

RLGM

Parte I	Introduzione	1
Parte II	Menu	1
1	Menu File	1
2	Menu Modifica	2
3	Menu Visualizza	2
4	Menu Dati	3
	Giaciture	3
	Famiglie principali	5
5	Pannello Densità dei poli	5
6	Calcolo	6
	Proiezione	6
	Polare	6
	Equatoriale.....	6
	Tracciamento	6
	Polo	7
	Ciclografica.....	7
	Stella	7
	Grafici percentuali occorrenze	7
	Valore modale	7
	Verifica di stabilità	8
Parte III	Cenni teorici	10

1 Introduzione

Introduzione

Il programma Rock Mechanics, si articola in tre parti:

RLGM

Ha lo scopo di rappresentare ed elaborare il rilievo geostrutturale di discontinuità di ammassi rocciosi eseguito in sito con il metodo della bussola e del clinometro, secondo le raccomandazioni ISRM. Nei capitoli seguenti verranno date le indicazioni sull'uso di questa prima parte, mentre per le successive si rimanda alla documentazione in formato PDF selezionabile dal programma stesso.

CLASSIFICAZIONE

Effettua la classificazioni geomeccanica secondo:

- Barton;
- Beniawki, a cui è associata la classificazione di Romana;
- Sen;
- Robertson;
- Sing & Goel;
- Jasarevic & Kovacevic.

VERIFICA DI STABILITÀ

Esegue la verifica di stabilità secondo i cinematismi di:

- scivolamento lungo un piano;
- scivolamento di un cuneo.

Per cinematismi di scivolamento lungo due giunti consultare la scheda tecnica di RockPlane

2 Menu

Enter topic text here.

2.1 Menu File

Menu File

Nuovo

Crea un nuovo progetto.

Apri

Apri un progetto esistente.

Salva

Salva i dati inseriti nel progetto corrente .

Salva con nome

Salva il progetto corrente con il nome definito dall'utente.

Progetti recenti

Visualizza gli ultimi tre progetti salvati.

Esci

Esce dal programma.

2.2 Menu Modifica

Menu Modifica

Copia

Copia negli appunti le immagini presenti nel foglio di lavoro.

2.3 Menu Visualizza

Menu Visualizza

Ridisegna

Effettua il ridisegno del blocco eliminando eventuali errori di visualizzazione a video.

Zoom Tutto

Esegue lo zoom del disegno visualizzandolo al 100%.

Zoom finestra

Clickare in un punto dell'area di lavoro e, tenendo premuto il tasto sinistro del mouse, trascinare il mouse fino a definire una finestra delle dimensioni volute; rilasciare il tasto del mouse.

Zoom dinamico

Clickare in un punto e trascinare il mouse tenendo premuto il pulsante sinistro del mouse.

Zoom precedente

Riporta le immagini a video nelle dimensioni precedenti allo zoom.

Sposta

Sposta nel foglio di lavoro corrente l'immagine del progetto corrente senza modificarne le coordinate. Il comando è utile per avere una panoramica interattiva.

Emisfero inferiore

Le proiezioni stereografiche vengono tracciate in riferimento all'emisfero inferiore. Viene proiettata l'intersezione tra la sfera di riferimento nell'emisfero inferiore e il piano di discontinuità. Questa è l'opzione di default del programma.

Emisfero superiore

Le proiezioni stereografiche vengono tracciate in riferimento all'emisfero superiore.

2.4 Menu Dati

2.4.1 Giaciture

Input Giaciture

Nel pannello sulla destra dello schermo sono posizionate delle griglie per l'input dei dati.

Le misure sul campo vengono eseguite lungo una linea di campionamento, materializzata sul fronte roccioso con una bandella metrica fissata alle estremità del rilievo, vengono quindi rilevate tutte le discontinuità incontrate procedendo da una estremità all'altra.

Pannello Giaciture

L'introduzione dei dati di giacitura avviene in questo pannello; ad ogni inserimento di almeno una coppia di valori *dip* e *dip direction* e la scelta di appartenenza ad una famiglia di discontinuità, viene tracciato nel diagramma la giacitura della discontinuità, con i diagrammi che l'operatore sceglie dal menu Calcolo e dal Menu Visualizza

Immersione ed Inclinazione (Orientazione)

Posizione della discontinuità nello spazio. Le superfici di discontinuità possono essere rappresentate come un piano la cui giacitura è individuata da una coppia di angoli (dip,dip direction) o (dip,strike) dove **dip** è l'inclinazione , **strike** la direzione e **dip direction** l'azimut della discontinuità (nella terminologia anglosassone rispettivamente dip, strike e dip direction riferita ad un piano).

Immersione (dip direction): l'azimut della immersione misurato in gradi contati in senso orario rispetto al Nord ed espresso con un numero di tre cifre da 000° a 360°.

Inclinazione (dip): La massima inclinazione del piano medio della discontinuità, espressa in gradi con numeri di due cifre, da 00° a 90°.

Spaziatura

Distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse. Normalmente ci si riferisce alla spaziatura media o modale di un sistema di fessure. Essa unitamente all'orientazione ed alla persistenza determina la forma e le dimensioni dei blocchi in cui si divide l'ammasso roccioso. Poichè la misura d , espressa in cm, viene eseguita ortogonalmente alla discontinuità, deve essere corretta tenendo conto dell'angolo α tra la discontinuità e la linea di campionamento: $S = d \sin \alpha$.

Continuità o persistenza

Lunghezza della traccia della discontinuità osservata in un affioramento. Può dare una misura grossolana dell'estensione areale o della profondità di penetrazione di una discontinuità. Unità di misure: metro.

Apertura

Distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità in cui lo spazio interposto è riempito di aria o acqua.

Le aperture sottili possono essere misurate con calibro, mentre quelle larghe con regolo graduato in mm. Esse sono rilevate lungo l'intersezione con l'allineamento del rilievo.

