



HOEPLI  
TECNICA  
PER LA SCUOLA

Guido Bergamini  
Pier Giorgio Nasuti

# 3

## SISTEMI E AUTOMAZIONE

Nuova Edizione **OPENSCHOOL**

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



Edizione **OPENSCHOOL**

- |   |               |
|---|---------------|
| 1 | LIBRODITESTO  |
| 2 | E-BOOK+       |
| 3 | RISORSEONLINE |
| 4 | PIATTAFORMA   |



LIBRO IN  
CHIARO

# HOEPLI



Guido Bergamini  
Pier Giorgio Nasuti

# Sistemi e automazione

Nuova Edizione OPENSCHOOL

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

Volume 3



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

**Copyright © Ulrico Hoepli Editore S.p.A. 2018**

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

Questo terzo volume di Sistemi ed Automazione industriale si rivolge in modo specifico agli studenti della classe quinta della specializzazione di Meccanica, Meccatronica ed Energia degli Istituti tecnici.

Il testo affronta i temi riguardanti i sensori, i trasduttori, le macchine elettriche rotanti (generatori e motori), i sistemi di regolazione e controllo, i Robot industriali e la sicurezza delle macchine, seguendo un'impostazione di tipo pratico-sperimentale.

La trattazione degli argomenti, sia nei sensori-trasduttori sia nei motori elettrici, procede secondo un percorso logico graduale che inizia dai concetti base e prosegue illustrando le parti fondamentali dei dispositivi, il loro funzionamento e loro applicazioni. Il linguaggio, seppur semplice e immediato e quindi non rigidamente accademico, rimane sempre rigoroso. Gli argomenti che sono prevalentemente di natura elettronico-informatico, sono affrontati dal punto di vista della meccanica per essere utilizzati ai fini della pratica.

Nell'ottica di una Scuola che presenta sempre maggiori difficoltà nell'attrezzare adeguatamente il Laboratorio di Sistemi e Automazione Industriale, la scelta è stata quella di proporre delle esperienze di laboratorio che richiedono attrezzature molto essenziali, economiche e facilmente reperibili sul mercato.

I punti di forza di questo testo sono infatti le **prove di Laboratorio** pre-impostate che, partendo dalle nozioni teoriche, accompagnano lo studente nel percorso della sperimentazione, proponendo immagini dei componenti, schemi dei collegamenti elettrici, tabelle e considerazioni finali.

Sono state introdotte nuove Esperienze di Laboratorio che ruotano attorno a un dispositivo molto diffuso tra gli hobbisti: la scheda **Arduino**. L'obiettivo è infatti quello di avvicinare il più possibile la meccanica al mondo dell'elettronica e dell'informatica attraverso un approccio semplice e graduale.

L'articolazione del testo prevede sei Unità e ognuna di queste si apre con la chiara indicazione delle *Competenze* e delle *Abilità* acquisite e dei *Prerequisiti* necessari per affrontare gli argomenti contenuti e si conclude con una o più pagine di verifica secondo uno schema ormai collaudato di: *risposta multipla, vero/falso, completamento*. Per avere la certezza del buon esito delle prove di Laboratorio, ogni Esperienza proposta nel testo è stata realizzata, testata e collaudata dall'autore.

La stesura del testo dell'Unità 6, relativa alla *Sicurezza delle Macchine*, è stata curata dall'Ing. Nasuti.

Si ringrazia quanti vorranno far pervenire all'autore, attraverso l'Editore, domande, segnalazioni e suggerimenti.

## Competenze

### Competenze generali relative all'indirizzo

In generale l'indirizzo "**Meccanica, Meccatronica ed Energia**" integra competenze specifiche nel campo dei materiali, delle macchine utensili e dei dispositivi utilizzati nelle industrie manifatturiere, agrarie, trasporti e servizi con quelli della progettazione, costruzione, installazione, collaudo, gestione dei dispositivi e della manutenzione ordinaria, nell'esercizio di sistemi meccanici ed elettromeccanici complessi.

### Competenze generali relative alla disciplina

La disciplina "Sistemi e Automazione" concorre al raggiungimento dei seguenti risultati di apprendimento, espressi in termini di competenze:

- padroneggiare l'uso di strumenti tecnologici con particolare attenzione alla sicurezza;
- utilizzare, in contesti di ricerca applicata, procedure e tecniche innovative e migliorative;
- riconoscere e applicare i principi dell'organizzazione, gestione e controllo di processi produttivi;
- orientarsi nella normativa che disciplina i processi produttivi del settore di riferimento.

### Competenze specifiche da sviluppare nel quinto anno di corso

Il testo proposto per il quinto anno concorre al raggiungimento dei seguenti risultati di apprendimento, espressi in termini di competenze:

- Riconoscere i diversi tipi di sensori e trasduttori e saper indicare quale dispositivo utilizzare per monitorare il sistema.
- Identificare le tipologie dei sistemi di movimentazione e individuare il motore elettrico più adatto allo scopo.
- Applicare i principi su cui si basano i sistemi di regolazione e di controllo.
- Rappresentare un sistema di controllo mediante schema a blocchi e definirne il comportamento mediante modello matematico. Rilevare la risposta dei sistemi a segnali tipici.
- Analizzare e risolvere semplici problemi di automazione anche mediante la programmazione in C++.
- Riconoscere, descrivere e rappresentare schematicamente le diverse tipologie dei robot.
- Distinguere i diversi tipi di trasmissione del moto, organi di presa e sensori utilizzati nei robot industriali.

## Caratteristiche della Nuova Edizione Openschool

In questa nuova edizione Openschool il testo è stato completamente rivisto ed aggiornato per rispondere in modo efficace alle esigenze didattiche sempre nuove dei docenti e degli studenti e per offrire una versione digitale del libro. In particolare:

- sono state inserite diverse **Esperienze di Laboratorio** inserendo come organo di controllo la scheda **Arduino** e riproponendo la stessa struttura introdotta nei volumi precedenti, precompilata con le varie fasi delle prove;
- raccogliendo i suggerimenti che sono pervenuti da alcuni Istituti, è stata sviluppata maggiormente l'Unità 4 che affronta il tema dei **Sistemi di regolazione e Controllo**;
- seguendo le indicazioni ministeriali che richiedono, da parte dei tecnici, la conoscenza delle normative sulla sicurezza nei luoghi di lavoro, anche questo testo si conclude con una Unità specifica: **Sicurezza delle Macchine**;

- Sono presenti in ogni capitolo alcune parti in doppia lingua (Italiano/Inglese) per avviare a un'attività **CLIL** (come nei volumi 1 e 2);
- Oltre ad esercizi e problemi, è stata inserita un'area digitale con verifiche a risposta multipla, vero/falso e a completamento, con l'obiettivo di fornire agli studenti un utile strumento di ripasso e di memorizzazione dei concetti fondamentali dell'Unità (come nei volumi 1 e 2).

## Area digitale

L'area digitale dell'e-Book+ comprende:

-  listati dei programmi (Sketch) di alcune Esperienze di Laboratorio;
-  test di verifica interattivi a scelta multipla, vero/falso e a completamento.

## Materiali online [hoepliscuola.it](http://hoepliscuola.it)

Sul sito [www.hoepliscuola.it](http://www.hoepliscuola.it) sono presenti ulteriori proposte di **Esperienze di Laboratorio** e i listati dei programmi (Sketch) di tutte le Esperienze di Laboratorio inserite in questo volume e che utilizzano la scheda Arduino.

## Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Enrico Bergamini (*Conservatoire national des arts et métiers - Welter Racing*) per la revisione delle Unità 1 e 2.

# Sommario

## Unità 1 Sensori e loro applicazioni

- 1 Definizione di sensore/  
*Definition of sensor*
  - 2 Sensori di prossimità
  - 3 Sensori magnetici
  - 4 Sensori a induzione
  - 5 Sensori capacitivi
  - 6 Sensori fotoelettrici
  - 7 Sensori a ultrasuoni
  - 8 Esperienze con Arduino
- Laboratorio di sistemi*
- ☑ *Areadigitale - Verificando*

## Unità 2 Trasduttori e loro applicazioni

- 1 Definizione di trasduttore/  
*Definition of transducer*
  - 2 I parametri principali dei trasduttori
  - 3 Tipi di trasduttori:  
analogici e digitali, attivi e passivi
  - 4 Encoder
  - 5 Potenzziometro
  - 6 Estensimetro
  - 7 Trasformatore differenziale – LVDT
  - 8 Resolver
  - 9 Trasduttori di temperatura
  - 10 Trasduttori di velocità
  - 11 Trasduttore di pressione
  - 12 Trasduttore di portata
  - 13 Conclusioni
- Laboratorio di sistemi*
- ☑ *Areadigitale - Verificando*

- 2 Unità 3 Macchine elettriche rotanti 106
- 1 Generalità/*Generality* 108
- 4 2 Dinamo 108
- 5 3 Alternatore 110
- 9 4 Il motore passo-passo 112
- 14 5 Motori a corrente continua 126
- 19 6 Motori elettrici asincroni trifase/  
*Synchronous three-phase electric  
motors* 138
- 27 7 Motori asincroni monofase 161
- 28 8 Motori sincroni 162
- 29 9 Motore brushless/*Brushless motors* 164
- 39 10 Motori lineari 173
- Laboratorio di sistemi* 177
- ☑ *Areadigitale - Verificando* 227

- 42 Unità 4 Sistemi di regolazione  
e controllo 228
- 43 1 Il sistema/*The system* 230
- 54 2 Il modello/*The model* 232
- 54 3 Primo modello: lo schema  
a blocchi 234
- 62 4 Il processo 235
- 65 5 L'algebra degli schemi a blocchi 235
- 70 6 Secondo modello: il diagramma  
degli stati 237
- 74 7 Esempi di sistemi formati  
da semplici circuiti elettrici 240
- 78 8 La trasformata di Laplace 243
- 81 9 L'antitrasformata di Laplace 247
- 82 10 Lo schema a blocchi nel campo  
delle frequenze 248
- 84 11 Trasformata di Laplace  
con circuiti elettrici 250
- 85
- 105

<b>12</b>	Poli e zeri	255	<b>8</b>	Sensori e trasduttori	304
<b>13</b>	Il controllo/Control	258	<b>9</b>	Software	306
<b>14</b>	Regolatori e controllori/ <i>Regulators and controllers</i>	265	<b>10</b>	Parametri caratteristici del robot	307
<b>15</b>	La stabilità, la prontezza di risposta e la precisione	275	<b>11</b>	Perché usare un robot	307
<b>16</b>	Controllori standard/ <i>Standard controllers</i>	279	<b>12</b>	Caratteristiche tecniche del robot industriale SMART5 della COMAU	309
	<i>Laboratorio di sistemi</i>	286		<i>Laboratorio di sistemi</i>	311
	 <i>Areadigitale - Verificando</i>	287		 <i>Areadigitale - Verificando</i>	313
<b>Unità 5 Robot industriali</b>		288	<b>Unità 6 Sicurezza delle macchine: circuiti di comando con funzioni di sicurezza</b>		
<b>1</b>	Un po' di storia/ <i>A little bit of history</i>	290	<b>1</b>	Premessa/ <i>Introduction</i>	316
<b>2</b>	Struttura meccanica	291	<b>2</b>	Sicurezza delle macchine e analisi dei rischi	317
<b>3</b>	Gradi di libertà	292	<b>3</b>	Guasti	318
<b>4</b>	Tipologie di robot/ <i>Types of robots</i>	294	<b>4</b>	Affidabilità	322
<b>5</b>	I compiti del robot	298	<b>5</b>	La norma EN 13849-1	328
<b>6</b>	Estremità di un robot	302		 <i>Areadigitale - Verificando</i>	335
<b>7</b>	Azionamenti	303			

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 .....	9
<b>4</b> Sensori a induzione .....	14
<b>5</b> Sensori capacitivi .....	19
<b>6</b> Sensori fotoelettrici .....	21
<b>7</b> Sensori a ultrasuoni .....	27
<b>8</b> Esperienze con Arduino.....	28
 Area digitale - Verificando .....	39

## 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.

## Prerequisiti richiesti

- **Fisica e Macchine a Fluido:** Conoscere il concetto di Forza, massa, accelerazione di gravità  $g$ , velocità.
- **Sistemi e Automazione:** Avere una sufficiente conoscenza dell'Elettrotecnica, in particolare del campo magnetico, dell'induzione elettro-magnetica e dei circuiti elettrici.
- **Disegno:** Capacità di interpretare semplici disegni meccanici.

## Laboratorio di Sistemi. Esperienze

- |  |    |   |    |
|--|----|---|----|
| 1. Collegamento dei sensori a una utenza .....   | 29 | e delle minime dimensioni del target .....  | 33 |
| 2. Sensore magnetico: influenza dell'orientamento del target magnetico .....               | 30 | 6. Sensore ottico a barriera e sensore induttivo: riconoscimento di oggetti di metallo da quelli di legno ..... | 34 |
| 3. Sensore induttivo: influenza del tipo di metallo del target e del suo spessore .....    | 31 | 7. Contapezzi con Sensore ottico a tasteggio e Display LCD gestito da Arduino.....                              | 35 |
| 4. Sensore ottico a tasteggio: influenza del colore della superficie del target .....      | 32 | 8. Uso dei sensori magnetici reed e ad effetto Hall con Arduino .....   | 37 |
| 5. Sensore ottico a riflessione: determinazione della massima distanza del catarifrangente |    |   |    |

# 1 Definizione di sensore/ Definition of sensor

**CLIL** Content and Language Integrated Learning

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 da un eventuale 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: la tastiera, il mouse, lo scanner, le testine di lettura e scrittura su CD o DVD ecc, fanno parte di questa categoria.

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**.

