

MECCATRONICA

Moduli 5 - 8

**componenti meccatronici
sistemi meccatronici e
funzioni
attivazione, sicurezza e
teleservizio
manutenzione remota e
diagnosi**



Manuale

(concetto)

Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007

Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008 al 2010

Il presente progetto è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

**Programma di apprendimento
permanente**

Partners per la creazione, valutazione e diffusione dei progetti
MINOS e MINOS**.

- Chemnitz University of Technology, Institute for Machine Tools and Production Processes, Germany
- np – neugebauer und partner OhG, Germany
- Henschke Consulting, Germany
- Corvinus University of Budapest, Hungary
- Wroclaw University of Technology, Poland
- IMH, Machine Tool Institute, Spain
- Brno University of Technology, Czech Republic
- CICmargune, Spain
- University of Naples Federico II, Italy
- Unis a.s. company, Czech Republic
- Blumenbecker Prag s.r.o., Czech Republic
- Tower Automotive Sud S.r.l., Italy
- Bildungs-Werkstatt Chemnitz gGmbH, Germany
- Verbundinitiative Maschinenbau Sachsen VEMAS, Germany
- Euroregionala IHK, Poland
- Korff Isomatic sp.z.o.o. Wroclaw, Polen
- Euroregionale Industrie- und Handelskammer Jelenia Gora, Poland
- Dunafer Metallwerke Dunajvaros, Hungary
- Knorr-Bremse Kft. Kecskemet, Hungary
- Nationales Institut für berufliche Bildung Budapest, Hungary
- Christian Stöhr Unternehmensberatung, Germany
- Universität Stockholm, Institut für Soziologie, Sweden

Articolazione del materiale didattico

Minos : moduli 1 – 8 (manuale, soluzioni e esercizi): Conoscenze fondamentali/ competenze interculturale, gestione del progetto/ tecnica pneumatica/ azionamenti elettrici e controlli automatici/ componenti mecatronici/ sistemi mecatronici e funzioni/ attivazione, sicurezza e teleservizio/ manutenzione remota e diagnosi

Minos **: moduli 9 – 12 (manuale, soluzioni e esercizi): Prototipazione Rapida/ robotica/ migrazione/ Interfacce

Tutti i moduli sono disponibili nelle seguenti lingue: tedesco, inglese, spagnolo, italiano, polacco, ceco e ungherese

Per ulteriori informazioni si prega di contattare

Dr.-Ing. Andreas Hirsch

Technische Universität Chemnitz

Reichenhainer Straße 70, 09107 Chemnitz

Tel.: + 49(0)0371 531-23500

Fax.: + 49(0)0371 531-23509

Email: minos@mb.tu-chemnitz.de

Internet: www.tu-chemnitz.de/mb/WerkzMasch oder www.minos-mechatronic.eu

MECCATRONICA

Modulo 5: componenti meccatronici

Manuale

(concetto)

Wojciech Kwaśny
Andrzej Błazejewski

Politecnico di Wroclaw,
Polonia



Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007

Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008 al 2010

Il presente progetto è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente

Contenuto:

Contenuto:	3
1 Sensori ad induzione	6
1.1 Nozioni di base	6
1.2 Principio fisico	7
1.2.1 Il circuito risonante	7
1.2.2 Il circuito risonante elettronico	10
1.3 Schema base	11
1.3.1 Principio di funzionamento	11
1.3.2 Coefficienti di correzione	14
1.3.3 Tecniche d'installazione	14
1.4 Tipi speciali di sensori	16
1.4.1 Sensori anulari ad induzione	17
1.4.2 Sensori insensibili al campo magnetico	18
1.4.3 Sensori per condizioni ambientali severe	19
1.5 Rilevamento della direzione del moto	19
1.6 Sensori NAMUR	20
1.7 Sensori ad induzione analogici	22
1.8 Alimentazione in corrente continua (DC)	23
1.9 Alimentazione in corrente alternata (AC)	23
1.10 Tecnica di collegamento dei sensori	24
1.11 Protezione e sicurezza dei sensori	26
1.12 Collegamento dei sensori ad una rete di comunicazione	27
1.13 Applicazioni	28
2 Sensori capacitivi	30
2.1 Nozioni di base	30
2.2 Principio fisico	31
2.3 Funzionamento del sensore capacitivo	33
2.4 Tipi di sensori capacitivi	37
2.5 Influenza del materiale dell'oggetto	38
2.6 Soppressione dei disturbi	41
2.7 Applicazioni	41
3 Sensori ultrasonici	45
3.1 Nozioni di base	45
3.2 Principio fisico	46
3.2.1 Propagazione delle onde acustiche nell'aria	46
3.2.2 Influsso dell'ambiente	49
3.2.3 Trasduttori acustici	51
3.2.4 Generazione delle onde ultrasoniche	53



3.3	Funzionamento dei sensori ultrasonici.....	56
3.3.1	Modalità a diffusione	58
3.3.2	3.3.2 Modalità a sbarramento.....	61
3.4	Errori possibili.....	63
3.4.1	Fattori fisici	63
3.4.2	Fattori di installazione	64
3.4.3	Sincronizzazione di sensori.....	66
3.5	Sensori ultrasonici speciali.....	67
3.5.1	Il sensore a riflessione	67
3.5.2	Sensori con doppio trasduttore	69
3.6	Sensori ultrasonici analogici	72
4	Sensori ottici	80
4.1	Caratteristiche costruttive.....	80
4.2	Componenti fotoelettrici.....	81
4.2.1	Principio fisico	81
4.2.2	Emettitori	85
4.2.3	Fotorilevatori	91
4.3	Tipologie di sensori	96
4.3.1	Barriere ottiche unidirezionali	96
4.3.2	Sensori a riflessione	97
4.3.3	Sensori a diffusione.....	101
4.4	Elaborazione di segnali	102
4.4.1	Fonti d'interferenza	102
4.4.2	Soppressione delle interferenze.....	104
4.4.3	Margine operativo	107
4.4.4	Raggio d'azione	110
4.4.5	Tempo di reazione	111
4.5	Tipi speciali di sensori ottici	112
4.5.1	Barriera ottica a luce polarizzata	112
4.5.2	Sensori a diffusione con eliminazione dello sfondo.....	113
4.5.3	Barriera ottica autocollimante.....	116
4.5.4	Sensori a fibre ottiche	117
4.6	Tecnica di collegamento.....	122
4.6.1	Tipi di collegamento	122
4.6.2	Commutazione dell'uscita del sensore	123
4.7	Applicazioni	124
5	Sensori magnetici	127
5.1	Nozioni di base.....	127
5.2	Principio fisico	128
5.2.1	Il campo magnetico	128
5.2.2	Contatto Reed	130
5.2.3	Effetto Hall.....	132
5.2.4	Effetto magnetoresistivo.....	133
5.2.5	L'effetto Wiegand	134
5.3	Sensori magnetici tipo contatto Reed	135



5.4	Sensori magnetici ad effetto Hall.....	138
5.5	Sensori magnetici speciali	139
5.5.1	Sensori magnetoresistivi	139
5.5.2	Sensori magnetici Wiegand.....	139
5.5.3	Sensori magnetici con magneti permanenti	141
5.6	Principi d'installazione.....	141



1 Sensori ad induzione

1.1 Nozioni di base

I sensori ad induzione rappresentano il gruppo di sensori più diffusamente impiegato nei sistemi di automazione per controllare la posizione, lo spostamento ed il moto di meccanismi di macchine ed attrezzature. I sensori ad induzione sono la scelta ideale per molte applicazioni in virtù della loro forma compatta, dell'affidabilità di funzionamento e del montaggio semplice nell'impianto.

Quando un oggetto metallico compare nel raggio d'azione del sensore, questo reagisce cambiando il suo stato o il livello del segnale di output.

Gli elementi fondamentali del sensore ad induzione (Figura 1.1.) sono: la testa, che contiene la bobina d'induzione con il nucleo di ferrite, un generatore di tensione sinusoidale, un circuito rilevatore (comparatore) e un amplificatore dell'uscita.

Il circuito d'induzione consiste di una bobina e del nucleo di ferrite e genera intorno alla testa del sensore un campo elettromagnetico variabile ad alta frequenza. Il campo induce correnti parassite negli oggetti metallici che si trovano in prossimità del sensore. In conseguenza di queste viene sollecitato il circuito d'induzione, e si riduce l'ampiezza d'oscillazione. La variazione dell'ampiezza dipende dalla distanza tra l'oggetto di metallo e la punta del sensore. Quando l'oggetto raggiunge una distanza caratteristica, il segnale d'uscita del sensore viene commutato. Nei sensori analogici il livello del segnale di uscita è inversamente proporzionale alla distanza tra l'oggetto e il sensore.

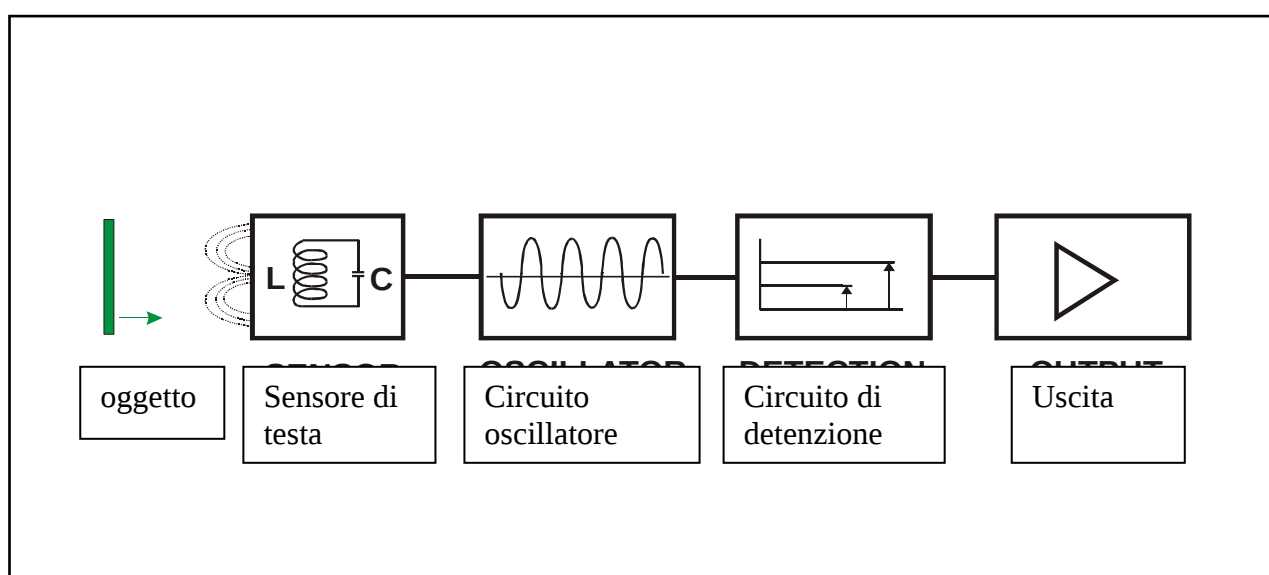


Figura 1-1 Costruzione di un sensore induttivo

1.2 Principio fisico

1.2.1 Il circuito risonante

Una bobina d'induzione è la fonte del campo magnetico variabile nei sensori induttivi. Se la corrente, che attraversa la bobina varia nel tempo, anche il campo magnetico nella bobina è variabile. A questa variazione è legato il fenomeno dell'autoinduzione, ossia lo sviluppo di una tensione addizionale nella bobina; tale tensione reagisce contro i cambiamenti della corrente.

L'energia elettrica totale nel circuito risonante elettrico consiste dell'energia E_L del campo magnetico della bobina d'induzione e dall'energia E_c del campo elettrico del condensatore caricato. L'energia totale è sempre costante: $E = E_L + E_c = \text{const.}$ (Figura 1.2).

Nello stato iniziale il circuito LC che consiste della bobina L e del condensatore C è aperto e l'energia totale è accumulata negli elettrodi del condensatore caricato (istante 1 nella Figura 1.2). Quando si chiude il circuito, il condensatore inizia a scaricarsi e la corrente I inizia a circolare nel circuito. L'intensità di corrente varia da zero fino a $I_{\max}$. A questo punto tutta l'energia del condensatore viene accumulata nella bobina (istante 2 nella Figura 1.2). Anche se il condensatore è ormai scarico, nel circuito circola ancora corrente nella stessa direzione. Questa corrente, la cui fonte è l'autoinduzione della bobina, carica il condensatore e così l'energia viene trasferita al condensatore. Quando la carica del condensatore è massima, la corrente si annulla nel circuito (istante 3 nella Figura 1.2). Lo stato finale è del tutto simile allo stato iniziale, ma il condensatore è caricato all'inverso e la corrente circola nella direzione opposta. Nel circuito LC hanno dunque luogo le oscillazioni accoppiate del campo elettrico del condensatore e del campo magnetico della bobina.

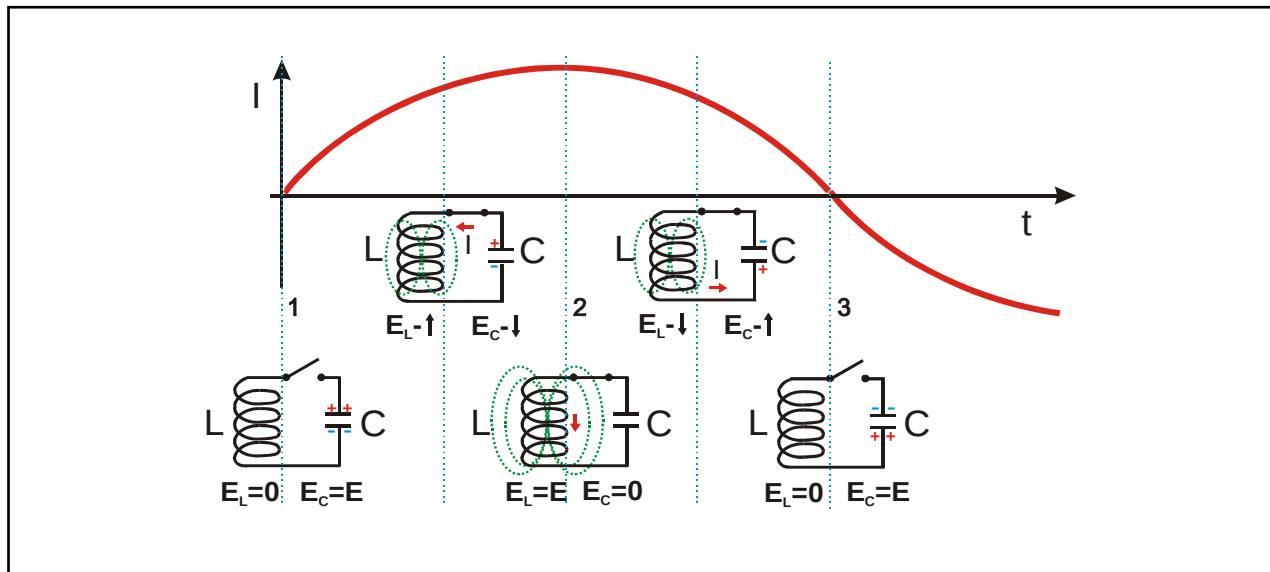


Figura 1-2 Oscillazioni nel circuito LC



In verità avvengono sempre perdite di energia nei circuiti LC, dovute alla resistenza elettrica della bobina e del condensatore. A causa di tali perdite, le oscillazioni del circuito risonante con resistenza (RLC) vengono smorzate (Figura 1.3). Le oscillazioni del circuito risonante possono essere mantenute costanti se il circuito viene alimentato da una fonte esterna con una tensione sinusoidale. L'ampiezza delle oscillazioni è massima quando la frequenza delle onde esterne è pari alla frequenza propria del circuito LC.

$$f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}],$$

dove:

f – la frequenza della fonte esterna dalla tensione sinusoidale,

f_0 – frequenza propria del circuito LC senza smorzamento,

L – induttanza [Henry],

C – capacità [Farad].

Questa condizione sulla tensione o sull'intensità di corrente permette la risonanza nel circuito. Maggiore è l'ampiezza d'oscillazione massima, più alto è il fattore di qualità Q del circuito.

Il fattore di qualità Q è la misura delle perdite negli elementi L e C , schematicamente rappresentato dalla resistenza R in parallelo. Un circuito risonante senza perdite durante la risonanza dovrebbe avere una resistenza R infinitamente grande. Maggiori sono le perdite nel circuito più piccola è la resistenza e minore il fattore di qualità.

$$Q = \frac{R}{2\pi fL}$$

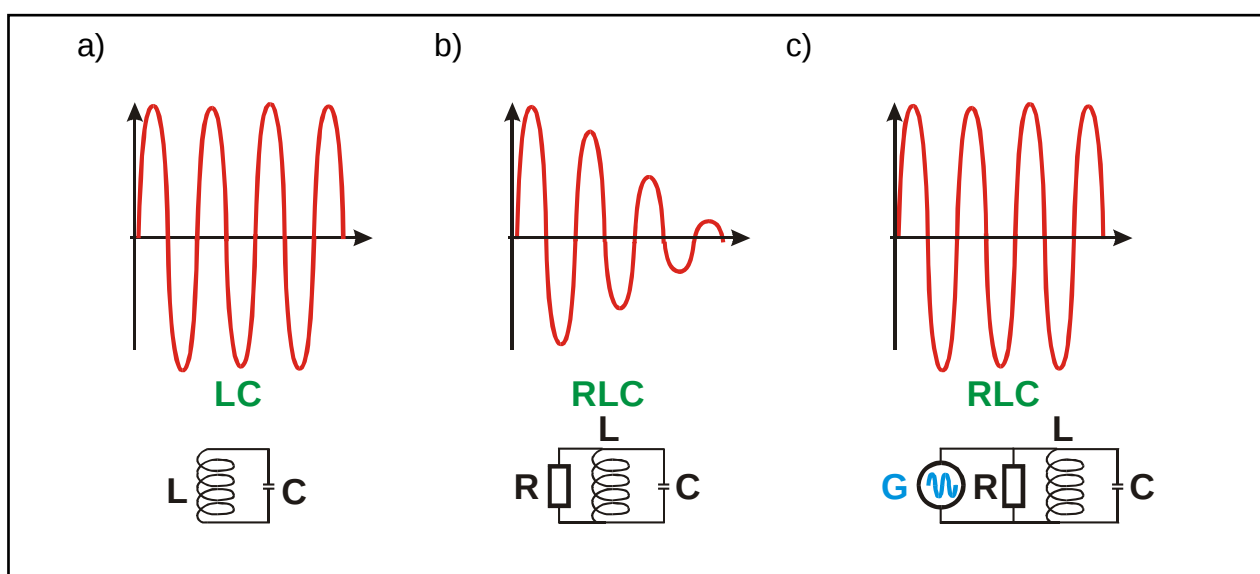


Figura 1-3 Oscillazioni dei circuiti LC e RLC: a) circuito LC non smorzato, b) circuito RLC senza fonte esterna, c) circuito RLC con una fonte esterna di tensione sinusoidale

1.2.2 Il circuito risonante elettronico

Nei generatori che contengono un circuito risonante con una bobina e un condensatore sono impiegati anche amplificatori operazionali o transistor per mantenere costanti le oscillazioni.

Per innescare le oscillazioni devono essere rispettate due condizioni: la condizione di fase e la condizione di ampiezza. La condizione di fase implica che la fase della tensione d'entrata deve essere uguale alla fase di tensione d'uscita. La condizione di ampiezza implica che l'amplificatore deve compensare totalmente lo smorzamento del circuito risonante. In questo caso il generatore stesso crea il segnale che mantiene le oscillazioni. Le condizioni coerenza della fase e dell'ampiezza vengono rispettate se il circuito LC viene correttamente disaccoppiato o se si usa un accoppiamento a trasformatore.

Le oscillazioni della tensione o dell'intensità di corrente vengono generate nel circuito LC che contiene una bobina e un condensatore. La corrente fornita al circuito LC trasmette al circuito risonante una parte della sua energia tramite la carica del condensatore, e così sostiene le oscillazioni indotte nel circuito. Quando l'energia fornita è uguale all'energia persa, l'ampiezza nel circuito LC non varia più e le oscillazioni non vengono smorzate (Figura 1.4a).

Il segnale d'uscita dipende dal fattore di qualità Q del circuito risonante. Un basso il fattore di qualità implica una notevole riduzione del segnale d'uscita (Figura 1.4b). I circuiti generatori LC producono oscillazioni con frequenze maggiori di una decina di kilohertz. Se la frequenza richiesta è minore, si avrebbe bisogno di un'induttanza L troppo grande nel circuito risonante. In questo caso è difficile raggiungere un elevato fattore di qualità e le bobine richieste sono di maggiori dimensioni.

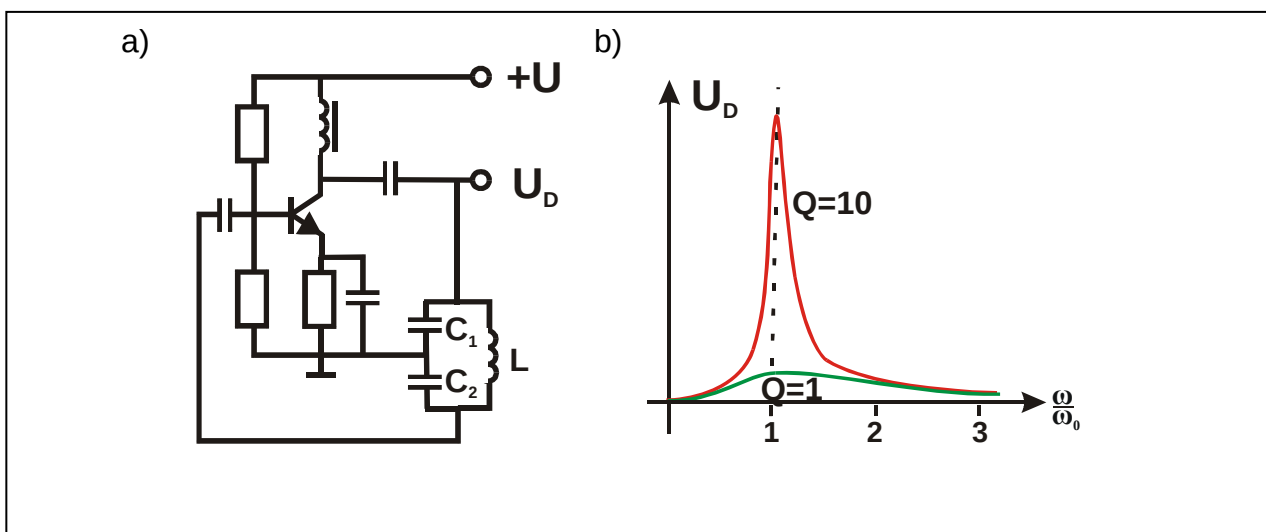


Figura 1-4 Il circuito risonante elettrico: a) generatore LC con un amplificatore, che compensa lo smorzamento, b) livello del segnale di uscita per due diversi valori di Q

1.3 Schema base

1.3.1 Principio di funzionamento

La parte attiva di un sensore ad induzione contiene una bobina avvolta intorno ad un nucleo di ferrite che crea un campo magnetico alternativo. La forma a tazza del nucleo, con circuito magnetico aperto, intensifica il campo magnetico della bobina e lo indirizza verso il campo d'azione del sensore.

Quando il campo magnetico varia viene sempre creato un campo elettrico. Se in questo campo si trova un conduttore in cui possono circolare correnti parassite intorno alle linee del campo magnetico, viene creato un campo magnetico indotto (Figura 1.5) che agisce contro il campo magnetico della bobina ed assorbe parte dell'energia del circuito risonante.

Il fattore di qualità si riduce perché le perdite nel circuito risonante variano. Fino a quando il conduttore si trova nel campo magnetico della bobina l'ampiezza dell'oscillazione viene smorzata. Se si rimuove il conduttore lo smorzamento si riduce fino a che l'ampiezza ritorna al valore iniziale.

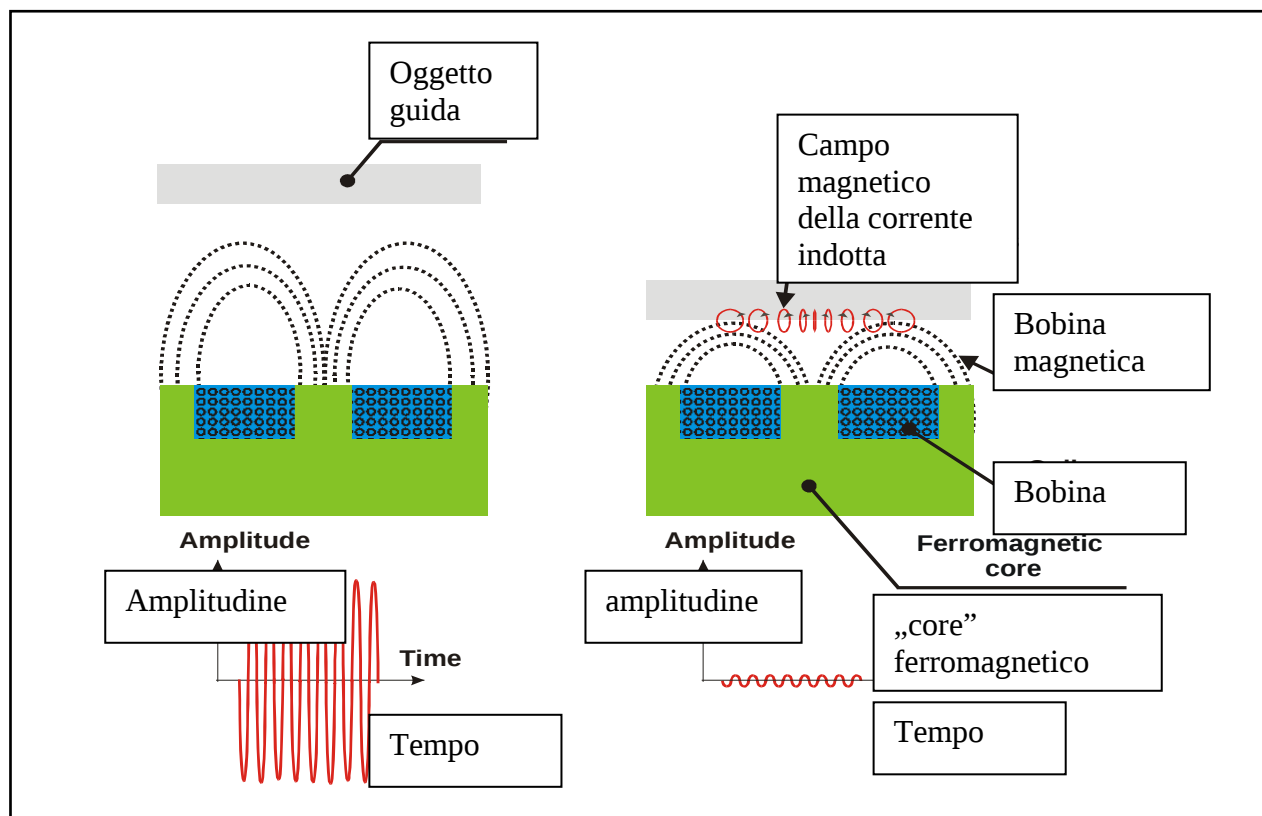


Figura 1-5 Effetto di un oggetto metallico nel campo magnetico della bobina avvolta sul nucleo di ferrite



In dipendenza dal grado di smorzamento dell'ampiezza nel circuito risonante elettrico del sensore viene calcolata la distanza tra l'oggetto e la bobina e generato il segnale d'uscita. Nella maggior parte dei casi il segnale ha due stati. Molto più raramente il segnale è analogico ed inversamente proporzionale alla distanza tra l'oggetto e il sensore.

Il circuito elettronico del sensore, oltre alla testa di rilevazione, contiene un comparatore con isteresi e un sistema di output. Tramite l'isteresi si evitano disturbi del segnale d'uscita quando viene cambiato lo stato, se l'oggetto di metallo è instabile o soggetto a vibrazioni oppure se variano la tensione di alimentazione o la temperatura ambientale.

L'isteresi è la differenza tra le distanze alle quali il sensore reagisce allorché un oggetto di metallo viene prima avvicinato e poi allontanato e quindi cambia il suo stato di output rispettivamente da SPENTO ad ACCESO e da ACCESO a SPENTO (Figura 1.6). Il valore dell'isteresi dipende dal tipo e dalla grandezza del sensore ed è comunemente minore del 20% del raggio d'azione. Quando c'è un'isteresi viene rilevato anche un oggetto che si trova al limite del volume di azione del sensore. Alcuni sensori segnalano il loro stato mediante un LED.

La frequenza tipica di generatori LC nei sensori induttivi è alta (HF) e varia tra i 100 Hz ed 1 MHz. Più grande è il diametro della bobina maggiore è l'assorbimento di corrente e minore è la frequenza massima di funzionamento.

Il raggio di azione dei comuni sensori ad induzione è compreso entro 60 mm. Il supporto del sensore viene prodotto in forma cilindrica o prismatica, di metallo o di plastica, e permette il montaggio ottimale nella posizione di funzionamento.

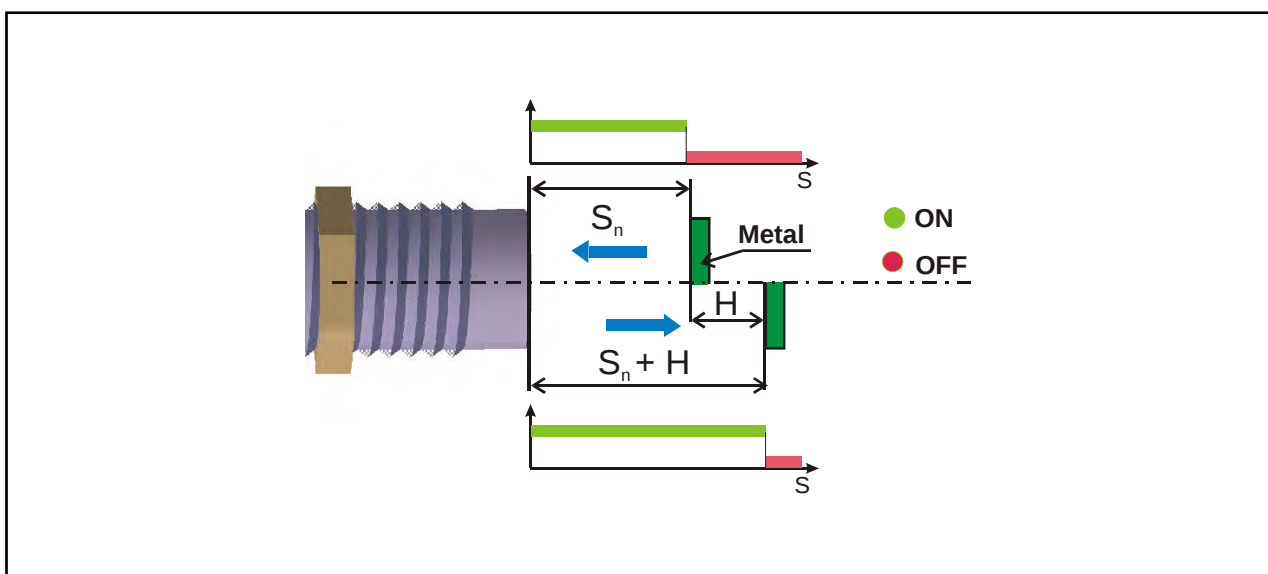


Figura 1-6 Isteresi del sensore ad induzione

Il campo magnetico generato dalla bobina influenza un volume limitato di spazio che definisce il raggio d'azione del sensore.

La distanza tra l'oggetto e il sensore a cui cambia lo stato di output viene detta **raggio d'azione nominale** S_n . Questo valore viene indicato nei cataloghi e valutato in accordo alle raccomandazioni prescritte nella norma EN 60947-5-2 mediante una piastra quadrata di acciaio (St37) la cui larghezza è uguale al diametro del sensore e dello spessore di 1 mm.

Il **raggio d'azione effettivo** S_r viene valutato durante il processo di produzione del sensore e può leggermente differire dal valore S_n . Alla tensione nominale di alimentazione ed alla temperatura nominale deve valere $0.9 S_n \leq S_r \leq 1.1 S_n$.

Per ottenere un funzionamento affidabile, non affetto da cambiamenti di temperatura e di tensione, il raggio di lavoro operativo viene ridotto al valore $S_a \leq 0.8 S_n$, che indica la distanza tra l'oggetto e il sensore a cui si può lavorare senza problemi, indipendentemente da valore del raggio d'azione reale indicato dal produttore.

Il raggio d'azione nominale S_n dipende dal diametro della bobina D (Figura 1.7) e dalle caratteristiche del nucleo. Più piccolo è il sensore più piccola è anche il raggio d'azione nominale. Esistono anche produzioni speciali con un raggio d'azione nominale esteso.

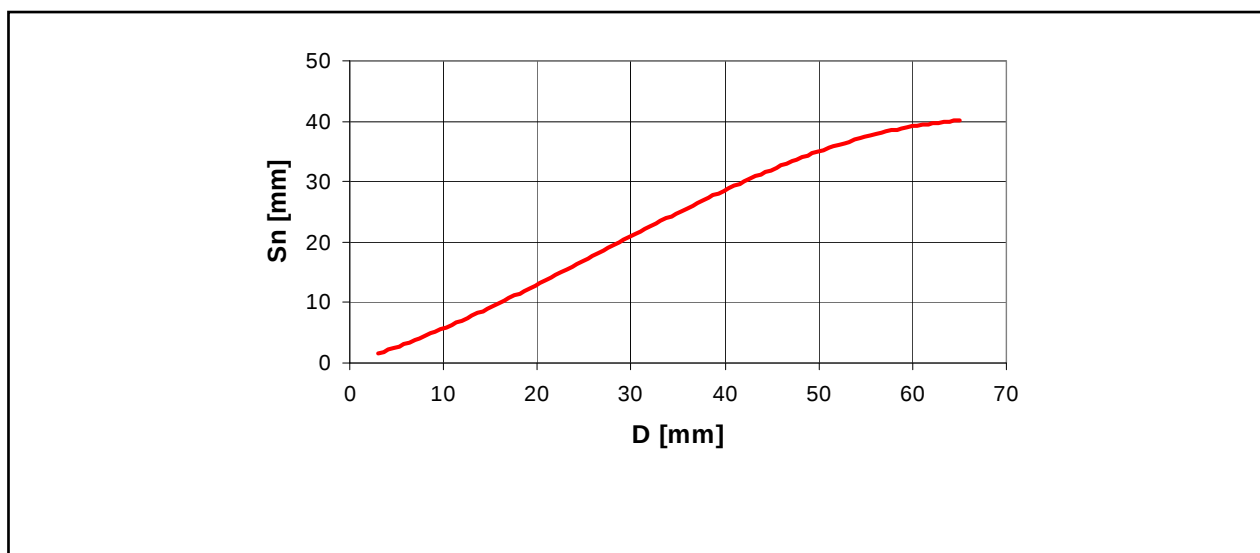


Figura 1-7 Relazione tra il diametro della bobina ed il raggio d'azione nominale per i comuni sensori ad induzione



1.3.2 Coefficienti di correzione

Lo smorzamento del circuito risonante dipende dal materiale di cui è costituito l'oggetto da rilevare. I materiali che hanno una resistenza elettrica minore dell'acciaio St37 quali oro, rame o alluminio, smorzano in minor misura l'oscillazione del circuito risonante.

Queste differenze possono essere compensate attraverso la riduzione del raggio d'azione nominale. Se il metallo da riprendere è di questo tipo, il raggio d'azione nominale S_n , ottenuto per l'acciaio St37, va moltiplicato per un coefficiente di correzione minore dell'unità, che ad esempio è pari a 0,5 per l'ottone (Figura 1.8).

La sensibilità del sensore dipende dalla sua forma costruttiva. Per sensori cilindrici si hanno forme costruttive di base:

- **schermata** – la bobina del circuito risonante è inserita in una busola che forma la testa del sensore ed è a contatto con questa,
- **non schermata** – la bobina sporge all'esterno dell'alloggiamento, coperta soltanto da un involucro protettivo di plastica.

I sensori con la bobina non schermata sono più sensibili agli oggetti metallici nella loro vicinanza.

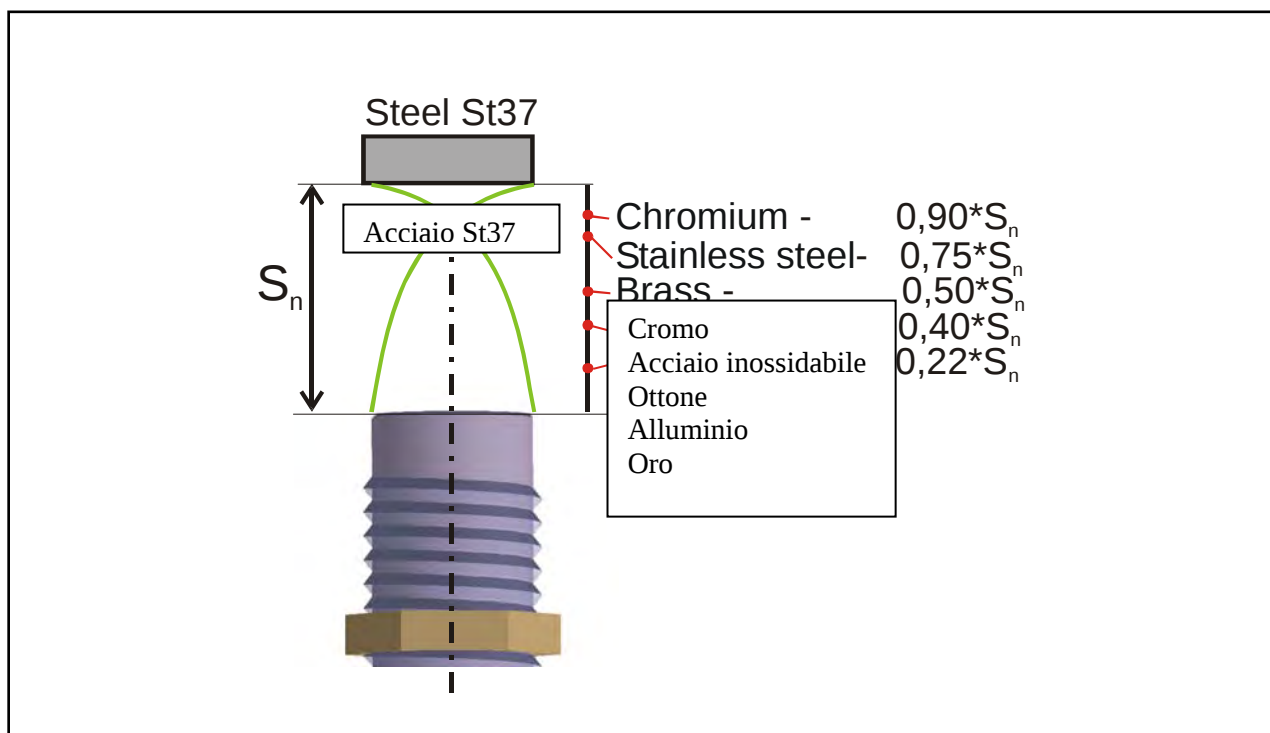


Figura 1-8 Coefficiente di correzione per diversi materiali dell'oggetto da rilevare

1.3.3 Tecniche d'installazione

Se si seguono le raccomandazioni per il montaggio, non si hanno disturbi di funzionamento del sensore causati da uno smorzamento am-

bientale o dall'influsso di altri sensori. La grandezza e la forma della zona libera richiesta (free zone) in vicinanza del sensore dipendono da volume che influenza il sensore, dalla sua costruzione e dalla grandezza dell'oggetto da rilevare.

Il diametro del nucleo e della bobina dipendono dalla grandezza dal supporto cilindrico (bussola metallica). Perciò c'è un legame stretto tra il diametro del supporto, il raggio d'azione del sensore e la zona che deve rimanere libera, nella quale deve venirsi a trovare nessun altro oggetto di metallo oltre quello da rilevare. I sensori con la bobina schermata hanno un raggio d'azione più grande, conseguentemente anche la zona libera deve essere più grande.

Un sensore cilindrico schermato è sensibile soltanto agli oggetti di metallo che si trovano di fronte al sensore. Pertanto questi sensori possono essere fissati ad elementi di metallo. La zona libera è $3 \times S_n$ (Figura 1.9b). La distanza minima tra i sensori dovrebbe essere maggiore di $2 \times D$, per evitare che s'influenzino a vicenda.

Un sensore cilindrico non coperto su tre lati è sensibile per oggetti metallici. Perciò il sensore va un po' tirato fuori. Così la zona libera riprende anche le parti del sensore. In questo caso la distanza minima tra sensori dovrebbe essere più grande di $3 \times D$, per evitare l'influsso a vicenda.

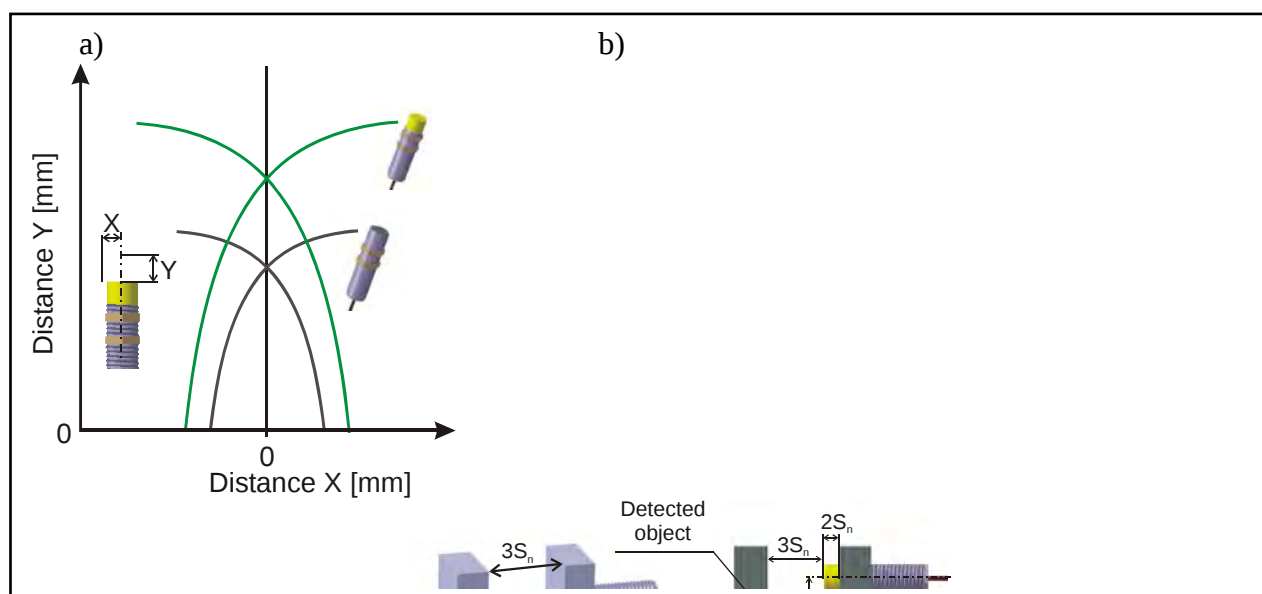


Figura 1-9 Sensori ad induzione con bobina schermata e non schermata, a) caratteristiche, b) raccomandazioni per il montaggio

Nella documentazione tecnica di un sensore è indicata la frequenza massima caratteristica di commutazione del segnale di uscita, ossia il numero di cambiamenti dello stato di output in un secondo, quando oggetti di acciaio St37 entrano ciclicamente nel raggio d'azione del sensore. Per determinare questa distanza valgono le prescrizioni tecniche, indicate nella norma EN 50 010/IEC 60947-5-2.

Queste prescrizioni riguardano la grandezza dell'oggetto da rilevare, la distanza tra l'oggetto ed il sensore e il rapporto tra la lunghezza dell'oggetto e l'intervallo tra gli oggetti. Una piastra quadrata di acciaio, di larghezza pari al diametro del sensore e dello spessore di un millimetro, va fissata all'elemento di materiale non conduttore. La distanza tra la piastra e il sensore deve essere pari alla metà del raggio d'azione nominale S_n (Figura 1.10).

Il procedimento di misura secondo la norma EN 50010 si basa su di un rapporto 1:2 tra la lunghezza dell'oggetto e la distanza tra oggetti. Questo valore garantisce che non ci sia un influsso secondario tra gli oggetti sulla caratteristica del campo magnetico del sensore. La frequenza massima del segnale d'uscita è:

$$f = 1 / (t_1 + t_2)$$

t_1 – tempo necessario per il passaggio della lunghezza della piastra

t_2 – tempo necessario per il passaggio dell'intervallo tra le piastre

Il risultato della misurazione dipende anche dalla grandezza dell'oggetto e dalla velocità dell'oggetto e la distanza tra l'oggetto e il sensore. Se si usa un oggetto più piccolo della piastra standard o una minore distanza tra le piastre, anche la frequenza massima del segnale d'uscita viene ridotta.

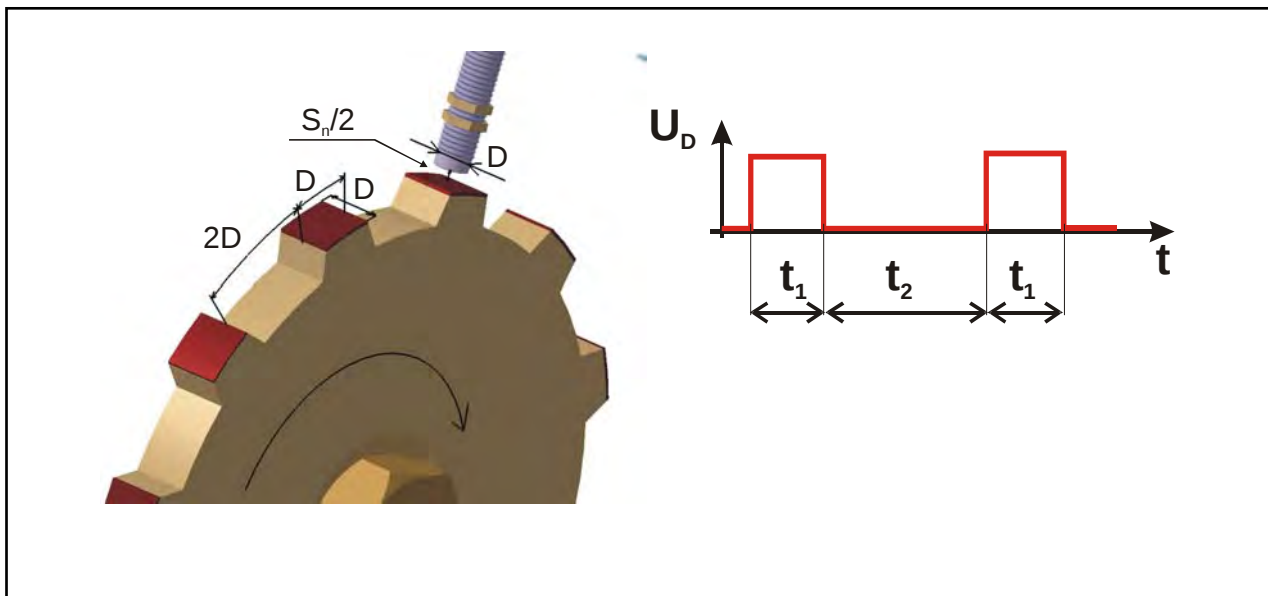


Figura 1-10 Le condizioni prescritte dalla Norma Europea 50010 per stabilire la frequenza massima del segnale d'uscita di un sensore ad induzione

1.4 Tipi speciali di sensori

1.4.1 Sensori anulari ad induzione

Il volume di azione dei sensori anulari ad induzione è localizzato all'interno del loro alloggiamento anulare. Questi sensori rilevano oggetti metallici che attraversano il foro nel loro supporto. Spesso vengono usati per rilevare piccoli oggetti di metallo, come viti e dadi, e per contarli. I supporti dei sensori anulari sono di materiale plastico.

Il principio di funzionamento del sensore anulare si basa su un oscillatore ad alta frequenza che crea un campo magnetico nell'apertura del sensore. Viene usato un nucleo magnetico sinterizzato di forma toroidale che ha un fattore di qualità maggiore di un nucleo di ferrite. La presenza di un oggetto di metallo causa una riduzione dell'ampiezza dell'oscillazione. Il comparatore rileva questi cambiamenti e se è superato un valore di soglia il segnale di output viene commutato. Il raggio d'azione del sensore dipende dal diametro dell'apertura del sensore e dalla grandezza e dal tipo dell'oggetto da rilevare.

Il sensore funziona se il campo magnetico viene sufficientemente smorzato. Oggetti troppo piccoli possono determinare uno smorzamento insufficiente. Perciò per un sensore di data dimensione esiste una lunghezza minima o un diametro minimo dell'oggetto da rilevare (Figura 1.11b).

Gli oggetti da rilevare non devono avere tutti la stessa traiettoria, e questo è il principale vantaggio dei sensori anulari. Grazie al volume di azione anulare possono essere rilevati gli oggetti indipendentemente dal loro orientamento, ad es. oggetti che cadono in un tubo di plastica.

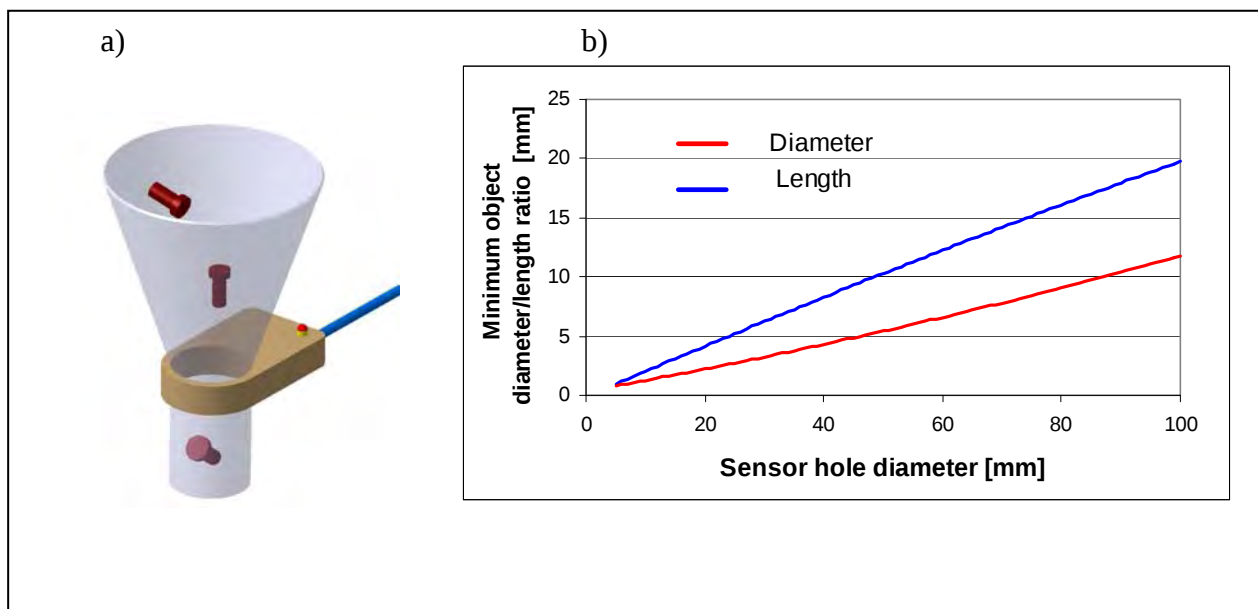


Figura 1-11 Sensore anulare ad induzione, a) installazione, b) relazione tra la grandezza del sensore e la grandezza minima dell'oggetto da rilevare

1.4.2 Sensori insensibili al campo magnetico

I processi di saldatura richiedono forti intensità di corrente e la corrente che raggiunge l'utensile di saldatura crea un forte campo magnetico variabile intorno ai cavi.

Se un sensore ad induzione si trova nella zona di saldatura il segnale d'uscita, in conseguenza dell'influsso del campo magnetico, può essere commutato in maniera incontrollata. Infatti viene indotta una tensione addizionale nella bobina che disturba il funzionamento dell'oscillatore che può causare un commutare casuale del segnale d'uscita. Durante il processo di saldatura viene creato anche un gran numero di scintille che può danneggiare il supporto del sensore.

Per questo motivo i sensori che lavorano in prossimità dell'impianto di saldatura vengono alloggiati in involucri di ottone ricoperti da uno strato di teflon. La superficie anteriore viene protetta con materiali come il Duraplast che sono resistenti alle alte temperature.

Questi sensori hanno un nucleo con una permeabilità magnetica bassa (Figura 1.12) e richiedono una variante speciale del circuito elettronico per evitare false attivazioni. I nuclei vengono prodotti di un acciaio speciale sinterizzato vanno in saturazione in presenza di un campo magnetico molte volte più intenso che per i comuni nuclei di ferrite. Il sensore è insensibile contro l'influsso di campi magnetici esterni perché il campo magnetico proprio può essere più raccolto e meglio indirizzato.

I sensori senza nucleo sono maggiormente insensibili all'influsso dei campi magnetici esterni perché il nucleo nei comuni sensori concentra il campo magnetico esterno. Dato che non c'è un nucleo la bobina viene avvolta su un cilindretto di plastica.

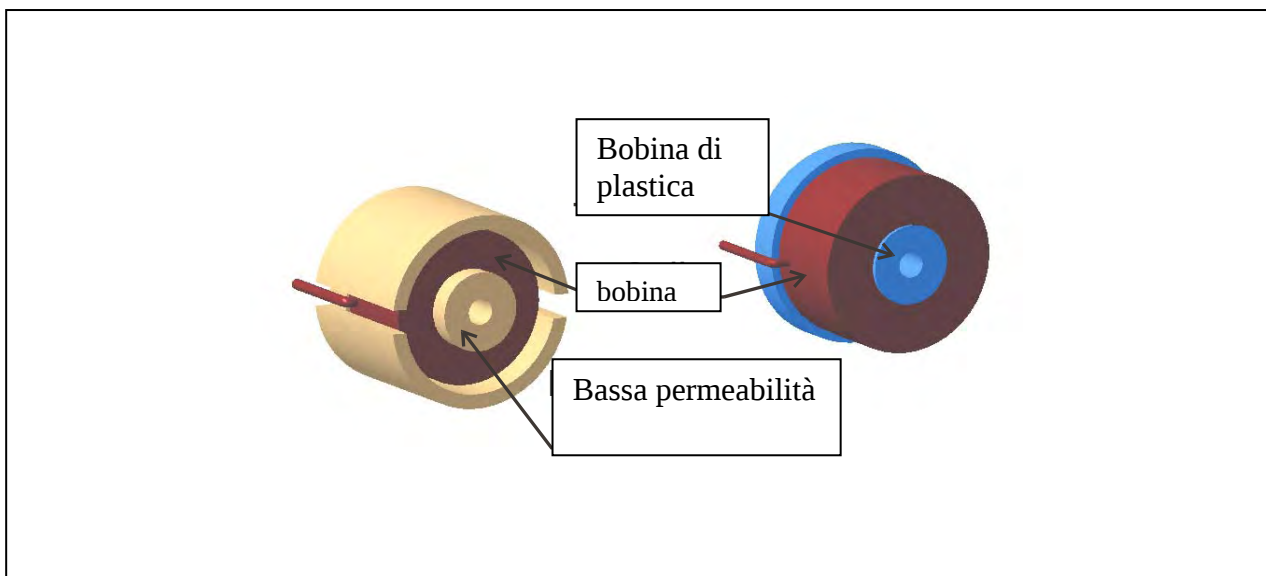


Figura 1-12 Bobine per sensori ad induzione insensibili a forti campi magnetici esterni

1.4.3 Sensori per condizioni ambientali severe

Se si impiegano comuni sensori in condizioni ambientali difficili possono verificarsi disturbi durante il funzionamento ed anche danni ai sensori stessi.

Per adattare i sensori a condizioni severe si ricorre a materiali speciali per il supporto, vengono accresciute le dimensioni del sensore, adottati particolari accorgimenti di montaggio, i circuiti elettrici vengono protetti o viene cambiata la loro costruzione.

Spesso i produttori di sensori offrono, fra gli altri:

- sensori insensibili alle alte temperature (fino a 200°),
- sensori insensibili a diversi prodotti chimici,
- sensori insensibili all'olio,
- sensori insensibili all'umidità,
- sensori miniaturizzati, con una testa di lunghezza tra 3 e 5 mm.

I sensori che lavorano sotto alta pressione devono avere un solido involucro rigido che protegge i circuiti elettronici interni. La superficie anteriore viene protetta con un disco di ceramica resistente all'usura. Dal momento che la costruzione richiede un arretramento della bobina il raggio d'azione del sensore si riduce. L'oscillatore va quindi opportunamente modificato per compensare questo effetto. In condizioni normali un sensore modificato di questo tipo avrebbe un raggio d'azione molto maggiore dei sensori standard.

Il disco di ceramica viene assemblato nel supporto di acciaio inossidabile con un accoppiamento stretto montato con una differenza di temperatura per ottenere una buona tenuta. Quando il supporto, in precedenza riscaldato, si raffredda si fissa intorno al disco e crea un collegamento molto stretto e resistente.

1.5 Rilevamento della direzione del moto

Una coppia di sensori d'induzione può rilevare la direzione di movimenti di rotazione o rettilinei. Nel caso del movimento rotatorio il segnale di output viene commutato dalla ruota dentata (Figura 1.13). I segnali dei due sensori vengono elaborati da un comparatore di fase (discriminatore) che valuta lo sfasamento. Se la ruota dentata gira verso sinistra il segnale 1 viene registrato prima del segnale 2 e viene attivato il segnale di output **L** nel discriminatore. Se la ruota dentata gira verso destra giunge prima il segnale 2 e quindi viene attivato il segnale di output **R**.

Il riconoscimento della direzione del moto rettilineo viene realizzato in maniera simile con un sensore anulare bistabile. Il sensore contiene due bobine che si trovano una accanto all'altra e che hanno un'alimentazione di corrente separata. Perciò l'intensità di corrente può essere diversa in ogni bobina.

Se l'oggetto viene dal lato sinistro il circuito elettrico viene smorzato prima nella prima e poi nella seconda bobina. Se l'oggetto viene dal la-

to destro i circuiti elettrici vengono smorzati in ordine inverso. Il circuito di misura riconosce la direzione di moto dell'oggetto mediante l'intensità della corrente che circola nelle bobine.

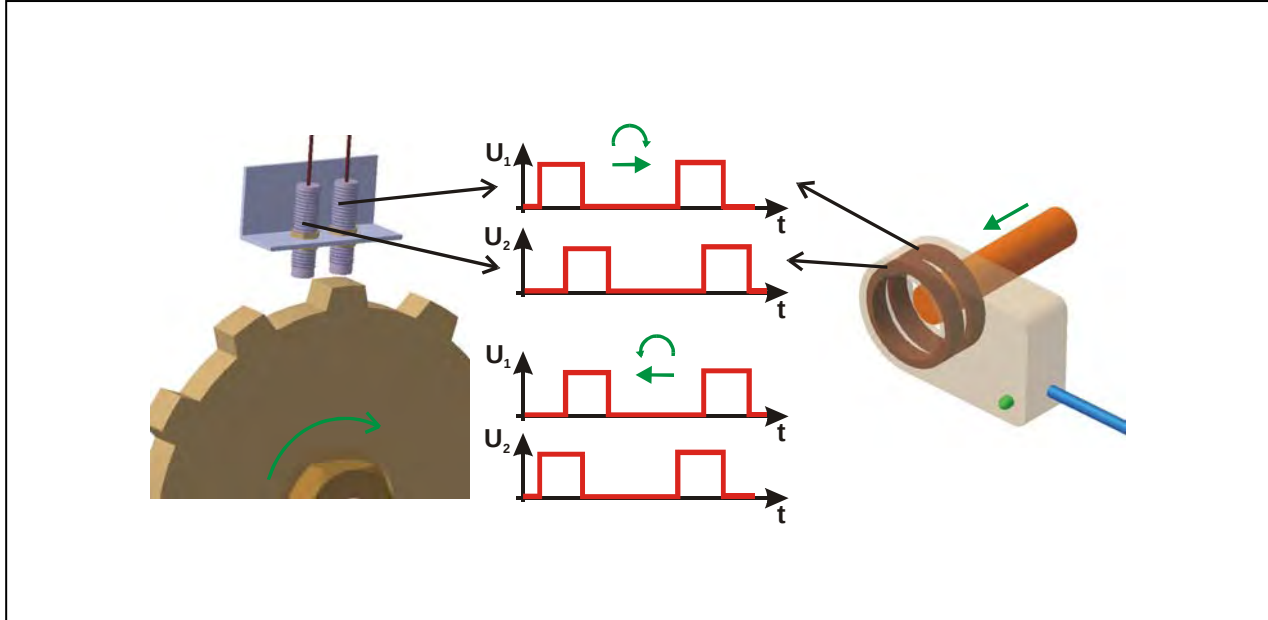


Figura 1-13 Riconoscimento della direzione di moto con due sensori standard o un sensore bistabile

1.6 Sensori NAMUR

I sensori ad induzione NAMUR hanno due contatti e funzionano con amplificatori esterni. La loro resistenza cambia quando viene ripreso un oggetto di metallo. Una resistenza bassa significa "nessun oggetto di metallo", una resistenza elevata significa "c'è un oggetto di metallo".

Una caratteristica dei sensori NAMUR è l'intervallo di corrente di output molto ristretto (secondo la norma EN 60947-5-6), che va da 1,2 fino a 2,1 mA (Figura 1.14). I sensori NAMUR, con alimentazione in corrente continua fornita da un amplificatore, hanno tutti la stessa caratteristica elettrica ed una precisa isteresi di commutazione pari a 0,2 mA.

Consistono di un oscillatore con la bobina parzialmente smorzata e un demodulatore. Se varia la distanza fra un oggetto ed il sensore cambia anche la corrente assorbita e l'amplificatore trasforma questo effetto in un segnale bistabile.

Quando i sensori NAMUR lavorano in una zona esposta al pericolo di esplosione l'amplificatore non deve dar luogo a scintille oppure si deve trovare all'esterno di questa zona.

Quando l'intensità di corrente nel circuito elettrico del sensore è minore di 0,15 mA, l'amplificatore fornisce lo stato di "assenza di segnale". Se l'intensità di corrente è maggiore di 6mA, segnala "sensore attivato".

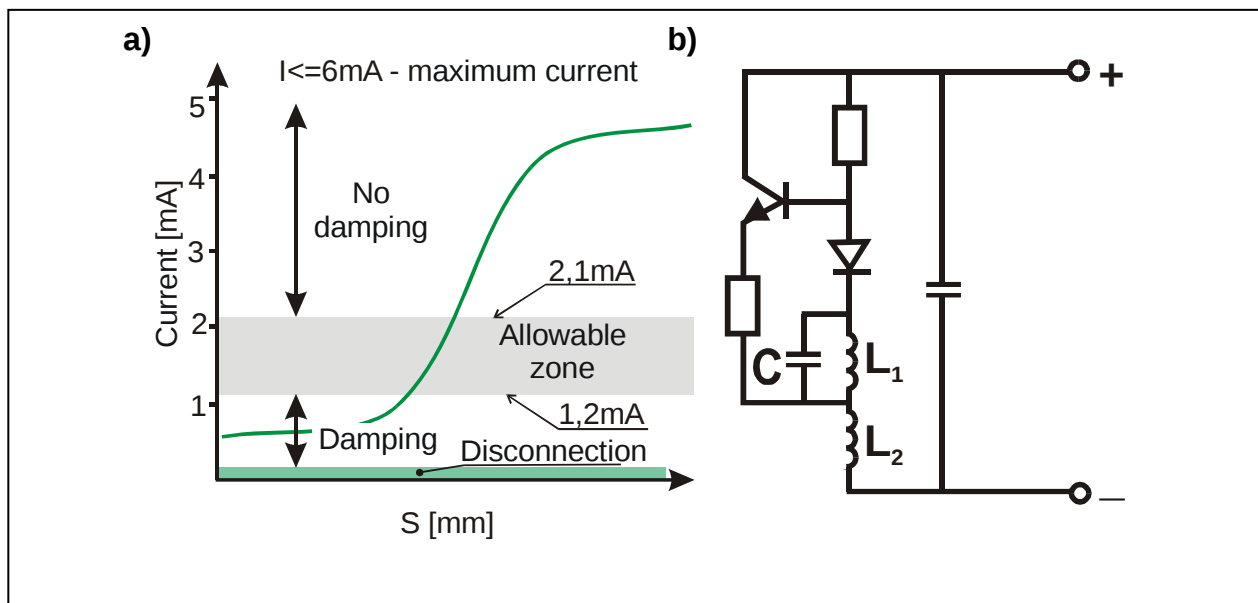


Figura 1-14 Sensore NAMUR, a) caratteristica, b) schema elettrico del circuito

1.7 Sensori ad induzione analogici

I comuni sensori registrano soltanto se nel loro raggio d'azione c'è un oggetto di metallo o no. I sensori analogici ad induzione registrano la posizione dell'oggetto all'interno del raggio d'azione del sensore. Quando l'oggetto si sposta da una distanza da 0 fino a S_n concordemente cambia il segnale di uscita del sensore nell'intervallo 0 ÷ 20 mA.

Il campo magnetico oscillante generato dal circuito risonante viene smorzato dall'oggetto metallico che entra nel raggio d'azione. Più vicino al sensore è l'oggetto maggiore è lo smorzamento.

Uno speciale oscillatore rende possibile lo smorzamento del circuito risonante in funzione della distanza, vale a dire cambiando il fattore di qualità. Grazie al sistema di linearizzazione il segnale di uscita è quasi lineare. La Figura rappresenta la caratteristica per un oggetto di acciaio St37 perché questo materiale determina il raggio d'azione massimo. Se vengono usati metalli con una minore permeabilità magnetica va adottato un opportuno coefficiente di correzione.

Oggi giorno la maggior parte dei sensori ha una caratteristica quasi lineare in tutto l'intervallo di misura.

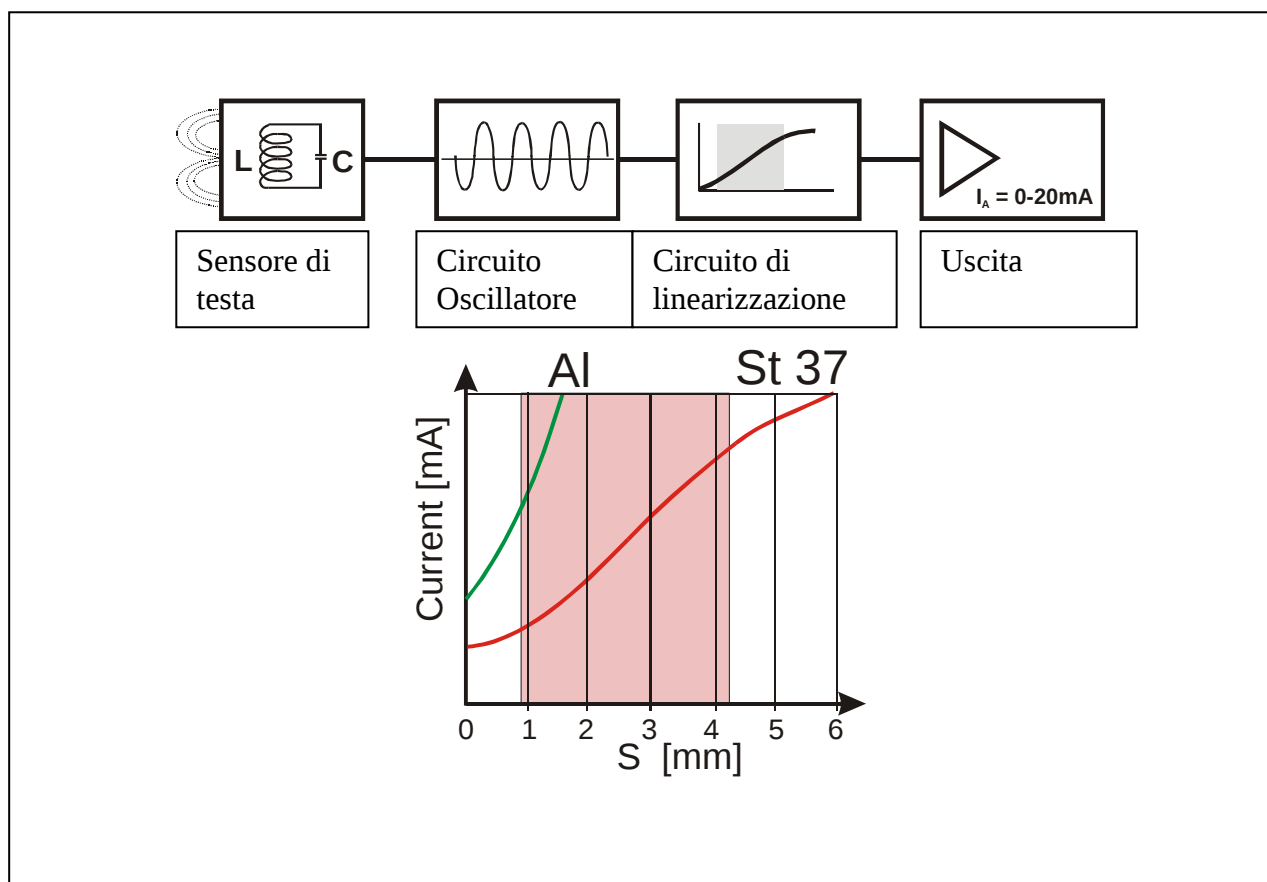


Figura 1-15 Sensore ad induzione analogico

1.8 Alimentazione in corrente continua (DC)

I sensori che con alimentazione in corrente continua lavorano spesso con adattatori di rete la cui tensione di uscita varia. Se queste variazioni sono di ampiezza troppo grande il comportamento dei sensori diviene imprevedibile.

Se le variazioni di tensione sono comprese entro il 10 % del valore medio della tensione (Figura 1.16a) il sensore funziona correttamente. La condizione da soddisfare con l'eccesso massimo di corrente è:

$$U_{ss} \leq 0.1U_D$$

Le uscite dei sensori con alimentazione continua possono avere una configurazione NPN o PNP. Nel caso della configurazione NPN la resistenza R_L viene collegata fra l'uscita del sensore e il polo positivo dell'alimentazione con la corrente U . Nel caso della configurazione PNP la resistenza viene collegata fra l'uscita del sensore e il polo negativo dell'alimentazione in corrente (Figura 1.16 b). Ambedue i tipi di sensore possono avere una configurazione NO (normalmente aperto) o NC (normalmente chiuso). Alcuni sensori hanno una giunzione supplementare **NP** e due uscite indipendenti **NO** e **NC**.

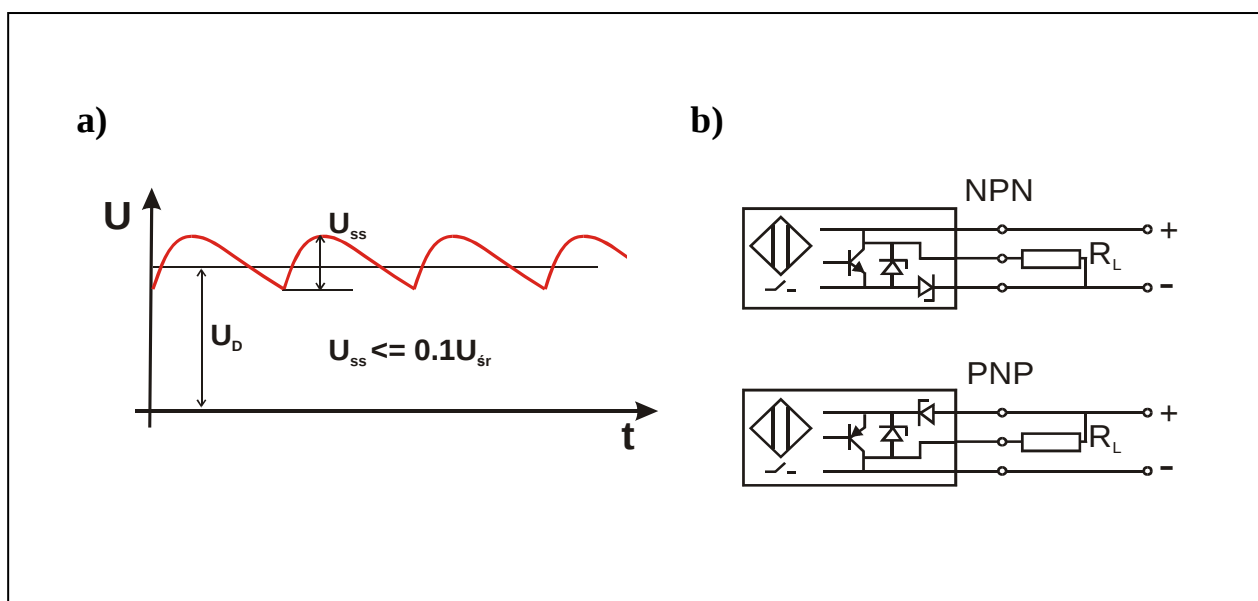


Figura 1-16 Sensori ad induzione con alimentazione in corrente continua, a) tensione della parte della rete, b) collegamento fra il sensore e la resistenza R_L .

1.9 Alimentazione in corrente alternata (AC)

I sensori con alimentazione in corrente alternata non vanno collegati direttamente con un adattatore di rete per corrente alternata (Figura 1.17) perché questo potrebbe danneggiare irreparabilmente i circuiti elettronici interni del sensore.

I sensori con alimentazione in corrente alternata vanno collegati in serie con una resistenza **RL**. Per il collegamento alla rete elettrica dei sensori con due soli conduttori esistono ulteriori prescrizioni, dal momento che contengono un transistor che funziona come amplificatore di potenza.

Dato che questi sensori vengono collegati in serie con la resistenza, c'è una resistenza nel circuito anche quando il sensore è spento. Ciò provoca una caduta di tensione nella rete. Questo fenomeno non va trascurato se vengono collegati in serie o parallelo diversi sensori.

Quando si scelgono le modalità di alimentazione dei sensori con corrente alternata va prestata attenzione sia all'intensità minima della corrente sia a quella massima. Questi dati vengono resi noti dai produttori.

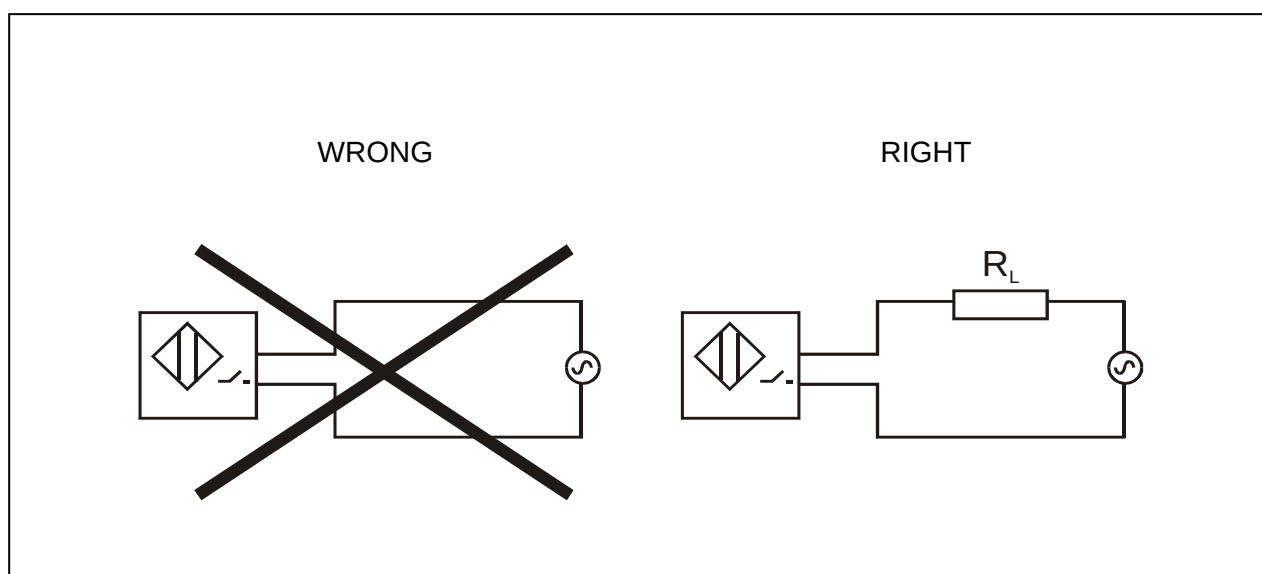


Figura 1-17 Sensore con alimentazione di corrente alternata

1.10 Tecnica di collegamento dei sensori

Collegando diversi sensori in serie o in parallelo si possono realizzare diverse strategie di funzionamento degli apparecchi collegati come utilizzatori (Figura 1.18). Mediante un'opportuna configurazione si possono ottenere le funzioni logiche AND, OR e NOR.

La funzione logica AND garantisce che il segnale di output di un gruppo di sensori sia ON solo se lo stato di output di tutti i sensori è ON.

La funzione logica OR garantisce che l'utilizzatore R_L non riceva alimentazione di corrente se il segnale di output di tutti i sensori è OFF.

I gruppi di sensori possono essere collegati anche in differenti configurazioni ordine, per realizzare altre funzioni logiche.

Il numero massimo dei sensori collegati in serie dipende dalla tensione fornita dalla rete, dalle cadute di tensione alle uscite dei sensori e dell'utilizzatore. La tensione di alimentazione fornita dalla rete ridotta di tutte le cadute di tensione deve essere maggiore della tensione massima di lavoro per l'utilizzatore collegato.

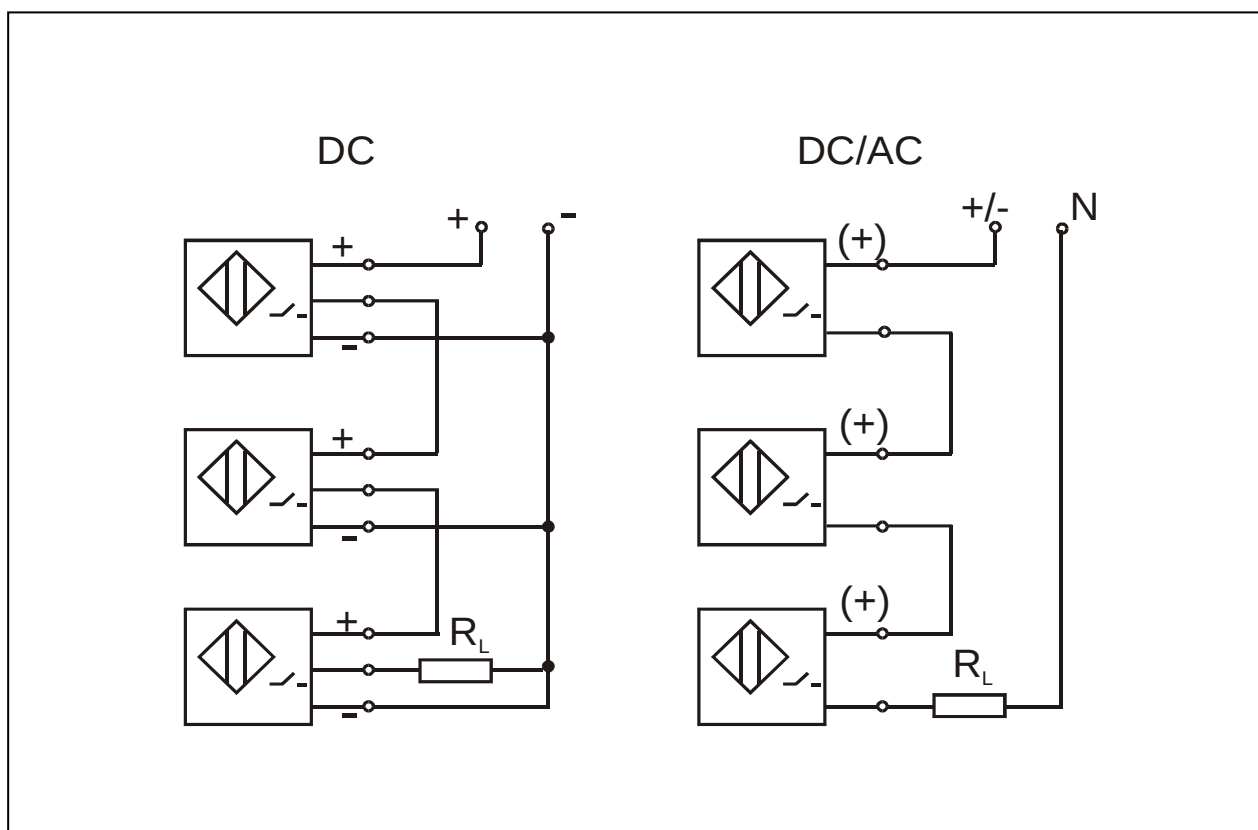


Figura 1-18 Collegamento di sensori serie (funzione logica AND)

La funzione logica OR garantisce che il segnale di output da un gruppo di sensori sia ON se il segnale iniziale di almeno un sensore è ON. La funzione viene realizzata da sensori collegati in parallelo (Figura 1.19).

Il numero dei sensori collegati in parallelo con tre conduttori ed alimentazione in corrente continua non è tecnicamente limitato. Infatti, indipendentemente dalla funzione dell'output, si possono collegare una dozzina di sensori in parallelo.

Quando vengono collegati in parallelo sensori a due conduttori si sommano le cadute di tensione nel circuito anche se tutti i sensori sono spenti (a causa del collegamento comune con l'utilizzatore). Questo effetto può disturbare il corretto funzionamento del circuito.

Perciò non è consigliabile collegare in parallelo due sensori a due conduttori. Il numero massimo di sensori che si possono collegare dipende dalla somma delle correnti di perdita e l'utilizzatore.

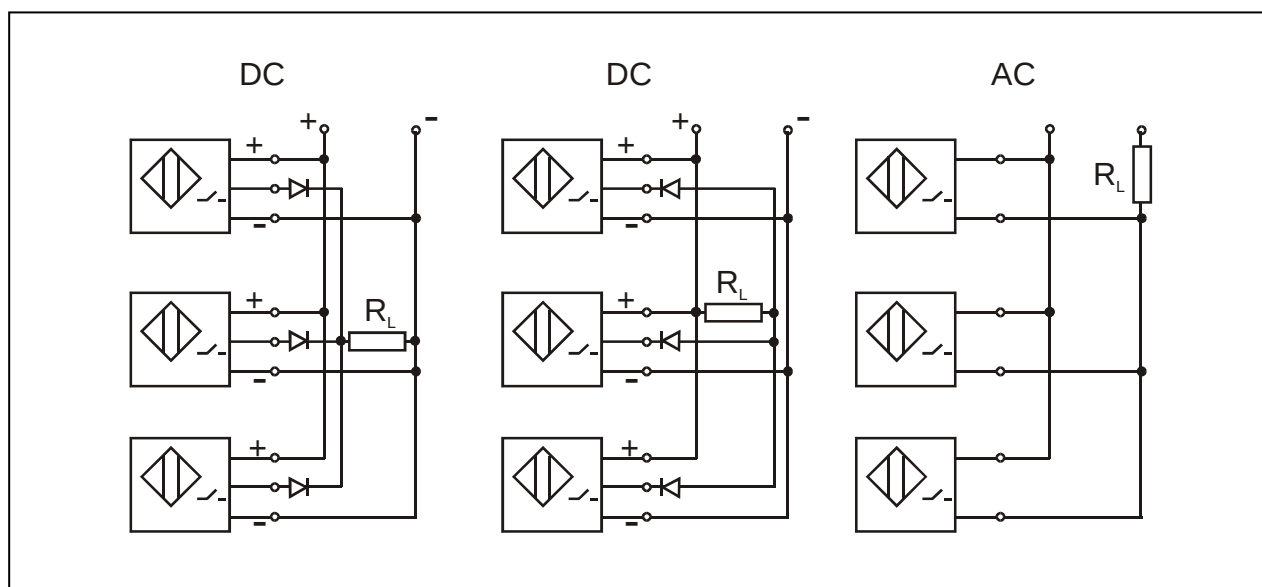


Figura 1-19 Collegamento in parallelo di un gruppo di sensori (funzione logica OR)

1.11 Protezione e sicurezza dei sensori

I sensori possono essere protetti da errori di installazione e da malfunzionamenti durante l'uso. Elementi di protezione elettrica proteggono i circuiti interni dei sensori da:

- un collegamento alla rete con polarità invertite,
- un extracorrente di apertura all'output,
- picchi di tensione della rete,
- un superamento dell'intensità di corrente ammessa per l'output o cortocircuiti.

Un cortocircuito nel circuito elettrico non danneggia i sensori con alimentazione in corrente continua, anche se ha luogo più volte per un periodo lungo. In seguito a questo evento soltanto i LED del sensore non continuano a funzionare. Mentre il sensore, una volta rimosso il cortocircuito, riprende a funzionare normalmente.

Quando la tensione della rete rappresenta un pericolo per le persone, i sensori con i supporti di metallo devono avere un contatto aggiuntivo di messa a terra.

Se un sensore è collegato in serie con l'utilizzatore circola ancora corrente nel circuito anche quando il sensore è spento (Figura 1.20). Questo può danneggiare il sensore o causare un segnale di OFF permanente. Una resistenza aggiuntiva R_p collegata in parallelo viene inserita nel circuito per evitare questo effetto. Il valore di resistenza R_p e la potenza P dissipata della resistenza si possono calcolare come segue:

$$R_p = U/I_{\min}$$

$$P = U^2/R_p$$

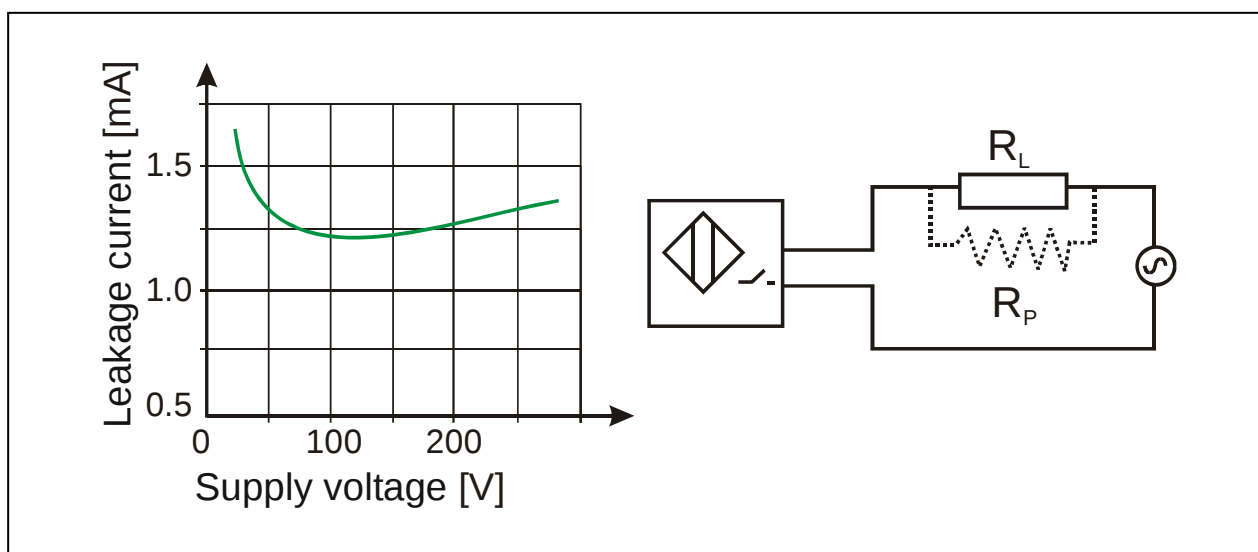


Figura 1.20: La corrente di perdita nel circuito quando il sensore ad induzione è spento con alimentazione in corrente alternata

1.12 Collegamento dei sensori ad una rete di comunicazione

Le reti di comunicazione (con bus di campo) rappresentano più moderna la soluzione per il collegamento fra sensori ed elementi di controllo. Con le reti di comunicazione vengono sostituiti i collegamenti classici per evitare un gran numero di lunghi cavi.

Questo concetto si basa su due elementi: dei concentratori intermedi (network hub) che raccolgono il segnale di un gruppo di sensori e li inviano all'unità centrale (Figura 1.21). Grazie a questa soluzione si riesce a:

- abbattere i costi in misura decisiva,
- accrescere la distanza tra sensore ed apparecchiatura di comando,
- inviare dati relativi a calibrazione e caratteristica del sensore.

Le reti aperte vengono più comunemente impiegate, perché rendono possibile lo scambio di informazioni tra elementi di diversi produttori. Le informazioni vengono scambiate secondo gli standard dell'industria (in



accordo ai protocolli, tra i quali i più comuni sono: Ethernet, Profibus, DeviceNet, Modbus, CAN, AS-I).

Grazie alle reti, parte dei segnali può essere elaborata ai livelli bassi (più vicini alle linee di processo) creando sistemi di controllo distribuiti.

Gli elementi base di una rete sono i moduli d'input / output (I/O) con diverse interfacce. Un modulo ha un indirizzo di rete unico e permette una trasmissione di dati molto rapida. Questo è molto importante al livello di attrezzature e sensori laddove è richiesta una complessa elaborazione dei dati e sono necessari tempi di decisione rapidi.

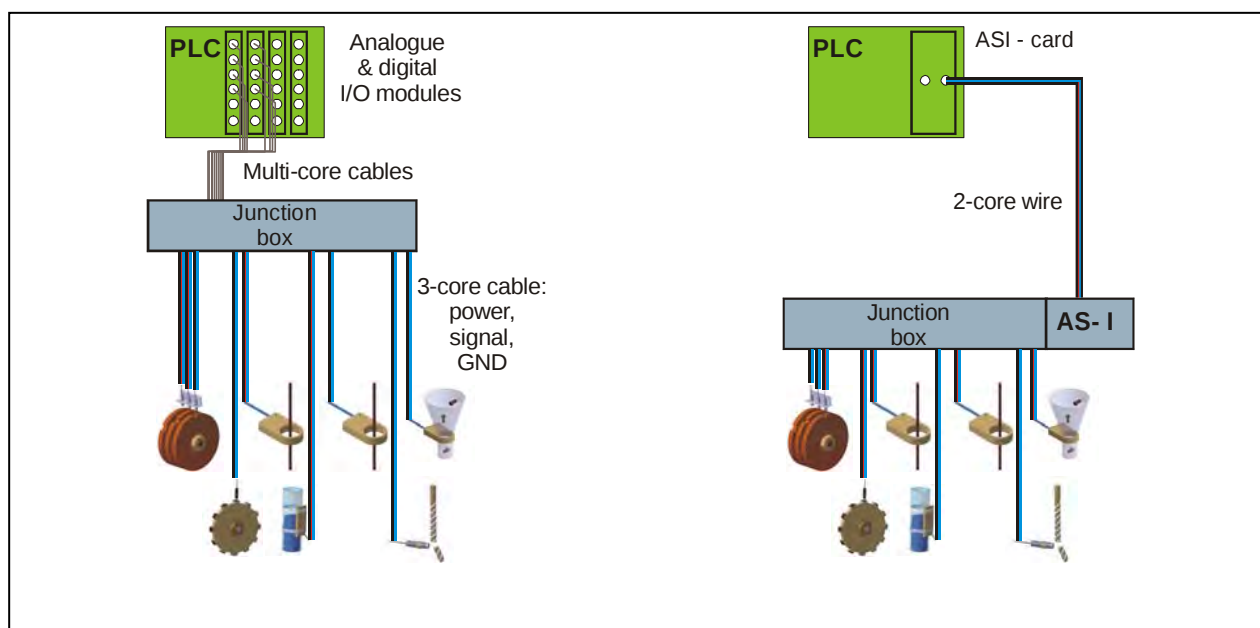


Figura 1-20 Schema di un sistema di comunicazione senza e con bus

1.13 Applicazioni

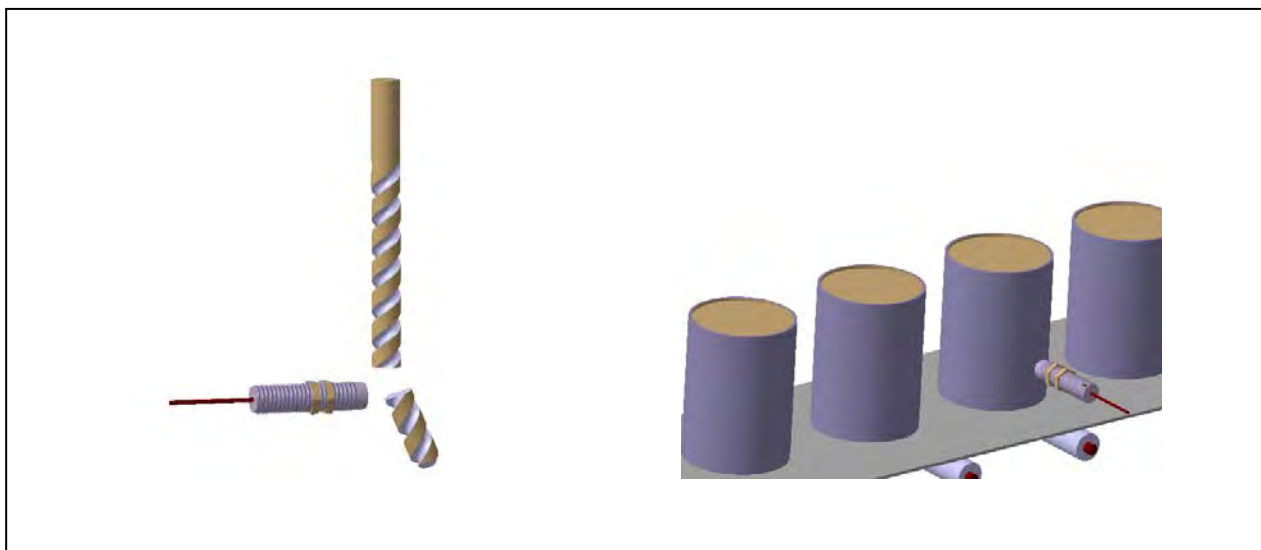


Figura 1-21 della rottura di un utensile e di oggetti su di una linea di produzione

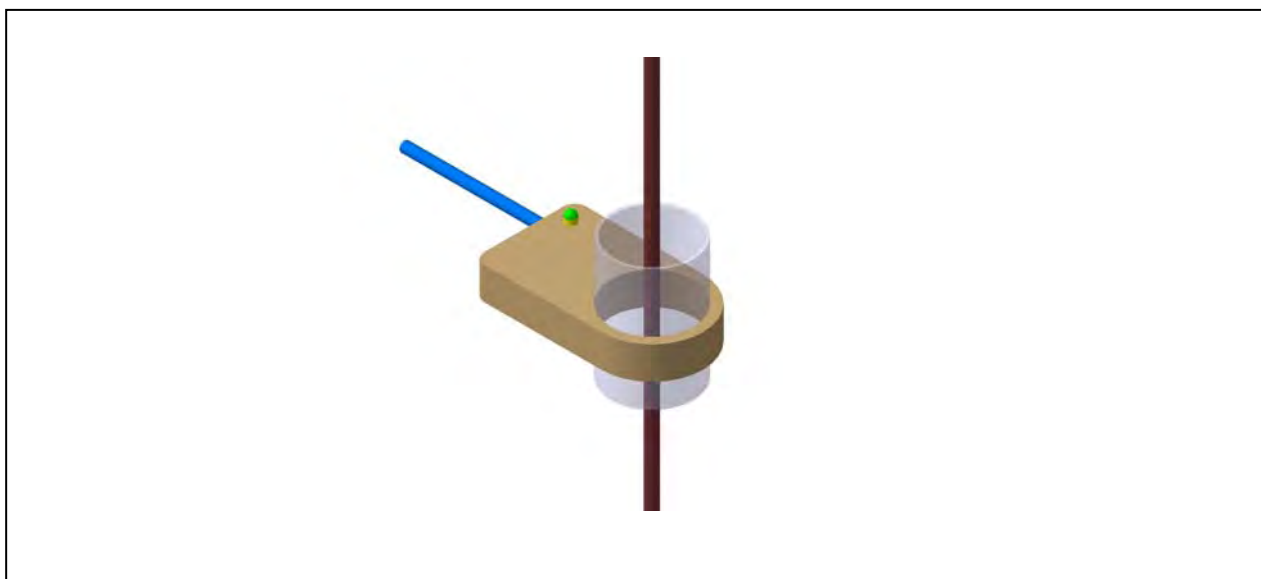


Figura 1-22 Controllo della continuità di un cavo



2 Sensori capacitivi

2.1 Nozioni di base

I sensori capacitivi usano un campo elettrico per rilevare la presenza di oggetti nel loro campo d'azione. Possono rilevare sia oggetti di metallo sia oggetti che non conducono la corrente elettrica (ad es. di materiale plastico). Un sensore capacitivo può rilevare un oggetto che si trova dietro una parete di materiale non conduttore. Perciò viene usato per riconoscere un fluido o un granulato in un serbatoio. I sensori capacitivi sono comunemente impiegati come sensori di prossimità, ma possono anche generare un segnale proporzionale alla distanza tra l'oggetto e il sensore. Il raggio d'azione del sensore capacitivo è 30 mm (60 mm per versioni speciali).

Quando un oggetto di metallo o un dielettrico entra nel campo elettrico del sensore il segnale di uscita dei sensori capacitivi cambia (da OFF in ON o viceversa).

Un sensore capacitivo è costituito da una testa con elettrodi, un potenziometro, un oscillatore, un circuito rilevatore e un circuito di output (Figura 2.1).

Due elettrodi di metallo che formano un condensatore aperto sono gli elementi attivi del sensore capacitivo. Se un oggetto si avvicina al sensore cambia la sua capacità. Il segnale di output dipende dalla capacità totale che è la somma della capacità di base del sensore e della variazione di capacità. Questo cambiamento di capacità viene generato dall'oggetto da rilevare.

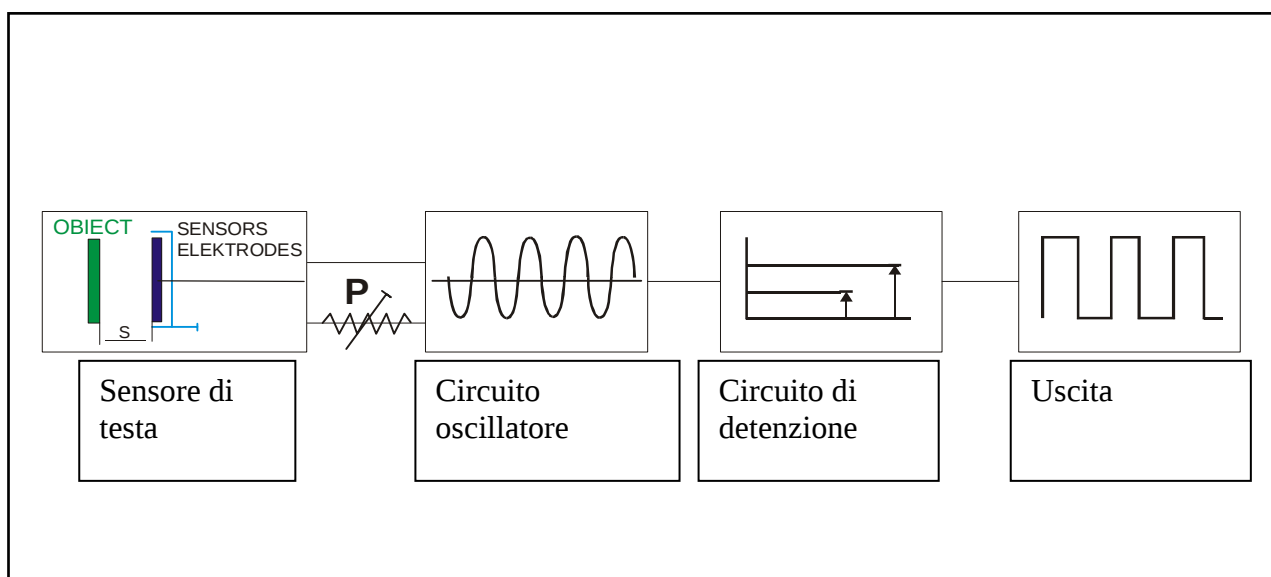


Figura 2-1 Schema di un sensore capacitivo

2.2 Principio fisico

Un condensatore nella sua forma basilare consiste di due elettrodi A e B che sono affacciati uno sopra l'altro (Figura 2.2a). Se gli elettrodi si trovano su uno stesso piano si ottiene un condensatore aperto (Figura 2.2b).

Se un elettrodo C il cui spessore è prossimo a zero viene inserito fra gli elettrodi A e B si ottiene due condensatori collegati in serie. Un effetto simile si ha nel condensatore aperto: l'elettrodo intermedio divide il campo elettrico in due campi orientati in versi opposti. Le capacità dei due condensatori sono uguali e sono pari a:

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}$$

dove:

C – la capacità del condensatore,

S – la superficie degli elettrodi,

ϵ_0 – la costante elettrica (per il vuoto o l'aria),

ϵ_r – la costante del dielettrico che riempie il condensatore,

d – la distanza tra gli elettrodi.

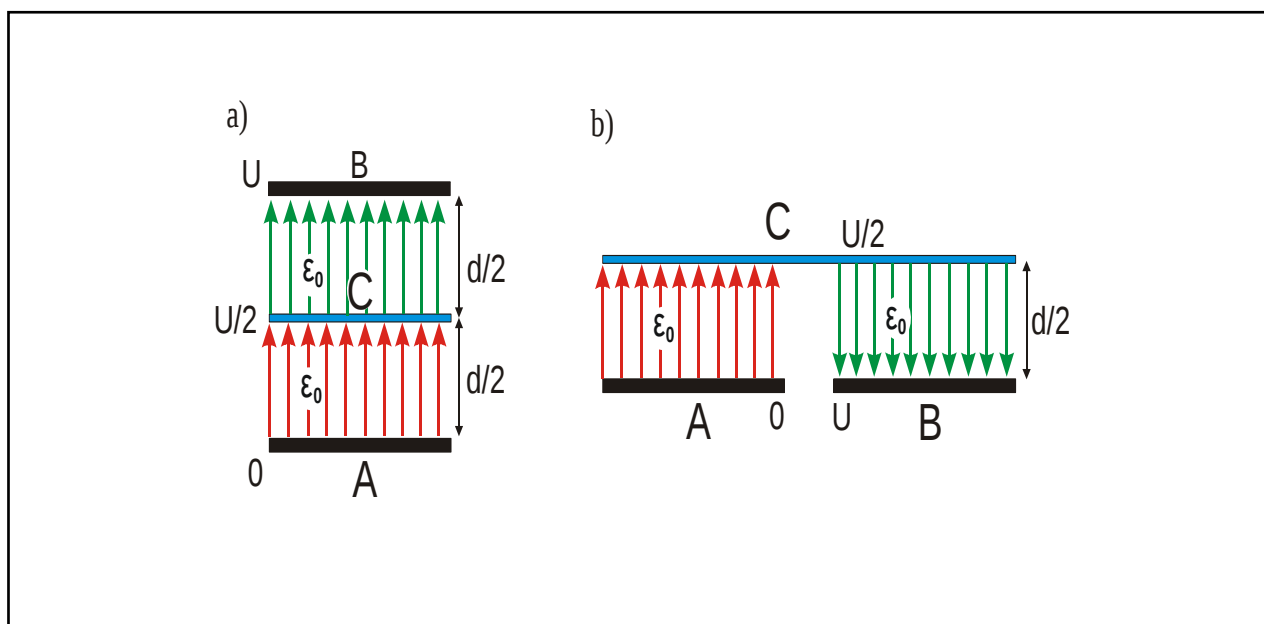


Figura 2-2 a) il condensatore con elettrodi A e B affacciati, b) il condensatore aperto con elettrodi A e B, disposti sullo stesso piano



Un oggetto di metallo (conduttore) che entra nel campo elettrostatico del condensatore aperto diventa l'elettrodo intermedio C. La capacità di un tale sistema è più grande della capacità del condensatore senza l'elettrodo C (Figura 2.3a).

Gli oggetti non conduttori (isolanti) che entrano nel campo elettrostatico del condensatore aperto aumentano la sua capacità in maniera proporzionale alla costante dielettrica dell'isolante (Figura 2.3b). La capacità del condensatore viene aumentata perché le costanti dielettriche dei fluidi o di corpi solidi sono sempre maggiori della costante elettrica dell'aria ($\epsilon_{\text{air}} = 1$).

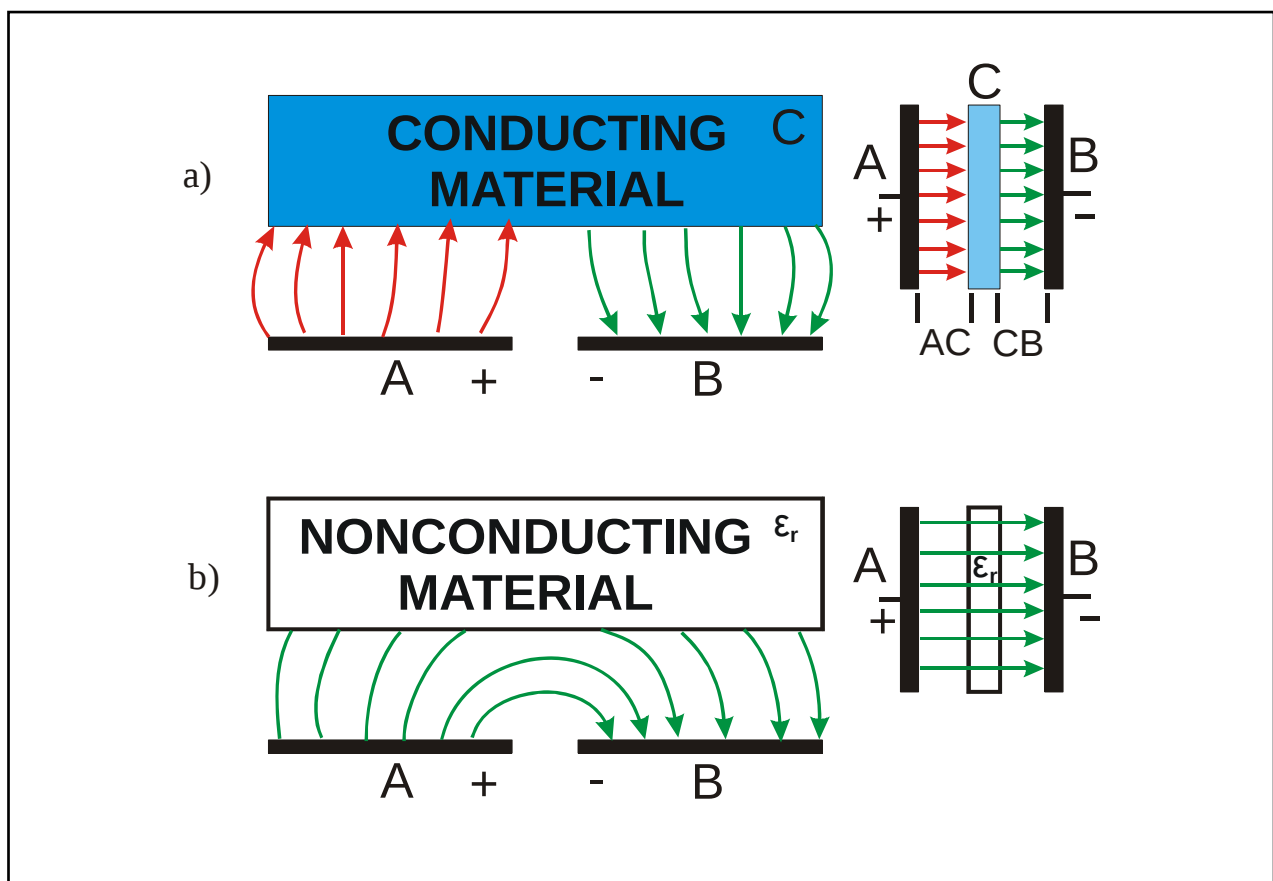


Figura 2-3 Il campo elettrico del condensatore aperto per materiali conduttori e non conduttori

2.3 Funzionamento del sensore capacitivo

L'elettrodo esterno B ha la forma di un anello e l'elettrodo A quella di un cilindro per creare un campo elettrico a simmetria centrale (Figura 2.4). L'oggetto da rilevare agisce come un elettrodo intermedio C. Il piano che contiene la circonferenza esterna dell'anello B viene considerata la superficie attiva del sensore. Più l'oggetto è lontano dal sensore più bassa è la capacità del sensore.

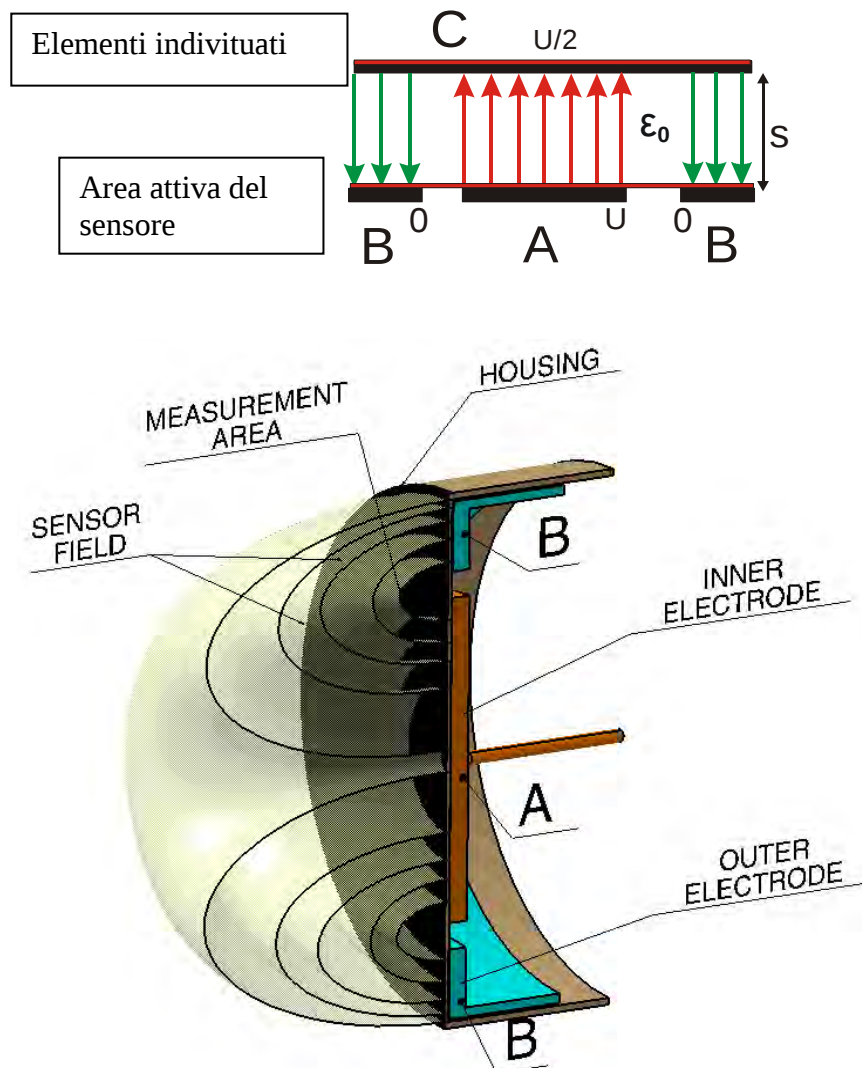


Figura 2-4 Il campo elettrico del sensore capacitivo

La struttura capacitiva di un sensore dipende dal tipo di oggetto da rilevare e dal suo collegamento di massa.

Gli oggetti non conduttori (di plastica, carta o vetro) aumentano la capacità propria del sensore perché le loro costanti dielettriche sono maggiori della costante dielettrica dell'aria (Figura 2.5a). L'aumento di capacità dipende dalla costante dielettrica dell'oggetto, ma è comunque ridotto. Perciò anche il raggio d'azione del sensore è ridotto.

Gli oggetti conduttori, in assenza di collegamento di massa, formano due ulteriori condensatori (tra l'oggetto e l'elettrodo interno e tra

l'oggetto e l'elettrodo esterno) connessi in serie (Figura 2.5b). Il raggio d'azione del sensore in questo caso è maggiore.

Se l'oggetto da individuare è un conduttore con collegamento a massa la capacità propria del sensore si collega in parallelo con la capacità extra (tra l'oggetto e gli elettrodi) (Figura 2.5c). Il raggio d'azione del sensore in questo caso è ancora maggiore.

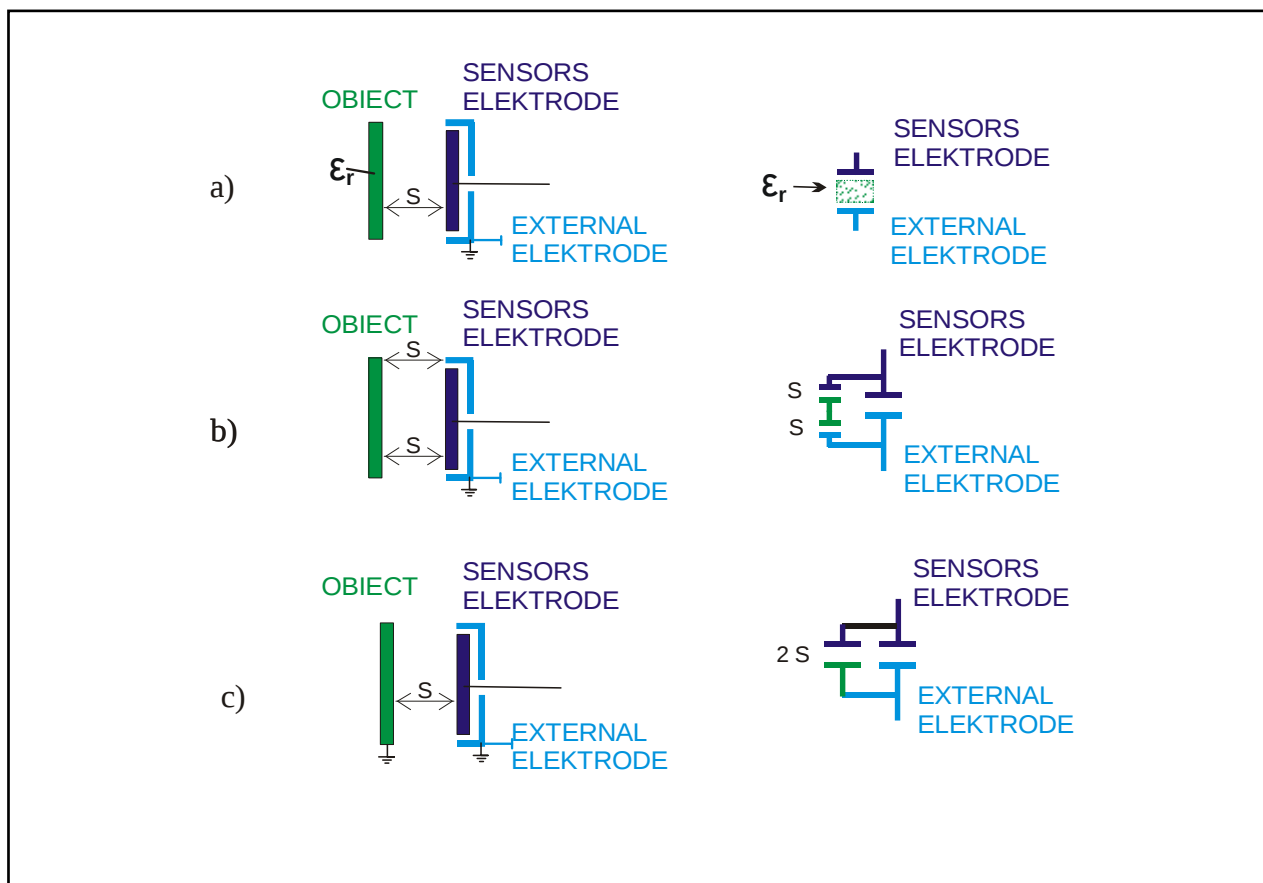


Figura 2-5 Struttura capacitiva del sensore: a) per un oggetto non conduttore, b) per un oggetto conduttore senza collegamento a massa, c) per un oggetto conduttore con collegamento a terra

Gli elettrodi A e B sono collegati con un oscillatore ad alta frequenza (Figura 2.1). Se nel campo elettrico del sensore non si trova alcun oggetto l'oscillatore non lavora. Se un oggetto entra in questo campo la capacità tra gli elettrodi A e B aumenta e viene acceso l'oscillatore. Il rivelatore analizza l'ampiezza delle oscillazioni dell'oscillatore e crea un segnale per il sistema di commutazione. Tra l'oscillatore e gli elettrodi si trova un potenziometro con cui può essere impostato il limite d'inserzione dell'oscillatore.

La distanza tra l'oggetto e il sensore a cui cambia lo stato di output viene chiamata raggio d'azione nominale del sensore S_n (Figura 2.6). Questo valore viene misurato mediante una piastra quadrata di acciaio FE360 con collegamento a terra. La sua larghezza deve essere uguale



al diametro del sensore o tre volte S_n (se maggiore) ed il suo spessore deve essere 1 mm.

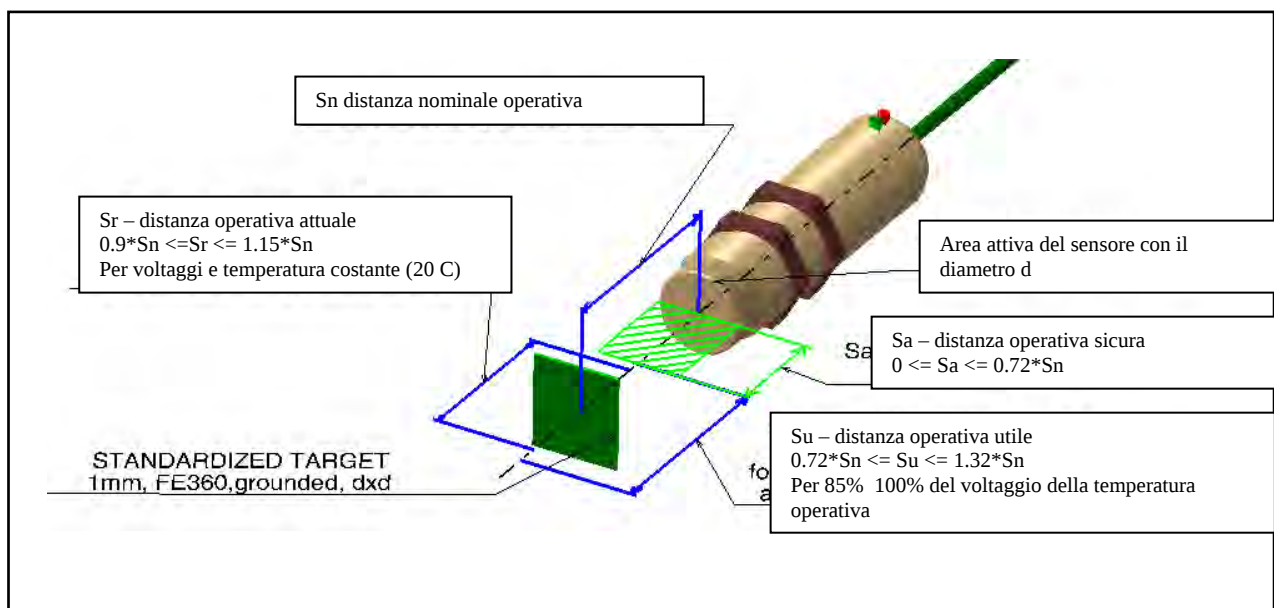


Figura 2-6 Determinazione del raggio d'azione per un sensore capacitivo

2.4 Tipi di sensori capacitivi

I sensori capacitivi normalmente hanno forma cilindrica o prismatica. La loro parte attiva si trova all'estremità del sensore (Figura 2.7). Ci sono due tipi di sensori cilindrici. I sensori del primo tipo hanno uno schermo e soltanto una zona d'azione ad un'estremità. Questa va installata su di una superficie di metallo o plastica (Figura 2.8a). I sensori del secondo tipo non hanno uno schermo e un volume d'azione tutto intorno al sensore. Questi sensori vengono impiegati se vanno in contatto con il mezzo da individuare (fluido o granulato). Hanno un raggio d'azione del 50% più grande perché il loro campo elettrico è maggiore. Ci sono anche sensori speciali come quelli flessibili che possono essere adattati a superfici piane o curve.

