

MECCANICA DELLE ROCCE 05BPMMX

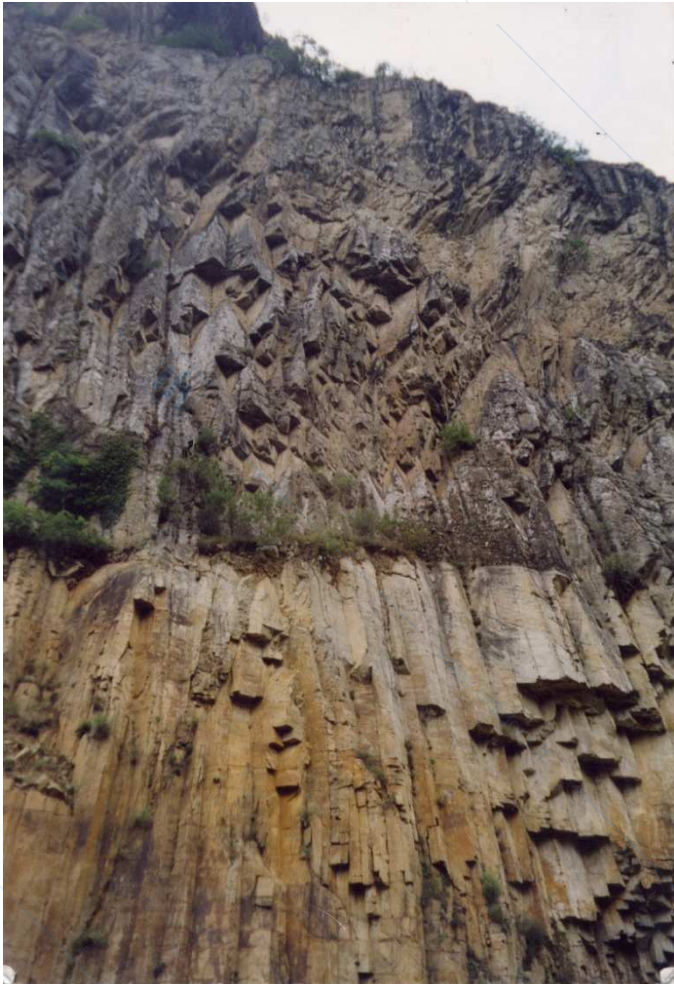
Docente

Prof. Claudio SCAVIA (011/ 0904823)
claudio.scavia@polito.it

Esercitatore

Prof. Monica BARBERO (011/ 0904888)
monica.barbero@polito.it





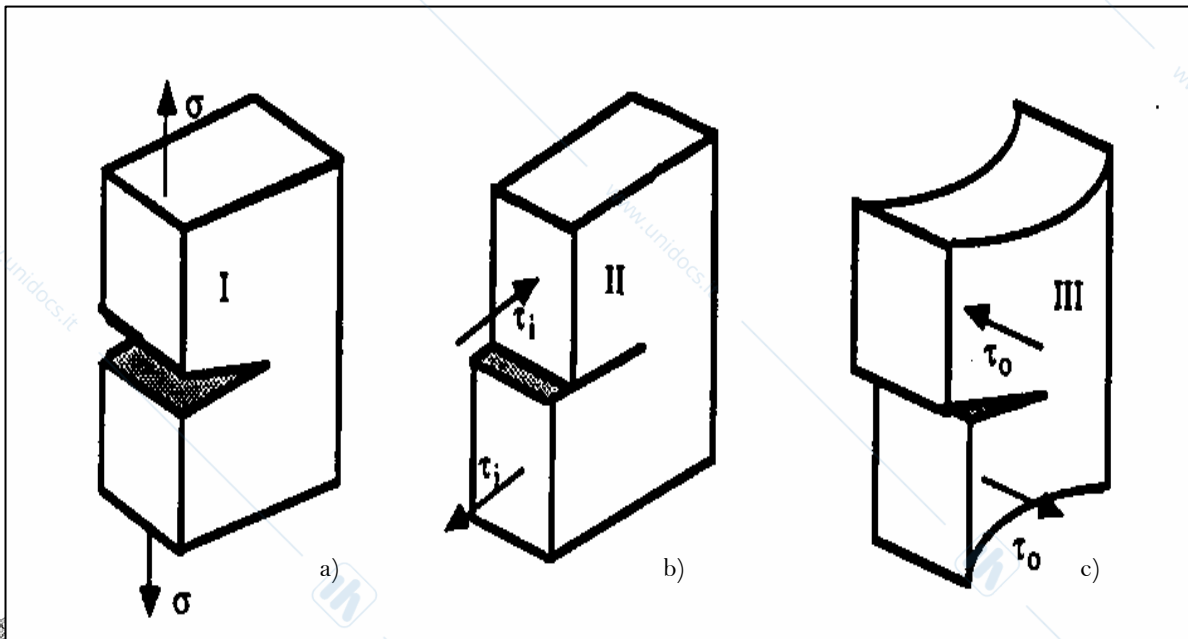
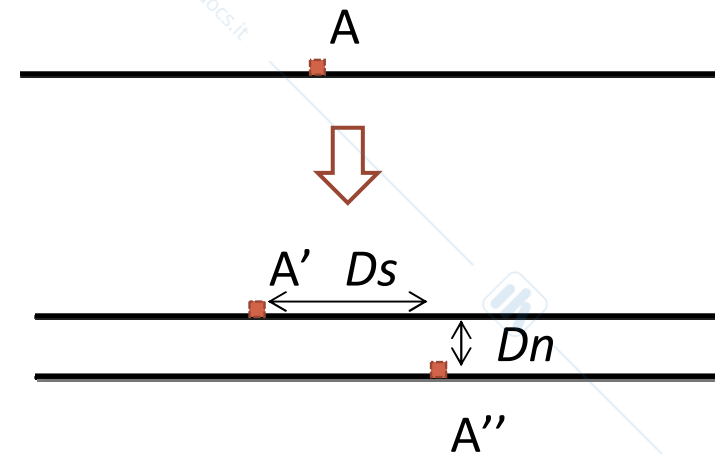
DISCONTINUITA'



DISCONTINUITA'

Il termine discontinuità si riferisce a qualsiasi interruzione della continuità nel campo degli spostamenti in un mezzo. Si tratta di superfici di varia genesi esistenti nell'ammasso roccioso, caratterizzate dalla presenza di spostamenti relativi normali (D_n) o tangenziali (D_s) tra le facce della superficie.

Sono create nell'ammasso roccioso da azioni meccaniche (faglie e giunti).



Modi elementari di sollecitazione della fessura :

*a) Apertura (Modo I);
b) Scivolamento nel piano (Modo II),
c) Strappo (Modo III).*

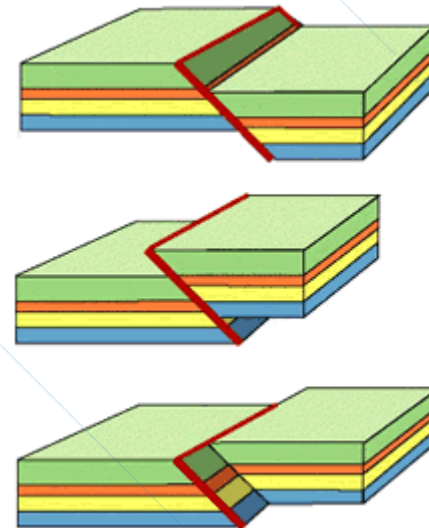


FAGLIE

Sono discontinuità che si formano per sollecitazioni di taglio o trazione in cui i piani di rottura hanno subito **GRANDI SPOSTAMENTI** (da pochi cm a km).

In genere non c'è un piano di discontinuità singolo e ben definito ma una fascia di materiale altamente fratturato e/o alterato, con riempimento di minerali e/o terreno.

Hanno spaziature anche chilometriche e, pertanto vengono trattate singolarmente.



GIUNTI

Sono fratture della roccia lungo le quali non ci sono stati significativi spostamenti.

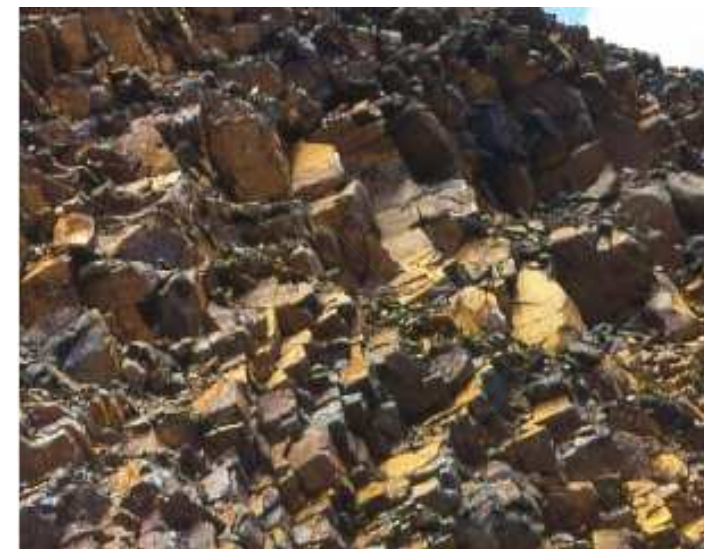
Sono dovuti a sollecitazioni di taglio e/o trazione subite dalla matrice rocciosa.

Possono essere sistematici (gruppi di fratture pseudo parallele) o rappresentare fratture singolari.

Hanno in genere spaziature da centimetriche a metriche e rappresentano le fratture più frequenti.

TAGLIO superficie poco rugosa

TRAZIONE superficie rugosa



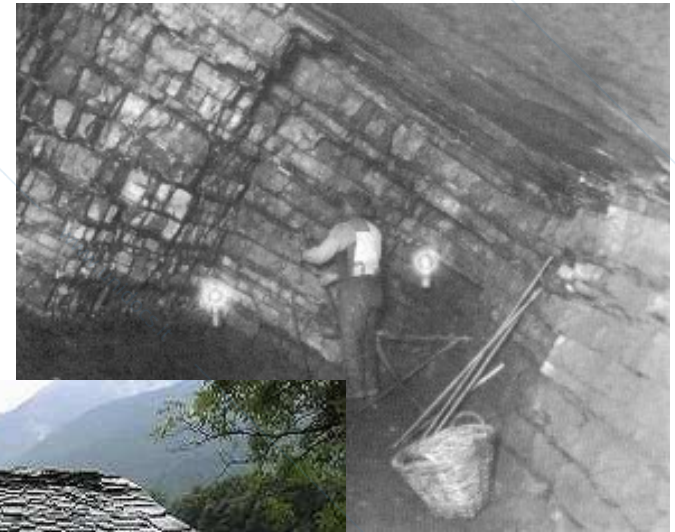
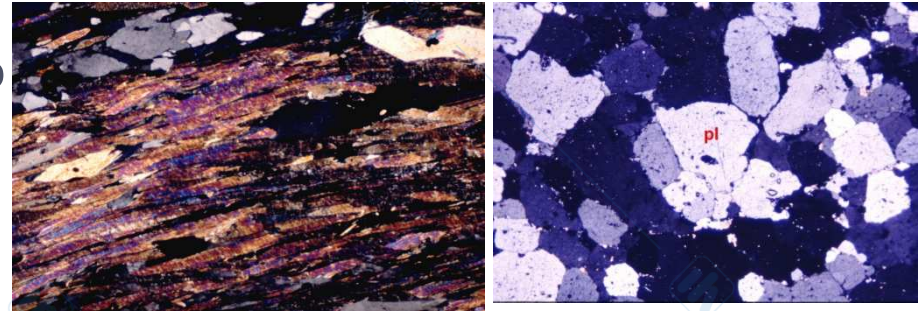
SCISTOSITA'

Possono anche esistere nell'ammasso roccioso delle zone in cui il materiale roccioso mostra difetti di tessitura (scistosità).

