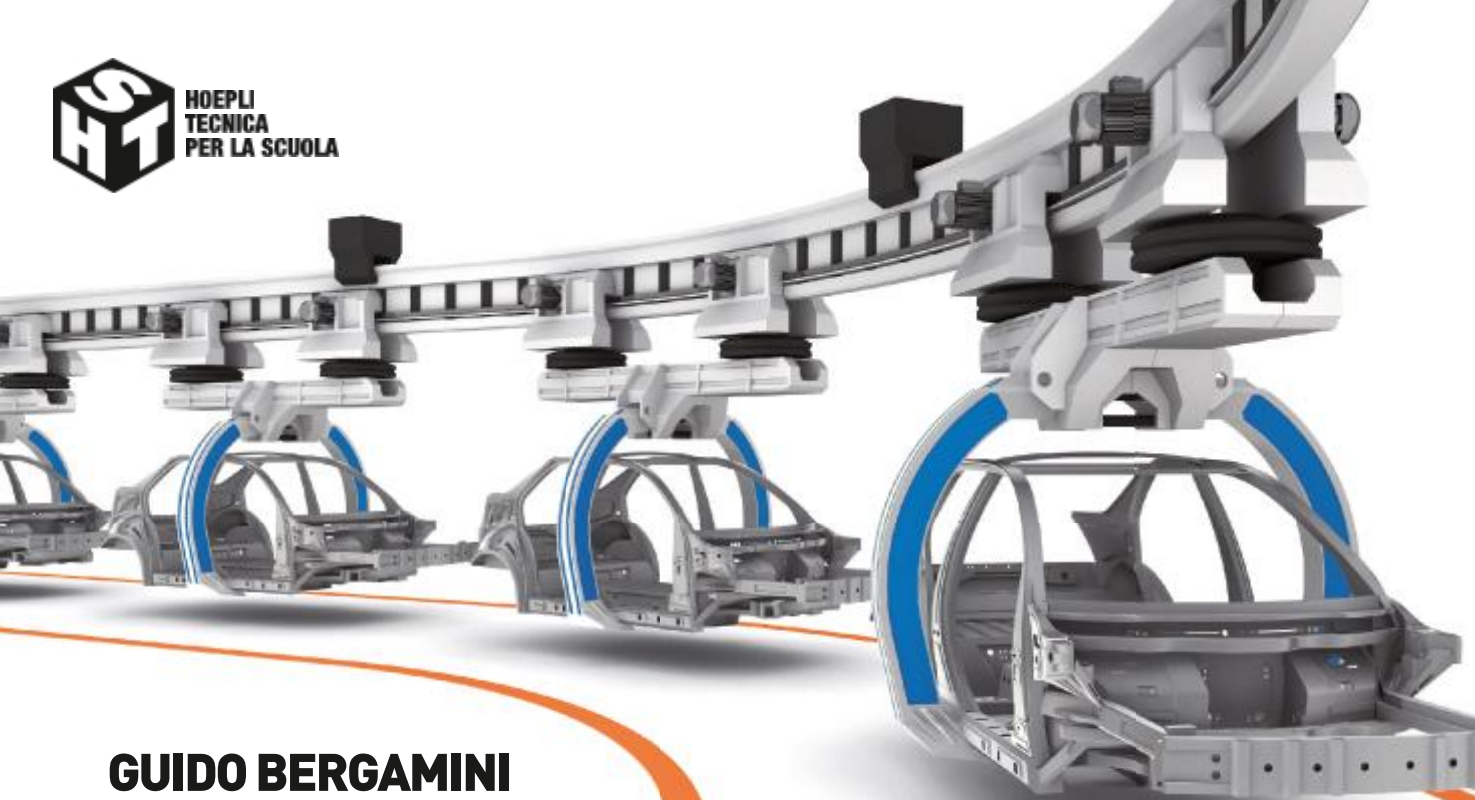




HOEPLI  
TECNICA  
PER LA SCUOLA



**GUIDO BERGAMINI**

# **SISTEMI E AUTOMAZIONE**

Per l'indirizzo **MECCANICA,  
MECCATRONICA ED ENERGIA**  
degli Istituti Tecnici  
settore Tecnologico

# 3



# HOEPLI



Guido Bergamini

# Sistemi e automazione

per l'indirizzo MECCANICA, MECCATRONICA ED ENERGIA  
degli Istituti Tecnici settore Tecnologico

Volume 3



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO



## UN TESTO PIÙ RICCO E SEMPRE AGGIORNATO

Nel sito [www.hoepliscuola.it](http://www.hoepliscuola.it) sono disponibili:

- materiali didattici integrativi;
  - eventuali **aggiornamenti** dei contenuti del testo.
- 

**Copyright © Ulrico Hoepli Editore S.p.A. 2013**

Via Hoepli 5, 20121 Milano (Italy)

tel. +39 02 864871 – fax +39 02 8052886

e-mail [hoepli@hoepli.it](mailto:hoepli@hoepli.it)

**[www.hoepli.it](http://www.hoepli.it)**



Tutti i diritti sono riservati a norma di legge  
e a norma delle convenzioni internazionali

# Presentazione

L'opera in **tre volumi**, affiancati da due testi che trattano PLC Siemens e Omron, è destinata al corso di *Sistemi e automazione* per l'indirizzo **Meccanica, mecatronica ed energia** dei nuovi Istituti Tecnici settore Tecnologico.

Nasce dall'esperienza pratica di insegnamento di questa disciplina e dalla costruzione di materiali didattici in linea con i programmi ministeriali e adattati nel corso degli anni alle esigenze degli studenti, testati e sperimentati durante le lezioni teoriche e pratiche.

L'obiettivo primario dell'opera è quello di organizzare la materia in modo accattivante e stimolante, perché sia motivo di ricerca e di curiosità da parte degli studenti.

Il **terzo volume** è stato diviso in cinque unità: sensori, trasduttori, macchine elettriche, sistemi di regolazione e controllo e robot industriali.

L'unità **sensori** tratta i principali tipi di sensori, analizzandone il principio di funzionamento e i settori di utilizzo. Fornisce inoltre una serie di prove di laboratorio che hanno lo scopo di approfondire la conoscenza delle caratteristiche e le modalità d'uso di questi congegni.

L'unità **trasduttori**, dopo un'ampia panoramica dei parametri principali, prende in esame i dispositivi maggiormente impiegati nei sistemi di controllo. Partendo dai singoli principi di funzionamento, analizza le modalità applicative con particolare attenzione a pregi, difetti e problemi connessi al loro funzionamento.

L'unità **macchine elettriche** affronta le tematiche relative a trasformatore, dinamo, alternatore, motore passo-passo, motore a corrente continua, motore asincrono trifase e monofase, motore sincrono, motore brushless, motore lineare, e si propone come guida al mondo dell'azionamento elettrico. In tutto il testo, ma in particolare in questa unità, gli argomenti sono stati affrontati dal punto di vista meccanico, con l'utilizzo di molti schemi e disegni dei dispositivi, per rendere la materia più semplice e adatta a utilizzi pratici.

L'unità **sistemi di regolazione e controllo** tratta in modo sintetico i metodi classici di studio di rappresentazione dei sistemi lineari e descrive i criteri di regolazione e controllo, con esempi tratti dall'esperienza comune.

L'unità **robot industriali** rappresenta il compendio di tutte le unità precedenti. Nei robot infatti troviamo la convergenza delle problematiche relative ai dispositivi sensoriali, agli azionamenti e ai sistemi di controllo, nonché alla meccanica classica. Dal momento che la dotazione di strumentazione di laboratorio può variare a seconda dei contesti scolastici, la scelta è stata quella di proporre delle **Esperienze di laboratorio** che richiedano attrezzature facilmente reperibili sul mercato e soprattutto economiche. Per questo motivo non sono state inserite esperienze di laboratorio relative ai motori brushless, ai sistemi di regolazione e controllo e ai robot industriali che avrebbero richiesto, oltre a un'attrezzatura molto costosa, anche la conoscenza delle specifiche istruzioni del dispositivo che cambiano da un produttore all'altro.

# Sommario

Presentazione	III	<b>10</b> Trasduttori di velocità	69
		<b>11</b> Trasduttore di pressione	72
<b>Unità 1. Sensori e loro applicazioni</b>	<b>2</b>	<b>12</b> Trasduttore di portata	73
<b>1</b> Definizione di sensore	4	<b>13</b> Conclusioni	75
<b>2</b> Sensori di prossimità	5	<i>Laboratorio di Sistemi</i>	76
<b>3</b> Sensori magnetici	8		
<b>4</b> Sensori a induzione	13	<b>Unità 3. Macchine elettriche</b>	<b>82</b>
<b>5</b> Sensori capacitivi	18	<b>1</b> Generalità	84
<b>6</b> Sensori fotoelettrici	20	<b>2</b> Il trasformatore	85
<b>7</b> Sensori a ultrasuoni	26	<b>3</b> Macchine elettriche rotanti	93
<i>Laboratorio di Sistemi</i>	28	<b>4</b> Il motore passo-passo	97
		<b>5</b> Motori a corrente continua	110
<b>Unità 2. Trasduttori e loro applicazioni</b>	<b>34</b>	<b>6</b> Motori elettrici asincroni trifase	121
<b>1</b> Definizione di trasduttore	36	<b>7</b> Motori asincroni monofase	143
<b>2</b> I parametri principali dei trasduttori	36	<b>8</b> Motori sincroni	144
<b>3</b> Tipi di trasduttori: analogici e digitali, attivi e passivi	45	<b>9</b> Motore brushless	146
<b>4</b> Encoder	45	<b>10</b> Motori lineari	154
<b>5</b> Potenzimetro	53	<i>Laboratorio di Sistemi</i>	158
<b>6</b> Estensimetro	56		
<b>7</b> Trasformatore differenziale – LVDT	61	<b>Unità 4. Sistemi di regolazione e controllo</b>	<b>186</b>
<b>8</b> Resolver	64	<b>1</b> Generalità	188
<b>9</b> Trasduttori di temperatura	65	<b>2</b> Il controllo	192
		<b>3</b> Controllo del processo	193
		<b>4</b> Algebra dei sistemi retroazionati	197

<b>5</b>	Regolatori e controllori	198	<b>4</b>	Tipologie di robot	221
<b>6</b>	Precisione	208	<b>5</b>	I compiti del robot	224
<b>7</b>	Regolazione integrativa	209	<b>6</b>	Estremità di un robot	226
<b>8</b>	Prontezza di risposta	210	<b>7</b>	Azionamenti	227
<b>9</b>	Regolazione derivativa	211	<b>8</b>	Sensori e trasduttori	228
<b>10</b>	Regolazione PID	212	<b>9</b>	Software	228
<b>11</b>	La stabilità	213	<b>10</b>	Parametri caratteristici del robot	229
<b>Unità 5. Robot industriali</b>		216	<b>11</b>	Perché usare un robot	230
<b>1</b>	Un po' di storia	218	<b>12</b>	Caratteristiche tecniche del robot industriale SMART5 della COMAU	231
<b>2</b>	Struttura meccanica	219			
<b>3</b>	Gradi di libertà	220			
				<b>Indice analitico</b>	234

Unità

# 1

## Sensori e loro applicazioni

<b>1</b> Definizione di sensore .....	4
<b>2</b> Sensori di prossimità .....	5
<b>3</b> Sensori magnetici .....	8
<b>4</b> Sensori a induzione .....	13
<b>5</b> Sensori capacitivi .....	18
<b>6</b> Sensori fotoelettrici .....	20
<b>7</b> Sensori a ultrasuoni .....	26



## Competenze

- Principio di funzionamento dei diversi tipi di sensore di prossimità.
- Modalità di collegamento dei sensori.
- Sensori magnetici, induttivi, ottici, ultrasonici.

