

SENSORI E TRASDUTTORI

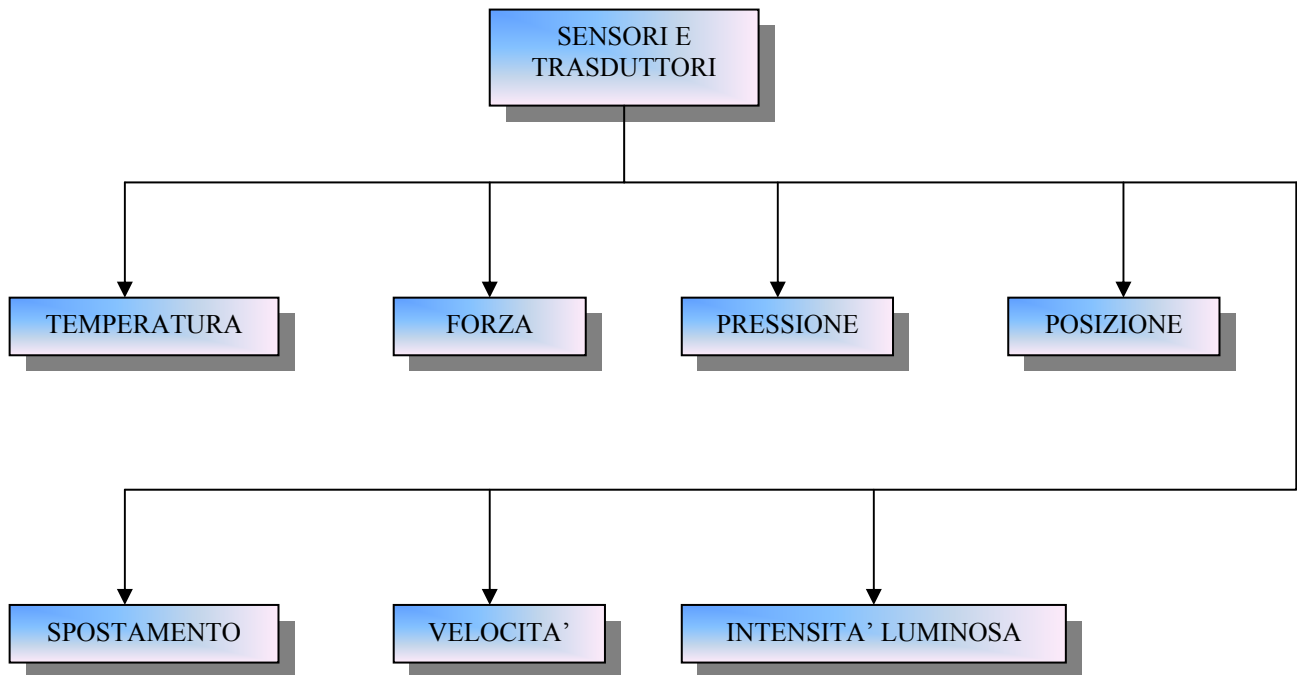
SENSORI E TRASDUTTORI



DEFINIZIONE

I trasduttori sono dispositivi che forniscono in uscita una grandezza elettrica funzione della grandezza fisica da rilevare. Essi possono essere suddivisi in base alla grandezza fisica da misurare o in base alla grandezza elettrica che forniscono in uscita oppure in base al principio fisico su cui si basa il loro funzionamento.

CLASSIFICAZIONE



CARATTERISTICHE E PARAMETRI

- ❑ **Funzione di trasferimento.** Indica la relazione fra la grandezza da rilevare e la grandezza d'uscita del trasduttore.
- ❑ **Linearità.** Nella maggior parte delle applicazioni si desidera che la funzione di trasferimento sia lineare e quindi viene definito come *errore di non linearità* lo scarto massimo fra la curva di trasferimento reale e la retta che la interpola.
- ❑ **Sensibilità.** Rapporto fra la variazione della grandezza in uscita in corrispondenza con la variazione della grandezza fisica in ingresso.
- ❑ **Errore di misura.** Differenza tra il valore reale di una certa grandezza ed il valore misurato.
- ❑ **Caratteristiche dinamiche.** Esprimono il comportamento del trasduttore quando la grandezza da misurare compie delle brusche variazioni.
- ❑ **Segnale d'uscita.** Esprime il tipo di grandezza che abbiamo in uscita (tensione, corrente, frequenza, ...).

