



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 910

DATA: 12/03/2014

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Zito

MATERIA: Meccanica delle Terre I°

Prof. Castelli

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.**

*POLITECNICO di TORINO*  
*D.I.S.E.G.*



*Dipartimento di Ingegneria Strutturale*

*Edile e Geotecnica*

*Facoltà di Ingegneria EDILE*

*Anno Accademico 2012 - 2013*

*APPUNTI di MECCANICA delle TERRE*

*Docente : Prof.ssa Ing. Marta Castelli*



*A cura di Alessandro Zito*

APPUNTI

PUBBLICAZIONE MARZO 2014

*Alla mia famiglia stupenda,  
per i loro continui sacrifici...*

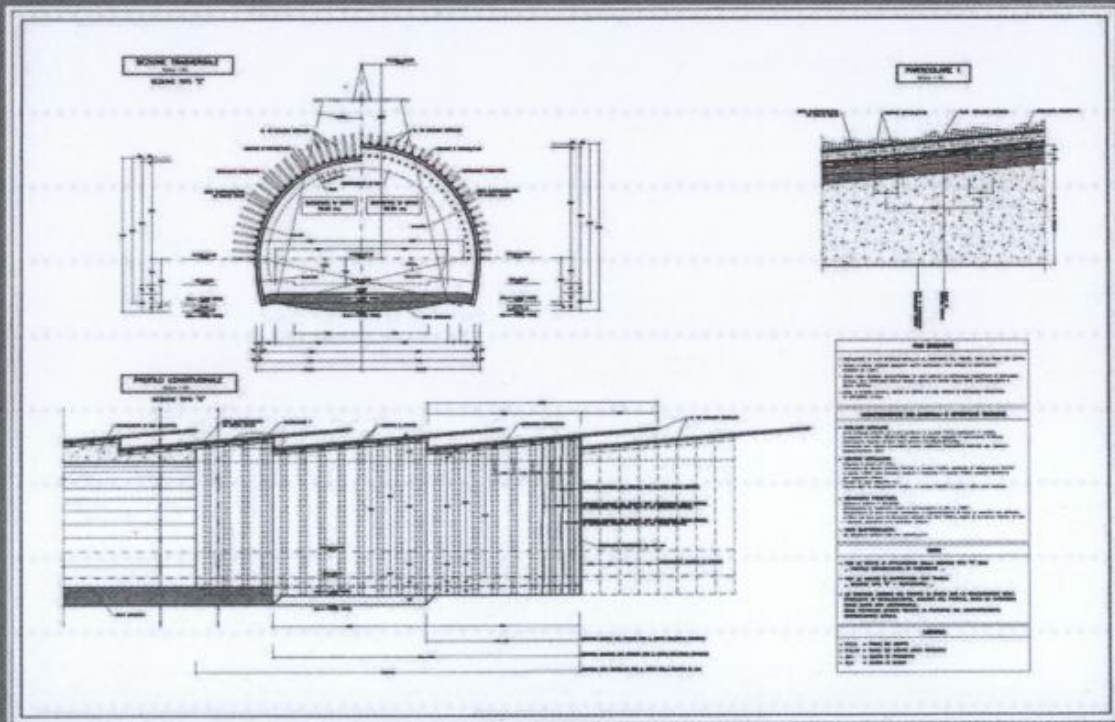
*Alessandro*

# MdT

## CAPITOLO

# 1

### Introduzione alla MECCANICA delle TERRE



Studente : Alessandro ZITO

CAPITOLO 1 - Introduzione alla MECCANICA delle TERRE

# MECCANICA delle TERRE

→ si occupa di studiare il **COMPORTAMENTO MECCANICO** dei **TERRENI** sottoposti a **SOLLECITAZIONI (NATURALI o ANTROPICHE)** e la loro **INTERAZIONE** con le **STRUTTURE** di **INGEGNERIA CIVILE**.

## → + MECCANICA delle ROCCE

Insieme costituiscono la **DISCIPLINA di BASE** della

# INGEGNERIA GEOTECNICA

è il **RAMO** dell'**INGEGNERIA CIVILE** dedicata al **PROGETTO** delle **STRUTTURE** costruite nel **TERRENO** o nella **ROCCIA** oppure di **TERRENO/ROCCIA**.

!!!! Prima di **PROGETTARE** un' **OPERA**, bisogna **INDAGARE** riguardo le **PROPRIETÀ** del **MATERIALE** per mezzo di **INDAGINI** di **LABORATORIO** o **SVOLTE** in **SITO**

INDAGINI + MODIFICAZIONI

A.Z  
4

ACQUA: Componente **DETERMINANTE** nel **TERRENO**

COMPORTAMENTO MECCANICO dei **TERRENI**: il modo con cui un **TERRENO** reagisce dipende dalla **QUANTITÀ** d'**ACQUA** che esso contiene.

Es. **ARGILLA**

se è **SECCA** ha un **COMPORTAMENTO FRAGILE**.

se è **BAGNATA** può essere **SPALMATA**.

se è una **VIA** di **MEXZO** allora può essere **MODELATA**.

Ci sono **DIFFERENTI** **COMPORTAMENTI** che sono  $f_x$  del tipo di **TERRENO** e delle **CONDIZIONI** al **CONTORNO**.

? Ma, cosa sono i **TERRENI**??

⇒ I **TERRENI** hanno **ORIGINE** da **PROCESSI** di **ALTERAZIONE** (**FISICA**, **CHIMICA** e **MECCANICA**) e **DISINTEGRAZIONE** delle **ROCCHE**.

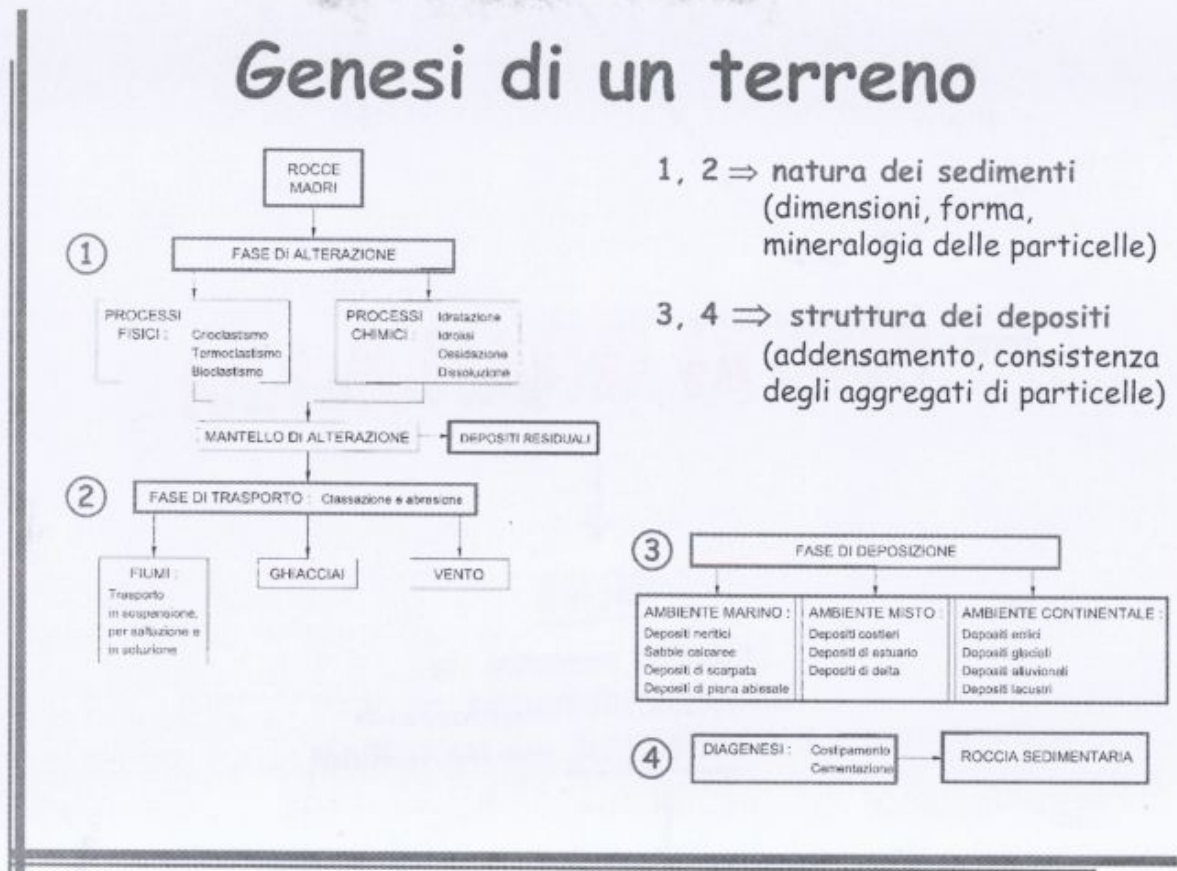
Nella loro **CONFIGURAZIONE** **ATTUALE** sono il **RISULTATO** di un **CICLO** di **COMPLESSE** **VICISSITUDINI** che comprende, nel caso più generale, una **FASE** di **FORMAZIONE**, una di **TRASPORTO** (ad **OPERA** di **AGENTI** quali **ACQUA**, **VENTO**, **GHIACCIO**, **FORZE** di **GRAVITÀ**) e una di **DEPOSIZIONE**.

**AZIONE MECCANICA SU QUARZO**  $\Rightarrow$  SABBIE e GHIAIE. Stessa COMPOSIZIONE MINERALOGICA di quella INIZIALE, ma produce PARTICELLE piú GRANDI.

**TERRENO**: STORIA GEOLOGICA MOLTO LUNGA, COMPLESSA che non comprende solo l'ALTERAZIONE ma anche la SEDIMENTAZIONE, ecc...

# GENESI di un TERRENO

## Genesis di un terreno

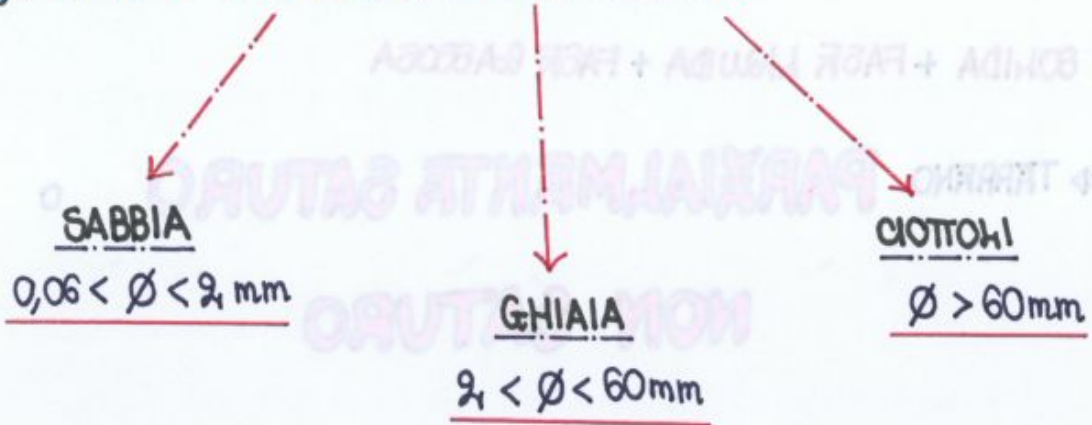


1, 2  $\Rightarrow$  natura dei sedimenti (dimensioni, forma, mineralogia delle particelle)

3, 4  $\Rightarrow$  struttura dei depositi (addensamento, consistenza degli aggregati di particelle)



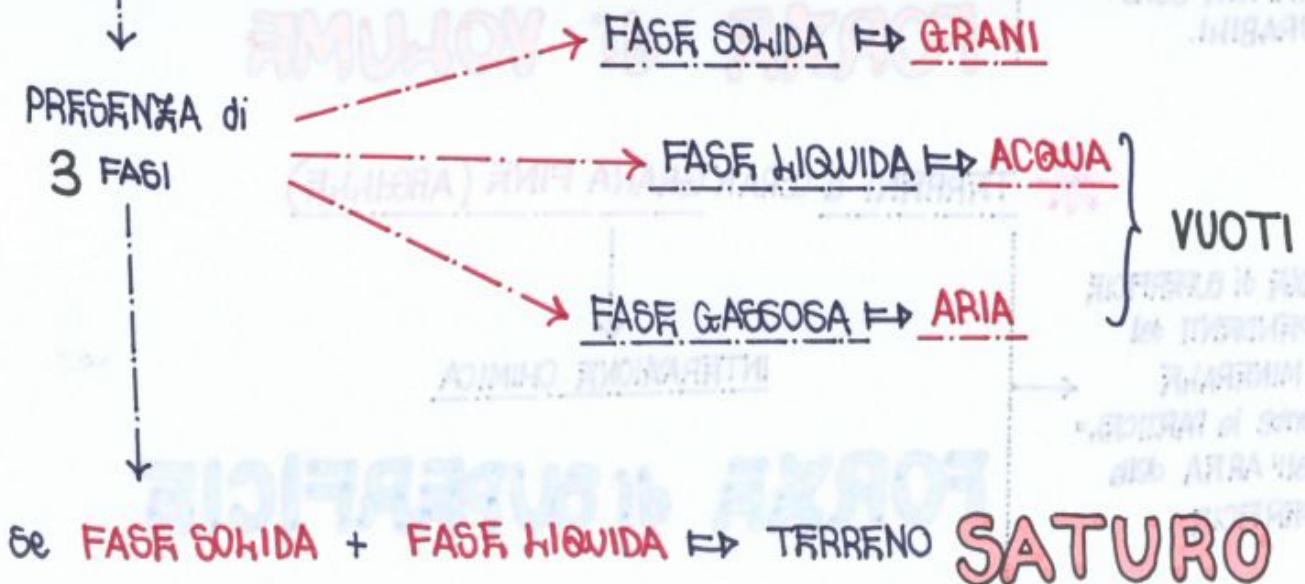
# GRANA GROSSOLANA



⇒ Un TERRENO sarà una MISCELA di COSTITUENTI in PERCENTUALI VARIABILI che vengono definite FRAZIONI GRANULOMETRICHE. Fisso può contenere MATERIALI ORGANICI che può COMPROMETTERE la STABILITÀ. Un esempio è la TORBA.  
Le PARTICELLE E ad un TERRENO possono essere SEPARATE oppure AGGREGATE. Gli SPAZI vuoti tra i GRANI possono contenere **ACQUA** o **ARIA**.

