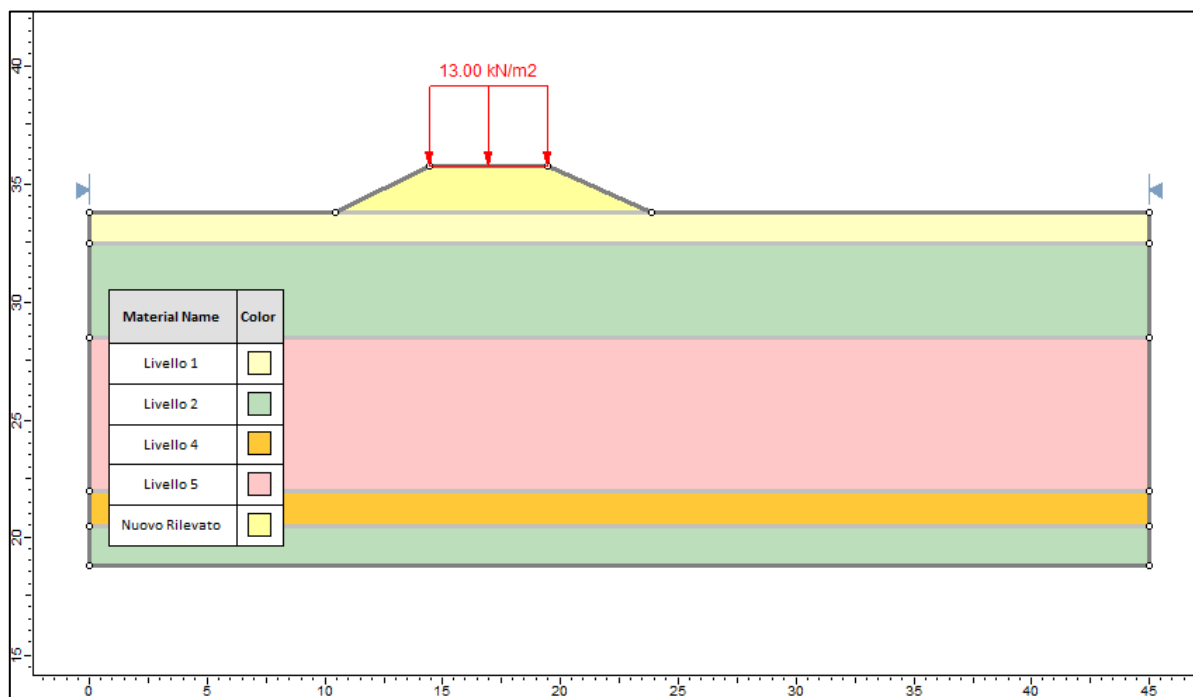


Figura 3 – Geometria di calcolo

5.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Moto di filtrazione

Si riportano i risultati dei calcoli del moto di filtrazione in regime transitorio, avendo imposto

una variazione del livello del Panaro come indicato al precedente § 4.4 (piena di progetto): da Figura 4 a Figura 7 sono rappresentati i contour delle pressioni calcolate nelle quattro differenti fasi: ad inizio piena ($t=0h$), alla fine della salita ($t=24h$), all'inizio della discesa ($t=72h$) ed alla fine della discesa ($t=96h$).

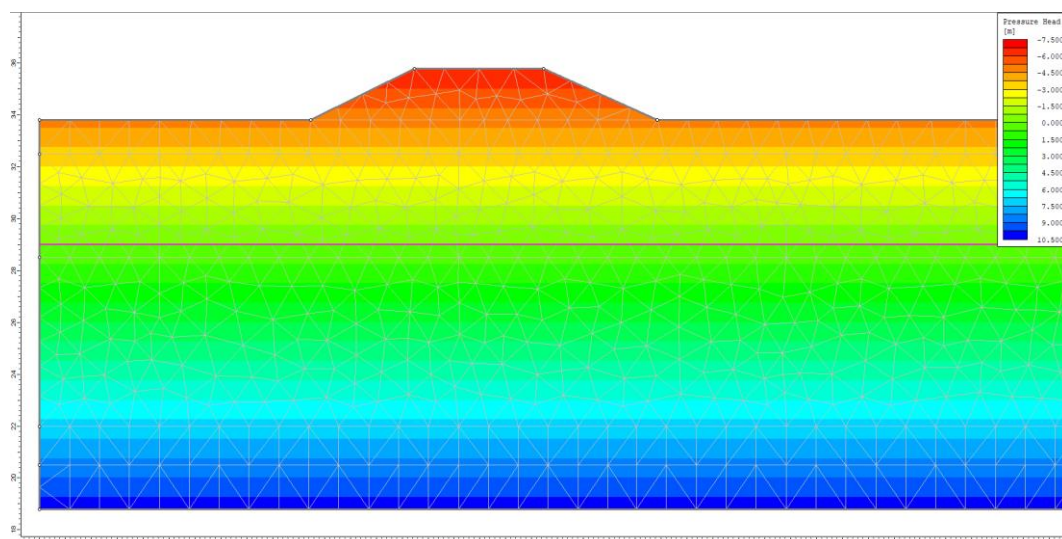


Figura 4 – Moto di filtrazione – $t=0h$ (regime stazionario ad inizio piena)

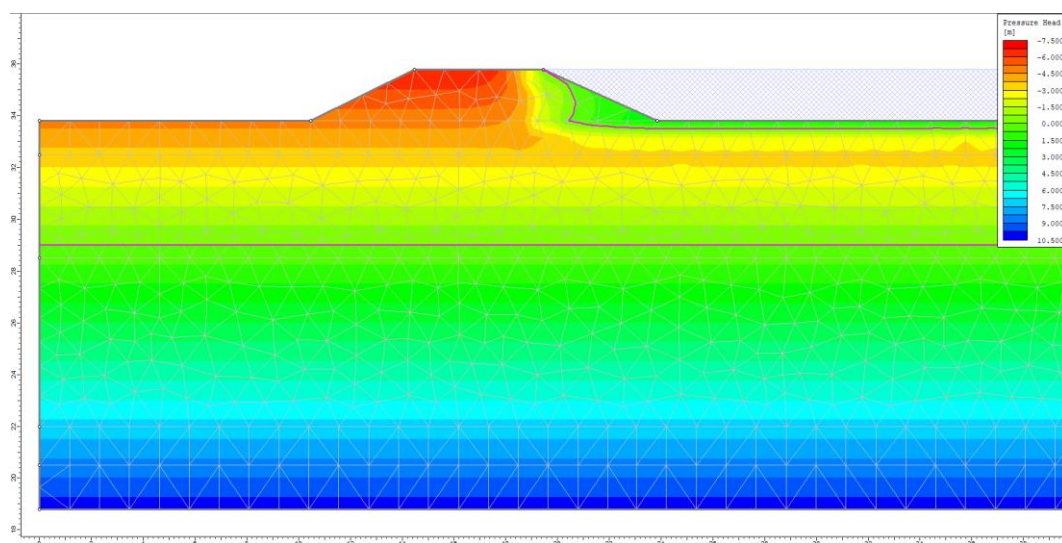


Figura 5 – Moto di filtrazione – $t=24h$ (fine salita)

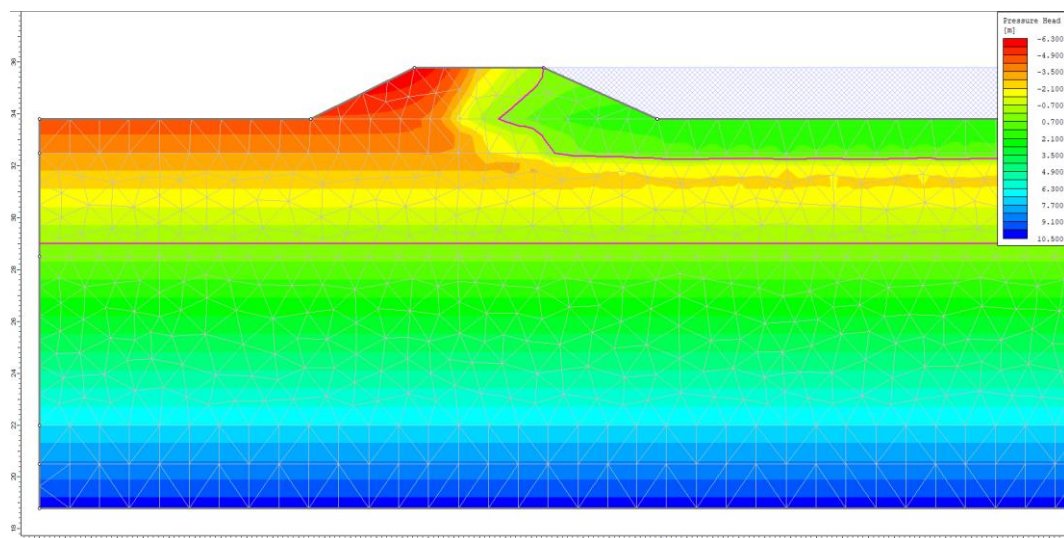


Figura 6 – Moto di filtrazione – t=72h (inizio discesa)

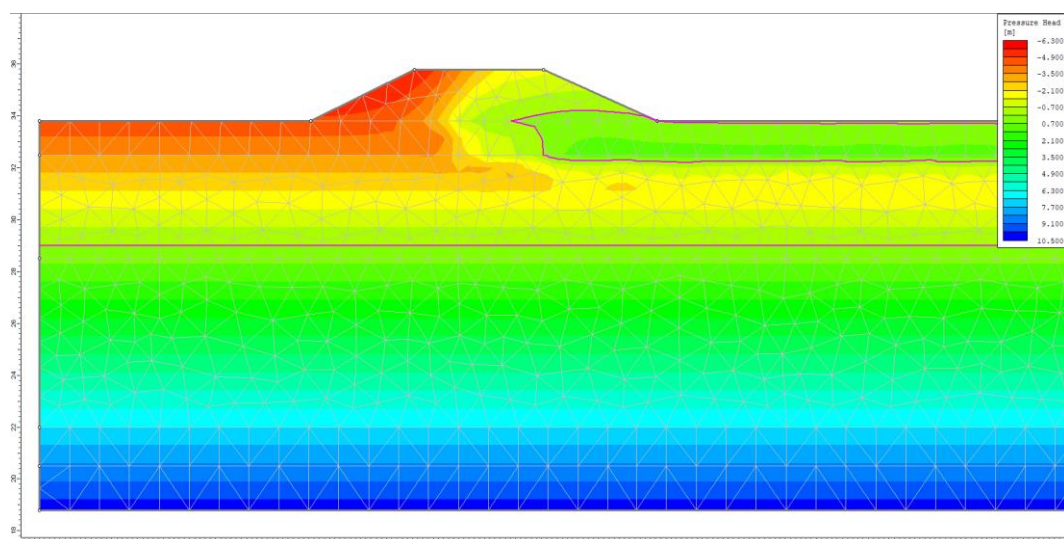


Figura 7 – Moto di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Le velocità di filtrazione all'interno del materiale costituente il rilevato arginale risultano accettabili in quanto nelle condizioni più critiche, cioè al tempo $t=96$ ore (fine piena), sono al massimo pari a circa 0,004 m/h, corrispondenti a circa $1,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s (v. Figura 8).

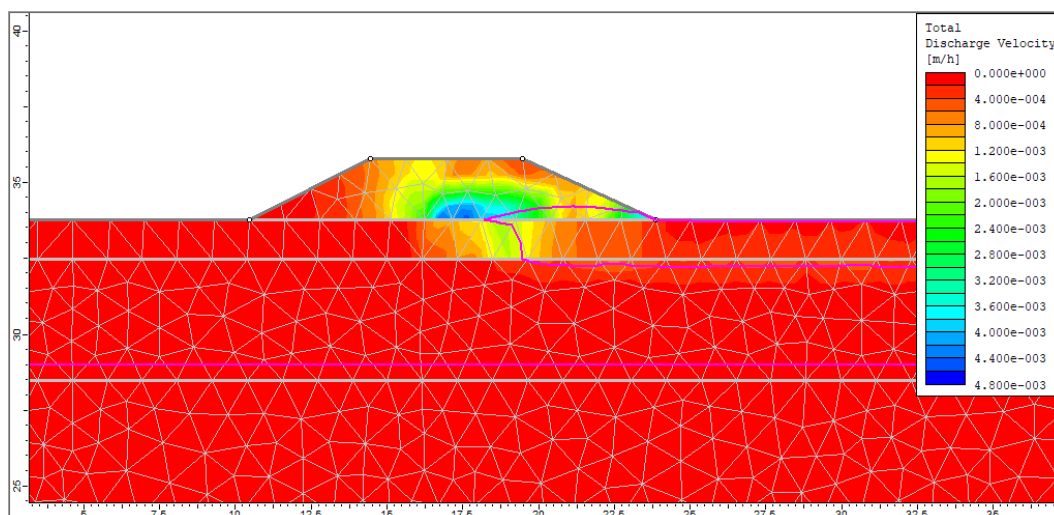


Figura 8 – Velocità di filtrazione – t=96h (fine discesa)

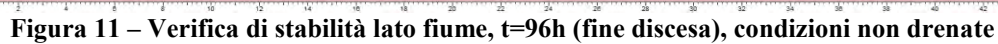
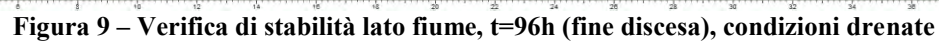
Verifiche di stabilità

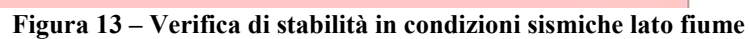
Si riportano di seguito i risultati dei calcoli di stabilità; quelli illustrati corrispondono alle condizioni più gravose, e cioè:

- Figura 9: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 10: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 11: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 12: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 13: lato fiume – verifiche in condizioni sismiche;
- Figura 14: lato campagna – verifiche in condizioni sismiche;

Nelle figure viene sempre riportata la superficie con FS minore (valore in verde); sono inoltre evidenziate (valori in nero) solo alcune delle superfici lungo cui è stato eseguito il calcolo, che si ritengono significative per la stabilità del pendio o di parti di esso.

Le verifiche riportate sono eseguite con parametri geotecnici in condizioni drenate e non drenate; si omettono i risultati ottenuti con la componente verticale dell'azione sismica orientata verso l'alto, in quanto generalmente meno conservativi.





La Tabella 6 mostra infine un prospetto con il minimo valore del fattore di sicurezza ottenuto in tutte le condizioni analizzate.

| STATICA DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
|--------------------------------|--------|----------|------|-----------------------------------|--------|----------|------|
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 1,91 | 1,88 | 1,92 | 0 | 1,82 | 1,79 | 1,84 |
| 24 | 3,63 | 3,57 | 3,64 | 24 | 1,82 | 1,79 | 1,83 |
| 72 | 2,78 | 2,71 | 2,79 | 72 | 1,82 | 1,79 | 1,83 |
| 96 | 1,66 | 1,64 | 1,67 | 96 | 1,82 | 1,79 | 1,84 |
| 120 | 1,82 | 1,78 | 1,83 | 120 | 1,82 | 1,79 | 1,84 |
| 240 | 1,91 | 1,88 | 1,92 | 240 | 1,82 | 1,79 | 1,84 |
| STATICA NON DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA NON DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 5,79 | 5,93 | 5,79 | 0 | 5,72 | 5,88 | 5,72 |
| 24 | 9,16 | 5,92 | 9,16 | 24 | 5,72 | 5,88 | 5,72 |
| 72 | 9,16 | 5,93 | 9,16 | 72 | 5,72 | 5,88 | 5,72 |
| 96 | 5,79 | 5,93 | 5,79 | 96 | 5,72 | 5,88 | 5,72 |
| 120 | 5,79 | 5,93 | 5,79 | 120 | 5,72 | 5,88 | 5,72 |
| 240 | 5,79 | 5,93 | 5,79 | 240 | 5,72 | 5,88 | 5,72 |
| SISMICA LATO FIUME | | | | SISMICA LATO CAMPAGNA | | | |
| | Bishop | Janby c. | M&P | | Bishop | Janby c. | M&P |
| Sisma (+) | 3,87 | 3,97 | 3,88 | Sisma (+) | 4,29 | 4,41 | 4,29 |
| Sisma (-) | 4,02 | 4,12 | 4,02 | Sisma (-) | 4,51 | 4,64 | 4,51 |

Tabella 6 – Riepilogo dei risultati delle verifiche di stabilità

Il rapporto tra il valore di progetto delle azioni ed il valore della resistenza calcolata E_d/R è sempre maggiore di 1,1 in condizioni statiche e di 1,2 in condizioni sismiche (v. precedente § 4.8), pertanto le verifiche di stabilità globale del nuovo rilevato arginale sono soddisfatte.

5.3 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEL RILEVATO DELLA VIA EMILIA IN SEGUITO ALLA REALIZZAZIONE DELL'ARGINE

Da Figura 16 a Figura 19 si riportano quattro sezioni trasversali alla Via Emilia in corrispondenza del contatto con il nuovo rilevato arginale in progetto; la traccia planimetrica di queste sezioni è indicata in Figura 15.

Dalle sezioni è evidente che l'intervento in progetto non pregiudica in alcun modo la stabilità del rilevato stradale, ed anzi localmente ne incrementa la stabilità globale, andando di fatto a rinforzarlo appesantendone il piede. A dimostrazione di questo, sono state condotte analisi di stabilità facendo riferimento in particolare alla Sezione D (Figura 19), con lo scopo di valutare

la variazione del fattore di sicurezza del rilevato stradale a seguito della realizzazione dell'intervento in progetto.

