






**INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DELLA DIGA DI GIUDEA
A GELLO NEL COMUNE DI PISTOIA (PT)**



PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato	Nome Elaborato:	Scala:
ET08	RELAZIONE VERIFICHE DI STABILITÀ STATICHE E SISMICHE MODELLO DI NEWMARK	-
		Data: 27/12/2019

Settore:  Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 <small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small>	
PROGETTAZIONE : PROGETTISTA - PROJECT MANAGER : ING. GIOVANNI SIMONELLI GEOLOGO: DOTT. GEOL. FILIPPO LANDINI ESPROPRI: GEOM. ANDREA PATRIARCHI	COLLABORATORI : DOTT. GEOL. CARLO FERRI GEOM. MATTEO MASI
CONSULENTI TECNICI :  ING. DAVID SETTESOLDI  DOTT. GEOL. SIMONE FIASCHI  ING. GIOVANNI CANNATA	COMMESSA I.T. : INGT-TPLPD-PBAAC252 RESPONSABILE COMMITTENTE : ING. CRISTIANO AGOSTINI
DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE :  ING. PAOLO PIZZARI	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : ING. LEONARDO ROSSI

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
01	27/12/2019	Prima Emissione	Catella	Settesoldi

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	PROFILO DELLA FALDA FREATICA	7
3.1	VERIFICHE ALLA FILTRAZIONE, AL SOLLEVAMENTO E AL SIFONAMENTO	7
3.1.1	<i>Risultati verifiche alla filtrazione</i>	<i>8</i>
3.1.2	<i>Verifiche al sollevamento.....</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>Verifiche al sifonamento</i>	<i>11</i>
3.2	PROFILO DELLA FALDA FREATICA IN REGIME DI MOTO PERMANENTE.....	12
4	PERICOLOSITÀ SISMICA.....	17
4.1	RISPOSTA SISMICA LOCALE	17
4.2	COEFFICIENTI PARZIALI IN CONDIZIONI SISMICHE.....	18
5	AZIONI INERZIALI DELL'ACQUA CONTENUTA NEL SERBATOIO	19
6	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI	21
7	DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO	22
7.1	METODO DI BISHOP	22
7.2	VALUTAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI.....	23
8	CONDIZIONI DI VERIFICA.....	24
9	VERIFICHE DELLO STATO DI PROGETTO	26

ELENCO FIGURE

Figura 1-1 – Planimetria sezioni di verifica (scala 1:1'000).	5
Figura 1-2 – Profilo stratigrafico sezioni di progetto.	6
Figura 3-1 – Stratigrafie e condizioni al contorno modello VS2DI sezione CR_08.	9
Figura 3-2 – Saturazione al termine della verifica.	9
Figura 3-3 – Altezza piezometrica al termine della verifica.	10
Figura 3-4 – Contenuto di umidità al termine della verifica.	10
Figura 3-5 – Stratigrafie e mesh di calcolo modello SEEP/W sezione CR_08.	13
Figura 3-6 – Condizioni al contorno modello SEEP/W sezione CR_08.	13
Figura 3-7 – Linee equipotenziali a carico costante [m] da modello SEEP/W.	14
Figura 3-8 – Linee equipotenziali a pressione costante [kPa] da modello SEEP/W.	14
Figura 3-9 – Confronto tra la superficie freatica calcolata con il programma VS2DI (linea celeste) e quella stimata con il programma SEEP/W (linea blu). Rappresentazione distorta: scala orizzontale 1:1000; scala verticale 1:500.	15

ELENCO TABELLE

Tabella 3-1 – Parametri dei terreni adottati per la verifica alla filtrazione e al sifonamento.	7
Tabella 4-1 – Parametri sismici di base SLO, SLD, SLV e SLC.	17
Tabella 4-2 – Parametri dello spettro di risposta normalizzato ottenuto dalla risposta sismica locale.	17
Tabella 5-1 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per la sezione CR_04.	19
Tabella 5-2 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per la sezione CR_04.	19
Tabella 5-3 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per le sezioni CR_06 e CR_08.	20
Tabella 5-4 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per le sezioni CR_06 e CR_08.	20
Tabella 6-1 – Parametri geotecnici caratteristici.	21
Tabella 8-1 – Combinazioni di carico verifiche di stabilità.	24
Tabella 9-1 – Verifiche di stabilità dello stato di progetto condotte secondo D.M. 26/06/2014 per la sezione CR_04.	27
Tabella 9-2 – Verifiche di stabilità dello stato di progetto condotte secondo D.M. 26/06/2014 per la sezione CR_06.	28
Tabella 9-3 – Verifiche di stabilità dello stato di progetto condotte secondo D.M. 26/06/2014 per la sezione CR_08.	29

1 PREMESSA

Nel presente documento si riportano la metodologia ed i risultati ottenuti dalle verifiche di stabilità relative all'invaso nello stato di progetto svolte ai sensi del D.M. del 26 giugno 2014.

Gli interventi di progetto sono assimilabili ad interventi di adeguamento in quanto modificano la diga attuale mediante un insieme sistematico di opere tali da portare ad un'opera dal comportamento strutturale diverso da quello precedente, così come definito al cap. H.2.1 del D.M. 26/06/2014.

Per gli interventi di adeguamento occorre fare riferimento a quanto riportato nel cap. C del D.M. 26/06/2014 per le nuove realizzazioni.

Il modello geotecnico del corpo diga e dei terreni del substrato è ricostruito nell'elaborato ET.13 utilizzando i risultati riportati negli elaborati di natura geologica, geologico-tecnica e sulle campagne geognostiche dirette, indirette nonché sulle risultanze delle indagini di laboratorio condotte nei diversi anni di vita della diga.

La presente relazione espone i risultati delle seguenti verifiche condotte sullo sbarramento:

- verifica alla filtrazione;
- verifica al sifonamento;
- verifica alla stabilità.

Nella Figura 1-1 si riporta la planimetria del corpo diga di progetto con la rappresentazione delle sezioni di verifica, mentre nella Figura 1-2 sono rappresentati i profili delle sezioni di progetto con le stratigrafie dei terreni del corpo diga e della fondazione.

Le verifiche di stabilità sono condotte con il programma Stap Terreni 14.0 della Aztec su n. 3 sezioni rappresentative del profilo di progetto dello sbarramento (codici: CR_04; CR_06; CR_08).

La verifica alla filtrazione e al sifonamento è svolta con il programma VS2DTI del U.S *Geological Survey*, che simula la filtrazione bidimensionale in un mezzo poroso in condizioni di moto vario, ed è condotta per la sezione CR_08.

La linea di filtrazione è ricostruita in moto permanente con il programma Seep/W della *Geostudio* per la sezione CR_08.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le verifiche sono condotte nel rispetto della normativa vigente:

- **Legge n. 64 del 02/02/1974**
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988**
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- **D.M. 16 Gennaio 1996**
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- **Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.**
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- **Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.**
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.
- **Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)**
- **Circolare 617 del 02/02/2009**
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- **Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (D.M. 26 Giugno 2014)**
- **Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018)**
- **Istruzioni MIT DG Dighe Luglio 2019**
Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26 Giugno 2014 e al D.M. 17 Gennaio 2018 in merito alle verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere accessorie.
- **Procedura MIT DG Dighe Marzo 2019**
Procedura per la rivalutazione sismica delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere accessorie.
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019**
Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

