



# **STUDIO GEOSTRUTTURALE DELL'AREA DI CASTELMOLA (MESSINA) E SIMULAZIONE DEL MOTO DI CADUTA MASSI**

## **Indice**

### **Introduzione**

**1. Inquadramento geologico**  
**Geologia dell'area**  
**Successione litostratigrafia**

**2. Rilievo geostrutturale**  
**Descrizione della procedura**  
**Stazioni di misura**  
**Elaborazione dei dati**

**3. Caduta massi**  
**Descrizione del metodo**  
**Sezioni di misura**

**Conclusione**  
**Bibliografia**

## **Introduzione**

La città di Castelmola, nel settore sud dei Monti Peloritani, è situata alla sommità di un pendio verticale che si affaccia sulla città di Taormina a 480 metri di altezza. Si tratta di un piccolo centro abitato la cui economia è basata quasi esclusivamente sul turismo.

La geologia dell'area è il risultato di deformazioni tettoniche dovute alla strutturazione della Catena Appenninico-Maghrebide.

L'obiettivo del lavoro di tesi è di rilevare le principali famiglie discontinuità per individuare i cunei di roccia potenzialmente instabili. Di questi si sono calcolate tutte le possibili traiettorie di caduta con i relativi impatti alle infrastrutture presenti nel versante.

La parete rocciosa oggetto dello studio è costituita da dolomie ed è posta al disopra dell'unica strada di collegamento al paese di Castelmola. L'eventuale instabilità della parete può essere causata da un elevato rischio per due fattori, il primo consistente nel fatto che la strada sottostante costituisce l'unico accesso ad alcune residenze private ed all'abitato, il secondo consistente nell'elevata pendenza del dirupo, che causa

un'elevata accelerazione dei massi ed il conseguente rischio per persone o cose.

## **1. Inquadramento geologico**

### **Geologia dell'area**

L'abitato di Castelmola si sviluppa nel settore meridionale dei Monti Peloritani ([Fig. 1](#)). Questi rappresentano l'ossatura della Catena Kabilo-Calabride, la terminazione meridionale dell'Arco Calabro-Peloritano. ([Caire, 1973](#); [Amodio Morelli et al., 1976](#); [Ben Avraham et al., 1990](#)). Le formazioni geologiche costituenti l'arco derivano dalla deformazione del originario margine Europeo ([Dewey et al., 1989](#)); esse sono costituite da rocce cristalline dell'era Ercinica coperte da formazioni sedimentarie che vanno dal Mesozoico al Terziario ([Atzori e Mezzani, 1974](#); [Lentini et al., 1995](#)). Gli affioramenti sono limitati a sud da un importante allineamento tettonico orientato da nord-ovest a sud-est, che espone il contatto, attraverso un sovrascorriamento sui sedimenti caotici del cuneo della Tetide ([Lentini et al., 1996](#)). Le unità Kabilo-Calabridi sono state dislocate verso sud a partire dal Serravalliano ([Lentini et al., 1995](#)) da sistemi di faglie con orientazione NO-SE appartenenti al Sistema Sud-

Tirrenico (Finetti et al., 1996). Un secondo sistema di faglie, orientato a NO-SE, è quello della Scarpata Ibleo-Maltese; questo sistema è molto attivo e sono frequenti i terremoti, alcuni dei quali di elevata magnitudine (Scandone et al., 1981; Tortorici et al., 1986). Il settore dei Peloritani è limitato ad est da un sistema di faglie che si orienta parallelamente alla costa ionica (NNE-SSO). La disposizione geologica dell'intera area dei Peloritani è stata formata dall'intersezione di questi sistemi di faglie, che ne hanno caratterizzato una segmentazione in settori di varie estensioni.

Fig.1 – Lineamenti tettonici della Sicilia orientale (Lentini et al., 1996)

La successione stratigrafica dell'area di Castelmola ([Fig. 2](#)) consiste in un basamento cristallino Ercinico che mostra vari gradi di metamorfismo, il quale è sovrapposto da rocce sedimentarie ([Carbone et al., 1994](#); [Catalano et al., 1995](#)). La copertura sedimentaria consiste, alla base, di arenarie del Triassico e conglomerati, appartenenti alla facies del Verrucano ([Duce', 1969](#)). Queste passano verso l'alto in una sequenza di calcari grigio-bianchi e dolomie di facies di piattaforma carbonatica del Liassico inferiore ([Lentini, 1973](#)). La sequenza verso l'alto gradualmente cambia in un'alternanza di calcari marnosi e marne grigie dell'era Carixiana-Domeriana della facies Medolo ([Fucini, 1935](#)).

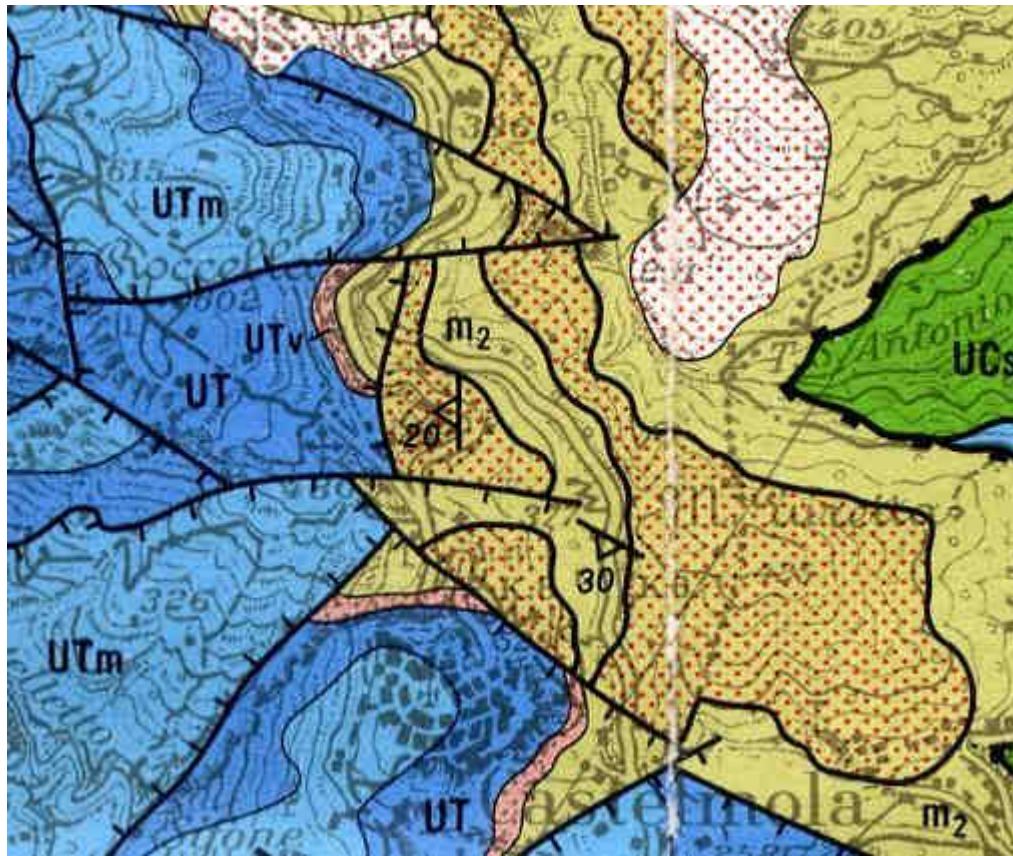


Fig. 2 - Carta geologica dell'area di studio. (UTm) Alternanza calcareo-marnosa in facies di "Medolo", (UTv) Arenarie e conglomerati rossi in facies di "Verrucano", (UCs) Calcarei rossi nodulari in facies di "Rosso ammonitico", calcari micritici rossi in facies di "Maiolica" e marne rosse, giallastre e verdognole in facies di "Scaglia", (m<sub>2</sub>) Semimetamorfiti sericitico-cloritiche e semimetamorfiti granitiche, (UT) Calcarei e dolomie.

## 1.2 Successione litostratigrafica

La parete rocciosa in esame (Fig. 3) è costituita in prevalenza di dolomie con una bassissima percentuale di calcari (Fig. 4), appartenenti alla Unità di Taormina.



Fig. 3 - Parete rocciosa in esame.

Si tratta di calcari bianco-grigiastri massivi e stratificati in grossi banchi, passanti lateralmente e verso l'alto a dolomie saccaroidi. Secondo Lentini et. al., (1996).



L'età della formazione è del Lias e lo spessore è variabile da pochi metri a oltre 300.



Fig. 4 - Particolare della parete rocciosa costituita da dolomie, si notano vene di calcite.

## **2. Rilievo geostrutturale**

### **Descrizione della procedura**

La parete rocciosa è stata suddivisa in tre stazioni di misura in funzione della direzione del versante. Sono state rilevate tutte le principali discontinuità attraverso l'utilizzo della bussola da geologo ([Fig. 5](#)). Il metodo utilizzato è quello della dip-immersion, che consiste nella individuazione del piano della discontinuità, si pone la bussola parallelamente alla direzione e a 90° rispetto il senso della immersione si legge l'angolo di immersione. L'inclinazione viene misurata con l'apposito inclinometro posto nella bussola ed è perpendicolare alla immersione.

Oltre alla giacitura della discontinuità vengono descritte le sue caratteristiche quali il tipo di discontinuità, la spaziatura, la frequenza, l'apertura, il tipo di riempimento, la presenza d'acqua e la rugosità (Tab. 1).



Fig. 5 Bussola da geologo.

Tabella 1 Schema utilizzato per la descrizione delle discontinuità

Stazione di misura:			
Lunghezza (m):	Larghezza (m):	Altezza (m):	
Giacitura (Dip immersion):			
Immersione (°)	Inclinazione (°)	Litotipo	Tipo di discontinuità (kk<1 m; R>10 m; KK 1-10 m)
Spaziatura (m)		Frequenza (m)	Apertura (C=chiusa; A1=aperta in mm)
Tipo di riempimento (C=calcite; A=argilla:		Presenza di acqua (Si - No)	
Rugosità (Liscia=L; Ruvida=R)			

I dati sono stati inseriti nel database strutturale del programma [Geodbase](#), che ha permesso di plottare i dati in proiezione stereografica, calcolare le intersezioni di una famiglia di piani e di individuare l'area critica. La proiezione utilizzata è quella dell'emisfero inferiore del reticolo di Schmidt.

Le discontinuità sono state riportate in un sistema CAD che ha permesso di rappresentare l'intera parete di studio. La procedura si è conclusa con la individuazione dei cunei di roccia potenzialmente instabili.

## **2.2 Stazioni di misura**

La parete rocciosa oggetto di studio presenta una larghezza di 65 metri ed un'altezza media di 5 metri. È stata suddivisa in tre stazioni di misura in funzione della giacitura del versante, procedendo da sinistra verso destra:

- prima stazione, larga 10 metri circa, giacitura 70/75;
- seconda stazione, centrale e larga 50 metri circa, giacitura 50/75;
- terza stazione, centrale e larga 50 metri circa, giacitura 90/75;

### Stazione di misura 1 (70/75)

In questa stazione sono state individuate 19 discontinuità e sono state classificate nella seguente tabella in funzione delle caratteristiche giacitureali e descrittive.

Tabella 2 – Discontinuità della stazione 1

<b>Stazione di misura: 1</b>									
<b>Larghezza (m): 10      Altezza (m): 5</b>									
<b>Giacitura (Dip immersion): 70/75</b>									

Immerstone (°)	Inclinazione (°)	Litotipo	Tipo di discontinuità (kk<1 m; R>10 m; KK 1-10 m)	Spaziatura (m)	Frequenza (m)	Apertura (C=chiusa; A1=aperta in mm)	Tipo di riempimento (C=calcite; A=argilla)	Presenza di acqua (Si - No)	Rugosità (Liscia=L; Ruvida=R)
----------------	------------------	----------	---	----------------	---------------	--	--	--------------------------------	-------------------------------------

1	150	62	DOLOMIA	KK	1,6	0,62	A1=50	D	NO	R
2	150	62	DOLOMIA	KK	1,6	0,62	C		NO	L
3a	280	50	DOLOMIA	KK	4	0,25	C		NO	R
3	240	20	CALCARENIT	KK	2,15	0,46	C		NO	R
4	240	20	CALCARENIT	KK	2,15	0,46	C		NO	R
5	150	62	DOLOMIA	KK	1,6	0,62	C		NO	R
5b	150	70	DOLOMIA	KK	1,6	0,62	C		NO	R
6	150	62	DOLOMIA	KK	1,6	0,62	C		NO	R

7	290	20	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
8	270	40	DOLOMIA	KK	4	0,25	C		NO	R
9	150	62	DOLOMIA	KK	1,6	0,62	C		NO	R
10	140	65	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
11b	150	65	DOLOMIA	KK	1,6	0,62	C		NO	R
11	140	65	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
12	140	65	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
13	140	65	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
14b	240	30	DOLOMIA	KK	2,15	0,46	C		NO	R
14	310	22	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
15	310	22	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R

Dalla precedente tabella vediamo che il 74% delle discontinuità (Fig. 6) hanno una *spaziatura* compresa tra 0 e 2 metri mentre per il restante 26% è compresa tra 2,1 e 4 metri. Questo vuol dire che le fratture sono molto vicine tra loro e che i cunei che si vengono a formare e che quindi potrebbero scivolare dalla parete rocciosa sono di piccole dimensioni.

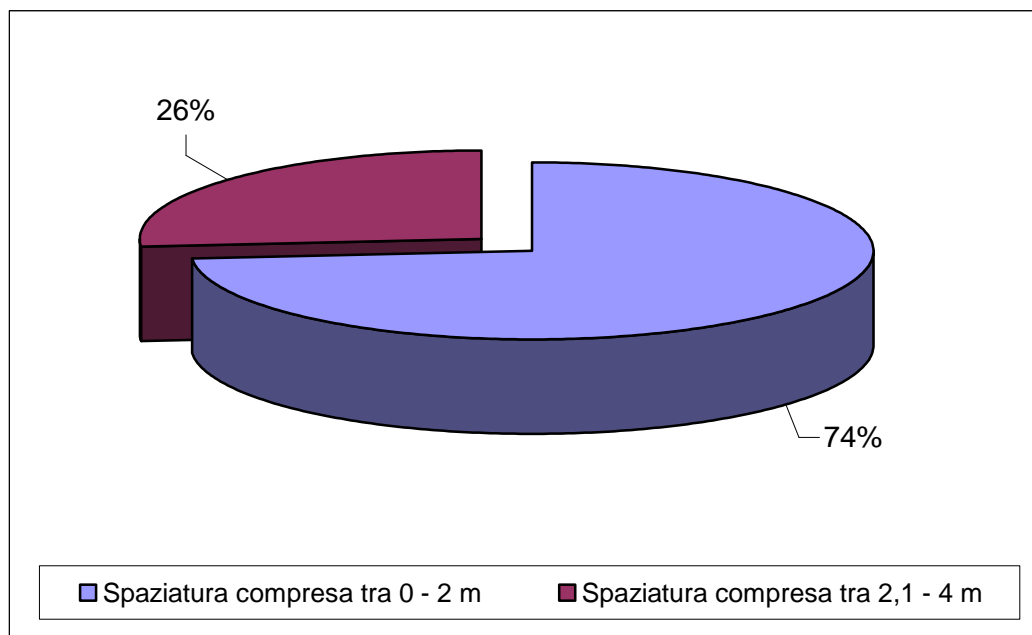


Fig. 6 – Diagramma a torta con percentuali delle spaziature delle discontinuità della stazione 1

Tutte le discontinuità di questa stazione tranne una sono *chiuse*; questo a vantaggio della stabilità della parete poiché aumenta l'attrito tra le pareti della frattura e quindi si ha una maggiore resistenza all'eventuale scivolamento.

