POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

ANALISI NUMERICHE AGLI ELEMENTI FINITI PER LA VALUTAZIONE DELLA STABILITA' DI TAILING DAMS

Original
ANALISI NUMERICHE AGLI ELEMENTI FINITI PER LA VALUTAZIONE DELLA STABILITA' DI TAILING DAMS / Bella, Gianluca; Sacco, Sara. - STAMPA. - ATTI DI CONVEGNO - INCONTRO ANNUALE GIOVANI INGEGNERI GEOTECNICI:(2019), pp. 6-9. (Intervento presentato al convegno 9° IAGIG Incontro Annuale dei Giovani Ingegneri Geotecnici, Napoli (IT), 10-11 maggio 2019 tenutosi a Napoli nel 10-11 maggio 2019).

Availability:
This version is available at: 11583/2726893 since: 2021-04-22T23:21:54Z

Publisher:
Associazione Geotecnica Italiana

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

25 April 2024

ANALISI NUMERICHE AGLI ELEMENTI FINITI PER LA VALUTAZIONE DELLA STABILITA' DI TAILING DAMS

Gianluca Bella (gianlucabella1989@libero.it)
Pini Swiss Engineers, Lugano, Svizzera

Sara Sacco (sara.sacco95@gmail.com)
RS Studio Associato di Ingegneria di Raina Marco & Sacco Paolo, Busca, Italia

ABSTRACT. La nota presenta i risultati di una ricerca volta ad indagare la rilevanza di alcuni fattori nelle analisi di stabilità dei bacini di decantazione di sterili minerari (tailing dams). L'influenza del metodo costruttivo sulla stabilità è stata studiata riproducendo agli elementi finiti le più comuni modalità di elevazione degli sbarramenti. Ulteriori analisi sono state condotte introducendo la presenza di materiale in condizioni secche o sature all'interno del bacino di decantazione. Successivamente la stabilità dell'opera è stata valutata in relazione alle dimensioni di eventuali dreni e alla distanza del "lago di decantazione" dal paramento di monte dello sbarramento. Infine, analisi di sensitività condotte singolarmente per differenti metodi di elevazione hanno consentito la valutazione della stabilità in relazione al degrado delle proprietà di resistenza al taglio dei fanghi deposti.

1. INTRODUZIONE

I bacini di deposito dei materiali di risulta delle coltivazioni minerarie sono strutture geotecniche la cui stabilità deve essere garantita per un periodo superiore a 1000 anni (ANCOLD, 2011). Generalmente esse si compongono di uno sbarramento realizzato con la frazione più grossolana del materiale di risulta mentre nel bacino, soggetto a molteplici interazioni con l'atmosfera e l'ambiente circostante (Zanardin *et al.*, 2009), viene depositatala la frazione più fine in forma più o meno liquida. Lo sbarramento viene successivamente innalzato in molteplici fasi seguendo differenti tecniche: il metodo a monte, quello centrale e quello a valle (Vick, 1990). Vi è quindi una marcata variabilità spaziale e temporale nelle proprietà geo-meccaniche dei materiali costituenti. La complessità di tali strutture comporta un elevato tasso di incidenti o collassi (Rico *et al.*, 2010) associati a differenti cause quali liquefazione statica/dinamica, intense precipitazioni, fenomeni erosivi o problematiche nei sistemi di gestione/drenaggio delle acque. Le conseguenze sociali, economiche e ambientali impongono quindi un'attenta progettazione che dovrebbe considerare alcuni fattori fondamentali ai fini di garantire un adeguato livello di sicurezza in termini di stabilità del rilevato.

La presente ricerca ha dunque l'obiettivo di studiare la stabilità dello sbarramento in relazione a diversi fattori. A tal fine sono stati creati modelli numerici semplificati agli elementi finiti (FEM) di un ipotetico bacino. Analisi meccaniche e idrauliche sono state condotte valutando il livello di sicurezza in funzione della modalità costruttiva dello sbarramento, della presenza di sistemi di drenaggio a geometria variabile posti al piede della diga, della distanza del lago di decantazione rispetto al paramento di monte dello sbarramento ed infine della resistenza a taglio in termini di coesione e angolo di attrito dei materiali.

