



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 381

DATA : 17/10/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Bertone

MATERIA : Meccanica delle Rocce

Prof. Barla

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.**

MECCANICA DELLE ROCCE

LEZIONE 3

- INDAGINI

- SONDAGGI

Le indagini sono di vario genere: geologiche, geomorfologiche, idrologiche, geotermiche ecc. e noi in questo corso studieremo la geologia e la geotecnica che si suddividono in varie fasi. Queste sono analisi preliminari.

Le perforazioni di sondaggio si suddividono in:

- sondaggi stratigrafici (in cui analizzo il materiale stratificazione e folde)
- sondaggi geotermici (in cui definisco i parametri, le proprietà meccaniche e idrauliche degli ammassi rocciosi mediante prove)

Possono essere effettuate in superficie o in profondità (gallerie)

Vi sono vari tipi di utensili di perforazione, il più semplice consiste in un tubo di acciaio (corotiere) la cui estremità inferiore è costituita da una corona tagliente provvista di elementi di metallo duro o di diamante. Il più usato è il corotiere doppio con il quale si fanno perforazioni e rotazione, tale utensile è costituito da due tubi concentrici dei quali solo l'esterno ruota, il tubo interno raccoglie il campione proteggendolo dall'azione abrasiva del fluido di circolazione (acqua).

Le corote estratte manualmente o automaticamente di sondaggio, vengono posizionate in una corolletta, le corote vengono quindi riposte in cassette, prima della loro osservazione.

MANOVRA DI CAROTAGGIO: lunghezza della corota estratta in una sola manovra (contenuta all'interno del corotiere), nella corolletta tra un tassello di legno e l'altro è compresa la manovra di carotaggio.

Due coprie se le fratture che ha il provino sono dovute a proprietà meccaniche naturali o al momento torcente del corotiere. In un materiale sano è molto complicato da coprire in quanto lungo i piani di resistenza ho piani di debolezza.

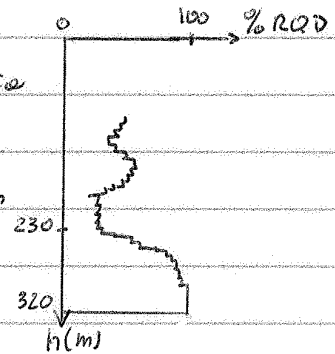
Tutte le caratteristiche descritte precedentemente vengono inserite in un MODULO DELLE CARATTERISTICHE DELLA CAROTA che è univocale
de modalità operative con cui viene seguita la memoria di corotaggio
e con cui si definisce il modulo è detta SPECIFICA TECNICA.

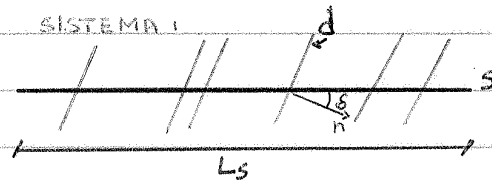
ESEMPI:

- Alta Velocità Torino-Lione: se il geologo non riesce ad identificare l'ammasso roccioso e la conformazione del sottosuolo allora uso la GEOFISICA (ma difficile con elasti. profondità) quindi uso corotaggi orientati (come per petrolio)

- Corotaggio, RAD:

Considerando che a 320m ho RAD=100% allora la roccia risulta integra (ottime proprietà) man mano che si riduce allora le proprietà diminuiscono (a circa 230m ho limo e infatti RAD scende quindi ho materiale fratturato con mat. sciolto di riempimento e perciò orecchio movimento dell'AR.





a) si indicano con $(\psi_d, d_d), (\psi_n, d_n)$ e (ψ_s, d_s) le giunture del piano di discontinuità d , della sua normale n e delle linee di stendimento s

b) si definisce l'angolo acuto δ compreso tra n ed s

c) si definisce con N_i il numero totale di intersezioni rilevate e con L_s la lunghezza dello stendimento

• Ipotizzando che le discontinuità siano parallele, la loro frequenza λ_{si} lungo le linee s , sono $\lambda_{si} = N_i / L_s$

• Se la linea s fosse perpendicolare alle discontinuità del sistema "i" (L) la frequenza corretta sarebbe: $\lambda_i = N_i / L$

• Sapendo che $L = L_s \cos \delta$ $L_s = L / \cos \delta \Rightarrow \lambda_{si} = N_i / L_s = N_i \cos \delta / L = \lambda_i \cos \delta$

• Il n° di discontinuità N_{si} appartenenti al sistema i -esimo, valutato secondo lo stendimento L_s è $N_{si} = \lambda_{si} L_s = \lambda_i L_s \cos \delta$

• Quindi N_i n° corretto di discontinuità $N_i = \lambda_i L_s = N_{si} L_s / L_s \cos \delta = N_{si} / \cos \delta$

N.B. Quanto più la linea di stendimento si discosta dalla direzione perpendicolare alle discontinuità del sistema i -esimo, tanto più è elevato l'errore compiuto nella valutazione del numero di discontinuità appartenenti al sistema stesso

Le dati di giuntura devono così essere corretti, delle discontinuità si attribuisce così un fattore correttivo detto p_{ho} ad ogni j -esima osservazione

$$w_j = 1 / \cos \delta_j \quad \rightarrow \quad \cos \delta_j = \cos (d_n - d_s) \cos \psi_n \cos \psi_s + \sin \psi_n \sin \psi_s$$

ovvero correggere la giuntura di ogni singola discontinuità rilevata mediante $DIPS$.

Andare p_heta = si tolgono disturbi alla misura

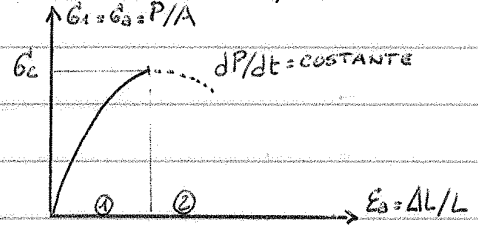
Tramite trasduttore e si misura il Tempo che occorre all'onda elastica longitudinale per attraversare il campione, da velocità è espressa in m/s.

III - RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE

Consiste nel portare il campione a rottura in 5-15min ad una velocità di carico nell'intervallo 0,5-1 MPa/s. Sono necessari almeno 3 campioni, quindi 3 prove. ① condizione pre-picco

② condizione post-picco

Il campione è interposto tra due cilindretti in acciaio.



