

AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA

Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma

MO-E-1357 – ADEGUAMENTO DEI MANUFATTI DI REGOLAZIONE E SFIORO DELLA CASSA DI ESPANSIONE DEL FIUME SECCHIA COMPRESIVO DELLA PREDISPOSIZIONE DELLA POSSIBILITÀ DI REGOLAZIONE IN SITUAZIONI EMERGENZIALI ANCHE PER PIENE ORDINARIE IN RELAZIONE ALLA CAPACITÀ DI DEFLUSSO DEL TRATTO ARGINATO (EX CODICE 10969) E AVVIO DELL'ADEGUAMENTO IN QUOTA E POTENZIAMENTO STRUTTURALE DEI RILEVATI ARGINALI DEL SISTEMA CASSA ESPANSIONE ESISTENTE

**MO-E-1273 – LAVORI DI AMPLIAMENTO E ADEGUAMENTO DELLA CASSA DI ESPANSIONE DEL FIUME SECCHIA NEL COMUNE DI RUBIERA (RE)
(ACCORDO DI PROGRAMMA MINISTERO – RER – PARTE A)**

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE SULLE VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE ARGINATURE

IL RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI:

CAPOGRUPPO MANDATARIA
PROGETTAZIONE GENERALE – INGEGNERIA IDRAULICA E STRUTTURALE



DIZETA INGEGNERIA
STUDIO ASSOCIATO

Via Bonasini, 19 – 20133 MILANO Tel. 02-70800125
server@dezetaingegneria.it Fax 02-70800014

ING. FULVIO BERNABEI
ING. STEFANO ADAMI
ING. LAURA GRILLI
ING. GIANLUIGI SEVINI
ING. PAOLO SANAVIA

MANDANTE
RAPPORTI CON ENTI TERZI – MODELLISTICA IDROLOGICA E
IDRAULICA – IDROGEOLOGIA

MAJONE&PARTNERS
ENGINEERING

ING. DENIS CERLINI
ING. MARCO BELICCHI
ING. NICOLA PESSARELLI (CSP)
ING. MICHELE FERRARI

MANDANTE
INGEGNERIA STRUTTURALE



ING. MARCO G. P. BRAGHINI
ING. DANIELE L. GIOMETTI

MANDANTE
GEOLOGIA



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

GEOL. CARLO CALEFFI
GEOL. FRANCESCO CERUTTI

MANDANTE
ASPETTI AMBIENTALI



ING. MASSIMO SARTORELLI
ING. BENIAMINO BARENGHI
DOTT. AGR. ALESSIA MANICONE
DOTT.SSA CHIARA LUVIE'

MANDANTE
ASPETTI PAESAGGISTICI

STUDIO PANDAKOVIC

ARCH. ANGELO DAL SASSO

PER IL R.T.P.:

IL PROGETTISTA GENERALE
DOTT. ING. FULVIO BERNABEI

IL RUP:

DOTT. ING.
FEDERICA PELLEGRINI

CONSULENTE
INGEGNERIA GEOTECNICA

colleselli & p.
INGEGNERIA GEOTECNICA

PROF. ING. FRANCESCO COLLESELLI
ING. GIUSEPPE COLLESELLI

CONSULENTE
PIANO PARTICELLARE DI ESPROPRIO

GEOM. MARCO SOZZE'

CONSULENTE
VALUTAZIONI ARCHEOLOGICHE

DOTT.SSA IVANA VENTURINI

DATA: LUGLIO 2019

Mod.7.3 F – Rev.01

REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	CONTR.	APPR.
01					
02					

INDICE

1	Premesse	2
2	Illustrazione del progetto	3
	<i>2.1.1 Adeguamento delle arginature della cassa di espansione (intervento H)</i>	3
	<i>2.1.2 Arginature di contenimento dell'invaso in ampliamento (intervento M)</i>	5
3	Normativa di riferimento	7
4	Inquadramento geotecnico	8
5	Risposta sismica locale	8
	5.1 VITA NOMINALE	10
	5.2 CLASSE D'USO	10
6	Verifiche di sicurezza dei rilevati arginali	13
	6.1 Verifiche di stabilità globale	13
	6.2 Verifica nei confronti del pericolo di sifonamento	49
	6.3 Verifica al sollevamento	55
	6.4 Sezione tipo H – verifiche di sicurezza	60

1 Premesse

La presente relazione riguarda le verifiche di sicurezza geotecniche nell'ambito degli interventi di adeguamento del sistema delle Casse d'espansione del Fiume Secchia di Rubiera ed in particolare dell'adeguamento dei rilevati arginali esistenti (intervento H) e dell'ampliamento della cassa in derivazione (intervento M).

Il progetto prevede il consolidamento e la sistemazione mediante interventi di ringrosso e rialzo arginale e la realizzazione di diaframmi plastici e taglioni idraulici finalizzati a garantire le condizioni di sicurezza nei confronti degli Stati Limite Idraulici.



Figura 1: Ubicazione area di intervento

2 Illustrazione del progetto

Le opere oggetto di verifica nella presente relazione sono sostanzialmente:

- il LOTTO 2 dei lavori di cui al presente progetto definitivo aventi come scopo: *“L’adeguamento in quota delle arginature della cassa di espansione esistente”*;
- il LOTTO 3 dei lavori di cui al presente progetto definitivo aventi come scopo: *“I lavori di ampliamento della Cassa di laminazione del fiume Secchia, comune di Rubiera (RE)”*.

In particolare, gli interventi di cui si dà descrizione e calcolazione nel seguito sono:

- Intervento H: Adeguamento delle arginature della cassa di espansione (lavori del Lotto 2);
- Intervento M: Arginature di contenimento dell'invaso in ampliamento (lavori del Lotto 3).

2.1.1 Adeguamento delle arginature della cassa di espansione (intervento H)

L'intervento prevede l'adeguamento in quota dei rilevati esistenti sia della cassa in linea sia di quella fuori linea o sussidiaria.

In particolare:

- gli argini (destro e sinistro) dell'invaso in linea sono progettati alla quota di 51.75 m s.l.m. al fine di garantire un franco di sicurezza di 1.75 m rispetto alla quota di massimo invaso della piena T_R 1000 anni;
- gli argini dell'invaso fuori linea, a differenza di quanto previsto nella precedente fase progettuale (dove era stato previsto 1.00 m di franco sulla piena T_R 1000 anni), sono stati in questa sede alzati alla quota di 51.75 m

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



s.l.m. al fine di garantire anche per questo invaso un franco di sicurezza di 1.75 m rispetto alla quota di massimo invaso della piena T_R 1000 anni.

Sono previste 9 sezioni tipo denominate A, C, D1, D2, F, G1, G2, G3, H per far fronte a diversi tratti omogenei per caratteristiche geotecniche, di assetto invaso/campagna, di attuale geometria.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva di tutte le tipologie con le principali caratteristiche geometriche e funzionali:

sezione tipo	tipo intervento	scarpata inferiore			Tratto (Sezioni)			Sezioni di computo		quota base taglione [m s.l.m.]	pista al piede lato fiume quota [m s.l.m.]	diaframma (in grassetto quelli esistenti)			SEZIONE Già CALCOLATA nel Progetto di Fatt. Tecnico Economica	SEZIONE CALCOLATA nel Progetto Definitivo	Corrisponde nte sezione di computo
		lato campagna	lato cassa	lato fiume	profilo	da	a	da	a			quota sommità [m s.l.m.]	quota base [m s.l.m.]	h [m]			
A	ex novo	-	-	-	1	SS9	FS	P1-3	P1-5	47.00	49.00	-	-	-	-	39-1	P1.11
					1	FS	39-1	P1-7	P1-11	46.00	49.00	-	-	-			
					1	39-1	38+80m	P1-11	P1-21	43.00	46.00-47.75	-	-	-			
					2-3-4	18-7	profilo 7	P2-1	P2-19	-	47.75-50.50	-	-	-			
C (ex C1)	adeguamento	-	esistente/2:1	3:1	2-3-4	25+85m	26-1+20m	P2-49	P2-55	-	43.75-44.25	-	-	-	26	-	P2.52
		esistente / 2:1	-	3:1	1	31	34-80m	P1-39	P1-53	-	44.50-46.00	-	-	-			
D1 (ex D)	adeguamento	-	esistente / 2:1	3:1	2-3-4	profilo 7	profilo 5	P2-19	P2-22	-	46.00-49.00	47.00	42.00	5.00	-	25	P2.47
					2-3-4	profilo 5	21	P2-22	P2-30	-	45.50-46.00	47.00	42.00	5.00			
					2-3-4	21	21+100m	P2-30	P2-32	-	45.50	47.00	40.00	7.00			
					2-3-4	21+100m	sfioratore	P2-32	P2-37	-	45.00-45.50	47.49	37.00	-			
					2-3-4	sfioratore	24-80m	P2-38	P2-40	-	45.00	46.00	38.00	8.00			
					2-3-4	24-80m	25+85m	P2-40	P2-49	-	44.25-45.00	46.00	34.00	12.00			
D2 (ex D)	adeguamento	esistente / 2:1	-	3:1	1	30-135m	31	P1-53	P1-62	-	43.75-44.50	43.00	32.00	11.00	36	-	P1.26
					1	33+105m	37+65m	P1-21	P1-39	-	44.50-46.00	44.50	38.50	6.00			
F	adeguamento	2:1	-	2:1	1	28-1-20m	30-135m	P1-62	P1-68	-	43.75	43.00	34.00	9.00	29	-	P1.64
		2:1	2:1	2:1	2-3-4	26-1+20m	0-1+20m	P2-55	P2-60	-	43.75-44.25	43.00	34.00	9.00			
G1 (ex G)	adeguamento	2:1	esistente/2:1	-	6	4+70m	8+50m	P6-16	P6-34	-	-	39.50	30.00	9.50	5	-	P6.30
G3 (ex G)	adeguamento	2:1	esistente/2:1	-	6	8+50m	profilo 7	P6-1	P6-16	-	-	47.75	31.75	16.00	-	9	P6.11
sostituzione ghiaia fino a quota 47 e sotto aggiungere diaframma:												-	-	-			
G2 (ex G)	adeguamento	2:1	esistente/2:1	-	6	profilo 2-3-4	2-20m	P6-46	P6-52	-	-	39.50	30.00	9.50	2	-	P6.46
H	adeguamento	esistente / 2:1	esistente/2:1	-	6	2-20m	4+70m	P6-34	P6-46	-	-	39.50	30.00	9.50	4	-	P6.36
Diaframma+muro in c.a.												51.75	30.25	21.50			

Come si può rilevare dalla tabella, nonché dagli elaborati grafici del presente progetto definitivo, in particolare le tavole H.6, alcune sezioni tipologiche sono dotate di taglione al piede (sezione tipo A), altre di diaframature plastiche (esistenti e/o di progetto – sezione tipo D1, D2, F, G1, G2 e G3) per il controllo dei fenomeni di filtrazione.

L'adeguamento dei rilevati esistenti viene ricavato:

- per l'invaso in linea: lato fiume nelle sezioni tipo C e D1, lato campagna la sezione tipo D2, pressoché in asse nelle sezioni tipo F ed H;
- per la cassa sussidiaria: lato campagna (sezioni tipo G1, G2 e G3).

La sezione tipo "H" (valida per un tratto di circa 550 m prevede), a differenza delle altre, un muro/diaframma di contenimento in c.a., alto complessivamente 21.50 m per salvaguardare le infrastrutture ed immobili presenti al piede dell'arginatura lato campagna (capannoni, maneggio, ecc.); al fine di ridurre le tensioni e le opere in questo tratto la pista di sommità è abbassata di 1.20 m in modo tale che il muro stesso costituisca oltre che elemento di tenuta idraulica anche parapetto/barriera.

Il materiale utilizzato per la realizzazione delle arginature è quello proveniente dagli scavi di cui all'intervento "I", previa lavorazione e preparazione in loco finalizzata ad eliminare il materiale vegetale presente.

Tutti i paramenti arginali saranno rinverditi con idrosemina di essenze autoctone previa stesa di uno strato di almeno 20 cm di terreno vegetale ovvero previa concimazione e relativa lavorazione della coltre superficiale del rilevato arginale di nuova realizzazione.

2.1.2 Arginature di contenimento dell'invaso in ampliamento (intervento M)

Il tracciato degli argini per la realizzazione dell'ampliamento della cassa (area "B") prende origine dalla configurazione già definita nel progetto preliminare approvato nel 2016 e nell'ambito del *"Protocollo d'intesa tra la Regione Emilia-Romagna, l'Agenzia Interregionale per il fiume Po, la Provincia di Reggio Emilia, la Provincia di Modena e il Comune di Rubiera per la realizzazione dell'ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del fiume Secchia (art.15 della Legge 241/1990), repertorio RPI/2016/373 del 26/09/2016"*, fatte salve alcune modifiche locali per far fronte al rispetto dei franchi dai conduttori delle linee elettriche ad A.T. a servizio della linea ferroviaria ad Alta Velocità, o per consentire di mantenerne i sostegni in area non allagabile e, quindi, esterna alla cassa stessa, ovvero per

mantenere idonee distanze dal gasdotto SNAM. In tal senso, la configurazione planimetrica della cassa è stata estesa verso nord di circa 100 m rispetto al tracciato del progetto preliminare 2016, al fine di migliorare il più possibile il volume d'invaso disponibile e garantire contestualmente l'equilibrio dei volumi in gioco nell'ambito del PAE che altrimenti sarebbero stati compromessi dal rispetto dei vincoli territoriali di cui sopra.

Anche per questo lotto di interventi, fermo restando l'impostazione data nella precedente fase progettuale, nel presente progetto definitivo si sono apportati alcuni affinamenti della geometria arginale finalizzata ad ottimizzare i volumi in gioco, meglio adattarsi alle attuali condizioni delle arginature presenti, sottoservizi, manufatti. I corpi arginali di progetto hanno quindi **sempre quota di sommità a 51.75 m s.l.m.** e pendenza delle scarpate 2:1 nella porzione superiore al di sopra della bancata intermedia a quota 47.75 m s.l.m., sia lato campagna sia lato invaso. Sono state adottate due sezioni tipologiche (tipo B ed E) che si differenziano innanzitutto per le altezze dei rilevati e le pendenze delle scarpate: la sezione tipo E si applica agli argini con altezza superiore a circa 6 m e prevede, al di sotto della bancata intermedia a 47.75 m s.l.m., scarpate 2:1 lato campagna e 3:1 lato invaso, mentre la sezione tipo B si applica ad argini di altezza inferiore alla precedente e, quindi, entrambe le scarpate giungono fino al piano campagna con scarpa 2:1. La sezione tipo E è dotata di diaframma plastico di lunghezza pari a 5-10 m al piede del paramento lato invaso adottata anche al fine di garantire, oltre ad idonee condizioni di stabilità, il rispetto idrogeologico dal campo pozzi di Bosco Fontana.

Finiture dei paramenti, piste di sommità, intermedie ed al piede, hanno le medesime caratteristiche già descritte al paragrafo 2.1.1. Di seguito una tabella riassuntiva con le principali caratteristiche:

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente)

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



		scarpata inferiore				Tratto (Sezioni)		sezioni di compu		diaframma			SEZIONE Già CALCOLATA nel Progetto di Fatt. Tecnic o Economica	SEZIONE CALCOLATA nel Progetto Definitivo	Corrispondenti sezioni di computo
sezione tipo	tipo intervento	lato campagna	lato cassa	lato fiume	profilo	da	a	da	a	quota sommità [m s.l.m.]	quota base [m s.l.m.]	h [m]			
B	ex novo	2:1	2:1	-	7	profilo 2-3-4	B12+55m	P7-1	P7-42	-	-	-	B9	B12	P7.28 e P7.41
E (ex O)	ex novo	2:1	3:1	-	7	B12+55m	B14+30m	P7-42	P7-50	44.00	39.00	5.00	B14		P7.49
					7	B14+30m	profilo 6	P7-50	P7-60	44.00	34.00	10.00		B15	P7.54

3 Normativa di riferimento

- Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018;
- “Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” Circolare 21 Gennaio 2019;
- “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)” Decreto Ministeriale 26 giugno 2014;
- UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1997-2:2007 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. 1977 AGI – Associazione Geotecnica Italiana;
- Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee guida 2005 AGI – Associazione Geotecnica Italiana;

4 Inquadramento geotecnico

Per l'inquadramento geotecnico di dettaglio dei terreni presenti nell'area in oggetto si rimanda alle relazioni geologica, geotecnica e sismica del presente progetto.

Nell'ambito di tale studio è stata definita la successione stratigrafica dei terreni di fondazione e dei rilevati arginali e sono stati definiti i parametri geotecnici e di conducibilità idraulica da adottare nelle verifiche di sicurezza.

Sono inoltre a disposizione le indagini condotte per il collaudo delle arginature esistenti condotte nel 1978.

5 Risposta sismica locale

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M 17 Gennaio 2018) prevedono un approccio prestazionale nel calcolo delle strutture nei confronti dell'azione sismica, con lo scopo di garantire il controllo del livello di danneggiamento.

L'azione sismica per il calcolo delle strutture viene valutata a partire dalla cosiddetta "pericolosità sismica di base" riferita ad un sito con suolo rigido (categoria A) e superficie topografica orizzontale.

L'azione sismica di progetto è stata valutata con metodo semplificato considerando i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica indicati al par. 7.11.3 delle NTC 18. Si tratta di un approccio cautelativo in quanto a_{max} risulta minore di quella stimata in base all'analisi di risposta sismica locale sviluppata per il progetto.

Allo stato attuale la pericolosità sismica di base sul territorio Italiano è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*. Nella seguente figura viene riportata l'accelerazione massima orizzontale a_g di riferimento su suolo rigido con possibilità di superamento pari al 10% in 50 anni, ottenuta dal citato database, per l'area considerata come riferimento, Comune di Rubiera (RE), con coordinate Long. 10.779, Lat. 44.652.

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

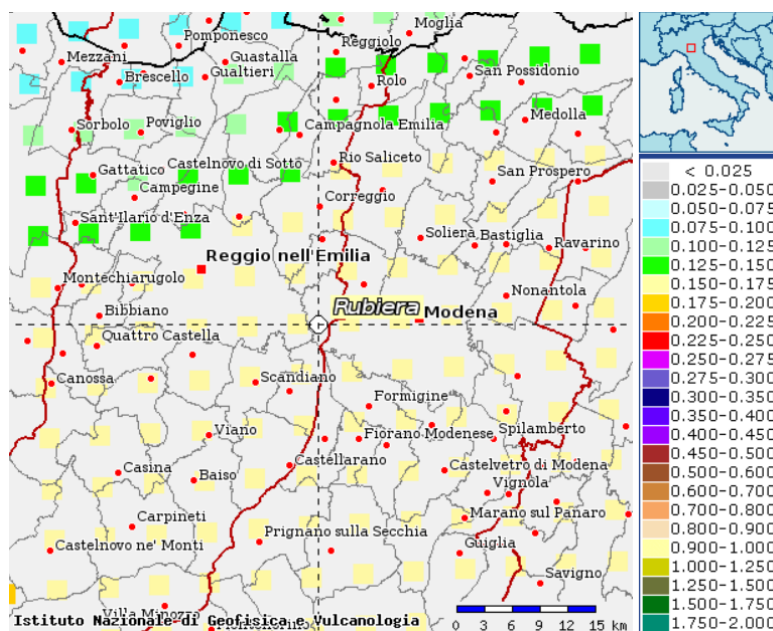


Figura 2: Accelerazione massima orizzontale a_g di riferimento su suolo rigido con possibilità di superamento pari al 10 % in 50 anni, dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Alle citate coordinate sono associate i valori dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_C^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), riportati nella seguente tabella, per i periodi di ritorno T_R di riferimento (Forniti attraverso l'applicativo 'Spettri' elaborato dal M.LL.PP).

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,049	2,471	0,252
50	0,061	2,500	0,266
72	0,072	2,468	0,273
101	0,083	2,464	0,277
140	0,096	2,439	0,280
201	0,114	2,391	0,283
475	0,161	2,394	0,291
975	0,209	2,395	0,305
2475	0,283	2,419	0,316

Tabella 1 Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* forniti dalla Mappa di Pericolosità Sismica in funzione del periodo di ritorno T_R al sito di Rubiera (RE)

Secondo quanto indicato nelle NTC le opere in progetto possono essere classificate come segue:

5.1 VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera è intesa come numero di anni nel quale deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata ed è definita dalle NTC in funzione del tipo di costruzione (*tabella 2.4.I*),

Nel caso del presente intervento si considera *“Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni o importanza strategica”* a cui corrisponde una vita nominale pari a:

$$V_N = 100 \text{ anni}$$

5.2 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in 4 classi d'uso (par. 2.4.2, NTC2018) a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso C_u per la definizione dell'azione sismica.

All'opera in oggetto viene assegnata una Classe d'uso III *“Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso”* a cui è associato un coefficiente d'uso C_u pari a 1,5.

Le azioni sismiche e su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R :

$$V_R = V_N \cdot C_u = 150 \text{ anni}$$

L'accelerazione di riferimento a_g così ottenuta deve essere variata per tener conto sia delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali che della morfologia del sito; l'accelerazione massima orizzontale di riferimento a_{max} si ottiene con la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

dove:

- S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica assunto pari a 1.289;

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

- S_t coefficiente di amplificazione topografica, pari a 1.0 nel caso in esame.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_t
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica è funzione della categoria del terreno di fondazione definita in base alla velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$.

Con riferimento alla “*relazione geologica e sismica*” è stato definito un valore della velocità delle onde di taglio $V_{s,30}$ che, ai fini della risposta sismica locale, definisce i terreni di fondazione di categoria C: “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”.

Nel caso in esame i terreni di fondazione sono definiti di categoria C ed i coefficienti d'amplificazione stratigrafica e topografica sono assunti rispettivamente pari a $S_s=1.289$ e $S_t=1.0$ per cui l'accelerazione orizzontale massima a_{max} con riferimento allo Stato Limite di Collasso (SLC) risulta perciò pari a:

$$a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t = 0.283g \cdot 1.289 \cdot 1.0 = 0.365g$$

Come già detto, si tratta di un valore maggiore di quello valutato con riferimento ai risultati dell'analisi di risposta sismica locale (RSL) riportate nella "R.06 - Relazione sismotettonica e sismica".

6 Verifiche di sicurezza dei rilevati arginali

6.1 Verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM del 17 gennaio 2018.

La verifica, che confronta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione E_d con quello di progetto della resistenza del sistema geotecnico R_d , è stata condotta, per quanto riguarda le verifiche nelle condizioni più critiche per il rilevato arginale di rapido svasso e massimo invaso, con la combinazione "A2+M2+R2", tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabella 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC, di seguito riportati per completezza. Nelle verifiche in condizioni sismiche, invece, sono stati posti pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e considerato un coefficiente pari a $\gamma_r=1.2$ (§ 7.11.4 NTC18). Le verifiche per effetto delle azioni sismiche sono state condotte solo per condizioni di livelli idrometrici corrispondenti al livello di massima regolazione (NTC 14).

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	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

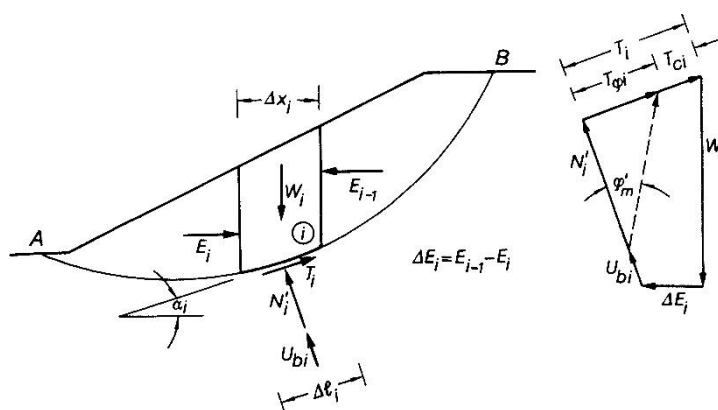
Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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_V	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Le verifiche sono state eseguite con il codice di calcolo Slide (ver. 7.0) della Rocscience utilizzando il metodo di Bishop semplificato (1955) ed ipotizzando superfici di scorrimento circolari di raggio r , con il materiale coinvolto nella rottura suddiviso in conci di larghezza b (vedi schema riportato di seguito), per ognuna delle quali vengono valutati il momento stabilizzante M_s (resistenza R del sistema geotecnico) e il momento ribaltante M_r (azione E) calcolati rispetto al centro del cerchio.



Il contributo al momento stabilizzante M_s di un cono è fornito in generale dalla resistenza alla base, somma della componente del peso W ortogonale alla base moltiplicata per la tangente dell'angolo di resistenza al taglio ϕ e della eventuale coesione c , moltiplicata per la lunghezza $b/\cos\alpha$, dove α è l'inclinazione della base

del concio rispetto all'orizzontale. Nell'ipotesi che il concio sia parzialmente immerso in acqua e che alla base la pressione idraulica valga u si ottiene:

$$M_s = \frac{c \times b + (W - u \times b) \times \tan \phi}{m \alpha} \times r$$

dove:

$$m \alpha = \cos \alpha \times \left(1 + \frac{\tan \alpha \times \tan \phi}{F} \right)$$

Il contributo al momento ribaltante M_r di un concio è fornito dalla componente del peso W parallela alla base del concio:

$$M_r = W \times \sin \alpha \times r$$

Il programma non definisce separatamente il valore dell'effetto delle azioni E che portano instabilità (momenti ribaltanti M_r) e della resistenza corrispondente R (momenti stabilizzanti M_s), ma solo il loro rapporto ($F=R/E$) che è il “fattore di sicurezza globale”.

La stabilità globale, secondo quanto indicato nell'Eurocodice 7, può essere verificata utilizzando il “fattore di sicurezza globale” F ed un fattore ausiliario definito ODF (“Over-design factor”):

- viene calcolato il fattore di sicurezza F come rapporto R/E utilizzando i parametri di resistenza dei terreni di progetto ϕ_d e c_d e amplificando i carichi con i coefficiente parziali γ_{G1} e γ_{G2} ;
- viene calcolato ODF dividendo F per il coefficiente parziale sulle resistenze γ_R .

Affinché le verifiche siano soddisfatte deve quindi risultare:

$$ODF = \frac{F}{\gamma_r} = \frac{R(\phi_d, c_d)/E(\phi_d, c_d)}{\gamma_r} > 1$$

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte mediante l'analisi di tipo pseudo-statico che considera un sistema di forze orizzontali e verticali applicate ai volumi di terreno coinvolti.

Le forze orizzontali di inerzia, dovute all'azione sismica, sono state considerate con intensità pari a:

$$F_h = k_h \times W$$

dove:

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

con:

- β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito, pari a 0.38 per verifiche allo stato limite ultimo (SLV) – come riportato al § 7.11.4 delle NTC18;
- a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito in condizioni SLV;
- W = peso del materiale;
- g = accelerazione di gravità.

Ne consegue che $k_h=0,1387$ e $k_v=0,06935$.

Sono state verificate 13 sezioni tipologiche, rappresentative degli interventi di adeguamento dei rilevati arginali esistenti e dell'ampliamento della cassa di espansione, la cui ubicazione è riportata in pianta nella pagina seguente.