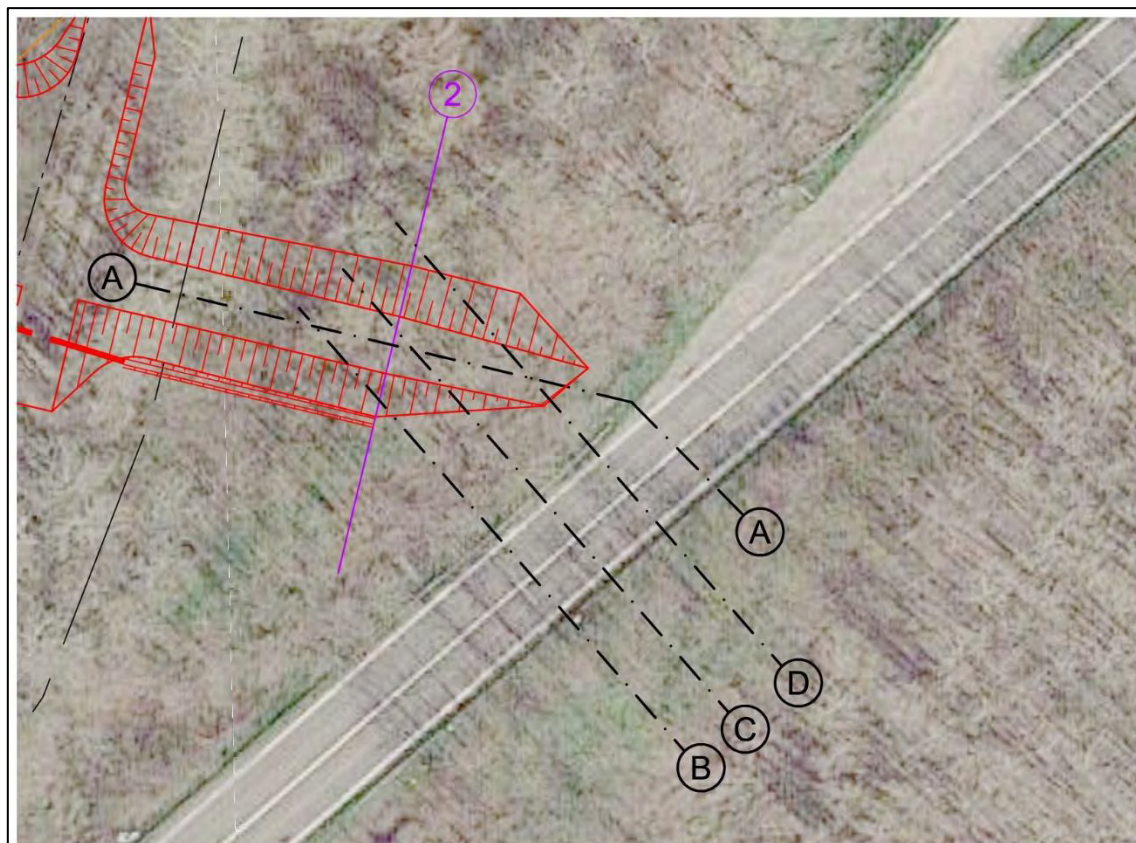


Figura 15 – Planimetria con indicazione delle sezioni A÷D

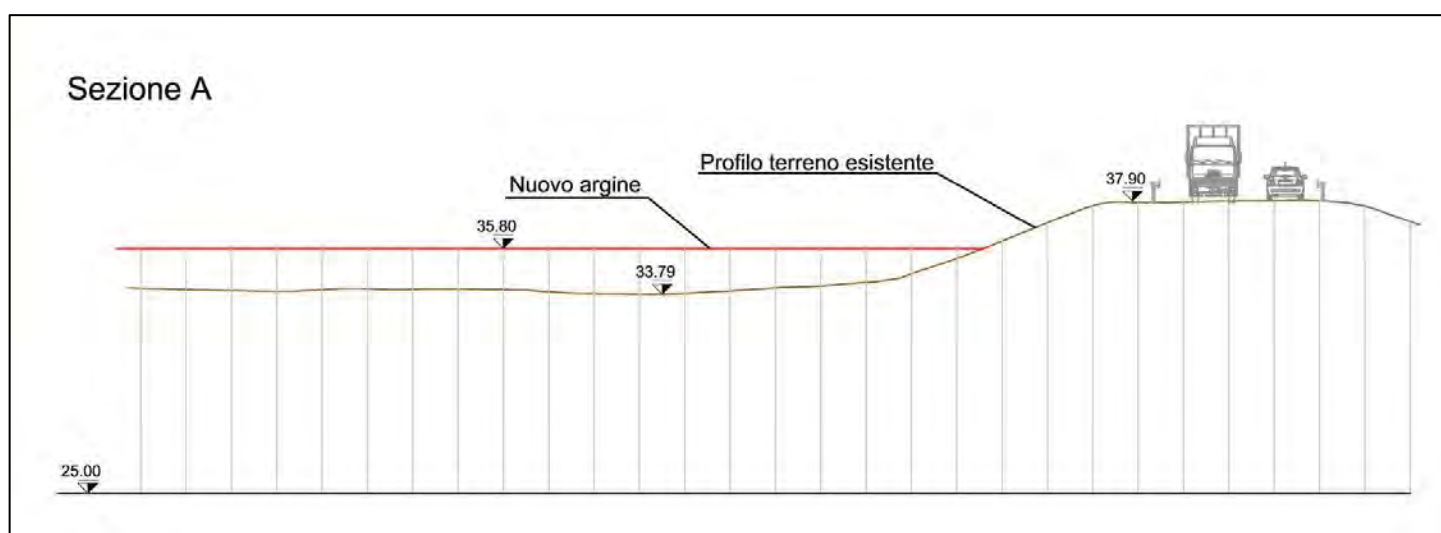


Figura 16 – Sezione A

Sezione B

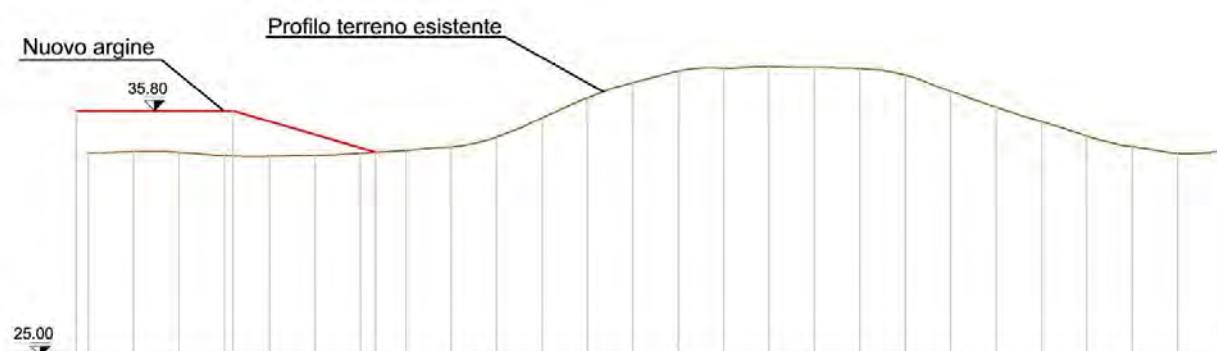


Figura 17 – Sezione B

Sezione C

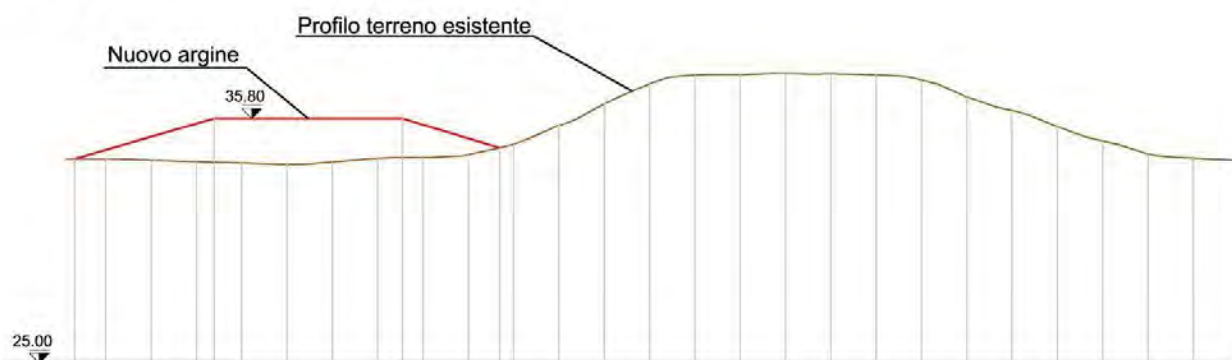


Figura 18 – Sezione C

Sezione D

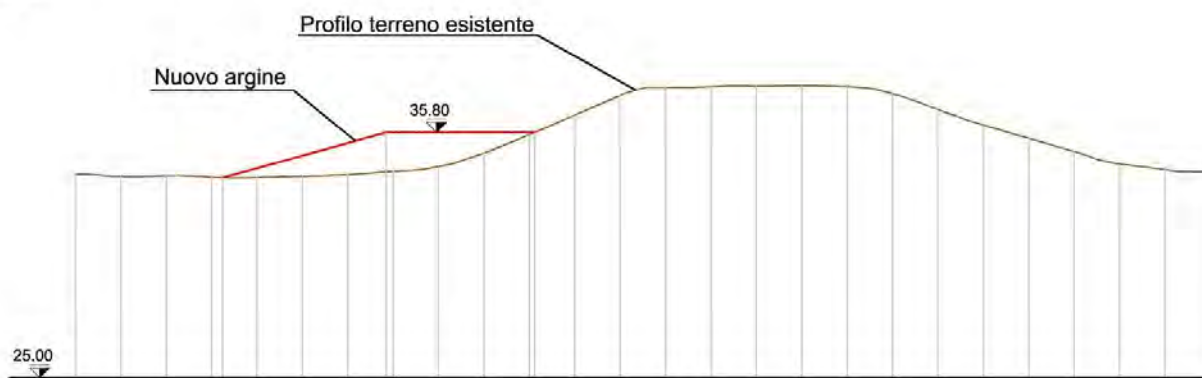


Figura 19 – Sezione D

La geometria di calcolo della situazione attuale è riportata in Figura 20; quella della configurazione di progetto in Figura 21.

Le caratteristiche geotecniche del terreno costituente il rilevato stradale non sono note; si assumono pertanto parametri ragionevoli, che comunque non pregiudicano l'esito delle valutazioni, visto che l'obiettivo è quello di confrontare le condizioni di stabilità prima e dopo il nuovo intervento. Si è ipotizzato un terreno granulare, con angolo di attrito di 35° e coesione nulla (valore caratteristico).

In sommità al rilevato stradale si è introdotto il carico uniformemente distribuito di 50 kN/m^2 (nelle figure, il carico indicato è già quello moltiplicato per il coefficiente $\gamma_Q=1,3$ del gruppo A2 delle azioni).

Nelle figure sono infine indicate quattro superfici di scivolamento ritenute significative; le superfici sono circolari ed hanno lo stesso centro e lo stesso raggio nelle due situazioni, pre e post intervento, per permettere il diretto confronto numerico del fattore di sicurezza.

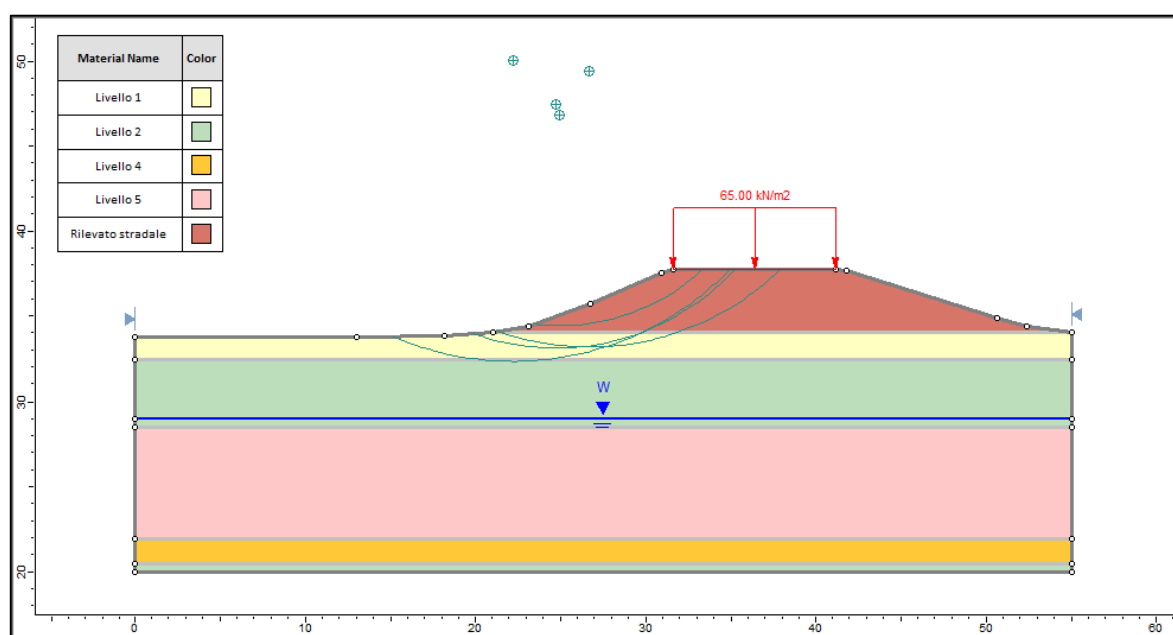


Figura 20 – Stato di fatto – Geometria di calcolo

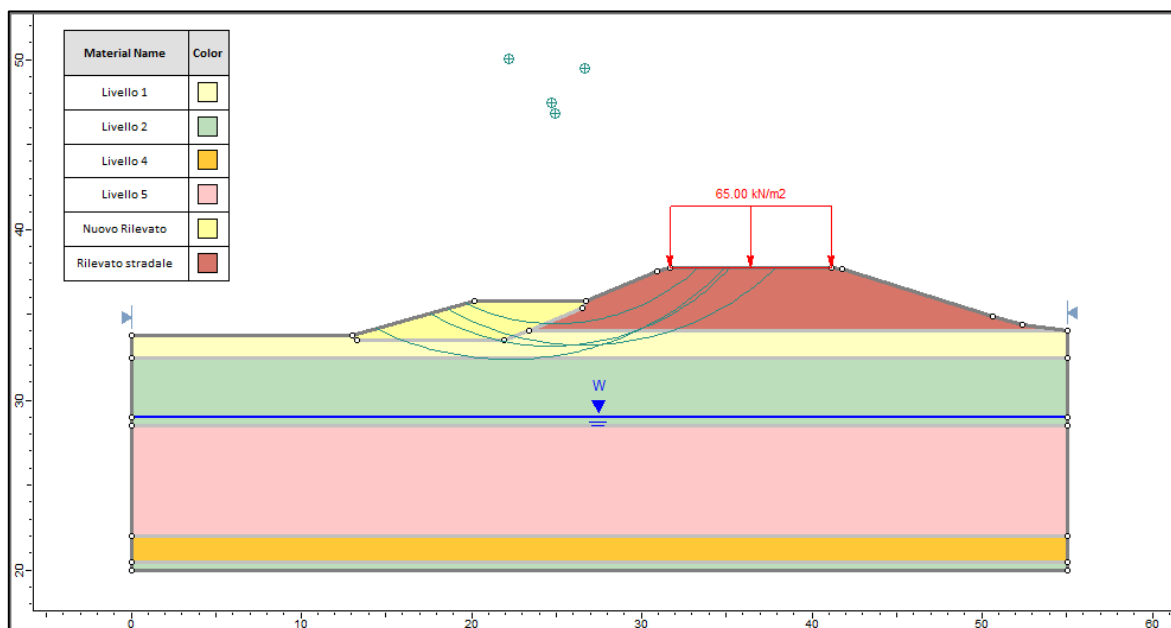


Figura 21 – Configurazione di progetto – Geometria di calcolo

In Figura 22 e Figura 23 si riporta l'esito delle verifiche, in termini di fattore di sicurezza calcolato sulle quattro superfici di scivolamento di controllo pre-impostate. Il riepilogo dei fattori di sicurezza calcolati è riportato in Tabella 7, dalla quale si evince che le condizioni di stabilità del rilevato stradale non vengono peggiorate dalla realizzazione del rilevato in progetto.

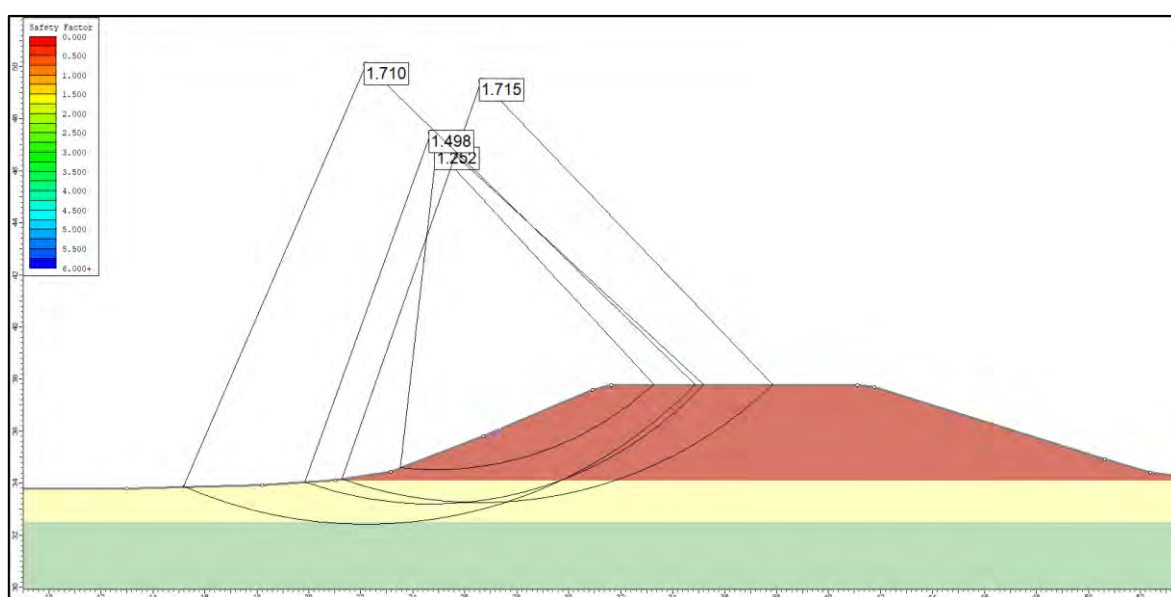


Figura 22 – Stato di fatto – Esito verifiche di stabilità

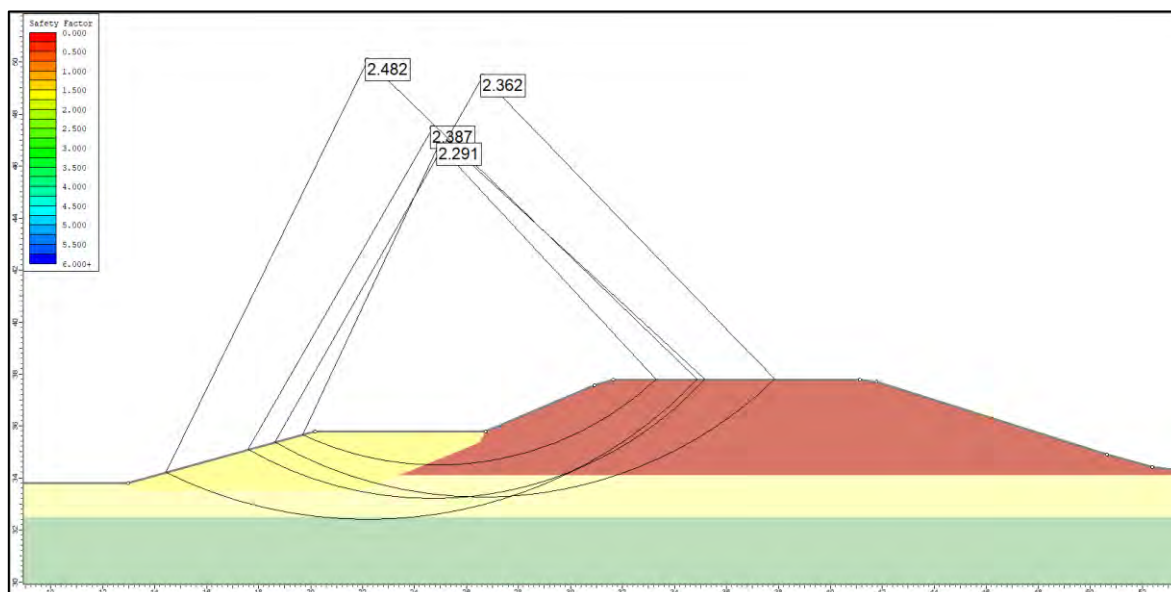


Figura 23 – Configurazione di progetto – Esito verifiche di stabilità

| Centro | | Raggio | Fattore di sicurezza | |
|--------|--------|--------|----------------------|----------|
| X | Y | | Stato di fatto | Progetto |
| 24,922 | 46,823 | 12,331 | 1,252 | 2,291 |
| 26,629 | 49,451 | 16,214 | 1,715 | 2,362 |
| 24,698 | 47,466 | 14,288 | 1,498 | 2,387 |
| 22,196 | 50,064 | 17,670 | 1,710 | 2,482 |

Tabella 7 – Riepilogo dei risultati sulle quattro superfici di controllo

6. TRATTO N. 2 - VERIFICHE DEL COMPLESSO FONDAZIONE-TERRENO DEL NUOVO MURO ARGINALE

Nel Tratto n. 2 è prevista la realizzazione di un nuovo muro arginale in calcestruzzo armato gettato in opera.