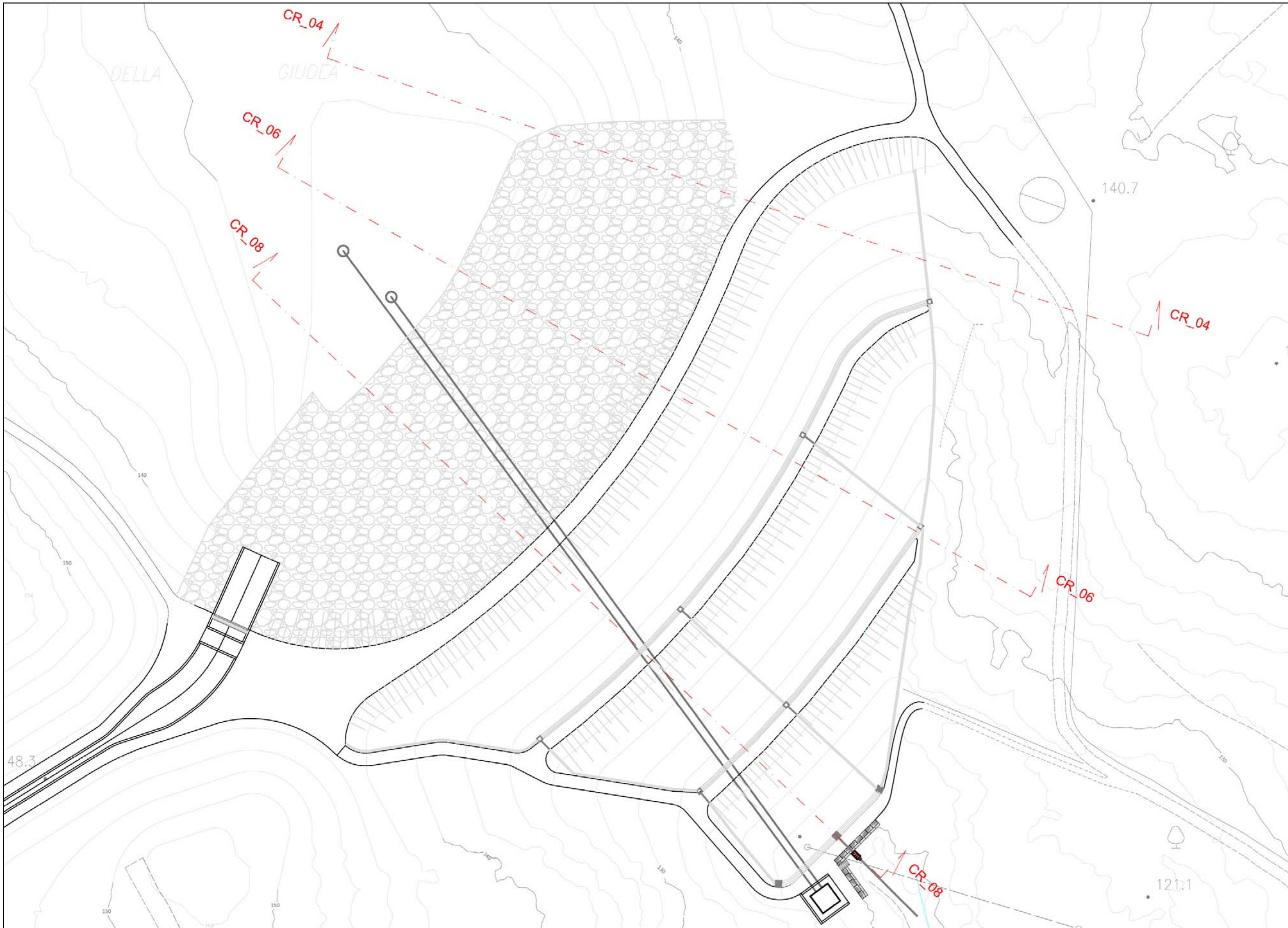


Figura 1-1 – Planimetria sezioni di verifica (scala 1:1'000).

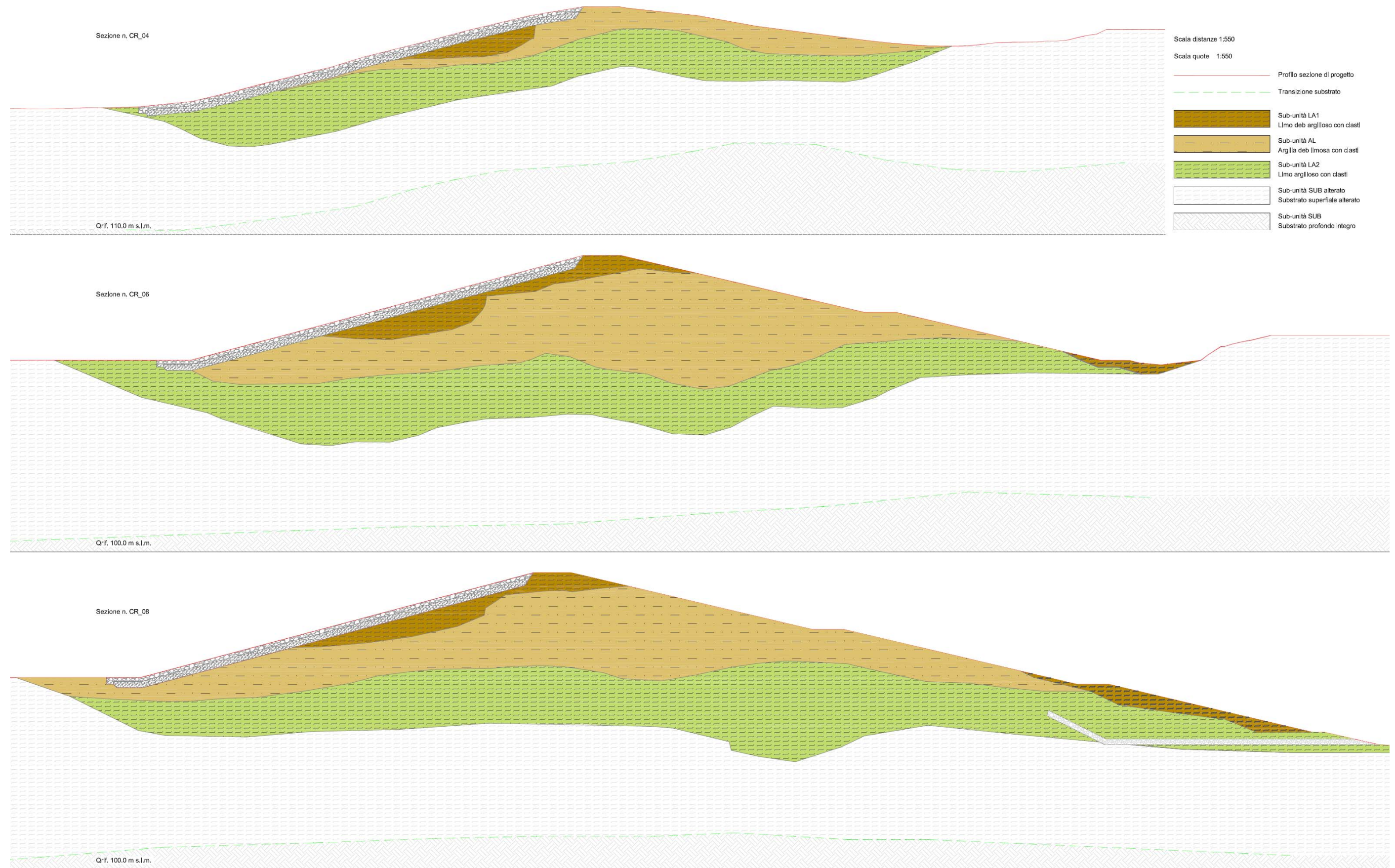


Figura 1-2 – Profilo stratigrafico sezioni di progetto.

3 PROFILO DELLA FALDA FREATICA

Dall'esame del progetto originale della diga si può desumere che esiste all'interno del corpo diga attuale un tappeto filtrante che copre la quasi totalità del paramento di valle, costituito da due tratti a differenza pendenza.

Il primo tratto, che trae origine in prossimità del coronamento alla quota di circa 139.0 m s.l.m., si estende verso valle con una pendenza di circa 1:2 fino ad intercettare il secondo tratto posto nella sezione di imposta del rilevato e caratterizzato da pendenze inferiori pari a 1:15.

Come indicato nel progetto di massima per il consolidamento della diga del 1990, tale tappeto è indicato in maniera approssimativa solamente nei disegni dell'incartamento progettuale del 1963 e la sua esatta posizione non è stata appurata con un rilievo topografico nel corso delle fasi di costruzione dell'opera.

Gli interventi di progetto prevedono di realizzare un nuovo dreno in corrispondenza della sezione di imposta dell'ammorsamento necessario per il rinfiacco sul paramento di valle. Il nuovo dreno sarà raccordato a quello attuale realizzando uno strato drenante con pendenza di 1:2.

Le verifiche alla filtrazione, al sollevamento e al sifonamento, nonché la costruzione del profilo della falda freatica all'interno dello sbarramento sono condotte cautelativamente considerando attivo solamente la parte di dreno prevista nel presente progetto nella parte piana di separazione tra il substrato di fondazione ed il rinfiacco, escludendo dal conto anche la parte inclinata di raccordo.

Pertanto, nel corso delle seguenti verifiche il dreno è assunto con una lunghezza di 35.0 m, uno spessore di 80 cm e una quota di imposta di 118.2 m s.l.m..

3.1 VERIFICHE ALLA FILTRAZIONE, AL SOLLEVAMENTO E AL SIFONAMENTO

Le verifiche alla filtrazione sono eseguite in regime di moto vario con il modello VS2DI del *USGS U.S. Geological Survey*.

La verifica alla filtrazione è condotta assumendo i parametri riportati nella Tabella 3-1 per la schematizzazione dei terreni costituenti lo sbarramento e la fondazione.

I parametri riportanti nella Tabella 3-1 hanno il seguente significato:

- K_z/K_h = rapporto tra la conducibilità idraulica verticale e orizzontale;
- K_h = conducibilità idraulica orizzontale [m/s];
- Porosità = porosità efficace;
- RMC, α e β = parametri della formula di *Van Genuchten*.

Denominazione sub-unità	K_z/K_h	K_h [m/s]	Porosità	RMC	α	β	Retino
Sub-unità LA1	1.0	1.0E-07	0.32	0.10	1.0	5.0	
Sub-unità AL	1.0	1.0E-08	0.35	0.10	0.5	1.5	
Sub-unità LA2	1.0	1.0E-07	0.30	0.10	1.0	5.0	
Sub-unità SUB	1.0	1.0E-08	0.32	0.10	0.5	1.5	
Scogliera	1.0	1.0E-04	0.30	0.05	2.0	10.0	
Dreno	1.0	1.0E-03	0.30	0.05	2.0	10.0	

Tabella 3-1 – Parametri dei terreni adottati per la verifica alla filtrazione e al sifonamento.

La formula di *Van Genuchten* fornisce i valori del grado di saturazione e della conducibilità idraulica nella parte di mezzo poroso insatura, secondo le seguenti espressioni:

$$s_e = 1 / \left(1 + |\alpha \times h|^\beta \right)^{\gamma}$$

$$K_r = \left(1 - C \times D^{-\gamma}\right)^2 / D^{\gamma/2}$$

$$C = |\alpha \times h|^{(\beta-1)}$$

$$D = 1 + |\alpha \times h|^{\beta}$$

dove:

- s_e = saturazione effettiva (VMC-RMC)/(Porosità – RMC);
- VMC = grado di umidità nel suolo;
- RMC = grado di umidità residuo;
- K_r = conducibilità idraulica relativa;
- h = tensione capillare;
- α e β = parametri empirici;
- $\gamma = 1 - 1/\beta$.