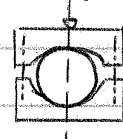
CAMPIONI USATI: $D \geq 54,1 \text{ mm (NX)}$ $L/D \geq 2,5$ (STANDARD)

ESAME: Qual è lo stato di Tensione Teorico quando svolge una prova di Tipo monoassiale?

$$[G] = \begin{bmatrix} G_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ & G_y & \tau_{yz} \\ & & G_z \end{bmatrix} \quad \text{matrice simmetrica (T. BETTI o Cauchy) } \tau_{xy} = \tau_{yx}$$

IV - RESISTENZA A TRAZIONE BRASILIANA (Indiretta)

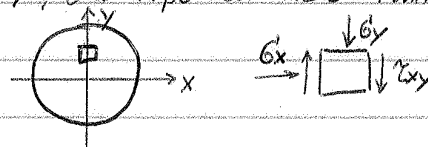
Consiste nell' eseguire la prova su dischi con diametri e spessori noti e applicare uno sforzo diametrale. d'ottusatura è la seguente: semisfera per la trasmissione del carico assiale, generata superiore lato con tolleranza per il piano, piano di guida, proprio generata inferiore. $R_G > R_p$ abbiamo bisogno di applicare uno



sforzo non puntuale ma distribuito in quanto se ho carico puntuale, la sollecitazione è molto grande allora il provino invece di rompersi come vogliamo noi, si rompe nella zona sollecitata. Mentre applicando carico distribuito si rompe secondo l'arco di applicazione dello sforzo.

ESAME: Prendo un piccolo elemento sull'asse y, che Tipo di stato Tensionale ho sull'elemento?

$$\begin{bmatrix} G_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ & G_y & \tau_{yz} \\ & & G_z \end{bmatrix}_{xyz}$$



normalmenti: el piano $G_z = 0$

Toglio: $\tau_{xz}, \tau_{yz} = 0$

Ho stato di Tensione piano (PLANE STRESS)

Essendo y asse di simmetria allora τ_{xy} e τ_{yx} sono uguali quindi il

Toglio è nullo; G_x e G_y allora sono principali.

Applicazione del carico di tipo costante

V. INDICE DI RESISTENZA

Ha il vantaggio di poter essere effettuato anche in sito poiché l'apparecchiatura è portatile. Viene effettuato su provini cilindrici STANDARD estratti da perforazione di sondaggio sui quali viene applicato un carico puntiforme per determinare I_s . Tale prova è detta anche di punzonamento e lo punte per l'applicazione del carico deve avere raggio = 5mm ed è una sfera non un cono.

Tipi di prova sono due in relazione a dove è applicato P:

- Diamentrale, il provino si rompe lungo il diametro

$$L > 0,7 D$$

$$I_s = P/D^2 \text{ (detto STRENGTH INDEX) Tiene conto delle}$$

resistenza del provino

- Assiale

$$D/L = 1,1 + 0,05, \quad I_s = P/D^2$$

$$G_{ci} = 20 \div 24 I_s$$

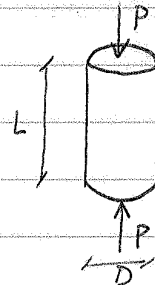
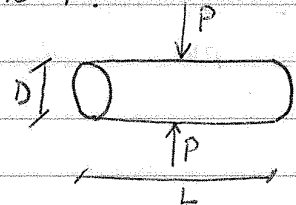
I_s correlato secondo ISRH è I_{s50} ovvero il valore letto a

$$D = 50 \text{ mm} \quad D^2 = 2500 \text{ mm}^2 \quad \text{dato da } I_{s50} = \frac{P_{50}}{2500}$$

Fare 10 o 20 prove

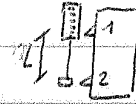
ESAME: Prove per classificare la roccia intatta (RI)?

- petrografico - mineralogica
- caratteristiche fisiche (rho/unità volume ecc.)
- velocità sonda
- prove compressioni monoassiale
- prove brasiliana
- indice resistenza



L = lunghezza iniziale campione se si usa pressa

L = lunghezza iniziale Tra i punti misurati 1,2



Questa procedura semplice: - molto Tempo; - costosa; - molta precisione nell'applicazione del carico e installazione del Transduttore.

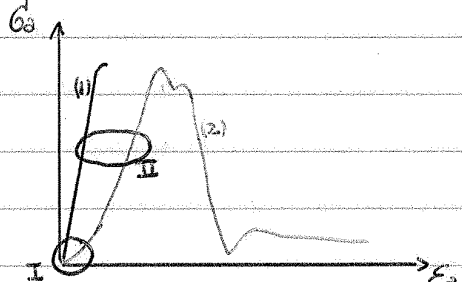
Per la determinazione dello spostamento radiale si usa RADIAL BELT = cintura radiale (se si dilata il prossimo ellisso RB si allarga senno si stringe)

- deformazione estrema - deformazione locale

$$\sigma_{ci} = P_{max} / A \quad \epsilon_a = \Delta L / L \quad \epsilon_r = \Delta R / R$$

deformazione estrema letta dalla pressa

deformazione locale letta dai Transduttori



da rottura avviene allo stesso punto con E

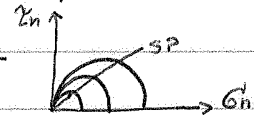
chiamate: I - ho deformazione della struttura e vicino elasto ma a livello locale sul prossimo ho solo una piccola aliquota quindi vuol dire che si stanno unificando due fenomeni meccanici nella struttura. Notevole differenza

II - dopo circa metà del carico di rottura non ho una differenza così elevata

STATO TENSIONALE $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_a \end{bmatrix}$

PERCORSO SOLLECITAZIONE

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

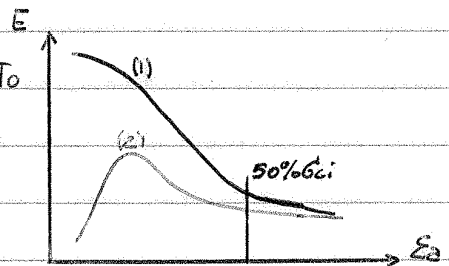


Modulo elastico elevato per piccole deformazioni

(locale) > (estrema) Se considero E della curva (2) sto sottostimando il valore di E quindi il valore locale

mi permette una lettura inizialmente più precisa e migliore ma verso il fondo non vedo tutta la

differenza quindi il 50% σ_{ci} sono in cui $E(1) \approx E(2)$



Esempio: phnto = problema di piccole deformazioni quindi sottostimare il modulo è gravissimo, avere un valore locale è ottimale

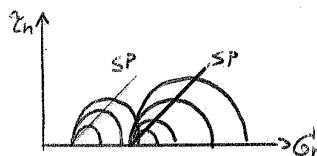
ESAME: $E = \Delta \sigma / \Delta \epsilon \quad \nu = -\epsilon_r / \epsilon_a \quad \sigma_{ci}$ parametri da determinare

II - PROVA TX

Si applicano Tensioni radiali e assiali, si fa variare la Tensione di confinamento su vari prismi in modo da determinare il inizio di rottura

STATO TENSIONALE $\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} \quad \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_r \quad \sigma_3 = \sigma_a$

PERCORSO SOLLECITAZIONE (STRESS PATH)



LEZIONE (Capitolo 7)

I. Campionamento

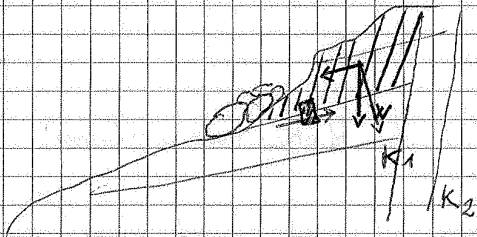
II. TD (prova a Taglio diretto)

III. Interpretazione

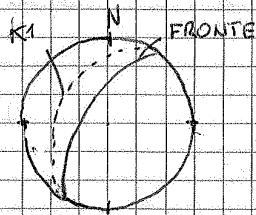
discontinuità artificiale litica

discontinuità naturale roccia

Tali prove vengono fatte per determinare i parametri di resistenza al Taglio. Quando dobbiamo cercare i parametri di un litotipo non usiamo la TD ma KX, TX ecc... Le prove TD sono importanti poiché permettono di determinare la resistenza al Taglio lungo un piano di scorrimento lungo il quale potrebbe formarsi l'ammorso roccioso.



