

# RockPlane

|                  |                                  |           |
|------------------|----------------------------------|-----------|
| <b>Parte I</b>   | <b>Introduzione</b>              | <b>1</b>  |
| 1                | Introduzione .....               | 1         |
| 2                | Unità di misura .....            | 1         |
| <b>Parte II</b>  | <b>Menu</b>                      | <b>2</b>  |
| 1                | File .....                       | 2         |
| 2                | Modifica .....                   | 2         |
| 3                | Visualizza .....                 | 3         |
| 4                | Dati Generali .....              | 3         |
| <b>Parte III</b> | <b>Applicazione</b>              | <b>4</b>  |
| 1                | Modello di calcolo .....         | 4         |
| 2                | Geometria del blocco .....       | 5         |
| 3                | Intervento .....                 | 7         |
| 4                | Posizione intervento .....       | 9         |
| 5                | Caratteristiche meccaniche ..... | 9         |
| 6                | Sisma .....                      | 10        |
| <b>Parte IV</b>  | <b>Cenni teorici</b>             | <b>10</b> |
| 1                | Cenni teorici .....              | 10        |
| <b>Parte V</b>   | <b>Contatti</b>                  | <b>14</b> |

# 1 Introduzione

## 1.1 Introduzione

Il software **RockPlane** esegue il calcolo della stabilità di blocchi di roccia in condizioni statiche e sismiche, consentendo di pianificare eventuali interventi di stabilizzazione con: chiodi, tiranti attivi e passivi. Il modello di calcolo utilizzato è quello dell'equilibrio limite con due criteri di rottura: Mohr-Coulomb o Barton-Bandis.

Le verifiche effettuate riguardano gli stati limite di scorrimento e ribaltamento; le azioni previste sono: il peso, la forza d'inerzia dovuta al sisma, la spinta idrostatica nella **tension crack**.

## 1.2 Unità di misura

RockPlane usa le unità di misura del **Sistema Internazionale**:

- Pesi in **KN**;
- Resistenze roccia in **MPa**;
- Resistenze armature in **N/mm<sup>2</sup>**;
- Forze in **KN**;
- Lunghezze in **m**.

---

## 2 Menu

### 2.1 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.

**Imposta stampante**

Imposta la stampante su cui eseguire le operazioni di stampa.

**Anteprima di stampa**

Visualizza in anteprima il documento da stampare e stampa quanto riportato nell'area di lavoro alla scala impostata dall'utente.

**Esci**

Esce dal programma.

### 2.2 Modifica

**Copia**

Copia negli appunti le immagini presenti nel foglio di lavoro.

## 2.3 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 modicarne le coordinate. Il comando è utile per avere una panoramica interattiva.

### **Specchia**

Grazie a questo comando è possibile effettuare un ribaltamento orizzontale del grafico.

### **Dimensione testi**

E' possibile dare una dimensione al testo.

### **Imposta come vertice quotato**

Clickando sul punto desiderato verrà visualizzata la quota.

### **Inserisci testo**

Tramite questo comando è possibile inserire il testo nel grafico.

### **Cancella testo**

Grazie a questo comando è possibile cancellare il testo inserito.

### **Distanza**

E' possibile calcolare la distanza tra due punti.

### **Esci comando**

Consente di uscire dal comando attivo.

## 2.4 Dati Generali

### **Vertici profilo**

Tramite questo comando è possibile assegnare dei vertici nel grafico.

#### **Cancella vertici**

È possibile cancellare i vertici inseriti.

#### **Imposta come vertice quotato**

Cliccando sul punto desiderato verrà visualizzata la quota.

#### **Geometria del blocco** (vedi **Geometria del blocco**)

La selezione del comando visualizza un pannello laterale in cui è possibile scegliere la forma del blocco e definirne la geometria.

Il blocco può avere forma triangolare o romboidale, con superficie di scorrimento planare di:

- tipo A: triangolare con frattura;
- tipo B: triangolare con superficie piana;
- tipo Q: romboidale con frattura.

