

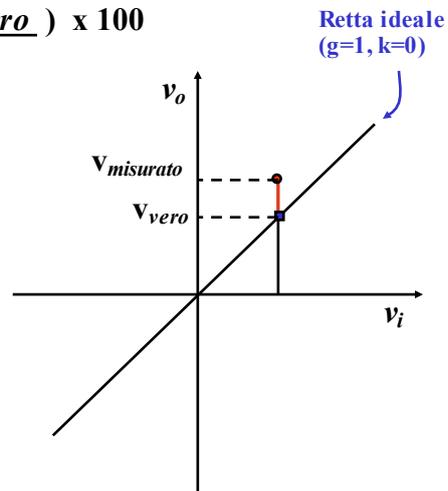
Accuratezza

L'*accuratezza* di una *singola misura* è definita come:

$$\left(\frac{V_{\text{misurato}} - V_{\text{vero}}}{V_{\text{vero}}} \right) \times 100$$

E' solitamente espressa in percentuale.

L'accuratezza è *una misura dell'errore totale*, indipendentemente dalle cause che lo hanno originato.



UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

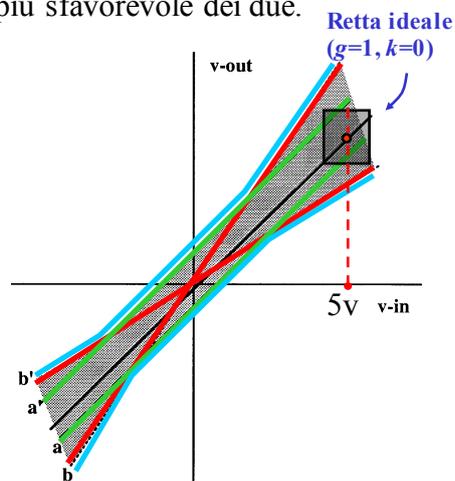
Accuratezza

Per uno strumento, l'accuratezza può essere espressa in % del *fondo scala* o in % della *lettura*, oppure può essere specificato che si deve utilizzare il valore più sfavorevole dei due.

Per esempio, diciamo che il nostro strumento ha una accuratezza del $\pm 1\%$ fondo scala.

Dato che i valori di ingresso variano fra $+5V$ e $-5V$, il valore di uscita garantito sarà compreso in un intervallo di 50 mV al di sopra o al di sotto del valore teorico.

Cioè ad una lettura di $1V$ corrisponderà una uscita certamente compresa fra 950 mV e 1050 mV .



UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

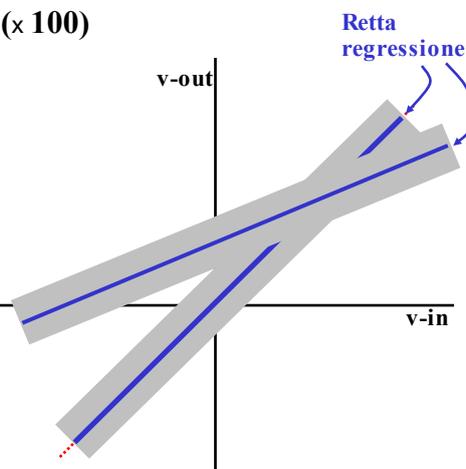
Precisione

A differenza dell'accuratezza, la *precisione* di una *singola misura* prescinde dal valore vero dell'ingresso, ed è definita:

$$\frac{V_{\text{misurato}} - V_{\text{medio}}}{V_{\text{medio}}} (\times 100)$$

dove per *V medio* si intende la media di ripetute misurazioni nelle stesse condizioni.

Estendendo la definizione ad un insieme di possibili misure, possiamo ripetere per la precisione le considerazioni fatte per l'accuratezza, avendo ora come riferimento non la retta ideale ($g=1$ e $k=0V$), ma la retta ottenuta con la procedura di regressione descritta prima.



UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

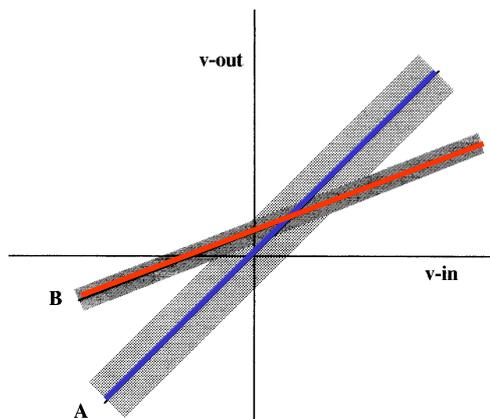
Accuratezza e Precisione

La *precisione* e l'*accuratezza* indicano due caratteristiche diverse dello strumento.

Nella figura sono le misure effettuate con due strumenti.

**Lo strumento A è
accurato ma poco
preciso**

**Lo strumento B è
preciso ma poco
accurato**



UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Risoluzione

E' definita come la più piccola quantità incrementale che può essere misurata con certezza.

La risoluzione è un indice della capacità di un sistema di discriminare fra quantità diverse ma prossime fra loro.



Per esempio, uno strumento con risoluzione a 3 cifre e mezza può visualizzare tre cifre complete, comprese tra 0 e 9, ed una “mezza” cifra, che mostra solo 1 oppure nulla (per esempio, il simbolo + e -).

Lo strumento potrà visualizzare valori positivi di 3 cifre (cioè da 0 a 999, e quindi 1000 valori) e valori negativi (cioè da -999 a -1, cioè 999 valori) per un totale di 1.999 valori.

Un modello a 4 ½ cifre avrà invece una risoluzione di 19.999 valori.

UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Riproducibilità (o ripetibilità)

E' un indice della capacità dello strumento di dare la stessa risposta a pari stimolo di ingresso.

E' simile alla *precisione*, ma mentre questa si intende riferita a misure ripetute nelle stesse condizioni e nello stesso tempo, la riproducibilità è normalmente riferita a **condizioni esterne diverse**.

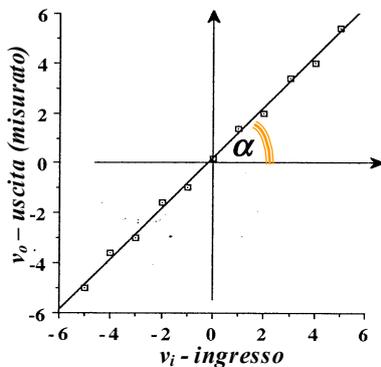
Se non specificato si intende la riproducibilità della misura **nel tempo**; si può però parlare di riproducibilità al cambiare dell'operatore, del tipo di elettrodi e così via.

UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Sensibilità statica

La sensibilità statica è sinonimo del guadagno g come è stato definito nell'equazione della retta di regressione.

Negli strumenti multi-scala in generale viene definita una sensibilità statica per ogni scala di lettura.



$$v_o = g v_i + k$$

$$g = \text{tang}(\alpha)$$

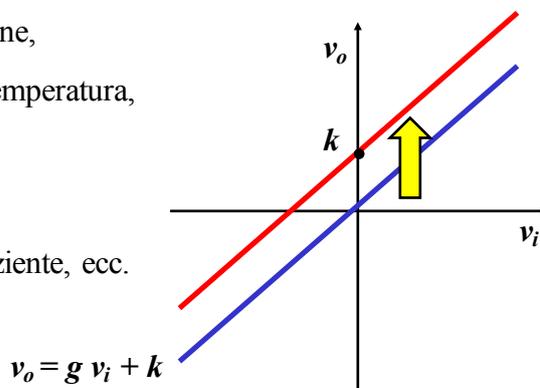
UNIPI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Deriva dello zero

Un cambiamento nel termine k al variare delle condizioni esterne viene indicato come *deriva dello zero o della linea base (drift)*.

I motivi più frequenti per questa deriva sono:

- errori di calibrazione,
- cambiamento di temperatura,
- isteresi,
- vibrazioni,
- movimenti del paziente, ecc.



$$v_o = g v_i + k$$

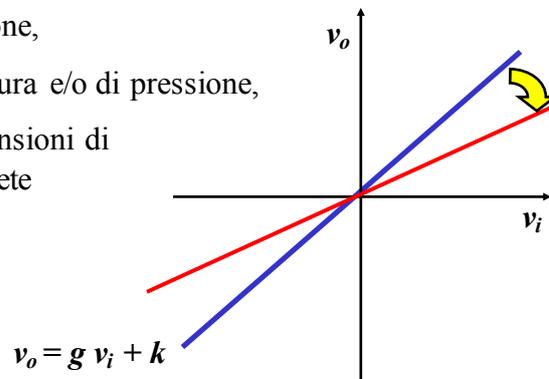
UNIPI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Deriva della sensibilità

Si chiama *deriva della sensibilità* un cambiamento del guadagno g .

