
Laboratorio di Geotecnica

Lezione 2:

Misura delle grandezze fisiche e requisiti delle prove di laboratorio

docente: prof. ing. Riccardo Castellanza



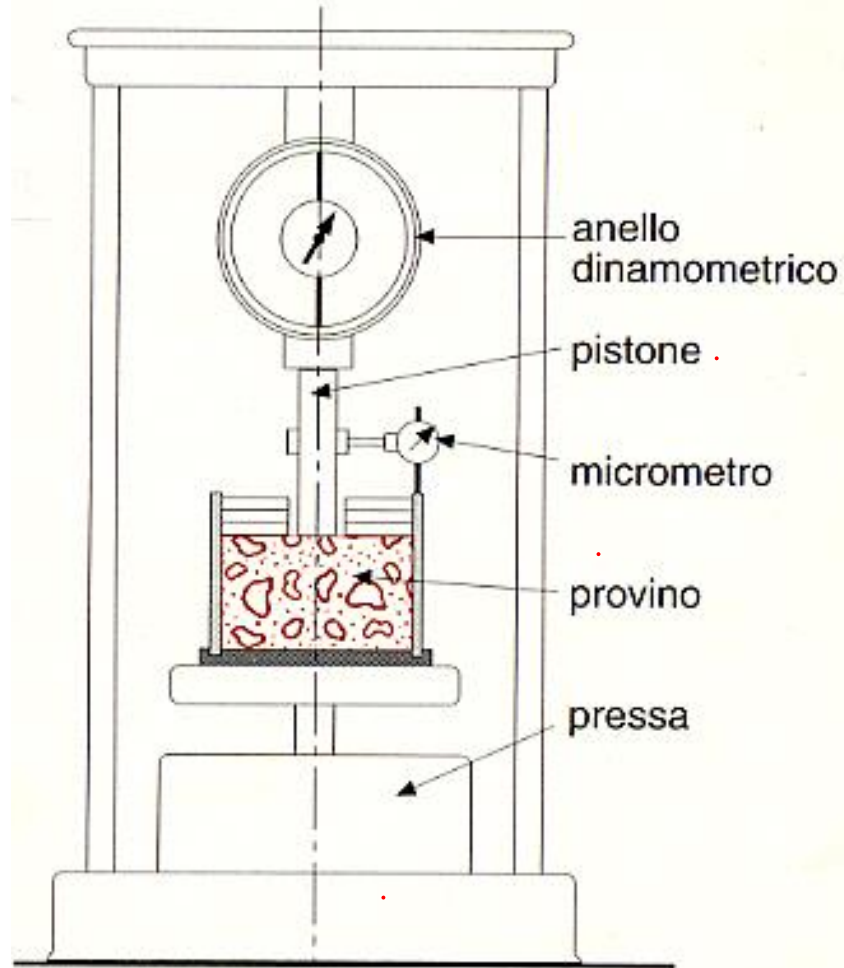
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e
del Territorio e di Scienze della Terra
Piazza della Scienza 4
I-20126 Milano
email: riccardo.castellanza@unimib.it
Tel . +39-0264482045



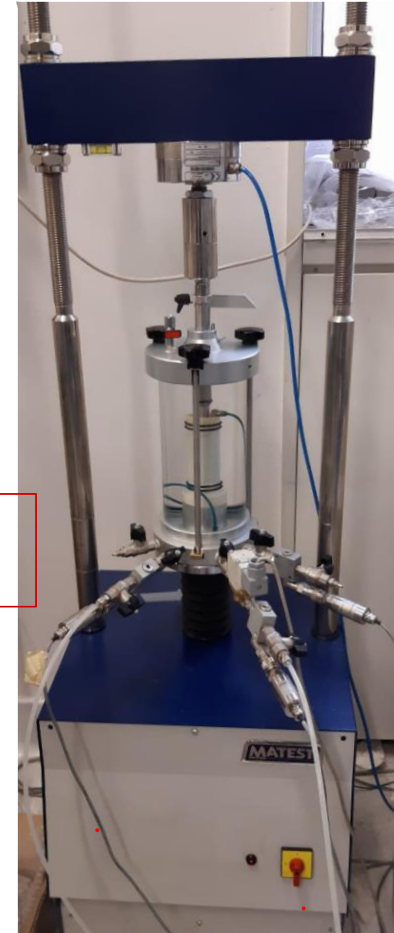
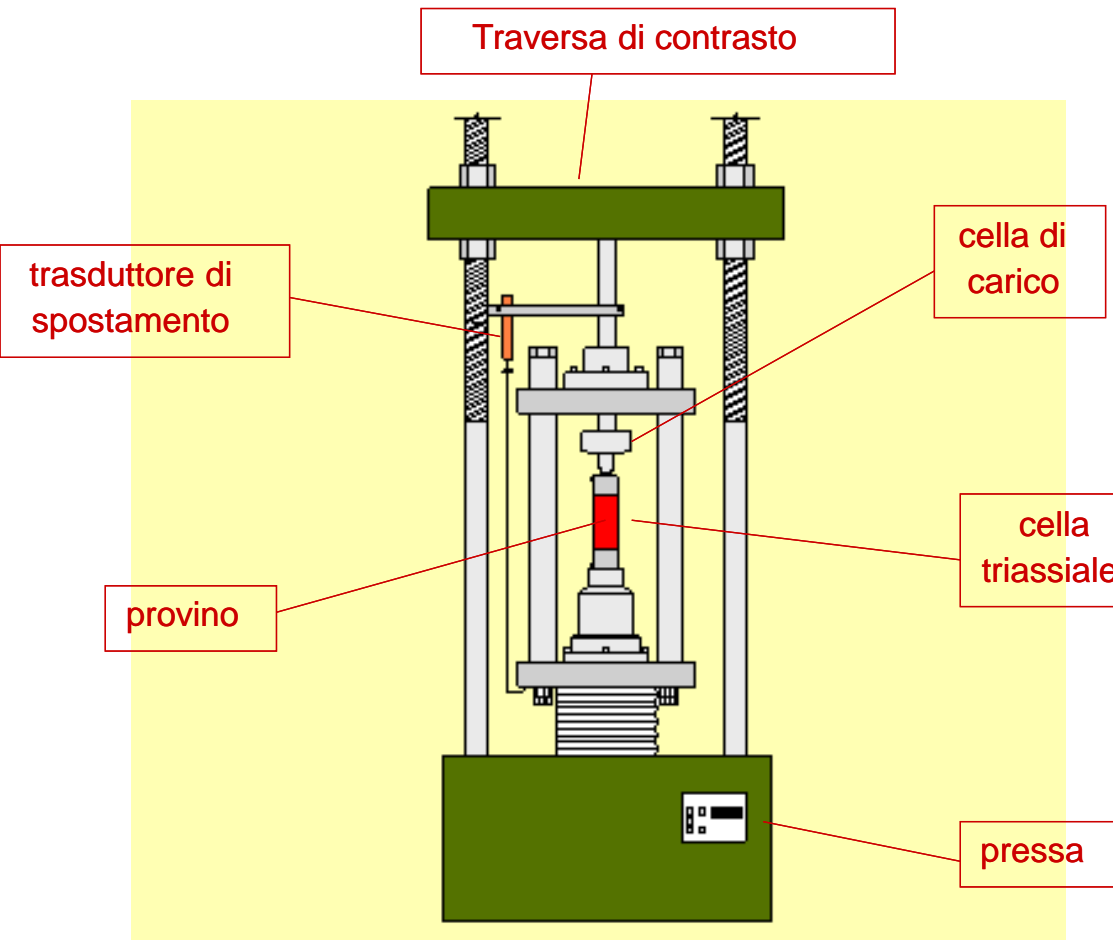
Struttura della lezione

- Caratteristiche delle apparecchiature di prova: sistemi di misura per forze, spostamenti e pressioni; sistemi di acquisizione e di controllo
- Definizione dei concetti di risoluzione, accuratezza e del range di misura degli strumenti di misura.
- Acquisizione dei dati: dati grezzi e dati rielaborati

Esempio di apparecchiatura – Prova CBR



Esempio di apparecchiatura di triassiale



Esempio di apparecchiatura controllo

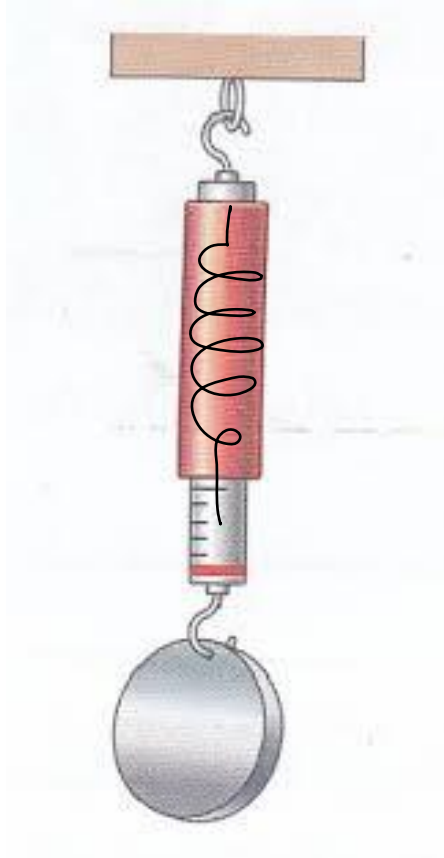
Controllo di carico



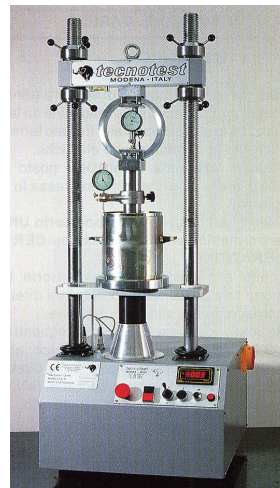
Controllo di spostamento

Sistemi di misura per forze

Dinamometri



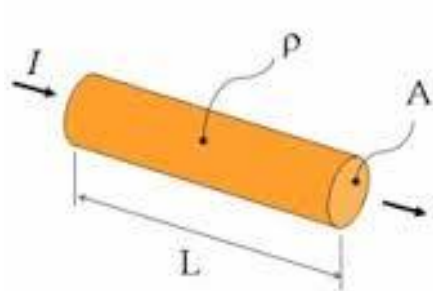
Anelli dinamometrici



Celle di carico



Estensimetri ed il ponte di Wheatstone

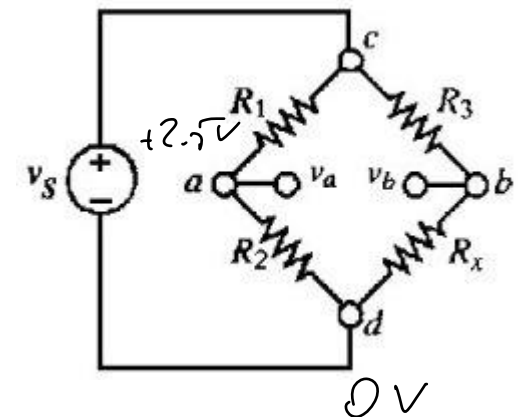
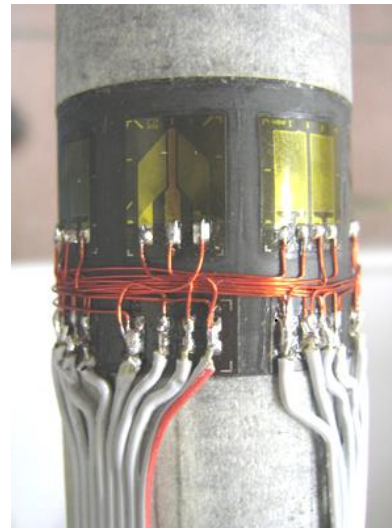
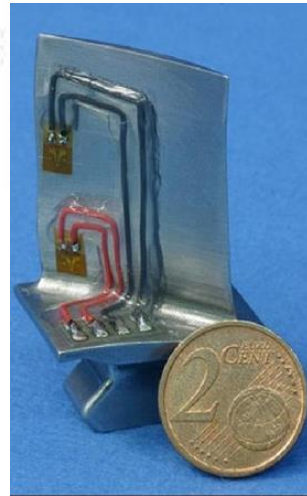
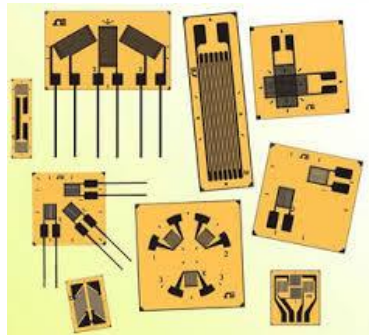
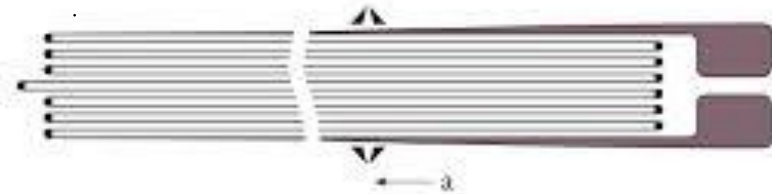
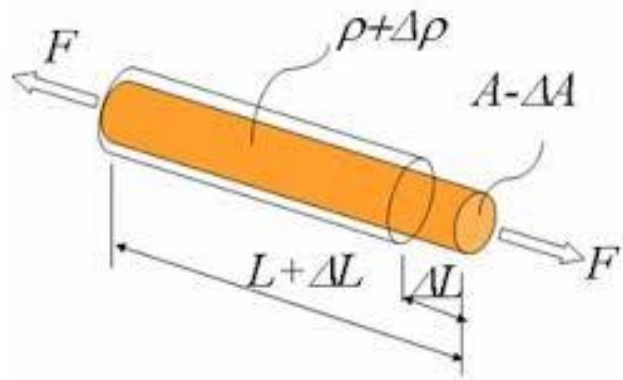
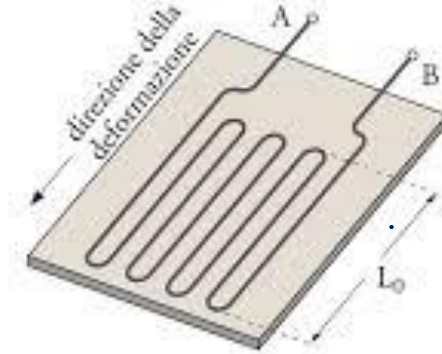


$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

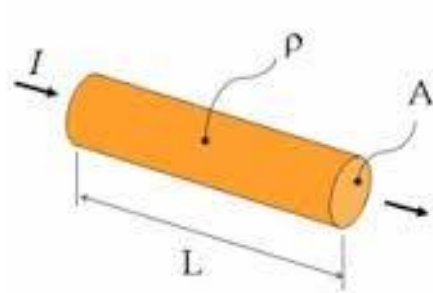
R = resistenza
ρ = resistività
L = lunghezza conduttore
A = area sezione del conduttore

$$\frac{\delta L}{L_0} = \frac{1}{S} \frac{\delta R_{AB}}{R_{AB}}$$

L₀ = lunghezza della base
R_{AB} = resistenza elettrica
S = fattore di taratura



Estensimetri ed il ponte di Wheatstone

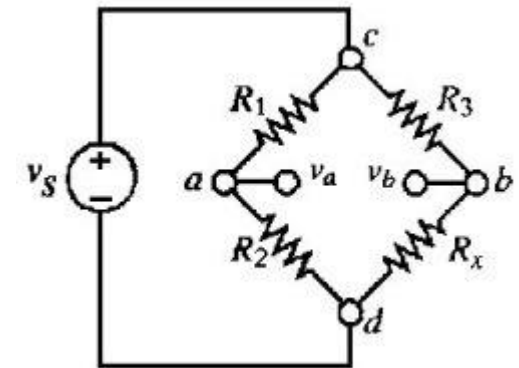
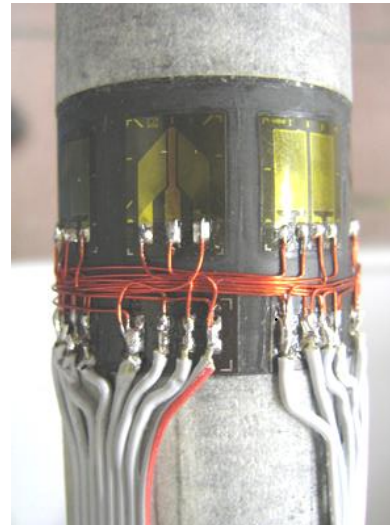
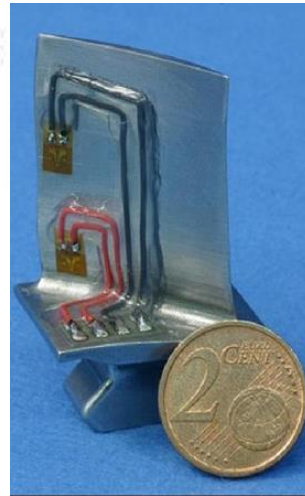
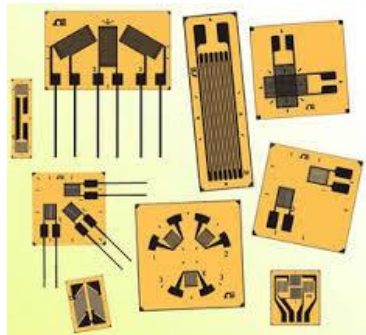
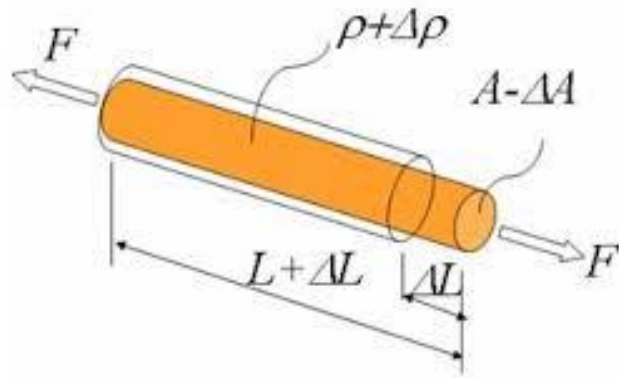
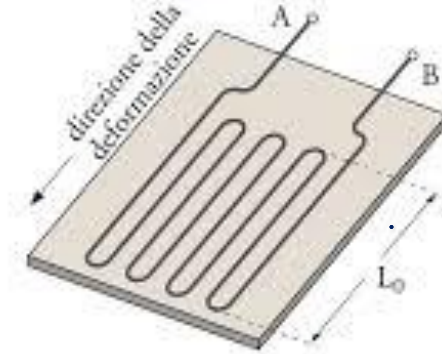


$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

R = resistenza
ρ = resistività
L = lunghezza conduttore
A = area sezione del conduttore

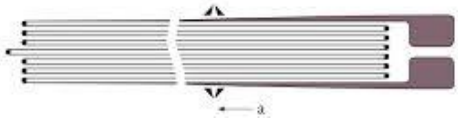
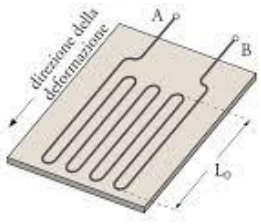
$$\frac{\delta L}{L_0} = \frac{1}{S} \frac{\delta R_{AB}}{R_{AB}}$$

L₀ = lunghezza della base
R_{AB} = resistenza elettrica
S = fattore di taratura



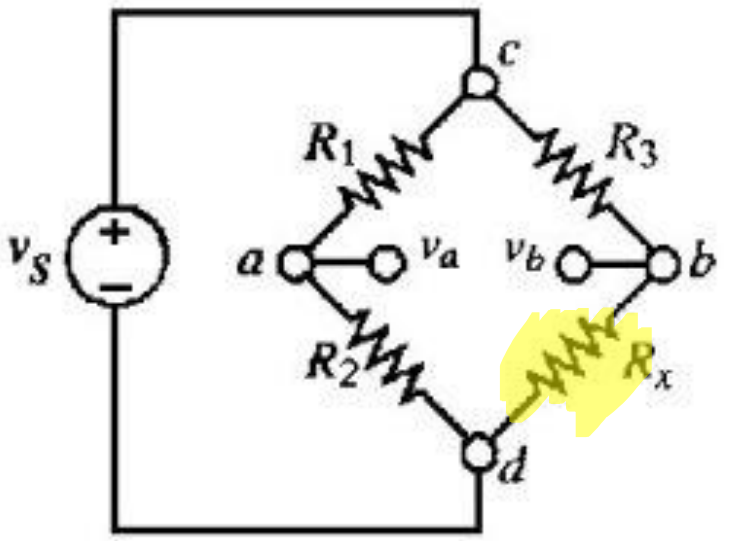
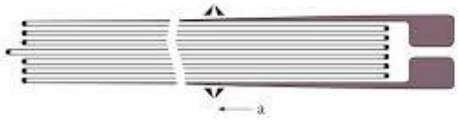
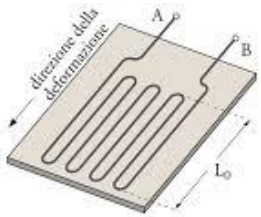
$$\frac{\delta L}{L_0} = \frac{1}{S} \frac{\delta R_{AB}}{R_{AB}}$$

L_0 = lunghezza della base
 R_{AB} = resistenza elettrica
 S = fattore di taratura



$$\frac{\delta L}{L_0} = \frac{1}{S} \frac{\delta R_{AB}}{R_{AB}}$$

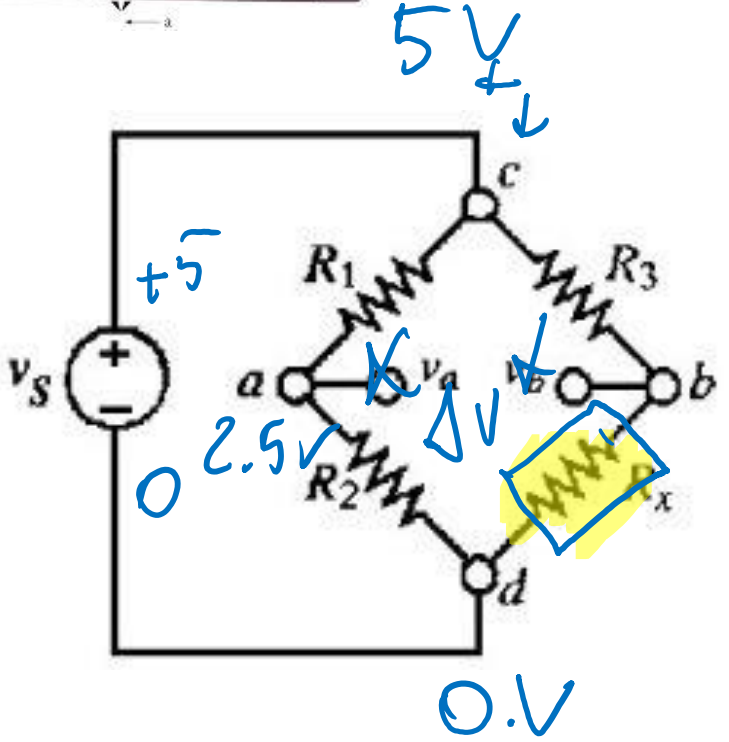
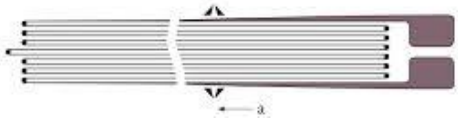
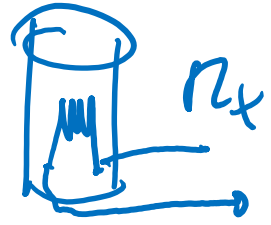
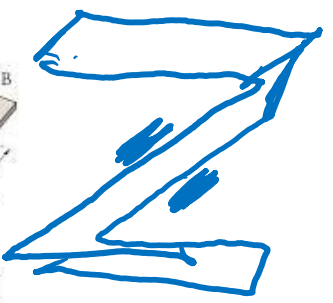
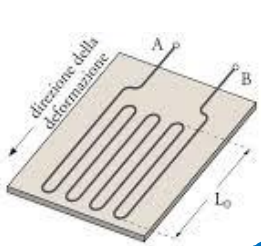
L_0 = lunghezza della base
 R_{AB} = resistenza elettrica
 S = fattore di taratura



Ponte di Wheatstone

$$\frac{\delta L}{L_0} = \frac{1}{S} \frac{\delta R_{AB}}{R_{AB}}$$

L_0 = lunghezza della base
 R_{AB} = resistenza elettrica
 S = fattore di taratura

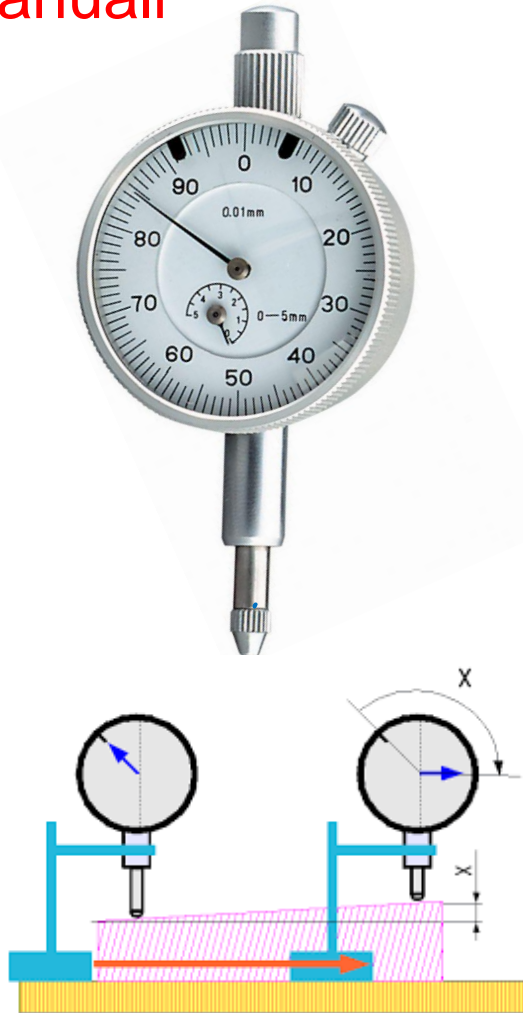


F	ΔL	ΔV _{ab} [μV]
10kg	1mm	10μV
20kg	2	20μV
30	3	30μV

2.5V
 F → ΔV_{ab} [μV]

Sistemi di misura per spostamenti

Comparatori manuali



Trasduttori LVDT

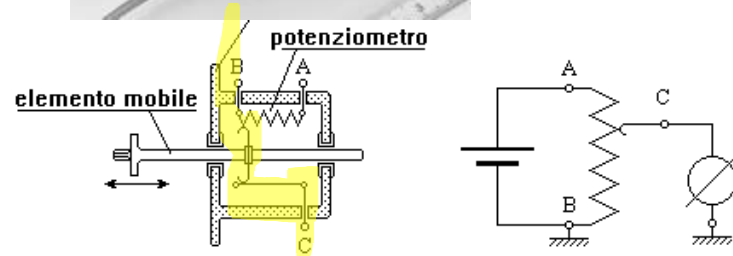
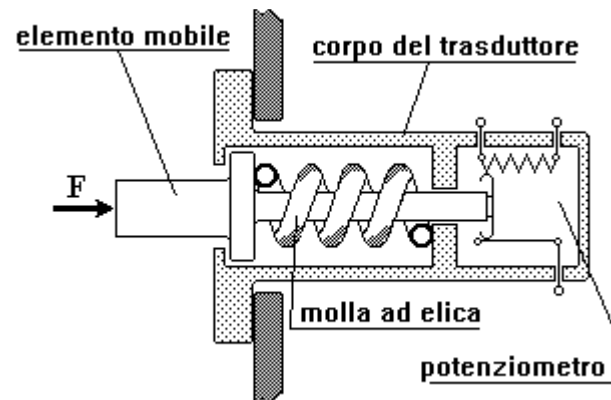
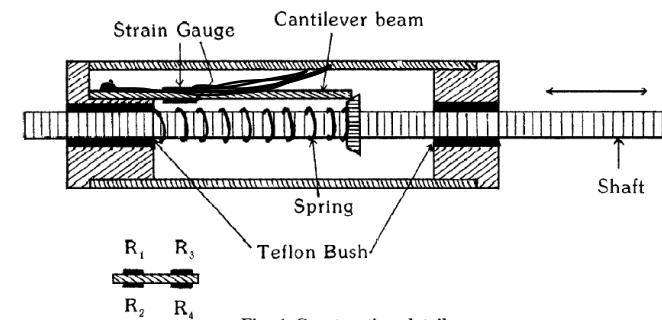


Figura 1. Funzionamento schematico di un trasduttore di posizione: l'elemento mobile, spostandosi in base alla grandezza di ingresso, determina la variazione della tensione in uscita al morsetto C.

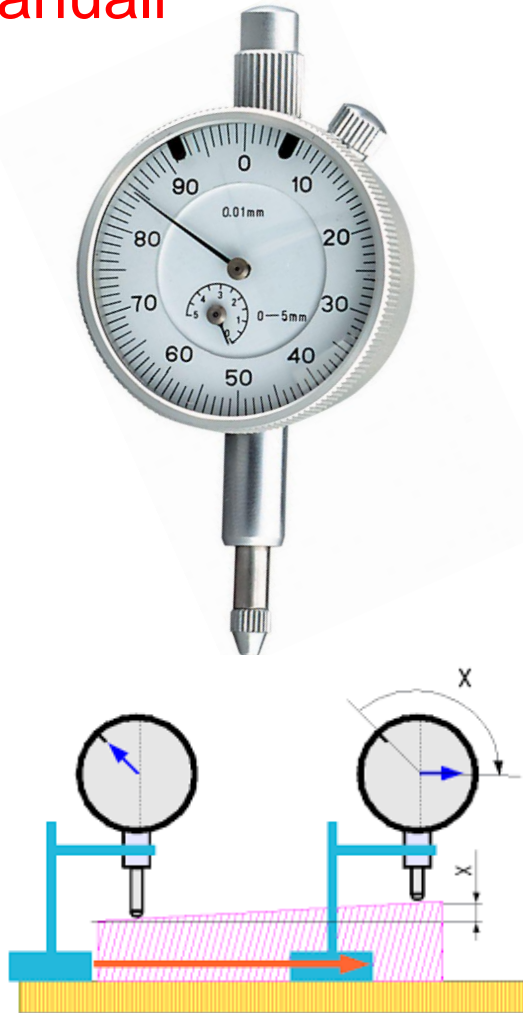


Trasduttori estensimetrici



Sistemi di misura per spostamenti

Comparatori manuali



Trasduttori LVDT

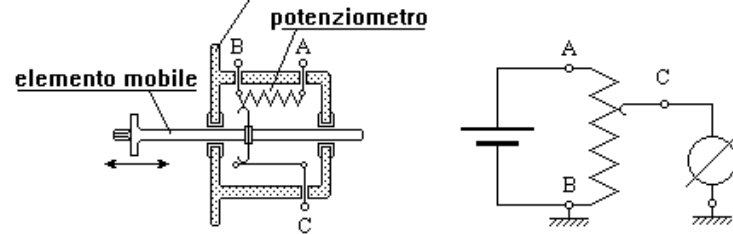
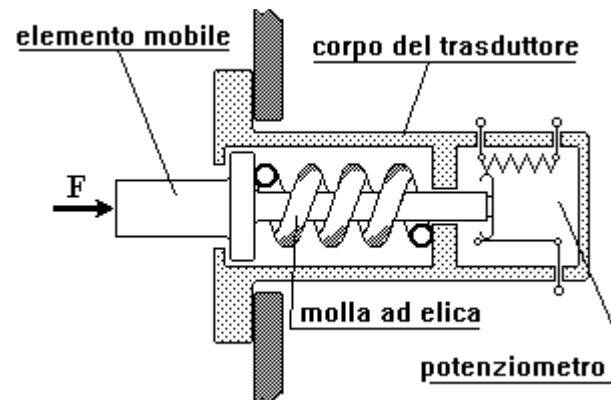
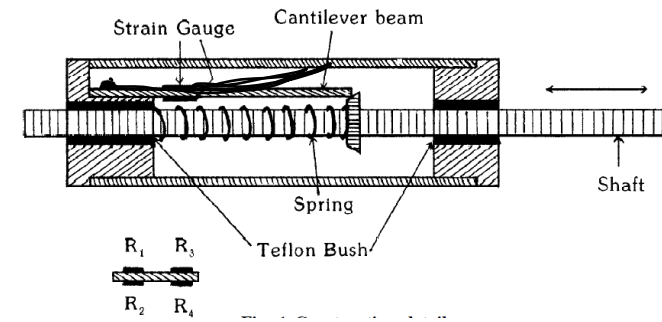


Figura 1. Funzionamento schematico di un trasduttore di posizione: l'elemento mobile, spostandosi in base alla grandezza di ingresso, determina la variazione della tensione in uscita al morsetto C.



Trasduttori estensimetrici

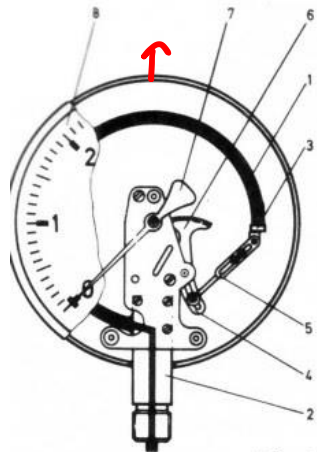


Sistemi di misura delle pressioni

Manometri



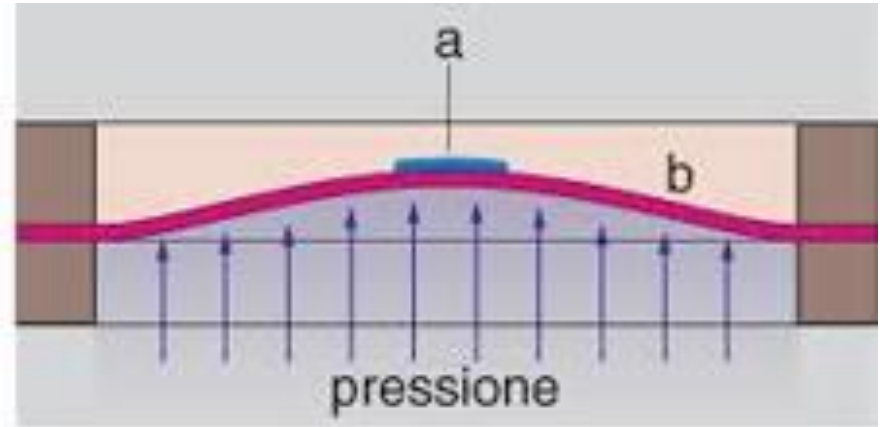
Trasduttori estensimetrici digitali



1. molla tubolare
2. attacco
3. term. della molla
4. segmento
5. leva di collegamento
6. settore dentato
7. indice
8. scala del quadrante



Fig. 7.9 — Manometro Bourdon.



Sistemi di misura di volumi

Metodo burette

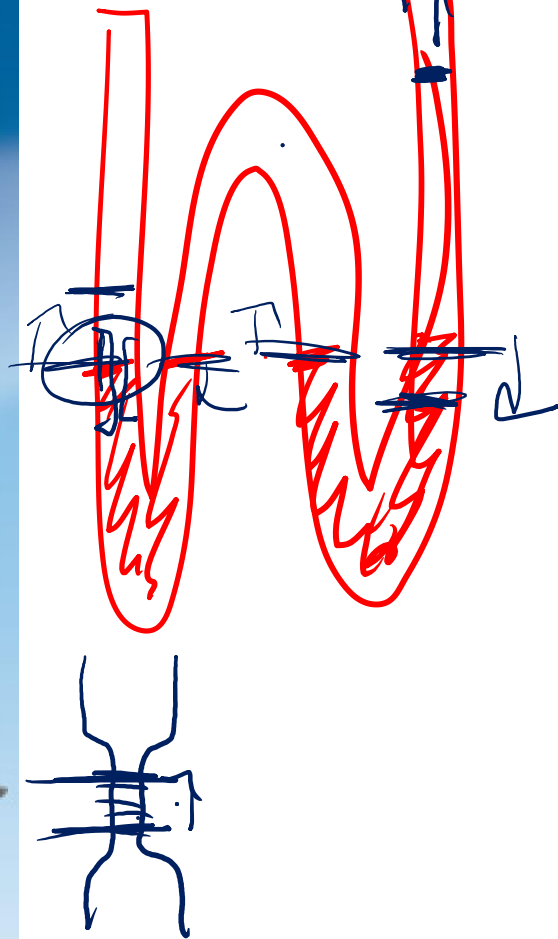


Misura automatica

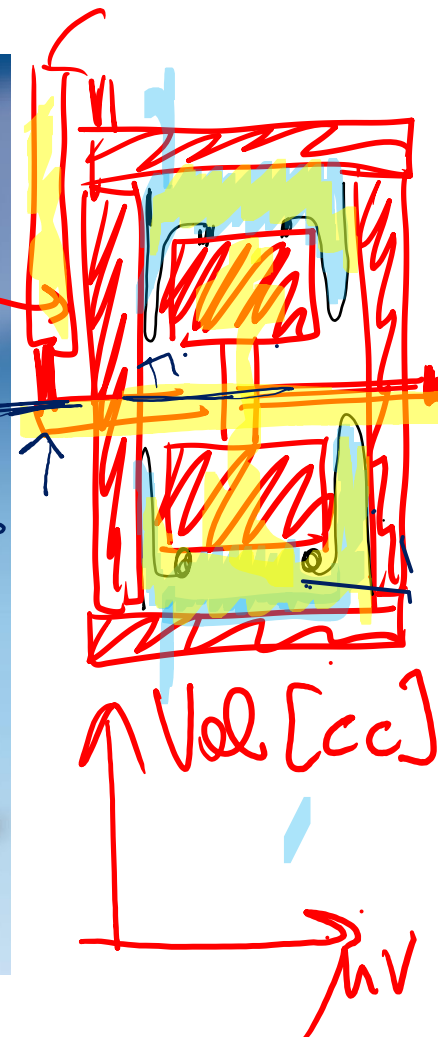


Sistemi di misura di volumi

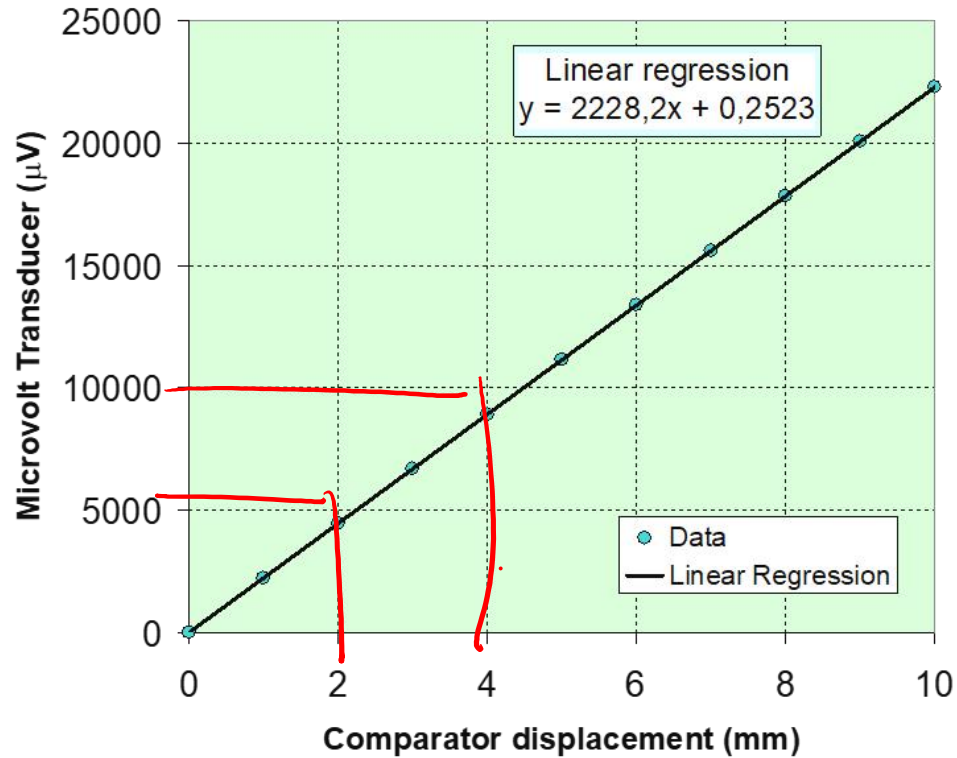
Metodo burette



Misura automatica



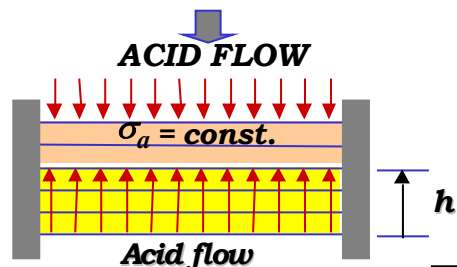
Calibrazione trasduttori



Esempio apparecchiatura; Weathering Test Device (WTD)

WTD: designed to study the evolution of the mechanical behaviour of the rock during the whole weathering process.

CHEMICAL DEBONDING



Mechanical:

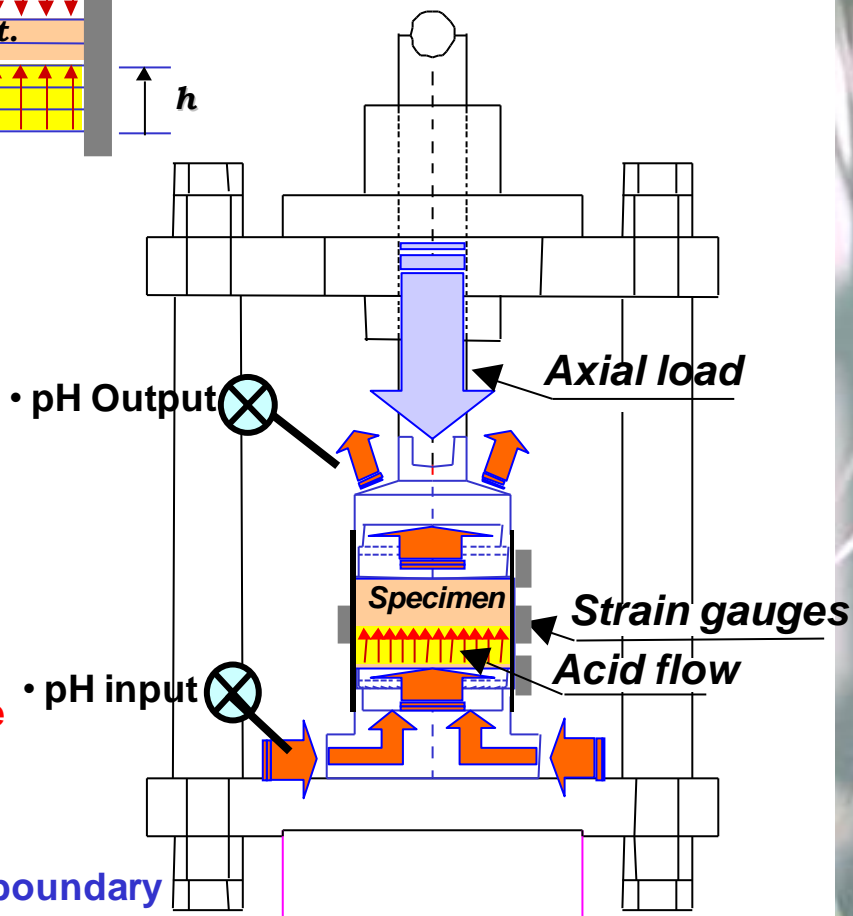
- Axial stress
- Radial stress
- Axial strain
- Radial strain

Fluid:

- Fluid Velocity
- Pore pressure

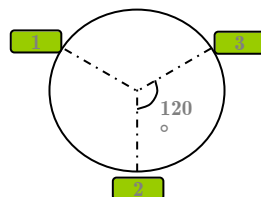
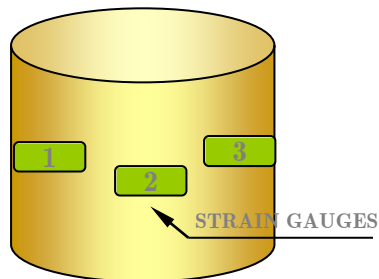
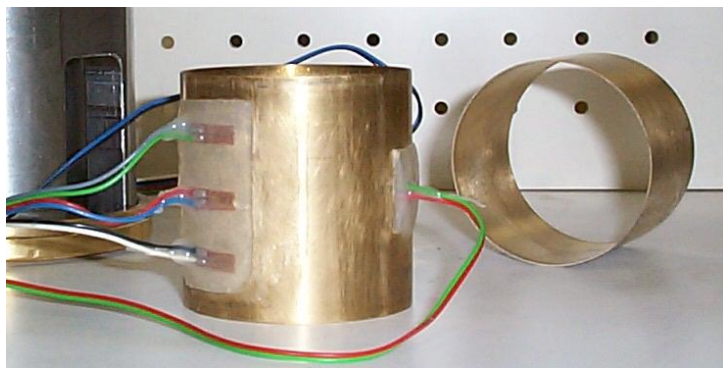
Chemical:

- Source input boundary
- Chemical species H^+ Ca^{2+}



Esempio apparecchiatura; Weathering Test Device (WTD)

● Radial stress measure



● Acid flow imposing system



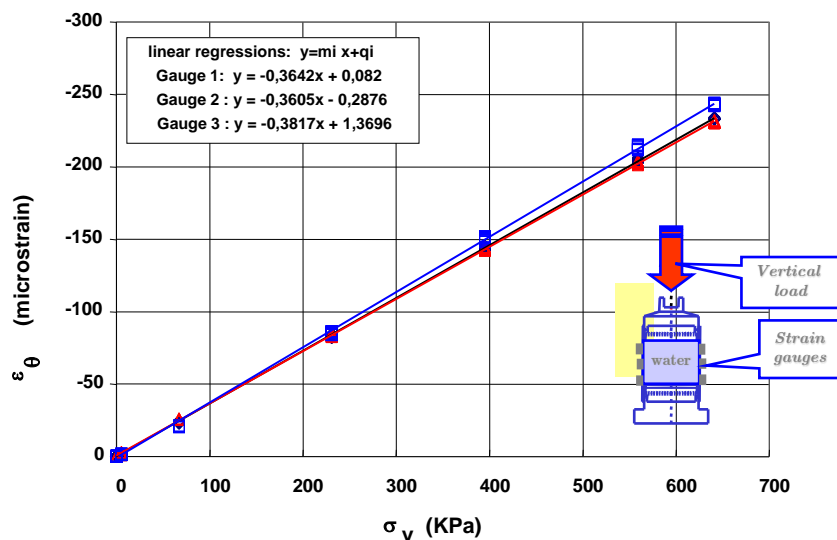
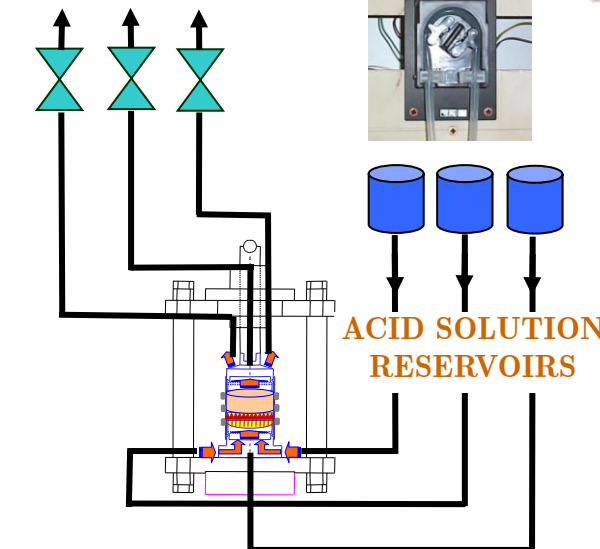
Homogeneous flow

PERISTALTIC PUMPS



Constant flow

PH-meter (digital)



Fattori di controllo dei risultati sperimentali

Le proprietà fisiche dei geomateriali dipendono da

- *fattori intrinseci* = caratteri litologici e strutturali:
 - composizione mineralogica,
 - fabric,
 - grado di alterazione,
 - porosità primaria e secondaria
 - ...*storia geologica*

- *fattori indotti* = *metodi di determinazione e procedure sperimentali*:
 - prove statiche o prove dinamiche
 - prove in situ o prove in laboratorio
 - geometrie e volumi dei campioni
 - condizioni di sollecitazione (isotrope o anisotrope)
 - temperatura
 - grado di saturazione e natura dei fluidi di imbibizione

→ **necessità di procedure STANDARD per tutte le fasi di**

1. prelievo campioni,
2. preparazione campioni,
3. esecuzione della prova
4. calcoli e determinazioni
5. rappresentazione e resoconto dei risultati

POSSIBILI FONTI DI ERRORE (1)

TIPO DI ERRORE	CAUSA	RIMEDIO
Errore grossolano	Inesperienza Errore di lettura Errore di registrazione Errore di calcolo	Impiegato di personale qualificato Attenzione Controlli rispetto a letture precedenti
Errore sistematico	Calibrazione errata dello strumento Isteresi Non linearità	Ricalibrazione dello strumento Uso di procedure di acquisizione che tengano in conto le caratteristiche dello strumento
Errore di conformità	Procedura di installazione scorretta Strumento non adatto all'applicazione specifica	Modifica della procedura di installazione Selezione dello strumento più adatto

POSSIBILI FONTI DI ERRORE (2)

Errori di interpretazione	Variabilità del parametro geotecnico ricercato Scelta errata del valore caratteristico	Impiego di un numero di strumenti sufficiente in punti significativi
Errori casuali	Rumore sul segnale Attriti Effetti locali	Scelta dello strumento più idoneo Rimedi del caso per la riduzione del rumore (schermature, etc.) Aumento del numero di misure e loro interpretazione statistica
Legge di Murphy	Se qualcosa può andare male, lo farà	Nessuno: qualsiasi tentativo di rimedio peggiorerà la situazione

(da Dunicliff, 1988)

Incertezza e affidabilità nella determinazione delle proprietà fisico meccaniche

INCERTEZZA deriva da :

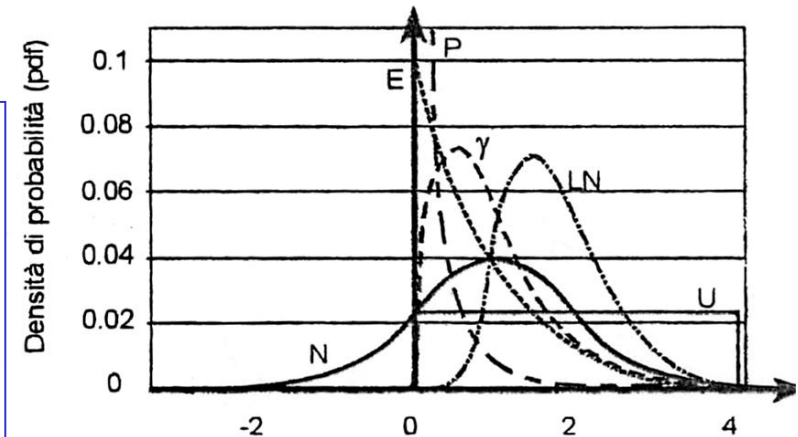
- 1) dispersione dei dati
 - variabilità spaziale e temporale (eterogeneità e/o anisotropia delle proprietà)
 - frequenza e quantità di misurazioni o campionamenti
- 2) errore sistematico
 - errori di misura o campionamento
 - assunzioni leggi comportamentali
 - determinazione indiretta con relazioni empiriche

Per le determinazioni sperimentali il GRADO DI INCERTEZZA è definito mediante metodi statistici e probabilistici

Numero di campioni e prove

Analisi statistica dei risultati (istogrammi e curve di distribuzione di frequenza)

Distribuzioni tipo per dati scalari :



Descrittori statistici fondamentali

media

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

varianza

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

deviazione standard

$$s = \sqrt{s^2}$$

se la distribuzione è NORMALE

il 68 % dei dati cadono nell'intervallo

$$\bar{x} \pm s$$

il 95 % dei dati cadono nell'intervallo

$$\bar{x} \pm 2s$$

AFFIDABILITA' dei risultati : dipende dal grado di incertezza ma è anche funzione del problema geologico applicativo o ingegneristico.

Precisione, Risoluzione e accuratezza

Numero	Peso [kg]
1	1.01
2	1.00
3	1.02
4	1.01
5	1.01
6	1.00
7	0.99
8	1.00
9	0.99
10	1.02
11	1.00
12	1.00
13	1.03
14	1.00
15	1.01
16	1.02

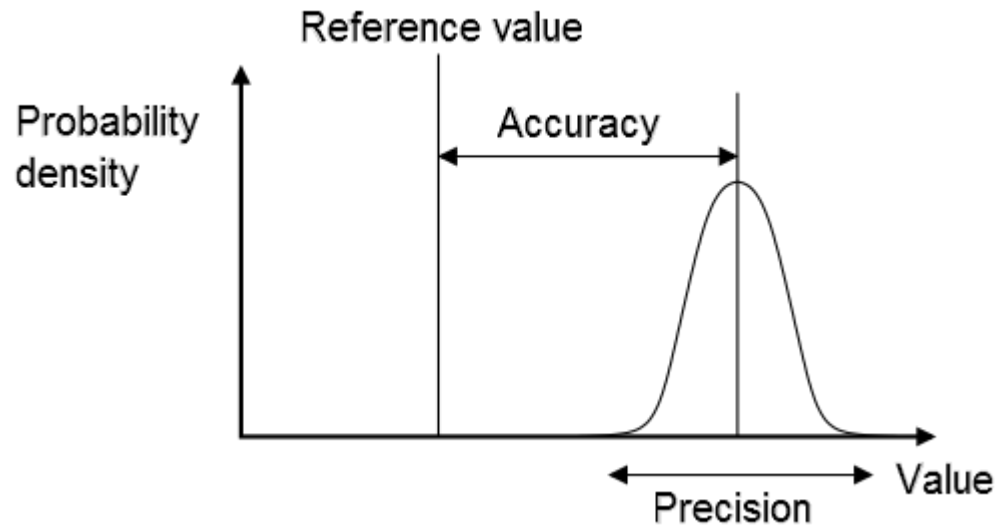
Media

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_i P_i = \frac{16.11}{16} = 1.006875$$

Deviazione standard

$$E_{\bar{P}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i^N (P_i - \bar{P})^2}}{\sqrt{N}} = \frac{0.011383}{4} = 0.0028$$

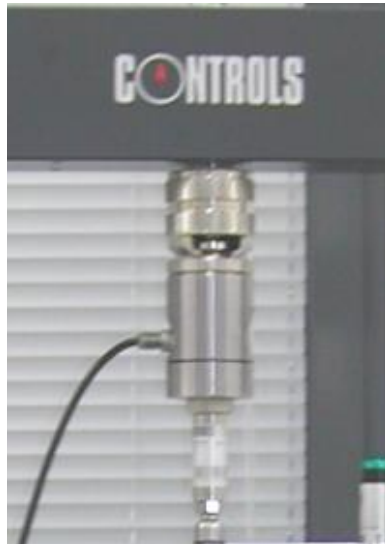
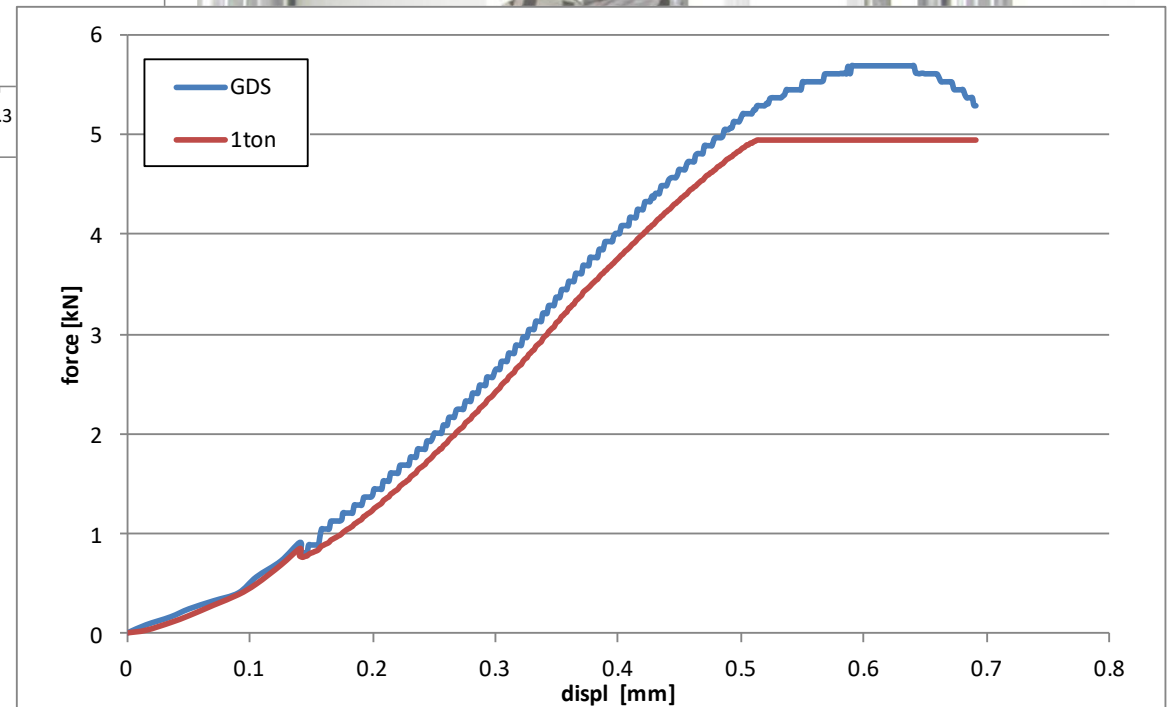
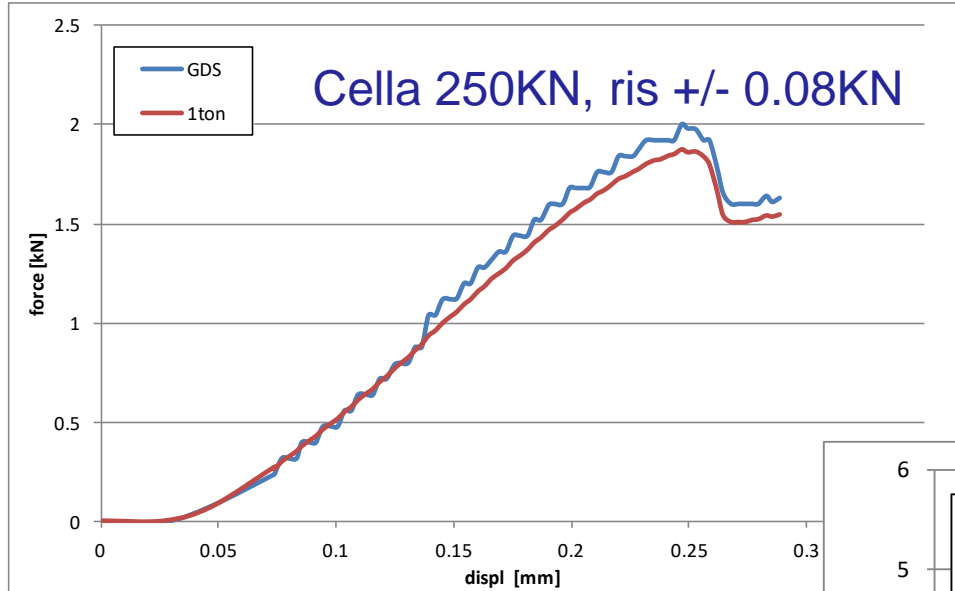
La media è il valore vero?



Risoluzione

Accuratezza

Esempi risoluzione – prove monoassiali



Acquisizione dei dati: dati grezzi e dati rielaborati



Letture	Secondi	Taglio2 Sv [mm]	Taglio2 Sh [mm]	Taglio2 Load [KN]	Taglio2 Load [KN]	Sforzo di taglio [Kpa]
1	0.00E+00	7.00E-04	0.001	-0.232	0.00	-0.08
2	300	0.0042	-0.001	26.773	0.03	9.47
3	600	0.0049	0.0094	47.26	0.05	16.72
4	900	0.0088	0.0378	65.187	0.07	23.06
5	1200	0.011	0.0672	80.785	0.08	28.58
6	1500	0.0135	0.0945	95.22	0.10	33.68
7	1800	0.017	0.1271	104.53	0.10	36.98
8	2100	0.0192	0.1566	118.03	0.12	41.75
9	2400	0.0199	0.187	131.07	0.13	46.36
10	2700	0.0209	0.2207	145.27	0.15	51.39
11	3000	0.0209	0.2522	158.54	0.16	56.08
12	3300	0.0209	0.2858	172.04	0.17	60.86
13	3600	0.0195	0.3226	185.31	0.19	65.55