



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1375A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Vallero

MATERIA: Consolidamento di Rocce e Terreni, Prof. Del Greco

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.

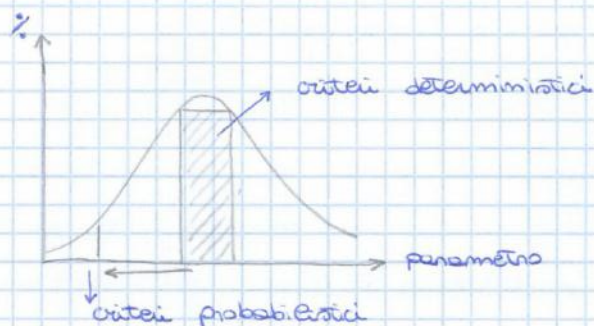
**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

CONSOLIDAMENTO di ROCCE e TERRENI

4/3/2014

INTRODUZIONE

Si opera nell'ambito della geotecnica. Un'opera geotecnica coinvolge una formazione geologica \Rightarrow la costruzione presuppone la conoscenza del comportamento di questi materiali. Queste caratteristiche non sono note ma devono essere determinate preventivamente. Nel progetto c'è quindi una fase di determinazione di questi parametri, regolamentata dalla normativa (prima legge 1981 \rightarrow poi 1988 \rightarrow poi norme tecniche per le costruzioni: 2008): si è passati da criteri deterministici (valore di progetto scelto dal progettista, FS doveva portare a un sovradimensionamento della struttura) e probabilistici (FS applicato ai singoli parametri).



È necessaria sia una relazione geologica che una relazione geotecnica (che dipende da quella geologica, necessaria per ottimizzare le indagini geotecniche).

È sempre presente però un margine di incertezza: le indagini potrebbero non essere infatti del tutto esaustive. Per questo sono presenti le misure di monitoraggio: durante la realizzazione del progetto viene controllato il comportamento della struttura (nel caso di situazione critica si può intervenire) confrontando i risultati delle misure di monitoraggio con il progetto. Questo si chiama progetto osservazionale, è modificabile in corso d'opera, per es. con opere di consolidamento.

Con il consolidamento si crea un materiale diverso da quello delle condizioni originali \Rightarrow si deve caratterizzare questo nuovo materiale.

Il terreno di fondazione potrebbe rompersi o deformarsi non compatibilmente con la funzionalità dell'opera o essere oggetto a fenomeni frangenti o liquefazione in caso di evento sismico \rightarrow il progettista ha più opzioni: alleggerire l'opera (possibilità remota), cambiare sito (possibilità remota) oppure migliorare le prestazioni dei materiali.

Oggi si atua il consolidamento per vari motivi:

- sempre più si deve costruire in aree marginali
- si deve costruire e garantire la stabilità di strutture già esistenti (es. metropolitane)

La scelta di un tipo di miglioramento dipende da vari fattori:

- tipo e grado di miglioramento richiesto
- tipo di terreno
- condizioni idrauliche
- costo
- disponibilità dei materiali e delle tecniche
- tempo di intervento disponibile
- danno possibile alle strutture adiacenti
- possibile inquinamento delle risorse idriche
- tossicità e consistenza degli additivi chimici
- reversibilità / irreversibilità dei processi
- riutilizzo dei componenti

5/3/2014

Gli interventi di consolidamento si possono classificare anche in altri modi, per es. con la classificazione di Bughignoni in cui si tiene conto dell'effetto del miglioramento rapportato alla scala di intervento:

- livello del microelemento: l'intervento agisce a livello dei meccanismi intergranulari → terreni fini, si sviluppano relazioni chimico-fisiche tra i grani (sono prevalenti le forze di superficie rispetto a quelle di massa)
- livello del macroelemento: il metodo agisce alla scala del provino di laboratorio → l'osservazione visiva permette di capire quali modifiche sono avvenute
- livello del megaelemento: il volume significativo è l'intera opera

Si parla di miglioramento quando l'intervento agisce sui primi due livelli. In questo caso se si usa materiale di apporto, questo si distribuisce uniformemente nel mezzo e non ^{ne} modifica la struttura. (es. congelamento).

Si parla di rinforzo quando si agisce a livello del megaelemento: si inmisciano elementi differenti dal mezzo (es. ballaggio).

In entrambi i casi si migliorano le caratteristiche meccaniche.

Con gli interventi di miglioramento si può agire sulla condizione di stato (stato tensionale, pressione interstiziale, indice dei vuoti) o sulla costituzione del materiale (fluido interstiziale, solido solido).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{indice dei vuoti}$$

$$m = \frac{V_v}{V_s + V_v} \quad \text{porosità}$$

$V_s + V_v \rightarrow$ volume di un e due

- iniezioni di miscela per spostamento } materiale fine
- meccanico } tenersi fine (limo-argilla)
- compattazione dinamica sup. } no effetto sulle argille
- elettrosmosi } tenersi fini (non sabbie)
- elementi di rinforzo } ovunque
- miscelazione con sostanze chimiche } sabbia o limo

- T. GROSSI:
- vibrocompattazione
 - esplosivi
 - iniezione miscel. cem.
 - " " chimiche
- T. FINI:
- miscela x spostamento
 - meccanico
 - compatt. dim. (no sup.)
 - elettrosmosi (l+e)
 - rinforzo (cable ti)
 - termico (l+g)
 - additivi

Un altro fattore importante è la permeabilità, che può essere associata alla granulometria → i riseratoi sono simili ai precedenti:

- ghiaia $1 \div 10^{-2}$
- sabbia $10^{-2} \div 10^{-5}$
- sabbia fine $10^{-5} \div 10^{-6}$
- limo $10^{-6} \div 10^{-9}$
- argilla $10^{-8} \div 10^{-9}$

- T. GROSSI:
- iniezioni
 - jet grouting
 - miscela sabb.
 - vibrotela
 - comp. dim.
 - esplosivi
 - comp. con rulli
 - t. rinforzati
 - congelamento

- T. FINI:
- meccanico
 - jet grouting
 - colonne calce e ghiaia
 - miscela sabb.
 - compatt. rulli
 - drenaggi
 - elettrosmosi
 - congelamento
 - altro

- ↳ meccanico: limo + argilla
 iniezioni: fino a sabbia fine
 jet-grouting: fino a limo
 miscela stabilizzanti: ovunque (medio-fini)
 colonne di ghiaia: limo + argilla
 compattazione con rulli: fino a sabbia fine
 tenersi rinforzati: fino ai limi
 drenaggi: bassa permeabilità
 congelamento: ghiaia e sabbia

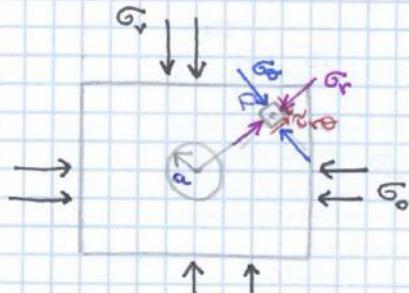
11/3/2014

Metodi possono influenzare le caratteristiche di deformabilità, resistenza e permeabilità:

→ indifferente □ = miglioramento ^{del} obiettivo ○ = miglioramento (secondario)

- meccanico (drenaggi): ↑ def. ↑ res. ↑ perm.
- iniezioni } ↑ def. (⇒ ↑ rigidità) ↑ res. ↓ perm.
- jet grouting }
- colonne di calce: ↑ def. ↑ res. ↑ perm.
- miscela stabilizzanti: ↑ def. ↑ res. ↓ perm.
- colonne di ghiaia: ↑ def. ↑ res. ↑ perm.
- vibrofeccitazione: ↑ def. ↑ res.
- compattazione dinamica } ↑ def. ↑ res.
- esplosivi }

- realizzare uno scavo ellittico (galleria) piuttosto che circolare



Stato tensionale di una piastra con un foro:

eq. di Kirsch → permettono di ricavare $\sigma_r, \sigma_\theta, \nu_{r\theta}$ (mezzo continuo e omogeneo)

⇒ noto lo stato tensionale naturale permettono di coprire l'alterazione dello stato tensionale

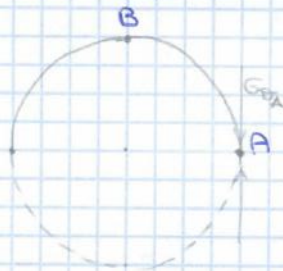
↳ applicazione a gallerie e pozzi

$$\sigma_r = \frac{\sigma_0 + \sigma_v}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{\sigma_0 - \sigma_v}{2} \left(1 - \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2}\right) \cos 2\theta$$

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_0 + \sigma_v}{2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{\sigma_0 - \sigma_v}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta$$

dove a : raggio foro

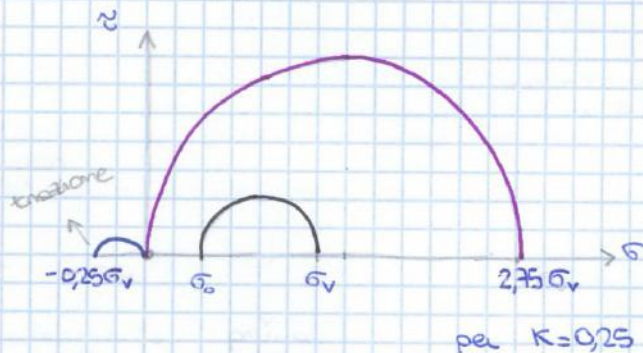
↳ variando r e θ si conoscono σ_r e σ_θ



in A e in B ci sono le condizioni più critiche:

- per $r=a$, $\sigma_r = 0 \quad \forall r, \theta$
- per $r=a$, $\sigma_{\theta A} = \sigma_v (3-K)$ con $\sigma_0 = K \sigma_v$
- per $r=a$, $\sigma_{\theta B} = \sigma_v (3K-1)$ con $\sigma_0 = K \sigma_v$

⇒ lo scavo della galleria ha prodotto:



La situazione dopo lo scavo è più grave

- prima dello scavo
- dopo lo scavo (in A)
- dopo lo scavo (in B)

Cosa si può fare per miglioramento la situazione modificando la geometria?

Vediamo cosa accade se il foro realizzato nella piastra è ellittico

entro t_s bisogna mettere un sovraccarico P_s che produca uno sviluppo dei cedimenti in modo che il cedimento ottenuto a t_s sia quello ottenuto per tempi lunghi s_f .

Si vuole determinare P_s .

Praticamente si immette un ricarico più alto \Rightarrow macchine per movimento terra e compattazione. Sovraccarico in materiale tenero. Costi bassi rispetto ad altri metodi. Tempi relativamente lunghi (\Rightarrow vantaggio).

Vantaggi: tecnica semplice e nota analiticamente (\Rightarrow incertezze limitate).

La curva di assettamento deriva dalla teoria della consolidazione di Terzaghi:

Terzaghi:

$$s(t) = U_m(T_v) \cdot s_f$$

dove U_m : grado di assettamento medio

T_v : fattore tempo

$$T_v = C_v \cdot \frac{t}{H^2}$$

\rightarrow hp. terreno di fondazione a bassa permeabilità, normalmente consolidati, ricchi d'acqua, di spessore H_0



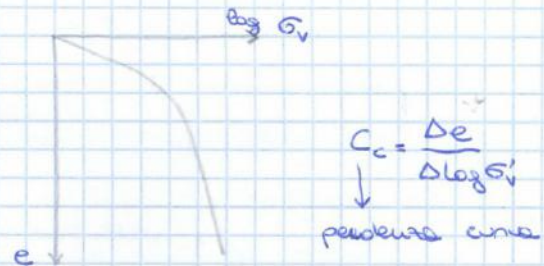
C_v : coeff. di consolidazione verticale

H : max percorso di drenaggio (non è detto che sia pari a H_0)

$$s_f = H_0 \frac{C_c}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + P_s}{\sigma'_{v0}} \right)$$

max cedimento

dove C_c : indice di compressibilità del terreno (\rightarrow dalla prova edometrica)



σ'_{v0} : tensione efficace media nello strato di terreno

e_0 : indice dei vuoti iniziale

In assenza di sovraccarico: $s_s = U_m(T_v) \cdot s_f$

Con il ricarico: $s_f = U_m(T_v) s_{sc}$

Di solito non si eseguono indagini di controllo

- denaggi (vedi prima e poi)

COMPATTAZIONE SUPERFICIALE dei TERRENI

Viene dato un maggiore grado di addensamento ai terreni con azioni di sup.

Ci si riferisce a opere stradali, piste aeroportuali: i conigli agiscono superficialmente (ordine del metro o poco più).

Si utilizzano mezzi meccanici:

- statici: rulli compattatori (carico trasmesso al terreno attraverso gli appoggi della macchina; carico lineare) che possono essere a sup. liscia o non liscia (varie forme)
- dinamici: effetto del peso proprio + impulso (causato dalla presenza di eccentrici)
→ carico rimuovibile → rulli vibratorii o mazzapicchi o piastre vibranti (gli ultimi due hanno un raggio d'azione più limitato)

Non ci sono soluzioni analitiche per la scelta di un mezzo, conta l'esperienza e le info date dal produttore.

Non viene spostato materiale. Costi bassi. Tempi brevi

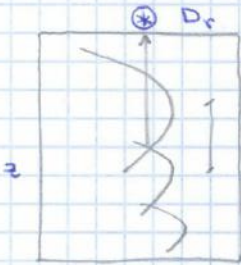
Svantaggi: agisce su uno spessore piccolo

Si applica su una vasta gamma di terreni:

- mezzo statico → terreni fini (ma non eccessivamente saturi), non finissimi
- mezzo vibranti → terreni granulari → i granuli trovano migliore assetto, l'acqua non va in sospensione perché il materiale è denso.