Scabrezza

Rugosità delle superfici affacciate di una discontinuità e ondulazione relativamente al piano medio delle discontinuità. Sia la rugosità che il suo andamento morfologico contribuiscono alla resistenza di taglio, specialmente nel caso di strutture interconnesse e senza spostamenti relativi.

La classificazione è suddivisa in 9 classi di scabrezza, a ciascuna classe corrisponde un coefficiente J_r ("Joint Roughness Number").

Resistenza delle pareti

Resistenza a compressione equivalente dei lembi affacciati di una discontinuità. Può essere minore della resistenza della roccia massiccia per l'esposizione agli agenti atmosferici o per l'alterazione delle pareti. Costituisce una componente rilevante della resistenza di taglio se le pareti sono a contatto.

Un parametro fondamentale è il JRC (coefficiente di rugosità della discontinuità) diagrammato in funzione della rugosità della superficie della discontinuità.

Riempimento

Materiale che separa le pareti adiacenti di una discontinuità e che è di solito meno resistente della roccia primitiva. Tipici materiali di riempimento sono sabbia, limi, argilla, breccia più o meno fine, milonite. Include anche sottili strati di minerali e discontinuità saldate, per esempio vene di quarzo e calcite.

La presenza di materiale di riempimento influenza il comportamento del giunto nei riguardi del movimento reciproco delle pareti della discontinuità, nel rilievo sono indicati quindi la caratteristica in riferimento alla sua durezza.

Si possono inserire 4 valori:

- Assente
- Coerente
- Incoerente

Cemento

Alterazione

Altro parametro utile per la classificazione dell'ammasso roccioso è il Ja ("Joint Alteration Number") che dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento. Esistono varie classi di alterazione alle quali corrispondono i valori di Ja.

Nelle Raccomandazione ISRM viene aggiunto un altro indice W che varia da 1 (roccia fresca o poco alterata) a 6 (roccia estremamente alterata)

Inserimento dati nella griglia

E' possibile inserire i dati direttamente nelle celle o incollare i dati provenienti da un foglio elettronico con la funzione Incolla.

E' possibile eliminare singole o gruppi di righe di dati, contemporaneamente alla eliminazione delle righe (a seguito di conferma di cancellazione), la rappresentazione grafica delle giaciture viene automaticamente aggiornata.

Spostandosi con il mouse sul diagramma vengono inoltre indicati nella barra di stato le coordinate (immersione ed inclinazione) del punto; se in corrispondenza del punto cliccato è rappresentata una coppia (dip direction, dip) della giacitura, viene evidenziata la riga corrispondente nella griglia di input dei dati.

2.4.2 Famiglie principali

Famiglie Principali

Prima di inserire le misure di campo, si scelgono le famiglie principali individuate nel pannello Simbologie famiglie, in modo da associare ad ogni famiglia un simbolo, per default ci sono nel programma individuate 6 famiglie (Famiglia1, famiglia2, ecc...)

I dati possono essere riportati da un foglio elettronico semplicemente con i comandi di Windows Taglia ed Incolla.

2.5 Pannello Densità dei poli

Densità dei poli

Una volta eseguita la rappresentazione dei poli è possibile tracciare le linee di isodensità per raffinare il raggruppamento dei dati in famiglie principali delle discontinuità, già eseguito in un primo approccio nel rilievo di campo.

Ogni cambiamento di denominazione della famiglia viene automaticamente aggiornato nella colonna Simbolo della griglia Giaciture.

E' possibile individuare tre viste delle curve di isodensità:

Interpolazione Bezier

Interpolazione Spline

Viste

- **Triangolazione:** visualizza le triangolazioni
- **Aree isodensità:** visualizza le aree a ugual densità dei poli
- **Curve isodensità:** visualizza le curve ad ugual densità dei poli.

2.6 Calcolo

2.6.1 Proiezione

Proiezione

Per definire gli aspetti della stabilità di un ammasso roccioso, quali le caratteristiche di orientazione delle discontinuità in esso contenute, c'è l'esigenza della rappresentazione di un gran numero di dati geologici. Le proiezioni sferiche rappresentano un metodo veramente efficace per poter utilizzare i dati nelle analisi di stabilità. Esse permettono di rappresentare la superficie di una sfera su un piano, considerando la proiezione nell'emisfero inferiore (usualmente) o in quello superiore.

2.6.1.1 Polare

Proiezione Polare

Si usa per tracciare poli di piani o rette. Si intende la proiezione di meridiani e paralleli terrestri sul piano dell'equatore, può essere equiareale o equiangolare (le opzioni si settano nel menu Diagramma)

2.6.1.2 Equatoriale

Proiezione Equatoriale

Proiezione stereografica dei meridiani e paralleli terrestri su un piano passante per il centro ed i poli. Può essere equiareale o equiangolare (le opzioni si settano nel menu Diagramma)

La proiezione equiareale (diagramma di Schidt-Lambert) si utilizza per la valutazione di distribuzioni di punti, negli altri casi si utilizza la proiezione equiangolare (diagramma di Wulff).

2.6.2 Tracciamento

2.6.2.1 Polo

Polo

Polo di una retta o di una discontinuità.

Il polo di una discontinuità rappresenta il punto di intersezione tra la superficie dell'emisfero inferiore e la normale alla discontinuità passante per il centro della sfera.

Può essere rappresentato sia su reticolo equiareale o equiangolare, secondo le modalità di impostazione del menu diagramma.

2.6.2.2 Ciclografica

Ciclografica

Meridiano della discontinuità individuato dall'intersezione tra la sfera di riferimento e il piano di discontinuità, può essere rappresentato nel diagramma di Wulff(equiangolare) o di Schmidt-Lambert (equiareale), secondo le modalità di impostazione del menu diagramma

2.6.2.3 Stella

Stella

Rappresentazione di misure di giaciture. Esse sono rappresentate su un riferimento circolare (goniometrico) segnato da 0° a 360° e linee radiali a intervalli di 10°. Le osservazioni vengono raggruppate nel settore di 10° a cui appartengono. Il numero di osservazioni è rappresentato in direzione radiale secondo dei cerchi relativo a 5 10 e 15 osservazioni.

