

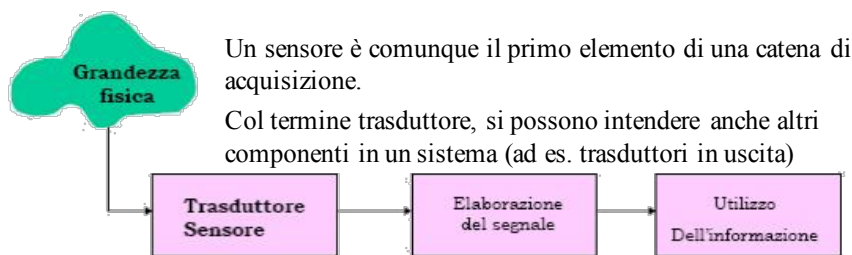
Termini di Sensore e Trasduttore

Possiamo definire “**sensore**”: *Quel dispositivo sensibile ad una grandezza fisica ed in grado di trasformarla in un segnale misurabile.*

Possiamo definire “**trasduttore**”: *Quel dispositivo che converte energia da un sistema ad un altro nella stessa forma o in forma differente.*

C'è spesso ambiguità nell'utilizzo dei termini.

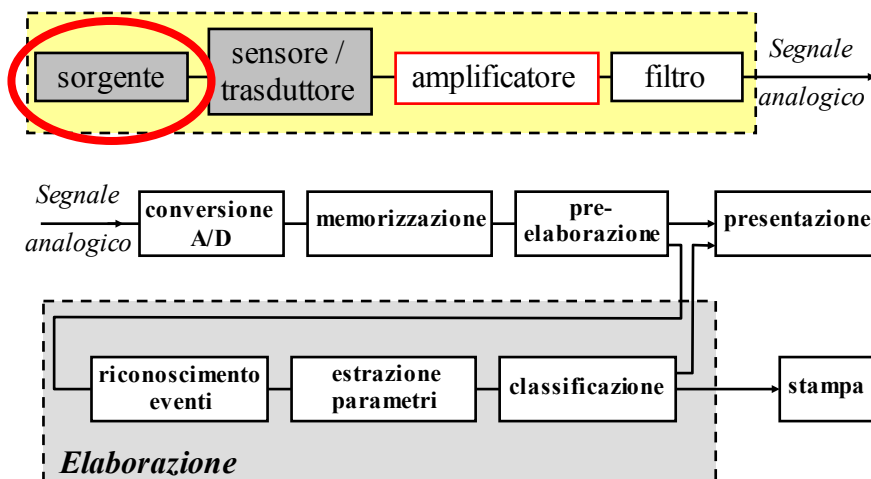
Spesso vengono usati in modo analogo e interscambiabile.



UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Acquisizione ed elaborazione di segnali

Blocchi funzionali



UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Segnali biomedici - *origine*

Il segnale può presentarsi sotto forma di *potenziale elettrico* (ECG, EEG, ecc); in questo caso è subito disponibile per la sua misura e per successivi trattamenti (registrazione, elaborazione). Negli altri casi dovrà essere convertito in un segnale elettrico, mediante un *trasduttore*.

In base alla loro *origine*, i segnali si possono distinguere in:

- *elettrici*
- *di impedenza*
- *acustici*
- *magnetici*
- *meccanici*
- *chimici*
- *ottici*

UNIPF-SM-Segnali e Trasduttori

Segnali biomedici - *dimensione*

Un altro modo di caratterizzare il segnale biomedico è basato sulla *dimensione* della sua misura.

Il segnale “peso” lo posso considerare a **1-dimensione** in quanto è definito da un valore misurato in un determinato momento. Lo stesso posso dire per il segnale “temperatura” oppure “altezza” di una persona.

Se invece considero una immagine su schermo, l'immagine la posso considerare un segnale a **2-dimensioni** in quanto il valore di ogni punto dell'immagine (cioè l'intensità e/o colore) cambia in base alla 2 coordinate X e Y.

Nel caso di un film o video, avrò un segnale a **3-dimensioni** in quanto, oltre alla necessità di conoscere le 2 coordinate X-Y di ogni punto, dovrò conoscere anche il tempo esatto in cui è stata presa quella particolare immagine tra la sequenza di immagini registrate.

