

Lezione n.5

SOMMARIO RELATIVO ALLE TRE LEZIONI GIA' TENUTE

Lection n.01

1. Presentazione del corso: lezioni, esami, progetto
2. Parti del corso: Teoria e tecnica delle Fondazioni ed Opere in terra
3. Prima Parte: teoria e Tecnica delle Fondazioni
 - Definizioni e tipologie delle fondazioni
 - Requisiti generali della progettazione e criteri di ottenimento e normativa

Lection n.02

1. Richiami di meccanica dei terreni
 - Formazione dei depositi: geologia
 - Struttura del terreno – fasi
 - Caratteristiche geometriche e meccaniche delle particelle solide
 - Terre a grana grossa – terre a grana fine –argille
 - Relazione tra le fasi e densità relativa

Lection n.03

1. Identificazione e classificazione dei terreni
2. Limiti ed indici di consistenza
3. Sistemi di classificazione dei terreni
4. L'acqua nel terreno – saturazione – parziale saturazione-capillarità - suzione

Lezione n.4

SOMMARIO RELATIVO ALLE TRE LEZIONI GIA' TENUTE

Bibliografia di approfondimento per gli argomenti trattati

- Dispense di geotecnica del prof. Vincenzo Fioravante (Unife)
- Lancellotta R. (2004) «Geotecnica» - Ed. Zanichelli
- Berardi R. (2009) «Fondamenti di Geotecnica» – Ed Città Studi
- Colombo P., Colleselli F. (1996) «Elementi di geotecnica»– Ed. Zanichelli

Lezione n.4

SOMMARIO RELATIVO ALLE TRE LEZIONI GIA' TENUTE

Esercizi di approfondimento delle tematiche affrontate

Esercizio n. 1 (*tratto da Colombo-Colleselli*)

Si consideri un recipiente di volume $V=1,0\text{m}^3$

Si riempia il recipiente con sabbia bagnata di peso specifico $G_s = 2,65[-]$

Il peso umido netto della sabbia $P_w = 18,63 \text{ kN}$.

Il peso secco netto $P_s = 16,57 \text{ kN}$

Determinare:

1. Il contenuto d'acqua
2. Il peso di volume secco
3. La porosità
4. Il grado di saturazione
5. Il peso di volume saturo

Lezione n.4

SOMMARIO RELATIVO ALLE TRE LEZIONI GIA' TENUTE

Esercizi di approfondimento delle tematiche affrontate

Esercizio n. 2

Di un campione di terreno, parzialmente saturo, si conoscono il peso P ed il suo volume V .

Il campione è stato essiccato in forno a 105° e ne è stato determinato il peso secco P_s .

Il peso dell'unità di volume dei grani è: $\gamma_s = 2,68 \text{ t/m}^3$

Siano $P=40 \text{ kg}$

$P_s = 35 \text{ kg}$

$V= 0,0228 \text{ m}^3$

Determinare:

1. Il peso di volume
2. Indice dei vuoti
3. porosità
4. Il grado di saturazione
5. Il contenuto d'acqua del terreno

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

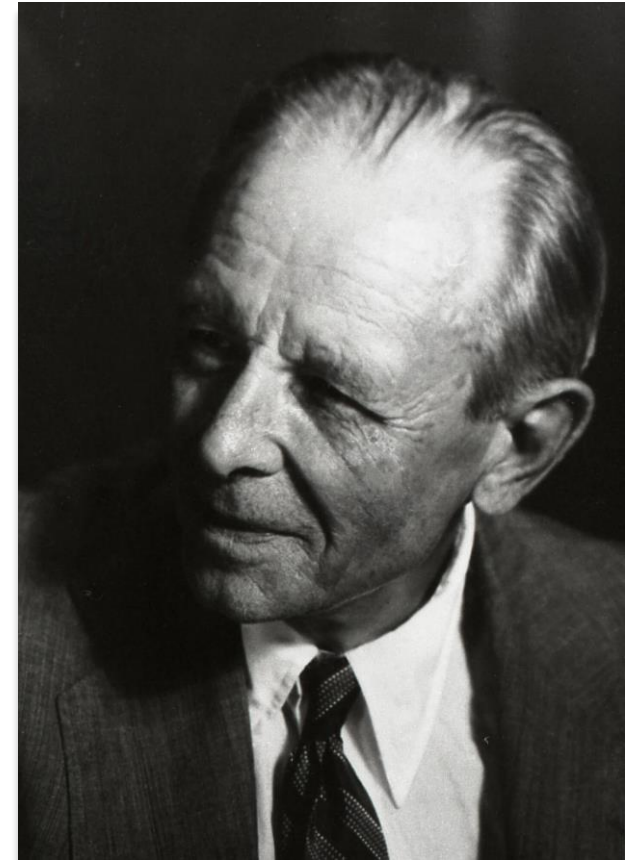
PRINCIPIO DELLE TENSIONI EFFICACI

(Karl Terzaghi 1923)

Lo stato di tensione in un punto può essere definito tramite la conoscenza delle tre tensioni principali totali σ_1 , σ_2 , σ_3 . Se lo spazio intergranulare è riempito di acqua avente pressione «u», le pressioni totali possono scomporsi in due parti:

Una di esse, chiamata «pressione neutra u» agisce sull'acqua e sui grani in ogni direzione con uguale intensità.

