

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base  
Università degli Studi di Napoli Federico II

Tesi di laurea triennale in  
Ingegneria per l'ambiente e il territorio

## VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA CADUTA MASSI SULLE STRADE

*Relatore:*

Prof. Paolo Budetta

*Candidato:*

Essolino Giovanni

N49/247

Anno accademico 2018/2019

# OBIETTIVI DELLA TESI:

- ▶ Descrivere il fenomeno di caduta massi con particolare enfasi sulle strade;
- ▶ Definire i concetti di Pericolosità e Rischio per le infrastrutture stradali;
- ▶ Illustrare l'applicazione di un metodo, basato sul calcolo di punteggi, ad tratto della ex Strada Statale n. 18, particolarmente vulnerabile alla caduta massi.

# FENOMENO DI CADUTA MASSI



«La caduta massi, secondo la classificazione di Cruden e Varnes, è il fenomeno di distacco di uno o più blocchi rocciosi dalla sede originaria con propagazione lungo il pendio sottostante».

## Caratteristiche peculiari:

- ▶ Ciascun masso si comporta in maniera più o meno indipendente dagli altri;
- ▶ Vi è limitata interazione tra masso e pendio sottostante;
- ▶ I massi raggiungono elevate energie cinetiche e quindi notevole capacità distruttiva.

## Fattori di innesco :

- ▶ Geostrutturali, sismici e *weathering* (grado di fratturazione, magnitudo sismica, alterazione della roccia);
- ▶ Idrogeologici e vegetazionali (regime delle precipitazioni, azione del gelo-disgelo, azione delle radici);
- ▶ Antropici (modifica della geometria del versante, disboscamento, operazioni di scavo, etc.).

# INTERAZIONE TRA MASSI E VEICOLI

A causa del peculiare andamento plano-altimetrico delle strade in aree montane, le stesse sono particolarmente esposte all'impatto di massi. In relazione al traffico veicolare, si possono individuare 3 situazioni «tipo»:

- ▶ Impatto di uno o più massi su un veicolo in movimento;
- ▶ Impatto di un veicolo su di un masso precedentemente caduto sulle carreggiate;
- ▶ Impatto di un masso su una fila di veicoli fermi.

## Fattori condizionanti la vulnerabilità dei veicoli:

- ✓ Velocità, distanza di visibilità, geometria della strada;
- ✓ Dimensioni e tipo di veicolo, numero e posizione dei passeggeri;
- ✓ Intensità del traffico veicolare;
- ✓ Condizioni atmosferiche;
- ✓ Tempo di esposizione al rischio.



# CONCETTI DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO

«**PERICOLOSITÀ**» Probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di determinata intensità si verifichi in un dato tempo e in una data area. In termini quantitativi, la pericolosità è espressa come:

$$H = f(I)$$

dove: H = pericolosità (*Hazard*) e I = intensità del fenomeno franoso.

«**RISCHIO**» Valore delle perdite, in termini di vite umane, danni all'infrastrutture e alle attività economiche derivanti dall'esposizione ad un fenomeno pericoloso. In termini quantitativi, il rischio è espresso come:

$$R = f(H)$$

dove R = rischio (*Risk*).

COME VALUTARE LA PERICOLOSITÀ E  
IL RISCHIO PER LE STRADE?

La valutazione del rischio può essere fatta con metodi *probabilistici* (calcolare la probabilità annua che una persona possa perdere la vita a seguito di un crollo) o *euristici* (metodi a punteggi). I primi sono più esatti ma richiedono molti e precisi dati difficilmente reperibili. I secondi sono basati su dati più facilmente reperibili ma sono qualitativi e dipendenti dalla maggiore o minore esperienza degli operatori.

Nella presente Tesi ho utilizzato il metodo a punteggi RHRS (*Rockfall Hazard Rating System*) originariamente proposto da Pearson (1993) e successivamente modificato e adattato alle strade italiane da Budetta (2004).

*Fornisce una stima qualitativa del rischio da crollo lungo le strade. Comporta la valutazione di 10 parametri raggruppati in 6 categorie (Pericolosità della scarpata e/o pendio; Efficacia di un eventuale vallo paramassi; Conseguenze di una possibile rottura del pendio; Magnitudo dell'evento atteso; Costi di ripristino; Classe di appartenenza della strada)*

# II METODO modificato (mRHRS)

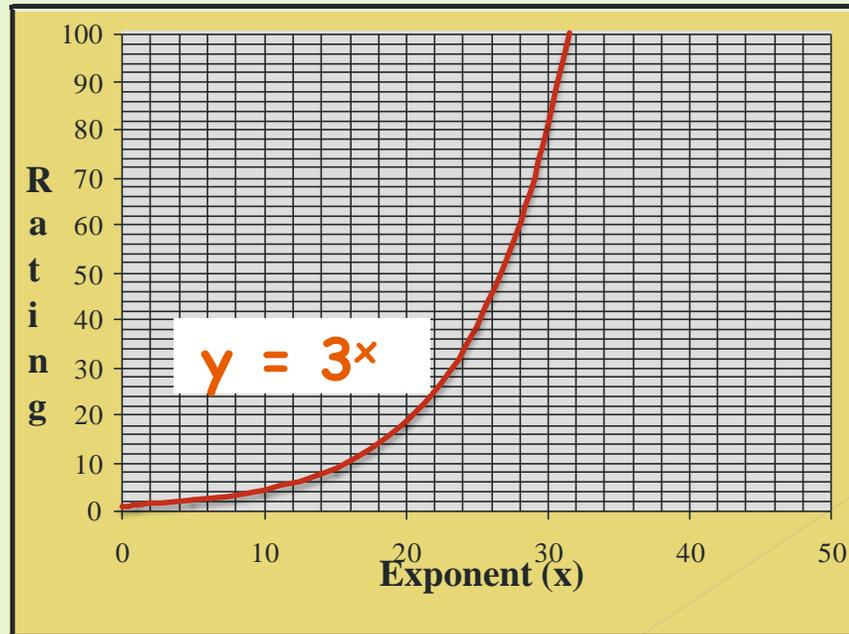
Il metodo assegna un punteggio (*rating*) a 9 parametri in grado di descrivere le caratteristiche geologiche dei pendii, delle sedi stradali e del traffico veicolare.

