UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

FACOLTA' DI INGENERIA
CORSO DI LAUREA IN
INGENERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

TESI DI LAUREA

ANALISI DI CADUTA MASSI ED APPLICAZIONE 3D AD UN CASO REALE : LA STRADA STATALE "MINGARDINA"

RELATORE:
Prof. Paolo Budetta
CORRELATORE:
Dott.Geol. Michele Nappi

CANDIDATA: **Serena Dato**
Matr. 518/667

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

Obiettivi della Tesi

- Studio degli aspetti teorici del fenomeno di caduta massi
- Utilizzo di un codice di calcolo per l'analisi 3D di un caso reale
- Individuazione dei parametri delle traiettorie di caduta più rispondenti alla situazione reale (analisi a ritroso)
- Definizione dei fattori necessari per la corretta progettazione di difese passive (barriere paramassi)

Definizione del fenomeno di caduta massi

Fenomeno che comporta il distacco di blocchi rocciosi di dimensioni variabili da pendii o fronti di scavo ed il loro successivo movimento (per caduta libera, rimbalzo, rotolamento, scivolamento) lungo il versante fino all'arresto (da Nome UNI, 2007).

La definizione di "**crollo**" andrebbe limitata ad eventi caratterizzati da una energia cinetica massima pari a 500 kNm, equivalente ad un blocco di 5 T che cada verticalmente da un'altezza di 5 m (SPANG, 1987).

Infatti, in tal caso, poiché la velocità (v) è data da : $v = \sqrt{2gh} = 9{,}9$ m/s, la quantità di moto (Q) sarà pari a:

$Q = \left(\frac{5T}{9{,}81\ m/s^2}\right) 9{,}9$ m/s $= 5046$ Kg $_{massa}$ $*$s/m ≈ 500 kN m

Parametri del moto: Kn, Kt e ϕ

I coefficienti di restituzione sono stati introdotti per semplificare il processo di modellazione della caduta massi, vista l'aleatorietà del fenomeno.
Sono espressi nelle due componenti normale **Kn** e tangenziale **Kt** piuttosto che tramite un'unica aliquota di abbattimento dell'energia cinetica posseduta dal blocco.

$$\mathbf{Kn} = \frac{Vnpost}{Vnpre} \qquad \mathbf{Kt} = \frac{Vtpost}{Vtpre}$$

Esprimono il rapporto tra le velocità al momento dell'impatto e le velocità iniziali.
Il coefficiente di attrito al rotolamento ϕ invece è ricavabile mediante l'equazione:

$$\mu = \tan\alpha - \frac{[v_t^2(t) - v_{to}^2(t_o)]}{Ag\cos\alpha[X_g(t) - X_g(t_o)]}$$

Il codice di calcolo utilizzato (Aztec Rock)

Il programma effettua l'analisi della caduta massi sia in campo piano (2D) che spaziale (3D).

I dati in ingresso sono:

- caratteristiche masso (peso e diametro);
- Kn , Kt, ϕ minimo e massimo per ognuno dei materiali di cui è costituito il pendio;
- condizioni iniziali (punto di distacco, velocità iniziali e numero di massi in caduta)
- scelta tra analisi di tipo deterministico e probabilistico.

I risultati forniti sono:

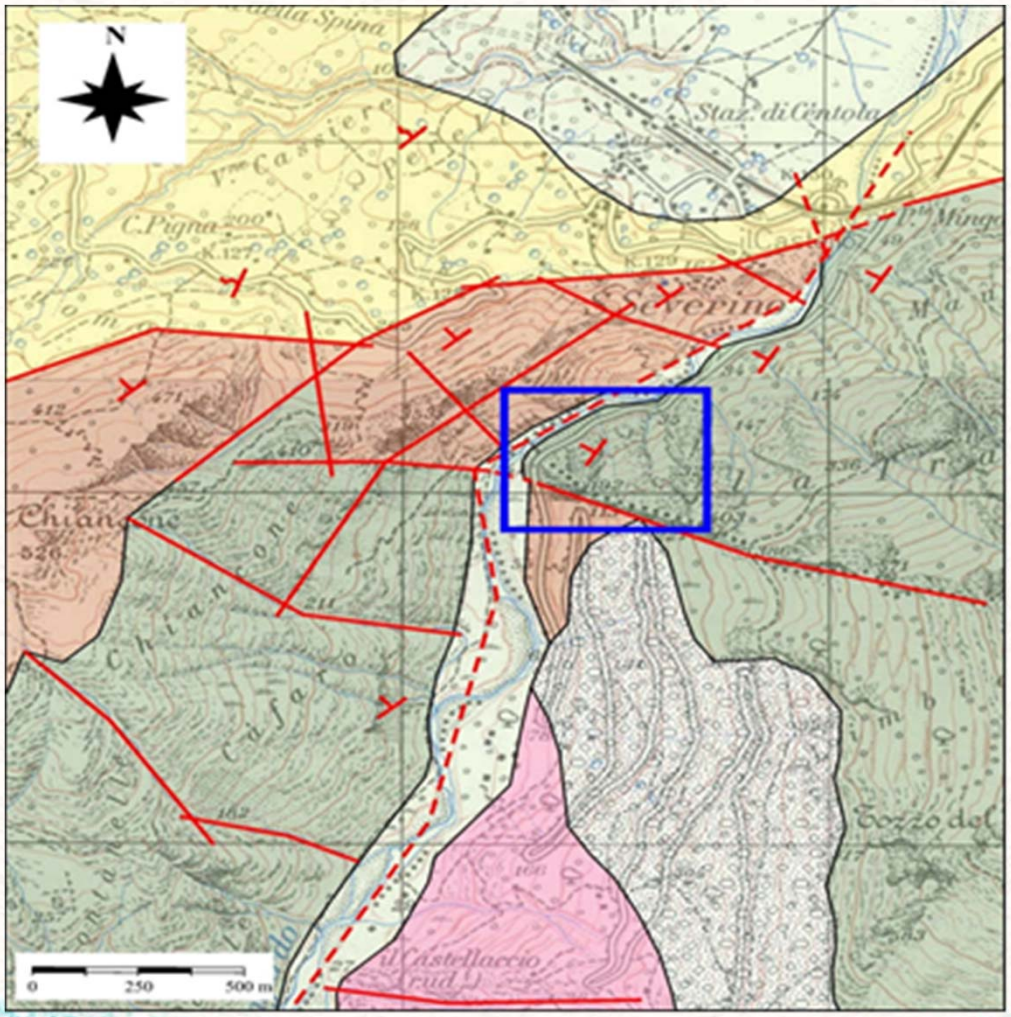
- numero di traiettorie analizzato
- distanza minima e massima di arresto;
- velocità massima raggiunta;
- altezza massima della traiettoria sul pendio.

Restituisce: diagrammi di velocità, energia cinetica, punti di arresto, energia totale e altezza massima del masso durante il moto lungo il pendio.

Un'applicazione alla strada statale Mingardina

- È una strada ad elevato traffico, soprattutto in estate
- Ha un tracciato a mezza costa, sotto pendici acclivi in roccia
- E' spesso interessata da fenomeni di crollo al punto che vi sono numerose e diversificate opere di protezione (gallerie paramassi e barriere)
- Pur essendo una statale, è stretta (talora con larghezza < 7 m), con curve a piccolo raggio di curvatura, con pendenze longitudinali elevate e non sempre caratterizzata da una completa distanza di visibilità per l'arresto
- Sono disponibili molti dati su un crollo avvenuto nell'ottobre del 2012

Inquadramento geologico dell'area studio



LEGENDA

- Alluvioni ghiaioso-sabbiose e depositi sabbioso-argillosi (Attuale)
- Detriti di falda ghiaioso-ciottolosi, cementati (Plio-Pleistocene)
- Flysch della formazione del Bifurto: alternanze di arenarie e marne argillose (Giurassico - Aquitaniano)
- Calcilutiti e calcari marnosi con intercalazioni pelitihe (Trias superiore - Eocene)
- Calcareniti e calciruditi fratturate e stratificate (Trias superiore - Eocene)
- Dolomie e calcari dolomitici intensamente fratturati (Trias)
- Faglie e fratture principali, tratteggiate se presunte
- Giaciture degli strati
- Area studiata in dettaglio ai fini del calcolo delle traiettorie di caduta massi

