

## 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 Boselli, 19 – 20133 MILANO Tel. 02-70600125  
server@dezetaingegneria.it Fax 02-70600014

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

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



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



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



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	AGOSTO 2021	Integrazioni art. 18 LR 4/2018			

## I N D I C E

<b>1</b>	<b>Premesse</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Illustrazione del progetto</b>	<b>4</b>
	<i>2.1.1 Adeguamento delle arginature della cassa di espansione (intervento H)</i>	<i>4</i>
	<i>2.1.2 Arginature di contenimento dell'invaso in ampliamento (intervento M)</i>	<i>6</i>
<b>3</b>	<b>Normativa di riferimento</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Inquadramento geotecnico</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Risposta sismica locale</b>	<b>9</b>
	5.1 Vita nominale	10
	5.2 Classe d'uso	10
	5.3 Pericolosità sismica di base	11
	5.4 Analisi di risposta sismica locale	12
	5.4.1 Descrizione del modello	13
	5.4.2 Azioni sismiche in ingresso	14
	5.4.3 Analisi dei risultati	15
	5.4.3.1 Serie temporali	15
<b>6</b>	<b>Verifiche di sicurezza dei rilevati arginali</b>	<b>20</b>
	6.1 Verifiche di stabilità globale	20
	6.2 Verifica nei confronti del pericolo di sifonamento	55
	6.3 Verifica al sollevamento	61
	6.4 Sezione tipo H – verifiche di sicurezza	66
<b>7</b>	<b>Verifica sismica di sicurezza con le norme degli sbarramenti in materiali sciolti (Decreto 26.05.2014)</b>	<b>74</b>
	7.1 Sezione di verifica	75

(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)



<b>7.2 Superfici di rottura critiche e Kc</b>	<b>77</b>
<b>7.3 Definizione degli accelerogrammi</b>	<b>81</b>
<b>7.4 Spostamenti permanenti con il metodo di Newmark</b>	<b>84</b>
<b>7.5 Ammissibilità degli spostamenti</b>	<b>86</b>
<b>7.6 Estensione del metodo semplificato alle altre sezioni tipo</b>	<b>88</b>

Mandataria:



Mandanti:



## 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 1-1: 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 52.00 m s.l.m. al fine di garantire un franco di sicurezza di 1.76 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 52.00 m s.l.m. al



(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)



fine di garantire anche per questo invaso un franco di sicurezza di 1.76 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:

		scarpata inferiore			Tratto (Sezioni)			Sezioni di computo			pista al piede lato fiume	diaframma (in grassetto quelli esistenti)				SEZIONE Già CALCOLATA nel Progetto di Fott.Tecnico Economico	SEZIONE CALCOLATA nel Progetto Definitivo	Corrispondente sezione di computo
sezione tipo	tipo intervento	lato campagna	lato cassa	lato fiume	profilo	da	a	da	a	quota base taglione [m slm]	quota [m slm]	quota sommità [m slm]	quota base [m slm]	h [m]				
A	ex novo	-	-	-	1	SS9	F5	P1-3	P1-5	47.00	49.00	-	-	-	-	38	P1.18	
					1	F5	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	-	30	P1.58	
					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	-	0-2	P2.58	
		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

(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)



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 52.00 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:

		scarpata inferiore				Tratto (Sezioni)		sezioni di compu		diaframma			SEZIONE Già CALCOLATA nel Progetto di Fatt.Tecnic o Economico	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;
- Decreto Ministeriale 26/06/2014 “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)”;
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici - Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, “Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari accessorie – Istruzioni per l’applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 14.01.2018 (NTC18)”, Giugno 2019.

## 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

Per la valutazione delle sollecitazioni sismiche si è fatto riferimento all'analisi di risposta sismica locale riportata nell'elaborato R.06 "Relazione sismotettonica e sismica", con particolare riferimento al Cap. 5.4. Nel presente capitolo si riporta la sintesi dei risultati. Per il dettaglio delle modalità di analisi si rimanda all'elaborato R.06.

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.

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

Mandataria:



Mandanti:



## 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  $V_R$ :

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

### 5.3 Pericolosità sismica di base

Per la valutazione di pericolosità sismica sito-specifica, come richiesto dalle linee guida<sup>1</sup>, è stato redatto un apposito studio, riportato nell'elaborato "R.32 – Studio di pericolosità sismica e stima dell'input sismico di RSL".

Lo studio, redatto dal Prof. R. Francese per conto di Adastra Srl, riporta la seguenti conclusioni.

*La pericolosità sismica è stata stimata con il metodo probabilistico in termini di PGA e di spettro di accelerazione per un  $P_R$  di 150 e  $T_R$  di 150, 1425 e 2475 anni corrispondenti alle tre condizioni di normativa SLD (Pe 63%), SLV (Pe 10%) ed SLC (Pe 5%). Tutte le simulazioni sono state fatte su suoli di classe A ( $V_{S30} > 800$  m/s).*

*I valori di scuotimento risultanti dalla simulazione eccedono quelli desumibili dalla mappa nazionale di pericolosità sismica del 2004 e ad oggi valida come documento di riferimento. In particolare, per quanto riguarda la PGA si osserva un incremento rispettivamente del 15%, del 18% e del 42% per le tre condizioni SLC, SLV e SLD. Le differenze sono presumibilmente attribuibili all'aggiornamento della zonazione sismica con l'introduzione delle strutture sismogenetiche presenti nel DISS, alla maggiore incertezza attribuita nella definizione della magnitudo massima di ciascuna sorgente/zona ed all'utilizzo di relazioni di attenuazione più recenti e quindi diverse rispetto a quelle utilizzate per la MPS04.*

*L'analisi della accelerazione attesa per rielaborazione della sismicità storica e delle sorgenti sismogenetiche indica per il sito valori che possono anche essere significativi specie se si include nel calcolo l'aliquota positiva della deviazione standard. Il sisma del 1501, di  $M$  pari a 6.05 e distante 15.5 km, determina un valore di accelerazione superiore a 0.10g. Il terremoto del 1671, di  $M$  pari a 5.27 e distante 4.4 km, determina un valore di accelerazione superiore a 0.15g. Il sisma del 1923, di  $M$  pari a 5.04 e distante 7.1 km, determina un valore di accelerazione superiore di 0.082g. Per quanto*

<sup>1</sup> "Linee-guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe", prodotte da INGV e diffuse ai Concessionari/Gestori con nota MIT-D.G. Dighe n. 0021530 del 27/09/2018

*riguarda invece le sorgenti sismogenetiche prossime, quella che determina il valore più alto della accelerazione è la ITIS107 (Mirandola), distante 27 km, con 0.041 g (senza l'inclusione della deviazione standard).*

*Per lo studio di RSL sono stati selezionati 3 gruppi di 7 accelerogrammi orizzontali spettro-compatibili per i tre TR definiti in base al PR di norma (SLD, SLV e SLC). Gli accelerogrammi, estratti dalle diverse banche dati disponibili, sono stati selezionati in base a criteri sismotettonici, ai parametri magnitudo-distanza, alle caratteristiche di durata ed intensità del treno d'onda sono stati analizzati in termini di fattore di forma spettrale ed opportunamente scalati per ottenere uno spettro-medio ricompreso nella zona di convergenza dello spettro-target.*

Gli accelerogrammi forniti dallo studio di pericolosità sismica sono stati utilizzati per le analisi di risposta sismica locale che saranno descritte nel paragrafo successivo.

## 5.4 Analisi di risposta sismica locale

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.4 di STACEC.

Il codice di calcolo LSR2D consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.



(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)

#### 5.4.1 Descrizione del modello

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e geofisiche dei terreni è stato costruito il modello nel programma LSR2D, la cui rappresentazione è riportata in Figura 5-1.

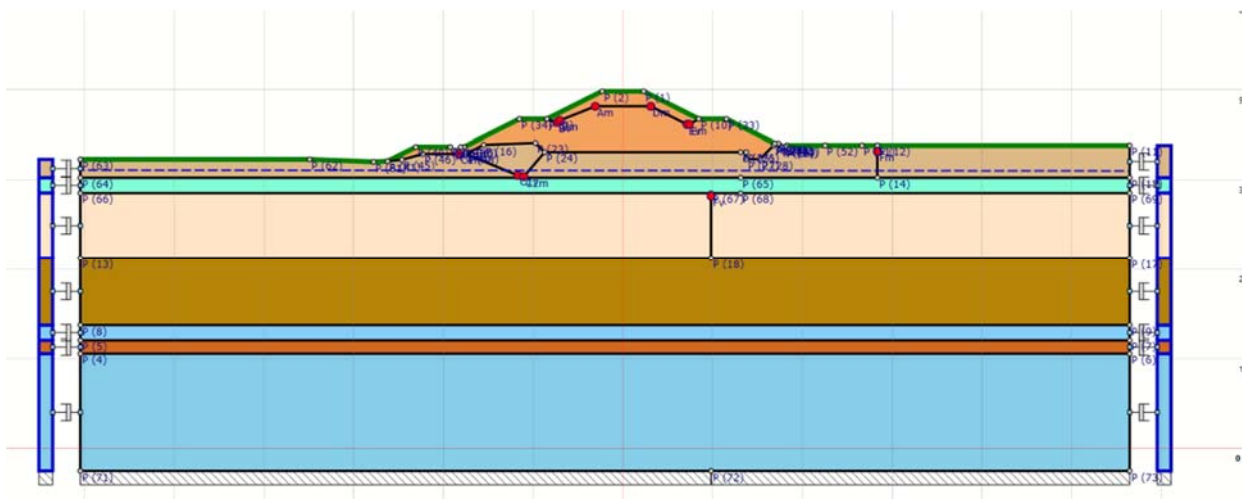


Figura 5-1 – Modello sismostratigrafico

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

Strato	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	$\gamma$	Curva decadimento
Argine 1	1850.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Argine 2	1850.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Limo 3	1850.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Limo 2	1850.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Ghiaia 1	2000.00	390.00	0.35	Rollins (ghiaie)
Limo 1	1850.00	200.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Limi e argille 1	1850.00	230.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Limi e argille 2	1850.00	230.00	0.35	Sand Seed & Idriss (1970)
Ghiaie 3	2100.00	580.00	0.35	Rollins (ghiaie)
Limi e argille 4	1850.00	300.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15
Ghiaie 2	2000.00	410.00	0.35	Rollins (2)
Limi e argille 3	1850.00	300.00	0.35	Vucetic & Dobry, PI=15

Tabella 5-1 - Caratteristiche meccaniche strati

dove:

- $\rho$  = densità di massa del singolo strato;
- Vs = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- $\gamma$  = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

(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)

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre nodi del dominio (maglia triangolare). Il passo della mesh adottato è stato di 2 m, ma nelle aree più critiche viene automaticamente infittito per poter meglio conformarsi alla complessa stratigrafia (Figura 5-2).

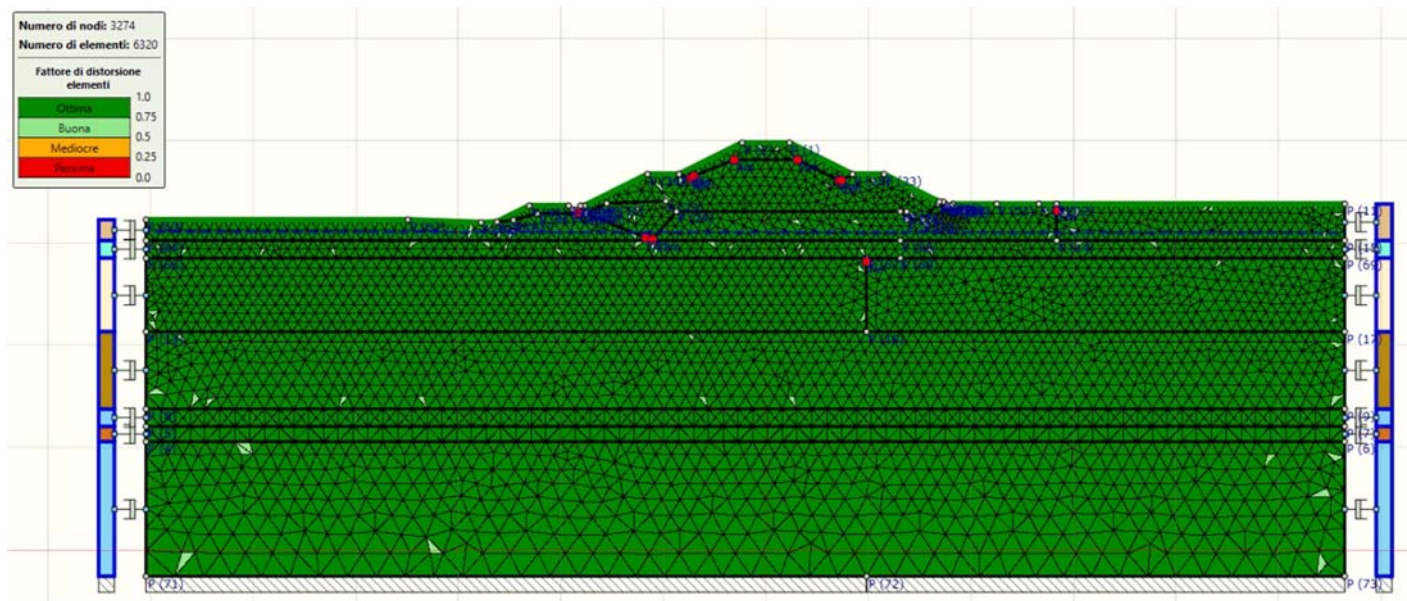


Figura 5-2 – Mesh di calcolo per la sezione F0-2

La risposta sismica locale è stata valutata per tutti i 13 diversi baricentri individuati. L'analisi della risposta sismica locale è stata effettuata per il solo Stato Limite di collasso.

#### 5.4.2 Azioni sismiche in ingresso

Le azioni sismiche in ingresso sono quelle definite dallo studio di pericolosità sismica.

### 5.4.3 Analisi dei risultati

In relazione allo scopo dell'analisi i risultati delle modellazioni effettuate sono stati espressi, per i punti di controllo, solo in termini di serie temporali in accelerazione.

E' interessante, tuttavia, notare che il modello evidenzia che le accelerazioni più elevate sono concentrate presso la sommità arginale, presumibilmente per il noto effetto di amplificazione topografica delle creste.

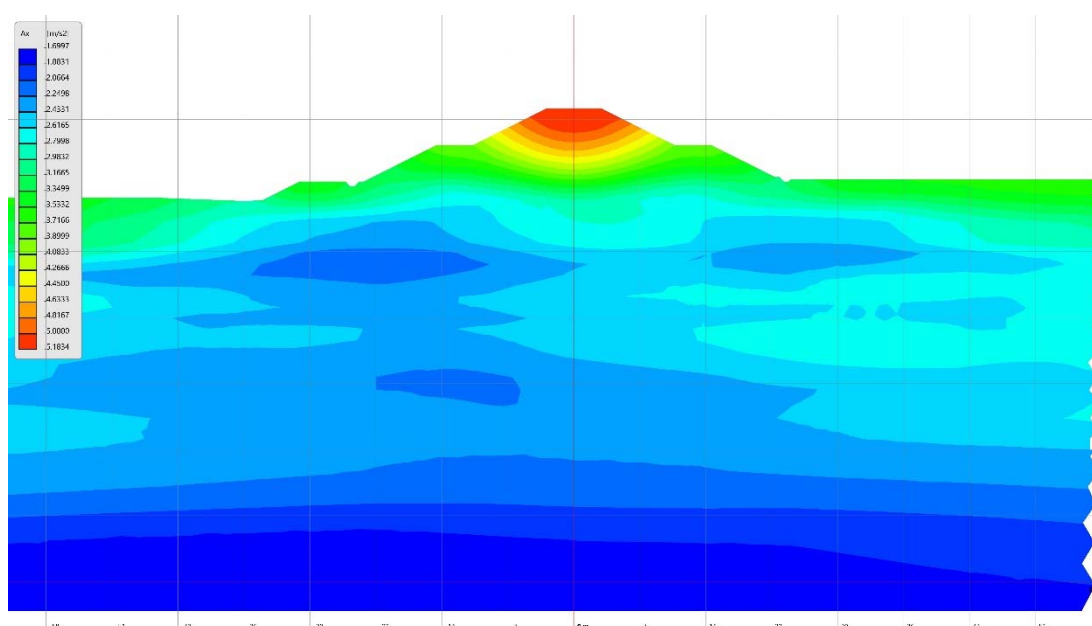


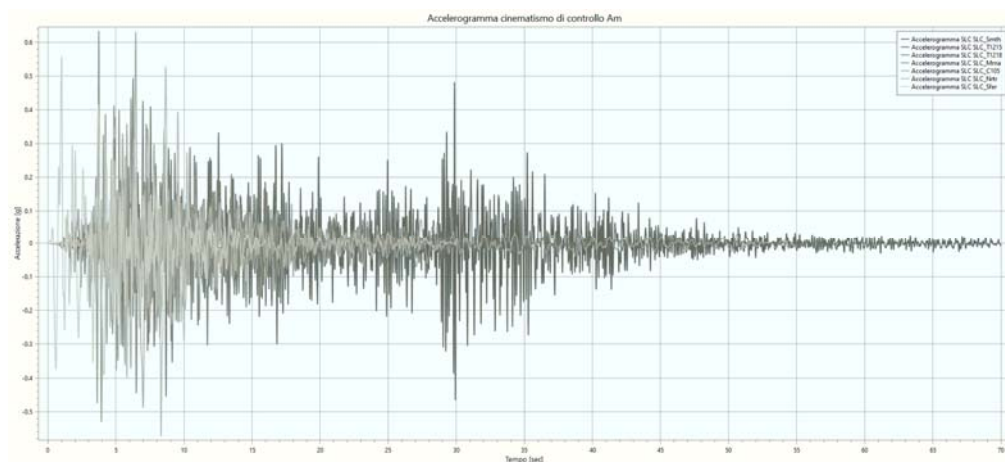
Figura 5-3 – Distribuzione delle accelerazioni nel modello in condizioni SLC

#### 5.4.3.1 Serie temporali

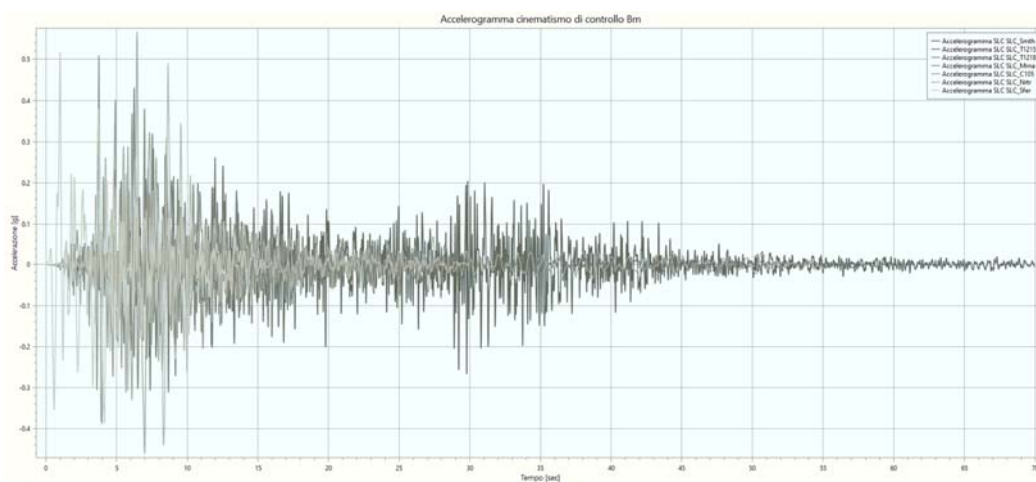
Le serie temporali in accelerazione (accelerogrammi) in output costituiscono la modifica dei segnali originali in input in funzione delle caratteristiche del terreno. Nelle 11 figure seguenti vengono riportati i grafici degli accelerogrammi; ciascuna figura rappresenta tutti gli accelerogrammi restituiti per ciascun punto di controllo. La numerazione dei punti di controllo (baricentri) va da A a E, il suffisso “m” indica il lato di monte del rilevato arginale, “v” il lato di valle.

(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

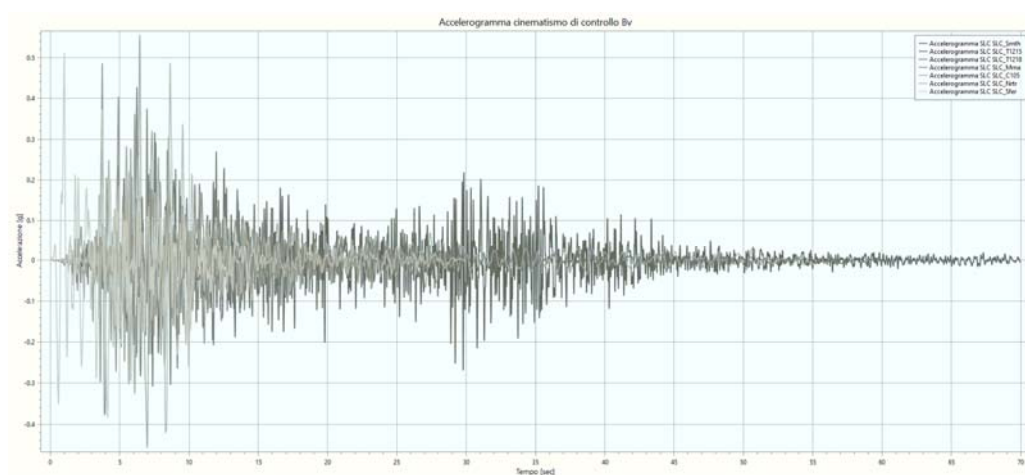
MO-E-1273 - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



**Figura 5-4 - Serie temporali di output punto di controllo Am**



**Figura 5-5 - Serie temporali di output punto di controllo Bm**

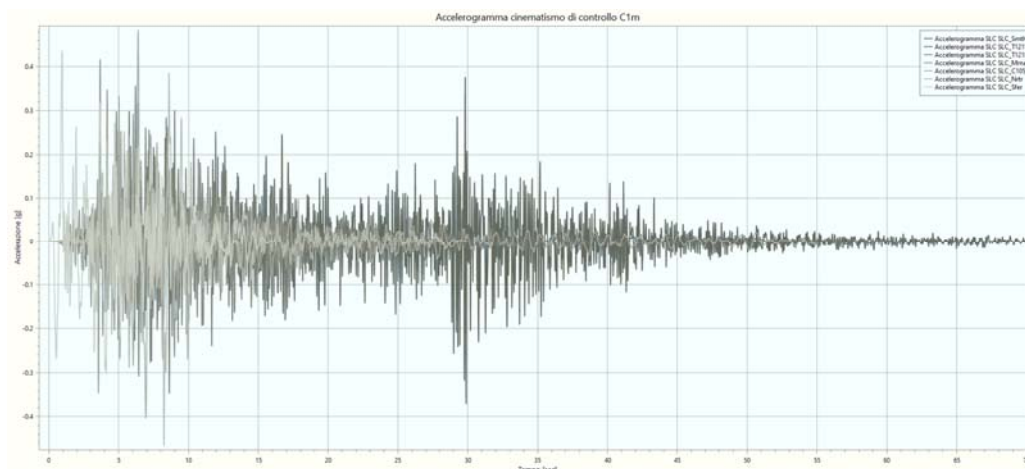


**Figura 5-6 - Serie temporali di output punto di controllo Bv**

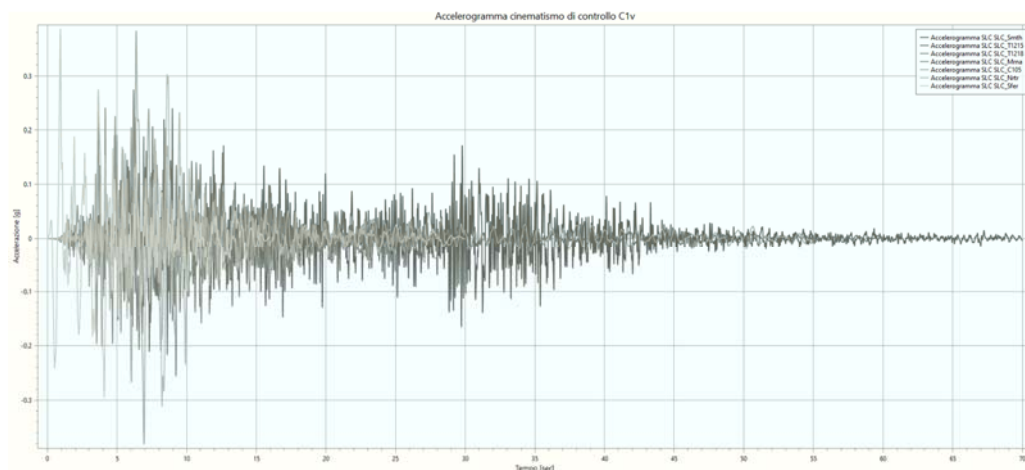


(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969)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

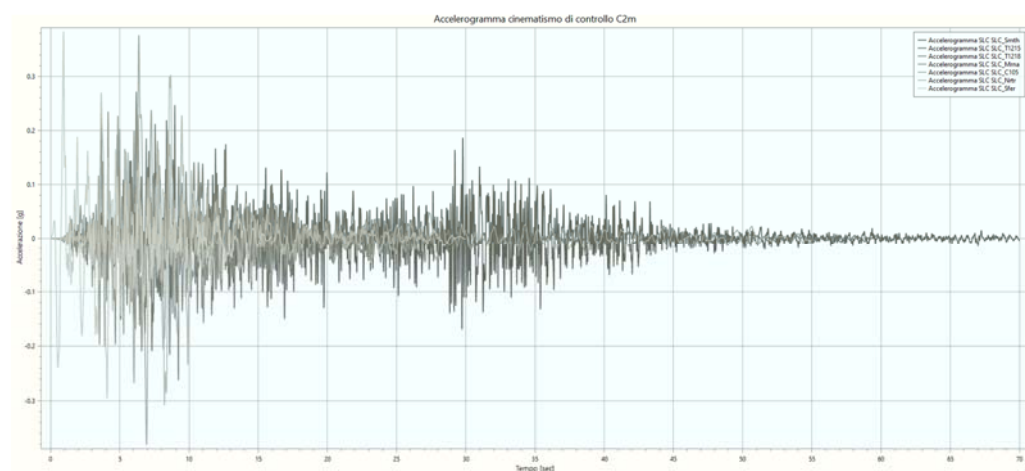
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



**Figura 5-7 - Serie temporali di output punto di controllo C1m**



**Figura 5-8 - Serie temporali di output punto di controllo C1v**

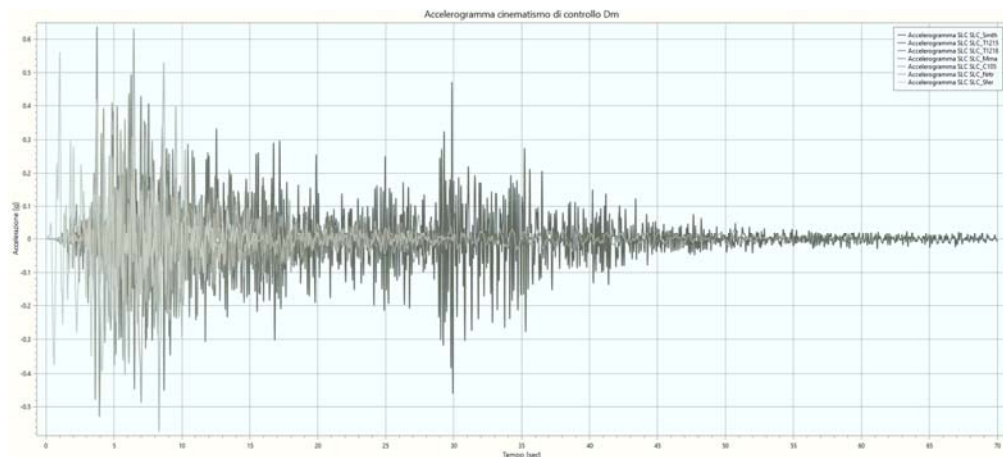


**Figura 5-9 - Serie temporali di output punto di controllo C2m**

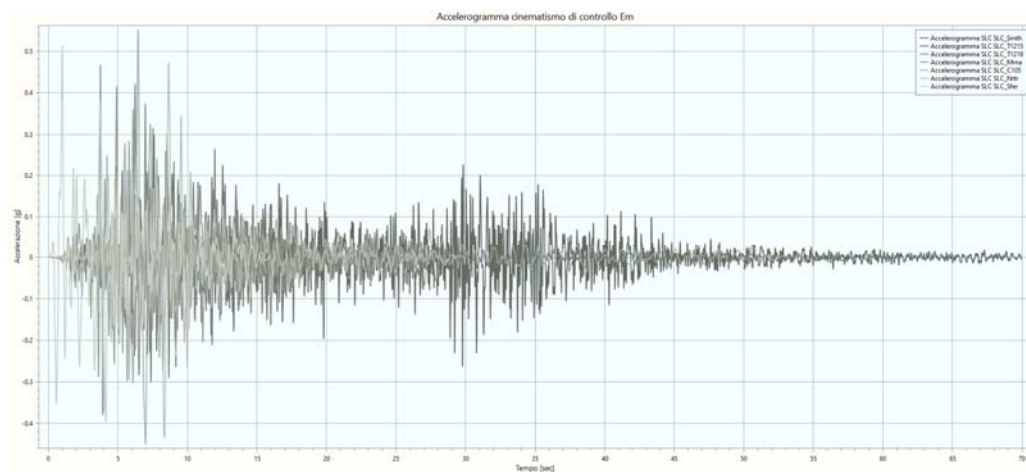


(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969)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

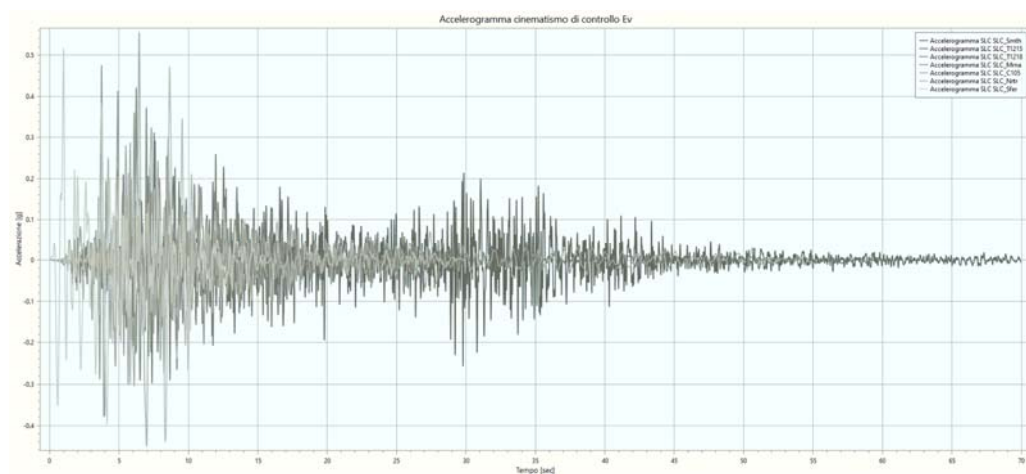
**MO-E-1273** - Lavori di ampliamento e adeguamento della cassa di espansione del Fiume Secchia nel comune di Rubiera (RE) (Accordo di programma Ministero- RER- Parte A)



**Figura 5-10 - Serie temporali di output punto di controllo Dm**



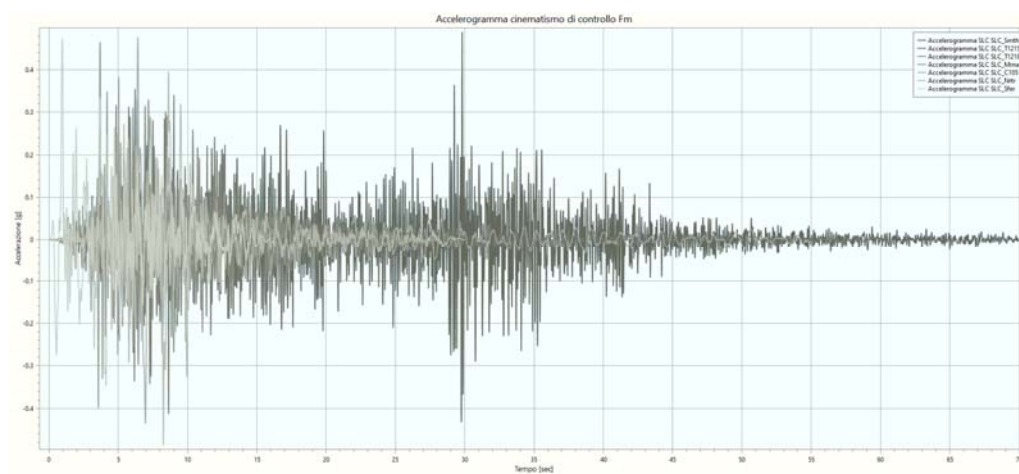
**Figura 5-11 - Serie temporali di output punto di controllo Em**



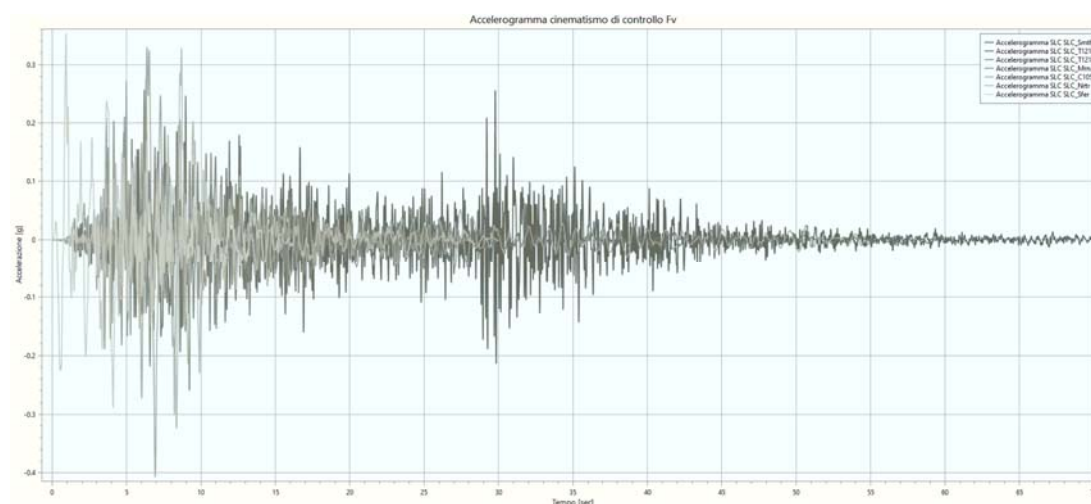
**Figura 5-12 - Serie temporali di output punto di controllo Ev**

(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 5-13 - Serie temporali di output punto di controllo Fm**



**Figura 5-14 - Serie temporali di output punto di controllo Fv**

## 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qk}$	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**

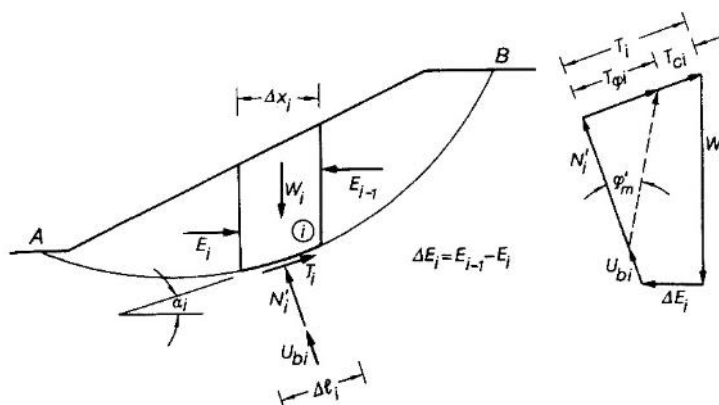
Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4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

La sezione tipologica F, posta ai lati del manufatto regolatore, viene considerata come una diga e di conseguenza le verifiche di stabilità globale sono state condotte secondo quanto previsto nelle Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse) del 26 giugno 2014. La verifica risulta analoga a quella condotta per le arginature, con la differenza che le NTD14 prescrivono il coefficiente  $\gamma_r=1,2$  nelle condizioni di serbatoio pieno e  $\gamma_r=1,1$  nelle condizioni di serbatoio vuoto.

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 concio 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  $\phi$  e della eventuale coesione  $c$ , moltiplicata per la lunghezza  $b/\cos\alpha$ , dove  $\alpha$  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  $\varphi_d$  e  $c_d$  e amplificando i carichi con i coefficienti parziali  $\gamma_{G1}$  e  $\gamma_{G2}$ ;
- viene calcolato  $ODF$  dividendo  $F$  per il coefficiente parziale sulle resistenze  $\gamma_R$ .