## Abilità

- Saper interfacciare i diversi tipi di sensore con il sistema di controllo.
- Individuare dai cataloghi i sensori idonei al riconoscimento del target.
- Analizzare e risolvere semplici problemi di automazione mediante l'impiego di sensori collegati a un PLC.
- Riconoscere e controllare le caratteristiche operative di un sensore.

## Laboratorio di Sistemi. Esperienze

1. Collegamento dei sensori a una utenza ..... **28**
2. Sensore magnetico: influenza dell'orientamento del target magnetico ..... **29**
3. Sensore induttivo: influenza del tipo di metallo del target e del suo spessore ..... **30**
4. Sensore ottico a tasteggio: influenza del colore della superficie del target ..... **31**
5. Sensore ottico a riflessione: determinazione della massima distanza del catarifrangente e delle minime dimensioni del target ..... **32**
6. Sensore ottico a barriera e sensore induttivo: riconoscimento di oggetti di metallo da quelli di legno ..... **33**

# 1 Definizione di sensore

Nel gergo tecnico comune i sensori (e i trasduttori) rappresentano gli organi sensoriali di un impianto di automazione; convertono una grandezza fisica in una grandezza elettrica in modo che possa essere utilizzata dal sistema di controllo del dispositivo in questione.

Moltissimi macchinari e impianti non potrebbero funzionare se non utilizzassero sensori e trasduttori; la possibilità di controllare e monitorare l'ambiente esterno rende questi dispositivi indispensabili al corretto funzionamento delle apparecchiature. Anche in un comune personal computer questi sensori e trasduttori sono ampiamente usati per controllare la tastiera, il mouse, lo scanner, le testine di lettura e scrittura su CD o DVD ecc.

Si possono distinguere due famiglie di sensori:

- ▶ sensori con semplici dispositivi di tipo ON-OFF oppure di livello 0 e 1, che rilevano il superamento del valore impostato della grandezza da controllare;
- ▶ sensori con dispositivi in grado di trasformare in modo continuo una specifica grandezza fisica in una grandezza elettrica e capaci di mantenere una relazione costante tra le due.

Nel primo caso si utilizza un elemento a soglia che esegue una semplice commutazione di un contatto elettrico quando viene superato il valore di taratura della grandezza fisica controllata.

Nei secondi invece, chiamati **trasduttori**, si utilizza un componente che è in grado di fornire in uscita un valore continuo e proporzionale alla grandezza misurata. Il trasduttore può essere rappresentato dallo schema funzionale della **FIGURA 1**.



**FIGURA 1** Schema funzionale di un trasduttore.

La grandezza fisica da controllare viene riconosciuta da un elemento sensibile che ha il compito di trasformarla in una seconda grandezza, non necessariamente elettrica, ma comunque strettamente legata al valore assunto dalla grandezza fisica. Talvolta, questo elemento sensibile si indica con il nome di **sensore**. Il segnale di uscita, che potrebbe essere di natura meccanica, termica ecc., ha bisogno di essere opportunamente convertito in una grandezza elettrica per essere inviato ai blocchi successivi del trasduttore. Il segnale emesso dal dispositivo di conversione deve essere trattato dal dispositivo di condizionamento per aumentarne (**amplificazione**) o diminuirne (**attenuazione**) l'ampiezza lasciandone inalterati la forma e l'andamento nel tempo. Il segnale può essere inoltre modificato attraverso un filtraggio o una modulazione per essere disponibile direttamente al sistema di controllo.

In questa descrizione il termine **sensore** indica solamente l'elemento sensibile alla grandezza da controllare, mentre il termine **trasduttore** indica il complesso sensore – dispositivo di conversione – dispositivo di condizionamento. *Il trasduttore è quindi un congegno in grado di trasformare una grandezza fisica in ingresso in una grandezza elettrica in uscita.*

Per esempio, consideriamo un trasduttore di portata inserito in una tubazione (**FIGURA 2**). Il dispositivo può essere rappresentato da uno schema a blocchi simile a quello della **FIGURA 1**.



**FIGURA 2** Schema funzionale di un trasduttore di portata.

Una piccola turbina inserita nel condotto è trascinata in rotazione dal flusso del liquido operando la trasformazione della grandezza fisica **portata** nella grandezza meccanica **velocità di rotazione**. Un dispositivo di conversione, costituito da un generatore elettrico, per esempio una dinamo calettata sull'asse della turbina, permette di trasformare il moto di rotazione in corrente elettrica (convertitore meccanico - elettrico). Il dispositivo di condizionamento ha infine il compito di stabilizzare la corrente in uscita della dinamo per renderla disponibile in uscita. In questo esempio il trasduttore di portata esegue la conversione di una grandezza fisica idraulica in una grandezza elettrica.

Oltre agli elementi sensibili di un trasduttore, con il termine **sensori** si indicano anche tutti quei dispositivi in grado di segnalare la presenza di un corpo nelle loro vicinanze attraverso un rilevatore di soglia: **sensori di prossimità**.

## 2 Sensori di prossimità



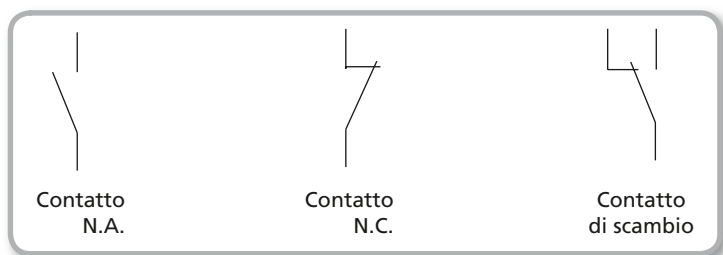
**FIGURA 3** Alcuni tipi di sensori di prossimità (Sick).

I sensori di prossimità (**FIGURA 3**), chiamati anche interruttori di prossimità, trovano un largo impiego in moltissimi settori e applicazioni. Sono utilizzati sia nell'automazione industriale che nei sistemi di antifurto, nel campo automobilistico e in apparecchiature per uffici.

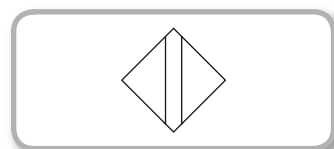
Eseguono il rilevamento senza alcun contatto fisico e per questa caratteristica in molti casi sono preferiti ad altri tipi di sensori che presentano analoghe funzioni.

A prescindere dal principio fisico specifico di funzionamento, i sensori di prossimità possiedono contatti elettrici interni (**FIGURA 4**) che possono essere normalmente aperti N.A. (o N.O. *Normally Open*), normalmente chiusi N.C. (*Normally Close*) o di scambio (con un contatto N.A. associato a un contatto N.C.).

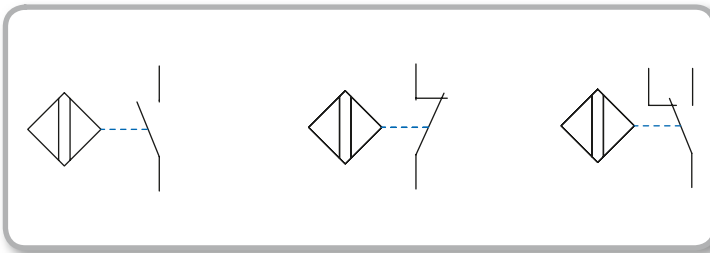
L'elemento sensibile all'interno del sensore viene indicato generalmente con il simbolo della **FIGURA 5**.



**FIGURA 4** Tipi di contatti interni nei sensori.



**FIGURA 5** Simbolo dell'elemento sensibile di un sensore.



**FIGURA 6** Simboli elettrici dei sensori.

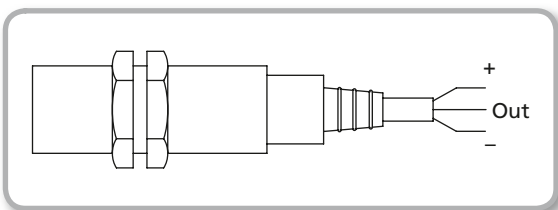
Associando quest'ultimo simbolo a quello dei contatti N.A e N.C, si ottiene il simbolo elettrico del sensore (**FIGURA 6**).

La modalità di uscita N.A. consente al sensore di emettere un segnale ON quando un oggetto (target) entra nel campo di rilevamento.

La modalità di uscita N.C. consente al sensore di emettere un segnale ON quando un target esce dal campo di rilevamento.

I sensori possono presentare in uscita 2, 3 o 4 fili.

## 2.1. Sensori a 3 fili

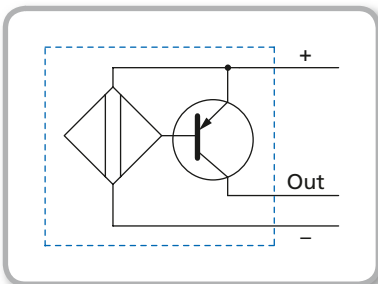


**FIGURA 7** Sensore a 3 fili.

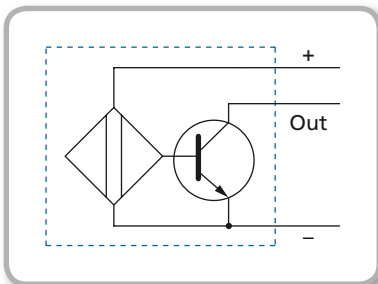
Nei sensori a 3 fili (**FIGURA 7**), due servono per alimentare il circuito interno, mentre il terzo genera l'uscita ON-OFF. L'alimentazione può avvenire sia con una tensione alternata 220-240 V che con una tensione continua di valore compreso tra 10 e 30 V, generalmente 24 V. I sensori possono presentare la polarità di uscita **PNP** oppure **NPN**.

Nei sensori con polarità PNP (**FIGURA 8**) è presente nello stadio di uscita un transistor di tipo PNP; all'attivazione dell'elemento sensibile il transistor entra in conduzione e l'uscita assume la polarità positiva. Nei sensori con polarità di uscita NPN (**FIGURA 9**), la presenza di un sensore di tipo NPN determina la polarità negativa in uscita all'attivazione del sensore.

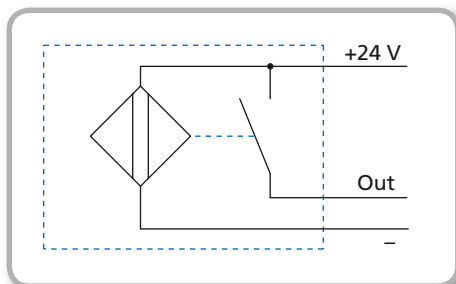
Nella polarità PNP e modalità di uscita N.A., possiamo comunque immaginare che il circuito interno del sensore sia quello riprodotto nella **FIGURA 10**, con un contatto elettrico normalmente aperto. Quando l'elemento sensibile del sensore si attiva, si determina la chiusura del contatto elettrico e l'uscita **OUT** si porta al potenziale di +24 V.



