

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”

*FACOLTÀ D'INGEGNERIA*

*Corso di laurea in Ingegneria per l' Ambiente e il Territorio*



**TESI DI LAUREA**

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA INVASIONE PER CADUTA  
MASSI MEDIANTE L'USO DI UN CODICE  
DI CALCOLO DI TIPO “LUMPED MASS”

Relatore:  
Prof. Paolo Budetta

Candidato:  
Emanuele De Trucco

Correlatore:  
Dott. Geol. Michele Nappi

Matricola:  
518/584

***ANNO ACCADEMICO 2009/2010***

## INTRODUZIONE

La caduta massi, secondo la classifica di Cruden e Varnes 1996, è un tipo di movimento franoso che si manifesta con il distacco di un volume di roccia che si allontana dalla sede originaria e inizia la discesa lungo il versante con scarsa interazione tra il materiale in movimento e il versante stesso. La pericolosità del fenomeno è dovuta alla notevole velocità ed alla frequenza degli eventi.

Il suo studio si articola nei seguenti passi: osservazione del fenomeno, misurazioni, prove in sito, utilizzo di modelli analitici e numerici per la previsione del percorso di caduta e per la determinazione delle equazioni che governano tali moti.

La traiettoria del masso è data dalla combinazione di quattro tipi di moto: caduta libera, impatto, rotolamento e scivolamento (meno frequente). Dopo aver elaborato i dati osservati in sito e aver stilato il miglior modello descrittivo del fenomeno, è possibile utilizzare tale modello per la realizzazione di opere di difesa.

Il distacco della massa rocciosa avviene in aree che hanno già subito dei movimenti di crollo oppure quando sono presenti dei blocchi isolati che si distaccano per la presenza di instabilità locali. Il fenomeno si verifica a causa di una rottura per taglio o per trazione lungo i piani di discontinuità che separano un blocco potenzialmente instabile dalla parte di massa che costituisce il resto del pendio. Le cause principali che portano al distacco di queste masse sono da ricercare nei rilievi sulle discontinuità. Altri fattori che generano tale fenomeno sono lo scorrimento di flussi d'acqua nelle discontinuità, l'erosione al piede del pendio, le pressioni di tipo idraulico o quelle causate da radici di piante nelle discontinuità, le forti escursioni termiche (gelo e disgelo), le vibrazioni dovute a sismi o all'utilizzo di materiale esplosivo, le applicazioni di carichi sul pendio oppure le operazioni di scavo.

### 1. Metodi Lumped Mass

I metodi detti lumped mass, fanno parte della categoria di quelli che non considerano forma e dimensione del blocco, e schematizzano il blocco come un semplice punto di massa  $m$  e velocità  $v$ . Si trascura la resistenza dell'aria e la traiettoria in genere è di tipo balistico, le componenti della velocità subiscono delle variazioni in seguito all'impatto e vengono ridotte di valore tramite i coefficienti  $K_n$  e  $K_t$ . Questi metodi sono stati oggetti di studio da parte di Piteau e Clayton, Spang, Hunger ed Evans. Hunger ed Evans (1988) hanno proposto un procedimento per determinare la condizione di transizione tra moto con rimbalzi e rotolamento. Durante la traiettoria di volo il blocco assume una altezza di energia costante che, in seguito agli impatti, diminuisce. È possibile riportare le variazioni su un diagramma vedendo, che nelle fasi aeree il valore dell'energia è costante, mentre subirà delle variazioni a gradino nei rimbalzi e lineari nel rotolamento. Evans ed Hunger sono arrivati a concludere che si passa dal moto di rimbalzo a quello di rotolamento quando:  $\Delta E/\Delta l$  (dove  $\Delta E$  variazione altezza di energia,  $\Delta l$  ampiezza tratto orizzontale tra due rimbalzi) è maggiore del valore del coefficiente di attrito al rotolamento. Si arriva a tale condizione di moto quando l'energia cinetica persa nel moto di rotolamento è minore rispetto a quella dissipata con i rimbalzi. (Fig.1)