SENSORE DI TEMPERATURA

La temperatura è una grandezza scalare rappresentativa dello stato termico di un corpo, cioè della sua capacità di trasferire il calore ad altri corpi. Usualmente il fenomeno fisico utilizzato maggiormente per la misurazione della temperatura è quello della dilatazione.

I più comuni tipi di trasduttori di temperatura presenti sul mercato sono:

- ✚ sensori di temperatura a resistenza;
- ✚ termistori;
- ✚ termocoppie;
- ✚ sensori di temperatura a semiconduttore.

Tipo di sensore	Campo di temperature (°C)
Bimetallico	- 50 ÷ + 500
A semiconduttore	- 55 ÷ + 150
Termistore	- 80 ÷ + 150
Termocoppia	- 250 ÷ + 2000
Termoresistenza	- 200 ÷ + 850

Tab. 1 Sensori e relative temperature di lavoro

■ SENSORI DI TEMPERATURA A RESISTENZA (o termistori)

Noti commercialmente con la sigla RTD (Resistance Temperature Detector), basano il loro funzionamento sulla proprietà generale dei metalli di variare la resistenza elettrica in funzione della temperatura secondo una legge approssimativamente lineare espressa dalla seguente relazione:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^3) \cong R_0 (1 + \alpha T)$$

Dove R_T è la resistenza alla temperatura in °C, R_0 è la resistenza a 0°C e α , β , γ sono coefficienti termici di resistenza.

Fra i metalli idonei alla produzione dei sensori a resistenza, il platino è quello che presenta le migliori caratteristiche: esteso intervallo di temperatura (-260°C ÷ 700°C), ottima stabilità e buona linearità.

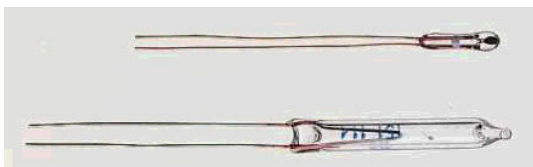
■ TERMISTORI

Si tratta di sensori che basano il loro funzionamento sullo stesso principio delle termoresistenze, con la differenza che l'elemento sensibile non è un metallo ma un semiconduttore. I termistori vengono indicati come NTC (Negative Temperature Coefficient) quando presentano un coefficiente di temperatura negativo e come PTC (Positive Temperature Coefficient) quando il coefficiente è positivo. I primi sono realizzati con semiconduttori ceramici, ottenuti sinterizzando miscele di ossidi di nichel, manganese, ferro, cobalto e altri materiali, mentre i secondi sono realizzati con materiale ceramico a base di titanato di bario con aggiunte di titanato di piombo o zirconio.

Questi dispositivi sono largamente impiegati in una gamma di temperature che si estende da -100°C fino a 450°C per l'elevata sensibilità e i ridotti tempi di risposta.

In commercio possiamo trovare:

- tra gli NTC il GL16 e il GL23 mostrati qui sotto.



Modello	Termistore a goccia NTC
Campo di utilizzo	-
Resistenza in ingresso	2kΩ
Costo	L. 18.200

- Tra i PTC la serie C1011 o la serie C8 qui sotto mostrati.