*La differenza $\sigma'_1 = \sigma_1 - u$, $\sigma'_2 = \sigma_2 - u$, $\sigma'_3 = \sigma_3 - u$ rappresentano le tensioni in eccesso rispetto alla pressione neutra u, che hanno sede nella fase solida. Queste frazioni delle tensioni totali sono definite **tensioni efficaci***



L'enunciato è tratto dall'intervento di Terzaghi nel 1936 al Congresso Internazionale di Meccanica delle terre
Terzaghi limita la validità del suo enunciato agli effetti misurabili (tensioni totali; pressione interstiziali)

E' una relazione di carattere empirico che fino ad ora ha mantenuto nei fatti e nelle evidenze da propria validità.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Pressione interstiziale e tensioni efficaci

Il comportamento meccanico di un mezzo poroso saturo è retto dal cosiddetto

principio delle tensioni efficaci

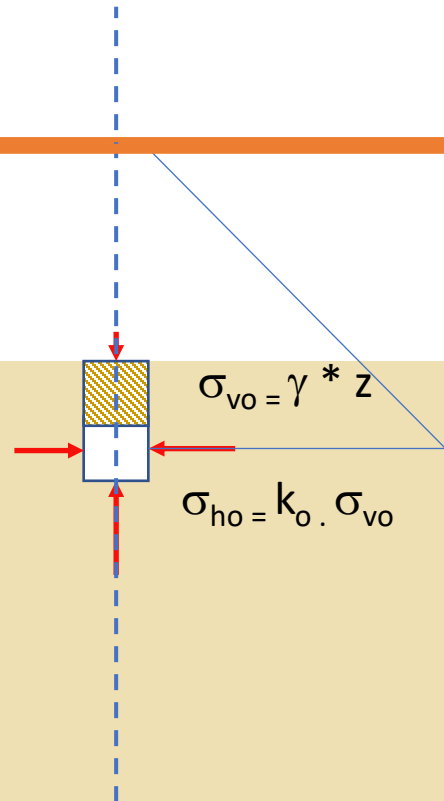
Relazione empirica (*deriva dall'esperienza diretta*) enunciata da **Terzaghi** nel 1924

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u$$

Detta tensione effettiva la differenza tra la tensione normale totale agente sul complesso scheletro solido acqua e la pressione dell'acqua pressioni interstiziali o pressione neutra le deformazioni del terreno e la sua resistenza a rottura dipendono solo ed esclusivamente dalla tensione effettiva.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

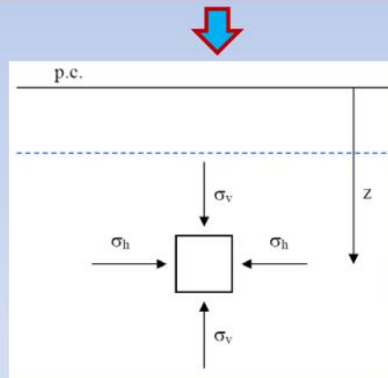


RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

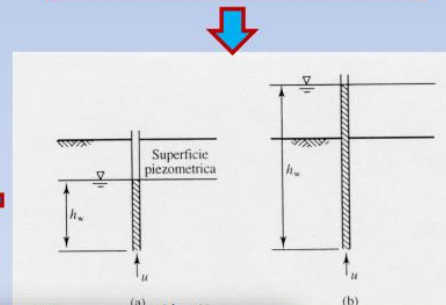
Tensioni geostatiche e storia tensionale

Corrispondono alle tensioni dovute solamente al **peso proprio del terreno** sovrastante l'elemento considerato

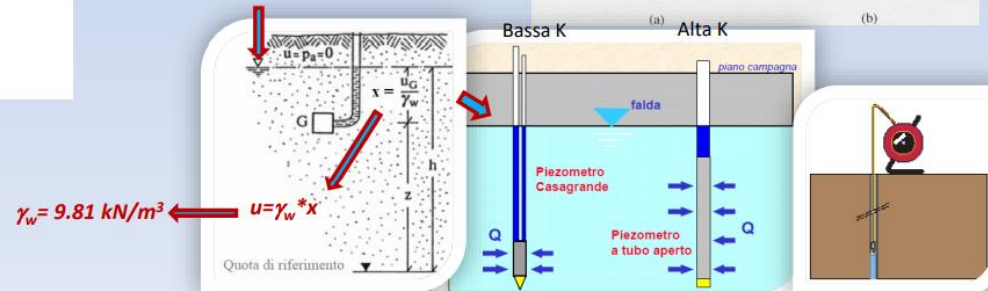
TENSIONE VERTICALE TOTALE



PRESSIONI INTERSTIZIALI



Come le determino?