- ✓ E' applicabile alle strade italiane (quello originario è utilizzabile solo per quelle nordamericane);
- ✓ Riduce la soggettività nella scelta dei punteggi da attribuire ad alcuni parametri qualitativamente definiti;
- ✓ Introduce lo *Slope Mass Rating* di Romana (1992) per una migliore descrizione degli aspetti di pericolosità delle scarpate.

Il criterio di assegnazione del punteggio è di tipo esponenziale:

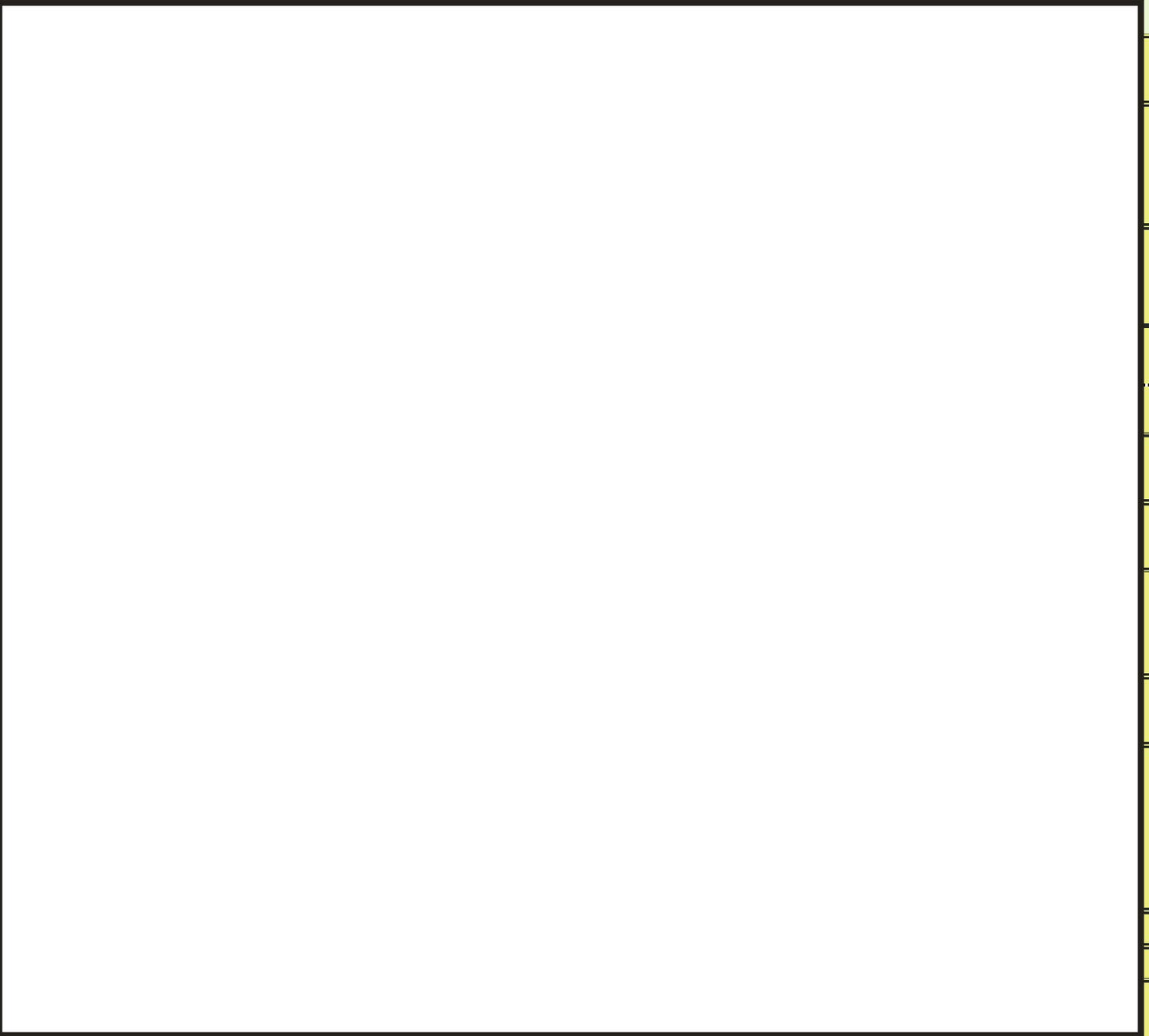
$$y = 3^x$$

dove  $y$  e  $x$  sono rispettivamente il *rating* e l'esponente riferiti ad una specifica categoria.