2.6.3 Grafici percentuali occorrenze

Percentuali occorrenze

E' un tipo di grafico (istogramma) dove vengono rappresentate in forma percentuale tutte le occorrenze delle giaciture nelle classi di suddivisione delle caratteristiche della discontinuità da rappresentare (apertura, spaziatura o persistenza). Sono molto utili per la classificazione delle discontinuità stesse e visualizzano in modo globale le classi di appartenenza di ciascuna giacitura rilevata.

Nel grafico sono rappresentate le aperture delle famiglie raggruppate per classi.

2.6.4 Valore modale

Valore modale

In un diagramma ad istogramma vengono rappresentate, per ciascuna famiglia di discontinuità, la distribuzione della caratteristica (apertura, spaziatura, persistenza). In

ascissa, scala logaritmica, vengono rappresentate le caratteristiche, in ordinata (scala lineare, il numero di occorrenze o misure corrispondenti a ciascuna classe di suddivisione (esempio classe 0 - 4 mm).

E' possibile diagrammare sequenzialmente tutte le famiglie misurate.

Il valore modale di una caratteristica (apertura, spaziatura, persistenza) è rappresentato dalla classe dove ricadono il maggior numero di misurazioni. Nello stesso grafico è possibile ricavare i valori minimo e massimo della caratteristica diagrammata.

Nel diagramma sono rappresentate le aperture di una famiglia di giunti, il cui valore modale corrisponde alla classe 0.5 - 0.6 mm.

2.6.5 Verifica di stabilità

Verifica di stabilità

Viene richiesto l'inserimento dei dati caratteristici del pendio.

Immersione: immersione in gradi del pendio

Inclinazione: inclinazione in gradi del pendio

Attrito: angolo di attrito del pendio

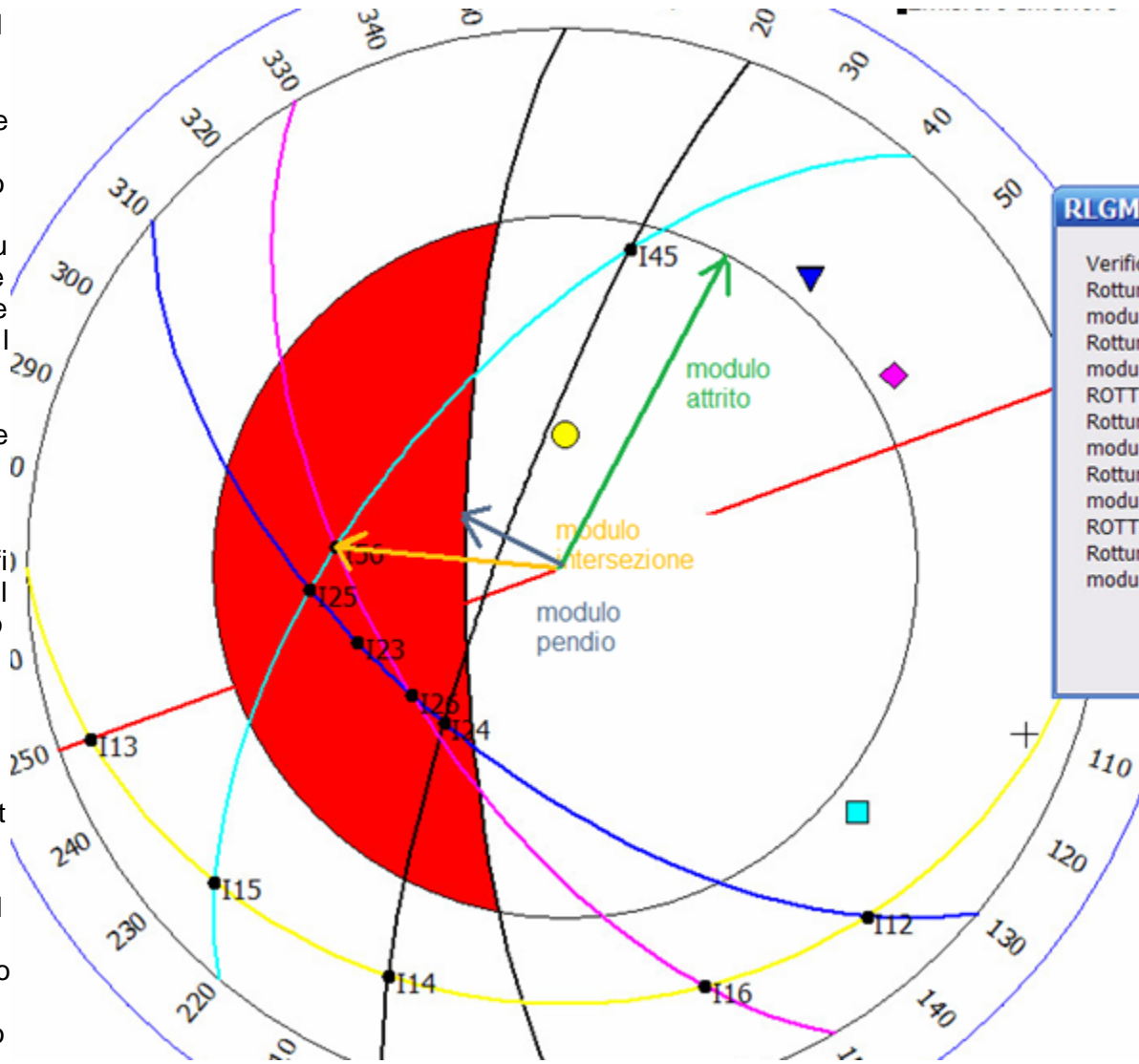
Rappresentazione delle ciclografiche nel diagramma equiareale o equiangolare.