Altri studi sono stati condotti da Piteau e Clayton che per giungere alle stesse conclusioni di Hunger ed Evans, ossia transizione di moto e arresto del blocco, hanno fatto le seguenti ipotesi: se la velocità dopo l’impatto ha valori prossimi al valore nullo, l’arresto del blocco si ha nel punto di impatto; se l’angolo compreso tra la traiettoria che si determina a seguito dell’impatto ed il profilo del pendio è anch’esso prossimo a zero, l’urto determina il passaggio da moto con rimbalzi a rotolamento.

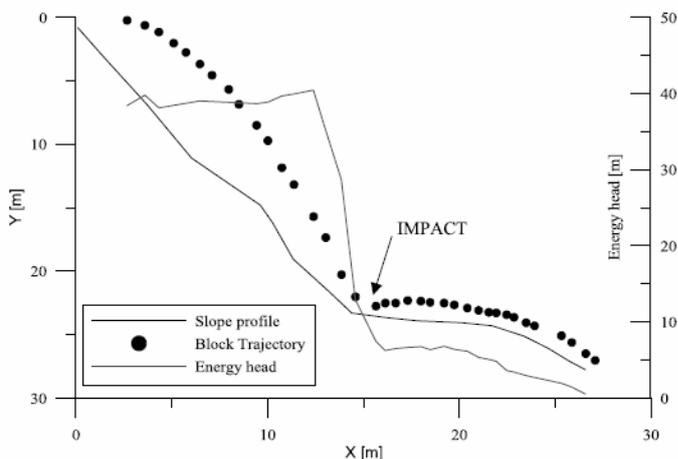


Fig.1 – Traiettorie e altezze delle energie in relazione alla fase di caduta libera seguita da impatti

### 1.1 Il codice di calcolo utilizzato

Il codice di calcolo utilizzato (Rocfall della Rocscience inc.) è un software progettato per l’analisi statistica della caduta massi con il quale è possibile valutare il rischio di instabilità per questi fenomeni. Esso offre importanti informazioni sull’energia che sviluppa durante il crollo, sulle velocità raggiunte e sulle altezze di rimbalzo lungo tutto il versante considerato, come anche, la determinazione del punto finale raggiunto dai massi.

Rocfall permette di apportare cambiamenti riguardanti il materiale del pendio impostando importanti parametri al variare dei quali variano anche i risultati ottenuti, in modo da poter far fronte a situazioni critiche di crollo. Viene utilizzato anche per la progettazione di barriere paramassi.

I “passi” da seguire per la sua applicazione sono di seguito sinteticamente illustrati:

La prima cosa da fare è ricostruire il pendio, si può procedere nei seguenti modi:

- Assegnare le coordinate (x;y) di ogni singolo vertice del pendio attraverso la barra dei comandi
- Andare a tracciare il profilo graficamente
- Importare il profilo in formato .dxf servendosi di un altro software

Il metodo che è stato utilizzato in questa Tesi è il terzo di quelli riportati sopra. Il profilo del pendio si ottiene attraverso l’utilizzo del software Autocad il quale, a sua volta, mediante l’uso di una “toll”, provvede al tracciamento agendo direttamente sulla base cartografica. Sulla base cartografica sono state tracciate le sezioni di ogni singolo profilo, le quali vengono “ripassate” con il comando Polilinea 3D, seguendo come

vertici i punti che si ottengono dall'intersezione delle curve di livello con le sezioni tracciate. Utilizzando il comando Polilinea 3D, Autocad automaticamente legge il valore della quota della curva di livello. Una volta ripassate tutte le sezioni con tale comando, si utilizza la "tool" che legge tutti i dati presenti nella Polilinea 3D tracciata e provvede all'estrapolazione del profilo.

