

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II**



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE, AMBIENTALE

Corso di Laurea in

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Classe N. L-7, delle Lauree in Ingegneria Civile e
Ambientale

Sintesi della tesi di Laurea:

**L'USO DELLE PROIEZIONI STEREOGRAFICHE
NELLO STUDIO DELLE FRANE IN ROCCIA**

RELATORE :

Ch.mo Prof
PAOLO BUDETTA

CANDIDATO:

VITTORIA ESPOSITO
Matr.N49/368

ANNO ACCADEMICO 2014/2015

Obiettivi

- Studiare i criteri di costruzione delle proiezioni stereografiche utilizzate in Geologia strutturale e Geomeccanica e la loro applicazione per la ricostruzione dei modelli di rottura di scarpate e pendii in roccia;
- Illustrare l'utilizzo del codice di calcolo Dips, (Rocscience Inc.) con un'applicazione ad un caso reale

Le proiezioni stereografiche permettono di rappresentare graficamente l'orientazione spaziale delle **discontinuità**, definita, secondo ***l'International Society of Rock Mechanics***, come *“qualsiasi soluzione di continuità dell'ammasso roccioso con una resistenza a trazione bassa o prossima a zero”*.

L'**orientazione** di una discontinuità nello spazio è descritta dalla sua giacitura, ovvero da due valori angolari:



L'**immersione** (*dip*) è l'angolo misurato tra la retta di massima pendenza della discontinuità e la sua proiezione sul piano orizzontale.

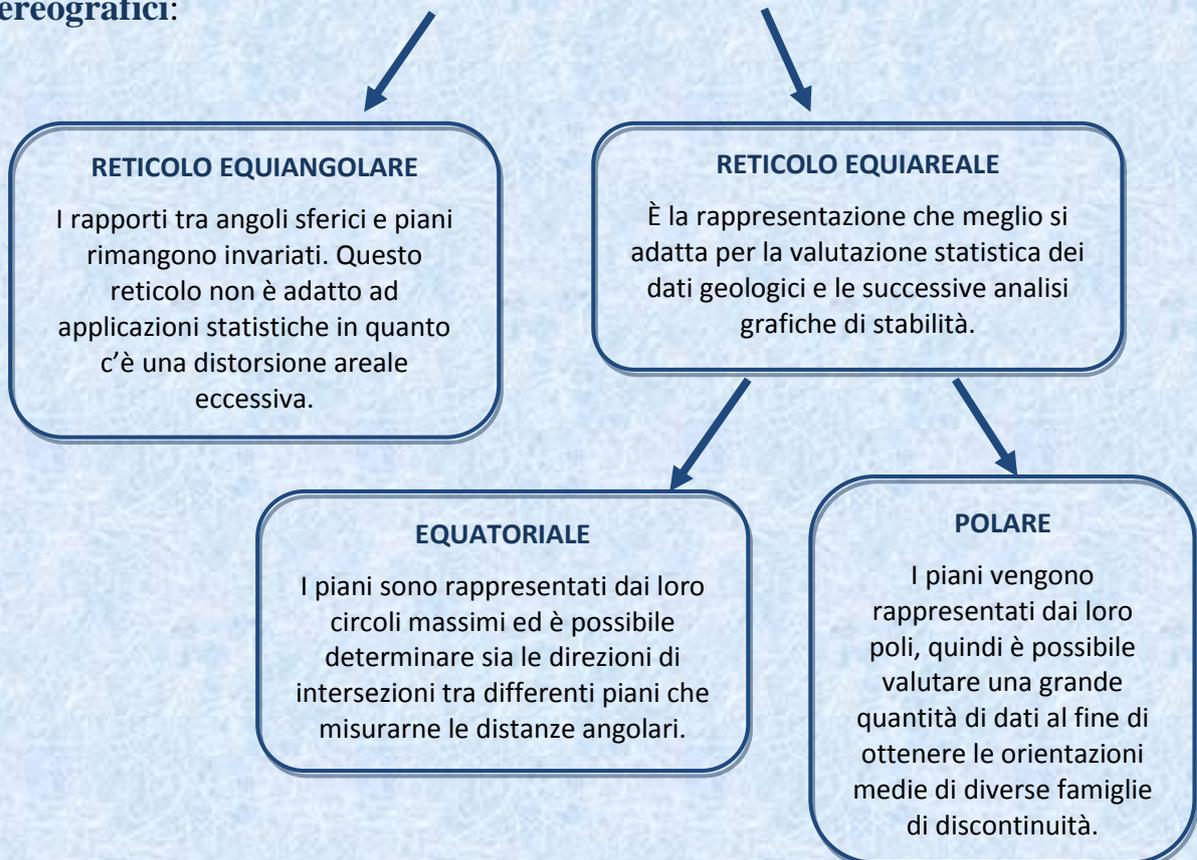
L'**azimuth d'immersione** (*dip direction*) è l'angolo azimutale misurato in senso orario tra il nord vero e la proiezione sul piano orizzontale della retta di massima pendenza della discontinuità.