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente)

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

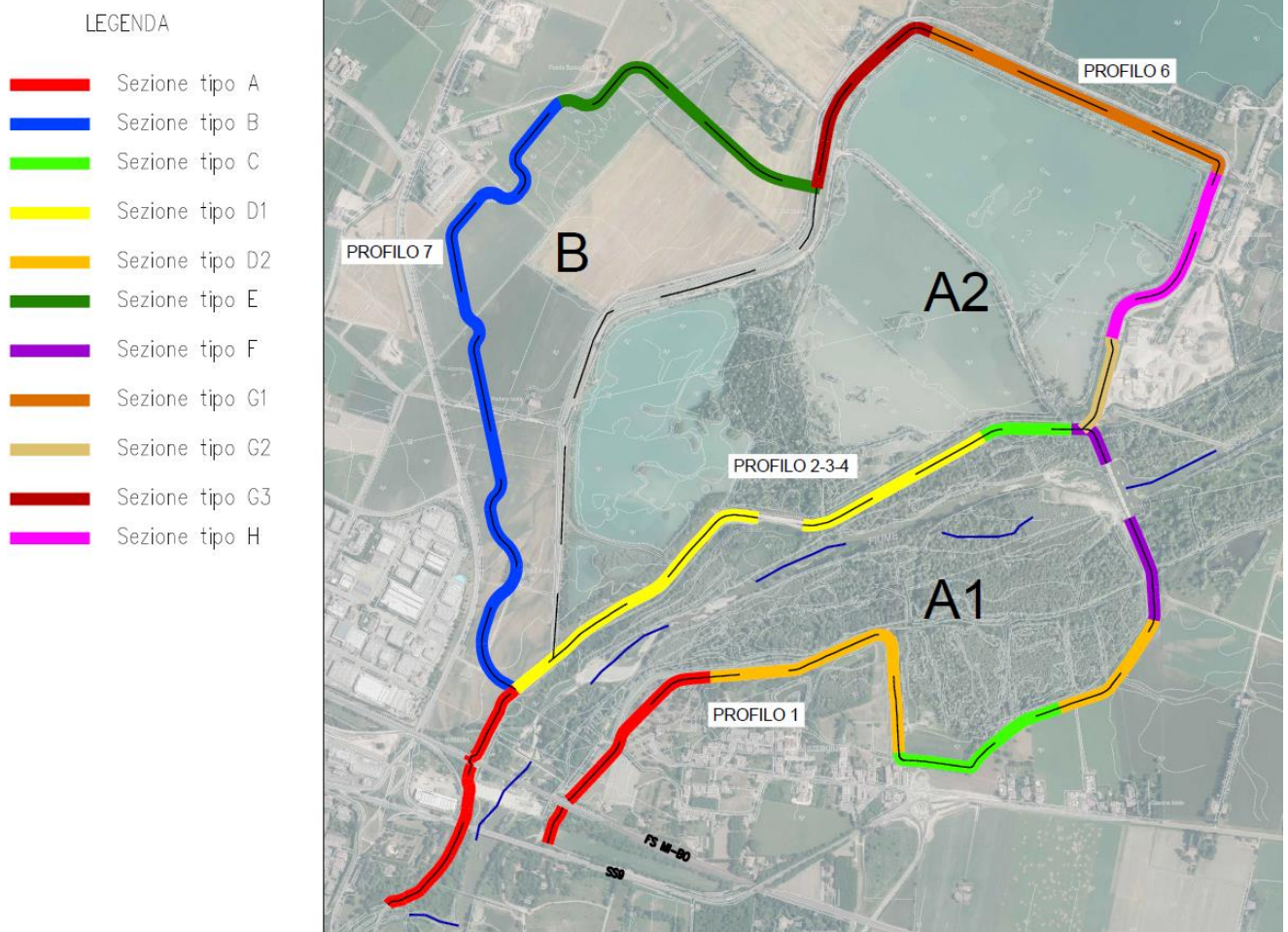


Figura 3 - Ubicazione in pianta delle sezioni di verifica

Le verifiche sono state condotte con riferimento cautelativo ad un regime di filtrazione stazionario ed alle condizioni di maggior criticità rappresentate da:

- massimo invaso alla quota di 50,00 m s.l.m. con riferimento all'evento di piena con $Tr=1000$ anni;
- rapido svaso;
- verifiche sismiche in condizioni di invaso alla quota di massima regolazione pari a 46.27 m s.l.m..

Le verifiche in condizioni di svaso rapido sono state condotte in via cautelativa a partire dalla quota di massima regolazione, linea di infiltrazione con inclinazione 1/5

ed ipotizzando lo svaso immediato da condizioni di moto permanente con livello idrico a quota 46.27 m s.l.m..

Dall'analisi del modello geotecnico predisposto nelle relazioni specialistiche del presente progetto sono stati ricostruiti gli orizzonti costituenti il corpo arginale ed i terreni di fondazione e sono stati individuati i parametri geotecnici caratteristici.

Le verifiche sono state condotte considerando i terreni di fondazione di tipo coesivo in condizioni non drenate.

Per il materiale adottato per il ringrosso arginale sono stati ipotizzati, sulla base delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni rimaneggiati, il peso di volume pari a $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$, la coesione $c'=10 \text{ kPa}$ e la resistenza al taglio 28° .

Nelle analisi si è considerata, in via cautelativa, la presenza sulla sede stradale di un sovraccarico distribuito pari a 10 kN/m^2 in condizioni statiche e pari a 3 kN/m^2 in condizioni sismiche.

• **SEZIONE TIPO A – Sez. P1.11**

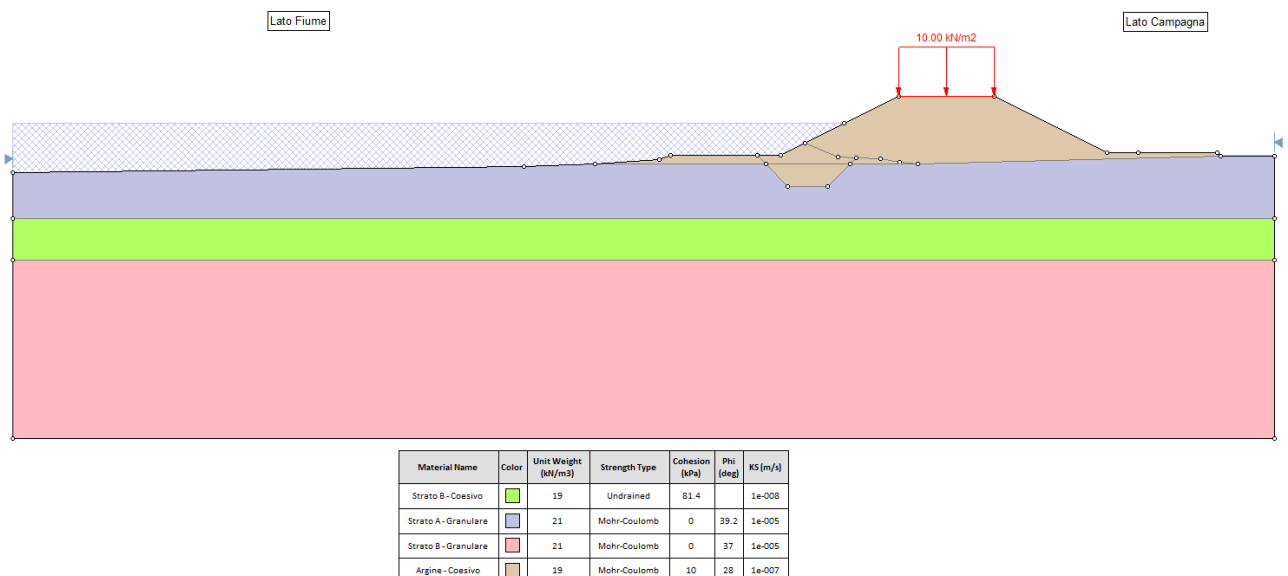


Figura 4: Sezione Tipo A– Sez. P1.11

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

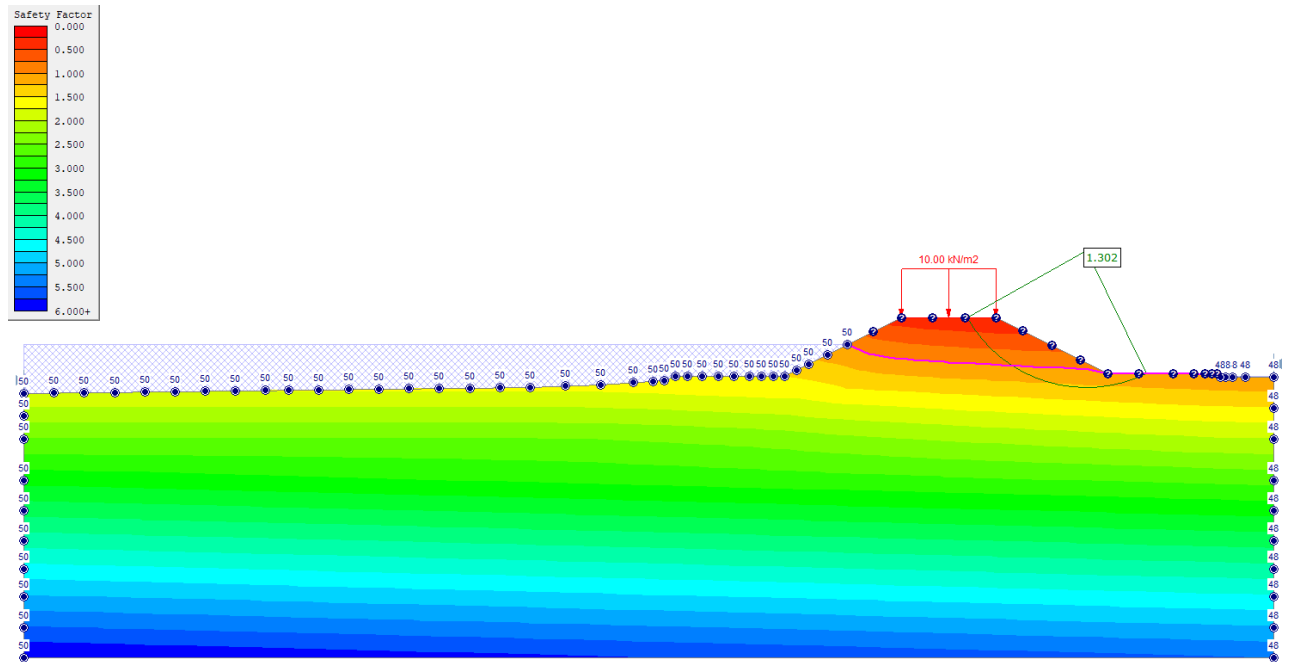


Figura 5: Sezione Tipo A– Sez. P1.11 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

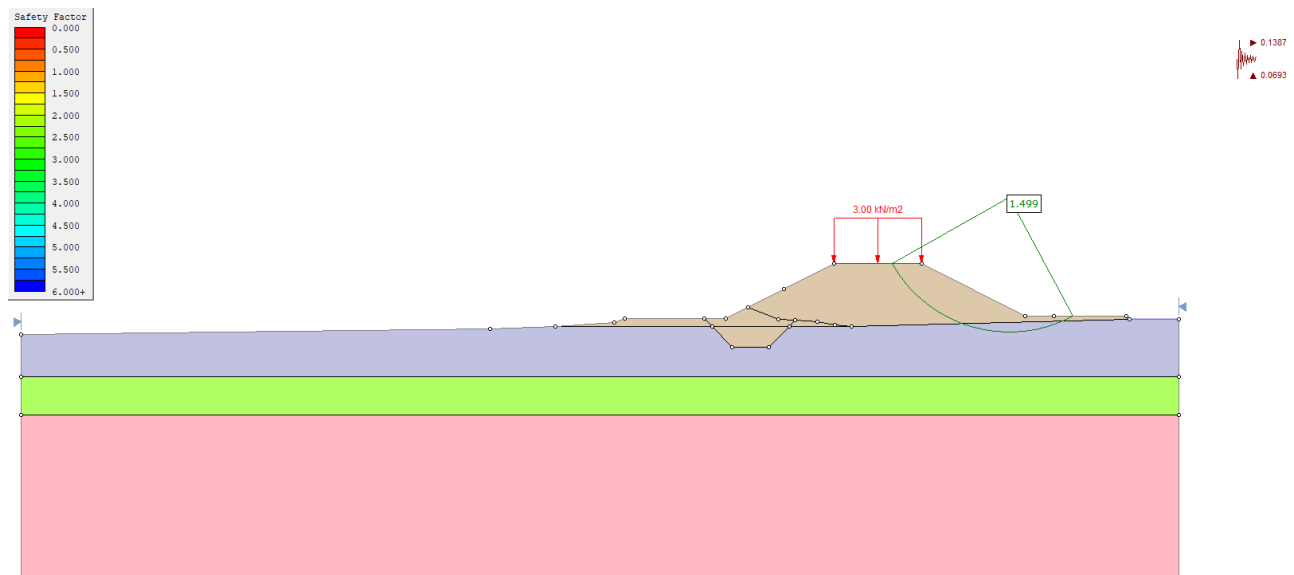


Figura 6: Sezione Tipo A– Sez. P1.11 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente)

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
A – P1.11	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,302
A – P1.11	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,499

Tabella 2: Sezione Tipo A – Sez. P1.11 – Risultati analisi di stabilità globale

Le verifiche in condizioni di rapido svasso sono state omesse essendo la quota di massima regolazione (46,27 m s.l.m.) inferiore alla quota del piano campagna.

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO B – Sez. P7.28**

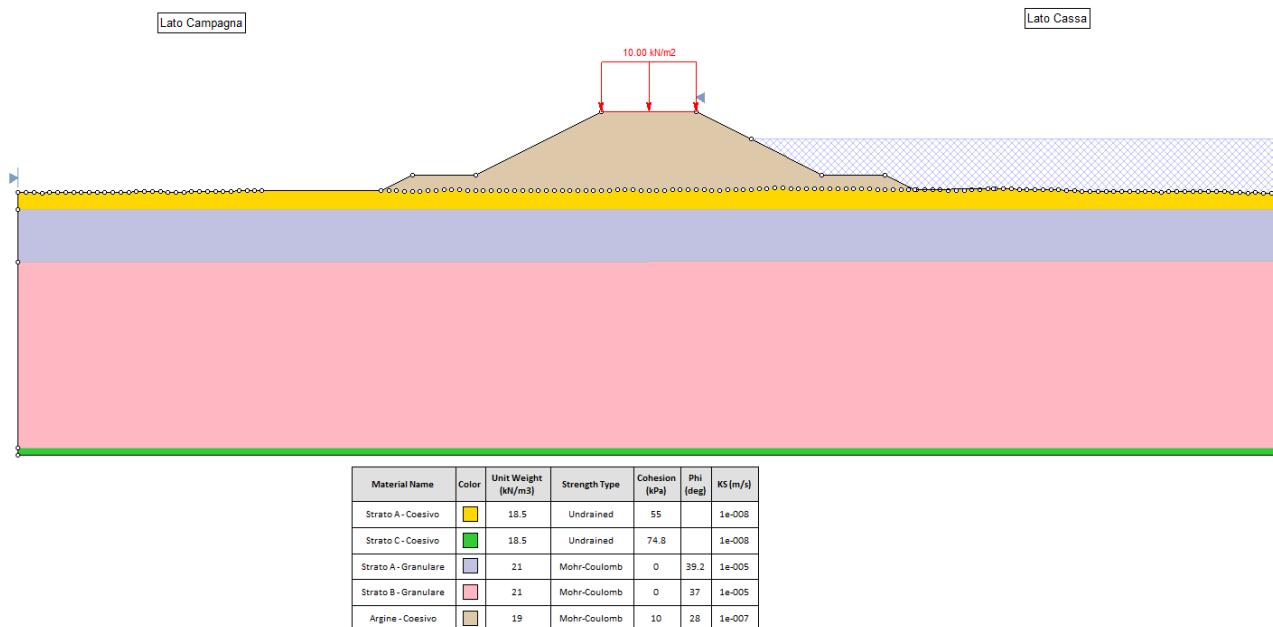


Figura 7: Sezione Tipo B – Sez. P7.28

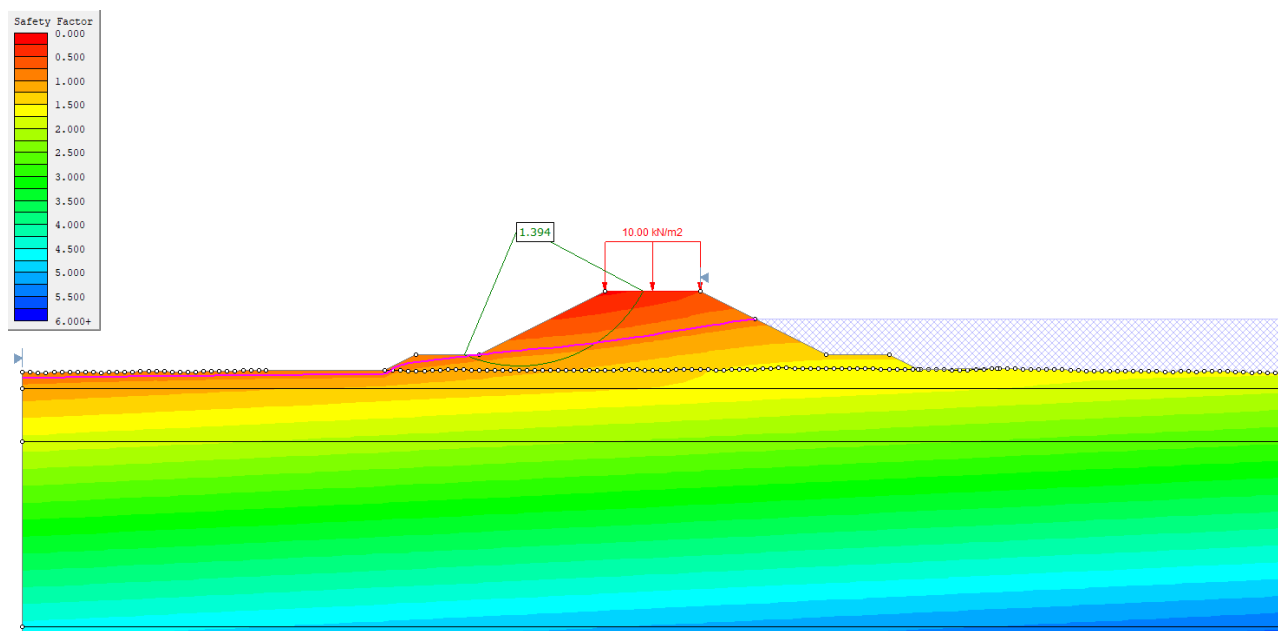


Figura 8: Sezione Tipo B – Sez. P7.28 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

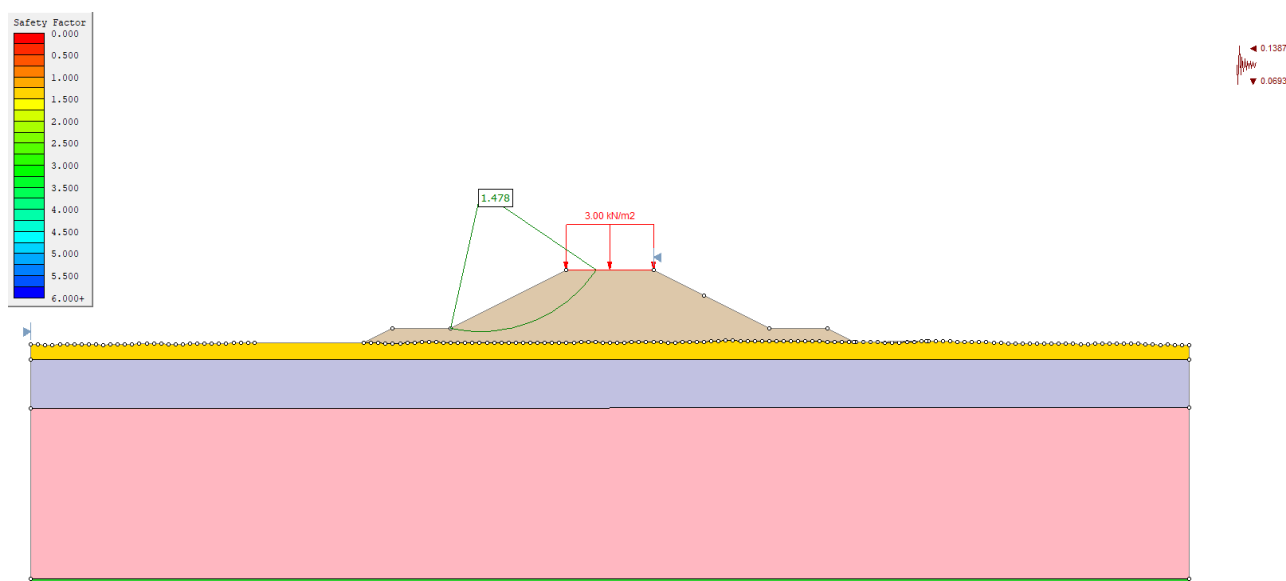


Figura 9: Sezione Tipo B – Sez. P7.28 - Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
B – P7.28	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,394
B – P7.28	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,478

Tabella 3: Sezione Tipo B – Sez. P7.28 – Risultati analisi di stabilità globale

Le verifiche in condizioni di rapido svasso sono state omesse essendo la quota di massima regolazione (46,27 m s.l.m.) inferiore alla quota del piano campagna.

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO B – Sez. P7.41**

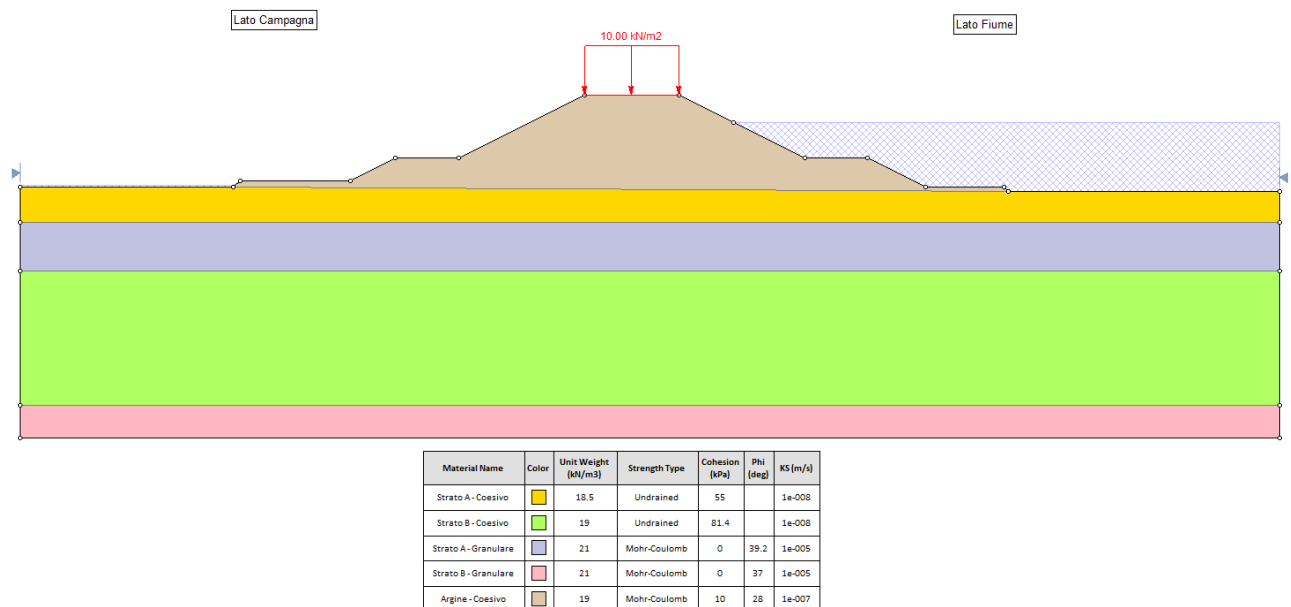


Figura 10: Sezione B – Sez. P7.41

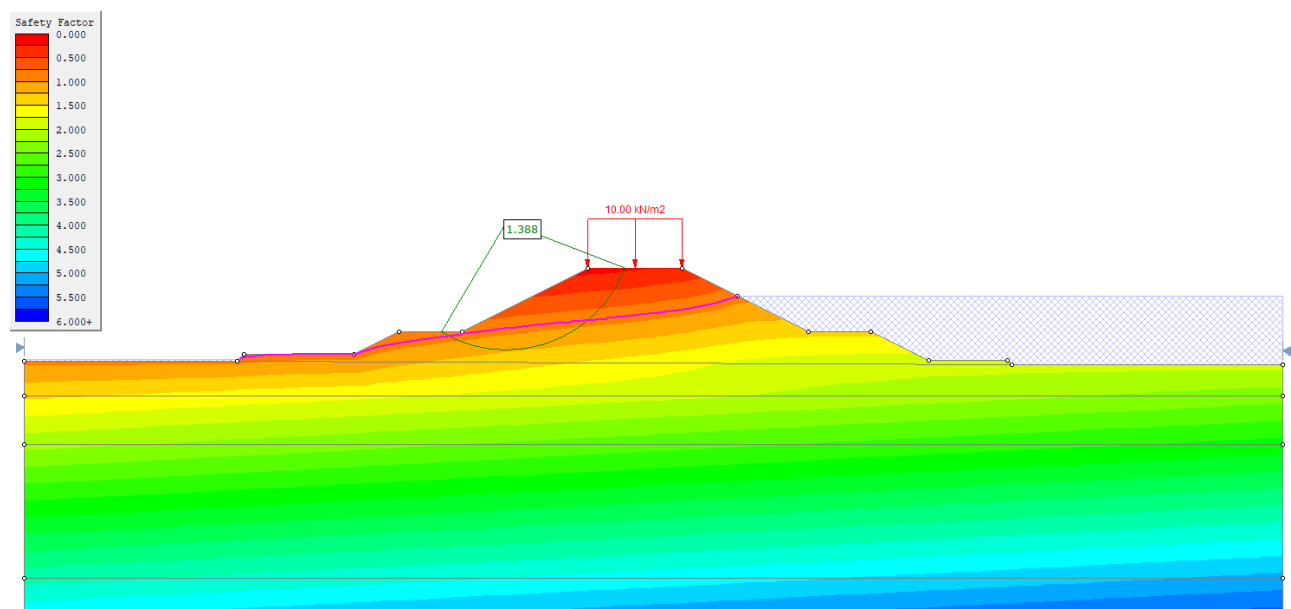


Figura 11: Sezione Tipo B – Sez. P7.41 - Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

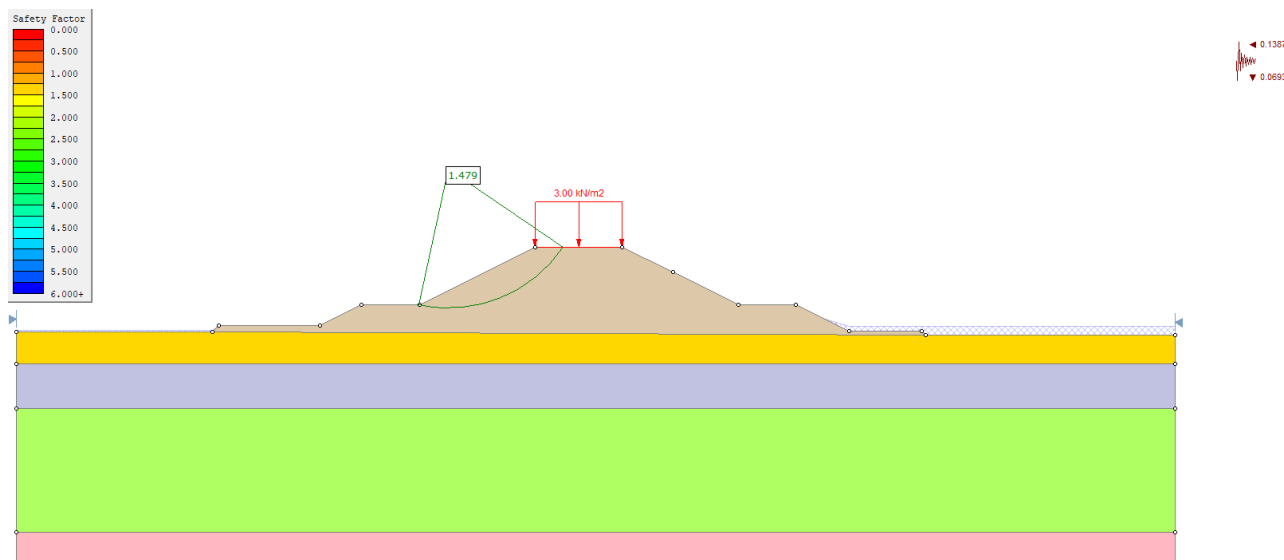


Figura 12: Sezione Tipo B - Sez. P7.41 - Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
B - P7.41	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,388
B - P7.41	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,479

Tabella 4: Sezione Tipo B – Sez. P7.41 - Risultati analisi di stabilità globale

Le verifiche in condizioni di rapido svasso sono state omesse essendo la quota di massima regolazione (46,27 m s.l.m.) prossima alla quota del piano campagna.

