

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II**



**SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E  
AMBIENTALE**

**CORSO DI STUDI IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**  
(Classe delle Lauree in Ingegneria Civile ed Ambientale, Classe N.L-7)

**LE PROIEZIONI STEREOGRAFICHE ED IL LORO  
USO NELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITA' DI  
PARETI ROCCIOSE**

Relatore:  
Ch.mo Prof. Paolo Budetta

Candidato:  
Salvatore Giacobbe  
Matr.: N49/245

**ANNO ACCADEMICO 2014/2015**

## OBIETTIVI

- Studiare i criteri più comunemente adoperati per la rappresentazione dell'orientazione spaziale delle discontinuità, ai fini della ricostruzione dei possibili modelli di rottura di pendii e scarpate rocciose.
- Individuare i possibili modelli cinematici di rottura.
- Illustrare un'applicazione ad un caso reale, mediante il codice di calcolo DIPS della *Rocscience Inc.*

## LE PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

Le proiezioni stereografiche consentono una rappresentazione grafica dei dati di orientazione spaziale delle discontinuità (piani di strato, scistosità, faglie, etc.) che condizionano la stabilità dei versanti in roccia.

In Geologia strutturale l'**orientazione** nello spazio di una discontinuità viene descritta dalla sua giacitura, ovvero da due valori angolari: **Azimuth d'immersione** o "**Dip Direction**" ( $\alpha$ ) e **Immersione** o "**Dip**" ( $\beta$ ) (Fig. 1)

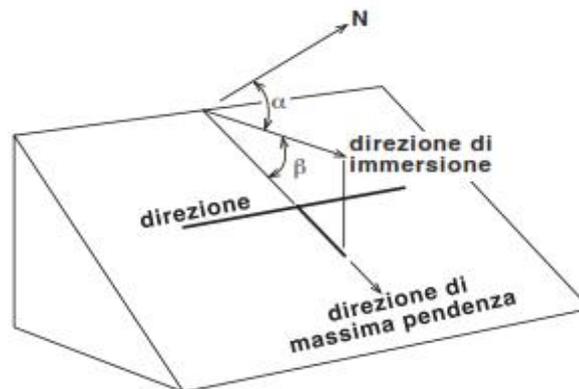


Figura 1

**L'azimuth d'immersione ( $\alpha$ )** è l'angolo azimutale, misurato in senso orario, tra il Nord geografico e la proiezione sul piano orizzontale della retta di massima pendenza e può variare tra  $0^\circ$  e  $360^\circ$ .

**L'immersione ( $\beta$ )** è l'angolo misurato tra la retta di massima pendenza della discontinuità e la sua proiezione sul piano orizzontale e può variare tra  $0^\circ$  e  $90^\circ$ .

Esistono altre notazioni per indicare la giacitura di un piano: ad esempio la direzione, definita come la “*retta d’intersezione del piano della discontinuità con il piano di riferimento*”.

L’orientazione di una discontinuità viene misurata in campagna tramite l’uso della “**Bussola di Clar**” (una bussola modificata rispetto ai tipi convenzionali). Essa consente con un’unica misura di determinare l’immersione e l’azimut d’immersione. L’utilizzo di questo strumento è molto utile, in quanto permettere di effettuare queste misure anche in luoghi difficilmente accessibili.

Diverse discontinuità grosso modo parallele tra di loro, costituiscono un “gruppo di discontinuità” e più gruppi uniti tra loro formano un “**sistema**”.

Per illustrare i valori dell’orientazione di molte discontinuità, si usano costruire i “**Diagrammi a rosa**” detti anche a “rosetta”.

## RETICOLI STEREOGRAFICI

Le proiezioni stereografiche permettono di rappresentare le relazioni spaziali che intercorrono tra immersione e azimut d’immersione, mediante l’uso dei reticoli stereografici (“*stereonets*”). Un reticolo stereografico è composto dalla proiezione di sistemi regolari di **grandi cerchi (meridiani)** e **piccoli cerchi (paralleli)** di una sfera di riferimento, su un piano che può essere ad essa tangente o al polo o all’equatore.

Esistono due tipi di reticoli: il **reticolo equiangolare o di Wulff** (Fig. 2 sx) e il **reticolo equiareale o di Lambert-Schmidt** (Fig. 2 dx).