Dopo aver definito la geometria del pendio, si passa ad assegnare ad ogni singolo segmento del pendio le proprietà del materiale. L'ultimo passo da fare per ottenere il modello finale è quello di stabilire le condizioni iniziali del moto del e cioè la posizione iniziale di partenza, la sua massa e la velocità iniziale. La localizzazione del punto di partenza si effettua mediante l'uso di un'opzione del programma alla quale segue una tabella da compilare indicando la massa del blocco e la sua velocità orizzontale e verticale di partenza (in questo caso assunte pari a zero). Assegnati questi valori si procede alla simulazione, al termine della quale si ottengono le traiettorie dei massi che saranno sempre diverse, qualora scegliamo l'opzione "Random", oppure tutte uguali, se adottiamo l'opzione "Pseudo-random". Queste opzioni si possono scegliere attraverso le impostazioni iniziali di progetto, dove si possono selezionare anche il numero di massi da lanciare lungo il pendio. Nelle simulazioni da noi effettuate, questo numero è pari a 100 unità e la velocità minima del blocco è stata posta pari a 0,1 m/s.

Dal Software si possono ottenere grafici relativi alle altezze di rimbalzo, alle energie cinetiche totali che si sviluppano durante il percorso di caduta, ed infine un grafico che indica il punto finale raggiunto dai blocchi. (Fig.2)

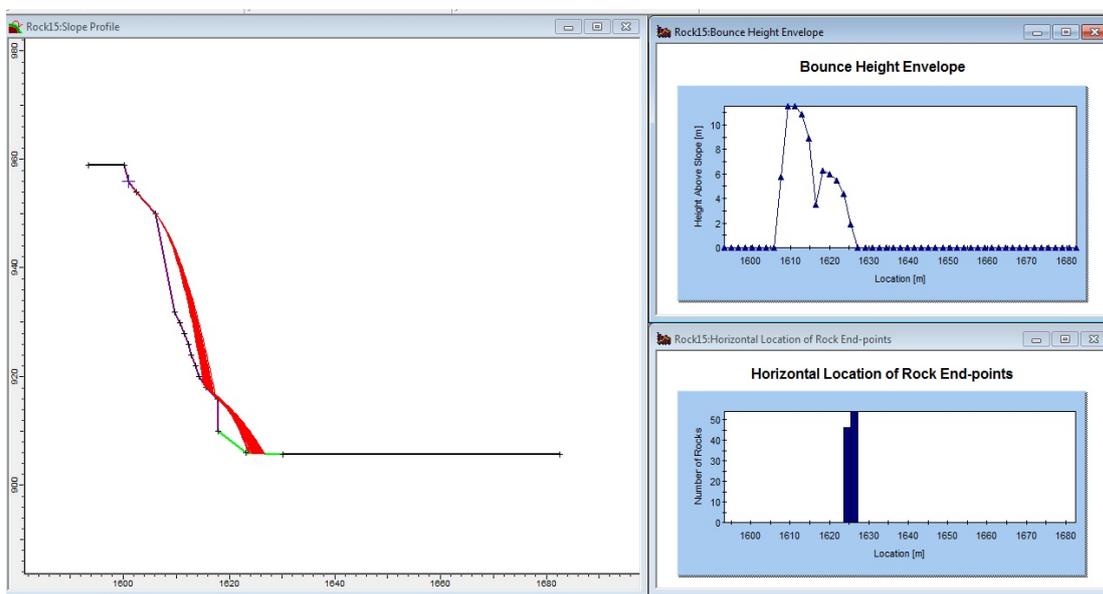


Fig.2 – Esempio di una simulazione

## 2. Applicazione del software all'area di studio

Il lavoro è stato svolto su un'area che si estende su tutto il versante sovrastante il viadotto Gatto che collega il porto nuovo fino ai confini del comune di Vietri sul Mare. La base topografica utilizzata è in scala 1:2000. In totale le sezioni analizzate sono 21 con un passo tra una sezione e l'altra di circa 25 m, fatta eccezione per

la sezione 9bis che dista dalla sezione 10 soltanto 10 m. I profili hanno pendenze che vanno da un valore minimo di 36° (sez.10) fino ad un massimo di 67° che si ha nella sezione 9bis. I valori maggiori si hanno dalla sezione 9 in poi, mentre nelle prime i valori non superano i 45°. Dopo aver tracciato le sezioni lungo il versante, tramite l'ausilio della "tool" precedentemente descritta, con il software Autocad sono stati tracciati i profili delle sezioni.