Pur influenzando il comportamento meccanico dell'ammasso, tali zone non presentano discontinuità di spostamento (vale l'ipotesi di continuità).

Per esempio durante il fenomeno di metamorfismo, per particolari condizioni di temperatura e pressione, i cristalli si dispongono orientandosi lungo direzioni preferenziali.

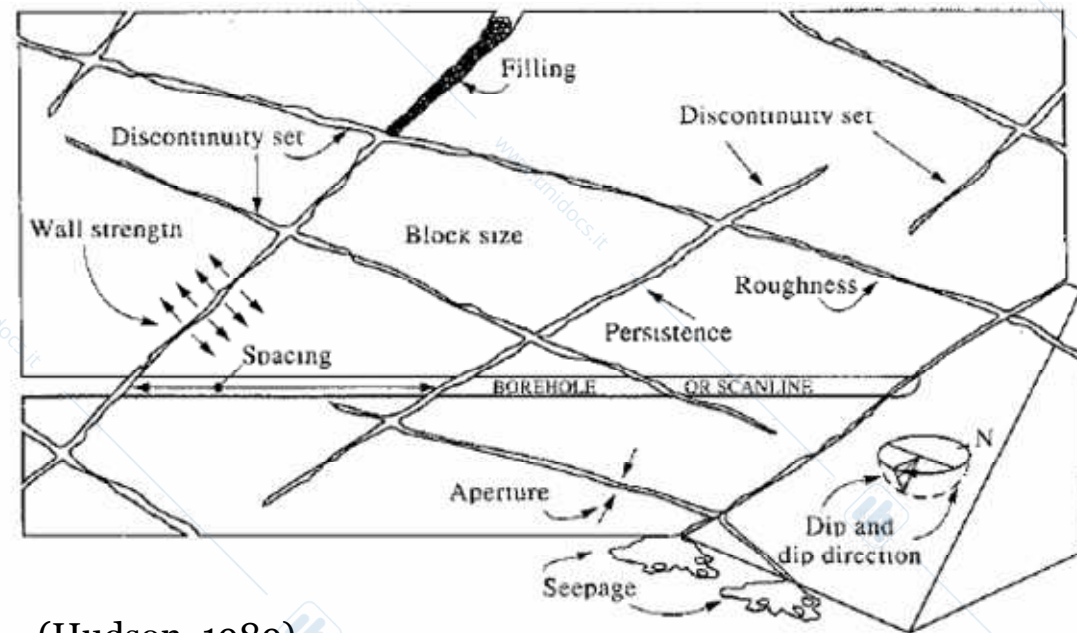
Si formano in tal modo superfici preferenziali di debolezza strutturale.



DISCONTINUITA'

Spesso, sotto l'aspetto ingegneristico, le discontinuità possono rappresentare il principale fattore influenzante la deformabilità, la permeabilità e le condizioni di rottura di un ammasso roccioso. Ad esempio i problemi di stabilità dei versanti in roccia, molto spesso, sono causati da condizioni critiche raggiunte anche lungo singoli piani di discontinuità estesi e persistenti.

Per tale motivo è necessario comprendere a fondo le proprietà **GEOMETRICHE, MECCANICHE e IDROLOGICHE** delle discontinuità ed il modo in cui esse influenzano le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso e, quindi, l'ingegneria delle rocce.



(Hudson, 1989)



DISCONTINUITA' - RILIEVO

La prima operazione da effettuare per l'analisi di un ammasso roccioso è il **RILIEVO** delle discontinuità, nell'ambito del quale devono essere raccolti i dati riguardanti le proprietà geometriche delle stesse.

Vengono descritte attraverso 8 caratteristiche (Raccomandazioni ISRM) le quali permettono la definizione di altri due parametri fondamentali:

- 1. Orientazione**
- 2. Spaziatura e Frequenza**
- 3. Continuità o Persistenza**
- 4. Rugosità**
- 5. Resistenza delle Pareti**
- 6. Apertura**
- 7. Riempimento**
- 8. Filtrazioni**



DISCONTINUITA' - RILIEVO

Il rilievo delle discontinuità, avviene evidentemente in sito, lungo affioramenti dell'ammasso roccioso in superficie o attraverso fori di sondaggio in profondità:

Metodi classici di rilievo
a piccola e media scala:

- 1. Stendimenti**
- 2. Finestre di rilievo**
- 3. Fori di sondaggio**

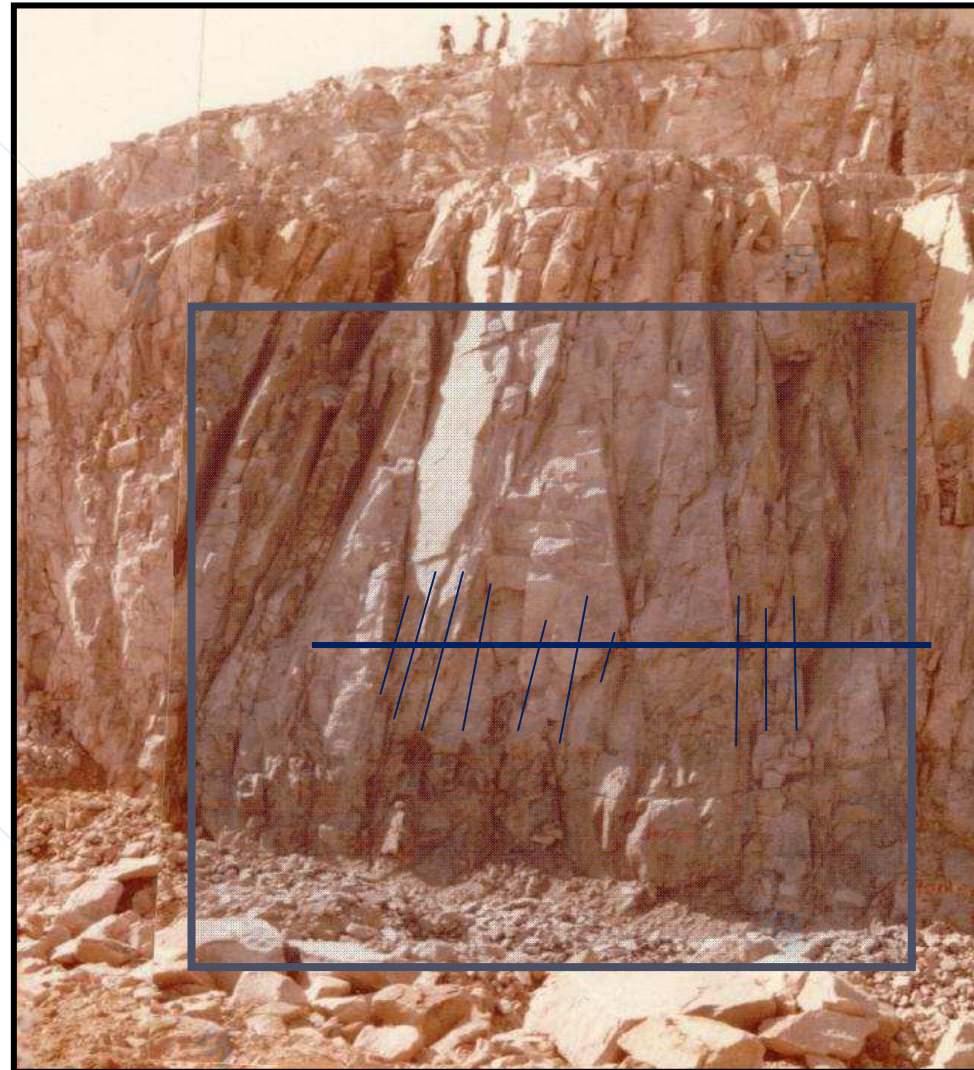
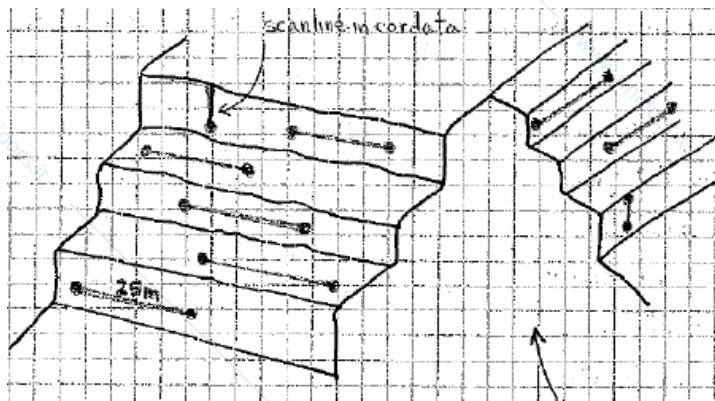
Grande scala

- 1. Metodi fotogrammetrici aerei e terrestri**
- 2. Laser Scanner**



DISCONTINUITA' - RILIEVO TRADIZIONALE

1. *Stendimenti*
2. *Finestre di rilievo*
3. *Fori di sondaggio*

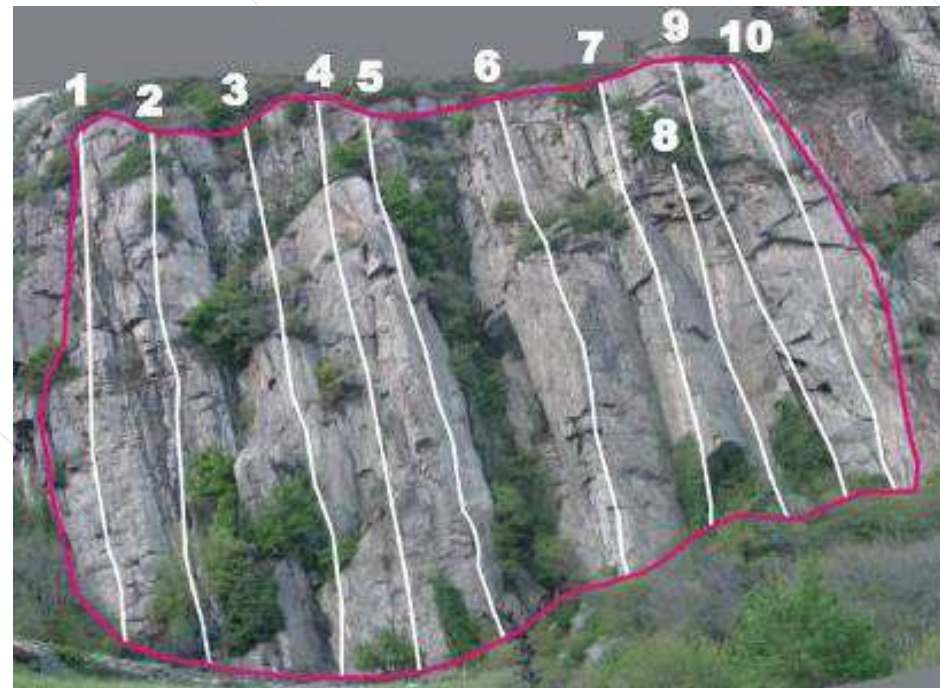


DISCONTINUITA' - RILIEVO TRADIZIONALE



Limiti del rilievo tradizionale:

- **Può essere condotto in condizioni di scarsa sicurezza!**
- **Può avere tempi di esecuzioni lunghi, costosi**
- **Non tutte le pareti sono accessibili!**
- **Poco obbiettivo**



DISCONTINUITA' - ORIENTAZIONE

L'orientazione di una discontinuità (piano) nello spazio, viene descritta univocamente attraverso due angoli: uno che ne indica l'inclinazione rispetto al piano orizzontale, ed un altro che indica la direzione di immersione rispetto al Nord.

