

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Sommario degli argomenti principali trattati sul comportamento meccanico dei terreni

- Genesi e struttura dei terreni
- Caratteristiche strutturali dei terreni: megastruttura, macrostruttura, microstruttura
- Litotipi e relative caratteristiche: sabbie, argille ed interazioni con acqua interstiziale
- Relazioni tra le fasi di un campione: grandezze fisiche dei terreni

- *Peso di volume totale*
- *Peso di volume secco*
- *Peso di volume del solido*
- *Porosità*
- *Indice dei vuoti*
- *Volume specifico*
- *Grado di saturazione*
- *Contenuto d'acqua*
- *Peso unità di volume dell'acqua*
- *Peso unità di volume del terreno alleggerito*
- *Peso specifico dei grani*
- *Peso specifico totale*
- *Densità relativa*

CAMPIONI INDISTURBATI

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Sommario degli argomenti principali trattati sul comportamento meccanico dei terreni

- Genesi e struttura dei terreni
- Caratteristiche strutturali dei terreni: megastruttura, macrostruttura, microstruttura
- Litotipi e relative caratteristiche: sabbie, argille ed interazioni con acqua interstiziale
- Relazioni tra le fasi di un campione: grandezze fisiche dei terreni
 - *Analisi granulometrica per via meccanica: grado di uniformità*
 - *Analisi granulomerica per sedimentazione*
 - *Stati di consistenza per le argille: limiti di Atterberg*
 - *Limite liquido: w_l*
 - *Limite plastico: w_p*
 - *Limite di ritiro: w_s*
 - *Indice plastico: $PI = w_l - w_p$*
 - *Indice di liquidità: $LI = (w_n - w_p)/PI$*
 - *Indice di attività: $A = PI/CF$*
 - *Indice di consistenza: $IC = 1 - LI$*

CAMPIONI DISTURBATI

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Sommario degli argomenti principali trattati sul comportamento meccanico dei terreni

- Genesi e struttura dei terreni
- Caratteristiche strutturali dei terreni: megastruttura, macrostruttura, microstruttura
- Litotipi e relative caratteristiche: sabbie, argille ed interazioni con acqua interstiziale
- Relazioni tra le fasi di un campione: grandezze fisiche dei terreni
 - *Sistemi di classificazione*
 - **Sistema USCS**
 - **Sistema CNRUNI10006 Opere in terra**
 - *Carta di Plasticità di Casagrande*
 - *Indice di gruppo:*

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Sommario degli argomenti principali trattati sul comportamento meccanico dei terreni

- Relazione tra tensioni e deformazioni nel terreno
- Terreno: *mezzo particellare*
- Terreno: *trattato come mezzo continuo*
- *Principio delle tensioni efficaci (Terzaghi)* $\sigma_{vo}' = \sigma_{vo} - u$
- *Fenomeno della capillarità nei terreni*
- *Tensioni litostatiche totali ed efficaci*
- *Coefficiente di spinta a riposo: K_0* $\sigma_{ho}' = k_0 \cdot \sigma_{vo}'$
- Terreni *normalconsolidati* e *sovracconsolidati*: OCR (Grado di sovraconsolidazione)
 - *Sovraconsolidazione meccanica*
 - *Sovraconsolidazione per aging*
 - *Sovraconsolidazione per essiccamento*
 - *Sovraconsolidazione per cementazione*
- *Relazione tra sovraconsolidazione e K_0* $\rightarrow K_0 (NC) \cong 1 - \sin \phi'$ $K_0 (OC) = K_0 (NC) \cdot OCR^\alpha$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Sommario degli argomenti principali trattati sul comportamento meccanico dei terreni

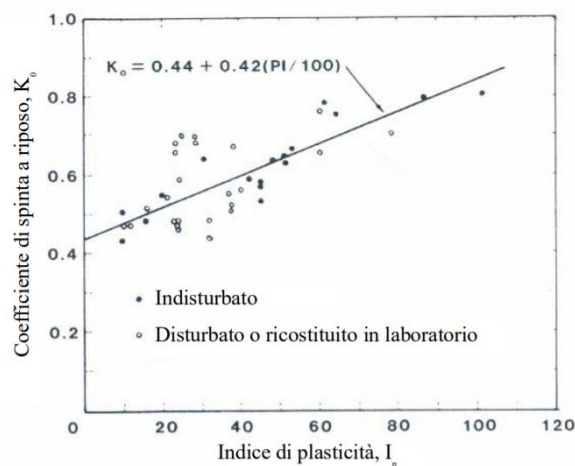


Figura 3.7 – Correlazione tra il coefficiente di spinta a riposo per terreni normalconsolidati, $K_0(NC)$, ottenuto da prove di laboratorio, e l'indice di plasticità, I_p

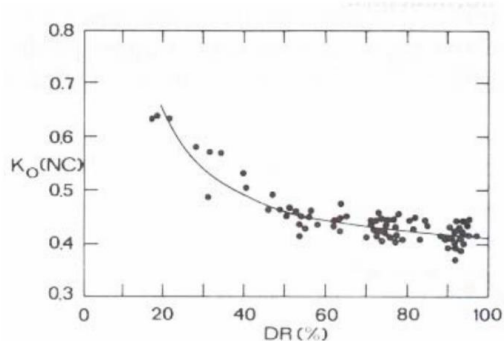


Figura 3.8 – Correlazione tra il coefficiente di spinta a riposo per terreni normalconsolidati, $K_0(NC)$, e la densità relativa, D_r

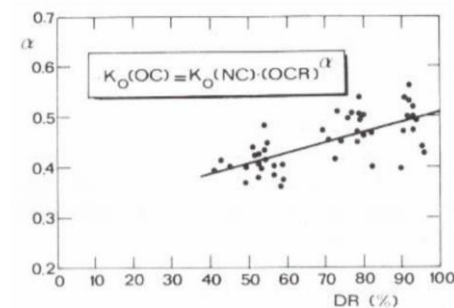


Figura 3.9 – Variazione dell'esponente α con la densità relativa, D_r

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Sommario degli argomenti principali trattati sul comportamento meccanico dei terreni

- Rappresentazione degli stati tensionali

- *Piano t, s*
$$S = \frac{\sigma^1 + \sigma^3}{2}; \quad t = \frac{\sigma^1 - \sigma^3}{2}$$

- *Piano σ, τ*

- *Piano Triassiale p, q*

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Meccanica dei solidi: principi

Meccanica dei continui

mezzi continui: conservano nei loro elementi infinitesimi le proprietà osservate nell'insieme per cui lo studio può essere condotto a livello fenomenologico anziché a livello microstrutturale, atomico o subatomico.

La generalizzazione dei risultati sperimentali avviene attraverso l'introduzione di due concetti: **tensore delle deformazioni e tensore delle tensioni**

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Meccanica dei solidi: principi

La risoluzione di un problema al contorno comporta:

- *L'idealizzazione della geometria;*
- *L'adozione di un legame costitutivo;*
- *Scelta del metodo di analisi, dipendente dal tipo di problema e dal legame costitutivo*

Per affrontare i problemi tridimensionali complessi, spesso si fa riferimento ad un sistema semplificato riducendo il problema ad un caso bidimensionale (SISTEMA PIANO O ASSIALSIMMETRICO DELLE TENSIONI E DELLE DEFORMAZIONI).

Questo è possibile solo se non si perde la significatività del problema



In alcuni casi la tridimensionalità del problema non può essere trascurata.