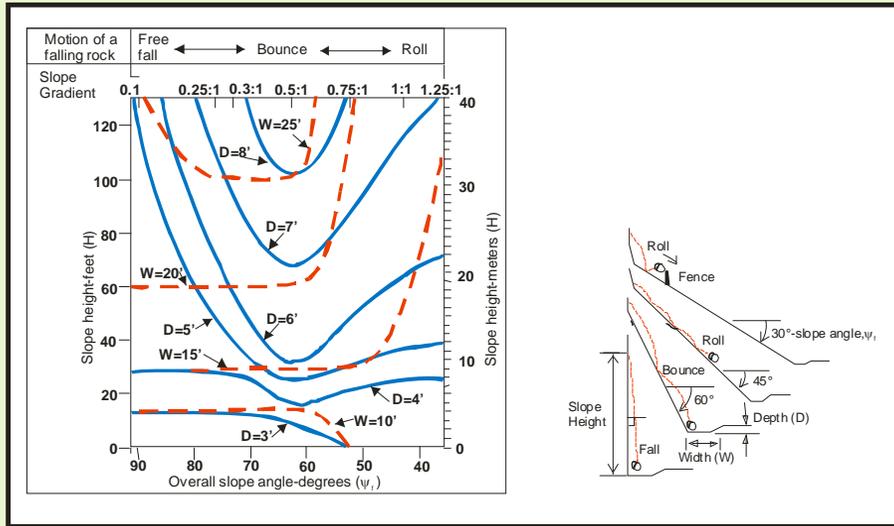


Espressioni dell'esponente  $x$  attribuite alle categorie utilizzate nel metodo modificato.



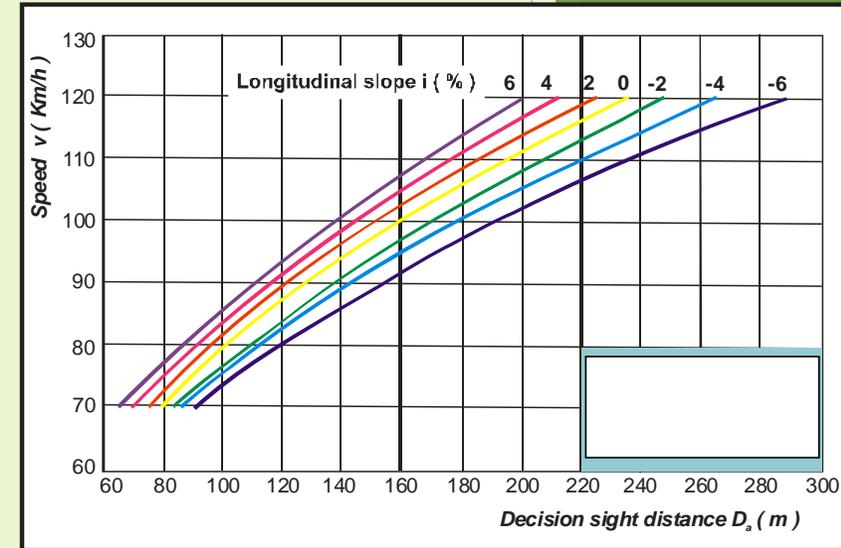
Fattori del metodo mRHS e punteggi

# Descrizione di alcuni dei parametri utilizzati



Abaco di Ritchie modificato da Whiteside (1986)

Distanza di visibilità per l'arresto in funzione della velocità (da CNR, 1980)



Classi di stabilità e valori di *Slope Mass Rating* secondo Romana, 1991

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

- dove: RMR = Rock Mass Rating di Bieniawski;
- F1 = misura il parallelismo tra la direzione della discontinuità e quella del pendio;
- F2 = valuta l'influenza dell'inclinazione della discontinuità;
- F3 = valuta il rapporto tra le inclinazioni della discontinuità e del pendio;
- F4 = tiene conto, per i fronti di scavo, del metodo di abbattimento della roccia.

## Per una corretta applicazione, occorre ricostruire le eventuali traiettorie di caduta dei massi

A tale scopo, qui è stato utilizzato il codice di calcolo **ROCFALL** (Rocscience, inc.) che consente un'analisi statistica (metodo Montecarlo) 2D del fenomeno di caduta massi al fine di valutare il livello di pericolosità dell'area studiata.

### PARAMETRI DI INPUT

Impostazioni iniziali di progetto

Geometria del versante

Proprietà fisico-meccaniche dei materiali

Definizione del point seeder

### PARAMETRI DI OUTPUT

Traiettorie di caduta

Punti di arresto

Altezze di rimbalzo

Velocità, energie cinetiche, ecc.

# APPLICAZIONE AD UN CASO REALE

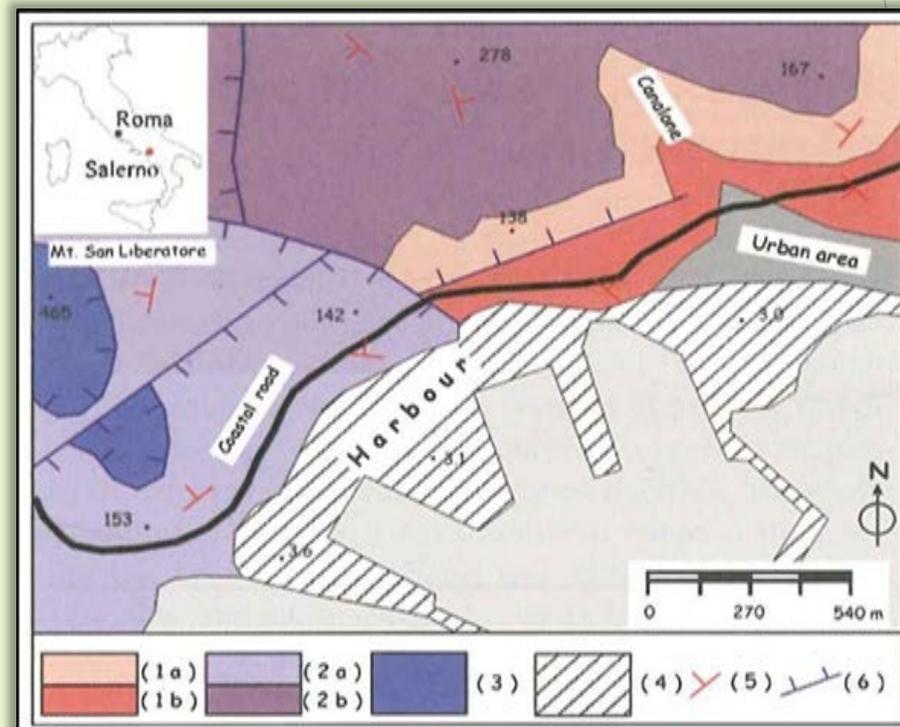
Il tratto stradale studiato appartiene alla ex SS18 «Salerno-Vietri sul Mare».

## ► INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

L'area di studio appartiene alla penisola Sorrentina-Amalfitana che separa due depressioni tettoniche: la Piana Campana a nord e il Golfo di Salerno a sud.

In figura:

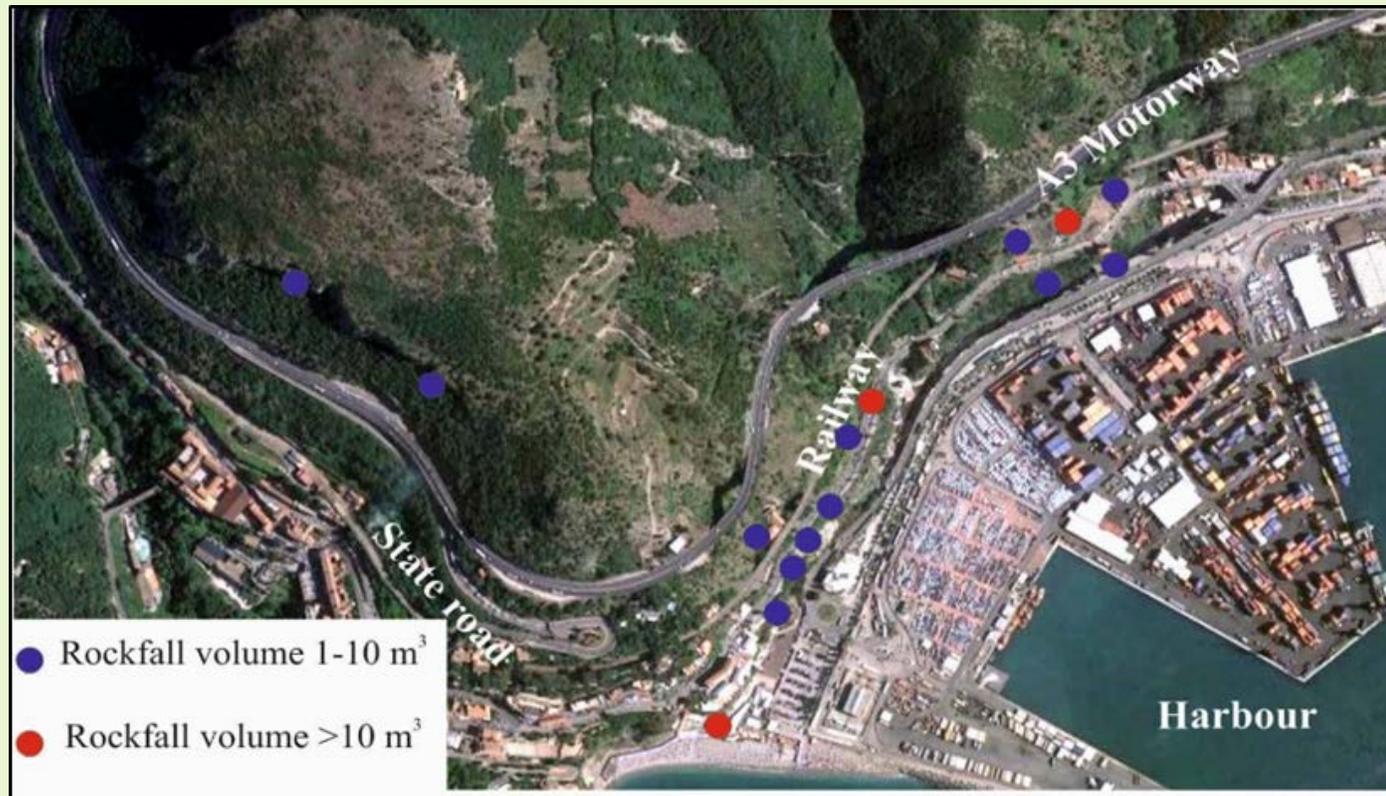
- ✓ (1a) Strati marnosi e calcarei alternati a marne argillose (Carnico);
- ✓ (1b) Calcari neri e dolomitici, talvolta con strati di breccie (Carnico);
- ✓ (2a) Dolomiti massicce e calcaree, talvolta con sottili strati di breccia (Norico-Retico);
- ✓ (2b) Dolomiti ben stratificate (Retico-Giurassico Inferiore);
- ✓ (3) Calcari, talvolta con sottili strati di marne e argille marnose (Giurassico Inferiore);
- ✓ (4) Materiali da riempimento;
- ✓ (5) Giacitura dei piani di stratificazione;
- ✓ (6) Faglia a bassa inclinazione.



# APPLICAZIONE AD UN CASO REALE

L'area è stata interessata a più riprese da crolli di massi con volumi varianti tra alcuni decimetri cubi fino a circa  $10 \text{ m}^3$ .

Dal 1969 al 2010 si sono verificati circa 22 crolli (IFFI: Inventario *dei* Fenomeni Franosi in Italia). Alcuni di questi eventi (13 frane) si sono verificati tra il 1993 e il 1997 mentre altri 5 risalgono ad un periodo successivo fino al 2010. L'ultimo crollo risale al mese di Novembre del corrente anno.



