



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1550A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Berruero

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.**

Ogni metodo ha una ~~diversa~~ diversa influenza sulle caratteristiche del terreno (deformabilità, resistenza, permeabilità)

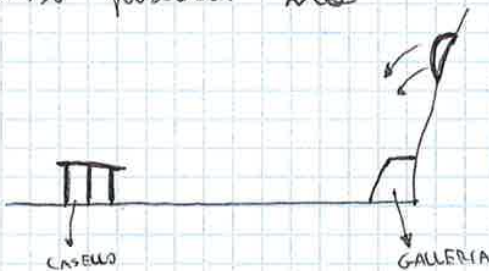
es. Precorico e drenaggio miglioramento della deformabilità, aumento della resistenza
VEDERE TABELLA STAMPATA

METODI DI CONSOLIDAMENTO

1) MODIFICA DELLA GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Può essere attiva (a) o preventiva (b)

a) ~~Negli~~ Negli scavi con l'esplosivo, dopo la rottura alcune parti della massa rocciosa si allentano e possono essere instabili. Posso rimuoverli. DISCARICO
 Negli scavi a giorno possono essere parti di pendio ~~instabili~~ instabili; possono postarsi via

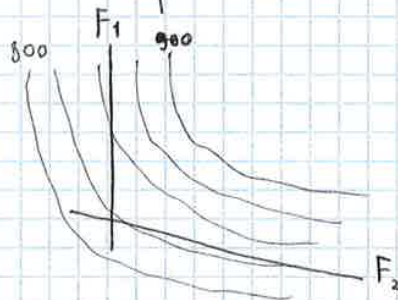
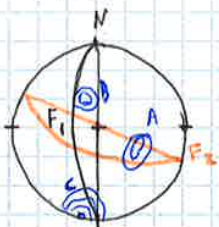


In questo caso si è scelto di consolidare il blocco perché i costi ~~per~~ per eliminarlo erano troppi (chiusura del traffico, lavorazione del materiale ecc.)

COSTI \Rightarrow dipendono da il metodo per l'eliminazione del materiale, dal volume, dal tempo dell'opera ecc.

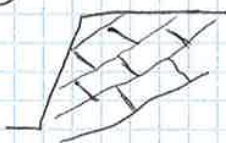
b) forse, per esempio, un pendio gradonato è una modifica preventiva

esempio



(F_1)

(F_2)



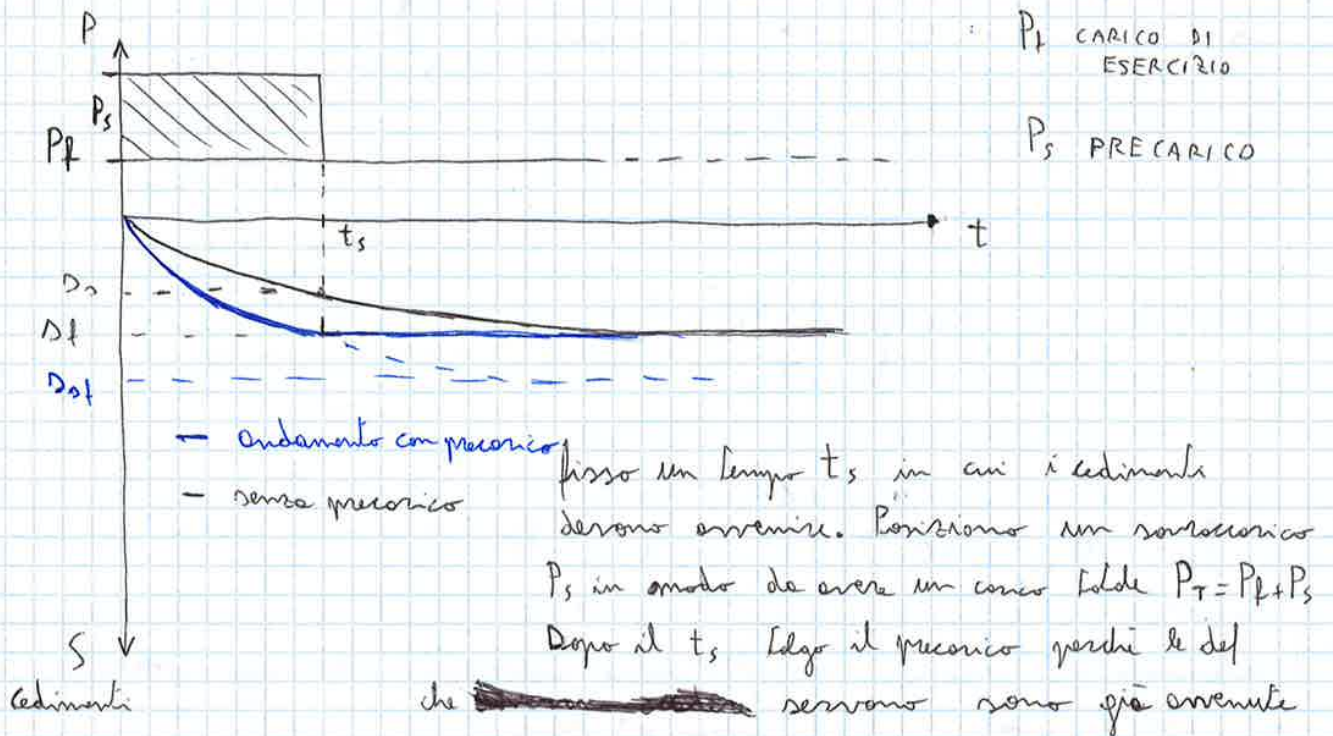
condizione di instabilità
 possibile consolidamento planare

Modificare la geometria ci permette di avere condizioni meno gravose

② PRECARICO

Si fa per grandi interventi stradali. Per opere che producono cedimenti verticali in tempi lunghi (terreni limo-argillosi). In queste condizioni i tempi di essentamento sono troppo lunghi in rapporto al tempo di costruzione dell'opera → possono accadere danni alla struttura. Accelero il tempo di essentamento, in modo che in un certo tempo si verificano tutti i cedimenti possibili.

Consiste nell'applicare temporaneamente alla fondazione un carico maggiore del carico di esercizio. In questo modo nel tempo stabilito avvengono tutti i cedimenti possibili. Dopo questo rimuovo il sovraccarico.



Per fare ciò posiziono sulle fondazioni dei terreni, adeguatamente compatte, con delle macchine da movimento terra.

I costi sono abbastanza bassi. I tempi sono abbastanza lunghi.

È un metodo ben conosciuto quindi non ci sono tanti problemi nella stima dei tempi.

In questo caso non si effettuano prove di controllo perché è un metodo ben studiato e conosciuto.

3) COMPATTAZIONE SUPERFICIALE DEI TERRENI

Riguarda le opere stradali poiché le interazioni non raggiungono la profondità. In profondità non ci sono modificazioni dello stato tensionale

Si effettua con mezzi meccanici statici (1) o dinamici (2)

- (1) es rulli schiacciatori
rulli a superficie liscia o non liscia
trasmettono il carico grazie al peso proprio
- (2) trasmettono il carico con un certo impulso

La scelta del mezzo va fatta analizzando le caratteristiche tecniche della macchina stessa. Ogni macchina ha una frequenza diversa, un effetto e profondità diversa ecc. La scelta va fatta analizzando le caratteristiche del terreno e delle macchine.

Svantaggio: opere in uno spessore piccolo

Costi: bassi tempi: brevi

- Il mezzo statico è più adatto per terreni fini ^{completamente} non Vstrati
- Il mezzo vibrante è adatto per terreni granulari perché la vibrazione favorisce l'assottigliamento tra i grani

12-03-2014

Questo metodo può essere usato per impermeabilizzare il terreno, ad esempio nelle discariche. In talta di materiali molto fini con una scarsa permeabilità.

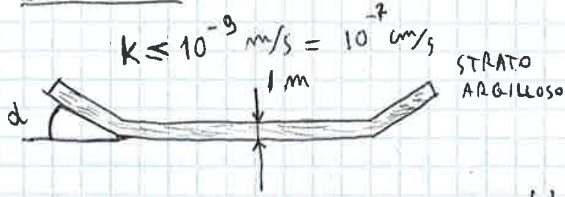
I mezzi statici vengono anche usati con i mezzi granulari, ma sono adatti per materiali fini. Sono dei rulli compattatori che possono essere lisci o punteggiati (adatto per argille sovraconsolidate)

Possono essere anche gommati

Per la scelta del mezzo si analizzano le schede tecniche dei vari mezzi date dalle case produttrici

Per scegliere in m° di strati posso realizzare un campo prova.

DISCARI CHE



Si realizza con un terreno adatto con modalità di messa in opera molto severe

Si agisce su strati di 20 (max 25 cm) con rullo solico di 15 t.

Deve essere realizzato anche sulle sponde $\alpha < 25^\circ$

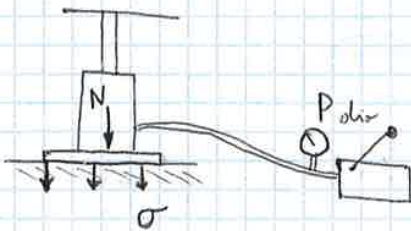
METODI DI CONTROLLO

Devo valutare la rigidità

Faccio una prova di carico su piastra. Misuro le deformazioni e mi ricavo la rigidità.

Agisce sulla superficie. Posizioniamo una piastra su cui aumentiamo il peso. Nel frattempo misuriamo gli abbassamenti.

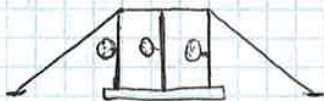
Piastra con diametro tra 38 cm e 75 cm. Per grandi più grandi, più grande è il diametro per mantenere il rapporto di scala costante.



$$P_{\text{polar}} \cdot A_{\text{mezzanella}} = N$$

$$\frac{N}{A_{\text{piastra}}} = \sigma$$

Gli spostamenti sono misurati. Monta sul treppiede dei comparatori meccanici che misurano gli abbassamenti. Si usano comparatori con precisione del centesimo di millimetro



Si mettono 3 comparatori e l'abbassamento sarà la media aritmetica di queste 3 misure

$$\Delta \epsilon = \frac{\Delta \sigma}{D_p}$$

$\Delta \sigma =$ abbassamento medio

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

• Così si determina una rigidità del terreno

$$\gamma_d = \frac{P_{secc}}{V}$$

$$\rho_d = \gamma_d / g$$

Con la prova proctor misuro la densità del campione e mi ricavo la densità ottimale.
 Con il cono di sabbia ricavo la densità dopo la compattazione in sito.

