



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1412A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Vallero

MATERIA: Stabilità dei Pendii + Eserc. Prof. Deangeli

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

STABILITÀ DEI PENDII

3/10/2013

LE FRANE

Si parla di un piano inclinato in equilibrio: ci si occupa di frane. Le frane sono determinate da processi geomorfologici e meteorologici. Le frane interessano materiali molto diversi (sia rocce resistenti che terreni soffici) e avvengono in ambienti diversi. Inoltre possono avere volumi molto diversi (da pochi m^3 a frane da valle a molti m^3) e velocità diverse.

Per fare previsioni è necessaria la comprensione del fenomeno.

La prima def. di frana è la data Terzaghi, quella più usata è quella di Cruden.

Altri fenomeni hanno cause geologiche \Rightarrow fenomeno franoso = frane + questi fenomeni.

Le pendii possono essere:

- naturali
- artificiali
- franchi di scavo (attività estrattiva o campo civile)

Le pendii naturali può essere:

- attivo = in movimento
- inattivo = no movimenti nell'ultima stagione
- quiescente = possono riprendere il movimento, non si conosce la causa
- stabilizzati = no movimento grazie all'intervento dell'uomo

Le pendii artificiali sono:

- argini
- dighe in terra
- rilevati
- discariche

Le pendii sono sistemi meccanici di tipo geotecnico. Il movimento è la risposta meccanica ai cambiamenti delle condizioni al contorno.

Per i pendii naturali si vuole valutare il grado di stabilità; geometria, stratigrafia, proprietà geotecniche e condizioni idrauliche sono note \rightarrow vanno sempre fatte delle prove!

Per i pendii artificiali si deve dimensionare e verificare; le proprietà sono assegnate \Rightarrow più semplice

Non è possibile $\downarrow N$: in molti casi, data l'elevata pericolosità, si è ripositionata la città e l'intero insediamento.

Per $\downarrow V$ si costruiscono opere di difesa : il fenomeno di instabilità viene fatto avvenire \rightarrow questo avviene sia per i costi che per impedimenti tecnici

Frasa del La Clapière

$50 \cdot 10^6 m^3$

La frasa incombe su un paese : è un fenomeno franso profondo.

Quindi scioglimento profondo + instabilità superficiale.

Essendo chiaro il movimento, si è intervenuti con interventi mirati (es spostamento fiume).

Bisogna, una volta chiaro il cinematisimo, analizzare degli sciami e prendere provvedimenti in merito.

INQUADRAMENTO e CLASSIFICAZIONE dei FENOMENI FRANOSI

Per prima cosa vengono fatte indagini in sito, si cerca di identificare e classificare il fenomeno franso \rightarrow pianificazione delle indagini (finalizzate ad ottenere dati per fare l'analisi di stabilità) \rightarrow indagini in sito \Rightarrow modello geotecnico \Rightarrow analisi di stabilità.

Esistono molti tipi di classificazione delle frane.

La classificazione fenomenologica è quella che aiuta di più: classificazione di Varnes, si basa su tipo di materiale e tipo di movimento.

Tipo di materiale :

- roccia = massa compatta prima del distacco
- tenace \rightarrow terra = 80% del materiale ha $\phi < 2mm$
- destrito = altra percentuale di materiale grossolano

\hookrightarrow La classificazione non riflette le proprietà meccaniche

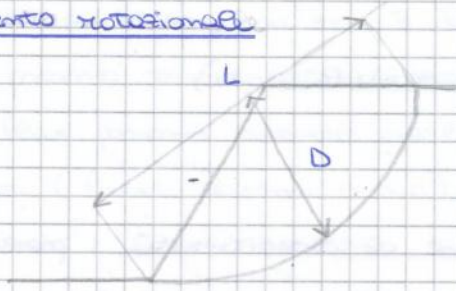
Tipo di cinematisimo (post-rottura):

- collo
- ribaltamento
- scioglimento
- espansione
- colata \rightarrow il materiale si comporta come un fluido viscoso

\hookrightarrow La maggior parte di queste rotture avviene per taglio; questi movimenti, secondo questa classificazione, possono avvenire in tutti e 3 i tipi di materiale

Se il materiale non è omogeneo, lo scioglimento si imposta sulle discontinuità o eterogeneità \Rightarrow si possono conoscere i volumi in gioco.

Scioglimento rotazionale

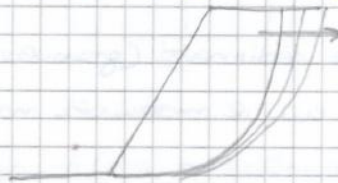


Di solito avviene in materiale eterogeneo (es. artificiali) ma può avvenire anche in terreni o rocce. La sup. di scioglimento è curva e caratterizzata da un rapporto $\frac{D}{L} = 0,5 \pm 0,33$ \Rightarrow fenomeno profondo.

A seguito di questo spostamento c'è una piccola componente deformativa interna \Rightarrow si può considerare lo spostamento come scorrimento rigido.

L'equilibrio viene raggiunto quasi subito dopo lo spostamento.

Un caso di rocce a bassa resistenza, il movimento può non essere controllato dalle discontinuità. Lo scioglimento in roccia è caratterizzato da una parete quasi verticale (corona) e fianchi quasi sub-verticali \Rightarrow fenomeno si può evolvere \Rightarrow retrogressione (sup. multiple passanti per il piede).

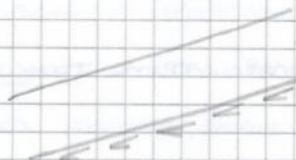


Spesso il materiale morto si appoggia sulla sup. di scorrimento.

Lo scioglimento nei terreni avviene in materiali coesivi. Internamente c'è piccola def. ma dipende dal materiale.

Scioglimento traslazionale

Avviene su un piano che può anche essere non persistente. Può anche impostarsi su stratificazioni o lungo piani di discontinuità.



Un requisito possono avvenire dei colli.

Nei terreni di solito avvengono in materiale a grana grossa (detrito).

Il rapporto $\frac{D}{L} < 0,1$ (se piano non persistente).

Il materiale in movimento non si muove facilmente e diventa colato.

Spesso flusso e riavvicinamento si combinano. Dall'osservazione in situ è difficile capire cos'è successo: Hutchinson (2003) definisce colata i fenomeni che hanno l'aspetto di un flusso, ma non è detto che l'intero meccanismo sia un flusso. Le colate possono essere lente o rapide e viscose o asciutte.

Il debris flow possono avvenire sia lungo un versante ma possono anche essere incanalati (fiumi perenni o no) → ≠ trasporto solido per la ↑ quantità di sedimenti: $1 - m = 0,4 \pm 0,55$
↳ porosità

Il movimento è dettato dalla gravità, non dall'acqua.

Anche le colate asciutte si comportano come fluidi viscosi.

10/10/2013

Espansioni (attive)

Avviene su pendii poco inclinati. Movimento molto lento che produce fenomeni di rottura per taglio o trazione. Di solito c'è un substrato con caratteristiche meccaniche con roccia massiccia (buone caratteristiche meccaniche). Il substrato, per qualche motivo (pressioni interstiziali, rima, degradazione proprietà meccaniche), si muove → fratture nello strato superiore che si propagano e isolano blocchi.



La roccia è molto grande (sia spazialmente che lateralmente)

Questo processo può portare a formazione di valli: il fenomeno è sempre in evoluzione.

Spesso ci sono fenomeni associati (crollo, ribaltamento, colata lenta)

L'espansione laterale non si può bloccare.

es. Orvieto, Agrigento

MECCANICA delle ROCCE

Discontinuità = piani di debolezza dovuti a processi geologici

Ammasso roccioso = roccia intatta + discontinuità.

Le discontinuità possono essere:

- singolari (es. faglia)
- in serie (insieme di discontinuità con le stesse caratteristiche)

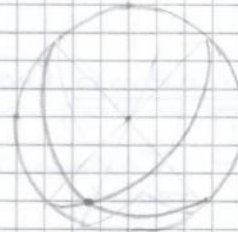
Le discontinuità si caratterizzano con un rilievo geostutturale: si vede del.

l'orientazione: $\Psi = \text{dip (inclinazione)}$ = tra la linea di max pendenza e il piano orizzontale

- la normale al piano di dir. interessa la sfera in un punto = polo
- proiezione del mezzo grande cerchio e del polo sul piano orizzontale
- proiezione verticale della sfera \Rightarrow reticolo stereografico equatoriale (stabilizzato)
- " " " " \Rightarrow reticolo planare
- sovrapposizione reticolo - foglio lucido :

- segno centro cerchio e mond.
- dir. $50^\circ / 130^\circ$
dip. dip. dir.
- segno la dip. direction a partire da N in senso orario
- ruota foglio in direzione E-O finché il segno della dd non si posiziona sui 90° e conta 50° verso l'interno e ricopre il meridiano (che rappresenta la dir.)

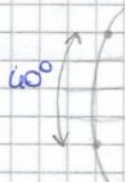
- rimetto il foglio - da' ora prima
- per riportare il polo dalla posizione 50° conto 50° dal centro dell'esterno
- dir. $30^\circ / 250^\circ$



- come prima
- i cerchi si intersecano in un punto, che rappresenta la retta d'intersezione tra i due piani
- si unisce il centro della circonferenza con il pto : la retta è caratterizzata da trend e plunge ; allungando fino alla circonferenza si ha il trend, ruotando E-O si vede il plunge

- come si trova l'angolo tra due piani :

- si riportano i poli dei piani
- ruota il foglio finché i due poli non si posizionano su uno stesso meridiano ; l'angolo sarà quello sul meridiano letto tramite i paralleli.



Il fronte del pendio è un piano, che si può riportare sulla proiezione stereografica. Lo scioglimento rotazionale non si può rappresentare perché ogni pto ha inclinazione diversa.

Lo scioglimento planare si rappresenta riportando i poli di ogni discontinuità rilevata \Rightarrow si ha una distribuzione di poli \Rightarrow curve di eguale densità di poli \Rightarrow si cerca il valore centrale della distribuzione (polo) e si riporta il piano relativo

Se $\sigma_3' = 0$:

$$C_0 = \frac{2c' \cos \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$$

resistenza a compressione monoassiale

Dalla prova di laboratorio ci si accorge che τ e σ non sono correlate linearmente

Criterio di Hoek e Brown (ammasso roccioso) e roccia intatta

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sqrt{(m C_0 \sigma_3' + s C_0^2)}$$

per la roccia

$s \Leftrightarrow$ grado di fratturazione $\Rightarrow s=1$ roccia intatta

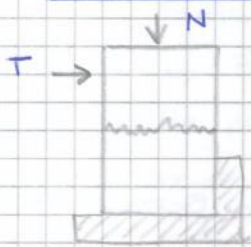
$m \Leftrightarrow$ tipo di roccia (forma della curva)

m si ricava da prove di laboratorio o con tabelle

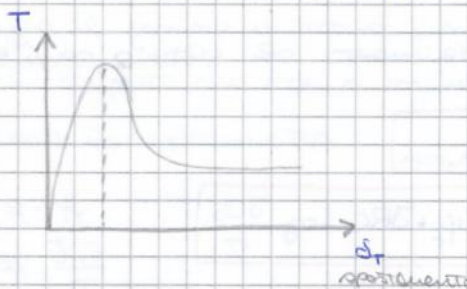
Per l'ammasso roccioso si usa lo stesso criterio ma $s \neq 1$; inoltre potrebbe

venire a (roccia) : $\sigma_1' = \sigma_3' + (m C_0 \sigma_3' + s C_0^2)^{1/2}$

Resistenza al taglio delle discontinuità



si valuta attraverso una prova di taglio diretto :
applica N , poi $N = \text{cost}$, applica T .



La resistenza arriva a un picco poi si osserva su un residuo

Potremmo analizzare vari provini con diverse discontinuità :

• orizz. e piano

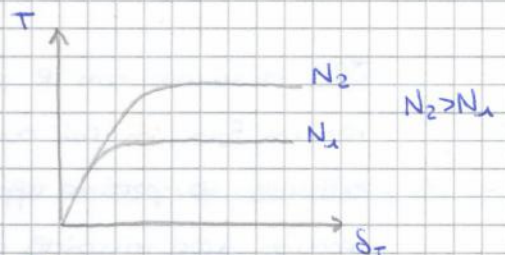
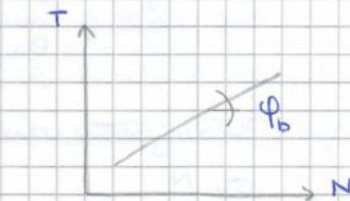


φ_0 : angolo di attrito di base (disc. artificiale)

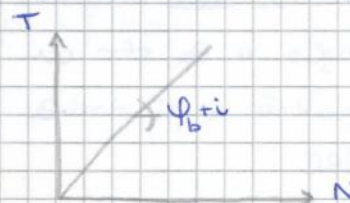
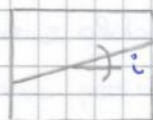
$$\frac{T}{A} = \tau \quad \frac{N}{A} = \sigma$$

$$\tau = \sigma \tan \varphi_0$$

retta



• inclinata e orizz.

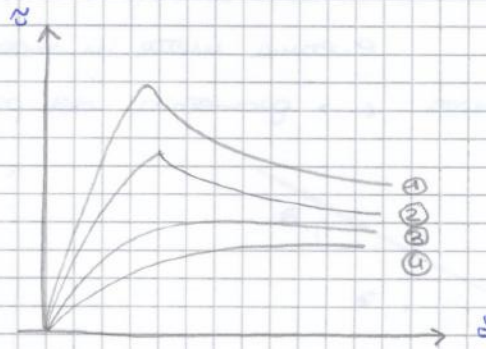


Per il JCS si usa il martello di Schmidt e si misura il rimbalzo

→ grafico che dipende dall'orientazione della dir. nello spazio e dal α della roccia. È presente un'indicazione sulla dispersione media nella resistenza.

Nella grande scala, invece di rugosità, si parla di ondulosità: si sottopone una dir. naturale a prove di taglio diretto su prismi di varia lunghezza:

- 1) prismi piccoli
- 2) " un po' più grandi
- 3) " ancora " "
- 4) " " " "



1) la ondulosità più piccola regola la resistenza al taglio

Sulla grande scala la ondulosità non incide sulla resistenza al taglio

→ 3) e 4) no picco → come dir. liscia e piana

Per det. quindi JRC alla grande scala, si può usare il tiet test: una tavola su cui si appoggia il prisma di roccia con dir. (<1m), si inclina la tavola finché la parte sup. non si muove rispetto alla inf ⇒ α = angolo per cui avviene lo spostamento:

$$JRC = \frac{\alpha - \varphi_r}{\log \frac{JCS}{\sigma}}$$

JCS però è difficile da det. e dipende dal fattore di scala

Un altro modo per det. JRC è effettuare un pull out test: si incide un blocco di roccia e lo si tira con T_2 , il blocco è sottoposto alla forza peso W (componente // + \perp alla dir.) e T_1 si aggiunge T_2 :

$$JRC = \frac{\arctg \left(\frac{T_1 + T_2}{N} \right) - \varphi_r}{\log \frac{JCS}{\frac{A_N}{N} \sigma}}$$

Barton fornisce anche due relazioni per la connessione dell'effetto di scala:

$$JRC = JRC_0 \left[\frac{L_m}{L_0} \right]^{-0,02 JRC_0}$$

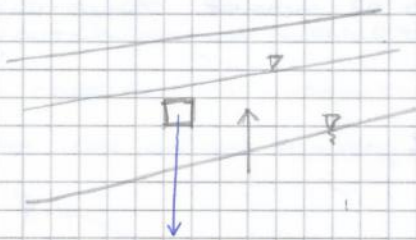
NON A MEMORIA

- L_m = lunghezza grande scala
- L_0 = lunghezza pettine Barton
- JRC₀ = valore con pettine

un'instabilità che più interessa il collasso. Di solito si verifica per breve durata ma elevata intensità.