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

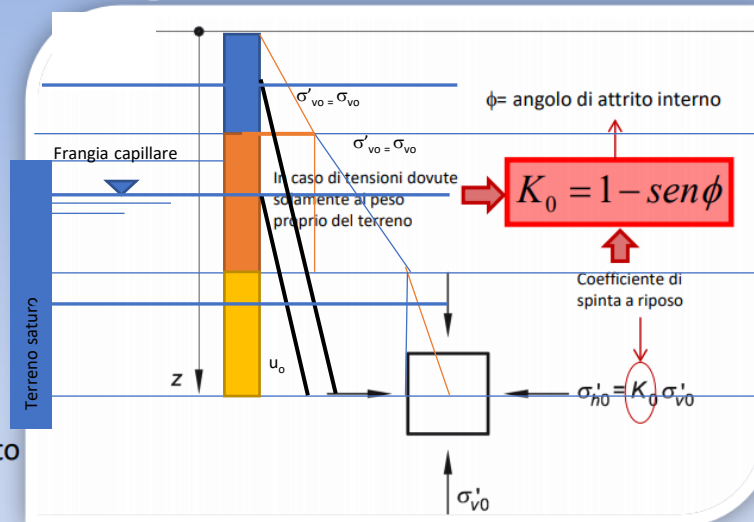
Tensioni geostatiche e storia tensionale

Tensioni geostatiche

$$\begin{aligned}
 \sigma_{v0} &= \gamma \cdot Z \\
 u_0 &= \gamma_w \cdot Z \\
 \sigma'_{v0} &= \sigma_{v0} - u_0 \\
 \sigma'_{h0} &= K_0 \cdot \sigma'_{v0} \\
 \sigma_{h0} &= \sigma'_{h0} + u_0
 \end{aligned}$$

Nel caso di un terreno stratificato

$$\sigma_{v0} = \sum \gamma_i \cdot \Delta z_i$$



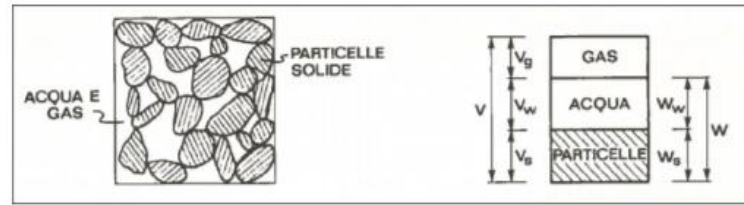
L'entità delle tensioni geostatiche è legata a:

- geometria del deposito
- condizioni di falda
- natura del terreno (granulometria e mineralogia, stato di addensamento o di consistenza, omogeneità, isotropia)

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

$$\sigma' = \sigma - u$$



Le tensioni in un punto di un generico elemento possono essere determinate avendo la conoscenza delle tensioni principali

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

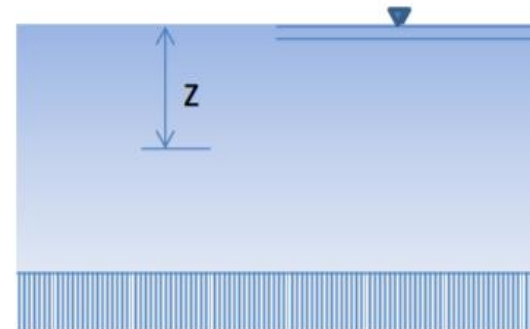
Se lo spazio intergranulare è riempito di acqua avente pressione «u» allora le tensioni principali totali possono scomporsi in due parti:

Pressione neutra «u» che agisce sui grani e sull'acqua in tutte le direzioni con eguale intensità

Tensione efficace « σ' » aliquota in eccedenza alla «u» che ha sede nella fase solida.

$$\begin{aligned} \sigma_{vo} &= (1 - n) \cdot \gamma_s \cdot z + n \cdot \gamma_w \cdot z \\ u_o &= \gamma_w \cdot z \end{aligned} \quad \text{Terreno saturo}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{vo} &= (1 - n) \cdot \gamma_s \cdot z + n \cdot \gamma_w \cdot z - \gamma_w \cdot z = (1 - n) (\gamma_s - \gamma_w) \cdot z \\ \gamma' &= (\gamma_s - \gamma_w)(1 - n) = \gamma - \gamma_w \\ \sigma'_{vo} &= \gamma' \cdot z \end{aligned}$$



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

Lo stato tensionale agente in un punto del terreno dipende dal:

- Peso proprio del terreno
- Condizioni di falda
- Carichi esterni agenti

Le tensioni geostatiche e la loro conoscenza rappresentano aspetti fondamentali nella analisi e studio geotecnico di un terreno.