Le verifiche di tipo geotecnico di stabilità globale del manufatto (scorrimento, ribaltamento, capacità portante) sono riportate, per comodità di lettura, insieme alle verifiche di tipo strutturale nell'Allegato A.6 del presente progetto ("Relazione sismica e delle strutture").

Nel seguito vengono pertanto riportate solamente l'analisi del moto di filtrazione e le verifiche di stabilità globale del complesso opera-fondazione.

Per le verifiche in esame, la sezione più significativa la Sezione 40 di progetto, per via della vicinanza della scarpata al nuovo muro.

6.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO

La geometria di calcolo è riportata in Figura 24. La numerazione dei livelli indicata in figura è coerente con la caratterizzazione geotecnica indicata al precedente § 3. Il fiume Panaro si trova sulla destra guardando la sezione.

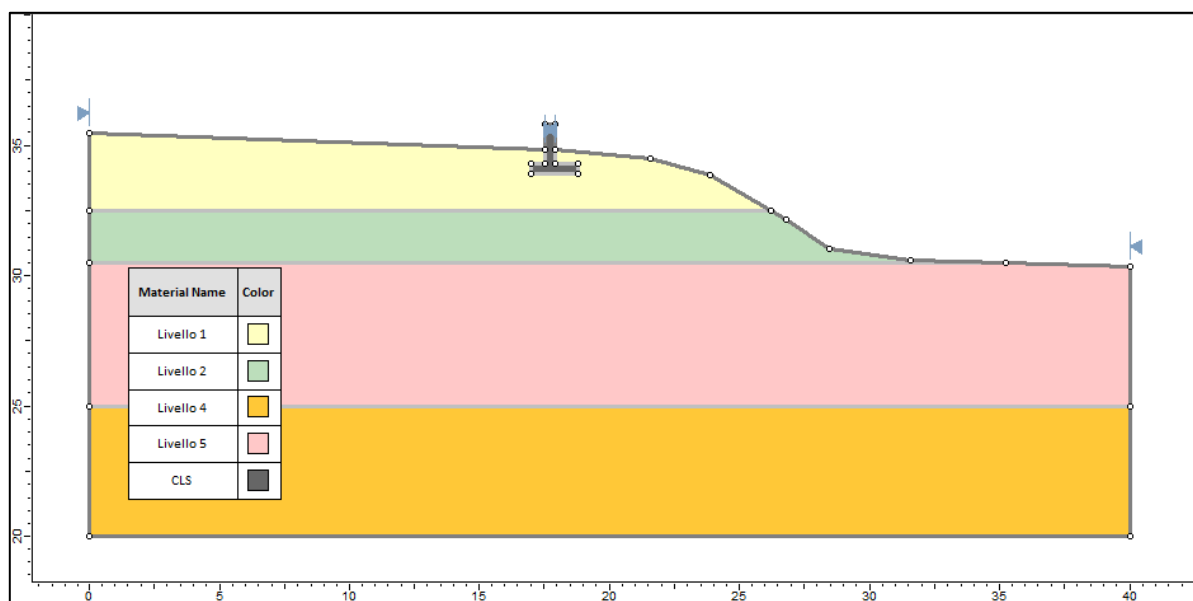


Figura 24 – Geometria di calcolo

6.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Moto di filtrazione

Si riportano i risultati dei calcoli del moto di filtrazione in regime transitorio, avendo imposto una variazione del livello del Panaro come indicato al precedente § 4.4 (piena di progetto): da

Figura 26 – Moto di filtrazione – t=24h (fine salita)

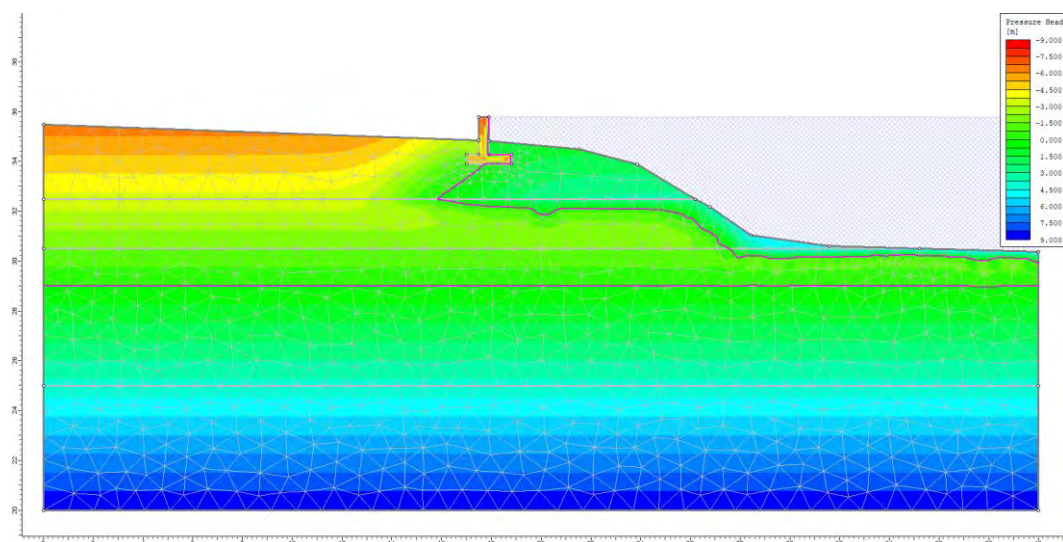


Figura 27 – Moto di filtrazione – t=72h (inizio discesa)

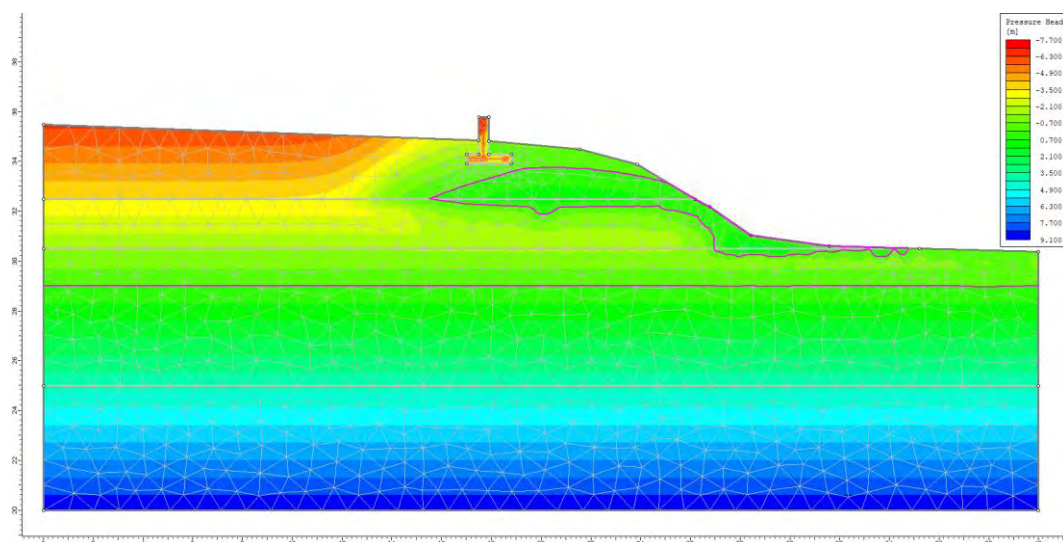


Figura 28 – Moto di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Le velocità di filtrazione all'interno del materiale costituente il rilevato arginale risultano accettabili in quanto nelle condizioni più critiche, cioè al tempo t=96 ore (fine piena), sono al massimo pari a circa 0,01 m/h, corrispondenti a circa $2,8 \cdot 10^{-4}$ cm/s (v. Figura 29).



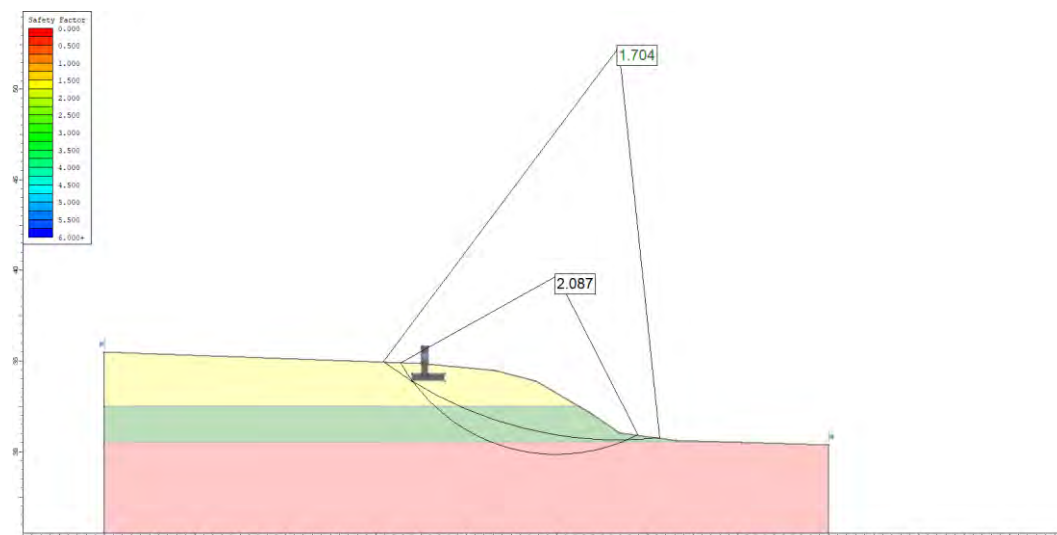


Figura 30 – Verifica di stabilità, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

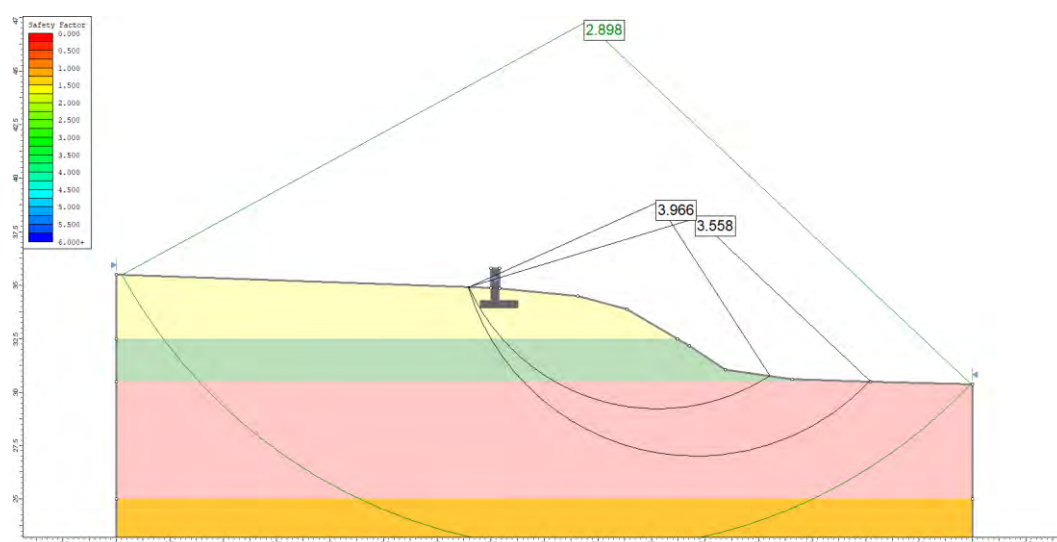


Figura 31 – Verifica di stabilità, $t=96h$ (fine discesa), condizioni non drenate

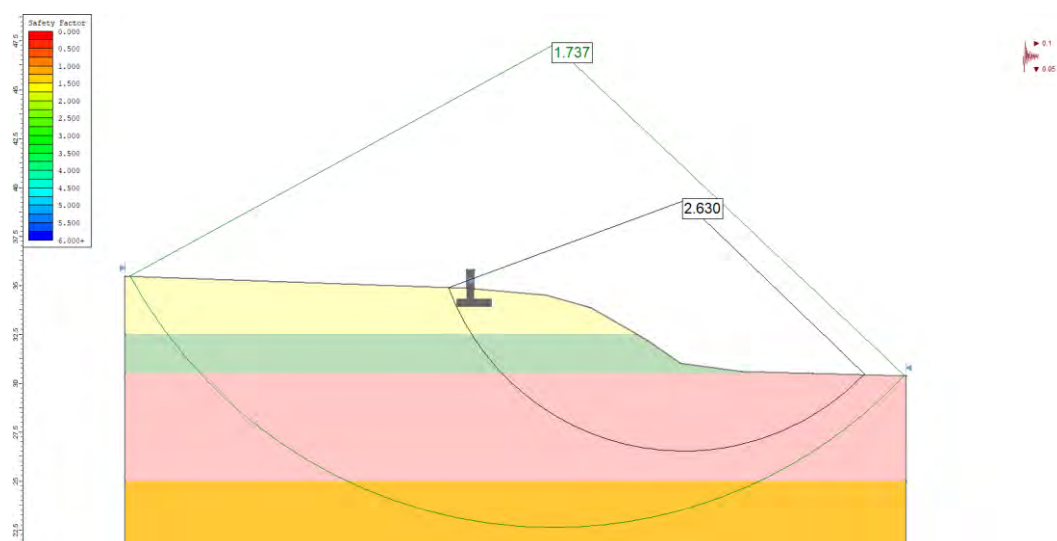


Figura 32 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato fiume

La Tabella 8 mostra infine un prospetto con il minimo valore del fattore di sicurezza ottenuto in tutte le condizioni analizzate.

| STATICA DRENATA LATO FIUME | | | |
|--------------------------------|--------|----------|------|
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 1,90 | 1,92 | 1,89 |
| 24 | 6,46 | 6,34 | 6,45 |
| 72 | 6,20 | 6,24 | 6,19 |
| 96 | 1,71 | 1,74 | 1,70 |
| 120 | 1,81 | 1,83 | 1,80 |
| 240 | 1,89 | 1,92 | 1,89 |
| STATICA NON DRENATA LATO FIUME | | | |
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 2,90 | 3,10 | 2,90 |
| 24 | 6,97 | 7,43 | 6,97 |
| 72 | 6,97 | 7,43 | 6,97 |
| 96 | 2,90 | 3,10 | 2,90 |
| 120 | 2,90 | 3,10 | 2,90 |
| 240 | 2,90 | 3,10 | 2,90 |
| SISMICA LATO FIUME | | | |
| | Bishop | Janby c. | M&P |
| Sisma (+) | 1,74 | 1,83 | 1,74 |
| Sisma (-) | 1,85 | 1,94 | 1,85 |

Tabella 8 - Riepilogo dei risultati delle verifiche di stabilità

Il rapporto tra il valore di progetto delle azioni ed il valore della resistenza calcolata E_d/R è sempre maggiore di 1,1 in condizioni statiche e di 1,2 in condizioni sismiche (v. precedente § 4.8), pertanto le verifiche di stabilità globale del nuovo rilevato arginale sono soddisfatte.

7. TRATTI N. 3 E N. 5 - VERIFICHE DEL NUOVO RILEVATO ARGINALE

Nel Tratto n. 3 l'intervento previsto consiste nella formazione di un nuovo rilevato arginale di altezza massima di circa 2,50 m.

Nel Tratto n. 5 l'intervento previsto consiste nella formazione di un nuovo rilevato arginale di altezza pari a mediamente 1,50÷2,00 m, che raggiunge i 2,50 m circa in corrispondenza delle sezioni 81-82 di progetto.

Si analizza nel seguito la sezione con le condizioni più conservative, con la geometria di seguito illustrata.

7.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO

La sezione oggetto di verifica consiste in un rilevato arginale non in froldo, realizzato su un piano campagna pressoché pianeggiante. Le pendenze delle scarpate del nuovo rilevato (h/v) sono di 2,2/1 lato fiume e 2,0/1 lato campagna; l'altezza del rilevato arginale è di 2,50 m. La testa dell'argine, larga 5,00 m, è a quota 35,80 m s.l.m.; la falda in condizioni stazionarie all'inizio del calcolo di filtrazione è cautelativamente assunta a quota 29,00 m s.m.

La geometria di calcolo è riportata in Figura 33. La numerazione dei livelli indicata in figura è coerente con la caratterizzazione geotecnica indicata al precedente § 3. Il fiume Panaro si trova sulla destra guardando la sezione.