12/3/2014

La compattazione superficiale è anche usata in strutture compattate in mezzi naturali con fine di isolamento idraulico (es. bacini idraulici, diacriiche) → in questo caso il materiale interessato è fine. In ambito stradale i mezzi interessati sono granulari. Il mezzo statico hanno più ampio spettro di utilizzo: si possono usare anche in terreni granulari, ma sono più efficaci in quelli fini. I rulli lisci statici si usano su materiali granulari, i rulli con sporgente si usano in materiali coesivo (compresione + sforzi di taglio per rimozione). Fanno parte dei mezzi statici anche i rulli gommati (resi pesanti da carichi sovraccaricati). Per la scelta di queste macchine ci si avvale delle indicazioni del produttore. La profondità d'azione dei rulli metallici dipende dal peso del rullo, per quelli gommati dipende dalla pressione delle gomme e dal riempimento del carotere.



per $\uparrow D_r$ devo avvicinare le curve, ma questo vuol dire fare più strati ($\Rightarrow \uparrow$ costo \Rightarrow quando cosa conviene)
 $\otimes D_r$ minima della struttura



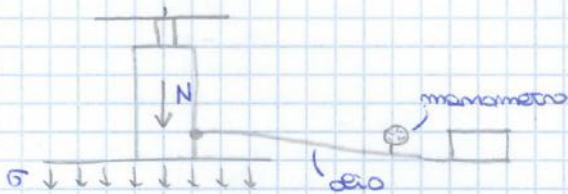
impermeabilizzazione circolare: strato permeabile di spessore 1 m e coeff. di permeabilità $K \leq 10^{-9} \text{ m/s} = 10^{-7} \text{ cm/s}$
 \rightarrow ottenere questo K non è semplice \rightarrow struttura realizzata

\Rightarrow è importante il campo prova!

con tenore sotto (l'angolo elevato) e posa in opera particolare

(controllo contenuto d'acqua, si agisce su strati periferici di $D = 25 \text{ cm}$ con rullo statico $> 12 \text{ t}$); lo strato va realizzato in egual modo anche sulle quote \Rightarrow il materiale deve avere una certa resistenza al taglio ($\alpha < 25^\circ$). In casi particolari in cui $\alpha > 25^\circ$, lo strato non può essere realizzato direttamente, quindi si possono utilizzare miscele stabilizzanti.

Si usano metodi di controllo per verificare la qualità dell'opera. In ambito stradale il parametro di controllo è la rigidità ($E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$ modulo di def.) \Rightarrow viene fatta una prova di carico su piastra (impulso $\Delta\sigma$ cause da normativa, si calcolano ϵ e def. e quindi la rigidità): si realizza in superficie, si pone una piastra metallica con un peso (peso/area = $\Delta\sigma$) e si misurano gli abbassamenti \Rightarrow si ottiene una curva forze-spostamenti. La piastra viene posta sulla sup.; il diametro ($38 \pm 70 \text{ mm}$) dipende dalla granulometria (\uparrow granulometria, $\uparrow \phi$). Viene dato un carico con un martinetto idraulico contrastato da un mezzo da cantiere.



$$N = p_{\text{cels}} \cdot A_m$$

area metallica

$$\sigma = \frac{N}{A_p}$$

area piastra

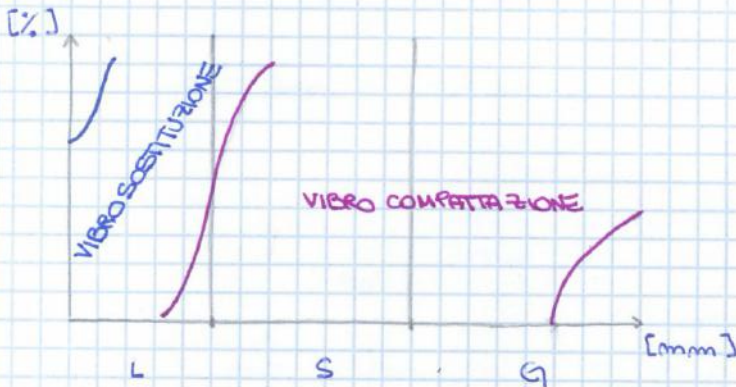
Vengono fatti cicli di carico-scarico.

Gli spostamenti (verticali) sono misurati con comparatori meccanici posti su un trepiede (riferimento fisso). Il comparatore agisce sulla piastra con un palpatore che attraverso una lancetta permette di misurare gli spostamenti (precisione del centesimo di mm). Si usano 3 comparatori e si fa la media degli abbassamenti.

VIBROCOMPATTAZIONE

In altri casi la compattazione deve andare più in profondità ($> 10m$). In alcuni metodi non vengono inseriti materiali nel terreno: nella formazione vengono imposti impulsi dinamici che provocano un riassetto del terreno. Si applicano a terreni granulari, preferibilmente sabbia. I metodi di questo tipo sono 3:

- vibrazioni indotte dall'esterno con una massa battente: heavy tamping
- vibrazioni provocate da esplosioni di masse esplosive
- vibrofeccitazione



La formazione deve essere uniforme in profondità.

$$D_{10} > 0,03 \text{ mm}$$

Per quanto riguarda la permeabilità, la vibrocompattazione è efficace se $K > 10^{-5} \text{ m/s}$

Per applicare questi metodi in condizioni limite vengono associati a opere di drenaggio.

I risultati migliori si hanno in condizioni di saturazione.

In media si riescono a raggiungere i 10m di profondità di efficacia.

Questi metodi hanno uno svantaggio: allentano lo stato sup \Rightarrow bisogna poi reintervenire su di esso con compattazione sup.

Provocando addensamento, viene migliorata la densità relativa $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \Rightarrow$

\uparrow rigidità (\downarrow cedimenti), \uparrow angolo di attrito, \downarrow coeff. di spinta a riposo, \downarrow permeabilità

Agendo su un'area estesa, il metodo rende più uniforme il comportamento della formazione (\downarrow cedimenti differenziali) e \downarrow pericolo di liquefazione causato da carichi dinamici.

Per controllare lungo la verticale l'efficacia del metodo ci sono varie strade: l'utilizzo di prove penetrometriche (SPT), prove dilatometriche o pressiometriche e metodi geofisici.

Prove penetrometriche

Possono essere:

- dinamiche \rightarrow si misura la resistenza alla penetrazione di una punta (grandezza geotecnica)
- statiche

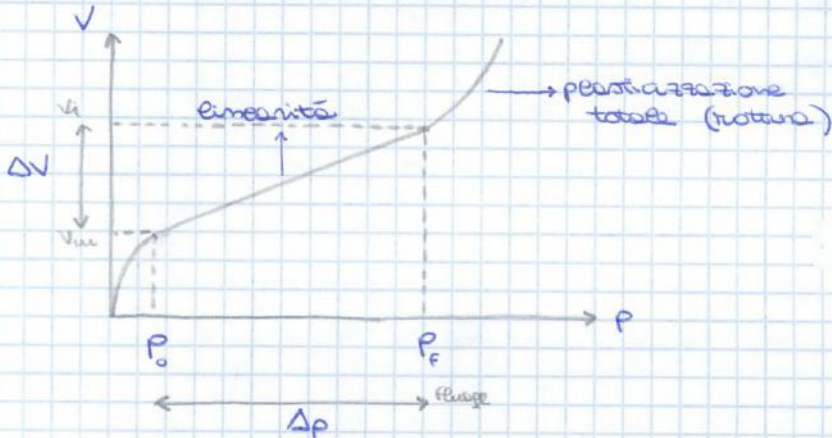
↑ pressione ↑ raggio foro: $\Delta \pi = \pi_1 - \pi_{im} \Rightarrow \Delta V = \Delta \pi \cdot R = V_1 - V_{im}$

Morand ha def. un modulo piezometrico: $E_p = \frac{\Delta p}{\Delta V} K$ dove $K = 2(1-\nu)(V+V_0)$

$\nu = 0,33 \Rightarrow K = 2,66 (V+V_0)$

↳ volume foro + recupero delle condizioni iniziali (però con il rilascio tangenziale)

Dalla prova si ottiene una curva:



Con questa prova si ottengono gli E_p lungo il foro.

Si def E_p prima e dopo l'intervento



Metodi geofisici

Con la cementazione si migliora il coeff. di rigidità trasversale.

Si energizza il terreno e con dei geofoni si misura il tempo di arrivo delle onde da cui si ricava la velocità (conosciuta al modulo di rigidità).

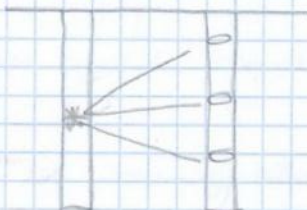
G modulo di rigidità trasversale ↔ onde di taglio: $v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ → $G = \frac{v_s^2 \rho}{g}$

E modulo di taglio ↔ onde di compressione: v_p → poco influenti a

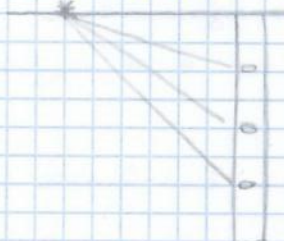
causa della presenza di acqua.

Le tecniche di misura possono essere cross hole o down hole:

cross-hole



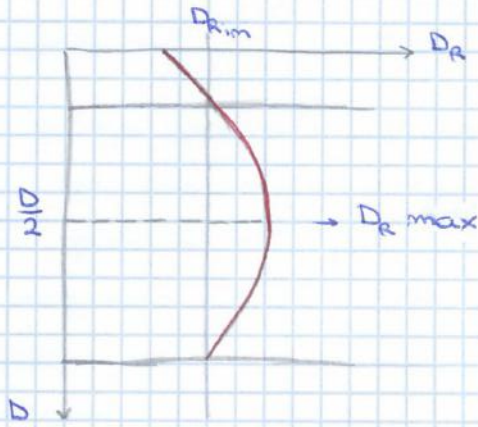
down-hole



allo fine il terreno va livellato

Nelle prime passate si compattano gli strati profondi, successivamente la compattazione agisce in sp.

Con Heavy tamping $\uparrow D_R$ con un andamento:

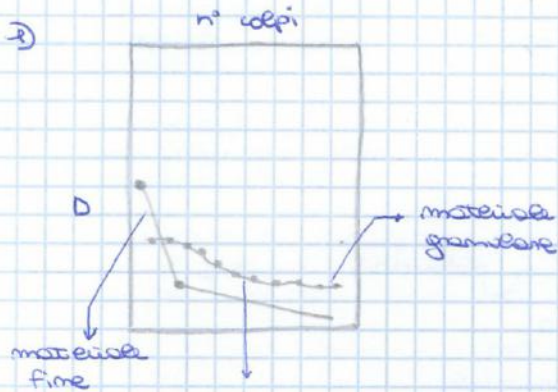


→ qui interviengo per portare D_R a valori accettabili \Rightarrow livellazione (apporto di materiale) + compattazione con rulli

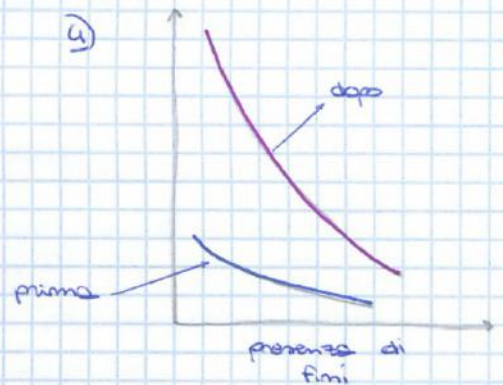
2)

Se le materiali di partenza è grossolano, l'intervento può produrre frantumazione. In caso di materiali stratificati, gli strati limosi costituiscono barriera alla diffusione delle onde \Rightarrow azione delle onde ridotta o alterata.

Esempi di metodi di controllo:



dopo un certo n° di colpi, D non aumenta: per le mat fine questo pto si raggiunge al 2° colpo



\uparrow fini \downarrow efficacia intervento

2) risaletati diversi nel pto di battuta e nei pti circostanti



incremento dell'angolo di attrito uniforme

Viene fatto un reticolo di fori : l'esplosione è simultanea in tutti i fori → serie



- 1^a serie
- △ 2^a serie
- 3^a serie
- 4^a serie

quasi successive di esplosioni (ritardo di frazioni di secondo)

100 ÷ 500 ms → ritardi ordinari
 produce un risultato migliore

L'esplosione avviene grazie a un detonatore (innesca l'esplosione). Il sistema di innesco di ogni foro comprende il detonatore e il sistema che organizza il ritardo. Le esplosioni generano prima un'onda di compressione poi una di taglio. Quando le prime raggiungono la superficie: riflessi + onde R. L'esplosione provoca un'intanto, ma liquefazione del mezzo: le onde di taglio provocano poi un riassetto, mento dei grani.

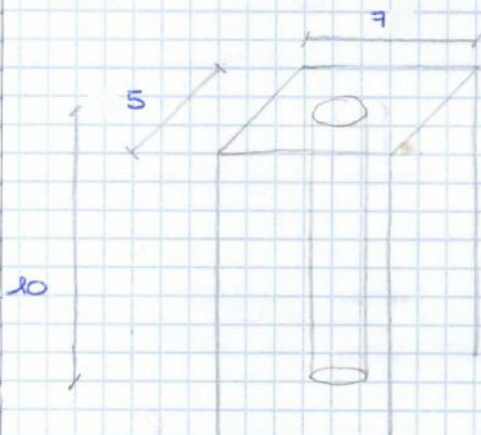
Si ha un miglioramento di D_p : ↑ efficacia ↑ dissipazione rapida delle pressioni interstiziali ⇒ necessaria la presenza di acqua. Il terreno ideale è quello granulare saturo.

L'uso dell'esplosivo è meno indicato in presenza di materiali torbosi o rifiuti: non c'è la parte sottoposta a liquefazione.

Se la formazione non è uniforme in profondità, l'effetto delle onde è ridotto → si può frazionare la carica per arginare il problema (⇒ indagini geognostiche in fase preliminare).

Se il terreno $sp.$ è più compatto di quello sottostante si ha una limitazione dell'effetto in caso di heavy tamping ⇒ problema superato con l'uso dell'esplosivo.

L'esplosivo dà i migliori incrementi di D_p quando si parte da valori bassi di D_p (se D_p già alto si può avere un effetto controproducente)



$$V = 350 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{expl}} \approx 10 \text{ kg}$$

$$C_{\text{sp}} \approx \frac{P_{\text{expl}}}{V} = 28,6 \text{ g/m}^3 \approx 15 \text{ g/t}$$

1 m³ di terra ≈ 2 t

consumo di esplosivo specifico

Se con la stessa apparecchiatura si lavora in materiale coesivo (vibrosistituzione), si ottiene materiale granuloso formando colonne di ghiaia → qui viene approssimato materiale.