Un caso semplice e frequente è quello del deposito con piano di campagna orizzontale e trascurabili variazioni della natura del terreno in direzione orizzontale:

- Ogni sezione può essere considerata di simmetria;
- Le tensioni verticale σ_{vo} ed orizzontale σ_{ho} sono tensioni principali
- La tensione verticale totale alla generica profondità z è semplicemente data, nel caso di terreno omogeneo con peso di volume γ dalla relazione: $\sigma_{vo} = \gamma \cdot z$

Nel caso di terreno stratificato:

$$\sigma_{vo} = \sum \gamma_i \cdot \Delta z_i$$

La tensione verticale efficace si calcola: $\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u_o$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

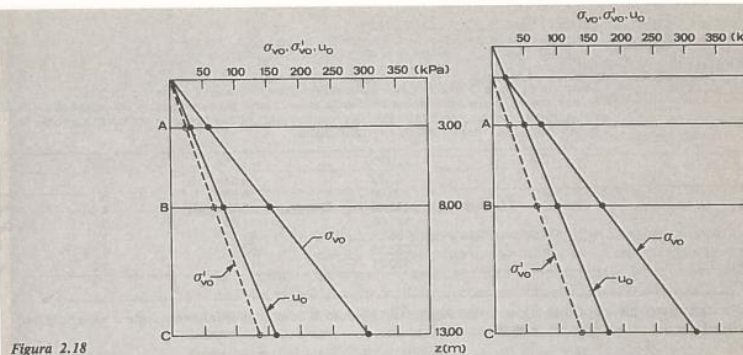


Figura 2.18

Se si ha un innalzamento della falda di 2 m al di sopra del piano campagna, va notato che la tensione totale subisce un incremento pari a quello della pressione neutra, in quanto la definizione essa è data dal peso di tutte le fasi che costituiscono gli strati sovrastanti il punto considerato. Pertanto si ha:

A:	$\sigma_{vo} = 77.07$;	$u_o = 49.05$;	$\sigma'_{vo} = 28.02$	(kPa)
B:	$\sigma_{vo} = 170.27$;	$u_o = 98.10$;	$\sigma'_{vo} = 72.17$	(kPa)
C:	$\sigma_{vo} = 323.31$;	$u_o = 176.58$;	$\sigma'_{vo} = 146.73$	(kPa)

Confrontando questi risultati con quelli ottenuti nell'esempio precedente, va notato che l'innalzamento della falda comporta una riduzione delle tensioni efficaci finché non è raggiunto il piano campagna. Ulteriori innalzamenti della falda al di sopra del piano campagna modificano lo stato tensionale efficace.

Se invece si ha un fenomeno di abbassamento di falda, è possibile verificare in modo tutto analogo che si ha un incremento delle tensioni efficaci.

ESEMPIO 2.4 In figura 2.19 è schematizzata una sezione creata in seguito a un processo di erosione. Si vuole determinare l'andamento della σ'_o , della σ'_{vo} e di OCR con la profondità.

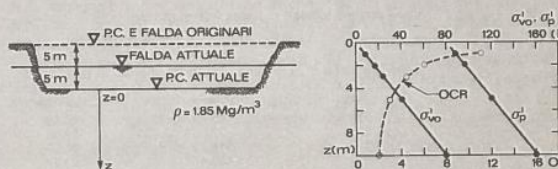


Figura 2.19

Soluzione: Con il piano campagna e la falda nella posizione originaria, le tensioni efficaci sono date da:

$$\sigma'_{vo} = \gamma \cdot (z + 10) - \gamma_w \cdot (z + 10)$$

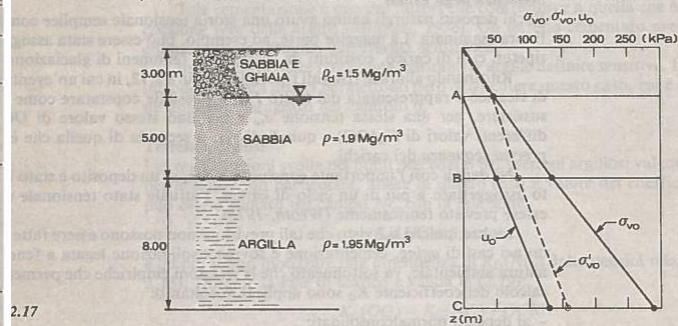
Questi valori rappresentano anche le massime tensioni sopportate durante la storia depositiva e perciò si ha:

$$\sigma'_p = \gamma' \cdot (z + 10)$$

Attualmente invece risulta:

$$\sigma'_{vo} = \gamma' \cdot z$$

ESEMPIO 2.2 Con riferimento alla stratigrafia illustrata in figura 2.17, determinare l'andamento con la profondità della tensione verticale totale, efficace e della pressione neutra.