I TERRENI sono

## MEZZI MULTIFASE



42  
4

Per comprendere diverso **COMPORTAMENTO** di **PARTICELLE** che hanno differenti **DIMENSIONI**  $\Rightarrow$  utile assumere come **PARAMETRO di RIFERIMENTO**

# SUPERFICIE SPECIFICA

definita come **RAPPORTO**

$$\frac{\text{SUPERFICIE}}{\text{VOLUME}}$$

$\nearrow$  Cresce al DIMINUIRE delle DIMENSIONI delle PARTICELLE

- $\rightarrow$  MONTMORILLONITE (40 Å)  $\rightarrow$  fino a **840 m<sup>2</sup>/g**
- $\rightarrow$  CAOLINITE (0,1 - 4 μm)  $\rightarrow$  **40 ÷ 20 m<sup>2</sup>/g**
- $\rightarrow$  SABBIA (60 - 2000 μm)  $\rightarrow$  **2 · 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/g**

# SABBIE

FORMA dei GRANI: PSEUDO-SFERICA

COMPORTAMENTO MECCANICO: FORTE DIPENDENZA del GRADO di ADDENSAMENTO

A seconda che il **MATERIALE** sia stato soggetto a **VIBRAZIONI**, **CARICHI ESTERNI**, oppure che si sia depositato in presenza di **ACQUA** in **MOVIMENTO** o in **QUIETE**, si può avere una **STRUTTURA SCIOIATA** o una **DENSA**.

PRINCIPALE PROPRIETÀ della STRUTTURA

Ad un **MAGGIOR** STATO di **ADDENSAMENTO** corrispondono **MINORE** POROSITÀ, **MAGGIORE** RIGIDEZZA, **MAGGIORE** RESISTENZA.



## Sintesi delle principali caratteristiche

	Argille	Sabbie
Hanno origine dal degrado di rocce con prevalenti azioni:	chimiche	fisico-meccaniche
Sono costituiti da materiale a grana:	fine	grossolana
Le singole particelle sono:	non visibili ad occhio nudo	visibili ad occhio nudo
Le particelle hanno forma:	allungata	sferica
Il comportamento è governato da forze:	di superficie	di volume
Il comportamento dipende da:	contenuto d'acqua	addensamento
Dal punto di vista idraulico, il materiale è:	molto poco permeabile	permeabile

dx  
14

# FINALITÀ di un SONDAGGIO

**a** RICOSTRUIRE il PROFILO STRATIGRAFICO attraverso PRELIEVO di CAMPIONI

**b** Determinare le CONDIZIONI di FALDA attraverso INSTALLAZIONI di STRUMENTAZIONE.

al di sotto della FALDA  
tutti i TERRENI saranno  
SATURI.

PROVE in SITO: avviene per mezzo di STRUMENTAZIONI. Nei FORDI di SONDAGGIO possiamo inserire STRUMENTI che ci permettano di monitorare gli SPOSTAMENTI così come le DEFORMAZIONI.

SONDAGGI

→ a DISTRUZIONE

→ a CAROTAGGIO CONTINUO

Prelievo di CAMPIONI da portare poi in LABORATORIO per descriverli.

FORDI di SONDAGGIO: è stabile senza INTERVENTI ESTERNI solo per PERFORAZIONI poco PROFONDE in TERRENI COSSIVI al di sopra del livello di FALDA (TERRENO PARZIALMENTE SATURO).

→ è STABILIZZATO per mezzo di TUBI di RIVESTIMENTO (BATTERIA), con l'utilizzo di FANGHI BENTONITICI (ARGILLA ad ALTISSIMA

## Sondaggi a distruzione

Utilizzati quando non interessa il prelievo continuo di campioni

- ✓ Attraversamento di qualsiasi tipo di terreno fino a notevoli profondità
- ✓ Eseguiti a percussione o con elica
- ✓ Circolazione di fluido (fango) che riporta in superficie i detriti prodotti dallo scavo



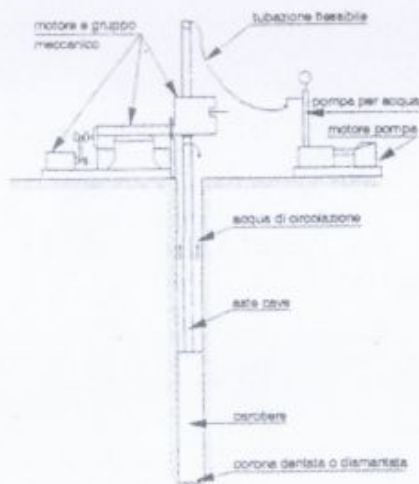
Attrezzature per perforazioni a distruzione



26

## Sondaggi a carotaggio continuo

Eseguiti a rotazione con tubo carotiere



27

62.41

## Rendiconto delle operazioni

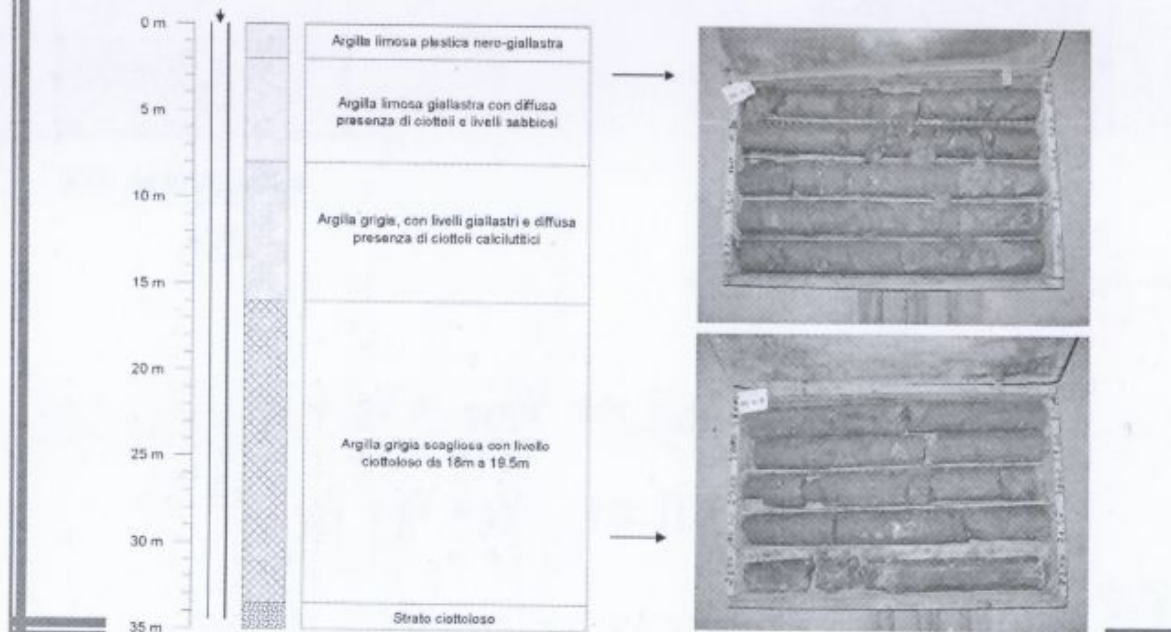
- ✓ La COLONNA STRATIGRAFICA rappresenta graficamente i principali strati attraversati ed è accompagnata da una descrizione sommaria degli stessi strati

Ground Investigation Ltd Profilo di sondaggio						Sondaggio N. A1	
Lavoro:		Midfolk CC Highways Dept. Eastwich Bypass progressiva 2250		Metodo di perforazione: a percussione con rivestimento Ø200 fino a 25 m; a rotazione da 25 m			
posizione:		quota piano campagna: +2 m.s.m.					
Data:		10/3/199X - 12/3/199X					
quota (m.s.m.)	pro- fondità (m)	Legenda	Descrizione	Osservazioni sulla falda	Campioni		Prove
+2	0		ARGILLA limosa consistente grigia con radici	▽ Livello dell'acqua all'interno del rivestimento a -8 m.s.m.	D	Scisso- metro	s <sub>u</sub> 18 kPa
0	2		ARGILLA tenera grigia con sottili intercalazioni di limo e sabbia		PS 100		
					PS 100	5.0 6.5	Scisso-

33

## Esempio di profilo stratigrafico

Il mezzo di indagine principale per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono i sondaggi a carotaggio continuo



34

# PESI di VOLUME

● TOTALE  $\Rightarrow \gamma = \frac{W}{V} \quad [F \cdot h^{-3}]$

● SECCO  $\Rightarrow \gamma_s = \frac{W_s}{V} \quad [F \cdot h^{-3}]$

● SOVICO  $\Rightarrow \gamma_{so} = \frac{W_s}{V_s} \quad [F \cdot h^{-3}]$

● ACQUA  $\Rightarrow \gamma_w = \frac{W_w}{V_w} = 9,81 \frac{KN}{m^3} \sim 10 \frac{KN}{m^3}$

● ALLIGERITO  $\Rightarrow \gamma' = \gamma - \gamma_w \quad [F \cdot h^{-3}]$

# PESI SPECIFICI

● TOTALE  $\Rightarrow G = \frac{\gamma}{\gamma_w} \quad [-]$

● dei GRANI  $\Rightarrow G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad [-] \Rightarrow G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$

## ALTRE GRANDEZZE:

● POROSITÀ  $\Rightarrow n = \frac{V_w}{V} \cdot 100 \quad [\%]$

● INDICE dei VUOTI  $\Rightarrow e = \frac{V_w}{V_s} \quad [-]$

● DENSITÀ RELATIVA  $\Rightarrow D_r = \frac{(e_{max} - e_0)}{(e_{max} - e_{min})} \cdot 100 \quad [\%]$

48.  
49

# ESERCITAZIONE 1

05/03/2013

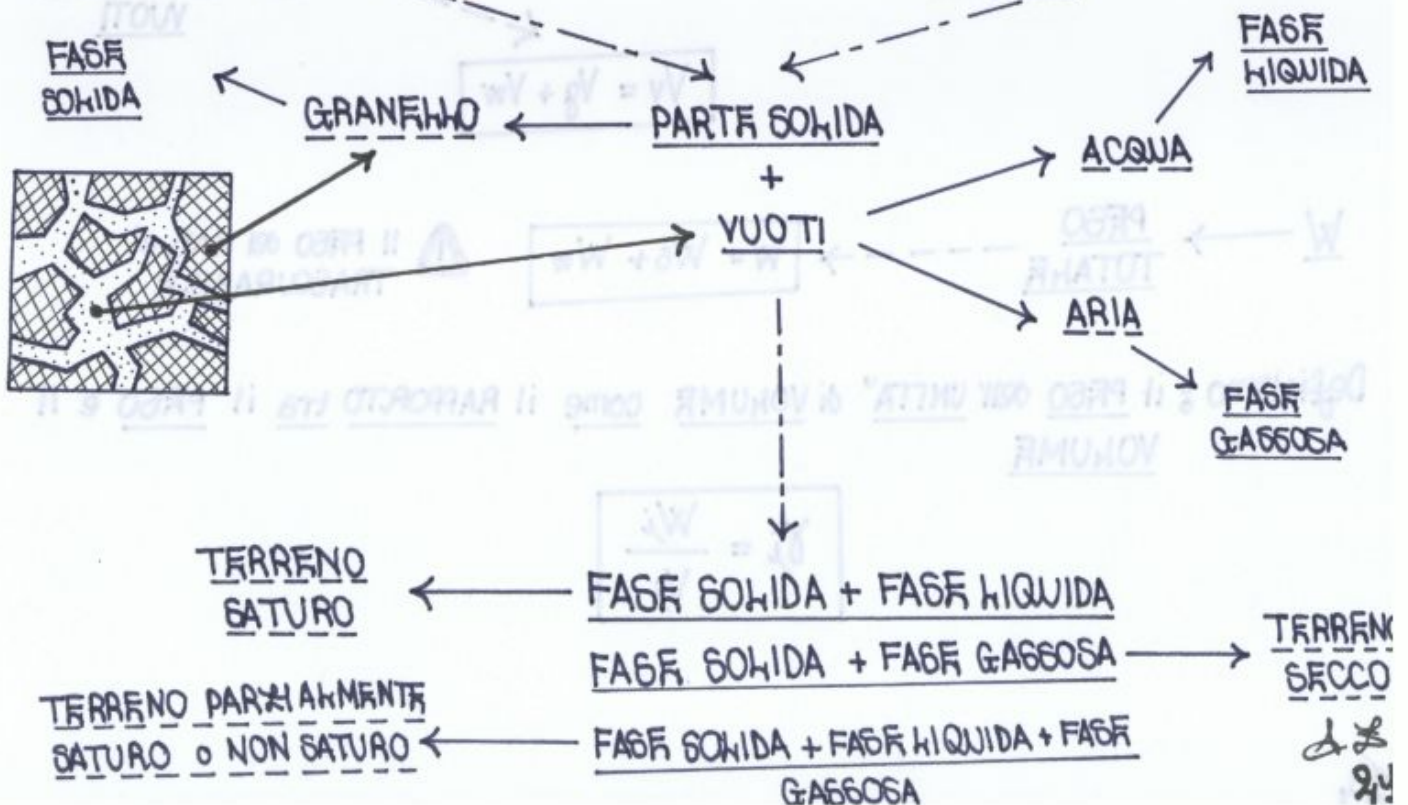
PROF. SSA ING. PIRUCCI

**TERRENI:** hanno ORIGINE da PROCESSI di ALTERAZIONE e DISINTEGRAZIONE delle ROCCHE. Nella loro fase attuale sono il RISULTATO di un COMPLESSO CICLO di VICISSITUDINI che comprende in generale:

Sono SISTEMI MULTIFASE, costituiti da PARTICELLE MINERALI con VUOTI INTERSTITIALI riempiti da FLUIDI ---> (ACQUA, ARIA o GAS DIVERSI).



**PORZIONE** di **TERRENO** visto al **MICROSCOPIO**: tra le **PARTICELLE** ci sono dei **VUOTI**





$$\gamma_{TOTALE} = \frac{W}{V}$$

⇒ PREO dell'UNITA' di VOLUME TOTALE =  $\gamma$

$$\gamma_{SECCO} = \frac{W_s}{V}$$

⇒ PREO dell'UNITA' di VOLUME del TERRENO SECCO =  $\gamma_s$

$$\gamma_{PARTE SOLIDA} = \frac{W_s}{V_s}$$

⇒ PREO dell'UNITA' di VOLUME della PARTE SOLIDA =  $\gamma_s$


$$\gamma_{ACQUA} = \frac{W_w}{V_w} = 9,81 \text{ KN/m}^3 \sim 10 \text{ KN/m}^3$$

⇒ PREO dell'UNITA' di VOLUME dell'ACQUA =  $\gamma_w$

$$\gamma_{TERRENO ALLIGERITO} = \gamma' = \gamma - \gamma_w$$

⇒ PREO dell'UNITA' di VOLUME del TERRENO ALLIGERITO =  $\gamma'$

PREO SPECIFICO ----- → Definiamo quello dei:

ADIMENSIONALE 

\* GRANI ⇒  $G_s$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w}$$

\* TOTALE ⇒  $G$

$$G = \frac{\gamma}{\gamma_w}$$

Altre RELAZIONI UTILI:

$$W = \gamma \cdot V$$

$$W_s = \gamma_s \cdot V_s$$

$$W_w = \gamma_w \cdot V_w$$

22

$$W = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

è espresso in PERCENTUALE

Per la sua DETERMINAZIONE in LABORATORIO, bisogna seguire il seguente PROCESSO: → Abbiamo un determinato CAMPIONE in LABORATORIO; di questo dobbiamo DETERMINARE  $W_w$  e  $W_s$ . Riponiamo il suddetto CAMPIONE in un CONTENITORE e ne MISURIAMO il PESO. Definiamo, dunque, il PESO  $W_d$  comprendente CAMPIONE + CONTENITORE (PESO CONTENITORE  $W_c$ ). CAMPIONE viene poi lasciato ESSICCARE a  $105^\circ\text{C}$ ; e compreso il CONTENITORE, viene PESATO, determinando il PESO  $W_d$ .