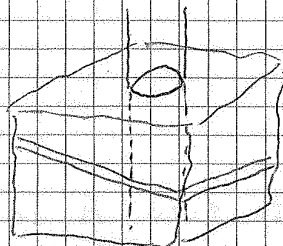
piano di discontinuità con angolo di immersione α e quello del fronte.



lungo il fronte può avvenire uno scivolamento detto PLANARE lungo la direzione di K_1 da componente parallela al piano K_1 di N Taglio e per scivolare il blocco. Quello che mi interessa determinare è la resistenza al Taglio ovvero la forza che si oppone allo scivolamento. Prendiamo un campione sulla discontinuità.

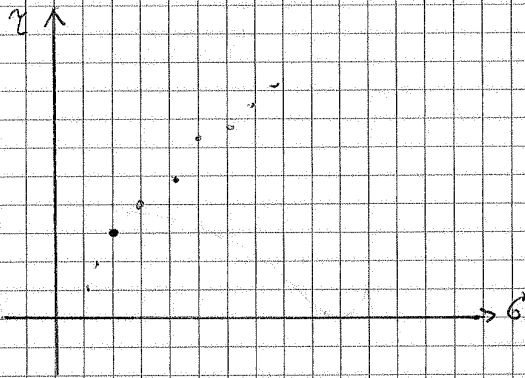
I - Tramite al tempo: una perforazione di sondaggio preleva il provino alla profondità della discontinuità. Tale metodologie è detta

DISCONTINUITÀ NATURALE, oltre che
pono fore su un blocco.



con sondaggio la

Sul piano di Mohr lo posso rappresentare così:



Ho σ_m e τ_m non σ_1 e σ_2 allora
 supponiamo $\sigma_m = \text{costante}$ τ_m aumenta
 fino a massimo
 $\sigma_m = \text{Tensione normale}$
 $\tau_m = \text{Tensione di Taglio}$

da prova TD è rappresentata con un punto

Considerando un provino 2 con $\sigma_{m2} > \sigma_{m1}$ allora $\tau_{m2} > \tau_{m1}$ lo si

fa più su provini.

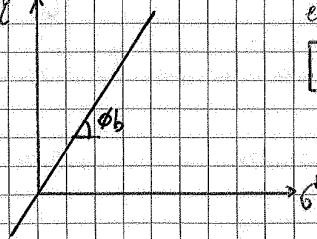
con discontinuità

Se Tale prova la faccio su provino artificiale dico ho che i punti

sono abbastanza allineati; faccio τ ↑

interpolazione lineare e ho che la retta

passa per l'origine.



equazione retta

$$\tau = \sigma \tan \phi_b$$

$\phi_b =$ angolo di resistenza al Taglio di base delle discontinuità (LISCIA)

$\phi_n =$ angolo di resistenza uscirlo di rifine e discontinuità NATURALI

Posso anche ripetere la prova sullo stesso provino che ho tagliato riportandolo

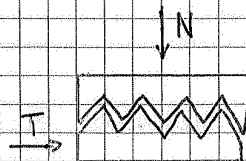
nella scatola di Taglio e aumentando N orizzontalmente dopo 3 o 4 volte che

lo faccio il provino sarà compresso quindi poi uso altri provini

Provo su superficie scabra (naturale)

Si segue nello stesso modo di quello

artificiale. Ma più difficoltà a spostarsi



a cause dell'asperità, per far sì che avvenga lo spostamento ho due possibilità

ho rompo i denti o li solto oppure entrambi contemporaneamente

JRC: Time conto del rotello S_m

JCS: Time conto della rottura dei denti S_s

da poterci trovare mi da un angolo detto di DILATAZIONE che ne sommato al ϕ_b .

Questo ritratto di resistenza che mette su campioni naturali solo come artificiali.

N.B. Se JRC è un m° alto, l'influenza del JCS è molto importante per determinare la resistenza quindi da valutare bene JCS.

Se JRC è molto basso (2-4) ha un po' di influenza del JCS ma non è limitata non dire che puoi il rotto alle rotture dei denti; di non che commetto a elaborare JCS trascurabile.

JRC 1) lo leggo con pettine di BARTON

2) (GILI TEST) Incremento λ fino a scardinamento delle due posizioni $d = \text{cost} \left(\frac{\lambda_{no}}{\phi_{no}} \right)$

$$JRC = \frac{d - \phi_r}{\log \left(\frac{JCS}{\phi_{no}} \right)}$$

$\phi_r = \phi_b$
disc. rot. disc. artif.

JCS

$JCS \ll \sigma_c$ (se superficie all'ho)

chius.
comp.
giunto

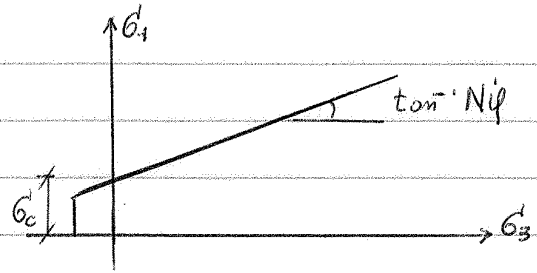
resistenza compressione rotore

si può ottenere con prove con olesometro

III - nel piano $\sigma_3' - \sigma_1'$

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

$$N\varphi' = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$$

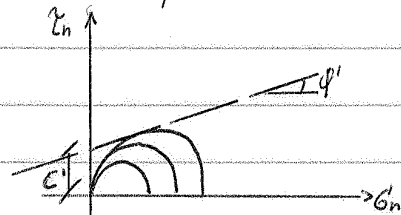


$\sigma_1' = \sigma_c' + \sigma_3' N\varphi'$ resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

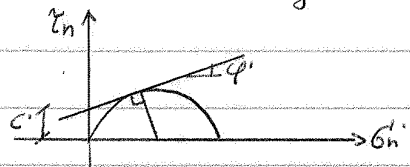
N.B. nel primo e nel secondo modo devo essere definito l'angolo mentre nel terzo no dov'è il piano

ESAME: Incremento σ_1' finché giungo a rottura $\sigma_1' = \sigma_c'$, qual'è la condizione di rottura?