2.17

Soluzione: Nel punto A, le tensioni totali ed efficaci coincidono, essendo nulla la pressione dell'acqua e valgono:

$$\sigma_{vo} = \sigma'_{vo} = \gamma_d \cdot z = 1.5 \cdot 9.81 \cdot 3 = 44.15 \text{ kPa}$$

Nel punto B invece si ha:

$$\sigma_{vo} = \Sigma \gamma_i \cdot \Delta z_i = 14.72 \cdot 3 + 18.64 \cdot 5 = 137.36 \text{ kPa}$$

$$u_o = \gamma_w \cdot z_w = 1 \cdot 9.81 \cdot 5 = 49.05 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u_o = 137.36 - 49.05 = 88.31 \text{ kPa}$$

Analogamente, in C si ottiene:

$$\sigma_{vo} = 290.39 \text{ kPa}; \quad u_o = 127.53 \text{ kPa}; \quad \sigma'_{vo} = 162.86 \text{ kPa}$$

ESEMPIO 2.3 Con riferimento alla stratigrafia illustrata nell'esempio precedente (fig. 2.17), determinare l'effetto di un innalzamento della falda di 3 e 5 m.

Soluzione: Nel caso in cui la falda venga a coincidere con il piano campagna, le tensioni totali, neutre ed efficaci nei punti A, B e C (fig. 2.18) risultano:

A:	$\sigma_{vo} = 57.45$;	$u_o = 29.43$;	$\sigma'_{vo} = 28.02$	(kPa)
B:	$\sigma_{vo} = 150.65$;	$u_o = 78.48$;	$\sigma'_{vo} = 72.17$	(kPa)
C:	$\sigma_{vo} = 303.69$;	$u_o = 156.96$;	$\sigma'_{vo} = 146.73$	(kPa)

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

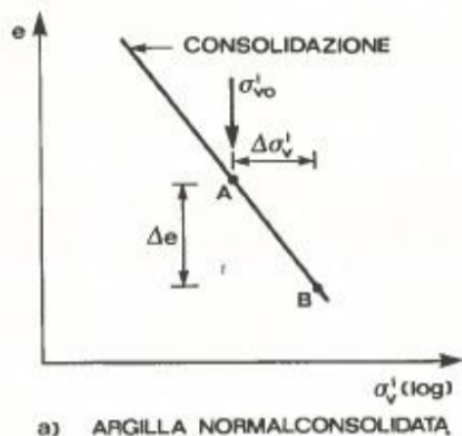
Tensioni geostatiche e storia tensionale

La determinazione della tensione orizzontale σ'_{ho} rappresenta un problema per la geotecnica, a differenza della determinazione di σ'_{vo}
Il valore attuale di σ'_{ho} dipende dalla storia tensionale del deposito

Si definisce **coefficiente di spinta a riposo k_0** il rapporto tra la tensione orizzontale efficace e la tensione verticale efficace

$$k_0 = \sigma'_{ho} / \sigma'_{vo}$$

- Struttura del terreno
 - Comportamento del terreno
 - Stato tensionale geostatico
- ⇒ sono il risultato della storia tensionale del deposito



Nelle condizioni di normal consolidazione il terreno che costituisce il deposito si è consolidato sotto il proprio peso.
 Qualunque carico venga introdotto determina vistose deformazioni

In queste condizioni il valore di k_0 dipende solo dalla natura del terreno e può essere stimato mediante la formula di Jaky (1944):

$$k_0 \text{ (NC)} = \left(1 + \frac{2}{3} \sin \phi' \right) \cdot \left(\frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} \right);$$

In forma semplificata:

$$k_0 \text{ (NC)} \cong 1 - \sin \phi';$$

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

La determinazione della tensione orizzontale σ'_{ho} rappresenta un problema per la geotecnica, a differenza della determinazione di σ'_{vo}
Il valore attuale di σ'_{ho} dipende dalla storia tensionale del deposito

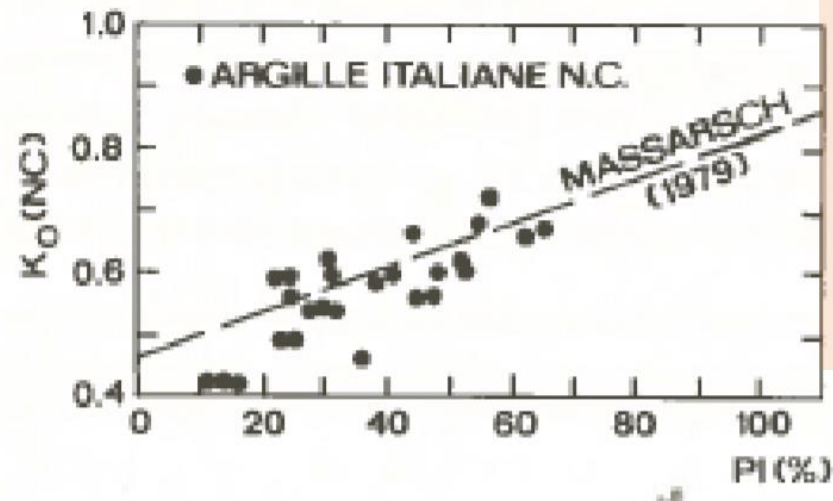
Si definisce **coefficiente di spinta a riposo k_0** il rapporto tra la tensione orizzontale efficace e la tensione verticale efficace
 $k_0 = \sigma'_{ho} / \sigma'_{vo}$