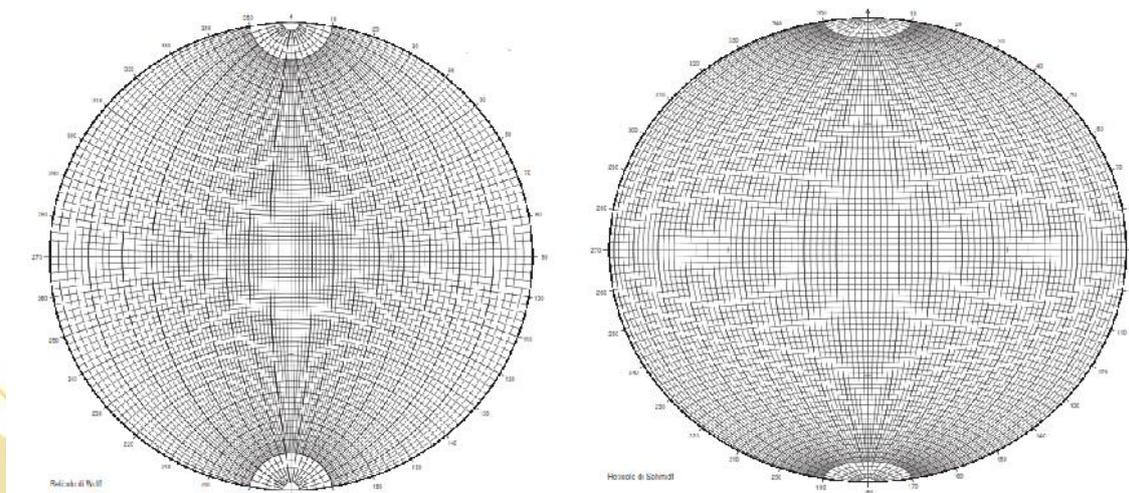


Figura 2 A sinistra è rappresentato un reticolo di Wulff; a destra un reticolo di Schmidt.

Il **reticolo equiangolare o di Wulff** è una proiezione stereografica di tipo conforme: i grandi cerchi e i piccoli cerchi che costituiscono il reticolo, si intersecano tra di loro formando sempre angoli di  $90^\circ$ .

Il reticolo **equiareale o di Lambert-Schmidt** è una proiezione stereografica di tipo equivalente, cioè conserva inalterate le aree. A differenza del reticolo di Wulff, i grandi cerchi e i piccoli cerchi che costituiscono il reticolo, non si intersecano tra di loro formando angoli di  $90^\circ$ .

Le proiezioni equiareali possono essere di due tipi:

- **Proiezioni equiareali polari**, dove i piani vengono rappresentati dai loro poli (Fig. 3).
- **Proiezioni equiareali equatoriali**, dove i piani vengono rappresentati dai loro cerchi massimi ed è possibile determinare sia le direzioni di intersezioni tra differenti piani che misurarne le distanze angolari (Fig. 4).

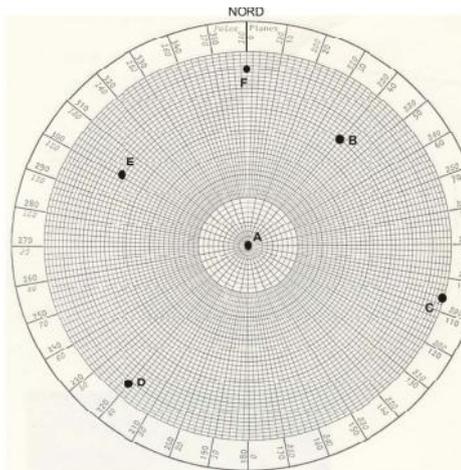


Figura 3

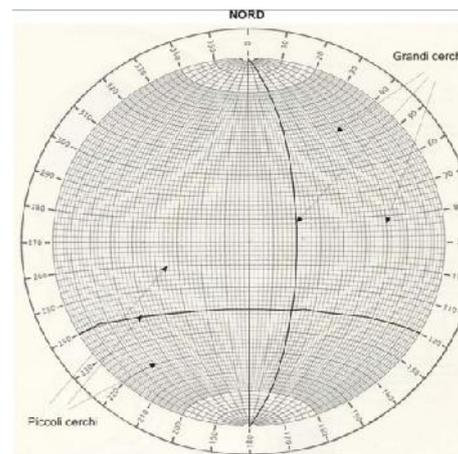


Figura 4

## LE FRANE IN ROCCIA

Le *International Geotechnical Societies* facenti parte del “*Working Party on World Landslide Inventory*” (WP/WLI) definiscono “frana” (*landslide*) un ‘**movimento di una massa di roccia, terra o detrito lungo un versante**’ (Cruden, 1991). Le cause principali delle frane sono:

- **Geomorfologiche**, legate sia all’assetto morfologico che all’esposizione dei versanti;
- **Geologico-strutturali**, dipendenti dal tipo di roccia e dall’assetto stratigrafico-strutturale dei piani di discontinuità;
- **Ambientali**, legate alle condizioni climatiche e alla copertura vegetale.
- **Antropiche**, dipendenti dall’azione dell’uomo.