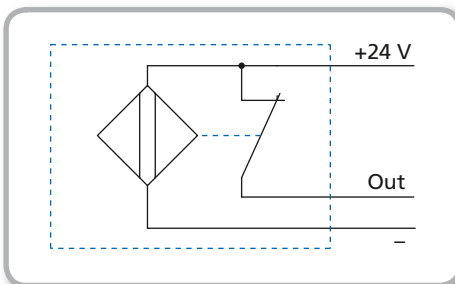
**FIGURA 8** Sensore con polarità PNP.



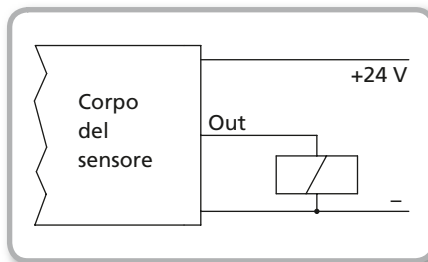
**FIGURA 9** Sensore con polarità NPN.



**FIGURA 10** Polarità PNP e modalità di uscita N.A.



**FIGURA 11** Polarità PNP e modalità di uscita N.C.



**FIGURA 12** Schema di collegamento nella polarità PNP.

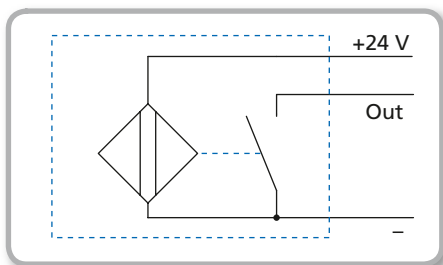


FIGURA 13 Polarità NPN e modalità di uscita N.A.

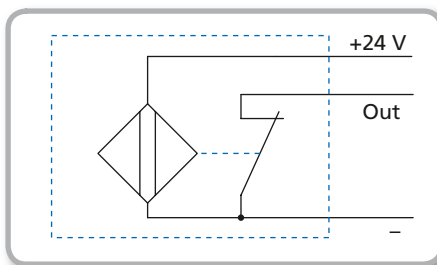


FIGURA 14 Polarità NPN e modalità di uscita N.C.

Se il contatto fosse invece N.C. (FIGURA 11), allora l'uscita a +24 V si avrebbe quando l'elemento sensibile non è attivo.

In entrambi i casi, il carico (spia luminosa, bobina di un relè o di elettrovalvola ecc.) deve essere collegato sia all'uscita OUT del sensore che alla polarità negativa, come indicato nella FIGURA 12.

Nella modalità NPN e con contatto N.A. (FIGURA 13), all'uscita OUT si avrà la polarità negativa quando l'elemento sensibile si attiva, mentre con contatto N.C. si avrà polarità negativa se il sensore non si attiva (FIGURA 14).

In entrambi i casi l'utilizzatore deve essere collegato sia all'uscita OUT del sensore che alla polarità positiva, come indicato nella FIGURA 13.

Per evitare collegamenti errati a causa dello scambio delle due tipologie, sul corpo dei sensori in genere è stampigliata la sigla PNP o NPN, oppure è riportato lo schema di collegamento di FIGURA 12 o 15, con indicati anche i colori dei tre fili.

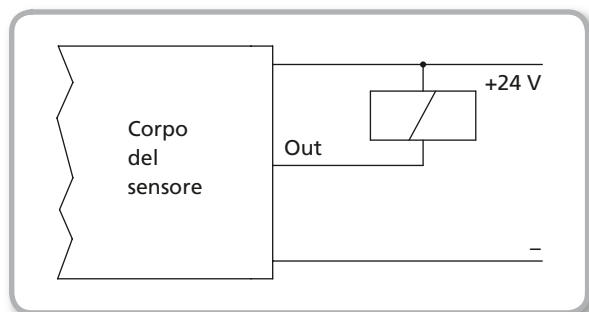


FIGURA 15 Schema di collegamento nella polarità NPN.

## 2.2. Sensori a 2 fili

I sensori a 2 fili (FIGURA 16) sono certamente una semplificazione rispetto a quelli precedenti a 3 fili. In questo caso non esiste alcuna modalità PNP o NPN, ma sono provvisti solamente di un contatto interno N.A. oppure N.C.

Nello schema di collegamento (FIGURA 17) un filo è portato a +24 V, mentre l'altro filo è collegato direttamente al carico.

In alcuni tipi di sensori che presentano solamente 2 fili si ha la necessità di mantenere alimentato il circuito interno e pertanto viene fatta circolare una piccola corrente (**corrente di dispersione  $I_d$** , FIGURA 18) nel circuito composto da polo positivo-sensore-carico-polo negativo anche quando il sensore

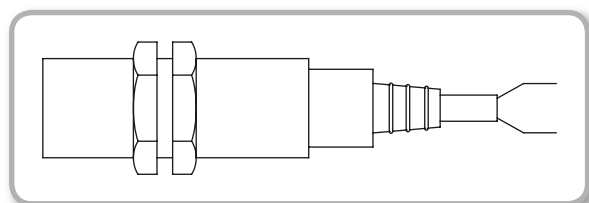


FIGURA 16 Sensori a 2 fili.

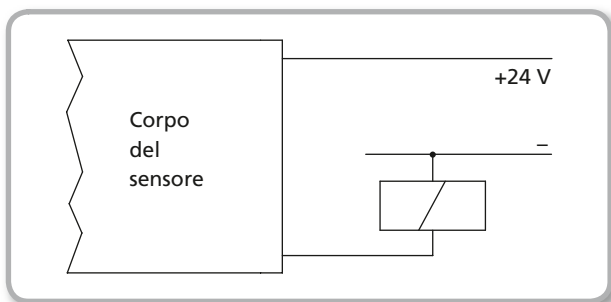


FIGURA 17 Schema di collegamento con sensore a 2 fili.

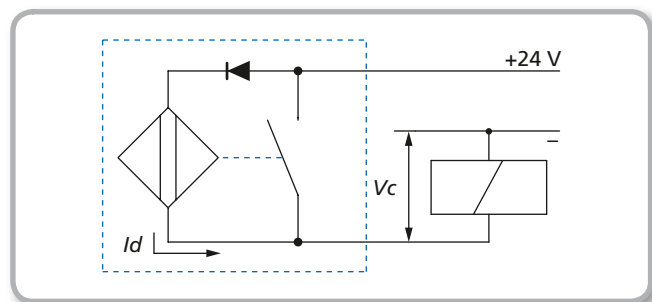
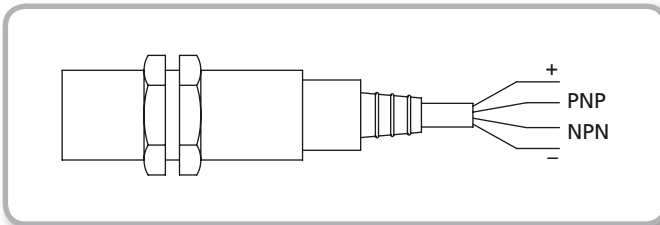


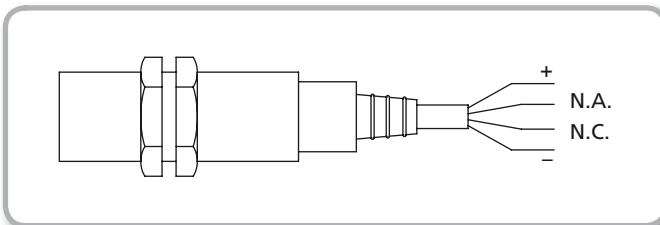
FIGURA 18 Schema interno di sensore a 2 fili.

si trova allo stato OFF. Questa corrente, di bassa intensità, genera sul carico una differenza di potenziale  $V_c$  che, comunque, non deve essere in grado di attivare l'uscita.

## 2.3. Sensori a 4 fili



**FIGURA 19** Sensore a 4 fili con uscita PNP e NPN.



**FIGURA 20** Sensore a 4 fili con uscita N.A. e N.C.

Esistono infine sensori che possono funzionare sia in polarità PNP che in NPN (FIGURA 19). In questo caso presentano 4 fili in uscita: 2 per l'alimentazione, 1 per l'uscita in polarità PNP e l'ultimo per la polarità NPN.

In alternativa, è possibile optare per sensori a 4 fili con contatto di scambio interno e quindi uscita in modalità N.A. oppure N.C. (FIGURA 20).

Per il principio di funzionamento i sensori di prossimità possono essere divisi in:

- ▶▶ sensori magnetici;
- ▶▶ sensori induttivi;
- ▶▶ sensori capacitivi;
- ▶▶ sensori ottici;
- ▶▶ sensori a ultrasuoni.

## 3 Sensori magnetici

*I sensori magnetici sono in grado di rilevare il campo magnetico generato da un magnete permanente oppure da un elettromagnete, indipendentemente dalla polarità. In base al principio di funzionamento possiamo distinguere due diversi tipi di sensori magnetici:*

- ▶▶ sensori a effetto Hall;
- ▶▶ sensori a contatti reed.

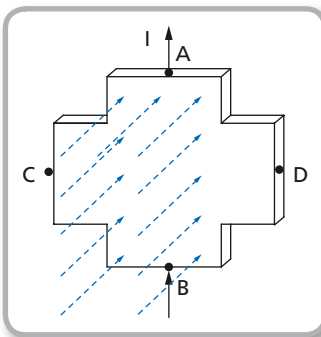
### 3.1. Sensori magnetici a effetto Hall

Esaminiamo i sensori magnetici a effetto Hall prendendo come esempio una lamina di un materiale conduttore a forma di croce (FIGURA 21) e facciamo scorrere una corrente elettrica continua  $I$  ricorrendo a una differenza di potenziale tra i punti A e B.

Se immergiamo la lamina in un campo magnetico che presenta le linee di forza perpendicolari alla superficie della lamina e al flusso della corrente elettrica, osserveremo che tra i punti C e D si determina una differenza di potenziale proporzionale sia all'intensità del campo magnetico che all'intensità della corrente elettrica.

Questo fenomeno, noto come effetto Hall, può essere sfruttato per misurare l'intensità di un campo magnetico oppure l'intensità di corrente che circola in un conduttore senza dover inserire lo strumento in serie con il conduttore.

I sensori magnetici a effetto Hall che funzionano in base a questo principio presentano un componente elettronico a stato solido che rileva il campo magnetico e i successivi stadi di amplificazione.



**FIGURA 21** Lamina di Hall.

I grandi vantaggi di questi sensori sono la vita elettrica che è davvero illimitata, la protezione contro il cortocircuito e l'alta frequenza di commutazione (migliaia di Hertz).

### 3.2. Sensori magnetici a contatti reed

È noto che un oggetto di materiale ferromagnetico avvicinato a un magnete, si magnetizza per induzione diventando anch'esso un magnete, ma con poli opposti (FIGURA 22).