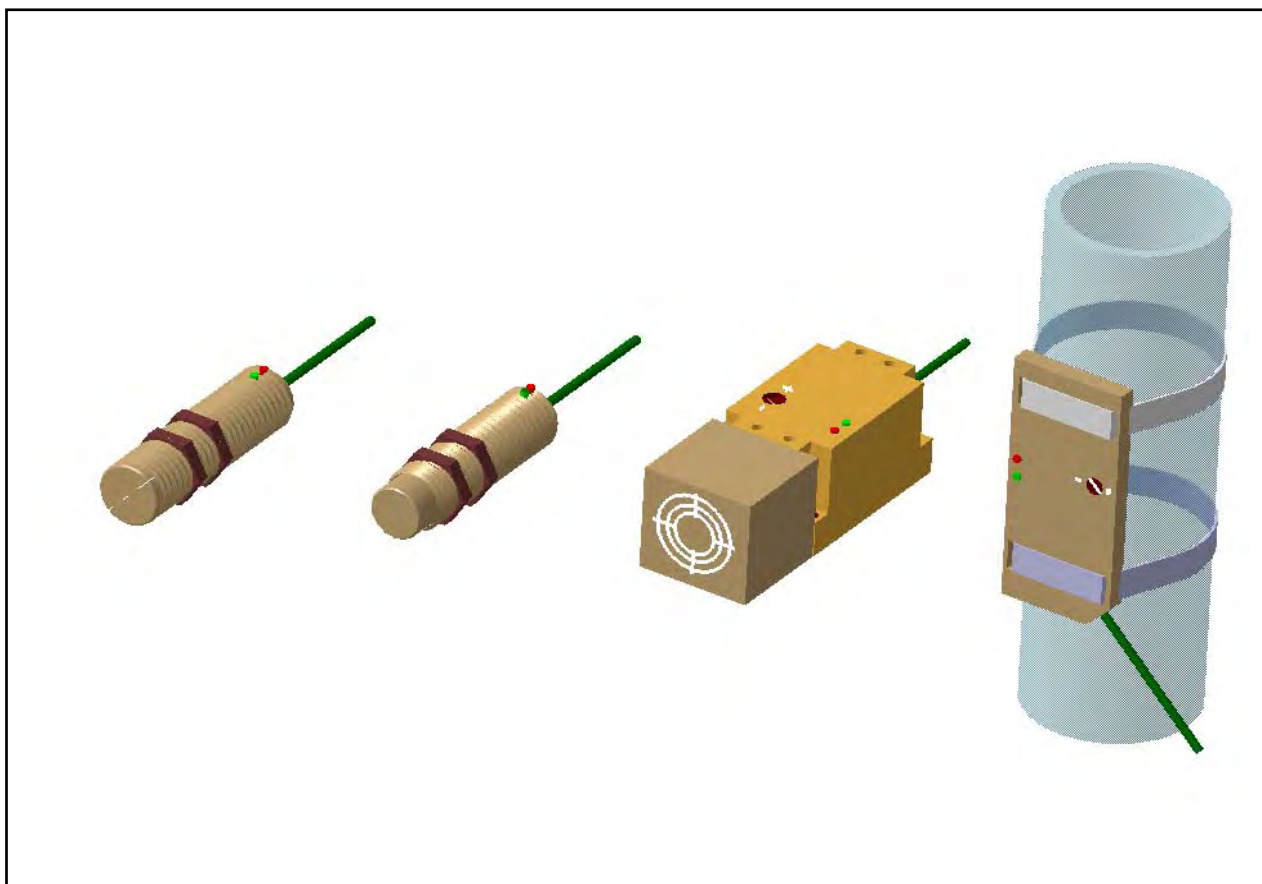


Figura 2-7 Varianti tipiche di sensori capacitivi



Quando si installano sensori capacitivi si dovrebbero seguire le regole rappresentate nella Figura 2.8 per evitare l'interferenza e disturbi esterni.

I circuiti di output e le connessioni dei sensori capacitivi sono simili a quelli dei sensori ad induzione. I sensori capacitivi possono avere due, tre o quattro conduttori con alimentazione in corrente continua o alternata.

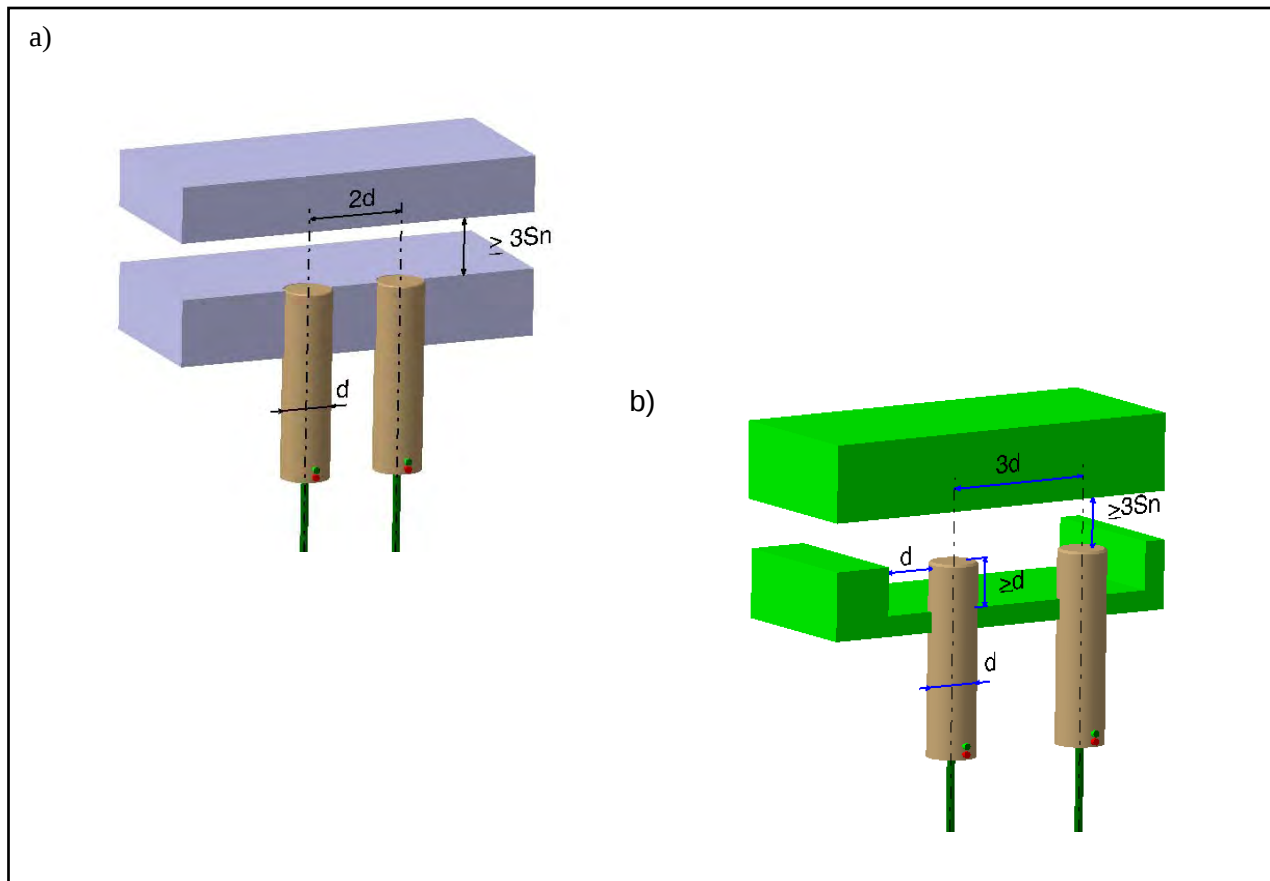


Figura 2.8: Schemi di montaggio di sensori capacitivi a) di superficie, b) non di superficie

2.5 Influenza del materiale dell'oggetto

Il raggio d'azione del sensore capacitivo può cambiare notevolmente e dipende dal materiale e dal collegamento a terra dell'oggetto da rilevare. I materiali conduttori determinano il massimo raggio d'azione.

Se l'oggetto è di un materiale conduttore il tipo di materiale non influenza il raggio d'azione del sensore. Se l'oggetto è di materiale non conduttore il raggio d'azione del sensore dipende dalla sua costante dielettrica. Più grande è la costante dielettrica più grande è il raggio d'azione (Figura 2.9). La tabella 2.1 contiene le costanti dielettriche di diversi materiali isolanti.

La distanza tra un oggetto di materiale organico (ad es. legno) e il sensore a cui cambia il segnale di output dipende notevolmente dalla quantità d'acqua che l'oggetto contiene perché la costante dielettrica dell'acqua è molto alta ($\epsilon_{\text{water}}=80$).

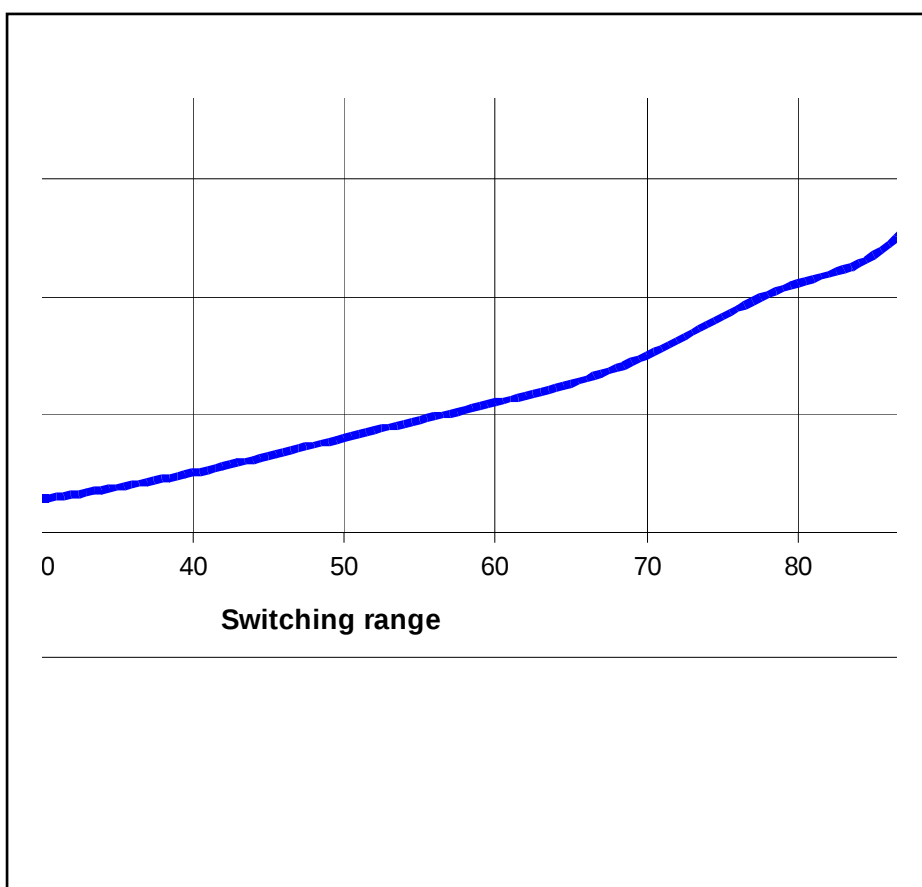


Figura 2-8 Relazione tra il raggio d'azione del sensore capacitivo e la costante dielettrica dell'oggetto di materiale non conduttore



Materiale	ϵ_r
Alcool	25,8
Bachelite	3,6
Petrolio	2,2
Cellulosa	3
Legno	2 ... 7
Gomma morbida	2,5
Gomma siliconica	2,8
Gomma vulcanizzata	4
Marmo	8
Mica	6
Olio per trasformatore	2,2
Carta	2,3
Cartone	4,5
Paraffina	2,2
Plexiglas	3,2
Poliammide	5
Polietilene	2,3
Polipropilene	2,3
Polistirolo	3
Porcellana	4,4
Vetro	5
Teflon	2
Aria, vuoto	1
Acqua	80

Tabella 2-1 La costante dielettriche ϵ_r di differenti materiali non conduttori

Il raggio d'azione nominale S_n viene indicato nei cataloghi e misurato mediante un oggetto standard di metallo. Va moltiplicata con il coefficiente del materiale dell'oggetto da rilevare per calcolare l'effettivo raggio d'azione.

Raggio d'azione effettivo = $S_n \times$ coefficiente di correzione

Materiale	Coefficiente di correzione
Acciaio	1
Acqua	1
Legno	0,7
Vetro	0,6
Olio	0,4
PVC	0,4
PE	0,37
Ceramica	0,3

Tabella 2-2 Coefficiente di correzione per diversi materiali

2.6 Soppressione dei disturbi

Il rilevatore contiene dei filtri d'interferenza che escludono l'influsso dei campi elettrici esterni quando non sono troppo intensi. Tuttavia i filtri cambiano significativamente la frequenza massima di commutazione, quindi peggiorano la caratteristica dinamica del sensore.

Il sensore può reagire in maniera errata se sporco o umidità si trovano sulle superficie attiva del sensore. Un elettrodo aggiuntivo di compensazione, collegato con l'uscita del sensore (Figura 2.10), viene utilizzato per mantenere costante il raggio d'azione. Una contaminazione aumenta la capacità tra l'elettrodo del sensore e lo schermo. La capacità tra l'elettrodo del sensore e l'elettrodo di compensazione crea allo stesso tempo un accoppiamento di compensazione. Se un oggetto sottile (ad es. un foglio di carta) è in contatto con il sensore, il segnale principale dell'elettrodo può essere neutralizzato dal disturbo e lo stato di output non viene commutato.

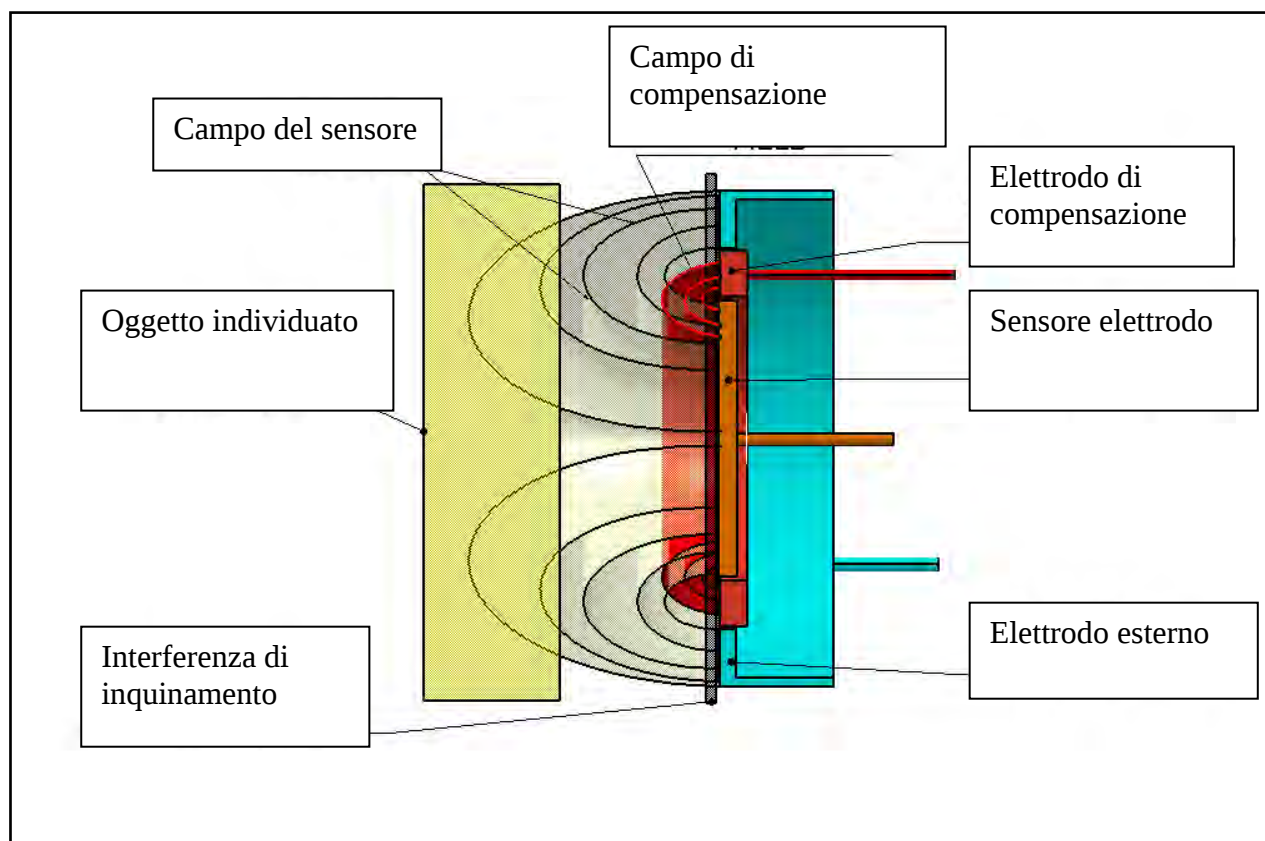


Figura 2-9 Sensore con elettrodo aggiuntivo di compensazione

2.7 Applicazioni

In virtù delle loro caratteristiche e della loro semplice costruzione i sensori capacitivi vengono ampiamente usati nell'industria.



Con il loro impiego si possono:

- controllare il livello del fluido o del granulato in un serbatoio,
- contare oggetti conduttori e non conduttori,
- individuare imballaggi vuoti,
- scoprire danni all'oggetto.

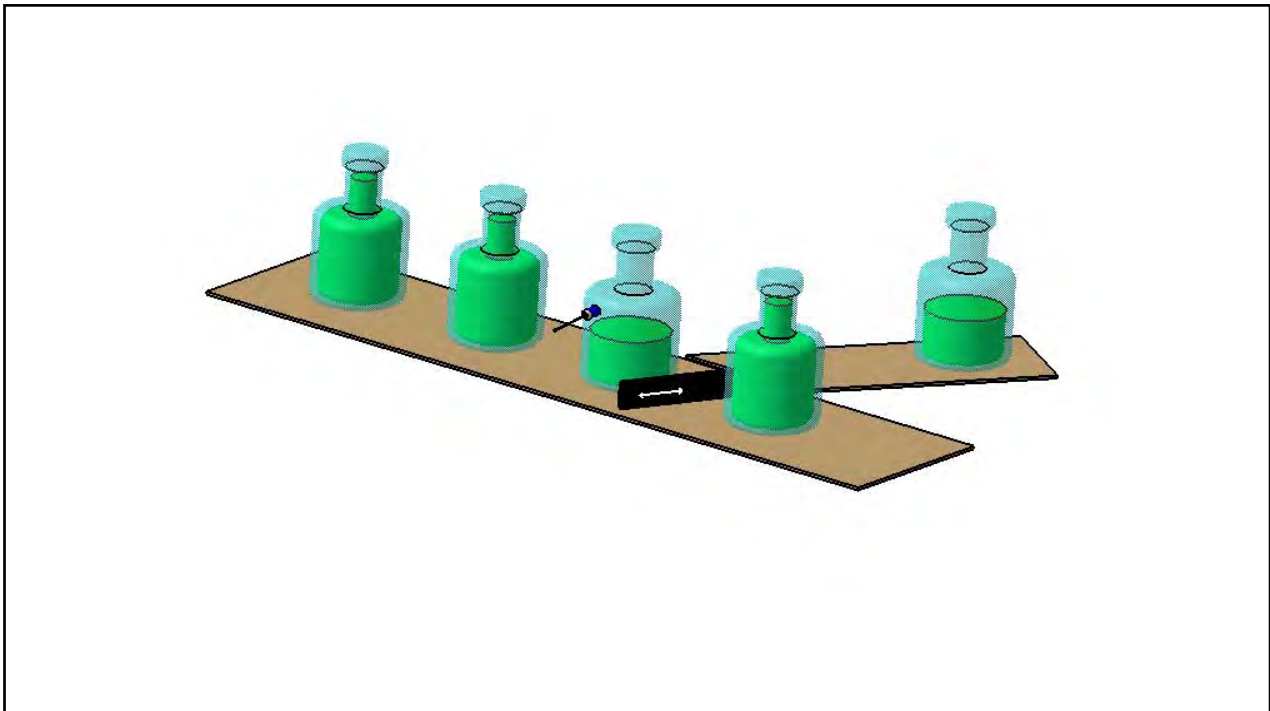


Figura 2-10 Sensore per individuare e rimuovere dalla linea bottiglie non completamente piene

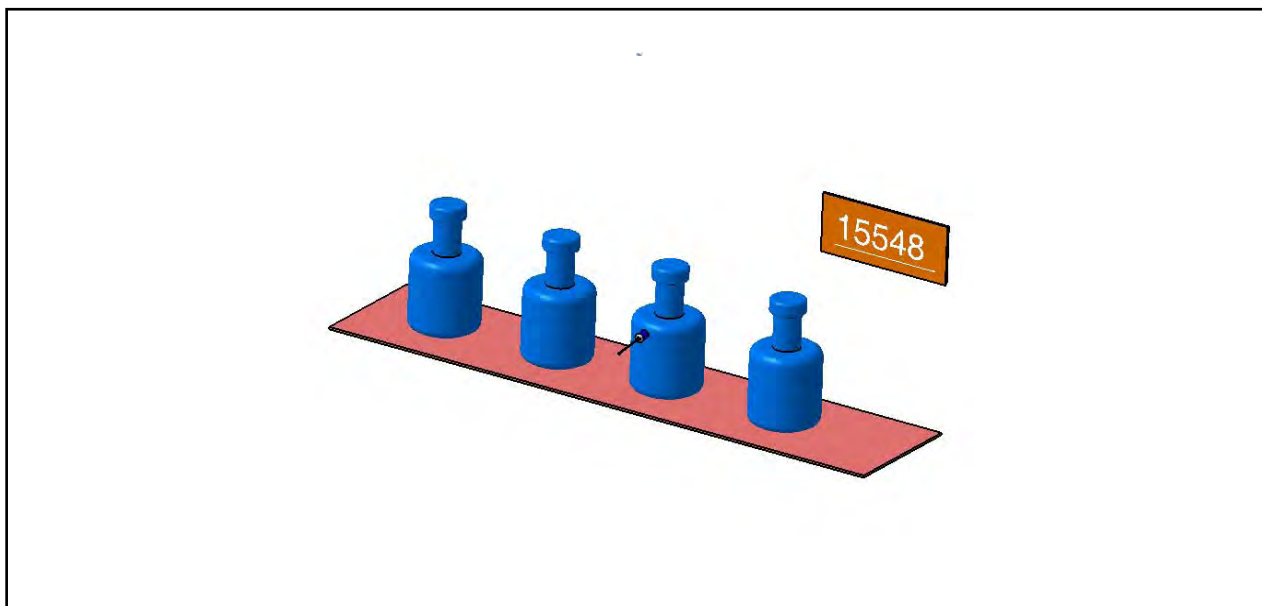


Figura 2-11 Sensore impiegato per contare contenitori di vetro o di metallo

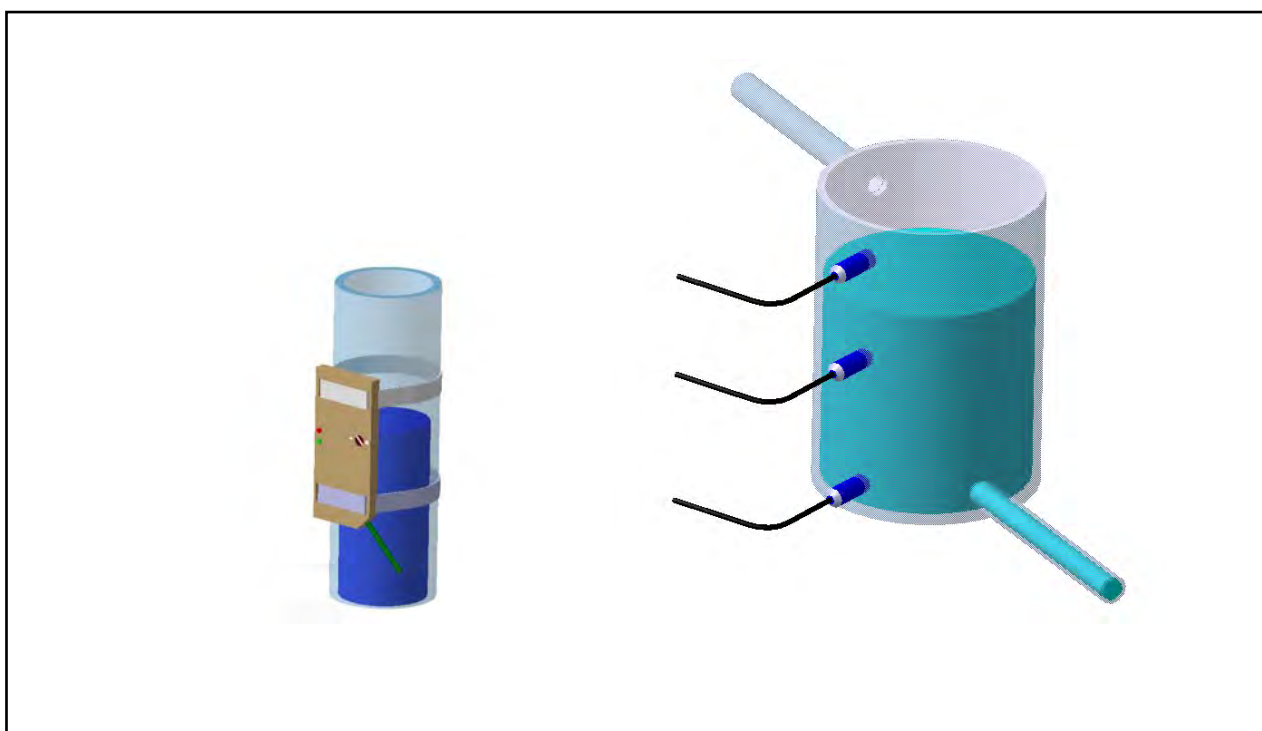


Figura 2-12 impiegati per controllare il livello del fluido in serbatoio o in un tubo

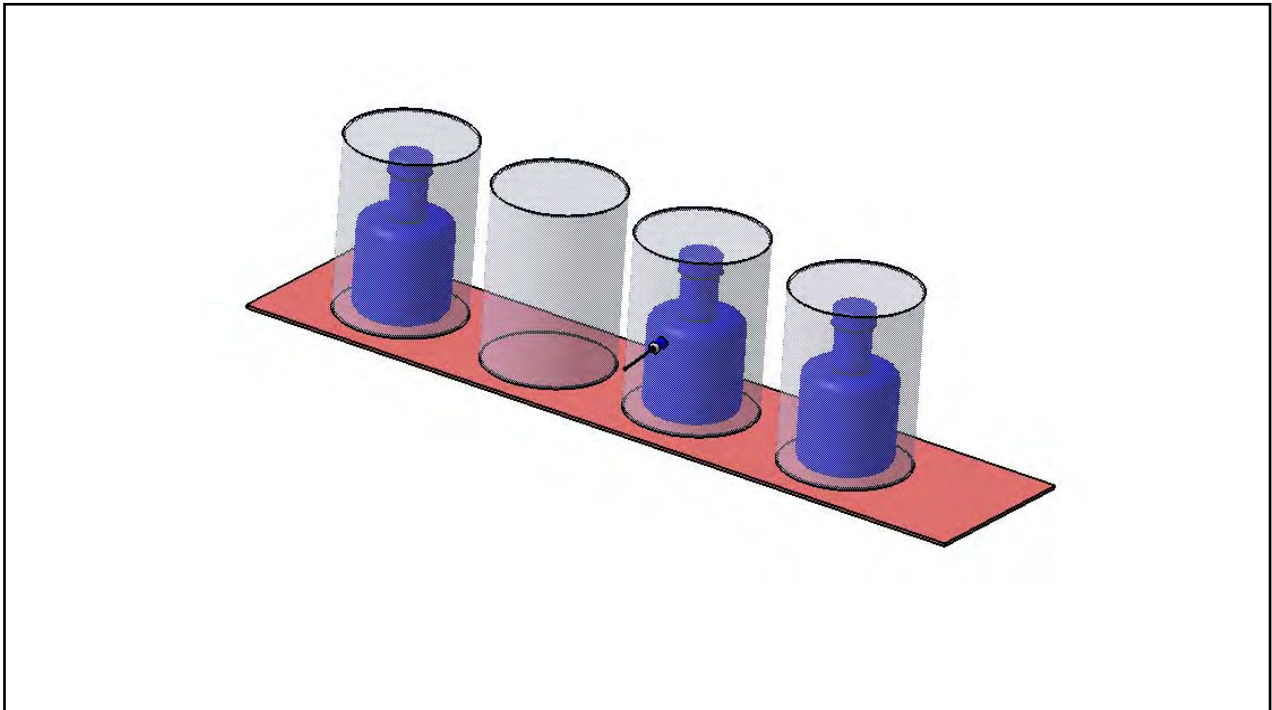


Figura 2-13 Sensore usato per individuare vuoti imballaggi di carta su un nastro trasportatore

3 Sensori ultrasonici

3.1 Nozioni di base

I sensori ultrasonici vengono usati sia per individuare oggetti, indipendentemente dal loro colore o dal materiale di cui sono costituiti, sia per controllare l'altezza di un fluido, anche se trasparente. Vengono usati in ambienti polverosi dove i sensori ottici non possono essere usati. I sensori ultrasonici generano un ultrasuono e misurano l'arco di tempo tra l'invio del segnale e la ricezione dell'eco rinviato. Questo arco di tempo è proporzionale alla distanza fra oggetto e sensore. Per questo principio di funzionamento, la frequenza di scansione del segnale d'uscita deve essere minore rispetto a quella del rivelatore (da alcuni Hertz anche fin oltre 100 Hz).

I sensori ultrasonici generano un'onda acustica, la cui frequenza è molto più alta dei 20 kHz, che rappresenta il limite di quelle udibili.

A causa dell'alta frequenza di lavoro del trasduttore i sensori ultrasonici non sono sensibili all'influsso dei rumori nell'ambiente.

Un sensore ultrasonico contiene un generatore di alta tensione, un trasduttore piezoelettrico nella testa del sensore, un sistema per l'elaborazione dei segnali e un sistema d'uscita (Figura 3.1).

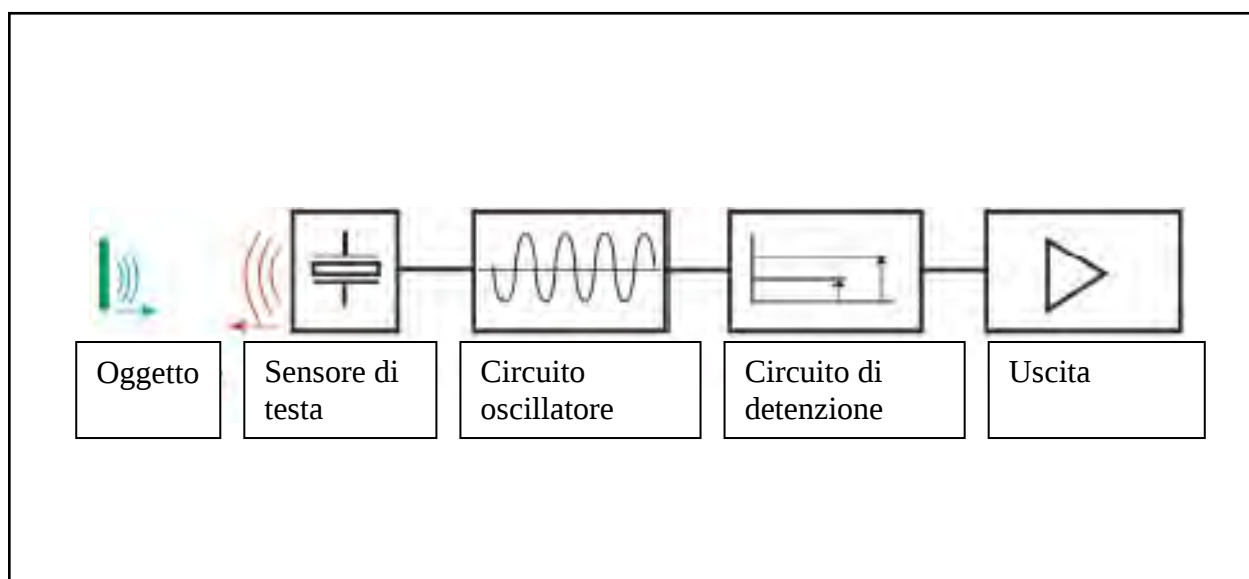


Figura 3-1 Schema a blocchi di un sensore ultrasonico



3.2 Principio fisico

3.2.1 Propagazione delle onde acustiche nell'aria

Le onde acustiche si possono propagare in diversi mezzi (gas, fluidi e corpi solidi) grazie all'interazione tra le molecole. Nell'aria le onde acustiche sono longitudinali e si propagano grazie al fatto che le molecole oscillanti dell'aria collidono con le molecole vicine e le eccitano. Perciò un'onda acustica si può propagare senza che a spostarsi siano le molecole oscillanti.

La lunghezza dell'onda acustica λ è la distanza che un'onda percorre nell'unità di tempo (Figura 3.2). La frequenza di oscillazione f è il numero dei periodi in un secondo. Si misura in Hertz [Hz].

La velocità di diffusione dell'onda acustica V dipende dalle caratteristiche (spessore e rigidità) del mezzo. Può essere calcolata come segue:

$$V = \lambda \cdot f \quad [\text{m/s}]$$

f – frequenza acustica [Hz]

λ – lunghezza dell'onda acustica [m]

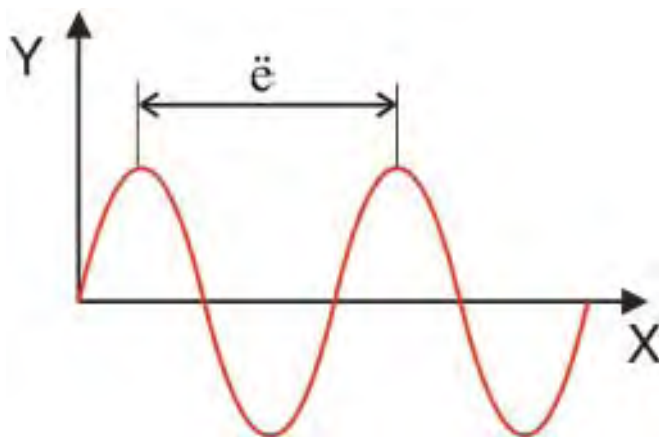


Figura 3-2 Diagramma di un'onda acustica

La frequenza acustica dei sensori ultrasonici è normalmente compresa tra i 23 ed i 400 kHz (Figura 3.3).

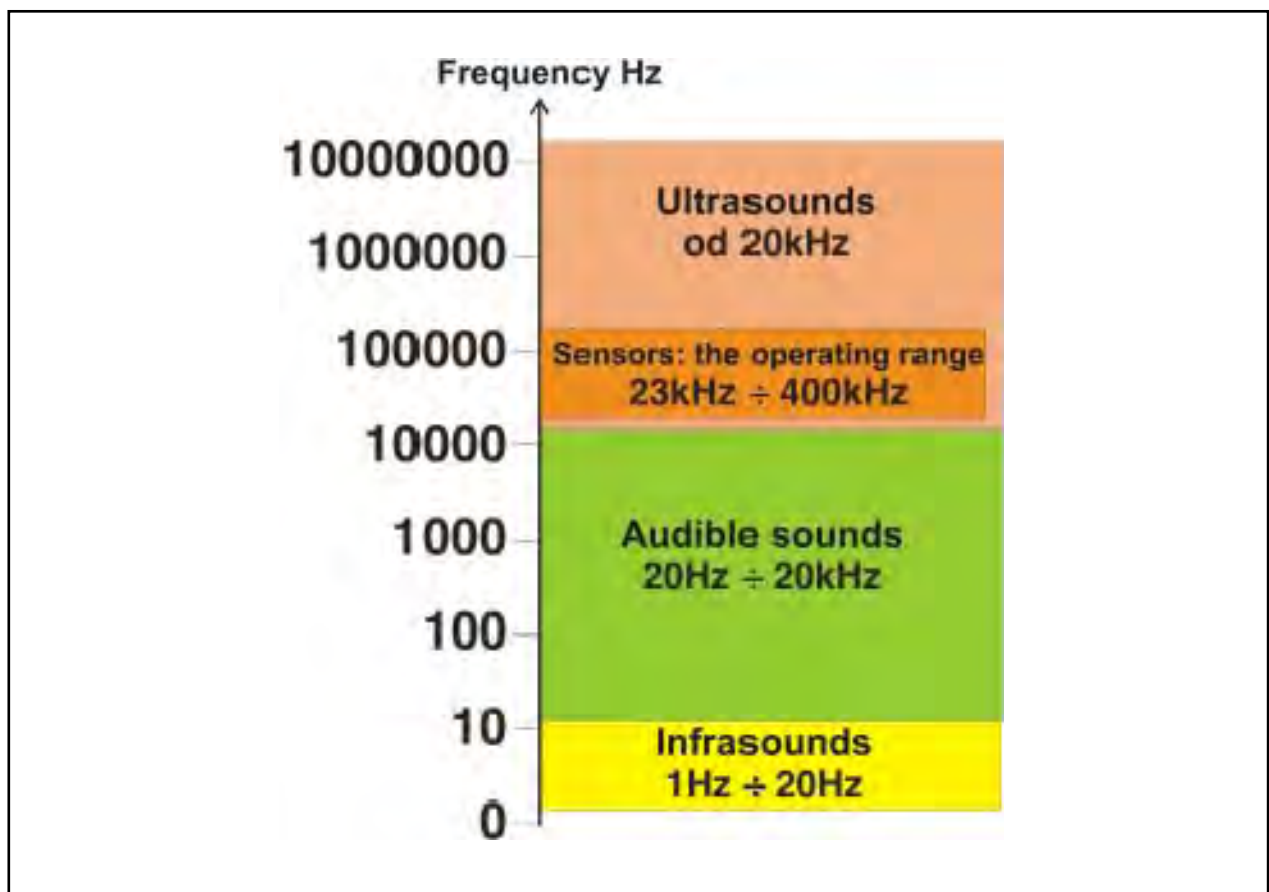


Figura 3-3 Gamma di frequenza delle onde acustiche



Le onde acustiche si diffondono secondo le stesse leggi che regolano le onde luminose. Possono essere riflesse parzialmente o completamente da un oggetto.

Se si conosce la velocità del suono nell'aria e l'arco di tempo tra l'invio del segnale e la ricezione dell'eco rimandato, la distanza tra l'oggetto e il sensore può essere calcolata come segue:

$$S = V \cdot t / 2$$

V – velocità del suono nell'aria (343 m/s a 20 °C)

t – arco di tempo tra l'invio e la ricezione dell'onda ultrasonica [s]

S – distanza tra l'oggetto ed il sensore [m]

Il prodotto $V \cdot t$ va diviso per 2 perché l'onda acustica deve superare la distanza tra sensore fino al oggetto S1 e dall'oggetto fino al sensore S2 (Figura 3.4).

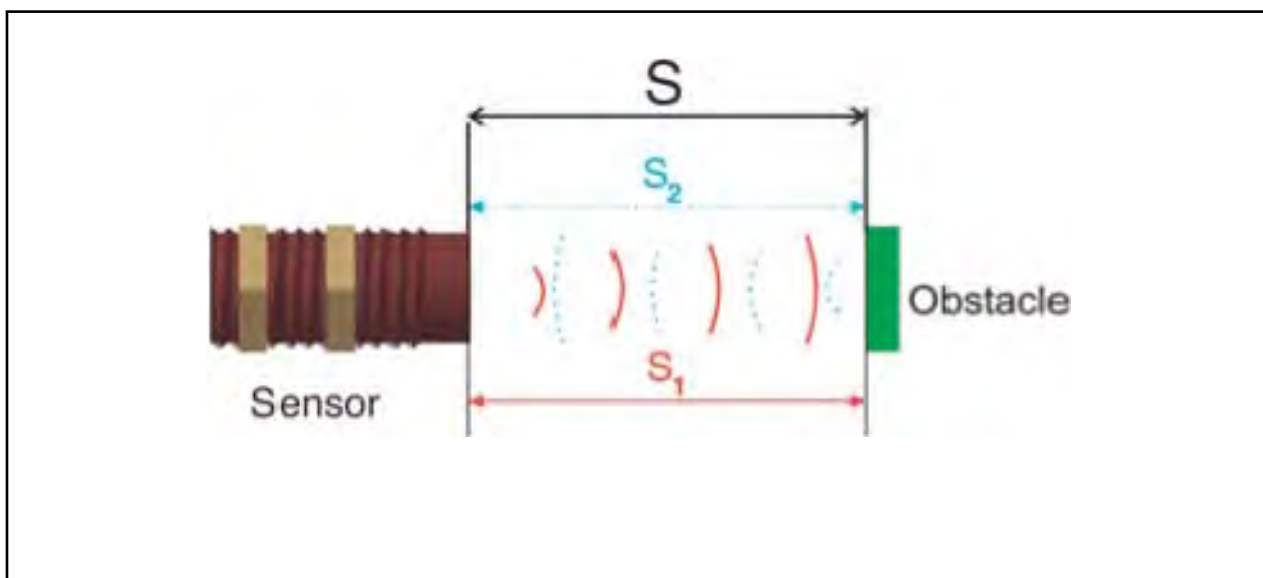


Figura 3-4 La distanza tra l'oggetto e il sensore $S = (S_1 + S_2) / 2$

3.2.2 Influsso dell'ambiente

La velocità, la diffusione e la lunghezza dell'onda acustica dipendono anche dall'ambiente. Se cambiano le caratteristiche fisiche dell'ambiente (aria), cambia anche la precisione della misurazione di distanza. Queste caratteristiche sono:

Temperatura: I cambiamenti di temperatura causano un cambiamento della velocità del suono ($0,17 \% / K$) (Figura 3.5). La maggior parte dei sensori contiene nell'interno un compensatore di temperatura elettronico che in buona misura (in 2 casi su 3) elimina quest'influenza.

Pressione: Se cambia la pressione dell'aria di $\pm 5 \%$ anche la velocità dell'onda acustica varia di $\pm 0,6 \%$.

Umidità: Se l'umidità cresce aumenta anche la velocità dell'onda acustica (al massimo per il 2%).

Correnti d'aria: L'influsso delle correnti d'aria dipende dalla loro direzione e intensità. I venti forti con velocità maggiori di 50 km/h nella stessa direzione delle onde acustiche possono fortemente cambiare la loro velocità. I venti che si muovono perpendicolarmente alla direzione delle onde acustiche le inducono a cambiare direzione, un effetto non desiderabile.

Inquinamento: Un forte inquinamento dell'aria può causare la contaminazione della superficie emittente le onde ultrasoniche e può abbassare così il raggio d'azione del sensore anche del 30% .

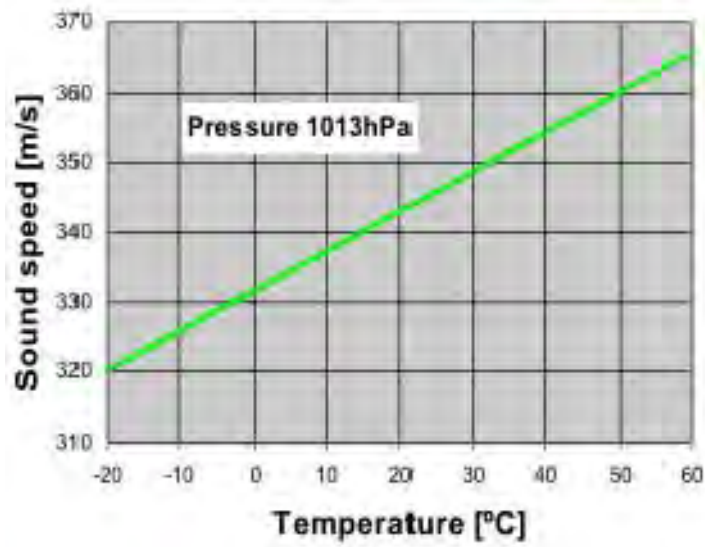


Figura 3-5 Rapporto tra velocità di onde acustiche e temperatura

3.2.3 Trasduttori acustici

La maggior parte delle onde acustiche viene generato da trasduttori piezoelettrici. L'effetto piezoelettrico consiste nel manifestarsi di cariche elettriche per effetto di una tensione meccanica.

Alcuni cristalli (solfato di litio, quarzo) hanno caratteristiche piezoelettriche perché il loro reticolo cristallino ha una forma elicoidale. Questo effetto è reversibile, vale a dire che un trasduttore può essere deformato con una tensione elettrica. Ci sono due effetti piezoelettrici:

- diretto: una tensione meccanica (ad es. pressione) viene trasformata in un segnale elettrico (Figura 3.6a)
- inverso: un segnale elettrico viene trasformato in un movimento o in un'oscillazione meccanica (Figura 3.6b)

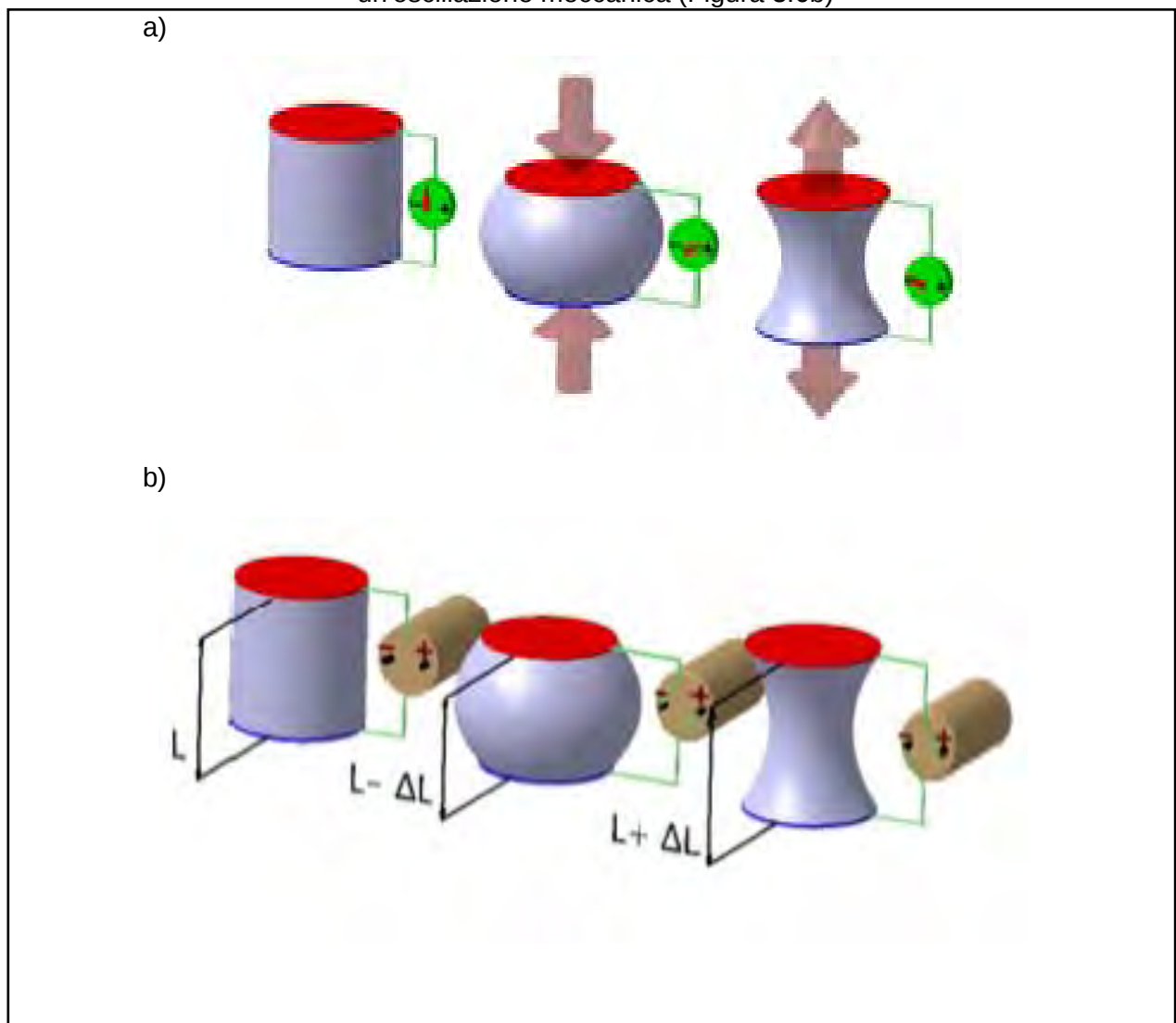


Figura 3-6 L'effetto piezoelettrico: a) diretto, b) inverso

La deformazione del trasduttore Δl , è uguale all'ampiezza dell'onda generata e proporzionale alla tensione U . Il coefficiente di proporzionalità è la costante piezoelettrica d ($d_{\text{quartz}} = 2.3 \cdot 10^{-12} \text{ [m/V]}$).

$$\Delta l = d \cdot U \text{ [m]}$$

I materiali ferroelettrici (un gruppo dei materiali ceramici) hanno anche caratteristiche piezoelettriche. A causa della struttura specifica dei materiali ferroelettrici i dipoli elettrici si allineano in maniera permanente, anche se viene rimosso il campo elettrico.

I dipoli inizialmente orientati irregolarmente in maniera casuale (Figura 3.7a) formano un allineamento permanente se viene applicato un intenso campo elettrico. L'angolo tra i dipoli e la superficie del trasduttore è di 45° (Figura 3.7b). Se si applica una tensione sulla superficie della piastra i dipoli ruotano in dipendenza dal segno della tensione. Le cariche dello stesso segno (+ e +, - e -) si respingono, quelle opposte (+ e -, -e +) si attraggono. Queste rotazioni causano l'allungamento o la contrazione dello spessore del trasduttore in dipendenza della tensione applicata su di una delle piastre (Figura 3.7c, d).

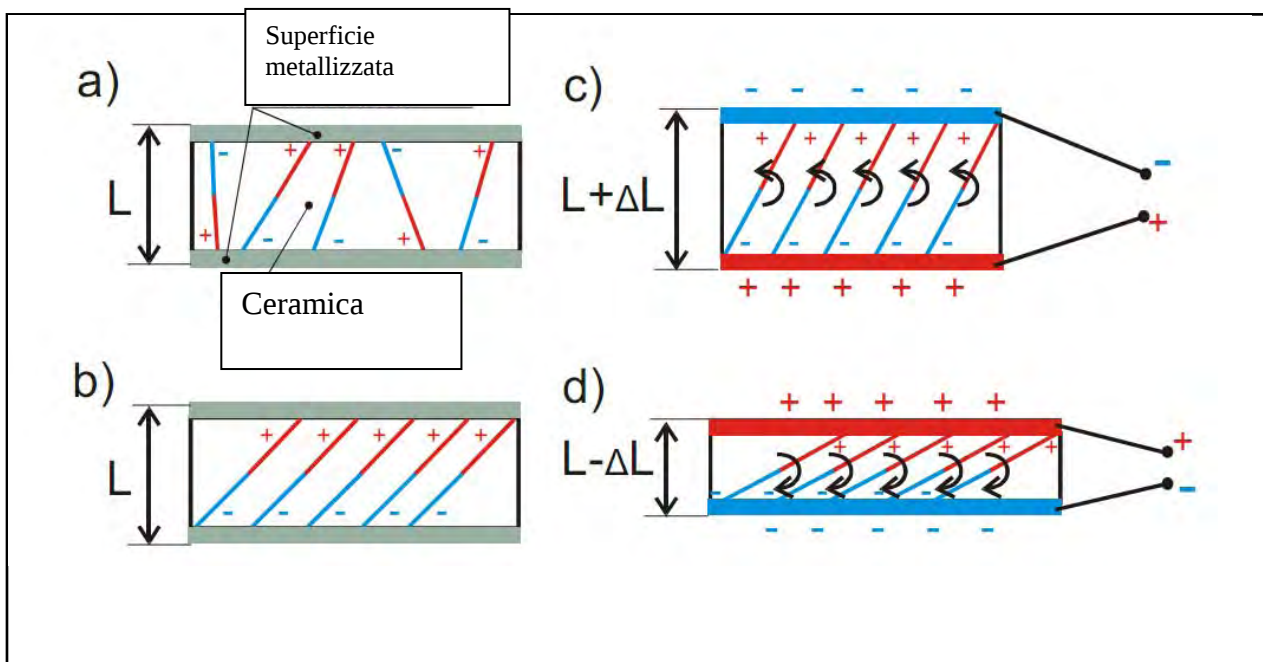


Figura 3-7 Deformazione di un trasduttore ceramico a causa dell'effetto piezoelettrico:

Gli elementi piezoelettrici (soprattutto ceramici) possono avere forme diverse (Figura 3.8).

Per condurre la tensione le superfici frontali del trasduttore vengono metallizzate (con uno strato d'argento dello spessore di al-

cuni dieci micrometri) perché i materiali piezoelettrici sono dielettrici.

Le caratteristiche piezoelettriche scompaiono alle alte temperature. La temperatura massima d'impiego di un trasduttore di quarzo dovrebbe essere inferiore ai 200 ° C e quella di un trasduttore ceramico minore di 100 ° C.

Quando l'energia elettrica viene trasformata in energia meccanica il grado d'efficienza del trasduttore ceramico è molto maggiore di quello del trasduttore al quarzo.

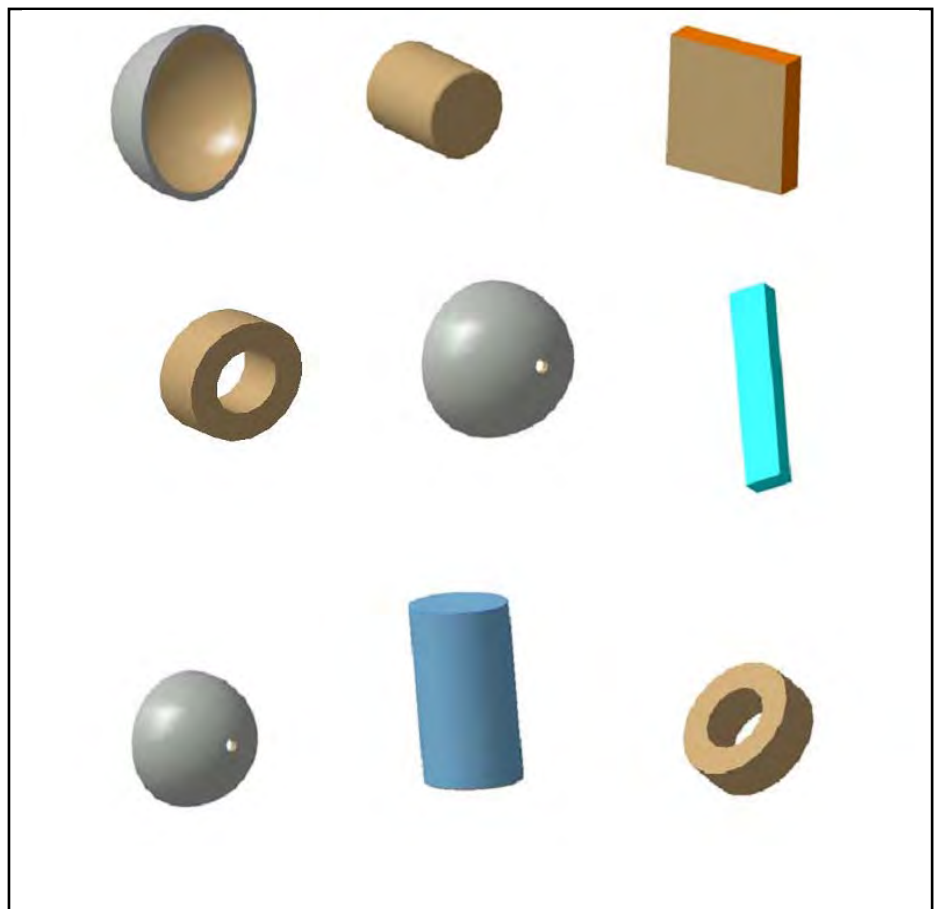


Figura 3-8 Forme tipiche degli elementi piezoelettrici

3.2.4 Generazione delle onde ultrasoniche

Le oscillazioni del trasduttore causate da variazioni di tensione vengono trasmesse alle molecole di un altro materiale o mezzo (ad es. aria) e viene generata un'onda acustica. Al contrario,

quando oscillazioni di molecole vengono trasmesse al trasduttore le deformazioni del trasduttore causano lo sviluppo di cariche elettriche sulla superficie degli elettrodi. Perciò un trasduttore piezoelettrico può essere usato sia come generatore sia come rivelatore di onde acustiche (Figura 3.9).

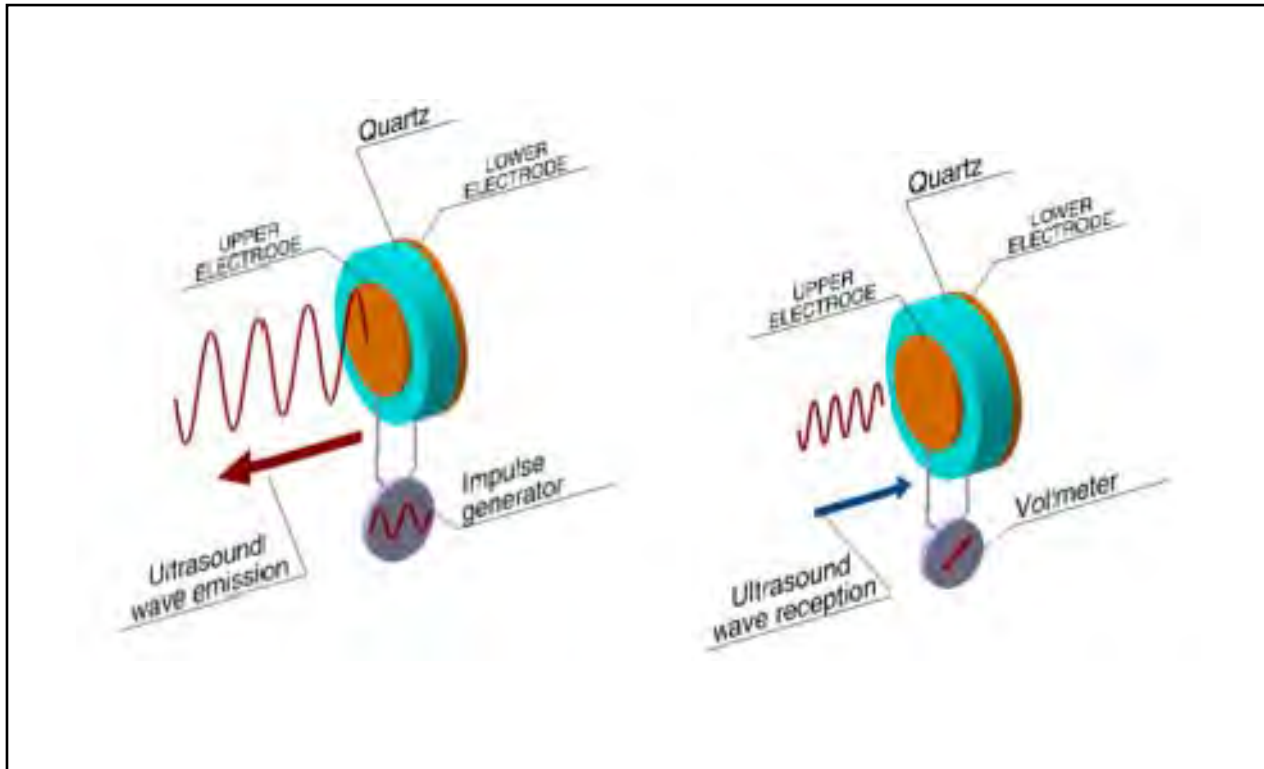


Figura 3-9 Generatore e rivelatore dell'onda acustica

La zona d'influenza di un'onda ultrasonica è notevolmente diffusa (Figura 3.10). La maggiore intensità del suono si trova intorno all'asse del sensore. Se l'intensità del suono nel volume grigio non è sufficiente per un corretto funzionamento del sensore, soltanto il cono del suono con un angolo α va utilizzato durante la misurazione (Figura 3.10b). L'energia dell'onda ultrasonica nel volume giallo aggiunge il 50% all'energia intorno all'asse del sensore.

Se si conosce la distanza X tra l'oggetto e il sensore ^{b)} è possibile calcolare il diametro del cono del suono D vicino all'oggetto come segue:

$$D = 2 \cdot X \cdot \tan(\alpha/2)$$

X – distanza tra l'oggetto e il sensore

α – angolo del cono di suono

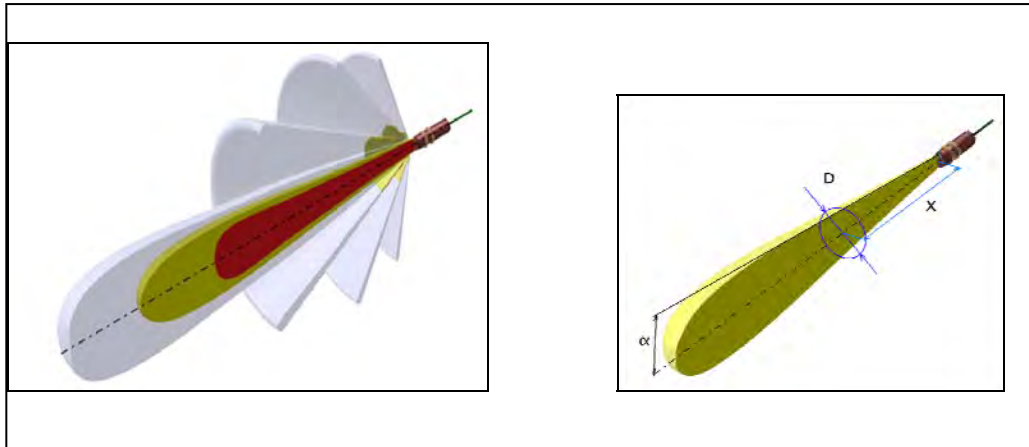


Figura 3-10 Onda ultrasonica: a) sezione longitudinale del raggio lungo l'asse del sensore,

L'angolo di apertura del cono sonoro adatto ai diversi impieghi varia tra alcuni gradi fino ad alcune decine di gradi. Sia l'angolo di apertura sia la forma del raggio ultrasonico dipendono dalla grandezza, forma e frequenza della superficie del trasduttore. Perciò esistono anche forme molto diverse del raggio acustico (Figura 3.11).

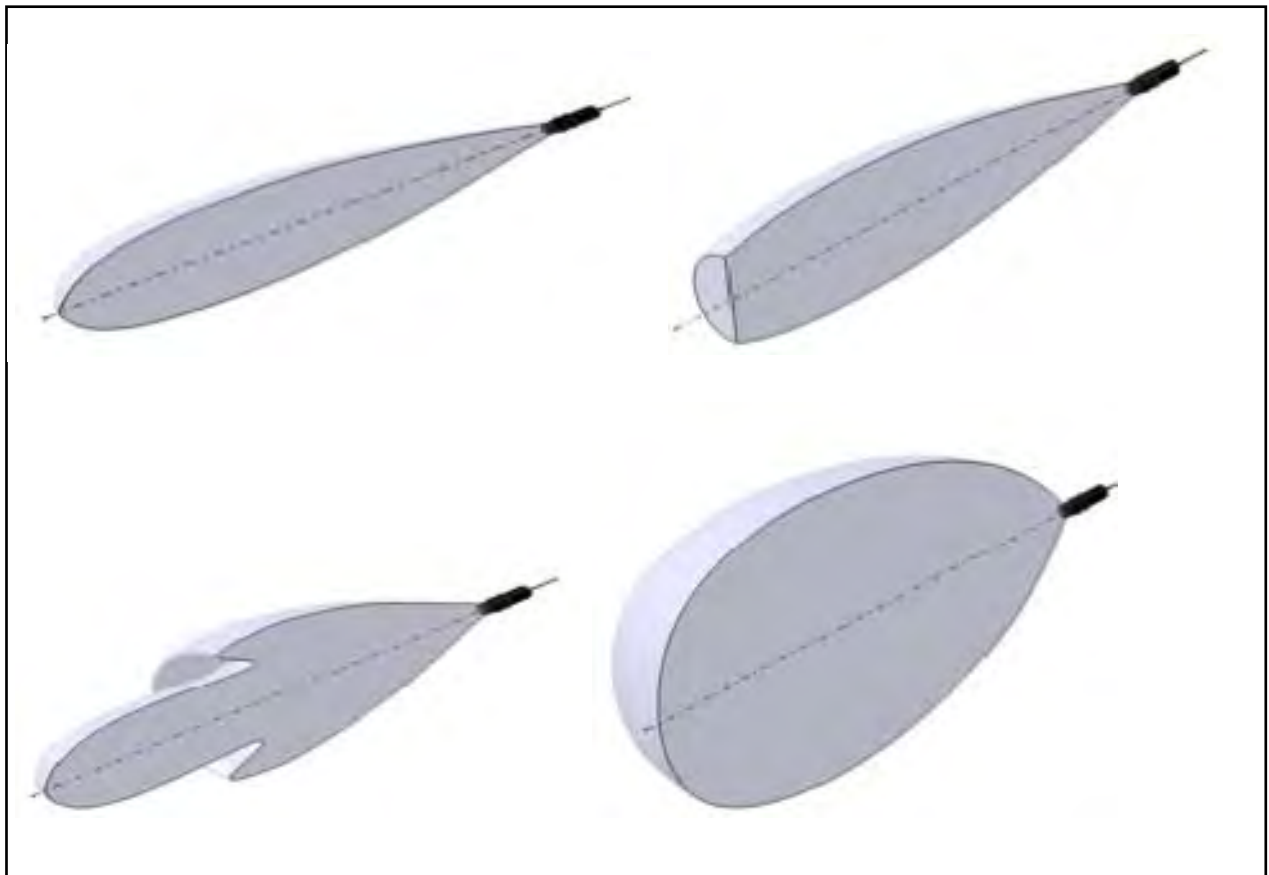


Figura 3-11 Forme diverse del raggio acustico

La precisione della misurazione dipende dalla distanza tra l'oggetto e il sensore (Figura 3.12). In funzione della precisione può essere calcolato il raggio d'azione del sensore nel quale l'oggetto può essere individuato con certezza.

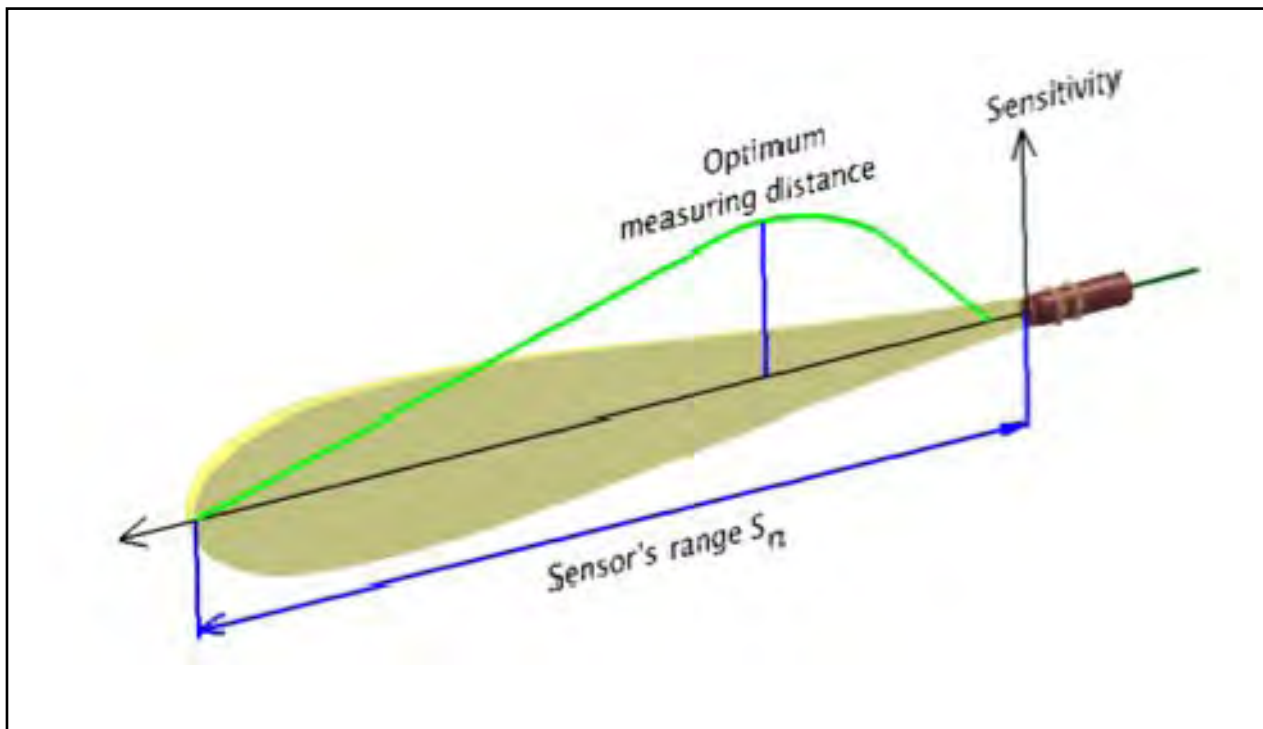


Figura 3-12 Relazione tra la precisione della misurazione e la distanza tra l'oggetto e il sensore

3.3 Funzionamento dei sensori ultrasonici

I sensori ultrasonici hanno due modalità tipiche di funzionamento: la modalità basata sulla diffusione dell'onda (sensori a diffusione) e la modalità basata sul transito dell'onda (sensori a sbarramento). La modalità più comunemente impiegata è quella a diffusione. Il sensore riceve l'onda sonora riflessa dall'oggetto come un eco. La distanza, calcolata sulla base della misurazione del tempo, viene trasformata, secondo il tipo di output richiesto, in un segnale analogico in corrente o in tensione oppure in uno stato binario (ON / OFF). Se l'oggetto si trova al di fuori del raggio d'azione del sensore il segnale di output torna nello stato precedente. La misurazione ultrasonica ha due fasi (Figura 3.13):

- emissione dell'onda ultrasonica del trasduttore in direzione dell'oggetto
- emissione dell'onda ultrasonica (eco) dall'oggetto individuato in direzione del trasduttore

Nei sensori a diffusione entrambe le funzioni vengono realizzate da un unico trasduttore piezoelettrico.

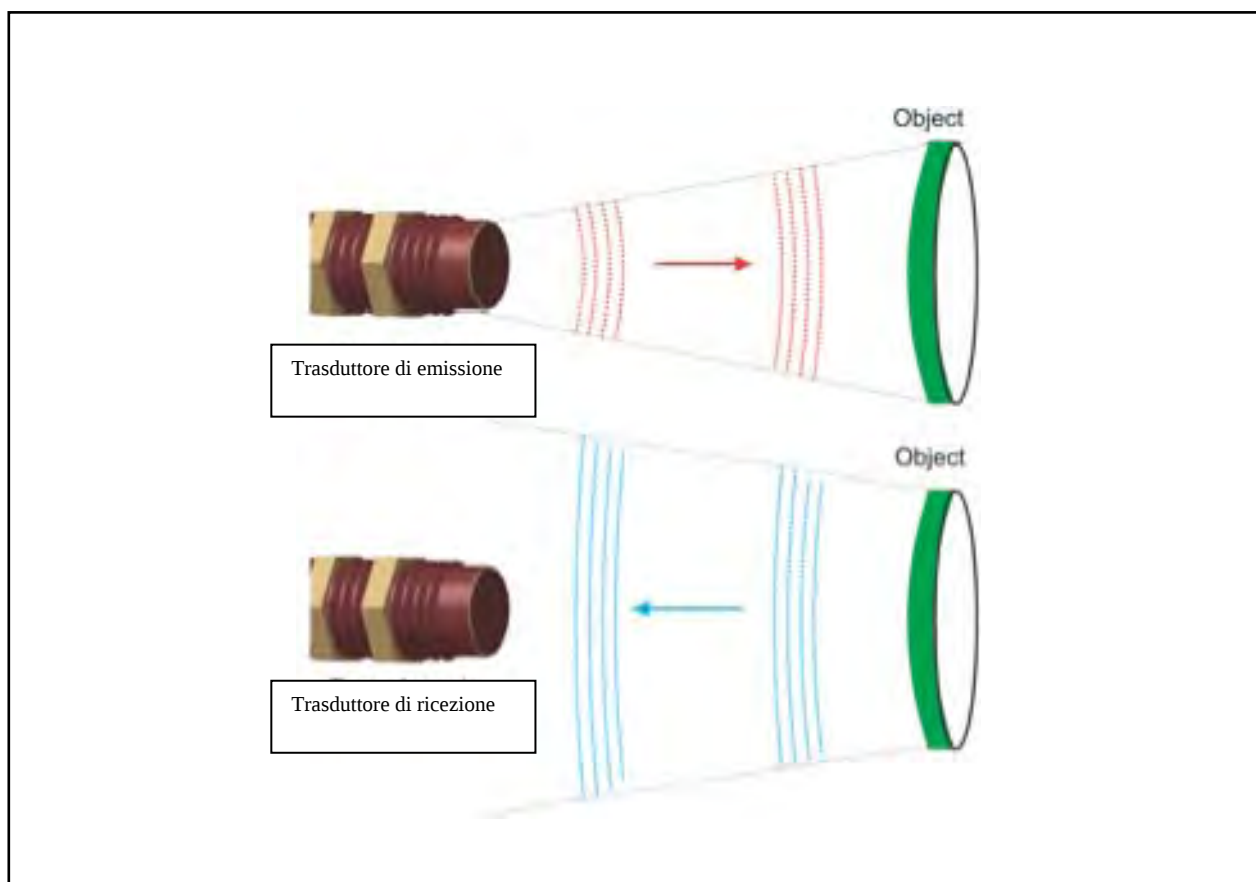


Figura 3-13 Due fasi della misurazione del sensore ultrasonico

Maggiore è lo spessore dell'oggetto rilevato più alta è anche la sensibilità del sensore, dato che viene riflessa una parte maggiore dell'onda ultrasonica. Perciò vengono rilevati soprattutto oggetti con un alto coefficiente di riflessione del suono (corpi solidi, fluidi, granulati).

I sensori di diffusione generano impulsi ultrasonici periodici. La loro frequenza è di alcune decine di Hz. L'arco di tempo tra l'emissione dell'impulso ultrasonico e la ricezione dell'eco riflesso è proporzionale all'effettiva distanza tra l'oggetto e il sensore. Quando uno stesso trasduttore genera le onde ultrasoniche e le riceve, la durata T_i dell'impulso deve essere molto più breve del tempo di ritorno T_e (Figura 3.14). Il sensore attende l'eco tra l'impulso inviato ed il successivo. Se si misura il tempo T_e può essere calcolata la distanza tra l'oggetto e il sensore. Il manifestarsi dell'eco nel circuito rivelatore dei sensori significa che un oggetto si trova nel raggio d'azione del sensore. Il segnale di output viene quindi commutato.

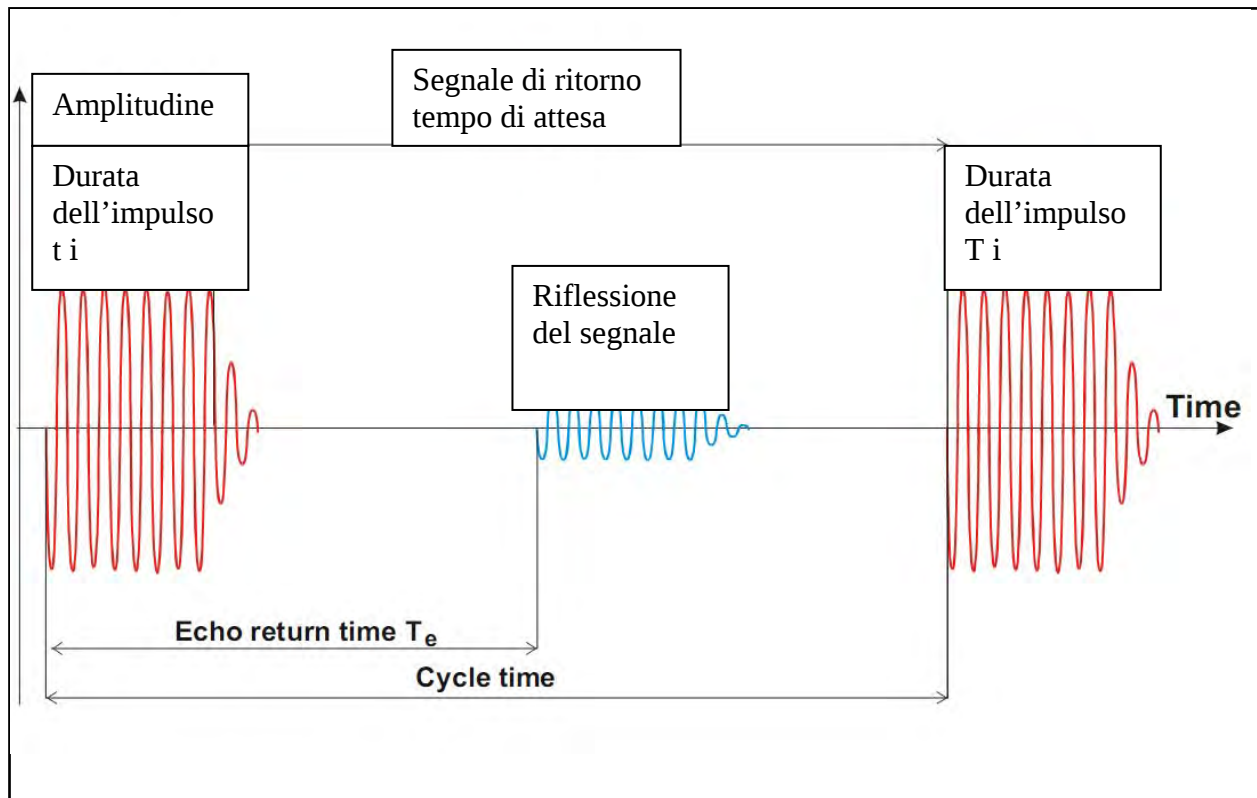


Figura 3-14 Ciclo di funzionamento di un sensore ultrasonico

3.3.1 Modalità a diffusione

I sensori ultrasonici a diffusione contengono un trasduttore elettronico speciale che genera un'onda ultrasonica d'impulso e che la può anche ricevere. In un periodo (da alcuni microsecondi fino a un millisecondo) il trasduttore genera un certo numero d'impulsi ultrasonici e attende il loro ritorno. Il segnale di output inizialmente OFF (Figura 3.15a) viene commutato in ON se una superficie che riflette il suono entra nel raggio d'azione del sensore (Figura 3.15b).

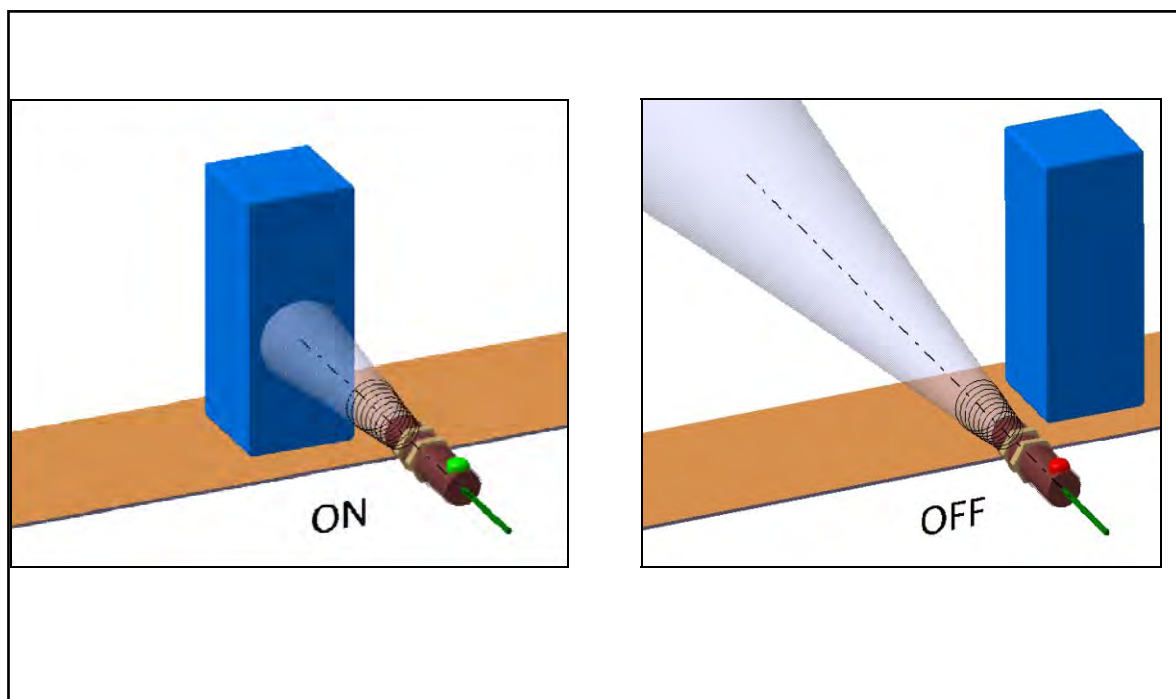


Figura 3-15 Segnale di output del sensore a diffusione: a) prima del rilevamento dell'oggetto,

Il raggio d'azione massimo del sensore può essere regolato da un opportuno potenziometro cosicché oggetti oltre tale limite non vengono rilevati (Figura 3.16). Questa funzione si chiama 'cancellazione dello sfondo' (blanking out the background). Il raggio d'azione minimo può essere regolato soltanto per alcuni tipi di sensore. In tal caso, la **zona bloccata** (nella quale gli oggetti non vengono rilevati) e la **zona attiva** (nella quale gli oggetti vengono rilevati) possono essere stabilite con precisione.

La **zona morta** si trova in prossimità del sensore dove gli oggetti non vengono rilevati o dove l'individuazione non è affidabile. L'ampiezza della zona morta dipende dal raggio di azione del sensore. Minore è il raggio di azione del sensore più piccola è la zona morta.

La zona morta esiste perché il trasduttore ha due funzioni (generare e ricevere l'onda ultrasonica). Il trasduttore perciò può ricevere un eco soltanto quando l'impulso di suono è stato inviato.

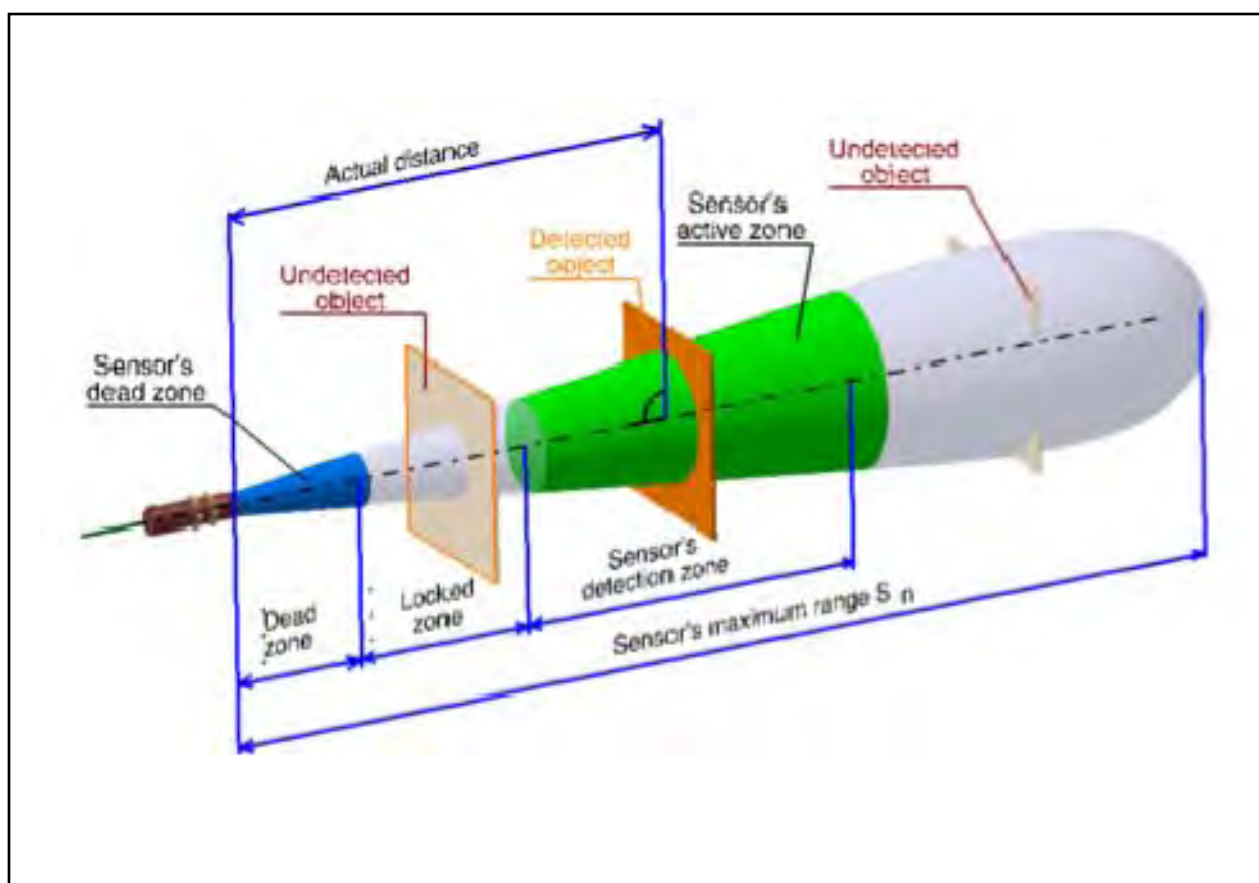


Figura 3-16 Definizioni delle zone di funzionamento per un sensore ultrasonico

A seconda dell'impiego vengono prodotti sensori il cui angolo di apertura del cono ultrasonico va da 3 fino ad alcune decine di gradi. Il cono ultrasonico deve contenere soltanto la parte desiderata della superficie da individuare. Altri volumi vanno ignorati.

Una piastra quadrata di metallo con lo spessore di 1 mm e che riflette le onde ultrasoniche viene usata per definire il raggio d'azione del sensore S_n . La piastra va disposta perpendicolarmente all'asse dell'onda sonora. La sua grandezza dipende dal raggio di azione del sensore:

- larghezza della piastra = 10 mm per un raggio di azione del sensore < 300 mm
- larghezza della piastra = 100 mm per un raggio di azione > 800 mm

Con oggetti diversi non è garantito che si raggiunga il raggio d'azione del sensore S_n indicato nei cataloghi mediante la misurazione.

Valgono le regole seguenti:

- Minore è la frequenza del sensore più grande è il raggio d'azione del sensore.
- Maggiore è la frequenza del lavoro minore è l'influenza del rumore.

3.3.2 3.3.2 Modalità a sbarramento

Il trasduttore ultrasonico genera un'onda sonora in direzione del ricevitore che ha un supporto separato. Il segnale originale viene commutato se un oggetto interrompe l'onda ultrasonica (Figura 3.17). Diversamente dai sensori a diffusione ed a riflessione il trasduttore nei sensori a sbarramento genera un'onda continua. Non esiste quindi una zona morta.

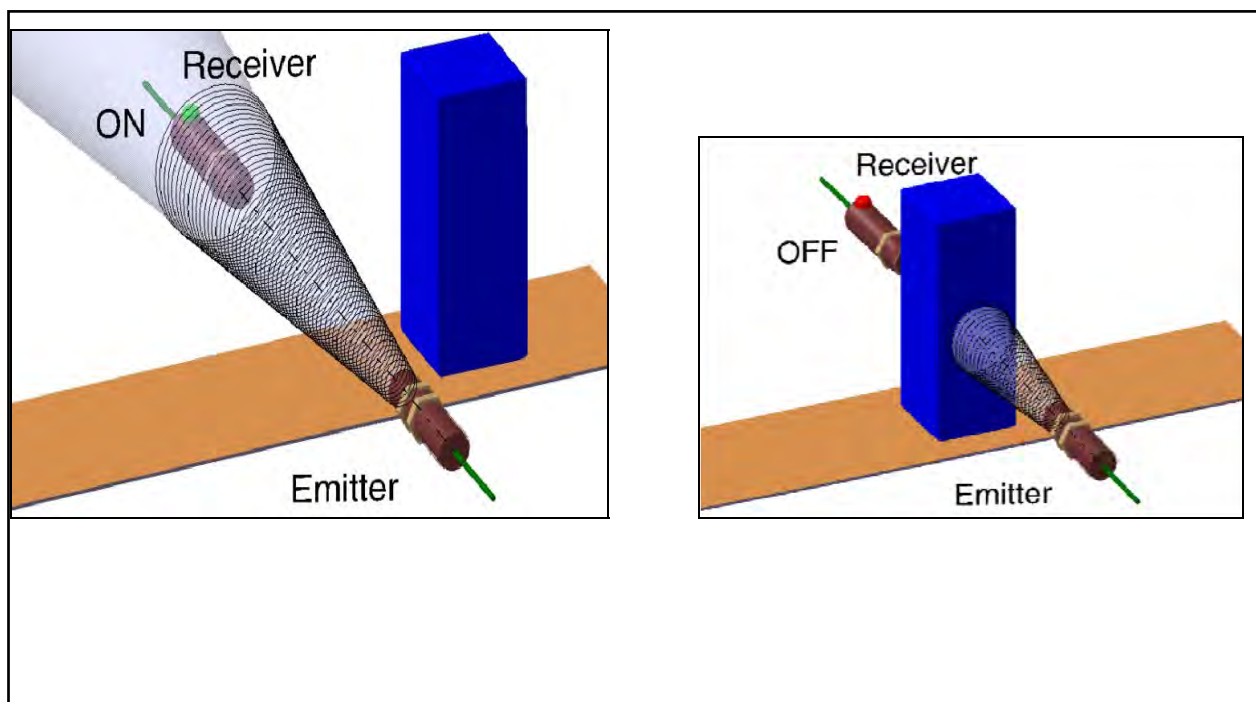


Figura 3-17 Segnale di output di un sensore a sbarramento: a) prima di rilevare un oggetto, b) dopo il rilevamento.

I sensori a sbarramento vengono impiegati soprattutto per rilevare oggetti porosi che diffondono onde sonore o che le assorbono, e oggetti con una forma complicata che non possono essere rilevati dai sensori a diffusione.

Se un oggetto che riflette bene le onde sonore si trova nella posizione rappresentata nella Figura 3.18 non può essere rilevato dal sensore a diffusione perché l'angolo fra l'onda riflessa e l'asse del sensore è troppo grande. Un oggetto di questo tipo interrompe l'onda sonora e può essere rilevato agevolmente mediante un sensore a sbarramento.

La frequenza di commutazione del segnale di output nei sensori a sbarramento è maggiore al confronto di quella ottenibile con i sensori a diffusione e può giungere fino a 200 Hz.

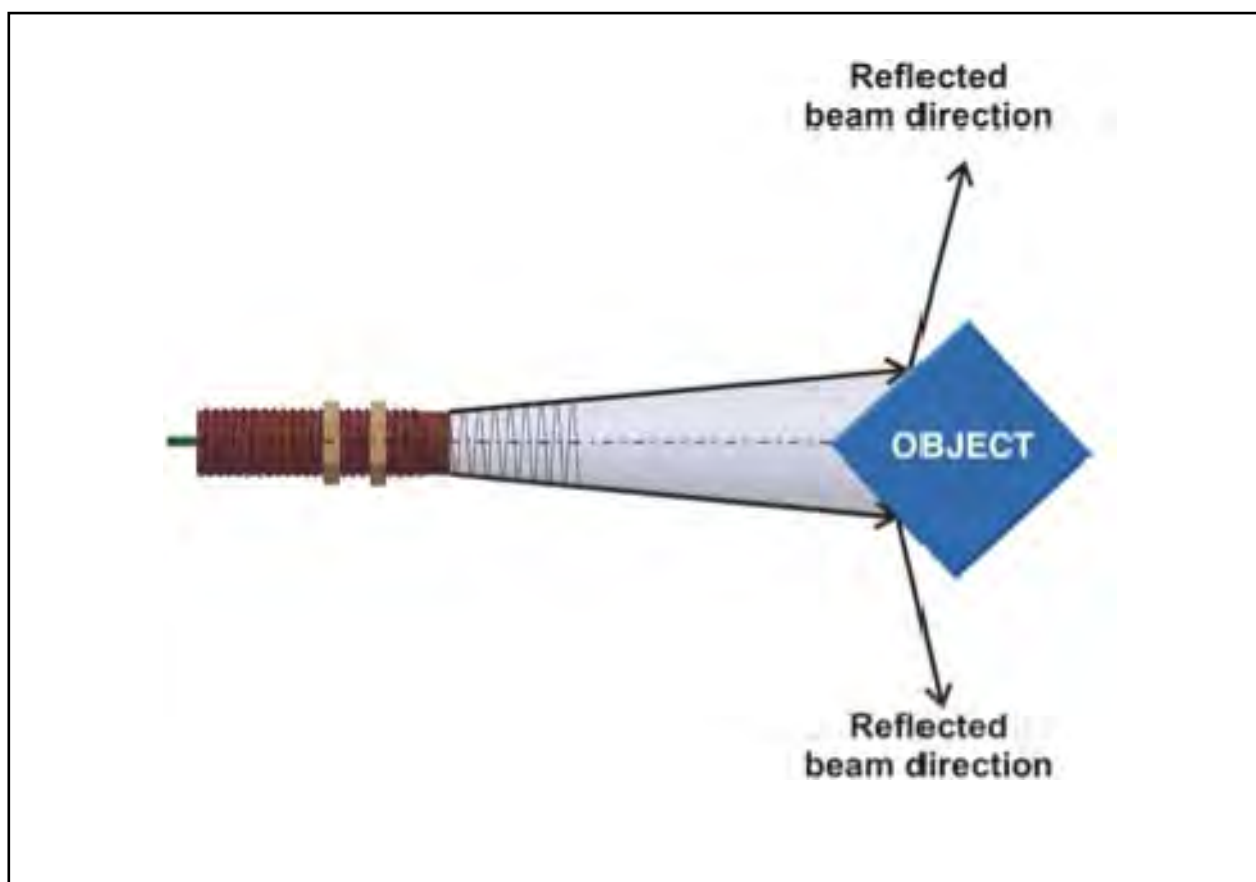


Figura 3-18 Oggetto che non viene rilevato da un sensore a diffusione e che può essere invece rilevato da un sensore a sbarramento

3.4 Errori possibili

3.4.1 Fattori fisici

I seguenti fattori possono disturbare il funzionamento del sensore:

- **Correnti d'aria** che cambiano la velocità o la direzione dell'onda sonora cosicché un oggetto non viene rilevato o a causa dei quali



la distanza tra oggetto e il sensore viene misurata in maniera errata.

- **Cambiamenti della pressione d'aria** in un intervallo $\pm 5\%$ possono cambiare il raggio d'azione del sensore di $\pm 0,6\%$.
- **L'aumento della temperatura** nel raggio d'azione del sensore può diminuire la velocità del suono e la durata dell'impulso come anche l'affidabilità della misurazione. Un aumento della temperatura o dell'umidità fa sì che la distanza rilevata tra l'oggetto ed il sensore è minore che nella realtà. Le superfici calde di un oggetto riflettono meno le onde sonore che gli oggetti freddi. Se la temperatura aumenta di 20 K il raggio d'azione del sensore cresce del 3,5 %.
- **Isolanti del suono** (cotone, gomma ecc.) assorbono le onde sonore e diminuiscono la sensibilità del sensore. I sensori di diffusione non possono individuare affatto tali oggetti.

3.4.2 Fattori di installazione

I sensori ultrasonici rivelano agevolmente gli oggetti solidi anche di piccolo spessore che si mostrano una superficie piana perpendicolarmente all'asse del sensore. Tutte le condizioni che si allontanano da questa ideale producono disturbi nel funzionamento del sensore:

- Se l'**angolo tra la superficie anteriore dell'oggetto e l'asse del sensore non è di 90°** , l'onda sonora riflessa non torna lungo l'asse del sensore. Perciò il raggio d'azione del sensore a diffusione è minore. Se il raggio d'azione è ampio anche un oggetto ruotato di 3° non può essere rilevato. Se il raggio d'azione è ristretto un oggetto piccolo può essere ruotato fino a 10° .
- Se la **forma dell'oggetto** fa sì che la direzione dell'onda riflessa sia molto diversa da quella dell'onda generata questo oggetto può essere rilevato da un sensore a sbarramento.

Il coefficiente di riflessione delle onde ultrasoniche da parte dei **fluidi** è uguale a quello di corpi solidi. Pertanto la superficie calma di un fluido può essere agevolmente rilevata.

Se i sensori ultrasonici vengono installati uno accanto all'altro l'onda sonora generata da un sensore può raggiungere un altro sensore e modificare il suo segnale d'output. Per evitare l'**interferenza** vanno seguite le regole rappresentate nella Figura 3.19.

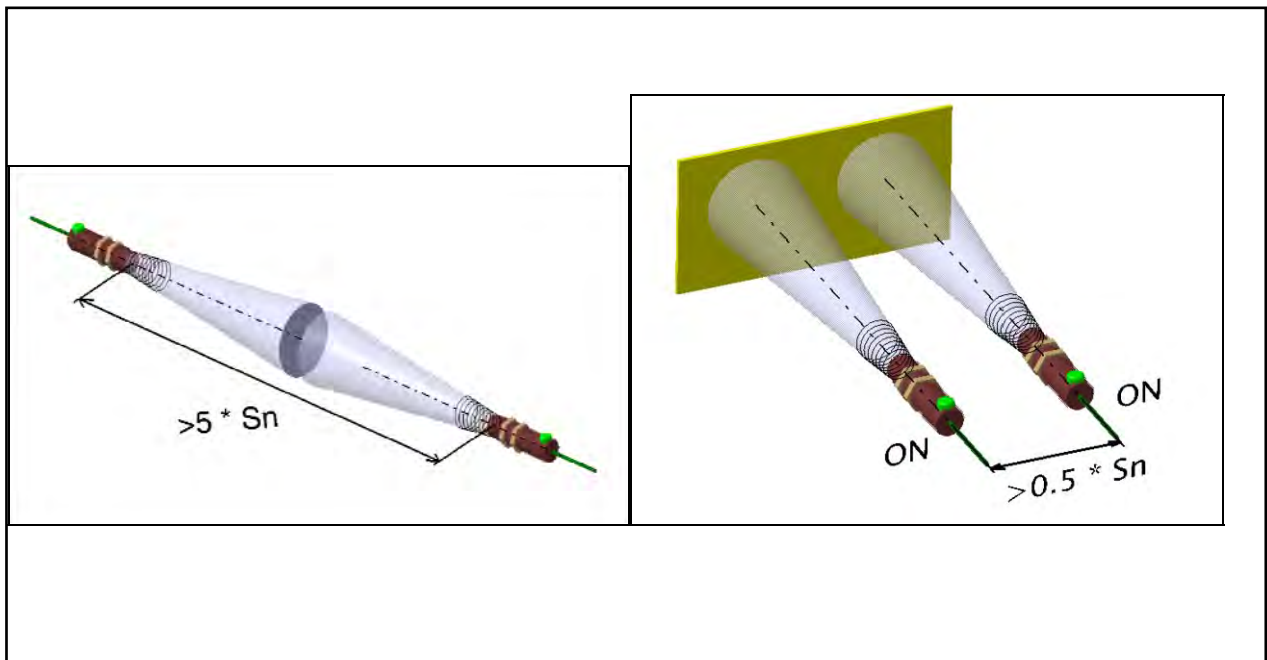


Figura 3-19 Distanze raccomandate tra sensori ultrasonici simultaneamente attivi

3.4.3 Sincronizzazione di sensori

Se più sensori vengono sincronizzati con un opportuno collegamento delle loro uscite possono essere installati uno accanto all'altro senza che si generi interazione. La sincronizzazione dovrebbe essere sempre usata quando i sensori generano onde sonore nella stessa direzione e i coni delle onde si ricoprono parzialmente. Il sensore B rappresentato nella Figura 3.20 riceve due echi (B_1 e A_x). Ma l'eco A_1 raggiunge il sensore A più velocemente di quanto faccia l'eco A_x con il sensore B. Grazie alla sincronizzazione i sensori reagiscono soltanto al primo eco A_1 e viene evitata l'interferenza delle onde acustiche. I sensori sincronizzati inviano i segnali nello stesso momento e funzionano come un sensore con un cono ultrasonico maggiorato che rileva l'unico oggetto.

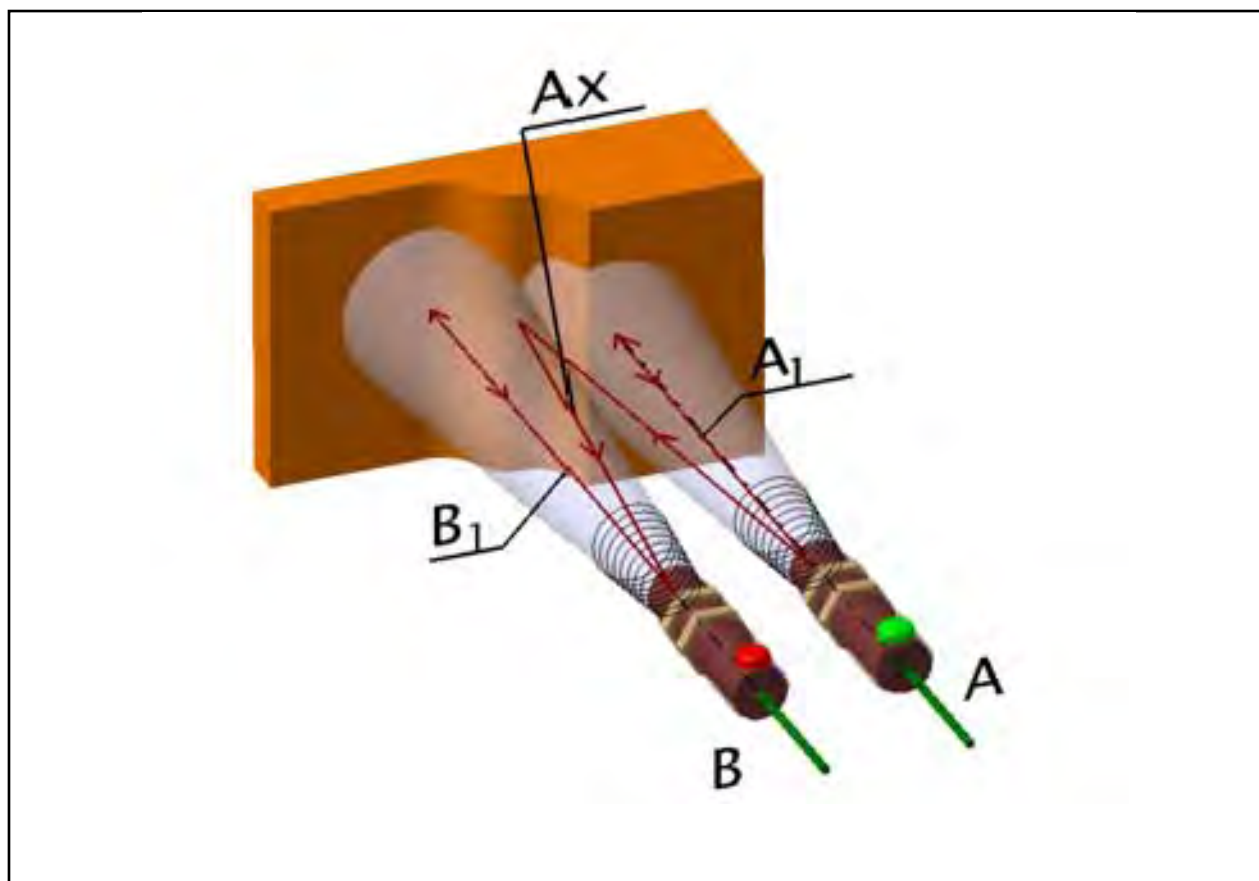


Figura 3-20 Sincronizzazione di sensori affiancati e che rilevano un unico oggetto

3.5 Sensori ultrasonici speciali

3.5.1 Il sensore a riflessione

I sensori a riflessione (o barriere ultrasoniche) misurano la differenza tra il tempo di ritorno dell'onda sonora riflessa dall'oggetto e il tempo di ritorno dell'onda riflessa dal riflettore. Una superficie qualsiasi può essere usata come riflettore. Se l'onda sonora riflessa dall'oggetto torna prima dell'onda riflessa dal riflettore il segnale d'output viene commutato (Figura 3.21b).

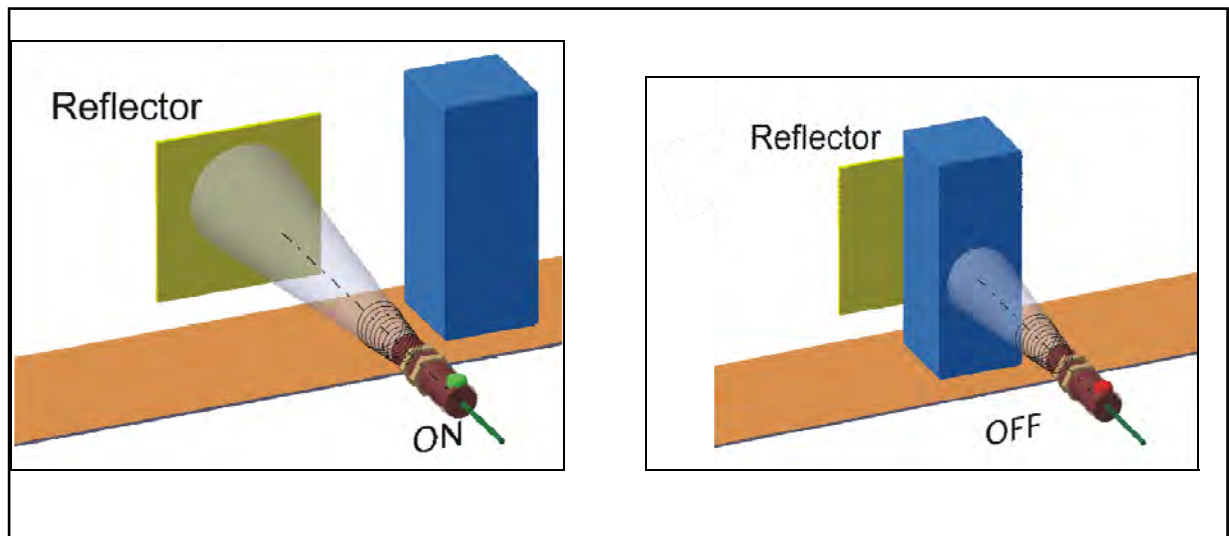


Figura 3-21 Segnale d'output del sensore di riflessione a) prima di individuare l'oggetto, b) dopo l'individuazione del oggetto

I sensori a riflessione possono reagire anche all'interruzione delle onde acustiche causata da oggetti che assorbono le onde acustiche o che le diffondono. Il segnale d'output viene quindi commutato.

Questi sensori vengono usati per oggetti costituiti da materiale che assorbe bene il suono (come cotone, gomma, tessuto ecc.) o se l'angolo tra la superficie frontale dell'oggetto e l'asse del sensore non è 90° .

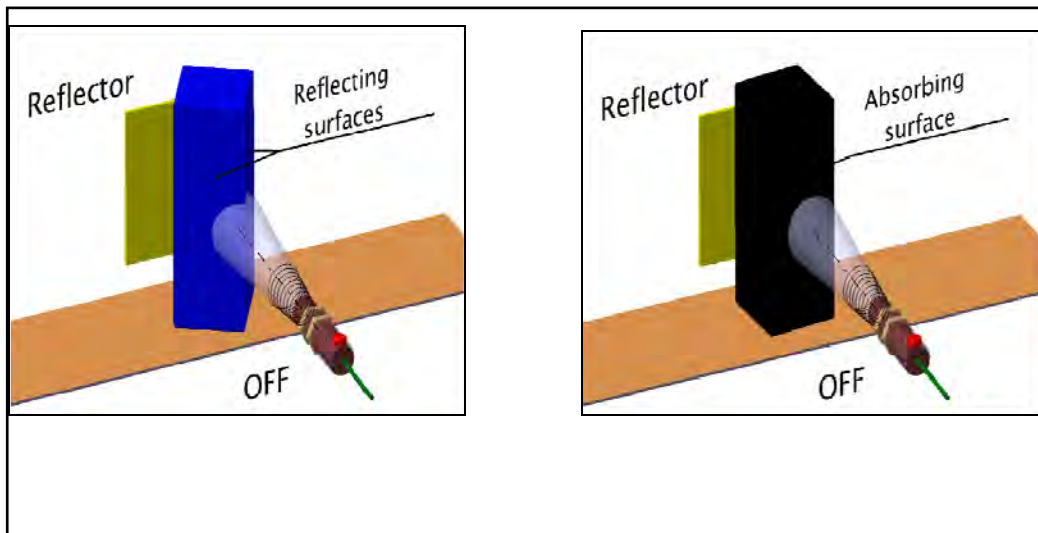


Figura 3-22

Interruzione delle onde acustiche prodotta da oggetti che diffondono onde acustiche (a) o che le assorbono

I sensori di riflessione possono anche sfruttare le onde ultrasoniche riflesse da una superficie rigida per rilevare oggetti difficilmente da raggiungere (Figura 3.23). Possono funzionare sia in virtù dell'interruzione di quest'onda sia dell'eco riflessa.

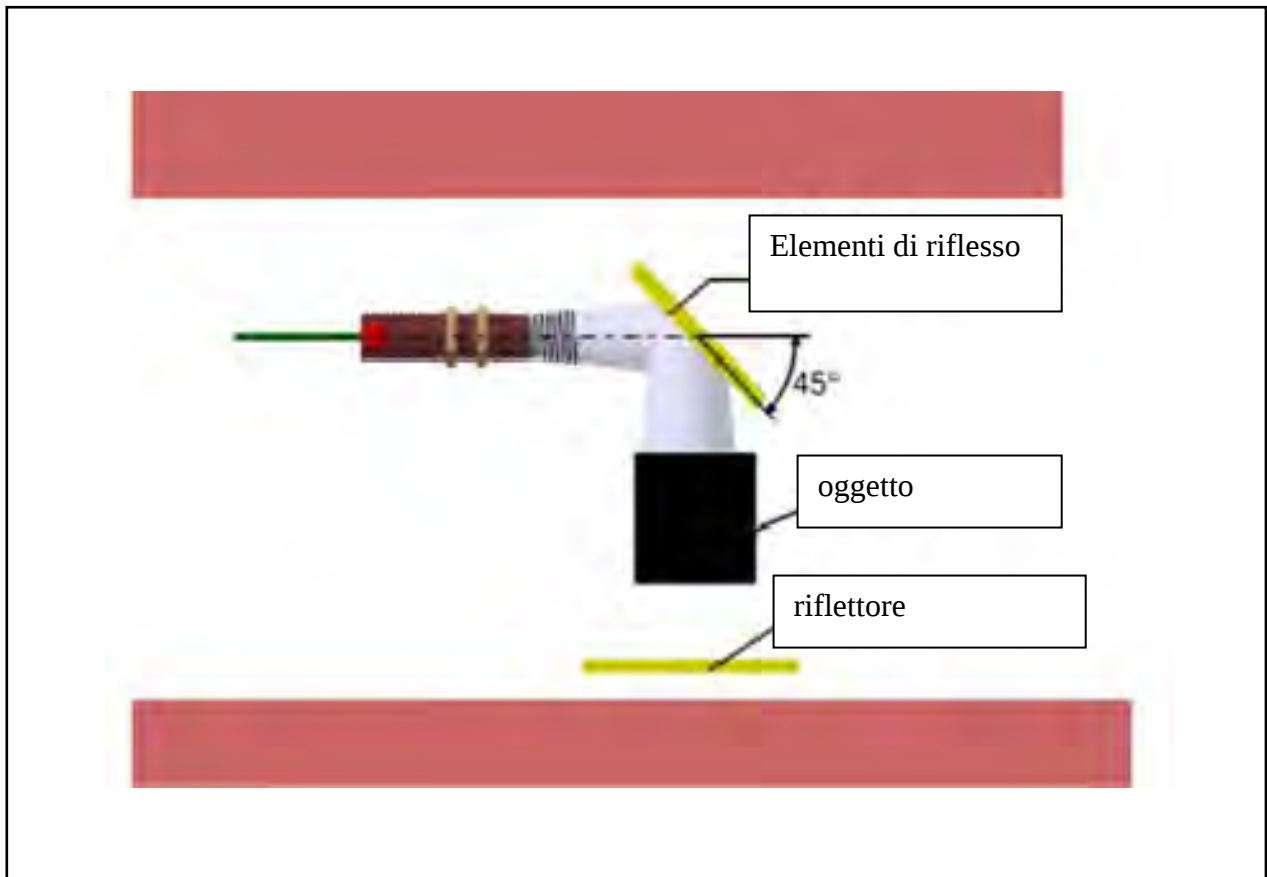


Figura 3-23 Sfruttamento dell'onda ultrasonica riflessa per riprendere un oggetto assorbente

3.5.2 Sensori con doppio trasduttore

I sensori con due trasduttori in un unico involucro possono lavorare sia come sensori a diffusione sia come sensori a riflessione mediante un riflettore (Figura 3.24). Il primo trasduttore è il trasmettente e il secondo è il rilevatore dell'onda ultrasonica.

Un sensore di questo tipo può rilevare anche oggetti piccoli molto prossimi visto che il rilevatore può lavorare simultaneamente al trasmettitore. Ovviamente i due trasduttori vanno sincronizzati.

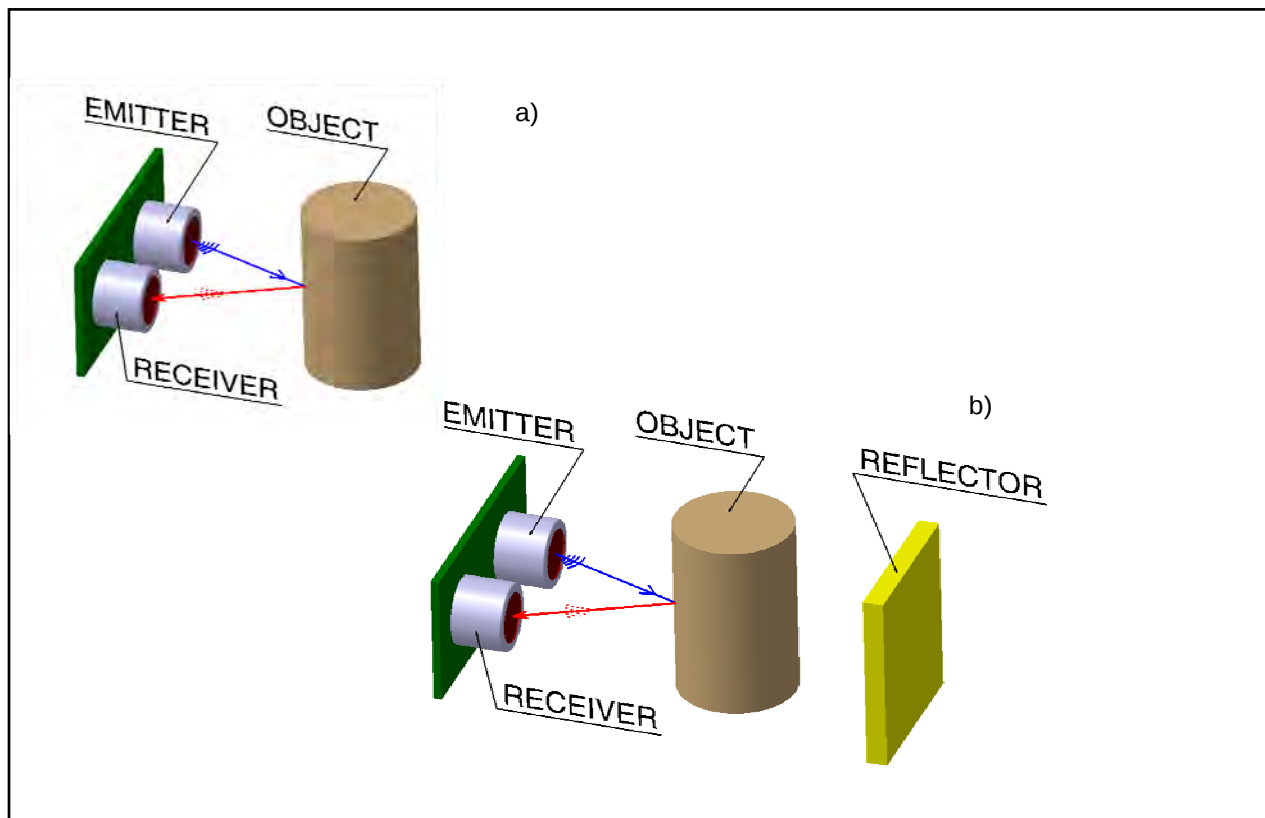


Figura 3-24 Sensore con due trasduttori: a) funzionamento a diffusione, b) funzionamento a riflessione

Oggetti cilindrici possono essere rilevati più agevolmente degli oggetti piani. L'eco riflesso da un oggetto piano può infatti deviare fuori dal raggio d'azione del sensore.

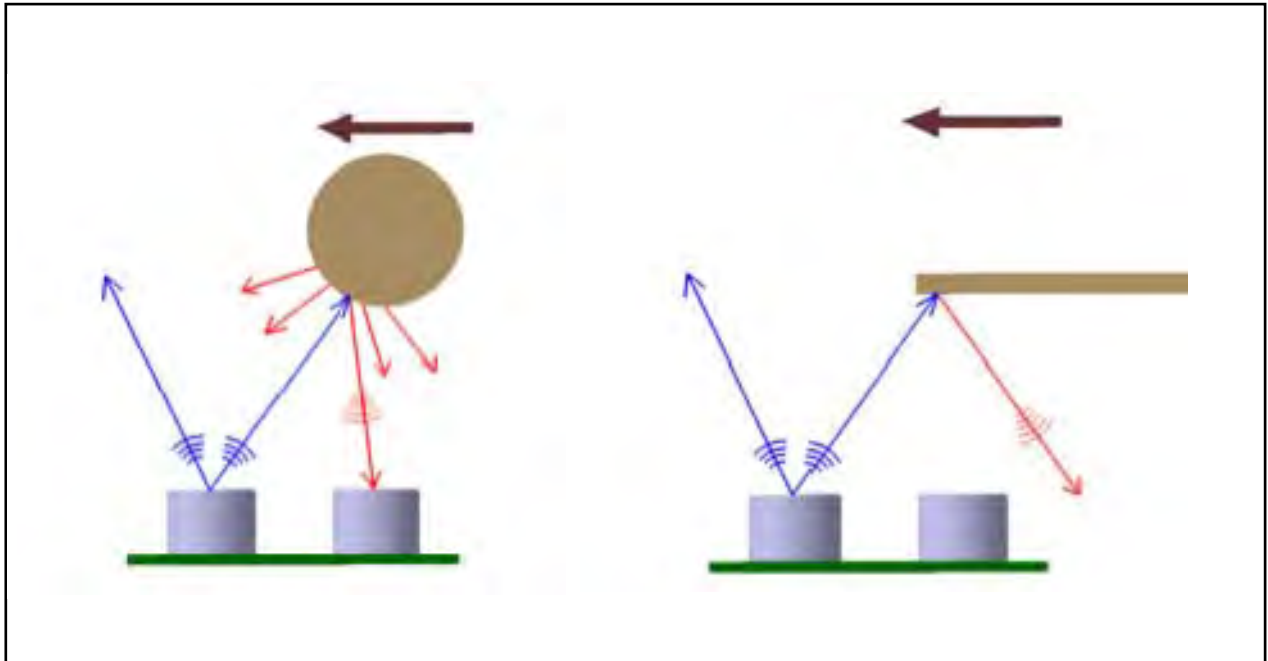


Figura 3-25 Rilevamento di oggetti cilindrici e piani

3.6 Sensori ultrasonici analogici

La maggior parte dei sensori ultrasonici hanno output sia binari sia analogici. Se si vuole misurare la distanza viene usata l'uscita in tensione o l'uscita in corrente. La tensione o l'ampereaggio è proporzionale alla distanza misurata (Figura 3.26).