- Struttura del terreno
- Comportamento del terreno
- Stato tensionale geostatico



sono il risultato della storia tensionale del deposito

Un'altra relazione per la stima di k_0 è stata proposta da Massarsch (1979)



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

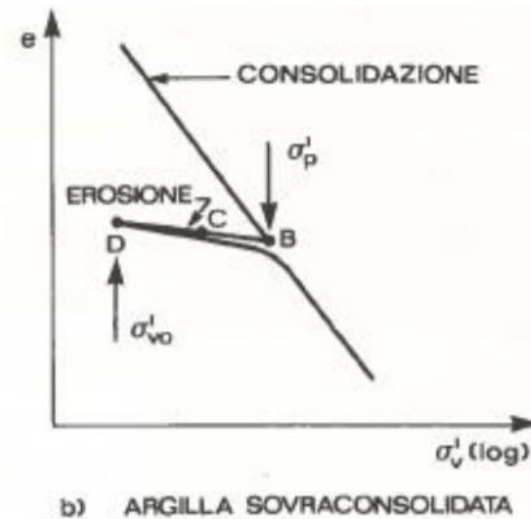
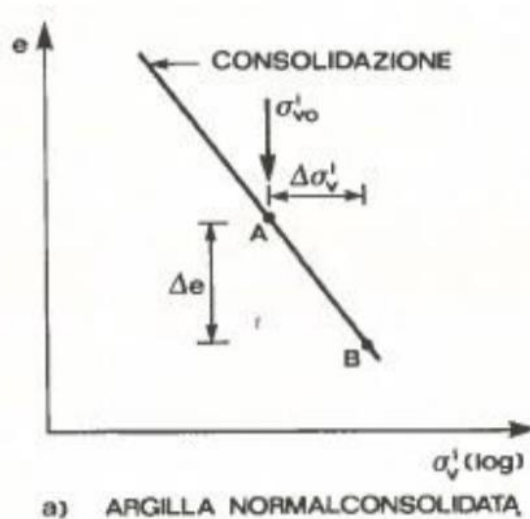
Si definisce **coefficiente di spinta a riposo** k_0 il rapporto tra la tensione orizzontale efficace e la tensione verticale efficace

$$k_0 = \sigma'_{ho} / \sigma'_{vo}$$

- Struttura del terreno
- Comportamento del terreno
- Stato tensionale geostatico



sono il risultato della storia tensionale del deposito

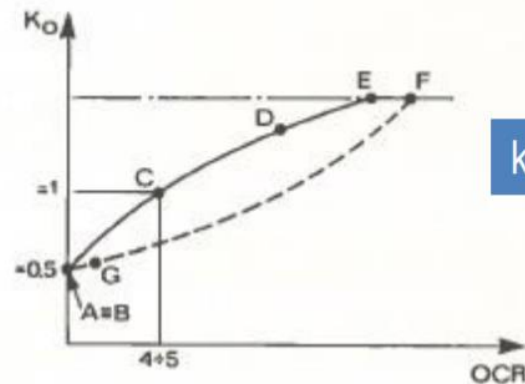
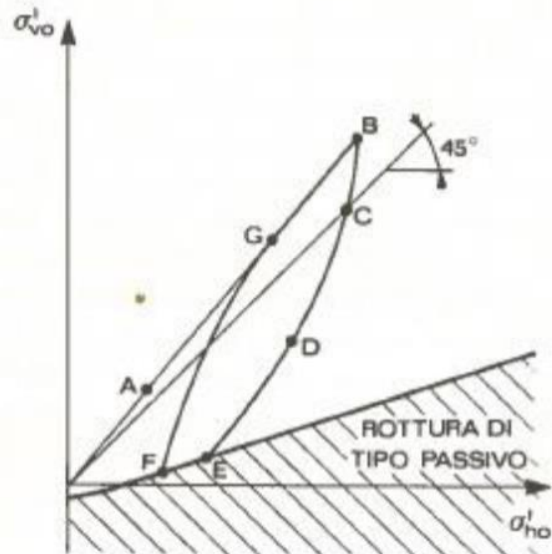


RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

Molti depositi dopo la fase di sedimentazione e consolidazione sotto la pressione σ'_v (B) hanno subito erosioni con scarico tensionale fino a valori σ'_v (C) o σ'_v (D).