Il modello risolve le equazioni di *Richard's* alle differenze finite in un dominio definito dall'utente con assegnate condizioni al contorno.

Le condizioni al contorno sono inserite con il seguente criterio:

- ai paramenti di monte e/o di valle a contatto con l'acqua e ai bordi del dominio a contatto con l'acqua è assegnato un carico totale costante nel tempo (linea blu);
- ai paramenti di monte e/o di valle e ai bordi non a contatto con l'acqua è assegnata una condizione di superficie libera (linea arancione);
- ai bordi verticali del dominio è assegnata una condizione di carico totale fissa pari ai livelli di falda (linea blu);
- alla base del dominio e alla sommità dell'argine è assegnata la condizione di flusso nullo.

Per le verifiche alla filtrazione i livelli idrometrici sono mantenuti costanti per tutta la simulazione, la cui durata è assunta pari a 20 anni in modo da raggiungere le condizioni di regime.

Sul paramento di monte è applicata la quota di massima regolazione di 140.0 m s.l.m., mentre sul paramento di valle è assunto un carico nullo in corrispondenza sia del pozzetto di misura delle perdite sia del bordo al di sotto della platea della vasca di raccolta. La quota della falda sul bordo verticale del dominio di valle è assunta pari a 116.6 m s.l.m..

Il terreno di rinfilanco sul paramento di valle sarà realizzato al disopra di un dreno che si estenderà su tutta l'area compresa tra il ciglio di valle e il paramento di monte, raccordandosi a quello esistente.

3.1.1 RISULTATI VERIFICHE ALLA FILTRAZIONE

Nella Figura 3-1 si riportano i profili del piano campagna, le stratigrafie del terreno e le condizioni al contorno utilizzate nel programma VS2DI del *USGS U.S. Geological Survey* per la sezione CR_08.

Nella schematizzazione numerica adottata, l'origine delle coordinate del sistema di riferimento è posta in prossimità della sommità del dreno di valle a 118.77 m s.l.m. e, quindi, ad una profondità di -24.53 m dalla sommità della diga posta a 143.30 s.l.m..

Sulla base di questa schematizzazione il livello idrometrico di massima regolazione, pari a 140.0 m s.l.m., corrisponde ad un carico di 21.23 m.

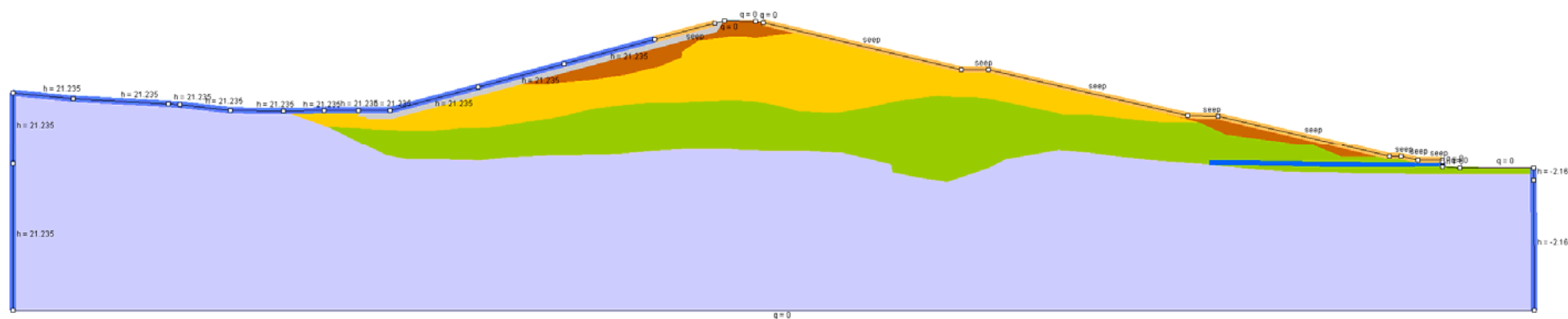


Figura 3-1 – Stratigrafie e condizioni al contorno modello VS2DI sezione CR_08.

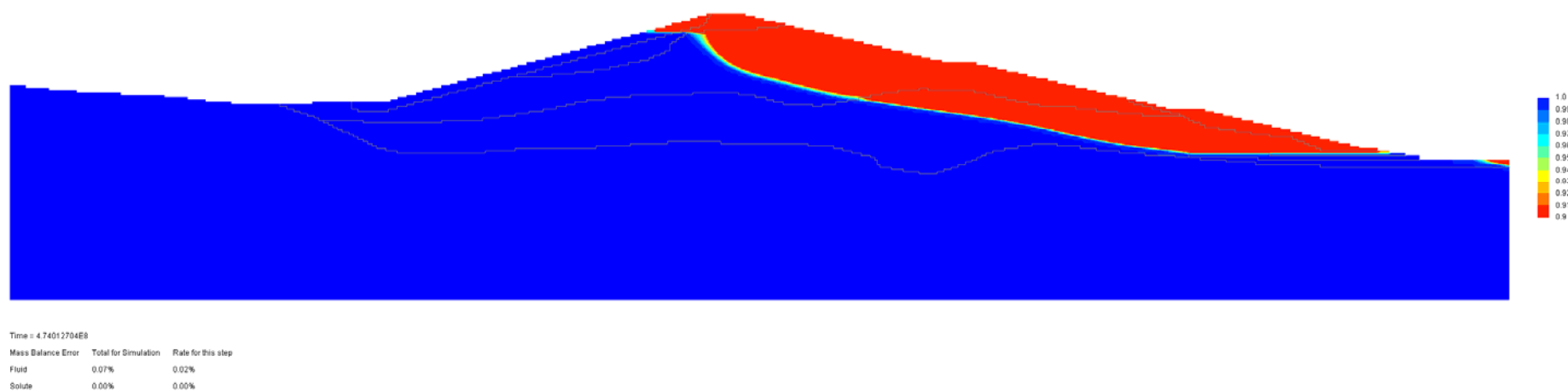


Figura 3-2 – Saturazione al termine della verifica.

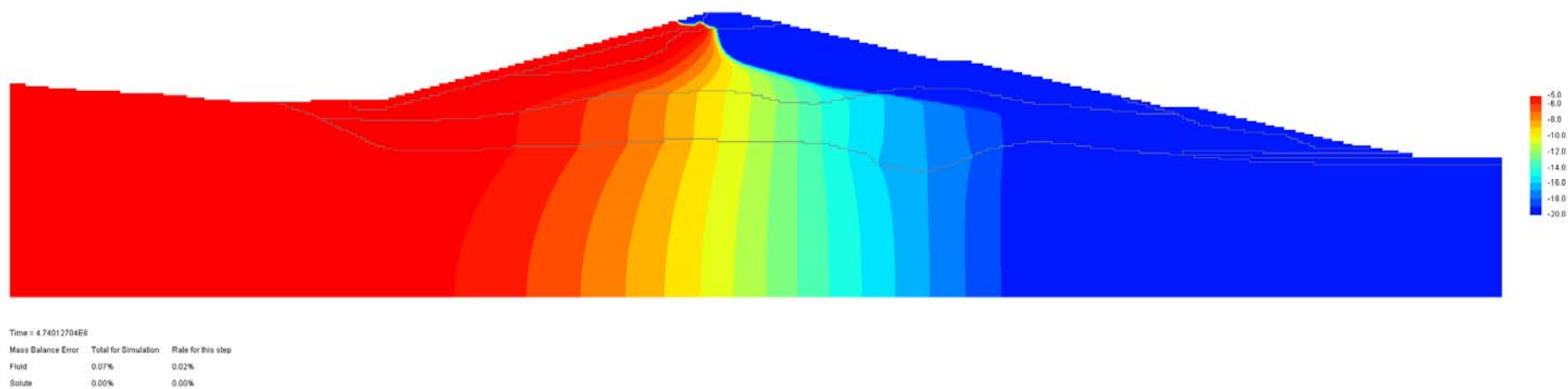


Figura 3-3 – Altezza piezometrica al termine della verifica.

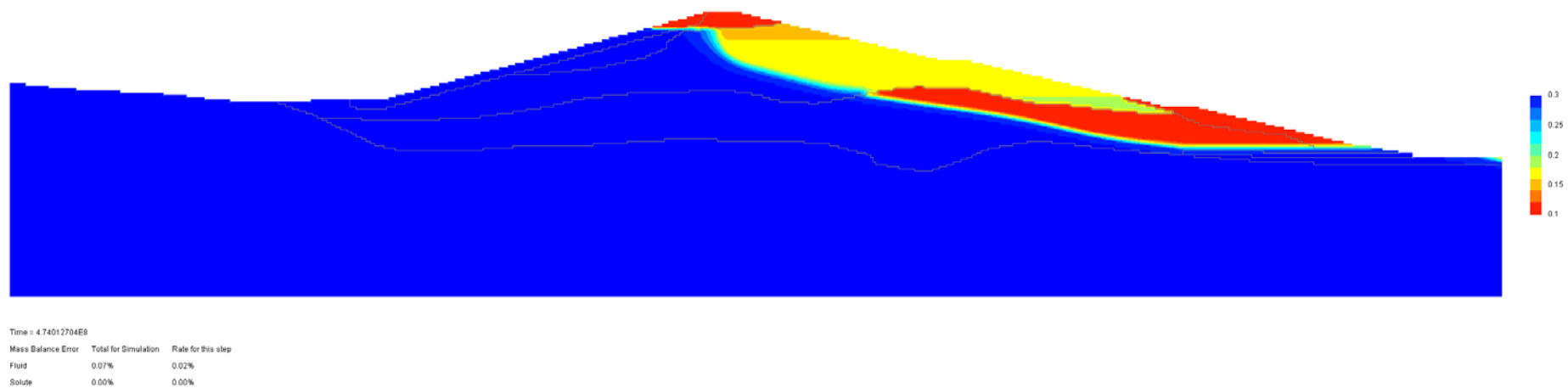


Figura 3-4 – Contenuto di umidità al termine della verifica.