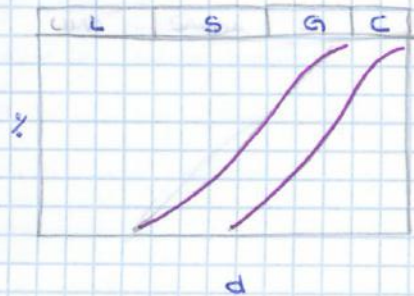
La compattazione avviene grazie alla vibrazione che consente al tenace sfarzi di taglio → riposizionamento delle particelle. Il meccanismo è limitato a una zona locale (intorno alla sonda) e l'acqua necessaria è fornita dalla sonda stessa.

L'immissione è continua. Il miglior effetto di compattazione avviene nella fase di ritirata: si alternano tratti di risalita (a 25-40 cm) e tratti di sosta (a decine di s).

Dal momento in cui si lavora su aree grandi, si sceglie una procedura e si verifica la compattazione su un'area ristretta per poi applicarla all'area rimanente.

La granulometria del materiale immerso deve avere una det. granulometria a cui deve corrispondere un numero di idoneità:

$$N_i = 1,7 \cdot \sqrt{\frac{3}{D_{50}^2} + \frac{1}{D_{20}^2} + \frac{1}{D_{10}^2}}$$



- $N_i = 0 \div 10$ materiale ottimo
- $N_i = 10 \div 20$ materiale buono
- $N_i = 20 \div 30$ materiale accettabile
- $N_i = 30 \div 50$ materiale poco adatto
- $N_i > 50$ materiale inadatto

L'aumento di D_R si ottiene in un certo raggio d'azione. Il max di $\uparrow D_R$ si ha in corrispondenza dell'asse della sonda (e diminuisce con legge exp)



D_R tende asintoticamente al valore presente in partenza

Il raggio di influenza $r_i = 2-4$ m, dipende da peso della sonda, tipo di materiale, procedura usata

\uparrow tenore fine $\downarrow r_i$ \downarrow efficacia

Il tenore non deve superare: 15% limo, 2-3% argilla

Si può incrementare D_R da 35 a 80%.

↑ portanza, ↓ cedimento, ma ha anche capacità drenanti.

Il materiale di riempimento ha granulometria tra 5 e 150 mm, il 60% in peso è compreso tra 40 e 80 mm. Viene usato un materiale con qualunque grado di arrotondamento, non calcareo. Non deve avere bassa resistenza meccanica (⇒ rocce silicatiche). Si può aggiungere una bolacca di cemento (↑ rigidità e resistenza). Se la colonna ha capacità drenanti, il materiale deve avere det. costruttive rispetto a quello circostante:

↳ La colonna deve avere > contenuto di sabbia: $4D_{15c} < D_{15c} < 4D_{85c}$
 ↓
 assicurata la filtrazione

Materie drenante in sup: . 200 mesh (= 0,075 mm) < 5% (bassa presenza fini)
 . % sabbia < 50%
 . di setto ghiaia > 50%

- Si deve valutare:
- capacità portante singola colonna
 - " " insieme delle colonne
 - cedimenti del terreno in superficie
 - cedimenti del terreno in base alla densità di colonne

a) Si valuta il carico max che la colonna può sopportare senza modificare le sue costruttive. Si considera la colonna come elemento rigido. Il terreno esercita su una colonna una pressione di confinamento che se troppo elevata può portare a rottura ↔ capacità portante. La colonna è caricata con pressione uniaxiale, il terreno offre un confinamento, ↑ carico → la colonna si può rompere per superamento della sua resistenza al taglio



oppure per cedimento del terreno circostante (la colonna tende a dilatarsi e provoca questo → v. prova pressiometrica) oppure per puntellamento (rottura dello strato di fondo su cui la colonna poggia)

La capacità portante è quindi funzione della forza di confinamento esercitata dal terreno. Questo si ricava dalla prova pressiometrica



$$E_c \approx 10 E_t$$

L'indice di riduzione del cedimento (λ = cedimento terreno non trattato) è:

$$m_r = 1 + \frac{9A_c}{A_c + A_t}$$

↳ riduzione di 2,5 volte (se $A_c = 0,5 \text{ m}^2$, $A_t = 3 \text{ m}^2$) i cedimenti

Applicabilità di vibroflotta e vibrostituzione ai tipi di terreno

TIPO di TERRENO	VIBROFLOTTAZIONE	VIBROSTITUZIONE
Sabbioso	Eccellente	Non applicabile
Sabbie limose	Accettabile	Scarsi risultati
Limoso	Scarso	Buoni risultati
Argilloso	Non applicabile	Buoni risultati
Stecci minerali	Buono	Ottimi risultati
Rifiuti urbani	Non applicabile	Non applicabile

Stecci minerali : le minerali portato a giorno è misto a degli stecci (non viti)
 ⇒ arricchimento : si ripara stecci da utile attraverso vari metodi (diverse densità, riparazione magnetica). La condizione essenziale per effettuare l'arricchimento è la frammentazione (finché i grani sono o tutto viti o tutto stecci). Il più efficace dei metodi di riparazione è la flottazione : si aggiungono sostanze chimiche che ↑ affinità dei grani di viti con la schiuma ; alla fine si ripara la schiuma dal resto. Gli stecci vengono depositati in discariche minerarie sottoforma di fanghi → col tempo si solidificano → si può avere la necessità di usare questi terreni, che può essere molto difficili da stabilizzare

(b) 26/3/2014

ESERCITAZIONE - VIBROFLOTTAZIONE

C'è una parte tecnologica e una di calcolo

Vicini alla verticale c'è maggiore addensamento, man mano che ci si allontana il trattamento decade ⇒ coeff. di influenza (tiene conto anche del tipo di onda unita).

Con sabbia fine si arriva prima a un risultato soddisfacente e si ha un r_f maggiore.

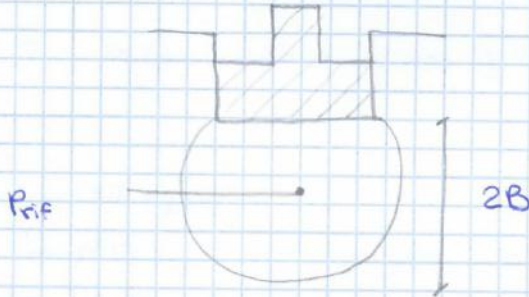
↑ % terreno fine ⇒ efficacia dell'intervento.

$$FS = \frac{q_{lim}}{q_{es}} \approx 6 > \underbrace{2,5}_{\text{previsto dalla norma}} \div 3$$

⇒ no problemi sulla capacità portante

b) Verificazione cedimenti

Il cedimenti si sviluppano sotto la fondazione e interessano il bulbo d'influenza (N 2B)



$$P_{rif} = 3,5 + \frac{1}{2}B = 7,5 \text{ m} \quad \text{profondità di riferimento}$$

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0 = 67,5 \text{ kPa} \quad \text{sollecitazione iniziale}$$

asse di simmetria ↑

Con il diagramma di Schmertmann si ricava D_p (teneno normal-consolidato)

Nel caso di sabbia molto densa o post-intervento si usano i valori per il teneno normal-consolidato ⇒ uso asse di destra (ci si simula dalla profondità ⇒ non uso σ_v)

$$D_R = \frac{1}{2,38} \cdot e_m \left[\frac{q_c}{24,8 (\sigma'_{v0})^{0,5}} \right] = 45\%$$

$$\sigma'_{p0} = K_0^{NC} \cdot \sigma'_{v0} = (1 - \sin \varphi') \sigma'_{v0} = 33,75 \text{ kPa}$$

$$s = \frac{qB}{E'} (1 - \nu^2) M_1 M_2 = 29,3 \text{ mm}$$

da diagramma, dipende da q_c e σ'_{v0} in base al tipo di teneno

$$E' \approx 3,5$$

$$q_c \downarrow$$

$$E' = 17500 \text{ kPa}$$

dalla profondità dello strato compressibile (diagramma) e geometria

nel nostro caso:

- H aceto
- geom quadrata

$$M_1 = 0,65 \div 0,7$$

dipende da z e B

$$M_2 \approx 1$$

s è accettabile ma si può migliorare ⇒ intervento

d) Valutazione costi

Piemonte 150 €/m³

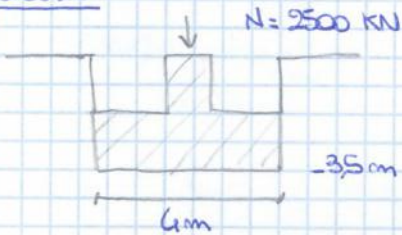
V.F. 55 €/m

Profondità trattamento 8 m

Soluzioni:

- solo pietre $(4 \cdot 4 \cdot 1,5) \cdot 150$
- V.F. $(2 \cdot 2 \cdot 0,8) \cdot 150 + 8 \cdot 55 \cdot 4 \text{ vert}$

Esercizio



no falda

$q_c = 4 \text{ MPa}$

$\delta = 18^\circ$

$\varphi'_{cu} = 34^\circ$

$\rho_{min} = 30 \text{ mm}$

- Scegliere con uno dei due approcci
- 1: le due verifiche sono separate
 - 2: verifica strutturale e geotecnica insieme

11/4/2014 (0)

ESERCITAZIONE - COLONNE di GHIAIA

Si inseriscono nel terreno colonne di materiale granulare. Si usano in terreni medio-fini. Permettono di scaricare in profondità il peso di una struttura. Il materiale è selezionato

$\phi = 0,7 \div 1,2 \text{ m}$

$i = 1,5 \div 2,5 \text{ m}$

Per l'inserimento si usano due metodi:

- wet top feed method: il materiale si aggiunge dall'alto
- dry bottom feed method: materiale inserito dalla sonda in risalita

Ci sono modifiche per migliorare la compressione della colonna.

Le colonne vengono praticate secondo maglie quadrate o quicquie.

$\phi \text{ colonna} \neq \phi \text{ di competenza}$
 $(D_c) \quad (D_c')$

Per la verifica si analizzano due elementi:

- capacità portante (con l'intervento delle ↑)
- cedimento (con l'intervento delle ↓)

Esiste un meccanismo di trasferimento del carico al terreno e poi alle colonne:

$$q \cdot A = q_c A_c + q_t A_t$$

$$S_c = S_t$$

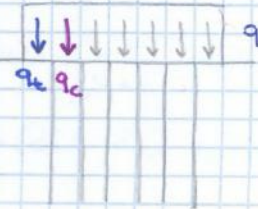
$$S_c = E_{vc} \cdot L_c$$

$$S_t = E_{vt} \cdot L_c$$

E_t^* modulo corretto di deformabilità del terreno (\leftrightarrow interazione con colonne di ghisa)

Per il terreno omogeneo si può ricavare un'espressione che permette di conoscere il carico che nel tempo si trasferisce dal terreno alle colonne. q_t compare al 1° e al 2° termine, ma è incognita \Rightarrow iterazione finché i due termini si eguagliano \Rightarrow si det. q_t . la stessa cosa si può fare per materiali a strati.

Riassunto: $t=0 \quad q = q_c = q_c$
 $t=t_f \quad q_c > q > q_t$



a) q_t 1° tentativo

$$b) \quad q_c = (qA - q_t A_t) \cdot \frac{1}{A_c}$$

c) ricavato q_c valore $\Delta\sigma_{Rc} = K q_c$

d) ricavo incremento R della colonna e S_t :

$$\Delta R_c = \frac{\Delta\sigma_{Rc} - K_{ot} \cdot q_t}{E_t^*} \left[\left(\frac{R_i}{R_c} \right)^2 - 1 \right] \cdot R_c$$

$$S_t = E_{vt} \cdot L_c$$

$$E_{vt} = \frac{q_t}{M_t} + \frac{q_t}{E_t^*} \cdot \frac{2v_t^2}{(1-v_t)^2} - \frac{2K_{ot} \cdot \Delta\sigma_{Rc}}{E_t^*}$$

e) cfr. S_t e S_c finite non sono prossime

$$S_c = E_{vc} \cdot L_c$$

$$E_{vc} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{\Delta\sigma_{Rc} - K_{ot} q_t}{E_t^*} \left[\left(\frac{R_i}{R_c} \right)^2 - 1 \right] + 1}}^2$$

\uparrow rigidità \uparrow carico che l'elemento prende

$$\Rightarrow q_c = \frac{1}{A_c} (q_A - q_t A_t) = 214 \text{ kPa}$$

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

Nel caso in cui il terreno venga caricato ma non ci siano le colonne:

$$\Delta H = H \left[RR \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vs}} + CR \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_{vs}} \right] = 0,471 \text{ m}$$

\Rightarrow con le colonne rimpiancio ≈ 12 cm in termini di cedimento

$$q_{cum} = K_{pc} \left[\overset{20k}{\sigma'_{a0}} + c_u (em I_r + 1) - u \right] = 214$$

$$z = 0,5 \text{ m} \rightarrow q_{lim} = 692 \text{ kPa}$$

$$z = 7,5 \text{ m} \rightarrow q_{lim} = 950 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{692}{214} \approx 3 \Rightarrow \text{verificato}$$

TAGLIO

$$q_{cum} = \dots = 670 \text{ kPa}$$

$$q_{cs} = \dots = 214 \text{ kPa}$$

$$FS > 3$$

q_{lim} calcolata a z omogenea

Si può fare un'ulteriore valutazione: c_u dovrebbe \uparrow grazie al drenaggio $\Rightarrow q_{lim}$ potrebbe $\uparrow \Rightarrow$ anche $FS \uparrow$ (lungo termine) \rightarrow è una buona cosa perché possono essere presenti difetti tecnologici o limiti con caratteristiche peggiori.

Per variare la funzionalità della colonna si può agire su D_c e L_c .

AGGIUNTA DI LEGANTI

1/4/2016

L'aggiunta di legante da una certa continuità al terreno: \uparrow resistenza e migiora le caratteristiche di attrito, \uparrow rigidità, \downarrow deformabilità, \downarrow permeabilità (se non è l'obiettivo principale si può evitare di \downarrow molto), \uparrow resistenza (\Rightarrow \downarrow deformazioni differenziali).

Ci sono diverse modalità di intervento.

I tipi di leganti sono:

- cemento
- calce

\hookrightarrow in alcuni casi insieme

richiedono una rigidità minima → difficile stabilire la quantità ⇒ campo prova + prova carico su piastra (↑ rigidità sottofondo, ↑ costo costi materiali).