Le pareti delle fratture sono tutte *ruvide*, e anche questo è a vantaggio della stabilità poiché si ha un'ulteriore resistenza allo scivolamento.

In tutte le fratture non si ha *presenza d'acqua*; anche questo è a vantaggio della stabilità dell'ammasso roccioso in quanto l'acqua infiltrandosi all'interno delle fratture provoca crioclastismo con conseguente



allargamento delle fratture ed una diminuzione della resistenza meccanica della roccia.

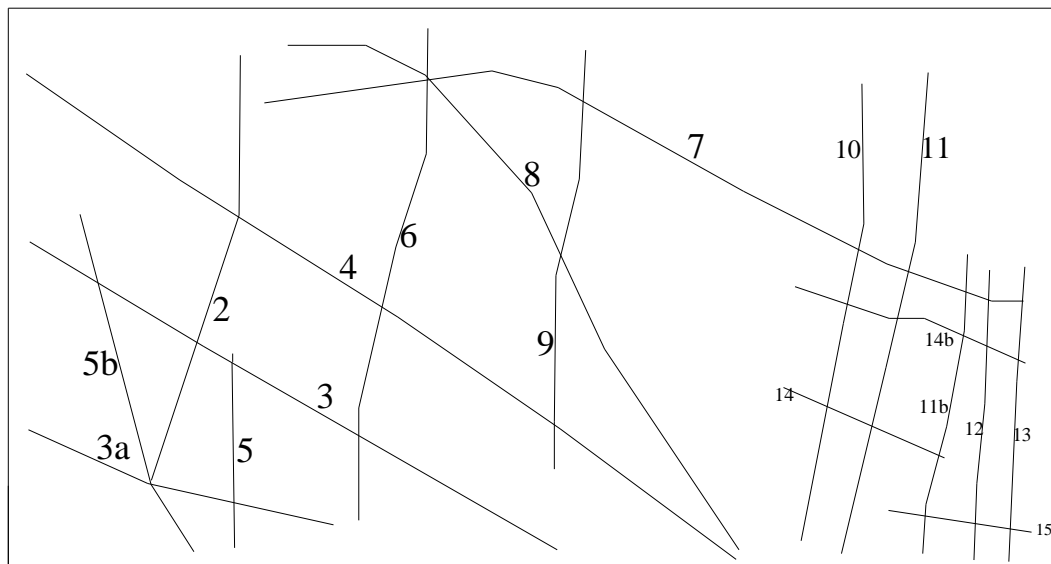


Fig. 7 - Schema della parete e delle discontinuità presenti alla stazione 1.



Fig. 8 - Panoramica della parete rocciosa della stazione 1.

### Stazione di misura 2 (50/75)

In questa stazione sono state individuate 88 discontinuità e sono state classificate nella seguente tabella in funzione delle caratteristiche giaciture e descrittive.

Tabella 3 – discontinuità della stazione 2

<b>Stazione di misura: 2</b>									
<b>Larghezza (m): 50      Altezza (m): 5</b>									
<b>Giacitura (Dip immersion): 50/75</b>									

	Immersione (°)	Inclinazione (°)	Litotipo	Tipo di discontinuità (kk<1 m; R>10 m; KK 1-10 m)	Spaziatura (m)	Frequenza (m)	Apertura (C=chiusa; A1=aperta in mm)	Tipo di riempimento (C=calcite; A=argilla;	Presenza di acqua (Sì - No)	Rugosità (Liscia=L; Ruvida=R)
17	310	25	DOLOMIA	KK	1	1	A1=10	D	NO	R
17b	310	20	DOLOMIA	KK	1	1	C		NO	R
18	340	70	DOLOMIA	KK	10,6	0,09	C		NO	R
19	340	70	DOLOMIA	KK	10,6	0,09	A1=10	D	NO	R
20	340	70	DOLOMIA	KK	10,6	0,09	A1=10	D	NO	R

21	130	50	DOLOMIA	KK	1,41	0,71	C		NO	R
22	130	80	DOLOMIA	KK	6,17	0,16	C		NO	R
23	130	50	DOLOMIA	KK	1,41	0,71	C		NO	R
23b	130	85	DOLOMIA	KK	6,17	0,16	A1=20		NO	R
23c	320	80	DOLOMIA	KK	6	0,16	A1=10	D	NO	R
23d	320	75	DOLOMIA	KK	6	0,16	A1=10	D	NO	R
23e	320	75	DOLOMIA	KK	6	0,16	A1=10	D	NO	R
23f	260	35	DOLOMIA	KK	6	0,16				
24	130	63	DOLOMIA	KK	1,41	0,71	A1=10	D	NO	R
25	150	62	DOLOMIA	KK	1,57	0,64	C		NO	R
25b	180	50	DOLOMIA	KK	1,57	0,64	A1=10	D	NO	R
26	130	55	DOLOMIA	KK	1,41	0,71	C		NO	R
27	150	55	DOLOMIA	KK	1,57	0,64	A1=10	D	NO	R
27a	160	35	DOLOMIA	KK	4,6	0,22	C		NO	R
27b	160	50	DOLOMIA	KK	4,6	0,22	A1=10	D	NO	R
28	110	60	DOLOMIA	KK	2,9	0,34	C		NO	R
28a	160	65	DOLOMIA	KK	4,6	0,22	C		NO	R
29	230	40	DOLOMIA	KK	0,67	1,5	C		NO	R
29a	160	65	DOLOMIA	KK	4,6	0,22	A1=10	D	NO	R
30	230	40	DOLOMIA	KK	0,67	1,5	C		NO	R
31	230	40	DOLOMIA	KK	0,67	1,5	C		NO	R
32	230	40	DOLOMIA	KK	0,67	1,5	C		NO	R
33	230	40	DOLOMIA	KK	0,67	1,5	C		NO	R

34	230	40	DOLOMIA	KK	0,67	1,5	C		NO	R
35	90	50	DOLOMIA	KK	2,9	0,34	C		NO	R
36	70	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
36a	70	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
36b	160	65	DOLOMIA	KK	4,6	0,22	C		NO	R
37	70	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
38	0	85	DOLOMIA	KK	7,4	0,13	A1=10	D	NO	R
38a	170	55	DOLOMIA	KK	1,57	0,64	C		NO	R
38b	90	30	DOLOMIA	KK	1,57	0,64	C		NO	R
39	0	85	DOLOMIA	KK	7,4	0,13	C		NO	R
40	70	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
41	160	50	DOLOMIA	KK	4,6	0,22	C		NO	R
41a	130	75	DOLOMIA	KK	7,09	3,14	A1=10	D	NO	R
41b	310	55	DOLOMIA	KK	7,09	3,14	A1=10	D	NO	R
41c	320	90	DOLOMIA	KK	6	0,16	C		NO	R
41d	60	55	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
42	120	70	DOLOMIA	KK	5,8	0,17	A1=10	D	NO	R
43	220	50	DOLOMIA	KK	3,8	0,26	A1=20	D	NO	R
44	150	60	DOLOMIA	KK	0,8	1,25	A1=10	D	NO	R
45	150	60	DOLOMIA	KK	0,8	1,25	A1=10	D	NO	R
46	150	60	DOLOMIA	KK	0,8	1,25	A1=10	D	NO	R
47	130	60	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
47a	210	40	DOLOMIA	KK	3,8	0,26	C		NO	R

48	130	70	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	A1=10	D	NO	R
48a	130	70	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
48b	130	85	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	A1=10		NO	R
48c	130	70	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
48d	130	70	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
48e	130	70	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
48f	130	70	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
48g	130	70	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
49	230	35	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
50	230	35	DOLOMIA	KK	0,9	1,11	C		NO	R
51	150	60	DOLOMIA	KK	2,61	0,38	C		NO	R
52	150	82	DOLOMIA	KK	2,61	0,38	C		NO	R
53	330	85	DOLOMIA	KK	7,4	0,13	C		NO	R
54	150	70	DOLOMIA	KK	2,61	0,38	C		NO	R
55	310	60	DOLOMIA	KK	7,09	3,14	C		NO	R
56	120	80	DOLOMIA	KK	5,8	0,17	C		NO	R
57	180	60	DOLOMIA	KK	5,8	0,17	C	D	NO	R
58	310	60	DOLOMIA	KK	7,09	3,14	C		NO	R
59	310	60	DOLOMIA	KK	7,09	3,14	C	D	NO	R
61	120	60	DOLOMIA	KK	5,8	0,17	A1=10	D	NO	R
62	120	60	DOLOMIA	KK	5,8	0,17	A1=10	D	NO	R
64	120	60	DOLOMIA	KK	5,8	0,17	A1=10	D	NO	R
65	210	55	DOLOMIA	KK	3,8	0,26	C	D	NO	R

66	340	60	DOLOMIA	KK	10,6	0,09	A1=50	D	NO	R
67	210	55	DOLOMIA	KK	3,8	0,26	C		NO	R
68	270	15	DOLOMIA	KK	3,8	0,26	C		NO	R
68a	270	15	DOLOMIA	KK	3,8	0,26	C		NO	R
68b	340	50	DOLOMIA	KK	10,6	0,09	C		NO	R
68c	320	65	DOLOMIA	KK	6	0,16	A1=10	D	NO	R
68d	270	60	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R
69	250	55	DOLOMIA	KK	0,75	1,33	C		NO	R
70	250	55	DOLOMIA	KK	0,75	1,33	C		NO	R
71	350	75	DOLOMIA	KK	1,8	0,55	A1=15	D	NO	R
73	290	50	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R
74	350	75	DOLOMIA	KK	1,8	0,55	C		NO	R
75	70	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R
75b	100	40	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C		NO	R

Il 50% delle discontinuità (Fig. 9) hanno una spaziatura compresa tra 0 e 2 metri ed anche in questo caso come nella Stazione 1 le fratture sono molto vicine tra loro e quindi i cunei che si vengono a formare e che potrebbero scivolare dalla parete rocciosa sono di piccole dimensioni. Vi sono però molte fratture (17%) che hanno una spaziatura che va dai 4 agli oltre 10 metri. Quest'ultime intersecandosi formano cunei di grandi dimensioni il cui scivolamento potrebbe

provocare gravi conseguenze sia per la strada sottostante la parete rocciosa che per le infrastrutture sottostanti la strada.

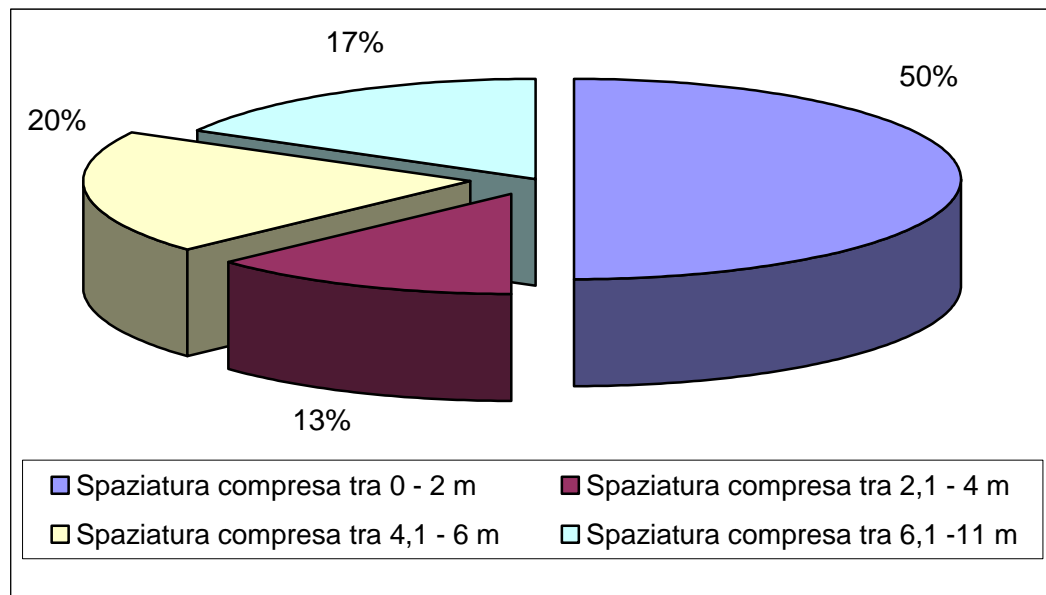


Fig. 9 – Diagramma a torta con percentuali delle spaziature delle discontinuità della stazione 2

La maggior parte delle discontinuità presenti sono chiuse (59) mentre la restante parte (28) sono aperte con una apertura media pari a 10 mm. Laddove le fratture sono aperte c'è una minore resistenza allo scivolamento e quindi una maggiore instabilità.

Questa stazione rispetto alla precedente ha nelle fratture la presenza di *riempimento* costituito da

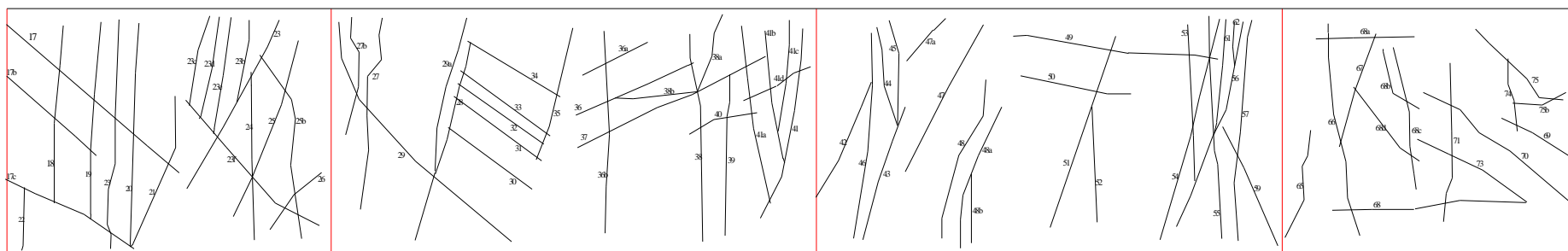
materiale detritico che ha caratteristiche meccaniche peggiori rispetto alla roccia intatta.

Le pareti delle fratture sono tutte *ruvide*, a vantaggio della stabilità poiché si ha una maggiore resistenza allo scivolamento. Anche in questo caso non è stata segnalata *la presenza di acqua* nelle fratture.

Nella [Figura 10](#) è rappresentato lo schema della parete e delle discontinuità della stazione 2.

Quest'ultima è stata suddivisa in quattro parti indicate con le lettere a, b, c, d procedendo da sinistra verso destra. In questo modo si è potuto accostare meglio lo schema di una parte della parete con la foto della stessa.





a

b

c

d

Fig. 10 - Schema della parete e delle discontinuità presenti alla stazione 2.