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO C – Sez. P2.52**

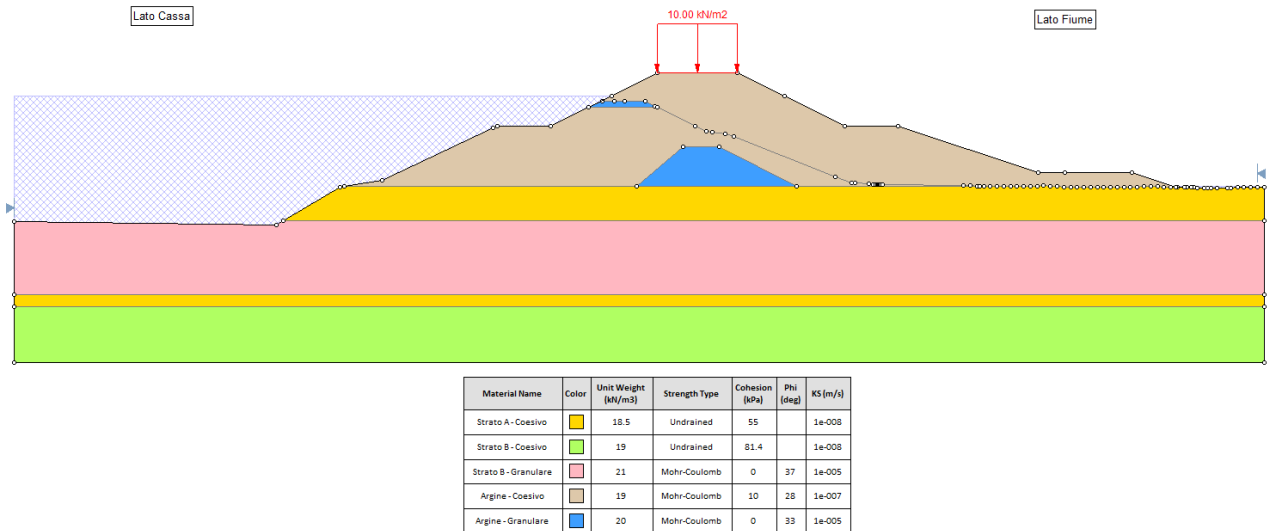


Figura 13: Sezione Tipo C – Sez. P2.52

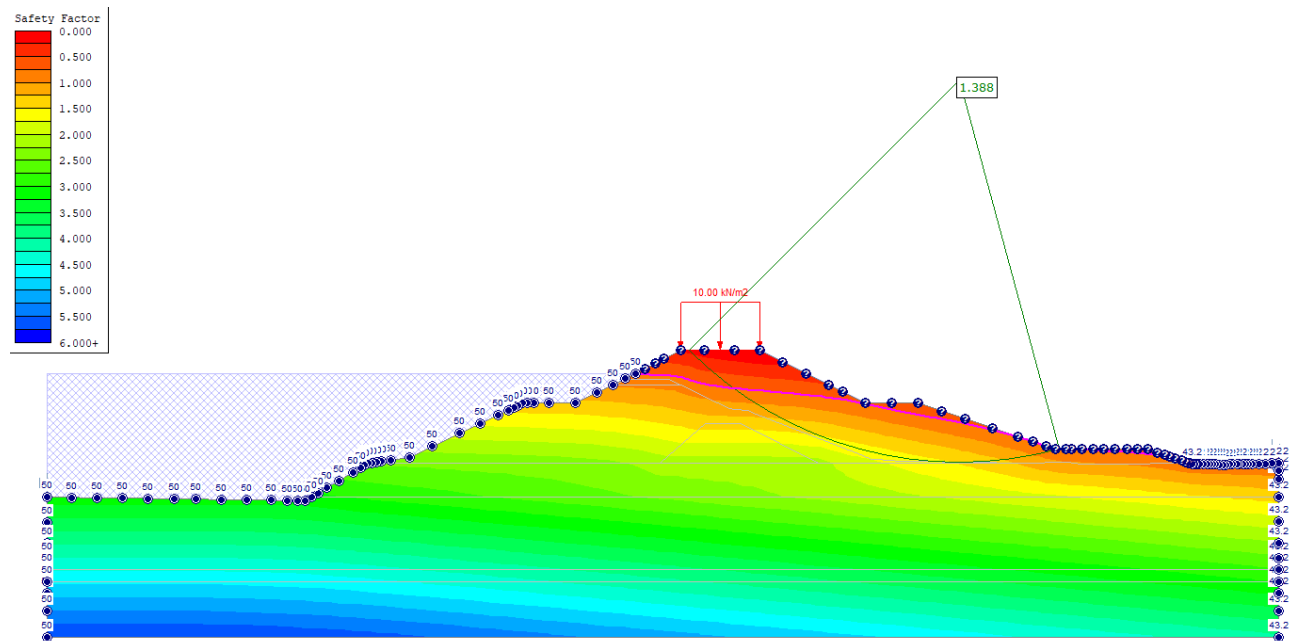


Figura 14: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Cassa)

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

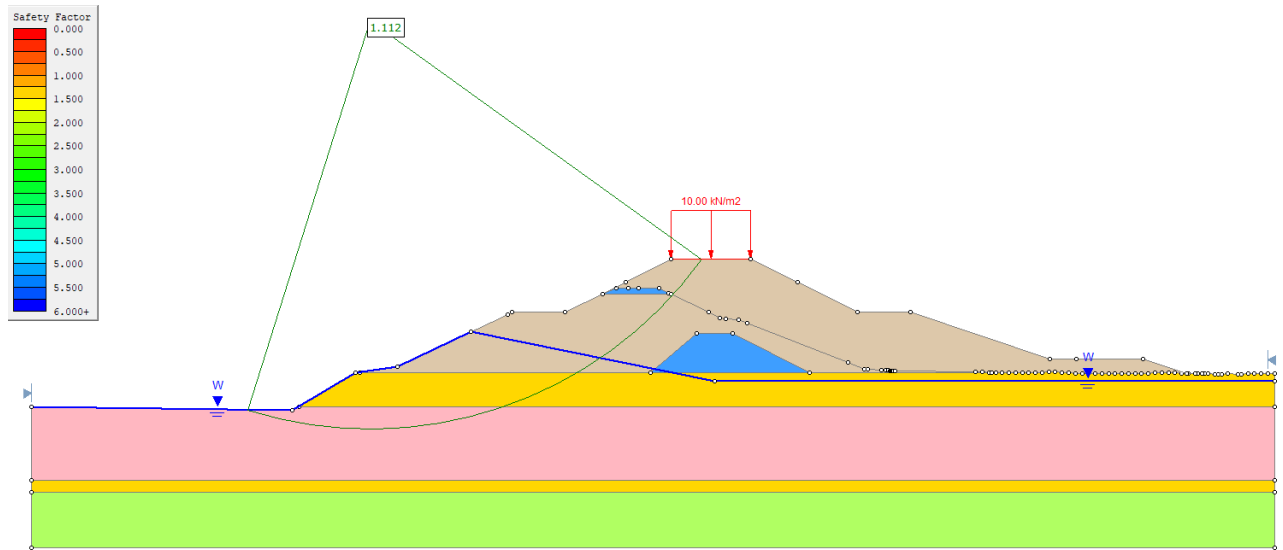


Figura 15: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso (Piena Lato Cassa)

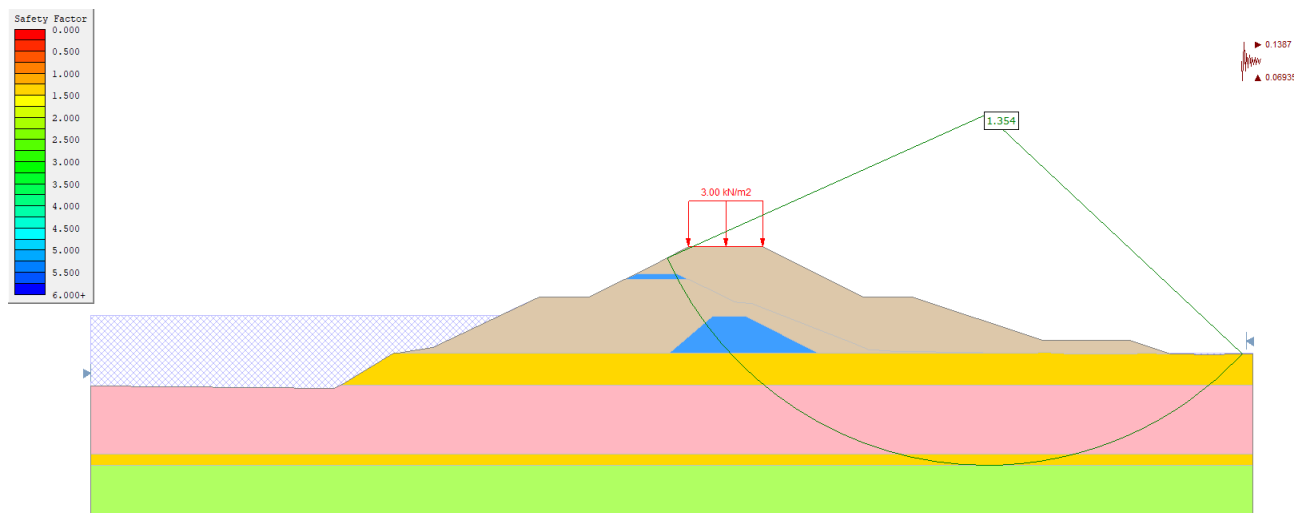


Figura 16: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche (Piena Lato Cassa)

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

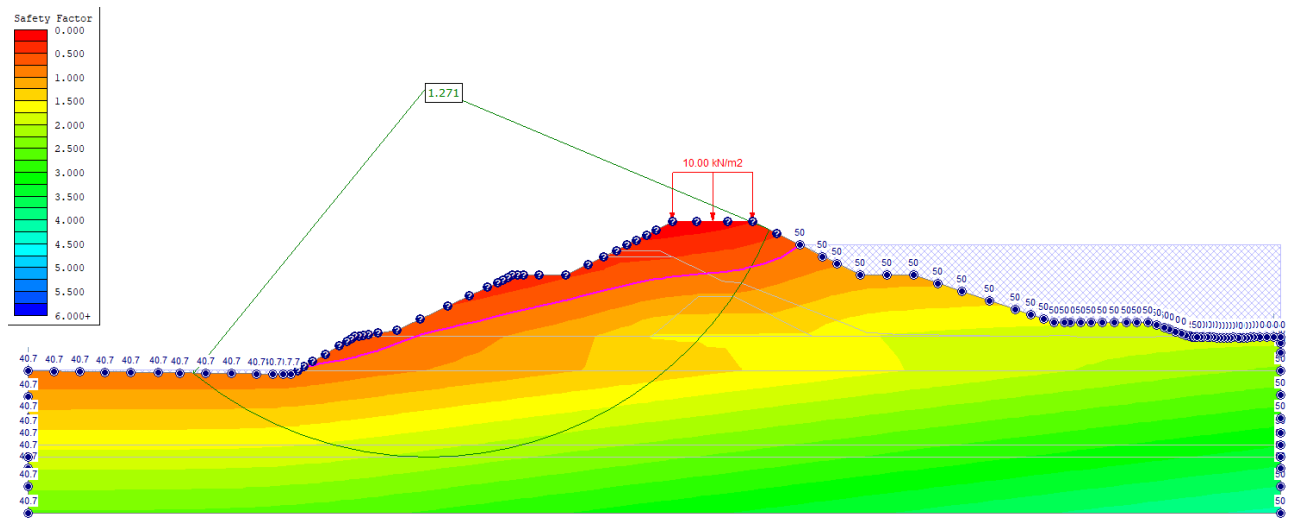


Figura 17: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Fiume)

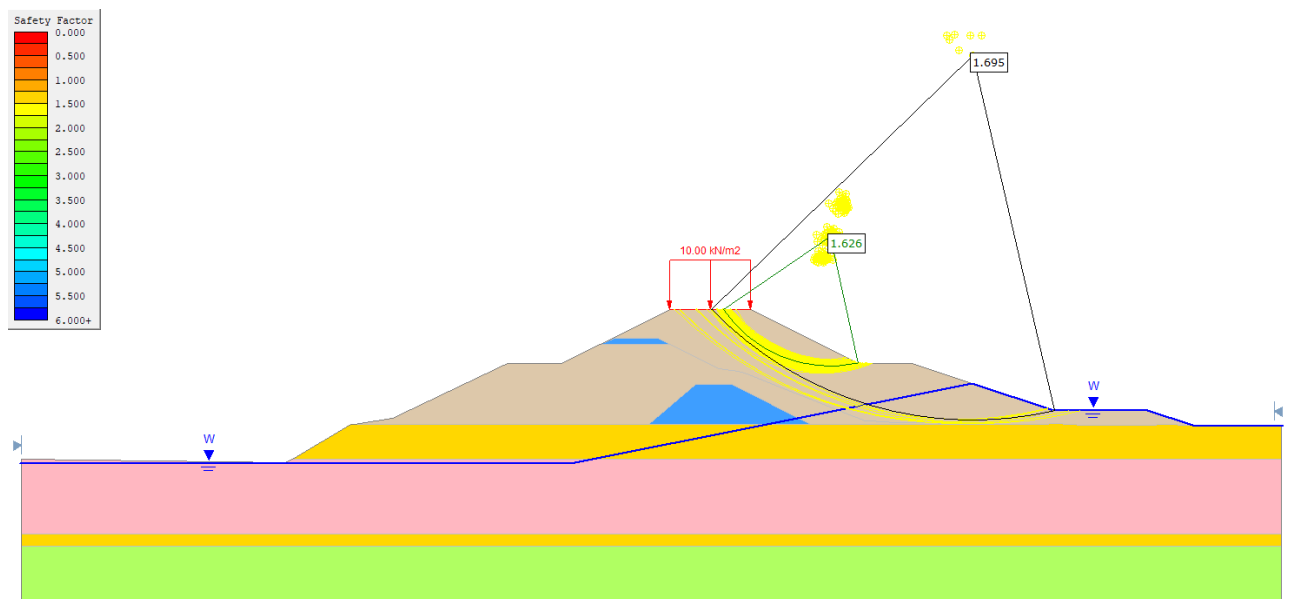


Figura 18: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso (Piena Lato Fiume)

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

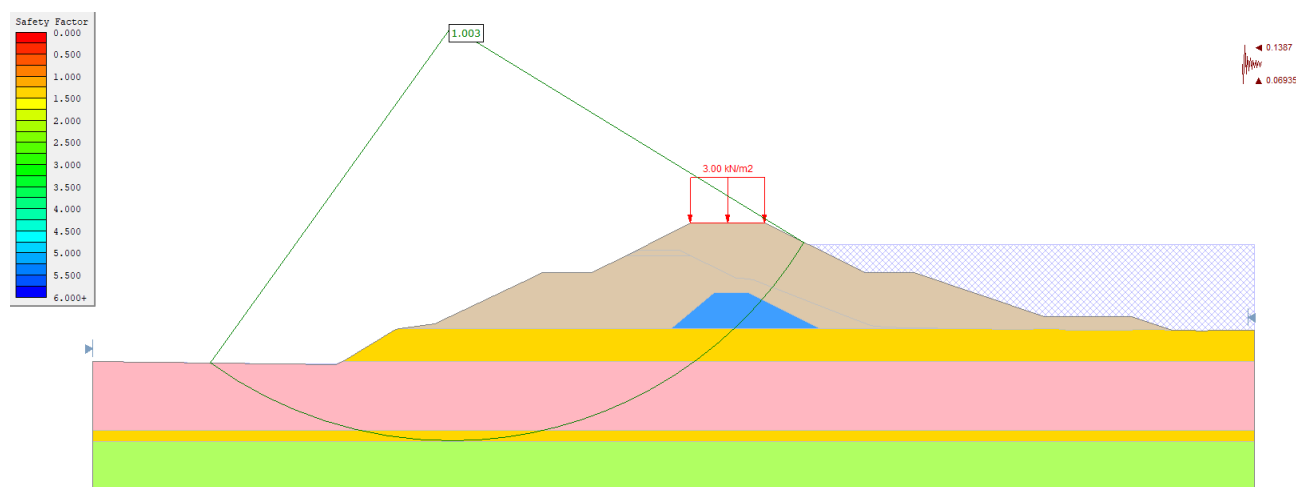


Figura 19: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche (Piena Lato Fiume)

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
C – P2.52	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Cassa	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,388
C – P2.52	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Cassa	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,112
C – P2.52	Sismiche $\gamma_R=1,2$	Piena Lato Cassa	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,354
C – P2.52	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Fiume	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,271
C – P2.52	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,626
C – P2.52	Sismiche $\gamma_R=1,2$	Piena Lato Fiume	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,003

Tabella 5: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO D1 – Sez. P2.47**

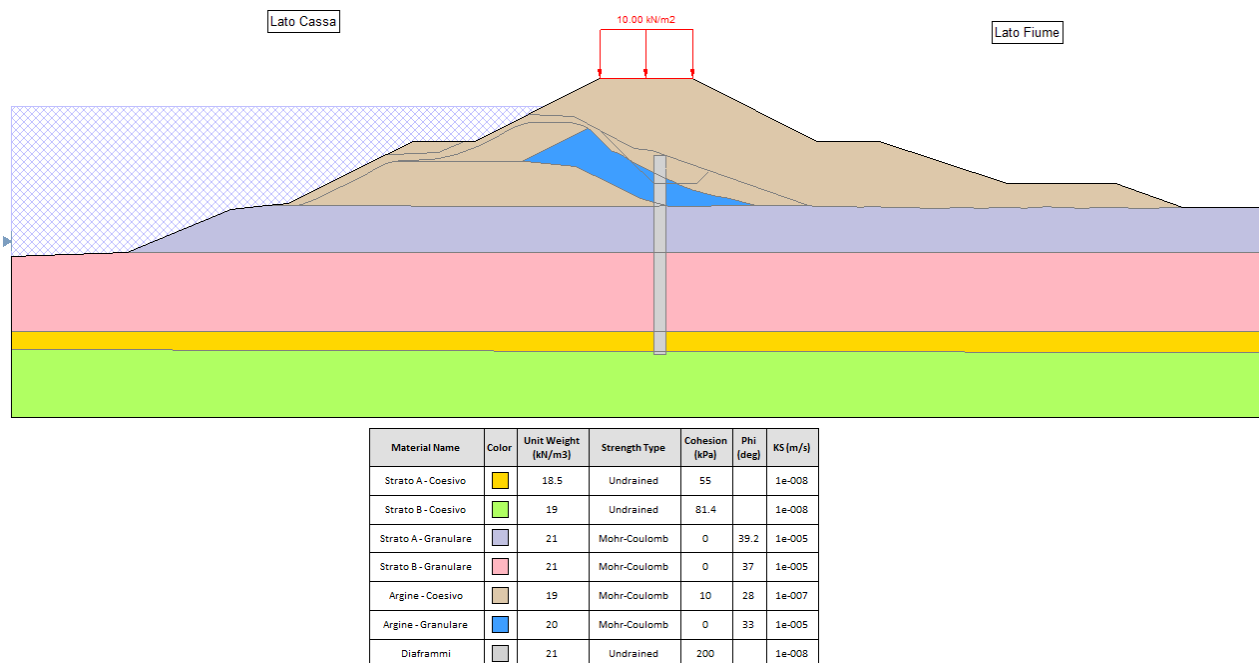


Figura 20: Sezione D1 – Sez. P2.47

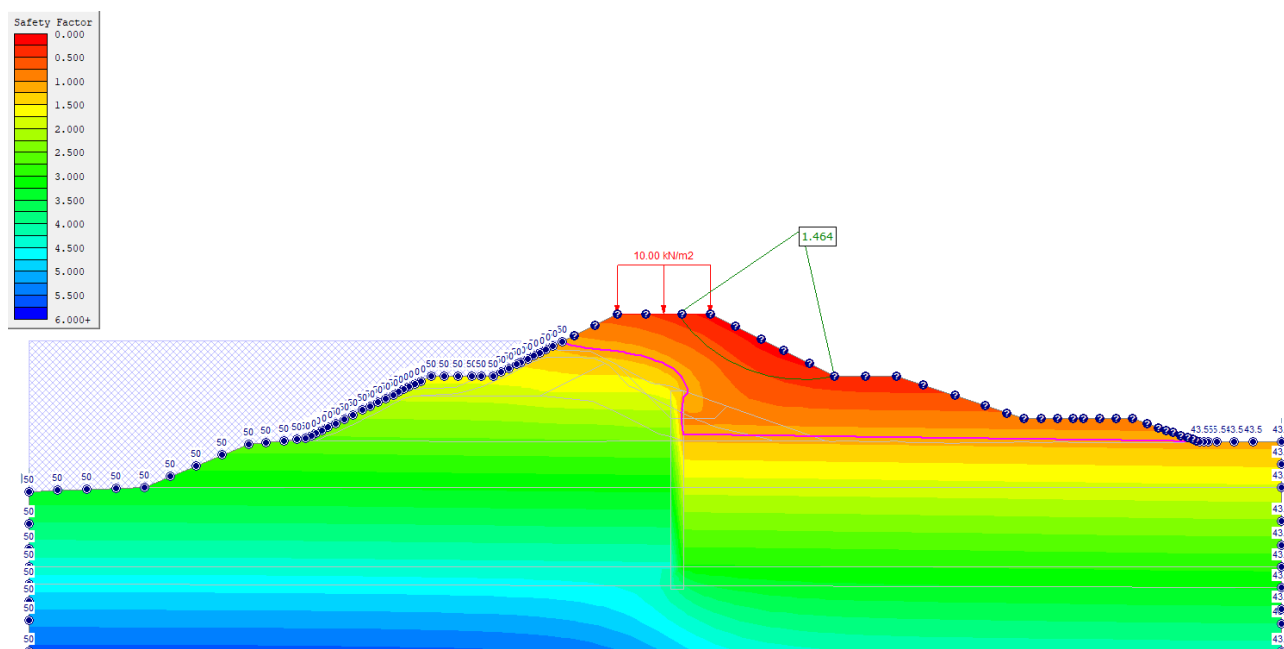


Figura 21: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Cassa)

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

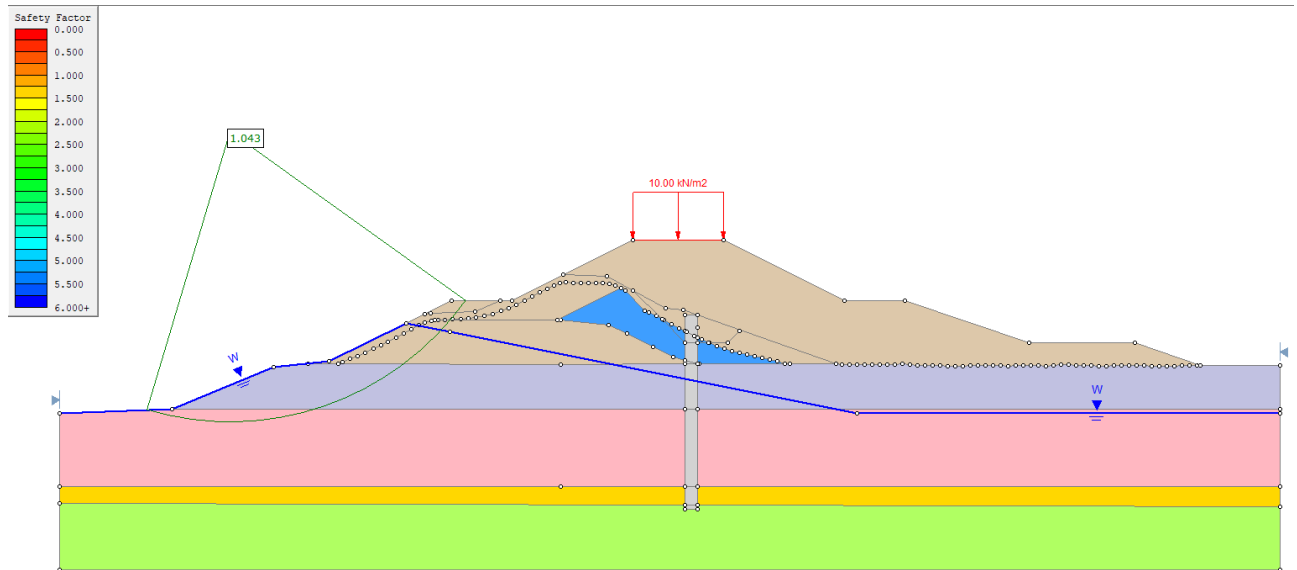


Figura 22: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso (Piena Lato Cassa)

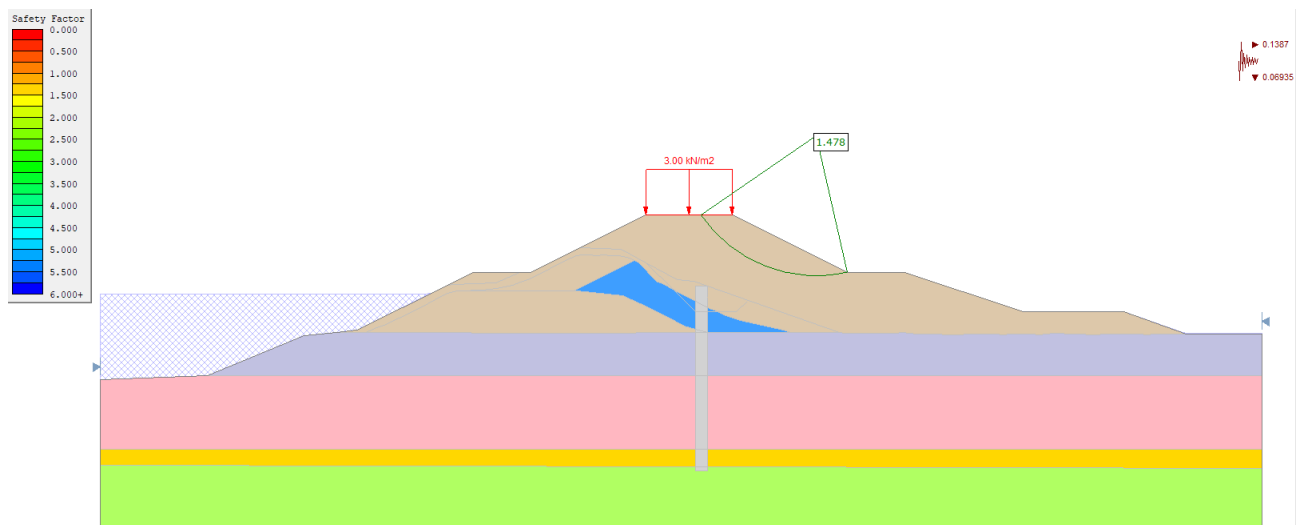


Figura 23: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche (Piena Lato Cassa)

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

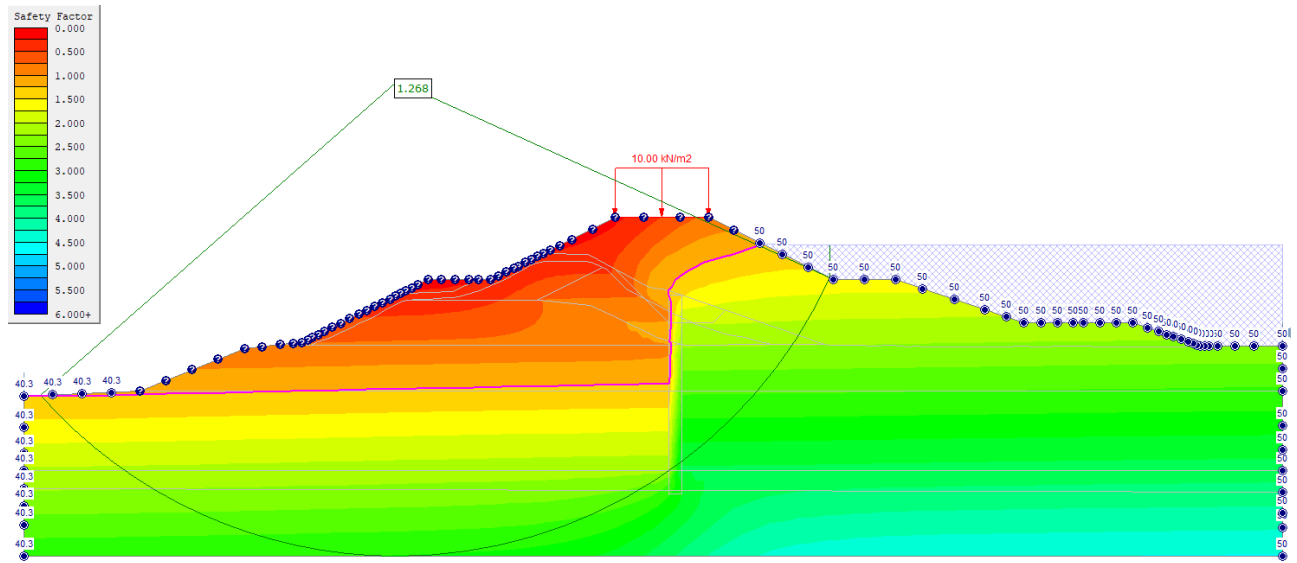


Figura 24: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Fiume)