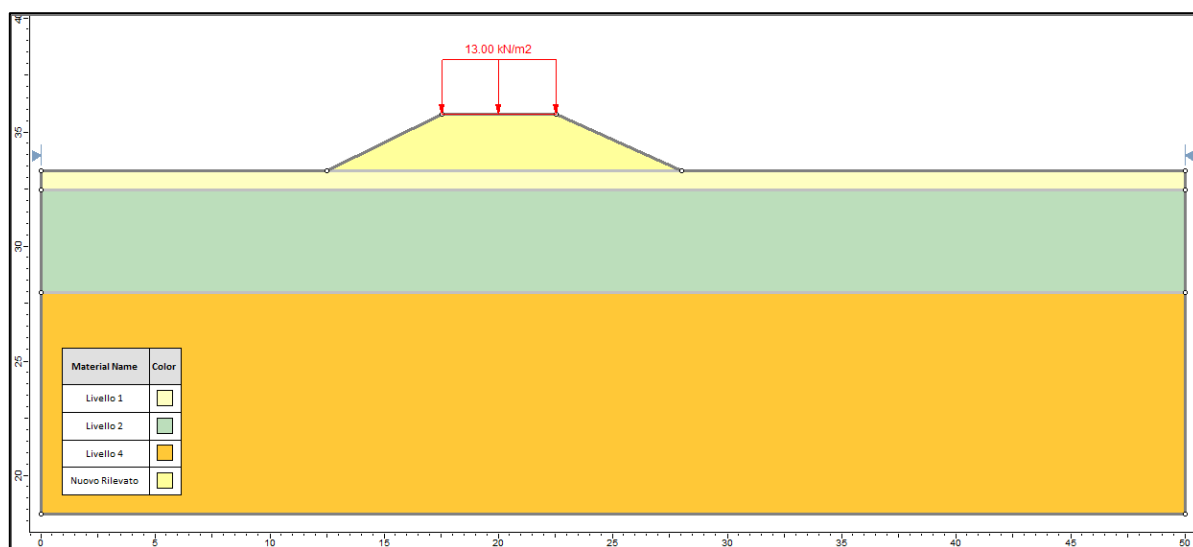


Figura 33 – Geometria di calcolo

7.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Moto di filtrazione

Si riportano i risultati dei calcoli del moto di filtrazione in regime transitorio, avendo imposto una variazione del livello del Panaro come indicato al precedente § 4.4 (piena di progetto): da Figura 34 a Figura 37 sono rappresentati i contour delle pressioni calcolate nelle quattro differenti fasi: ad inizio piena ($t=0h$), alla fine della salita ($t=24h$), all'inizio della discesa ($t=72h$) ed alla fine della discesa ($t=96h$).

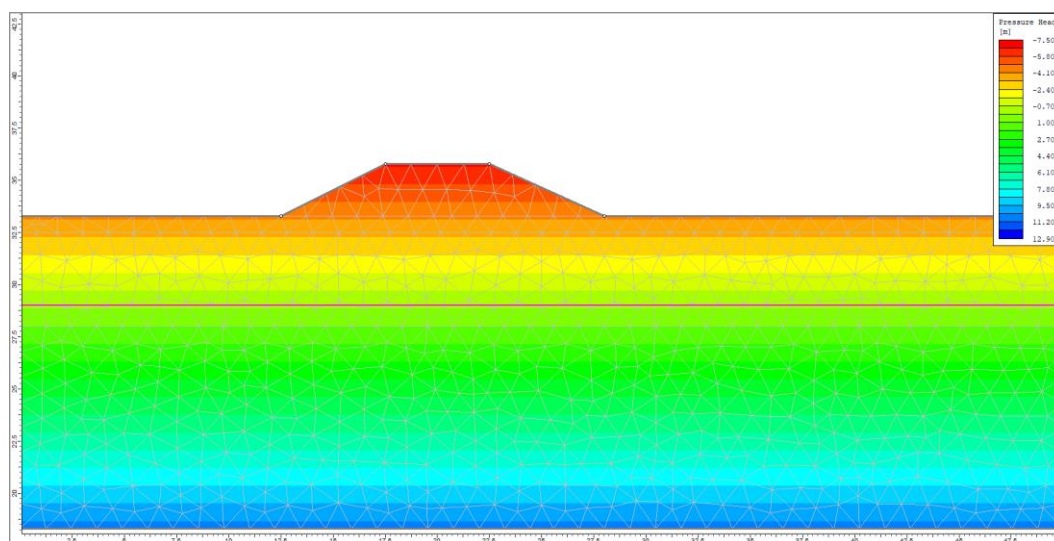


Figura 34 – Moto di filtrazione – $t=0h$ (regime stazionario ad inizio piena)

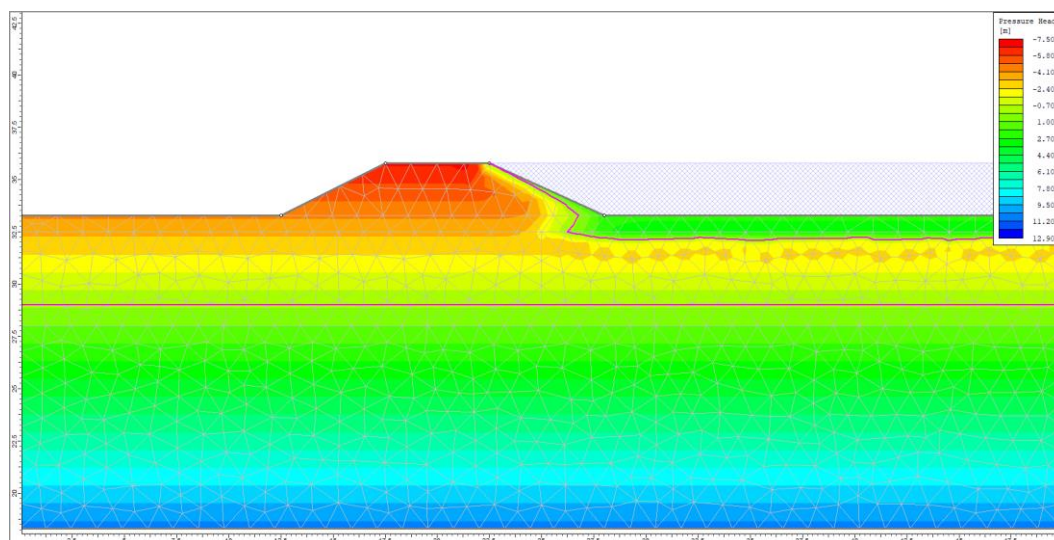


Figura 35 – Moto di filtrazione – $t=24h$ (fine salita)

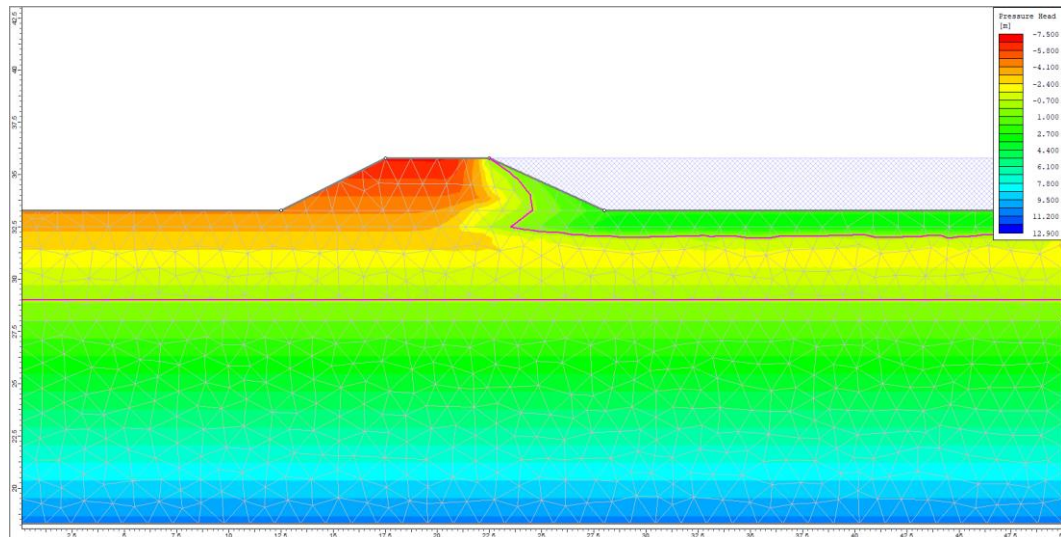


Figura 36 – Moto di filtrazione – t=72h (inizio discesa)

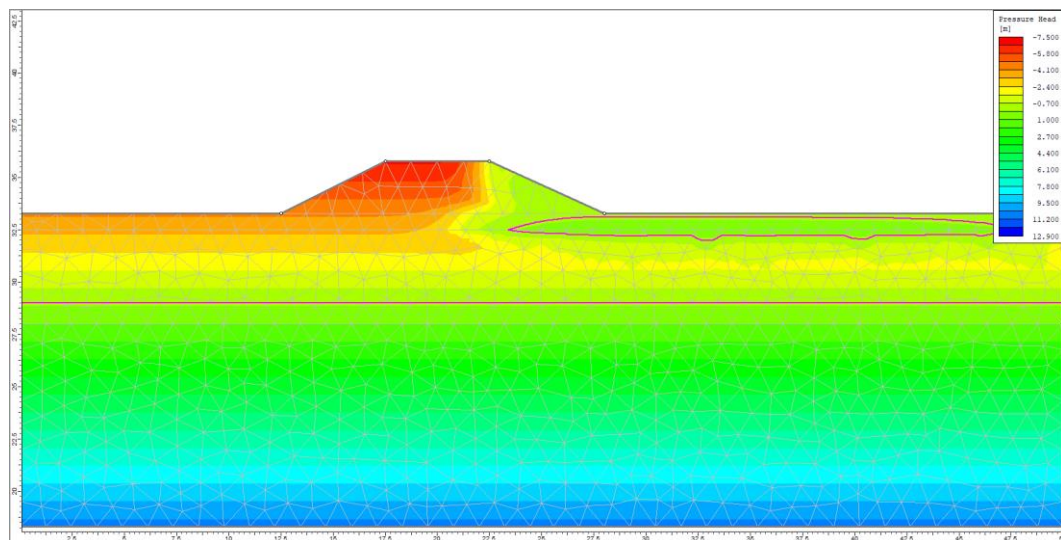


Figura 37 – Moto di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Le velocità di filtrazione all'interno del materiale costituente il rilevato arginale risultano accettabili in quanto nelle condizioni più critiche, cioè al tempo $t=96$ ore (fine piena), sono al massimo pari a circa 0,005 m/h, corrispondenti a circa $1,4 \cdot 10^{-4}$ cm/s (v. Figura 38).

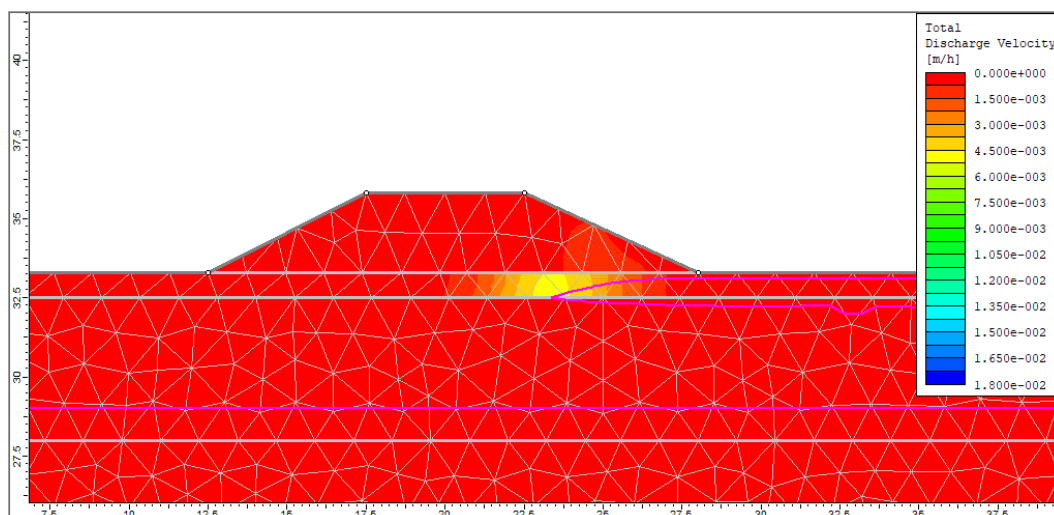


Figura 38 – Velocità di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Verifiche di stabilità

Si riportano di seguito i risultati dei calcoli di stabilità; quelli illustrati corrispondono alle condizioni più gravose, e cioè:

- Figura 39: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 40: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 41: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 42: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 43: lato fiume – verifiche in condizioni sismiche;
- Figura 44: lato campagna – verifiche in condizioni sismiche;

Nelle figure viene sempre riportata la superficie con FS minore (valore in verde); sono inoltre evidenziate (valori in nero) solo alcune delle superfici lungo cui è stato eseguito il calcolo, che si ritengono significative per la stabilità del pendio o di parti di esso.

Le verifiche riportate sono eseguite con parametri geotecnici in condizioni drenate e non drenate; si omettono i risultati ottenuti con la componente verticale dell'azione sismica orientata verso l'alto, in quanto generalmente meno conservativi.

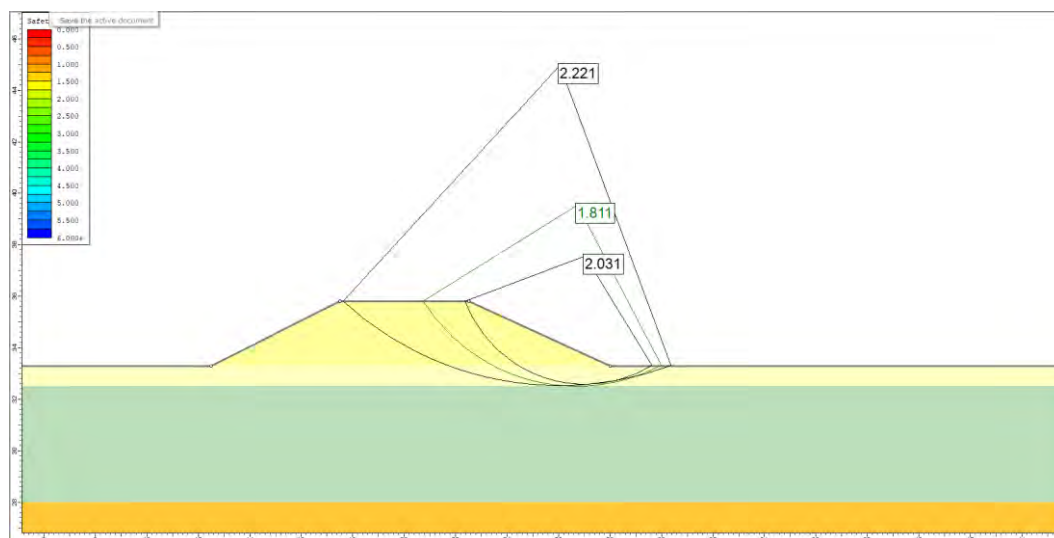


Figura 39 – Verifica di stabilità lato fiume, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

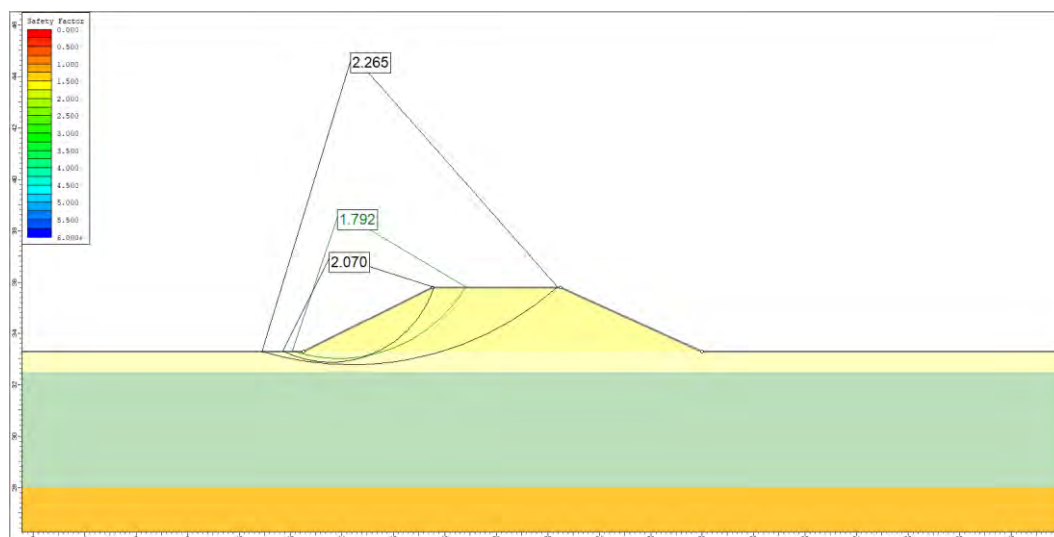


Figura 40 - Verifica di stabilità lato campagna, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

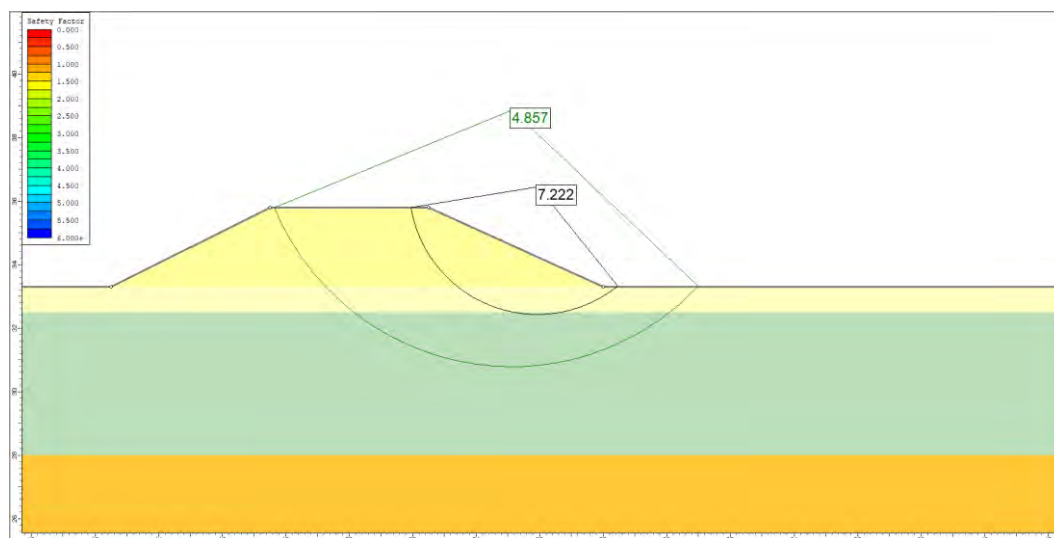


Figura 41 – Verifica di stabilità lato fiume, $t=96h$ (fine discesa), condizioni non drenate