Viene eseguita l'analisi di stabilità con il test di **Markland**; in questo test viene calcolata la linea di intersezione (plung, trend) dei piani presi a coppie (i,j) e si verifica se il punto che definisce la linea di intersezione $I(i,j)$ cade dentro l'area ombreggiata in rosso, inclusa tra il grande cerchio che definisce il piano del pendio e il cerchio definito dall'angolo di attrito, in tal caso può esserci scivolamento lungo la linea di intersezione tra il piano i ed il piano j.

Si ricorda che il test di **Markland** rappresenta una prima stima per lo studio della stabilità del pendio; esso, infatti, indica tra le possibili superfici di scivolamento quelle che dovranno essere studiate con gli usuali metodi della meccanica delle rocce.

Note su test di **Markland**

- modulo intersezione : raggio della giacitura che rappresenta l'intersezione tra i piani che identificano il cuneo di cui si vuole verificare la stabilità (in giallo)
- modulo pendio : raggio del piano che identifica il pendio (in blu)
- modulo attrito: raggio dell'angolo d'attrito (in verde)



Quando il modulo intersezione è compreso tra il modulo pendio e il modulo attrito significa che si ha instabilità e ricade nella zona colorata in rosso.

3 Cenni teorici

Premessa

Il programma RLGM ha lo scopo di rappresentare ed elaborare il rilievo geo-strutturale di discontinuità di ammassi rocciosi eseguito in sito con il metodo della bussola e del clinometro, secondo le raccomandazioni ISRM.

Le discontinuità in un ammasso roccioso condizionano, in modo più o meno evidente, il comportamento meccanico dell'ammasso stesso e del modello geotecnico alla base di qualsiasi calcolo; è quindi importante, al fine di una corretta valutazione delle condizioni di stabilità, una precisa descrizione della struttura della massa e delle discontinuità sia in termini qualitativi che quantitativi.

Per la determinazione del modello geotecnico dell'ammasso verranno, quindi, illustrati nella presente le fasi di rilievo delle giaciture, riferite alle condizioni geostrutturali (spaziatura, apertura, persistenza) e alle condizioni idrauliche e di resistenza delle discontinuità (scabrezza, resistenza delle pareti, grado di alterazione, materiali di riempimento).

Il procedimento utilizzato per l'esecuzione del rilievo è quello descritto nelle raccomandazioni ISRM, tradotte in italiano da O. Del Greco nella Rivista Italiana di Geotecnica - R.I.G. 2/93; il titolo originale delle raccomandazioni è "Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses".

Rilievo delle discontinuità

Discontinuità (Discontinuity)

è il termine generale per qualsiasi interruzione di continuità in una massa rocciosa avente resistenza a trazione bassa o nulla. è il termine collettivo per la maggior parte delle fessure, dei piani di stratificazione, dei piani di scistosità, delle zone di indebolimento e delle faglie.

I dieci parametri scelti nelle Raccomandazioni ISRM per descrivere le discontinuità e le masse rocciose sono definiti come segue:

Orientazione

Posizione della discontinuità nello spazio. Le superfici di discontinuità possono essere rappresentate come un piano la cui giacitura è individuata da una coppia di angoli (α, β) o (δ, σ) dove α è l'inclinazione, β la direzione e σ l'azimut della discontinuità (nella terminologia anglosassone rispettivamente dip, strike e dip direction riferita ad un piano).

La strumentazione utilizzata è una bussola munita di livella a bolla d'aria e di un coperchio piano, che viene poggiato sulla superficie della discontinuità facendolo ruotare attorno ad un asse orizzontale (clinometro).

La massima inclinazione del piano medio della discontinuità (dip) è misurata con il clinometro ed è espressa in gradi con numeri di due cifre, da 00° a 90°.

L'azimut della immersione (dip direction) è misurato in gradi contati in senso orario rispetto al Nord ed è espresso con un numero di tre cifre da 000° a 360°.

La coppia (dip, dip direction) rappresenta il vettore immersione.

Le misure vengono eseguite lungo una linea di campionamento, materializzata sul fronte roccioso con una bandella metrica fissata alle estremità del rilievo, vengono quindi rilevate tutte le discontinuità incontrate procedendo da una estremità all'altra.

Spaziatura (S)

Distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse. Normalmente ci si riferisce alla spaziatura media o modale di un sistema di fessure. Essa, unitamente all'orientazione ed alla persistenza, determina la forma e le dimensioni dei blocchi in cui si divide l'ammasso roccioso. Poiché la misura d , espressa in cm, viene eseguita ortogonalmente alla discontinuità, deve essere corretta tenendo conto dell'angolo α tra la discontinuità e la linea di campionamento: $S = d \times \sin \alpha$. Per ciascuna famiglia si definisce così una distribuzione di frequenza che si può rappresentare con istogrammi; la

distribuzione della spaziatura è alla base della classificazione ISRM riportata nella Tab.1.

Descrizione	Spaziatura
Sp. estremamente stretta	< 2 cm
Spaziatura molto stretta	2÷6 cm
Spaziatura stretta	6÷20 cm
Spaziatura moderata	20÷60 cm
Spaziatura larga	60÷200 cm
Spaziatura molto larga	200÷600 cm
Sp. estremamente larga	> 600 cm

Tab.1: Classificazione ISRM in base alla spaziatura.

Continuità o Persistenza

Lunghezza della traccia della discontinuità osservata in un affioramento. Può dare una misura grossolana dell'estensione areale o della profondità di penetrazione di una discontinuità. Il fatto che il piano di discontinuità termini in roccia massiccia o contro altre discontinuità, riduce la persistenza. Nella Tab.2 è riportata la classificazione ISRM in funzione della persistenza

Descrizione	Persistenza
Pers. molto bassa	<1 m
Persistenza bassa	1÷3 m
Persistenza media	3÷10 m
Persistenza alta	10÷20 m
Persistenza molto alta	>20 m

Tab.2: Classificazione ISRM in base alla persistenza.