2. CASO STUDIO: MODELLO E ANALISI

Le analisi di stabilità sono state effettuate con riferimento ad un bacino costituito da uno strato superficiale di tailings con minor resistenza al taglio ed uno inferiore costituito da tailings maggiormente addensati. I parametri stimati di resistenza al taglio, deformabilità e idraulici sono riportati in Tabella 1. Lo sbarramento, di altezza 30 m e pendenza 2:1, è modellato simulando il metodo a monte, il metodo centrale e il metodo a valle (*Figura 1*). Bacino e sbarramento sono fondati su un basamento in roccia con inclinazione pari al 3%. Le analisi numeriche FEM, meccaniche e idrauliche, sono state condotte utilizzando il software RS2 (RocScience), una maglia di 3111 elementi triangolari e fattore di sicurezza valutato iterativamente mediante la procedura automatizzata SRF (Strength Reduction Factor). I materiali inoltre sono stati modellati mediante il modello costitutivo di Mohr-Coulomb elastico perfettamente plastico. Infine le analisi idrauliche sono state effettuate imponendo le opportune condizioni al contorno in termini di carico idraulico totale e pressione neutra.

Tabella 1. Peso per unità di volume (γ), coesione (c'), angolo di resistenza al taglio (Φ), modulo elastico (E), coefficiente di Poisson (ν), conducibilità idraulica (k_s), rapporto tra conducibilità orizzontale e verticale (k_h/k_v).

MATERIALE	γ [kN/m^3]	c' [kPa]	Φ [°]	E [MPa]	ν [-]	k_s [m/s]	k_h/k_v [-]
Tailings diga	21.0	8	35	120	0.3	$7\cdot10^{-7}$	1
Tailings bacino - addensati	16.0	12	18	10	0.3	$2\cdot10^{-7}$	10
Tailings bacino - fanghi	15.0	0	5	2	0.3	$3\cdot10^{-5}$	4
Fondazione	27.0	1'000	40	2'000	0.3	$1\cdot10^{-9}$	1

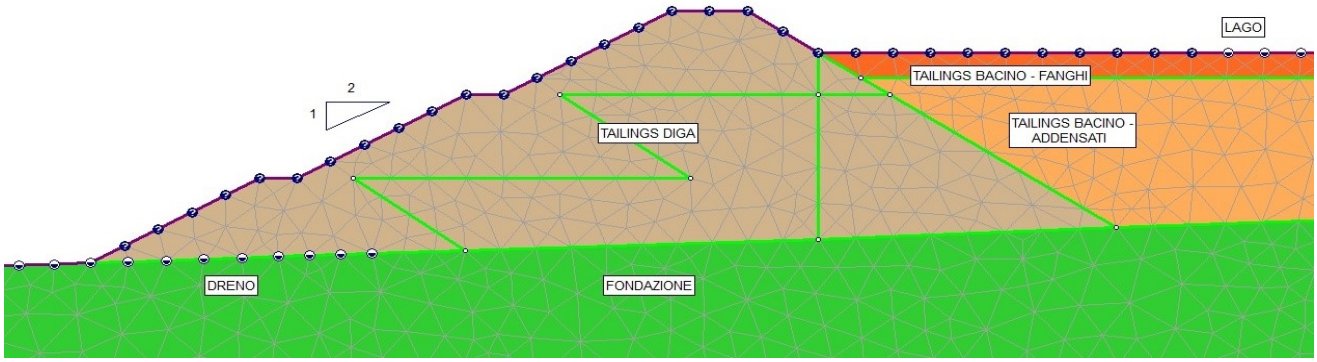

Figura 1. Modello agli elementi finiti dello sbarramento e del bacino (es. metodo a valle) con indicazioni dei materiali e delle condizioni idrauliche al contorno.

3. RISULTATI E COMMENTI

Le prime analisi hanno valutato la stabilità dello sbarramento in funzione del metodo costruttivo (a monte, a valle e centrale) nell'ipotesi di saturazione nulla dei tailings depositati (*Figura 2*, linea nera continua). Successivamente le medesime analisi sono state ripetute ipotizzando che i tailings fossero deposti in condizioni sature e dunque imponendo la presenza di una linea piezometrica (*Figura 2*, linea nera puntinata). In entrambi i casi è possibile osservare che il metodo a monte sia quello che offre un minor livello di sicurezza alla stabilità rispetto ai metodi centrale o a valle, i quali presentano fattori di sicurezza comparabili. Si osserva inoltre che la presenza d'acqua comporta, indipendentemente dal metodo di elevazione, un abbattimento del fattore di sicurezza di circa il 30%.