A questo scopo il piano può essere rappresentato univocamente tramite la sua **Retta di Massima Pendenza** :

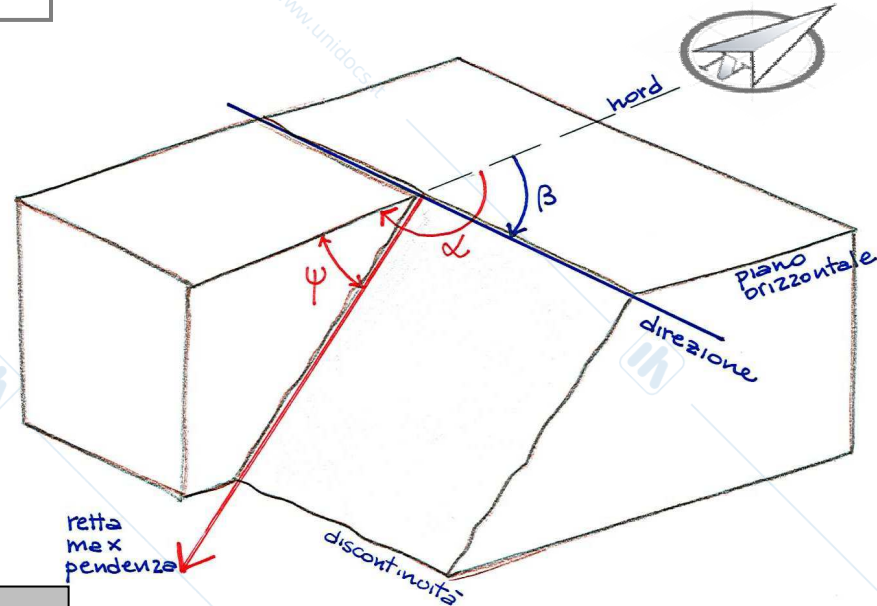
Dip o Inclinazione ψ

Dip Direction o Direzione di Immersione α

Può essere rappresentato anche dalla retta intersezione discontinuità - piano orizzontale, chiamata **Direzione**:

Dip o Inclinazione ψ

Strike o Direzione β



$$\psi = [0 \div 90^\circ]$$

$$\alpha = [0 \div 360^\circ]$$

$$\beta = [0 \div 180^\circ]$$

$$\alpha = \beta \pm 90^\circ$$

Campo di variabilità degli angoli e relazioni*

* α e β sono letti in senso orario a partire dal Nord



DISCONTINUITA' - ORIENTAZIONE

La discontinuità può essere rappresentata anche tramite la retta normale al piano chiamata **POLO**.

Inclinazione

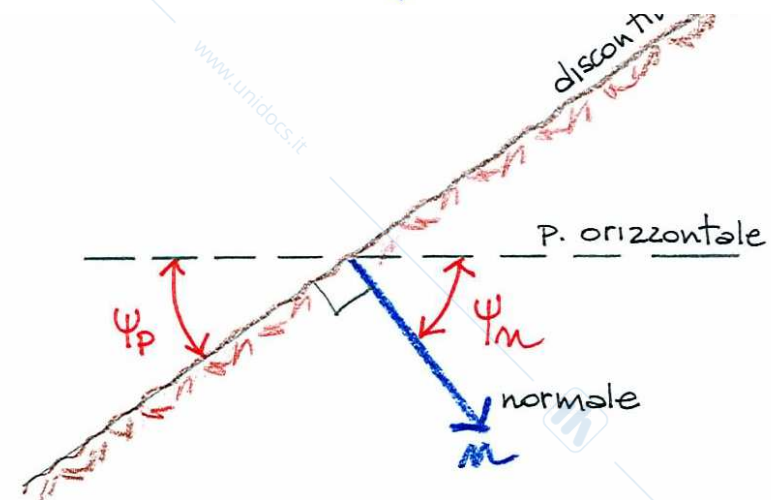
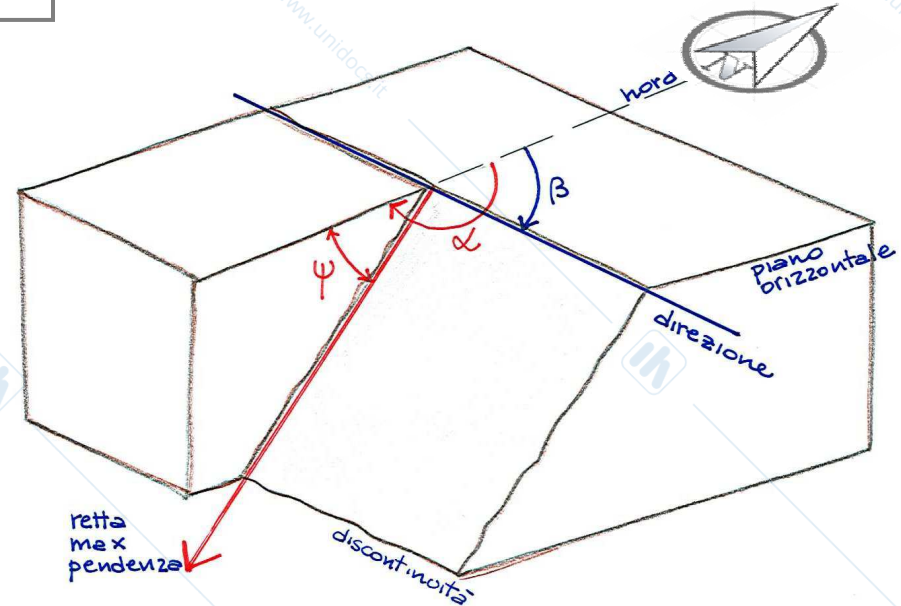
ψ_n

Direzione di Immersione

α_n

$$\psi_n = 90^\circ - \psi_p$$

$$\alpha_n = \alpha_p \pm 180$$



DISCONTINUITA' - ORIENTAZIONE

La misura dell'orientazione di una discontinuità è eseguita con la bussola geologica che permette di misurare direttamente in sito sia l'inclinazione, sia la direzione di immersione.

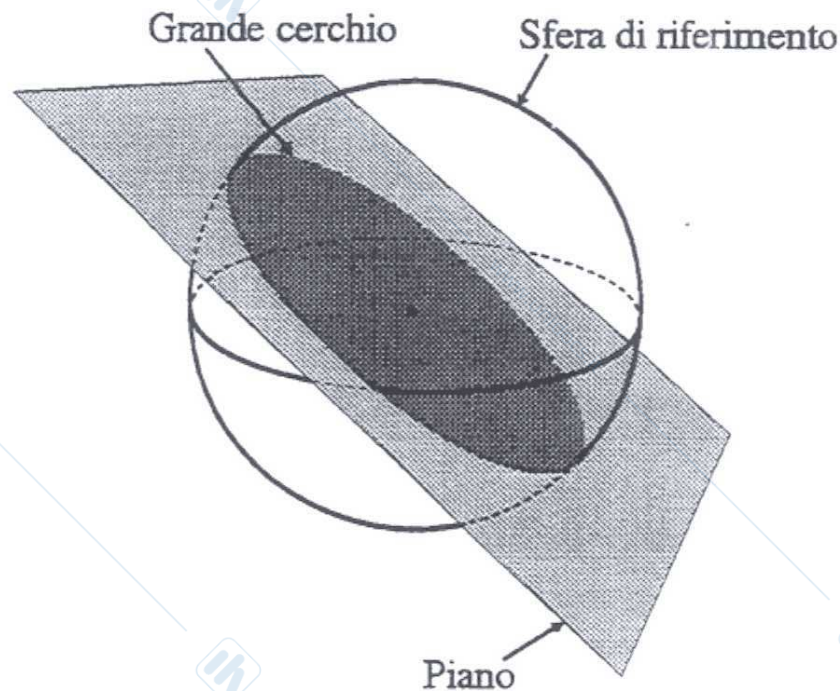


DISCONTINUITA' – ORIENTAZIONE , Rappresentazione grafica

Come dei dati 3D possono essere manipolati e rappresentati in un piano?

La rappresentazione grafica di una discontinuità (di un piano comunque orientato nello spazio) avviene attraverso la tecnica della Proiezione Sferica, che consente di rappresentare un piano 3D su un diagramma planare (2D).

PROIEZIONE SFERICA DEL PIANO DI DISCONTINUITA' e del suo POLO



Sfera libera di muoversi nello spazio ma NON di ruotare (ogni direzione radiale è fissa nello spazio).

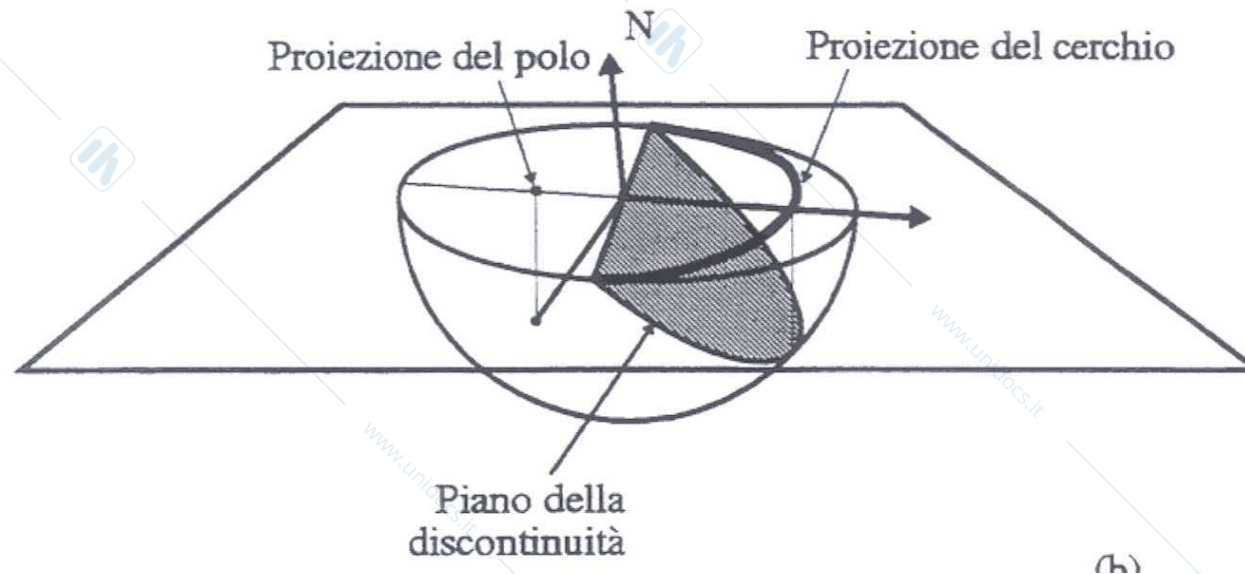
L'intersezione tra tale sfera ed il piano da rappresentare (contenente il centro della sfera) è un cerchio chiamato "GRANDE CERCHIO"



DISCONTINUITA' - ORIENTAZIONE, Rappresentazione grafica

La rappresentazione grafica del piano si ottiene proiettando il grande cerchio sul piano di rappresentazione.

Si considera solo uno dei due emisferi (in genere quello inferiore).