*In the common technical jargon, sensors (and transducers) are the sensitive elements of an automation system; they convert a physical quantity into an electrical quantity so that it can be used by any control system of the device in question.*

*Lots of machinery and systems could not work without sensors and transducers; the capability of controlling and monitoring the external environment makes these devices essential for the proper operation of the equipment. These sensors and transducers are also widely used in ordinary personal computers: the keyboard, mouse, scanner, the read and write heads of a CD or DVD unit, etc., all belong to this category.*

*These sensors can be divided into two families:*

- ▶ *sensors with simple ON-OFF or level 0 and 1 elements that detect when the quantity to be controlled exceeds a set value;*
- ▶ *sensors with elements that can transform continuously a specific physical quantity into an electrical quantity and maintain a constant relationship between the two.*

*In the first case, a threshold element is used to perform a simple switching operation on an electric contact when the set value of the physical quantity being controlled is exceeded.*

*As for the second ones, instead, called **transducers**, a component is used that can output a continuous value that is proportional to the measured quantity. The transducer can be represented by the functional diagram of **FIGURE 1**.*



**FIGURA 1** Schema funzionale di un trasduttore./Functional diagram of a transducer.

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 (**amplifica-**

*The physical quantity to be controlled is detected by a sensitive element whose purpose is transforming it into another quantity, not necessarily electrical but still closely related to the value of the physical quantity. Sometimes, this sensitive element is referred to as a **sensor**. The output signal, which may be mechanical, thermal, etc., has to be suitably converted into an electrical signal in order to be transmitted to the next blocks of the transducer.*

*The output signal of the conversion device must be processed by the conditioning device to increase (**amplification**) or decrease*

zione) 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 a un eventuale 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 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**.

(**attenuation**) its amplitude, leaving unchanged its shape and its trend over in time. The signal can also be modified by filtering or modulating it, in order to make it suitable for a potential control system.

In this context, the word **sensor** refers only to the element that is sensitive to the quantity to be controlled, while the word **transducer** refers to the ensemble of sensor – conversion device – conditioning device that can convert an input physical quantity into an output electrical quantity.

For example, consider a flow rate transducer inserted into a pipe (**FIGURE 2**). The device can be represented by a block diagram similar to that of **FIGURE 1**.



**FIGURA 2** Schema funzionale di un trasduttore di portata./*Functional diagram of a flow rate transducer.*

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.

A small turbine inserted in the pipe is caused to rotate by the flow of the liquid, transforming the physical quantity **flow rate** into the mechanical quantity **rotation speed**. A conversion device, consisting of an electric generator, for example a dynamo keyed to the axis of the turbine, converts the rotational motion into electrical current (mechanical-electrical converter).

Lastly, the conditioning device stabilizes the output current of the dynamo to make it available at the output. In this example, the flow rate transducer converts a hydraulic physical quantity into an electrical quantity.

Oltre agli elementi sensibili di un trasduttore, con il termine **sensori** abbiamo indicato anche tutti quei dispositivi in grado di segnalare la presenza di un corpo nelle loro vicinanze attraverso un rilevatore di soglia: sono i **sensori di prossimità** di cui ci occuperemo nel prossimo paragrafo.

In addition to the sensitive elements of a transducer, the term **sensors** is also used to refer to all the devices that can detect the presence of a nearby object through a threshold detector: they are the **proximity sensors**, which will be treated in the next paragraph.

## 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'auto-

mazione 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.). Va precisato che per le normative europee relative alla Direttiva Macchine, il contatto d'apertura (normalmente chiuso) va utilizzato anche per le applicazioni di sicurezza e in questo caso l'interruttore deve essere del tipo ad "apertura positiva", cioè non deve esistere nessun collegamento elastico tra i contatti mobili e l'azionatore sul quale viene applicata la forza di azionamento.

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

FIGURA 4 Tipi di contatti interni nei sensori.

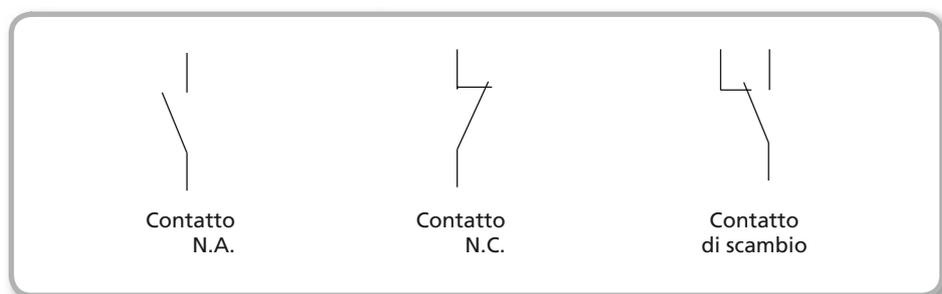
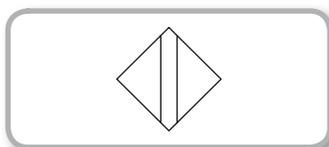


FIGURA 5 Simbolo dell'elemento sensibile di un sensore.



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.

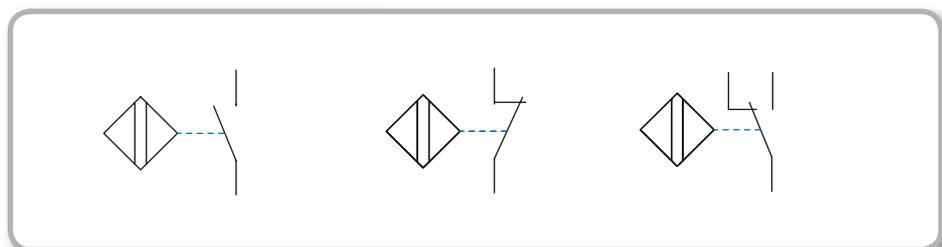
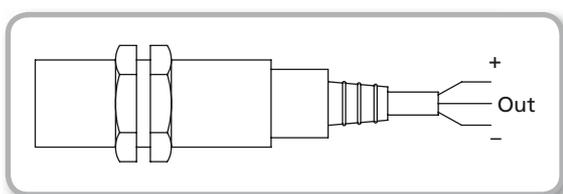


FIGURA 6 Simboli elettrici dei sensori.

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

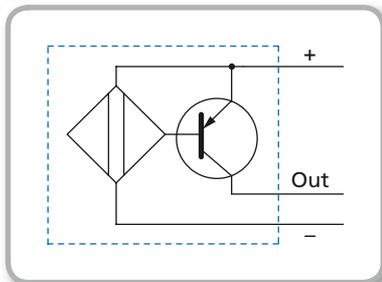


FIGURA 8 Sensore con polarità PNP.

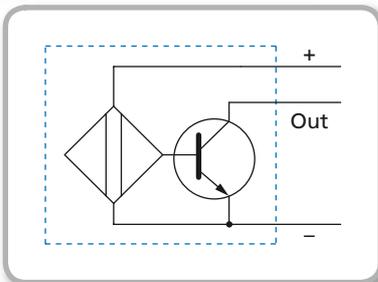


FIGURA 9 Sensore con polarità NPN.

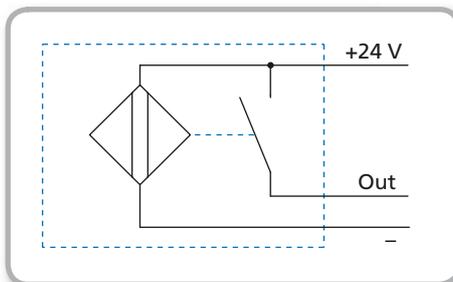


FIGURA 10 Polarità PNP e modalità di uscita N.A.

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).

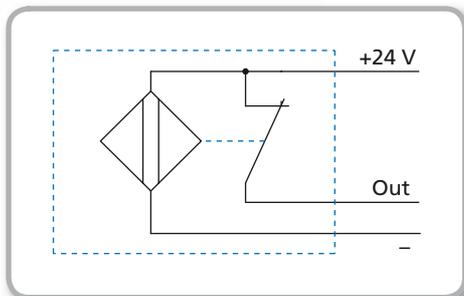


FIGURA 11 Polarità PNP e modalità di uscita N.C.

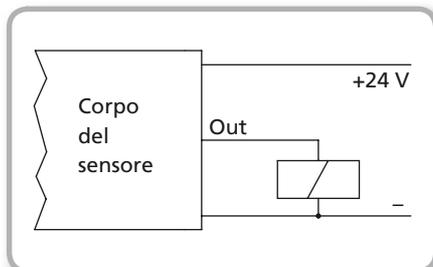


FIGURA 12 Schema di collegamento nella polarità PNP.

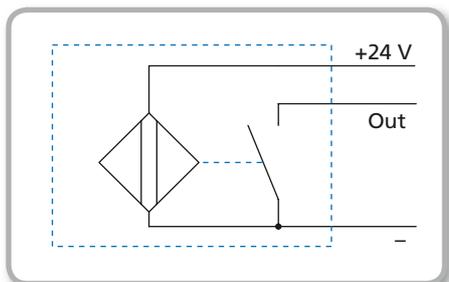


FIGURA 13 Polarità NPN e modalità di uscita N.A.

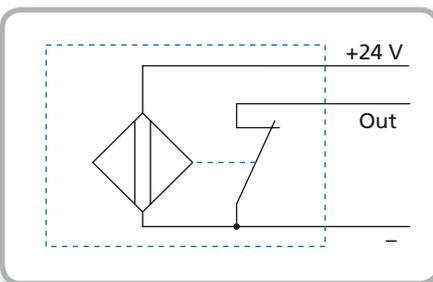
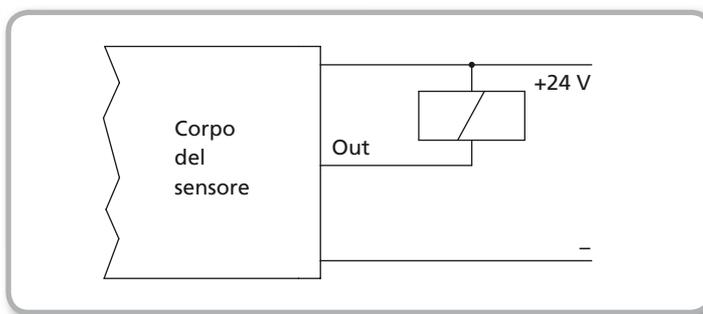


FIGURA 14 Polarità NPN e modalità di uscita N.C.

In entrambi i casi l'utilizzatore deve essere collegato sia all'uscita OUT del sensore che alla polarità positiva, come indicato nella FIGURA 15.

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 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.

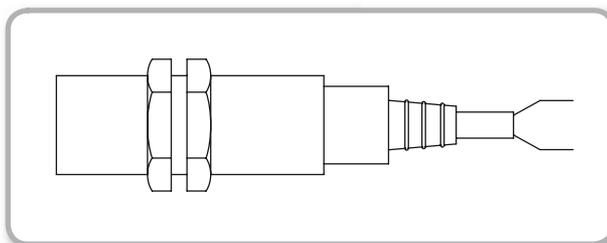


FIGURA 16 Sensori a 2 fili.

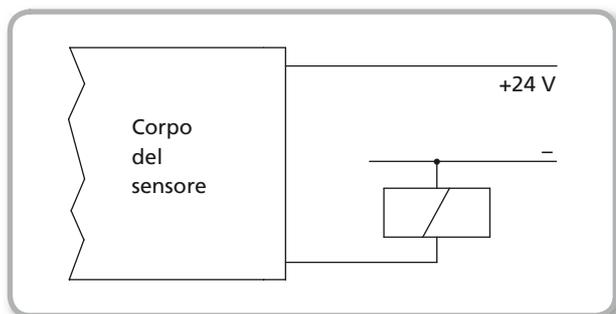


FIGURA 17 Schema di collegamento con sensore a 2 fili.

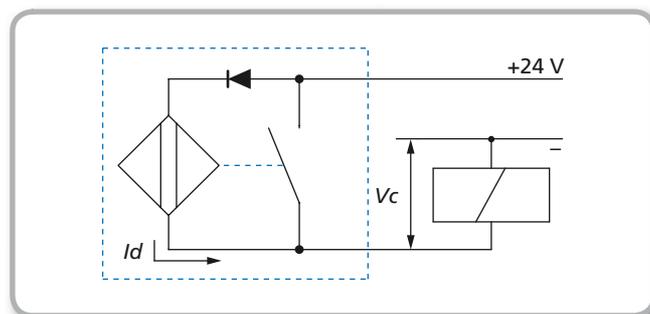


FIGURA 18 Schema interno di sensore a 2 fili.

## 2.3 Sensori a 4 fili

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).

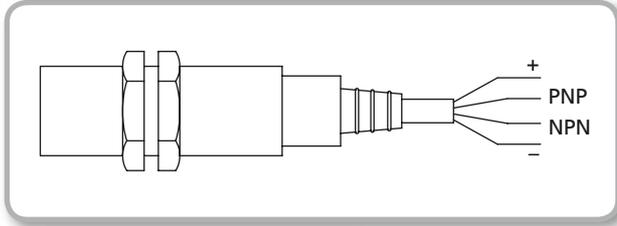


FIGURA 19 Sensore a 4 fili con uscita PNP e NPN.

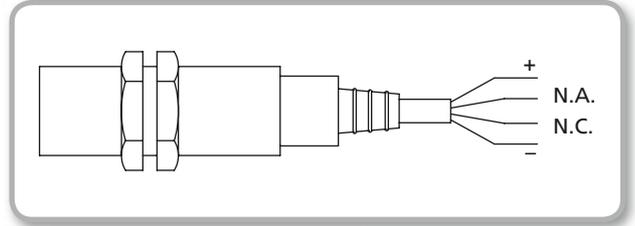


FIGURA 20 Sensore a 4 fili con uscita N.A. e N.C.