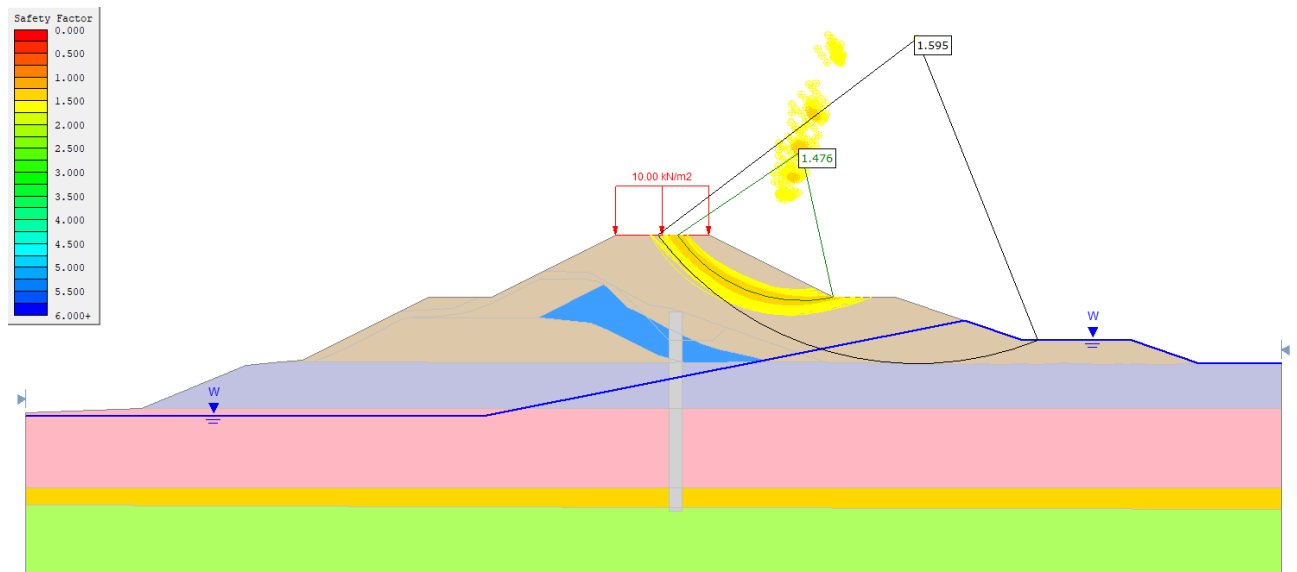


Figura 25: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso (Piena Lato Fiume)

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

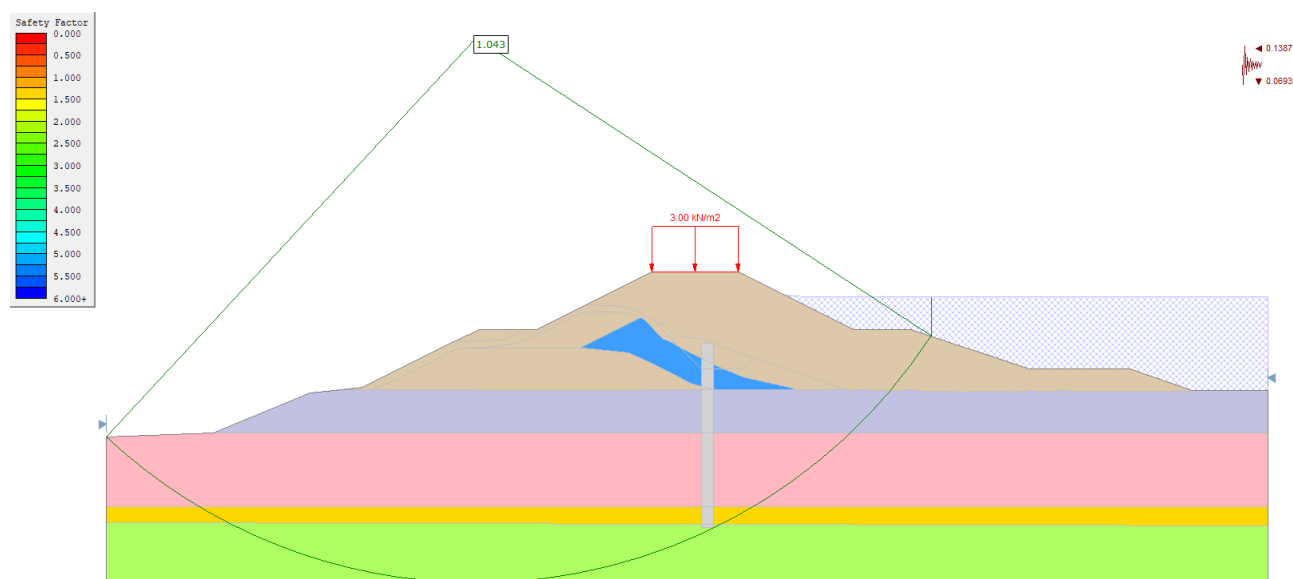


Figura 26: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche (Piena Lato Fiume)

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
D1 – P2.47	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Cassa	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,464
D1 – P2.47	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Cassa	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,043
D1 – P2.47	Sismiche $\gamma_R=1,2$	Piena Lato Cassa	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,478
D1 – P2.47	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Fiume	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,268
D1 – P2.47	SLU (A2+M2+R2)	Piena Lato Fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,476
D1 – P2.47	Sismiche $\gamma_R=1,2$	Piena Lato Fiume	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,043

Tabella 6: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO D2 – Sez. P1.26**

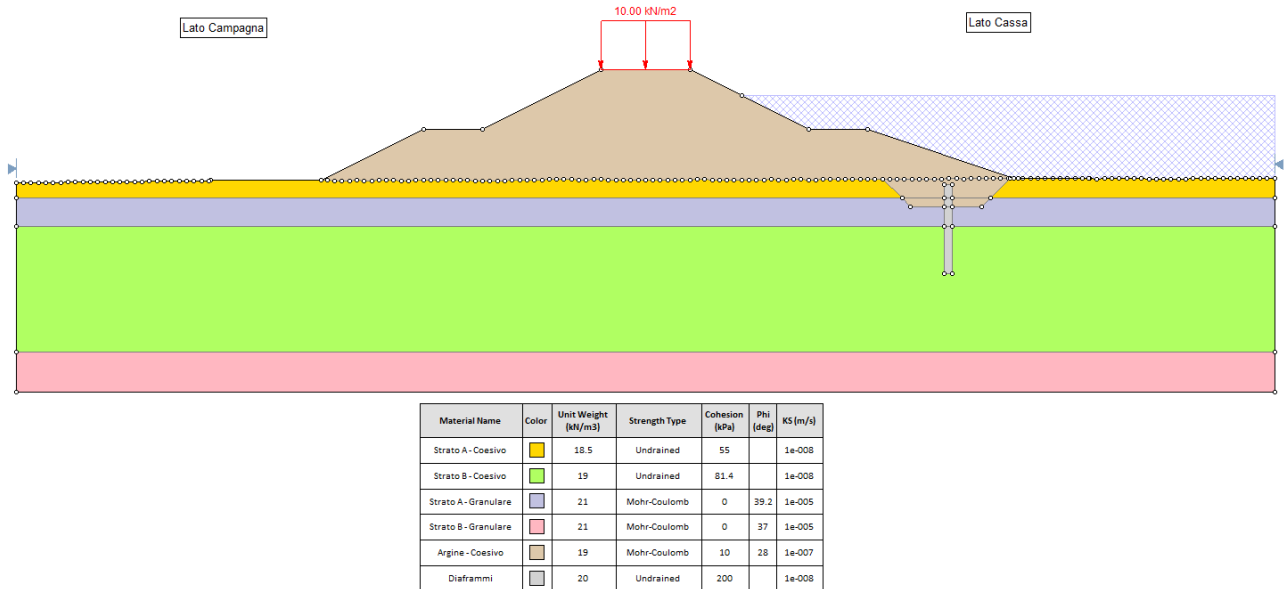


Figura 27: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.26

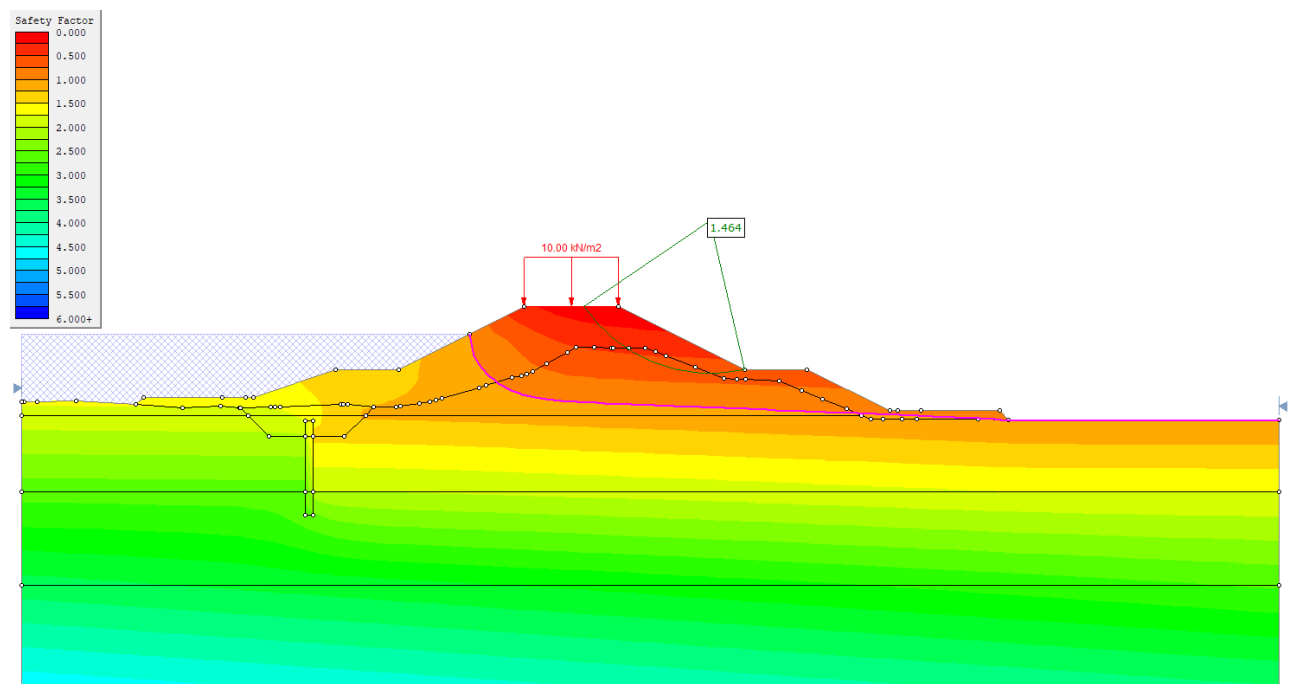


Figura 28: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.26 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente)

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

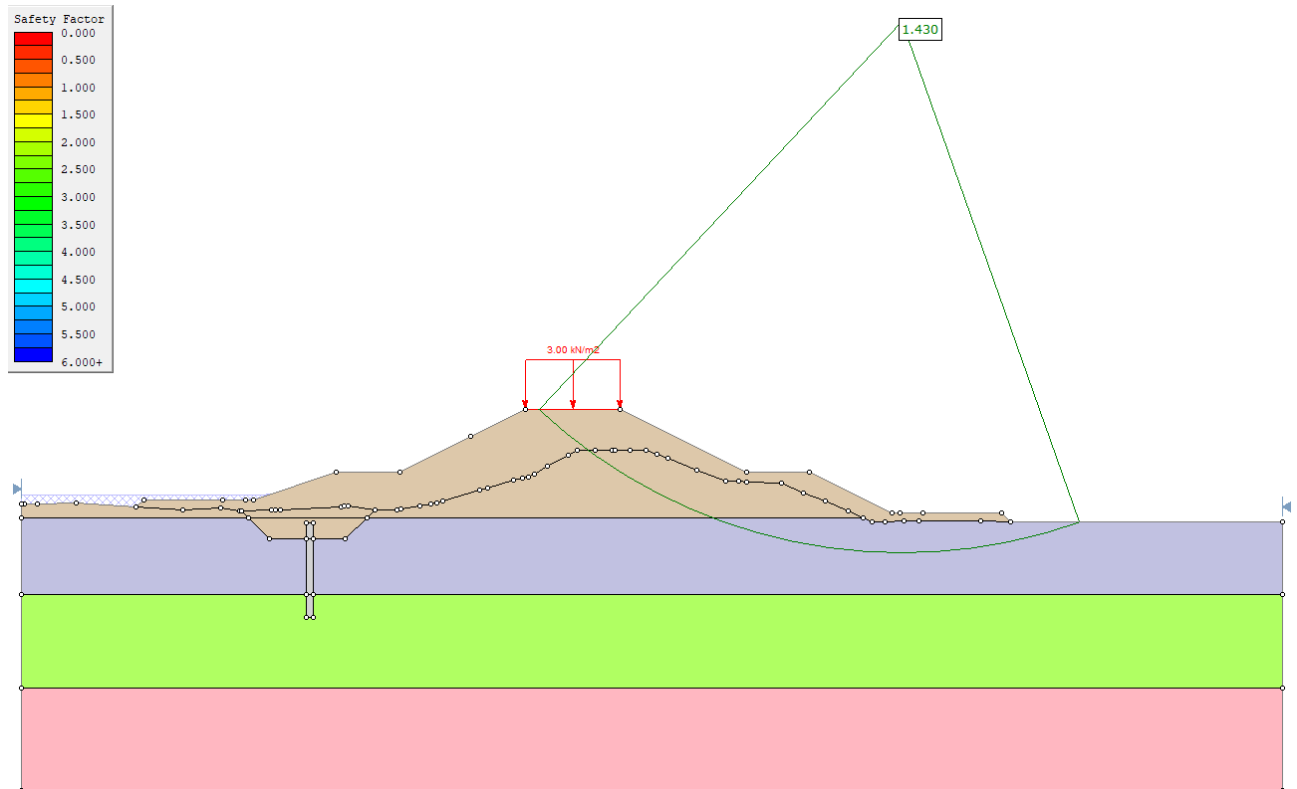


Figura 29: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.26 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
D2 – P1.26	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,464
D2 – P1.26	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,430

Tabella 7: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.26 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO E – Sez. P7.49**

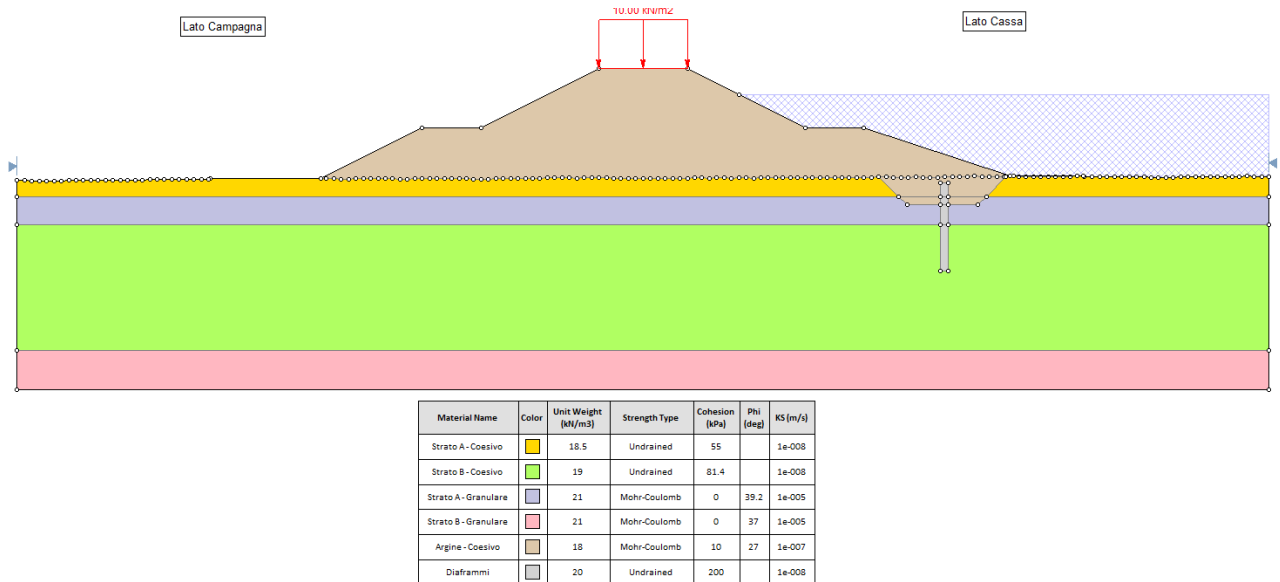


Figura 30: Sezione Tipo E – Sez. P7.49

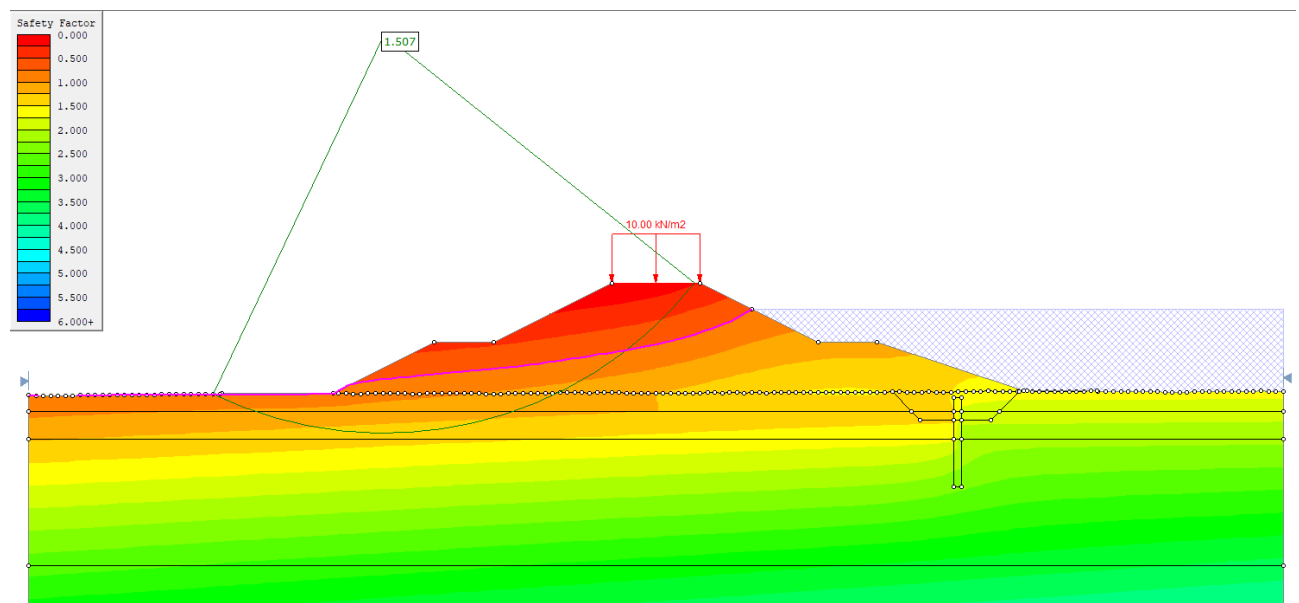


Figura 31: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

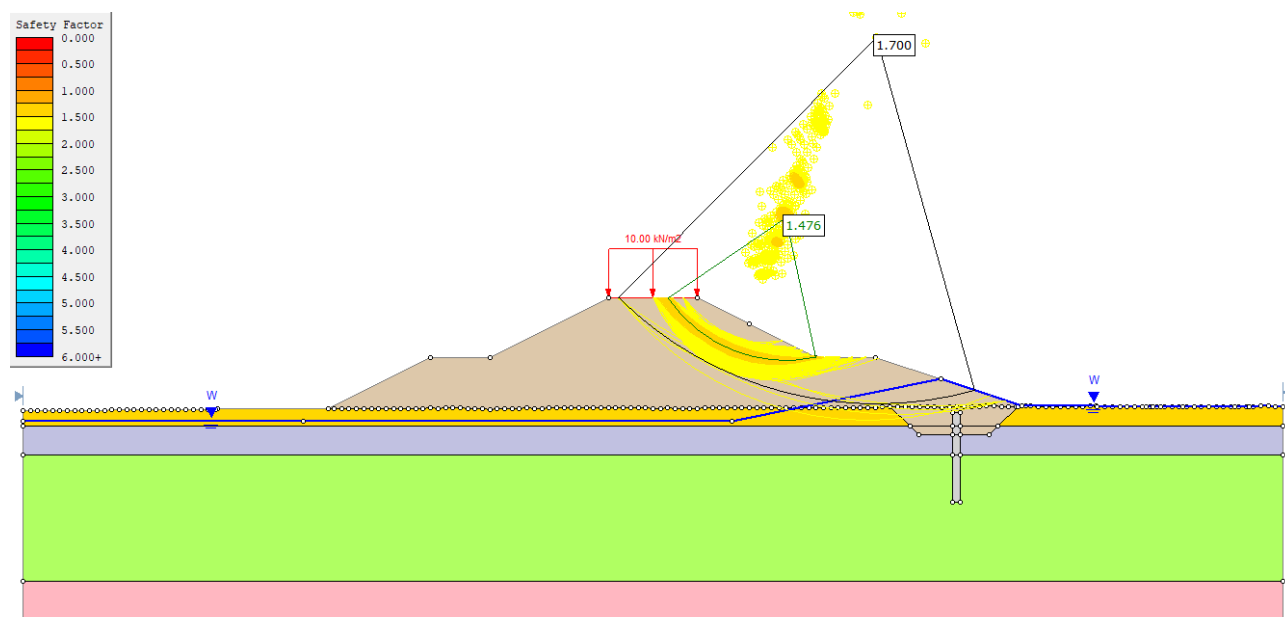


Figura 32: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

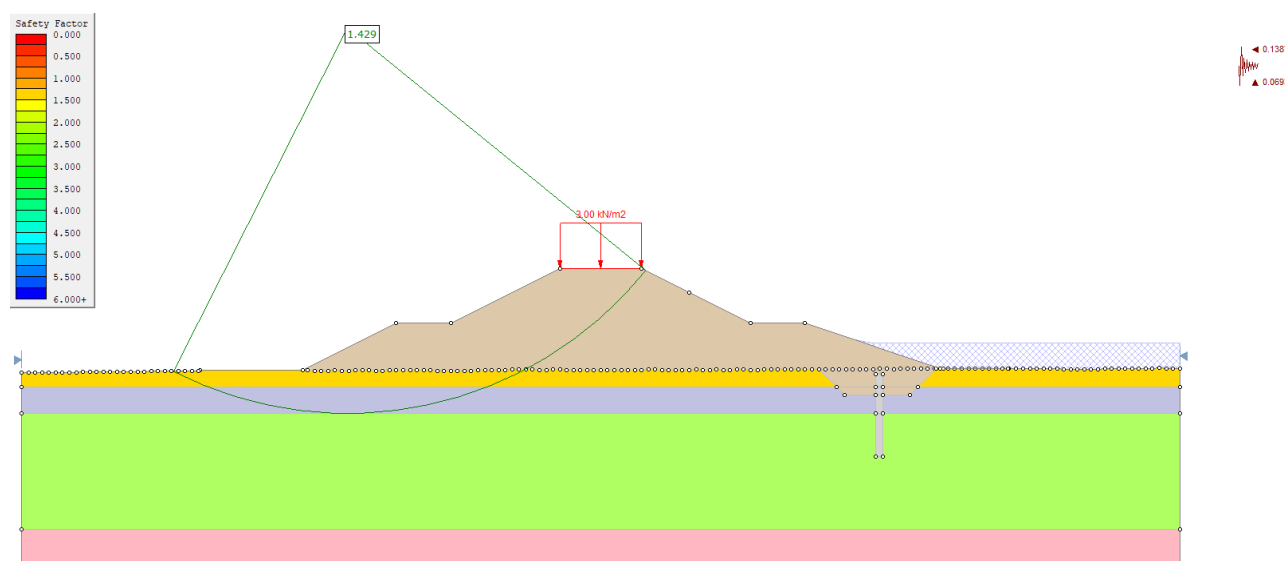


Figura 33: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
E – P7.49	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,507
E – P7.49	SLU (A2+M2+R2)	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,476
E – P7.49	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,429

Tabella 8: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 - Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO E – Sez. P7.54**

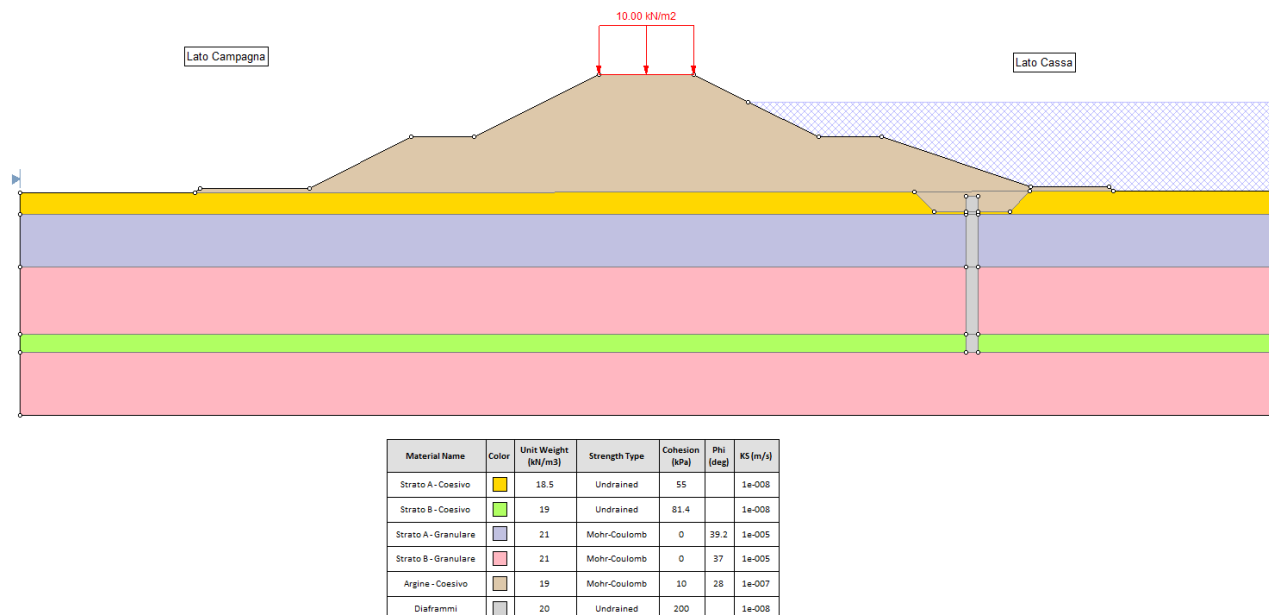


Figura 34: Sezione Tipo E – Sez. P7.54

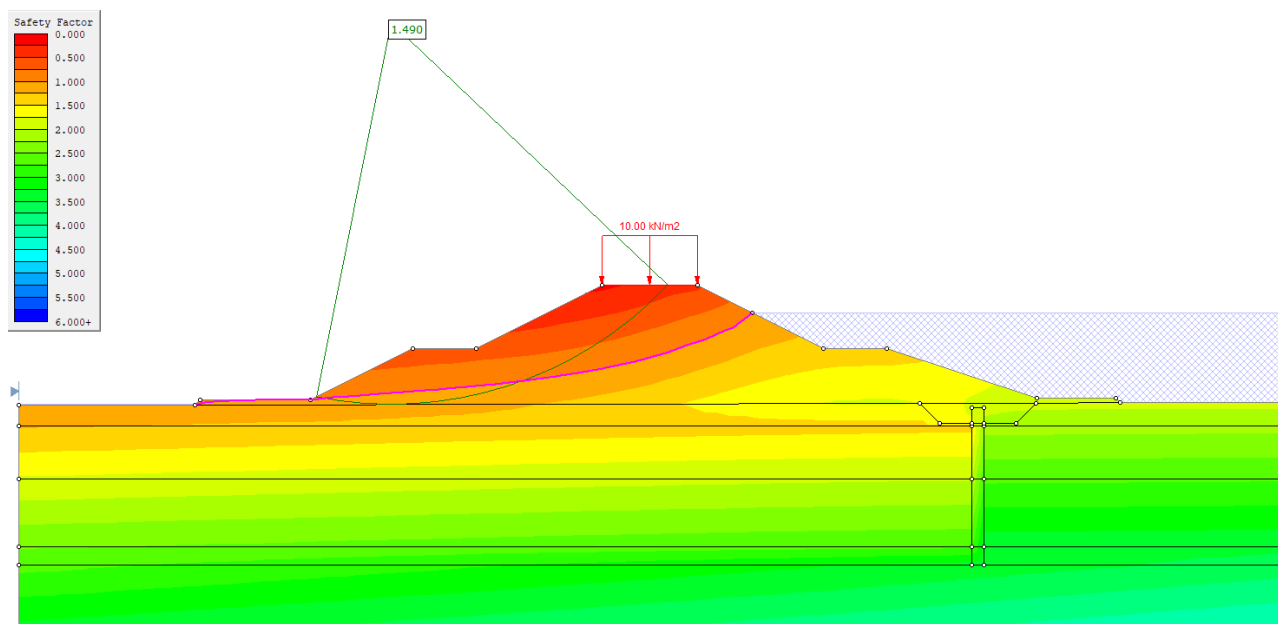


Figura 35: Sezione Tipo E – Sez. P7.54 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