Affinché le verifiche siano soddisfatte deve quindi risultare:

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

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:

- $\beta_s$  = 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 SLC;
- $W$  = peso del materiale;
- $g$  = accelerazione di gravità.

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

(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)

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.

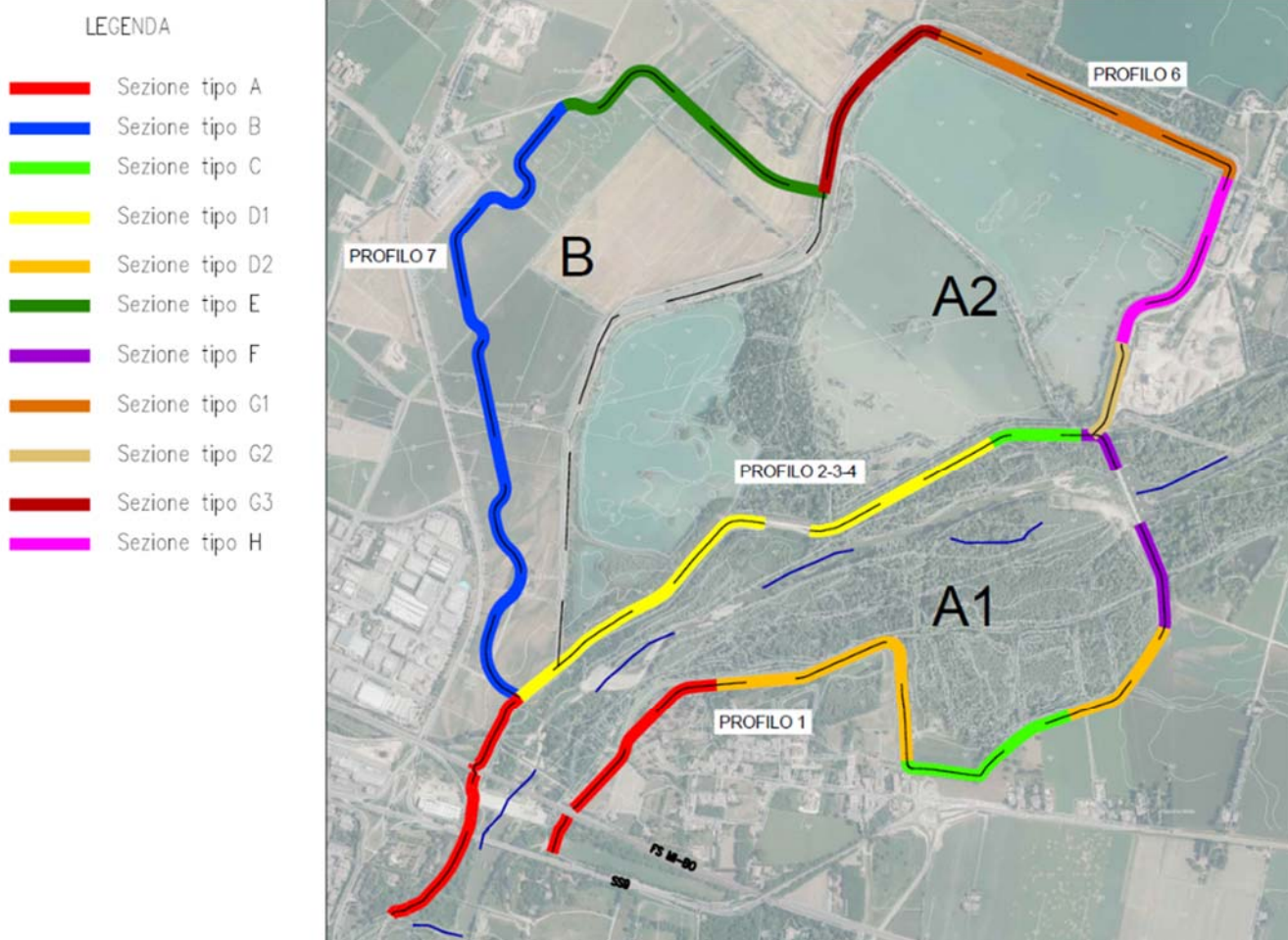


Figura 6-1 - Ubicazione in pianta delle sezioni di verifica

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 50,24 m s.l.m. con riferimento all'evento di piena con  $T_r=1000$  anni;
- rapido svasso;
- verifiche sismiche in condizioni di invaso alla quota di massima regolazione pari a 46.25 m s.l.m..

Le verifiche in condizioni di svasso rapido sono state condotte in via cautelativa a partire dalla quota di massima regolazione, linea di infiltrazione con inclinazione 1/5 ed ipotizzando lo svasso immediato da condizioni di moto permanente con livello idrico a quota 46.25 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  $28^\circ$ .

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

Per quanto riguarda le verifiche della sezione tipo F non si è tenuto conto, a favore di sicurezza, del rivestimento in cls del paramento lato fiume, per tenere conto di possibili infiltrazioni e/o fessurazioni/rotture delle lastre.

- SEZIONE TIPO A – Sez. P1.18

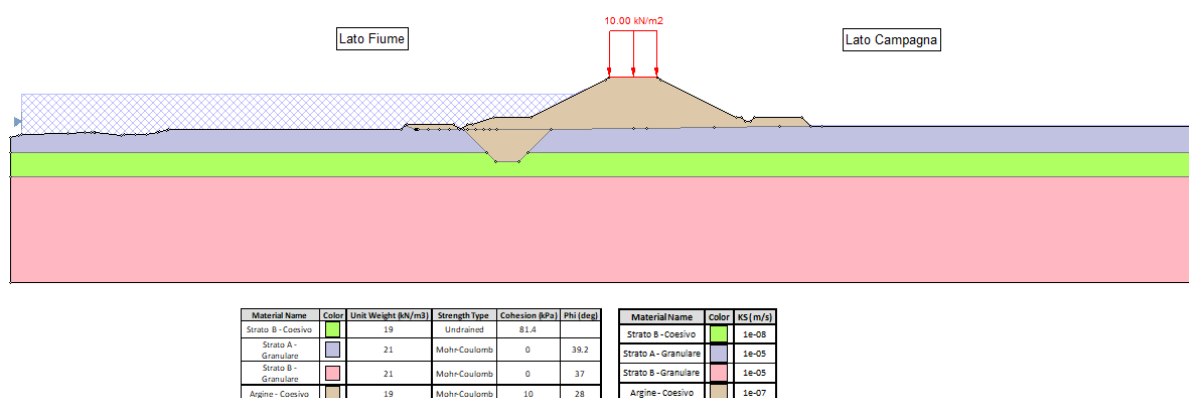


Figura 6-2: Sezione Tipo A– Sez. P1.18

Mandataria:

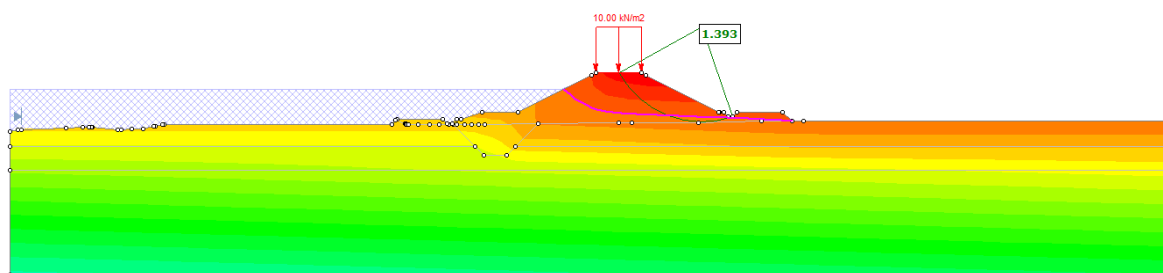


Mandanti:

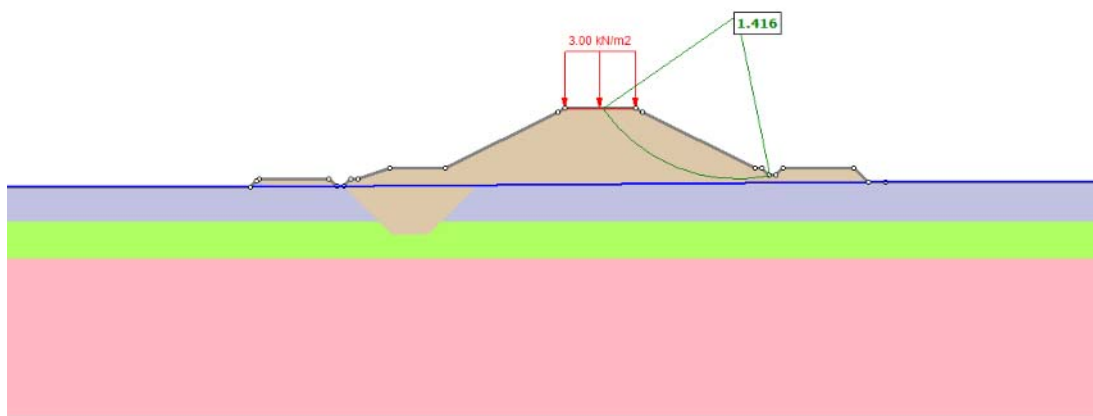


(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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 6-3: Sezione Tipo A– Sez. P1.18 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario**



**Figura 6-4: Sezione Tipo A– Sez. P1.18 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche**

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
A – P1.18	SLU	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,393
A – P1.18	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,416

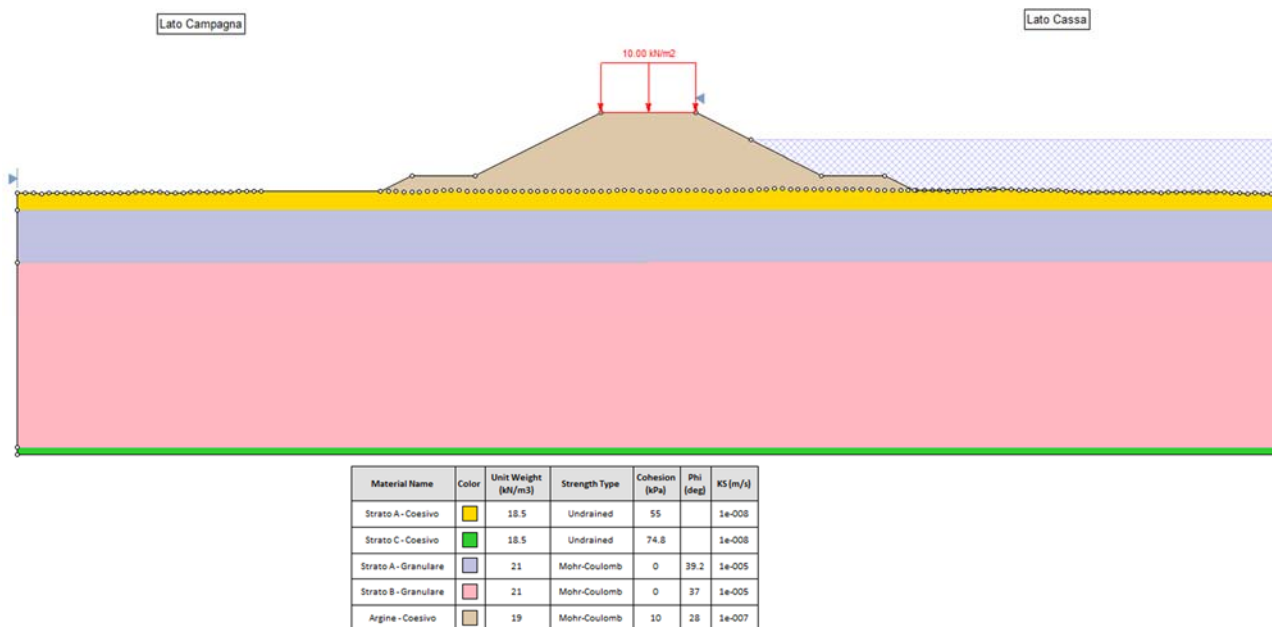
**Tabella 6-1: Sezione Tipo A – Sez. P1.18 – Risultati analisi di stabilità globale**

La verifica in condizioni di rapido svasso è stata omessa essendo la quota di massima regolazione (46,25 m s.l.m.) inferiore alla quota del piano campagna.

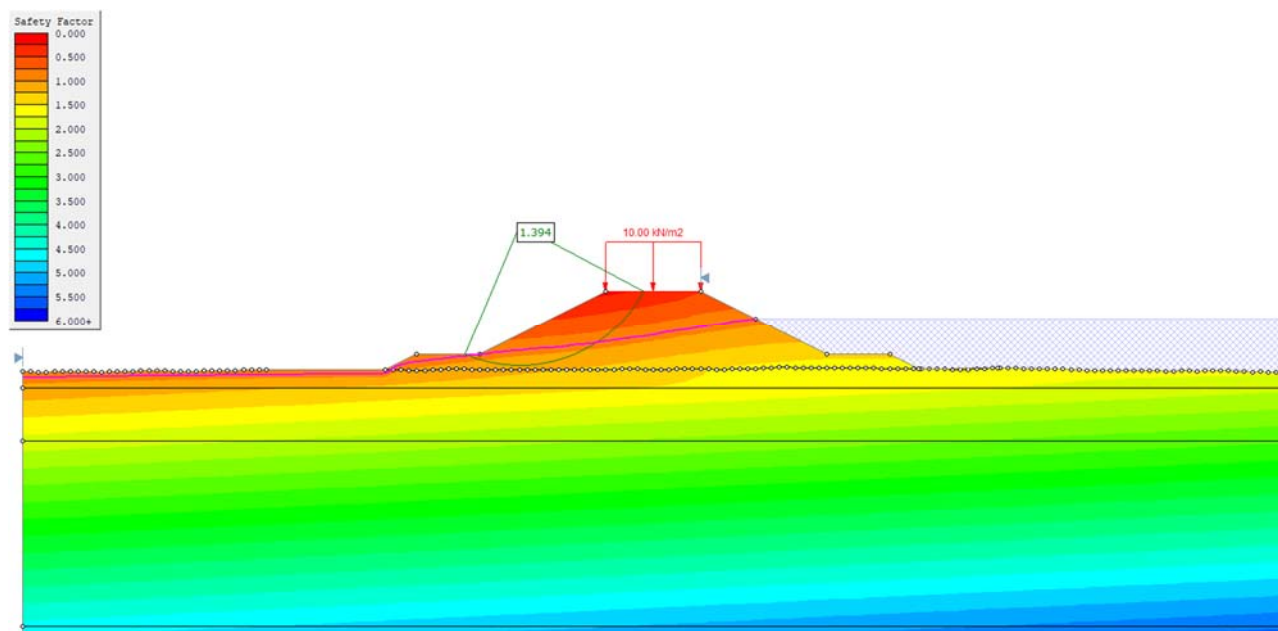
(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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 6-5: Sezione Tipo B – Sez. P7.28**



**Figura 6-6: 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)

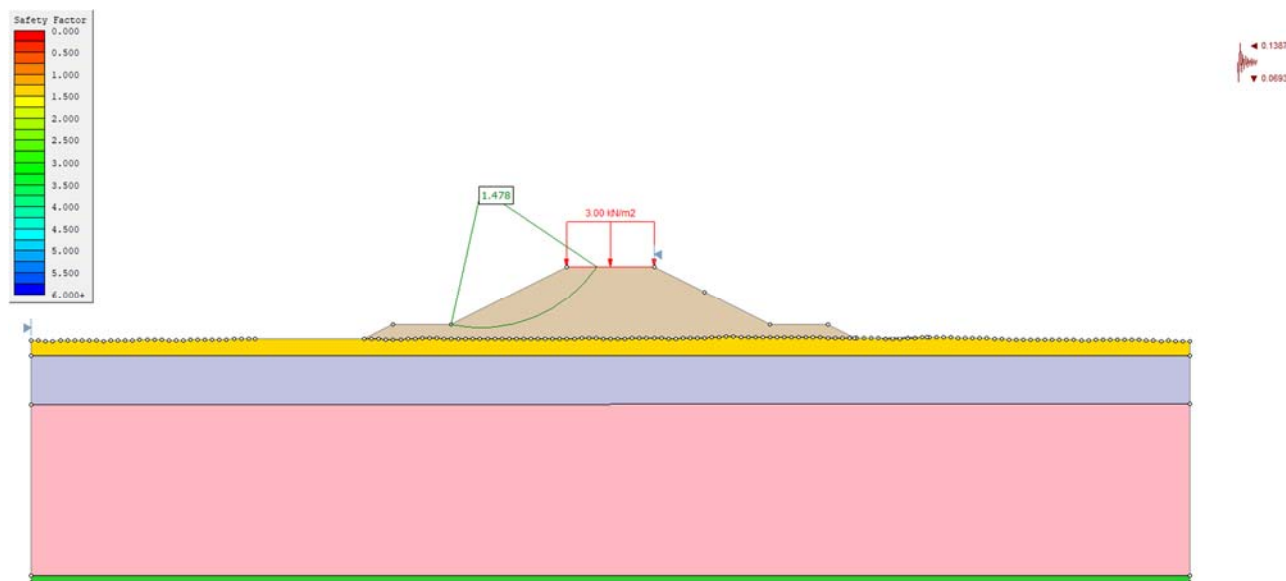


Figura 6-7: Sezione Tipo B – Sez. P7.28 - Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
B – P7.28	SLU	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,394
B – P7.28	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,478

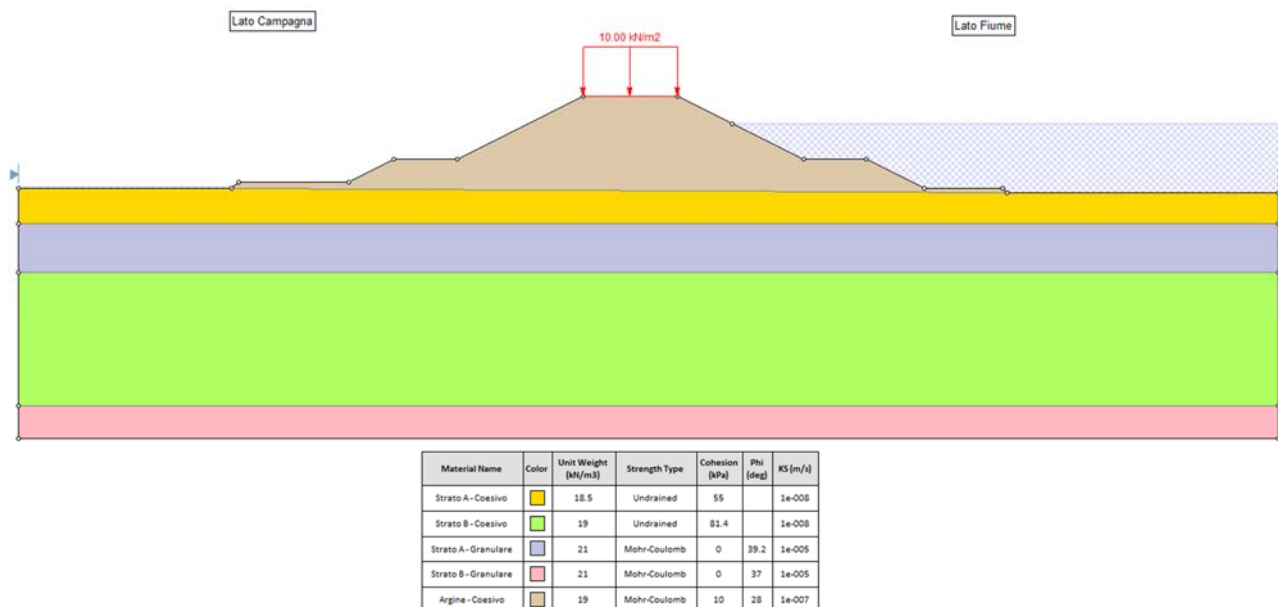
Tabella 6-2: Sezione Tipo B – Sez. P7.28 – Risultati analisi di stabilità globale

La verifica in condizioni di rapido svasso è stata omessa essendo la quota di massima regolazione (46,25 m s.l.m.) inferiore alla quota del piano campagna.

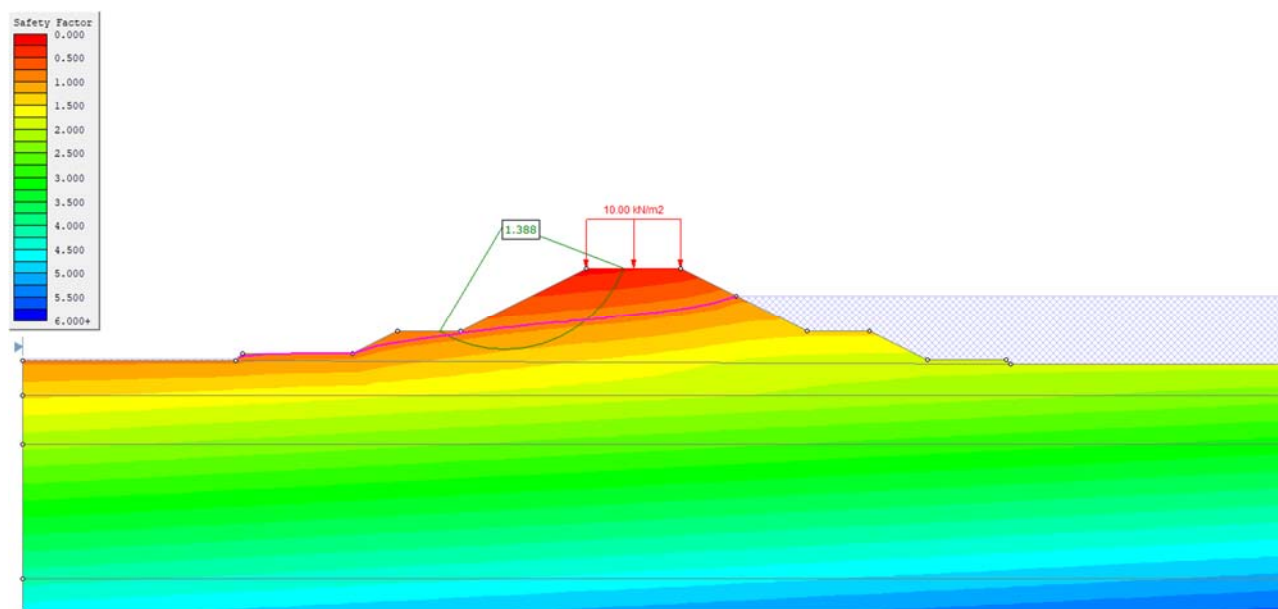
(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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**



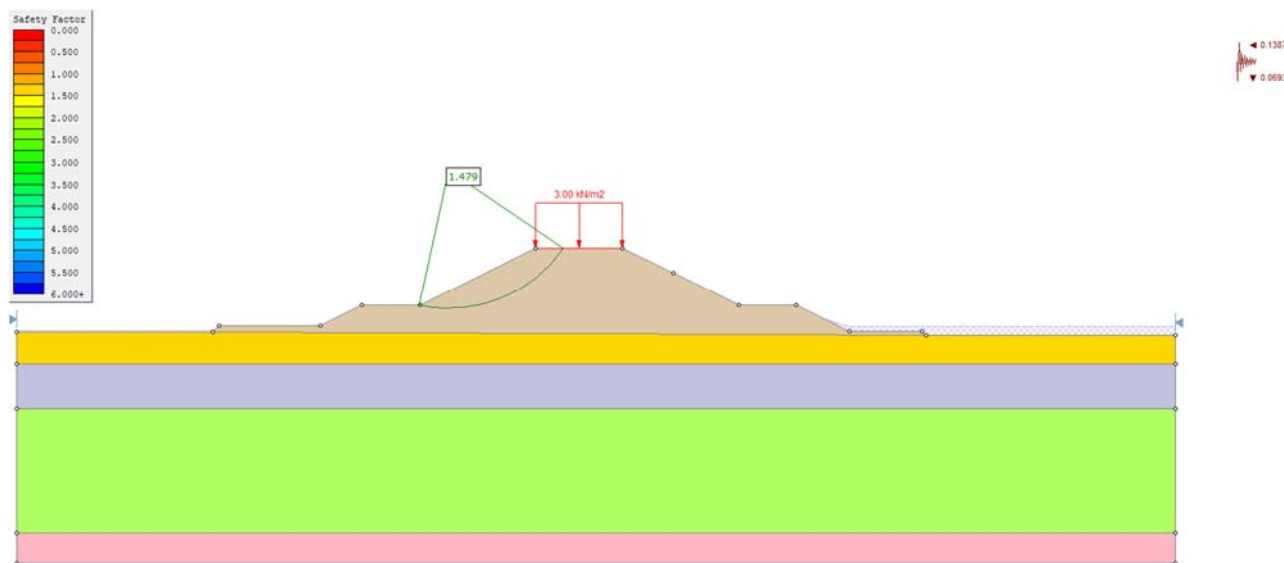
**Figura 6-8: Sezione B – Sez. P7.41**



**Figura 6-9: 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 6-10: 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	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,388
B – P7.41	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,479

**Tabella 6-3: Sezione Tipo B – Sez. P7.41 - Risultati analisi di stabilità globale**

La verifica in condizioni di rapido svasso è stata omessa essendo la quota di massima regolazione (46,25 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 C – Sez. P2.52**

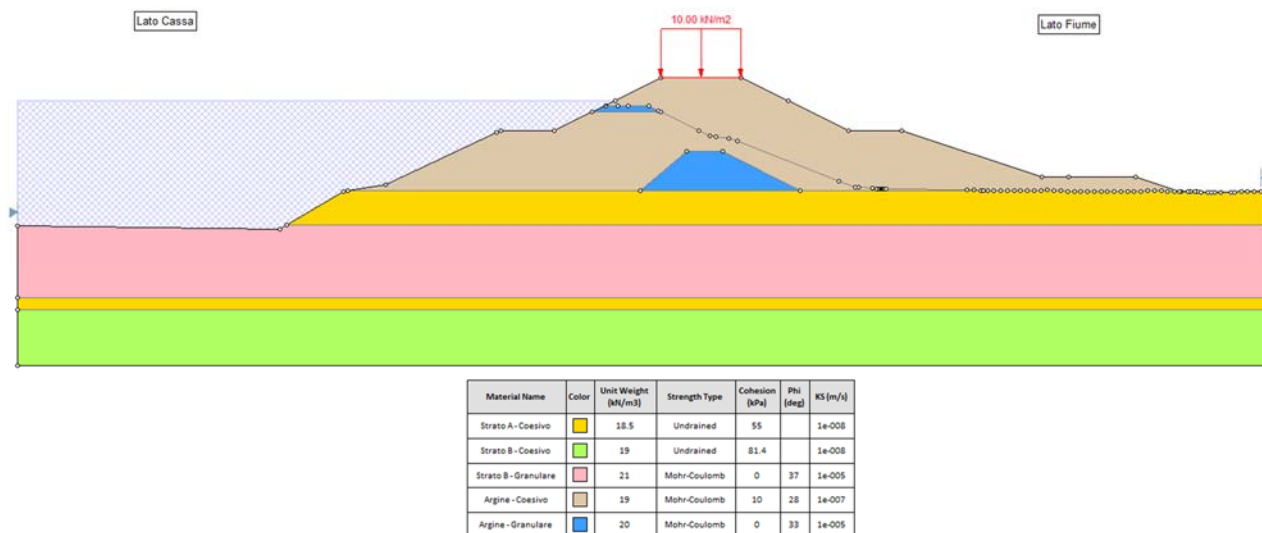


Figura 6-11: Sezione Tipo C – Sez. P2.52

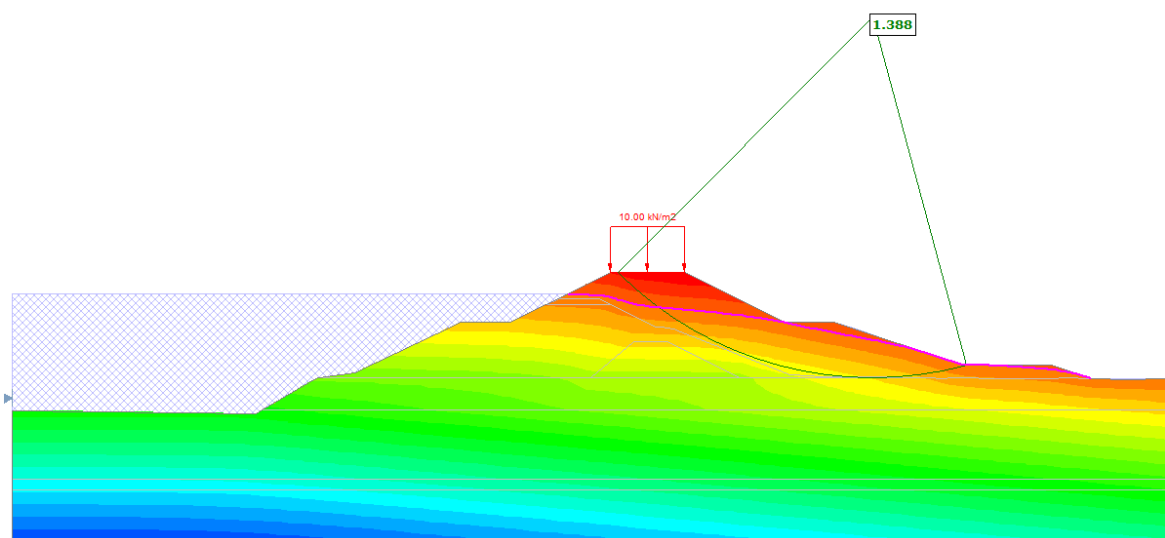
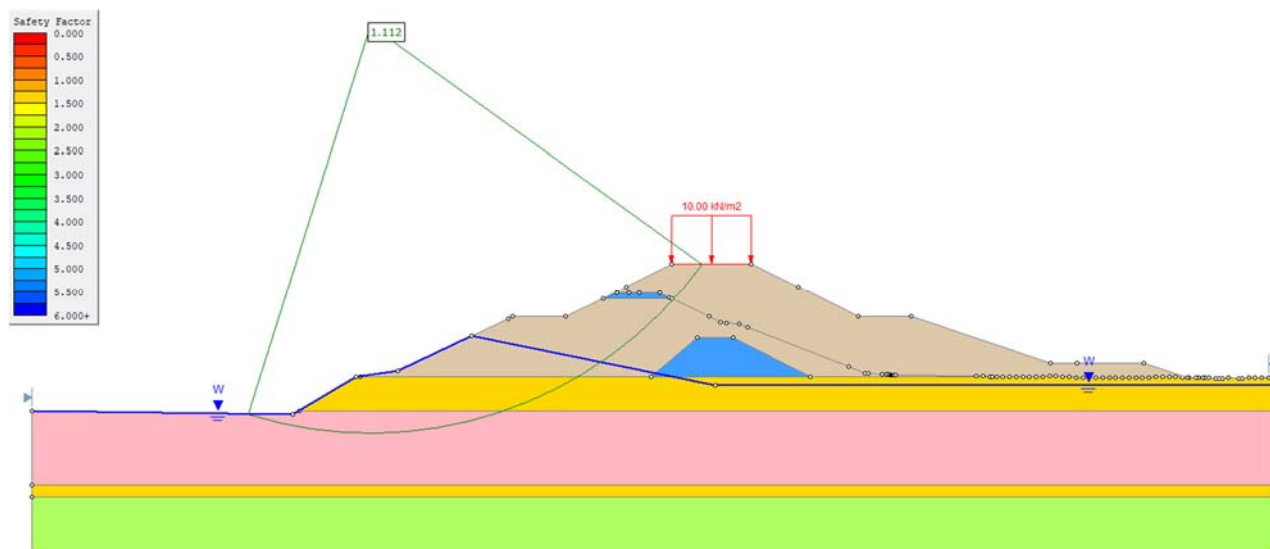


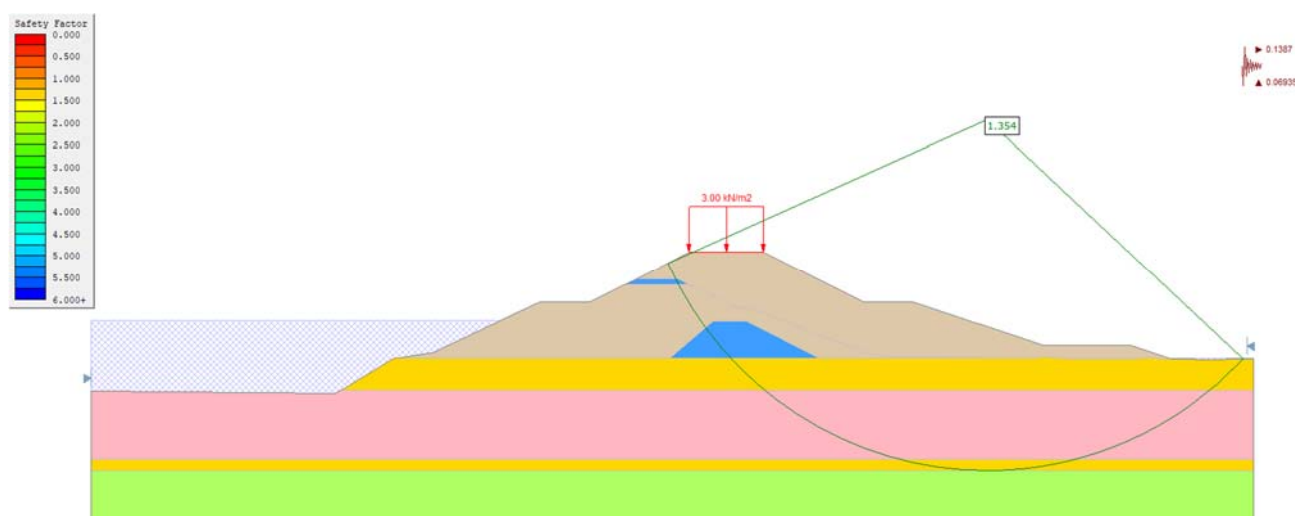
Figura 6-12: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Cassa)

(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 6-13: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso (Piena Lato Cassa)**

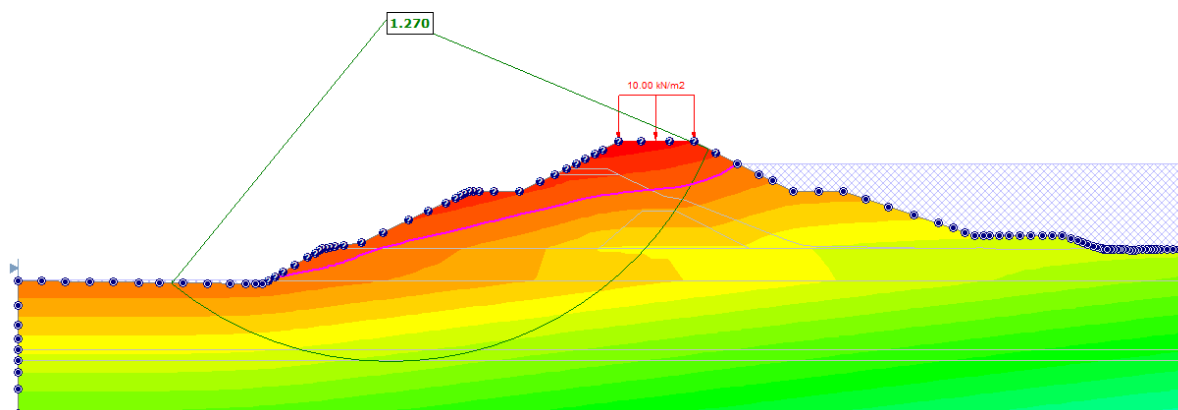


**Figura 6-14: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche (Piena Lato Cassa)**

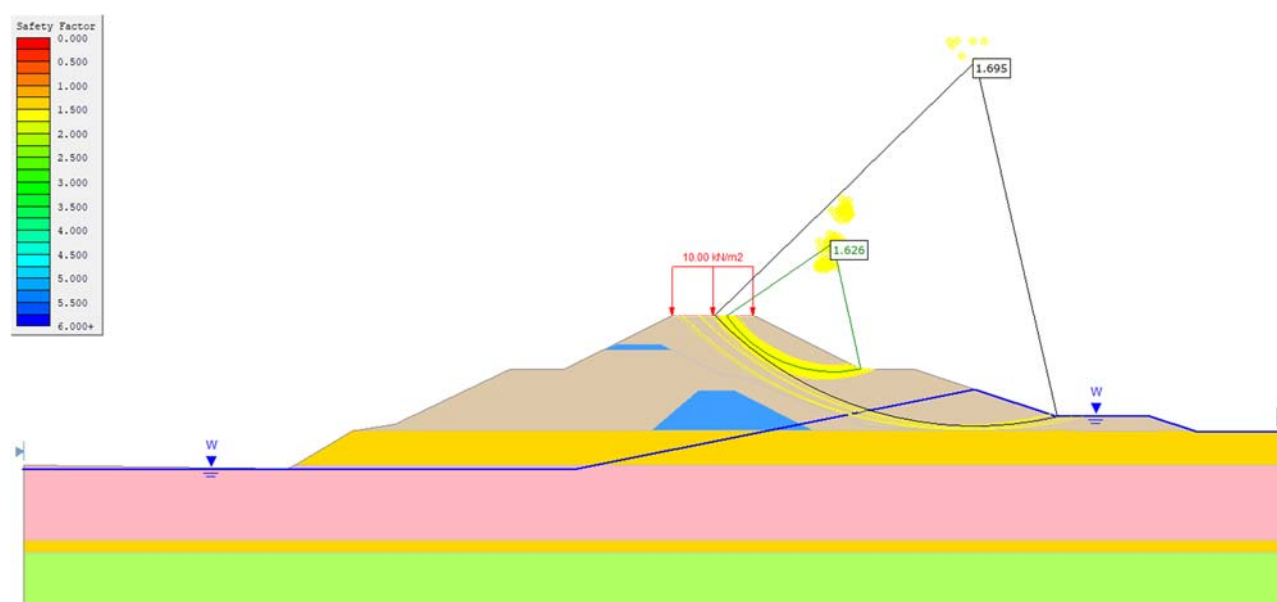


(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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)



