



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 462

DATA : 18/02/2013

A P P U N T I

STUDENTE : Piccione

MATERIA : Costruzione di Strade, Ferrovie e Aeroporti

Prof. Santagata_Baglieri

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.**

Introduzione

- Verifica della fattibilità
 - studio di prefattibilità
 - studio di fattibilità
- Progettazione
 - progetto preliminare → si stabilisce l'andamento del tracciato e le sue caratteristiche essenziali
 - * vincolare il tracciato al territorio
 - * quantificazione sommaria della spesa
 - * identificazione delle aree di esproprio
 - progetto definitivo → opera definita nei suoi dettagli progettuali, spesso è posto a base di gara → consente di appaltare l'opera
 - progetto esecutivo → rende contabile l'opera; spesso viene redatto dall'impresa che si aggiudica l'appalto
- Costruzione
 - affidamento dei lavori
 - esecuzione dei lavori
 - misure e contabilità dei lavori
- Collaudo finale → verifica che i lavori siano conformi all'esecutivo e al capitolato speciale d'appalto

Norme tecniche e controllo di qualità

Legge di riferimento: decreto legislativo 12 aprile 2006 n. 163 "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture" in attuazione delle direttive 2004/18/CE e 2004/17/CE; ingloba la 109 (vecchia legge quadro: "Merloni") e il regolamento attuativo DPR n. 554 (1999)

Capitolato speciale d'appalto: è un documento contrattuale, vincola le due parti (committente ed impresa). Lega il progetto dell'opera alla sua esecuzione: è un insieme di specifiche tecniche per dare completa attuazione all'opera

- 1) Descrizione dei lavori e aspetti contrattuali
- ② Norme tecniche di esecuzione
- 3) Norme di misurazione: come devono essere contabilizzati i lavori
- 4) Elenco prezzi

→ NORME TECNICHE DI ESECUZIONE

- caratterizzazione e qualificazione materiali
- costruzione e messa in opera materiali
- controlli in corso d'opera e sul manufatto finito

Regime di qualificazione = insieme di criteri e procedure che consentono di produrre un bene in qualità → sistema e controllo di qualità

complementari con gli altri

- ^{PRODUCT ORIENTED} QUALITY CONTROL (QC) = attività routinarie per misurare e verificare la qualità di un prodotto
- ^{PROCESS ORIENTED} QUALITY ASSURANCE (QA) = verifica indipendente condotta da una parte terza (non deve intervenire nella produzione → imparzialità) → no valutazione della qualità, ma dell'obj: affidabilità del processo di controllo

VARIABILITÀ:

- accidentale → casuale, non eliminabile
- non accidentale → legata ad uno specifico problema, può essere eliminata (sistematica)

variabilità totale = campionamento + laboratorio + materiale + costruzione (produzione e messa in opera)



$$S_{QC/QC}^2 = S_c^2 + S_e^2 + S_{m/c}^2$$

(S_c and S_e are underlined together with a bracket below them)

(S_{m/c} is circled)

→ non può essere eliminata ma controllata con procedure e metodi affidabili
 possono essere eliminate: rispetto rigoroso procedure
 possono essere anche più del 50% della v. tot

25

3. bisogna definire un programma di campionamento =

- frequenza prove
- ubicazione campioni
- dimensione campioni

Tipi di campionamento:

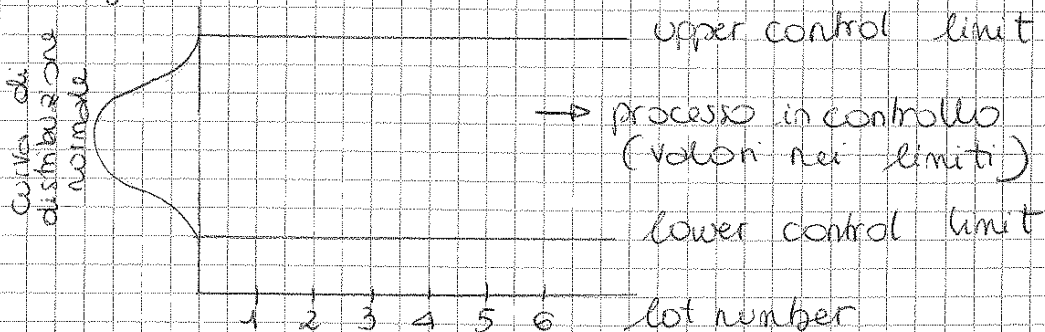
- discrezionale
- sistematico
- stratificato

- **casuale** → ogni campione ha la stessa opportunità di essere selezionato

random puro:
rischio →
tratti con
concentrazione
molto alta / bassa
di prove estratti

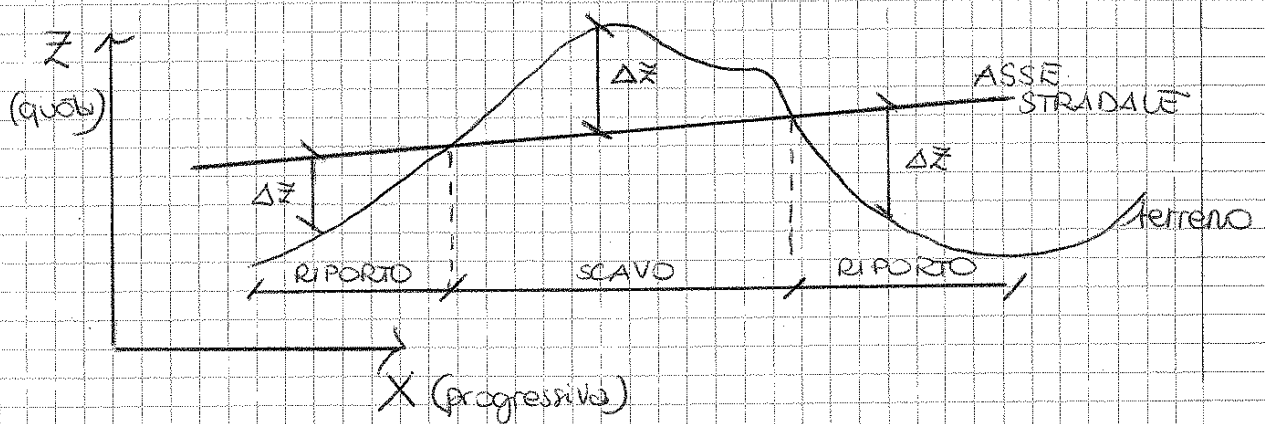
random stratificato:
suddivisione in lotti uguali, in
ognuno il campione è prelevato
in modo casuale

CARTE DI CONTROLLO = strumento statistico
per la verifica che un dato processo
funzioni correttamente → rilevano l'importan-
genza di un problema



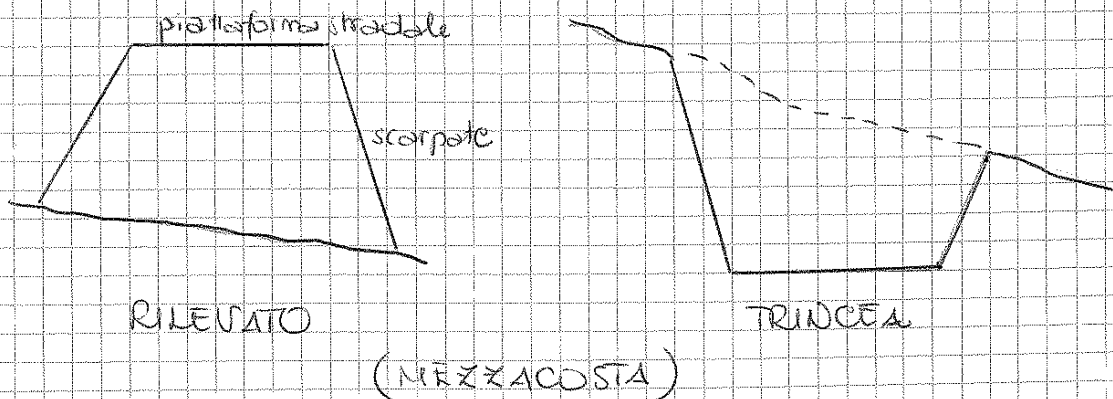
Corpo stradale

CORPO STRADALE = solido la cui sezione trasversale è delimitata dalla piattaforma stradale, dal terreno originale e dalle scarpate laterali



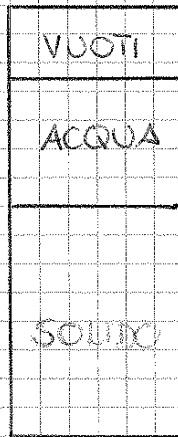
Δz : è necessario apporto o asporto di terreno per ottenere la quota di progetto \rightarrow movimentare terreno

Bisogna conferire alla sezione trasversale del corpo stradale una determinata forma, generalmente trapezica, opportunamente sagomata



STUDIO DEI MATERIALI

Terre = sistema trifasico: solido + liquido + gascoso
 → i rapporti fra i vari volumi cambiano (varia il contenuto d'acqua) → variazione caratteristiche meccaniche del terreno



terreno secco

terreno saturo

vuoti riempiti d'acqua

$$\text{contenuto d'acqua } (W\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 = \frac{W - W_s}{W_s} \cdot 100$$

↖ peso acqua
↖ peso solido

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad \text{peso specifico granuli}$$

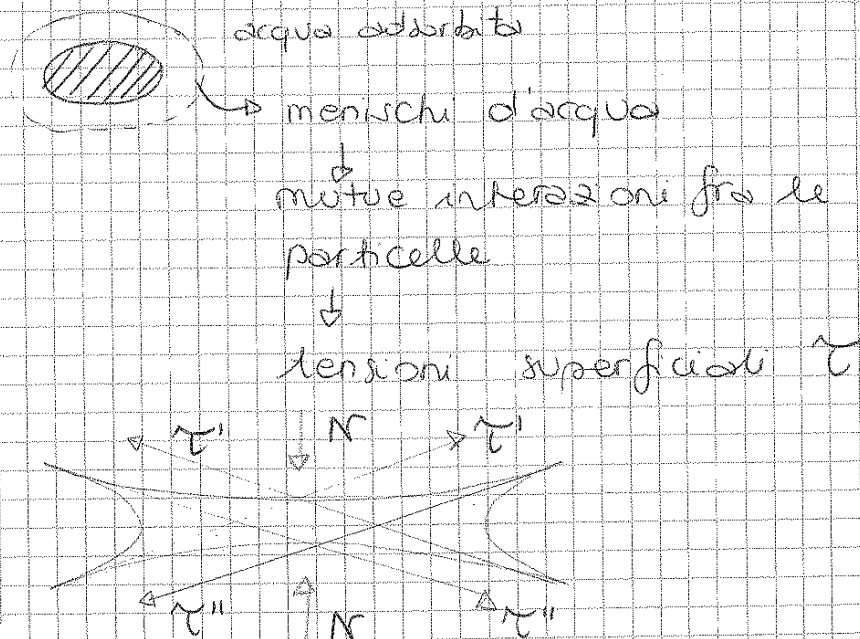
$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_w + W_s}{V_s + V_w + V_w} \quad \text{peso specifico apparente}$$

BINOMIO TERRA-ACQUA

L'acqua interagisce con l'ammasso ferrato; la dimensione delle particelle influenza tale binomio

Acqua

- gravitazionale: libera, nei vuoti fra i granuli
- adsorbita: legata alle particelle (scala microscopica) → interazione elettrochimica (legami di Van der Waals) → è trascurabile nelle terre granulari (bassa superficie specifica)
- di capillarità

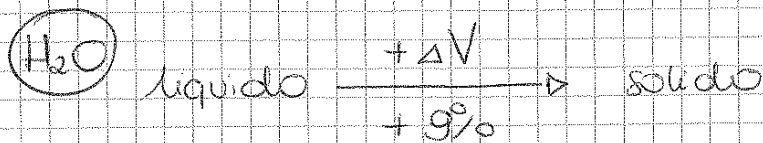


superfici non piane: le tensioni non si annullano ma si sommano vettorialmente: forze attrattive o repulsive fra le particelle → ciò avviene solo se le forze di massa sono trascurabili

PROBLEMA DEL GELO

Effetto delle basse T ($< 0^\circ\text{C}$) del periodo invernale:

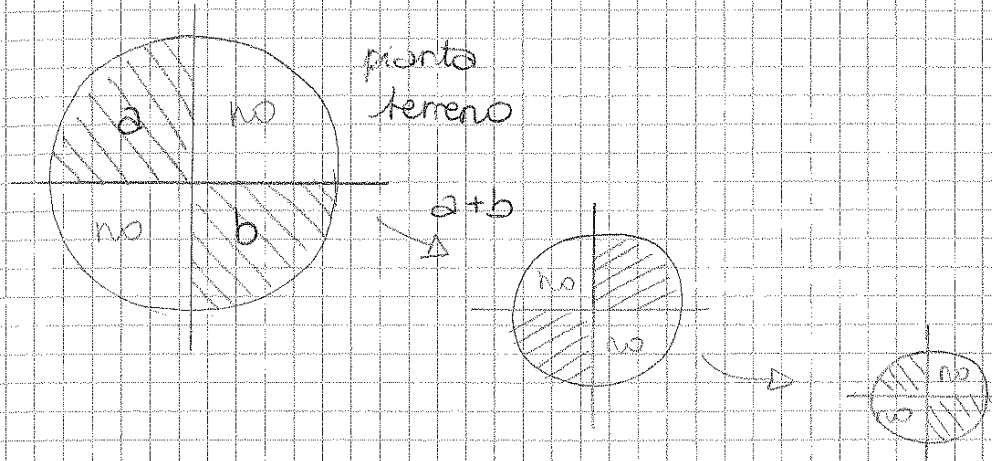
- formazione lenta di ghiaccio (accumulo materiale solido)
- ↓
- ingonfiamento (aumento volume)
- ↓
- scioglimento primaverile con diminuzione (di volume e perdita di capacità portante)
 - ↳ formazione bache → rischio di cedimenti differenziali



La presenza di T basse è condizione necessaria ma non sufficiente affinché si abbiano tali problemi; gli altri fattori sono:

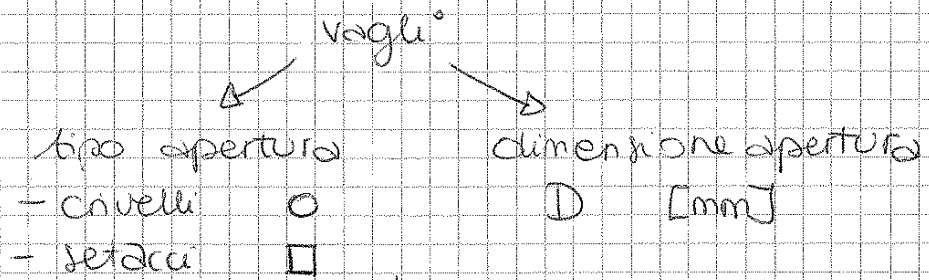
- granulometria
- porosità
- condizioni climatiche

Formazione lenta di ghiaccio → in com = spandenza del piano che si trova alla profondità di penetrazione del gelo (quota a cui $T \leq 0^\circ\text{C}$ costante per un tempo sufficientemente lungo) → se l'acqua al di sotto è in tensione negativa per capillarità provocando l'accrescimento della lente



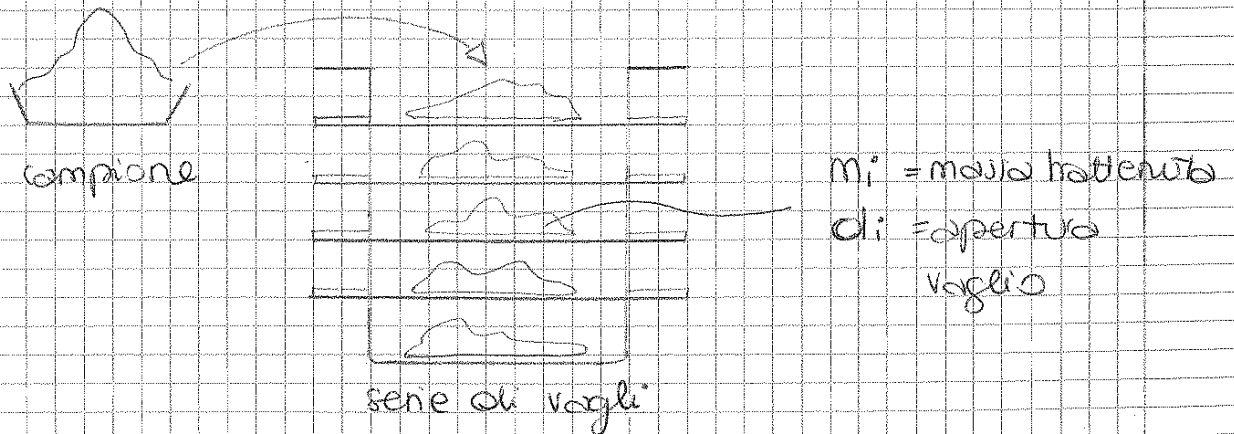
2 - Essiccamento campione a 105°C per eliminare tutta l'acqua \rightarrow materiale asciutto con massa costante

3 - Vagliatura campione



serie UNI

(le nuove norme prevedono solo setacci)



mentazione o dimensioni particelle) → non si usa nelle applicazioni stradali

ghiaie	$d > 2 \text{ mm}$	/ grosse / medie / fini
sabbie	$2 < d < 0,075 \text{ mm}$	
limi	} terreni coesivi	
argille		

(N.B.) Lavaggio su rasoio con $d = 0,075 \text{ mm}$ per eliminare la parte fine

Una curva granulometrica è descrivibile mediante parametri sintetici:

D_{max} → più piccola dimensione a cui corrisponde $p = 100 \%$

$p_{0,075}$ → parte di frazione limo-argilla presente nel terreno

D_{60} → $p_i = 60 \%$

D_{10} → $p_i = 10 \%$

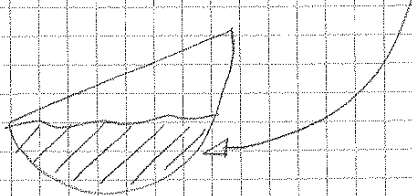
D_{60}/D_{10} → coefficiente di uniformità (grado di uniformità del terreno)

↑	↓
alto:	basso
poco	molto
uniforme	uniforme

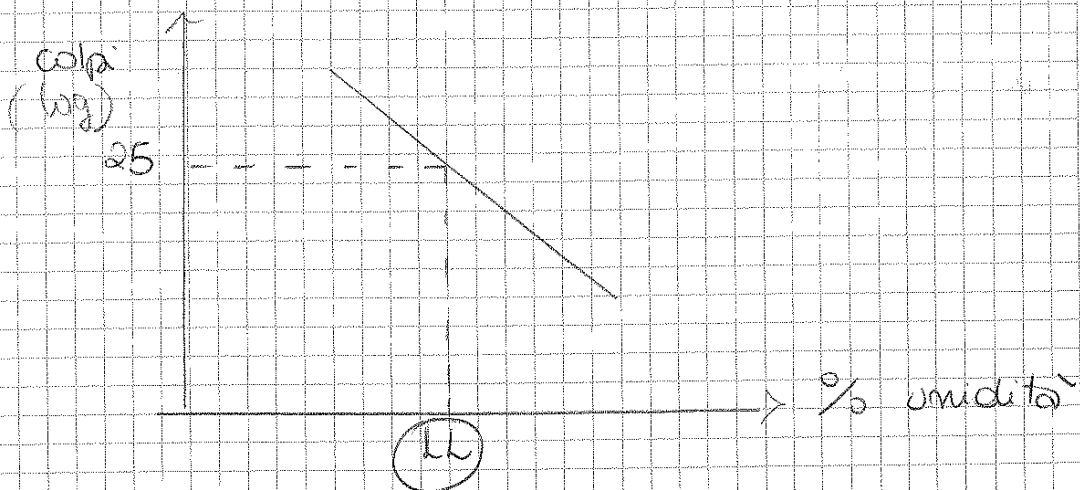
MISURA LIMITE LIQUIDO (LL)

- Cucchiolo di Casagrande → terreno essiccato ($\leq 50^\circ\text{C}$) e vagliato (passante da $0,425\text{ mm}$)

Terreno + acqua → campione



Si scava un solco nel terreno con un utensile → il cucchiolo è sottoposto ad una serie di colpi → il numero di cui corrisponde la chiusura del solco è ~~il~~ ^{legato} → procedura effettuata varie volte cambiando il contenuto di umidità



- Quora normativa → penetrometro a cono → si misura la penetrazione X (mm) per un tempo di 5 secondi
- 2 tipi di cono

Requisiti:

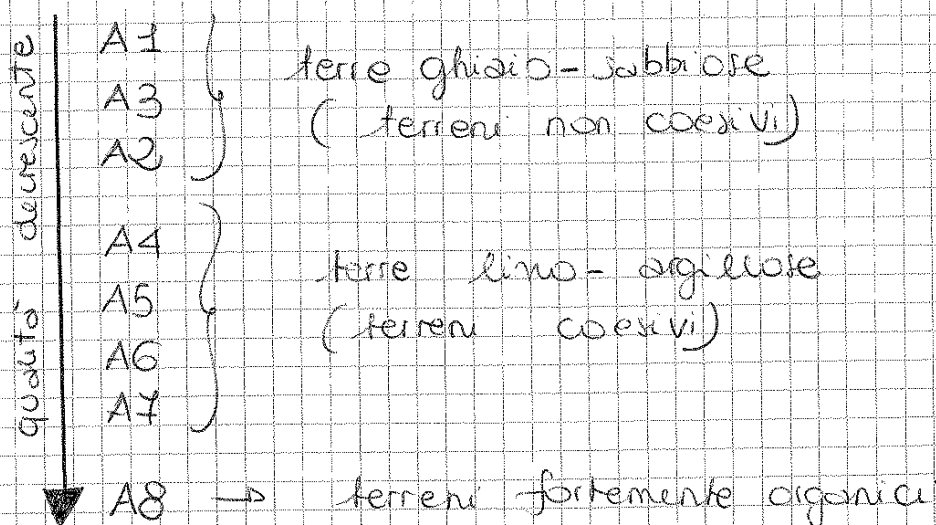
- significato preciso dei parametri
- semplicità (anche per uso in cantiere)
- parametri non dipendenti dallo stato del terreno (umido, asciutto), dalle condizioni di sollecitazione → parametri intrinseci del terreno

→ Sistema di classificazione HRB Highway
Research
Board

Parametri:

- analisi granulometrica: vagli 2 mm / 0,425 mm / 0,075 mm
- LL
- IP
- indice di gruppo (IG) (indicatore sintetico)

8 gruppi (con eventuali sottogruppi)



Priorità d'impiego (uso stradale):

- ① A1, A2-4, A2-5, A3 → attenzione alla messa in opera (deve essere ben assistita)
- ② A2-6, A2-7
- ③ A4, A5, A6, A7 → si valuta se
 - usarli con routele (protezioni idrauliche)
 - rottarli (es. di calce)
 - escluderli