Attraverso le fessure poco permeabili l'acqua può passare e raggiungere la falda (precipitazioni di lunga durata) \Rightarrow innalzamento falda \Rightarrow \downarrow resistenza al taglio del terreno \Rightarrow si può formare una frana profonda (a 5-10 m).

La variazione della tavola d'acqua nel pendio produce una variazione delle pressioni interstiziali

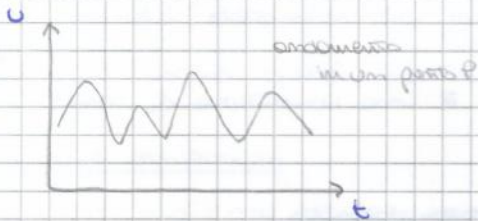


da $u=0$ a $u \neq 0 \rightarrow$ subisce un processo di scarico (\downarrow tensioni efficaci: $\sigma' = \sigma - u$) \Rightarrow \uparrow indice dei vuoti; se la precipitazione si esaurisce, \downarrow falda \Rightarrow processo di carico \Rightarrow \downarrow indice dei vuoti

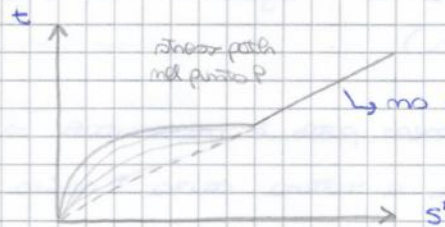
Il materiale è continuamente sottoposto a cicli di scarico e carico, che influenzano sulla resistenza del materiale: non sempre si riesce a capire

la causa dell'instabilità

Variazioni di u in un punto P



cicli di carico e scarico



sviluppo di resistenza
 \hookrightarrow no processo di carico-scarico

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$$s' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$$

$$t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Lo stesso discorso può essere fatto per il grado di stabilità: il fattore di sicurezza varia stagionalmente (\downarrow caratteristiche meccaniche \downarrow fattore di sicurezza anche per $u = \text{min}$ \rightarrow degradazione)

componente della forza peso w_{\perp}

$$w_{\perp} = w \cos \varphi_p$$

$$w_{\parallel} = w \sin \varphi_p$$

$$\sigma = \frac{w_{\perp}}{A} \Rightarrow \text{se } \downarrow w_{\perp} \downarrow \sigma$$

$$\tau = \sigma \tan \varphi$$

$$\tilde{\tau} = \sigma \tan \left(\varphi_p + JCR \log \frac{JCS}{\sigma} \right)$$

w_{\perp} diminuisce ancora a causa di V .

V fa \downarrow anche w_{\parallel} .

\Rightarrow anche V contribuisce all'instabilità del pendio

Le tensioni non da contributo in termini di resistenza: è sul piano di scivolamento che avviene l'instabilità

Ci sono correlazione tra le precipitazioni meteoriche e la velocità di spostamento, sia d'inizio che di ripresa del fenomeno frangente. In corrispondenza dei picchi di pioggia c'è un \uparrow delle v di spostamento.

Per queste correlazioni ci sono 3 approcci:

1. analisi empirica della precipitazione che innescò la frana (caratteristiche)
2. mappatura empirica di siti in frana (tecniche statistiche) \rightarrow parametri costitutivi della zona
3. modelli deterministici meccanico-idrologici

Spesso si usano questi modelli a grande scala

Analisi empirica

Prima si individua il fenomeno frangente e si cerca di correlarlo con un parametro della precipitazione: spesso si usano durata e intensità, ma spesso non bastano \Rightarrow molti modelli considerano la pioggia antecedente. Si def. una ragia di pioggia antecedente il fenomeno meteorico che ha scatenato la frana (livello regionale) \rightarrow sono ragie locali. Per generalizzare l'approccio si usa la precipitazione media annua.

Ci sono varie correlazioni (frane superficiali):

• $I = 14,82 D^{-0,99}$ Lana e New Coime

I : [mm/h] D : [h]

vale solo se $10 \text{ min} < D < 10 \text{ g}$ perché non tiene conto delle precipitazioni precedenti

• ascissa: I

ordinata: curvato normalizzato per la P_{M4}

Nel momento in cui si effettua uno scavo bisogna vedere se il tempo di consolidazione del pendio $t_c >$ tempo per effettuare lo scavo. Per sabbie e ghiaie il problema non c'è. I problemi esistono in condizione non drenata (ghiaia fine).

Sabbie e ghiaie: si passa da a) a c) a d) \Rightarrow reticolo di flusso \rightarrow voluto
 da p interstiziale sulla possibile sp. di rottura \rightarrow parametri drenati

Terreni a ghiaia fine: a) \rightarrow b) \rightarrow c) \rightarrow d) : in condizioni non drenate
 $\Delta u \neq 0 \Rightarrow$ in b) nel breve termine avrà un sistema chiuso che non dissipa
 la sovrappressione interstiziale \Rightarrow calcolo Δu ; poi si analizza il caso c)
 con i reticoli di flusso; d) equilibrio pressioni interstiziali.

Per i terreni a ghiaia fine si può fare l'analisi di stabilità analizzando:

- tensioni totali \Rightarrow non calcolo Δu : $\varphi_v = 0, c_u$
- tensioni efficaci : c', φ' ma calcolo Δu

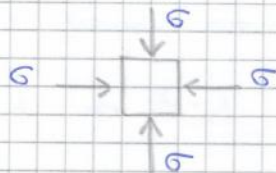
b) : condizioni non drenate $\Rightarrow \Delta u$, scarico $\Rightarrow \Delta u < 0$

$$u + \frac{\Delta u}{\gamma_w} = u_{\text{scavo}} < 0$$

$$\Delta u < 0 \text{ ma } u_{\text{scavo}} > (u \text{ nella } d)$$

Parametri di Skempton:

- B : si riferisce a compressione idrostatica



scavo in cond non drenate

a un $\uparrow \Delta \sigma$ corrisponde $\Delta u = B \Delta \sigma$

B è funzione di K', K_s, K_w, m

K' : modulo def. volumica terreno

K_s : " " " solido (ghiaia)

K_w : " " " acqua

m : porosità

$$\frac{1}{K_s}, \frac{1}{K_w} \ll \frac{1}{K'}$$

trascurabili



nei terreni $B = 1$ (nelle rocce no) $\Rightarrow \Delta u = \Delta \sigma$

$$\Rightarrow u_B = \gamma_w z_A = \gamma_w (h_w + h - h')$$

Effettuiamo il rapido sversamento:

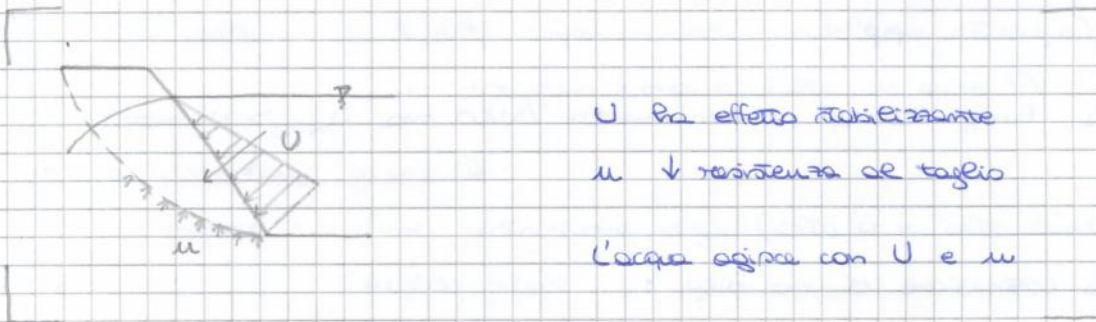
$$\sigma_{B \text{ sversato}} = \gamma h$$

$$\Delta \sigma_{1B} = \sigma_{B \text{ sversato}} - \sigma_{1B}^{\text{iniziale}} = \gamma h - \gamma_w h_w - \gamma h = -\gamma_w h_w \quad \text{canico}$$

$$\Rightarrow \Delta u = \bar{B} \Delta \sigma_{1B} = -\bar{B} \gamma_w h_w$$

Tenere saturo $\Rightarrow B=1$, $-0,5 \leq A \leq 1$

22/10/2013



U ha effetto stabilizzante

u ↓ resistenza al taglio

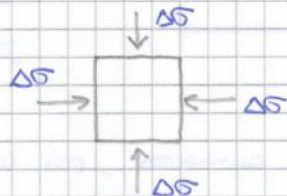
L'acqua agisce con U e u

$$u_{B \text{ sversato}} = u_B + \Delta u = \gamma_w (h + h_w (1 - \bar{B}) - h') \Rightarrow \bar{B} \text{ è } f(\bar{B}) \Rightarrow \text{dipende dal tipo di terreno e dal grado di saturazione}$$

hp. 1: tenere saturo $\Rightarrow B=1$

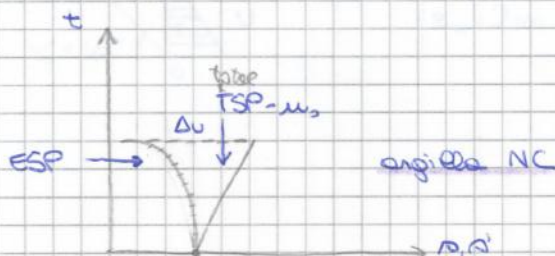
- A=1 \Rightarrow $\bar{B}=1$ caso meno conservativo \Rightarrow 1^a condizione da imporre se $A < 1$, $\downarrow u_{\text{sversato}} \Rightarrow$ rottura

per sapere se il terreno è saturo facciamo prova idrometrica: se $\Delta u = \Delta \sigma$ il terreno è saturo



A fa riferimento alla parte deviatorica della prova triassiale, in particolare tensione circonferenziale della forma dell'effettiva stress-pore (puntualmente): \forall incremento di carico è possibile calcolare A:

$$\uparrow \Delta \sigma_x, \Delta u = A \Delta \sigma_x \Rightarrow \text{nota } \Delta u \text{ ricavo } A$$



Poi si crea l'immersione:

- a monte : - tensioni di taglio : \downarrow a causa della pressione stabilizzante dell'acqua agente sul paramento
- u : \uparrow
- a valle : - tensioni di taglio : COST
- u : \uparrow ma più lentamente

Poi immersi COST \Rightarrow tutto COST

Poi non :

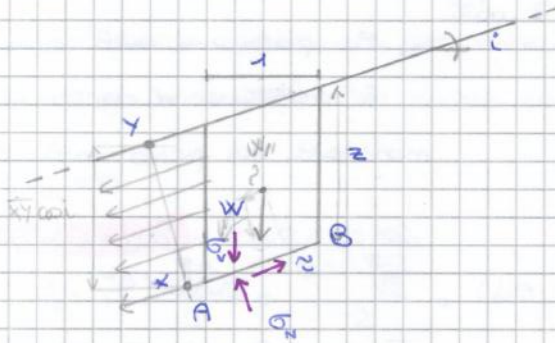
- a monte : - tensione di taglio : torna in B
- u : dissipa (ma ci vuole un certo t)
- a valle : - t.d.t. : non succede niente (non c'è acqua)
- u : dissipa (ma ci vuole un certo t)

\Rightarrow la situazione grande è :

- monte : - fine costruzione diga (alta u e alta t.d.t.)
- rapido non
- valle : - fine costruzione diga
- fase di esercizio

ESERCIZI

1)



Calcolare :

$$\sigma_{v0} \approx AB$$

$$\sigma_{v'} \approx AB$$

\approx

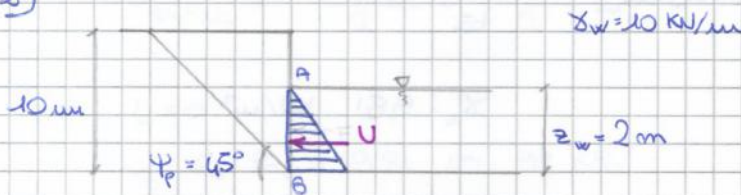
quando :

a) pendio asciutto $\Rightarrow \sigma = \sigma'$

b) pendio saturo con

filtrazione // pendio $\Rightarrow \sigma \neq \sigma'$
 $\sigma_v' = \sigma_v - u$
 $\sigma_h' = u$

2)



$$\Delta w = 10 \text{ KN/m}$$

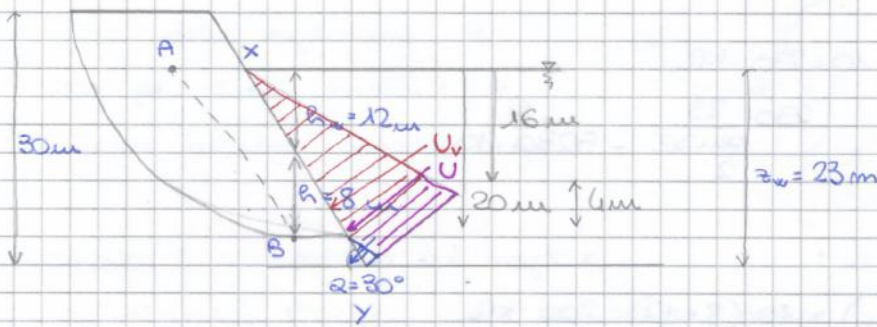
$$10 \text{ m}$$

$$\psi_p = 45^\circ$$

$$z_w = 2 \text{ m}$$

Calcolare la spinta dell'acqua sul fronte

6)



$$\begin{aligned} \gamma_w &= 10 \text{ KN/m}^3 \\ \gamma &= 20 \text{ KN/m}^3 \\ r &= 20 \text{ m} \\ e' &\approx 0 \\ A &= 1 \quad B = 1 \end{aligned}$$

Calcolo nella condizione iniziale e dopo lo scavo:

- spinta dell'acqua sul paramento del pendio
- spinta dell'acqua da insieme nella verifica
- pressione interstiziale in B

2)

$$\begin{aligned} U_A &= 0 \\ U_B &= \gamma_w \cdot z_B = 10 \cdot 2 = 20 \text{ KPa} \\ U &= \frac{U_B \cdot z_B}{2} = \frac{20 \cdot 2}{2} = 20 \text{ KN} \end{aligned}$$

3)

$$\begin{aligned} U_A &= 0 \\ U_B &= \gamma_w \cdot z_B = 10 \cdot 2,5 = 25 \text{ KPa} \\ U_c &= \frac{U_B \cdot \frac{z_B}{\cos 45^\circ}}{2} = \frac{25 \cdot \frac{2,5}{\cos 45^\circ}}{2} = 44 \text{ KN} \end{aligned}$$

- la spinta dell'acqua da insieme nella verifica è quella che agisce sul scavo instabile. In questo caso è 0.