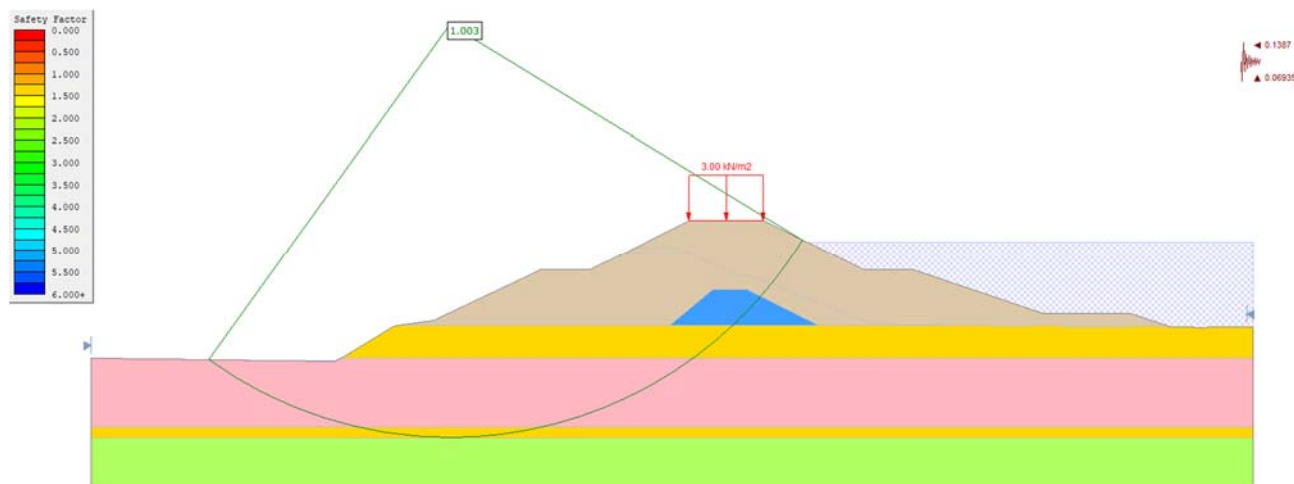
**Figura 6-15: Sezione Tipo C – Sez. P2.52 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Fiume)**



**Figura 6-16: 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 6-17: 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	Piena Lato Cassa	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,388
C – P2.52	SLU	Piena Lato Cassa	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,112
C – P2.52	Sismiche $\gamma_R=1,2$	Piena Lato Cassa	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,354
C – P2.52	SLU	Piena Lato Fiume	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,270
C – P2.52	SLU	Piena Lato Fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,626
C – P2.52	Sismiche $\gamma_R=1,2$	Piena Lato Fiume	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,003

**Tabella 6-4: 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**

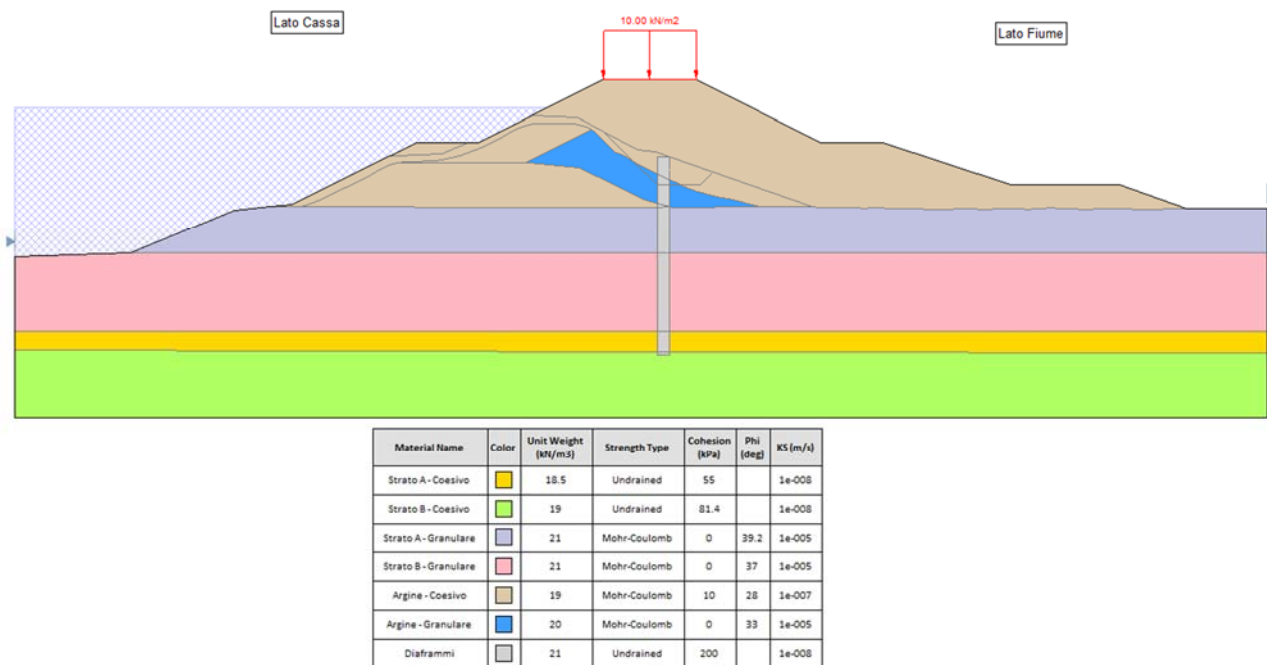


Figura 6-18: Sezione D1 – Sez. P2.47

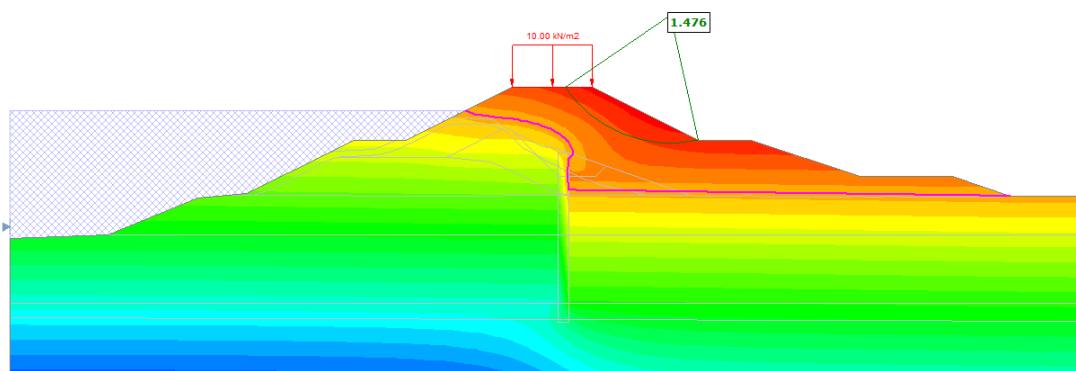
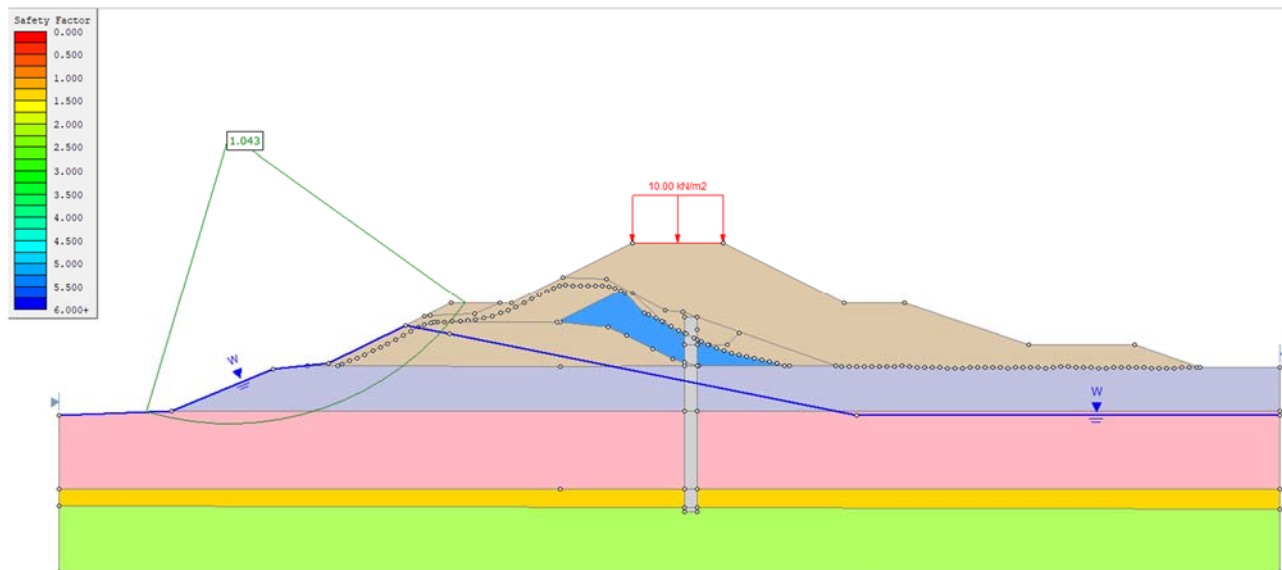


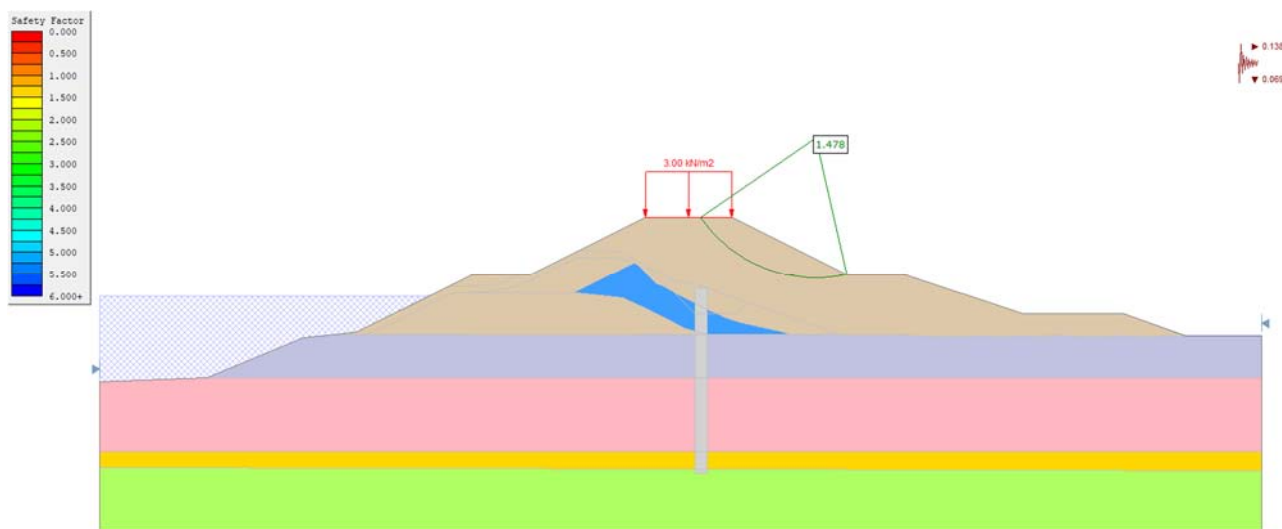
Figura 6-19: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Cassa)

(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 6-20: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso (Piena Lato Cassa)**



**Figura 6-21: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche (Piena Lato Cassa)**

Mandataria:

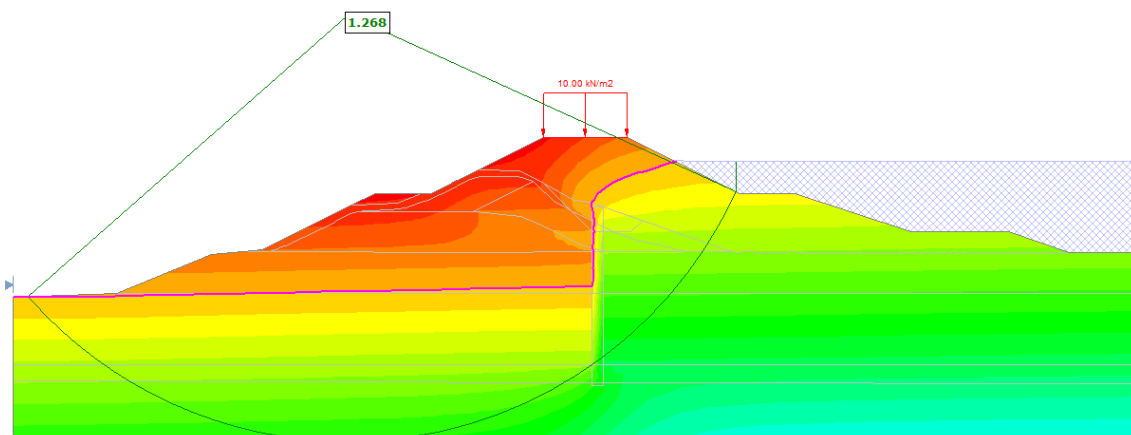


Mandanti:

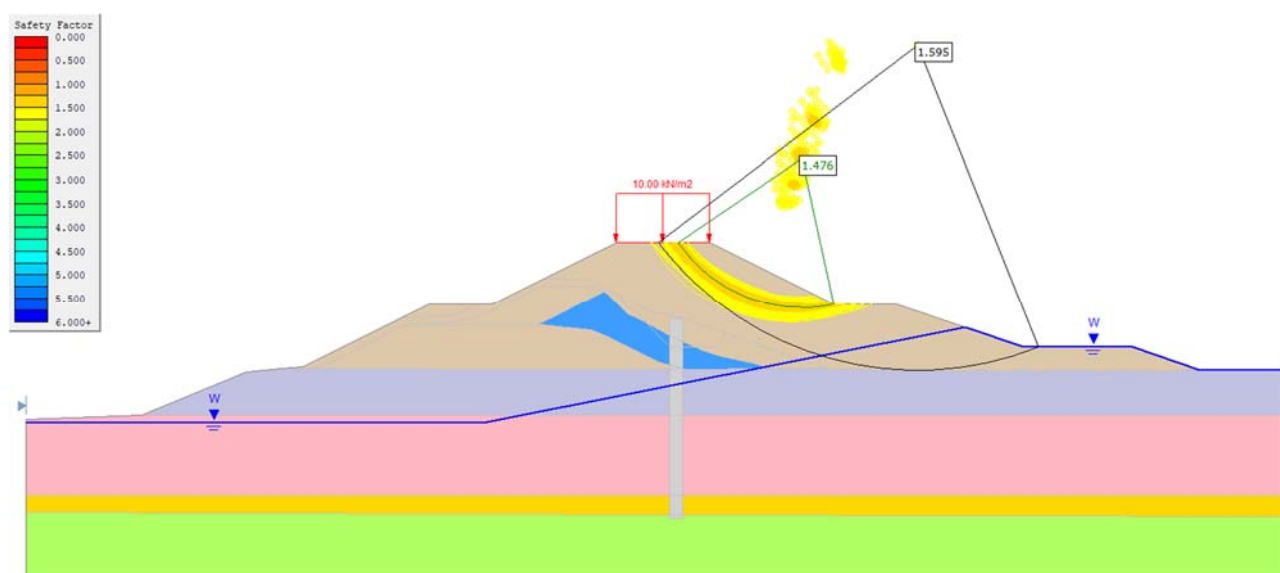


(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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 6-22: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario (Piena Lato Fiume)**

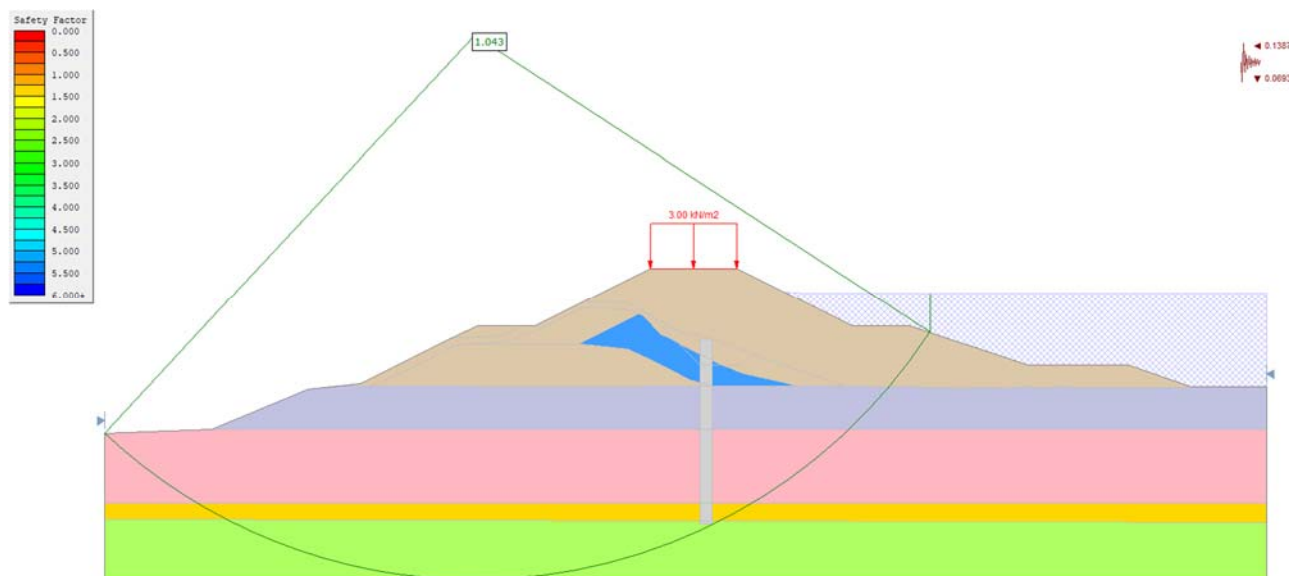


**Figura 6-23: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso (Piena Lato Fiume)**



(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 6-24: 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	1,476
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	SLC, classe III 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	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,043

**Tabella 6-5: Sezione Tipo D1 – Sez. P2.47 – Risultati analisi di stabilità globale**

Mandataria:



Mandanti:



(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. P1.58**

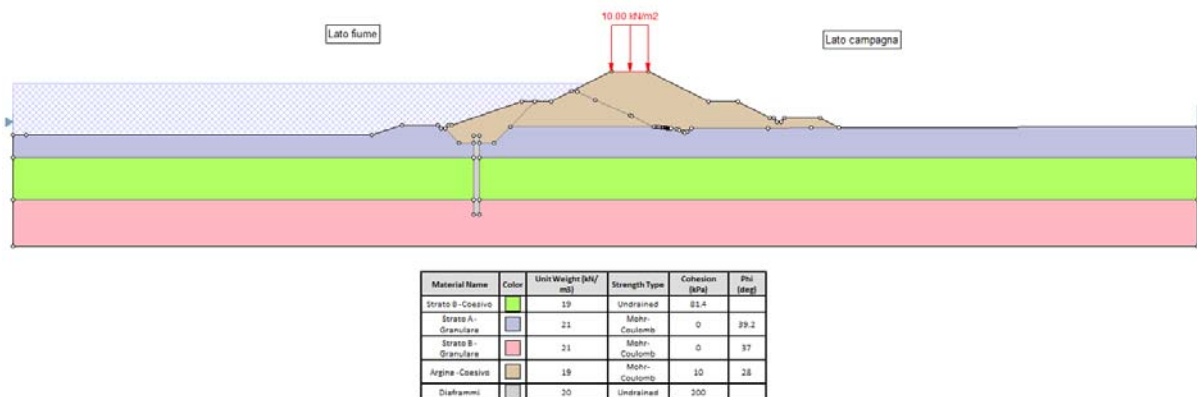


Figura 6-25: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.58

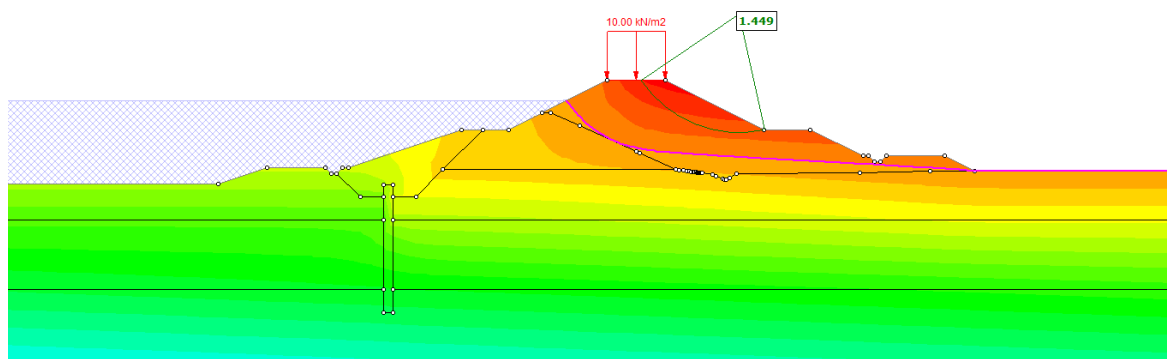


Figura 6-26: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.58 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

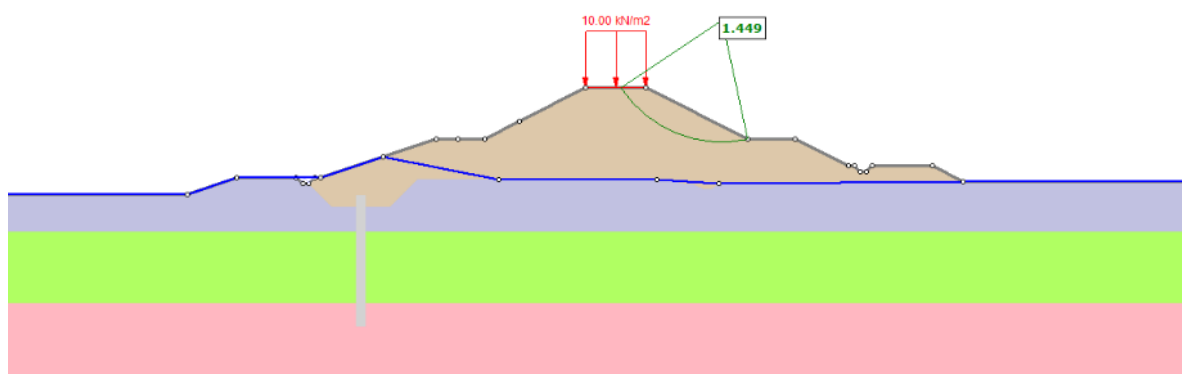
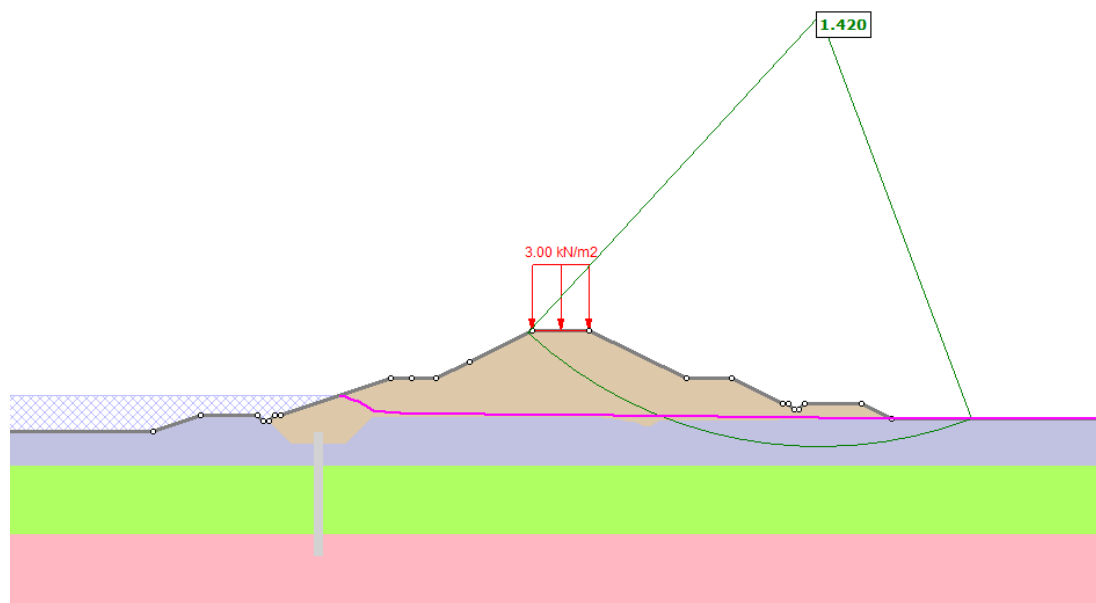


Figura 6-27: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.58 – Analisi di stabilità globale in condizioni di svasso rapido

(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 6-28: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.58 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche**

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
D2 – P1.58	SLU	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1.449
D2 – P1.58	SLU	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,449
D2 – P1.58	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,420

**Tabella 6-6: Sezione Tipo D2 – Sez. P1.58 – 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**

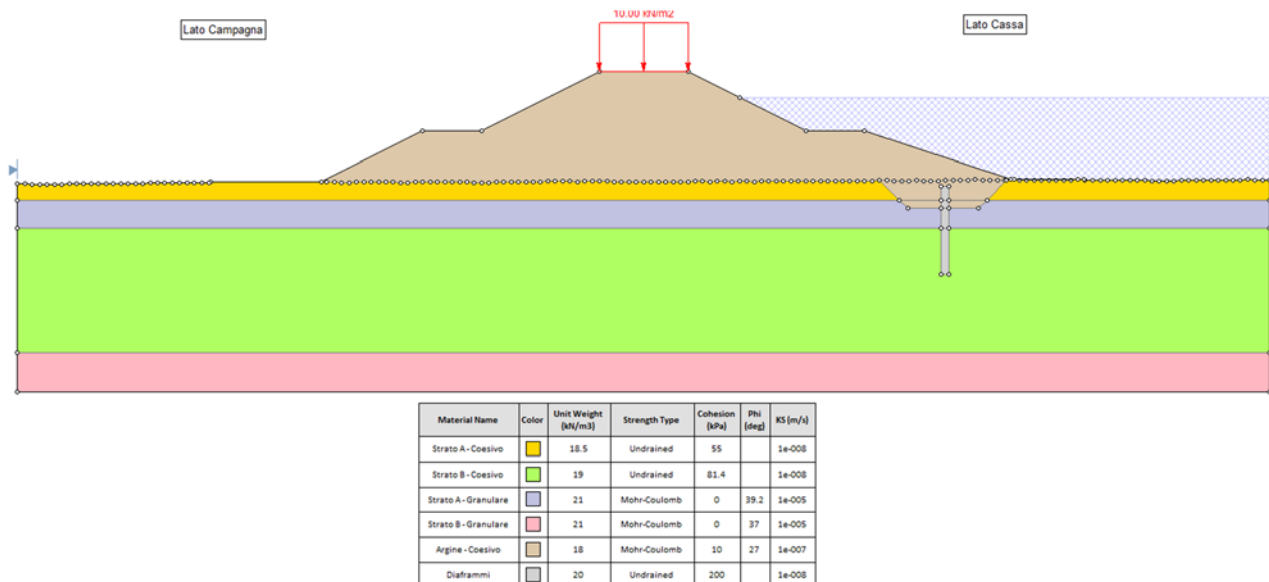


Figura 6-29: Sezione Tipo E – Sez. P7.49

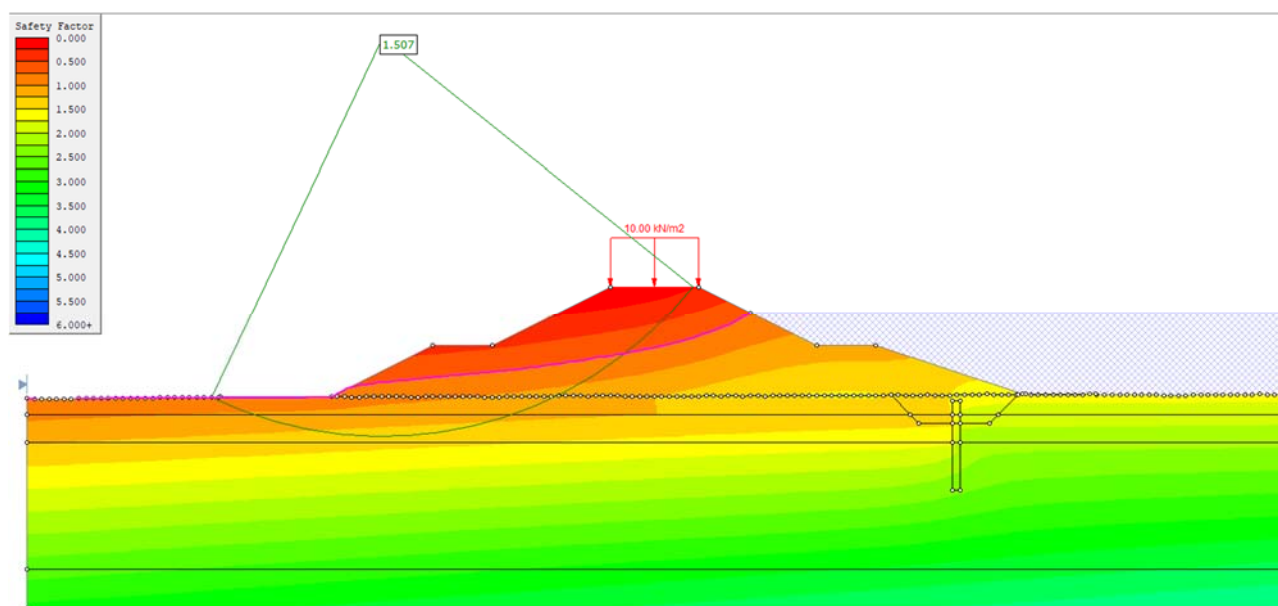


Figura 6-30: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

Mandataria:



Mandanti:



(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)

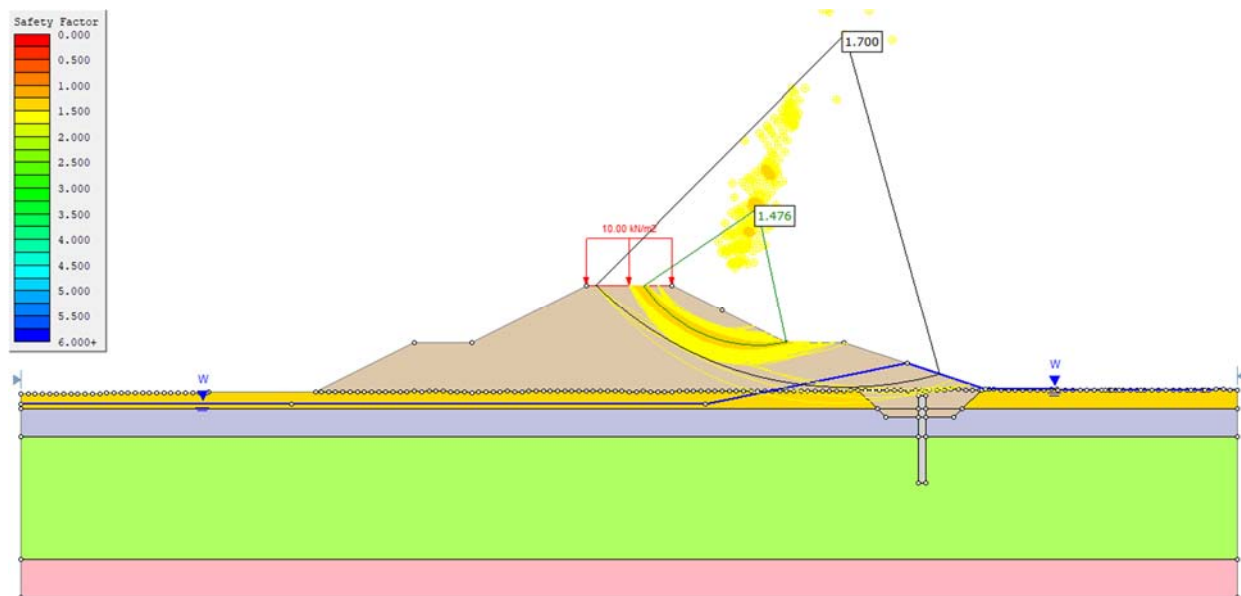


Figura 6-31: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso

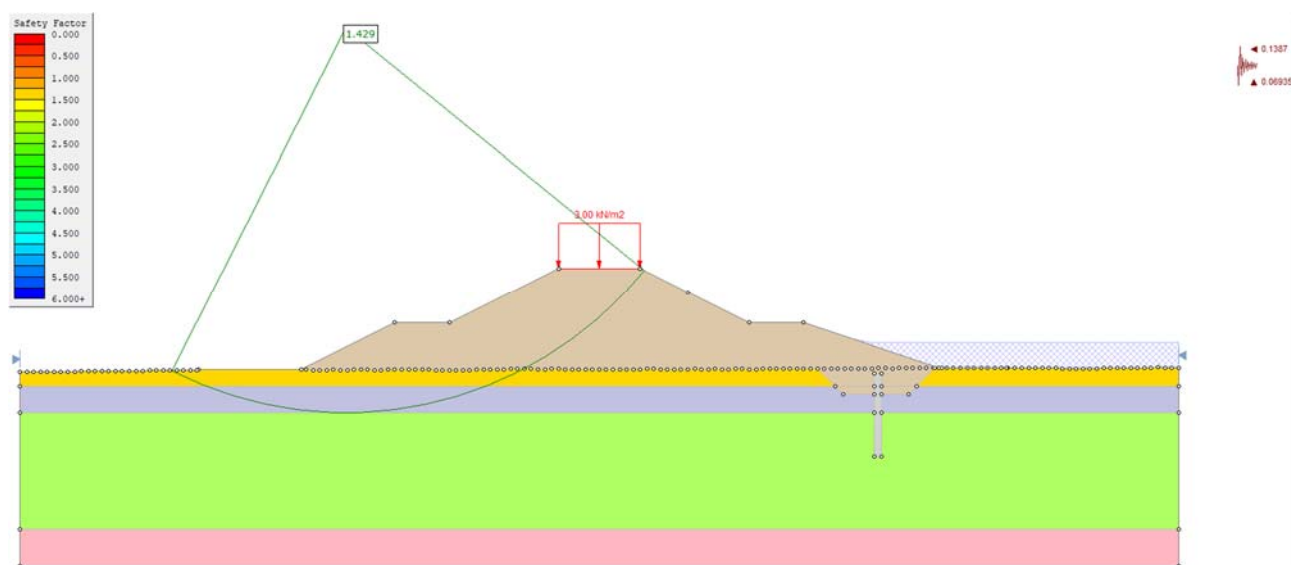


Figura 6-32: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

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

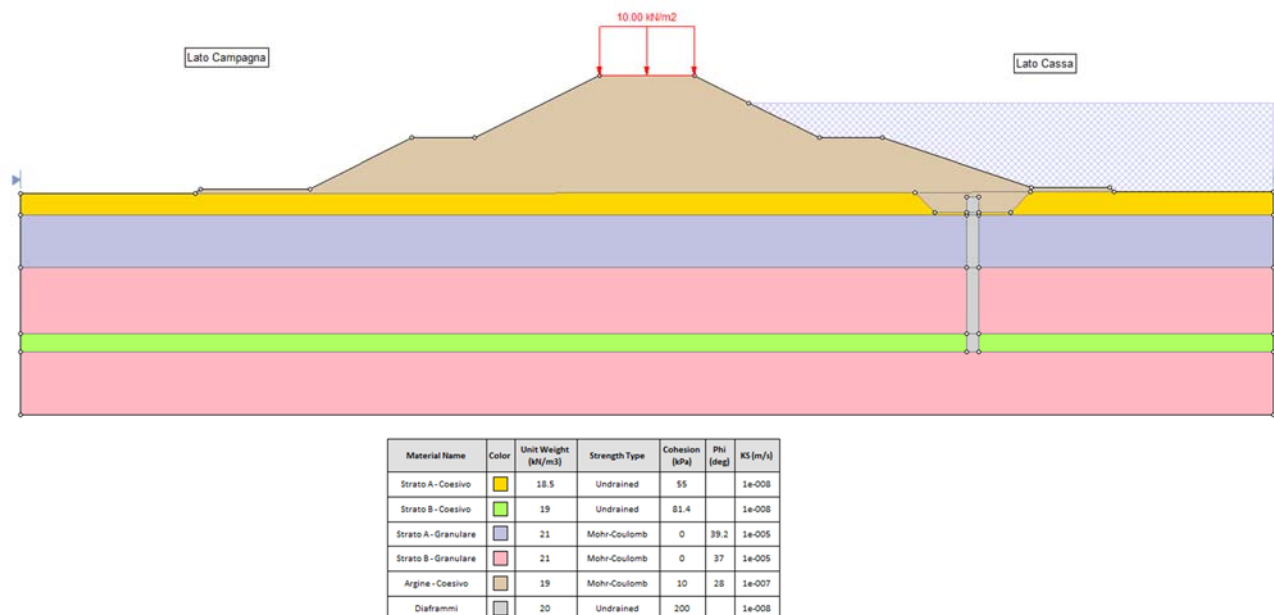
Tabella 6-7: Sezione Tipo E – Sez. P7.49 - Risultati analisi di stabilità globale