#### **Caratteristiche tirante** (vedi **Intervento**)

La definizione dell'intervento stabilizzante attiva il pannello laterale **Intervento** in cui vengono inseriti i parametri dell'opera stabilizzante che può essere del tipo:

- tirante attivo;
- tirante passivo;
- chiodo.

#### **Posizione intervento**

La posizione degli interventi è definita nel pannello laterale **Definizione Intervento**.

#### **Caratteristiche blocco** (vedi **Caratteristiche meccaniche**)

Le caratteristiche geotecniche del blocco e della tension crack vanno definite nel pannello laterale **Blocco**.

#### **Sisma** (vedi **Sisma**)

Per la definizione dei parametri di calcolo della forza d'inerzia del blocco occorre selezionare il pannello **Sisma**.

## **3 Applicazione**

### **3.1 Modello di calcolo**

**RockPlane** è un software interattivo per l'analisi della stabilità di blocchi di roccia in condizioni statiche e sismiche; esso consente, inoltre, di dimensionare le opere di intervento quali tiranti attivi, passivi o chiodi.

Le verifiche condotte sono quelle a scorrimento lungo la superficie di scorrimento e di

ribaltamento rispetto al piede del blocco.

I coefficienti di sicurezza sono definiti come rapporto tra la resistenza al taglio lungo il piano di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilizzato lungo la stessa superficie.

L'ipotesi di base è che la rottura avviene per il raggiungimento della resistenza limite in tutti i punti della superficie di scorrimento contemporaneamente.

Per la resistenza a taglio si possono usare:

- **Criterio di rottura di Mohr Coulomb**

$$\tau_f = c + (\sigma_n - u) \operatorname{tg} \varphi$$

- **Criterio di rottura di Barton-Bandis**

$$\tau_f = \sigma_n \operatorname{tg} \left[ \operatorname{JRC} * \log \left( \frac{\operatorname{JCS}}{\sigma_n} \right) \right] \varphi_r$$

La scelta di usare l'uno o l'altro dipende dai parametri introdotti dall'utente nel pannello [Caratteristiche meccaniche blocco](#) (JRC e JCS) e dalla selezione dell'opzione relativa all'incremento dell'angolo d'attrito del giunto per effetto delle asperità ed ondulazioni, presente sempre nello stesso pannello.

Nel caso in cui le verifiche non sono soddisfatte e l'utente deve prevedere un intervento di stabilizzazione con chiodi o tiranti, per pianificare correttamente l'intervento sono necessarie le seguenti fasi:

#### **Fase I**

Definizione della tipologia di intervento (chiodo o tirante) con le caratteristiche geometriche e meccaniche nel pannello [Intervento](#). A riguardo, per avere un tirante attivo occorre selezionare **Comportamento=tirante**, mentre per i tiranti passivi o i chiodi, **Comportamento=chiodo**.

#### **Fase II**

Eseguire il calcolo affinché il programma possa calcolare il tiro di progetto, in base al tipo di intervento definito dall'utente, e la forza resistente richiesta per avere un fattore di sicurezza imposto dall'utente.

#### **Fase III**

Pianificare gli interventi nel pannello [Posizione intervento](#): la forza resistente richiesta può essere distribuita su più file in funzione del tiro di progetto ottenuto per il tirante tipo definito dall'utente.

#### **Fase IV**

Rieseguire il calcolo per effettuare le verifiche dopo l'intervento.

## 3.2 Geometria del blocco

### Inclinazione parete esterna - Pendio

Inserire l'angolo d'inclinazione del fronte del blocco rispetto all'orizzontale passante per il piede ([Slope angle](#)).

**Altezza del blocco**

Inserire l'altezza del blocco misurata a partire dal piede fino alla testa ([Block Height](#)).

**Inclinazione piano di scorrimento**

Inserire l'inclinazione della superficie di scorrimento del blocco rispetto all'orizzontale passante per il piede ([Slide angle](#)).

**Spessore del blocco**

Indicare lo spessore della testa del blocco ([Block Width](#)).