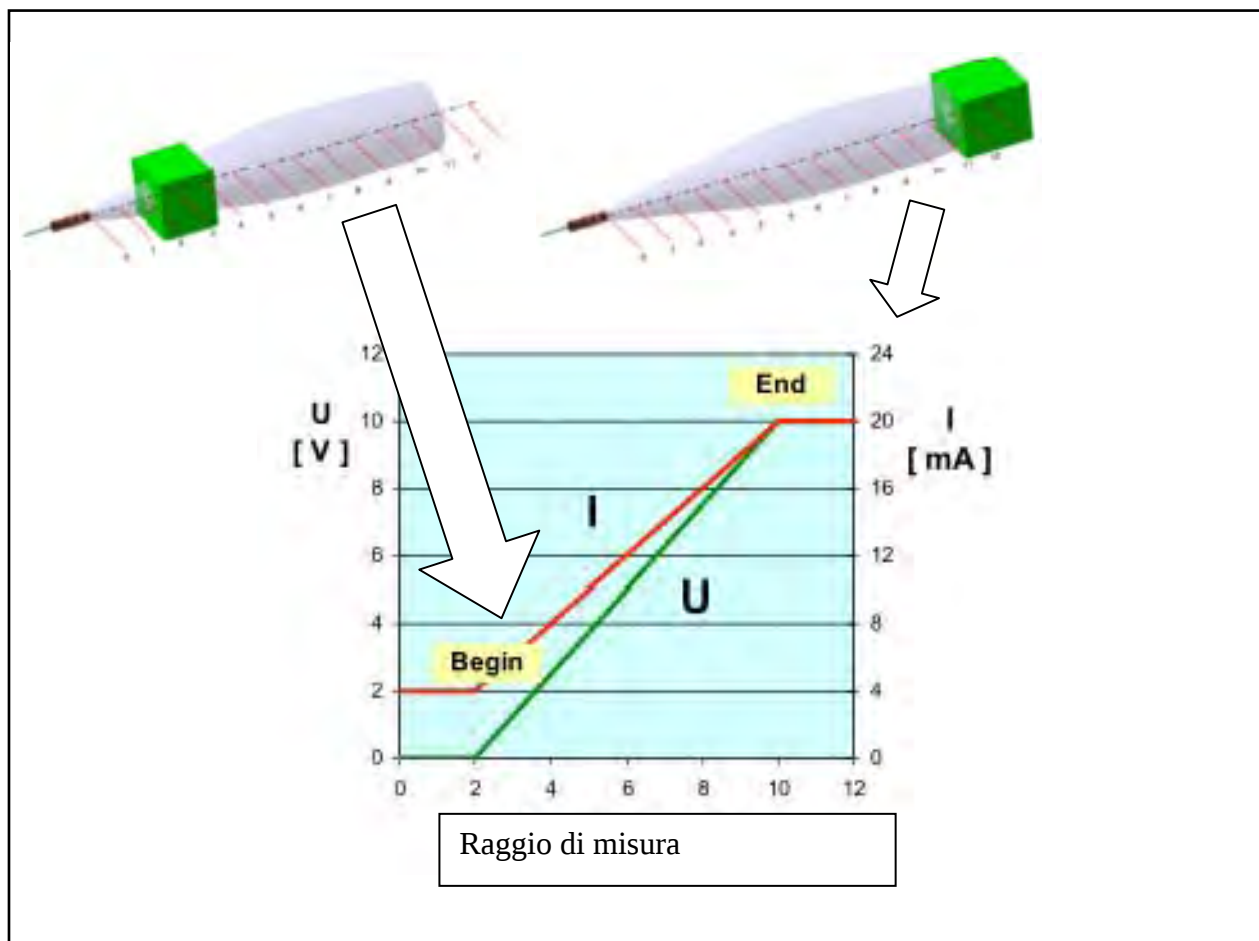


Figura 3-26 Variazione del segnale di output connessa al cambiamento della distanza da un oggetto

Applicazioni

Nelle applicazioni pratiche i sensori ultrasonici vengono usati spesso perché non sono sensibili ai disturbi che possono ingenerarsi nel raggio d'azione né allo sporco che può accumularsi sul sensore. Permettono di individuare oggetti distanti indipendentemente da:

- materiale (metallo, plastica, legno, cartone ecc.)
- stato fisico (corpi solidi, fluidi, granulato ecc.)
- colore
- grado di trasparenza

Negli impieghi industriali possono controllare:

- la posizione di un gruppo di elementi,
- gli oggetti su di un nastro trasportatore,
- l'altezza di un fluido o un granulato in un serbatoio.

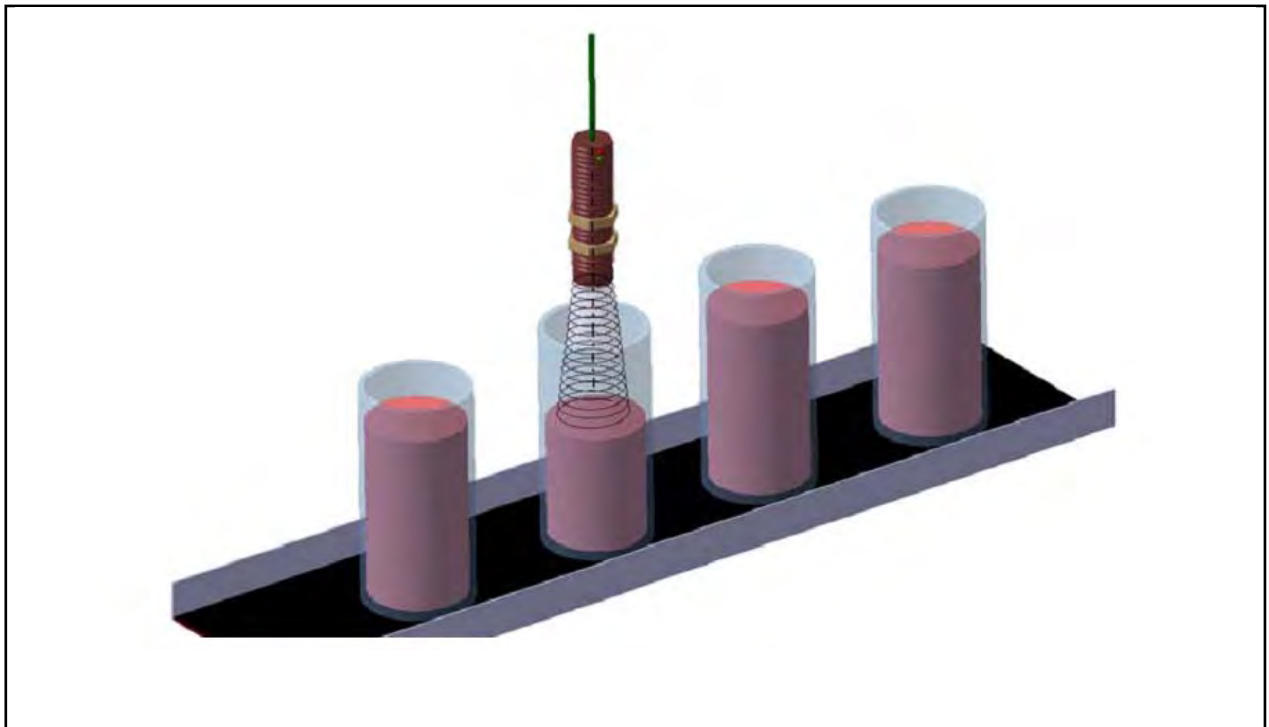


Figura 3-27 Controllo del livello di un fluido in contenitori di vetro con un sensore a diffusione

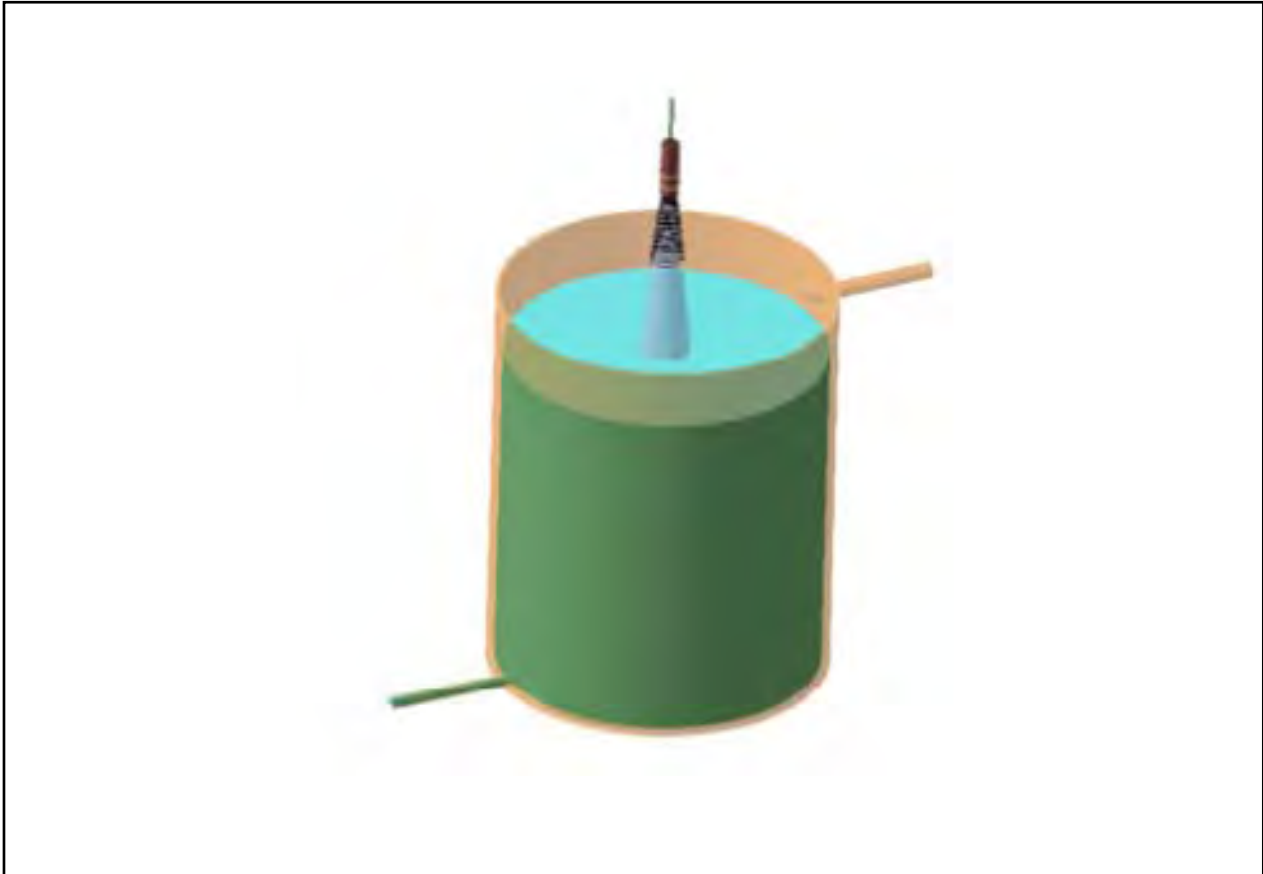


Figura 3-28 Misurazione del livello di un fluido con un sensore ultrasonico analogico

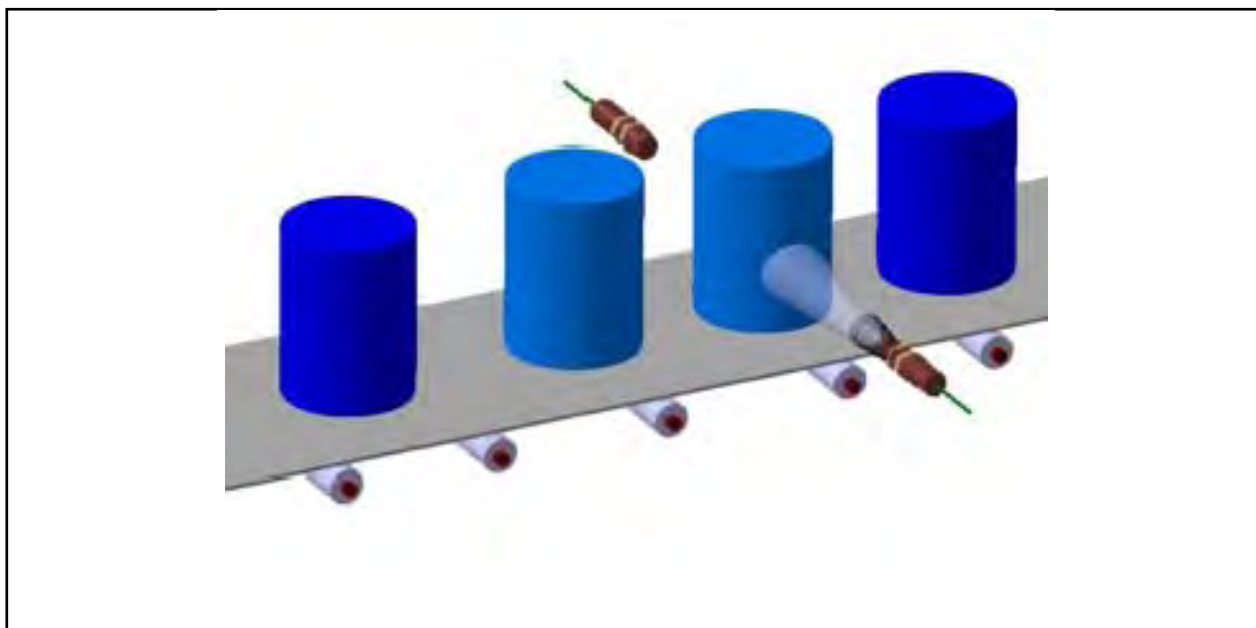


Figura 3-29 Conteggio degli oggetti su di un nastro trasportatore con un sensore a sbarramento

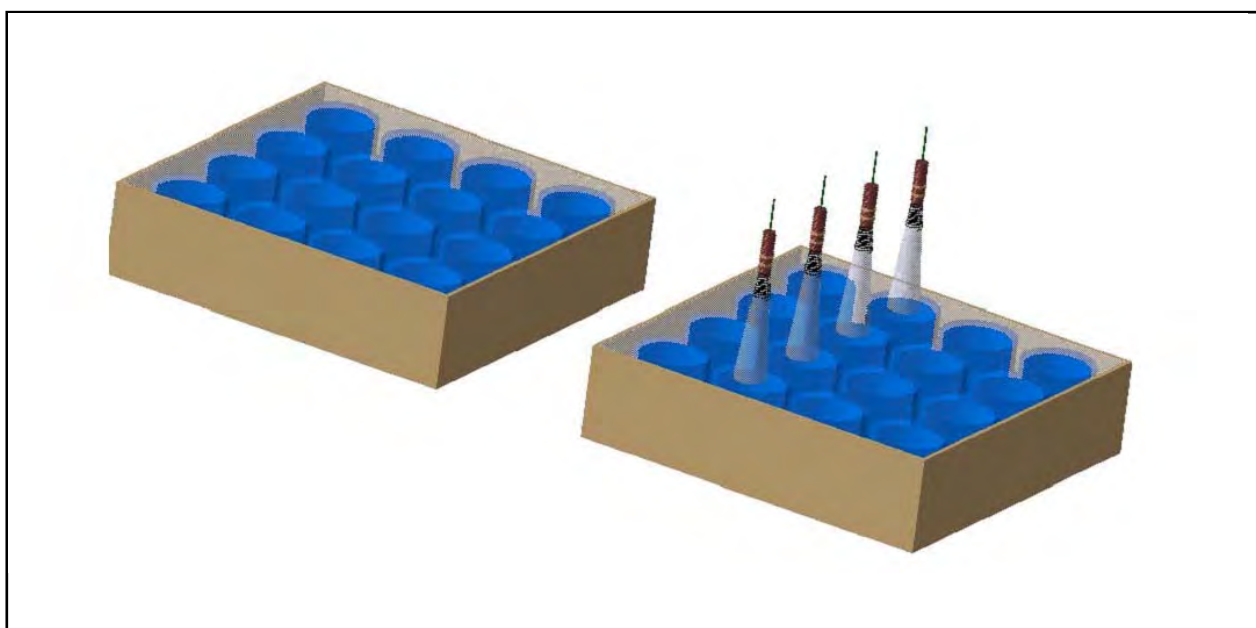


Figura 3-30 Controllo del riempimento di un cartone con sensori a diffusione

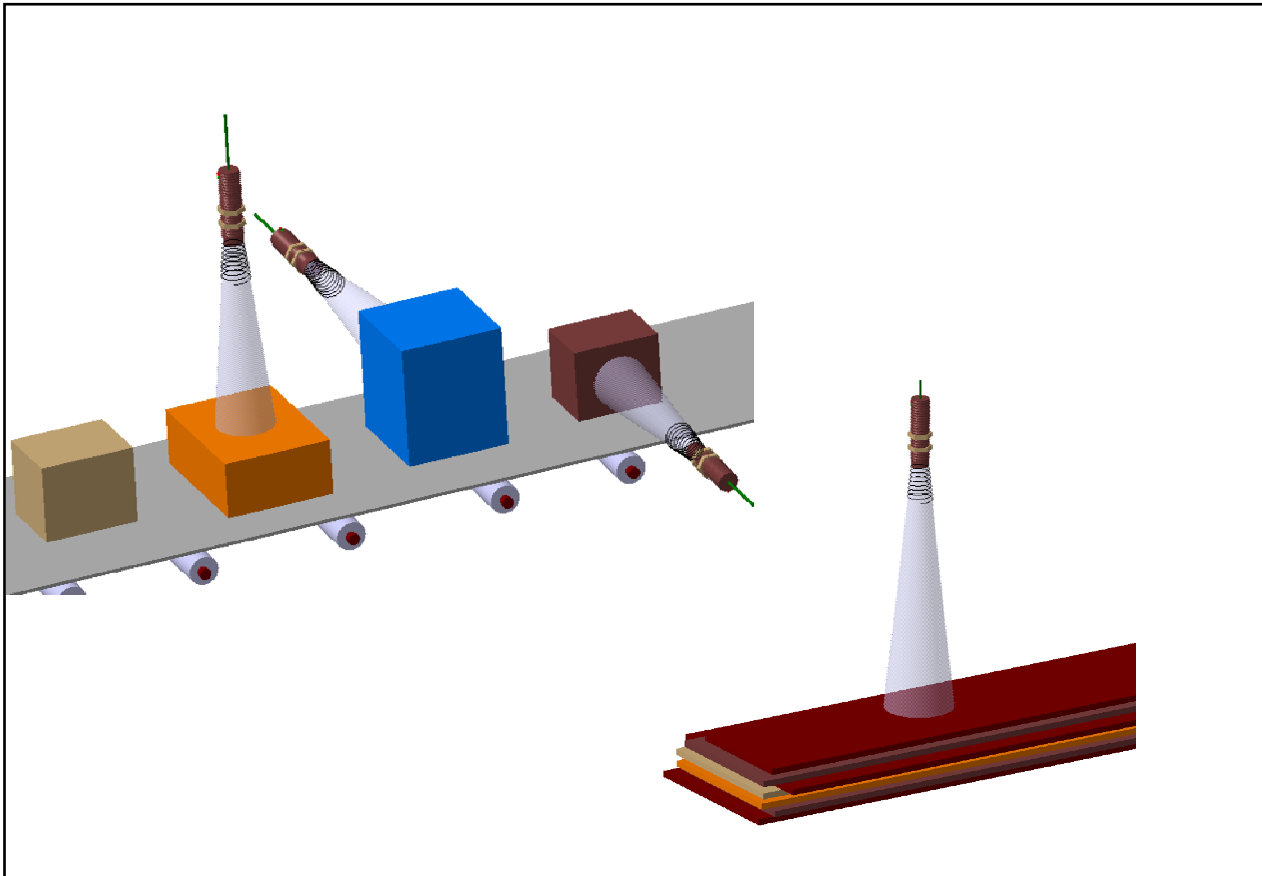


Figura 3-31 Misura della dimensione di oggetti o dell'altezza di una pila con un sensore ultrasonico analogico

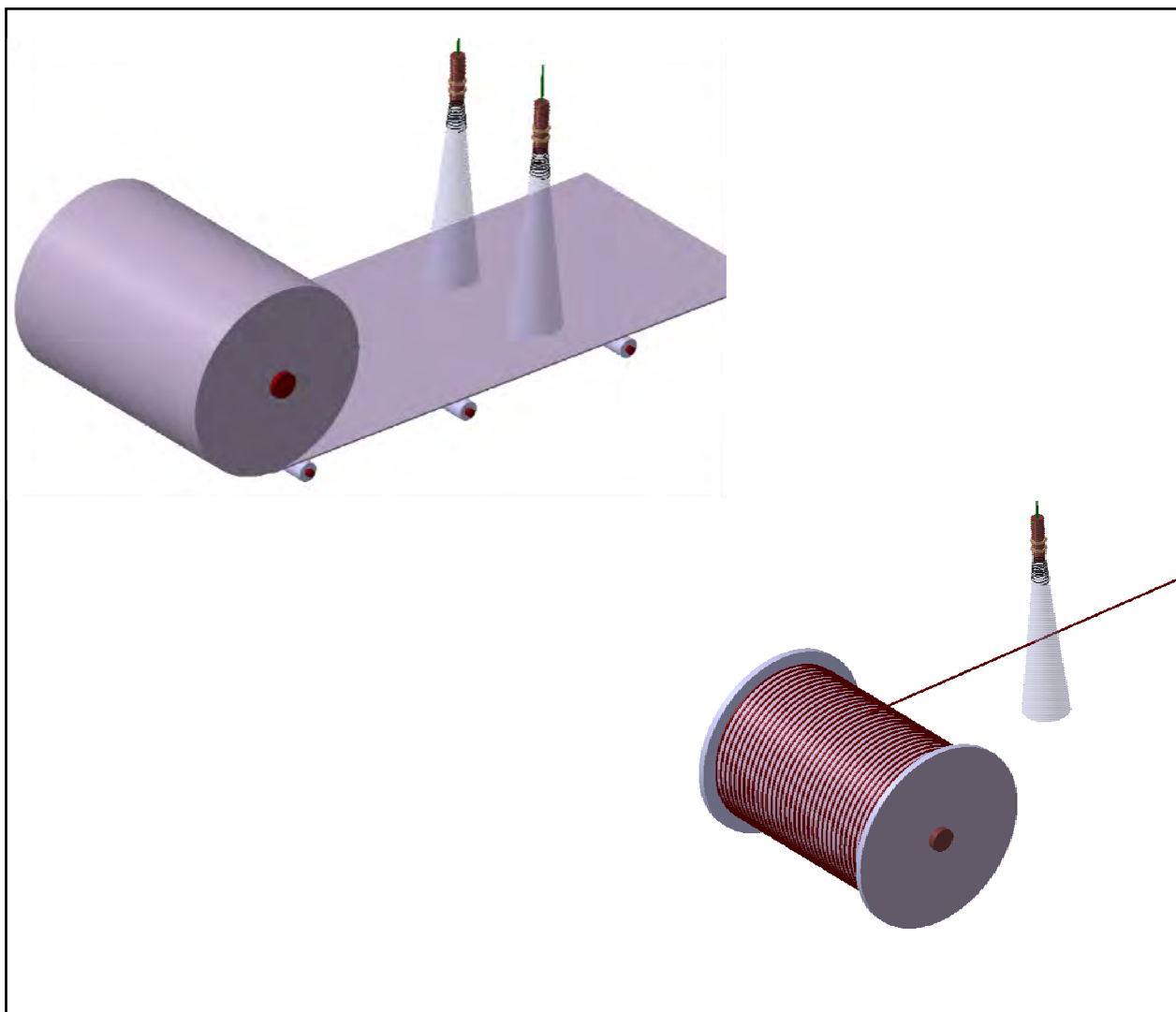


Figura 3-32 di interruzioni su nastri o bobine di cavo mediante sensori a diffusione

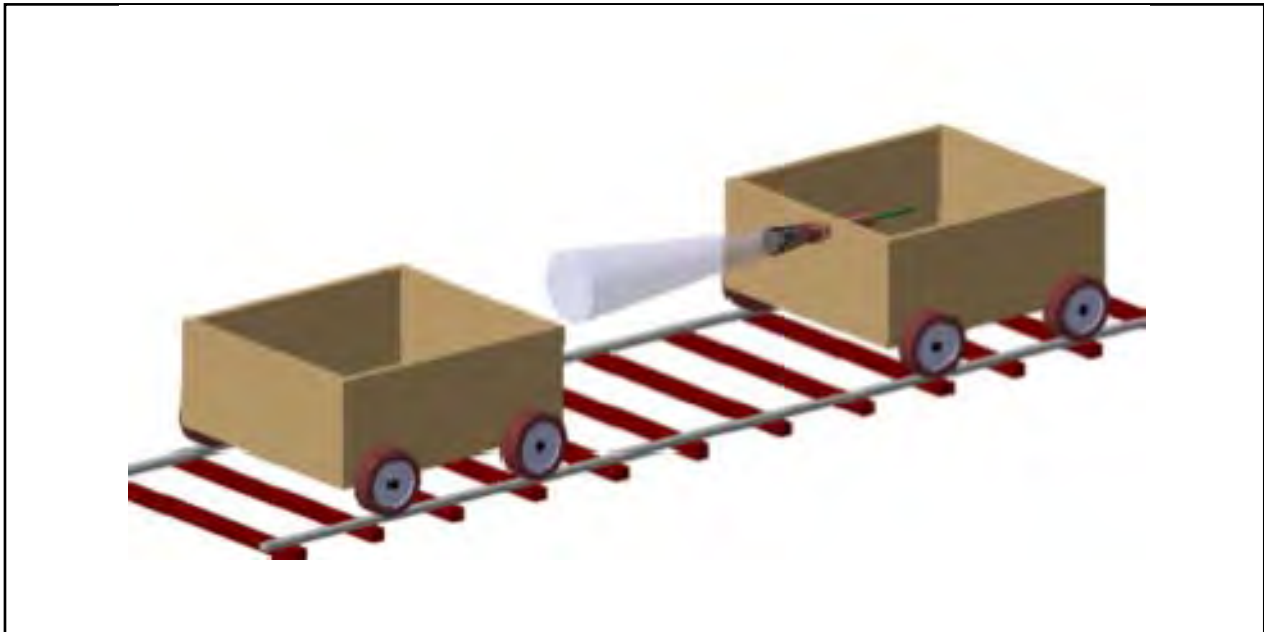


Figura 3-33 Controllo della distanza di sicurezza con sensore a diffusione per evitare collisioni

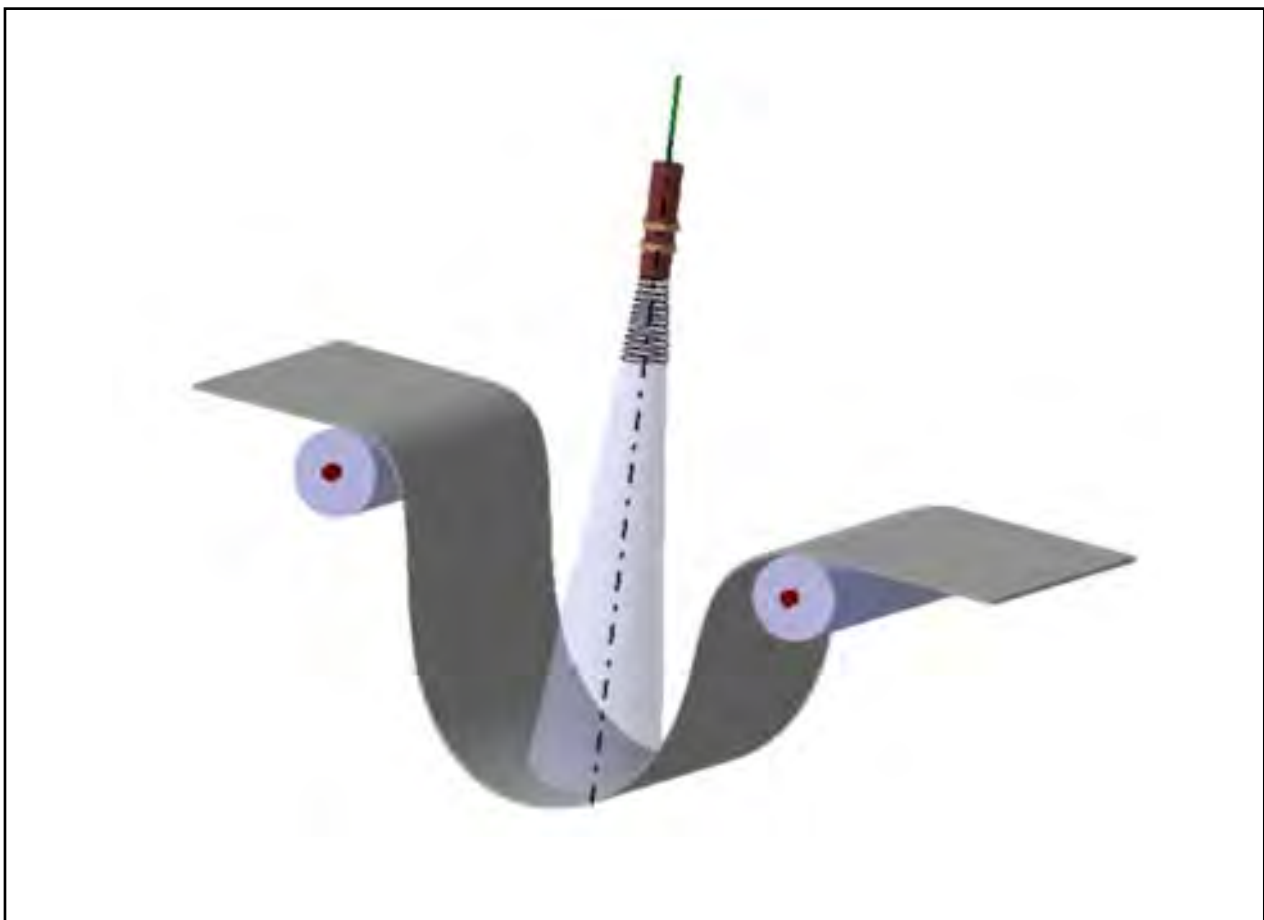


Figura 3-34 Controllo della tensione di una cinghia mediante sensore a diffusione

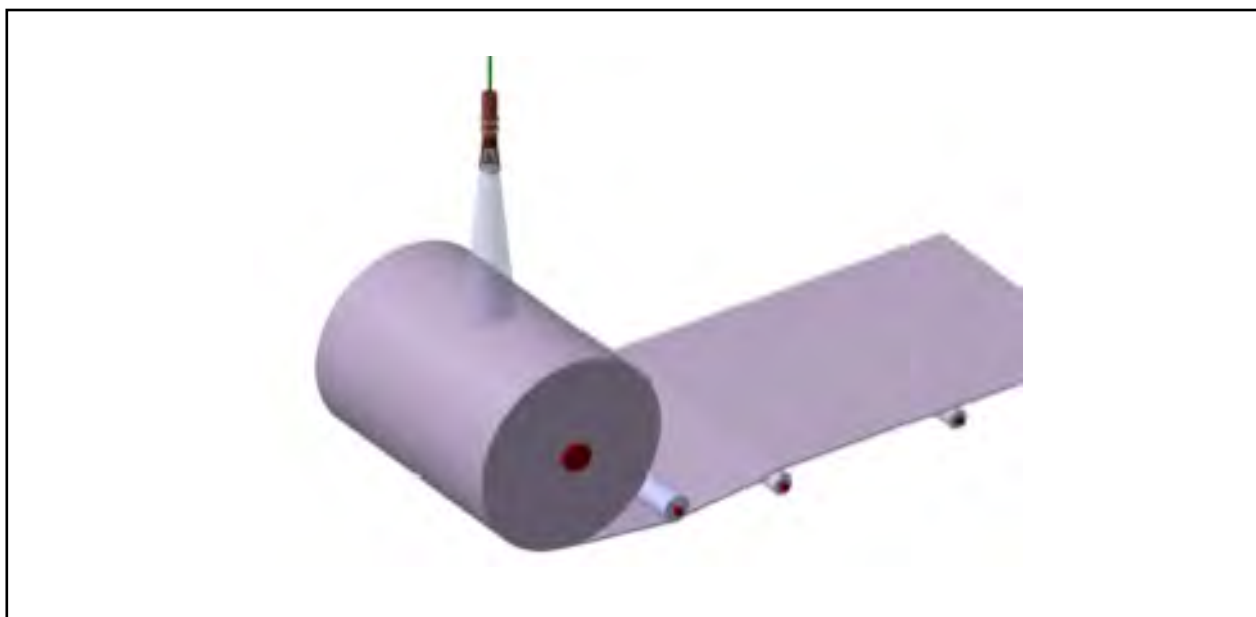


Figura 3-35 Misura del diametro di una bobina di carta mediante sensore ultrasonico analogico

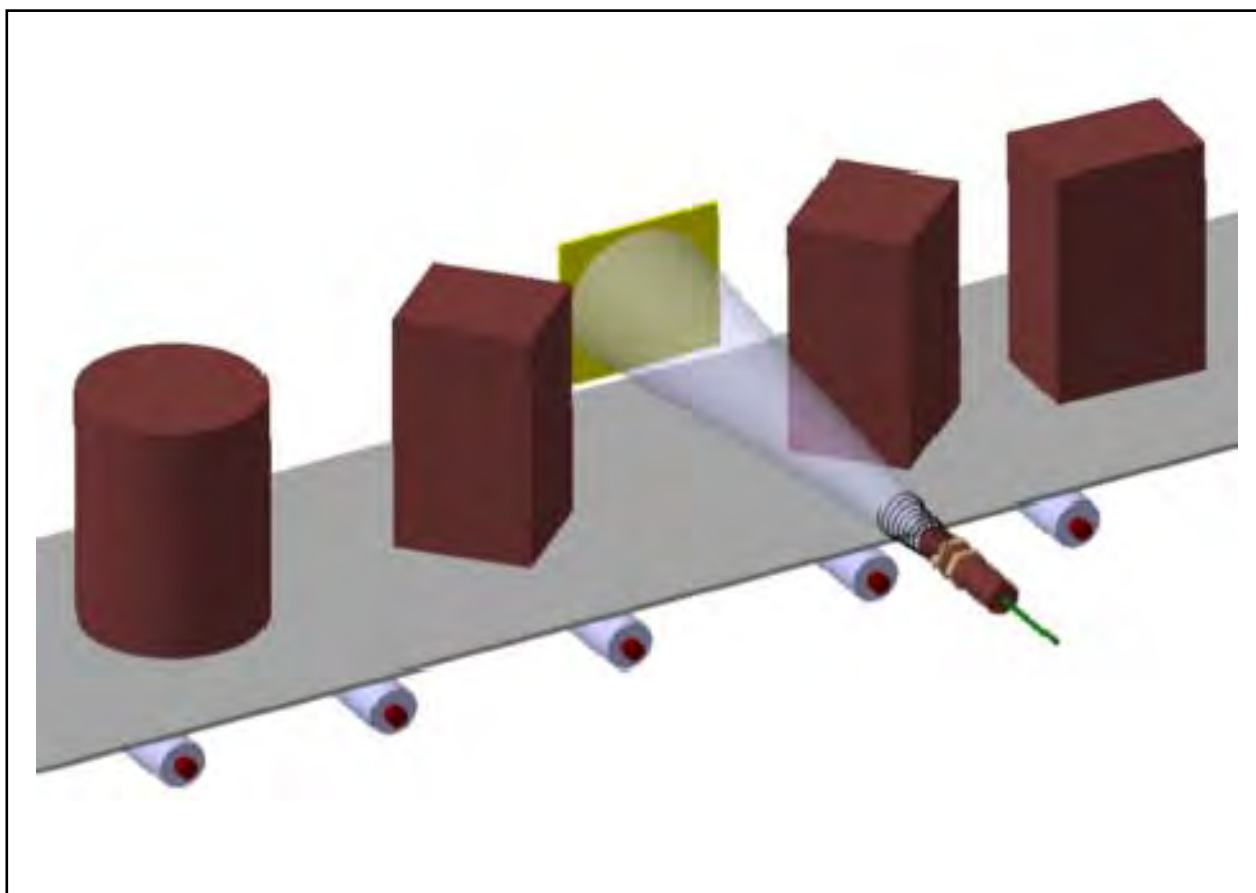


Figura 3-36 Conteggio di oggetti che diffondono onde sonore o che le assorbono su un nastro trasportatore mediante un sensore a riflessione



4 Sensori ottici

4.1 Caratteristiche costruttive

I sensori ottici utilizzano un raggio di luce per rilevare oggetti nel loro raggio d'azione. Possono rilevare oggetti di materiale qualsiasi che si trovano da alcuni millimetri fino ad alcune decine di metri di distanza dal sensore. Questi sensori reagiscono quando il raggio luminoso da essi generato viene interrotto o riflesso. Le variazioni nel raggio luminoso vengono trasformati in un segnale elettrico che controlla l'output del sensore.

Un sensore optoelettronico è schematicamente costituito da una fonte di luce 1, un rivelatore di luce 2, circuiti elettronici 3, un sistema di output 4, uno o due diodi luminosi che segnalano lo stato di funzionamento 5, un potenziometro 6 per regolare la sensibilità del sensore, un involucro 7 e una copertura trasparente 8 (Figura 4.1).

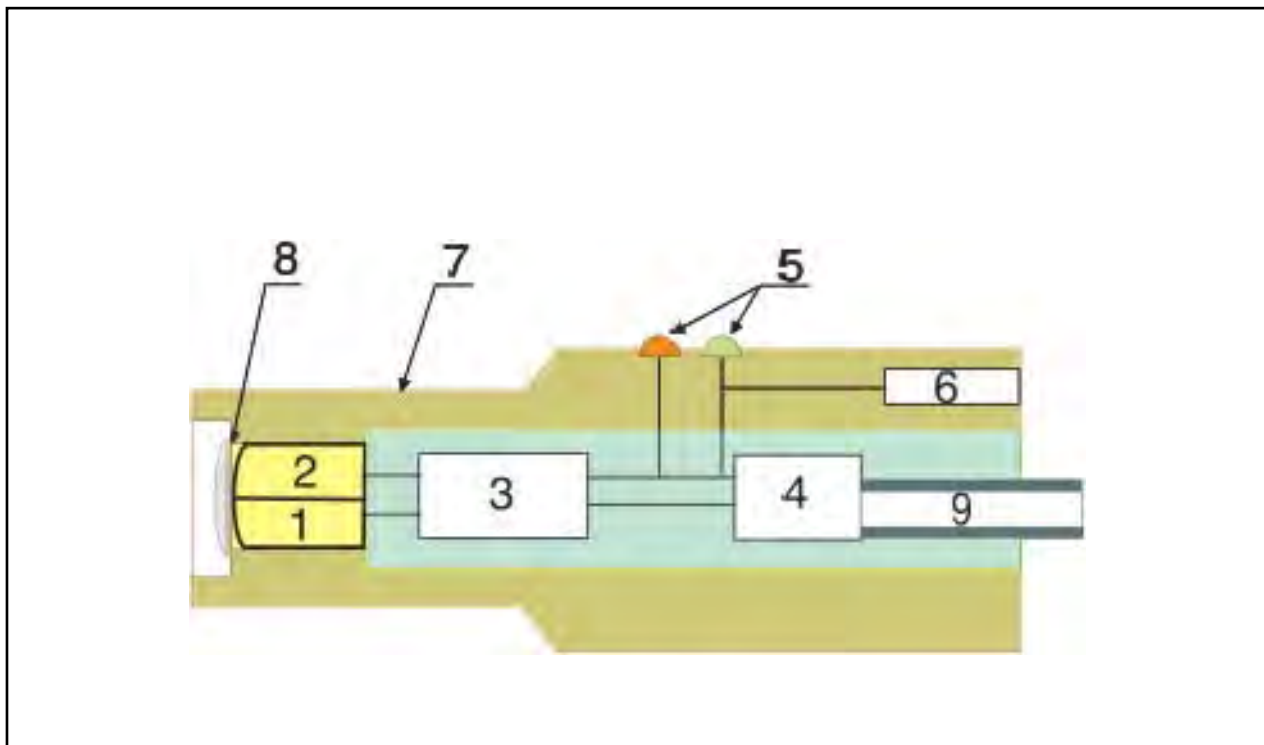


Figura 4-1 Schema di un sensore optoelettronico cilindrico

I circuiti elettronici includono:

- un oscillatore 3, per ottenere una fonte di luce modulata;
- un demodulatore 4, per separare il segnale utile (Figura 4.2)

Gli altri elementi del sensore sono l'emettitore 1, il rivelatore 2 ed un transistor 5.

Gli elementi di sensori citati sopra si trovano in uno o due involucri separati. Questo dipende dal modo in cui l'oggetto viene rilevato, ossia se interrompe (configurazione A) o riflette il raggio di luce (configurazioni B e C).

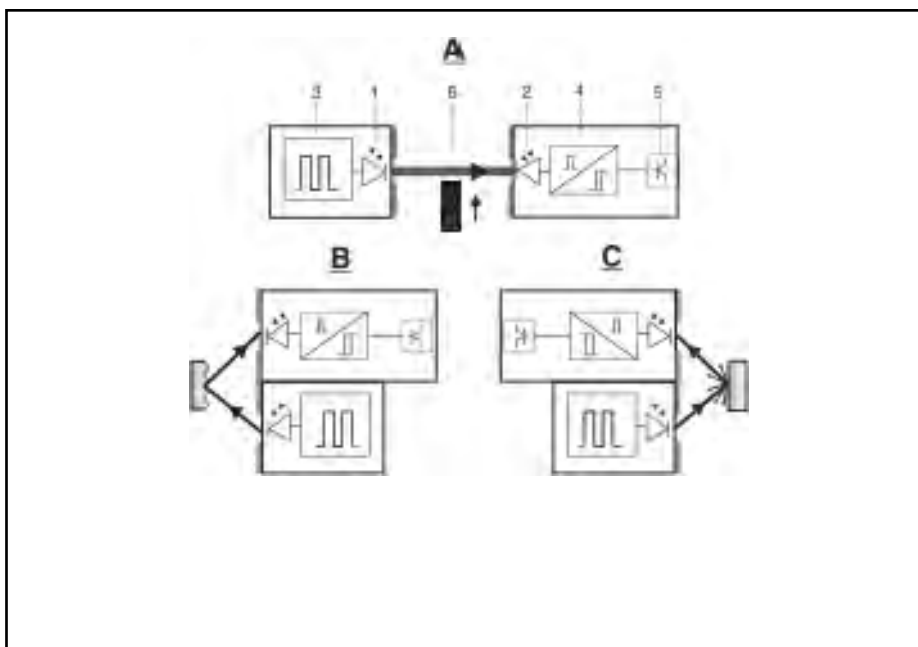


Figura 4-2 Componenti essenziali di un sensore ottico: A – sensore a sbarramento,

4.2 Componenti fotoelettrici

4.2.1 Principio fisico

4.2.1.1 La luce

Dal punto di vista della fisica si chiama luce la luce visibile, la luce ultravioletta (la cui lunghezza d'onda è minore di quella della luce visibile) e la luce infrarossa (la cui lunghezza d'onda è maggiore di quella della luce visibile) (Figura 4.3). La luce visibile è parte della radiazione elettromagnetica, che è percepita dall'occhio umano. La sua lunghezza d'onda è compresa nell'intervallo 380-770 nm.

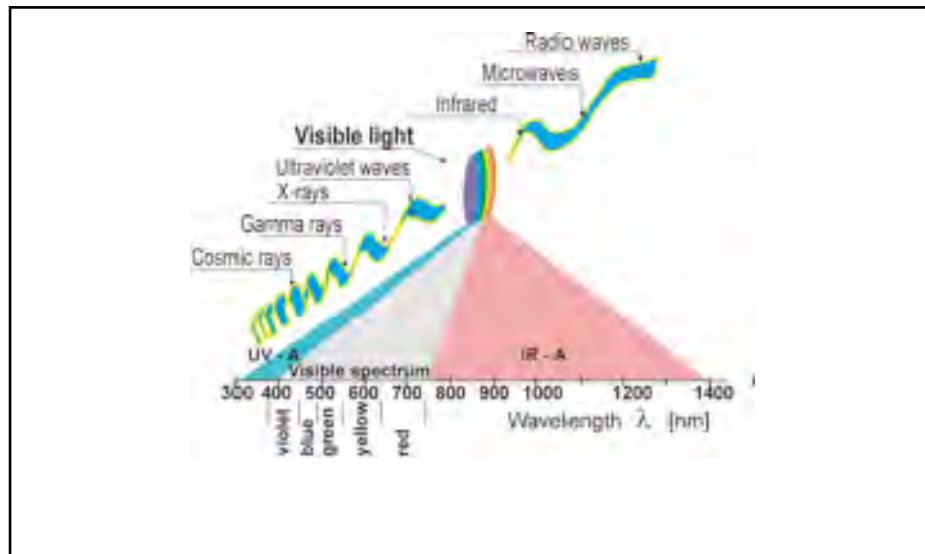


Figura 4-3 Intervallo della radiazione elettromagnetica usato nei sensori ottici

La sensibilità dell'occhio umano è diversa per ogni colore della luce visibile. La sensibilità è massima per il colore giallo (Figura 4.4). L'infrarosso e ultravioletto non vengono affatto visti dall'uomo.

Nei sensori ottici viene usata più comunemente luce rossa o infrarossa.

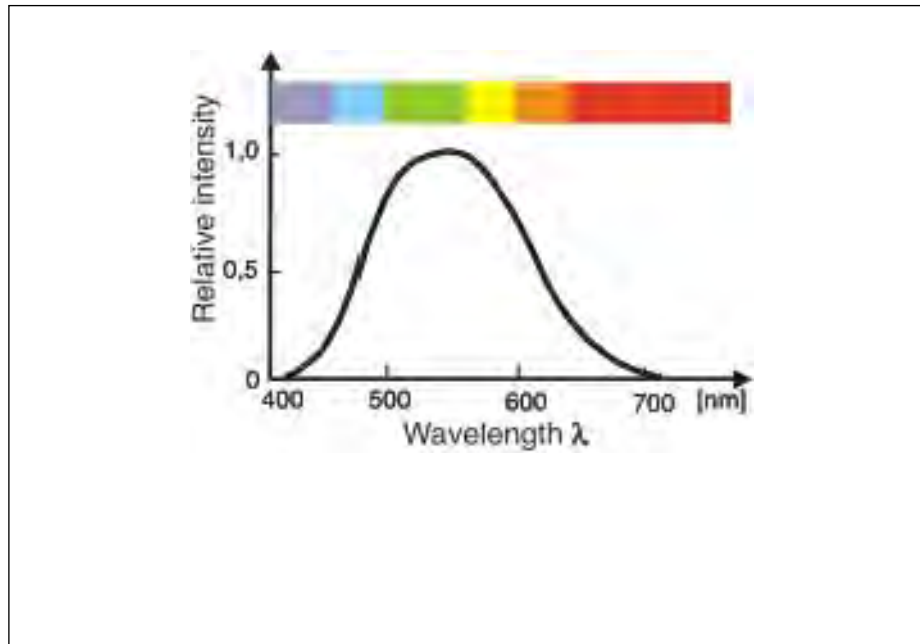


Figura 4-4 Sensibilità relativa dell'occhio umano a diversi colori della luce visibile



4.2.1.2 Propagazione della luce

Riflessione – la luce viene riflessa da una superficie. Per questo motivo riusciamo a vedere gli oggetti vicini (Figura 4.5).

Assorbimento – Una parte della luce viene assorbita da una superficie. L'energia dei raggi viene trasformata in un'altra forma d'energia (ad es. energia termica).

Trasmissione – la restante parte della radiazione luminosa viene trasmessa attraverso il materiale. A seconda del materiale la luce può anche essere diffusa al suo interno.

Rifrazione – la luce può essere rifratta o riflessa all'interfaccia tra due mezzi con densità diverse. In alcuni casi la luce viene totalmente riflessa verso l'interno della superficie di separazione tra i due mezzi. Questo fenomeno viene sfruttato nelle fibre ottiche. La rifrazione dipende dal colore della luce, ossia dalla lunghezza d'onda. Perciò la luce bianca che attraversa un prisma viene separata nelle componenti di colore e si genera uno spettro come nell'arcobaleno.

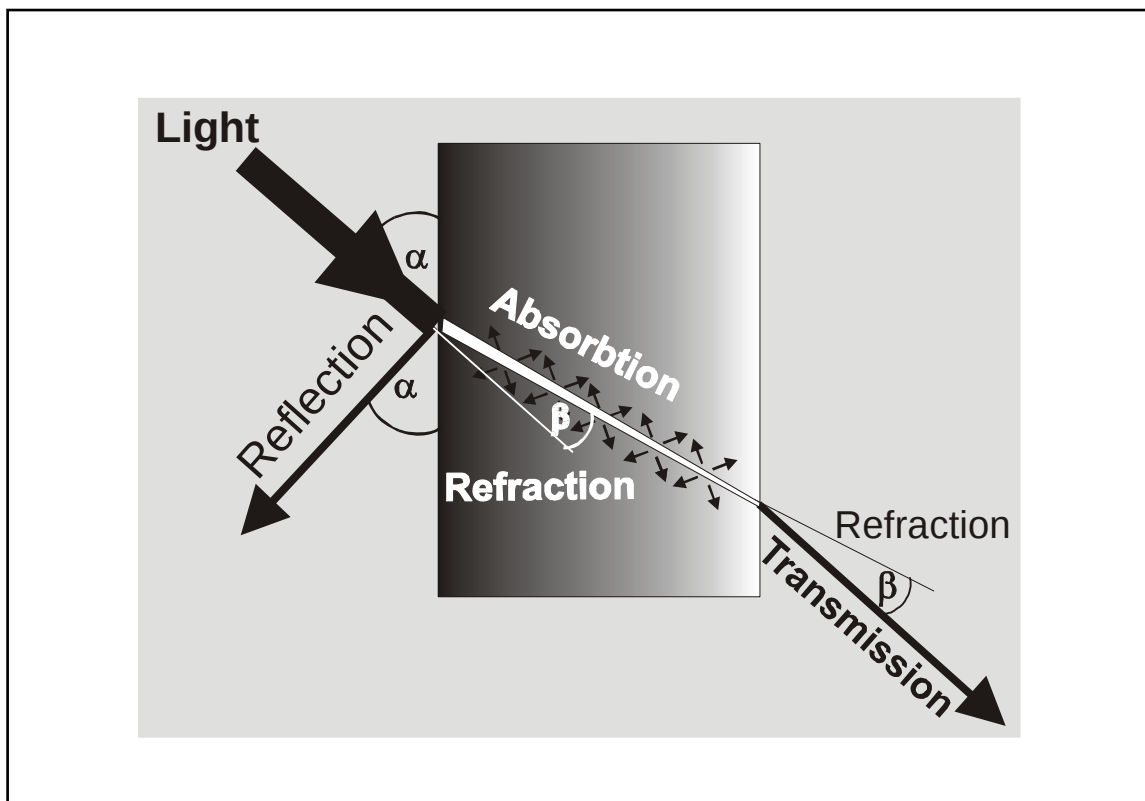


Figura 4-5 Propagazione della luce

La riflessione della luce dipende in massima parte dalle caratteristiche di riflettanza (ruvidezza, struttura, colore e lucentezza) della superficie. Si hanno diversi tipi di riflessione (Figura 4.6):

1. direzionale: l'angolo di riflessione è uguale all'angolo d'incidenza (ad es. da superficie di metallo lucidato o da uno specchio)
2. direzionale-diffusa – una parte della luce ha una riflessione direzionale ed un'altra parte viene diffusa (ad es. da una superficie dipinta)
3. diffusa – la luce viene riflessa in tutte le direzioni (ad es. da una superficie ruvida).

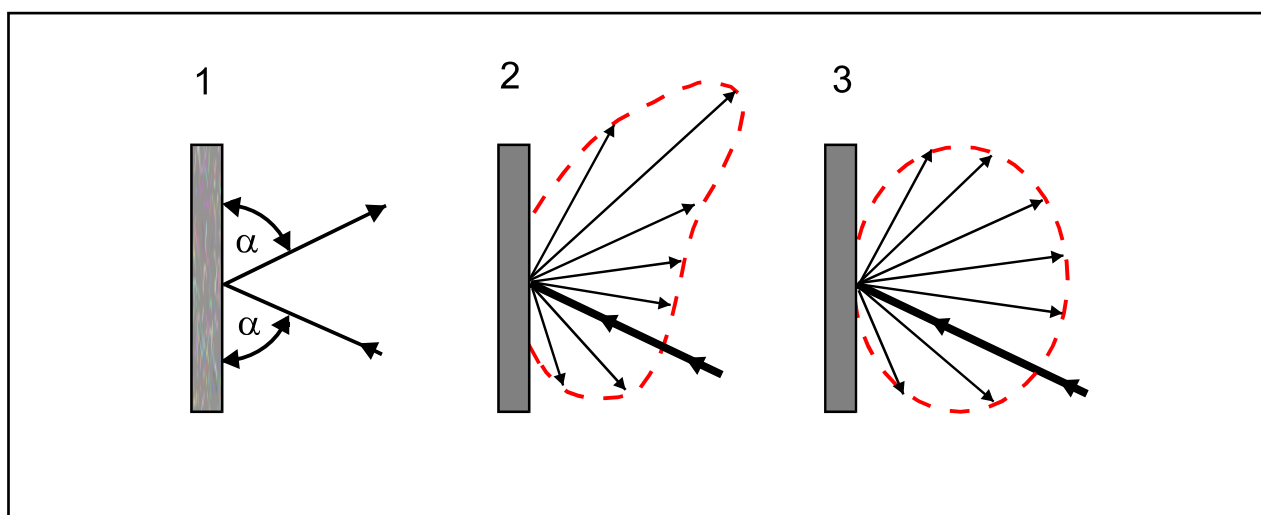


Figura 4-6 Tipi di riflessione della luce

4.2.2 Emettitori

Gli elementi ottici sono realizzati con semiconduttori e si dividono in due gruppi: fonti di luce (emettitori) e fotorilevatori. Il funzionamento di questi elementi è basato su fenomeni ottici fondamentali: l'emissione di fotoni ad opera degli emettitori e l'assorbimento di fotoni nei rilevatori colpiti dalla luce.

Gli elementi fotoemettitori possono essere suddivisi in:

- diodi emettitori di luce, LED (da Light Emitting Diode), che emettono una luce visibile con una lunghezza d'onda inferiore ai 780 nm;
- diodi emettitori di luce che emettono radiazione infrarossa;
- diodi laser a semiconduttori, LD, che emettono o luce visibile o radiazione infrarossa e rappresentano un'evoluzione dei LED.

4.2.2.1 Diodo emettitore di luce (LED)

Il modo di funzionamento del diodo che emette la luce si basa sulla luminescenza elettronica, cioè un materiale emette una radiazione elet-

tromagnetica quando dall'esterno viene applicata una corrente elettrica. Un LED consiste di uno strato di semiconduttori tipo n, uno strato di semiconduttori tipo p, una zona attiva (una giunzione p-n) e due contatti di metallo (un anodo e un catodo) (Figura 4.7).

Il diodo emettitore di luce funziona in maniera corretta quando la giunzione è polarizzata in conduzione ossia se la tensione fornita è positiva. L'intensità della luce dipende dall'ampereaggio applicato; la relazione è lineare in un ampio intervallo.

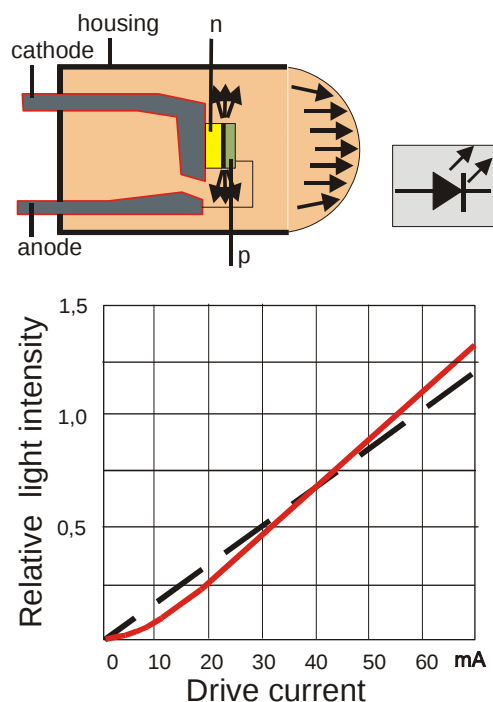


Figura 4-7 Schema di un LED, rappresentazione simbolica e curva caratteristica

La radiazione emessa da diodi emettitori di luce appartiene ad un ristretto intervallo di lunghezze d'onda. Il colore della luce prodotta dipende dalla lunghezza d'onda prevalente e dalla composizione del materiale del semiconduttore (Figura 4.8). I LED vengono realizzati con elementi del terzo e quinto gruppo del sistema periodico:

- GaAs (arseniuro di gallio) in grado di emettere lunghezze d'onda dalla radiazione infrarossa fino alla luce rossa (950-650nm)
- GaAsP (fosfuro arseniuro di gallio) in grado di emettere lunghezze d'onda dalla luce rossa fino alla luce gialla (630-590nm)
- GaN (nitruro di gallio) che emette luce blu (430 nm)

Il raggio di luce emesso è notevolmente diffuso e quindi è necessario un condensatore ottico. Perciò il contenitore del LED contiene una lente convergente.

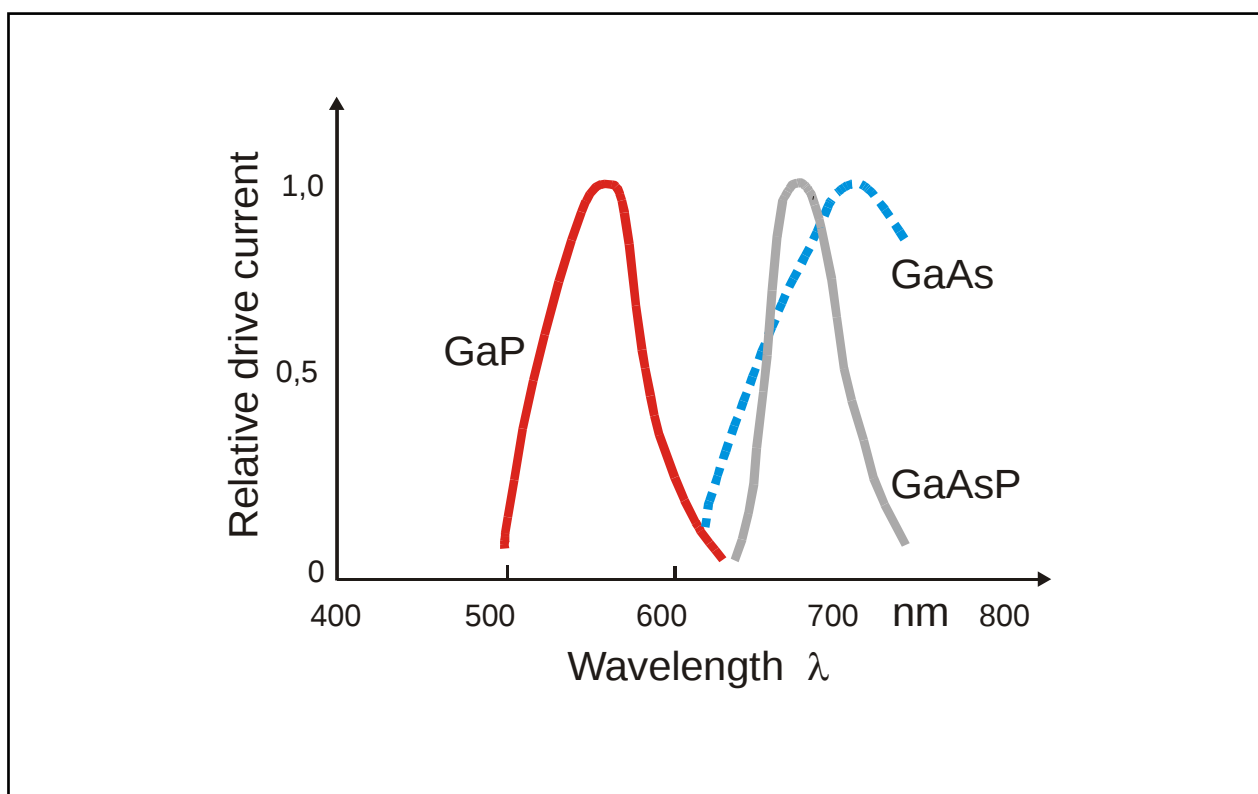


Figura 4-8 Caratteristica spettrale di diodi emettitori di luce

Sia i LED che generano una luce visibile sia quelli che producono una radiazione infrarossa vengono utilizzati come emettitori nei sensori ottici. La luce visibile facilita la regolazione del sensore. I sensori che emettono impulsi infrarossi hanno una potenza assorbita bassa, un'alta precisione e un ampio raggio d'azione. Il contenitore dei LED viene normalmente prodotto con plastica trasparente, opaca, trasparente o

colorata (dello stesso colore della luce emessa dal diodo). All'estremità del contenitore si trova una lente convergente, anche questa di plastica, che condensa il raggio di luce e garantisce una caratteristica angolare della radiazione ottimale (Figura 4.9).

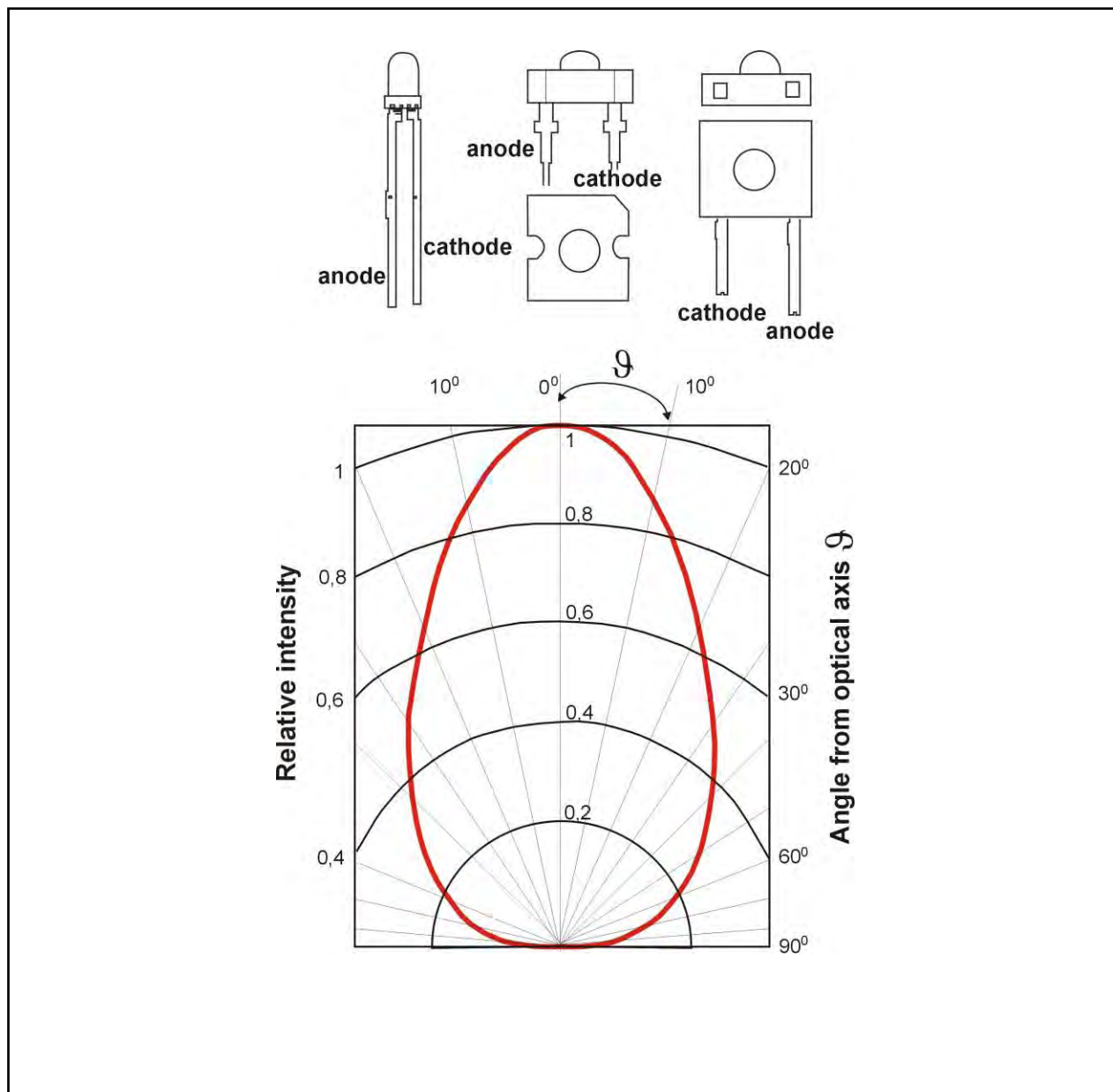


Figura 4-9 Forme tipiche dei LED e caratteristica angolare della radiazione del diodo

4.2.2.2 Diodo laser (LD)

Diversamente dai LED i diodi laser contengono un risuonatore ottico che si trova sui bordi del diodo (Figura 4.10). Fino a un dato valore dell'ampereaggio applicato il diodo laser funziona come un comune LED. Quando questo valore viene superato ha luogo un'emissione di

fotoni che assicura caratteristiche di luce speciali (un'elevata intensità luminosa, coerenza del raggio e un intervallo di lunghezze d'onda d'emissione molto stretto).

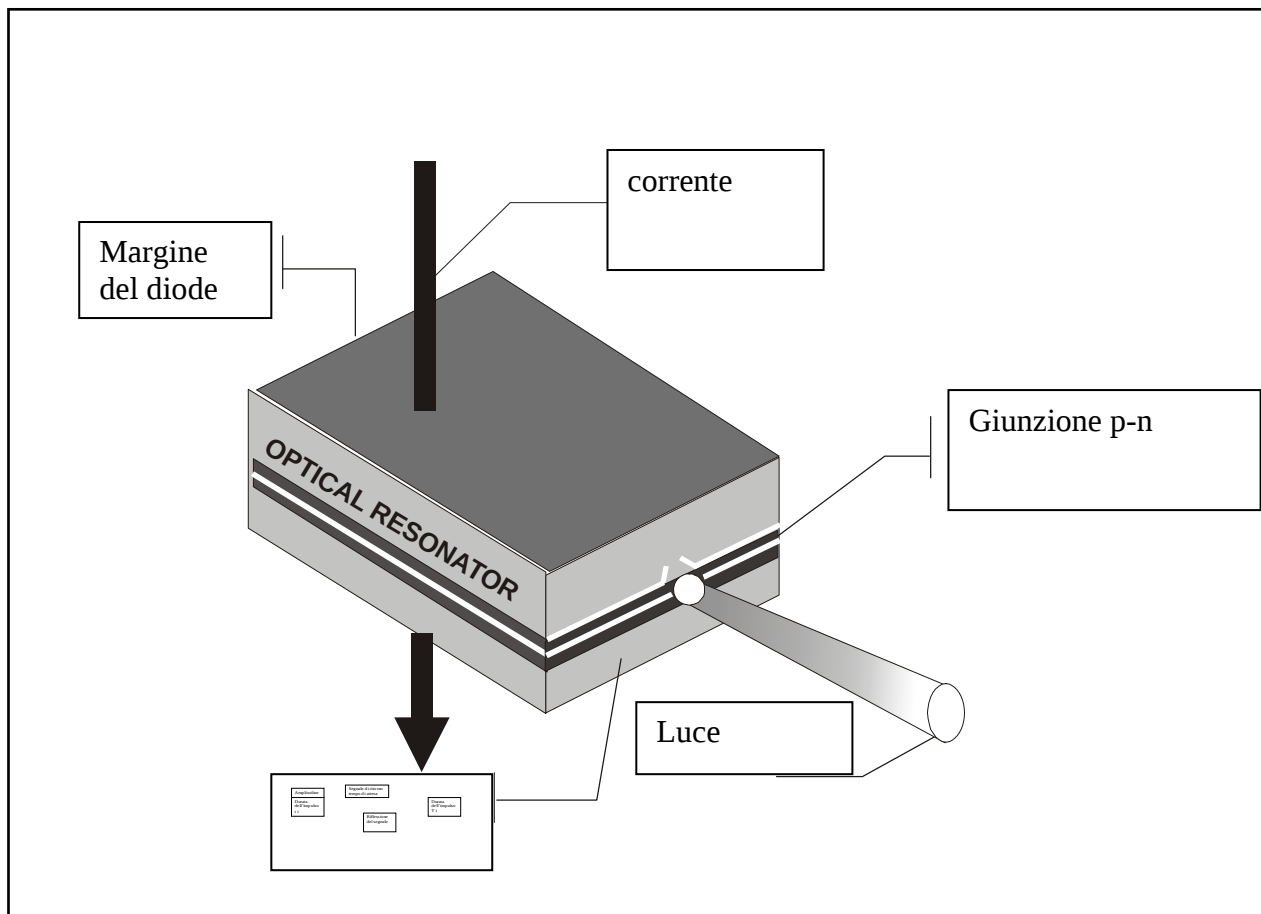


Figura 4-10 La costruzione a strati del diodo laser

La zona di materiale attiva in un laser a semiconduttore LD è la giunzione p-n, che emette una radiazione intensa e coerente. Perciò il suo raggio d'azione è maggiore di quello dei LED (Figura 4.11).

I sensori ottici nella maggior parte dei casi contengono diodi laser che emettono luce visibile ($\lambda = 635690 \text{ nm}$).

I sensori con emettitore laser vengono usati quando va rilevato o localizzato nello spazio un oggetto piccolo. Dato che la luce del laser è un raggio di luce quasi rettilineo l'emettitore può essere più facilmente colimato quando l'oggetto si trova lontano.

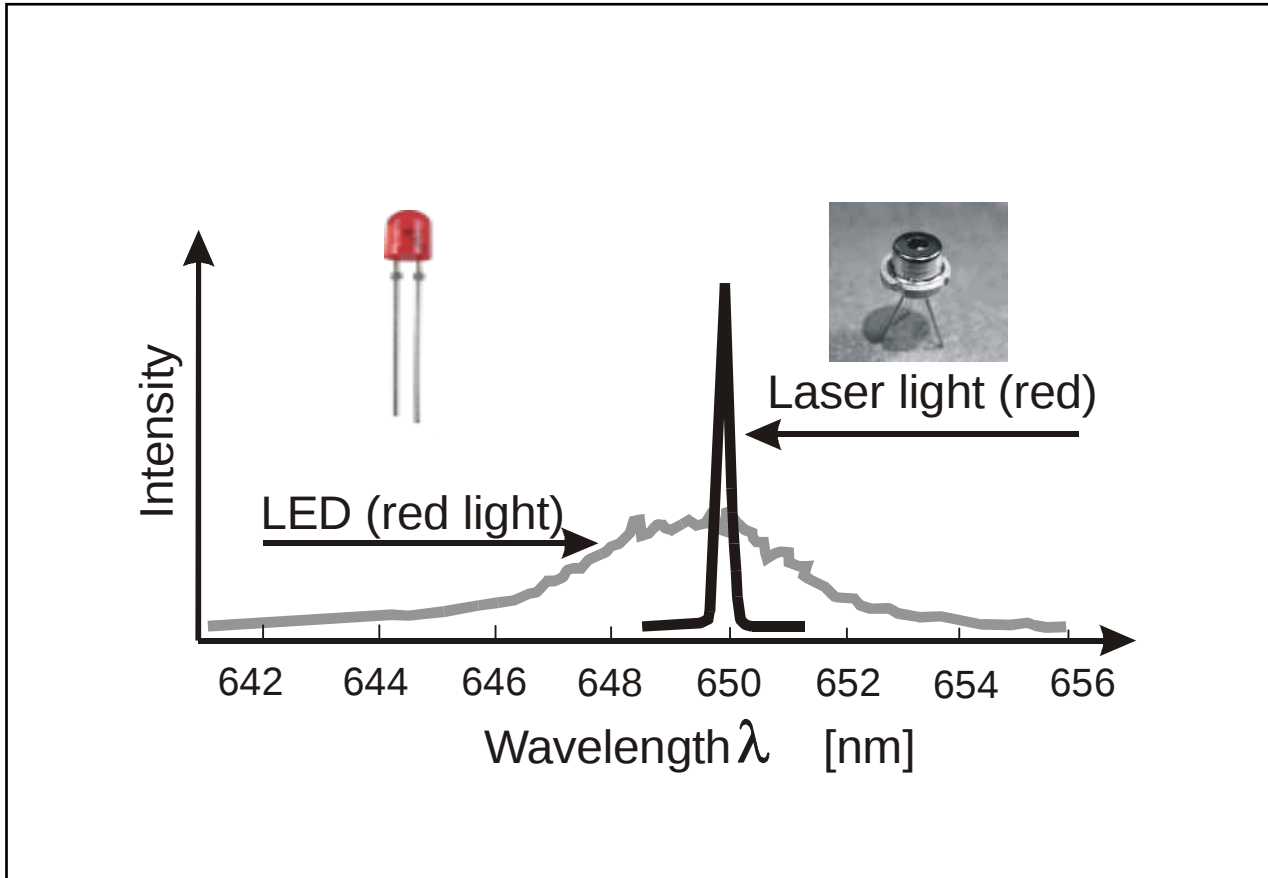


Figura 4-11 Caratteristiche speciali di un diodo emettitore di luce e un diodo laser

4.2.3 Fotorilevatori

4.2.3.1 Fotodiode

I rilevatori sono costituiti da semiconduttori (spesso fotodiode o fototransistor) e trasformano l'energia di luce prodotta da un emettitore in energia elettrica.

Il fenomeno fotoelettrico può avere luogo in un fotorilevatore grazie all'assorbimento della radiazione luminosa; così si genera una corrente. In un fotorilevatore non illuminato circola soltanto una piccola corrente di buio. I fotorilevatori reagiscono rapidamente ad un impulso di luce. Il tempo di salita è il tempo in cui l'ampereaggio cambia dalla frazione 0,1 fino a 0,9 del valore massimo. Il tempo di caduta è un arco di tempo, in cui l'ampereaggio cambia da 0,9 fino a 0,1 del valore massimo (Figura 4.12).

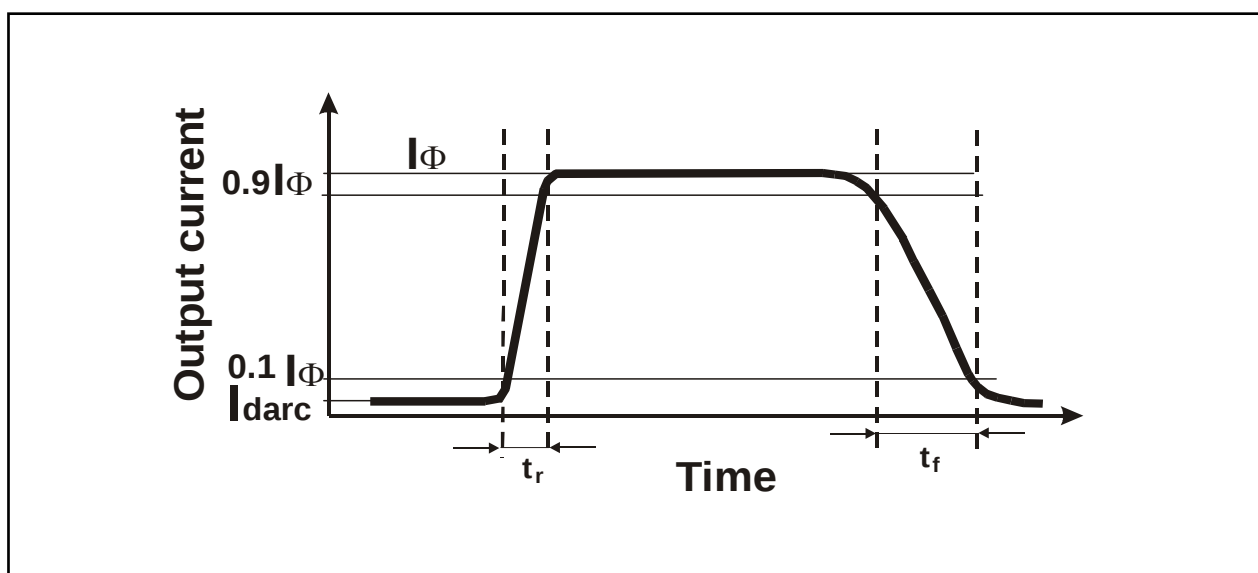


Figura 4-12 Il tempo di salita t_r e il tempo di discesa t_f di un impulso di corrente in un fotoraddrizzatore

I fotodiode vengono prodotti con silicio o arseniuro di gallio. Funzionano in combinazione con una fonte esterna di tensione che ha una polarizzazione negativa. Quando il fotodiode viene illuminato la giunzione p-n incrementa la corrente di ritorno del fotodiode in funzione dall'intensità della luce che colpisce l'assorbitore. Il condensatore ottico serve ad accrescere tale intensità luminosa (Figura 4.13).

Un vantaggio importante del fotodiode è l'alta frequenza di funzionamento. Il fotodiode elabora segnali di luce con una frequenza fino ad alcune decine di MHz. Uno svantaggio del fotodiode è la forte dipendenza della corrente inversa della temperatura.

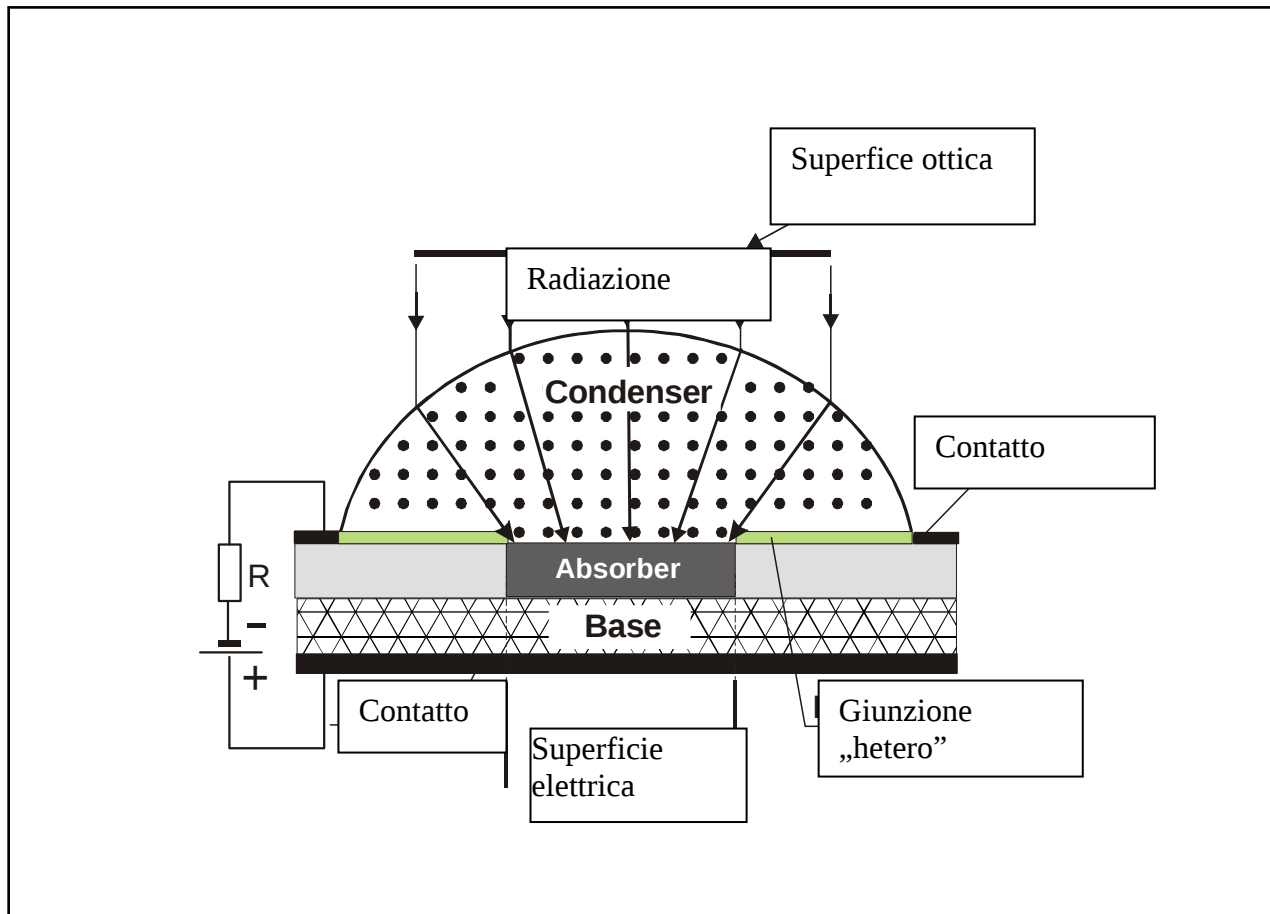


Figura 4-13 Schema di un fotodiodo

Se tra i semiconduttori n e p viene inserito un altro strato di semiconduttore "i" la struttura energetica viene trasformata e ne risulta un diodo PIN (Figura 4.14). L'assorbitore di un fotodiodo comune è molto più sottile della profondità che raggiungono i fotoni. Perciò il coefficiente di efficienza del diodo è basso e la corrente prodotta è piccola. In un diodo PIN l'ampereaggio è più alto perché la zona in cui si genera il campo elettrico è maggiore. Il tempo di salita dell'impulso in un diodo PIN è più breve e il suo coefficiente di efficienza è più alto che per un fotodiodo comune.

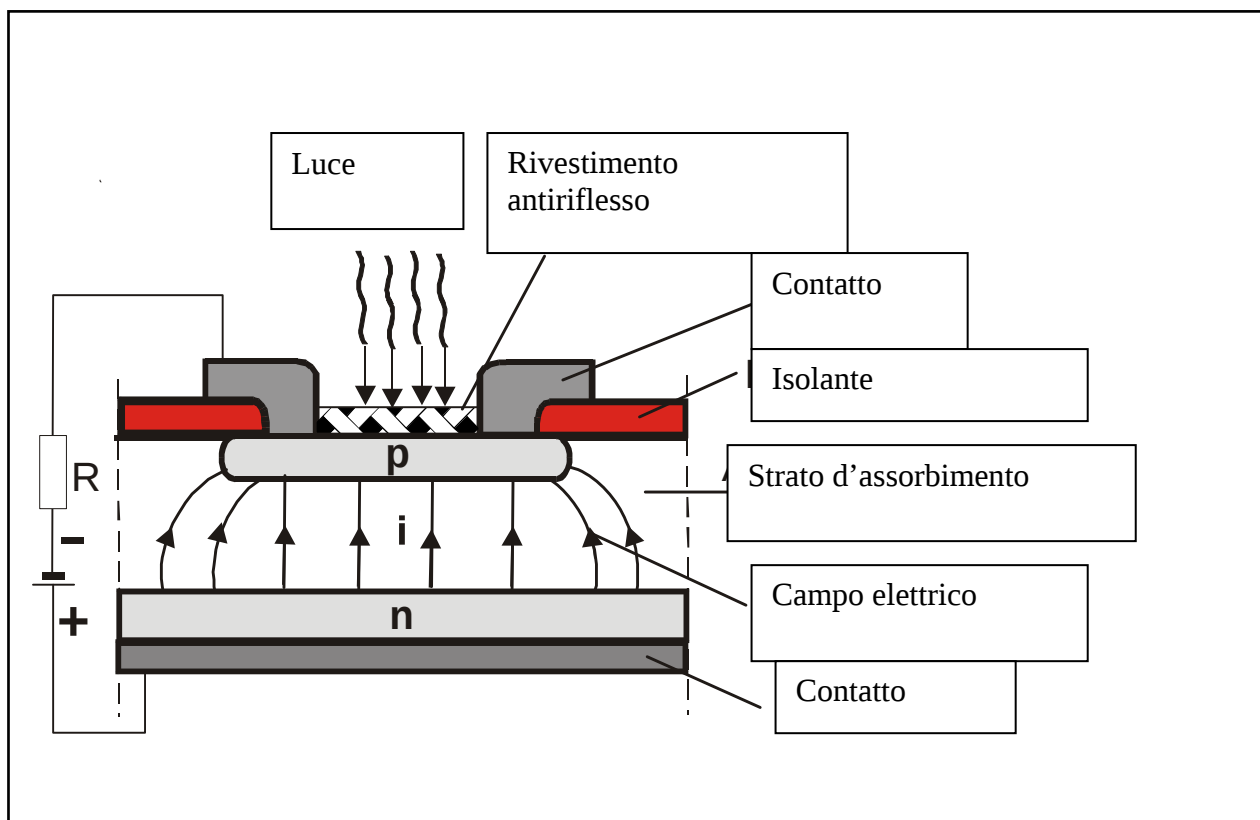


Figura 4-14 Schema di un diodo PIN

4.2.3.2 Rivelatore PSD

Un rivelatore sensibile alla posizione (Position Sensitive Detector – PSD) in buona sostanza non è nient'altro che un diodo PIN con un'estesa superficie sensibile alla luce. In esso un lungo strato di semiconduttore viene colpito dalla luce (Figura 4.15). A causa del fenomeno fotoelettrico che si attiva nell'interno delle cariche elettriche appaiono su ambedue i lati dell'elemento. Queste fanno sì che si generino le correnti I_A e I_B . Se il semiconduttore p viene omogeneamente illuminato (il numero dei fotoni sul lato destro e sinistro sono quasi uguali) vale $I_A \sim I_B$. Se l'elemento viene illuminato in maniera asimmetrica, queste correnti sono diverse. Mediante la differenza tra le correnti che attraversano il rivelatore PSD si può individuare la posizione x dell'intensità luminosa massima, che tramite il circuito elettronico del sensore viene trasformata in un segnale d'output analogico (in tensione).

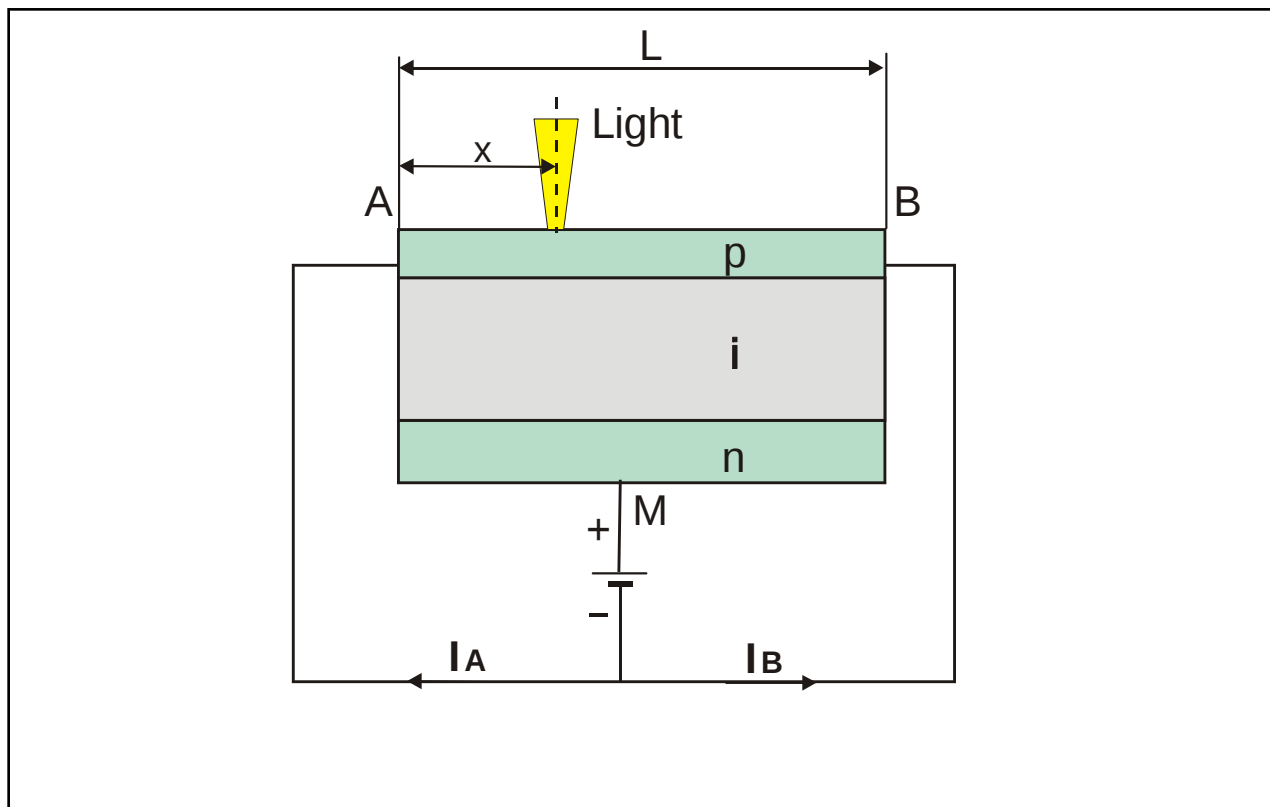


Figura 4-15 Principio di funzionamento di un rivelatore sensibile alla posizione

4.2.3.3 Rivelatore CCD

Nei sensori ottici di prossimità i rivelatori PSD vengono spesso sostituiti da una schiera di elementi CCD (Charge Couplet Device). Questi non sono sensibili ai disturbi causati da riflessioni casuali della luce o raggi secondari perché reagiscono soltanto all'intensità della luce (non alla posizione del raggio come i rivelatori PSD). Una tipica matrice CCD digitale è una struttura piana che consiste di cellule sensibili alla luce (pixel). L'output consiste di tensioni discrete che rappresentano l'intensità luminosa rilevata da ciascun pixel (Figura 4.16).

La posizione x è il baricentro dell'intensità luminosa che colpisce la superficie CCD. La matrice CCD è particolarmente efficiente nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 500 e 900 nm.

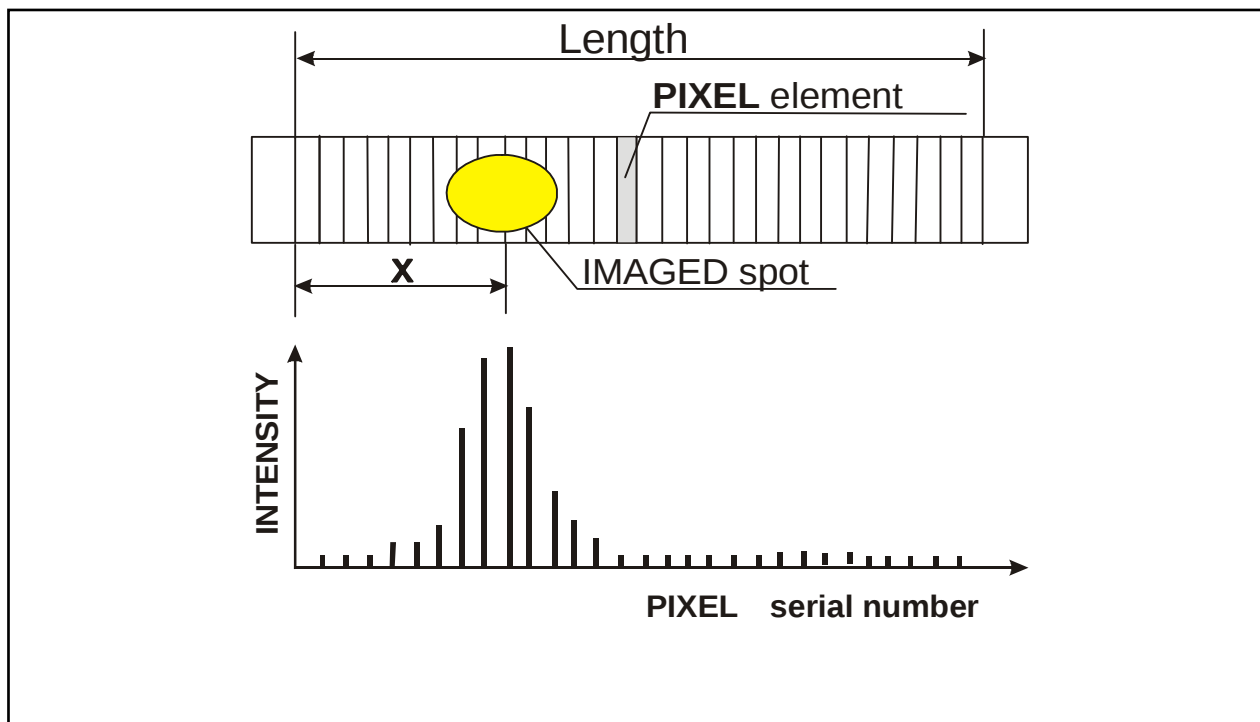


Figura 4-16 Funzionamento del rilevatore CCD

4.2.3.4 Fototransistore

Un fototransistore è un componente a semiconduttore con due giunzioni p-n. Queste rendono possibile la contemporanea modulazione della corrente di output mediante una radiazione luminosa ed un segnale elettrico. La costruzione di un fototransistore è simile a quella di un comune transistor amplificatore, ma l'involucro permette l'illuminazione di una specifica area del semiconduttore detta base. La sensibilità del fototransistore è molto più alta di quella di un fotodiodo perché la corrente viene ulteriormente amplificata. In virtù di questo vantaggio i fototransistori vengono usati come fotorilevatori anche se hanno una frequenza di taglio molto più bassa di quella dei fotodiodi.

La caratteristica di output dei fototransistori è analoga a quella dei comuni transistor bipolari se non per il fatto che il parametro è l'intensità dell'illuminazione (Figura 4.17). Nei sensori vengono impiegati sia fototransistori n-p-n sia p-n-p.

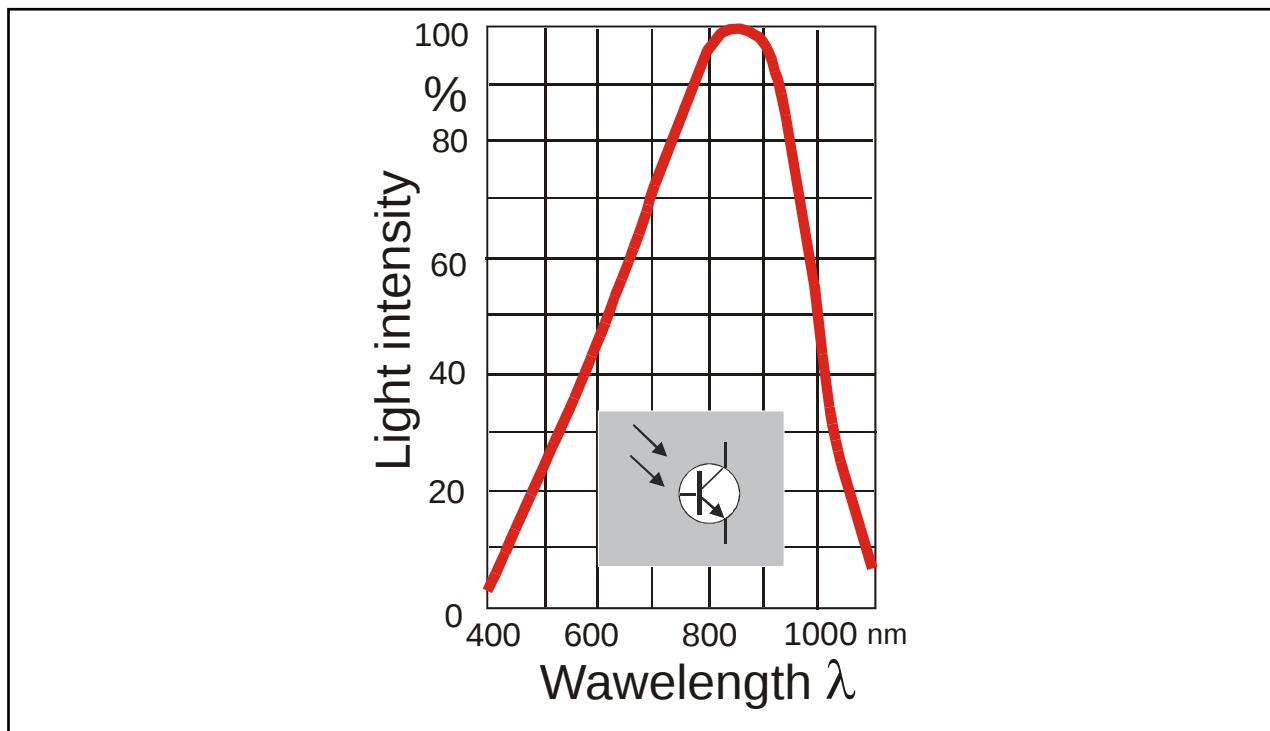


Figura 4-17 Caratteristica spettrale e simbolo dei fototransistori

4.3 Tipologie di sensori

4.3.1 Barriere ottiche unidirezionali

Nelle barriere ottiche unidirezionali un raggio di luce viene inviato dall'emittente direttamente al rilevatore. Questi si trovano su uno stesso asse ma montati in due distinti supporti. Questi sensori riprendono gli oggetti che si trovano tra l'emittente e il rilevatore che così interrompono il raggio di luce. Non sono molto sensibili ai disturbi né a condizioni ambientali severe quali: polvere, vapore e nebbia. Il loro raggio d'azione è il molto ampio (oltre 50 m). Ci sono due tipologie di costruzione di sensori a sbarramento: cilindrici e prismatici (Figura 4.18).

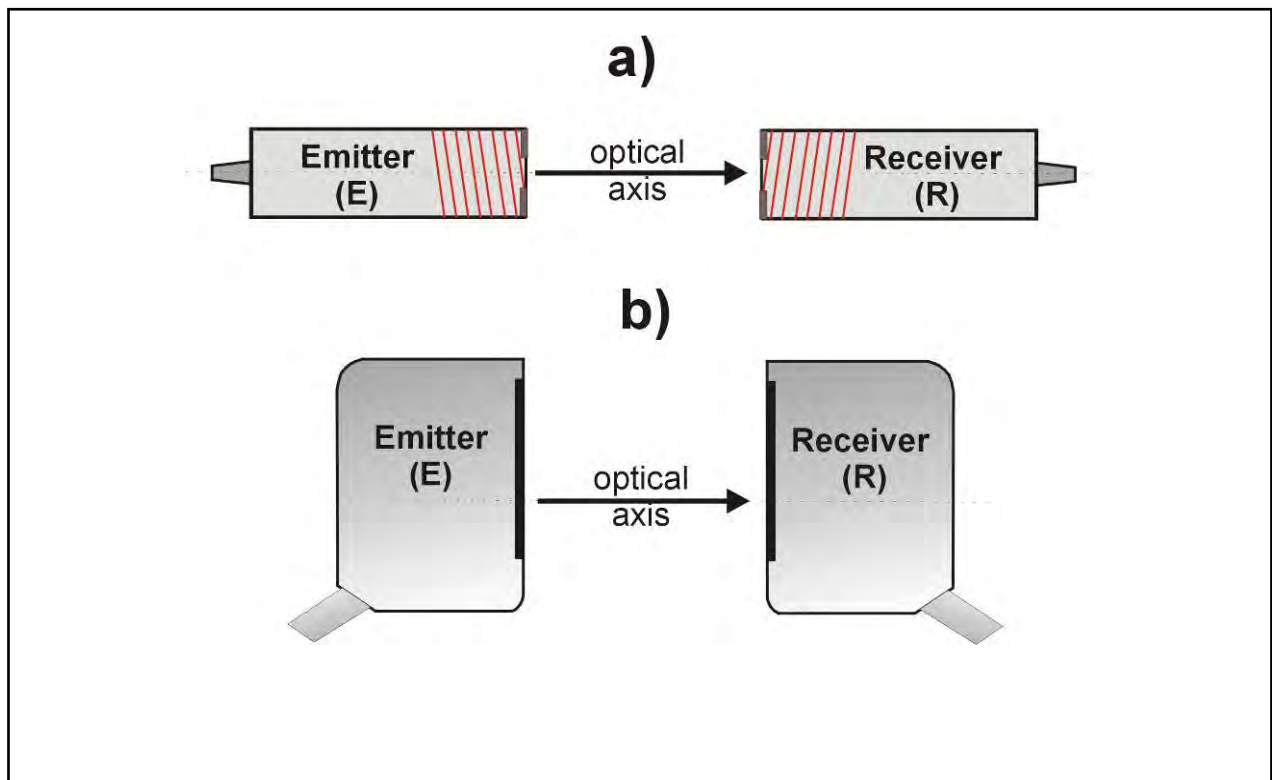


Figura 4-18 Tipologie costruttive di barriere ottiche unidirezionali: a) con sensori in alloggiamenti cilindrici, b) con sensori in alloggiamenti prismatici

Le barriere ottiche unidirezionali rilevano oggetti di materiale qualsiasi. Non ha nessun influsso se la superficie dell'oggetto è colorata, trasparente, ruvida o liscia.

Il raggio di luce efficace dipende dal diametro delle lenti nel trasmettitore e nel rilevatore (Figura 4.19). Un oggetto viene rilevato quando copre almeno il 50% di questo raggio.

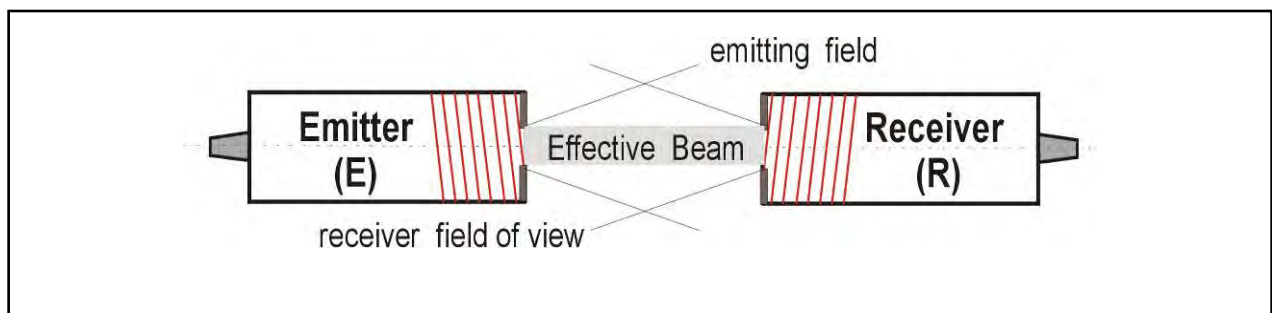


Figura 4-19 Raggio di luce efficace

4.3.2 Sensori a riflessione

Nei sensori a riflessione il trasmettitore ed il rilevatore si trovano in un unico supporto (Figura 4.20). La luce viene riflessa in direzione del ri-



velatore da un riflettore. Quando un oggetto diffonde il raggio di luce il segnale d'output viene commutato. Le barriere ottiche a riflessione senza filtro di polarizzazione impiegano una radiazione infrarossa. I sensori con filtro di polarizzazione usano invece luce rossa visibile. I vantaggi delle barriere ottiche a riflessione sono: un raggio d'azione ampio (fino a 12 m) e l'indipendenza dalle caratteristiche della superficie dell'oggetto.

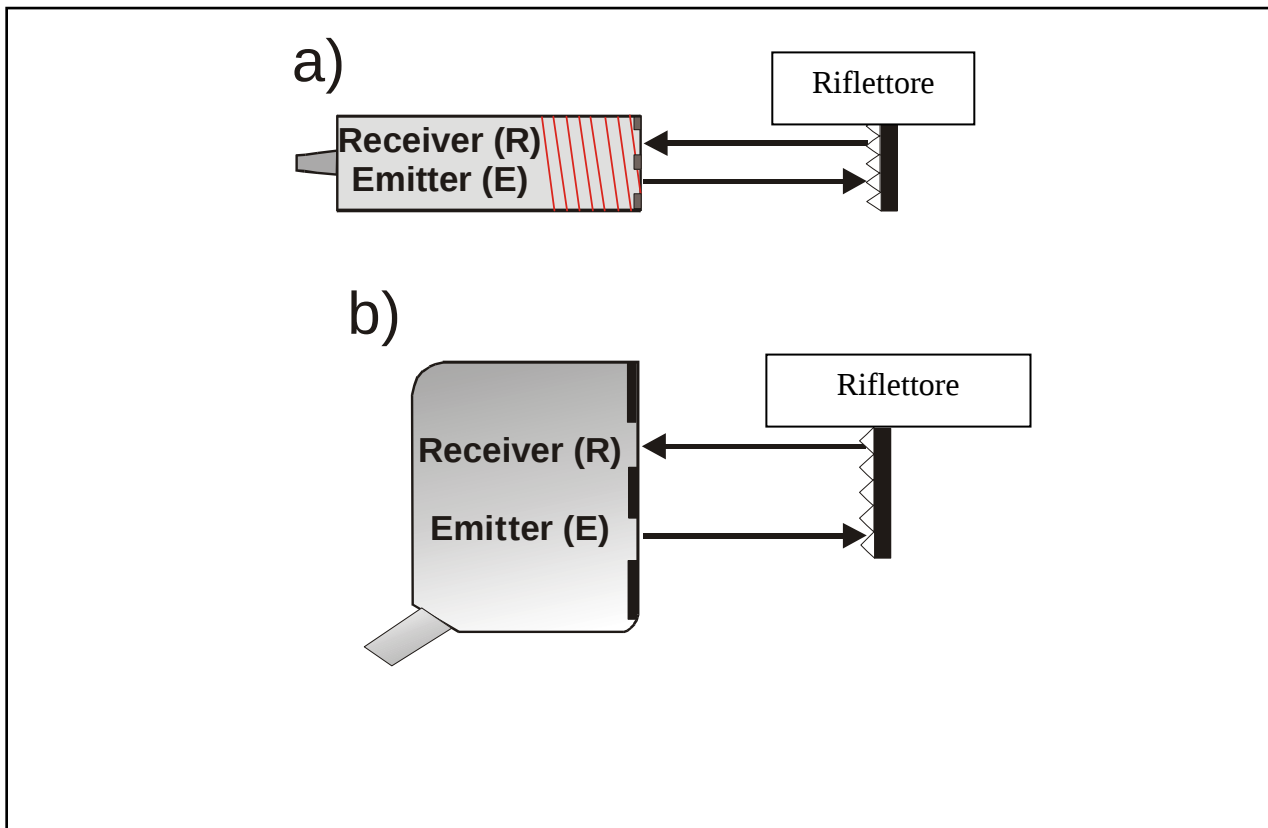


Figura 4-20 Tipologie costruttive di barriere ottiche a riflessione: a) con sensori in alloggiamenti cilindrici, b) con sensori in alloggiamenti prismatici

L'installazione di barriere ottiche a riflessione richiede speciali riflettori o nastri che riflettono la luce (Figura 4.21).

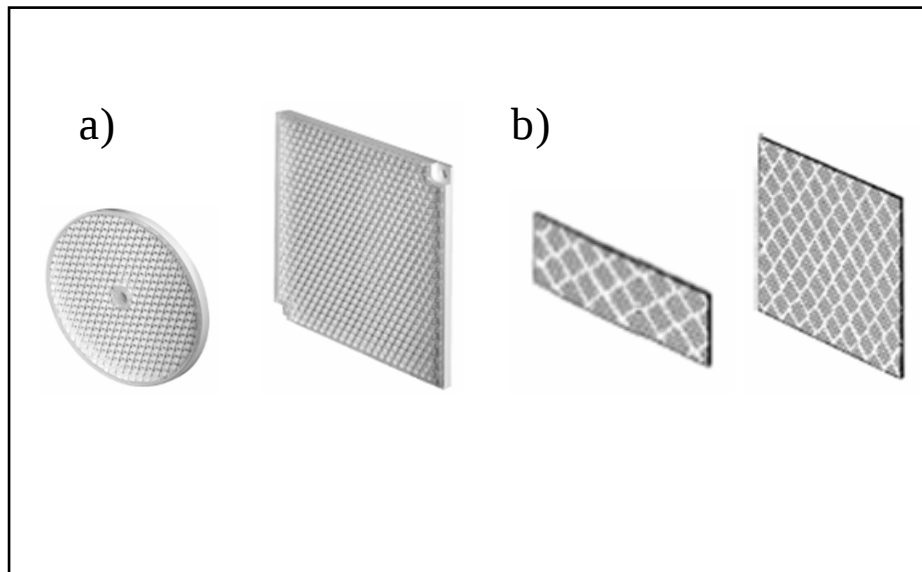


Figura 4-21 a) comuni riflettori, b) nastri riflettenti

Diversamente da un comune specchio o una superficie piana che riflette questi riflettori non devono essere orientati precisamente in perpendicolare rispetto al sensore. Un errore di alcuni gradi non influenza il funzionamento del sensore (Figura 4.22a).

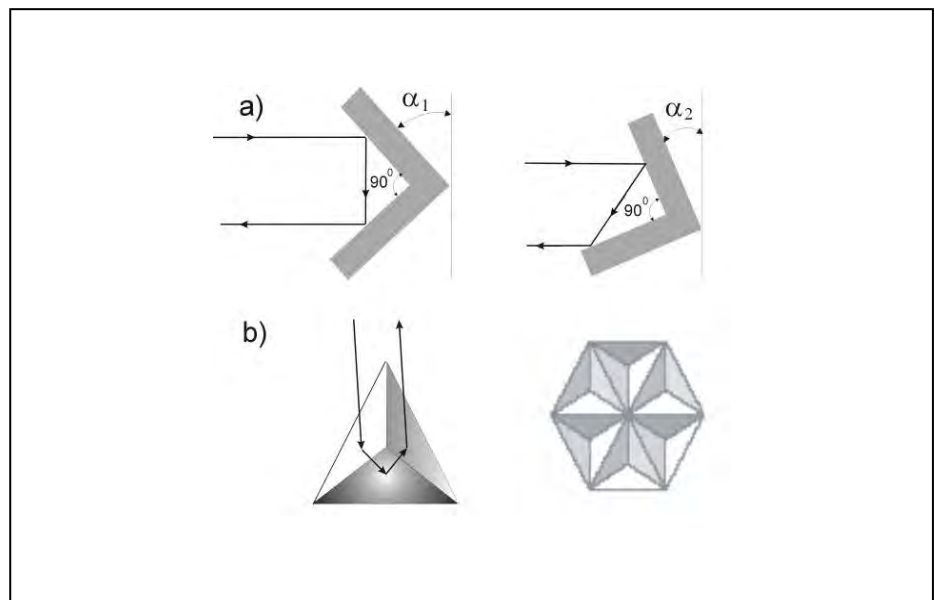


Figura 4-22 Riflessione della luce: a) con un sistema a due specchi, b) con un sistema a tre specchi#

La legge di riflessione bidimensionale vale anche per un sistema a tre specchi perpendicolari l'uno rispetto all'altro (Figura 4.22b). Il raggio di luce che arriva viene riflesso da tutte e tre superfici e il raggio riflesso è



parallelo a quello arrivato. Un complesso di specchi tripli viene usato come riflettore per i sensori a riflessione.

Il raggio d'azione efficace dipende dal diametro delle lenti nel trasmettitore e nel rilevatore e dalla superficie del riflettore (Figura 4.23)

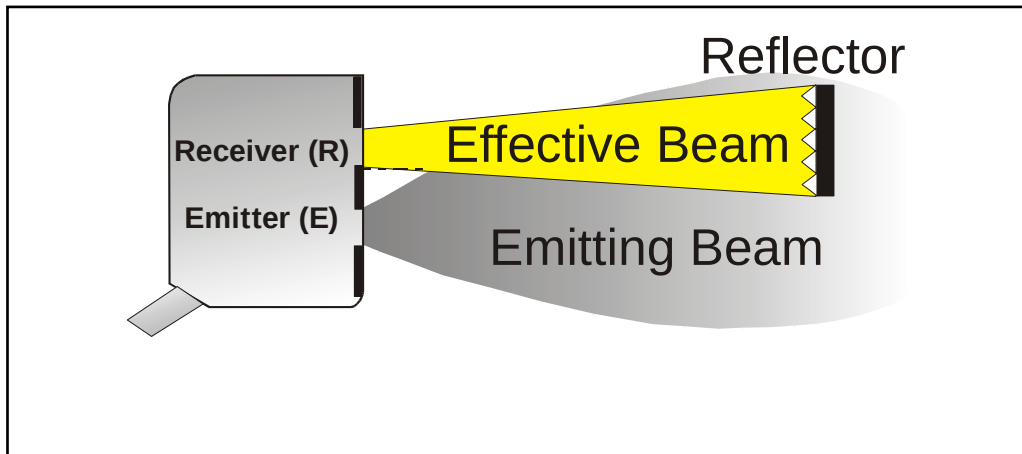


Figura 4-23 Raggio di luce efficace di un sensore a riflessione

4.3.3 Sensori a diffusione

I sensori a diffusione hanno soltanto un involucro nel quale si trovano il trasmettitore e il rilevatore. Il loro grande vantaggio è che non richiedono un riflettore (Figura 4.24). La luce creata dal trasmettitore viene riflessa dall'oggetto e torna al rilevatore. Così viene commutato il segnale d'output.

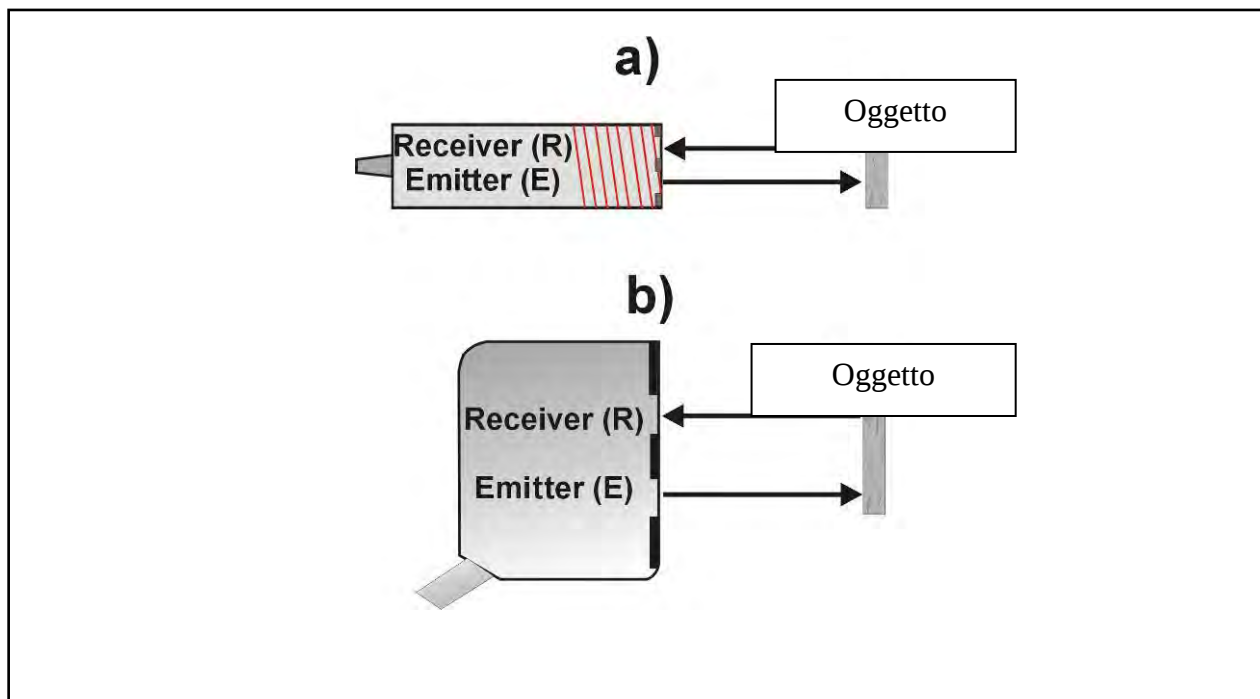


Figura 4-24 Tipologie di sensori a diffusione: a) in alloggiamento cilindrico, b) prismatico

I sensori a diffusione hanno un ristretto raggio di azione, di soli 100 mm al massimo e molto raramente fino a 200 mm. Gli oggetti al di fuori del raggio di azione non vengono rilevati così i disturbi creati da questi vengono automaticamente eliminati. Il loro raggio di azione dipende dal coefficiente di riflessione di luce dell'oggetto da rilevare che viene influenzato dal colore e dalla natura della superficie. Una superficie lucida può riflettere la luce anche quando si trova lontana dal sensore, però disturba la corretta individuazione dell'oggetto. Una superficie scura o opaca assorbe una parte della luce e il resto può non essere sufficiente per rilevare l'oggetto. Nel caso di superfici di questo tipo vengono usate speciali tipologie di sensori a diffusione.

Per individuare il raggio d'azione massimo di un sensore a diffusione viene usata una superficie calibrata diffondente (un foglio di carta bianca o carta KODAK) che riflette il 90% del raggio di luce.

4.4 Elaborazione di segnali

4.4.1 Fonti d'interferenza

I sensori ottici sono sensibili ai disturbi che generati dall'interferenza ottica dalle fonti di luce esterne (sia naturali sia artificiali). I raggi di queste fonti che raggiungono il sensore possono influenzare la corrente prodotta dal rilevatore e dare luogo a falsi segnali d'output. Per evitare conseguenze errate, i sensori vengono equipaggiati con sistemi che in una certa misura aiutano ad evitare tali disturbi e che regolano la sensibilità del sensore in maniera opportuna. Lo sporco nell'ambiente (olio o polvere sulla superficie degli oggetti da rilevare o su quella delle lenti del sensore) può creare ulteriori problemi.

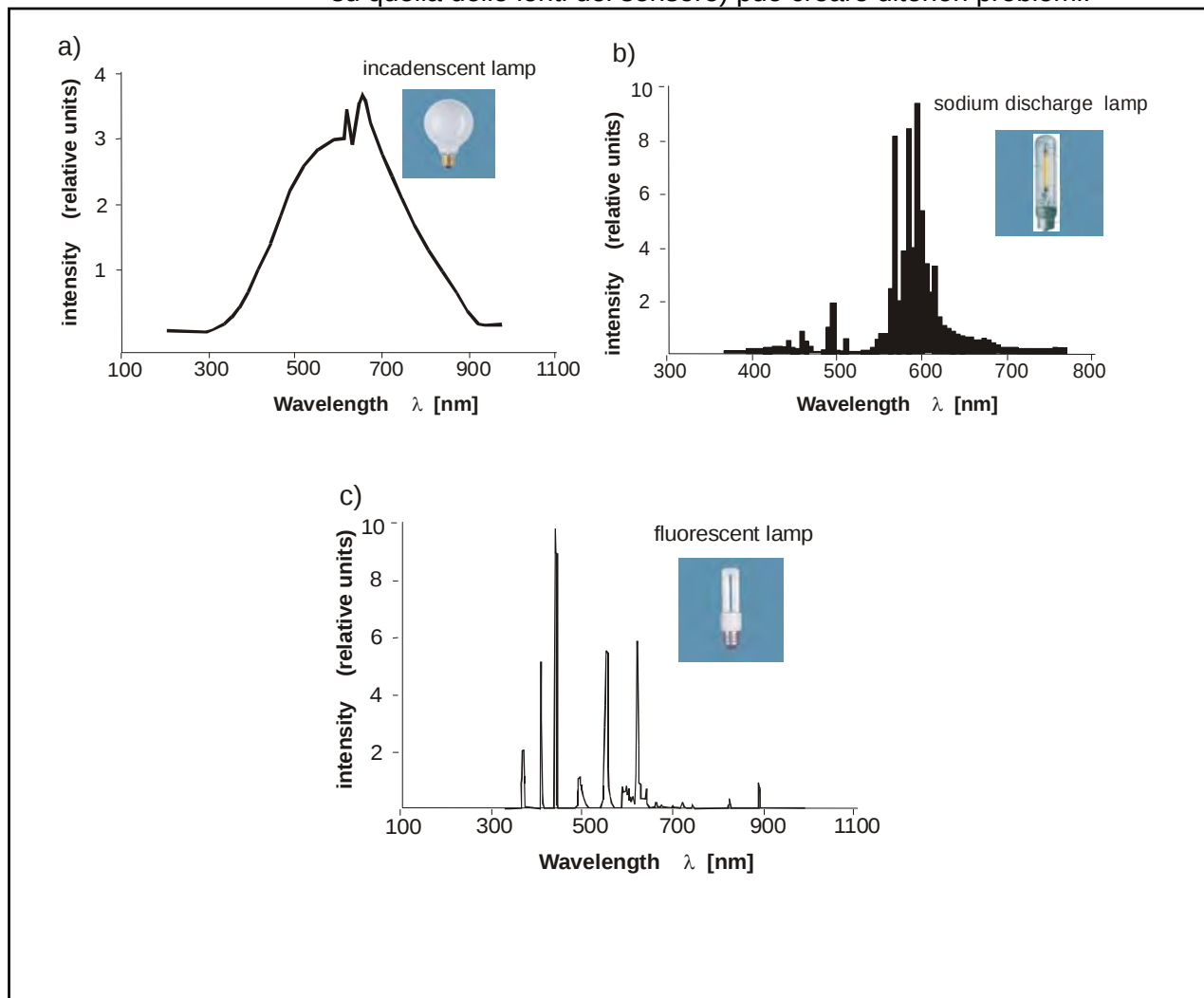


Figura 4-25 Fonti di luce artificiale e le loro caratteristiche di spettro: a) lampadina ad incandescenza , b) lampada a vapori di sodio, c) lampada fluorescente

Lo spettro di radiazione di una lampadina ad incandescenza è molto ampio e l'intensità massima si ha intorno ai 600-700 nm. Le lampade a vapori di sodio emettono la maggior parte dell'energia luminosa

nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 500 e 640 nm (simile all'intervallo di emissione di un LED rosso). Lo spettro di radiazione di una lampada fluorescente consiste di alcune righe principali e di un ristretto intervallo da 570 fino a 700 nm.

I sensori a diffusione sono particolarmente sensibili ai disturbi creati dall'interferenza ottica, soprattutto quella della luce naturale con intensità costante e quella della luce artificiale con uno spettro di radiazione simile a quello della luce naturale, come pure alla luce lampeggiante.