Noti c' e φ' posso definire il criterio di resistenza; il cerchio di Mohr nelle condizioni di rottura deve essere tangente all'involuppo di rottura



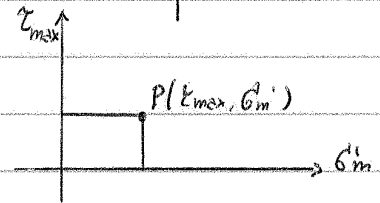
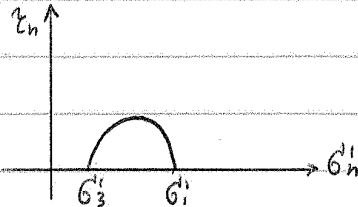
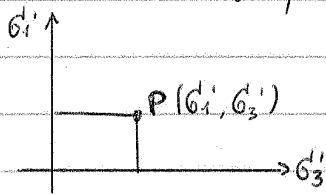
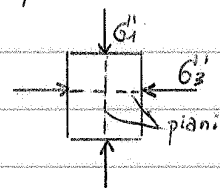
Posso esprimere σ_c' se ho c' e φ' ? Sì poiché il cerchio è tangente all'involuppo di rottura $\sigma_c' = \frac{2c' \cos \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$



ESAME: Rappresentare graficamente lo stato tensionale?

Avrò un punto $P(\sigma_1', \sigma_3')$ dove agiscono le Tensioni principali σ_1' orizzontale e σ_3' su un piano verticale.

Voglio lavorare sul piano $\tau_n - \sigma_n'$ come rappresento le Tensioni del punto P?



HOEK - BROWN

È un criterio empirico in cui prendo un piano delle Tensioni principali poiché le conosco dallo stato tensionale e quindi mi pongo nelle condizioni limite. Prendo una roccia, eseguo prova a compressione monoassiale e ottengo

LEZIONE 9-10

- METODI DI CLASSIFICAZIONE

I metodi di indagine (perforazioni di sondaggi e rilievi lungo stendimenti) consentono di descrivere l'ammasso roccioso e le discontinuità. Si usa tale descrizione mediante la definizione di parametri caratteristici, che portano a classificare l'ammasso roccioso in CLASSI DI QUALITÀ

- Metodi: RMR (Rock Mass Rating) 1973 Bieniawski
 Q (Rock Mass Quality) 1976 Barton
 GSI (Geological Strength Index) 1980 Hoek

- RMR: - G_c (MX o pannello)
- RAD (perforazioni)
 - esposizione discontinuità
 - condizioni discontinuità (continuità, apertura, natura, riempimento, alterazione)
 - reattive d'acqua

- Q: - RAD
- J_n (no delle famiglie dei giunti)
 - J_r (scabrezza delle superfici dei giunti più sfavorevoli) + JRC
 - J_a (grado di alterazione e eventuale riempimento)
 - J_w (presenza di acqua), bottenti idraulico)
 - SRF (condizione sollecitazione)

Barton considera $G_1 = G_v = 8.2$ in condizioni naturali, senza gallerie

$G_1 = G_v =$ componenti geostatica

Vi sono leggi di correlazione tra RMR e Q $\rightarrow RMR = 9 \ln Q + 44$

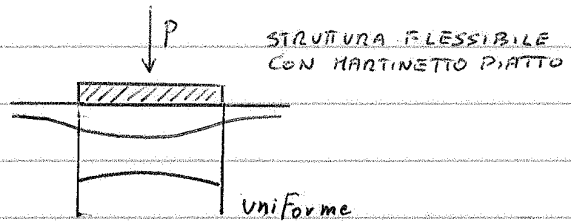
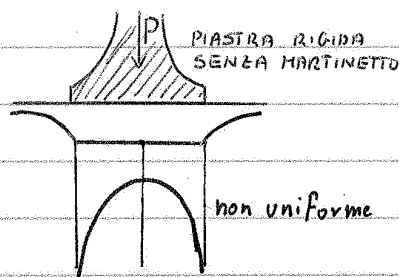
- GSI: - condizioni superficiali di discontinuità
- struttura ammasso roccioso
 - grado di incontro dei blocchi

RMRbase - 5 = GSI

Levanti
 acque
 (GSI)

la struttura che deve essere indeformabile

Come applico P?



Martinetto piatto con olio, se il martinetto non si deforma allora la mia "p" è quella applicata direttamente sulla roccia

flexibile
d'utilizzo di una piastra circolare permette di misurare gli spostamenti superficiali

$$E_d = C \cdot (1 - \nu^2) \cdot 2 \frac{dP}{2lw} I_c \quad \text{VALE PER PICCOLE DEFORMAZIONI}$$

Per misurare gli spostamenti in profondità si utilizza una piastra a sezione toroidale con foro centrale di 60-70mm all'interno del quale si posizionano degli estensimetri per le misure, il carico applicato sono una corona circolare da prova viene eseguita secondo vici di carico - scarico che permettono di determinare E_d (ammesso roccioso) e il modulo di scarico E_s (elastico), lo scarico non completamente in quanto potrei avere problemi di ripetizione detto carico di allineamento. Se la prova viene eseguita mantenendo costante il carico applicato si potranno trarre indicazioni sul comportamento difformativo a carico costante \rightarrow CREEP

PROBLEMA BOUSSINESQ

LEZIONE 12

- PROVE SISMICHE

- PARAMETRI IDRAULICI

II - PROVE SISMICHE

Onde P = è un'onda longitudinale chiamata anche di compressione, da direzione del moto delle particelle coincide con quello della propagazione dell'onda

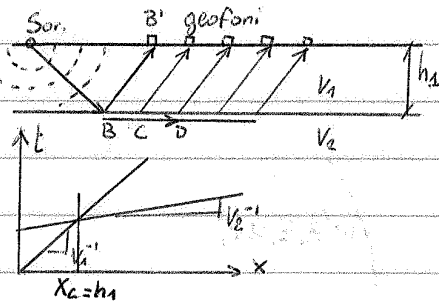
Onde S = è un'onda di Tipo Trasversale chiamata di Taglio. Il moto delle particelle è nel piano perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda.

Il modulo E in condizioni dinamiche è 203 volte quello statico.