**Inclinazione parete interna - Frattura**

Indicare l'inclinazione della tension crack rispetto all'orizzontale passante per l'origine della frattura ([Fracture angle](#)).

**Inclinazione testa**

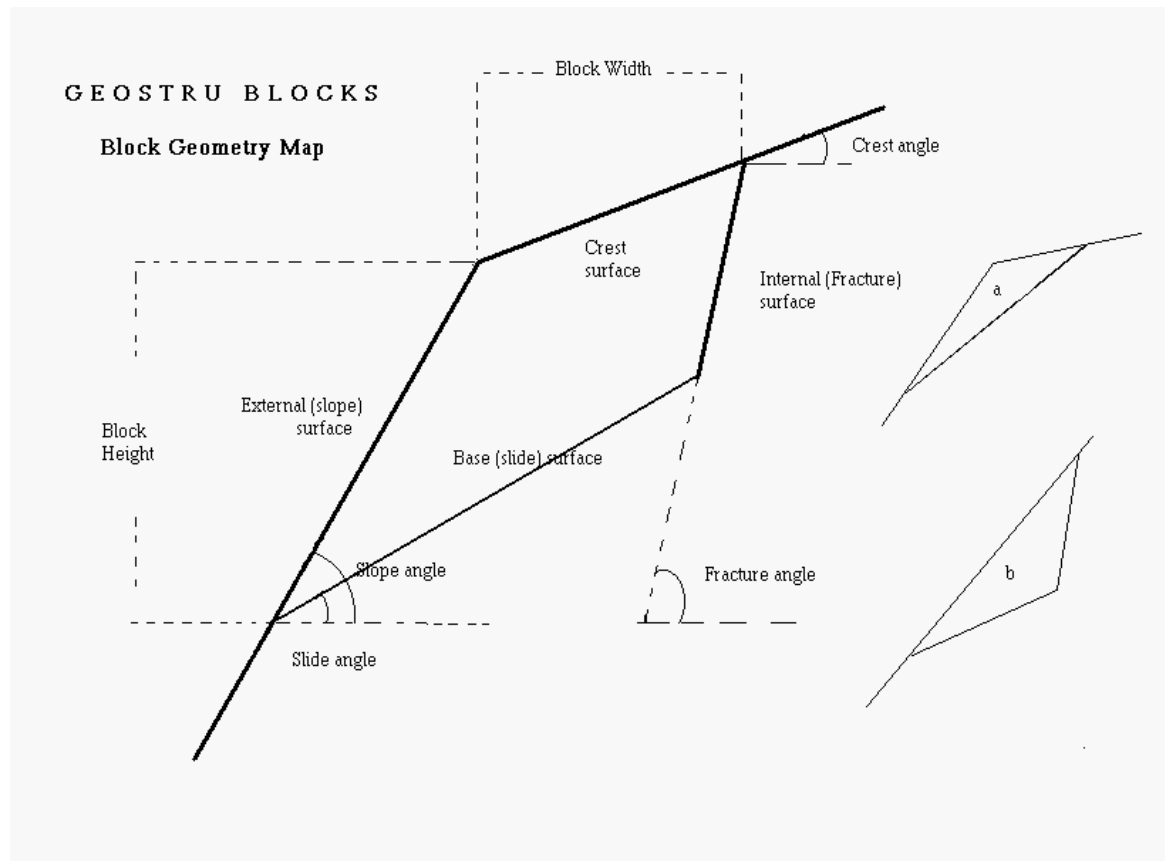
Inserire l'inclinazione della testa del blocco misurata rispetto all'orizzontale ([Crest angle](#)).

**Profondità del blocco**

Indicare la profondità del blocco nella direzione ortogonale alla visualizzazione dello stesso.

**Colore**

E' possibile assegnare il colore al blocco.



### 3.3 Intervento

#### Tiranti e Chiodi

Un tirante o chiodo risulta costituito da tre parti funzionali:

##### Testa d'ancoraggio

È la parte con cui la struttura viene ancorata alla roccia, è in acciaio ed è formata da un dispositivo di bloccaggio e da una piastra di appoggio, a cui possono essere associati blocchi in calcestruzzo o travi in acciaio in caso di tensioni di notevole entità.