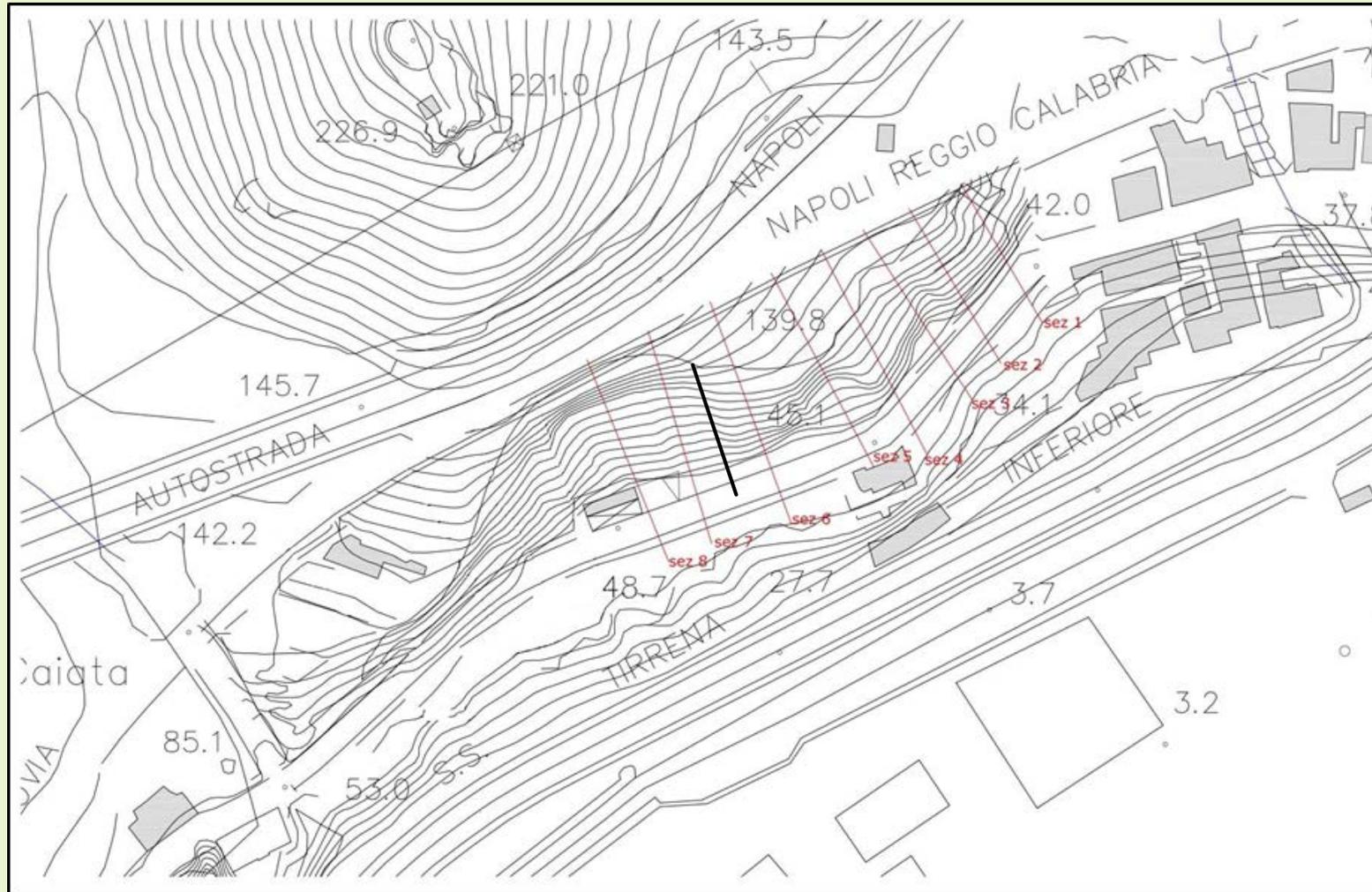
Il pendio interessato è attraversato a mezza costa dall'A3, dalla ferrovia, dalla ex SS 18 e dal viadotto Gatto. Alla base c'è l'area portuale di Salerno.

L'analisi di pericolosità è circoscritta ad un tratto di versante roccioso intensamente fratturato ed incombente sull'area portuale. Tra le cause dei crolli occorre annoverare anche le vibrazioni dovute al traffico pesante (treni, TIR).



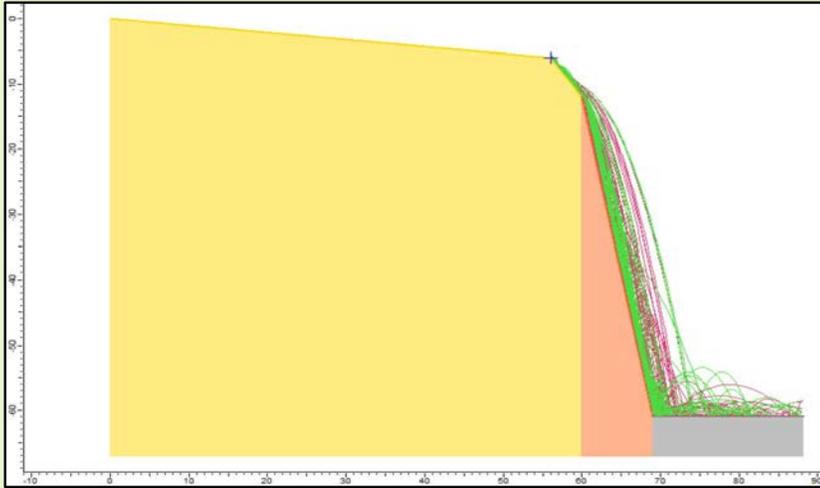
Il tratto stradale studiato è stato coinvolto da un crollo di circa 40 m<sup>3</sup> verificatosi il 18 Febbraio 2014.