4.4.2 Soppressione delle interferenze

4.4.2.1 Modulazione della luce

I sensori ottici che impiegano luce modulata non sono sensibili per la luce ambientale. Inoltre il raggio dell'emettitore viene attivato soltanto per un breve arco di tempo (molto più breve della pausa fra due impulsi successivi) (vedi Figura 4.26). La frequenza del segnale di luce modulato è di alcuni kHz. Tuttavia se l'emettitore e la fonte di luce di disturbo hanno frequenze prossime è ancora possibile l'interferenza. L'uso della luce modulata offre i seguenti vantaggi:

- i sensori sono insensibili alla luce ambientale;
- il raggio d'azione del sensore è maggiore;
- la quantità di calore prodotto è minore e quindi la durata di vita dei LED aumenta.

Emettitore e rilevatore hanno lenti ottici per raccogliere il raggio di luce prodotto e riducono il campo del rilevatore; pertanto è possibile ridurre il raggio d'azione del sensore ed in questo modo diminuire l'influsso della radiazione riflessa da oggetti che si trovano al di fuori della raggio d'azione. Grazie a lenti convergenti aumenta anche la distanza massima tra il trasmettitore ed il rilevatore o fra il trasmettitore e la superficie riflettente. Quando occorre un breve raggio d'azione ed un ampio campo vengono usati elementi fotoelettronici senza lenti (con una finestra piana trasparente).

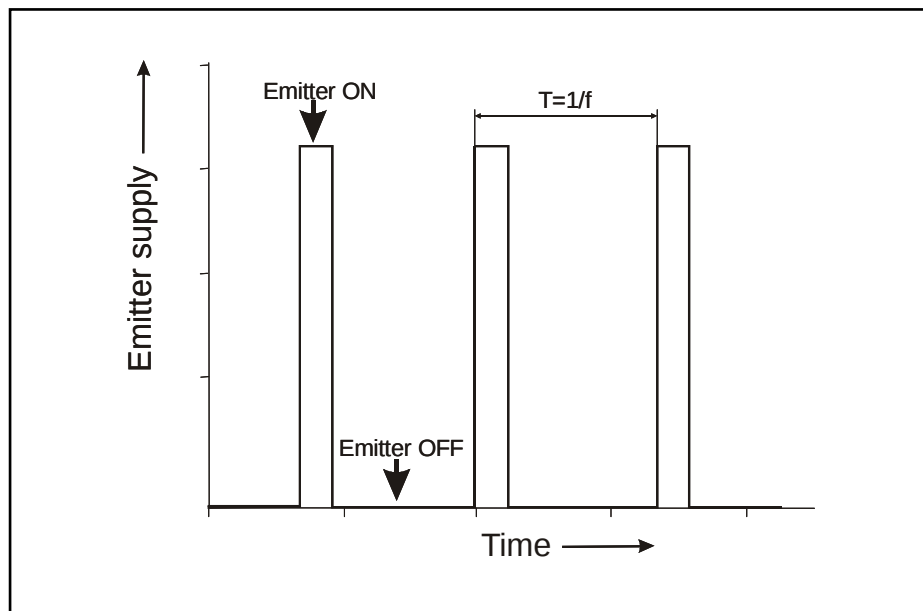


Figura 4-26 Applicazione di una tensione modulata all'emettitore

4.4.2.2 Polarizzazione della luce

Il segnale di output di un comune sensore a riflessione può essere involontariamente commutato quando compare un oggetto lucido nel raggio d'azione del sensore. Per poter discriminare la luce riflessa dall'oggetto da rilevare spesso si deve utilizzare luce polarizzata.

La polarizzazione significa che le oscillazioni delle onde luminose vengono allineate completamente o in parte. Quando un'onda di luce non è polarizzata si verificano oscillazioni del campo elettrico e magnetico in diverse direzioni. Se la luce è polarizzata queste oscillazioni hanno soltanto una direzione.

Sia la luce naturale sia la luce emessa dai LED non è polarizzata. Se la luce attraversa un filtro di polarizzazione resta soltanto quella parte del raggio che ha la direzione del filtro. Se un raggio di luce che già ha attraversato un filtro con polarizzazione orizzontale (Figura 4.27a) attraversa un filtro con polarizzazione verticale viene smorzato del tutto.

La riflessione diffusa distrugge la polarizzazione (Figura 4.27b). Una bassa intensità luminosa che attraversa un polarizzatore verticale ha un'energia troppo bassa per rilevare mediante il sensore la superficie riflettente.

Se la luce polarizzata viene invece riflessa da uno specchio (Figura 4.27) la polarizzazione non viene distrutta, quindi il polarizzatore verticale spegne il raggio di luce.

Questi due fenomeni vengono sfruttati nelle barriere ottiche a riflessione. Impiegando filtri adatti opportunamente posizionati possono essere evitati i disturbi creati dalle superfici riflettenti. Inoltre si possono così rilevare anche elementi trasparenti. I filtri di polarizzazione nella maggior parte dei casi vengono prodotti con pellicole di polimero.

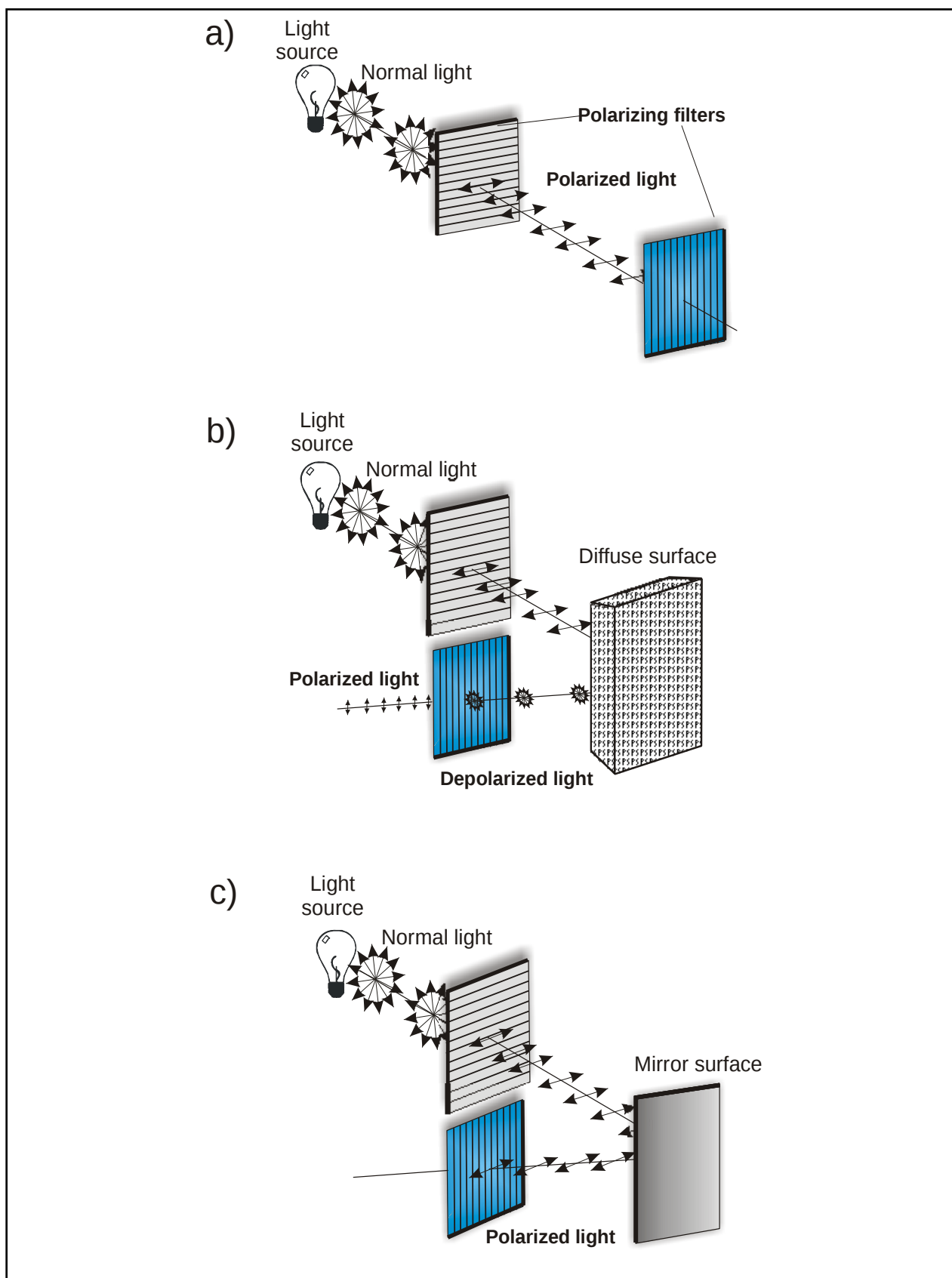


Figura 4-27 Polarizzazione della luce: a) spegnimento di un raggio di luce con due filtri, b) riflessione della luce polarizzata su di una superficie diffondente, c) riflessione della luce polarizzata su di uno specchio

4.4.3 Margine operativo

A causa delle condizioni ambientali (ad es. sporco delle lenti, riduzione del coefficiente di riflessione dell'oggetto, invecchiamento dell'emettitore) può venire ridotta l'intensità luminosa che raggiunge l'elemento optoelettronico del sensore così deteriorato il livello del suo segnale d'output. La potenza del segnale poi potrebbe essere insufficiente a commutare il segnale d'output e il sensore funziona male. Per evitare queste situazioni si deve poter disporre di un esubero di potenza del segnale che viene fissato dal margine operativo (Figura 4.28).

Se il rivelatore non viene affatto illuminato, il margine operativo è 0. Se l'intensità della luce è sufficiente per commutare il segnale d'output, il margine operativo è 1. L'effettiva intensità luminosa deve superare il livello minimo che commuta il segnale d'output (margine operativo > 1) per avere a disposizione una riserva.

$$\text{Operating Margin} = \frac{\text{Actual amount of light detected}}{\text{Minimum amount required to change output state}}$$

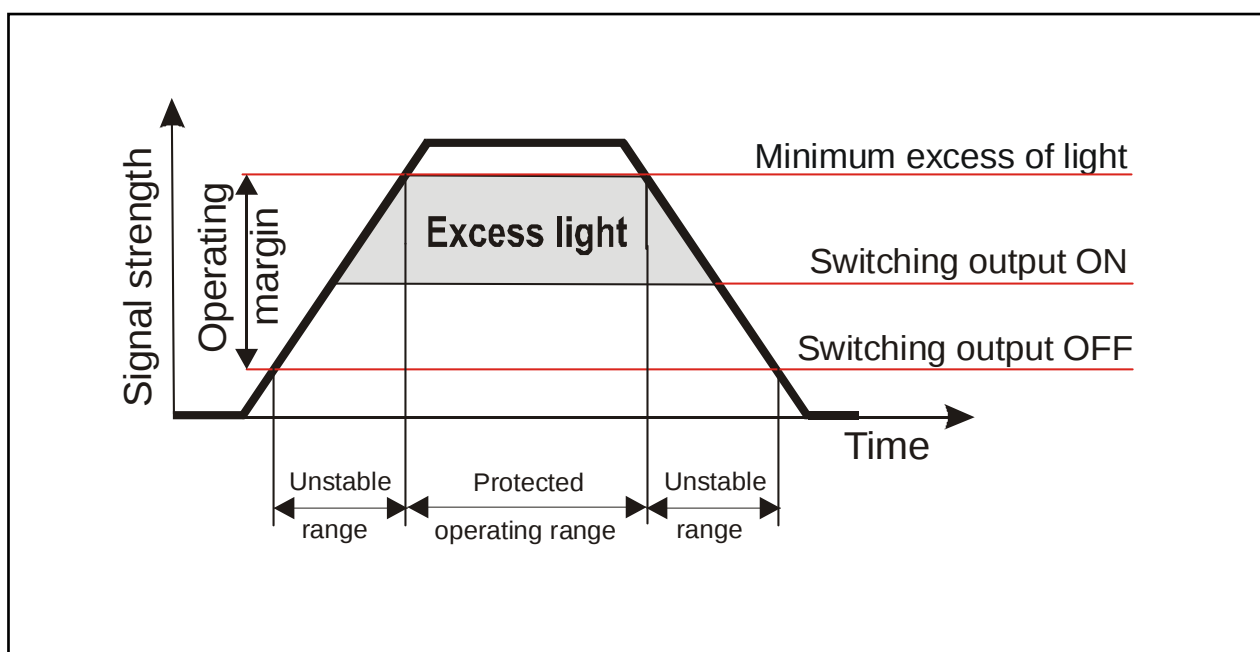


Figura 4-28 Relazione fra l'intervallo di sicuro funzionamento del sensore ottico ed il margine operativo

Se si conoscono le condizioni di lavoro del sensore si può stabilire l'esubero di intensità luminosa necessario a garantire contro lo smorzamento dell'energia luminosa che raggiunge il sensore. Più grande è l'esubero, più affidabile è il sensore. Se il rischio di abbassamenti casuali dell'illuminazione del ricevitore è elevato anche il margine opera-



tivo deve essere grande. Se l'ambiente è pulito e la probabilità d'insudiciamento della lente è bassa il margine operativo deve comunque essere maggiore di 1,5. Se l'ambiente è molto sporco e la possibilità di pulire la lente è ridotta il margine operativo dovrebbe essere maggiore di 50.

Un diodo lampeggiante segnala condizioni di funzionamento instabili, quando l'illuminazione del sensore è troppo bassa per commutare il segnale d'output.

Per il sensore a diffusione è importante anche l'isteresi (differenza del livello del segnale tra il livello per accendere l'output e quello per spegnerlo) (Figura 4.29). Il raggio di azione del sensore viene sempre valutato per il livello di accensione dell'uscita (punto switch ON).

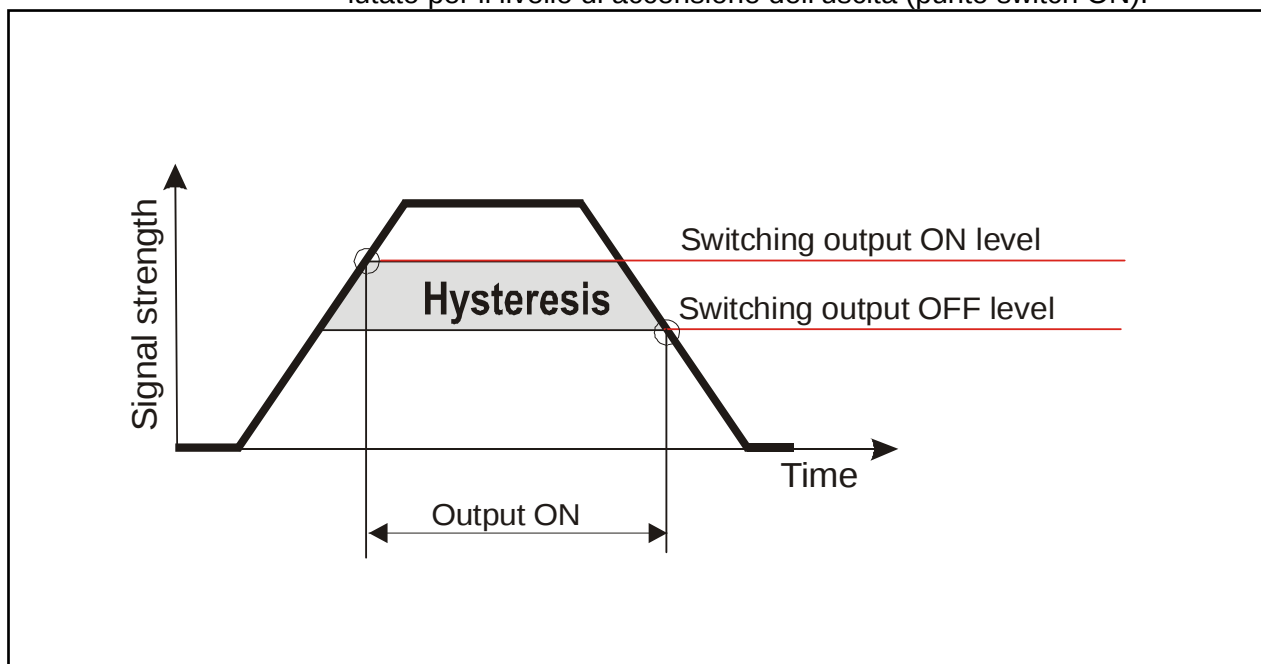


Figura 4-29 Isteresi di un sensore a diffusione

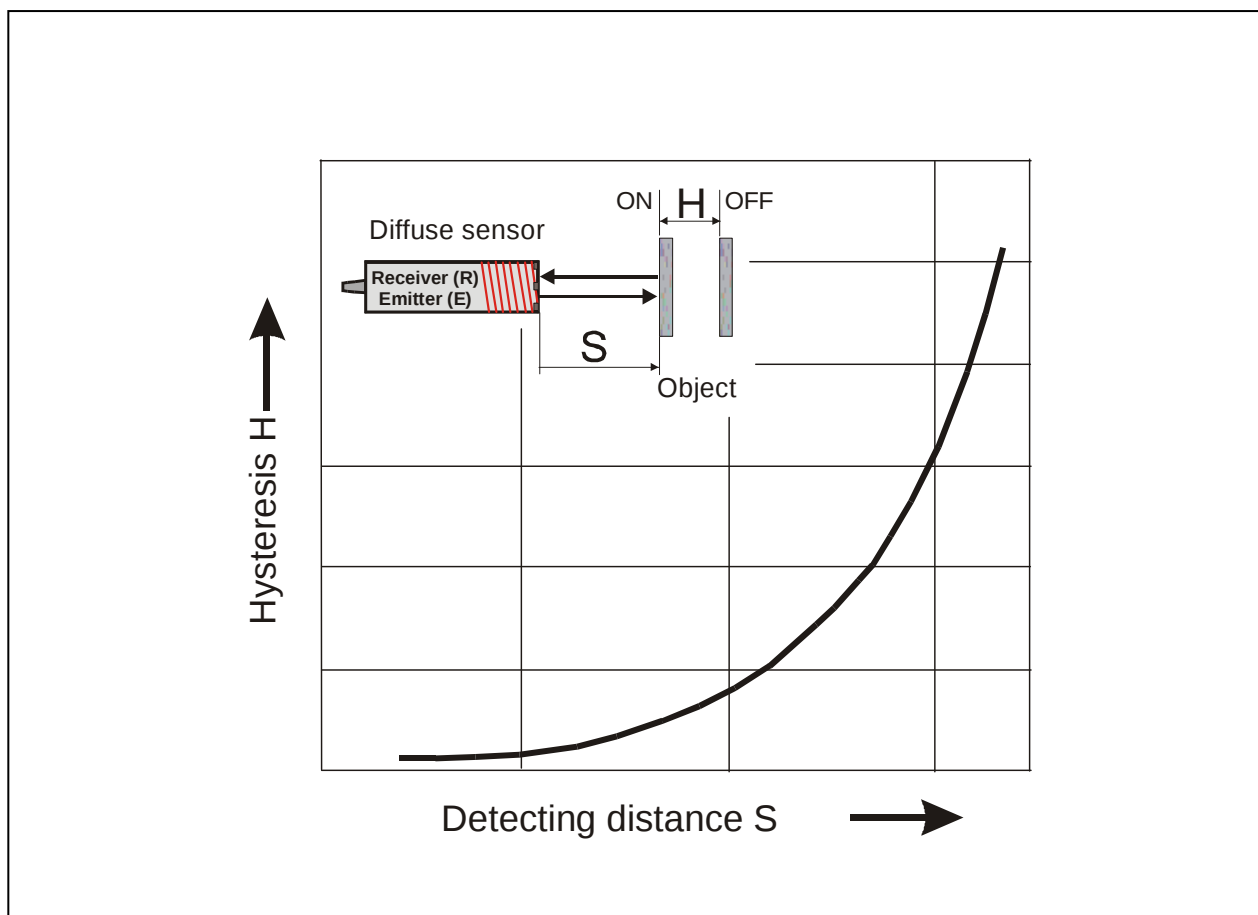


Figura 4-30 Relazione tra isteresi e la distanza fra il sensore a diffusione e l'oggetto rilevato

4.4.4 Raggio d'azione

Una caratteristica di sensori ottici è il raggio di azione che viene espresso mediante la massima distanza di funzionamento. Per le barriere ottiche unidirezionali il raggio di azione è la distanza massima tra emittente e rivelatore. Per le barriere ottiche a riflessione è la distanza massima fra il sensore e il riflettore. Per il sensore a diffusione è la distanza massima fra il sensore e l'oggetto da rilevare (Figura 4.31).

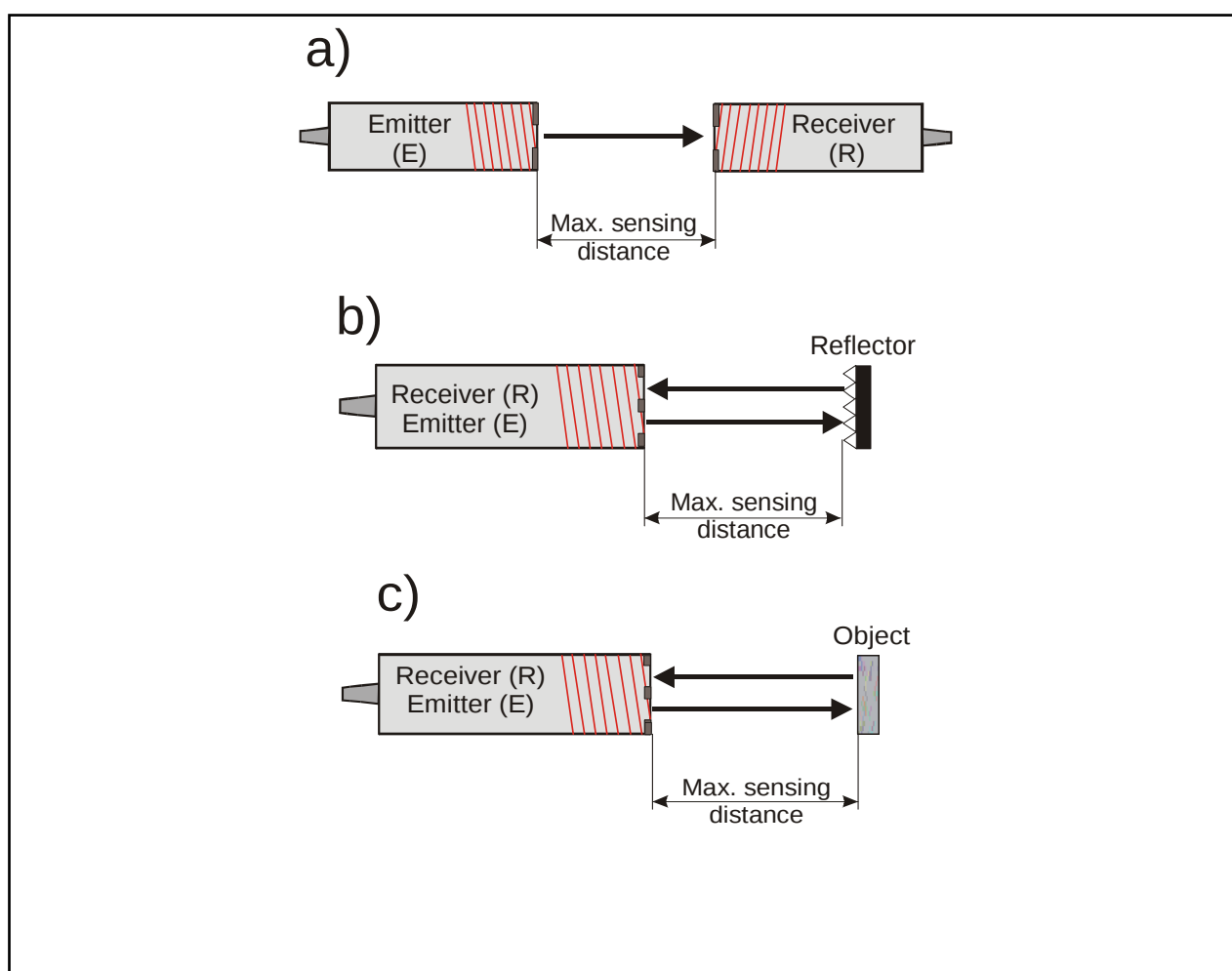


Figura 4-31 Distanza massima di funzionamento: a) barriera ottica unidirezionale, b) barriera ottica a riflessione c) sensore a diffusione

Dal momento che emittente e rivelatore di una barriera ottica a riflessione e di un sensore a diffusione si trovano in un unico involucro esiste anche una distanza minima sotto la quale gli oggetti non possono essere rilevati (Figura 4.32).

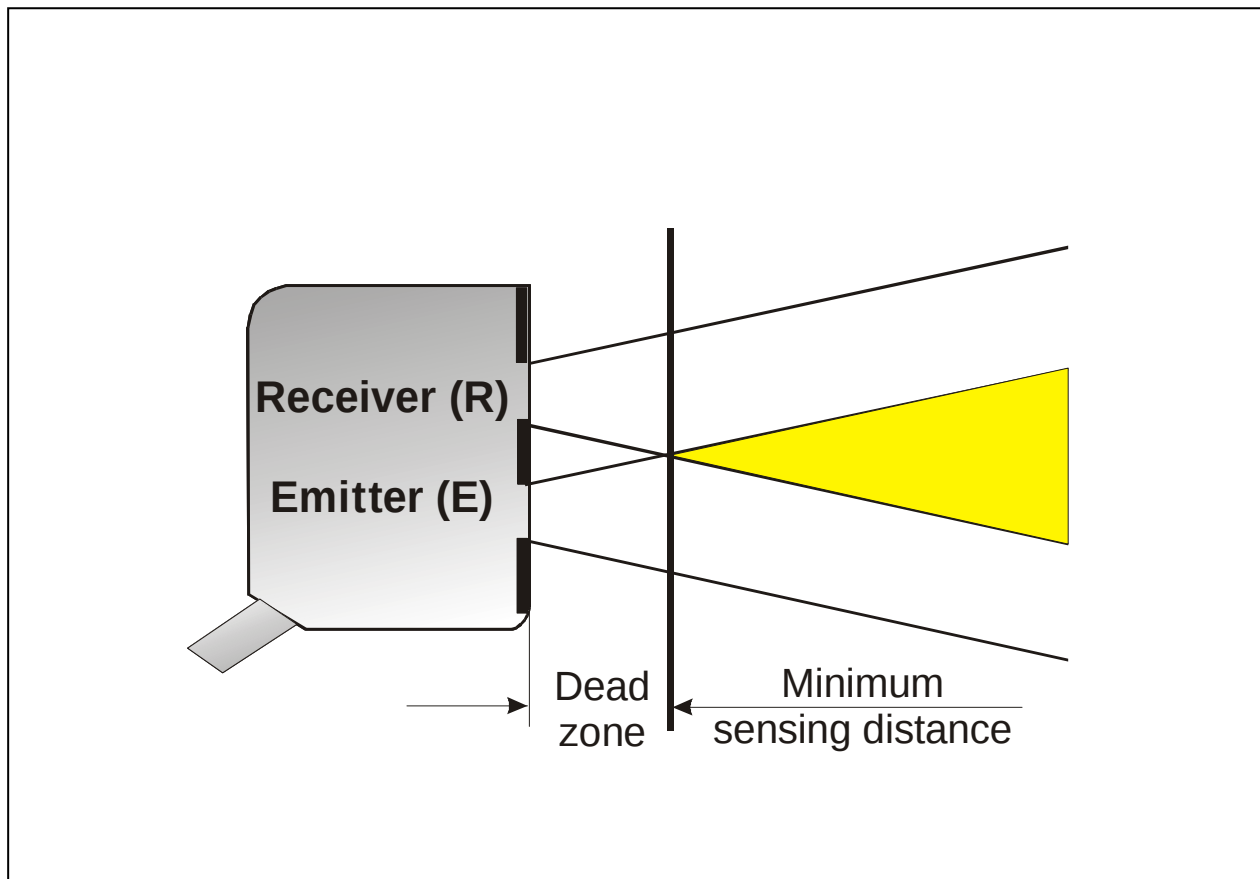


Figura 4-32 Distanza di lavoro minima per le barriere ottiche a riflessione e per i sensori a diffusione

4.4.5 Tempo di reazione

Se va rilevato un oggetto molto piccolo o un oggetto che si muove a velocità elevata, assume importanza cruciale il tempo di reazione (response time) del sensore optoelettronico impiegato. Il sensore deve essere in grado di commutare il segnale di output in brevissimo tempo.

Il tempo di reazione è l'arco di tempo tra l'istante in cui il raggio luminoso colpisce il sensore e quello in cui il segnale di output viene commutato. Il tempo di rilascio (release time) è l'arco di tempo tra l'istante in cui l'oggetto rilevato viene rimosso e quello in cui il segnale di output viene commutato. Questi tempi non sono sempre uguali.

I valori massimi del tempo di reazione e di rilascio vengono indicati tra i dati tecnici di ogni sensore. Differenze rispetto a questi valori si verificano inevitabilmente nella pratica perché la frequenza della tensione d'impulso dell'emettitore non può essere perfettamente sincronizzata con il movimento dell'oggetto.



Se si conosce il tempo di reazione si può fissare la velocità massima di un oggetto o la massima distanza tra gli oggetti da rilevare.

Tempo di attraversamento dell'oggetto davanti al sensore = larghezza dell'oggetto / velocità di passaggio dell'oggetto

Questo tempo deve essere significativamente maggiore del tempo di reazione del sensore impiegato, che è indicato nel catalogo.

Se gli spazi vuoti tra gli oggetti da rilevare sono più stretti di un oggetto il tempo di passaggio dello spazio davanti al sensore è più importante.

tempo dello spostamento dello spazio vuoto davanti al sensore = larghezza dello spazio vuoto/velocità dell'oggetto

Questo tempo deve essere molto più lungo che il tempo di rilascio del sensore impiegato, indicato nel catalogo.

4.5 Tipi speciali di sensori ottici

4.5.1 Barriera ottica a luce polarizzata

Nelle barriere ottiche che utilizzano luce polarizzata la luce prodotta dall'emettitore viene indirizzata attraverso una lente convergente e un filtro di polarizzazione orizzontale verso un riflettore con specchi tripli (Figura 4.33). Gli specchi tripli ruotano l'asse di polarizzazione del raggio di 90°. Una parte della luce riflessa attraversa un filtro di polarizzazione verticale e raggiunge il rilevatore. Perciò viene rilevata soltanto la luce di ritorno dal riflettore.

Vanno tuttavia messe in conto le perdite di intensità della luce emessa nei filtri di polarizzazione. Il raggio di azione di tali sensori è del 30-40% minore di quello di una comune barriera ottica. Comunemente vengono impiegati LED che emettono luce visibile rossa come fonti di luce.

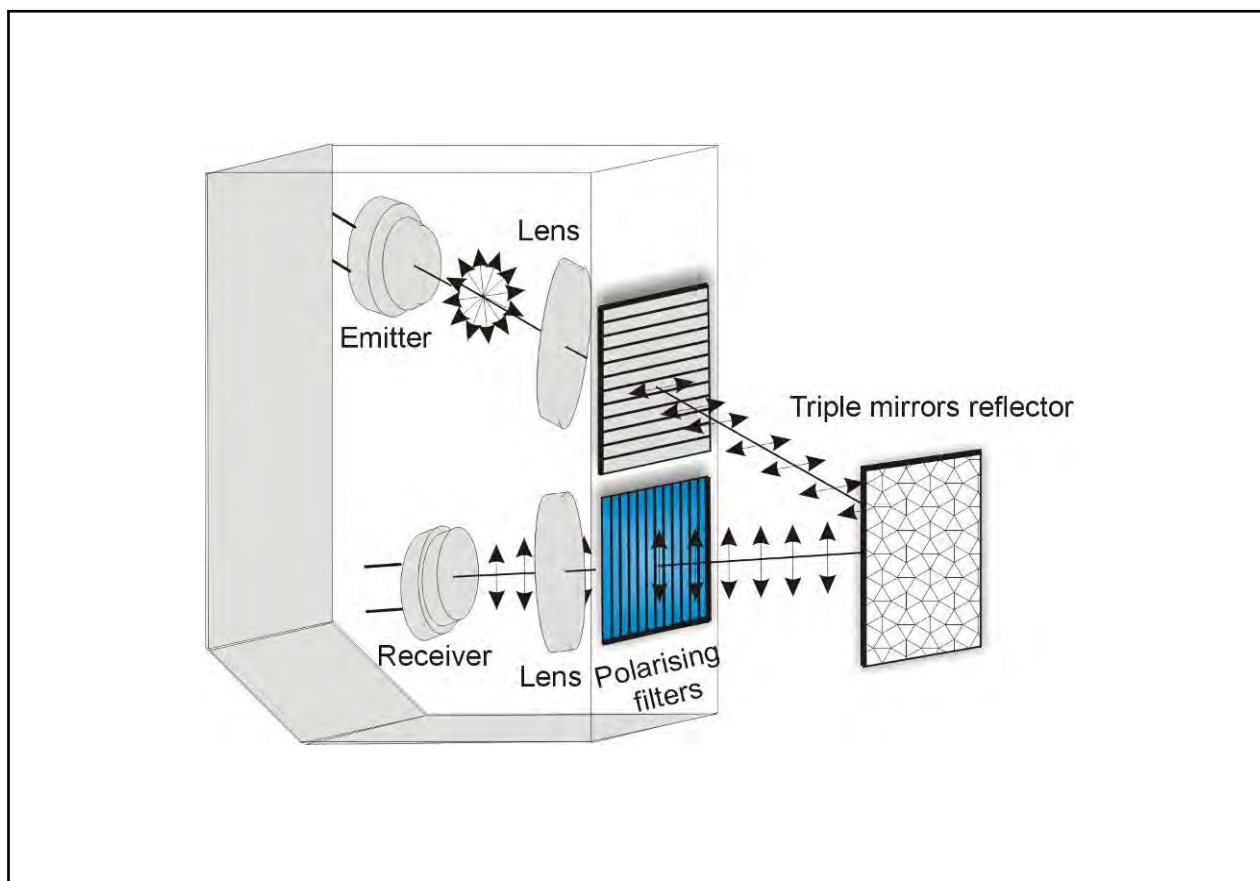


Figura 4-33 Barriera ottica a luce polarizzata

4.5.2 Sensori a diffusione con eliminazione dello sfondo

In molti tipi di sensori ottici può esser regolata la distanza di funzionamento minima e massima, definendo così la finestra di rilevamento (Figura 4.34). Per regolarle si cambia meccanicamente la regolazione delle lenti o l'angolo del ricevitore o di uno specchio ausiliario. Questa caratteristica è particolarmente utile se alle spalle dell'oggetto da rilevare si trova una superficie molto riflettente così che l'oggetto potrebbe non essere correttamente rilevato. L'influsso della superficie viene eliminato se la distanza di lavoro del sensore è minore della distanza tra il sensore e la superficie di fondo (eliminazione dello sfondo). In questo caso vengono riconosciuti soltanto gli oggetti che si trovano davanti allo sfondo.

Il metodo della soppressione elettronica dell'influsso dello sfondo è ancora più efficace. Il sensore in questo caso riconosce l'influsso dello sfondo e lo può ignorare. Il procedimento descritto viene usato in sensori luminosi con due rilevatori o nei sensori di triangolazione equipaggiati con una fotocamera CCD o un trasduttore PSD. I sensori del primo tipo comparano le diverse intensità luminose che colpiscono gli elementi ricevitori per rilevare un oggetto. In quelli del secondo tipo, invece, viene misurata la distanza tra l'oggetto e il sensore e confrontata con una distanza misurata in precedenza.

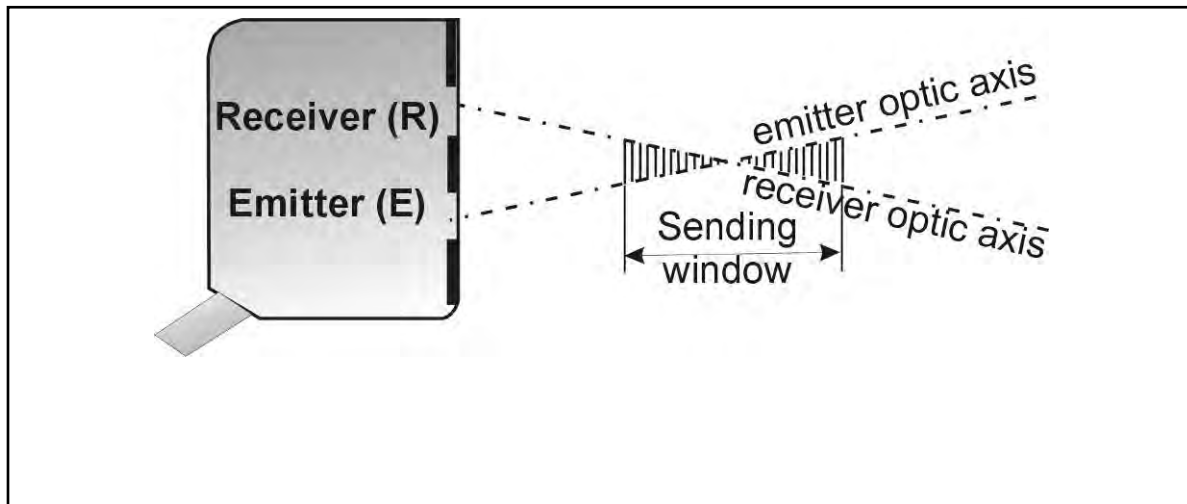


Figura 4-34 Intersezione dell'asse ottico dell'emettitore e del rivelatore per limitare la finestra di rilevamento

Ci sono tre modalità con le quali i sensori cancellano elettronicamente l'influsso dello sfondo (Figura 4.35):

- la prevenzione dal rilevamento dell'oggetto 3 che si trova oltre la distanza di funzionamento (soppressione dello sfondo),
- la prevenzione dal rilevamento dell'oggetto 2 che si trova al di qua della distanza di funzionamento (soppressione del primo piano),
- il rilevamento dell'oggetto 1 che si trova nella finestra di funzionamento (finestra di rilevamento).

Se la distanza tra l'oggetto ed il sensore:

- è minore di L_{min} viene trascurata l'influenza dei raggi luminosi emessi al di qua della finestra di rilevamento,
- è maggiore di L_{max} viene trascurata l'influenza dei raggi luminosi emessi oltre la finestra di rilevamento,
- è maggiore di L_{min} e minore di L_{max} l'influenza dei raggi luminosi non viene eliminata né con la soppressione del primo piano né con quella dello sfondo.

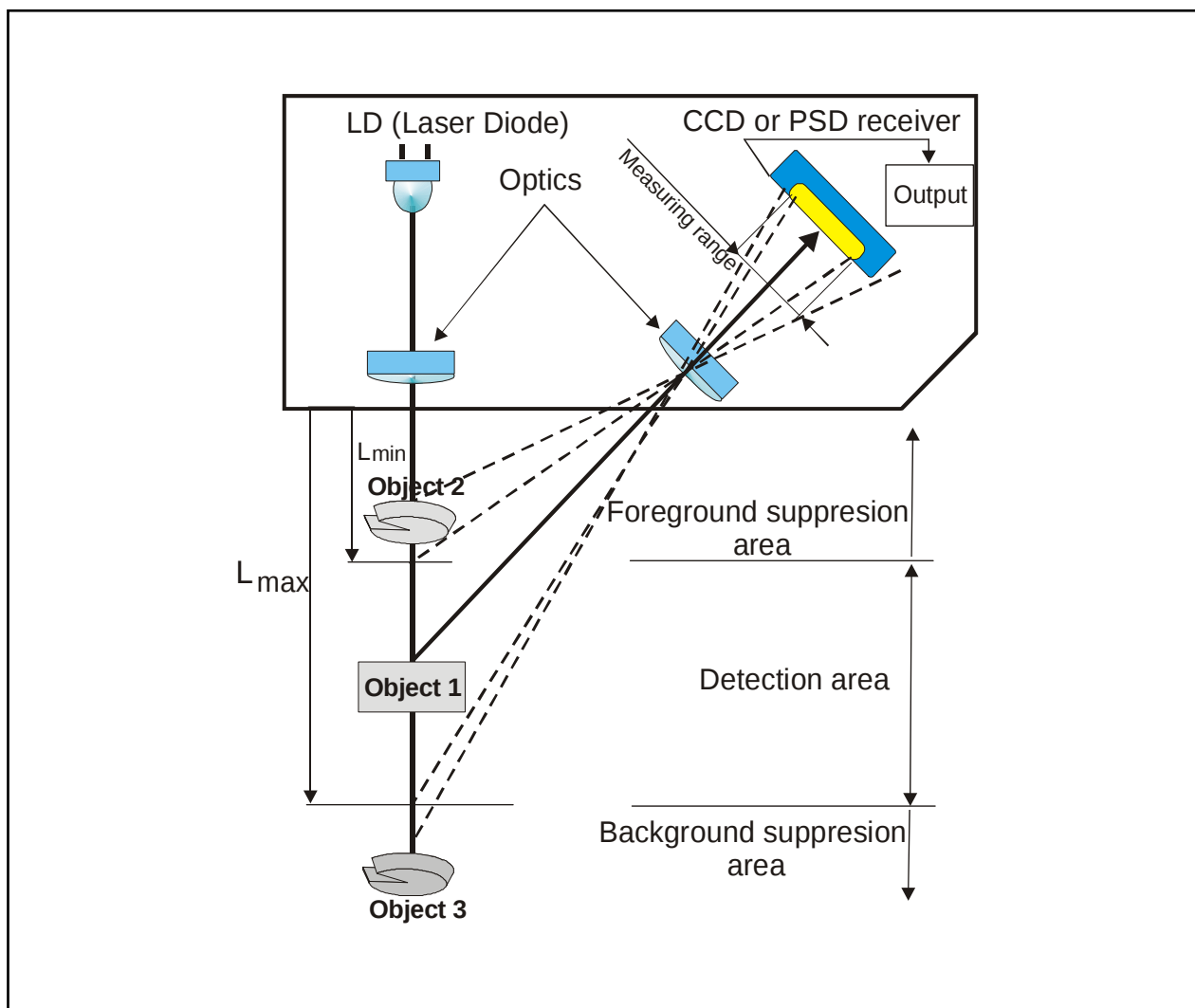


Figura 4-35 Sensore di posizione con soppressione dell'influsso dello sfondo

Grazie al sistema ottico di triangolazione del sensore di posizione (Figura 4.35) il fascio di luce emesso da un diodo laser è collimato e composto di raggi quasi paralleli. Quando colpisce un oggetto 1 viene riflesso in maniera diffusa e una parte di ritorno raggiunge il trasduttore PSD o la foto-camera CCD che si trova nello stesso alloggiamento. Il sistema di elaborazione paragona il segnale ricevuto con la distanza di funzionamenti precedentemente impostata che viene regolata mediante un potenziometro. Se l'oggetto si trova ad una distanza compresa nell'intervallo di funzionamento il segnale d'output viene commutato.

Diversamente dai comuni sensori a diffusione la distanza di funzionamento non dipende dalla grandezza, dal colore e dalle caratteristiche della superficie dell'oggetto ripreso. Perciò l'oggetto può essere individuato anche quando lo sfondo è riflettente.

Non c'è alternativa a questo tipo di sensori quando interessa rilevare oggetti che si spostano in prossimità dello sfondo o del suolo oppure il livello di un fluido opaco.

I sensori a diffusione con soppressione dell'influsso dello sfondo rilevano con pari efficacia oggetti chiari e scuri, come è rappresentato nella Figura 4.36. La differenza delle distanze di lavoro per oggetti scuri e chiari è soltanto del 5 %.

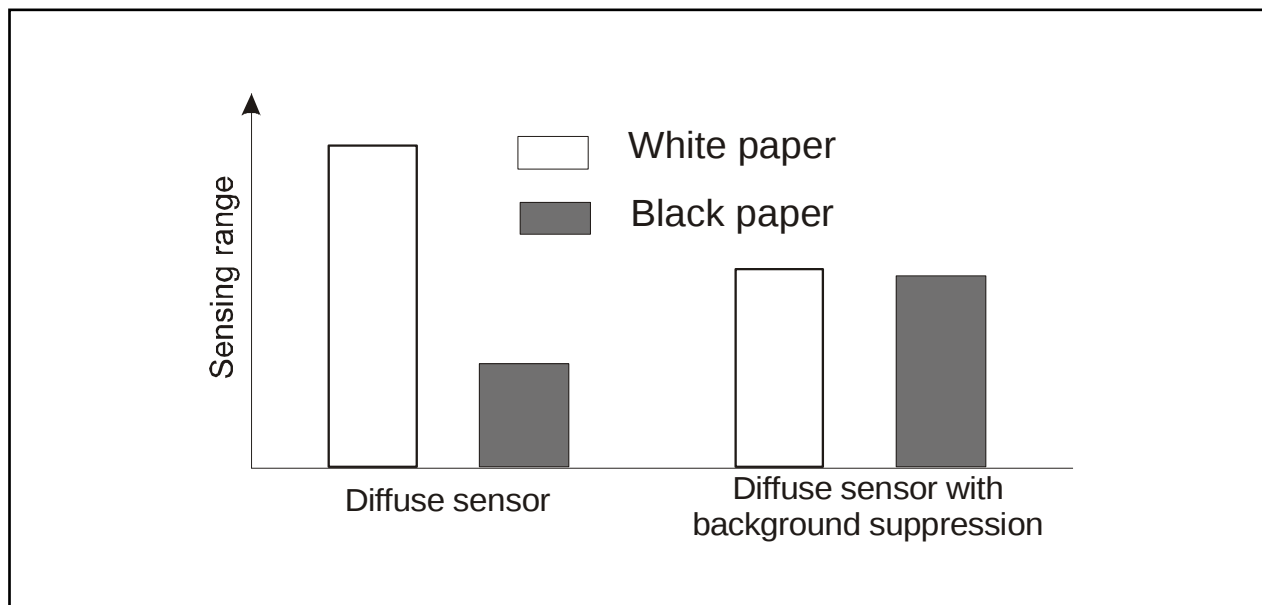


Figura 4-36 Relazione tra il raggio d'azione ed il colore della superficie riflettente

Le sorgenti di luce LED ed i ricevitori sono corredati di lenti ottiche per collimare il raggio luminoso generato e per ridurre il campo di visione del rivelatore, rispettivamente. In tal modo si può limitare il raggio d'azione del sensore e l'influsso della radiazione luminosa proveniente da oggetti che si trovano al di fuori del raggio d'azione. Grazie alle lenti si accresce anche la massima distanza utile fra il trasmettitore e il ricevitore o fra il trasmettitore e la superficie che riflette. Quando si ha bisogno di un corto raggio d'azione e un ampio campo di visione vengono usati elementi fotoelettrici senza lenti (con una finestra trasparente piana).

4.5.3 Barriera ottica autocollimante

L'autocollimazione è la trasformazione del raggio di luce diffuso in un fascio di raggi paralleli. Anche se il diametro del raggio è minore si ha una sufficiente intensità luminosa di ritorno al rivelatore.

Grazie all'autocollimazione si possono rilevare oggetti trasparenti e oggetti che si trovano nella zona morta dei comuni sensori.

Le barriere ottiche a riflessione che sfruttano autocollimazione si basano sul fatto che gli assi ottici del raggio emesso e di ritorno coincidono. Questo è possibile perché la luce nel del raggio di ritorno viene deviata a 90° da uno specchio semitrasparente (Figura 4.37). Tali sensori funzionano molto bene con riflettori piani.

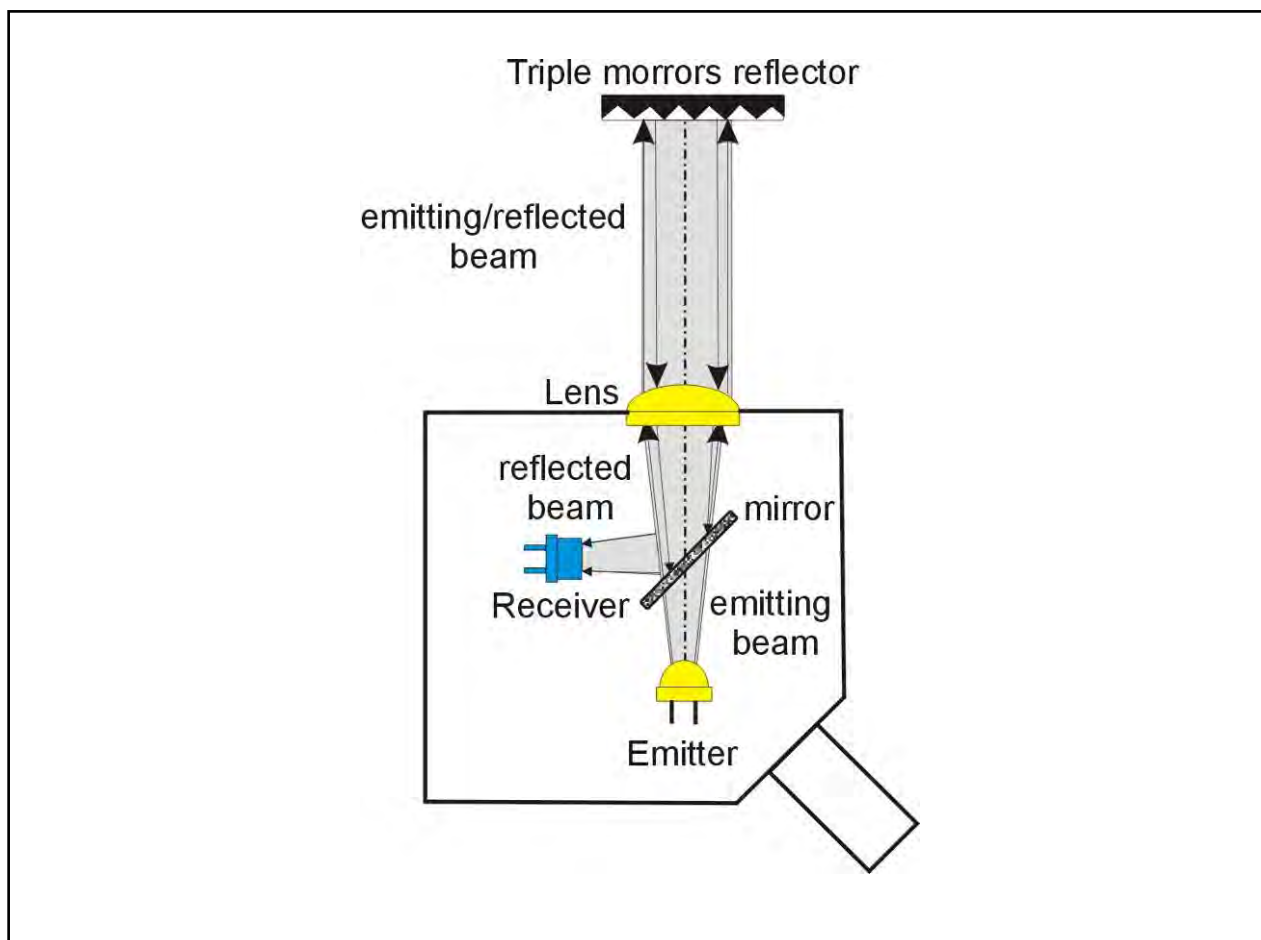


Figura 4-37 Barriera ottica a riflessione con autocollimazione

4.5.4 Sensori a fibre ottiche

4.5.4.1 Le fibre ottiche

Le fibre ottiche vengono impiegate per convogliare onde elettromagnetiche la cui frequenza è prossima a quella delle onde luminose. La più semplice fibra ottica è un bastone di vetro o plastica che alle estremità ha superfici piane. Oggigiorno viene usato come nucleo delle fibre ottiche. Viene avvolto da un rivestimento di un altro tipo di vetro o di plastica con coefficiente di rifrazione della luce minore (Figura 4.38).

Il principio di funzionamento delle fibre ottiche si basa sulla riflessione totale della luce interna all'interfaccia tra due sostanze con diversi coefficienti di rifrazione della luce. Grazie alla riflessione il 100% dell'energia della luce resta nella fibra ottica.

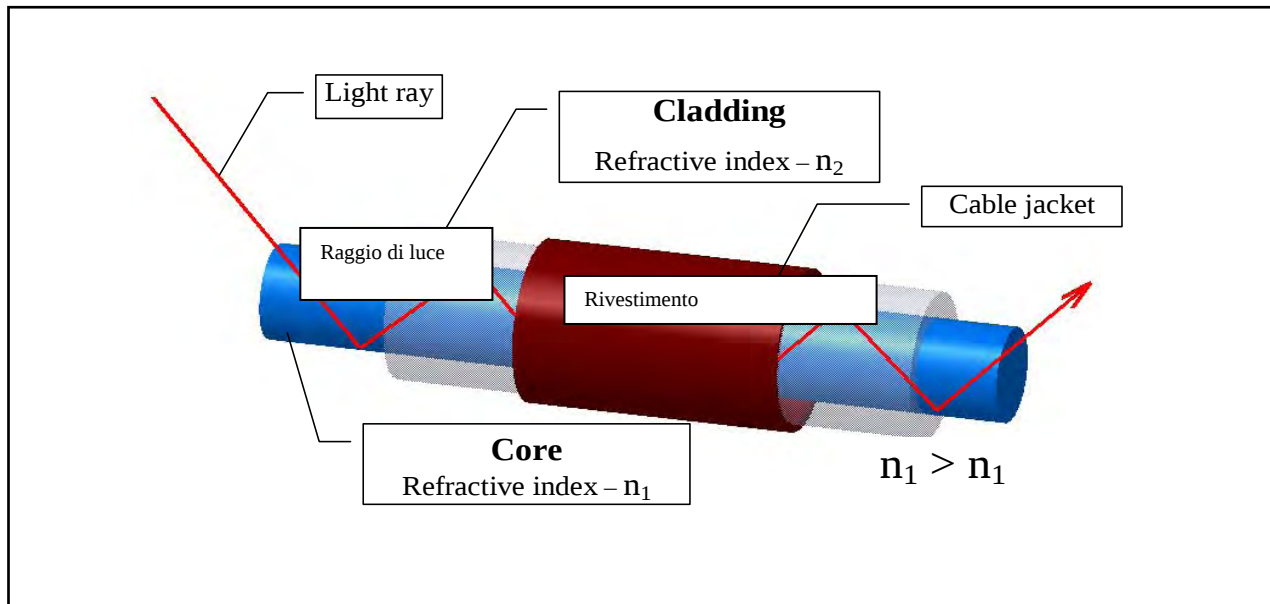


Figura 4-38 Propagazione della luce all'interno di una fibra ottica

Il raggio di luce viene riflesso soltanto dal lato dell'interfaccia in cui si trova il mezzo con il coefficiente di rifrazione della luce più alto. Inoltre vengono trasmessi soltanto i raggi i cui angolo di incidenza sulla superficie d'ingresso del nucleo è minore dell'angolo limite. L'angolo limite dipende dal rapporto fra il coefficiente di rifrazione della luce del rivestimento e quello del nucleo.

Lo sporco e piccole imperfezioni del materiale del nucleo riducono l'intensità della luce e limitano la lunghezza della fibra entro la quale la luce può essere trasmessa con efficienza. Il diametro del nucleo del conduttore della luce è di 5 μm (per fibre ottiche di vetro di silice) fino a 1 mm (per fibre ottiche di plastica). Grazie al loro ridotto diametro le fibre di vetro sono molto elastiche e possono essere piegate quasi senza restrizioni.

I cavi a fibre ottiche possono contenere una, due o più fibre (Figura 4.39).

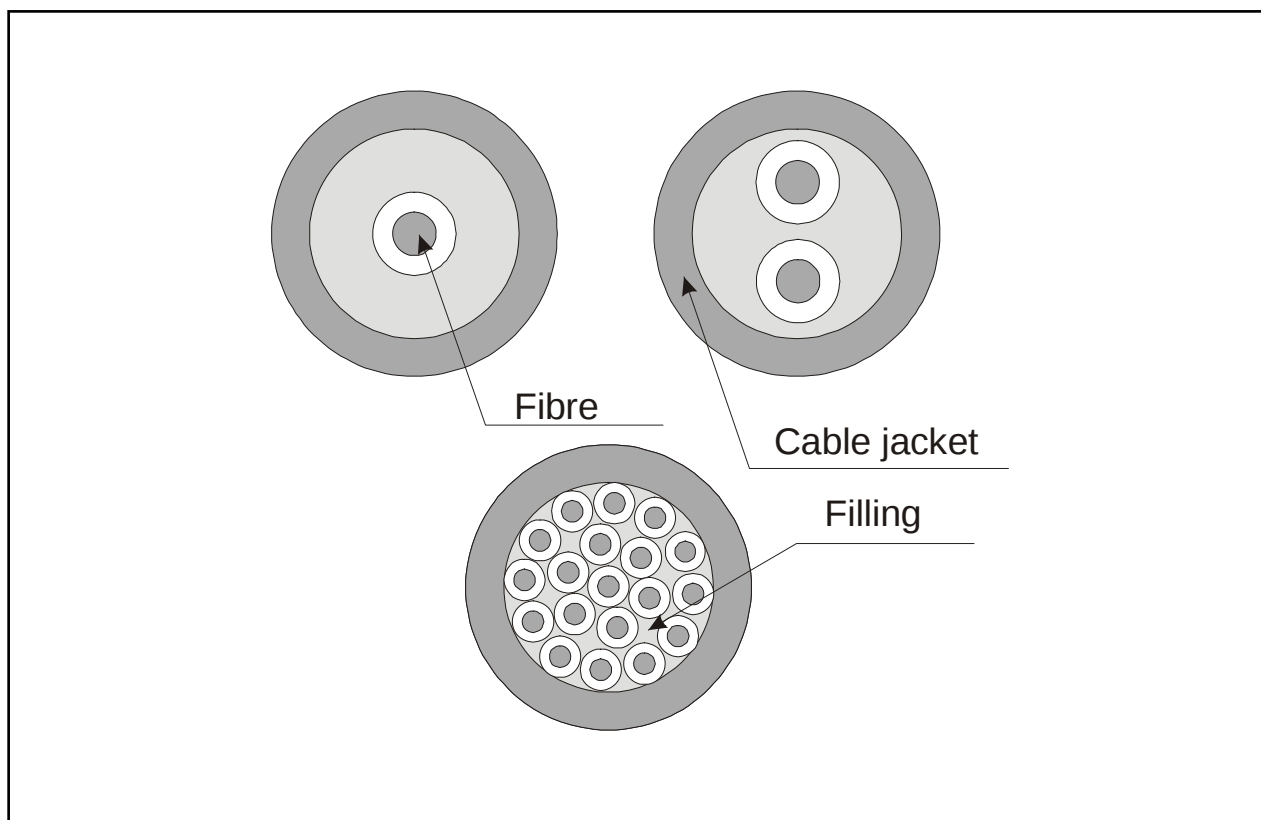


Figura 4-39 Cavi a fibre ottiche con diverso numero di fibre

I conduttori di vetro possono sopportare temperature d'esercizio più alte (fino a 250°) che i conduttori di plastica (fino a 70°). Le fibre ottiche di plastica però sono più resistenti dal punto di vista meccanico, hanno un costo più basso e possono essere tagliate in maniera più semplice. Le fibre ottiche di vetro trasmettono in maniera efficiente sia la luce visibile sia la radiazione infrarossa. I conduttori di plastica vengono usati soltanto per trasmettere luce visibile perché hanno un coefficiente di efficienza troppo basso nel trasmettere la radiazione infrarossa.

Ad ogni estremità della fibra ottica si trova una testa cilindrica di metallo o una biforcazione per il collegamento ai sensori. Ne esistono due tipi: per connessioni di passaggio e connessioni di derivazione (Figura 4.40).

I conduttori per connessioni di passaggio hanno un solo nucleo (single core). I conduttori per connessioni di derivazione hanno due o più nuclei (double core o multi core).

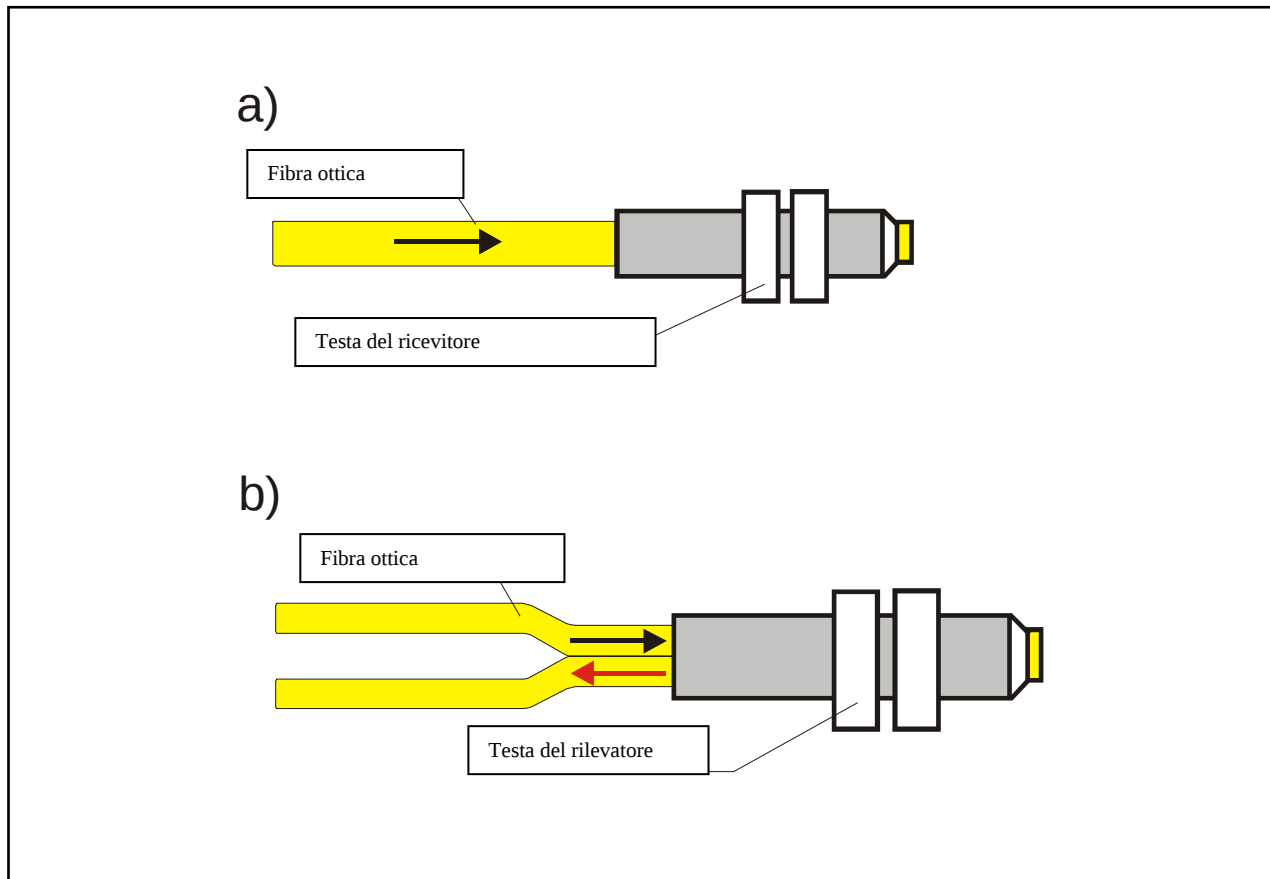


Figura 4-40 Tipi di fibre ottiche: a) conduttori di passaggio e b) conduttori di derivazione

4.5.4.2 Principio di funzionamento

I sensori ottici con fibre ottiche funzionano come gli altri sensori ottici. L'unica differenza sta nel fatto che la luce emessa viene trasmessa con una fibra ottica. La testa del conduttore ottico è molto piccola (alcuni mm) e può essere introdotta anche in posti difficilmente accessibili o lontani dai circuiti elettronici del sensore. L'elettronica si trova in un amplificatore separato (Figura 4.41).

Due conduttori ottici di passaggio montati uno di fronte l'altro funzionano come una barriera ottica unidirezionale. Se il raggio viene interrotto l'oggetto viene rilevato. Due conduttori ottici di derivazione sono collegati alla testa di un sensore. Tramite il primo conduttore viene trasmesso il raggio emesso e tramite il secondo conduttore il raggio torna al rilevatore. Se la luce emessa viene riflessa da un oggetto l'oggetto viene ripreso.

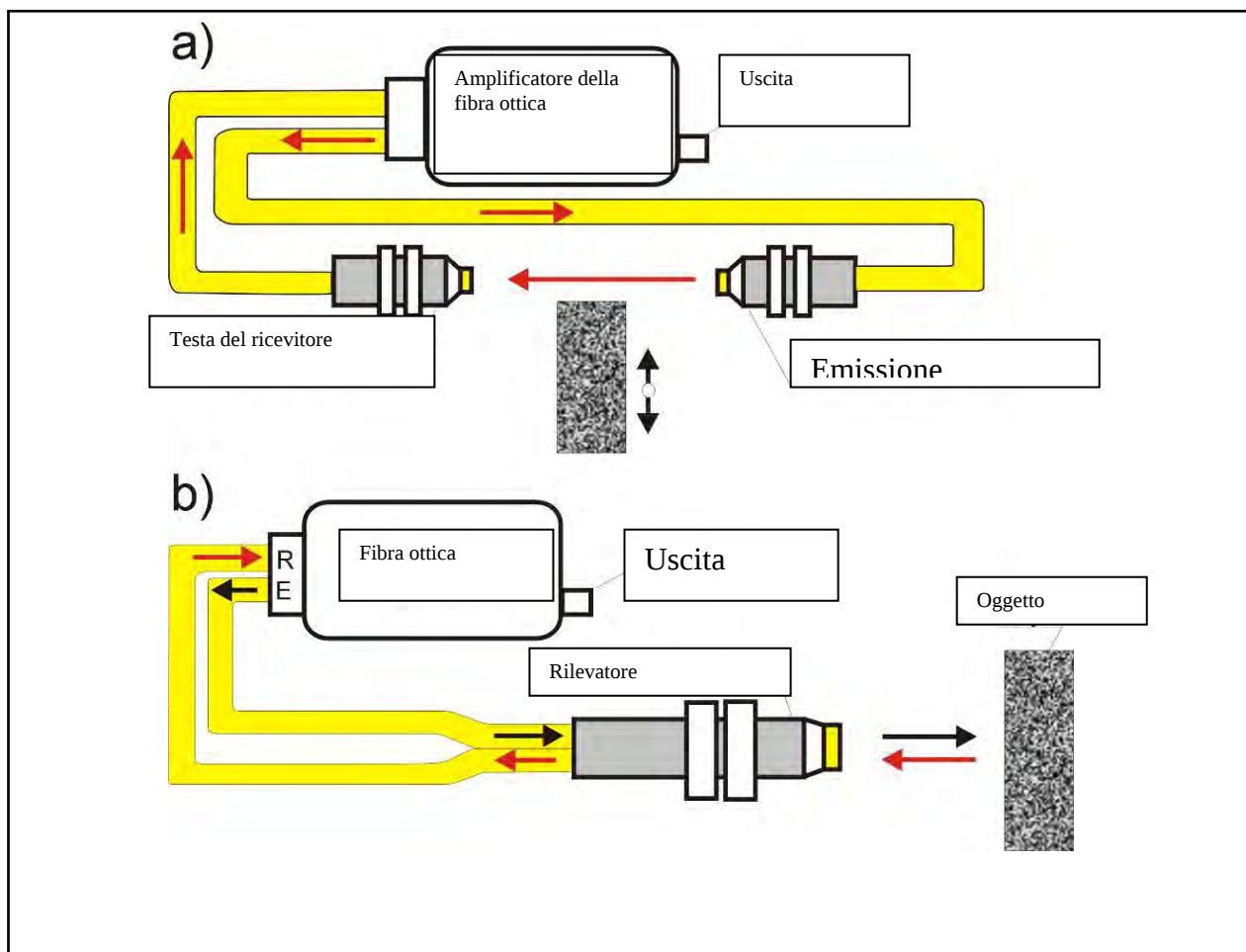


Figura 4-41 Tipi di sensori con fibre ottiche: a) ottica unidirezionale, b) sensore ottico

Grazie alle ridotte dimensioni della testa della fibra ottica tali sensori possono riprendere oggetti molto piccoli ed essere installati dove non c'è abbastanza spazio per altri tipi di sensori. Inoltre possono lavorare nei liquidi infiammabili ed in luoghi dove c'è pericolo di esplosione. Non sono sensibili alle vibrazioni e a stress meccanici. Perciò possono essere installati su meccanismi mobili.

Un LED che emette luce rossa visibile o infrarossa può essere utilizzato come fonte di luce. Il diametro esterno di un cavo a fibra ottica standard è di 2,2 mm e la sua lunghezza è normalmente inferiore a 2 m.

4.6 Tecnica di collegamento

4.6.1 Tipi di collegamento

I sensori ottici hanno due modalità di funzionamento:

- la modalità scura (DO, dark operate)
- la modalità chiara (LO, light operate)

L'uscita di sensori che usano la modalità scura è attiva (ON) quando la luce emessa non raggiunge il rilevatore. L'uscita di sensori che usano la modalità chiara è attiva (ON) quando la luce emessa raggiunge il rilevatore.

La relazione fra segnale d'output di sensori che usano la modalità scura e l'illuminazione del rilevatore è rappresentata nella Figura 4.42.

Per la modalità chiara vanno invertiti tutti i segnali d'output rappresentati nella Figura 4.42.

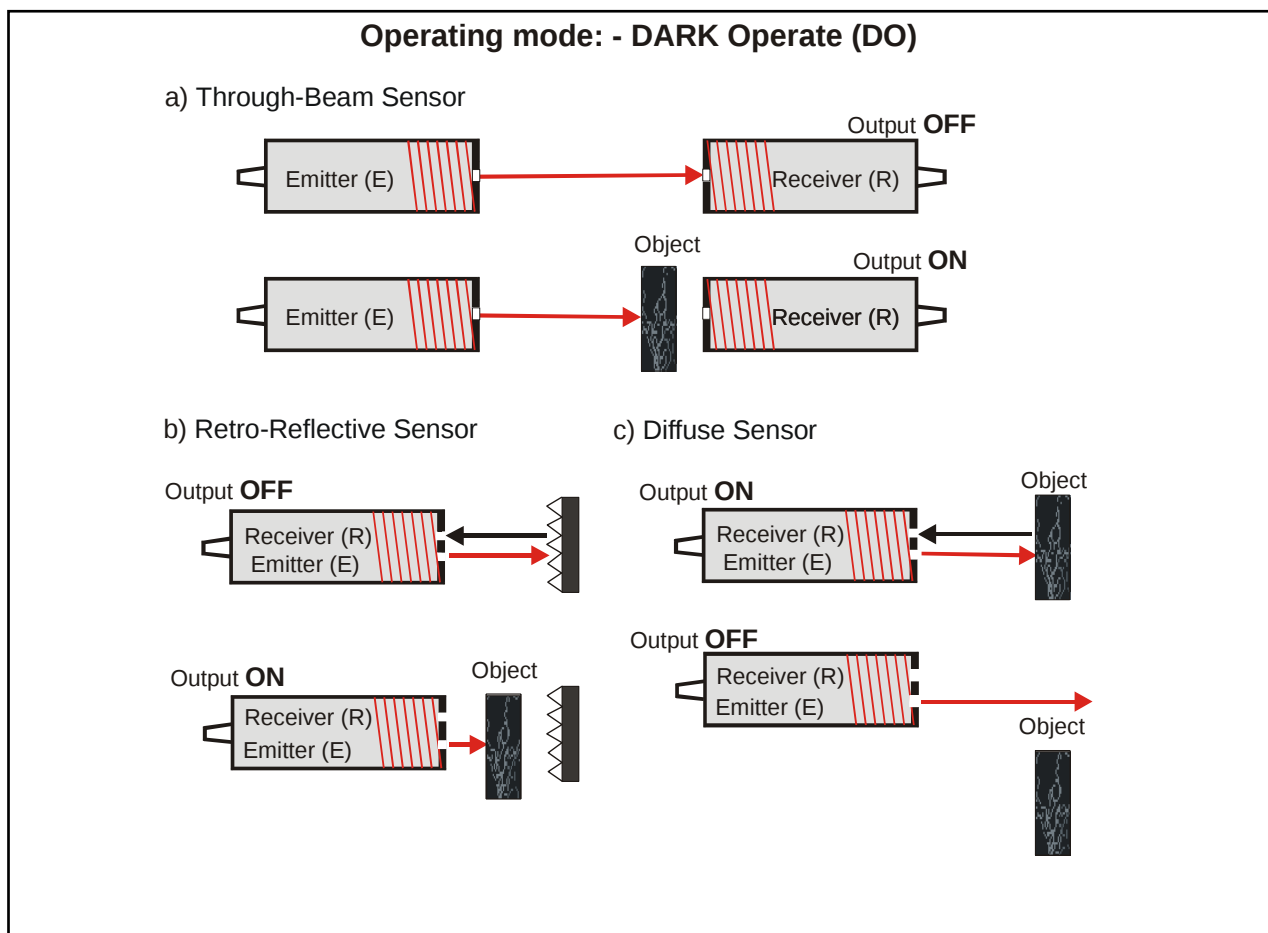


Figura 4-42 d'origine per sensori che usano il procedimento scuro

4.6.2 Commutazione dell'uscita del sensore

Tutti i sensori ottici hanno una regione caratteristica di commutazione del segnale d'output. La sua grandezza e la sua forma dipendono dal diametro del raggio di luce emesso e dalla distanza tra oggetto ripreso e il sensore (tra l'emettitore e il rilevatore per le barriere ottiche unidirezionali). Il segnale d'output viene commutato solo se l'oggetto da rilevare o l'emettitore si trova in questa zona.

La regione caratteristica di commutazione del segnale d'output (se un oggetto o l'emettitore viene spostato di fronte al rilevatore del sensore di fronte) può essere rappresentata nel cosiddetto diagramma di risposta.

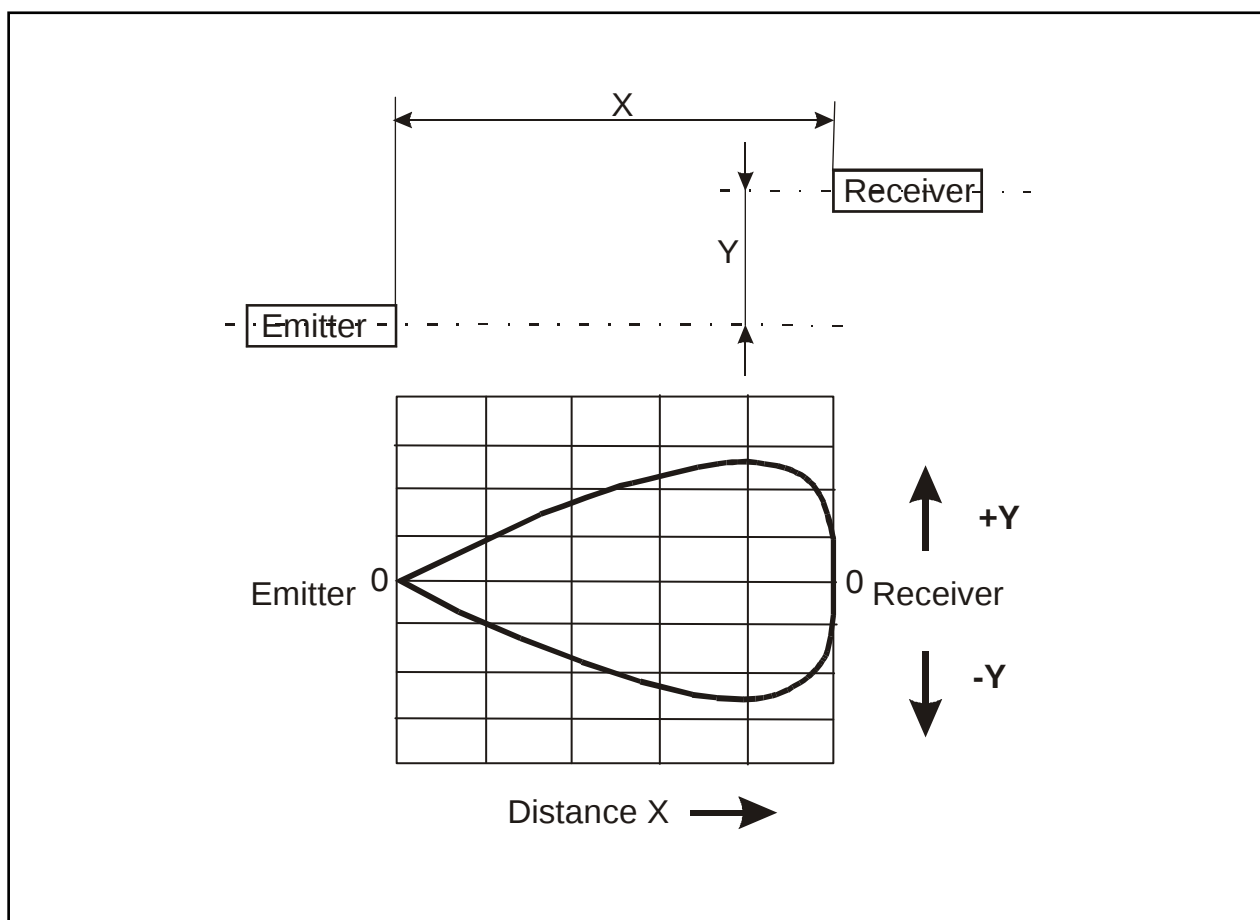


Figura 4-43 Diagramma di risposta di una barriera ottica unidirezionale

Una caratteristica importante di tutti i sensori di rilevamento è la frequenza massima di commutazione (il numero massimo possibile dei cambiamenti del segnale d'output in un secondo, espresso in Hz). Per



i sensori ottici la frequenza massima viene definita sulla base del tempo di risposta e di rilascio che è indicato tra i dati tecnici di ogni sensore. Per questo calcolo si assume che i due tempi siano uguali.

$$f_{\max} = 10^3 / (\text{Tempo di reazione} + \text{tempo di rilascio})$$

$f_{\max}$ [Hz]

tempo di reazione / tempo di rilascio [ms]

4.7 Applicazioni

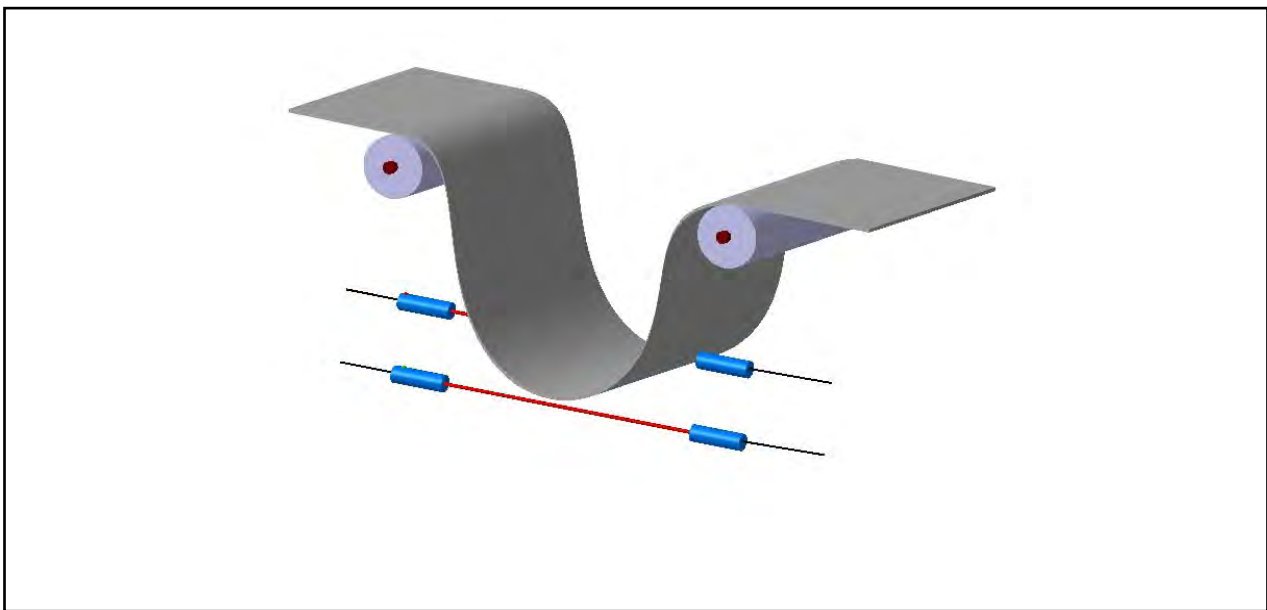


Figura 4-44 Controllo della tensione di un nastro con sensori optoelettronico a sbarramento

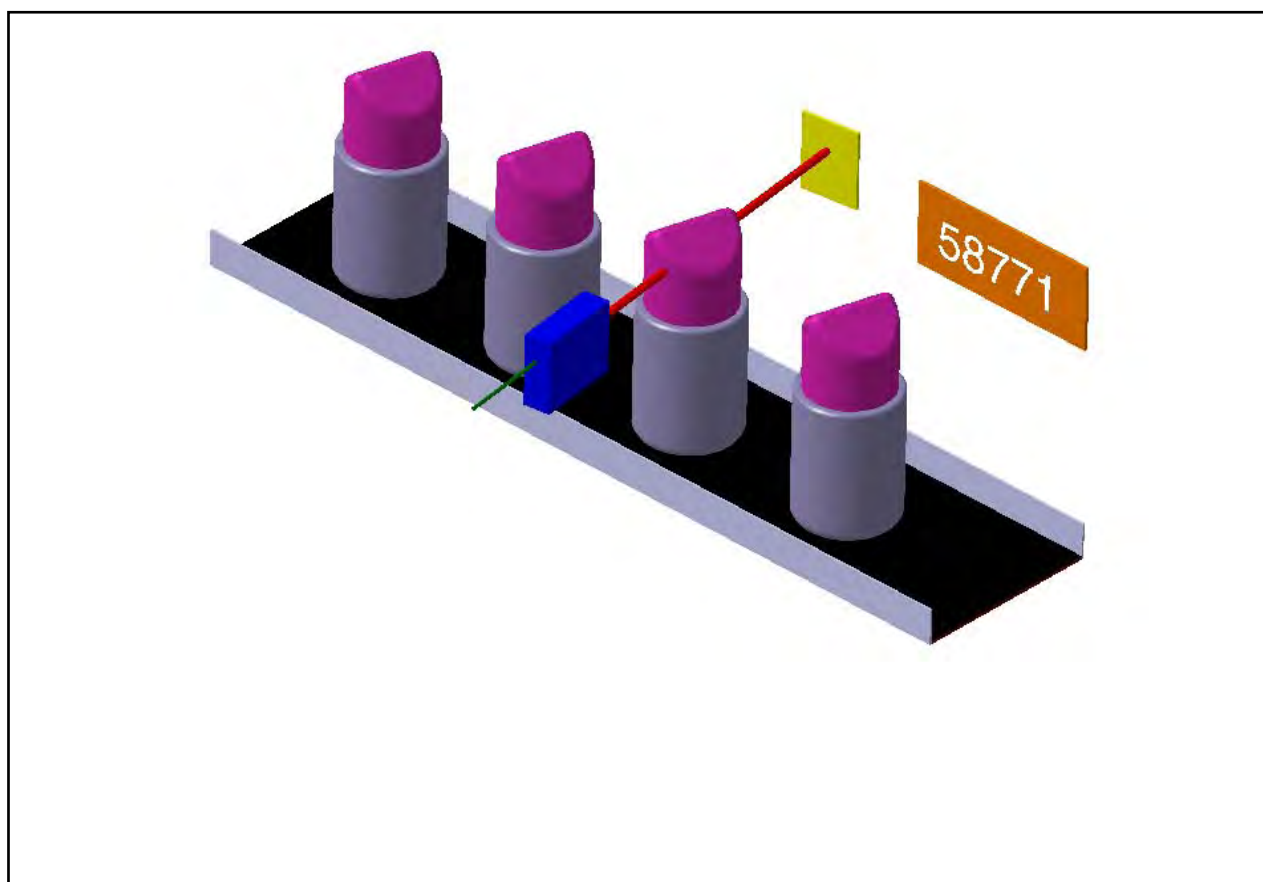


Figura 4-45 Rilevamento di oggetti lucidi con un sensore optoelettronico a riflessione

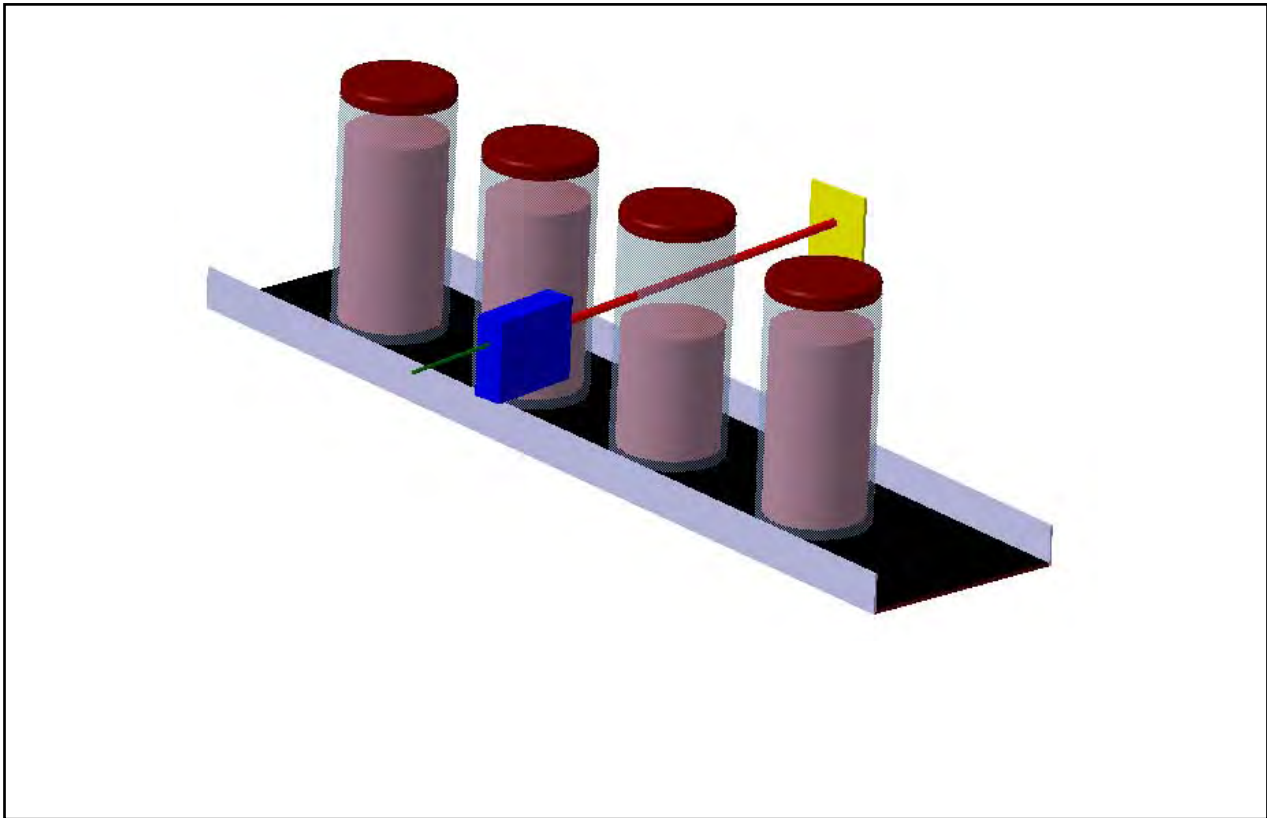


Figura 4-46 Controllo del livello di fluido in un contenitore di vetro con un sensore optoelettronico a riflessione con filtro di polarizzazione

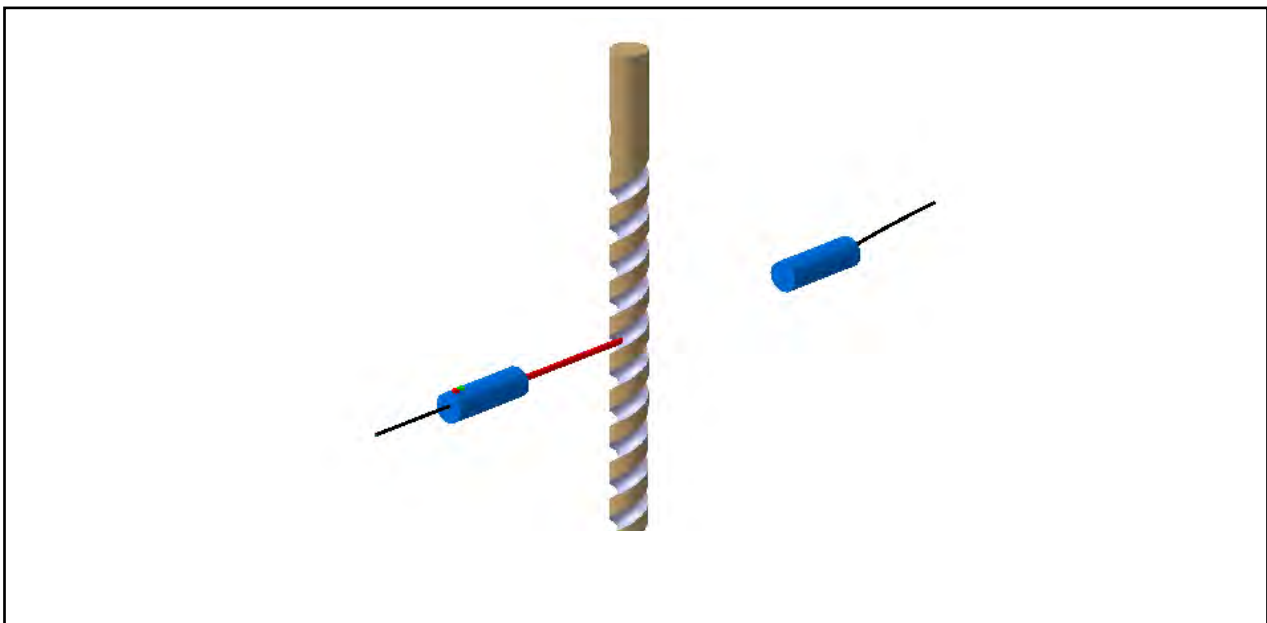


Figura 4-47 Controllo dell'integrità di un utensile con una barriera di luce unidirezionale a fibre ottiche

5 Sensori magnetici

5.1 Nozioni di base

I sensori a campo magnetico rilevano principalmente oggetti a cui possono essere fissati magneti. Questo tipo di sensori viene ampiamente impiegato nell'automazione industriale perché hanno un elevato raggio d'azione e perché i loro piccoli involucri e chiusi ermeticamente possono avere forme molto diverse.

Le forme di base dei sensori a campo magnetico non richiedono un'alimentazione con corrente e possono essere collegate direttamente al sistema di controllo. Possono comandare anche autonomamente talune apparecchiature. Un altro vantaggio è l'ampio intervallo di tensioni e correnti di collegamento (anche oltre 1000 V e alcuni A).

I sensori a campo magnetico reagiscono ad un campo magnetico che normalmente viene creato da magneti permanenti fissati all'oggetto da rilevare. Gli oggetti possono essere costituiti di materiali diversi ma gli oggetti non ferromagnetici sono i più adatti perché garantiscono il un più ampio raggio d'azione.

L'elemento che reagisce al campo magnetico può essere, tra gli altri, un contattore elettromagnetico chiuso ermeticamente (contatto Reed), un elemento a semiconduttore (sensore ad effetto Hall), una magnetoresistore o un materiale di caratteristiche magnetiche speciali.

Dato che i campi magnetici attraversano la maggior parte di materiali non magnetici un oggetto può essere rilevato anche fra oggetto e sensore se si trova un diamagnetico (ad es. un tubo di plastica o la parete di un serbatoio di plastica).

Quando un magnete viene avvicinato ad un sensore di prossimità (in direzione X o Y) il segnale di output viene commutato. Questo può essere segnalato da un diodo luminoso (Figura 5.1).

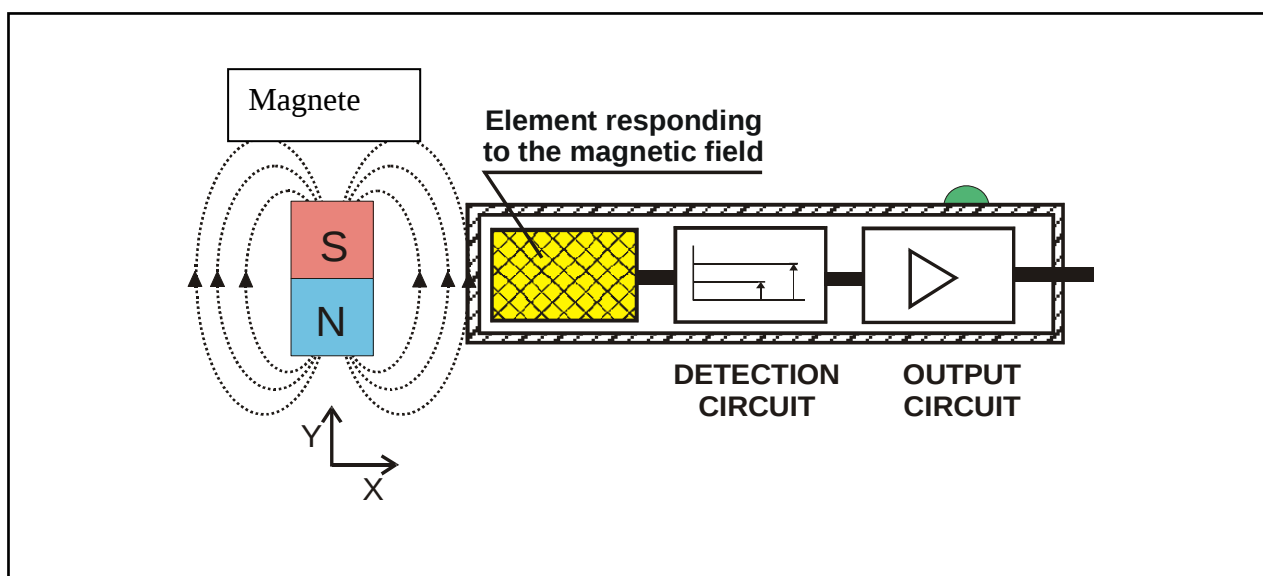


Figura 5-1 Schema di un sensore magnetico di prossimità



5.2 Principio fisico

5.2.1 Il campo magnetico

Un campo magnetico è uno spazio in cui agiscono forze magnetiche. Il campo nasce intorno a magneti, a conduttori attraversati da correnti e cariche elettriche mobili.

Un magnete possiede due poli dove è concentrato il magnetismo: il polo nord N e il polo sud S. Ambedue i poli possono attirare oggetti non magnetici. Tra due magneti il polo N attira il polo S. Gli stessi poli però si respingono.

Le linee di forza di un campo magnetico sono chiuse e sempre indirizzate dal polo N verso il polo S. I campi magnetici generati da un magnete e da una bobina attraversata dalla corrente (solenoidi) sono simili (Figura 5.2).

Le grandezze caratteristiche di un campo magnetico sono tre:

- l'intensità del campo magnetico $\mathbf{H}$ [A/m]
- induzione magnetica del campo magnetico $\mathbf{B}$ [T]
- la permeabilità magnetica relativa μ_r

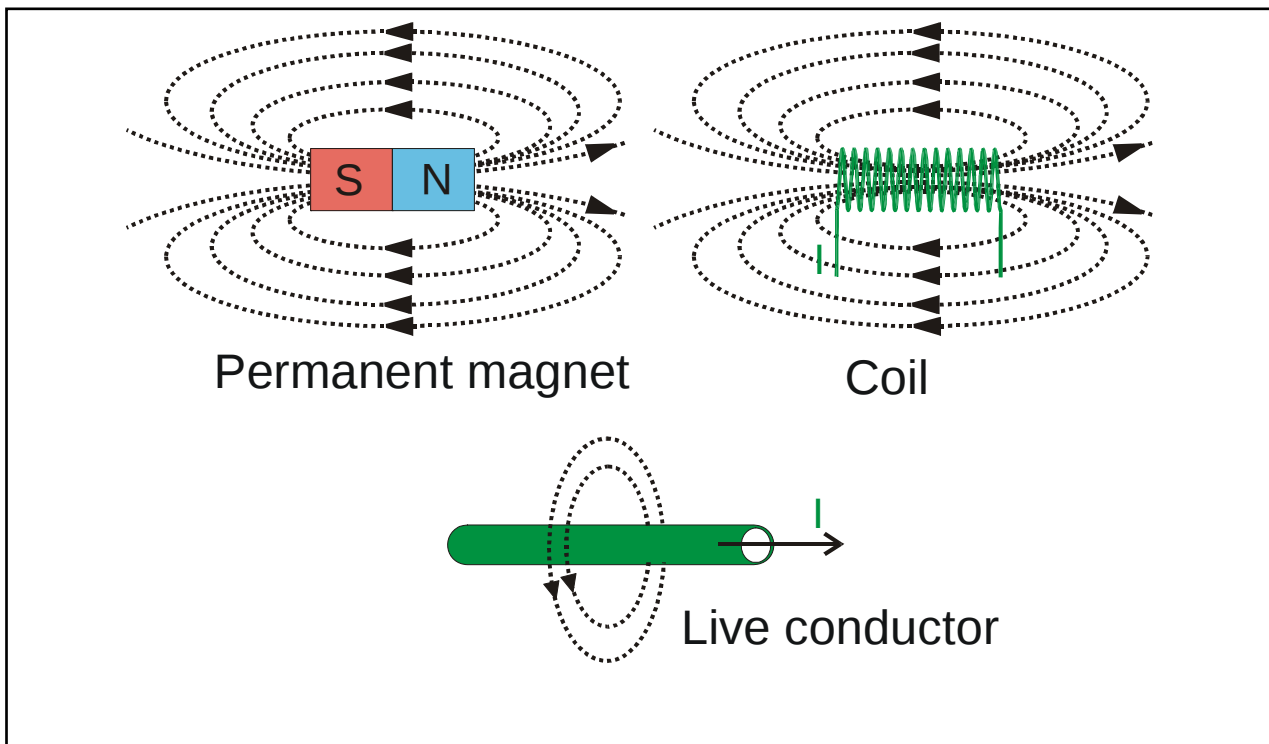


Figura 5-2 Sorgenti di un campo magnetico

Tutte le sostanze hanno caratteristiche magnetiche ma un campo magnetico le influenza in maniera diversa. In base alle caratteristiche magnetiche che viene espressa dalla permeabilità magnetica relativa μ_r si suddividono le sostanze in: **diamagnetiche** ($\mu_r < 1$, non sono attratte da magneti ad es. vetro e bismuto), **paramagnetiche** ($\mu_r > 1$, ad es. al-

luminio, platino, stagno), **ferromagnetiche** (il gruppo più importante, $\mu_r \gg 1$, il valore μ_r per il ferro puro può essere anche di alcune migliaia).

I materiali ferromagnetici sono fortemente influenzati dal campo magnetico. I materiali ferromagnetici sono caratterizzati da piccoli volumi magnetizzati nella stessa maniera – gli alveoli magnetici (Figura 5.3). Se questi alveoli vengono orientati da un campo magnetico esterno il materiale ferromagnetico si comporta come un magnete. Le caratteristiche ferromagnetiche dell'acciaio dipendono dalla sua composizione chimica e dal trattamento termico che ha subito.

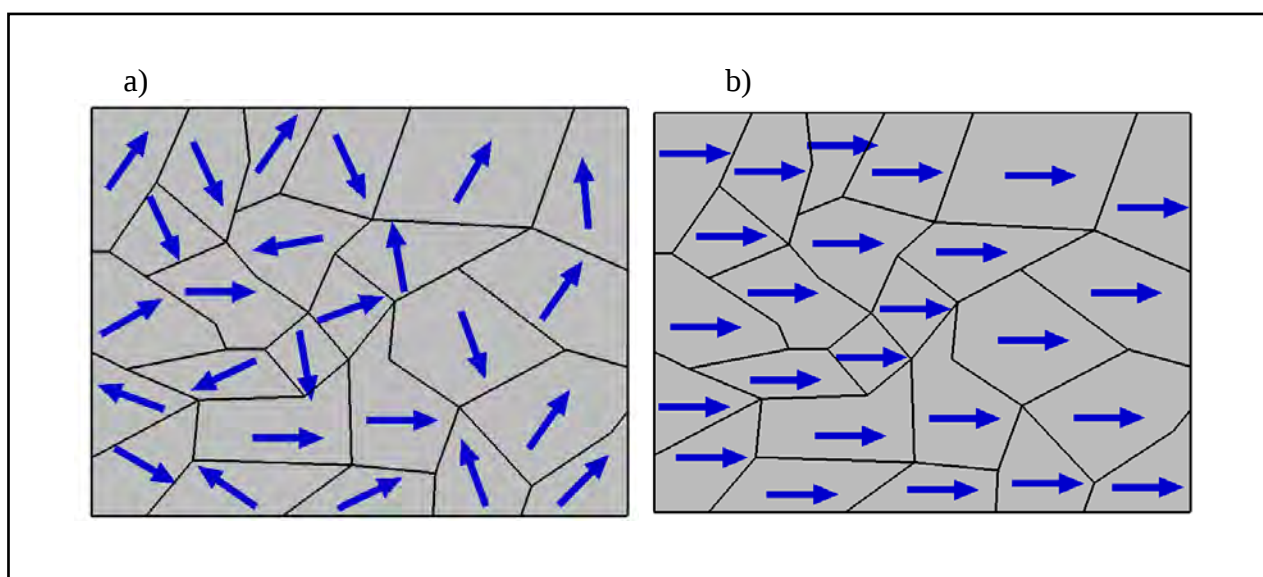


Figura 5-3 Alveoli magnetici in un materiale ferromagnetico a) non magnetizzato, b) magnetizzato

I materiali ferromagnetici che si trovano in un campo esterno magnetico in dipendenza dalla direzione del campo magnetico vengono magnetizzati o smagnetizzati. Il fenomeno dell'isteresi dipende dalle caratteristiche del materiale ferromagnetico (Figura 5.4). Se la curva d'isteresi è larga il materiale ferromagnetico viene difficilmente smagnetizzato. Tale tipo di materiali ferromagnetici (Fe-Co, Ni-Co, ferriti dure) sono detti ferromagnetici "duri" ed impiegati come magneti permanenti. Se la curva d'isteresi è stretta, il materiale ferromagnetico si riesce a magnetizzare e smagnetizzare agevolmente. Tali materiali ferromagnetici (ferro, Fe-Si, Fe-Al, ferriti dolci, leghe amorfe) vengono chiamati "dolci" e utilizzati come nucleo magnetico.

In virtù delle caratteristiche magnetiche descritte si può costruire diversi tipi di sensori a campo magnetico.

Un campo magnetico nel vuoto viene caratterizzato dal vettore d'induzione del campo magnetico $\mathbf{B}_0$. L'induzione del campo magnetico $\mathbf{B}$ in un materiale omogeneo qualsiasi viene fissata come segue:

$$B = \mu_r \cdot B_0$$

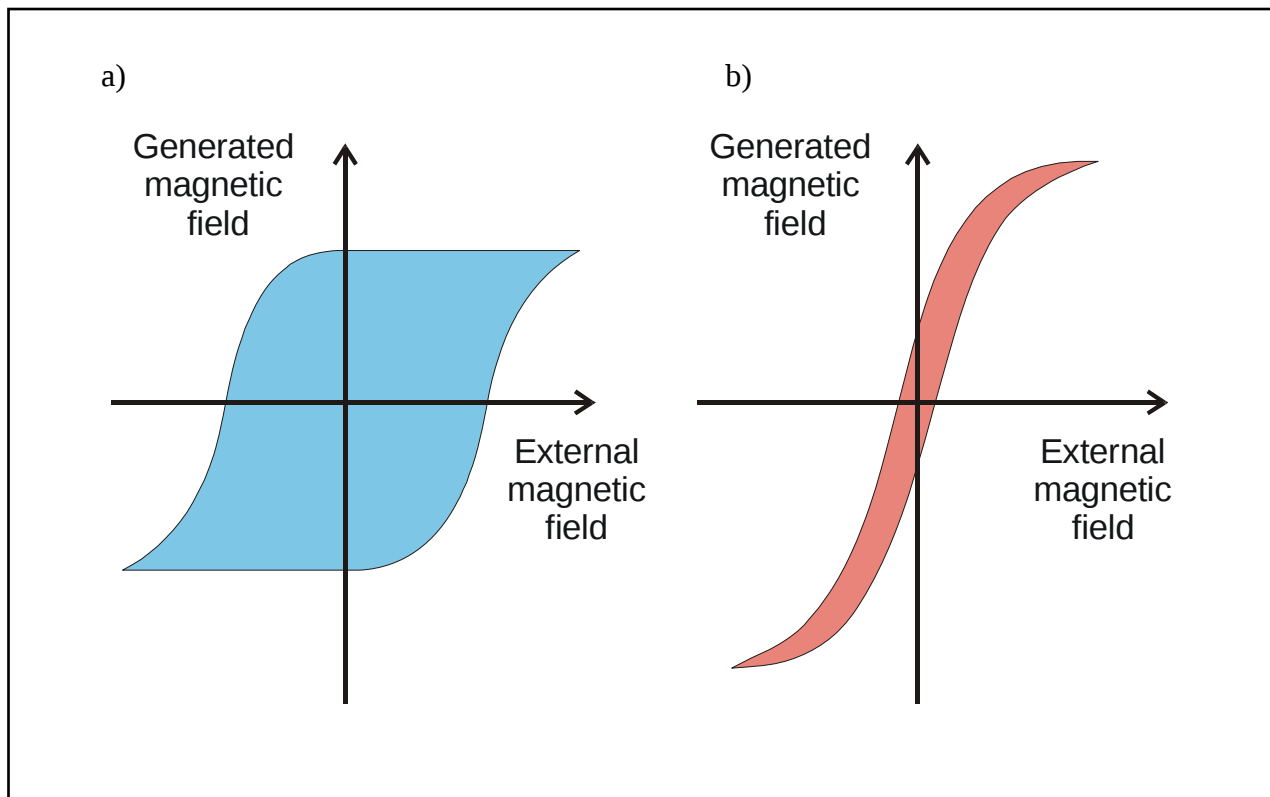


Figura 5-4 d'isteresi di un materiale ferromagnetico a) duro, b) dolce

5.2.2 Contatto Reed

Un contatto Reed consiste di un piccolo tubo di vetro chiuso ermeticamente, nel quale si trovano due sottili lamelle di materiali ferromagnetico nel vuoto o in un gas inerte. Se le lamelle si trovano in un campo magnetico esterno vengono indotti i loro campi magnetici propri. Su una superficie del contatto appare il polo **N**, sull'altra il polo **S** (Figura 5.5). Se la forza che attrae i poli opposti delle due lamelle è maggiore della forza elastica delle stesse si toccano. Quando non c'è campo magnetico le lamelle si separano per la loro elasticità. Così un contatto Reed può aprire o chiudere un circuito. In funzione della specifica applicazione e delle condizioni di lavoro, i contatti vengono coperti con uno strato di metallo nobile (rutenio, rodio, oro, ecc.) per ottenere caratteristiche di funzionamento stabili.

Se si muove un magnete intorno al contatto Reed il suo stato può essere controllato (le lamelle vengono chiuse o aperte). Quando lo stato viene commutato può innescarsi una scarica di corrente fra le lamelle. Questo può danneggiare il contatto Reed o peggiorare la sua funzionalità. Per evitare questo vengono usati mezzi di protezione aggiuntivi.

La frequenza massima di commutazione di contatti Reed dipende dalla loro costruzione e dalle caratteristiche del materiale; normalmente va

da 200 a 250 Hz. La massima corrente ammissibile attraverso un contatto Reed può essere anche di 3 A.

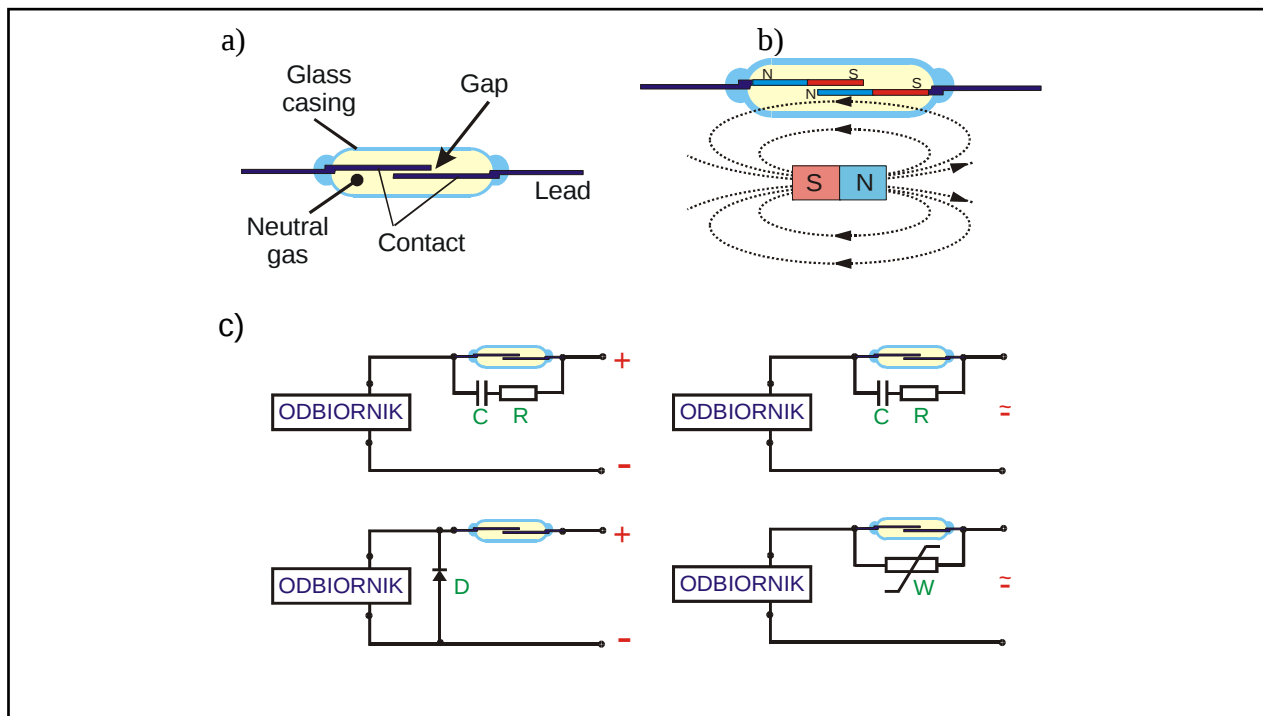


Figura 5-5 Contatto Reed: a) schema, b) effetto del campo magnetico, c) mezzi di protezione (condensatore C, resistenza R, diodo D, variatore W)

Ci sono tre posizioni (A, B e C) in cui le lamelle di un contatto Reed possono essere chiuse. Questo non vuol però dire che i contatti vengano sempre chiusi se si trova un magnete nelle vicinanze. Infatti questo dipende dalla posizione dell'asse magnetico del magnete rispetto all'asse del contatto Reed.

Se un magnete viene spostato parallelamente all'asse del contatto Reed le lamelle vengono chiuse tre volte (nei punti A, B, C) (Figura 5.6).

Se l'asse del magnete è ruotato in verticale rispetto all'asse del contatto Reed le lamelle vengono chiuse soltanto due volte (nei punti A e C).

Se un magnete orientato parallelamente viene spostato in direzione perpendicolare all'asse del contatto Reed le lamelle vengono chiuse soltanto quando si trova esattamente in corrispondenza di uno dei punti A, B e C. Se un magnete orientato perpendicolarmente viene spostato in direzione perpendicolare all'asse del contatto Reed i punti in cui le lamelle vengono chiuse sono ovviamente soltanto A e C.

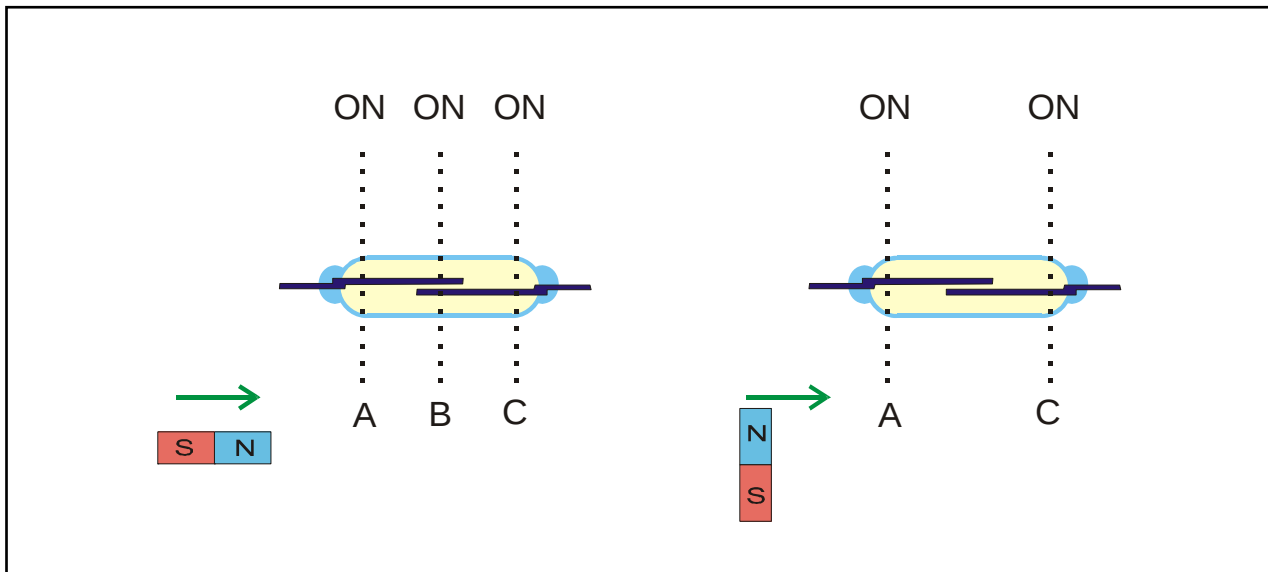


Figura 5-6 Posizioni in cui le lamelle di un contatto Reed possono essere chiuse, quando un magnete viene spostato parallelamente all'asse del contatto

5.2.3 Effetto Hall

L'effetto Hall consiste nel manifestarsi di un campo elettrico addizionale in una piastra di un materiale conduttore o semiconduttore attraversata da corrente che si trova immersa in un campo magnetico esterno. Sotto l'influsso del campo magnetico esterno le cariche elettriche si accumulano soltanto ad un bordo della piastra e nasce una differenza potenziale (la cosiddetta tensione di Hall V_H). Il campo elettrico addizionale viene generato perpendicolarmente sia alla direzione del campo magnetico $\mathbf{B}$ sia della corrente $\mathbf{I}_C$. È massimo quando il campo magnetico esterno è perpendicolare alla direzione della corrente (Figura 5.7).

Per la piastra rappresentata in basso vale la relazione seguente:

$$V_H = R_H \cdot B \cdot I_C / d$$

dove:

R_H – costante di Hall (che indica la mobilità dei vettori energetici)

d – spessore della piastra

Per le applicazioni pratiche dell'effetto Hall si deve possibilmente ottenere un valore elevato della tensione V_H . Questo può essere raggiunto se si impiegano lamelle molto sottili (0,1 mm) di un materiale con alta mobilità degli elettroni. Tale caratteristica sono possedute soltanto dai semiconduttori tipo InSb, InGaAs, Si, GaAs. La possibilità di incrementare la tensione mediante l'aumento della corrente che attraversa la piastra è fortemente limitata in ragione della massima potenza omissibile dissipata dalla piastra che non può essere superata. Questa potenza dipende in misura principale dalla costruzione e forma della piastra.

L'effetto Hall viene sfruttato in un ampio numero di applicazioni, tra le tante anche per la costruzione di sensori a campo magnetico a semiconduttore.

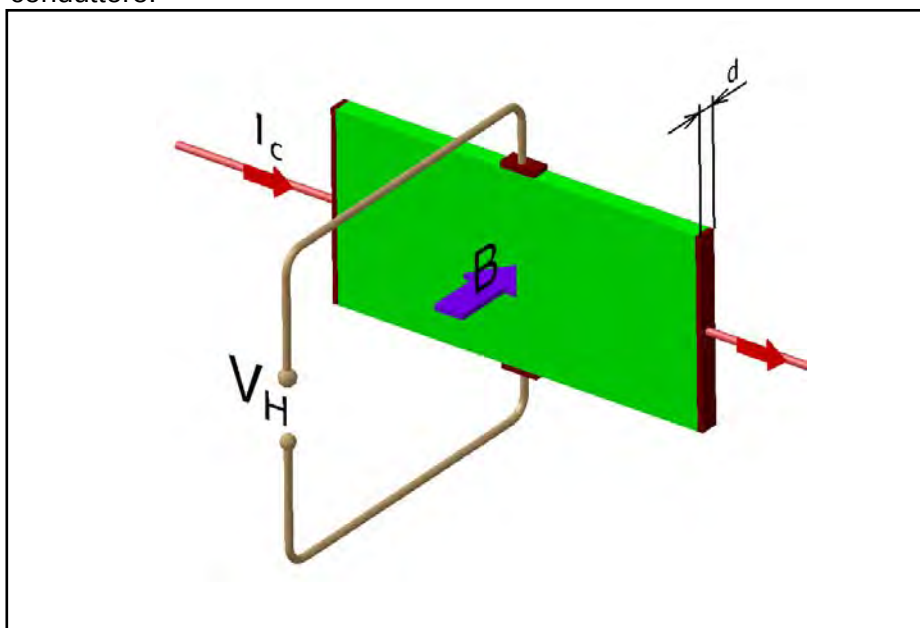


Figura 5-7 L'effetto Hall

5.2.4 Effetto magnetoresistivo

I magnetoresistori AMR sono elementi semiconduttori anisotropi la cui resistenza dipende fortemente dall'intensità del campo magnetico. Per i sensori vengono usati sottili nastri di materiale ferromagnetico "permalloy" (20% Fe, 80% Ni).

La resistenza di un semiconduttore AMR viene aumentata a causa dell'influsso di un campo magnetico esterno H perché questo cambia la direzione della corrente I che attraversa il semiconduttore dell'angolo α e le cariche elettriche devono attraversare una distanza maggiore (Figura 5.8). Maggiore è l'intensità del campo magnetico più grande è l'angolo α . Questo effetto viene appunto chiamato effetto magnetoresistivo.

L'effetto magnetoresistivo è praticamente impercettibile nei metalli. Lo si ritrova in diverso grado in tutti i semiconduttori.

Quando la corrente attraversa degli elettrodi d'oro o di alluminio viene cambiata la sua direzione. In questo caso le cariche elettriche devono attraversare una distanza ancora maggiore e la resistenza viene aumentata fino al valore R_M che dipende dal valore dell'angolo α . Quando viene rimosso il campo magnetico la resistenza del semiconduttore torna al valore d'origine R_{M0} .

La relazione tra l'angolo α , che dipende dall'intensità del campo magnetico, e la resistenza del semiconduttore R_M rende possibile rilevare oggetti magnetizzati con sensori basati sull'effetto magnetoresistivo.

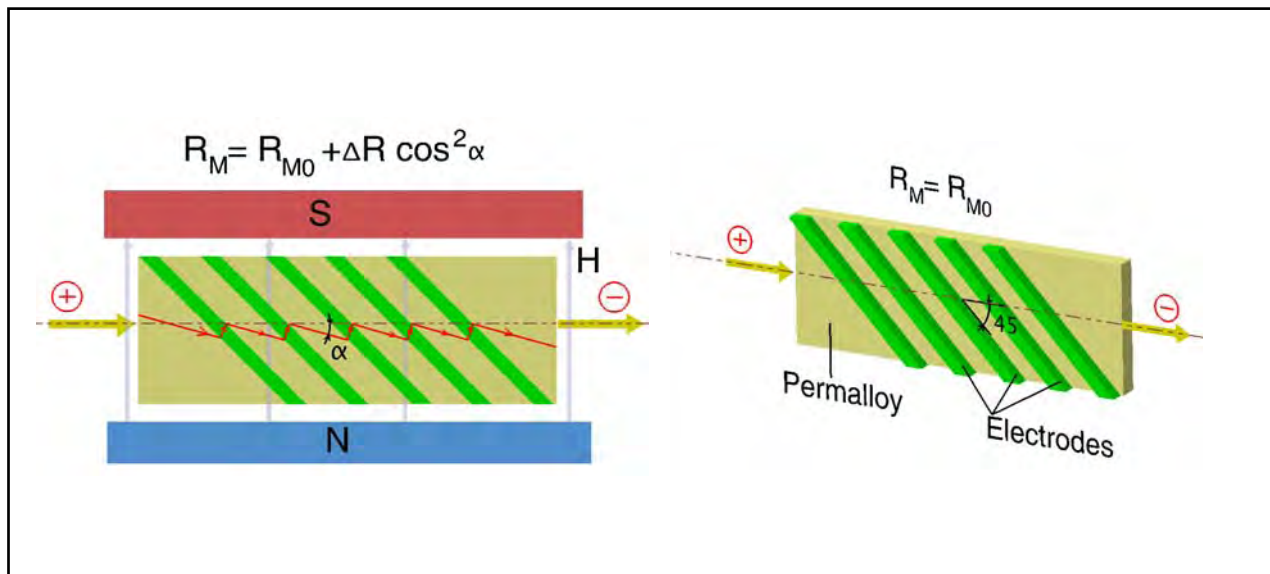


Figura 5-8 L'effetto magnetoresistivo

5.2.5 L'effetto Wiegand

L'effetto Wiegand consiste nella produzione di un impulso elettrico, quando cambia la direzione del campo magnetico esterno, in una bobina costituita dall'avvolgimento di conduttore elettrico con caratteristiche magnetiche speciali (convogliatore d'impulso). Per ottenere un convogliatore d'impulso un filo di materiale ferromagnetico del diametro di circa 0.3 mm viene ripetutamente deformato a freddo per innescare uno stato di stress.