La distribuzione all'interno del corpo diga della saturazione dopo 20 anni di simulazione è riportata nella Figura 3-2, mentre nella Figura 3-3 è rappresentata l'altezza piezometria e nella Figura 3-4 il contenuto di umidità.

Le verifiche hanno evidenziato che la linea di filtrazione (zona satura) a regime non interessa il piede esterno del paramento di valle della diga grazie alla presenza del dreno.

L'andamento della linea di filtrazione calcolata risente della presenza di orizzonti a differente permeabilità, compresi tra valori dell'ordine di $1E-07$ m/s e $1E-08$ m/s.

La velocità orizzontale massima corrisponde a $3.3E-07$ m/s, mentre nella direzione verticale è pressoché nulla. La velocità massima nella direzione orizzontale è ubicata in corrispondenza della sezione di sbocco del dreno.

3.1.2 VERIFICHE AL SOLLEVAMENTO

La verifica idraulica al sollevamento è prescritta al punto 6.2.4.2 delle N.T.C. 2018 e viene compiuta confrontando i valori della pressione interstiziale instabilizzante con il valore di progetto dell'azione stabilizzante e delle resistenze, tenendo conto dei coefficienti parziali della Tab. 6.2.III.

I coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tabella 6.2.III e devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2).

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	Sollevamento UPL
Permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti G_2	Favorevole	γ_{G2}	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

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

In particolare, incrementando la pressione interstiziale di un coefficiente di 1.5, essendo un carico variabile sfavorevole, e riducendo la tensione totale di un coefficiente di 0.9, essendo un carico permanente favorevole, si perviene per le verifiche al sollevamento ad un coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_R = 1.67$.

Nel presente caso il **coefficiente di sicurezza minimo vale 1.81**.

3.1.3 VERIFICHE AL SIFONAMENTO

La verifica idraulica al sollevamento è prescritta al punto 6.2.4.2 delle N.T.C. 2018 e viene compiuta controllando che il gradiente idraulico risulti inferiore al gradiente critico diviso per un coefficiente parziale uguale a 2, considerando il gradiente idraulico di efflusso. Il coefficiente di sicurezza parziale per le verifiche al sifonamento $\gamma_R = 2$.

Nel presente caso il **coefficiente di sicurezza minimo è pari a 100**.

3.2 PROFILO DELLA FALDA FREATICA IN REGIME DI MOTO PERMANENTE

La verifica delle condizioni di stabilità del rilevato dello sbarramento è condotta considerando l'andamento della linea di filtrazione ottenuta nell'ipotesi di regime di moto permanente impiegando un algoritmo di calcolo integrato nel programma SEEP/W della Geostudio.

L'analisi di filtrazione si basa sull'applicazione della teoria classica di *Darcy*, che definisce la filtrazione in un mezzo poroso saturo nella seguente forma:

$$q = k \cdot i$$

dove q è la portata specifica [m²/s], k la permeabilità del mezzo poroso [m/s], i il gradiente del carico idraulico totale [m/m].

Il carico idraulico totale rappresenta la principale incognita del problema che, nell'ipotesi di continuo bidimensionale, viene esplicitata dalla seguente equazione di continuità in forma differenziale:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

dove k_x e k_y sono i coefficienti di permeabilità nelle due direzioni planari ortogonali [m/s] e h è il carico idraulico totale [m], somma di carico potenziale e carico di pressione.

Occorre precisare che tale equazione è valida limitatamente all'ipotesi di fluido monofasico incompressibile in condizioni di regime di moto laminare e di suolo o roccia porosa.

La soluzione dell'equazione di Darcy è ottenuta con uno schema numerico alle differenze finite in corrispondenza dei vertici della mesh con cui viene discretizzato il dominio di calcolo.

Gli elementi isoparametrici della mesh possono essere sia triangolari che rettangolari.

Il metodo risolutivo, sviluppato da Barrel e al. (1994) è basato sulla soluzione del sistema di equazioni differenziali con un'integrazione gaussiana.

Le caratteristiche geotecniche dei materiali impiegati nel modello numerico sono quelli riportati nella Tabella 3-1. In particolare, il modello necessita per ciascun materiale utilizzato dei valori della permeabilità, del coefficiente di anisotropia K_z/K_h e del contenuto volumetrico d'acqua.

Le condizioni al contorno adottate per il sistema sono le seguenti:

- al paramento di monte a contatto con l'acqua e al bordo verticale del dominio di monte è assegnato un carico totale costante nel tempo (linea blu);
- al paramento di valle non a contatto con l'acqua è assegnata una condizione di superficie libera (linea arancione);
- al bordo verticale del dominio di valle è assegnata una condizione di carico totale fissa pari ai livelli di falda (linea celeste);
- al paramento di valle in corrispondenza del dreno è attribuita una condizione di carico di pressione nullo, ovvero ad una pressione assoluta pari alla pressione atmosferica;
- alla base del dominio e alla sommità dell'argine è assegnata la condizione di flusso nullo.

La determinazione della superficie freatica all'interno del corpo diga è calcolata considerando tre differenti condizioni per il livello idrometrico all'interno del serbatoio:

- 1) alla quota di 128.0 m s.l.m. corrispondente alla situazione di serbatoio vuoto;
- 2) alla quota di massima regolazione di 140.0m s.l.m.;
- 3) alla quota di massimo invaso di 140.335 m s.l.m. relativo alla piena di 3000 anni.

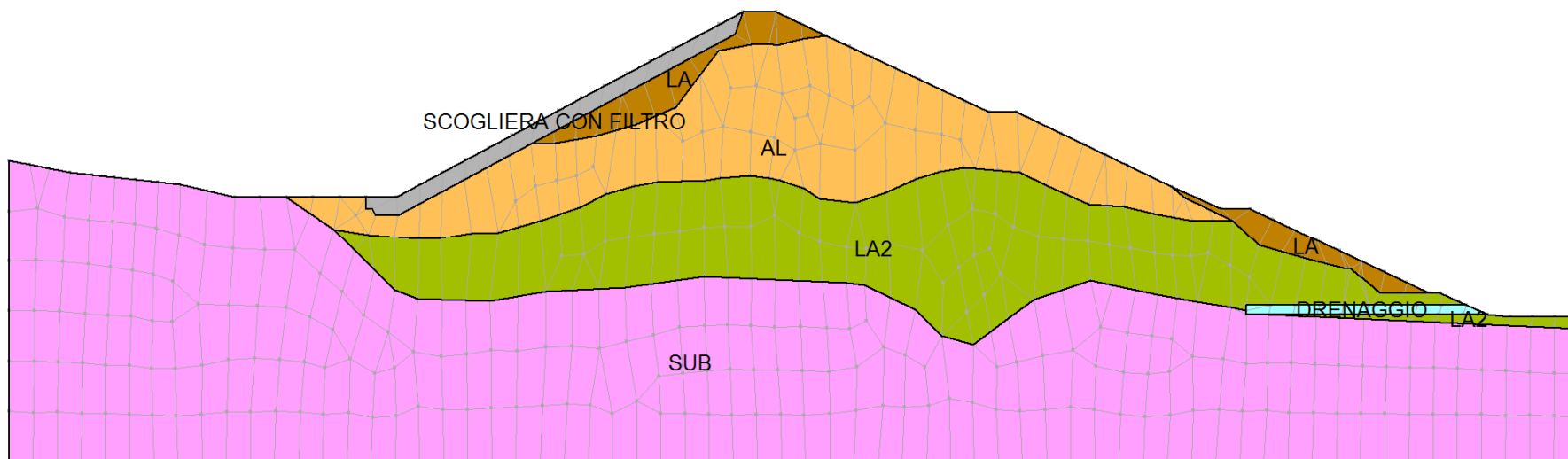


Figura 3-5 – Stratigrafie e mesh di calcolo modello SEEP/W sezione CR_08.