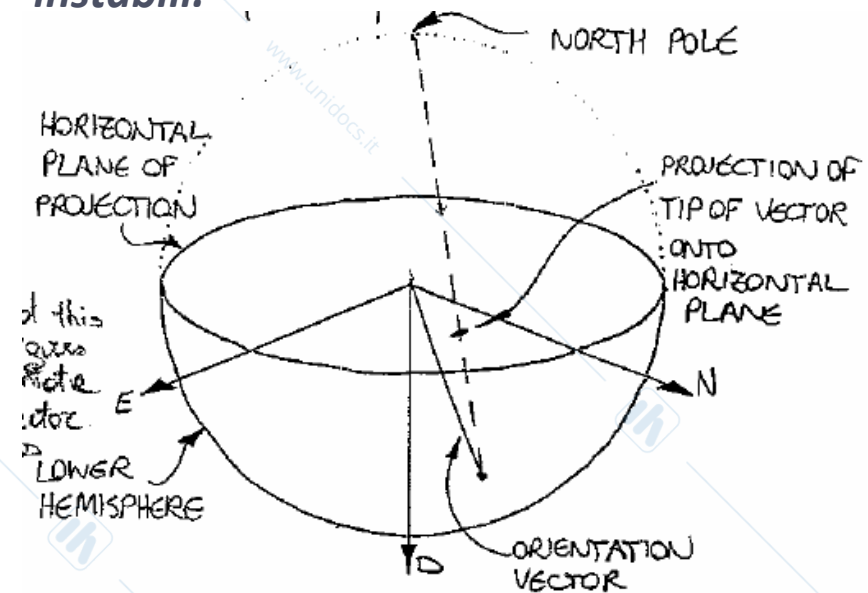
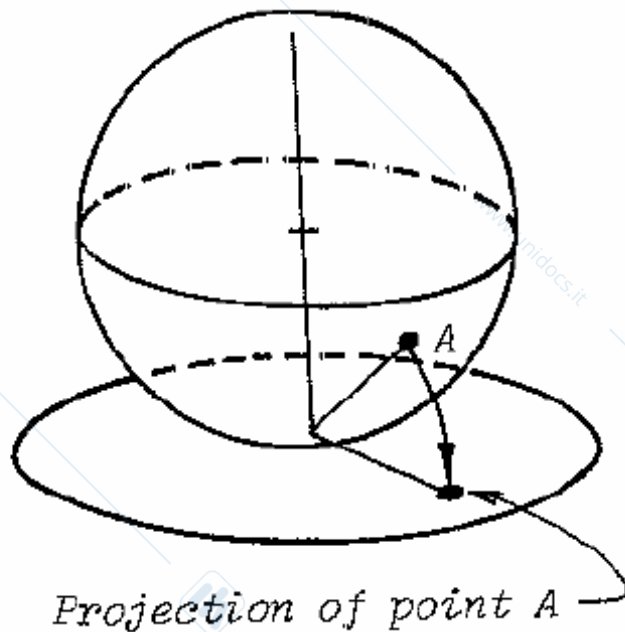
COME SI PROIETTA SUL PIANO DI RIFERIMENTO?



DISCONTINUITA' - ORIENTAZIONE, Rappresentazione grafica

Le proiezioni sferiche utilizzate per la rappresentazione di piani di discontinuità sono di due tipi:

- **Proiezione equi-area (Lambert o Schmidt).** Mantiene le aree ma non la forma (piccole distorsioni). E' utilizzata per effettuare analisi di tipo statistico sulla distribuzione spaziale delle discontinuità
- **Proiezione stereografica o equi-angola (Wulf).** Mantiene gli angoli e quindi le forme (ma non le aree). Viene utilizzata, ad esempio, nell'applicazione della Teoria del blocco chiave (Goodman & Shi) per l'identificazione dei blocchi instabili.

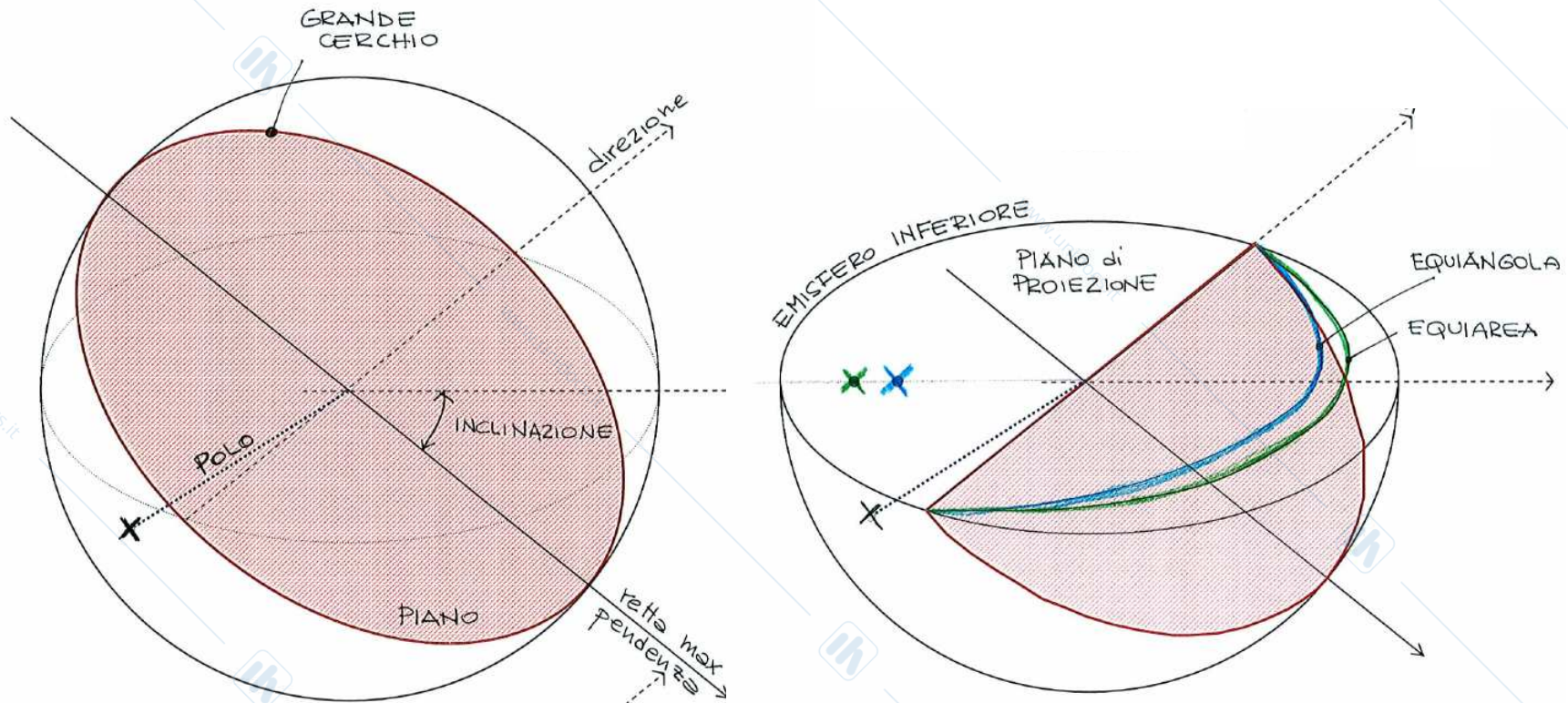


DISCONTINUITA' - Orientazione

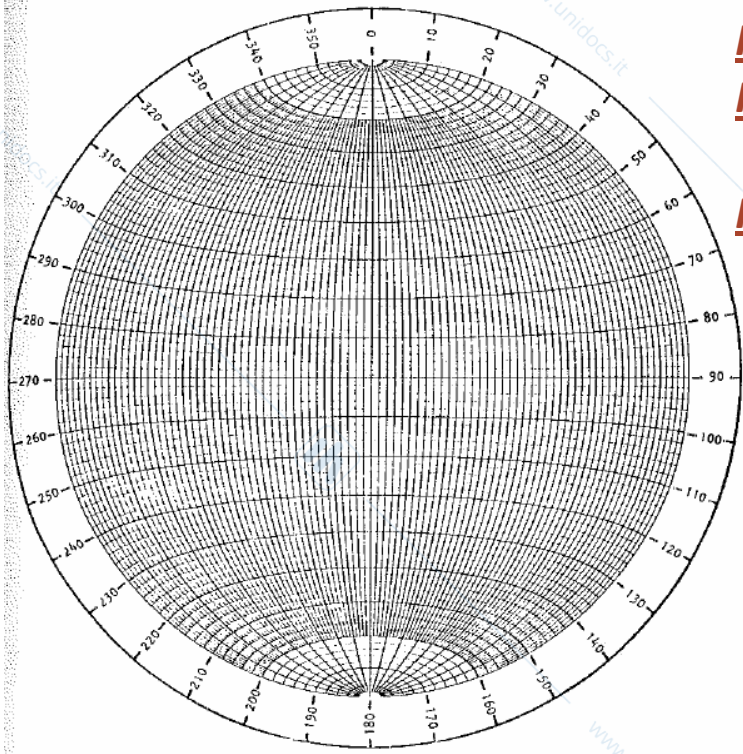
PROIEZIONI sul PIANO DI RIFERIMENTO del piano e del Polo

PROIEZIONE EQUIAREA: sono mantenute le stesse aree, ma non la forma (l'arco di circonferenza diventa una curva ed il punto e il punto rimane tale)

PROIEZIONE EQUIANGOLA: sono mantenuti gli stessi angoli e, quindi, le forme: il grande cerchio rimane un cerchio.