Costipamento

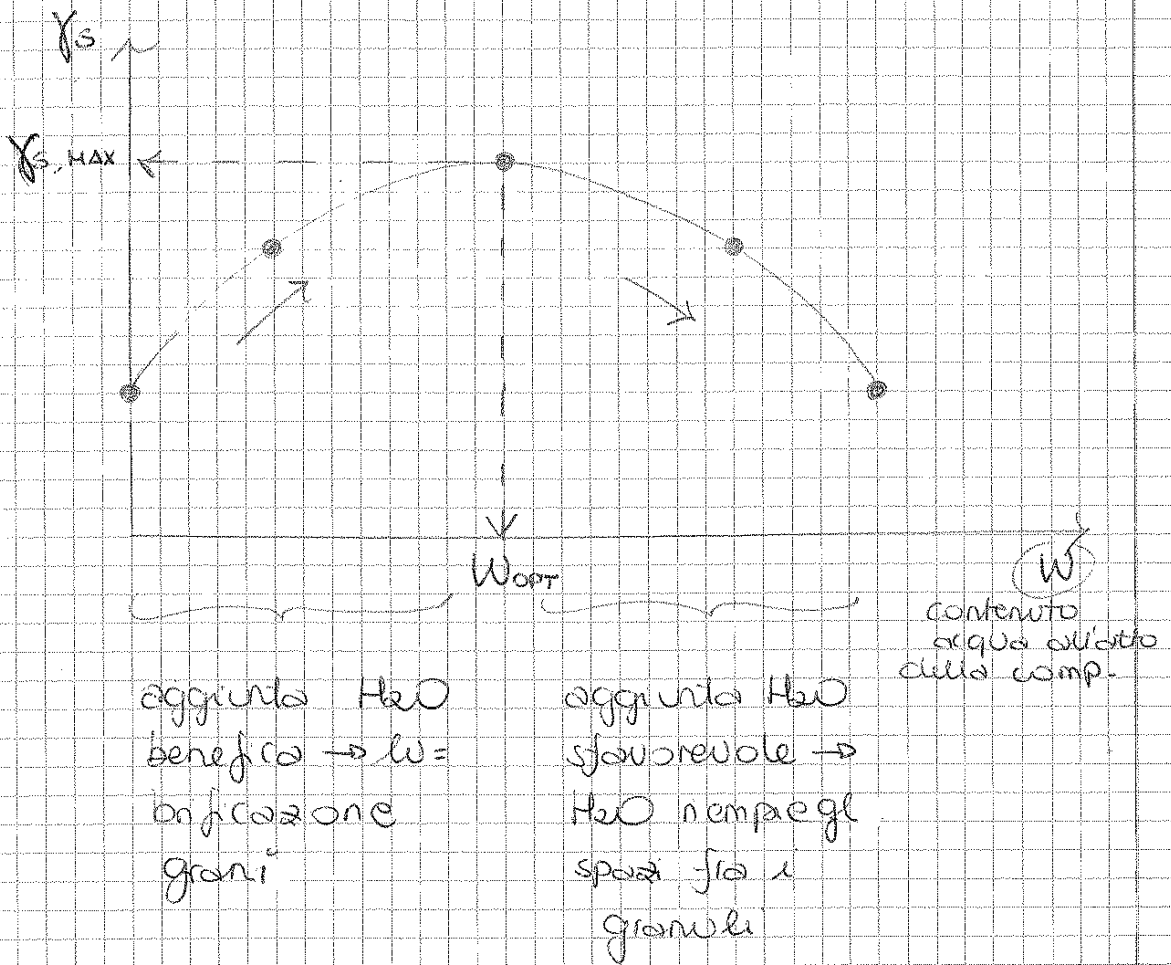
Operazione di avvicinamento dei granuli che sono posti in configurazioni spaziali stabili → diminuzione vuoti → aumento densità → alte resistenze e bassa compressibilità

Regole compattoni:

- costipamento statico → azione peso proprio
- = vibrante → oscillazione massa eccentrica

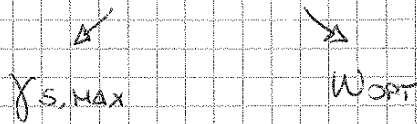
Effetti benefici:

- no ulteriori assestamenti per carichi in esercizio (post compattoni non uniformi → cedimenti differenziali)
- elevate caratteristiche meccaniche: angolo di resistenza a taglio ϕ
- minore sensibilità alle azioni dell'acqua



Informazioni utili anche per la pratica di cantiere

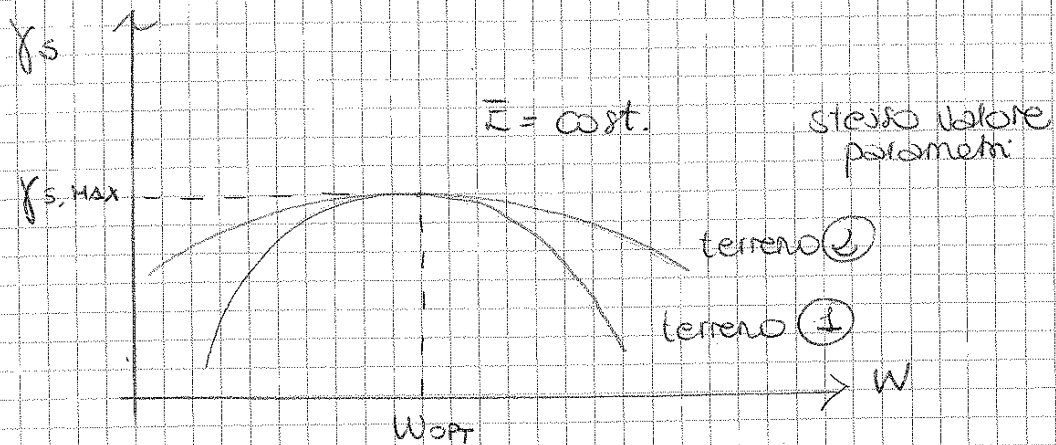
- punto di massimo -> massimo grado di addensamento



Se si varia l'energia di compattazione E cambiano i valori dei parametri

↑ E } $\gamma_{s,MAX}$ aumenta
 W_{OPT} diminuisce

Il tipo di terreno influenza la forma della curva, che costituisce un'ultra informazione importante



terreno ① → più suscettibile alle variazioni del contenuto d'acqua

terreno ② → variabilità bassa di f_s : valori molto vicini a $f_{s,MAX}$ anche con grandi ΔW → importante per la pratica in cantiere in cui è difficile garantire esattamente W_{opt}

contenuto di H₂O in sito

$W_n \leq W_{opt}$ → basta innaffiare il terreno

$W_n > W_{opt} + \Delta W$ → costipamento difficile,
 $\Delta W > 2\%$ tanto più quanto più cresce la quantità di fango

- aerazione naturale terreno (operazione lunga)
- miscelazione con materiale dello stesso tipo ma secco
- trattamenti specifici (es. calce)

MECCANICA DELLE TERRE

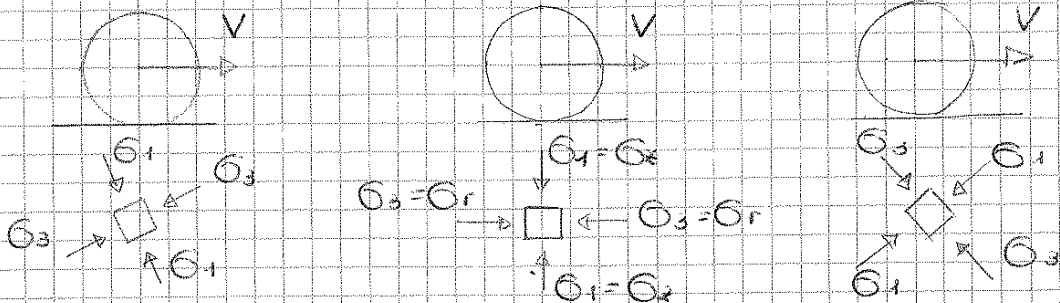
- Rigidità (modulo resiliente) → azione dei veicoli stradali (carichi mobili)
- Compressibilità → azione del peso proprio (carichi statici)
- Portanza → carichi mobili e statici

Geotecnica classica → carichi statici esterni, individuazione collasso strutturale (SW)

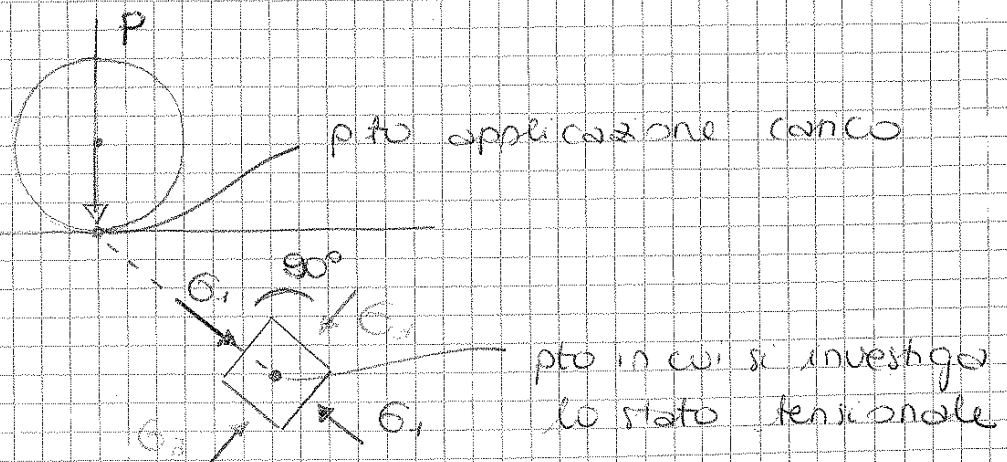
Geotecnica stradale → carichi statici e mobili, studio condizioni di esercizio (SME); quasi mai si raggiungono le condizioni di collasso.

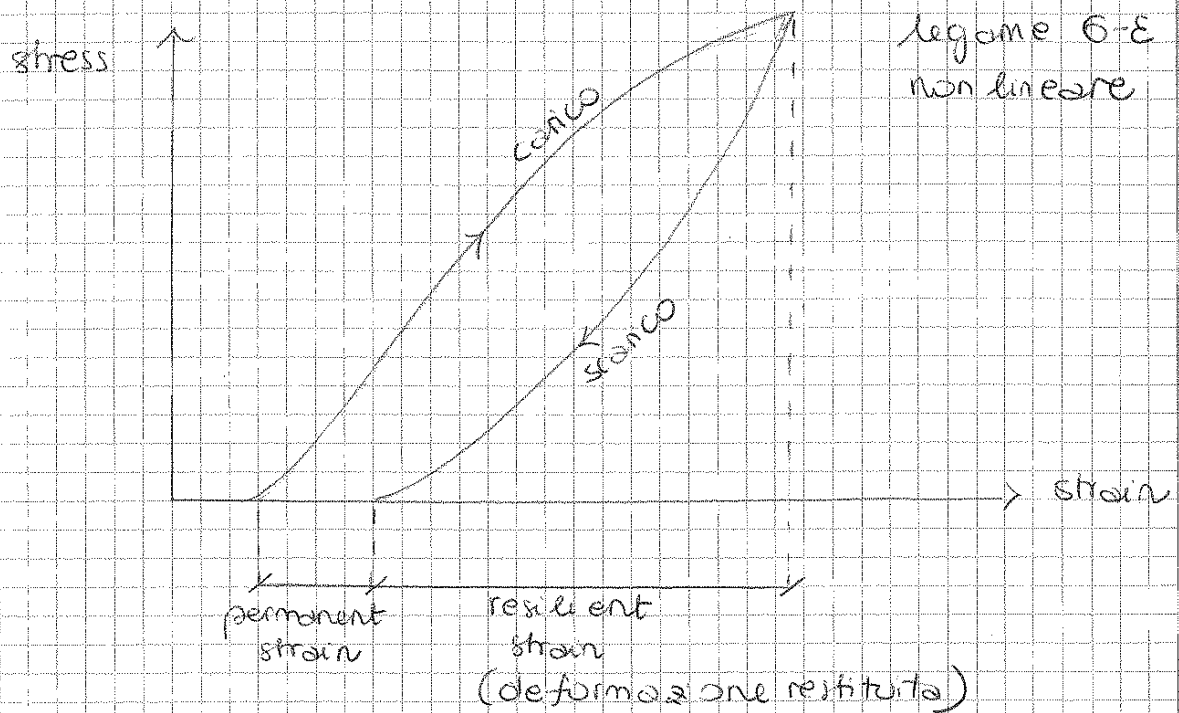
CARICHI MOBILI:

⊗ Rotazione piani principali



Individuazione direzioni principali

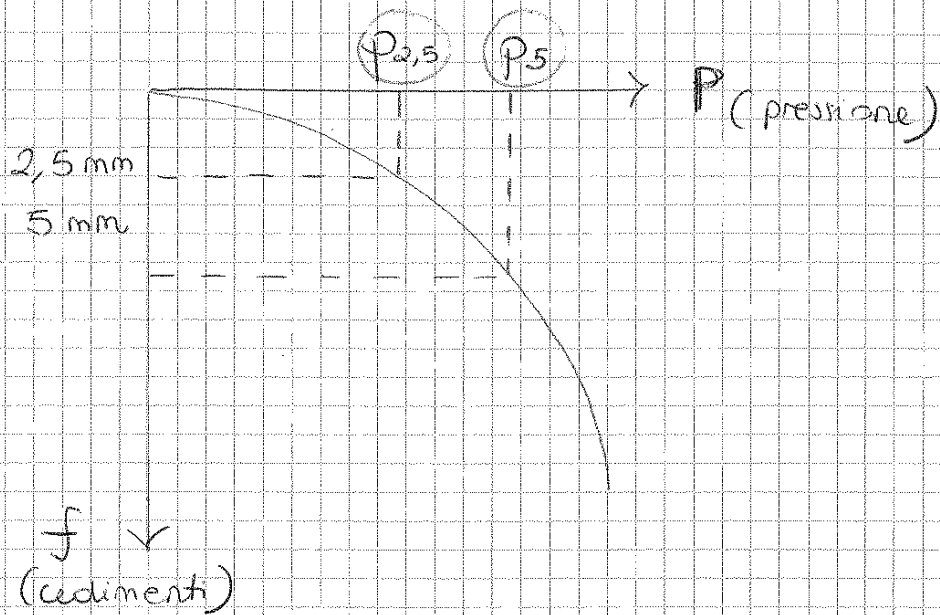




Il comportamento del terreno dipende dal confinamento laterale: si ha risposta deformativa minore per confinamenti laterali maggiori.