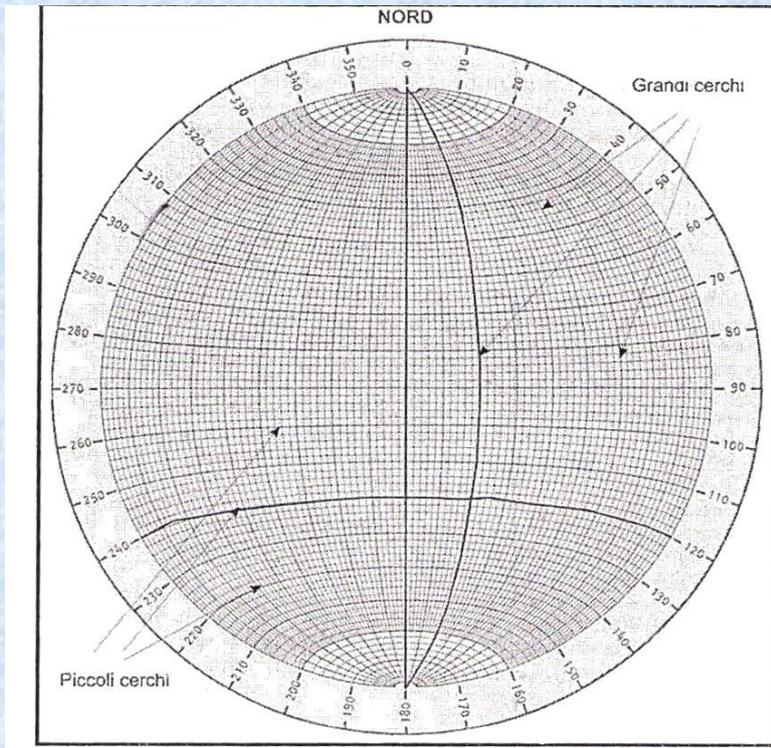
L'orientazione di una discontinuità viene misurata in campagna tramite la **bussola di Clar** che permette, con un'unica misura, di determinare sia il valore dell'immersione che quello dell'azimuth d'immersione.

L'utilizzo di questo strumento è molto utile in quanto ci permette di effettuare queste misure anche in luoghi difficilmente accessibili.

Le proiezioni stereografiche permettono quindi di rappresentare ed analizzare le relazioni spaziali che intercorrono tra azimuth d'immersione ed immersione. Esse si ottengono proiettando i meridiani ed i paralleli, tracciabili sulla superficie di una sfera di riferimento, su un piano che può essere tangente al polo o all'equatore e passante per il centro della sfera stessa. Nel passaggio da una rappresentazione di un'area dalla superficie curvilinea della sfera a quella piana si introducono delle distorsioni: angolari ed areali. A seconda di quale distorsione si vuole eliminare, è possibile costruire due diversi tipi di **reticoli stereografici**:

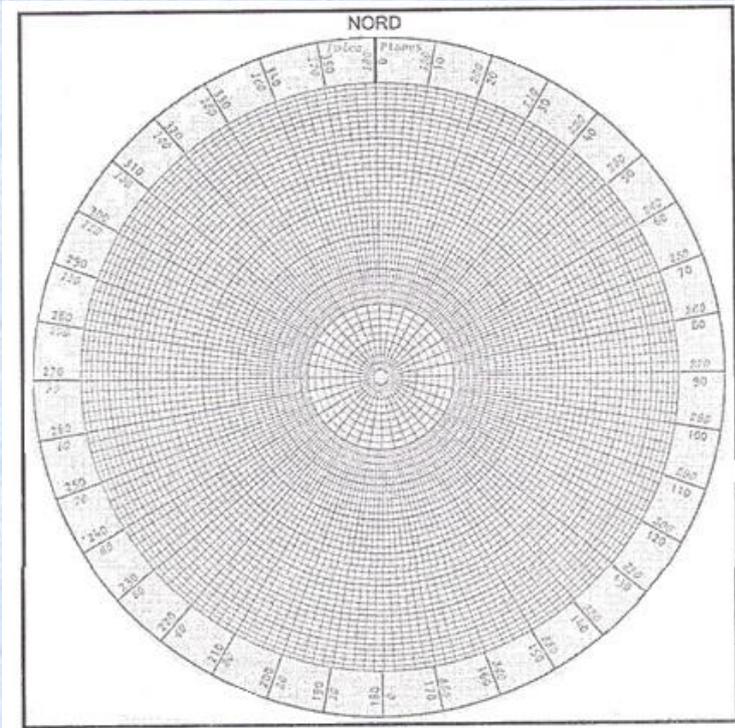


PROIEZIONE EQUIAREALE EQUATORIALE



Caratterizzata dalla presenza di “piccoli cerchi” e “grandi cerchi” che servono ad individuare la giacitura dei piani. Su questo diagramma il perimetro esterno rappresenta il piano orizzontale mentre il piano verticale è rappresentato dall’asse che unisce il nord con il sud della proiezione.

PROIEZIONE EQUIAREALE POLARE



I raggi che si dipartono dal centro rappresentano i meridiani della semisfera di riferimento proiettati su un piano tangente al polo (grandi cerchi). Lungo essi si leggono i valori dell’azimuth d’immersione. I cerchi concentrici rappresentano i paralleli (piccoli cerchi), dove si leggono i valori

dell’immersione. Lungo l’equatore della semisfera si collocano piani verticali comunque orientati.

LE FRANE

Una frana può definirsi come lo “*spostamento naturale di masse rocciose più o meno cospicue, sciolte o lapidee, che avviene lungo una superficie di scorrimento, con movimento veloce o lento sotto l’influenza della gravità*” (Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo, 1971).