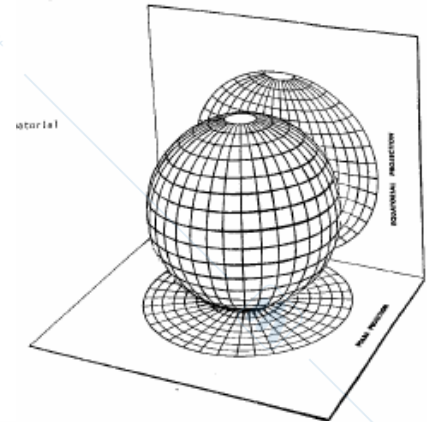


DISCONTINUITA' -Orientazione

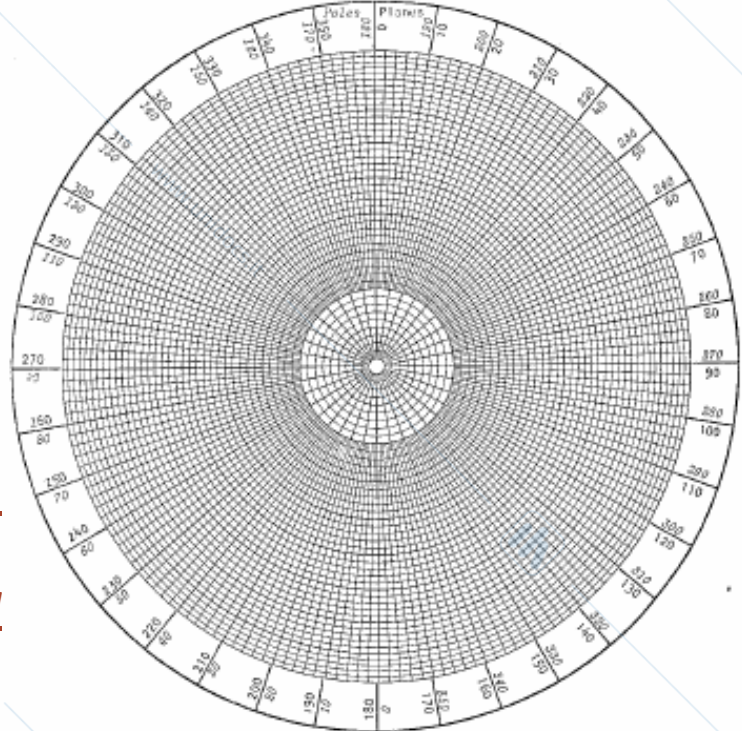


RETICOLO EQUATORIALE
PROIEZIONE EQUIAREA

PIANI e POLI



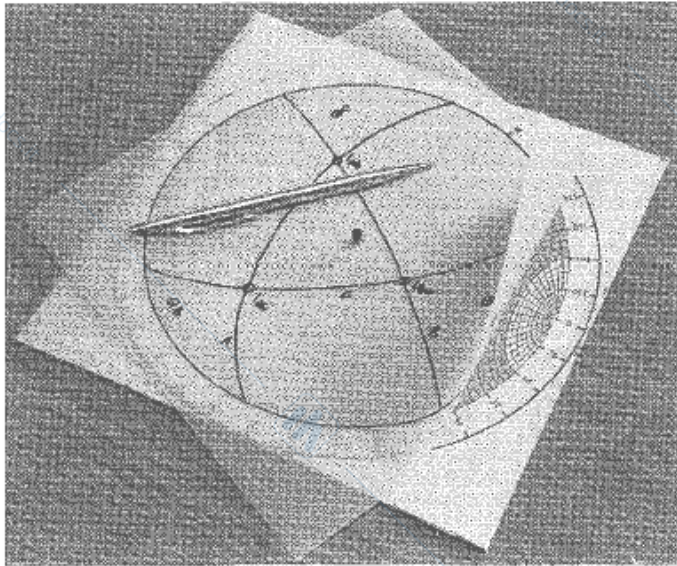
RETICOLO POLARE PROIEZIONE EQUIAREA



SOLO POLI



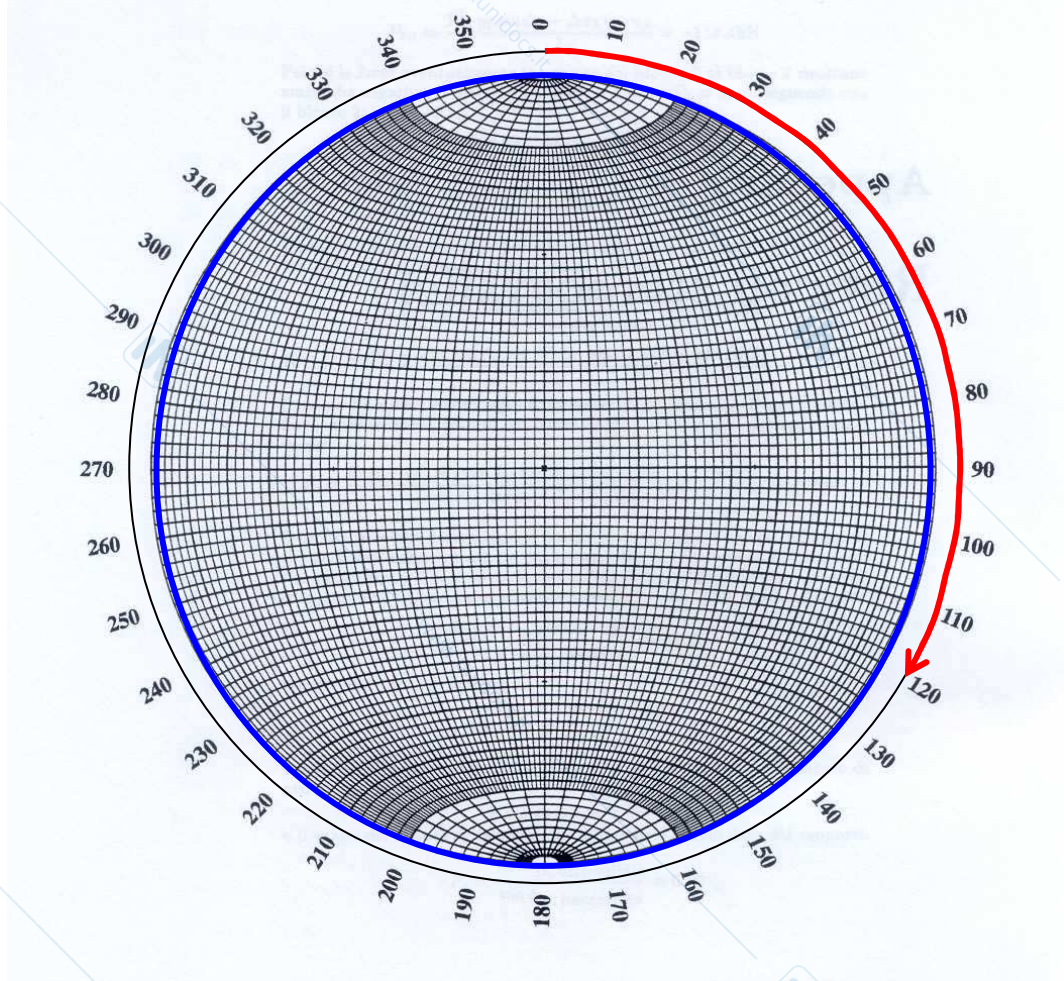
DISCONTINUITA' - ORIENTAZIONE, Rappresentazione grafica



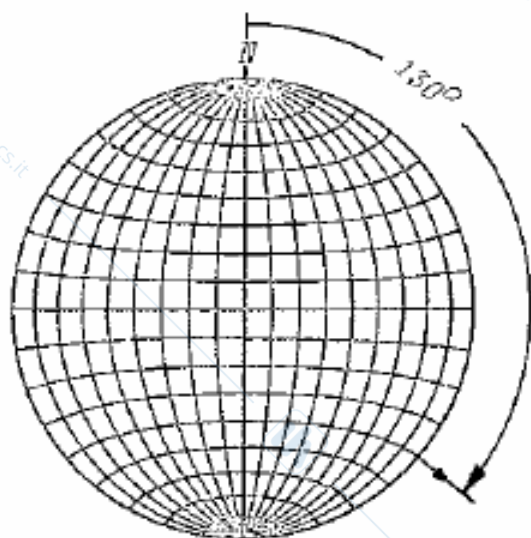
Fissare il reticolo stereografico con una puntina (rivolta verso l'alto) posizionata nel centro.

Sovrapporre un foglio lucido (sul quale si disegna). Su questo foglio disegnare la circonferenza esterna ed i punti di riferimento (Nord, Sud, Est e Ovest) che servono per riportare il foglio nella posizione iniziale .

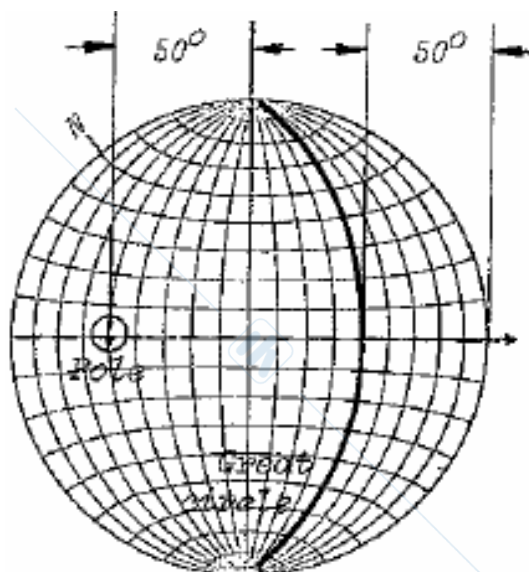
La direzione di immersione (di piano o polo) si legge in senso orario lungo la circonferenza. L'inclinazione lungo il diametro Est Ovest a partire dalla circonferenza (0°) sino al centro (90°).



DISCONTINUITA' - Rappresentazione grafica **PIANO - POLO**

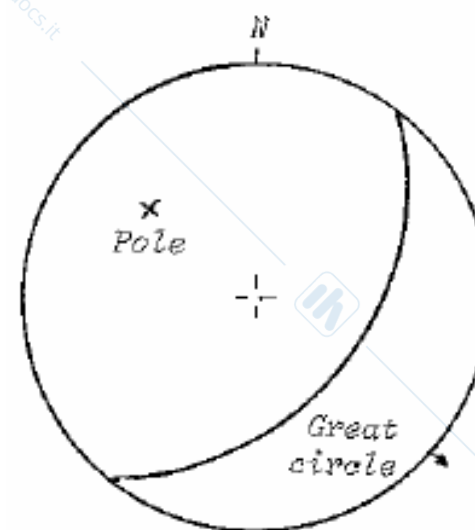


1. Segnare, lungo la circonferenza il valore di DD del piano (o del Polo)



2. Ruotare il foglio lucido in modo che la tacca appena segnata coincida con la direzione Est (90°) o Ovest (270°) indifferentemente.

3. Partendo dalla circonferenza muoversi verso il centro lungo il diametro E-O, di un angolo pari all'inclinazione. Tracciare il meridiano incrociato (nel caso del piano) o segnare il punto (polo).

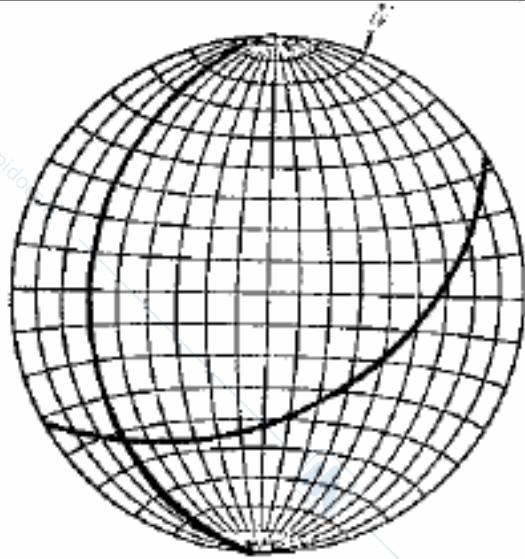


4. Riportare il lucido nella posizione originale

N.B.: disegnare sempre e solo sul foglio lucido (non sul reticolo che serve da base per il lavoro) attribuendo alle tracce dei piani e dei poli delle etichette che ne permettano l'immediato riconoscimento

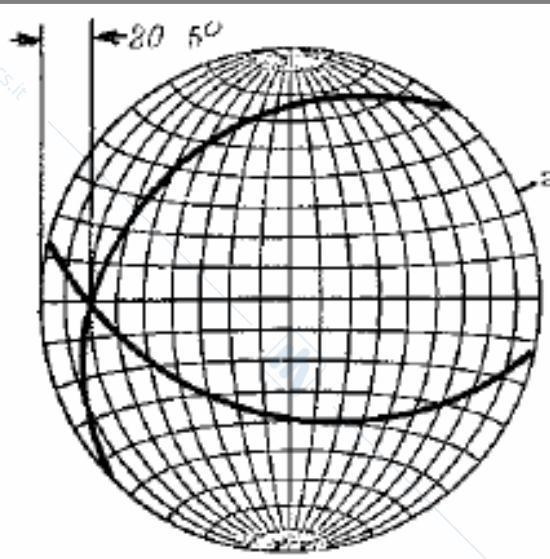


DISCONTINUITA' - Rappresentazione grafica **Intersezione**



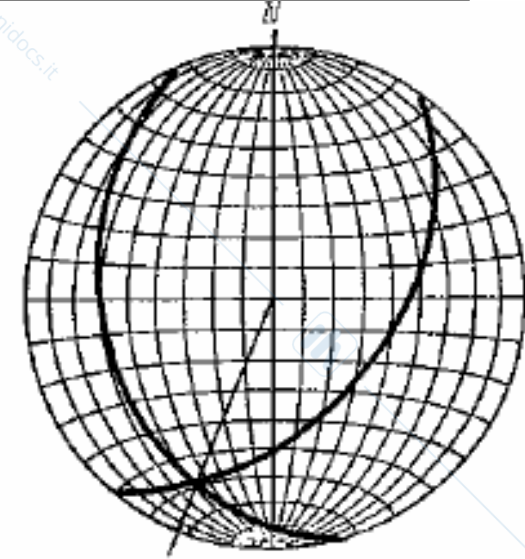
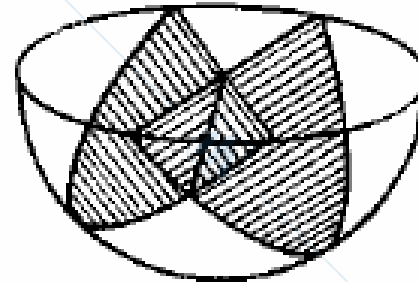
Ciascun punto della traccia del piano rappresenta una retta in esso contenuto. Se due tracce si intersecano, il punto di intersezione rappresenta, pertanto, una retta comune ai due piani.

COME TROVARNE L'ORIENTAZIONE?



INCLINAZIONE

Ruotare il lucido in modo che il punto di intersezione cada lungo il diametro E-O. Partendo dalla circonferenza contare verso il centro l'angolo che è pari all'inclinazione.



