

Il Problema Generale dell'Analisi Dati

- Come estrarre da una misura strumentale informazioni sul campione misurato.
- Nell'analisi univariata lo strumento fornisce un "output" per un unico "input"

$$y = k \cdot x$$

y: risposta dello strumento

x: sollecitazione del campione

k: caratteristica dello strumento

- Lo scopo dello strumento è dato y come posso ricavare x (valore incognito)? Attraverso la conoscenza di k; Come conosco k? Attraverso la calibrazione.
- Calibrare lo strumento vuol dire esporlo a sollecitazioni (x) note, per cui misurando l'output y posso ricavare il valore di k e quindi rendere lo strumento utilizzabile.

Calibrazione

- Ogni sensore è descritto da una funzione caratteristica che mette in relazione la grandezza d'uscita (segnale V) con la grandezza alla quale il sensore è sensibile (misurando x)

$$V = f(x)$$

- Nei casi più semplici, f è lineare
 - Es. strain gauge:

$$V = k \cdot \varepsilon$$

- V : segnale; ε : sollecitazione (strain); k : parametro funzionale del sensore
- Il sensore è utilizzabile, cioè dal segnale si può stimare il misurando, solo quando sono noti sia la funzione caratteristica che i parametri funzionali.
- La stima dei parametri funzionali può essere ottenuta **solo** calibrando il sensore, cioè attraverso una serie di misure sperimentali ed applicando una **regressione statistica**.

Concetti fondamentali della teoria della misura

- **Errori di misura: ripetendo più volte la “stessa misura” si ottengono risultati diversi.**
- Per “stessa misura” si intende l’esposizione del sensore allo stesso misurando, le condizioni ambientali non sotto controllo possono variare, e per effetto della cross-selettività influenzare la risposta del sensore (o della catena di trasduzione).
- Fluttuazioni della risposta: la **media aritmetica** è la quantità che meglio rappresenta la misura. Più grande è il numero di misure ripetute più affidabile e significativa è la rappresentazione del valor vero della media aritmetica.

Stima dei parametri funzionali

- La forma funzionale della caratteristica deve essere imposta a-priori
- **Le deviazioni tra forma funzionale e dati sperimentali vengono interpretate come errori di misura.**
- Per calibrare il sensore lo si deve sottoporre a sollecitazioni note. Quindi si deve essere in grado di generare valori noti del misurando con grande precisione (standards)
- Da questa precisione dipende la bontà della calibrazione e quindi la bontà delle misure che potrò eseguire con il sensore.

Stima dei parametri funzionali

esempio: strain gauge

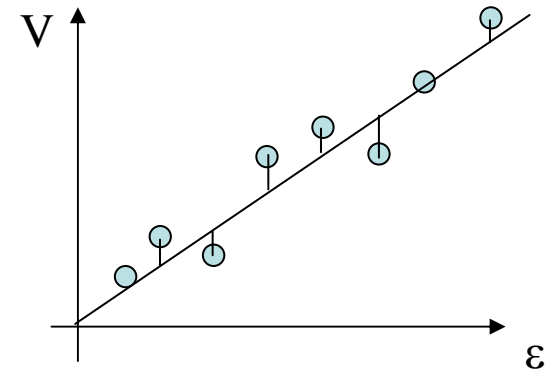
Misurando: strain ($\Delta L/L$)

Output: tensione elettrica

Forma funzionale: lineare

Parametro funzionale: k (fattore di gauge, sensibilità)

$$V = k \cdot \varepsilon$$



calibrazione

V : noto;
 ε : nota
 k : ignoto

$$k = \frac{V}{\varepsilon}$$

misura

V : noto;
 ε : ignota
 k : nota

$$\varepsilon = \frac{V}{k}$$

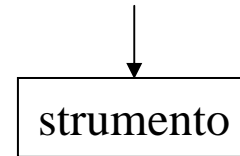
Esistono gli errori di misura:
Quindi non è possibile applicare le formule a lato ma serve un a teoria statistica (regressione) che minimizzi l'errore nella stima di k .

I parametri caratteristici degli strumenti:

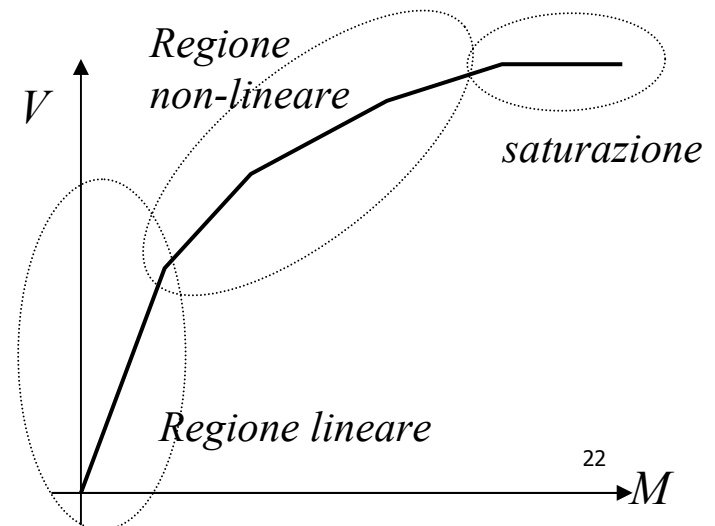
1. La curva di risposta

- Formalmente uno strumento descrive un mapping dallo spazio del misurando allo spazio del segnale d'uscita.
- Se questi spazi hanno dimensione 1, il sensore è rappresentabile attraverso una funzione $V=f(M)$.
- Questa funzione è detta risposta I/O o caratteristica del sensore e rappresenta il parametro fondamentale per caratterizzare un sensore.
- *La conoscenza della curva di risposta permette di usare il sensore come strumento di misura: dalla misura di V si evince una stima del misurando M*
- La curva di risposta si ottiene attraverso un processo di calibrazione.

Misurando M



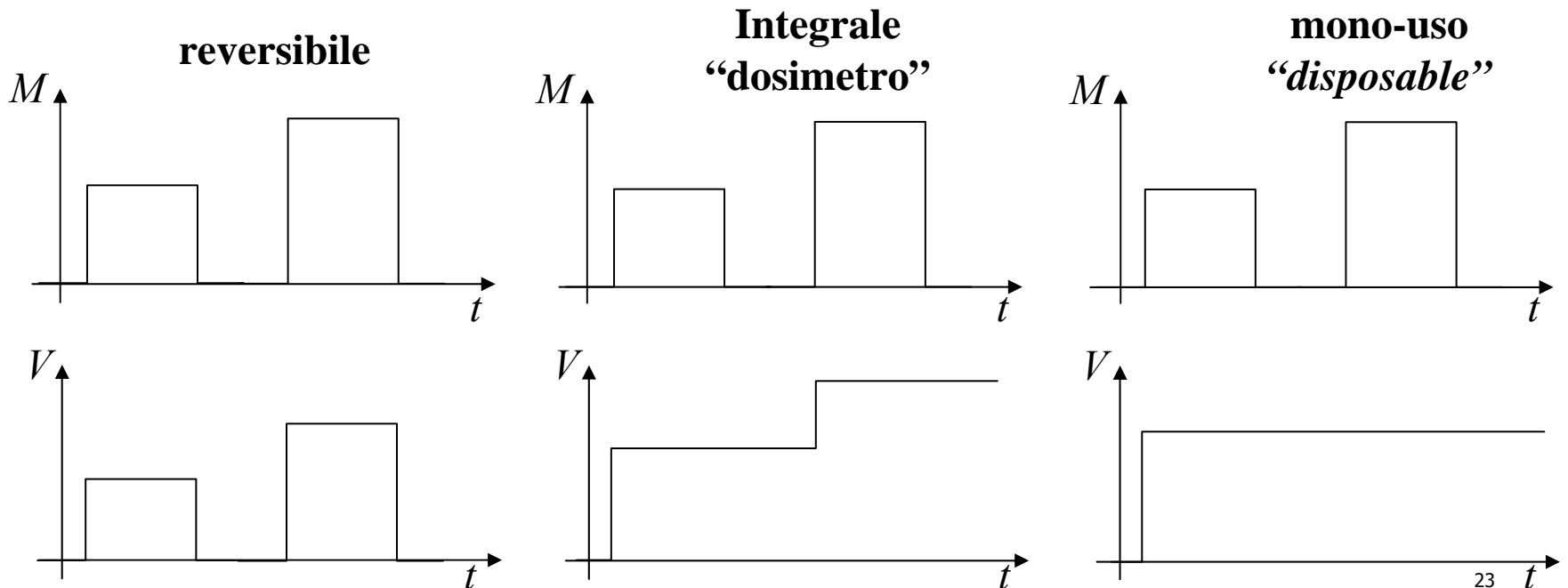
Segnale V



I parametri caratteristici degli strumenti:

2. Reversibilità

- La reversibilità esprime la capacità dello strumento di misura di seguire, con una dinamica tipica dello strumento stesso, le variazioni del misurando.
- In particolare, uno strumento è reversibile se al cessare della sollecitazione del misurando la risposta si annulla.



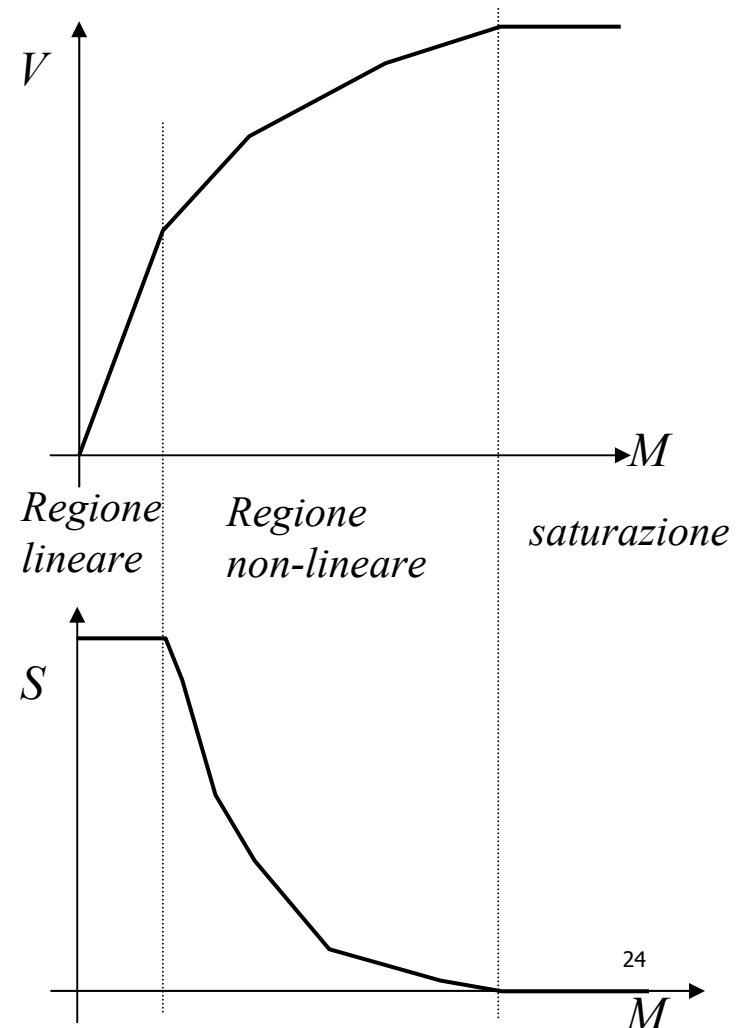
I parametri caratteristici degli strumenti:

3. Sensibilità

- La sensibilità è definita come il rapporto tra la variazione del segnale e la variazione del misurando.
- Definisce la capacità dello strumento di misura di seguire le variazioni del misurando
- Matematicamente, si esprime come la derivata della curva di risposta dello strumento

$$S = \frac{dV}{dM}$$

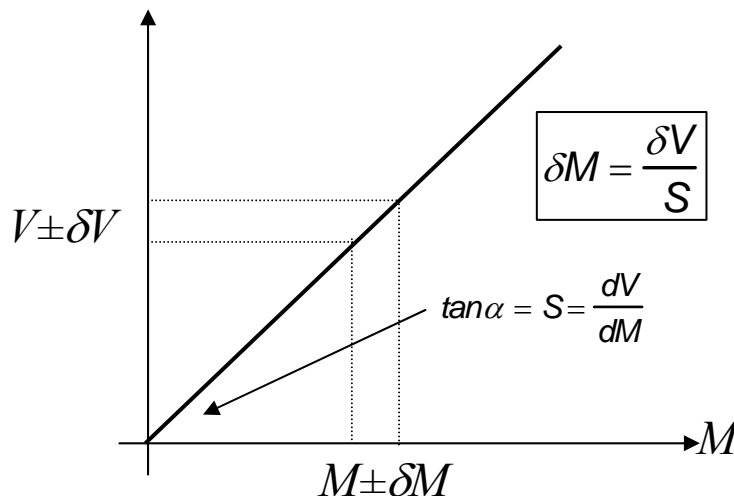
- Nella regione di non linearità, S è funzione del misurando.
- Nella regione di linearità S è massima, perciò sono massime le prestazioni dello strumento



I parametri caratteristici degli strumenti:

5. Risoluzione

- La risoluzione è legata all'esistenza degli errori di misura e del rumore.
- Per questo motivo, il segnale del sensore non è una grandezza deterministica ma ha una componente aleatoria: $V \pm \delta V$. Dove δV esprime tutti gli errori di misura
- δV è limitato inferiormente dal rumore elettronico del segnale V .
- La risoluzione esprime come l'incertezza δV si traduce in una incertezza δM sulla misura del misurando.
- Nella regione lineare:



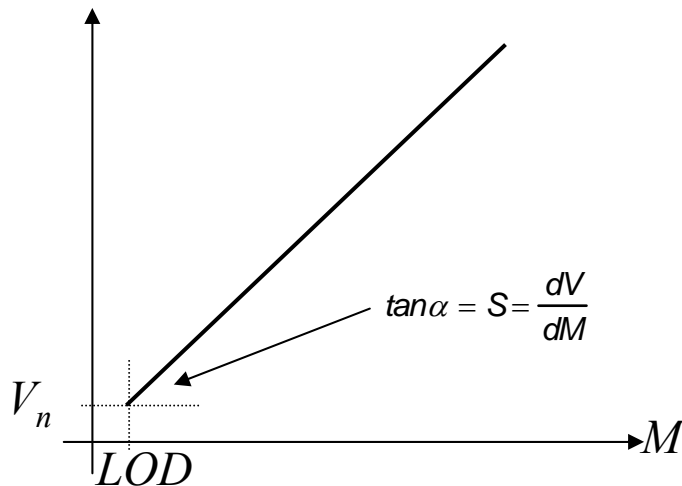
$$resolution = \lim_{V_{out} \rightarrow V_{noise}} \frac{V_{out}}{S} = \frac{V_{noise}}{S}$$

- La risoluzione dipende dalla sensibilità.
- In strumenti con sensibilità più alta gli errori di misura influiscono di meno sulla stima del misurando.
- La definizione vale anche per strumenti non lineari, se nell'intervallo δV la curva è assimilabile ad una retta.

I parametri caratteristici degli strumenti:

6. Limite di rivelazione

- La risoluzione calcolata per un segnale uguale a 0, definisce il *limit of detection* (LOD) dello strumento.
- La definizione traduce il fatto che non può esservi misura inferiore al suo errore. Quando l'errore di misura raggiunge il suo limite inferiore, il rumore elettronico V_n , si ha il limite di rivelazione teorico.
- Si definisce un $LOD_{\text{convenzionale}} = (3 \text{ o } 9) * LOD$.

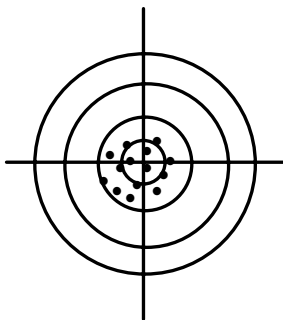


$$LOD = \frac{V_n}{S}$$

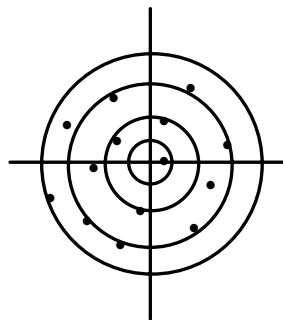
I parametri caratteristici degli strumenti:

7. Accuratezza e Riproducibilità

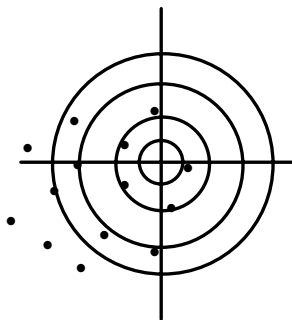
- Accuratezza: capacità di un sistema di misura di fornire un valore del misurando uguale al valor vero (ignoto)
- Riproducibilità: capacità di uno strumento di fornire lo stesso segnale a parità di condizioni ambientali.
- Sono grandezze statistiche: date N misure, il valor medio è relativo alla accuratezza e la varianza alla riproducibilità.



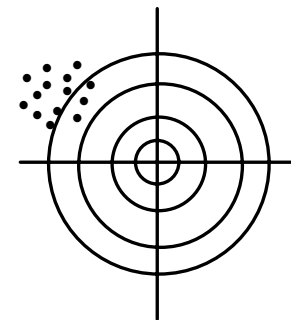
Yes Accuracy
Yes Reproduc.



Yes Accuracy
No Reproduc.



No Accuracy
No Reproduc.



No Accuracy
Yes Reproduc.