4)

$$\begin{aligned} U_A &= 0 \\ U_B &= \gamma_w \cdot z_w = 10 \cdot 8 = 80 \text{ KPa} \\ U_c &= \frac{U_B \cdot \frac{z_B}{\cos 45^\circ}}{2} = \frac{80 \cdot \frac{8,2}{\cos 45^\circ}}{2} = 440 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_A &= 0 \\ U_c &= \gamma_w \cdot h_w = 10 \cdot 6 = 60 \text{ KPa} \\ U_{\text{verifica}} &= \frac{U_c \cdot \frac{h_w}{\cos 45^\circ}}{2} = \frac{60 \cdot \frac{6,7}{\cos 45^\circ}}{2} = 254 \text{ KN} \end{aligned}$$

5)

$$\begin{aligned} U_A &= 0 \\ U_B &= \gamma_w \cdot h_w = 9,81 \cdot 10 = 98 \text{ KPa} \\ U &= \frac{U_B \cdot \frac{h_w}{\sin 70^\circ}}{2} = \frac{98 \cdot \frac{10}{\sin 70^\circ}}{2} = 521,4 \text{ KN} \end{aligned}$$

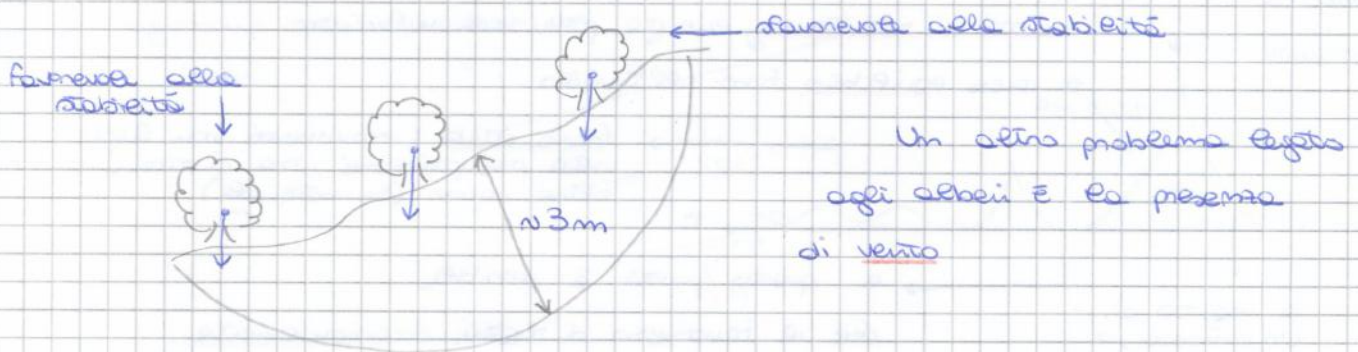
Contributo della vegetazione

La presenza della vegetazione è importante per diversi motivi: le radici creano coesione, assorbono acqua, ecc.



Il contributo è sia positivo che negativo.

Per quanto riguarda l'acqua, viene intercettata dalle fronde perciò nel terreno ne arriva meno (contributo positivo) ritardando il processo di infiltrazione. Le radici danno un contributo positivo per il fatto che assorbono acqua, a volte però ne assorbono tanta e rendono il terreno fessurato. In presenza di fessure, quando si verifica una precipitazione meteorica, l'acqua viene direttamente convogliata nelle fessure e si infiltra in breve tempo nel sottosuolo (effetto negativo). Inoltre la vegetazione ha un apparato radicale che può contribuire alla stabilità ma non oltre 1-1,5m. Bisogna poi considerare anche il peso degli alberi perché in alcune posizioni possono essere sfavorevoli alla stabilità.



Azione dei terremoti

2) I terremoti trasferiscono al sistema dei corichi che possono essere orizzontali e verticali. L'accelerazione provocata dal sisma può arrivare a $\frac{1}{2}g$. Nell'istante in cui c'è il sisma abbiamo ulteriori forze agenti che possono avere un temporaneo effetto di aumento di pendenza del versante \rightarrow instabilità di tipo inerziale. L'altro fenomeno che può verificarsi è quello legato al materiale: il terremoto può essere considerato un fenomeno di tipo ciclico. In sabbie limose questo carico ciclico è in grado di generare Δu che si accumulano fino a portare a fenomeni di liquefazione (quindi $\sigma = 0$). Nei terreni a grana fine invece il sisma può portare a una degradazione dell'angolo stesso (degradazione della resistenza al taglio).

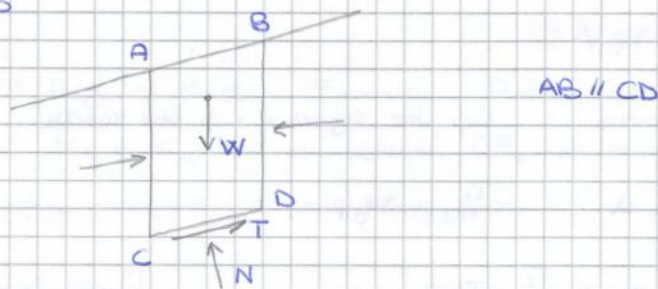
LEM

Sono basati sull'eq delle forze in campo statico. Analizziamo il fenomeno di instabilità nell'istante della rottura \Rightarrow non tiene in considerazione i processi deformativi che hanno portato il pendio all'instabilità. I parametri deformativi verranno inseriti nella verifica di stabilità.

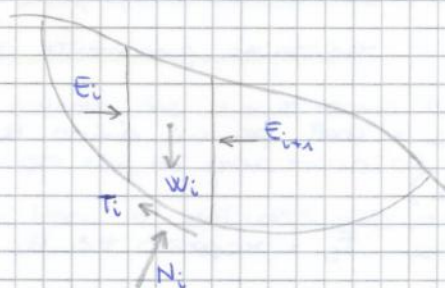
Analisi di stabilità di un fenomeno già avvenuto \Rightarrow in laboratorio det. $\varphi'_p, c'_p, \varphi'_r, c'_r \Rightarrow$ nell'eq forze mette parametri di picco \Rightarrow dev ottenere la condizione di rottura ($FS=1$), ma nei fenomeni di 1° rottura spesso $FS=1$ non si ottiene né con i parametri di picco né con quelli residui \Rightarrow non si riesce a descrivere il problema \Rightarrow la rap. di rottura si forma mentre sta avvenendo il fenomeno e non si crea istantaneamente \Rightarrow i punti passano da condizioni di picco a condizioni residue \Rightarrow lungo la rap, nell'istante della rottura, si manifesta sia φ_p sia $\varphi_r \Rightarrow$ si devono usare parametri operativi, che sono intermedi tra φ_p e φ_r .

Per lo scivolamento esistono diversi tipi di LEM a seconda della condizione:

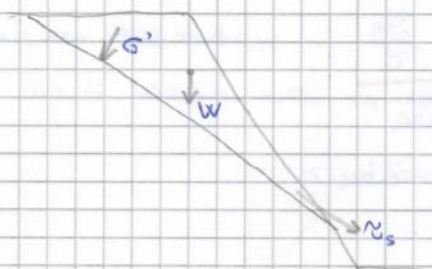
- pendio infinitamente esteso \rightarrow considero un elemento e le forze che agiscono sull'elemento



- metodi dei cerchi \rightarrow massa suddivisa in tanti elementi e il carico si scrivono le forze agenti



- scivolamento planare in rocce



Il fattore di sicurezza sarà:

$$F_s = \frac{cA + W \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi}{W \sin \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{cA}{W \sin \alpha}$$

se materiale attritivo e coesivo

$$F_s = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}$$

se materiale puramente attritivo

Metodi tensioni-deformazioni

Modelli numerici basati su differenze finite o elementi finiti.

È necessario definire resistenza e deformabilità del materiale, e poi il legame costitutivo: si deve decidere come si comporta il materiale!

Il legame costitutivo più semplice è quello isotropo, elastico e lineare (\Rightarrow legge di Hooke) \rightarrow è il primo da fare.

Si può simulare la rottura, ma non si ottiene un F_s .

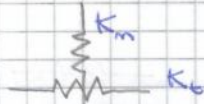
DEM

Il materiale naturale è discontinuo. Questa tecnica va usata se sono sicuro che la rottura avvenga all'interfaccia tra i blocchi. Il sistema viene suddiviso in blocchi. All'interfaccia si impongono rigidità // e \perp ai blocchi stessi.

31/10/2013

Un questo caso si parte dalla 2^a legge di Newton $F = m \cdot a$. Avendo delle discontinuità si useranno i parametri K_t e K_n e si calcola ΔF_t all'interfaccia.

All'interfaccia si ha una rigidità normale e una tangenziale:



$$\Delta F_t = K_t \Delta u_t$$

$$\Delta F_n = K_n \Delta u_n$$

Certe volte bisogna tener conto della componente deformativa \Rightarrow si deve usare FD e discretizzare i blocchi.

All'interno del DEM esistono metodi di calcolo che discretizzano il mezzo attraverso particelle: l'angolo di attrito determinato con la prova triassiale non è quello (è maggiore) tra grani e grani ma dipende da molti fattori \rightarrow difficoltà nell'attribuire i parametri di resistenza.

Coesto

Per i fenomeni di coesto non ci si può basare sui LM e sulla meccanica del continuo \Rightarrow si usano modelli che si basano sulle eq. dei fluidi



$$\frac{\tau}{A} = \eta = \mu \frac{du}{dz}$$

fluido newtoniano

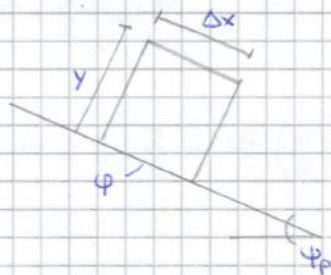
Per prima cosa viene fatta la caratterizzazione geologica e geomeccanica del sito.

Viene effettuato il rilievo geotecnico \Rightarrow caratterizzazione dell'ammasso roccioso

In questo modo si ha un'idea del volume dei blocchi.

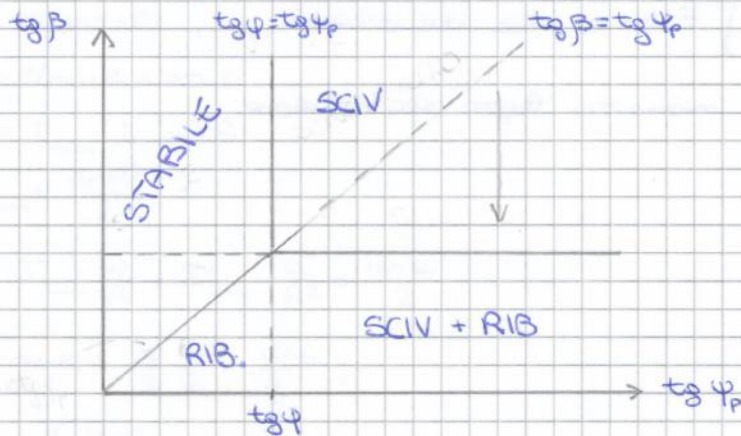
Il blocco si distacca dal pendio se isolato \Rightarrow in caso di presenza di acqua nelle disc. o a causa di cicli gelo-dingelo. È essenziale capire se il blocco scivola o ribalta e capire la velocità.

Carta di stabilità



$\frac{\Delta x}{y} = \text{tg } \beta$ altezza

Per capire se il blocco scivola e/o ribalta si usa la carta di stabilità



- $\text{tg } \phi > \text{tg } \phi_p$ non scivola
- $\text{tg } \beta > \text{tg } \phi_p$ non ribalta

condizione limite per ribaltamento: $\frac{\Delta x}{y} = \text{tg } \beta = \text{tg } \phi_p$

affinché non avvenga scivolamento deve anche essere $\text{tg } \phi > \text{tg } \phi_p$

\Rightarrow $\text{tg } \phi > \text{tg } \beta$ incipienza di ribaltamento, no scivolamento

condizione limite per scivolamento: $\text{tg } \phi = \text{tg } \phi_p$

affinché non avvenga ribaltamento deve anche essere $\text{tg } \beta > \text{tg } \phi_p = \text{tg } \phi$

la zona di sciv+rib si riduce perché:

- affinché avvenga rib. dev'essere unito molto alto sullo spigolo
- il centro di massa del blocco fa un'accelerazione lineare che influenza il processo

Lo stesso problema può essere risolto eguagliando le energie $E_{pot} = E_{cin}$

2) Cilindro che rotola $I_{cm} = \frac{mR^2}{2}$

3) Parallelepipedo che rotola

1) $E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I_{cm}\omega^2$

$E_{pot} = mgh$

$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} mR^2 \left(\frac{v}{R}\right)^2$

$gh = \frac{v^2 \cdot 7}{10}$

$v = \sqrt{\frac{10}{7}gh}$

3) $N - W \cos \alpha = 0$

$T + W \sin \alpha = m \cdot a$

$\tilde{M} = I_{cm} \cdot \dot{\omega} = TR$

$I_{cm} = \frac{mR^2}{2}$

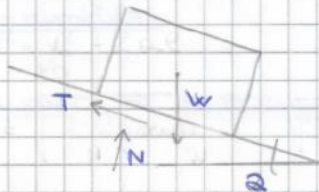
$T = I_{cm} \frac{\dot{\omega}}{R} = I_{cm} \cdot \frac{a}{R^2} = \frac{m \cdot a}{2}$

$W \sin \alpha - \frac{W \cdot a}{g \cdot 2} = \frac{W \cdot a}{g}$

$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot l$

$v = \sqrt{\frac{4}{3} g l \sin \alpha}$

3)



$N - W \cos \alpha = 0$

$-T + W \sin \alpha = m \cdot a$

$T_f = N \tan \varphi$

$\Rightarrow W \sin \alpha - W \cos \alpha \tan \varphi = m \cdot a$

$a = g \sin \alpha - g \cos \alpha \tan \varphi$

$a = \frac{dv}{dt}$

$\int_0^t \frac{dv}{dt} = \int_0^t g (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi) dt$

$v = gt (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi)$

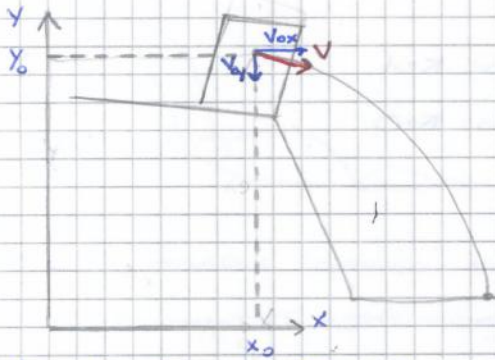
$v = \frac{de}{dt}$

$\int_0^e de = \int_0^t g (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi) dt$

$e = g \frac{t^2}{2} (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi)$

$t = \sqrt{\frac{2e}{g (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi)}}$

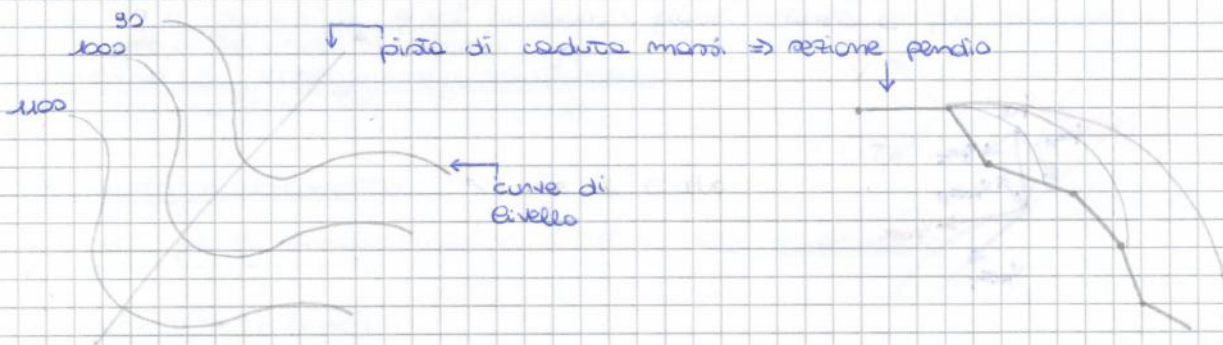
\rightarrow da sostituire in v : $v = \sqrt{g (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi) 2e}$



$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= 0 \\ \ddot{y} &= -g \end{aligned} \right\} \\ \left. \begin{aligned} \dot{x} &= v_{0x} \\ \dot{y} &= -gt + v_{0y} \end{aligned} \right\} \\ \left. \begin{aligned} x &= v_{0x}t + x_0 \\ y &= -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t + y_0 \end{aligned} \right\}$$

la velocità del blocco lungo x è costante.