I depositi che hanno subito vicende di questo tipo si presentano con sovraconsolidati
SOVRACONSOLIDAZIONE MECCANICA



$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}}$$

$$k_o(OC) = k_o(NC) \cdot OCR^\alpha$$

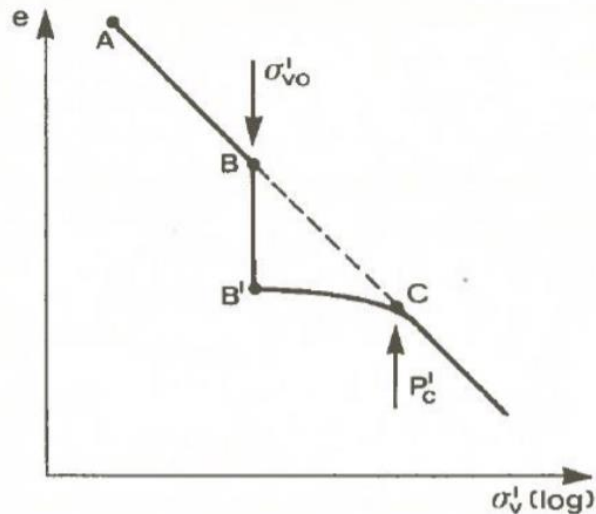
$$\alpha = 0,46 \pm 0,06$$

(Jamiołkowski, 1979)

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

I depositi subiscono l'effetto aging
 SOVRACONSOLIDAZIONE PER AGING



Il fenomeno di aging (invecchiamento) comporta una stabile configurazione delle particelle solide con corrispondente maggiore resistenza e minore compressibilità.

P'_c pressione critica o di quasi sovraconsolidazione (Bjerrum, 1967)

In un deposito omogeneo il rapporto p'_c/σ'_{vo} è costante

Poiché l'entità della preconsolidazione cresce all'aumentare della compressione subita nel tempo, e quest'ultima è proporzionale alla plasticità dell'argilla, il rapporto aumenta all'aumentare della plasticità fino ad un valore massimo di 2

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

FATTORI CHIMICO AMBIENTALI

La cementazione dei terreni è un tipico fattore chimico che determina una forte modifica della struttura del terreno e delle sue caratteristiche meccaniche.

Gli agenti cementanti possono essere diversi: l'agente naturale che si deposita con l'argilla è il carbonato di calcio che deriva dai microfossili che realizzano un leggero film attorno alle particelle creando punti di contatto in grado di sopportare anche azioni di trazione.

La cementazione è definita come COESIONE VERA delle argille (Mitchell, 1976)

Un terreno cementato ha un comportamento fragile, con elevata sensibilità.

RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

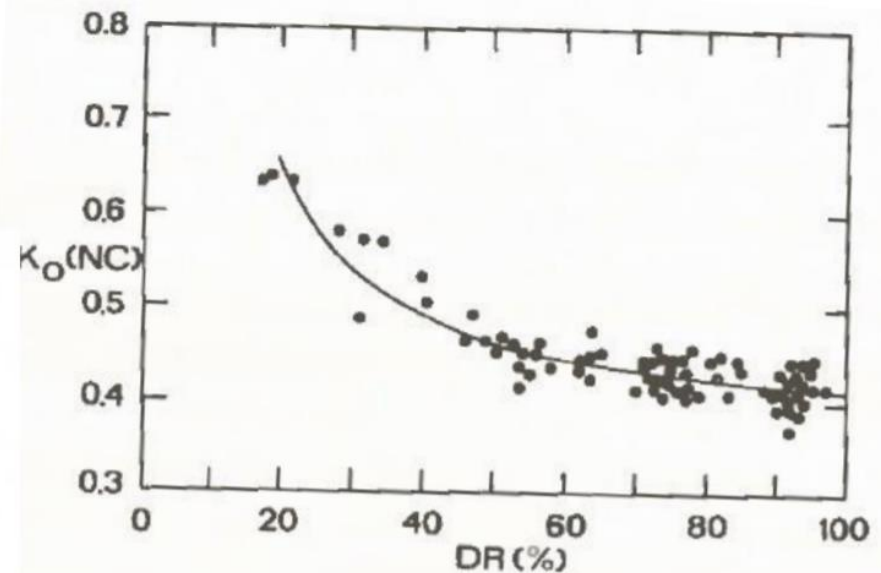
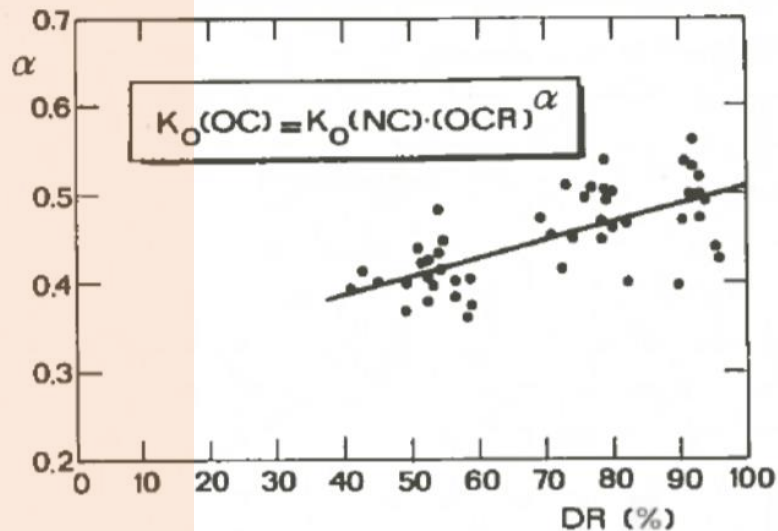
Tensioni geostatiche e storia tensionale