Nel convogliatore, che viene realizzato con una lega di cobalto, ferro e pentossido di vanadio, si trovano due diversi volumi magnetici: un nucleo e un guscio. Il nucleo ha le proprietà di un materiale ferromagnetico dolce (isteresi stretta) e la guaina di un materiale ferromagnetico duro (isteresi larga) (Figura 5.9.).

Ciascun volume magnetico reagisce diversamente al cambiamento di direzione del campo magnetico esterno. La direzione della magnetizzazione nel nucleo dolce varia più velocemente di quella nella guaina magneticamente dura. Per cambiare la direzione di magnetizzazione della guaina il campo magnetico esterno dovrebbe avere un'intensità tripla di quella richiesta per il nucleo. Se la direzione di magnetizzazione del nucleo è già variata mentre quella della guaina non è ancora cambiata, nella bobina si genera un breve impulso elettrico (10-20 μ s). L'ampiezza dell'impulso è quasi indipendente dalla velocità del cambiamento di direzione del campo magnetico.

L'effetto Wiegand viene usato nei sensori a campo magnetico per rilevare un movimento lineare o di rotazione degli oggetti.

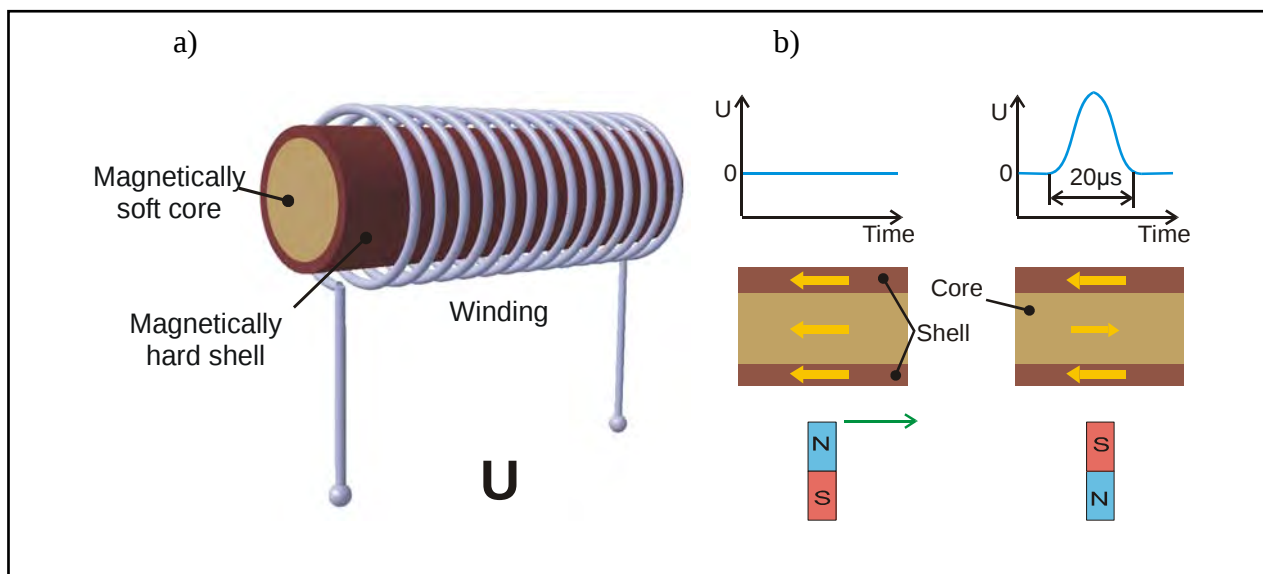


Figura 5-9 L'effetto Wiegand: a) "convogliatore dell'impulso" con la bobina, b) impulso elettrico prima e dopo il cambiamento di direzione del campo magnetico esterno

5.3 Sensori magnetici tipo contatto Reed

Il funzionamento di un sensore di questo tipo si basa sul funzionamento di un contatto Reed, che reagisce ad un magnete che si avvicina. Quando le lamelle del contatto Reed si trovano nel campo magnetico creato dal magnete, vengono indotti i campi magnetici propri. Se la forza che attira le lamelle è più forte della forza elastica lo stato del contatto Reed viene commutato e il circuito viene chiuso con l'utilizzatore ad esso collegato. (Figura 5.10).

Quando il campo magnetico svanisce le lamelle si separano a causa della loro elasticità e il circuito viene aperto.

I sensori con un contatto Reed non hanno bisogno di nessuna alimentazione di corrente. Quando sul contatto Reed non agisce alcun campo magnetico, i suoi contatti, in dipendenza dal tipo del contatto, possono essere chiusi (contatti normalmente chiusi **NC**) o aperti (contatti normalmente aperti **NO**).

La forza del campo magnetico dipende dalle caratteristiche del materiale e dalla dimensione del magnete; questa determina il raggio d'azione massimo del sensore S_{max} .

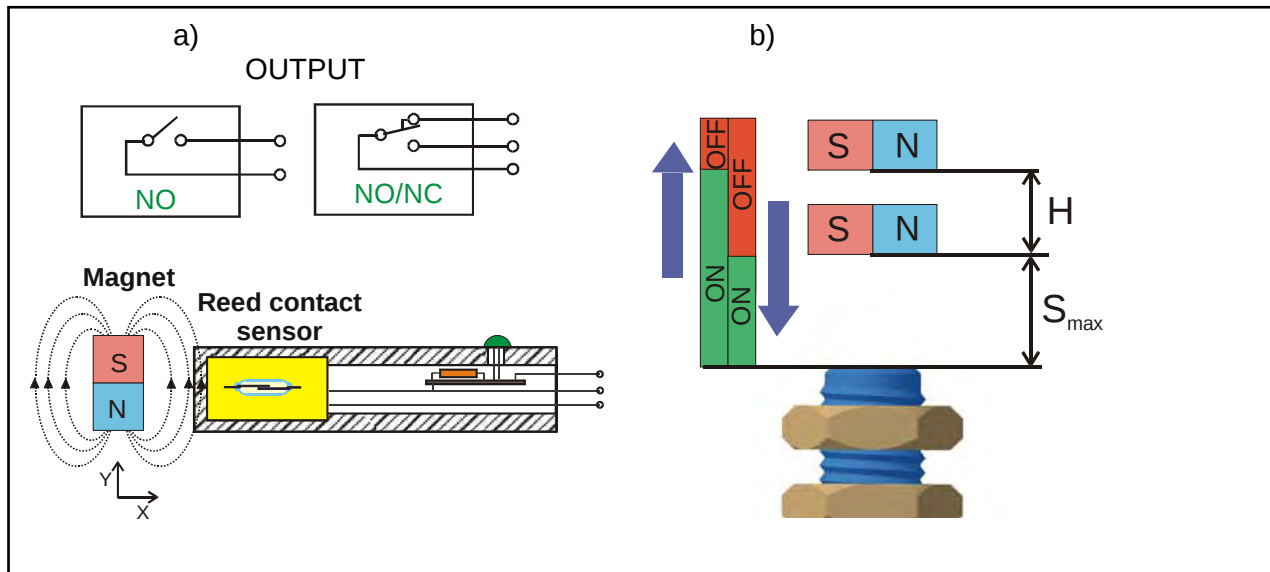


Figura 5-10 sensori a campo magnetico con contatto Reed: a) schema e segnale di output, b) S_{max} – massimo raggio d'azione, H - isteresi

La forza di attrazione del campo magnetico dipende dalla distanza tra il magnete ed il sensore in direzione X e Y (Figura 5.11). Se un magnete orientato parallelamente viene spostato nella direzione dell'asse del contatto Reed ci sono tre posizioni in cui viene commutato il segnale di output. Se un magnete orientato perpendicolarmente viene spostato in direzione parallela all'asse del contatto Reed il segnale di output viene commutato due volte. Se un magnete orientato parallelamente o perpendicolarmente viene spostato in direzione perpendicolare all'asse del contatto Reed lo segnale di output viene commutato soltanto una volta.

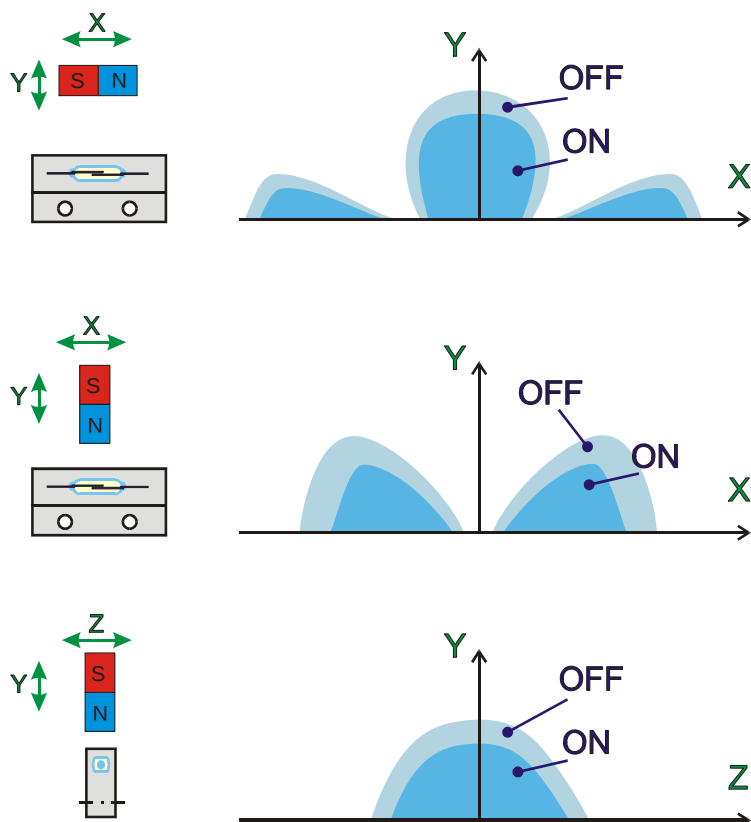


Figura 5-11 Zone di commutazione del segnale di output in dipendenza dalla posizione e l'orientamento del magneto

L'alloggiamento dei sensori a campo magnetico con contatto Reed può avere forme diverse (cilindriche, prismatiche o molto complesse) che dipendono dalle condizioni d'uso. La forma del sensore definisce le direzioni in cui un magnete si può muovere. Per alcuni sensori il magnete si deve muovere soltanto di fronte alla superficie frontale del sensore. Per altri tipi di sensori il magnete si può muovere anche di fronte alle superficie laterale del sensore.

I sensori con contatto Reed hanno tre contatti o soltanto due se non hanno un LED di segnalazione dello stato. La frequenza massima di commutazione del segnale di output è bassa ed è normalmente di 200-250 Hz. La corrente ammissibile che attraversa un contatto Reed può arrivare fino a 3 A. Quando l'ampereaggio è basso il sensore può funzionare anche ad una tensione maggiore di 100 V.

5.4 Sensori magnetici ad effetto Hall

I sensori Hall usano l'effetto Hall. Il loro segnale di output cambia quando cambiamenti di un campo magnetico esterno fanno che nel sensore c'è la tensione addizionale di Hall.

I sensori Hall richiedono un'alimentazione in corrente continua. Quando un magnete si trova al di fuori del raggio d'azione del sensore la corrente attraversa senza disturbi la piastra semiconduttore e la differenza del potenziale tra i bordi delle piastre è 0. Quando un magnete si trova nel raggio d'azione del sensore il suo campo magnetico fa sì che si manifesti la tensione di Hall V_H ai bordi delle piastre. Questa tensione viene misurata ed attiva il transistor d'uscita del sensore (Figura 5.12).

I sensori Hall normalmente hanno tre conduttori. La loro tensione d'alimentazione è continua ed è compresa tra 5 e 30 V. La frequenza massima di commutazione del segnale di output è elevata, anche sopra i 300 Hz. La corrente ammissibile che attraversa il semiconduttore normalmente è minore di 1 A.

Questi sensori possono essere omnipolari (reagiscono ad una qualsiasi polarizzazione del campo magnetico), unipolari (reagiscono ad una certa polarizzazione del campo magnetico) o bipolari (vengono accesi da un polo e spenti da un altro polo).

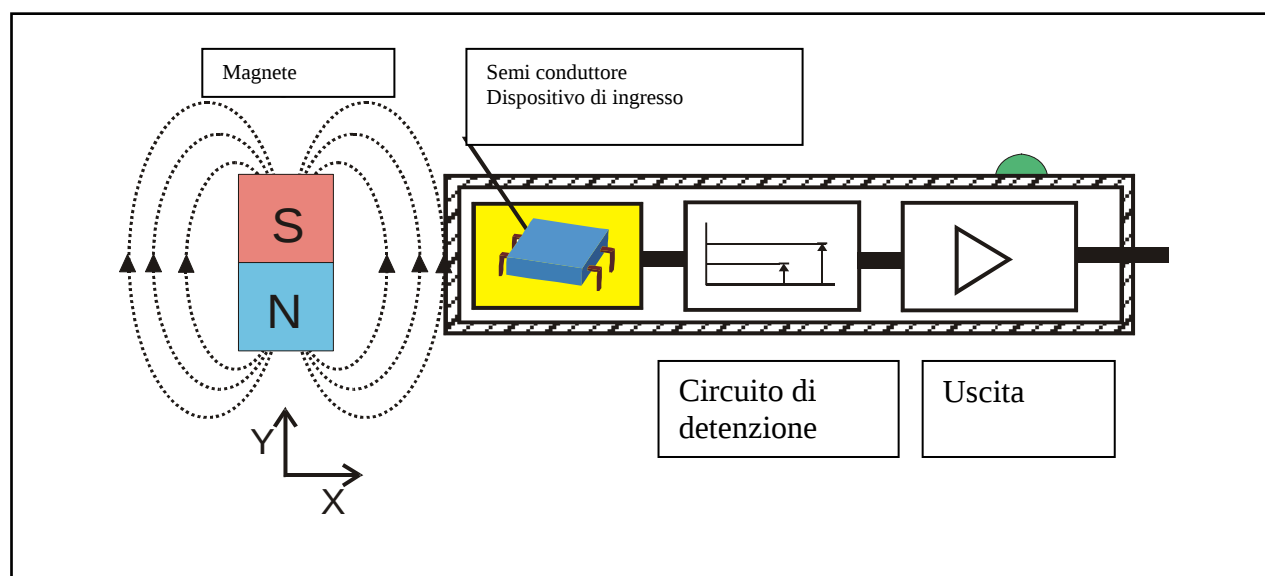


Figura 5-12 Sensore ad effetto Hall

5.5 Sensori magnetici speciali

5.5.1 Sensori magnetoresistivi

La costruzione di sensori magnetoresistivi è simile a quella di sensori Hall. L'unica differenza consiste nell'elemento sensibile ai cambiamenti del campo magnetico.

Nei sensori magnetoresistivi questo elemento consiste di quattro magnetoresistori R_{M1} - R_{M4} che costituiscono un ponte di Wheatstone (Figura 5.13). Ovviamente si deve rispettare la corretta polarizzazione degli elettrodi. In questa configurazione vengono compensate le dilatazioni termiche e gli effetti della temperatura ed il segnale di output è pari al doppio di quello di un singolo magnetoresistore.

Quando un magnete si trova nel raggio d'azione del sensore cambia la resistenza del ponte di misura. Tale variazione è proporzionale alla potenza del campo magnetico

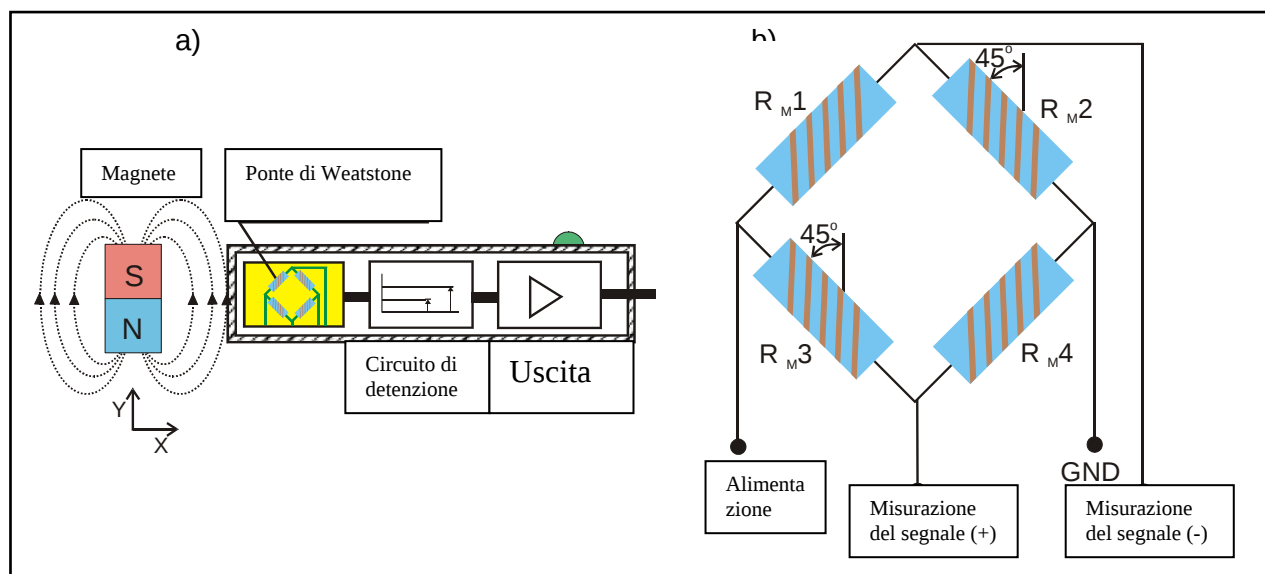


Figura 5.13 Sensore magnetoresistivo: a) schema, b) ponte di Wheatstone con magnetoresistori

5.5.2 Sensori magnetici Wiegand

Il funzionamento di sensori Wiegand si basa sul rilevamento dei cambiamenti della direzione della magnetizzazione (polarizzazione) del nucleo di un convogliatore d'impulso. Quando cambia la direzione del campo magnetico esterno, può cambiare anche la polarizzazione del nucleo.

Un campo magnetico la cui direzione cambia può essere creato da piccoli magneti mobili o immobili (Figura 5.14). Nel primo caso il con-

vogliatore d'impulso è esposto prima al campo magnetico di un magnete con la polarizzazione N/S e poi al campo di un magnete con la polarizzazione inversa S/N. A causa della variazione del campo magnetico esterno viene generato un impulso elettrico nella bobina intorno al convogliatore d'impulso. L'impulso può essere inviato all'output del sensore direttamente oppure dopo l'elaborazione del segnale.

Nel secondo caso un convogliatore d'impulso viene spostato davanti ad un magnete con polarizzazione N/S e poi davanti a un magnete con polarizzazione inversa S/N, per cambiare la direzione di magnetizzazione del nucleo. In questa modalità di funzionamento i magneti e la bobina si trovano entrambi nel sensore, mentre il convogliatore d'impulso è l'elemento mobile.

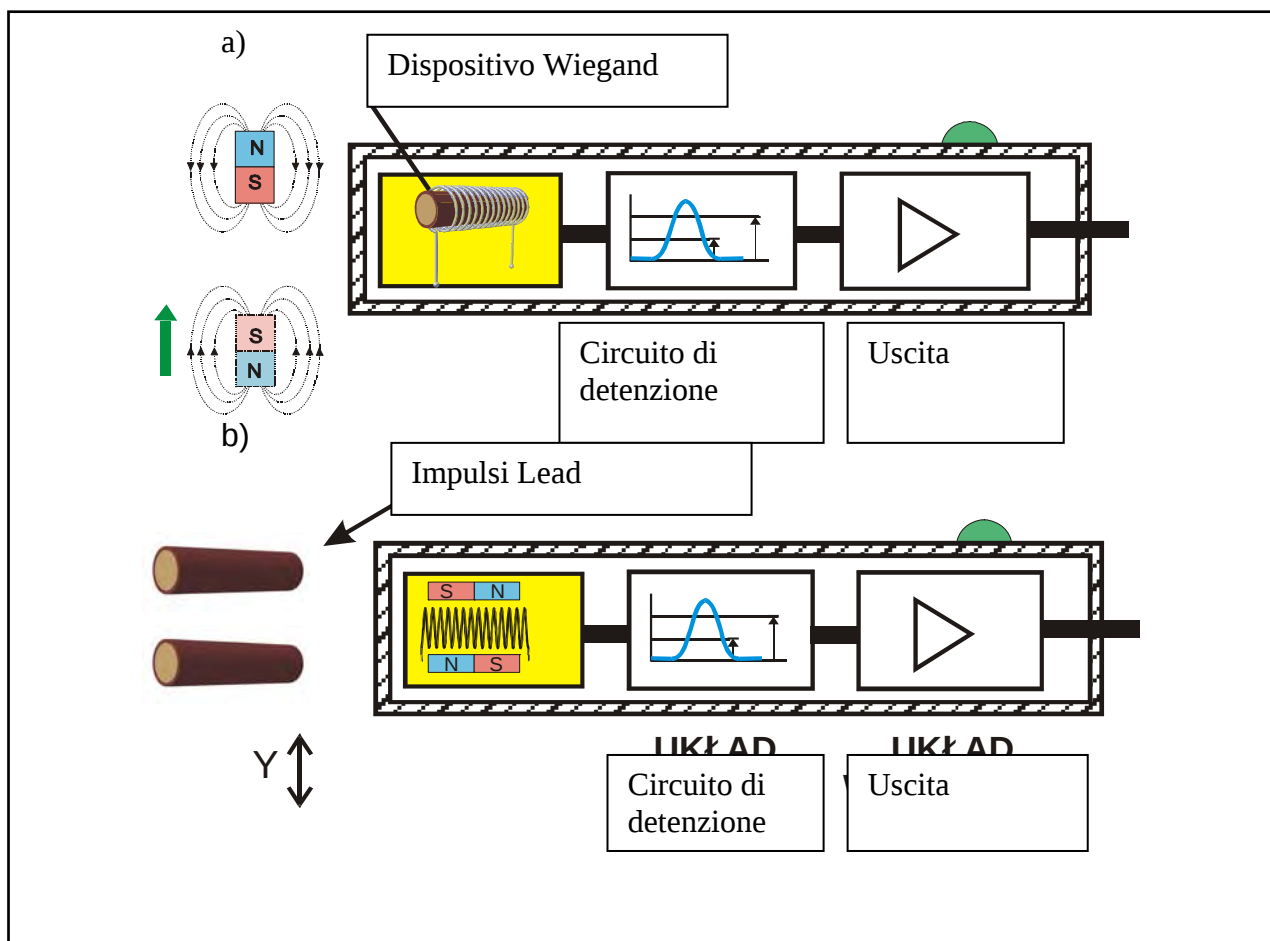


Figura 5-13 Sensori Wiegand: a) funzionamento con un campo magnetico mobile, b) funzionamento con convogliatore d'impulso mobile

Si ha ancora una terza possibilità: sia i magneti sia il convogliatore d'impulso con la bobina si trovano nella testa del sensore. In questo caso la direzione del campo magnetico viene cambiata da un oggetto di materiale ferromagnetico che si trova nel raggio d'azione del sensore. Pertanto si possono usare tali tipi di sensori per contare oggetti ferromagnetici che si spostano davanti ad esso (ad es. i denti di una ruota dentata ed in base a questo può essere calcolato anche il numero di giri). Quando un oggetto di materiale ferromagnetico si sposta

davanti al sensore, la polarizzazione magnetica del convogliatore d'impulso viene cambiata due volte. Ogni cambiamento è all'origine di un impulso elettrico nella bobina.

I sensori Wiegand non hanno bisogno di una alimentazione in corrente. Hanno due conduttori e possono lavorare in condizioni ambientali severe. La frequenza e l'ampiezza degli impulsi creati possono essere anche molto elevate (rispettivamente oltre 20 kHz e fino ad alcuni V).

5.5.3 Sensori magnetici con magneti permanenti

Il più semplice sensori a campo magnetico consiste di una bobina avvolta intorno ad un magnete permanente (Figura 5.15.) Un oggetto ferromagnetico che si muove vicino al sensore cambia il campo magnetico che attraversa la bobina e crea una tensione nella bobina.

Tali sensori non possono però rilevare oggetti immobili perché la tensione d'uscita dipende dalla velocità dell'oggetto. Più lentamente si muove un oggetto più bassa è la tensione d'uscita. Se l'oggetto non si muove la tensione è 0 V. Valori bassi della tensione d'uscita vanno amplificati per commutare il segnale di output.

I sensori non richiedono alimentazione in corrente. Permettono un'alta risoluzione nel rilevamento. Questa può arrivare ad $1/100^\circ$ quando viene misurata la velocità di rotazione.

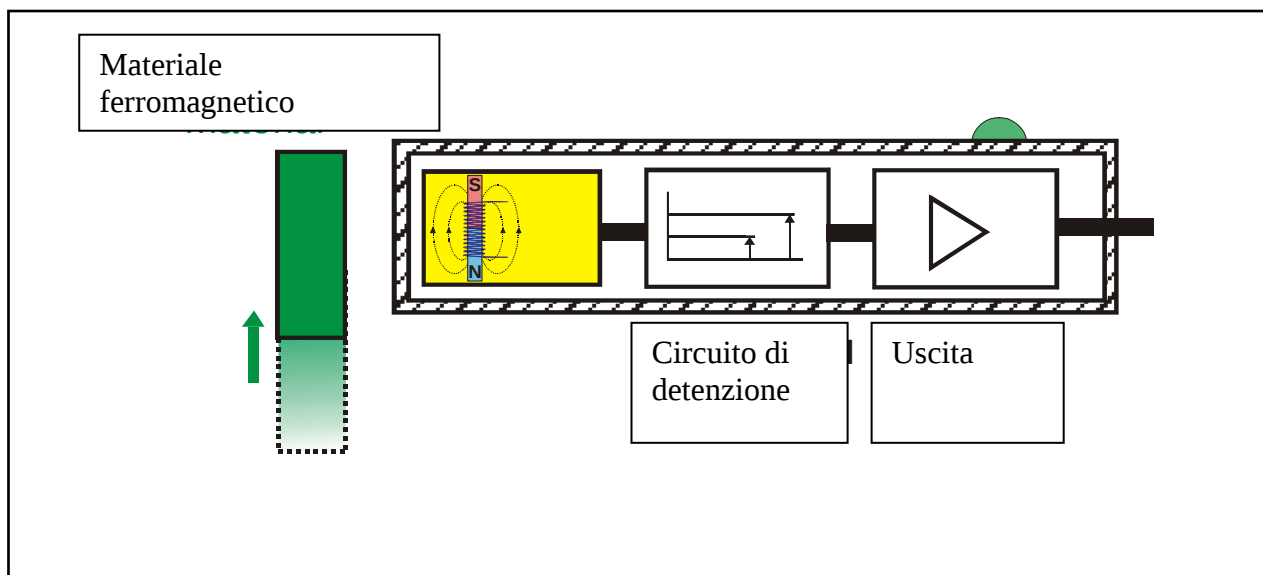


Figura 5-14 Sensore magnetico con magnete permanente

5.6 Principi d'installazione

I sensori a campo magnetico possono essere montati a inclusi in elementi di un qualsiasi materiale non ferromagnetico. La sensibilità del sensore non dipende dalla distanza fra la superficie anteriore del sensore e la superficie dell'alloggiamento (Figura 5.16).

Se un sensori di campo magnetico va montato in un elemento di materiale ferromagnetico la distanza sopra citata dovrebbe essere la più grande possibile. Inoltre dovrebbe essere usata uno strato aggiuntivo di dielettrico fra il sensore e l'elemento.

Se un magnete viene fissato alla superficie di un elemento ferromagnetico, il suo campo magnetico può essere rafforzato o indebolito. Questo va portato in conto perché a causa della variazione del campo magnetico cambia anche il raggio d'azione del sensore.

Se un oggetto non ferromagnetico viene collocato tra il sensore ed un magnete, il comportamento del sensore non viene alterato. Se invece un oggetto ferromagnetico viene collocato fra sensore e magnete, la funzione del sensore viene disturbata e il segnale di output può essere involontariamente commutato.

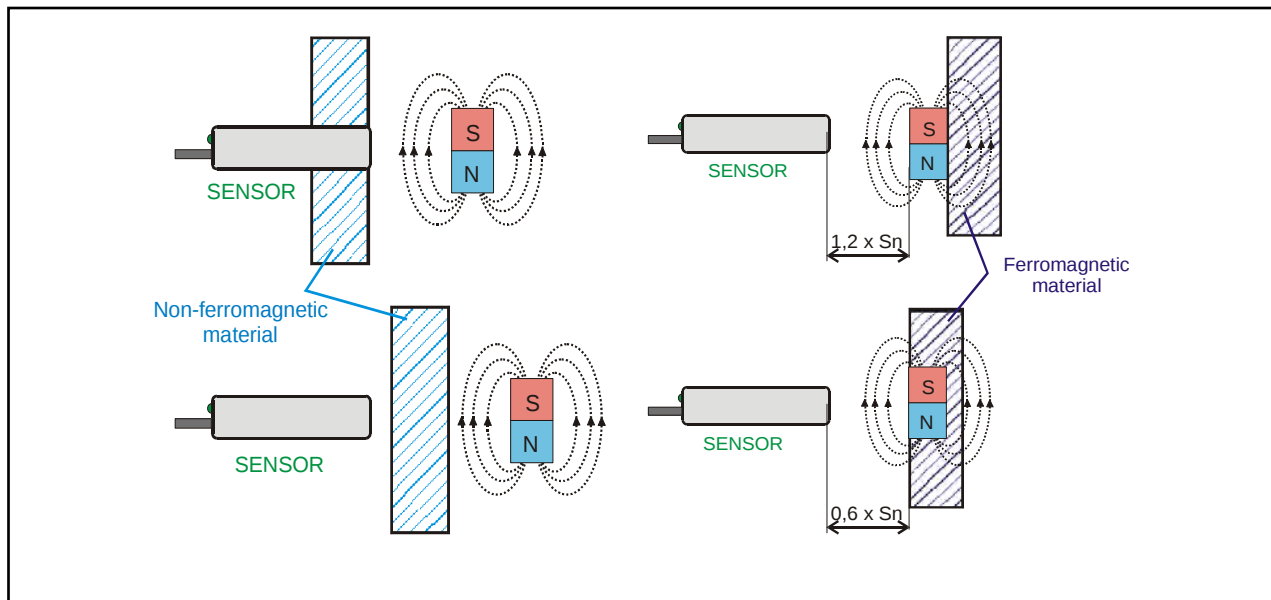


Figura 5-15 Influsso di elementi ferromagnetici e non ferromagnetici sul funzionamento di sensori a campo magnetico

I sensori a campo magnetico vengono tra l'altro impiegati per:

- rilevare oggetti che si trovano in un tubo di plastica o un serbatoio di plastica,
- rilevare oggetti che si trovano in un ambiente aggressivo attraverso uno strato protettivo,
- rilevare oggetti in aree ad alta temperatura (un elemento ferromagnetico si può trovare vicino all'oggetto),
- rilevare il movimento di traslazione o rotazione degli oggetti.

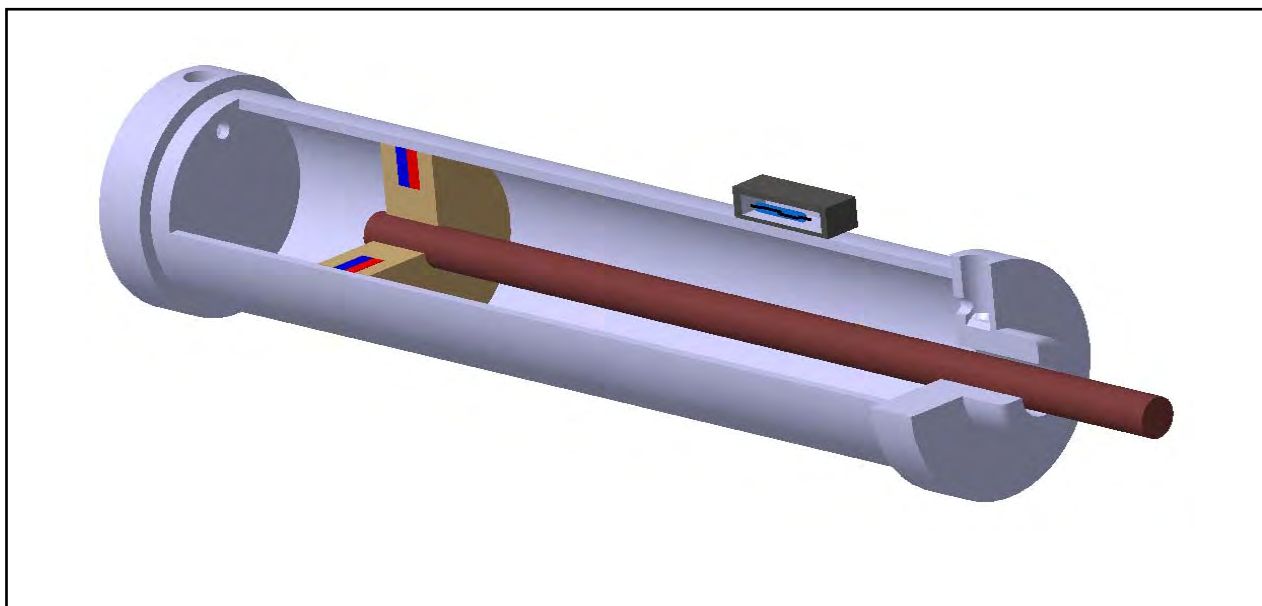


Figura 5-16 Rilevamento della posizione del pistone in un cilindro non ferromagnetico con un sensori a campo magnetico con contatto Reed

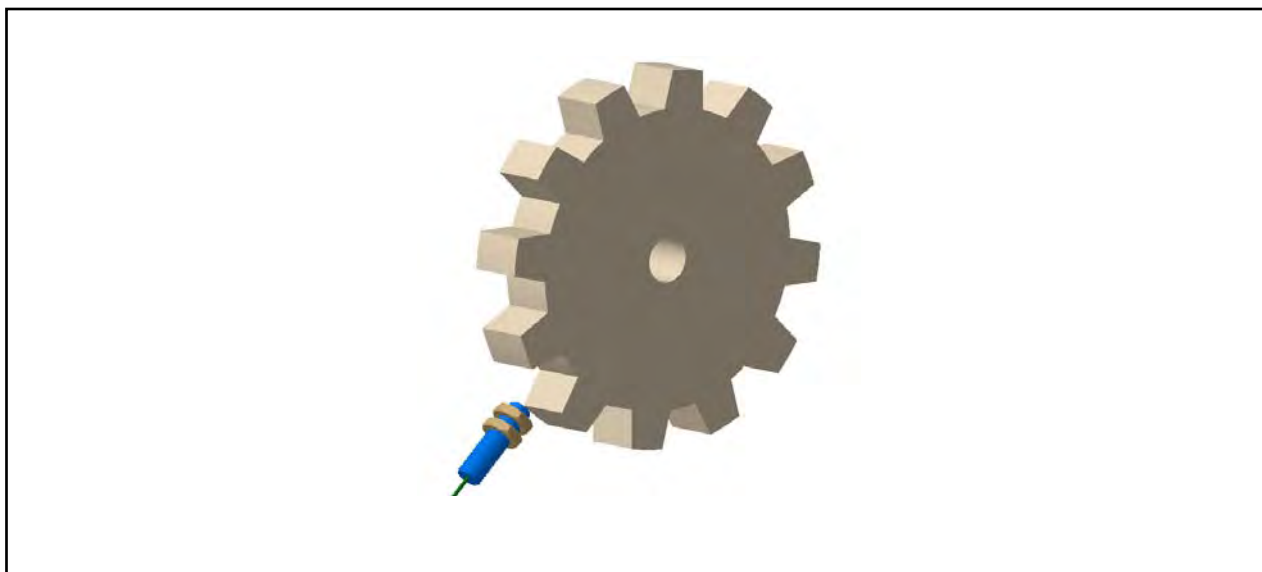


Figura 5-17 Misurazione del numero di giri con un sensore Wiegand

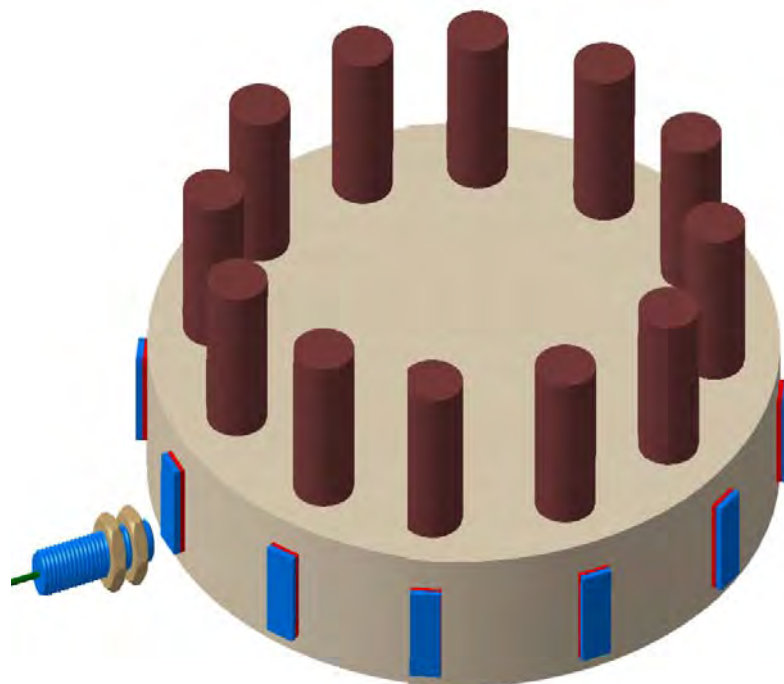


Figura 5-18 Rilevamento della posizione angolare di un tavola rotante con un sensore Hall

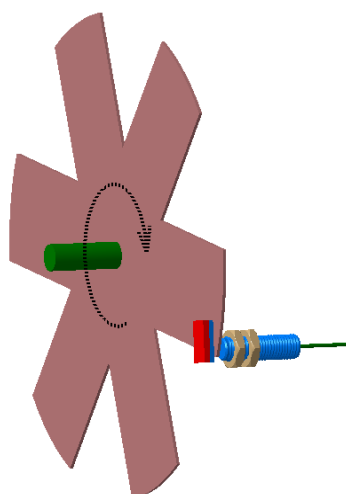


Figura 5-19 Misurazione del numero di giri con un sensore magnetoresistiv

MECCATRONICA

Modulo 6: sistemi meccatronici e funzioni

Manuale

(concetto)

Jerzy Jędrzejewski
Wojciech Kwaśny
Zbigniew Rodziewicz
Andrzej Błażejowski

Politecnico di Wroclaw,
Polonia

Matthias Römer

Università Tecnica di Chemnitz,
Germania

Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007
Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008 al 2010

Il presente progetto è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente



Contenuto:

1	Sensori induttivi	7
1.1	Informazioni di base	7
1.2	Elementi costruttivi di base	8
1.3	Coefficiente di correzione	11
1.4	Montaggio	12
1.5	Sensori speciali	13
1.5.1	Sensori induttivi ad anello	13
1.5.2	Sensori che operano in un campo magnetico elettrico forte	14
1.5.3	Sensori che operano in condizioni difficili	15
1.6	Sensori NAMUR	16
1.7	Sensori induttivi analogici	17
1.8	Alimentazione con corrente continua	18
1.9	Principi di collegamento tra sensori	19
1.10	Protezione dei sensori	21
1.11	Collegamento dei sensori ad una rete di comunicazione	22
1.12	Applicazioni	23
2	Sensori capacitivi	25
2.1	Introduzione	25
2.2	Funzionamento di un sensore capacitivo	26
2.3	Tipologie di sensori capacitivi	28
2.4	Tipologie di materiale dell'oggetto da rilevare	29
2.5	Compensazione dei disturbi	30
2.6	Applicazioni	31

3	Sensori ad ultrasuono	33
3.1	Informazioni di base	33
3.2	Influenza dell'ambiente	34
3.3	Generazione di onde acustiche	35
3.4	Principio di funzionamento dei sensori a ultrasuoni	37
3.5	Fattori di disturbo	42
3.6	Sincronizzazione dei sensori	44
3.7	Speciali sensori ad ultrasuoni	45
3.7.1	Sensori retroriflettenti	45
3.7.2	Sensori a due convertitori	46
3.7.3	Sensori analogici ad ultrasuoni	47
3.8	Applicazioni	48
4	Sensori optoelettronici	51
4.1	Caratteristiche di costruzione	51
4.2	Tipologie di sensori	53
4.2.1	Sensori a sbarramento	53
4.2.2	Sensori retroriflettenti	54
4.2.3	Sensori a diffusione	55
4.3	Rimozione dell'interferenza	55
4.3.1	Modulazione della luce	56
4.3.2	Polarizzazione della luce	57
4.4	Margine operativo	59
4.5	Distanza operativa	61
4.6	Tempo di reazione	62
4.7	Tipi speciali di sensori optoelettronici	63
4.7.1	Sensori retroriflettenti a riflessione polarizzata	63
4.7.2	Sensori a diffusione a soppressione di primo piano e di sfondo	64
4.7.3	Sensori retroriflettenti ad autocollimazione	67
4.8	Sensori con cavi in fibra ottica	68
4.8.1	Cavi in fibra ottica	68
4.8.2	Funzionamento	70

4.9	Tecniche di collegamento	72
4.9.1	Tipi di collegamento	72
4.9.2	Commutazione dell'uscita del sensore	72
4.10	Applicazioni	74
5	Sensori magnetici	77
5.1	Informazioni di base	77
5.2	Isteresi	78
5.3	Effetto Hall	79
5.4	Effetto magnetoresistivo	80
5.5	Effetto Wiegand	81
5.6	Sensori Reed.....	82
5.7	Sensori Hall	84
5.8	Sensori magnetoresistivi	85
5.8.1	Sensori di campo magnetico speciali	85
5.8.2	Sensori Wiegand	86
5.8.3	Sensori magnetici a magnete permanente	88
5.9	Principi di montaggio	89
5.10	Applicazioni	90
6	Funzioni dei sensori in sistemi mecatronici	91
6.1	Applicazioni di base di sensori in sistemi mecatronici	91
6.2	Strutture di sistemi mecatronici e fissare il luogo dei sensori	91
6.3	Funzioni dei sistemi mecatronici e Applicazioni dei sensori	92
6.4	Diagnosticare sistemi mecatronici di sensori	93
6.5	Monitoraggio dei sistemi mecatronici di sensori	95
6.6	Applicazioni di sensori nella diagnosi del servizio dei sistemi mecatronici	95

7	Sviluppo di sottosistemi meccatronici.....	97
7.1	Introduzione.....	97
7.1.1	Definizione di meccatronica	98
7.1.2	Lavorazione di singole parti e montaggio	99
7.2	Struttura dei comandi	102
7.2.1	Regolazioni.....	104
7.2.2	Sistemi di controllo complessi	105
7.2.3	Criteri comparativi per sistemi di controllo complessi.....	106
7.3	Sistemi di controllo: parte operativa e di segnale	107
7.3.1	parte operativa.....	109
7.3.2	Attuatori	113
7.3.3	Componenti di segnale, di controllo e attuatori	130
8	Sviluppo di un intero sistema meccatronico	135
8.1	Componenti scelte	135
8.2	Strumenti ausiliari per lo sviluppo di un sistema di controllo complesso	136
8.2.1	Disegno d'insieme	137
8.2.2	diagramma di flusso	138
8.2.3	Schema logico	140
8.2.4	Piano funzionale	141
8.2.5	Diagramma funzionale.....	143
8.2.6	Schema elettrico.....	146
8.3	Sviluppo di schemi elettrici per sistemi complessi.....	150
8.3.1	Schema funzionale pneumatico	151
8.3.2	Schema funzionale idraulico.....	153
8.3.3	Schema dei circuiti elettrici	155
8.4	Costruzione di un sistema di controllo complesso.....	159

1 Sensori induttivi

1.1 Informazioni di base

Nei sistemi automatici, nella maggior parte dei casi si usano sensori induttivi per controllare la posizione e il moto di sottomeccanismi. I sensori induttivi vengono spesso preferiti per il design compatto, l'affidabilità e la facilità di installazione.

Un oggetto di metallo che si trova nel raggio d'azione del sensore ne cambia lo stato o il valore del segnale originale.

Gli elementi fondamentali del sensore induttivo (figura 1.1) sono: la testa, che contiene la bobina d'induzione con un nucleo di ferrite, un generatore di tensione sinusoidale, un sistema di raddrizzatori (comparatore) e un circuito amplificatore.

Il circuito induttivo, che consiste in bobina e nucleo di ferrite, genera un campo elettromagnetico variabile ad alta frequenza intorno alla punta del sensore. Il campo induce correnti parassite nell'oggetto di metallo che si trova vicino al sensore. Visto che ciò genera un carico per il circuito induttivo, di conseguenza si abbassa l'ampiezza dell'oscillazione. Il cambiamento dell'ampiezza dipende dalla distanza tra l'oggetto di metallo e la punta del sensore. Se l'oggetto raggiunge una certa distanza caratteristica che dipende del sensore utilizzato cambia il segnale d'uscita. In sensori analogici il segnale d'uscita è inversamente proporzionale alla distanza tra l'oggetto e il sensore.

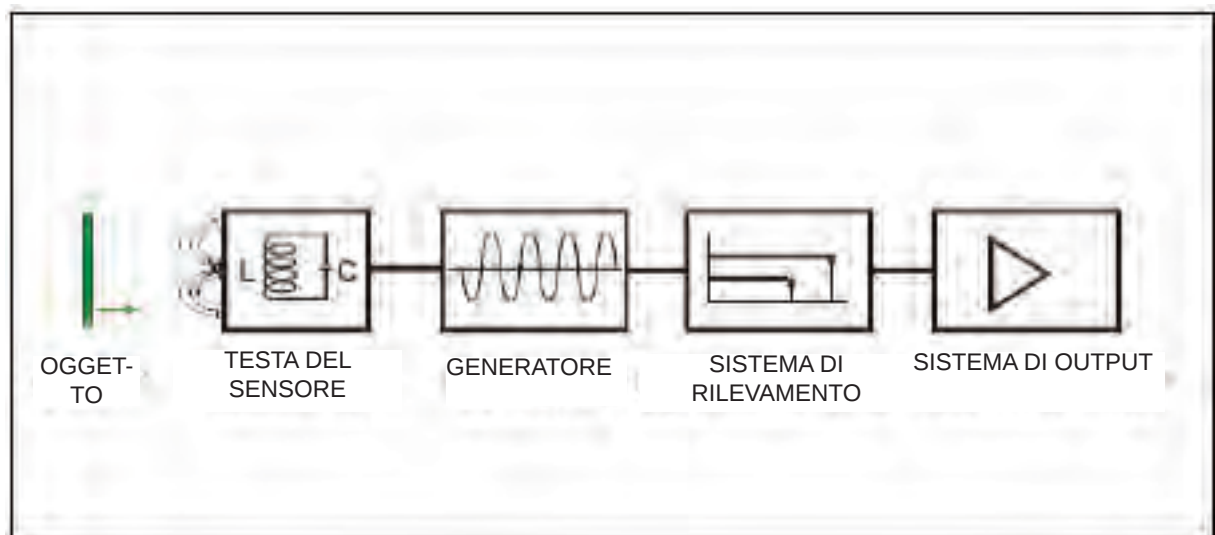


Figura 1.1: Costruzione di un sensore induttivo

1.2 Elementi costruttivi di base

La parte attiva di un sensore induttivo contiene una bobina messa intorno al nucleo di ferrite che genera un campo magnetico variabile. Lo scopo del nucleo di ferrite è quello di amplificare il campo magnetico della bobina e indirizzarlo verso la zona di misura del sensore.

Se il campo magnetico varia si genera un campo elettrico. Se in questo campo variabile si trova un conduttore intorno alle linee del campo magnetico viene generato un campo magnetico variabile (figura 1.2). Questo si oppone al campo magnetico della bobina e consuma parte dell'energia del circuito risonante.

Il fattore di qualità risulta di conseguenza minore in quanto vengono modificate le perdite nel circuito risonante e viene smorzata l'ampiezza delle oscillazioni. Finché si trova il conduttore nel campo magnetico della bobina l'ampiezza dell'oscillazione viene ammortizzata. Se l'oggetto viene rimosso lo smorzamento diminuisce finché l'ampiezza non raggiunge il suo valore iniziale.

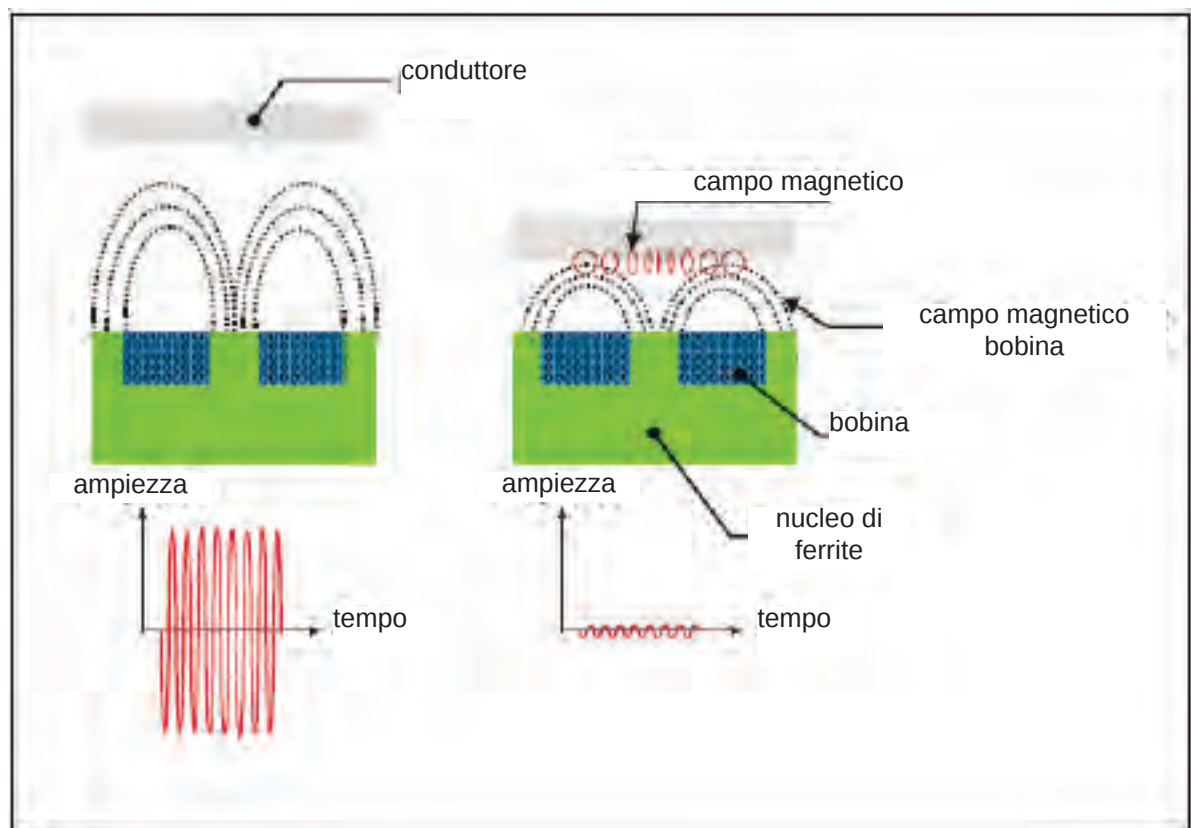


Figura 1.2: Oggetto di metallo nel campo magnetico della bobina con il nucleo di ferrite

Sulla base del grado di smorzamento dell'ampiezza, il circuito risonante del sensore determina la distanza tra l'oggetto e la bobina e genera il segnale d'uscita. Nel maggior numero dei casi il segnale ha due stati: l'oggetto PRESENTE/ASSENTE nel raggio d'azione del sensore. Qualche volta il segnale è anche analogico e inversamente proporzionale alla distanza tra l'oggetto e il sensore.

Il circuito risonante del sensore contiene anche un comparatore con isteresi e un sistema di uscita. Tramite l'isteresi si evitano i disturbi del segnale d'uscita se viene cambiato lo stato, se è instabile l'oggetto di metallo o se variano la tensione e la temperatura.

L'isteresi è la differenza tra distanza, alla quale reagisce il sensore quando si avvicina l'oggetto di metallo e la distanza alla quale reagisce il sensore se l'oggetto si allontana. Poi cambia lo stato iniziale da SPENTO a ON (figura 1.3). Il valore d'isteresi dipende dal modo e dalla grandezza del sensore ed è più piccolo del 20% del campo di misurazione. Se c'è isteresi viene percepito anche l'oggetto che si trova alla frontiera del raggio d'azione del sensore. Questa situazione è segnalata da molti sensori mediante un diodo luminoso.

La frequenza tipica dei generatori LC nei sensori induttivi è di 100 Hz – MHz (Alta Frequenza, HF). Maggiore è il diametro della bobina maggiore è l'assorbimento di corrente e minore è la frequenza massima.

Il campo d'azione dei induttori tipici d'induzione è più piccolo che 60 mm. Il supporto del sensore viene prodotto in forma cilindrica o quadratica, di metallo o di plastica, e permette un montaggio ottimo.

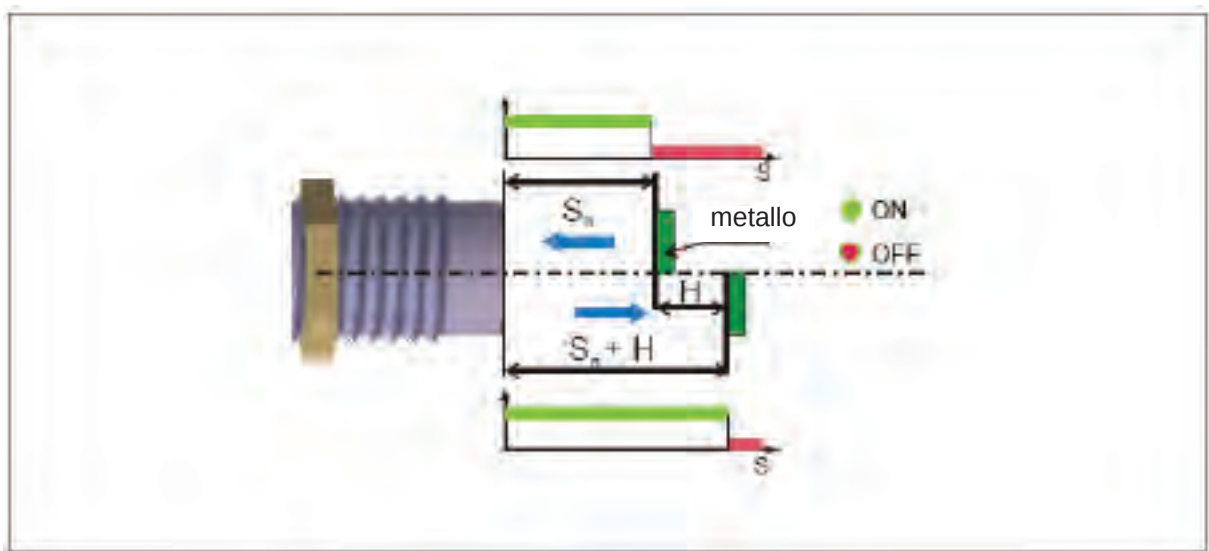


Figura 1.3: Isteresi del sensore d'induzione

Il flusso del campo magnetico generato dalla bobina induttiva circonda un'area limitata che determina il raggio d'azione del sensore induttivo. La distanza fra l'oggetto e il sensore di cui cambia il circuito d'uscita viene chiamato raggio d'azione nominale S_n . Questo valore viene indicato in accordo alle norme EN 60947-5-2 – per una piastra quadrata di acciaio (ST37) con larghezza pari al diametro del sensore e di spessore 1 mm.

Il raggio d'azione reale S_r viene fissata durante il processo di produzione del sensore e può essere leggermente diversa da S_n . Per la tensione nominale e la temperatura nominale vale $0,9 S_n \leq S_r \leq 1,1 S_n$. $S_a \leq 0,8 S_n$

Il raggio d'azione operativo $S_a \leq 0,8 S_n$, che indica la distanza fra l'oggetto e il sensore, assicura condizioni di lavoro indipendenti da cambiamenti di temperatura e tensioni e dal raggio d'azione reale indicata dal produttore.

Il raggio d'azione nominale S_n dipende dal diametro della bobina D (figura 1.4) e le caratteristiche del nucleo. Più piccolo è il sensore minore è il raggio d'azione nominale. Ci sono anche produzioni speciali con un raggio d'azione nominale aumentato.

minore è la raggio d'azione nominale. Ci sono anche produzioni / tipi speciali con zona nominale aumentata.



Figura 1.4: Legame tra diametro della bobina e raggio d'azione nominale per sensori induttivi standard

1.3 Coefficiente di correzione

Lo smorzamento del circuito risonante dipende dal materiale col quale è stato prodotto l'oggetto da individuare. I materiali che hanno una resistenza elettrica minore dell'acciaio St 37 (come oro, rame o alluminio) smorzano meno l'oscillazione del circuito risonante.

Queste differenze possono essere compensate modificando il raggio d'azione nominale. Se per esempio l'oggetto da rilevare è di ottone va moltiplicata il raggio d'azione nominale S_n , che è stata ottenuta per l'acciaio St37, va moltiplicata per il coefficiente di correzione di 0,5 (figura 1.5).

La sensibilità del sensore dipende dalla sua costruzione. Ci sono due costruzioni di base per sensori cilindrici:

- ricoperto: la bobina del circuito risonante è in una bussola che forma la fine del sensore,
- non ricoperto: la bobina si trova soltanto in un involucro protettivo di plastica.

I sensori con la bobina non ricoperta sono più sensibili per oggetti metallici nella loro vicinanza.

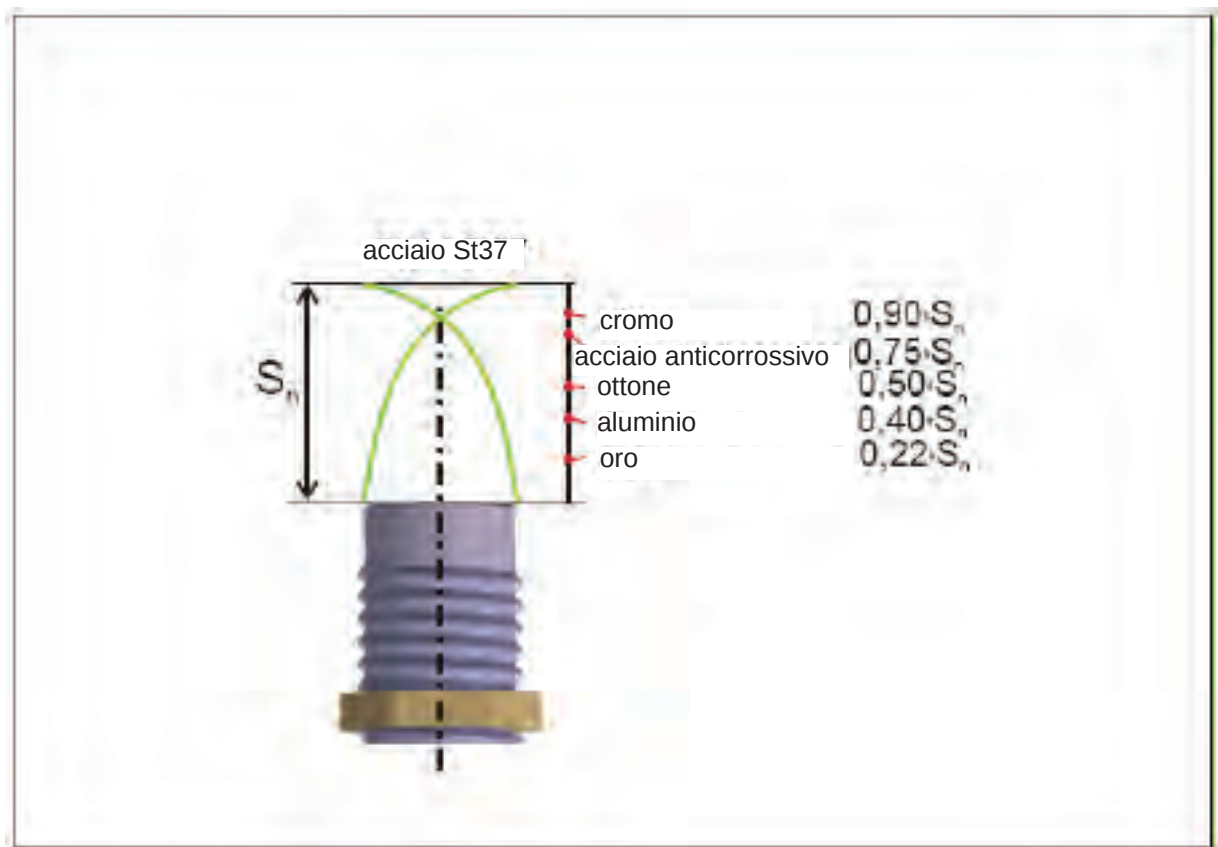


Figura 1.5: Coefficiente di correzione per diversi materiali dell'oggetto rilevato

1.4 Montaggio

Se si seguono le raccomandazioni per il montaggio, non ci saranno interferenze nel funzionamento del sensore che sono cautilizzate da effetti attenuanti dell'ambiente o dalla mutua interazione con altri sensori. La grandezza e la forma della zona libera richiesta (free zone) in vicinanza del sensore dipendono dal raggio d'azione del sensore, dalla sua costruzione e dalla grandezza dell'oggetto individuato (figura 1.6a).

Il diametro del nucleo e della bobina dipendono dalla grandezza del supporto cilindrico (bussola di metallo). Perciò c'è un forte collegamento fra il diametro del supporto, la raggio d'azione del sensore e la zona che deve rimanere libera nella quale si deve trovare soltanto l'oggetto di metallo da rilevare. I sensori con la bobina ricoperta hanno una raggio d'azione maggiore. Di conseguenza anche la zona libera deve essere maggiore.

Un sensore cilindrico ricoperto è sensibile soltanto agli oggetti di metallo che si trovano davanti al sensore. Perciò questi sensori possono essere fissati completamente in elementi di metallo. La zona libera è $3 \times S_n$ (figura 1.6b). La distanza minima tra i sensori dovrebbe essere maggiore di $2xD$, per evitare la mutua interferenza.

Un sensore cilindrico non ricoperto è sensibile agli oggetti metallici sui tre lati. Perciò il sensore va posizionato leggermente all'esterno in modo tale che la zona libera includa anche le superfici laterali del sensore. In questo caso la distanza minima tra sensori dovrebbe essere maggiore di $3xD$ per evitare interferenze indesiderate.

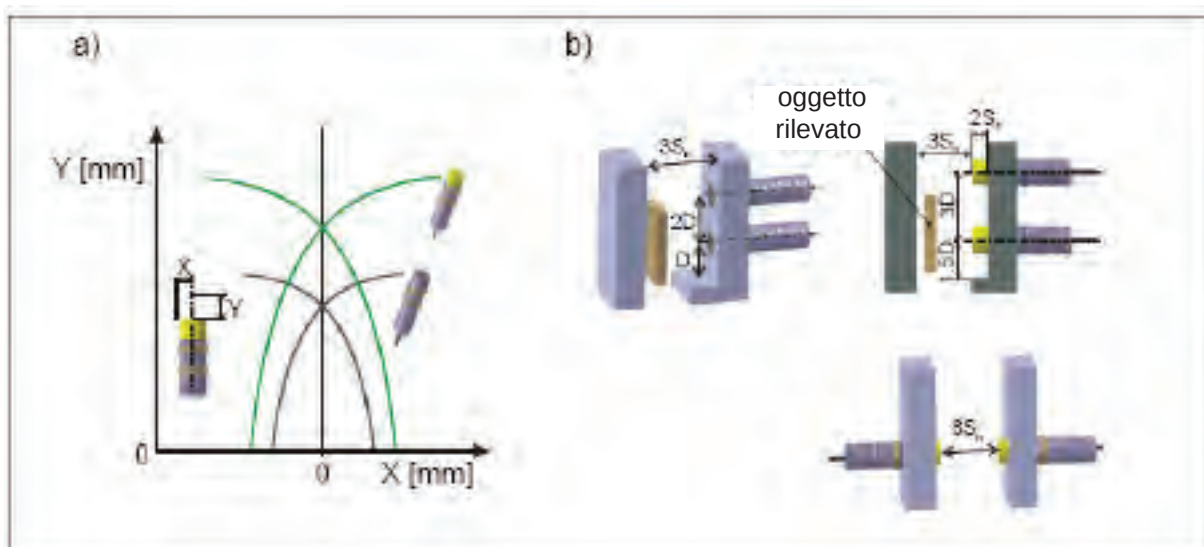


Figura 1.6: Sensori induttivi con bobina ricoperta e non ricoperta, a) caratteristica, b) raccomandazioni di montaggio

1.5 Sensori speciali

1.5.1 Sensori induttivi ad anello

Il raggio d'azione dei sensori induttivi ad anello si trova nel supporto ad anello. Questi sensori rilevano oggetti di metallo che attraversano l'apertura del loro supporto. Spesso vengono utilizzati per riconoscere e contare piccoli oggetti di metallo. I supporti di tali sensori sono prodotti in plastica.

Il principio di funzionamento del sensore ad anello si basa su un oscillatore ad alta frequenza che genera un campo magnetico nella fessura del sensore. Viene utilizzato un nucleo toroidale a polvere di ferro con ha un fattore di qualità più alto di un normale nucleo di ferrite. La presenza dell'oggetto di metallo causa un abbassamento dell'ampiezza dell'oscillazione. Il comparatore riconosce questi cambiamenti e se è superato il valore limite il segnale d'uscita viene commutato. Il raggio d'azione del sensore dipende dal diametro dell'apertura del sensore e da grandezza e tipo dell'oggetto da rilevare.

Il sensore funziona se il campo magnetico viene sufficientemente smorzato. Gli oggetti troppo piccoli possono causare uno smorzamento troppo piccolo. Perciò ad ogni grandezza di sensore corrisponde una lunghezza minima o un diametro minimo dell'oggetto da riconoscere (figura 1.7).

Un vantaggio dei sensori ad anello è che gli oggetti riconosciuti non devono avere la stessa traiettoria. Grazie alla zona di riconoscimento di forma circolare, mediante tali sensori è possibile rilevare oggetti indipendentemente dal loro orientamento, p.es. oggetti in caduta in un imbuto di plastica.

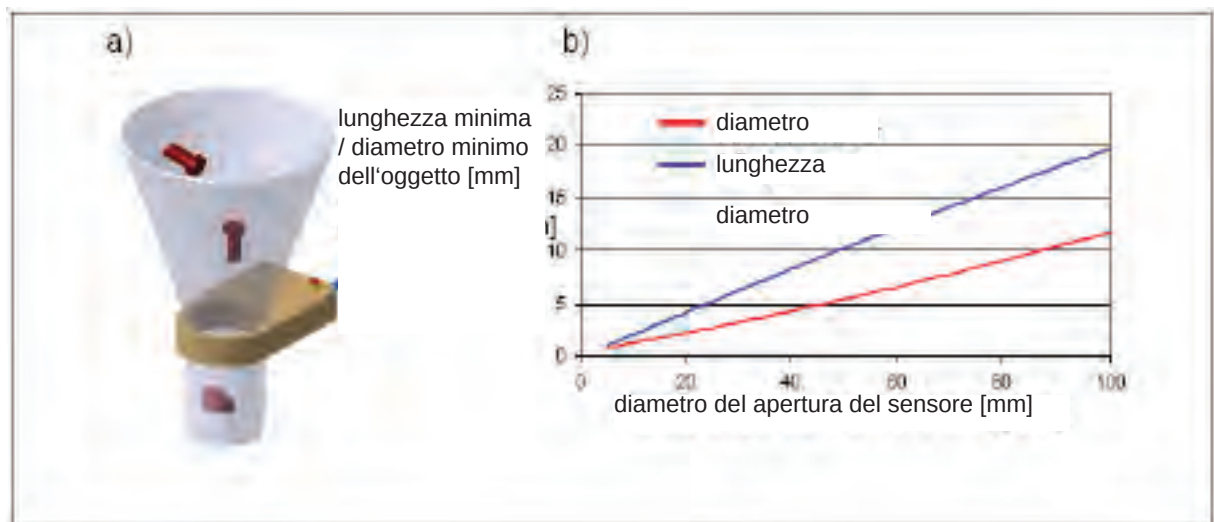


Figura 1.7: Sensore ad anello induttivo, a) costruzione, b) collegamento fra la grandezza del sensore e la grandezza minimale dell'oggetto da riconoscere

1.5.2 Sensori che operano in un campo magnetico elettrico forte

I processi di saldatura richiedono grandi intensità di corrente. La corrente che attraversa le saldatrici genera un campo magnetico variabile intorno ai cavi di elevata intensità (forte).

All'installazione di un sensore induttivo nella zona di saldatura è associato un rischio di commutazione non controllata del segnale d'uscita, come conseguenza del forte campo magnetico sul grado di saturazione del nucleo. Inoltre, viene indotta una tensione addizionale nella bobina che interferisce con il lavoro d'oscillazione e che può causare anche in questo caso una commutazione non controllata del segnale d'uscita. Durante il processo di saldatura viene inoltre generato anche un grande numero di scintille che può danneggiare il supporto del sensore e la sua zona di rilevamento.

Per questo motivo sensori che progettati per essere posizionati nelle vicinanze dell'impianto di saldatura vengono prodotti in ottone con uno strato di Teflon®. La superficie frontale viene protetta con Duraplast® resistenti alle alte temperature.

Questi sensori hanno un nucleo con una permeabilità magnetica bassa (figura 1.8) e richiedono una speciale costruzione del circuito elettrico per evitare un'erronea accensione. Questi nuclei vengono prodotti in ferro sinterizzato e che si satura in un campo magnetico varie volte più denso rispetto ai tipici nuclei di ferrite. Un sensore così prodotto è meno sensibile all'interferenza di campi magnetici esterni poiché il proprio campo magnetico può essere raccolto e indirizzato meglio.

I sensori senza nucleo sono maggiormente robusti all'influenza di campi magnetici esterni. Il nucleo nei sensori normali catalizza il campo magnetico esterno. In simili soluzioni costruttive, prive di nucleo la bobina viene avvolta su un cilindro di plastica.

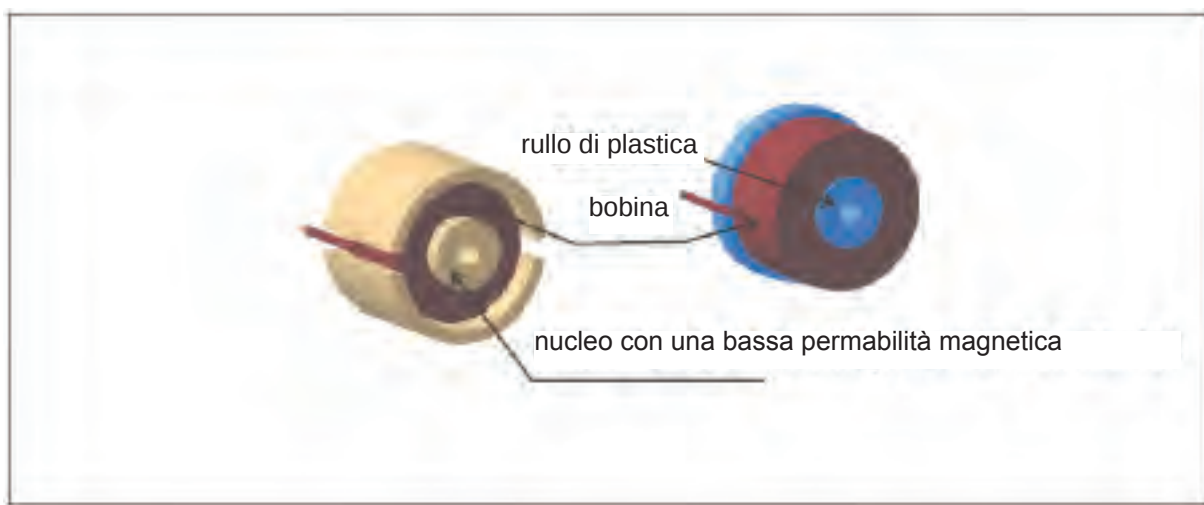


Figura 1.8: Sensori induttivi, meno sensibili a campi magnetici forti

1.5.3 Sensori per condizioni particolarmente critiche

Se si usano sensori standard in condizioni difficili possono verificarsi disturbi durante il lavoro o addirittura possono danneggiarsi irreversibilmente.

Per adattare sensori a condizioni critiche vengono utilizzati materiali speciali per il supporto, maggiorate le dimensioni del sensore, utilizzate particolari procedure di montaggio, protetti i circuiti elettrici modificandone il progetto iniziale.

Per adattare i sensori alle condizioni di lavoro, i produttori offrono in particolare :

- sensori resistenti alle alte temperature (al di sopra dei 200°)
- sensori resistenti a prodotti chimici,
- sensori resistenti a sostanze oleose,
- sensori resistenti all'umidità,
- sensori piccolissimi, la cui testa ha un diametro di 3-5 mm.

I sensori che lavorano ad alte pressioni devono avere un supporto fisso e compatto che protegga gli elementi elettrici interni. La superficie frontale viene protetta con un disco di ceramica resistente all'usura. Perché una tale costruzione chiede uno spostamento della bobina dalla sua posizione ottimale il raggio d'azione del sensore è ridotto. Per contrastare questo effetto l'oscillatore viene modificato. In condizioni normali un tale sensore modificato avrebbe un raggio d'azione molto maggiore di un sensore standard.

Il disco di ceramica viene riscaldato e collegato con il supporto di acciaio inox per raggiungere una buon accoppiamento. Raffreddato, il supporto ricaldato per migliorare l'accoppiamento, si fissa in modo stabile intorno al disco.

1.6 Sensori NAMUR

I sensori induttivi NAMUR contengono due sensori principali. La loro resistenza cambia quando viene rilevato un oggetto di metallo. Una resistenza piccola significa “nessun oggetto di metallo”, una resistenza grande significa “oggetto di metallo rilevato”.

Una caratteristica dei sensori NAMUR è un ben definito intervallo di corrente d'uscita ammissibile (secondo la norma EN 60947-5-6) da 1,2 fino a 2,1 mA (figura 1.9). I sensori NAMUR con alimentazione di corrente continua hanno la stessa corrente caratteristica e una isteresi di commutazione ben definita di 0,2 mA.

I sensori NAMUR sono costituiti da un oscillatore con la bobina parzialmente smorzata e un demodulatore. Se cambia la distanza fra oggetto e sensore cambia anche la corrente che un amplificatore esterno converte in un segnale dicotomico.

Se i sensori NAMUR lavorano in una zona sottoposta al pericolo di esplosione l'amplificatore non deve generare scintille deve trovarsi fuori da questa zona.

Se l'intensità di corrente nel circuito elettrico del sensore è minore di 0,15 mA, per l'amplificatore questo significa “assenza di segnale”. Se invece tale intensità di corrente è più alta di 6mA questo viene interpretato come un cortocircuito nel sensore.

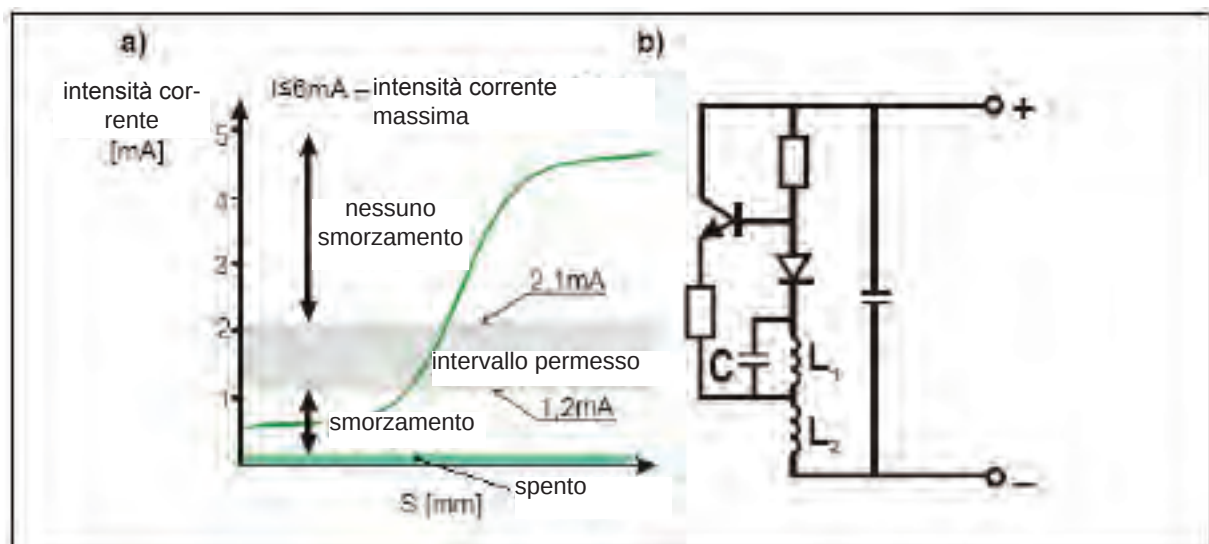


Figura 1.9: Sensore NAMUR, a) caratteristica, b) circuito elettrico

1.7 Sensori induttivi analogici

I sensori standard registrano soltanto la presenza o meno di un oggetto di metallo. I sensori analogici induttivi registrano soltanto la posizione di un oggetto nel raggio d'azione del sensore. Se l'oggetto da 0 fino a S_n si muove cambia il segnale d'uscita da 0 a 20 mA.

Il campo magnetico alternato generato dal circuito risonante viene smorzato dall'oggetto di metallo che si trova nel raggio d'azione. Più vicino è il sensore all'oggetto più forte è lo smorzamento.

Un oscillatore speciale rende possibile lo smorzamento del circuito risonante con una modifica della distanza (p.es. il fattore di qualità). Grazie ad un sistema di linearizzazione, il segnale d'uscita è quasi lineare. L'figura è riferita all'acciaio St37 che ha il raggio d'azione maggiore. Se vengono utilizzati metalli con una permeabilità magnetica minore va utilizzato un opportuno coefficiente di correzione.

Oggigiorno la maggior parte dei sensori ha una caratteristica quasi lineare in tutto l'intervallo di misura.

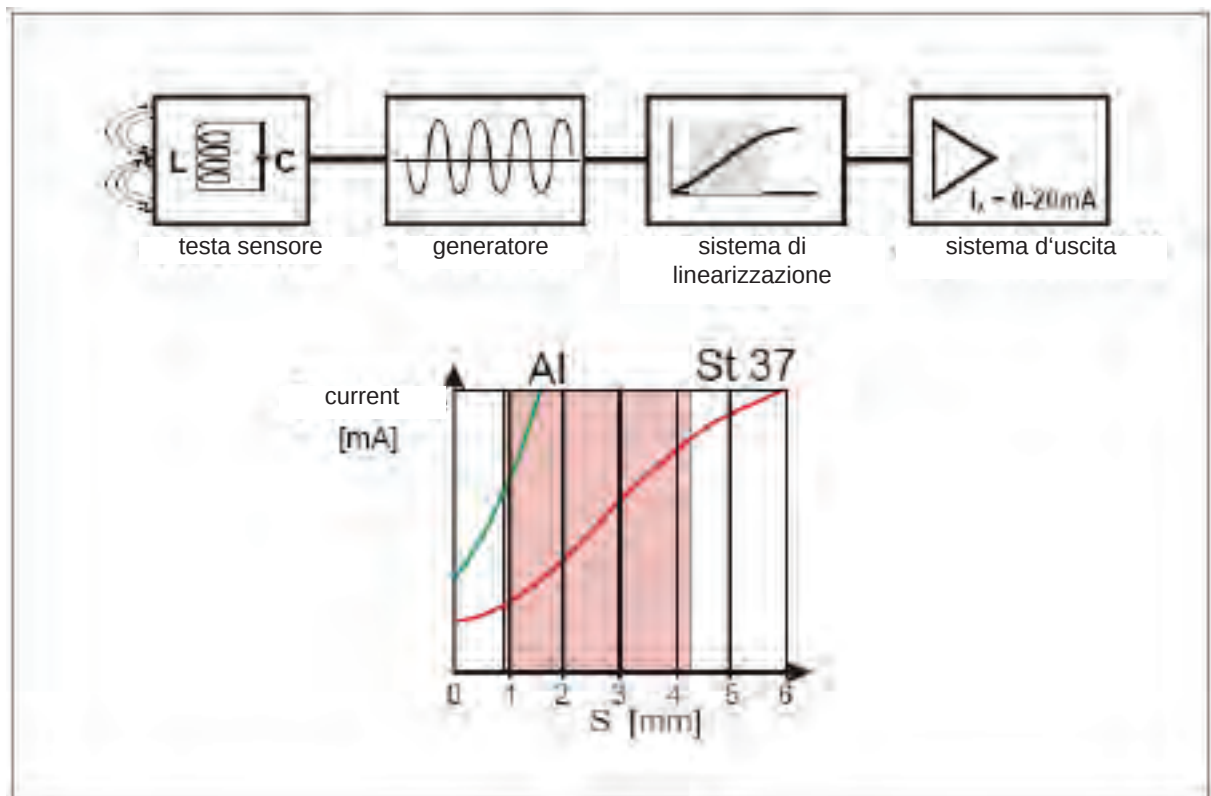


Figura 1.10: Sensore induttivo analogico

1.8 Alimentazione con corrente continua

I sensori alimentati con corrente continua si interfacciano spesso ad adattatori, la cui tensione fluttua. Se queste variazioni d'ampiezza sono troppo grandi non se ne può prevedere il comportamento.

Per evitare cio le variazioni di tensione devono essere minori del 10 % del valore medio della tensione di alimentazione:

$$U_{ss} \leq 0,1U_D$$

La variazione momentanea di tensione U_{ss} non deve superare questa limitazione. Per evitare questo effetto andrebbero utilizzati uno stabilizzatore o un condensatore appropriato.

Le uscite dei sensori con alimentazione continua possono avere una configurazione NPN o PNP. Nel caso della configurazione NPN la resistenza R_L viene collegata fra l'uscita del sensore e il polo positivo dell'alimentazione con la corrente U . Nel caso della configurazione PNP la resistenza viene collegata fra l'uscita del sensore e il polo negativo. Entrambi i tipi possono avere una funzione NO (normalmente aperto) o NC (normalmente chiuso). Alcuni sensori hanno una funzione complementare NP e due uscite indipendenti NO e NC.

I sensori alimentati con corrente alternata non vanno collegati direttamente con uno stabilizzatore per corrente alternata poichè ciò potrebbe distruggere i circuiti elettrici interni del sensore.

I sensori alimentati con corrente alternata vengono collegati in serie con la resistenza R_L . L'utilizzo di due sensori alternati richiede delle specifiche aggiuntive. E' necessario un transistore come amplificatore di potenza.

Visto che questi sensori vengono collegati in serie con la resistenza, ciò comporta una perdita di corrente anche se il sensore è spento. Ciò comporta una perdita di tensione specialmente se i sensori vengono collegati in serie o in parallelo.

Nella selezione delle condizioni di alimentazione per un sensore alimentato a corrente alternata, devono essere fedelmente rispettati i valori minimo e massimo di corrente specificati dal produttore.

1.9 Principi di collegamento tra sensori

Se i sensori vengono collegati in serie o in parallelo si apre la possibilità di realizzare differenti strategie operazionali (figura 1.11). Si possono rendere possibili le funzioni AND , OR o NOT.

La funzione logica AND garantisce il segnale d'uscita di un gruppo di sensori se lo stato iniziale di tutti i sensori è ON.

La funzione logica OR garantisce che la resistenza R_L non sia alimentata se il segnale d'uscita di tutti i sensori è OFF.

I gruppi di sensori possono essere collegati anche in un diverso ordine per implementare altre funzioni logiche.

Il numero massimo dei sensori collegati in serie dipende dalla tensione, dalle cadute di tensione all'uscita dei sensori e dai parametri di carico. La tensione di alimentazione, meno le cadute di tensione, deve essere maggiore della tensione minima di lavoro per il carico collegato.

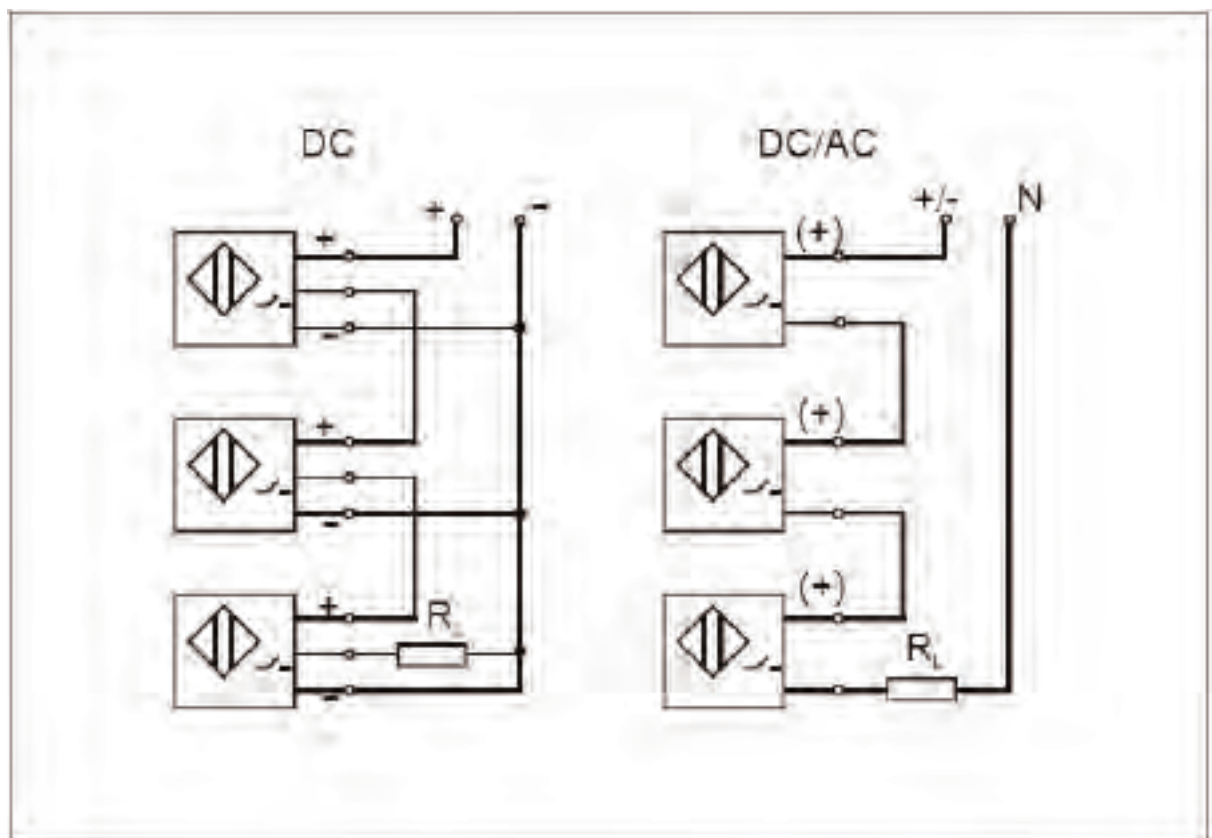


Figura 1.11: Collegamento di sensori in serie (funzione logica E)

La funzione logica OR garantisce il segnale d'uscita di un gruppo di sensori se il segnale d'uscita di almeno un sensore è ON. La funzione viene realizzata da sensori collegati in parallelo (figura 1.12).

Il numero di sensori collegati in parallelo ad alimentazione di corrente continua non è limitato. Anzi, si possono collegare decine di sensori in parallelo, indipendentemente dalla funzione d'uscita.

Se i sensori vengono collegati in parallelo si sommano le correnti che circolano nel circuito anche se tutti i sensori sono spenti (a causa del collegamento comune con la resistenza). Questo effetto può disturbare la funzione.

Perciò due sensori con due conduttori non dovrebbero essere collegati in parallelo. La somma massima dei sensori collegati dipende dalla somma di questi correnti e la resistenza.

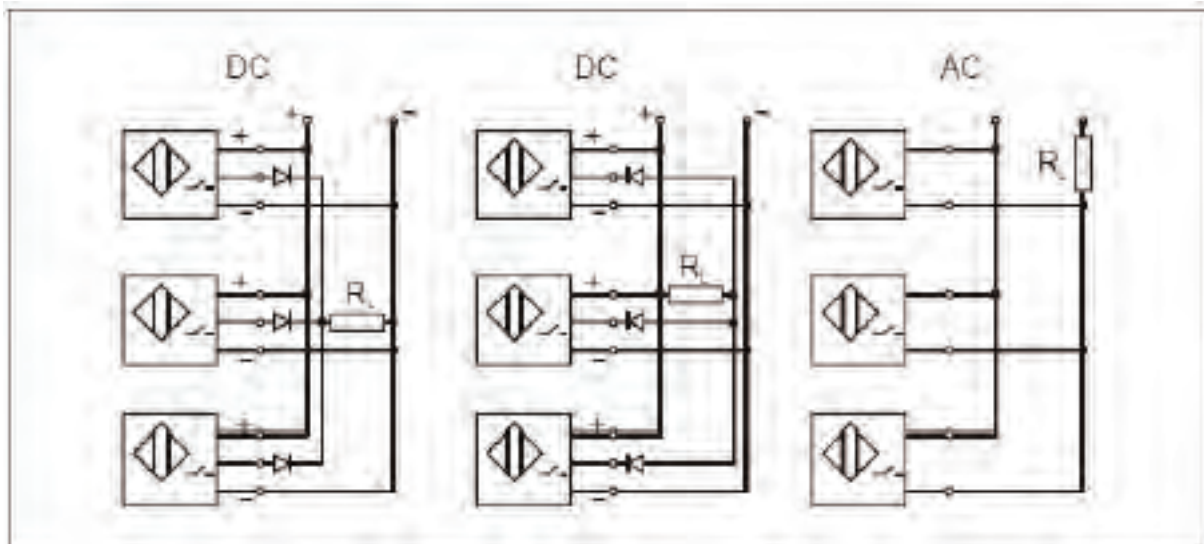


Figura 1.12: Collegamento in parallelo dei sensori (funzione logica O)

1.10 Protezione dei sensori

I sensori possono essere protetti da eventuali errori di installazione o di avaria durante l'uso. I sistemi di protezione proteggono i circuiti interni dei sensori da:

- un'inversione del collegamento della tensione di alimentazione
- un cortocircuito in uscita
- impulsi brevi della tensione di alimentazione
- un superamento dell'intensità di corrente permessa.

Un cortocircuito non distrugge i sensori alimentati con corrente continua anche se hanno luogo più volte per un tempo prolungato durante il quale non funzionano soltanto i diodi del sensore. Dopo il cortocircuito il sensore funziona normalmente.

Se la tensione può danneggiare i sensori con supporti di metallo è necessaria una messa a terra aggiuntiva.

Se un sensore è collegato in serie con il carico circola ancora una corrente nel circuito anche quando il sensore è spento (figura 1.13). Ciò può danneggiare il sensore o causare un segnale OFF permanente. Per evitare questo effetto deve essere collegata una resistenza aggiuntiva R_p in parallelo. Il valore di R_p e la potenza corrispondente P possono essere calcolate come segue:

$$R_p = U / I_{\min} \quad P = U^2 / R_p$$

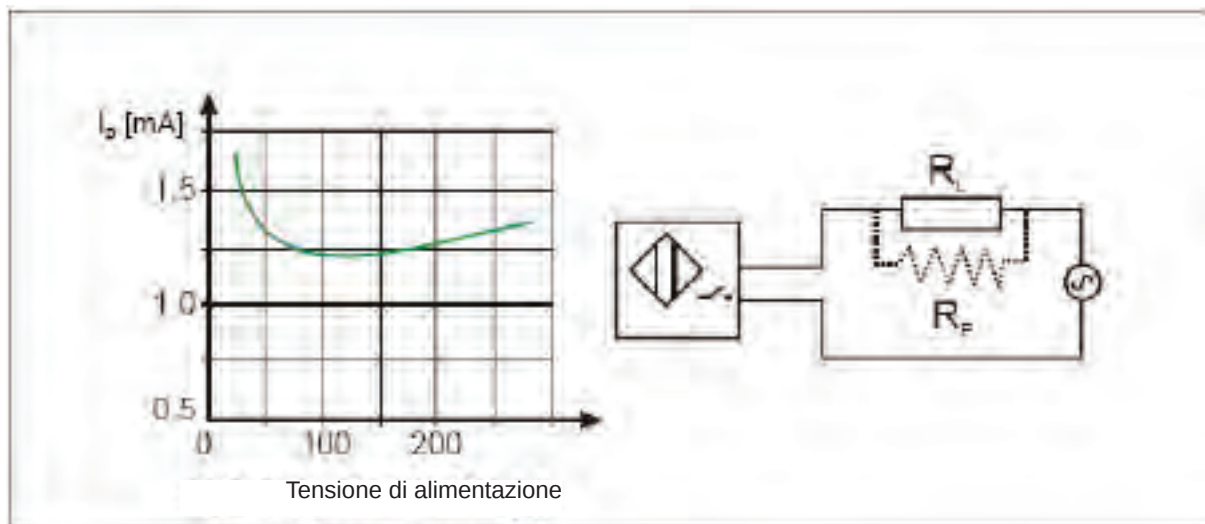


Figura 1.13: Perdita di corrente I_p in un circuito con sensore induttivo alimentato con corrente alternata

1.11 Collegamento dei sensori ad una rete di comunicazione

Le reti di comunicazione sono la soluzione più moderna per il collegamento fra sensori e gli elementi di controllo. I tipi classici vengono sostituiti da reti di comunicazione per evitare le distanze di connessione.

Questo concetto si basa su due elementi che raccolgono segnali di sensori e gli mandano all'unità centrale (hubs). Grazie a questa soluzione si può:

- abbassare i costi in maniera significativa,
- aumentare la distanza tra sensore e la base di controllo,
- spedire i dati della taratura del sensore.

Le reti aperte vengono utilizzate nella maggioranza dei casi, perché rendono possibile lo scambio di informazioni tra elementi di diversi produttori. Le informazioni vengono scambiate secondo i protocolli di comunicazione standard (ethernet, bus, devicenet, modbus, CAN, AS-I).

Grazie alle reti una parte del segnale viene elaborata a basso livello (più vicino al processo).

Gli elementi basilari della rete sono moduli d'entrata / d'uscita (I/O) con diverse interfacce. Un modulo ha un indirizzo di rete e permette una trasmissione di dati molto rapida. Questo è molto importante a livello dei sensori, dove è necessaria una elaborazione dei dati in quanto sono stretti i tempi di decisione.

sensori dove hanno luogo un'elaborazione complicata dei dati e si giunge rapidamente a decisioni.

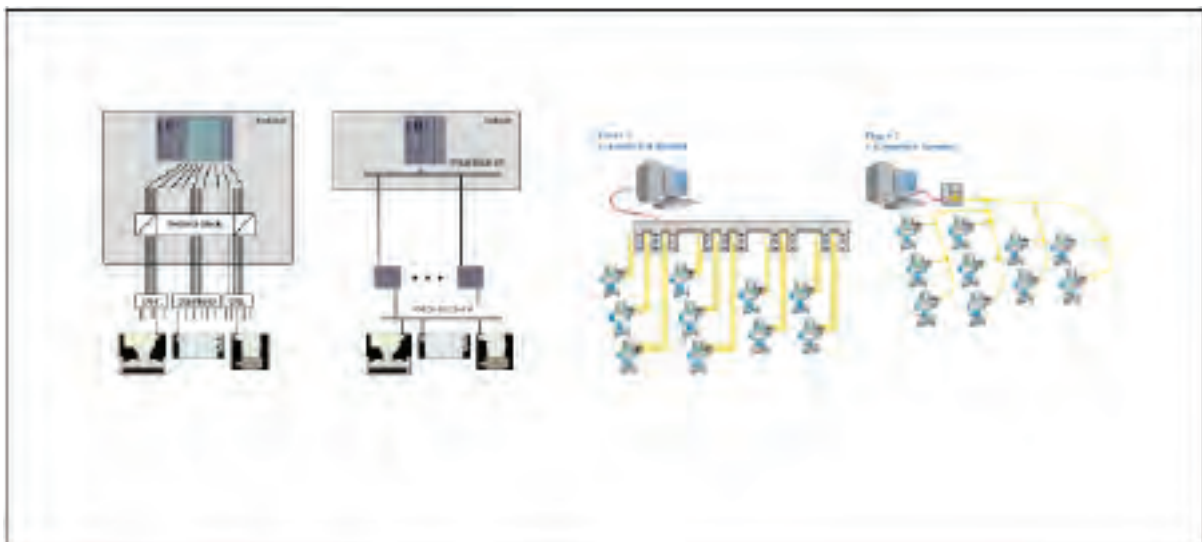
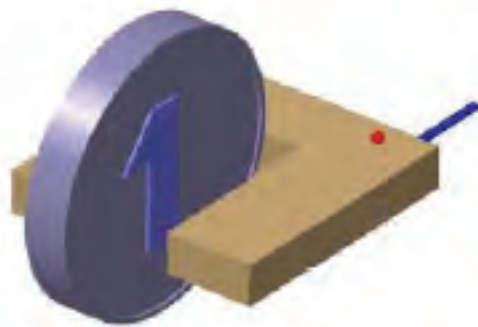
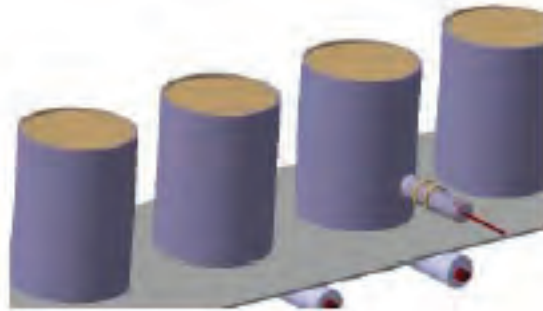


Figura 1.14: Sistema di comunicazione con e senza bus

1.12 Applicazioni



2 Sensori capacitivi

2.1 Introduzione

I sensori capacitivi usano un campo elettrico per riconoscere oggetti nella loro raggio d'azione. Possono riconoscere sia oggetti di metallo sia oggetti (p.es. di plastica) che non conducono corrente. Un sensore capacitivo può riconoscere un oggetto che si trova dietro uno strato non conduttore. Perciò viene utilizzato per rilevare un fluido o un granulato in un contenitore. I sensori capacitivi generano un segnale che è proporzionale alla distanza tra l'oggetto e il sensore. Il raggio d'azione di un sensore capacitivo è 30 mm (60 mm per costruzioni speciali).

Il segnale d'uscita dei sensori capacitivi diventa ON se viene rilevato un oggetto di metallo o un dielettrico nel campo elettrico del sensore.

Un sensore capacitivo contiene una testa con elettrodi, un potenziometro, un oscillatore, un circuito di rilevamento e un sistema d'uscita (figura 2.1). Due elettrodi di metallo che formano un condensatore aperto sono gli elementi attivi del sensore capacitivo. Se un oggetto si avvicina al sensore ne modifica la capacità. Il segnale di uscita dipende dalla capacità totale che è la somma della capacità ordinaria del sensore e della variazione di capacità generata dall'oggetto rilevato.

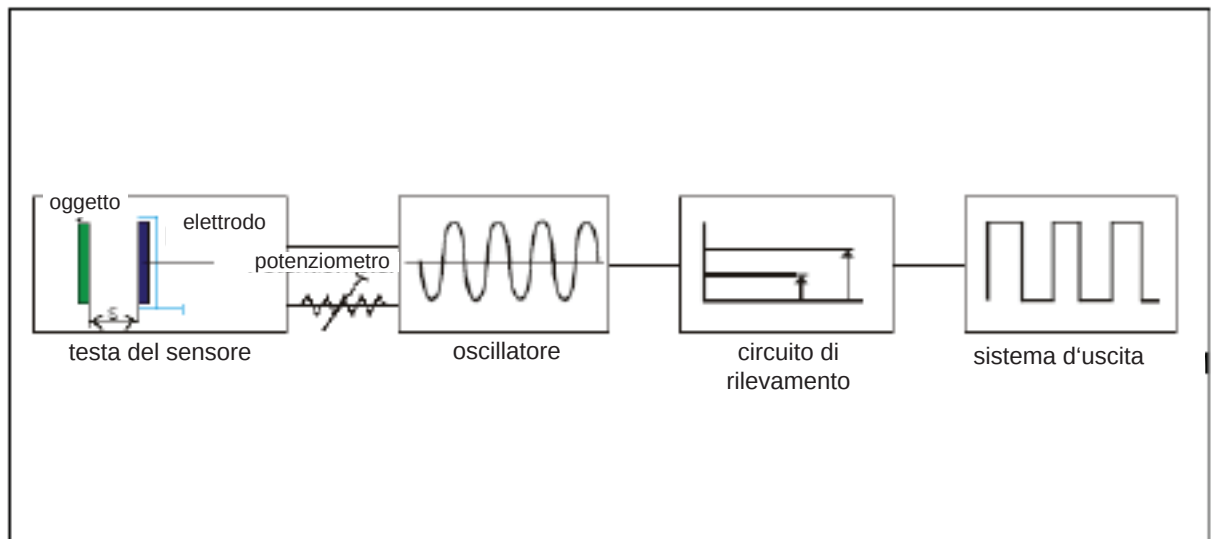


Figura 2.1: Costruzione di un sensore capacitivo

2.2 Funzionamento del sensore capacitivo

L'elettrodo esterno B deve essere un anello e l'elettrodo A deve essere un cilindro in modo da generare un campo elettrico simmetrico (figura 2.4). L'oggetto rilevato funziona come un elettrodo intermedio C. La superficie esterna dell'anello B è la superficie attiva del sensore. Più è lontano l'oggetto rilevato dal sensore minore è la capacità del sensore.

La struttura della capacità dipende dal tipo di oggetto da individuare e dal suo collegamento a terra.

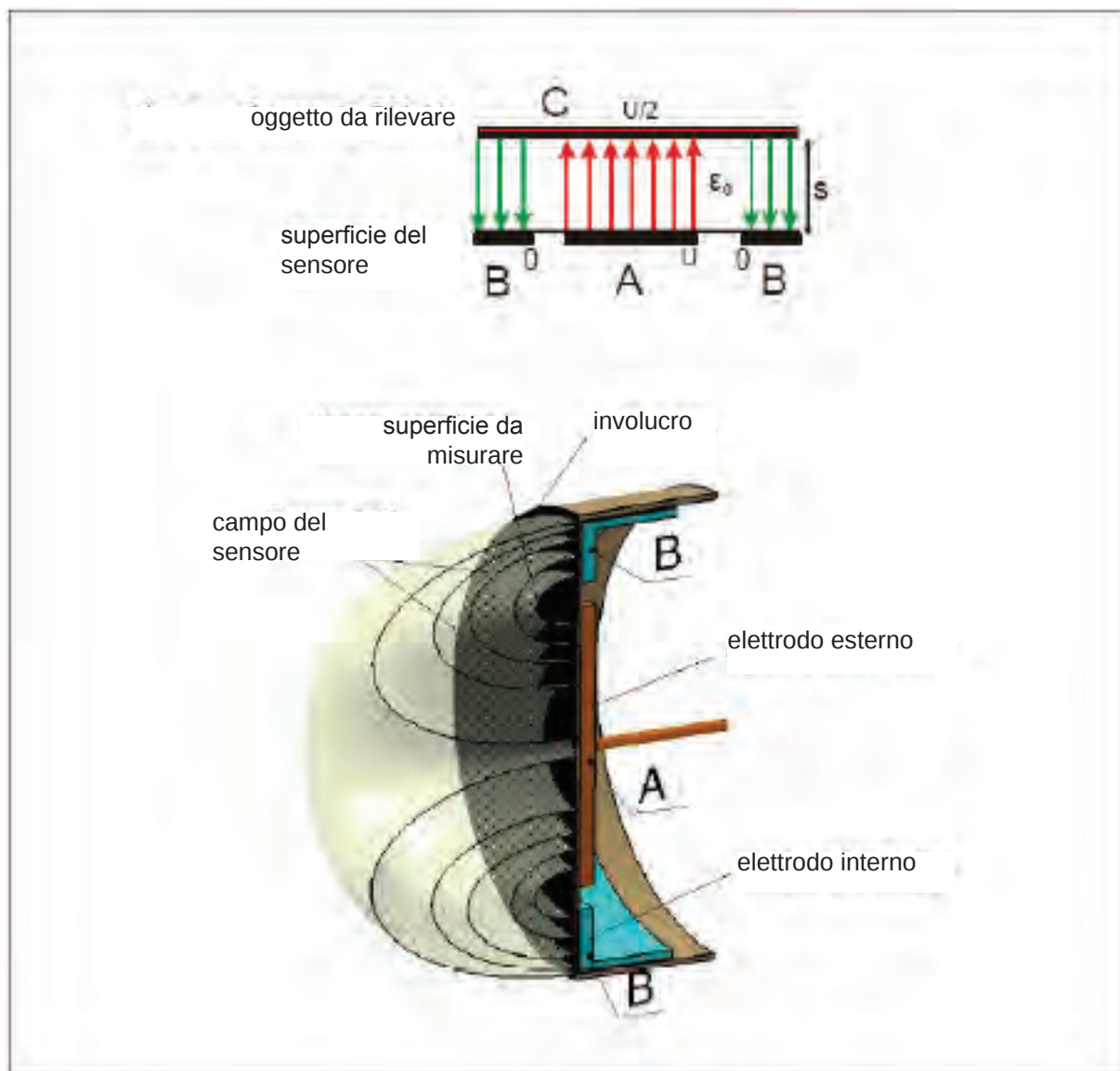


Figura 2.2: Il campo elettrico del sensore capacitivo

Gli oggetti isolanti (di plastica, carta o vetro) aumentano la capacità propria del sensore perché le loro costanti dielettriche sono più grandi di quella dell'aria. L'aumento di capacità dipende dalla costante dielettrica dell'oggetto, ma è bassa. Perciò anche il raggio d'azione del sensore è ridotta.

Gli oggetti conduttori senza collegamento a massa formano due condensatori aggiuntivi (tra l'oggetto e l'elettrodo interno e tra l'oggetto e elettrodo esterno) in serie. Il raggio d'azione del sensore in questo caso è maggiore .

Se l'oggetto da individuare è un conduttore con collegamento a terra la capacità propria del sensore si collega in parallelo con la capacità aggiuntiva (tra l'oggetto e l'elettrodo). Il raggio d'azione del sensore in questo caso è maggiore .

Le elettrodi A e B sono collegati con un oscillatore ad alta frequenza (figura 2.1). In assenza di oggetti nel campo elettrico del sensore l'oscillatore non lavora. Se un oggetto entra in questo campo la capacità tra gli elettrodi A e B aumenta e viene acceso l'oscillatore. Il raddrizzatore analizza l'ampiezza delle oscillazioni e genera un segnale per il sistema di commutazione. Tra l'oscillatore e l'elettrodo si trova un potenziometro con cui può essere indicato il livello d'attivazione dell' oscillatore.

La distanza tra l'oggetto e il sensore di cui cambia lo stato di uscita, viene chiamato raggio d'azione nominale del sensore S_n (figura 2.3). Questo valore viene misurato per una piastra quadrata di acciaio FE360 con collegamento a terra. La sua larghezza deve essere uguale al diametro del sensore o tre volte S_n (se è maggiore) e il suo spessore deve essere pari a 1 mm.

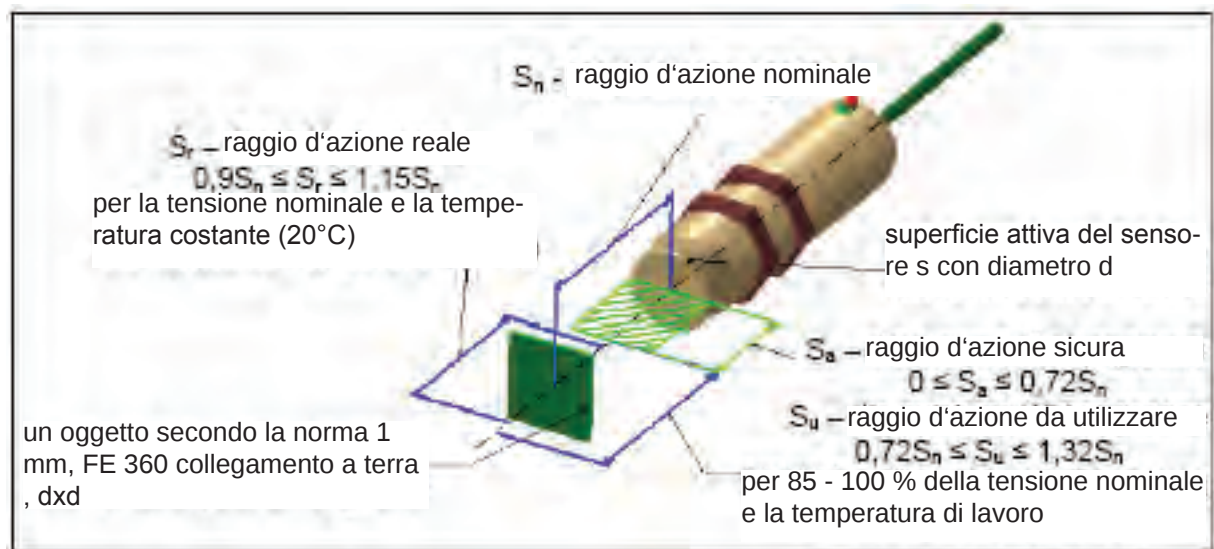


Figura 2.3: Definizioni dei raggi d'azione di un sensore capacitivo

2.3 Tipologie di sensori capacitivi

I sensori capacitivi normalmente hanno la forma di un cilindro o di parallelepipedo. La loro parte attiva del sensore si trova alla sua estremità. Ci sono due tipi di sensori cilindrici. I sensori del primo tipo sono schermati ed hanno la zona attiva all'estremità. Sono ricoperti in superficie da metallo o plastica. I sensori del secondo tipo non sono schermati ed hanno la zona attiva ad una piccola distanza dalla superficie cilindrica del sensore. Questi sensori vengono utilizzati se hanno contatto con il mezzo da individuare (fluido o granulato). Hanno un raggio d'azione il 50% maggiore perché il loro campo elettrico è maggiore. Ci sono anche sensori speciali come quelli elastici che possono essere applicati sia a una superfici piate che curve.

Nell'installazione di più sensori capacitivi è necessario seguire le regole rappresentate in figura 2.4 per evitare reciproche interazioni indesiderate e interferenze esterne.

Circuiti di di connessione esterna e i comandi di accensione dei sensori capacitivi sono simili a quelli dei sensori induttivi. I sensori capacitivi possono avere due, tre o quattro elementi ed essere alimentati sia da corrente continua che alternata.

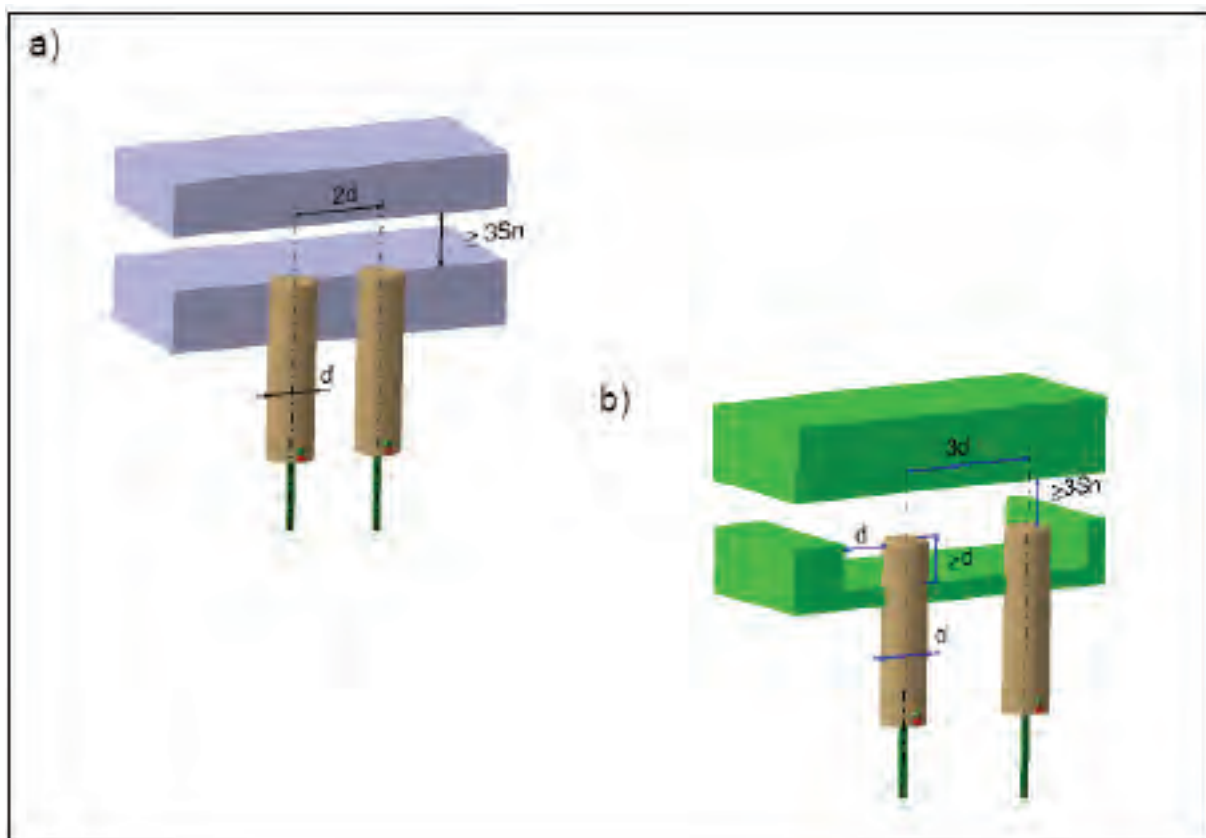


Figura 2.4: Procedimenti di montaggio di sensori a) di superficie, b) capacitivi, non di superficie

2.4 Tipologie di materiale dell'oggetto da rilevare

Il raggio d'azione del sensore capacitivo può variare notevolmente. Dipende dal materiale e dalla messa a terra dell'oggetto da individuare. I materiali conduttori hanno il raggio d'azione maggiore.

Se l'oggetto è prodotto con materiale conduttore, il tipo di materiale non influenza il raggio d'azione del sensore. Se l'oggetto è prodotto con materiale isolante il raggio d'azione del sensore dipende dalla sua costante dielettrica. Maggiore è la costante dielettrica, maggiore è il raggio d'azione.

La distanza tra un oggetto di materiale organico (p.es. legno) e il sensore, di cui cambia il segnale d'uscita, dipende notevolmente dalla percentuale d'acqua contenuta nell'oggetto in quanto la costante dielettrica dell'acqua è molto elevata ($\epsilon_{\text{acqua}} = 80$).

Il raggio d'azione nominale S_n viene indicato nei cataloghi e misurato per un oggetto metallico standardizzato. S_n va moltiplicato per il coefficiente del materiale dell'oggetto da individuare per individuare il raggio d'azione reale

Zona reale dell'influenza = $S_n \times$ coefficiente di correzione

materiale	coefficiente di correzione
acciaio	1
acqua	1
legno	0,7
vetro	0,6
olio	0,4
PVC	0,4
PE	0,37
ceramica	0,3

Tabella 2.1: Coefficienti di correzione per diversi materiali

2.5 Compensazione dei disturbi

Un raddrizzatore contiene filtri d'interferenza che escludono l'influenza dei campi elettrici esterni se non sono troppo grandi. Però i filtri abbassano la frequenza massima di commutazione, cioè peggiorano la caratteristica dinamica del sensore.

Il sensore può reagire in maniera sbagliata se non perfettamente pulito o in presenza di condensa sulla superficie attiva del sensore. Un elettrodo di compensazione aggiuntivo, collegato all'uscita del sensore (figura 2.5), viene utilizzato per mantenere costante il raggio d'azione. Lo sporcamento aumenta la capacità tra l'elettrodo del sensore e lo schermo. La capacità tra l'elettrodo del sensore e l'elettrodo di compensazione genera nello stesso modo un accoppiamento di compensazione. Se un oggetto sottile (p.es. foglio di carta) viene in contatto con il sensore il segnale principale dell'elettrodo può essere neutralizzato dal disturbo e lo stato iniziale non viene commutato.

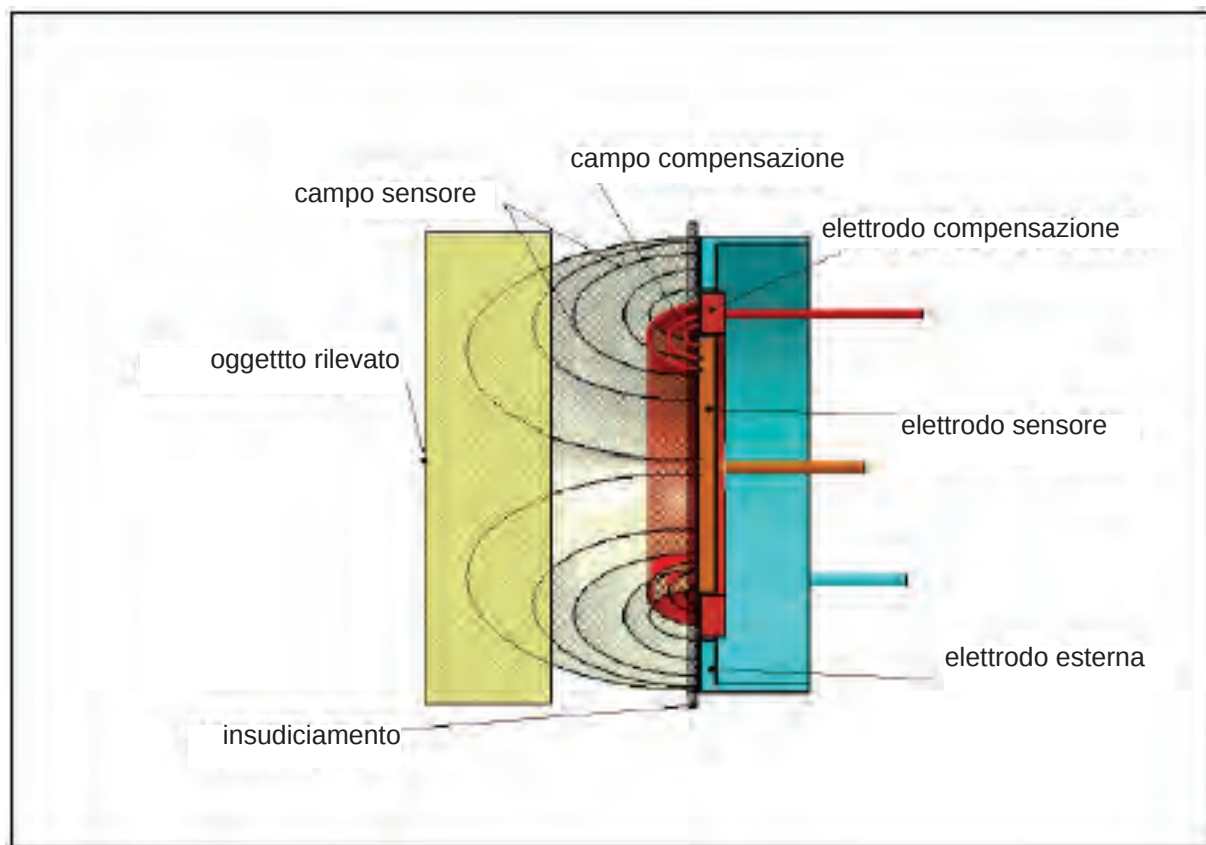


Figura 2.5: Sensore con elettrodo di compensazione aggiuntivo

2.6 Applicazioni

A causa delle loro caratteristiche e della loro semplice costruzione i sensori capacitivi vengono utilizzati spesso.