Prove sperimentali in laboratorio:

- Metodi empirici \rightarrow confronto dei campioni prova con i campioni di riferimento \rightarrow convenzionali parametri (non assoluti)
- Metodi razionali \rightarrow consentono di creare condizioni di prova come quelle effettive \rightarrow grandezze fondamentali con validità assoluta



$$\text{CBR} = \max \left\{ \begin{array}{l} 100 \cdot \frac{p_{2,5}}{p_{RIF(2,5)}} \\ 100 \cdot \frac{p_5}{p_{RIF(5)}} \end{array} \right.$$

Si tratta di una prova empirica, infatti

- il carico è statico e cresce monotonamente (≠ carichi veicolari)
- si ricava un indice (CBR), non una grandezza assoluta

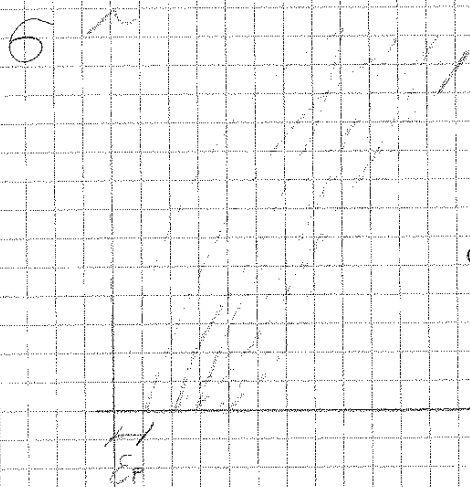
Dall'indice CBR si può però avere una stima del valore del modulo elastico E

$$E = 100 \cdot \text{CBR}$$

CBR = valutazione portanza

Comportamento effettivo del terreno sotto carico \rightarrow MODULO RESILIENTE

Cicli di carico - scarico: le due componenti di deformazione si avvicinano sempre di più $\rightarrow E_p$ decresce ed E_r tende ad un valore costante.



dopo un certo numero di cicli le rette di scarico diventano parallele $\rightarrow E_r$ cost.

da un certo punto in poi consideriamo un comportamento resiliente.

PROVA IN CELLA TRIASSIALE A CARICO RIPETUTO

Un campione cilindrico snello ($H=2D$) viene posto in una cella di pressione (e' imposta una certa pressione di confinamento); un pistone collegato ad una cella di carico impedisce un carico assiale. Dei trasduttori misurano gli spostamenti verticali del campione.

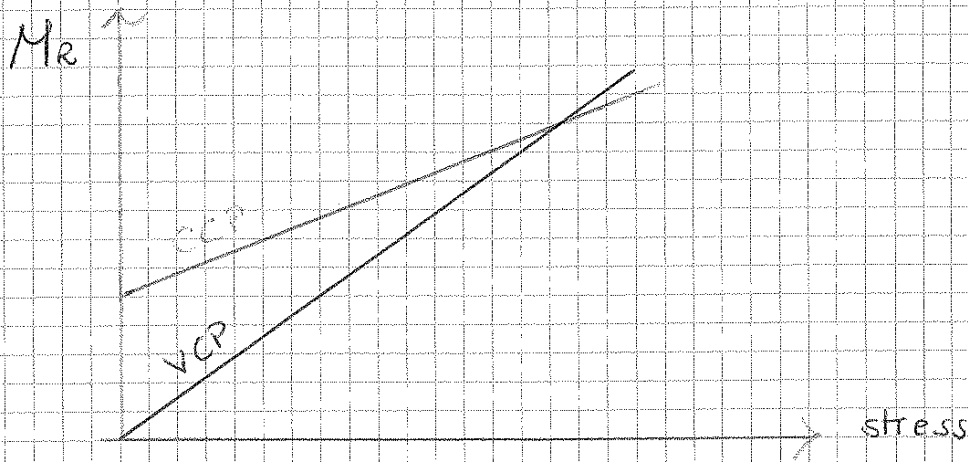
La prova simula le condizioni effettive in cui si trova il terreno, infatti e'

• Confinamento variabile VCP

Simula al meglio la realtà, in cui la tensione verticale che orizzontale variano, ma è costosa e complessa.

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{1,e}} = \frac{\sigma_1 - 2\nu\sigma_3}{\epsilon_{1,e}}$$

→ si tiene conto dell'effetto Poisson
anche σ_3 fine tempo (valore di picco)



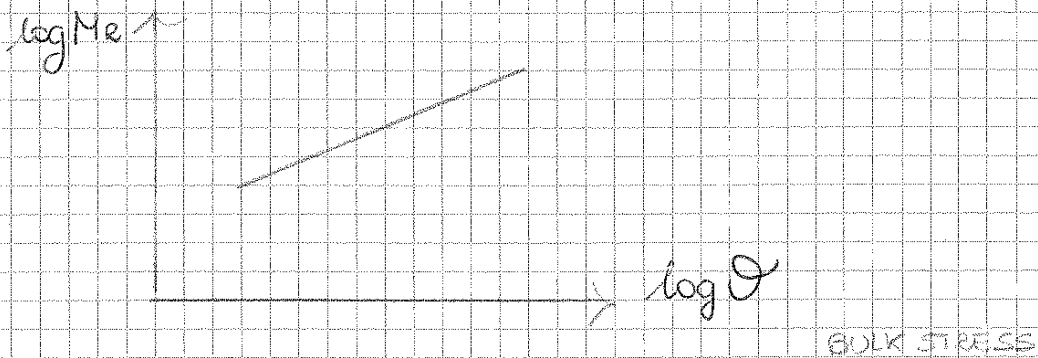
Per livelli tensionali bassi (campo elastico stabile) la CCP sovrastima M_R : bisogna applicare gli opportuni coefficienti di sicurezza

La deformazione permanente si accumula ad ogni ciclo di carico: è molto elevata nei primi cicli, poi si riduce → il materiale tende a raggiungere uno stato di addensamento finale

Modelli M_R

Un modello consente di interpolare dati sperimentali e di stimare "bilanci": esso descrive la grandezza in esame in funzione di un numero limitato di parametri.

• TERRENI NON COESIVI (GRAVULARI)



$$\sigma = \sigma_1 + 2\sigma_3 \quad 1^{\circ} \text{ invariante delle tensioni}$$

Andamento lineare crescente \rightarrow "stress stiffening"

MA

Comportamento ^{non} lineare del terreno $\rightarrow M_R$
fine dello stato tensionale

$$M_R = K_1 \sigma^{K_2}$$

Hicks-Monismith
(2 parametri)

$$M_R = K_1 \sigma^{K_2} (\sigma_d)^{K_3}$$

Uzan
(3 parametri)

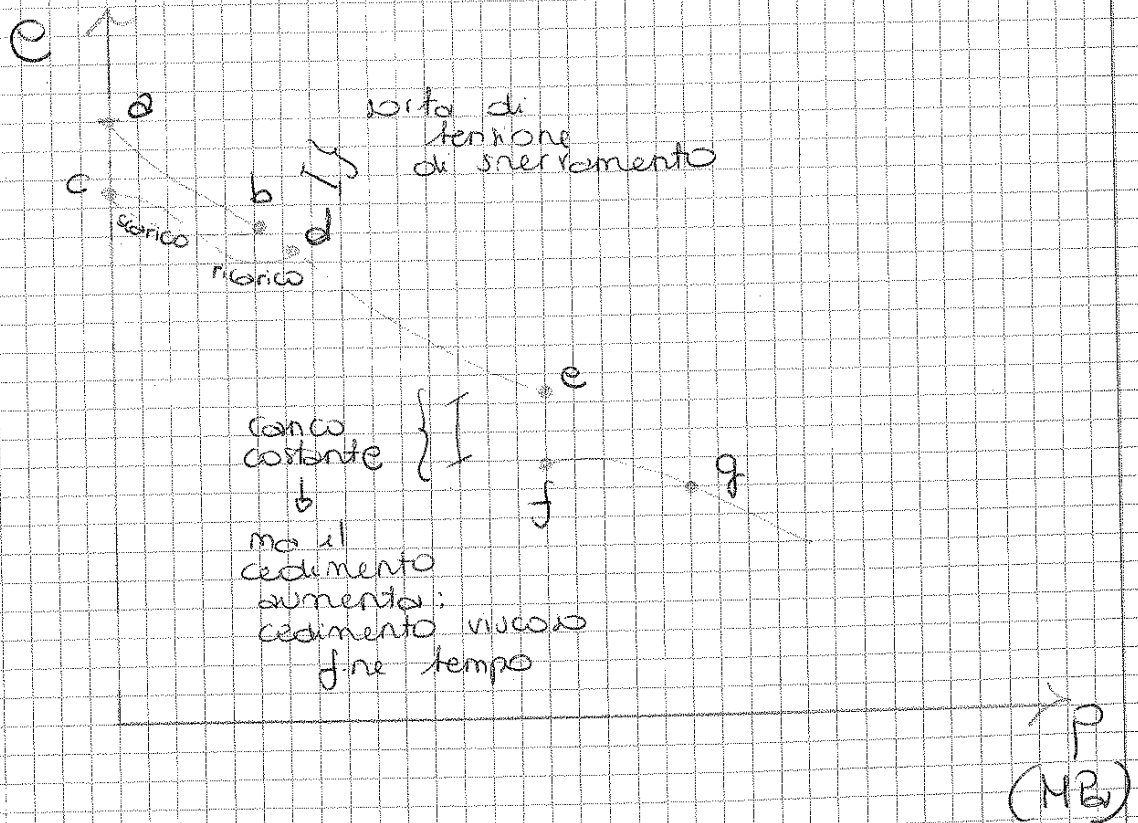
Carico verticale per successivi incrementi

$(p_0) \rightarrow p_0 + \Delta p$
 pressione iniziale pressione dopo incremento Δp

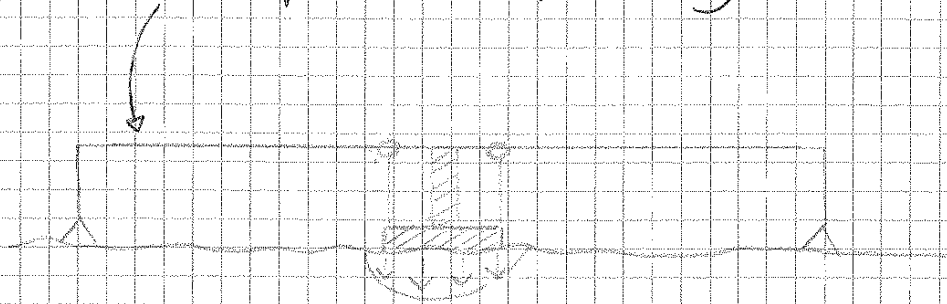
$(e_0) \rightarrow (e)$
 indice dei vuoti iniziale indice dei vuoti dopo cedimento verticale

$$\Delta v = \frac{e_0 - e}{\Delta p}$$

Il terreno ha comportamento visco-elasto-plastico

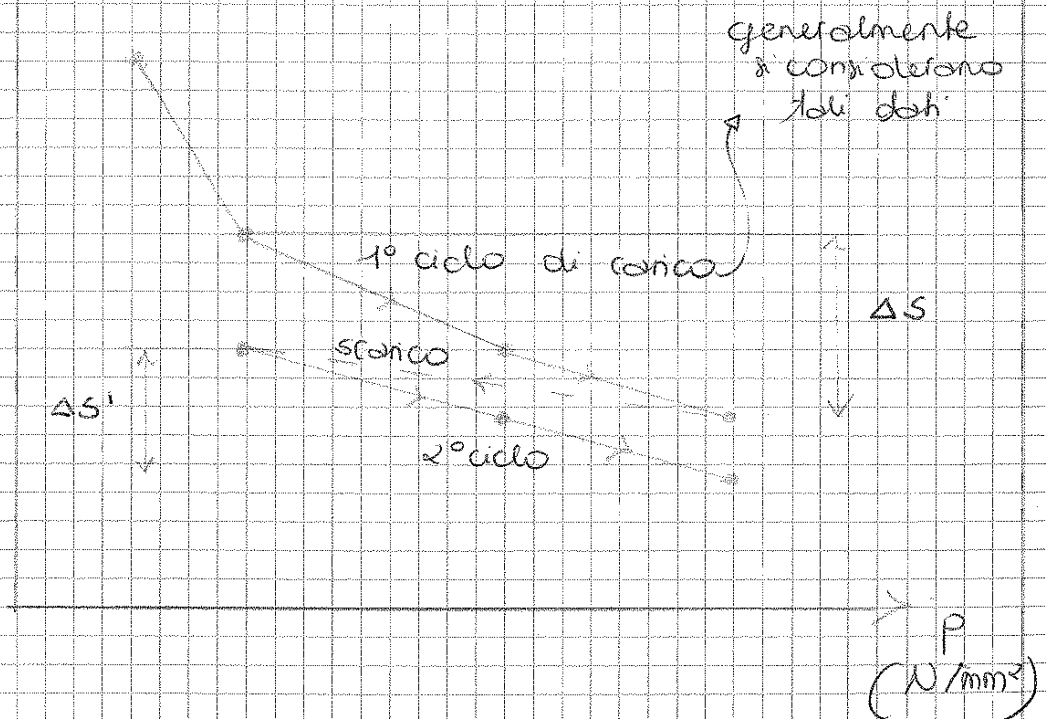


Comparatori a 120° l'uno dall'altro, agganciati ad un elemento portante (traverso porta comparatori)



I piedi della traversa devono essere a distanza sufficientemente ampia dalla piastra, poiché non devono risentire dei cedimenti dell'area di carico

cedimenti (mm)



Quando si usa un modello e quando l'altro?