ALLORA

$$W_d = W_{iniziale} + W_c$$

con

$$W_{iniziale} = W_w + W_s$$

Ⓡ RICORDA che:  
 $W_g \Rightarrow$  PESO FASE GASSOSA TRASCURABILE

$$W_d = W_s + W_c$$

$W_d =$  PESO del CAMPIONE ESSICCATO + PESO del CONTENITORE

TERRENO SECCO

FASE SOLIDA + FASE GASSOSA!

$$W = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

$$W_w = -W_d + W_d$$

$$\Rightarrow W_w = +W_w + W_s - W_s + W_c - W_c$$

OK!! ☺

$$\Rightarrow W_w = W_d - W_d$$

$$W_s = W_d - W_c$$

$$\Rightarrow W_s = W_s + W_c - W_c$$

OK!! ☺

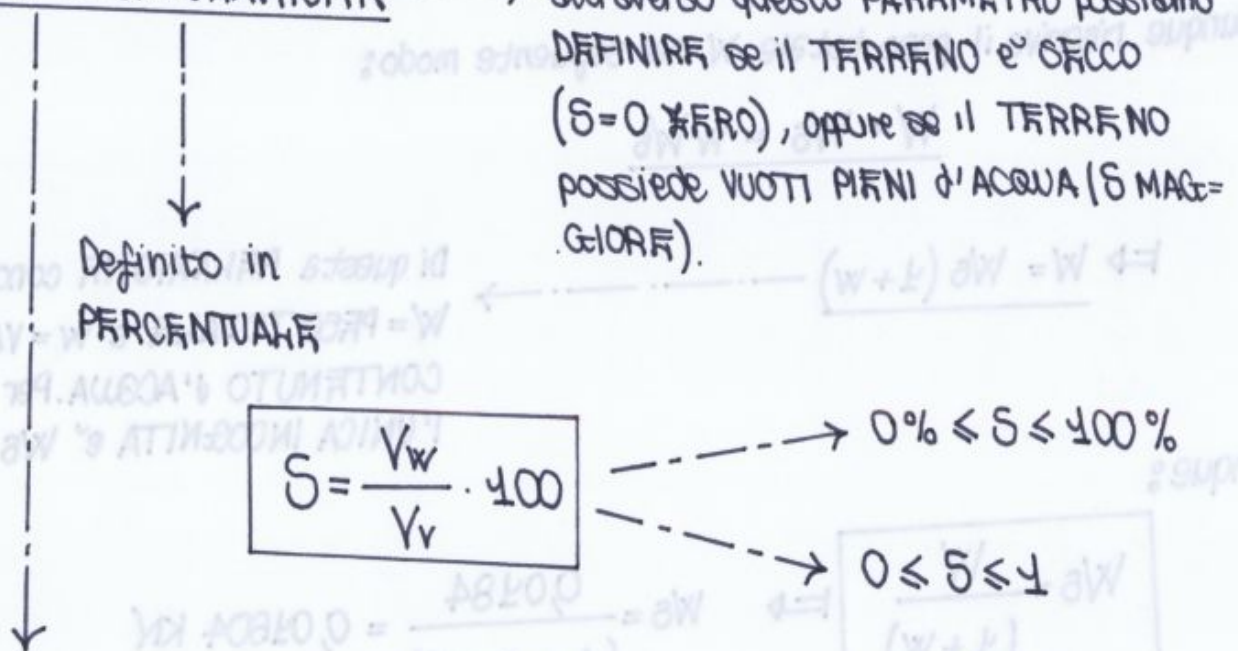
$$\Rightarrow W_s = W_d - W_c$$

$$n = \frac{V_r}{V} = \frac{V_r}{V_s + V_r} \quad \text{ma } V_r = e \cdot V_s \quad \Rightarrow \quad n = \frac{V_r}{V} = \frac{e \cdot V_s}{V_s + e \cdot V_s}$$

$\Rightarrow$  RACCONTO  $V_s$  a DENOMINATORE  $\Rightarrow n = \frac{e \cdot V_s}{V_s(1+e)} \Rightarrow \boxed{n = \frac{e}{(1+e)}}$

L'INDICE dei VUOTI caratterizza il GRADO di ADDENSAMENTO di un TERRENO. Le CARATTERISTICHE di PERMEABILITA' e le CARATTERISTICHE MECCANICHE possono essere correlate ad  $e$ . Se l'INDICE dei VUOTI e risulta essere BASSO, allora il COMPORTAMENTO dell'ACQUA sar  diverso; in particolare il DEFUSSO.

### GRADO di SATURAZIONE



PARAMETRO ESTREMAMENTE IMPORTANTE in quanto INFLUENZA sia le CARATTERISTICHE di PERMEABILITA' che quelle di RESISTENZA al TAGLIO e DEFORMABILITA'.

### ESERCIZIO 1

È dato un CAMPIONE di TERRENO con le SEGUENTI CARATTERISTICHE:

- $V = 0,001 \text{ m}^3$
- $W = 0,0484 \text{ KN}$
- $G_s = 2,42$
- $w = 14,7\%$

$\left. \begin{array}{l} H_p \\ T_h \end{array} \right\} \begin{array}{l} \gamma \\ S \\ \gamma_{\text{SATURO}} \\ \gamma_{\text{SECCO}} \end{array}$

$\left. \begin{array}{l} \gamma_{\text{SATURO}} \\ \gamma_{\text{SECCO}} \end{array} \right\}$  PESI di VOLUME che il TERRENO avrebbe se fosse SATURO o SECCO.

Conosciamo ora il PESO della FASE LIQUIDA (ACQUA). Possiamo dunque calcolare il VOLUME di essa partendo dalla DEFINIZIONE di PESO dell'UNITA' di VOLUME. Ma  $\gamma_w$  è un VALORE NOTO, quindi:

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \Rightarrow V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$$

$$\Rightarrow V_w = \frac{0,00236}{9,81} = 0,000241 \text{ m}^3$$

Elemento noto risulta essere il peso specifico dei GRANULI  $G_s$ . Da questo PARAMETRO possiamo DETERMINARE il PESO dell'UNITA' di VOLUME della FASE SOLIDA.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \Rightarrow \gamma_s = G_s \cdot \gamma_w$$

$$\Rightarrow \gamma_s = 2,72 \cdot 9,81 = 26,68 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

Conoscendo il PESO della FASE SOLIDA, nonché il suo PESO dell'UNITA' di VOLUME, si può ora determinare il VOLUME della FASE SOLIDA, come:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \Rightarrow V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

$$\Rightarrow V_s = \frac{0,01604}{26,68} = 0,0006019 \text{ m}^3$$

Abbiamo ora a DISPOSIZIONE il VOLUME TOTALE e il VOLUME della PARTE SOLIDA. Si può, allora, definire il VOLUME dei VUOTI  $V_v$ :

$$V_v = V - V_s \Rightarrow V_v = 0,004 - 0,0006019 = 0,003398 \text{ m}^3$$

Disponiamo di tutti gli ELEMENTI per CALCOLARE il GRADO di SATURAZIONE  $S$  del nostro TERRENO in ESAME

$$\Rightarrow S = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 \Rightarrow S = \frac{0,000241}{0,003398} \cdot 100 = 60,40\% \Rightarrow \text{TERRENO PARZIALMENTE SATURO}$$

42.  
29

$$W = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

⇒

$$W = \frac{W_d - W_d}{W_d - W_t} \cdot 100$$

$$\Rightarrow W = \frac{241,40 - 208,48}{241,40 - 99,43} \cdot 100 = 23,56\%$$

## CLASSIFICAZIONE di un TERRENO

### ANALISI GRANULOMETRICA

→ serve a determinare le DIMENSIONI delle PARTICELLE che compongono un CAMPIONE di TERRENO e a stabilire le PERCENTUALI in PESO delle varie FRAZIONI che rientrano in LIMITI PREFISSATI (**FRAZIONI GRANULOMETRICHE**)

← L'importanza di conoscere le DIMENSIONI delle PARTICELLE deriva dal fatto che nei TERRENI a GRANA GROSSA il COMPORTAMENTO del MATERIALI può essere correlato a tale INFORMAZIONE.

Il COMPORTAMENTO dei TERRENI a GRANA FINE dipende invece molto di più del TIPO di MINERALI e della STORIA GEOLOGICA, ed è correlato ai LIMITI di **ATTERBERG**.

↓  
Per ottenere le varie FRAZIONI GRANULOMETRICHE si usano **SETACCI** con **CARATTERISTICHE STANDARDIZZATE**.

↓  
L'ANALISI GRANULOMETRICA mediante SETACCI è LIMITATA alla **FRAZIONE GROSSOLANA**, cioè alla PERCENTUALE trattenuta dal SETACCIO **ASTM 200** (apertura pari a 0,074 mm).

← Per il PASSANTE al SETACCIO 200 si ricorre all'ANALISI per **SEDIMENTAZIONE** (A FROMETRIA ⇒ POWERS FINISSIMA).

### **ANALISI GRANULOMETRICA:**

avviene in 2 FASI:

● SETACCIATURA

● SEDIMENTAZIONE

**SEDIMENTAZIONE:** permette di determinare la **DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA** della parte di **TERRENO** che ha **DIAMETRO**  $< 0,074 \text{ mm}$  e viene effettuata se essa è **PERCENTUALMENTE** superiore al **10%**.  
 Tale **PROVA** si basa sulla **LEGGE** di **STOKES**, che determina la **VELOCITÀ** di **SEDIMENTAZIONE** di una **PARTICELLA** **SFERICA**, avente un certo **DIAMETRO**.

**EVOLUZIONE** di **ACQUA + TERRENO**  
 con **ANTIFLOCCULANTE**

→ l'**ANALISI** avviene per via **UMIDA**

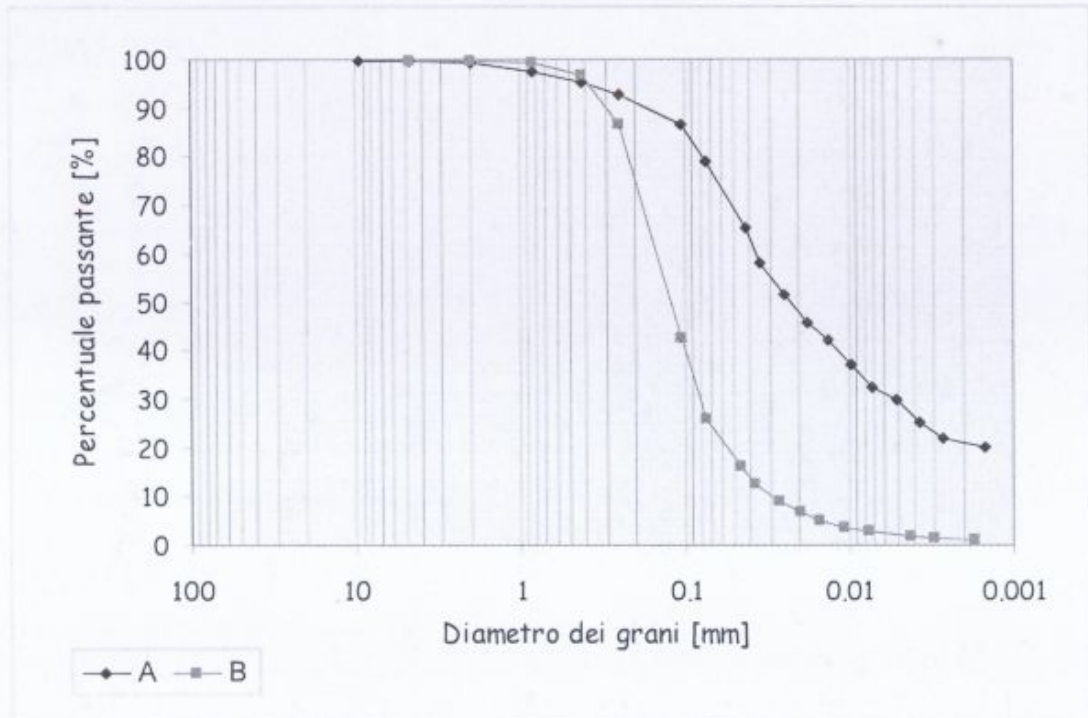
**RISULTATI dell'ANALISI GRANULOMETRICA**



**CURVA GRANULOMETRICA**

!!! I DIAMETRI  $\phi$  sono espressi in Scala LOGARITMICA

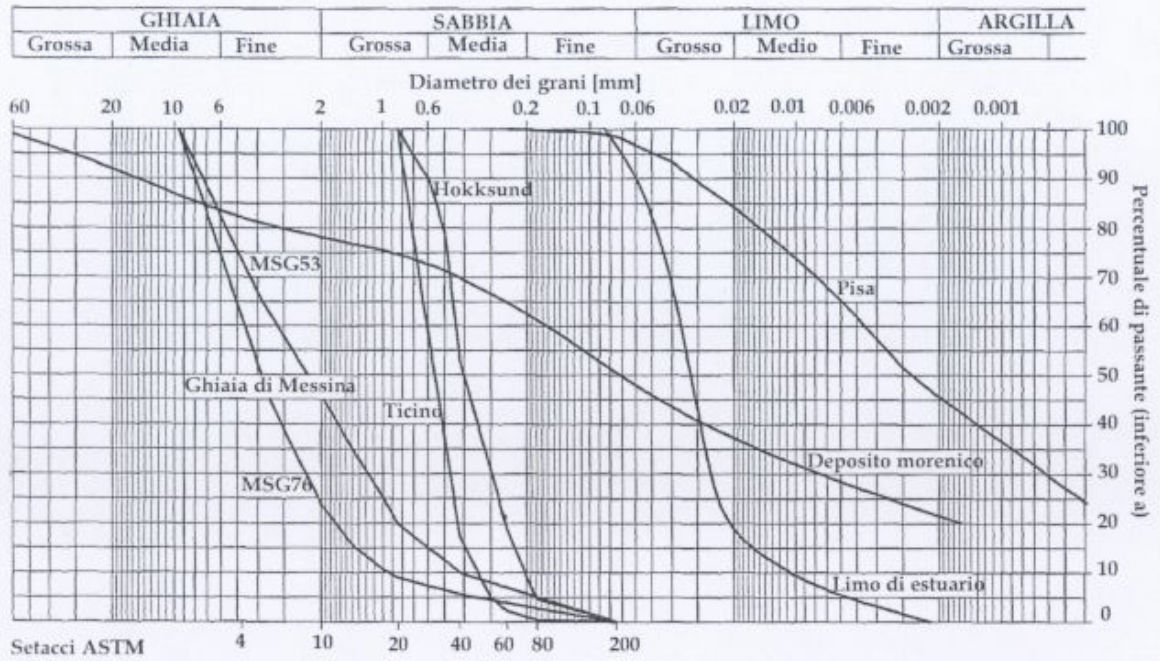
Esempio risultati analisi granulometrica:



La **PENDENZA** della **CURVA GRANULOMETRICA** dà un' **IDEA** dell' **UNIFORMITÀ** del **TERRENO** quanto più la **CURVA** è **VERTICALE** tanto più è **OMOGENEO** il **CAMPIONE** **ESAMINATO**.