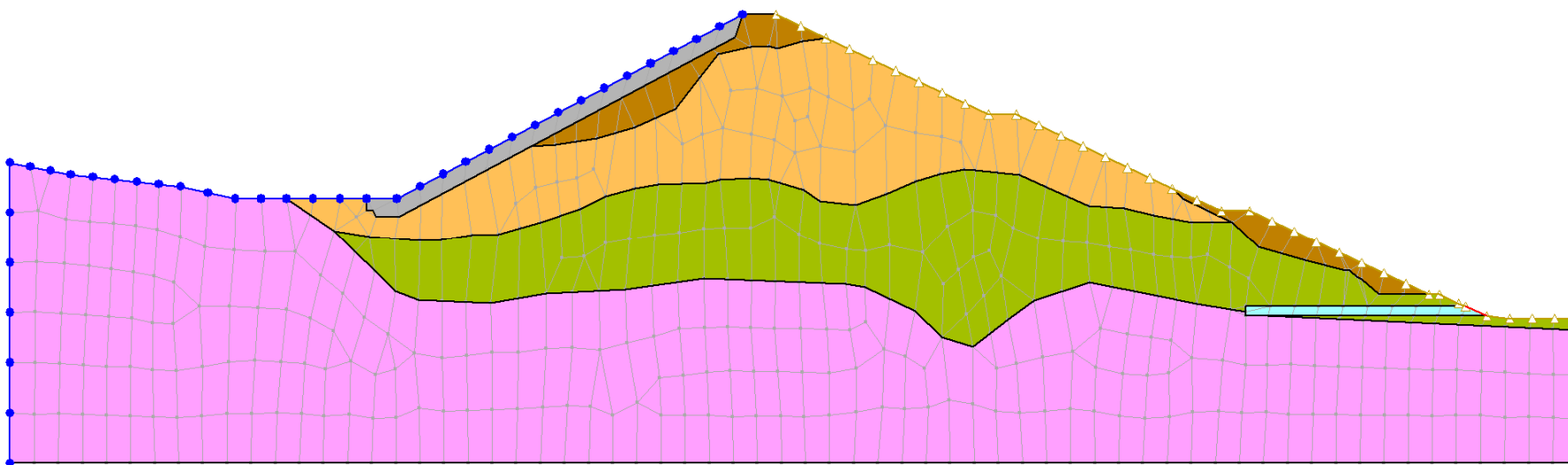


Figura 3-6 – Condizioni al contorno modello SEEP/W sezione CR_08.

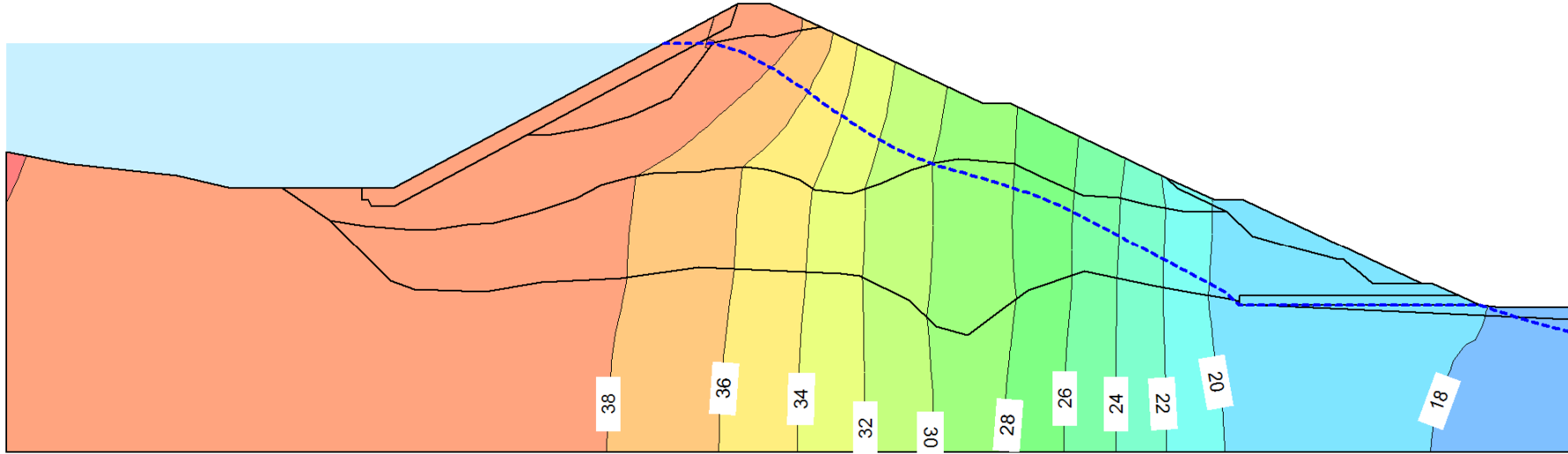


Figura 3-7 – Linee equipotenziali a carico costante [m] da modello SEEP/W.

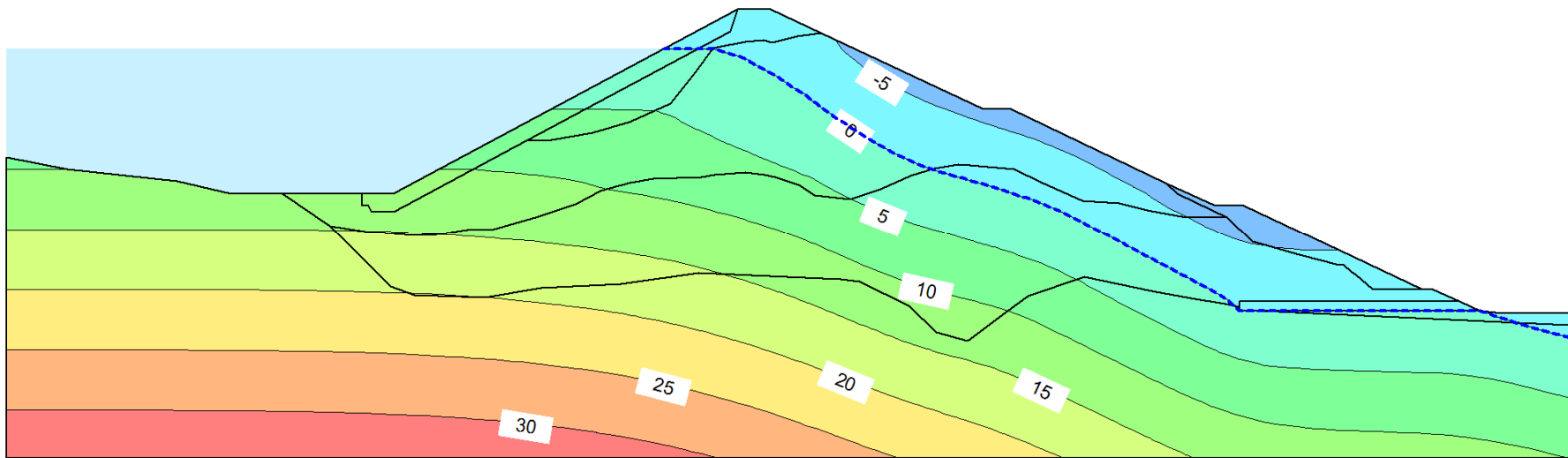


Figura 3-8 – Linee equipotenziali a pressione costante [kPa] da modello SEEP/W.

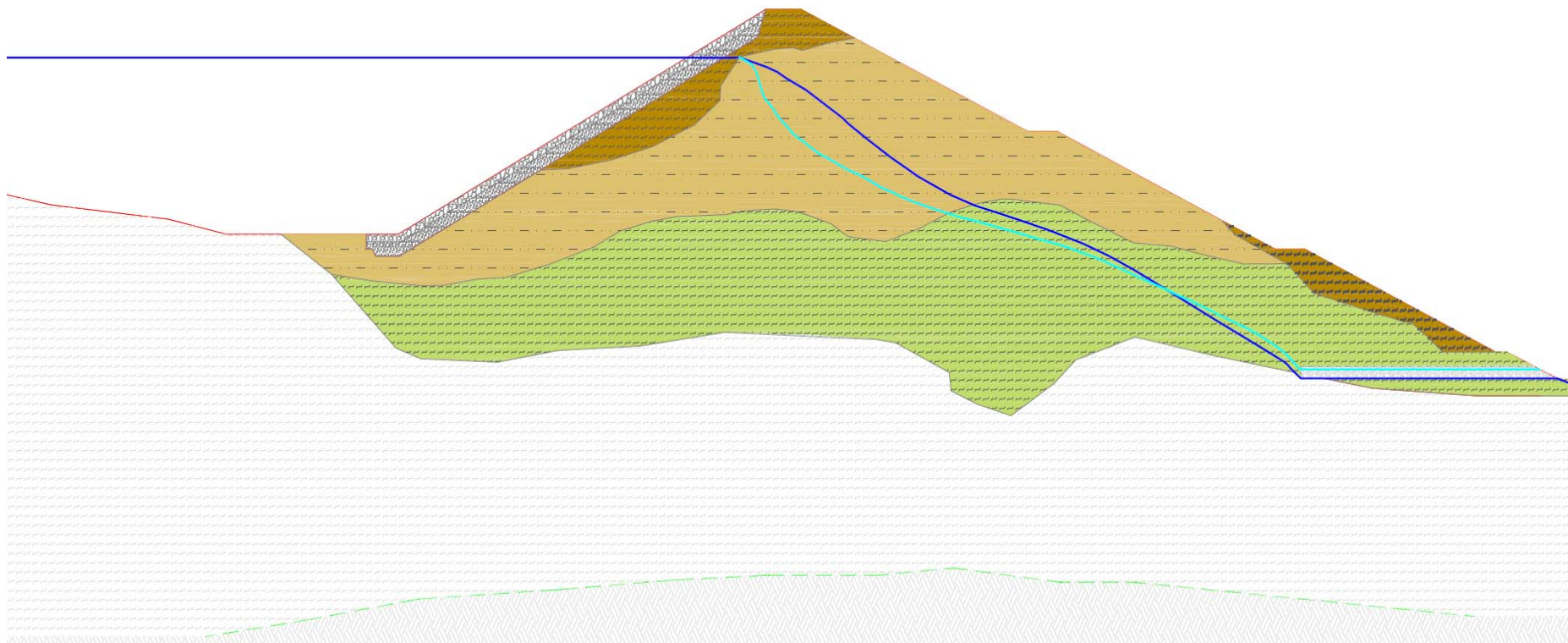


Figura 3-9 – Confronto tra la superficie freatica calcolata con il programma VS2DI (linea celeste) e quella stimata con il programma SEEP/W (linea blu).
Rappresentazione distorta: scala orizzontale 1:1000; scala verticale 1:500.