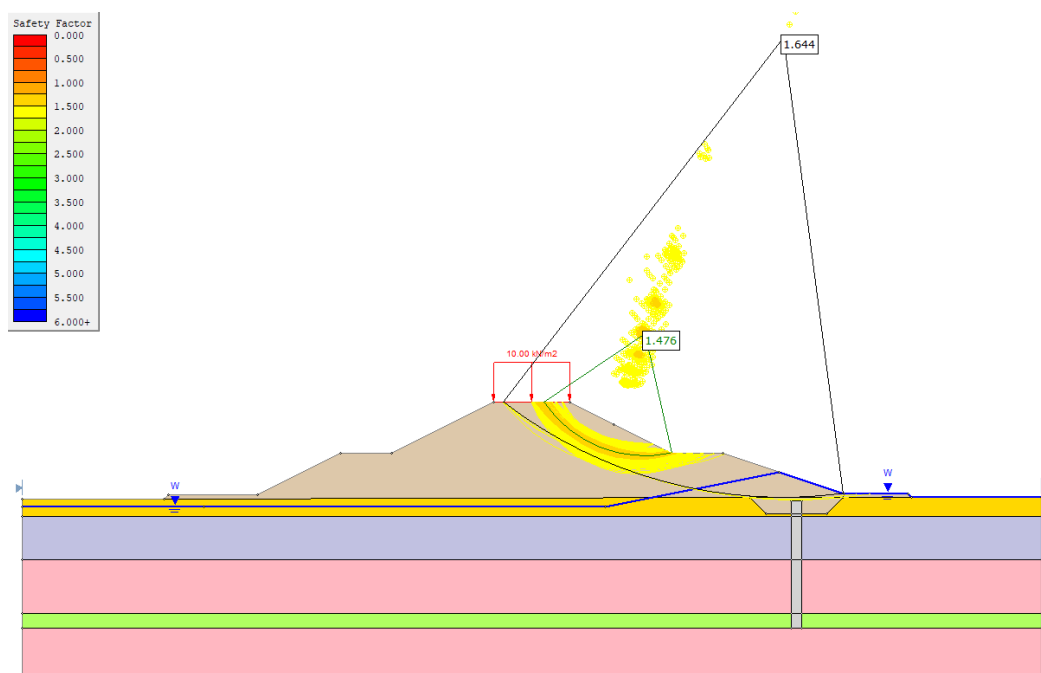


Figura 36: Sezione Tipo E – Sez. P7.54 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

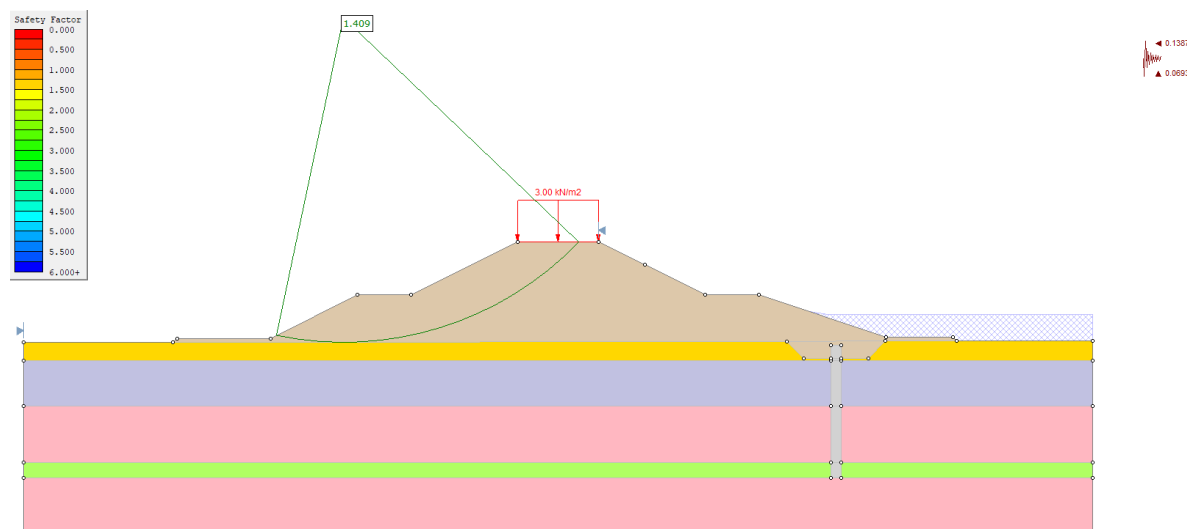


Figura 37: Sezione Tipo E – Sez. P7.54 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
E – P7.54	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,490
E – P7.54	SLU (A2+M2+R2)	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,476
E – P7.54	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,409

Tabella 9: Sezione Tipo E – Sez. P7.54 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO F – Sez. P1.64**

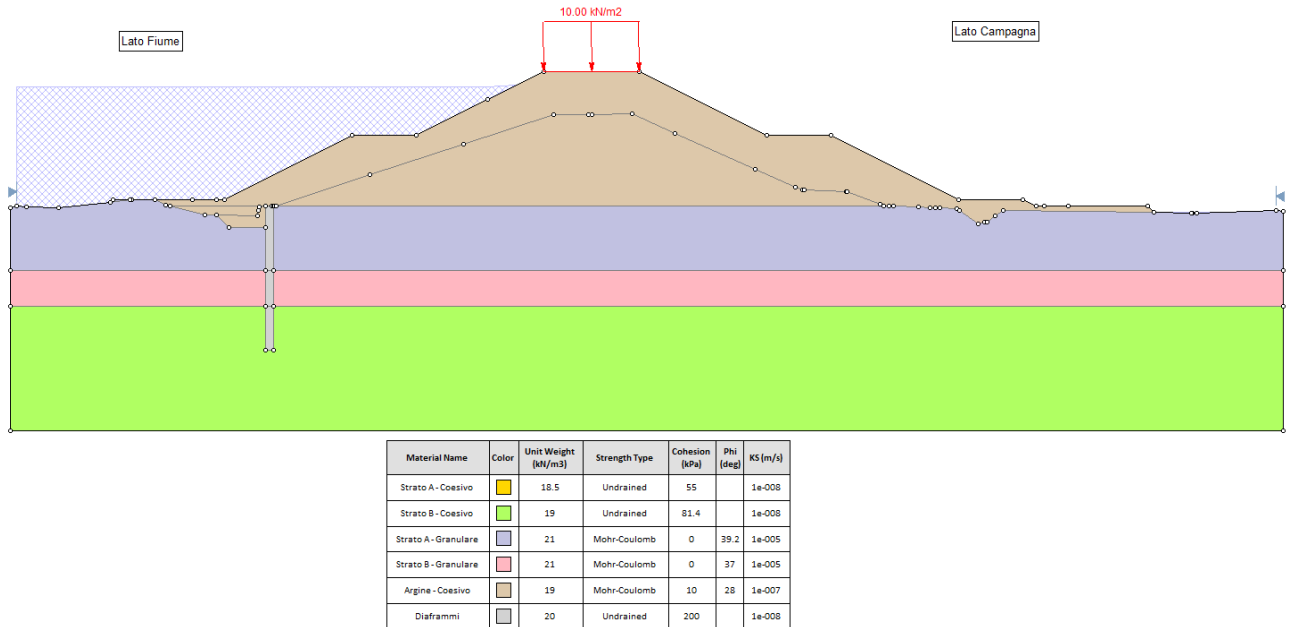


Figura 38: Sezione Tipo F – Sez. P1.64

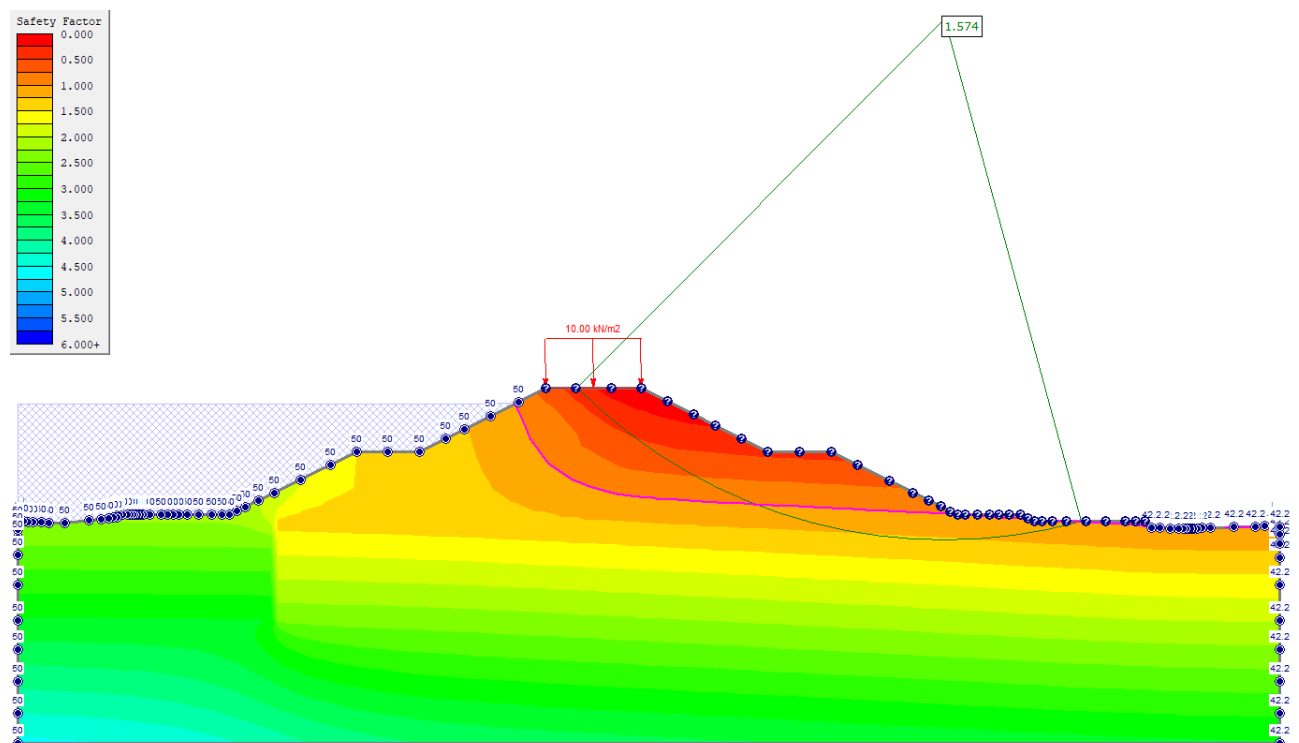


Figura 39: Sezione Tipo F – Sez. P1.64 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

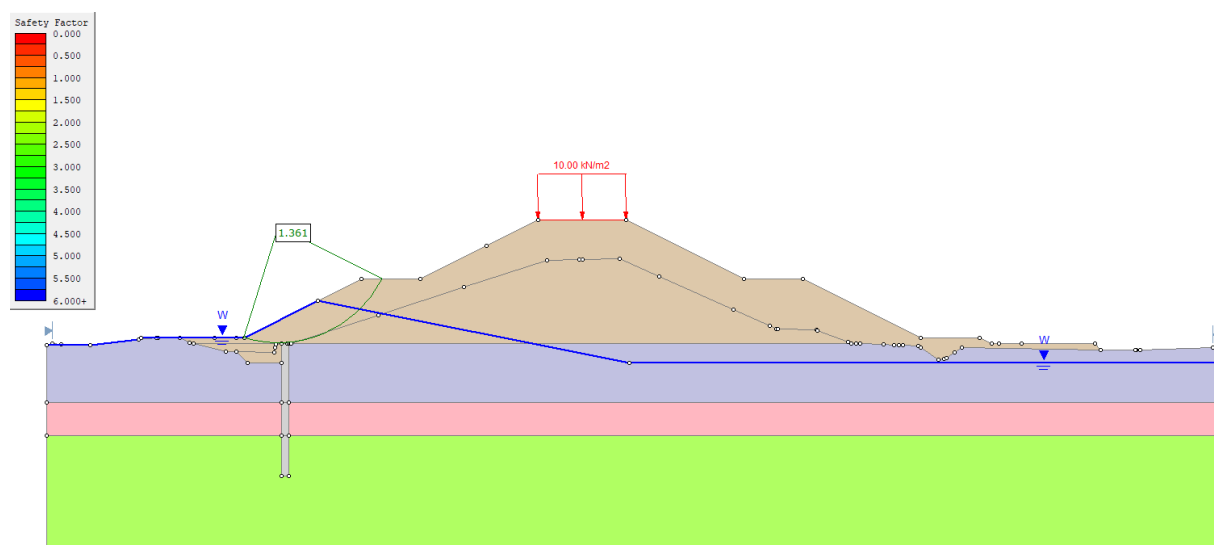


Figura 40: Sezione Tipo F – Sez. P1.64 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso

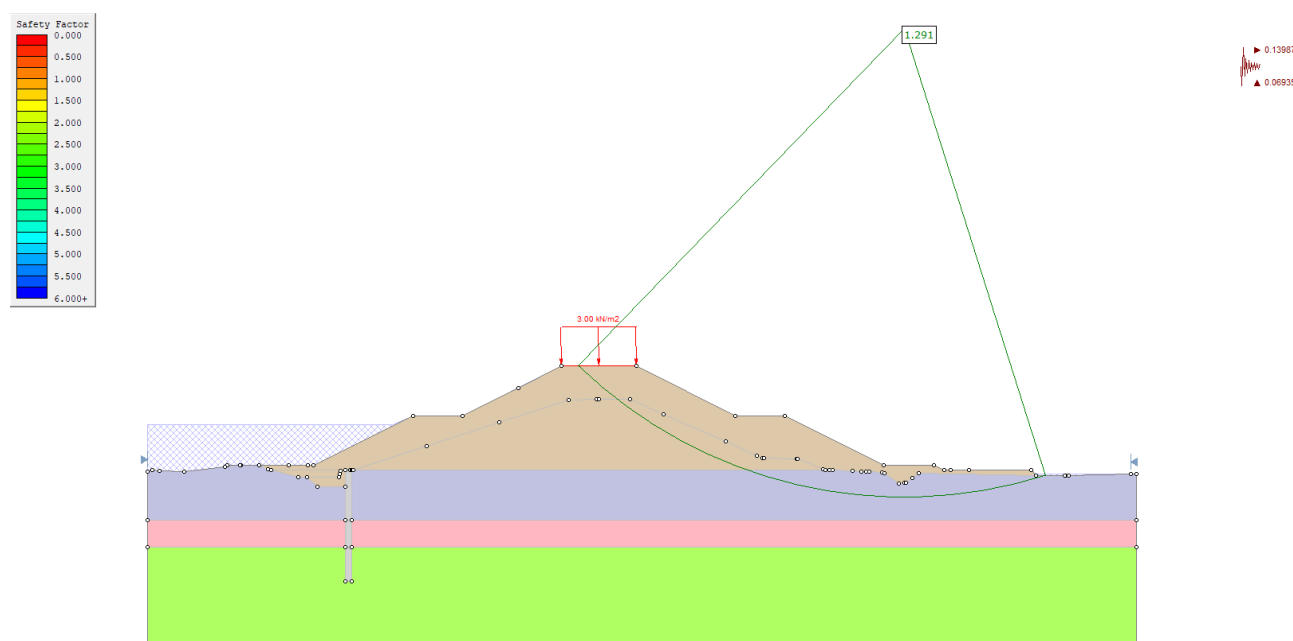


Figura 41: Sezione Tipo F – Sez. P1.64 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
F – P1.64	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,574
F – P1.64	SLU (A2+M2+R2)	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,361
F – P1.64	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,291

Tabella 10: Sezione Tipo F – Sez. P1.64 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO G1 – Sez. P6.30**

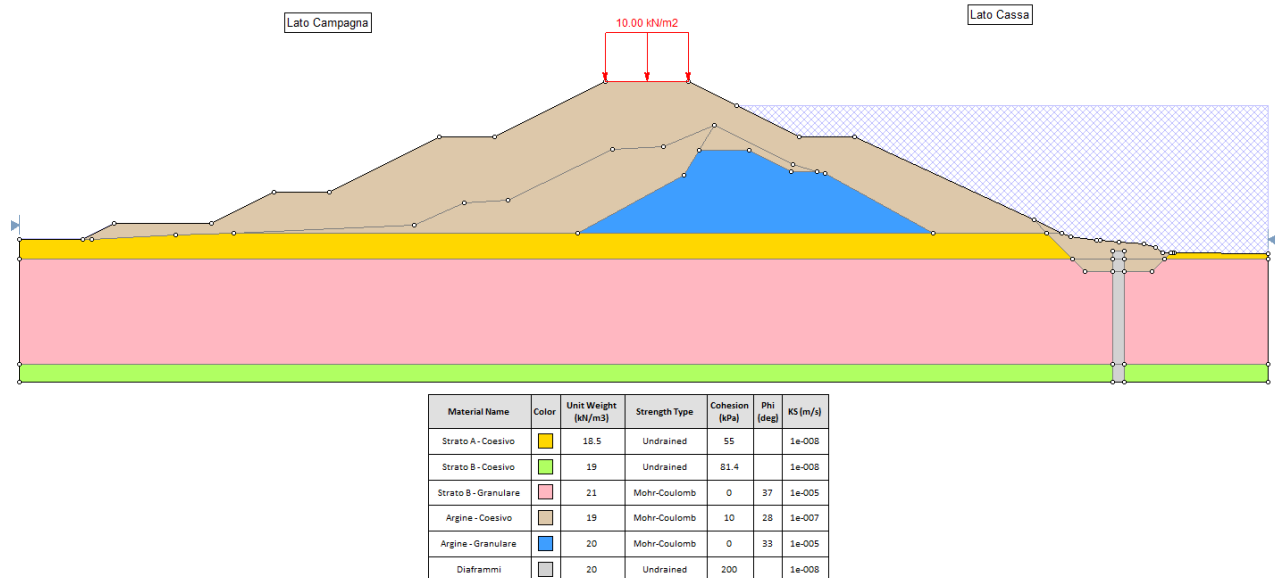


Figura 42: Sezione Tipo G1 – Sez. P6.30

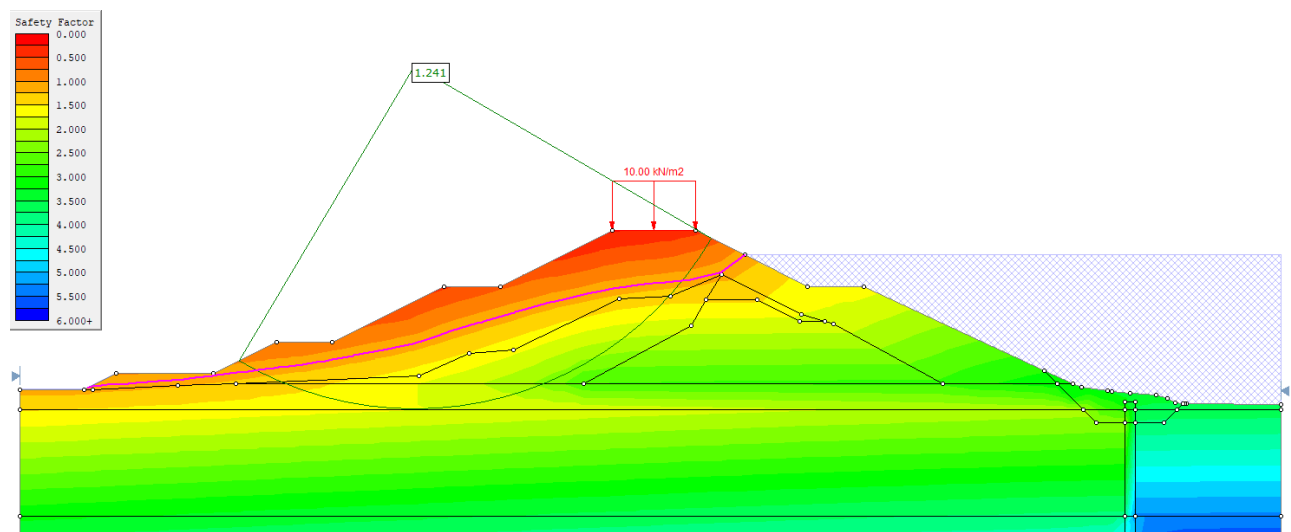


Figura 43: Sezione Tipo G1 Sez. P6.30 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

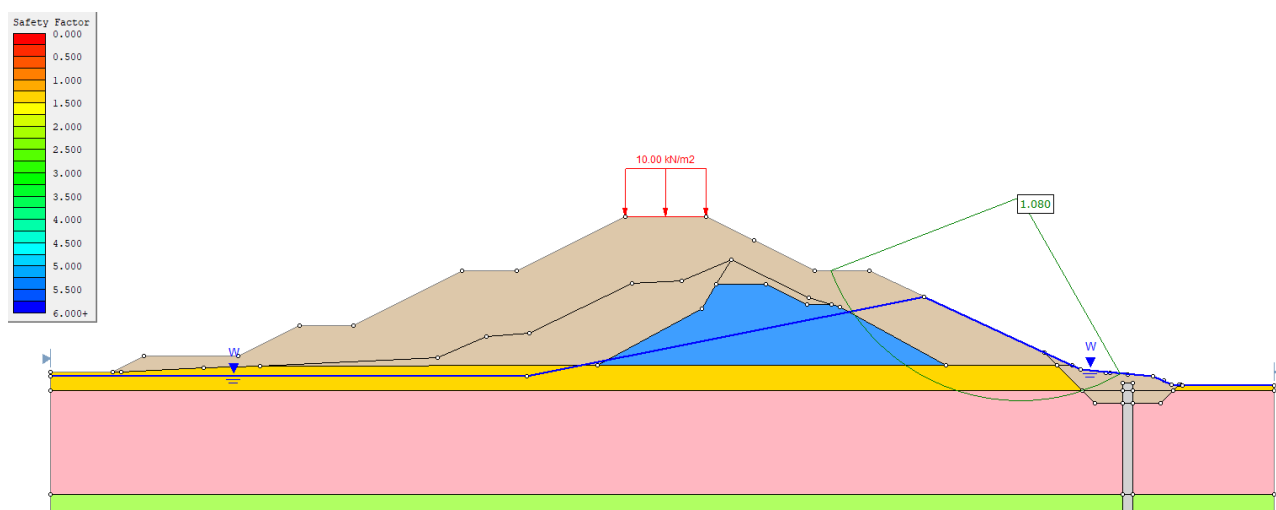


Figura 44: Sezione Tipo G1 Sez. P6.30 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

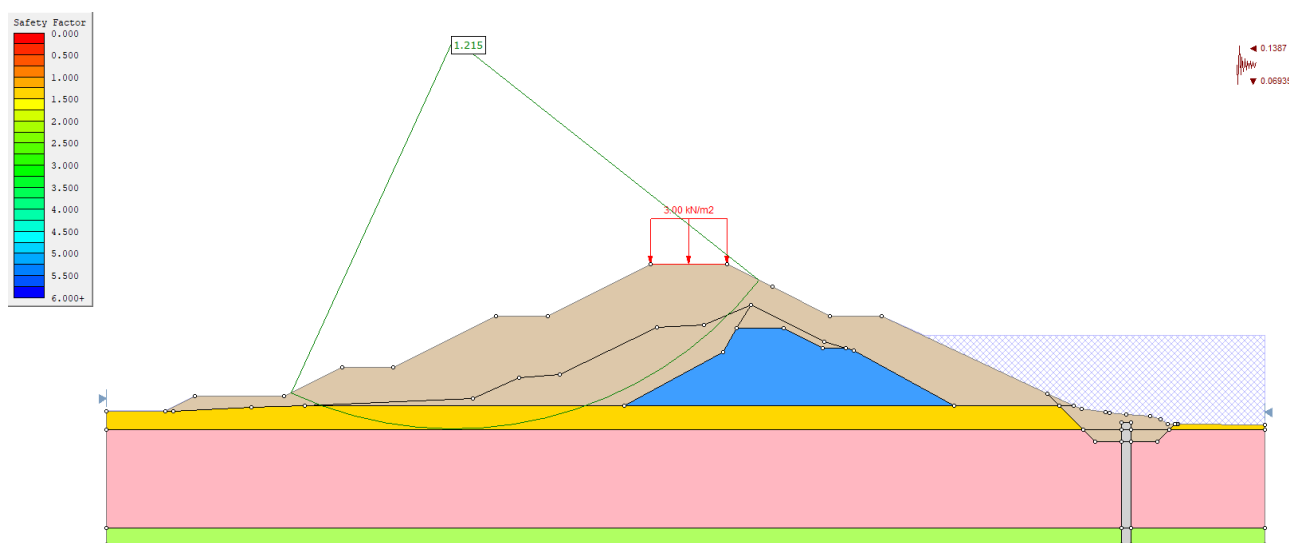


Figura 45: Sezione Tipo G1 Sez. P6.30 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
G1 – P6.30	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,241
G1 – P6.30	SLU (A2+M2+R2)	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,080
G1 – P6.30	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,215

Tabella 11: Sezione Tipo G1 – Sez. P6.30 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO G2 – Sez. P6.46**