Nel momento in cui il blocco tocca il pendio avviene l'impatto. Si deve determinare il punto di impatto. Si traccia il profilo del pendio tramite segmenti di retta.



Si deve quindi scrivere l'eq. dei segmenti di retta:

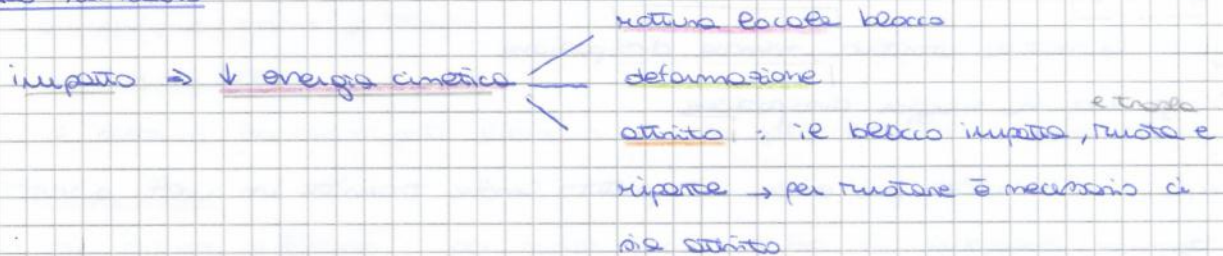
$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

Si mette a sistema l'eq della traiettoria con quella di ogni segmento di retta: quando da soluzione si ha il punto di impatto.

Dopo bisogna vedere se il blocco si arresta, rimbomba o ruota / rotola.

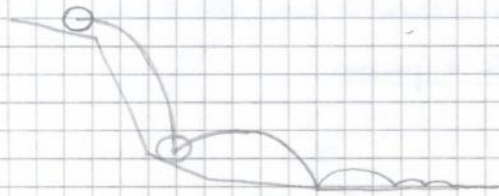
Specificiamo che rimbomba:

Impatto - rimbombo



\Rightarrow modellazione complessa \Rightarrow coeff. fenomenologici di restituzione che tengono conto dei processi che avvengono tra impatto e rimbombo. Tali coeff. vanno determinati da prove in situ.

Si considera il principio di conservazione della quantità di moto (massa = cost):



Dopo una serie di impatti e rimbalzi
 il blocco avrà una fase di rotolamento
 e/o scivolamento.

Bisogna stabilire quando avviene il passaggio tra le due fasi. Bisogna capire se il fenomeno di rotolamento/scivolamento è costituito da una serie di impatti/rimbalzi: se i coeff. di restituzione sono $\neq 0$ avviene questo. Dal punto di vista del calcolo si def. una velocità in uscita tale per cui il fenomeno si considera (anche se non lo è) di rotolamento/scivolamento. Pitcan e Cleyton (1988) hanno stabilito che se l'angolo tra la velocità in uscita e il pendio è $\leq 10^\circ$ allora per il calcolo si può considerare un movimento di rotolamento-scivolamento.

7/11/2013

Rotolamento-scivolamento

Un'ipotesi per la modellazione ci si affida allo scivolamento:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x-x_0)$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g(e-e_0)(\cos\alpha - \mu \cos\alpha)}$$

→ si introduce μ , il coeff. di attrito equivalente
 È necessario per tener conto del vero moto:

$$\mu = \text{tg } \phi = \text{tg } \phi_0 + K \left(\frac{d}{D} \right)$$

ϕ_0 : vero coeff. di attrito dinamico $0,37 \div 0,67$

K : coeff. sperimentale $0,17 \div 0,26$

d : dimensione grana di terreno

D : dimensione blocco

$\frac{d}{D}$ ↔ il sistema ha una risposta diversa a seconda della mutua dimensione blocco-grano

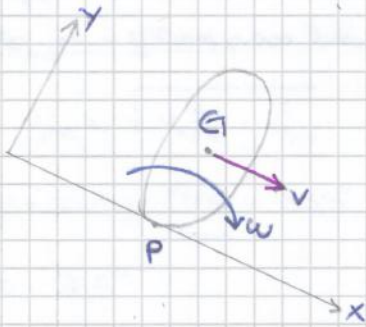
Metodo di Hungry e Evans: per capire quando si ha un cambio di moto → introducono l'energia del blocco

$$E = z + \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta E = \frac{v^2}{2g} \left(\frac{K_T^2 + K_N^2 \text{tg}^2 \beta}{1 + \text{tg}^2 \beta} - 1 \right)$$

perdita di energia cinetica durante l'impatto

Il blocco è 3D ma l'analisi è in 2D \Rightarrow rotazioni solo nel piano xy



- P: pto d'impatto
- G: baricentro
- w: componente rotazionale
- v: componente lineare

La fase d'impatto è modellata con due coeff. fenomenologici: (pre in situ)

- ϵ coeff. di restituzione delle velocità pre e post impatto (si riferisce solo normale al pendio)
- μ coeff. di viscosità (tangenziale al pendio) \leftrightarrow variazione delle velocità tangenziali

$h_p: \mu \rightarrow \infty$ all'impatto : no scivolo \Rightarrow P = pto di istantanea rotazione

w, v_x, v_y componenti di velocità post-impatto

$$\begin{aligned} v_x &= w dy \\ v_y &= w dx \\ dy &= y_G - y_P \\ dx &= x_G - x_P \end{aligned}$$

principio di conservazione del momento della quantità di moto:

$$\underbrace{\mathcal{J}w_0 + v_{0x} dy + v_{0y} dx}_{pre} = \underbrace{\mathcal{J}w + v_x dy + v_y dx}_{post}$$

dove \mathcal{J} : momento di inerzia per unità di massa

$$\Rightarrow w = \frac{\mathcal{J}w_0 + v_{0x} dy + v_{0y} dx}{\mathcal{J} + d^2x + d^2y}$$

si introduce l' E_{cin} per unità di massa:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \mathcal{J}w^2 + \frac{1}{2} v_x^2 + \frac{1}{2} v_y^2$$

rapporto delle E_{cin} (post/pre) \leftrightarrow perdita di energia blocco:

$$\eta^* = \frac{E_{cin post}}{E_{cin pre}} = \frac{w^2 (\mathcal{J} + d^2x + d^2y)}{2 E_{cin pre}}$$

\Rightarrow la perdita di energia dipende dalla velocità angolare in uscita w

b) $v_{x_{pre}} = v_{ox} = 1,2 \text{ m/s}$
 $v_{y_{pre}} = -gt + v_{oy} = -3,81 \cdot 0,97 - 1 = -10,6 \text{ m/s}$
 $\Rightarrow v_{pre} = \sqrt{v_{x_{pre}}^2 + v_{y_{pre}}^2} = 10,67 \text{ m/s}$ v_i

$\beta = \arctg \frac{v_{y_{pre}}}{v_{x_{pre}}} = 83,5^\circ$

$\alpha = 26,5^\circ$

$\gamma = \beta - \alpha = 57^\circ$

$v_{N_{pre}} = v_{pre} \sin \gamma = 8,95 \text{ m/s}$

$v_{T_{pre}} = v_{pre} \cos \gamma = 5,81 \text{ m/s}$

$v_{N_{post}} = K_N v_{N_{pre}} = 8,95 \text{ m/s}$

$v_{T_{post}} = K_T v_{T_{pre}} = 5,81 \text{ m/s}$

$\Rightarrow v_o = \sqrt{v_{N_{post}}^2 + v_{T_{post}}^2} = 10,67 \text{ m/s}$

Scepiamo v_o nel sistema di rif. $x-y$ per poi poter lavorare con altre
 variabili:

$\delta = \arctg \frac{v_{N_{post}}}{v_{T_{post}}} = 57^\circ$

$\epsilon = \delta - \alpha = 30,5^\circ$

$v_y = v_o \sin \epsilon = 5,42 \text{ m/s}$

$v_x = v_o \cos \epsilon = 9,19 \text{ m/s}$

$K=1 \Rightarrow$ urto completamente elastico

12/11/2013

Se $\delta \leq 10^\circ$ si tratta di rotolamento-scivolamento. Nel nostro caso ce 4° per
 di impatto siamo a $10,8^\circ$. Facendo fare un'iterazione si ritiene

$\delta \leq 10^\circ \Rightarrow$ rotolamento-scivolamento $\rightarrow x = 41,55 \text{ m}$

Calcoliamo il punto di impatto del blocco

$v = \sqrt{v_o^2 + 2g(x-x_o)(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = 0$

$x_o = 41,55, \quad \alpha = 0^\circ$

$x - x_o = - \frac{v_o^2}{2g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = - \frac{4,9^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,4} = 3,03 \text{ m}$

$x = 41,55 + 3,03 = 44,58 \text{ m}$ distanza

Basso risonanza \Rightarrow μ variabile lungo il pendio \rightarrow si ottiene una buona approssimazione.

Forma del blocco e irregolarità del pendio

Se il blocco ha forma cubica, dopo l'impatto, ci si aspetta un fenomeno di scioglimento se impatta su una delle facce. Dopo lo scioglimento si può notare distacco dal pendio per una variazione locale della pendenza del pendio.

Se il blocco impatta su uno spigolo si ha rimbalzo. Impattando su uno spigolo si verifica rotazione, se il percorso è lungo, il blocco cubico si arrotonda \Rightarrow rotolamento

\rightarrow si devono variare i parametri per ottenere una simulazione realistica.

Il blocco tende a porre nelle condizioni di maggior efficienza del moto (da cubico a arrotondato). Inoltre tende a porre con il piano di maggior inerzia il reazione del moto.

I blocchi rotondi tendono a dividersi lungo il piano di rotazione \Rightarrow 2 blocchi con 2 diversi percorsi.

Al variare della dimensione del blocco rispetto alla dimensione del blocco del substrato si hanno diversi comportamenti:

- blocco \ll substrato \rightarrow rimbalzo
- blocco \sim substrato \rightarrow rimbalzo e rotolamento
- blocco \gg substrato \rightarrow rotolamento

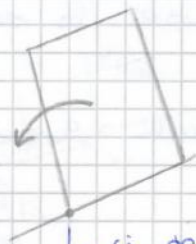
16/11/2013

IL RIBALTAMENTO

Consiste nella rotazione intorno a uno spigolo o asse con successivo distacco del blocco dal pendio.

Si può trattare di un singolo blocco o di diversi blocchi.

Nel caso di un unico blocco si scrive un'eq. di momento

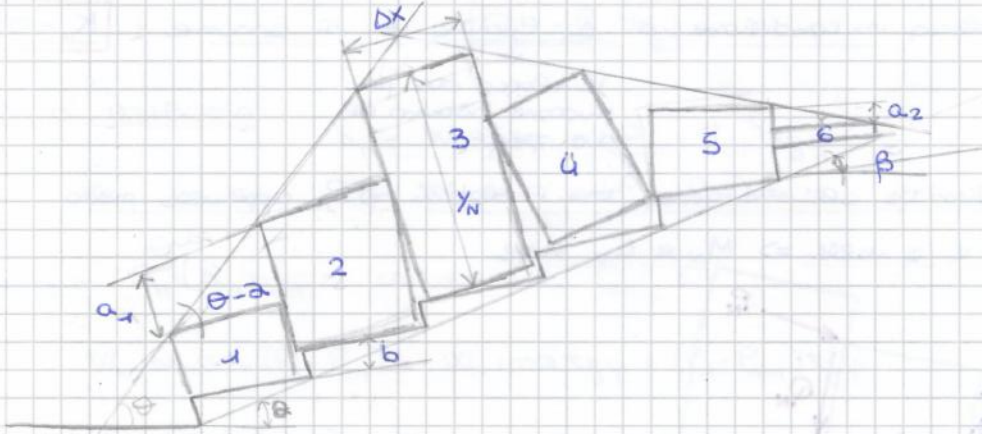


\rightarrow ci deve essere attrito suff. affinché avvenga la rotazione pura

Nel caso di un sistema di blocchi bisogna sempre avere attrito suff. ma tenere anche in considerazione l'interazione tra blocchi \Rightarrow eq. di momento + forze di interazione.

Ribaltonamento di blocchi

Si analizza con le LEM (eq. limite).



3D-2: deep sistema subverticale

θ : angolo del pendio

Δx : lunghezza blocchi

y_n : altezza blocco

b : altezza gradino

a_1 : dirivello blocchi tutti alla base

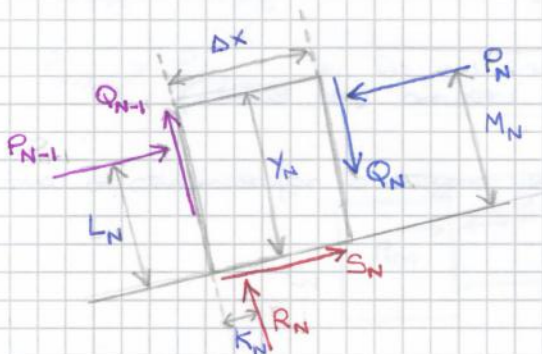
a_2 : dirivello blocchi a monte

Il metodo prevede 3 regioni di comportamento:

- piede \rightarrow riincollamento (1,2) ma si può avere anche ribaltamento
- centro \rightarrow ribaltamento (3,4)
- monte \rightarrow stabilità (5,6)

Si può individuare il blocco di testa: il 3 \rightarrow divide le due pendenze.