##### Lunghezza libera

È il tratto compreso tra la testa di ancoraggio e la fondazione e rappresenta la parte che può deformarsi quando avviene il tensionamento. Deve avere una lunghezza tale da oltrepassare il piano di scivolamento del blocco. Il suo ruolo è quello di trasmettere la tensione di trazione dalla testa al bulbo.

##### Fondazione o bulbo d'ancoraggio

È la zona avente il compito di trasmettere la tensione di trazione del tirante alla roccia

mediante l'iniezione di malta cementizia o resina che va ad avvolgere l'armatura ed a riempire il foro. La lunghezza del bulbo è determinata dalle proprietà geotecniche del terreno e dalla capacità del tirante.

Per ogni tipologia di intervento, sia esso chiodo o tirante, vengono richiesti i seguenti parametri:

**Diametro fondazione**

Inserire il diametro del bulbo.

**Lunghezza fondazione**

Inserire la lunghezza del bulbo.

**Profondità media bulbo tirante**

Inserire la distanza media della fondazione dell'intervento dal piano campagna dell'ammasso.

**Attrito terreno di ancoraggio**

Inserire l'angolo d'attrito del materiale in cui è immersa la fondazione.

**Coesione**

Inserire il valore della coesione del terreno di fondazione dell'intervento.

**Resistenza di calcolo armatura**

Inserire il valore di resistenza massima a trazione dell'armatura.

**Resistenza compressione roccia**

Inserire la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso.

**Aderenza acciaio-calcestruzzo**

Inserire il valore dell'aderenza tra la malta di iniezione e l'armatura.

**Coefficiente di sicurezza**

Inserire il fattore di sicurezza nelle verifiche effettuate sull'intervento: generalmente tale valore è posto pari a 2 per interventi temporanei, a 2,5 per interventi permanenti.

**Comportamento**

L'utente può scegliere la tipologia di intervento tra chiodo, tirante passivo o attivo: per i tiranti attivi la reazione lungo il piano di scorrimento si sottrae alle forze destabilizzanti; per le opere passive (chiodi o tiranti passivi) la componente dell'intervento lungo il piano di scorrimento si somma alle forze resistenti.

**RockPlane** esegue il calcolo della reazione del tirante in funzione dei parametri inseriti, valutando:

- la resistenza limite derivante dallo sfilamento dell'intervento dal terreno;
- la resistenza per effetto dell'aderenza acciaio- malta (sfilamento dell'acciaio dalla fondazione);
- la resistenza limite a trazione dell'armatura.

La resistenza limite di progetto viene assunta pari al minimo dei valori precedenti ridotto del fattore di sicurezza.

### 3.4 Posizione intervento

L'utente può inserire una o più file di interventi dello stesso tipo.

**Interasse**

Inserire l'interasse degli interventi nella direzione ortogonale alla vista del blocco.

**Fs imposto**

Inserire il fattore di sicurezza che si vuole ottenere riguardo allo stato limite di scorrimento.

**Inclinazione risultante**

Inserire l'inclinazione media della risultante delle reazioni dei vari interventi pianificati.

**Nr.**

numero d'ordine dell'intervento (1, 2, 3, ecc.)

**Yt**

Distanza della testa dell'intervento dal piede del blocco.

**Inclinazione**

Inclinazione dell'intervento rispetto all'orizzontale

**Tiro**

Tiro di progetto dell'intervento. Tale valore è ricavato da una prima analisi ottenuta definendo il tirante tipo in Intervento: il programma restituisce il tiro totale necessario per avere il fattore di sicurezza **Fs** imposto. A questo punto, l'utente può pianificare il numero di Interventi necessari, in funzione del tiro di progetto ottenuto per il tirante tipo.

### 3.5 Caratteristiche meccaniche

Per la caratterizzazione meccanica del blocco sono richiesti i seguenti dati:

**Peso specifico del blocco**

Inserire il peso per unità di volume del blocco.