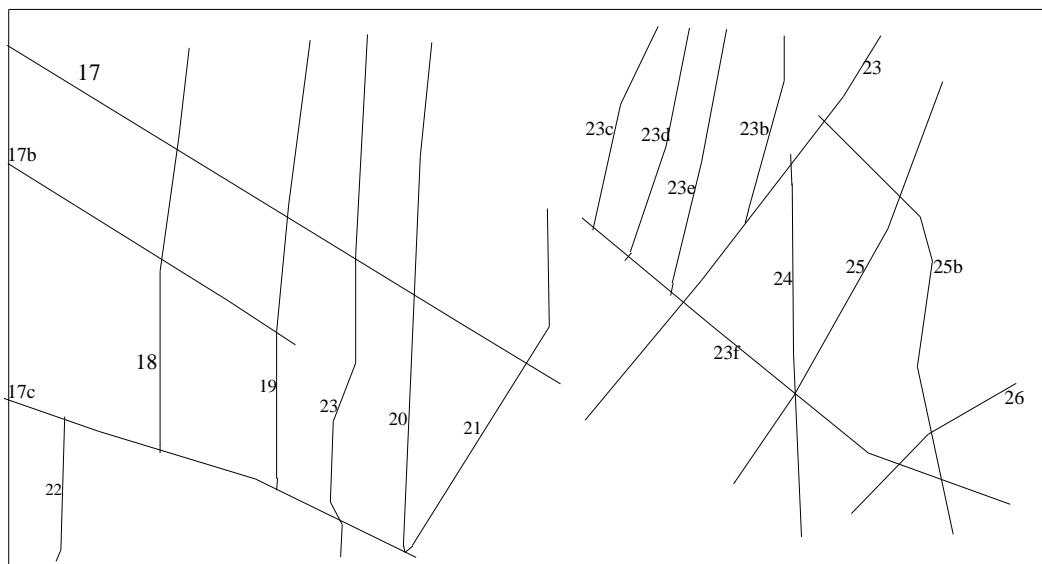


Fig. 11 – Particolare delle discontinuità nella *parte a* della stazione 2.

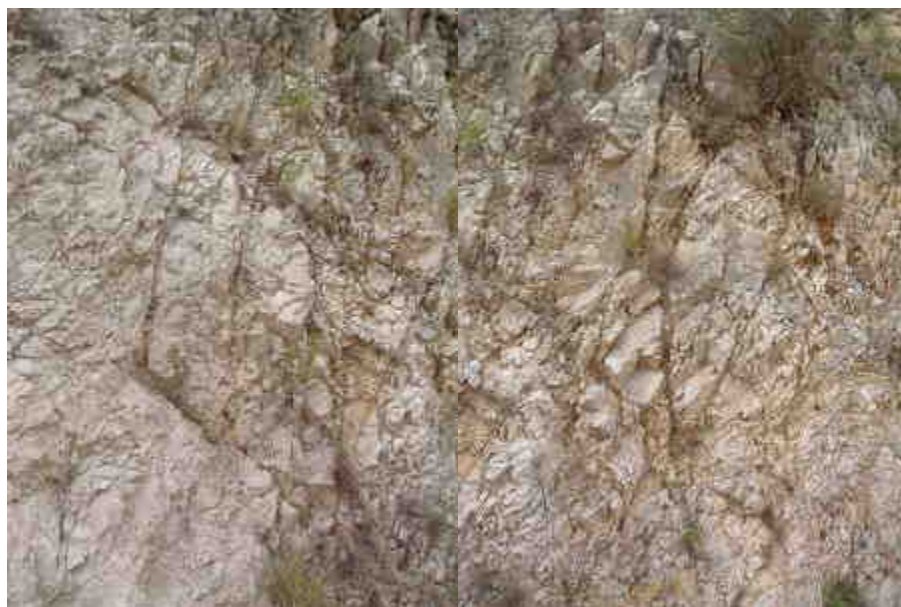


Fig. 12 - Particolare della stessa, si noti l'intensa fatturazione presente nella parete rocciosa.

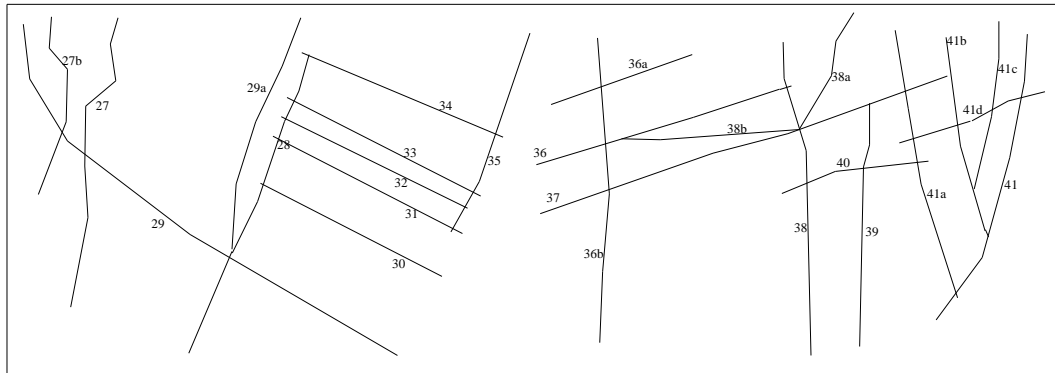


Fig. 13 – Particolare delle discontinuità nella *parte b* della stazione 2.



Fig. 14 - Particolare della stessa

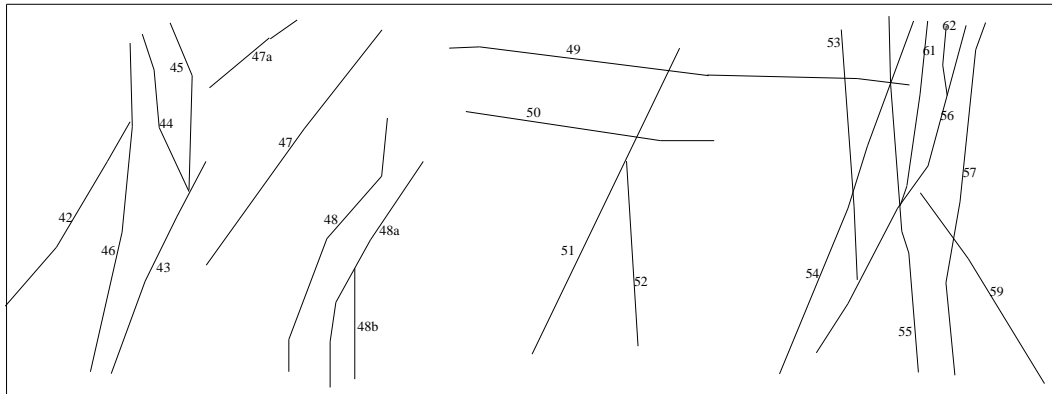


Fig. 15 – Particolare delle discontinuità nella *parte c* della stazione 2.



Fig. 16 - Particolare della stessa

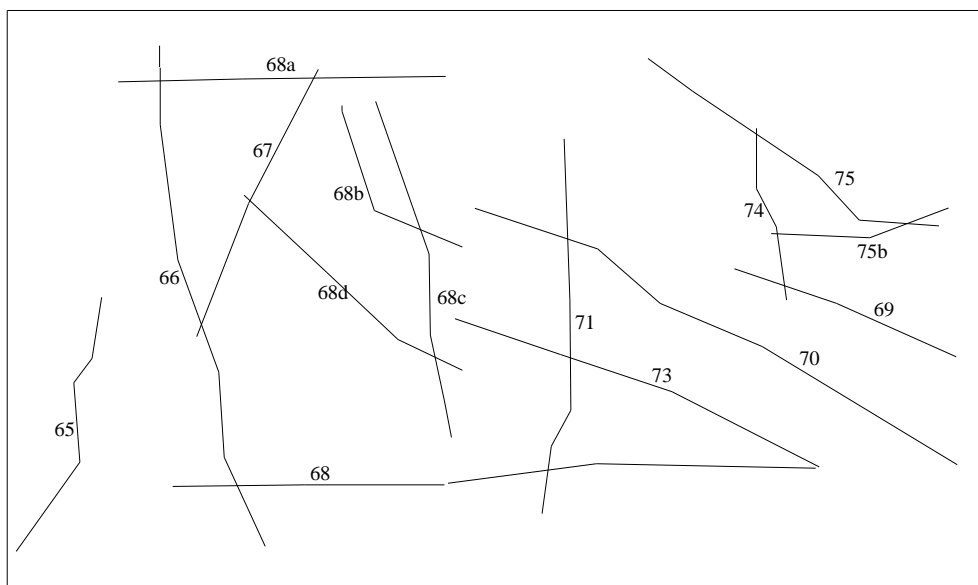


Fig. 17 – Particolare delle discontinuità nella *parte d* della stazione 2.



Fig. 18 - Particolare della stessa

### Stazione 3 (90/75)

In questa stazione sono state individuate 19 discontinuità e sono state classificate nella seguente tabella in funzione delle caratteristiche giacitureali e descrittive.

Tabella 4 – Discontinuità della stazione 3

<b>Stazione di misura: 3</b>									
<b>Larghezza (m): 5      Altezza (m): 5</b>									
<b>Giacitura (Dip immersion): 90/75</b>									

Immersione (°)	Inclinazione (°)	Litotipo	Tipo di discontinuità (kk<1 m; R>10 m; KK 1-10 m)	Spaziatura (m)	Frequenza (m)	Apertura (C=chiusa; A1=aperta in mm)	Tipo di riempimento (C=calcite; A=arcilla;	Presenza di acqua (Sì - No)	Rugosità (Liscia=L; Ruvida=R)
----------------	------------------	----------	---	----------------	---------------	--	--	--------------------------------	-------------------------------------

72	270	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	A1=10	D	NO	R
72a	270	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C	D	NO	R
72b	270	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C	D	NO	R
72c	270	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C	D	NO	R
72d	270	45	DOLOMIA	KK	0,6	1,66	C	D	NO	R
76	90	45	DOLOMIA	KK	0,5	2	A1=20		NO	R
76a	90	45	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R
76b	90	45	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R

76c	90	45	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R
77	315	80	DOLOMIA	KK	0,95	1,05	C		NO	R
78	315	80	DOLOMIA	KK	0,95	1,05	C		NO	R
79	315	80	DOLOMIA	KK	0,95	1,05	C		NO	R
80	315	80	DOLOMIA	KK	0,95	1,05	A1=20		NO	R
81	70	45	DOLOMIA	KK	1	1	C		NO	R
81a	70	45	DOLOMIA	KK	1	1	C		NO	R
82	330	85	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R
82a	330	85	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R
82b	330	85	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R
82c	330	85	DOLOMIA	KK	0,5	2	C		NO	R

In figura 19 si nota come tutte le discontinuità hanno una spaziatura inferiore al metro. Questo vuol dire che le fratture sono molto vicine tra loro e che i cunei che si vengono a formare e che quindi potrebbero scivolare dalla parete rocciosa sono di piccole dimensioni.

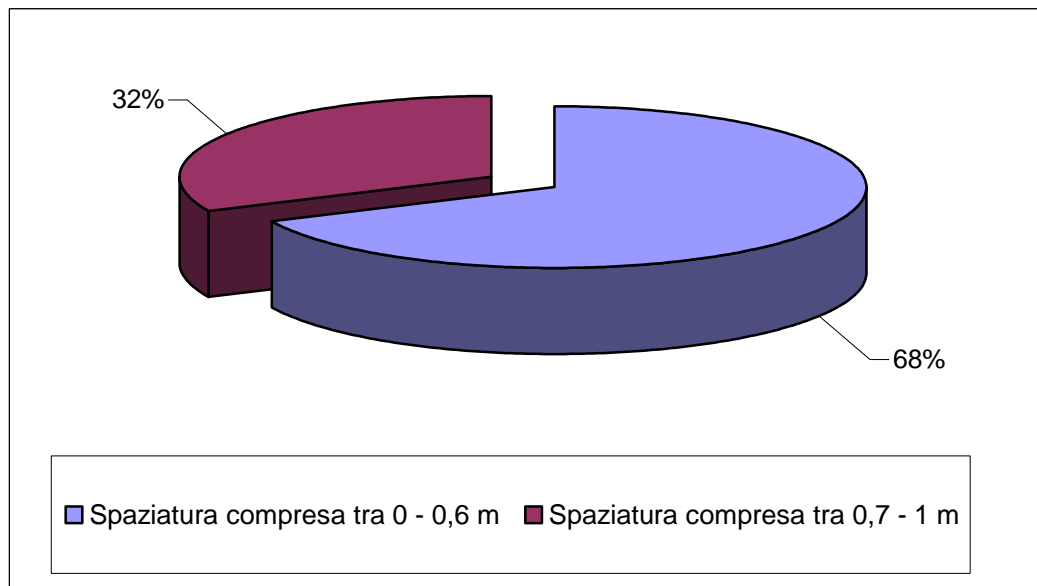


Fig. 19 – Diagramma a torta con percentuali delle spaziature delle discontinuità della stazione 3

Tutte le discontinuità di questa stazione tranne una sono *chiuse*; le pareti delle fratture sono tutte *ruvide*, e non si ha *presenza d'acqua*.



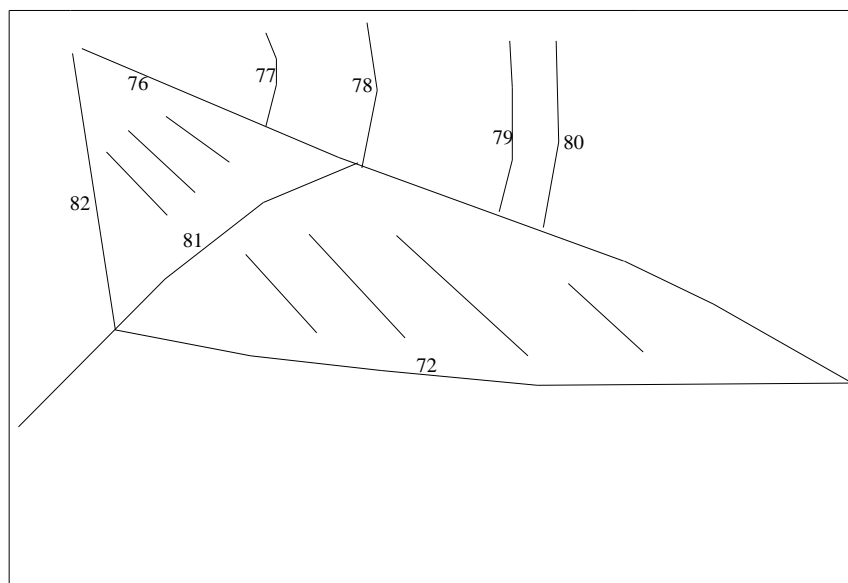


Fig. 20 - Schema della parete e delle discontinuità presenti alla stazione 3.



Fig. 21 - Panoramica della parete rocciosa della stazione 3.

## 2.2 Elaborazione dei dati

I dati strutturali fin qui ottenuti sono stati inseriti nel database strutturale del programma GeodBase, il quale dopo averli elaborati ci restituisce la proiezione nel reticolo di Schmidt in tre forme: ciclografica, polare, contouring. Attraverso questi grafici è possibile raggruppare le discontinuità in famiglie. Verificare se ci sono o meno intersezioni tra le famiglie, individuare le intersezioni con il piano del pendio e quindi stabilire se vi siano:

- Instabilità per scivolamento planare, cioè scivolamenti lungo una discontinuità;
- Instabilità per scivolamento di un cuneo;
- Instabilità per ribaltamento ("toppling");
- Scorrimenti rotazionali;

Vediamo brevemente quali sono le condizioni generali affinché si possano verificare questi casi:

*Instabilità per scivolamento planare (Fig. 22)*

- L' inclinazione del pendio deve essere maggiore della potenziale superficie di scivolamento;
- La potenziale superficie di scivolamento deve affiorare sul pendio (franapoggio);

- L'inclinazione della potenziale superficie di scivolamento deve vincere le forze stabilizzanti (angolo d'attrito) agenti sulla superficie delle discontinuità;
- L'immersione della superficie di scivolamento deve avere una giacitura approssimativamente variabile entro un range di  $\pm 20^\circ$  rispetto all'immersione del pendio.

*Instabilità per scivolamento di un cuneo (Fig. 23)*

- L'inclinazione del pendio deve essere maggiore dell'inclinazione della linea d'intersezione di due piani di discontinuità che definiscono un potenziale cuneo di roccia;
- La linea di intersezione di due piani di discontinuità che definiscono un potenziale cuneo di roccia deve affiorare sul pendio (franapoggio);
- L'inclinazione della linea di intersezione di due piani di discontinuità deve vincere le forze stabilizzanti (angolo d'attrito) agenti su tale coincidente discontinuità.