4) COMPATTAZIONE PROFONDA

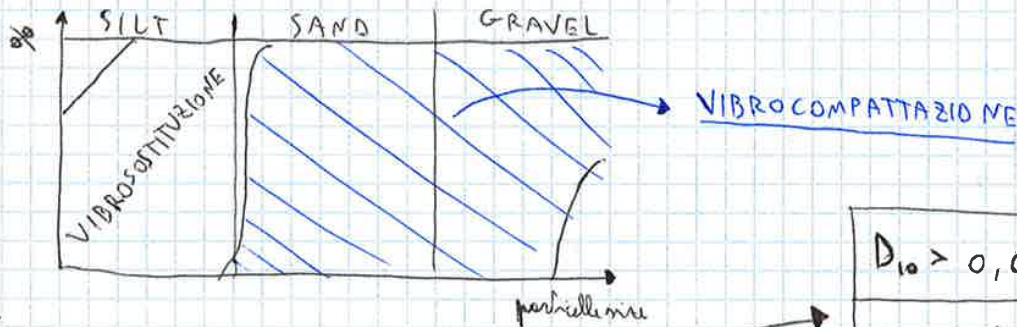
Si provoca compattazione in profondità con dei strumenti che provocano onde dinamiche in profondità. Vanno bene per terreni granulari sotto l'acqua.

a) MASSA BATTENTE / HEAVY TAMPING

indotto vibrazioni dall'esterno con una massa battente

b) CARICHE ESPLOSIVE

c) VIBROFLOTTAZIONE



questi metodi vanno bene per queste granulometrie

$D_{10} > 0,03$ mm
$K > 10^{-5}$ m/s

Terreni magri

Con questi metodi non si superano i 10 m di profondità

Allentano lo strato superficiale

Aumentano la densità relativa $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$

[$D_r \uparrow \rightarrow \uparrow$ angolo di strato \uparrow rigidità \downarrow coeff di filtra e riposo $\downarrow K$]

METODI DI CONTROLLO

3 metodi diversi

P. PENETROMETRICA DINAMICA

Si misura la resistenza della punta dell'intensità

SPT La punta è un tubo cordonato. Viene infisso con un maglio

Si calcola in n° di colpi di maglio per ~~il~~ foro penetrare di 30 cm

MASW : analisi multicanale delle onde di superficie

Onde di Rayleigh → si formano in superficie

Vale a vedere la distribuzione delle lunghezze d'onda a diversa profondità

a) Si usa una macchina che si sposta per il cantiere con la capacità di far cadere un maglio

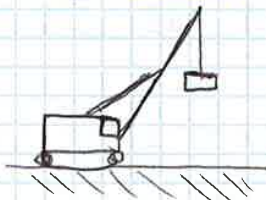
COSTI : costi abbastanza simili rispetto all'esplosivo

TEMPI : abbastanza rapido

SVANTAGGI : non si possono usare vicino a centri abitati (esplosivo)

Rapida sequenza di colpi superficiali. La massa battente è di coltellatura, acciaio ecc. I pesi sono tra 15 t ÷ 20 t. L'altezza di caduta è

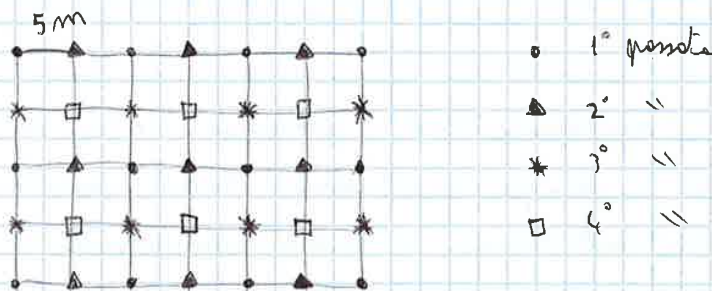
tra 7 m ÷ 40 m



Si danno 5 ÷ 20 impatti a punto

SCHEMA APPLICATIVO

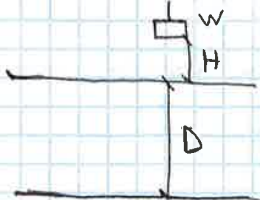
Si fanno più passaggi



Le prime passate agiscono ~~più~~ più in profondità. Questo schema permette di avere una buona compattezza

L'impulso fa aumentare la pressione interstiziale dell'acqua. Subito dopo arriva l'onda di Laplace. C'è una dissipazione del materiale dovuto all'aumento della p. interstiziale; questo favorisce l'assorbimento tra i granuli dovuto alle onde di Laplace.

• Tra un colpo e un altro, si deve dare il tempo alle pressioni interstiziali di ritornare allo stato iniziale



$$D = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \sqrt{W \cdot H}$$

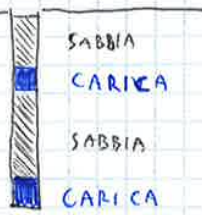
$$D = 0,586 \sqrt{W \cdot H} - 0,09 W \cdot H$$

$$c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 = (0,3 \div 0,8)$$

la profondità di influenza dipende dal peso e dall'altezza di caduta del grave

Nel foro viene messa una carica e poi viene chiuso con della sabbia asciutta (BORRAGGIO). Serve a contenere l'esplosione verso il foro e per

Serve per non disperdere l'energia esplosiva verso l'esterno



impedire che tutta la forza vada verso l'esterno

L'interasse tra i fori è dell'ordine di 7-8 m. Devono fare tutti i fori, caricarli tutti e farli esplodere.

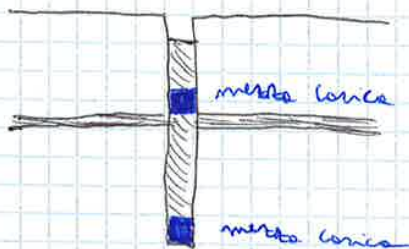


Queste 4 serie esplodono con un certo ritardo dell'ordine di 100-500 ms che migliora l'effetto del metodo

Onde di compressione di 5 m/s seguite da onde di taglio. Le onde di compressione producono un aumento della p. interstiziale che provoca l'allontanamento dei gran (liquefazione). Dopo arriva l'onda di taglio che provoca una migliore posizione dei gran e un miglior addeamento. La presenza di acqua è quasi essenziale (per l'effetto della pressione interstiziale). Aumenta la densità relativa.

Non va bene per le discariche e per i materiali carboni per via della granulometria che non provoca la liquefazione del materiale

La presenza di stralenti provoca l'ammortizzazione delle onde. Si può risolvere questo problema dividendo le cariche che esistono su 2 strati diversi



Devo compensare la perdita di volume con della sabbia asciutta

(Nel caso della VIBROSTITUZIONE immetta un materiale diverso da quello presente naturalmente)

Le vibrazioni cambiano l'equilibrio tra le forze tra i grani e favorisce il migliore posizionamento dei grani con un migliore assetto. L'immissione è continua. La compattazione avviene in sabbie alternando tratti di risalita di 20 ÷ 40 cm e fasi di sosta di 10 ÷ 30 s

Arrivati alla formazione di un cratere attorno al foro: per avviare a questo si inserisce della sabbia asciutta per compensare la perdita di volume

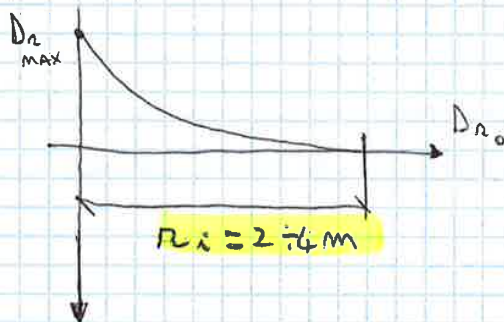
N° di idoneità

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

La sabbia deve avere un certo numero di idoneità

$0 < N_i < 10$	=	molte eccellenti
$10 < N_i < 20$	=	buono
$20 < N_i < 30$	=	accettabile
$30 < N_i < 50$	=	poco adatto
$N_i > 50$	=	non adatto

Aumenta la densità relativa D_r . Il max di D_r si trova nell'asse del foro e diminuisce esponenzialmente allontanandosi dal foro

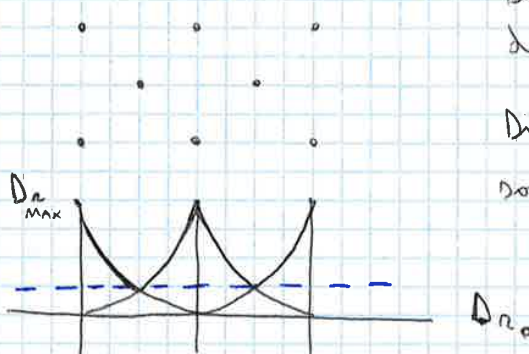


Il raggio di influenza R_i è di 2 ÷ 4 m.

Dipende dalla sonda, dalla granulometria, dal metodo operativo

Max incremento di D_r è dell'ordine del 80%.

Maglia



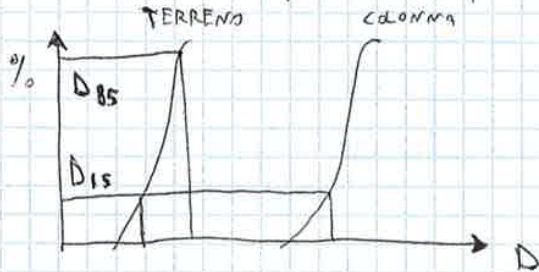
Dipende dal materiale, dalle sonda e dall'effetto che si vuole ottenere

Distanzia i fori in modo da avere una sovrapposizione degli effetti

Il materiale di riempimento ha una granulometria tra i $5 \div 150$ mm

~~70%~~
70% per peso $60 \div 80$ mm

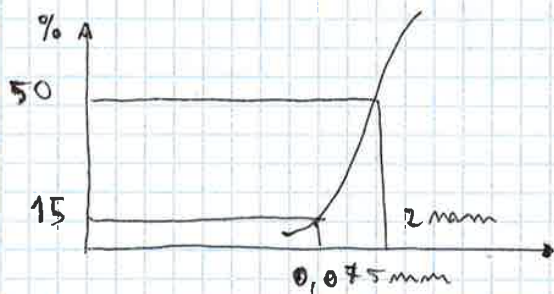
Per avere una funzione drenante la colonna di ghiaia deve avere della % di sabbia per non far intasare subito i pori della colonna



$$4 D_{15t} < D_{15c} < 4 D_{85t}$$

MATERASSO DRENANTE

Deve essere:



la percentuale di particelle $< 0,075$ mm deve essere inferiore al 15% e la % di sabbia deve essere $< 50\%$

CALCOLO DEL CARICO LIMITE DELLA COLONNA

Si ipotizza che il terreno circostante non sopporti nulla

La colonna collassa

- 1) perché si supera la resistenza al taglio della colonna
- 2) « collassa il terreno circostante. La colonna sponda e parte di collasso il terreno

3) per rottura per punzonamento dello strato di fondo

Le lunghezze delle colonne sono nell'ordine dei $15 \div 20$ m

VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI IN SUPERFICIE

Devo valutare la rigidezza del terreno trattato dopo l'intervento

In questo caso i cedimenti della colonna e del terreno sono ipotizzati uguali.