Per i terreni sabbiosi, terre a grana grossa, valgono le stesse considerazioni: in particolare

$$:k_o (NC) \cong 1 - \sin \phi';$$

Durante la fase di scarico:

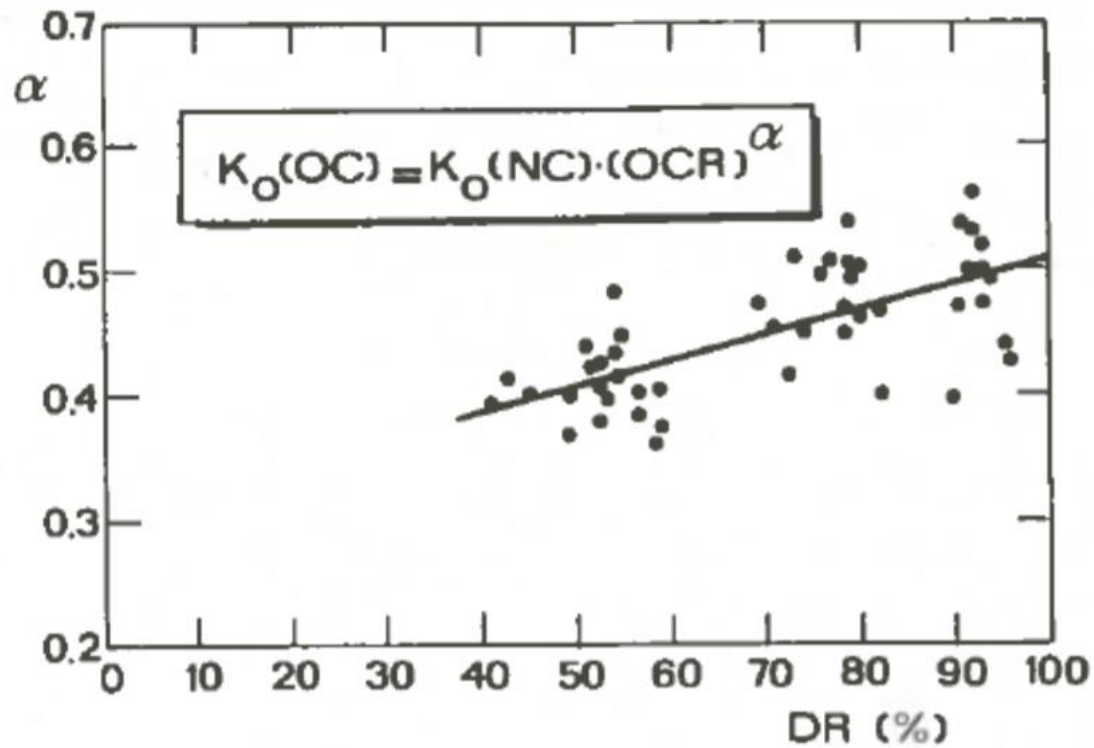
$$k_o (OC) = k_o (NC) \cdot OCR^\alpha$$



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

TERRENI SABBIOSI



RICHIAMI DI MECCANICA DEI TERRENI

Tensioni geostatiche e storia tensionale

Pochi depositi naturali hanno avuto una storia tensionale semplice.

La maggior parte ha subito azioni diverse e complesse.

Ne deriva che, sulla base delle considerazioni fatte, le relazioni empiriche che permettono un calcolo del coefficiente k_0 sono applicabili soltanto:

Ai depositi naturali normalconsolidati
 Ai depositi che hanno subito una sovraconsolidazione di tipo meccanico (erosione, variazione del livello di falda, rimozione di carichi esterni) solo nella fase di scarico

In tutti gli altri casi la pressione orizzontale può essere ricavata solo da misure direttamente eseguite insito

- Celle di pressione
- Fratturazione Idraulica
- Pressiometro autoporforante