*Instabilità per ribaltamento ("toppling")* (Fig. 24)

- L'immersione del giunto deve essere all'interno del versante (reggipoggio);
- L'immersione della discontinuità deve avere una giacitura approssimativamente variabile entro un range di  $(180 \pm 20)^\circ$  rispetto all'immersione del pendio.

*Scorrimenti rotazionali* (Fig. 25)

- Deve esserci una dispersione di misure, quindi la roccia deve essere molto fratturata.

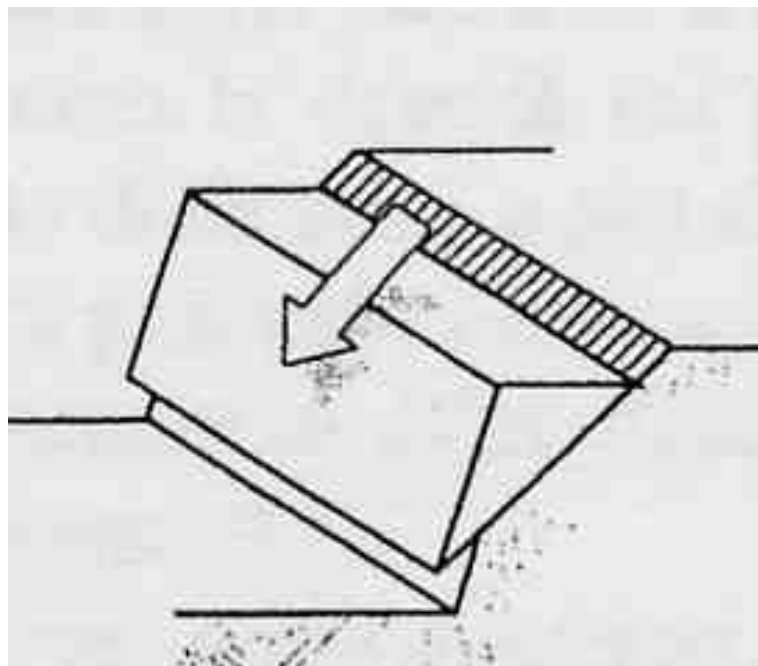


Fig. 22 – Scivolamento planare o scivolamento lungo una discontinuità.

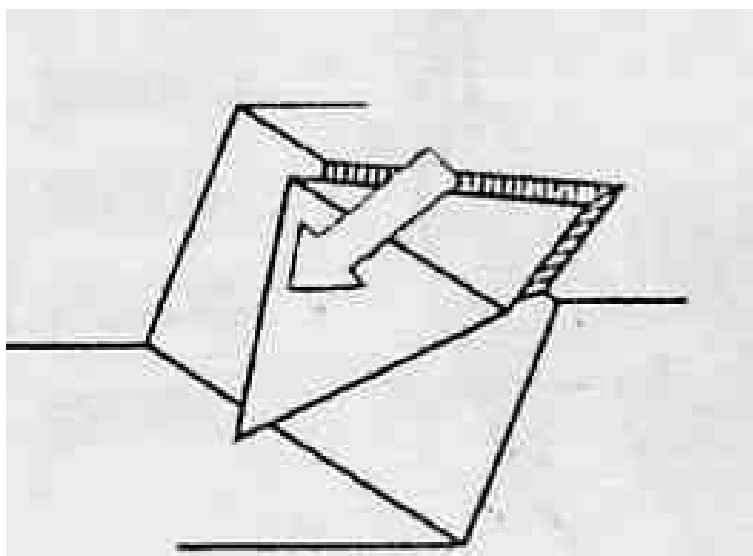


Fig. 23 – Scivolamento di cuneo.

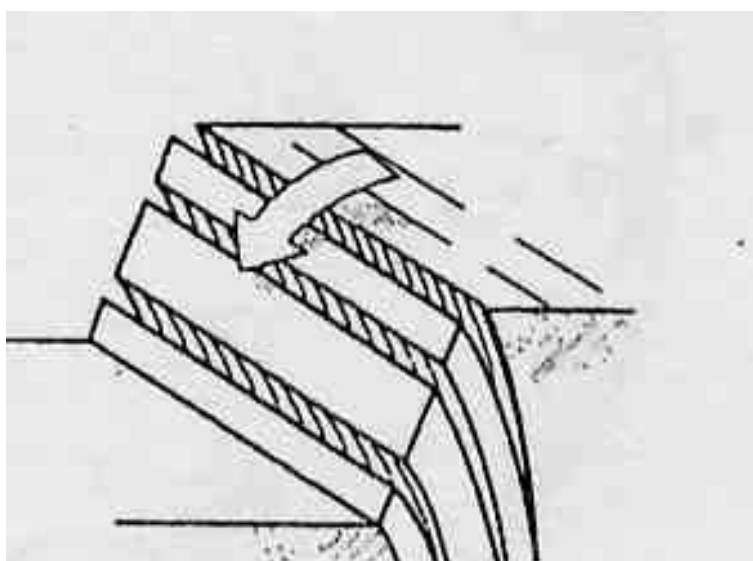


Fig. 24 – Ribaltamento (toppling).

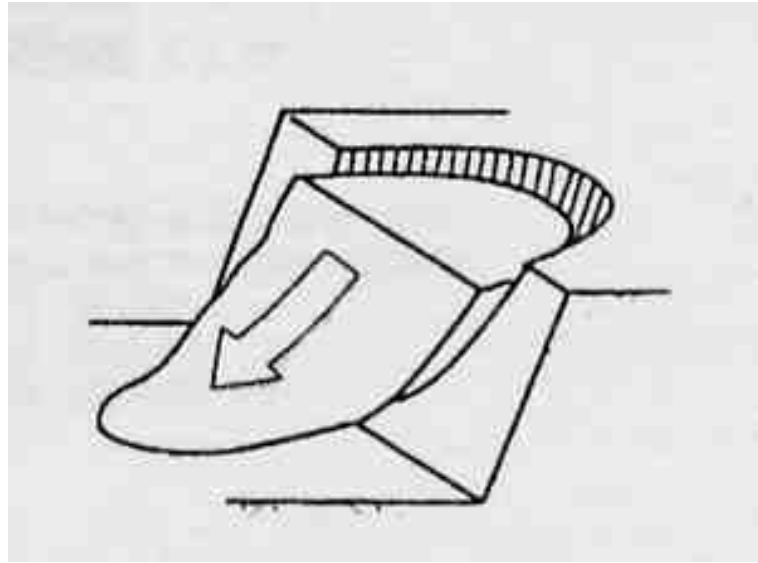


Fig. 25 – Scorrimento rotazionale.

Sono stati analizzati quindi questi dati separatamente nelle tre stazioni.

## STAZIONE 1

Nella figura seguente (Fig. 26) è rappresentato il diagramma delle ciclografiche delle discontinuità della prima stazione. Il reticolo utilizzato per la proiezione stereografica delle discontinuità è quello di Schmidt, emisfero inferiore

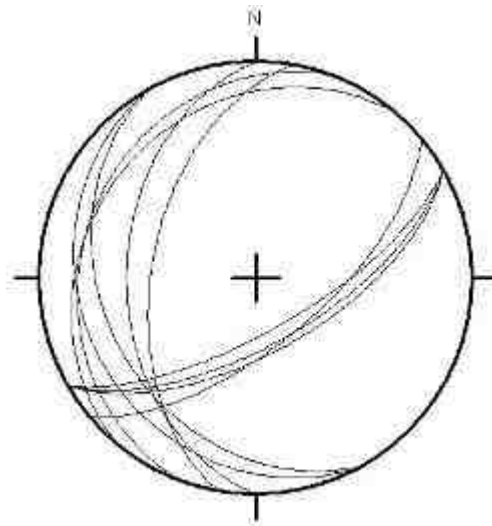


Fig. 26 – Rappresentazione delle ciclografiche delle discontinuità della stazione 1.

Ogni ciclografica dà informazioni sull'immersione e l'inclinazione della corrispondente discontinuità.

Quest'ultime sono state raggruppate in famiglie, in funzione delle medesime giaciture, in valori di

immersione che si discostano di pochi gradi. Un particolare tipo di diagramma che ci permette di individuare e classificare le famiglie è il diagramma polare (Fig. 27).

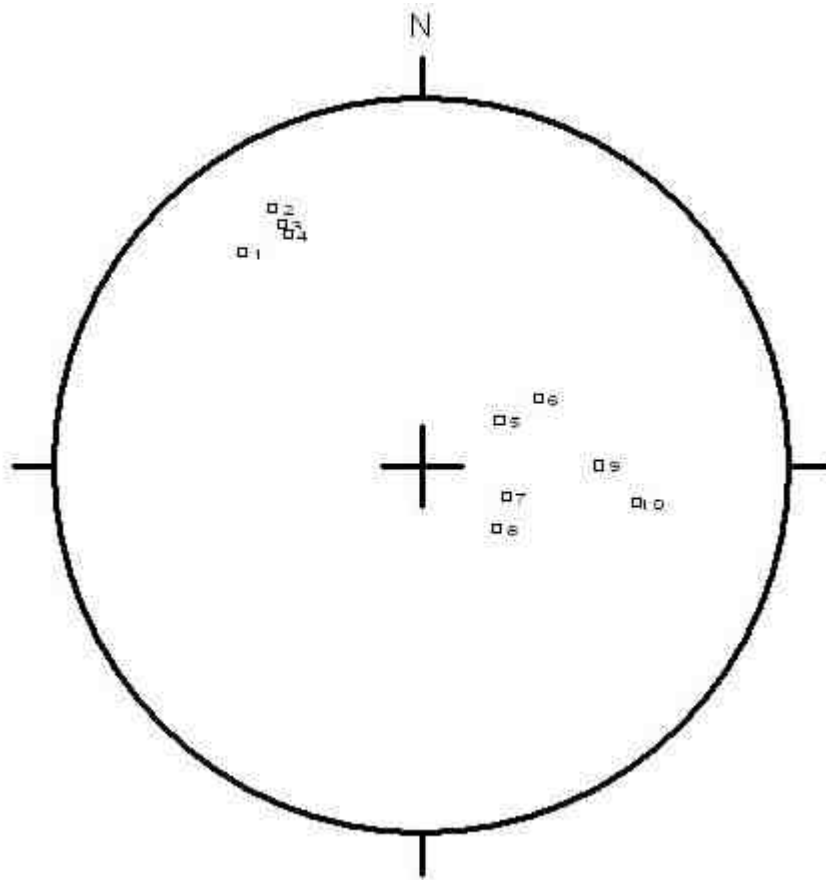


Fig. 27 – Diagramma stereografico polare discontinuità stazione 1.

Nella seguente tabella si riportano i valori di immersione e inclinazione delle discontinuità rappresentate nel diagramma polare sopra riportato.



	Immersione	Inclinazione
1	140	65
2	150	70
3	150	65
4	150	62
5	240	20
6	240	40
7	290	20
8	310	22
9	270	40
10	280	50

Attraverso il plottaggio dei dati nel diagramma stereografico polare le discontinuità della prima stazione sono state raggruppate in tre famiglie. Ogni famiglia è rappresentata da un polo di cui si conosce l'immersione e l'inclinazione. Tutti i poli, che rappresentano tutte le discontinuità della stazione di misura si addensano in un'area rappresentativa della famiglia. La densità dei poli di queste misure ([Fig. 28](#)), è stata realizzata attraverso il contouring dei poli. Questa è definita dal rapporto fra il numero di poli che ricadono in un'aura elementare intorno al punto in esame e il numero di poli in totale , diviso il rapporto fra la superficie dell'aura e quella della proiezione; quest'ultimo rapporto assunto di norma pari a 0.01.

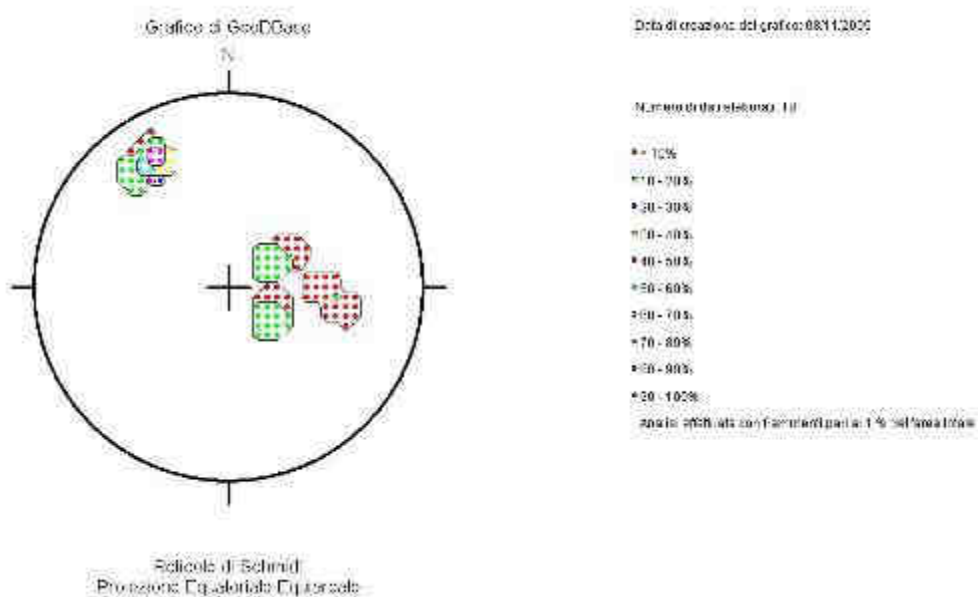
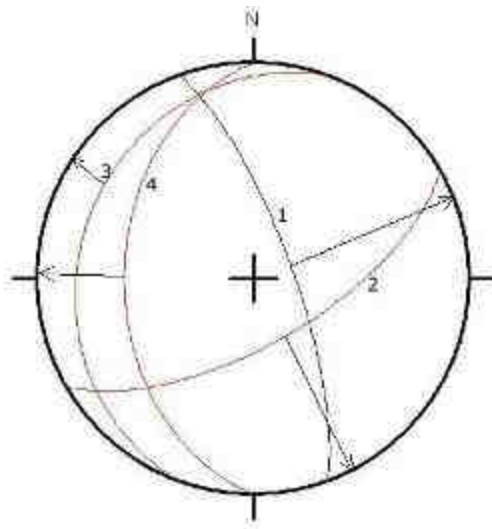


Fig. 28 – Contouring dei poli delle discontinuità della stazione 1.

Sono state quindi individuate tre famiglie di discontinuità; la prima con giacitura  $F_1$  150/65, la seconda  $F_2$  270/40, la terza  $F_3$  290/20; la giacitura del pendio risulta essere di 70/75 (Fig. 29). Successivamente le famiglie di discontinuità individuate sono state messe in relazione al pendio, valutando che queste risultano essere stabili (Fig. 29).



1 = pendio = 70/75

2 =  $F_1 = 150/65$

3 =  $F_3 = 290/20$

4 =  $F_2 = 270/40$

Fig. 29 – Famiglie di discontinuità e pendio della stazione 1.

Infine si è valutata l'area critica ([Fig. 30](#)), attraverso l'inserimento del valore dell'angolo d'attrito interno dell'ammasso roccioso che è pari a 35 gradi. Da questa elaborazione è evidente come all'interno dell'area critica non ricade nessuna discontinuità.