I motivi più frequenti per questa deriva sono:

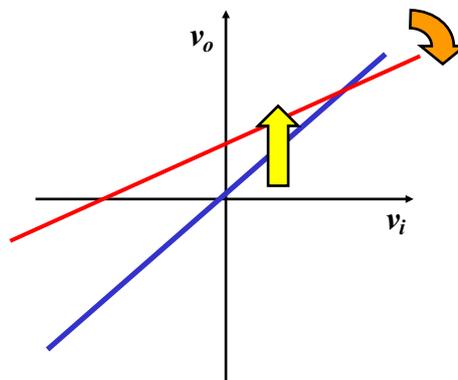
- errori di calibrazione,
- cambi di temperatura e/o di pressione,
- variazioni nelle tensioni di alimentazione di rete o interne, ecc.



UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Deriva dello zero e della sensibilità

I due inconvenienti possono verificarsi congiuntamente provocando un effetto combinato delle due derive:

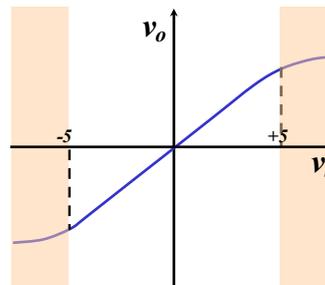
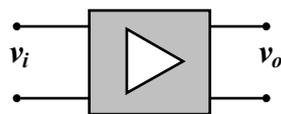


UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Campo di ingresso

L'intervallo (o gli intervalli) di ingresso capaci di fornire una risposta significativa sono definiti come **campo di ingresso**.

Al di fuori di tale intervallo lo strumento può dare valori non significativi, o esibire una risposta non lineare, o comportarsi in modo non prevedibile o infine lo strumento può subire un danno.



UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Impedenza di ingresso

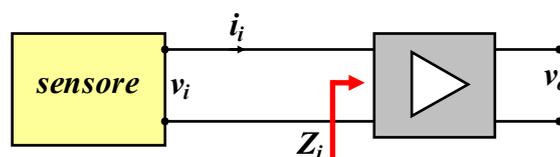
In generale si definisce come il rapporto fra la tensione all'ingresso v_i e la corrente i_i che fluisce nello strumento:

$$Z_i = v_i / i_i$$

La potenza assorbita è:

$$W_i = v_i i_i = v_i^2 / Z_i$$

Nella misura, si cerca di minimizzare l'interferenza dello strumento con la sorgente da misurare; si cerca di minimizzare la potenza assorbita massimizzando l'impedenza di ingresso.

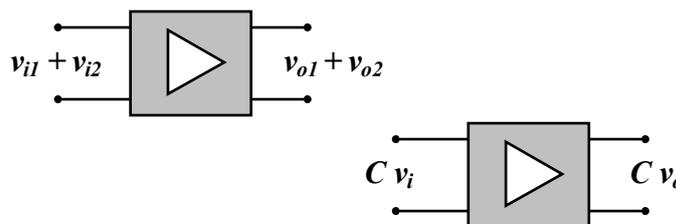


UNIFI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Linearità

Un sistema si dice lineare se sono verificate le condizioni:

- 1) se v_{o1} e v_{o2} sono rispettivamente le risposte a due diverse tensioni di ingresso v_{i1} e v_{i2} , la risposta all'ingresso ottenuto come somma delle 2 tensioni $v_{i3} = (v_{i1} + v_{i2})$ deve essere $v_{o3} = (v_{o1} + v_{o2})$;
- 2) se v_{o1} è la risposta all'ingresso v_{i1} , allora la risposta all'ingresso $v_{ci} = C \times v_{i1}$ deve essere $v_{co} = C \times v_{o1}$

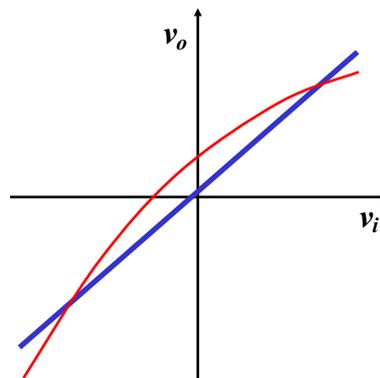


UNIPI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Non linearità

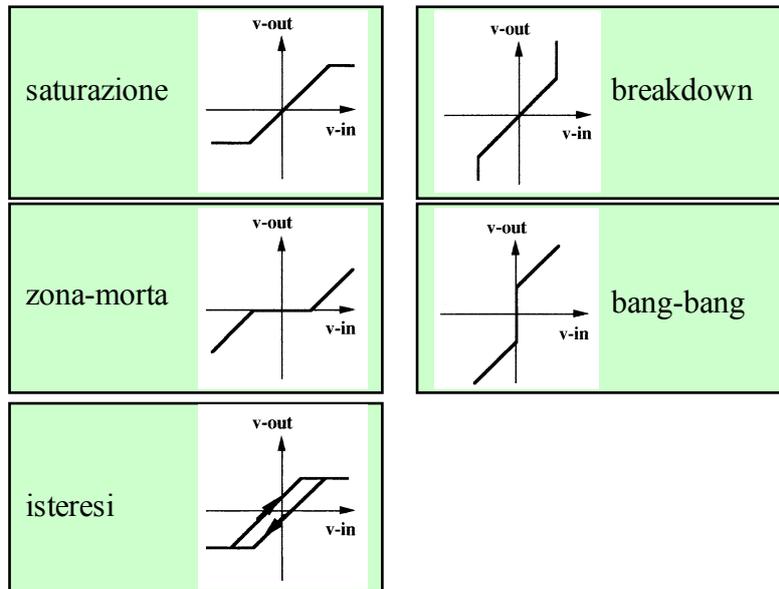
Come per l'accuratezza, la **non linearità** può essere definita in termini di deviazione massima espressa in forma percentuale o del valore misurato o del fondo scala o come caso peggiore fra i precedenti.

Si noti che la linearità presuppone uno strumento con range di ingresso e di uscita illimitati: per gli strumenti reali è implicito l'assunto che tutte le quantità definite rientrino nell'intervallo utile (range di ingresso).



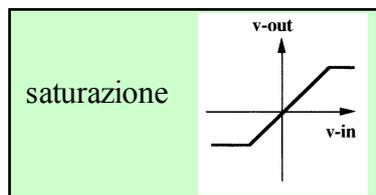
UNIPI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*

Non linearità: esempi



UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Non linearità: esempi

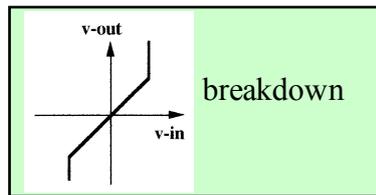


Tutti gli strumenti reali presentano **saturazione** al di fuori del range di lavoro. La saturazione si presenta come una progressiva o rapida riduzione del guadagno fino ad annullarsi quando l'ingresso supera gli estremi del range di lavoro ammesso (in qualche caso particolare il guadagno può anche divenire negativo).

La saturazione può anche essere una caratteristica intenzionalmente imposta allo strumento come protezione per sovrapuntaggi o altre situazioni potenzialmente pericolose per lo strumento stesso o alcune sue parti.

UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Non linearità: esempi



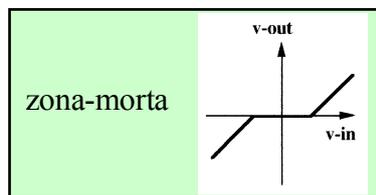
Il breakdown è per così dire il contrario della saturazione.

In questo caso il guadagno g aumenta progressivamente all'aumentare dell'input.

Tale comportamento è tipicamente mostrato dai componenti elastici quando si entri nella cosiddetta zona delle deformazioni permanenti, ed in effetti è più frequente nei componenti meccanici che non nell'elettronica (è tale però la risposta dei diodi Zener).

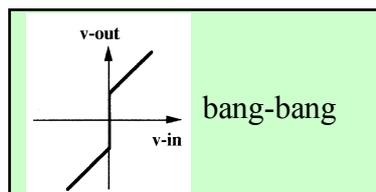
UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Non linearità: esempi



La zona morta corrisponde normalmente all'annullarsi di g per un certo intervallo dei valori di ingresso, tipicamente intorno allo zero come soglia di attivazione.

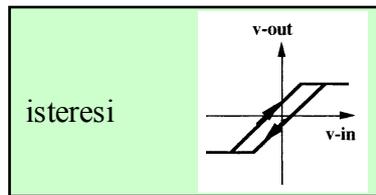
Anche questo fenomeno è tipico dei componenti meccanici (per esempio ingranaggi), o quando vi sia da vincere un attrito statico.



Il bang bang corrisponde ad un brusco salto dell'uscita intorno ad un particolare valore dell'ingresso, tipicamente intorno allo zero. Questo fenomeno è tipico delle membrane, per esempio quelle che si utilizzano in alcuni tipi di trasduttori di pressione.

UNIFI-SM- Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Non linearità: esempi



Si ha isteresi quando i valori di uscita per un dato ingresso sono diversi per ingressi progressivamente *crescenti* e *decrescenti*.

L'isteresi è talora un effetto desiderato (per esempio comparatori di voltaggio) per eliminare punti di instabilità o potenziali comportamenti oscillanti.

Un certo grado di isteresi è comunque inevitabile in tutti gli strumenti reali.

UNIPI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Affidabilità (*reliability*)

L'affidabilità di uno strumento è legata alla sua capacità di fornire specificate prestazioni sotto determinate condizioni e per un certo periodo

E' espressa in termini statistici come la **probabilità che il dispositivo funzioni senza guasti per un tempo specificato** (nelle specificate condizioni di utilizzo).

L'**affidabilità $R(t)$** si può definire come

$$R(t) = N_s(t) / N$$

dove N sono i prodotti testati per un certo tempo di utilizzo t , e $N_s(t)$ sono i prodotti ancora funzionanti al tempo t .

Per esempio, se voglio calcolare l'affidabilità ad un anno di un certo strumento posso sottoporre a test 100 strumenti e verificare a distanza di un anno quanti sono ancora perfettamente funzionanti.

Se gli strumenti funzionanti fossero 80, l'affidabilità è data da:

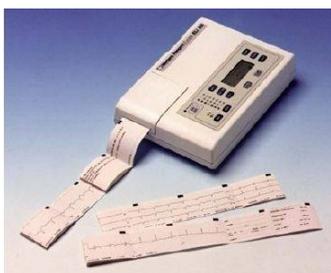
$$R(1 \text{ anno}) = 80 / 100$$

$$\text{cioè } R = 80\%$$

UNIPI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Caratteristiche dinamiche

Le *caratteristiche dinamiche* descrivono la risposta di un strumento di misura rispetto ad un **ingresso variabile nel tempo**, per esempio in strumenti destinati a misurare segnali (Elettroencefalografi, Elettromiografi, Elettrocardiografi, Monitor in Unità di Cura Intensiva, accelerometri, goniometri, ecc).



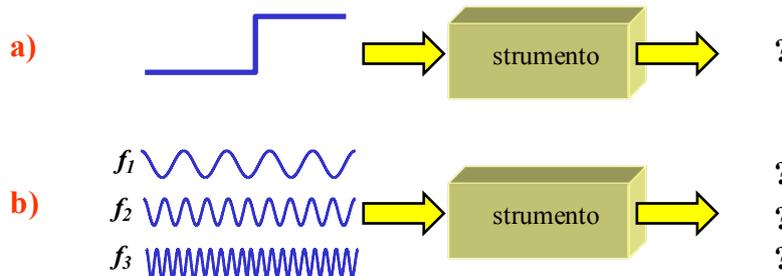
UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Caratteristiche dinamiche

Lo studio delle caratteristiche dinamiche di uno strumento è più complesso e richiede la conoscenza delle relazioni tra ingresso e uscita in condizioni dinamiche.

In particolare vorremmo sapere come si comporta lo strumento quando:

- invio all'ingresso un segnale a gradino, cioè quando cambio improvvisamente il livello del segnale di ingresso;
- Invio all'ingresso una serie di segnali sinusoidali a diverse frequenze.



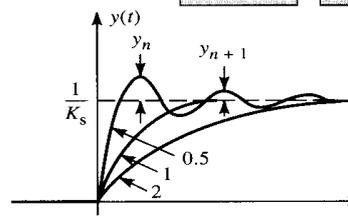
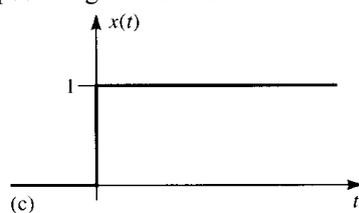
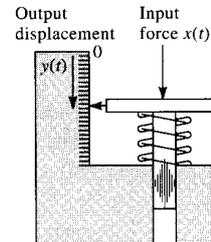
UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Caratteristiche dinamiche

La risposta a questi segnali di ingresso (gradino o varie frequenze) è dipendente dal tipo di strumento, cioè è funzione della sua complessità e della presenza di elementi che sono in grado di immagazzinare energia (molle, masse in movimento, condensatori, induttanze, ecc.).

Per esempio, consideriamo una bilancia costituita da una massa, una molla ed uno smorzamento viscoso, trascurando la presenza di attriti.

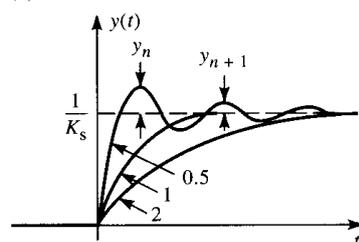
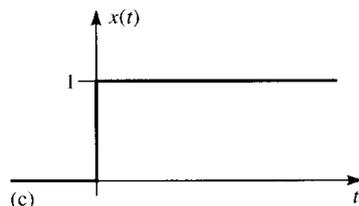
E' intuitivo pensare che, a seconda delle caratteristiche della molla e dello smorzamento, quando metto il corpo da pesare il movimento del piatto seguirà andamenti diversi.



UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Risposta ad un segnale a gradino

Possiamo anche dire che la risposta ad un ingresso a gradino unitario è condizionata dal *fattore di smorzamento* δ che dipende per l'appunto dalle caratteristiche del sistema.



Per diversi valori di δ la risposta in uscita viene raggiunta in tempi e modalità diverse

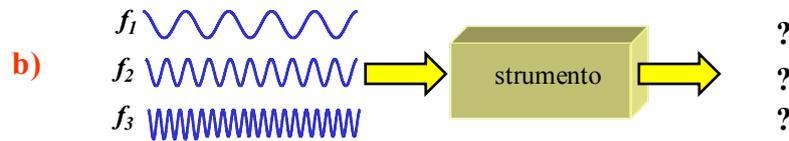
- $\delta < 1$ sottosmorzamento
- $\delta = 1$ smorzamento critico
- $\delta > 1$ sovrasmorzamento

Nel caso $\delta < 1$ la frequenza delle oscillazioni è la *frequenza naturale* del sistema.

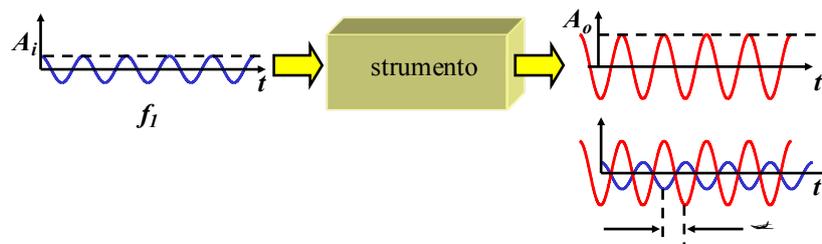
UNIFI-SM-Caratteristiche della strumentazione biomedicale

Risposta in frequenza

Nel secondo caso b) si esegue invece lo studio della *risposta in frequenza* dello strumento.



Si inviano all'ingresso dei segnali sinusoidali puri e si misurano in uscita l'*ampiezza* e la *fase* del segnale ottenuto.



UNIPI-SM-*Caratteristiche della strumentazione biomedicale*