UNIPF-SM-Segnali e Trasduttori

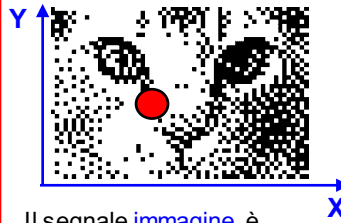
Segnali biomedici - *dimensione*

1 dimensione

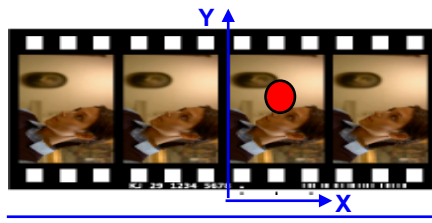


Il segnale **peso** è funzione del **tempo** in cui si effettua la misura

2 dimensioni



Il segnale **immagine** è funzione delle coordinate **X** e **Y**.

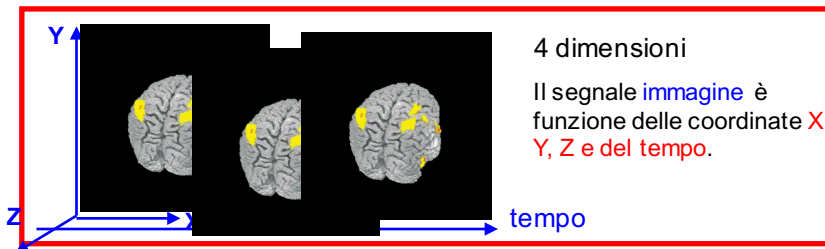


3 dimensioni

Il segnale **immagine** è funzione delle coordinate **X**, **Y** e del **tempo**.

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Segnali biomedici - *dimensione*

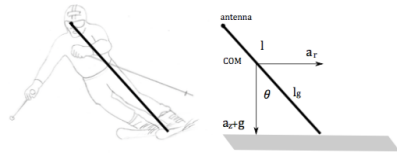
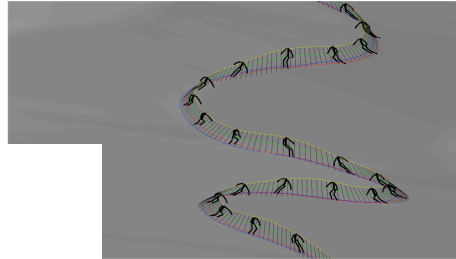


4 dimensioni

Il segnale **immagine** è funzione delle coordinate **X**, **Y**, **Z** e del **tempo**.

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Segnali biomedici - *dimensione*



Sistema GPS e accelerometri (17 per accelerazioni di diversi segmenti del corpo)

Nemec D. e altri, *Estimation of Alpine Skier Posture Using Machine Learning Techniques*, *Sensors* 2014, 14(10), 18898-18914

UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Misura angoli segmenti corporei

© XSSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 3, 2013

Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking
Using Miniature Inertial Sensors

Daniel Roetenberg, Henk Luinge, and Per Slycke

Sistema per misurare gli angoli tra segmenti del corpo

Si potrebbero usare degli elettrogoniometri: sono dispositivi che possono essere fissati a cavallo delle giunture

Problemi:

- Errore nel posizionamento
- Si spostano facilmente dalla posizione iniziale



Fig. 1. Xsens MVN consists of 17 inertial and magnetic sensor modules. Data is transmitted by a wireless connection to the laptop computer on which the processing is performed and visualized. A suit is used for quick and convenient placement of sensors and cables.

UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Misura angoli segmenti corporei

© XSSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 3, 2013

Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors

Daniel Roetenberg, Henk Luinge, and Per Slycke

Utilizzo di accelerometri, giroscopi e magnetometri

L'uso integrato di questi sensori permette di minimizzare il problema degli errori nella stima del movimento degli arti



Fig. 1. Xsens MVN consists of 17 inertial and magnetic sensor modules. Data is transmitted by a wireless connection to the laptop computer on which the processing is performed and visualized. A suit is used for quick and convenient placement of sensors and cables.

UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

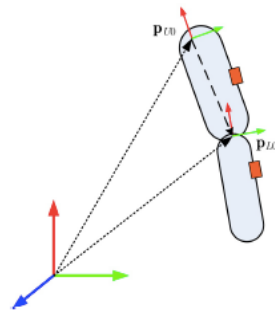
Misura angoli segmenti corporei

Consideriamo due segmenti, con un sensore in ciascuno

Ogni sensore misura le accelerazioni lineari ed angolari

Integrandole si ottengono velocità (lineari ed angolari)

Integrandole ancora si ottengono spostamenti e rotazioni



(d) Relation of two connecting segments at $t = 0$.