Su ogni profilo sono riportate le informazioni relative alle distanze progressive tra un picchetto e l'altro, le distanze parziali, le quote del terreno. La natura del materiale che interessa le sezioni è costituita da roccia affiorante, detrito di falda e asfalto del piano stradale. Ogni segmento del profilo è stato differenziato con appositi colori per evidenziare la diversa natura del materiale: nero per l'asfalto stradale, viola per la roccia affiorante e verde per il detrito. (Fig.5)

### 3. Risultati Ottenuti

Dai dati raccolti è stata fatta una zonazione del territorio studiato. Tale suddivisione, è stata realizzata prendendo in considerazione i seguenti parametri: energie sviluppate durante il percorso di caduta; inclinazione di ogni singola sezione; altezze massime di rimbalzo. Così facendo, si sono potute evidenziare tre aree: quella con i valori di energia, pendenze e rimbalzi più elevati va dalla sezione n.12 alla n.21 ed è la più ampia; quella con valori intermedi che va dalla sezione n.4, alla sezione 12 ed infine i valori più bassi si sono registrati dalla n.1 fino alla n.4. Di seguito si riporta una tabella nella quale sono stati raccolti i parametri sopra citati e dalla quale si evidenziano facilmente le aree più critiche.

Sezione	Pendenze medie	Energie (KJ)	Altezze rimbalzo (m)
1	42°	333	<1 m
2	41°	406	1,5 m
3	40°	152	<1 m
4	38°	533	1,9 m
5	39°	449	<1 m
6	39°	425	<1 m
7	45°	640	1,4 m
8	45°	475	2 m
9	51°	350	<1 m
9bis	67°	217	< 1 m
10	36°	354	≤ 1 m
11	45°	570	5,2 m
12	49°	827	3,5 m
13	54°	801	7,5 m
14	61°	857	2 m
15	61°	917	11,5 m
16	58°	840	8,8 m
17	55°	886	8 m
18	54°	1036	15,2 m
19	53°	893	7 m
20	52°	761	12,5 m
21	60°	926	15 m

Tab.1: Valori medi di inclinazione, massima energia cinetica totale e massima altezza di rimbalzo registrate in corrispondenza delle 21 sezioni studiate.

Da come è possibile vedere l'area che desta maggiori preoccupazioni è proprio quella evidenziata in rosso, nella quale si hanno i valori delle energie cinetiche maggiori e dove le pendenze ed i rimbalzi in media sono più elevati rispetto al resto della parete studiata. Occorre inoltre osservare che l'estensione della zona "rossa" è maggiore proprio nelle aree ove il viadotto si avvicina maggiormente alla parete. In queste zone quindi i livelli energetici sono molto maggiori. Di tale circostanza occorrerà tenerne conto allorché occorrerà dimensionare le opere di difesa e di salvaguardia della strada. Nella zona intermedia i blocchi non raggiungono il viadotto, in quanto durante la loro caduta i rimbalzi non sono tali da permettere il superamento della distanza intercorrente tra il viadotto e la parete. Essi, tuttavia, possono arrivare nel parcheggio posto al di sotto del viadotto (che ospita prevalentemente autobus e mezzi pesanti) e causare gravi danni. (Fig.6).