Classificazione

Secondo la classificazione di Cruden e Varnes, le frane si distinguono in base al tipo di movimento ed alla natura del materiale coinvolto.

TIPO DI MOVIMENTO		TIPO DI MATERIALE		
		ROCCE	TERRENI GROSSOLANI	TERRENI A GRANA FINE
CROLLI		Crolli di roccia	Crolli di detrito	Crolli di terra
RIBALTAMENTI		Ribaltamenti di roccia	Ribaltamenti di detrito	Ribaltamenti di terra
SCORRIMENTI	ROTAZIONALI	Scorr. rotaz. di roccia	Scorrimenti rotaz. di detrito	Scorrimenti rotaz. di terra
	TRASLATIVI	Scorr. trasl. di roccia	Scorrim traslat. di detrito	Scorrimenti traslat. di terra
ESPANSIONI LATERALI		Espans. lat. di roccia	Espans. laterali di detrito	Espansioni laterali di terra
COLAMENTI		Colamenti di roccia	Colamenti di detrito	Colamenti di terra

Cause delle frane in roccia

Le cause delle frane sono dovute alle azioni che turbano gli equilibri naturali di un pendio. Per quanto riguarda una frana in roccia l’innesco può essere legato a fattori di natura:

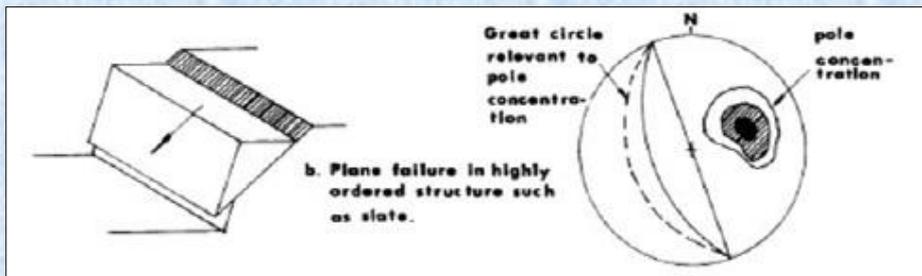


Modelli di rottura

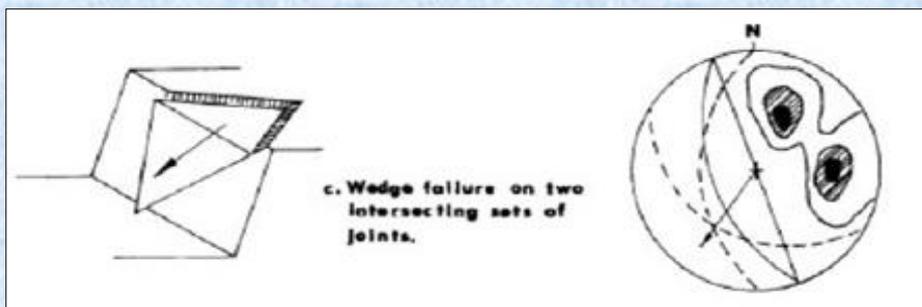
Nelle verifiche di stabilità di pendii in roccia, l'uso delle proiezioni stereografiche consente un'efficace rappresentazione dei dati geologici in base ai quali è possibile ricostruire il modello di rottura più realistico.

I modelli di rottura più frequenti che interessano i versanti in roccia, e la loro rappresentazione in proiezione equatoriale equiareale, sono i seguenti:

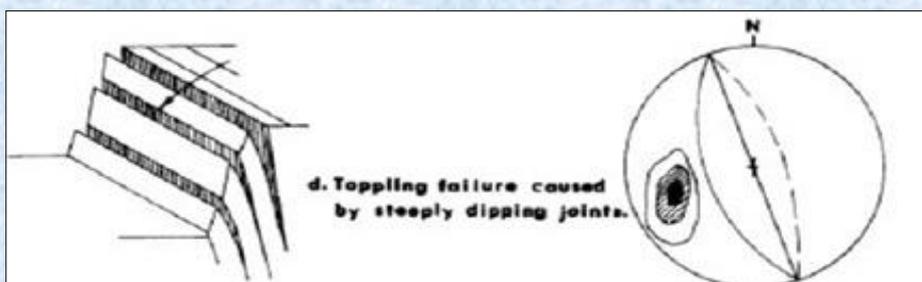
- Rottura planare



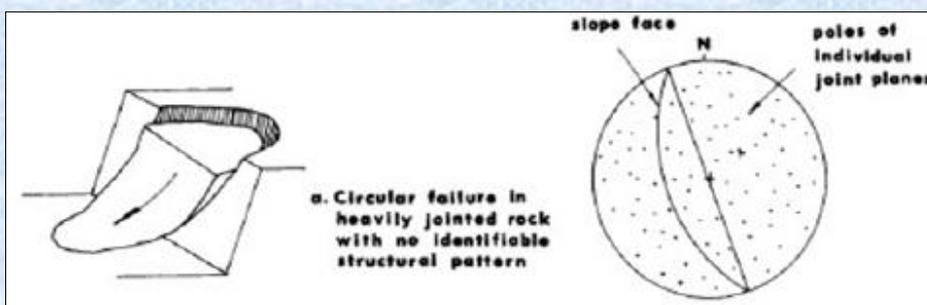
- Rottura a cuneo



- Ribaltamento



- Scorrimento rotazionale

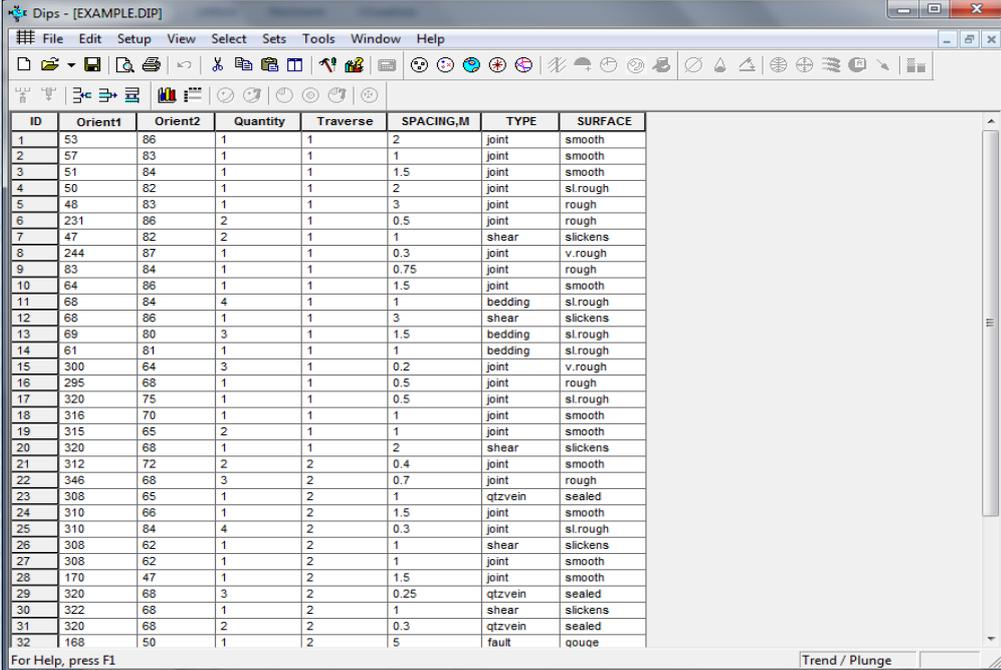


IL CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO

Il codice di calcolo adoperato è **Dips 4.0** (*Rocscience, Inc.*). Si tratta di un software che è generalmente utilizzato per la rappresentazione delle discontinuità di un ammasso roccioso e per eseguire verifiche di stabilità grafiche.

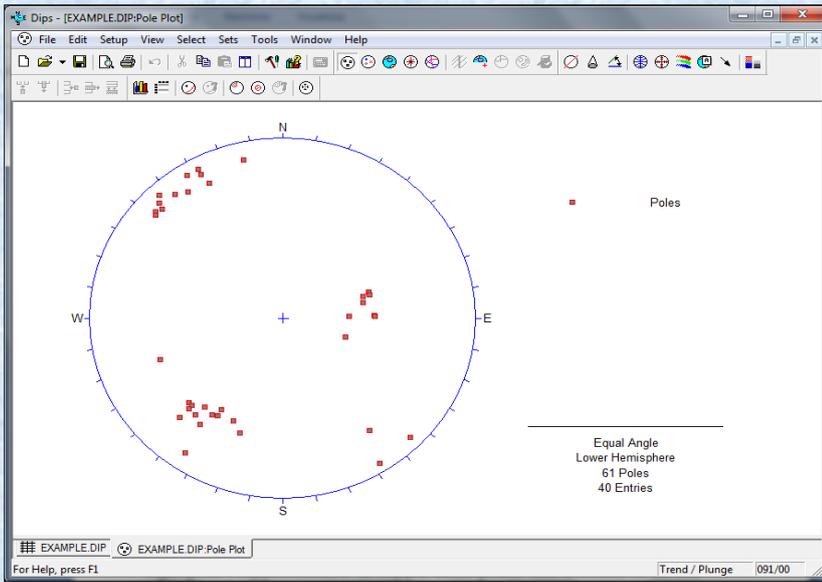
Le informazioni a nostra disposizione vengono inserite in un foglio di calcolo. Alle prime due colonne, nelle quali vanno inseriti i valori delle orientazioni delle varie discontinuità, se ne aggiungono altre. Tra queste abbiamo la *Quantity column* che permette di registrare informazioni che si

ripetono identicamente più volte in una singola riga del file, e possibili *Extra columns*, utilizzate per memorizzare qualsiasi altro dato, qualitativo o quantitativo, che l'utente desidera registrare.