DIREZIONE DI IMMERSIONE

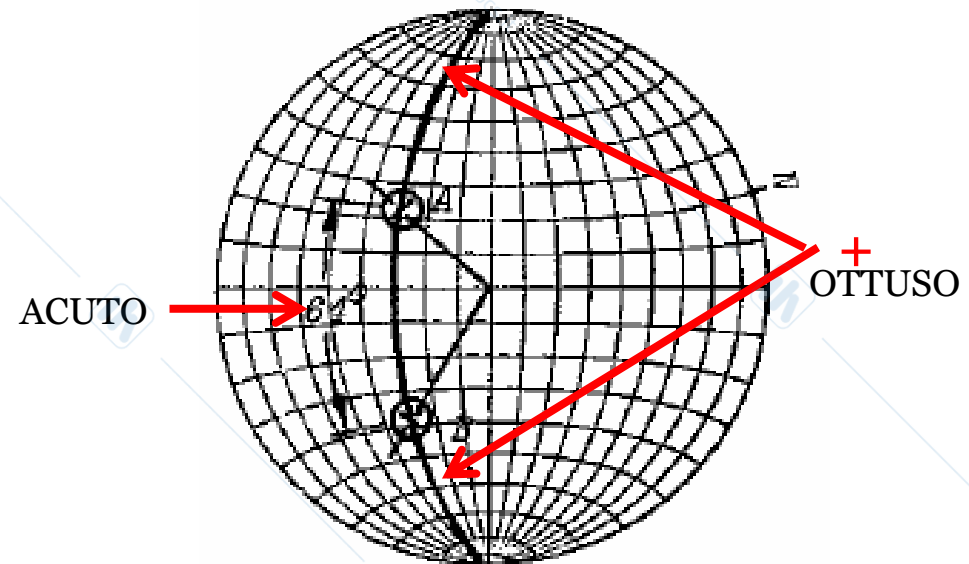
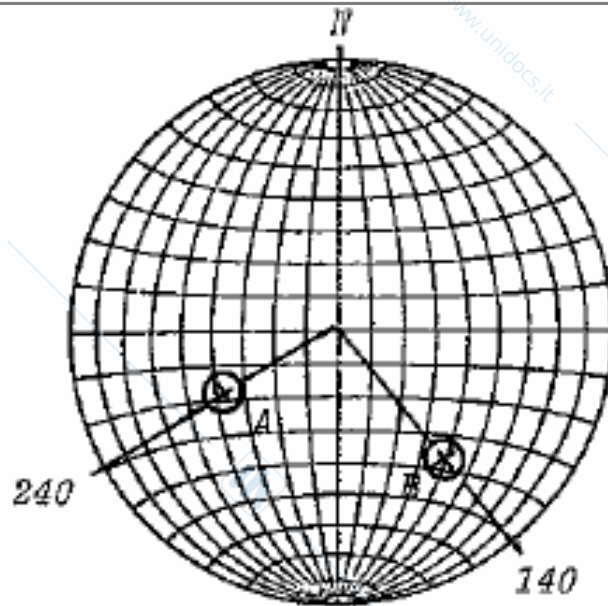
Riportare il lucido nella posizione originaria. Disegnare il raggio passante per il punto di intersezione, fino ad incrociare la circonferenza. Il valore dell'angolo letto sulla circonferenza è la trend della retta



POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI MECCANICA DELLE ROCCE

DISCONTINUITA' - Angolo tra due rette



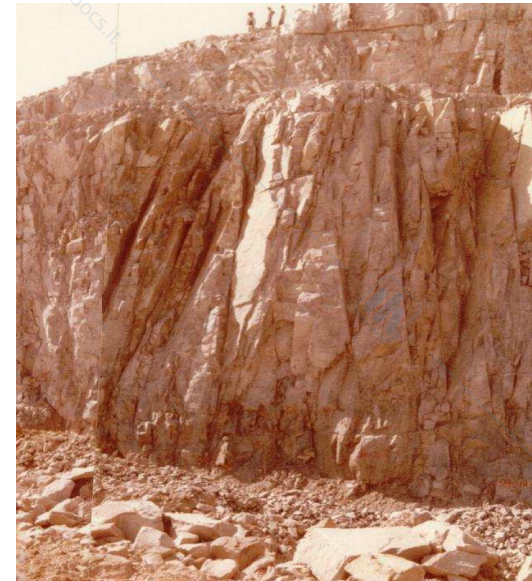
1. Per trovare l'angolo tra due rette si deve individuare il piano contenente entrambe le direzioni: si ruota il foglio lucido sino a che i due punti non rimangono sul medesimo meridiano (traccia del piano contenente le rette).
2. La "distanza angolare" tra i due punti letta lungo il meridiano rappresenta l'angolo (acuto od ottuso) tra le due rette. L'altro angolo (ottuso od acuto) lo si trova come il supplementare del primo.
3. L'angolo compreso tra due piani lo si trova, evidentemente, considerando l'angolo compreso tra le normali (POLI) dei piani.



DISCONTINUITA' - **Rilievo di numerose discontinuità**

Il rilievo di un affioramento roccioso richiede la determinazione dei dati di orientazione di un rilevante numero di discontinuità presenti lungo la direzione di rilievo (stendimento o foro di sondaggio) o affioranti sulla parete analizzata.

*Le discontinuità rilevate possono appartenere a **sistemi differenti** (giunti, piani di strato) la cui orientazione dipende da vari fattori (per es. origine dei piani, stati di tensione agenti, resistenza della roccia, ecc).*



DISCONTINUITA' - **Rilievo di numerose discontinuità**

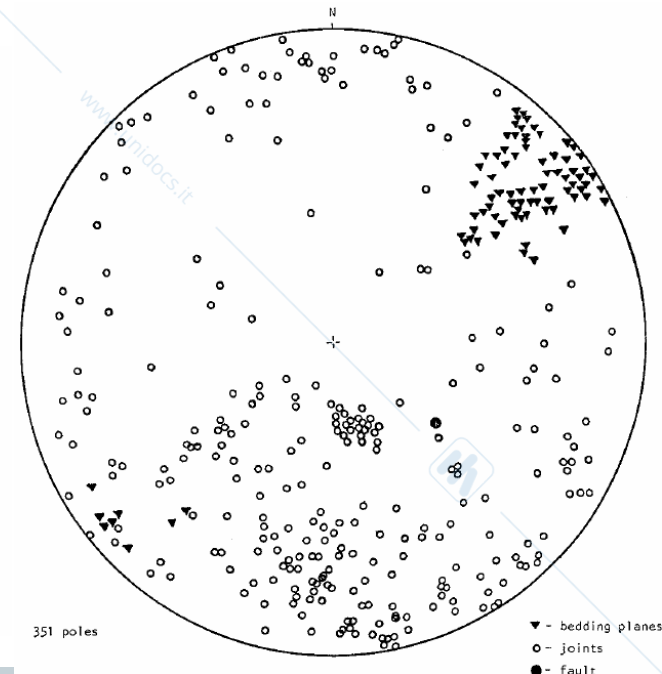
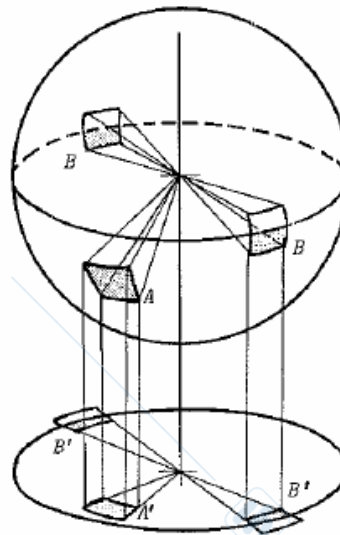
La concentrazione dei poli di uno stesso gruppo di discontinuità, può essere analizzata in modo da determinare il valore centrale del sistema e la legge di distribuzione del campione attorno ad esso.

A tale scopo si deve analizzare un numero elevato di piani (351 in figura) e, pertanto, non si utilizzano le tracce dei piani ma le loro normali (POLI).

Nella proiezione sferica i POLI rilevati presentano zone di addensamento più o meno evidenti prossime al valore centrale: questo permette di analizzare la distribuzione di frequenza dei dati di orientazione attraverso l'identificazione di curve di iso-densità, che assumono forma differente a seconda del tipo di proiezione scelta:

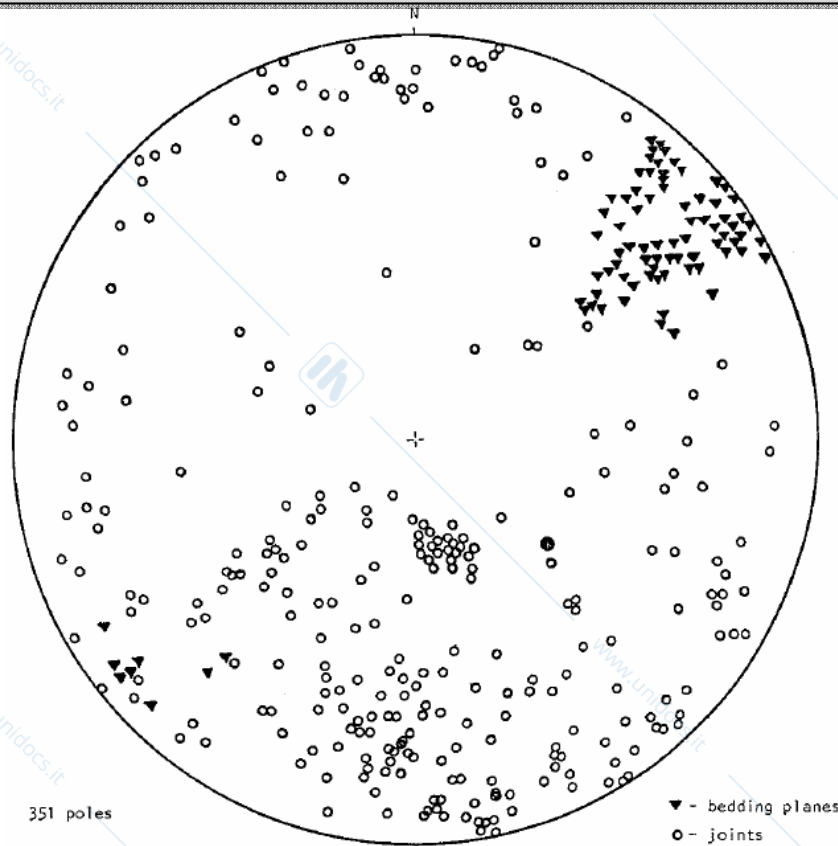
anche nel caso ipotetico di distribuzione di orientazione simmetrica rispetto al valore centrale le curve di equal valore di frequenza sono ellissi distorte nelle proiezioni equiaree e cerchi in quelle equiangole.