Ci si riferisce ai risultati sperimentali: curva ottenuta caricando lo stesso terreno facendo progressivamente variare il raggio della piastra. Per piastre con r grande la risposta del terreno è alla Winkler; per piastre con diametro piccolo il comportamento è alla Boussinesq. Il valore soglia di d/r è circa 0,05.

- Pavimentazione flessibile: bassa rigidità, ovvero ridotta capacità di distribuzione dei carichi sul sottofondo. Il modello a cui riferirsi è quello di Boussinesq, quindi si usano piastre con diametro ridotto, di solito 30 cm.
- Pavimentazione rigida: lastre in cls, elevata rigidità e capacità di distribuzione dei carichi sulla superficie sottostante. Si usano piastre a diametro grande, in genere 76 cm. Si ricava la costante di reazione R .

$$R = \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

(ΔS) incremento di cedimenti

Norma CNR n. 146: si ricava il modulo di deformabilità (M_d), usato per finalità di controllo.

$$M_d = \frac{\Delta P}{\Delta S} \cdot d \quad (\text{carico su piastra})$$

DEFLETTOMETRO A MASSA BATTENTE (FWD)

Questa prova si usa per la valutazione delle caratteristiche meccaniche della pavimentazione o per quella delle caratteristiche di portanza del terreno.

Essa simula i carichi dinamici e valuta i moduli elastici del terreno. È una prova ad alto rendimento, cioè consente di eseguire molte misure in poco tempo.

Il sistema di misura è costituito da un sistema di masse di note caratteristiche fatte cadere sul terreno da una certa altezza. La superficie del terreno subisce delle deflessioni. Sono presenti anche dei geofoni, in genere 7 a 30 cm l'uno dall'altro, per misurare gli spostamenti anche in punti lontani da quello che viene caricato → valore di deflessione → cedimenti nello spazio

Il valore di picco del carico impulsivo impartito è ricavabile uguagliando l'energia potenziale gravitazionale e quella di deformazione delle molle

$$Mgh = \frac{1}{2} k x^2$$

↳ si ricava x allungamento molla

$$P_{max} = x \cdot K$$

$$P_{max} = \sqrt{2 Mgh k}$$

COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

Definizione delle regole costruttive per una buona costruzione del manufatto → capitolo 1 del capitolato CIRS

Operazioni:

1. Smacchiamento generale

Operazione preliminare che consiste nell'asportazione di alberi, arbusti, radici,...

Il prodotto rimasto devono essere opportunamente smaltiti dall'impresa

2. Scotico

Asportazione della coltre di terreno vegetale, ricco di sostanze organiche e non adatto alla costruzione.

Il materiale di risulta non va buttato, ma riutilizzato per i lavori di sistemazione a verde, come il rivestimento di scarpare.

3. Scavi di sbancamento

Rimozione terreno in banco

- apertura sede stradale
- formazione cassonetto (spessore in cui è realizzata la pavimentazione)

Eventuale sistemazione a gradoni, per terreni con pendenza $> 15\%$, che rischiano la rottura del corpo stradale per scivolamento. I gradoni devono possedere una contropendenza per la raccolta delle acque meteoriche in opere di drenaggio e perché si abbia una maggiore stabilità contro lo scivolamento.

Terreni cedevoli (limi o argille molto compressibili): se non si eliminano, vanno controllati. Ci si preoccupa soprattutto dei cedimenti differiti nel tempo, che vanno limitati (cedimenti totali $< 15\text{ cm}$)

$q = \gamma h$ carichi, lineari durante la costruzione e poi costanti

$S = S_i + S_c(t) + S_s(t)$ Cedimenti

$S_i \rightarrow$ cedimento immediato

$S_c(t) \rightarrow$ " di consolidazione, per trasferimento del carico dall'acqua interstiziale allo scheletro solido

$S_s(t) \rightarrow$ cedimento viscoso dopo la dissipazione di Δu

Tecniche di miglioramento dei terreni cedevoli

- precarico
- dreni
- trattamento colonnare

TRATTAMENTI COLONNARI

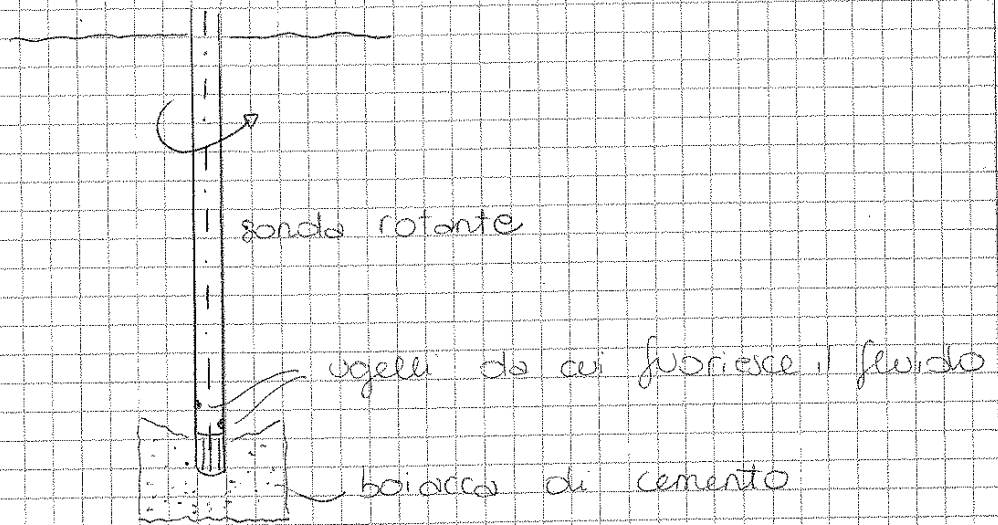
poco usati

Jet grouting = colonne di fluido iniettato ad alta pressione

monofluido → boiacca di cemento

bifluido → = = + aria

trifluido → = = + aria + acqua



CONSOLIDAMENTO CON IL VUOTO

poco usato

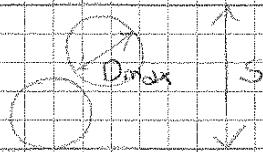
Incremento delle pressioni efficace sottraendo aria dall'interno del terreno si realizza con un materasso drenante di densità γ_r e altezza h con all'interno una membrana sigillata lateralmente; all'interno una pompa a vuoto viene aspirata l'aria dal terreno al materasso

sollecitato dai carichi veicolari
 sotto i 0,5 m valgono le prescrizioni
 relative al sottofondo (non è più piano
 d'appoggio)

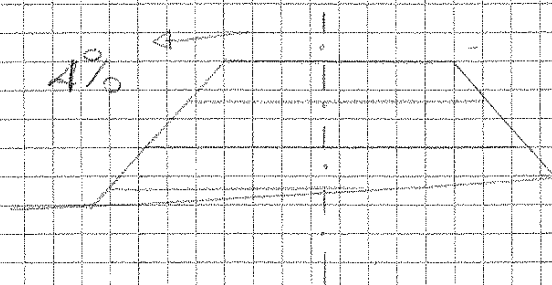
STRATI ANTICAPILLARI → spessore 30-50 cm;
 materiale granulare (2-50 mm dg) con
 passante $\varnothing 2\text{ mm} < 15\%$ in peso.
 Il materiale dev'essere pulito: passante
 $\varnothing 0,075\text{ mm} \leq 3\%$ (poco fine), e
 non ci devono essere componenti inita-
 tali. Lo strato va protetto con geo-
 tessili, che permettono il passaggio di
 materiale fine, ma solo di acqua.

RILEVATI IN TERRA NATURALE

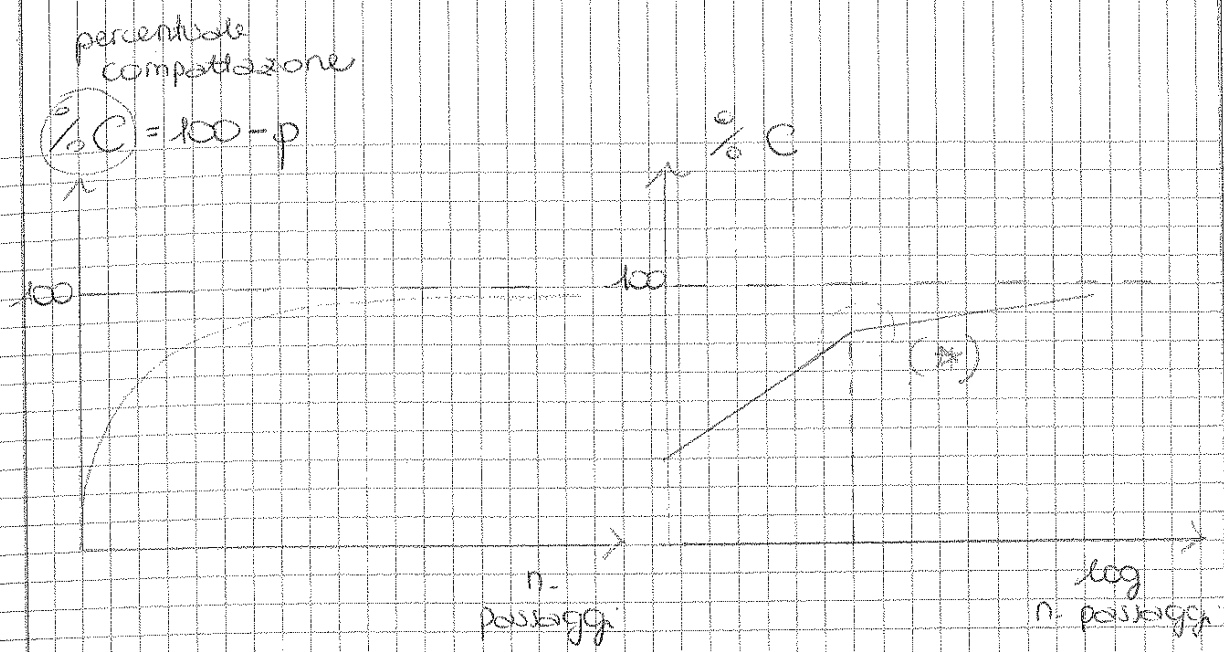
È realizzato in strati di spessore
 $S > 2 D_{max}$ (per garantire una buona
 compattezza dello strato)



$D_{max} < 300\text{ mm}$ → scarto elementi più grossi



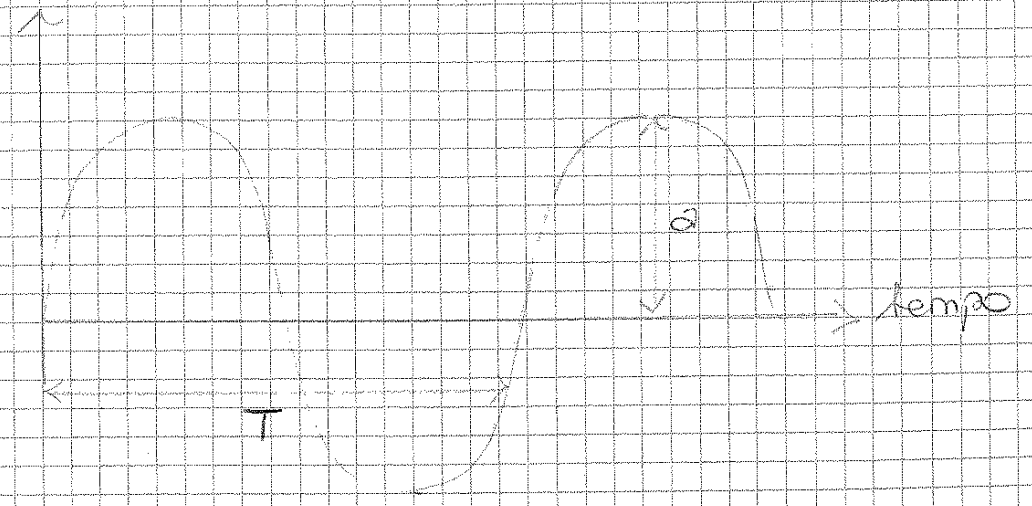
pendii inclinati per
 allontanamento
 delle acque
 meteoriche