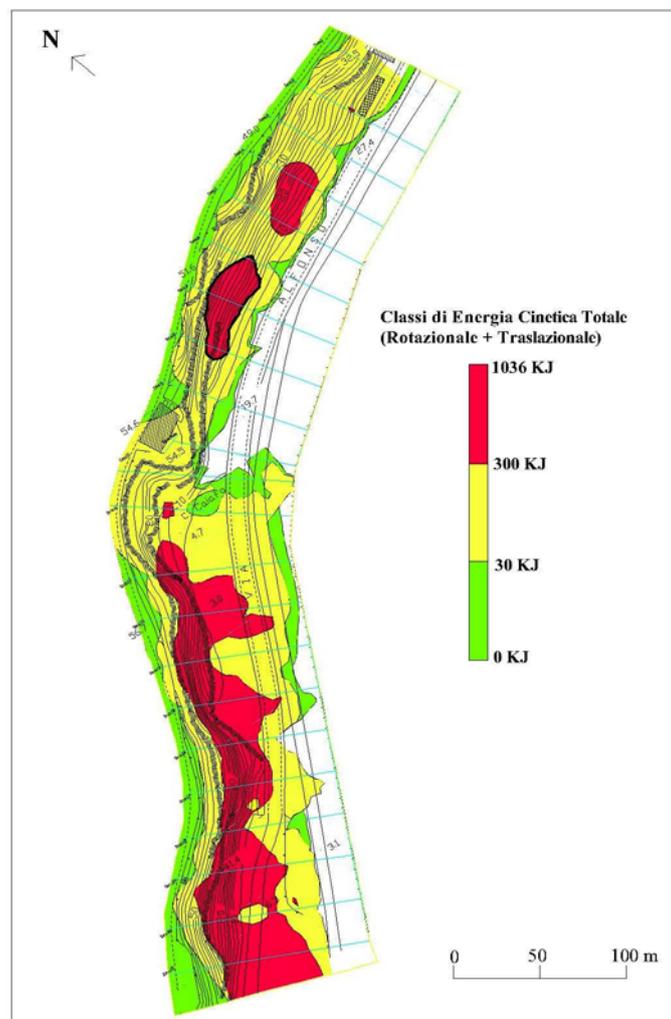


Fig.6 – Mappa delle energie cinetiche totali caratterizzanti il versante studiato

Per quanto riguarda invece le distanze raggiunte dai blocchi si evidenzia un'omogeneità lungo tutta la parete, infatti nella maggior parte dei casi i blocchi fermano la loro corsa ad una distanza orizzontale dai piedi della parete che ricade nell'intervallo tra 40 e 50 m, superando tale distanza soltanto in rare occasioni, e

difficilmente riescono a raggiungere la strada sottostante, posta a valle del parcheggio. La zona maggiormente esposta interessa il tratto compreso tra il km 3 (sez.21) e il km 27 (sez.1), in direzione di Salerno.

## **Conclusioni**

A conclusione del nostro studio, possiamo dire che la zona studiata presenta una notevole pericolosità, dovuta alle elevate pendenze del versante ed alla sua costituzione geologica (in prevalenza calcareo-dolomitica, fratturata). Inoltre, in caso di eventi meteorici copiosi ed intensi, le acque riescono a penetrare nelle fratture della roccia, entrando in pressione ed esercitando un effetto divaricante sui blocchi già in precarie condizioni di stabilità. Le distanze percorse dai massi, misurate dal piede della parete, variano tra 2 e 6 m. In nessun caso, i blocchi riescono ad invadere la strada posta al di sotto del viadotto ma si arrestano prima, nella zona occupata dal parcheggio degli autobus e dei mezzi pesanti. Dalla (Fig.6), si può individuare il perimetro di massima proiezione dei blocchi e quindi delimitare, verso valle, l'area suscettibile di invasione. Per quanto riguarda i livelli energetici che caratterizzano la parete, come già detto, essi non sono uniformi, ma si differenziano tanto da consentire l'individuazione di tre zone (rossa, gialla e verde) i cui limiti sono marcati dai valori di 300, 30 e 0 kJ. Questa suddivisione è proprio l'obiettivo finale della Tesi e consentirà, in futuro, di progettare adeguatamente i possibili interventi di difesa passiva, quali: reti paramassi ad alto assorbimento di energia, barriere, valli paramassi, etc.