Dovendo eseguire analisi di frequenza nello spazio (numero di poli in un'area) si utilizza a tal fine, la proiezione EQUIAREA (mantiene invariate le aree)



DISCONTINUITA' -Densità

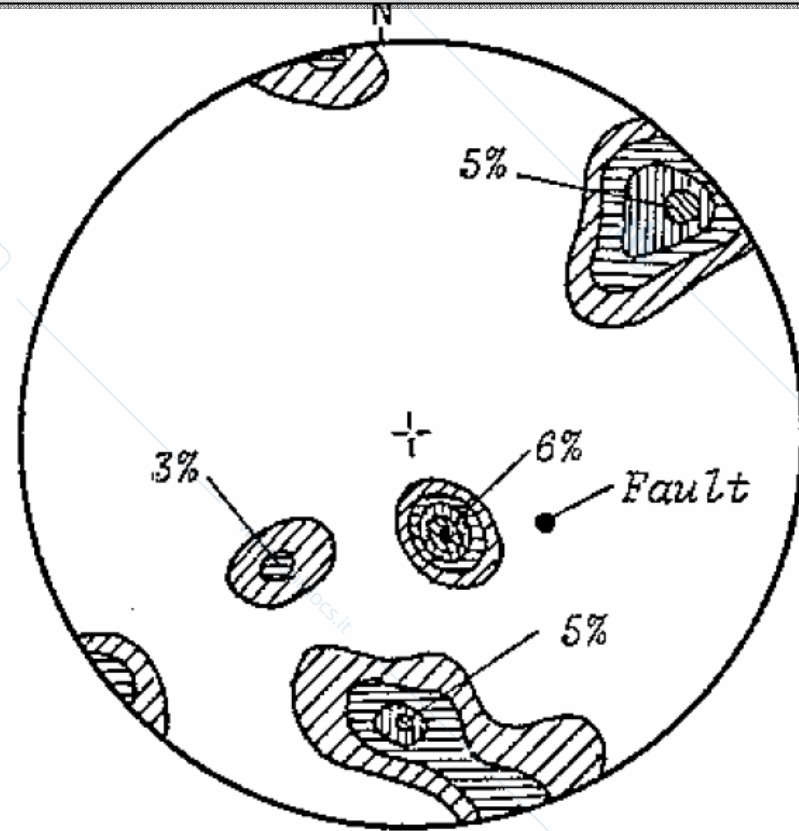
RAPPRESENTAZIONE EQUIAREA dei POLI



351 poles

- ▼ - bedding planes
- - joints
- - fault

AREE DI ISO-FREQUENZA

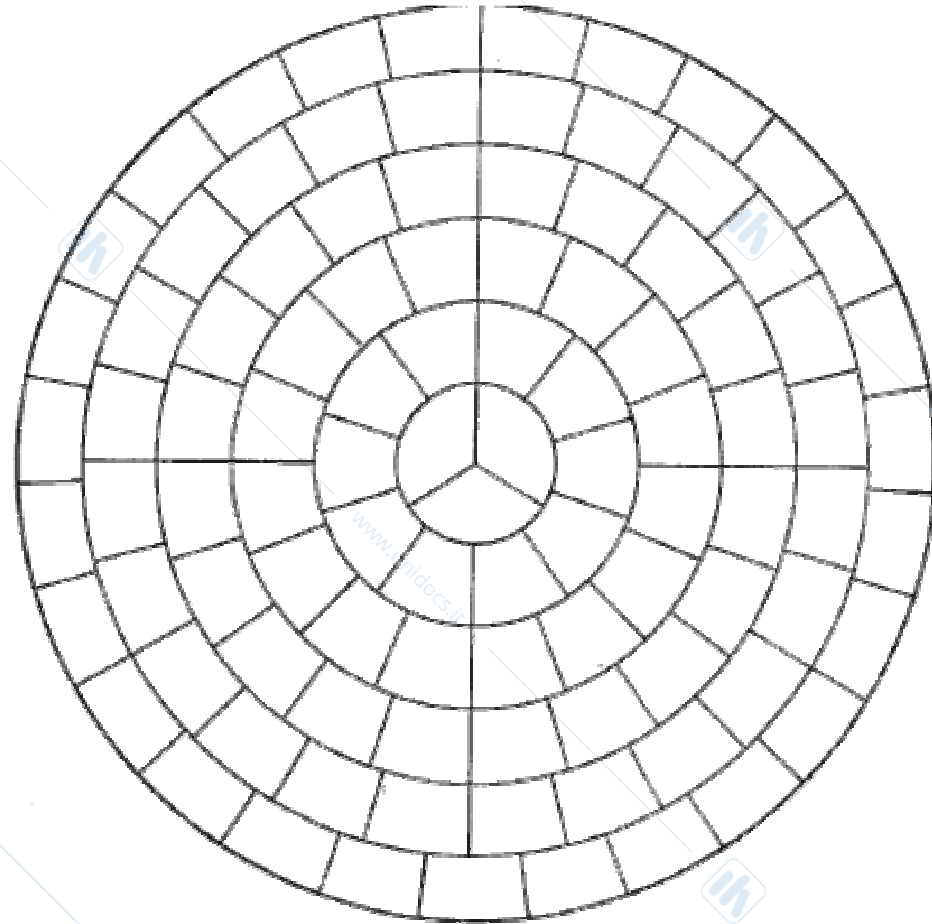


- ▨ 2% - 7 poles
- ▧ 3% - 10 poles
- ▩ 4% - 14 poles
- 5% - 17 poles
- 6% - 22 poles

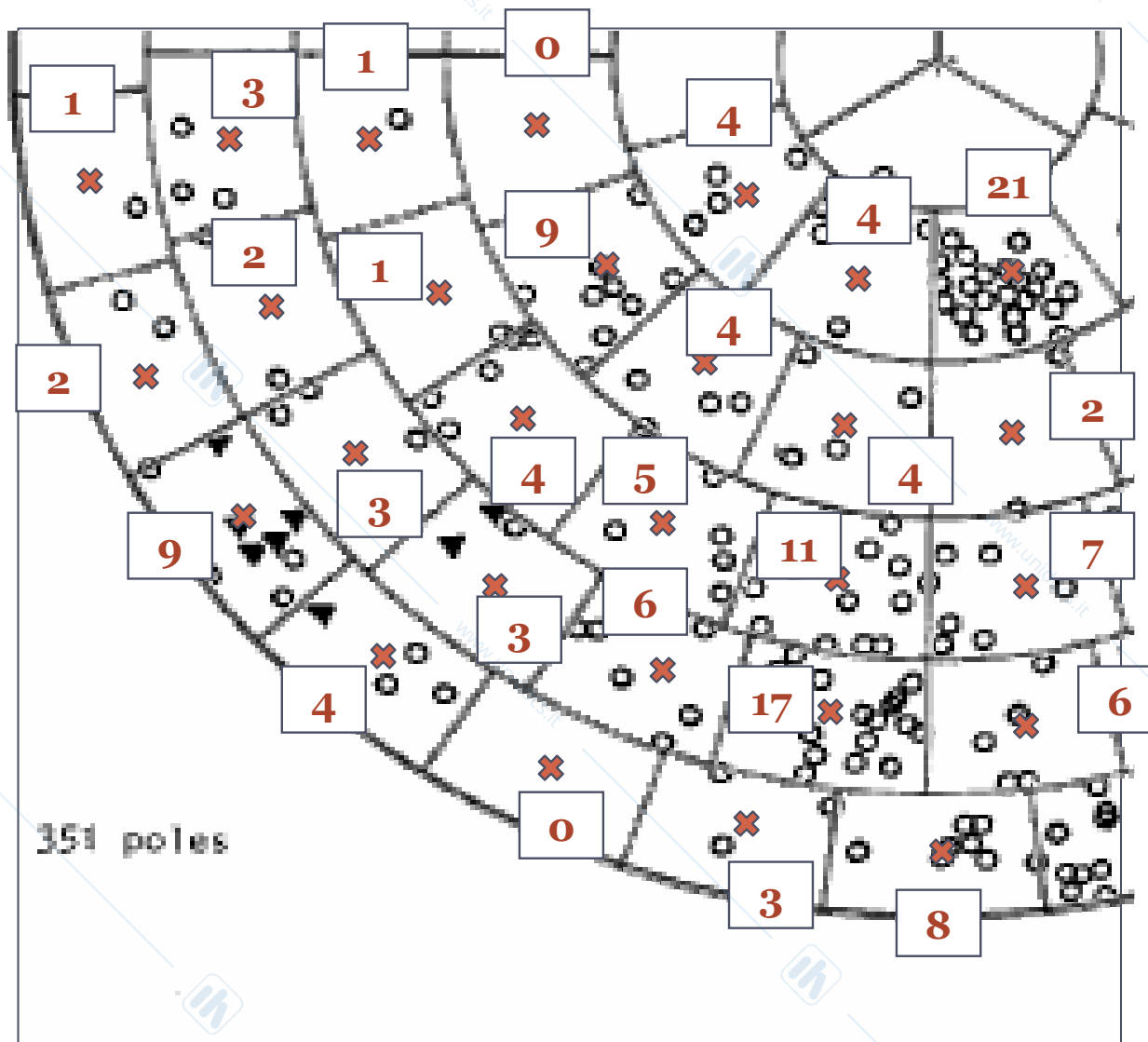


DISCONTINUITA' - Reticolo di DENNIS

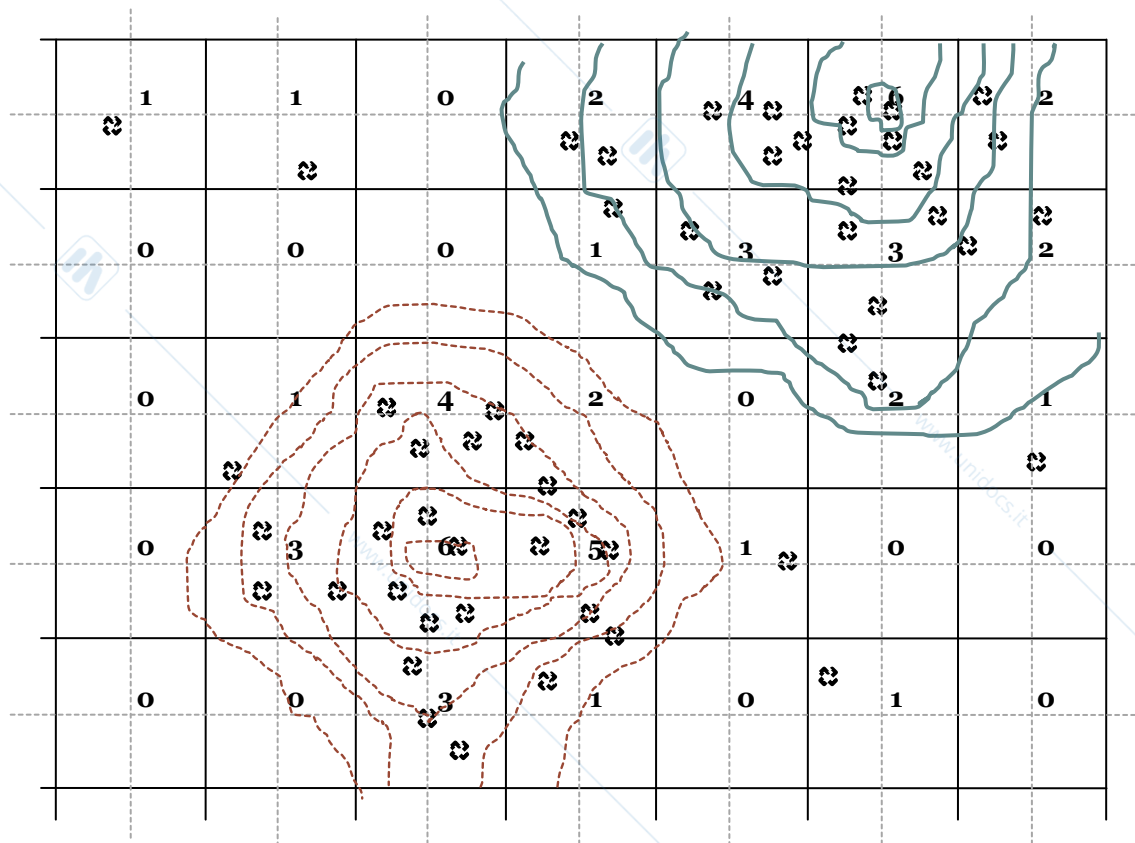
L'emisfero inferiore della sfera di riferimento è suddiviso in 100 porzioni aventi la medesima area (equivalente all'1% dell'area complessiva della superficie emisferica). Queste vengono proiettate ottenendo il reticolo di Dennes (rappresentato su una carta lucida), che viene posizione sulla rappresentazione sferica dei dati di rilievo. Si CONTANO i poli che sono contenuti nella medesima porzione e tale valore viene "assegnato" al baricentro di ciascuna maglia.