## CLASSIFICAZIONE DELLE FRANE

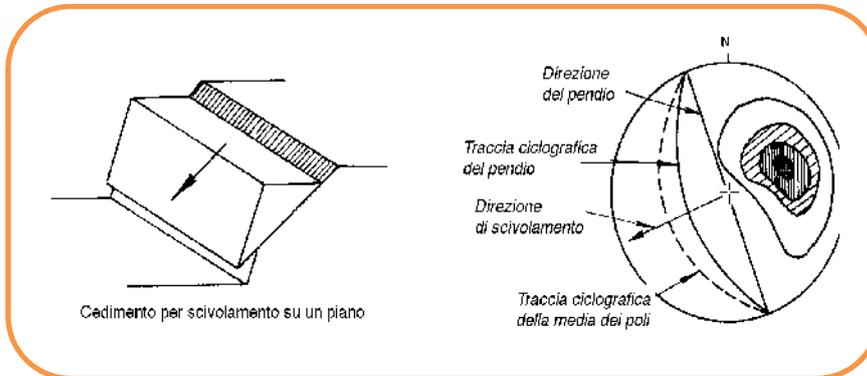
Per classificare i vari tipi di frane generalmente ci si riferisce al tipo di materiale coinvolto ed al tipo di movimento. La più utilizzata è quella introdotta da Varnes nel 1978 e successivamente integrata da Cruden nel 1996. Tale classificazione distingue cinque tipi fondamentali di movimenti e tre classi di materiali (Fig. 5).

Tipo di movimento		Tipo di materiale		
		ROCCIA <i>Bedrock</i>	DETRITO <i>Debris</i>	TERRA <i>Earth</i>
Crolli ( <i>falls</i> )		<i>Rock Fall</i>	<i>Debris Fall</i>	<i>Earth Fall</i>
Ribaltamenti ( <i>topples</i> )		<i>Rock Topple</i>	<i>Debris Topple</i>	<i>Earth Topple</i>
Espansioni laterali ( <i>lateral spreads</i> )		<i>Rock Spread</i>	<i>Debris Spread</i>	<i>Earth Spread</i>
Scivolamenti ( <i>Slides</i> )	Rotazionale ( <i>Rotational</i> )	<i>Rock Slump</i>	<i>Debris Slump</i>	<i>Earth Slump</i>
	Traslatoivo ( <i>Traslational</i> )	<i>Rock Slide</i>	<i>Debris Slide</i>	<i>Earth Slide</i>
Colamenti ( <i>Flows</i> )		<i>Rock Flow</i>	<i>Debris Flow</i>	<i>Earth Flow</i>
Complessi ( <i>Complex</i> )				

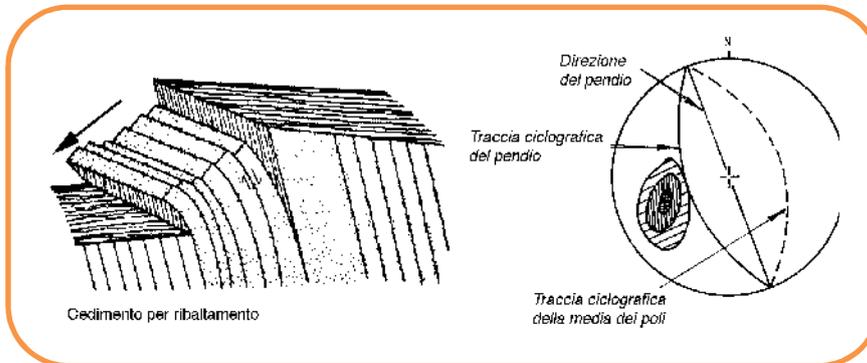
Figura 5

# MODELLI DI ROTTURA PIU' FREQUENTI

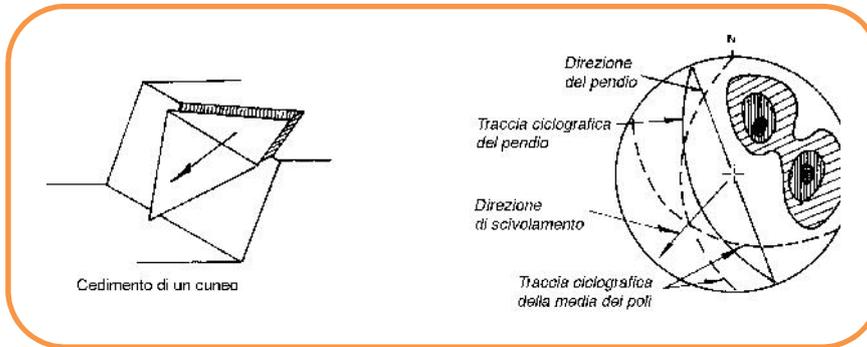
I modelli di rottura più frequenti che interessano i pendii in roccia sono di seguito illustrati:



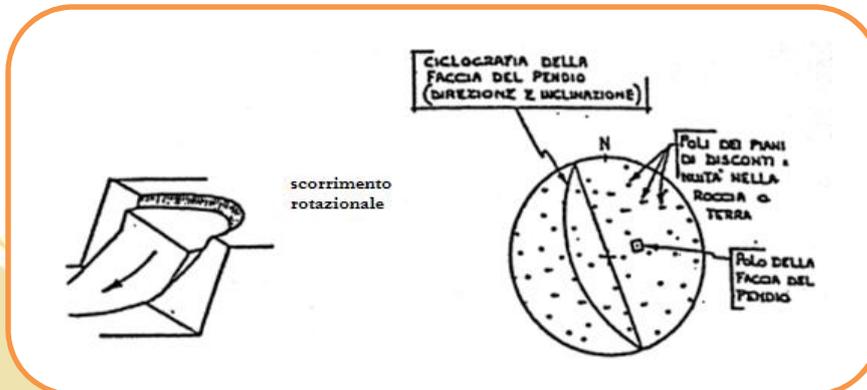
**ROTTURA  
PLANARE**



**RIBALTAMENTO**



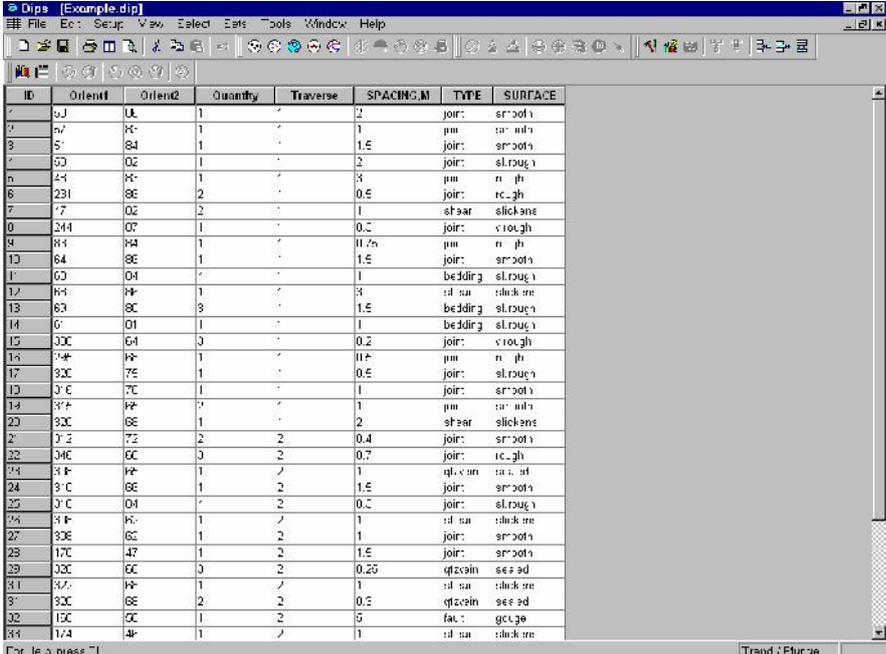
**ROTTURA  
A  
CUNEO**



**SCORRIMENTO  
ROTAZIONALE**

# IL CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO

Il codice di calcolo DIP 4.0 (*Rocscience Inc.*) è un software progettato per l'analisi interattiva e la rappresentazione delle discontinuità di ammassi rocciosi tramite la raccolta e l'inserimento di dati di orientazione e fisico-meccanici. I dati e le informazioni raccolte, vengono inserite in una griglia di calcolo divisa in colonne. Le prime due colonne (*orientation columns*) servono per inserire le orientazioni delle discontinuità. Vi è poi la “*Quantity Column*” che permette di registrare dati che si ripetono più volte in un'unica casella. Infine c'è la possibilità di aggiungere delle colonne extra (*Extra Columns*), utilizzate per l'inserimento di qualsiasi altro dato quantitativo o qualitativo.