Ottimizzazione \rightarrow max $\% C$ nel minimo numero di passaggi \rightarrow zona prossima all'intersezione delle 2 rette dello albero (*)

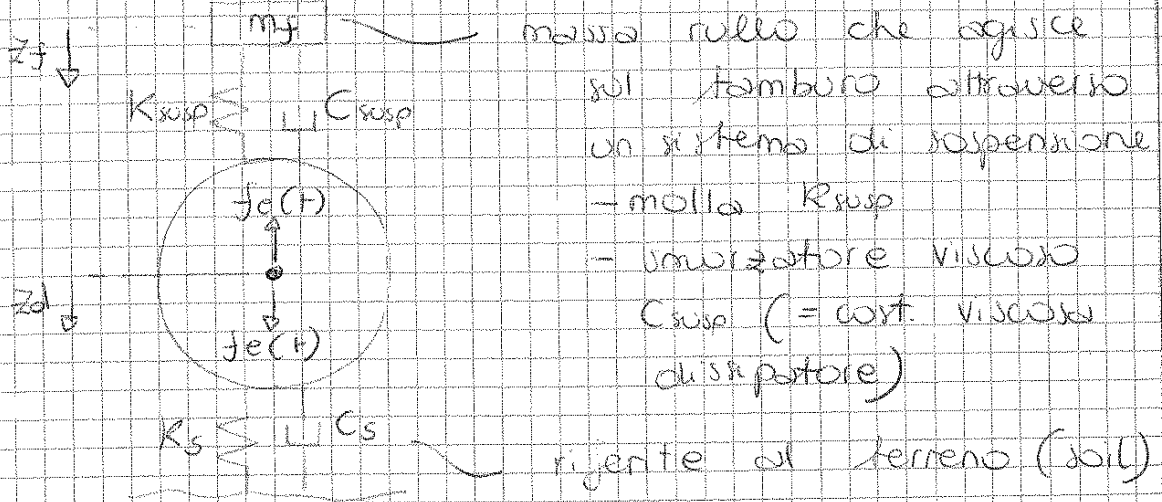
COMPATTAZIONE DINAMICA

Massa eccentrica m_e che ruota attorno al perno centrale del rotolo



- r = eccentricità
- f = frequenza oscillazione
- ω = pulsazione

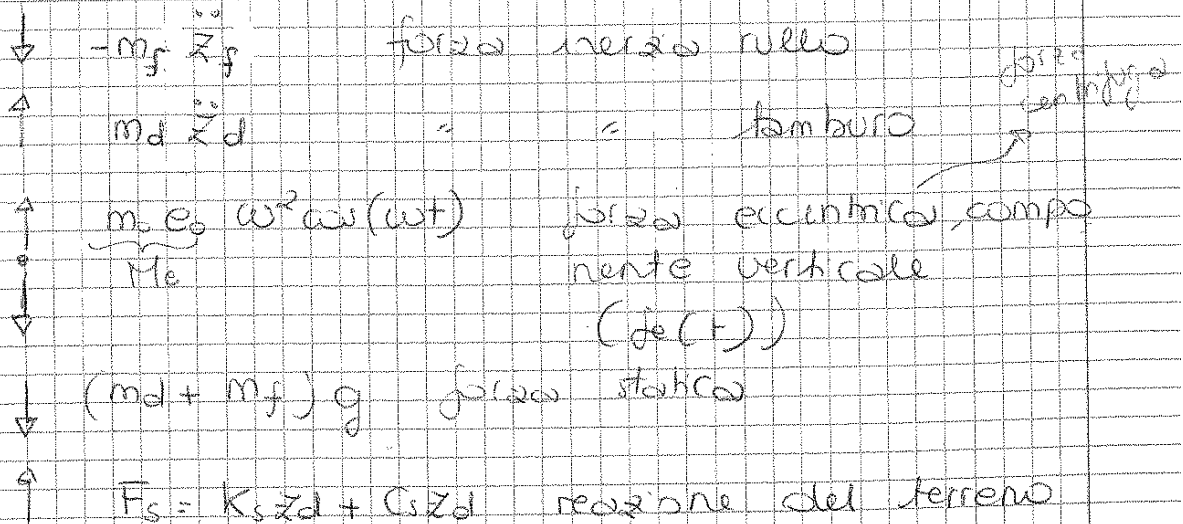
→ modello di interazione dinamica
rullo + terreno



z_d = spostamento verticale tamburo (drum)

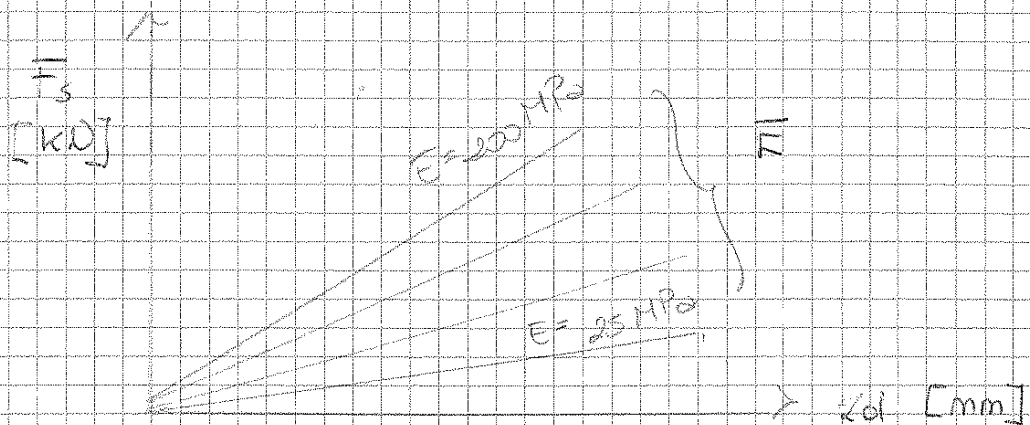
#

z_f = " = " = rullo (frame)



Se il terreno fosse perfettamente rigido (indeformabile), il contatto ferro-rotore sarebbe puntuale, ma il terreno si deforma, quindi b non vale zero.

Curve $\bar{F}_s - \bar{z}_d$ tecniche al variare di \bar{m}



Tutto ciò interviene nella verifica della compattezza.

Sono presenti sensori sul mezzo che misurano \bar{F}_s e $\bar{z}_d \rightarrow$ si ricava il parametro \bar{m} \rightarrow monitoraggio compattezza in tempo reale

Via via che il terreno si compattava si addensa \rightarrow k ed E maggiori (maggiore rigidità) \rightarrow rette via via più inclinate

Tecniche di compattezza:

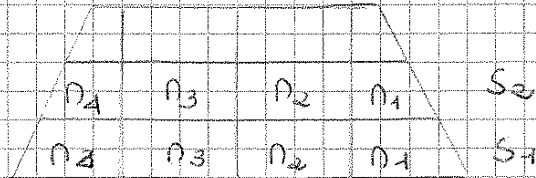
- striscio per striscio \rightarrow suddivisione in strisce e definizione di tracce di compattezza
- scambio sovrapposto \rightarrow alternanza sulle varie tracce

CAMPI PROVA

Sperimentazione in vero grandezze

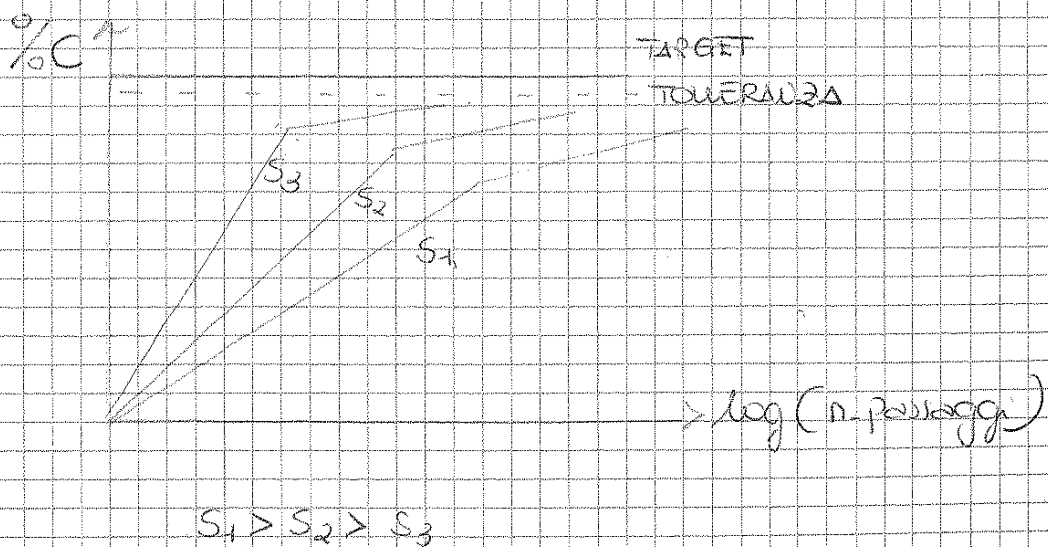
Fattori:

- mezzi costanti \rightarrow cost., ogni impresa ha il suo parco macchine
- spessore strato S
- numero di passate n



\rightarrow M_d } misurazione per ogni
 f_s (%C) } strato

n volte con l'effetto dei fattori



• PORTANZA

sottofondo : $M_d \geq 50 \text{ N/mm}^2$ / } $W_{opt} - 2\% < W < W_{opt} + 2\%$
 rilevato : $M_d \geq 30 \text{ N/mm}^2$ }

Valori da intendere come minimi indicativi variabili in base alle ipotesi assunte nel calcolo della pavimentazione (approccio prestazionale e non prescrittivo)

$$\bar{E} = 1,9, \div 2,1 M_d$$

modulo elastico
 assunto in progetto

$$\bar{E} = 100 \text{ CBR} \quad [kg/cm^2]$$

$$10 \text{ CBR} \quad [MPa]$$

→ materiali fini molto plastici

Calce viva CaO (CL80/CL90)

Calce idrata Ca(OH)_2 (CL80/CL90)

tenore di calce libera

① Effetti e meccanismi di reazione a breve termine → significativi in fase di lavorazione

Variazione del contenuto d'acqua naturale e delle caratteristiche della terra

- ESSICCAZIONE

Fissaggio chimico dell'acqua sottratta al terreno per la reazione ed evaporazione (reazione fortemente esotermica)



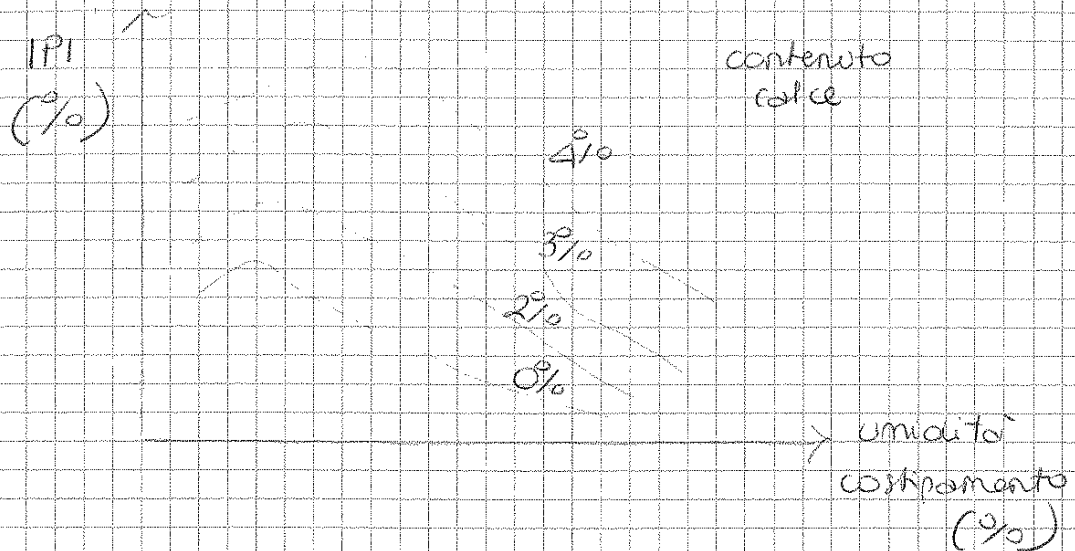
- FLOCCULAZIONE

Gli ioni Ca^{++} reagiscono con i cationi Na^+ , K^+ → agglomerati particellari

* modifica granulometria terreno → maggiore uniformità

* modifica comportamento plastico → variazione limiti di Atterberg

Indice di portanza immediata (IPI) =
 indice CBR dopo max 90 min dalla
 miscelazione terreno-calce



② Effetti e meccanismi di reazione a lungo termine

Reazione calce (Ca^{++}) e nitrato/allu =
 ma contenute nei terreni argillosi
 → formazione di nitrati ed alluminati
 di calcio idrati

Fattori influenzanti:

- superficie specifica
- carbonatazione (fattore negativo)
- durata trattamento
- modalità compattazione
- % umidità
- T ($^{\circ}C$) (alta è favorevole)
- materie organiche (composti azotati sfavorevoli)

CEMENTO

Vero e proprio fenomeno di presa ed indurimento.