Il risultato dell'essere costruiti usando materiali di caratteristiche approssime ($A_1, A_3, A_{2-4}, A_{2-5}, A_4$). In Italia per costruire i rilevati si usano materiali molli, in altri paesi si usano materiali meno pregiati ⇒ aggiunta di legante. Negli anni '30 in Italia si è sviluppata una certa coscienza ambientale ⇒ limitazione / impedimento dell'apertura di cave ⇒ uso di materiali meno pregiati + aggiunta legante. Vengono fatte prove (carico su piastra o prova di penetrazione CBR) per capire in che misura aggiungere il legante. Di solito in questo campo si usa la calce (1,5 ÷ 4% in peso secco del materiale).

21/4/2014

Per questi manufatti si usa materiale naturale come indicato dal suo granulometrico.

Tali materiali si aggiungono al legante:

- rilevato: calce fino al 4%.
- fondazione: cemento fino al 4% (cmq < 10%)

Non si può stabilire a priori la quantità di legante, perché dipende dal terreno.

In questo ambito incide molto il discorso dei costi, e in particolare il trasporto.

Spesso viene usato lo stesso terreno presente in opera, addizionato al legante si chiama terreno stabilizzato.

La prova usata per verificare i requisiti del manufatto è la prova a carico su piastra.

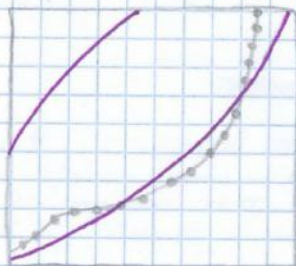
Se la % di fini è bassa si usa il cemento. ↑ % di fini ⇒ miscela di calce e cemento. IP = indice di plasticità (misura la % di fini)

↑ terreni fini, ↑ cemento lavora male

IP < 8 solo cemento

IP > 8 miscela di calce e cemento (si aggiunge prima la calce per dare l'effetto di agglomerazione) → stabilizzazione mista

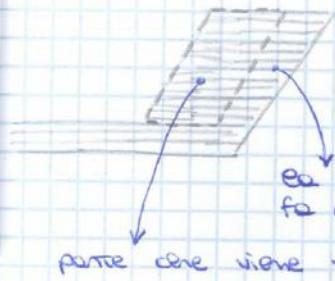
es/



materiale su cui sono state fatte prove

per valutare l'aggiunta di legante:

- l'effetto del tempo è irrilevante
- ↑ presenza di legante, ↑ limite liquido e
 IP ↓
 di 0,5% per quanto riguarda la calce
- per il cemento, ↑ giorni ↓ LL finché non si può det., ↓ IP (dopo 56 giorni il materiale non è più plastico)



miscelazione tramite una macchina e si effettua la compattazione. Successivamente si profila il pendio

Colonne di calce e cemento

Un altro tipo di miscelazione è quella che porta ad avere colonne di calce e cemento. L'ambito è quello delle fondazioni.

Lo strumento era degli ugelli, con cui, grazie all'acqua, raggiunta una certa profondità, si immette il legante (calce, cemento, misto)

$$\phi: 0,5 \div 1 \text{ m}$$

$$i: 0,8 \div 1,5 \text{ m}$$

$$\% \text{ calce: } 70 \div 80 \text{ Kg/m}^3 \text{ di terra} = 20 \div 25 \text{ Kg/m}^2 \text{ di colonna}$$

$$\% \text{ cemento: } 80 \div 100 \text{ Kg/m}^3 \text{ di terra} = 20 \div 30 \text{ Kg/m}^2 \text{ di colonna}$$

3-5% per acqua

Lo schema di verifica è lo stesso delle colonne di pluvia.

Per l'efficacia del metodo si ricorre a prove penetrometriche.

Profondità $\approx 20 \text{ m}$.

È necessario verificare prima i valori di resistenza ottenibili e verificarli in sito in corso d'opera.

81412014

CONGELAMENTO

Di solito si applica ai terreni. La tecnica si è sviluppata a partire dagli anni '50.

Si congela una porzione della formazione dove si vuol realizzare l'opera geotecnica:

↑ rigidità (ma non è questo lo scopo), ↑ resistenza, ↑ permeabilità. È caratterizzato dalla temporaneità. Il ghiaccio lega gli elementi granulari ⇒ aperta di coesione.

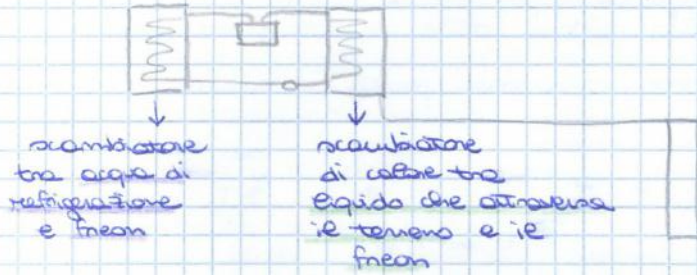
Il metodo è abbastanza costoso, in ogni caso è costoso intervenire in quelle situazioni.

Spesso il congelamento si accompagna ad altre tecniche di consolidamento, come

le iniezioni di leganti. Di solito si applica a terreni saturi d'acqua ⇒ si può

applicare a una vasta gamma di terreni, ma su quelli sabbiosi ha efficacia migliore:

- ↑ angela (bassa conducibilità idraulica e lenta trasformazione di acqua in gelo) ↑ tempo impiegato
- i terreni ghiacciati sono molto permeabili ⇒ il flusso della falda ha molta velocità ⇒ l'acqua non fa in tempo a congelare
↳ si potrebbe fare un'iniezione preventiva blanda



cloro di Ca in H₂O
 Nel terreno circola una soluzione (soluzione di sale): $\downarrow T$ ma non congela
 L'impianto è collegato al circuito di congelamento.

T che circola nel terreno è più calda ($-25/-30^\circ C$) del N.

Lo schema per la sonda è come quello di prima, N però non viene disperso ma torna nell'impianto.

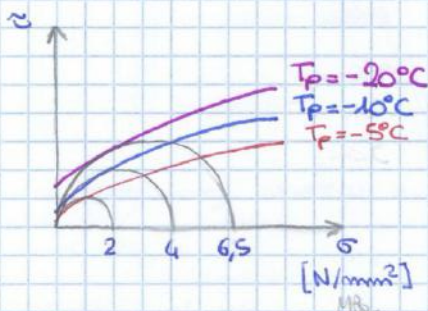
Per congelare ci vogliono 3-4 settimane \Rightarrow tempi più lunghi e costi più bassi.

Si possono ottenere altri metodi di consolidazione.

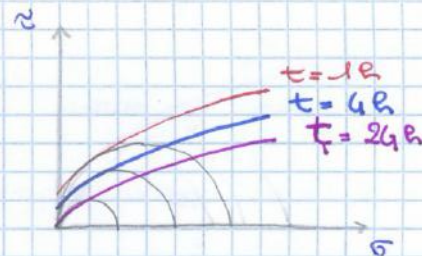
Metodo misto

Utilizza entrambi i metodi: prima si usa N, raggiunta una certa condizione si mantiene T con la soluzione.

Cerchi di Mohr a rottura di terreni congelati: utilizzati in fase di progetto per prevedere la resistenza del materiale congelato.



variazione della temperatura del suolo:
 $\downarrow T \uparrow$ resistenza



variazione del tempo per cui mantengo le cariche:
 \uparrow tempo \downarrow resistenza

\hookrightarrow per fare queste curve si è lp. che φ terreno congelato \neq φ stesso terreno non congelato

Per prima cosa si deve definire la pressione di muro congelato in funzione della resistenza e delle deformazioni: questo perché spesso si opera in ambito urbano, dove bisogna considerare le strutture adiacenti

quelli a grana grossa è inferiore perché c'è una sorta di deflusso da parte del ghiaccio.
 Con il metodo diretto il congelamento comporta minima dilatazione.

Il terreno scongelato è in condizioni geotecniche peggiori di quelle prima del congelamento: il problema riguarda l'opera che si costruirà che dovrà essere progettata su questo nuovo terreno.

↑ durata congelamento, peggiori sono le condizioni in seguito.

Il metodo indiretto comporta maggior peggioramento delle condizioni.

Il progetto prevede:

- definizione della geometria del terreno congelato in funzione dell'opera da costruire
- def. caratteristiche meccaniche del terreno congelato ⇒ caratterizzazione terreno pre-congelamento e post.
- scelta della tecnica di congelamento e calcolo del processo di congelamento ⇒ aspetti ambientali e economici, tecniche da associare
- metodologie di controllo in fase esecutiva
- analisi delle caratteristiche del terreno post-congelamento

Scavo di un pozzo (es.):



tappe di fondo
 x evitare che
 l'acqua risalgga
 nello scavo: impermeabilizza-
 zione con iniezioni

geometria della massa congelata: corona circolare

La geometria dev'essere studiata anche in base alla possibilità di effettuare perforazioni
 Nello stesso modo si può realizzare una trincea.

È possibile operare anche nel campo delle gallerie: si congela la zona di coltura
 ⇒ guscio cilindrico ad asse orizzontale. Si può avanzare per tratti in una



zona difficile (tecnica della mancia avanti) o
 dover passare da zona facile a zona difficile. Se
 la galleria è poco profonda si può operare dalla sup.

realizzando un ombrello di fori



- fuga di N non ha conseguenze
sulta

- fuga di radon risulta inquinante
per la falda

Confronto economico

Alternative al congelamento sono le iniezioni e il jet-grouting. Il confronto economico va fatto caso per caso: per es. pozzi di fondazione per pile di viadotti (coluzioni medio-fini) → congelamento e iniezioni cementizie (a)
→ iniezioni chimiche e cementizie (b)
→ jet-grouting (c)

Per 1 pozzo: (a) 100
(b) 92
(c) 70

Per 2 pozzi: (a) 86
(b) 90
(c) 70

Per 4 pozzi: (a) 63
(b) 90
(c) 70

↑ n° opere ↑ competitività del congelamento

COTTURA

È un trattamento termico: agisce sulla condizione di stato dei terreni. Non si fa alle rocce. Si applica su terreni argillosi.

Consiste nel riscaldamento ad alta T del terreno fino a cambiarne le caratteristiche.

Si causa di conseguenza degli elementi coti (⇒ ↑ rigidità, ↑ resistenza al taglio localmente e globalmente, ↑ coesione) nella formazione.

Si agisce su profondità fino a 15 m.

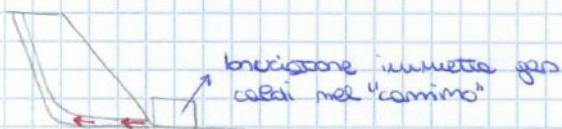
Costi medio-alti. Tempi rapidi. $T > 400-500^{\circ}\text{C}$

Si usano bruciatori (+ combustibile o gas).

Possono essere trattati piccoli volumi. Il trattamento è irreversibile.

Il primo ad applicare il metodo fu Injime.

Alcune applicazioni sono state fatte in fore (es. consolidamento venante):



Le caratteristiche del terreno non subiscono modifiche \Rightarrow non si ha degradazione al termine dell'applicazione del metodo.

Non ci sono condizioni applicative standard \Rightarrow si va per tentativi e per similitudine con altri casi.

15/4/2014



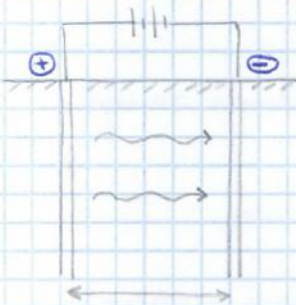
strato di cationi difficili da separare dall'Ag; elevata forza attrattiva

strato più spesso ma con meno forza attrattiva; acqua pellicolare

Le prevalgono le forze superficiali rispetto alle forze gravitiche \Rightarrow devo forzare il movimento dell'acqua con l'elettricità.

La portata di flusso dipende dalla rip. specifica dell'Ag e quindi dalla loro composizione mineralogica, dalla densità di flusso elettrico e dalla viscosità del fluido interstiziale. Effetto temporaneo ma il ritorno allo stato iniziale è lento a causa della bassa conducibilità. Le caratteristiche del terreno migliorano perché togliendo l'acqua riduco la pressione interstiziale. Finito il trattamento le condizioni iniziali si ripresentano lentamente ma non vi è un loro degrado.