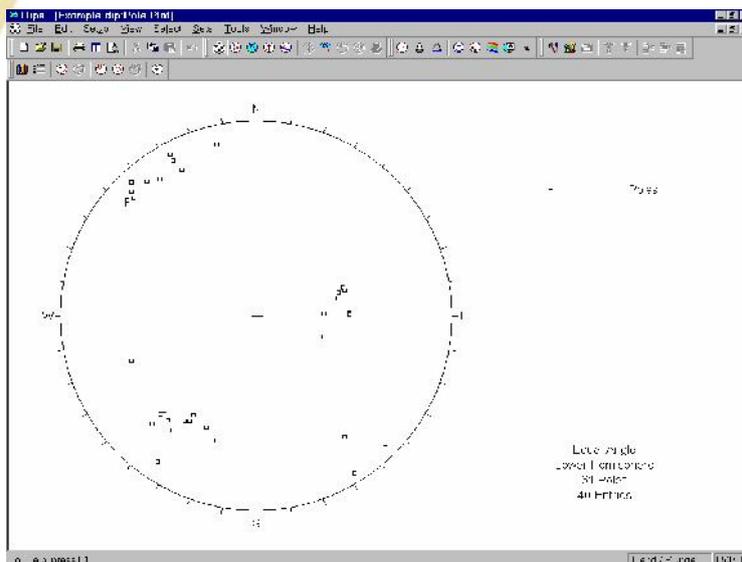
ID	Orient1	Orient2	Quantity	Traverse	SPACING.M	TYPE	SURFACE
1	0J	0L	1	✓	2	joint	smooth
2	0V	0E	1	✓	1	joint	smooth
3	5°	84	1	✓	1.5	joint	smooth
4	50	02	1	✓	2	joint	slough
5	44	0E	1	✓	3	joint	rough
6	231	8E	2	✓	0.5	joint	rough
7	77	02	2	✓	1	shear	slickens
8	244	07	1	✓	0.2	joint	rough
9	84	04	1	✓	0.2	joint	rough
10	64	8E	1	✓	1.5	joint	smooth
11	60	04	✓	✓	1	bedding	slough
12	64	0E	1	✓	3	slip	slickens
13	63	8E	3	✓	1.5	bedding	slough
14	6°	01	1	✓	1	bedding	slough
15	30C	64	3	✓	0.2	joint	rough
16	0E	0E	1	✓	0.2	joint	rough
17	30C	7E	1	✓	0.5	joint	slough
18	0E	7C	1	✓	1	joint	smooth
19	0E	0E	1	✓	1	joint	smooth
20	30C	8E	1	✓	2	shear	slickens
21	0E	7E	2	✓	0.4	joint	smooth
22	0E	6C	3	✓	0.7	joint	rough
23	0E	0E	1	✓	1	slip	slickens
24	0E	8E	1	✓	1.5	joint	smooth
25	0E	04	✓	✓	0.2	joint	slough
26	0E	0E	1	✓	1	slip	slickens
27	30E	6C	1	✓	1	joint	smooth
28	17C	47	1	✓	1.5	joint	smooth
29	30C	6C	3	✓	0.25	slip	slickens
30	0E	0E	1	✓	1	slip	slickens
31	30C	8E	2	✓	0.5	slip	slickens
32	15C	0C	1	✓	5	face	quartz
33	1/4	0E	1	✓	1	slip	slickens

Figura 6

Questo foglio di calcolo così strutturato (Fig. 6), opportunamente combinato con tutte le altre funzioni del programma, permette di rappresentare diversi diagrammi stereografici (stereonet) già precedentemente illustrati.

Il software consente anche di effettuare verifiche di stabilità grafiche dell'ammasso roccioso, tramite il cosiddetto “**Test di Markland**”.