4.35

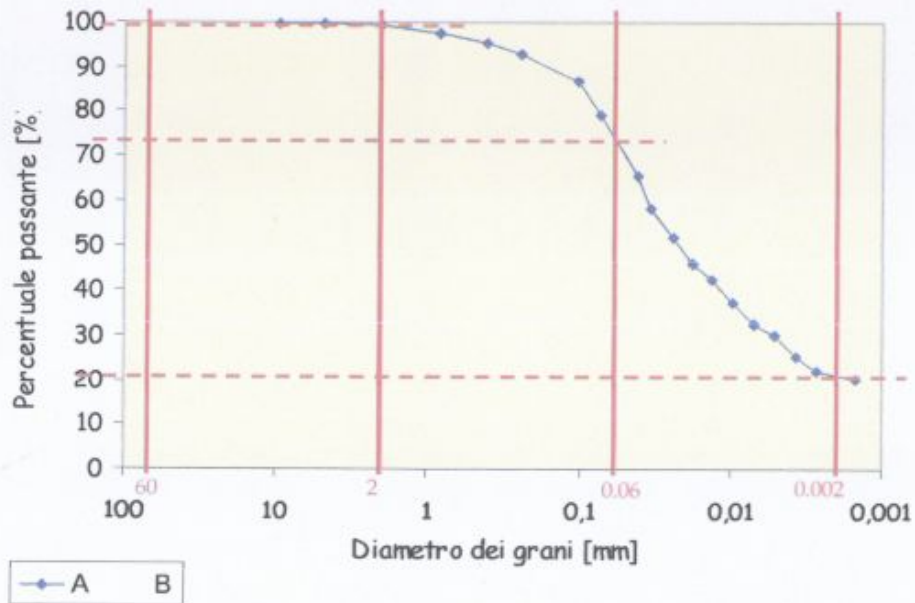
## Classificazione:



Politecnico di Torino

Meccanica delle Terre

### Curva A:



Politecnico di Torino

Meccanica delle Terre

35

Per calcolare la % in PESO di CIOTTOI, GHIAIA, SABBIA, LIMO ed ARGILLA; applico le seguenti RELAZIONI:

- % in PESO CIOTTOI = 100% - % passante a 60mm
- % in PESO GHIAIA = % passante a 60mm - % passante a 2mm
- % in PESO SABBIA = % passante a 2mm - % passante a 0,06mm
- % in PESO di LIMO = % passante a 0,06mm - % passante a 0,002mm
- % in PESO di ARGILLA = si ricava come SEMPLICE DIFFERENZA

## TERRENI a GRANA GROSSA

INDICE dei VUOTI e: caratterizza il GRADO di ADDENSAMENTO di un TERRENO.

⇒ da considerare come un PARAMETRO di GRANDE IMPORTANZA.

Ad esso possono essere correlate le CARATTERISTICHE di PERMEABILITÀ, nonché quelle MECCANICHE.

Nel caso di TERRENI NON COESIVI i VALORI MASSIMI e MINIMI possono essere determinati SPERIMENTALMENTE:

- VALORE MAX ⇒  $e_{max}$ : si ottiene versando in un CONTENITORE un CAMPIONE di TERRENO di cui si misura V e W.
- VALORE MIN ⇒  $e_{min}$ : vengono applicate delle VIBRAZIONI fino al RAGGIUNGI-MENTO del VOLUME MINIMO.

Con tali VALORI si riesce a determinare un PARAMETRO che ne caratterizza lo STATO di ADDENSAMENTO.

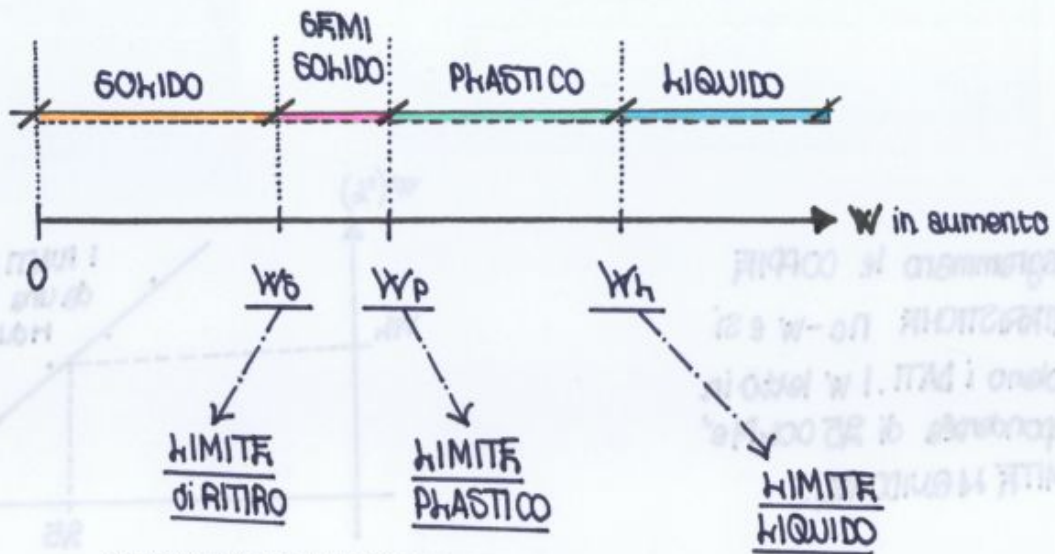
$$D_R = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}}$$

può variare tra 0 ad 1, oppure tra 0 e 100%.

34



L'INTERAZIONE tra le PARTICELLE e INFIORNATA di CONTENUTO d'ACQUA, le CARATTERISTICHE di COMPRESSIBILITÀ e RESISTENZA al TAGLIO di un'ARGILLA possono essere correlate ai VALORI LIMITI di  $w$  che individuano il PASSAGGIO tra 2 STATI.



sono determinati secondo precisi STANDARD  
 sono diversi del CONTENUTO NATURALE d'ACQUA

- $w_L \Rightarrow$  LIMITE di RITIRO: si determina su un CAMPIONE INDISTURBATO
- $w_P$  e  $w_L \Rightarrow$  LIMITE PLASTICO + LIMITE LIQUIDO: si determinano sulla FRAZIONE passante al SETACCIO ASTM 40 (0,425 mm); cioè su MATERIALE RIMANEGGIATO.

LIMITE LIQUIDO

È il CONTENUTO d'ACQUA in corrispondenza del quale il TERRENO possiede una RESISTENZA al TAGLIO così PICCOLA che un SOCCO, praticato in un CAMPIONE RIMANEGGIATO, si richiude quando il CUCCHIAIO di CASAGRANDE che lo contiene è SOCCUTATO con dei COLPI, secondo una PROCEDURA STANDARDIZZATA.

Posto il MATERIALE nel CUCCHIAIO ed effettuato il SOCCO, questo è fatto sbattere; si contano i COLPI  $N_c$  che portano ad una CHIUSURA del SOCCO pari a 48 mm.

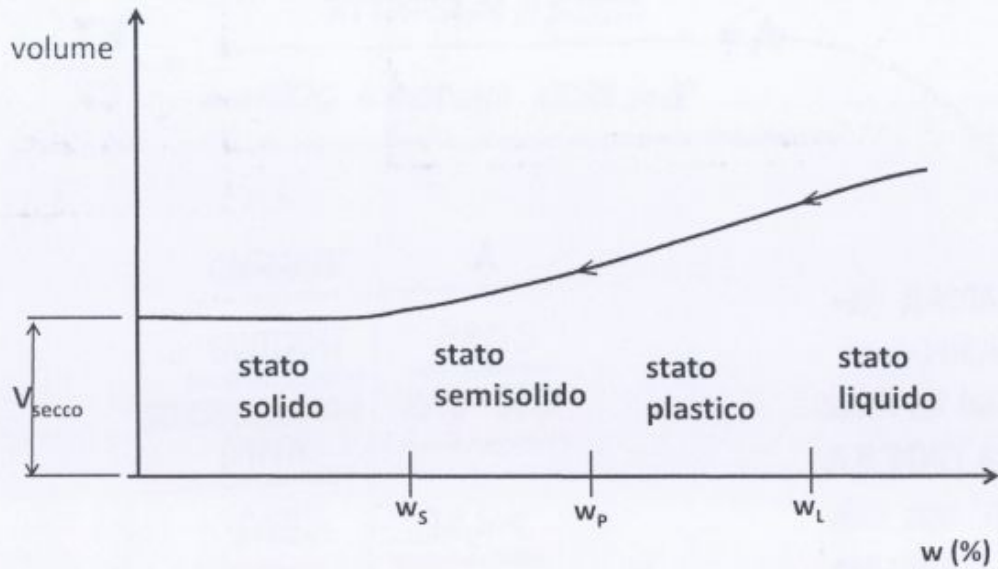
$\Rightarrow 45 < N_c < 35 \Rightarrow$  Si determina il CONTENUTO d'ACQUA  $w$  del MATERIALE.

Si aggiunge ACQUA al MATERIALE rimanente e si reitera la PROVA.

3

## Classificazione sulla base dei limiti:

Relazione tra volume e contenuto d'acqua con indicazione dei Limiti di Atterberg per un terreno coesivo



Politecnico di Torino

Meccanica delle Terre

Sulla base dei LIMITI di ATTERBERG; si possono ottenere degli INDICI RAPPRESENTATIVI della CONSISTENZA dei TERRENI COESIVI.

$$I.P. = \frac{w_H - w_P}{I.L.}$$

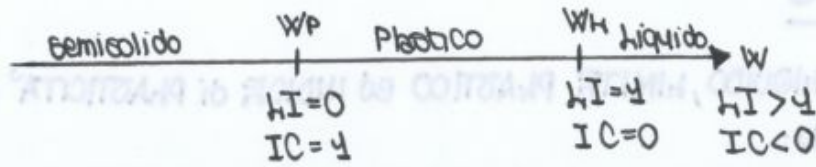
### INDICE di PLASTICITÀ

Indice il CAMPO di VARIAZIONE del CONTENUTO d'ACQUA all' INTERNO del quale il TERRENO ha un COMPORTAMENTO PLASTICO, può cioè essere RIMANEGGIATO o DEFORMATO senza CAMBIO di VOLUME e senza FROCCARSI.

$$P.I. = w_H - w_P$$

Dipende in un dato CAMPIONE, della PERCENTUALE di ARGILLA, del TIPO di ARGILLA e della NATURA dei CATIONI ASSORBITI. Fisso cresce con la PERCENTUALE di ARGILLA e per ogni tipo di MATERIALE la RELAZIONE è data da una RETTA che ha PENDENZA differente a seconda del MINERALE presente

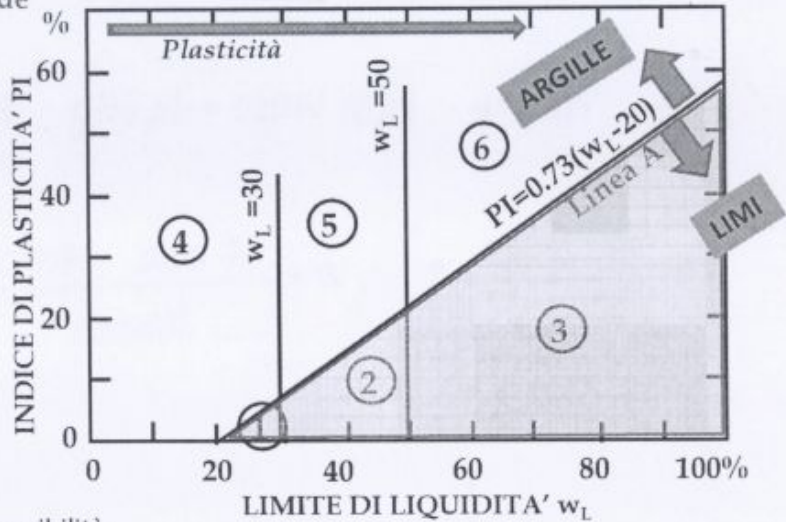
P.I.	TERRENO
0-5	NON PLASTICO
5-15	POCO PLASTICO
15-40	PLASTICO
> 40	MOLO PLASTICO



CARTA di PLASTICITA' di CASAGRANDE

Classificazione sulla base degli indici caratteristici:

Carta di plasticità di Casagrande



- 1) Limi inorganici di bassa compressibilità
- 2) Limi inorganici di media compressibilità e limi organici
- 3) Limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche
- 4) Argille inorganiche di bassa plasticità
- 5) Argille inorganiche di media plasticità
- 6) Argille inorganiche di alta plasticità