**Altezza critica acqua**

Inserire l'altezza raggiunta dall'acqua nella tension crack.

**Angolo attrito giunto**

Inserire l'angolo di resistenza a taglio del materiale del giunto.

**Joint Roughness Coefficient (JRC)**

Inserire il valore del parametro adimensionale JRC rappresentativo della scabrezza del giunto. Tale parametro è necessario se si vuole applicare il criterio di rottura di Barton-Bandis.

#### **Joint Compression Strength (JCS)**

Inserire il valore della resistenza a compressione del materiale del giunto. Tale parametro è necessario se si vuole applicare il criterio di rottura di Barton-Bandis.

#### **Angolo di dilatanza del giunto**

L'inserimento dell'angolo di dilatanza del giunto, comporta un incremento dell'angolo di inclinazione del piano di scorrimento pari esattamente alla dilatanza.

#### **Incremento angolo d'attrito per effetto delle ondulazioni ed asperità del giunto**

Selezionando tale opzione viene considerato il criterio di rottura di Barton-Bandis (vedi [Cenni teorici](#)<sup>[10]</sup>). Ossia l'angolo d'attrito del materiale del giunto viene incrementato di un'angolo funzione del coefficiente JCR e della resistenza JCS.

## 3.6 Sisma

Per eseguire le verifiche di stabilità del blocco in condizioni pseudo-statiche, l'utente deve definire i coefficienti sismici  $K_h$  e  $K_v$  orizzontale e verticale. essi sono applicati al peso del blocco per il calcolo della forza d'inerzia dello stesso.

## 4 Cenni teorici

### 4.1 Cenni teorici

Le verifiche sul blocco sono condotte nell'ipotesi di equilibrio limite ed in particolare riferendosi alla formulazione di seguito riportata che ipotizza la presenza della spinta idrostatica, nella frattura che delimita a monte il volume di roccia, e della forza sismica. Si riportano nel seguito i significati dei parametri e delle grandezze che intervengono nella scrittura delle equazioni utilizzate per risolvere il problema. Abbiamo dunque che:

$$\tau = \sigma_n \tan(\varphi + i_{eff})$$

$$i_{eff} = JRC \log\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)$$

$$Area = f(\psi_e, \psi_i, s, h, l, \alpha, \delta)$$

$$S_w = \frac{1}{2} H_w^2 \frac{1}{\sin \psi_i}$$

$$\alpha' = f(\psi_e, \psi_i, s, h, l, \alpha, \delta)$$

dove:

$\gamma$  = Peso dell'unità di volume della roccia.

$\psi_e$  = Inclinazione parete esterna.

$\psi_i$  = Inclinazione parete interna.

$\delta$  = Inclinazione in testa al blocco.

$s$  = Spessore del blocco.

$h$  = Altezza blocco.

$l$  = Larghezza blocco.

$k$  = Coefficiente di intensità sismica.

$\alpha$  = Inclinazione della base del blocco.

$R_q$  = Risultante tirante.

$\beta$  = Inclinazione risultante tirante.

$\varphi$  = Angolo di attrito di base delle discontinuità.

$S_w$  = Spinta dell'acqua sulla discontinuità di monte.

$x_g$  = Ascissa baricentro blocco.

$y_g$  = Ordinata baricentro blocco.

$x_t$  = Ascissa punto di applicazione risultante tirante.

$y_t$  = Ordinata punto di applicazione risultante tirante.

$y_w$  = Ordinata punto di applicazione spinta acqua.

$\gamma_w$  = Peso dell'unità di volume dell'acqua.

$H_w$  = Altezza d'acqua spingente.

**JRC** = Parametro adimensionale rappresentativo della scabrezza.

**JCS** = Indica la resistenza a compressione del giunto.

$\sigma_n$  = Tensione normale sulla base del blocco.

Scrivendo le equazioni di equilibrio ed assumendo per la resistenza a taglio sulla discontinuità di base la relazione di Mohr-Coulomb, con le indicazioni precedentemente esplicitate, possiamo pervenire alle relazioni che esprimono il fattore di sicurezza allo scorrimento, la forza esterna stabilizzante necessaria ad assicurare un assegnato valore del fattore di sicurezza a scorrimento, il fattore di sicurezza a ribaltamento.

