

# INDAGINI GEOTECNICHE

DIVERSAMENTE DA ALTRE DISCIPLINE DELL'INGEGNERIA CIVILE, IN CUI LA SCELTA DELLA "GEOMETRIA DI PROGETTO" E DELLE PROPRIETÀ DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE È PARTE INTEGRANTE DEL PROGETTO STESSO,

**IN GEOTECNICA - LIMITATAMENTE AI TERRENI DI FONDAZIONE - NON SONO NOTE A PRIORI:**

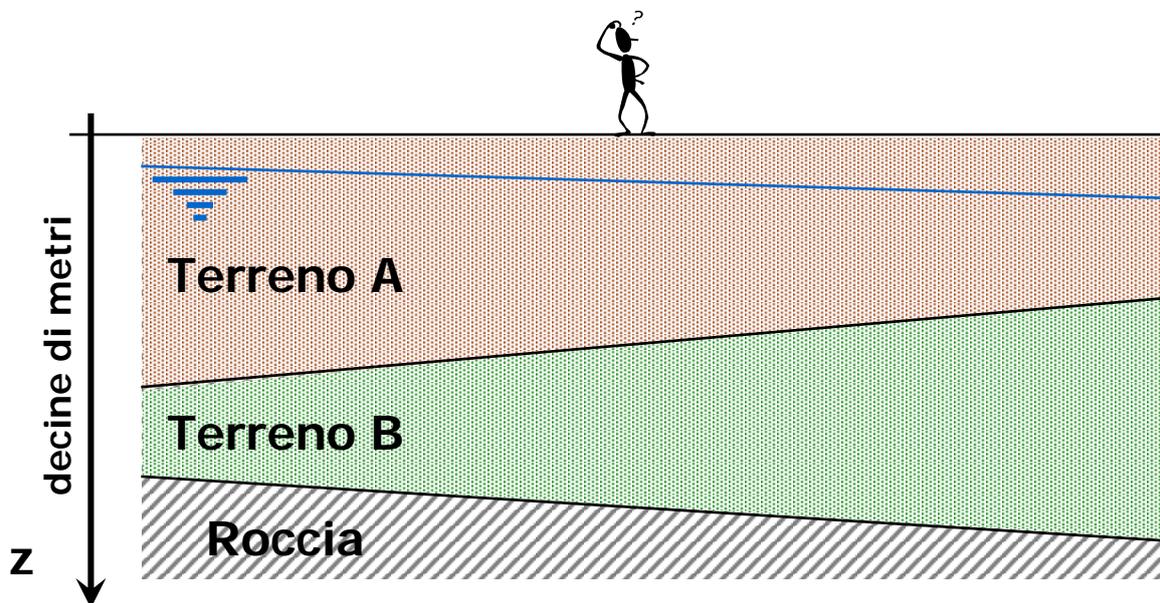
- LA SEQUENZA DEI TERRENI NEL SOTTOSUOLO (STRATIGRAFIA);
- LA CONDIZIONE DELLA FALDA ACQUIFERA;
- LE PROPRIETÀ DEI MATERIALI.

**QUESTO E L'ESTREMA VARIABILITÀ DEI TERRENI E DELLE SITUAZIONI NATURALI RENDONO INDISPENSABILE L'ESECUZIONE DI INDAGINI**

# FINALITÀ DELLE INDAGINI

Più in particolare, la finalità delle indagini geotecniche è:

- Individuare la natura e la disposizione stratigrafica dei terreni e delle rocce costituenti il sottosuolo;
- Definire il regime delle acque sotterranee;
- Individuare le proprietà dei vari terreni presenti nel sottosuolo.
  - fisiche (assortimento granulometrico, porosità, contenuto d'acqua, peso dell'unità di volume, ecc.);
  - meccaniche (compressibilità, deformabilità, resistenza a rottura, ecc.);
  - idrauliche (permeabilità).



## MEZZI D'INDAGINE

FINALITÀ	MEZZI	
<b>PROFILO STRATIGRAFICO</b>	<b>DIRETTI</b>	<b>INDIRETTI</b>
	POZZI	INDAGINI GEOFISICHE
	TRINCEE	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)
	CUNICOLI SONDAGGI	
<b>PROPRIETÀ MECCANICHE</b>	<b>IN LABORATORIO</b>	<b>IN SITO</b>
	PROVE SU CAMPIONI INDISTURBATI	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)
		PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT)
		PROVE SCISSOMETRICHE
		PROVE DILATOMETRICHE
		PROVE DI CARICO SU PIASTRA PROVE GEOFISICHE (CH, DH, SASW)
<b>PROPRIETÀ IDRAULICHE</b>	<b>IN LABORATORIO</b>	<b>IN SITO</b>
	PROVE DI PERMEABILITÀ SU CAMPIONI INDISTURBATI	PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORI DI SONDAGGIO, POZZI
<b>REGIME IDRAULICO</b>	<b>IN LABORATORIO</b>	<b>IN SITO</b>
		INSTALLAZIONE E MISURE CON PIEZOMETRI

## SCAVI (pozzi, cunicoli, trincee)

### Vantaggi:

- osservazione diretta della struttura del sottosuolo;
- identificazione di singoli strati, anche se di modesto spessore;
- possibilità di determinare le proprietà geotecniche dei terreni mediante prove in sito anche a grande scala e su terreni a grana grossa;
- possibilità di prelevare campioni indisturbati di grande dimensione ed alta qualità;
- indicazioni sulle acque sotterranee;
- possibilità di sopralluoghi e controlli in tempi diversi e da parte di più persone.

### Svantaggi:

- le profondità investigabili sono modeste, specie in presenza di venute d'acqua o se lo scavo è spinto sotto falda;
- necessità di strutture di sostegno provvisorie;
- tempi di esecuzione lunghi e costi elevati;
- necessità di personale esperto;
- pericolo di cedimenti e decompressione del terreno;
- necessità di gravosi provvedimenti anti infortuni;
- difficoltà ed oneri per l'occlusione degli scavi, senza produrre successivi cedimenti del terreno o alterazione del deflusso naturale delle acque superficiali e sotterranee.

## SONDAGGI

### Scopo:

- ricostruire il **profilo stratigrafico** mediante l'esame dei campioni estratti (rimaneggiati ed indisturbati);
- prelevare **campioni indisturbati** per la determinazione in laboratorio delle **proprietà fisiche e meccaniche**;
- consentire rilievi e **misure sulle acque sotterranee**;
- consentire l'esecuzione di **prove in sito** per la valutazione delle proprietà geotecniche del terreno in sede.

**Pertanto**

**È ASSOLUTAMENTE NECESSARIO UTILIZZARE  
ATTREZZATURE SPECIFICHE ED IMPIEGARE  
PERSONALE ESPERTO NEL SETTORE DELLE  
INDAGINI GEOTECNICHE**

## SONDAGGI

### Vantaggi:

- possibilità di attraversare **qualsiasi terreno**, anche a **grande profondità** e **sotto falda**;
- **tempi e costi** di esecuzione relativamente **contenuti** (rispetto agli scavi)
  - il costo varia tra i 80 € ed i 110 € al metro lineare (anno: 2002);
  - il tempo di esecuzione di un sondaggio di 50 m è di 2-3 giorni;
- possibilità di eseguire indagini anche **in mare** o **in fiume**;
- **semplicità** delle operazioni di **occlusione** del foro

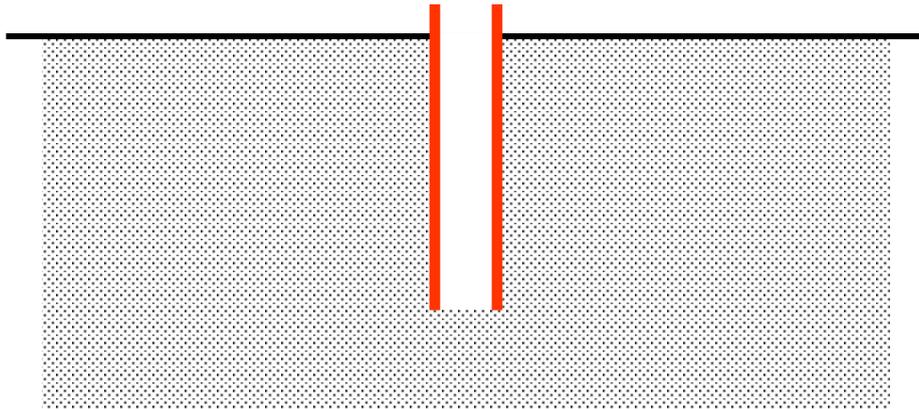
### Svantaggi:

- pericolo di non riconoscere eventuali **strati di terreno di piccolo spessore**;
- **difficoltà di campionamento** in terreni a **grana grossa incoerenti**;
- **impossibilità** di eseguire **prove in sito a grande scala**;
- possibile **disturbo o mascheramento dei terreni** per penetrazione del fluido di perforazione, dilavamento, caduta di detriti sul fondo.

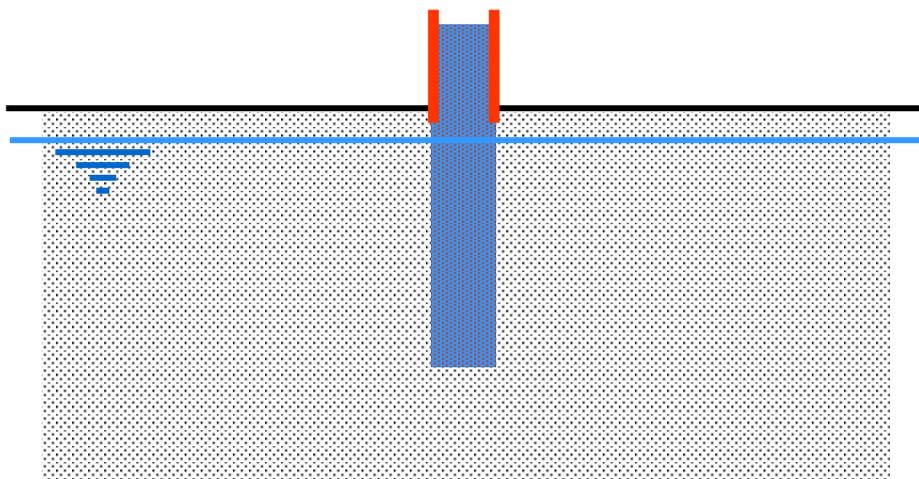


## Stabilizzazione delle pareti

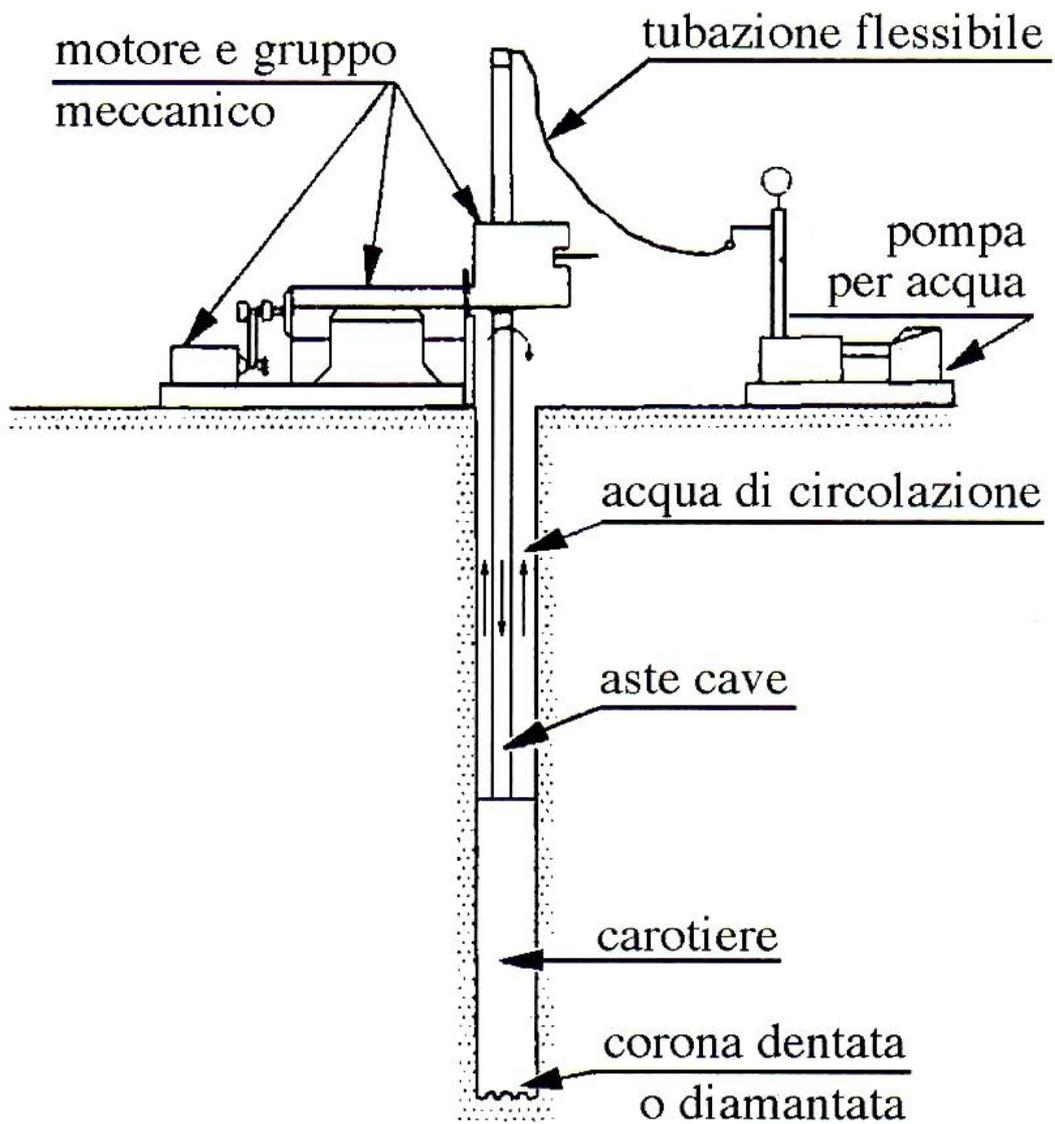
A) **mediante tubi di rivestimento provvisori**, metallici, che vengono infissi man mano che la perforazione procede



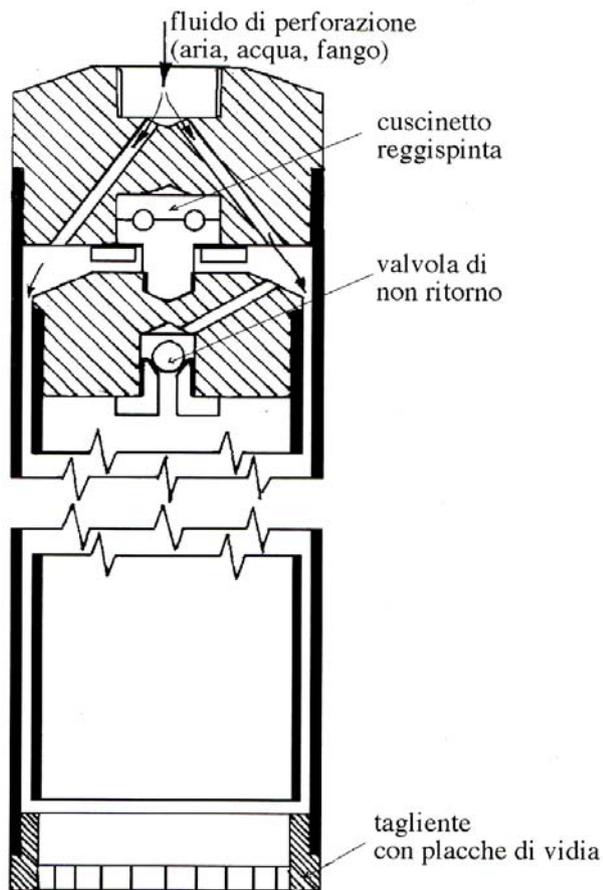
B) **con fanghi bentonitici**, che formano un sottile strato impermeabile sulle pareti del foro "trasformando" le pressioni indotte dal fango in tensioni totali sulle pareti e sul fondo della perforazione



## Attrezzatura per sondaggi a rotazione



## Doppio carotiere (a) Attrezzature per perforazione a distruzione (b)

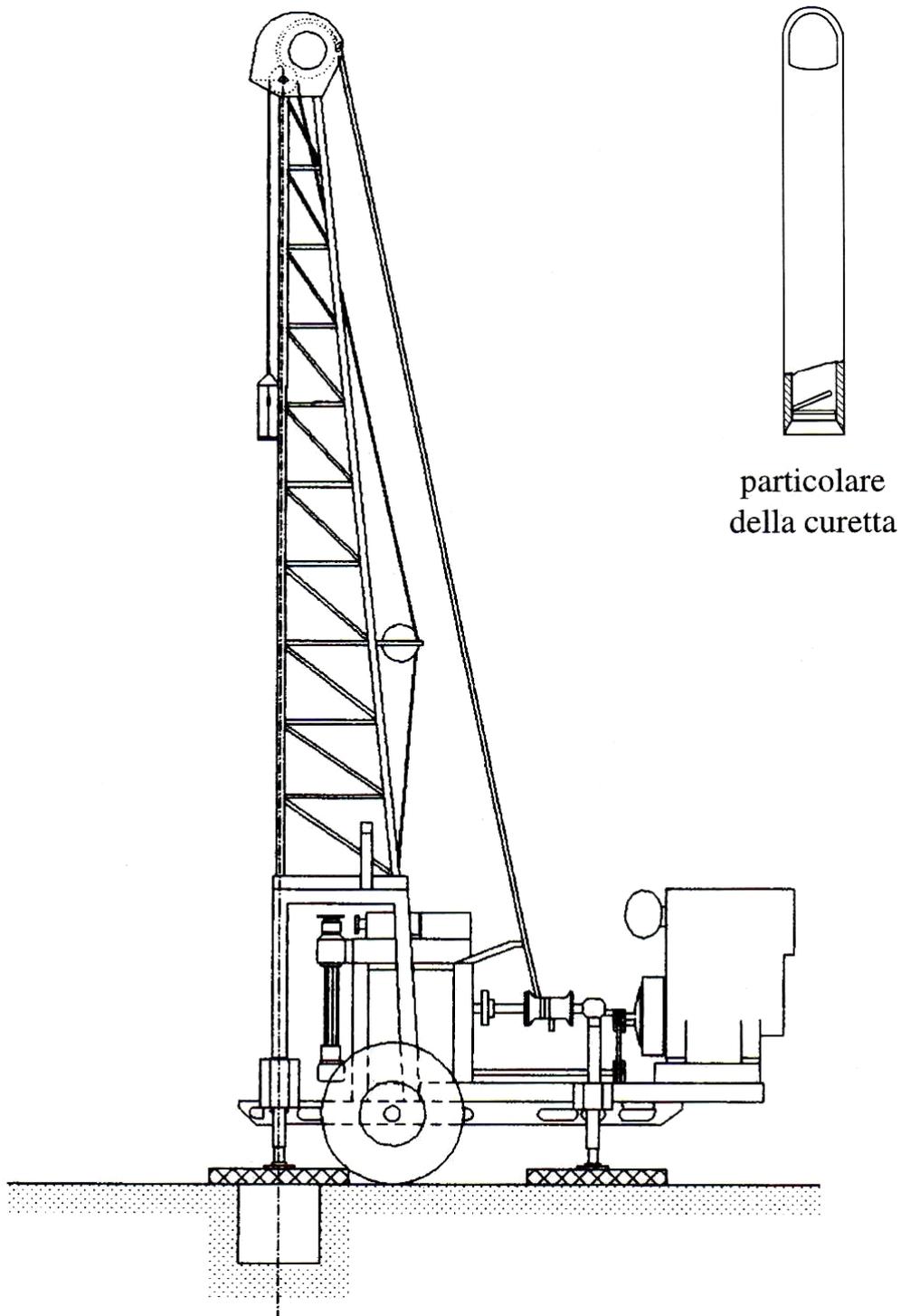


(a)

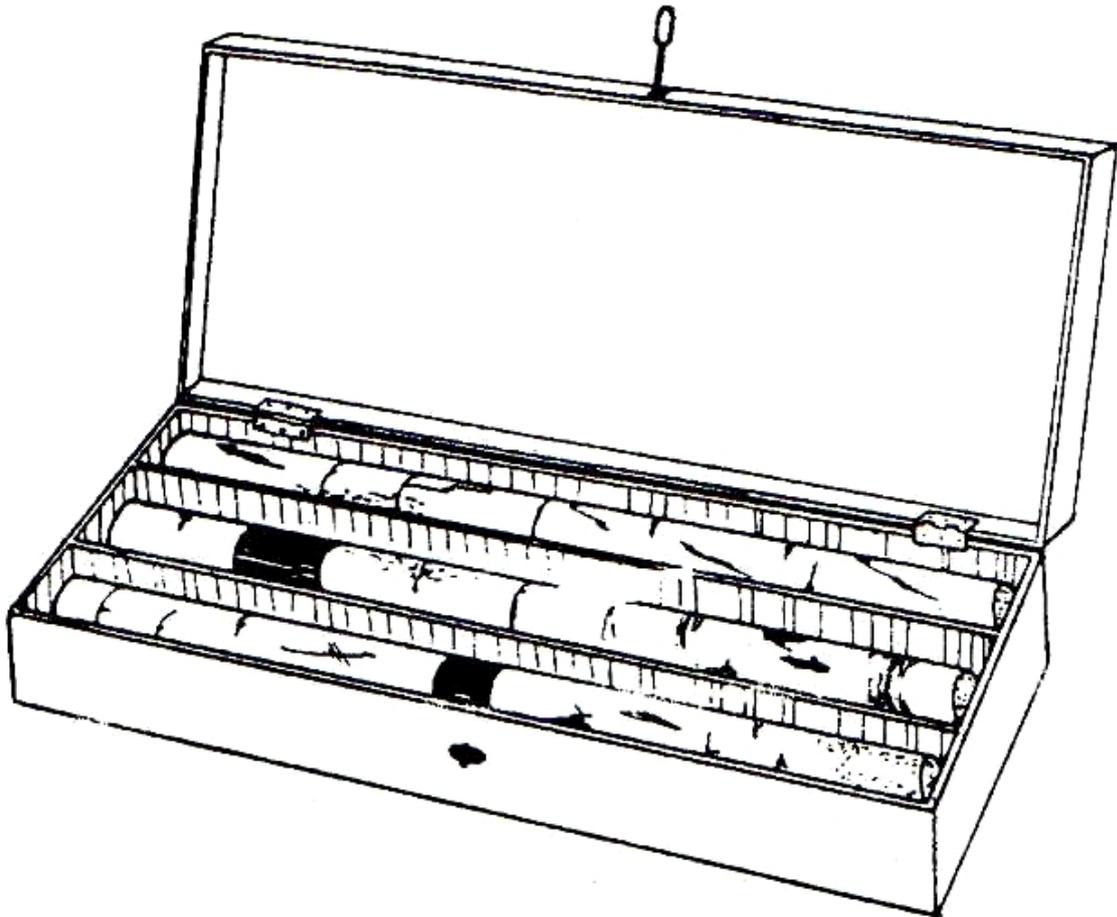


(b)

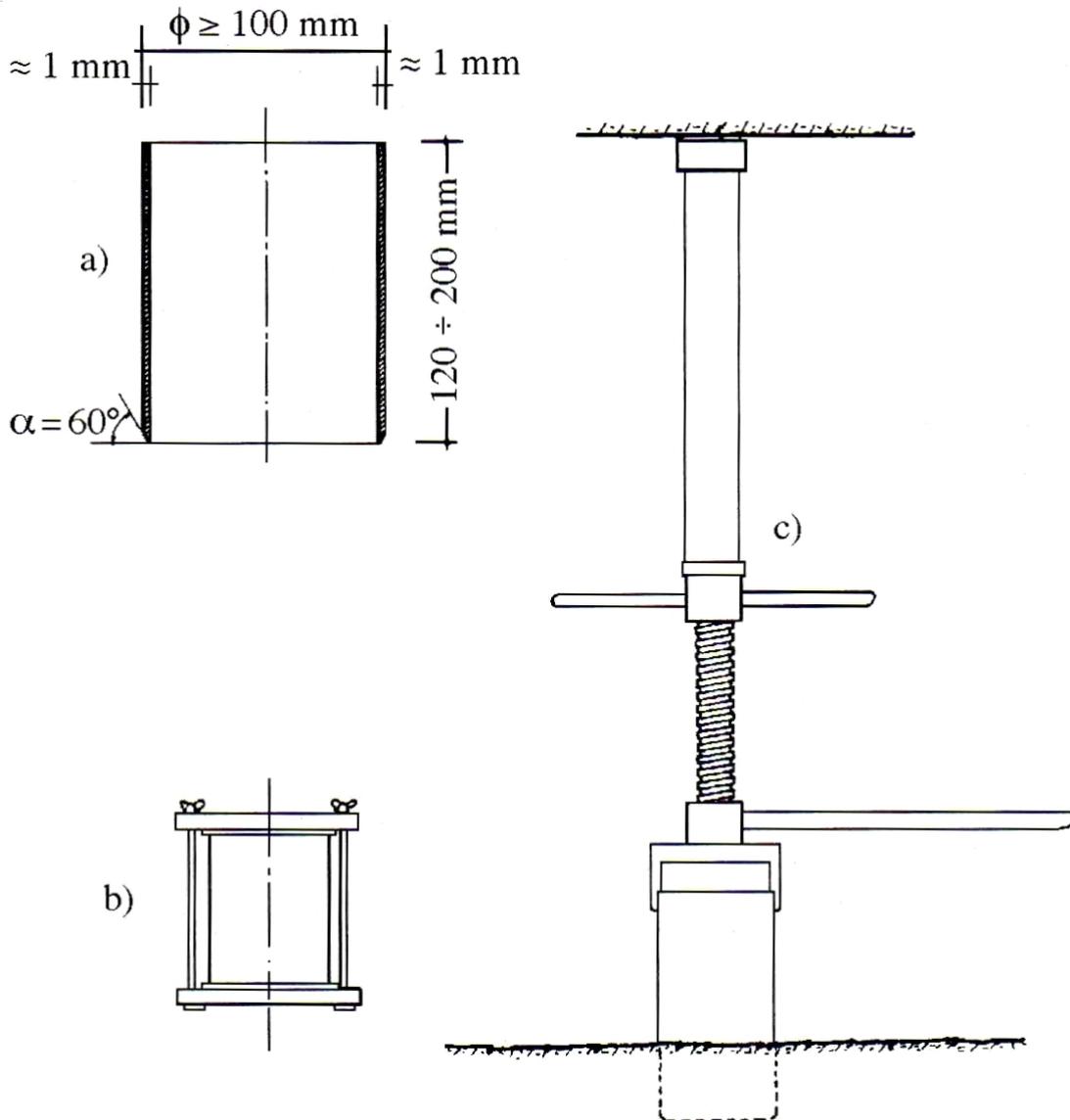
## Attrezzatura per sondaggi a percussione



## Cassette catalogatrici

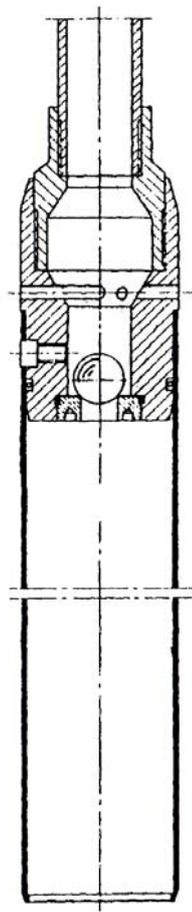


## Prelievo di campioni da scavi accessibili

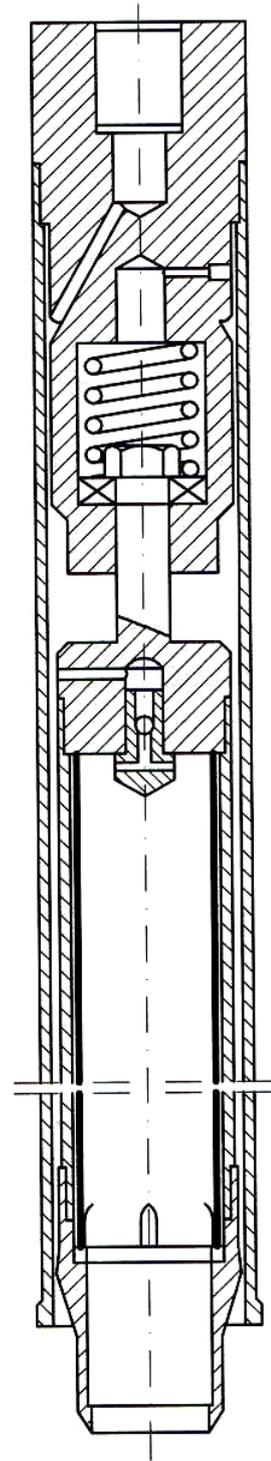


a) cilindro campionatore; b) chiusura a flange con guarnizione; c) attrezzatura di spinta a vite

**Campionatore a tubo aperto a parete sottile con  
valvola a sfera – Shelby (a)**  
**Campionatore rotativo a doppia parete – Mazier (b)**

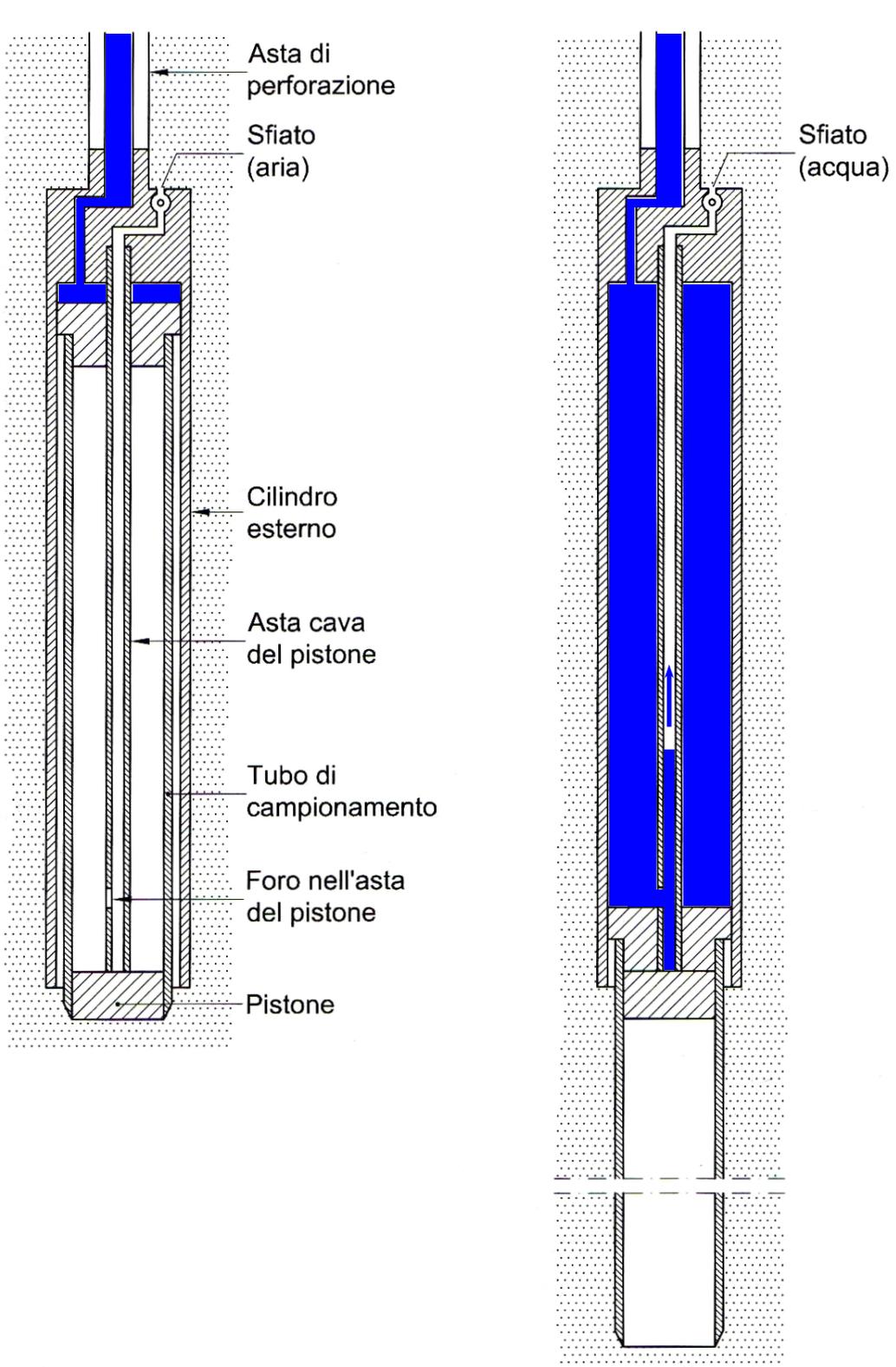


**(a)**

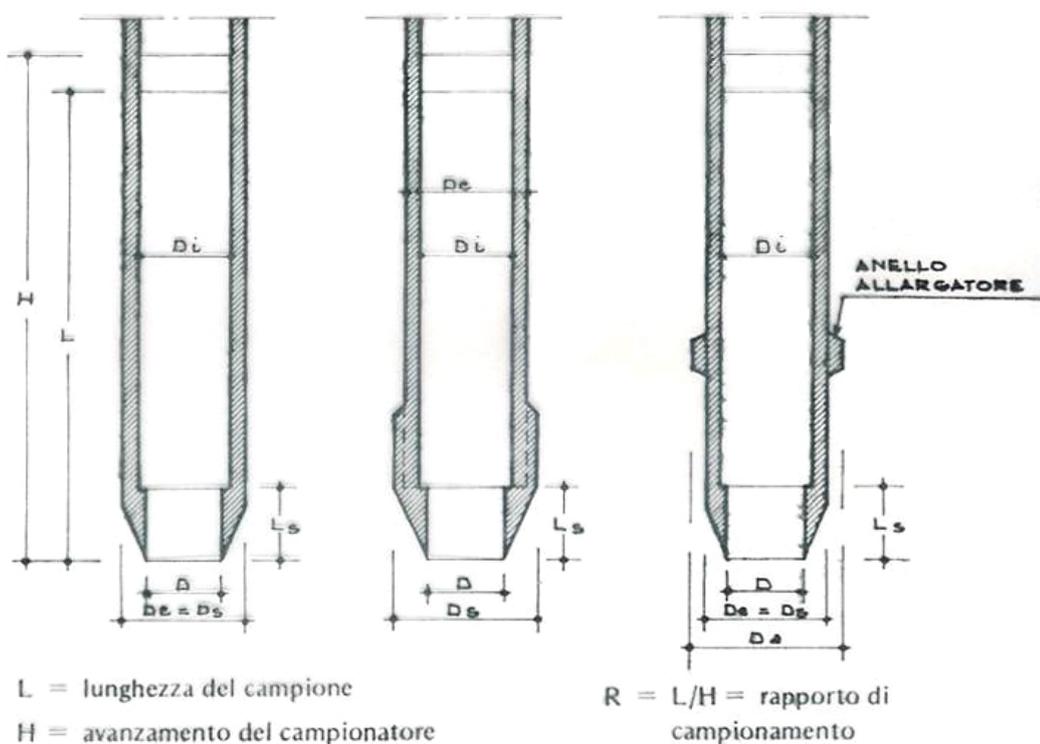


**(b)**

## Campionatore a pistone



## Caratteristiche dei campionatori



$$C_p = \frac{D_s^2 - D^2}{D^2} = \text{coefficiente di parete}$$

$$C_i = \frac{D_i - D}{D} = \text{coefficiente di spoglia interna}$$

$$C_a = \frac{D_s - D_e}{D_e} = \frac{D_a - D_e}{D_e} = \text{coefficiente di spoglia esterna}$$

### Requisiti generali

$$C_p \leq 15\%$$

$$C_i = \begin{cases} 0 \div 0,5\% & \text{per campioni corti o superficiali, avanzamenti rapidi, terreni incoerenti} \\ 0,75 \div 1,5\% & \text{per campioni lunghi e profondi, avanzamenti lenti, terreni coesivi} \end{cases}$$

$$C_a = \begin{cases} \approx 0 & \text{per terre incoerenti} \\ \leq 2 \div 3\% & \text{per terre coesive} \end{cases} \quad R = 1 - 2C_i = 97 \div 100\%$$

$$\frac{L_s}{D} = 0,1 \div 0,4$$

# Campionamento

## Possibili fonti di disturbo:

- rigonfiamento del terreno dovuto alla riduzione delle tensioni efficaci durante la perforazione;
- compressione del terreno per effetto dell'eccessiva sollecitazione prodotta dall'avanzamento del campionatore;
- presenza di materiale rimaneggiato a fondo foro;
- disturbi prodotti dalla penetrazione del campionatore;
- disturbo prodotto dal tipo di avanzamento;
- trasporto;
- conservazione;
- estrusione;
- annullamento del deviatore dello stato tensionale in sito.

## Rimedi:

- evitare soste tra fine perforazione ed inizio del campionamento;
- evitare che la testa del campionatore sia infissa al di sotto del fondo foro;
- pulizia del fondo foro;
- usare campionatori con adeguati valori dei fattori geometrici;
- avanzamento a pressione;
- evitare scossoni e variazioni di temperatura;
- conservare in luoghi a temperatura ed umidità controllati;
- estrarre il campione con continuità evitando ulteriori deformazioni;
- inevitabile.

## Classi di qualità

Caratteristiche geotecniche determinabili	Classe di qualità				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Profilo stratigrafico	x	x	x	x	x
Composizione granulometrica		x	x	x	x
Contenuto naturale di acqua			x	x	x
Peso dell'unità di volume				x	x
Caratteristiche meccaniche (resistenza, deformabilità, ecc.)					x

## Classe di qualità dei campioni

Tipo di terreno	Classe di qualità ottenibile col campionatore				
	Percussione		Pressione		Rotazione doppio carotiere
	pesante	a parete sottile	a parete sottile	a pistone	
Coerenti poco consistenti	—	Q3	Q4	Q5	—
Coerenti, moderatamente consistenti o consistenti	Q3(Q4)	Q4	Q5	Q5	—
Coerenti molto consistenti	Q2(Q4)	Q3(Q4)	Q5*	—	Q5
Sabbie fini al di sopra della falda	Q2	Q3	Q3	Q3(Q4)	—
Sabbie fini in falda	Q1	Q2	Q2	Q2(Q3)	—
Rocce lapidee continue	—	—	—	—	Q5

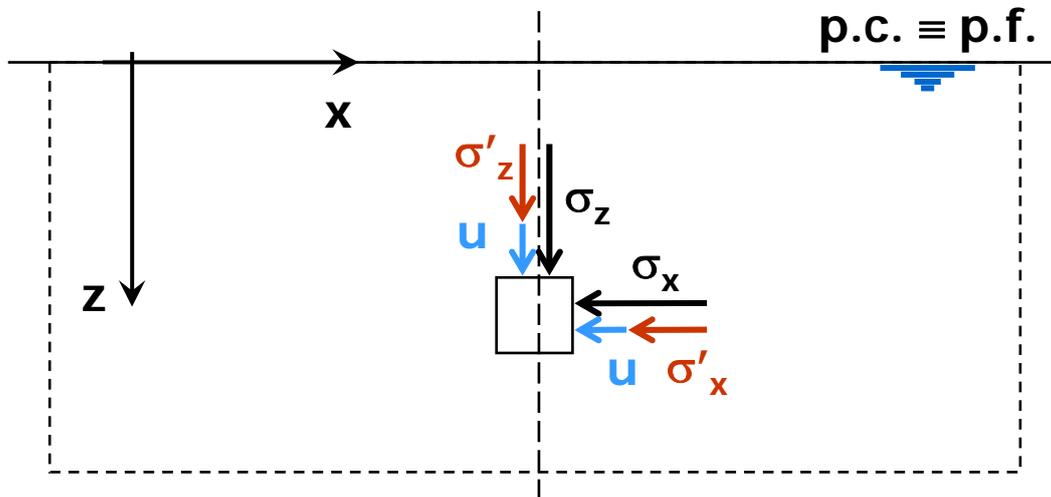
( ) solo con operazioni estremamente accurate

\* solo in terreni con resistenza di 1-2 kg/cm<sup>2</sup> misurata con penetrometro tascabile

## NUMERO DI CAMPIONI INDISTURBATI

TIPO DI OPERA	VARIABILITÀ DEI TERRENI		
	MODESTA	MEDIA	ELEVATA
edificio di modesta importanza	10	20	30
edificio di media importanza	30	50	80
edificio di notevole importanza	50	80	120

## CAMPIONAMENTO INDISTURBATO (stato di tensione)



**Tensioni totali:**

$$\sigma_z = \gamma_{\text{sat}} \cdot \mathbf{z} = \sigma_1$$

$$\sigma_x = \sigma'_x + \mathbf{u} = \sigma_3$$

**Pressioni interstiziali:**

$$\mathbf{u} = \gamma_w \cdot \mathbf{z}$$

**Tensioni efficaci:**

$$\sigma'_z = \gamma_{\text{sat}} \cdot \mathbf{z} - \gamma_w \cdot \mathbf{z} = \gamma' \cdot \mathbf{z} = \sigma'_1$$

$$\sigma'_x = k_o \cdot \sigma'_z = K_o \cdot \gamma' \cdot \mathbf{z} = \sigma'_3$$

**Il campionamento avviene in condizioni non drenate e provoca l'annullamento delle tensioni totali, che passano dal valore iniziale ( $\sigma_z, \sigma_x$ ) ad un valore finale pari a zero.**

Il campionamento quindi provoca le seguenti **variazioni di tensioni totali in condizioni non drenate**:

$$\begin{aligned}\delta\sigma_z &= -\gamma_{\text{sat}} \cdot \mathbf{z} = \delta\sigma_1 \\ \delta\sigma_x &= -\mathbf{K}_o \cdot \gamma' \cdot \mathbf{z} - \gamma_w \cdot \mathbf{z} = \delta\sigma_3\end{aligned}$$

Di conseguenza, nel campione si ha una modifica delle pressioni interstiziali, valutabile mediante la relazione di Skempton:

$$\delta\mathbf{u} = \mathbf{B} \cdot [\delta\sigma_3 + \mathbf{A} \cdot (\delta\sigma_1 - \delta\sigma_3)]$$

La pressione interstiziale residua è somma di quella preesistente e quella indotta, ed è quindi pari a:

$$\begin{aligned}\mathbf{u}_r &= \mathbf{u} + \delta\mathbf{u} = \gamma_w \cdot \mathbf{z} - \mathbf{K}_o \cdot \gamma' \cdot \mathbf{z} - \gamma_w \cdot \mathbf{z} + \\ &\quad + \mathbf{A} \cdot (-\gamma_{\text{sat}} \cdot \mathbf{z} + \mathbf{K}_o \cdot \gamma' \cdot \mathbf{z} + \gamma_w \cdot \mathbf{z}) = \\ &= \gamma' \cdot \mathbf{z} \cdot [\mathbf{A} \cdot (\mathbf{K}_o - 1) - \mathbf{K}_o]\end{aligned}$$

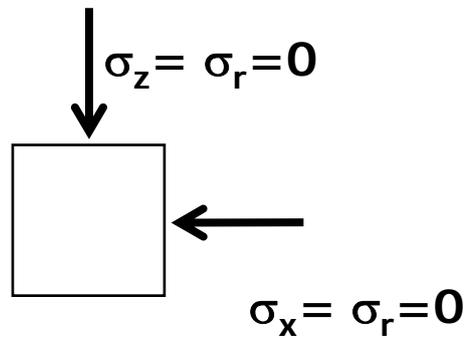
La  $u_r$  è in genere negativa (ad esempio per  $A > 0$ ,  $K_o < 1$ ) ed è resa possibile dall'insorgere di tensioni capillari sul bordo del campione (contatto acqua-aria).

**PER IL PRINCIPIO DI TERZAGHI RISULTA:**

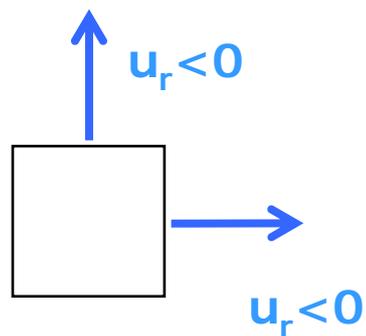
$$\sigma'_r = \sigma_r - \mathbf{u}_r = -\mathbf{u}_r > \mathbf{0}$$

## In definitiva:

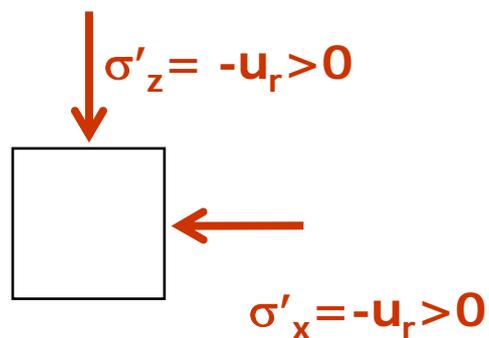
Per effetto del campionamento le tensioni totali si annullano:



Nascono pressioni interstiziali negative:



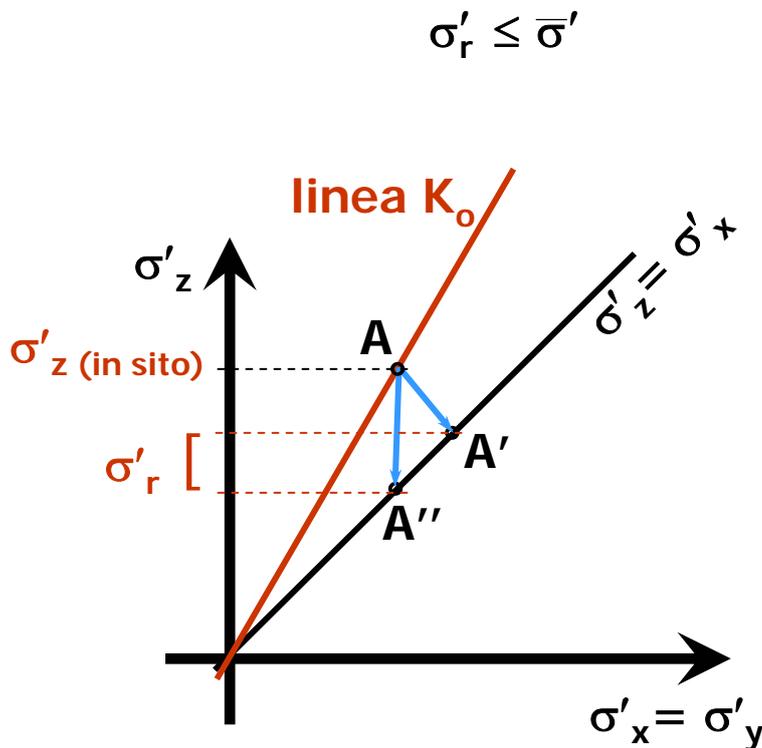
Da ciò deriva uno stato sferico di tensioni efficaci positive:

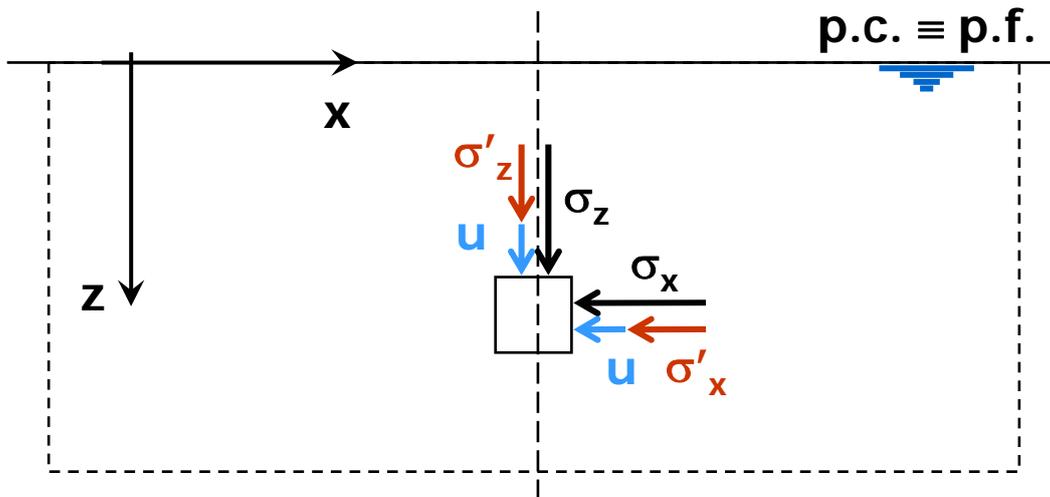


**Pertanto, il prelievo di campioni indisturbati è possibile solo nei terreni a grana fine, mentre non è possibile in quelli a grana grossa.**

Nei terreni a grana grossa, la dimensione dei pori impedisce il permanere di pressioni interstiziali negative nel campione. Questi terreni sono campionabili in modo indisturbato solo con tecniche speciali (p.e., congelamento del liquido di porosità) o se cementati (anche se debolmente).

In genere si ha:





$$p' = \frac{\sigma'_1 + 2 \cdot K_o \cdot \sigma'_1}{3} = \sigma'_1 \cdot \frac{1 + 2 \cdot K_o}{3}$$

$$q = \sigma'_1 - K_o \cdot \sigma'_1 = \sigma'_1 \cdot (1 - K_o)$$

$$\frac{q}{p'} = \frac{3 \cdot (1 - K_o)}{1 + 2 \cdot K_o}$$

