

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



PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato	Nome Elaborato:	Scala:
ET11	RELAZIONE VERIFICHE DI STABILITÀ FRONTI DI SCAVO	-
		Data:
		09/10/2020

Settore:  Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 – ISO14001 – OHSAS18001 – SA8000	
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. ANDREA DE CATERINI	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : ING. LEONARDO ROSSI

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
02	09/10/2020	Seconda Emissione	Pianigiani	Settesoldi
01	27/12/2019	Prima Emissione	Catella	Settesoldi

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI	7
4	VERIFICHE DI STABILITÀ.....	8
5	PARAMETRI SISMICI	9
6	DESCRIZIONE DEI METODI DI CALCOLO	10
6.1	METODO DI BISHOP	10
7	CONDIZIONI DI VERIFICA E SINTESI RISULTATI	12

ELENCO FIGURE

Figura 1-1 – Planimetria sezioni di verifica (scala 1:1'000)	5
Figura 1-2 – Profilo stratigrafico fronte di scavo sezione corpo diga CR_08	6
Figura 1-3 – Profilo stratigrafico fronte di scavo sezione canale scolmatore SF012	6

ELENCO TABELLE

Tabella 3-1 – Parametri geotecnici caratteristici	7
Tabella 4-1 – Estratto Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (N.T.C. 2018)	8
Tabella 4-2 – Estratto Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (N.T.C. 2018)	8
Tabella 4-3 – Estratto Tabella 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo	8
Tabella 5-1 – Parametri sismici di base e dipendenti scavi provvisionali corpo diga	9
Tabella 5-2 – Parametri sismici di base e dipendenti scavi provvisionali canale scolmatore	9
Tabella 7-1 – Verifiche di stabilità fronte di scavo diga condotte secondo N.T.C. 2018 per la sezione CR_08	13
Tabella 7-2 – Verifiche di stabilità fronti di scavo scolmatore condotte secondo N.T.C. 2018 per la sezione SF012	13

1 PREMESSA

La presente relazione espone i risultati delle verifiche di stabilità dei fronti di scavo del paramento di valle del corpo diga, nel corso della realizzazione del dreno, e dei versanti, nel corso della realizzazione del canale scolmatore.

Le verifiche sono condotte per le seguenti sezioni:

- sezione CR_08 per il corpo diga;
- sezione SF012 per il canale scolmatore.

Le **verifiche di stabilità** sono state condotte con il programma *Stap Terreni 14.0* della *Aztec*.

La planimetria delle sezioni di verifica è riportata nella Figura 1-1.

Nella Figura 1-2 è rappresentato il profilo della sezione di scavo in corrispondenza del corpo diga (sezione CR_08) con le stratigrafie dei terreni costituenti lo sbarramento e la fondazione.

Nella Figura 1-3 è riprodotto il profilo della sezione di scavo del canale scolmatore (sezione SF012) con le stratigrafie del terreno ed i profili dello stato attuale e di progetto.

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)