Sul singolo blocco agiscono le forze:



P_N, Q_N reazioni dovute ai blocchi a monte

S_N reazioni tang alla base

R_N reazione normale alla base

M_N, L_N, K_N bracci

eq. limite alla base del blocco : $S_N = R_N \operatorname{tg} \varphi$

eq. limite sulle forze esterne: $Q_N = P_N \operatorname{tg} \varphi$

$Q_{N-1} = P_{N-1} \operatorname{tg} \varphi$

eq. di equilibrio:

$R_N = W_N \cos \alpha + (P_N - P_{N-1}) \operatorname{tg} \varphi$

$S_N = W_N \sin \alpha + (P_N - P_{N-1})$

oppure $S_N = R_N \operatorname{tg} \varphi$ e calcolo una $P_{N-1,s}$:

$W_N \sin \alpha + (P_N - P_{N-1}) = W_N \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi + (P_N - P_{N-1}) \operatorname{tg}^2 \varphi$

$(P_{N-1} - P_N) (\operatorname{tg}^2 \varphi - 1) = W_N \sin \alpha - W_N \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi$

$\Rightarrow P_{N-1,s} = P_N - \frac{W_N (\cos \alpha \operatorname{tg} \varphi - \sin \alpha)}{1 - \operatorname{tg}^2 \varphi}$ → forza necessaria a mantenere

il blocco in una condizione di eq. limite di scivolamento

Per un sistema di blocchi:

n_1 1° blocco della regione di ribaltamento

n_2 1° blocco della regione di scivolamento

Si impone un valore di deep tale per cui $\varphi > \alpha$ ⇒ i blocchi non possono scivolare sotto l'azione del loro peso, possono scivolare solo sotto l'azione delle spinte dei blocchi a monte.

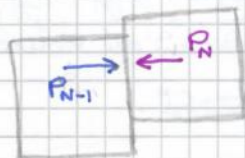
Il blocco n_1 viene individuato secondo la curva di stabilità: $\frac{\Delta x}{y_N} < \operatorname{tg} \alpha$

Partendo da monte cerco il 1° blocco che soddisfa la condizione di ribaltamento

→ n_1 . Per n_1 calcolo $P_{N-1,t}$ e $P_{N-1,s}$.

Se $P_{N-1,t} > P_{N-1,s}$ ⇒ il blocco ribalta ⇒ sul blocco successivo uso $P_{N-1,t}$.

Se $P_{N-1,s} > P_{N-1,t}$ ⇒ ho individuato n_2 ⇒ blocco scivola ⇒ da lì uso $P_{N-1,s}$.



Questo avviene fino al primo blocco al piede, quando calcolo P_0 .



P_j altezza a monte

P_{j-1} altezza a valle

$X R_{j-1}$ braccio di P_{j-1}

$X R_j$ braccio di P_j

dove $X = 0,5 \div 0,6$ (distribuzione tensioni di interfaccia alla rotura \rightarrow si tiene conto di tutte e si calcola la risultante)

Eq. di momento intorno al centro della lastra:

$$\sigma_x = -\frac{N}{A} + \frac{M}{I} y \rightarrow \text{ricavo } M$$

$$P_{j-1} \cdot X R_{j-1} + \tilde{v}_j \frac{b_j}{2} - P_j \cdot X R_j + \tilde{v}_{j-1} \frac{b_j}{2} - W \cos \alpha \cdot \frac{\bar{R}_j}{2} + M = 0$$

dove $\bar{R}_j = \frac{R_{j-1} + R_j}{2}$

eq. limite attrito lastra:

$$\tilde{v}_j = P_j \operatorname{tg} \varphi$$

$$\tilde{v}_{j-1} = P_{j-1} \operatorname{tg} \varphi$$

sostituendo:

$$P_{j-1} = \frac{\max(P_j, 0) (X R_j - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi b_j) + \frac{W_j \cos \alpha \bar{R}_j}{2} - M}{X R_{j-1} + \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi b_j}$$

dove $\sigma_x = \sigma_t$ resistenza a trazione dellaaccia

$$\frac{N}{A} = \frac{W_j \cos \alpha}{b_j} \rightarrow \text{def. pace}$$

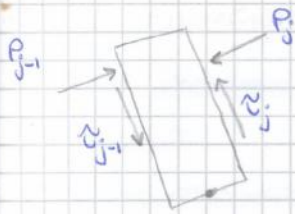
$$y = \frac{b_j}{2}$$

$$I = \frac{1 \cdot b_j^3}{12}$$

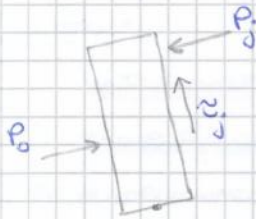
$$\Rightarrow M = \frac{b_j^2}{6} \left(\sigma_t + \frac{N_j}{b_j} \right) = \frac{b_j^2}{6} \left(\sigma_t + \frac{W_j \cos \alpha}{b_j} \right)$$



\rightarrow se questo blocco è stabile $P_j < 0$ quindi, dato che non posso mettere 0 in $\max(P_j, 0)$ metto P_j positivo



nel caso generale considero tutte le forze



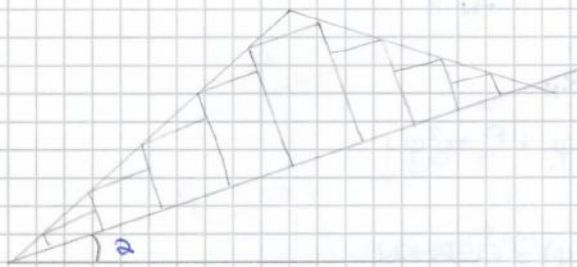
nell'ultima parte a valle c'è solo $P_0 \Rightarrow$ non considero Q_j che è il 2° termine al denominatore

Bisogna sempre scrivere le eq. di equilibrio!

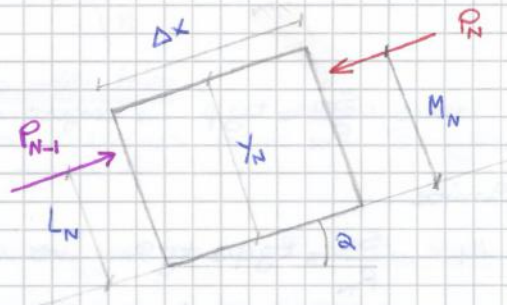
$P_0 \neq 0 \Rightarrow$ è necessaria una forza per tener in eq. il blocco. È la resistenza a trazione che regola la rottura: è misurabile con la prova brasiliana o con prove di flessione ma si trova un valore che è funzione del modello di interpretazione, che lavora in campo elastico. Il risultato è quindi affetto dalle ipotesi semplificative. Per ottenere eq. limite bisogna quindi variare la resistenza a trazione per avere $P_0 = 0$. Dopo si può def. un fattore di sicurezza basato sulla resistenza a trazione.

21/11/2013

ESERCIZIO: Ribaltamento di blocchi



$\Delta x = 10 \text{ m}$
 $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
 $\alpha = 30^\circ$
 $\text{tg } \varphi = 0,7855$



hp $\varphi > \alpha$

Bisogna individuare m_1 confrontando la pendenza $\frac{\Delta x}{h_N} < \text{tg } \alpha$

Si valuta $P_{N-1, \epsilon}$ e $P_{N-1, s}$

SCIVOLAMENTO nei terreni e nelle rocce

È il fenomeno di instabilità più frequente sia nei pendii artificiali che in quelli naturali

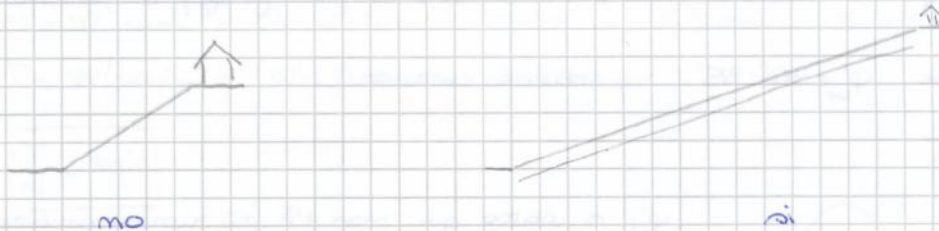
Lo scivolamento è stato suddiviso in due tipi in base all'analisi di stabilità effettuata:

- rotazionale → sp. di scivolamento più profonda
- traslazionale → sp. di scivolamento poco profonda

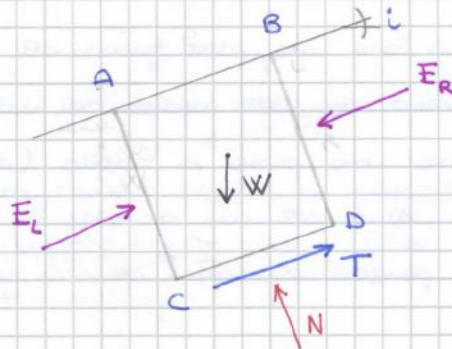
Per lo scivolamento si usa l'eq. limite.

Scivolamento traslazionale pendii in terra

Si considera un pendio indefinito ⇒ piano inclinato infinitamente esteso. Per applicarlo non ci devono essere discontinuità macroscopiche. Bisogna anche tener conto della scala del problema:



La sp. di scivolamento è a modesta profondità. Si considera la sup. di rotina // pendio ⇒ si considera un elemento generico nella sup.:



Viene quindi fatto l'equilibrio delle forze.

Lo stato di tensione agente su qualsiasi piano ^{vett. ad} i è uguale (pendio indefinito)

$$\Rightarrow E_L = E_R$$

Facendo eq. di momento al centro del triangolo, E_L e E_R hanno la stessa retta d'azione ⇒ E_L e E_R si elidono e non si considerano.

- a) Si considera il terreno asciutto e che il materiale manifesta una resistenza allo strisciamento ($c'=0$, φ').

Si scrivano le eq. di equilibrio // e \perp al pendio:

$$T = W \sin i$$

$$N = W \cos i$$

Si deve disegnare la distribuzione di pressione dell'acqua.

U risultante della distrib. di pressione \Rightarrow calcoli U_1, U_2, U_3, U_4 :

$$U_1 = \gamma_w z$$

$$U_2 = \gamma_w (z + b \operatorname{tg} i)$$

$$U_4 = \gamma_w (z + h)$$

$$U_3 = \gamma_w (z + b \operatorname{tg} i + h)$$

Per la risultante si usa il poligono delle forze: risulta che U è verticale e vale

$$U = \gamma_w b h$$

Ors si fa l'eq. delle forze:

$$N' = W' \cos i = (W - U) \cos i = (\gamma' b h - \gamma_w b h) \cos i = \gamma' b h \cos i$$

$$T = W' \sin i = (W - U) \sin i = \gamma' b h \sin i$$

$$\rightarrow \frac{T}{N'} = \operatorname{tg} i$$

Criterio di rottura ($c' = 0, \varphi'$): $T_f = N' \operatorname{tg} \varphi'$

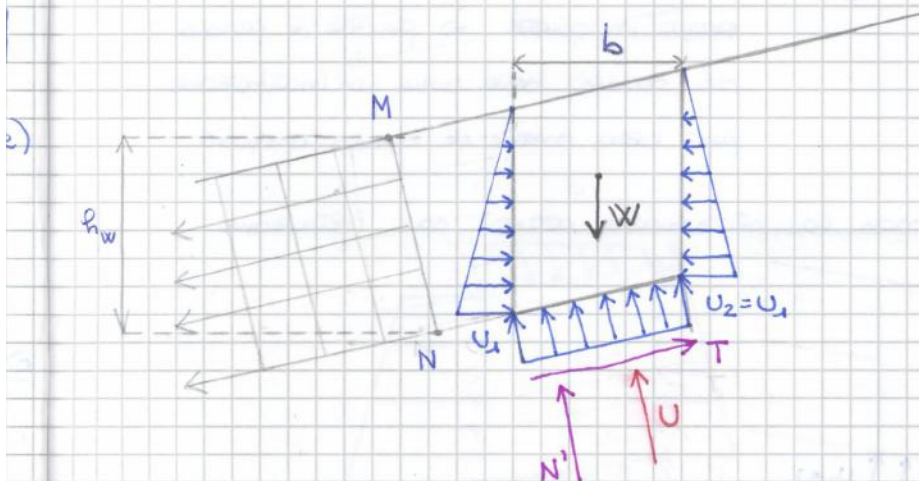
$$\frac{T_f}{N'} = \operatorname{tg} \varphi'$$

Fattore di sicurezza:

$$FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} i}$$

come per materiale asciutto

c) Si considera un pendio soggetto a un moto di filtrazione // pendio. Il pendio è completamente saturo (linea di flusso \equiv pendio).



Le distribuzioni ~~stesse~~
sono uguali \Rightarrow non si
considerano

$$R_w = m \cdot R \cos^2 i$$

↓
coeff.

È un'ammortatore rispetto a quello rettilineo

$$\frac{U_x}{\gamma_w} + z_x = \frac{U_y}{\gamma_w} + z_y \quad \text{teo di Bernoulli}$$

$$U_x = 0$$

$$U_y = \gamma_w (z_x - z_y) = R_w \gamma_w = m R \cos^2 i \gamma_w$$

$$U = \text{area rettangolo} = m R \cos^2 i \gamma_w \cdot \frac{b}{\cos i}$$

È ⊥ piano inclinato

26/11/2013

$$N' = \gamma b R \cos i - U = \gamma b R \cos i - \gamma_w b m R \cos i$$

$$T = \gamma b R \sin i$$

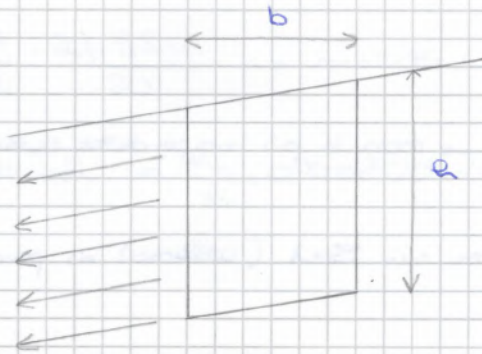
$$\frac{T}{N'} = \frac{\gamma b R \sin i}{\gamma b R \cos i - \gamma_w b m R \cos i} = \frac{\gamma \sin i}{\cos i (\gamma - m \gamma_w)}$$

$$\frac{T}{N'} = \tan \varphi'$$

$$\Rightarrow FS = \frac{\tan \varphi'}{\tan i} \cdot \frac{\gamma - m \gamma_w}{\gamma}$$

ESERCIZI

1)



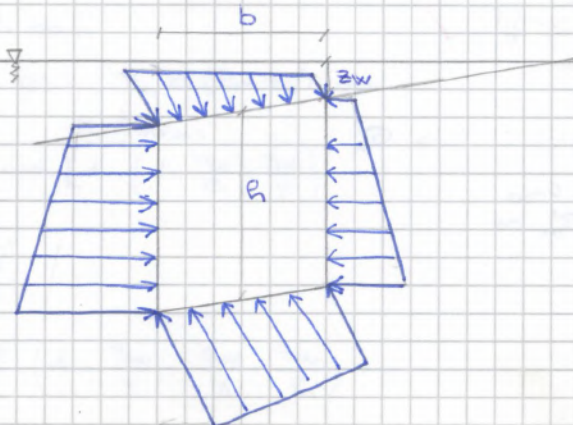
φ', c'

Ricavare FS (tensioni $\sigma - \tau$)

$$FS = \frac{\Sigma \tau}{\Sigma \sigma}$$

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi'$$

2)