Discordanze tra esempi applicativi e risultati:



$$Q = K_e S \frac{V}{d} \quad \text{quantità di acqua spostata}$$

$$q = \Delta t K_e S \frac{V}{d} \quad \text{dove } K_e = 0,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \quad \text{coeff. di permeabilità elettrostatica}$$

$$q = \frac{50 K_e \cdot V_{\text{eff}} (a^{-t_1} - a^{-t_2})}{K_e \ln a}$$

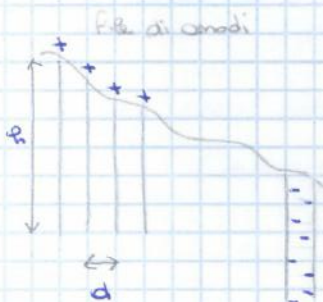
con $K_e = \frac{d}{L \ln \frac{d}{r_{\text{cat}}}}$ cost. di cella

V_{eff} = tensione effettiva xK una parte della ΔV viene dispersa; è pari al 50% di quella applicata dal generatore

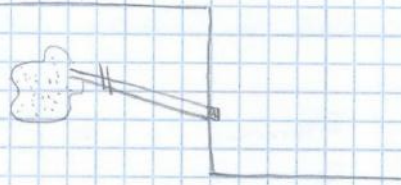
$a = 3$ costante (dipende dal terreno)

t_1 = tempo di inizio operazione = 0

t_2 = " " fine "

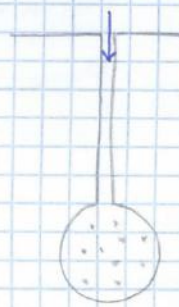
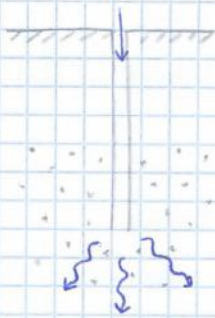
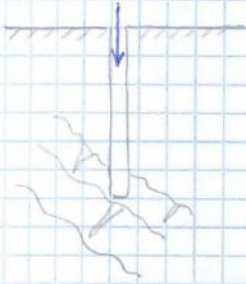


- per creare bulli di ancoraggio di trionti



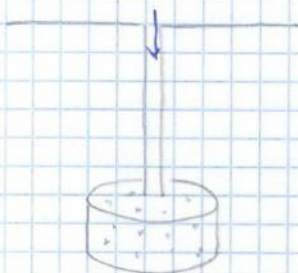
- per creare barriere anti-vibrazione con comportamento elasto-plastico

Modalità di iniezione



non modifica e_a
struttura del terreno;
i grani non vengono
spazzati

spazza i grani,
crea vuoto dove
immetto agente;
modifica e_a
struttura



jet grouting: inietto agente con rimarraggiamento del terreno e costruisco un'inclusione cementata con una det. geometria

1 Tipi di Agenti

Miscela di Agenti classificate in funzione del tipo di agente e comportamento:

- sospensioni instabili: miscela di cemento e acqua → fessure e discontinuità
- sospensioni stabili: miscela di cemento e bentonite (miscelazione di argilla con mineralogie diverse) o argilla bentonite → plasticità e coesione grazie alla impermeabilizzazione
- soluzioni colloidali o evelutive: silicato di sodio con agenti che consentono e_a solidificazione → sabbie medio-fini
- soluzioni pure o non evelutive: resine organiche → sabbie fini, ↑ permeabilità
- emulsioni (liquide o grasso) o miscela espansive: basse resistenza meccaniche ma vanno a occupare volumi notevoli → cavità

Non inquinano NE l'ambiente

Iniettabilità:

- per roccie fratturate → sospensione instabile
- per terreni → dipende da granulometria, porosità e permeabilità

3) Criterio in funzione della permeabilità

$$Q = v \cdot A = k \cdot i \cdot A \quad \text{Legge di Darcy}$$

det. k con prove di laboratorio o con prove in situ (prove di press)



- per $k < 10^{-6}$ darei ↑ pressione di iniezione ma creo una formazione \Rightarrow cioè una permeabilità (per la permeabilità): non è detto che sia una cosa negativa ma sto accertificando in altri metodi
- per $k > 10^{-2}$ invece delle resine conviene usare altri metodi meno costosi

~ Grafici

Eventuali incompatibilità tra mirale e terreno sono da individuare:

- ma cemento in acqua ^{dell'acqua troppo acida} non gesso \Rightarrow additivo lesoante
- per resine c'è rischio di inquinamento in fase di press (stato liquido)

Se inietto senza modificare la struttura, ↑ coesione, resistenza strito non cambia.

Se inietto modificando la struttura, ↑ coesione ma la resist. strito può ↓.

Prove per audizione iniettabilità: PROVE LUZEON

- iniezione di acqua in foro ($\phi = 70$ mm), si incola un tratto di foro con ^{divertori} e inietto acqua in pressione \rightarrow definisco la permeabilità con unità luzeon (1 litro al minuto per 1 metro di foro con la pressione di 1 MPa)
 - materiali accettabili se > 2 unità luzeon
- misura assorbimento da parte della roccia

Modelli di comportamento

3 modelli successivi tengono conto della viscosità dei materiali. Sono modelli in funzione del tempo e della stabilità (cioè ^{capacità} sensibilità a rimanere in soluzione).

~~Suspension~~ Soluzioni instabili \rightarrow c'è sedimentazione \Rightarrow riduce iniettabilità

~~Suspension~~ Soluzioni stabili \rightarrow rimane in soluzione \Rightarrow ↑ iniettabilità

^{o indurimento} Tempo di presa = tempo che intercorre per passare da stato liquido a solido; l'operazione di iniettare dev'essere più rapida di tale tempo

* Attrezzature specifiche.

Costi variabili in funzione del tipo di legante.

Tempi più rapidi rispetto ad altri metodi. Il miglioramento ottenuto ha entità maggiore rispetto ad altri metodi. Può essere applicato in strutture murarie preesistenti che hanno subito fratture (per l'obiettivo è migliorare la struttura esistente e non

16/4/2014

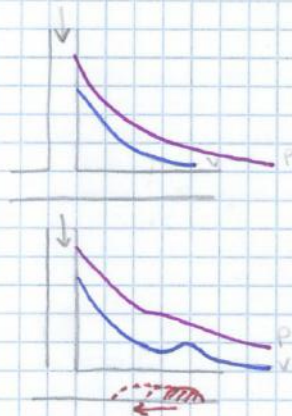
Sospensioni instabili

È una sospensione di grani in acqua che tendono a sedimentare (effetto indesiderato).
 Adatto al trattamento di rocce fratturate (min. 2 litroni) e tenersi di granulometria grossolana.

Fenomeni che limitano l'effetto:

- dimensione relativa dei grani del teneno → ostruzione meccanica
- la parte solida della miscela tende a depositarsi per gravità

Le sospensioni sono caratterizzate da pressofiltrazione:



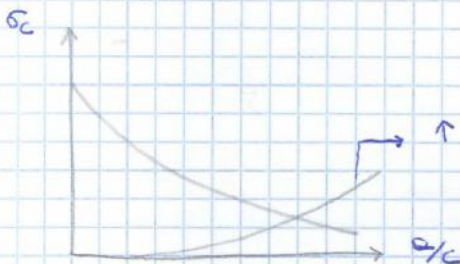
allontanandosi dall'asse del foro ↓ pressione e ↓ velocità del fluido ⇒ a un certo punto inizia a sedimentare una quantità di acido ⇒ ↓ sezione canale, ↓ la velocità e ↑ localmente la velocità nel canale
 ↳ movimento retrogrado: ↓ pressione e ↓ velocità

In una certa zona la p ↑ sempre di più → esquege: fessurazione del teneno (nelle rocce tendono a aprirsi e discontinuità)

↓ velocità ⇒ i grani tendono a sedimentare → limita la diffusione della miscela

cementata ⇒ È possibile intervenire:

- ↑ p ma solo fino a certi valori
- ↑ fluidità (rapporto acqua-cemento) ossia ↓ densità ma ↑ rapporto acqua-cemento
- ↳ resistenza finale ⇒ in questo caso si agisce inizialmente con un rapporto alto (4-5) e poi si diminuisce (3)



↑ effetto bleeding = esudazione del ds: una parte di acqua non reagisce con il cemento

Sospensioni stabili

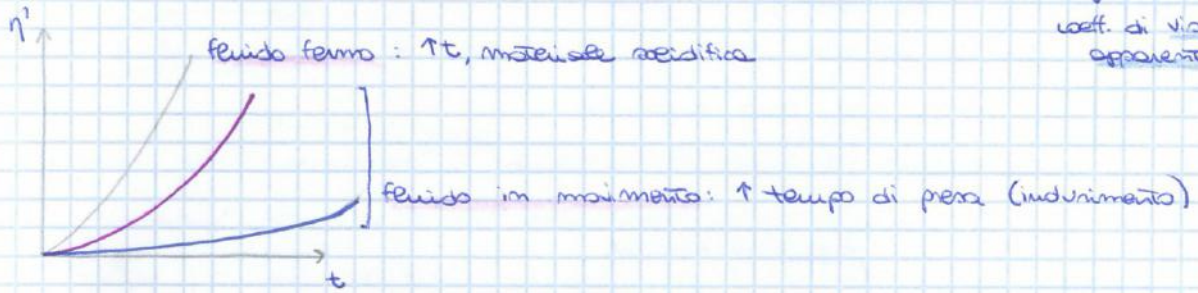
Si usa sempre cemento ma con l'aggiunta di materiali che limitano o eliminano la sedimentazione. Rimane la pressofiltrazione.

acqua: η è minima \Rightarrow quasi non ha resistenza al taglio

fluidi binghamiani \rightarrow si può def. anche un'altra relazione:

$$\tau = \eta' \frac{dv}{dt} \rightarrow \text{viscosità}$$

↓
coeff. di viscosità apparente



- con pressofiltrazione
- senza pressofiltrazione (additivi: silicati di calcio): ↓ tempo di presa

L'imiettabilità dipende da:

- velocità a cui è mantenuta la miscela: prima dell'iniettore la miscela venga mantenuta in agitazione per ↑ tempo di presa
- angiera e bentonite
- additivi

Sono resistenti al dilavamento da parte delle acque sotterranee.

Le sospensioni instabili minano a migliorare la resistenza. Quelle stabili permettono di privilegiare ↑ resistenza e rigidità o ↑ permeabilità:

↑ bentonite ↑ rigidità ↓ permeabilità

Per ↓ permeabilità (fino a 10^{-8} m/s): alti valori di a/c e alti valori di bentonite. (15)

Per consolidare: $\frac{a}{c} \approx 2,05$, bentonite $\approx 1,3\%$ in peso

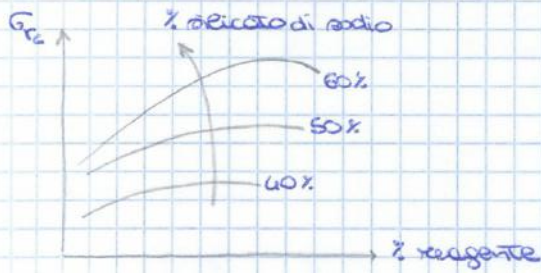
$$\sigma_{c28} = K \left(\frac{c}{a}\right)^m$$

↓
dipende dal tipo di cemento (SMR per Portland)

a/c	m	σ_{c28} [kg/cm ²]
5	3	0,4
2,5	2	8
1	1,5	50

Inizialmente la stabilizzazione veniva fatta con angiera comune (ancora prima: sospensioni di angiera \rightarrow solo impermeabilizzazione). Per ottenere gli stessi risultati della bentonite si usa una quantità maggiore di angiera (%).

La composizione della miscela influisce sul capottamento.



↑ % silicato di sodio, ↑ resistenza

↑ % reagente, ↑ resistenza

Un'altra soluzione colloidale è la silice colloidale, contiene particelle submicroscopiche di SiO_2 . È una soluzione di ossido di Si e cloruro di sodio.

↑ % silice ↓ tempo di gelificazione.

Non è inquinante. Basso η . Viene usato soprattutto per ↓ permeabilità.

Soluzioni pure

Non sono evolutive: mantengono su un tempo prefissato di inalterabilità η costante.

Sono i materiali (resine) usati per cementare i buchi (attivi → fondo foro; passivi): se la roccia è fratturata o plastica si buchi attivi si usano le resine e non l'ancoraggio meccanico; l'ancoraggio meccanico è immediato, le resine invece devono indurire (tempo di indurimento si può variare con il tipo di miscela e di reagente); nel buco passivo questo problema non esiste.

Le resine organiche possono essere:

- monomeri in sol. acquosa + reagente → resine acriliche, fenoliche, amminiche
 ↓
 produce polimerizzazione
 a seconda del monomero
- resine epossidiche → dalla miscelazione di due polimeri

Le sol. chimiche hanno problema di degradazione nel tempo (solubilità nell'acqua), quelle pure no.

Conferiscono resistenza superiore rispetto alle sol. chimiche.

Costo elevato ⇒ limitate a casi particolari.

Resine acriliche → consolidamento + prop. meccaniche

" fenoliche → consolidamento

" amminiche → consolidamento (tenere con forte componente organica)

" epossidiche → impermeabilizzazione

Emulsioni gessose

Aumentano il loro volume in tempi brevi poi acidificano. Restituiscono continuità

Sono costituite da sol. di cemento o resine organiche + sostanze che creano schiume su cui si depositano. Aumento di 3-4 volte il volume iniziale della miscela. Cemento sostituito dalla schiuma ⇒ no sedimentazione.

D) IMPERMEABILIZZAZIONE DIGHE A GRAVITÀ

Realizzazione di reti di impermeabilizzazione per evitare infiltrazioni nella zona permeabile

Aspetti progettuali

In primo luogo vengono fatte analisi preliminari: sondaggi geognostici; prove di pompaggio (per la presenza dell'acqua), ricostruzioni stratigrafiche. Raccogliendo campioni si possono fare prove di laboratorio per stabilire parametri (tenere granulare → analisi granulometrica, permeabilità) oppure si possono avere campioni rimaneggiati e studiare la permeabilità e la resistenza in base alla miscela con cui vengono mescolati. Si possono anche fare prove di iniezioni in sito (campo prova). Per controllare l'efficacia del metodo viene fatta una prova piezometrica, fatta preliminarmente e successivamente.

Si definisce la geometria della massa da sottoporre a iniezione ↔ volumetrica, schema di fori (orientamento, interasse).

La lunghezza dei fori non supera i $20 \div 25$ m. Per fori di lunghezza maggiore il problema è legato alla deviazione dei fori: si potrebbe non essere continuità della struttura.

Nelle sabbie fini, la spaziatura è $0,8 \div 1,3$ m

" sabbie ghiaiose,	"	$1 \div 2$ m	} terreni
" ghiaie sabbiose,	"	$2 \div 4$ m	
" ghiaia,	"	$3 \div 5$ m	

corce: $S = 3 \div 6$ m
 $\phi = 35 \div 65$ mm

$\phi = 65 \div 130$ mm

Fori realizzati a rotazione (terreni fini) o rotopercussione (terreni eterogenei).

È tenere in cui si opera sono di solito incoerenti ⇒ foro tende a richiudersi ⇒ si mantiene aperto non con fango bentonitico (crea una crosta ⇒ ↓ permeabilità miscela) ma con fanghi biodegradabili (miscela di polimeri in acqua, perdono la loro η dopo un po' di ore) o con un rivestimento PVC.

La perforazione non deve ↓ permeabilità

Tecniche di iniezione

1) Iniezione in avanzamento



realizzato tratto di foro → iniezione → indurimento → avanzamento → iniezione

terreni sciolti, granulometria variabile

Non ci sono soluzioni analitiche per det. Q e p . Quelle che ci sono si basano sulla legge di Darcy (moto stazionario e laminare \rightarrow non verificabile nel flusso delle nostre miscele perché applicabile a flusso newtoniano e $\eta = \text{cost}$) e sono più adatte a soluzioni pure e chimiche con comportamento poco evolutivo.