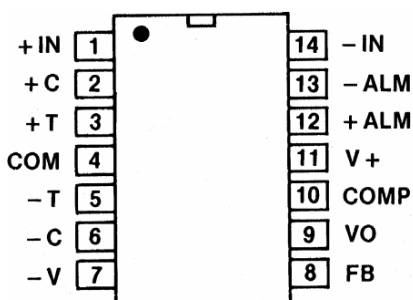
Modello	Termistore del tipo PTC
Campo di utilizzo	Fino a 120°C
Tipo di uscita	-
Costo	L. 4.830

■ TERMOCOPPIE

Questi sensori sono molto probabilmente i più diffusi nonostante il basso valore del segnale in uscita e la linearità non sempre soddisfacente. Il loro principio di funzionamento si basa sull'effetto *Seebeck*: due conduttori metallici diversi A e B uniti alle due estremità sono percorsi da una corrente proporzionale alla differenza di temperatura fra una giunzione, detta giunzione calda, e l'altra, detta giunzione fredda, fra i terminali scollegati si manifesta una f.e.m. E proporzionale alla differenza di temperatura $T_h - T_c$.

TIPO	ELEMENTI +/-	Campo di temperature (°C)
E	Cromel/Costantana	0 ÷ 900
J	Ferro/Costantana	0 ÷ 700
K	Cromel/Alumel	-200 ÷ 1200
R, S	Platino-Rodio/Platino	0 ÷ 1400
T	Rame/Costantana	-200 ÷ 350
C	Tungsteno/Renio	0 ÷ 2300

In commercio sono disponibili integrati contenenti il blocco di compensazione e un amplificatore del segnale di uscita come l'AD595 (fig. 1) per termocoppie di tipo K (fig. 2).



Modello	Amplificatore per termocoppia
Campo di utilizzo	Amplificatore lineare o compensatore
Contenitore	DIL a 14 pin
Costo	L. 32.900

Fig. 1



Fig. 2

Modello	Cavo per termocoppia tipo K
Campo di utilizzo	Da -270°C a $+1370^{\circ}\text{C}$
Tipo di uscita	-
Costo	L. 16.100

■ SENSORI A SEMICONDUCTORE

Questi sensori sfruttano il fatto che la tensione ai capi di una giunzione a semiconduttore polarizzata direttamente varia con la temperatura di circa $-2.2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

In commercio, tra i più noti, troviamo l' LM135H (fig. 3) e l' IC-590kH (fig. 4) qui sotto mostrati:



Fig. 3

Modello	Sensore di temperatura IC di precisione
Campo di utilizzo	Da -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$
Tipo di uscita	$V_{\text{max}}=3.01\text{V}$
Costo	L. 20.500



Fig. 4

Modello	Sensore per bassa pressione
Campo di utilizzo	Da -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$
Tipo di uscita	$V_u = \text{da } 4 \text{ a } 30\text{V}$
Costo	L. 26.600

SENSORI E TRASDUTTORI DI FORZA

I trasduttori di forza, noti anche come celle di carico, sono utilizzati sia nelle misure di forza vere e proprie sia per la determinazione della massa. Generalmente questi trasduttori impiegano sensori che convertono la forza applicata in una deformazione o in una deflessione di un elemento elastico.

Questi trasduttori si dividono in:

- ✚ estensimetri;
- ✚ trasduttori piezoelettrici;

■ ESTENSIMETRI

Noti anche come *strain gage* sono sensori in grado di convertire una deformazione in una variazione di resistenza elettrica. Essi possono essere metallici o a semiconduttore.

Gli estensimetri metallici sono costituiti da una griglia di misura incollata su un supporto di plastica sottile, alla estremità della quale vengono saldati due conduttori. L'estensimetro viene applicato direttamente sul corpo di cui si vuole misurare la deformazione in modo che questa venga trasmessa alla griglia che la trasforma in una variazione di resistenza elettrica.

Gli estensimetri a semiconduttore hanno come elemento sensibile una griglia di materiale semiconduttore. La variazione di resistenza è ora prevalentemente attribuibile all'effetto piezoresistivo.

Questi sensori hanno trovato vasto impiego nella realizzazione di sensori di forze, pressione, vibrazione, spostamento, velocità, adatti ad una grandissima varietà di applicazioni.

■ TRASDUTTORI PIEZOELETTRICI

Sfruttano la proprietà di alcuni materiali, tipicamente il quarzo, di generare una tensione quando vengono sottoposti a sollecitazioni meccaniche quali la compressione, lo stiramento e la flessione. Questi dispositivi sono estremamente sensibili e rispondono a sollecitazioni dinamiche in un range di frequenze da 20 Hz a 20 kHz.

SENSORI E TRASDUTTORI DI PRESSIONE

La pressione è una grandezza scalare definita come l'intensità della forza normale per unità di superficie. L'unità di misura del Sistema Internazionale è il Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$).

Questi sensori si dividono in:

- ✚ sensori;
- ✚ trasduttori di pressione capacitivi;
- ✚ trasduttori di pressione induttivi;
- ✚ trasduttori di pressione ed estensimetri;
- ✚ trasduttori di pressione monolitici al silicio.

■ SENSORI

La misurazione della pressione viene effettuata impiegando sensori costituiti da elementi elastici come ad esempio diaframmi, tubi, capsule e soffiotti, il cui spostamento è rilevato da un apposito trasduttore. Benché ognuno di questi sensori rilevi una differenza di pressione, essi possono essere utilizzati per misurare la pressione differenziale, la pressione relativa o la pressione assoluta. Più precisamente per pressione differenziale si intende la differenza di pressione esistente tra due ambienti, di cui uno è scelto come riferimento. La pressione relativa a sua volta è misurata rispetto alla pressione ambiente mentre la pressione assoluta è misurata rispetto al vuoto.

■ TRASDUTTORI DI PRESSIONE CAPACITIVI

Si tratta di dispositivi comprendenti un diaframma mobile e un elettrodo di riferimento, che costituiscono le armature di un condensatore. Applicando una pressione sul diaframma si determina una variazione della capacità del sistema. Di solito il condensatore è parte integrante di un oscillatore, quindi le variazioni di pressione sono convertite in variazioni di frequenza. Questo tipo di trasduttore è utilizzato per misure di pressione assoluta.

■ TRASDUTTORI DI PRESSIONE INDUTTIVI

I trasduttori di pressione induttivi basano il loro funzionamento su variazioni di induttanza o di riluttanza.

Nel primo caso l'impedenza di una bobina alimentata con corrente alternata varia per effetto dello spostamento di un diaframma metallico posto nelle vicinanze e soggetto alle variazioni di pressione, mentre nel secondo caso il trasduttore è costituito essenzialmente da un trasformatore differenziale avente come elemento sensibile un tubo di Bourbon. La flessione del tubo dovuta alla pressione provoca lo spostamento del nucleo del trasformatore e genera di conseguenza un segnale elettrico in uscita.

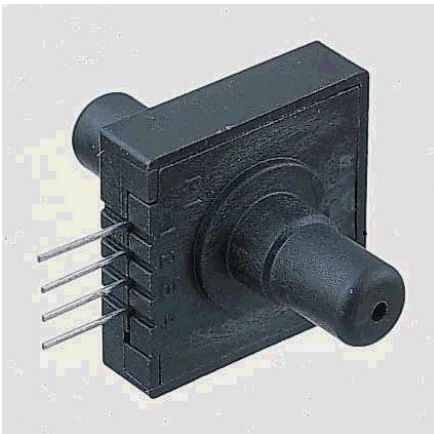
■ TRASDUTTORI DI PRESSIONE AD ESTENSIMETRI

Sono dispositivi costituiti da un diaframma sul quale viene collocato un ponte estensimetrico che consente di convertire la pressione in un segnale elettrico. Il ponte estensimetrico è un normale ponte Wheatstone in cui uno o più rami sono costituiti da estensimetri. Esso può essere realizzato a film spesso o a film sottile. Per i primi il vantaggio principale è il basso costo di fabbricazione, mentre per i secondi è l'elevata stabilità.

■ TRASDUTTORI DI PRESSIONE MONOLITICI AL SILICIO

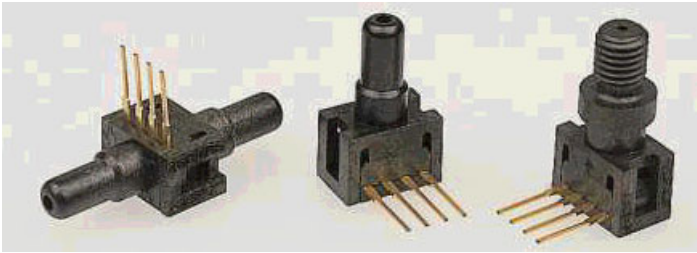
Questi trasduttori sfruttano la *piezoresistività* ossia la proprietà tipica dei materiali semiconduttori di variare la resistività quando vengono sottoposti ad una deformazione meccanica. Essi sono in grado di misurare valori di pressione assoluta, differenziale e relativa tipicamente tra 10 e 200kPa. La loro linearità è elevata, l'offset e gli errori dovuti alle variazioni termiche sono ridotti. Essi sono disponibili sia nella versione con reti di compensazione termica e calibrazione sia in quella senza alcuna compensazione.

In commercio troviamo il “*sensore di pressione differenziale per bassa pressione*“;



Modello	Sensore per bassa pressione
Campo di utilizzo	0-178 mm H ₂ O
Tipo di uscita	Raziometrica
Costo	L. 185.000

Oppure anche “*sensori piezo-resistivi non compensati*” come quelli qui sotto mostrati.



Modello	Sensore piezo-resistivo
Campo di utilizzo	Fino a 6.8 bar
Tipo di uscita	In tensione $V_{max}=225mV$
Costo	L. 59.600

TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO E DI POSIZIONE

In questa categoria troviamo una vasta serie di trasduttori che rilevano la posizione spaziale di un oggetto o ne rilevano lo spostamento.

Tra essi troviamo:

- ▣ trasduttori di spostamento potenziometrici;
- ▣ trasduttori di spostamento capacitivi;
- ▣ trasduttori di spostamento induttivi;
- ▣ trasduttori di spostamento a riluttanza;
- ▣ trasduttori di spostamento ottici;
- ▣ trasduttori di spostamento ad ultrasuoni;
- ▣ trasduttori di livello.

▣ TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO POTENZIOMETRICI

I trasduttori di spostamento potenziometrici, di tipo lineare o rotativo, sono dispositivi relativamente economici costituiti da un elemento resistivo sul quale può scorrere un elemento mobile (cursore) solidale con un’asta isolante che imprime lo spostamento da rilevare. In questo modo la tensione di uscita prelevata sull’elemento mobile risulterà direttamente proporzionale allo spostamento del cursore.

Il settore d’impiego più comune dei trasduttori potenziometrici è quello della misurazione di spostamenti lineari e angolari con valori di fondo scala superiori ad un centimetro. Essi trovano particolare applicazione nei sistemi di controllo reazionati.

▣ TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO CAPACITIVI

In questi trasduttori lo spostamento determina la variazione del valore della capacità di un condensatore. Tale variazione può essere realizzata modificando la superficie affacciata delle armature oppure la distanza tra di esse oppure ancora cambiando la costante del dielettrico interposto tra le armature.

▣ TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO INDUTTIVI

Il funzionamento dei trasduttori di tipo induttivo si basa sul cambiamento del valore dei parametri (induttanza o resistenza di perdita) di una bobina provocato dallo spostamento di un corpo magnetico o semplicemente conduttore. Rispetto a quelli capacitivi sono più robusti e meno sensibili ai fattori ambientali, tuttavia la loro risoluzione è più bassa.

Questi trasduttori si possono dividere a loro volta in:

1. **Trasduttori induttivi ad accoppiamento.** Consistono di un solenoide all’interno del quale può scorrere un nucleo di materiale ferromagnetico, questo è guidato da un’asta

non magnetica posta a contatto con l'oggetto di cui si vuole rilevare lo spostamento. Il movimento del nucleo determina una variazione dell'induttanza del solenoide.

2. **Trasduttori induttivi senza contatto.** Servono a rilevare lo spostamento di oggetti metallici. Sono costituiti da una bobina di rilevazione percorsa da una corrente oscillante a radiofrequenza. Il campo elettromagnetico variabile creato dalla bobina induce negli oggetti metallici vicini correnti parassite, che a loro volta generano un campo magnetico opposto a quello della bobina. In tal modo si determina una perdita di energia nell'oscillatore; la conseguente riduzione dell'ampiezza del segnale viene rilevata da appositi circuiti in genere interni al trasduttore stesso.

■ TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO A RILUTTANZA.

Questi dispositivi convertono lo spostamento nella variazione della riluttanza magnetica di un trasformatore e in definitiva nella variazione della tensione indotta al secondario. Si tratta di dispositivi molto diffusi nel controllo di processo per la misura di spostamenti lineari e rotativi. Tra essi troviamo:

1. **Trasformatori differenziali;**
2. **Resolver;**
3. **Synchro;**
4. **Inductosyn.**

■ TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO OTTICI.

I trasduttori ottici non richiedono contatto con l'oggetto e vengono prevalentemente utilizzati per rilevare piccoli spostamenti. Tra essi troviamo:

1. **Trasduttori ottici a riflessione.** Sono dispositivi che consentono di rilevare lo spostamento di oggetti dotati di superficie sufficientemente riflettente.
2. **Encoder.** Utilizzato per la misura di spostamenti sia angolare che lineare, fornisce un codice digitale in grado di rappresentare una posizione.

■ TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO AD ULTRASUONI.

Sono dispositivi in cui il rilevamento si basa sulla riflessione di onde ultrasoniche da parte di un oggetto. Il segnale trasmesso è costituito da un treno di impulsi di frequenza solitamente compresa tra i 40 e i 400 kHz, i quali vengono riflessi dall'oggetto in movimento e quindi rilevati da un ricevitore. Tra essi troviamo:

1. **Interruttori di prossimità.** Sono sensori di spostamento caratterizzati dal fatto che l'uscita dei dispositivi può assumere due soli stati, chiuso o aperto, ON oppure OFF. Essi vengono impiegati prevalentemente come fine corsa, controllo di presenza o assenza, rilevamento di passaggio, scorrimento e posizione.
2. **Interruttori di prossimità induttivi.** Sono simili ai sensori di spostamento induttivi ma ciò che li differenzia è il tipo di segnale in uscita che per questi risulta essere il segnale di commutazione ON/OFF.

In commercio troviamo *“l'interruttore di prossimità induttivo NPN”* qui sotto mostrato.



Modello	Interruttore di prossimità induttivo NPN
Distanza di utilizzo	Da 0 a 3mm
Tipo di uscita	-
Costo	L. 174.000

3. **Interruttori di prossimità capacitivi.** Si tratta di dispositivi in grado di rilevare la presenza di oggetti di qualunque materiale ma hanno l'inconveniente di un comportamento fortemente dipendente dalle caratteristiche dell'ambiente per cui si usa solo quando non è possibile ricorrere ad altri tipi.

In commercio troviamo "l'interruttore di prossimità capacitivo M30".



Modello	Interruttore di prossimità capacitivo M30
Distanza di utilizzo	Da 0 a 10mm
Tipo di uscita	-
Costo	L. 181.000

4. **Interruttori di prossimità ad effetto Hall.** Si basano sul principio per cui, se una barretta di metallo o di semiconduttore nel quale fluisce una corrente I è immersa in un campo magnetico trasversale di induzione B , sui portatori di carica che danno luogo alla corrente si origina una forza che tende a spostarli perpendicolarmente sia a B sia a I (Legge di Lorentz). Le loro applicazioni sono varie.

5. **Interruttori di prossimità ottici o fotoelettrici.** Questi dispositivi sono in grado di rilevare la presenza di un oggetto senza alcun contatto fisico, sentendo la presenza o assenza di un fascio luminoso emesso da una sorgente e intercettato dall'oggetto nel suo movimento.

■ TRASDUTTORI DI LIVELLO

I trasduttori di livello sono dispositivi atti a misurare il livello di un liquido contenuto in un recipiente. I tipi più comuni sono basati sulla misura della pressione differenziale e sulla variazione di capacità.

TRASDUTTORI DI VELOCITA'

La velocità di un oggetto indica la rapidità con cui la sua posizione cambia nel tempo. Esistono due tipi di trasduttori di velocità:

- ⊕ trasduttori di velocità lineare;
- ⊕ trasduttori di velocità angolare.

■ TRASDUTTORI DI VELOCITÀ LINEARE

Questi trasduttori consistono di un magnete permanente solidale con l'oggetto di cui si vuole misurare la velocità e libero di muoversi avanti e indietro all'interno di un avvolgimento. Quando il magnete si muove, viene indotta ai capi della bobina una forza elettromotrice. Più è elevata la velocità dell'oggetto solidale al magnete e tanto maggiore è la forza elettromotrice. Il principale svantaggio di questo dispositivo è che la sua sensibilità dipende dalla posizione assunta dal magnete permanente.

■ TRASDUTTORI DI VELOCITA' ANGOLARE

I più diffusi trasduttori di velocità angolare sono:

1. **Tachimetro in c.c..** Detto anche *dinamo tachimetrica* è in sostanza una dinamo a magneti permanente con particolari caratteristiche elettromagnetiche, ovvero con basso momento di inerzia ed elevata linearità di risposta. Le applicazioni tipiche riguardano il controllo di velocità dei motori.
2. **Tachimetro in c.a..** Questo trasduttore, detto anche *generatore a induzione*, è provvisto di due avvolgimenti di statore, quello di *eccitazione* e quello di *uscita*, posti a 90° elettrici fra di loro e da un avvolgimento in cortocircuito sul rotore. Alimentando l'avvolgimento di eccitazione viene indotta una forza elettromotrice sui conduttori del rotore. Tale f.e.m. risulta proporzionale alla velocità con cui i conduttori tagliano le linee di flusso e pertanto è massima per le spire parallele a tali linee e nulla in quelle ad esse ortogonali.
3. **Tachimetri ottici.** Si tratta sostanzialmente di Encoder incrementali che forniscono un segnale la cui frequenza è proporzionale alla velocità angolare da rilevare.

■ ACCELEROMETRI

Gli accelerometri sono trasduttori impiegati per misurare accelerazioni, vibrazioni e urti meccanici, il cui funzionamento si basa sullo spostamento della cosiddetta *massa sismica*. Essi sono costituiti sostanzialmente da una massa sospesa, tramite una molla ed uno smorzatore, ad un contenitore rigido. Quando quest'ultimo viene sottoposto ad una accelerazione, la massa si sposta rispetto al contenitore, ritornando nella posizione di riposo quando l'accelerazione si annulla.

TRASDUTTORI DI ENERGIA RADIANTE

Questi trasduttori, noti più comunemente come *fotorivelatori* o *celle fotoelettriche*, sono dispositivi in grado di convertire una radiazione elettromagnetica appartenente alla regione ottica dello spettro in segnale elettrico. Essi si dividono in:

- ✚ rivelatori di fotoni;
- ✚ rivelatori termici.

■ RIVELATORI DI FOTONI

I rivelatori di fotoni basano il loro funzionamento sui fenomeni elettrici che si manifestano come conseguenza dell'interazione fra i fotoni di una radiazione e gli elettroni di certi materiali. In base a questi fenomeni abbiamo:

1. **Rivelatori fotoemittenti.**
2. **Rivelatori fotoconduttivi:**
3. **Rivelatori fotoconduttivi a giunzione.**
4. **Rivelatori fotovoltaici.**

■ RIVELATORI TERMICI

I rivelatori termici sono costituiti da uno schermo nero in grado di assorbire tutta la radiazione elettromagnetica incidente, che induce in essa un aumento di temperatura. I rivelatori termici più comuni sono i *pireoelettrici* i quali sfruttano il fenomeno della piroelettricità, sono costituiti da un cristallo di materiale ferromagnetico. Il cristallo, in relazione alle variazioni di temperatura determinata dalla radiazione incidente, è sede di una polarizzazione elettrica interna, rilevabile sotto forma di differenza di potenziale fra gli elettrodi. I vantaggi di questi dispositivi consistono in discreta economicità, elevata sensibilità ed elevata prontezza.