Terreno isotropo ed elastico

$$E_{medio} = \frac{E_t \cdot A_t + E_c \cdot A_c}{A_t + A_c}$$

26-03-2016

Esercitazione - Vibroflottazione

Plinto di fondazione posto - 3,15 m del P.C. caricato con $N = 2800 \text{ kN}$
 su fondo poco denso con fondo al P.C.

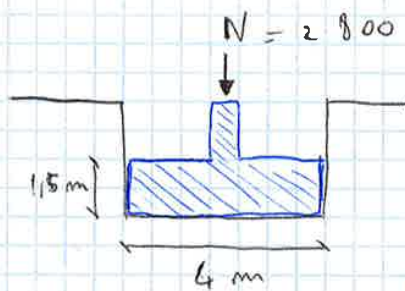
$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi' = 30^\circ \quad c = 0,1 \text{ kPa} \quad q_c = 5 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,2 \quad s_{amm} = 30 \text{ mm} \quad B = 4 \text{ m} \quad H_{plinto} = 1,5 \text{ m}$$

Sullo stesso terreno si procede a vibroflottazione con maglia quadrata o
 quadrata e si riduce la fondazione a $B = 20 \text{ m}$ $H_{plinto} = 0,8 \text{ m}$ posto
 a - 2 m del P.C.

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi' = 42^\circ$$

Capacità Portante di un Plinto



$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi' = 30^\circ$$

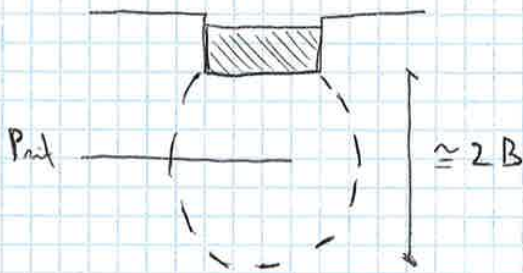
$$q_c = 5 \text{ MPa} \quad \nu = 0,2$$

$$q_{lim} = 1278 \text{ kPa}$$

$$q_{reservata} = \frac{2800 + (4 \cdot 4 \cdot 1,5) \cdot 2500}{4 \cdot 4} = 212,5 \text{ kN}$$

$$FS = \frac{q_{lim}}{q_{as}} \approx 6 > 2,5 \div 3$$

CEDIMENTI



Prendiamo una quota di riferimento

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

$$\sigma'_{v_0} = \sigma_{v_0} - u_0 = 67,5 \text{ kPa}$$

Diagramma di SCHMERTMANN

Correlano la densità relativa D_r alla resistenza di penetrazione. Nel primo caso sono nel caso NC. Dopo la vibroflott addensato il terreno e mi trovo nel caso OC

ESERCITAZIONE: COLONNE DI GHIAIA

1-04-2016

CAPACITÀ PORTANTE DELLA COLONNA DI GHIAIA

Ci sono 3 meccanismi di rottura che vanno verificati,

- espansione della conca cilindrica
- rottura per taglio
- puntuamento

$$q_{c \text{ lim}} = k_{pc} \cdot \sigma'_{h \text{ max}}$$

$$\Downarrow$$

$$P_{c \text{ lim}} = q_{c \text{ lim}} \cdot A_c$$

A_c = Area colonna

b) Per la determinazione angolo δ si usa l'angolo di Brauns. Si ipotizza che tutto il cono si sposti sul terreno

$$c) \quad P_{c \text{ lim}} = A_c (N_c \cdot (v_b + \sigma_{v0})) + \pi D_c \int_0^{L_c} c_v \cdot dz$$

CEDIMENTI

$$s_{TF} = \frac{P_c \cdot I_s}{E_t \cdot D_c}$$

P_c carico

I_s coefficiente adimensionale di influenza

E_t modulo di deformazione del terreno
calcolato in cond. drenate

D_c diametro colonna

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

si fa l'ipotesi che il cedimento delle colonne è uguale a quello del terreno

$$s_c = s_t$$

M_t modulo edometrico terreno coesivo

E_t^* modulo corretto di def (tiene conto dell'interazione con le colonne di ghiaia)

All'inizio il terreno prende tutto il carico. Con il tempo il carico si sposta sulle colonne. Devono essere come ripartire la q

Colonne

$D_c = 1,4$

$\Delta = 2m$

$A_c = 0,395 \text{ m}^2$

$A = 2,91 \text{ m}^2$

$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 1,92 \text{ m}$

$A_t = 2,51 \text{ m}^2$

Terrano 1

$CR = \frac{C_c}{1+C_o} = 0,11$

$\sigma'_{v_0} = (18 \cdot 8,25) + (17 \cdot \frac{3,3}{2}) = 177 \text{ kPa}$

$M = \frac{\sigma'_{v_0}}{0,435 \cdot CR} = 3900 \text{ kPa}$

$E_t = 2960 \text{ kPa}$

$E_t^* = 19800 \text{ kPa}$

$k_{ac} = 0,49$

$k_{ot} = 0,43$

Terrano 2

$CR = 0,21$

$M = 2930 \text{ kPa}$

$E_t^* = 16600 \text{ kPa}$

$\sigma'_{v_0} = 250 \text{ kPa}$

$E_t = 2025 \text{ kPa}$

$k_{ac} = 0,49$

$k_{ot} = 0,43$

su exell

q_t	s_x	Δx
138	0,3988	0,4187
139	0,4017	0,3962

$\Rightarrow 138,7 \text{ kPa}$

$q_c = \frac{1}{A_c} (q \cdot A - q_t \cdot A_t) = 214 \text{ kPa}$

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

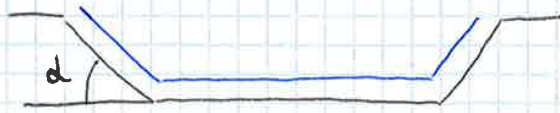
cedimento colonna

$\Delta H = H \left[RR \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v_0}} + CR \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_{v_0}} \right] = 0,471 \text{ m}$

cedimento senza
colonne di
ghiaia

Per miscelare il terreno e il legante ci sono dei macchinari specifici che, passando nella zona interessata, spostano il terreno interessato, lo mescolano e lo riposizionano.

Esempio DISCARICA

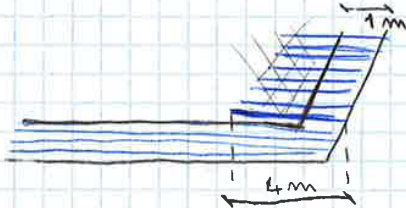


L'ingresso della discarica va impermeabilizzato con del terreno naturale e con un telo di plastica.

Lo strato naturale deve avere una spessore di almeno 1 m e una permeabilità bassa ($\leq 10^{-9}$ m/s). Per questo non è facile. Per ottenere questo effetto, il materiale deve avere una grande percentuale di fini (almeno un 20% di argilla). È un materiale con una scarsa resistenza al taglio. La struttura deve essere stabile.

La struttura impermeabile deve essere uguale ovunque, anche sulla parte inclinata.
 $\alpha_{max} \cong 25^\circ$

In alcuni casi si lavora con $\alpha = 30 \div 35^\circ$



In questo caso si fa prima il fondo. Poi si lavora per straterelli larghi 3-4 m, sulle pareti.

Negli strati mescola il cemento in modo da aumentare la stabilità dello scavo. C'è una macchina che mescola il cemento direttamente nello straterello di 20 cm. Lo mischia solo per la larghezza di 1 m: poi l'altro materiale lo sposta.

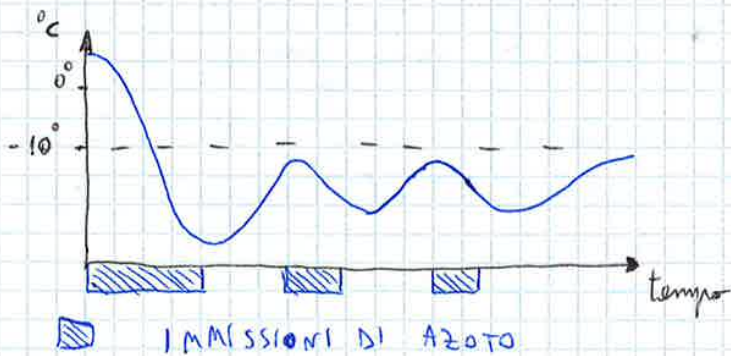
COLONNE DI CALCE O CEMENTO

Struttura di fondazione

~~Struttura di fondazione~~ Con un trapano elicoidale, raggiungo la profondità interessata. Da questo strumento escono, dagli ugelli, miscela di calce o cemento. Lo strumento elicoidale serve anche a miscelare il terreno al legante.

Diámetro columna 0,5 ÷ 1 m Inclinazione columna 0,8 ÷ 1,5 m

{ Quantità di calce 70 ÷ 80 kg/m³
 « di cemento 80 ÷ 100 kg/m³



Non immetto sempre l'N.
 Faccio diverse immissioni per tenere la T che voglio

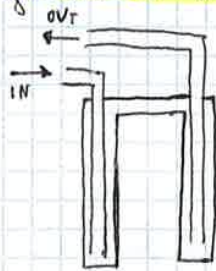
Immetto N fino a congelare il terreno; poi smetto e lo rimetto ogni tempo per mantenere la temperatura che voglio

Ci vogliono 3-4 giorni per congelare la prima volta la struttura. E' abbastanza veloce e c'è poco ingombro di attrezzature. Poco inquinamento e poco rumore.

2) METODO INDIRETTO. (A CIELO CHIUSO)

Uso degli impianti frigoriferi per produrre il freddo. Questo impianto raffredda il liquido che entra nelle sonde. Questo liquido è una soluzione (ACQUA + SALE). Il sale è il cloruro di calcio.

È una soluzione salina di acqua e cloruro di calcio che ha una T di congelamento di -25°C .