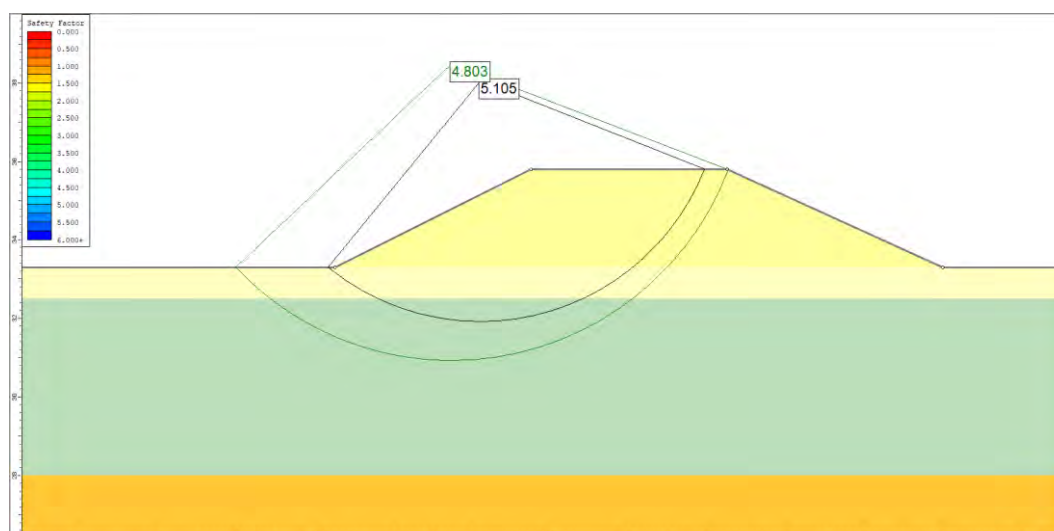


Figura 42 – Verifica di stabilità lato campagna, t=96h (fine discesa), condizioni non drenate

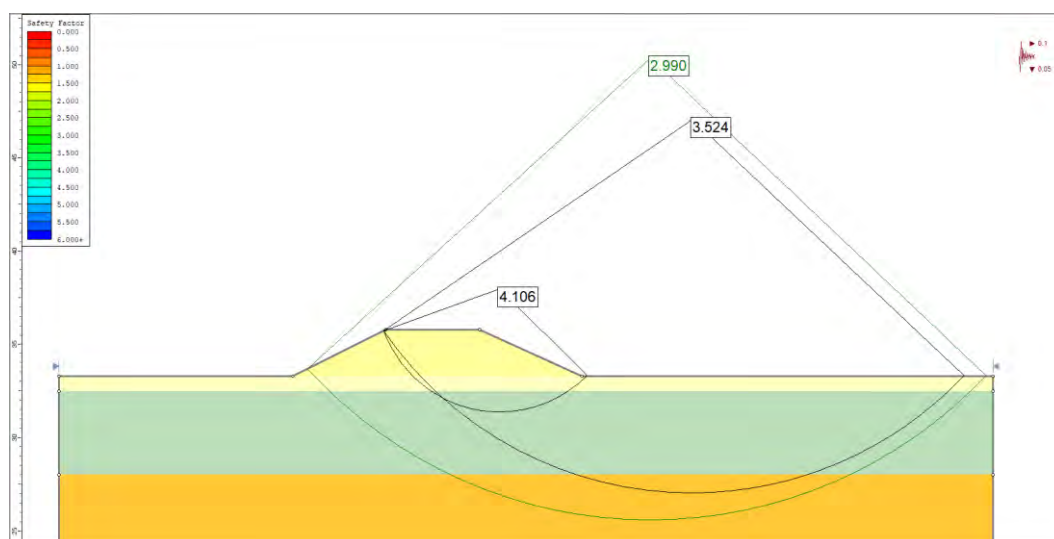


Figura 43 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato fiume

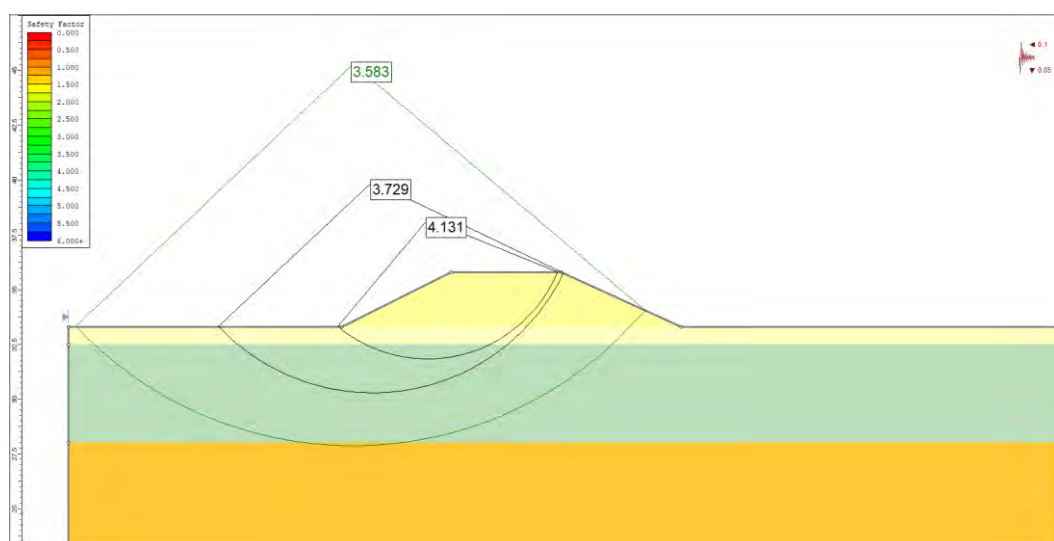


Figura 44 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato campagna

La Tabella 9 mostra infine un prospetto con il minimo valore del fattore di sicurezza ottenuto in tutte le condizioni analizzate.

| STATICA DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
|--------------------------------|--------|----------|------|-----------------------------------|--------|----------|------|
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 1,87 | 1,84 | 1,88 | 0 | 1,78 | 1,74 | 1,79 |
| 24 | 3,87 | 3,66 | 3,86 | 24 | 1,78 | 1,74 | 1,79 |
| 72 | 3,38 | 3,27 | 3,39 | 72 | 1,78 | 1,74 | 1,79 |
| 96 | 1,80 | 1,75 | 1,81 | 96 | 1,78 | 1,74 | 1,79 |
| 120 | 1,87 | 1,82 | 1,88 | 120 | 1,78 | 1,74 | 1,79 |
| 240 | 1,87 | 1,84 | 1,88 | 240 | 1,78 | 1,74 | 1,79 |
| STATICA NON DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA NON DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 4,85 | 4,98 | 4,86 | 0 | 4,80 | 4,93 | 4,80 |
| 24 | 7,98 | 8,01 | 7,98 | 24 | 4,80 | 4,93 | 4,80 |
| 72 | 7,98 | 8,01 | 7,98 | 72 | 4,80 | 4,93 | 4,80 |
| 96 | 4,85 | 4,98 | 4,86 | 96 | 4,80 | 4,93 | 4,80 |
| 120 | 4,85 | 4,98 | 4,86 | 120 | 4,80 | 4,93 | 4,80 |
| 240 | 4,85 | 4,98 | 4,86 | 240 | 4,80 | 4,93 | 4,80 |
| SISMICA LATO FIUME | | | | SISMICA LATO CAMPAGNA | | | |
| | Bishop | Janby c. | M&P | | Bishop | Janby c. | M&P |
| Sisma (+) | 2,99 | 3,11 | 2,99 | Sisma (+) | 3,58 | 3,73 | 3,58 |
| Sisma (-) | 3,76 | 3,91 | 3,76 | Sisma (-) | 3,11 | 3,23 | 3,11 |

Tabella 9 – Riepilogo dei risultati delle verifiche di stabilità

Il rapporto tra il valore di progetto delle azioni ed il valore della resistenza calcolata E_d/R è sempre maggiore di 1,1 in condizioni statiche e di 1,2 in condizioni sismiche (v. precedente § 4.8), pertanto le verifiche di stabilità globale del nuovo rilevato arginale sono soddisfatte.

8. TRATTO N. 4 - VERIFICHE DEL SOVRALZO DEL RILEVATO ARGINALE

Nel Tratto n. 4 è previsto il sovrалzo dell'argine esistente attraverso la formazione di un nuovo rilevato. La sezione in condizioni più gravose nei confronti della stabilità globale è la Sezione 47 di progetto, in cui l'altezza del nuovo rilevato, rispetto al piano campagna, è di circa 4,70 m.

8.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO

La sezione oggetto di verifica consiste nel ringrosso e nell'adeguamento in quota in un rilevato arginale non in froldo, realizzato su un piano campagna pressoché pianeggiante. Le pendenze delle scarpate del nuovo rilevato (h/v) sono di 2,2/1 lato fiume e 2,0/1 lato campagna; l'altezza del rilevato arginale è di 4,70 m rispetto al piano campagna lato fiume. La testa dell'argine, larga 5,00 m, è a quota 35,80 m s.l.m.; la falda in condizioni stazionarie all'inizio del calcolo di filtrazione è cautelativamente assunta a quota 29,00 m s.m.

La geometria di calcolo è riportata in Figura 45. La numerazione dei livelli indicata in figura è coerente con la caratterizzazione geotecnica indicata al precedente § 3. Il fiume Panaro si trova sulla destra guardando la sezione.

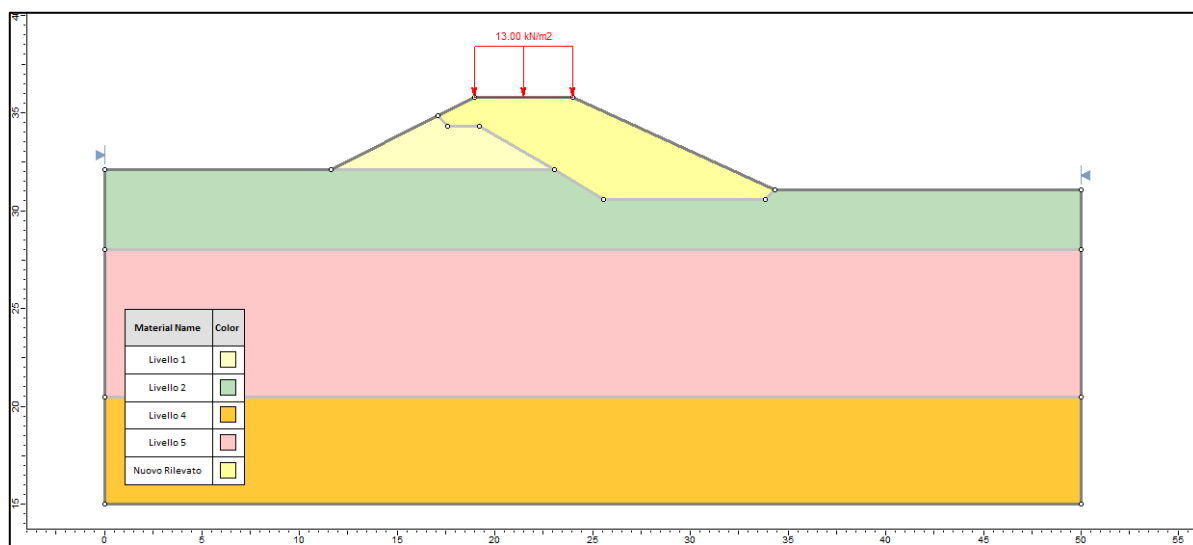


Figura 45 – Geometria di calcolo

8.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Moto di filtrazione

Si riportano i risultati dei calcoli del moto di filtrazione in regime transitorio, avendo imposto

42

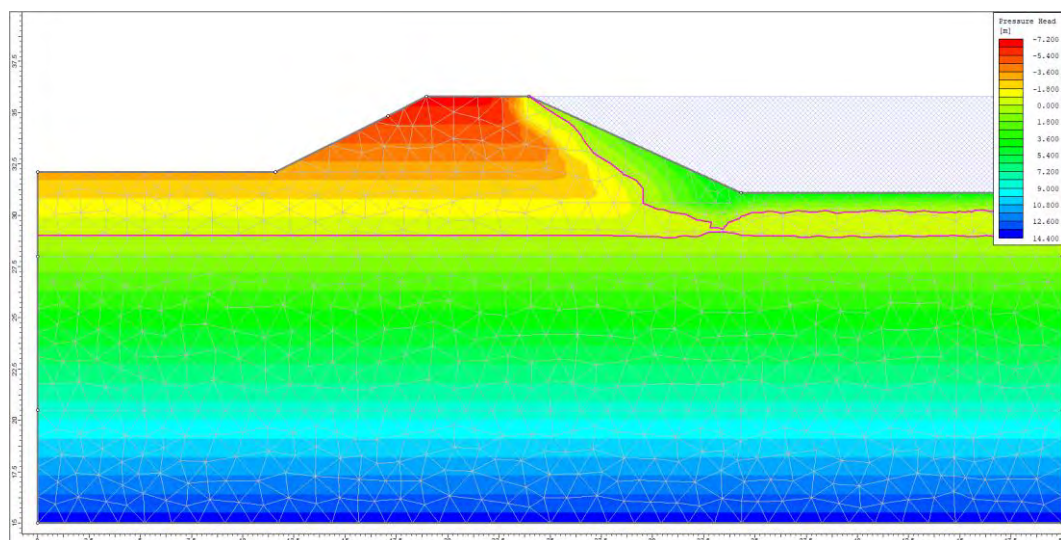


Figura 48 – Moto di filtrazione – t=72h (inizio discesa)

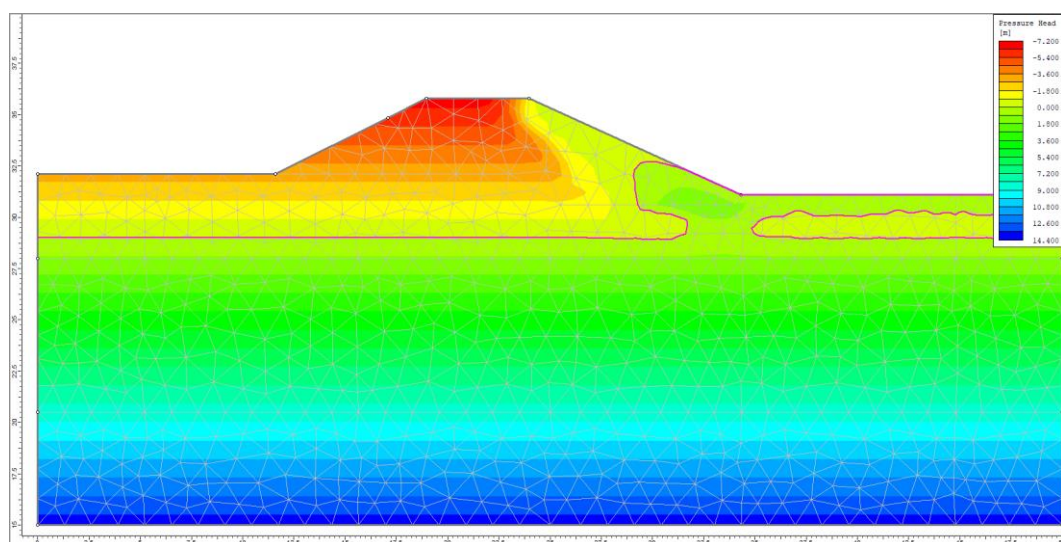


Figura 49 – Moto di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Le velocità di filtrazione all'interno del materiale costituente il rilevato arginale risultano accettabili in quanto nelle condizioni più critiche, cioè al tempo t=96 ore (fine piena), sono al massimo pari a circa 0,001 m/h, corrispondenti a circa $2,8 \cdot 10^{-5}$ cm/s (v. Figura 50).

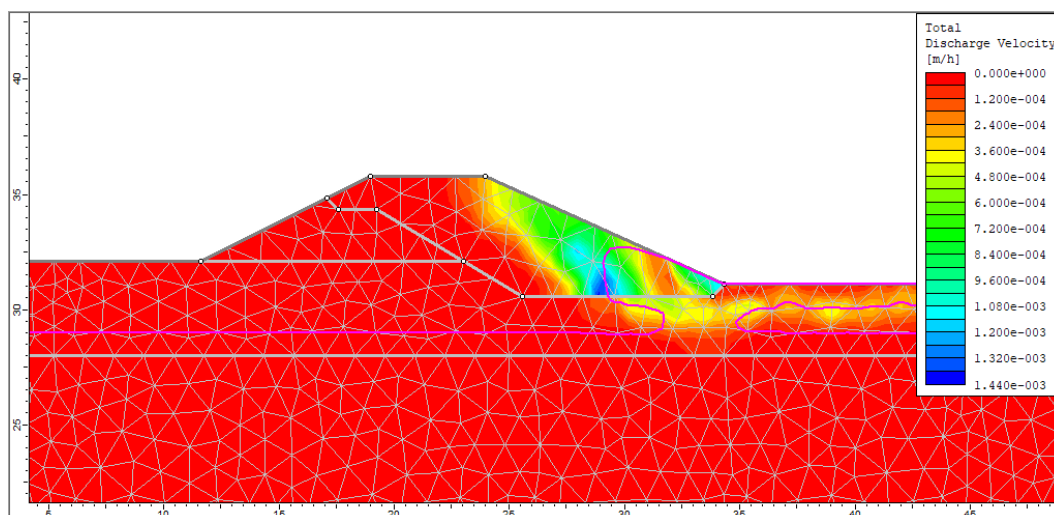


Figura 50 – Velocità di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Verifiche di stabilità

Si riportano di seguito i risultati dei calcoli di stabilità; quelli illustrati corrispondono alle condizioni più gravose, e cioè:

- Figura 51: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 52: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 53: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 54: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 55: lato fiume – verifiche in condizioni sismiche;
- Figura 56: lato campagna – verifiche in condizioni sismiche;

Nelle figure viene sempre riportata la superficie con FS minore (valore in verde); sono inoltre evidenziate (valori in nero) solo alcune delle superfici lungo cui è stato eseguito il calcolo, che si ritengono significative per la stabilità del pendio o di parti di esso.

Le verifiche riportate sono eseguite con parametri geotecnici in condizioni drenate e non drenate; si omettono i risultati ottenuti con la componente verticale dell'azione sismica orientata verso l'alto, in quanto generalmente meno conservativi.