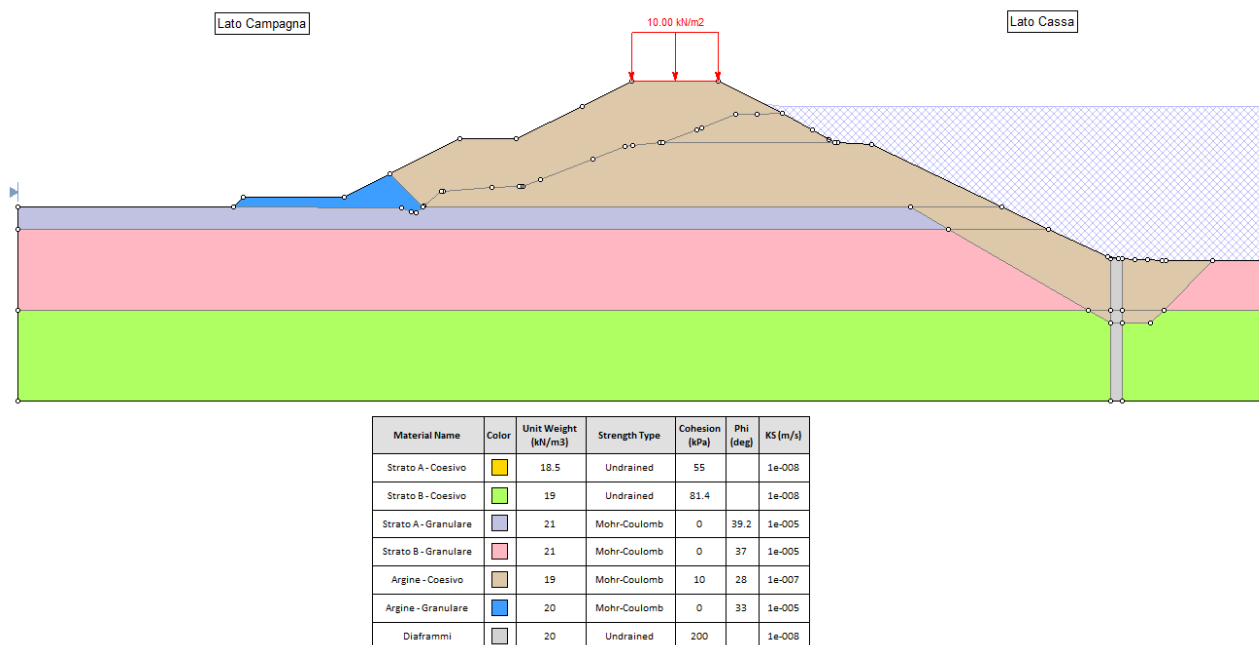


Figura 46: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46

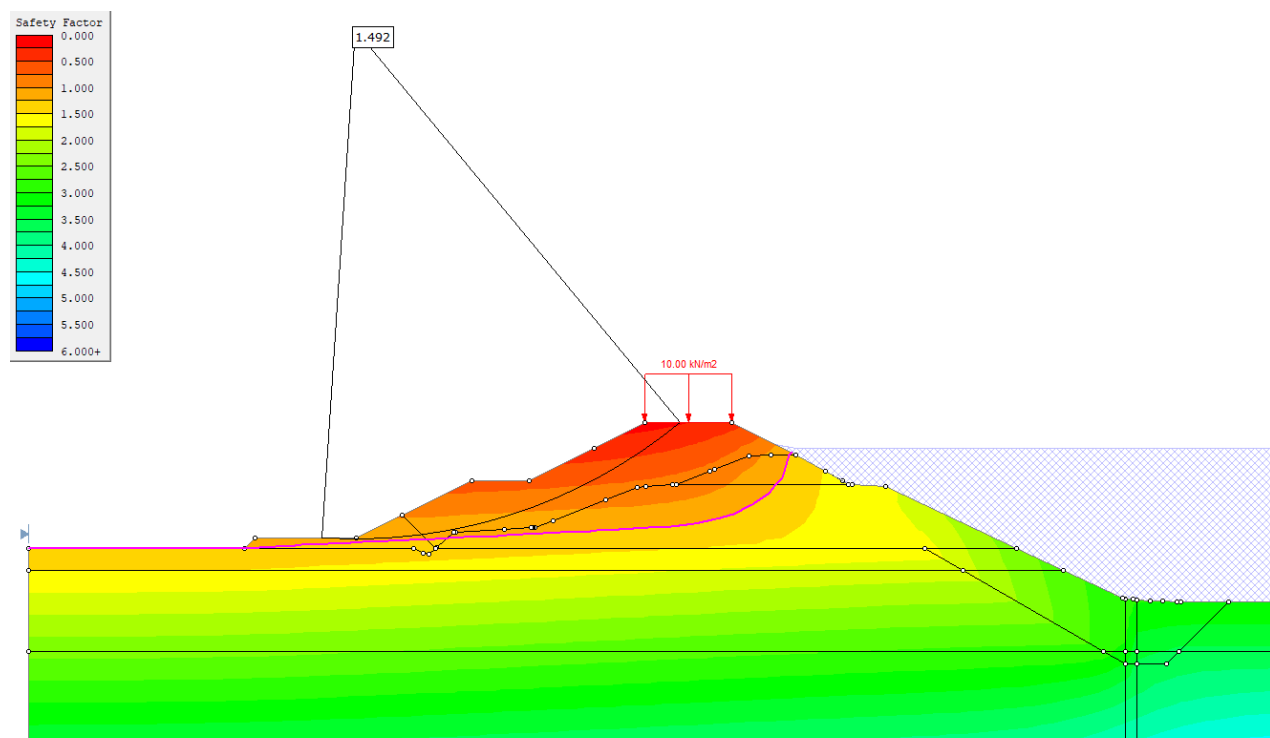


Figura 47: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

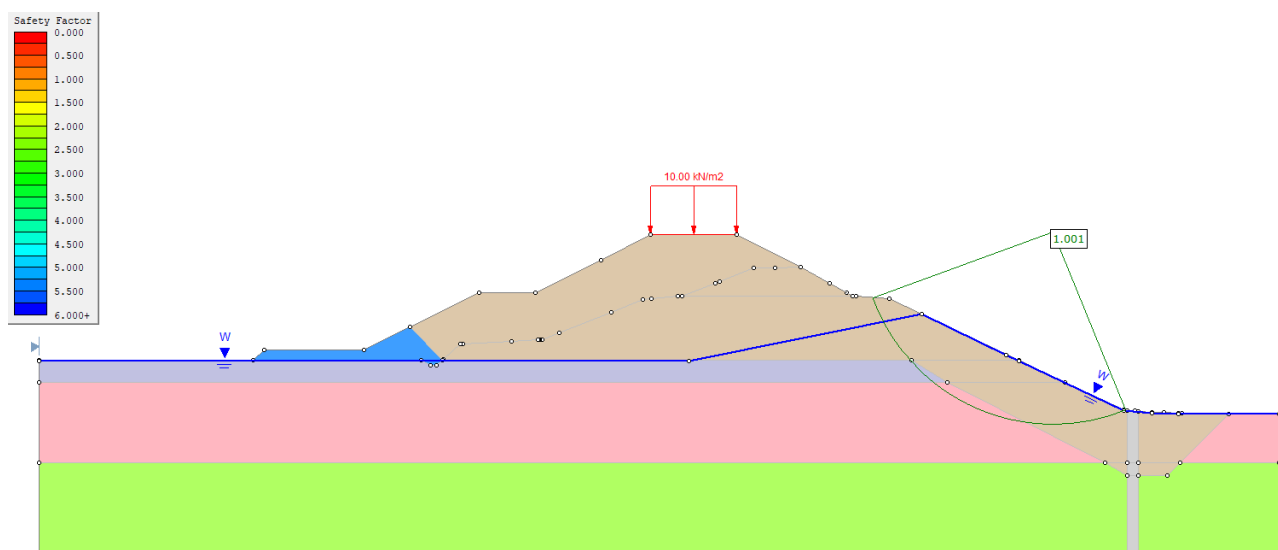


Figura 48: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

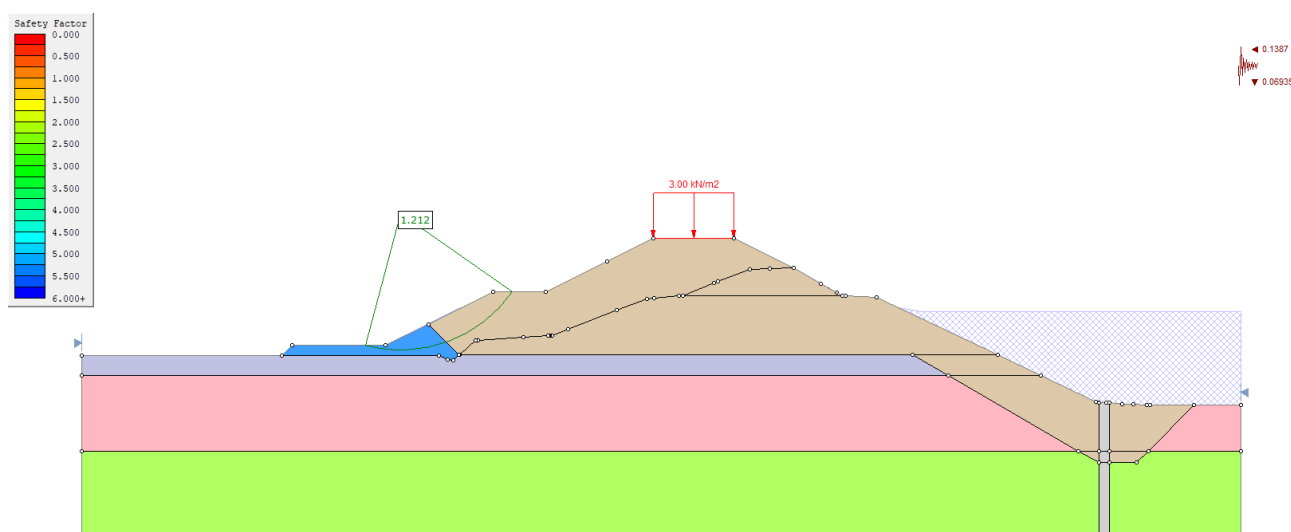


Figura 49: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
G2 – P6.46	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,492
G2 – P6.46	SLU (A2+M2+R2)	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,001
G2 – P6.46	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,212

Tabella 12: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO G3 – Sez. 6.11**

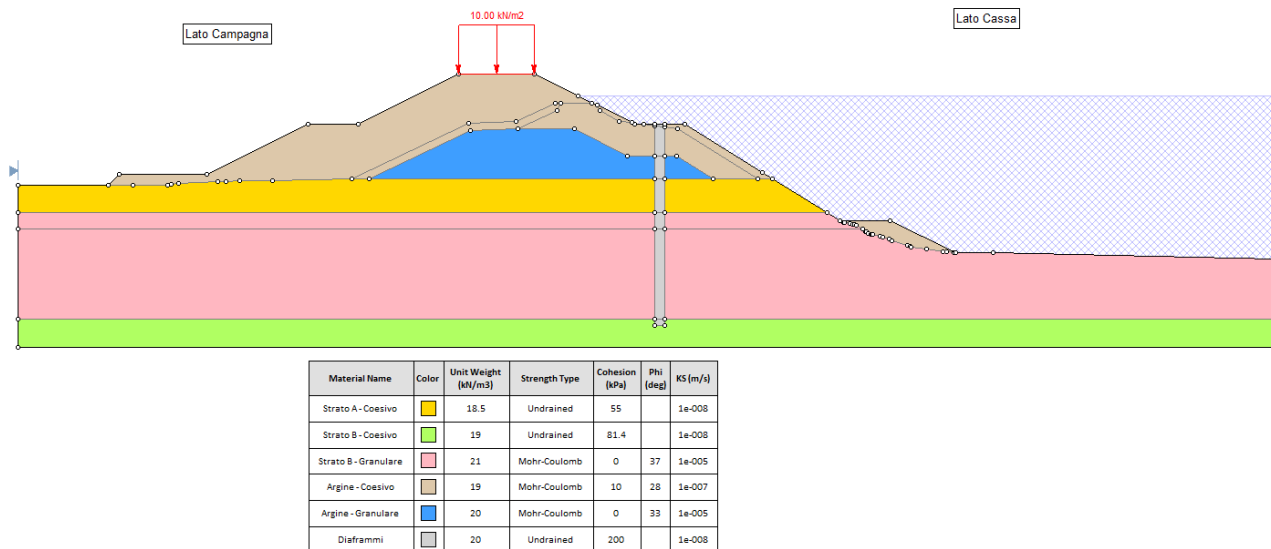


Figura 50: Sezione Tipo G3 - Sez. P6.11

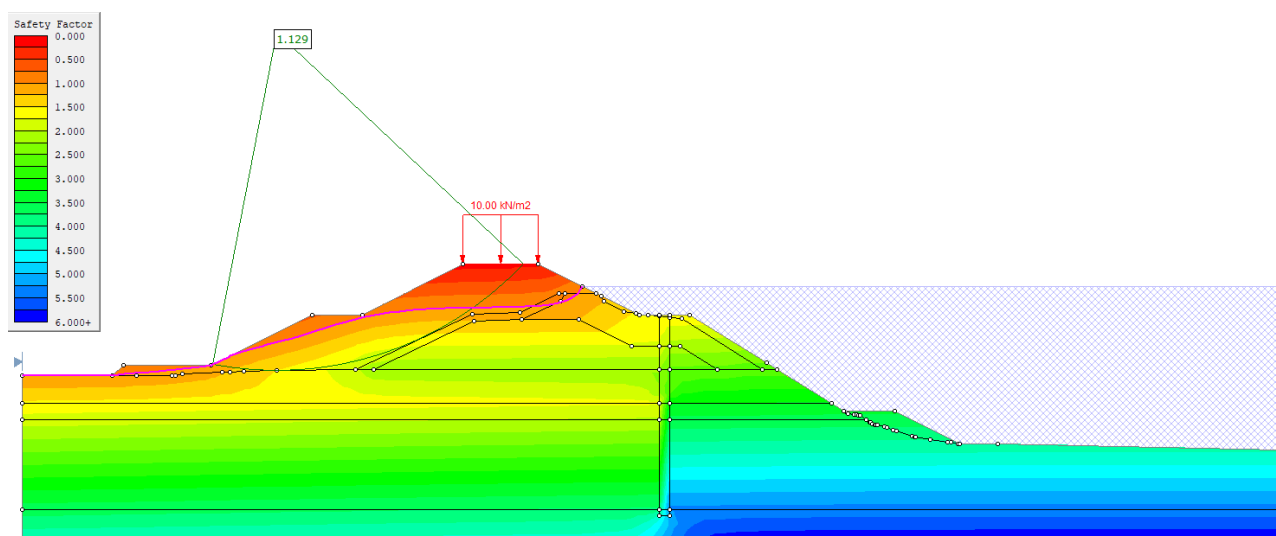


Figura 51: Sezione Tipo G3 - Sez. P6.11 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

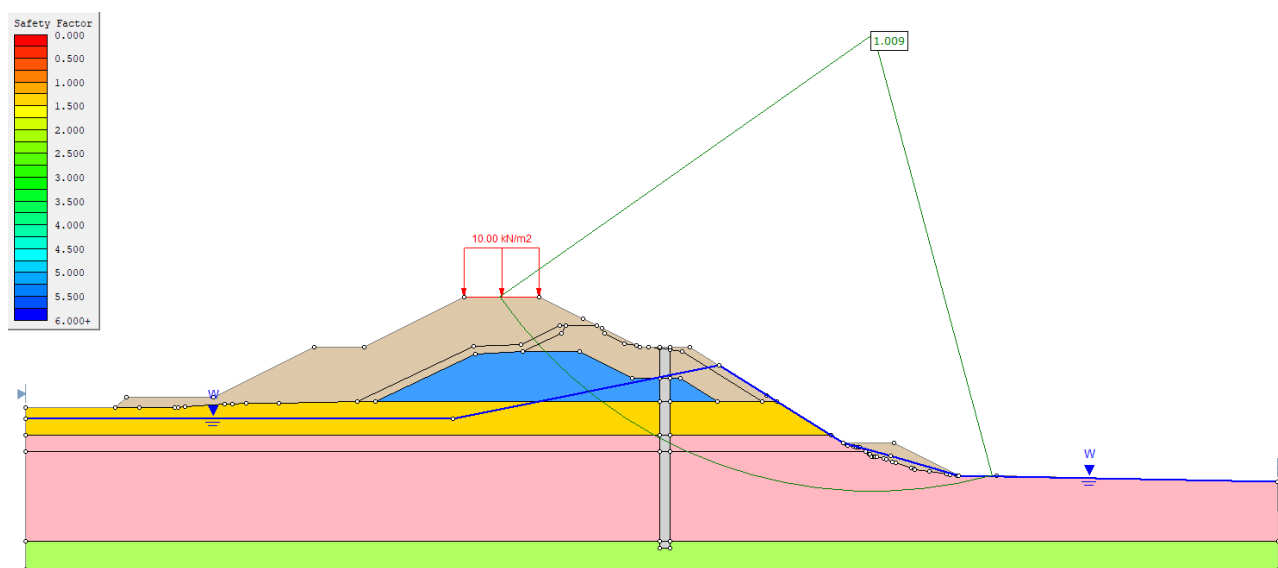


Figura 52: Sezione Tipo G3 - Sez. P6.11 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

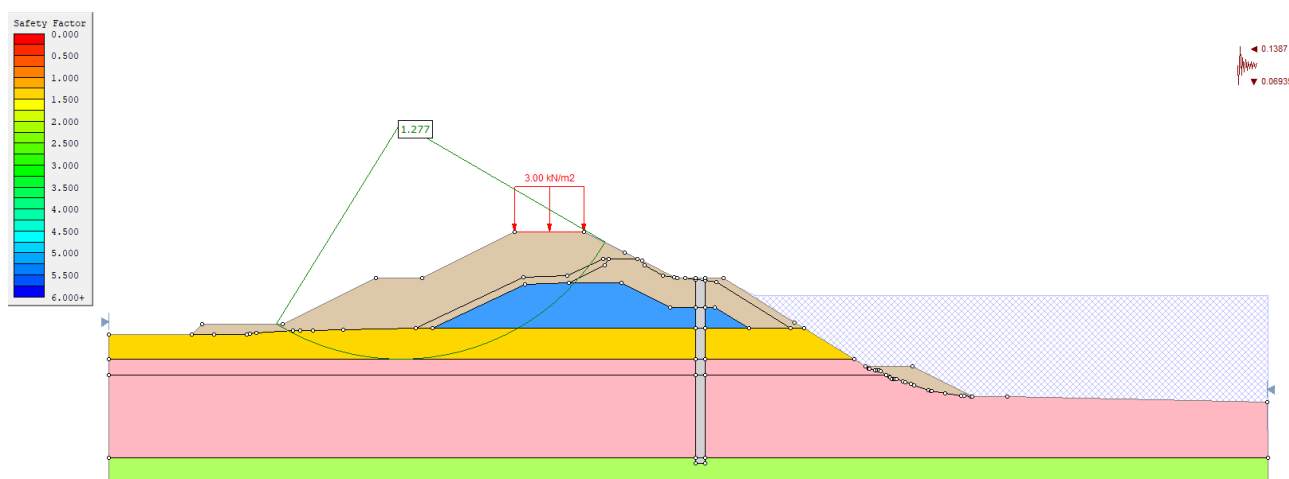


Figura 53: Sezione Tipo G3 - Sez. P6.11 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
G3 – P6.11	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,129
G3 – P6.11	SLU (A2+M2+R2)	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,009
G3 – P6.11	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,277

Tabella 13: Sezione Tipo G3- Sez. P6.11 – Risultati analisi di stabilità globale

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO H – Sez. 6.36**

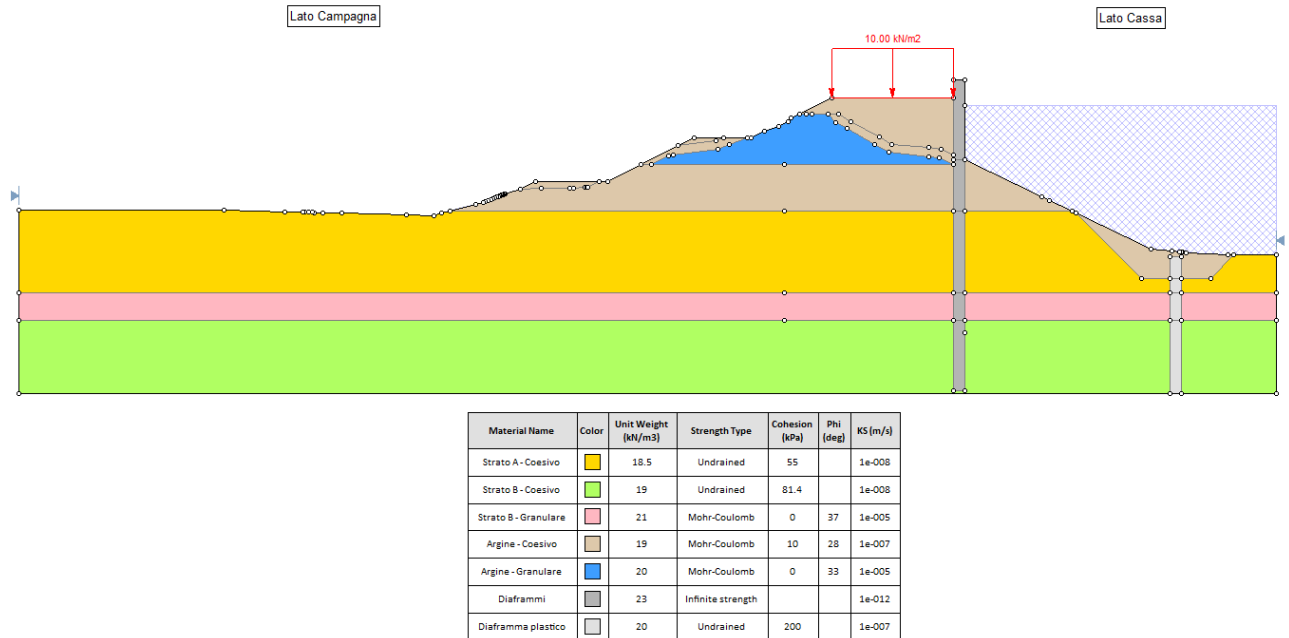


Figura 54: Sezione Tipo H - Sez. P6.36

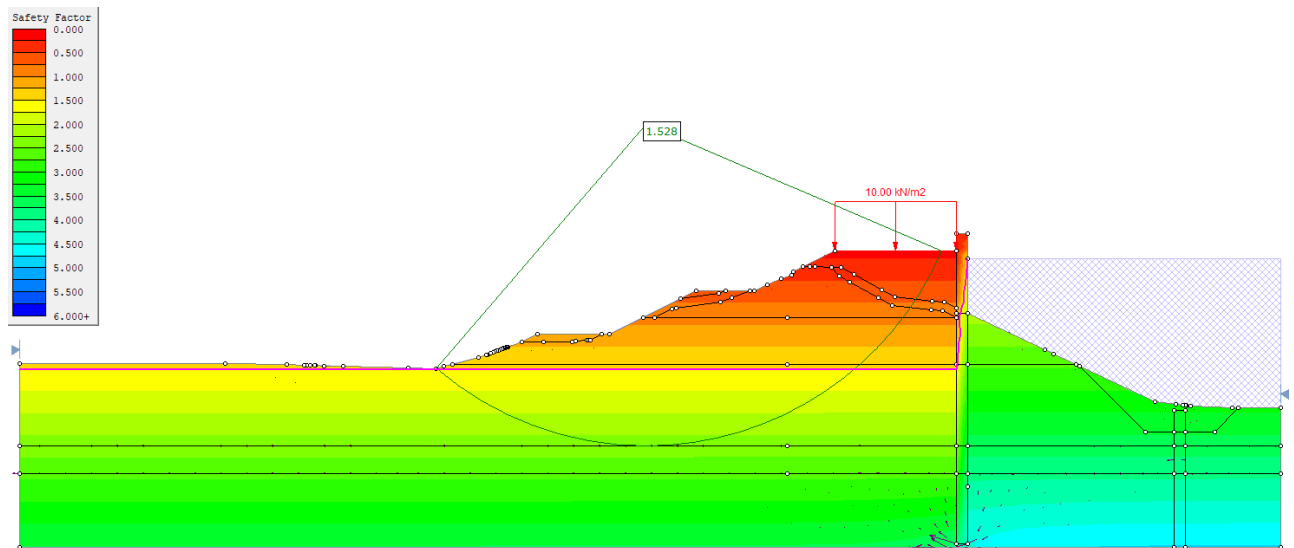


Figura 55: Sezione Tipo H - Sez. P6.36 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

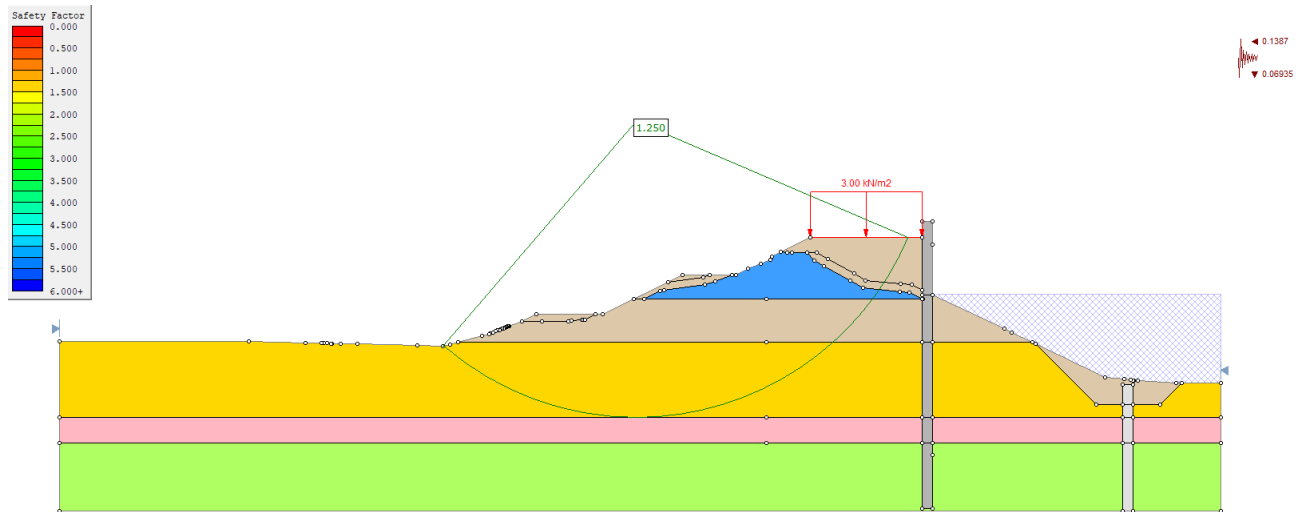


Figura 56: Sezione Tipo H - Sez. P6.36 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
H – P6.36	SLU (A2+M2+R2)	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,528
H – P6.36	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLV, classe IV VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,250

Tabella 14: Sezione Tipo H - Sez. P6.36 – Risultati analisi di stabilità globale

6.2 Verifica nei confronti del pericolo di sifonamento

In accordo con quanto richiesto dalla più recente normativa di riferimento sono state eseguite le verifiche nei confronti dei possibili Stati Limite Ultimi idraulici per quanto concerne il pericolo di sifonamento lato campagna.

Le verifiche di sicurezza sono state condotte adottando il codice di calcolo Slide (ver. 7.025) della Rocscience assumendo le seguenti condizioni:

- livello di massima piena lato fiume (50.00 m s.l.m.);
- livello falda lato campagna assunta cautelativamente pari alla quota del p.c.;
- condizioni più cautelative di moto stazionario.

I parametri caratteristici di conducibilità idraulica dei terreni di fondazione e del corpo arginale sono stati desunti con riferimento ai risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc condotte in sito, delle prove edometriche eseguite sui campioni prelevati durante i sondaggi e della letteratura tecnica a disposizione.

In *Tabella 15* si riportano i coefficienti di conducibilità idraulica assunti nelle verifiche di sicurezza:

	Coefficiente di permeabilità k [m/s]
Argine - Coesivo	1,00E-07
Argine - Granulare	1,00E-05
Orizzonte A - Granulare	1,00E-05
Orizzonte B - Granulare	1,00E-05
Orizzonte A - Coesivo	1,00E-08
Orizzonte B - Coesivo	1,00E-08
Orizzonte C - Coesivo	1,00E-08

Tabella 15 : Coefficienti di conducibilità idraulica dei terreni di fondazione e del corpo arginale

Alla diaframmatrice plastica è stata assegnato un coefficiente di conducibilità idraulica pari a $k=10^{-8}$ m/s mentre alla diaframmatrice in c.a. è stata assegnato un coefficiente pari a $k=10^{-15}$ m/s.

Le verifiche sono state condotte valutando il rapporto tra il gradiente critico i_c , assunto pari a 1, e il gradiente massimo in uscita i_E ; affinché la verifica sia soddisfatta tale rapporto deve essere maggiore di 2.

$$\gamma_R = \frac{i_c}{i_E} \geq 2$$

Le verifiche sono state condotte con riferimento alle sezioni caratterizzate da una stratigrafia costituita da terreni superficiali di tipo granulare e permeabile.