$Q = v \cdot A = K \cdot i \cdot A$ legge di Darcy

Si adotta una K che varia con terreno e miscela:

$$K_m = K_w \left(\frac{\eta_w}{\eta_m} \right) \left(\frac{\rho_m}{\rho_w} \right)$$

permeabilità della miscela

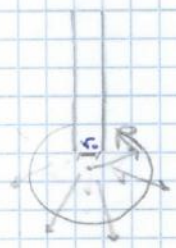
trascurabile nel nostro caso

$\Rightarrow K_m \approx \frac{K_w}{\eta_m}$, $\eta_w = 1 \text{ [Pa}\cdot\text{s]}$

\rightarrow miscela, parte più viscosa

silicato di sodio	$\eta_m = 2 \div 200 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
silice colloidale	$\eta_m = 5 \div 50 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
resine amm.	$\eta_m = 6 \div 30 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
resine acriliche	$\eta_m = 2 \div 8 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
resine epossidiche	$\eta_m = 20 \div 150 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

a) Flusso radiale sferico



$$Q = 4\pi r_0 K_m \Delta H$$

diametro int. tubo iniezione \rightarrow carico idraulico sfera = pressione di iniezione

\downarrow

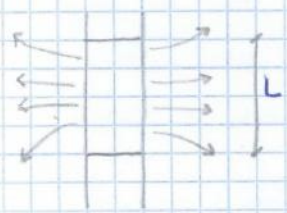
dipende dalla profondità e dalla pressione della pompa

\Downarrow

$$\Delta H = f(\gamma_m z + p_p)$$

$r_0 = 0,04 \text{ m} \rightarrow Q = 0,5 K_m \Delta H$

b) Flusso cilindrico (tubo perforato)



$$Q = 4\pi r_0' K_m \Delta H$$

diametro equivalente

mezzo omogeneo

$$r_0' = \frac{L}{\alpha} \quad \text{dove } \alpha = f(L, r_0)$$

$L = 0,33 \text{ m}, r_0 = 0,04 \Rightarrow r_0' = 0,08$

30/4/2014

A parità di ΔH e K_m , la durata dell'iniezione è maggiore nel caso B



Le operazioni di controllo possono essere fatte sia nella fase di progetto (sondaggi geognostici) che nella fase operativa (Q e p di iniezione, oltre alla composizione della miscela), e anche dopo il trattamento (confronto tra prima e dopo e le prestazioni attese \rightarrow prove dirette in laboratorio grazie a carotaggi (se opera estera) o indagini in sito; ma prove penetrometriche \rightarrow impedita dalle caratteristiche del nuovo materiale; e' ideale sono le prove pressiometriche).
la rigidità si può \uparrow di 3-5 volte (corp. instabili).

DRENAGGI

È un trattamento di miglioramento. È spesso associato ad altre soluzioni. Fa in modo che la struttura si rimanzi da sola, senza utilizzare iniezioni o altro. Inoltre non ha un grosso impatto ambientale. Ne drenaggio sottrae acqua.

- Scopi:
- evitare all'ancorato (es. gallina)
 - evitare una portata eccessiva (retenimento)
 - modificare e migliorare lo stato tensionale della struttura
 - evitare l'accumulo di acque in periodi di intensa pioggia
 - accelerare dissipazione delle pressioni interstiziali
 - convogliare fluidi nelle discariche verso strutture atte a smaltire tali fluidi.

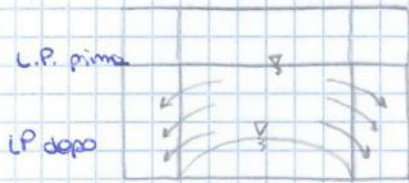
Nelle discariche si forma una struttura trifasica: liquida (percolato \rightarrow non deve accumularsi \rightarrow drenaggio), biogas (dalla fermentazione della parte organica dei rifiuti \rightarrow dev'essere controllato perché se ne produce molto ed è inquinante e pericoloso \rightarrow estrazione), solidi.

Vanno eseguiti in tutte le strutture, se possibile; in particolare nei pendii dove è possibile instabilità, dighe, riservi, discariche, strutture di fondazione (per accelerare la consolidazione) e scavi in retromuro e qualunque profondità.

Ne controllo delle acque per la stabilizzazione dei pendii si divide in:

- interventi di pronto intervento: - captazione acque sup.

Sono scavati di ~~se~~ ^{poco prof} rettangolare o trapezia, ricavati nella struttura instabile. Si cerca di allontanare l'acqua il più velocemente possibile, ↓ falda



↓ pressione interstiziale

parametro di progetto: interasse

Sono posizionate // tra loro o con trincee principali lungo l'imm. del pendio + secondarie a raso di pende.

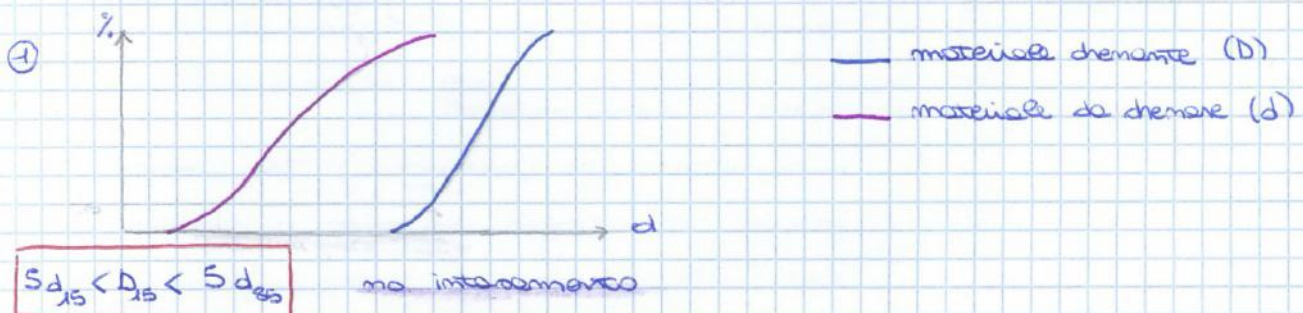
la funzione drenante è data dal riempimento della trincea.

6/5/2014

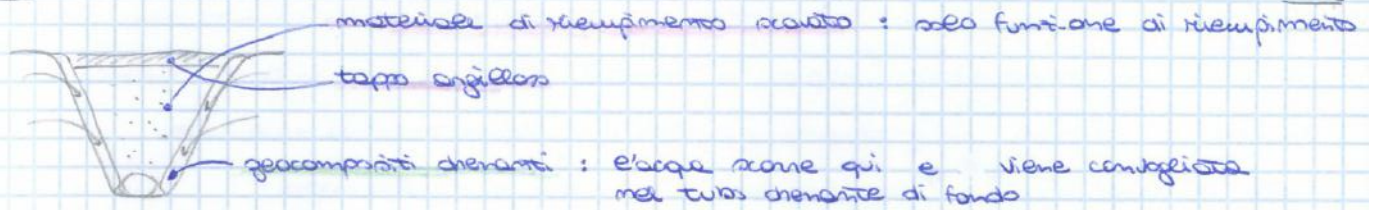
Le trincee poco profonde sono realizzate con un escavatore, lungo la deep del pendio, // tra loro. Si realizzano nell'ambito di scarinamento dello strato sup. (permeabilità > substrato). La profondità è in genere strettamente interassata dal movimento franoso, spesso la trincea raggiunge il substrato. Sono riempite da materiali ad alta permeabilità. Il dimensionamento riguarda profondità e interasse. Vengono costruite dal basso verso l'alto, così si inizia a drenare. Si realizzano a strati, così non si lascia aperta per lungo tempo (instabile). A seconda della granulometria della formazione, il materiale di riempimento (molto permeabile: ghiaia o sabbia → materiali naturali, non calcestruzzo) è accompagnato da un filtro (geotessile) posizionato sulle pareti della trincea. La trincea è larga 0,6 ÷ 1 m, profonda 4 m (escavatore gommato) o maggiore (escavatore cingolato → poggia su area maggiore ⇒ ↑ stabilità). Se il terreno è meno coesivo si usa la sezione trapezia. Per elevate profondità lo scavo è dotato di sostegni temporanei.

Azione drenante: richiamo dell'acqua verso la trincea → nella filtrazione c'è sporcio di materiali fini che tende a intasare il materiale drenante → ↓ funzionalità ⇒ ① o la granulometria del materiale drenante è tale da non permettere l'intasamento

② o si mette un filtro ⇒ anche questo però si intasa



geotessili non tessuto che fanno funzione di filtro.

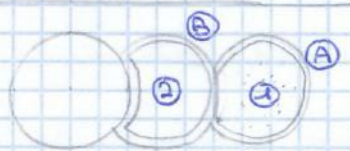


Trincee drenanti profonde

Le trincee profonde devono intercettare l'acqua fino alla cap di scorrimento. Hanno larghezza di $0,6 \div 1$ m e profondità fino a 30 m. No tubi drenante di fondo.

Si realizzano grazie a:

- pei accanti



si perfora ① e si mette in opera il tubo ^{si apre il foro} gobbo A \Rightarrow si riempie il tubo
 Poi si perfora ② e si pone in opera B \Rightarrow si estrae A
 \hookrightarrow il tubo gobbo fa da confinamento al foro precedente \Rightarrow continuità di trincea e riempimento

Il terreno deve avere un'autoportanza tale da permettere perforazione e inserimento del tubo gobbo

Mat. drenante: conglomerato di ghiaia e cemento ^{che aderisce} \rightarrow alta permeabilità
 $(K > 10^{-1} \text{ m/s})$ e $\sigma_c \approx 2 \div 3 \text{ MPa}$

- pannelli \rightarrow realizzati con le tecniche di scavo dei diaframmi dove non c'è un'autoportanza eccessiva. Per sostenere la trincea ^{non} si usano fogli bentonitici che contrastano la spinta laterale del terreno (è un liquido \Rightarrow con immetto dentro e il fango viene portato via perdé trincea).

Si usano fogli biodegradabili (miscela di acqua e polimeri che $\downarrow \eta$ nel tempo): $\frac{\text{polimeri}}{\text{acqua}} = 5 \div 9\%$ in funzione della durezza di η .

- la trincea si riempie di ces alluvionale (conglomerato di ghiaia e cemento).

Si realizza a retoli:

- | | |
|---|--|
| 1 | \rightarrow si procede alternativamente (1 poi 3, ecc.) così non si deve aspettare che il fango prenda per passare a 2 \Rightarrow guadagna tempo. |
| 2 | |
| 3 | |

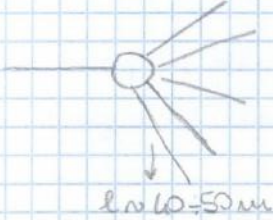
La trincea è chiusa con un tappo di ces sopra quello di angola.

Pozzi drenanti

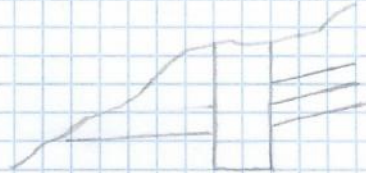
Ajronano su volumi molto grandi e frange estese. Si realizzano nei terreni



con questa disposizione l'obiettivo è il timbrato strutturale (↑ resistenza al taglio) però si può integrare con il drenaggio



per il drenaggio si associa al pozzo un sistema di microcanali a monte del pozzo: l'acqua si accumula al fondo del pozzo e la sua espulsione avviene per gravità



Per la funzione di drenaggio i pozzi sono realizzati lungo la linea di max pendenza e collegati con cunicoli sotterranei (realizzati con una macchina di perforazione che sta nel pozzo)

Gallerie drenanti

Riguardano sp. di accumulo molto profonde



Le gallerie drenanti hanno direzione subparallela al pendio e devono essere costruite sotto la sp. freatica critica.
 Si realizzano associando altre tecniche, come le iniezioni; si trova in una camera stagna

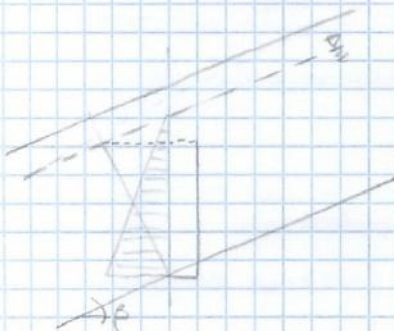
La funzione drenante è svolta da microcanali disposti a zigzag (l. n. 50 ÷ 60 cm), la galleria raccoglie e porta via l'acqua ($\phi = 3 \div 5$ m). Vengono realizzate se non si riesce ad agire destra sp.

Soluzioni analitiche

7/15/2014

Non ci sono soluzioni analitiche ma si procede alla base dell'esperienza: presso le condizioni meccaniche per le soluzioni analitiche non ci sono nella realtà.

Nel caso di timbrato drenante è più semplice applicare le soluzioni analitiche:



per risolvere si usa il metodo dell'eq. Emirte (si cfr forze che tendono a mobilitazione il fenomeno frangente con la resistenza al taglio) \Rightarrow si def. FS

$$FS = \frac{\tau_c}{\tau_p} = \frac{c' + (\sigma_p - u_0) \tan \varphi'}{\tau_p}$$

↑ FS significa ↓ pressione interstiziale nella sp. di accumulo (u_0)

Valori medi : $\beta \approx 10^\circ \Rightarrow$ basse inclinazioni \Rightarrow risvolgimento coltri piane

$\hookrightarrow B = 0,5 \div 0,8 \text{ m}$

profondità falda = $3 \div 5 \text{ m}$

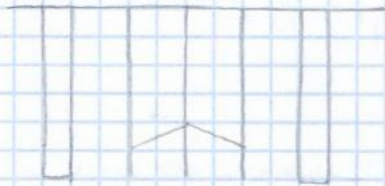
$S = 3 \div 15 \text{ m}$

$E \approx 0,6$

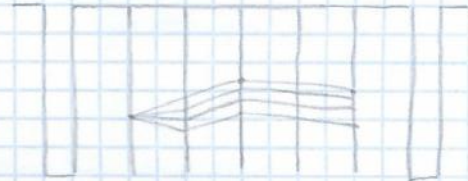
tempo per raggiungere la condizione di regime = $0,4 \div 10 \text{ anni}$

(in genere $2 \div 3 \text{ anni}$)

Esempi



andamento falda

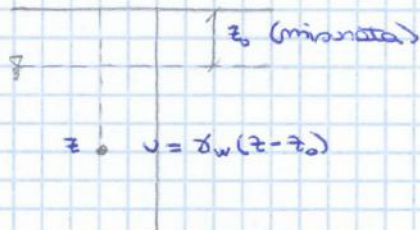


gradiente di abbassamento nel tempo

Misure piezometriche

Esistono strumenti piezometrici diversi. Si misura la pressione dell'acqua in una struttura. Vengono effettuate nell'ambito della stabilità dei pendii, per problemi di fondazioni, di azione dell'acqua sul rivestimento di opere in scavo, nelle dighe.