Il valore della scienza ingegneristica è determinata da quanto e come si può realizzare come strumento nelle mani di ingegneri professionisti (Terzaghi)

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Meccanica dei solidi: principi

Tabella con differenze di comportamento tra metalli e terreni

Tabella 3.1 Differenze
 di comportamento tra me-
 talli e terreni (Lade,
 1979).

Metalli	Terreni
a) La resistenza è indipendente dalla tensione di confinamento.	a) La resistenza cresce al crescere della tensione di confinamento.
b) Il volume è costante nel corso di deformazioni di taglio.	b) Significative variazioni di volume sono associate in prove drenate a deformazioni di taglio.
c) È applicabile il principio di normalità.	c) Il principio di normalità non è applicabile ai terreni quando si usa il criterio di rottura di Coulomb.
d) Le deformazioni sono reversibili in un ampio campo tensionale.	d) Si hanno deformazioni plastiche anche in presenza di modesti incrementi di sforzi di taglio.
e) I parametri di deformabilità sono indipendenti dalla tensione di confinamento.	e) I parametri di deformabilità crescono all'aumentare della tensione di confinamento.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Meccanica dei solidi: principi

Analisi delle tensioni

Componenti delle tensioni

Equazioni indefinite di equilibrio

Tensioni principali

Invarianti di tensione

Tensioni ottaedriche

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Meccanica dei solidi: principi

Analisi delle deformazioni

Congruenza delle deformazioni

Direzioni principali

Deformazioni ottaederiche

Cerchi di Mohr delle deformazioni

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici

- Modello elastico
- *Modello plastico*
- *Modello viscoso*

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello elastico

- **Modello elastico**

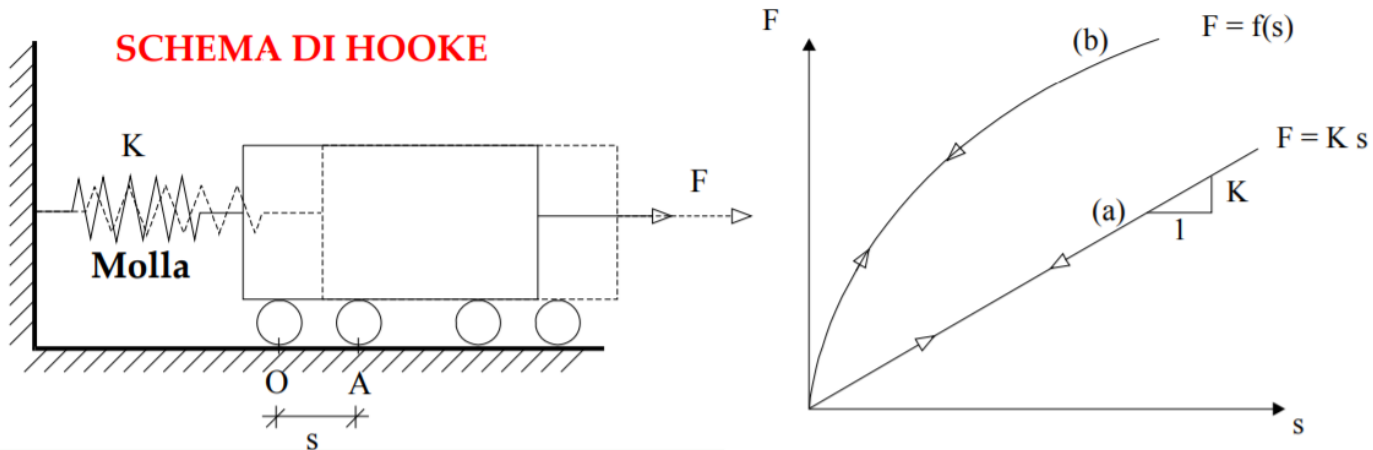
Il comportamento di un corpo è definito elastico se le deformazioni prodotte da un sistema di sollecitazioni scompaiono una volta rimosse tali sollecitazioni.

La relazione sforzi – deformazioni è biunivoca ed indipendente dal tempo ed una stessa sollecitazione produce la stessa deformazione anche se applicata ripetutamente

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello elastico



Parametri del modello: costante elastica, K

Applicazioni: diffusione delle tensioni, deformazioni in terreni OC, etc.

$F = K \cdot s$ **Mezzo elastico lineare** (K cost.)

$F = f(s)$ **Mezzo elastico non lineare**

Da Facciorusso

Teoria Boussinesq

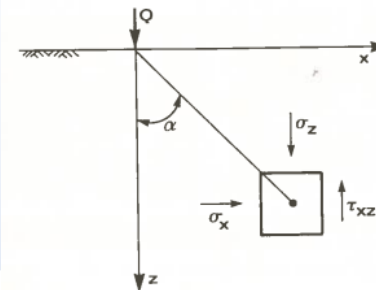
RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello elastico

Le principali applicazioni geotecniche per le quali è spesso assunta l'ipotesi di comportamento elastico del terreno sono:

- Calcolo delle deformazioni nei terreni sovraconsolidati: $OCR > 1$
- Analisi della distribuzione delle tensioni nel terreno (Boussinesq)
- Calcolo delle strutture di fondazioni



Da Facciorusso

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello plastico

- **Modello plastico**

Il comportamento di un corpo è definito plastico se raggiunta una determinata soglia di sollecitazione, si manifestano deformazioni permanenti (ossia si conservano anche dopo la rimozione delle sollecitazioni).

La relazione sforzi – deformazioni è indipendente dal tempo e NON biunivoca. Ad uno stesso valore di deformazione possono corrispondere diversi stati di sollecitazione.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

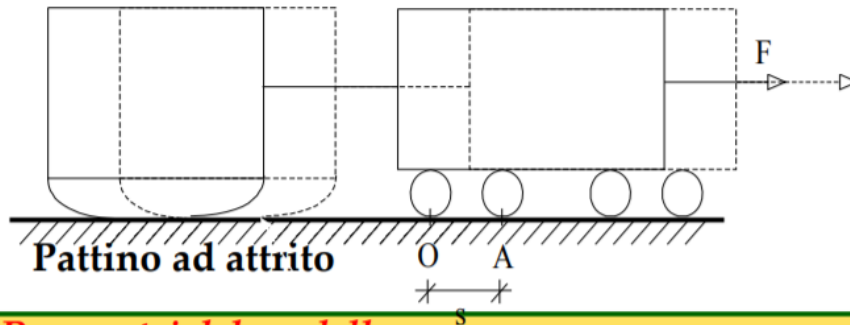
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello plastico