Dimostrare che la

risultante U è verticale

28/11/2013

ES 2

Eq. della trazione orizzontale:

$$F_1 = \left[z_w + (z_w + b \operatorname{tg} i) \right] \frac{\rho}{2} \delta_w$$

dove $e = \frac{b}{\cos i}$

$$F_2 = \left[z_w + (z_w + h) \right] \frac{\rho}{2} \delta_w$$

$$F_3 = \left[(z_w + b \operatorname{tg} i) + (z_w + b \operatorname{tg} i + h) \right] \frac{\rho}{2} \delta_w$$

$$F_4 = \left[z_w + h + z_w + h + b \operatorname{tg} i \right] \frac{\rho}{2} \delta_w$$

$$F_2 - F_3 - F_1 \operatorname{sen} i + F_4 \operatorname{sen} i = 0$$

$$\left(z_w + \frac{\rho}{2} \right) h - \left(z_w + b \operatorname{tg} i + \frac{\rho}{2} \right) h - \left(z_w + \frac{b \operatorname{tg} i}{2} \right) \operatorname{sen} i \frac{b}{\cos i} + \left(z_w + h + \frac{b \operatorname{tg} i}{2} \right) \operatorname{sen} i \frac{b}{\cos i} = 0$$

$$z_w h + \frac{\rho^2}{2} - z_w h - b \operatorname{tg} i - \frac{\rho^2}{2} - z_w b \operatorname{tg} i - \frac{b^2}{2} \operatorname{tg}^2 i + z_w b \operatorname{tg} i + h b \operatorname{tg} i + \frac{b^2}{2} \operatorname{tg}^2 i = 0$$

0=0 la risultante della distribuzione di pressioni è verticale

ES 3

$$FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} i} \cdot \frac{\gamma - m \delta_w}{\gamma}$$

$$1 = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} i} \cdot \frac{\gamma - m \delta_w}{\gamma}$$

$$1 = \frac{0,577}{0,364} \cdot \frac{20 - 0,81m}{20} \rightarrow m = 0,75$$

$$r_{w'} = m h \cos i \Rightarrow \frac{r_{w'}}{h} = 0,75 \cos^2(20^\circ) = 0,66$$

ES 4

$$U_y = r_{w'} \delta_w = (h - z_w) \cos^2 i \delta_w$$

$$U = (h - z_w) b \cos^2 i \delta_w$$

$$T = \gamma b h \operatorname{sen} i$$

$$N' = \gamma b h \cos i - \delta_w b (h - z_w) \cos i$$

$$\frac{T}{N'} = \frac{\gamma b h \operatorname{sen} i}{\gamma b h \cos i \left[1 - \left(1 - \frac{z_w}{h} \right) \frac{\delta_w}{\gamma} \right]}$$

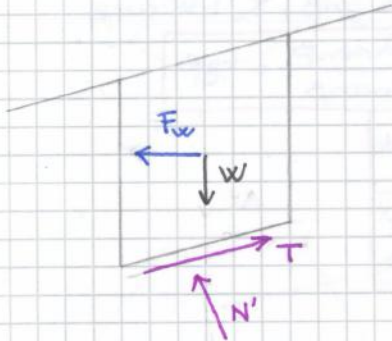
$$\frac{T}{N'} = \operatorname{tg} \varphi'$$

$$FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} i} \left(1 - \frac{\delta_w}{\gamma} + \frac{\delta_w}{\gamma} \cdot \frac{z_w}{h} \right)$$

se $FS=1$, si ottiene l'inclinazione critica del pendio:

$$\beta_{cr} = \arctg(0,5 \operatorname{tg} \varphi')$$

Filtrazione orizzontale ($\lambda = 90^\circ - \beta$)



$$i = \frac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen}(90^\circ - \beta)} = \frac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{cos} \beta} = \operatorname{tg} \beta$$

$$T = \gamma' b h \operatorname{sen} \beta + \gamma_w b h \operatorname{tg} \beta \operatorname{cos} \beta$$

$$N' = \gamma' b h \operatorname{cos} \beta - \gamma_w b h \operatorname{tg} \beta \operatorname{sen} \beta$$

$$T = \gamma b h \operatorname{sen} \beta$$

$$\frac{T}{N'} = \frac{b h [\gamma \operatorname{sen} \beta]}{b h [\gamma' \operatorname{cos} \beta - \gamma_w \operatorname{tg} \beta \operatorname{sen} \beta]}$$

$$\frac{T}{N'} = \operatorname{tg} \varphi'$$

$$FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\gamma \operatorname{sen} \beta} (\gamma' \operatorname{cos} \beta - \gamma_w \operatorname{tg} \beta \operatorname{sen} \beta)$$

dividendo per $\operatorname{cos} \beta$:

$$FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{\gamma' \operatorname{cos}^2 \beta - \gamma_w \operatorname{sen}^2 \beta}{\gamma \operatorname{cos}^2 \beta}$$

$$\operatorname{sen}^2 \beta = 1 - \operatorname{cos}^2 \beta$$

$$\Rightarrow FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{\gamma' \operatorname{cos}^2 \beta - \gamma_w + \gamma_w \operatorname{cos}^2 \beta}{\gamma \operatorname{cos}^2 \beta}$$

$$FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{\gamma \operatorname{cos}^2 \beta - \gamma_w}{\gamma \operatorname{cos}^2 \beta}$$

al posto γ_w $2\gamma_w$; imponiamo $FS=1 \Rightarrow$ si trova β_{crit} :

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{2 \operatorname{tg} \beta_{crit}}{1 - \operatorname{tg}^2 \beta_{crit}} = \operatorname{tg}(2\beta_{crit})$$

$$\Rightarrow \beta_{crit} = 0,5 \cdot \varphi' \quad \text{è } < \text{ di quella // pendio}$$

ESEMPIO:

$$\beta = 20^\circ \quad \varphi' = 30^\circ$$

filtrazione parallela

$$FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{\gamma'}{\gamma} = 0,80$$

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3 \quad \gamma_w = 9,81 \text{ KN/m}^3$$

filtrazione orizzontale

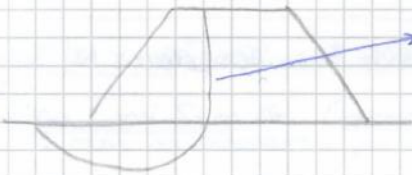
$$> \quad FS = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{\gamma \operatorname{cos}^2 \beta - \gamma_w}{\gamma \operatorname{cos}^2 \beta} = 0,7$$

Metodo (LEM) dei conci e delle strisce

Ci sono casi in cui non si può usare lo schema con pendio indefinito:



se considero questa sup. di scorrimento, la pressione dell'acqua varia in ogni punto \Rightarrow non si può usare il pendio indefinito



in materiali diversi \Rightarrow diverse resistenze al taglio \Rightarrow non si usa lo schema di pendio indefinito

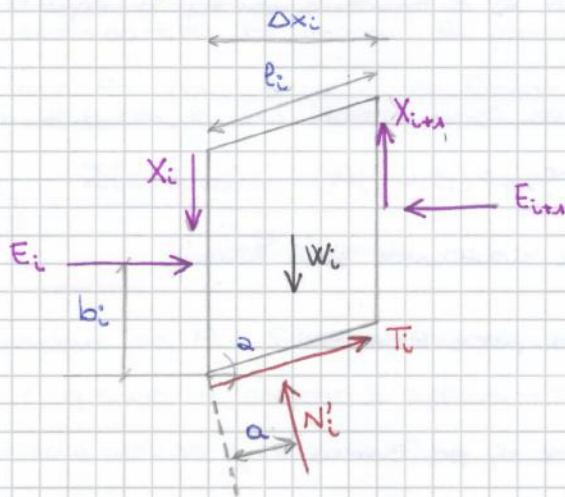
Si divide la massa in conci o strisce:



si devono considerare le forze che agiscono sul singolo conco

app. di scorrimento scelta da chi fa l'analisi, non è detto che sia quella con FS minimo

Considero un generico conco:

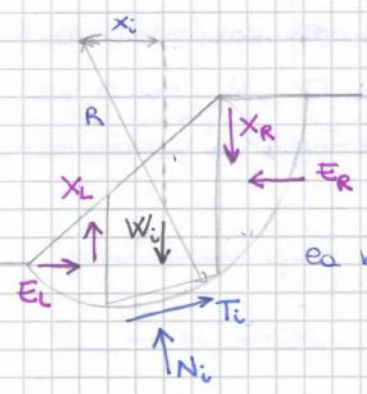


- Incognite:
- n valori di T_i
 - n valori di N_i
 - n valori di E_i
 - $n-1$ valori di E_i
 - $n-1$ valori di b_i
 - $n-1$ valori di X_i
 - FS

$6n-2$ incognite

Ma solo $n-1$ x ogni conco!

31/12/2013



La base del cavo viene linearizzata

• Equilibrio dei momenti rispetto al centro del "cerchio":

intensiva tutto il pendio $\Rightarrow \Sigma$

$$\Sigma W_i x_i - \Sigma T_i R - \Sigma N_i f_i = 0$$

N non dà momento perché passa per R \rightarrow nel caso di minimizzazione del momento rispetto al punto.

stituiamo a T_i la condizione di eq. limite e esplicito le FS (fattore di ricchezza dei momenti):

$$FS_m = \frac{\Sigma [c_i e_i R + (N_i - u_i e_i) R \operatorname{tg} \varphi_i']}{\Sigma W_i x_i - \Sigma N_i f_i}$$

• Equilibrio delle forze orizzontali:

$$\Sigma (E_L - E_R)_i - \Sigma (N_i \operatorname{sen} \alpha_i) + \Sigma (T_i \operatorname{cos} \alpha_i) = 0$$

considerando tutta la massa, la prima Σ è nulla!

stituiamo la condizione di eq. limite e esplicito FS delle forze:

$$FS_f = \frac{\Sigma [c_i e_i \operatorname{cos} \alpha_i + (N_i - u_i e_i) \operatorname{tg} \varphi_i' \operatorname{cos} \alpha_i]}{\Sigma N_i \operatorname{sen} \alpha_i}$$

FS dipendono da N. Si trova con eq. alla traslazione verticale. Abbiamo ricavato due FS: quando il metodo è approssimato ne usiamo una delle due e poi la traslazione verticale (bastano 2 eq. perché il sistema è sovradet.), quando il metodo è esatto pensano tutte le eq. di equilibrio poi si prende quando $FS_m = FS_f$

• Equilibrio delle forze verticali:

$$(X_L - X_R)_i - W_i + N_i \operatorname{cos} \alpha_i + T_i \operatorname{sen} \alpha_i = 0$$

$$N_i = \frac{W_i - (X_L - X_R)_i - T_i \operatorname{sen} \alpha_i}{\operatorname{cos} \alpha_i}$$

• attivo (verso) : $\alpha_1 < 45^\circ + \frac{\varphi'}{2}$

• passivo (pede) : $\alpha_2 < 45^\circ - \frac{\varphi'}{2} \rightarrow \alpha_2 > \frac{\varphi'}{2} - 45^\circ$

Orta si determinano E :

$$FS_{\text{mm}} \leftrightarrow N_i \leftrightarrow X_i \quad \text{ma} \quad \frac{X}{E} = \lambda f(x)$$

Eq. di equilibrio per det. E :

$$(E_L - E_R) - N_i \text{sen} \alpha_i + T_i \text{cos} \alpha_i = 0$$

5/12/2013

La condizione di eq. limite c'è solo alla base.

Sostituendo la condizione di eq. limite e esplicito E_R :

$$E_R = E_L + \frac{(c_i l_i - (w_i l_i) \text{tg} \varphi'_i \text{cos} \alpha_i)}{FS} + N_i \left(\frac{\text{tg} \varphi'_i \text{cos} \alpha_i}{FS} - \text{sen} \alpha_i \right)$$

Al piede $E_L = 0$, procedendo con l'integrazione $E_L = 0$.

A questo punto, determinando E , si possono determinare X conoscendo $f(x)$ (che può essere anche 0).

Se $f(x) \neq 0$, nell'attuare si possono scegliere dei valori di $f(x)$:

- $f(x) = \text{costante}$ \Rightarrow su tutta i conchi si ha la stessa inclinazione
es. $f(x) = 0 \Rightarrow$ risultante orizzontale (E orizzontale)
- $f(x) = \text{sinusoidale}$ \Rightarrow $f(x) = 0$ agli spici, poi $f(x)$ varia come una sinusoidale



- $f(x)$ definita dall'operatore

Tramite λ si può prendere una percentuale di $f(x)$: si può usare per rendere più compatibili $f(x)$ e pendio.

Ci sono vari metodi per l'eq. limite

Se le condizioni sono non cherate:

$$R_0 = 1, \quad \varphi_0 = 0, \quad c_u$$

$$\Rightarrow FS = \frac{\sum (c_u \cdot e_i)}{\sum (W_i \cdot \text{sen} \alpha_i)}$$

Metodo di Bishop (figura cede)

È un metodo approssimato: $X_i = 0$

È caratterizzato. Vale solo per superfici circolari (archi di cerchio)

Si scrive quindi l'eq. della rotazione e quella della traslazione verticale oltre all'eq. di eq. limite:

$$T_i = \frac{c_i \cdot e_i + (N_i - u_i \cdot e_i) \cdot \text{tg} \varphi_i}{FS}$$

Equazione di eq. della rotazione intorno a O:

N_i passano per O (arco di cerchio) \Rightarrow non danno momento

$$\sum (W_i \cdot x_i) = \sum (T_i \cdot R)$$

$$R = \text{cost} \alpha_i, \quad x_i = R \cdot \text{sen} \alpha_i$$

$$\Rightarrow R \sum (W_i \cdot \text{sen} \alpha_i) = R \sum T_i$$

Equazione della traslazione verticale:

$$W_i - T_i \cdot \text{sen} \alpha_i - N_i \cdot \text{cos} \alpha_i = 0$$

$$\Rightarrow N_i = \frac{W_i}{\text{cos} \alpha_i} - T_i \cdot \text{tg} \alpha_i$$

Sostituisco ^{nella} condizione di eq. limite:

$$T_i = \left[\left(\frac{W_i}{\text{cos} \alpha_i} - T_i \cdot \text{tg} \alpha_i - u_i \cdot e_i \right) \text{tg} \varphi_i + c_i \cdot e_i \right] \frac{1}{FS}$$

$$b_i = e_i \cdot \text{cos} \alpha_i$$

$$T_i \left(1 + \frac{\text{tg} \alpha_i \cdot \text{tg} \varphi_i}{FS} \right) = \frac{1}{\text{cos} \alpha_i} \left[(W_i - u_i \cdot b_i) \text{tg} \varphi_i + c_i \cdot b_i \right] \frac{1}{FS}$$

$$M_{\alpha_i} = \text{cos} \alpha_i \left(1 + \frac{\text{tg} \alpha_i \cdot \text{tg} \varphi_i}{FS} \right)$$

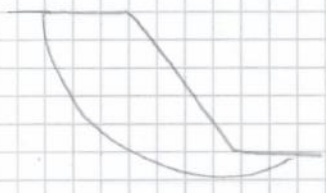
Sostituisco nell'eq. della rotazione:

$$\sum (W_i \cdot \text{sen} \alpha_i) = \frac{1}{FS} \sum \left[c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \text{tg} \varphi_i \right] \frac{1}{M_{\alpha_i}}$$

Il fattore di sicurezza $\bar{\sigma}$:

$$FS = \frac{\sum [c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \text{tg} \varphi_i] \frac{1}{M_{\alpha_i}}}{\sum (W_i \cdot \text{sen} \alpha_i)}$$

Confronti



- Fellenius : $FS = 1,18$
 criterio 3: le poligono delle forze non si chiude
 ⇒ poco affidabile, spesso si usa come primo fattore dell'iterazione
- Bishop ($\lambda = 0$) : $FS = 1,36$ ⇒ Fellenius sottovaluta molto FS. Le poligono non si chiude ma il risultato è soddisfacente
- Jambu : $FS = 1,16$ ⇒ sottovalutato ⇒ fattore correttivo. Variando λ , FS di Jambu e di Bishop si incontrano → questo è il valore di FS del pendio

Metodo di Spencer

$\frac{X}{E} = \lambda f(x)$ con $f(x) = 1$ e $\lambda = \tan \theta$
 ↳ inclinazione costante e forza delle risultanti delle forze di interfaccia

È un metodo esatto

⇒ $X = E \tan \theta$

Essendo E dipendente da FS, le iterazioni riguardano tutte le eq: prima si itera con $X_i = 0$ e si trova FS_m e FS_f , questi sono i valori di ingresso → la convergenza dev'essere trovata $\forall \lambda$ → FS pendio = primo in cui si incontrano FS_m e FS_f .