Scabrezza

Rugosità delle superfici affacciate di una discontinuità e ondulazione relativamente al piano

medio delle discontinuità. Sia la rugosità che il suo andamento morfologico contribuiscono alla resistenza di taglio, specialmente nel caso di strutture interconnesse e senza spostamenti relativi. L'importanza della rugosità diminuisce con l'aumentare dell'apertura della discontinuità stessa.

In termini generali la rugosità può essere caratterizzata da una ondulazione e da una rugosità vera e propria; nel primo caso la forma della ondulazione provoca la dilatanza in caso di scorrimento trasversale, nel secondo caso la forma della rugosità tende ad essere rotta in caso di scorrimento.

La metodologia e la strumentazione per eseguire il rilievo sono riportate nelle Raccomandazioni ISRM che si ricordano qui di seguito.

La rugosità si può rilevare in due modi diversi:

1. qualora si conosca la direzione di scorrimento potenziale, la rugosità può essere rilevata con profili lineari scelti parallelamente a questa direzione. In molti casi la direzione di scorrimento è parallela alla direzione di immersione. Nei casi in cui lo scorrimento è condizionato da due differenti piani di discontinuità intersecatisi, la direzione di potenziale scorrimento è parallela alla linea di intersezione dei piani. Nel caso di stabilità della spalla di una diga ad arco, la direzione dello scorrimento potenziale può avere una rilevante componente orizzontale.
2. nel caso in cui non si conosca la direzione dello scorrimento potenziale, ma sia molto importante conoscerla, la rugosità può essere misurata in tre dimensioni anziché in due. Ciò può essere fatto con una bussola ed un clinometro a disco. Le letture della inclinazione e della direzione possono essere rese graficamente come poli su reticoli equiarea. In alternativa le superfici di discontinuità possono venire rilevate usando il metodo fotogrammetrico. Questa può risultare un'utile tecnica quando le superfici critiche siano inaccessibili.

Scopo di tutti i metodi di misurazione della rugosità è l'eventuale valutazione o calcolo della resistenza al taglio e della dilatanza. I metodi di interpretazione dei profili di rugosità e di stima della resistenza al taglio disponibili attualmente sono illustrati nel successivo punto.

Strumentazione

Il metodo di rilevamento del profilo lineare di una rugosità richiede la seguente strumentazione: 1) asta pieghevole di almeno due metri, graduata in mm; 2) bussola e clinometro; 3) dieci metri di filo sottile o filo di nylon marcato ad intervalli di un metro (in rosso) e di un decimetro (in blu). Le estremità del filo dovrebbero essere attaccate a blocchetti di legno o simili, così da poter essere teso a costituire una linea di riferimento

diritta al di sopra del piano di una discontinuità ad ampia ondulazione.

Il metodo di rilevamento della rugosità con bussola e clinometro a disco richiede le seguenti attrezzature: 1) una bussola geologica Clar (Breithaupt) con incorporata una livella a bolla orizzontale ed un coperchio girevole unito al corpo principale della bussola mediante una cerniera graduata per misurare l'inclinazione; 2) quattro sottili dischi circolari in lega leggera, di vario diametro (per es. 5, 10,20,40 cm), che possono essere fissati di volta in volta al coperchio della bussola [v. bibliografia ISRM].

Procedura

Profilo lineare. Le discontinuità vengono scelte in modo tale da essere accessibili e tipiche della superficie di potenziale scorrimento.

A seconda delle dimensioni di ciascun piano, saranno utilizzati l'asta graduata di 2 metri o il filo di 10 metri ponendoli al di sopra del piano della discontinuità parallelamente alla direzione di potenziale scorrimento. Essi dovrebbero essere posti a contatto del punto o dei punti più elevati della discontinuità e dovrebbero essere altresì il più possibile rettilinei. Un sottile strato di plastilina può essere utilizzato per prevenire lo scorrimento dell'asta verso il basso lungo la linea di massima pendenza. La plastilina può essere posta tra l'asta e le creste della discontinuità. Si misurano le distanze (y) sulla perpendicolare tra l'asta (o il filo) e la superficie della discontinuità, con l'approssimazione del mm, per distanze tangenziali (x) date. È consigliabile essere flessibili nella scelta delle " x ", dato che un intervallo regolare (per es. 5 cm) potrebbe far trascurare un piccolo gradino o qualcosa di simile che potrebbe avere importanza nella valutazione della resistenza al taglio. In genere, valori di (x) pari a circa il 2% della lunghezza totale misurata sono sufficienti per avere una misura sostanzialmente buona della rugosità.

Le (x) e le (y) lette sono tabulate insieme all'azimut e all'inclinazione della base di misura. Queste ultime possono essere differenti dall'orientazione dip /dip direction della discontinuità.

I profili tipici della rugosità minima, media e massima vengono rilevati usando il suddetto procedimento. Essi possono essere riferiti ad un intero sistema di discontinuità, ad una discontinuità critica, o a ciascuna superficie misurata, in funzione del grado di dettaglio richiesto. L'angolo di ondulazione (i), illustrato in Figura 1, dovrebbe essere misurato con l'asta rigida ed il clinometro, qualora il profilo rilevato sia così corto da non poter includere l'intera ondulazione.

La lunghezza e l'ampiezza approssimativa di un'ondulazione troppo ampia per essere

rilevata con il profilo lineare, dovrebbero essere stimate o misurate quando non vi sono problemi di accessibilità.

Fotografie raffiguranti le superfici con rugosità minima, media e massima dovrebbero essere riprese con un regolo di 1 metro posto ben in vista a contatto della superficie in esame.

Bussola e clinometro a disco. Le discontinuità scelte devono essere tali da essere accessibili e tipiche della superficie di potenziale scivolamento. Gli angoli di rugosità (i) su piccola scala (Figura 2) si misurano posizionando il disco di maggior diametro (per es. quello di 40 cm di diametro) sulla superficie della discontinuità in almeno 25 posizioni diverse, e registrando sia l'inclinazione che la direzione di massima pendenza per ciascuna posizione. (Si prende in considerazione una superficie almeno dieci volte maggiore di quella del disco di maggior diametro).