Nella schematizzazione numerica adottata, l'origine delle coordinate del sistema di riferimento è posta alla quota di 100 m s.l.m.. Sulla base di questa schematizzazione il livello idrometrico di massima regolazione corrisponde ad un carico di 40.0 m e il carico totale della falda sul bordo di valle è pari a 16.6 m.

Nella Figura 3-7 e nella Figura 3-8 sono rappresentate rispettivamente le linee equipotenziali a carico totale costante e a pressione costante.

Nella Figura 3-9 è riportata la linea di filtrazione calcolata in moto permanente con il programma SEEP/W assieme a quella ricavata a regime per un grado di saturazione di 0.95 dalla verifica in moto vario con il programma VS2DI del *USGS U.S. Geological Survey*.

Come è possibile osservare dal succitato confronto, si ritiene i risultati conseguiti in moto permanente maggiormente cautelativi per la stima del processo di filtrazione dello stato di piena di 3000 anni.

4 PERICOLOSITÀ SISMICA

I parametri sismici del sito sono calcolati in base a quanto prescritto dal D.M. del 26 Giugno 2014 relativamente agli interventi eseguiti su nuove dighe come indicato nel cap. C.7.7.

Per la definizione della azioni sismiche, l'invaso di Gello è considerato come una **diga strategica** in quanto a prevalente utilizzazione potabile.

La **vita nominale** V_N è assunta pari a **100 anni** e il coefficiente d'uso C_U pari a 2, di conseguenza la **vita di riferimento** V_R è pari a **200 anni** in coerenza con la tabella C.2 del succitato Decreto.

I parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c^* , riportati nella Tabella 4-1, sono ricavati per le seguenti coordinate:

- Longitudine FI: 43.960117 (ED50)
- Latitudine LA: 10.883661 (ED50)

Stato limite	P_{vr} [%]	T_r [anni]	a_g [g]	a_g [m/s^2]	F_0	T_c^* [s]
SLO	81	120	0.103	1.010	2.421	0.271
SLD	63	201	0.126	1.236	2.414	0.279
SLV	10	1898	0.274	2.688	2.398	0.309
SLC	5	2475	0.298	2.923	2.397	0.317

Tabella 4-1 – Parametri sismici di base SLO, SLD, SLV e SLC.

4.1 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Al fine di aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche considerate nella presente progettazione sono determinate mediante un'analisi di risposta sismica locale.

Come riportato negli elaborati ET.04 e ET.07, la risposta sismica locale ha permesso di definire le modifiche che il segnale sismico subisce, a causa delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sito in oggetto, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Nella Tabella 4-2 sono riportati, per ciascuno stato limite, il coefficiente amplificativo S , il periodo T_b e il periodo T_c dello spettro di risposta normalizzato ottenuto dall'analisi di risposta sismica locale

Stato limite	S	T_b [s]	T_c [s]
SLO	2.178	0.110	0.168
SLD	2.622	0.117	0.133
SLV	2.395	0.158	0.174
SLC	2.088	0.091	0.197

Tabella 4-2 – Parametri dello spettro di risposta normalizzato ottenuto dalla risposta sismica locale.

Per ogni stato limite, la risposta sismica locale ha permesso, inoltre, la ricostruzione di n. 7 accelerogrammi rappresentativi della sismicità del sito.

Gli accelerogrammi forniti descrivono la sola componente orizzontale dell'azione sismica come indicato al punto 3.2.3.1 delle N.T.C. 2008.

4.2 COEFFICIENTI PARZIALI IN CONDIZIONI SISMICHE

Il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima β_s attesa al sito è assunto pari a 1.

In condizioni sismiche, inoltre, sono applicati i coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici definiti dalle N.T.C. 2008 in quanto maggiormente cautelativi.

Infatti, come indicato al punto 7.11.1 delle N.T.C. 2008, le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto, con i valori dei coefficienti parziali indicati nel Cap. 6 (Tabella 6.2.II).

Viceversa, nelle N.T.C. 2018 al punto 7.11.1 indica che le verifiche agli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sia sulle azioni sia sui parametri geotecnici.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,00

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

5 AZIONI INERZIALI DELL'ACQUA CONTENUTA NEL SERBATOIO

Nelle verifiche sismiche è introdotto sul paramento di monte un carico aggiuntivo che rappresenta l'azione inerziale dell'acqua definito in coerenza con il cap. C.7.7.3 del D.M. 26 Giugno 2014.

Le azioni di inerzia dell'acqua sono calcolate assimilandole ad una distribuzione di pressione sul paramento di monte secondo la seguente espressione:

$$p = a \cdot \rho \cdot c \cdot y_0$$

dove a è l'accelerazione massima al sito, ρ la massa per unità di volume dell'acqua, y_0 la differenza di quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento e il parametro c è calcolato tramite l'espressione:

$$c = \frac{c_m}{2} \left[\frac{y}{y_0} \left(2 - \frac{y}{y_0} \right) + \sqrt{\frac{y}{y_0} \left(2 - \frac{y}{y_0} \right)} \right]$$

in cui y è la differenza di quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto generico del paramento a cui è associata la pressione p , mentre $c_m = -0.0073\alpha + 0.7412$ avendo indicato con α l'inclinazione del paramento rispetto alla verticale espresso in gradi sessagesimali. Per $\alpha \geq 60^\circ$ viene assunto $c_m = 0.3$.

L'accelerazione massima al sito tiene conto dei risultati dell'analisi di risposta sismica locale e, in particolare, del coefficiente amplificativo S funzione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.

La determinazione delle azioni sul paramento del corpo diga è calcolata considerando il livello idrometrico associato alla quota di massima regolazione di 140.0 m s.l.m. nelle verifiche sismiche con invaso pieno.

Nelle tabelle seguenti sono riportati, per ciascuno stato limite, i risultati del calcolo delle azioni inerziali dell'acqua separatamente per ciascuna sezione di calcolo del corpo diga.

y [m]	c	p SLO [kg/m ²]	p_x SLO [kg/m ²]	p_y SLO [kg/m ²]	p SLD [kg/m ²]	p_x SLD [kg/m ²]	p_y SLD [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
2.6	0.16	390	378	97	575	556	143
5.3	0.24	573	555	143	845	818	210
7.9	0.29	676	655	168	996	965	248
10.6	0.30	710	687	177	1046	1013	260

Tabella 5-1 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per la sezione CR_04.

y [m]	c	p SLV [kg/m ²]	p_x SLV [kg/m ²]	p_y SLV [kg/m ²]	p SLC [kg/m ²]	p_x SLC [kg/m ²]	p_y SLC [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
2.6	0.16	1141	1105	284	1082	1048	270
5.3	0.24	1678	1625	418	1591	1541	396
7.9	0.29	1979	1917	493	1876	1817	467
10.6	0.30	2077	2012	517	1969	1907	490

Tabella 5-2 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per la sezione CR_04.

y [m]	c	p SLO [kg/m ²]	p_x SLO [kg/m ²]	p_y SLO [kg/m ²]	p SLD [kg/m ²]	p_x SLD [kg/m ²]	p_y SLD [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
3.0	0.16	444	429	114	653	631	168
6.0	0.24	652	630	168	961	929	248
9.0	0.29	769	743	198	1133	1095	292
12.0	0.30	807	780	208	1189	1149	306

Tabella 5-3 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite di esercizio SLO e SLD per le sezioni CR_06 e CR_08.

y [m]	c	p SLV [kg/m ²]	p_x SLV [kg/m ²]	p_y SLV [kg/m ²]	p SLC [kg/m ²]	p_x SLC [kg/m ²]	p_y SLC [kg/m ²]
0.0	0.00	0	0	0	0	0	0
3.0	0.16	1298	1254	334	1231	1189	317
6.0	0.24	1909	1844	492	1810	1749	466
9.0	0.29	2251	2175	580	2134	2062	550
12.0	0.30	2362	2283	609	2240	2164	577

Tabella 5-4 – Azioni inerziali verifiche sismiche con invaso pieno per stati limite ultimi SLV e SLC per le sezioni CR_06 e CR_08.

6 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Come riportato nell'elaborato ET.06, la caratterizzazione parametrica dei materiali delle singole sub-unità è basata sulle risultanze delle indagini geognostiche in sito e di laboratorio appositamente eseguite per l'intervento in oggetto.

I parametri dei materiali adottati nel corso della presente progettazione definitiva sono rappresentati dai valori medi (V_m), avendo assunto che i parametri caratteristici (V_k) siano prossimi ai parametri nominali medi ($V_m \approx V_k$) per ciascuna sub-unità geotecnica.