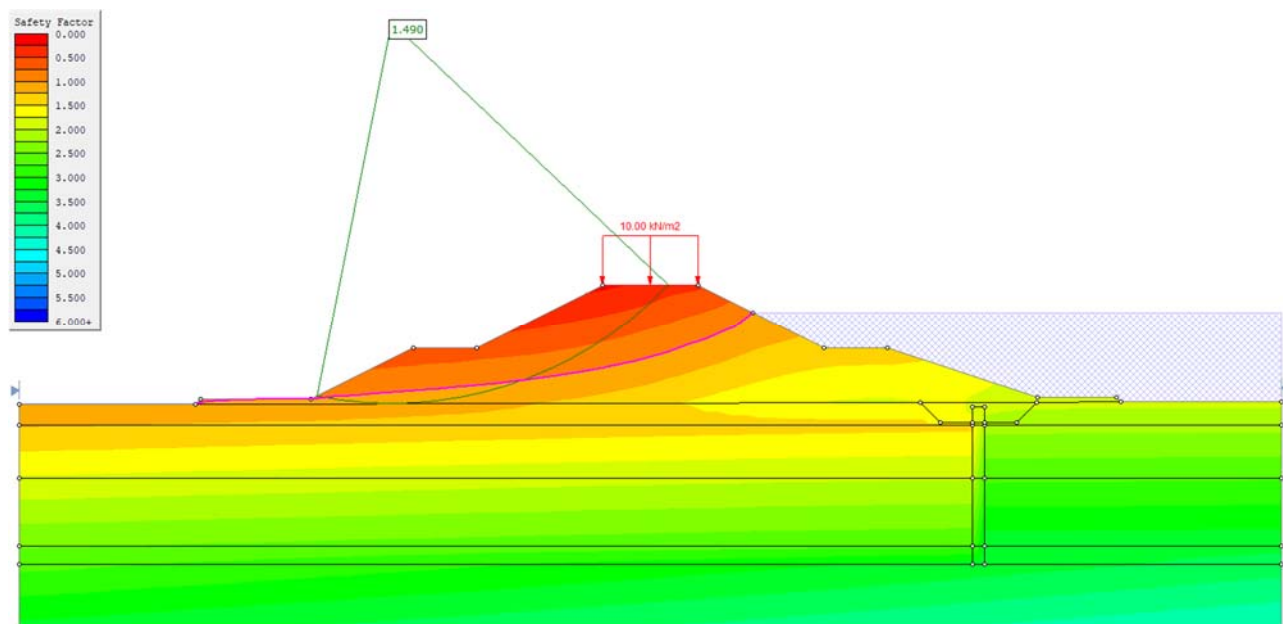
(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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 6-33: Sezione Tipo E – Sez. P7.54**



**Figura 6-34: 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)

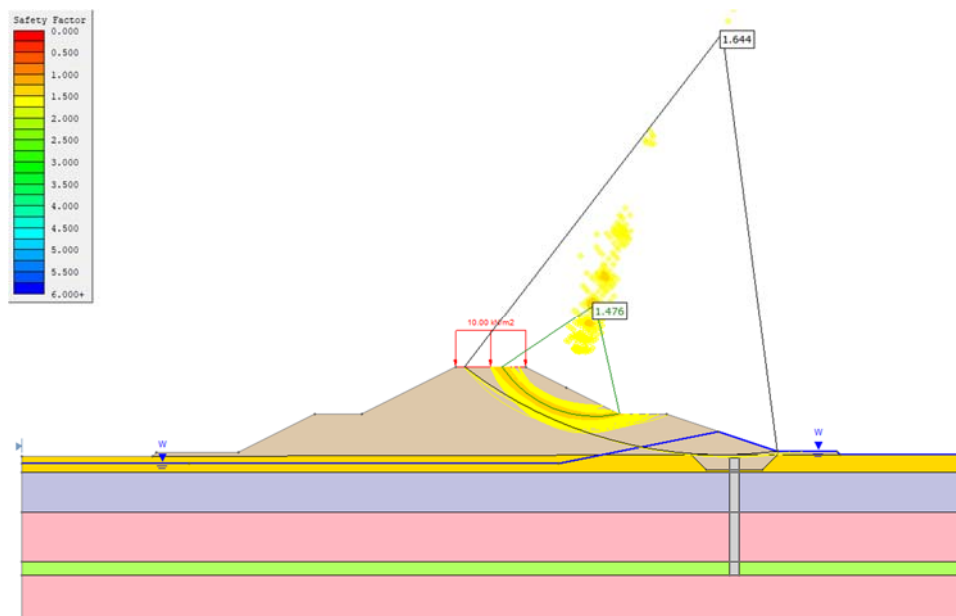


Figura 6-35: Sezione Tipo E – Sez. P7.54 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso

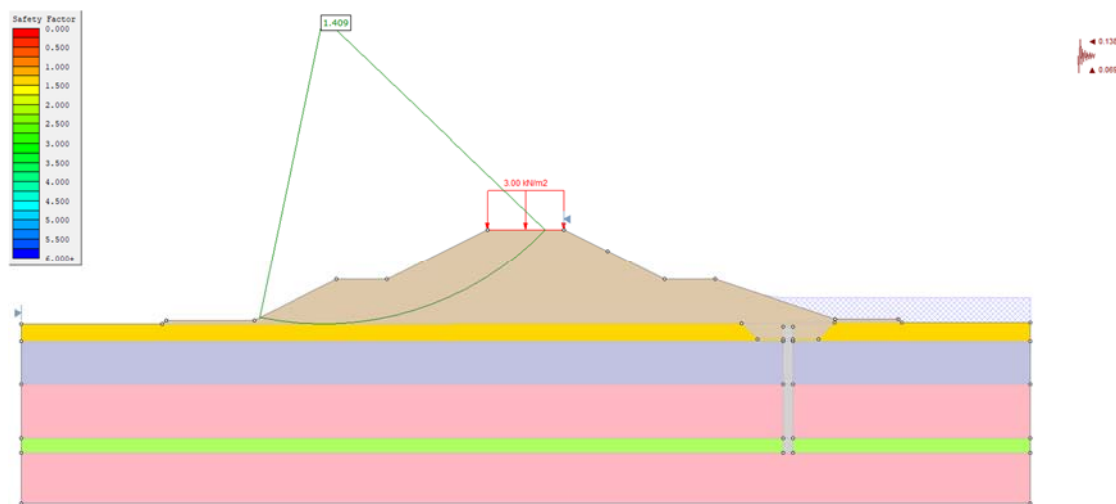


Figura 6-36: Sezione Tipo E – Sez. P7.54 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

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

Tabella 6-8: 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. P2.58**

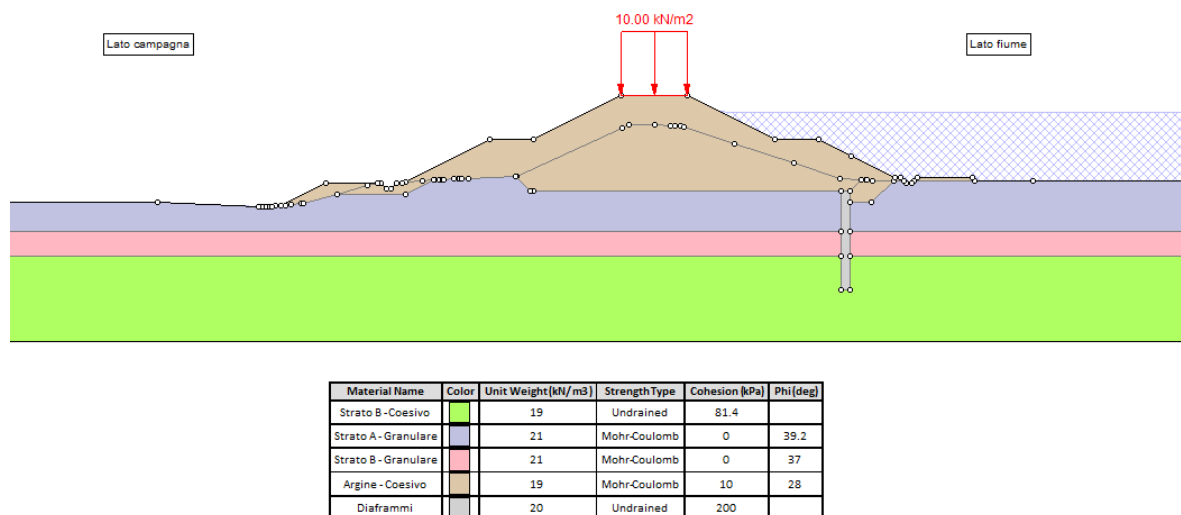


Figura 6-37: Sezione Tipo F – Sez. P2.58

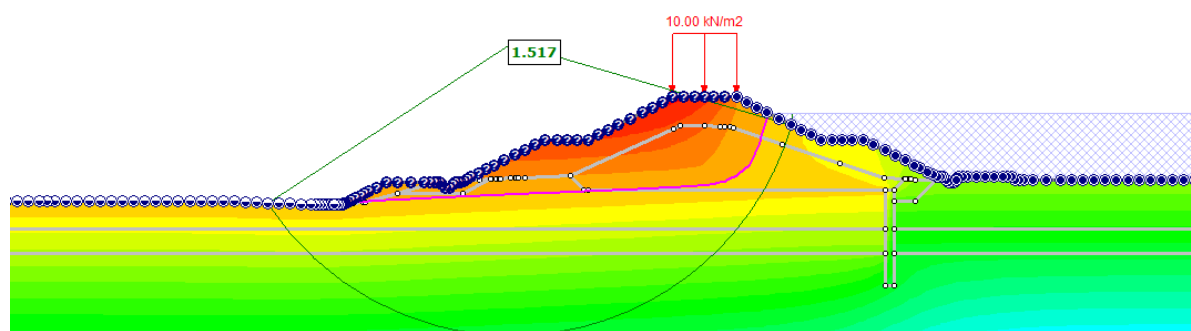


Figura 6-38: Sezione Tipo F – Sez. P2.58 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

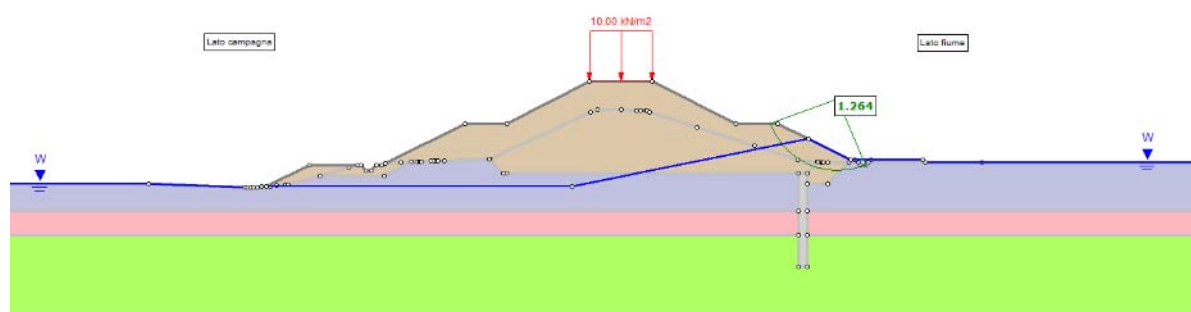
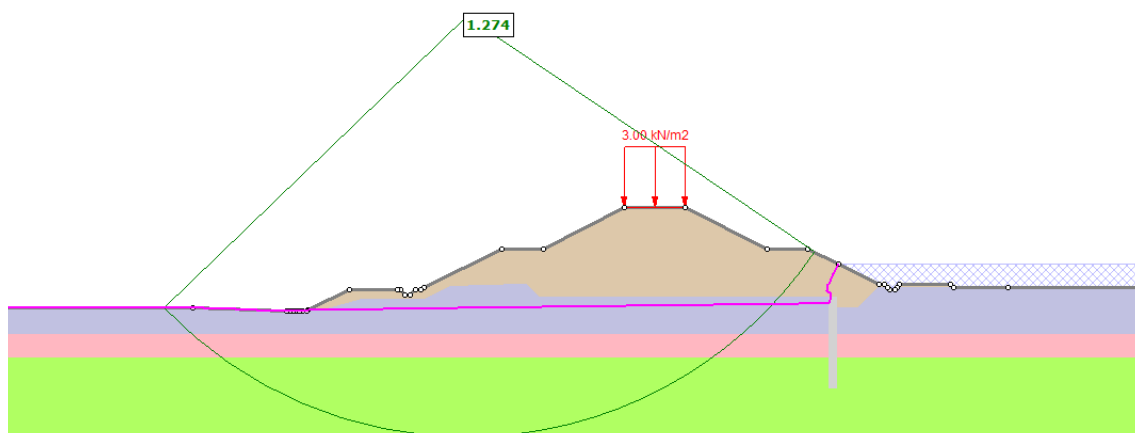


Figura 6-39: Sezione Tipo F – Sez. P2.58 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso

(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 6-40: Sezione Tipo F – Sez. P2.58 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche**

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
F – P2.58	SLU	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,517
F – P2.58	SLU	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,264
F – P2.58	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,274

**Tabella 6-9: Sezione Tipo F – Sez. P2.58 – Risultati analisi di stabilità globale**

Mandataria:



Mandanti:

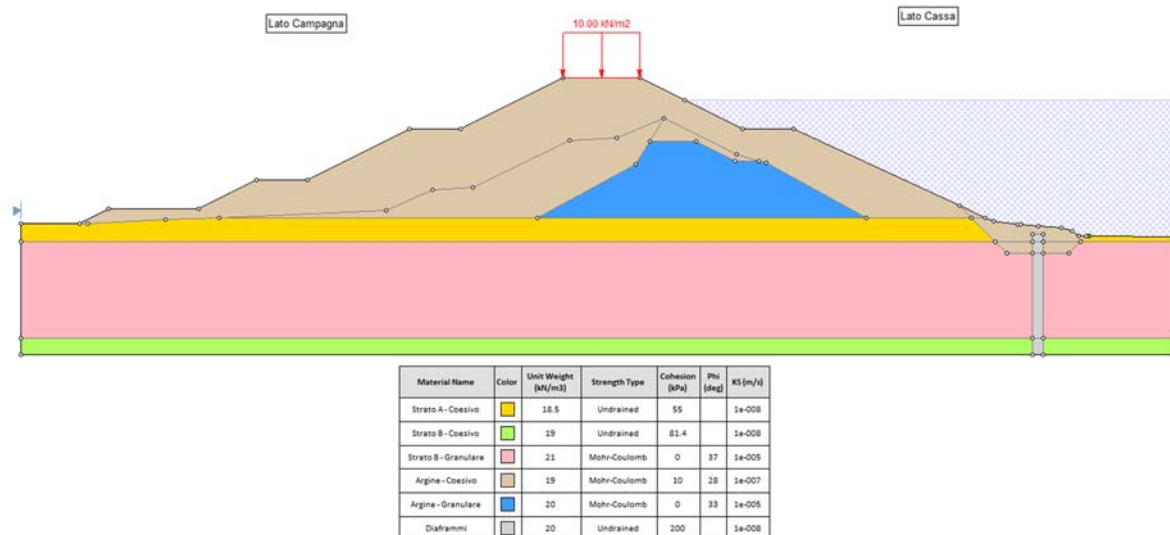


STUDIO PANDAKOVIC  
Arch. Dal Sasso

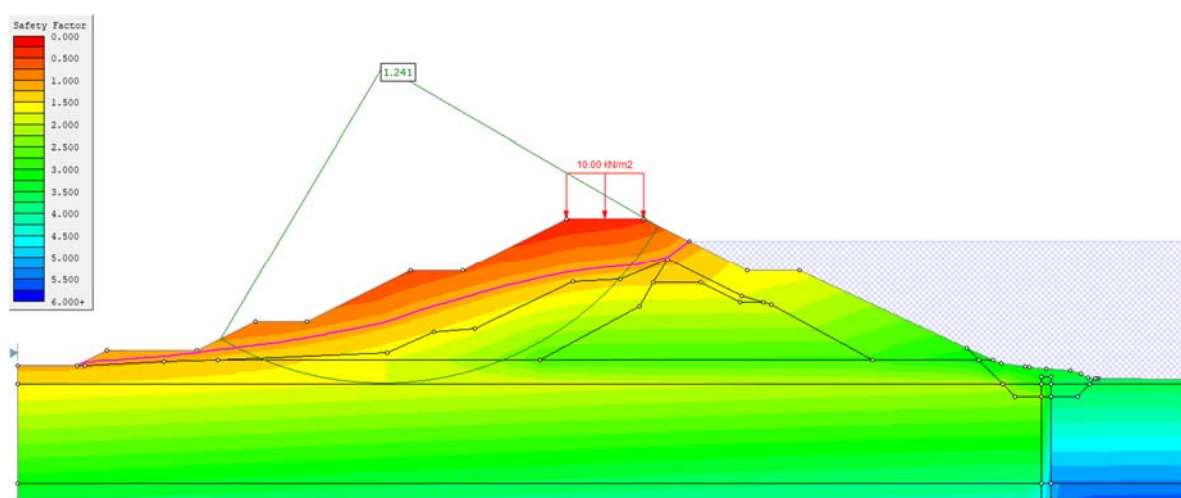
(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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)

• **SEZIONE TIPO G1 – Sez. P6.30**



**Figura 6-41: Sezione Tipo G1 – Sez. P6.30**



**Figura 6-42: 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)

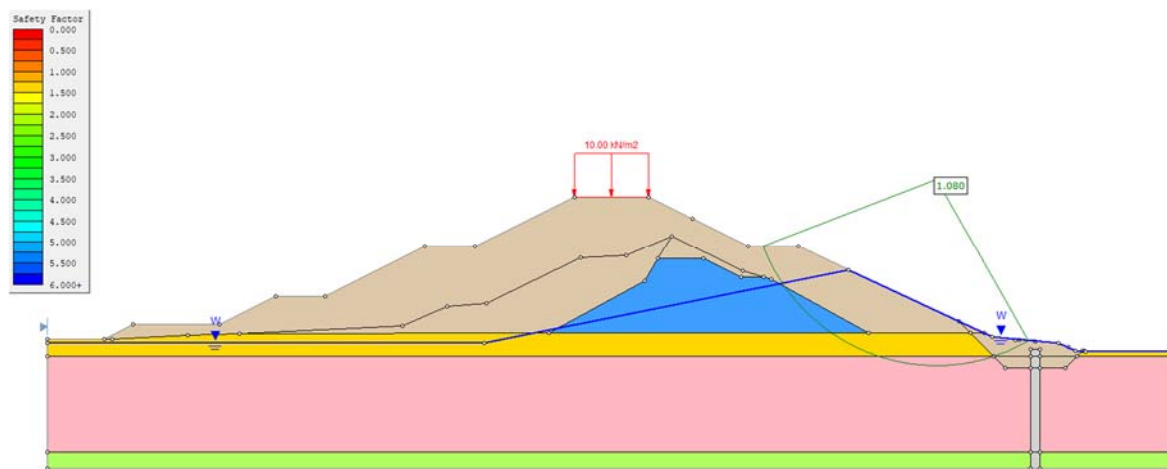


Figura 6-43: Sezione Tipo G1 Sez. P6.30 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

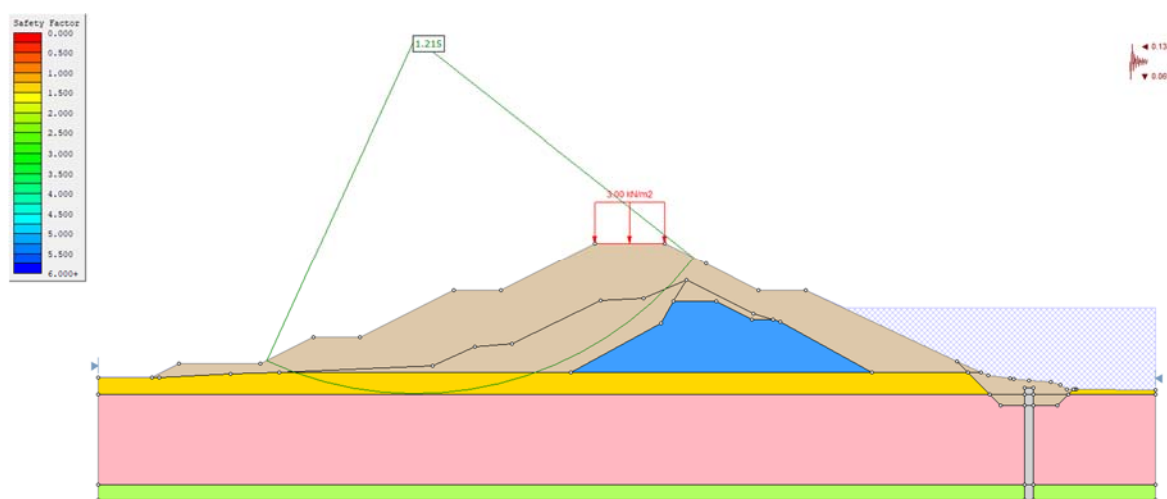


Figura 6-44: Sezione Tipo G1 Sez. P6.30 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

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

Tabella 6-10: Sezione Tipo G1 – Sez. P6.30 – Risultati analisi di stabilità globale

Mandataria:



Mandanti:



(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**

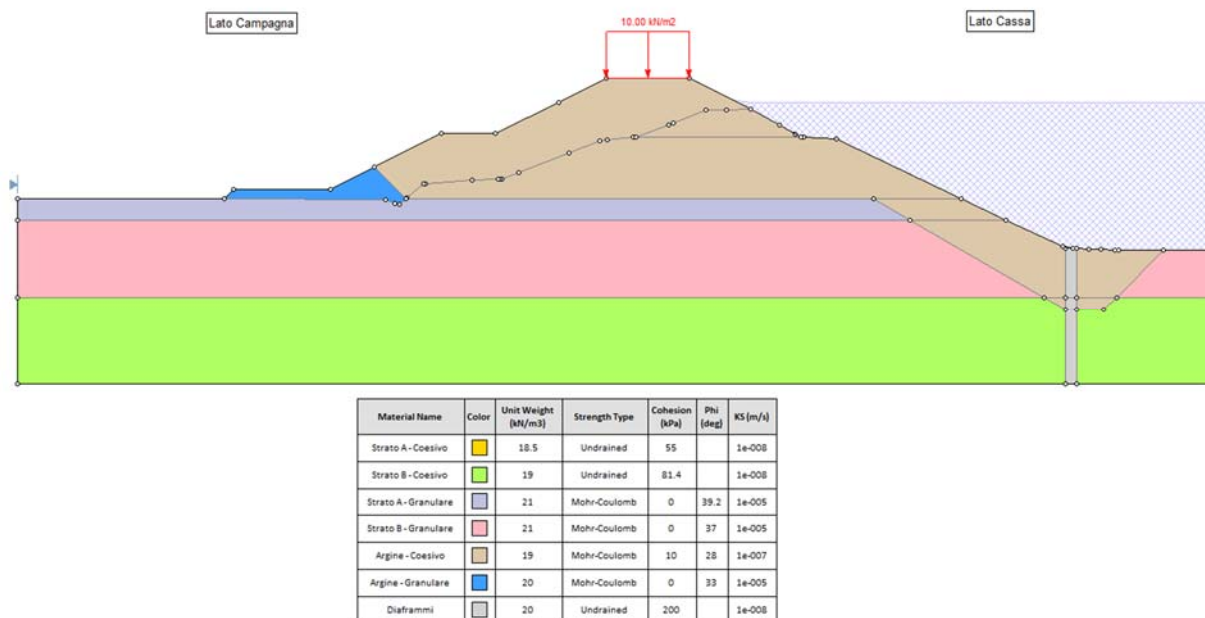


Figura 6-45: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46

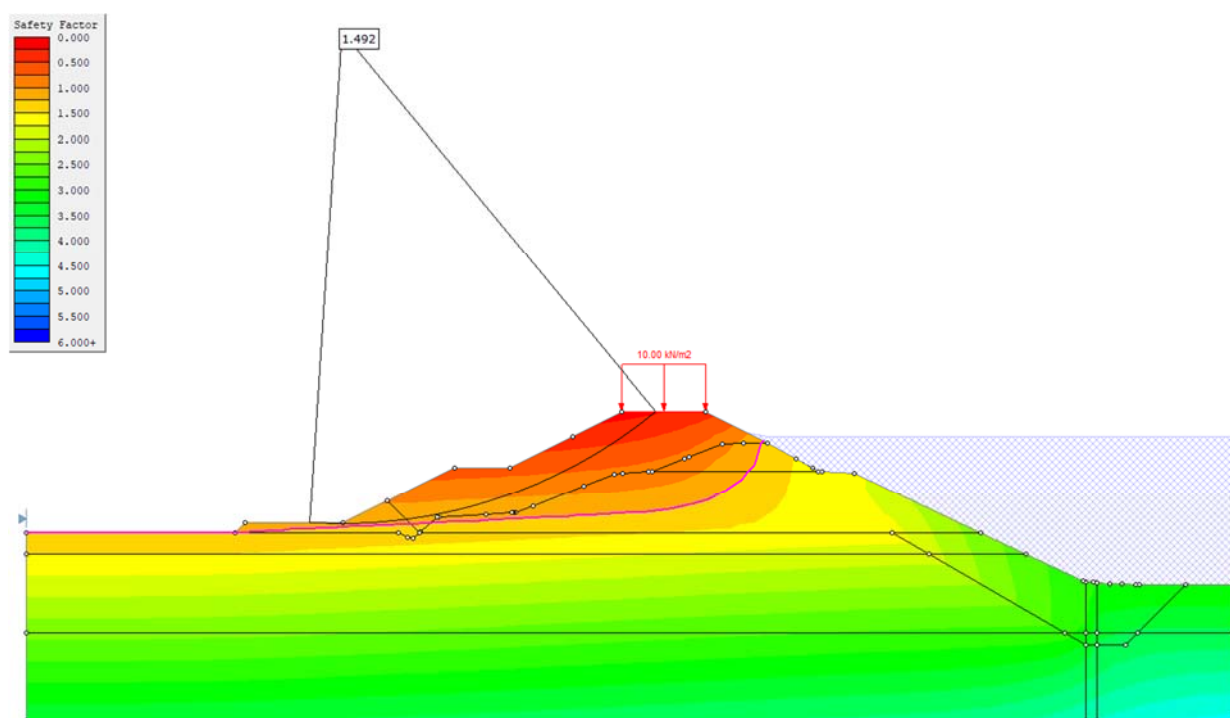


Figura 6-46: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario

(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)

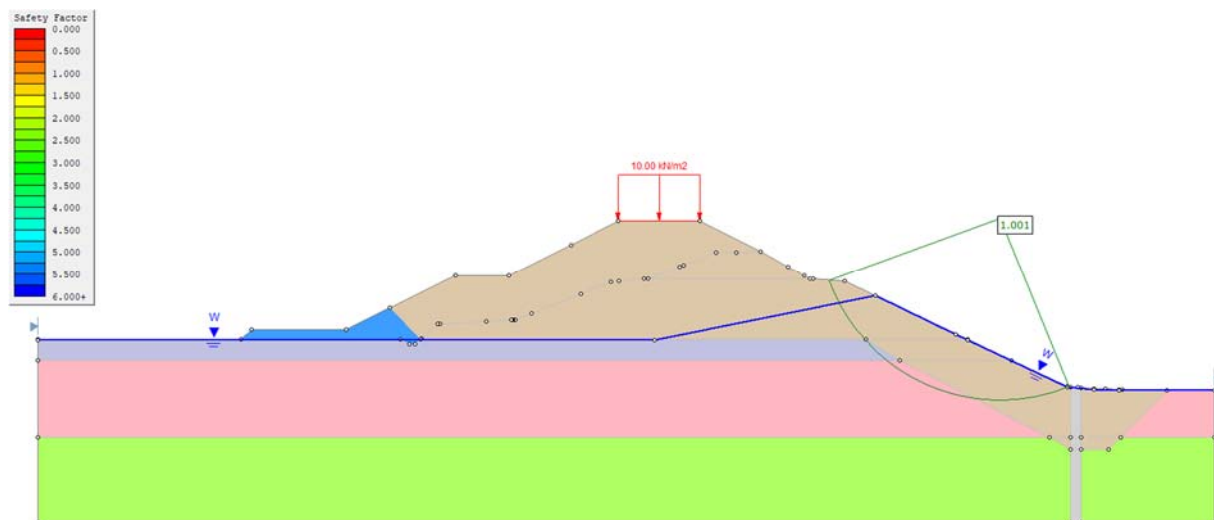


Figura 6-47: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svaso

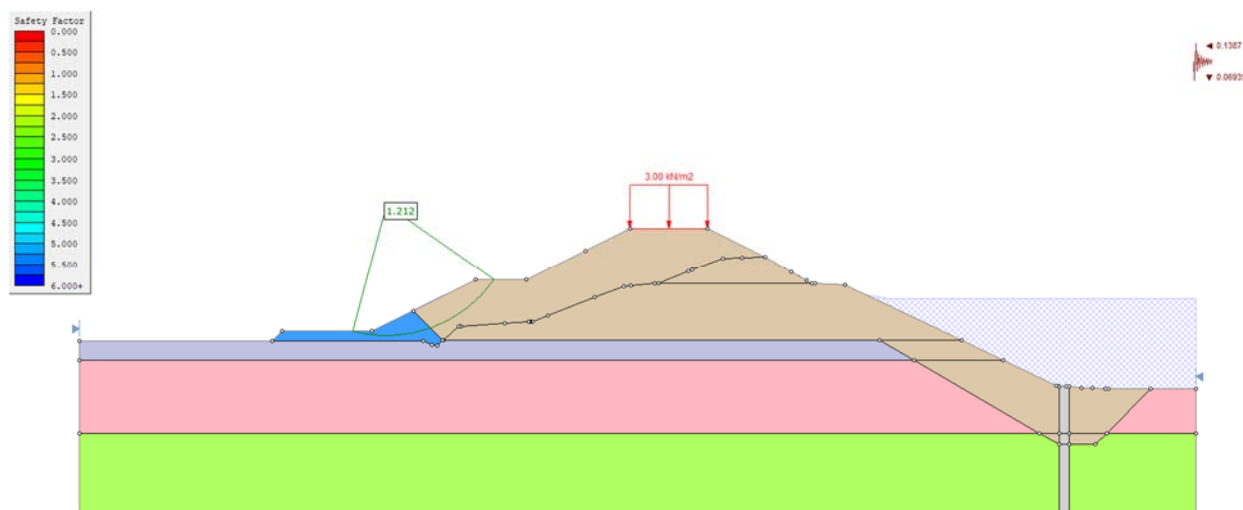


Figura 6-48: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

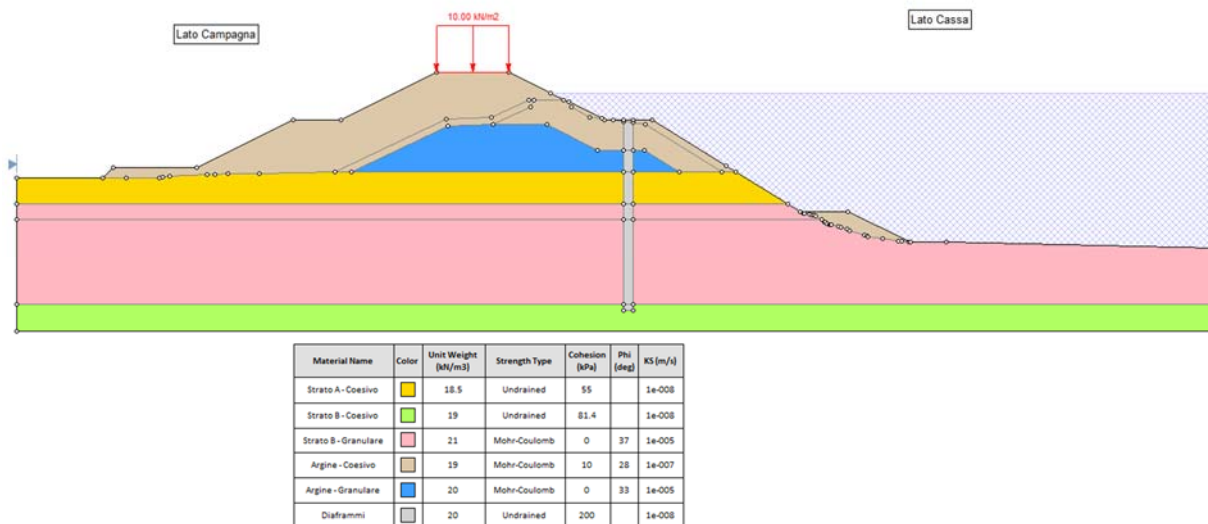
Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
G2 – P6.46	SLU	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,492
G2 – P6.46	SLU	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,001
G2 – P6.46	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,212

Tabella 6-11: Sezione Tipo G2 - Sez. P6.46 – Risultati analisi di stabilità globale

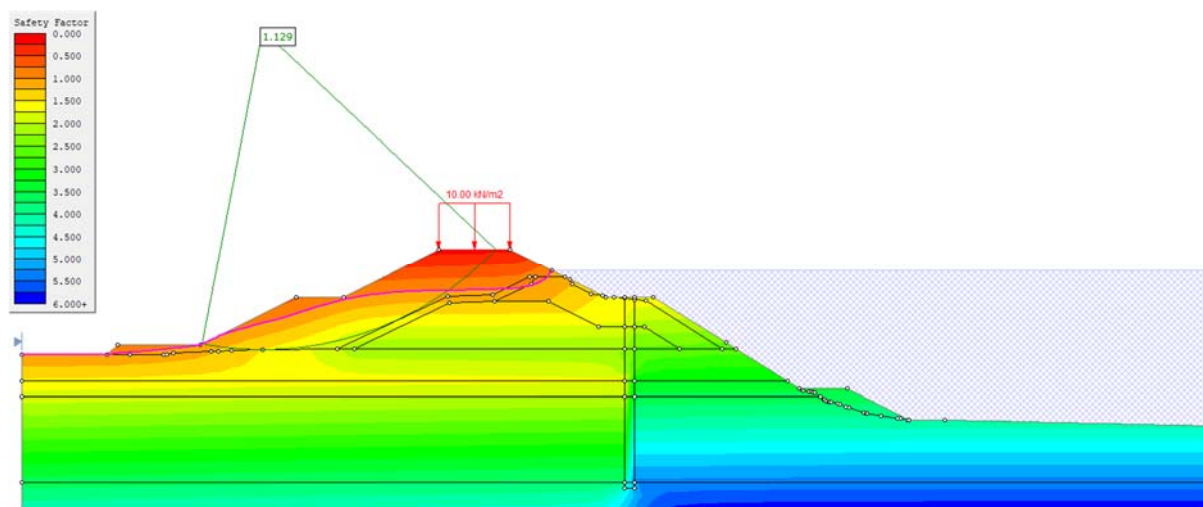
(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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 6-49: Sezione Tipo G3 - Sez. P6.11**