Pozzo piezometrico = foro in cui si misura la posizione della sp. di falda rispetto ad h_c .



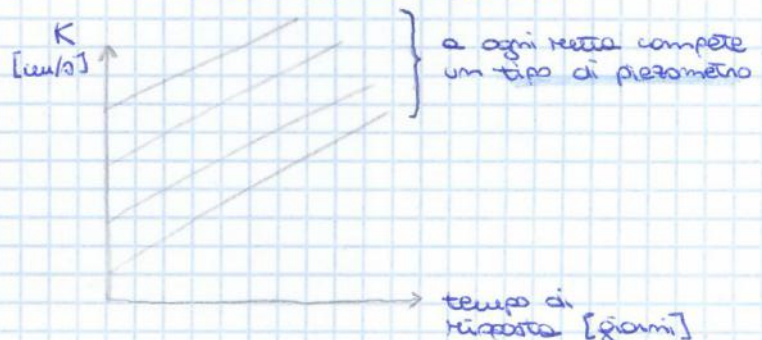
Il pozzo piezometrico non è sempre applicabile : per realizzarlo è necessario fare una perforazione, attizzare il foro e rivestirlo \rightarrow la pressione dell'acqua nel foro deve eguagliarsi con quella dell'esterno \rightarrow il tempo in cui avviene questo dipende dal coeff. di permeabilità del terreno. Se il controllo non è in tempo reale, non si ha una misura di controllo efficiente : in caso di ritardo eccessivo non ha senso.

\downarrow permeabilità \uparrow tempo

Stabilito il tempo di risposta e K

si può vedere quale piezometro si

può utilizzare.



CONSOLIDAMENTO di ROCCE e

13/5/2014

JET GROUTING

Si usa specialmente su terreni granulari poco addensati o comunque rimangeggiabili e con una certa continuità. Il miglioramento avviene tramite iniezioni ad alta pressione di biacche (acqua, cemento) aerizzate.

È necessario uno spazio operativo rilevante per la macchina e per la miscela. A seconda della pressione ci sono 3 metodi di formazione delle colonne: pannelli, colonne, rimangeggiamento, cliquege.

Una volta realizzate le colonne si fanno controlli prestazionali e collaudi.

Prima della fase esecutiva spesso viene fatto un campo prova.

Le colonne possono essere realizzate affiancate o con una certa distanza.

Ø colonna ≠ costante: varia anche in funzione dell'umidità (fine → Ø ↓ → difficoltà nel rimangeggiare il materiale) e della stratigrafia.

Il jet grouting può raggiungere i 40 m di profondità: ci può essere il problema della deviazione dalla verticale.

In caso di n° ingente di colonne è necessario controllare la posizione con strumenti topografici ⇒ macchine con controllo remoto della posizione.

La forma degli elementi realizzati è colonnare ma può essere anche lineare (reti, pannelli o diaframmi), platee e tamponi, volte, cilindri.

Per la realizzazione di queste forme ci sono due metodi:

- plastica su plastica: crea la nuova colonna quando quella precedente è ancora fresca (viene rimangeggiata)
- plastica su consolidata: crea la nuova colonna dopo che quella precedente si è indurita

Le colonne possono essere temporanee o permanenti e realizzate in opera nude o rivestite. In certi casi la colonna viene reperforata e armata con tubi → jet grouting armato

- Applicazioni:
- fondazioni
 - sottofondazioni e sottomurazioni
 - pozzi
 - opere di sostegno
 - diaframmi (condoli trivati → scorcio di sezione per flessione)
 - reti consolidate per impermeabilizzazioni
 - galleggianti (pessicini o per consolidare il nucleo in svuotamento;

Il campo di applicazione si sta ampliando ad anfore grazie all'uso di più fluidi.
Grazie a getti convergenti si può ↑ ϕ . Nei terreni duri si possono fare più pozzi.
Si possono realizzare diverse geometrie: pannelli, colonne secanti, petti, colonne indipendenti.

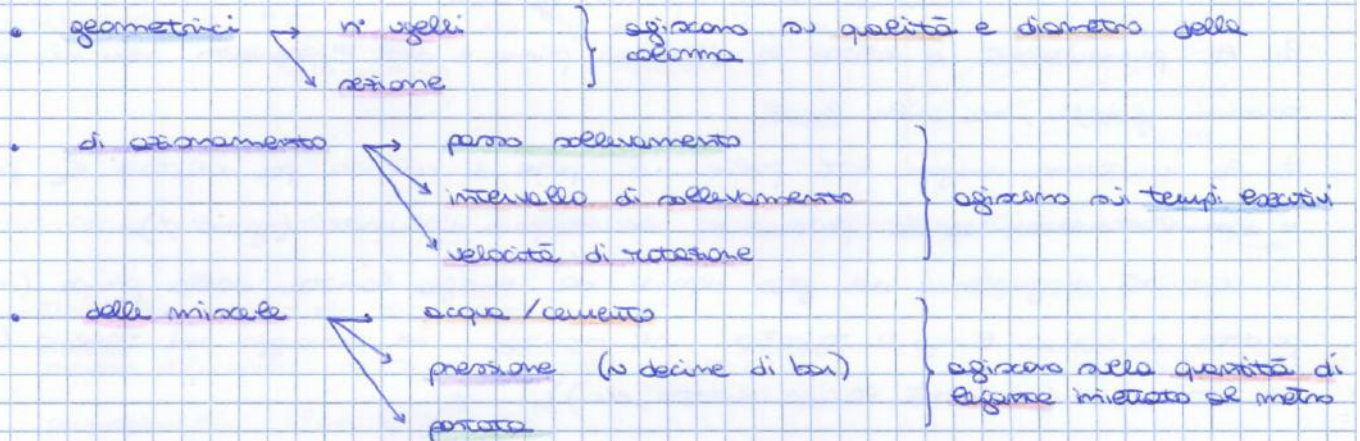
Di solito si usano più macchine che lavorano in contemporanea.

Si possono regolarizzare le colonne.

- Fasi operative:
- perforazione
 - iniezione
 - cementazione

La miscela di iniezione ha $\frac{\text{acqua}}{\text{cemento}} = 0,6 \div 1,25$ in peso. Si possono aggiungere additivi: bentonite (stabilizzante), cloruro di calcio (accelerante di indurimento), silicato di calcio (accelerante di presa)

È necessario stabilire dei parametri di trattamento:



} agiscono su qualità e diametro della colonna

} agiscono sui tempi esecutivi

} agiscono sulla quantità di fango iniettato nel metro

↳ parametri stabiliti dopo successive iterazioni

Da questi parametri di base si ricavano parametri derivati:

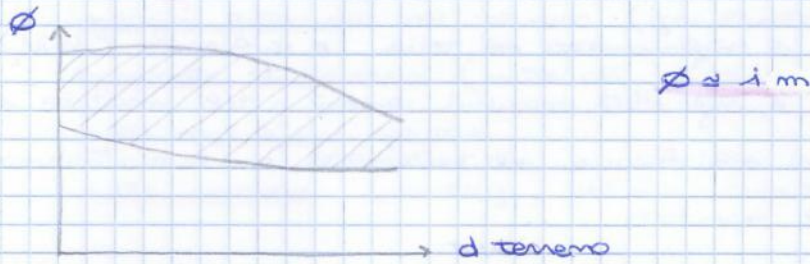
- velocità media di risalita delle anse
- n° giri per passo di sollevamento
- volume di miscela iniettata per metro
- massa di cemento iniettata per metro

Il rapporto % dipende dal risultato che si vuole ottenere in termini di resistenza a compressione ⇒ campo prof.

Ordini di grandezza → vedi slide!

La pressione può arrivare a 600 bar nel manufatto (meno nel bi e tri grazie al rimpiombamento) ⇒ possibili disturbi a edifici vicini.

Per le manifolds:



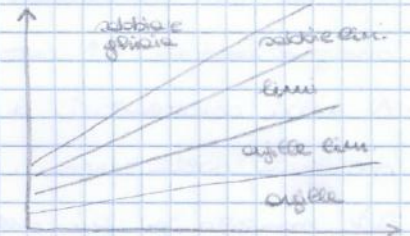
Bifluido : $\phi = 1,5 \text{ m}$

Trifluido : $\phi = 2 \text{ m}$

Però si possono avere modifiche a causa della profondità, della stratigrafia e di problemi tecnologici (frammento pareti \Rightarrow \downarrow spungo) o di occlusione degli ugelli.

Per le materiali consolidato si controllano resistenza, rigidità, permeabilità e massa volumica attraverso verifiche dimensionali (aspettata, sondaggi e geofisica) e controllo dello spungo a boccaporto.

La possibilità di $\uparrow \sigma_c$ dipende da σ_c e da V_m :
 $\frac{1}{3}$ del admissio



Per controllare il modulo di def. si effettuano prove di laboratorio.

Le caratteristiche meccaniche riguardano:

- massa volumica del terreno trattato ($\pm 10\%$)
 - permeabilità (fino a 10^{-8} m/s)
 - rigidità
 - resistenza
- } da prove di laboratorio

Le proprietà della colonna non sono omogenee con ϕ e $z \Rightarrow$ anisotropia radiale e assiale.

$$E \approx 6000 \div 8000 \text{ MPa}$$

$$\frac{E}{\sigma_c} \approx 200 \div 700$$

Per σ_c è necessario considerare l'effetto scala, per E i difetti locali.

È necessario det. caratteristiche compatibili con le strutture con cui si le e de fare, e non avere eccessi di σ_c .

↳ controlli sono:

- indagini geotecniche del terreno (granulometria, densità, falda, ecc.)
- parametri di cantiere (materiali, additivi, ecc.)
- selle massime operative
- selle colonne (costeggi, geotecnica, ripetizione colonne, permeabilità)

↳ finalità:

- verifica che i materiali siano adatti
- " " le operazioni di cantiere siano svolte correttamente
- " " gli elementi consolidati rispondano al progetto

⇒ controlli su materiali, modalità esecutive e prodotto.

Si fa riferimento alle NTC2008: 6.9.1, 6.9.2, 6.10.

↳ controlli sui materiali riguardano:

- leganti
- additivi
- armature
- acque
- miscela cementizia

↳ controlli sulle modalità esecutive si riferiscono a attrezzature, processo produttivo e aree delle perforazioni.

↳ controlli sul prodotto possono essere prestazionali (funzionalità in condizioni di esercizio) o di conformità (caratteristiche geometriche e meccaniche).

Le prove di carico sono poco usate per la complessità delle forme di cantiere.

Le prove di permeabilità usate sono a carico variabile.

↳ controlli nell'ambiente circostante vengono fatte per tutelare da danni verso strutture adiacenti.

Ne jet grouting può essere usato con aggi idraulici ⇒ tamponi di fondo: deve avere un peso tale da rimanere affondato → si det. una spessore → questo spessore si cfr. con quello richiesto dalla permeabilità.

Nel dimensionamento si considera quindi peso, filtrazione e eventuale presenza di pietra di c/c armata per esigenze strutturali.

Per i tamponi di fondo $\frac{\text{sup. elemento trattato}}{\text{sup. elemento da cons.}} = 100\%$ con compenetrazione e sfridi

dal 35%

ESERCITAZIONE

lotto da consolidare di $l=350$ m

È data la struttura, la geotecnica

Det. spessore di tamponi di fondo, realizzare fonde laterali ai diaframmi, colonne da almeno 0,8 m.

Det. tempo in cantiere

20/5/2014

L'efficacia del drenaggio si misura attraverso misure piezometriche (la resa della sintermentazione dipende dal tempo di risposta che varia a seconda del terreno e del tipo di piezometro). A parità di tempo di risposta, $\downarrow K$ si passa da tubo aperto a celle piezometriche.

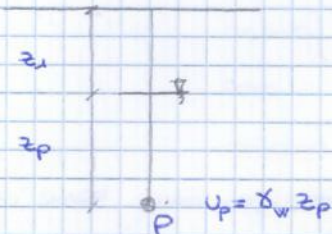
I piezometri a tubo aperto sono fori verticali con una zona di presa (dove si vuole conoscere la pressione neutra) costituita da tubo forato e filtro (abbia pulita) sovrastata da una sigelatura (bentonite). Spesso la testa del piezometro è connessa da una mira topografica.

l = zona di presa

tempo di risposta per piezometro a tubo aperto

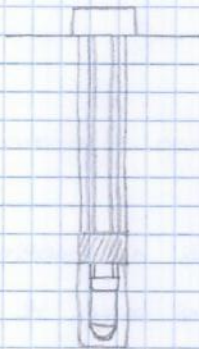
$$t = 33 \cdot 10^{-6} \frac{d^2 \gamma_w \left[\frac{l}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{D} \right)^2} \right]}{K L} \quad [gg]$$

KL
 \downarrow
causa

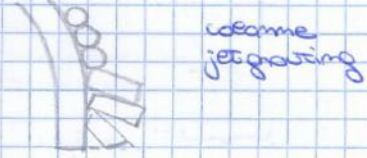
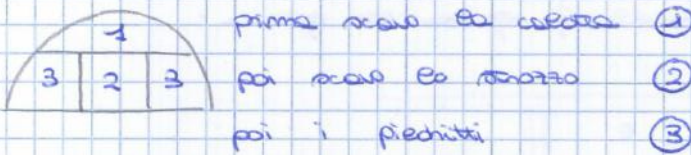


Per misurare z_p si usa il frenometro: un manometro graduato che viene calato nel foro, in testa è presente uno strumento contenente due cavi elettrici collegati a una batteria \Rightarrow nel momento in cui tocca l'acqua scende e si illumina \Rightarrow si legge la misura sul manometro

Per K più basse si deve usare il piezometro a circuito chiuso (bi-ocsp) che può essere usato anche in orizzontale. La parte sensibile dello strumento è circondata da sabbia filtrante: è costituita da una punta di acciaio, un elemento di ceramica porosa (fa da filtro pi fine) e una camera interna con due tubazioni di nylon prolungate all'esterno dove c'è il punto di misura. Questo strumento rappresenta un circuito chiuso. Dopo l'installazione si riempie il circuito di acqua: viene letta la pressione dell'acqua con un manometro dopo aver sigillato il circuito avendogli dato continuità. Se il punto di lettura è a quota diversa da quello di misura si fa una connessione di pressione.