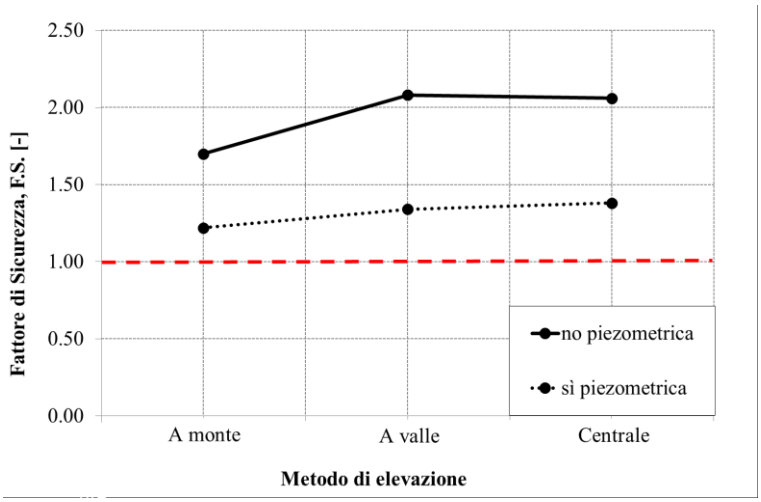

Figura 2. Fattore di sicurezza in funzione del metodo di elevazione in assenza di falda (linea nera continua) e in presenza di falda (linea nera puntinata).

La stabilità dello sbarramento si è rivelata fortemente dipendente anche dalla geometria di un eventuale dreno posto alla base dello sbarramento (*Figura 3*). Si osserva infatti che per tutti e tre i metodi di elevazione la lunghezza del dreno ha un ruolo determinante nella stabilità dello sbarramento, con variazioni di circa il 30÷40% del fattore di sicurezza. I metodi centrale e a monte forniscono risultati pressoché comparabili con un andamento asintotico per lunghezze del dreno superiori a 40 m.

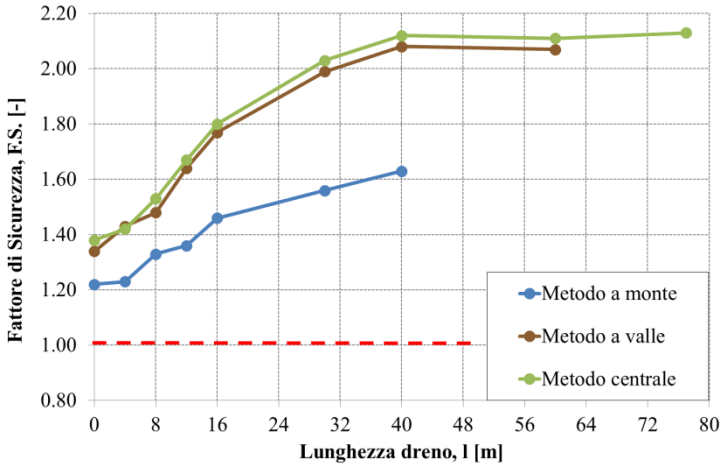

Figura 3. Fattore di sicurezza in funzione della lunghezza del dreno installato al piede dello sbarramento con riferimento alle tre tecniche di elevazione.

Ulteriori analisi FEM hanno evidenziato, in relazione ai tre metodi di elevazione, il ruolo della distanza del lago di decantazione rispetto al paramento di monte dello sbarramento (*Figura 4*). La stabilità dello sbarramento risulta fortemente dipendente da tale distanza nel caso la diga sia innalzata con la tecnica a monte (linea blu), mentre un effetto più modesto si osserva laddove venga utilizzato il metodo centrale (linea verde) o a valle (linea marrone). Anche in questo caso, le analisi numeriche mostrano che i metodi a valle e centrale sono pressoché comparabili in termini di fattore di sicurezza.

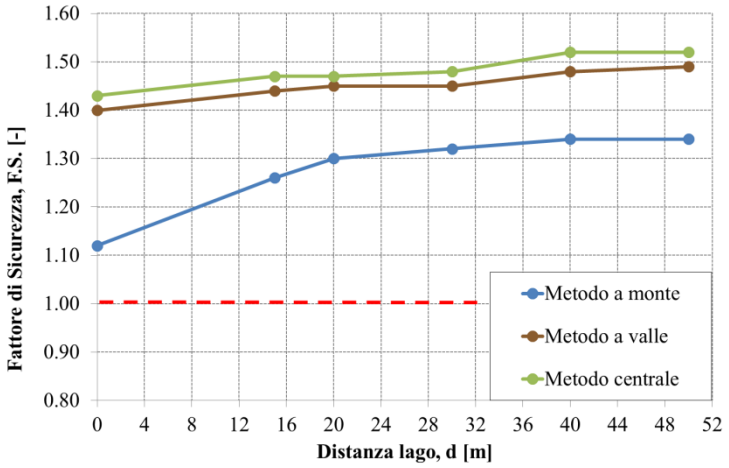

Figura 4. Fattore di sicurezza in funzione della distanza del lago dal paramento di monte dello sbarramento con riferimento alle tre tecniche di elevazione.