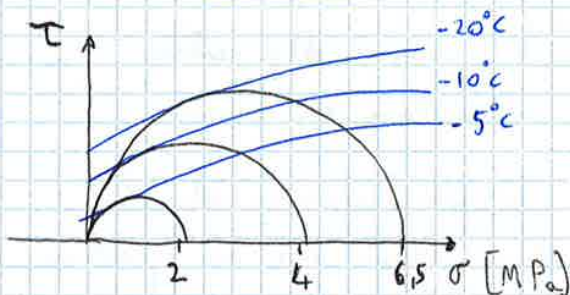
La soluzione viene recuperata (per questo ciclo chiuso) e rimandata in circolo (una volta raffreddata nuovamente).

Ci vanno 3-4 settimane per congelare ma i costi sono più bassi rispetto al m. diretto.

3) M. MISTO

È un uso delle 2 metodologie. Parlo con l'aroto e mantengo la temperatura con il metodo indiretto.

TEMPERATURA



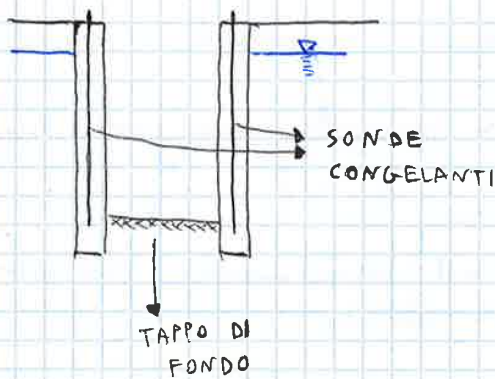
Le prove sono monoassiali. La resistenza a compressione uniaxiale aumenta con il diminuire della temperatura. Aumenta la resistenza del terreno con il diminuire di T.

Dopo lo scongelamento avviene un peggioramento delle caratteristiche geotecniche. Nel progetto devo tenere conto di queste nuove caratteristiche. Tanto più dura il congelamento, tanto più peggiora il materiale dopo lo scongelamento.

Passi:

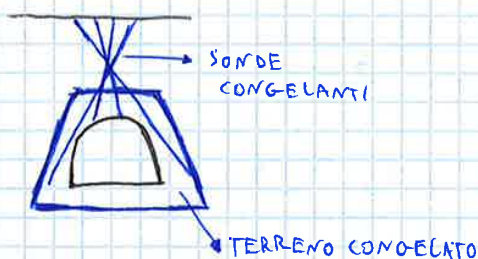
- 1) definizione della struttura da congelare in funzione dell'opera da realizzare
- 2) definizione dei parametri meccanici da dare alla struttura congelata e le successive deformazioni.
Caratterizzazione del materiale
- 3) scelta del tipo di tecnica e calcolo del processo di congelamento.
- 4) Scelta delle metodologie di controllo durante e dopo il congelamento.

~~Questo~~ Questo metodo è usato per lo scavo di pozzi di fondazione



Devo rendere impermeabile il fondo con delle iniezioni per evitare che l'acqua entri nello scavo.

Lo si usa anche per scavi in sottosuolo



L'interasse tra le sonde è dell'ordine di $0,5 \div 1$ m.

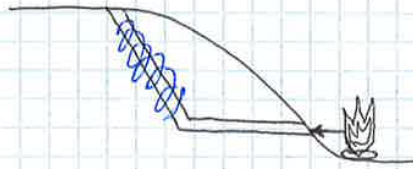
Diametro pozzo $80 \div 120$ mm Area di influenza $70 \div 80$ cm

La stratificazione può creare dei problemi, perché limita l'effetto del congelamento. La velocità di falda influisce sugli effetti: se c'è una grande velocità, non c'è tempo per congelare l'acqua (perché ne arriva sempre della nuova). In questi casi si può usare il metodo diretto perché è più economico e poi passare al metodo indiretto per contenere i costi.

Consolidamento del versante

$T \rightarrow 400 + 500^\circ C$

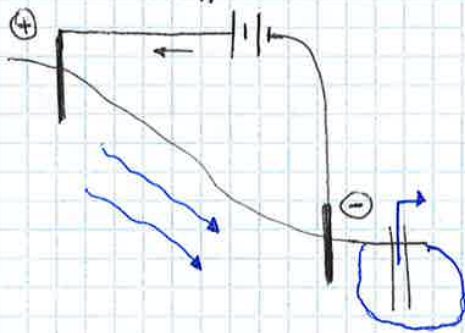
Creo delle colonne di terra cotta



ELETTROSMOSI

Riguarda i terreni fini, a bassa permeabilità con molta acqua.
 Si applica una differenza di potenziale alla massa di terreno satura.
 Questo provoca una migrazione dell'acqua verso una parte della massa.
 Questa acqua viene poi drenata.

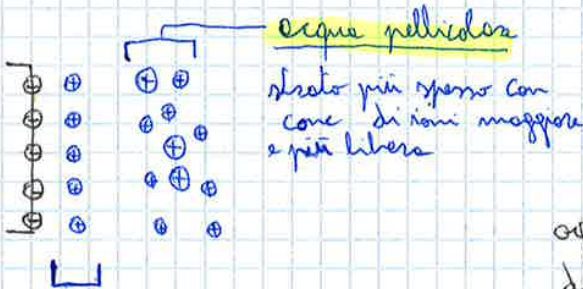
Il ΔV è applicato tramite 2 elettrodi nel terreno.



L'acqua si accumula nell'area del catodo (-),
 dove estraggo l'acqua per drenare la massa

Le argille hanno una superficie specifica molto alta. Il rapporto superficie/massa è altissimo.

Sulla superficie dei grani di argilla c'è un eccesso di cariche negative. *
 Nell'acqua interstiziale c'è una gran quantità di ioni positivi.
 Il grano crea un'atmosfera di ioni positivi attorno ad esso.



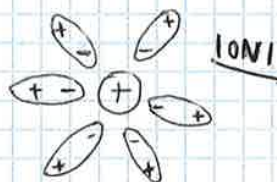
strato più spesso con
 conc. di ioni maggiore
 e più libera

Con l'aumentare della distanza dal
 grano l'energia attrattiva diminuisce

acqua di adesione

strato sottile più aderente e
 fortemente legato ai grani

ogni ione positivo attrae le molecole
 di acqua



* perché c'è la sostituzione dell'alluminio con il silicio

Si usa questo metodo per la stabilizzazione di pendii (naturali o artificiali) di terreni argillosi con presenza di acqua. I volumi di Materiale trattato sono molto piccoli ($100 \text{ m}^3 - 1000 \text{ m}^3$). I costi sono elevati.

Gli elettrodi sono delle barre, tubi o profili di acciaio del diametro di $20 - 50 \text{ cm}$. Le lunghezze vanno da $3 - 15 \text{ m}$.

Il catodo nelle celle è un tubo forato così funge anche da pozzo di estrazione per l'acqua.

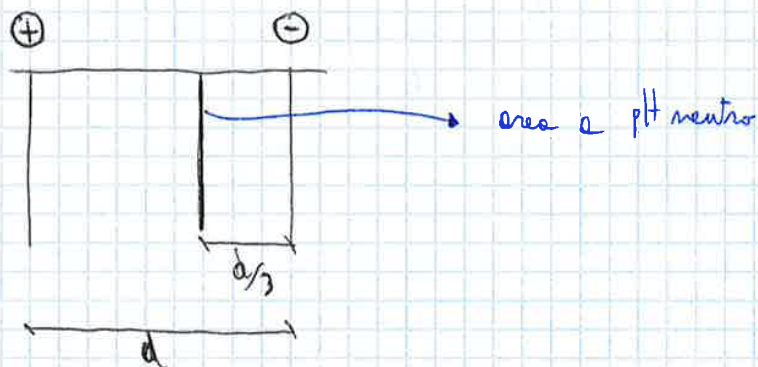
$V \cong 30 - 40 \text{ V}$. Il gradiente di potenziale è compreso tra $10 - 40 \text{ V/m}$.

La durata del metodo $1 - 6$ mesi

La diminuzione di umidità nelle masse è intorno al $2 - 4\%$

Posso introdurre delle soluzioni di cloruro di calcio per favorire il flusso dovuto al potenziale (perché aumenta il numero di ioni)

* Ad un terzo della distanza dal catodo, si forma una zona neutra che ~~diminuisce~~ fa diminuire l'efficacia del metodo. Si può, ogni mese, invertire la polarità per dissolvere questa area neutra.



* Ad un terzo della distanza dal catodo si forma un'area a pH neutro. Questa area riduce gli effetti del metodo. Per ovviare a questo posso invertire la carica per alcuni giorni per dissolvere questa area neutra.

TIPI DI LEGANTI

Sono classificati nel seguente modo (in funzione della composizione e del comportamento reologico)

- 1 - SOLUZIONI INSTABILI (ACQUA & CEMENTO)
- 2 - SOLUZIONI STABILI (ARGILLA & CEMENTO)
- 3 - SOLUZIONI COLLOIDALI o EVOLUTIVE (miscela di sabbia + reagenti)
- 4 - SOLUZIONI PURE o NON EVOLUTIVE (resine organiche)
- 5 - EMULSIONI LIQUIDE o GASSOSE (M. ESPANSIVE)

Nei casi 3 e 4, possono esserci problemi ambientali di inquinamento della falda

Per le rocce fratturate si inietta il cemento.