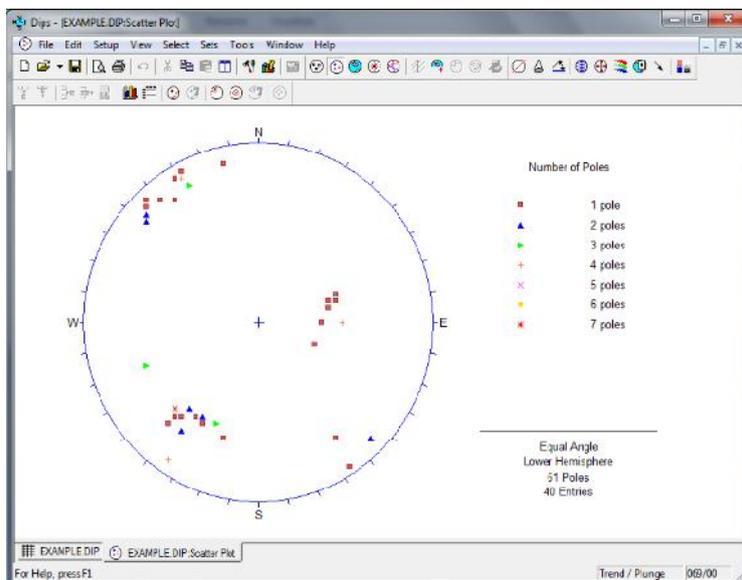
# FUNZIONI PRINCIPALI



## POLE PLOT

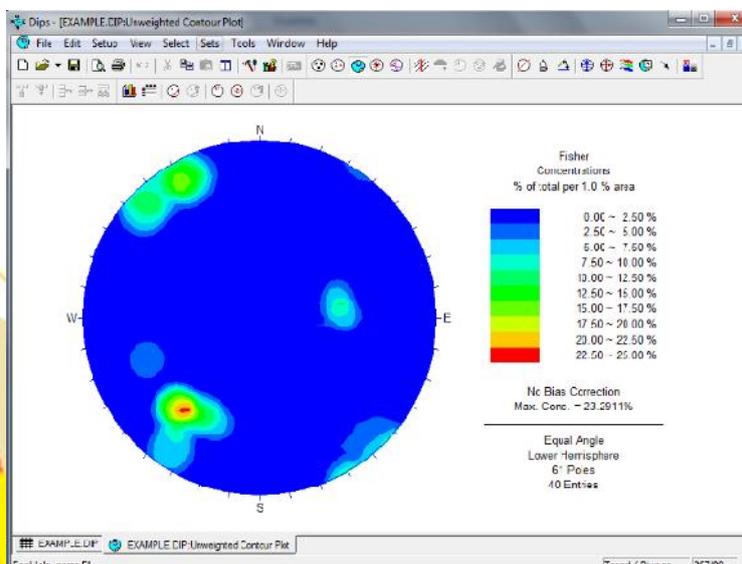
E' una funzione che permette la rappresentazione su un reticolo stereografico di ogni singolo polo.

Questi poli sono i risultanti di ogni singola coppia di valori presenti nelle prime due colonne della griglia di calcolo.



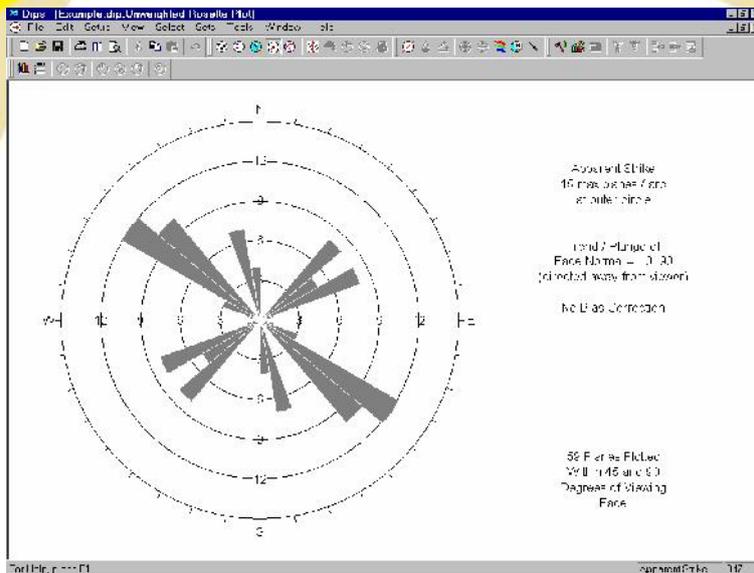
## SCATTER PLOT

Mentre il "Pole Plot" illustra i dati di orientamento di ogni polo, lo "Scatter Plot", consente di visualizzare la distribuzione di queste misurazioni numericamente, raggruppando più poli con coordinate simili o uguali.



## CONTOUR PLOT

E' una funzione che consente la visualizzazione della concentrazione massima e minima (espressa in %) dei poli, mediante l'utilizzo delle isodense, al fine di indicare le principali famiglie di discontinuità.



## ROSETTE PLOT

Permette la visualizzazione di “*Diagramma a Rosetta*” attraverso un istogramma radiale della frequenza o della densità con cui si rappresentano le discontinuità.

## APPLICAZIONE

L'applicazione ha riguardato la ricostruzione dell'assetto strutturale di un versante tramite il software “DIPS”, mediante i dati di 250 misurazioni dell'orientazione e della rugosità (scabrezza) di altrettante discontinuità. L'orientazione media del pendio è pari a  $270^\circ/85^\circ$ . Per la valutazione della rugosità delle superfici di discontinuità è stato utilizzato il “**Pettine di Barton**”.