N.B. Dalle equazioni delle velocità V_p e V_s delle onde P e S si possono determinare E, ν dette COSTANTI ELASTICHE DINAMICHE (velocità = mod. elastico)

a) Sismica a riflessione

Permette di individuare le zone di disturbo ovvero con caratteristiche minori in relazione al mezzo che l'onda attraversa.



b) Sismica a rifrazione

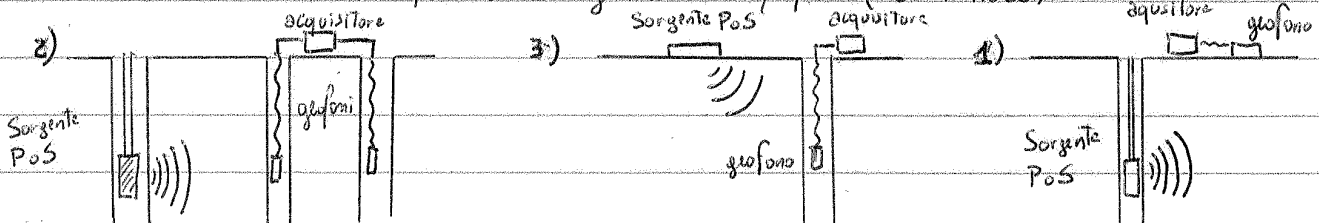
Si basano sull'individuazione delle componenti d'onda riflesse all'interfaccia. Tra i vari orienti proprietà meccaniche diverse; misura velocità in profondità sia con P che S

c) Prove in foro

1 - Misura velocità lungo il foro (UP-HOLE)

2 - Misura velocità Tra foro e foro (CROSS-HOLE)

3 - Misura velocità in foro con sorgenti in superficie (DOWN-HOLE)



Si effettuano prove di permeabilità in foro (Immissione) di due tipi

- 1) FONDO FORO in cui si isola il tratto finale del foro tramite un packer ed espansione e si immette acqua nell'ammasso roccioso, ma ho un disturbo di fondo foro.
- 2) TRA DUE OTTURATORI in cui isola un tratto del foro con due packer ed immetto acqua nella formazione rocciosa, in questo caso ho che il flusso è perfettamente radiale attorno all'asse del foro.

Queste due prove li posso seguire anche in presenza di battente idraulico.

$$L > 4D$$

$$K = \frac{Q}{2\pi L H_c} \ln \frac{2L}{D}$$

$$L < 4D \text{ e } L > 2D$$

$$K = \frac{Q}{2\pi L H_c} \sin^{-1} \frac{2L}{D}$$

H_c = battente idraulico L = dimensione zona in cui immetto fluido

Q = portata fluido immesso D = diametro

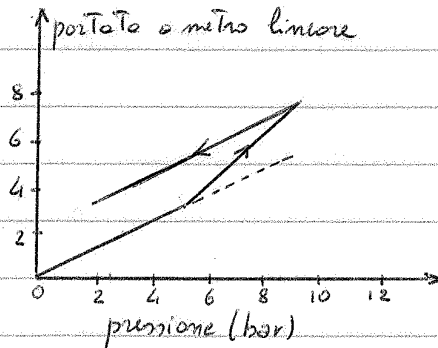
- 3) PROVE LUGEON, durante tale prova si misurano pressione di iniezione e portata d'acqua immessa in condizioni di regime stazionario, si esegue la prova per almeno 5 valori di pressione di iniezione variabili tra 3-10 bar (0,3 e 1 MPa)

Q/H = portata a metro lineare di foro

Tra 5-10 bar la correlazione tra portata e pressione non è più lineare (fenomeno di apertura delle fessure persistenti)

al di sopra del valore di soglia, aprirsi delle

fessure, consolidano per permeazione e iniezione quindi molto utile questa prova. Si prende come valore caratteristico per pressione STANDARD 10 bar.



Nel caso di rocce idroconduttrici allora l'acqua seguirà il percorso indotto dalle fessure, per verificare l'idroconduttività si eseguono delle prove specifiche di pompaggio in fondo con pozzi.

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

- 3D) Si hanno 15 incognite: 3 - componenti di spostamento u, v, w
 6 - componenti di sforzo (σ, τ)
 6 - componenti di deformazione (ϵ, γ)

2D) Stato di deformazioni piane, 8 incognite: 2 - componenti spostamenti

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \gamma_{xy} & 0 \\ \gamma_{yx} & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- 3 - componenti sforzo
 3 - componenti deformazione

$\epsilon_1 = \epsilon_2 \neq 0$ $\epsilon_3 \neq 0$ (vale nel caso in cui lungo z considero infinitamente esteso)

ESAME: σ_z ?

Le componenti $\sigma_z \neq 0$ deve essere tale da imporre che su quel piano ϵ_z sia uguale zero.

Nota l'indice di qualità si può stimare il modulo E_d [GPa]

Ⓘ $2RHR - 100 = E_d$ Ⓚ $E_d = 10 \frac{RHR-10}{40}$ Ⓜ $E_d = \sqrt{\frac{G_{ci}}{100}} \cdot 10 \frac{(G_{ci}-10)}{40}$ Ⓝ $E_d = 25 \log_{10} Q$

b) Mena ELPLA (continuo isotropo elastico-plastico)

Oltre al valore G_{ci} (di snervimento) si avranno sicuramente deformazioni plastiche quando scivola.

Per definire la legge sforzo - deformazione in questo caso

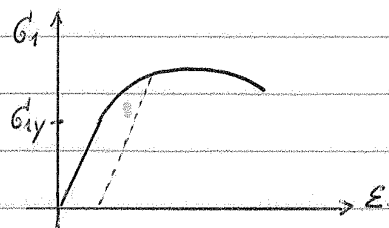
bisogna definire:

- Relazione in campo elastico (E, ν)
- Condizioni o criterio di plasticizzazione che indica il livello di sforzo per cui si sviluppano deformazioni plastiche.
- Relazione sforzo - deformazione in campo plastico.

I parametri da individuare per modellare un comportamento ELPLA sono:

$E_d, \nu_d =$ FASE ELASTICA

$G_{ci} \rightarrow c', \varphi'$ (MOHR-COULOMB) roccia intatta = PARAMETRI CRITERIO DI PLASTICIZZAZIONE
 $\rightarrow G_{ci}, m_b, s$ (MOEK-BROWN) ammesso roccioso



ESAME: cosa caratterizza un comportamento sottomollente o fragile? Cosa capita nel campione dopo il valore di picco? Incremento di volume quindi zero

Tenere conto della DILATAZIONE (Si aumenta nella prova di Toglio) ψ = angolo dilatazione

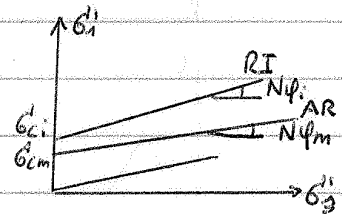
RSF rovine in relazione al tipo di ammasso roccioso che sia non disturbato (TBM) o disturbato (esplosivi)

ESAME: Cos'è G_{cm} ?