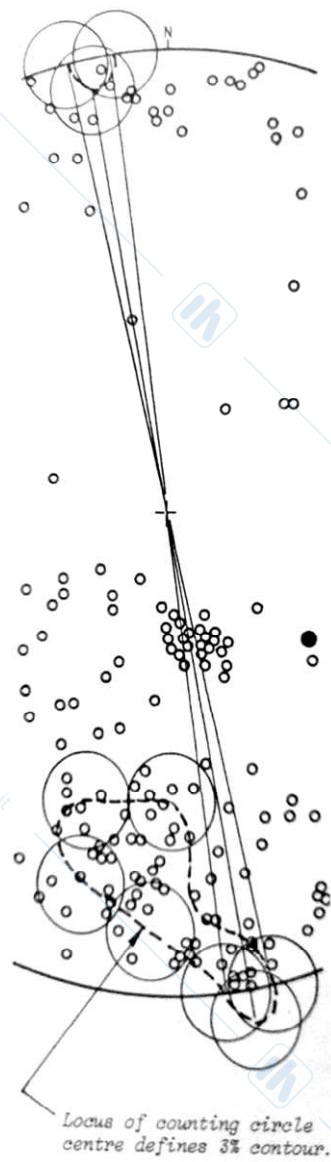
DISCONTINUITA' - Rappresentazione



DISCONTINUITA' - Rappresentazione



DISCONTINUITA' - Rappresentazione

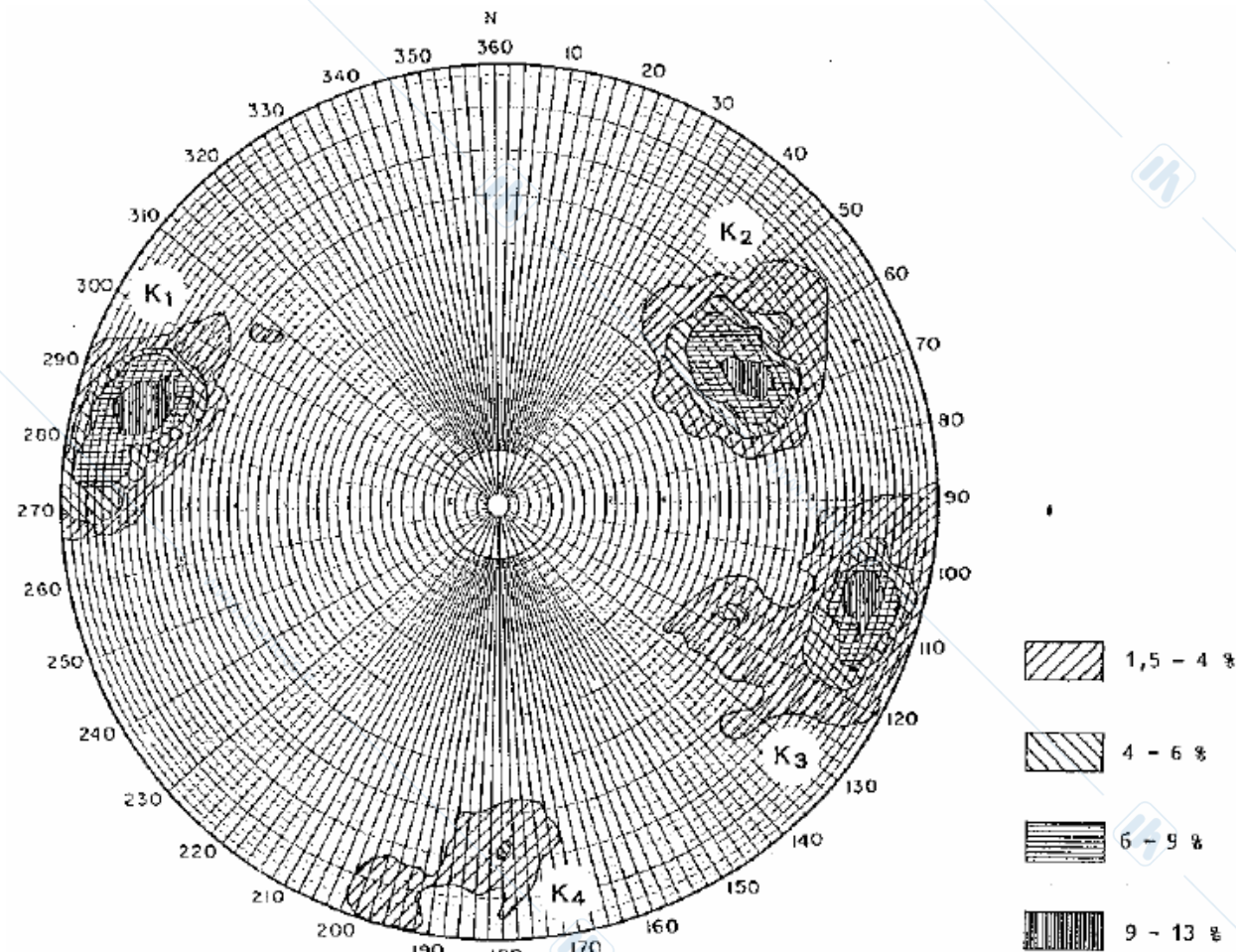


Locus of counting circle centre defines 3% contour.



DISCONTINUITA' – Sistemi di discontinuità

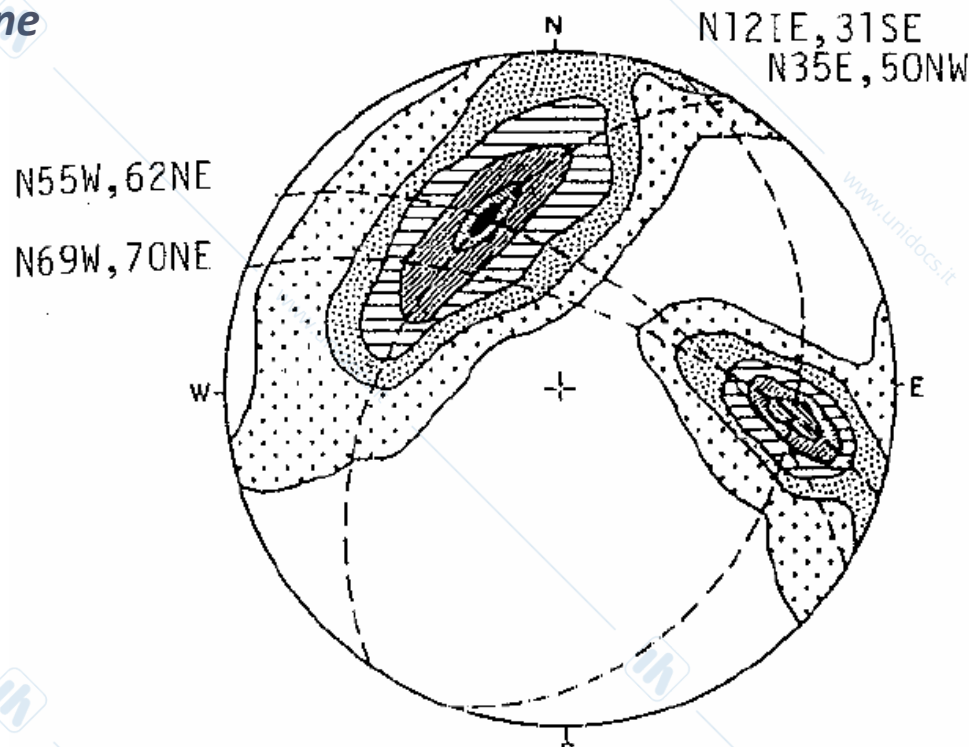
La rappresentazione delle aree ad equal concentrazione dei poli permette l'individuazione dei sistemi di discontinuità caratteristici dell'ammasso roccioso.



DISCONTINUITA' - **Determinazione dei piani medi**

Come si determina l'ORIENTAZIONE del PIANO MEDIO di un sistema?

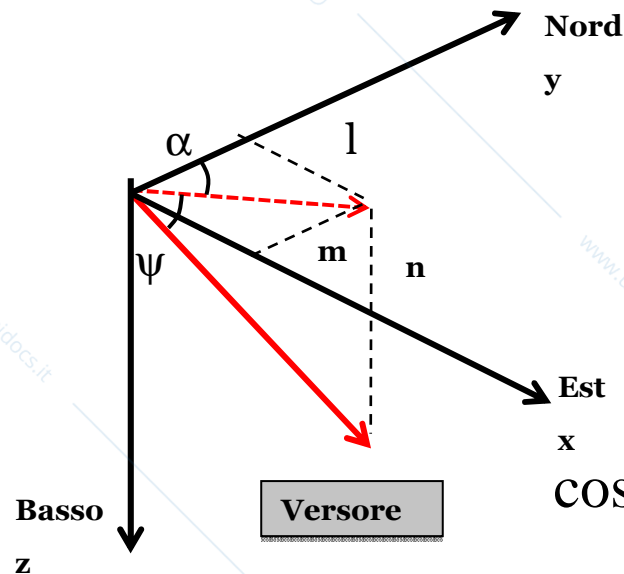
- Analisi a cluster:** la forma dei diagrammi di egual densità di percentuale di poli è quella di un'ellisse distorta. Si considerano due piani tra loro perpendicolari in corrispondenza dei due semiassi, e, lungo essi, si costruiscono delle curve di distribuzione dei poli. In questo modo è possibile definire, con un certo limite di confidenza, il valore caratteristico delle inclinazioni e delle direzioni di immersione



DISCONTINUITA' - **Determinazione dei piani medi**

Come si determina l'ORIENTAZIONE del PIANO MEDIO di un sistema?

2. **Analisi vettoriale:** il piano medio di un numero finito di poli può essere calcolato attraverso la determinazione della risultante dei poli dei piani considerati come versori. Consideriamo il versore diretto come la normale al piano con il verso in basso. Riferendoci ad un sistema di riferimento Nord-Est-Basso, l'angolo ψ in figura rappresenta l'inclinazione, mentre l'angolo α la direzione di immersione. Le componenti di tale versore, sono:



$$\begin{aligned}l &= \sin \alpha \cos \psi \\m &= \cos \alpha \cos \psi \\n &= \sin \psi\end{aligned}$$

L'angolo tra due vettori è dato da:

$$\cos \vartheta = l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2$$

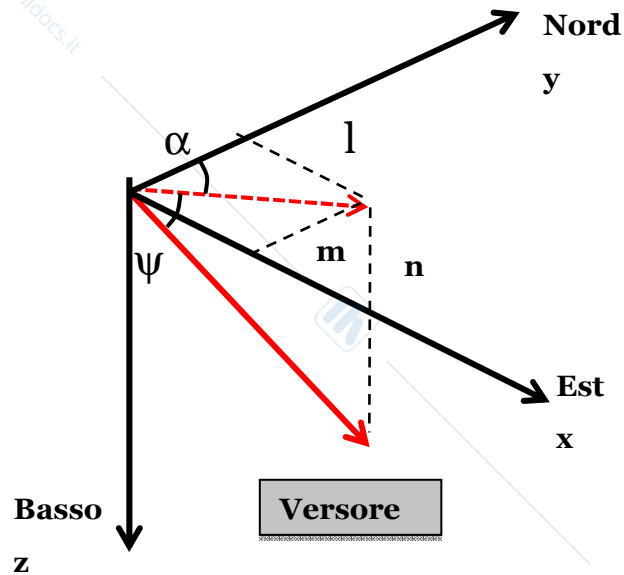
Sostituendo e semplificando, si ottiene

$$\cos \vartheta = [\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cos \psi_1 \cos \psi_2 + \sin \psi_1 \sin \psi_2]$$



DISCONTINUITA' - Determinazione dei piani medi

Come si determina l'ORIENTAZIONE del PIANO MEDIO di un sistema?



$$r_x = \sum l_i \quad r_y = \sum m_i \quad r_z = \sum n_i$$

$$\alpha_r = \tan^{-1} \left(\frac{r_x}{r_y} \right)$$

$$\psi_r = \tan^{-1} \left(\frac{r_z}{\sqrt{(r_x^2 + r_y^2)}} \right)$$