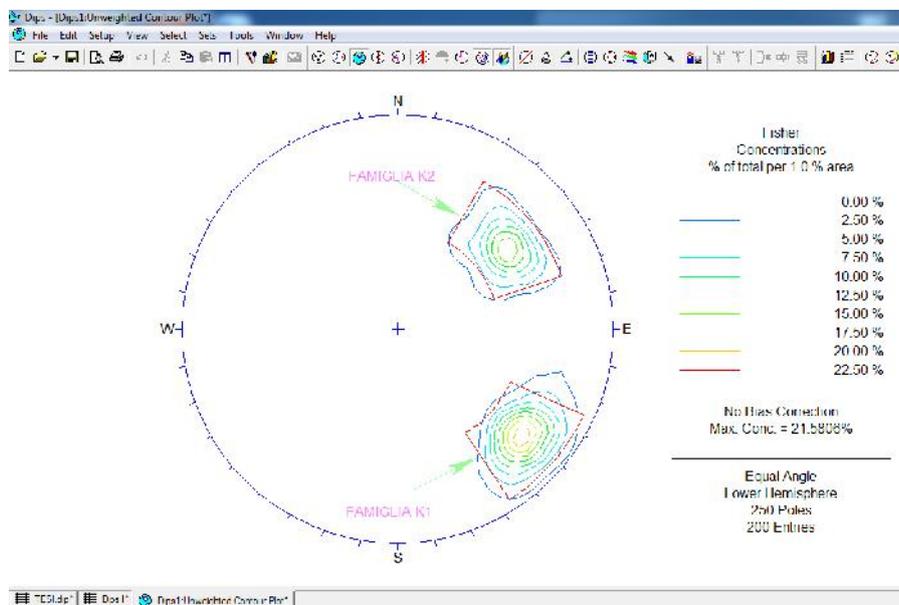


Figura 7 Individuazione delle 2 famiglie di discontinuità.

I dati e le informazioni raccolte in loco sono state inserite nella griglia di calcolo. Tramite la funzione “*Pole Plot*” si sono rappresentati su un reticolo stereografico tutti i 250 poli. Con la funzione “*Contour Plot*”, mediante l'utilizzo delle isodense, sono state individuate due differenti famiglie di discontinuità (Fig. 7).

Per completare lo stereonet, è stata aggiunta al reticolo stereografico la giacitura del versante  $270^\circ/85^\circ$ . Come si evince nello stereonet in figura 8, un possibile modello di rottura è chiaramente quello a cuneo.

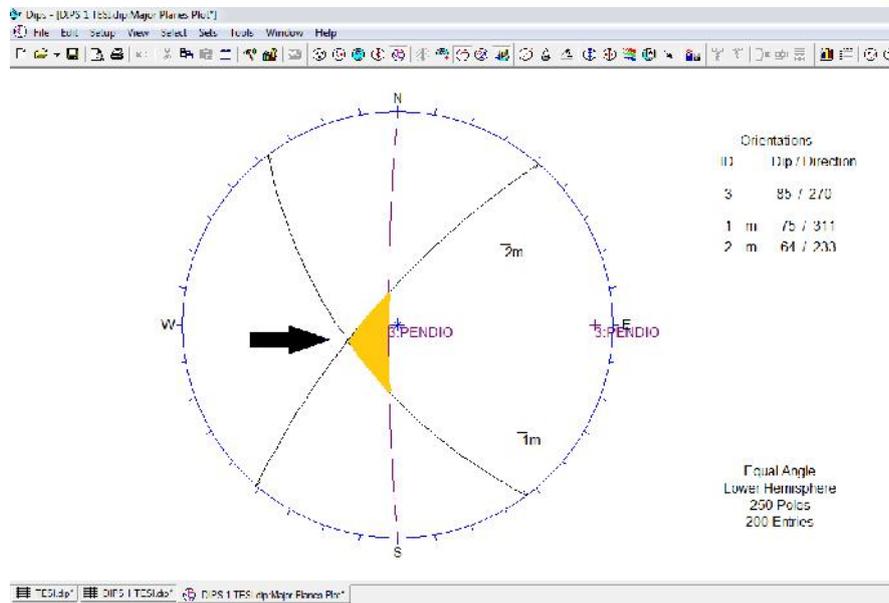


Figura 8

A questo punto, si è utilizzato il Test di Markland per la verifica della possibilità di rottura del cuneo, lungo la linea d'intersezione delle due famiglie di discontinuità (K1 e K2) e per la stima del **Fattore di Sicurezza (FS)**. A tale scopo si è ipotizzato un angolo di attrito lungo la linea di scivolamento pari a  $37^\circ$  e una coesione nulla.

Il pendio risulta potenzialmente instabile, quando il punto che definisce l'intersezione dei grandi cerchi delle due famiglie di discontinuità, ricade all'interno dell'area delimitata dal grande cerchio rappresentante il pendio ed il cerchio che rappresenta l'angolo d'attrito.

Nel caso in esame il punto ricade all'interno dell'area prima menzionata ed il Fattore di Sicurezza risulterà minore di 1 ( $FS < 1$ ) e quindi il cuneo è chiaramente instabile.