G_{cm} = resistenza a compressione dell'ammasso roccioso determinabile nei seguenti modi:

modi: H-B $G_{cm} = \sqrt{S G_{ci}}$ $G_{cm} < G_{ci}$

M-c $G_{cm} = \frac{2c_m \cos \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}$ $G_{ci} = \frac{2c_i \sin \varphi_i}{1 - \sin \varphi_i}$



RI (c_i, φ_i) AR (c_m, φ_m)

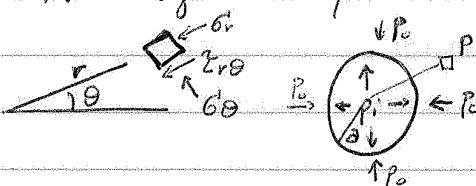
- è un masso, sabbie o ghiaie non coesivo, $G_{SI} < 25 \rightarrow S=0 \rightarrow G_{cm}=0$

è un masso che ha solo attrito $\varphi_m \neq 0, c_m = 0$

S: fattore di scala che mi permette di passare da rocce intatte ad ammasso roccioso

uniformemente sul contorno delle gallerie, le incognite del problema sono 6:

$$\begin{matrix} \text{Soll.} \\ \begin{bmatrix} G_r \\ G_\theta \\ \chi_{r\theta} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \text{def.} \\ \begin{bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\theta \\ \chi_{r\theta} \end{bmatrix} \end{matrix}$$



eq. equilibrio $\rightarrow \frac{\partial G_r}{\partial r} = \frac{G_r - G_\theta}{r}$

leggi costitutive $\rightarrow G_r = (\lambda + 2G)\varepsilon_r + \lambda\varepsilon_\theta \quad G_\theta = (\lambda + 2G)\varepsilon_\theta + \lambda\varepsilon_r$

relazioni def-spostamenti $\rightarrow \varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r} \quad \varepsilon_\theta = \frac{1}{r}\left(u_r + \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta}\right) \quad \chi_{r\theta} = \frac{1}{r}\left(u_r \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - u_\theta\right) + \frac{\partial u_\theta}{\partial r}$

condizioni al contorno:

- sul contorno gallerie $\rightarrow r = a, G_r = p_i$

- a distanza molto grande $\rightarrow r = \infty, G_r = p_0$

Si usa soluzione analitica di Lamè:

$$G_r = p_0 - (p_0 - p_i) \frac{a^2}{r^2} \quad G_\theta = p_0 + (p_0 - p_i) \frac{a^2}{r^2} \quad u_r = \frac{1+\nu}{E} (p_0 - p_i) \frac{a^2}{r}$$

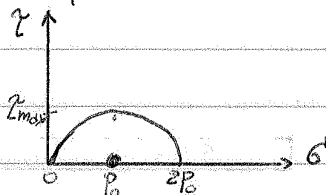
p_0 = stato tensionale originario

p_i = stato dentro gallerie

Dalle relazioni posso passare dallo stato tensionale indotto e quello in sito e viceversa:

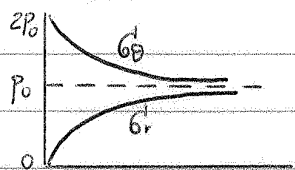
prima dello scavo $p_i = p_0$, quindi $G_\theta = 2p_0 \quad G_r = 0$

o prima dello scavo



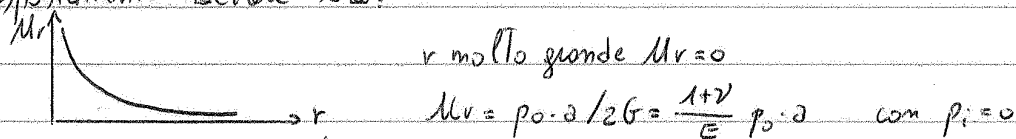
- dopo lo scavo

la distribuzione delle tensioni in presenza di sostegno $p_i = 0$ sono



sul contorno delle gallerie ho le tensioni massime.

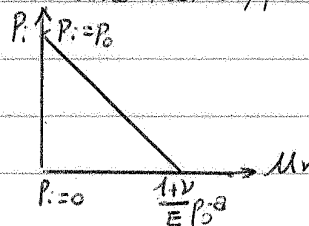
lo spostamento radiale sono:



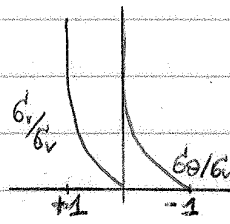
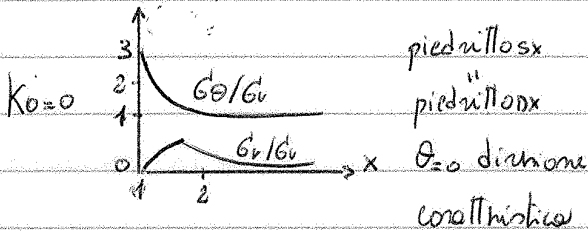
ESAME: linea costitutiva della gallerie racconta la storia dello spostamento durante lo scavo, in un mezzo visco è rappresentato da una retta, poiché scivola in modo lineare un punto qualunque sulla retta rappresenta u_r del centro della gallerie.

u_r in condizioni finali ha valore max $\lambda = 1$

" " " statiche iniziali $= 0 \quad \lambda = 0$



Andamento Stato Tensioni in A e B,

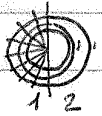


ESAME: Cosa sono isostatiche e isolinnee?

Come cambiano se cambia k_0 ?

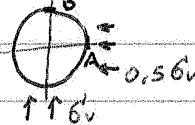
- 1) isostatiche = linee che mi indicano punto e punto le direzioni principali
- 2) isolinnee o anche linee di livello delle Tensioni principali

$k_0 = 1$ sono intorche delle circonferenze concentriche alla galleria

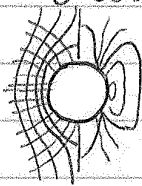


$k_0 = 0,5$ A $G_\theta = 2,56v$

B $G_\theta = 0,56v$



lo stato di Tensione è anisotropo



GALLERIA DIVERSA SEZIONE

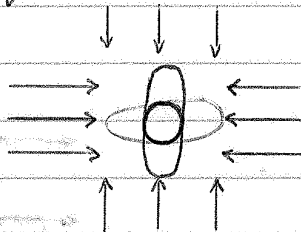
Le Tensioni nell'intorno di gallerie di sezione diversa dalle circolari possono essere calcolate con soluzioni in forma chiusa solo in casi particolari (ellisse, quadrato, rettangolo, con valori noti del raggio di unatura agli spigoli)

N.B. da tutte viene fatta sulle concentrazioni dello sforzo

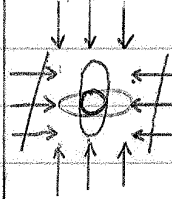
ESAME: Quale sulgo? $\circ, \circ, \circ,$

Con $k_0 = 1$, condizioni isotrope

$G^h = G^v$



Con $k_0 = 0$, $G^h = 0$, $G^v \neq 0$



$\circ \rightarrow$ A) $3G^v$

B) $-G^v$

$\circ \rightarrow$ A) FORTE

B) $-G^v$

Preferibile ellisse verticale, con forte Tensione

\circ Minimo valore della concentraz. dello sforzo in quelle circolari $w/h = 2$, $G_\theta/G_v = 2$ (Stato di Tensione idrostatico)

verticale di migliore le cose (simile fino di corallo)