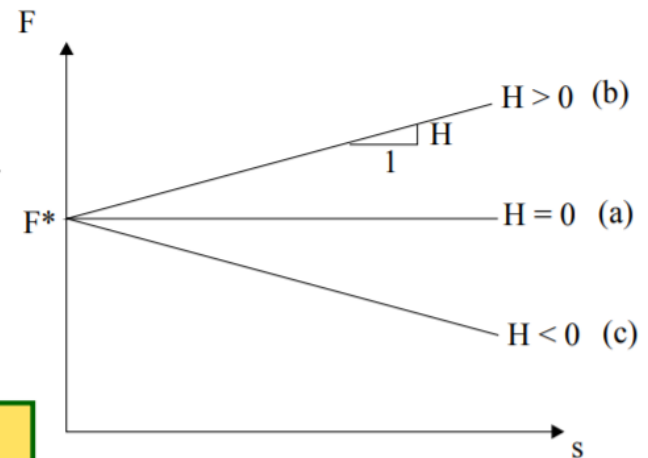
SCHEMA DI COULOMB



Parametri del modello:

coefficiente di incrudimento, H

Applicazioni: capacità portante delle fondazioni, stabilità dei pendii, delle opere di sostegno



a) mezzo plastico perfetto

b) mezzo incrudente positivamente

c) mezzo incrudente negativamente

Da Facciorusso

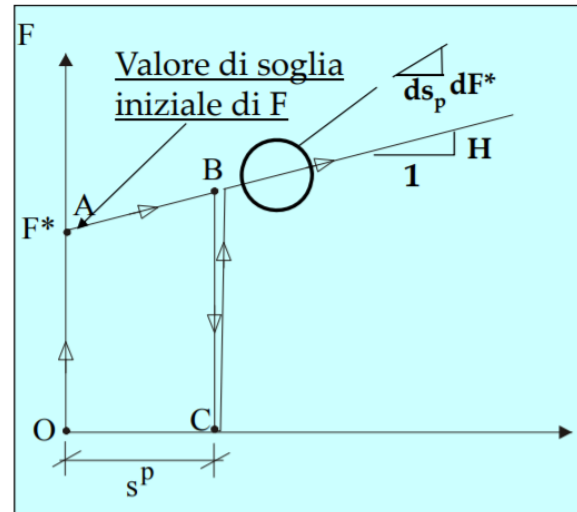
RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello plastico

Annullando la forza F (B-C) non si ha alcun recupero dello spostamento accumulato (**deformazione permanente**).

Incrementando nuovamente la forza F (C-B) il pattino rimarrà fermo nella posizione assunta sotto il carico precedente, fino a che l'intensità della forza applicata non raggiunge il nuovo valore limite F^* , che sarà uguale al precedente per mezzo plastico perfetto, maggiore per mezzo incrudente positivamente, minore per mezzo incrudente negativamente.



La relazione tra lo spostamento plastico, ds^p , e l'aliquota di forza che eccede F^* , dF^* , è del tipo:

$$ds^p = \frac{1}{H} dF^* \quad \text{dove } H \text{ è il coefficiente di incrudimento}$$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello viscoso

Modello viscoso

Il modello viscoso è caratterizzato da deformazioni permanenti che si sviluppano con una velocità legata alla sollecitazione applicata. La velocità di deformazione si annulla all'annullarsi della sollecitazione.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

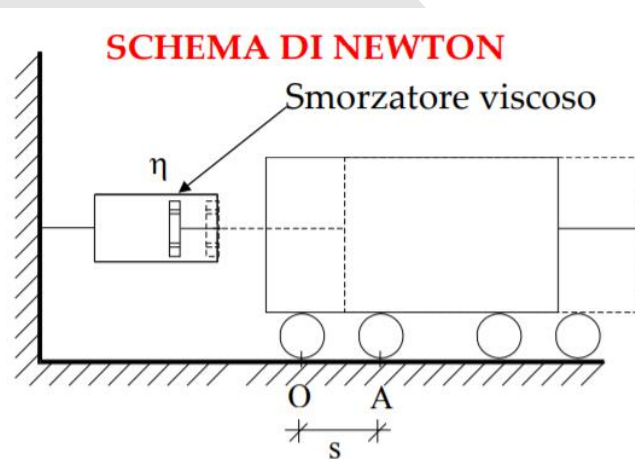
Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

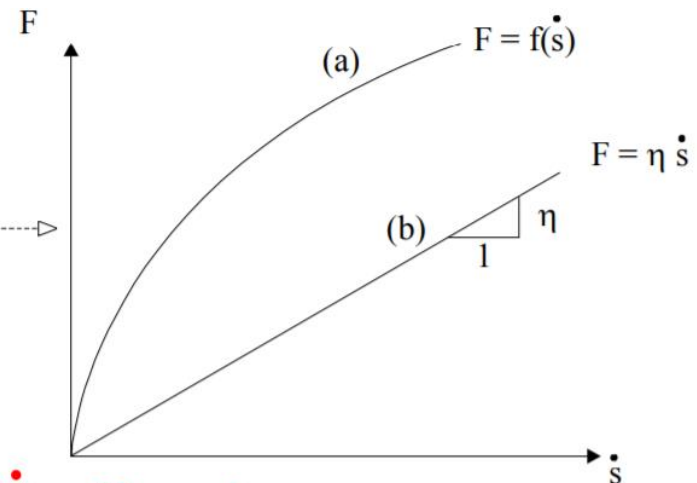
Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici: Modello viscoso



Parametri del modello:
viscosità, η



$$F = f(\dot{s})$$

Mezzo viscoso

$$F = \eta \cdot \dot{s}$$

Mezzo viscoso perfetto o newtoniano

(con η costante)

dove $\dot{s} = \frac{ds}{dt}$ è la velocità di spostamento

Da Facciorusso

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

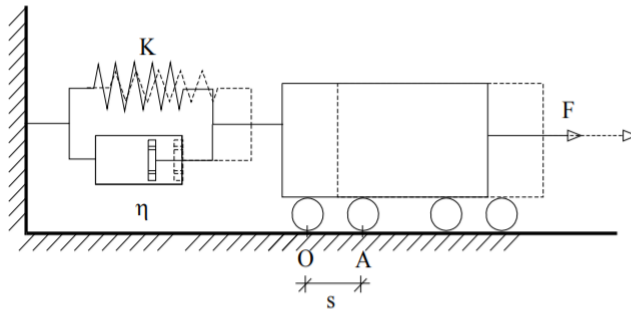
Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici complessi: modello viscoelastico Maxwell e Kelvin Voigt Terzaghi

MODELLO DI KELVIN-TERZAGHI

È un modello reologico complesso ottenuto dalla combinazione IN PARALLELO di un modello elastico e un modello viscoso (*modello elasto-viscoso in parallelo*).

SCHEMA DI KELVIN-TERZAGHI



$$\begin{cases} s = s_e = s_v \\ F = F_e + F_v \end{cases}$$

$$F_e = K \cdot s$$

$$F_v = \eta \cdot \dot{s}$$

$$F = Ks + \eta \dot{s}$$

dove:

F_e rappresenta la forza sulla molla,

F_v quella sullo smorzatore,

s_e ed s_v le rispettive deformazioni

Parametri del modello:

Costante elastica, K

Viscosità, η

Applicazioni: interpretazione della teoria della consolidazione edometrica

Da Facciorusso

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici complessi

Integrando l'equazione $F = Ks + \eta \dot{s}$, nell'ipotesi che:

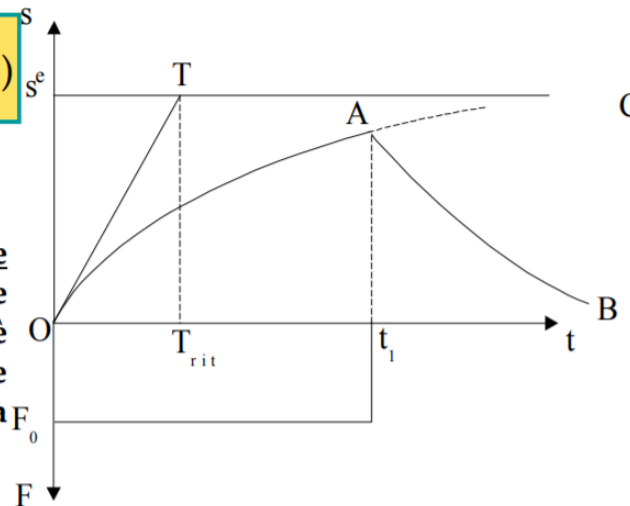
- $s(0) = 0$ (deformazione iniziale nulla)
- $F = F_0$ (sollecitazione applicata istantaneamente)

si ha:

$$s(t) = \frac{F_0}{K} \cdot \left(1 - e^{-\frac{tK}{\eta}}\right) = s^e \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{rit}}}\right)$$

dove $T_{rit} = \eta/K$ è detto **tempo di ritardo**

Lo spostamento (curva OAC) tende asintoticamente allo spostamento s^e che compete alla componente elastica, che è legato al tempo di ritardo e alla tangente dello spostamento nell'origine dalla relazione:

$$\dot{s}_{(t=0)} = \frac{s^e}{T_{rit}}$$


Se all'istante t_1 la forza viene rimossa, il ritorno nella posizione originaria è ritardato dalla presenza dello smorzatore (curva AB).

Da Facciorusso

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici complessi

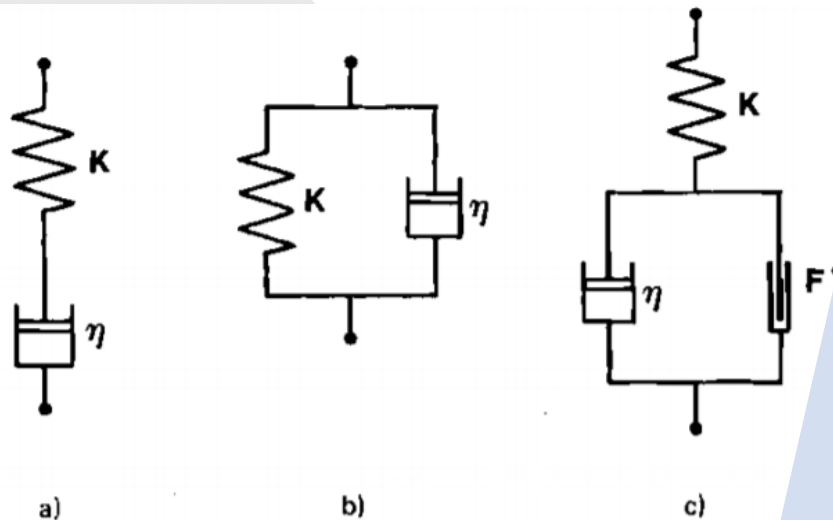


Fig. 6.5 — Modelli reologici complessi
(a) Corpo di Maxwell
(b) Corpo di Kelvin
(c) Corpo di Bingham.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

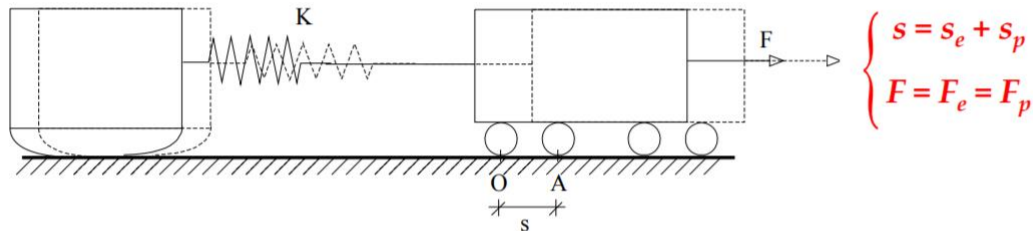
Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici complessi

MODELLO ELASTO-PLASTICO INCRUDENTE

È un **modello reologico complesso** ottenuto dalla combinazione in SERIE di un modello elastico e un modello plastico ad incrudimento positivo (**modello elasto-plastico incrudente**).

SCHEMA DEL MODELLO ELASTO-PLASTICO INCRUDENTE



Parametri del modello:

Costante elastica, K
 coefficiente di incrudimento, H

Applicazioni: compressibilità edometrica dei terreni OC

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Modelli reologici complessi

Aumentando la forza applicata F , lo spostamento sarà inizialmente pari a quello elastico della molla (tratto OA), raggiunto il valore di soglia, F^* (A), il pattino inizia a muoversi e l'incremento di spostamento causato da dF^* :

$$ds = ds_e + ds_p = \lambda dF^*$$

dove ds_e e ds_p sono gli spostamenti che competono rispettivamente alla molla e al pattino

Essendo:

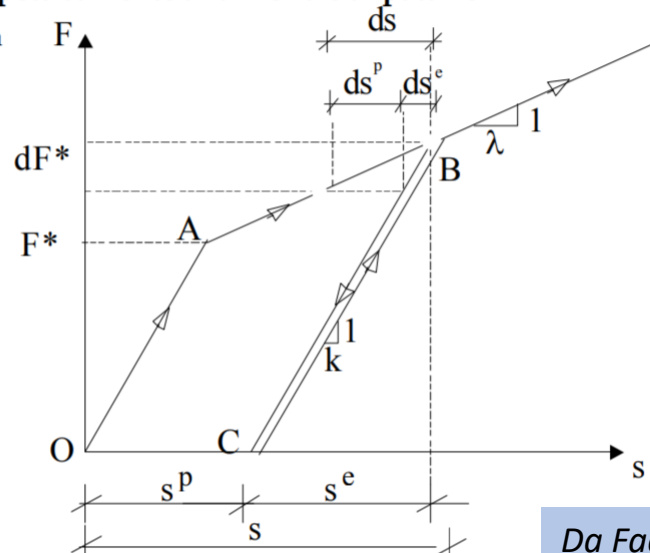
costante elastica

$$ds_e = k dF^* \quad \text{con } k = 1/K$$

$$ds_p = ds - ds_e = (\lambda - k) dF^*$$

$$H = \frac{dF^*}{ds_p} = \frac{1}{\lambda - k}$$

coefficiente di incrudimento



Da Facciorusso

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Criteri di rottura

Un criterio di rottura costituisce una definizione delle condizioni che determinano la rottura di un materiale . A seconda delle caratteristiche di quest'ultimo e cioè del materiale, tale definizione può essere data in termini di tensione oppure di deformazioni oppure in termini di energia accumulata.

Nel caso dei terreni, i criteri di rottura che hanno più credito sono quelli che fanno riferimento ad una situazione limite descritta in termini di tensioni. In particolare i criterio più in uso e quello che risale all'equazione data di Coulomb.

$$\tau_{ff} = c + \sigma_{ff} \cdot \operatorname{tg} \phi \quad \text{condizione di resistenza a rottura}$$

Che stabilisce che la resistenza al taglio disponibile su un piano in scorrimento è una funzione della tensione normale agente su tale piano e delle caratteristiche del materiale ($c;\phi$).