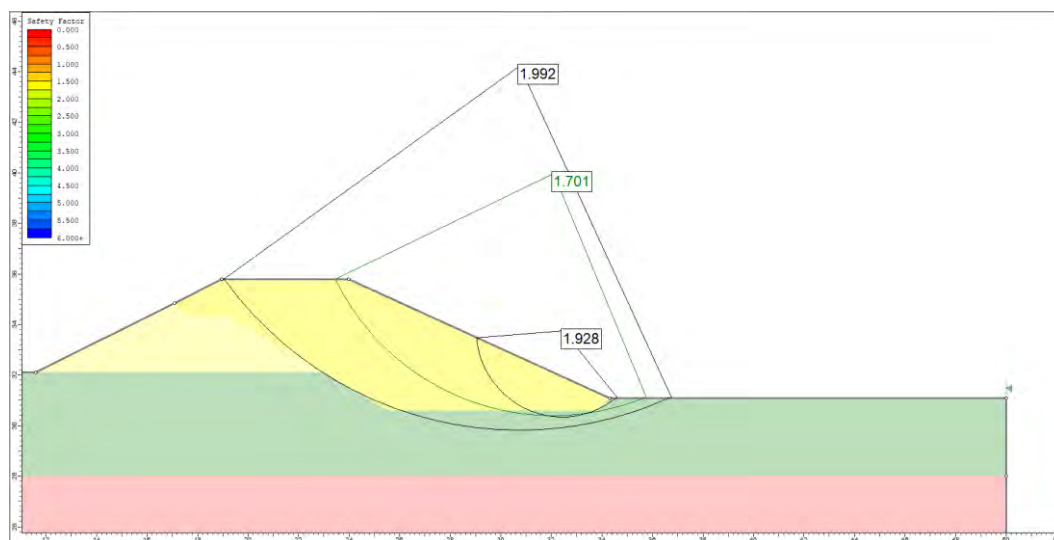


Figura 51 – Verifica di stabilità lato fiume, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

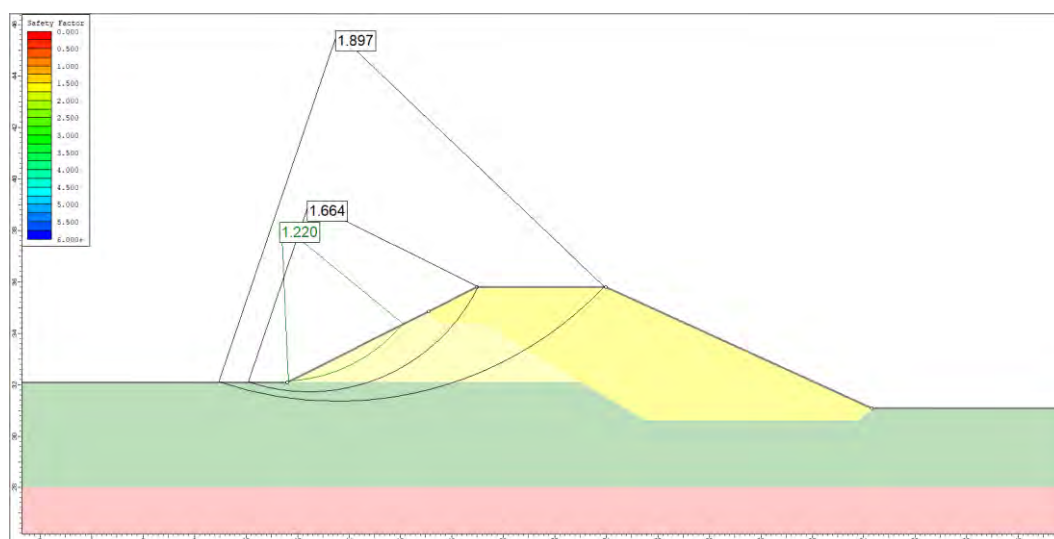


Figura 52 - Verifica di stabilità lato campagna, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

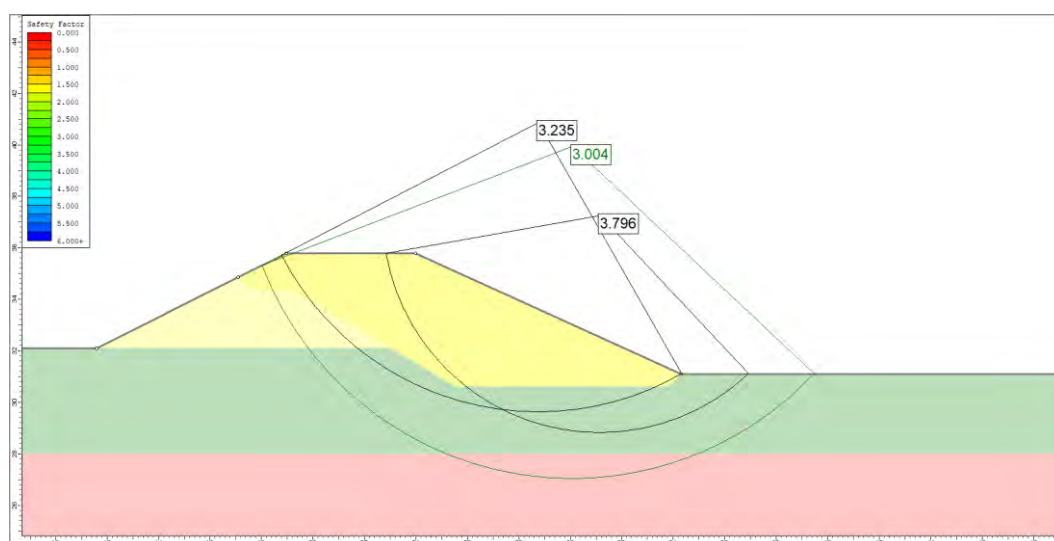


Figura 53 – Verifica di stabilità lato fiume, $t=96h$ (fine discesa), condizioni non drenate

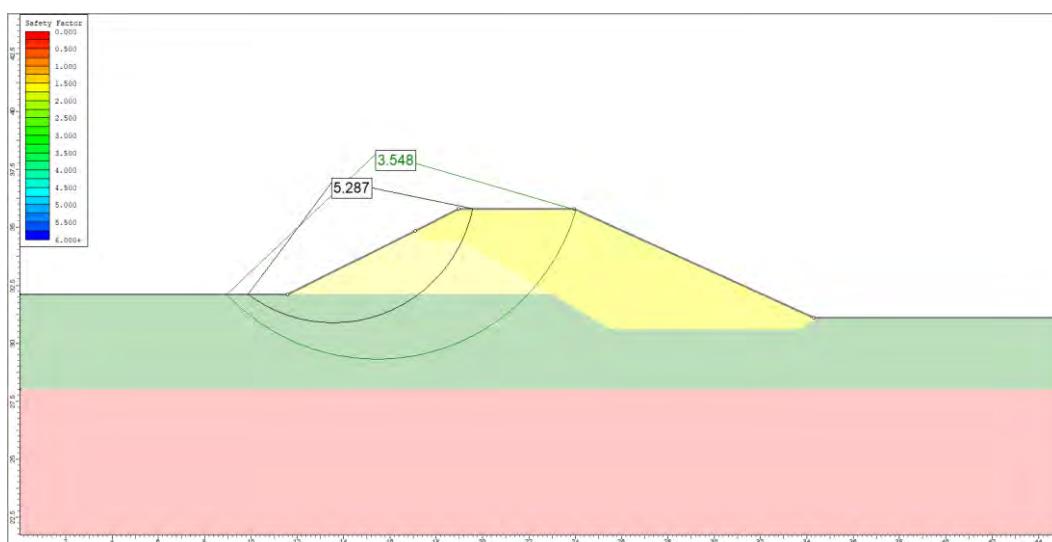


Figura 54 – Verifica di stabilità lato campagna, t=96h (fine discesa), condizioni non drenate

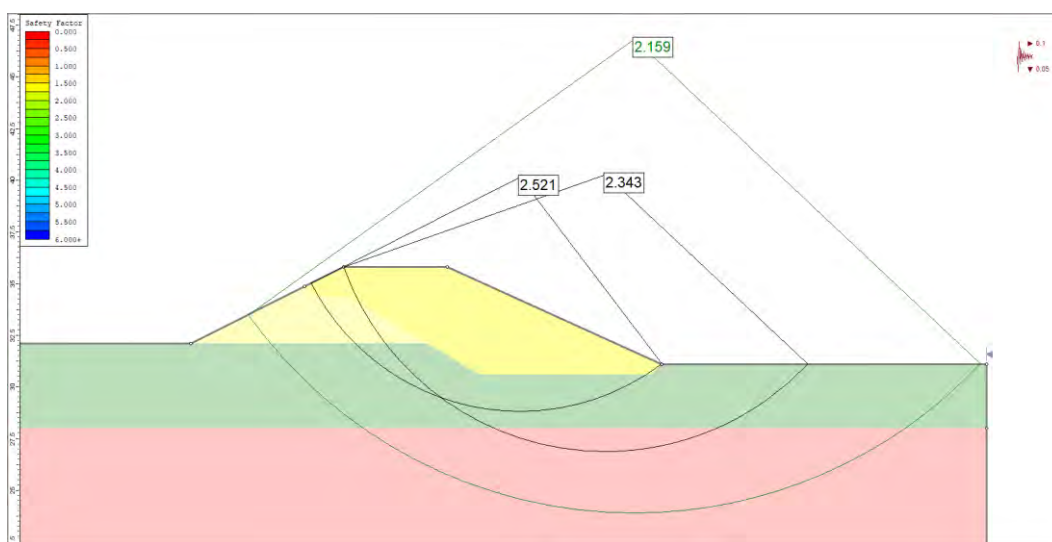


Figura 55 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato fiume

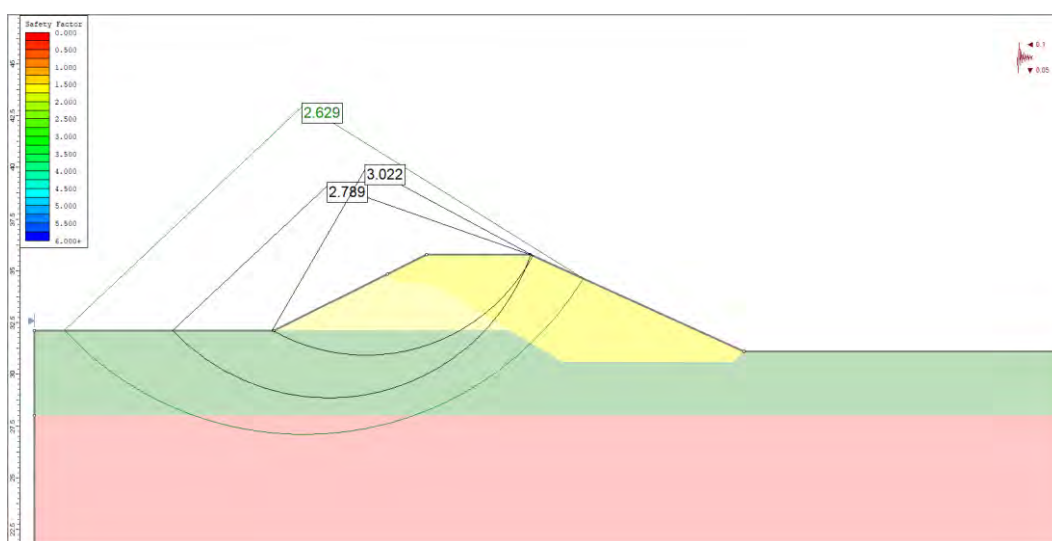


Figura 56 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato campagna

La Tabella 10 mostra infine un prospetto con il minimo valore del fattore di sicurezza ottenuto in tutte le condizioni analizzate.

| STATICA DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
|--------------------------------|--------|----------|------|-----------------------------------|--------|----------|------|
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 1,90 | 1,88 | 1,90 | 0 | 1,22 | 1,20 | 1,22 |
| 24 | 5,57 | 5,35 | 5,57 | 24 | 1,22 | 1,20 | 1,22 |
| 72 | 5,19 | 5,08 | 5,18 | 72 | 1,22 | 1,20 | 1,22 |
| 96 | 1,70 | 1,71 | 1,70 | 96 | 1,22 | 1,20 | 1,22 |
| 120 | 1,79 | 1,78 | 1,79 | 120 | 1,22 | 1,20 | 1,22 |
| 240 | 1,83 | 1,81 | 1,83 | 240 | 1,22 | 1,20 | 1,22 |
| STATICA NON DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA NON DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 3,00 | 3,17 | 3,00 | 0 | 3,55 | 3,69 | 3,55 |
| 24 | 5,53 | 5,67 | 5,53 | 24 | 3,55 | 3,69 | 3,55 |
| 72 | 5,53 | 5,67 | 5,53 | 72 | 3,55 | 3,69 | 3,55 |
| 96 | 3,01 | 3,17 | 3,00 | 96 | 3,55 | 3,69 | 3,55 |
| 120 | 3,01 | 3,17 | 3,00 | 120 | 3,55 | 3,69 | 3,55 |
| 240 | 3,01 | 3,17 | 3,00 | 240 | 3,55 | 3,69 | 3,55 |
| SISMICA LATO FIUME | | | | SISMICA LATO CAMPAGNA | | | |
| | Bishop | Janby c. | M&P | | Bishop | Janby c. | M&P |
| Sisma (+) | 2,16 | 2,23 | 2,16 | Sisma (+) | 2,63 | 2,70 | 2,63 |
| Sisma (-) | 2,29 | 2,36 | 2,29 | Sisma (-) | 2,80 | 2,87 | 2,80 |

Tabella 10 – Riepilogo dei risultati delle verifiche di stabilità

Il rapporto tra il valore di progetto delle azioni ed il valore della resistenza calcolata E_d/R è sempre maggiore di 1,1 in condizioni statiche e di 1,2 in condizioni sismiche (v. precedente § 4.8), pertanto le verifiche di stabilità globale del nuovo rilevato arginale sono soddisfatte.

9. TRATTO N. 6 - VERIFICHE DEL SOVRALZO DEL RILEVATO ARGINALE

Nel Tratto n. 6 è previsto il sovrалzo dell'argine esistente attraverso la formazione di un nuovo rilevato. La sezione in condizioni più gravose nei confronti della stabilità globale è la Sezione 93 di progetto, in cui l'altezza del nuovo rilevato, rispetto al piano campagna, è di circa 3,50 m lato fiume e 2,85 m lato campagna.

9.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO

La sezione oggetto di verifica consiste nel ringrosso e nell'adeguamento in quota in un rilevato arginale non in froldo, realizzato su un piano campagna pressoché pianeggiante. Le pendenze delle scarpate del nuovo rilevato (h/v) sono di 2,2/1 lato fiume e 2,0/1 lato campagna; l'altezza del rilevato arginale è di 3,50 m lato fiume e 2,85 m lato campagna. La testa dell'argine, larga 5,00 m, è a quota 35,80 m s.l.m.; la falda in condizioni stazionarie all'inizio del calcolo di filtrazione è cautelativamente assunta a quota 29,00 m s.m.

La geometria di calcolo è riportata in Figura 57. La numerazione dei livelli indicata in figura è coerente con la caratterizzazione geotecnica indicata al precedente § 3. Il fiume Panaro si trova sulla destra guardando la sezione.

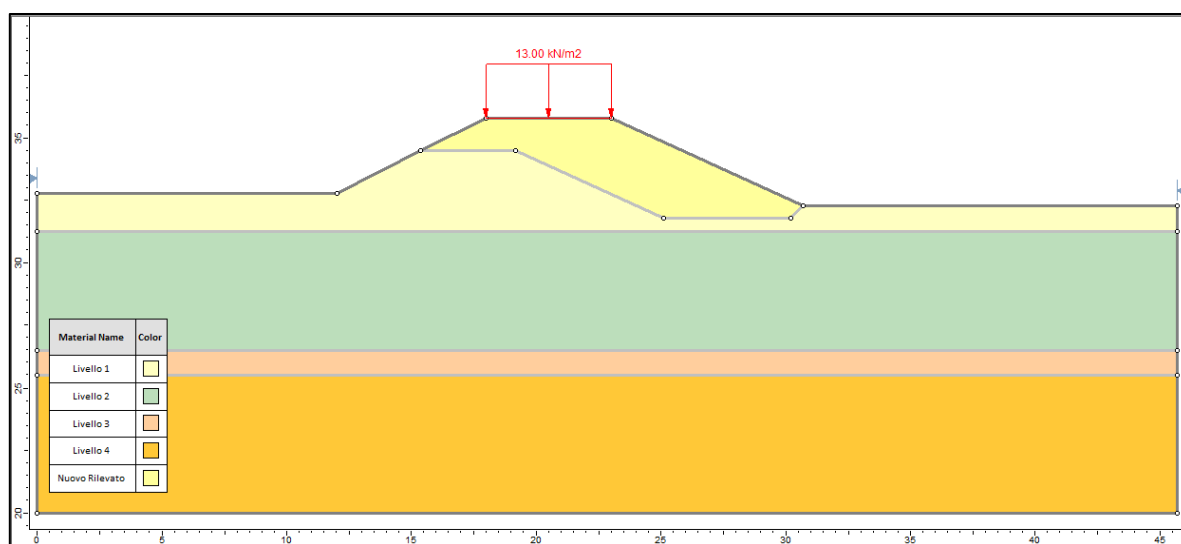


Figura 57 – Geometria di calcolo

9.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Moto di filtrazione

Si riportano i risultati dei calcoli del moto di filtrazione in regime transitorio, avendo imposto una variazione del livello del Panaro come indicato al precedente § 4.4 (piena di progetto): da Figura 58 a Figura 61 sono rappresentati i contour delle pressioni calcolate nelle quattro differenti fasi: ad inizio piena ($t=0h$), alla fine della salita ($t=24h$), all'inizio della discesa ($t=72h$) ed alla fine della discesa ($t=96h$).