Ho due componenti principali ruotate di θ

$$G'_{\theta A} = 3G_{10} - G_{30}$$

$$G'_{\theta B} = 3G_{30} - G_{10}$$

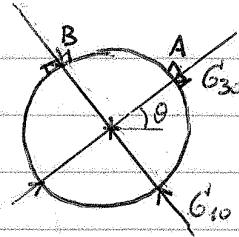
Adesso metto in pressione la galleria $p_i = p_w$

con pressione idraulica (ho bottenti idraulico, 80 metri profondità, ho $p_w = 80 \text{ Tm}$)

$$G'_{\theta A} = 3G_{10} - G_{30} - p_w$$

$$G'_{\theta B} = 3G_{30} - G_{10} - p_w$$

Se $p_w > 3G_{10} - G_{30}$ o $p_w > 3G_{30} - G_{10}$ allora nascono delle Tronioni dovute al bottenti idraulico



N.B. In zona elastica dare valore Lami (formule vedere slide pag 7-11) se entro in fase plastica dare valore interno di plasticizzazione $M-C$ (lo posso scrivere in tre forme: $T_{max} - G_m, G_1 - G_3, t, s$)

ESAME: per quale condizione si verifica la fase plastica? pressione critica per cui si inizia la plasticizzazione dipende da stato tensionale miniale e valore di picco. $P_{cr} = p_0 (1 - \sin \phi) - C_p \cos \phi$

Quando si raggiunge la condizione limite daro ten conto delle deformazioni (possibile incremento di volume)

CURVA CARATTERISTICA

-normo elastico in cui M_r varia linearmente

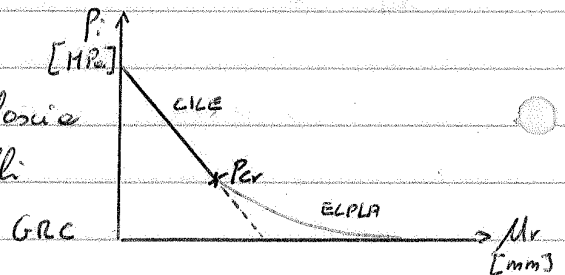
ovvero ad un valore critico di pressione nasce una fase plastica che può essere in base ai due modelli costitutivi (ideale o fragile)

CLE è $f(E, \nu, a, R_{pl}, p_0, p_i)$

P_{cr} è $f(p_0, C, \phi)$

$ELPLA$ è $f(E, \nu, a, R_{pl}, p_0, p_i, \frac{C_p}{p_{cr}}, \frac{C_p}{p_{cr}}, \psi=0$

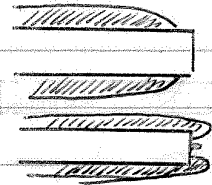
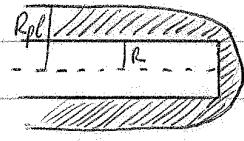
} valgono tutte in condizioni PIANE $E_z=0$



IMP: da una caratteristica esprime il legame tra lo spostamento radiale M_r della parete della galleria e la pressione interna p_i applicata

de condizioni di stabilità al fronte di scavo, de calcolo numerico risultano:

- 1) $N > 5$, Tensione agente $\gg \gg$ della resistenza Tutto quello che mi circonda è in condizione limite (gallerie molto profonde o e pareti di p_0 la G_{cm} è molto ridotta)
- 2) $N < 2$ non ho instabilità sul fronte (douto e gallerie superficiali)
- 3) $2 < N < 5$ condizione limite con qualche Tronione sul fronte

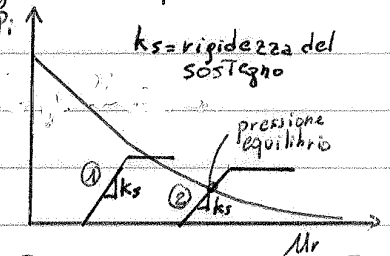


Il valore di σ_c , può essere scelto o con criterio H-B o M-C, per il quale si immagina zone plastiche sul primitivo di scavo.

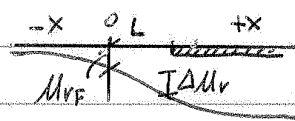
CURVA CARATTERISTICA DEL SOSTEGNO

de una o linea caratteristica del sostegno/ristrutturamento esprime il legame tra la pressione esercitata dallo stesso sulle pareti delle gallerie p_i e lo spostamento radiale M_r e cui entrambi sono soggetti de condizioni di equilibrio tra roccie e sostegno vengono determinate dall'intersezione tra la curva caratteristica delle gallerie e quella del sostegno convergenza - confinamento.

Per definire in maniera completa la curva caratteristica del sostegno è necessario conoscere lo spostamento radiale della galleria al momento della sua posa in opera M_r . Tale spostamento alla posa in opera può essere determinato in base alle curve che descrivono lo sviluppo dello spostamento in funzione delle distanze dal fronte.



$$M_{rL} = M_{rF} + \Delta M_r$$



- ① prima si è deformata la galleria poi alla messa in opera il sostegno risulta già plasticizzato, si è intersecati Tordi o a L elrotte
- ② se lo metto più in là allora il sostegno non plasticizza sono vicino al fronte, de messa in carico del sostegno è dovuta in primo luogo all'allontanamento del fronte di scavo dalle zone di posa in opera; in relazione alle distanze di Tale zona dal fronte ed alle risposte dell'ammasso roccioso e del ristrutturamento, avviene una ridistribuzione dei carichi dal fronte al sostegno: chiamiamo questo processo di Trasferimento dei carichi interazione

LEZIONE 19

- TIPI DI INSTABILITÀ

- METODO EQUILIBRIO LIMITE

Il problema di stabilità è posto in riferimento a:

- instabilità Temute (pendio naturali che per caratteristiche geometriche, natura dei Terreni fa pensare a possibili instabilità)
- instabilità in atto (frana, generalmente per scioglimento)
- instabilità avvenute (frana avvenute per scioglimento o ruolo di ammassi rocciosi, con modifica del Terreno)

Si possono avere fenomeni di riattivazione di frane e cause dello scavo di gallerie in sottinca.

Domande da porsi:

Come si può manifestare il fenomeno di instabilità? SO RISPONDERE

Quale probabilità ci sono che il fenomeno di instabilità si verifichi? DIFFICILE

Se il fenomeno si verifica, qual è lo scenario possibile e quali sono le conseguenze? SO RISPONDERE

Le misure di prevenzione consistono nel rimuovere le cause del pericolo imminente ed impedire che si verifichi, pone in atto sistemi di stabilizzazione, attuare sistemi di misura e controllo (monitoraggio), imporre vincoli e limitazioni d'uso del Terreno.