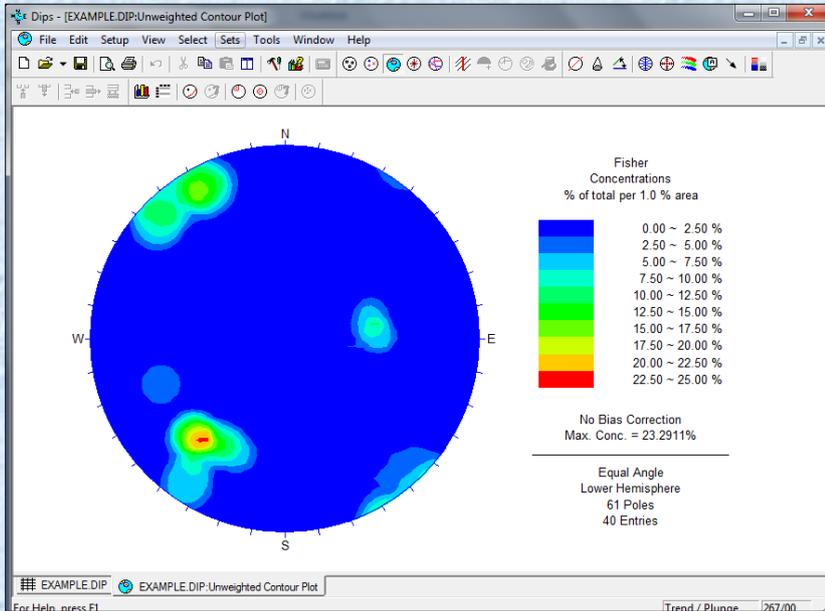
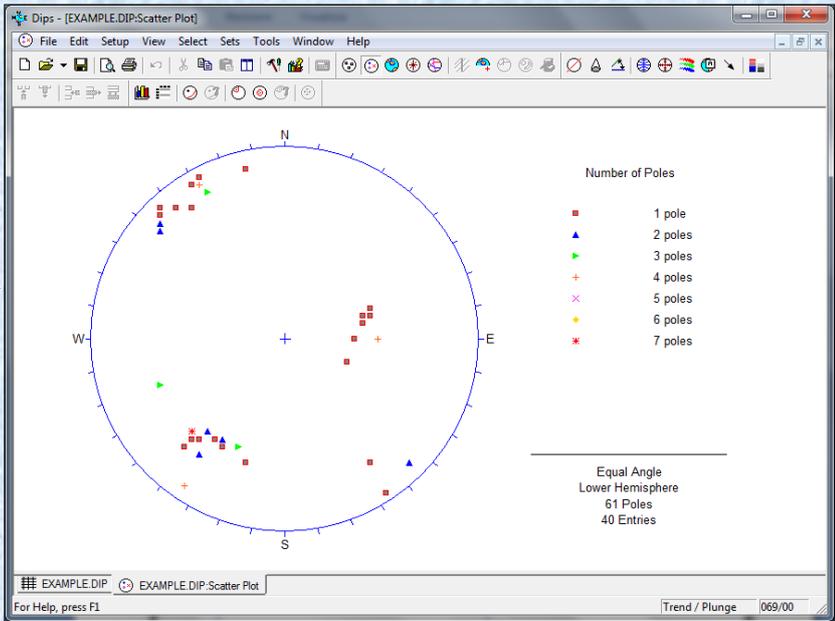
ID	Orient1	Orient2	Quantity	Traverse	SPACING,M	TYPE	SURFACE
1	53	86	1	1	2	joint	smooth
2	57	83	1	1	1	joint	smooth
3	51	84	1	1	1.5	joint	smooth
4	50	82	1	1	2	joint	sl.rough
5	48	83	1	1	3	joint	rough
6	231	86	2	1	0.5	joint	rough
7	47	82	2	1	1	shear	slickens
8	244	87	1	1	0.3	joint	v.rough
9	83	84	1	1	0.75	joint	rough
10	64	86	1	1	1.5	joint	smooth
11	68	84	4	1	1	bedding	sl.rough
12	68	86	1	1	3	shear	slickens
13	69	80	3	1	1.5	bedding	sl.rough
14	61	81	1	1	1	bedding	sl.rough
15	300	64	3	1	0.2	joint	v.rough
16	295	68	1	1	0.5	joint	rough
17	320	75	1	1	0.5	joint	sl.rough
18	316	70	1	1	1	joint	smooth
19	315	65	2	1	1	joint	smooth
20	320	68	1	1	2	shear	slickens
21	312	72	2	2	0.4	joint	smooth
22	346	68	3	2	0.7	joint	rough
23	308	65	1	2	1	qtzvein	sealed
24	310	66	1	2	1.5	joint	smooth
25	310	84	4	2	0.3	joint	sl.rough
26	308	62	1	2	1	shear	slickens
27	308	62	1	2	1	joint	smooth
28	170	47	1	2	1.5	joint	smooth
29	320	68	3	2	0.25	qtzvein	sealed
30	322	68	1	2	1	shear	slickens
31	320	68	2	2	0.3	qtzvein	sealed
32	168	50	1	2	5	fault	ouque

Questo programma, in particolare, ci permette di creare:



POLE PLOT
 In cui ogni polo, rappresentante una coppia nelle prime due colonne del file, viene tracciato su di un reticolo stereografico.

SCATTER PLOT
 Su questo reticolo i poli che coincidono, o che si trovano molto vicini tra loro, vengono raggruppati insieme tracciando dei simboli che rappresentano il numero dei poli coincidenti in quella determinata posizione.