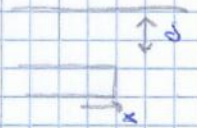
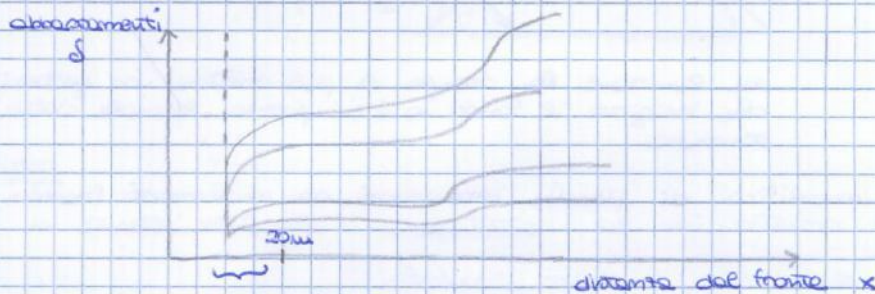


Se il punto di lettura è a quota diversa da quello di misura si fa una connessione di pressione.



Consolidamento = ombrello di jet grouting in corona + colonne di jet grouting in parete

- Misure di controllo: nei primi 100 m della 1ª camera per verificare le condizioni di progetto →
- misure di convergenza (come si ^{invece e poi se ribotta} modifica il contorno dello scavo rispetto all'avanzamento del fronte) → metodo osservazionale; gli strumenti si mettono vicino al fronte perché lì avvengono le maggiori def.
 - misure complementari a quelle di convergenza in foro (↑ avanzamento ↑ misure) → misure estensimetriche
 - misure estensimetriche in foro nella copertura precedenti all'arrivo del foro: così si possono misurare tutte le def. della zona
 - misure inclinometriche per le def. orizzontali dall'esterno → capire tutte le def.
 - misure sulle strutture di sostegno

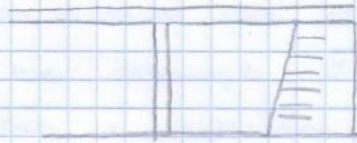


nei primi metri di avanzamento il gradiente di def. è alto

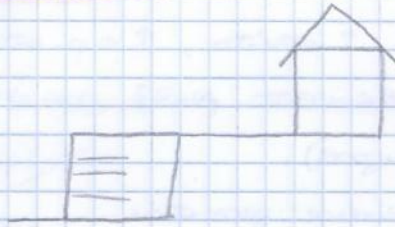
- a circa 20 m dal fronte si ha la stabilizzazione
- quando arriva l'altra camera ↑ leggermente la def
- quando si scava il ribotta ↑ def (già in anticipo), appena la sezione si ha la stabilizzazione

↳ le misure ripercorrono il processo di scavo → a passo cfr misure e valori calcolati

- muri di sostegno per l'impalcato di un viadotto



- ↑ spazio abitabile



- dinamica (struttura di contenimento)



struttura di copertura dei rifiuti:
devenire stabile ma contenere il
maggiore volume possibile → per ↑
inclinazione della struttura si può ↑
resistenza al taglio nel corpo della
copertura tramite un rinforzo

- barriere paramassi



assorbe l'impatto dinamico

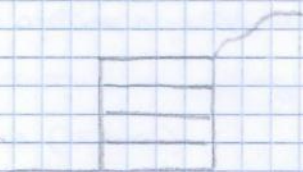
- barriere fonoprotettive

- architettura del paesaggio

Terra armata

Tenapiano a parete verticale

compattato al cui interno sono inserite a
intervalli regolari (orizzontali e verticali) strisce
di acciaio galvanizzato collegate a pannelli
di cb armato (↑ altezza ↑ pannelli sovrapposti)
che costituiscono il
paramento esterno della
struttura.

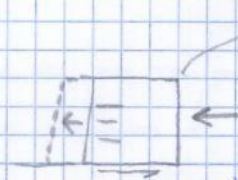


- rotina all'interno della struttura



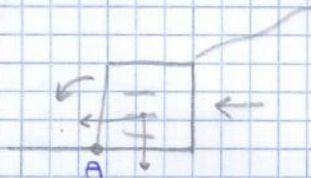
Le verifiche esterne sono:

- verifica alla traslazione



dipende dalla resistenza al taglio alla base

- verifica al ribaltamento



non presenti momento ribaltante e resistente

- verifica alla capacità portante del terreno di fondazione



- verifica alla stabilità globale della struttura

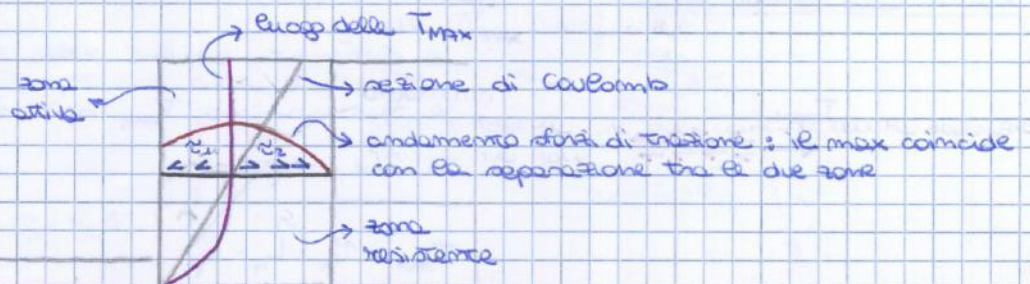


considera la struttura geotecnica
alle sue spalle

Le verifiche vanno adottate al caso in esame

Tra le prime due verifiche di stabilità interna si considera la condizione peggiore

Nella struttura si distinguono due aree: la zona attiva (esterna) e la zona resistente (interna)



dove $\tau_r = \text{taglio residuo}$

$L_A = \text{lunghezza di ancoraggio}$

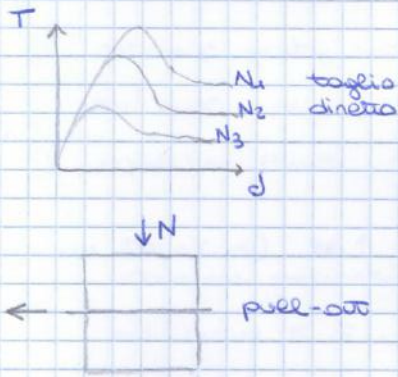
$L_p = \text{perimetro (bindella} = 2 \cdot L; \text{ geosintetico} = 2 \cdot \text{larghezza unitaria)}$

Il problema è determinare τ_r . La resistenza al taglio dell'interfaccia dipende dal terreno e dal materiale:

$$\tau_r = \sigma_v' \cdot f_r$$

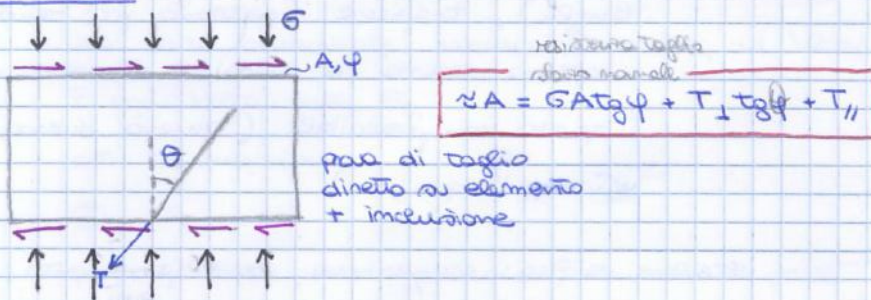
ceff. di attrito residuo

Si usa τ_r perché nel tempo la struttura subisce def. (soprattutto il terreno rinforzato) che tendono a esaurire la resistenza di picco (terreno rinforzato \rightarrow creep \rightarrow lenta def.)
 La bindella ha una resistenza che dipende dall'angolo di attrito e dall'incontro con la superficie rugosa (lo stesso vale per i geosintetici) \Rightarrow per det. f_r si fanno prove sperimentali (taglio diretto variando terreno e geotessile, pull-out):



Queste prove dovrebbero essere rifatte ogni volta, altrimenti ci si tiene su valori bassi rispetto a quelli che si trovano in letteratura.

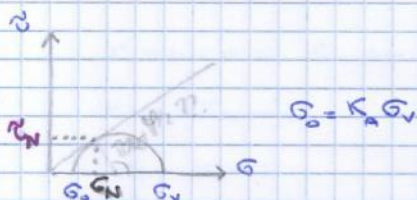
Rottura interna



\Rightarrow inserendo un elemento si migliora la resistenza al taglio

Nasce nell'elemento uno stato di trazione T

Questo schema si può applicare alla struttura:



In funzione della rigidità dei rinforzi (estensibili o non estensibili) si può individuare la zona di spinta.



non estensibile



estensibile

$$T_{max} = \sigma_s S_r S_n$$

1) T_{amm} tra limite ammissibile

↳ tra rifrimento e trazione considero la T minore

Approcci di dimensionamento più comuni:

- 1) coerent gravity method (non estensibili)
- 2) tie-back wedge method (estensibili)
- 3) equilibrio limite

- 1)
 - assumere meccanismo di collasso del muro → bilanciera
 - individuare R di spinta del terreno
 - det. tiri massimi
 - verifica allo rifrimento
 - verifica a rottura

- 2)
 - sp. di accoglimento piano
 - det. forza orizzontale necessaria per l'eq. del blocco
 - F equilibrata dalle σ_s
 - det. tiri massimi
 - *

↳ questo va fatto concio per concio, non solo al piede

Non è noto come si comportano i muri ⇒ metodo che sottopone i rinforzi un po' a trazione e un po' a taglio ⇒ evidente un altro tipo di rottura (ci sono tanti tipi di combinazione di rottura)

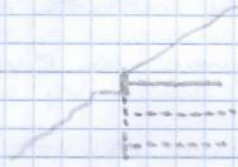
- 3)
 - 1° tentativo di sp. di accoglimento
 - tiro = T_{amm}
 - eq. concio

- **BULLONE** :
 - usato nel mezzo roccioso
 - può essere attivo o passivo
 - passivo → rocce a bassa resistenza o fratturate ; installazione con perforazione e cementazione ; barra d'acciaio a resistenza migliorata ; è un bullone ad ancoraggio distribuito
 - attivo → bullone ad ancoraggio localizzato ; roccia più resistente ; barra d'acciaio con ancoraggio meccanico ; perforazione + ancoraggio + tensionamento

- **TIRANTE** :
 - rinforzo di tipo attivo
 - usato nei terreni (più spesso) o rocce
 - cavi a trefoli (intrecci di fili intrecciati) o barra d'acciaio (lunghezza > di chiodo/bullone)

- Applicazioni della chiodatura :
- muro di sostegno alla base di un fabbricato
 - fondazione
 - sostegno di una scarpata
 - stabilizzazione di fenomeni franosi

Il criteri per la chiodatura sono simili a quelli dei terreni rinforzati, ma sono strutture più rigide e cambia l'ordine di costruzione (la chiodatura è realizzata dall'alto verso il basso): prima si realizza il paramento (rete elettrosaldata + griglia beton) poi si realizza la chiodatura.



Le deformazioni sono quindi diverse :



Applicazioni bullonaggio : - sostegni scavi in sotterraneo :

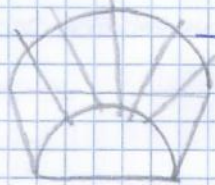


distacco da corona: bullonaggio attivo
 → il bullone esercita una tensione
 → bisogna dare un tiro in grado di sostenere il peso proprio dell'elemento

⇒ bisogna valutare il taglio max e porre una N t.c. $\tau = \sigma \cdot \tan \varphi$
 ⇒ $\frac{\tau}{\tan \varphi} = \sigma$ da applicare → da qui nasce il dimensionamento del bullonaggio

- bullonaggio al contorno di gallerie in un mezzo omogeneo

↳ si riferisce al modo di carico di Terzaghi

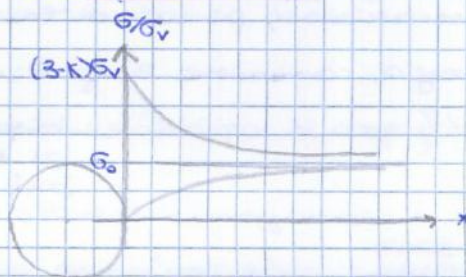


si impedisce la discesa della zona sottostante con bullonaggio attivo o passivo

oggi l'estensione della zona di roccia si fa con modelli in base alla geometria della roccia e del tipo di roccia

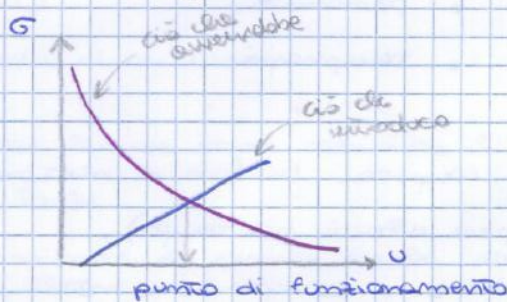


$\sigma_x = K \sigma_y$



il contorno della roccia è dove c'è lo stato di tensione più critica

Se questo stato tensionale non è compatibile con la resistenza della roccia, la roccia si frantuma o plasticizza ⇒ si crea una corona di roccia da sostenere (a una certa distanza dal fronte) ⇒ più il fronte si allontana più è probabile che questo avvenga ⇒ si interviene prima con il bullonaggio e si impedisce (parzialmente) che questo avvenga



(0) 28/5/2014

Tecnologia di tiranti e bullonatura

Il tiranti possono essere realizzati su roccie molto estesi. Di solito si prevede una molteplicità di tiranti. Concastra la forza in un'area localizzata. C'è un'area di ancoraggio e una di ripartizione. Le forze sono di 10 ± 30 t. Il tiranti possono essere collegati con travi di ripartizione per migliorare la distribuzione delle forze.