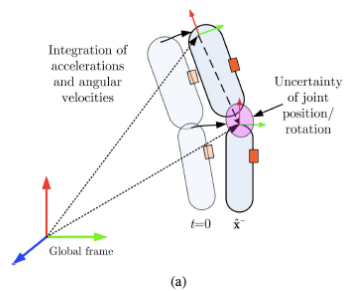
UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Misura angoli segmenti corporei

Ma cosa succede se c'è del rumore nei sensori, o un piccolo errore nel posizionamento, o un segnale spurio seppur piccolo?

L'integrazione porta un errore piccolo sulle accelerazioni ad avere un errore finale considerevole

Per questo motivo, in questo sistema vengono utilizzate dei metodi di correzione basati su più misure



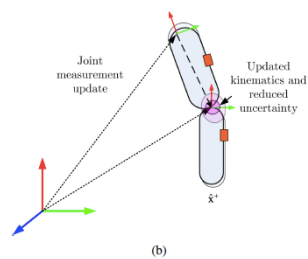
UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Misura angoli segmenti corporei

In questo caso gli accelerometri servono per mantenere l'informazione sulla verticale del sensore, andando a valutare la componente verticale della accelerazione legata alla gravità

I magnetometri, funzionano come bussole, e individuano la direzione sul piano orizzontale dei sensori, dalla misura del campo magnetico terrestre

Quindi la posizione ad intervalli dati può essere corretta con queste informazioni aggiuntive

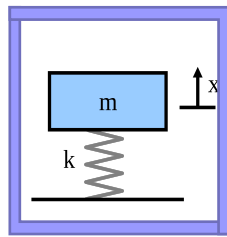


UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Accelerometri

L'accelerazione si trova come forza prodotta su una massa $F=Ma$
Dove F è la Forza e M la massa (che è nota)

Tale forza sarà misurata dalla deformazione (x) di una molla (k) ad essa collegata dalla deformazione di un materiale piezoelettrico (fornisce un segnale proporzionale alla deformazione)



Una volta stimata l'accelerazione è possibile stimare velocità attraverso una integrazione nel tempo

$$v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a(t_\alpha) dt_\alpha$$

Bisogna fare notare che nel caso esista un errore nella stima della accelerazione, questo verrà ad essere integrato (quindi sommato) nel tempo

Se nell'intervallo di misura l'errore è costante, ad esempio positivo, la misura della velocità sarà sovrastimata

Una successiva integrazione, che permetterebbe di stimare lo spazio percorso, produrrebbe in questo caso ad una sovrastima della distanza percorsa

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Accelerometri

Una volta stimata l'accelerazione è possibile stimare velocità attraverso una integrazione nel tempo

$$v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a(t_\alpha) dt_\alpha$$

Bisogna fare notare che nel caso esista un errore nella stima della accelerazione, questo verrà ad essere integrato (quindi sommato) nel tempo

Se nell'intervallo di misura l'errore è costante, ad esempio positivo, la misura della velocità sarà sovrastimata. Se nell'intervallo di tempo di integrazione l'errore oscilla attorno al valore corretto dell'accelerazione, allora l'errore sarà più piccolo.

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Accelerometri

Quindi nel caso di errori costanti o variabili lentamente (drift) una successiva integrazione, che permetterebbe di stimare lo spazio percorso, produrrebbe in questo caso ad una sovrastima della distanza percorsa