**Figura 6-50: Sezione Tipo G3 - Sez. P6.11 – Analisi di stabilità globale in condizioni di massimo invaso e flusso stazionario**

Mandataria:

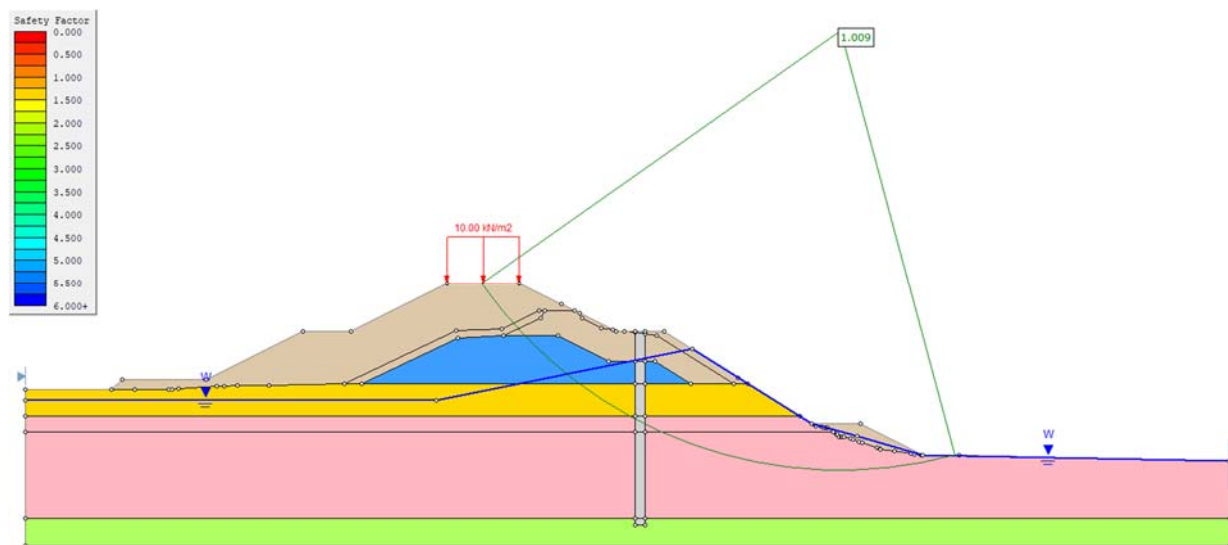


Mandanti:

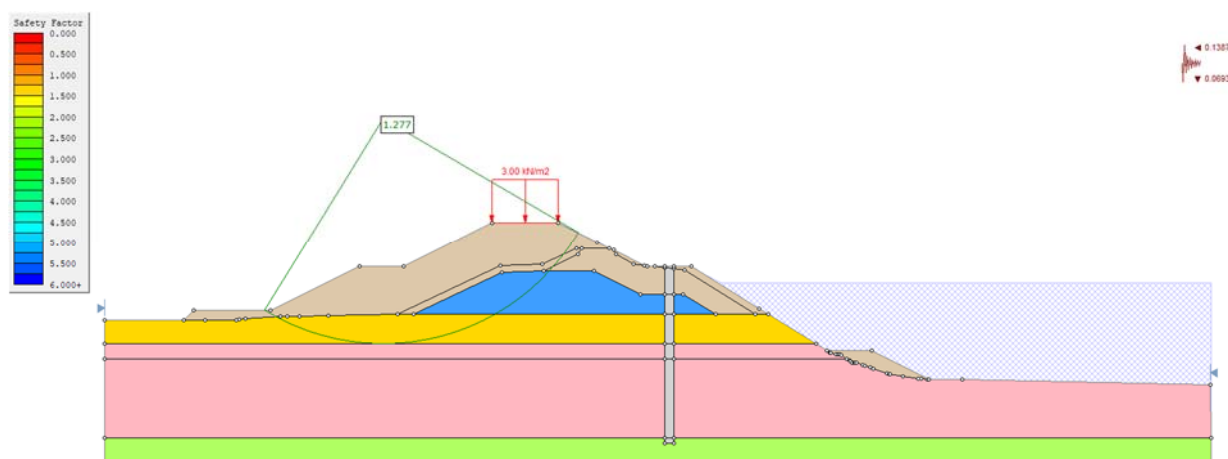


(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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 6-51: Sezione Tipo G3 - Sez. P6.11 – Analisi di stabilità globale in condizioni di rapido svasso**



**Figura 6-52: 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	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,129
G3 – P6.11	SLU	fiume	No	10 kPa	Svaso Rapido	1,009
G3 – P6.11	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,277

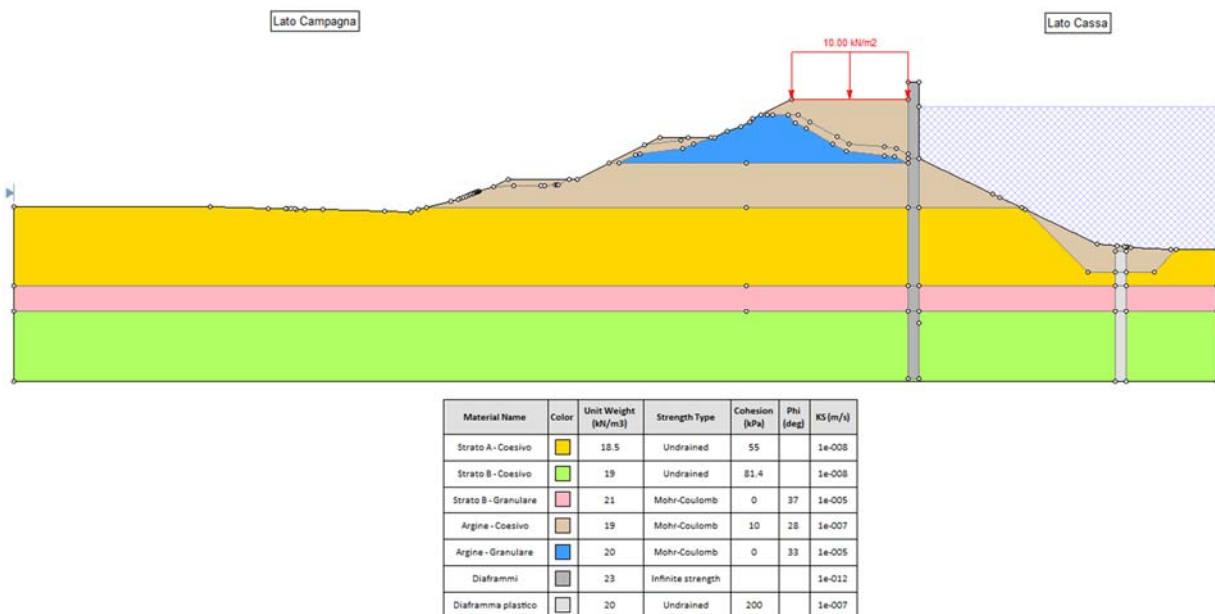
**Tabella 6-12: Sezione Tipo G3- Sez. P6.11 – Risultati analisi di stabilità globale**



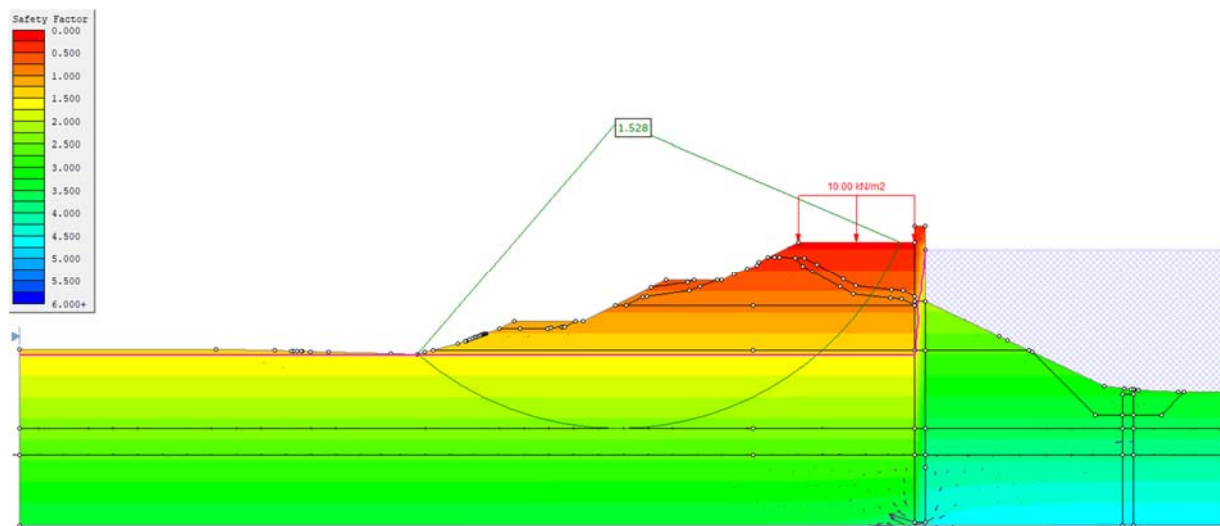
(MO-E-1357 - Adeguamento dei manufatti di regolazione e sfioro della cassa di espansione del fiume Secchia comprensivo della predisposizione della possibilità di regolazione in situazioni emergenziali anche per piene ordinarie in relazione alla capacità di deflusso del tratto arginato (ex codice 10969) 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 6-53: Sezione Tipo H - Sez. P6.36**



**Figura 6-54: 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)

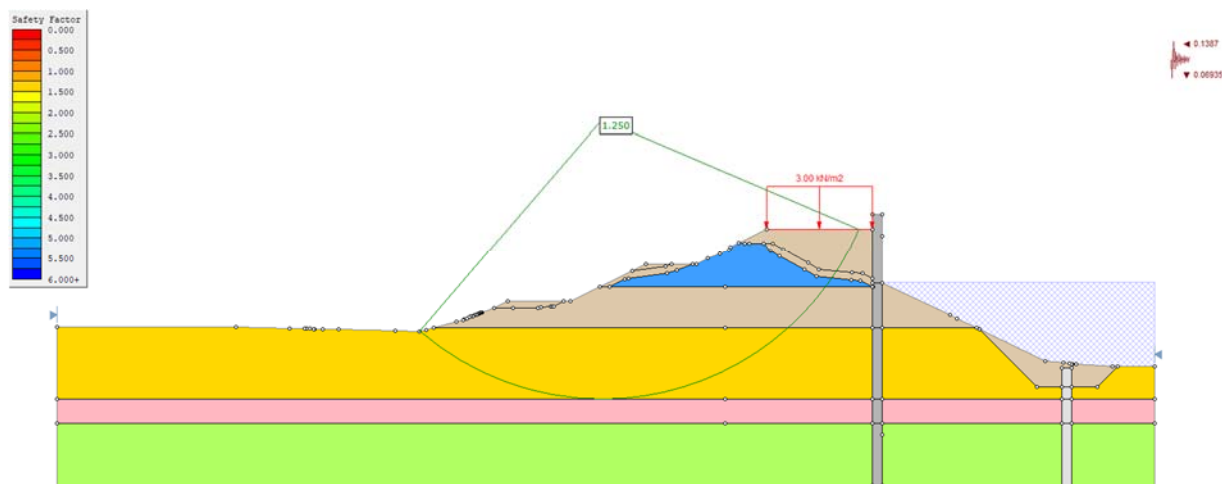


Figura 6-55: Sezione Tipo H - Sez. P6.36 – Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Sezione	Verifica	Lato	Azione Sismica	Sovraccarico	Condizione di verifica	ODF
H – P6.36	SLU	campagna	No	10 kPa	Massimo Invaso	1,528
H – P6.36	Sismiche $\gamma_R=1,2$	campagna	SLC, classe III VN 100 anni	3 kPa	Sisma	1,250

Tabella 6-13: Sezione Tipo H - Sez. P6.36 – Risultati analisi di stabilità globale

Mandataria:



Mandanti:



## 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. 9.018) della Rocscience assumendo le seguenti condizioni:

- livello di massima piena lato fiume (50.24 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 6-14* 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 6-14 : 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. P1.18*

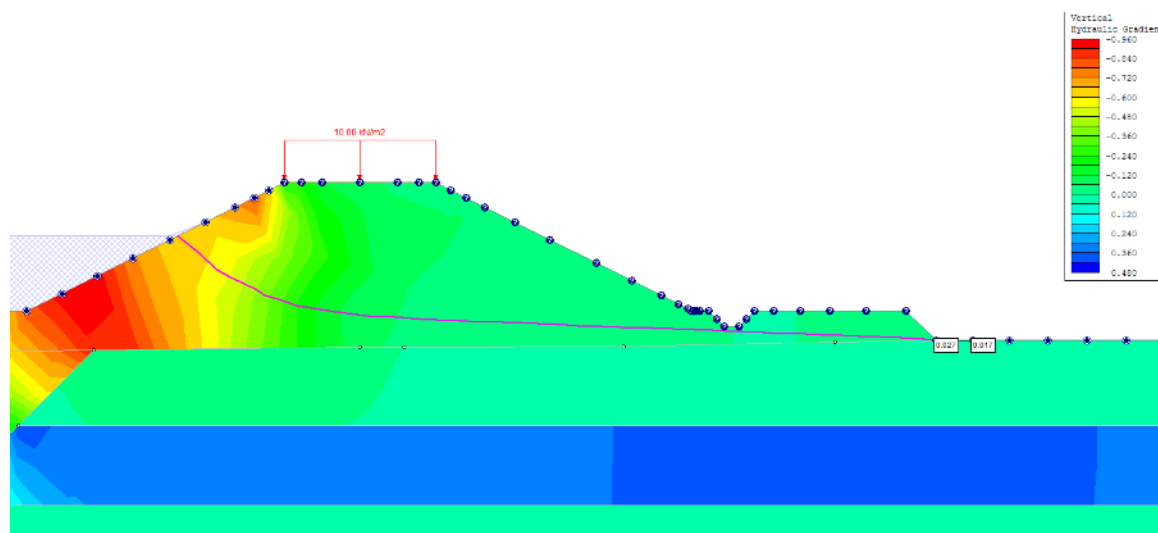


Figura 6-56: Sezione A (Taglione 46) - Sez. P1.18– Andamento del gradiente verticale  $i_y$

(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

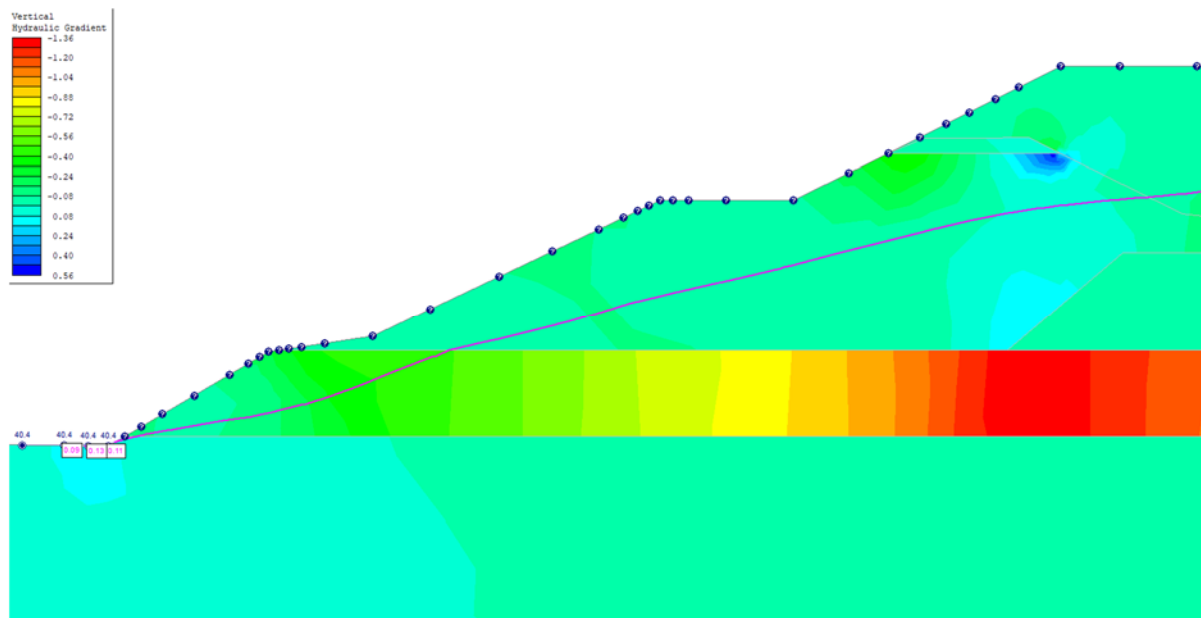


Figura 6-57: Sezione C – Sez. P2.52 - Andamento del gradiente verticale  $i_y$

- SEZIONE TIPO D1 – Sez. P2.47

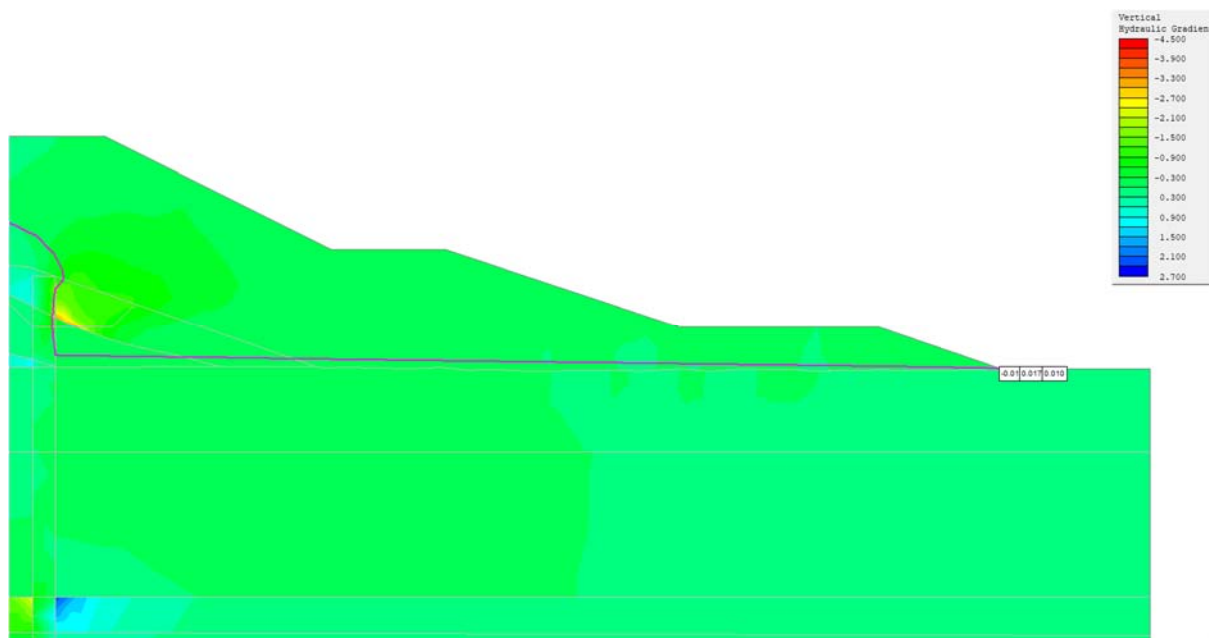


Figura 6-58: Sezione D1 – Sez. P2.47 - Andamento del gradiente verticale  $i_y$  nelle condizioni di piena lato cassa



(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)

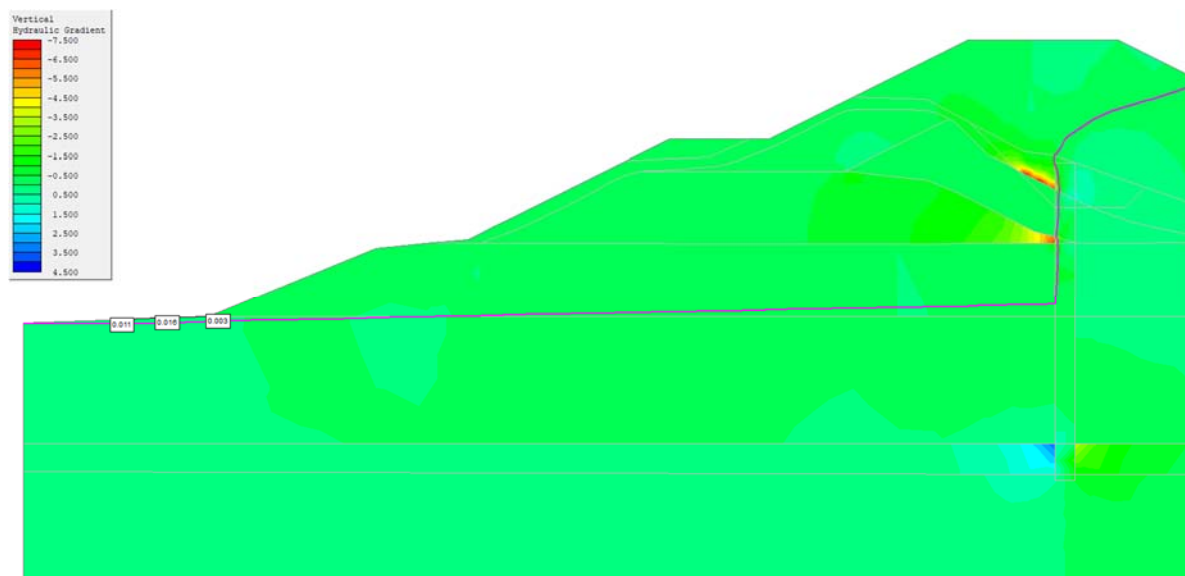


Figura 6-59: Sezione D1 – Sez. P2.47 - Andamento del gradiente verticale  $i_y$  nelle condizioni di piena lato fiume

- SEZIONE TIPO D2 – Sez. P1.58

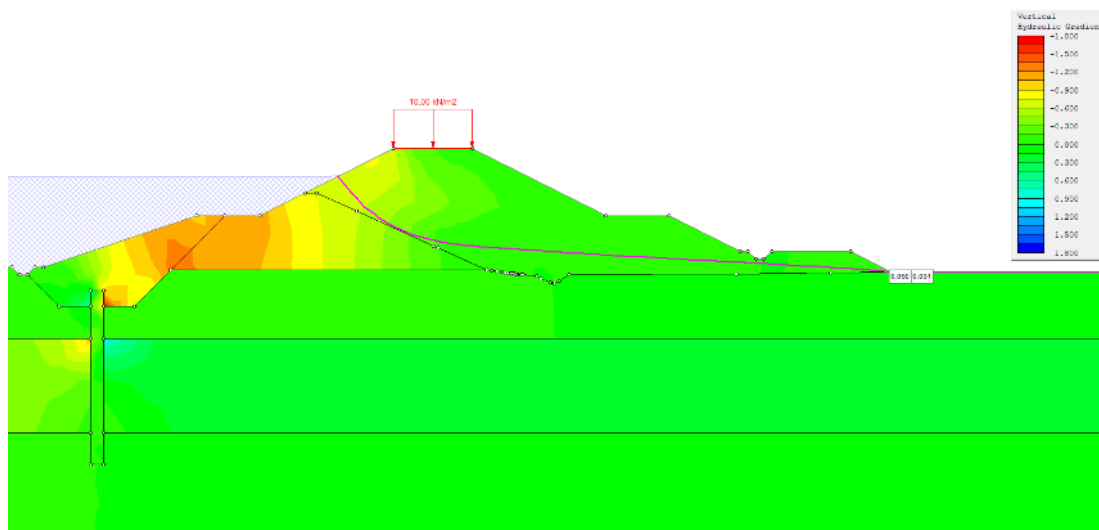


Figura 6-60: Sezione D2 – Sez. P1.58 - Andamento del gradiente verticale  $i_y$

(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. P2.58*

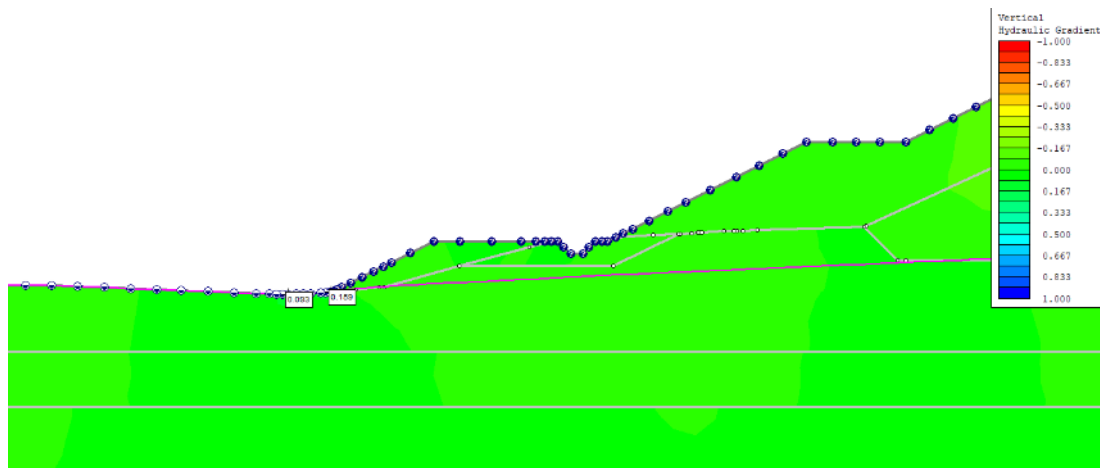


Figura 6-61: Sezione F – Sez. P2.58 - Andamento del gradiente verticale  $i_y$

- *SEZIONE TIPO G2 – Sez. P6.46*

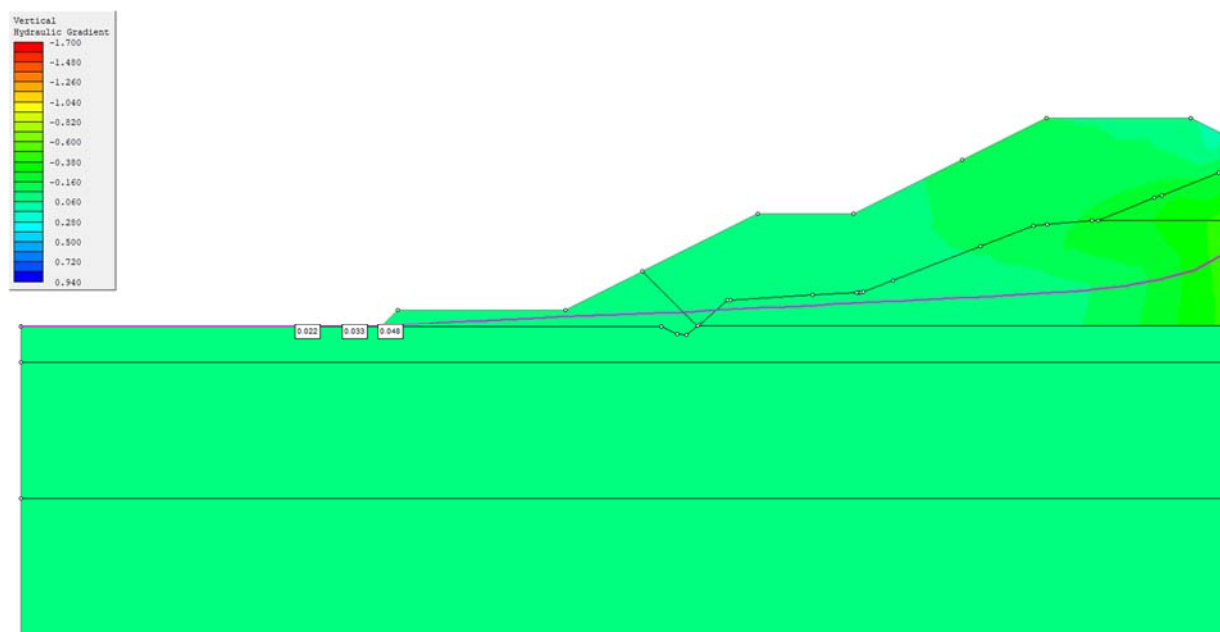


Figura 6-62: Sezione G2 – Sez. P6.46 - Andamento del gradiente verticale  $i_y$

(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)



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 $i_y$	$i_c/i_y$
A – P1.18	0,027	>10
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 – P1.58	0,05	>10
F – P2.58	0,159	6
G2 – P6.46	0,048	>10

**Tabella 6-15: Valori del gradiente idraulico verticale nella zona di deflusso**

Mandataria:



Mandanti:



## 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili $Q$	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	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<sup>3</sup>.

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

(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*

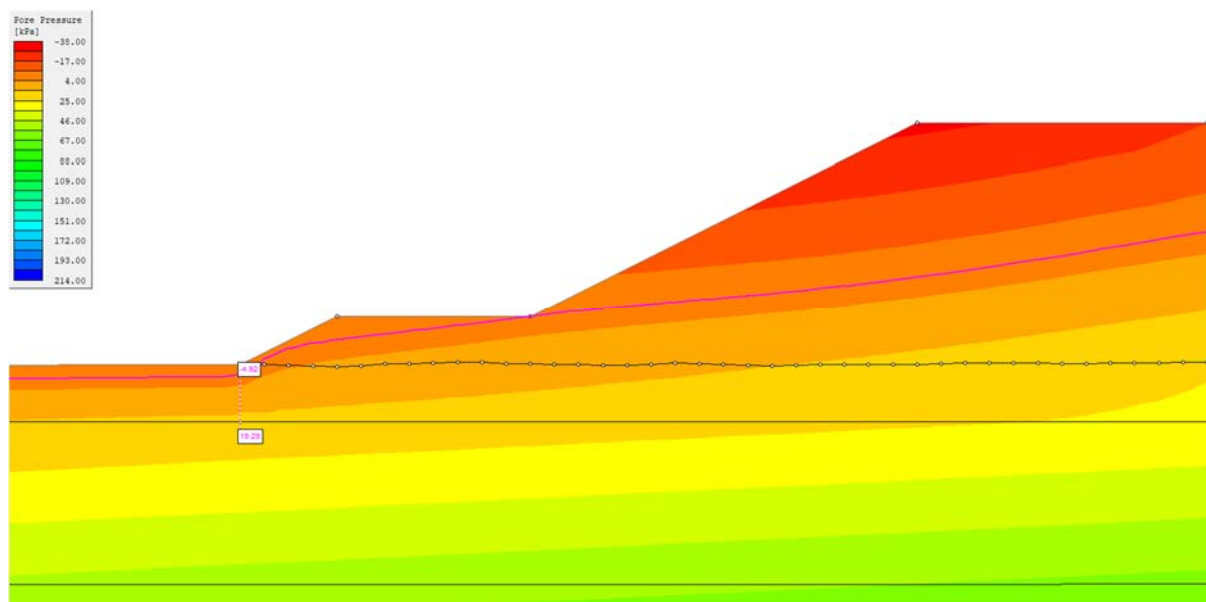


Figura 6-63: Sezione B – Sez. P7.28 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

- *SEZIONE TIPO B – Sez. P7.41*

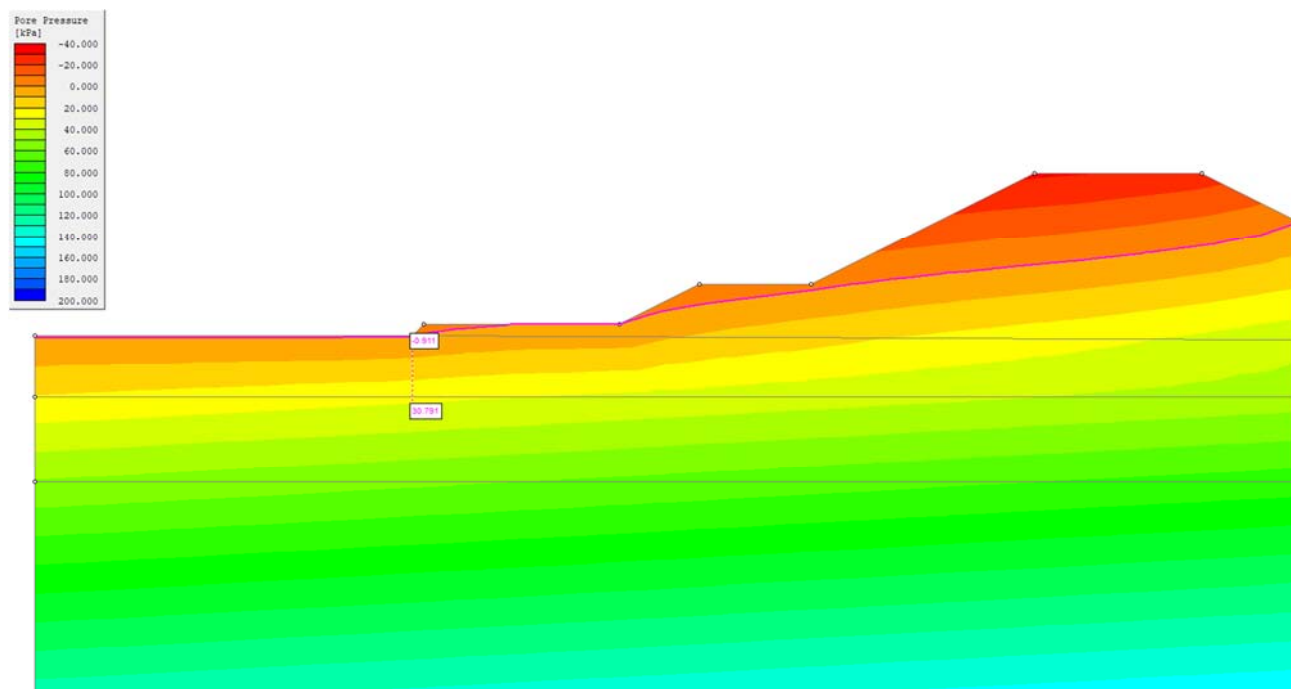


Figura 6-64: Sezione B - Sez. P7.41 – Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno



(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 C – Sez. P2.52*

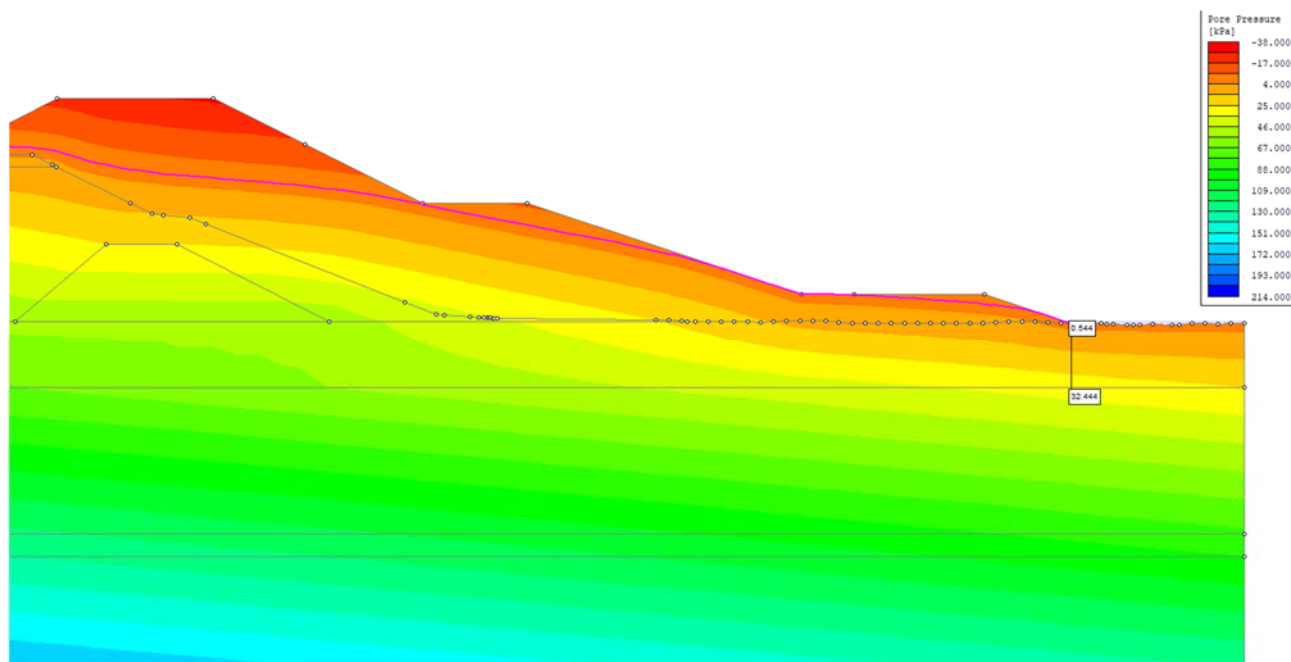


Figura 6-65: Sezione C – Sez. P2.52 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