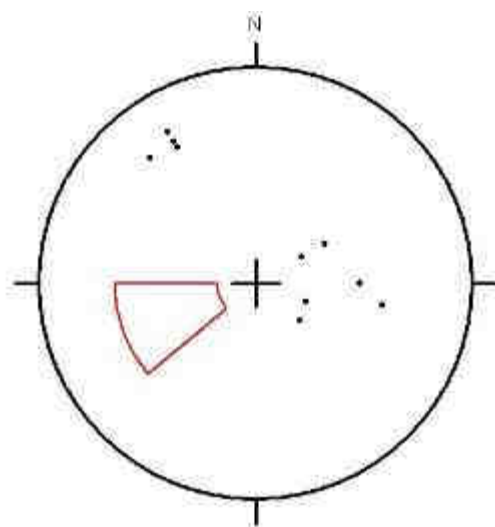


Fig. 30 – Area critica stazione 1.

## STAZIONE 2

La seconda stazione di misura ha una larghezza molto maggiore rispetto alle altre due stazioni. Il numero di discontinuità risulta essere elevato. E' di seguito riportata la proiezione stereografica delle ciclografiche delle discontinuità della stazione 2 ([Fig. 31](#)).

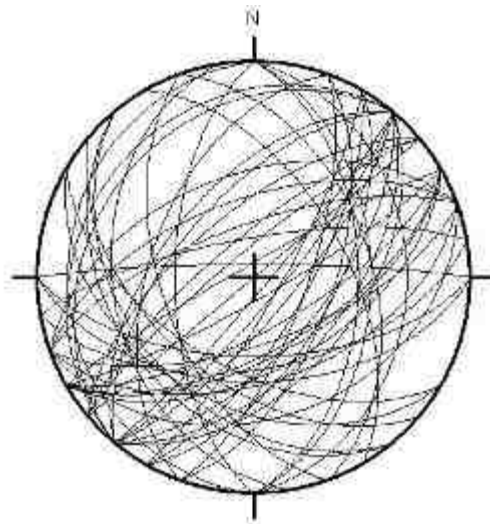


Fig. 31 – Rappresentazione delle ciclografiche delle discontinuità della stazione 2.

Per potere raggruppare tutte le discontinuità in famiglie è necessario plottare i dati nel reticolo di Schmidt e ottenere la proiezione stereografica polare ([Fig. 32](#)) delle discontinuità della seconda stazione.

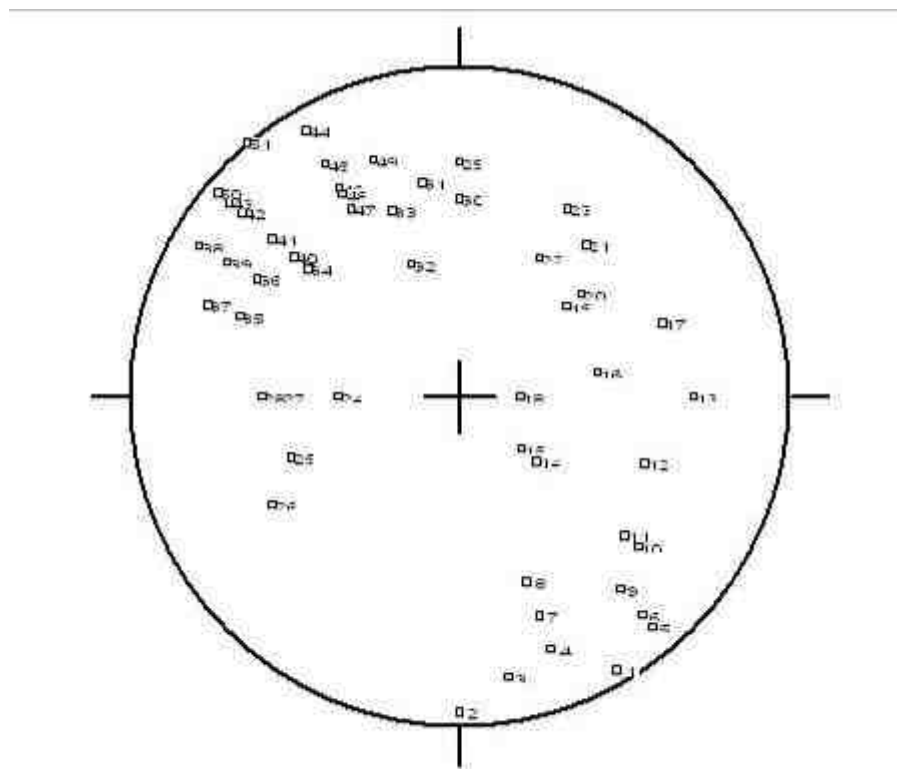


Fig. 32 – Diagramma stereografico polare discontinuità stazione 2.

Nella seguente tabella si riportano i valori di immersione e inclinazione delle discontinuità rappresentate nel diagramma polare sopra riportato.

	Immersione	Inclinazione
1	330	85
2	0	85
3	350	75
4	340	70
5	320	80
6	320	75
7	340	60
8	340	50
9	320	65
10	310	60
11	310	55
12	290	50

13	270	60
14	310	25
15	310	20
16	260	35
17	250	55
18	270	15
19	230	35
20	230	40
21	220	50
22	210	40
23	210	55
24	90	30
25	70	45
26	60	55
27	90	45
28	90	50
29	180	60
30	180	50
31	170	55
32	160	35
33	160	55
34	130	50
35	110	60
36	120	60
37	110	70
38	120	80
39	120	70
40	130	55
41	130	63
42	130	65
43	130	80
44	150	82
45	150	70
46	150	62
47	150	55
48	150	60
49	160	65
50	130	85
51	320	90

Dal diagramma polare si nota che è presente una grande dispersione di poli, da ciò si deduce che l'ammasso roccioso è molto fratturato e che il suo

comportamento si può approssimare a quello del materiale sciolto. Sono state individuate e classificate le famiglie di discontinuità e, di seguito, si riporta il calcolo della densità dei poli (Fig. 33).

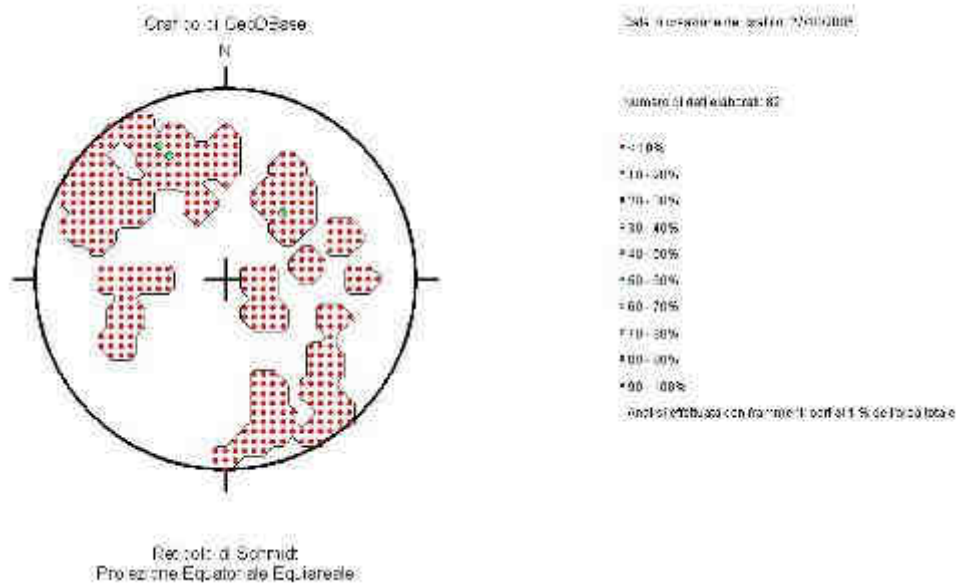


Fig. 33 – Contouring dei poli delle discontinuità della stazione 2.

Da questa elaborazione sono state individuate due famiglie di discontinuità,  $F_4$  220/40 ed  $F_5$  160/60. Queste sono state messe in relazione al pendio (Fig. 34) e risultano essere stabili.



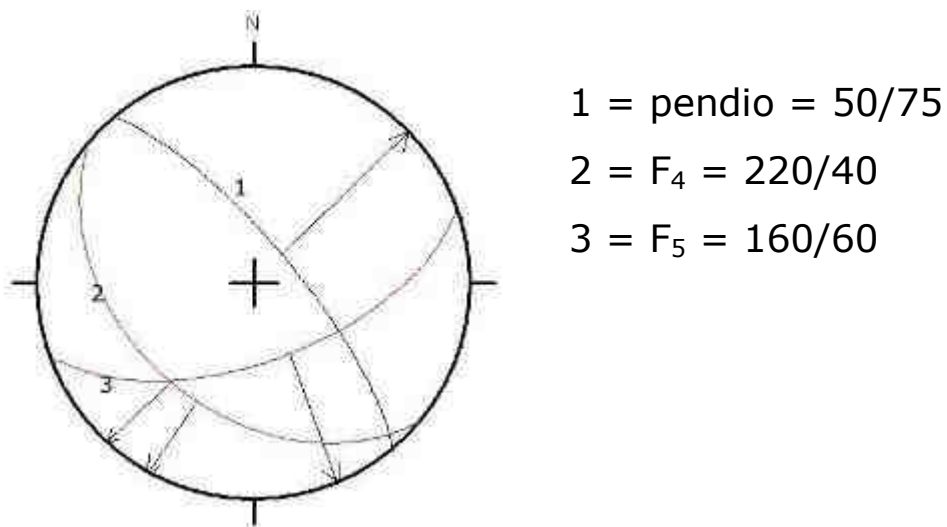


Fig. 34 – Famiglie di discontinuità e pendio della stazione 2.

Si nota inoltre che l'intersezione tra le due famiglie forma un cuneo anch'esso stabile. Data la grande dispersione di misure, possono essere presenti delle famiglie, composte da poche discontinuità. Infatti, questo è il caso, come si evince dalla [Figura 35](#) in cui si notano dei poli all'interno dell'area critica

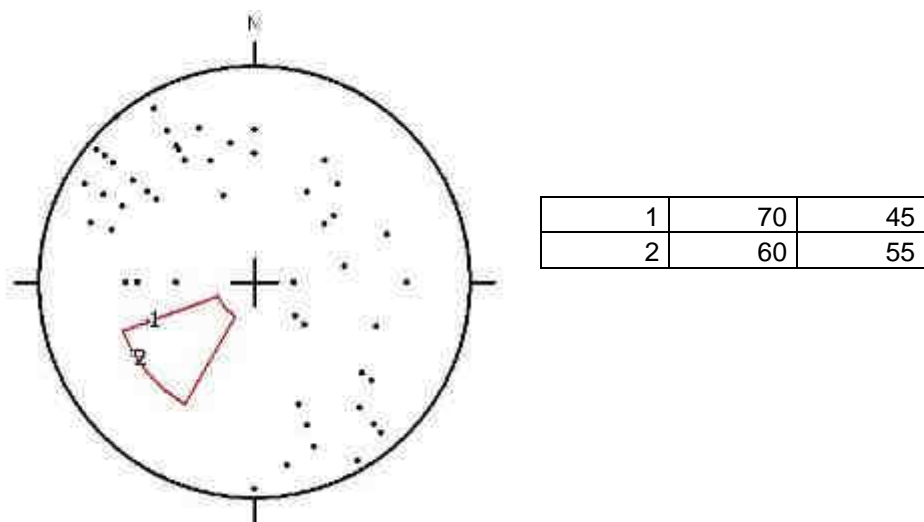


Fig. 35 – Area critica stazione 2.

I poli 1 e 2 della figura 35 sono stati messi in relazione con il pendio ([Fig. 36](#)) e si può notare instabilità per scivolamento planare.

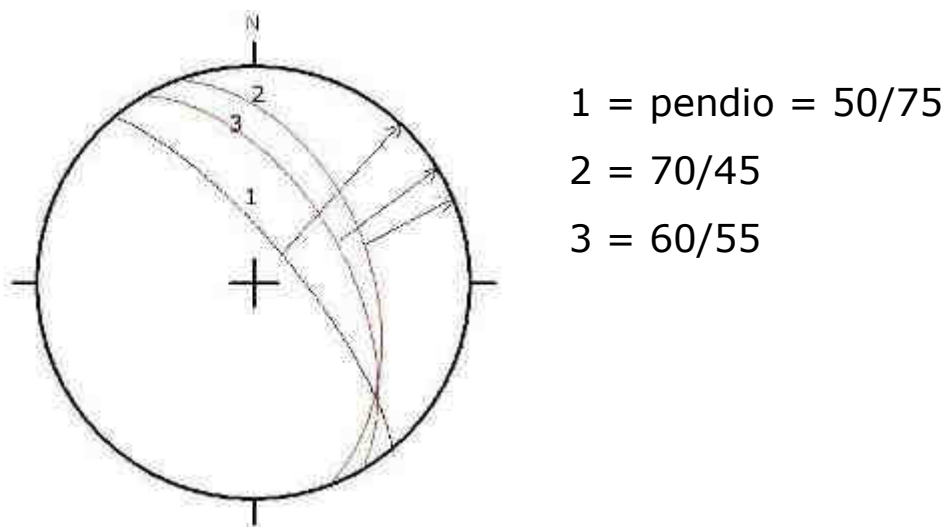


Fig. 36 – Discontinuità interne all'area critica nella stazione 2.

Per meglio evidenziare questa sono state evidenziate le relative discontinuità (36; 36a; 40; 41d) ([Figg. 37, 38](#)).



Fig 37 – Particolare della stazione 2 in cui vi sono le discontinuità 36, 36a, 40.



Fig 38 – Particolare della stazione 2 in cui vi è la discontinuità 41

Quindi si può concludere in questa stazione di misura è presente una grande dispersione di discontinuità che indica un elevato grado di fratturazione.

### STAZIONE 3

La terza stazione quella di minore dimensione e con minore numero di discontinuità ([Figg. 39 e 40](#)).

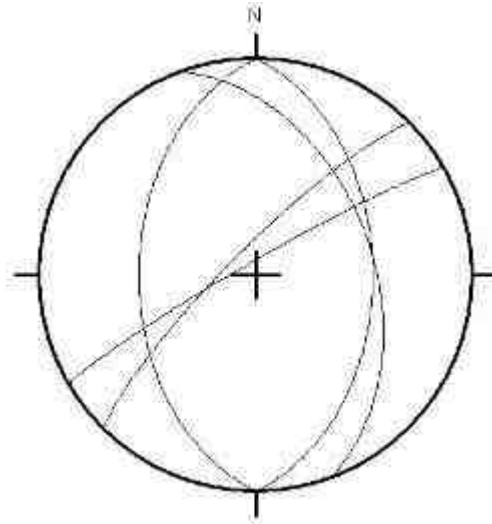


Fig. 39 – Rappresentazione delle ciclografiche delle discontinuità della stazione 3.

Per potere raggruppare le discontinuità in famiglie sono stati proiettati i dati nel diagramma polare ([Fig. 40](#)).