- **Fattore di sicurezza a scorrimento**

$$F_s = \frac{[W \cos \alpha - kW \sin \alpha + R_q \sin(\alpha + \beta) - S_w \sin(\alpha')] \operatorname{tg}(\varphi + i_{\text{eff}})}{W \sin \alpha + kW \cos \alpha - R_q \cos(\alpha + \beta) + S_w \cos(\alpha')}$$

- **Forza esterna stabilizzante necessaria ad assicurare un assegnato fattore di sicurezza a scorrimento (Fs)**

$$R_q = \frac{S_w \sin \alpha \operatorname{tg}(\varphi + i_{\text{eff}}) + F_s W \sin \alpha + F_s S_w \cos(\alpha') - W \cos \alpha \operatorname{tg}(\varphi + i_{\text{eff}}) + F_s kW \cos \alpha}{F_s \cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) \operatorname{tg}(\varphi + i_{\text{eff}})}$$

- **Fattore di sicurezza a ribaltamento**

$$F_r = \frac{WX_g + R_q(y_t \cos \beta + x_t \sin \beta)}{kW y_g + S_w \cos(90^\circ - \psi_i)[y_w + x_w \operatorname{tg}(\alpha')]}$$

Come già precisato, nelle verifiche, tenuto conto del particolare contesto in cui si colloca l'intervento, si è ritenuto opportuno assumere, cautelativamente, condizioni che in generale risultano sicuramente gravose (frattura di monte completamente riempita d'acqua, presenza di forza dovuta ad azioni sismiche), che non è opportuno escludere. La procedura utilizza una fase preliminare di progetto sviluppata imponendo un assegnato valore al fattore di sicurezza allo scorrimento e calcolando il valore totale della forza esterna necessaria.

Calcolato lo sforzo nel tirante di progetto viene definito il numero di tiranti necessario e stabilita la posizione degli stessi.

A questo punto, riferendosi alla configurazione finale di progetto, sono di nuovo calcolati i fattori di sicurezza allo scorrimento ed al ribaltamento. Per tali valori si è assunto come riferimento il valore 1.30.

Per il calcolo dello sforzo nel tirante di progetto si è seguita la procedura di seguito riportata.

Riferendosi alla seguente notazione:

**D** = Diametro della fondazione.

**l<sub>f</sub>** = Lunghezza della fondazione.

**γ** = Peso unità di volume della roccia di ancoraggio.

**K** = Coefficiente funzione dell'angolo di attrito roccia di ancoraggio.

**t** = Profondità media tirante.

**d** = Diametro del tirante.

**σ<sub>ys</sub>** = Tensione corrispondente al limite elastico convenzionale dell'acciaio.

**τ<sub>ad</sub>** = Tensione tangenziale ammissibile di aderenza.

## Tiro di progetto tirante singolo

### Tiro limite ultimo tirante in terreni incoerenti:

$$N_{fu} = \pi \cdot D \cdot I_f \cdot K\gamma \cdot t$$

### Aderenza acciaio-cls:

$$N_{ad} = \pi \cdot d \cdot I_f \cdot \tau_{ad}$$

### Resistenza ultima armatura:

$$N_{yf} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sigma_{ys}$$

Si assume come tiro di progetto il minimo tra gli sforzi  $N_{fu}/\gamma_f$ ,  $N_{ad}$  e  $N_{yf}$  :

$$N_q = \frac{N_{\min}}{\gamma_f}$$

dove il coefficiente di sicurezza  $\gamma_f$  è:

- $\gamma_f = 2$  per tiranti temporanei;
- $\gamma_f = 2.5$  per tiranti permanenti.

## 5 Contatti

### **GeoStru Software**

**Skype Nick:** [geostru\\_support\\_it-eng-spa](#)

**Web:** [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

**E-mail:** [geostru@geostru.com](mailto:geostru@geostru.com)