- *SEZIONE TIPO E – Sez. P7.49*

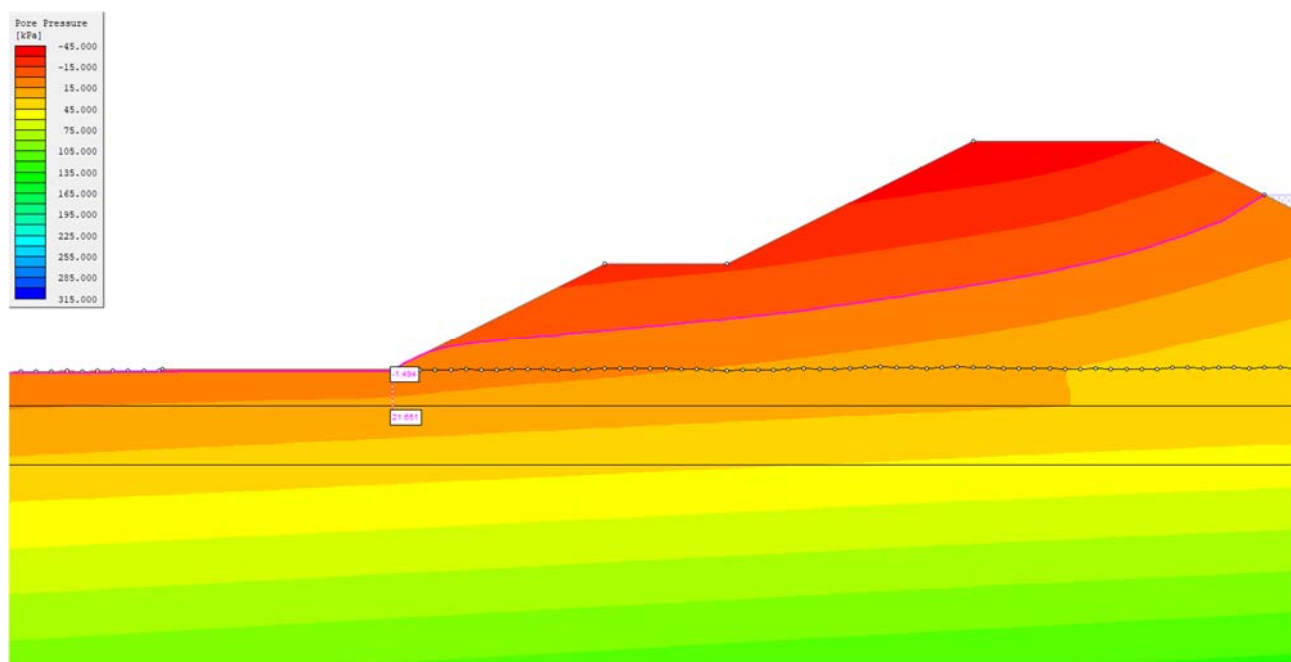


Figura 6-66: Sezione E – Sez. P7.49 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

(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*

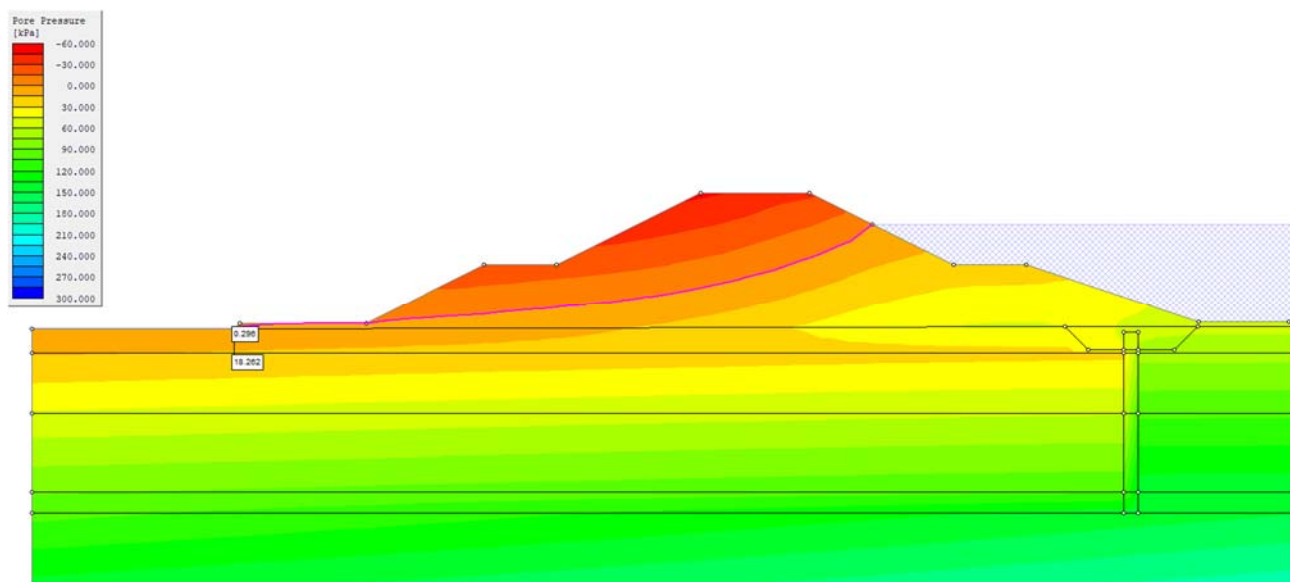


Figura 6-67: Sezione E – Sez. P7.54 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

- *SEZIONE TIPO G1 – Sez. P6.30*

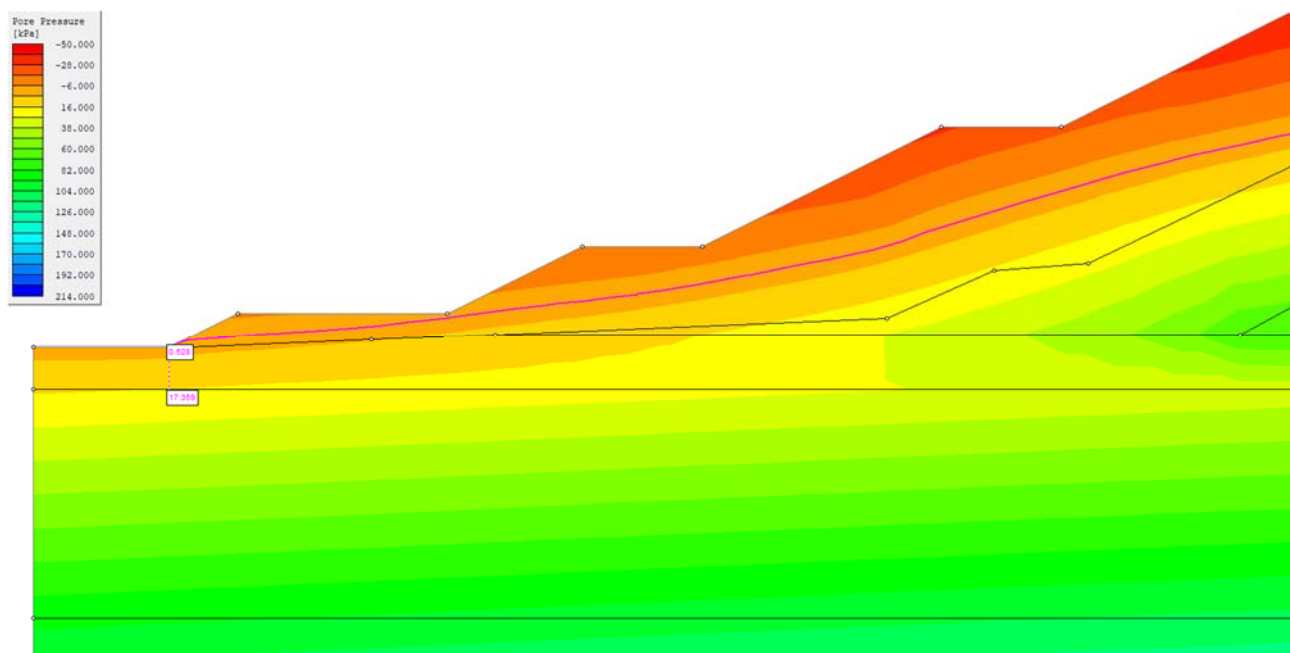
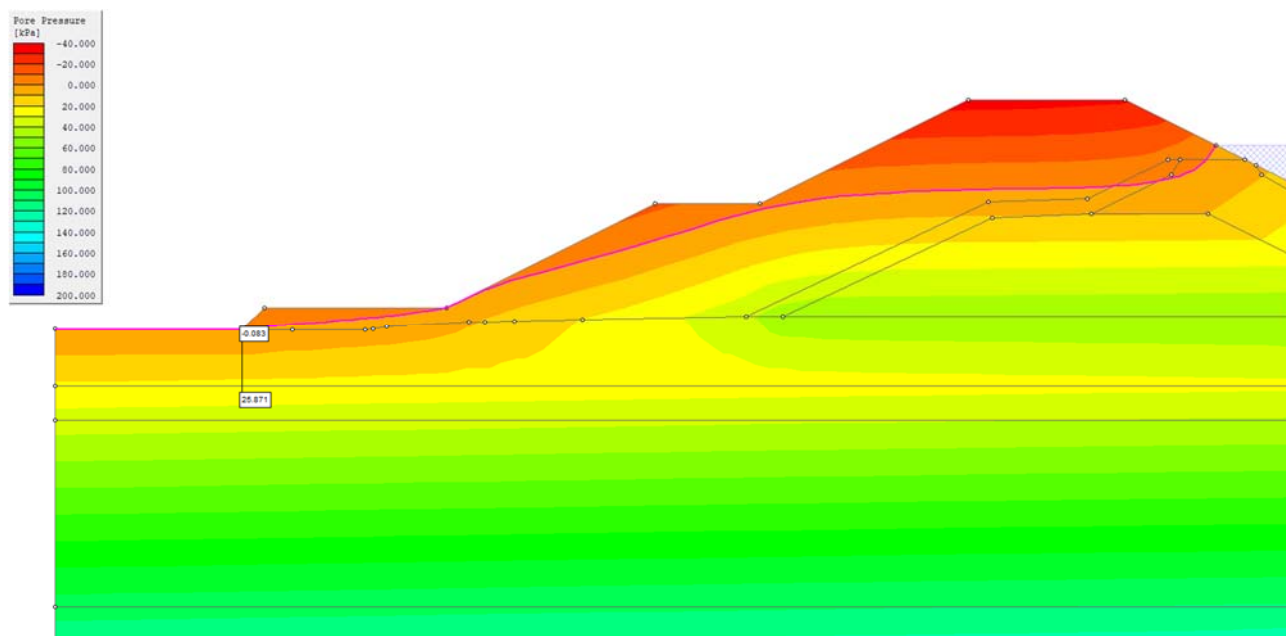


Figura 6-68: Sezione G1 – Sez. P6.30 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno

(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 G3 – Sez. P6.11**



**Figura 6-69: Sezione G3 – Sez. P6.11 - Andamento delle pressioni interstiziali nel terreno**

Sezione	Profondità [m]	$u_k$ [kPa]	$u_d$ [kPa]	$\sigma_k$ [kPa]	$\sigma_d$ [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 6-16: 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	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 $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	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  $\delta$  terreno-paratia pari a  $0.67\phi$  mentre i coefficienti di spinta attiva  $k_a$  sono stati calcolati con la teoria di Coulomb considerando un angolo di attrito  $\delta$  terreno-paratia nullo.

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

Fase 1: Condizioni statiche;

Fase 2: Condizioni sismiche.

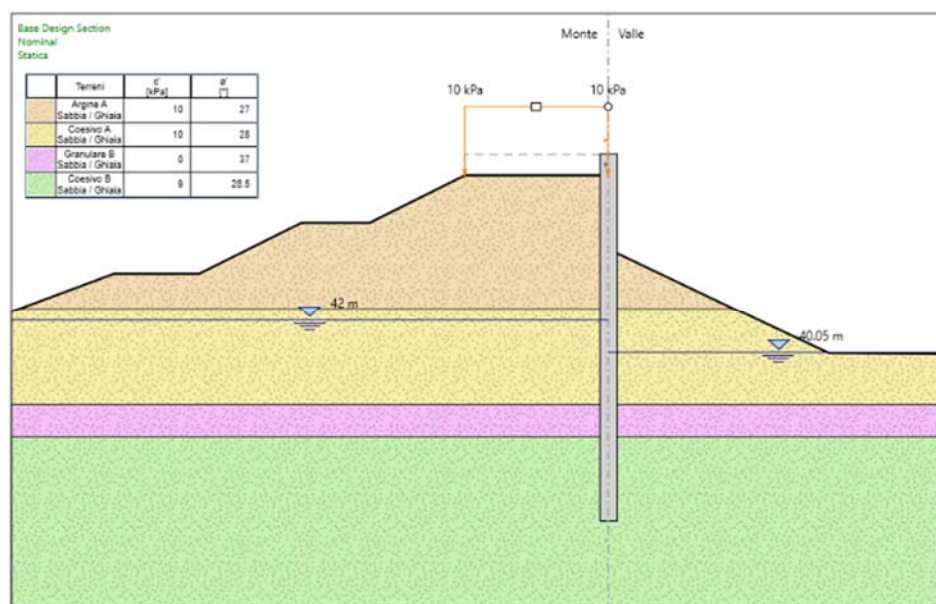
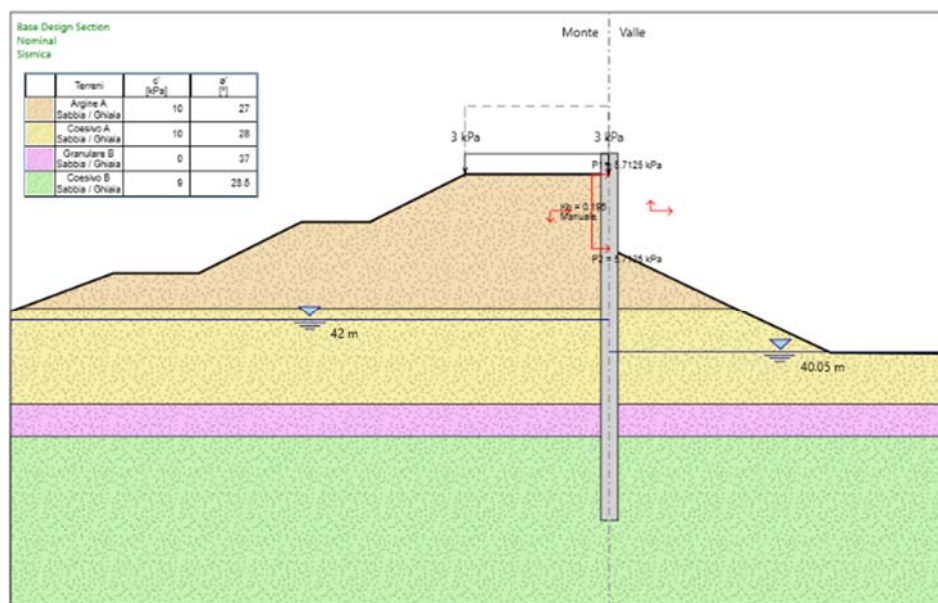


Figura 6-70: Fase1 – Condizioni Statiche

(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 6-71: 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)

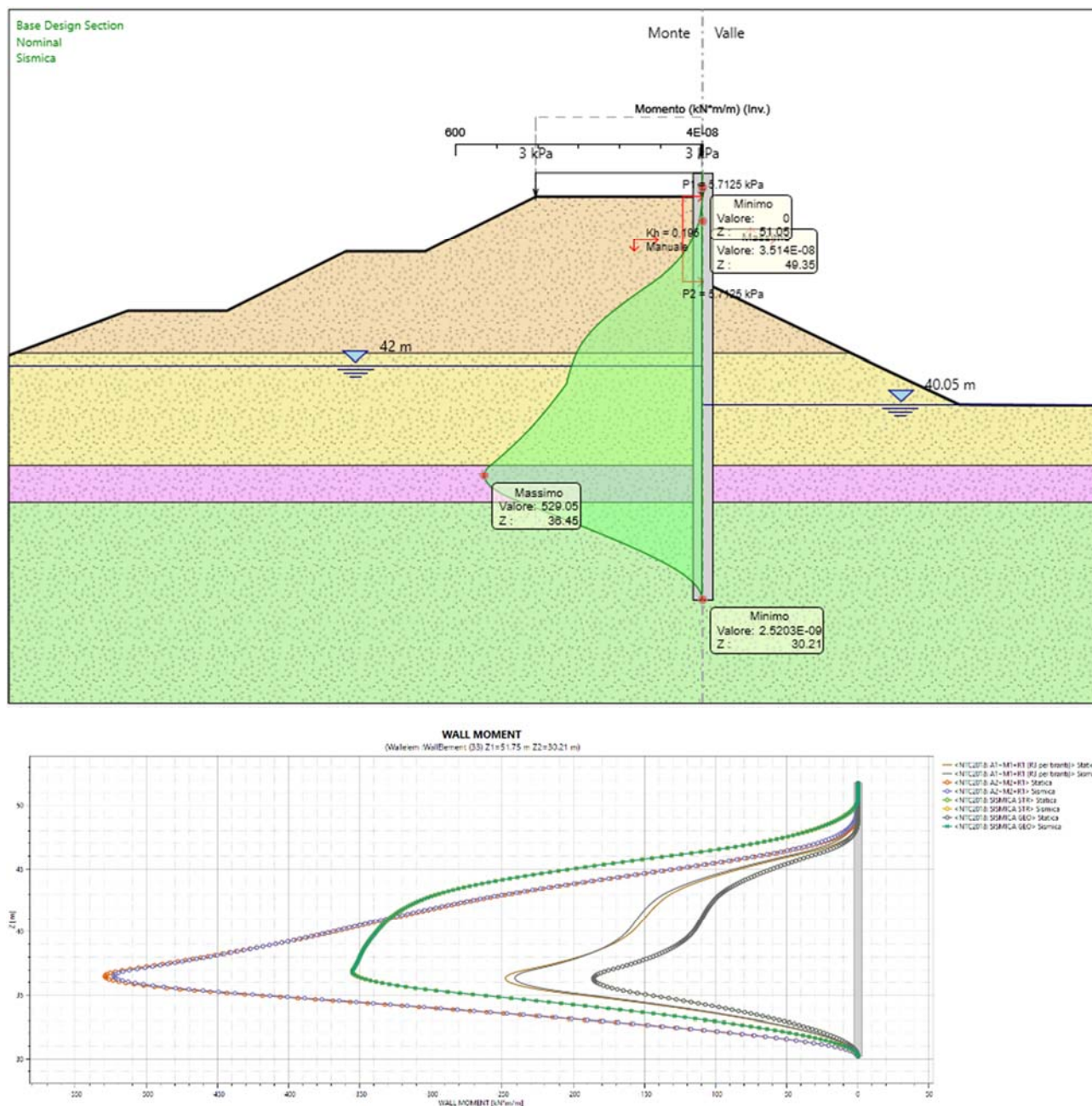


Figura 6-72: Involuppo momento flettente SLU



(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)

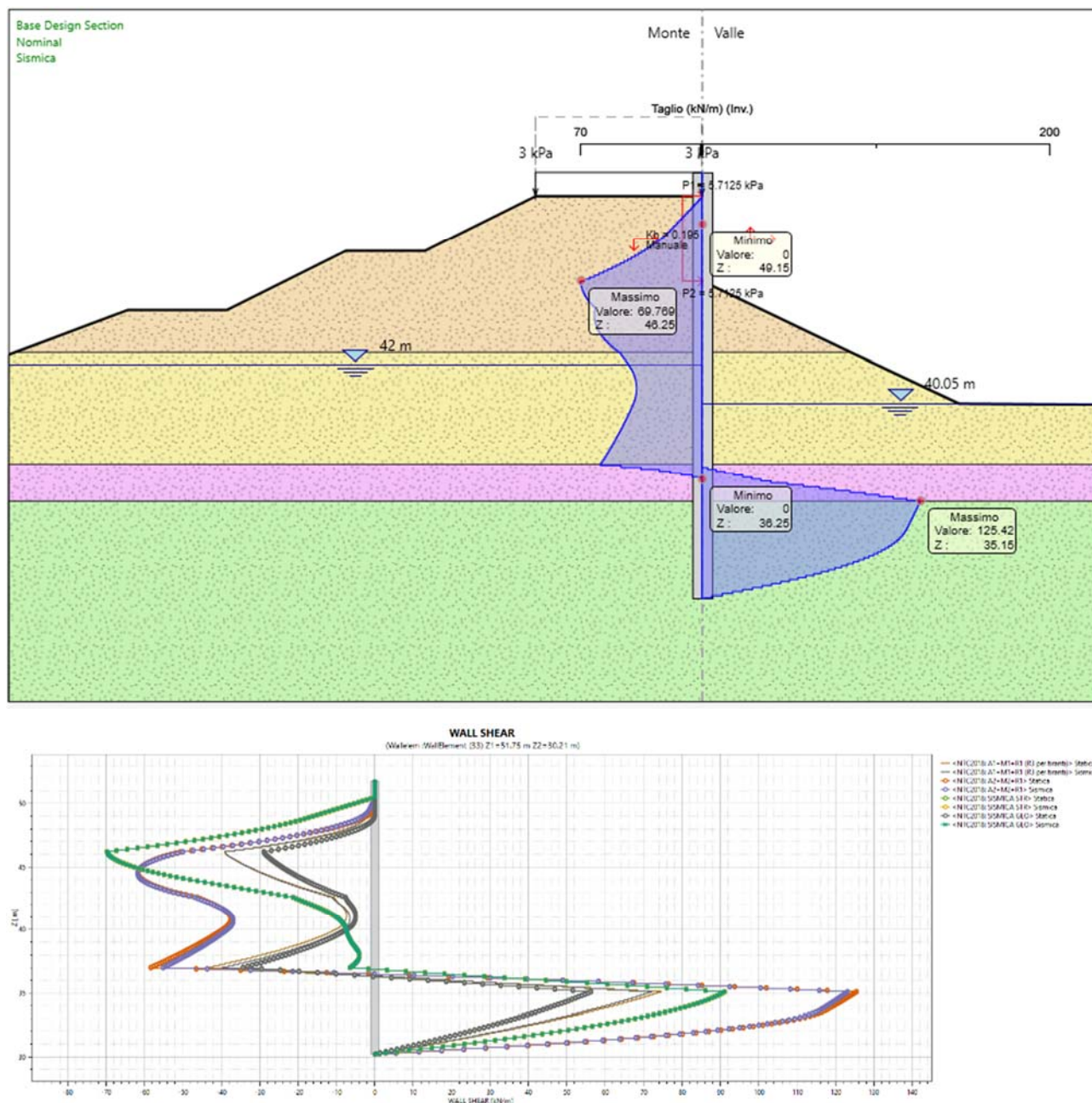


Figura 6-73: Involuppo sforzo tagliante SLU

(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)

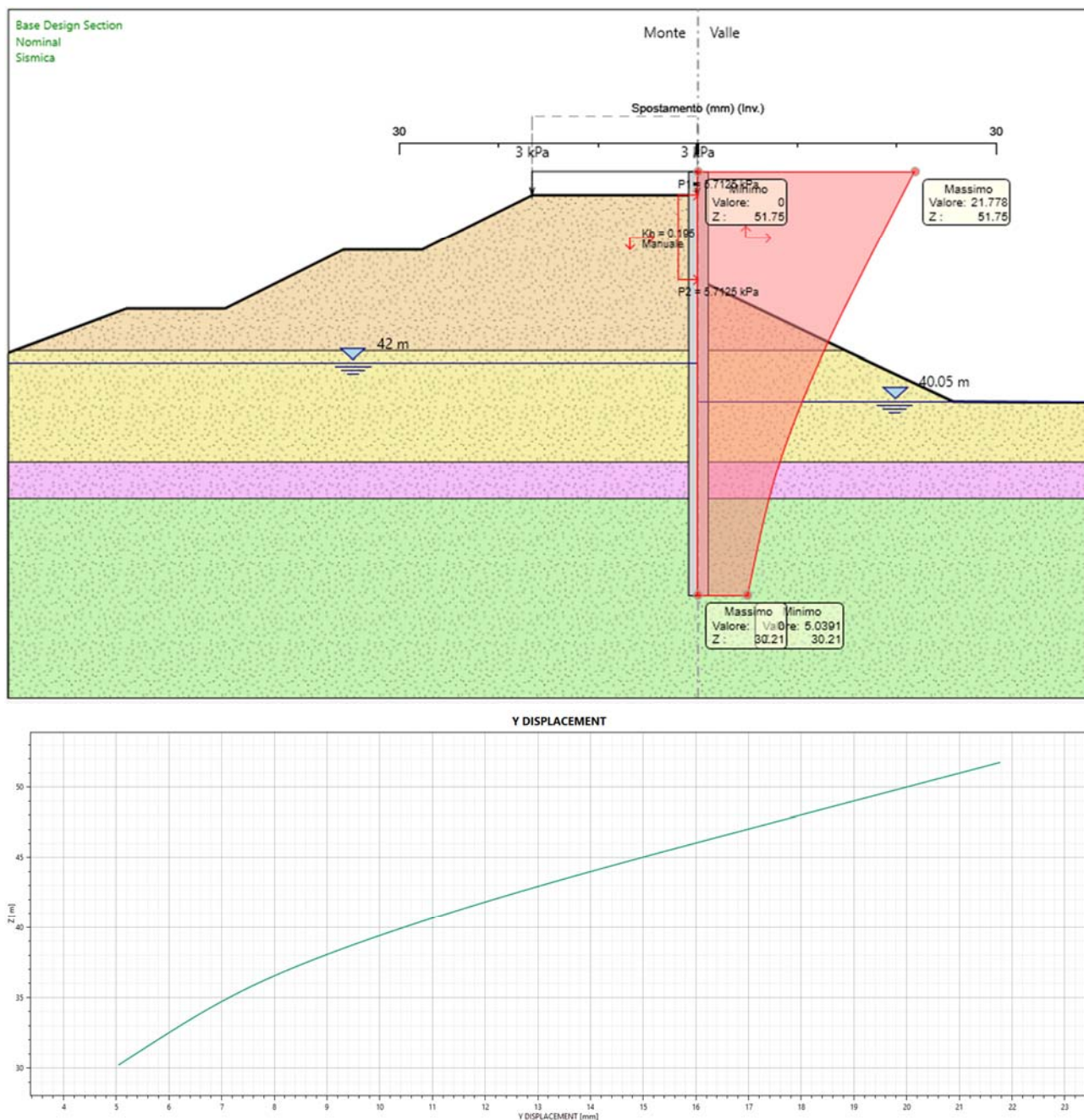


Figura 6-74: Spostamenti in esercizio

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



## 7 Verifica sismica di sicurezza con le norme degli sbarramenti in materiali sciolti (Decreto 26.05.2014)

Relativamente ai tratti di arginatura ai lati del manufatto regolatore esistente (sezione tipo F), la verifica sismica è stata anche condotta secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta del 26 giugno 2014 (di seguito NTD14) e nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM del 17 gennaio 2018 (di seguito NTC18).

Il rilevato corrispondente alla sezione tipo F è stato progettato alla quota di 52.00 m s.l.m. al fine di garantire il franco di sicurezza rispetto alla quota di massimo invaso della piena  $T_R$  1000 anni; inoltre è dotato di un diaframma plastico esistente. Tale rilevato corrisponde ad una diga in materiali sciolti secondo le NTD14, essendo situato ai lati di un manufatto regolatore.

Le NTD14 prescrivono analisi al fine di valutare gli spostamenti permanenti indotti dall'azione sismica in corrispondenza degli Stati Limite Ultimi affinché risultino compatibili per la funzionalità della struttura.

La valutazione degli spostamenti permanenti viene di seguito condotta secondo il metodo di Newmark (1965)<sup>2</sup>. Il generico blocco strutturale, considerato come corpo rigido-plastico che si muove rispetto al supporto lungo la superficie di scivolamento predeterminata, è soggetto alla storia di accelerazione, velocità e spostamento calcolata alla fine delle iterazioni. La condizione di scivolamento è raggiunta quando l'accelerazione scuotente risulta superiore a quella critica  $K_c$  valutata per quella superficie. Il calcolo dello spostamento viene eseguito integrando due volte l'accelerazione del sisma per tutti gli intervalli temporali in cui si verificano le condizioni di superamento del valore  $K_c$ ; lo spostamento complessivo massimo

<sup>2</sup> Newmark, N. M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique, 15, 2, 139-160.

cumulato dal blocco durante la scossa sismica risulterà quindi la somma degli spostamenti calcolati in tutti questi intervalli temporali. La superficie di scorrimento utilizzabile nei metodi degli spostamenti, come quello di Newmark, può essere piana o curvilinea<sup>3</sup>.

Il calcolo degli spostamenti permanenti in seguito all'azione sismica tramite il metodo di Newmark e la successiva valutazione dell'ammissibilità si compone dei seguenti passaggi:

- ricerca del coefficiente sismico critico  $K_c$  che implica il collasso di una determinata superficie. Vengono considerati più superfici di rottura corrispondenti a diversi meccanismi di collasso, e per ciascuna è calcolato il relativo  $K_c$  con un metodo pseudostatico;
- definizione, in corrispondenza di ciascun baricentro delle masse interessate dalle superfici di rottura valutate precedentemente, di 7 accelerogrammi tramite un'analisi di Risposta Sismica Locale per lo Stato Limite di Collasso;
- valutazione degli spostamenti permanenti tramite il metodo di Newmark relativi alle superfici di rottura considerate applicando a ciascuna i relativi accelerogrammi;
- valutazione dell'ammissibilità degli spostamenti permanenti calcolati.

## 7.1 Sezione di verifica

La sezione più gravosa facente parte della sezione tipo F è denominata "F 0-2" ed è situata nel tratto a nord del manufatto regolatore. Si riporta di seguito la geometria della sezione in oggetto.

---

<sup>3</sup> A.G.I. (2005) Linee Guida A.G.I. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica (Cap.8) stabilità dei pendii e dei fronti di scavo di Madiati C. e Rampello S., Ed. Provvisoria, Patron Editore, Bologna

(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)

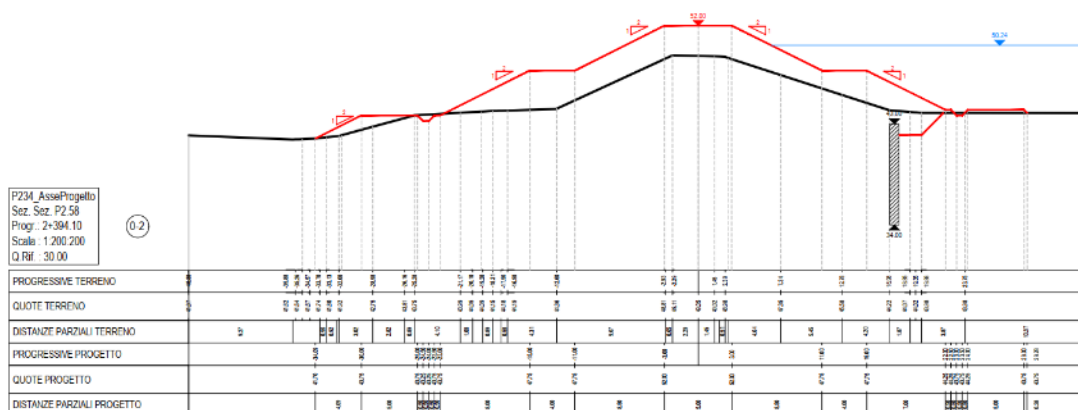


Figura 7-1: Sezione F 0-2

I terreni di fondazione sono formati superficialmente da due strati granulari con diversa resistenza e più in profondità da uno strato coesivo, come schematizzato nella seguente figura:

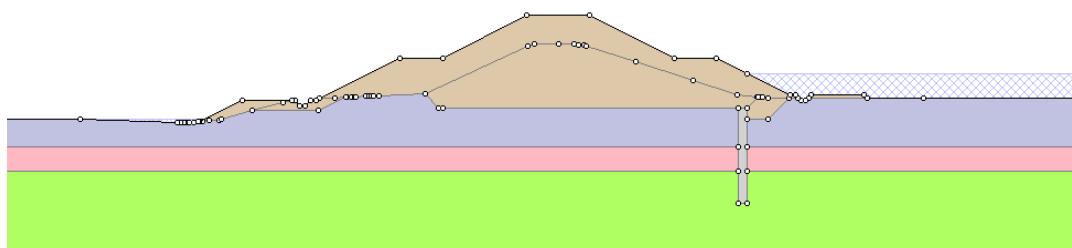


Figura 7-2: Stratigrafia della sezione F 0-2

I parametri geotecnici della diga in materiali sciolti e dei terreni di fondazione sono:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	KS (m/s)
Strato B - Coesivo		19	81.4		1e-08
Strato A - Granulare		21	0	39.2	1e-05
Strato B - Granulare		21	0	37	1e-05
Argine - Coesivo		19	10	28	1e-07
Diaframmi		20	200		1e-08

Tabella 7-1: Parametri caratteristici geotecnici del corpo diga e dei terreni di fondazione

La quota di massimo invaso è 50,24 m s.l.m., con riferimento all'evento di piena con  $T_r=1000$  anni, mentre la quota di massima regolazione, utilizzata nelle verifiche sismiche, corrisponde a 46. 25 m s.l.m..

Lo sbarramento viene progettato considerando una vita nominale  $V_N = 100$  anni in quanto l'opera ricade nella categoria *“Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni o importanza strategica”*. 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 vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$ :

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

## 7.2 Superfici di rottura critiche e $K_c$

Al fine di studiare diversi meccanismi di collasso della diga vengono valutate le seguenti superfici di rottura critiche:

- Superficie A: rottura lato campagna in corrispondenza della prima berma;
- Superficie B: rottura lato campagna in corrispondenza del piede della diga;
- Superficie C: rottura lato campagna che comprende i terreni di fondazione;
- Superficie D: rottura lato bacino in corrispondenza della prima berma;
- Superficie E: rottura lato bacino in corrispondenza del piede della diga;
- Superficie F: rottura lato bacino che comprende i terreni di fondazione.

Il calcolo del coefficiente sismico critico  $K_c$  per ciascuna superficie è stato effettuato tramite un'analisi pseudostatica con il codice di calcolo Slide 2 (ver. 9.018) della Rocscience, come descritto nel paragrafo 6.1.

La geometria della sezione analizzata e i parametri geotecnici caratteristici del corpo della diga e dei terreni di fondazione sono presenti nel paragrafo 7.1. Le verifiche sono state condotte considerando i terreni di fondazione di tipo coesivo in condizioni non drenate.

Nelle analisi si è considerata, in via cautelativa, la presenza sulla sede stradale di un sovraccarico distribuito pari a  $3 \text{ kN/m}^2$  in condizioni sismiche.

Il calcolo del coefficiente di spinta critico  $K_c$  è stato effettuato in condizione di:

- massima regolazione, con quota dell'acqua nel bacino a 46.25 m s.l.m.;
- invaso vuoto, considerando a favore di sicurezza il livello dell'acqua a piano campagna.

Il codice di calcolo Slide 2 della Rocscience Inc. contiene un modulo di calcolo agli elementi finiti per condurre analisi di filtrazione e valutare la distribuzione delle pressioni interstiziali a partire dalla geometria degli strati, dalla permeabilità dei materiali e dalla quota piezometrica definita al contorno del modello.

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

$$F_h = k_h \times W$$

$$F_v = k_v \times W$$

dove:

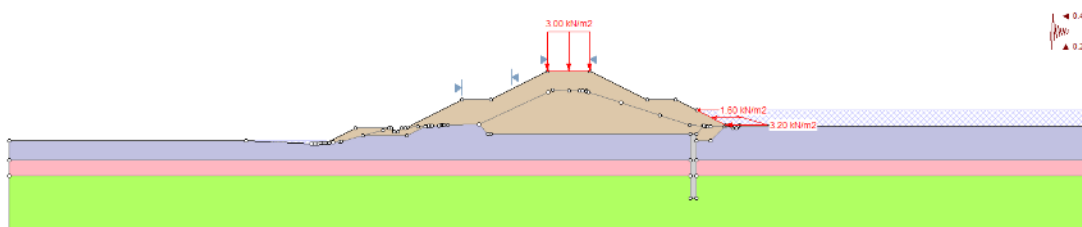
$$\begin{cases} k_h = k_c = \frac{a_c}{g} \\ k_v = \pm 0,5 k_c = \pm 0,5 k_h \end{cases}$$

con:

- $a_c$  = accelerazione orizzontale critica valutata in modo iterativo che porta ad un  $F=1$ ;
- $W$  = peso del materiale;
- $g$  = accelerazione di gravità.

Nella condizione di livello dell'acqua al livello di massima regolazione è stata considerata anche l'azione inerziale dell'acqua contenuta nel serbatoio, calcolata secondo quanto indicato nel paragrafo C.7.7.3 delle NTD14.