Possono:

- controllare il livello del fluido o del granulato in un magazzino
- contare oggetti conduttori e non conduttori
- rilevare imballaggi vuoti
- rilevare danni all'oggetto.

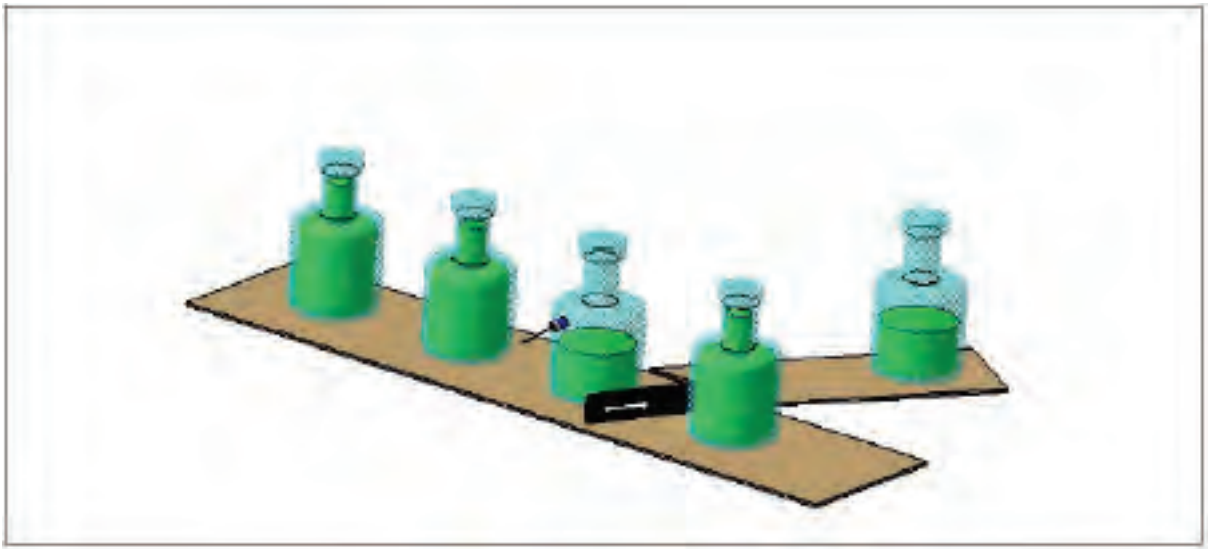


Figura 2.6: Individuare e togliere bottiglie non piene

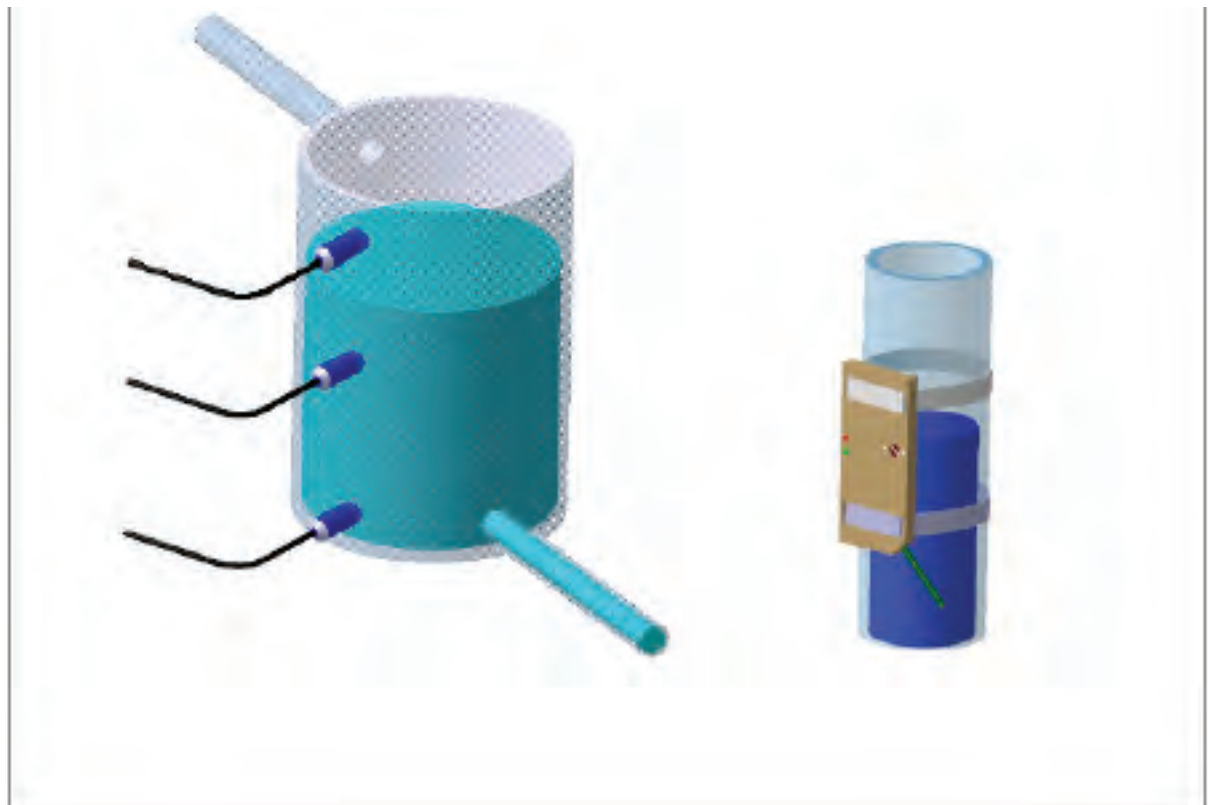


Figura 2.7: Contare contenitori di vetro o di metallo

3 Sensori ad ultrasuoni

3.1 Informazioni di base

I sensori ad ultrasuoni vengono utilizzati per individuare gli oggetti indipendentemente dal colore o dal materiale e per controllare l'altezza di un fluido colorato o non colorato. Vengono utilizzati in ambienti polverosi dove i sensori ottici non possono essere utilizzati. I sensori ad ultrasuoni generano un ultrasuono e misurano l'arco di tempo tra l'invio del segnale e la ricezione dell'eco. Questo arco di tempo è proporzionale alla distanza fra oggetto e sensore. La frequenza di scansione del segnale d'uscita è, paragonata con quella di sensori di rivelatore, abbastanza bassa (di alcune fino a 100 Hz).

Il convertitore ultrasonico genera un'onda acustica, la cui frequenza è molto più alta di 20 kHz.

A causa dell'alta frequenza di lavoro del convertitore i sensori ad ultrasuoni non sono sensibili all'influenza di suoni nell'ambiente.

Un sensore ultrasonico contiene un generatore ad alta tensione, un convertitore piezoelettrico nella testa del sensore, un sistema per l'elaborazione del segnali e un sistema d'uscita (figura 3.1).

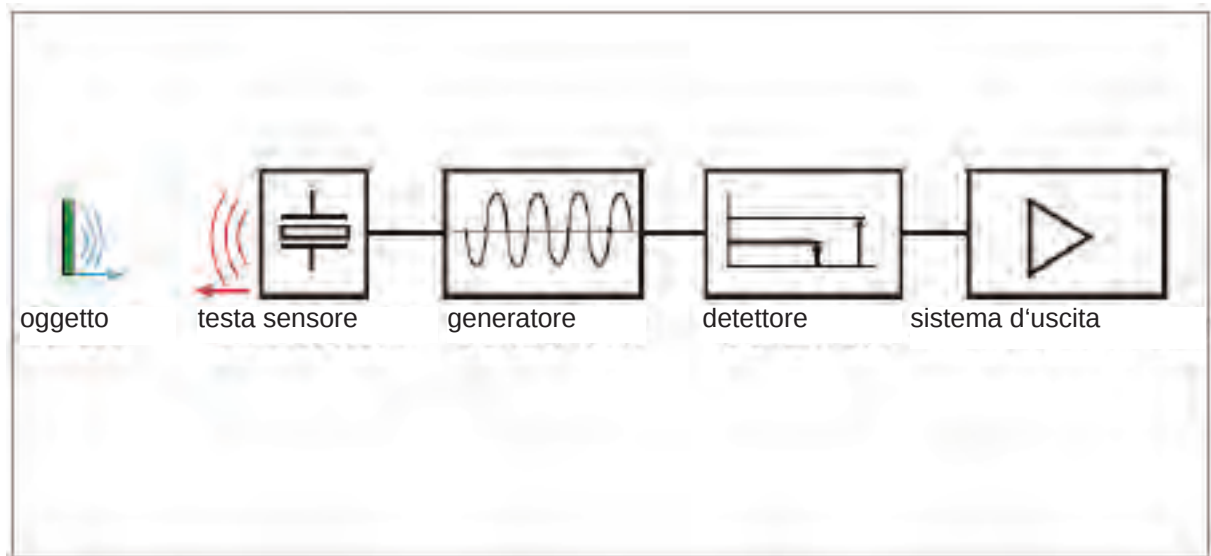


Figura 3.1: Costruzione di un sensore ultrasonico

3.2 Influenza dell'ambiente

La velocità, la diffusione e la lunghezza dell'onda acustica dipendono anche dall'ambiente. Se cambiano le caratteristiche fisiche dell'ambiente (aria), cambia anche la precisione della misurazione della distanza. Queste caratteristiche sono:

Temperatura: I cambiamenti di temperatura causano un cambiamento della velocità del suono ($0,17 \text{ \% /K}$) (figura 3.2). La maggior parte dei sensori contiene nell'interno un condensatore di temperatura elettronico che spesso elimina tale inconveniente (in 2 di 3 casi).

Pressione: Se cambia la pressione dell'aria di $\pm 5\%$ cambia anche la velocità dell'onda acustica di $0,6 \text{ \%}$.

Umidità: Se l'umidità cresce aumenta anche la velocità dell'onda acustica (al massimo per $2 \text{ \%}$).

Correnti d'aria: l'influenza delle correnti d'aria dipende dalla loro direzione e intensità. I venti forti con una velocità superiore ai 50 km/h che si propagano nella stessa direzione delle onde acustiche, possono cambiarne notevolmente la velocità. I venti che si muovono perpendicolarmente alla direzione delle onde acustiche ne alterano la direzione in modo indesiderato.

Inquinamento: Un forte inquinamento dell'aria causa l'inquinamento dell'emittente di onde ultrasoniche e può abbassare così il raggio d'azione del sensore per 30% .

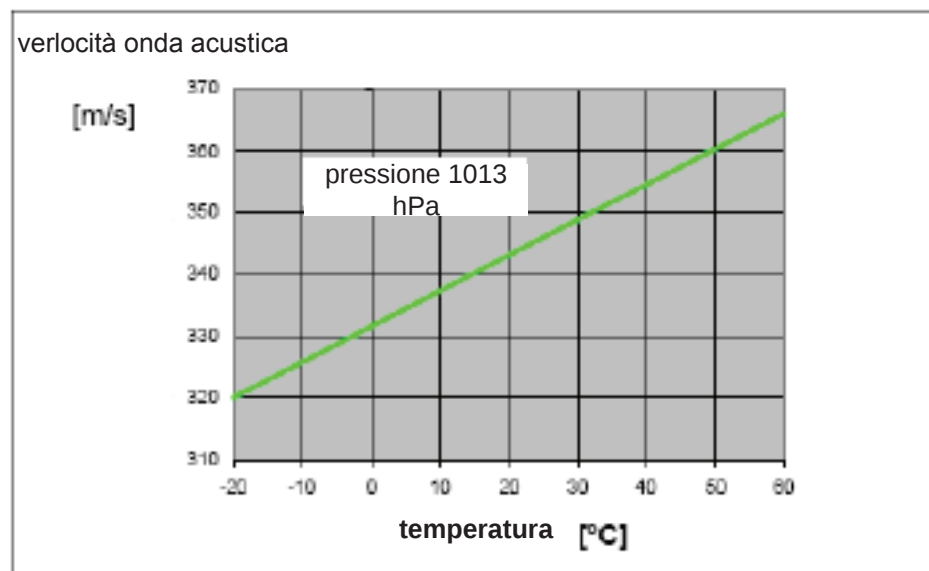


Figura 3.2: Rapporto tra velocità di onde acustiche e temperatura

3.2.4 Generazione di onde acustiche

La maggior parte delle onde acustiche viene generato da convertitori piezoelettrici. L'effetto piezoelettrico consiste in cariche elettriche generate a causa di una tensione meccanica.

Alcuni cristalli (solfato di litio, quarzo) hanno le caratteristiche piezoelettriche perché la loro rete di cristalli ha una forma elicoidale. Questo effetto è reversibile, cioè un convertitore può essere deformato con una tensione.

Le oscillazioni del convertitore cautilizzate da cambiamenti della tensione vengono trasmesse alle molecole di un materiale o mezzo (p.es. aria) e viene generata un'onda acustica. Viceversa, se vengono trasmesse le oscillazioni di molecole al convertitore, le deformazioni del convertitore causano lo sviluppo di cariche elettriche sulla superficie dei convertitori. Perciò un convertitore piezoelettrico può essere utilizzato come generatore e ricevitore delle onde acustiche (figura 3.3).

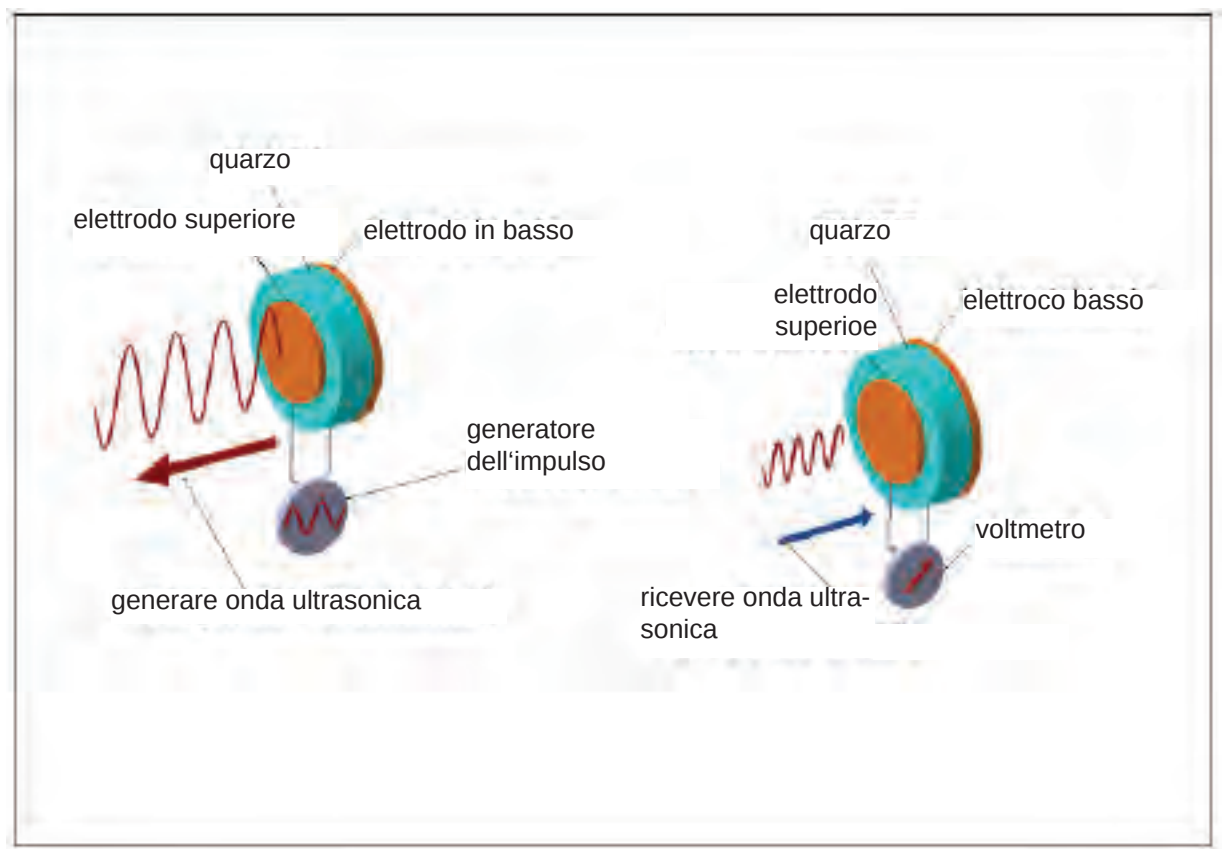


Figura 3.3: Generatore e ricevitore dell'onda acustica

L'area di propagazione di un'onda ultrasonica è in alto grado diffusa (figura 3.4a). La maggiore energia del suono si trova vicino all'asse del sensore. Se l'energia del suono nella zona grigia non basta per un lavoro giusto del sensore soltanto il cono del suono con l'angolo α bisogna utilizzare durante la misurazione (figura 3.4b). L'energia dell'onda ultrasonica nell'intervallo giallo è maggiore del 50% dell'energia vicino all'asse del sensore.

Se si conosce la distanza X tra l'oggetto e il sensore può essere calcolato il diametro del cono del suono D vicino all'oggetto come segue:

$$D = 2 \cdot X \cdot \tan(\alpha/2)$$

X – distanza tra l'oggetto e il sensore

α – angolo del cono sonoro

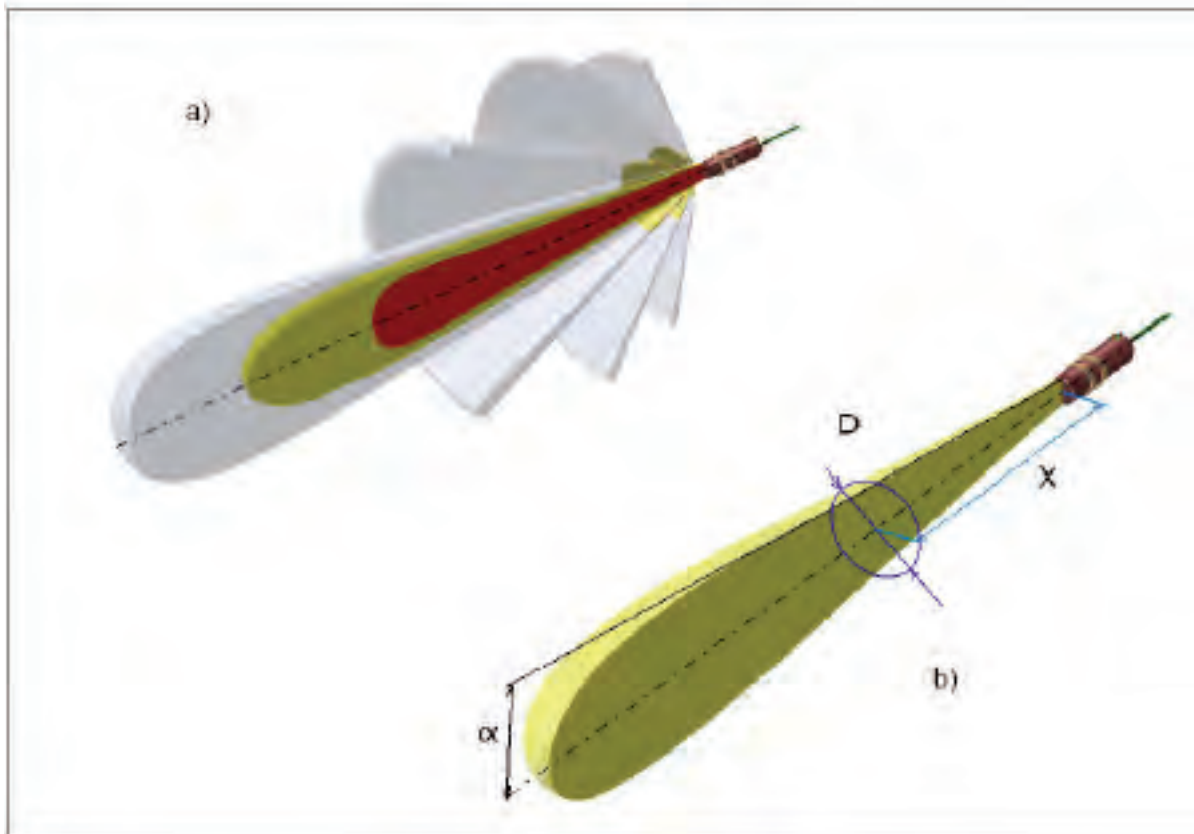


Figura 3.4: Onda ultrasonica: a) diametro lungo il sensore, b) il cono sonoro da utilizzare

L'angolo del cono del suono può essere adattato ai bisogni ed ha una ampiezza di alcuni gradi fino ad alcune decine di gradi. Sia l'angolo sia la forma dell'onda sonora dipendono da grandezza, forma e frequenza della superficie del convertitore vibrante.

3.4 Principio di funzionamento dei sensori a ultrasuoni

Ci sono due funzionamenti tipici di sensori ad ultrasuoni: il procedimento che si basa sulla diffusione (diffuse sensor) e il procedimento che si basa sul transito (sensori a sbarramento). La riflessione della diffusione viene utilizzata più frequentemente. Il sensore riceve l'onda sonora riflessa dall'oggetto come eco. Secondo il tipo di uscita, la distanza fissata sulla base della misurazione del tempo viene trasformata in un segnale analogico di corrente o di tensione (ON/ OFF). Se l'oggetto si trova al di fuori del raggio d'azione del sensore il sistema iniziale torna allo stato precedente. La misurazione ultrasonica ha due fasi (figura 3.5):

- invio dell'onda ultrasonica del convertitore in direzione dell'oggetto
- invio dell'onda ultrasonica (eco) dall'oggetto individuato in direzione del convertitore.

Nei sensori a diffusione entrambe le funzioni vengono realizzate da un convertitore piezoelettrico.

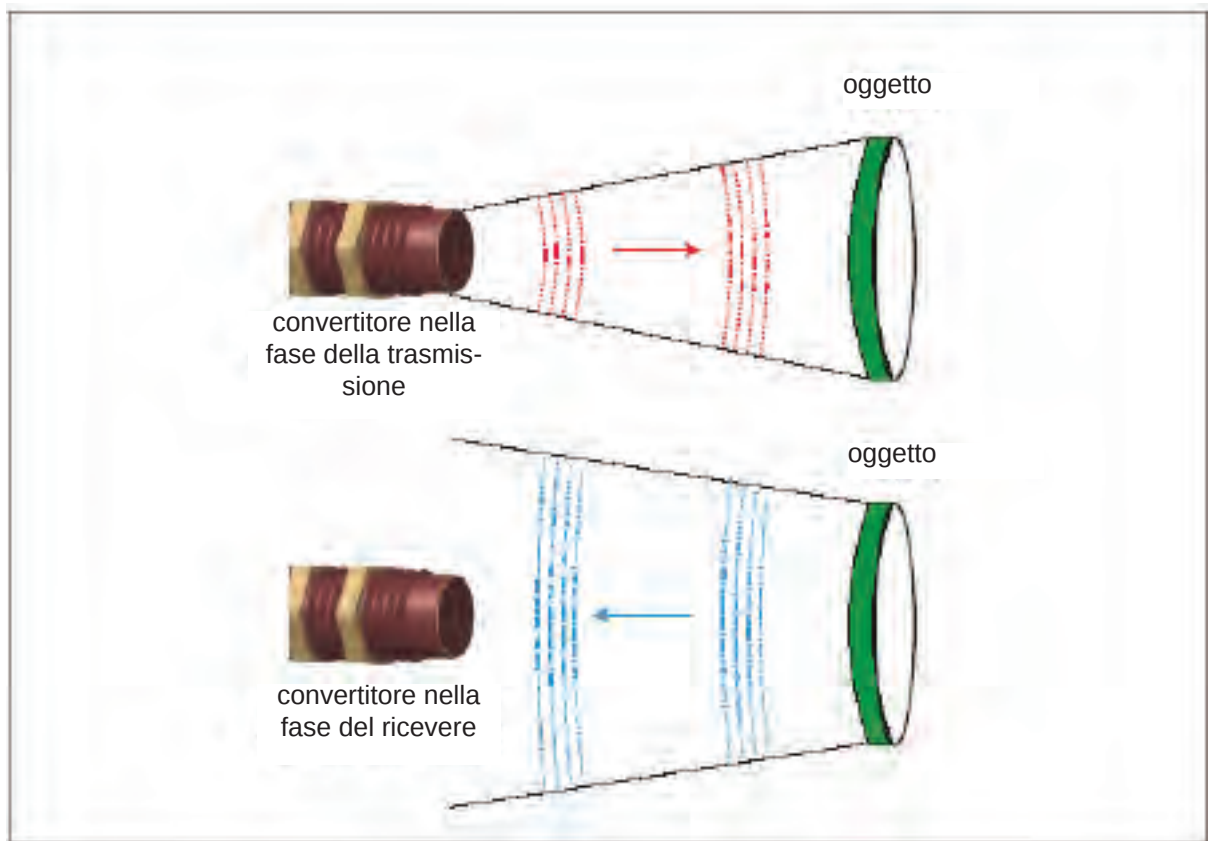


Figura 3.5: Le fasi di misurazione dell'ultrasuono

Maggiore è lo spessore dell'oggetto individuato più alta è la sensibilità del sensore visto che viene riflessa una parte maggiore di onda sonora. Perciò vengono individuati soprattutto oggetti con un alto coefficiente di riflessione del suono (corpi solidi, fluidi, granulati).

I sensori a diffusione generano impulsi di suono ciclici. La loro frequenza è di alcune decine di Hz. L'arco di tempo tra l'emissione dell'impulso del suono e la ricezione dell'eco riflesso è proporzionale alla distanza effettiva tra l'oggetto e il sensore. Se un convertitore genera e riceve le onde sonore, la durata dell'impulso T_i deve essere molto più breve che il tempo di ritorno T_e (figura 3.6). Il sensore aspetta l'eco tra un impulso inviato e il successivo. In tal modo può essere calcolata la distanza tra l'oggetto e il sensore. La presenza dell'eco è giustificata dalla presenza di un oggetto nel raggio d'azione del sensore. Il segnale d'uscita viene poi commutato.

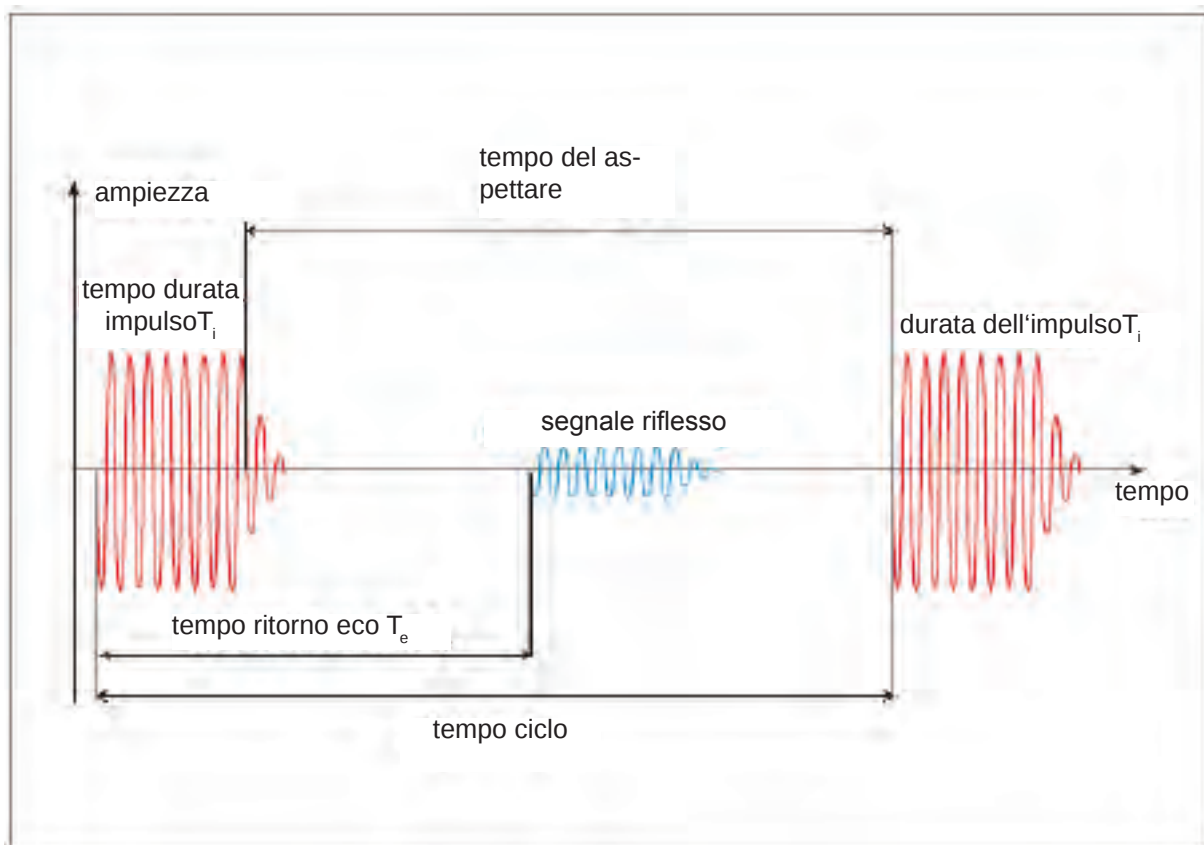


Figura 3.6: Ciclo lavorativo del sensore ultrasonico

I sensori ad ultrasuoni di diffusione contengono un convertitore elettronico speciale che genera e riceve un'onda acustica d'impulso in un intervallo di tempo che va da alcuni microsecondi fino a un milisecondo. Il convertitore genera un certo numero d'impulsi ad ultrasuoni e aspetta il loro ritorno. Il segnale originale OFF viene trasformato in ON se si trova una superficie che riflette il suono nel raggio d'azione del sensore.

Il raggio d'azione massimo del sensore può essere limitato da un potenziometro adatto e così oggetti che superano questo limite non vengono più individuati (figura 3.7). Questa funzione si chiama 'eliminazione del rumore di fondo' (blanking out the background). Il raggio d'azione minimo può essere regolato soltanto in alcuni tipi di sensore. Se è così, la zona morta (nella quale gli oggetti non vengono individuati) e la zona attiva (nella quale gli oggetti vengono individuati) possono essere stabilite con precisione.

La zona morta si trova vicino al sensore dove gli oggetti non vengono individuati o dove l'individuazione non è credibile. La misura della zona morta dipende dal raggio d'azione del sensore. Più piccolo è il raggio di azione del sensore minore è la zona morta.

La zona morta esiste perché un convertitore ha due funzioni (generare e ricevere un'onda sonora). Il convertitore può ricevere un eco soltanto quando il impulso di suono è già stato mandato.

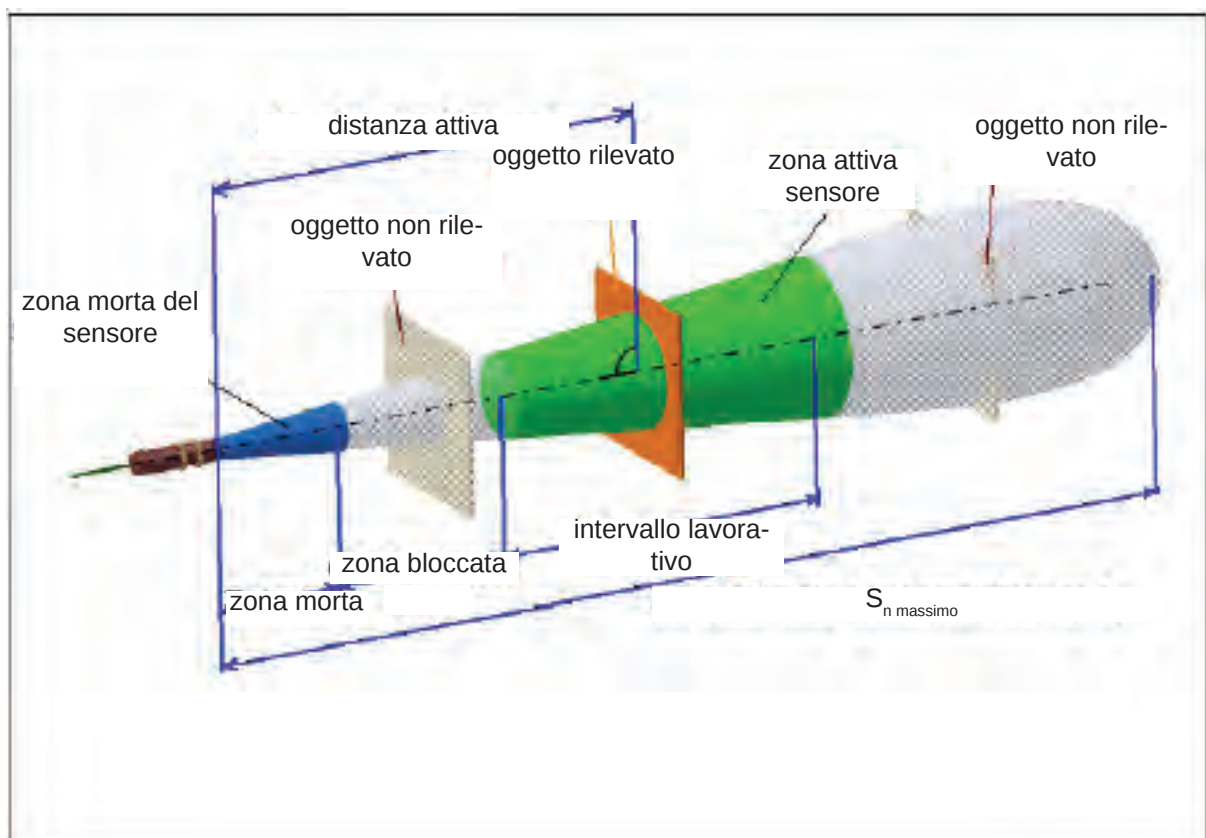


Figura 3.7: Definizioni di zone d'azione per un sensore ultrasonico

Una piastra quadrata di metallo avente 1 mm di spessore e che riflette le onde ultrasoniche viene utilizzata per definire il raggio d'azione del sensore Sn. La piastra va fissata in verticale rispetto all'asse dell'onda sonora. La sua grandezza dipende dal raggio di azione del sensore:

- larghezza della piastra = 10 mm x il raggio di azione del sensore < 300 mm
- larghezza della piastra = 100 mm x il raggio di azione > 800 mm

Altri oggetti non garantiscono che si raggiunga il raggio d'azione del sensore Sn indicato nei cataloghi durante la misurazione.

Valgono le seguenti regole:

- Minore è la frequenza del sensore maggiore è il raggio d'azione del sensore.
- Maggiore è la frequenza del lavoro minore è la sensibilità al ruore di fondo e più alta è la risoluzione della misura.

Il convertitore ultrasonico genera un'onda sonora in direzione del ricevitore che ha un supporto separato. Il segnale originale viene commutato se un oggetto interrompe l'onda sonora (figura 3.8). A differenza dei sensori a retroflettenti e a diffusione, il convertitore dei sensori ad ultrasuoni non genera un'onda continua. Dunque è assente la zona morta.

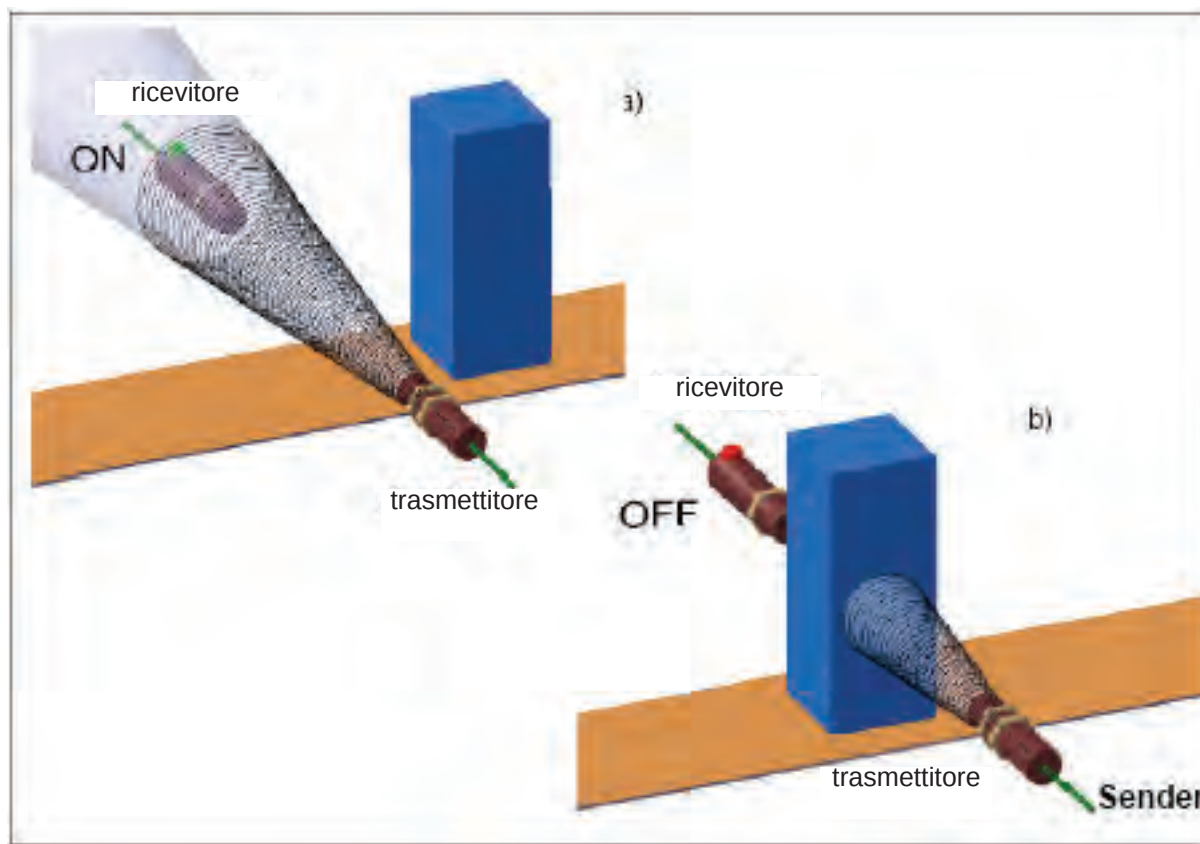


Figura 3.8: Segnale d'uscita del sensore di passaggio a) prima di rilevare l'oggetto, b) dopo aver rilevato l'oggetto

I sensori di passaggio vengono utilizzati soprattutto per individuare oggetti porosi dissipativi o fonoassorbenti, e oggetti con una forma complicata che non possono essere individuati dai sensori a diffusione.

Se un oggetto che riflette bene le onde sonore si trova nella posizione riportata in figura 3.9 non può essere individuato dal sensore a diffusione perché l'angolo fra l'onda riflessa e l'asse del sensore è troppo grande. Un tale oggetto interrompe l'onda sonora e può essere rilevato semplicemente da un sensore di passaggio.

La frequenza della commutazione del segnale d'uscita nei sensori di passaggio paragonata con i sensori a diffusione è maggiore e può arrivare fino a 200 Hz.

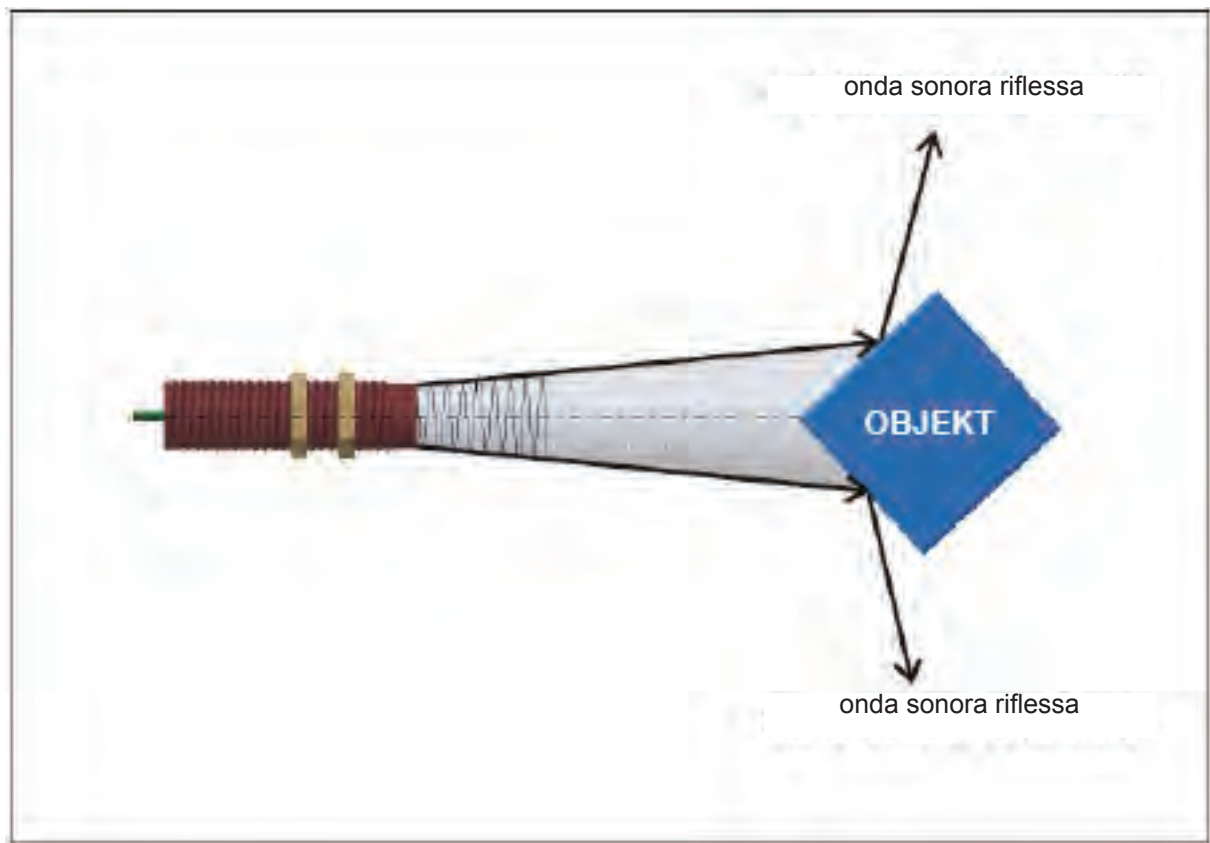


Figura 3.9: Oggetto che non viene rilevato da un sensore a diffusione e che viene rilevato invece da un sensore di transito

3.5 Fattori di disturbo

I seguenti fattori possono interferire con la funzionalità del sensore:

- Correnti d'aria che cambiano velocità o direzione dell'onda sonora in modo da rendere difficile l'individuazione di un oggetto o da compromettere la misurazione della distanza tra oggetto e sensore.
- Cambiamenti della pressione dell'aria di $\pm 5\%$ possono far variare il raggio d'azione del sensore di $\pm 0,6\%$.
- L'aumento della temperatura nel raggio d'azione del sensore può diminuire la velocità del suono e la durata dell'impulso come anche l'affidabilità della misurazione. Un aumento della temperatura o dell'umidità sotto-stima la distanza tra l'oggetto e il sensore. Le superfici di un oggetto a temperature maggiore riflettono meno le onde sonore. Se la temperatura aumenta di 20 K il raggio d'azione del sensore aumenta del 3,5 %.
- Isolatori di suono (cotone, gomma ecc.) che assorbono le onde sonore e diminuiscono la sensibilità del sensore. I sensori a diffusione non sono in grado di individuare tali oggetti.

I sensori ad ultrasuoni rilevano molto bene specialmente gli oggetti duri e bassi che si trovano perpendicolarmente all'asse del sensore. In tutti gli altri casi potrebbero verificarsi delle difficoltà di rilevamento da parte del sensore.

- Se l'angolo tra la superficie frontale dell'oggetto e l'asse del sensore non è di 90° , l'onda sonora riflessa non torna lungo l'asse del sensore. Perciò il raggio d'azione del sensore a diffusione è minore. Se il raggio d'azione è grande anche un oggetto ruotato di soli 3° non può essere rilevato. Se il raggio d'azione è piccolo un oggetto piccolo può essere ruotato addirittura di 10° .
- Se la forma dell'oggetto è tale che la direzione dell'onda riflessa è molto diversa da quella dell'onda generata, questo oggetto può essere individuato da un sensore di transito.

Il coefficiente di riflessione dei fluidi è uguale a quello dei solidi. Fluidi non turbolenti vengono individuati facilmente.

Se i sensori ad ultrasuoni vengono installati a piccola distanza l'uno dall'altro l'onda sonora generata da un sensore può raggiungere un altro sensore e commutare il suo segnale d'uscita. Per evitare tale mutua influenza vanno seguite le regole riportate in figura 3.10.

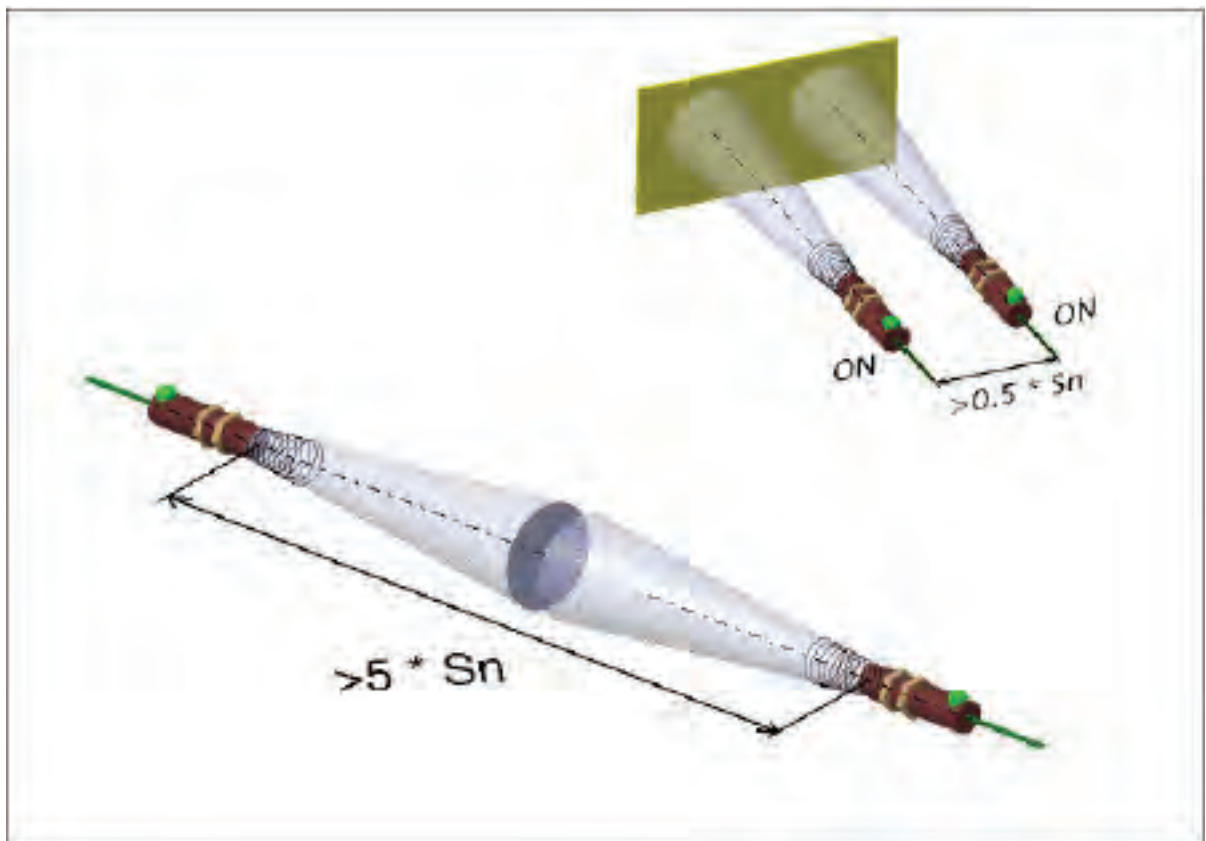


Figura 3.10: Distanze raccomandate fra sensori ad ultrasuoni attivi

3.6 Sincronizzazione dei sensori

Se più sensori vengono sincronizzati con un corretto collegamento fra le uscite, possono essere installati a piccola distanza l'uno dall'altro senza problemi di mutua interazione. La sincronizzazione è raccomandata nel caso in cui i sensori generano onde sonore nella stessa direzione e le onde si sovrappongono anche solo parzialmente. Il sensore B rappresentato in figura 3.11 riceve due echi (B1 e Ax). L'eco A1 raggiunge il sensore A più velocemente di quanto l'eco Ax non raggiunga il sensore B. A causa della sincronizzazione, i sensori reagiscono soltanto al primo eco A1 e viene evitata la mutua interazione delle onde acustiche. I sensori sincronizzati inviano i segnali nello stesso istante e funzionano come un sensore con un cono sonoro più grande orientato sullo stesso oggetto.

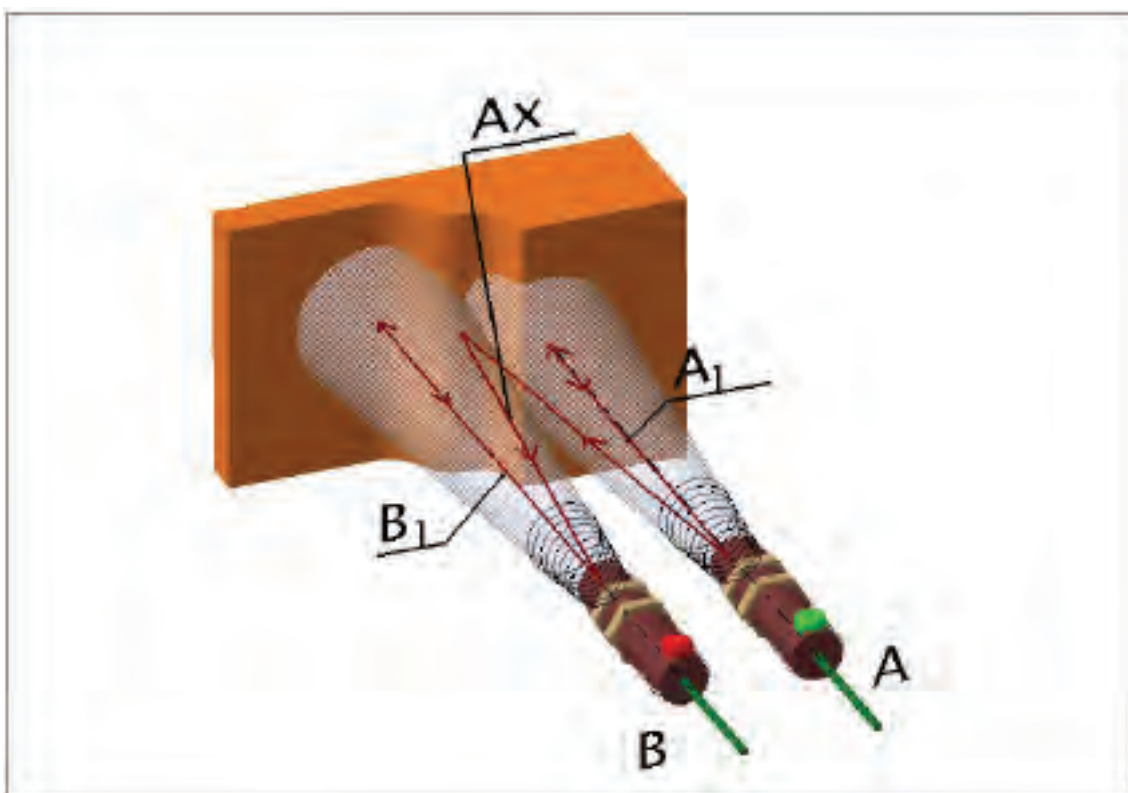


Figura 3.11: Sincronizzazione di sensori che sono adiacenti e catturare lo stesso oggetto

3.7 Speciali sensori ad ultrasuoni

3.7.1 Sensori retroriflettenti

I sensori retroriflettenti misurano la differenza tra il tempo di ritorno dell'onda sonora riflessa dall'oggetto e il tempo di ritorno dell'onda riflessa dal riflettore. Può essere utilizzata come riflettore una superficie qualsiasi. Se l'onda sonora riflessa dall'oggetto torna prima dell'onda riflessa il segnale d'uscita viene commutato.

I sensori retroriflettenti possono anche sfruttare le onde ultrasoniche riflesse da una superficie dura per rilevare un oggetto difficile da raggiungere (figura 3.12). Reagiscono sia su un'interruzione di quest'onda ma anche sull'eco di ritorno.

Questi sensori vengono utilizzati se un oggetto è prodotto da un isolatore di suono (cotone, gomma ecc.) o se la superficie frontale dell'oggetto e l'asse del sensore non sono ortogonali.

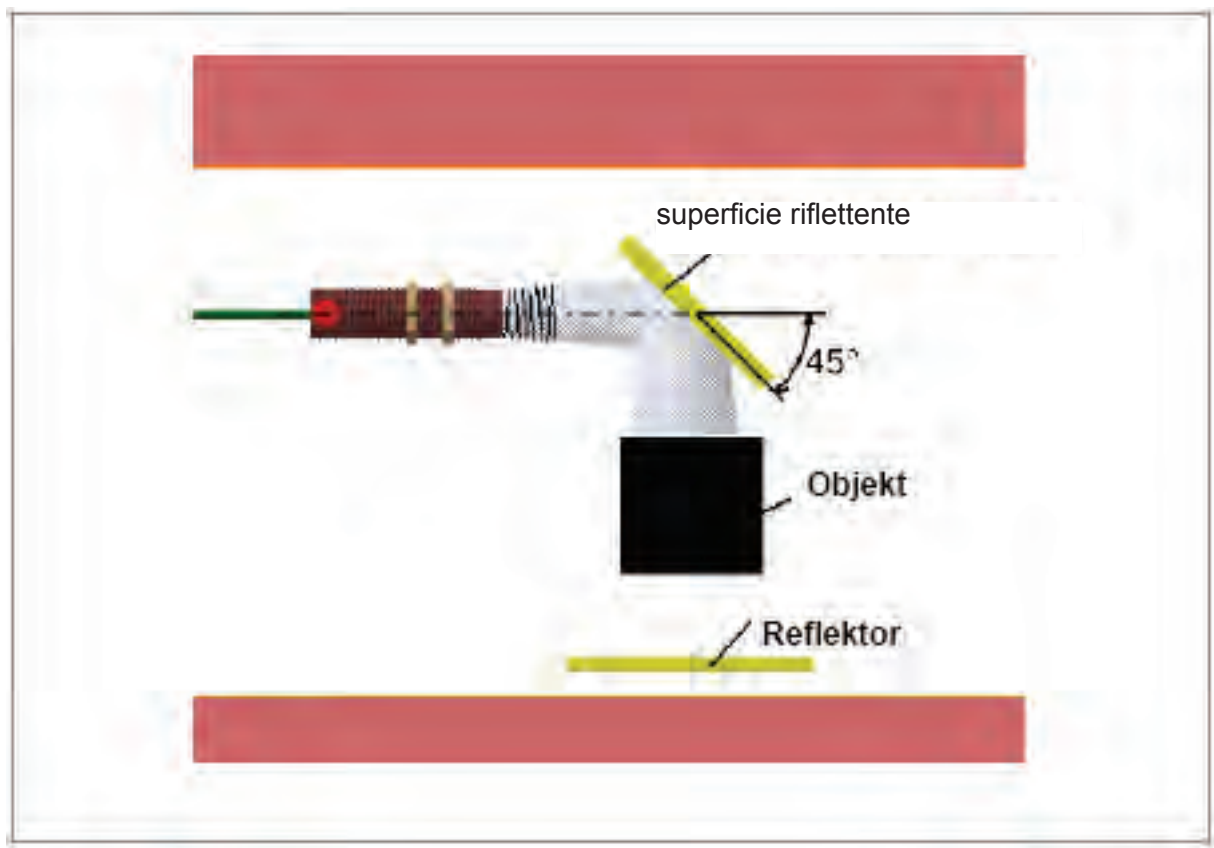


Figura 3.12: Sfruttare un'onda ultrasonica riflessa per rilevare un oggetto assorbente

3.7.2 Sensori a due convertitori

I sensori a due convertitori in un involucro possono lavorare sia con sensori a diffusione sia con sensori retroriflettenti con un riflettore (figura 3.13). Il primo convertitore è il trasmettitore e il secondo è il ricevitore dell'onda ultrasonica.

Un tale sensore rileva anche oggetti piccoli nelle strette vicinanze del sensore visto che il ricevente può lavorare contemporaneamente con il trasmettitore. I due convertitori vanno però sincronizzati.

Oggetti cilindrici possono essere individuati molto prima di oggetti bassi il cui eco riflesso potrebbe superare il raggio d'azione del sensore.

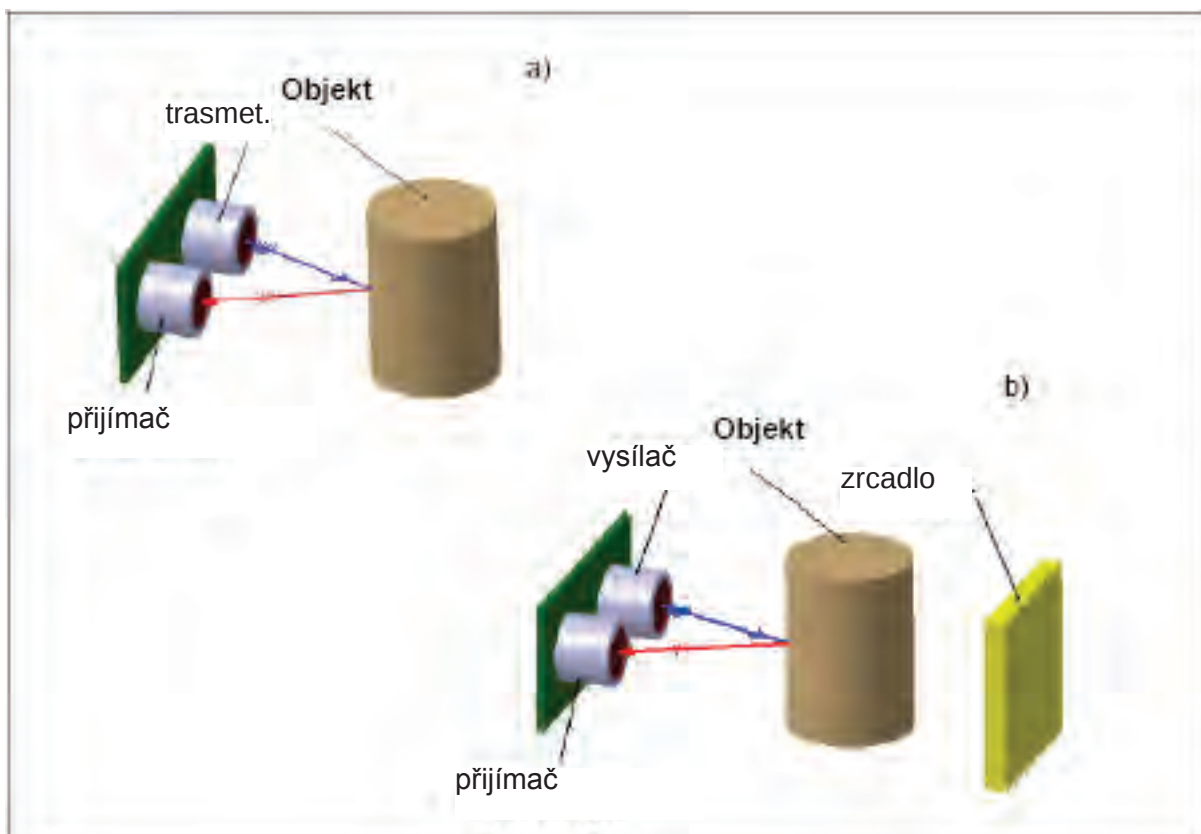


Figura 3.13: Individuare oggetti cilindrici e bassi

3.7.3 Sensori analogici ad ultrasuoni

La maggior parte di sensori ad ultrasuoni hanno sia un'uscita binaria che una analogica. Se si vuole misurare una distanza viene utilizzata l'uscita di tensione o l'uscita di corrente. La tensione o l'intensità di corrente è proporzionale alla distanza misurata (figura 3.14).

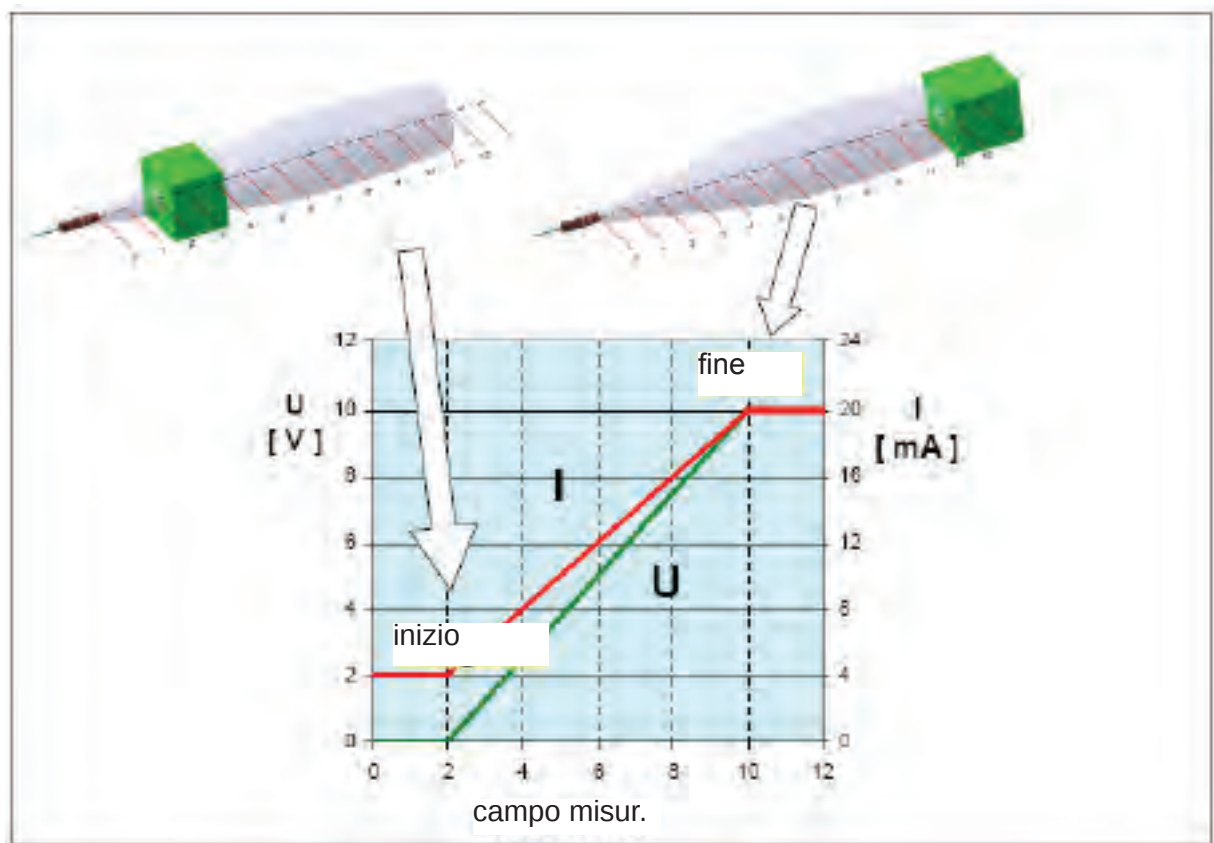


Figura 3.14 Rapporto dal segnale d'uscita alla distanza tra l'oggetto e il sensore

3.8 Applicazioni

Nella prassi i sensori ad ultrasuoni vengono utilizzati spesso perché insensibili ai disturbi nel proprio raggio d'azione e allo sporcamento. Sono in grado di individuare oggetti distanti indipendentemente da:

- materiale (metallo, plastica, legno, cartone ecc.)
- stato (corpi solidi, fluidi, granulato ecc.)
- colore
- grado di trasparenza

Nell'industria sono in grado di controllare:

- la posizione di un gruppo di elementi,
- oggetti su un nastro trasportatore,
- l'altezza di un fluido o di un granulato in un magazzino

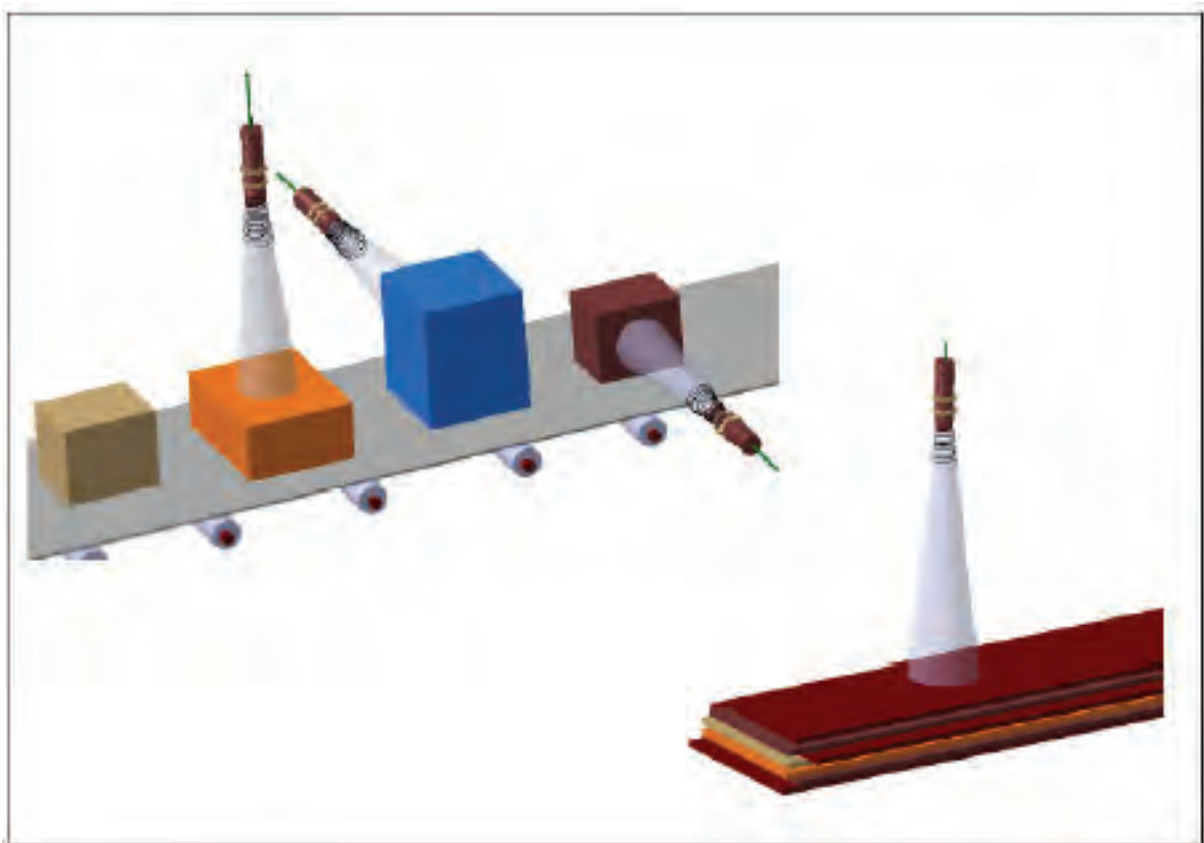


Figura 3.15: Misurare la dimensione di oggetti con un sensore ultrasonico analogico

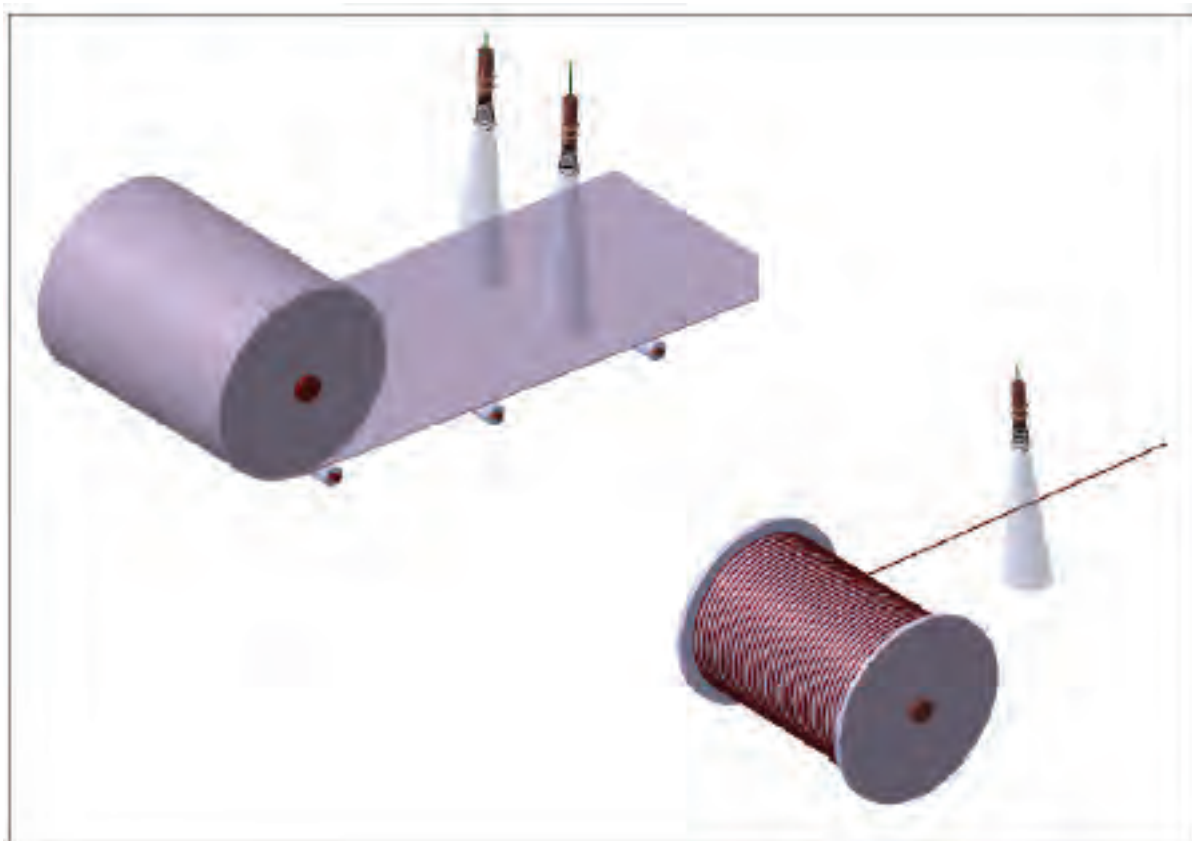


Figura 3.16: Controllo di danni a conduttori o nastri con un sensore a diffusione

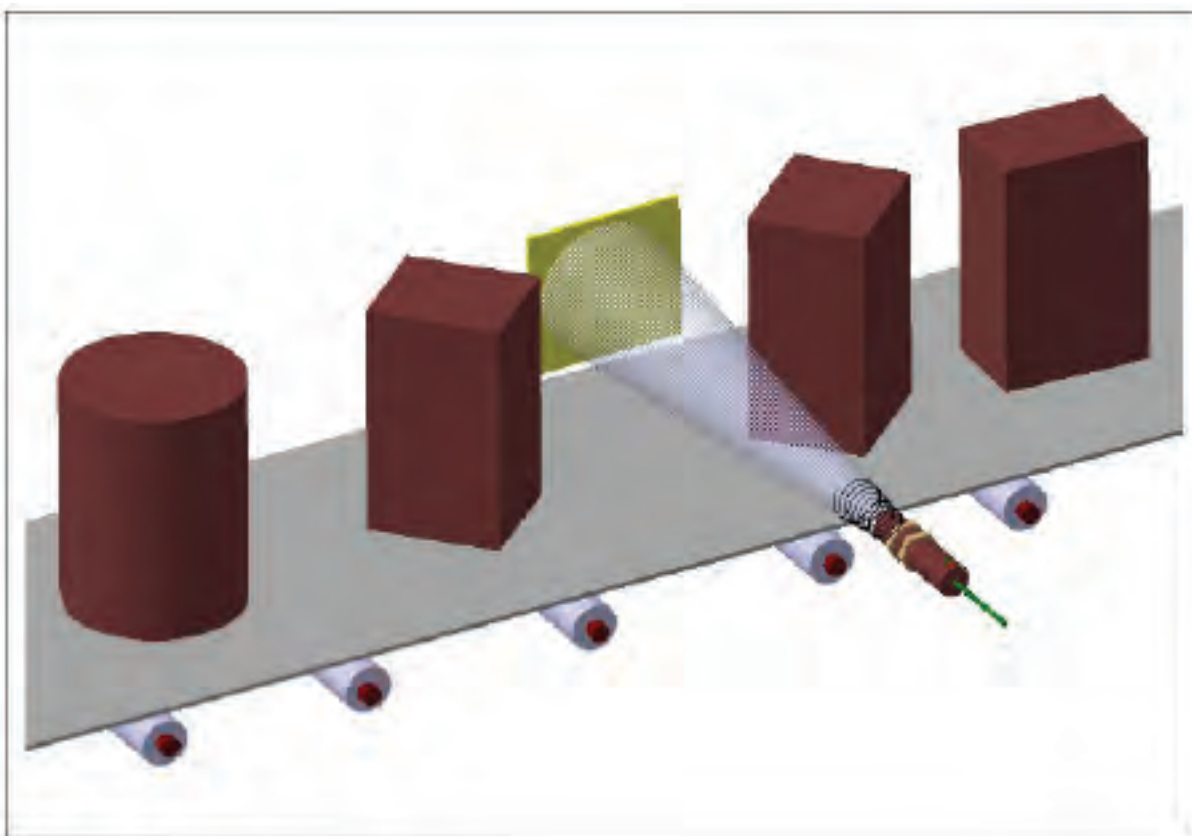


Figura 3.17: Contare oggetti che diffondono o assorbono onde sonore su un nastro trasportatore con un sensore di passaggio

4 Sensori optoelettronici

4.1 Caratteristiche di costruzione

I sensori optoelettronici usano un raggio di luce per rilevare oggetti nel loro raggio d'azione. Possono rilevare oggetti di un materiale qualsiasi che si trovano da alcuni millimetri fino ad alcune decine di metri lontano dal sensore. Questi sensori reagiscono se il raggio di luce da essi generato viene interrotto o riflesso. I cambiamenti di direzione del raggio di luce vengono trasformati in un segnale elettrico collegato all'uscita del sensore.

Un sensore optoelettronico è composto da una fonte di luce 1, un ricevitore di luce 2, circuiti elettronici 3, un sistema d'uscita 4, uno o due diodi che emettono luce e segnalano lo stato di lavoro 5, un potenziometro 6 per regolare la sensibilità del sensore, un involucro 7 e una copertura trasparente 8 (figura 4.1).

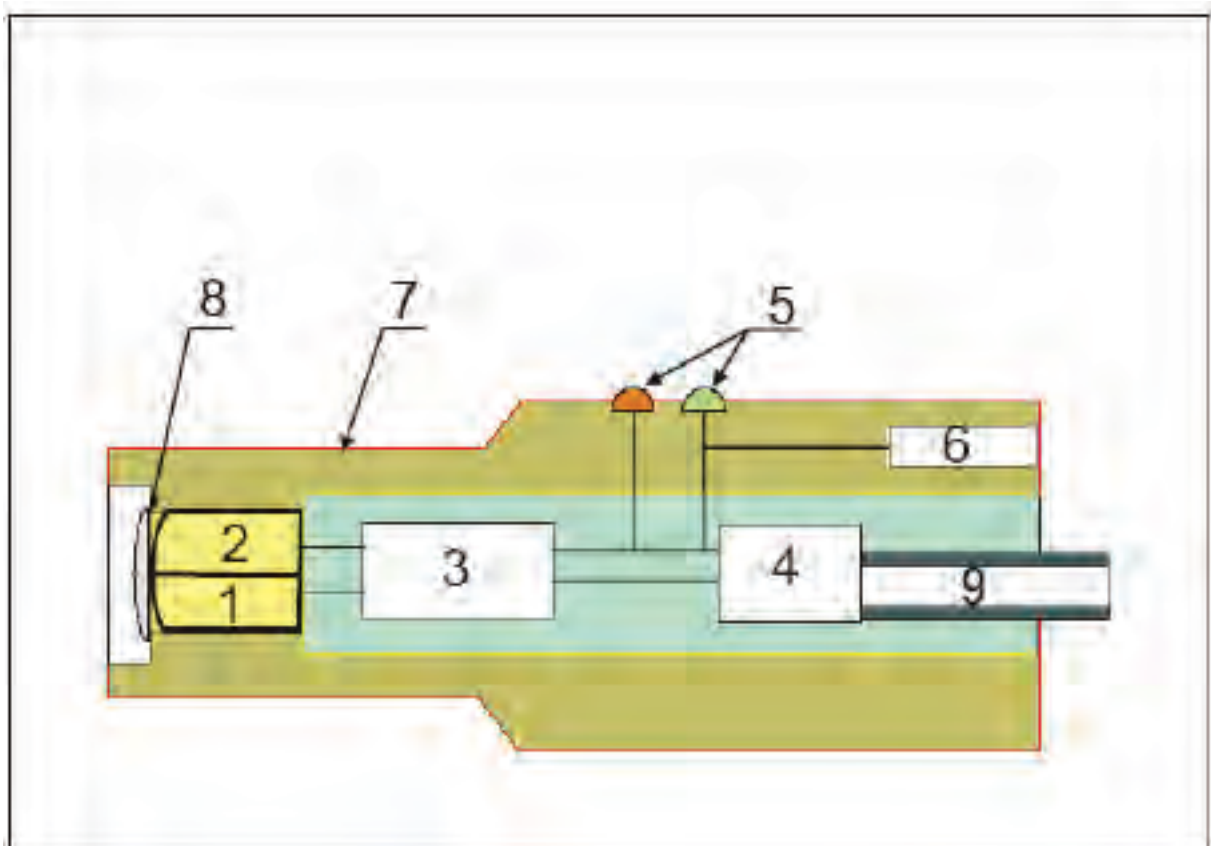


Figura 4.1: Struttura di un sensore cilindrico optoelettronico

I circuiti elettronici contengono (figura 4.2):

- un oscillatore 3 per ottenere una fonte di luce modulata
- un demodulatore 4, per separare il segnale utile

Altri elementi dei sensori sono un emittente 1, un ricevitore 2 e un transistor 5.

Gli elementi dei sensori sumenzionati si trovano in uno o due involucri indipendenti. Il numero di involucri dipende dall'oggetto a seconda se interrompe o riflette il raggio di luce.

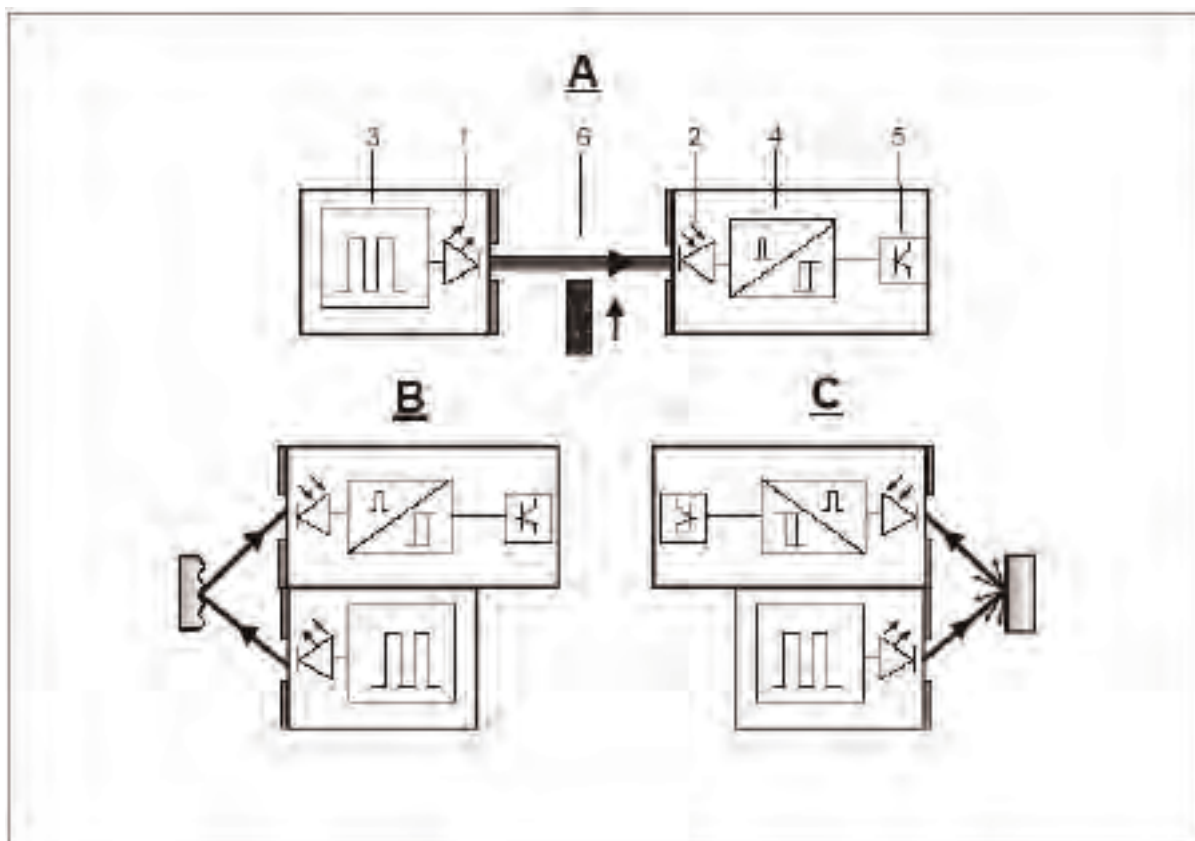


Figura 4.2: Circuiti elettronici di sensori optoelettronici: A – sensore di passaggio (Through-Beam-Sensor), B – Sensore di riflessione (Retro-Reflective Sensor), C-Sensore a diffusione (Diffuse Sensor)

4.2 Tipologie di sensori

4.2.1 Sensori a sbarramento

Nei sensori a sbarramento il fascio luminoso viene inviato dall'emittente direttamente al ricevente che si trova sullo stesso asse, ma in un supporto separato. Questi sensori rilevano gli oggetti che si trovano tra l'emittente e il ricevente e che interrompono il raggio di luce. Sono robusti rispetto a condizioni di solito ritenute critiche (p.es., sporco, vapore e nebbia). Il loro raggio d'azione è il maggiore (più di 50 m). Le due versioni costruttive più diffuse sono quella cilindrica e quella a forma di parallelepipedo.

Tali sensori rilevano oggetti di un materiale qualsiasi e la superficie dell'oggetto può, senza problemi, essere colorata, trasparente, ruvida, scivolosa.

Il raggio di luce effettivo dipende dal diametro delle lenti del trasmettitore e del ricevitore (figura 4.3). Un oggetto viene rilevato se copre almeno il 50% di tale raggio.

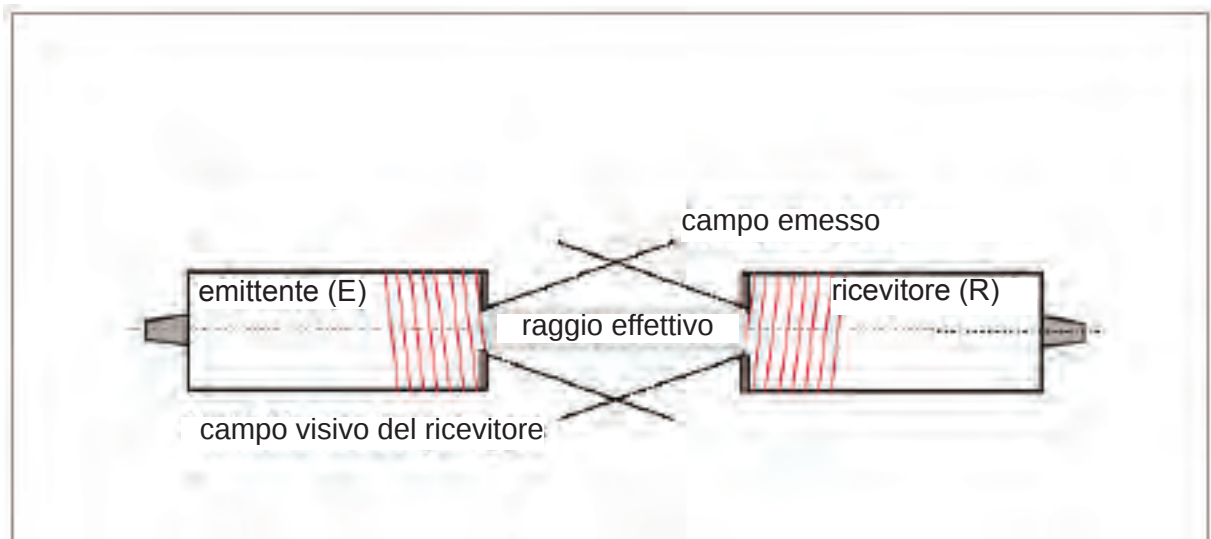


Figura 4.3: Raggio di luce effettivo

4.2.2 Sensori retroriflettenti

Trasmittitore e ricevitore dei sensori retroriflettenti si trovano in un supporto. La luce viene riflessa da un riflettore in direzione del ricevitore, l'oggetto diffonde il raggio di luce e il segnale d'uscita viene commutato. Sensori retroriflettenti senza un filtro di polarizzazione usano radiazione infrarossa. I sensori con un filtro di polarizzazione usano luce rossa visibile. Tali sensori hanno il vantaggio di avere un ampio raggio d'azione (fino a 12 m) ed essere robusti alla tipologia e alle caratteristiche della superficie dell'oggetto.

I sensori retroriflettenti richiedono costruzioni di riflettori o nastri riflettori speciali (figura 4.4).

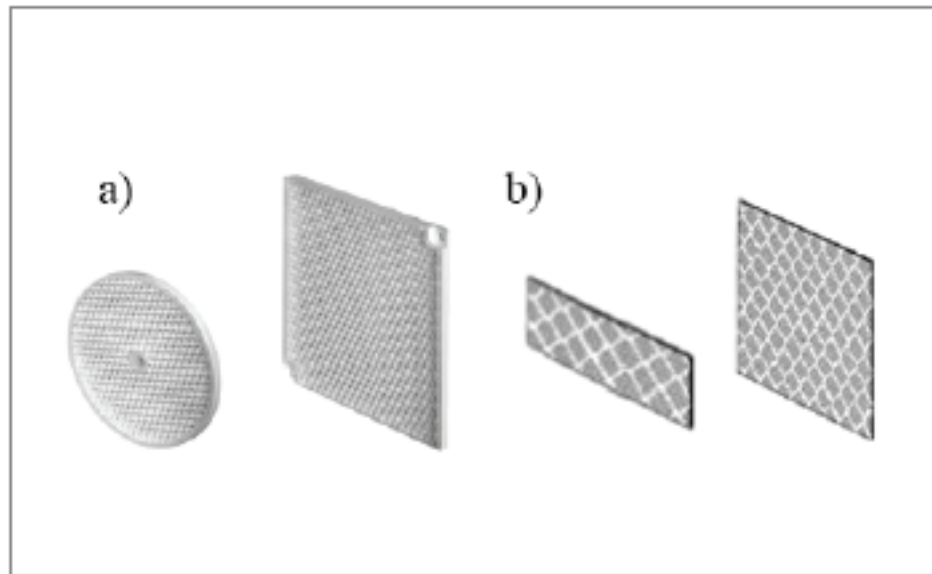


Figura 4.4: a) riflettori, b) nastri riflettori

A differenza di uno specchio usuale o una qualsiasi superficie piana in grado di riflettere, questi riflettori non devono essere posizionati precisamente in modo perpendicolare al sensore. Un errore di alcuni gradi non inficia il funzionamento del sensore.

La legge di retroriflessione bidimensionale vale anche per un sistema di tre specchi che si trovano perpendicolari l'uno verso l'altro. Il raggio di luce che arriva viene riflesso da tutte e tre le superfici e il raggio riflesso è parallelo a quello incidente. Un sistema di tre di specchi (triple mirrors) viene utilizzato come riflettore nei sensori retroriflettenti.

Il raggio di luce effettivo dipende dal diametro delle lenti nel trasmettitore e nel ricevitore e dalla superficie del riflettore.

4.2.3 Sensori a diffusione

I sensori a diffusione hanno soltanto un involucro nel quale si trovano trasmettitore e ricevitore. Il loro grande vantaggio è che non richiedono un riflettore. La luce generata dall'emittente viene riflessa da un oggetto e torna al ricevitore ed in seguito viene commutato il segnale d'uscita.

I sensori a diffusione hanno un modesto raggio di azione che è 100-200 mm. Oggetti al di fuori del raggio di azione non vengono individuati così come i disturbi da essi generati vengono automaticamente eliminati. Il raggio d'azione dipende dal coefficiente di riflessione dell'oggetto da rilevare che viene influenzato da colore e tipo della superficie. Una superficie lucida può riflettere la luce anche se si trova lontana dal sensore, però disturba l'esatta individuazione dell'oggetto. Una superficie opaca assorbe una parte della luce e a volte il raggio rimanente non basta per rilevare l'oggetto. In tal caso vengono utilizzati dei tipi speciali di sensori a diffusione.

Per individuare il raggio d'azione massimo di un sensore a diffusione viene utilizzata una superficie calibrata diffondente (un foglio di carta bianca o carta KODAK) che riflette il 90% del raggio di luce.

4.3 Rimozione dell'interferenza

I sensori a diffusione sono sensibili nei confronti di disturbi che vengono generati dall'interferenza ottica, soprattutto quella di una luce naturale con intensità costante e quella di una luce artificiale con uno spettro simile a quello della luce naturale, o di una luce lampeggiante. I raggi di luce di queste fonti che raggiungono un sensore optoelettronico possono influenzare la corrente generata dall'emittente e causare segnali d'uscita sbagliati. Per evitare reazioni sbagliate i sensori vengono attrezzati con sistemi che in un certo grado escludono questi disturbi e influenzano la sensibilità dei sensori in maniera adatta. Lo sporco (olio o polvere su superficie di oggetti scoperti e dei lenti dei sensori) può generare problemi aggiuntivi.

4.3.1 Modulazione della luce

Se i sensori optoelettronici usano luce modulata non sono sensibili alla luce dell'ambiente esterno. La luce dall'emittente poi viene accesa soltanto per un breve arco di tempo (molto più breve della pausa fra gli impulsi) (vedi figura 4.5). La frequenza del segnale di luce modulato è di alcuni kHz. Ma se l'emittente e la fonte di disturbo hanno frequenze simili può accadere che ci sia interferenza. La luce modulata ha i seguenti vantaggi:

- i sensori sono meno sensibili alla luce dell'ambiente.
- il raggio d'azione del sensore diventa maggiore
- la misura del calore prodotto diminuisce
- la durata di vita dei LED aumenta

Emittente e ricevente hanno delle lenti ottiche per raccogliere il raggio di luce prodotto e diminuire il campo visivo del ricevitore. Ciò limita il raggio d'azione del sensore e abbassa l'influenza della radiazione riflessa di oggetti che si trovano al di fuori del raggio d'azione. Grazie a lenti convergenti aumenta anche la distanza massima tra il trasmettitore e ricevitore o fra trasmettitore e la superficie riflettente. Se si ha bisogno di un piccolo raggio d'azione e un grande campo visivo vengono utilizzati elementi senza lenti (con una finestra piatta e trasparente).

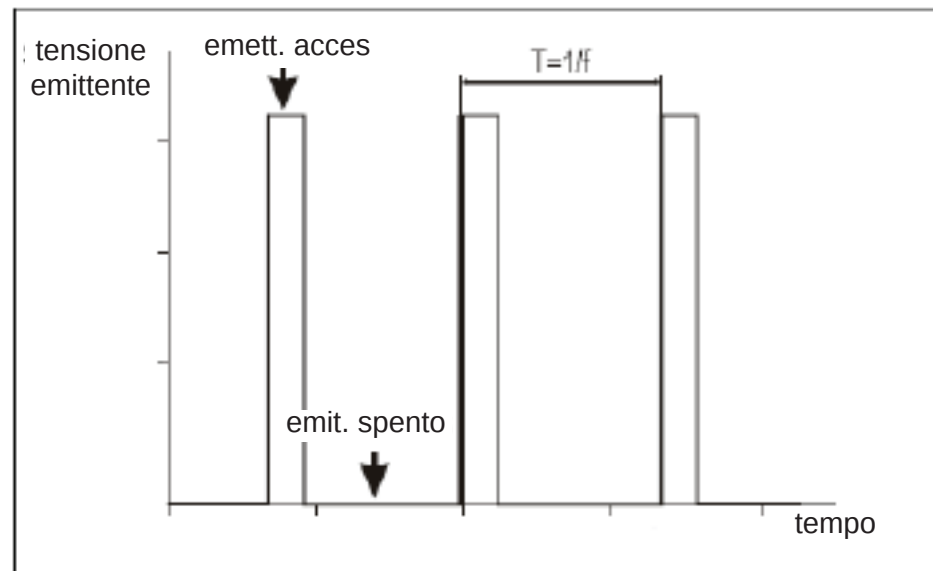


Figura 4.5: Tensione modulata dall'emittente

4.3.2 Polarizzazione della luce

Il segnale d'uscita di un sensore retroriflettente standard può essere commutato inavvertitamente quando nel raggio d'azione viene a trovarsi un oggetto lucido. Per poter riconoscere la luce riflessa dall'oggetto da riconoscere spesso si deve usare luce polarizzata.

Il fenomeno della polarizzazione consiste nell'ordinamento delle oscillazioni delle onde luminose. Se un'onda di luce non è polarizzata si verificano oscillazioni del campo elettrico e magnetico in diverse direzioni. Se la luce è polarizzata queste oscillazioni hanno soltanto una direzione.

Sia la luce naturale sia la luce emessa dai LED non è polarizzata. Se la luce attraversa un filtro di polarizzazione rimane soltanto la componente del raggio diretta lungo la direzione di polarizzazione. Se un raggio di luce che già ha attraversato un filtro con polarizzazione orizzontale (figura 4.6a) passa per un filtro con polarizzazione verticale viene totalmente filtrato.

La riflessione diffusa disturba la polarizzazione (figura 4.6b). Una bassa misura di luce che attraversa un polarizzatore verticale ha troppo poca energia per permettere al sensore di rilevare una superficie riflettente.

Se la luce polarizzata viene riflessa da uno specchio (figura 4.6c) la polarizzazione non viene eliminata. Il polarizzatore verticale elimina totalmente la radiazione luminosa.

Grazie a questi due fenomeni vengono utilizzati la luce polarizzata può essere sfruttata dai sensori retroriflettenti mediante un riflettore. Scegliendo filtri adatti e regolati opportunamente possono essere evitati disturbi generati da superfici riflettenti. Inoltre si possono rilevare elementi trasparenti. I filtri di polarizzazione nella maggior parte dei casi vengono prodotti da pellicole polimeriche.

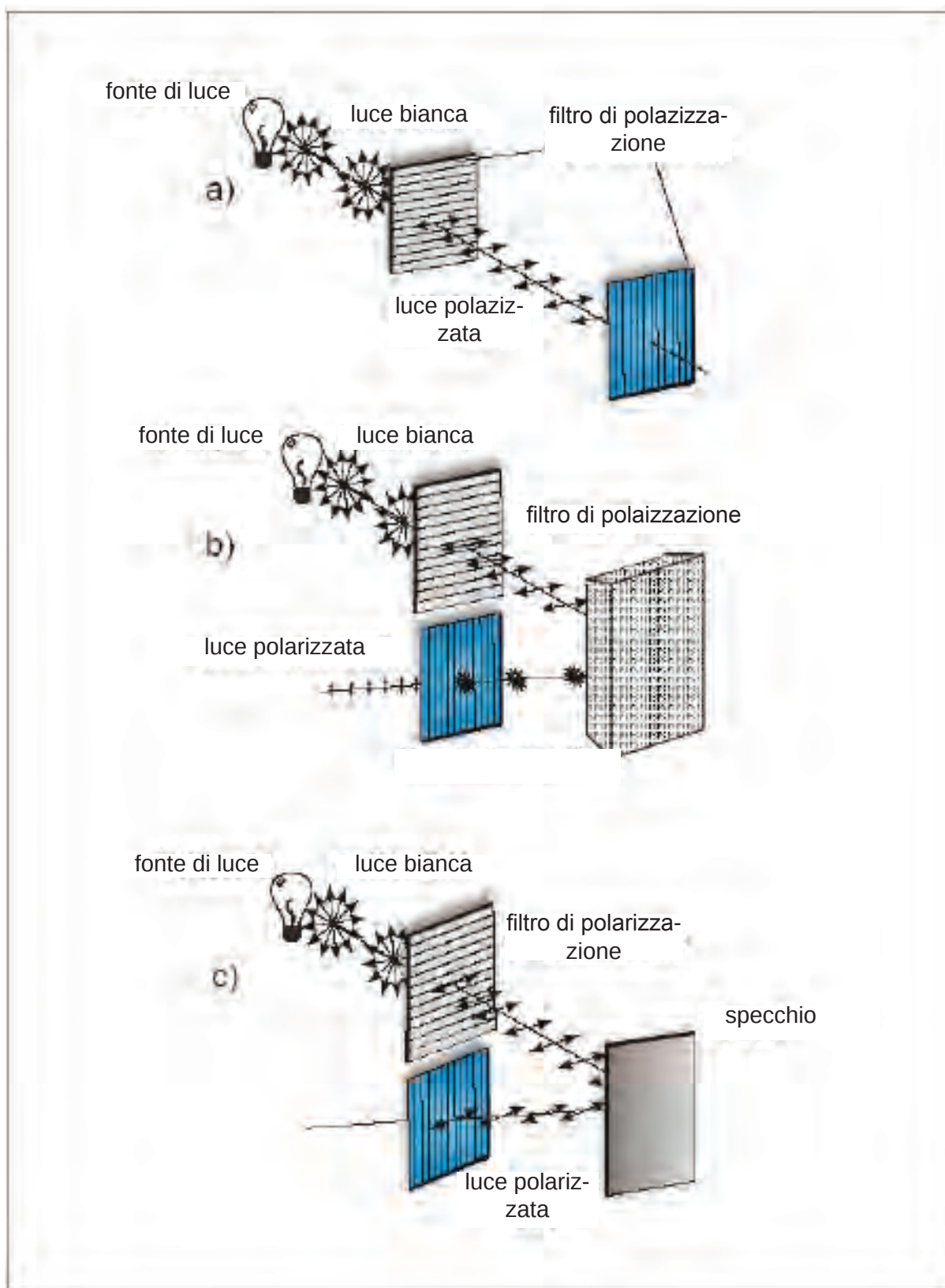


Figura 4.6: Polarizzazione di luce: spegnere luce di due filtri, b) riflessione della luce polarizzata su una superficie diffondente, c) riflessione della luce polarizzata tramite a uno specchio

4.4 Margine operativo

A causa dell'influenza dell'ambiente (p.es. sporco sulle lenti, cambiamento del coefficiente di riflessione dell'oggetto, invecchiamento dall'emittente) potrebbe diminuire la quantità di luce incidente sul sensore optoelettronico e di conseguenza il livello del suo segnale d'uscita. Il livello del segnale quindi potrebbe essere non sufficiente a commutare il segnale d'uscita e compromettere quindi la funzionalità del sensore. Per evitare queste situazioni si deve avere a disposizione un margine operativo aggiuntivo di livello del segnale (figura 4.7).

Se il ricevitore non viene raggiunto da alcun fascio luminoso, il margine operativo è pari a 0. Quando la quantità di luce è sufficiente a commutare il segnale d'uscita, il margine operativo è posto pari a 1. La quantità effettiva di luce rilevata deve superare il livello minimo necessario a commutare il segnale d'uscita (Margine operativo >1) per avere un surplus.

margine operativo = quantità effettiva di luce rilevata /
livello minimo necessario a commutare il segnale d'uscita

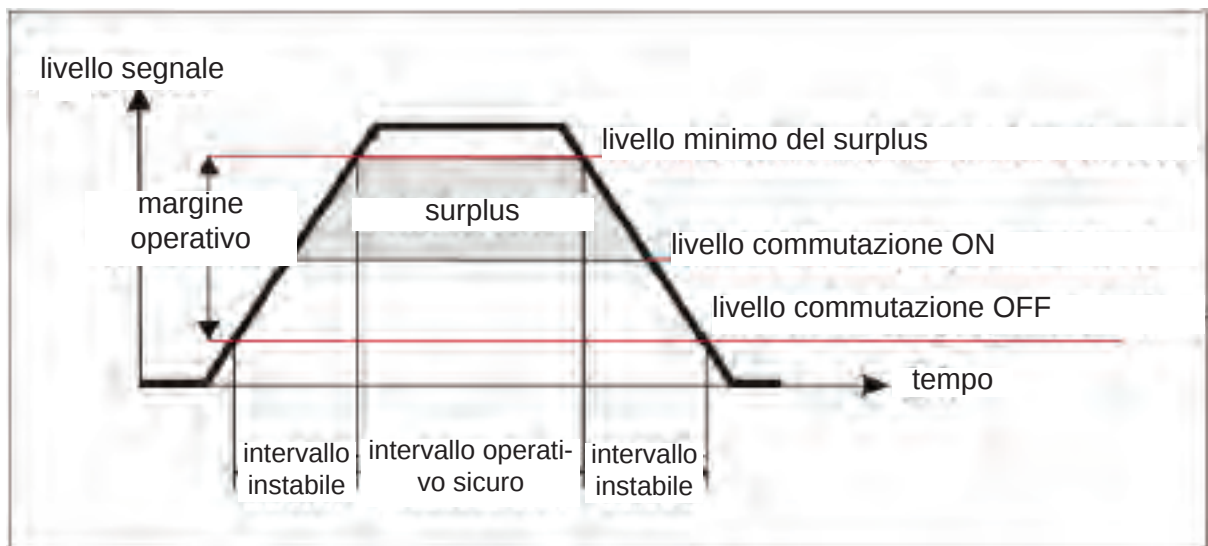


Figura 4.7: Rapporto fra un intervallo sicuro di lavoro del sensore optoelettronico e margine operativo

Se sono note le condizioni di lavoro del sensore si può stabilire il surplus di luce necessario che in modo da dimensionare un fusibile di protezione contro l'eccessivo smorzamento dell'energia della luce. Maggiore è il surplus, più affidabile è il sensore. Quanto maggiore è il rischio di oscillazioni casuali del segnale incidente sul ricevitore tanto maggiore deve essere il margine operativo. Se la luce è pulita e la probabilità di sporcamento della lente è piccola il margine operativo minimo deve essere maggiore di 1,5. Se l'ambiente è molto sporco e la possibilità di pulire la lente è limitata il margine operativo minimo dovrebbe essere ancora maggiore di 50.

Un diodo lampeggiante segnala le condizioni di lavoro instabili, cioè p. es. quando l'illuminazione del sensore è troppo bassa per commutare il segnale d'uscita.

Per un sensore a diffusione è importante anche l'isteresi (differenza del livello del segnale tra accensione e spegnimento del circuito d'uscita). L'intervallo operativo dall'oggetto da rilevare viene sempre riferito al livello del sensore in corrispondenza della commutazione su ON.

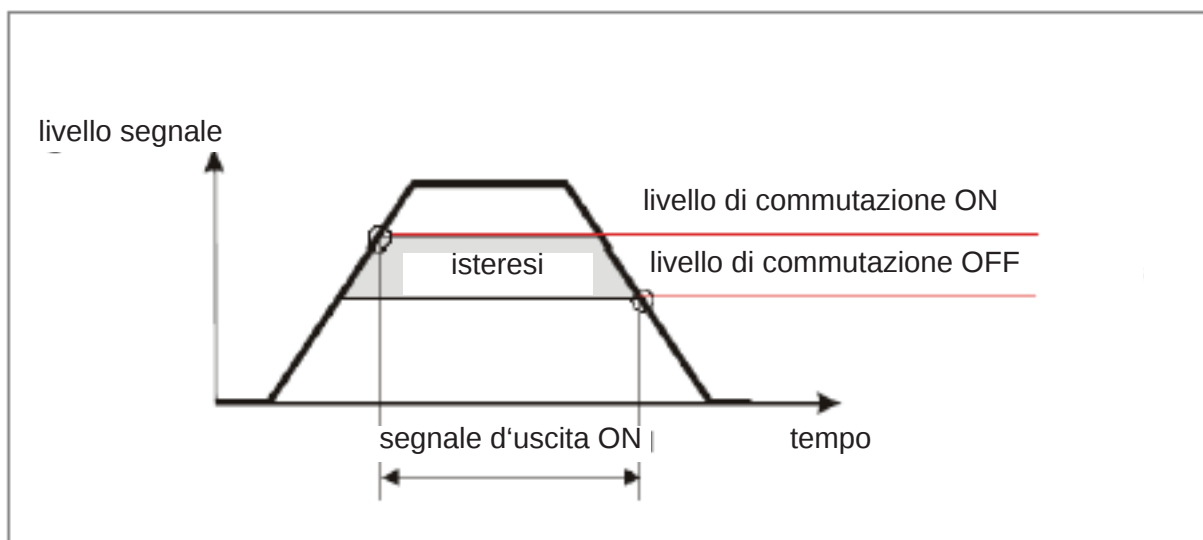


Figura 4.8: Isteresi di un sensore a diffusione

4.5 Distanza operativa

Una caratteristica dei sensori optoelettronici è il raggio di azione determinato dalla massima distanza operativa. Per i sensori a sbarramento il raggio d'azione è la distanza massima tra emittente e ricevente. Per i sensori a diffusione è la distanza massima fra sensore e riflettore. Per i sensori retroriflettenti è la distanza massima fra il sensore e l'oggetto da rilevare.

Visto che emittente e ricevente di sensori retroriflettenti e sensori a diffusione si trovano in un involucro, esiste anche una distanza minima di lavoro, al di sotto della quale gli oggetti non possono essere rilevati (figura 4.9).

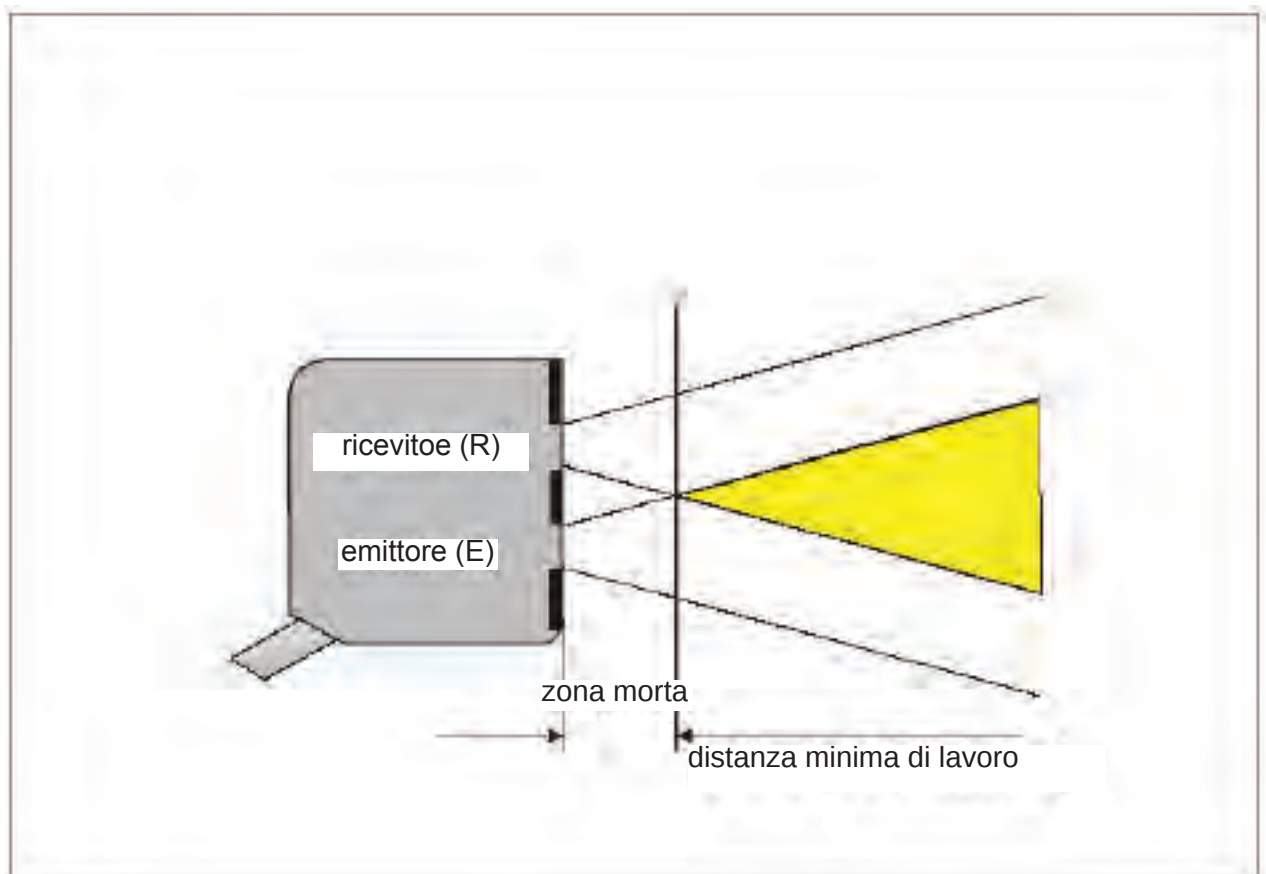


Figura 4.9: Distanza massima di lavoro: a) sensori a sbarramento, b) sensori retroriflettenti, c) Sensori a diffusione

4.6 Tempo di reazione

Se va rilevato un oggetto molto piccolo o un oggetto che si muove con una grande velocità, il tempo di reazione (response time) del sensore optoelettronico utilizzato è molto importante. Il sensore deve riuscire a commutare il segnale originale in poco tempo.

Il tempo di reazione è l'arco di tempo che intercorre tra l'istante in cui il fascio luminoso investe il sensore e l'istante di commutazione del segnale originale. Il tempo di rilascio è invece l'arco di tempo tra la rimozione dell'oggetto rilevato e la commutazione del segnale originale. Questi tempi non devono necessariamente coincidere.

I valori massimi del tempo di reazione e di rilascio vengono indicati nei dati tecnici di ogni sensore. Differenze però si verificano spesso perché la frequenza della tensione d'impulso dall'emittente non può essere sincronizzata con il movimento dell'oggetto.

Se si conosce il tempo di reazione si può fissare la velocità massima di un oggetto o la massima distanza tra gli oggetti da rilevare.

Tempo dello spostamento dell'oggetto = ingombro dell'oggetto / velocità dell'oggetto

Questo tempo deve essere decisamente più lungo del tempo di reazione del sensore utilizzato, indicato nelle specifiche.

Se i spazi fra gli oggetti rilevati sono più piccoli dell'ingombro dell'oggetto la velocità di passaggio di tali spazi davanti al sensore è calcolato secondo la seguente formula:

tempo dello spostamento dello spazio vuoto = larghezza dello spazio intercorrente tra gli oggetti/velocità dell'oggetto

Questo tempo deve essere maggiore del tempo di reazione del sensore utilizzato, indicato nel catalogo.

4.7 Tipi speciali di sensori optoelettronici

4.7.1 Sensori retroriflettenti a riflessione polarizzata

Nei sensori retroriflettenti che sfruttano la polarizzazione, la luce generata dall'emittente viene indirizzata con una lente convergente e un filtro orizzontale di polarizzazione verso un riflettore con specchi tripli (figura 4.10). Gli specchi tripli ruotano la direzione di polarizzazione del fascio luminoso di 90° . Una parte della luce riflessa attraversa un filtro verticale di polarizzazione prima di raggiungere il ricevitore che, in tal modo, viene investito dalla sola luce riflessa dal riflettore.

I filtri di polarizzazione generano perdite di intensità della luce emessa. Il raggio di azione di tali sensori è 30-40% minore dei sensori retroriflettenti standard. Vengono spesso usati come fonte di luce LED che emettono luce rossa nel campo visibile.

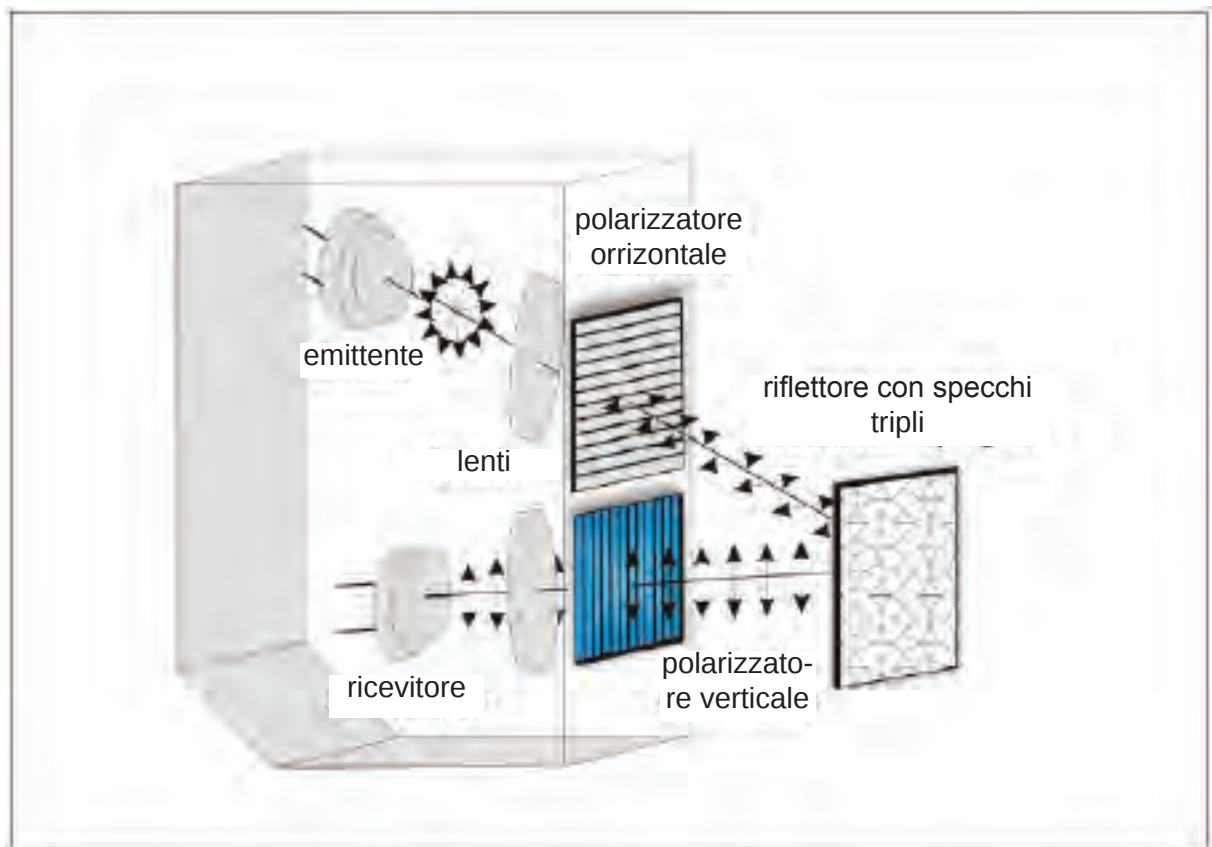


Figura 4.10: Sensori retroriflettenti a riflessione polarizzata

4.7.2 Sensori a diffusione a soppressione di primo piano e di sfondo

In molti sensori a diffusione è possibile regolare la distanza operativa minima e massima (figura 4.11). Questo viene effettuato modificando fisicamente l'angolo di ricezione o quello dello specchio ausiliario. Questa caratteristica è importante soprattutto se dietro l'oggetto da rilevare si trova una superficie lucida che può indurre un errato rilevamento dell'oggetto. L'influenza della superficie viene esclusa se la distanza operativa del sensore è più breve della distanza tra il sensore e la superficie (sfondo). In questo caso vengono riconosciuti solo quegli oggetti che si trovano ad una distanza minore di quella massima.

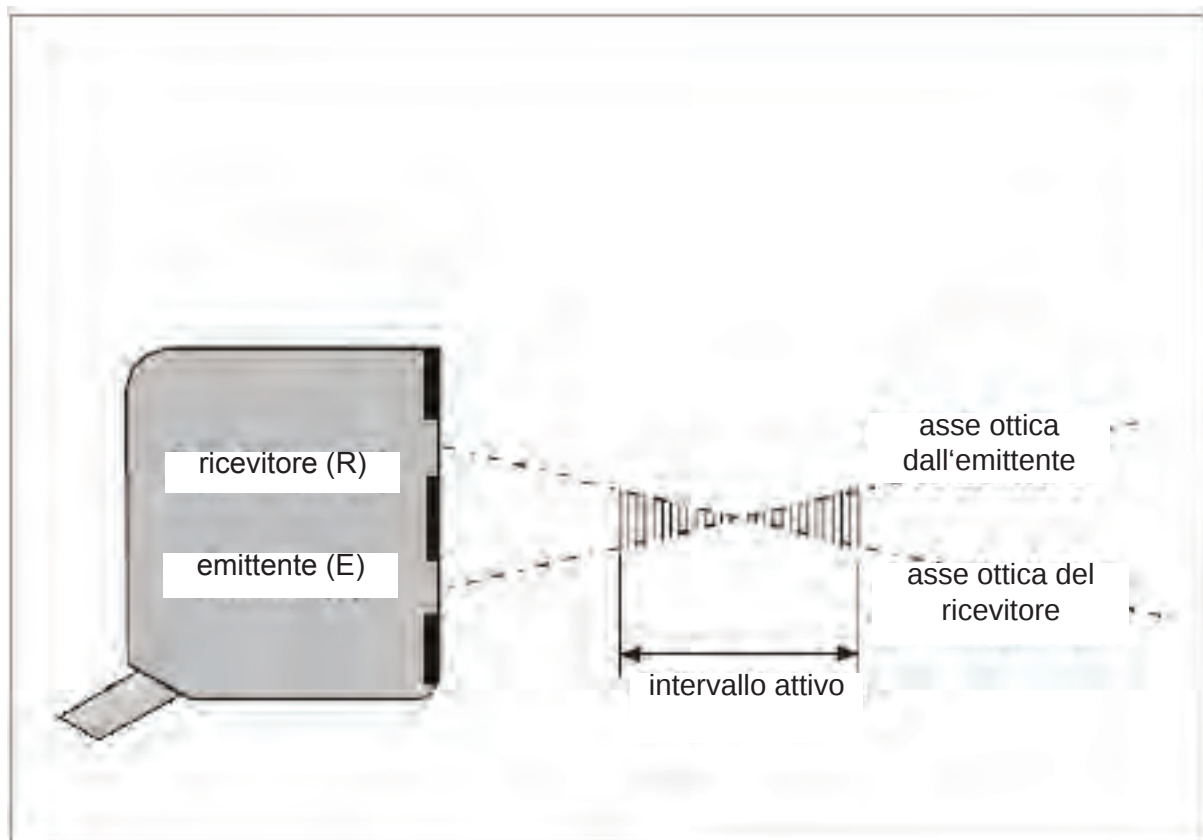


Figura 4.11: Tagliare la asse ottica dall'emittente e del ricevitore per limitare l'intervallo attivo

Il procedimento elettronico della rimozione dell'influenza dello sfondo è ancora più efficace. In tal modo il sensore riconosce e filtra automaticamente il disturbo dello sfondo. Questo procedimento viene utilizzato in sensori a diffusione con due ricevitori di luce o in un sensore a triangolazione fornito di una telecamera CCD o un convertitore PSD. Il primo gruppo dei sensori confronta le quantità di luce che investono ognuno dei ricevitori. Il secondo gruppo misura la distanza tra l'oggetto e il sensore e lo confronta con una distanza precedentemente determinata.