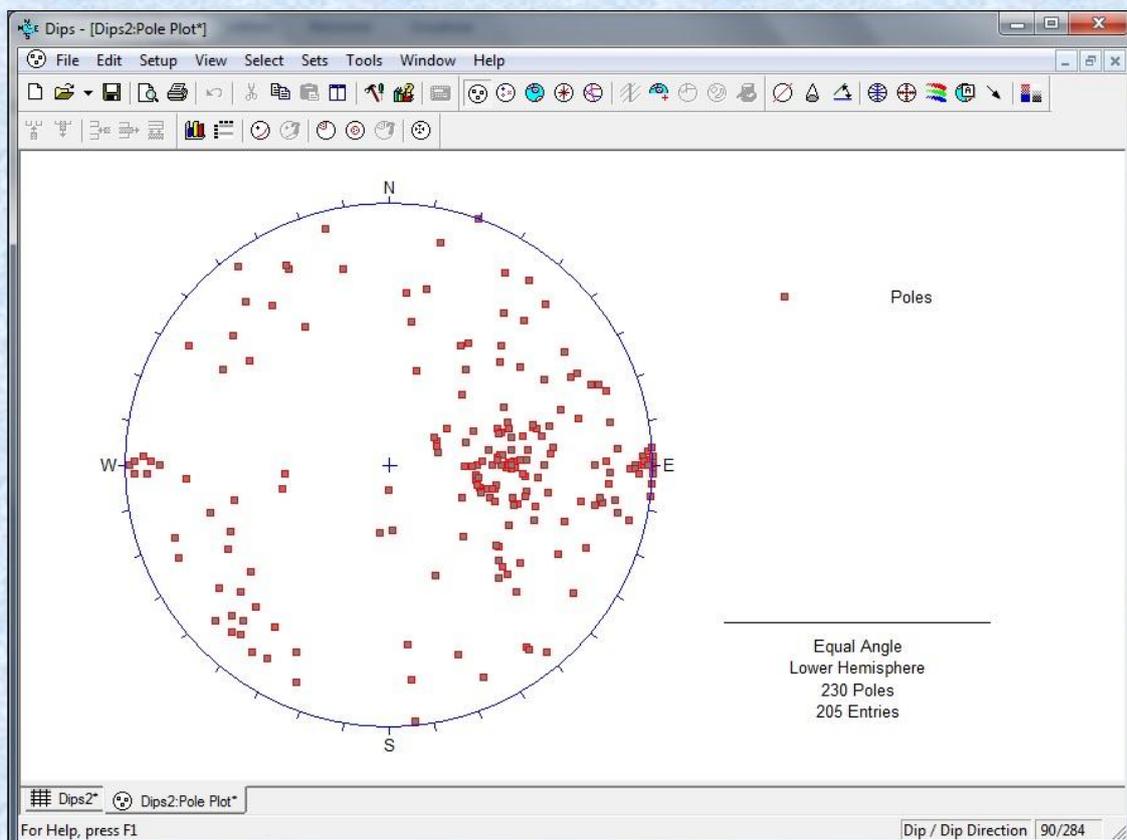
CONTOUR PLOT
 Ci permette di analizzare la concentrazione minima/massima dei poli tramite la rappresentazione delle isodense e quindi visualizzare informazioni non immediatamente evidenti con altri stereonet.

Oltre a rappresentare questi diagrammi, il software ci permette di aggiungere graficamente ulteriori piani / poli allo stereonet o creare delle finestre attorno ad un gruppo di dati al fine di ottenere l'orientazione media della famiglia di poli in ciascuna finestra.

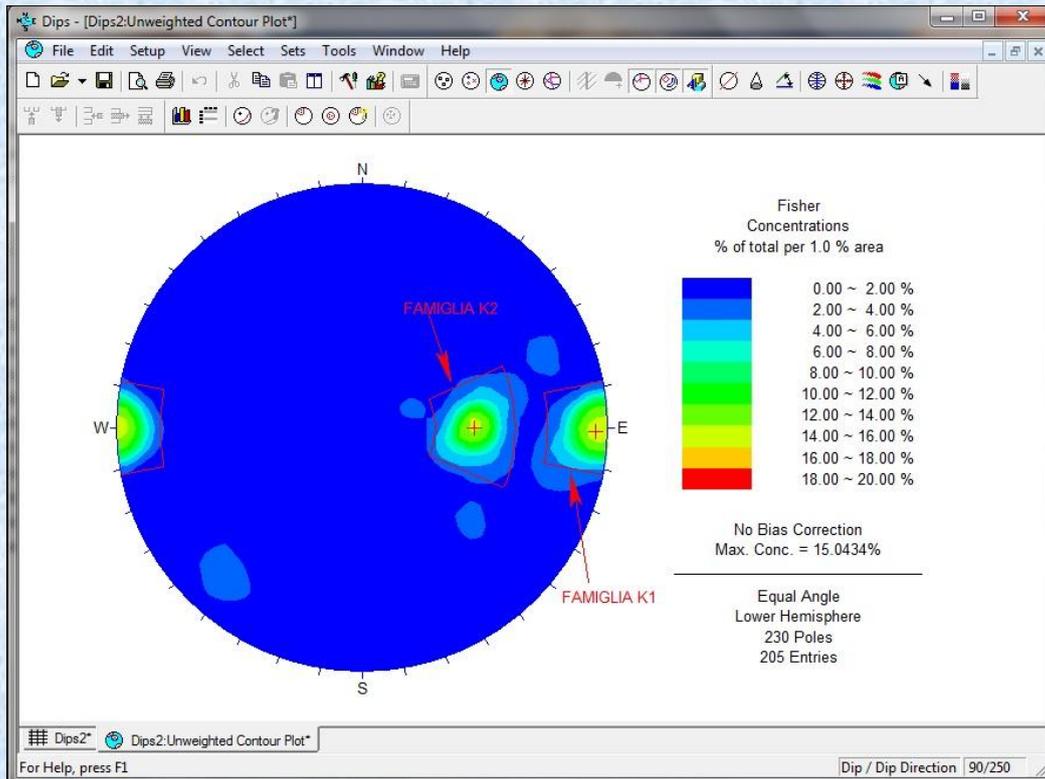
Da ultimo, è possibile effettuare verifiche di stabilità grafiche mediante il cosiddetto "test di Markland" per valutare la possibilità di rottura di diedri di roccia.