TIPI DI INSTABILITÀ

I) CROLLO (FALL)

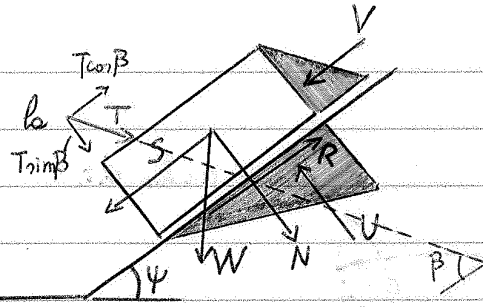
Fenomeno che inizia con il distacco di Terra o di roccia da un pendio acclive lungo una superficie lungo la quale lo spostamento di Toglio è nullo o limitato (il materiale si muove nell'aria per caduta libera, rimbombando e rotolando).

II) RIBALTAMENTO (TOPPLING)

Rotazione in avanti di una massa di Terra o roccia, intorno ad un punto o ad un asse situato al di sotto del centro di gravità della massa spostata e possono volersi in fenomeni di caduta.

blocco su piano con ψ noto.

$A =$ sfondo agente, componenti che agisce lungo la direzione di max pendenza del fronte



$$\textcircled{1} \begin{cases} N = W \cos \psi \\ S = W \sin \psi \\ R = N \tan \psi + c'A \end{cases}$$

CASO ① blocco solo soggetto a forze di gravità

$$F_s = \frac{N \tan \psi + c'A}{W \sin \psi} = \frac{W \cos \psi \tan \psi}{W \sin \psi} = \frac{\tan \psi}{\tan \psi}$$

IPOTESI $c=0$ c'è solo attrito ψ .

CASO ② azione dell'acqua e di un elemento di rifondo

$$\textcircled{2} \begin{cases} V = \text{spinta a monte} & N = W \cos \psi - U + T \sin \beta \\ V = \text{sottospinta dell'acqua} & S = W \sin \psi + V - T \cos \beta \\ T = \text{ancoraggio} & R = c'A + N \tan \psi \end{cases}$$

→ CRITERIO MOHR-COULOMB:

$$F_s = \frac{[W \cos \psi - U + T \sin \beta] \tan \psi + c'A}{W \sin \psi + V - T \cos \beta}$$

obbiomo una resistenza che si incrementa linearmente all'aumentare delle componenti normali

Se considero $c=0$, non mette il tirante e Trovare eventuali componenti normali

$$F_s = \frac{(W \cos \psi - U) \tan \psi}{W \sin \psi + V}$$

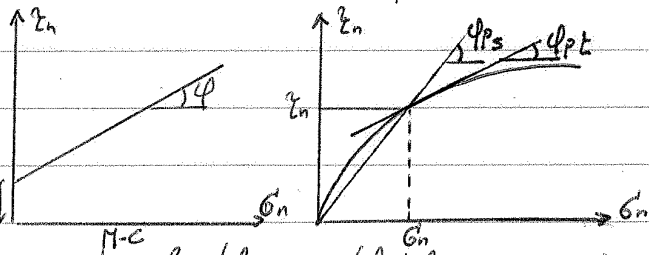
N.B. Il fattore di sicurezza può essere aumentato usando i seguenti accorgimenti:

- cerco di eliminare acqua quindi U e V (obbligato)
- aggiungo tirante (Trovando $T \cos \beta$)
- Trovare coibente ($c=0$)

Secondo il D.M. 11 marzo 1988 il fattore $F \geq 1,3$ per legge. $E_{na} = E_{na}(G_n)$

ESAME: In quando $F = \frac{R}{A}$ e sia R che A dipendano dalla resistenza al taglio allora uso ho a disposizione due criteri: M-C (c, ψ), BARTON (forma non lineare) (G_n , $\psi_{ps} = \psi_{ps}(G_n)$, JCS, SRC)

Dato trovare M-C linearizzando Barton usando una retta secante o tangente e lo decido in base al livello della c'



sfondo normale (dato dalle sole componenti normali del peso del blocco, però è un

approssimazione del fatto di considerare lo sfondo costante) però usare $\psi_{ps}, c=0$ o $\psi_{pt}, c \neq 0$

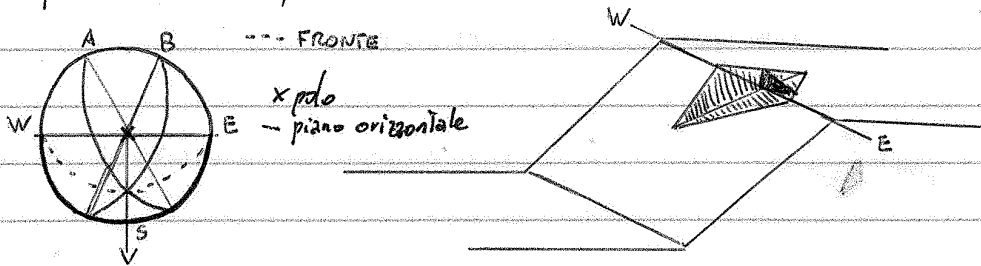
LEZIONE 20

- EQUILIBRIO LIMITE (3D)

- INTERVENTI STABILIZZANTI

EQUILIBRIO LIMITE (3D)

Il problema è la possibilità del cuneo di scivolare



Se la linea di intersezione è \perp al fronte, limitato verso sud, allora ho due piani che mi danno queste configurazioni A e B

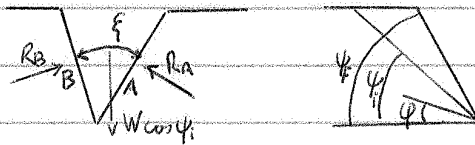
a) analisi semplificate (3D):

ψ_F = angolo inclinazione fronte

ψ = angolo inclinazione linea intersezione

φ = coefficiente al taglio del fronte

$\psi > \varphi$ allora non c'è acqua con $c=0$



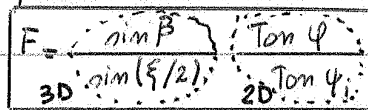
Il problema è che il cuneo è delimitato da un piano A e B, non è infinito

Se $\xi = 180^\circ$ (molto grande) A e B diventano un solo piano quindi ho un elemento piano 2D; se $\xi < 180$ (valore finito) 3D, cuneo

N.B. con ξ piccoli i due piani fanno contenimento quindi è più stabile di $\xi = 180^\circ$

Il fattore di sicurezza sono:

$F_s = (R_A + R_B) \tan \varphi / W \sin \psi_i \Rightarrow$



IPOTESI $\varphi_A = \varphi_B = \varphi$
 $c_A = c_B = 0$

I parametri ψ_i, β, ξ sono determinabili per via grafica con stereogramma

purché il cuneo sia relativamente centrato rispetto al fronte.

β = angolo tra bisettrice del cuneo e direzione rappresentativa



F_s diminuisce al diminuire di β e all'aumentare di ξ