Metodo di Morgenstern e Price

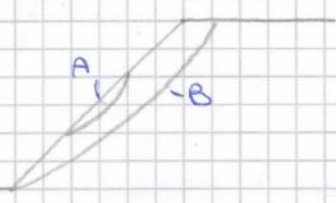
È un metodo esatto.

Usa varie forme di $f(x)$.

Le iterazioni convergono come prima.

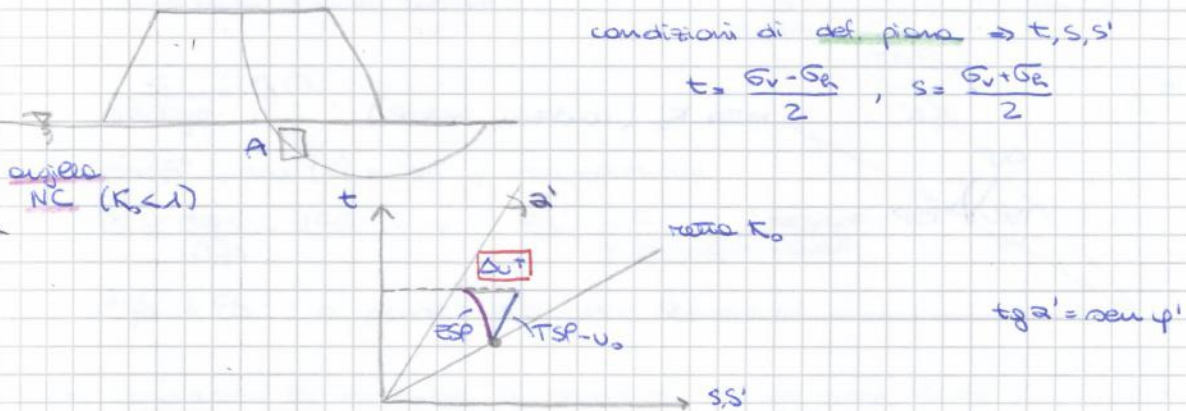
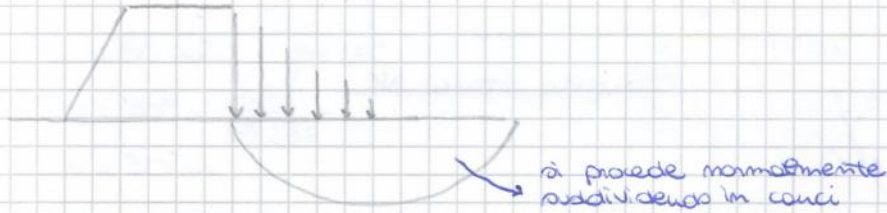
Maglia dei centri

Nell'eq. limite la sup. di scorrimento dev'essere nota a priori. Nell'analisi se ne scelgono tante e si cerca quella relativa a $FS = \min$.



$FS(A) < FS(B)$
 ↓
 ma per fare l'analisi di stabilità si deve prendere B!

la forma della sup. di scorrimento deve avere senso: M_{θ} dipende da questo ⇒ come condizioni di limite si impongono stato limite attivo (monte) e passivo (piede). Anche prendere sup. troppo profonde non ha senso: risultano sempre stabili! Nel software la forma della sup. di scorrimento dipende dai parametri di resistenza al taglio del terreno. A fianco del pendio viene costruita la maglia dei centri (dev'essere compatibile con le dimensioni del pendio)



K_0 coeff. spinta a riposo $\sigma'_{h0} = K_0 \sigma'_{v0}$

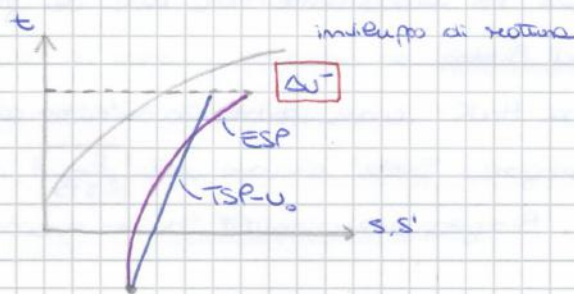
Prima della costruzione, A è sottoposto a ^{condizioni} carichi geostatici. Ricordo costruito in breve tempo \Rightarrow A si trova in condizione di compressione-carico (fase non drenata) $\rightarrow \Delta u^+$.

Alla fine della consolidazione $ESP \equiv TSP \Rightarrow$ tempo $u_0 \rightarrow$ condizioni drenate.

La condizione più grave per la stabilità è quella a breve termine: condizioni non drenate, perché ESP vicino all'involucro di rottura.

Per argilla NC: analisi per cond. non drenate, $c_u, \phi_u = 0$

In caso di argilla OC (sovracconsolidata): $K_0 > 1 \Rightarrow \sigma'_{h0} > \sigma'_{v0} \Rightarrow t < 0$



argilla molto OC \rightarrow condizione di compressione-carico \Rightarrow ESP e TSP

Δu^-

consolidazione: $ESP \rightarrow TSP$

La condizione più grave è a lungo termine: TSP torna vicino all'involucro

\Rightarrow analisi OC: analisi in condizioni drenate (c', ϕ')

es.

$c = 50 \text{ kPa} \quad \beta = 45^\circ$

$\varphi = 30^\circ = \frac{30}{57,297} \text{ rad}$

$h = 30 \text{ m}$

$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$

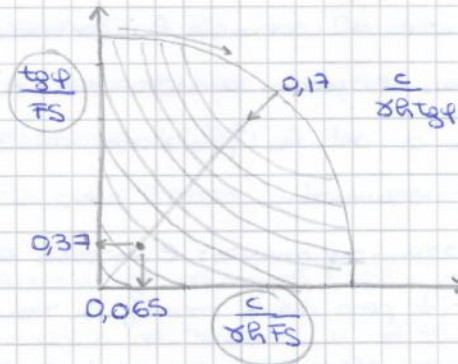
condizioni drenate (seccate)

$\frac{c}{\gamma h \tan \varphi} = 0,17$

$\beta = 45^\circ \rightarrow$ tra 40° e $50^\circ \rightarrow$ interpolazione

$FS = \frac{\tan \varphi}{0,37} = 1,56 \approx FS = \frac{c}{\gamma h \cdot 0,065} = 1,51$

$\uparrow \beta \downarrow FS$ a parità delle altre condizioni



la falda condiziona le condizioni di stabilità del versante. Esiste una carta di stabilità per terreni completamente saturati.

es.

$\frac{\tan \varphi}{FS} = 0,51 \rightarrow FS = 1,13$ per terreni completamente saturati.

È possibile drenare l'acqua all'interno del versante attraverso dei drenaggi: fori installati con una leggera inclinazione verso monte, la tubazione dev'essere forata per permettere all'acqua di raggiungere le tubi



In alternativa si possono prevedere dei sistemi di protezione per contenere la penetrazione dell'acqua nel terreno.

Questi sistemi fanno abbassare la falda a quote al piede del versante.

In questo modo si può $\uparrow FS$ del versante.

Esistono condizioni intermedie in cui la falda è presente alle diverse quote.

Dal grafico 1 a 5 si spostano verso l'alto le iperboli dell'inclinazione del versante.

Dalle carte di stabilità si possono ricavare:

- centro di rotazione della sup. critica in relazione al piede del versante
 \rightarrow dati φ e l'inclinazione del versante: si cerca l'intersezione tra le due curve \rightarrow da θ costruisce X e Y del centro





Certe volte si sup. che la portata interessa le
versante di piede \rightarrow ipotesi a favore di
stabilità ($\uparrow FS$).

Per avere l'intero andamento della falda si

usa il calcolo numerico, e in particolare gli elementi finiti: studio
contemporaneo dello stato termo-deformativo del terreno e del flusso dell'acqua

\rightarrow effetti legati tra loro: Δ def. produce Δ permeabilità perché varia
la dimensione dei pori:

- al piede: compressione, \downarrow coeff. di permeabilità, $\downarrow v$ \rightarrow superpressione
sulla sup. libera della falda
- e monte: dilatazione, \uparrow volume pori, \uparrow permeabilità, $\uparrow v$

Non si valuta solo la direzione del flusso ma anche la velocità del flusso,
individuata grazie alle linee equipotenziali (\uparrow distanza $\downarrow v$).

È noto il tratto di versante interessato dalla falda.

M_t si determina con grafici diversi a seconda della coesione del terreno e della presenza di acqua in base a β e $\frac{H_f}{H}$ (H_f : altezza frattura).

Un grafico permette di valutare la posizione del centro della sup. di scioglimento di rotazione

(X_0, Y_0) . Le curve dipendono da λ_{cp} , si trovano x_0 e y_0 poi moltiplicati per H .
 Conoscendo X_0 e Y_0 si può sapere quanti'è alta la frattura di tensione.

es.

$\beta = 45^\circ$ $\gamma = 17 \text{ KN/m}^3$

$\varphi = 30^\circ$

$c = 50 \text{ kPa}$ → non sapendo se produce una sup. profonda considero slope e poi cfr. con deep

$H = 30 \text{ m}$ $H_f = \frac{1}{2} H$

$q = 10 \text{ kPa}$

2) condizioni secche, slope circle

$$P_e = \frac{\gamma H + q}{M_q \cdot M'_w}$$

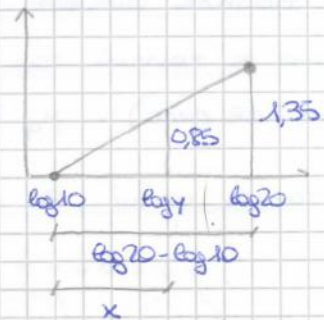
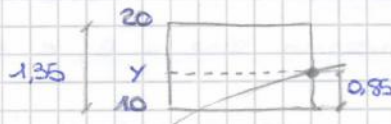
$M'_w = 1$ in assenza di acqua ($H'_w = 0$)

$$\frac{q}{\gamma H} = 0,02 \rightarrow M_q \approx 0,99$$

$$P_e = \frac{17 \cdot 30 + 10}{0,99} = 525$$

$$\lambda_{cp} = \frac{P_e \cdot \tan \varphi}{c} = \frac{525 \cdot \tan 30^\circ}{50} = 6$$

$\cot \beta = 1$



$$1,35 : (\log 20 - \log 10) = 0,85 : x$$

$$x = \frac{0,3 \cdot 0,85}{1,35} = 0,19 = \log y - \log 10$$

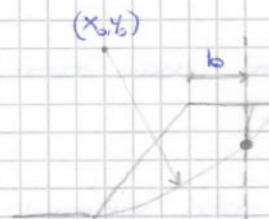
$$\log y = x + \log 10 = 1,19$$

$$y = 15,5$$

$$N_{cp} = 15,5$$

$H_w = 0$, $M_w = 1$

$$P_d = \frac{\gamma H + q - 0}{M_q \cdot 1 \cdot M_t}$$



per det. M_t si deve conoscere H_f → valuta b con grafici e (X_0, Y_0) ⇒ intersezione tra retta verticale per b e sup. di scioglimento

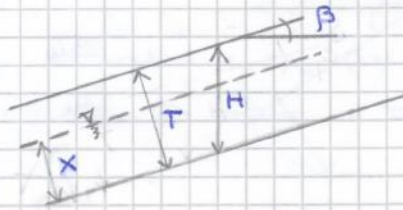
$$\frac{b}{H} = 0,08 \rightarrow b = 2,4 \text{ m}$$

La sup. non passa più per il piede del pendio.

Pendio indefinito

Esistono certe condizioni di stabilità di un pendio indefinito. La sup. di scivolamento è // al pendio

$$FS = A \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + B \frac{c'}{\gamma H}$$



A e B si determinano con grafici. Nella valutazione di A compare r_u che tiene conto delle falde:

$$r_u = \frac{X}{T} \frac{\gamma_w}{\gamma} \cos^2 \beta$$

X: spessore terreno scendente (falda)

B dipende solo da β

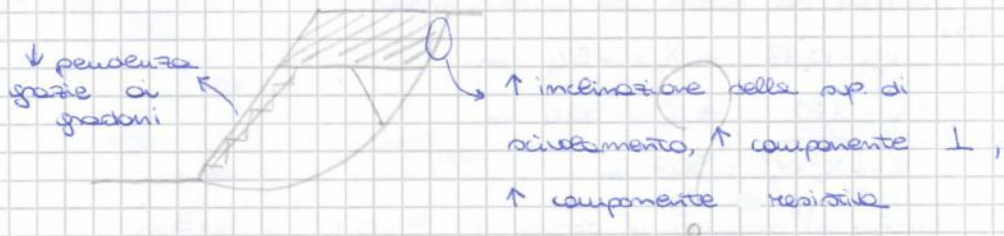
METODI per STABILIZZARE i PENDII in TERRA

Quando FS non è accettabile si interviene per \uparrow FS.

È possibile innescare dreni oppure rimodellare il pendio attraverso degli scavi.