Nella impossibilità di eseguire le procedure sopra descritte, le Raccomandazioni ISRM, consigliano l'uso di termini descrittivi della rugosità che possono essere riassunti nella figura 3.

Valutazione della resistenza a taglio

La rugosità dà indicazioni per la valutazione della resistenza a taglio delle discontinuità non riempite.

I valori di ϕ di picco possono essere stimati con la relazione:

$$\phi_{\text{picco}} = \text{JRC} \times \log_{10} \frac{\text{JCS}}{\sigma_n} + \phi_r$$

dove:

JRC = coefficiente di rugosità della discontinuità

JCS = resistenza a compressione delle pareti della discontinuità

ϕ_r = angolo di attrito residuo

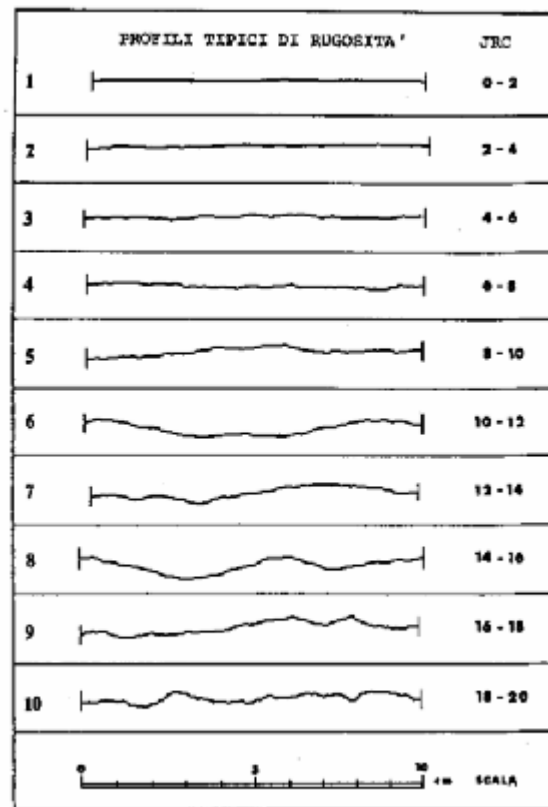


Figura 4

Il valore di JRC viene ricavato dai grafici di Figura 4, i valori di JCS e ϕ si ricavano dalle prove con il martello di Schmidt, eseguite sia sulla parete della discontinuità, sia su una frattura fresca del materiale roccioso intatto.

Altro parametro utile per la classificazione dell'ammasso roccioso è il Jr ("Joint Roughness Number") che dipende dalla rugosità delle pareti del giunto i cui valori sono riassunti nella Tab. 3.

Resistenza delle pareti

Resistenza a compressione equivalente dei lembi affacciati di una discontinuità. Può essere minore della resistenza della roccia massiccia per l'esposizione agli agenti atmosferici o per l'alterazione delle pareti. Costituisce una componente rilevante della resistenza di taglio se le pareti sono a contatto.

Gli effetti dell'azione atmosferica sono di due tipologie principali: disgregazione meccanica e decomposizione chimica .

La prima si manifesta con l'ampliarsi di discontinuità preesistenti o con la formazione di

nuove, l'apertura di fratture integranulari e la rottura di singoli individui minerali.

La seconda si manifesta con una decolorazione della roccia e porta ad una decomposizione dei minerali silicati in minerali argillosi. Nel caso di rocce carbonatiche e saline è molto importante il fenomeno della dissoluzione.

	Class.	Scabrezza	Jr
Giunti chiusi o con tratteanti < 10cm	A	Fratture discontinue	4
	B	Rugose, irregolari, ondulate	3
	C	Ondulate, lisce	2
	D	Ondulate a facce levigate	1,5
	E	Planari, ruvide o irregolari	1,5
	F	Planari, lisce	1
	G	Planari a facce levigate	0,5
Giunti aperti	H	Minerali argillosi nei giunti, fratture non a contatto	1
	I	Zone sabbiose, ghiaiose o fratturate	1

Tab. 3 Coefficiente Jr

La resistenza delle pareti, come già visto, può essere valutata con il martello di Schmidt e con saggi di scalfitura.

Altro parametro utile per la classificazione dell'ammasso roccioso è il Ja ("Joint Alteration Number") che dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento; i valori sono riassunti nella Tab. 4:

Class.	Alterazione delle superfici	Ja
A	Riempimento impermeabile, duro, strettamente cicatrizzato	0,75
B	Bordi fratture inalterati, superfici autoreggenti	1
C	Bordi fratture leggermente alterati, rivestiti di minerali non ammorbiditi, particelle sabbiose	2
D	Rivestimento limoso-argilloso o sabbioso argilloso	3

E	Rivestimento di minerali ammorbiditi con argille rigonfianti	4
F	Particelle sabibose, roccia disgregata libera da argilla	4
G	Riempimenti di minerali argillosi non rigonfianti, continui	6
H	Riempimenti di minerali argillosi ammorbiditi	8
I	Riempimenti di minerali argillosi rigonfianti	8÷12

Tab. 4 Coefficiente Ja

Nelle Raccomandazione ISRM viene aggiunto un altro indice, W, che varia da 1 (roccia fresca o poco alterata) a 6 (roccia estremamente alterata), si riporta in tabella la classificazione completa:

Denominazione	Descrizione	W
Fresca	Non vi sono segni visibili di alterazione del materiale roccioso; tutt'al più una leggera decolorazione sulla superficie delle maggiori discontinuità	1
Leggermente alterata	La decolorazione indica un'alterazione del materiale roccioso e delle superfici di discontinuità. Tutto il materiale roccioso può essere decolorato e talvolta può essere esternamente meno resistente della roccia fresca all'interno	2
Moderatamente alterata	Meno della metà del materiale roccioso è decomposto e/o disgregato come un terreno. Rocca fresca o decolorata è presente o come uno scheletro continuo o all'interno di singoli blocchi.	3
Fortemente alterata	Più della metà del materiale roccioso è decomposto e/o disgregato come un terreno. Rocca fresca o decolorata è presente o come uno scheletro discontinuo o all'interno di singoli blocchi.	4
Completamente alterata	Tutto il materiale roccioso è decomposto e/o disgregato come un terreno. La struttura massiva originaria è ancora largamente intatta.	5

Suolo residuale	Tutto il materiale roccioso è diventato un terreno. Le strutture della massa e dei materiali rocciosi sono distrutte. Vi è un forte cambiamento di volume ma il terreno non ha subito trasporti significativi.	6
-----------------	--	---

Tab.5 Coefficiente W

Apertura

Distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità in cui lo spazio interposto è riempito di aria o acqua.