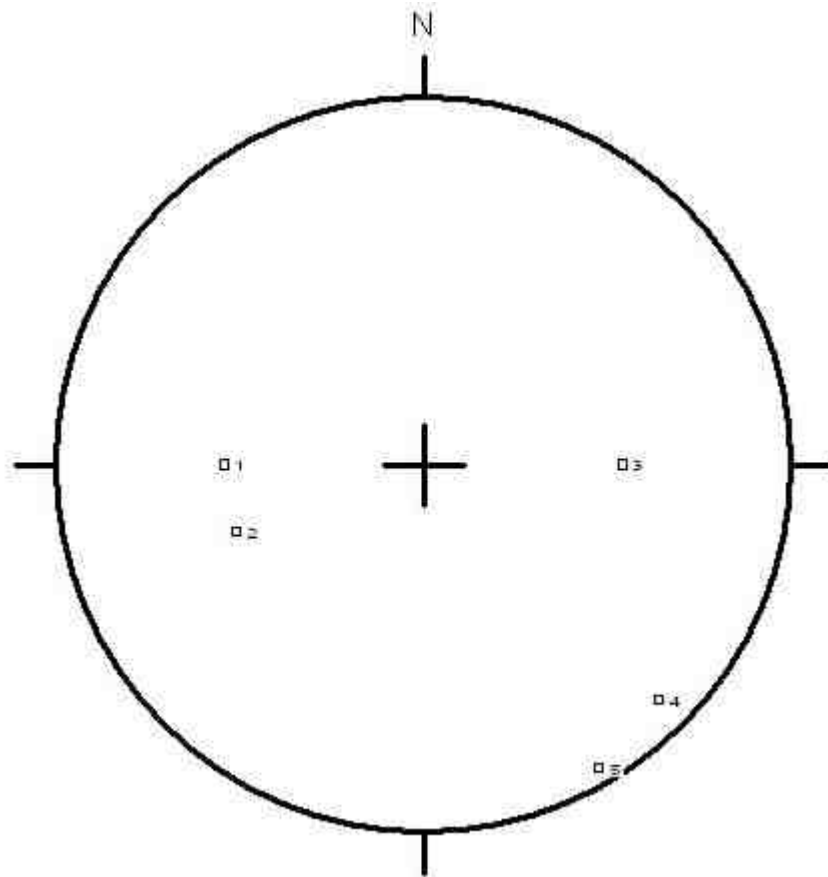


Fig. 40 – Diagramma stereografico polare discontinuità stazione 3.

Nella seguente tabella si riportano i valori di immersione e inclinazione delle discontinuità rappresentate nel diagramma polare (Fig. 40).

	immersione	inclinazione
1	90	45
2	70	45
3	270	45
4	315	80
5	330	85

Le discontinuità sono state raggruppate in tre famiglie;

$F_6$  80/45,  $F_7$  270/45 ed  $F_8$  320/85 come mostra il contouring dei poli (Fig. 41).

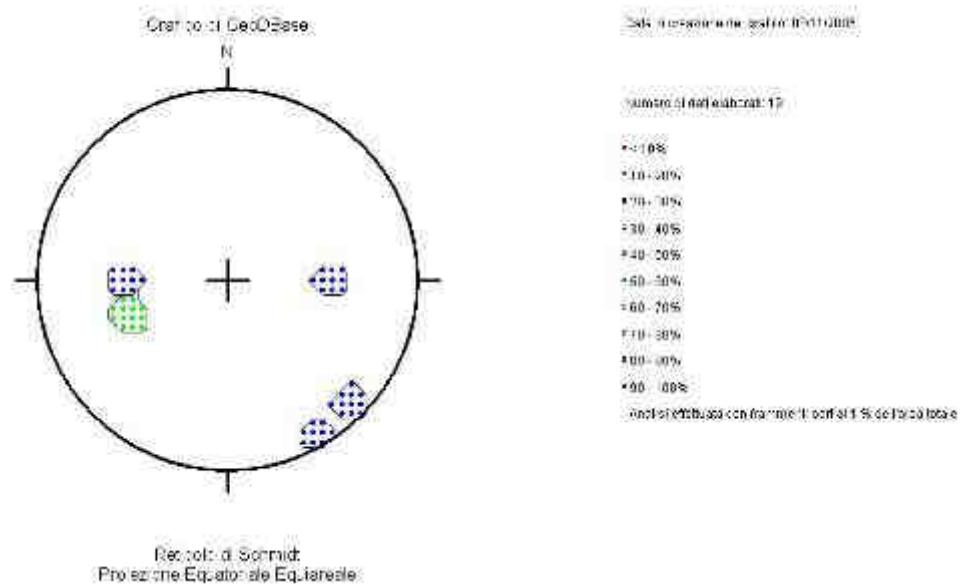
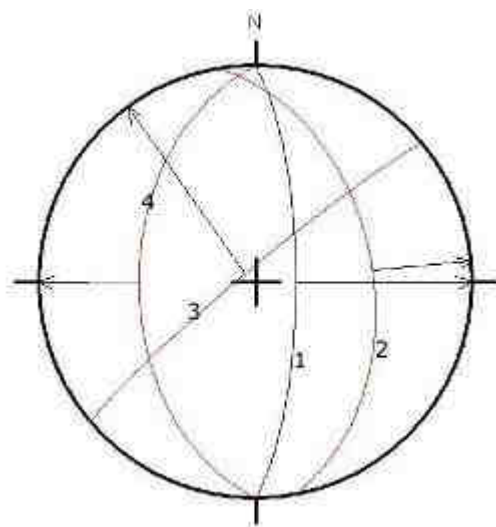


Fig. 41 – Contouring dei poli delle discontinuità della stazione 3.

In questa stazione di misura il pendio ha una giacitura pari a 90/75



1 = pendio = 90/75

2 =  $F_6$  = 80/45

3 =  $F_8$  = 320/85

4 =  $F_7$  = 270/45

Fig. 42 – Famiglie di discontinuità e pendio della stazione 3.

L'intersezione con le discontinuità (Fig. 42) evidenzia come la famiglia  $F_6$  è instabile per scivolamento planare. Anche la famiglia  $F_7$  è ma il movimento è quello del ribaltamento.



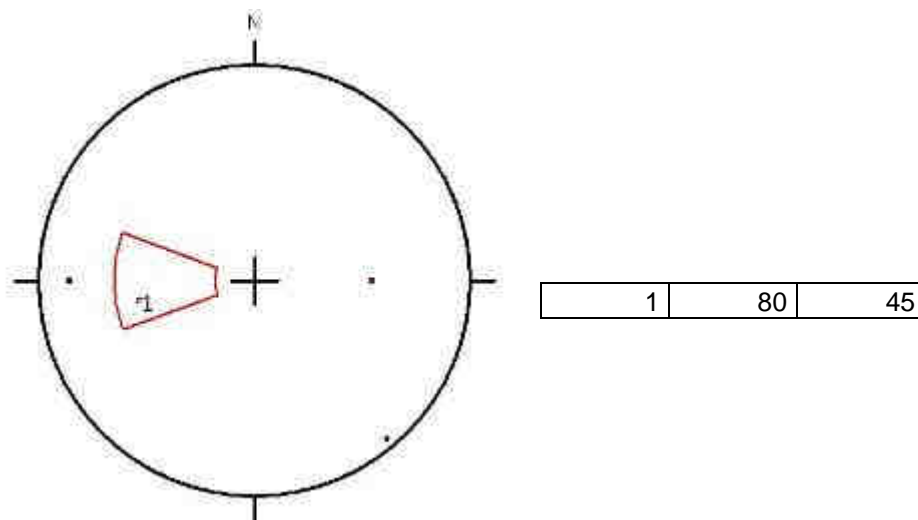


Fig. 43 – Area critica stazione 3.

Verifichiamo quindi la presenza di queste discontinuità all'interno dell'area critica ([Fig. 43](#)), in cui si ritrova la famiglia  $F_6$ . Le discontinuità che generano instabilità nella terza stazione sono state evidenziate lungo la parete (72; 76; 81).

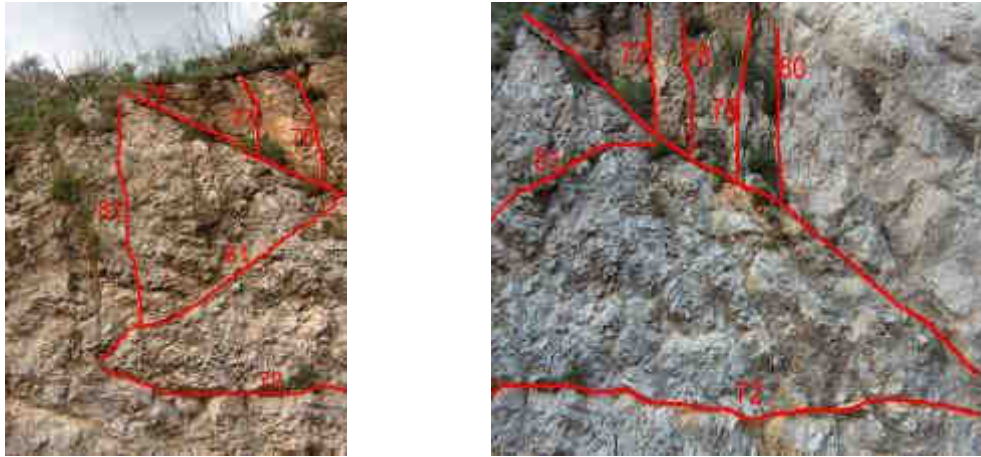


Fig 44 – Particolare della stazione 3 in cui vi sono le discontinuità 72, 76, 81

L'instabilità di questa porzione di versante è documentata da una evidente instabilità che si è manifestata nel periodo in cui sono state fatte le misure, in un'area limitrofa presenza di uno scivolamento di cuneo (Fig. 45)



Fig. 45 – Esempio di scivolamento di un cuneo di roccia.

### **3. Caduta massi**

#### **3.1 Descrizione del metodo**

Per la simulazione del moto di caduta massi è stato utilizzato un programma scritto in linguaggio Microsoft Visual Basic, programma che si chiama "caduta Massi" ([Antonino Valenti, 2004](#)).

Tramite questo programma è possibile:

- immettere i dati anche da un file formato .ini con tutte le caratteristiche relative a pendio e masso
- applicare dei vincoli ai coefficienti di restituzione che vanno da 0 (urto anelastico in cui non si conserva l'energia cinetica), a 1 (urto elastico in cui si conserva l'energia cinetica)
- calcolare tutte le traiettorie facendo variare: posizione iniziale, velocità finale e velocità iniziale del masso
- visualizzare nel programma stesso tutti i risultati relativi all'elaborazione delle traiettorie  
successivamente visualizzare tutte le traiettorie

### 3.2 Sezioni di misura

Nell'ammasso roccioso le zone maggiormente instabili sono quelle in cui sono presenti le discontinuità 36; 36a; 40; 41d; 81. I profili topografici che tagliano queste discontinuità sono i profili 3 e 5.



Fig. 46 Carta topografica dell'area in esame e ubicazione dei profili topografici.

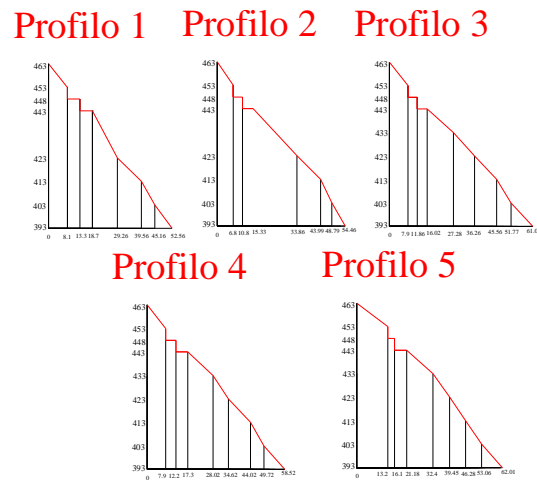


Fig. 47 - Profili topografici.

I coefficienti di restituzione permettono di ottenere la perdita di energia per effetto dell'impatto del blocco con la superficie e possono essere determinati dal principio della conservazione della quantità di moto.

L'evidenza sperimentale ha mostrato che il coefficiente di restituzione deve essere considerato nelle sue componenti normali ( $K_n$ ) e tangenziali ( $K_t$ ) piuttosto che come aliquota di abbattimento dell'energia cinetica posseduta dal blocco nell'istante dell'impatto.

Noti  $K_n$  e  $K_t$  si ricavano le velocità nell'istante successivo all'impatto.

I coefficienti di restituzione hanno un ben preciso significato fisico e di conseguenza non può esistere la

condizione limite di  $K_t=K_n=1$  e non può esserci un eccessivo scarto tra  $K_n$  e  $K_t$ .

Molti autori hanno esaminato problemi di caduta massi in funzione delle caratteristiche del terreno attraverso delle prove in sito, allo scopo di correlare i valori dei coefficienti di restituzione in funzione del tipo di terreno.

Tabella 5 – Parametri  $K_t$  e  $K_n$  ottenuti per diverse prove. (Richards, 1989).

<b>DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL PENDIO</b>	<b>COEFFICIENTE DI RESTIT. <math>K_t</math></b>	<b>COEFFICIENTE DI RESTIT. <math>K_n</math></b>
Detrito e roccia affiorante	0.65 – 0.45	0.80 – 0.50
Detrito compatto e roccia	0.45 – 0.35	0.50 – 0.40
Vegetazione	0.30 – 0.20	0.40 – 0.20
Substrato roccioso	0.99	0.53
Pavimentazione stradale	0.90	0.40
Roccia affiorante	0.85	0.35
Detrito	0.82	0.32
Detrito e vegetazione	0.80	0.32
Terreno con poca vegetazione	0.80	0.30

Dagli studi condotti da Richards si deduce che assumere un  $K_n$  più grande di 0.6 comporta non realistici rimbalzi e traiettorie troppo lunghe, fatto questo riscontrato anche nelle traiettorie che sono state esaminate con il programma “Caduta massi”.

Per il programma che si sta utilizzando possono essere considerati affidabili i coefficienti forniti da Richards.

Nelle seguenti traiettorie si è considerato:

- Peso del masso 100 KN
- $V_x$  (m/s) da 1 a 15 m/s con uno step di 3 m/s mantenendo costante  $V_y$  pari a 0.9 m/s. Si sono valutate diverse velocità di distacco per valutare meglio l'andamento della traiettoria mentre si è considerata una piccola velocità  $V_y$ , perchè in caso di velocità  $V_y$  troppo elevate il programma elabora traiettorie iniziali troppo pronunciate e quindi poco verosimili nella realtà
- Vertice di distacco costante. Anche se il programma consente di inserire contemporaneamente cinque possibili vertici di distacco nel nostro caso se ne è considerato soltanto uno. Essendo infatti la parete rocciosa alta soltanto 5 metri sarebbe stato superfluo considerare distacchi da altezze minori di essa, quindi, per metterci in sicurezza si è considerato che ogni masso si stacca dal punto più alto di essa.
- Dal momento che l'ammasso roccioso è costituito quasi interamente da dolomie si è considerato un angolo d'attrito pari a  $35^\circ$

### PROFILO 3

Si è considerato inizialmente (Fig. 48) un masso di 100 KN che si stacca dalla sommità della parete rocciosa nel profilo 3.