Uno dei tratti stradali studiati

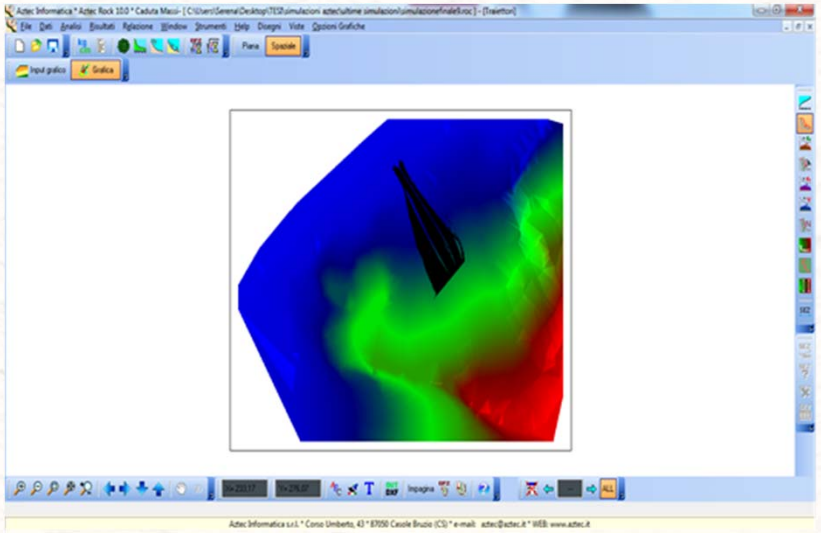
Situazione pre-crollo 2012

Situazione post-crollo

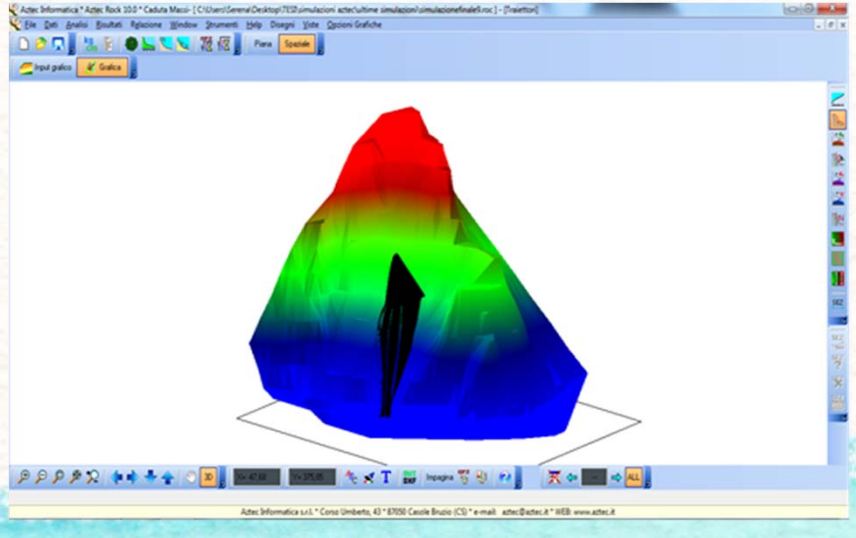
Procedura utilizzata

- Estrazione dell'area di studio dalla Carta Regionale della Campania in formato dxf e importazione nel programma Atzec;
- Simulazioni effettuate usando tre classi di diametri: 0.10 – 0.25 – 0.50 m la cui scelta è stata suggerita dall'assetto geostrutturale e dalla spaziatura delle fratture;
- Scelta di analisi di tipo probabilistico (metodo Montecarlo) data l'aleatorietà del fenomeno;
- Tipo di simulazioni : calcolo probabilistico in 3D e deterministico in 2D nei due tratti situati a nord-est e a sud della galleria paramassi.