L'analisi delle traiettorie è stata condotta in corrispondenza della sezione di crollo effettiva e di altre 8 sezioni poste nelle immediate vicinanze

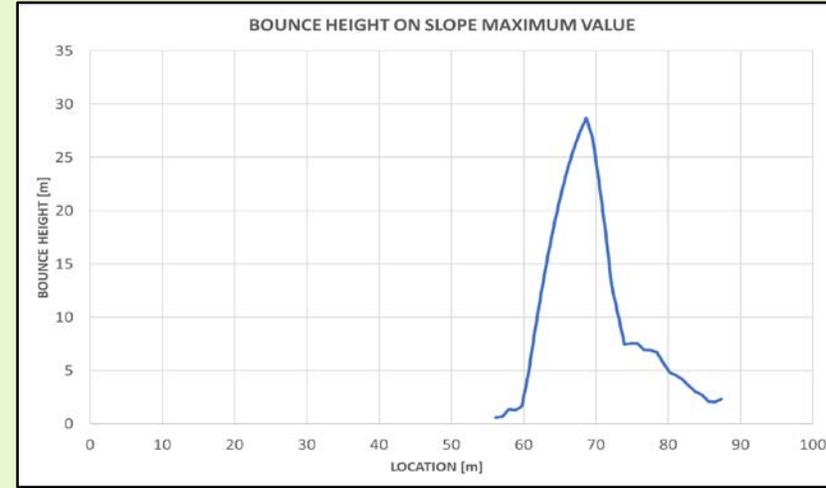


Inquadramento topografico dell'area con le sezioni analizzate (in nero la sezione di crollo effettiva).