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Criteri di rottura

In termini di tensioni efficaci:

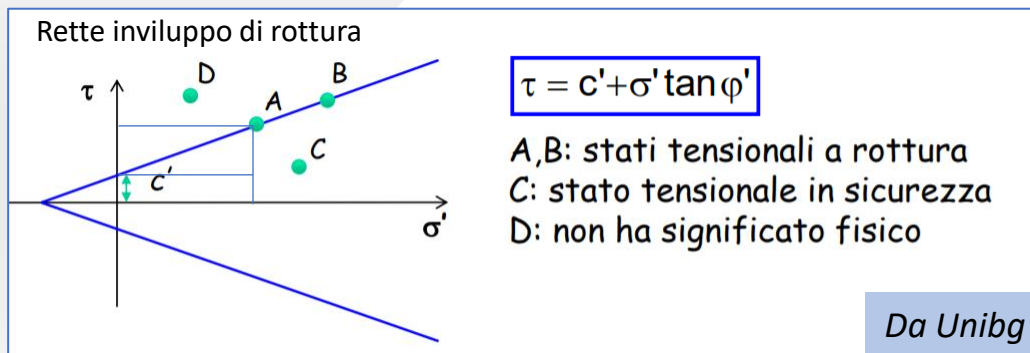
$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_{ff} - u) \cdot \tan \phi'$$

σ_{ff} : *tensione normale al piano di scorrimento considerato*

u : *pressione interstiziale*

c' : *coesione*

ϕ' : *angolo di resistenza a taglio*



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Criteri di rottura

CRITERIO DI ROTTURA (Coulomb, 1773)

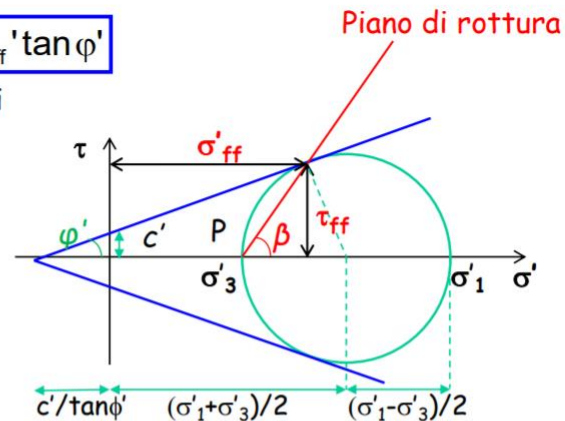
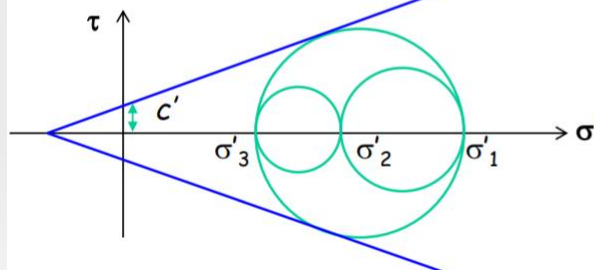
$$\tau_{ff} = c' + \sigma'_{ff} \tan \varphi'$$

Cerchio di Mohr a rottura in termini di tensioni principali:

$$\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \left(\frac{c'}{\tan \varphi'} + \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \right) \sin \varphi'$$

$$\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = c' \cos \varphi' + \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \sin \varphi'$$

$$\sigma'_3 = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \sigma'_1 - \frac{2c' \cos \varphi'}{1 + \sin \varphi'}$$



Il piano di rottura è individuato
 dalla retta passante per l'origine
 dei piani e per il punto di tangenza
 $\beta = 45 + \varphi'/2$

Il criterio di rottura non dipende
 dalla tensione principale
 intermedia

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Criteri di rottura

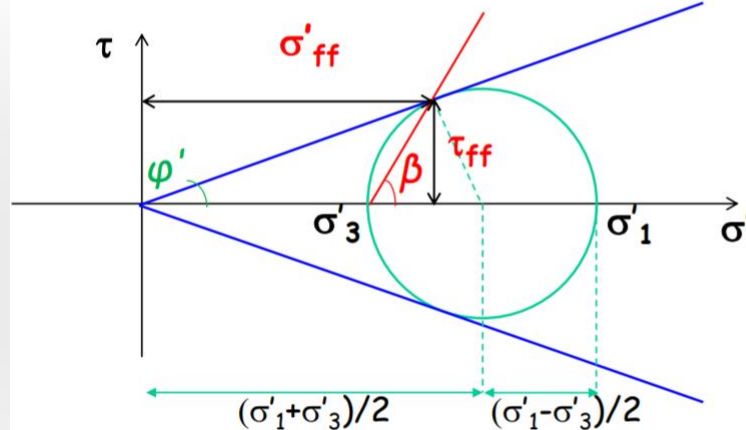
CRITERIO DI ROTTURA (Coulomb, 1773)

Nei terreni non cementati $c'=0$:

$$\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \sin \varphi'$$

$$\sigma'_1 = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \sigma'_3$$

$$\sigma'_3 = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \sigma'_1$$



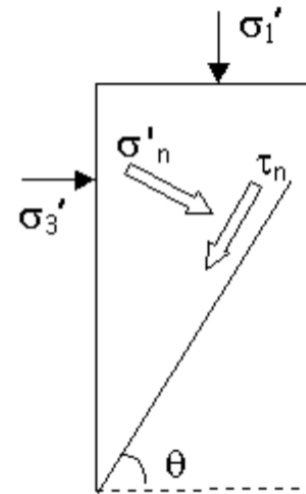
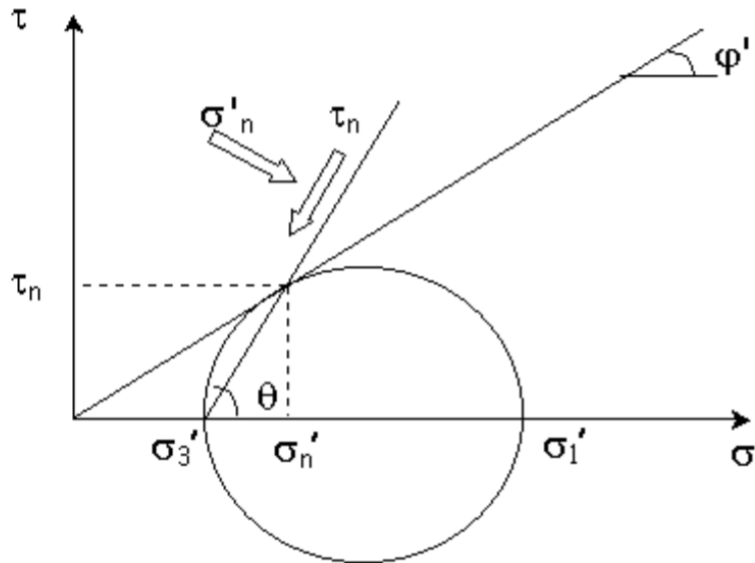
Da Unibg

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Criteri di rottura

CRITERIO DI ROTTURA (Coulomb, 1773)

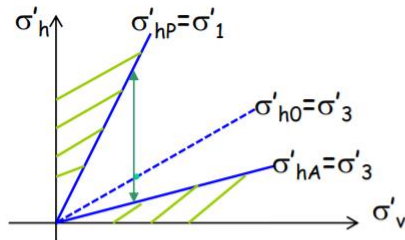


RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Criteri di rottura

CRITERIO DI ROTTURA (Coulomb, 1773)



$$\sigma'_1 = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \sigma'_3$$

In condizioni geostatiche $\sigma'_{h0} = k_0 \sigma'_v$
 con $k_0 < 1$ se la tensione principale maggiore è la tensione verticale
 e $k_0 > 1$ se la tensione principale maggiore è la tensione orizzontale
 In condizioni di rottura, se la tensione principale maggiore σ'_1 coincide con
 la tensione orizzontale ($\sigma'_1 = \sigma'_{h,P}$):

$$\sigma'_1 = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \sigma'_3 = k_\varphi \sigma'_3 \quad \rightarrow \quad \frac{\sigma'_{h,P}}{\sigma'_{v0}} = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} = k_P$$

se la tensione principale minore σ'_3 coincide con la tensione orizzontale ($\sigma'_3 = \sigma'_{h,A}$):

$$\sigma'_3 = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \sigma'_1 = \frac{1}{k_\varphi} \sigma'_1 \quad \rightarrow \quad \frac{\sigma'_{h,A}}{\sigma'_{v0}} = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} = k_A$$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Criteri di rottura