Non si usa per:

- terreni molto plastici ($IP > 15$)
- terreni con solfati e materie organiche

OPERE DI PRESIDIO IDRAULICO

La costruzione di un'infrastruttura modifica l'equilibrio idrologico esistente

Interferenze con i corsi d'acqua, le acque di falda, di piattaforma, il regime di ruscellamento → conseguenze negative sull'opera

Le opere idrauliche intercettano le acque e le controllano, evitando tali conseguenze

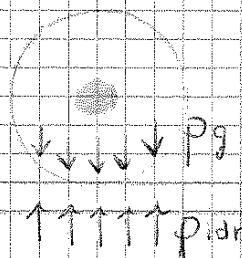
①

OPERE PER ACQUE SUPERFICIALI

Acque meteoriche sulla piattaforma →
 velo idrico → compromette l'aderenza
 → fenomeno di aquaplaning nei casi più
 critici → perdita di contatto fra pneu=
 matico e pavimentazione

condizioni
di aquaplaning

velo
idrico



$P_{idr} > P_{pneu}$

↓ l'aderenza

j = intensità precipitazioni [mm/h]

L = lunghezza percorso acqua [m]

$$L = b \left[1 + \left(\frac{i_e}{i_t} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Possiamo agire su L e i_e per far sì che y non raggiunga il valore critico.

• CUNETTE (rinces o opere d'arte)

Elementi ai lati della piattaforma, raccolgono le acque. Devono avere forma e lunghezza costante lungo tutta la strada e pendenza lungo l'asse longitudinale uguale a quella della strada, devono far defluire anche il materiale solido presente nelle acque.

Vi sono tipi di cunette diverse a seconda della forma e del materiale.

P = dimensione caratteristica della cunetta, stabilita mediante calcolo idraulico

La forma della cunetta condiziona o meno la scelta di mettere delle barriere di sicurezza. In caso di cunetta trapezoidale o a profilo chiuso ciò non è necessario: in caso di svincolo, è possibile per il veicolo recuperare la traiettoria.

• FOSSI DI GUARDIA

Servono per il controllo delle acque provenienti da monte, che cadono quindi al di fuori della piattaforma, ma possono comunque interferire con l'opera ad esempio ritagliando alla base dei rilievi erodendoli o infiltrandosi all'interno ed inficiandone la stabilità, oppure invadendo le strade in frasca. La forma è generalmente trapezoidale.

• CADITOIE

Raccolta delle acque di scolo provenienti da canalette o fossi di guardia ed incanalamento nei canali collettori.

②

OPERE PER L'ATTRAVERSAMENTO

• TOMBINI (luce < 4m)

Servono perché le acque raccolte a monte possano attraversare il solido stradale e scaricarsi a valle. Vene tipologiche: tubolari, scatolari, a volta, a piastrina, ...

• PONTICELLI (luce > 4m)

Si usano per portate più grandi. Se la luce è > 10m si parla di ponti.

Efficaci nelle zone soggette a gelività
 (→ formazione lena di ghiaccio), ad esempio
 le strade di montagna.

DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

Determinazione della portata da analizzare,
 ovvero della portata di progetto Q
 e suo confronto con la portata che
 l'elemento può analizzare Q'

$$Q < Q'$$

↳ due dimensioni
 e materiali
 elemento

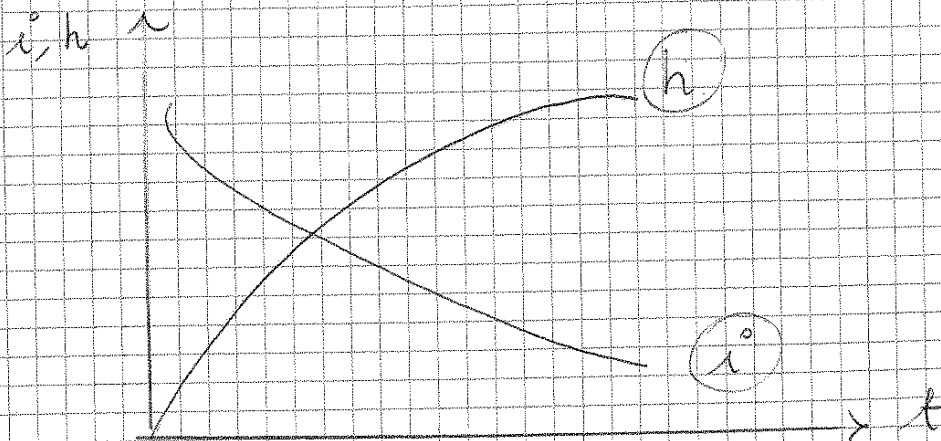
Definizione evento meteorico:

h = altezza di pioggia [mm]

t = durata evento

$$i^o = \frac{h}{t} \quad \text{intensità di pioggia}$$

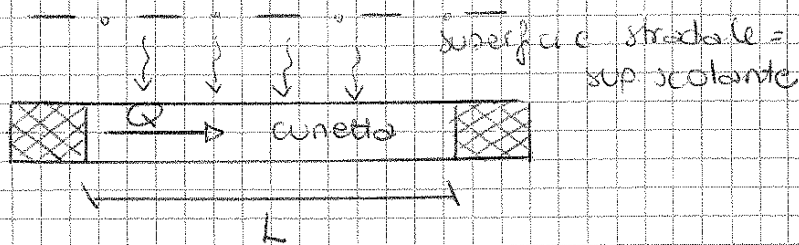
$$h = \omega \cdot t^b \quad \rightarrow \quad i^o = \omega \cdot t^{b-1}$$



- FORMULA DEL MARYLAND (cunette e
 fossi di guardia: bacini piccoli)

$$\overline{T_c} = 26,3 \frac{(L/K_s)^{0,6}}{i^{0,4} \cdot i_p^{0,3}}$$

L = lunghezza cunetta (distanza fra
 due punti in cui la portata
 è interrotta) [m]



K_s = coefficiente di resistenza
 (dura del materiale)

i = intensità di pioggia [m/h]

i_p = pendenza media superficie
 scolante

- FORMULA DI KIRPICH (piccoli bacini < 10 km)

$$\overline{T_c} = 0,95 \cdot \frac{L^{1,155}}{d^{0,385}}$$

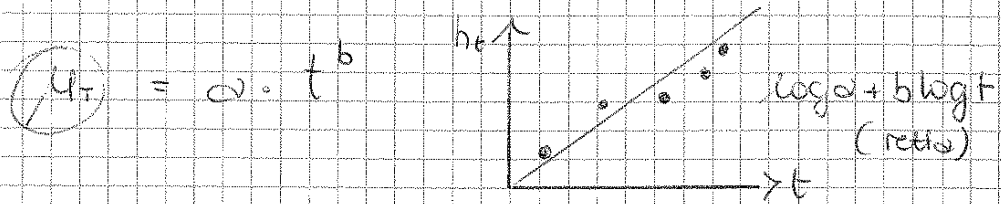
L = lunghezza asta principale [km]

d = dislivello asta [m]

$\mu_t \rightarrow$ media altezza di pioggia

$K_{Tr} \rightarrow$ legge di variazione

K_{Tr} dipende da T_r e da K' che a sua volta dipende dal coefficiente di variazione C_v



attraverso regressione lineare si interpolano i dati sperimentali e si ricavano i coefficienti a e b

si prende $t = T_c$ per il calcolo

Calcolo portata Q di progetto:

$$Q = \frac{C_T \cdot h_{TC, Tr} \cdot S}{3,6 \cdot T_c} \quad [m^3/s]$$

$S =$ superficie bacino imbrifero

$C_T =$ coefficiente di deflusso

Calcolo portata di deflusso Q' :

$$Q' = C \cdot A \cdot \sqrt{R_H \cdot i} \quad (\text{formula di Chezy})$$

$A =$ area sezione liquida

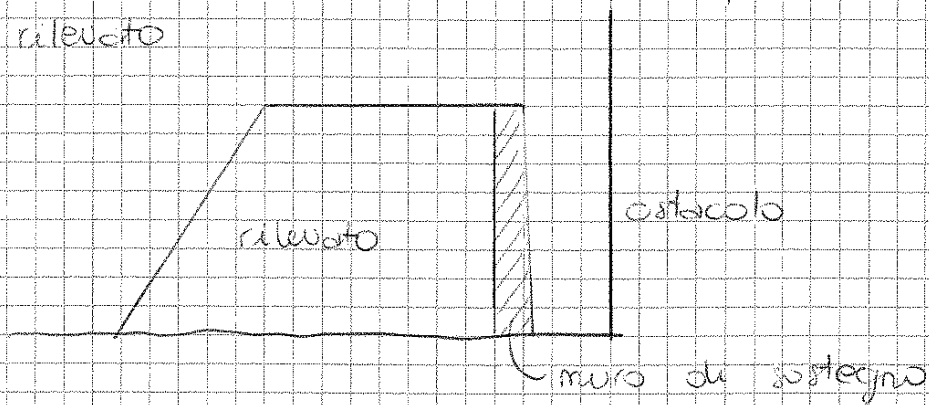
$$R_H = \text{raggio idraulico} = \frac{A}{\text{perim. bagnato}}$$

$i =$ pendenza longitudinale

OPERE DI SOSTEGNO

Nella maggior parte dei casi si adotta la geometria standard degli elementi senza dover fare verifiche di stabilità. A volte però non è conveniente/possibile adottare tali geometrie, ad esempio per interferenza con altri manufatti o elementi non spostabili, o per rilevati con altezza molto elevata → costi notevoli.

Bisogna in tali casi realizzare delle opere di contenimento, con la funzione di raccordo della piattaforma stradale con il terreno, interrompendo o eliminando del tutto le scarpate del rilevato.