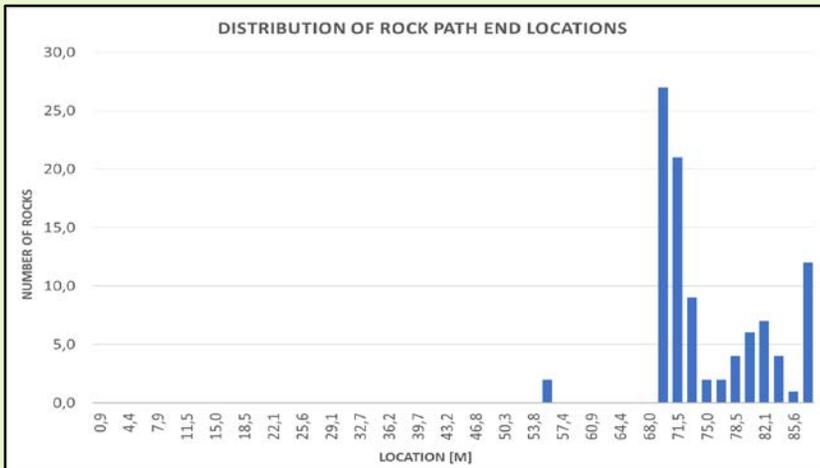
# RISULTATI DELLE ANALISI TRAIETTOGRAFICHE PER LA SEZIONE 5



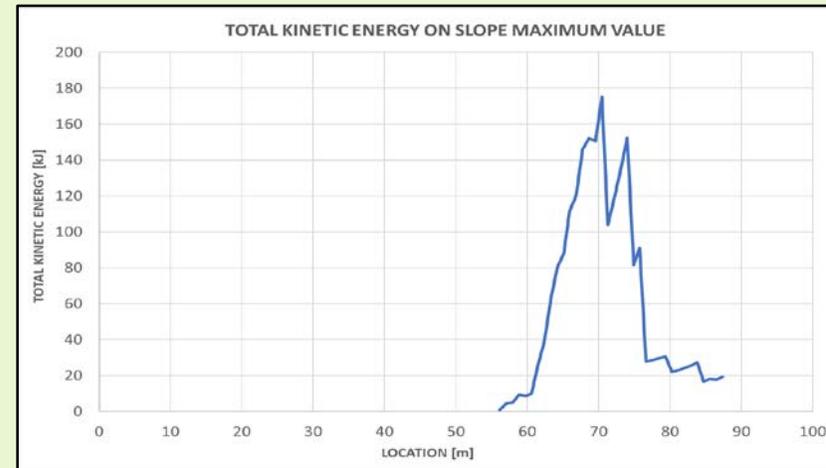
Andamento delle traiettorie



Altezze di rimbalzo

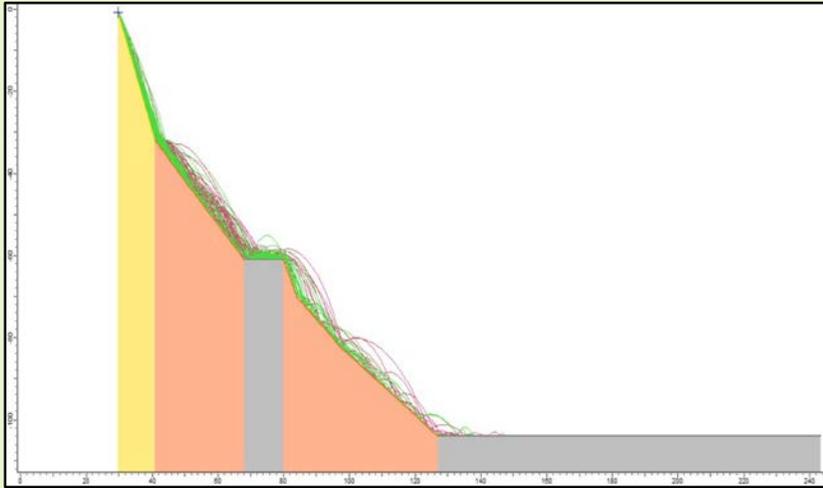


Punti di arresto dei massi

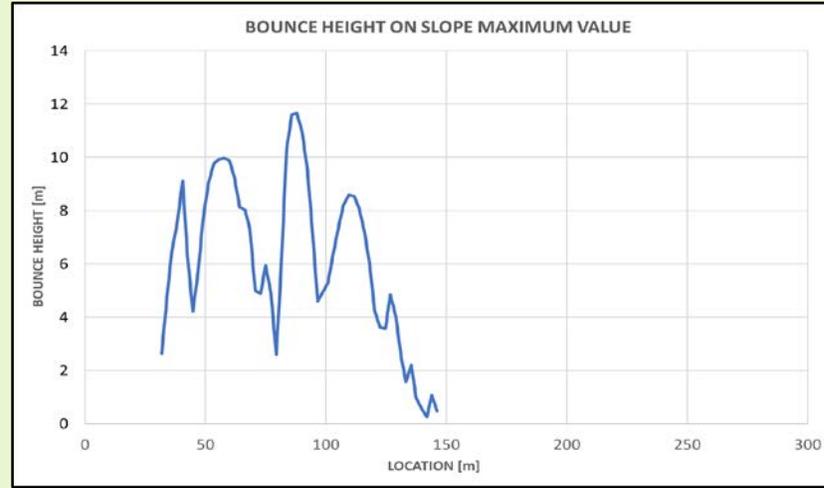


Energie cinetiche totali

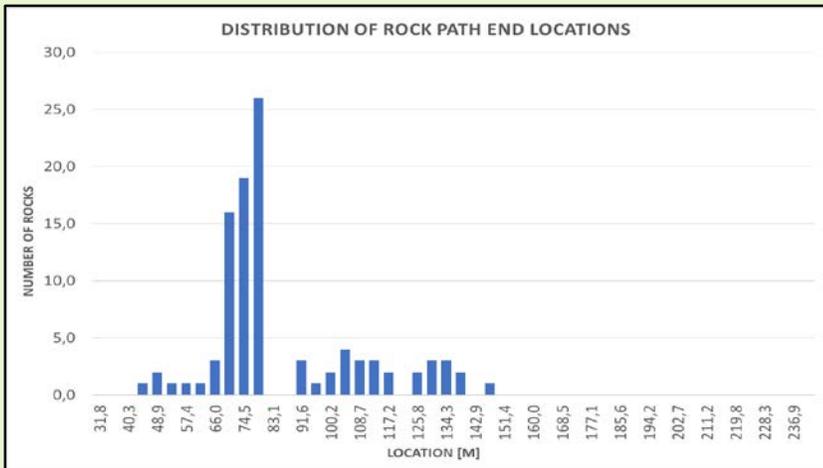
# RISULTATI GRAFICI: SEZIONE 8



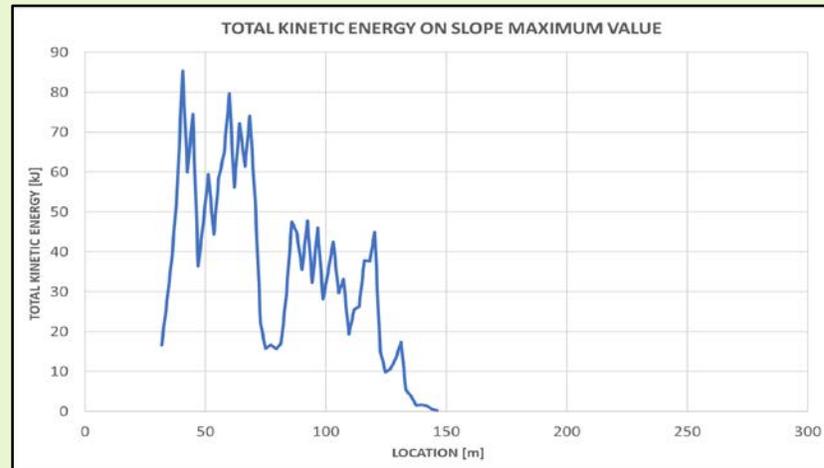
Andamento delle traiettorie



Altezze di rimbalzo



Punti di arresto dei massi

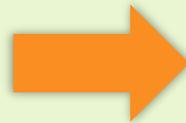


Energie cinetiche totali

# RISULTATI DEL METODO mRHRS

Sulla base dei dati a disposizione, sono stati ricavati i punteggi assegnati ai singoli parametri utili per il calcolo dell'indice finale mRHRS e per l'assegnazione dei pendii a diverse classi di rischio.

Applicazione del metodo mRHRS per il tratto «Salerno-Vietri sul Mare»: (\*) valore del PDSD per la sezione 4 verso Salerno e 5 verso Vietri sul Mare; (°) valore del PDSD per le restanti sezioni in entrambe le direzioni di marcia.