Se poi avviciniamo un secondo oggetto, sempre di materiale ferromagnetico, esso subisce la stessa sorte del primo (FIGURA 23). Poiché i poli opposti si attraggono osserveremo che i due oggetti tenderanno ad avvicinarsi.

Il **sensore magnetico a contatti reed** basa il suo funzionamento sul fenomeno dell'induzione magnetica analizzato precedentemente, attraverso l'azione su due contatti reed "linguetta". Due piccole lamine flessibili di materiale ferromagnetico (ferro-nichel), a bassa riluttanza, sono racchiuse in un bulbo di vetro ermeticamente sigillato e riempito con gas inerte che li protegge dalla polvere, dalla corrosione e dalla ossidazione (FIGURA 24).

Le due lamine, sottoposte a un campo magnetico, si attraggono per effetto dell'induzione magnetica, presentando polarità opposte (FIGURA 25).

Se il campo magnetico è sufficientemente intenso, la forza di attrazione magnetica vince la rigidità delle lamelle flettendole una sull'altra e realizzando così la chiusura del contatto elettrico (FIGURA 26).

All'annullarsi dell'influsso del campo magnetico, l'effetto molla delle due lamelle determina la riapertura del contatto ripristinando le condizioni elettriche iniziali. I sensori magnetici di prossimità a contatti reed permettono di superare alcuni problemi di azionamento che si possono presentare con i normali contatti meccanici:

- ▶▶ usura dei contatti a causa dei piccoli archi elettrici innescati nella fase di apertura;
- ▶▶ sensibilità agli agenti atmosferici (umidità e polvere);
- ▶▶ durata non illimitata di operazioni di commutazione.

I contatti reed differiscono per formato (standard o miniatura) e per tipo di contatto (NO, NC, scambio) (FIGURA 27).

**Contatto normalmente aperto (NO)** il contatto reed, è aperto nello stato di riposo, si chiude quando il magnete si avvicina.

**Contatto normalmente chiuso (NC)** il contatto reed, è chiuso nello stato di riposo, si apre quando il magnete si avvicina.

**Contatto di scambio (S)** entrambe le funzioni NO e NC sono realizzate nel bulbo di vetro; all'avvicinarsi o all'allontanarsi del magnete di azionamento il contatto com-

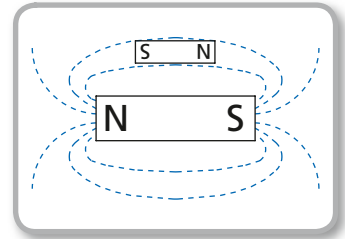


FIGURA 22 Magnetizzazione per induzione.

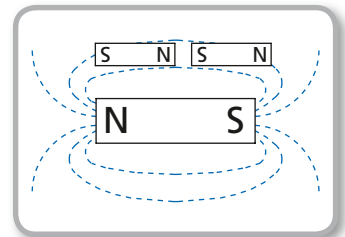


FIGURA 23 Magnetizzazione anche del secondo oggetto.

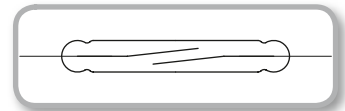


FIGURA 24 Contatti reed.

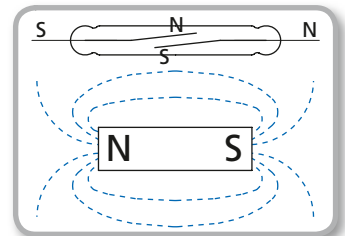


FIGURA 25 L'induzione elettromagnetica polarizza le due lamelle.

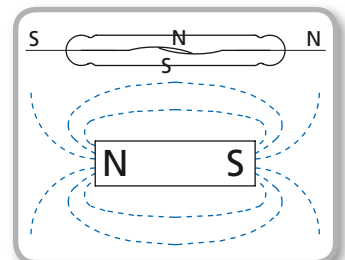


FIGURA 26 La presenza del campo magnetico determina il contatto tra le due lamelle.

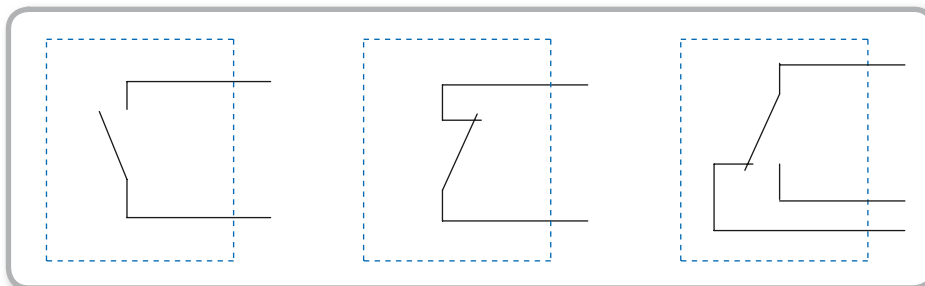
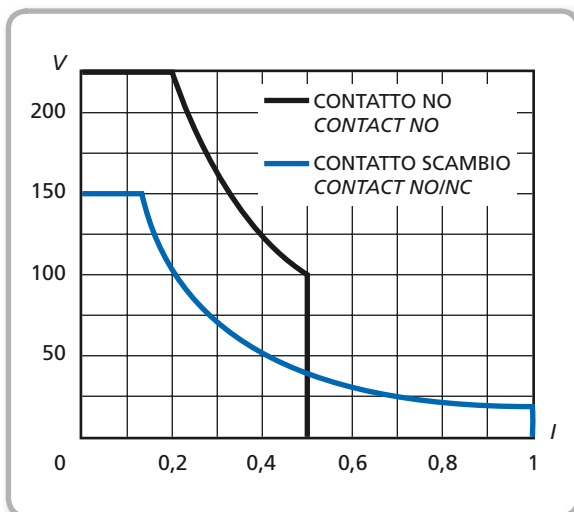


FIGURA 27 Contatto reed NO, NC e scambio.



**FIGURA 28** Diagramma dei valori massimi di V e I.

muta dalla condizione di riposo a quella di lavoro e viceversa. In questo caso sono provvisti di tre fili: uno comune di ingresso e due di uscita con modalità NO ed NC.

Nel **contatto bistabile (BI)** un magnete interno pre-magnetizza le lamine senza arrivare però a chiuderle. All'avvicinarsi del magnete esterno con polarità concorde il campo magnetico viene rinforzato; in tal caso il contatto si chiude e rimane chiuso anche quando il magnete di azionamento esce dalla zona d'influenza. Per riaprire il contatto occorre che il magnete si avvicini con polarità discorde da quella del campo di pre-magnetizzazione.

L'impiego di contatti reed offre, rispetto al tradizionale contatto di finecorsa meccanico, numerosi vantaggi:

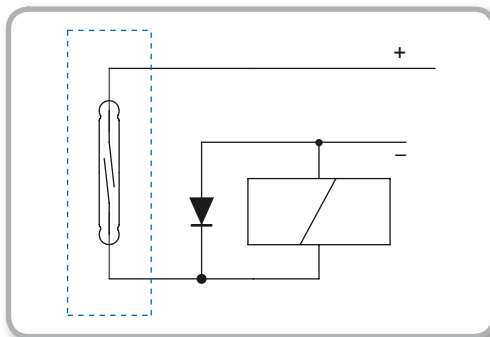
- ▶▶ protezione del contatto dalla polvere, dall'umidità e dall'ossidazione, grazie alla sigillatura ermetica;
- ▶▶ semplicità di azionamento;
- ▶▶ elevata frequenza di commutazione (fino a 300 Hz);
- ▶▶ alta velocità di intervento;
- ▶▶ durata di decine di milioni di operazioni in condizioni elettriche di esercizio normali grazie all'accuratezza del rivestimento galvanico delle superfici dei contatti;
- ▶▶ assenza di manutenzione e ridottissimo ingombro;
- ▶▶ resistenza agli urti e alle vibrazioni;
- ▶▶ costo limitato.

La vita utile di un sensore magnetico dipende, per corretti valori di tensione o di corrente, dalle caratteristiche meccaniche del contatto. Viceversa, per valori elevati essa è fortemente dipendente dalle caratteristiche del carico.

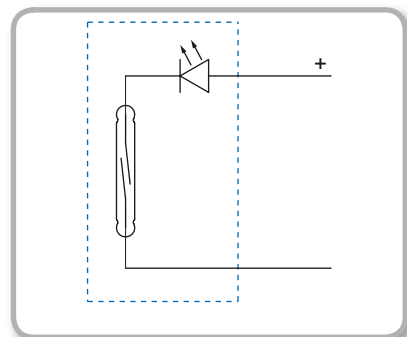
In presenza di carichi puramente resistivi, i valori massimi della tensione e della corrente sopportabile dai contatti reed possono essere desunti dal diagramma della **FIGURA 28**.

In caso di carico fortemente induttivo, l'apertura del contatto reed determina un'improvvisa sovratensione causata dall'energia immagazzinata dalla bobina del carico; è opportuno pertanto installare sull'uscita del sensore una protezione esterna realizzata, per esempio, da un diodo (**FIGURA 29**).

È inoltre possibile inserire in serie al circuito interno un diodo led che segnali lo stato del sensore (**FIGURA 30**). Alla chiusura dei contatti reed corrisponde la circolazione di corrente nel circuito e l'accensione del diodo led.



**FIGURA 29** Protezione di un contatto reed con un diodo.



**FIGURA 30** Sensore magnetico con diodo led.



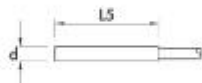
La portata di questi sensori varia da pochissimi decimi a 100 mm in funzione della potenza del campo generato dal magnete.

## SENSORI MAGNETICI CILINDRICI IN METALLO

- CONTATTO REED a 2 fili •**
- Azionamento con magnete esterno •**
- Uscita a cavo •**

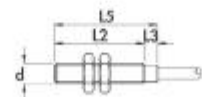
### Custodia A

magnete



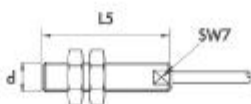
### Custodia B-6

magnete



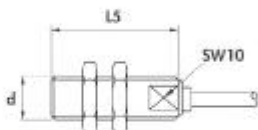
### Custodia B-10

magnete



### Custodia B-12

magnete



Diametro	M5 x 0,5	M8 x 1	M12 x 1
Dado	Chiave	SW7	SW13
	Spess. mm	2,5	4
Coppia max di serraggio Nm	2	10	20

#### Materiali:

- Cavo: 2m PVC CEI 20 - 22 II; 90°C; 300 V; O.R.
- Custodia: acciaio inox

#### Generalità:

Questo sensore offre in uscita un contatto pulito, attivato da un campo magnetico esterno, indipendentemente dalla polarità del campo. La distanza di attivazione dipende dal magnete utilizzato (vedi pag. C-12), da ordinare a parte. Il contatto Reed consente il pilotaggio diretto in corrente continua (PNP/NPN) o in corrente alternata.

I diametri 8 e 12 mm hanno la parete frontale in acciaio inox in grado di sopportare elevate pressioni.

#### Caratteristiche tecniche:

- Tensione di funzionamento max : 50 Vca/75 Vcc
- Logica di uscita: normalmente aperta
- Resistenza di contatto max: 0,1 Ω
- Tempo max di intervento: 1 ms
- Tempo max di rilascio: 0,4 ms
- Temperatura di funzionamento: -25 + 85°C
- Grado di protezione su parte frontale (diametri 8 e 12 mm): IP68
- lato uscita cavo: IP67
- Pressione max su parete frontale (diametri 8 e 12 mm): 150 bar
- Sezione conduttori interni: 0,15 mm<sup>2</sup> nei diametri 4 e 5 mm
- 0,35 mm<sup>2</sup> nei diametri 6,5 e 12 mm

Per ovvi motivi questi sensori non possono essere utilizzati in prossimità di grosse fonti elettromagnetiche (motori, teleruttori, linee d'alimentazione ecc.) e nemmeno per interruttori di sicurezza.

I sensori magnetici a contatti reed trovano la loro naturale applicazione come finecorsa negli attuatori pneumatici. In questo caso è necessario disporre di cilindri con pistone e camicia amagnetici (alluminio, acciaio inossidabile) e un anello magnetico disposto sulla circonferenza dello stantuffo.

All'esterno del cilindro, generalmente all'inizio o alla fine della corsa del pistone, sono fissati i sensori magnetici. Con il passaggio del pistone, i contatti reed commutando ne segnalano elettricamente la posizione.

Questi sensori non godono dello stesso successo in oleodinamica: avere le camicie e gli stantuffi dei cilindri di materiali amagnetici come alluminio o acciaio inox comporterebbe un costo inaccettabile.

## SENSORI MAGNETICI A PARALLELEPIPEDO

- **CONTATTO REED a 2 e 3 fili con LED**
- **Per cilindri pneumatici**
- **Uscita a cavo e a connettore M8 x 1**



### Generalità:

Questo sensore rileva la posizione dell'anello magnetico presente dentro il cilindro. Il sensore rimane completamente incorporato nel profilo a T del cilindro. Il contatto Reed consente il pilotaggio diretto in corrente continua (PNP/ NPN) o in corrente alternata. Un LED giallo segnala lo stato dell'uscita. Il collegamento può essere con cavo 2m o a connettore M8 x 1.

### Caratteristiche tecniche:

- Tensione di funzionamento: 10 + 30 Vca/cc
- Funzione di uscita: Normalmente aperta
- Caduta di tensione in chiusura ( $U_d$ ) versioni a 2 fili: con  $I_c = 10 \text{ mA}$   $\leq 2,2 \text{ V}$   
con  $I_c = 160 \text{ mA}$   $\leq 3 \text{ V}$
- Resistenza di contatto max (versioni a 3 fili): 0,1  $\Omega$
- Tempo max di attivazione: 1 ms
- Tempo max di rilascio: 0,4 ms
- Temperatura di funzionamento: - 25 ÷ + 85°C
- Grado di protezione: IP67
- Indicazione dello stato di uscita: LED giallo
- Sezione conduttori interni: 0,15 mm<sup>2</sup>

### Materiali:

- Cavo: PVC CEI 20-22 II; 90°C; 300V
- Corpo connettore: PUR
- Corpo sensore: plastica
- Ghiera connettore e dado di blocco: ottone nichelato

Questo sensore trova inoltre valide applicazioni anche in ambiti non strettamente industriali: per esempio è utilizzato come elemento sensibile del contagiri della ruota di una bicicletta. Su un raggio è fissato un piccolo magnete che viene rilevato dal sensore reed posto sulla forcella. A ogni passaggio del magnete si chiude il contatto reed e viene inviato un impulso al circuito del contachilometri.

## 4 Sensori a induzione

I **sensori di prossimità induttivi** (FIGURA 31) vengono normalmente utilizzati per rilevare oggetti metallici.

Al loro interno presentano 3 circuiti con le funzioni rispettivamente di oscillatore, rilevamento e uscita (FIGURA 32). Il circuito oscillatore, composto da una bobina avvolta su un nucleo di ferrite, genera un campo magnetico ad alta frequenza nelle immediate vicinanze del sensore. Quando un corpo metallico (target) si avvicina al campo magnetico, una corrente indotta (corrente parassita di Foucault) si genera al suo interno a causa dell'induzione elettromagnetica.

L'energia elettrica dissipata per effetto Joule nel corpo metallico causa un'attenuazione dell'oscillazione che risulta tanto più accentuata tanto più il target si avvicina al sensore (FIGURA 33).

In questo modo è possibile avere un'informazione, in formato analogico, sulla posizione del corpo metallico oppure, per mezzo di un circuito a soglia, ottenere un'uscita di tipo digitale ON-OFF.



FIGURA 31 Sensore induttivo (Sick).

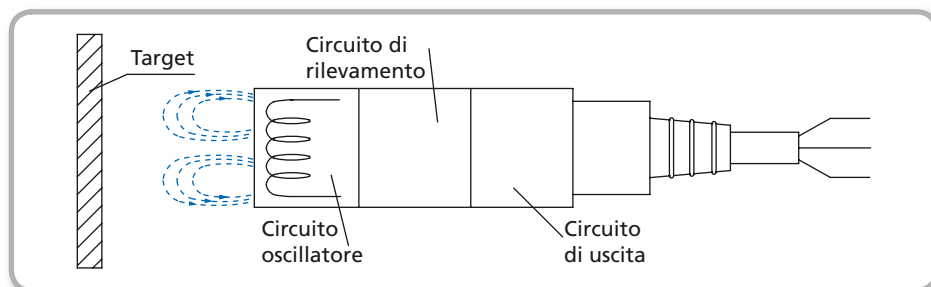


FIGURA 32 Schema interno di un sensore induttivo.

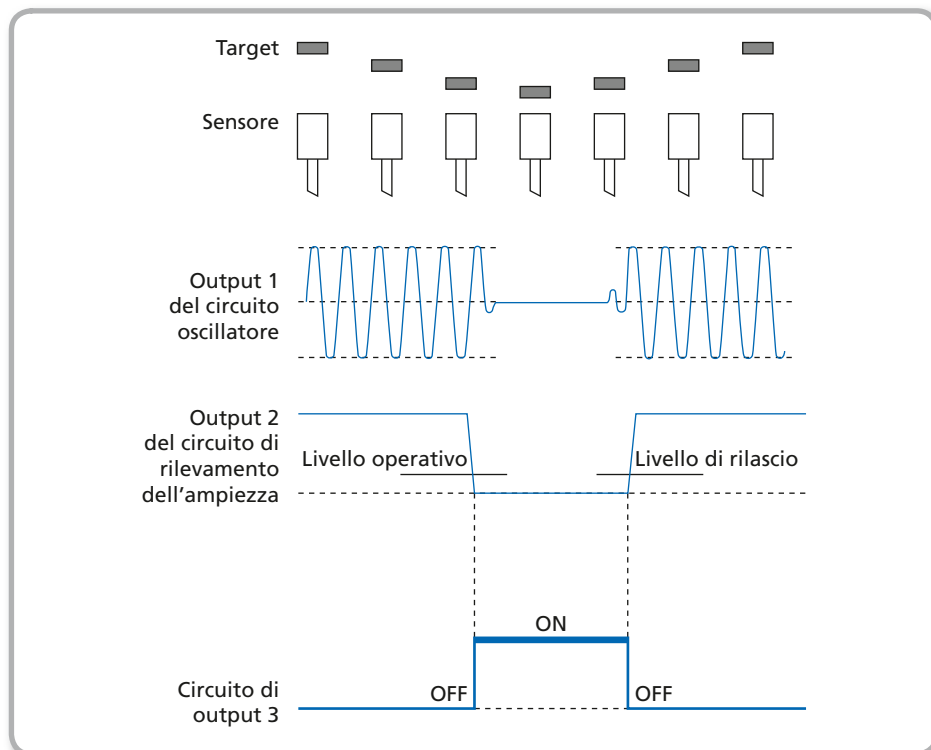
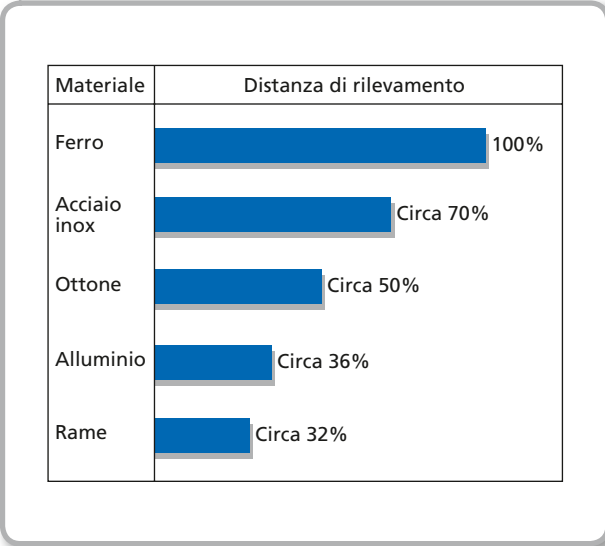


FIGURA 33 Effetto del target sul sensore induttivo.

**FIGURA 34** Influenza del materiale sulla sensibilità del sensore (Keyence).



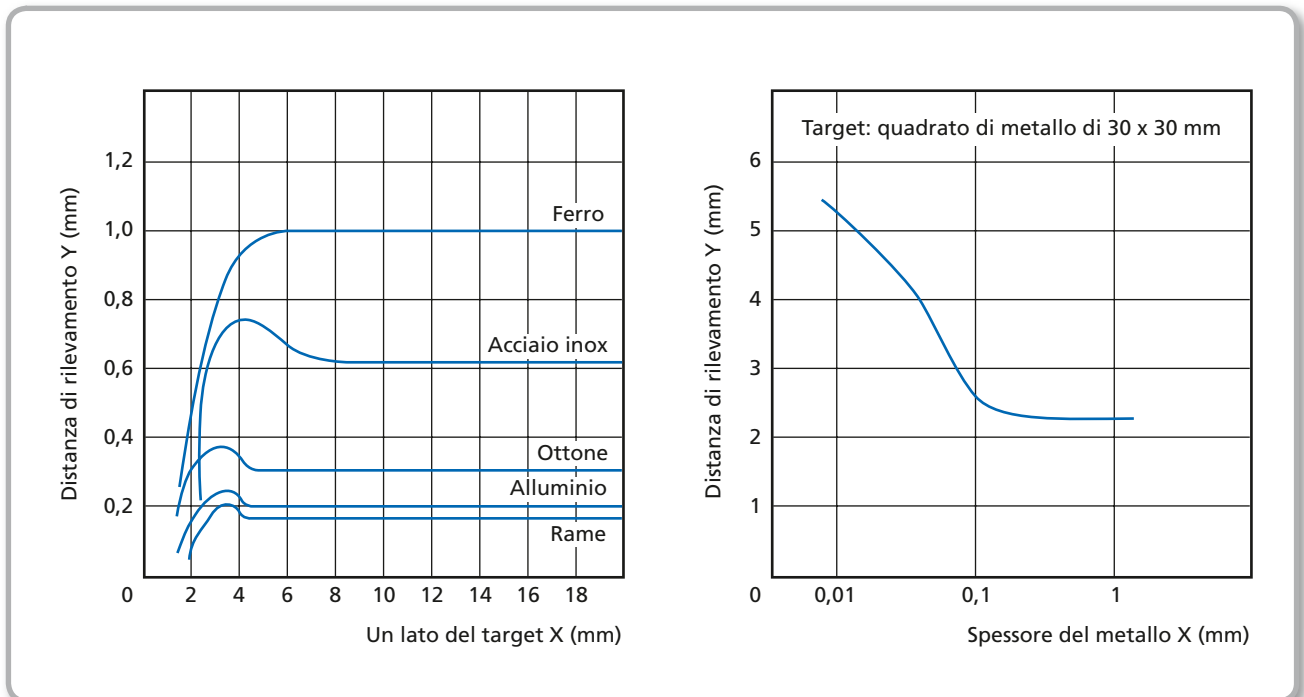
La sensibilità del sensore dipende, oltre che dalla forma e dalle dimensioni dell'azionatore, anche dal tipo di metallo da cui è composto (FIGURA 34). Se per esempio viene utilizzato un target costituito da uno dei materiali elencati, si deve moltiplicare la distanza di rilevamento nominale per il fattore di correzione riportato nel grafico in modo da determinare la distanza di rilevamento nominale per quel tipo di target.

Le distanze di intervento

nominali riportate in catalogo (FIGURA 35) sono determinate attraverso una placchetta di misura che ha dimensioni uguali al diametro del sensore e spessore di 1 mm. Esse esprimono valori di riferimento che non tengono conto delle tolleranze produttive, delle variazioni di tensione o di corrente e di altre eventuali influenze esterne. La differenza tra il valore indicato e l'effettiva distanza di scatto è comunque inferiore al 20%.

I grafici della FIGURA 36 mettono in evidenza l'effetto delle dimensioni di un target di forma quadrata e spessore 1 mm sulla distanza di rilevamento per diversi tipi di metalli e l'effetto della variazione di spessore, inferiore a 1 mm, su un target di materiale ferroso di forma quadrata 30 x 30 mm.

**FIGURA 36** Influenza delle dimensioni del target sulla sensibilità del sensore (Keyence).



## Sensori di prossimità induttivi 871TM campo esteso a 3 fili in CC

Superficie sensibile in acciaio inossidabile/Cilindro filettato in acciaio inossidabile



871TM Tipo con cavo CC  
8 mm



871TM Tipo con  
connettore micro CC  
12 mm



871TM Tipo con  
connettore micro CC  
18 mm



871TM Tipo con connettore  
micro CC  
30 mm

### Caratteristiche tecniche

Corrente di carico	≈200 mA
Carico capacitivo	≈1 µF
Corrente di dispersione	≈0,1 mA
Tensione di funzionamento	10...30 V CC
Caduta di tensione	≤2,0 V CC a 200 mA
Ripetibilità	±5% a temperatura costante
Istoresi	10% tipico
Protezione da falsi impulsi	Incorporata
Protezione da disturbi transitori	Incorporata
Protezione dall'inversione di polarità	Incorporata
Protezione da cortocircuito	Incorporata (attivazione tipica a 340 mA)
Protezione da sovraccarico	Incorporata
Certificazioni	Marcato CE per tutte le direttive applicabili
Custodia	IP67
Collegamenti	Cavo: PUR Lunghezza 2m (6,5 piedi) Connettore: tipo micro a 4 pin tipo pico a 3 pin
LED	Giallo: uscita attivata/visibilità del LED 360°; un LED lampeggiante indica un oggetto situato tra 80...100% della distanza nominale di rilevamento
Temperatura di funzionamento [C (F)]	-25...+70° (-13...+158°)
Urti sopportati	30 g, 11 ms
Vibrazioni tollerate	55 Hz, 1 mm di ampiezza, 3 piani

### Fattori di correzione

Materiale target	Fattore di correzione
Acciaio	1,0
Acciaio inossidabile (1 mm di spessore)	0,1
Ottone	1,2
Alluminio	1,0
Rame	0,8

### Caratteristiche

- Funzionamento a 3 fili
- Collegamento a 3 conduttori, 4 pin
- 10...30 V CC
- Protezione da cortocircuito, sovraccarico, impulso falso, inversione di polarità e disturbi transitori
- Uscita normalmente aperta oppure normalmente chiusa
- Sensibilità costante per acciaio e alluminio
- Marcato CE per tutte le direttive applicabili

**IMPORTANTE** A causa delle estese capacità di rilevamento di questi prodotti, possono rendersi necessarie delle speciali considerazioni di montaggio/installazione: fare riferimento alla pubblicazione 871TM-UM001A-EN-P.

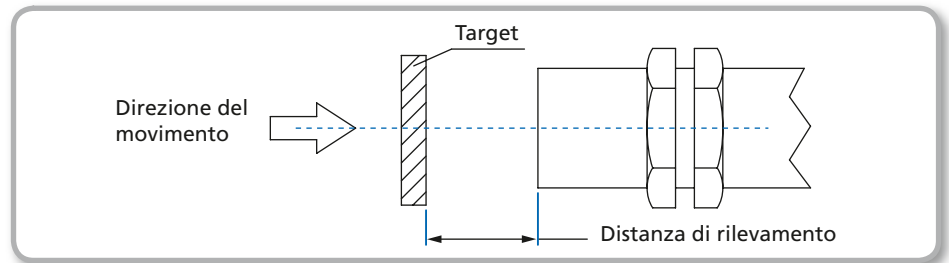
Nei sensori schermati l'oscillatore è incapsulato in una schermatura metallica che ha lo scopo di indirizzare le linee di flusso del campo elettromagnetico generato dal sensore stesso. Questo tipo è meno influenzato dal metallo circostante ed è possibile minimizzare la distanza tra sensori o corpi metallici posti nelle vicinanze.

Di contro, il sensore non schermato garantisce una distanza di intervento maggiore del tipo schermato, a parità di dimensioni, ma è fortemente influenzato dalla presenza di corpi metallici circostanti.

Altri parametri che possiamo trovare nei cataloghi sono i seguenti.

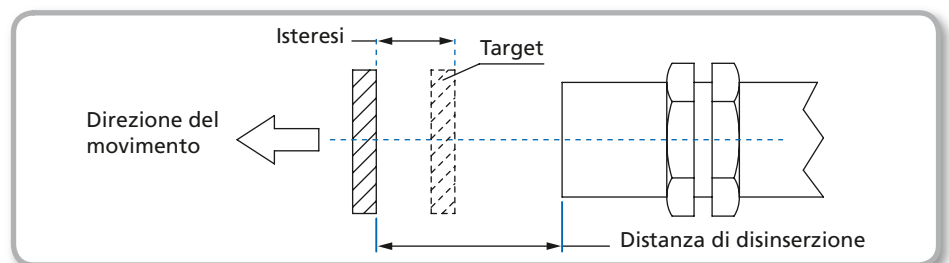
- ▶ **Corrente di carico:** livello di corrente massimo al quale il sensore di prossimità può essere fatto funzionare in modo continuo.
- ▶ **Corrente di dispersione:** corrente che scorre attraverso l'uscita quando il sensore è in condizione "OFF" o diseccitato. Questa corrente è necessaria per alimentare le parti elettroniche del sensore.
- ▶ **Caduta di tensione:** caduta di tensione massima attraverso un sensore che è in condizione ON. Questo termine è importante quando si collegano più sensori in serie perché la tensione di alimentazione, decurtata della caduta di tensione totale, deve essere sufficiente ad attivare il carico.
- ▶ **Ripetibilità:** variazione della distanza di azionamento effettiva misurata a temperatura e a tensione di alimentazione costanti quando un target standard viene rilevato ripetutamente. Viene espressa come una percentuale della distanza di rilevamento.
- ▶ **Distanza di azionamento nominale:** distanza di azionamento (rilevamento) specificata dal produttore e utilizzata come valore di riferimento.
- ▶ **Distanza di funzionamento effettiva:** la distanza di funzionamento di un interruttore di prossimità misurata a temperatura, tensione e condizioni di montaggio definite.
- ▶ **Distanza di rilevamento (FIGURA 37):** distanza alla quale un target in avvicinamento attiva l'uscita del sensore.

FIGURA 37 Distanza di rilevamento.



- ▶ **Isteresi (FIGURA 38):** differenza, in percentuale (%), della distanza di rilevamento nominale tra il punto di azionamento (contatto ON) e il punto di rilascio (contatto OFF) quando il target si sta allontanando dalla parte attiva del sensore.

FIGURA 38 Isteresi.



In mancanza di un'isteresi sufficiente, un sensore di prossimità si accenderà e spegnerà continuamente in presenza di una vibrazione del target o del sensore.

- ▶▶ **Impulso falso:** cambiamento indesiderato nello stato dell'uscita dell'interruttore di prossimità che dura per più di qualche millisecondo.
- ▶▶ **Protezione dall'inversione di polarità:** circuito che utilizza un diodo per evitare danni al controllo nel caso in cui la polarità di alimentazione venisse accidentalmente invertita.
- ▶▶ **Protezione da cortocircuito:** sensore protetto da eventuali danni nel caso in cui esistano le condizioni di cortocircuito (uscita collegata direttamente alla polarità opposta) per un periodo di tempo indefinito o definito.
- ▶▶ **Fattori di correzione:** fattori di moltiplicazione consigliati che tengono conto delle variazioni nella composizione del materiale del target. Quando si calcola la distanza di rilevamento reale questo fattore dovrà essere moltiplicato per la distanza di rilevamento nominale.
- ▶▶ **Frequenza di commutazione:** numero massimo di volte al secondo in cui il sensore può cambiare stato (ON e OFF), generalmente espresso in hertz (Hz).
- ▶▶ **Immunità ai campi di saldatura:** la capacità di un sensore di non attivarsi in modo falso in presenza di forti campi elettromagnetici.

## 4.1. Sensori selettivi

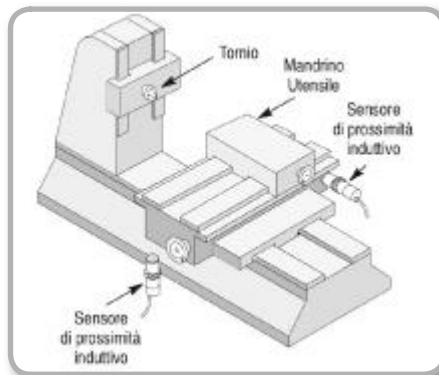
Con alcuni tipi di sensori è consentito rilevare esclusivamente oggetti ferromagnetici ignorando completamente la presenza di altri materiali. Essi vengono prevalentemente utilizzati come sensori selettivi negli impianti di lavorazione dell'alluminio, dell'ottone e del rame, dove i trucioli di lavorazione andrebbero a creare commutazioni indesiderate se si utilizzassero i sensori induttivi. Il funzionamento è basato su un componente elettronico a stato solido, già polarizzato da un magnete incapsulato nel sensore che rileva la variazione del campo magnetico dovuta all'influenza di un oggetto ferromagnetico esterno e aziona i successivi stadi di amplificazione. Allo stesso modo esistono sensori che rilevano la presenza di metalli che non siano ferromagnetici, come per esempio il rame, l'alluminio ecc.

## 4.2. Campo di applicazione

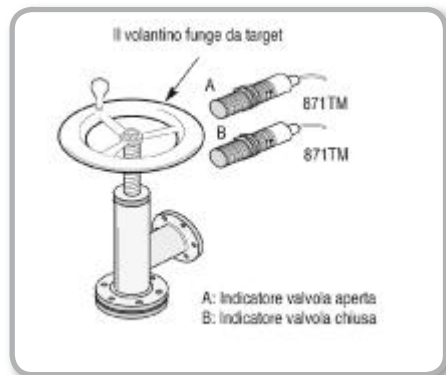
I sensori induttivi svolgono il compito di interruttori di presenza e quindi possono essere applicati a sistemi di controllo e conteggio di pezzi metallici oppure a cilindri pneumatici e oleodinamici come contatti di finecorsa. Essendo immuni alle polveri, agli agenti chimici e all'umidità, sono particolarmente indicati in macchine utensili, a sistemi di assemblaggio, movimentazione e trasporto.

Nella **FIGURA 39** i sensori su un tornio hanno la funzione di finecorsa per individuare la presenza delle slitte portautensili. Nella **FIGURA 40** due sensori posti su una valvola possono riconoscere se la valvola è aperta o chiusa, mentre il volantino svolge la funzione di target: il sensore A è attivo se la valvola è aperta, mentre B è attivo se la valvola è chiusa. Nella **FIGURA 41** il sensore è posto in una barriera stradale per riconoscere quando la sbarra è abbassata.

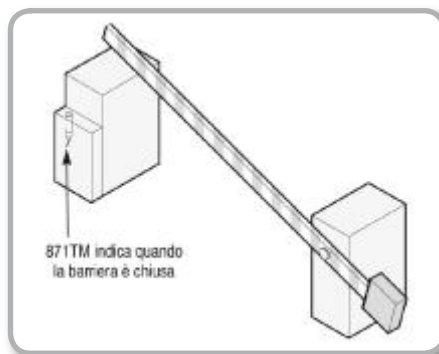
Nella **FIGURA 42** i sensori induttivi sono utilizzati nell'industria alimentare per individuare le lattine senza coperchio o le bottiglie prive di tappo metallico mentre vengono trasferite da un convogliatore.



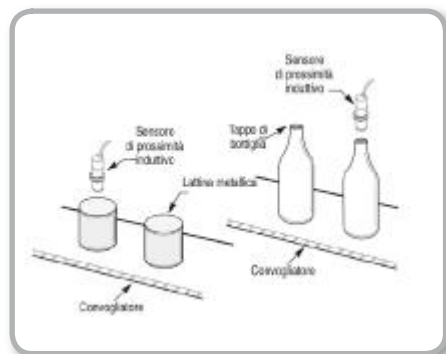
**FIGURA 39** Applicazione di sensori induttivi in un tornio.



**FIGURA 40** Sensori induttivi su una valvola.



**FIGURA 41** Sensore induttivo su una barriera.



**FIGURA 42** Sensori induttivi nell'industria alimentare.

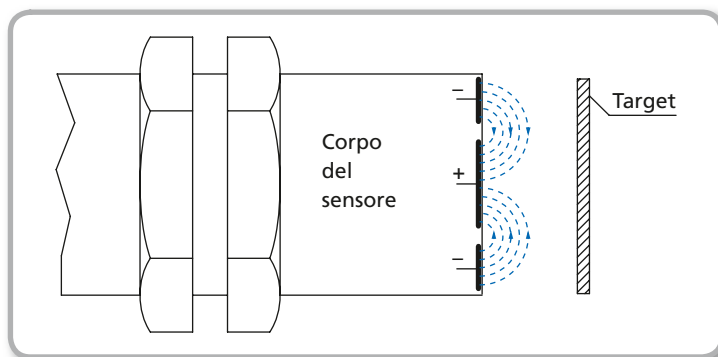
## 5 Sensori capacitivi

I sensori capacitivi hanno forma e dimensione simili ai sensori induttivi, ma possiedono la caratteristica di essere sensibili a qualunque tipo di materiale (plastica, legno, olio, acqua e liquidi in genere, marmo e tutti i metalli).

Il principio di funzionamento si basa sulla variazione della capacità  $C$  di un condensatore, situato nella parte anteriore, e inserito in un circuito oscillatore RC. Il condensatore presenta le due armature piane di metallo disposte in modo concentrico (FIGURA 43) come se il condensatore fosse stato aperto e ribaltato. Le armature sono inserite nel circuito oscillatore ad alta frequenza, tarato in modo tale da non oscillare in assenza di corpi esterni.

In seguito alla presenza nelle immediate vicinanze della superficie attiva del sensore e del campo elettrico generato dal condensatore, di un oggetto di qualunque materiale, si determina un aumento della capacità  $C$  del condensatore e il circuito oscillatore inizia a oscillare generando una tensione ad andamento sinusoidale e ad alta frequenza. L'ampiezza dell'oscillazione genera una tensione che, opportunamente raddrizzata, viene elaborata da un rilevatore di soglia a trigger che comanda un amplificatore per l'azionamento del carico esterno.

**FIGURA 43** Sensore capacitivo.





Per assicurare un buon adattamento alle diverse applicazioni, i sensori capacitivi sono dotati di un potenziometro per la regolazione continua della sensibilità e quindi della distanza di intervento.

Come per i sensori induttivi, la distanza di rilevamento dipende dal tipo di materiale e risulta alta per i metalli e materiali conduttori collegati a terra. Per i materiali isolanti la distanza di intervento aumenta con il valore della loro **rigidità dielettrica  $\epsilon_r$**  (FIGURA 44).

Nella FIGURA 45 sono riportati i fattori di correzione che devono essere moltiplicati per la distanza di intervento nominale per poter determinare la distanza di intervento per quel materiale. I valori sono riferiti a un azionatore di acciaio Fe360, dello spessore di 1 mm, collegato a terra e con la superficie corrispondente alla superficie attiva del sensore.

Nella FIGURA 46 sono riportati i dati tecnici di un sensore capacitivo. In essa ritroviamo molti parametri già precedentemente incontrati con i sensori induttivi.

Rispetto ai sensori induttivi i capacitivi sono immuni da impurità, particelle, polvere, urti, vibrazioni e interferenze elettromagnetiche; hanno una distanza di intervento maggiore, ma una minore velocità di commutazione e un costo maggiore.

Materiale	$\epsilon_r$
Aria	1
Vetro	5
Polietilene	2,3
Polistirolo	3
Cartone	4
Teflon	2
Acqua	80

FIGURA 44 Rigidità dielettrica per diversi materiali.

FIGURA 45 Fattori di correzione (Schonbuch).

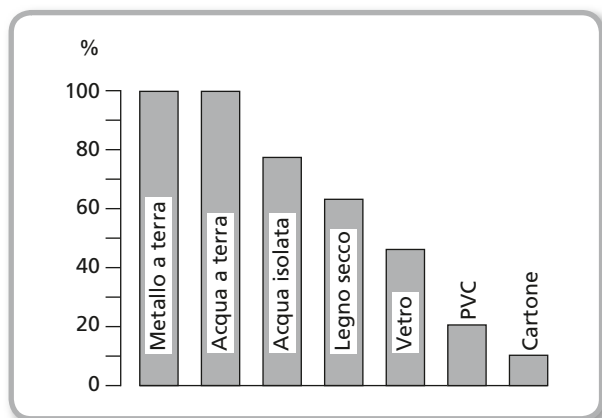


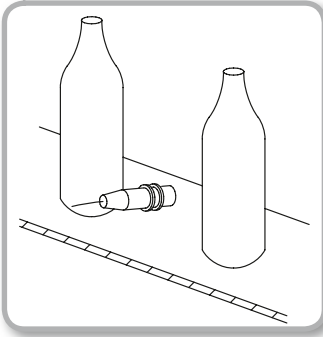
FIGURA 46 Dati tecnici di un sensore capacitivo (Siemens).

Dati tecnici		
Tipo	DC	AC
Tensione d'esercizio • Ondulazione residua	10 ... 65 (30) V max 10%	20 ... 250 V –
Corrente a vuoto $I_0$	6 ... 12 mA	max 1,7 mA
Frequenza di commutazione $f$	100 Hz	20 Hz
Riproducibilità $R$	max 2%	
Isteresi $H$	0,02 ... 0,2 $s_r$	
Uscite:		
Corrente d'esercizio nominale $I_e$ • con DC • con AC 230 V (protezione fino alla grandezza S3) - permanente - fino a 20 ms	200 mA –	– 500 mA 5 A
Minima corrente d'esercizio $I_m$ • Carico prevalentemente induttivo • Carico prevalentemente ohmico	–	10 mA 5 mA
Corrente residua $I_r$ Caduta di tensione	6 ... 12 mA max 1,8 V	max 1,7 mA max 7 V
Lunghezza di cavo max consentita	300 m	
Grado di protezione	IP67	
Temperatura ambiente • in esercizio • per magazzinaggio	–20 ... + 70 °C –40 ... + 85 °C	
Resistenza a urti Resistenza a vibrazioni	30 x g, durata 11 ms 10 ... 55 Hz, ampiezza 1 mm	

Numero dei fili	<b>3</b>
Forma costruttiva Montaggio in metallo	M18 schermato
Distanza d'intervento nominale $s_n$ <sup>1)</sup> Distanza d'intervento reale $s_r$ <sup>2)</sup>	5 mm impostabile
Materiale della custodia	plastica
Tensione d'esercizio (DC) V Corrente nominale d'esercizio $I_e$ mA	10 ... 65 200
Visualizzazioni • Stato di commutazione • Tensione d'esercizio	LED rosso –
Grado di protezione	IP67
Tipo	3RG16 13-0AB00

<sup>1)</sup> Per azionatore di metallo collegato a terra.

<sup>2)</sup> Con allineamento  $s_r > s_n$  l'isteresi può aumentare in modo significativo.



**FIGURA 47** Impiego di un sensore capacitivo per rilevare il contenuto di una bottiglia.

La differenza di sensibilità tra i diversi materiali può essere sfruttata per rilevare la presenza di acqua in una bottiglia di vetro attraverso una opportuna taratura del sensore (**FIGURA 47**).

## 6 Sensori fotoelettrici

I sensori fotoelettrici o fotocellule (**FIGURA 48**) sono dispositivi che utilizzano un fascio di luce per rilevare la presenza di oggetti, per eseguire conteggi, classificare, posizionare, controllare e misurare. Il funzionamento è basato su un **emettitore** che trasforma un segnale elettrico in un segnale luminoso modulato, generalmente infrarosso, che attraverso un sistema ottico viene inviato al ricevitore. La funzione della modulazione è quella di impedire qualunque interferenza con la luce visibile presente nell'ambiente e, inoltre, il ricevitore è sintonizzato per ricevere solo segnali luminosi su quella lunghezza d'onda. Il **ricevitore** riceve il segnale luminoso, lo trasforma in una grandezza elettrica che attraverso un demodulatore/amplificatore rende allo stadio di uscita un segnale elettrico di tipo ON-OFF.



**FIGURA 48** Fotocellula.

Quando il fascio luminoso viene interrotto, lo stadio di uscita del ricevitore cambia il proprio stato logico. Le fotocellule sono idonee a rilevare qualsiasi tipo di materiale che abbia la proprietà di interrompere un fascio luminoso: legno, plastica, metalli ferrosi e non, ceramica ecc.

Quasi tutti i modelli possiedono un sistema potenziometrico per la regolazione della sensibilità e un led per indicare lo stato dell'uscita.

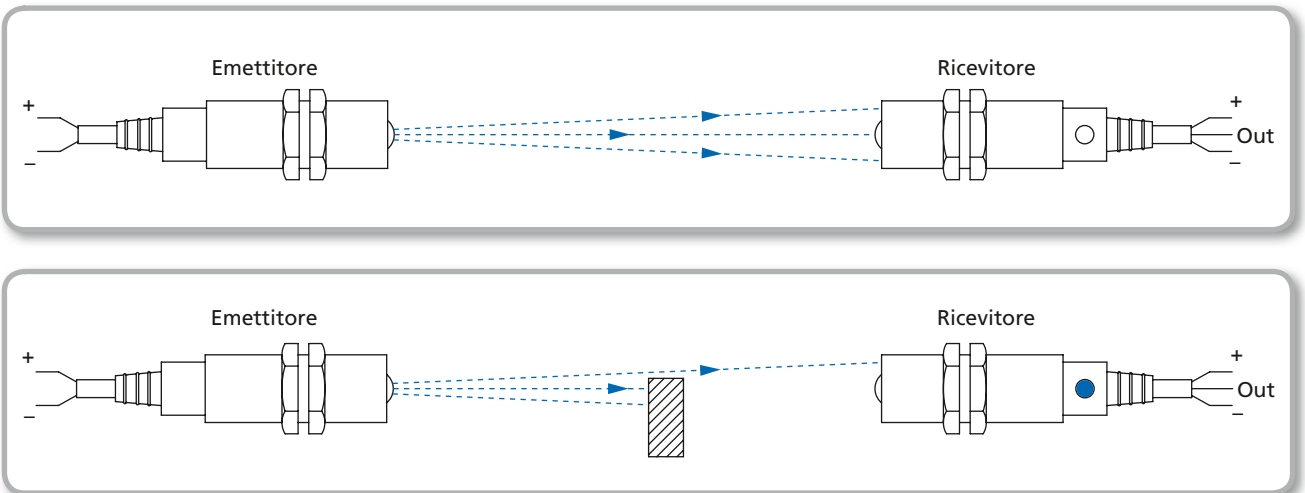
Le fotocellule vengono divise per tipo di funzionamento in 3 categorie:

- ▶▶ a barriera o sbarramento;
- ▶▶ reflex o riflessione;
- ▶▶ a diffusione o tasteggio.

### 6.1. Fotocellule a sbarramento

Nelle fotocellule a sbarramento il trasmettitore e il ricevitore sono alloggiati in involucri separati e montati uno di fronte all'altro (**FIGURA 49**).

**FIGURA 49** Fotocellule a barriera.



**FIGURA 50** Attivazione della fotocellula con la presenza di un oggetto.

Se ora un oggetto interrompe il fascio di luce che il trasmettitore invia al ricevitore, la tensione all'interno del ricevitore cade e la funzione di commutazione viene attivata (FIGURA 50).

Le fotocellule a sbarramento permettono all'utente di riconoscere qualunque oggetto indipendentemente dal colore, dal materiale o dal grado di riflessione, offrendo nel contempo portate di alcune decine di metri e una grande riserva di funzioni. Le fotocellule a sbarramento sono meno influenzabili da disturbi e quindi idonee all'applicazione in condizioni sfavorevoli. Il difetto principale è l'impossibilità di rilevare oggetti di piccole dimensioni che non riescono a oscurare completamente il fascio luminoso e oggetti trasparenti.

Dati elettrici	
Tipo di sensore	Ricevitore
Tensione di alimentazione	15 ... 30 V DC
Assorbimento corrente ( $U_b = 24 \text{ V}$ )	< 15 mA
Frequenza di commutazione	100 Hz
Tempo di risposta	5 ms
Deriva termica	< 10%
Fascia temperatura	-30 ... 55 °C
Caduta di tensione uscita di commutazione	< 1,5 V
PNP/max corrente di commutazione	200 mA
Corrente residua uscita di commutazione	50 $\mu\text{A}$
Resistente al cortocircuito e sovraccarico	sì
Protezione all'inversione di polarità	sì
Classe di protezione	III

Dati ottici	
Portata	60.000 mm
Minimo oggetto riconoscibile	15 mm
Isteresi di commutazione	< 15%
Livello luce ambiente	5000 Lux
Angolo ottico	4°

Nella FIGURA 51 è riportata la tabella con i dati tecnici ed elettrici di una fotocellula a barriera con polarità di uscita PNP. In essa ritroviamo molti parametri già presenti in altri tipi di sensori, oltre a dati specifici come la distanza massima di lavoro (60 m) e il

FIGURA 51 Dati tecnici di un sensore a barriera Wenglor.

livello massimo di luce ambiente ricevuta dalla superficie fotorecettiva del sensore per non compromettere il normale funzionamento.

Molto diffusi sono i sensori a forcella (FIGURA 52) che comprendono un emettitore e un ricevitore all'interno del medesimo corpo a forma di U. I sensori a forcella funzionano con lo stesso principio dei sensori a sbarramento, ma non richiedono alcuna collimazione tra i due sensori. Questi tipi di sensori vengono utilizzati per il rilevamento di denti di ingranaggi, di componenti su nastri trasportatori e su binari, per il conteggio e la verifica dell'orientamento e posizionamento di oggetti, per la verifica della rottura di utensili e per la lettura di tacche e dischi forati, per esempio encoder incrementali. Una delle applicazioni dei sensori a sbarramento è rappresentata dalle barriere di sicurezza (FIGURA 53). Una serie di fotocellule è inserita in due colonne che determinano una protezione immateriale verso un'area pericolosa. L'interruzione di uno solo dei raggi di luce causa l'attivazione dell'uscita. Sono utilizzate in zone dove operano robot, macchine per l'imballaggio, automazione industriale in genere, linee di trasporto, macchine tessili, macchine per l'imbottigliamento e linee di assemblaggio. I parametri tecnici fondamentali sono, oltre all'altezza delle colonne e alla loro distanza operativa, il numero di raggi e la risoluzione.

La normativa di sicurezza EN 61496-1, oltre a stabilire che l'efficacia della protezione dipende dal corretto posizionamento delle barriere ottiche rispetto al pericolo, definisce anche la distanza tra le fotocellule (risoluzione), che deve essere compresa tra 40 e 70 mm per la protezione delle braccia e non superiore a 40 mm per la protezione delle dita.



FIGURA 52 Sensore a forcella.



FIGURA 53 Barriera di sicurezza (Sick).

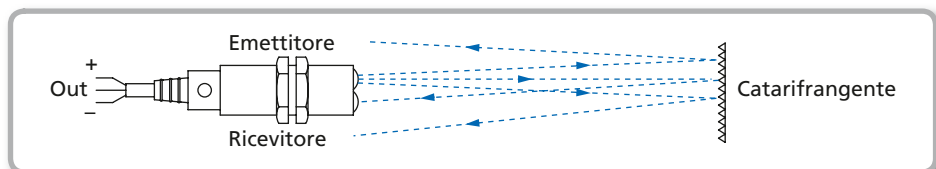


**FIGURA 54** Sensore a riflessione.

## 6.2. Sensori a riflessione

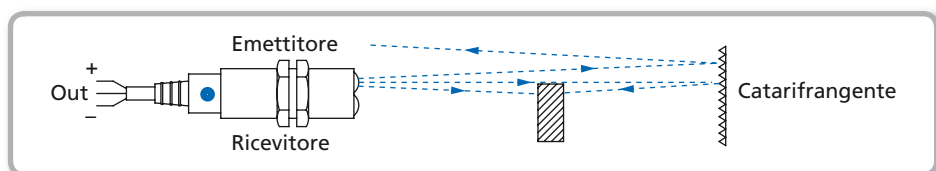
I sensori a riflessione (**FIGURA 54**) sono dispositivi nei quali l'emettitore e il ricevitore sono contenuti all'interno della stessa custodia. Il fascio di luce emesso dall'emettitore è riflesso da uno specchio o da un riflettore prismatico (catarifrangente) che lo rinvia al ricevitore (**FIGURA 55**).

**FIGURA 55** Funzionamento di un sensore a riflessione.



**FIGURA 56** Attivazione del dispositivo reflex con la presenza di un oggetto tra fotocellula e catarifrangente.

Quando un oggetto attraversa il percorso del raggio di luce, esso viene rilevato poiché si ha l'interruzione del fascio di luce (**FIGURA 56**). In questo caso si ha l'accensione del led e la commutazione del contatto NO o NC con uscita OUT in polarità PNP oppure NPN.



**FIGURA 57** Catarifrangente.

Questo tipo di sensore è molto diffuso, in quanto a discrete distanze operative si aggiungono la semplicità di allineamento sensore/riflettore e la facilità d'installazione anche in spazi ristretti. Rappresenta la soluzione più idonea per eseguire il rilevamento da un solo lato. Le distanze non sono comunque da paragonarsi ai sensori a barriera perché il catarifrangente, disperdendo il fascio di luce in tutte le direzioni, causa un abbassamento dell'intensità del fascio riflesso. Occorre inoltre prestare attenzione nel caso di rilevazione di oggetti altamente riflettenti o brillanti, in quanto, se gli elementi hanno le stesse caratteristiche di riflessione del riflettore, possono non essere riconosciuti. A questo scopo in alcuni tipi di sensori è stato inserito un filtro polarizzatore (**FIGURA 58**) che permette di riconoscere con sicurezza anche oggetti lucidi come specchi e superfici riflettenti. È raccomandabile, inoltre, avere il riflettore (**FIGURA 57**) di dimensioni tali da essere oscurato completamente dall'oggetto da rilevare.

**FIGURA 58** Dati tecnici di un sensore a riflessione (Wenglor).

Dati ottici	
Portata	6000 mm
Catarifrangente di riferimento/in foglio	RQ100BA
Isteresi di commutazione	< 15%
Tipo di luce	Luce rossa
Filtro polarizzatore	si
Vita media (Tu = +25 °C)	100.000 h
Livello luce ambiente	10.000 Lux
Angolo ottico	5 °
Ottica a due lenti	si

Dati elettrici	
Tensione di alimentazione	10 ... 30 V DC
Assorbimento corrente (Ub = 24 V)	< 40 mA
Frequenza di commutazione	1 kHz
Tempo di risposta	500 μs
Deriva termica	< 10%
Fascia temperatura	-10 ... 60 °C
Caduta di tensione uscita di commutazione	< 2,5 V
PNP/max corrente di commutazione	200 mA
Corrente residua uscita di commutazione	< 50 μA
Resistente al cortocircuito	si
Protezione all'inversione di polarità	si
Protezione al sovraccarico	si
Classe di protezione	III