APPLICAZIONE

L'applicazione ha riguardato un caso reale di un versante formato da un settore inferiore, a più elevata pendenza (80°) ed uno superiore nel quale l'inclinazione risulta minore (40°). Una volta misurate le orientazioni di 230 discontinuità tramite la bussola di Clar, esse sono state rappresentate su opportuni *stereonet*.



Tracciando sullo stereonet le isodense dei vari poli sono state riconosciute due famiglie di discontinuità.

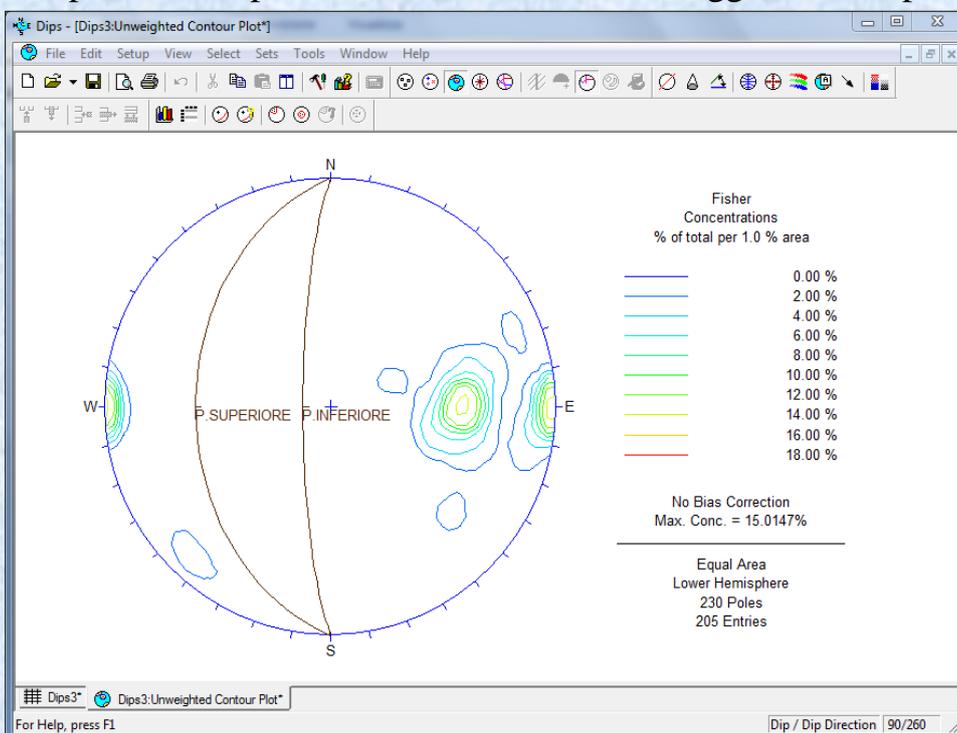


La prima famiglia è di origine tettonica ed è rappresentata da numerose fratture sub-verticali che affiorano sulla porzione superiore del versante, mentre la seconda famiglia è legata a piani di scistosità di origine metamorfica presenti nell'ammasso studiato.

A questo punto, per ricavare geometricamente il modello di rottura più probabile, è stato necessario aggiungere al reticolo stereografico la giacitura del versante.

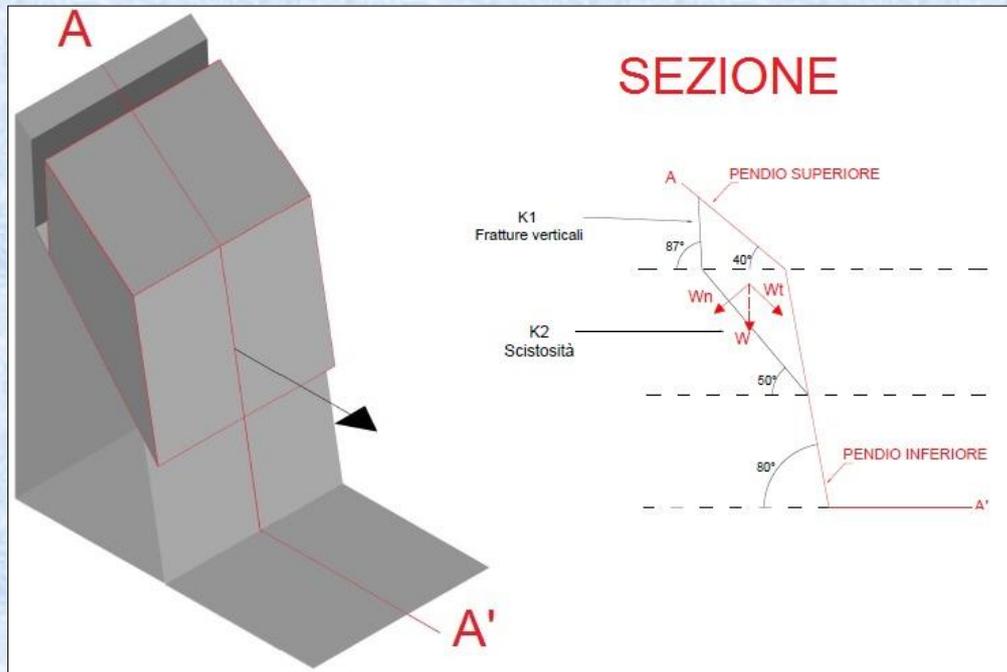
Lo stereonet evidenzia chiaramente un modello di possibile scivolamento planare che può interessare il versante in oggetto. La superficie di scorrimento

potrebbe individuarsi lungo i piani di scistosità, mentre le fratture tettoniche potrebbero rendere cinematicamente possibile lo scorrimento in



quanto troncano a tergo la massa rocciosa potenzialmente instabile.