L'iniettabilità dipende da permeabilità, porosità, dimensioni dei vuoti e granulometria

INIETTIBILITÀ DELLE MISCELE

Rapporto di iniettabilità

- Rocce
$$N_R = \frac{D_{ferrosa}}{D_{max\ granulometria}} > 3$$

$D_{ferrosa}$ = diametro della ferrosa

$D_{max\ granulometria}$ = diametro max della miscela

- Terreni granulari (Gallagher)
$$N = \frac{D_{15t}}{D_{85m}} > 24$$

D_{15} terreno

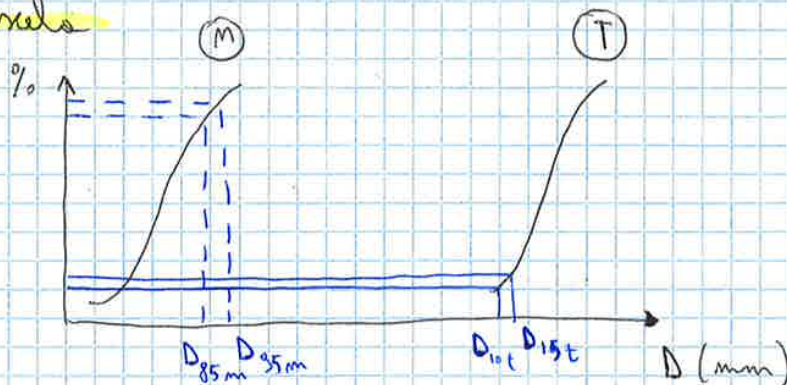
D_{85} miscela

(De Paoli)
$$N_c = \frac{D_{10t}}{D_{95m}} > 11$$

D_{10} terreno

D_{95} miscela

Questo richiede lo studio della curva granulometrica del terreno e della miscela



VISCOSI TÀ

modo di un fluido in un condotto



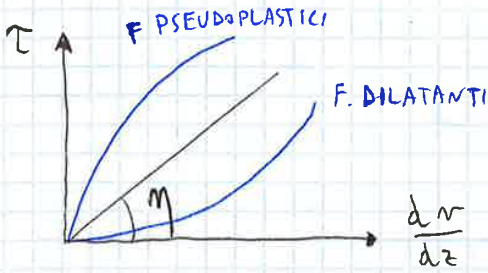
MODELLO DI
NEWTON

$$\tau_{xz} = \eta \frac{dv}{dz}$$

η coefficiente di viscosità dinamica

gradiente di velocità lungo z

FLUIDI NEWTONIANI



in qualunque livello di sollecitazione, il liquido ha uno spostamento

FLUIDI BIRGHAMIANI

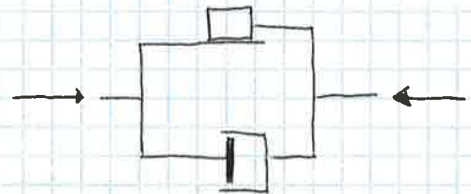


$$\tau_{xz} = \tau_0 + \eta \frac{dv}{dz}$$

MODELLO DI

BIRGHAM

VISCOPLASTICO



~~Finché non si raggiunge una certa soglia di τ, non c'è spostamento. Dopo questa soglia si comporta come un fluido newtoniano~~ Finché non si raggiunge una certa soglia di τ , non c'è spostamento. Dopo questa soglia si comporta come un fluido newtoniano

SOLUZIONI STABILI

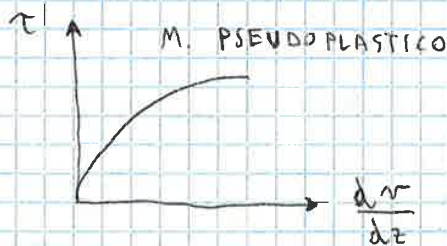
Aggiunta di altri materiali per limitare o risolvere il problema della sedimentazione.

Si stabilisce la miscela aggiungendo sostanze organiche alla miscela acqua-cemento.

Si può usare il MICROCEMENTO che ha una granulometria molto più piccola. Il suo comportamento tende al newtoniano. Ha un costo elevato. La dimensione massima dei grani è nell'intorno di 10 μm . Rapporto acqua-cemento $\cong 3-4$.

rapporto acqua-cemento	Resistenza a Compressione
1	100-120 kg/cm^2
2	40-60 kg/cm^2
3	12-22 kg/cm^2

L'aggiunta di bentonite rende stabili le miscele perché crea una struttura colloidale con l'acqua e il cemento. Le particelle di argilla circondano i grani di cemento e li tengono in sospensione. La viscosità di queste soluzioni non è costante.



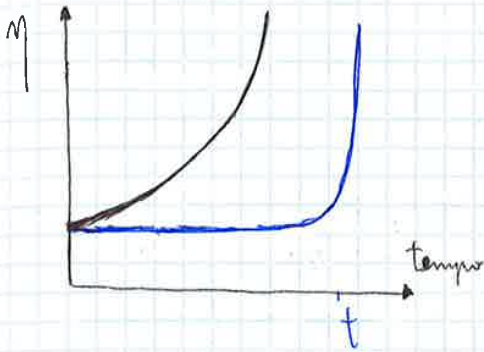
L'aggiunta di bentonite diminuisce la sedimentazione.

Nei fluidi binghamiani si definisce una viscosità apparente η' che tiene conto di τ_0 e di τ .

$$\tau = \tau_0 + \eta' \frac{dv}{dz}$$

Le soluzioni pure sono sostanze organiche

Nelle soluzioni colloidali la viscosità aumenta nel tempo



- SOL. COLLOIDALI o EVOLUTIVE

- SOL PURE o NON EVOLUTIVE

L'indurimento avviene in poco tempo soprattutto un certo tempo t

23-04-2014

- 1) SOLUZIONI CHIMICHE } seguono il modello Mandelstamiano
 2) SOLUZIONI PURE }

Non sono soluzioni granulari. L'iniettività è funzione della VISCOSITÀ e della PERMEABILITÀ del terreno.

Vanno bene per le sabbie (sol. chimiche) e per anche parte dei limi (sol. pure).

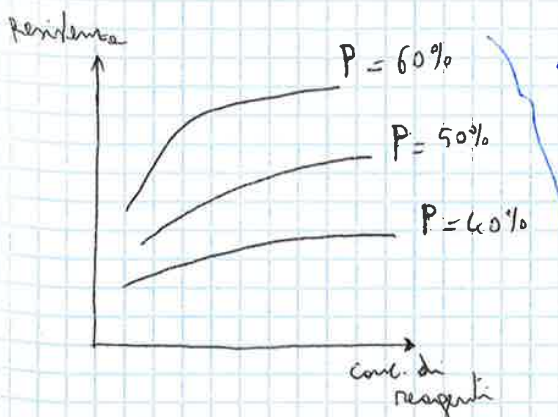
Non si può iniettare acqua in un terreno con $K < 10^{-6}$ m/s

- 1) sono dette miscela evolutive perché la viscosità aumenta nel tempo. È un processo di indurimento che dura nel tempo. Per mantenere la portata costante, durante l'iniezione bisogna aumentare la pressione. Se si tiene la pressione costante la portata diminuisce con il tempo.

Sol. di Silicato di sodio + Reagente

- Alcune volte si preade questo trattamento con iniezioni di cemento per occludere i pori più grandi

REAGENTI Bicarbonato di sodio, acetato di sodio, acetato di etile



% di Silicato di Sodio

Tendono a sciogliersi nell'acqua col passare del tempo

hanno una certa durata

PROGETTO

indagine preliminari. **SONDAGGI GEOGNOSTICI** e **OSSERVAZIONI**

STRATIGRAFICHE. Devo ricostruire il modello geologico.

Con i campioni ottenuti faccio delle prove di laboratorio

Per i terreni faccio l'analisi granulometrica per analizzare la permeabilità del terreno.

Possò fare delle prove di miscelazione con sostanze diverse per valutare le caratteristiche meccaniche e idrauliche dopo l'intervento

Per opere molto importanti posso fare dei **CAMPI PROVA** per valutare l'iniettabilità.

Per il controllo faccio una **prova pressiométrica**

Per perforazioni molto profonde il problema più grosso è la **demerazione di foro**

Lunghezza: 20 - 25 m

Interasse fori: 0,8 - 1,3 m

sabbie fini

1 - 2 m

sabbia grossa

2 - 4 m

ghiaie sabbiose

3 - 5 m

ghiaie

Diametro fori: 65 - 130 mm

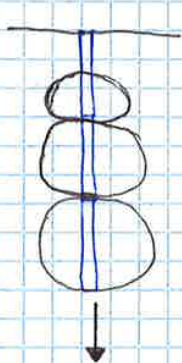
I fori sono fatti a **rotazione** (terreni omogenei) o a **rotapercussione** (terreni disomogenei).

Il foro deve essere mantenuto aperto con dei fanghi **BIODEGRADABILI**: sono fanghi densi che perdono la loro viscosità in alcune ore.

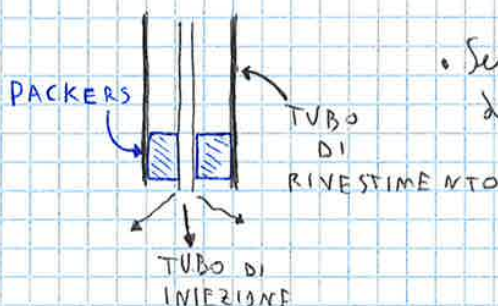
TECNICHE DI INIEZIONE

1) INIEZIONE IN AVANZAMENTO

eseguo un tratto di foro e faccio l'iniezione. Dopo la presa del legante eseguo un altro tratto di foro e inietto.



Va bene per rocce fratturate



• Servono per impedire alla miscela di penetrare nel tubo di rivestimento

Per le rocce fratturate, l'interasse tra i fori è di $5-7\text{ m}$ e il diametro è $35-75\text{ mm}$

Per soluzioni cementizie non si possono usare i modelli basati sulla l. di Darcy per determinare la portata Q . Si possono usare per sol non evolutive e, in approssimazione, e sol evolutive.

$$Q = V \cdot A = k_w \cdot i \cdot A$$

k_w permeabilità acqua

$$k_m = k_w \left(\frac{\eta_w}{\eta_m} \right) \left(\frac{\rho_m}{\rho_w} \right)$$

k_m permeabilità miscela

$$k_m \cong \frac{k_w}{\eta_m}$$

Silicato di sodio	$\eta_m = 2 \div 200\text{ Pa}\cdot\text{s}$
Resine acriliche	$\eta_m = 2 \div 8\text{ Pa}\cdot\text{s}$
Resine epossidiche	$\eta_m = 20 \div 150\text{ Pa}\cdot\text{s}$
Silice colloidale	$\eta_m = 5 \div 50\text{ Pa}\cdot\text{s}$

Resine amminiche $\eta_m = 5 \div 30\text{ Pa}\cdot\text{s}$



CONDIZIONI DI FLUSSO RADIALE SFERICO

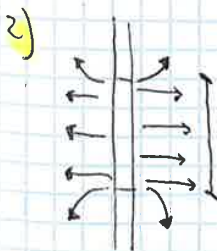
$$Q = 4\pi r_0 k_m \Delta H$$

$\Delta H =$ carico idraulico utile

Varie dalla profondità e dal tipo di pompa che si usa

per $r_0 = 0,04\text{ m}$

$$Q = 0,5 \cdot k_m \Delta H$$



COND DI FLUSSO CILINDRICO
 $L = 0,33\text{ m}$

$$Q = 4\pi r'_0 k_m \Delta H$$

$$r'_0 = \frac{L}{a}$$

$$a = f(L, r_0)$$

$r_0 = 0,04\text{ m}$

$r'_0 = 0,08$

Nella fase post-intervento si controllano le prestazioni attese prima e dopo l'intervento con prove di laboratorio su campioni di cordoglio e in sito tramite prova piezometrica.