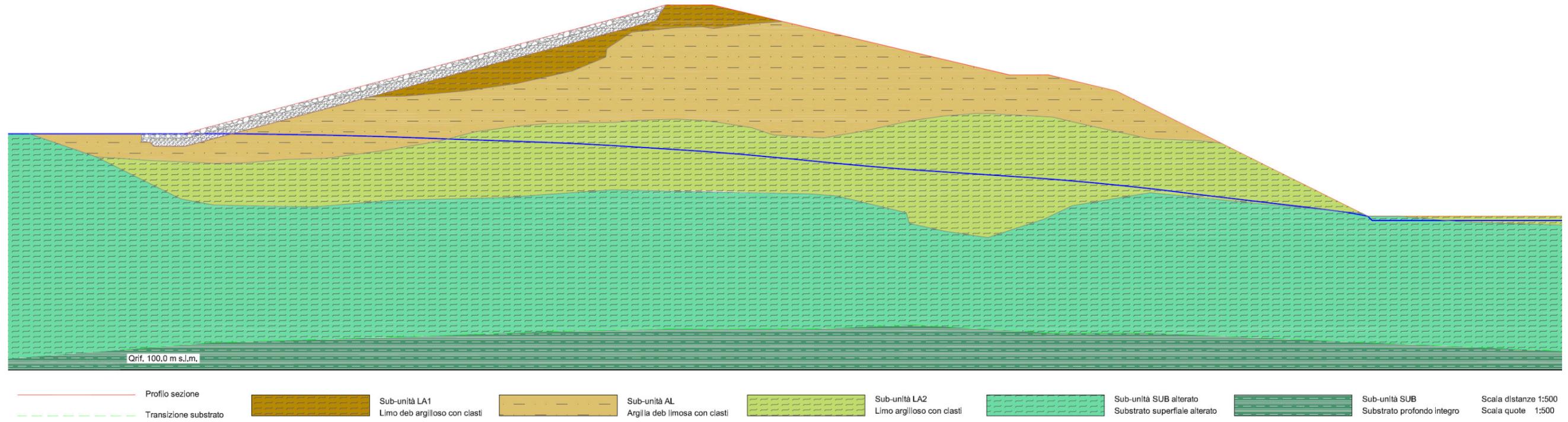


Figura 1-2 – Profilo stratigrafico fronte di scavo sezione corpo diga CR_08

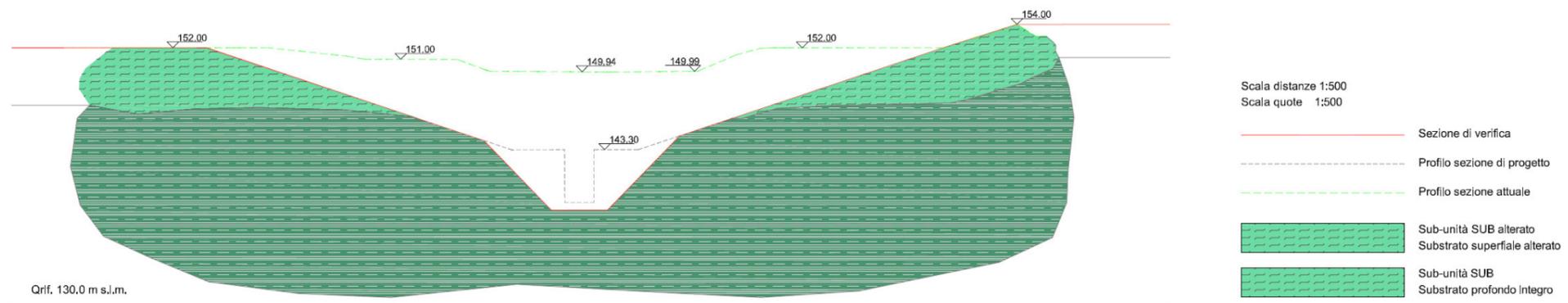


Figura 1-3 – Profilo stratigrafico fronte di scavo sezione canale scolmatore SF012

3 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Come riportato negli elaborati *ET.04a* ed *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.

Dal punto di vista geotecnico lo sbarramento della diga nello stato di progetto e lo scolmatore sono suddivisi nelle seguenti sub-unità (vedere Figura 1-2 e Figura 1-3):

- **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 presenta di argillite con livello marnoso.

I parametri geotecnici caratteristici di tutti i materiali impiegati nelle verifiche di stabilità sono riassunti nella Tabella 3-1.

Parametri geotecnici	Unità di misura	Sub-unità LA1	Sub-unità AL	Sub-unità LA2	Sub-unità SUB
<i>Peso di volume</i>	kg/m ³	2045	1936	2109	2169
<i>Peso di volume saturo</i>	kg/m ³	2045	1936	2109	2169
ϕ'	°	21.6	24.2	23.4	23.6
c'	kPa	24.0	23.0	22.0	24.0
ϕ_u	°	–	–	–	–
c_u	kPa	74.0	76.0	73.0	146.0

Tabella 3-1 – Parametri geotecnici caratteristici

4 VERIFICHE DI STABILITÀ

Le verifiche di stabilità sono effettuate con l' **Approccio 1**, con riferimento alla **Combinazione 2 (A2+M2+R2)**, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabella 4-1, nella Tabella 4-2 e nella Tabella 4-3.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti G_2	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

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

Tabella 4-1 – Estratto Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (N.T.C. 2018)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	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 4-2 – Estratto Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (N.T.C. 2018)

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Tabella 4-3 – Estratto Tabella 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

In condizioni simiche sono applicati i coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici definiti dalle N.T.C. 2018 come indicato al punto 7.11.1 per cui le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale $\gamma_R = 1.2$.

5 PARAMETRI SISMICI

Le verifiche sismiche sono condotte, per ogni stato limite, utilizzando i parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c^* ed i parametri sismici dipendenti S , T_B , T_C , secondo quanto indicato nell'elaborato ET.04b.