Politecnico di Torino

Meccanica delle Terre

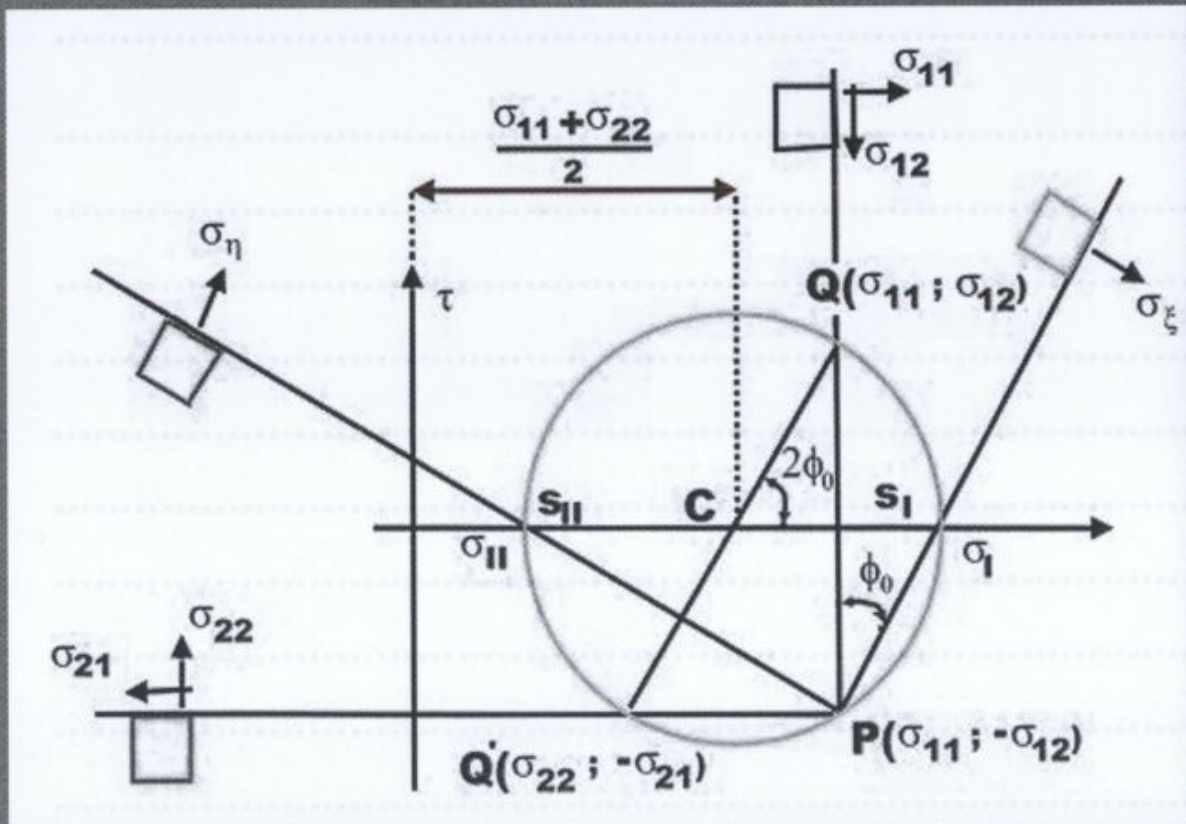
# MdT

CAPITOLO

# 2

MECCANICA del CONTINUO

CAPITOLO 2- MECCANICA del CONTINUO



Studente : Alessandro ZITO

# LEZIONE 2

11/03/13

ING. CHAUDIO SCAVIA

## RAPPRESENTAZIONE dei TERRANI dal punto di vista MECCANICO

hanno NATURA PARTICELLARE

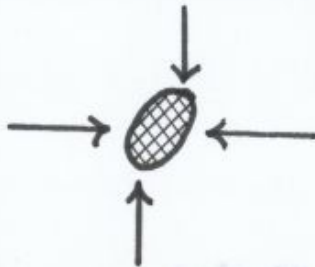


Tralasciamo la presenza di acqua.



I GRANI scambiano degli SFORZI, delle AZIONI gli uni sugli altri

Si sostituisce questo INSIEME di GRANI con un CONTINUO.



deve possedere le MEDESIME PROPRIETA' MECCANICHE del SISTEMA PARTICELLARE.

deve essere EQUIVALENTE al SISTEMA PARTICELLARE che avviamo all'INIZIO.

### ESEMPPIO ANALOGO

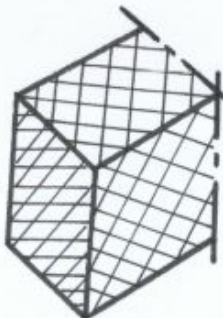
CLS: cemento + sabbia + ghisa

PIETRISCO in generale.

### TRAVE: non andiamo

a studiare GRANO per GRANO, ma analizzeremo un SISTEMA EQUIVALENTE.

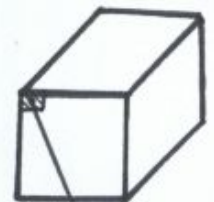
ESEMPPIO: considero un CUBO di 45x45cm.



VALORE di RESISTENZA

non e' ne' TIPICO dell'INERTE, ne' del CEMENTO, ne' della SABBIA, ma dell'intero CAMPIONE

Questa OPERAZIONE diventa possibile se consideriamo un CAMPIONE sufficientemente grande rispetto alle piu' GRANDI DIMENSIONI dei GRANI. Dall'ANALISI si otterra' un VALORE EQUIVALENTE che tiene conto di tutte le PARTICELLE presenti nel CAMPIONE.



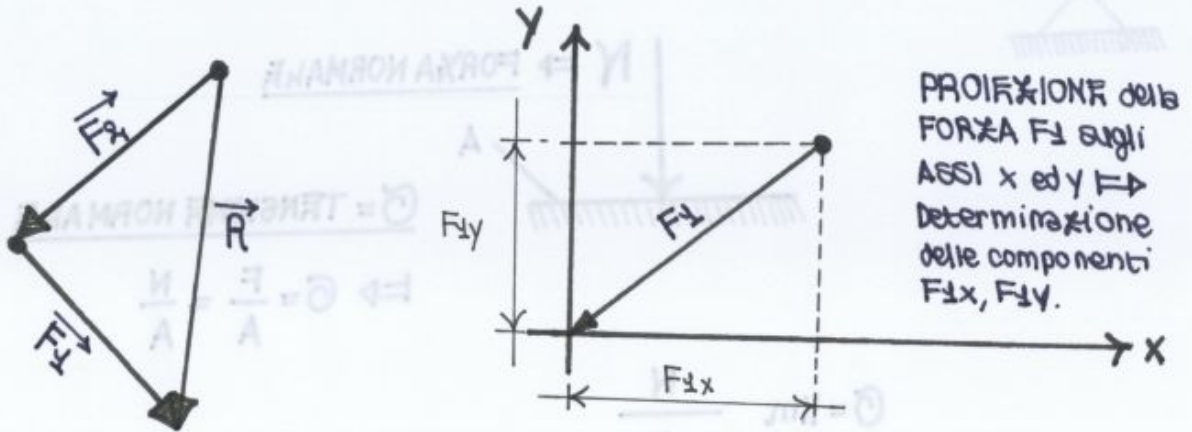
~~Superficie da dove ci posso trovare la presenza di un inerte, oppure del tutto, quindi NO!!!~~

2.4

CONTINUO → si considerano dei CORPI in cui non ci sono DISCONTINUITA' di SPOSTAMENTI

FORZE → sono APPLICATE al MEZZO CONTINUO. Sono CARATTERIZZATE da:

- PUNTO di APPLICAZIONE
- VERSO
- DIREZIONE



EQUAZIONI CARDINALI della STATICA:  
definiscono le RELAZIONI di EQUILIBRIO.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_P = 0 \end{cases}$$

→ PUNTO GENERICO

CORPO CONTINUO → bisogna fare riferimento al CONCETTO di TENSIONE. In GEOTECNICA la TENSIONE viene anche indicata con il TERMINE SFORZO.



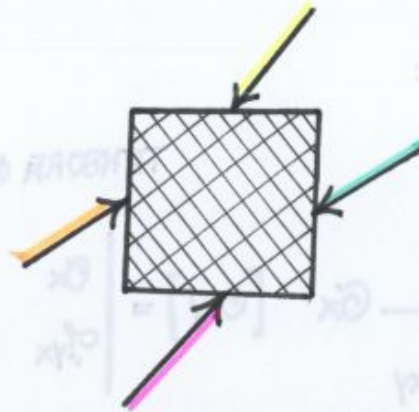
ho SFORZO in GEOTECNICA ≠ dello SFORZO in SCIENZA delle COSTRUZIONI

→ SFORZO NORMALE  
→ SFORZO di TAGLIO

47

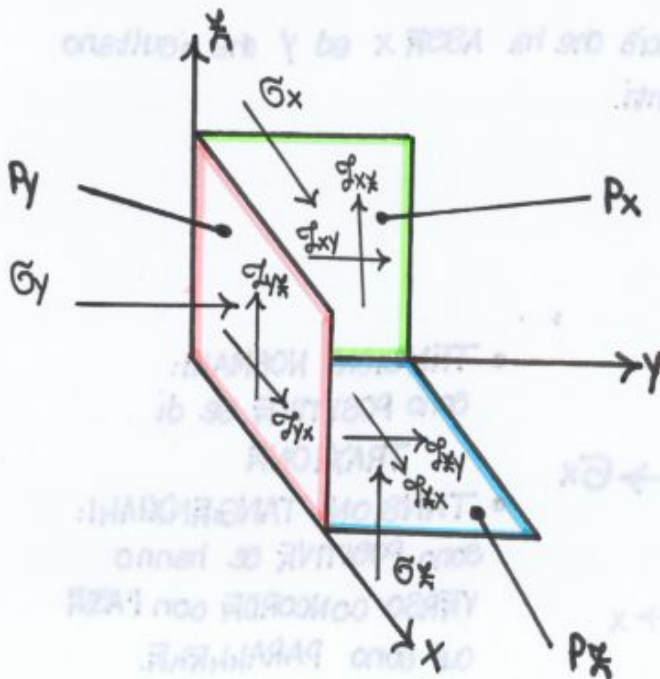


TENSIONI che agiscono sul medesimo PIANO, allora, solo in questo caso, si possono comporre.



TENSIONE: FORZA più COMPRESO di una FORZA.

Consideriamo uno STATO TENSIONALE TRIDIMENSIONALE. Allora, si conosce la TENSIONE in punto, se conosciamo le 9 componenti di TENSIONE nel medesimo punto.



In un PIANO possiamo ricavare una TENSIONE NORMALE più 2 TENSIONI TANGENZIALI!!!

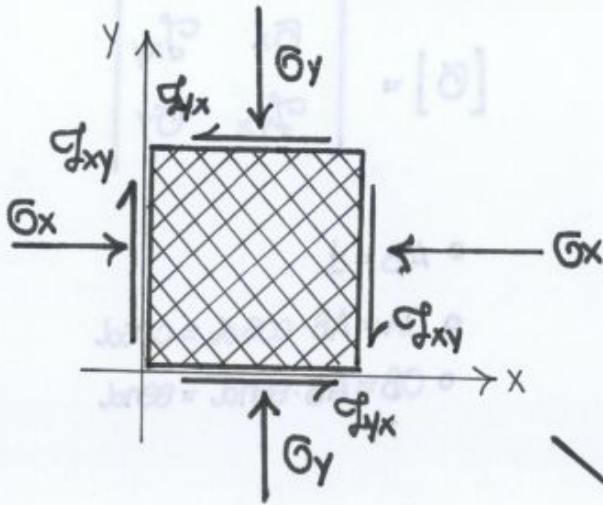


TENSORE delle TENSIONI (SFORZI in MdT)

$$[\sigma_{xyz}] = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

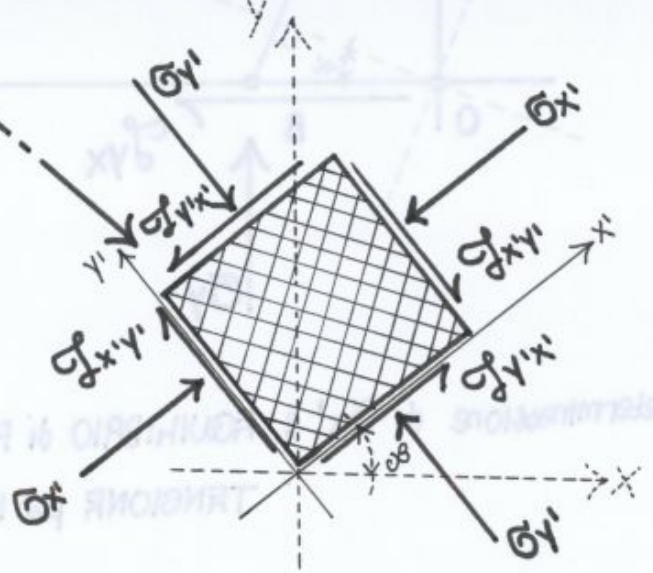
Possiamo conoscere lo STATO TENSIONALE in un punto se e solo se abbiamo fissato un SISTEMA di RIFERIMENTO.

APPLICAZIONE  $\Rightarrow$  Definito lo STATO TENSIONALE rispetto gli ASSI  $x$  ed  $y$ , o 2 PIANI; se CAMBIO il SISTEMA di RIFERIMENTO, lo STATO TENSIONALE deve rimanere il medesimo (per DEF. INVARIANTI); ma cambieranno le COMPONENTI. La MATRICE dovrà variare le COMPONENTI !!!



$$[\sigma_{xy}] = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_y \end{vmatrix}$$

$$[\sigma_{x'y'}] = \begin{vmatrix} \sigma_{x'} & \tau_{x'y'} \\ \tau_{y'x'} & \sigma_{y'} \end{vmatrix}$$



OBIETTIVO: determinare le TENSIONI  $\sigma_{x',y'}$  e  $\tau_{x'y'}$

Per fare ciò devo scrivere una EQUAZIONE CARDINALE dell'EQUILIBRIO lungo la DIREZIONE di  $x'$ ; per TROVARE  $\sigma_{x'}$ !

**!** È un EQUILIBRIO di FORZE !!! Devo tramutare le TENSIONI in FORZE.

$$A \left[ \sigma_{x'} \cos^2 \theta + \sigma_{y'} \sin^2 \theta + 2 \tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \right] - \sigma_{x'} A \cos^2 \theta - \sigma_{y'} A \sin^2 \theta - 2 \tau_{xy} A \sin \theta \cos \theta = 0$$



$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \cos 2d + \tau_{xy} \cdot \sin 2d \quad \mathbf{B}$$

**A** e **B**  $\Rightarrow$  EQUIVALENTI

Si ottiene attraverso  
PASSAGGI TRIGONOMETRICI

$$\begin{cases} \sin d \cdot \cos d = \frac{1}{2} \sin 2d \\ \cos^2 d = \frac{1}{2} (1 + \cos 2d) \end{cases}$$

Riprendiamo l'EQUAZIONE **A** e sostituiamo le precedenti RELAZIONI TRIGONOMETRICHE:

$$\begin{aligned} \sigma_{x'} &= \frac{1}{2} \sigma_x (1 + \cos 2d) + \sigma_y \cdot \sin^2 d + \tau_{xy} \cdot \sin 2d \\ &= \frac{1}{2} \sigma_x + \frac{1}{2} \sigma_x \cos 2d + \sigma_y \cdot \sin^2 d + \tau_{xy} \cdot \sin 2d \end{aligned}$$

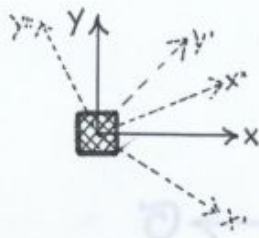
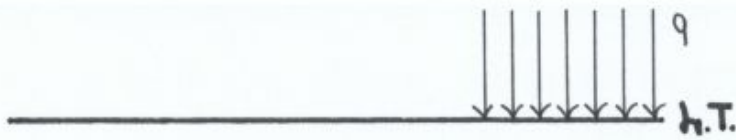
$$\begin{cases} \sin^2 d = \cos^2 d - \cos 2d \end{cases}$$

$$\sigma_{x'} = \frac{1}{2} \sigma_x + \frac{1}{2} \sigma_x \cos 2d + \sigma_y \cdot \cos^2 d - \sigma_y \cdot \cos 2d + \tau_{xy} \cdot \sin 2d$$

$$\begin{cases} \cos^2 d = \frac{1}{2} (1 + \cos 2d) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x'} &= \frac{1}{2} \sigma_x + \frac{1}{2} \sigma_x \cos 2d + \frac{1}{2} \sigma_y + \frac{1}{2} \sigma_y \cos 2d - \sigma_y \cos d + \tau_{xy} \cdot \sin 2d \\ &\quad - \frac{1}{2} \sigma_y \cdot \cos 2d \end{aligned}$$

48  
51



Lo STATO TENSIONALE deve rimanere il medesimo per ogni VARIAZIONE del SISTEMA di RIFERIMENTO.

? PERCHÉ?  
Rimane lo stesso per mezzo degli INVARIANTI.

$$\tau_{x'y'}^2 + \left( \sigma_{y'} - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right)^2 = \tau_{xy}^2 + \frac{1}{4} (\sigma_x - \sigma_y)^2$$

è fatto di soli TERMINI NOTI!!!

RAPPRESENTA L'EQUAZIONE di una CIRCONFERENZA

$$(y - \beta)^2 + (x - \alpha)^2 = r^2$$

- $\beta$  : COORDINATA y del CENTRO del CERCHIO
- $\alpha$  : COORDINATA x del CENTRO del CERCHIO

$$C = \text{CENTRO} : \left( \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} ; 0 \right)$$

STATO TENSIONALE: definito da  $\sigma_x, \sigma_y$  e  $\tau_{xy}$ . COSTRUZIONE del CERCHIO di MOHR della CONOSCENZA dello STATO TENSIONALE.

$$r = \text{RAGGIO del CERCHIO di MOHR} : \sqrt{\tau_{xy}^2 + \frac{1}{4} (\sigma_x - \sigma_y)^2}$$

27  
52

**PUNTI A e B**  $\Rightarrow$  ci danno le **COMPONENTI** dello **STATO TENSIONALE** che conosciamo. Inoltre ci permettono di **RAPPRESENTARE** il **CERCHIO di MOHR** relativo allo **STATO TENSIONALE** in **ANALISI**.

08:12

A ( $\sigma_x; \tau_{xy}$ )  
B ( $\sigma_y; \tau_{yx}$ )



**!** Per le **COORDINATE** dei **PUNTI A e B** cambiano le **CONVENZIONI di SEGNO** per le **TENSIONI TANGENZIALI  $\tau$** . (sempre rispetto le **FACCIE POSITIVE**).

CONVENZIONI di SEGNO:

- $\sigma$ : POSITIVE se di COMPRESSIONE
- $\tau$ : POSITIVE se provocano una ROTAZIONE ANTIORARIA del CUBETTO, in relazione alle FACCIE POSITIVE.

$\Rightarrow$  Guardo il **CUBETTO**:

A ( $\sigma_x; \tau_{xy}$ )  $\Rightarrow$  **# RIF! FACCIA POSITIVA!!!**

- $\sigma_x$  e' di **COMPRESSIONE !!!**  $\Rightarrow$  **+**
- $\tau_{xy}$  fa **RUOTARE** il **CUBETTO** in senso **ORARIO!!!**  $\Rightarrow$  **-**

$\downarrow$

PIANO, su cui agiscono le **TENSIONI  $\sigma_x$  e  $\tau_{xy}$** , ove l'**ASSE X** e' **USCENTE** dalla **FACCIA!!!!!!**

B ( $\sigma_y; \tau_{yx}$ )  $\Rightarrow$  **# RIF! FACCIA POSITIVA!!!**

- $\sigma_y$  e' di **COMPRESSIONE!!!**  $\Rightarrow$  **+**
- $\tau_{yx}$  fa **RUOTARE** il **CUBETTO** in senso **ANTIORARIO!!!**  $\Rightarrow$  **+**

$\downarrow$

PIANO, su cui agiscono le **TENSIONI  $\sigma_y$  e  $\tau_{yx}$** , ove l'**ASSE Y** e' **USCENTE** dalla **FACCIA!!!!!!**

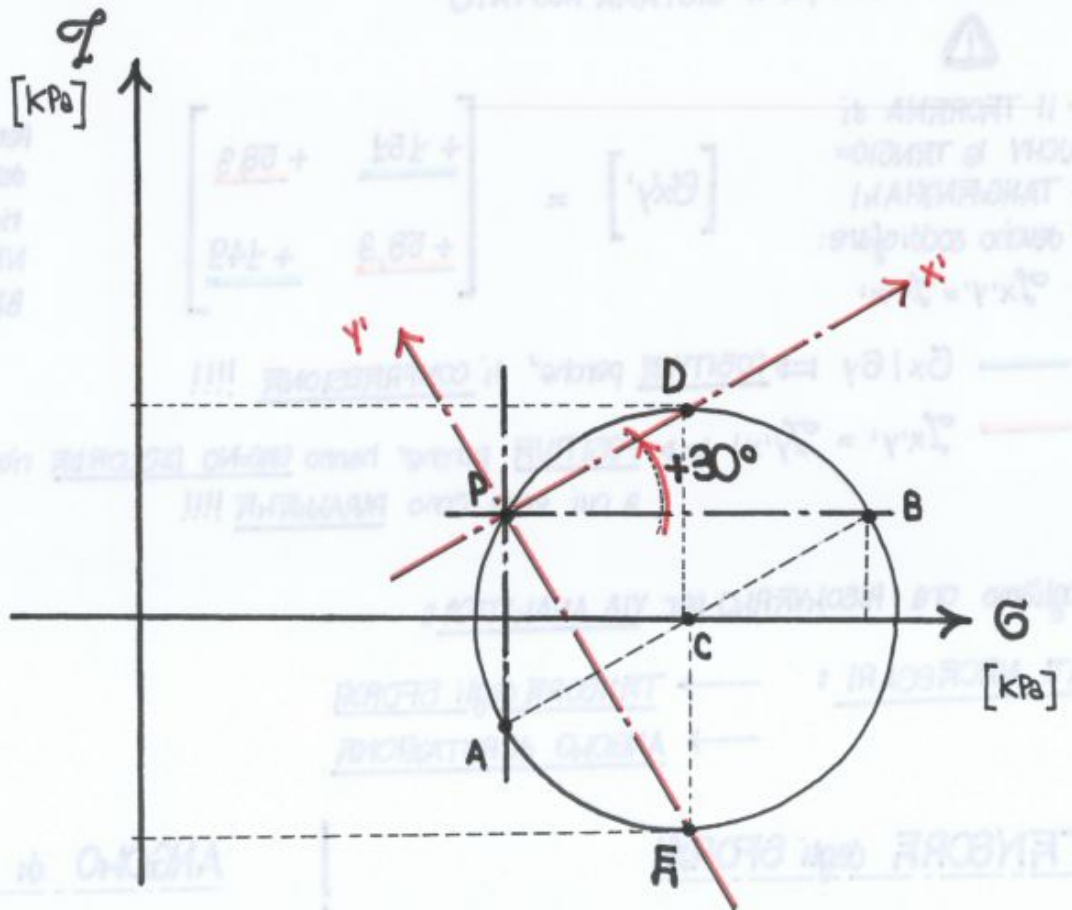
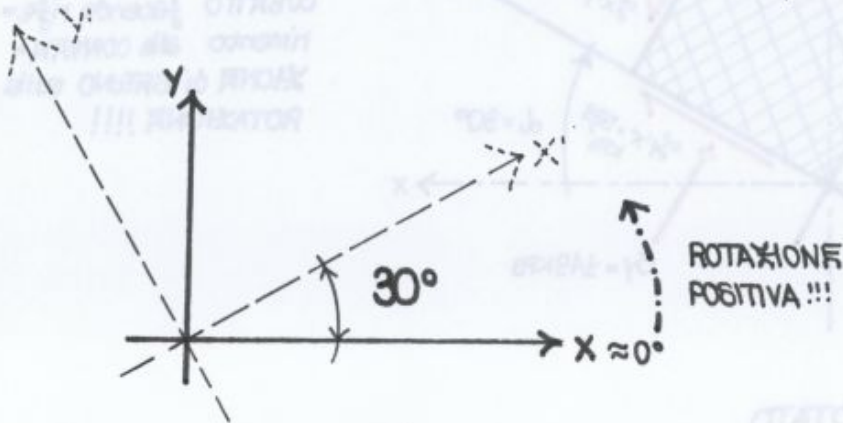
In **CONCLUSIONE**  $\Rightarrow$  A (+400 ; -30) | B (+200 ; +30)

47  
51

CALCOLO DEL CENTRO DEL CIRCULO DI MOHR

$$X_C = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{100 + 200}{2} = 150 \text{ kPa} \Rightarrow C(150; 0)$$

**Th PROBLEMA:** Trovare lo STATO TENSIONALE relativo ad una ROTAZIONE di un ANGOLO  $\alpha = 30^\circ$  rispetto l'ORIZZONTALE.



$\Rightarrow$  Le COMPONENTI del punto  $D$  rappresentano le TENSIONI AGENTI sul PIANO  $x'$

$\Rightarrow$  Le COMPONENTI del punto  $F$  rappresentano le TENSIONI AGENTI sul PIANO  $y'$ .

In VIA GRAFICA si ottiene che:  $D(149, 58)$   $F(151, -58)$

48  
59

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \cos 2\alpha + \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha$$

$$\Rightarrow \sigma_{x'} = \frac{400 + 200}{2} + \frac{400 - 200}{2} \cdot \cos[2 \cdot (30^\circ)] + 30 \cdot \sin[2 \cdot (30^\circ)] =$$

$$\Rightarrow \sigma_{x'} = 450 - 50 \cdot \cos 60^\circ + 30 \cdot \sin 60^\circ = 450,98 \text{ kPa} \Rightarrow 451 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_{x'} = 451 \text{ kPa}}$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \cos 2\alpha - \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha$$

$$\Rightarrow \sigma_{y'} = \frac{400 + 200}{2} - \frac{400 - 200}{2} \cdot \cos[2 \cdot (30^\circ)] - 30 \cdot \sin[2 \cdot (30^\circ)] =$$

$$\Rightarrow \sigma_{y'} = 450 + 50 \cdot \cos 60^\circ - 30 \cdot \sin 60^\circ = 449,04 \text{ kPa} \Rightarrow 449 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_{y'} = 449 \text{ kPa}}$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cdot \cos 2\alpha$$

$$\Rightarrow \tau_{x'y'} = -\frac{400 - 200}{2} \cdot \sin[2 \cdot (30^\circ)] + 30 \cdot \cos[2 \cdot (30^\circ)] =$$

$$\Rightarrow \tau_{x'y'} = +50 \cdot \sin 60^\circ + 30 \cdot \cos 60^\circ = 58,30 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow \boxed{\tau_{x'y'} = +58,30 \text{ kPa}}$$

C.V.V.

$$I_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

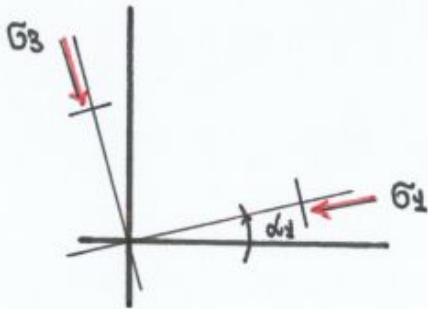
RAPPRESENTA il DIAMETRO  $\varnothing$  !!!

è PARI al RAGGIO del CERCHIO di MOHR  
 ⇒ ecco perché DIVIDO per 2

Se il SISTEMA è PRINCIPALE (CUBETTO soggetto ad uno STATO TENSIONALE di sole  $\sigma$  e no  $\tau$ ) allora vale la SEGUENTE RELAZIONE:

$$P_{\sigma_{max}} = \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)$$

COORDINATA  $\sigma$  del CENTRO C.



$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$$

COORDINATA  $\sigma$  del CENTRO

RAGGIO del CERCHIO di MOHR

$$\alpha_1 = \arctg \left| \frac{\sigma_1 - \sigma_x}{\tau_{xy}} \right|$$

⇒ Rappresenta l'ANGOLO che la TENSIONE  $\sigma_1$  forma con la DIREZIONE x in SENSO ANTICLOCKWISE

$$\alpha_3 = \arctg \left| \frac{\sigma_3 - \sigma_x}{\tau_{xy}} \right|$$

# LEZIONE 3

12/03/13

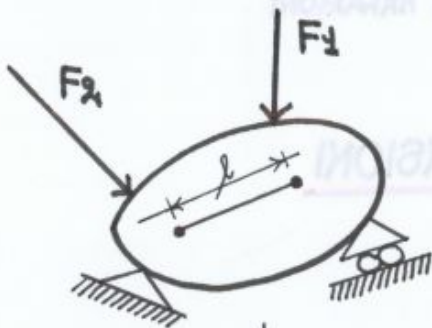
ING. CHAUDIO SCAVIA

DEFORMAZIONI → COMPONENTI che definiscono un **TENSORE !!!**

≠ SPOSTAMENTI → COMPONENTI che definiscono un **VETTORE !!!**

$$[\epsilon_{xyz}] = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \frac{\gamma}{2} & \frac{\gamma}{2} \\ \frac{\gamma}{2} & \epsilon_y & \frac{\gamma}{2} \\ \frac{\gamma}{2} & \frac{\gamma}{2} & \epsilon_z \end{bmatrix}$$

$\epsilon$  → rappresentano delle **DILATAZIONI LINEARI** ⇒ ACCORCIAMENTO o ALLUNGAMENTO di una FIBRA  $\epsilon$  di un CORPO.



$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\Delta l_x}{l} \\ \epsilon_y &= \dots \\ \epsilon_z &= \dots \end{aligned}$$

### VARIATIONE del VOLUME

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z}{3}$$

$\epsilon$  POSITIVE mi danno una DIMINUIZIONE di VOLUME !!!

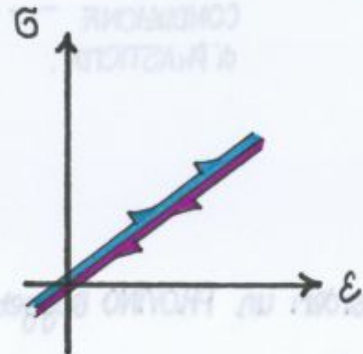
Se fosse un CORPO non DEFORMABILE; i CARICHI ESTERNI AGENTI non trasmetterebbero DEFORMAZIONI, ma indurrebbero il CORPO a SPOSTAMENTI quali TRAZIONI e/o ROTAZIONI.