Nelle figure seguenti si riporta il modello di calcolo adottato e l'andamento del gradiente idraulico verticale i_y in uscita per le sezioni adottate:

- **SEZIONE TIPO A – Sez. P1.11**

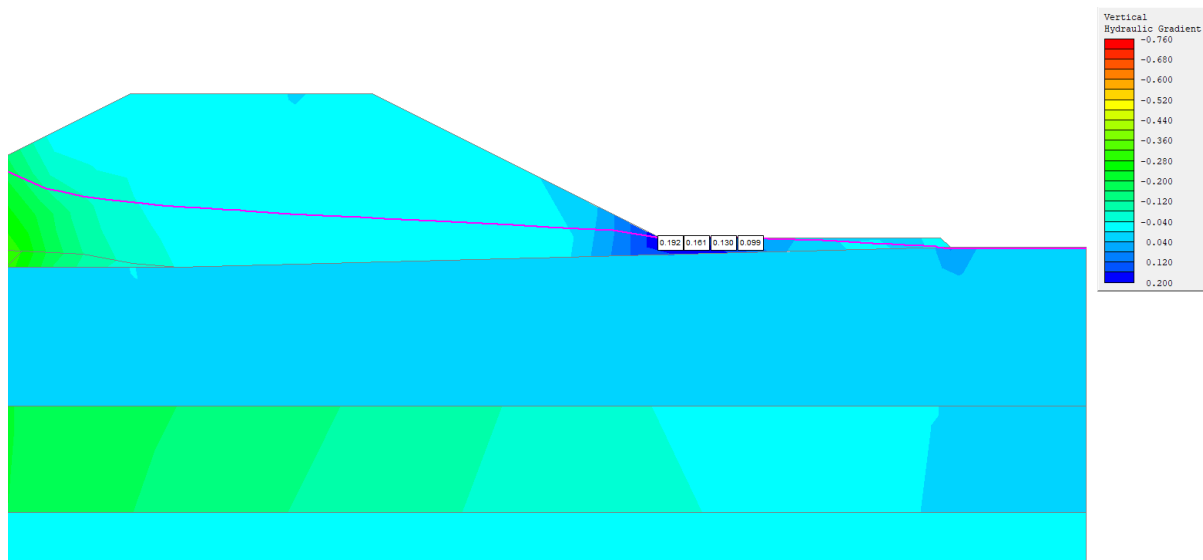


Figura 57: Sezione A (Taglione 46) - Sez. P1.11– Andamento del gradiente verticale i_y

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

- **SEZIONE TIPO C – Sez. P2.52**

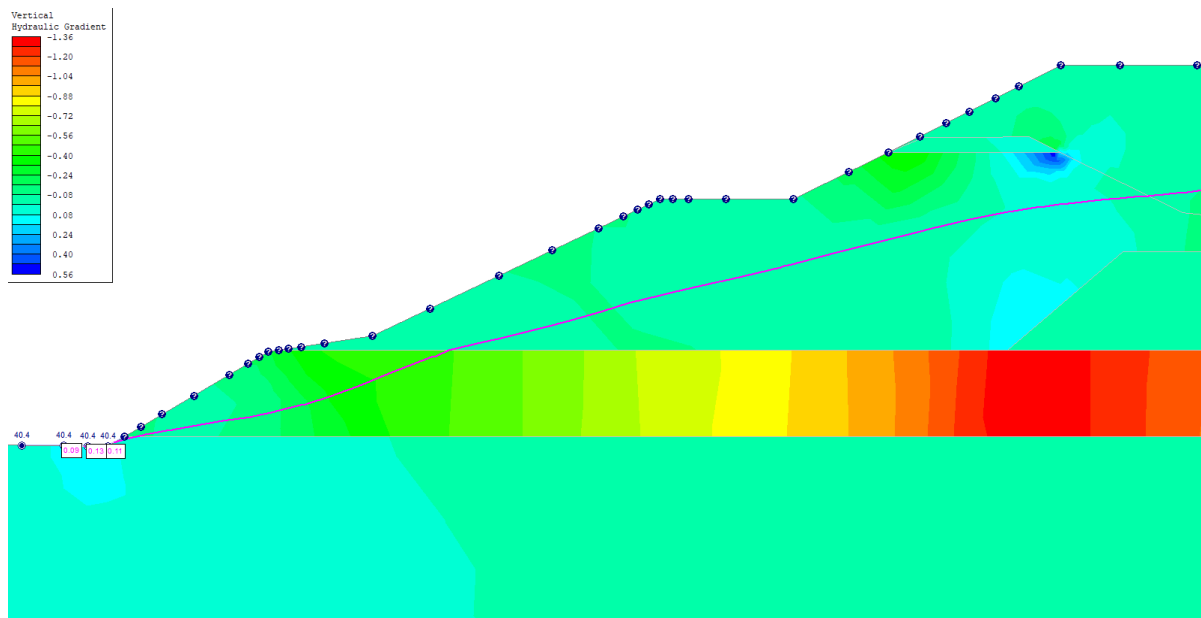


Figura 58: Sezione C1 – Sez. P2.52 - Andamento del gradiente verticale i_y

- **SEZIONE TIPO D1 – Sez. P2.47**

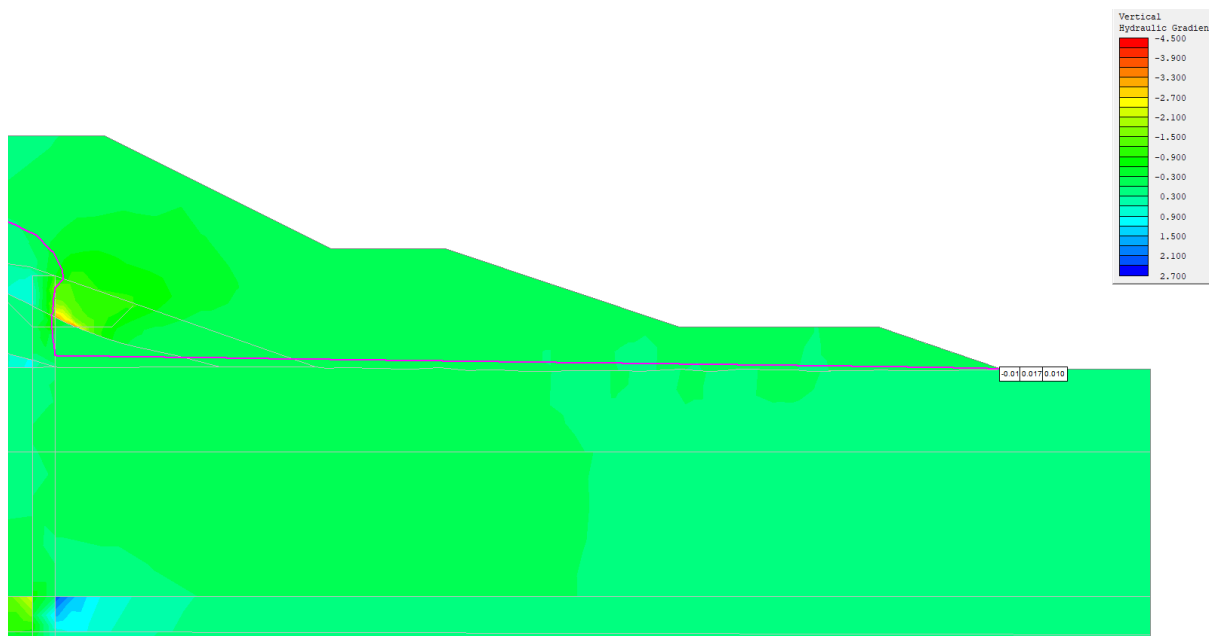


Figura 59: Sezione D1 – Sez. P2.47 - Andamento del gradiente verticale i_y nelle condizioni di piena lato cassa

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente)

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

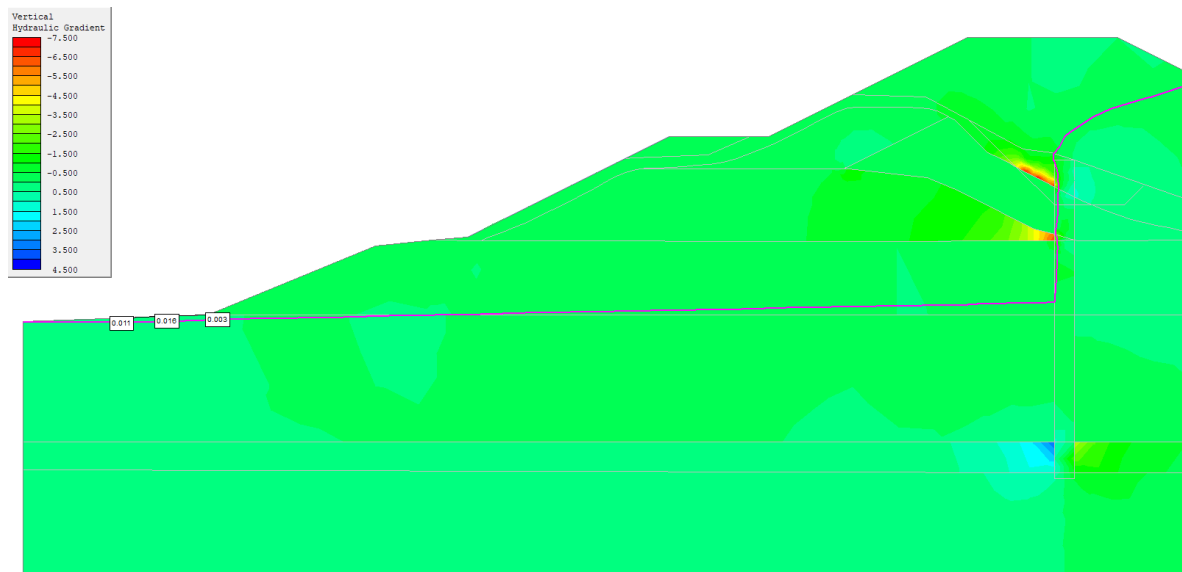


Figura 60: Sezione D1 – Sez. P2.47 - Andamento del gradiente verticale i_y nelle condizioni di piena lato fiume

• **SEZIONE TIPO D2 – Sez. P1.26**

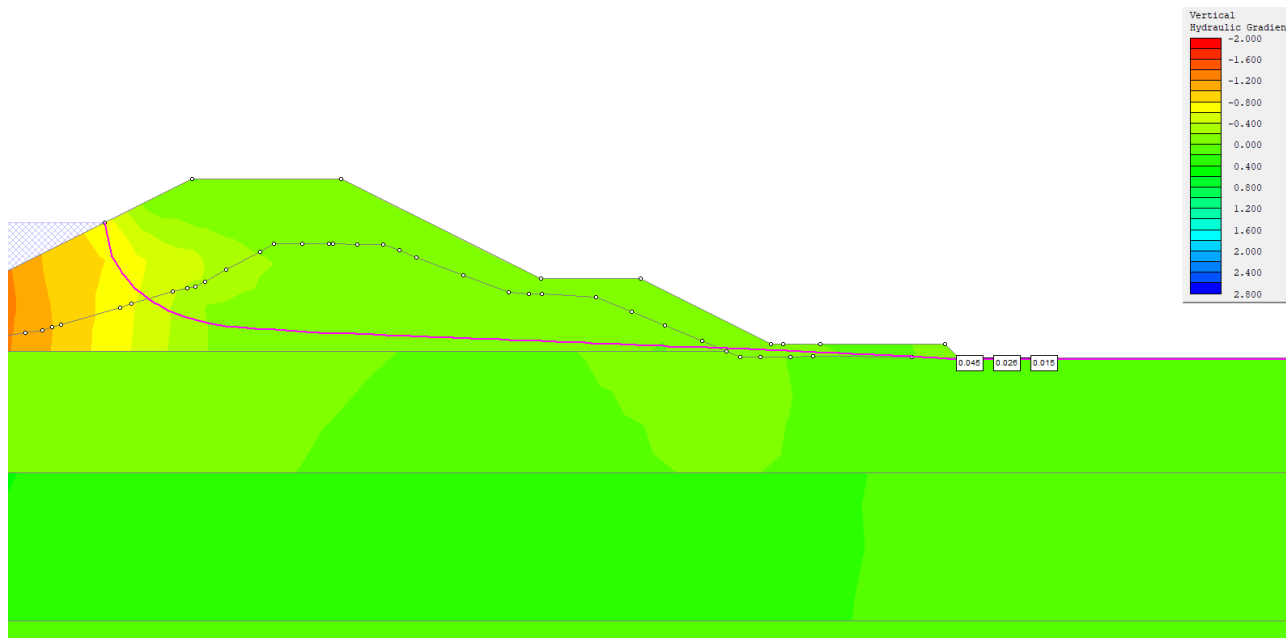


Figura 61: Sezione D2 – Sez. P1.26 - Andamento del gradiente verticale i_y

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• *SEZIONE TIPO F – Sez. P1.64*

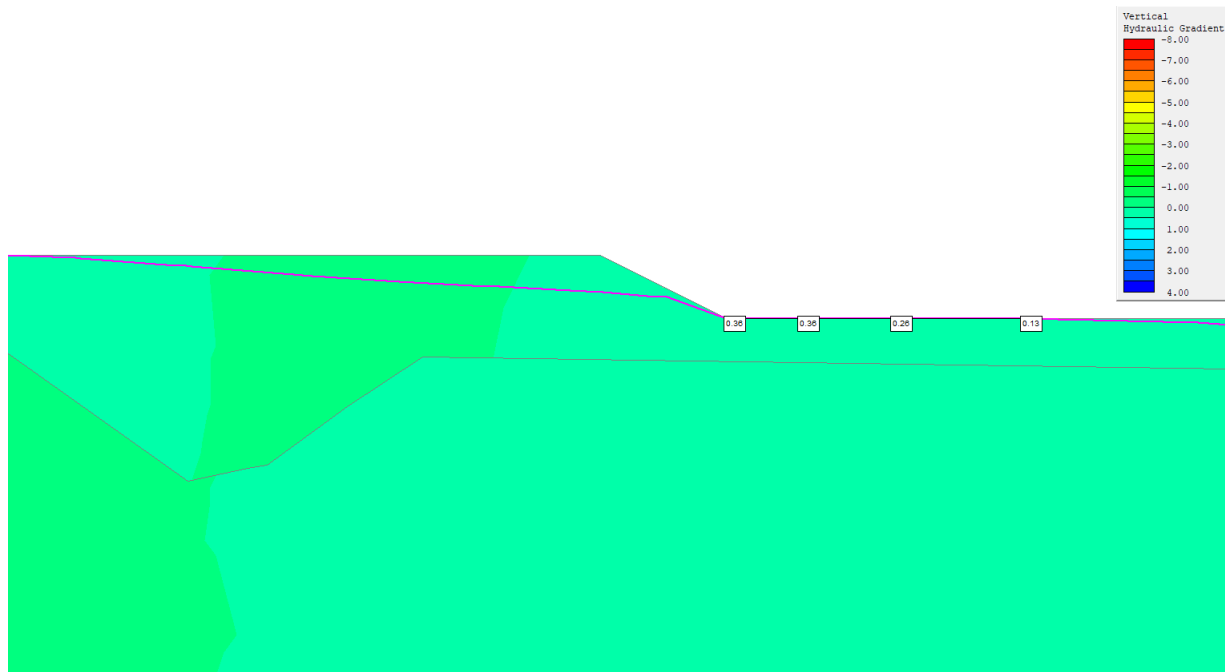


Figura 62: Sezione F – Sez. P1.64 - Andamento del gradiente verticale i_y

• *SEZIONE TIPO G2 – Sez. P6.46*

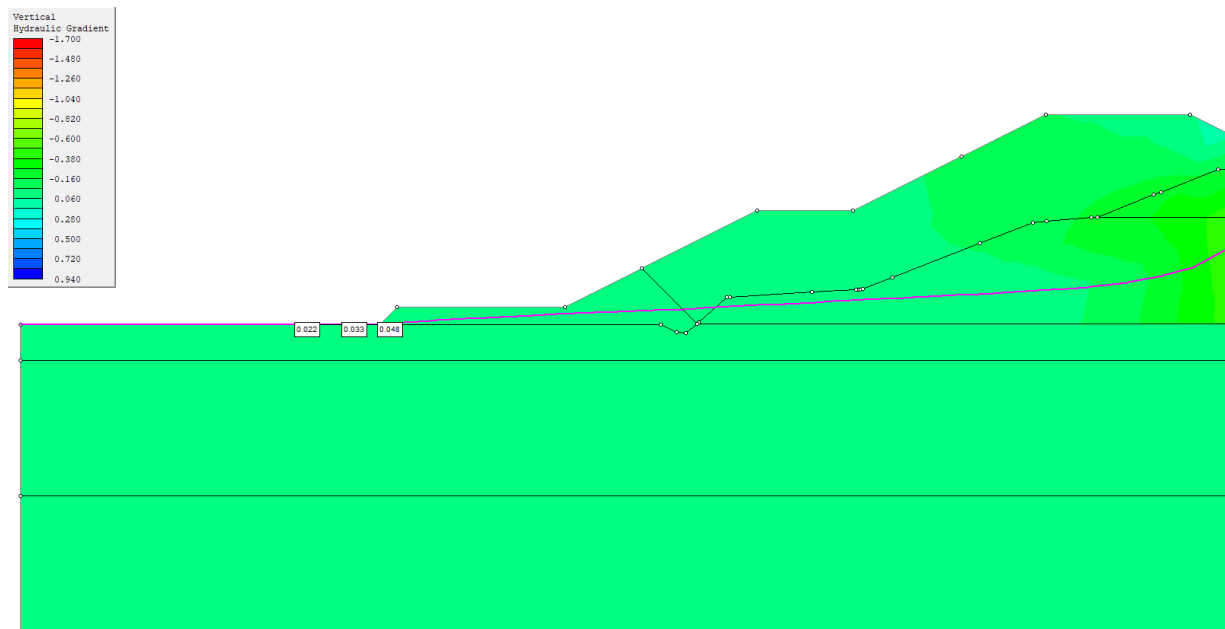


Figura 63: Sezione G2 – Sez. P6.46 - Andamento del gradiente verticale i_y

Nella seguente tabella vengono riassunte le verifiche condotte con riferimento al gradiente idraulico verticale in uscita a campagna indicato nelle immagini precedenti.

Sezione	Gradiente verticale i_v	i_c/i_v
A – P1.11	0,192	5
C – P2.52	0,13	8
D1 – P2.47 [Piena lato Cassa]	0,017	>10
D1 – P2.47 [Piena lato Fiume]	0,016	>10
D2 – P1.26	0,045	>10
F – P1.64	0,36	3
G2 – P6.46	0,048	>10

Tabella 16: Valori del gradiente idraulico verticale nella zona di deflusso

6.3 Verifica al sollevamento

In accordo con la Normativa vigente sono stati verificati gli stati limite idraulici nei confronti del pericolo di sollevamento al piede dell'argine a campagna. Nelle Norme Tecniche viene indicato che il valore di progetto della pressione interstiziale stabilizzante ($u_{inst,d}$) deve risultare non superiore al valore di progetto della tensione totale stabilizzante ($\sigma_{stb,d}$) tenendo conto dei seguenti coefficienti parziali:

Tab. 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

A partire dalle verifiche di filtrazione dei rilevati arginali, presentate nel precedente paragrafo, si sono ricavati i valori della pressione interstiziale e confrontati con le pressioni totali, calcolate cautelativamente considerando un peso di volume del terreno pari a 19 kN/m^3 .

Le verifiche sono state condotte con riferimento alle sezioni che presentano una stratigrafia caratterizzata da terreni coesivi superficiali e terreni granulari profondi in fondazione.

- **SEZIONE TIPO B – Sez. P7.28**

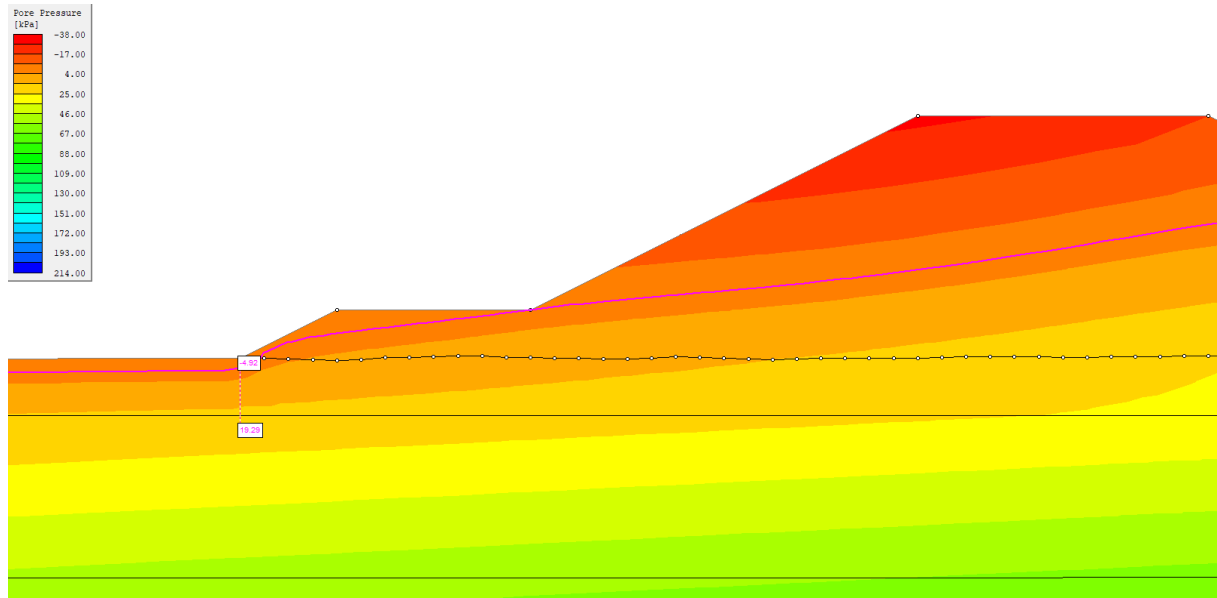


Figura 64: Sezione B – Sez. P7.28 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

- **SEZIONE TIPO B – Sez. P7.41**

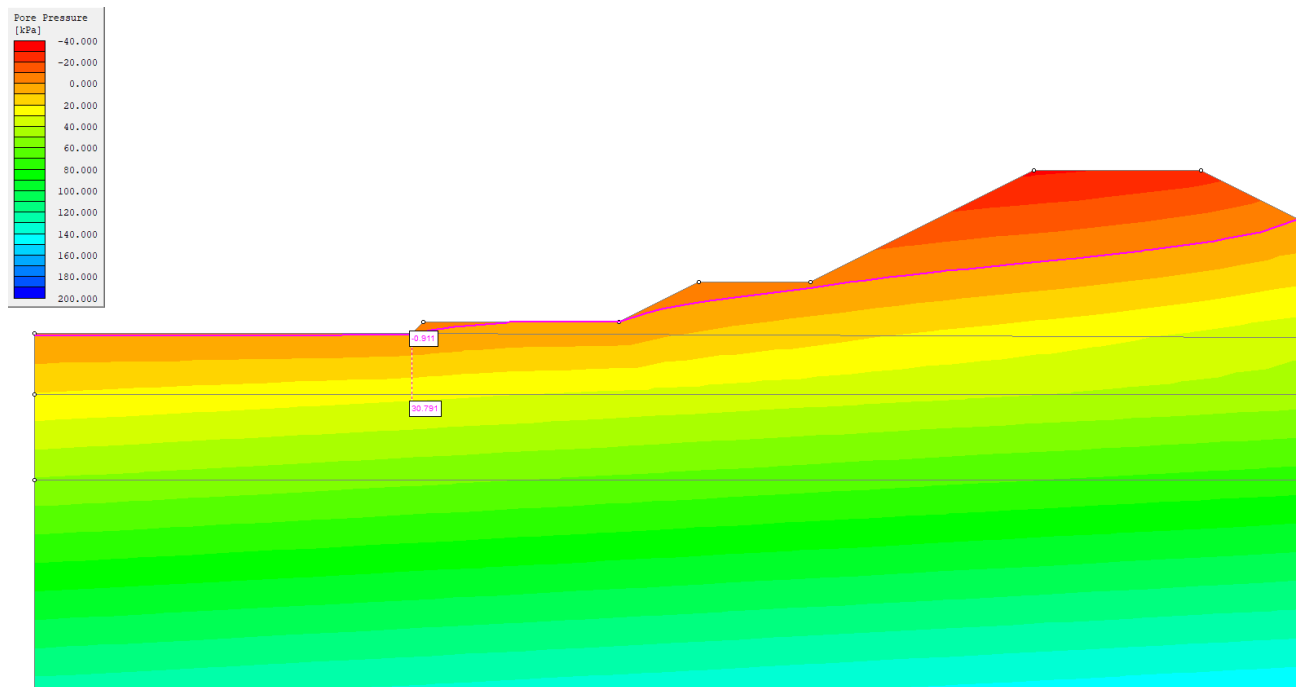


Figura 65: Sezione B - Sez. P7.41 – Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

• *SEZIONE TIPO C – Sez. P2.52*

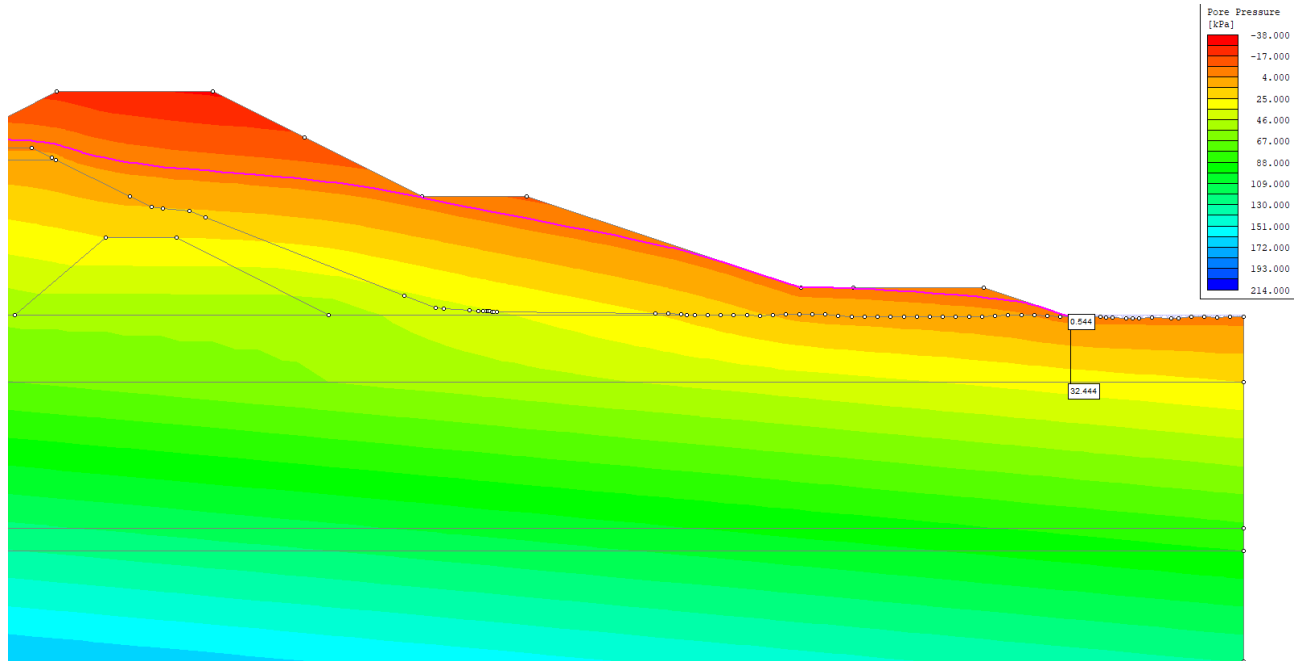


Figura 66: Sezione C1 – Sez. P2.52 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