Stato limite	P_{Vr} [%]	Tr [anni]	a_g/g	a_g [m/s ²]	F_0	T_c^* [s]	S	T_B [s]	T_C [s]
SLD	63	35	0.059	0.579	2.476	0.253	1.630	0.112	0.279
SLV	10	332	0.152	1.491	2.407	0.283	0.940	0.117	0.186

Tabella 5-1 – Parametri sismici di base e dipendenti scavi provvisionali corpo diga

Stato limite	P_{Vr} [%]	Tr [anni]	a_g/g	a_g [m/s ²]	F_0	T_c^* [s]	S	T_B [s]	T_C [s]
SLD	63	35	0.059	0.579	2.476	0.253	1.080	0.129	0.419
SLV	10	332	0.152	1.491	2.407	0.283	1.114	0.120	0.311

Tabella 5-2 – Parametri sismici di base e dipendenti scavi provvisionali canale scolmatore

Il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_s è assunto pari a **0.38** nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV) e pari a **0.47** in quelle dello stato limite di esercizio (SLD), secondo quanto riportato al punto 7.11.4 delle N.T.C. 2018.

6 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 (impostazione delle superfici di rottura, condizioni di esclusione, numero di superfici analizzate) e che sono riportate nella corrispondente sezione negli elaborati ET.08a, ET.08b ed ET.08c "Tabulati delle verifiche di stabilità". Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà 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 $\Delta E = E_d - E_s$

6.1 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 CONDIZIONI DI VERIFICA E SINTESI RISULTATI

Le verifiche di stabilità sono condotte per il fronte di scavo sul paramento di valle dello sbarramento e per entrambi i fronti di scavo destro e sinistro del canale scolmatore in corrispondenza delle sezioni riportate nella planimetria di Figura 1-1.

Per il **fronte di scavo del corpo diga** sono individuate n. **3 verifiche**:

- **Verifica 01:** verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico 2000 kg/m² sul coronamento; senza sisma; serbatoio vuoto.
- **Verifica 02:** verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m² sul coronamento; con sisma SLD; serbatoio vuoto.
- **Verifica 03:** verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico coronamento 2000 kg/m² sul coronamento; con sisma SLV; serbatoio vuoto.

Per i **fronti di scavo del canale scolmatore** sono individuate n. **6 verifiche**:

- **Verifica 01:** verifica **sponda destra**, verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico 2000 kg/m² sulla sommità dello scavo; senza sisma; con falda a 128.0 m s.l.m..
- **Verifica 02:** verifica **sponda destra**, verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico 2000 kg/m² sulla sommità dello scavo; con sisma SLD; con falda a 128.0 m s.l.m..
- **Verifica 03:** verifica **sponda destra**, verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico 2000 kg/m² sulla sommità dello scavo; con sisma SLV; con falda a 128.0 m s.l.m..
- **Verifica 04:** verifica **sponda sinistra**, verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico 2000 kg/m² sulla sommità dello scavo; senza sisma; con falda a 128.0 m s.l.m..
- **Verifica 05:** verifica **sponda sinistra**, verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico 2000 kg/m² sulla sommità dello scavo; con sisma SLD; con falda a 128.0 m s.l.m..
- **Verifica 06:** verifica **sponda sinistra**, verifica a breve termine tensioni totali; sovraccarico 2000 kg/m² sulla sommità dello scavo; con sisma SLV; con falda a 128.0 m s.l.m..

I risultati delle verifiche sono sintetizzati nella Tabella 7-1 per il fronte di scavo al piede del paramento di valle del corpo diga, in corrispondenza della sezione CR_08, e nella Tabella 7-2 per entrambe le sponde del canale scolmatore, in corrispondenza dello scavo della sezione SF012.

Tutte le verifiche sono state condotte nel rispetto della normativa vigente ed eseguite con il metodo di *Bishop*.

n. [#]	Paramento	Cond. idrauliche	Sisma	Condizioni	<i>F_s</i> <i>Bishop</i>	NTC 2018
						γ_R
01	Valle	Invaso vuoto	Senza	Non drenate	1.342	1.1
02	Valle	Invaso vuoto	SLD	Non drenate	1.566	1.2
03	Valle	Invaso vuoto	SLV	Non drenate	1.221	1.2

Tabella 7-1 – Verifiche di stabilità fronte di scavo diga condotte secondo N.T.C. 2018 per la sezione **CR_08**

n. [#]	Sponda	Cond. idrauliche	Sisma	Condizioni	<i>F_s</i> <i>Bishop</i>	NTC 2018
						γ_R
01	Destra	Falda	Senza	Non drenate	2.053	1.1
02	Destra	Falda	SLD	Non drenate	2.450	1.2
03	Destra	Falda	SLV	Non drenate	1.972	1.2
04	Sinistra	Falda	Senza	Non drenate	2.304	1.1
05	Sinistra	Falda	SLD	Non drenate	2.772	1.2
06	Sinistra	Falda	SLV	Non drenate	2.335	1.2

Tabella 7-2 – Verifiche di stabilità fronti di scavo scolmatore condotte secondo N.T.C. 2018 per la sezione **SF012**