Ci sono tre modi in cui tali sensori rimuovono elettronicamente l'influenza dello sfondo (figura 4.12):

- mediante il non rilevamento dell'oggetto 3 posto ad una distanza maggiore di quella operativa
- mediante il non rilevamento dell'oggetto 3 posto ad una distanza minore di quella operativa
- mediante il rilevamento del solo oggetto 1, che si trova all'interno dell'intervallo operativo

Se la distanza tra oggetto e sensore:

- è minore di L_{min} , viene rimossa l'influenza dei raggi emessi prima dell'intervallo operativo (primo piano).
- è maggiore di L_{max} viene rimossa l'influenza dello sfondo
- è maggiore di L_{min} e minore di L_{max} viene rimossa sia l'influenza del davanti sia quello dello sfondo

Grazie al sistema ottico dei sensori a triangolazione (figura 4.12) il raggio di luce emesso dal diodo laser è raccolto e quasi in modo parallelo. Viene riflesso in modo diffusivo dall'oggetto 1 e una parte raggiunge il convertitore PSD (Position Sensitive Device) o la telecamera CCD entrambe alloggiare nel sensore. Il circuito d'analisi confronta il segnale ricevuto con la distanza operativa prima osservata e viene regolato con un potenziometro. Se l'oggetto si trova all'interno dell'intervallo operativo viene commutato il segnale d'uscita.

A differenza di un sensore a diffusione tipico la distanza operativa non dipende dalla grandezza, dal colore e dalle caratteristiche della superficie dell'oggetto rilevato. Perciò l'oggetto può essere individuato nonostante lo sfondo sia più o meno riflettente.

I sensori a diffusione a soppressione di primo piano e di sfondo sono indispensabili quando si vuole rilevare oggetti che si spostano accanto allo sfondo o l'altezza di un fluido.

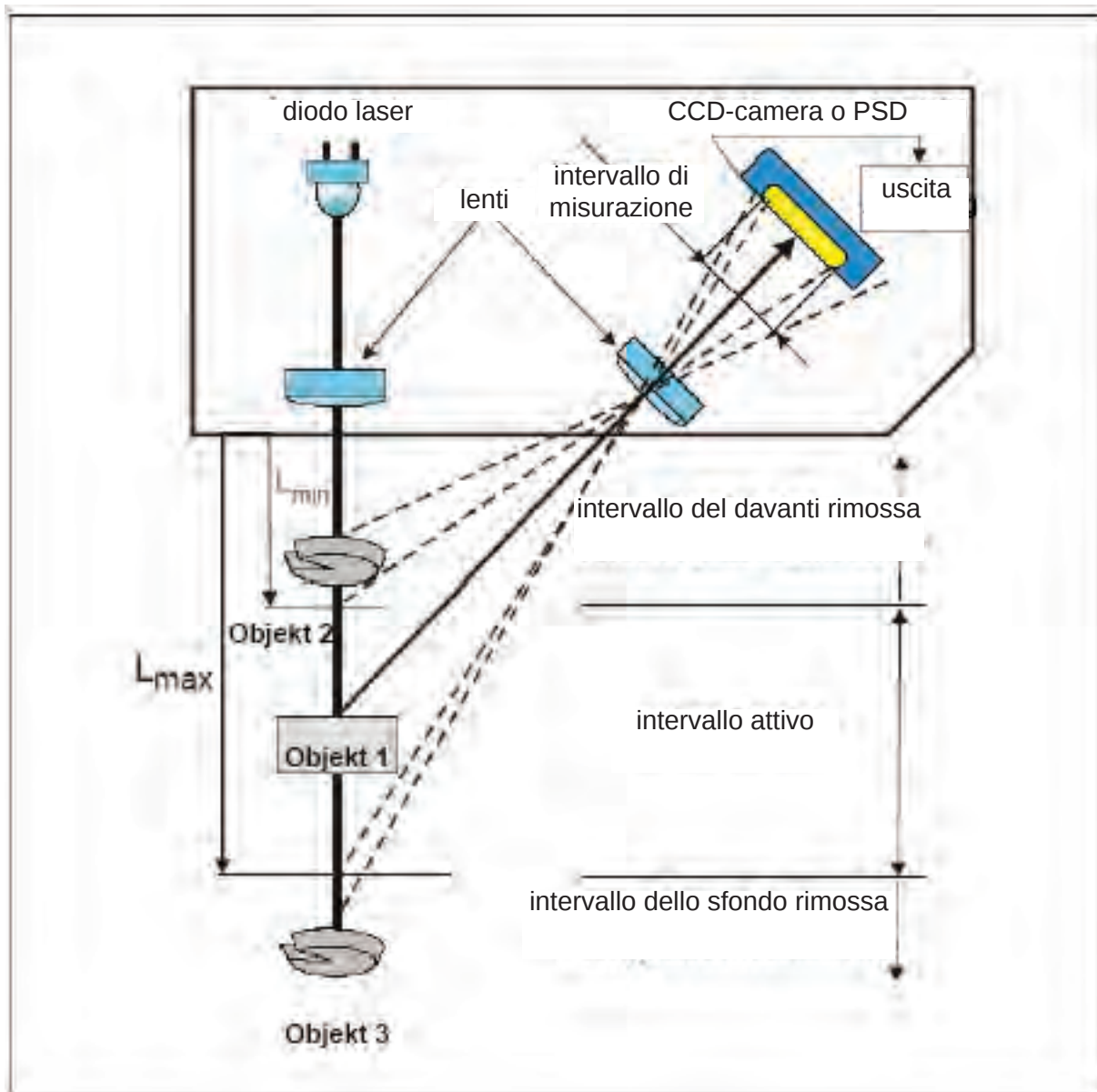


Figura 4.12: Sensore a triangolazione con rimozione elettronica dell'influenza dello sfondo

I sensori a diffusione che rimuovono l'influenza dello sfondo rilevano oggetti chiari e scuri quasi senza differenza, come è rappresentato anche in figura 4.36. La differenza delle distanze operative per oggetti scuri e chiari è soltanto del 5 %.

Fonti di luce LED e ricevitori possiedono lenti ottiche per ridurre sia il raggio di luce generato che il campo visivo del ricevitore. Questo limita il raggio d'azione del sensore e l'influenza degli oggetti che si trovano al di fuori del raggio d'azione. Allo stesso tempo però la differenza massima fra trasmettitore e ricevitore o fra il trasmettitore e la superficie riflettente diventa maggiore. Se si ha bisogno di un brepiccolo raggio d'azione e una ampio campo visivo viene preferito l'utilizzo di elementi fotoottici senza lenti.

4.7.3 Sensori retroriflettenti ad autocollimazione

L'autocollimazione è la trasformazione automatica del raggio di luce diffuso in un raggio parallelo. Anche se il diametro del raggio è piccolo, è sufficiente a raggiungere il ricevitore.

Grazie all'autocollimazione si possono rilevare oggetti trasparenti e oggetti che si trovano nella zona morta.

I sensori optoelettronici retroriflettenti ad autocollimazione si basano sul fatto che gli assi ottici dei canali emmittenti e riceventi sono uguali. Questo è possibile perché la luce nel canale ricevente viene spostata di 90° da uno specchio semitrasparente (figura 4.13). Tali sensori lavorano molto bene insieme con lamine riflettenti.

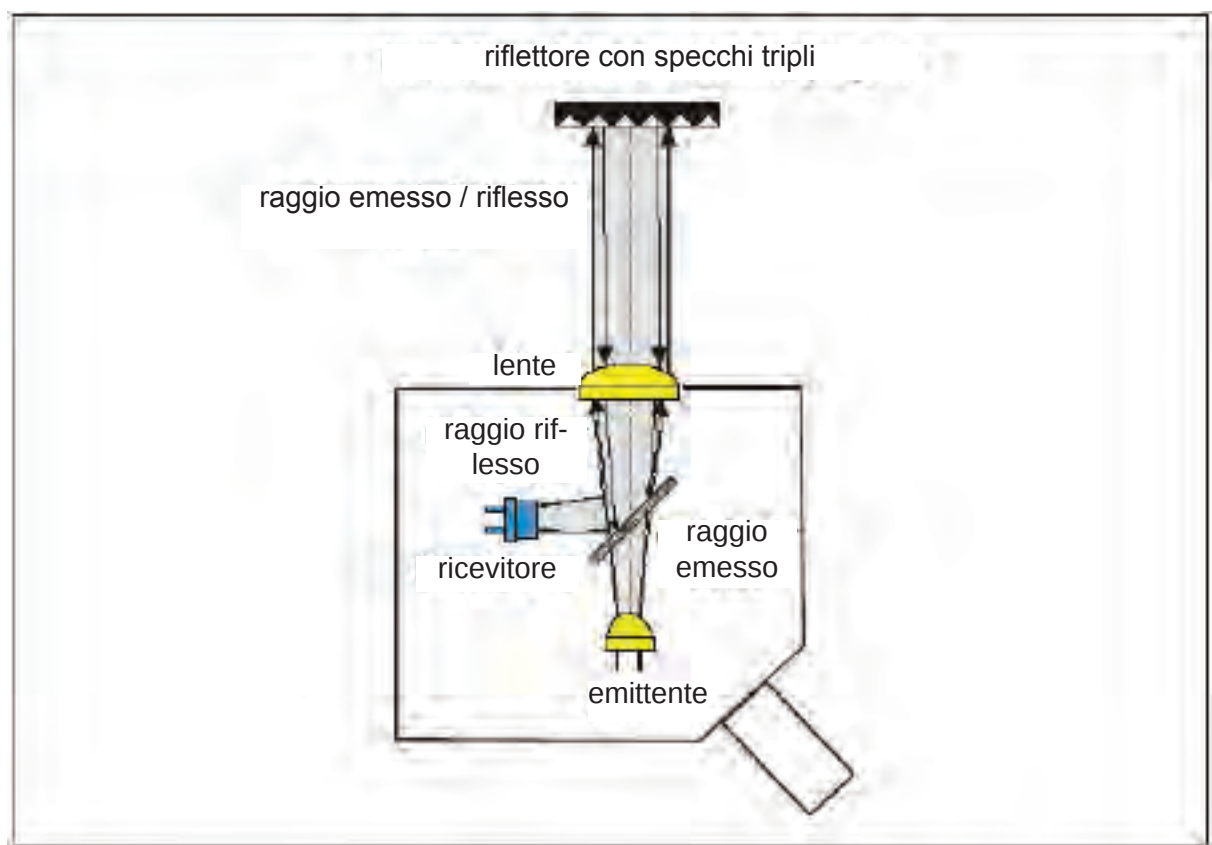


Figura 4.13: Sensori retroriflettenti ad autocollimazione

4.8 Sensori con cavi in fibra ottica

4.8.1 Cavi in fibra ottica

I cavi in fibra ottica vengono utilizzati per trasmettere onde elettromagnetiche la cui frequenza è simile a quella delle onde luminose. Il cavo in fibra ottica più semplice è un bastone di vetro o plastica che termina con superfici piane. Oggi viene utilizzato come nucleo del cavo in fibra ottica. È avvolto da un rivestimento di un altro tipo di vetro o una plastica con un coefficiente di rifrazione della luce più piccolo (figura 4.14).

Il principio di funzionamento dei cavi in fibra ottica si basa sulla riflessione totale della luce interna alla frontiera fra due sostanze con coefficiente di rifrazione della luce diverso. Dopo la riflessione, il 100% dell'energia della luce resta nel cavo in fibra ottica.

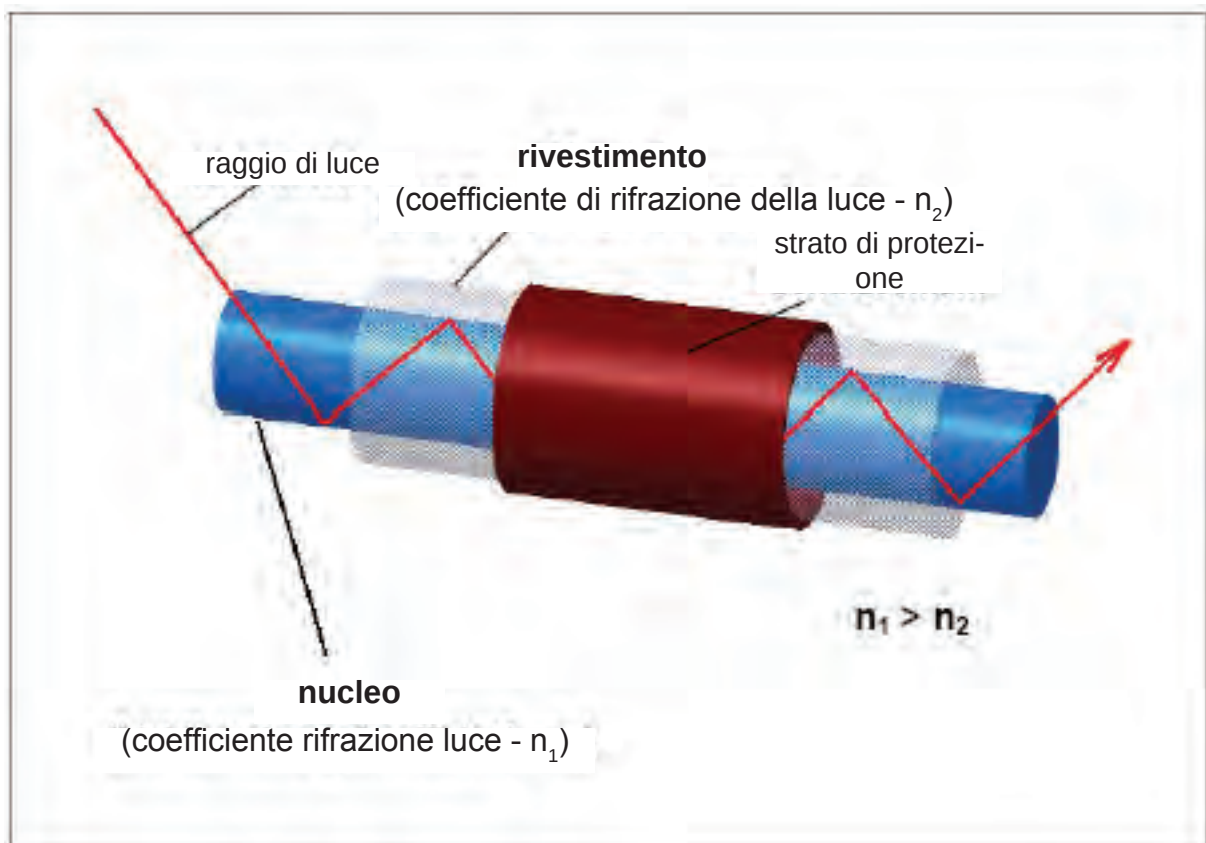


Figura 4.14: Riflessione totale della luce interna in un cavo in fibra ottica

Il raggio di luce viene riflesso soltanto dalla barriera / limite se si trova nel mezzo con il coefficiente di rifrazione della luce più alto. Inoltre vengono trasmessi soltanto i raggi il cui angolo di incidenza sulla superficie frontale del bastone è minore dell'angolo limite. L'angolo limite dipende dal rapporto fra coefficiente di rifrazione della luce del rivestimento e del nucleo.

Il diametro del nucleo del cavo in fibra ottica è di 5 micron (per cavi in vetro di silice) fino a 1 mm (per cavi in plastica). Grazie al modesto diametro i conduttori di vetro sono molto elastici e possono essere piegati quasi senza limitazioni.

I cavi in fibra ottica possono avere una o più fibre.

I cavi di vetro possono essere sottoposti a temperature più alte (fino a 250°) dei cavi di plastica (fino a 70°). I cavi di plastica però sono più duri, hanno un prezzo più basso e possono essere tagliati in maniera più semplice. I cavi di vetro trasmettono senza problemi sia la luce visibile sia la radiazione infrarossa. I cavi di plastica vengono utilizzati invece soltanto per trasmettere la luce visibile perché hanno un basso coefficiente di efficacia nella trasmissione della radiazione infrarossa.

Alla base del cavo in fibra ottica si trova una testa cilindrica di metallo o una doppio connettore per la derivazione. Ci sono due tipi di cavo in fibra ottica: passante, con un unico nucleo (single cored), e di derivazione con due o più nuclei (double cored o multi cored).

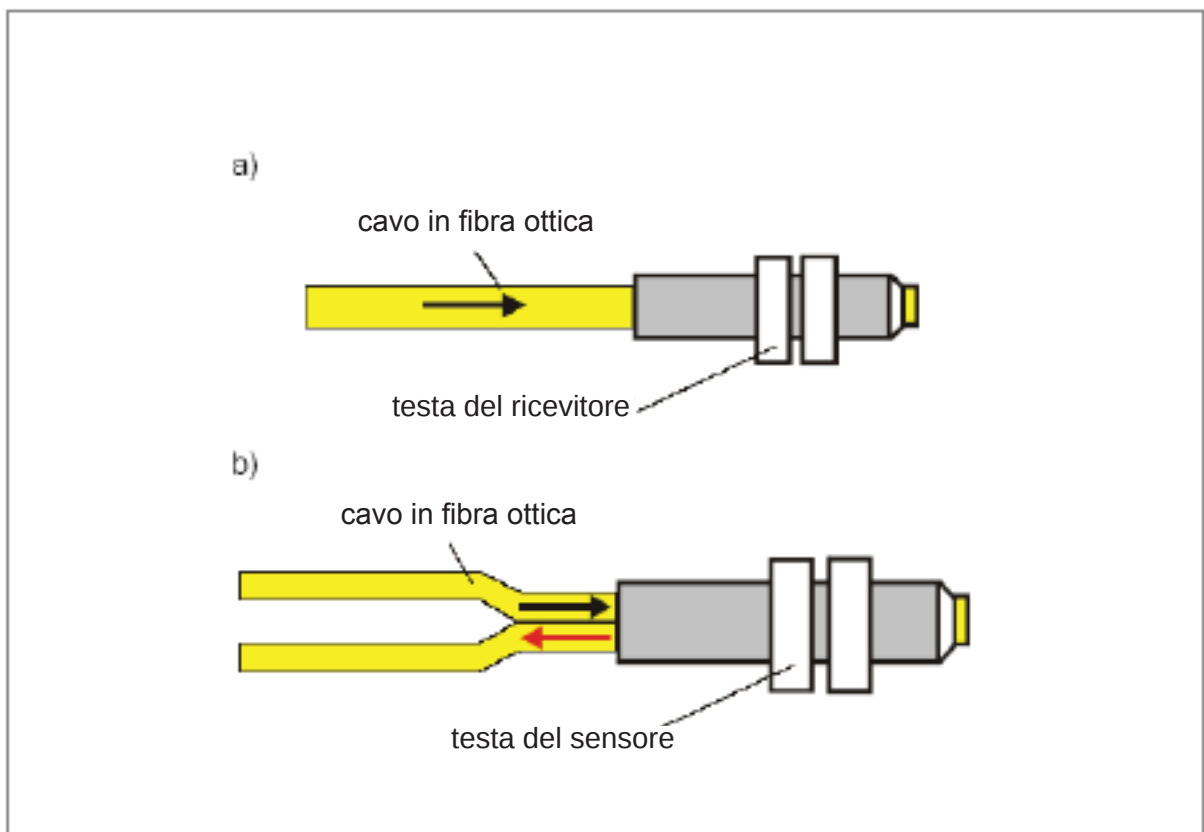


Figura 4.15: Tipi di cavi in fibra ottica: a) cavo passante e b) cavo di derivazione

4.8.2 Funzionamento

I sensori optoelettronici con cavi in fibra ottica funzionano come normali sensori optoelettronici fatta eccezione per il fatto che mediante tali cavi viene trasmessa soltanto la luce emessa. La testa del cavo in fibra ottica è molto piccola (alcuni mm) e può essere inserita anche in posti difficili da raggiungere, a volte molto lontani dai circuiti optoelettronici del sensore. L'elettronica si trova in un amplificatore separato (figura 4.16).

Due cavi in fibra ottica che si trovano l'una sull'altro equivalgono ad un sensore a sbarramento. Se il raggio viene interrotto l'oggetto viene rilevato. Due conduttori di derivazione sono collegati alla testa di un sensore (sensing head). Tramite il primo conduttore viene trasmesso il raggio emesso e tramite il secondo conduttore il raggio torna al ricevente. Se la luce emessa viene riflessa dall'oggetto, esso viene rilevato.

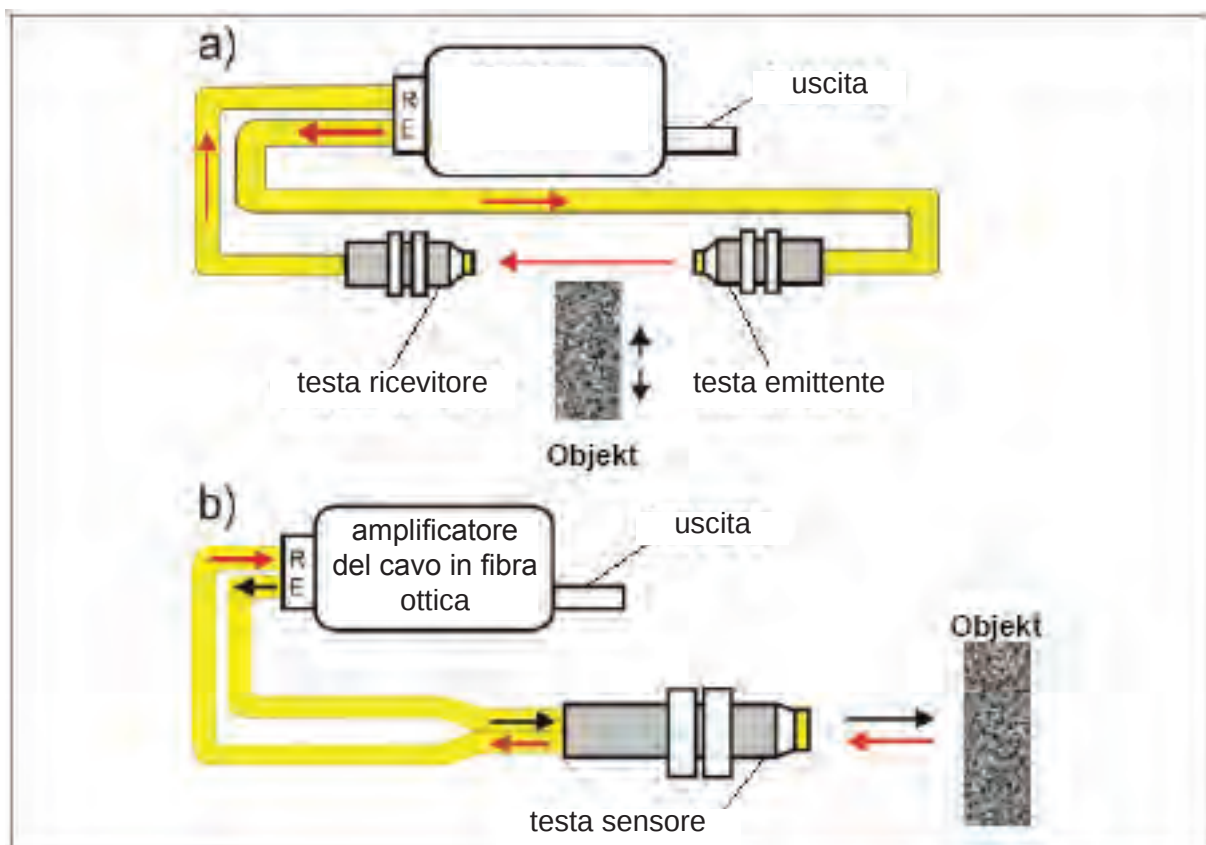


Figura 4.16: Tipi di sensori con cavi in fibra ottica: a) a sbarramento, b) a diffusione

Grazie alle dimensioni ridotte della testa del cavo in fibra ottica tali sensori possono rilevare oggetti molto piccoli ed essere installati dove non è possibile installare altri sensori. Inoltre possono lavorare nei liquidi e in posti ad alto rischio di esplosione. Sono robusti agli urti e alle vibrazioni. Perciò possono essere installati su meccanismi in moto.

Un LED che emette una luce rossa visibile o infrarossa può essere utilizzato come fonte di luce. Il diametro esterno di un cavo in fibra ottica standard è 2,2 mm e la sua lunghezza standard è minore di 2 m.

4.9 Tecniche di collegamento

4.9.1 Tipi di collegamento

I sensori optoelettronici hanno due modi di lavorare:

- il procedimento scuro (DO, dark operate)
- il procedimento chiaro (LO, light operate)

L'uscita di sensori che usano il procedimento scuro è attiva (ON) se la luce emessa non raggiunge il ricevente. L'uscita di sensori che usano il procedimento chiaro è attiva (ON) se la luce emessa raggiunge il ricevente.

4.9.2 Commutazione dell'uscita del sensore

Ogni sensore optoelettronico ha una zona caratteristica di commutazione del segnale d'uscita. La sua grandezza e la sua forma dipendono dal diametro del raggio di luce emesso e dalla distanza tra oggetto rilevato e sensore. Se l'oggetto rilevato si trova in tale zona, il segnale d'uscita viene commutato.

La zona di commutazione del segnale d'uscita (se un oggetto viene spostato di fronte al sensore o il ricevente di fronte all'emittente) può essere rappresentata nel cosiddetto grafico di risposta.

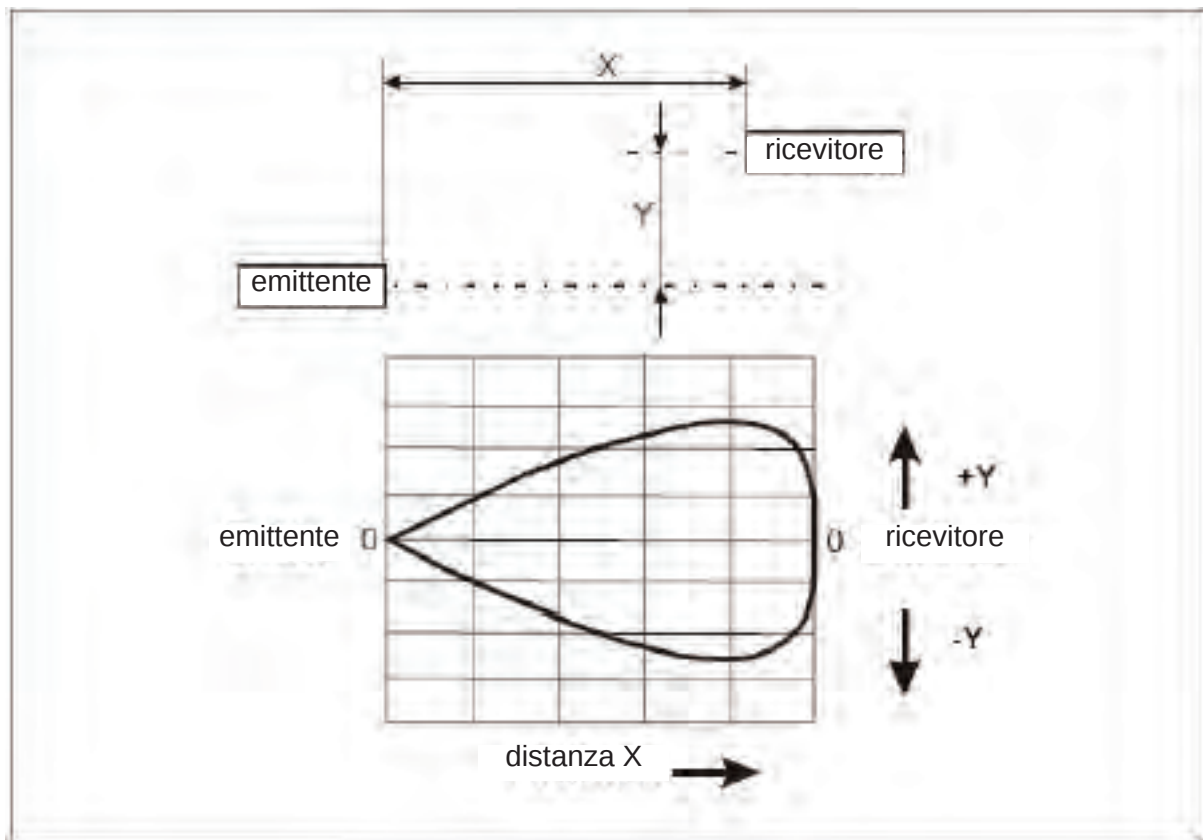


Figura 4.17: Diagramma di risposta dei sensori a sbarramento

Una caratteristica importante di tutti i sensori è la frequenza massima di commutazione (il numero massimo possibile di commutazioni del segnale d'uscita in un secondo, in Hz). Per i sensori optoelettronici la frequenza massima viene fissata sulla base del tempo di reazione / tempo di rilascio che è indicato nei dati tecnici di ogni sensore. Nel calcolo della frequenza di commutazione massima f_{max} si presuppone che questi tempi siano uguali.

$$f_{max} = 10^3 / (\text{Tempo di reazione} + \text{tempo di rilascio})$$

f_{max} [Hz]

tempo di reazione / tempo di rilascio [ms]

4.10 Applicazioni

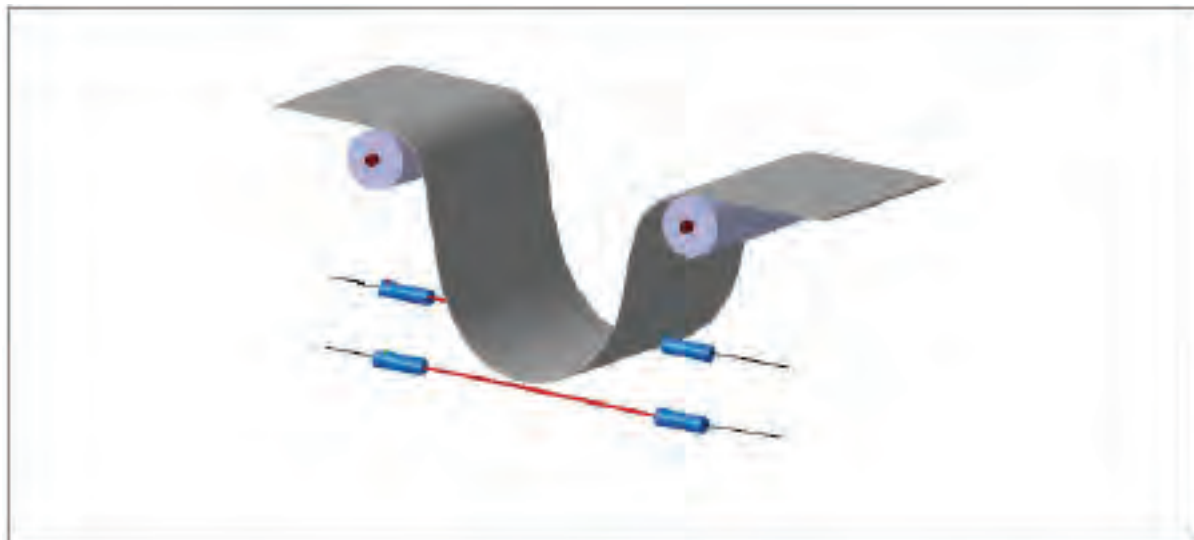


Figura 4.18: Controllo del ascensore band con un sensore optoelettronico

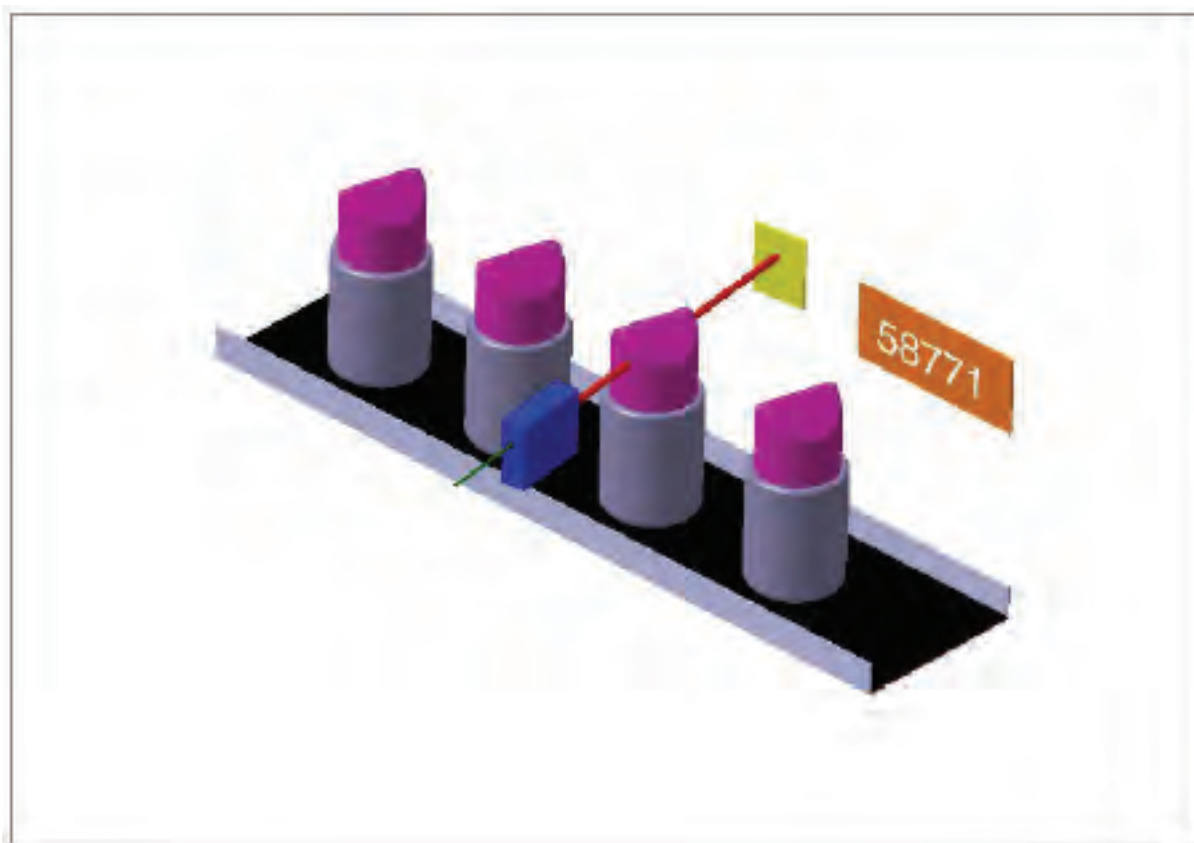


Figura 4.19: Rilevare gli oggetti opachi con un sensore optoelettronico

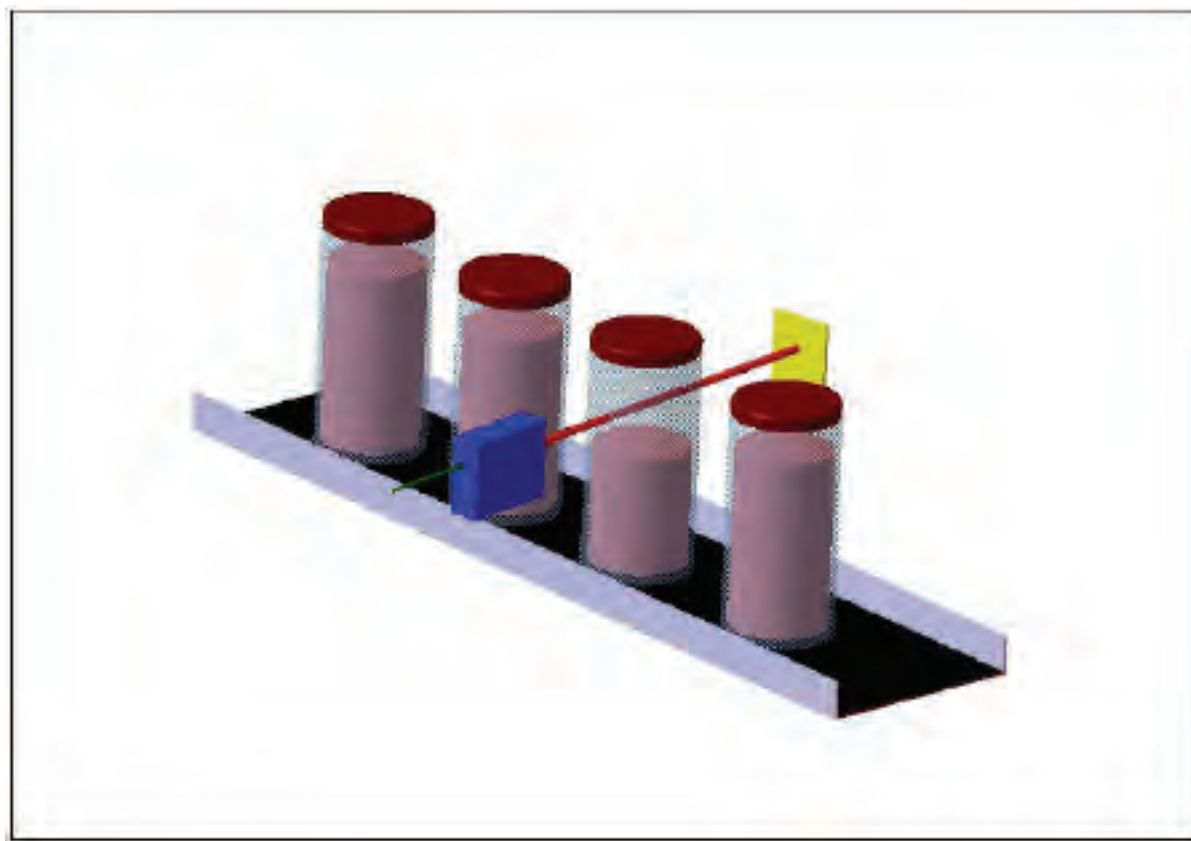


Figura 4.20: Controllare l'altezza del fluido in un contenitore di vetro con un sensore retroriflettente optoelettronico con un filtro di polarizzazione

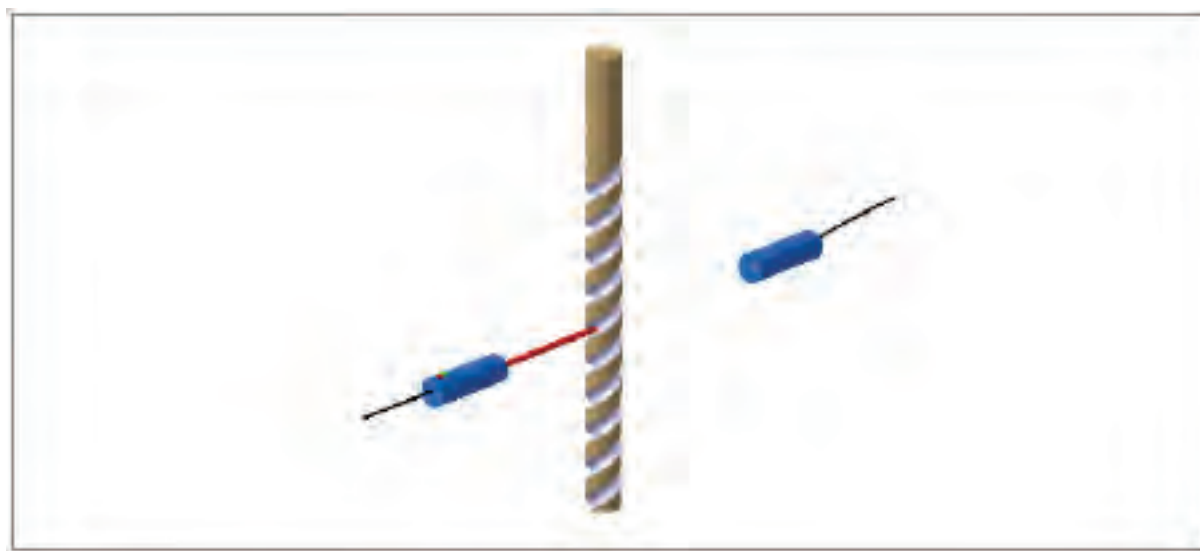


Figura 4.21: Rilevare la spaccatura di un utensile con una barriera di luce monouso con cavi in fibra ottica

5 Sensori magnetici

5.1 Informazioni di base

I sensori magnetici rilevano soprattutto oggetti a cui possono essere applicati magneti. Questo tipo di sensori viene utilizzato spesso nell'automazione industriale grazie ad un grande raggio d'azione e all'ampia gamma di alloggiamenti compatti ed ermetici.

Le forme di base dei sensori magnetici non hanno bisogno di alimentazione e possono essere collegati direttamente al centro di controllo. Un altro vantaggio è l'ampio intervallo di tensioni e correnti di collegamento (più di 1000 V e alcuni A).

I sensori magnetici reagiscono ad un campo magnetico che normalmente viene generato da magneti permanenti fissati all'oggetto da rilevare. Gli oggetti possono essere prodotti in materiali diversi anche se sono preferibili oggetti non ferromagnetici perché garantiscono un raggio d'azione maggiore.

Gli elementi che reagiscono al campo magnetico possono essere: un contatto elettrico chiuso ermeticamente (contatto Reed), un elemento di un semiconduttore (sensore Hall), una resistenza magnetica o un materiale di caratteristiche magnetiche speciali.

Campi magnetici attraversano la maggior parte dei materiali non magnetici. Perciò un oggetto può essere rilevato, anche se si trova un diamagnetico (p.es. un tubo di plastica o un contenitore di plastica) fra oggetto e sensore.

Se un sensore viene avvicinato al sensore (in direzione X o Y) il segnale d'uscita viene commutato. Questo può essere segnalato da un diodo luminoso (figura 5.1).

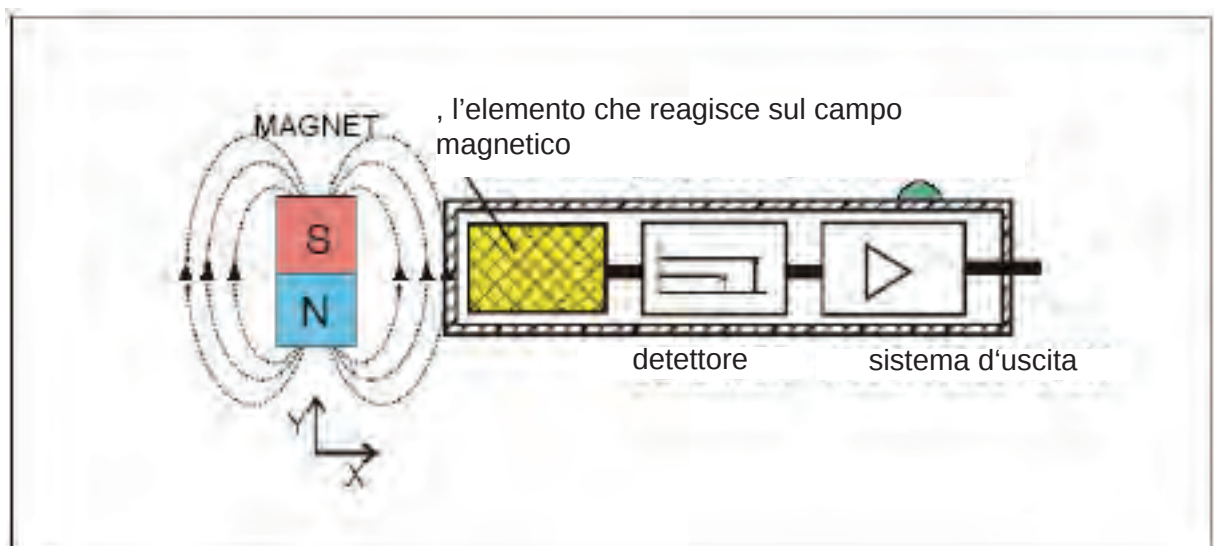


Figura 5.1: Costruzione di un sensore magnetico

5.2 Isteresi

Un materiale ferromagnetico che si trova in un campo magnetico esterno è soggetto a magnetizzazione e smagnetizzazione in funzione della direzione del campo magnetico. Il ciclo d'isteresi dipende dalle caratteristiche del materiale (figura 5.2). Maggiore è l'area del diagramma del ciclo d'isteresi, più il materiale è difficile da smagnetizzare. Tali materiali (Fe-Co, Ni-Co, ferriti duri) vengono chiamati "forti" e utilizzati come magneti permanenti. Se l'isteresi è stretta, il materiale viene smagnetizzato e magnetizzato facilmente. Tali materiali (ferro, Fe-Si, Fe-Al, ferrite morbida, leghe amorfe) vengono chiamati "deboli" e utilizzati come nucleo magnetico.

A seconda delle caratteristiche magnetiche descritte si possono costruire diversi tipi di sensori magnetici.

Un campo magnetico nel vuoto viene caratterizzato da un vettore induzione magnetica B_0 . L'induzione magnetica B in un materiale omogeneo qualsiasi viene fissata come segue.

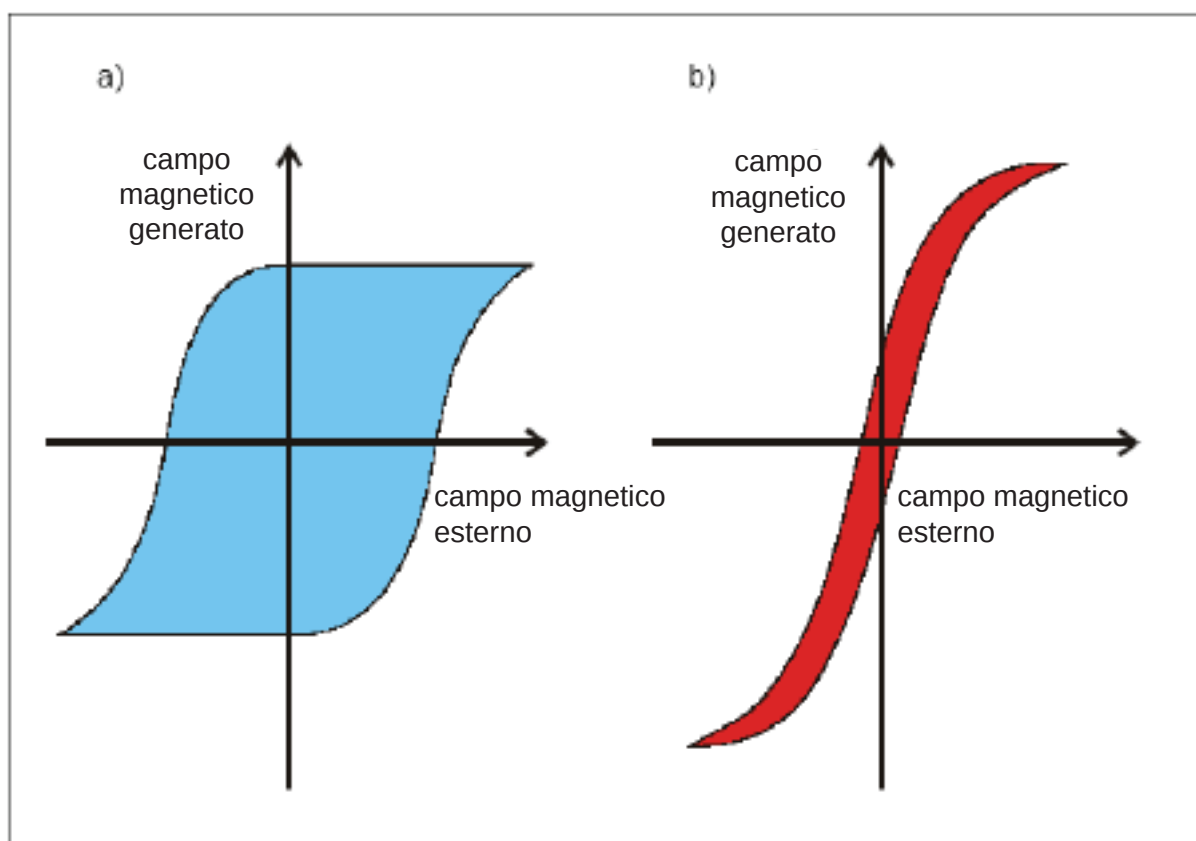


Figura 5.2: Isteresi di un ferromagnetico a) duro, b) morbido

5.3 Effetto Hall

L'effetto Hall consiste nella generazione di un campo elettrico aggiuntivo in una piastra di un conduttore o semiconduttore che si trova in un campo magnetico esterno. Sotto l'influenza del campo magnetico esterno le cariche elettriche si addensano da un solo lato della piastra e nasce una differenza potenziale (cosiddetta tensione Hall V_H). Il campo magnetico aggiuntivo per effetto Hall ha direzione ortogonale sia al campo magnetico B che alla corrente I_C . È massimo se il campo magnetico esterno è verticale alla direzione della corrente (figura 5.7).

Per la piastra rappresentata vale:

$$V_H = R_H \cdot B \cdot I_C / d$$

R_H – costante di Hall (descrive la mobilità del portatore d'energia)

d – spessore della piastra

Per un utilizzo dell'effetto Hall è necessario un valore molto alto della tensione V_H . Può essere ottenuto usando lamine molto sottili (0,1 mm) di un materiale con alta mobilità dei elettroni. Caratteristiche possedute soltanto dai semiconduttori (InSb, InGaAs, Si, GaAs). La possibilità di un aumento di tensione tramite l'aumento di corrente circolante nella piastra è limitata perché vincolata al valore massimo di potenza permessa. Questa potenza dipende in gran parte dalla costruzione e dalla forma della piastra.

L'effetto Hall viene utilizzato spesso, p.es. per la costruzione di Sensori magnetici di semiconduttori.

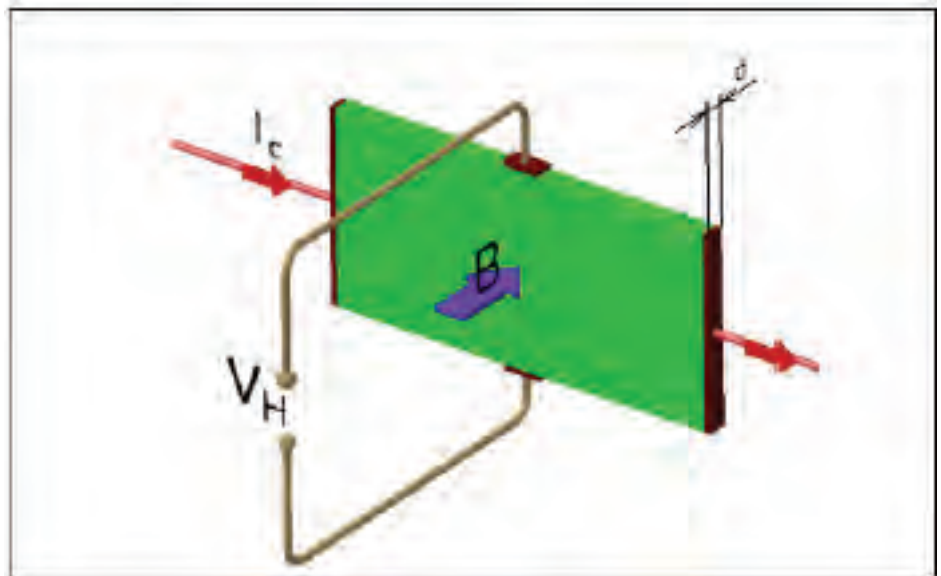


Figura 5.3: Effetto Hall

5.4 Effetto magnetoresistivo

I magnetoresistori AMR sono elementi semiconduttori anisotropi la cui resistenza dipende fortemente dall'intensità del campo magnetico. Per la costruzione di tali sensori vengono utilizzati nastri sottili di materiale ferromagnetico "permalloy" (20% Fe, 80% Ni).

La magnetoresistenza di un semiconduttore aumenta a causa dell'influenza di un campo magnetico esterno H , poiché questo modifica la direzione della corrente I che attraversa il semiconduttore di un angolo α . Ciò comporta che le cariche elettriche devono coprire una distanza maggiore (figura 5.4). Maggiore è l'intensità del campo magnetico maggiore è l'angolo α . Questo effetto viene chiamato effetto magnetoresistivo.

L'effetto magnetoresistivo è quasi assente nei metalli. E' presente, a livelli differenti, nei semiconduttori.

Se la corrente attraversa un elettrodo di oro o alluminio ne viene modificata la direzione. In questo caso le cariche elettriche devono attraversare una distanza ancora più lunga e la resistenza aumenta fino al valore R_M funzione di α . Quando il campo magnetico viene spento, la resistenza del semiconduttore torna al valore d'uscita R_{M0} .

La relazione che lega l'angolo α funzione dall'intensità del campo magnetico e la resistenza del semiconduttore R_M rende possibile il rilevamento di oggetti magnetizzati.

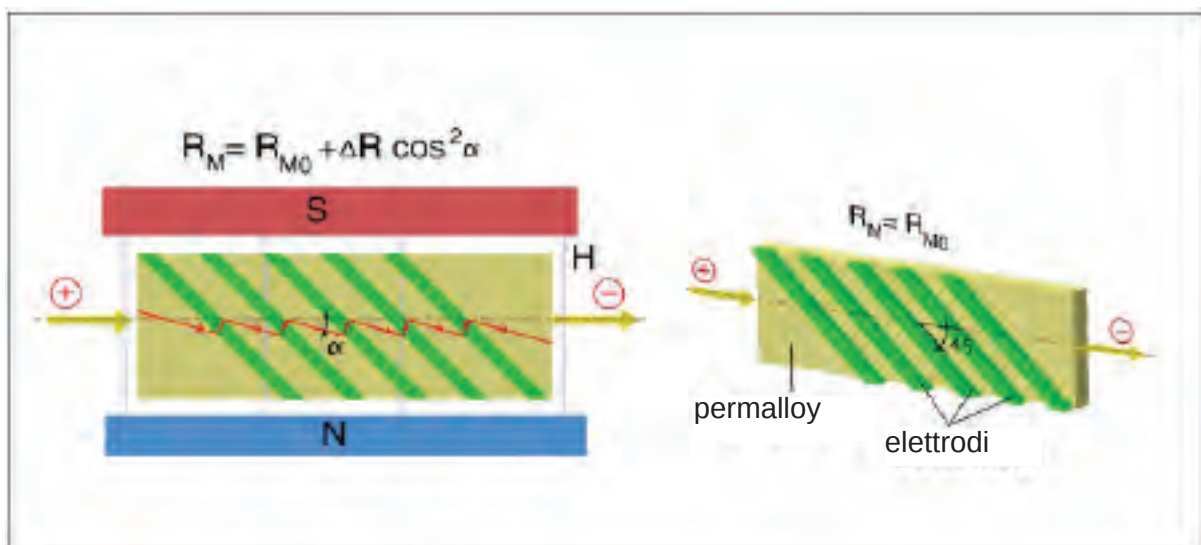


Figura 5.4: Effetto magnetoresistivo

5.5 Effetto Wiegand

L'effetto Wiegand è la produzione di un impulso elettrico in una bobina che, quando cambia la direzione del campo magnetico esterno, è stata avvolta intorno ad un conduttore ferromagnetico con caratteristiche magnetiche speciali (conduttore dell'impulso). Un materiale ferromagnetico viene avvolto a freddo più volte per ottenere un'adeguata tensione meccanica. Il suo diametro è di circa 0.3 mm.

Un tale conduttore è una lega di cobalto, ferro e pentossido di vanadio ed è composto da due differenti zone magnetiche: un nucleo e un involucro. Il nucleo viene prodotto da materiale ferromagnetico debole (isteresi stretta) e la guaina da un materiale ferromagnetico forte (isteresi larga) (figura 5.5.).

Ogni intervallo magnetico reagisce diversamente al cambiamento di direzione del campo magnetico esterno. La direzione della magnetizzazione del nucleo (ferromagnetico debole) cambia più velocemente di quella della guaina (ferromagnetico forte). Quando il campo magnetico esterno genera un cambiamento nella direzione di magnetizzazione del nucleo ma non in quello della guaina, nella bobina si verifica un breve impulso elettrico (10 - 20 μ s) nella bobina. L'ampiezza dell'impulso è praticamente indipendente dalla velocità con cui cambia la direzione del campo magnetico. Per invertire la direzione di magnetizzazione del nucleo, il campo magnetico deve essere tre volte inferiore a quello della guaina.

L'effetto Wiegand viene utilizzato nei sensori magnetici per rilevare traslazioni o rotazioni degli oggetti.

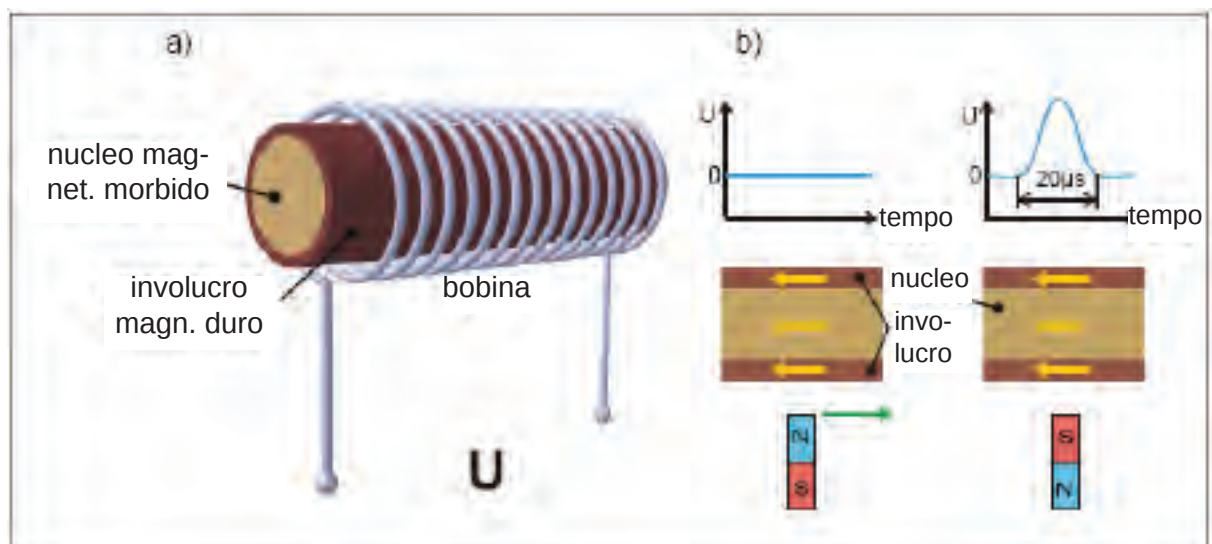


Figura 5.5: Effetto Wiegand: a) "trasmissione dell'impulso" mediante bobina, b) impulso elettrico prima e dopo il cambiamento di direzione del campo magnetico esterno

5.6 Sensori Reed

Il funzionamento di un tale sensore si basa sulla funzione di un contatto Reed, che reagisce all'avvicinamento di un magnete. Un sensore Reed immerso in un campo magnetico, viene magnetizzato. Se la forza che attira i contatti è maggiore della forza elastica lo stato del contatto Reed viene commutato e il circuito viene chiuso e collegato ad un carico. (figura 5.6).

Quando il campo magnetico viene spento i contatti si separano a causa della forza elastica e il circuito resta aperto.

I sensori con un sensore Reed non hanno bisogno di corrente. Se il sensore Reed non si trova in nessun campo magnetico, i suoi contatti a seconda delle diverse tipologie possono restare chiusi (segnale NC) o aperti (segnale NO).

L'intensità del campo magnetico dipende dalle caratteristiche del materiale e dalla dimensione del magnete. Ciò determina il raggio d'azione massimo del sensore S_{max} .

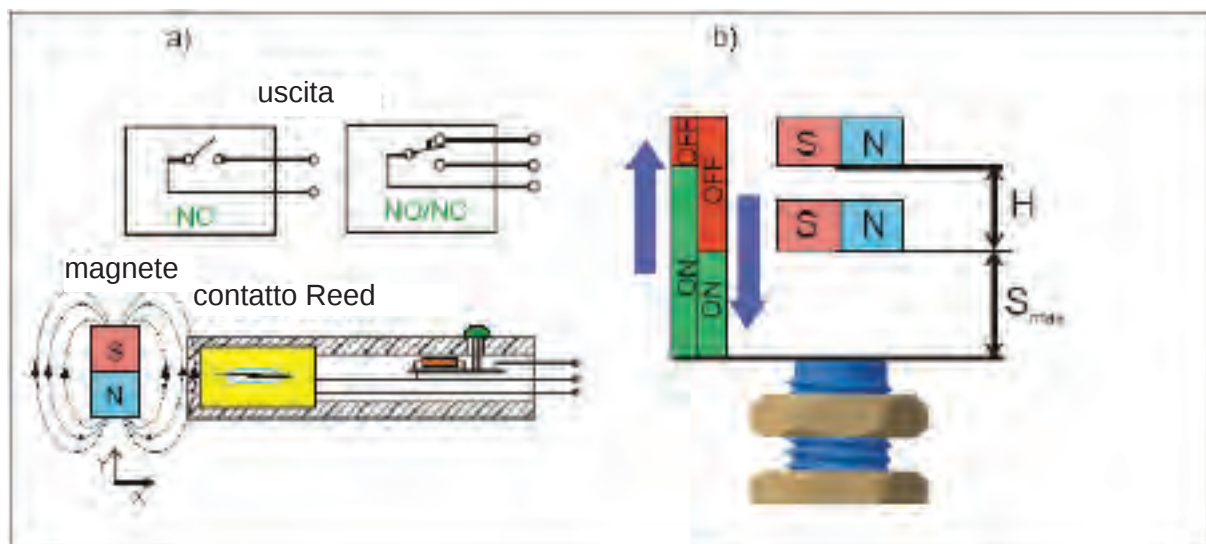


Figura 5.6: Sensori Reed: a) schema e stato d'uscita, b) S_{max} – raggio d'azione, Histeresi

L'intensità del campo magnetico dipende dalla distanza tra il magnete e il sensore lungo gli assi X e Y (figura 5.7). Se un magnete viene spostato parallelamente all'asse del contatto Reed ci sono tre zone di commutazione dove viene commutato su ON il segnale d'uscita. Disponendo opportunamente il magnete e il sensore si può ottenere un sensore con due o tre zone di commutazione. Ad ogni modo è sempre possibile ottenere un magnete che spostato verticalmente all'asse del contatto Reed lo stato d'uscita abbia una sola commutazione dello stato d'uscita.

L'alloggiamento dei sensori magnetici con un contatto Reed può avere forme diverse (cilindriche, quadratiche o molto complesse) che dipendono dalle condizioni d'uso. La forma del sensore impone la zona dove un magnete si può muovere. Per qualche sensore il magnete si deve muovere soltanto lungo la superficie frontale del sensore. Per altri sensori il magnete si può muovere anche di fronte alle superficie laterale del sensore.

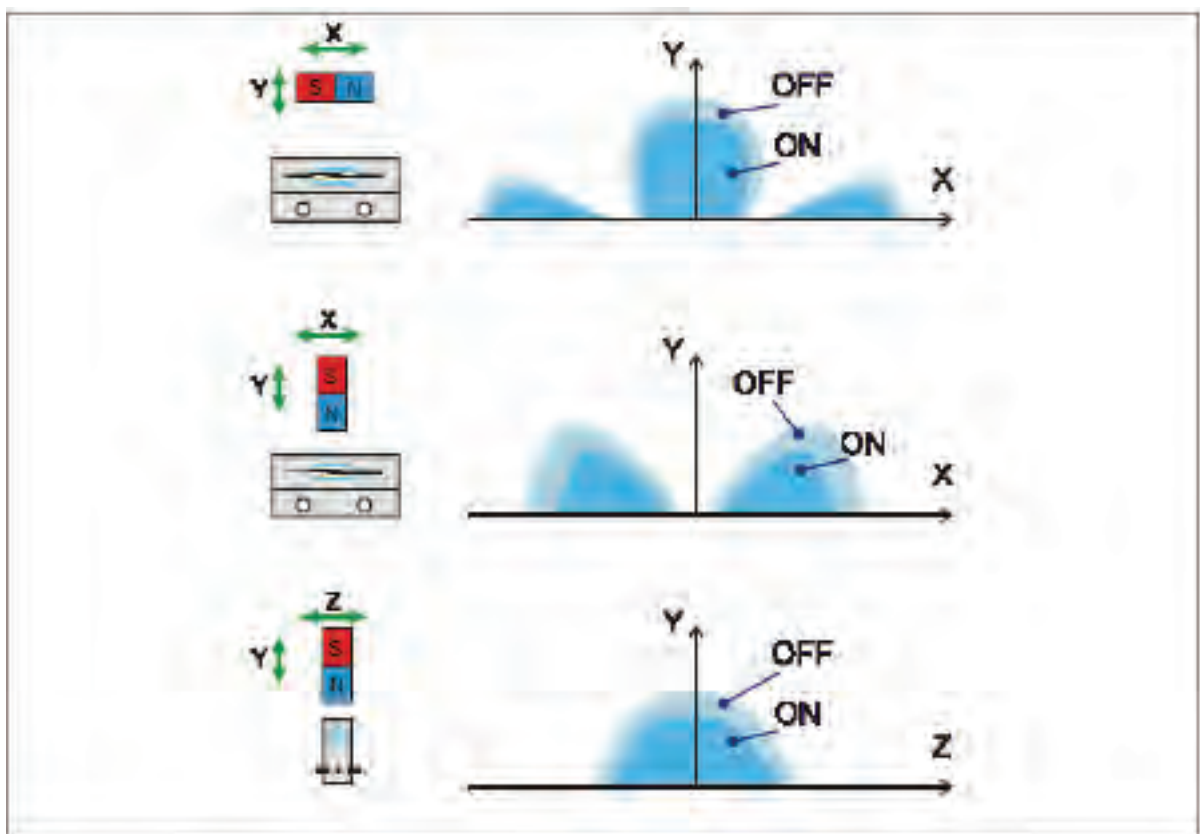


Figura 5.7: Zone di commutazione del segnale d'uscita in dipendenza dalla posizione e l'orientamento del magnete

5.7 Sensori Hall

I sensori Hall usano l'effetto Hall. Il loro segnale d'uscita cambia quando la variazione di un campo magnetico esterno induce la tensione aggiuntiva di Hall.

I sensori Hall hanno bisogno di essere alimentati con corrente continua. Se un magnete si trova al di fuori del raggio d'azione del sensore la corrente attraversa indisturbata la piastra di materiale semiconduttore e la differenza di potenziale sui bordi della piastra è 0. Se un magnete si trova nel raggio d'azione del sensore il suo campo magnetico induce tensione Hall sui bordi della piastra. Questa tensione viene misurata e regola il transistore d'uscita del sensore (figura 5.8).

I sensori Hall normalmente hanno tre conduttori. La loro tensione d'alimentazione è costante ed è di 5-30 V. La frequenza massima di commutazione del segnale d'uscita è maggiore di 300 Hz. La corrente permessa che attraversa la piastra normalmente è minore di 1 A.

Tali sensori possono essere onnipolare (reagiscono a qualsiasi polarizzazione del campo magnetico), unipolare (reagiscono solo ad una certa polarizzazione del campo magnetico) o bipolari (vengono accesi da un polo e spenti dall'altro).

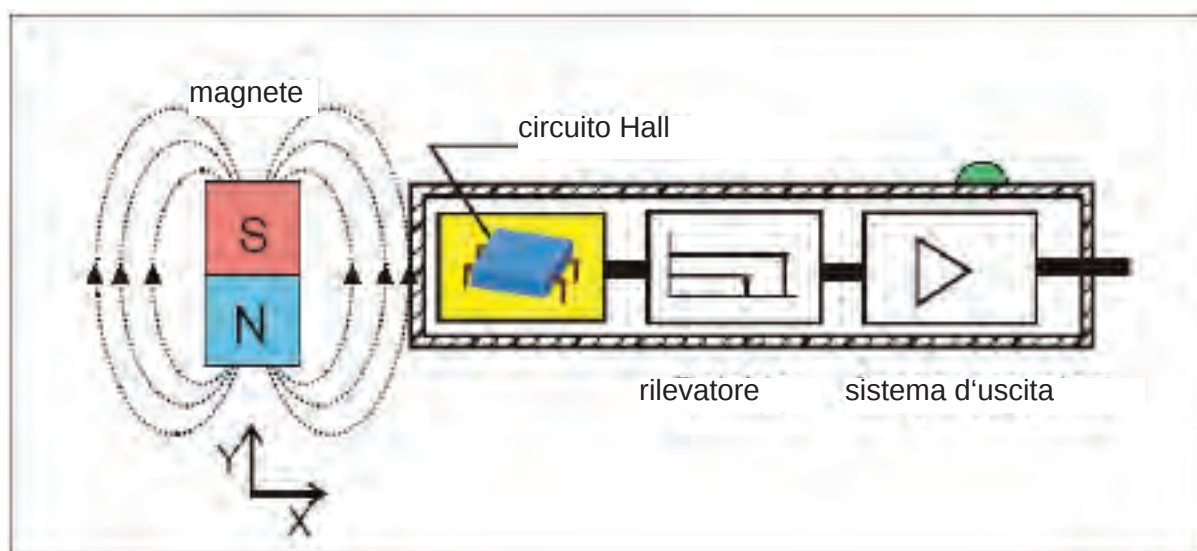


Figura 5.8: Sensore Hall

5.8 Sensori magnetici speciali

5.8.1 Sensori magnetoresistivi

La costruzione di sensori magnetoresistivi è simile a quella dei Sensori Hall. Soltanto l'elemento sensibile ai cambiamenti del campo magnetico è diverso.

Nei sensori magnetoresistivi questo elemento consiste di quattro magnetoresistori RM1-RM4 che generano un ponte di Wheatstone (figura 5.9) rispettando la giusta polarizzazione degli elettrodi. In questo elemento vengono compensate le espansioni termiche e il segnale d'uscita viene raddoppiato rispetto alle misurazioni ottenute con un unico magnetoresistore.

Se un magnete si trova nel raggio d'azione del sensore ne modifica la resistenza. Questo cambiamento è proporzionale alla variazione di potenza del campo magnetico.

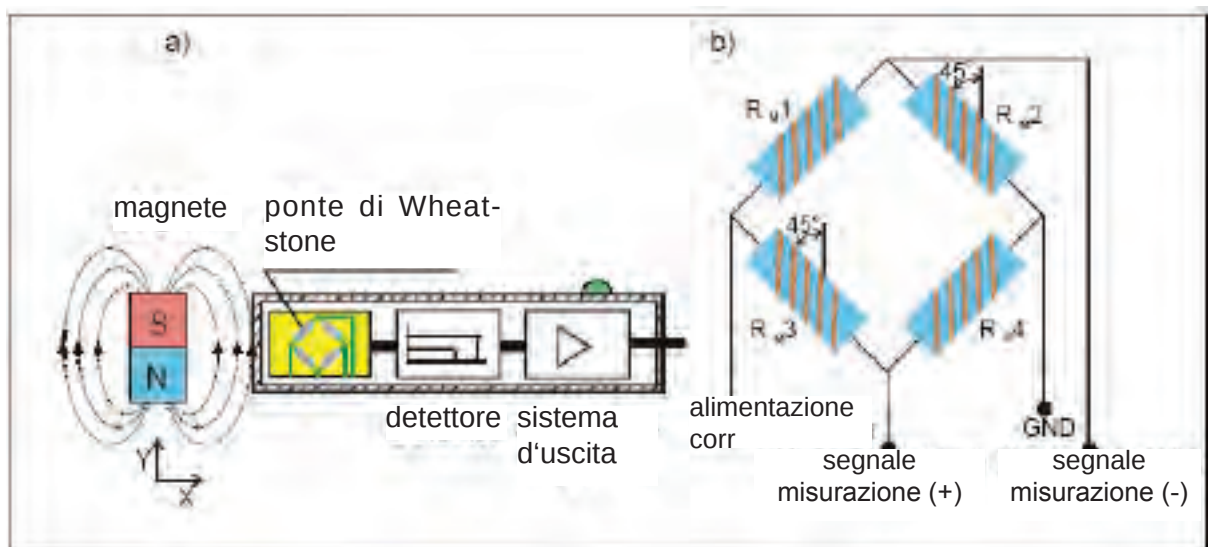


Figura 5.9: Sensore magnetoresistivo: a) costruzione, b) ponte di Wheatstone

5.8.2 Sensori Wiegand

Il funzionamento di sensori Wiegand si basa sulla registrazione dei cambiamenti di direzione della magnetizzazione (polarizzazione) del nucleo di un conduttore d'impulso. Se cambia la direzione del campo magnetico esterno, può cambiare anche la polarizzazione del nucleo.

Un campo magnetico con direzione variabile può essere generato da piccoli magneti mobili o stazionari (figura 5.10). Nel primo caso un conduttore impulsivo è esposto ad un campo generato da un magnete con la polarizzazione N/S e poi il campo di un magnete con la polarizzazione inversa S/N. A causa del cambiamento del campo magnetico esterno viene generato un impulso elettrico nella bobina in prossimità del conduttore impulsivo. L'impulso direttamente, o dopo l'elaborazione, è il segnale d'uscita del sensore.

Nel secondo caso per cambiare la direzione di magnetizzazione del nucleo, un conduttore impulsivo viene spostato davanti ad un magnete con la polarizzazione N/S e poi davanti a un magnete con la polarizzazione inversa S/N. In questo procedimento i magneti e la bobina si trovano nel sensore, ed è il conduttore impulsivo l'elemento mobile.

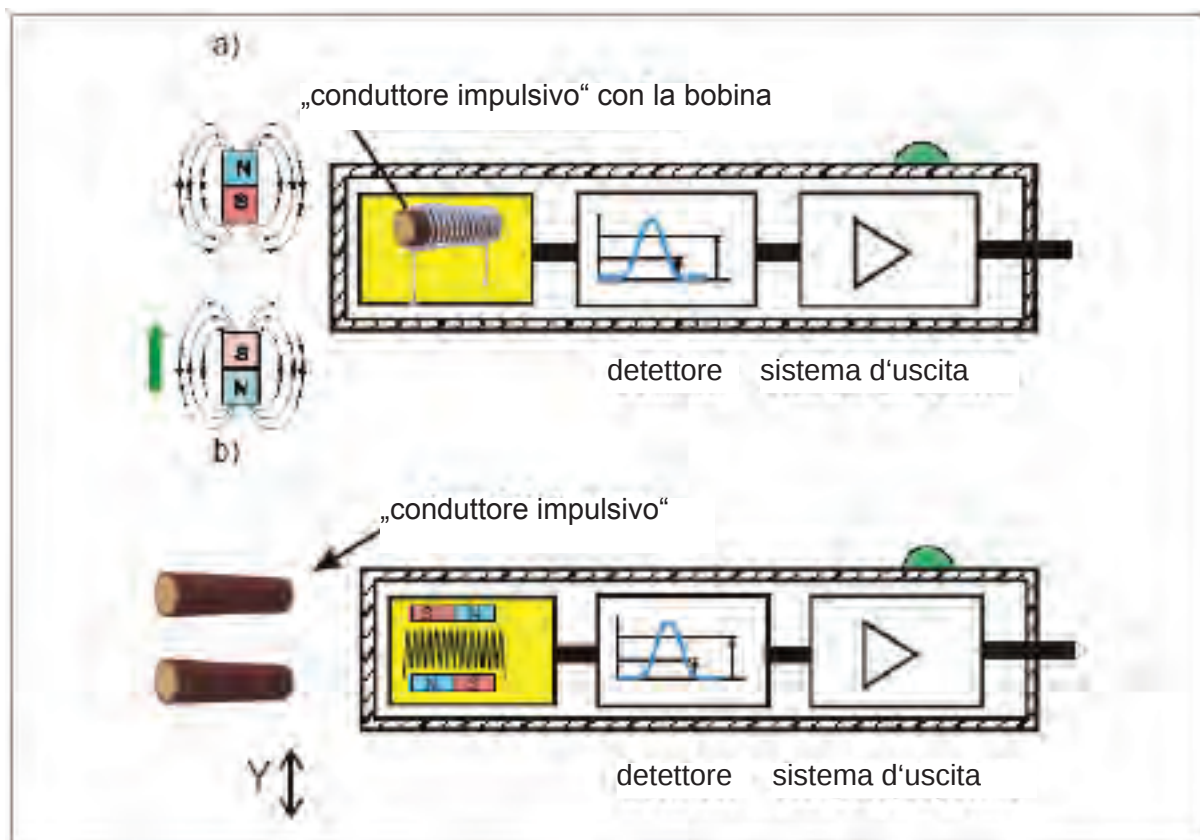


Figura 5.10: Sensori Wiegand: a) con un campo magnetico mobile, b) con una conduttore impulsivo mobile

C'è ancora una terza possibilità: sia i magneti sia il conduttore impulsivo e la bobina si trovano nella testa del sensore. In questo caso la direzione del campo magnetico viene modificata mediante materiale ferromagnetico che si trova nel raggio d'azione del sensore. Perciò si possono usare tali sensori per contare oggetti ferromagnetici che si spostano (p.es. i denti di una ruota dentata e di conseguenza la velocità angolare). Se un oggetto si sposta davanti al sensore, la polarizzazione magnetica del conduttore impulsivo viene invertita due volte. Ogni cambiamento induce un impulso elettrico nella bobina.

I sensori Wiegand non hanno bisogno di alimentazione. Contengono due conduttori e possono lavorare in condizioni difficili. La frequenza e l'ampiezza degli impulsi generati possono essere elevati (fino a 20 kHz e alcuni Volts).

5.8.3 Sensori magnetici a magnete permanente

Il sensore magnetico più semplice consiste in una bobina avvolta su un magnete permanente (figura 5.11.) Un oggetto ferromagnetico che si muove vicino al sensore modifica il campo magnetico che attraversa la bobina e genera in essa una tensione.

Tali sensori non rilevano però oggetti immobili perché la tensione d'uscita dipende dalla velocità dell'oggetto. Più lentamente si muove un oggetto minore sarà la tensione d'uscita. Se l'oggetto non si muove la tensione è pari 0 V. Valori bassi della tensione d'uscita devono essere amplificati per commutare il segnale d'uscita.

Tali sensori non richiedono alimentazione. La loro risoluzione è alta. Può essere addirittura di $1/100^\circ$ quando viene misurata una velocità di rotazione.

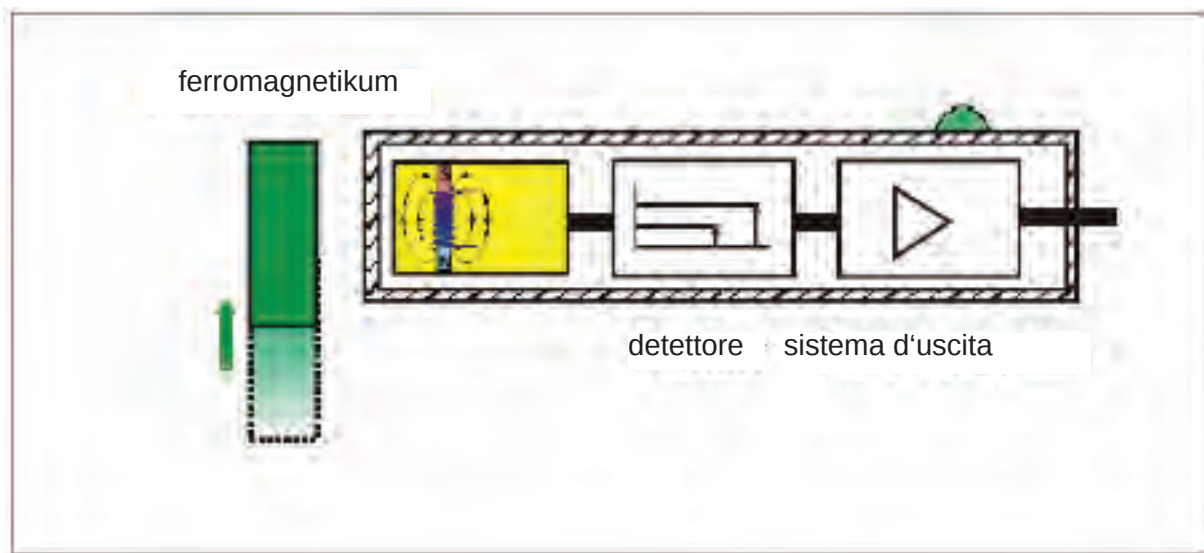


Figura 5.11: Sensore magnetico con un magnete

5.9 Principi di montaggio

I sensori magnetici possono essere montati in elementi di un qualsiasi materiale non ferromagnetico. La sensibilità del sensore non dipende dalla distanza fra la superficie frontale del sensore e la superficie dell'elemento (figura 5.12).

Se un sensore magnetico va montato in un elemento ferromagnetico tale distanza dovrebbe essere la maggiore possibile. Inoltre dovrebbe essere utilizzato uno strato aggiuntivo di dielettrico fra sensore e l'elemento.

Se un magnete viene fissato alla superficie di un elemento ferromagnetico, il suo campo magnetico viene rafforzato. Se un magnete viene montato in un elemento ferromagnetico il suo campo magnetico viene indebolito. A causa del cambiamento del campo magnetico cambia anche il raggio d'azione del sensore.

Se si trova un oggetto non ferromagnetico fra sensore e magnete, il comportamento del sensore non viene disturbato. Viceversa, se si interpone un oggetto ferromagnetico fra sensore e magnete, la funzione del sensore viene disturbata e il segnale d'uscita potrebbe essere erroneamente commutato.

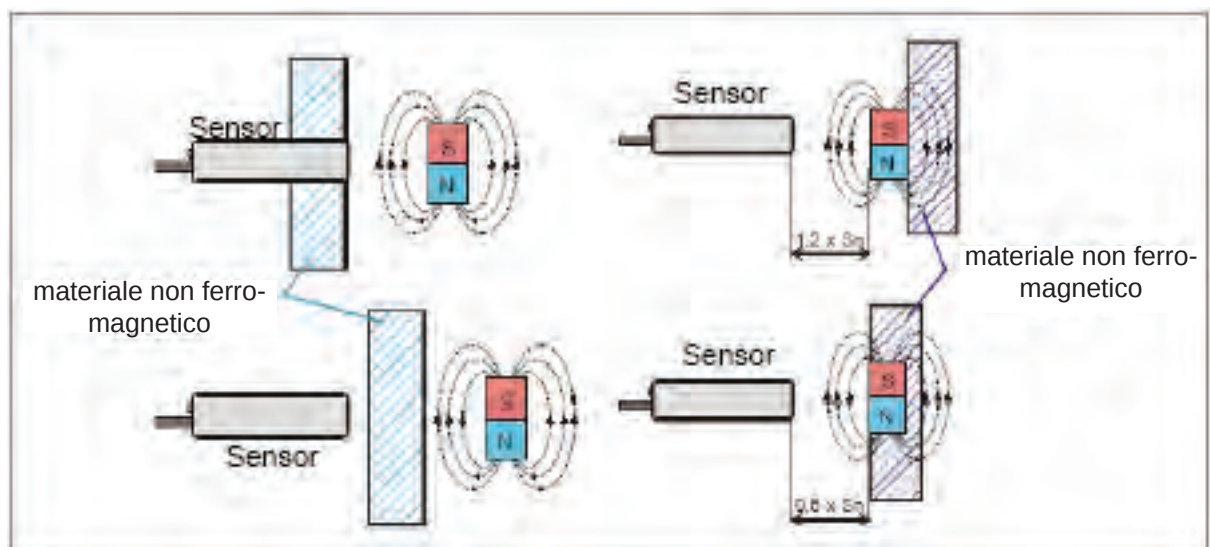


Figura 5.12: Influenza degli elementi ferromagnetici e non ferromagnetici sulle caratteristiche di sensori magnetici

5.10 Applicazioni

I sensori magnetici vengono utilizzati per:

- rilevare oggetti che si trovano in un tubo di plastica o un contenitore di plastica
- rilevare oggetti che si trovano in un ambiente aggressivo attraverso uno strato protettivo
- rilevare oggetti ad elevate temperature (un elemento ferromagnetico si può trovare vicino all'oggetto)
- rilevare oggetti in rotazione e/o traslazione

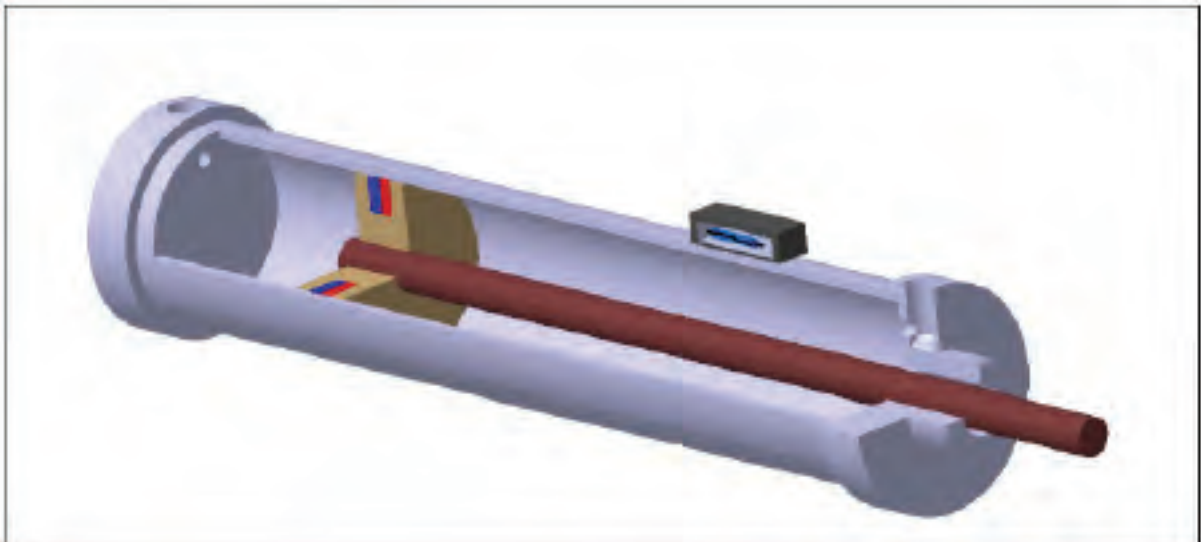


Figura 5.13: Rilevare la posizione del pistone in un cilindro non ferromagnetico con un sensore Reed

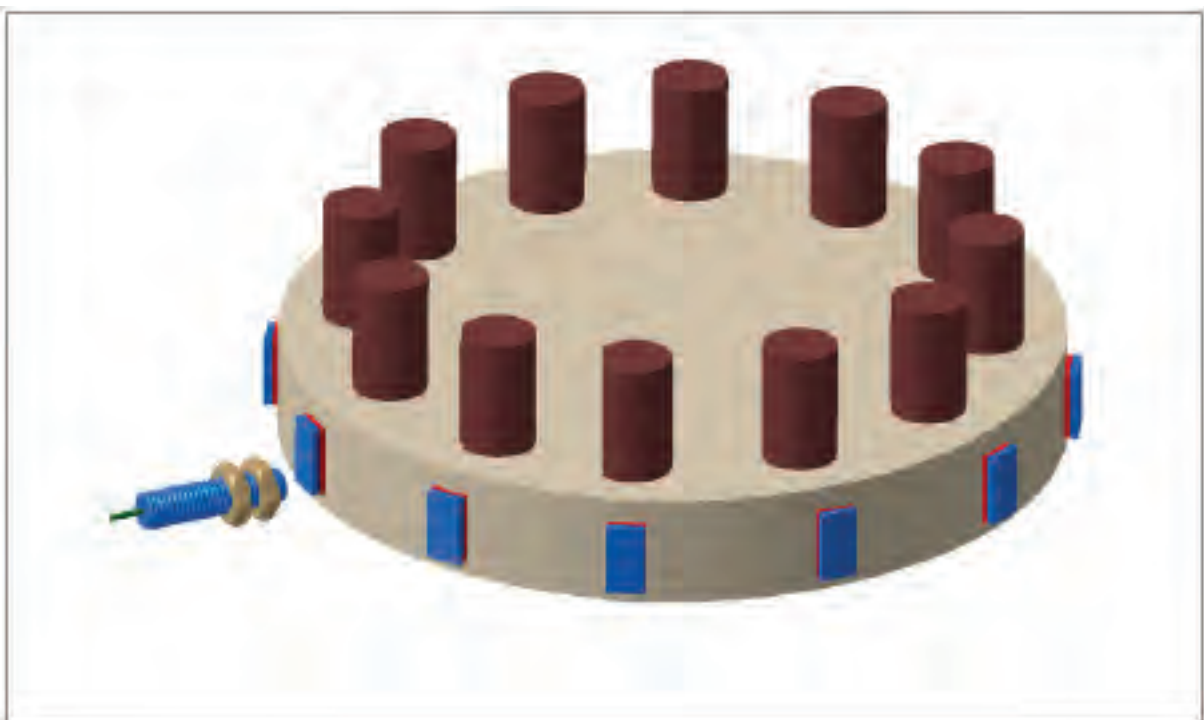


Figura 5.14: Rilevare la posizione angolare di un tavolo mediante sensore Hall

6. Funzione dei sensori nei sistemi meccatronici

6.1 Applicazioni principali dei sensori nei sistemi meccatronici

I sensori vengono impiegati nei sistemi meccatronici principalmente per assicurare la corretta operazione dei loro componenti e l'esecuzione relativa ai processi di funzioni di controllo. Essi vengono usati per identificare:

- l'esecuzione dei sistemi nelle loro condizioni di operazione, misurando i parametri dei sistemi operativi;
- la correttezza dei processi dei parametri di controllo, attraverso il monitoraggio periodico o continuo dei valori dei parametri;
- il disturbo di operazione, attraverso una diagnosi del sistema;
- la degradazione delle proprietà del sistema, e i difetti, attraverso una determinata analisi.

6.2 Complessità delle strutture dei sistemi meccatronici e la locazione dei sensori

I sistemi meccatronici moderni sono ibridi nel loro „Design“ e comprendono moduli meccanici, idraulici, pneumatici, elettrici ed elettronici. I moduli possono essere semplici o complessi e la loro operazione necessita di un'equipaggiamento specifico scelto dal designers per garantirne il corretto funzionamento. L'equipaggiamento concerne la struttura dei nodi dei parametri di operazione dei moduli/sistemi come:

- la velocità e l'accelerazione di lavoro dei movimenti di assemblaggio, valutati attraverso i sensori „contact“ oppure „non-contact“;
- posizioni, posizionamento e orientazione degli assemblaggi e oggetti, riconosciuti dai sensori „contact“ o „non-contact“;
- le distanze di movimento valutate da percorsi di sensori semplici o complessi a seconda della precisione richiesta del „path control“;
- la velocità del movimento di ausiliari, misurati dai sensori di velocità quando la velocità è il soggetto da controllare;
- carichi trasmessi e applicati (forza, pressione, corrente, elettricità e forza torcente) che devono essere controllati dai sensori e monitoraggi;
- condizioni permissive del sistema termico per moduli particolare e i loro componenti relativi, identificati attraverso la misurazione di temperatura per mezzo di sensori collocati all'interno dei moduli;
- abilità di movimenti integrati identificati per mezzo di percorsi integrati, sensori di velocità e accelerazione;
- proprietà di energia dei sistemi e i loro rispettivi moduli, misurati direttamente o indirettamente dai sensori.

I sistemi di operazione sopra descritti vengono eseguiti alla base dei dati raccolti dai sensori. Oltre ai sistemi di misurazione, i sensori devono soddisfare altre esigenze p. es. la magnitudine, lo stato e la localizzazione della misurazione dei processi di segnale possibili e la trasmissione di interferenze e comunicazione dei circuiti.

6.3 La complessità delle funzioni dei sistemi mecatronici e la localizzazione dei loro sensori

Il compito svolto dai sistemi mecatronici varia da molto semplice (tipico dei dispositivi che eseguono funzioni semplici e dispositivi semplici che svolgono molte funzioni) fino a compiere operazioni molto complesse. L'esecuzione dei sistemi di funzione viene controllata automaticamente in rapporto all'algoritmo assegnato alla funzione stessa, svolgendo le seguenti operazioni:

- Riconoscimento dell'uscita per l'esecuzione di una funzione - per mezzo di un'apposito sensore o di un set di sensori con visualizzazione del segnale, oppure attraverso la trasmissione per via di un circuito di comunicazione che arriva al sistema di controllo.
- Una preparata valutazione per le funzioni di attivazione.
- Funzione di attivazione - decisione umana o di un sistema di controllo e attivazione per via del circuito di comunicazione.
- Osservazione dell'esecuzioni delle funzioni - osservazione automatica per mezzo di un singolo sensore o un set di sensori, integrati con l'elaborazione del segnale di circuito, circuito logico e il sistema di controllo e programma, per via del circuito di comunicazione
- Decisione al termine dell'esecuzione delle funzioni - prese dal sistema di controllo in base al segnale ricevuto dal sensore ed un algoritmo specifico nel programma di controllo, per via del circuito di comunicazione.
- Funzione di disattivazione - può essere effettuata per mezzo di un sensore o un set di sensori oppure da un convertitore o un set di convertitori, in accordo con l'algoritmo di controllo.
- Informazioni riguardo il termine delle funzioni - vengono trasmesse dal circuito di comunicazione al controllo di sistema in modo da arrestare il sistema di operazione oppure eseguire una nuova elaborazione.

Attenendosi all'algoritmo sovrastante per funzioni singole eseguite per mezzo di un sistema mecatronico, più sono complesse le funzioni singole, maggiore è la partecipazione di sensori per poterlo trasportare. Quando un sistema mecatronico esegue funzioni singole complesse o più funzioni interdipendenti simultaneamente, la complessità dell'esecuzione dei sensori dipende dall'esigenze del sistema, che controlla il sistema mecatronico. L'esecuzione e l'esigenze possono necessitare p. es. dell'intergrazione di sensori con il processo di segnale e l'amplificazione del circuito, miniaturizzazione di alcune unità di misura per un'estrema precisione di operazione.

6.4 Applicazione di sensori nella diagnostica dei sistemi mecatronici

Uno dei requisiti più importanti, che le macchine e gli equipaggiamenti devono predisporre è l'operazione irreprensibile dei loro moduli e dei sistemi mecatronici. Questo deve essere verificato durante l'assemblaggio e durante le operazioni. La diagnostica è opportuna per supervisionare la correttezza delle operazioni dei sistemi stessi. Se necessario controllare lo stato di degradazione delle proprietà del sistema, in modo da pianificare e correggere lo stato del sistema.

Il ruolo dei sensori nei processi diagnostici riconduce ad un accurata e affidabile misurazione dei parametri avendo una attinenza nella correttezza delle operazioni dei sistemi meccatronici. Nel caso di sistemi meccatronici semplici che eseguono funzioni singole è necessario molto spesso misurare: il percorso, la velocità del dispositivo esecutore, la forza, la pressione ecc. La misurazione viene eseguita da singoli sensori oppure da set di sensori accoppiati con convertitori e amplificatori. Il segnale trasformato viene trasmesso (attraverso il circuito di comunicazione) al display e/o al processo diagnostico di controllo di sistema e ai comandi principali dei sistemi meccatronici.

Maggiore è la complessità dei sistemi meccatronici e la precisione ad essi necessaria, più grande deve essere la precisione con la quale viene misurata la rilevanza dei parametri. Anche la riabilità operativa dei sensori ed il loro processo di segnale deve essere maggiore. Nella fabbricazione dei sistemi a sensori possono essere riportate informazioni circa:

- la correttezza del ciclo di lavoro;
- lo stato degli strumenti;
- lo stato dei chip;
- la continuità nel raffreddamento degli strumenti e dei pezzi di lavoro;
- lo stato dello stato della superficie;
- le dimensioni, ecc.

I sensori possono essere incorporati all'interno di moduli singoli di misurazione oppure integrati con sistemi diagnostici. Molte funzioni diagnostiche sono integrate con tipi differenti di „PLC e CNC“.

DEFECT	SYMPTOM	SENSOR
bearing lubrication system failure	• bearing temperature • internal loads in bearing	• thermocouple, thermistor, strain gauge • strain gauge, induction gauge
cooling system failure	• workpiece temperature • changes in workpiece shape and dimensions	• thermocouple, thermistor • measurement probe, pneumatic sensor
hydraulic system failure	• pressure	• pressure sensor
bearing seizure	• bearing temperature • internal load in bearing • power (current) drawn by motor	• thermocouple, thermistor, strain gauge • strain gauge, induction gauge • power (current) converter, shunt
bearing damage	• vibration level and spectrum • noise level and spectrum • cut surface roughness	• vibration sensor • microphone • measurement probe
excessive bearing slackness	• vibration level and spectrum • cut surface roughness	• vibration sensor • measurement probe
gear damage	• interval between impulses • vibration • cut surface roughness	• induction gauge • vibration sensor • measurement probe
improper guide clearance	• power drawn by motor • acceleration during starting	• power (current) converter, shunt • path sensor, laser
excessive bolt-nut joint clearance	• vibration • condition of surface being cut	• vibration sensor • measurement probe
insufficient guide lubrication	• power drawn by motor • condition of surface being cut • acceleration during starting	• power (current) converter, shunt • measurement probe • path sensor, laser
correction/compensation system defect	• condition of surface being cut	• measurement probe, pneumatic sensor
self-excited vibration	• vibration • condition of surface being cut • change in cutting force amplitude	• vibration sensor • measurement probe • piezoelectric sensor, strain gauges

Tabella 6.1: Difetti tipici di assemblaggio, per la diagnosi vengono usati i loro sintomi ed i sensori

6.5 Applicazione di sensori nella supervisione dei sistemi mecatronici

La supervisione delle operazioni svolte dai sistemi mecatronici consiste nel verificare se i presunti parametri operativi del sistema rientrano nei loro limiti permissibili. Su queste basi i parametri vengono corretti dal sistema di controllo e l'apposito dispositivo mecatronico o l'individuazione degli errori vengono compensati possibilmente dal sistema di controllo. Le misurazioni dei segnali inviate dai sensori vengono elaborate e comparate con i valori richiesti. Ciascuna differenza tra i due set di valori costituisce una modifica del segnale del sistema di controllo oppure un errore istantaneo compensato in un modo specifico.

Più alta sarà la precisione richiesta dai sistemi mecatronici, maggiore dovrà essere la precisione del sensore e della misurazione. Se la supervisione si basa su un modello errato, vengono usati dei „reading“ dei sensori che servono ad aggiornare il modello in tempo reale o periodicamente.

6.6 Applicazione di sensori di manutenzione nei sistemi mecatronici

In tipo di diagnostica estremamente importante è la manutenzione dei sistemi mecatronici, continua o periodica. Lo stato di un sistema mecatronico viene valutato in modo da eseguire continue riparazioni o correggere parametri di operazioni rilevanti. La valutazione viene fatta attraverso la misurazione dei parametri che indicano la logorazione dei componenti del sistema, per mezzo di sensori specifici. I sensori sono installati in modo permanente nelle strutture di certi sistemi, oppure vengono incorporati in sensori singoli o multipli dei sistemi di misurazione specializzati.

Qualche volta la diagnosi di manutenzione viene condotta in maniera remota (questo argomento verrà affrontato separatamente), oppure direttamente all'interno di oggetti mecatronici: auto-diagnosi. Le proprietà di misurazione dei sensori in questi tipi di diagnosi varia a seconda della precisione necessaria al sistema ed il suo modo di controllare le funzioni di manutenzione.

7 Sviluppo di sottosistemi mecatronici

7.1 Introduzione

Lo sviluppo tecnico delle procedure industriali, specialmente nella costruzione di macchine e impianti, dimostra che per la realizzazione di obiettivi produttivi, necessità di flessibilità e di qualità vengono utilizzati sistemi e tecnologie sempre più complessi.

Questo porta ad un continuo aumento del know-how tecnologico e ad una specializzazione nei diversi campi scientifici. Ciò necessariamente aumenta il ventaglio delle possibili soluzioni di implementazione di complicate funzioni di controllo.

Ingegneri specializzati in mecatronica possono essere assunti per mansioni che vanno dal montaggio alla manutenzione di macchine, impianti e sistemi complessi. Possono trovare spazio in gruppi che lavorano presso industrie, siti di installazione e di montaggio o nell'area dei servizi.

Per implementare un sistema di controllo complesso un ingegnere specializzato può anche fare le veci del project manager. Per essere in grado di ricoprire tale mansione l'ingegnere specializzato deve necessariamente essere un esperto con competenze specializzate.

Deve avere visione d'insieme del problema e conoscere tutto ciò che ad esso è connesso. Soltanto in questo caso può coordinare il lavoro dei singoli specialisti e integrare così le loro conoscenze nel sistema complessivo – dando vita così ad un sistema complesso, ottimo, funzionale ed economico.

Durante l'analisi di problemi di tecniche di controllo si dovrebbe agire come segue:

- definire del problema,
- programmare il sistema,
- realizzare il sistema,
- azionare e mantenere il sistema.

Il controllo di tali sistemi complessi da parte del gestore chiede una vasta conoscenza degli elementi utilizzati per il flusso di informazioni e di risorse, e su tutte le possibili connessioni.

l'ingegnere specializzato deve perciò riflettere, già dalla formazione primaria, a procedimenti e processi di strutturare in un ordine sistematico.

7.1.1 Definizione di meccatronica

La parola “sistema” sta per schema riassuntivo e serve per rendere più trasparenti i rapporti fra le singole parti nelle macchine. Un sistema viene considerato una collocazione delimitata funzionale di parti si interfacciano per adempiere ad un determinato compito.

La delimitazione dal contesto, prevista come aiuto, dipende dall'oggetto considerato. Un dispositivo di alimentazione o una macchina utensile può essere considerata un sistema così come un impianto di montaggio o un'intera fabbrica.

Il termine “meccatronica” è una fusione delle parole meccanica e elettronica. Alla meccatronica appartengono le tecniche computazionali. Questa fusione viene mantenuta per l'intero ciclo di vita del sistema. Questo vale dunque per la generazione di modelli, per lo sviluppo e la produzione.

Alle interfacce dei tre campi specifici emergono altri nuovi settori. L'elettromeccanica unisce l'elettrotecnica alla pneumatica e all'idraulica. Meccanica e software p.e. vengono utilizzati in sistemi di realtà virtuale o durante l'animazione del moto. Software e elettronica sono presenti sia in controllori programmabili che a controllo numerico.

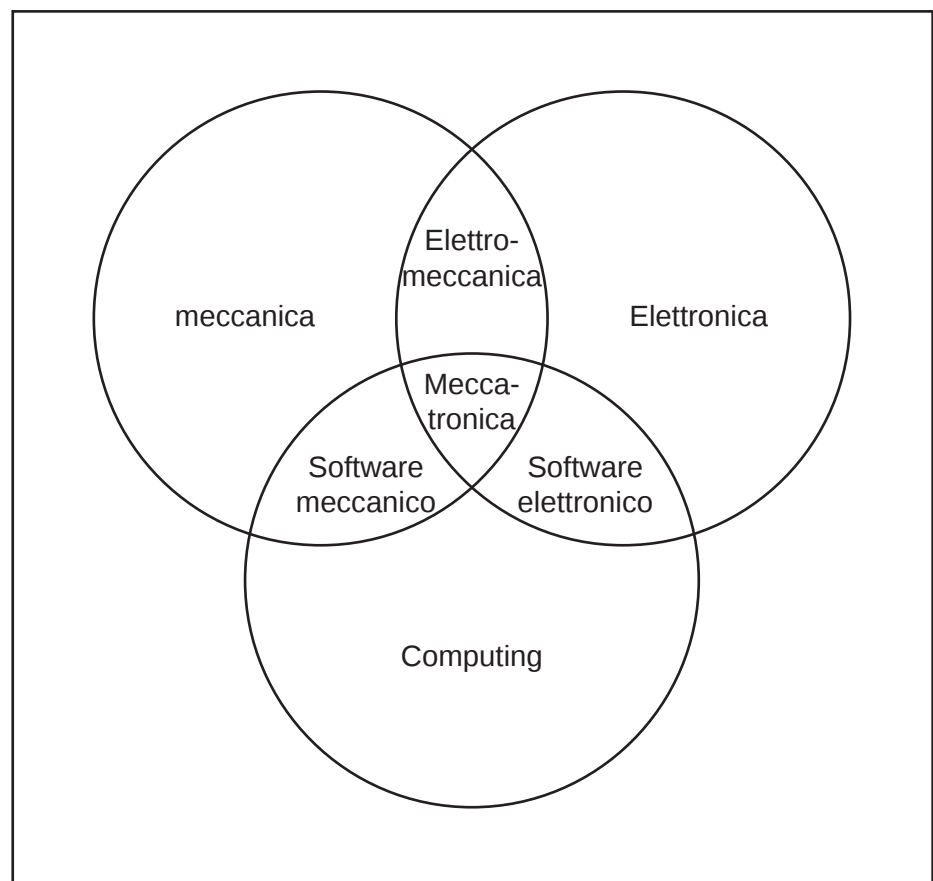


Figura 7.1: Sottodiscipline della meccatronica

7.1.2 Lavorazione di singole parti e montaggio

Un sistema complesso può essere formato da diversi sottosistemi. I seguenti esempi possono chiarire tale concetto:

Esempio In figura è rappresentata una puleggia di una bottiglia a becco. Alcuni parti di questa puleggia devono essere lavorate. Successivamente i seguenti componenti devono essere assemblati:

- 1) borchia
- 2) scatola motore
- 3) disco (2x)
- 4) cuscinetto a gole e sfere
- 5) lamiera elastica di copertura (2x)
- 6) flangia (1x)
- 7) rullo avvolgitore disco
- 8) vite a testa esagonale (8x)
- 9) rosetta elastica spaccata (8x)
- 10) anello distanziatore
- 11) flangia (1x)

La lavorazione dei singoli pezzi viene realizzata poi in diversi passi.

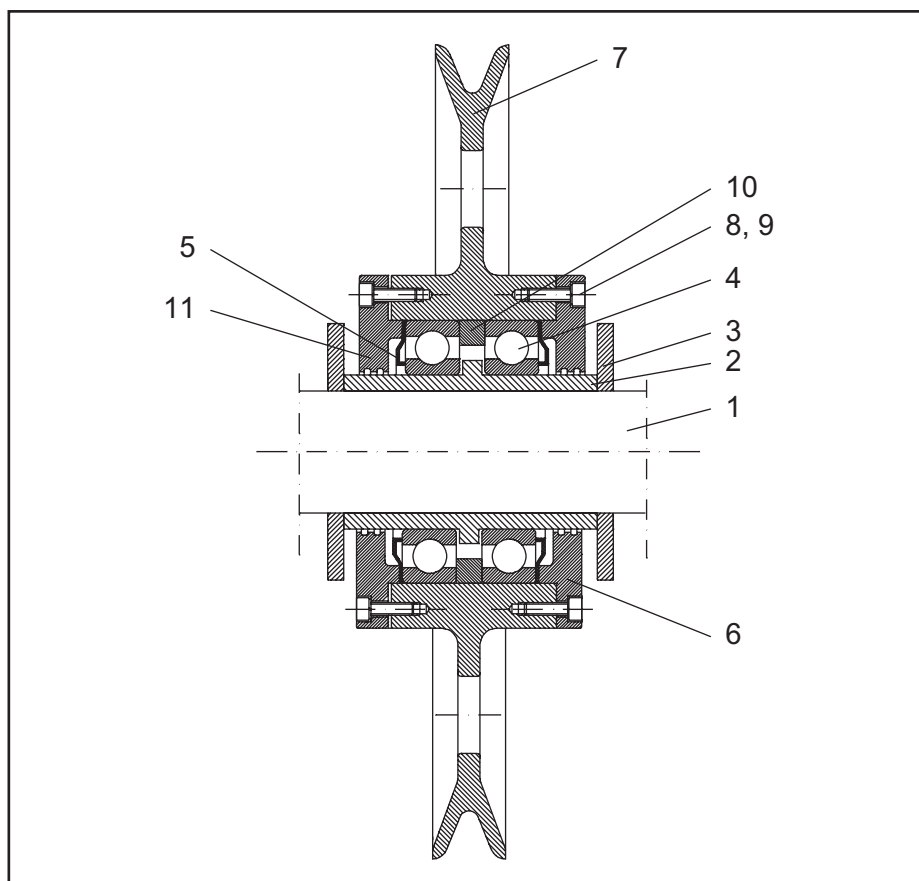


Figura 7.2: Carrucola

I lavori di montaggio dovrebbero proseguire secondo il seguente procedimento di montaggio (Ablauf):

- 1) preassemblaggio: inserimento della borchia (1) con la scatola dell'onda (2)
- 2) fissare la carrucola (7) e la flangia (6) con la vite esagonale (8) e la rosetta elastica spaccata (9)
- 3) introdurre la lamiera elastica di copertura (5.1.) nella carrucola premontata (vedi punto 2))
- 4) iniezione del cuscinetto a sferae (4.1.) nella carrucola premontata
- 5) inserimento hub premontato (1) con la scatola dell'onda (2) nel avvolgitore disco premontato
- 6) iniezione dell'anello distanziale (10)
- 7) iniezione del cuscinetto a gole e sfere
- 8) mettere la scatola a onde (5.2.) nella carrucola premontata
- 9) posizionare la flangia (11)
- 10) avvitare la flangia (11) la carrucola con l'uso della vita a testa esagonale (8) e la rosetta elastica (9)
- 11) aggiungere i dischi (3.1) e (3.2)

La scelta dei componenti adatti accade secondo le norme seguenti:

- la descrizione più precisa possibile del compito desiderato
- costi di investimento e produzione
- specifiche tecniche, specifiche cliente, fogli di specifica
- affidabilità e risposta in caso di disturbo della funzione obiettivo
- norme di sicurezza e attrezzature di sicurezza
- condizioni operative
- manutenibilità
- magazzinaggio
- condizioni di mercato, analisi di competitività con produttori attuali
- tendenze di sviluppo
- produttori preferiti del committente
- possibilità di manutenzione presso il produttore
- standardizzazione (pezzi di ricambio)
- forniture complete con controllo fornitore

Le condizioni di base per l'interpretazione di sistemi complessi sono:

- svolgimento delle funzioni
- analisi del moto
- forze e momenti
- crichi e tensioni ammissibili
- condizioni per la scelta della pressione nominale utilizzata in idraulica o pneumatica
- frenata o velocità
- comandi e regolazioni
- accelerazione e legge oraria
- comportamento dinamico e rigidità
- circostanze d'installazione
- specifiche del mezzo che trasporta l'energia
- lavoro a turni
- uso stazionario o mobile
- condizioni di funzionamento (durata dell'inserzione, fluttuazione della temperatura dell'olio, raffreddamento necessario, ex-prescrizioni di protezione, impianto fuori di uno spazio chiuso, norme per la protezione dell'ambiente)

Sono da considerare i sottosistemi rappresentati in figura.

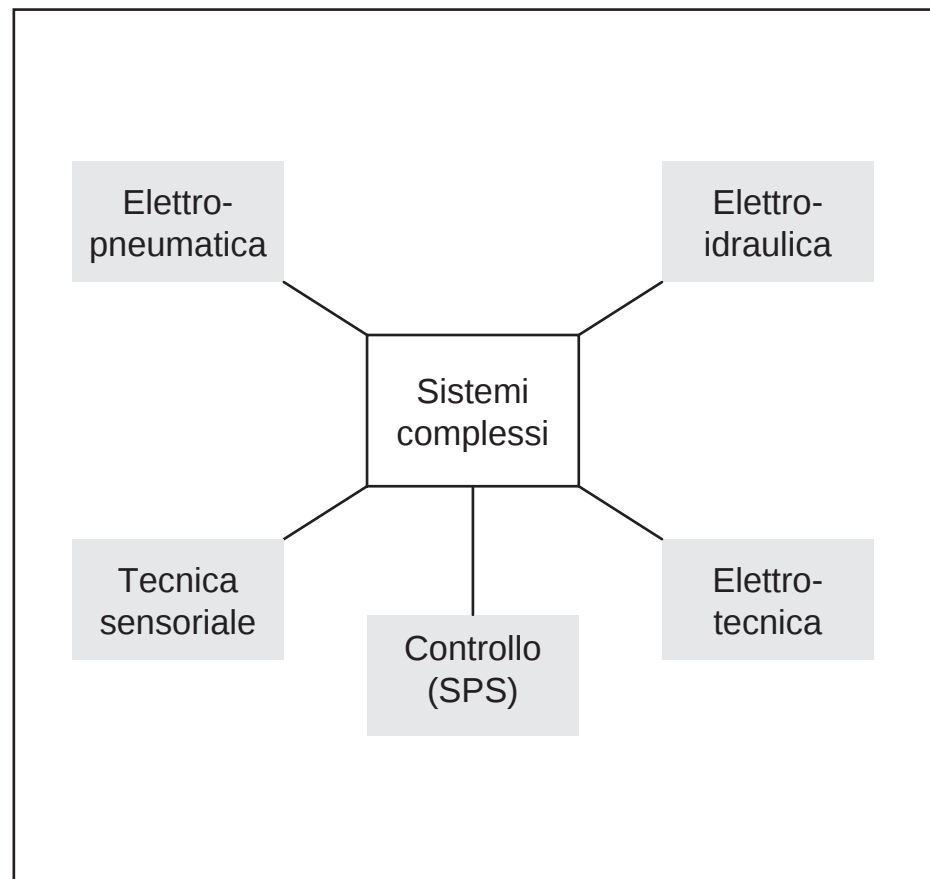


Figura 7.3: Sottosistemi

7.2 Struttura dei sistemi di controllo

La struttura dei sistemi di controllo si distingue fra controllo (sequenza di controllo) e regolazione (circuitto di regolazione).

Con la parola “controllare” viene descritto un processo durante il quale una o più grandezze influenzano altre sulla base delle regole tipiche per il sistema di controllo. Le grandezze che hanno impatto su altre vengono chiamate grandezze d'entrata. Le grandezze invece che vengono influenzate sono dette grandezze d'uscita.

Caratteristico per un controllo è l'anello aperto. Le grandezze d'uscita non impattano sulle grandezze d'entrata. La differenza fra la grandezza d'uscita e il valore nominale desiderato non può essere registrato e perciò neanche corretto.

Esempio Un fluido fuoriesce da un contenitore in modo continuo. Per evitare di svuotare il contenitore lo si riempie tramite una valvola in modo continuo. La quantità da raboccare viene regolata in maniera tale che si compensi la quantità fuoriuscita.

Se in alcuni momenti c'è un deflusso maggiore ed in altri minore durante il controllo viene aggiunta una quantità più grande o piccola di fluido. Perciò è necessaria una regolazione.

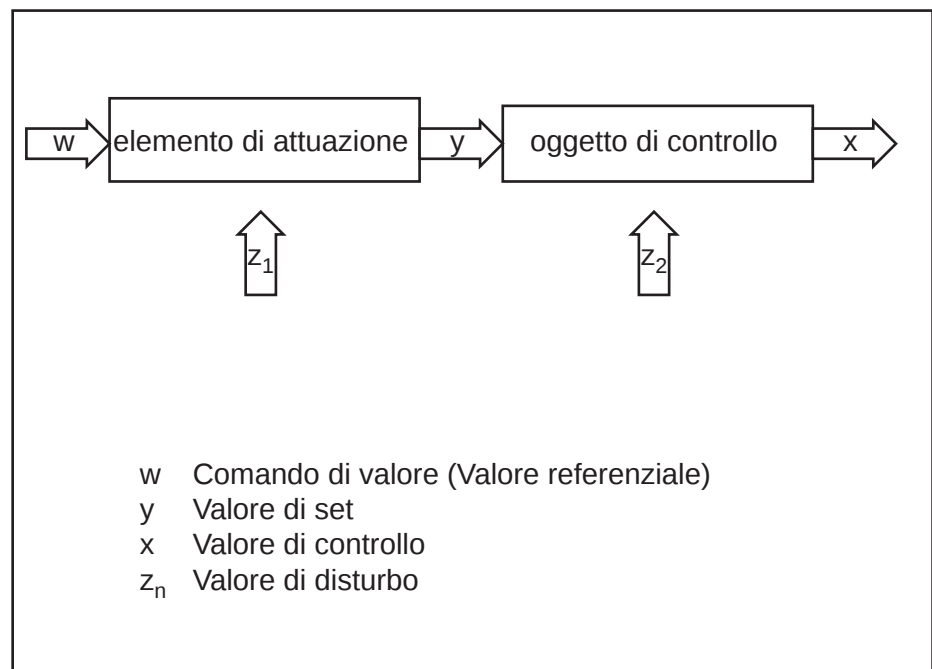


Figura 7.4: Schema di flusso dei segnali di controllo

I sistemi di controllo vengono utilizzati in casi in cui i cambiamenti della grandezza perturbatrice sono talmente piccoli da poter essere trascurati. Così p.e. una porta azionando un interruttore può essere aperta e dopo automaticamente chiusa.

Vantaggi della catena di distribuzione:

- il comportamento del flusso aperto è più facile da dominare di quello chiuso.
- nel caso sia presente una grandezza perturbatrice z , si può intervenire subito sul processo (non si deve aspettare l'interazione sulla grandezza di destinazione come nei decorsi d'azione chiusi, e quindi la correzione si può svolgere subito)
- la grandezza di destinazione non deve essere misurata

Problemi della catena di distribuzione:

- se esistono grandezze perturbatrici, queste devono essere misurate,
- il processo (comportamento o modello) deve essere riconosciuto per avere la possibilità di stabilire l'algoritmo di controllo o per l'attuazione
- non c'è conferma se mediante l'intervento di controllo è stato raggiunto il cambiamento desiderato della grandezza desiderata

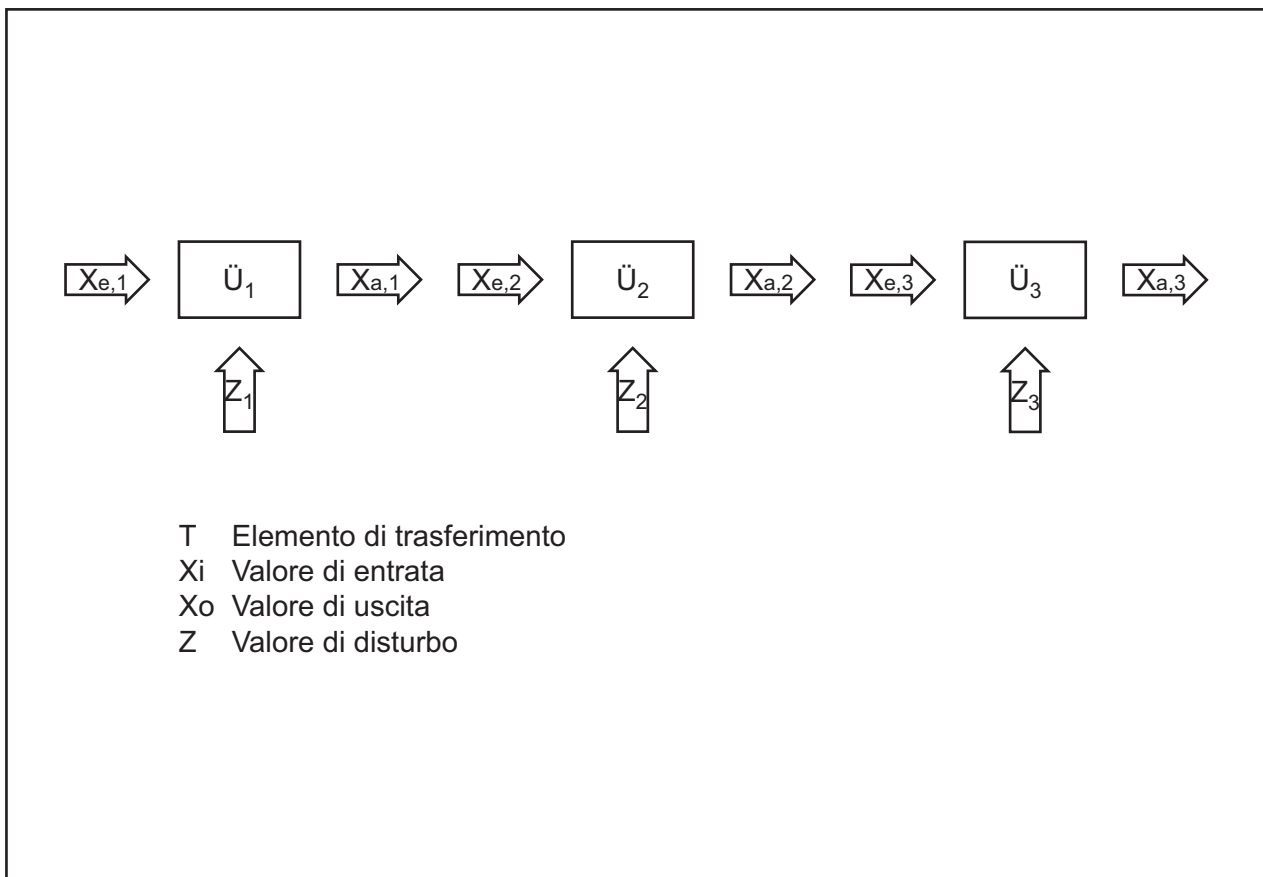


Figura 7.5: Struttura a catena di connessioni di trasmissione di una catena di controllo/controllo

7.2.1 Regolazioni

Durante la regolazione la grandezza da regolare viene monitorata di continuo. Questo valore viene confrontato con il valore teorico previsto. Il valore misurato viene detto valore effettivo e il valore teorico valore di riferimento.

La regolazione della grandezza monitorata dipende dallo scostamento tra valore effettivo e valore di riferimento. Tale processo è un ciclo chiuso. Se si tratta di una regolazione perciò si parla anche di ciclo di regolazione.

Esempio Il processo di regolazione del livello di fluido in un serbatoio consiste nel rilevamento di un flusso in uscita dal serbatoio e nell'aggiunta automatica di nuovo fluido. Il volume del fluido in ingresso grazie alla regolazione compensa quello in uscita.