DRENAGGI

Escono in modo che la struttura si rafforzi da sola, senza uso di leganti, metalli ecc... e senza impatti ambientali, semplicemente eliminando l'acqua.

Gli scopi dei drenaggi sono:

- lavorare all'asciutto
- limitare una portata eccessiva
- modificare lo stato tensionale di una struttura
- evitare l'accumulo d'acqua
- dissipare le pressioni interstiziali
- smaltimento fluidi disciolti

DRENAGGI PER LA STABILIZZAZIONE DEI PENDII

Ci possono essere:

1) **Azioni di pronto intervento**

- captazione e convogliamento di acque superficiali
- sigillatura delle fratturezioni del terreno e condotte di coronamento a monte del corpo di frana
- esportazione dei detriti al piede

2) **Sistemazione definitiva di un pendio**

I drenaggi superficiali hanno lo scopo di evitare il ruscellamento delle acque superficiali → canalette di raccolta delle acque piovane:

- canalette di coronamento: captano le acque a monte e le postanonia
- canalette di scarico: convogliano l'acqua raccolta verso punti di scarico

Le canalette possono essere fatte in materiali prefabbricati (c/c, lamiera) o semplicemente scavate e rivestite con materiale impermeabile.

I drenaggi profondi possono essere:

- trincee drenanti
- dreni tubolari
- pozzi drenanti
- gallerie drenanti

6-5-2014

TRINCEE PREVALENTI

- POCO PROFONDE 3-5 m di profondità. Vengono realizzate con una benne e seguono la direzione del pendio

Possono essere dotate di rami laterali con uno schema a spina di pesce.

Movimenti franosi di una coltre superficiale meno compattata del fondo. La coltre è più permeabile del substrato. La profondità delle trincee è legata alla profondità del mov. franoso. Molte volte raggiungono il substrato.

La trincea è piena di materiale drenante. La si realizza dal basso verso l'alto. La si fa per settori per evitare che lo scavo rimanga troppo aperto.

Il materiale di riempimento è molto permeabile (ghiaie e sabbie).

Devo dotare le pareti delle trincee di un filtro (un geotessile)

sezione rettangolare → se il materiale ha una autoperforanza

larghezza 0,6 - 1 m profondità 3-4 m con escavatore profondo

5-6 m con escavatore angolato

Sezione trapezica

→ se il terreno non è coesivo. C'è una maggiore sicurezza per gli operatori

Il rivestimento di geotessile ha la funzione di filtrare l'acqua che entra dalle pareti. Quest'acqua porta del materiale fine che con il tempo quasi intasa la trincea. Perde funzionalità con il passare del tempo

Esempio

$$D_{85} = 22 \text{ mm}$$

$$D_{15} = 2,2 \text{ mm}$$

MATERIALE DRENANTE (D)

$$d_{15} = 0,6 \text{ mm}$$

$$d_{15} = 0,0032 \text{ mm}$$

= DA DRENARE (d)

$$5 d_{15} < D_{15} < 5 d_{85}$$

Sul fondo della trincea è presente una tubazione forata per accelerare il drenaggio

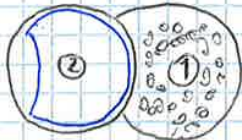
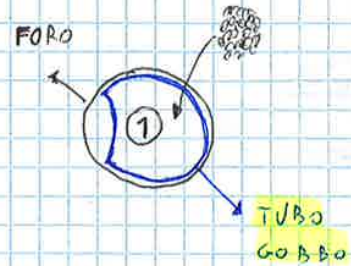
d apertura dei fori

$$D_{85} > 2 d$$

TRINCEE PROFONDE Dette grotte drenanti. Profondità fino a 30m

TECNICA DEI PALI SECANTI terreni che permettono la realizzazione di fori di grandi dimensioni

- 1) Si fa il foro ① e si posa il tubo gobbo
- 2) si riempie il tubo gobbo
- 3) si profonda il palo ② e lo si riveste. Lo si riempie
- 4) posso estrarre il tubo gobbo in ①



Il terreno deve avere una autoperforazione tale da permettere lo scavo del foro e la posa del rivestimento

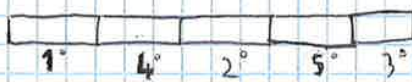
Il riempimento è un conglomerato di ghiaia e cemento (calcestruzzo alveolare)

$K > 10^{-1} \text{ m/s}$. Il calcestruzzo alveolare ha una alta permeabilità

TECNICA DEI PANNELLI si usa in terreni dove non c'è una autoperforazione.

Lo scavo va quindi sostenuto. Si usa una miscela di fanghi biodegradabili. Miscela di acqua e polimeri che perde la viscosità nel tempo

La lamina viene riempita da calcestruzzo alveolare. Viene costruita a settori



Permettono ai vari settori di fare presa



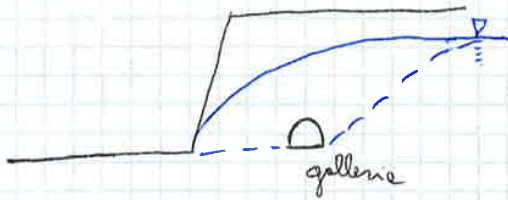
Permettono al cemento di fare presa in pochi giorni

DRENI TUBOLARI

Perforazioni che faccio nella struttura per favorire la fuoriuscita dell'acqua. Sono usati per superfici di scivolamento molto profonde. Si usano anche in ammassi rocciosi

Fori di 70-100 mm. Hanno la pendenza simile al pendio (2-20%) per permettere all'acqua di fuoriuscire.

GALLERIE DRENANTI



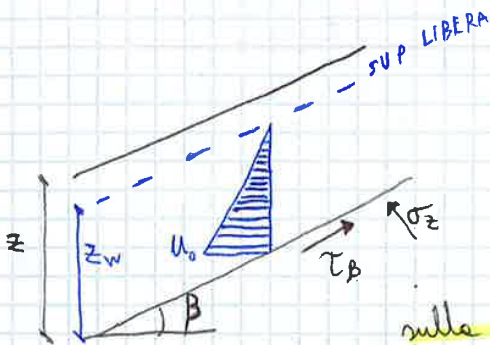
Direzione parallela alla direzione del pendio.

Sono ad una profondità maggiore della superficie di scivolamento

Devo fare una galleria sottofalda con tecniche particolari. È un metodo molto costoso

7-5-2014

Non ci sono soluzioni analitiche per la progettazione di drenaggi, ci si basa sull'esperienza. Per la stabilità di queste strutture si usa il metodo dell'equilibrio limite



$$FS = \frac{\tau_{FS}}{\tau_{\beta}} = \frac{c' + (\sigma_n - u_0) \cdot \tan \phi'}{\tau_{\beta}}$$

Tutte le volte che FS è troppo piccolo bisogna aumentarlo diminuendo la pressione interstiziale sulla superficie di scivolamento. Per il dimensionamento

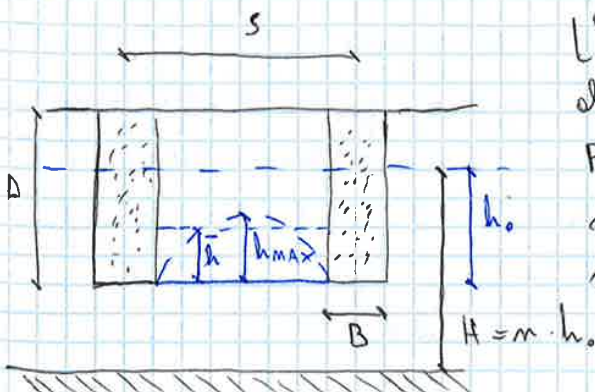
devo capire quanto vale la diminuzione di p interstiziale tale per cui il FS aumenti di una certa quantità

$$\Delta FS = \frac{-\Delta u \cdot \tan \phi'}{\tau_{\beta}} \quad \text{con } \Delta u = u - u_0$$

$$E = \frac{-\Delta u}{u_0} = \frac{u_0 - u}{u_0}$$

EFFICIENZA IDRAULICA

L'E è il rapporto tra il $-\Delta u$ applicato e la $u_{0,max}$ senza drenaggio. Non è così semplice perché il Δu non si ottiene in tempi brevi, c'è un transitorio prima di arrivare alla condizione di regime dei drenaggi



L'incognita è l'interasse S che produce un abbassamento della falda compatibile con il FS; bisogna ricavare anche B e D, anche se B è funzione della macchina usata e si ha generalmente $\frac{B}{D} = 0,16$

JET GROUTING

13-05-2014

Si usa specialmente su terreni granulari poco addensati. Il miglioramento avviene tramite iniezione ad alta pressione di boracche cementizie.

È necessario uno spazio operativo rilevante per le macchine operatrici.

A seconda della pressione ci sono 3 metodi di formazione delle colonne:

- permeazione
- Rimaneeggiamento
- cloquage

Una volta realizzata la colonna si fanno controlli di prestazione e di collaudo. Spesso, prima dell'opera, si fa un CAMPO PROVA.

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

Diametro colonna \neq costante \Rightarrow Varia in funzione anche dell'inerte (fine \rightarrow D1 \rightarrow c'è difficoltà nel rimaneggiare al materiale) e della strategia

Profondità MAX 60 m (ci sono problemi della deviazione dalle verticali)

In caso di molte colonne è necessario controllare la posizione con strumenti topografici.

La forma degli elementi è COLONNARE ma può essere anche LINEARE, e PLATEE e TAMPONI, e VOLTA, e CILINDRO.

Per realizzare queste forme ci sono 2 metodi:

- PLASTICA su PLASTICA crea la nuova colonna mentre la precedente è ancora fresca (c'è un rimaneggiamento)

- PLASTICA su CONSOLIDATA crea la nuova colonna dopo che quella precedente si è indurita

Le colonne possono essere temporanee o permanenti e realizzate in opere temporanee o permanenti.