Le aperture sottili possono essere misurate con calibro, mentre quelle larghe con regolo graduato in mm. Esse sono rilevate lungo l'intersezione con l'allineamento del rilievo.

In base alle misure eseguite, le Raccomandazioni ISRM propongono la seguente classificazione:

Apertura	Descrizione	Discontinuità
<0,1 mm	Molto stretta	Chiusa
0,1÷0,25 mm	Stretta	
0,25÷2,5 mm	Parzialmente aperta	
0,5÷2,5 mm	Aperta	Semi-aperte
2,5÷10 mm	Moderatamente larga	
>10 mm	Larga	
1÷10 cm	Molto larga	Aperte
10÷100 cm	Estremamente larga	
> 1 m	Caveronosa	

Tab.6 Classificazione ISRM in base alla apertura

Riempimento

Materiale che separa le pareti adiacenti di una discontinuità e che è di solito meno resistente della roccia primitiva. Tipici materiali di riempimento sono sabbia, limi, argilla, breccia più o meno fine, milonite. Include anche sottili strati di minerali e discontinuità saldate, per esempio vene di quarzo e calcite.

La presenza di materiale di riempimento influenza il comportamento del giunto nei riguardi

del movimento reciproco delle pareti della discontinuità, nel rilievo sono indicati quindi la caratteristica in riferimento alla sua durezza (R: rigido - P: plastico).

Filtrazione

Flusso d'acqua e abbondante umidità, visibile nelle singole discontinuità o nella massa rocciosa nel suo insieme.

Le raccomandazioni ISRM forniscono degli schemi descrittivi per stimare la filtrazione attraverso discontinuità senza riempimento (Tab. 7), discontinuità con riempimento (Tab. 8) e una massa rocciosa (Tab. 9).

Grado di filtrazione	Descrizione
1	La discontinuità è molto chiusa e asciutta; il flusso lungo di essa non appare possibile.
2	La discontinuità è asciutta senza alcun evidente flusso d'acqua.
3	La discontinuità è asciutta ma mostra segni evidenti di flusso d'acqua, come tracce di ossidazione, etc
4	La discontinuità è umida ma non vi è presenza di acqua libera
5	La discontinuità mostra filtrazione, occasionali gocce d'acqua ma non flusso continuo.
6	La discontinuità mostra un flusso continuo di acqua, (stimare la portata in l/m ² e descrivere se la pressione è bassa, media, o alta).

Tab. 7 Discontinuità senza riempimento

Grado di filtrazione	Descrizione
1	I materiali di riempimento sono decisamente consolidati e asciutti; un flusso significativo appare improbabile per via della permeabilità molto bassa.
2	I materiali di riempimento sono umidi ma non c'è presenza di acqua libera
3	I materiali di riempimento sono bagnati; occasionali gocce d'acqua
4	I materiali di riempimento mostrano segni di dilavamento; flusso continuo di acqua, (valutare la portata in l/min.).
5	I materiali di riempimento sono localmente dilavati; considerevole flusso di acqua lungo i canali di dilavamento (stimare la portata in l/min. e descrivere la pressione, se bassa, media o alta).
6	I materiali di riempimento sono completamente dilavati; si osservano alte pressioni dell'acqua specialmente al momento dell'esposizione (stimare la pressione in l/min. e descrivere la pressione)

Tab. 8 Discontinuità con riempimento

Grado di filtrazione	Descrizione
1	Pareti e corona asciutti; nessuna filtrazione rilevabile
2	Piccola filtrazione; specificare le discontinuità gocciolanti
3	Flusso medio; specificare le discontinuità con flusso continuo, (stimare la portata in l/min su una lunghezza di scavo di 10 m)
4	Flusso alto; specificare le discontinuità con flusso intenso, (stimare la portata in l/min./10 m di lunghezza di scavo)
5	Flusso eccezionalmente alto; specificare la sorgente di tale flusso, (stimare la portata in l/min./10 m di lunghezza di scavo).

Tab. 9 Massa rocciosa (es.: contorno galleria)

Numero di sistemi di discontinuità

Definisce l'insieme dei sistemi presenti. La massa rocciosa può essere ulteriormente divisa da discontinuità di carattere singolare.

In fase di rilievo vengono presi in considerazione tutti i sistemi presenti nel fronte; diagrammando i poli delle discontinuità e quindi contornando con linee di ugual densità, si possono ricavare i sistemi principali.