Si riporta di seguito, a titolo esemplificativo, il modello per il calcolo del  $K_c$  relativo alla superficie A:



**Figura 7-3: Modello per il calcolo del  $K_c$  relativo alla superficie A in condizione di massima regolazione**

I risultati di questa analisi sono riportati nelle tabelle seguenti e nelle successive figure.

Massima regolazione			
Superficie di rottura		Combinaz.	$K_c$
		[-]	[-]
<b>Lato campagna</b>	A	+Kh, -Kv	0,47
	B	+Kh, -Kv	0,37
	C1	+Kh, -Kv	0,29
	C2	+Kh, +Kv	0,29
<b>Lato bacino</b>	D	+Kh, -Kv	0,47
	E	+Kh, -Kv	0,35
	F	+Kh, -Kv	0,31

**Tabella 7-2:  $K_c$  in condizione di massima regolazione**



(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)

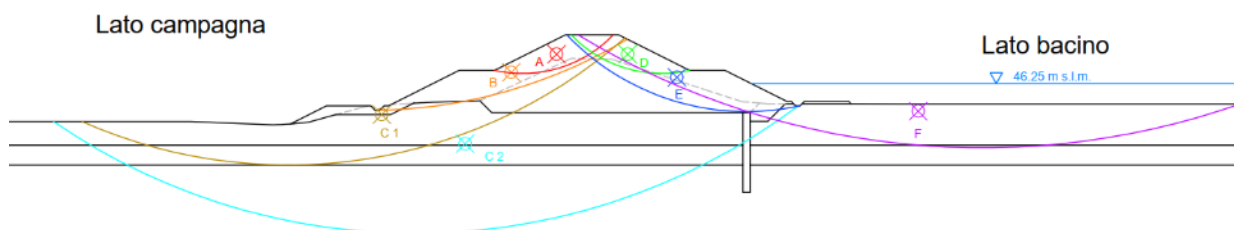


Figura 7-4: Superfici di rottura critiche in condizione di massima regolazione

A lato campagna sono state individuate due superfici di rottura critiche (C1 e C2) che coinvolgono due volumi significativamente diversi dei terreni di fondazione nonostante lo stesso valore di  $K_c$ . Tale differenza dipende dal segno dell'accelerazione sismica verticale; a favore di sicurezza, sono state analizzate entrambe.

Invaso vuoto			
Superficie di rottura		Combinaz.	$K_c$
		[-]	[-]
Lato campagna	A	+Kh, -Kv	0,47
	B	+Kh, -Kv	0,37
	C	+Kh, +Kv	0,28
Lato bacino	D	+Kh, -Kv	0,47
	E	+Kh, -Kv	0,34
	F	+Kh, -Kv	0,31

Tabella 7-3:  $K_c$  in condizione di invaso vuoto

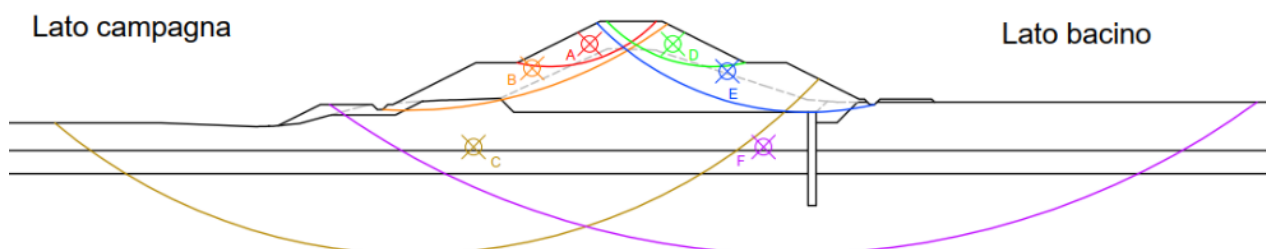


Figura 7-5: Superfici di rottura critiche in condizione di invaso vuoto

### 7.3 Definizione degli accelerogrammi

Per la valutazione dell'azione sismica, al fine di stimare gli spostamenti permanenti, la normativa “Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari accessorie – Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 14.01.2018 (NTC18)” indica al paragrafo III.2.5 un numero minimo di accelerogrammi da considerare per le dighe in materiali sciolti pari a 5. Considerando almeno 7 accelerogrammi gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti.

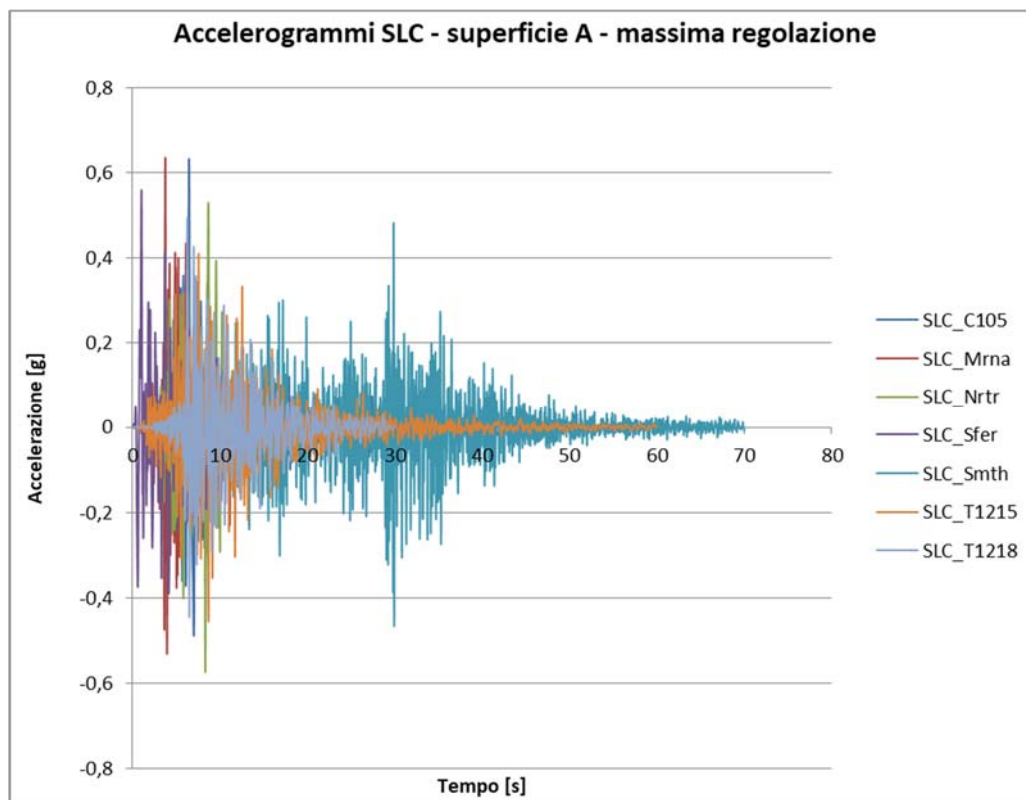
Tramite un'analisi di Risposta Sismica Locale è stata valutata l'accelerazione in corrispondenza di ciascun baricentro delle masse interessate dalle superfici di rottura critiche valutate nel paragrafo precedente. Lanzo (2018)<sup>4</sup> indica che l'accelerogramma può essere applicato nel baricentro del volume di terreno potenzialmente instabile.

Si riporta a titolo esemplificativo il grafico contenente i 7 accelerogrammi relativi al baricentro della massa associata alla superficie di rottura A in condizione di massima regolazione.

<sup>4</sup> Lanzo G. (2018), Alcune considerazioni sulla rivalutazione della sicurezza sismica delle dighe di materiali sciolti, Conferenze di geotecnica di Torino xxv ciclo - analisi e progetto delle opere geotecniche in zona sismica

(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 7-6: Accelerogrammi allo SLC relativi al baricentro della massa associata alla superficie A in condizione di massima regolazione**

Per ogni baricentro delle masse interessate dalle superfici di rottura, con riferimento ai 7 accelerogrammi, si riportano nelle seguenti tabelle il valore massimo assoluto ( $a_{max}$ ) e il valore medio ( $a_{max,media}$ ) delle 7 accelerazioni massime.

(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)



Massima regolazione			
Superficie di rottura		$a_{max}$	$a_{max, media}$
		[g]	[g]
Lato campagna	A	0,635	0,547
	B	0,565	0,443
	C1	0,484	0,412
	C2	0,383	0,292
Lato bacino	D	0,638	0,546
	E	0,553	0,430
	F	0,490	0,452

**Tabella 7-4: Valore massimo e medio delle 7 accelerazioni di picco relative ai 7 accelerogrammi per ciascun baricentro delle masse interessate dalle superfici critiche in condizione di massima regolazione**

Invaso vuoto			
Superficie di rottura		$a_{max}$	$a_{max, media}$
		[g]	[g]
Lato campagna	A	0,635	0,547
	B	0,556	0,436
	C	0,387	0,293
Lato bacino	D	0,638	0,546
	E	0,556	0,430
	F	0,407	0,308

**Tabella 7-5: Valore massimo e medio delle 7 accelerazioni di picco relative ai 7 accelerogrammi per ciascun baricentro delle masse interessate dalle superfici critiche in condizione di invaso vuoto**

## 7.4 Spostamenti permanenti con il metodo di Newmark

La valutazione degli spostamenti permanenti calcolati con il metodo di Newmark è stata implementata sul codice di calcolo Slide 2, a partire dai modelli precedentemente sviluppati e inserendo come input sismico gli accelerogrammi relativi ai baricentri delle masse interessate dalle superfici di rottura.

I risultati degli spostamenti lungo le superfici di scorrimento sono riassunti nelle seguenti tabelle.

Superficie di rottura		Massima regolazione	
		Spostamento Newmark	
		Massimo	Medio
		[cm]	[cm]
Lato campagna	A	0,19	0,05
	B	0,65	0,17
	C1	0,37	0,10
	C2	0,58	0,13
Lato bacino	D	0,20	0,05
	E	0,91	0,24
	F	0,07	0,03

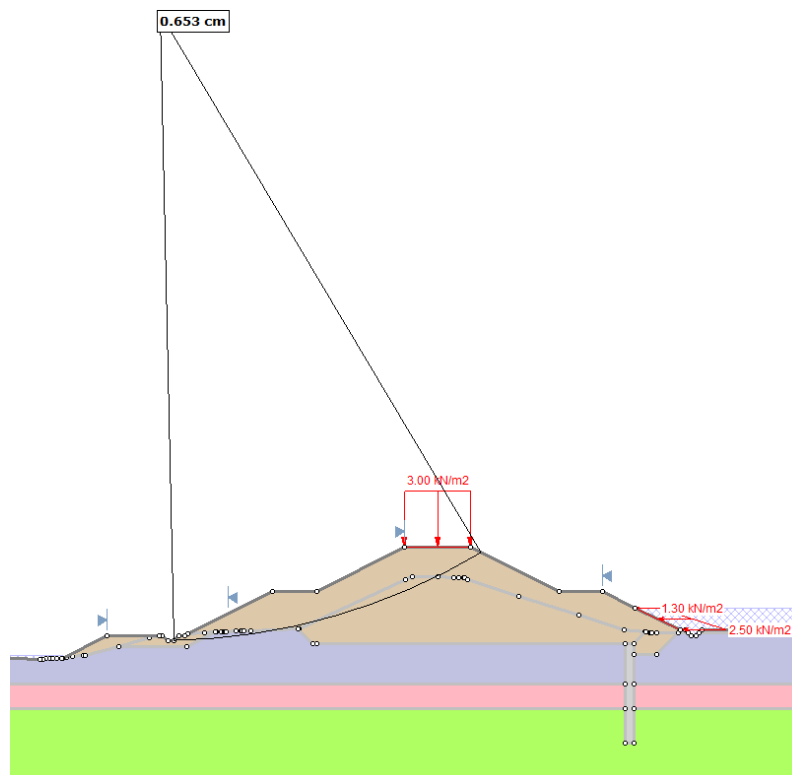
Tabella 7-6: Spostamenti massimi e minimi per le superfici critiche in condizione di massima regolazione

Superficie di rottura		Invaso vuoto	
		Spostamento Newmark	
		Massimo	Medio
		[cm]	[cm]
Lato campagna	A	0,19	0,05
	B	0,52	0,12
	C	0,63	0,15
Lato bacino	D	0,20	0,05
	E	1,15	0,33
	F	0,47	0,07

Tabella 7-7: Spostamenti massimi e minimi per le superfici critiche in condizione di invaso vuoto

(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 7-7: Esempio spostamenti della superficie B in condizione di massima regolazione**

I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti con metodi semplificati di letteratura; nella fattispecie essi sono risultati coerenti con le valutazioni di Madiari (2009)<sup>5</sup>: la stima degli spostamenti permanenti in seguito ad un sisma può essere effettuata a partire dal rapporto tra l'accelerazione critica e l'accelerazione massima attesa nel sito a quota piano campagna e l'autrice riporta nel seguente grafico la correlazione tra tale rapporto e lo spostamento sulla base di un ampio insieme di dati sismici. Il rapporto tra l'accelerazione critica e l'accelerazione massima attesa nel sito in oggetto è compreso tra  $0.6 \div 1$ , a cui corrispondono spostamenti dell'ordine di 1 cm, valori in linea a quelli calcolati tramite il programma Slide 2.

<sup>5</sup> Madiari C. (2009). Correlazioni tra parametri del moto sismico e spostamenti attesi del blocco di Newmark. Rivista Italiana di Geotecnica, 1/09, pp. 23-43

Mandataria:



Mandanti:





(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)

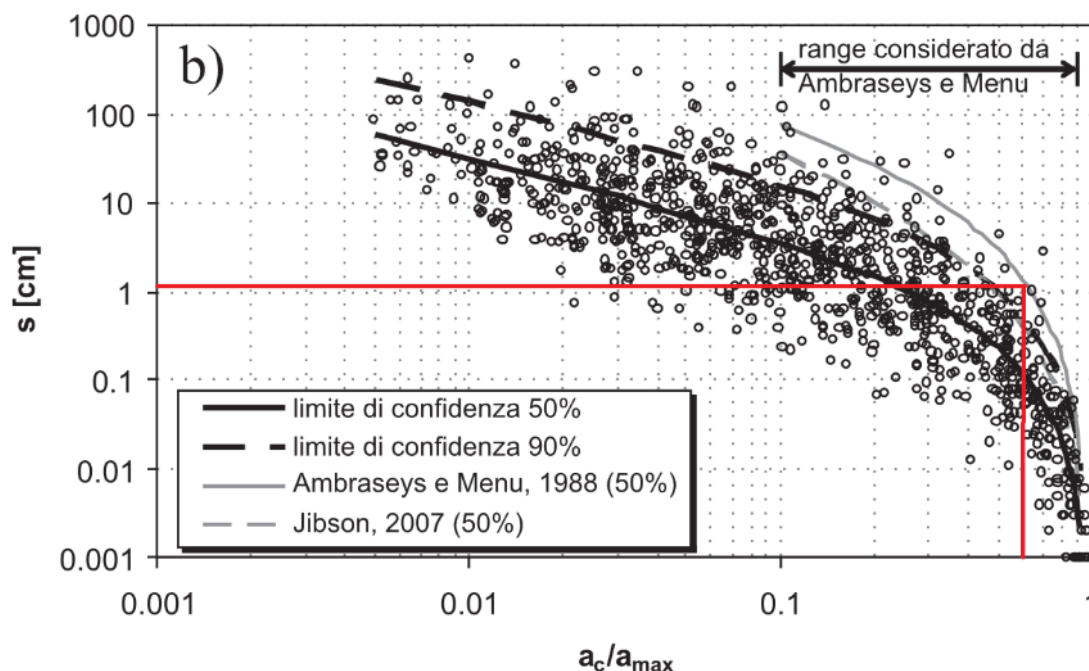


Figura 7-8: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento per la sezione F (Madi ai, 2009)

## 7.5 Ammissibilità degli spostamenti

La normativa di riferimento relativa alle dighe ammettono che la struttura possa subire dei danneggiamenti irreversibili, a patto che non avvenga la perdita della funzionalità dell'opera.

Madi ai e Rampello (2005)<sup>6</sup> riportano dei valori limite degli spostamenti permanenti a cui è associato un grado di danneggiamento del rilevato:

<sup>6</sup> A.G.I. (2005) Linee Guida A.G.I. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica (Cap.8) stabilità dei pendii e dei fronti di scavo di Madi ai C. e Rampello S., Ed. Provvisoria, Patron Editore, Bologna

(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)



livello di danno	spostamento (cm)
irrelevante	< 0.5
modesto	0.5÷5
forte	5÷50
severo	50÷500
catastrofico	> 500

**Tabella 7-8: Madiati e Rampello (2005): relazione tra spostamenti osservati e danno strutturale (Legg & Slosson, 1984)**

Gli spostamenti permanenti calcolati nel paragrafo 0 sono ritenuti ammissibili in quanto producono uno spostamento classificato modesto dalla tabella sopra riportata per sei casi e irrilevanti per tutti gli altri casi.

Mandataria:



Mandanti:



## 7.6 Estensione del metodo semplificato alle altre sezioni tipo

In relazione ai ridotti valori degli spostamenti riscontrati al paragrafo 0 per la sezione più gravosa del progetto si è ritenuto sufficiente, così come peraltro indicato anche nel parere della D.G.D., valutare gli spostamenti delle altre sezioni tipo con il metodo semplificato di Madiati (2009) che, come sopra rappresentato, fornisce nella fattispecie valori confrontabili con quelli calcolati in via analitica.

Per ciascuna sezione vengono analizzate le seguenti superfici:

- superficie lato campagna (in condizione di quota di massima regolazione, pari a 46.25 m, e invaso vuoto) caratterizzata dal coefficiente sismico critico  $K_c$  minore;
- superficie lato cassa (in condizione di quota di massima regolazione, pari a 46.25 m, e invaso vuoto) caratterizzata dal coefficiente sismico critico  $K_c$  minore.

A favore di sicurezza la falda è stata considerata al piano campagna in condizione di invaso vuoto.

Si riportano di seguito per ciascuna sezione:

- tabella riassuntiva le superfici calcolate, i relativi  $K_c$  e l'ordine di grandezza degli spostamenti stimati dal grafico di Madiati (2009).
- schema delle superfici critiche minime in condizione di massima regolazione e di invaso vuoto
- grafico (Madiati, 2009) con indicati gli spostamenti attesi per ciascuna superficie.

(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 A – Sez. P1.11

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
A	C	L. campagna	0,32	0,365	0,88	< 0,1
	D	L. cassa	0,33	0,365	0,90	< 0,1

Tabella 7-9: Risultati sezione tipo A in condizione di invaso vuoto

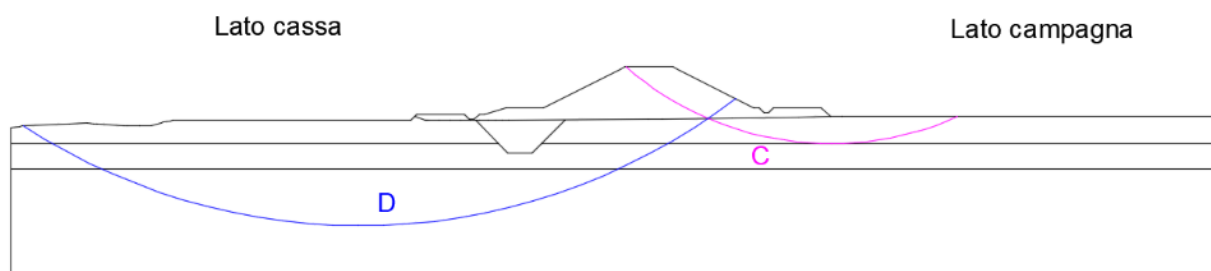


Figura 7-9: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione A

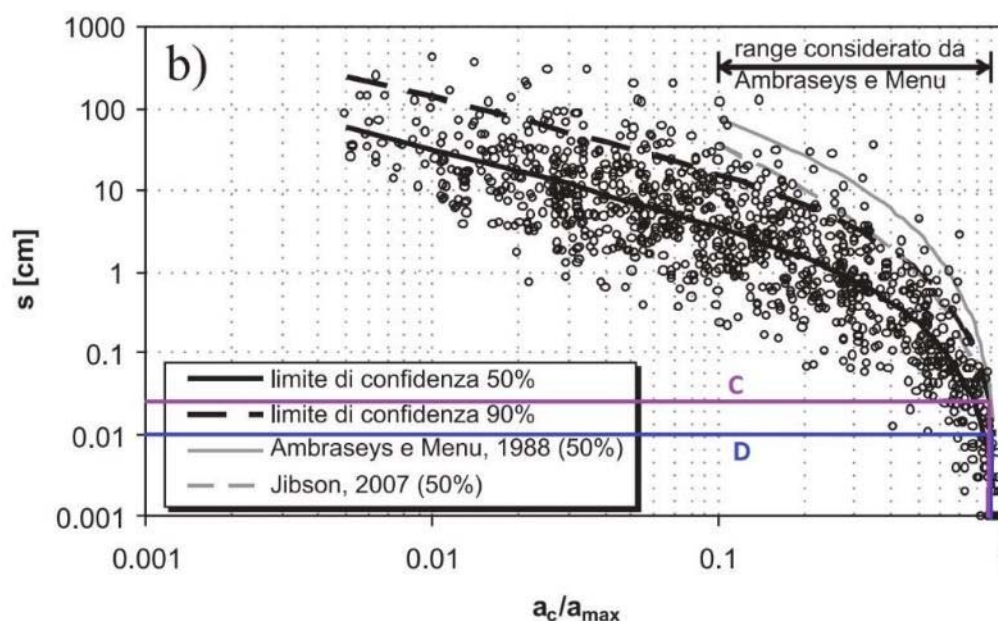


Figura 7-10: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione A

La valutazione degli spostamenti in condizioni di massima regolazione è stata omessa essendo la quota di massima regolazione inferiore alla quota del piano campagna.

• **SEZIONE TIPO B – Sez. P7.28**

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
B - P7,28	C	L. campagna	0,34	0,365	0,93	< 0,1
	D	L. cassa	0,34	0,365	0,93	< 0,1

Tabella 7-10: Risultati sezione tipo B\_P7.28 in condizione di invaso vuoto

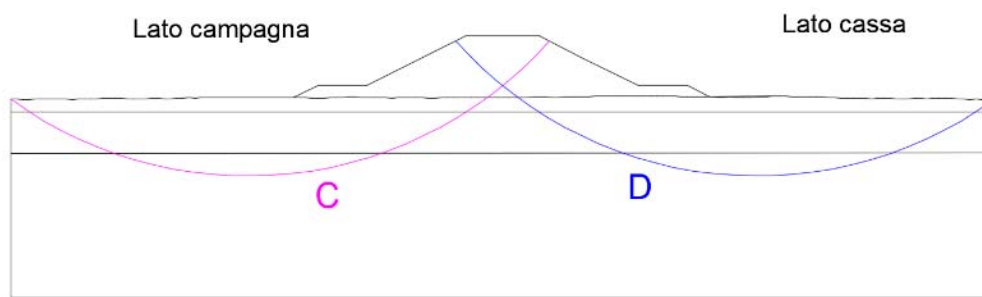


Figura 7-11: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione B\_P7.28

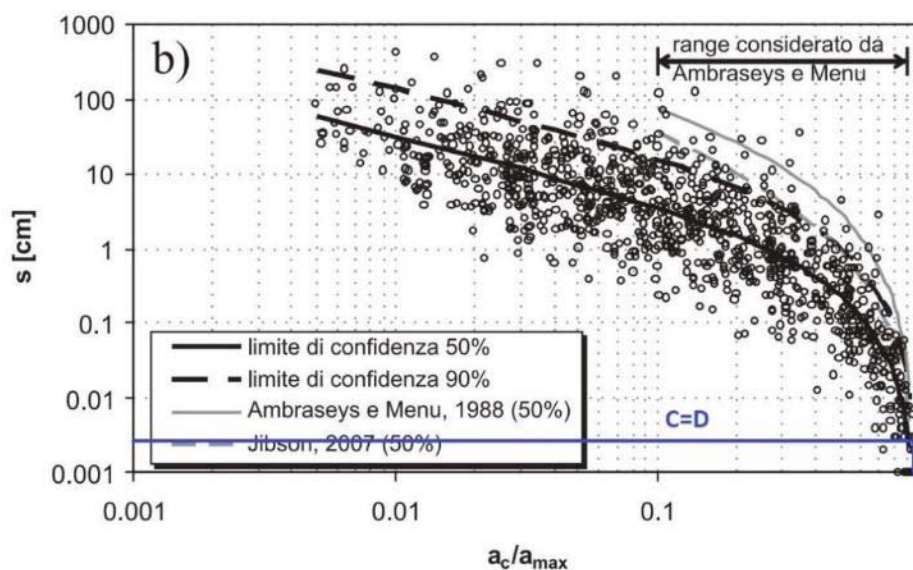


Figura 7-12: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione B\_P7.28

La valutazione degli spostamenti in condizioni di massima regolazione è stata omessa essendo la quota di massima regolazione inferiore alla quota del piano campagna.

• **SEZIONE TIPO B – Sez. P7.41**

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
B - P7,41	A	L. campagna	0,35	0,365	0,96	< 0,1
	B	L. fiume	0,35	0,365	0,96	< 0,1

Tabella 7-11: Risultati sezione tipo B\_P7.41 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
B - P7,41	C	L. campagna	0,36	0,365	0,99	< 0,1
	D	L. cassa	0,34	0,365	0,93	< 0,1

Tabella 7-12: Risultati sezione tipo B\_P7.41 in condizione di invaso vuoto

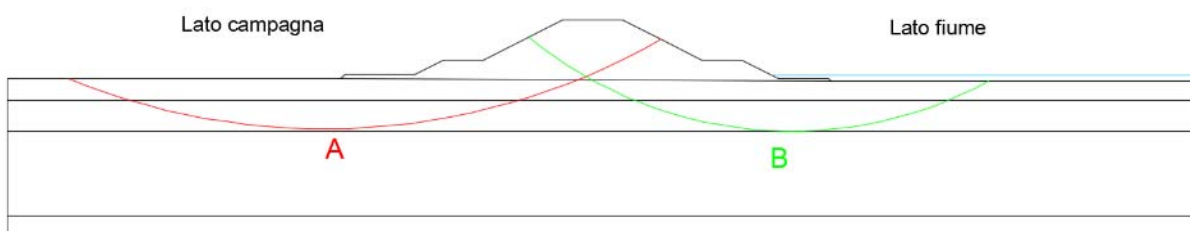


Figura 7-13: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione B\_P7.41

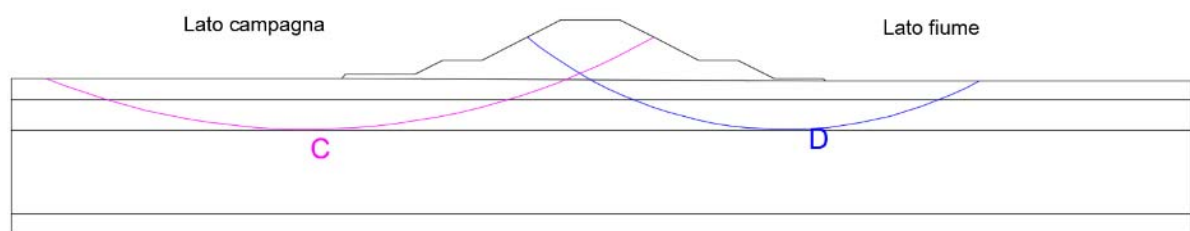
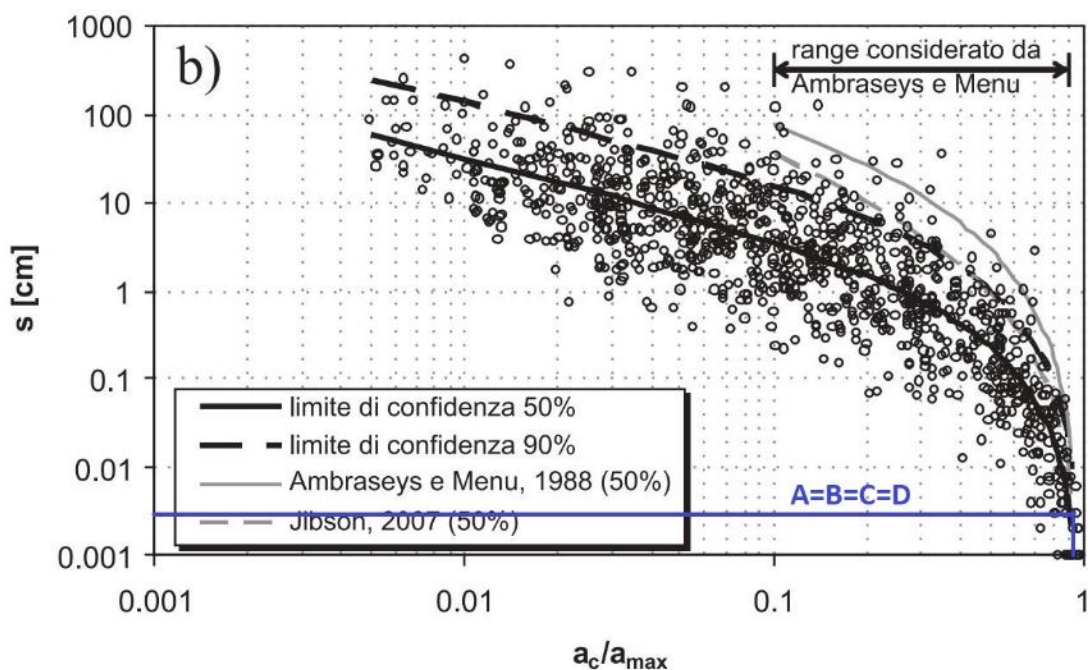


Figura 7-14: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione B\_P7.41



(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 7-15: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione B\_P7.41**

• **SEZIONE TIPO C – Sez. P2.52**

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
C	A	Piena L. cassa - superf L. cassa	0,23	0,365	0,63	2
	B	Piena L. cassa - superf L. fiume	0,25	0,365	0,68	1
	E	Piena L. fiume - superf L. cassa	0,22	0,365	0,60	2
	F	Piena L. fiume - superf L. fiume	0,34	0,365	0,93	< 0,1

Tabella 7-13: Risultati sezione tipo C in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
C	C	L. cassa	0,26	0,365	0,71	1
	D	L. fiume	0,31	0,365	0,85	< 0,1

Tabella 7-14: Risultati sezione tipo C in condizione di invaso vuoto

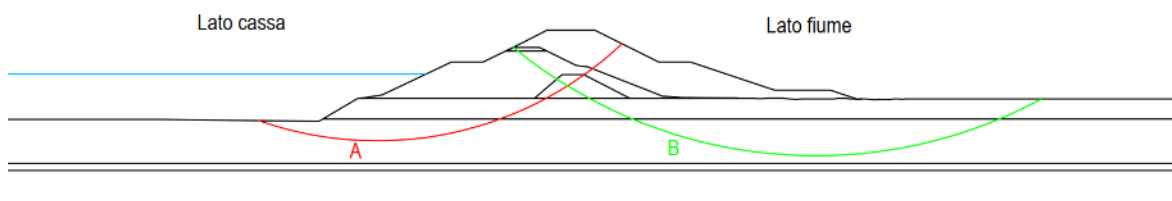


Figura 7-16: Superfici critiche in condizione di massima regolazione (lato cassa) della sezione C

(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)

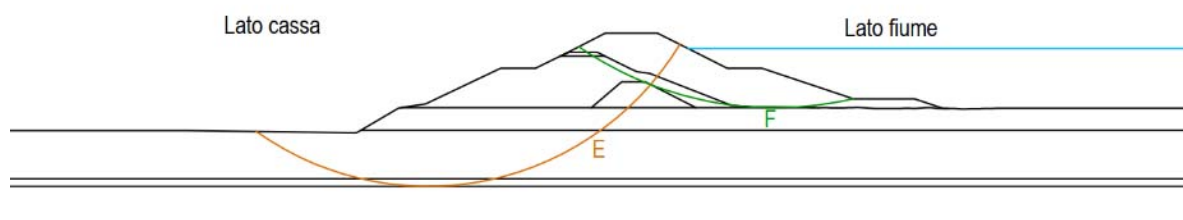


Figura 7-17: Superfici critiche in condizione di massima regolazione (lato fiume) della sezione C

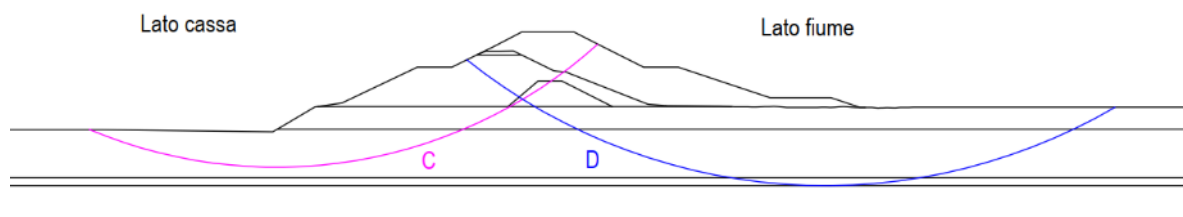


Figura 7-18: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione C

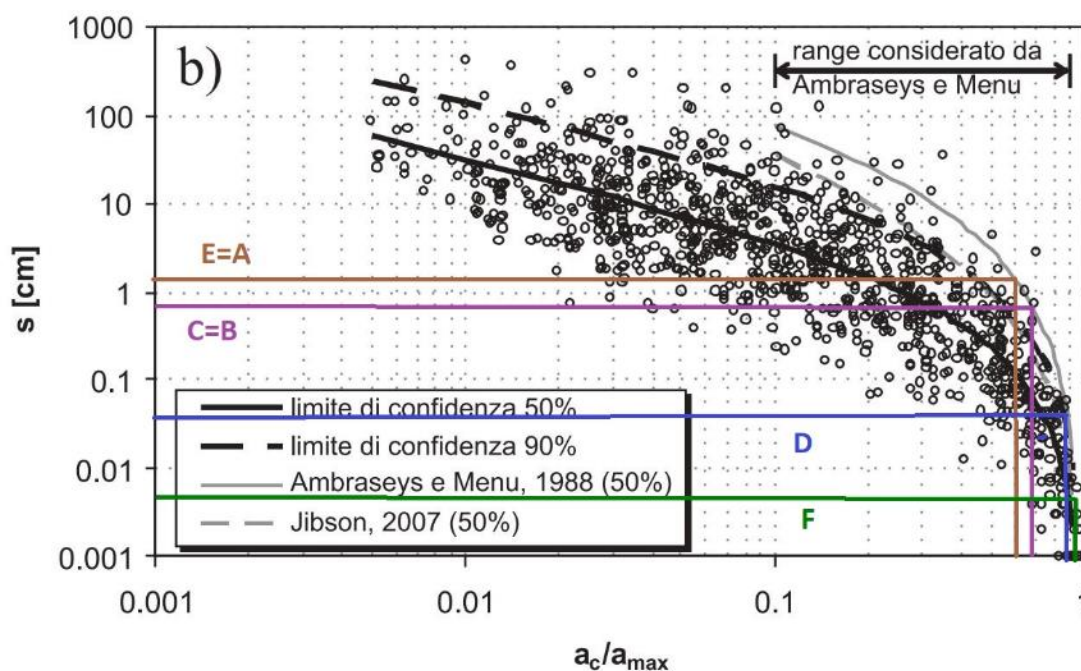


Figura 7-19: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madi ai, 2009) per la sezione C

(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**

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
D1	A	Piena L. cassa - superf L. cassa	0,2	0,365	0,55	2
	B	Piena L. cassa - superf L. fiume	0,26	0,365	0,71	1
	E	Piena L. fiume - superf L. cassa	0,17	0,365	0,47	4
	F	Piena L. fiume - superf L. fiume	0,25	0,365	0,68	1

Tabella 7-15: Risultati sezione tipo D1 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
D1	C	L. cassa	0,25	0,365	0,68	1
	D	L. fiume	0,3	0,365	0,82	0,1-1

Tabella 7-16: Risultati sezione tipo D1 in condizione di invaso vuoto

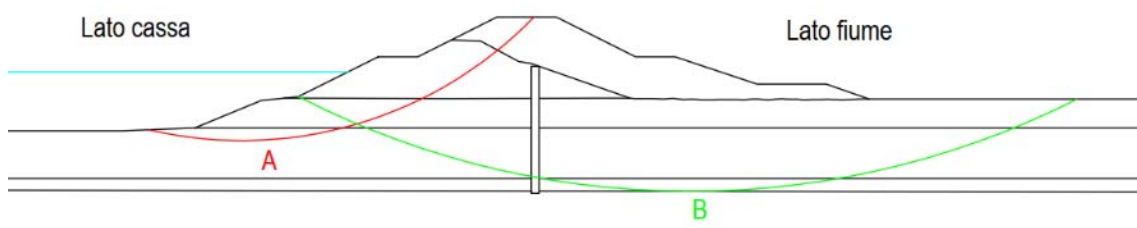


Figura 7-20: Superfici critiche in condizione di massima regolazione (lato cassa) della sezione D1