? Che SEGNO hanno le  $\epsilon$ ?  $\epsilon$  è **POSITIVA** se è di COMPRESSIONE → Ci sono degli **ACCORCIAMENTI**

# COMPORTAMENTO CORPO

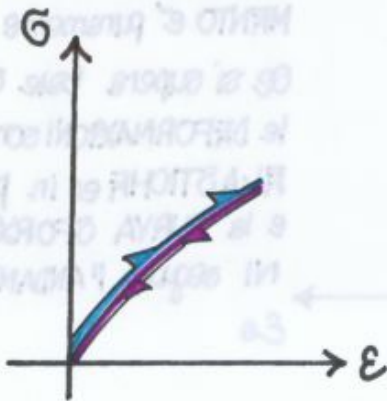
e' definito ELASTICO se le DEFORMAZIONI, prodotte da un SISTEMA di FORZE agenti su un CORPO, SCOMPANONO una volta rimossa la PERTURBAZIONE.

se il LEGAME  $\sigma - \epsilon$  e' LINEARE  $\Rightarrow$  il COMPORTAMENTO del CORPO e' ELASTICO-LINEARE.



— PROCESSO di CARICO  
— PROCESSO di SCARICO

COMPORTAMENTO ELASTICO non LINEARE se il LEGAME  $\sigma - \epsilon$  non e' COSTANTE ma dipende dal LIVELLO di EFFORTO o DEFORMAZIONE.



## COMPORTAMENTO dei TERRENI:

caratterizzato dall'RESISTENZA di DEFORMAZIONI che possono essere REVERSIBILI oppure IRREVERSIBILI, definite in genere ELASTICHE e PLASTICHE.

ROCCHE: hanno quasi sempre COMPORTAMENTO di TIPO FRAGILE.

LEGGI di COMPORTAMENTO: formulate ed applicate ai TERRENI basandosi sulla

## TEORIA della PLASTICITA'

ASSUNZIONI  
FONDAMENTALI

INCREMENTO COMPRESSIVO di DEFORMAZIONE e' dato dalla SOMMA di una ALIQUOTA ELASTICA e di una ALIQUOTA PLASTICA.

$$DEF. TOT = DEF. EL + DEF. PLAST.$$

AS  
07



natura **IRREVERSIBILI**, si ritrovano al **TERMINI** dello **SCARICO**.  
 Nella **FASE** di **RICARICO** il **COMPORAMENTO** del **MATERIALE** risulta **ELASTICO** finché non viene raggiunta una **NUOVA TENSIONE** di **SNERVAMENTO**  $\sigma_{y2}$ , superiore alla precedente.  
 In virtù delle **DEFORMAZIONI PLASTICHE** che si sono generate nel **TRATTO AB**, il **MATERIALE** sembra aver acquisito una **STORIA** di **MEMORIA** condizionata dall'assetto **STRUTTURALE** prodotto dalle **DEFORMAZIONI PLASTICHE**, che si manifesta attraverso l'**INNALZAMENTO** della **TENSIONE** di **SNERVAMENTO** da  $\sigma_{y1}$  a  $\sigma_{y2}$ .  
 Questo aumento del **LIMITI** di **PLASTICITÀ** con l'evolversi monotonicamente delle **DEFORMAZIONI PLASTICHE** è indicato con il **TERMINI** **INCUDIMENTO**.

Nella **MECCANICA** delle **TERRI** si descrive una piccola parte della **CURVA**  $\sigma$ - $\epsilon$ . Mi interessa comunque sapere qual è il **VALORE** di **TENSIONE** per cui si manifesta la **ROTTURA** del **MATERIALE**.

**FONDAZIONI**: abbiamo un **PROBLEMA** di **SERVIZIO** e di **COLLASSO**

↓  
 crollo, rottura della fondazione.

non si manifesta la **ROTTURA**, ma vengono indotti **SPOSTAMENTI** che potrebbero generare ulteriori **SPOSTAMENTI** non idonei per determinate **SEZIONI** della nostra **STRUTTURA**.

← Per la **FASE** di **SERVIZIO** possiamo analizzare il **PROBLEMA** attraverso il **COMPORAMENTO ELASTICO**.

●  $\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z)]$

●  $\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_z)]$

●  $\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y)]$

E: **MODULO** di **YOUNG**

ν: **COEFFICIENTE**, **RAPPORTO** di **POISSON**

G: **MODULO** di **TAGLIO**

●  $\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$

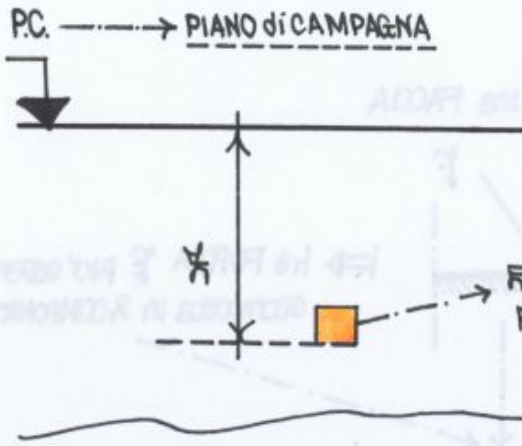
●  $\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}$

●  $\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$

$\frac{1}{G}$

# ESERCITAZIONE 2

12/03/2013  
PROF. SSA ING. PIRUCCI



**TERRENO:** e' un **MESCO PARTICELLARE**, costituito da **GRANI** di diverse dimensioni a contatto gli uni sugli altri.

ELEMENTO INFINITAMENTE PICCOLO, e' un PUNTO

Essa' soggetto ad un determinato SISTEMA di FORZE.

Le FORZE AGENTI sull'ELEMENTO di TERRENO non sono UNIFORMEMENTE DISTRIBUITE all'interno del VOLUME, bensì sono trasmesse PUNTUALMENTE tra PARTICELLE e PARTICELLE attraverso le PICCOLE AREE di CONTATTO.

Nella PRATICA INGEGNERISTICA non e' possibile considerare l'EFFETTIVA DISTRIBUZIONE delle FORZE di CONTATTO

Si considera il TERRENO come un **MESCO CONTINUO**

In particolare se ci spostiamo da un PUNTO ad un altro, allora si puo' osservare che le CARATTERISTICHE cambierebbero.

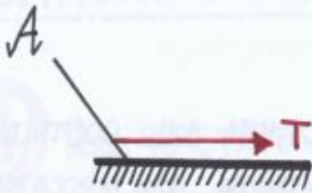
Consideriamo il TERRENO SATURO => Passando al MESCO CONTINUO ragiono come se avessi una SOVRAPPOSIZIONE di HAVER, una SOVRAPPOSIZIONE di CONTINUI.

**TERRENO SATURO (MESCO BIFASE)**  
PARTE SOLIDA + ACQUA  
2 CONTINUI

Considerando il PUNTO, lo ISOLO dal CONTESTO. Definiamo dunque le AZIONI che si esercitano su di esso. Si applicheranno dunque delle FORZE, e queste, prendendo in esame una determinata faccia, possono essere scomposte tutte in 2 COMPONENTI: una TANGENTE alla FACCIA, l'altra NORMALE alla medesima faccia.

=> Ogni faccia avra' una COMPONENTE TANGENTE ed una NORMALE.

42  
44



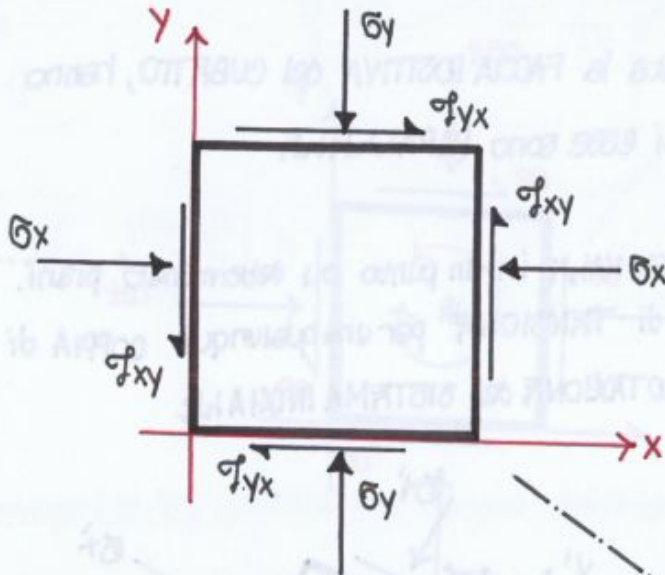
TENSIONE TANGENZIALE  $\tau$

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{T}{A} = \tau$$

UNITA' di MISURA TENSIONI:  $\frac{N}{m^2} = Pa = \text{PASCAL}$

Nei PROBLEMI riguardanti le OPERE GEOTECNICHE, le TENSIONI nei TERRENI hanno un CAMPO di VARIABILITA' compreso tra **10 - 10.000 kPa**  $\Rightarrow$  **1 kPa = 1 kN/m<sup>2</sup>**.

Lo STATO TENSIONALE di un MEZZO CONTINUO lo possiamo rappresentare per mezzo di un CUBETTO e attraverso un TENSORE sotto forma MATRICIALE.



Per rappresentare il CUBETTO RELATIVO delle TENSIONI bisogna fissare un determinato SISTEMA di RIFERIMENTO.

$\tau_{xy}$ :  $\tau \perp$  ABBE X e  $\parallel$  ABBE Y

RAPPRESENTAZIONE BIDIMENSIONALE del TENSORE delle TENSIONI

OSSERVAZIONE:

La MATRICE del TENSORE delle TENSIONI risulta essere SIMMETRICA come si può DIMOSTRARE dall' Hp di CAUCHY.

$$[\sigma_{xy}] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_y \end{bmatrix}$$

47

ho risolto ora con il METODO ANALITICO:

$$\alpha = 40^\circ \quad [\sigma_{xy}] = \begin{bmatrix} 440 & -30 \\ -30 & 250 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x'} &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \cos 2\alpha + \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha = \\ &= \frac{440 + 250}{2} + \frac{440 - 250}{2} \cdot \cos 2(40^\circ) + (-30) \cdot \sin 2(40^\circ) = \\ &= 480 - 42,45 - 29,54 = 408,01 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{y'} &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \cos 2\alpha - \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha = \\ &= \frac{440 + 250}{2} - \frac{440 - 250}{2} \cdot \cos 2(40^\circ) - (-30) \cdot \sin 2(40^\circ) = \\ &= 480 + 42,45 + 29,54 = 551,99 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{x'y'} &= -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cdot \cos 2\alpha = \\ &= -\frac{440 - 250}{2} \cdot \sin 2(40^\circ) + (-30) \cdot \cos 2(40^\circ) = \\ &= +68,94 - 5,21 = 63,73 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Esistono 2 VALORI di  $\sigma$  che differiscono di  $90^\circ$  tra loro per cui  $\tau_n = 0$ . Le TENSIONI  $\sigma_n$  corrispondenti sono la MASSIMA e la MINIMA possibile per lo STATO TENSIONALE  $\sigma_{xy}$  e sono dette:

- TENSIONE PRINCIPALE MASSIMA  $\sigma_1$
- TENSIONE PRINCIPALE MINIMA  $\sigma_2$

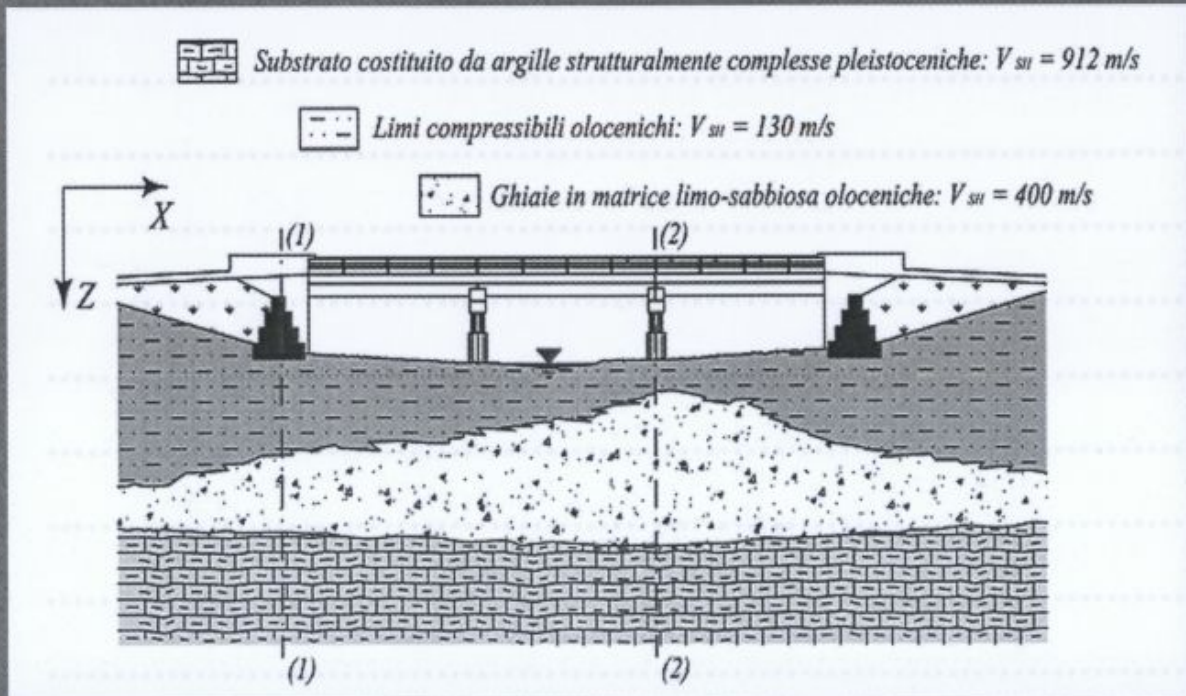
4.2  
41

# MdT

CAPITOLO

# 3

## TERRENO MEZZO MULTIFASE



Studente : Alessandro ZITO

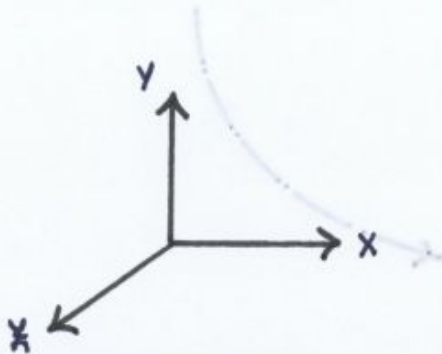
CAPITOLO 3 - TERRENO MEZZO MULTIFASE

# LEZIONE 4

18/03/2018

ING. CHAUDIO SCAVIA

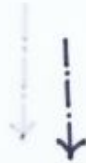
DEFORMAZIONE UNIASSIALE  $\Rightarrow$  c'è una DEFORMAZIONE  $\neq 0$  mentre tutte le altre sono nulle.