Dal punto di vista geotecnico lo sbarramento della diga nello stato di progetto è suddiviso nelle seguenti sub-unità (vedere Figura 1-2):

- sub-unità LA1: corpo diga costituito da limi debolmente argillosi con clasti;
- sub-unità AL: corpo diga formato da argille debolmente limose con clasti;
- sub-unità LA2: corpo diga composto da limi argillosi con clasti;
- sub-unità SUB: substrato corpo diga caratterizzato dalla presenza di argillite con livello marnoso.

I parametri geotecnici caratteristici impiegati nelle verifiche di stabilità sono riassunti nella Tabella 6-1.

Parametri geotecnici	Unità di misura	Sub-unità LA1	Sub-unità AL	Sub-unità LA2	Sub-unità SUB	Sub-unità Scogliera	Sub-unità Deno
Peso di volume	kg/m ³	2045	1936	2109	2169	1800	1800
Peso di volume saturo	kg/m ³	2045	1936	2109	2169	2000	2000
ϕ'	°	21.6	24.2	23.4	23.6	45	30
c'	kPa	24.0	23.0	22.0	24.0	–	–
ϕ_u	°	–	–	–	–	27.3	16.6
c_u	kPa	74.0	76.0	73.0	146.0	–	–

Tabella 6-1 – Parametri geotecnici caratteristici.

7 DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità sono condotte con il programma STAP 14.0 prodotto dalla Aztec Informatica.

Le verifiche di stabilità sono eseguite con il metodo di *Bishop*.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adatterà la seguente simbologia:

l	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
b	larghezza della striscia $b = l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
c	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
u	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

7.1 METODO DI BISHOP

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di *Bishop* semplificato è espresso secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left[\frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \tan(\phi_i)}{m} \right]}{\sum_i W_i \sin(\alpha_i)}$$

dove il termine m è espresso da:

$$m = \left(1 + \frac{\tan(\phi_i) \cdot \tan(\alpha_i)}{F} \right) \cos(\alpha_i)$$

in cui n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia e u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di *Bishop* semplificato contiene al secondo membro il termine m che è funzione di F .

Quindi, essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per F da inserire nell'espressione di m ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

7.2 VALUTAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI

La stima degli spostamenti è condotta applicando l'analisi semplificata con il metodo di *Newmark*.

Il metodo di *Newmark* permette di calcolare lo spostamento residuo di una scarpata sottoposta a sisma.

Secondo il metodo originario di *Newmark*, la valutazione dello spostamento permanente della superficie di scorrimento rispetto alla formazione di base, dovuto ad un evento sismico, viene ottenuto mediante doppia integrazione dell'equazione del moto.

L'integrazione dell'accelerazione $a(t)$ viene effettuata negli intervalli temporali nei quali essa supera l'accelerazione critica K_c . L'accelerazione critica viene determinata utilizzando i metodi pseudo statici dell'equilibrio limite e corrisponde al valore minimo per il quale il fattore di sicurezza è unitario ($F_s = 1$).

Nelle ipotesi di *Newmark* l'accelerazione $a(t)$ è assunta costante lungo la superficie di scorrimento, mentre l'accelerazione critica è assunta costante nel tempo.

Lo spostamento finale della superficie (corpo di frana) è ottenuto per sommatoria degli spostamenti parziali calcolati negli intervalli temporali sopra menzionati ($a(t) > K_c$).

Gli accelerogrammi utilizzati per il calcolo dello spostamento residuo secondo *Newmark* sono rappresentativi del sito oggetto di analisi, essendo il risultato dell'analisi di risposta sismica locale.

Di seguito si riporta la metodologia adottata per determinare tali accelerogrammi.

8 CONDIZIONI DI VERIFICA

Le verifiche di stabilità sono condotte per entrambi i paramenti di monte e di valle dello sbarramento in n. 3 sezioni riportate nella planimetria di Figura 1-1.

Le condizioni indagate prendono in considerazione le combinazioni di carico riportate nella Tabella 8-1.

Azioni	Combinazioni fondamentali			Eccezionale	Combinazioni sismiche ¹			
	Serbatoio vuoto	Rapido svaso	Esercizio normale	Massima piena	SLO	SLD	SLV	SLC
Peso proprio	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Spinta idrostatica			SI ²	SI ³	SI	SI	SI	SI
Sovraccarico sommità 2'000 kg/m ²	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Azione sismica					SI	SI	SI	SI

Tabella 8-1 – Combinazioni di carico verifiche di stabilità.

Per ciascuna sezione sono individuate n. 29 verifiche, di cui n. 13 per il paramento di valle e n. 16 per il paramento di monte:

- **Verifica 01:** verifica paramento di **valle**; verifica a lungo termine tensioni efficaci; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; serbatoio vuoto.
- **Verifica 02:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; serbatoio vuoto.
- **Verifica 03:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLO; serbatoio vuoto.
- **Verifica 04:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLD; serbatoio vuoto.
- **Verifica 05:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLV; serbatoio vuoto.
- **Verifica 06:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLC; serbatoio vuoto.
- **Verifica 07:** verifica paramento di **valle**; verifica a lungo termine tensioni efficaci; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 08:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLO; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 09:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLD; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 10:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLV; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 11:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLC; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 12:** verifica paramento di **valle**; verifica a lungo termine tensioni efficaci; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; invaso alla quota di massima piena.

¹ Eseguite nei casi di serbatoio pieno, serbatoio vuoto e rapido svaso (solo per il paramento di monte).

² Quota di massima regolazione pari a 185.7 m s.l.m..

³ Quota di massimo invaso per la portata di piena millenaria pari a 187.35 m s.l.m. (solo per il paramento di valle).

- **Verifica 13:** verifica paramento di **valle**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; invaso alla quota di massima piena.
- **Verifica 14:** verifica paramento di **monte**; verifica a lungo termine tensioni efficaci; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; serbatoio vuoto.
- **Verifica 15:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; serbatoio vuoto.
- **Verifica 16:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLO; serbatoio vuoto.
- **Verifica 17:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLD; serbatoio vuoto.
- **Verifica 18:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLV; serbatoio vuoto.
- **Verifica 19:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLC; serbatoio vuoto.
- **Verifica 20:** verifica paramento di **monte**; verifica a lungo termine tensioni efficaci; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 21:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLO; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 22:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLD; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 22:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLV; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 24:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLC; invaso alla quota di massima regolazione.
- **Verifica 25:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; senza sisma; rapido svasso del serbatoio.
- **Verifica 26:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLO; rapido svasso del serbatoio.
- **Verifica 27:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLD; rapido svasso del serbatoio.
- **Verifica 28:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLV; rapido svasso del serbatoio.
- **Verifica 29:** verifica paramento di **monte**; verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m²; con sisma SLC; rapido svasso del serbatoio.

9 VERIFICHE DELLO STATO DI PROGETTO

Gli interventi volti a garantire la stabilità del corpo diga prevedono di ridurre sia l'altezza dello sbarramento che la pendenza dei paramenti di monte e di valle.

In particolare, si prevede di:

- abbassare la quota del coronamento di circa 7.0 m dalla quota di circa 150.06 m s.l.m. alla quota di 143.30 m s.l.m.;
- realizzare un paramento di monte con pendenza 1:3.75 nel tratto compreso tra il fondo del serbatoio di progetto a 128.0 m s.l.m. e la sommità dello sbarramento senza prevedere banche intermedie;
- realizzare un paramento di valle con pendenza 1:4.25 in ogni tratto in cui è suddiviso il pendio compreso tra il piano campagna di progetto a 118.20 m s.l.m. e la sommità dello sbarramento. Sul paramento di valle sono previste due banche, la prima alla quota di 127.0 m s.l.m. e la seconda alla quota di 135.0 m s.l.m..

Nella Tabella 9-1 sono riassunti i risultati conseguiti dalle verifiche di stabilità eseguite per la sezione CR_04, nella Tabella 9-2 quelli ottenuti per la sezione CR_06 e nella Tabella 9-3 quelli determinati per la sezione CR_08.

La sezione CR_06 è quella risultata maggiormente critica, ovvero la sezione contraddistinta dai valori di sicurezza minori e spostamenti maggiori a parità di verifica.

Dall'analisi dei risultati si evince che **a seguito degli interventi il corpo diga rispetta i coefficienti di sicurezza previsti dal D.M. del 26 giugno 2014** in assenza di azioni sismiche.

Nelle condizioni sismiche per gli stati limite di esercizio (SLO e SLD) si verificano spostamenti complessivamente trascurabili.

Per gli stati limite di operatività gli spostamenti sono dell'ordine del centrimetro, mentre per gli stati limite di danno gli spostamenti massimi sono inferiori a 3 cm.

Nelle condizioni sismiche per gli stati limite ultimi (SLV e SLC) si verificano spostamenti complessivamente contenuti.

Per gli stati limite di salvaguardia della vita lo spostamento massimo è pari a circa 27 centimetri (paramento di monte sezione CR_06 in condizioni di serbatoio vuoto e rapido svaso), mentre per gli stati limite di collasso lo spostamento massimo è di circa 33 cm (paramento di monte sezione CR_06 in condizioni di serbatoio vuoto e rapido svaso).