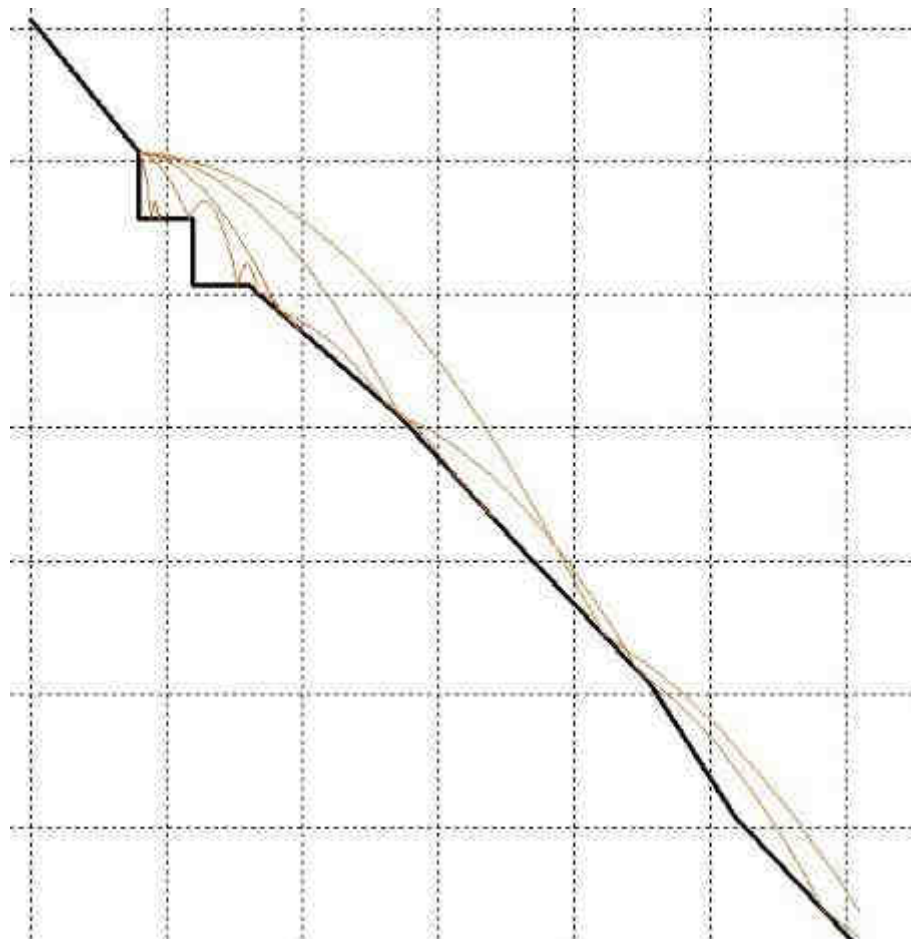


Fig. 48 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 KN a diverse velocità di distacco nel profilo 3.



Si consideri adesso lo stesso masso (Fig. 49) ma con punto di distacco posto al di sopra della parete rocciosa.

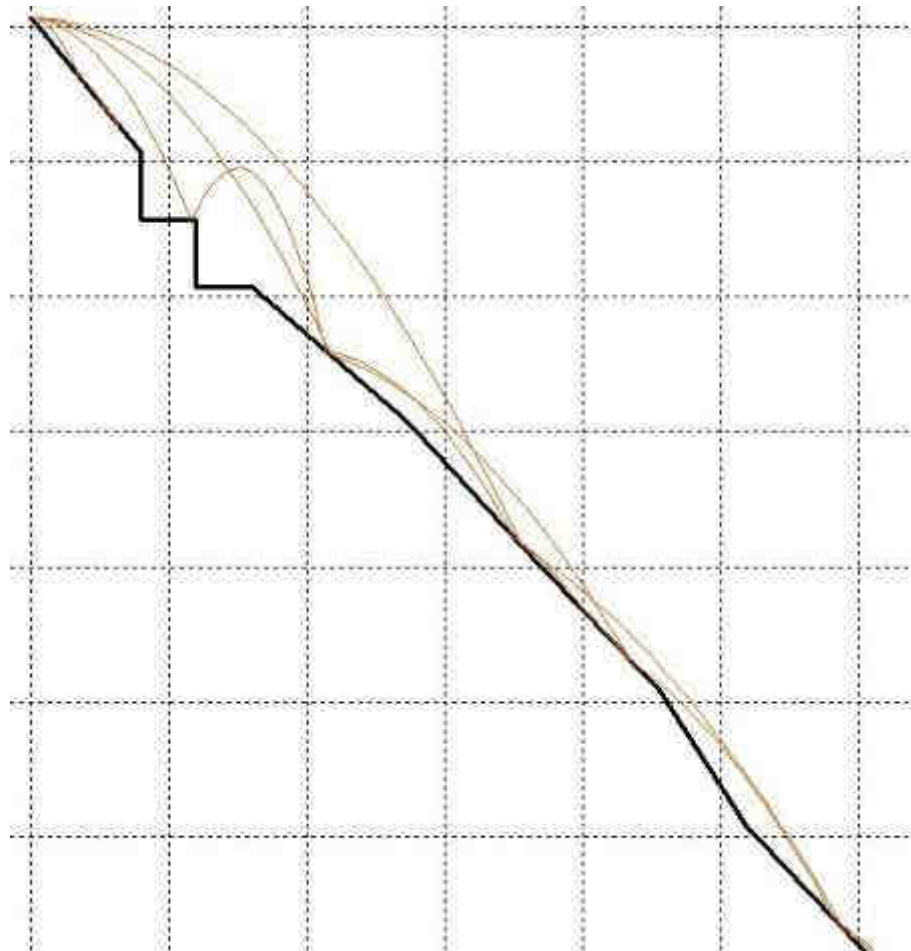


Fig. 49 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 kN a diverse velocità di distacco nel profilo 3.

## PROFILO 5

Si è considerato inizialmente (Fig. 50) un masso di 100 KN che si stacca dalla sommità della parete rocciosa nel profilo 5.

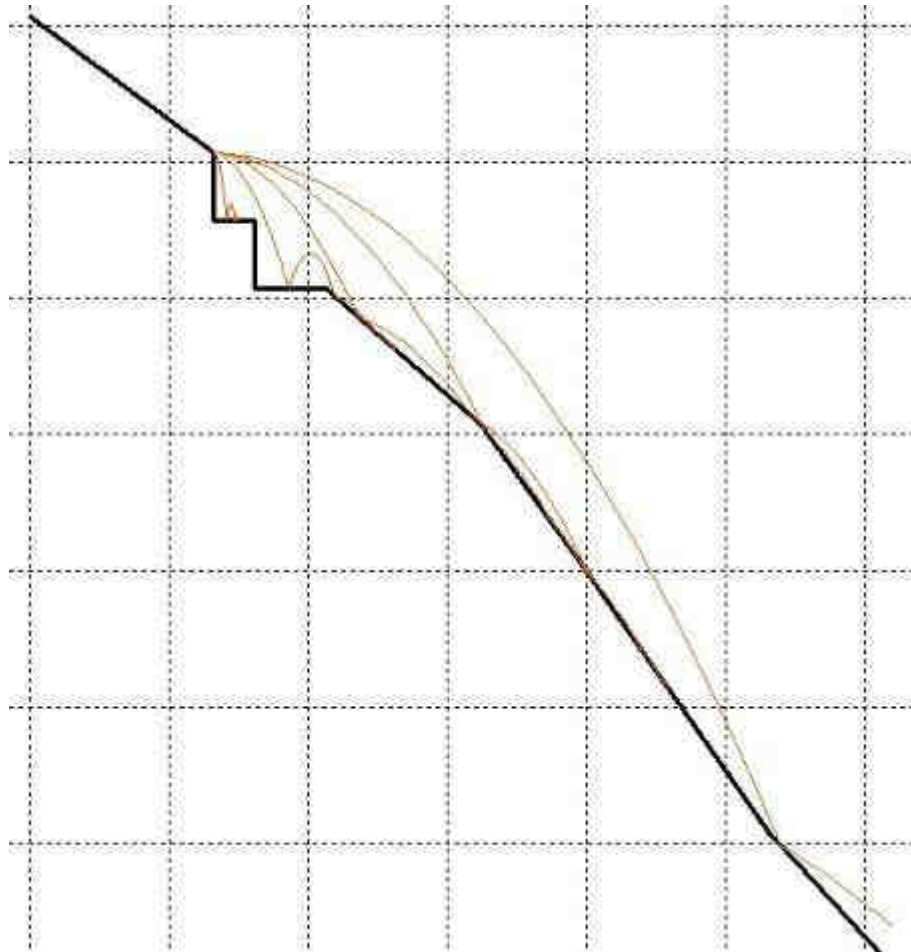


Fig. 50 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 KN a diverse velocità di distacco nel profilo 5.

Si consideri adesso lo stesso masso (Fig. 51) ma con punto di distacco posto al di sopra della parete rocciosa.

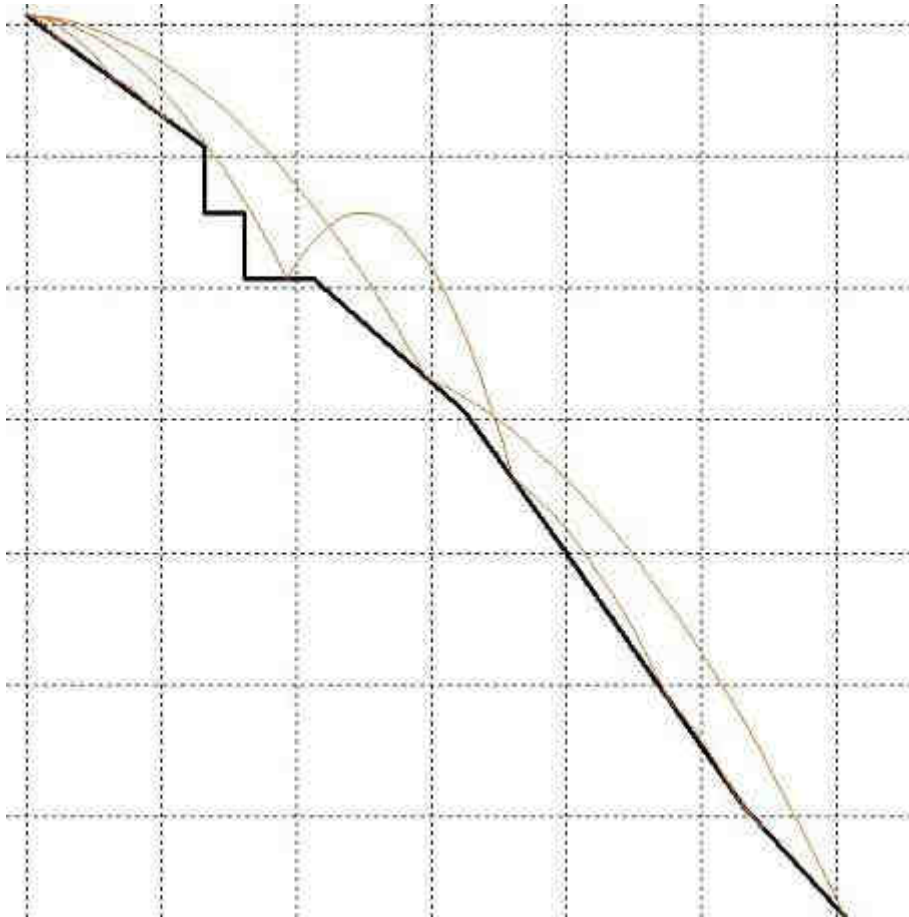


Fig. 51 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 kN a diverse velocità di distacco nel profilo 5.

Abbiamo visto quindi quali sono le probabili traiettorie di caduta massi nei profili in cui la parete rocciosa è più instabile. Per una maggiore sicurezza si sono calcolate anche le probabili traiettorie di caduta massi nei profili 1, 2, e 4.

### PROFILO 1

Si è considerato inizialmente (Fig. 52) un masso di 100 KN che si stacca dalla sommità della parete rocciosa nel profilo 1.

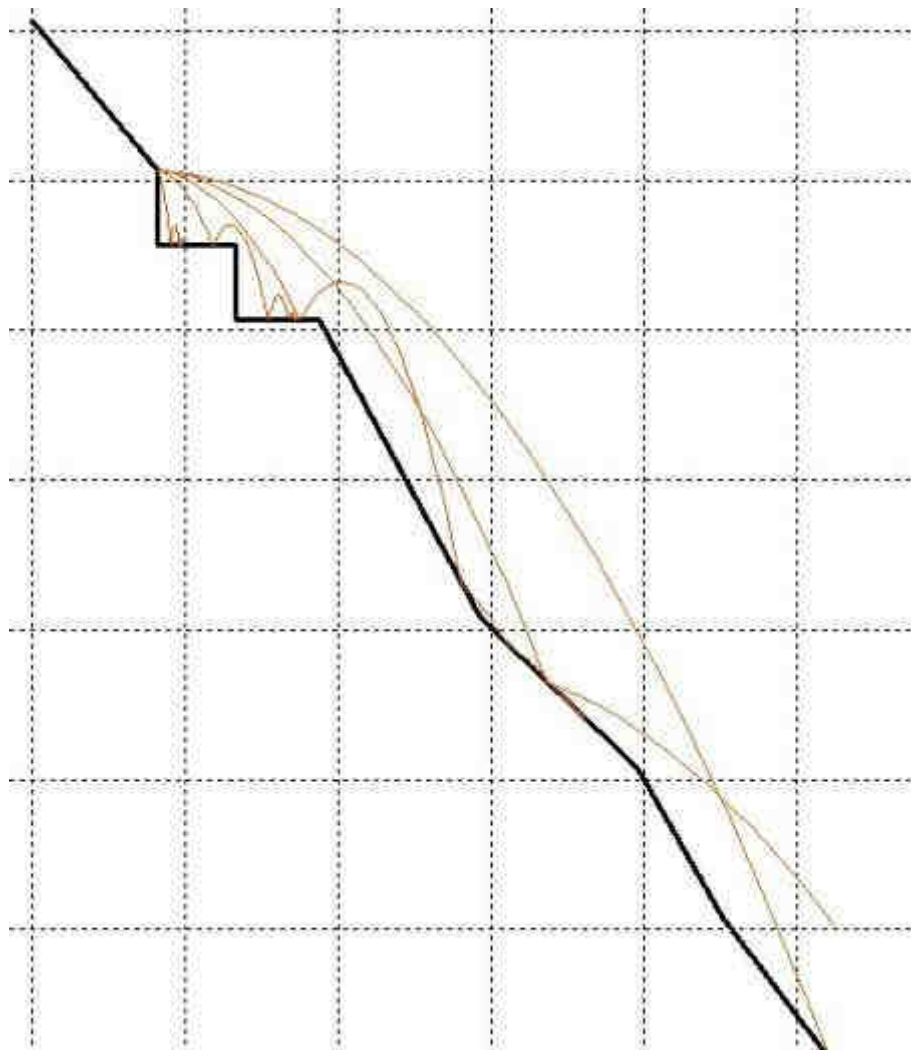


Fig. 52 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 KN a diverse velocità di distacco nel profilo 1.

Si consideri adesso lo stesso masso (Fig. 53) ma con punto di distacco posto al di sopra della parete rocciosa.

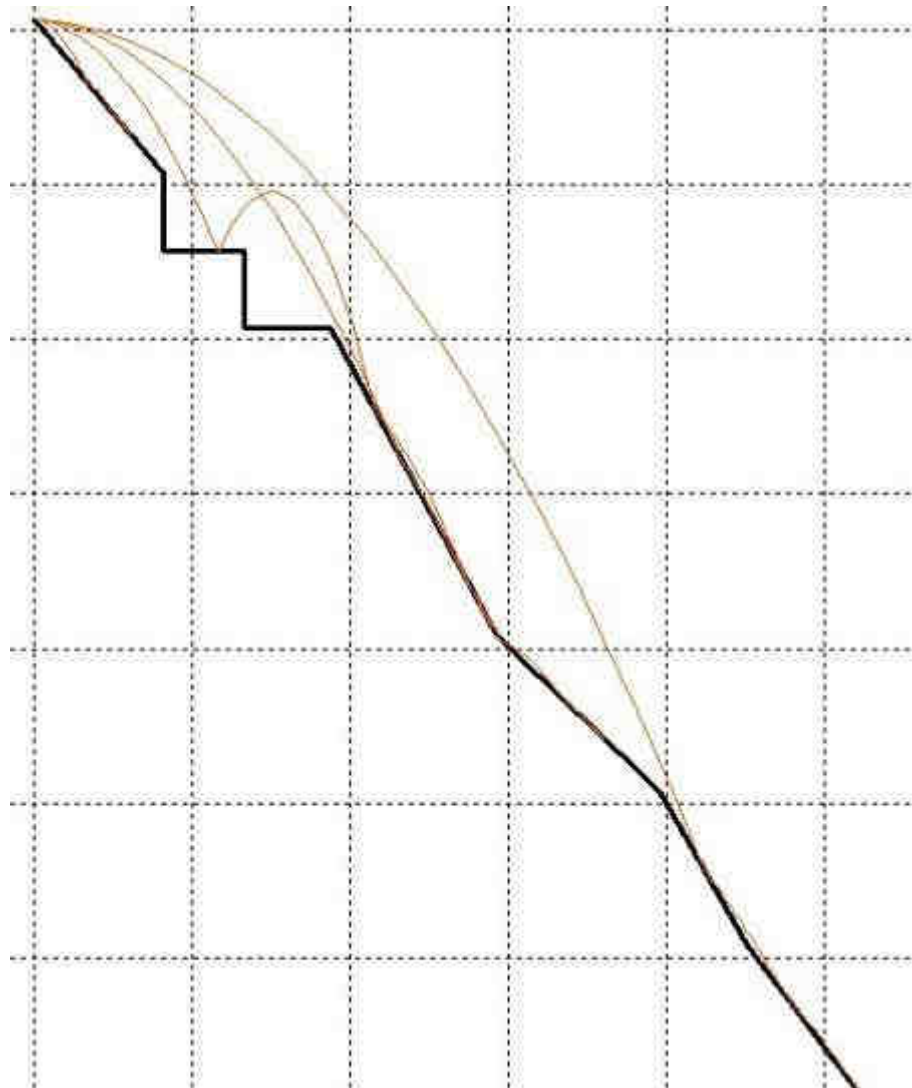


Fig. 53 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 kN a diverse velocità di distacco nel profilo 1.

## PROFILO 2

Si è considerato inizialmente (Fig. 54) un masso di 100 KN che si stacca dalla sommità della parete rocciosa nel profilo 2.

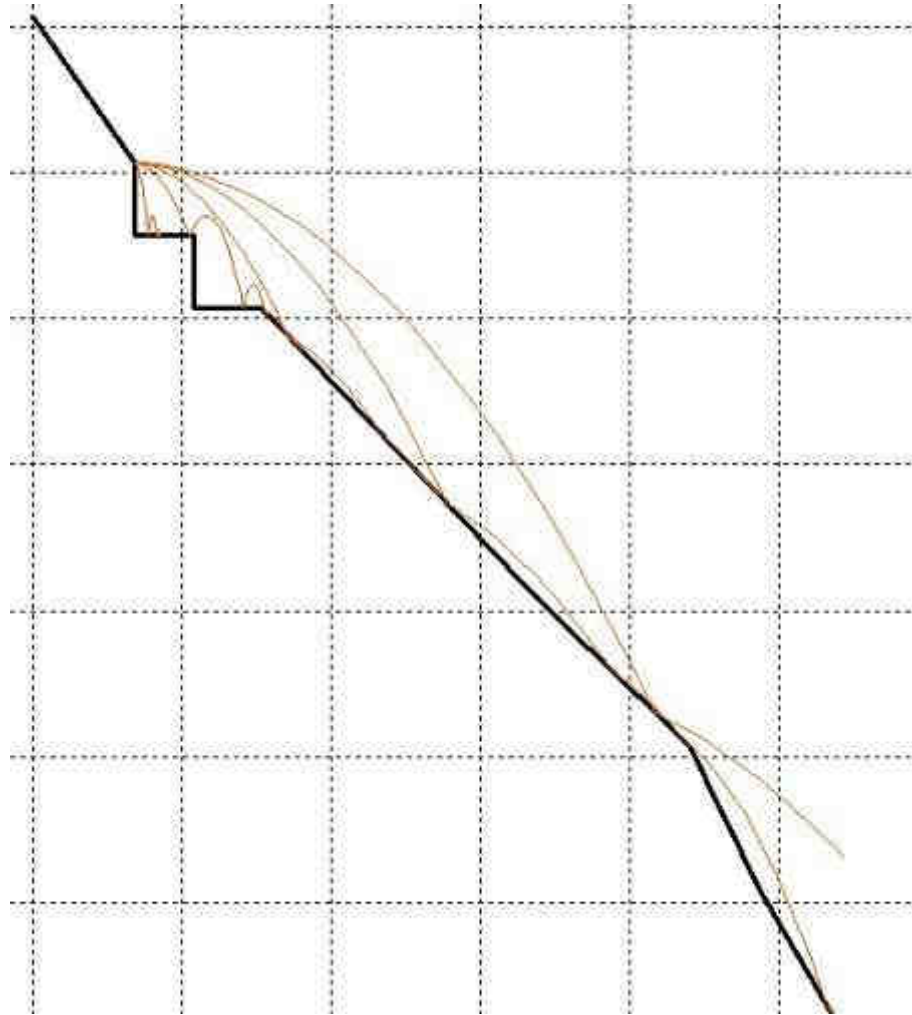


Fig. 54 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 KN a diverse velocità di distacco nel profilo 2.

Si consideri adesso lo stesso masso (Fig. 55) ma con punto di distacco posto al di sopra della parete rocciosa.



Fig. 55 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 kN a diverse velocità di distacco nel profilo 2.

## PROFILO 4

Si è considerato inizialmente (Fig. 56) un masso di 100 KN che si stacca dalla sommità della parete rocciosa nel profilo 4.

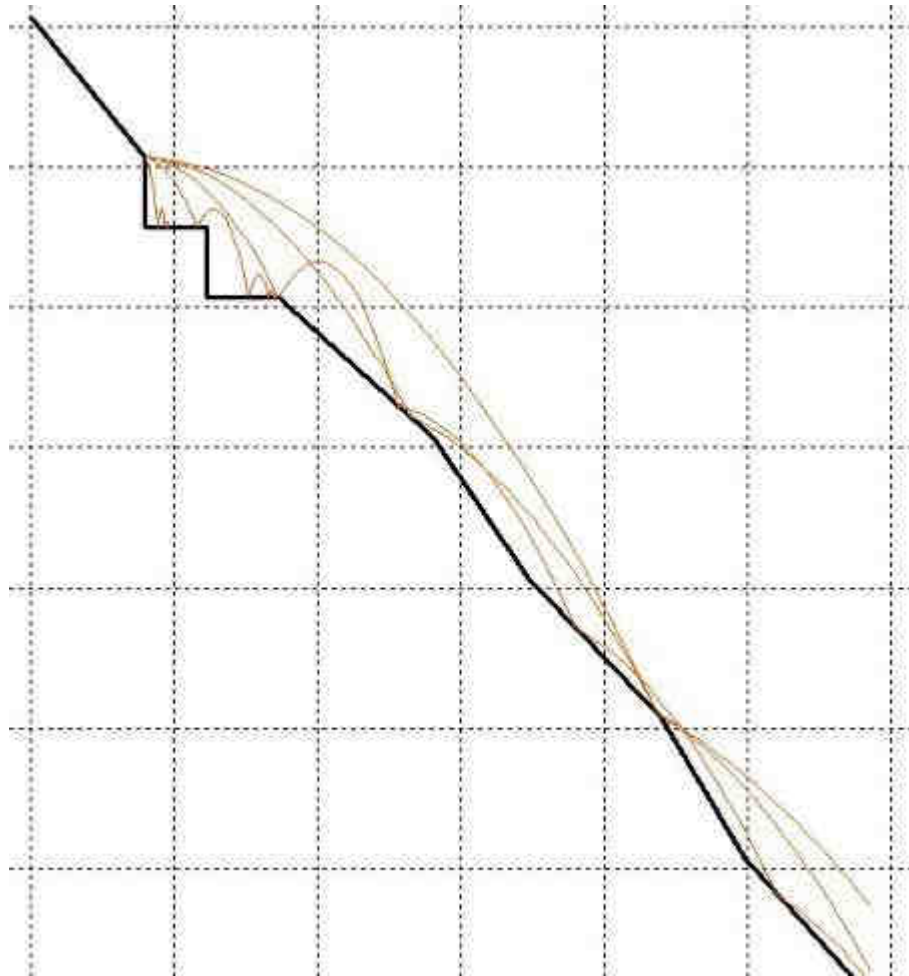


Fig. 56 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 KN a diverse velocità di distacco nel profilo 4.



Si consideri adesso lo stesso masso (Fig. 57) ma con punto di distacco posto al di sopra della parete rocciosa.



Fig. 57 – Traiettoria di caduta di un masso di 100 KN a diverse velocità di distacco nel profilo 4.

## **Conclusione**

La presente tesi di laurea ha come obiettivo lo studio di una parete rocciosa ed i suoi effetti sulla stabilità. L'area oggetto dello studio è situata nelle immediate vicinanze dell'abitato di Castelmola. Questo si trova nel settore meridionale dei Monti Peloritani sulla cima di un dirupo verticale che si affaccia sulla città di Taormina. La morfologia accidentata dell'area mostra un elevato dinamismo geologico e geomorfologico. La presenza di numerosi sistemi di faglie sono una conferma di questo dinamismo.

Lo studio si è articolato in tre principali fasi: in una prima fase sono state censite tutte le discontinuità della parete rocciosa, di cui è stata misurata la giacitura e ne sono state descritte tutte le caratteristiche e raggruppate in famiglie; nella seconda fase sono stati inseriti tutti i dati ottenuti in un software (geodbase) che ha permesso di plottare i dati in proiezione stereografica, calcolare le intersezioni di una famiglia di piani e di individuare l'area critica. Dall'analisi strutturale si sono quindi individuati nella parete di roccia tutti i cunei potenzialmente instabili; nella terza fase si è proceduto al calcolo di tutte le probabili traiettorie di caduta dei blocchi instabili, ed i loro

impatti sulle infrastrutture attraverso l'utilizzo di un software (Caduta massi) ([Valenti, 2004](#)).

Dall'analisi strutturale della parete rocciosa si è evidenziato che la maggior parte delle fratture sono del tipo KK1, cioè comprese tra 1 e 10 metri. L'intersezione di queste fratture con la parete rocciosa ha portato a diversi risultati: nella maggior parte dei casi alla formazione di numerosi cunei di piccole dimensioni che causano instabilità per scorrimento rotazionale; in altri casi alla formazione di cunei di grandi dimensioni alcuni dei quali sono stabili mentre altri sono instabili. Numerose fratture che si intersecano con la parete rocciosa, ma non formano cunei, causano instabilità per scivolamento planare e in pochi altri casi instabilità per crolli.

Il calcolo della probabile traiettoria di caduta massi ha mostrato un elevato pericolo per la strada sottostante la quale costituisce l'unica via d'accesso ad alcune abitazioni private. Un ulteriore pericolo è costituito dai blocchi che riescono a superare il tratto di strada sottostante la parete rocciosa. Questi acquistano grande velocità causando un pericolo per le infrastrutture sottostanti o per gli autoveicoli o le persone che transitano nella strada di accesso a

Castelmola. Sono quindi necessari interventi che si possono distinguere come segue ([Duncan e Norman, 1996](#)):

- Distaccamento artificiale dei blocchi più instabili dopo una adeguata protezione della base del pendio;
- Lavori di stabilizzazione degli ammassi rocciosi di minori dimensioni attraverso reti di fili metallici fissati alle pareti verticali, associati a tiranti d'acciaio in caso di elementi di maggiori dimensioni;
- Stabilizzazione di larghi blocchi e concrete strutture di trattenimento attraverso profondi ancoraggi;
- Operazioni miranti a migliorare le proprietà meccaniche degli ammassi rocciosi intensamente fratturati attraverso l'iniezione di miscele cementizie;
- Realizzazione di profondi drenaggi alla base del pendio.

## Bibliografia

- Atzori, P., Vezzani, L., 1974. Lineamenti petrografico-strutturali della catena peloritana. *Geol. Rom.* 13, 21–27.
- Atzori, P., Ioppolo, S., Maccarrone, E., Pezzino, A., Puglisi, G., 1976. I paragneiss e micascisti della catena peloritana. *Rend. SIMP* 32, 479– 496.
- Atzori, P., Cirrincione, R., Del Moro, A., Pezzino, A., 1994. Structural, metamorphic and geochronologic features of the Alpine event in south-eastern sector of the Peloritani Mountains (Sicily). *Per. Miner.* 63, 113–125.
- Avraham Ben, Z., Boccaletti, M., Cello, G., Grasso, M., Lentini, F., Torelli, L., Tortorici, L., 1990. Principali domini strutturali originatisi dalla collisione neogenico-quadernaria nel Mediterraneo centrale. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 45, 453– 462.
- Caire, A., 1973. The Calabro–Sicilian Arc.. In: De Jong, K.A., Scholten, R. (Eds.), *Gravity and Tectonics*. Wiley, New York, pp. 157–173.
- Carbone, S., Catalano, S., Lentini, F., Vinci, G., 1994. Carta Geologica dei Monti di Taormina (M. Peloritani, sicilia Nord\_orientale). Istituto Geologia e Geofisica. Universita` di Catania.
- Carella Vincenzo. software “Geodbase”
- Dewey, J.F., Helman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W., Knott, S.D., 1989. Kinematics of the Western Mediterranean. In: Coward, M.P., Dietrich, D., Park, R.G. (Eds.), *Alpine Tectonics Geol. Soc. Spec. Publ.*, vol. 45, pp. 265– 283.
- Duee', G., 1969. Etude ge´ologique des Monts Nebrodi (Sicile). *The`se Fac. Sci.* 2, 169–221. (Paris).

- Duncan, C.W., Norman, J.N., 1996. Stabilisation of rock slope. In : Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report, and Mitigation, Transportation Research Board Special Report, Chap. 18.
- Finetti, I.R., Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., Del Ben, A., 1996. Il sistema Appenninico Meridionale-Arco Calabro-Sicilia nel Mediterraneo Centrale: studio geologico-geofisico. Boll. Soc. Geol. Ital. 115, 529– 559.
- Fucini, A., 1935. Fossili domeriani dei dintorni di Taormina. Paleontolografia It., 26–42.
- Lentini, F., 1973. I molluschi del Lias inferiore di Longi (Sicilia nord-orientale). Boll. Soc. Paleontol. Ital. 12, 23– 75.
- Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., Di Stefano, A., Gargano, C., Romeo, M., Strazzulla, S., Vinci, G., 1995. Sedimentary evolution of basins in mobile belts: examples from tertiary terrigenous sequences of the Peloritani Mts (NE Sicily). Terra Nova 7, 161– 170.
- Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., Grasso, M., 1996. Elementi per la ricostruzione del quadro strutturale della Sicilia Orientale. Mem. Soc. Geol. Ital. 51, 179– 195.
- Morelli Amodio, L., Bonardi, G., Colonna, V., Dietrich, D., Giunta, G., Ippolito, F., Liguori, V., Lorenzoni, S., Paglionico, A., Perrone, V., Piccarrette, G., Russo, M., Scandone, P., Zanettin Lorenzoni, E., Zuppetta, A., 1976. L'arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico-Maghrebide. Mem. Soc. Geol. Ital. 17, 1 – 60.
- Scandone, P., Patacca, E., Rodovicic, R., Ryan, W.B.F., Cita, M.B., Rawason, M., Cherzar, H., Miller, E., Mckenzie, J., Rossi, S., 1981. Mesozoic and Cenozoic rocks from Malta Escarpment (Central Mediterranean). AAPG Bull. 65, 1299– 1319.

Stewart, J., Cindy, A., Kershaw, S., Firth, C., 1997. Holocene coastal uplift in the Taormina area, northeastern Sicily: implications for the southern prolongation of the Calabrian seismogenic belt. *J. Geodyn.* 24, 37– 50.

Valenti Antonino, 2004. Simulazione e analisi statistica del moto di caduta massi