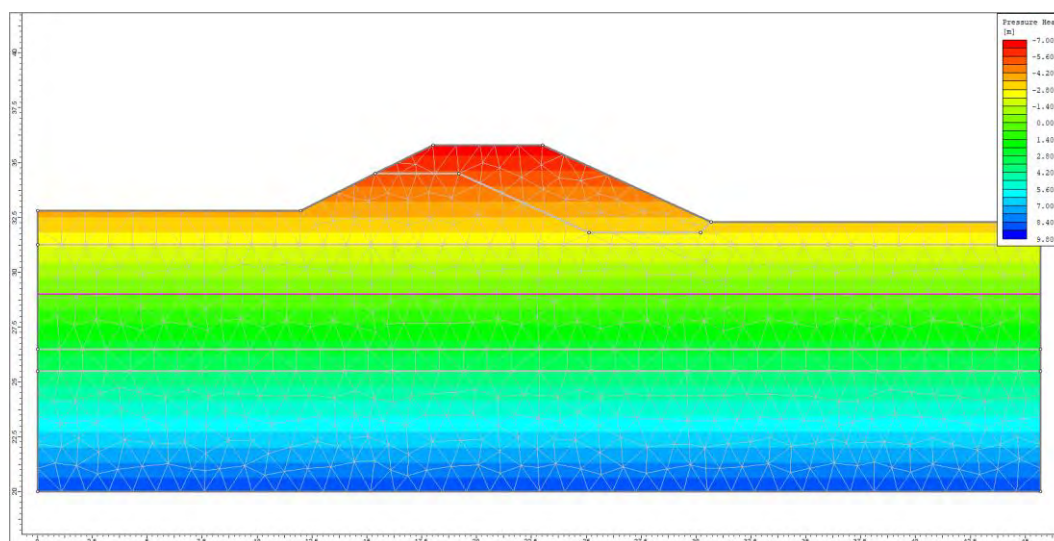


Figura 58 – Moto di filtrazione – $t=0h$ (regime stazionario ad inizio piena)

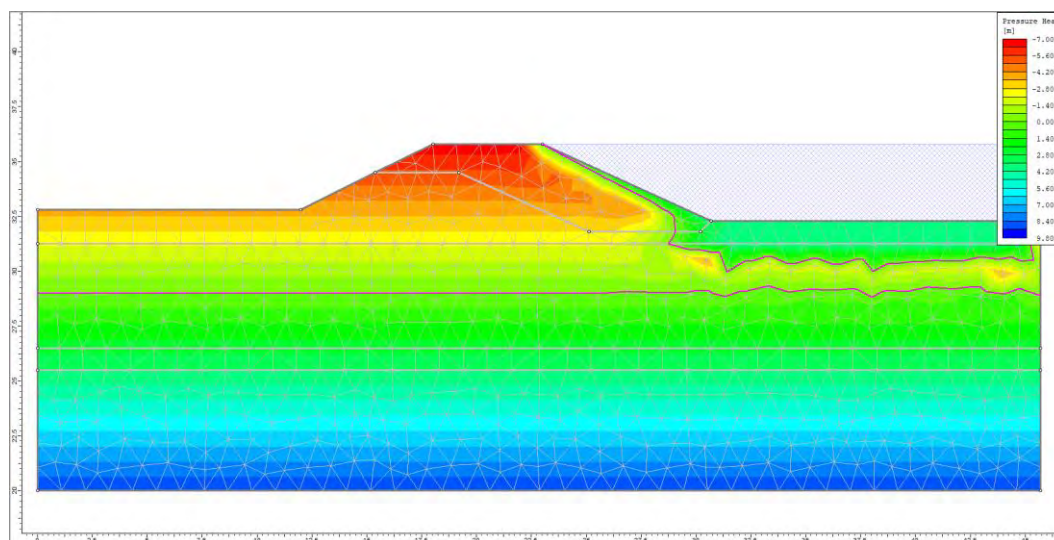
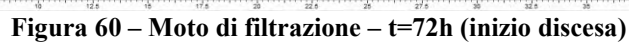


Figura 59 – Moto di filtrazione – $t=24h$ (fine salita)



50

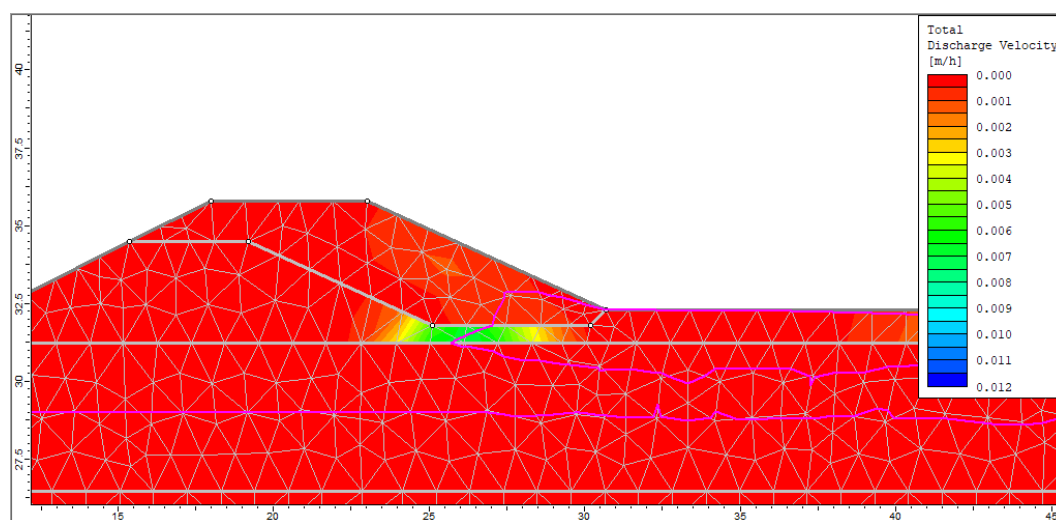


Figura 62 – Velocità di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Verifiche di stabilità

Si riportano di seguito i risultati dei calcoli di stabilità; quelli illustrati corrispondono alle condizioni più gravose, e cioè:

- Figura 63: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 64: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 65: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 66: lato campagna – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 67: lato fiume – verifiche in condizioni sismiche;
- Figura 68: lato campagna – verifiche in condizioni sismiche;

Nelle figure viene sempre riportata la superficie con FS minore (valore in verde); sono inoltre evidenziate (valori in nero) solo alcune delle superfici lungo cui è stato eseguito il calcolo, che si ritengono significative per la stabilità del pendio o di parti di esso.

Le verifiche riportate sono eseguite con parametri geotecnici in condizioni drenate e non drenate; si omettono i risultati ottenuti con la componente verticale dell'azione sismica orientata verso l'alto, in quanto generalmente meno conservativi.

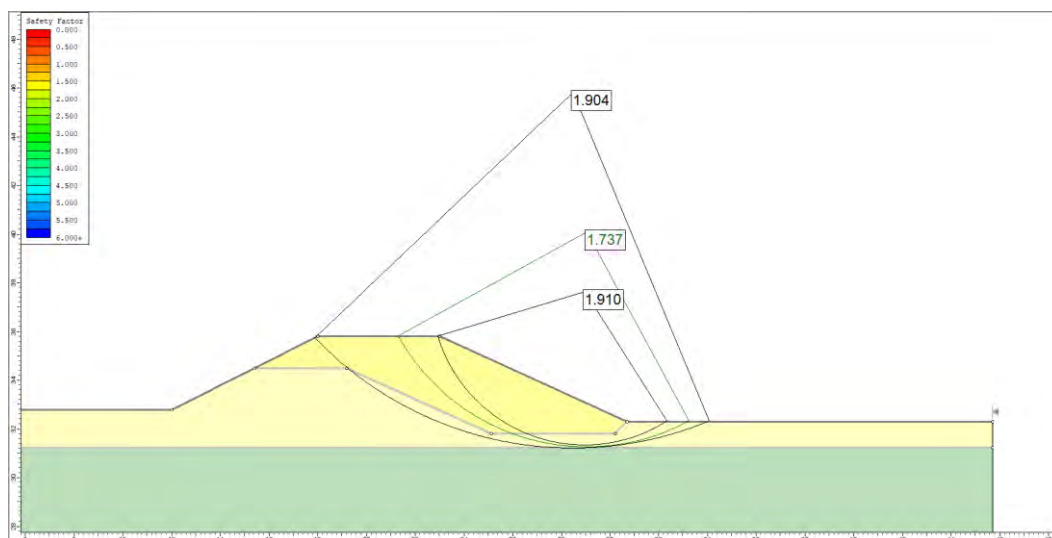


Figura 63 – Verifica di stabilità lato fiume, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

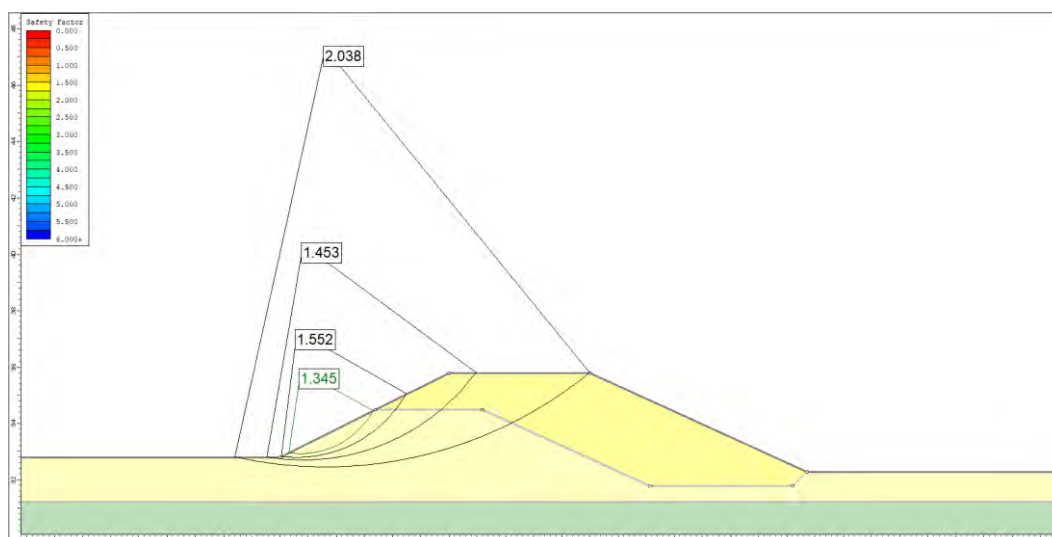


Figura 64 – Verifica di stabilità lato campagna, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

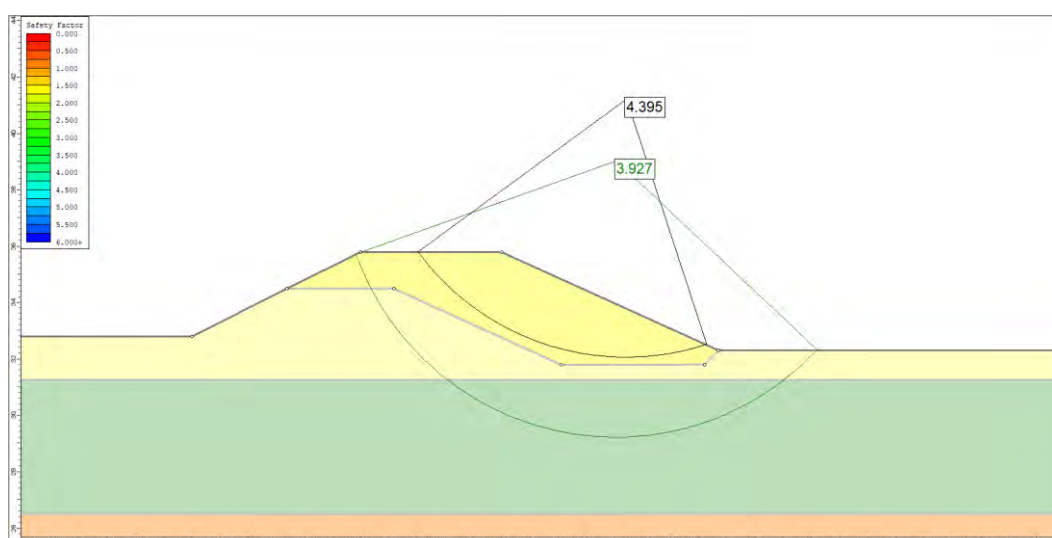


Figura 65 – Verifica di stabilità lato fiume, $t=96h$ (fine discesa), condizioni non drenate

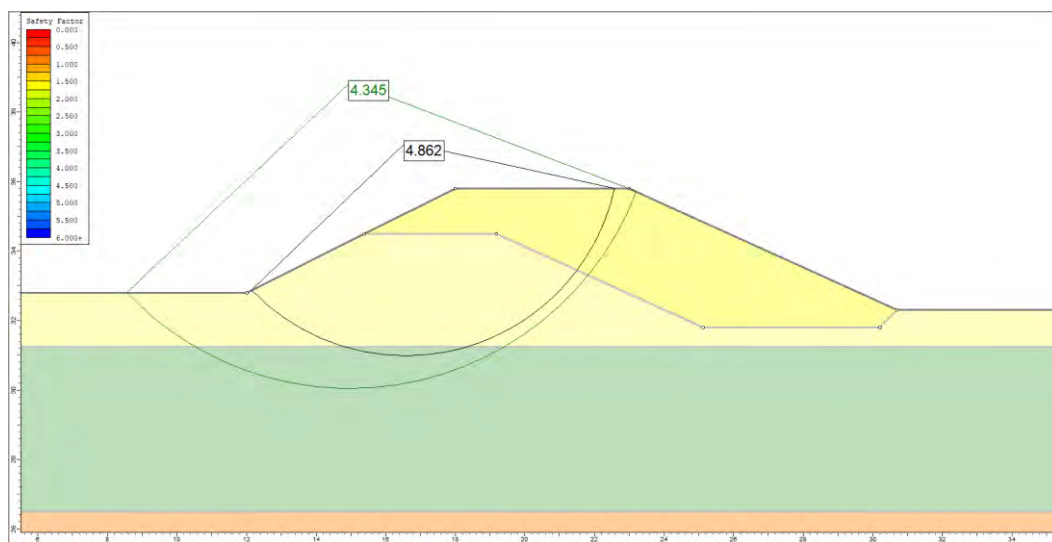


Figura 66 – Verifica di stabilità lato campagna, $t=96h$ (fine discesa), condizioni non drenate

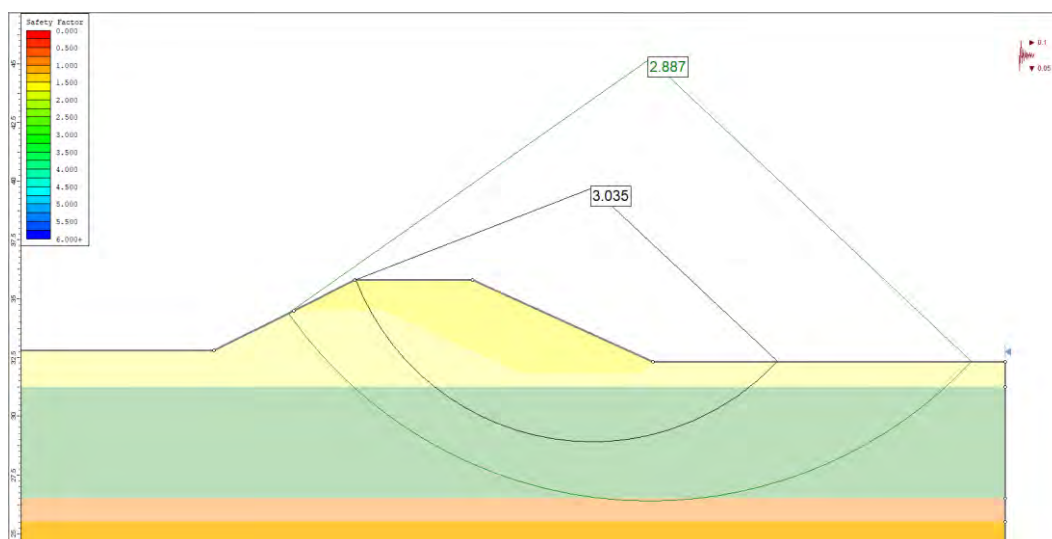


Figura 67 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato fiume

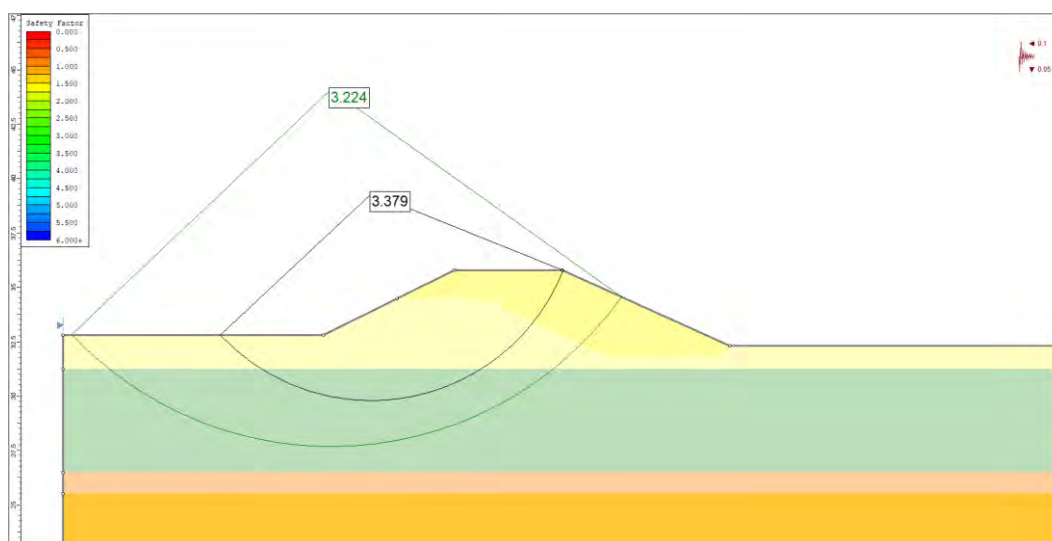


Figura 68 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato campagna

La Tabella 11 mostra infine un prospetto con il minimo valore del fattore di sicurezza ottenuto in tutte le condizioni analizzate.

| STATICA DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
|--------------------------------|--------|----------|------|-----------------------------------|--------|----------|------|
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 1,88 | 1,82 | 1,89 | 0 | 1,35 | 1,28 | 1,35 |
| 24 | 4,05 | 3,85 | 4,04 | 24 | 1,35 | 1,28 | 1,35 |
| 72 | 3,71 | 3,55 | 3,70 | 72 | 1,35 | 1,28 | 1,35 |
| 96 | 1,73 | 1,68 | 1,74 | 96 | 1,35 | 1,28 | 1,35 |
| 120 | 1,82 | 1,76 | 1,82 | 120 | 1,35 | 1,28 | 1,35 |
| 240 | 1,88 | 1,81 | 1,89 | 240 | 1,35 | 1,28 | 1,35 |
| STATICA NON DRENATA LATO FIUME | | | | STATICA NON DRENATA LATO CAMPAGNA | | | |
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P | t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 3,93 | 4,09 | 3,93 | 0 | 4,35 | 4,48 | 4,35 |
| 24 | 6,87 | 6,98 | 6,87 | 24 | 4,35 | 4,48 | 4,35 |
| 72 | 6,87 | 6,98 | 6,87 | 72 | 4,35 | 4,48 | 4,35 |
| 96 | 3,93 | 4,09 | 3,93 | 96 | 4,35 | 4,48 | 4,35 |
| 120 | 3,93 | 4,09 | 3,93 | 120 | 4,35 | 4,48 | 4,35 |
| 240 | 3,93 | 4,09 | 3,93 | 240 | 4,35 | 4,48 | 4,35 |
| SISMICA LATO FIUME | | | | SISMICA LATO CAMPAGNA | | | |
| | Bishop | Janby c. | M&P | | Bishop | Janby c. | M&P |
| Sisma (+) | 2,88 | 2,88 | 2,89 | Sisma (+) | 3,23 | 3,32 | 3,22 |
| Sisma (-) | 2,99 | 3,00 | 2,99 | Sisma (-) | 3,41 | 3,50 | 3,41 |

Tabella 11 – Riepilogo dei risultati delle verifiche di stabilità

Il rapporto tra il valore di progetto delle azioni ed il valore della resistenza calcolata E_d/R è sempre maggiore di 1,1 in condizioni statiche e di 1,2 in condizioni sismiche (v. precedente § 4.8), pertanto le verifiche di stabilità globale del nuovo rilevato arginale sono soddisfatte.