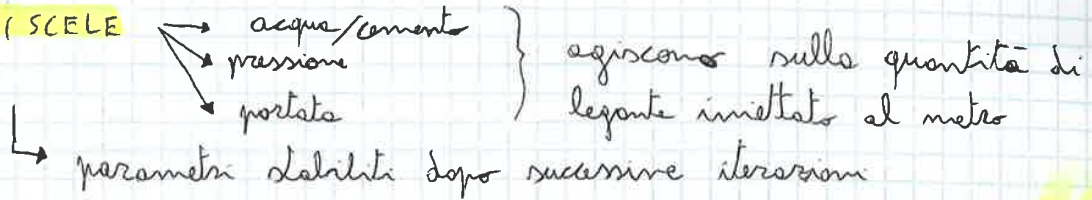
Applicazioni: - fondazioni - sottofondazioni - pozzi
- opere di sostegno - diaframmi - pallese - setti impermeabili
- protezione anticorrosione - setti di consolidamento

Nel jet grouting con fluidità idrauliche si controllano i parametri di continuità e intoramento

Si utilizza una macchina cingolata di altezza 30÷35 m con teste di perforazione e iniezione. Prima si effettua il foro, poi si effettua il trattamento in RISALITA, in modo continuo o a step.

Nei materiali fini si può usare il pretalfo (iniezione di acqua) per mandare via il materiale più fine

• DELLE MISCELE



Da questi parametri di base si ricavano parametri derivati:

- Velocità media di risalita delle aste - 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 e compressione \Rightarrow Campo prova

Ordini di grandezza \rightarrow metri slide

La pressione di iniezione può andare fino a 400 bar nel monofluido \rightarrow possono esserci disturbi a edifici vicini \Rightarrow \downarrow pressione \downarrow D_{col}

La scelta è avere D_{col} grandi per avere pochi spostamenti delle macchine e quindi \checkmark ^{minor} tempo di esecuzione. In alcuni casi è necessario avere colonne omogenee.

Per fare una stima di quantità di miscela al metro di colonna:

$$V = 0,25 \pi D \lambda (1 - \beta)$$

$\beta = 0,25 \div 0,35$ da diagramma

\downarrow da diagramma
sotto il diametro

Nota % si può ricavare la quantità di cemento al metro di colonna. Per valutare l'efficacia del trattamento per la singola colonna si valuta D_{col} e σ_{cmax} della colonna, mentre per tutto l'insieme delle colonne si valuta m^3 di colonne su area e disposizione (resa in termini geometrici).

\uparrow terreni fini \uparrow colonna irregolare \Rightarrow nella pratica ci si aspetta colonne cilindriche
risultato meno ripetibile

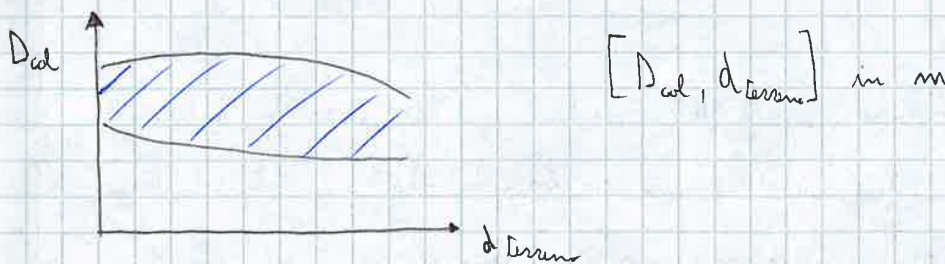
Per la permeabilità si valuta la differenza prima e dopo l'intervento non solo in termini globali, ma anche locali.

Per la resistenza vengono fatti prelievi di pezzi di colonna per valutare σ_{cmax} prima e dopo l'intervento, oppure perforazioni con recupero di corote (spesso D_{col})

La capacità disgregatrice del getto dipende dall'energia fornita dalla pompa, dalle perdite di carico lungo le tubazioni, dal passaggio nel terreno.

$$E_p = Q_{in}$$

Per il monofluido



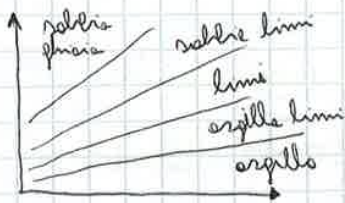
Bifluido $D_{cd} = 1,5$ m

Trifluido $D_{cd} = 2$ m

Pero si possono avere modifiche a causa della profondità, della stratigrafia e di problemi tecnologici (pannamento porosi \Rightarrow \downarrow spurgo) o di occlusione degli ugelli

Per il materiale consolidato si controllano resistenza, rigidità, permeabilità e massa volumica attraverso verifiche dimensionali (sondaggi, geofisica ecc...) e controllo dello spurgo a boccafora

La possibilità di aumentare $\sigma_{c,max}$ dipende da $\frac{a}{c}$ e da V_m



Per controllare il modulo di deformazione si effettuano prove di laboratorio

Le caratteristiche meccaniche riguardano:

- massa volumica del terreno trattato (+10%)
 - permeabilità
 - rigidità
 - resistenza
- } prove di laboratorio

Le proprietà della colonna non sono omogenee con $D \leq 7$. σ_c
anisotropie radiale e verticale

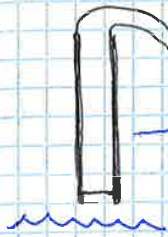
$$E \approx 4000 - 8000 \text{ MPa}$$

$$\frac{E}{\sigma_{cmax}} \approx 200 - 700$$

Per σ_{cmax} è necessario considerare l'effetto scala, per E i difetti locali.

È necessario determinare le caratteristiche compatibili con le strutture con cui si ha a che fare, e non avere eccessi di σ_{cmax} .

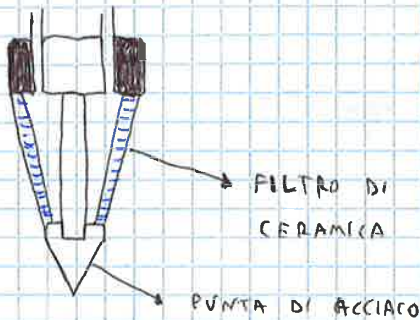
Per misurare la pressione interstiziale, misura la soggezione dell'acquifero
uso il piezometro.



2 conduttori elettrici separati. Quando toccano l'acqua il circuito si chiude e emette un suono

PIEZOMETRO DI BISCHOP

largo presa anche in direzione orizzontale



Sopra ci sono 2 tubicini in nylon che escono fuori in superficie



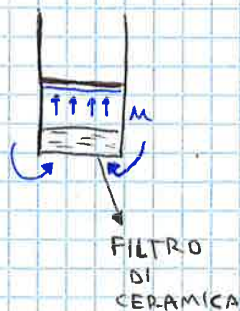
Devo sempre il circuito chiuso con dell'acqua. Quando il circuito è pieno sigillo il circuito e isolo un manometro.

Quando aumenta la pressione interstiziale, aumenta anche la pressione nei tubi. Vedo questo leggendo sul manometro.

L'acqua nei tubi permette di risolvere l'aumento di pressione interstiziale minimando la variazione di pressione nei tubi

CELLE PIEZOMETRICHE

È uno strumento molto piccolo. Non devo farlo intorcare; per questo metto una solida fine per fare da controfiltro



L'acqua entra nella cella ed esercita una pressione su una lamina

La membrana si deforma elasticamente in funzione della pressione dell'acqua

Incollo sulla lamina un trasduttore resistivo

Posso usare anche la corda vibrante

Misuro la diversa frequenza della corda e la correla alla tensione



C'è un cavo in tensione collegato alla lamina. La tensione del cavo è proporzionale alla def. della lamina

(Hanno installato anche un tubo inclinometrico)

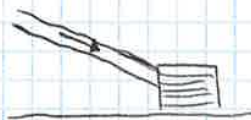
Gli abbassamenti nel punto 6 saranno minori degli abbassamenti nel punto 15. Comincio a vedere delle deformazioni quando il fronte è distante 3-4 m dalla sez. strumentale. Nei primi metri di abbassamento le deformazioni sono elevate. Quando è lontano un 20 m le deformazioni si stabiliscono.

TERRA ARMATA e TERRA RINFORZATA

Sono dei rinforzi mediante l'inclusione nei terreni di materiali industriali che agiscono a trazione (e.e. cefor). Sono strutture composte di forme e materiali diversi. Le strutture agiscono con il terreno prendendo una parte di sollecitazione presente nel terreno. Aumento della resistenza e la rigidità. Hanno un basso impatto ambientale.

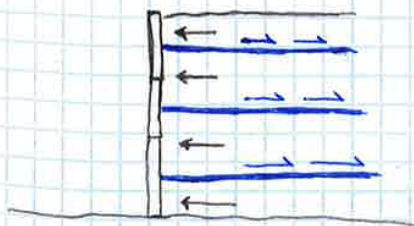
Si usano per

- Rilevati stradali / ferroviari
- su pendii franosi superficiali
- muri di sostegno
- impalcato ridotto
- scivoli e muretti
- barriere paramassi
- barriere fonoassorbenti



T. ARMATA

Terrapieno compattato a parete verticale al cui interno sono inserite ad intervalli regolari (su piani verticali e orizzontali) strisce di acciaio galvanizzato ed aderente migliorata. Le strisce sono collegate a pannelli prefabbricati in ds che costituiscono il paramento della struttura.

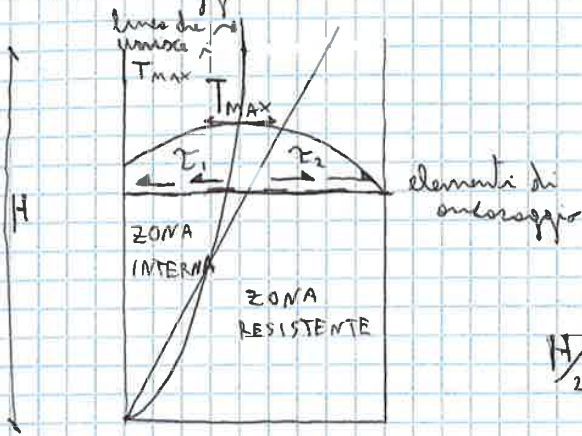


I pannelli di ds resistono perché sono collegati alle strisce di acciaio. C'è una resistenza allo slamento delle strisce.