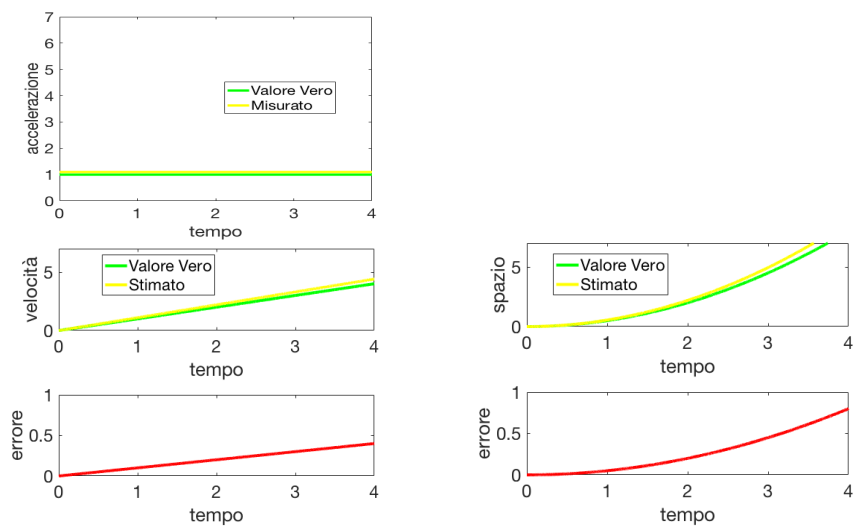
Nel caso di errore costante (bias) sulla accelerazione si avrebbe un errore sulla velocità che cresce linearmente con il tempo di integrazione

Nella stima dello spazio percorso si creerebbe, in questo caso un errore nella stima della velocità di tipo quadratico in funzione del tempo.

Questo esempio mostra perché l'accelerometro può accumulare un errore sulla stima sia della velocità e ancor di più dello spazio percorso

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Accelerometri



UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Accelerometri

Tali dispositivi possono essere resi molto piccoli (MEMS micro-electro-mechanical systems)

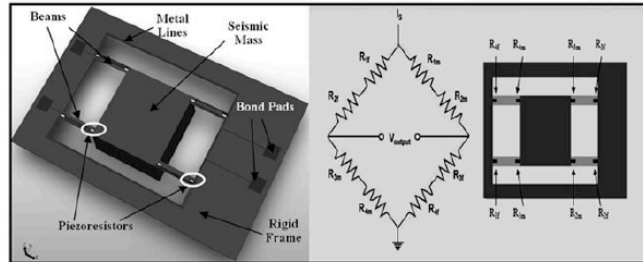


Fig. 4 (left) MEMS piezoresistive accelerometer variant discussed in this test. (right) Wheatstone bridge arrangement of stress sensing piezoresistors and their mapping on the MEMS accelerometer

UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

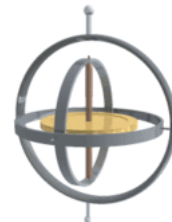
Giroscopi

Sono costituiti da una massa in rotazione

Servono per misurare la velocità angolare e quindi, dopo una integrazione nel tempo, gli angoli

Il principio sul quale si basano è legato al fatto che tendono a mantenere la stessa direzione del piano di rotazione della massa, seppur si cerchi di modificarla:

Se cerchiamo di modificarla si opporrà con una forza



UNIFI-SM-Signali e Trasduttori

Giroscopi

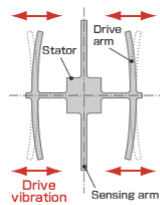
É possibile creare dei sistemi che vibrano, molto piccoli, (MEMS) sfruttando il fatto che il piano di vibrazione rimane lo stesso

Se viene modificato, verrà generata una forza che tenderà ad opporsi. Misurando tale forza si misura la variazione. In particolare, i giroscopi forniscono la velocità di variazione della velocità angolare

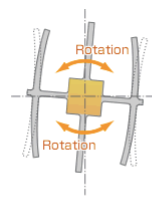
Si fa notare che piccoli errori su questa, possono portare dopo due integrazioni, ad errori considerevoli sugli angoli finali

UNIP-SM-Segnali e Trasduttori

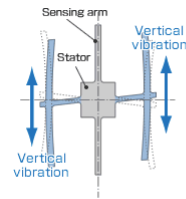
Giroscopi



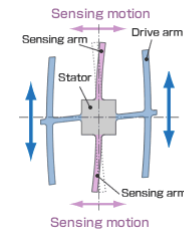
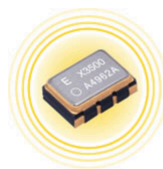
1. Normally, a drive arm vibrates in a certain direction.



2. Direction of rotation



3. When the gyro is rotated, the Coriolis force acts on the drive arms, producing vertical vibration.



https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyr o/

UNIP-SM-Segnali e Trasduttori

Magnetometri

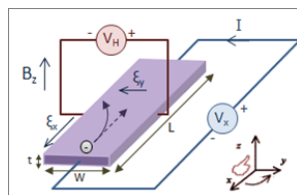
Misurano il campo magnetico

Alcuni misurano il campo magnetico terrestre (come la bussola che ne misura la direzione e verso)

Altri i campi magnetici generati dalle correnti cerebrali (SQUIDS)

L'entità del campo magnetico si misura attraverso l'effetto Hall

Una carica in movimento, soggetta ad un campo, è sottoposta ad una forza



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Magnetometri

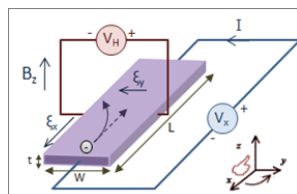
L'entità del campo magnetico si misura attraverso l'effetto Hall

Una carica in movimento, soggetta ad un campo, è sottoposta ad una forza

Le cariche in un conduttore possono essere messe in movimento

Muovendosi, se sono in presenza di un campo magnetico, si sposteranno in una direzione perpendicolare sia al movimento che al campo (Forza di Lorentz)

Da una parte del conduttore si accumuleranno delle cariche, in ragione legata al campo magnetico e alla corrente, e quindi si genera una differenza di potenziale



Tramite questi sistemi è possibile misurare la direzione del campo magnetico terrestre

UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Sistemi di misura

L'esempio è relativamente complesso

Ma in generale mostra che le misure sono effettuate tramite sistemi basati su principi fisici fondamentali, che devono essere conosciuti per comprenderne il funzionamento e possibili limiti

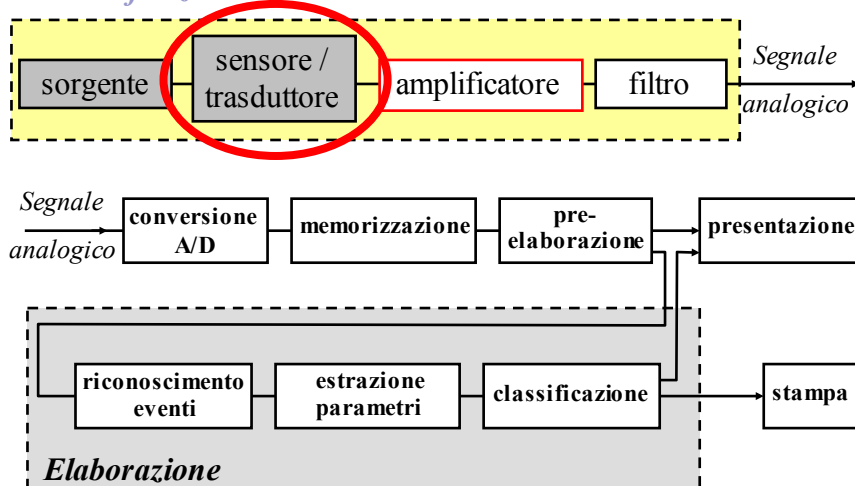
ad esempio sensibilità a presenza di materiali ferromagnetici per i sensori di Hall, o problematiche legate ad errori di "drift" su accelerometri (piccoli errori nell'accelerazione che possono portare ad errori sensibili dopo le integrazioni)

Esistono poi problematiche legate alla calibrazione, ovvero alla determinazione del funzionamento del sistema in condizioni note (ad es. lo zero della bilancia, così come la registrazione delle uscite di un sistema complesso per la misura degli angoli in una fase nota quale la posizione eretta o posizioni note)

UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Acquisizione ed elaborazione di segnali

Blocchi funzionali



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

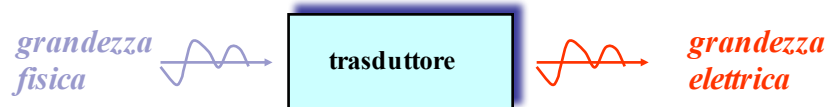
Sensori e trasduttori

La maggior parte della strumentazione biomedica è elettronica e tratta **segnali elettrici**.

Se, per esempio, devo analizzare un biopotenziale devo avere un “qualcosa” che sia in grado di trasferire il potenziale **elettrico** dal paziente allo strumento, cioè devo usare un **sensore**, ed in particolare un **elettrodo**.

Se invece devo analizzare un segnale di pressione, o un movimento, o una accelerazione, o una forza, o una temperatura (tutti segnali **non elettrici**) devo prima convertirli mediante un sensore che agisce da trasduttore e che è in grado di fornire un segnale elettrico proporzionale allo stimolo originale.

Nel nostro contesto, si definisce **trasduttore** un dispositivo che converte una qualsiasi forma di energia prodotta da uno stimolo fisico nel suo corrispondente elettrico.

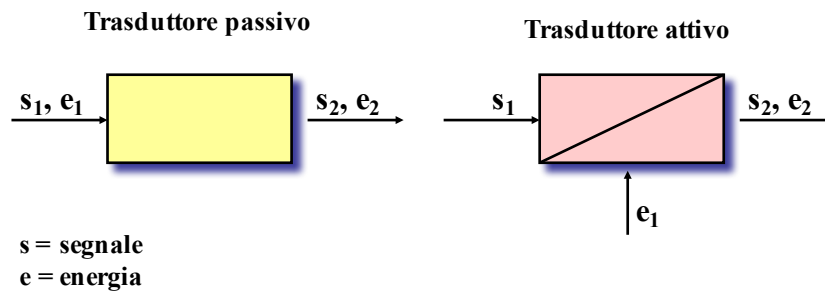


UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Trasduttori attivi e passivi

Un trasduttore è considerato **attivo** se l'energia del segnale in uscita dal trasduttore è **fornita principalmente da una sorgente ausiliaria esterna**, controllata dal segnale d'ingresso.

Viceversa, in un trasduttore **passivo** la sorgente principale di energia è **fornita da segnale stesso**.



UNIFI-SM-Segnali e Trasduttori

Fenomeno fisico nei trasduttori

| <i>Attivi</i> | <i>Passivi</i> |
|--|--|
| Resistenza, induttanza capacità controllate geometricamente. | Elettromagnetico |
| Meccanicoresistivo | Piezoelétrico |
| Magnetoresistivo | Termoelettrico |
| Termoresistivo | Fotoemissivo |
| Fotoconduttivo | Fotovoltaico |
| Piezoresistivo | Elettrocinetico (potenziale di scorrimento) |
| Effetto Hall | Piroelétrico |

UNIPF-SM-Segnali e Trasduttori

Ingressi e uscite di un trasduttore

| GRANDEZZA DI INGRESSO | GRANDEZZA MISURATA |
|-----------------------|--|
| SPOSTAMENTO | LINEARE lunghezza, spessore, livello, stato della superficie, erosione, usura, vibrazioni, forza, pressione, durezza, sforzo, accelerazione |
| | ANGOLARE angolo di incidenza, angolo di scorrimento, vibrazione angolare |
| VELOCITA' | LINEARE Velocità, velocità di scorrimento, vibrazioni, suoni, momenti |
| | ANGOLARE Velocità, frequenza di rotazione, vibrazioni, momenti angolari |
| ACCELERAZIONE | LINEARE Accelerazione, massa, vibrazioni, urti |
| | ANGOLARE Accelerazione, vibrazioni, urti obliqui, momento di inerzia |
| FORZA | Peso, densità, urti, sforzo, coppia, vibrazioni, pressione Velocità di fluidi e gas, altitudine, suoni |
| TEMPERATURA | Conduzione e radiazione di calore, pressione, velocità di gas, turbolenza |
| RADIAZIONE LUMINOSA | Flusso e densità di luce, distribuzione spettrale, lunghezza d'onda, deformazione, forza coppia, frequenza |
| DURATA | Frequenza, numerazione, distribuzioni statistiche |

UNIPF-SM-Segnali e Trasduttori

Trasduttore: *Caratteristiche statiche*

Sensibilità: è il rapporto fra la *variazione* del segnale in uscita al sensore e la corrispondente *variazione* della grandezza in ingresso.

Risoluzione: la risoluzione rappresenta la più piccola quantità che può essere misurata; ovvero la minima variazione dell'ingresso che provoca un'apprezzabile variazione in uscita.

Ripetibilità: è l'attitudine del trasduttore a fornire valori della grandezza in uscita uguali a parità di segnale di ingresso.

Accuratezza: esprime la deviazione tra il valore presentato in uscita dal sensore (grandezza fisica misurata) ed il valore vero della grandezza fisica.

Isteresi: corrisponde alla massima differenza tra i due cammini di andata e di ritorno dell'uscita di un sensore durante il ciclo di calibrazione. E' espresso in percentuale del fondo scala (% f.s.).

Calibrazione: registrazione delle misurazioni della grandezza di uscita del sensore in corrispondenza di valori noti della grandezza di ingresso.

UNIPF-SM-Segnali e Trasduttori