

**Candidato:** Luca di Muzio

**Relatore:** Prof. Quintilio Napoleoni

**Titolo della tesi:** Analisi di stabilità in condizioni sismiche di una piccola diga

### **Abstract**

Il principale obiettivo dell'elaborato è stato quello di mettere a confronto i più accreditati metodi di analisi della stabilità dei pendii in condizioni sismiche, soffermandosi sui loro punti di forza e di debolezza. Per svolgere tale confronto, è stata innanzitutto introdotta la trattazione teorica di ciascun metodo di analisi (Capitolo 1), mettendo in risalto le approssimazioni su cui viene basato il modello e le conseguenze che tali approssimazioni comportano nei risultati finali.

L'aspetto pratico relativo all'applicazione delle metodologie analizzate è stato affrontato mediante l'introduzione di un caso studio reale (Capitolo 2), riguardante la verifica di stabilità della scarpata di un rilevato arginale costituente una cassa di espansione in linea regolata da una piccola diga. Lo studio delle condizioni di stabilità del rilevato, attraverso ciascun metodo di analisi, ha permesso di osservare concretamente le differenze tra le diverse metodologie in termini di: grado di approssimazione del modello, facilità di applicazione, quantità e qualità dei dati di ingresso richiesti, influenza delle caratteristiche locali del sito indagato, forma e qualità dei risultati.

Il terzo capitolo è stato interamente dedicato all'applicazione di ciascun metodo al caso studio in esame e al confronto tra i risultati ottenuti.

La prima analisi svolta è stata quella pseudo-statica, la più usata nella pratica professionale, questa sfrutta i metodi dell'equilibrio limite per la ricerca della superficie di scorrimento critica assumendo l'azione dinamica pari ad un'azione statica equivalente. Un'altra categoria di metodi che si distingue per facilità di applicazione è quella dei metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti. Questi forniscono infatti una semplice formula che esprime lo spostamento permanente medio atteso per il pendio in funzione di alcuni parametri che rappresentano l'azione sismica.

Gli Autori dei metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti hanno determinato le diverse formulazioni dello spostamento permanente servendosi di un altro tipo di analisi di stabilità; questa analisi, anch'essa applicata al caso di studio in esame, è l'analisi di Newmark. La forte approssimazione introdotta da Newmark consiste nell'assumere il volume potenzialmente instabile ad un blocco rigido capace di scorrere su un piano nel momento in cui l'accelerazione, di cui tale piano è dotato, supera il valore critico. Lo spostamento cumulato viene pertanto calcolato mediante una doppia integrazione dell'accelerazione relativa tra blocco e piano di scorrimento. A differenza dei metodi semplificati e di quello pseudo-statico, in questo caso l'azione sismica viene espressa attraverso un accelerogramma di riferimento, questo è stato opportunamente ricercato mediante uno studio della sismicità storica del sito di interesse ed una valutazione della compatibilità di questo rispetto allo spettro di risposta locale calcolato secondo le prescrizioni fornite dalla normativa.

L'ultimo metodo di verifica della stabilità applicato alla scarpata del rilevato indagato è stato quello dell'analisi dinamica avanzata. L'analisi dinamica avanzata è l'unica che, in linea di principio, può riuscire a descrivere il reale comportamento dei terreni in condizioni dinamiche; tuttavia tale obiettivo può essere raggiunto solo in quei casi in cui si possiede una ricca e specifica documentazione delle caratteristiche dinamiche dei terreni costituenti il pendio e della loro variazione in funzione dell'azione ciclica. Un così alto grado di approfondimento delle indagini e delle opere di monitoraggio può essere giustificato per opere di una certa dimensione e rilevanza.

L'argine di Pratolungo, pur non rientrando in questa classe di opere, è stato comunque studiato secondo tale metodologia; l'operazione è stata svolta mediante la costruzione di un modello elastico approssimato, ma comunque congruente rispetto alla teoria dell'elasticità, che ha permesso di applicare l'analisi dinamica lineare equivalente alla scarpata del rilevato.

L'operazione di confronto dei risultati ottenuti dall'applicazione dei diversi metodi ha richiesto un'analisi aggiuntiva, questa ha avuto lo scopo di considerare nell'applicazione del metodo di Newmark lo studio di risposta sismica locale svolto mediante l'analisi dinamica lineare equivalente. Il risultato di questa analisi ha mostrato che l'effetto di amplificazione delle onde sismiche

all'interno del rilevato non comporta un aumento rilevante dello spostamento permanente calcolato secondo Newmark.

Il primo confronto svolto ha riguardato l'analisi pseudo-statica e l'analisi dinamica avanzata, da questo si è potuto osservare come il metodo pseudo-statico abbia portato alla determinazione di risultati maggiormente cautelativi rispetto all'analisi dinamica avanzata, per la quale il coefficiente di sicurezza assume valori maggiori per quasi tutta la durata dell'evento e si fissa ad un valore superiore del 14% circa rispetto a quello relativo all'analisi pseudo-statica.

Un secondo tipo di confronto è stato svolto tra i metodi che hanno restituito un risultato in termini di spostamento permanente: metodo di Newmark e metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti. Escludendo dal confronto il metodo di Crespellani, Madiari e Vannucchi, che ha restituito un risultato totalmente differente rispetto agli altri, sovrastimando lo spostamento permanente di due ordini di grandezza, i metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti hanno fornito risultati molto simili, confermando il valore pressoché nullo calcolato secondo Newmark.

Anche se caratterizzati da diversi gradi di approssimazione e complessità dei modelli utilizzati, quasi tutti i risultati trovati dall'applicazione dei metodi di analisi di stabilità al caso studio dell'argine di Pratolungo garantiscono, con stime più o meno cautelative, la stabilità di questo.