In conclusione è stata valutata la stabilità dello sbarramento in relazione alle caratteristiche meccaniche di resistenza al taglio dei tailings deposti (*Figura 5*). In particolare sono state condotte analisi di sensitività, per ognuna delle tre tecniche costruttive, al variare della coesione o dell'angolo di attrito del materiale saturo. Anche in questo caso il metodo a monte risulta quello più sensibile alle variazioni delle proprietà meccaniche del materiale depositato nel bacino. Si osservano infatti variazioni significative del fattore di sicurezza per bassi valori di coesione e angolo di attrito, sino a compromettere la stabilità del rilevato laddove il fattore di sicurezza risulti inferiore all'unità.

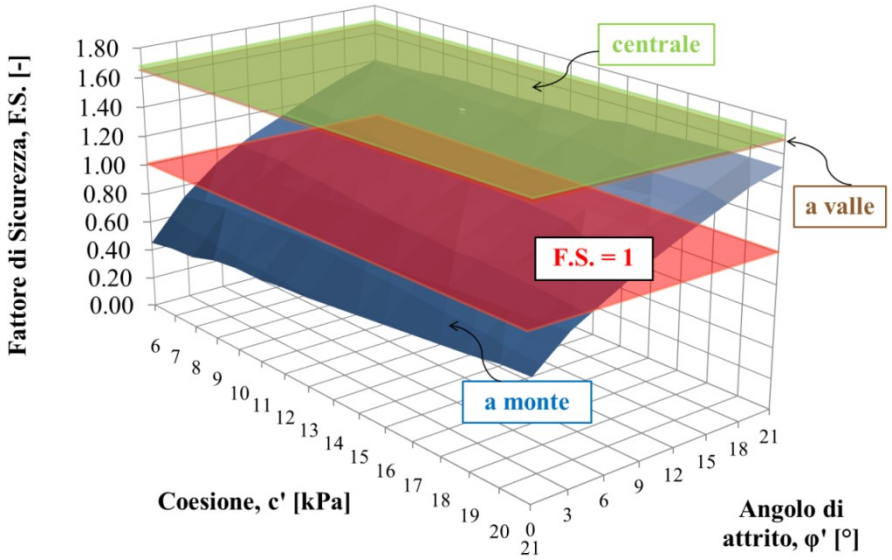

Figura 5. Visualizzazione tridimensionale del fattore di sicurezza in relazione alle variazioni delle proprietà di resistenza al taglio dei tailings addensati deposti all'interno del bacino, con riferimento alle tre tecniche di elevazione.

Si osserva infine che, nel caso venga applicata la tecnica di elevazione a valle o centrale, la stabilità dello sbarramento (piani sub-orizzontali marrone e verde) è poco sensibile alle variazioni di proprietà geotecniche.

4. CONCLUSIONI

In virtù della complessità geotecnica dei bacini di decantazione degli sterili minerari, la stabilità di un ipotetico sbarramento è stata studiata mediante modelli semplificati agli elementi finiti, in relazione a differenti fattori ritenuti significativi.

La necessità di considerare il materiale deposto in condizioni sature o di considerare differenze della lunghezza di dreni alla base del rilevato, porta a considerevoli variazioni del fattore di sicurezza, indipendentemente dal metodo di elevazione dello sbarramento. Analisi aggiungive hanno evidenziato che la distanza dello stagno di decantazione dal paramento della diga sia di notevole rilevanza, in particolare per il metodo a monte. Infine, le analisi numeriche hanno mostrato che, nel caso lo sbarramento sia realizzato mediante il metodo a monte, ai fini della stabilità della diga si debba fare affidamento alle proprietà meccaniche dei tailings deposti. Risulta infatti che esse hanno un ruolo fondamentale nella stabilità del rilevato, mentre la loro influenza è ben più limitata nel caso siano utilizzate le tecniche di elevazione del rilevato mediante il metodo centrale o a valle.

5. BIBLIOGRAFIA

Australian Committee on Large Dams (ANCOLD 2011). Guidelines on tailings dams - planning, design, construction, operation and closure, Australia.

Bella G. (2017). Hydro-Mechanical Behaviour of Tailings in Unsaturated Conditions. *Tesi di Dottorato*, Politecnico di Torino.

Esra Nur T. (2012). Stability investigation of et copper mine tailings dam using finite element analysis. *Tesi Magistrale*, Middle East Technical University.

Rico M., Benito G., Salgueiro A.R., Díez-Herrero A. and Pereira H.G. (2010). Reported tailing dam failures: A review of the European incidents in the worldwide context. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 152, Issue 2: 846-852.

Vick S.G. (1990). Planning, design and analysis of tailing dams. BiTech Publishers Ltd.

Zanardin M.T., Oldecop L.A., Rodriguez R. and Zabala F. (2009). The role of capillary water in the stablity of tailing dams. *Engineering Geology*, 105, 108-118.