Consideriamo uno STATO di SOLLECITAZIONE, lungo l'ASSE Y VERTICALE. Allora possiamo scrivere lo STATO DEFORMATIVO nel seguente modo:

$$[\epsilon_{xyz}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

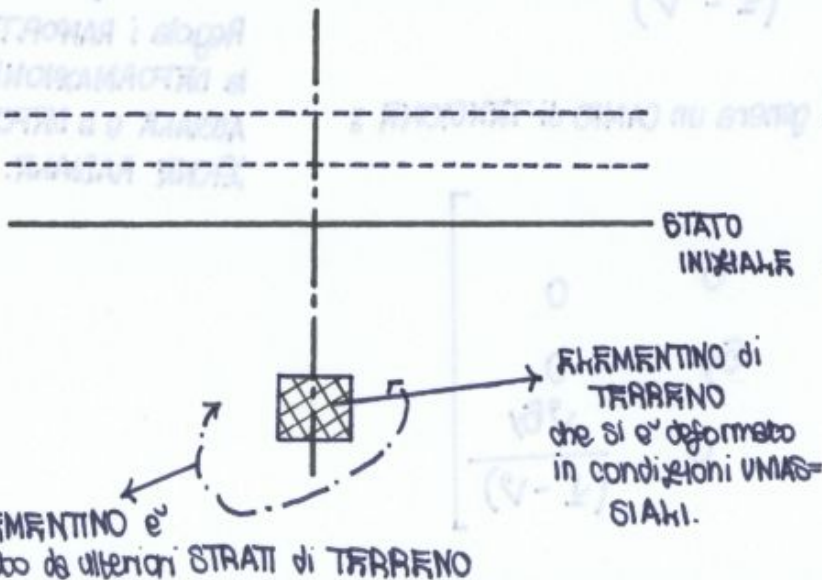
lo STATO DEFORMATIVO così scritto è UNIASSIALE, essendo presente la sola DEFORMAZIONE lungo l'ASSE Y.



Questo fenomeno è possibile osservarlo su un PROVINO che risulta inserito ALL'INTERNO di un CONTENITORE, in modo da CONTENERLO LATERALMENTE. Bisogna considerare una CIRCIASTURA abbastanza RIGIDA.

Consideriamo come CAMPIONE il TERRENO DEPOSITATO  $\Rightarrow$  allora questo è stato sottoposto ad una SERIE di DEFORMAZIONI.

Es.



----- POSSIBILI STRATI che si sono aggiunti

Di parte della CONDIZIONE di poter la DEFORMAZIONE UNIASSIALE VERTICALE

$$\epsilon_x = 0$$

**In caso di DEFORMAZIONE UNIASSIALE:**

$$\frac{\sigma_y}{\epsilon_y} \neq E$$

→ sarebbe uguale ad E se fossimo in condizioni di uno STATO TENSIONALE MONOASSIALE ( $\sigma_x = \sigma_z = 0$ ,  $\sigma_y \neq 0$ ).

Il VALORE che si ottiene da tale RAPPORTO è più grande di E, perché se cerchio il CAMPIONE (CONTENITORE), esso è più faticoso a DEFORMARSI.

$$G = \text{MODULO di TAGLIO} = \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

**TERRENO**

**MIXTO MULTIFASE**

FASE SOLIDA

FASE LIQUIDA

FASE GASSOSA

Ne influenza il COMPORAMENTO MECCANICO.

I TERRENI sono molto INFLUENZATI dalla presenza d'ACQUA.



Qual è l'INFLUENZA dell'ACQUA? Bisogna prima di tutto studiare il COMPORAMENTO dell'ACQUA.

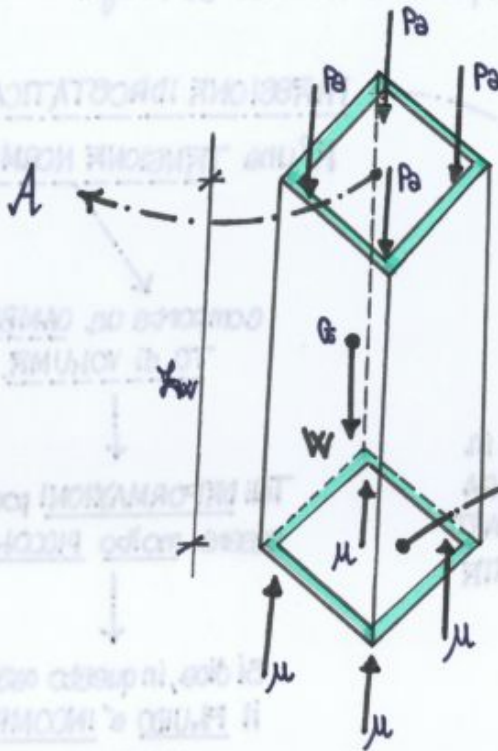
**IDRAULICA**

IDROSTATICA: come si comporta un FLUIDO in QUIETE.

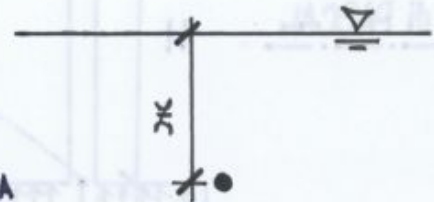
IDRODINAMICA: come si comporta un FLUIDO in MOVIMENTO.

CALCOLO della PRESSIONE IDROSTATICA

Ma andiamo a calcolare per una certa PROFONDITA'  $z$ .



COLONNA D'ACQUA



EQUILIBRIO delle FORZE lungo la DIREZIONE VERTICALE:

$$+\uparrow) +\mu \cdot A - W - P_a \cdot A = 0$$

$$\gamma_w = \frac{W}{V} \Rightarrow W = \gamma_w \cdot V$$

$$\Rightarrow +\mu \cdot A - \gamma_w \cdot V - P_a \cdot A = 0$$

$$V = A \cdot z_w$$

$$\Rightarrow +\mu \cdot A - \gamma_w \cdot A \cdot z_w - P_a \cdot A = 0$$

PRESSIONE ASSOLUTA

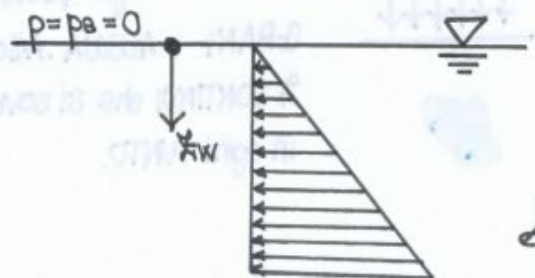
$$\mu = P_a + z_w \cdot \gamma_w$$

PRESSIONE RELATIVA (e meno della PRESSIONE ATMOSFERICA)

$$P_a = 0 \Rightarrow \mu = \gamma_w \cdot z_w$$

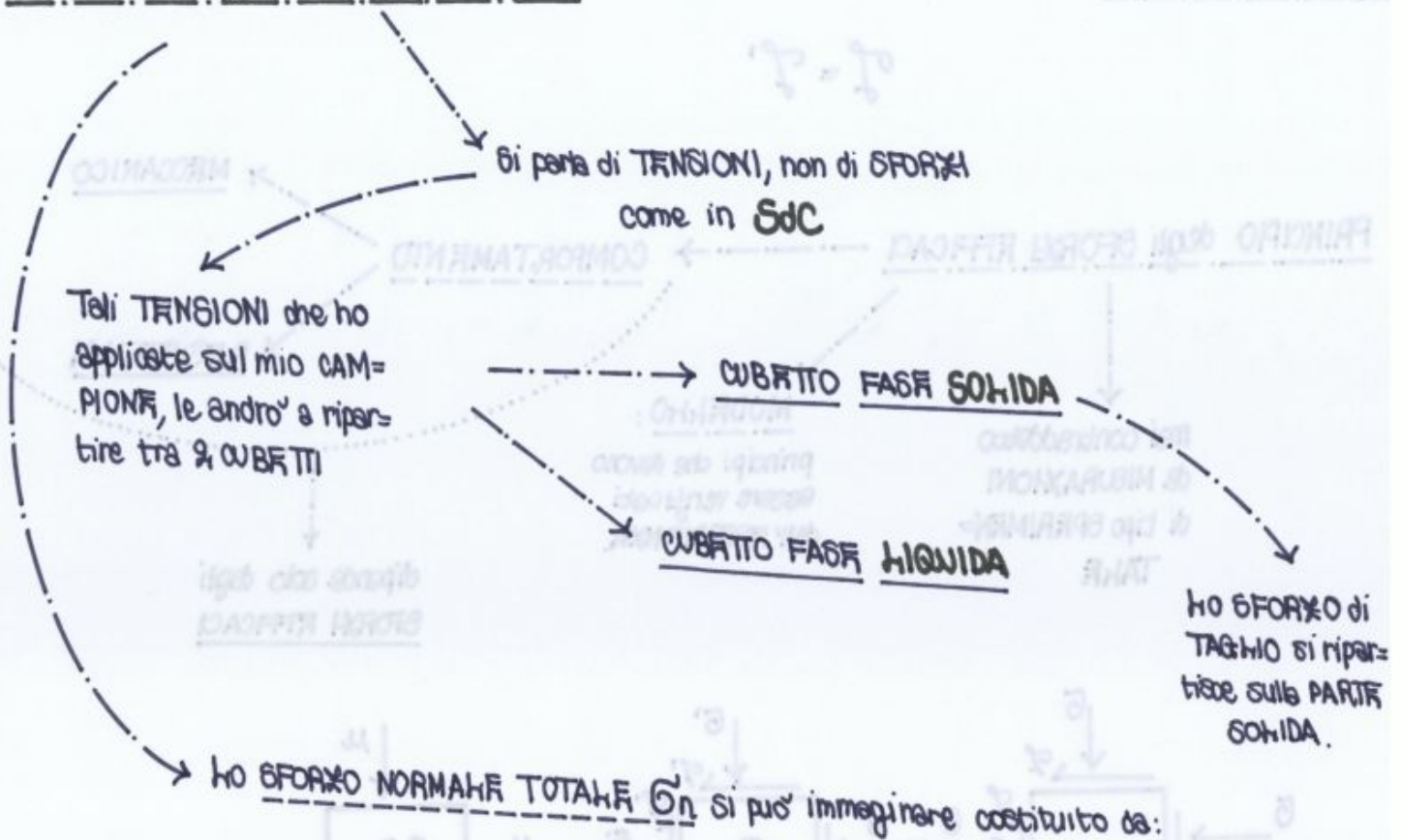
DIAGRAMMA PRESSIONE IDROSTATICA

DISTRIBUZIONE TRIANGOLARE lungo la PROFONDITA'  $z$





# PRINCIPIO degli SFORZI EFFICACI



ho SFORZO NORMALE TOTALE  $\sigma_n$  si puo' immaginare costituito da:

$$\sigma_n = \sigma'_n + \mu$$

●  $\mu$  = PRESSIONE dell'ACQUA in CONDIZIONI IDROSTATICHE.

●  $\sigma'_n$  = SFORZO EFFICACE NORMALE, relativo alla PORTE SOLIDA.

EQUAZIONE che esprime il PRINCIPIO degli SFORZI EFFICACI

dato a TERZAGHI (1923)

Le TENSIONI in un PUNTO possono essere determinate dalla conoscenza delle TENSIONI TOTALI PRINCIPALI. Se lo SPAZIO INTERGRANULARE e' riempito con acqua avente PRESSIONE  $\mu$ , allora le TENSIONI TOTALI possono scomporsi in 2 parti. Una di esse, chiamata PRESSIONE NEUTRA  $\mu$ , agisce sui GRANI e sull'ACQUA in ogni DIREZIONE e con EGUALE INTENSITA'. La DIFFERENZA  $\sigma'_n = \sigma_n - \mu$ , rappresenta l'ALIQUOTA di PRESSIONE, in eccedenza alla  $\mu$ , che e' sopportata interamente dalla FASE SOLIDA. Questa FRAZIONE TO della TENSIONE TOTALE e' chiamata TENSIONE EFFICACE.

!!! la DEFINIZIONE di PRESSIONE NEUTRA, attribuita alla PRESSIONE dell'ACQUA, e' connessa al fatto che la CAUSA PRINCIPALE delle ROTTURE e/o delle DEFORMAZIONI che subisce un FENOMENO di TERRARNO e' costituita dalle AZIONI di TAGLIO che le singole PARTICELLE si scambiano tra loro.

STABILITÀ

$$\tau_a < \tau_r$$

ROTTURA

$$\tau_a = \tau_r$$

Se  $\mu = 0 \Rightarrow$  TERRENO SECCO

Se  $\mu \neq 0 \Rightarrow$  TERRENO SATURO

$\sigma'_n = \sigma_n$   
 e' quello che accade nel caso

$$\sigma'_n \neq \sigma_n$$

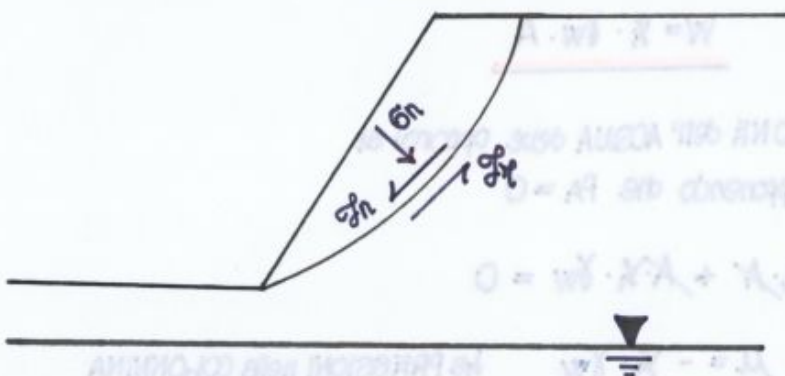
$$\tau_r = \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$\tau_r = (\sigma_n - \mu) \operatorname{tg} \varphi$$

OSSERVAZIONI:

- \* ha RESISTENZA al TAGLIO e'  $>$  quando il TERRENO e' SECCO piuttosto che quando e' SATURO
- \* le  $\tau_r$  in caso di PRESENZA d'ACQUA diminuiscono
- \* le PRESSIONI dell'ACQUA hanno un EFFETTO NEGATIVO sulla RESISTENZA.

APPLICAZIONE SFORZI EFFICACI: INFLUENZA della POGGIA sulla STABILITÀ dei PENDII



TERRENO SECCO

$$\sigma'_n = \sigma_n$$

$$\tau_a = \tau_r$$

$$\tau_r = c + \sigma'_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$= \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

CORSIONE: supponiamo sia 0.

Se abbiamo una SUPERFICIE LIBERA (della FALDA) dell'ACQUA all'interno del TERRENO allora saremo in presenza di una certa PRESSIONE IDROSTATICA  $\mu$ .

$$F_0 = \text{FATTORE di SICUREZZA} = \frac{\tau_r}{\tau_a}$$

TERRENO SATURO

$$\sigma'_n = \sigma_n - \mu$$

$$\tau_a = \tau_r$$

$$\tau_r = c + \sigma'_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$= c + (\sigma_n - \mu) \operatorname{tg} \varphi$$

$F_{POGGIA} < F_0$  perche' la  $\tau_r$  DIMINUISCE