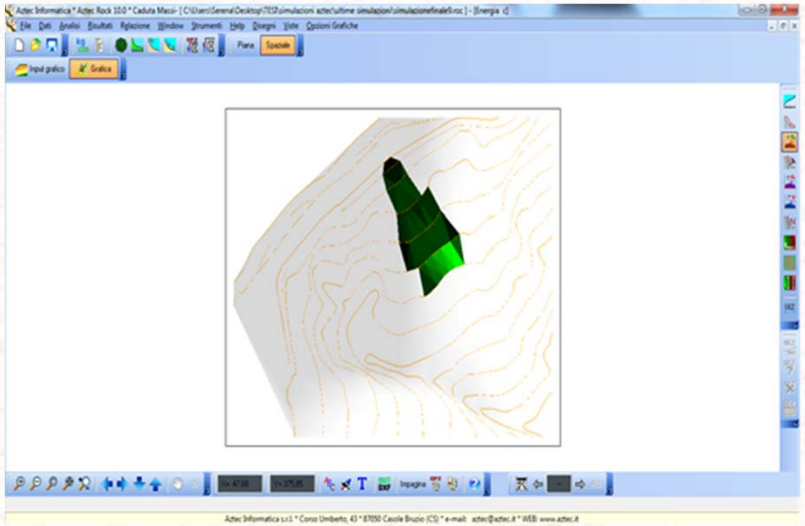
Outputs grafici



Traiettorie in pianta

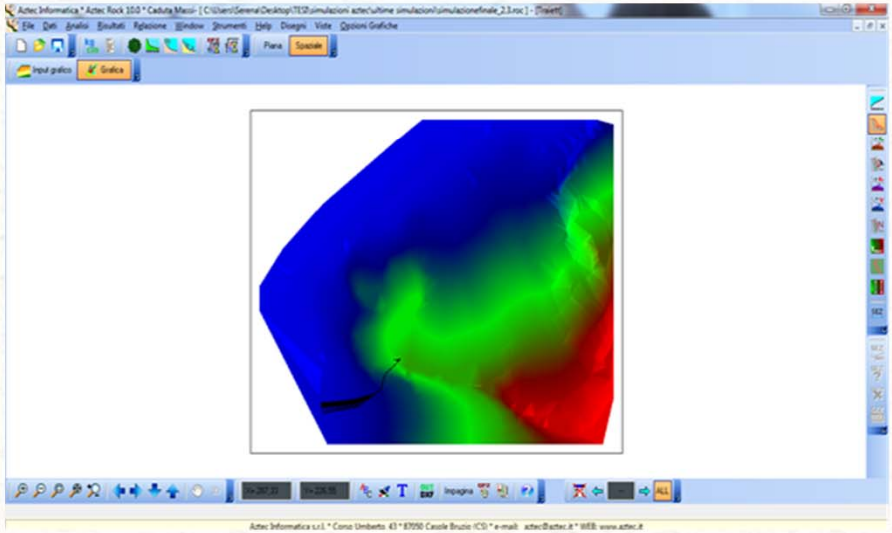


Vista 3D

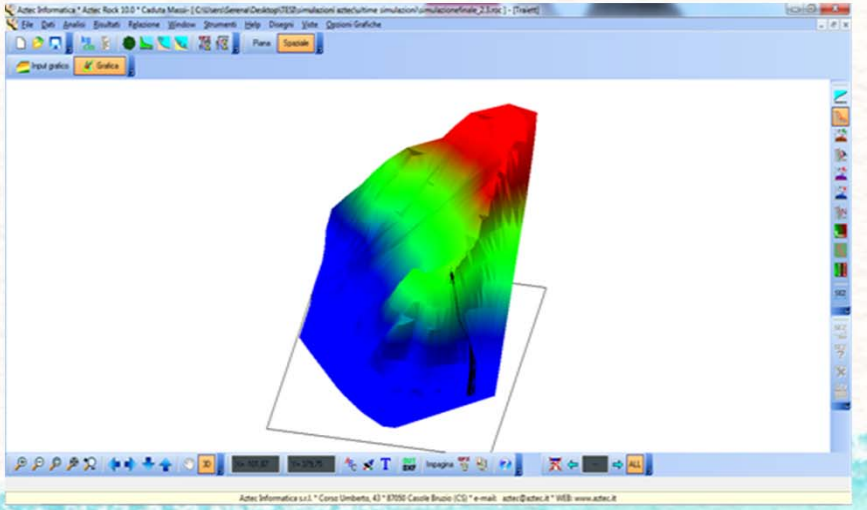


Energie cinetiche

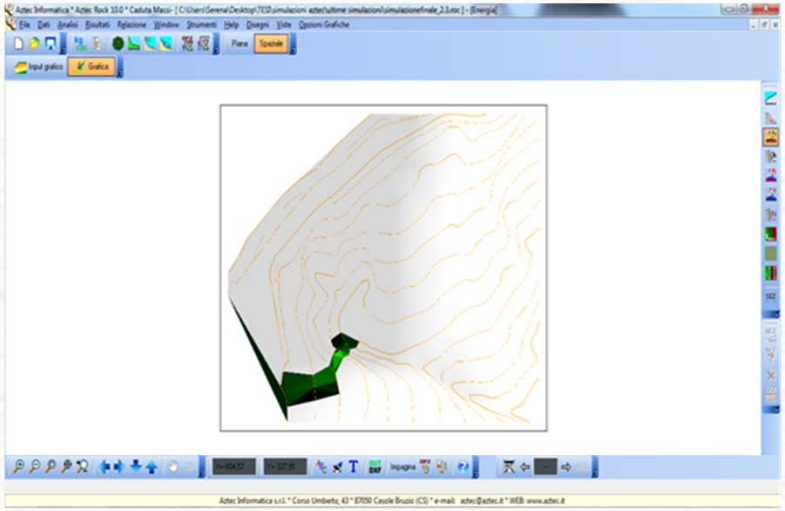
Outputs grafici



Traiettorie in pianta



Vista 3D

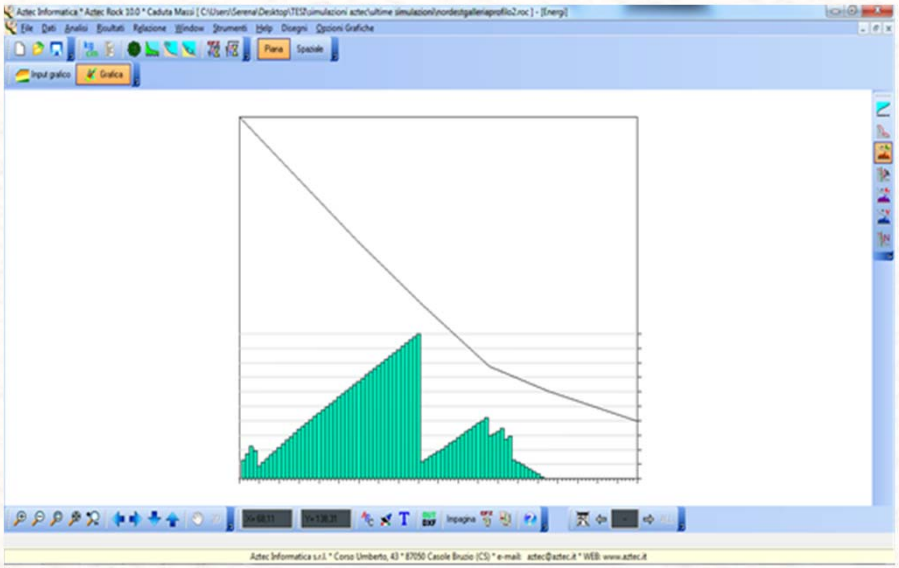


Energie cinetiche

Simulazione 2D

Sezione rappresentativa per il tratto Nordest

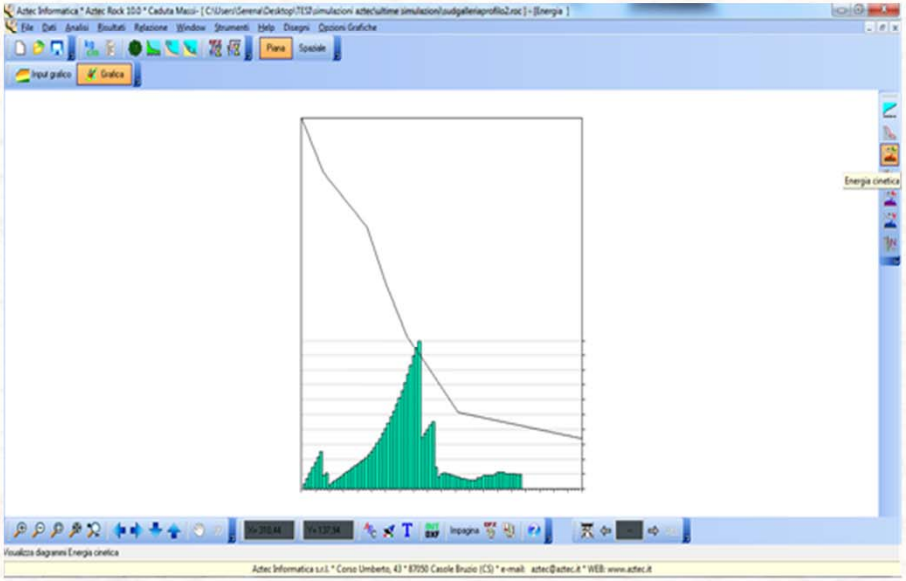
nordestgalleriaprofilo1 con i valori presi dalla letteratura						nordestgalleriaprofilo2 con i valori che nella simulazione					
						3 d arrestano i massi in prossimità della strada					
Caratteristiche masso:						Caratteristiche masso:					
peso (Kg	1357,2					peso (Kg	1357,2				
diametro	0,5					diametro	0,5				
Condizioni iniziali:						Condizioni iniziali:					
x=	0	Nx=	2	Dx=	2	x=	0	Nx=	2	Dx=	2
z=	170	Nz=	10	Dz=	2	z=	170	Nz=	10	Dz=	2
Vx=	0	Nx=	0	Dx=	0	Vx=	0	Nx=	0	Dx=	0
Vz=	0	Nz=	0	Dz=	0	Vz=	0	Nz=	0	Dz=	0
Opzioni di analisi						Opzioni di analisi					
probabilistica						probabilistica					
valori coefficienti		Kn=	Kt=	ϕ=		valori coefficienti		Kn=	Kt=	ϕ=	