10. TRATTO N. 7 - VERIFICHE DEL COMPLESSO FONDAZIONE-TERRENO DEL NUOVO MURO ARGINALE

Nel Tratto n. 7 è previsto l'adeguamento in quota di un muro in calcestruzzo esistente sulla sommità dell'argine del Fiume Tiepido, mediante la realizzazione di una struttura in c.a. ad esso collegata.

Le verifiche di tipo geotecnico di stabilità globale del manufatto (scorrimento, ribaltamento, capacità portante) sono riportate, per comodità di lettura, insieme alle verifiche di tipo strutturale nell'Allegato A.6 del presente progetto ("Relazione sismica e delle strutture").

Nel seguito vengono pertanto riportate solamente l'analisi del moto di filtrazione e le verifiche di stabilità globale del complesso opera-fondazione.

10.1 GEOMETRIA DELLA SEZIONE DI CALCOLO

La geometria di calcolo è riportata in Figura 69. La numerazione dei livelli indicata in figura è coerente con la caratterizzazione geotecnica indicata al precedente § 3. Il fiume Panaro si trova sulla destra guardando la sezione.

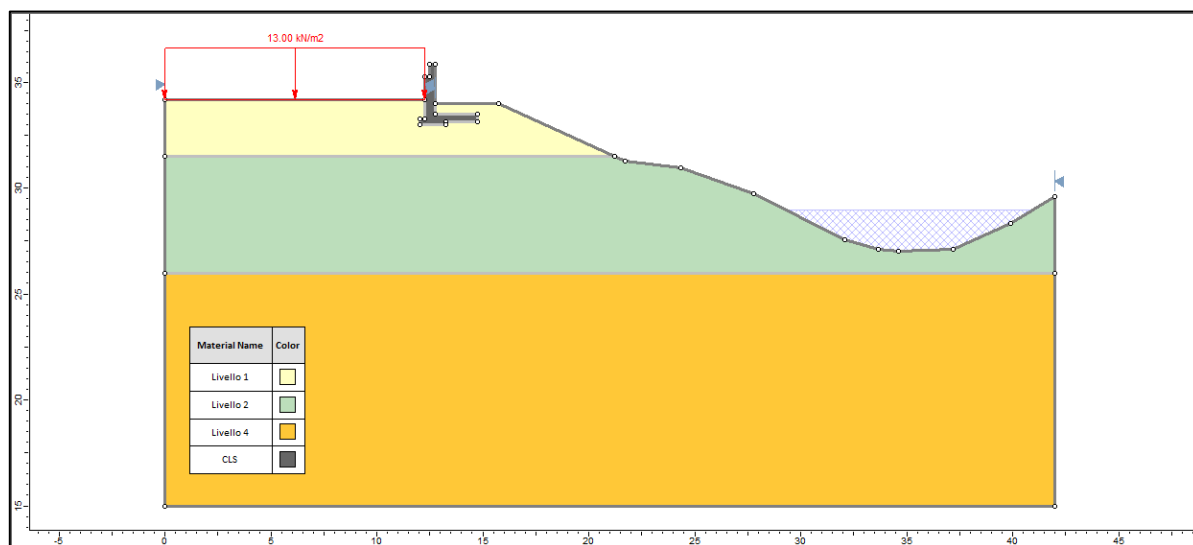


Figura 69 – Geometria di calcolo

10.2 VERIFICHE DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Moto di filtrazione

Si riportano i risultati dei calcoli del moto di filtrazione in regime transitorio, avendo imposto una variazione del livello del Panaro come indicato al precedente § 4.4 (piena di progetto): da

56

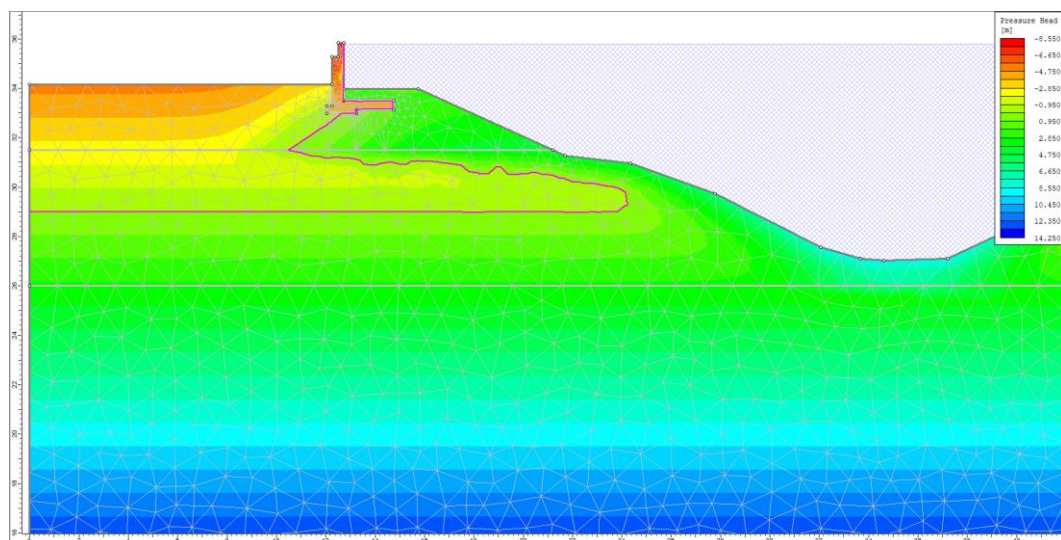


Figura 72 – Moto di filtrazione – t=72h (inizio discesa)

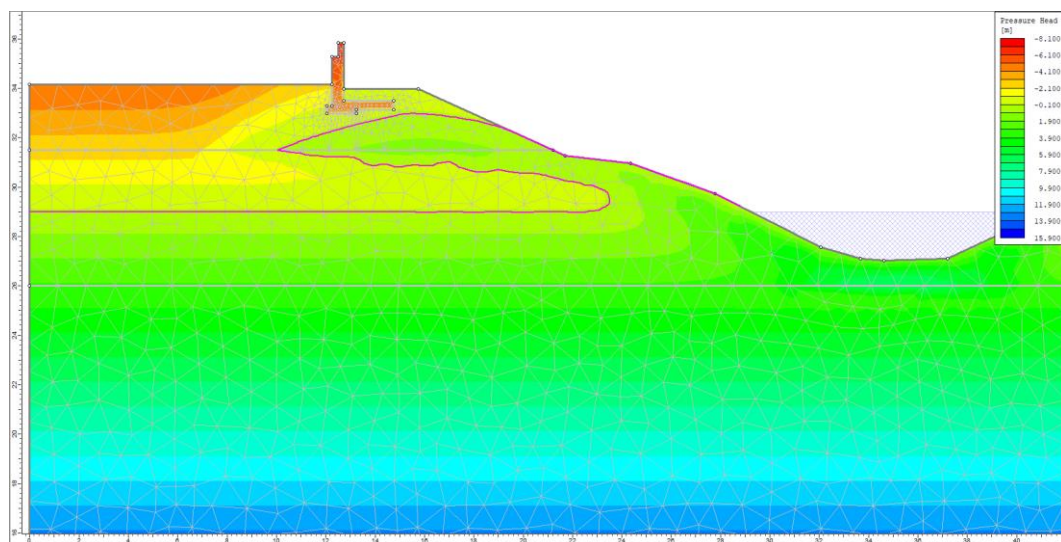


Figura 73 – Moto di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Le velocità di filtrazione all'interno del materiale costituente il rilevato arginale risultano accettabili in quanto nelle condizioni più critiche, cioè al tempo t=96 ore (fine piena), sono al massimo pari a circa 0,01 m/h, corrispondenti a circa $2,8 \cdot 10^{-4}$ cm/s (v. Figura 74).

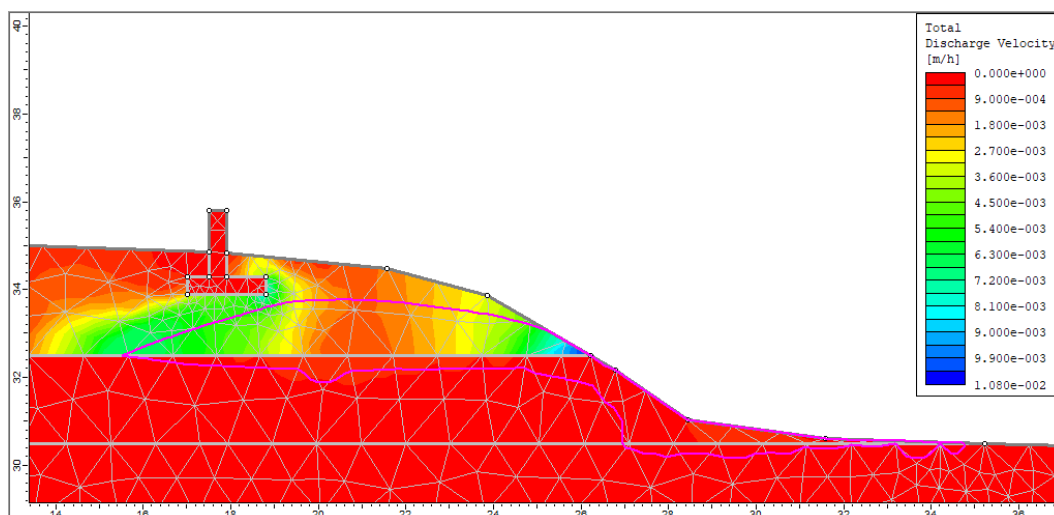


Figura 74 – Velocità di filtrazione – t=96h (fine discesa)

Verifiche di stabilità

Si riportano di seguito i risultati dei calcoli di stabilità; quelli illustrati corrispondono alle condizioni più gravose, e cioè:

- Figura 75: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni drenate;
- Figura 76: lato fiume – verifiche in corrispondenza dell'istante di fine piena, condizioni non drenate;
- Figura 77: lato fiume – verifiche in condizioni sismiche;

Nelle figure viene sempre riportata la superficie con FS minore (valore in verde); sono inoltre evidenziate (valori in nero) solo alcune delle superfici lungo cui è stato eseguito il calcolo, che si ritengono significative per la stabilità del pendio o di parti di esso.

Le verifiche riportate sono eseguite con parametri geotecnici in condizioni drenate e non drenate; si omettono i risultati ottenuti con la componente verticale dell'azione sismica orientata verso l'alto, in quanto generalmente meno conservativi.

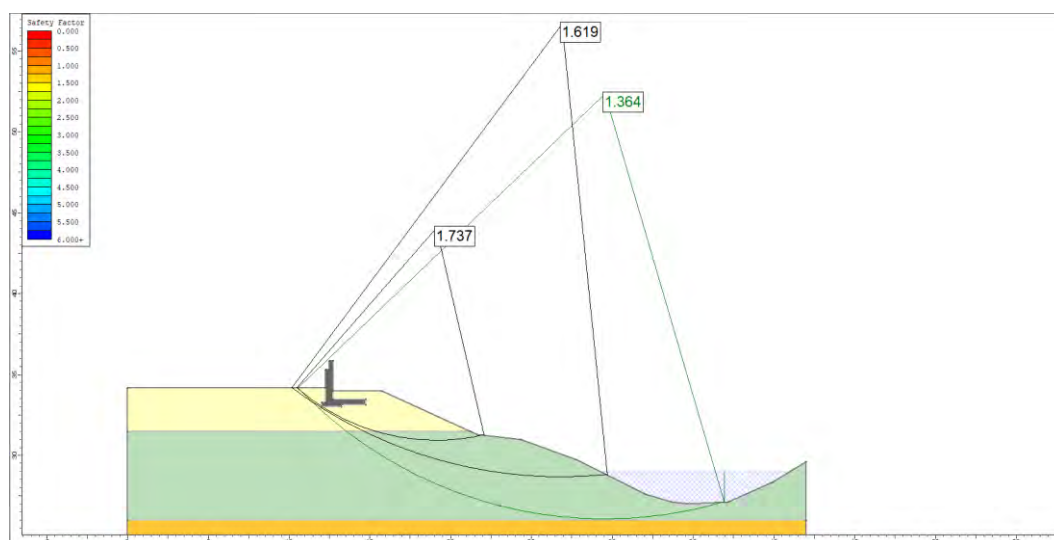


Figura 75 – Verifica di stabilità, $t=96h$ (fine discesa), condizioni drenate

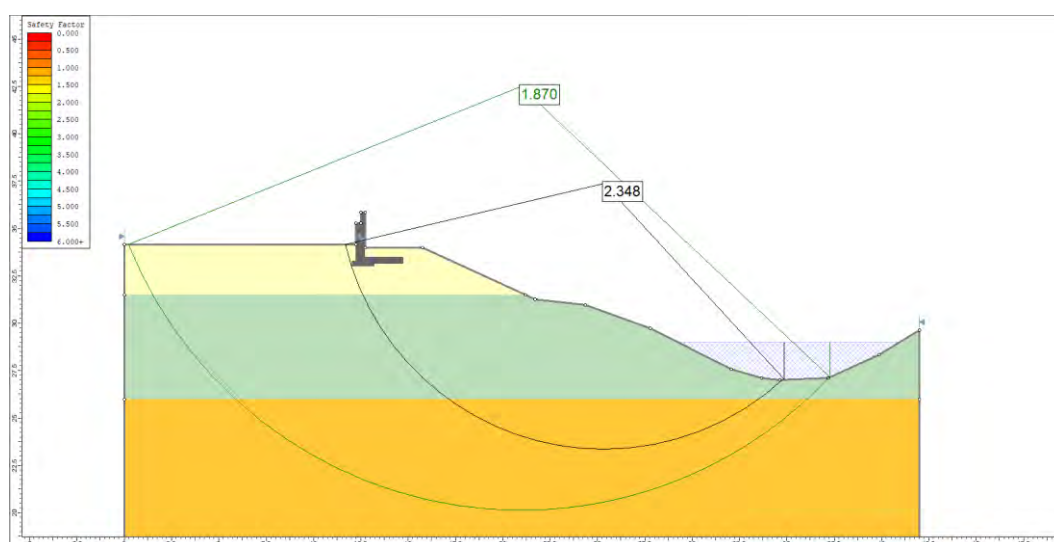


Figura 76 – Verifica di stabilità, $t=96h$ (fine discesa), condizioni non drenate

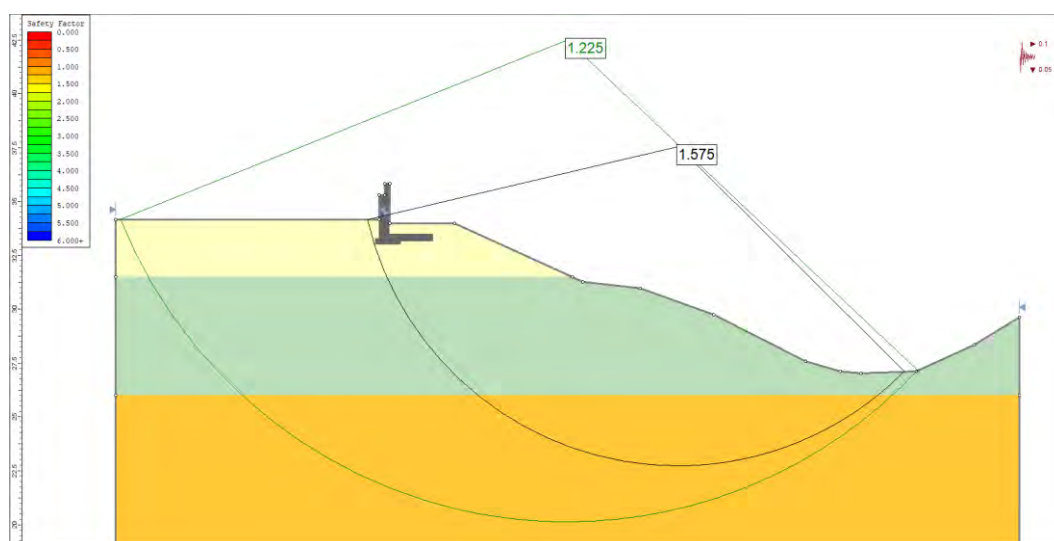


Figura 77 – Verifica di stabilità in condizioni sismiche lato fiume

La **Tabella 12** mostra infine un prospetto con il minimo valore del fattore di sicurezza ottenuto in tutte le condizioni analizzate.

| STATICA DRENATA LATO FIUME | | | |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|----------------|
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 1,52 | 1,49 | 1,52 |
| 24 | 4,90 | 4,62 | 4,88 |
| 72 | 4,81 | 4,54 | 4,78 |
| 96 | 1,38 | 1,38 | 1,36 |
| 120 | 1,37 | 1,38 | 1,36 |
| 240 | 1,42 | 1,42 | 1,42 |
| STATICA NON DRENATA LATO FIUME | | | |
| t (ore) | Bishop | Janby c. | M&P |
| 0 | 1,87 | 2,01 | 1,87 |
| 24 | 4,06 | 4,59 | 4,07 |
| 72 | 4,06 | 4,59 | 4,07 |
| 96 | 1,87 | 2,01 | 1,87 |
| 120 | 1,87 | 2,01 | 1,87 |
| 240 | 1,87 | 2,01 | 1,87 |
| SISMICA LATO FIUME | | | |
| | Bishop | Janby c. | M&P |
| Sisma (+) | 1,23 | 1,30 | 1,23 |
| Sisma (-) | 1,23 | 1,30 | 1,23 |

Tabella 12 – Riepilogo dei risultati delle verifiche di stabilità

Il rapporto tra il valore di progetto delle azioni ed il valore della resistenza calcolata E_d/R è sempre maggiore di 1,1 in condizioni statiche e di 1,2 in condizioni sismiche (v. precedente § 4.8), pertanto le verifiche di stabilità globale del nuovo rilevato arginale sono soddisfatte.

Milano, novembre 2020

I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Dott. Ing. Stefano Croci

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

Dott. Geol. Gian Marco Orlandi

A+C_ARCHITETTURA E CITTA' STUDIO ASSOCIATO

Arch. Paola Cavallini

A TUTTO PROGETTO – STUDIO ASSOCIATO DEI GEOMETRI PAOLO MASSARA E
FILIPPO BELLONI SOCIETA' SEMPLICE

Geom. Paolo Massara

SAP SOCIETA' ARCHEOLOGICA S.R.L.

Dott. Alberto Manicardi