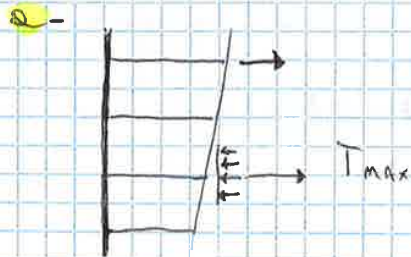
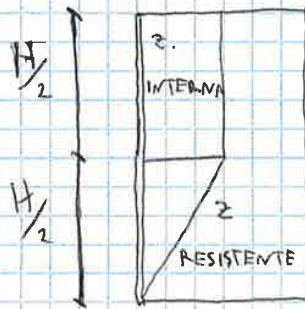
Questa resistenza dipende da:

- l'attrito tra acciaio e terreno
- compattazione terreno (carico verticale)
- lunghezza strisce

La spinta può venire contrastata dalle forze di attrito sull'elemento di ancoraggio; in questo vengono quindi esercitati sforzi di taglio. Nascono quindi trazioni negli elementi di ancoraggio. Parte della spinta viene assorbita. Nella (2) non c'è più comportamento plastico del terreno, ma esso mantiene le caratteristiche insidite; quindi il liscio tende a sfiorare l'ancoraggio del terreno \Rightarrow inversione sforzi di taglio all'interfaccia.



Per i calcoli si usa questa schematizzazione la linea curva diventa una spezzata

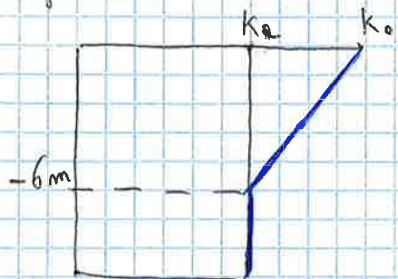


$$[T_{max} = \sigma_m \cdot S_v \cdot S_h = k \cdot \sigma_v \cdot S_v \cdot S_h]$$

S_h = interasse orizzontale tra le lincelle
 S_v = " " " " " "

La T_{max} deve essere \geq della spinta del terreno della zona attiva. Per profondità fino a 6 m, k passa da k_0 a k_a con $k_0 = 1 - \tan \phi$ e $k_a = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$. Sotto i 6 m rimane k_a .

Quindi bisogna caratterizzare i terreni in cui si interviene: si usa il miglior terreno che si ha in zona



27-07-2014

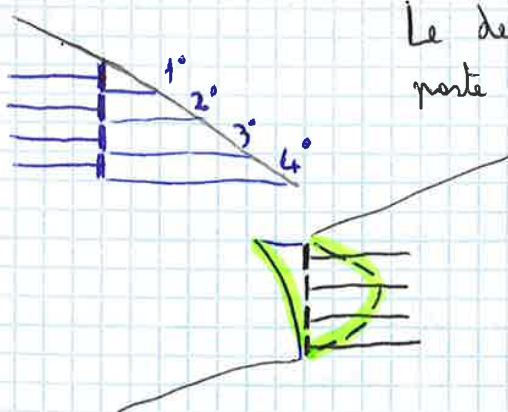
INSERIMENTO DI ELEMENTI METALLICI

DEFINIZIONE	TIPO DI INCLUSIONE	METODOLOGIA ESECUTIVA	MEZZO GEOTECNICO	MECCANISMO
CHIODO	elementi rigidi (barra di acciaio)	- Perforazione e annulazione - Infissione e micropercuSSIONE	Terrano	Passivo
- ad ancoraggio distribuito BULLONE	Barra di acciaio ad adesione migliorata	Perforazione e cementazione	Roccia fratturata	Passivo (generalmente)
- ad ancoraggio focalizzato	Barra di acciaio con ancoraggio meccanico o cementazione localizzata	Perforazione ed esecuzione del tassamento	Roccia resistente	Attivo
TIRANTE	Caro e trapezi con guaina di protezione o barra di acciaio di notevole lunghezza	Perforazione, esecuzione dell'ancoraggio e messa in tensione	Terrani o Rocce	Attivo (normalmente)

Utilizzo chiodatura:

- Muro di sostegno
- elementi di fondazione
- stabilizzazione scarpate
- stabilizzazione fenomeni franosi

Sono strutture più rigide rispetto ai terreni rinforzati. Il terreno rinforzato è realizzato dal basso verso l'alto, mentre la chiodatura è realizzata dall'alto verso il basso. Prima della realizzazione del chiodo si realizza il paramento per tenere il terreno



Le deformazioni maggiori si hanno nella parte più alta

— deformazioni
- - - tensioni

La tensione massima si ha al centro

Il bullonaggio attivo si fa nei scavi in sotterraneo per evitare i dislocchi della corona



10-06-2016

DISCARICHE

È una struttura molto complessa. È un'opera multidisciplinare.
È regolata da una serie di leggi. **D.L.G. 36/2003** è entrato in vigore dopo una direttiva europea.

Divide i rifiuti in 3 categorie

1) RIFIUTI INERTI

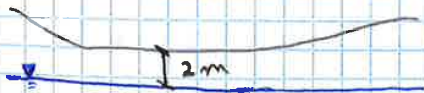
2) RIFIUTI NON PERICOLOSI

3) RIFIUTI PERICOLOSI

- 1) non contengono sostanze che potrebbero imp. l'ambiente. Sono materiali naturali non organici (smozzico di galleria, prodotti di demolizione di un edificio ecc.). Non hanno una carica inquinante
- 2) sono i rifiuti solidi urbani (RSU)
- 3) rifiuti di origine industriale che contengono sostanze pericolose con certi tenori stabiliti da legge

Alloptor Stabilisce le caratteristiche costruttive e organizzative delle discariche per ogni tipo di rifiuto

Per realizzare una discarica devo fare delle indagini in sito per valutare le caratteristiche del sito. Devo valutare se il sito non è già compromesso (esempio: in piena). Devo studiare le condizioni iniziali del sito. Si studia anche l'interazione tra i rifiuti e la falda: la falda acquifera deve stare sempre al di sotto del limite inferiore dei rifiuti



Ogni regione ha norme che possono essere più restrittive rispetto alla legge nazionale

Dopo questo non c'è nessun criterio per escludere un sito rispetto ad un altro: non ci sono norme sul tipo di terreno presente in sito

Il gestore è responsabile per 30 anni. Questo avviene perché la produzione del CH_4 dura almeno una quindicina di anni.

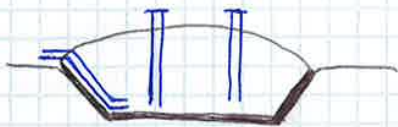
Il metano, se trova una via nel terreno laterale, può migrare anche per diverse centinaia di metri verso i lati della discarica.

Dobbiamo coprire la superficie della discarica dopo la fine del conferimento dei rifiuti. Motivi:

- impedire la fuoriuscita di biogas
- impedire l'entrata di acqua piovana
- inverdimento dell'area

CAPPING

Il percolato e il biogas va estratto con delle tubazioni



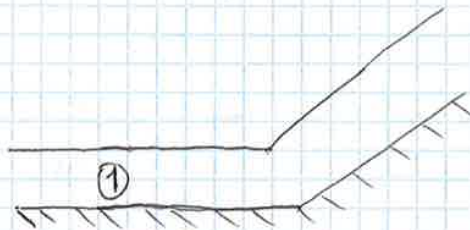
La discarica è divisa in settori con diverse pendenze (molto bassa) per poter raccogliere in pochi punti il percolato.

STRUTTURA DI FONDO

È una struttura multistrato

- ① Strato non inferiore ad 1 m di materiale poco permeabile, CCL (Composite clay liner) $K \leq 10^{-9}$ m/s. Questa permeabilità non è facile da ottenere. Bisogna avere un materiale ricco di materiale argilloso e una buona messa in opera.

Il materiale deve avere più del 20% di argilla.



CONFERENZA DEI SERVIZI

Si discute il progetto con tutti gli interessati all'opera.

- ente che l'autorizza
- comune di locazione
- magistrato del PO
- forestale
- organismo regionale per i rimedi idrogeologici

Il progetto viene qui presentato e modificato

IN CORSO D'OPERA

Mentre la si costruisce si effettua il COLLAUDO. L'esperto deve valutare che ciò che viene realizzato viene fatto come da progetto.

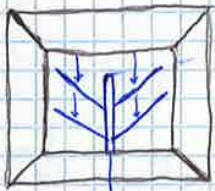
Sopra la geomembrana metto uno strato di materiale ghiaioso per proteggerla e per far confluire il percolato in determinati punti.
 Tra la ghiaia e la geomembrana posso un geotessuto per proteggere meccanicamente la geomembrana

$> 50 \text{ cm}$

$K > 10^{-2} \text{ m/s}$

grammatura $> 500 \text{ g/m}^2$

Sopra la ghiaia posso un telo di geotessuto per filtrare e per evitare la compenetrazione dei rifiuti.
 Nella ghiaia posso le tubazioni per estrarre il percolato



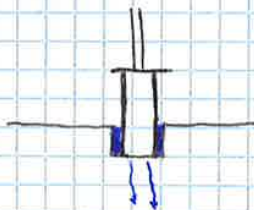
estrazione del percolato

Eseguo delle prove in sito per valutare la permeabilità.

- ① infiltrometro a doppio anello
- ② permeametro di Bouwman

② realizzo una piccola buca e inserisco un tubo metallico

Sigillo i lati del tubo per far penetrare l'acqua solo nel terreno



Metodi di controllo

- ① **DISTRUTTIVI**
- ② **NON DISTRUTTIVI**

[Si fanno queste prove perché le saldature sono punti di debolezza]

② Si inserisce un ago forato tra le 2 saldature e pompa aria fino a 3-4 kPa. Se non c'è perdita di pressione del 10% in 15 min la saldatura è integra

① si fa a compressione. Si taglia una striscia di saldatura larga 3 cm e con una macchina di laboratorio si tira fino a rompere la saldatura. **PROVA DI PEELING**

La prova è valida se si rompe il filo prima della saldatura



Per controllare l'integrità della membrana uso un **metodo geofisico**.

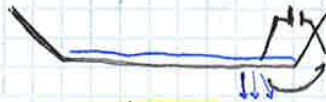
~~Si fa la prova dei fili e della membrana~~

Dopo la posa dei fili e dello strato di ghiaia metto un elettrodo nella ghiaia e uno nel terreno. Metto dell'acqua nella ghiaia.

Se non ci sono buchi il circuito non si chiude mentre se c'è ne sono il circuito si chiude. La ghiaia serve per avere un velo d'acqua sulla membrana (senza evaporare in tempi brevi)



C. APERTO



C. CHIUSO

Dopo mettere dei tubi per l'estrazione del biogas



La gabbia con i ciotoli serve per filtrare e proteggere il tubo finestrato

Il metano ora è raccolto e venduto come combustibile. Con il metano si produce

energia elettrica che poi viene venduta. È un'entrata economica per il gestore e salvaguarda l'ambiente (non immettendo CH_4 in atmosfera)

GESTIONE DELLA DISCARICA

Redirò tutto l'inverso e lo divido in più celle idraulicamente indipendenti per diminuire la produzione di percolato