MODELLO DI ROTTURA DEL VERSANTE ANALIZZATO:

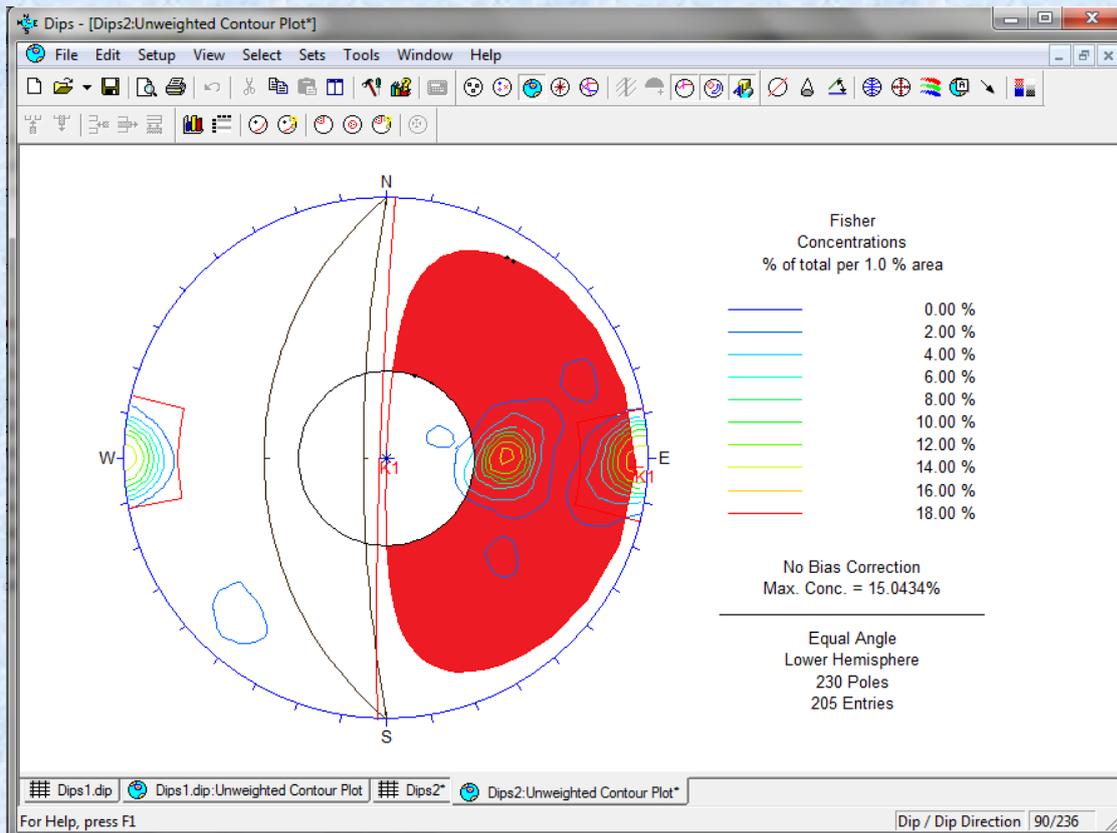


TEST DI MARKLAND

È apparso utile, a questo punto, effettuare anche il test di Markland. Abbiamo ipotizzato una coesione nulla ed un angolo di attrito di 37° lungo i piani di scivolamento, essendo le loro superfici rugose o molto rugose.

In queste condizioni lo scorrimento si verificherà quando l'inclinazione della superficie di scorrimento è maggiore dell'angolo di attrito e quindi il fattore di sicurezza risulterà $FS < 1$. Il fattore di sicurezza dipenderà quindi dall'inclinazione della superficie di scorrimento, dall'angolo di attrito lungo questa superficie e dalla geometria del diedro.

A questo punto utilizzando le proiezioni stereografiche abbiamo potuto individuare tutte le giaciture dei piani che hanno inclinazioni maggiori del valore dell'angolo d'attrito e quindi circoscrivere l'area dello stereonet nel quale ricadono i poli di tutti i piani potenzialmente instabili.



CONCLUSIONE

In sintesi, l'uso delle proiezioni stereografiche consente la rappresentazione grafica di modelli tridimensionali complessi e dei rapporti areali ed angolari tra le superfici che li individuano. In tal modo, è possibile ricavare informazioni sui volumi delle masse instabili e sugli angoli critici tra discontinuità.

Nello studio dei fenomeni franosi la ricostruzione del modello di frana più rispondente alla realtà geomorfologica è la fase più importante in quanto, errori in questo processo, comportano conseguenze negative sia in relazione alla modellazione cinematica del fenomeno che ai possibili interventi di stabilizzazione e ripristino.