A questo punto, tramite le proiezioni stereografiche, si sono potute individuare tutte le giaciture dei piani con inclinazione maggiore del valore dell'angolo di attrito (e quindi anche minore di quello del versante), con la funzione "Daylight Envelope".

E' stato così possibile circoscrivere l'area dello stereonet nel quale ricadono tutti i poli delle giaciture potenzialmente instabili (Fig. 9).

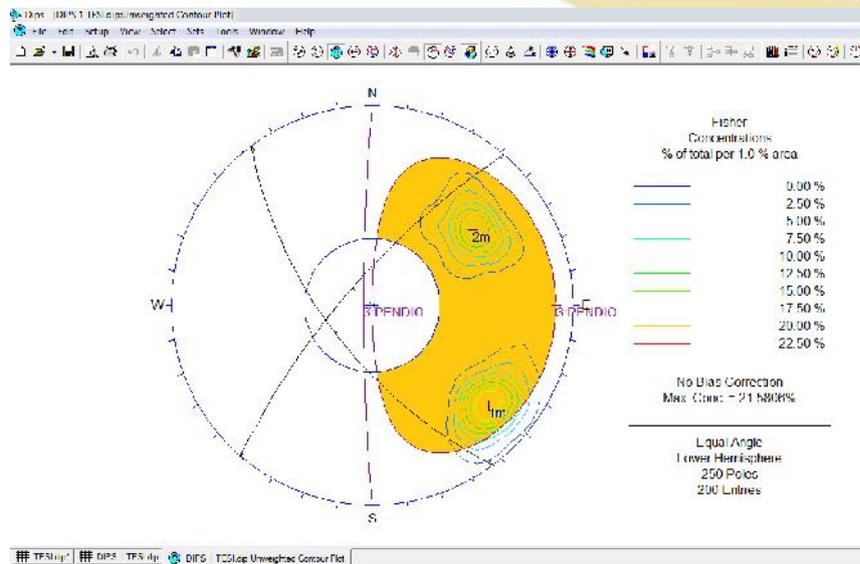


Figura 9

Infine, mediante AutoCad 2013 è stato ricostruito il modello 3D e una sezione-tipo del versante studiato (Fig. 10).

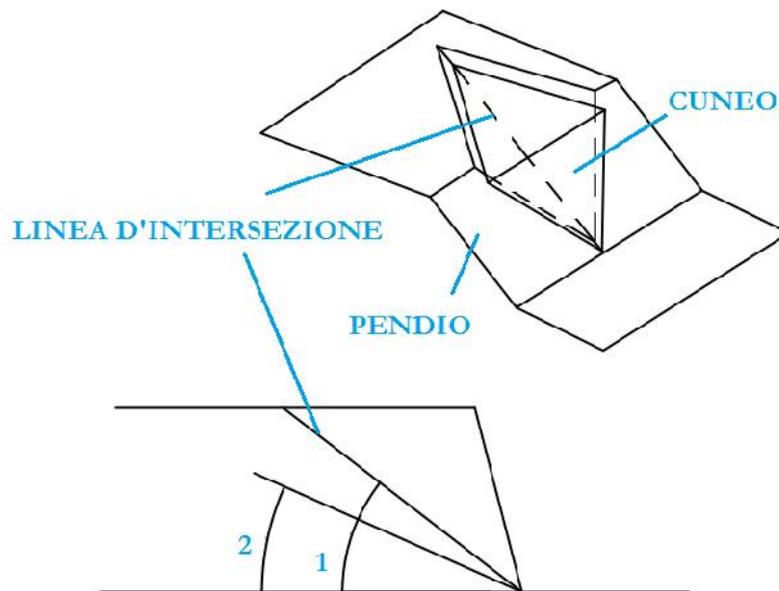


Figura 10 Ricostruzione del modello di rottura.

## CONCLUSIONI

In conclusione, l'uso delle proiezioni stereografiche consente una rapida ed efficace rappresentazione grafica dei dati di orientazione spaziale delle discontinuità che condizionano la stabilità dei versanti in roccia. Tale rappresentazione è stata riprodotta tridimensionalmente attraverso un software specifico, potendo così analizzare il modello di rottura di un caso reale. In questo modo si è potuto ricavare informazioni importanti sulle orientazioni delle discontinuità potenzialmente instabili.

Infine si è ricostruito il modello di rottura più rispondente alla realtà geomorfologica del pendio analizzato. Questa è la fase più importante nello studio dei fenomeni franosi in roccia, poiché la errata ricostruzione del modello può comportare gravi conseguenze sia in relazione alla modellazione cinematica del fenomeno, sia per quanto riguarda la possibilità di interventi di stabilizzazione e di ripristino.

GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE