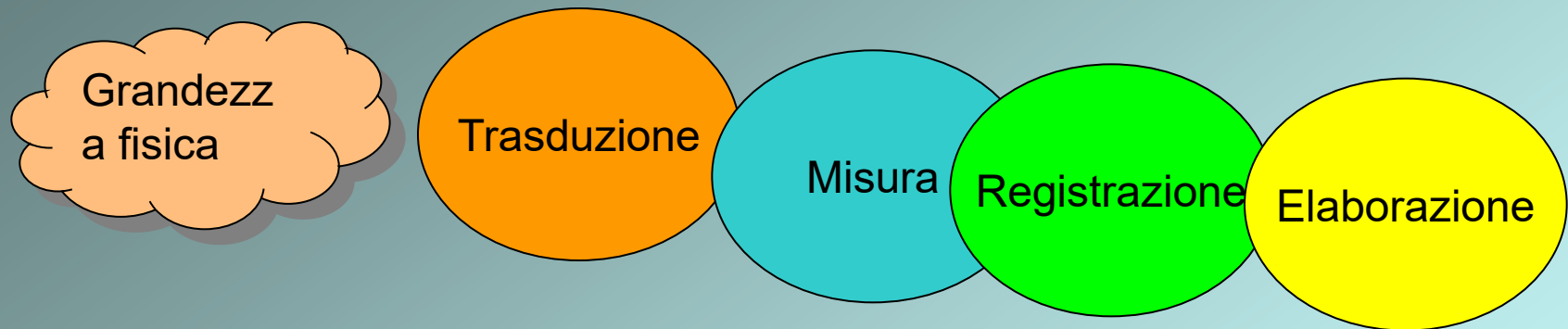


Tecniche automatiche di acquisizione dati

Sensori
Prima parte

Dalla grandezza fisica alla Elaborazione di dati



- Un sensore è un sistema che converte una grandezza fisica da misurare in un segnale elettrico.
- Un trasduttore è un sistema che converte un tipo di energia in ingresso in un tipo di energia differente in uscita
- Per ogni grandezza fisica da misurare si sfruttano degli effetti fisici noti che la trasformino in una opportuna grandezza elettrica
- La **caratteristica** del sensore lega la grandezza elettrica in uscita alla grandezza da misurare

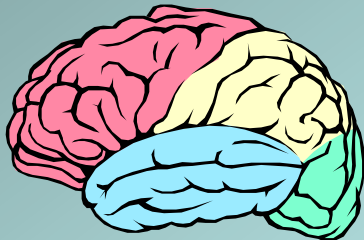
Esempio: L'occhio

Retina: sensore

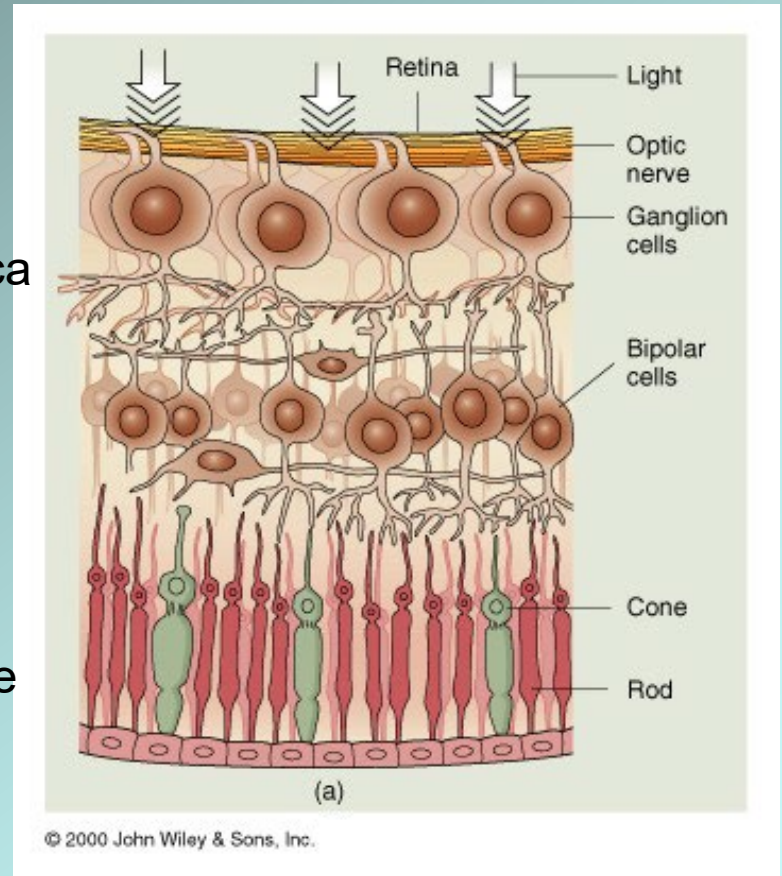
Cellule gangliari: trasduttori

Da energia elettrica in energia chimica

Coni e bastoncelli: misura
della luminosità e del colore

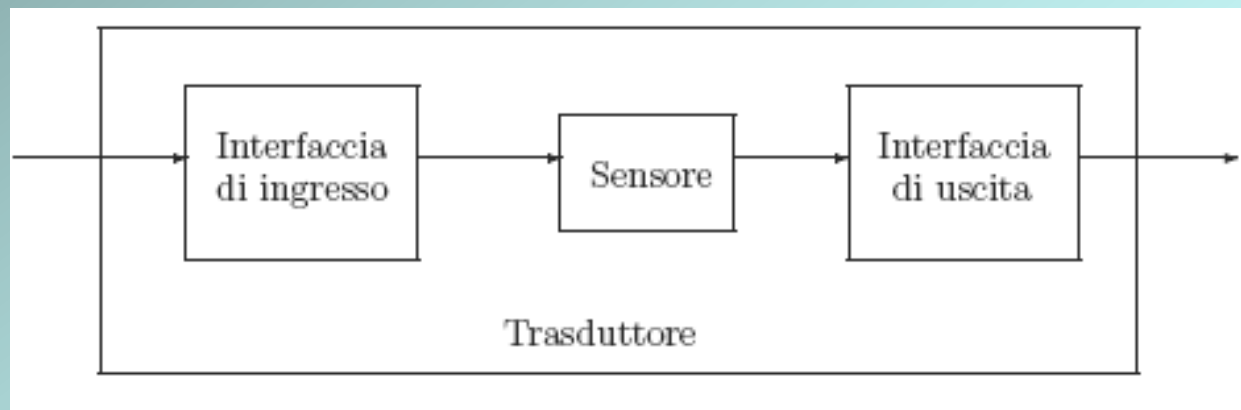


Elaborazione e Registrazione



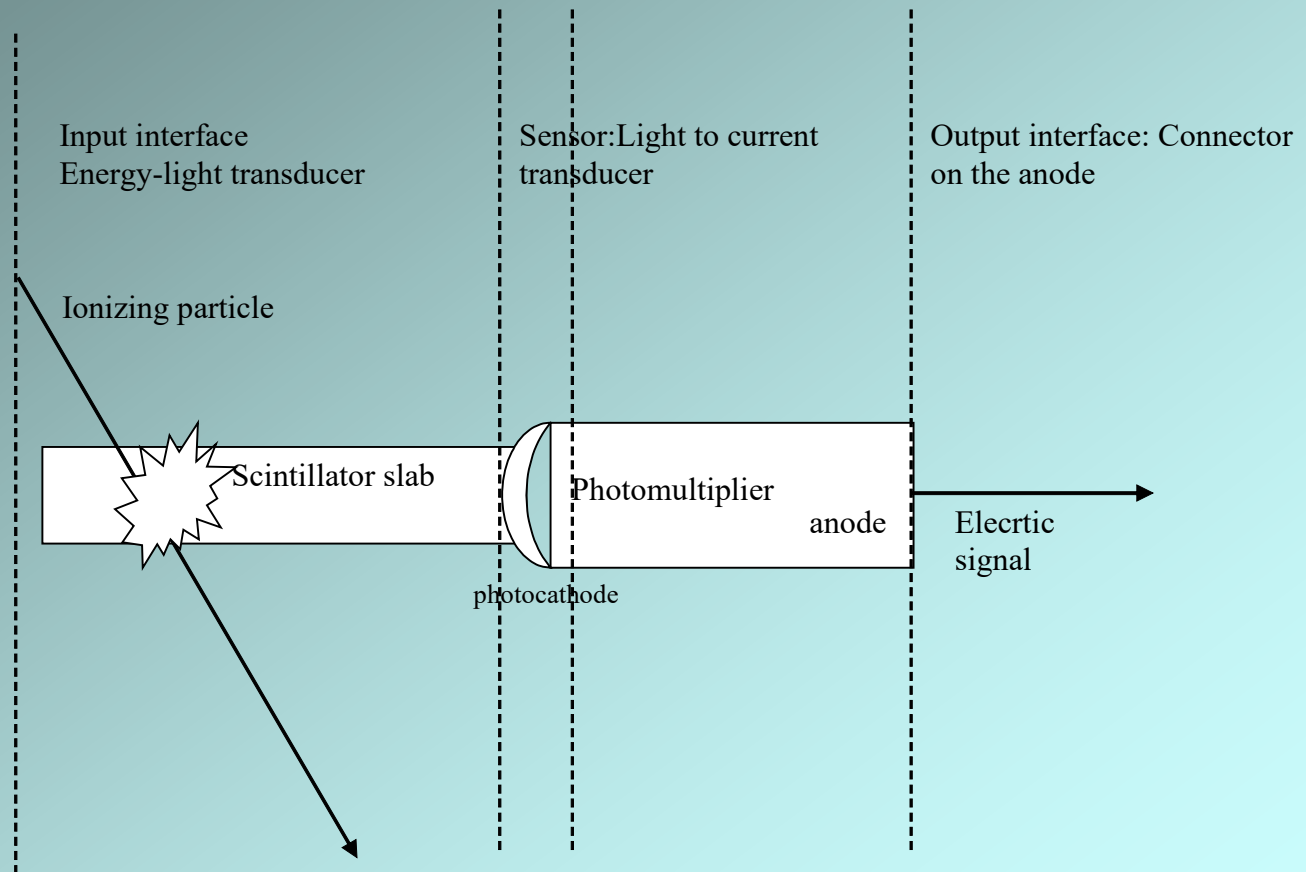
Trasduttore/Sensore

- Un trasduttore consiste in generale di tre parti di cui una è il sensore ma spesso la distinzione tra sensore e trasduttore non è netta e nella pratica i due termini sono comunemente usati come sinonimi.



Altro esempio

- Rivelazione di raggi cosmici con gli scintillatori



Grandezze fisiche e segnali

- **Grandezze continue:** assumono valori continui entro un intervallo di valori (per es. velocità, pressione, temperatura, ...)
- **Grandezze discrete:** assumono un insieme discreto di valori (per es. verso di rotazione, conteggi per minuto..)
- **Segnali:** sono le informazioni legate alle grandezze fisiche e sono:
 - **Analogici:** quelli legati alle grandezze continue
 - **Logici (o codificati):** quelli legati alle grandezze discrete.

Caratteristiche generali dei sensori

Indipendentemente dalle grandezze fisiche da misurare, tutti i sensori possono essere descritti da parametri operativi e proprietà che definiscano le reazioni ingresso-uscita.

Si possono raggruppare in quattro categorie:

1. Caratteristica statica
2. Caratteristica Dinamica
3. Dipendenza dalle variabili ambientali
4. Affidabilità

Caratteristica statica/dinamica

Una misura può essere rappresentata come:

$$Y = f(X)$$

$Y \in [Y_m, Y_M]$: segnale di uscita

$X \in [X_m, X_M]$: segnale di ingresso

Le grandezze fra parentesi quadre sono gli intervalli (range) di uscita ed ingresso

La funzione $f(X)$ è la **caratteristica** del sensore.

- La caratteristica è **statica** se il segnale in ingresso varia molto lentamente
- È **dinamica** quando il segnale di ingresso varia molto velocemente e il trasduttore può introdurre attenuazione, ritardo, etc.

Linearità

I sensori reali hanno una caratteristica statica che differisce da quella ideale e la bontà del sensore si misura con lo scostamento della caratteristica reale da quella ideale.

Un indice che viene spesso dato è la linearità definita come:

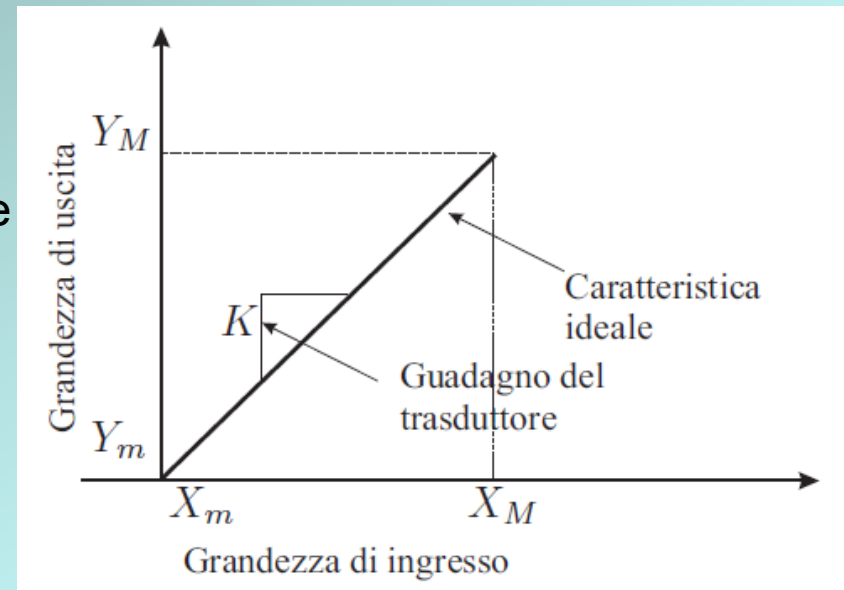
$$Y(c_1X_1 + c_2X_2) = c_1f(X_1) + c_2f(X_2)$$

$$c_1, c_2 \in \mathbb{R}$$

Per un trasduttore lineare la caratteristica statica può essere descritta semplicemente da una relazione del tipo:

$$Y = KX$$

Ove K è il **guadagno** del trasduttore.



Linearità II

Un sensore può essere non lineare a causa di un offset. Per esempio consideriamo un sensore che risponda alla seguente caratteristica:

$$Y=KX+d$$

Prendiamo due grandezze X_1 e X_2 e consideriamo la lettura della somma di queste vista dal sensore:

$$K(X_1+X_2)+d=KX_1+KX_2+d$$

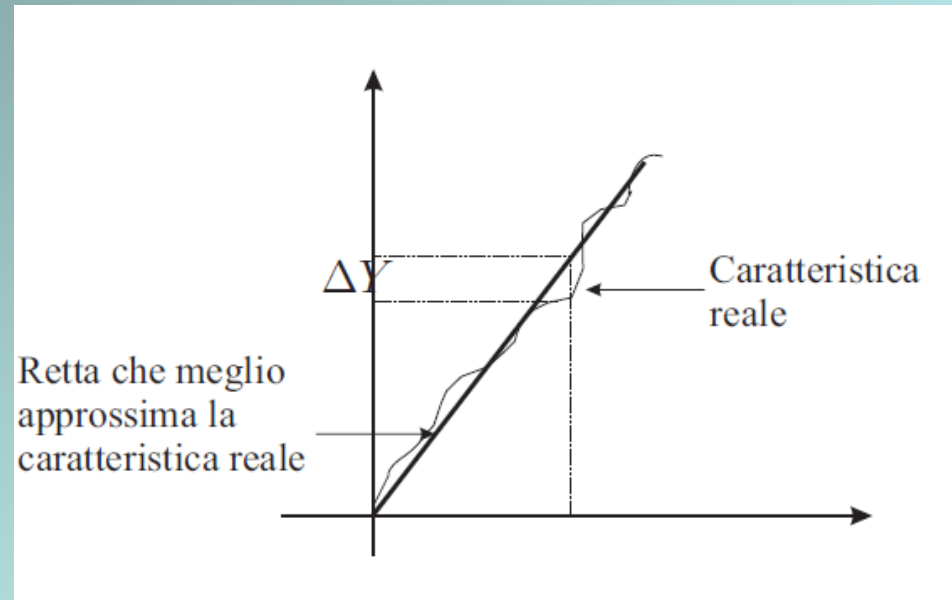
è differente dalla somma delle letture delle singole grandezze:

$$(KX_1+d)+(KX_2+d)=K(X_1+X_2)+2d.$$

Errore di linearità

- L'errore di linearità è la massima deviazione dell'uscita del trasduttore rispetto alla caratteristica lineare che approssima al meglio la caratteristica reale
- Tale linearizzazione viene normalmente ottenuta secondo il metodo dei minimi quadrati
- L'errore di non linearità è lo scostamento massimo relativo dalla caratteristica reale:

$$e_{L\%} = \frac{\Delta Y}{Y_M - Y_m} \times 100$$



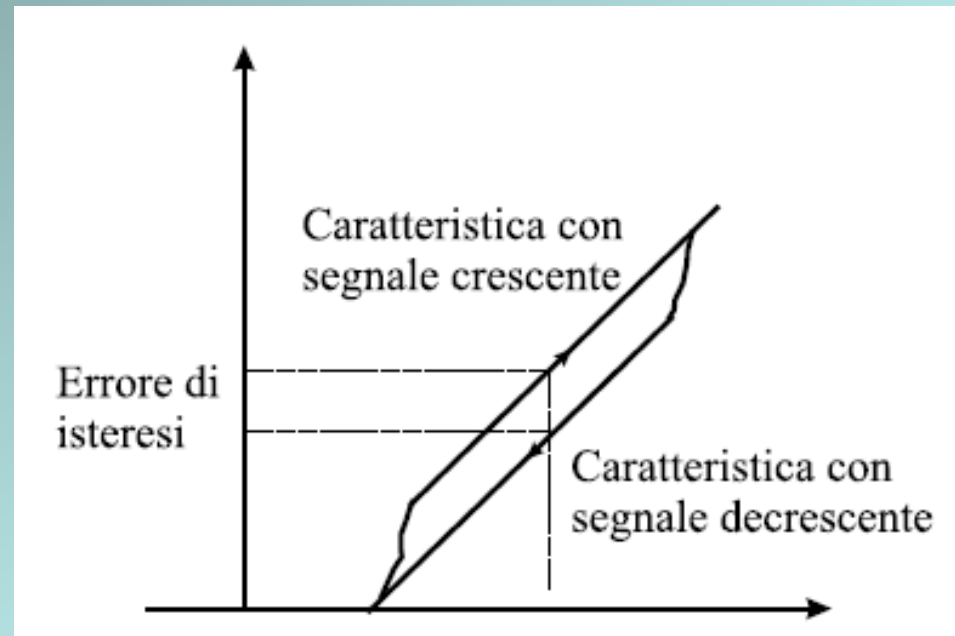
Errore di Offset e di guadagno

- L'errore di offset (o di fuori zero) è il valore che assume l'uscita del trasduttore (Y_0) quando la grandezza da misurare è nulla
- L'errore di guadagno è la differenza tra il guadagno della caratteristica ideale del trasduttore (K) e il guadagno della retta (K_1) che approssima al meglio la caratteristica reale del trasduttore

$$e_G\% = \frac{|K_1 - K|}{K} 100$$

Errore di isteresi

- Il fenomeno della isteresi si manifesta nel caso in cui la caratteristica del trasduttore risulta differente nella situazione in cui la grandezza da acquisire risulta crescente rispetto al caso in cui sia decrescente
- L'errore di isteresi è la massima differenza tra le uscite del trasduttore a parità di grandezza in ingresso, valutate in un primo caso per valori crescenti e in un secondo per valori decrescenti.



Accuratezza/Precisione I

- **Accuratezza:** è il massimo scostamento fra l'uscita del sensore e il valore della misura ideale. È tanto migliore quanto più il suo valore è piccolo.

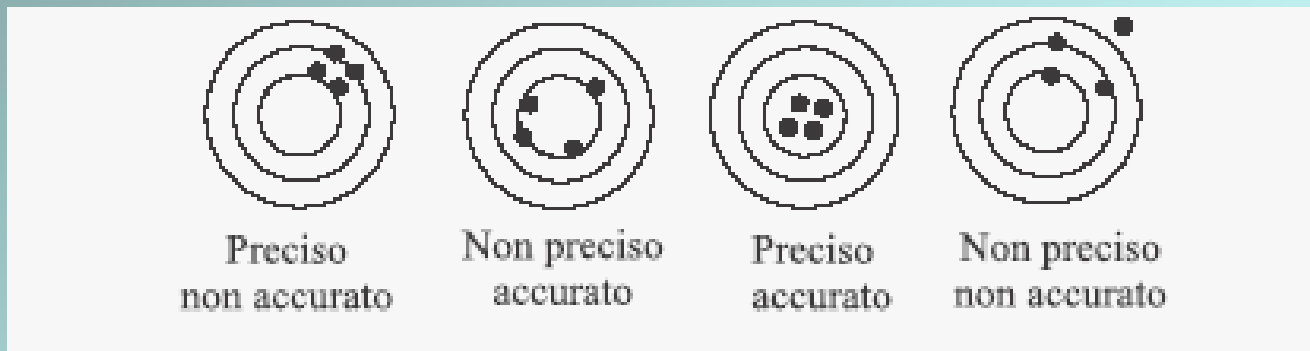
$$e_{A\%} = \frac{|Y - f(X)|_{Max}}{f(X)} \times 100$$

- **Precisione:** esprime la ripetibilità (riproducibilità) della misura della stessa grandezza fisica nelle stesse condizioni operative

$$e_{P\%} = \frac{|\Delta Y(X)|_{Max}}{Y_M - Y_m} \times 100$$

Accuratezza/Precisione II

L'accuratezza non va confusa con la precisione: l'accuratezza ci fornisce un indice di quanto il nostro sensore dia una indicazione fedele al valore vero della variabile che si vuole misurare, la precisione ci fornisce una misura di quanto l'uscita del sensore sia ripetibile.



Esempio di calcolo dell'accuratezza (sensore di spostamento)

- d =spostamento, V =tensione di uscita
- Idealmente genera 1 mV per 1 mm
- sensibilità $s = 1\text{mV/mm}$
- Con $d=10\text{mm}$ si rileva in uscita $V=10.5\text{ mV}$
- riconvertendo senza errore V all'ingresso, si ottiene $d=V/s = 10.5\text{ mm}$
- in un range di 10mm l' inaccuratezza assoluta è 0.5mm
- l' (in)accuratezza è quindi espressa in termini relativi come $0.5\text{mm}/10\text{mm} \times 100\% = 5\%$

Risoluzione e Sensibilità

- La **risoluzione** è la massima variazione della grandezza in ingresso che non dà luogo a variazioni del segnale in uscita
- La **sensibilità** è il rapporto fra la variazione della misura fornita dal sensore e la corrispondente variazione della grandezza misurata:
$$S = \frac{\Delta Y(X)}{\Delta X}$$

La sensibilità è evidentemente una funzione del punto di misura ed è costante solo per sensori lineari. Anche la risoluzione è una funzione del punto di misura.

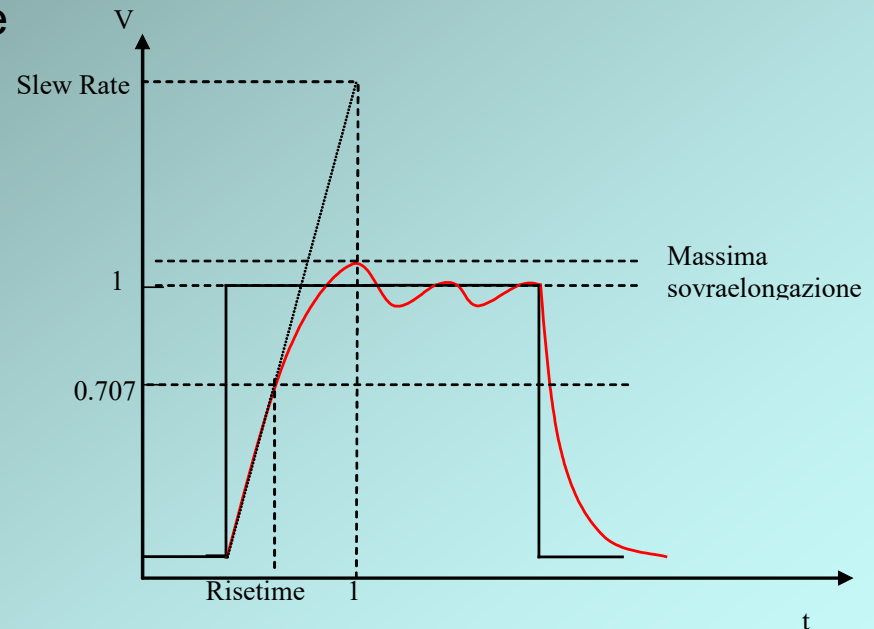
Caratteristica dinamica

Il comportamento dinamico di un sensore può essere descritto nel dominio dei tempi o nel dominio delle frequenze.

Nel dominio dei tempi si suppone di fornire al sensore una variazione a gradino della grandezza da misurare e registrare la sua uscita $Y(t)$. Le caratteristiche dinamiche possono essere fornite mediante alcuni parametri:

Caratteristica dinamica (dominio dei tempi)

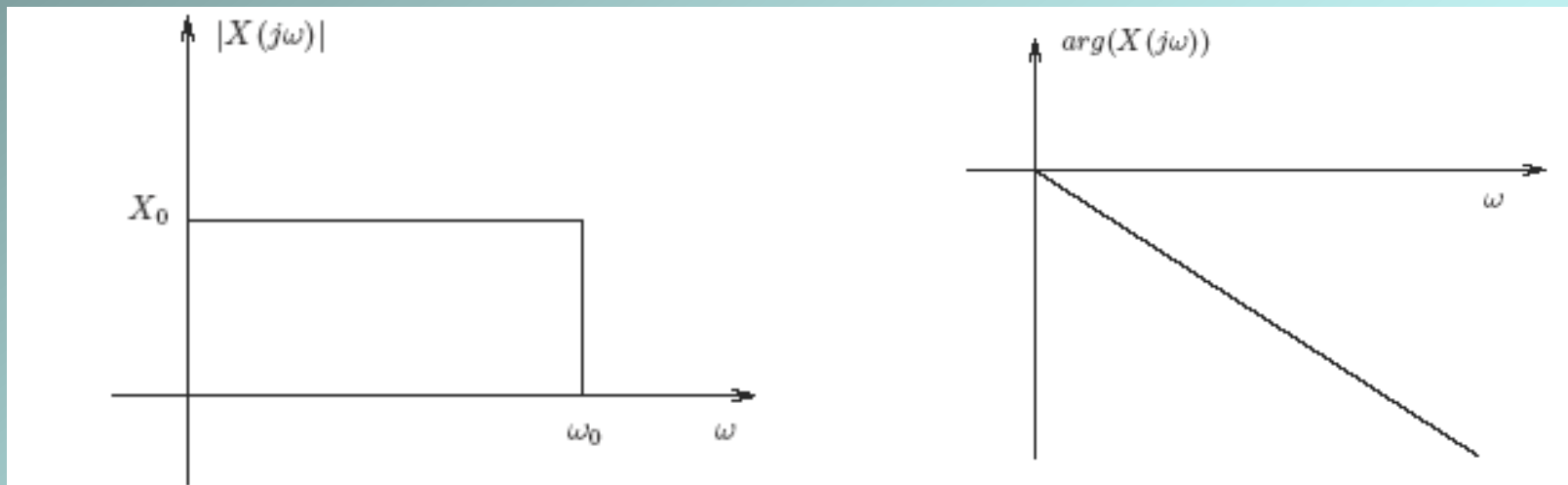
- Tempo morto (dead time): è l'intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio del gradino in ingresso e il momento in cui l'uscita raggiunge il 10% del suo valore di regime
- Tempo di salita (rise time): è il tempo che impiega l'uscita del sensore per passare dal 10% al 90% del suo valore di regime.
- Slew rate: è la massima variazione dell'uscita nell'unità di tempo
- Massima sovraelongazione: viene fornita nel caso in cui il valore di uscita superi nei transitori il valore di regime (overshoot)



Caratteristica dinamica (dominio delle frequenze)

La risposta in frequenza di un sensore si definisce attraverso i diagrammi di ampiezza e di fase della risposta del trasduttore quando l'ingresso ha un andamento sinusoidale.

La frequenza per cui la risposta del sensore è $1/\sqrt{2}$ della risposta a frequenza nulla è la **frequenza di taglio** ω_0

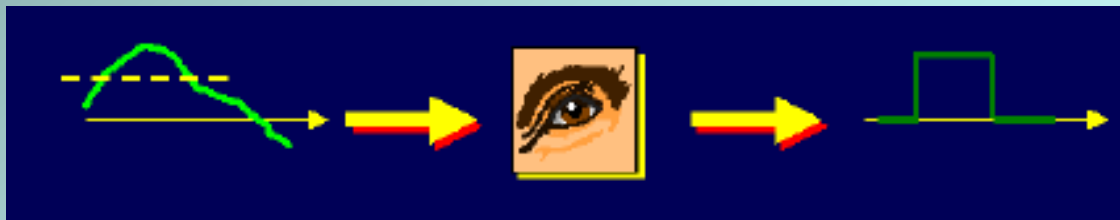


Classificazione dei sensori

- Sensori ad uscita continua:
 - Tutta l'informazione viene acquisita

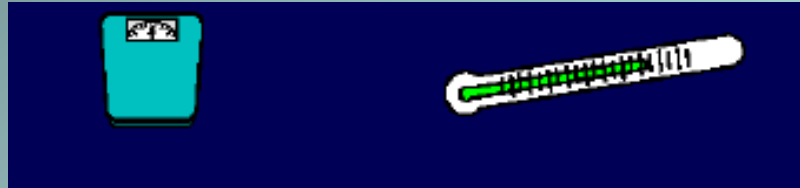


- Sensori ad uscita logica
 - Solo parte dell'informazione è acquisita



Classificazione dei sensori II

- Sensori autoeccitanti
 - Non hanno bisogno di ulteriori sorgenti di energia



- Sensori modulanti:
 - Richiedono una sorgente aggiuntiva di energia
 - La grandezza da misurare “modula” un campo generato esternamente