Roccia calcarea		0,40-0,53	0,85-0,90	40-45		calcare		0,10-0,15	0,50-0,60	20-25	
detrito		0,3-0,33	0,82-0,85	30-35		detrito		0,02-0,10	0,50-0,60	15-18	
Risultati						Risultati					
N°traiettorie:		33				N°traiettorie:		33			
Distanza min e max di arresto			50,34	174,99	(m)	Distanza min e max di arresto			137,27	144,46	(m)
Velocità max:			44,33		(m/s)	Velocità max:			27,56		(m/s)
Altezza max			14,08		(m)	Altezza max			0,85		(m)



Simulazione 2D

Sezione rappresentativa per il tratto Sud

sudgalleriaprofilo1 con i valori presi dalla letteratura						sudgalleriaprofilo2 con i valori che nella simulazione					
						3d arrestano i massi in prossimità della strada					
Caratteristiche masso:						Caratteristiche masso:					
peso (Kg	1357,2					peso (Kg	1357,2				
diametro	0,5					diametro	0,5				
Condizioni iniziali:						Condizioni iniziali:					
x=	0	Nx=	2	Dx=	2	x=	0	Nx=	2	Dx=	2
z=	170	Nz=	10	Dz=	2	z=	170	Nz=	10	Dz=	2
Vx=	0	Nx=	0	Dx=	0	Vx=	0	Nx=	0	Dx=	0
Vz=	0	Nz=	0	Dz=	0	Vz=	0	Nz=	0	Dz=	0
Opzioni di analisi						Opzioni di analisi					
probabilistica						probabilistica					
valori coefficienti		Kn=	Kt=	ϕ=		valori coefficienti		Kn=	Kt=	ϕ=	