• *SEZIONE TIPO E – Sez. P7.49*

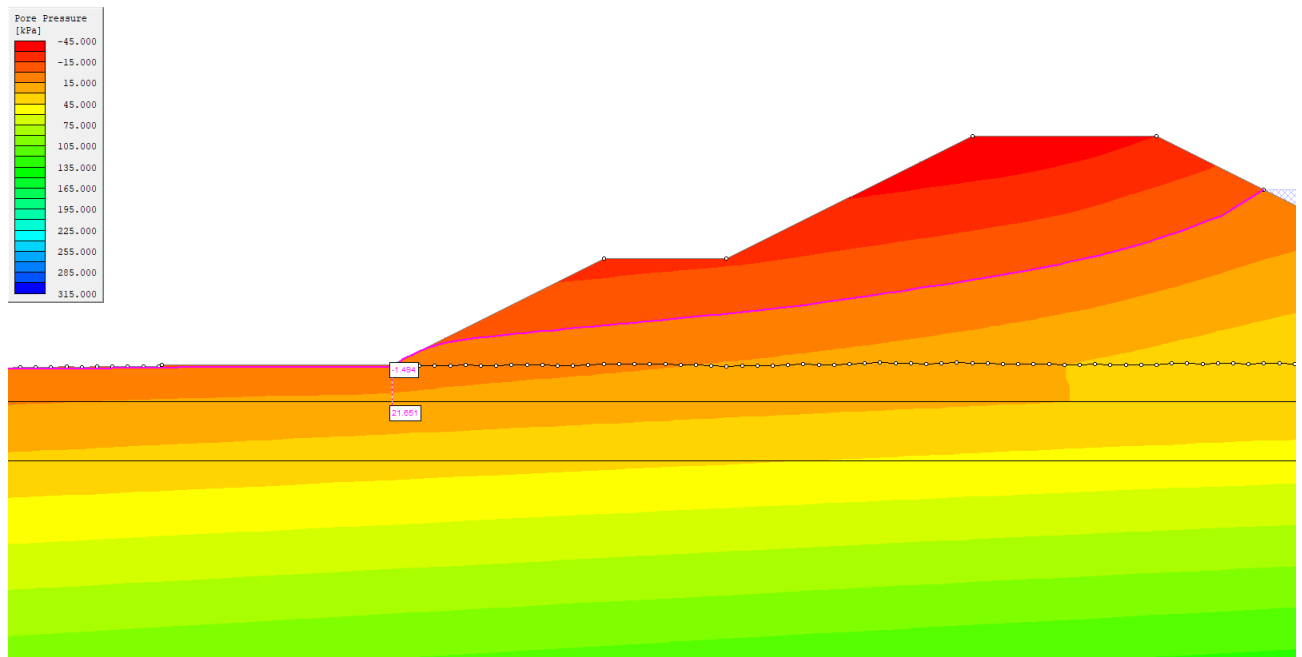


Figura 67: Sezione E – Sez. P7.49 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente)

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

• **SEZIONE TIPO E – Sez. P7.54**

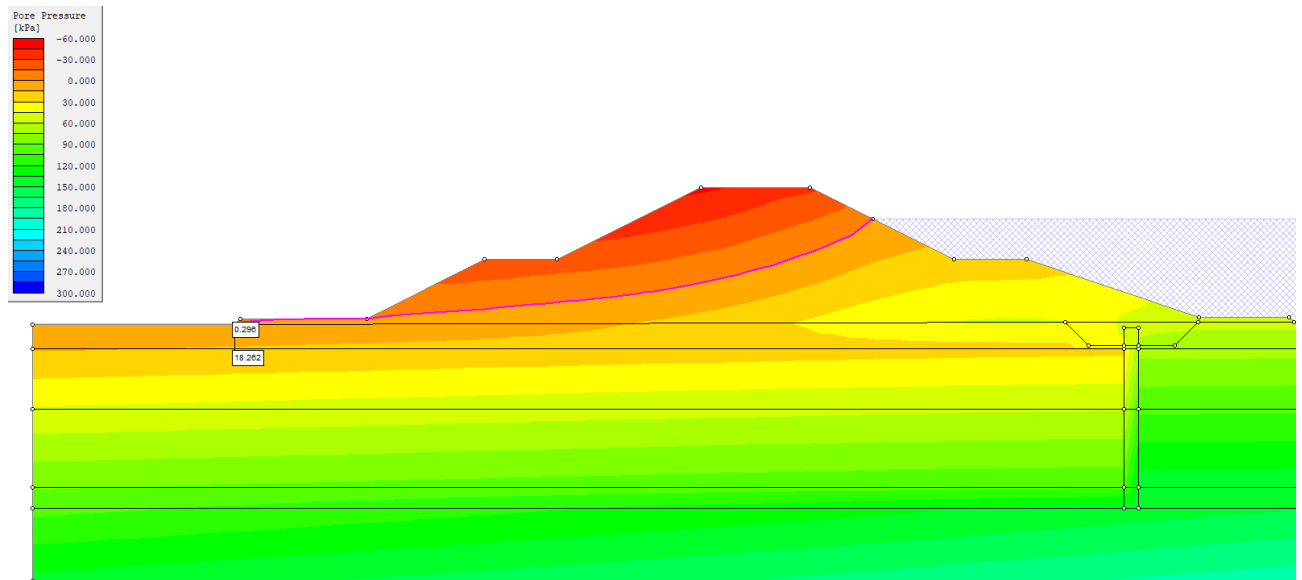


Figura 68: Sezione E – Sez. P7.54 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

• **SEZIONE TIPO G1 – Sez. P6.30**

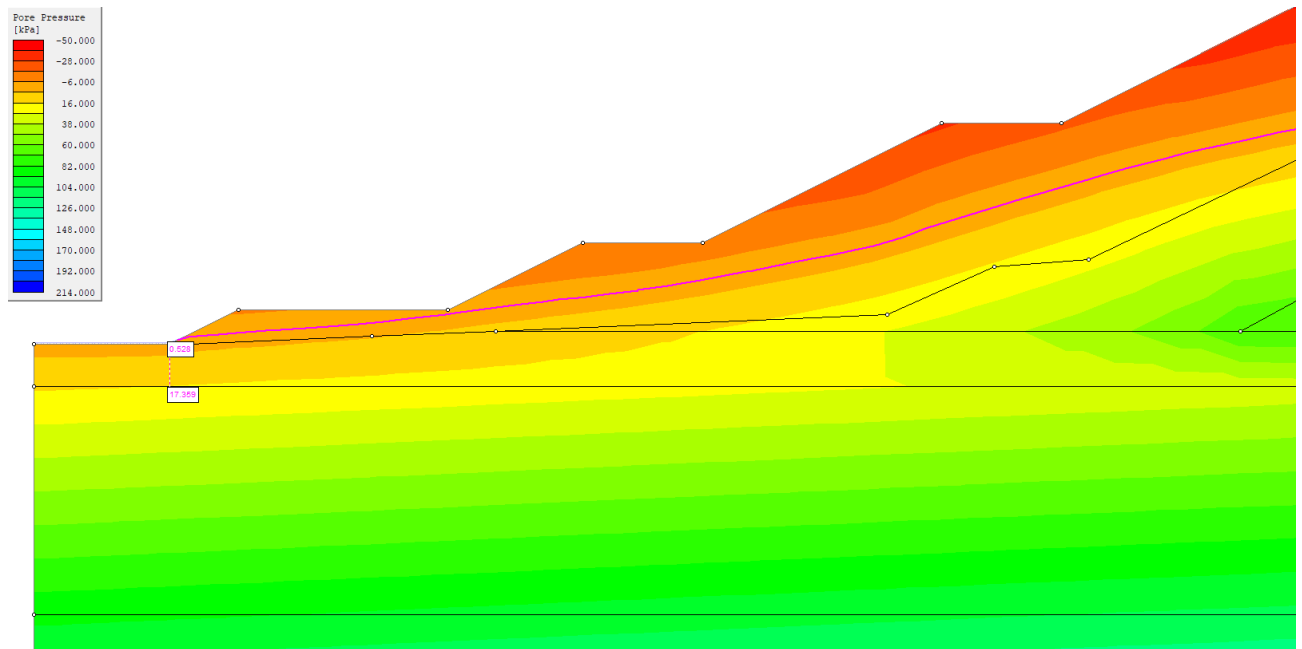


Figura 69: Sezione G1 – Sez. P6.30 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

• **SEZIONE TIPO G3 – Sez. P6.11**

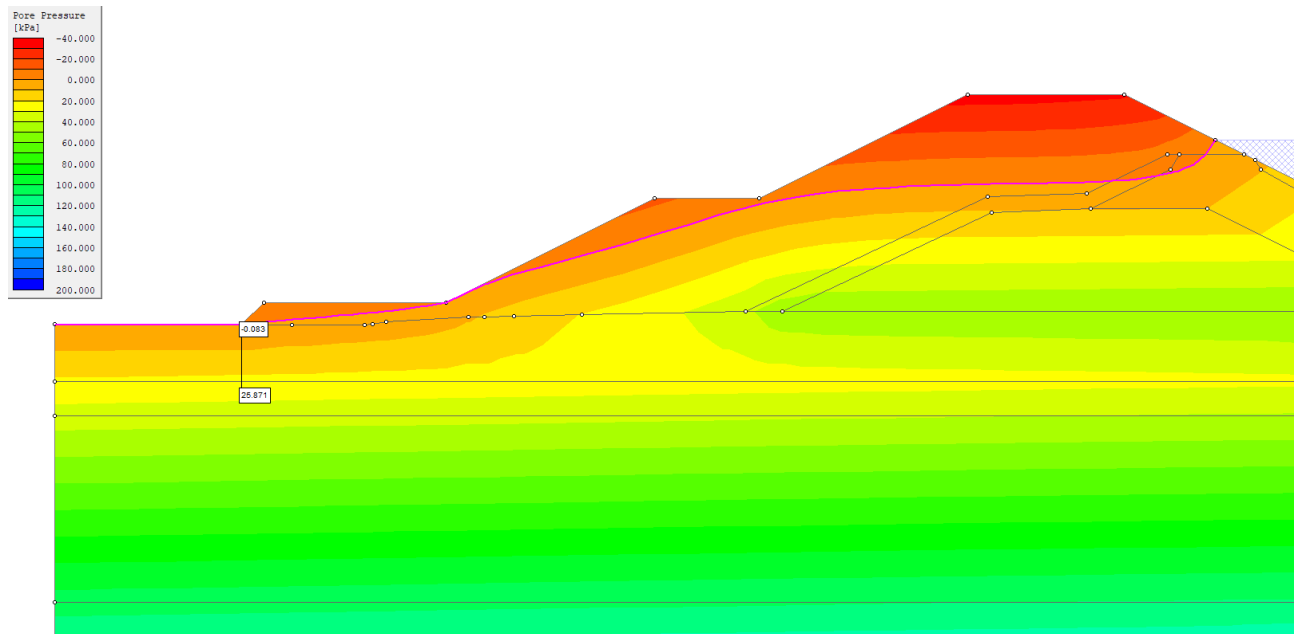


Figura 70: Sezione G3 – Sez. P6.11 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

Sezione	Profondità [m]	u_k [kPa]	u_d [kPa]	σ_k [kPa]	σ_d [kPa]	
B - P7.28	1,4	19,3	21,2	26,4	23,8	Verificato
B - P7.41	2,5	18,3	30,8	47,5	42,8	Verificato
C – P2.52	2,6	32,4	35,7	48,8	43,9	Verificato
E – P7.49	1,4	21,7	23,8	26,8	24,1	Verificato
E – P7.54	1,6	18,3	20,1	29,5	26,5	Verificato
G1 – P6.30	1,5	17,4	19,1	28,9	26,0	Verificato
G3 – P6.11	2,5	25,9	28,5	48,1	43,3	Verificato

Tabella 17: Verifiche di sicurezza al sollevamento

Per tutte le sezioni analizzate la verifica nei confronti del sollevamento risulta soddisfatta.

6.4 Sezione tipo H – verifiche di sicurezza

Sono di seguito riportate le verifiche di sicurezza in corrispondenza della *Sezione Tipo H* dove il diaframma ha anche funzione di opera di sostegno e verrà realizzato in pannelli di c.a. gettati in opera.

Le verifiche di sicurezza sono state svolte in condizioni di Stato Limite Ultimo e di Esercizio secondo quanto previsto dalle norme di riferimento (NTC18).

Le analisi agli Stati Limite Ultimi, che confrontano il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione E_d con quello di progetto della resistenza del sistema geotecnico R_d , devono essere effettuate considerando l'Approccio 1, ovvero verificando entrambe le seguenti combinazioni:

- combinazione 1: A1+M1+R1
- combinazione 2: A2+M2+R1

tenendo conto dei coefficienti riportati nelle tabelle Tab. 6.2.I e Tab. 6.2.II, riportate di seguito per completezza, con i coefficienti del gruppo R1 pari all'unità.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) 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 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

La verifica agli Stati Limite di Esercizio (SLE) viene effettuata ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni ed impiegando i parametri geotecnici caratteristici.

Trattandosi di un'opera definitiva, le verifiche sono state svolte anche in condizioni sismiche.

Per il calcolo dell'azione sismica si è fatto riferimento al metodo pseudostatico basato sull'equilibrio limite globale di un cuneo di terreno a monte della paratia, calcolato secondo la teoria di Coulomb, con l'aggiunta delle forze di inerzia (Mononobe 1929, Okabe 1926). Il coefficiente di spinta attiva (statico più dinamico) K_{ae} è valutato secondo Mononobe-Okabe, mentre il coefficiente di spinta passiva (statico più dinamico) K_{pe} secondo Lancellotta. Le verifiche sono state condotte con riferimento allo SLC.

Le verifiche sono state svolte utilizzando un modello F.E.M. (codice ParatiePlus18), in cui la paratia viene rappresentata con elementi tipo “beam” dotati di rigidità flessionale EJ, con E modulo elastico e J momento d'inerzia; ai lati degli elementi sono considerate agenti delle molle di tipo elastoplastico (caratterizzate dal modulo elastico alla Winkler), che simulano il comportamento sforzi-deformazioni del terreno.

Il codice implementa in automatico le combinazioni di carico previste dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* e descritte in precedenza.

Nella modellazione dei terreni i coefficienti di spinta passiva k_p sono stati calcolati secondo la teoria di Lancellotta considerando un angolo di attrito δ terreno-paratia pari a 0.67ϕ mentre i coefficienti di spinta attiva k_a sono stati calcolati con la teoria di Coulomb considerando un angolo di attrito δ terreno-paratia nullo.

Si elencano di seguito le fasi di calcolo considerate (si vedano figure seguenti):

Fase 1: Condizioni statiche;

Fase 2: Condizioni sismiche.

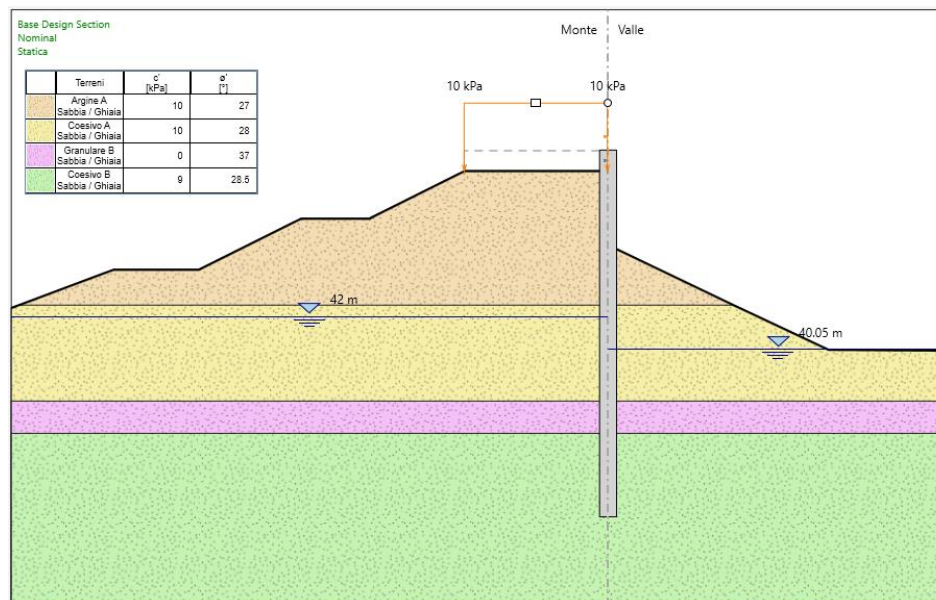


Figura 71: Fase1 – Condizioni Statiche

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

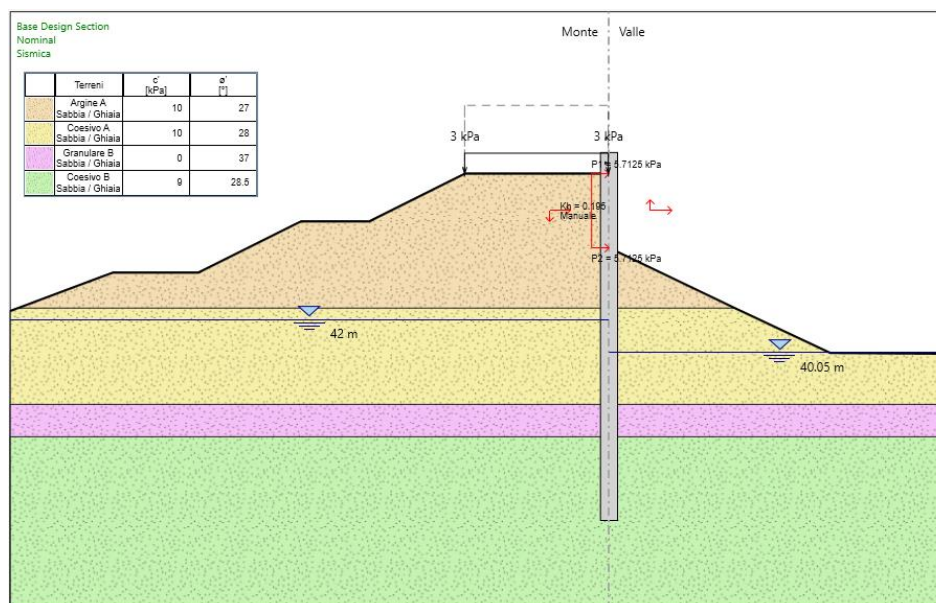


Figura 72: Fase2 – Condizioni Sismiche

Le verifiche di stabilità locale risultano soddisfatte in entrambe condizioni e per tutte le combinazioni di carico considerate (il modello di calcolo raggiunge sempre la convergenza).

Nelle seguenti figure si riportano inoltre i risultati del calcolo svolto, in termini di involuppo del momento flettente e dello sforzo tagliante agenti sulla paratia in condizioni SLU, oltre che dello spostamento in esercizio.

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

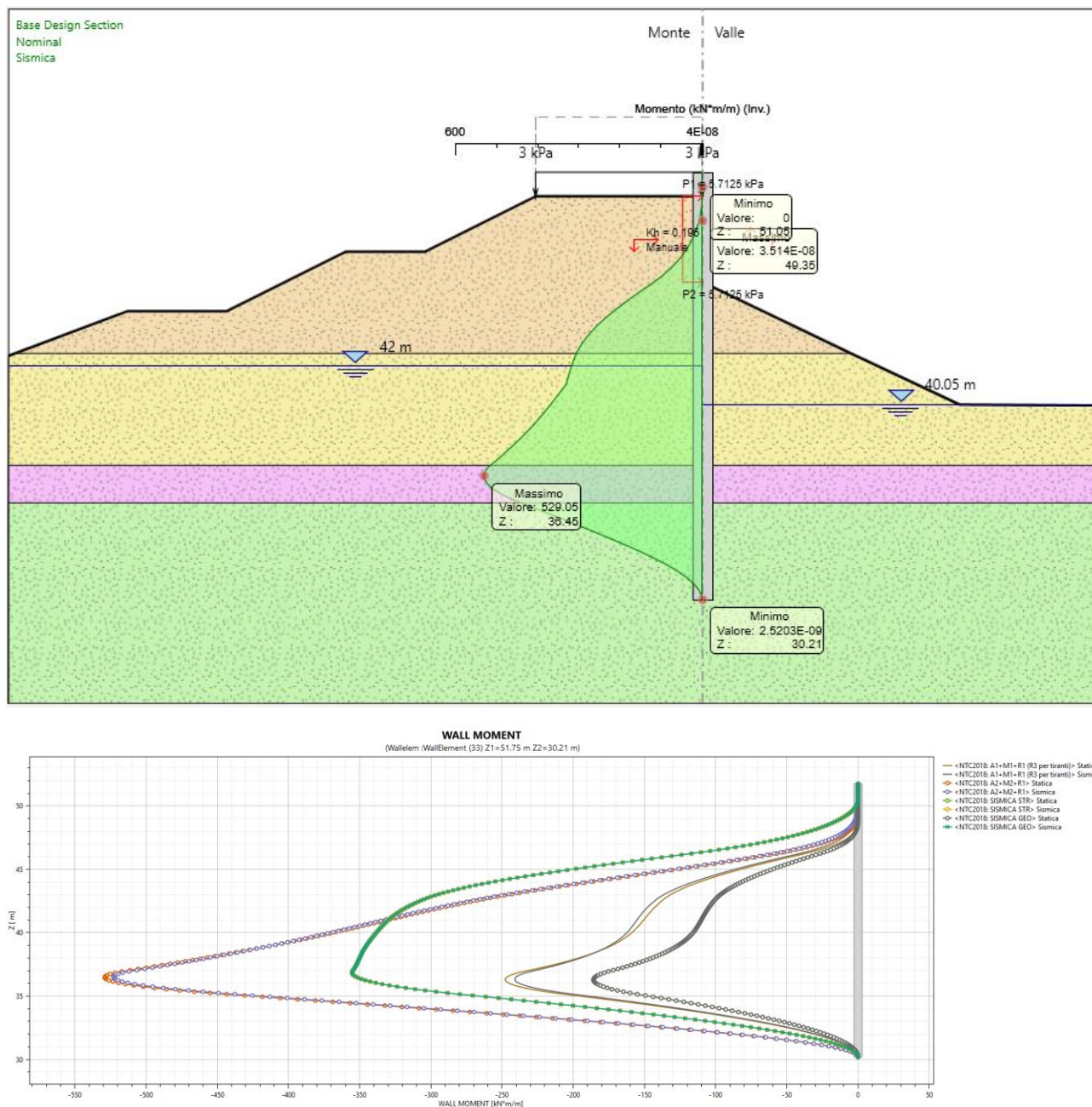
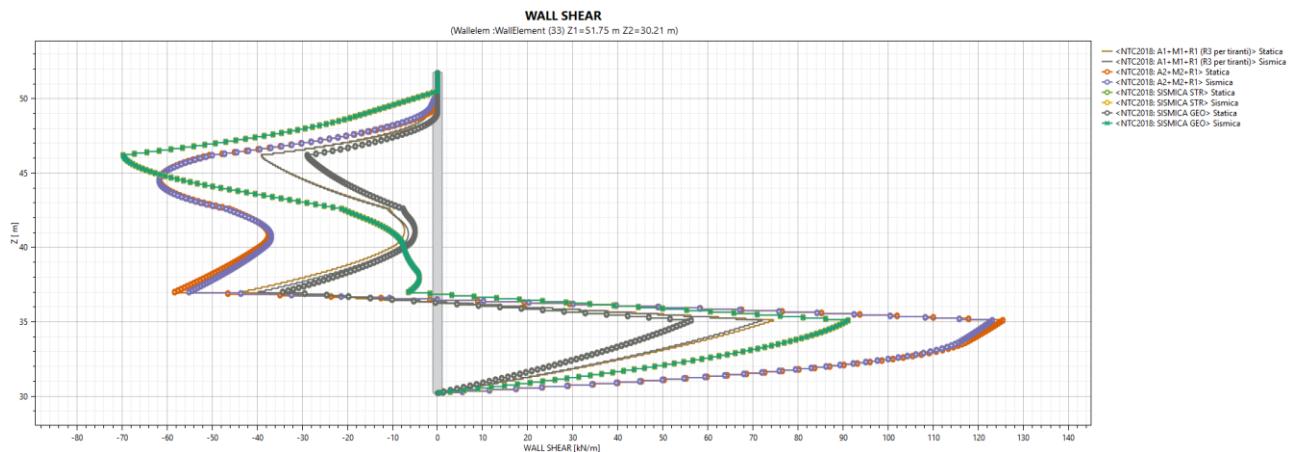


Figura 73: Involuppo momento flettente SLU



Mandataria:



DIZETA INGEGNERIA
STUDIO ASSOCIATO

Via Bassini, 19 - 20153 MILANO Tel. 02-76060125
server@dzetadizetaingegneria.it Fax 02-76060014

MAJONE & PARTNERS
ENGINEERING

 **Lombardi**



EN GEO S
ENGINEERING GEOL
MANAGEMENT

STUDIO PANDAKOVIC
Arch. Dal Sasso

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)

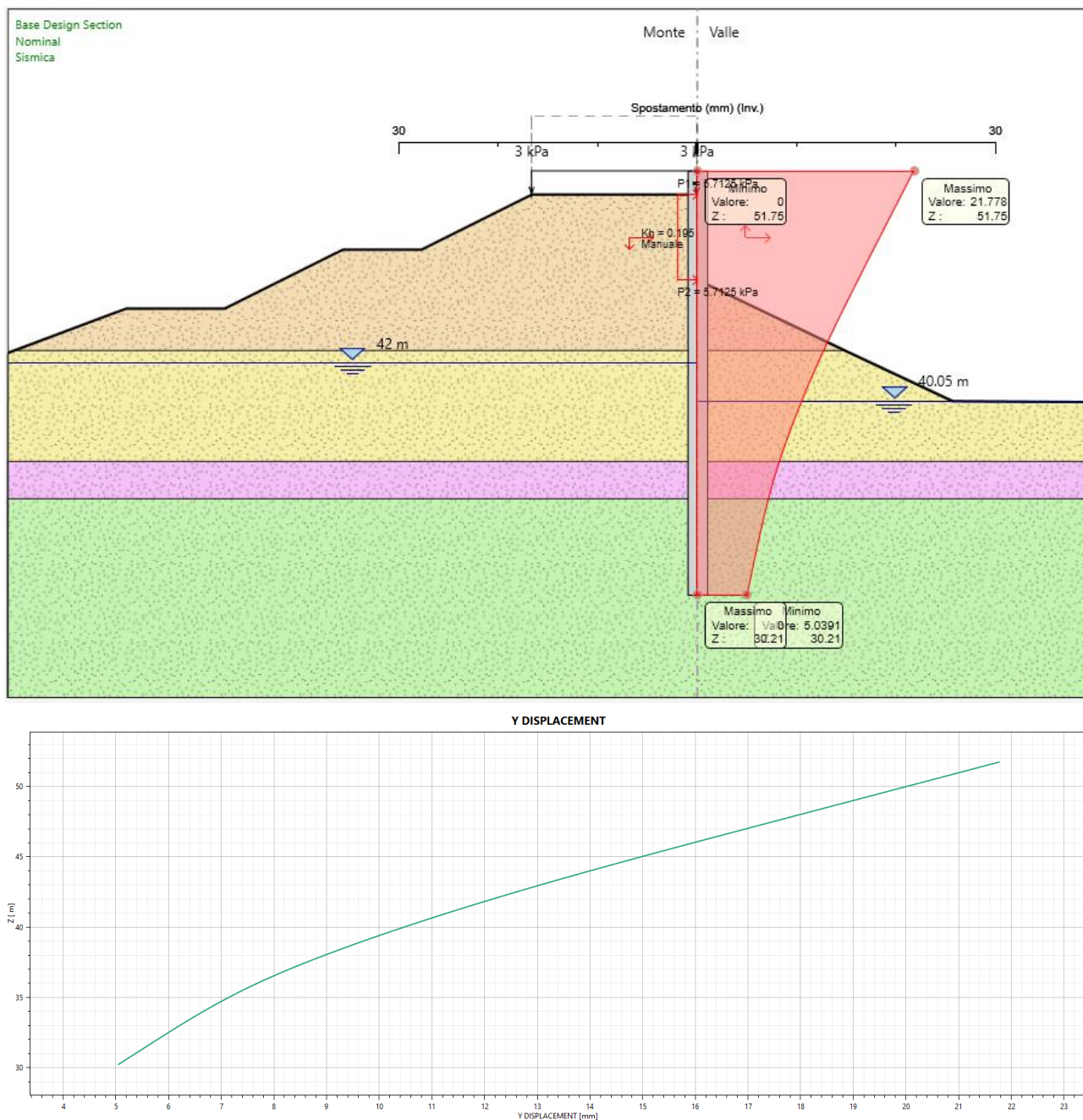


Figura 75: Spostamenti in esercizio

Con riferimento ai risultati ottenuti le sollecitazioni massime agenti sui diaframmi corrispondono a:

(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) e avvio dell'adeguamento in quota e potenziamento strutturale dei rilevati arginali del sistema cassa espansione esistente

MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



$$\begin{cases} M_{Ed,Max} = 529,05 \frac{kNm}{m} \\ V_{Ed,Max} = 125,42 \frac{kN}{m} \end{cases}$$

Gli spostamenti orizzontali massimi, dell'ordine di $\delta_{max} = 22 \text{ mm}$ sono ritenuti accettabili per l'opera in oggetto.