In base al loro 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

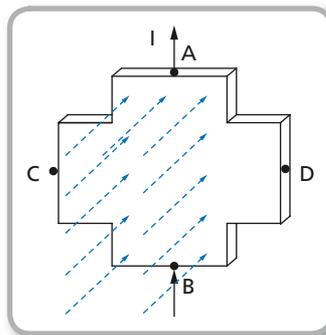
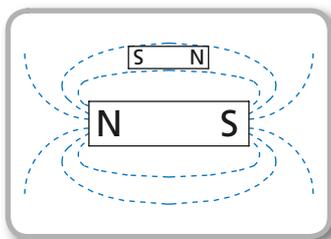
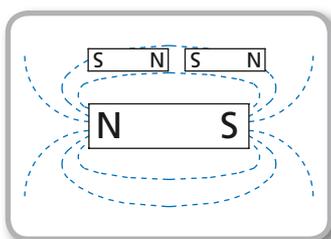


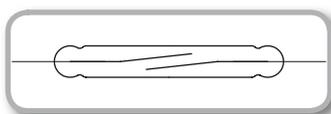
FIGURA 21 Lamina di Hall.



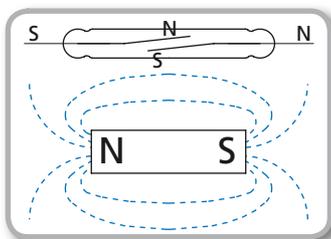
**FIGURA 22** Magnetizzazione per induzione.



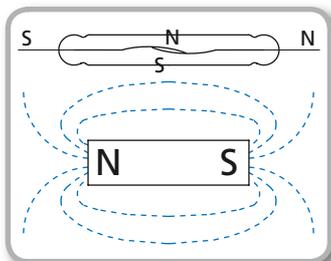
**FIGURA 23** Magnetizzazione anche del secondo oggetto.



**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.

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.

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**).

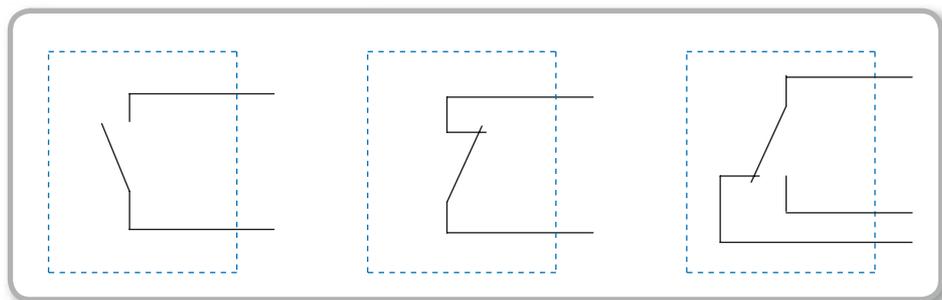
All'annullarsi dell'influsso del campo magnetico, l'effetto molla delle due lamelle determina la riapertura del contatto ripristinando le condizioni elettriche iniziali.

I 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 commuta 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.

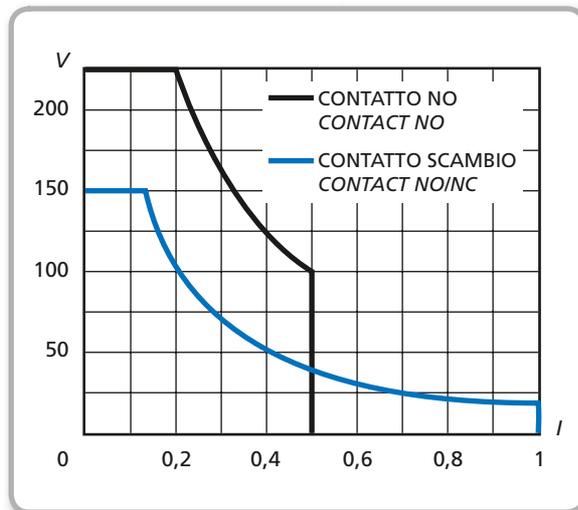


**FIGURA 27** Contatto reed NO, NC e scambio.

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;
- ▶▶ assenza di usura dei contatti a causa dei piccoli archi elettrici innescati nella fase di apertura;
- ▶▶ 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.

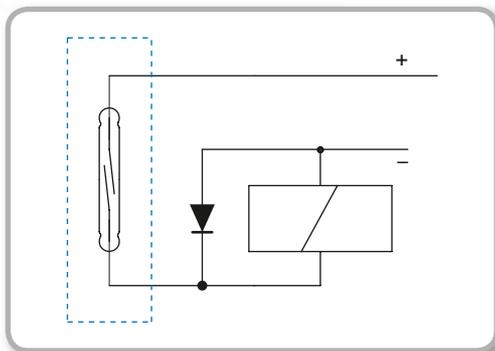


**FIGURA 28** Diagramma dei valori massimi di  $V$  e  $I$ .

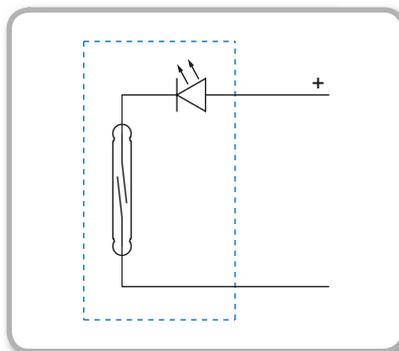
La vita utile di un sensore magnetico dipende, per corretti valori di tensione o di corrente, dalle caratteristiche meccaniche del contatto. Viceversa, per valori elevati essa è fortemente dipendente dalle caratteristiche del carico.

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.

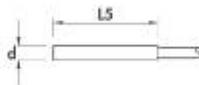
La portata di questi sensori varia da pochissimi decimi a 100 mm in funzione della potenza del campo generato dal magnete.

## SENSORI MAGNETICI CILINDRICI IN METALLO

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

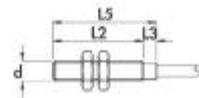
### Custodia A

magnete



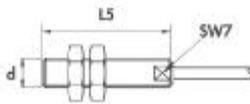
### Custodia B-6

magnete



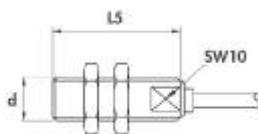
### Custodia B-10

magnete



### Custodia B-12

magnete



Diametro		M5 x 0,5	M8 x 1	M12 x 1
Dado	Chiave	SW7	SW13	SW17
	Spess. mm	2,5	4	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
- Grado di protezione su parte frontale (diametri 4 e 5 mm): 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.



**FIGURA 31** Sensore induttivo (Sick).

## 4 Sensori a induzione

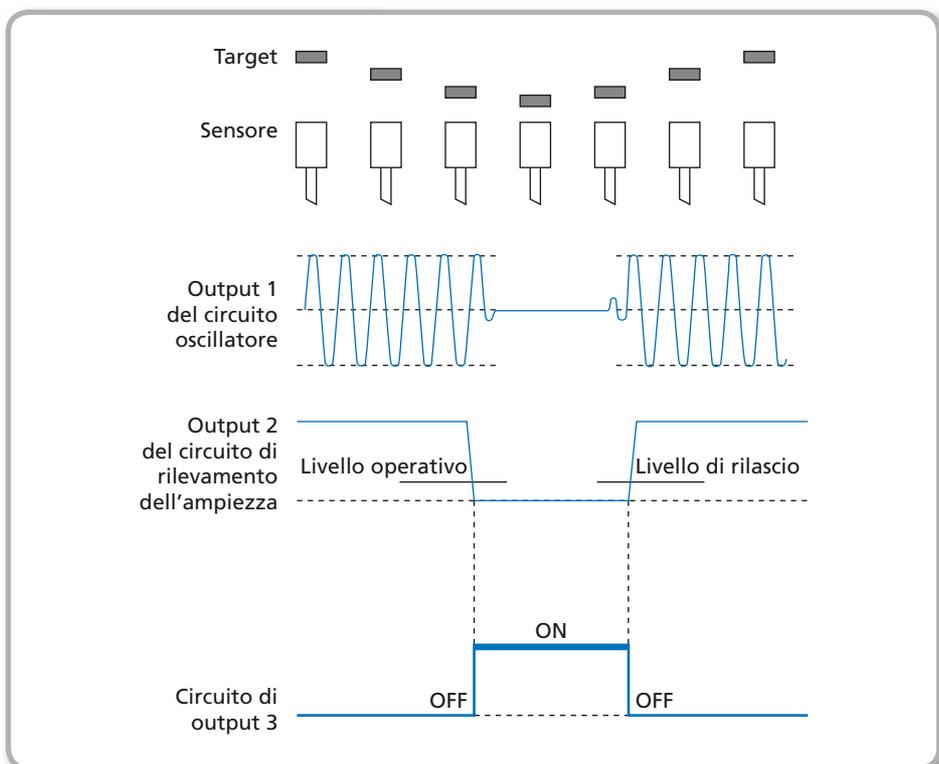
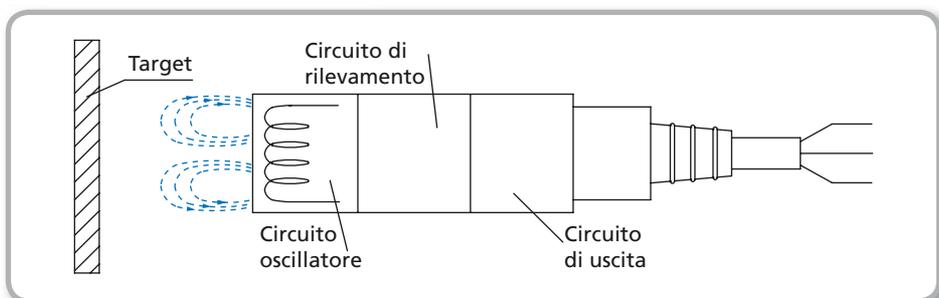
I **sensori di prossimità induttivi** (**FIGURA 31**) vengono normalmente utilizzati per rilevare oggetti metallici.

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 32** Schema interno di un sensore induttivo.



**FIGURA 33** Effetto del target sul sensore induttivo.

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.

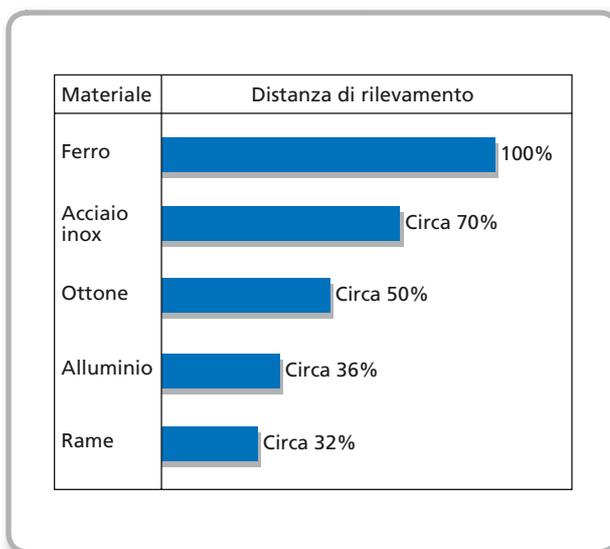


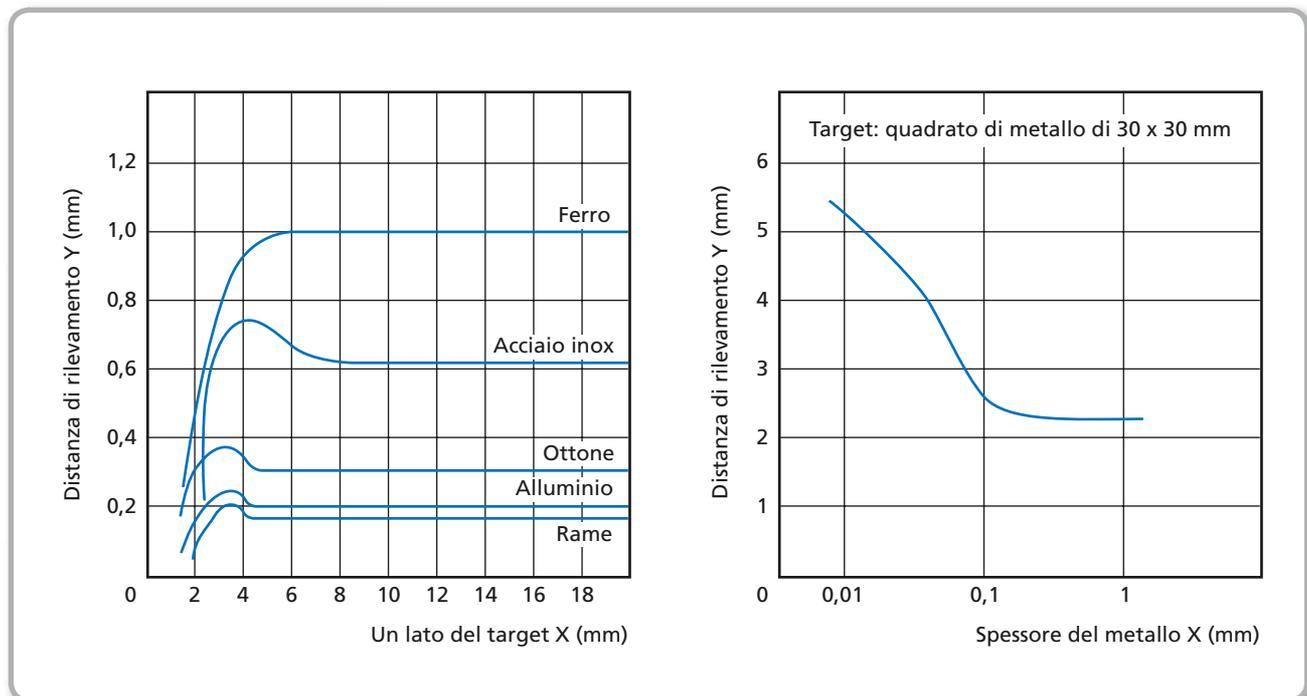
FIGURA 34 Influenza del materiale sulla sensibilità del sensore (Keyence).