Tenere incoerente \rightarrow sup. di scivolamento superficiali

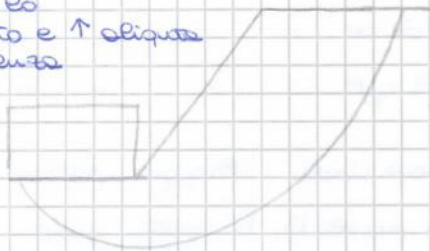
Ne rimodellamento consiste nell' \downarrow inclinazione del pendio o nella rimozione di terreno a monte del pendio (le portanti sommitali gravano con il peso proprio)



Tenere coerente \rightarrow sup. profonde (intersezzamento zona a valle del piede)

In questo caso si applicano dei pesi a valle del pendio:

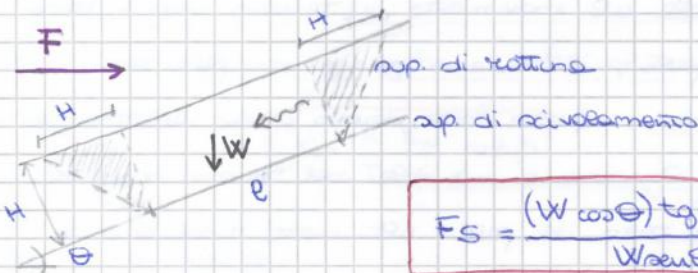
contrastano lo scivolamento e \uparrow aliquota della resistenza dovuta alle forze costrittive



Se questi interventi non sono possibili è possibile realizzare una fila di pali ancorati lungo la parete del pendio (soprattutto se la sup. di scivolamento non è profonda): pali ancorati

Se carico che grava sul singolo palo è nullo in testa al palo. Nei terreni incoerenti il carico ha andamento triangolare. Nota il carico max (\equiv rap di scivolamento) si conosce il triangolo. Nota il carico max è nota la forza di stabilizzazione applicata dai pali sul pendio:

$$F = \frac{\text{area triangolo}}{\text{spaziatura pali}} \Rightarrow F = \frac{P_{\max} \cdot L/2}{D_p}$$



$$F_s = \frac{(W \cos \theta) \operatorname{tg} \varphi + c e}{W \operatorname{sen} \theta}$$

ove $W = (H \cdot e \cdot \gamma + 2 \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \gamma) \delta$

spazio dei due triangoli esterni (con rap inclinata di 45°)

Se $c=0$, $F_s = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \theta}$

Inserendo una forza orizzontale F (intervento), F_s cambia:

$$F_s = \frac{(W \cos \theta + F \operatorname{sen} \theta) \operatorname{tg} \varphi + c e}{W \operatorname{sen} \theta - F \cos \theta}$$

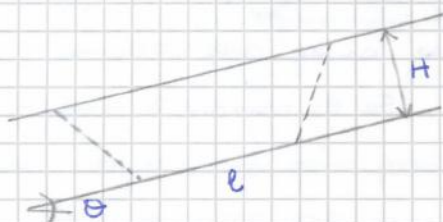
Imponendo $F_s = 1,5$ (o 2) si ricava la F necessaria ad avere tale F_s :

$$(W \operatorname{sen} \theta - F \cos \theta) F_s = (W \cos \theta + F \operatorname{sen} \theta) \operatorname{tg} \varphi + c e$$

$$(W \operatorname{sen} \theta) F_s - (W \cos \theta) \operatorname{tg} \varphi - c e = F \operatorname{sen} \theta \operatorname{tg} \varphi + (F \cos \theta) F_s$$

$$\Rightarrow F = \frac{W (\operatorname{sen} \theta F_s - \cos \theta \operatorname{tg} \varphi) - c e}{\operatorname{sen} \theta \operatorname{tg} \varphi + \cos \theta F_s}$$

ESERCIZIO



- $e = 40 \text{ m}$
- $H = 3 \text{ m}$
- $\theta = 24^\circ$
- $\varphi = 21^\circ$
- $c = 0$ $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$

$\varphi < \theta \Rightarrow F_s < 1$: $F_s = \frac{\operatorname{tg} 21^\circ}{\operatorname{tg} 24^\circ} = 0,87$ non accettabile

Con $D_1 = 0,8$ m:

$$P_{max} = 213,9 \text{ KN/m}$$

$$D_2 = 0,31 \text{ m}$$

$$\text{diametro pali} = 0,49 \text{ m}$$

Con $D_1 = 0,9$ m:

$$P_{max} = 240,7 \text{ KN/m}$$

$$D_2 = 0,35 \text{ m}$$

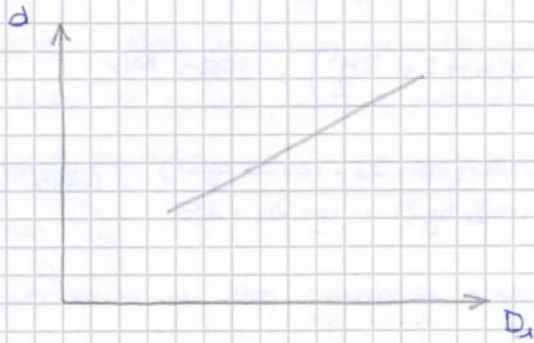
$$\text{diametro pali} = 0,55 \text{ m}$$

Con $D_1 = 1$ m:

$$P_{max} = 267,4 \text{ KN/m}$$

$$D_2 = 0,39 \text{ m}$$

$$\text{diametro pali} = 0,61 \text{ m}$$



Consideriamo $d = 45$ cm, e l'intervallo D_1 dovrà essere pari a:

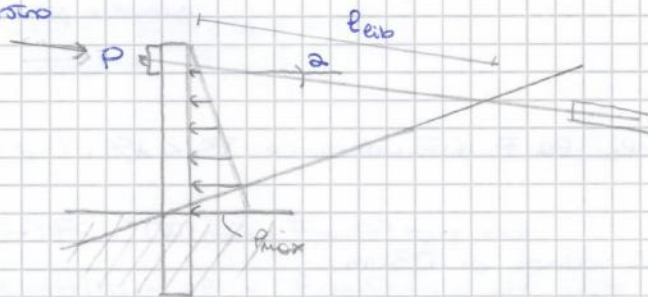
	D_1	d	
interpolazione	0,7	0,43	$D_1 = \frac{0,45 - 0,43}{0,49 - 0,43} \cdot (0,8 - 0,7) + 0,7 = 0,73$
lineare	0,8	0,49	

↳ si approssima $D_1 = 0,7$ (più conservativo)

In queste condizioni $P_{max} = 255,1 \text{ KN/m}$.

Bisogna valutare il massimo momento flettente che si sviluppa nel palo: si

considera un incastro



P forza di precompressionamento

l_{eib} lunghezza libera: qui il tirante può allungarsi (dipende dalla rigidità K)

$$K = \frac{E_{acc} \cdot A_{acc}}{l_{eib}}$$

dove E_{acc} : modulo elastico acciaio

La distanza tra i tiranti è maggiore di quella tra i pali ed è moltiplica di quest'ultima

Optimizziamo di realizzare un tirante ogni 4 pali:

$$i_T = 4 \cdot D_1$$

La deformata y si trova sempre con le differenze finite:

$$y'_{\text{media}} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x}$$

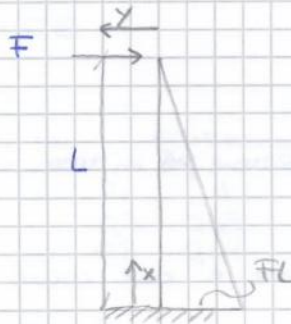
$$y_{i+1} = (y'_{\text{media}} \cdot \Delta x) + y_i$$

↳ spostamento in testa palo a 0,13 m (in assenza di tirante)

Si ipotizza di usare un tirante composto da 3 trefoli (cavi di acciaio) che hanno $3 \cdot 138 \text{ mm}^2$ di area totale (ogni trefolo ha area di 138 mm^2). Ogni trefolo sopporta al max 150 kN. Il pre-tensionamento di solito varia da 0 al 50-60% del carico ammissibile $\Rightarrow P_{\text{max}} = 60\% \cdot 150$. Nel nostro caso si considera $P = 90 \text{ kN}$.

La forza P produce un andamento dei momenti flettenti:

$\alpha = 25^\circ$
↓
di solito varia tra 0 e 25°



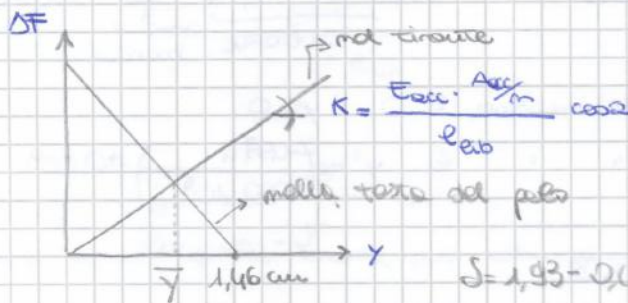
$$x=0 \quad M = \frac{P}{m} \cos \alpha \cdot L$$

M^+ ne produce trazione dal lato verso valle $\Rightarrow M$ prodotto dal carico triangolare è negativo

$$x \neq 0 \quad M = \left(\frac{P}{m} \cos \alpha \right) (L-x)$$

$$\left. \begin{array}{l} y'' < 0 \\ y' < 0 \\ y < 0 \end{array} \right\} \text{civetta verso monte}$$

Si possono sovrapporre gli effetti. Il tirante sviluppa una forza interna pari a P allungamento interno (incremento di forza ΔF)



lo spostamento alla testa del palo, con l'aggiunta di ΔF , tende a ridursi.

Testa del palo e testa del tirante sono vincolati \Rightarrow deve realizzarsi la situazione dell'intersezione.

$$\left. \begin{array}{l} y (\Delta F=0) = 1,46 \text{ cm} \\ \Delta F (y=0) = 273,6 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{nota la retta si può calcolare l'intersezione}$$

$$S: 4,7 = x : 14,6 \Rightarrow \Delta F (y=0) = 273,6 \text{ kN}$$

Bisogna definire la geometria del palo per modificare il dominio M-N e adattarlo alla nostra situazione:

10 ferri di diametro 16 mm → armatura
 n.b. interasse tra i ferri deve essere < 2 · diametro

↑ resistenza c/c, più alto è il dominio M-N (stesse cose vale per acciaio)

$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$	resistenza c/c	} caratterizzazione c/c	} scelta del materiale
$\gamma_c = 1,5$	fattore di sicurezza per la rottura		
$E_s = 210000 \text{ MPa}$		} caratterizzazione acciaio	
$\gamma_s = 1,15$			



Si può ↑ armatura o/e ↑ diametro : 15 ferri di diametro 20 mm

Ora il punto è nel dominio.

Si può valutare quanto costa l'intervento.

Questo si può fare per varie alternative di $D_1 = d$, ogni alternativa ha un costo

→ si sceglie quella con minor costo

7/1/2014

LO SCIVOLAMENTO NELLE ROCCE

Test di Mankeand

Di solito lo scivolamento avviene lungo una discontinuità o lungo l'intersezione di discontinuità.

Le diverse situazioni possono essere visualizzate con le proiezioni stereografiche:

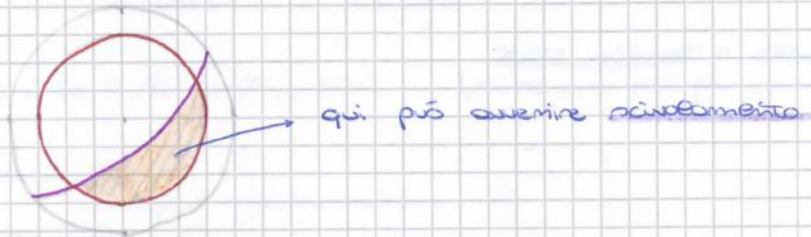
- scivolamento rotazionale



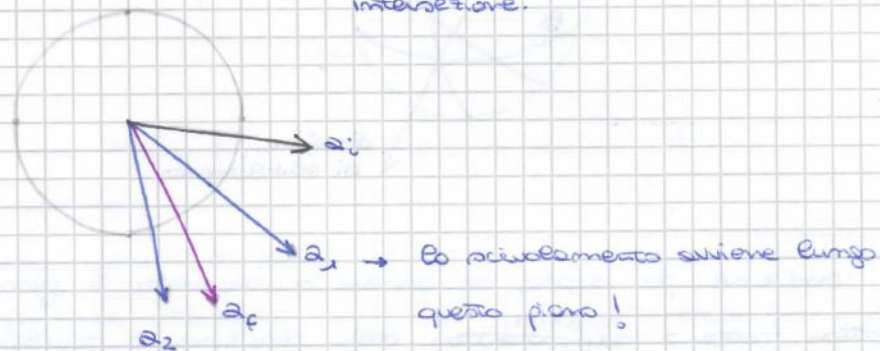
- una discontinuità



Lo scioglimento può avvenire se $\Psi_f > \Psi_i > \Phi$ \Rightarrow il punto di intersezione tra A e B deve trovarsi tra il cerchio di stretto e il grande cerchio rappresentante il fronte



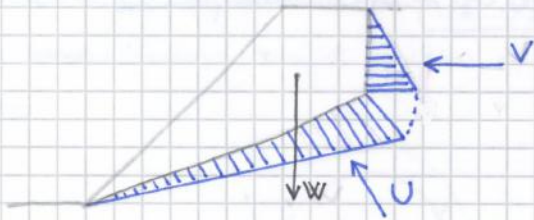
È possibile che il ciclo di roccia scivoli non lungo la linea di intersezione, ma lungo un altro piano (dipende da come sono orientati i sistemi di discontinuità) \Rightarrow per vederlo si fa il test di Hocking. Si riportano le deep direction del fronte, dei due piani e dell'intersezione. Se α_1 o α_2 cade tra α_f e α_i lo scioglimento avviene su quel piano, altrimenti avviene lungo la linea di intersezione.



Una considerazione: il polo medio del sistema di discontinuità A e del sistema B, cerca il piano che contiene le rette rappresentate dai poli (\Rightarrow i due poli devono stare su uno stesso grande cerchio meridiano), il suo polo rappresenta la retta d'intersezione dei piani.

Se ho più poli medi devo ricavare tutte le possibili intersezioni:

- una distribuzione che sta dalla stessa parte del fronte non dà origine a scioglimento \Rightarrow la elimino
- riporto le rette di intersezione (a 2 a 2) delle altre distribuzioni
- riporto il cerchio di stretto
- faccio il test di Mohrland \Rightarrow la distribuzione all'interno dell'area tratteggiata possono dare scioglimento
- per le distribuz. che danno scioglimento si fa il test di Hocking e si capisce su che piano avviene lo scioglimento.

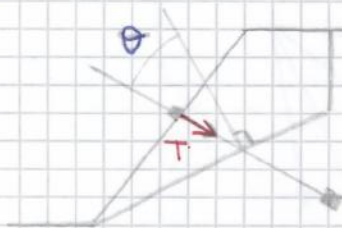


Si avranno due a W, e risultanti delle distribuzioni di pressione dell'acqua (U e V)
 ↳ da scomporre lungo la dirz!

$$F_S = \frac{cA + (W \cos \varphi_p - U - V \sin \varphi_p) \operatorname{tg} \phi}{W \sin \varphi_p + V \cos \varphi_p}$$

Ci possono essere varie configurazioni delle distribuzioni di pressione.

Nel caso in cui ci sia una forza esterna, questa va scomposta sul piano di scivolamento



$$F_S = \frac{cA + (W \cos \varphi_p - U - V \sin \varphi_p + T \cos \theta) \operatorname{tg} \phi}{W \sin \varphi_p + V \cos \varphi_p - T \sin \theta}$$

9/1/2014

SCIVOLAMENTO LUNGO INTERSEZIONE di DISCONTINUITÀ

In alcuni casi si usano schemi 2D (dirz. naturali) → a., b., c. → caratterizzate dai parametri di rugosità e alterazione; in questi casi la direzione di immersione è la stessa del pendio.

Il caso più comuni sono e. e f. : blocco di roccia che tende a scivolare su due sup. di disc. (direzione di imm. e inclinazione diverse tra loro) con direz. di imm. ≠ pendio; nel caso f. è presente a monte la sup. di distacco. Le sup. che interessano sono: 2 sup. di scivolamento, fronte, sup. che delimita l'altezza. Le sup. di scivolamento si intersecano lungo la linea di intersezione (rappresenta la direzione del vettore spostamento).

Le forze più importanti sono quelle che agiscono L sup. di scivolamento R_a e R_b