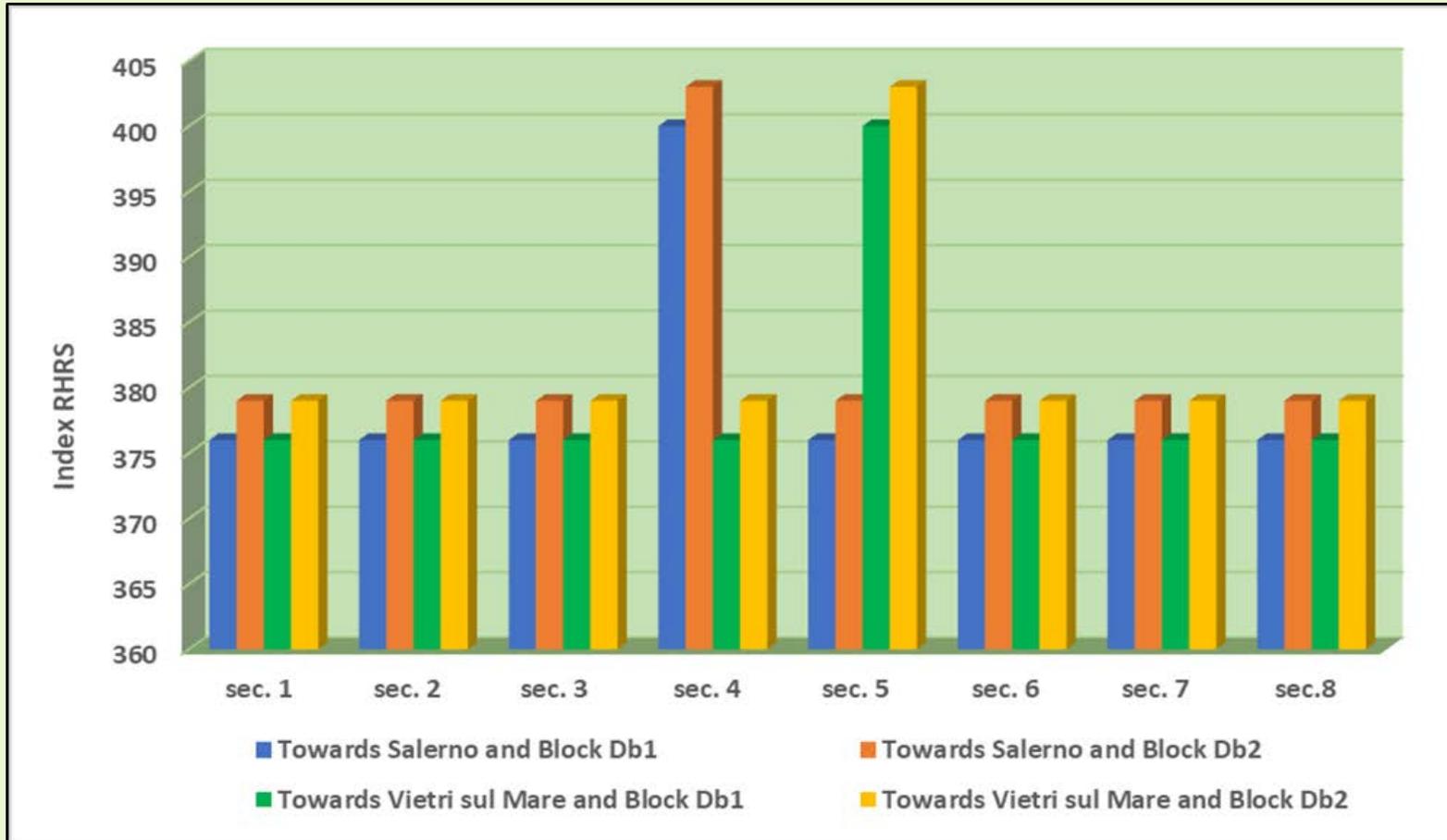


	RHRS < 300	300 ≤ RHRS ≤ 500	RHRS > 500
PRIORITÀ D'INTERVENTO	Low priority intervention area	Medium priority intervention area	High priority intervention area

Valori dell'indice RHRS e relative classi di rischio

PARAMETERS	VALUE	SCORE
SLOPE HEIGHT	$H_i > 30 m$	81
DITCH EFFECTIVENESS	No catchment	81
AVERAGE VEHICLE RISK	AVR = 153%	81
PERCENT OF DECISION SIGHT DISTANCE	PDSD = 60% (*)	27
	PDSD = 100% (°)	3
ROADWAY WIDTH	$L = 7,5 m$	39
SLOPE MASS RATING	SMR = 45	7
BLOCK SIZE	$D_{b1} = 0,25 m$	3
	$D_{b2} = 0,50 m$	6
ANNUAL RAINFALL	$h = 1187 mm$	77
ROCKFALL FREQUENCY	$f = 0,54$	4

# RISULTATI DEL METODO mRHRS



Poiché le sezioni 4 e 5 sono ubicate immediatamente prima e dopo una curva, per la quale la distanza di visibilità per l'arresto cambia sensibilmente, il punteggio finale risulta notevolmente più elevato rispetto alle altre sezioni. Il punteggio finale tiene conto anche delle diverse volumetrie potenziali dei massi.

Valori dell'indice finale per le 8 sezioni di studio

# CONCLUSIONI

- ▶ Il metodo *mRHRS* (integrato mediante *RocFall*) ha consentito di effettuare un'analisi di pericolosità e rischio sufficientemente dettagliata.
- ▶ La probabilità che i blocchi rocciosi intersechino la sede stradale (circa 80%), durante il loro moto di caduta e per diverse volumetrie di progetto, è particolarmente alta.
- ▶ I valori di altezza di rimbalzo (variabile tra 7 m e 30 m) e di energia cinetica (variabile tra circa 100 kJ e 175 kJ) risentono dei volumi potenziali dei massi.
- ▶ L'indice *mRHRS* identifica le aree come caratterizzate da condizioni di media pericolosità e rischio (con picchi per le sez. 4 e 5).
- ▶ Risulta necessaria la realizzazione di opere di mitigazione del danno (barriere paramassi, rinforzi corticali, etc.).
- ▶ Le aree esposte a rischio maggiore richiedono analisi più dettagliate, basate su un'approfondita conoscenza delle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dei pendii analizzati.

*“Conoscere il tuo pianeta è un passo verso il proteggerlo.”*

*Jacques Cousteau*

GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE