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 × 30 mm.

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



**FIGURA 35**

Sensori di prossimità induttivi (Catalogo Allen Bradley).

## Sensori di prossimità induttivi

### 871TM campo esteso a 3 fili in CC

Superficie sensibile in acciaio inossidabile/Cilindro filettato in acciaio inossidabile



#### 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
Otone	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.

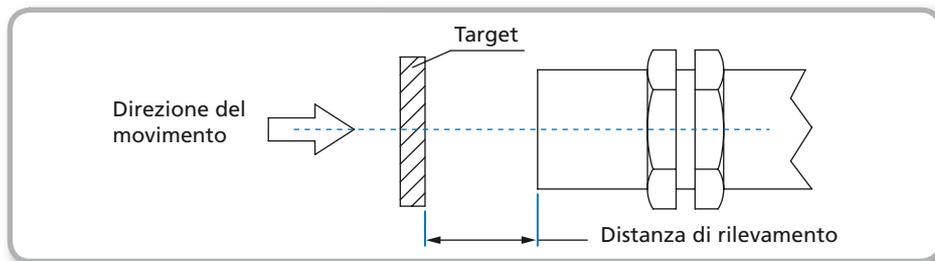


FIGURA 37 Distanza di rilevamento.

- ▶▶ **Isteresi (FIGURA 38):** differenza 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. In mancanza di un'iste-

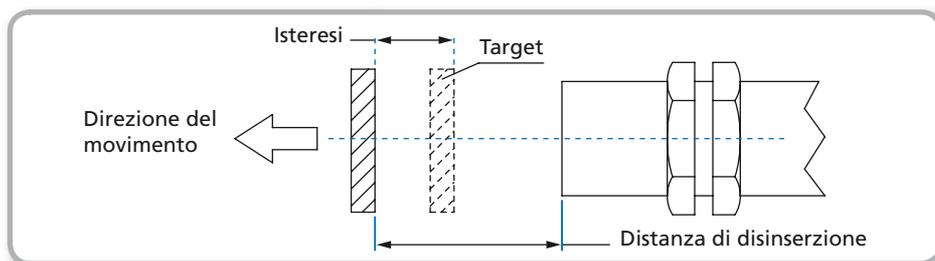


FIGURA 38 Isteresi.

resi 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

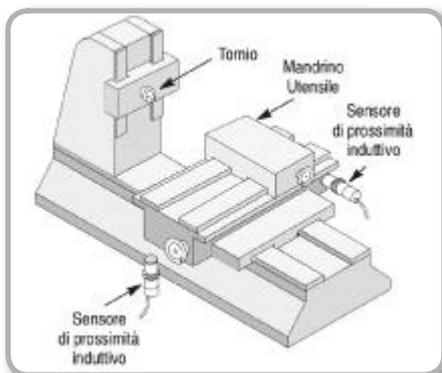
Con alcuni tipi di sensori è consentito rilevare esclusivamente oggetti ferromagnetici ignorando completamente la presenza di altri materiali. Essi vengono prevalentemente utilizzati come sensori selettivi negli impianti di lavorazione dell'alluminio, dell'ottone e del rame, dove i trucioli di lavorazione 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.

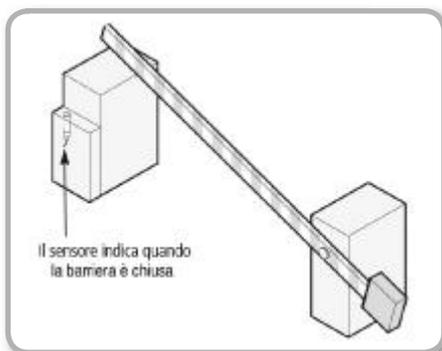
Nella [FIGURA 42](#) i sensori induttivi sono utilizzati nell'industria alimentare per individuare le lattine senza coperchio o le bottiglie prive di tappo metallico mentre vengono trasferite da un convogliatore.



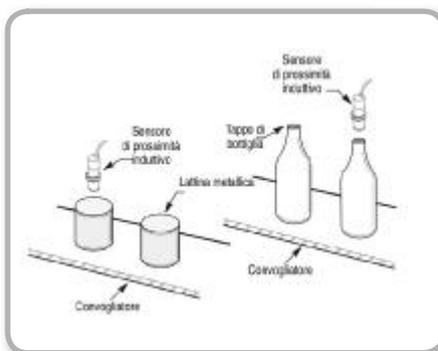
**FIGURA 39** Applicazione di sensori induttivi in un tornio.



**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 (FIGURA 43) 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).

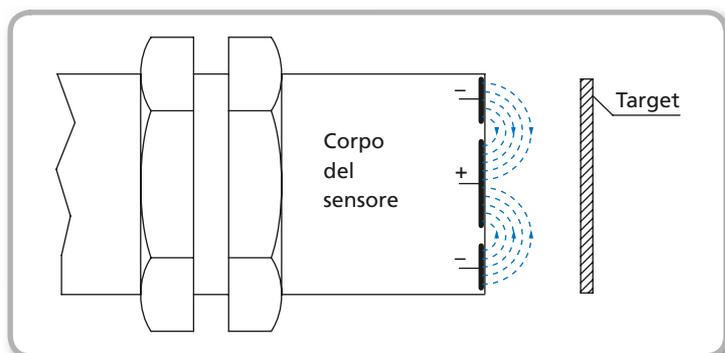
Il principio di funzionamento si basa sulla variazione della capacità  $C$  di un condensatore, situato nella parte anteriore, e inserito in un circuito oscillatore RC. Il condensatore presenta le due armature piane di metallo disposte in modo concentrico (FIGURA 44) come se il condensatore fosse stato 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.

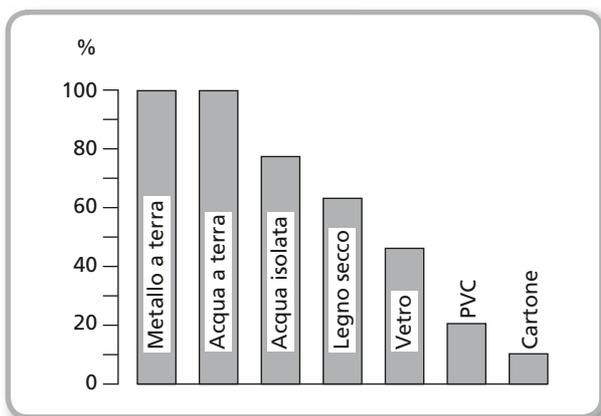
**FIGURA 44** Sensore capacitivo.



**FIGURA 45** Rigidità dielettrica per diversi materiali.

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

**FIGURA 46** Fattori di correzione (Schonbuch).



**FIGURA 47** Dati tecnici di un sensore capacitivo (Siemens).

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

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 45).

Nella FIGURA 46 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 47 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.

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

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 48).

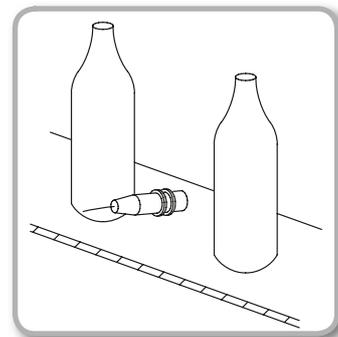


FIGURA 48 Impiego di un sensore capacitivo per rilevare il contenuto di una bottiglia.

## 6 Sensori fotoelettrici

I sensori fotoelettrici o fotocellule (FIGURA 49) 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.

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.



FIGURA 49 Fotocellula.

### 6.1 Fotocellule a sbarramento

Nelle fotocellule a sbarramento l'emettitore e il ricevitore sono alloggiati in involucri separati e montati uno di fronte all'altro (FIGURA 50).

FIGURA 50 Fotocellule a barriera.

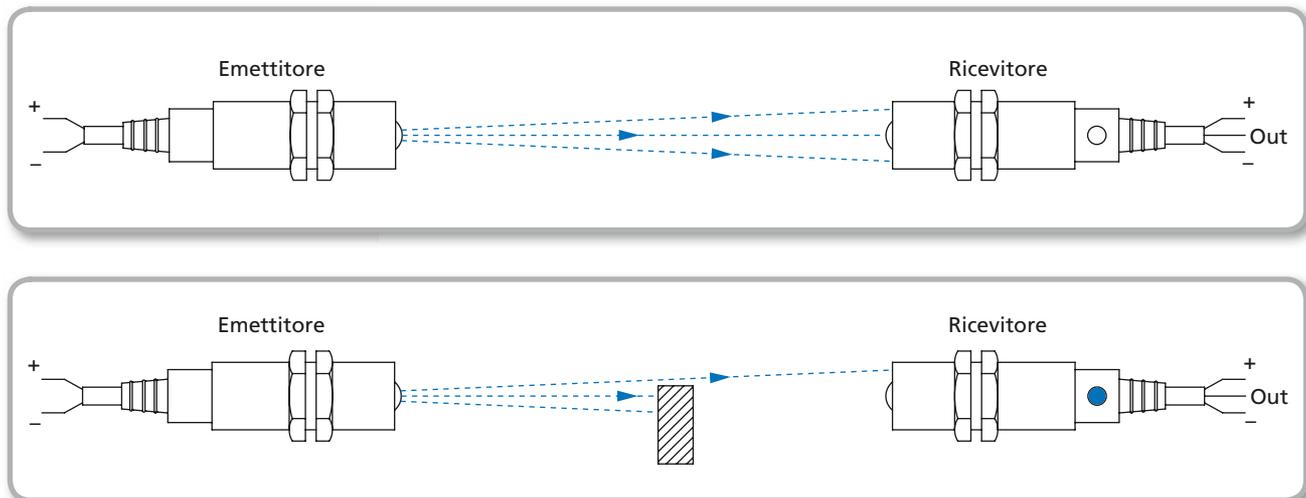


FIGURA 51 Attivazione della fotocellula con la presenza di un oggetto.

Se ora un oggetto interrompe il fascio di luce che l'emettitore invia al ricevitore, la tensione all'interno del ricevitore cade e la funzione di commutazione viene attivata (FIGURA 51).

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.

**FIGURA 52** Dati tecnici di un sensore a barriera Wenglor.

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

Dati elettrici	
Tipo di sensore	Ricevitore
Tensione di alimentazione	15 ... 30 V DC
Assorbimento corrente (U <sub>b</sub> = 24 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 µA
Resistente al cortocircuito e sovraccarico	sì
Protezione all'inversione di polarità	sì
Classe di protezione	III

Nella FIGURA 52 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 livello

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

Molto diffusi sono i sensori a forcella (FIGURA 53) 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 54). 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 53** Sensore a forcella.



**FIGURA 54** Barriera di sicurezza (Sick).

## 6.2 Sensori a riflessione

I sensori a riflessione (FIGURA 55) 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 56).



FIGURA 55 Sensore a riflessione.

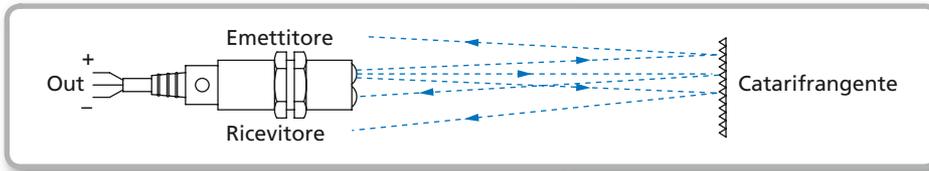


FIGURA 56 Funzionamento di un sensore a riflessione.

Quando un oggetto attraversa il percorso del raggio di luce, esso viene rilevato poiché si ha l'interruzione del fascio di luce (FIGURA 57). 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.

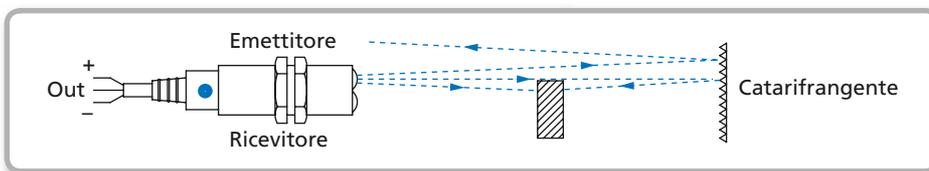


FIGURA 57 Attivazione del dispositivo reflex con la presenza di un oggetto tra fotocellula e catarifrangente.

Questo tipo di sensore è molto diffuso, in quanto a discrete distanze operative si raggiungono 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 59) che permette di riconoscere con sicurezza anche oggetti lucidi come specchi e superfici riflettenti. È raccomandabile, inoltre, avere il



FIGURA 58 Catarifrangente.

riflettore (FIGURA 58) di dimensioni tali da essere oscurato completamente dall'oggetto da rilevare.

FIGURA 59 Dati tecnici di un sensore a riflessione (Wenglor).

Dati elettrici	
Tensione di alimentazione	10 ... 30 V DC
Assorbimento corrente ( $U_b = 24$ V)	< 40 mA
Frequenza di commutazione	1 kHz
Tempo di risposta	500 $\mu$ s
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 $\mu$ A
Resistente al cortocircuito	sì
Protezione all'inversione di polarità	sì
Protezione al sovraccarico	sì
Classe di protezione	III

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

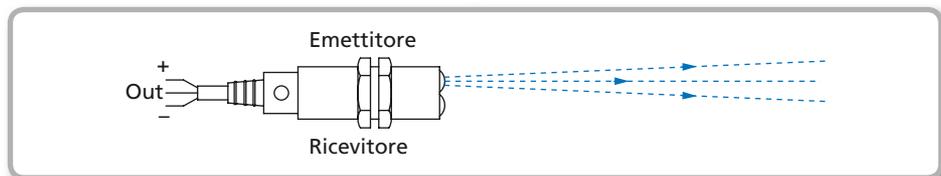


**FIGURA 60** Fotocellula a tasteggio.

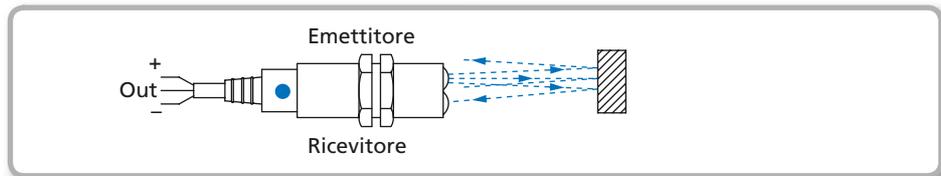
## 6.3 Sensori a tasteggio

Le fotocellule a tasteggio o a diffusione (**FIGURA 60**) sono molto simili ai sensori a riflessione. Anche in questo caso emettitore e ricevitore sono inseriti nello stesso corpo meccanico insieme all'elettronica di controllo (**FIGURA 61**).

**FIGURA 61** Funzionamento di un sensore a tasteggio.



**FIGURA 62** Attivazione del dispositivo a tasteggio diretto per la presenza di un target.



Materiale	Fattore di correzione
Carta bianca opaca 200 g/m <sup>2</sup>	1
Metallo lucido	1,2 ÷ 1,6
Alluminio	1,1 ÷ 1,8
Polistirolo bianco	1
Cotone bianco	0,6
PVC grigio	0,5
Legno	0,4
Cartone	0,1 ÷ 0,3

**FIGURA 63** Fattore di correzione di alcuni materiali.

I sensori a tasteggio basano il loro funzionamento sulla riflessione della luce da parte dell'oggetto che intercetta il raggio luminoso emesso. Il fascio luminoso generato dall'emettitore viene riflesso dall'oggetto che transita davanti al sensore e che, rilevato dal ricevitore, provoca la commutazione dei contatti interni al sensore e l'accensione del led (**FIGURA 62**). La distanza di lavoro diminuisce con superfici meno riflettenti o di colori più scuri e opachi. Questa varia da alcuni metri per superfici rivestite da catarifrangenti a pochi centimetri per corpi color nero opaco.

Il sensore è anche provvisto di un potenziometro per la regolazione della sensibilità. Nella **FIGURA 63** sono riportati i fattori di correzione per materiali e colori che influiscono sulla distanza di intervento dell'oggetto da rilevare. Questi tipi di fotocellule vengono utilizzate per il rilevamento diretto dell'oggetto e per rilevamenti precisi; per oggetti minuscoli è possibile orientarsi verso sensori che abbiano la possibilità di focalizzare il raggio.

**FIGURA 64** Dati tecnici del sensore a tasteggio della figura 59.

Dati ottici	
Portata	2000 mm
Isteresi di commutazione	< 15%
Tipo di luce	Luce infrarosso
Vita media (Tu = +25 °C)	100.000 h
Livello luce ambiente	10.000 Lux
Angolo ottico	12°

Dati elettrici	
Tensione di alimentazione	10 ... 30 V DC
Assorbimento corrente (Ub = 24 V)	< 40 mA
Frequenza di commutazione	150 Hz
Tempo di risposta	3300 μs
Deriva termica	< 10%
Fascia temperatura	-25 ... 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	sì
Protezione all'inversione di polarità	sì
Protezione al sovraccarico	sì
Classe di protezione	III

Anche nel caso di fotocellule a tasteggio, per oggetti in avvicinamento e allontanamento, si deve tener conto del fenomeno dell'isteresi del sensore. In fase di avvicinamento, la distanza di intervento, qualora l'oggetto si avvicini, risulta minore della distanza di disattivazione quando l'oggetto si allontana. La differenza tra queste due misure contraddistingue l'isteresi del sensore (FIGURA 64).

Va menzionata, infine, l'esistenza di sensori a tasteggio con uscita analogica. Essi forniscono una tensione continua tra 0 e 10 V, proporzionale alla luminosità dell'oggetto esaminato oppure alla distanza tra sensore e oggetto. Più chiaro o vicino è l'oggetto, più alta sarà la tensione. L'uscita di commutazione permette il controllo del valore di luminosità impostato.

## 6.4 Sensori a raggio laser

Le fotocellule a emissione di raggio laser, invece che infrarosso, permettono di ottenere un raggio ottico molto ben visibile associato alla facilità di allineamento e regolazione, elevate distanze di lavoro e la possibilità di rilevare oggetti molto piccoli. Dalla tabella relativa ai dati tecnici di un sensore a luce laser della FIGURA 65, rileviamo che il diametro del punto luce di tasteggio è di 1 mm e che è possibile riconoscere oggetti di dimensioni di 0,1 mm.

I modelli disponibili e le diverse versioni ottiche consentono di trovare la soluzione ideale per risolvere applicazioni come riconoscimento di piccoli particolari, precisi posizionamenti, conteggi veloci, riconoscimento di oggetti su nastri trasportatori.

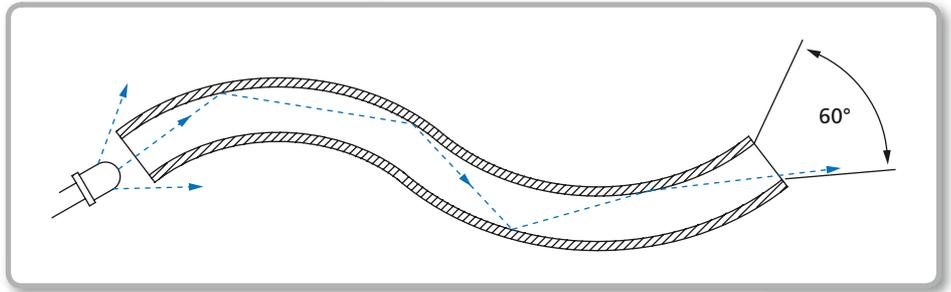
**FIGURA 65** Dati tecnici di un sensore reflex a luce laser (Wenglor).

Dati ottici		Dati elettrici	
Portata	6000 mm	Tensione di alimentazione	10 ... 30 V DC
Catarifrangente di riferimento/in foglio	RQ100BA	Assorbimento corrente ( $U_b = 24$ V)	< 30 mA
Minimo oggetto riconoscibile	> 100 $\mu$ m	Frequenza di commutazione	3 kHz
Isteresi di commutazione	< 15%	Tempo di risposta	166 $\mu$ s
Tipo di luce	Laser (rosso)	Deriva termica	< 10%
Lunghezza d'onda	655 nm	Fascia temperatura	-10 ... 60 °C
Filtro di polarizzazione	sì	Caduta di tensione uscita di commutazione	< 2,5 V
Vita media ( $T_u = +25$ °C)	100.000 h	PNP/max corrente di commutazione	100 mA
Classe laser (EN 60825-1)	2	Resistente al cortocircuito	sì
Livello luce ambiente	10.000 Lux	Protezione all'inversione di polarità	sì
Angolo ottico	2 °	Protezione al sovraccarico	sì
Diametro punto luce	1 mm	Classe di protezione	III
Distanza di messa a fuoco	150 ... 300 mm		
Ottica a due lenti	sì		

## 6.5 Sensori a fibre ottiche

Le fibre ottiche rappresentano semplicemente un completamento della gamma delle fotocellule. Vengono realizzate in fibre di vetro o di plastica e trasmettono la luce emessa dal proiettore a grandi distanze attraverso due conduttori, uno di trasmissione e uno di ricezione. La fibra ottica è costituita da un'anima e da un rivestimento, con indici di rifrazione diversi (FIGURA 66).

**FIGURA 66** Comportamento di un raggio luminoso in una fibra ottica.



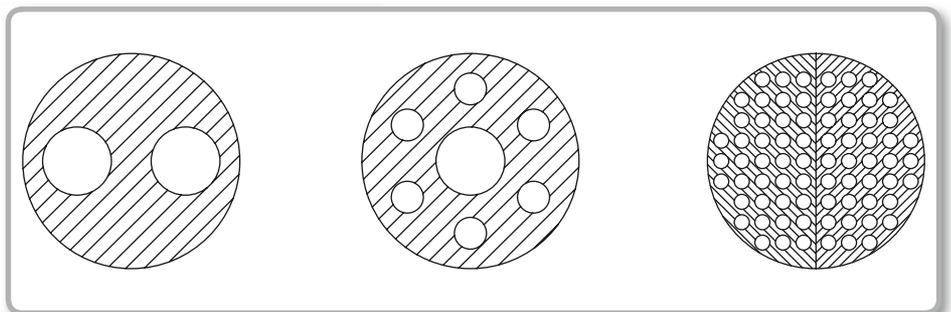
**FIGURA 67** Fibra ottica a sbarramento.

Il raggio luminoso emesso da un diodo led viaggia attraverso l'anima rimbaltando ripetutamente contro la parete del rivestimento, sfruttando la discontinuità dell'indice di rifrazione tra i due materiali (nucleo e mantello). Affinché non vi sia troppa dispersione, la radiazione luminosa deve mantenere un angolo abbastanza radente, in pratica, la fibra non deve compiere curve troppo accentuate. In questo modo il raggio luminoso, dopo aver percorso la fibra senza alcuna diminuzione dell'intensità luminosa, viene emesso verso il target con un angolo inferiore a  $60^\circ$ .

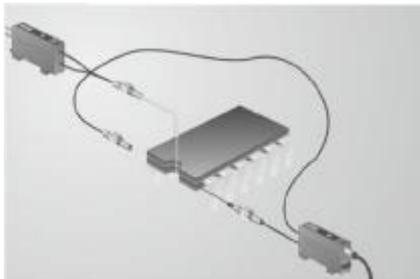
L'anima della fibra plastica è composta da una o più fibre in resina acrilica da 0,25 a 1 mm di diametro, racchiuse in una guaina di polietilene. Le fibre plastiche sono leggere, flessibili e convenienti economicamente; vengono usate per la maggior parte dei sensori fotoelettrici a fibre ottiche (FIGURA 67). L'anima composta da fibra di vetro è costituita da fibre di diametro da 10 a 100  $\mu\text{m}$  racchiuse in un tubo in acciaio inox, che ne consente l'impiego in presenza di elevate temperature di esercizio ( $400^\circ\text{C}$  max), ma ha un prezzo superiore.

I sensori a fibre ottiche sono generalmente di due categorie: a sbarramento e a tasteggio diretto. Il tipo a sbarramento è costituito da un trasmettitore e da un ricevitore. Il raggio luminoso dell'emettitore viaggia all'interno della fibra ottica, esce dalla testina posta alla sua estremità ed è inviato alla seconda fibra ottica che lo trasmette al ricevitore. Il tipo a tasteggio diretto è costituito da una sola unità e la fibra ottica è disponibile in 3 tipi: parallelo, coassiale e separato (FIGURA 68). Nel primo caso, il raggio luminoso emesso da una fibra rimbalsa sull'oggetto da rilevare ed è raccolto dalla seconda fibra, nel secondo il ritorno avviene all'interno di una serie di fibre coassiali, mentre nel terzo caso il raggio emesso viaggia all'interno di una miriade di fibre separate da quelle di ritorno. I dispositivi che impiegano le fibre ottiche sono principalmente utilizzati per montaggio in spazi limitati di difficile accesso, con alte temperature, vibrazioni o condizioni ambientali particolari. Le piccole dimensioni della testina consentono al sensore di rilevare piccoli oggetti (FIGURA 69 e FIGURA 70) e il corpo del sensore può essere collocato a notevole distanza e in ambiente sicuro e protetto.

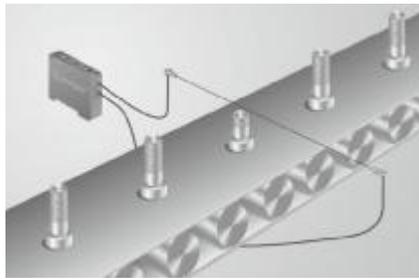
A differenza dei cavi elettrici, la fibra non deve essere eccessivamente piegata per non causare perdita di luce e riduzione della precisione del rilevamento.



**FIGURA 68** Disposizione dell'anima delle fibre ottiche.



**FIGURA 69** Riconoscimento dei pin e dell'orientamento di un integrato.



**FIGURA 70** Scansione di un nastro trasportatore.

## 7 Sensori a ultrasuoni

I sensori a ultrasuoni (**FIGURA 71**) emettono degli impulsi sonori a elevata frequenza (60, 400 kHz), non udibili dall'orecchio umano, e si utilizzano per controllare la presenza e la distanza millimetrica di oggetti situati nelle loro vicinanze. Il meccanismo è simile a quello usato dai pipistrelli per schivare ostacoli durante il volo o per cacciare insetti; viene sfruttato il segnale di ritorno (eco) che gli oggetti riflettono. L'emettitore eroga un fascio di onde pulsanti che si dipartono dalla membrana del sensore, propagandosi nello spazio circostante, che presenta la forma conica (**FIGURA 72**) e alla velocità del suono nell'aria (1200 km/h). Se nel campo di rilevamento non è presente alcun oggetto (target), il treno di impulsi si disperde nell'aria e il sensore non genera alcun segnale; ma se è presente un oggetto, l'onda riflessa viene captata dal ricevitore che la converte in un segnale elettrico. Il controllore integrato calcola la distanza sulla base dell'intervallo di riflessione e della velocità dell'ultrasuono. La durata dell'impulso di trasmissione  $\Delta t$  e il tempo di rilascio del trasduttore a ultrasuoni danno origine a una **zona cieca** nella quale il sensore a ultrasuoni non è in grado di riconoscere alcun oggetto. Il **campo di rilevamento** è delimitato da una distanza minima di commutazione e una massima (**FIGURA 73**), che variano a seconda dei modelli e delle dimensioni del sensore.

Il sensore riconosce l'oggetto indipendentemente da materiale, stato di aggregazione, colore o trasparenza; pertanto è utilizzato per rilevare solidi, liquidi, materiali schiumosi, granulati o polveri.

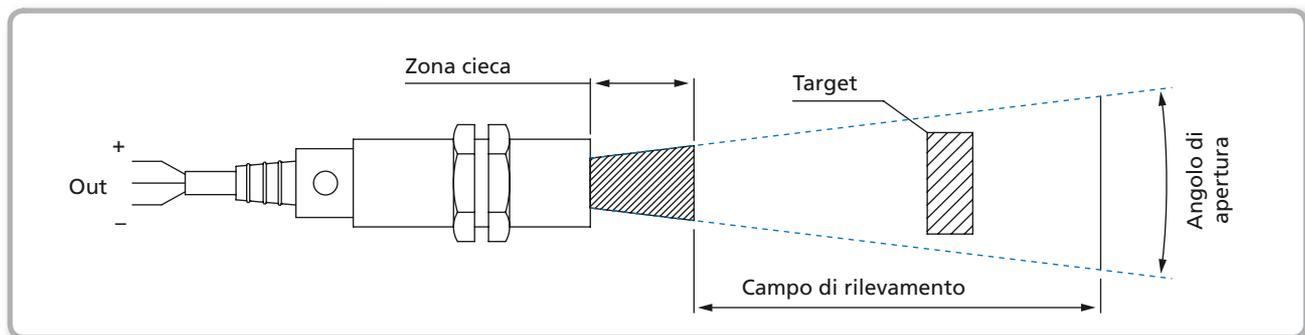
L'uscita può essere di tipo analogico, con uscita in corrente o tensione in funzione della distanza dell'oggetto oppure di tipo ON-OFF attraverso un elemento a soglia che fornisce un'informazione sulla sola presenza di un oggetto.

Oltre ai sensori a diffusione (tasteggio) precedentemente descritti e maggiormente utilizzati che presentano nello stesso corpo sia l'emettitore che il ricevitore, esistono sensori reflex e a barriera, con lo stesso principio di funzionamento dei sensori ottici.



**FIGURA 71** Sensore a ultrasuoni (Wenglor).

**FIGURA 72** Zona di rilevamento di un sensore a ultrasuoni.



**FIGURA 73** Caratteristiche di un sensore a ultrasuoni.

Caratteristica	
Campo di intervento	0,3 ÷ 4 m
Frequenza di trasduttore	85 kHz
Tensione di esercizio	20 ÷ 30 V DC
Consumo (di potenza)	≤ 1,2 W
Tipo di uscita analogica	0 ÷ 10 V
Risoluzione	2 mm

Nei sensori ultrasonici a riflessione viene utilizzato un riflettore di onde di riferimento. Il transito di un oggetto all'interno del campo di rilevamento modifica il segnale verso il ricevitore con immediata commutazione dell'uscita.

Nei sensori a barriera, che presentano un campo di rilevamento

molto ampio, emettitore e ricevitore si trovano in due contenitori distinti e collocati uno di fronte all'altro. Il transito di un oggetto tra i due dispositivi causa l'attivazione dell'uscita.

I sensori a ultrasuoni hanno ripetutamente dimostrato la loro precisione e la loro affidabilità soprattutto nell'industria del legno e dei mobili, nell'industria dei materiali edili ma anche in macchine agricole, in applicazioni per la rilevazione di livelli di riempimento (FIGURA 74), per la segnalazione di bolle gassose in liquidi, il controllo del ghiaccio in celle frigorifere ecc.

Trova inoltre largo impiego nella misurazione del livello dell'acqua in un canale o in un fiume: in questo caso il sensore viene montato su un opportuno braccio e collocato generalmente su un ponte. Se poi il sensore viene associato ad uno stramazzo, può permettere di calcolare anche la portata del corso d'acqua.



**FIGURA 74** Rilevazione del livello di riempimento (Wenglor).

## 8 Esperienze con Arduino

*Perché sono state inserite alcune Esperienze di Laboratorio in cui viene utilizzata la scheda ARDUINO?*

L'attività in Laboratorio rappresenta una grande fonte di motivazione, approfondimento e sperimentazione per gli studenti e Arduino, con la sua immensa disponibilità di progetti e materiale on-line è sicuramente lo strumento più idoneo per iniziare ad entrare pienamente nel fantastico mondo dell'automazione. Molti insegnanti e studenti già lo usano per costruire strumenti scientifici a basso costo, per dimostrare i principi della chimica e della fisica o per iniziare con la programmazione e la robotica. I progettisti e gli architetti costruiscono prototipi interattivi, musicisti e artisti che lo utilizzano per installazioni e per sperimentare nuovi strumenti musicali. I suoi punti di forza sono inoltre:

- ▶▶ la facile ed economica reperibilità di componenti elettronici interfacciabili,
- ▶▶ il semplice e accessibile utilizzo del software (IDE) anche per i principianti,
- ▶▶ il costo relativamente basso rispetto ad altre piattaforme simili,
- ▶▶ la possibilità di utilizzo di piattaforme di programmazione parallele quali *Scratch for Arduino*, *Visualino* o *mBlock*,
- ▶▶ l'ampia disponibilità di librerie C++,
- ▶▶ la grande quantità di progetti già sviluppati e disponibili gratuitamente su internet

Le Esperienze di Laboratorio che utilizzano Arduino vogliono pertanto essere uno stimolo ad estendere le proprie nozioni di Elettronica ed Informatica mentre si costruiscono progetti divertenti ed originali.

## ESPERIENZA n. 1

## Collegamento dei sensori a una utenza

**Obiettivo dell'esperienza**

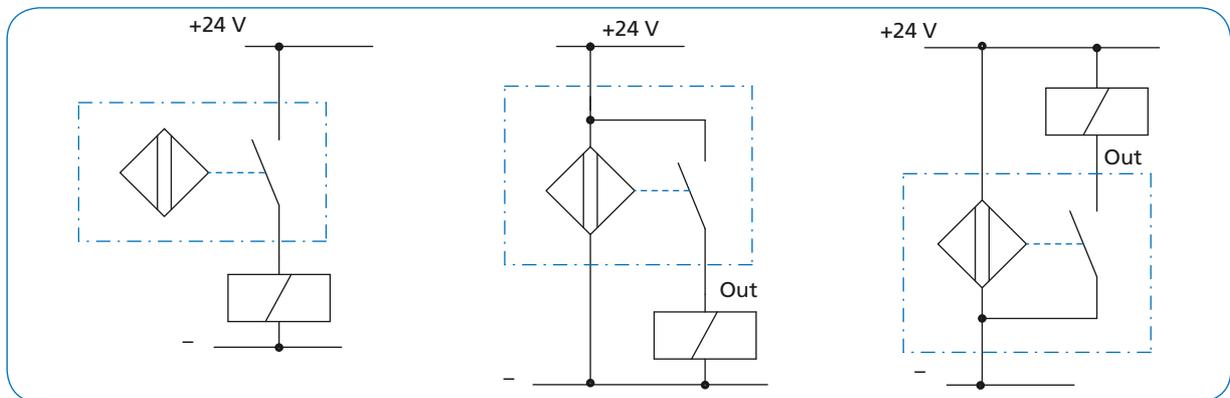
Si devono collegare alcuni tipi di sensori a un'utenza a basso assorbimento di corrente come per esempio un relè, una spia luminosa oppure un ingresso di un PLC.

**Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati**

- Un alimentatore da laboratorio.
- Un sensore che presenta in uscita 2 fili (per esempio magnetico a contatti reed).
- Un sensore (magnetico, induttivo, capacitivo, ottico...) che presenta in uscita 3 fili con modalità PNP.
- Un sensore (magnetico, induttivo, capacitivo, ottico...) che presenta in uscita 3 fili con modalità NPN.
- Un'utenza del tipo relè elettromagnetico.
- Cavetti vari per i collegamenti.

**Contenuti teorici**

Senza addentrarci per ora nella tipologia dei vari sensori, il nostro scopo è solamente quello di prendere dimestichezza con questi dispositivi e collegarli nel giusto modo al circuito di alimentazione e all'utenza. Dobbiamo pertanto ricordare che esistono essenzialmente due tipi di sensori: a 2 fili e a 3 fili. Questi ultimi si differenziano in sensori con uscita PNP e con uscita NPN.

**Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale****FIGURA 1.1** Schemi di collegamento dei sensori a 2 e 3 fili.**Descrizione dell'esperienza**

Si devono eseguire i collegamenti indicati in **FIGURA 1.1**, rispettando, nei sensori a 3 fili, i colori e le tensioni indicate sul corpo del sensore. Il corpo del sensore è stato tracciato con un rettangolo con linee tipo trattino-trattino. La figura centrale è tipica di un sensore con uscita PNP e l'utenza è collegata sia all'uscita del sensore che alla tensione negativa (o di 0V), mentre la figura di destra è un sensore NPN con utenza collegata alla polarità positiva (+24V).

**Analisi dei risultati e conclusioni**

La perfetta esecuzione dei collegamenti è confermata dalla commutazione del contatto interno al sensore e conseguente attivazione dell'utenza, all'avvicinamento del target.

## Sensore magnetico: influenza dell'orientamento del target magnetico

### Obiettivo dell'esperienza

L'orientamento del campo magnetico generato dal target influenza la distanza di intervento di un sensore magnetico. Si vuole rilevare la distanza di attivazione e di disattivazione del sensore a diversi angoli di orientamento del campo magnetico.

### Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati

- Un alimentatore da Laboratorio.
- Un sensore magnetico tipo reed.
- Un magnete permanente.
- Una utenza (spia luminosa o diodo led incorporato nel sensore).
- Un goniometro e alcuni strumenti di precisione per misurare piccole distanze.
- Cavetti vari per i collegamenti.

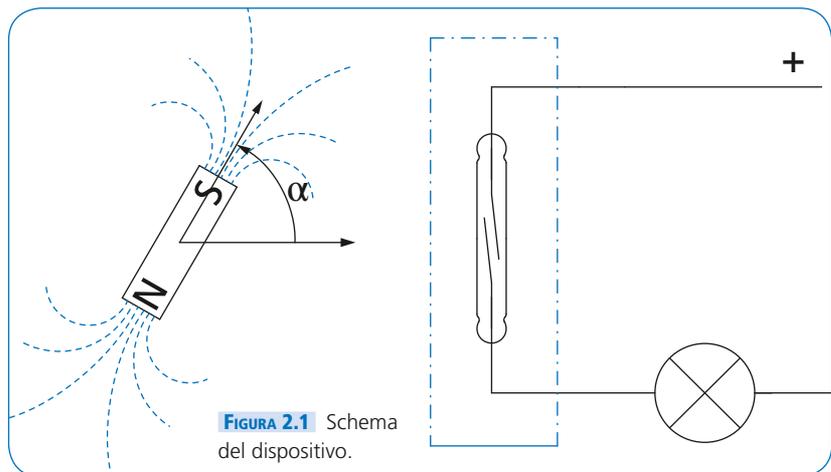
**Contenuti teorici** Il sensore reed è costituito da una semplice ampollina di vetro contenente due lamelle che, sotto l'influenza di un campo magnetico, si magnetizzano con polarità opposte e si attraggono chiudendo un contatto. Allontanando il campo magnetico, le lamelle si smagnetizzano ed il contatto si riapre.

### Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale

### Descrizione dell'esperienza

Si devono eseguire i collegamenti indicati in **FIGURA 2.1**, ed avvicinare il sensore fino alla chiusura del contatto interno rilevando la distanza per diversi valori di angolo di orientamento del target. Ripetere l'operazione in fase di allontanamento fino alla riapertura del contatto.

L'esperienza in oggetto richiede la possibilità di ruotare il target (magnete permanente), allontanarlo ed avvicinarlo al sensore reed. In questo modo è possibile determinare le due distanze di switch ON e switch OFF per diversi valori di angolo  $\alpha$  di inclinazione del magnete.



**FIGURA 2.1** Schema del dispositivo.

**Raccolta dati, calcoli, misure e grafici** Si riportano nella tabella i valori ricavati.

<b>Distanza disattivazione (mm)</b>															
<b>Distanza attivazione (mm)</b>															
<b>Angolo alfa (<math>\alpha</math>)</b>	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°		

### Analisi dei risultati e conclusioni

È possibile costruire anche un diagramma circolare (da 0° a 360°) che associa ad ogni angolo le distanze di attivazione e disattivazione del sensore.

ESPERIENZA n. 3

# Sensore induttivo: influenza del tipo di metallo del target e del suo spessore

## Obiettivo dell'esperienza

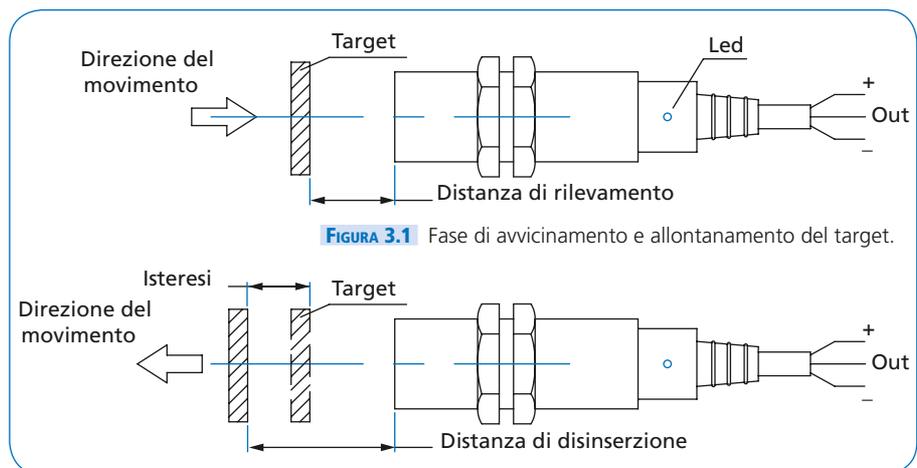
Il tipo di metallo del target influenza la distanza di intervento di un sensore induttivo. Si vuole rilevare la distanza di attivazione e di disattivazione del sensore per diversi materiali (Fe 360, acciaio C40, rame, ottone alluminio, bronzo...) e con diversi spessori.

## Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati

- Un alimentatore da Laboratorio.
- Un sensore induttivo.
- Alcuni target di diversi materiali e spessori.
- Una utenza (spia luminosa o diodo led incorporato nel sensore).
- Uno strumento di precisione per misurare piccole distanze.
- Cavetti vari per i collegamenti.

**Contenuti teorici** Il sensore induttivo è in grado di rilevare la presenza di un oggetto metallico ad una distanza ravvicinata. Ogni tipo di materiale e di spessore determina però una diversa sensibilità del sensore e quindi una diversa distanza di attivazione **FIGURA 3.1**.

## Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale



**FIGURA 3.1** Fase di avvicinamento e allontanamento del target.

## Descrizione dell'esperienza

Si deve avvicinare il target al sensore ( o viceversa) fino ad ottenerne l'attivazione, segnalata dall'accensione del diodo led incorporato. Allontanare poi il target fino ad ottenere lo spegnimento del led. Il procedimento va eseguito per diversi tipi di materiali e diversi spessori.

**Raccolta dati, calcoli, misure e grafici** Si riportano nella tabella i valori ricavati.

<b>Distanza disattivazione (mm)</b>																				
<b>Distanza attivazione (mm)</b>																				
<b>Isteresi (mm)</b>																				
<b>Materiale</b>																				
<b>Spessore (mm)</b>																				

## Analisi dei risultati e conclusioni

È possibile costruire anche un "Istogramma" che riporti per ogni materiale e relativo spessore i valori di attivazione, disattivazione ed Isteresi.

## Sensore ottico a tasteggio: influenza del colore della superficie del target

### Obiettivo dell'esperienza

Il colore del target influisce sul suo potere riflettente e quindi sulla distanza di intervento di un sensore ottico a tasteggio. Si vuole rilevare la distanza di attivazione e di disattivazione del sensore per diversi colori (compresi il bianco e il nero opaco) del target.

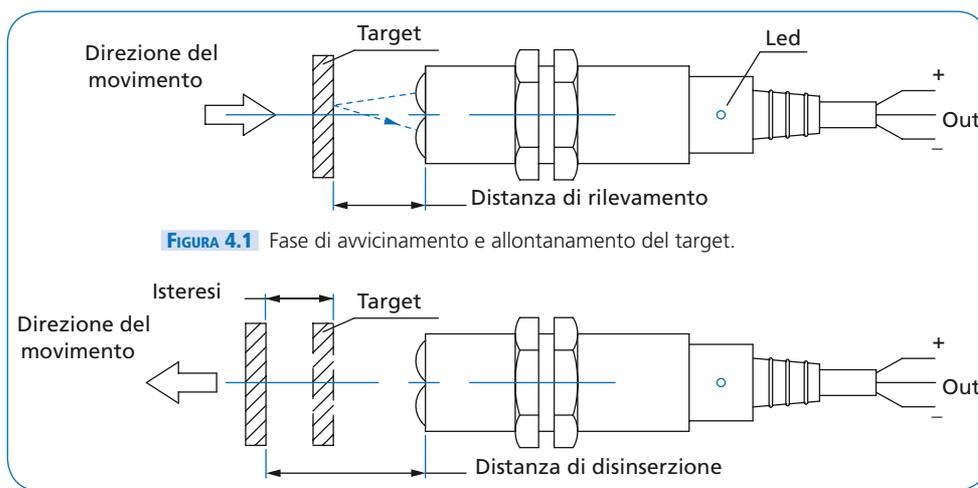
### Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati

- Un alimentatore da Laboratorio.
- Un sensore ottico a tasteggio.
- Alcuni target di diversi colori.
- Una utenza (spia luminosa o diodo led incorporato nel sensore).
- Uno strumento per misurare le distanze.
- Cavetti vari per i collegamenti.

### Contenuti teorici

Nel sensore ottico a tasteggio l'emettitore e il ricevitore sono inseriti nello stesso corpo. Il suo funzionamento è basato sulla riflessione della luce da parte dell'oggetto che intercetta il raggio luminoso emesso e rilevata dal ricevitore provocando la commutazione dei contatti interni al sensore e l'accensione del led (FIGURA 4.1).

### Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale



### Descrizione dell'esperienza

Si deve avvicinare il target al sensore ( o viceversa) fino ad ottenerne l'attivazione, segnalata dall'accensione del diodo led incorporato. Allontanare poi il target fino ad ottenere lo spegnimento del led. Il procedimento va eseguito per diversi colori del target.

**Raccolta dati, calcoli, misure e grafici** Si riportano nella tabella i valori ricavati.

<b>Distanza disattivazione (cm)</b>								
<b>Distanza attivazione (cm)</b>								
<b>Isteresi (cm)</b>								
<b>Colore</b>								

### Analisi dei risultati e conclusioni

È possibile costruire anche un "Istogramma" che riporti per ogni colore del target i valori di attivazione, disattivazione ed Isteresi.

## ESPERIENZA n. 5

## Sensore ottico a riflessione: determinazione della massima distanza del catarifrangente e delle minime dimensioni del target

### Obiettivo dell'esperienza

La distanza tra sensore a riflessione (FIGURA 5.1) e riflettore non può superare il valore di alcuni metri. Lo scopo dell'esperienza è determinare la massima distanza a cui possono essere posti i due dispositivi e le dimensioni minime che può assumere il target, in grado comunque di oscurare il ricevitore.



FIGURA 5.1 Sensore ottico a riflessione.

### Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati

- Un alimentatore da Laboratorio.
- Un sensore ottico a riflessione.
- Un catarifrangente.
- Una utenza (spia luminosa o diodo led incorporato nel sensore).
- Uno strumento per misurare le distanze.
- Cavetti vari per i collegamenti.

### Contenuti teorici

Il sensore a riflessione contiene l'emettitore e il ricevitore all'interno della stessa custodia ed invia un fascio di luce che è riflesso da un catarifrangente. Quando un oggetto attraversa il percorso del raggio di luce, oscura il ricevitore, causando l'accensione del led e la commutazione del contatto elettrico.

### Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale

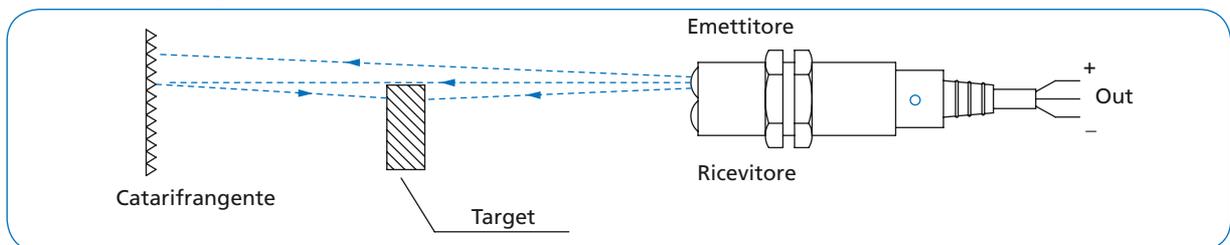


FIGURA 5.2 Schema dell'apparato sperimentale.

### Descrizione dell'esperienza

Si deve avvicinare il riflettore (FIGURA 5.2) fino a ottenere l'attivazione del ricevitore del sensore e conseguente accensione del diodo led posto sul corpo dello stesso (In questo esempio il sensore è nella modalità di uscita Dark Off). In seguito si fanno transitare alcuni target di diametro crescente tra sensore e catarifrangente fino ad ottenere la disattivazione del diodo led. Allo scopo si possono usare semplici oggetti: filo elettrico, matita, penna marker, ecc.

### Raccolta dati, calcoli, misure e grafici

Si ottengono così due valori:

Distanza massima di rilevamento del riflettore (cm): .....

Diametro minimo del target in grado di oscurare il ricevitore (mm): .....

## Sensore ottico a barriera e sensore induttivo: riconoscimento di oggetti di metallo da quelli di legno

### Obiettivo dell'esperienza

Su un nastro trasportatore transitano oggetti aventi la medesima forma, ma di materiali diversi: alcuni sono di legno, altri di metallo. Lo scopo è quello di riconoscere un tipo dall'altro: se sta transitando un oggetto di legno, si accende una spia verde, altrimenti si accende una spia rossa con un oggetto di metallo.

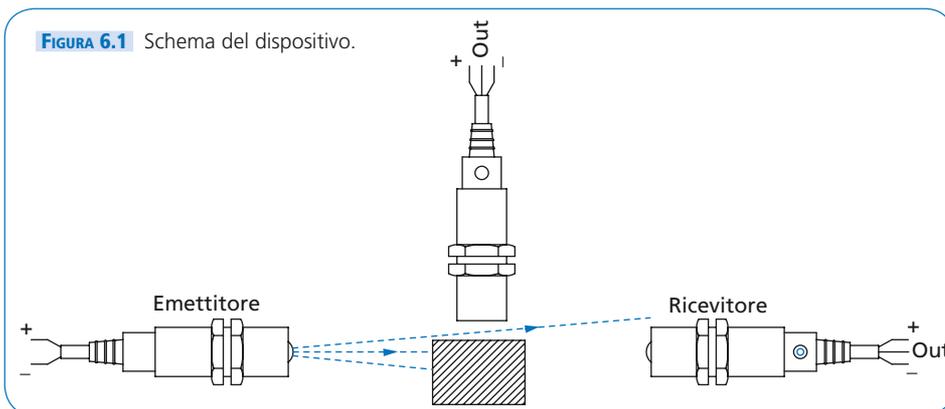
### Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati

- Un alimentatore da Laboratorio.
- Un sensore ottico a barriera.
- Un sensore induttivo.
- Due luci (spia luminosa rossa e verde).
- Un relè elettromeccanico.
- Cavetti vari per i collegamenti.

### Contenuti teorici

Questa Esperienza prende spunto da apparati automatici di riconoscimento pezzi. Il sensore a barriera, composto da emettitore e ricevitore (FIGURA 6.1) ha lo scopo di individuare il transito degli oggetti, mentre il sensore induttivo si attiva solo in presenza di oggetti metallici.

### Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale



### Descrizione dell'esperienza

Questa Esperienza di laboratorio richiederebbe un piccolo nastro trasportatore sul quale fare transitare alcuni

cubetti di legno e di metallo. In questo caso potrebbe essere previsto anche un sistema pneumatico di separazione delle due tipologie di oggetti.

**Raccolta dati, calcoli, misure e grafici** Possiamo costruire una tabella delle possibili combinazioni:

Stato Sensore ottico a barriera	Stato Sensore induttivo	Risultato analisi	Luce accesa
Inattivo	Inattivo	Nessun oggetto	–
Attivo	Inattivo	Oggetto di legno	Verde
Inattivo	Attivo	Impossibile	–
Attivo	Attivo	Oggetto di metallo	Rosso

### Analisi dei risultati e conclusioni

Se la soluzione logica si basa su un circuito elettrico di tipo combinatorio occorrerà utilizzare un relè elettromeccanico che aumenti il numero dei contatti del sensore induttivo.

È inoltre possibile realizzare altre esperienze di Laboratorio utilizzando diverse combinazioni di sensori per identificare oggetti di diverso colore, forma, dimensioni o diverso tipo di metallo.

ESPERIENZA n. 7

## Contapezzi con sensore ottico a tasteggio e display LCD gestito da Arduino

### Obiettivo dell'esperienza

Si vuole contare il numero degli oggetti che transitano davanti ad un sensore ottico e visualizzarne il valore su un display LCD.

### Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati

- Una scheda Arduino UNO (FIGURA 7.1).
- Un alimentatore di Arduino o cavo USB collegato al computer.
- Un display LCD 16 x 2 I2C (FIGURA 7.2) con interfaccia seriale (FIGURA 7.3).
- Un sensore ottico a raggi infrarossi (FIGURA 7.4).
- Una breadboard.
- Cavetti vari per i collegamenti.



FIGURA 7.1 Arduino UNO.

### Contenuti teorici

Se il sensore lavora in modalità NPN significa che quando si trova allo stato non attivo, l'uscita è al potenziale Vcc (5 V), mentre quando si attiva l'uscita si porta al potenziale zero (GND). Di questo si dovrà tenere conto in fase di programmazione di Arduino.

Il display è un 1602 (16 colonne e due righe) e può essere associato all'integrato PCF8574T dell'interfaccia seriale che semplifica molto i collegamenti attraverso solo 2 pin: SDA (Serial Data, linea dei dati) e SCL (Serial Clock, linea del clock), oltre naturalmente all'alimentazione (Vcc e GND). I2C è il protocollo di comunicazione seriale tra Arduino ed il display.

### Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale

I collegamenti risultano abbastanza semplici (FIGURA 7.5):

- ▶ collegare il pin SDA dell'interfaccia del display al pin SDA di Arduino;
- ▶ collegare il pin SCL dell'interfaccia del display al pin SCL di Arduino;
- ▶ collegare il pin OUT del sensore al pin n. 6 di Arduino.

L'uso di una breadboard (FIGURA 7.5) è dettata dalla necessità di semplificare i collegamenti delle alimentazioni ai due dispositivi.



FIGURA 7.2 Display LCD 16 x 2.



FIGURA 7.3 Interfaccia seriale.



FIGURA 7.4 Sensore infrarosso.

Tabella collegamenti.

Arduino UNO	SDA	SCL	Pin n.6
Display LCD I2C	SDA	SCL	
Sensore			OUT

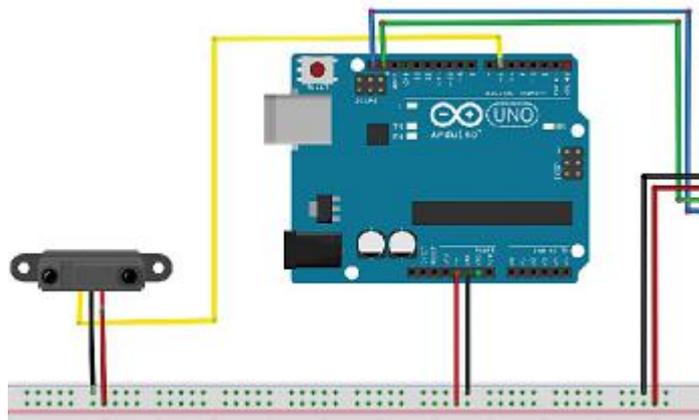


FIGURA 7.5 Schema dei collegamenti.



FIGURA 7.6 Icona di Arduino.

## Descrizione dell'esperienza

Innanzitutto bisogna accertarsi che nel nostro PC sia presente il Software di Arduino. In caso negativo è possibile scaricarlo da [www.arduino.org](http://www.arduino.org) selezionando **Software – Download** e selezionando il sistema operativo utilizzato dal PC. Al termine della procedura avremo sul Desktop l'icona di Arduino (FIGURA 7.6): Per poter utilizzare il display è necessario scaricare la sua libreria (`LiquidCrystal_I2C.h`) (da:

- ▶ <https://www.arduino.cc/en/reference/librarie> in formato .ZIP, oppure da:
- ▶ [https://github.com/vanluytm/LiquidCrystal\\_I2C](https://github.com/vanluytm/LiquidCrystal_I2C), selezionando **Clone or Download – Download.ZIP**

all'interno della cartella contenente le librerie di Arduino (solitamente da: `C:\ProgramFiles\Arduino\libraries`). In seguito, dall'IDE di Arduino, si deve selezionare **Sketch – Include Library – Add. ZIP Library**.

## Sketch - U1\_Esperienza\_7

```
#include <Wire.h> // Libreria di sistema
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Libreria LCD I2C
// Imposta i pin usati sul chip I2C per le connessioni
// con il display LCD: addr, en, rw, rs ,d4 ,d5 ,d6 ,d7 ,bl ,blpol
// ed inoltre pone l'indirizzo del display a 0x27
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

int state=HIGH;
int lastState=HIGH;
int count=0;

void setup(){
  lcd.begin(16, 2); // Si deve inizializzare il display LCD 16 caratteri per 2 linee
  lcd.clear(); // Pulisce l'LCD e pone il cursore all'inizio
  pinMode(6, INPUT); // Collegamento con il sensore
  state=digitalRead(6);
}

void loop(){
  lcd.setCursor(0, 0); // 1° colonna - 1° riga
  lcd.print("Numero Oggetti:");
  lcd.setCursor(0, 1); // 1° colonna - 2° riga
  lcd.print(count);

  if (state==LOW && lastState==HIGH){ // permette di individuare il fronte di discesa del segnale del sensore
    count++; // Incrementa di una unità il valore di count
    delay (100);
  }
  lastState=state;
  state=digitalRead(6);
}
```

Una volta scaricato lo sketch su Arduino, l'esperienza consiste nel far transitare degli oggetti davanti al sensore e controllare che il display indichi di volta in volta il loro numero.

## Analisi dei risultati e conclusioni

In alternativa possiamo, prendendo spunto dalle Esperienze precedenti, determinare il valore dello switch ON e switch OFF, in fase di avvicinamento e allontanamento del target al sensore, in modo da calcolare il valore dell'isteresi.

Generalmente questo tipo di sensore (vedi FIGURA 7.4) possiede un trimmer per poter variare la sensibilità e quindi la distanza di intervento.

## ESPERIENZA n. 8

## Uso dei sensori magnetici reed e a effetto Hall con Arduino

**Obiettivo dell'esperienza**

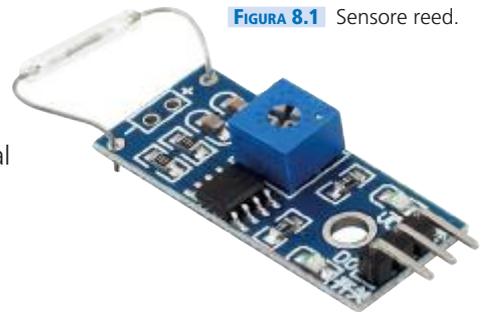
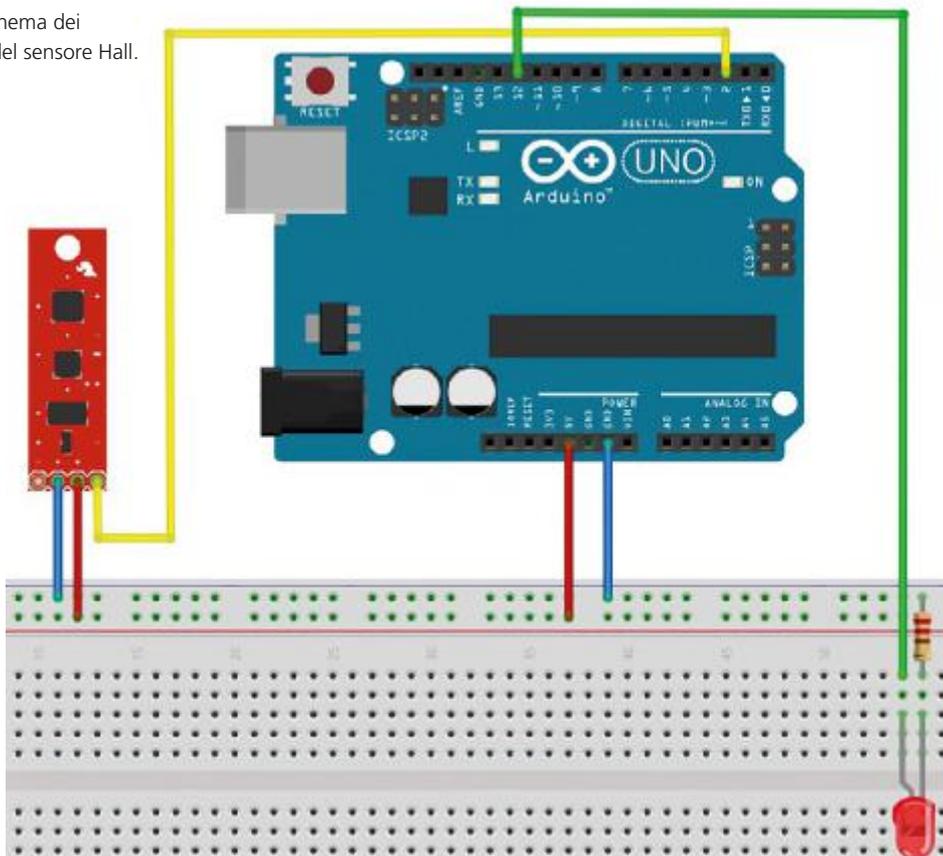
Vogliamo realizzare un semplice dispositivo che accende un led quando un campo magnetico si avvicina al sensore reed oppure al sensore ad effetto Hall.

**Attrezzatura e strumenti di misura utilizzati**

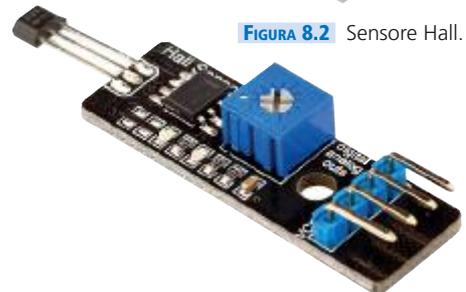
- Una scheda Arduino UNO.
- Un alimentatore di Arduino o cavo USB collegato al computer.
- Un sensore reed (FIGURA 8.1).
- Un sensore ad effetto Hall (FIGURA 8.2).
- Un led.
- Una resistenza da 220  $\Omega$ .
- Una breadboard.
- Cavetti vari per i collegamenti.

**Schema e/o disegno dell'apparato sperimentale**

**FIGURA 8.3** Schema dei collegamenti del sensore Hall.



**FIGURA 8.1** Sensore reed.



**FIGURA 8.2** Sensore Hall.

L'uso di una breadboard è dettata dalla necessità di semplificare i collegamenti delle alimentazioni al sensore e al led.

### Contenuti teorici

Sia il sensore reed che il sensore Hall sono in commercio installati su una scheda che utilizza un comparatore differenziale di tensione LM393 per ottenere sull'uscita digitale D0 o una tensione + 5 V oppure GND. La presenza di un trimmer, regolabile attraverso un piccolo cacciavite, permette di aumentare o diminuire la sensibilità del sensore e quindi la distanza di intervento.

### Descrizione dell'esperienza

Dopo aver eseguito i collegamenti indicati in [FIGURA 8.3](#), occorre scaricare lo sketch sulla scheda Arduino. L'esperienza si articola in due fasi: due sono infatti i sensori che devono essere collegati al Arduino e sperimentati. Occorre infine avvicinare un magnete al sensore e controllare l'accensione del led. Anche in questo caso è possibile rilevare la distanza di intervento in fase di avvicinamento ed in fase di allontanamento, analogamente all'Esperienza n. 2.

### Sketch - U1\_Esperienza\_8

```
/* SENSORE MAGNETICO REED E HALL
 * Accensione di un led attivando
 * il sensore con un magnete
 */

void setup() {
  pinMode(12, OUTPUT); // Imposta il pin 12 come OUTPUT (LED)
  pinMode(2, INPUT); // Imposta il pin 2 come INPUT (SENSORE)
}

void loop() {
  bool SENSORE = digitalRead(2); // Memorizza lo stato corrente del pin 2
  digitalWrite(12, SENSORE); // Attiva il pin 12 se SENSORE ha valore logico 1
}
```

### Analisi dei risultati e conclusioni

Molte schede che contengono i sensori magnetici possiedono due ingressi (+ 5 V e GND) per l'alimentazione e due uscite (A0 e D0) che sono rispettivamente uscita Analogica e uscita Digitale. Noi abbiamo utilizzato in questa esperienza solamente l'uscita Digitale, ma potremmo usare anche l'uscita Analogica per avere un valore numerico proporzionale al campo magnetico rilevato dal sensore. In questo modo possiamo trasformare il sensore magnetico in un trasduttore di intensità dei campi magnetici.

## 1. RISPOSTA A SCELTA MULTIPLA

- Il sensore che presenta in uscita tre fili è:
  - a** sicuramente un sensore con polarità NPN
  - b** sicuramente un sensore con polarità PNP
  - c** sicuramente un sensore con polarità NPN o PNP
- Quando il sensore che presenta polarità PNP ed alimentato con tensione +V, si attiva, la tensione in uscita:
  - a** passa dal valore zero al valore +V
  - b** passa dal valore +V al valore zero
  - c** passa dal valore +V al valore -V
- Il sensore reed si attiva quando viene avvicinato:
  - a** un materiale metallico
  - b** un magnete
  - c** un materiale ferro-magnetico
- Il sensore ad effetto Hall è un sensore:
  - a** induttivo    **b** ottico    **c** magnetico
- Il sensore ad induzione si attiva quando viene avvicinato:
  - a** un materiale plastico
  - b** un materiale ferro-magnetico
  - c** un materiale metallico
- Il sensore a tasteggio:
  - a** non richiede l'utilizzo di un catarifrangente
  - b** richiede l'utilizzo di un catarifrangente
  - c** è sensibile anche ad oggetti trasparenti
- Per rilevare la presenza del tappo metallico sulle bottiglie di vetro che transitano su un nastro trasportatore, si può utilizzare:
  - a** un sensore capacitivo per la bottiglia e un sensore induttivo per il tappo
  - b** un sensore capacitivo per la bottiglia e un sensore magnetico per il tappo
  - c** un sensore magnetico per la bottiglia e un sensore induttivo per il tappo

## 2. VERO o FALSO

- Il sensore che presenta polarità NPN ha al suo interno un contatto normalmente chiuso **V F**
- I sensori reed possono funzionare sia con contatti interni uni-stabili che bi-stabili **V F**
- La sensibilità di un sensore ad induzione è massima se il target è di bronzo **V F**
- Il sensore di tipo capacitivo è in grado di segnalare la presenza di acqua in una bottiglia di plastica **V F**
- I sensori a ultrasuoni sono utilizzati anche per misurare il livello dell'acqua nei fiumi **V F**

## 3. COMPLETAMENTO

contatto • interruttori • sensori

1. I ..... di prossimità, chiamati anche ..... di prossimità, eseguono il rilevamento senza alcun ..... fisico con l'oggetto.

corrente • strumento • magnetico • effetto

2. Il sensore a ..... Hall, può essere sfruttato per misurare l'intensità di un campo ..... oppure l'intensità di ..... che circola in un conduttore senza dover inserire lo ..... in serie con il conduttore.

infrarosso • ricevitore • elettrico • emettitore  
• luminoso • fotoelettrici

3. I sensori ..... utilizzano un ..... che trasforma un segnale ..... in un segnale ..... modulato, generalmente ..... e che attraverso un sistema ottico viene inviata al .....