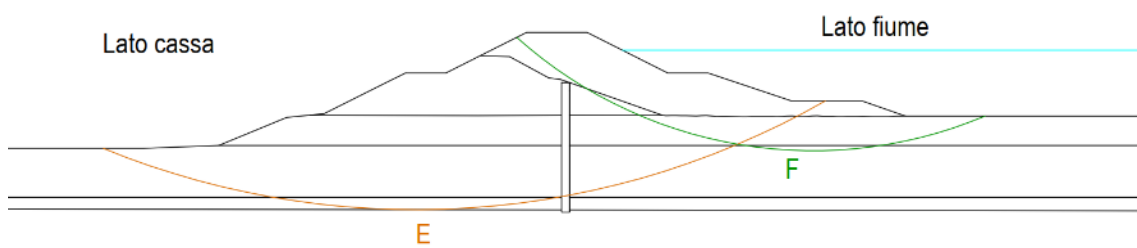


Figura 7-21: Superfici critiche in condizione di massima regolazione (lato fiume) della sezione D1

(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)

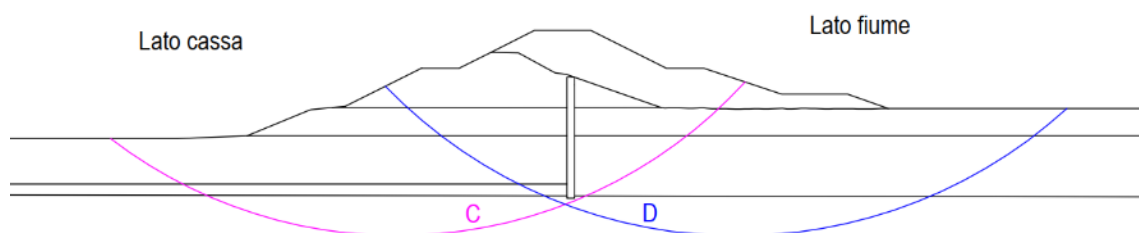


Figura 7-22: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione D1

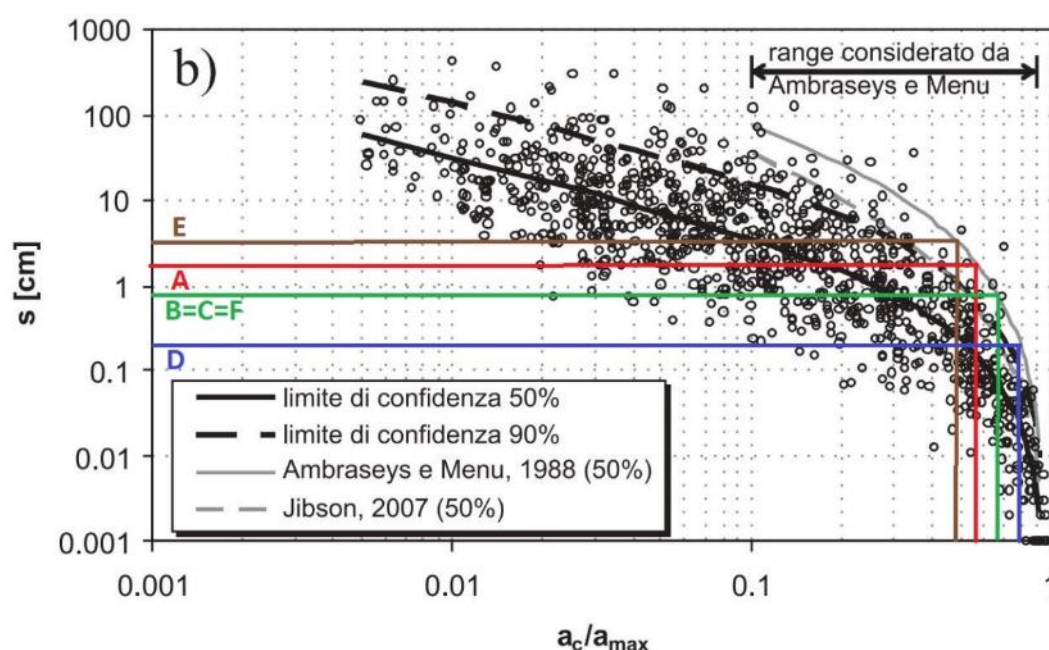


Figura 7-23: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione D1



(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**

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
D2	A	L. campagna	0,31	0,365	0,85	< 0,1
	B	L. fiume	0,33	0,365	0,90	< 0,1

Tabella 7-17: Risultati sezione tipo D1 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
D2	C	L. campagna	0,31	0,365	0,85	< 0,1
	D	L. fiume	0,3	0,365	0,82	< 0,1

Tabella 7-18: Risultati sezione tipo D2 in condizione di invaso vuoto

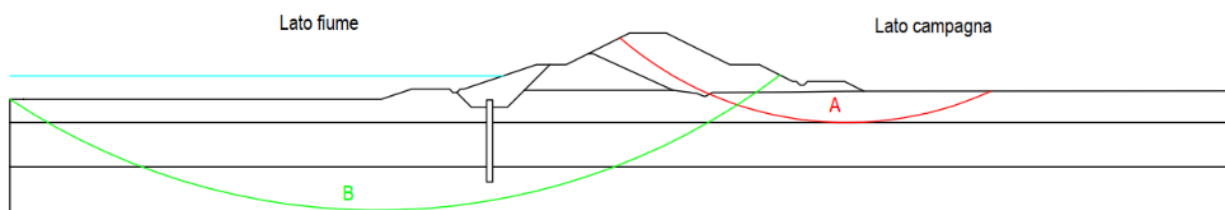


Figura 7-24: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione D2

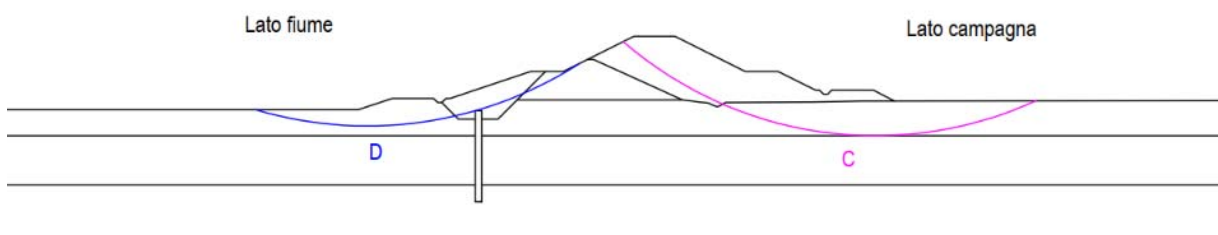


Figura 7-25: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione D2

(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)

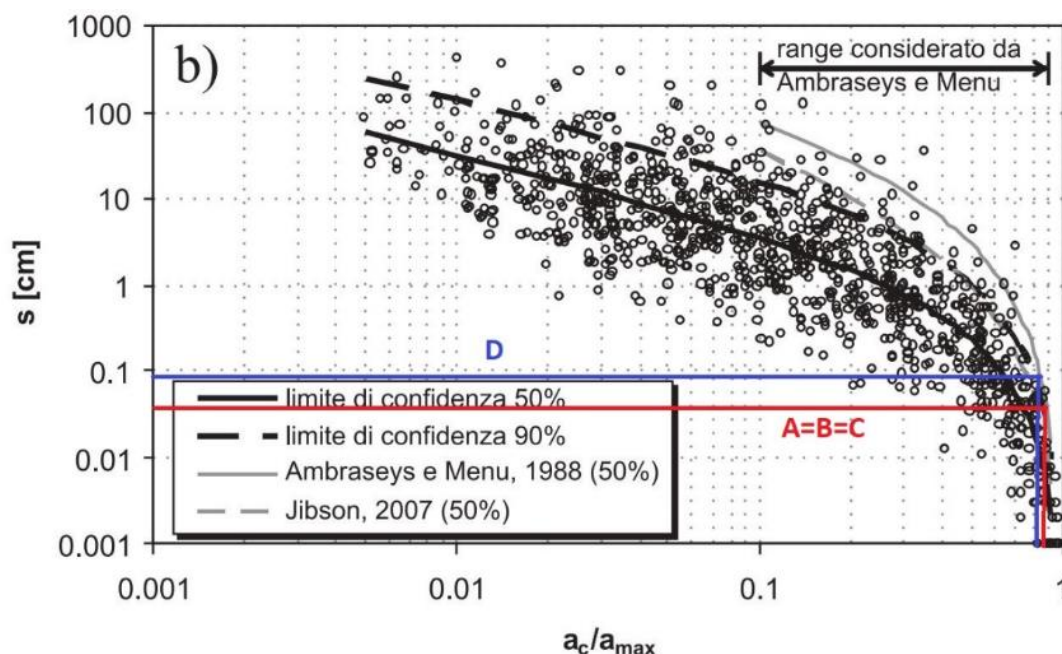


Figura 7-26: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione D2

• SEZIONE TIPO E – Sez. P7.49

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	$a_{max}$	$a_c / a_{max}$	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
E - P7,49	A	L. campagna	0,33	0,365	0,90	< 0,1
	B	L. cassa	0,36	0,365	0,99	< 0,1

Tabella 7-19: Risultati sezione tipo E\_P7.49 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	$a_{max}$	$a_c / a_{max}$	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
E - P7,49	C	L. campagna	0,34	0,365	0,93	< 0,1
	D	L. cassa	0,34	0,365	0,93	< 0,1

Tabella 7-20: Risultati sezione tipo E\_P7.49 in condizione di invaso vuoto

(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)

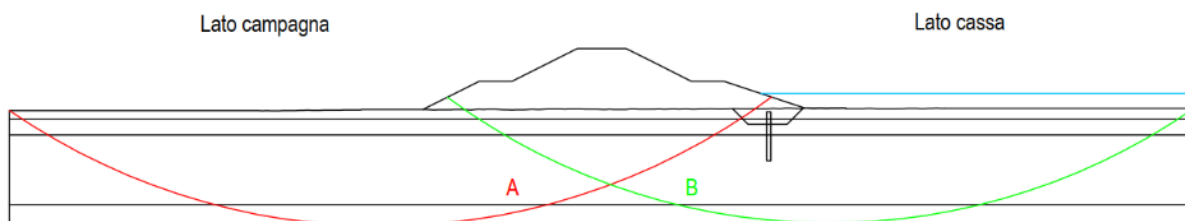


Figura 7-27: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione E\_P7.49

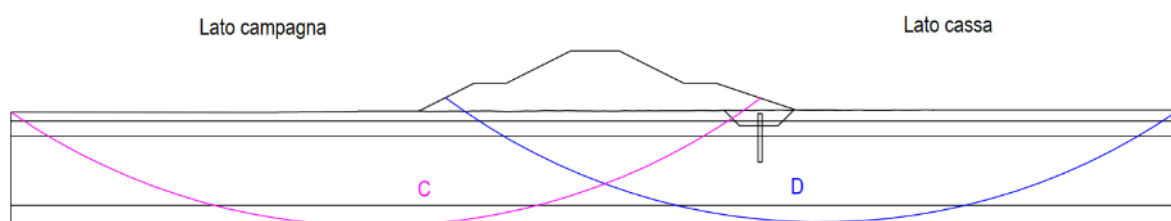


Figura 7-28: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione E\_P7.49

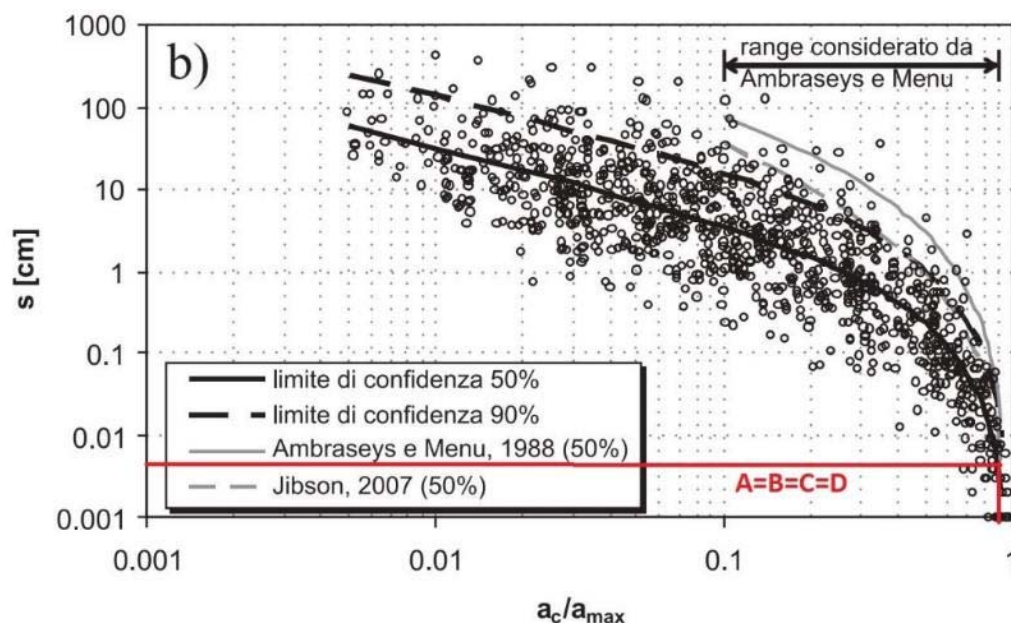


Figura 7-29: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione E\_P7.49

(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**

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
E - P7,54	A	L. campagna	0,29	0,365	0,79	< 0,1
	B	L. cassa	0,32	0,365	0,88	< 0,1

Tabella 7-21: Risultati sezione tipo E\_P7.54 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
E - P7,54	C	L. campagna	0,3	0,365	0,82	< 0,1
	D	L. cassa	0,32	0,365	0,88	< 0,1

Tabella 7-22: Risultati sezione tipo E\_P7.54 in condizione di invaso vuoto

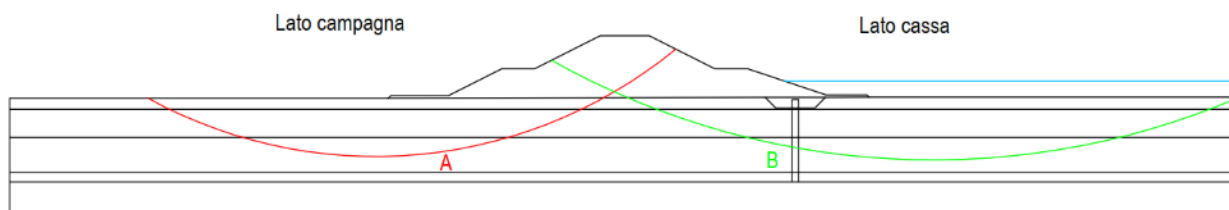


Figura 7-30: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione E\_P7.54

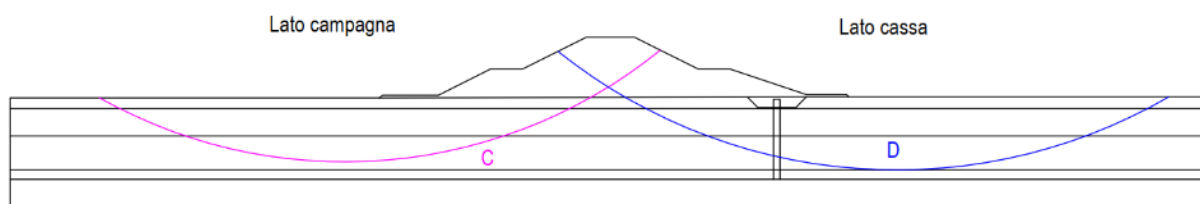


Figura 7-31: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione E\_P7.54

(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)

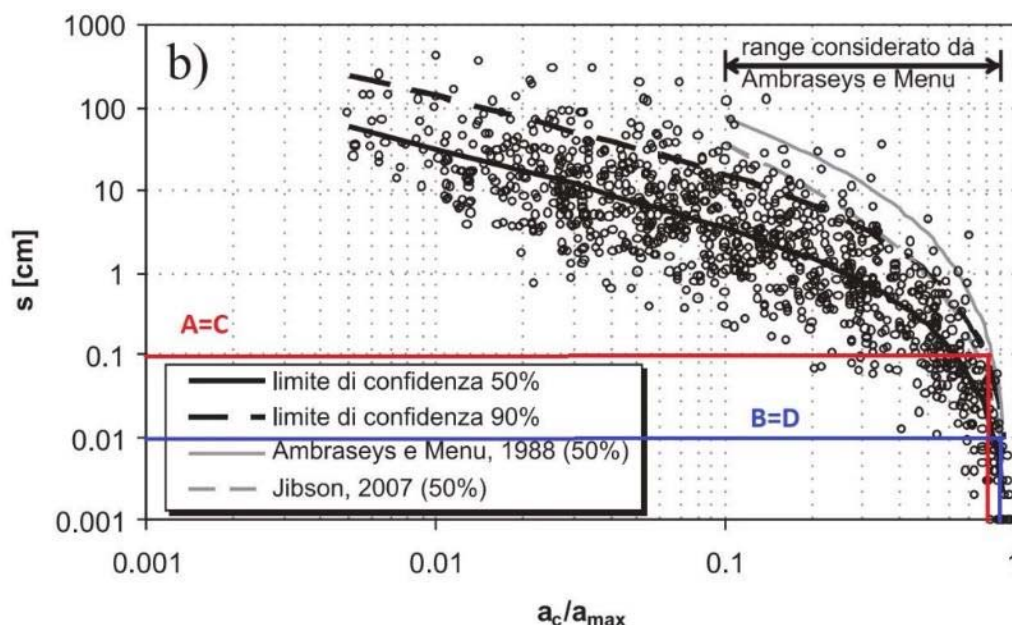


Figura 7-32: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione E\_P7.54

• SEZIONE TIPO G1 – Sez. P6.30

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	$a_{max}$	$a_c / a_{max}$	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
G1	A	L. campagna	0,24	0,365	0,66	1
	B	L. cassa	0,26	0,365	0,71	1

Tabella 7-23: Risultati sezione tipo G1 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	$a_{max}$	$a_c / a_{max}$	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
G1	C	L. campagna	0,28	0,365	0,77	0,1-1
	D	L. cassa	0,25	0,365	0,68	1

Tabella 7-24: Risultati sezione tipo G1 in condizione di invaso vuoto



(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)

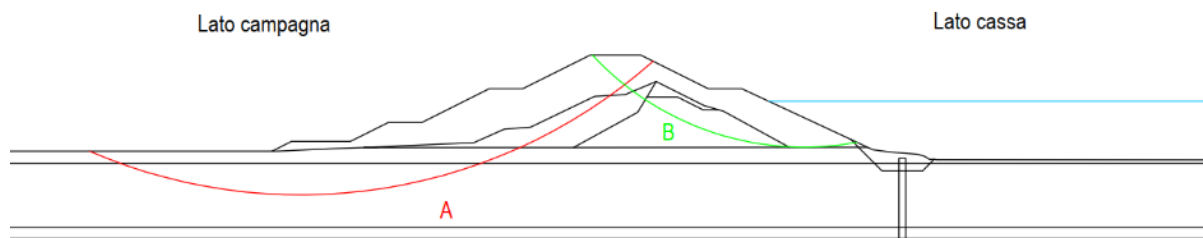


Figura 7-33: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione G1

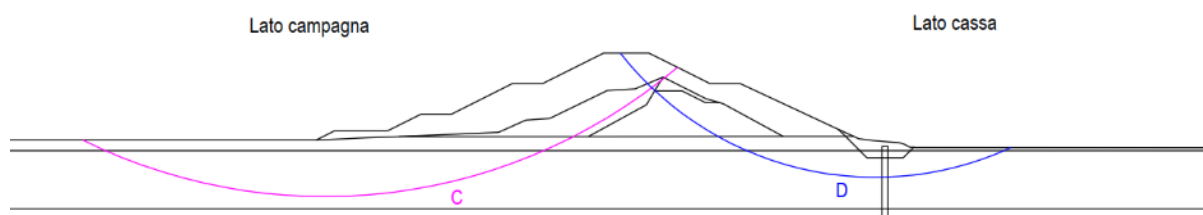


Figura 7-34: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione G1

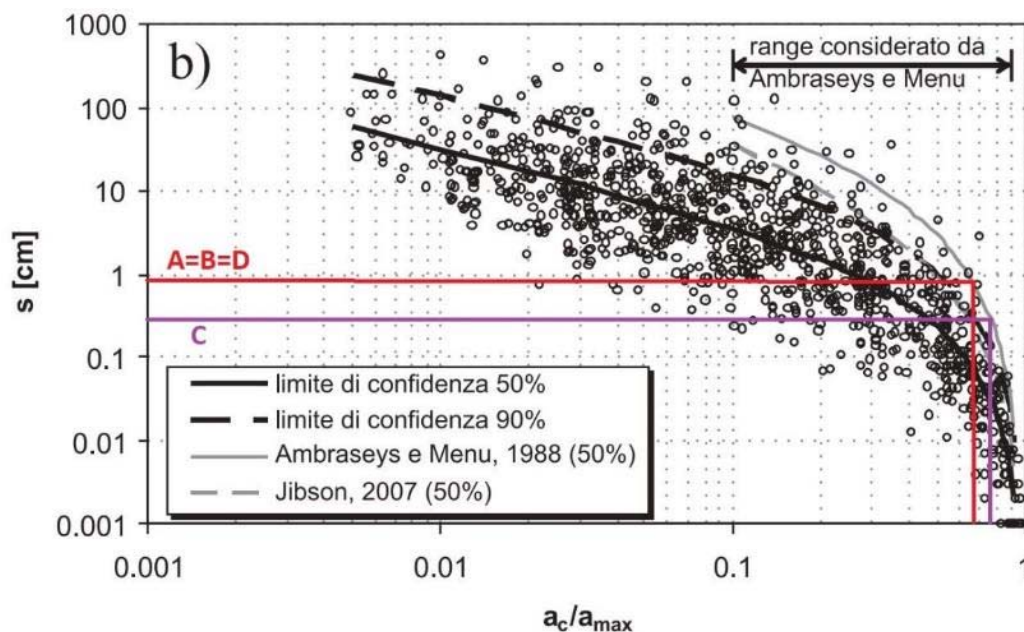


Figura 7-35: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione G1

(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**

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
G2	A	L. campagna	0,28	0,365	0,77	0,1-1
	B	L. cassa	0,3	0,365	0,82	0,1-1

Tabella 7-25: Risultati sezione tipo G2 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
G2	C	L. campagna	0,28	0,365	0,77	0,1-1
	D	L. cassa	0,16	0,365	0,44	5

Tabella 7-26: Risultati sezione tipo G2 in condizione di invaso vuoto

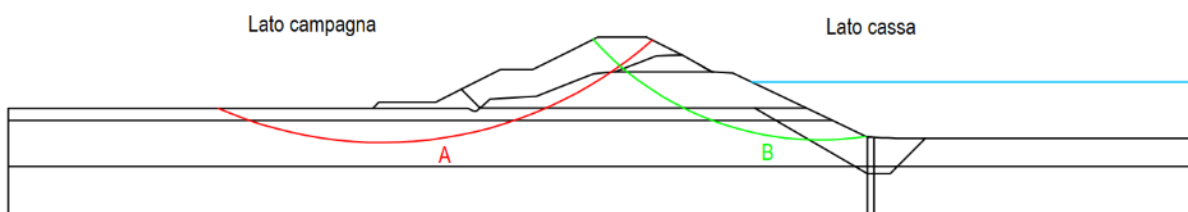


Figura 7-36: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione G2

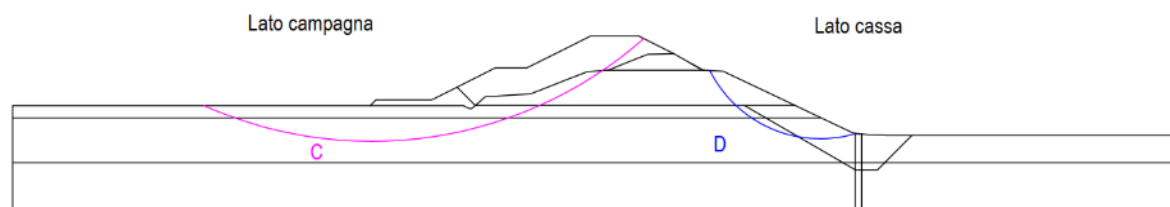


Figura 7-37: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione G2

(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)

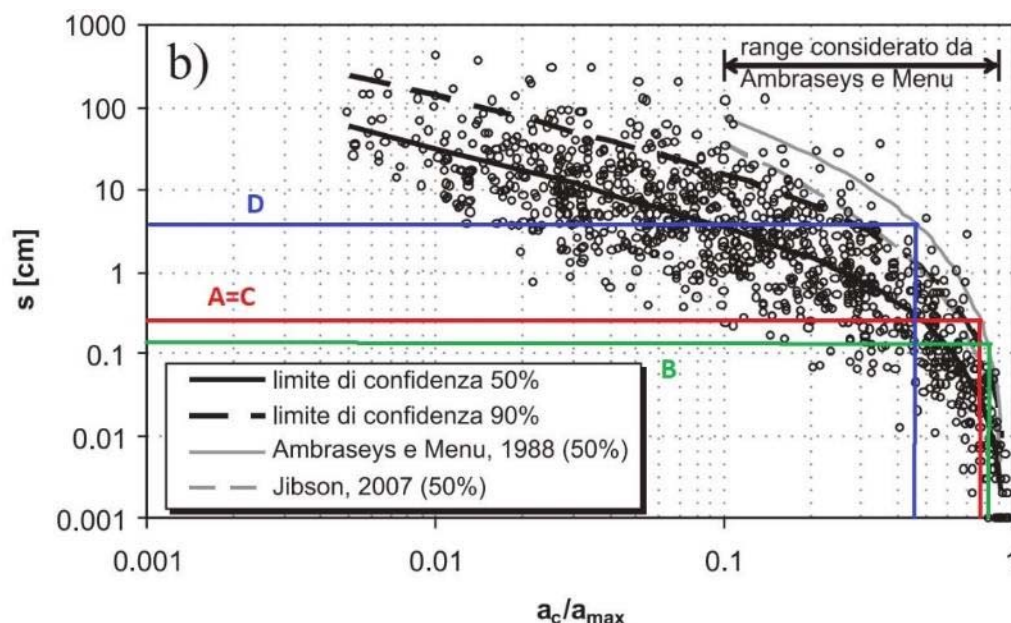


Figura 7-38: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione G2

• SEZIONE TIPO G3 – Sez. 6.11

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	$a_{max}$	$a_c / a_{max}$	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
G3	A	L. campagna	0,28	0,365	0,77	0,1-1
	B	L. cassa	0,22	0,365	0,60	2

Tabella 7-27: Risultati sezione tipo G3 in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	$a_{max}$	$a_c / a_{max}$	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
G3	C	L. campagna	0,29	0,365	0,79	0,1-1
	D	L. cassa	0,16	0,365	0,44	5

Tabella 7-28: Risultati sezione tipo G3 in condizione di invaso vuoto

(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)

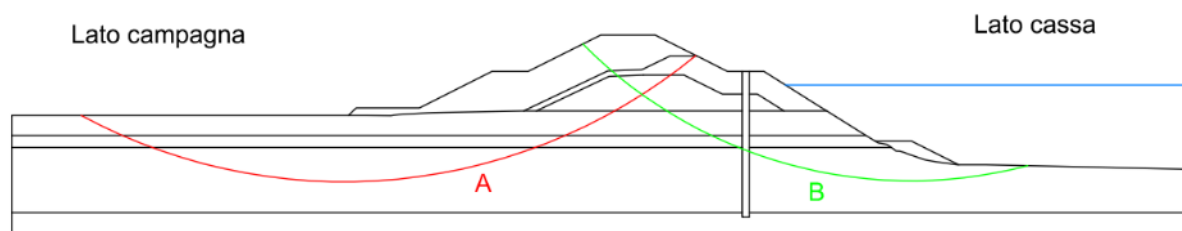


Figura 7-39: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione G3

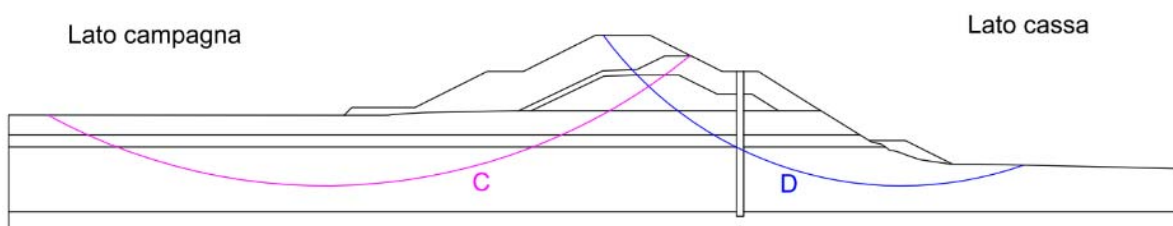


Figura 7-40: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione G3

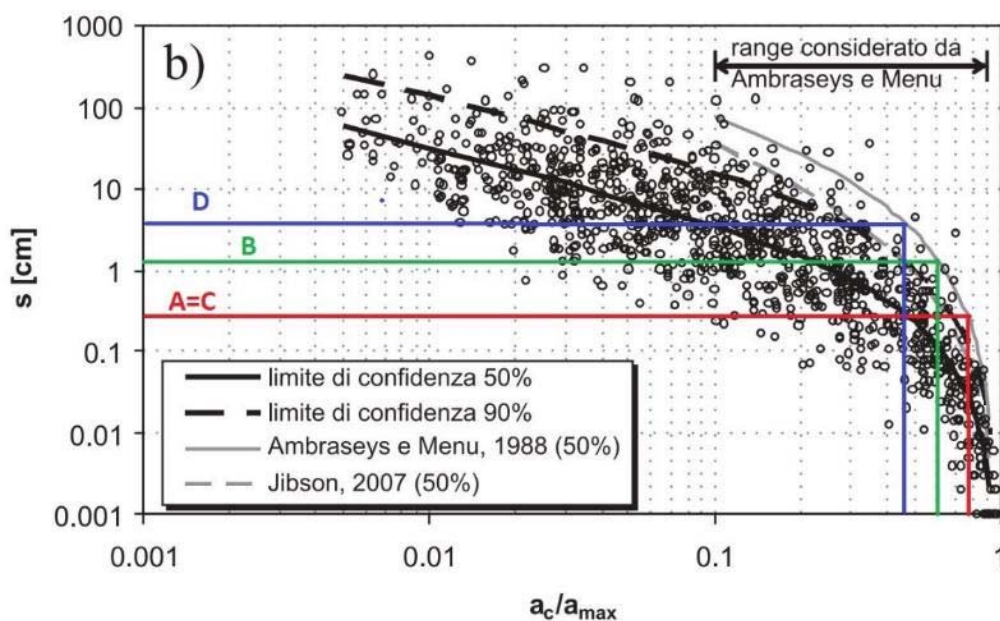


Figura 7-41: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madi ai, 2009) per la sezione G3

(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**

Sezione	Superficie di rottura		Massima regolazione			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
H	A	L. campagna	0,32	0,365	0,88	<0,1

Tabella 7-29: Risultati sezione tipo H in condizione di massima regolazione

Sezione	Superficie di rottura		Invaso vuoto			
			Kc	a <sub>max</sub>	a <sub>c</sub> / a <sub>max</sub>	Spostamento
			[-]	[g]	[-]	[cm]
H	C	L. campagna		0,365	0,00	<0,1

Tabella 7-30: Risultati sezione tipo H in condizione di invaso vuoto

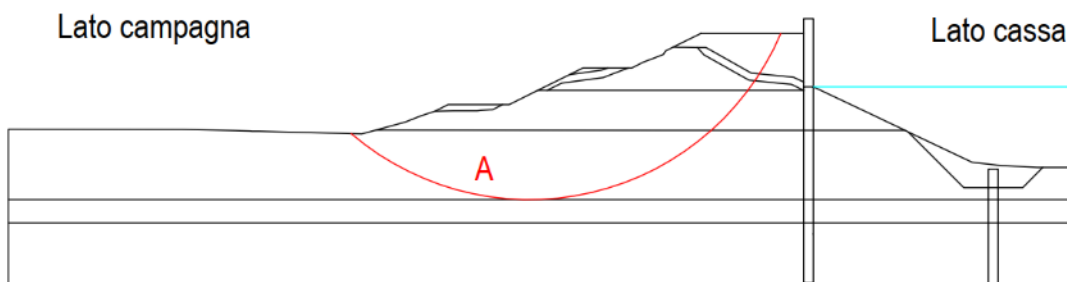


Figura 7-42: Superfici critiche in condizione di massima regolazione della sezione H

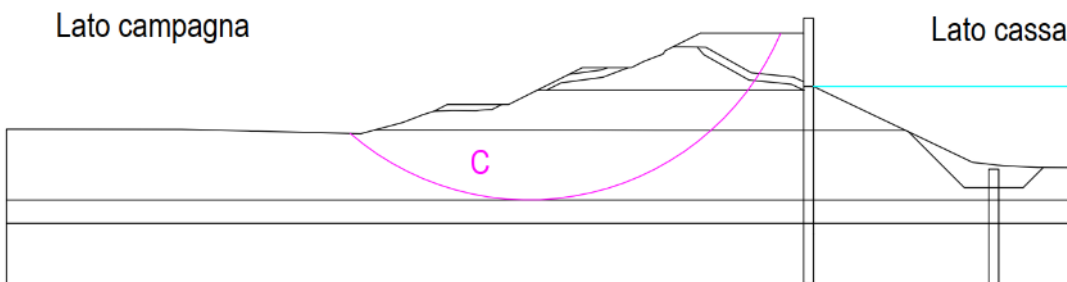


Figura 7-43: Superfici critiche in condizione di invaso vuoto della sezione H



(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)

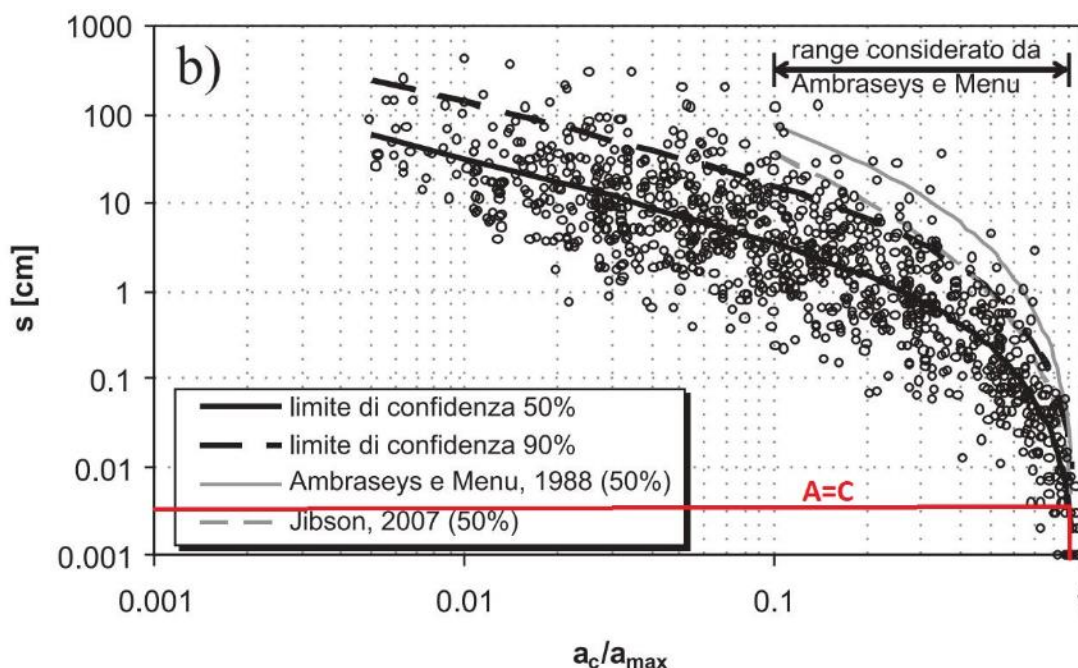


Figura 7-44: Correlazione tra rapporto  $a_c/a_{max}$  e spostamento (Madiati, 2009) per la sezione H

Lo spostamento della massa di terreno interessata dalle superfici di rottura critiche è generalmente minore di 1 cm, mentre per le sezioni D1, G2 e G3 alcune superfici di rottura inducono spostamenti massimi dell'ordine di circa 4-5 cm, valori classificati come “modesti” dalla Tabella 7-8.