Involuppo di rottura nel piano $t - s'$:

$$t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$$

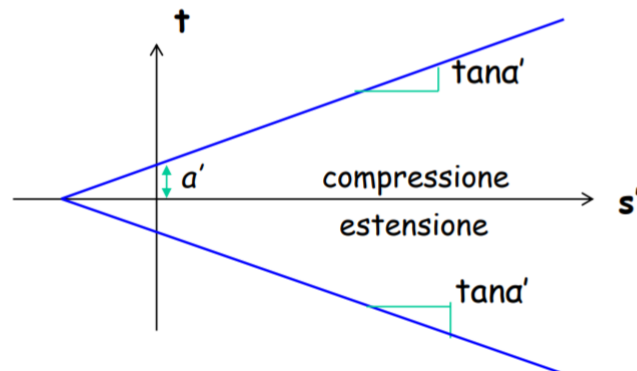
$$s' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$$

$$t = a' + s' \tan \alpha'$$

con: $a' = c' \cos \varphi'$ $\tan \alpha' = \sin \varphi'$

Per terreni non cementati ($c' = 0$):

$$t = s' \tan \alpha'$$



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

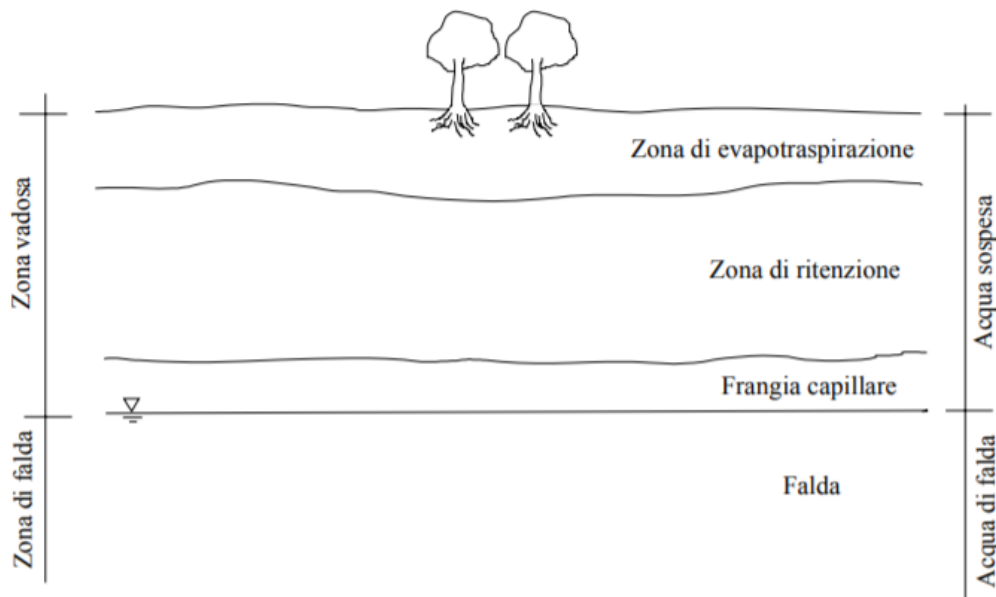
Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni



Strato di evapotraspirazione:

L'acqua di infiltrazione è parzialmente trattenuta ed in prevalenza assorbita dalle radici delle piante

Strato di ritenzione:

L'acqua di infiltrazione che resta aderente ai grani ed è praticamente immobile

Strato di frangia capillare:

Acqua capillare che per effetto della tensione superficiale resta appesa all'interno dei vuoti

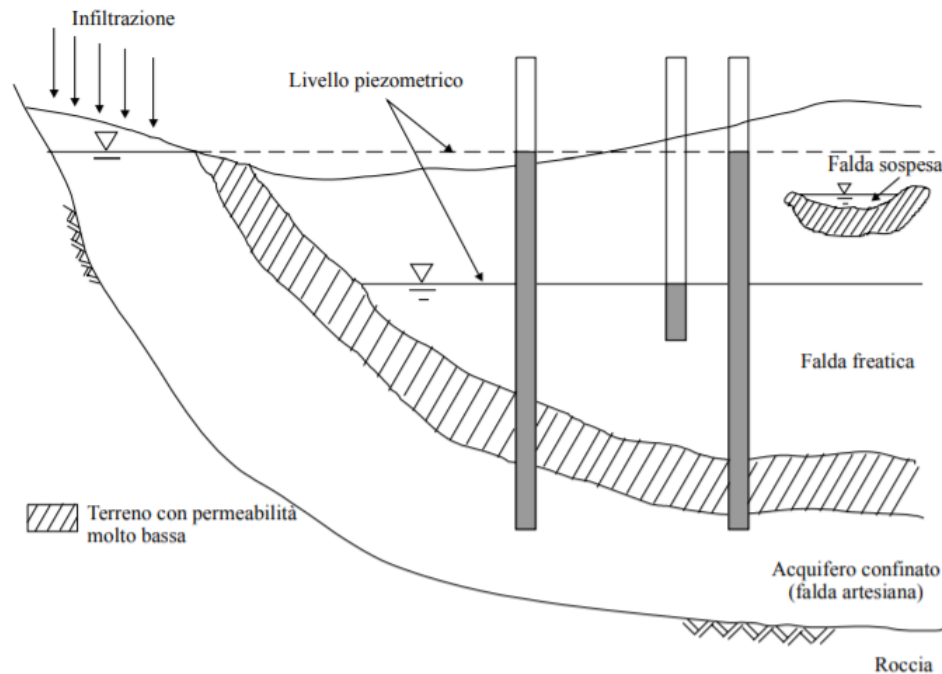
Zona di falda

Acqua capillare che per effetto della tensione superficiale resta appesa all'interno dei vuoti

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni



Falda freatica

Falda artesian

Falda sospesa

Flusso stazionario (costante nel tempo)

Flusso non stazionario o vario

Filtrazione in regime permanente

Filtrazione in regime vario

Terreno saturo: fenomeno di consolidazione
 fenomeno di rigonfiamento

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni

Coefficiente di permeabilità o conducibilità idraulica

$K [l/t] \rightarrow [m/sec] \text{ oppure } [cm/sec]$

Tabella 4.1. Valori tipici del coefficiente di permeabilità dei terreni

Sistema aperto
 Condizione drenata

Sistema chiuso
 Condizione non drenata

TIPO DI TERRENO	k (m/s)
Ghiaia pulita	$10^{-2} - 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} - 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} - 10^{-4}$
Limo e sabbia argillosa	$10^{-9} - 10^{-5}$
Limo	$10^{-8} - 10^{-6}$
Argilla omogenea sotto falda	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} - 10^{-4}$
Roccia non fessurata	$10^{-12} - 10^{-10}$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
Lancellotta R. «Geotecnica»
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
Lancellotta Calavera «Fondazioni»
Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni

Coefficiente di permeabilità o conducibilità idraulica

$K [l/t] \rightarrow [m/sec] \text{ oppure } [cm/sec]$

Il coefficiente di permeabilità ha le dimensioni di una velocità. Esso è legato alla resistenza viscosa e frizionale alla filtrazione di un fluido in un mezzo poroso e dipende dalle proprietà del fluido (densità e viscosità) e dalle caratteristiche del mezzo poroso (*permeabilità intrinseca*). Limitandoci a considerare come fluido interstiziale l'acqua, e poiché la

densità e la viscosità di un fluido sono legate principalmente alla temperatura, che nel terreno, salvo gli strati più superficiali o alcune situazioni particolari, varia abbastanza poco, si assume il coefficiente di permeabilità dipendente solo dalle caratteristiche del terreno.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

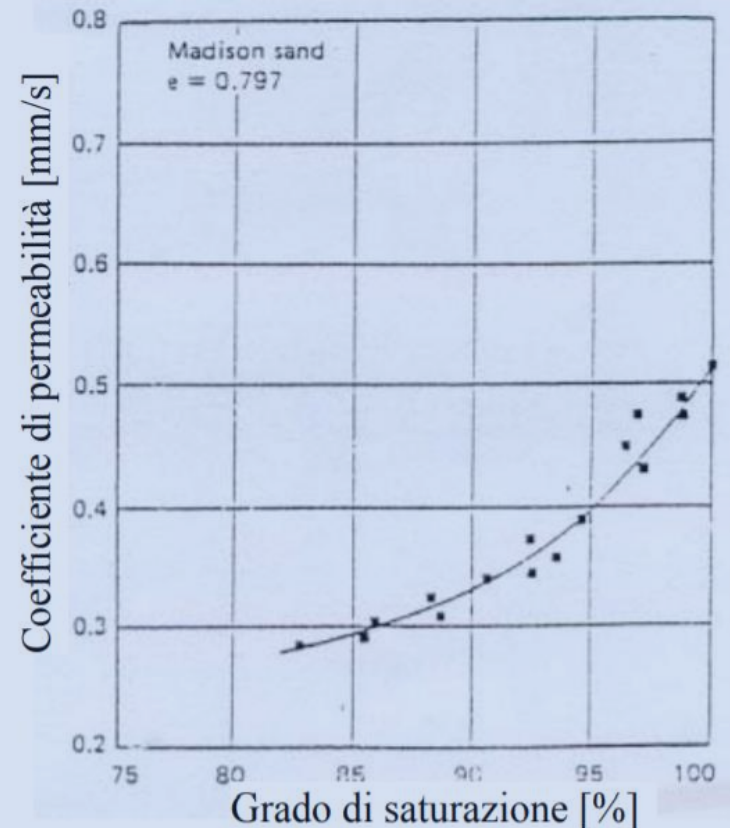
Idraulica dei terreni

La permeabilità per i terreno a grana fine dipende anche dalla composizione mineralogica e dalla struttura

Anche il gradi di saturazione influisce sulla permeabilità dei terreni

La permeabilità di un terreno dipende dalla struttura in sito e dal grado di fratturazione.

La permeabilità verticale è generalmente diversa (minore) rispetto alla permeabilità orizzontale in terreno stratificati



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni

I moti di filtrazione si verificano da un punto cui compete una certa quantità di energia ad un altro cui compete una quantità di energia inferiore.

Tale energia può essere espressa come somma dell'energia cinetica C e di quella potenziale P.

La prima è legata alla velocità del fluido;

La seconda dipende dalla posizione del punto associata al campo gravitazionale e dalla pressione del liquido nello stesso punto.

(la pressione non è di per sé una forma di energia ma è potenzialità di lavoro se la massa in pressione è a contatto con altri corpi).

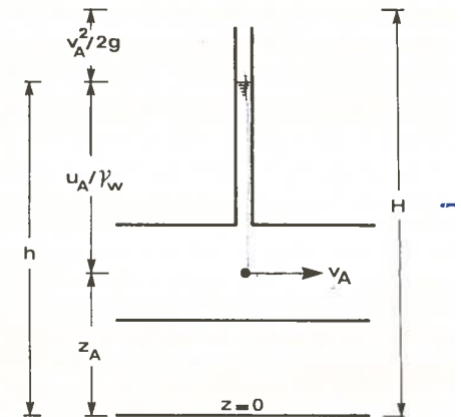
Equazione di Bernoulli

$$z_A + \frac{u_A}{\gamma_w} + \frac{v_A^2}{2g} = z_B + \frac{u_B}{\gamma_w} + \frac{v_B^2}{2g}$$

Altezza geometrica Z = distanza del punto considerato da una piano arbitrario di riferimento $Z=0$

Altezza di pressione = risalita dell'acqua per effetto della pressione u

Altezza di velocità = $\frac{v_A^2}{2g}$ quella dovuta alla velocità.



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni

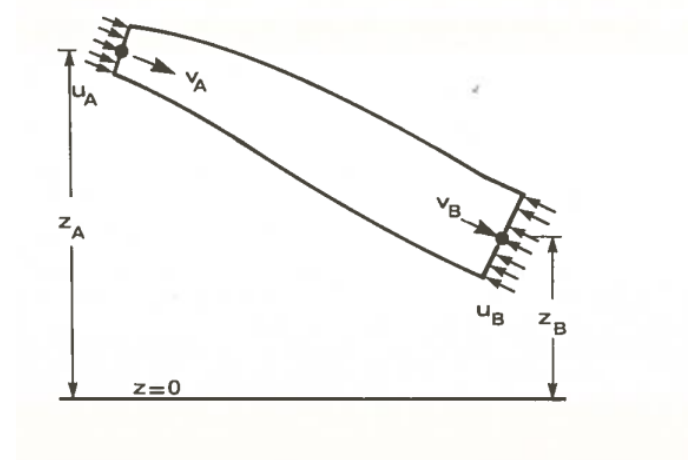
Nei terreni la velocità è molto piccola e può essere trascurata, per cui risulta:

Equazione di Bernoulli

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w}$$

Gradiente idraulico

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni



Numero di Raynolds

R: numero di Raynolds

v: velocità

d: diametro del tubo

ρ_w : densità dell'acqua

μ : coefficiente di viscosità

$$R = \frac{v \cdot d \cdot \rho_w}{\mu}$$

Il moto di un liquido reale può essere di tipo **laminare o turbolento** nel primo caso ogni particella segue un percorso che non interferisce con le traiettorie delle altre; al contrario avviene per il moto turbolento.