Secondo le Raccomandazioni ISRM, le discontinuità che compaiono localmente possono essere classificati secondo la Tab. 10:

Grado	Descrizione
-------	-------------

1	massa continua; discontinuità occasionali e casuali
2	un sistema di discontinuità
3	un sistema più discontinuità casuali
4	due sistemi di discontinuità
5	due sistemi più discontinuità casuali
6	tre sistemi di discontinuità
7	tre sistemi più discontinuità casuali
8	quattro o più sistemi di discontinuità
9	roccia fratturata simile a un terreno

Tab. 10 Classificazione ISRM in base ai sistemi di discontinuità

Altro parametro utile per la classificazione dell'ammasso roccioso è il Jn ("Joint Set Number") che dipende dal numero di sistemi di giunti presenti nell'ammasso roccioso; i valori sono riassunti nella Tab. 11:

Class.	Descrizione	Jn
A	Roccia compatta o poche discontinuità	0÷1
B	un sistema di discontinuità	2
C	un sistema più discontinuità casuali	3
D	due sistemi di discontinuità	4
E	due sistemi più discontinuità casuali	9
F	tre sistemi di discontinuità	6
G	tre sistemi più discontinuità casuali	12
H	quattro o più sistemi di discontinuità	15
I	roccia fratturata simile a un terreno	20

Tab. 11 Classificazione in base al Jn

Dimensione dei blocchi

Dimensioni del blocco roccioso risultante dalla reciproca orientazione dei sistemi di fratture che si intersecano e dalla spaziatura dei singoli sistemi. Discontinuità singolari possono ulteriormente influenzare il volume roccioso unitario e la sua forma.

L'indice della dimensione dei blocchi (I_b) rappresenta le dimensioni medie dei blocchi di roccia tipici. Nel caso di due di sistemi di discontinuità perpendicolari tra di loro e la stratificazione danno origine a una forma dei blocchi cubica o prismatica, in tal caso il valore di I_b è:

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

dove S_1 , S_2 e S_3 rappresentano le medie dei valori modali delle singole spaziature.

Rappresentazione grafica del rilievo delle giaciture

La rappresentazione delle discontinuità nel programma è possibile secondo diverse tipologie:

- I. Reticolo di Wulff
- II. Reticolo di Schmidt-Lambert
- III. Reticolo stereografico polare
- IV. Reticolo polare equiareale
- V. diagramma a stella
- VI. Rappresentazione tramite istogrammi delle principali caratteristiche (spaziatura, apertura, persistenza)

RETICOLO DI WULFF

Rappresenta la proiezione stereografica dei meridiani e paralleli terrestri su un piano passante per il centro e per i due poli. Si tratta di una proiezione di tipo isogono, in cui gli angoli tra i singoli piani vengono mantenuti sulle relative proiezioni, per cui le aree definite dall'intersezione tra due paralleli e due meridiani vengono fortemente distorte procedendo dal centro del reticolo verso i bordi.

RETICOLO DI SCHMIDT-LAMBERT

Viene utilizzato per evitare le distorsioni areali del reticolo di Wulff e quindi adatto ad interpretazioni di tipo statistico. Le ciclografiche sono rappresentate da archi di ellissi.

RETICOLO STEREOGRAFICO POLARE EQUIANGOLARE ED EQUIAREALE

Sono simili ai precedenti, dove vengono rappresentati i poli delle discontinuità.

DIAGRAMMA A STELLA

Rappresenta i dati di giacitura: le osservazioni sono presentate su un riferimento circolare segnato da 0° a 360°, con linee radiali a intervalli di 10°. Le osservazioni sono raggruppate nel settore di 10° a cui appartengono. Il numero di osservazioni è rappresentato nella direzione radiale, con cerchi concentrici numerati, ciascuno relativo a 5, 10 e 15 osservazioni.

DIAGRAMMA DI ISODENSITA'

Dalla distribuzione sul reticolo dei poli corrispondenti ad un significativo insieme dei dati, è possibile riconoscere una serie di famiglie di discontinuità. Per raggiungere questo scopo si tracciano i diagrammi di isodensità, luogo dei centri di aree unitarie che contengono ugual numero di poli. L'area unitaria è convenzionalmente pari all'1% dell'area totale del diagramma.

Il metodo utilizzato per ricercare la distribuzione della densità dei poli è quello messo a punto da Denness che ha suddiviso la sfera di riferimento in 100 celle elementari.

Proiettata sul diagramma di Schmidt, una cella generica, assume un contorno curvilineo conservando l'area, che contiene un certo numero di poli. Per la costruzione del reticolo, Denness suddivide il cerchio secondo un certo numero di anelli (7 per il reticolo di tipo A e 6 per il reticolo di tipo B), ciascun anello conterrà un certo numero di celle di numero crescente dal centro verso l'esterno del diagramma.

Il reticolo di tipo A è adatto per analisi nelle quali i poli si concentrano in prossimità della circonferenza esterna (famiglie subverticali), mentre il diagramma di tipo B è adatto per superfici inclinate o suborizzontali.

TEST DI MARKLAND

Lo scopo del test di Markland è quello di quantificare la possibilità della rottura di un cuneo di roccia nel quale lo scorrimento avviene lungo la linea di intersezione di due discontinuità planari.

Il fattore di sicurezza del pendio dipende dalla inclinazione della linea di intersezione, dalla resistenza a taglio della superficie della discontinuità e dalla geometria del cuneo. Il caso

limite si verifica quando il cuneo degenera in un piano, cioè i due piani hanno inclinazione ed immersione coincidenti e quando la resistenza a taglio di questo piano è dovuta solo all'attrito. Lo scorrimento, in queste condizioni, si verifica quando l'inclinazione del piano è maggiore dell'angolo di attrito e si può eseguire una verifica di stabilità preliminare confrontando l'inclinazione della linea di intersezione dei due piani e l'angolo di attrito della superficie rocciosa: il pendio è potenzialmente instabile quando il punto, in un diagramma equiareale, che definisce la linea di intersezione dei due piani cade all'interno dell'area delimitata dal grande cerchio che rappresenta il pendio ed il cerchio che rappresenta l'angolo di attrito.

E' da tener presente che il test è stato implementato per valutare le discontinuità critiche, a questo test devono seguire verifiche di stabilità più approfondite.

Un ulteriore sviluppo del test di Markland è stato implementato da Hocking; il test infatti prevede la possibilità che lo scorrimento avvenga lungo uno dei piani che costituiscono il cuneo e non solo lungo la linea di intersezione dei due piani stessi.

Infatti se è soddisfatto il test di Markland e l'immersione di uno dei piani cade tra l'immersione del pendio e la direzione della linea di intersezione, lo scorrimento avverrà sul piano piuttosto che lungo la linea di intersezione.