Classificazione in base a:

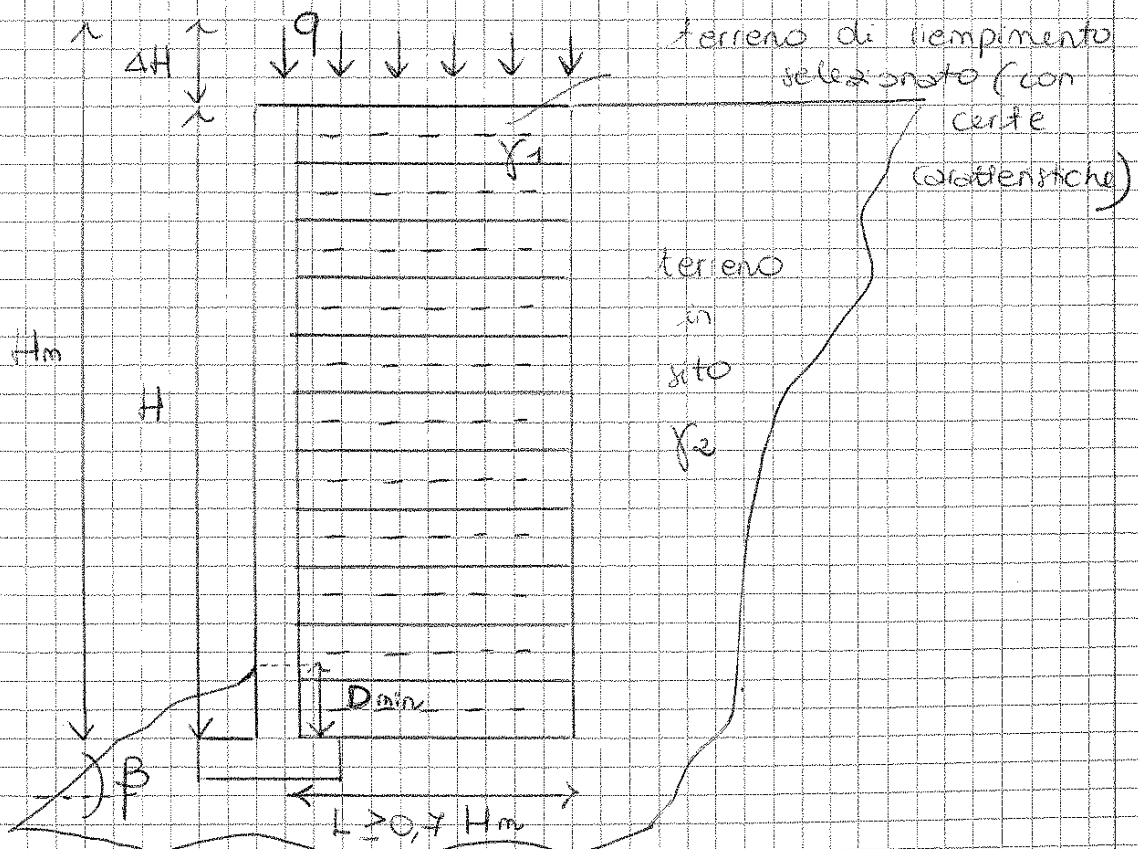
- Posizione
 - MURI DI SOSTEGNO: nei rilevati continui sono la scarpata
 - MURI DI OTTORIPA: nei rilevati interrompiti sono parzialmente la scarpata
 - MURI DI CONTROTORIPA: nei tratti in trincea

TERRE ARMATE

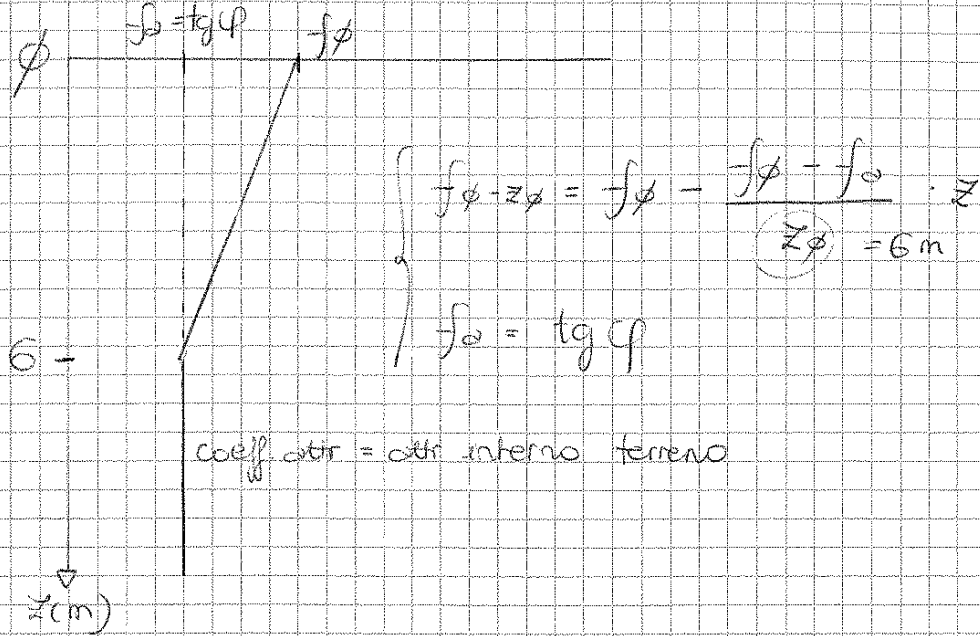
Terra rinforzata con armature metalliche che svolgono la loro funzione grazie all'attrito fra le stesse e il terreno.
 Paramento (cio' che rimane a visto): pannelli in cls prefabbricati "a croce" alla cui base c'è un cordolo in cls magro.

Il terrapieno armato costituisce parte integrante dell'opera di sostegno.

Bandelle metalliche (caratteristiche: altezza, larghezza, spessore) rese solidali ai pannelli di rivestimento, distribuite con una certa spaziatura orizzontale e verticale.

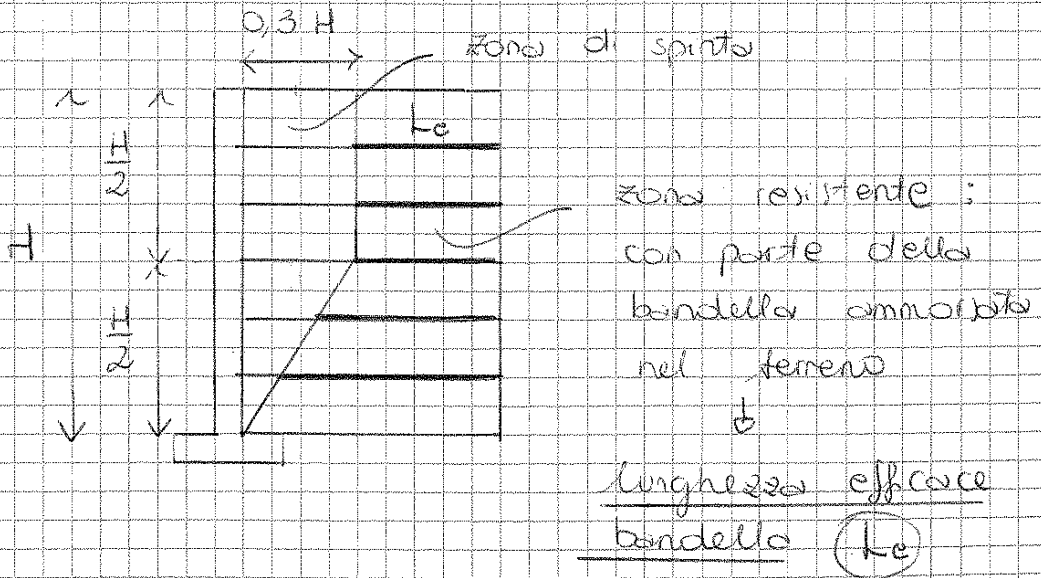


• COEFFICIENTE DI ATRITO (fra bandella e terreno)



• SUPERFICIE DI SPINTA

Non tutto il ferropieno contribuisce alla resistenza del terreno → una parte è il volume di spinta



Tale sforzo deve essere confrontato con la resistenza a trazione della bandella

$$T_{max} < \frac{\sigma_{amm} \cdot A_s}{\gamma_F}$$

A_s = area sezione resistenza

γ_F = coeff. sicurezza assunto dal progettista

$$A_s = (b - b_s) \cdot (s - s_s)$$

riduzione di larghezza e spessore per fenomeni di corrosione (in genere b_s e $s_s = 1\text{mm}$)

Verifica non obbligatoria: si agisce su ΔH e ΔV

② VERIFICA ALLO SFILAMENTO

Sfilamento = perdita di contatto bandella-terreno

T = sforzo di trazione calcolato

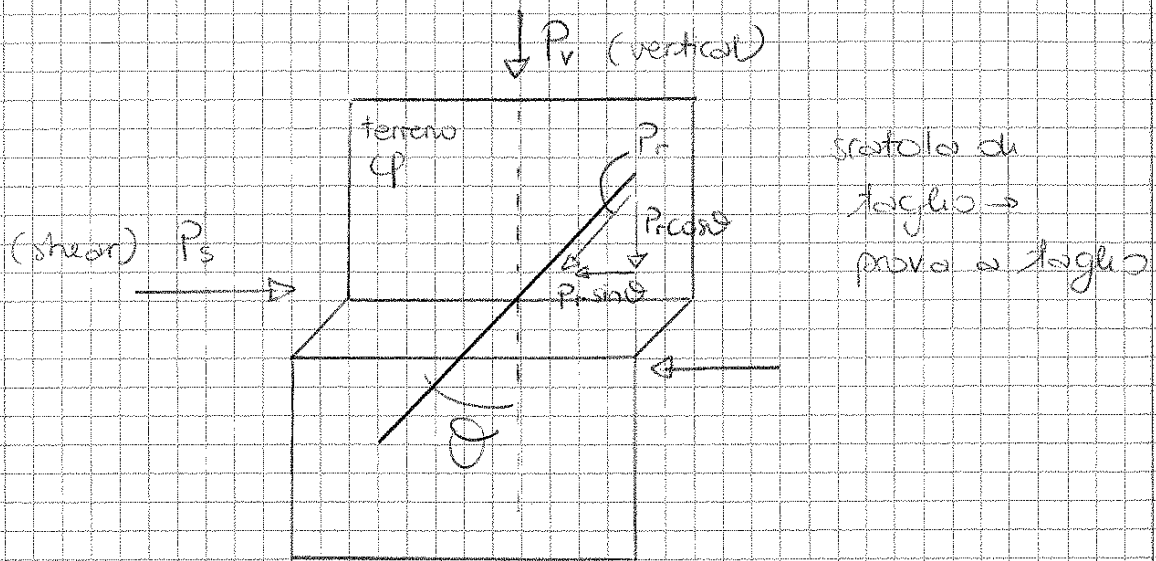
$$F_r = \underbrace{2}_{\substack{\text{forza} \\ \text{resistente}}} \cdot \underbrace{L_c}_{\substack{\text{le superficie resistenti} \\ \text{ovv: superiore ed inferiore}}} \cdot (b - b_s) \cdot \underbrace{\gamma \cdot z}_{\substack{\text{coeff. attrito}}} \cdot f(z)$$

TERRE RINFORZATE

Rinforzo costituito da elementi piani continui, i geotestici.

Conviene scegliere come terreno di riempimento un terreno di tipo granulare.

Mecanismo di rinforzo:



In assenza di rinforzo $P_{res} = P_v \cdot \tan \phi$

Per effetto del taglio sul terreno, l'elemento di rinforzo va in trazione

P_r → componente verticale aggiuntiva che incrementa la resistenza

$$P_{res} = P_r \sin \theta + (P_r \cos \theta + P_v) \tan \phi$$

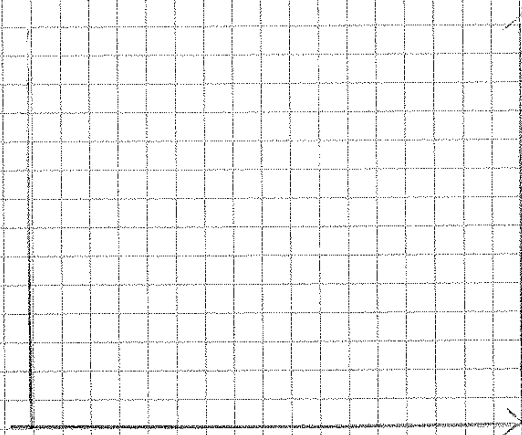
Nella pratica il rinforzo va disposto orizzontalmente poiché lavora meglio a trazione

2 famiglie:

①

coeff.
santa
terra

(K)

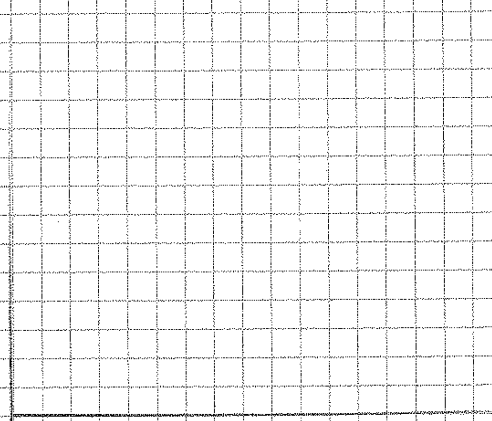


angolo diritto
interno ϕ' (noto)

angolo di scarpata
 β (noto)

②

$\frac{L}{H}$



ϕ'

β

$$\frac{L}{H} = \frac{\text{lunghezza rinforzo}}{\text{altezza calcolata (sovraccarico)}} \quad (H' = H + q/r)$$

L/H da abaco, noto H si ricava

$\frac{L}{H}$

K da abaco \rightarrow

S

$$S = \frac{P_r}{K(\gamma z) + q}$$

spazzatura minima