I tabulati delle verifiche di stabilità della sezione CR_04 sono riportati nell'elaborato ET.15a, quelli delle verifiche della sezione CR_06 sono riportati nell'elaborato ET.15b e quelli delle verifiche della sezione CR_08 sono riportati nell'elaborato ET.15c.

n. [#]	Paramento	Cond. idrauliche	Sisma	Condizioni	Fs Bishop	Newmark			D.M. 2014
						Vel. max [m/s]	Spost. max [m]	Superficie [#]	γ_R
01	Valle	Invaso vuoto	Senza	Drenate	4.140	-	-	-	1.2
02	Valle	Invaso vuoto	Senza	Non drenate	4.192	-	-	-	1.1
03	Valle	Invaso vuoto	SLO	Non drenate	1.447	-	-	-	1.1
04	Valle	Invaso vuoto	SLD	Non drenate	1.021	0.000000	0.000000	1	
05	Valle	Invaso vuoto	SLV	Non drenate	0.536	0.031089	0.001181	1	
06	Valle	Invaso vuoto	SLC	Non drenate	0.564	0.041650	0.002960	1	
07	Valle	Esercizio	Senza	Drenate	4.140	-	-	-	1.2
08	Valle	Esercizio	SLO	Non drenate	1.442	-	-	-	1.1
09	Valle	Esercizio	SLD	Non drenate	1.018	0.000000	0.000000	1	
10	Valle	Esercizio	SLV	Non drenate	0.535	0.031298	0.001214	1	
11	Valle	Esercizio	SLC	Non drenate	0.563	0.041868	0.002999	1	
12	Valle	Max piena	Senza	Drenate	4.140	-	-	-	1.2
13	Valle	Max piena	Senza	Non drenate	4.193	-	-	-	1.1
14	Monte	Invaso vuoto	Senza	Drenate	2.021	-	-	-	1.2
15	Monte	Invaso vuoto	Senza	Non drenate	1.887	-	-	-	1.1
16	Monte	Invaso vuoto	SLO	Non drenate	0.930	0.000000	0.000000	1	
17	Monte	Invaso vuoto	SLD	Non drenate	0.712	0.001983	0.000026	15	
18	Monte	Invaso vuoto	SLV	Non drenate	0.386	0.091160	0.011271	219	
19	Monte	Invaso vuoto	SLC	Non drenate	0.406	0.109440	0.019765	205	
20	Monte	Esercizio	Senza	Drenate	2.407	-	-	-	1.2
21	Monte	Esercizio	SLO	Non drenate	1.121	-	-	-	1.1
22	Monte	Esercizio	SLD	Non drenate	0.830	0.000000	0.000000	1	
23	Monte	Esercizio	SLV	Non drenate	0.453	0.055010	0.004701	22	
24	Monte	Esercizio	SLC	Non drenate	0.475	0.073289	0.008391	29	
25	Monte	Rapido svaso	Senza	Non drenate	1.861	-	-	-	1.1
26	Monte	Rapido svaso	SLO	Non drenate	0.923	0.000000	0.000000	1	
27	Monte	Rapido svaso	SLD	Non drenate	0.712	0.003204	0.000061	72	
28	Monte	Rapido svaso	SLV	Non drenate	0.385	0.091105	0.011258	229	
29	Monte	Rapido svaso	SLC	Non drenate	0.405	0.109350	0.019728	232	

Tabella 9-1 – Verifiche di stabilità dello stato di progetto condotte secondo D.M. 26/06/2014 per la sezione CR_04.

n. [#]	Paramento	Cond. idrauliche	Sisma	Condizioni	Fs Bishop	Newmark			D.M. 2014
						Vel. max [m/s]	Spost. max [m]	Superficie [#]	γ_R
01	Valle	Invaso vuoto	Senza	Drenate	2.309	-	-	-	1.2
02	Valle	Invaso vuoto	Senza	Non drenate	1.799	-	-	-	1.1
03	Valle	Invaso vuoto	SLO	Non drenate	0.754	0.009597	0.000361	2	
04	Valle	Invaso vuoto	SLD	Non drenate	0.577	0.022024	0.001609	19	
05	Valle	Invaso vuoto	SLV	Non drenate	0.321	0.149950	0.036715	214	
06	Valle	Invaso vuoto	SLC	Non drenate	0.337	0.167005	0.055804	193	
07	Valle	Esercizio	Senza	Drenate	2.160	-	-	-	1.2
08	Valle	Esercizio	SLO	Non drenate	0.751	0.009918	0.000377	4	
09	Valle	Esercizio	SLD	Non drenate	0.569	0.022368	0.001678	56	
10	Valle	Esercizio	SLV	Non drenate	0.311	0.150843	0.037331	265	
11	Valle	Esercizio	SLC	Non drenate	0.327	0.167953	0.056595	251	
12	Valle	Max piena	Senza	Drenate	2.159	-	-	-	1.2
13	Valle	Max piena	Senza	Non drenate	1.791	-	-	-	1.1
14	Monte	Invaso vuoto	Senza	Drenate	1.865	-	-	-	1.2
15	Monte	Invaso vuoto	Senza	Non drenate	1.244	-	-	-	1.1
16	Monte	Invaso vuoto	SLO	Non drenate	0.597	0.047946	0.011338	76	
17	Monte	Invaso vuoto	SLD	Non drenate	0.451	0.077085	0.028299	8	
18	Monte	Invaso vuoto	SLV	Non drenate	0.264	0.443165	0.272900	189	
19	Monte	Invaso vuoto	SLC	Non drenate	0.277	0.512483	0.334202	175	
20	Monte	Esercizio	Senza	Drenate	2.273	-	-	-	1.2
21	Monte	Esercizio	SLO	Non drenate	0.747	0.006130	0.000210	3	
22	Monte	Esercizio	SLD	Non drenate	0.563	0.018777	0.001005	11	
23	Monte	Esercizio	SLV	Non drenate	0.316	0.141472	0.030981	25	
24	Monte	Esercizio	SLC	Non drenate	0.331	0.158961	0.048516	24	
25	Monte	Rapido svaso	Senza	Non drenate	1.246	-	-	-	1.1
26	Monte	Rapido svaso	SLO	Non drenate	0.602	0.047430	0.011027	64	
27	Monte	Rapido svaso	SLD	Non drenate	0.452	0.076283	0.027500	8	
28	Monte	Rapido svaso	SLV	Non drenate	0.265	0.438714	0.267717	195	
29	Monte	Rapido svaso	SLC	Non drenate	0.278	0.508031	0.328551	176	

Tabella 9-2 – Verifiche di stabilità dello stato di progetto condotte secondo D.M. 26/06/2014 per la sezione CR_06.

n. [#]	Paramento	Cond. idrauliche	Sisma	Condizioni	Fs Bishop	Newmark			D.M. 2014
						Vel. max [m/s]	Spost. max [m]	Superficie [#]	γ_R
01	Valle	Invaso vuoto	Senza	Drenate	2.021	-	-	-	1.2
02	Valle	Invaso vuoto	Senza	Non drenate	1.499	-	-	-	1.1
03	Valle	Invaso vuoto	SLO	Non drenate	0.645	0.025459	0.002298	9	
04	Valle	Invaso vuoto	SLD	Non drenate	0.502	0.044650	0.008424	27	
05	Valle	Invaso vuoto	SLV	Non drenate	0.294	0.235429	0.097730	59	
06	Valle	Invaso vuoto	SLC	Non drenate	0.307	0.304624	0.135347	55	
07	Valle	Esercizio	Senza	Drenate	1.874			-	1.2
08	Valle	Esercizio	SLO	Non drenate	0.644	0.025734	0.002352	9	
09	Valle	Esercizio	SLD	Non drenate	0.500	0.045185	0.008609	33	
10	Valle	Esercizio	SLV	Non drenate	0.292	0.239919	0.100299	64	
11	Valle	Esercizio	SLC	Non drenate	0.305	0.309040	0.138142	60	
12	Valle	Max piena	Senza	Drenate	1.874	-	-	-	1.2
13	Valle	Max piena	Senza	Non drenate	1.495	-	-	-	1.1
14	Monte	Invaso vuoto	Senza	Drenate	1.872	-	-	-	1.2
15	Monte	Invaso vuoto	Senza	Non drenate	1.367	-	-	-	1.1
16	Monte	Invaso vuoto	SLO	Non drenate	0.676	0.026371	0.002523	37	
17	Monte	Invaso vuoto	SLD	Non drenate	0.532	0.046379	0.009028	107	
18	Monte	Invaso vuoto	SLV	Non drenate	0.293	0.230262	0.094844	145	
19	Monte	Invaso vuoto	SLC	Non drenate	0.309	0.299726	0.132272	37	
20	Monte	Esercizio	Senza	Drenate	2.255	-	-	-	1.2
21	Monte	Esercizio	SLO	Non drenate	0.834	0.000863	0.000010	1	
22	Monte	Esercizio	SLD	Non drenate	0.633	0.008429	0.000298	38	
23	Monte	Esercizio	SLV	Non drenate	0.355	0.115800	0.019186	116	
24	Monte	Esercizio	SLC	Non drenate	0.372	0.133814	0.031686	117	
25	Monte	Rapido svaso	Senza	Non drenate	1.369	-	-	-	1.1
26	Monte	Rapido svaso	SLO	Non drenate	0.679	0.025901	0.002419	42	
27	Monte	Rapido svaso	SLD	Non drenate	0.528	0.045508	0.008721	116	
28	Monte	Rapido svaso	SLV	Non drenate	0.292	0.227016	0.093046	109	
29	Monte	Rapido svaso	SLC	Non drenate	0.305	0.296280	0.130120	117	

Tabella 9-3 – Verifiche di stabilità dello stato di progetto condotte secondo D.M. 26/06/2014 per la sezione CR_08.