Roccia calcarea		0,40-0,53	0,85-0,90	40-45		calcare		0,10-0,15	0,50-0,60	20-25	
detrito		0,3-0,33	0,82-0,85	30-35		detrito		0,02-0,10	0,50-0,60	15-18	
Risultati						Risultati					
N°traiettorie:		33				N°traiettorie:	33				
Distanza min e max di arresto			91,62	177,17	(m)	Distanza min e max di arresto			93,42	120,59	(m)
Velocità max:			47,07		(m/s)	Velocità max:			37,94		(m/s)
Altezza max			20,82		(m)	Altezza max			12,34		(m)



Conclusioni

Le simulazioni effettuate consentono di ricavare i parametri fondamentali che hanno governato il fenomeno di caduta massi del 2012.

Detti parametri consentono di definire la pericolosità delle zone studiate in termini di:

- Zonazione delle aree di invasione;
- Definizione dei livelli energetici (energie cinetiche);

- **Tratto nordest**: moti prevalenti di rotolamento (altezze max 1 m), traiettorie caratterizzate da una maggiore spaziatura ed intervallo di energie cinetiche tra 4 e 110 KJ.
- **Tratto sud**: moti prevalenti di caduta libera e rimbalzo con altezze max = 20 m, traiettorie incanalate e maggiormente influenzate dall'assetto morfologico dell'area. Intervallo di energie cinetiche tra 1 e 340 KJ.