Il passaggio da un tipo all'altro di moto dipende dalla velocità e dalle dimensioni della corrente ed è individuato in idraulica con il numero di Reynolds

Legge di Darcy

Nel caso di flusso laminare la velocità di flusso attraverso un mezzo poroso può essere legata al gradiente idraulico attraverso la Legge di Darcy

$$v = K \cdot i$$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni

Gradiente idraulico critico

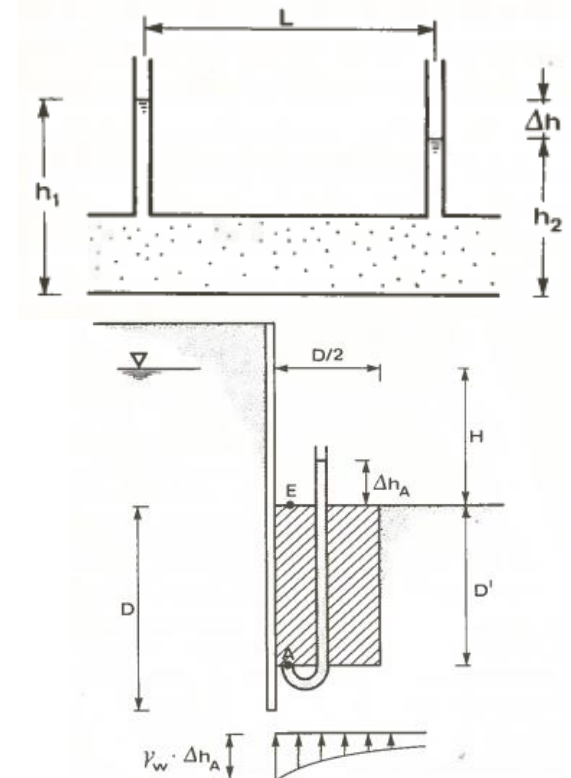
La forza di filtrazione quando è diretta verso l'alto può annullare il peso del terreno e se quest'ultimo è privo di coesione può essere trasportato dall'acqua in moto.

Tale fenomeno di erosione una volta instaurato è progressivo in quanto la formazione di vuoti continua fino a produrre il completo collasso della struttura.

Il problema è stato affrontato razionalmente per la prima volta da Terzaghi nel 1922.

In genere è possibile distinguere un fenomeno localizzato detto **sifonamento** che con riferimento alla figura 4.6 ha inizio nel punto E di sbocco della prima linea di flusso, da un fenomeno generale di **sollevamento del fondo** scavo.

La tensione verticale efficace data dalla relazione $\sigma_v' = z(\gamma' - i\gamma_w)$ si annulla quando il gradiente idraulico raggiunge il **valore critico** $i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni Gradiente idraulico critico

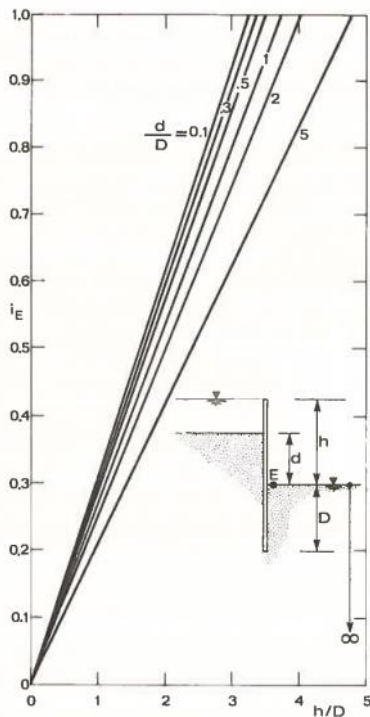


Figura 4.7 Gradienti di efflusso i_E nel caso di uno scavo in un mezzo di spessore infinito.

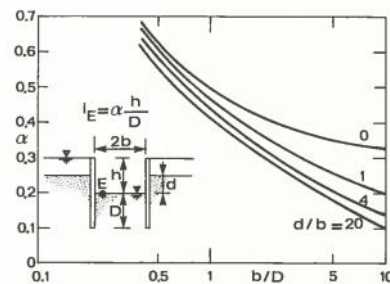


Figura 4.8 Gradiente di efflusso i_E nel caso di uno scavo nastriforme in un mezzo di spessore infinito.

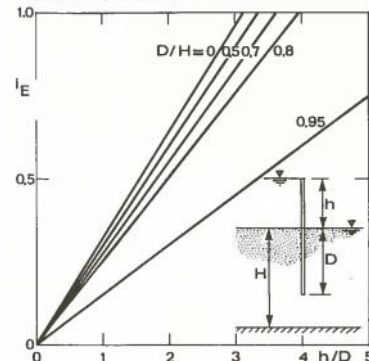


Figura 4.9 Gradiente di efflusso i_E nel caso di uno scavo in un mezzo di spessore limitato.

$$F_S = \frac{i_C}{i_E}$$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:
 Lancellotta R. «Geotecnica»
 Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE
 Lancellotta Calavera «Fondazioni»
 Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni Gradiente idraulico critico

Figura 4.10 Gradiente di flusso i_E nel caso di un noto di filtrazione al di sotto di una diga impermeabile.

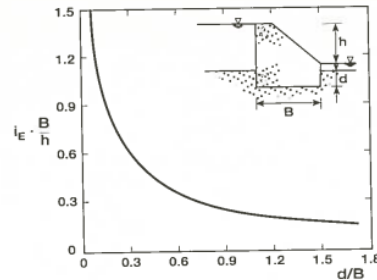
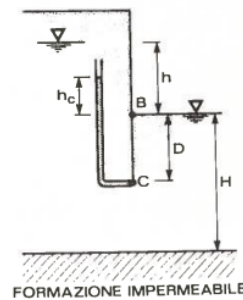
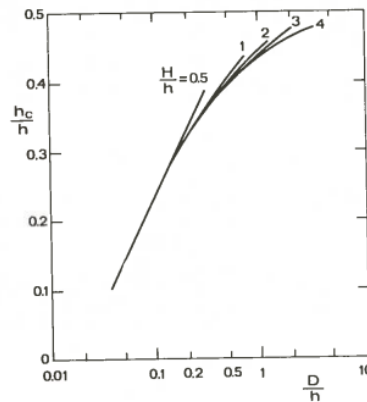


Figura 4.11 Quota piezometrica all'estremità inferiore di un diaframma infisso in un mezzo di spessore finito (Viggiani, 1982).



$$F_s = \frac{i_c}{i_E}$$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Bibliografie di riferimento:

Lancellotta R. «Geotecnica»

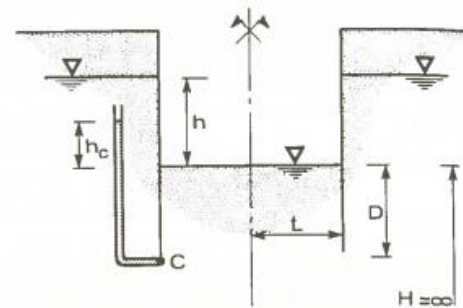
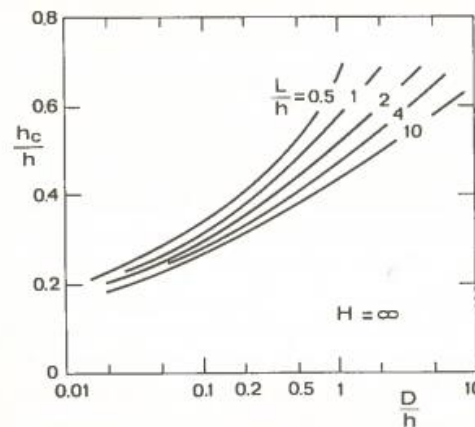
Appunti Geotecnica Fioravante UNIFE

Lancellotta Calavera «Fondazioni»

Lezioni di geotecnica UNIFI

Idraulica dei terreni Gradiente idraulico critico

figura 4.12 Quota piezometrica all'estremità inferiore di diaframmi infissi in un mezzo di spessore finito (Viggiani, 1982).



$$F_S = \frac{i_C}{i_E}$$