Problemi del ciclo di regolazione:

- Una regolazione può essere effettuata soltanto quando c'è una differenza tra la grandezza da regolare e il valore nominale .

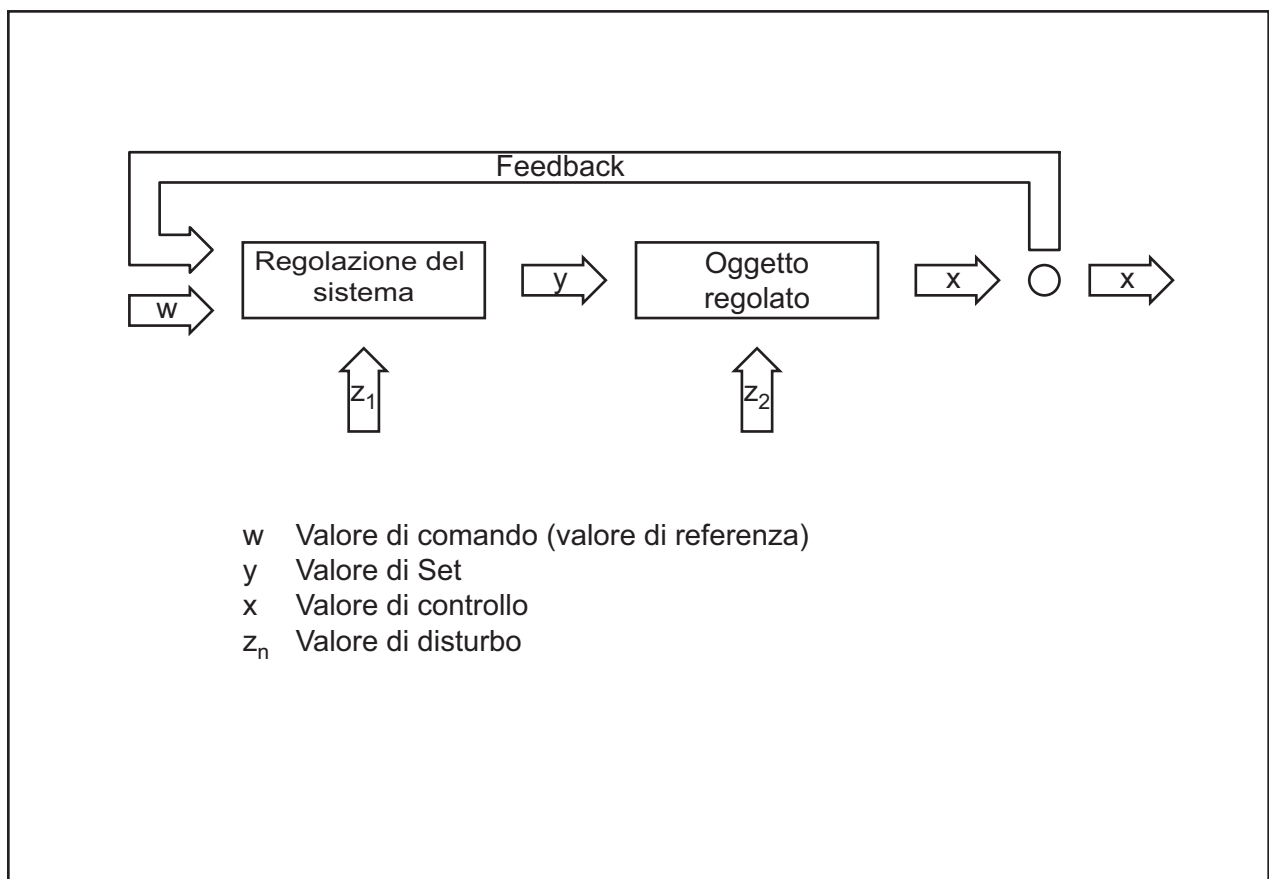


Figura 7.6: Pianta del flusso del segnale di un controllo

7.2.2 Sistemi di controllo complessi

I sistemi di controllo complessi si dividono in hardware e software. Fanno parte dell'hardware impianti e unità funzionali che appartengono alla sfera elettronica, elettrotecnica, fluidica (pneumatica e idraulica) come anche apparecchiature con microprocessori (controllore programmabile) e macchine optoelettroniche.

Apparecchiature e unità funzionali servono per:

- raccogliere informazioni, incluse le interfacce al dispositivo di controllo
- inserire informazioni (potenziometri, tastiere e nastri magnetici etc.)
- trasmettere informazioni (cavi elettrici, conduttori ottici o pneumatici) per trasmettere segnali analogici o discreti e le interfacce corrispondenti
- elaborare informazioni (regolatori, attuatori, controllore programmabile)
- informazioni di output (comunicazione con l'uomo, attrezzature di monitoraggio, schermi, memorie, supporti archiviabili, mezzi acustici)
- regolazioni (valvole, interruttori ecc.)

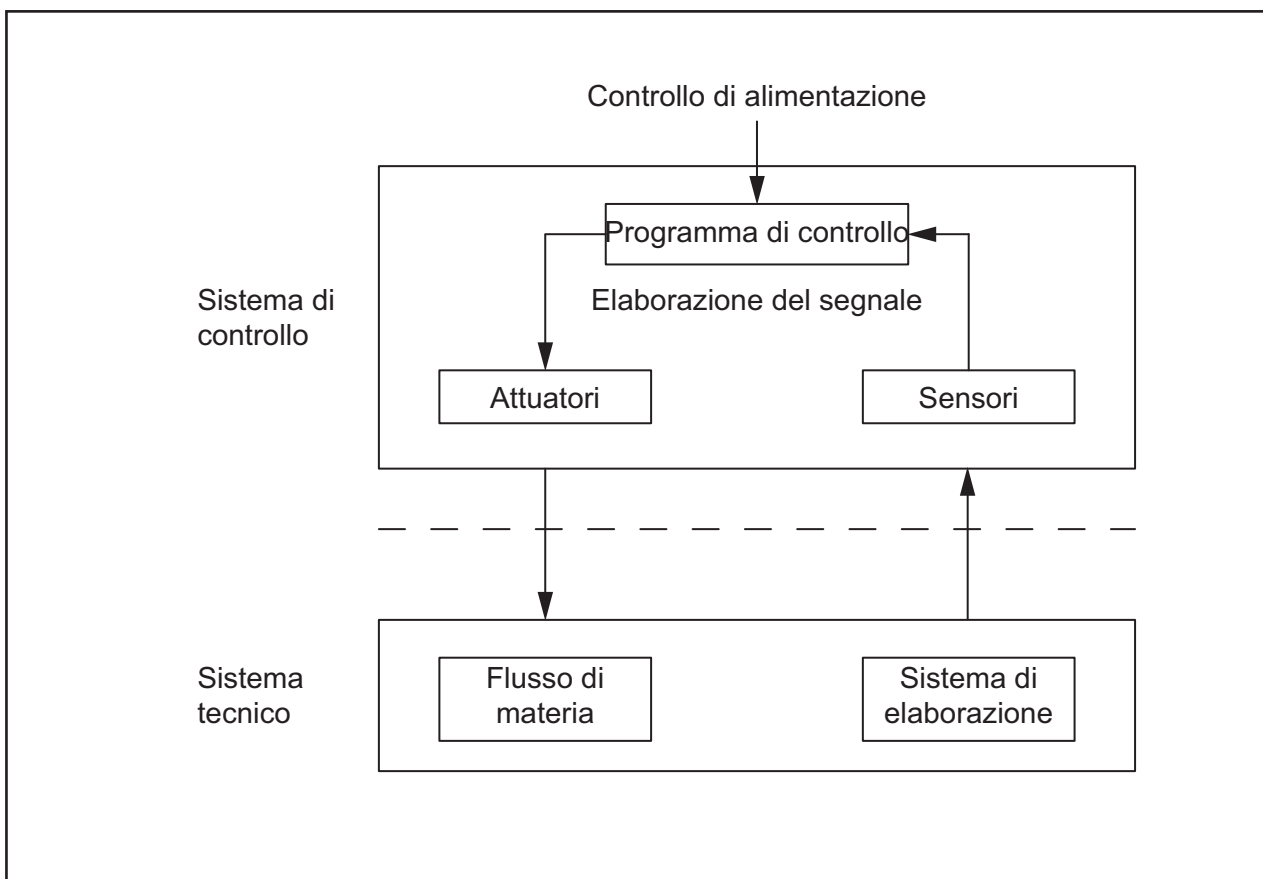


Figura 7.7: Struttura di un sistema di controllo

7.2.3 Criteri comparativi per sistemi di controllo complessi

I sistemi di controllo complessi possono essere comparati da diversi punti di vista.

È possibile catalogarli per:

- controllo (sequenza di controllo)
- regolazione (circuito di regolazione)
- funzione svolta (regolazione a valore costante, regolazione pilota, regolazione a tempo, regolazione sequenziale, etc.)
- informazione (segnale)
- caratteristiche del controllo in base al processore (controllo discreto, digitale, binario)
- caratteristiche temporali (cadenzati da un orologio)
- caratteristiche del controllo riguardo la programmazione (controllo programmabile o controllo a logica cablata)
- modalità di trasmissione di forze e moto

In particolare è possibile distinguerli in base a come si trasmettono forze e moto.

Forze e moto possono essere trasmessi con diversi metodi, p.e.

- in maniera meccanica (tramite trasmissioni)
- in maniera elettrica (tramite linee di forza elettrodinamiche e elettromagnetiche)
- in maniera pneumatica (tramite aria compressa, è necessario un impianto pneumatico)
- in maniera idraulica (tramite fluidi, p.es. acqua, olio, glicerina) o
- in maniera combinata (sistemi pneumomeccanici, idropneumatici, elettroidraulici, elettropneumatici, idroelettrici e idroelettronici)

7.3 Sistemi di controllo: parte operativa e di segnale

I sistemi di controllo in generale si dividono in parte operativa e controllori di segnale.

La parte operativa può essere azionata in maniera pneumatica, idraulica e elettrica. La trasformazione di energia elettrica, prima in energia pneumatica e poi in energia meccanica è compito della parte operativa pneumatica.

Nella parte operativa idraulica viene trasformata prima energia elettrica in energia idraulica e poi in energia meccanica. Il compito della parte operativa che serve ad azionare motori elettrici è trasformare energia elettrica in energia meccanica.

Fanno parte del controllo di segnale gli strumenti per l'introduzione di segnali, p.es. interruttori, gli strumenti per l'elaborazione di segnali (controllore programmabile, relè se si tratta di un controllo a logica cablata) e quelli per l'alimentazione con energia del controllore.

La produzione e il processo di un segnale elettrico e l'interfacciamento con la parte operativa sono compito della parte che regola i segnali.

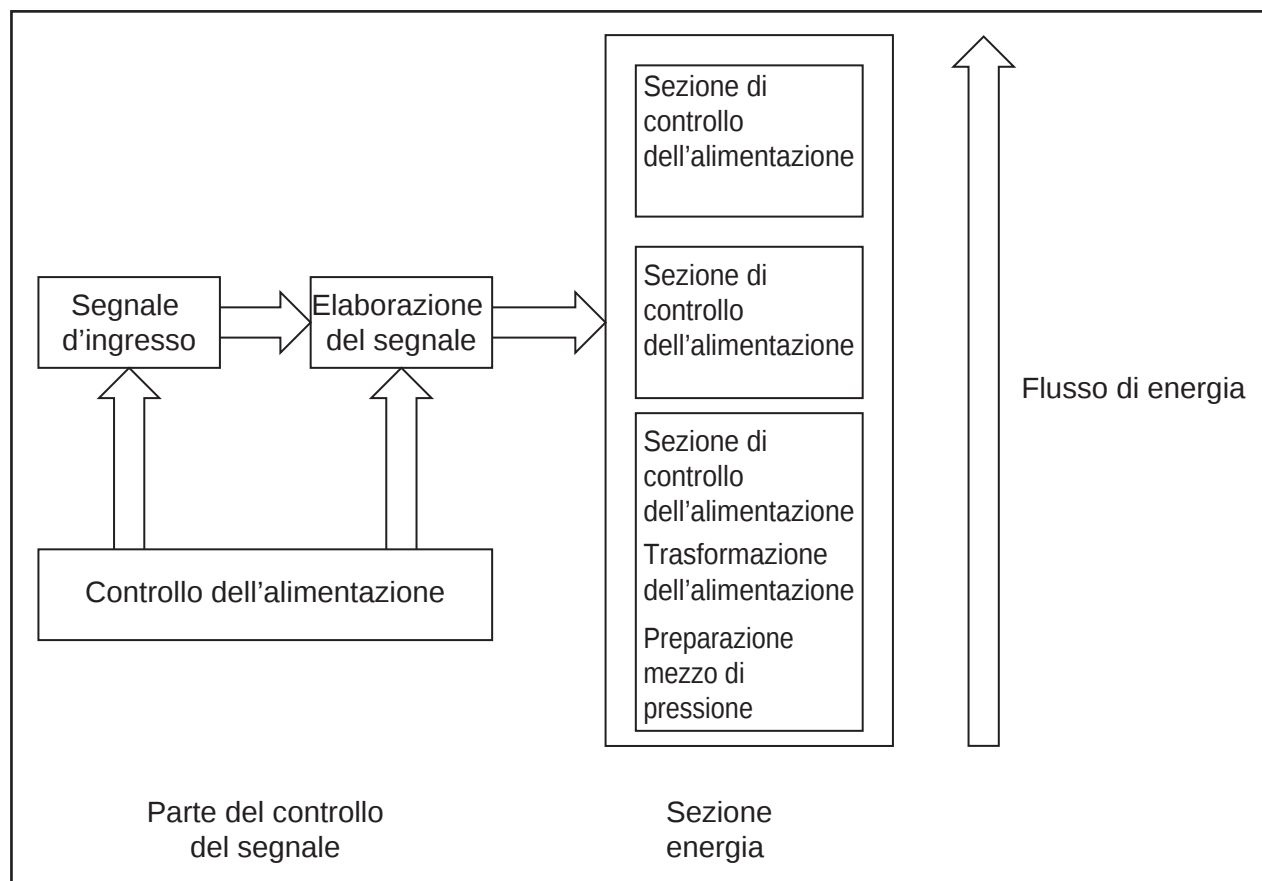


Figura 7.8: Struttura di un controllo complesso

In idraulica e pneumatica si usano come attuatori soprattutto cilindri di controllo. Gli attuatori elettrici più importanti invece sono i motori elettrici.

Anche quanto riguarda connessioni di controllo e di regolazione l'idraulica e la pneumatica hanno punti in comune. In tali ambiti si usano valvole per influenzare il mezzo di trasmissione dell'energia. In elettrotecnica invece si usano contattori e relè.

In idraulica l'energia viene messa a disposizione direttamente nella macchina mediante un aggregato idraulico. In pneumatica invece l'aria compressa viene prodotta nell'impianto pneumatico a livello centrale. L'energia elettrica invece viene da centrali elettriche più lontane.

	Elettroidraulica	Elettropneumatica	Elettrotecnica
1. Sezione di azionamento	Cilindri idraulici, motore idraulico	Cilindri pneumatici, motore pneumatico	Azionamento elettrico lineare, motore elettrico (motore DC, motore AC)
2. Controllo di energia - elementi di attuazione - elementi di controllo elementi del segnale	Valvole a controllo di direzione idrauliche pressione idraulica, flusso e valvole di blocco	Valvole a controllo di direzione pneumatiche Pressione pneumatica, valvole di flusso e blocco, valvole a controllo di direzione	Contattori Diodi, varistore, relè
3. Sezione alimentazione - generatore di energia - preparazione	Sistemi idraulici Riscaldamento, raffreddamento, filtro	Compressore completo o stazione di compressione Essiccatore, filtro	Rete, accumulatori (batterie) Trasformatori

Tabella 7.1: Confronto della struttura di sistemi di controllo complessi

7.3.1 Parte operativa

Per poter combinare i vantaggi dell'elettrotecnica a quelli dell'idraulica e pneumatica nella prassi industriale si usano soprattutto sistemi di controllo elettropneumatici e elettroidraulici. Per tale motivo di seguito verranno illustrati soltanto questi.

Definizione:

Idraulica elettrica:

Nell'industria, idraulica sta per teoria di tutti i processi meccanici nei quali vengono trasmessi il moto e le forze tramite fluidi (attuatori, sistemi di regolazione e di controllo, le cui forze e il moto vengono generati con l'aiuto della pressione di fluidi).

La combinazione con parti elettriche (magneti ecc.) porta all'elettroidraulica.

Elettropneumatica:

Con la parola pneumatica si descrive tutto ciò che riguarda impianti pneumatici. Gli impianti pneumatici sono macchine e attrezzi che lavorano con pressione o aria aspirata.

L'accoppiamento di impianti pneumatici con impianti elettrotecnici (magneti) porta all'elettropneumatica.

Elettrotecnica:

L'elettrotecnica è l'insieme di tutte le applicazioni tecniche in cui si sfruttano gli effetti della corrente elettrica e delle caratteristiche di campi elettrici e magnetici.

L'elettrotecnica può essere suddivisa come segue:

- tecnologie basate sull'energia elettrica
- tecnologie di comunicazione
- ingegneria elettrotecnica in generale
- tecnologia dei semiconduttori e microelettronica

I componenti dei sistemi di controllo pneumatici e idraulici funzionano prevalentemente ad energia elettrica, cioè in maniera elettromeccanica ed elettrica.

Gli attuatori elettrici rappresentano un importante legame fra le apparecchiature meccaniche ed elettriche prese in considerazione dalla mecatronica.

Come attuttore le macchine elettriche hanno un ruolo dominante in tutti i campi dell'economia. Gli ambiti in cui viene utilizzata diventano sempre più vasti. L'efficienza del sistema ha il ruolo predominante nella scelta della corretta propulsione elettrica.

Nella tabella viene fatto un Confronto fra i sistemi:

	Elettroidraulica	Elettropneumatica	Elettrotecnica
Concetti	dal greco "hydor" acqua	dal greco "pneuma" respiro	
Costruzione del sistema	basato su componenti idraulici ed elettrici	basato su componenti idraulici ed elettrici	basato su componenti idraulici ed elettrici
Moto e forze	da idrauliche a meccaniche	da pneumatiche a meccaniche	da elettriche in meccaniche
Segnale di ingresso ed elaborazione	attraverso l'utilizzo di componenti elettronici ed elettrici	attraverso l'utilizzo di componenti elettronici ed elettrici	attraverso l'utilizzo di componenti elettronici ed elettrici

Tabella 7.2: Confronto dei sistemi

Nella parte operativa del controllo vengono utilizzati diversi 'mezzi' per trasmettere l'energia in un dato sistema.

Le specifiche di trasmissione dell'energia nell'idraulica e pneumatica impongono che:

Tali mezzi nell'idraulica e la pneumatica siano mezzi per la trasmissione di pressione. Per trasmettere pressione sono adatte tutti i materiali che permettono – grazie alla proprietà di deformazione sotto l'influenza di opportune forze esterne – una trasmissione omogenea di pressione in tutte le direzioni.

La resistenza contro lo spostamento delle particelle del materiale viene chiamata viscosità. La capacità di trasmettere energia e di accumularla è caratteristica di un mezzo che trasmette la pressione e che funge da vettore di energia.

Compiti del mezzo che trasmette l'energia sono:

- trasmissione di forze (energia di pressione)
- lubrificazione di elementi costruttivi in movimento
- dissipazione di calore
- attenuazione di rumori e oscillazioni
- trasmissione di segnali

Nella tabella seguente sono descritti i mezzi per la trasmissione di energia nell'elettroidraulica, elettropneumatica ed elettrotecnica:

	Elettroidraulica	Elettropneumatica	Elettrotecnica
trasferimento di energia	miscela d'olio e fluidi, oli minerali, olii sintetici	gas (l'aria compressa è la soluzione più economica)	Elettroni
disponibilità	disponibile	disponibile	disponibile
velocità raggiungibile	alta, più bassa rispetto la pneumatica	molto veloce	molto veloce
Abilità di immagazzinamento	possibile, con rischio di perdite	molto buono	possibile, con rischio di perdite elevato
possibilità di trasporto	possibile per distanze brevi	molto buone	molto buono per lunghe distanze
sicurezza di sovraccarico	sicura	sicura	non sicura
rischi per la salute	nessuno, se prese in considerazione le misure di sicurezza	nessuno	nessuno, se prese in considerazione le misure di sicurezza concerni i dispositivi elettrici
altro	separazione d'aria, cavitazione, resistente a basse temperature, resistente a corrosione e abrasione	resistente a corrosione e abrasione	

Tabella 7.3: Caratteristiche e specifiche dei mezzi che trasmettono energia

Nella tabella seguente vengono confrontate le caratteristiche fisiche dei mezzi di trasmissione dell'energia in elettroidraulica, elettropneumatica ed elettrotecnica.

	Elettroidraulica	Elettropneumatica	Elettrotecnica
Proprietà dei materiali	- possibilmente a bassa densità - bassa compressibilità - Il livello di viscosità non deve essere basso - viscosità appropriata a seconda della temperatura - pressione di viscosità appropriata a seconda della temperatura - duratura nel tempo - a bassa infiammabilità - buona compatibilità di materiali	- compressibile (nessuna coesione) - capacità di deposito (energia potenziale) - il volume a seconda della temperatura - capacità di dissolvenza dell'acqua (a seconda della temperatura) - dinamica di viscosità bassa - non infiammabile e non esplosivo - densità molto bassa - distribuzione della pressione in tutte le direzioni	- molto pulita - trasportazione possibile, distanze lunghe a basso rischio di perdite - capacità di deposito

Tabella 7.4: Caratteristiche fisiche dei mezzi di trasmissione dell'energia

7.3.2 Attuatori

In seguito vengono con l'uso di un esempio vengono paragonati i vantaggi e gli svantaggi delle propulsioni lineari e di rotazione nel campo della pneumatica, idraulica ed elettrotecnica. Inoltre vengono spiegati i prevalenti campi d' applicazione.

Esempio Esempio di una puleggia

In una puleggia da fune devono essere apportati 4 fori filettati M12. Perciò deve essere praticato un foro principale con un diametro di 10,2 mm. Una perforazione con un diametro di 6 mm è già stato effettuato.

Per la lavorazione è stata accertata una forza di taglio di 2500N e una forza di avanzamento di 500 N ad ogni perforazione. La velocità angolare della punta da trapano deve essere circa 750 giri/ min o 1450 giri/ min. Con una velocità di taglio di 0,5 m/s (750 giri/min) è stato accertato un rendimento di taglio di 1,6 kW.

Per mettere in trazione la puleggia in modo da poterla forare senza pericoli è necessaria una forza di 1000 N.

In ambito industriale sono disponibili tubi per aria compressa di 7 bar e 11 bar

È necessario seguire la seguente procedura:

1. mettere in trazione la puleggia
2. far avanzare rapidamente la punta del trapano
3. mettere in movimento la punta del trapano (moto rotatorio) e forare

Devono essere rispettate le seguenti specifiche:

Trazione:

- applicare in modo sicuro la forza di tensione di 1000 N
- possibilmente monitorare la forza di tensione
- assicurare la tensione anche in caso di black-out
- messa in trazione e smontaggio devono essere realizzabili in maniera rapida

Motore di avanzamento:

- moto traslatorio
- affidabilità anche in sovraccarico
- possibilità di controllo elettrico
- velocità regolare, indipendente dal carico, durante la truciolatura
- possibilità di produrre una forza di avanzamento di 2000 N
- rapida possibilità di modifica della velocità da traslazione rapida al normale ciclo di lavorazione
- velocità di avanzamento massima di 0,5 m/s

Moto della punta del trapano durante la lavorazione

- moto di rotazione
- velocità angolare $n = 750/1450$
- design compatto e robusto (per motivi di spazio) della postazione di lavoro
- potenza di taglio 1, 6 kW

Aiuti di visualizzazione, simboli grafici e piante

Simboli grafici vengono spesso usati in rappresentazioni, anche parzialmente semplificate, di una funzione in schemi elettrici e funzionali (diagrammi, tabelle, disegni) e anche direttamente sulle macchine. Lo stesso vale per schemi logici o diagrammi di flusso dei dati e dei programmi.

Nella ISO 1219 per l'idraulica e la pneumatica vengono utilizzate le parole 'simbolo grafico' e 'simbolo'. Fanno parte dei diagrammi anche la planimetria, lo schema funzionale e l'elenco degli attrezzi.

È possibile distinguere fra:

- planimetria
- piano di svolgimento del programma
- piano logico
- schema funzionale e diagramma di flusso
- diagramma funzionale
- schemi elettrici

A seconda del tipo di sistema controllo dovrebbe essere scelto il mezzo di visualizzazione adatto.

Per trovare la soluzione tecnicamente più adatta, è necessario prefigurarsi il compito del controllo da risolvere mediante la planimetria e la lista delle specifiche.

Planimetria

La planimetria deve mostrare la posizione degli elementi di azionamento di una macchina o di un impianto e segnalare le modalità di installazione. La planimetria dovrebbe essere facilmente leggibile e contenere soltanto informazioni di rilievo.

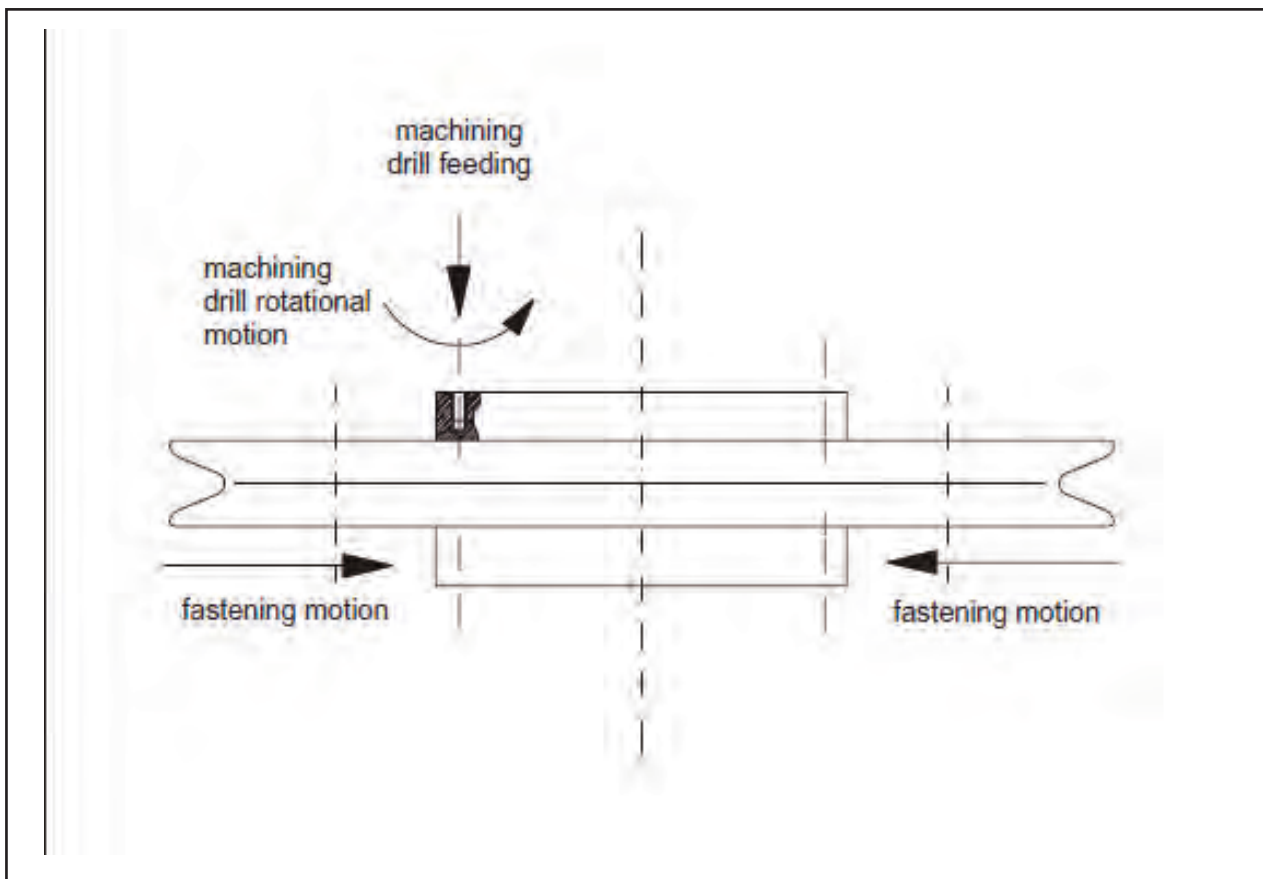


Figura 7.9: Planimetria

a) Messa in trazione

Per adempire le specifiche tecniche viene di seguito riportato un elenco di alternative per la risoluzione dei problemi

Nella tabella è riportata una scelta di attrezzi adatti per mettere in trazione una puleggia:

Esigenze	Elettroidraulica	Elettropneumatica	Elettrotecnica
Il fissaggio della forza 1000 N deve essere verificato e garantito	XX	XX	XX
Garanzia di monitoraggio del fissaggio delle forze	XX	XX	XX
Fissaggio e rilascio rapido	X	XX	XX
Garanzia di fissaggio in caso di corto circuito	XX	XX	
Costi	più bassi di quando si usano gli elettromagneti	più bassi degli elettromagneti e dei costi idraulici, perchè l'energia è già presente	molto alti

Tabella 7.5: Richieste durante la messa in trazione della puleggia

Messa in trazione mediante idraulica o pneumatica

Nei campi dell'idraulica e della pneumatica la messa in trazione mediante l'uso di cilindri è di facile realizzazione.

L'Figura riporta una possibile soluzione per la messa in trazione mediante cilindri idraulici o pneumatici. Bisogna fare attenzione alle diverse tensioni in gioco.

Il cilindro attiva tramite un sistema di leve due ganci che mettono in trazione il pezzo in lavorazione su due lati. Una possibile trasmissione di forze nel sistema di leve può essere trascurato.

I calcoli per la progettazione del cilindro è pressochè identica in idraulica e in pneumatica.

La forza di tensione F_s deve essere 1000 N. In idraulica viene assunta una pressione di 70 bar, mentre in pneumatica soltanto di 6 bar.

Cilindro idraulico:

$$p = F_s / A$$

$$A = F_s / p$$

$$A = 1000 \text{ N} / 70 \text{ bar}$$

$$A = 1,43 \text{ cm}^2$$

Come risultato si ottiene un diametro dello stantuffo pari a $d=13,5 \text{ mm}$. Cilindri idraulici tipici hanno un diametro dello stantuffo di 25 mm con una biella dello stantuffo di diametro pari a 12 mm . Un cilindro di queste dimensioni potrebbe essere tranquillamente utilizzato in questo caso.

Cilindro pneumatico:

$$A = F_s / p$$

$$A = 1000 \text{ N} / 6 \text{ bar}$$

$$A = 16,7 \text{ cm}^2$$

Il diametro di questo cilindro è pari a $46,1 \text{ mm}$. Può essere utilizzato un cilindro con un diametro dello stantuffo di 50 mm . Se si temono cadute di pressione o se ci si aspetta un basso rendimento, si dovrebbe ricorrere ad una serie più grande.

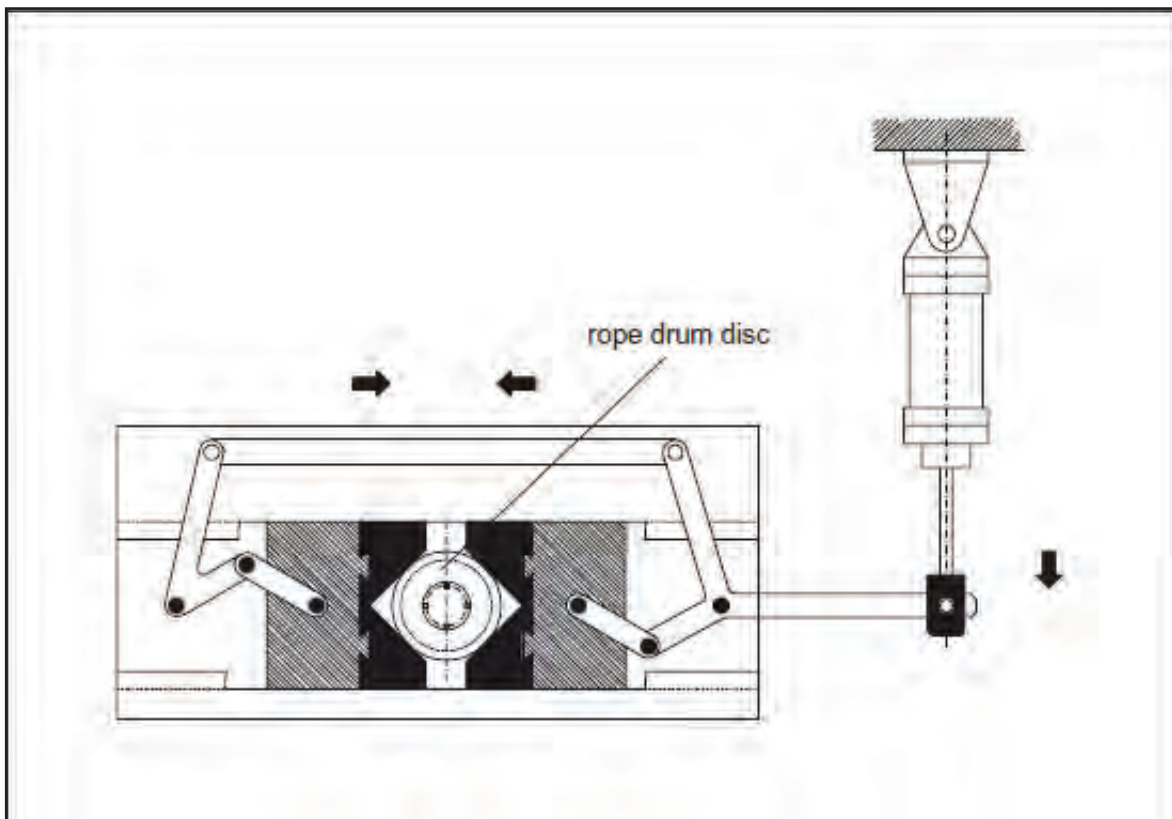


Figura 7.10: Dispositivo di serraggio autocentrante per la pneumatica o l'idraulica

Messa in trazione mediante elettromagnete

Visto che una puleggia è un oggetto di acciaio vi è la possibilità di metterla sotto trazione in maniera elettrica con un magnete.

Sistemi che usano magneti per mettere in trazione hanno le seguenti caratteristiche:

- alta precisione
- tempo di preparazione macchina basso
- forza di tensione su tutta la superficie del pezzo, che pertanto non si può deformare
- il magnete non si riscalda
- la forza di trazione non si interrompe anche se manca l'energia elettrica
- poca necessità di corrente, utilizzata soltanto per un breve impulso di bassa potenza.

Ciononostante il magnete viene alimentato con dispositivi di controllo che ne invertono la polarità. Tali dispositivi regolano la forza di tensione necessaria e riducono il più possibile la magnetizzazione residua mediante inversione della polarità anche quando manca il sistema di tensione.

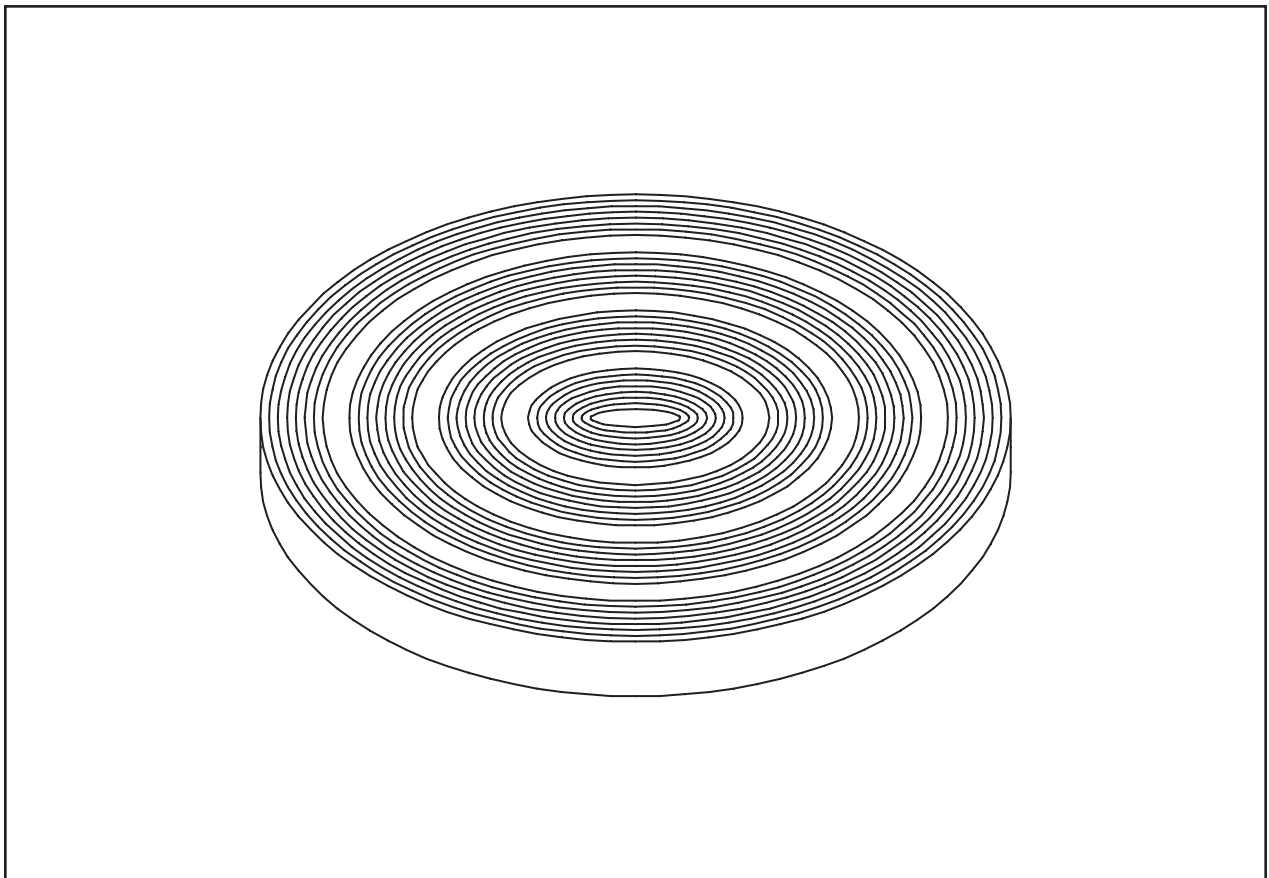


Figura 7.11: Elettromagnete per mettere sotto trazione pezzi da lavorare

Sistemi che usano la forza magnetica per mettere in tensione possono avere diverse forme. Se si tratta di costruzioni circolari, delle scanalature o dei fori di centraggio sulla superficie possono rendere più facile l'allineamento del pezzo.

Costruzione di un sistema che usa la forza magnetica per mettere sotto trazione:

- La tipica forza di bloccaggio di questi sistemi è circa di 100 N/cm,
- classe di protezione IP 65,
- ciclo di fatica del magnete ED 100 %

Il collegamento avviene mediante un controllore con polarità reversibile mediante i seguenti dati tecnici:

- tensione di rete 230 o 380 V a seconda della misura del magnete
- frequenza di rete 50 Hz con possibilità di incremento a 60 Hz
- possibilità di collegamento a un controllore programmabile mediante tensione di segnale a 24 V
- magnetizzazione e demagnetizzazione attraverso un interruttore
- possibilità di regolazione della forza di bloccaggio

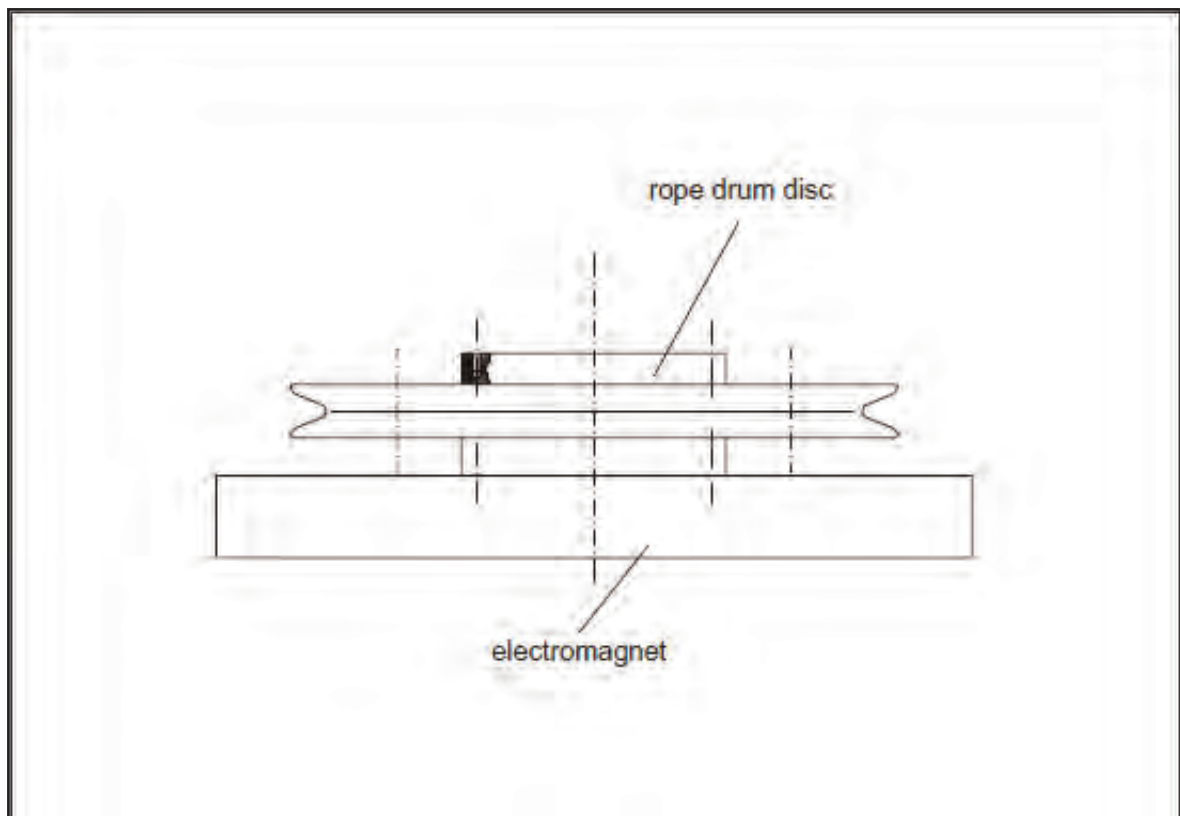


Figura 7.12: Attrezzo con magnete

Dopo la valutazione delle caratteristiche dei singoli impianti di ritenuta è possibile effettuare un confronto.

Dunque per mettere in trazione vengono utilizzati:

- cilindri idraulici
- cilindri pneumatici
- elettromagneti

Tutti e tre gli elementi di azionamento sono adatti per adempiere il compito di mettere in trazione.

I vantaggi dell'elettromagnete sono: la semplicità d'uso senza necessità di altri impianti per mettere in trazione la puleggia. A discapito però di un prezzo relativamente alto e la necessità di un controllore a polarità invertibile.

I vantaggi del cilindro pneumatico sono la velocità durante la messa in trazione e la possibilità nelle industrie di alimentazione ad aria compressa, in modo da risparmiare i costi per la produzione di energia. Comunque tuttavia ciò è possibile soltanto se per la messa in trazione l'aria messa a disposizione dalla rete è sufficientemente compressa.

Un vantaggio del cilindro idraulico è che adempie a tutte le specifiche. Per una forza di trazione relativamente bassa invece di 1000 N invece viene preferito un cilindro pneumatico, in quanto un cilindro idraulico è troppo dispendioso in termini di fornitura e setup dell'impianto.

Uno svantaggio del cilindro pneumatico come del cilindro idraulico è la difficoltà di progettazione e realizzazione di un sistema di ritenuta.

Il confronto mostra che per la messa in trazione ci sono diverse possibilità. Ogni variante ha vantaggi e svantaggi. Tuttavia diversi metodi soddisfano indifferentemente le specifiche.

Visto che nell'esempio si parte da un'alimentazione con aria compressa già disponibile, per la messa in trazione viene scelto il cilindro pneumatico.

Per poter praticare un foro filettato M12 bisogna scegliere una modalità di avanzamento.

Nella seguente tabella si riporta una selezione di opportuni meccanismi di alimentazione.

b) Azionamento dell' avanzamento (? Vorschubantrieb)

Per poter trivellare (?Kernlöcher) per il filetto M12 bisogna scegliere un attuatore dell'avanzamento.

Nella tabella si trova una scelta di apparecchiature adatti per l'avanzamento.

Esigenze	Elettroidraulica	Elettropneumatica	Elettrotecnica
moto di translazione	XX	XX	XX
Sicurezza di sovraccarico	XX	XX	–
Controllabilità elettrica	XX	XX	XX
Forza di alimentazione $F = 2000 \text{ N}$	XX	X	–
Forza massima di alimentazione $v = 0,5 \text{ m/s}$	XX	X	X
Realizzazione di moti rapidi e funzionanti	XX facile	difficile	–
libero da scatti	XX	X	X

Tabella 7.6: Specifiche per le modalità di avanzamento.

Il confronto mostra che il motore lineare idraulico è il più adatto apparecchio di alimentazione.

Visto il loro continuo sviluppo, i sistemi di alimentazione lineari verranno sicuramente utilizzati in futuro come alberi di avanzamento.

Alimentazioni elettriche lineari possono essere utilizzate comunque come alberi di avanzamento lineari durante le lavorazioni ad alta velocità di metalli leggeri in concorrenza all'alimentazione idraulica che non possono raggiungere velocità fino a 4 m/s.

Nell'esempio precedente viene utilizzato un cilindro idraulico poiché soddisfa a tutte le specifiche.

Il calcolo dei parametri di progetto del cilindro è simile al calcolo già effettuato per un cilindro che mette in trazione il pezzo da lavorare. Si trascuri il grado di efficienza dell'attuatore.

La forza di trazione F_v deve essere pari a 2000 N. La pressione idraulica attesa è pari a 70 bar. E' necessario testare se una pressione di 160 bar potrebbe essere preferita.

Per i cilindri idraulici con una pressione di 70 bar vale:

$$\begin{aligned}p &= F_v / A \\A &= F_v / p \\A &= 2000 \text{ N} / 70 \text{ bar} \\A &= 2,86 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Ne segue un diametro dello stantuffo pari a $d=19,1$ mm. I tipici cilindri idraulici hanno un diametro dello stantuffo di 25 mm con una biella dello stantuffo che ha un diametro di 12 mm. Un cilindro con queste misure è sufficiente e dunque non è necessario aumentare la pressione a 160 bar.

c) Alimentazione del trapano

Per la foratura bisogna scegliere un attuatore adatto. Per poter generare il moto di rotazione necessario per la lavorazione sono a disposizione:

- motori a aria compressa
- motori idraulici
- motori elettrici.

Nella tabella si trova una selezione di attrezzi adatti per l'alimentazione del trapano.

Esigenze	Elettroidraulica	Elettropneumatica	Elettrotecnica
Moto rotatorio	XX	XX	XX
Rotazione del trapano frequenza modificabile $n_1 = 750 \text{ r/min}$ e $n_2 = 1450 \text{ r/min}$	realizzabile con le valvole a controllo di flusso	realizzabile ma dipendente dal carico	realizzabile con una trasmissione
moto torcente $M_1 = 10 \text{ Nm}$ e $M_2 = 20 \text{ Nm}$	guarda il diagramma	guarda il diagramma	guarda il diagramma
Taglio $P = 1,6 \text{ kW}$	X guarda il calcolo	X guarda il calcolo	X guarda il calcolo
Piccola incastonatura di un pezzo al sito di operazione	XX	XX	realizzabile con una trasmissione
Sicurezza di sovraccarico	XX	XX	Soltanto con l'equipag- giamento di protezione corrispondente

Tabella 7.7: Specifiche per l'alimentazione di un trapano

Per selezionare la modalità di alimentazione più adatta per il trapano è necessario confrontarne le diverse caratteristiche di rotazione

Il motori idraulici possono essere confrontati secondo criteri diversi.

In base alla velocità angolare si classificano in motori piani, motori di media velocità e motori ad alta velocità. I motori piani sono adatti per fornire un numero basso di giri ed un grande momento torcente anche senza l'introduzione di un rotismo aggiuntivo. Quest'ultimo aspetto nel nostro esempio non viene richiesto.

In figura sono rappresentati i seguenti motori idraulici:

- 1 motore in linea
- 2 motore a V
- 3 motore radiale ad una manovella
- 4 motore radiale a più manovelle
- 5 motore a ingranaggi ?
- 6 motore a palette ?
- 7 motore a pompa ?

La velocità angolare richiesto è medio-alto.

Dunque sarebbero adatti il motori 1,2,3,5 e 6. Soltanto il motori 4 e 7 non sarebbero adatti.

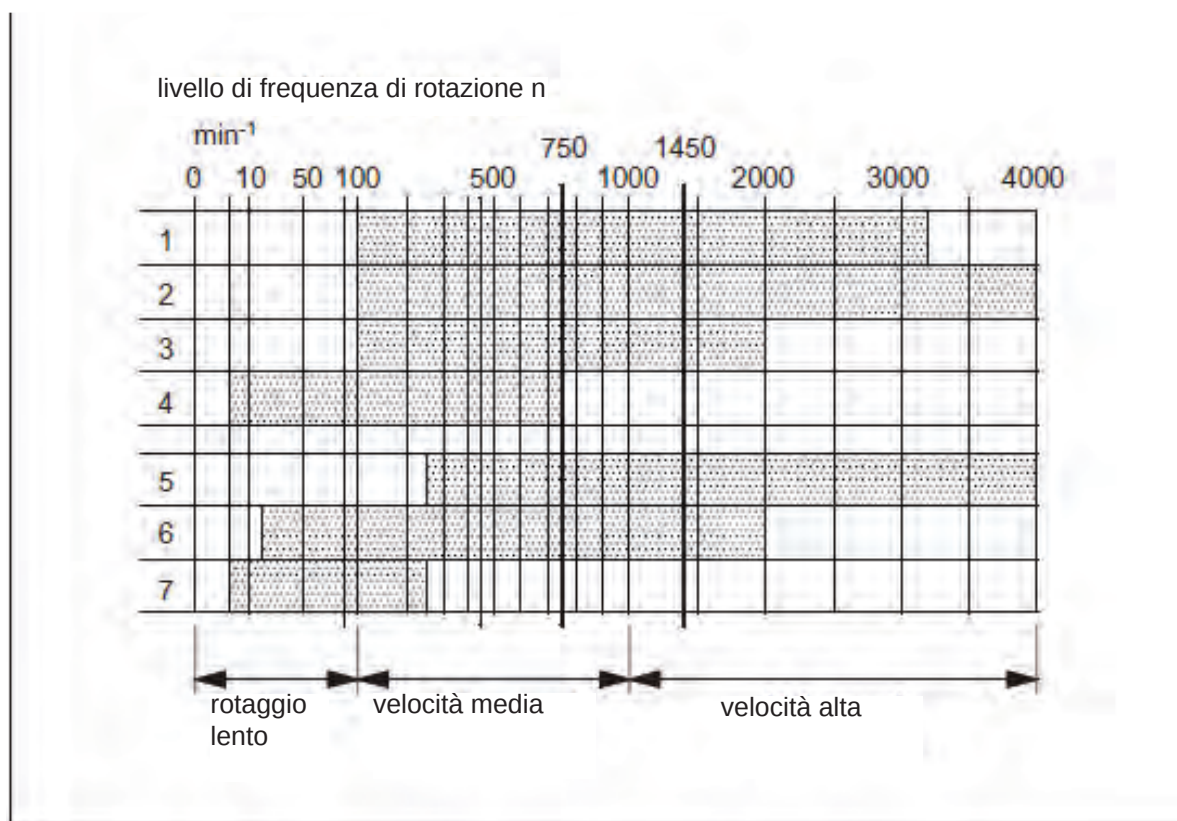


Figura 7.13: Classificazione dei motori idraulici secondo la velocità angolare

In figura viene riportata la classificazione dei motori idraulici per velocità angolare (v. legenda)

Per la realizzazione del momento torcente di 10 e 20 Nm sono adatti soltanto il motore a ingranaggi e il motore a pompa. Rimane da stabilire se questi motori soddisfano le specifiche nel caso dell'esempio.

Per l'esempio è stato scelto un motore a ingranaggi con una prestazione di 2 kW. Le curve caratteristiche del motore sono rappresentate in un'Figura aggiuntiva.

Se ne possono dedurre i seguenti valori per ognuna delle applicazioni:

velocità angolare: 750 U/min
momento torcente: 20 Nm
pressione: 120 bar
portata volumica: 10 l/m

velocità angolare: 1450 U/min
momento torcente: 10 Nm
pressione: 60 bar
portata volumica: 20 l/m

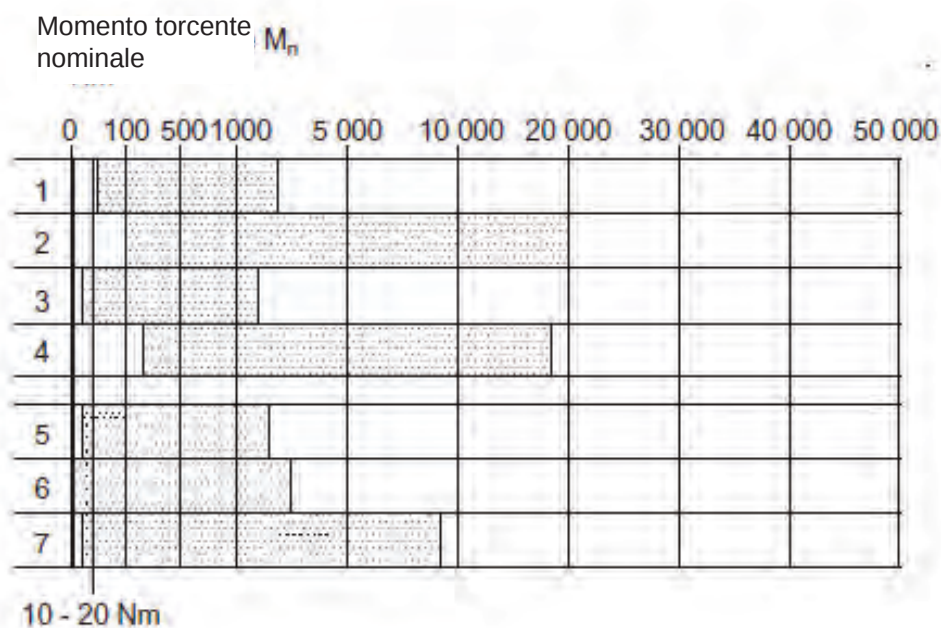


Figura 7.14: Classificazione dei motori idraulici in base al momento torcente

Per la regolazione della pressione del motore è necessaria una valvola di limitazione. Per fissare il volume del flusso vengono introdotte valvole di controllo. Con ciò il controllore risulta molto impegnativo.

È anche possibile di introdurre invece delle valvole limitatrici pressione una valvola premente di pressione e invece delle valvole di controllo della corrente una valvola proporzionale di controllo. Questa è una soluzione molto adatta, ma a causa del dispositivo di controllo appartenente più cara che la prima variante.

Un'altra variante è il motore a palette. Questo tipo di motore può essere utilizzato come motore idraulico regolabile o non regolabile.

Principalmente questi motori però vengono prodotti per portate costanti e soltanto in piccola misura come motore a portata variabile. Sono adatti soprattutto per grandi momenti torcenti.

Questi motori possono essere utilizzati nell'esempio considerato ma ad un costo molto elevato.

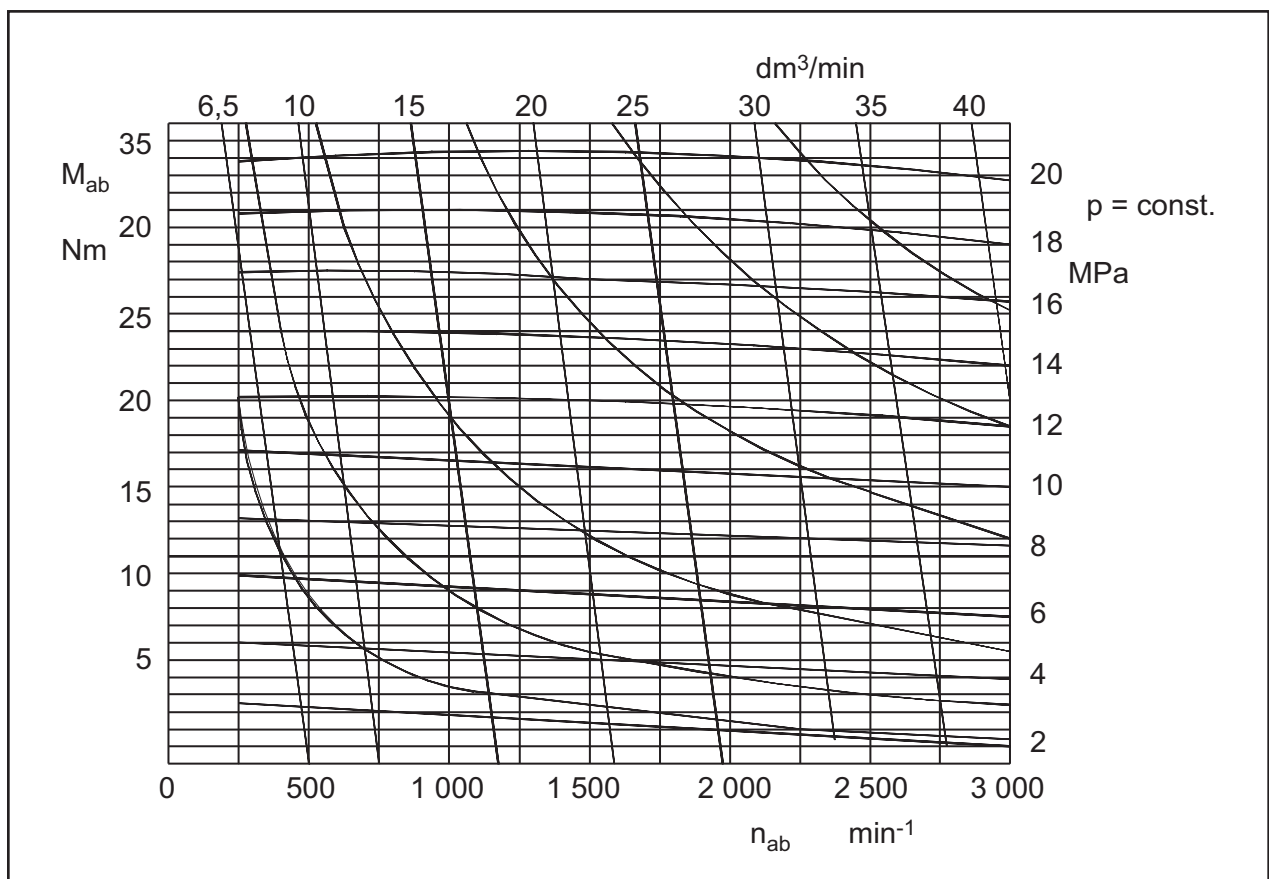


Figura 7.15: Caratteristica di funzionamento per motore a ingranaggi

Con motori pneumatici possono essere generati anche moto di tornitura.

Il motori pneumatici si dividono in:

- motori radiali,
- motore in linea,
- motore a lamelle.

Per risolvere il problema presentato nell'esempio mediante motori pneumatici, si sceglie l'utilizzo di motori a lamelle. Questi ultimi vengono costruiti con potenze comprese fra 0,1 e 15kW. La velocità angolare a vuoto oscilla tra 1000 e 50 000 giri/min.

Per il nostro caso applicativo perciò è stato scelto un motore pneumatico a lamelle.

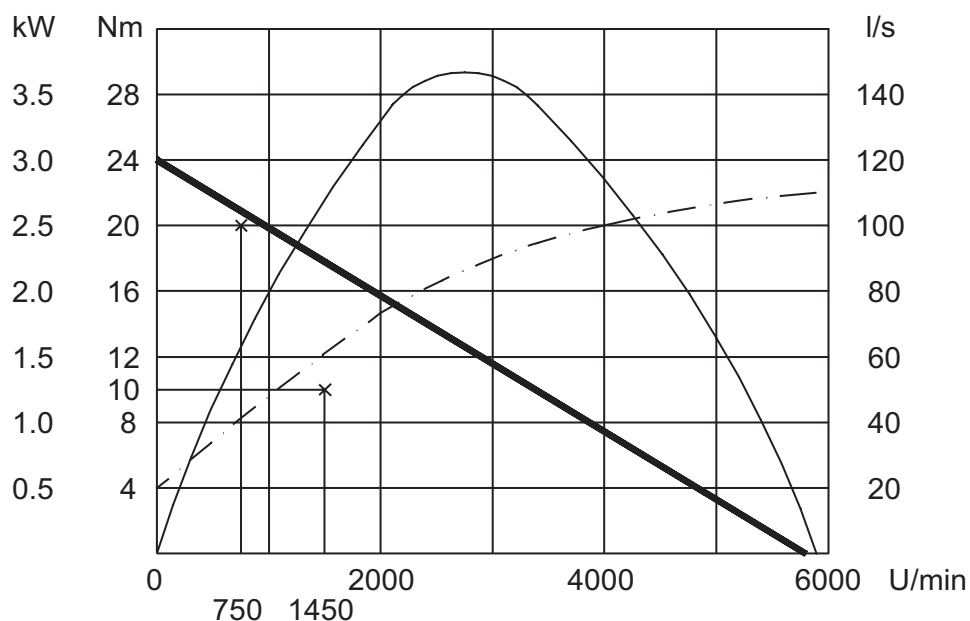


Figura 7.16: Diagramma di prestazione con una sovrappressione di regime 6,3 bar

Il motore pneumatico è uno dei motori più robusti e universale. Si lascia regolare in un intervallo molto ampio.

La potenza può essere facilmente modificata mediante una semplice regolazione dell'apporto d'aria con l'aiuto di una valvola a farfalla o di una valvola a pressione.

Il motore pneumatico lavora con grande sicurezza fino alla linea a tratti in figura.

Per la prima applicazione nell'esempio sarebbe necessario collegare separatamente due valvole a farfalla o una valvola a pressione e una valvola a farfalla, e per la seconda una valvola a farfalla - anche questa in maniera separata.

Una soluzione migliore potrebbe essere quella di combinare un motore pneumatico a lamelle ad un meccanismo di trasmissione.

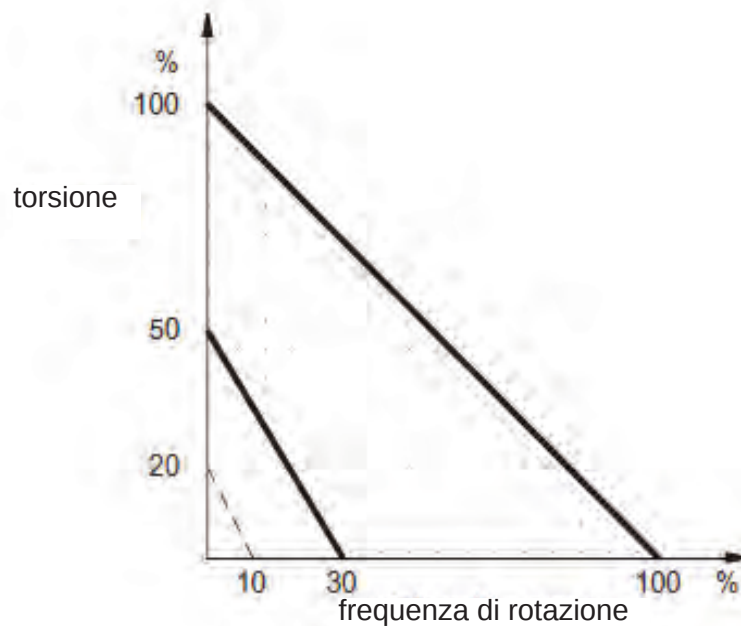


Figura 7.17: Campo d' Applicazioni dei motori pneumatici

La terza possibilità per l'alimentazione del trapano è un motore elettrico.

Per la realizzazione di due frequenze può essere utilizzato un motore a poli invertibili. Questo motore però è molto grande e costoso.

Perciò è più sensato usare un motore a trasmissione asincrono a corrente trifase per la realizzazione dei casi applicativi proposti. Nell'esempio questa soluzione è la più adatta.

Avendo considerato le tre varianti separatamente adesso segue una valutazione del loro confronto.

Si è visto che nel caso del trapano un motore elettrico asincrono è il più adatto. Dovrebbe essere attrezzato con una trasmissione per la realizzazione delle due diverse frequenze di rotazione richieste nell'esempio. Visto che la spinta principale deve essere modulata ciò può essere possibile con un cambio a ingranaggi.

Una modulazione della velocità angolare dunque è possibile mediante una trasmissione pre-collegata. Se devono essere realizzate solo due diverse velocità angolari è possibile utilizzare un motore a poli invertibili. Questo motore è però più grande ed ha un prezzo maggiore del motore asincrono con trasmissione.

In mecatronica i limiti imposti dai singole forme di energia vengono superati.

Per poter usare i vantaggi delle differenti forme di energia in modo ottimale spesso esse vengono anche combinate tra loro. Molte volte vengono utilizzati sistemi elettropneumatici o elettroidraulici.

Un modulo di avanzamento della perforazione p.es. può essere collegata ad un asse di avanzamento idraulico con un motore pneumatico a lamelle con rotismo epicicloidale. In questo caso si tratta di una combinazione di idraulica e pneumatica con meccanica e elettrotecnica per il controllo.

7.3.3 Componenti di segnale, di controllo e attuatori

Un controllo si divide in una componente di potenza e una di controllo dei segnali.

Fanno parte della componente di potenza la trasmissione, la sezione di potenza elettrica, gli organi di regolazione e di controllo e la parte responsabile del trasporto e della distribuzione di energia elettrica.

La componente di controllo segnali include i blocchi funzionali per l'introduzione del segnale, il processamento del segnale con conseguente trasporto e distribuzione di energia e l'uscita del segnale. Nel processamento del segnale o delle informazioni viene svolta la funzione propria di un controllo.

Il compito di un controllo è di ricevere uno o più segnali d'entrata, di valutare queste informazioni secondo il programma e generare poi il segnale d'uscita.

La scelta degli attuatori è già stata completata. Per la messa in trazione viene utilizzato un cilindro pneumatico mentre per l'avanzamento è stato scelto un cilindro idraulico. Le rotazioni vengono generate da un motore elettrico. Il tipo di energia scelto deve essere regolato in maniera opportuna. Questo accade nella sezione di controllo dell'energia tramite elementi di controllo e di regolazione.

Per fare lavorare gli attuatori sono necessari componenti di controllo e controllo. Questi nella tecnica pneumatica hanno il compito di influenzare il mezzo idraulico o pneumatico che trasmette l'energia.

I cilindri a doppia azione devono essere regolati con valvole direzionali. Nella pneumatica vengono invece utilizzati distributori 5/2, se non è necessario un bloccaggio nella posizione centrale.

I mezzi idraulici vengono utilizzati per l'avanzamento (feeding drive). Per regolare il cilindro idraulico a doppio effetto viene utilizzato un distributore 4/3.

Il controllo del motore elettrico avviene tramite relé o contattori.

La scelta concreta e con ciò la denominazione/indicazione delle valvole e relè può essere eseguita soltanto dopo lo sviluppo del schema

Nella tecnica di segnalazione per la introduzione del segnale vengono utilizzati attrezzi per generare e trasportare segnali. Questi possono essere:

- dispositivi di controllo (dispositivo elettrico di chiusura, apertura contatto e contatto di commutazione, distributori 3/2 azionati in modo pneumatico),
- sensori (interruttori di prossimità),
- trasformatori d'ingresso, (interruttori a pressione idraulica e pneumatica),
- dispositivo di segnalamento (ottico, acustico).

L'elaborazione del segnale rappresenta il controllo vero e proprio. Contiene il programma o il software secondo cui il complesso controllo deve operare. Ogni controllo è programmabile. Si divide fra controllori programmabili e comandi a logica cablata.

Un controllo a logica cablata ha i seguenti vantaggi:

- è robusto,
- non è sensibile ai disturbi,
- è molto diffuso e conosciuto,
- l'affidabilità è nota,
- è economico soprattutto se i sistemi sono piccoli,
- se non ha più di 8 relè è economicamente vantaggioso al pari di un controllore programmabile.

Gli svantaggi del controllo a logica cablata sono:

- la necessità di spazio,
- elaborazione delle sole funzioni binarie,
- il programma è fissato, modificabile generando nuovi o altri collegamenti fisici,
- sviluppo e produzione sono molto costosi,
- necessità di manutenzione intensa a causa di abrasioni,
- i costi aumentano in relazione alle capacità del programma

Un controllore programmabile ha i seguenti vantaggi:

- si cambia facilmente grazie a cuscinetti scorrevoli,
- l'affidabilità è alta grazie all'uso di elementi senza contatto,
- le funzioni di controllo possono essere modificate in maniera veloce,
- ha poco bisogno di spazio,
- è possibile la documentazione,
- è possibile controllare le sequenze di controllo,
- lo stato del processo di elaborazione è osservabile.

Il controllore programmabile ha però i seguenti svantaggi:

- costi iniziali elevati,
- sono necessari e costosi i dispositivi di programmazione.

La scelta degli elementi di controllo avviene con lo sviluppo finale della documentazione dello schema elettrico.

Si possono evidenziare le seguenti funzioni:

- elementi di controllo per bloccare alcune direzioni
- elementi di controllo per influenzare il flusso di volume
- valvole di mandata e variatori (fusibili elettrici)

Con l'aiuto di elementi di segnale viene identificato il moto degli attuatori e trasformato in segnali, che possono essere elaborati dal controllore. Spesso azionamenti meccanici vengono trasformati in segnali elettrici.

Gli elementi di segnale hanno le seguenti caratteristiche:

Interruttore meccanico di posizionamento:

- precisione del punto di rallenamento fino a 0,0001 mm
- durata: 10 milioni di cicli di commutazione
- lavoro a contatto con altri elementi, perciò sottoposto a usura

Interruttore reed:

- precisione dell'interruttore : $\pm 0,1$ mm
- durata: 5 milioni cicli di commutazione
- tipico utilizzo di interruttori cilindrici
- magnete permanente aziona un interruttore in caso di avvicinamento

Interruttore di prossimità induttivo:

- soltanto materiali capaci di condurre la corrente possono essere rilevati,
- distanza di commutazione : tipica 0,8-10mm, max 250 mm,
- prezzo più basso degli per interruttori capacitivi

Interruttore capacitivo:

- adatto a tutti i materiali con costante dielettrica > 1
- distanza di commutazione : tipica 5-20 mm, max 60 mm
- lavoro senza contatto con altri elementi

Nell'esempio iniziale ciascuna delle tre modalità di trasmissione viene considerata separatamente.

Il cilindro di trazione pneumatico viene azionato mediante una valvola direzionale controllata manualmente. Non è necessario un interruttore di fine corsa, visto che un ingegnere fa partire l'avanzamento soltanto quando il processo di serraggio è finito.

Una valvola controlla la pressione di trazione, che esegue la commutazione soltanto quando la pressione è sufficientemente elevata.

Anche il cilindro idraulico viene azionato mediante una valvola direzionale controllata manualmente e non è necessario un interruttore di fine corsa.

L'inversione di corsa nell'avanzamento avviene mediante una valvola direzionale che è equipaggiata con un rullo azionato mediante il cilindro in uscita.

La punta del trapano viene comandata da un interruttore.

Infine l'intero processo deve essere calato in un sistema di controllo complesso. Quindi, per le componenti di segnale è previsto il controllo tramite un controllore programmabile.

I segnali d'ingresso del controllore programmabile devono essere realizzati tramite interruttori di prossimità e interruttori elettrici. Un segnale d'ingresso viene generato dall'interruttore di pressione che deve monitorare la forza di fissaggio.

I segnali emessi dal controllore programmabile servono per azionare i magneti elettrici delle valvole e per comandare i relè per l'alimentazione elettrica della punta del trapano.

Per l'esempio vengono scelti i sensori seguenti:

Per il cilindro pneumatico di controllo vengono utilizzati interruttori reed, per i seguenti motivi

- tipica applicazione per il segnalamento di fine corsa del cilindro
- interruttore utilizzato più spesso per registrare la posizione del cilindro a fine corsa
- sicurezza e affidabilità,
- alto livello di integrazione nel sistema,
- piena rispondenza alle specifiche

Il cilindro idraulico di lavoro e gli interruttori di fine corsa hanno bisogno di un terzo interruttore per modificare la velocità di avanzamento.

Per tutti e tre sensori vengono utilizzati interruttori di prossimità induttivi.

Gli interruttori di prossimità induttivi soddisfano le seguenti specifiche:

- a causa del tubo d'acciaio del cilindro non è possibile utilizzare interruttori reed, il campo magnetico verrebbe indebolito in maniera troppo significativa,
- adatto per esaminare il fondo corsa del cilindro,
- sicurezza e affidabilità
- hanno un prezzo più basso degli interruttori di prossimità

8 Sviluppo di un intero sistema meccatronico

8.1 Componenti scelte

Prima di produrre la documentazione tecnica per un sistema di controllo complesso vanno selezionati gli elementi di trasmissione adatti alle specifiche. Questo è stato realizzato confrontando sottosistemi pneumatici, idraulici ed elettrici.

Spesso è molto difficile trovare una soluzione ottima per una data applicazione, dal momento che i campi d'applicazione e i parametri tecnici il più delle volte coincidono. Non bisogna meravigliarsi dunque che nella prassi spesso sono necessari dei compromessi per raggiungere un certo obiettivo/requisito.

Per esempio sono stati scelti i seguenti attuatori :

Per adempiere alla funzione di fissaggio è stato individuato un cilindro pneumatico di controllo come attuttore più adatto.

Per l'avanzamento è stato scelto il cilindro idraulico come attuttore più adatto.

Visto che le specifiche richiedono che devono essere realizzate due velocità angolari differenti per mettere in rotazione il tamburo del trapano è sembrato più adatto un motore elettrico con trasmissione.

Per la realizzazione del sistema complesso è stato scelto un controllore programmabile.

Per segnalare il fondo corsa del cilindro pneumatico sono stati scelti interruttori reed e per il cilindro idraulico interruttori di prossimità induttivi.

Per i cilindri si potrebbero utilizzare anche interruttori meccanici di posizione, che però spesso non vengono però preferiti in quanto hanno bisogno di lavorare mediante contatti esposti pertanto a maggiore usura. Inoltre con un interruttore a pressione si potrebbe verificare se il cilindro di fissaggio è sviluppato una forza di trazione sufficiente. Questo aspetto per semplicità viene tralasciato nello sviluppo dell'esempio.

8.2 Strumenti ausiliari per lo sviluppo di un sistema di controllo complesso

L'obiettivo è ora quello di sviluppare lo schema elettrico per un sistema di controllo complesso. È importante strutturare le procedure in passi elementari e metterli in pratica in modo sequenziale.

Sono necessarie alcune considerazioni introduttive. Possono essere utilizzati diversi mezzi di rappresentazione, per assegnare un compito. Per una maggiore comprensibilità nei diversi ambiti dovrebbero essere utilizzati simboli e rappresentazioni che abbiano validità generale.

Solo in seguito è possibile tradurre il tutto nello schema elettrico di controllo.

Dopo di aver realizzati gli schemi elettrici viene costruito l'impianto. Bisogna fare attenzione che i singoli elementi dell'impianto siano indicati con lo stesso nome utilizzato nello schema elettrico.

L'ultimo passo è l'avviamento del sistema. Eventuali cambiamenti necessari devono essere riportati anche nella documentazione.

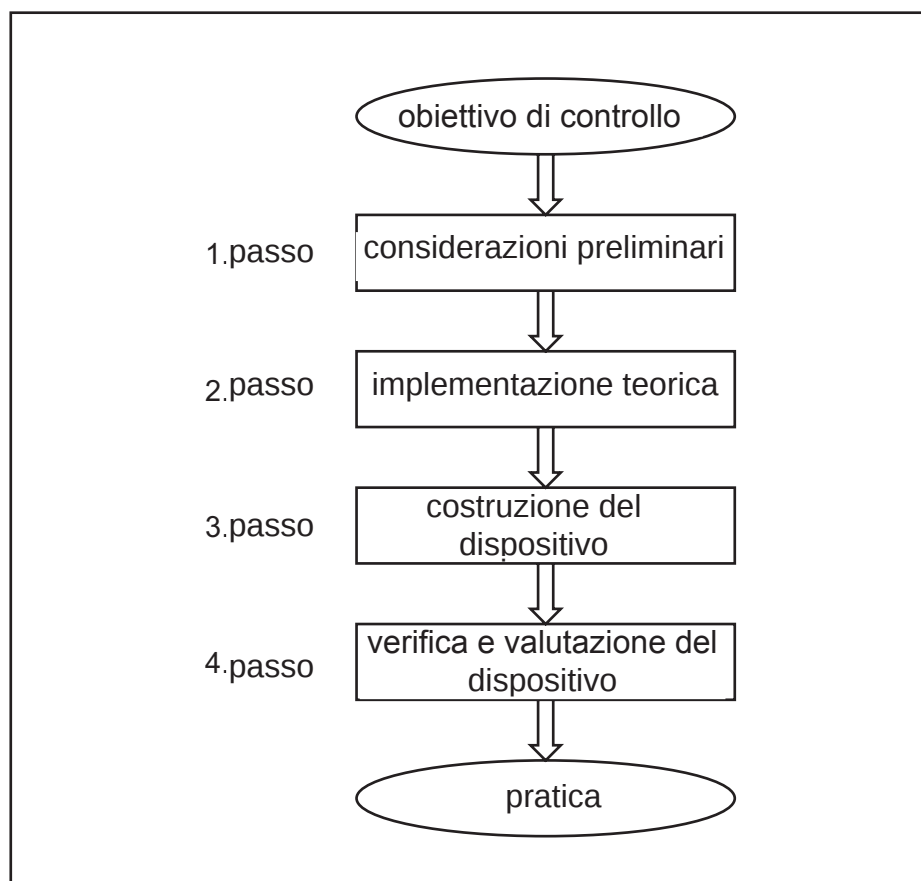


Figura 8.1: Metodo per lo sviluppo di sistemi di controllo

8.2.1 Disegno d'insieme

Il disegno d'insieme deve mostrare la precisa posizione degli attuatori della macchina e dell'impianto e dare indicazioni precise su modo e posizione di montaggio. Dovrebbe essere comprensibile e contenere solo informazioni essenziali.

Le posizioni dell'interruttore cilindrico non vengono rappresentate nel disegno d'insieme sono. Queste perciò vengono stabilite in forma scritta:

B1 fondo corsa d'ingresso del cilindro pneumatico 1 A
 B2 fondo corsa d'uscita del cilindro pneumatico 1A
 B3 fondo corsa d'ingresso del cilindro idraulico 2 A
 B4 posizione del commutatore avanzamento rapido/avanzamento di lavoro
 B5 fondo corsa d'uscita del cilindro idraulico 2 A

Anche le denominazioni degli interruttori elettrici devono essere fissati:

S0 interruttore d'avviamento
 S2 interruttore per velocità angolare n_1
 S3 interruttore per velocità angolare n_2

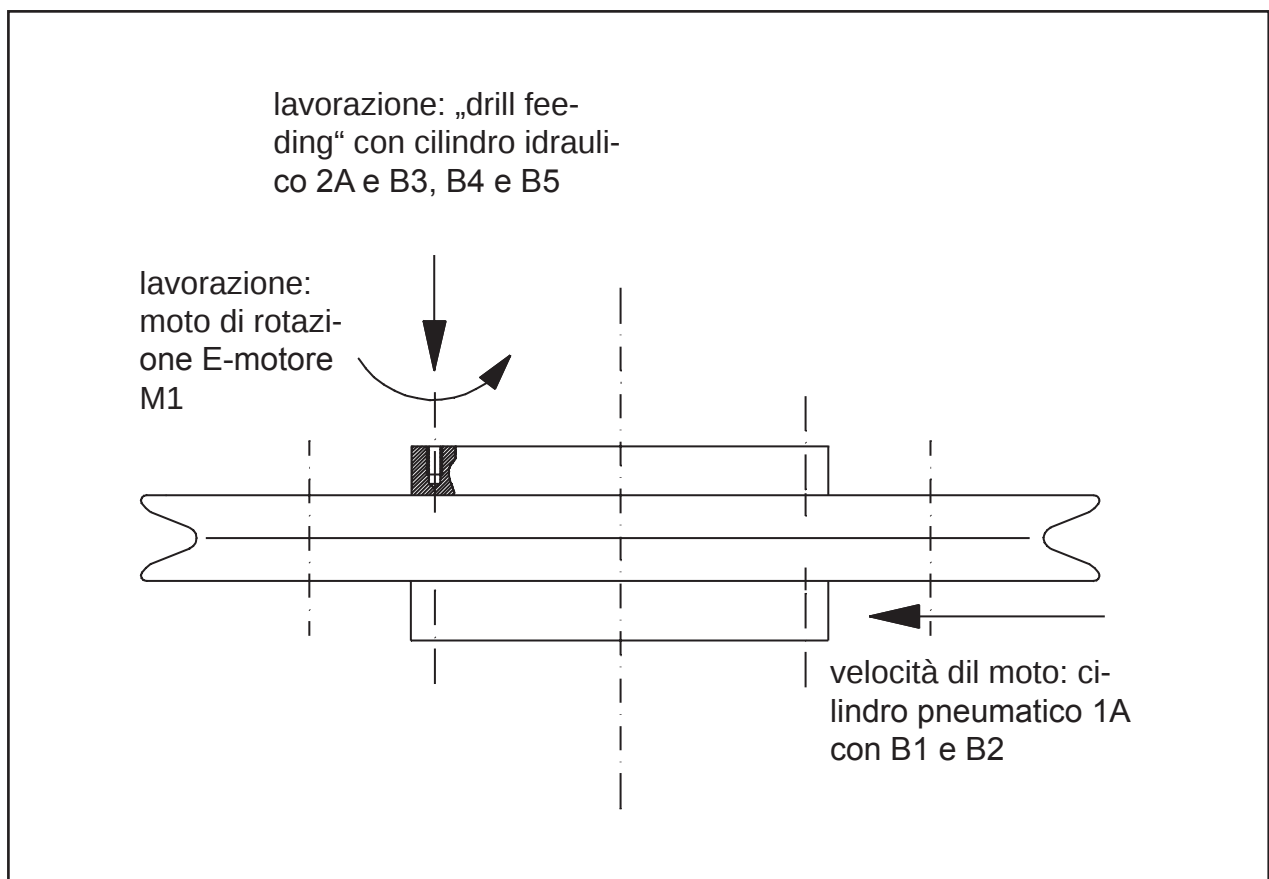


Figura 8.2: Disegno d'insieme per la lavorazione di una carrucola (Seiltrommelscheibe)

8.2.2 Diagramma di flusso

Il diagramma di flusso mostra i rapporti funzionali tra i sottoprocessi elementari necessari per portare a termine il programma globale.

Nel diagramma di flusso viene rappresentato l'insieme di tutti i percorsi possibili durante la realizzazione del programma. Altre denominazioni del diagramma di flusso sono organigramma o struttura del programma.

Nel diagramma di flusso dell'esempio vengono rappresentati i seguenti passi:

1. Passo: Se è stata scelta la velocità angolare n_1 (tasto S2) o n_2 (tasto S3) è possibile l'avviamento.
2. Passo: Se è stata scelta la velocità angolare e si aziona il tasto d'avvio S1 il cilindro di fissaggio può partire
3. Passo: Se il sensore B2 è stato azionato il cilindro di avanzamento 2A deve avanzare velocemente e va azionata l'alimentazione del trapano M1.
4. Passo: Se il sensore B2 è stato azionato va messo in moto il cilindro di avanzamento 2A.
5. Passo: Se viene azionato il sensore B5 il cilindro attuatore deve portarsi a fondo corsa e deve essere spento il motore del trapano M1.
6. Passo: Se il cilindro di avanzamento 2A è stato messo in moto ciò aziona il sensore B3 e il cilindro di fissaggio deve tornare nella posizione finale.
7. Passo: Nella sua posizione finale il cilindro di fissaggio 1A aziona il sensore B1 e termina il programma.

Usando due interruttori separati per la scelta della velocità angolare c'è la possibilità di azionare entrambi i tasti contemporaneamente. Questa eventualità nell'esempio non è stata considerata. Se gli schemi elettrici vengono redatti successivamente è permessa la scelta di una sola velocità angolare.

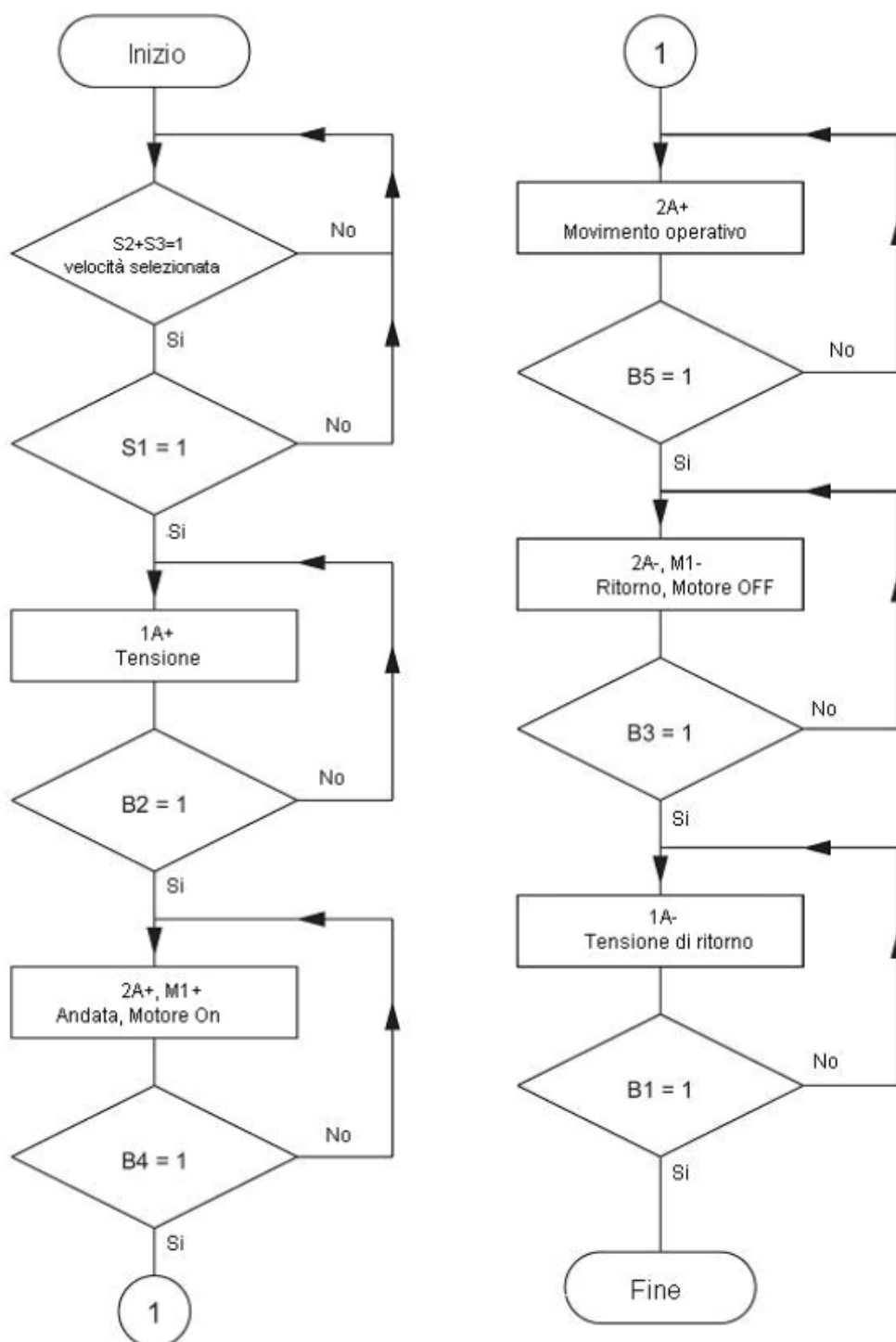


Figura 8.3: Diagramma di flusso

La descrizione del diagramma di flusso può essere effettuata anche algebrica. Per i collegamenti logici vengono utilizzati i gli usuali segni di moltiplicazione e somma. Il punto (moltiplicazione booleana) rappresenta un collegamento AND e il segno più (somma booleana) rappresenta un collegamento OR.

Alla fine della riga viene indicato quale sensore indica l'operazione eseguita.

1. passo: $S2 + S3 = x$
2. passo: $x \cdot S1 = 1A +$ -> B2
3. passo: $B2 = 2A \text{ lavorazione rapida} \cdot M1 +$ -> B4
4. passo: $B4 = 2A \text{ fase di lavoro}$ -> B5
5. passo: $B5 = 2A - \cdot M1 -$ -> B3
6. passo: $B3 = 1A -$ -> B1
7. passo: $B1 = \text{fine del programma}$

8.2.3 Schema logico

Il schema logico fornisce informazioni chiare riguardo collegamenti, dipendenze e flusso di segnali all'interno di un sistema di controllo, indipendentemente dal tipo di progettazione e dalla tecnica utilizzata. Un schema logico però non descrive come realizzazione un sistema di controllo.

Vengono utilizzati i collegamenti logici AND, OR e NOT. La memorizzazione dei segnali avviene mediante flip flop. Valgono le regole dell'algebra binaria (booleana).

Il schema logico dunque rappresenta il flusso dei segnali con simboli combinatoriali e per la memorizzazione, nel quale le linee di azione vengono rappresentate senza frecce. I simboli grafici per le funzioni logiche e gli elementi binari sono fissati nella norma EN-60617-12.

Molti produttori nel caso di sistemi di controllo semplici non usano tabelle combinatoriali. Preferiscono il schema logico con i simboli per i collegamenti. In tal modo il schema logico serve anche per facilitare la comunicazione fra elettricisti da un lato e esperti di elettronica e operai nel settore pneumatico e nell'idraulico dall'altro.

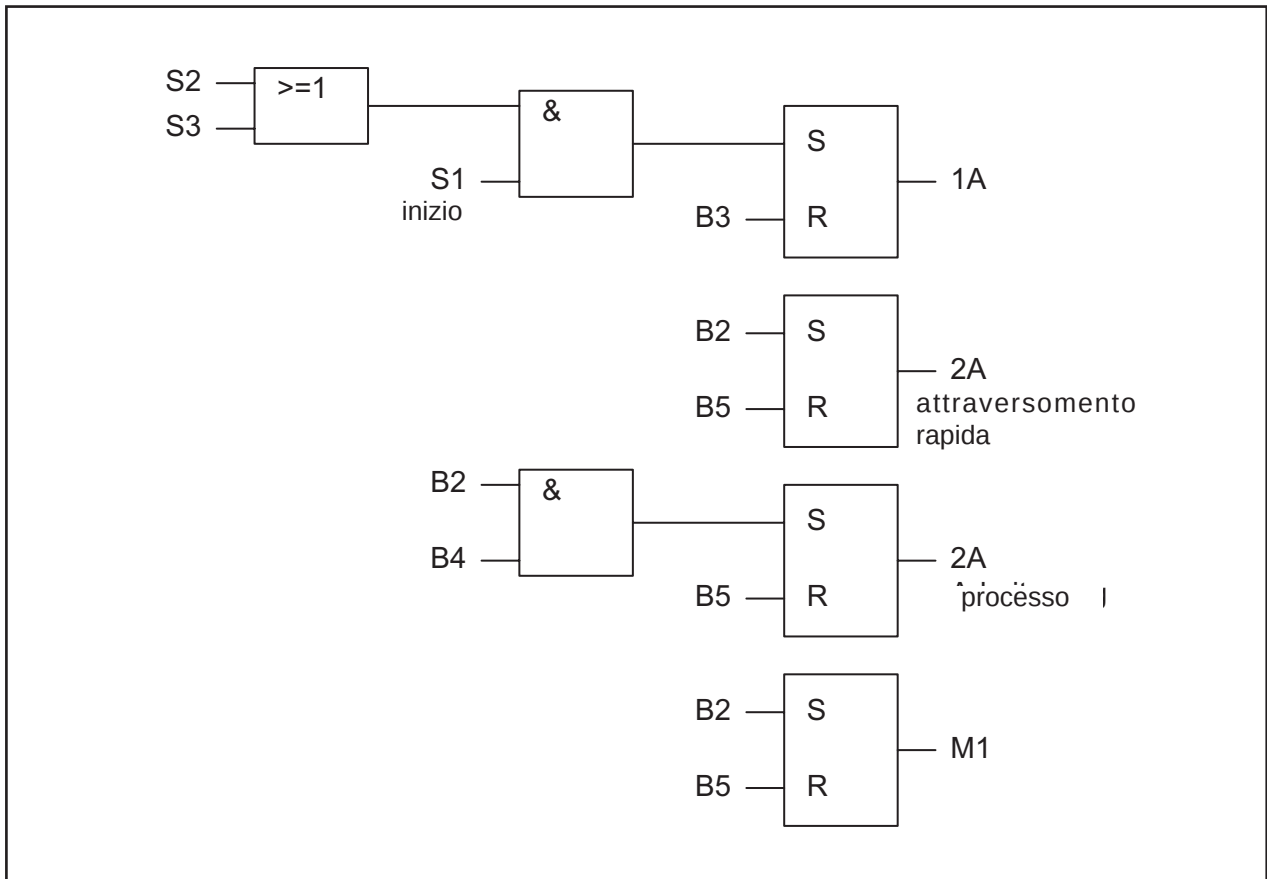


Figura 8.4: Schema logico

8.2.4. Piano funzionale

Il piano funzionale è simile al diagramma sequenziale delle funzioni, il linguaggio di programmazione del controllore programmabile. È realizzato da più passi concatenati in modo sequenziale. Il passo iniziale è indicato in modo specifico.

Durante le operazione è sempre uno ed un solo passo ad essere attivo. Le azioni che devono essere attivate per più passi devono essere avviati e resettati in seguito. L'attivazione del passo successivo viene operato mediante istruzioni condizionali inserite tra i vari passi.

Con il piano funzionale possono essere rappresentate procedure di controllo in maniera molto compatta. Possono essere utilizzata si una rappresentazione approssimata che di dettaglio del sistema di controllo.

Il piano funzionale secondo la DIN 40719 in Germania nel 2005 è stato sostituito dagli standard Grafcet secondo la EN 60848.

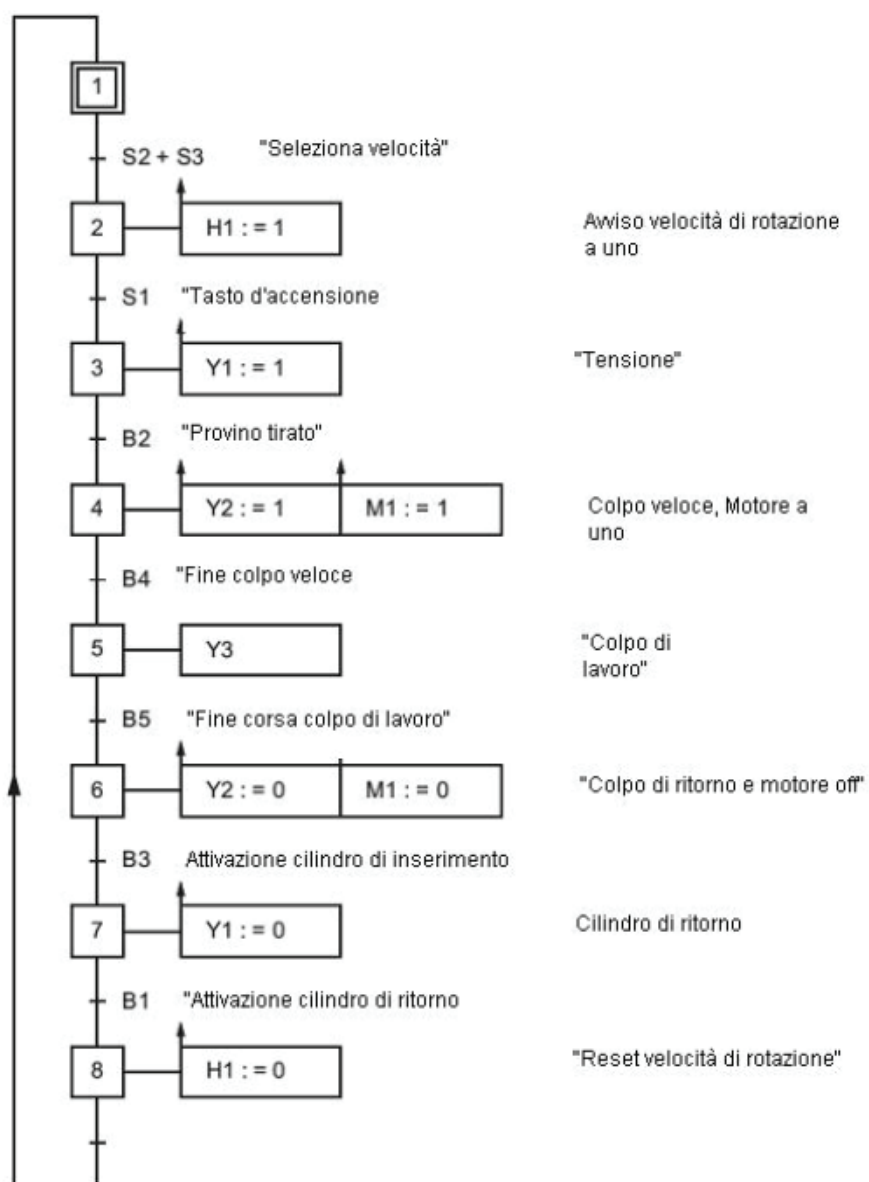


Figura 8.5: Grafcet

8.2.4 Diagramma funzionale

Il diagramma funzionale tipicamente è un diagramma di percorso o un diagramma di stato. Diagrammi percorso-passo o diagrammi percorso-tempo vengono dunque indicati anche come diagrammi funzionali.

Nel diagramma percorso-passo il moto di un attuatore viene rappresentato tramite linee. È adatto soltanto per la rappresentazione di processi semplici come p.es. il moto di uno o più cilindri.

Lo svolgimento delle funzioni durante nel diagramma percorso-passo viene suddiviso in singoli passi. I cambiamenti di stato di un elemento iniziano e terminano sulle linee ausiliarie del reticolo. La scala temporale può essere inserita in parallelo alla suddivisione dei passi. Dunque non è lineare.

La segnalazione dello stato avviene sulle linee orizzontali del percorso. Così p.es. lo stato 0 per il cilindro 1A significa che l'asta dello stantuffo è rientrata. L'asta dello stantuffo in uscita viene segnata con lo stato 1.

Nel diagramma percorso-tempo le linee ausiliari vengono rappresentate con le stesse distanze temporali. La rapidità dei cambiamenti di stato dunque rappresentano la velocità del cilindro.

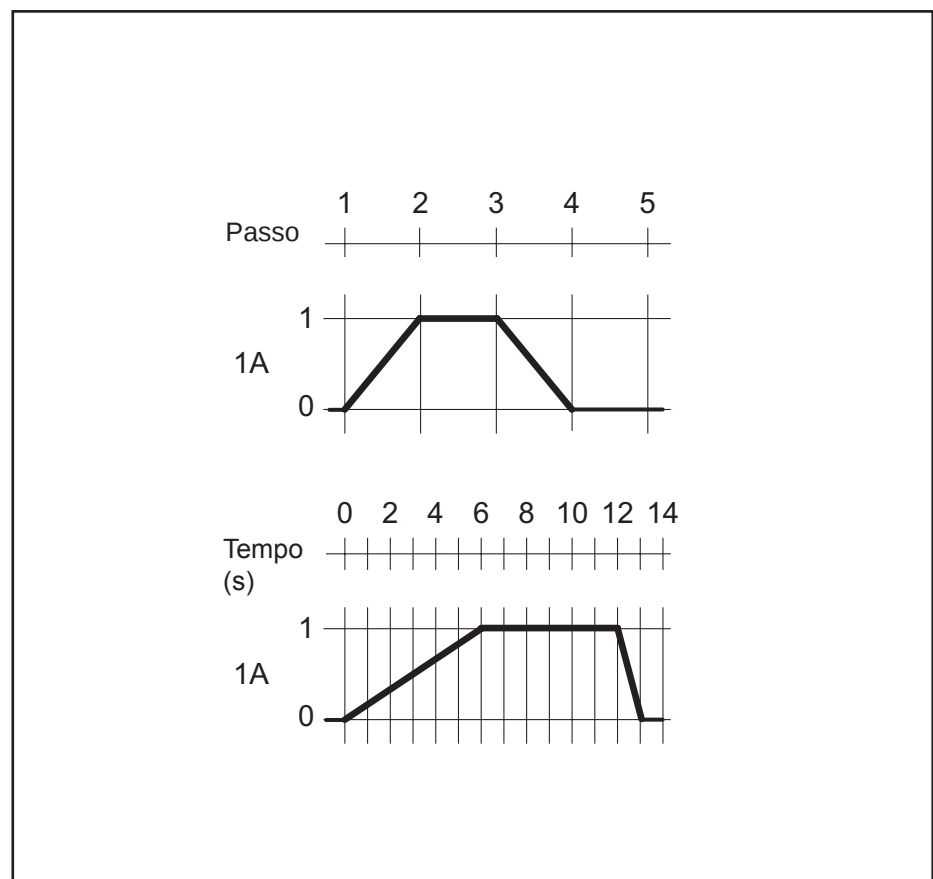


Figura 8.6: Diagramma percorso-passo e diagramma percorso-tempo

Nel diagramma funzionale sono rappresentate le sequenze funzionali di una o più unità di lavoro e il collegamento dal punto di vista del controllo degli elementi che ne fanno parte. In una coordinata p.es. vengono rappresentati il percorso, la pressione, l'angolo e la velocità angolare. Può essere indicato anche il tempo. La rappresentazione non è legata ad una scala.

Con la linea funzionale viene indicato lo stato di un' unità o di elementi durante lo svolgimento delle funzioni. La posizione di riposo viene indicata con una linea sottile. Tutti gli stati che hanno una differenza dalla posizione di riposo vengono rappresentati con una linea in neretto.

Le linee funzionali dei cilindri vengono rappresentate con una certa inclinazione da un passo all'altro in modo da rappresentare la durata (temporale) dell'operazione schedata per il cilindro. La commutazione delle valvole di controllo direzionali o dei motori elettrici viene indicato con una linea funzionale verticale.

Le dipendenze fra le diverse unità lavorative e gli elementi costruttivi vengono evidenziati mediante linee. Le linee di segnale collegano le linee funzionali. Con una freccia viene indicata la direzione di applicazione del segnale.

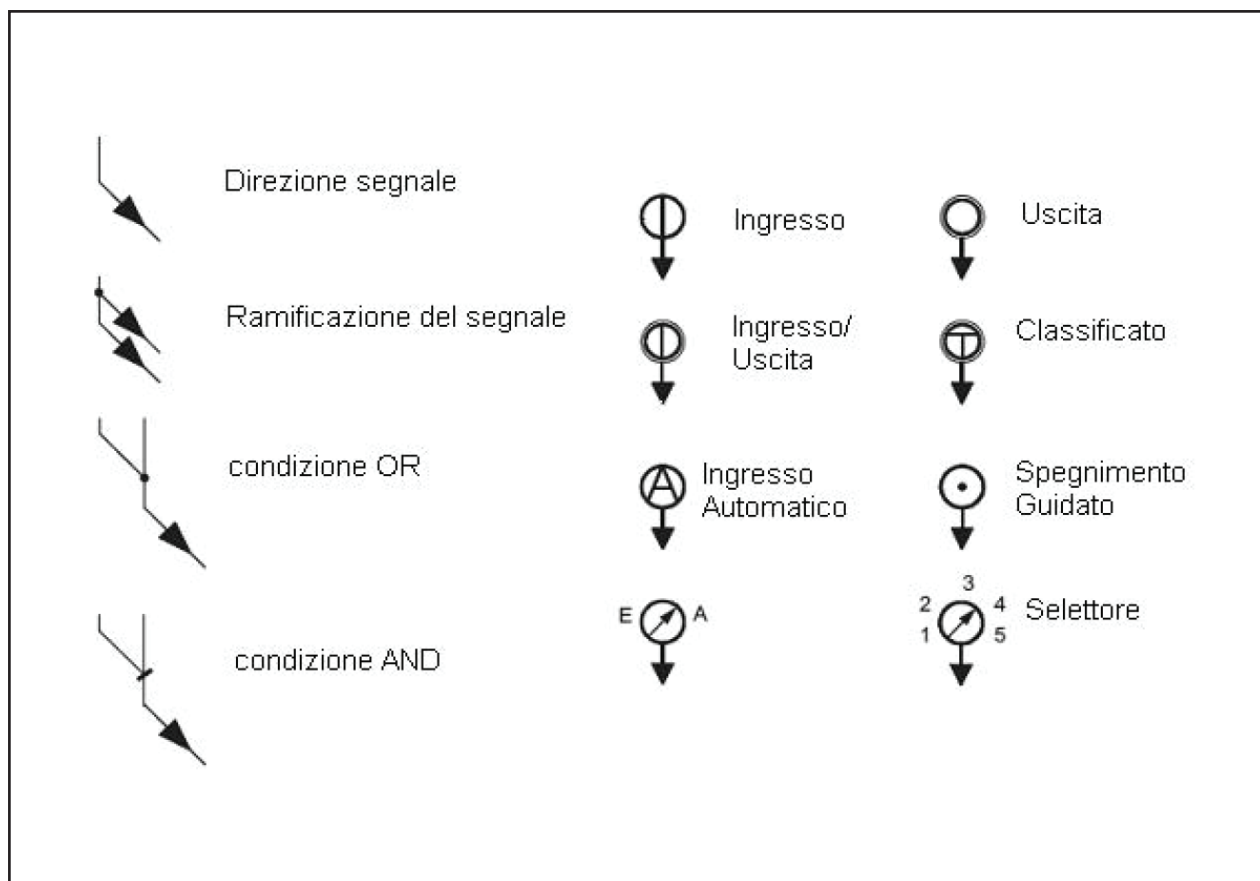


Figura 8.7: Linee di segnale e scelta di simboli nei diagrammi funzionali

Punti sulle linee di funzionamento rappresentano gli interruttori di fine corsa che non si devono necessariamente trovare alla fine di una linea funzionale. È possibile anche l'azionamento lungo il percorso.

Anche i collegamenti OR di segnali o ramificazioni di segnali vengono rappresentati tramite un punto. Un collegamento AND invece viene rappresentato con una striscia obliqua.

In figura i due elementi di segnale S2 e S3 sono collegati con un OR. L'avviamento del controllo avviene con il tasto S0. La velocità angolare scelta e il segnale di avvio sono collegati con un AND.

Se soddisfatte le condizioni di avvio, viene azionato il cilindro di serraggio. Nella sua posizione finale viene azionato l'interruttore del cilindro B2 e in seguito si avvia l'avanzamento veloce del cilindro e il motore del trapano. La commutazione alla velocità di lavoro è indicata con un angolo sulla linea funzionale.

Se è stata raggiunto il fondo corsa del cilindro di avanzamento viene spento il motore del trapano e avviata la corsa di ritorno del cilindro di avanzamento.

Quando il cilindro di avanzamento torna nella sua posizione finale d'entrata ritorna anche il cilindro di serraggio. La posizione iniziale viene così ripristinata.

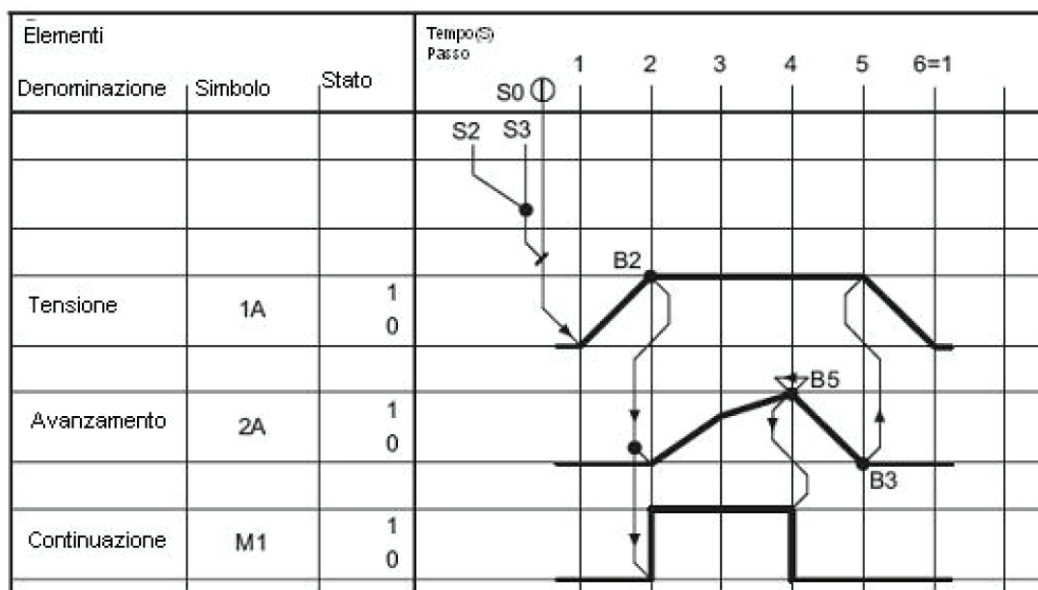


Figura 8.8: Diagramma funzionale

8.2.6 Schema elettrico

Lo schema elettrico serve per rappresentare tutti i collegamenti tra le apparecchiature e all'organo di controllo. È uno degli strumenti più importanti per rendere possibile la comunicazione fra i tecnici.

I simboli più utilizzati per i collegamenti e gli elementi idraulici e pneumatici sono riassunti nella DIN ISO 1219. Nel caso di grossi circuiti vengono redatti inoltre elenchi aggiuntivi.

Le norme e i simboli elettrici più importanti vengono riportati nelle diverse parti della (norma europea) EN 61082.

Per l'elettrotecnica, l'idraulica e la pneumatica anche gli schemi di cablaggio sono di grande importanza. Danno indicazioni su collegamenti nelle varie apparecchiature, tra le apparecchiature o tra parti di esse e tra sistemi di ingresso e uscita, eventualmente dislocati rispetto all'impianto.

Prima della creazione dei singoli schemi elettrici per l'esempio vengono selezionati i diversi componenti.

Per fissare la carrucola viene utilizzato un cilindro pneumatico a doppio effetto come attuatore. Soddisfa le seguenti specifiche:

- movimento traslatorio,
- applicazione sicura della forza di fissaggio.

Come regolatore viene utilizzato un distributore 5/3 che soddisfa le seguenti specifiche:

- fissaggio e sblocco in maniera sicura,
- fissaggio sicuro nel caso di interruzione di energia elettrica a causa della posizione intermedia di blocco.

Una valvola di portata monodirezionale viene utilizzata come elemento di controllo. Soddisfa le seguenti specifiche:

- movimento di fissaggio regolare.

Per poter utilizzare il distributore 5/3 come elemento di segnale sono necessari due distributori 3/2. Vengono azionati manualmente e dotati di molla di ritorno.

Per la generazione e preparazione di energia viene utilizzata una fonte di aria compressa con un'unità di manutenzione.

Inoltre sono necessari apparecchiature per il monitoraggio e la lettura (p.es., valvola di pressione e manometro). Devono soddisfare le seguenti specifiche:

- monitorare la forza di fissaggio.

Come attuttore di avanzamento, è necessaria per la lavorazione di una carrucola, viene utilizzato un cilindro di lavoro idraulico a doppio effetto. Soddisfa le seguenti specifiche:

- movimento traslatorio,
- forza di propulsione di 2000 N,
- protezione dai sovraccarichi,
- velocità di propulsione massima di 0,5 m/s.

Per poter utilizzare il cilindro come regolatore viene utilizzato un distributore 4/3 azionato a mano che soddisfa le seguenti specifiche:

- moto velocemente regolabile.

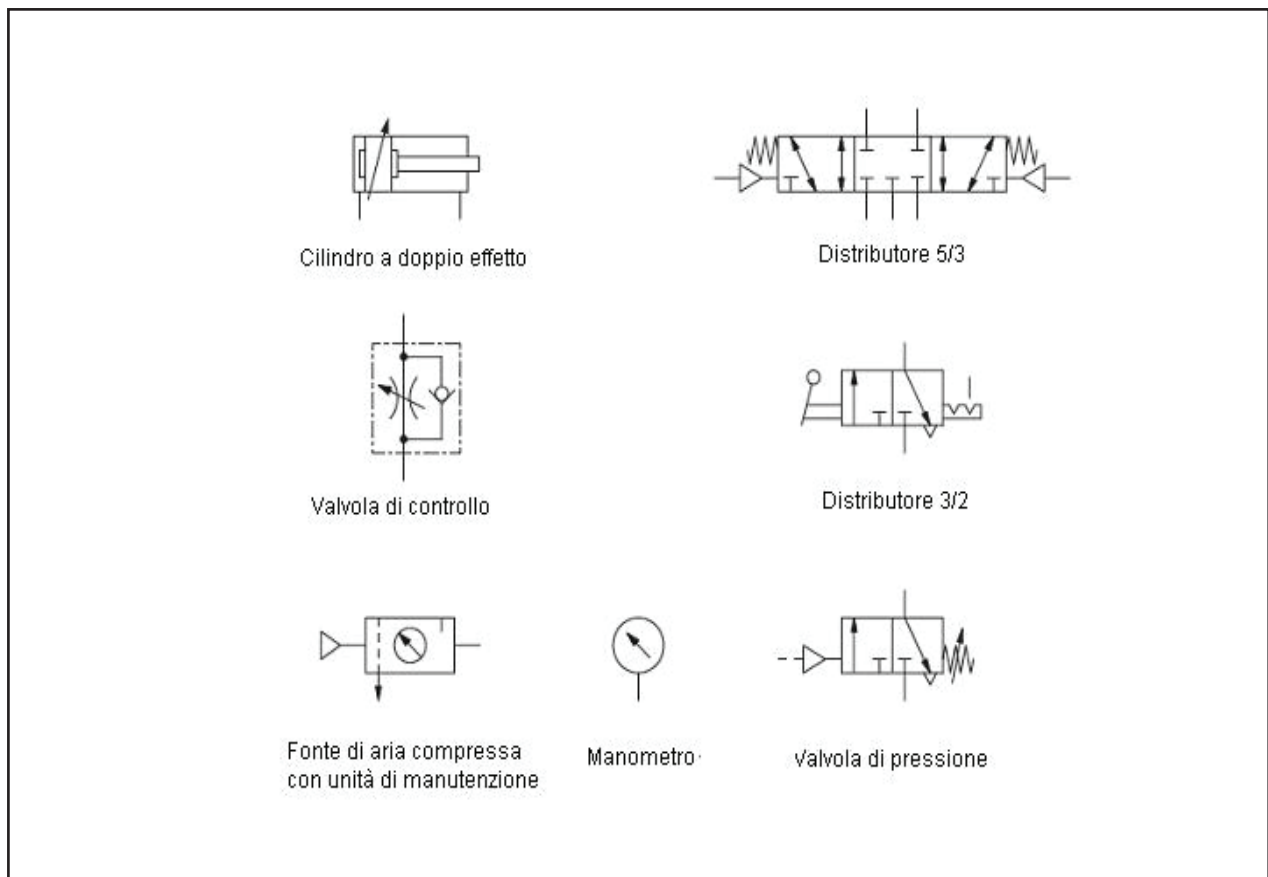


Figura 8.9: Simboli di elementi pneumatici

Come organo di controllo viene utilizzata una valvola di flusso. Con questa viene fissata la velocità del moto di lavoro. Soddisfa le seguenti specifiche:

- velocità regolare e indipendente dal peso durante la lavorazione per asportazione di truciolo.

Per modulare la velocità del cilindro come elemento di segnale è necessario un distributore 2/2. Questa valvola viene azionata con un rullo a tasteggio dal cilindro.

La generazione di energia e la preparazione avviene mediante un aggregato idraulico. Nell'aggregato idraulico si trova una valvola che limita la pressione e un filtro. Per l'avanzamento è necessario un motore elettrico.

Inoltre come strumento di monitoraggio vengono utilizzati dei manometri.

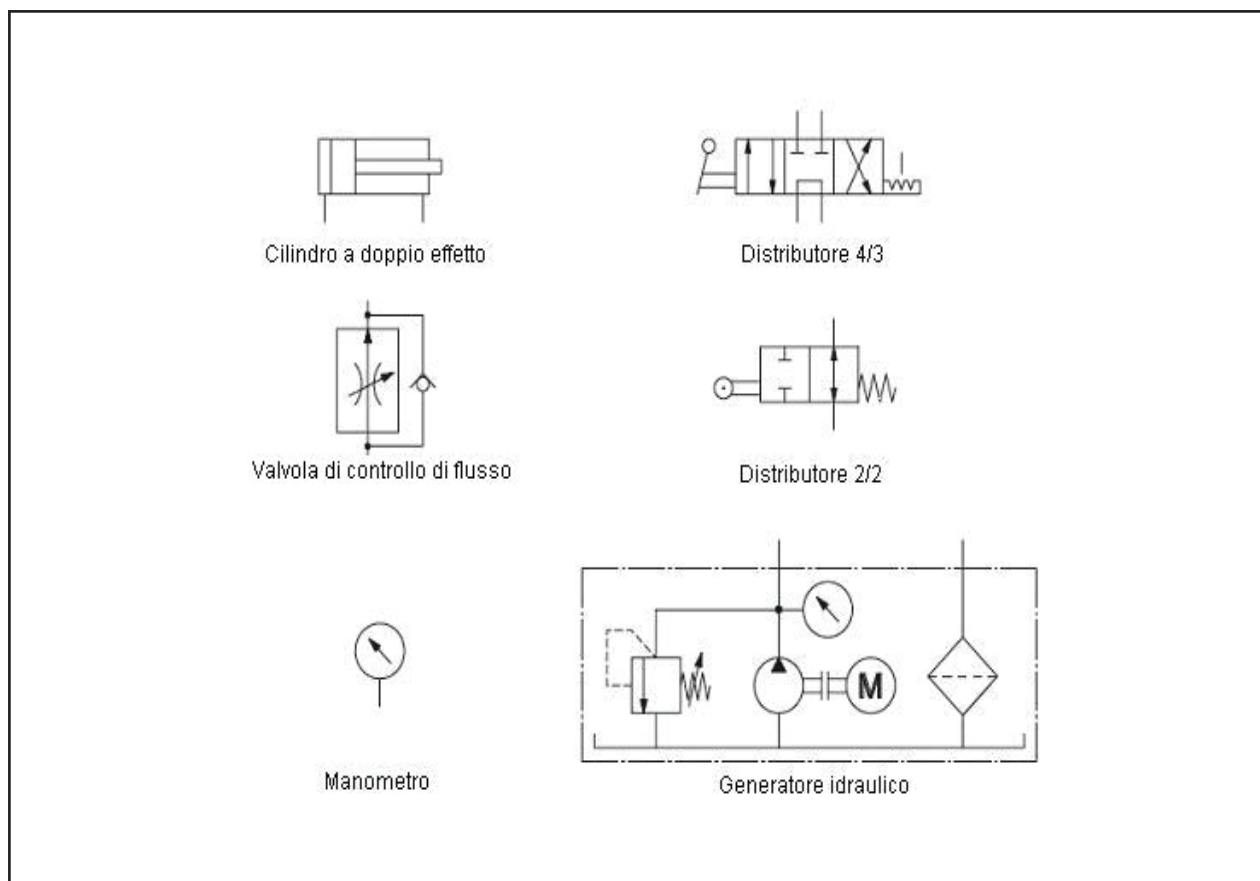


Figura 8.10: Simboli degli elementi idraulici

Come attuatore per il moto di lavoro del trapano viene utilizzato un motore elettrico con circuito Dahlander. Soddisfa le seguenti specifiche:

- movimento di rotazione,
- velocità angolare regolabile,
- rendimento di taglio di 1,6 kW.

Come regolatore viene utilizzato un contattore. Soddisfa le seguenti specifiche:

- regolazione della velocità angolare n_1 e n_2

Nello schema elettrico sono necessari anche elementi di sicurezza. In questo caso viene utilizzato un relé termico di protezione. Soddisfa le seguenti specifiche:

- assicurazione contro una corrente troppo alta.

Inoltre si ha bisogno di una valvola fusibile automatica per le tre fasi dell'energia elettrica.

La generazione dell' energia si svolge esternamente alla macchina. L'energia elettrica perciò viene prelevata dalla rete in corrente alternata.

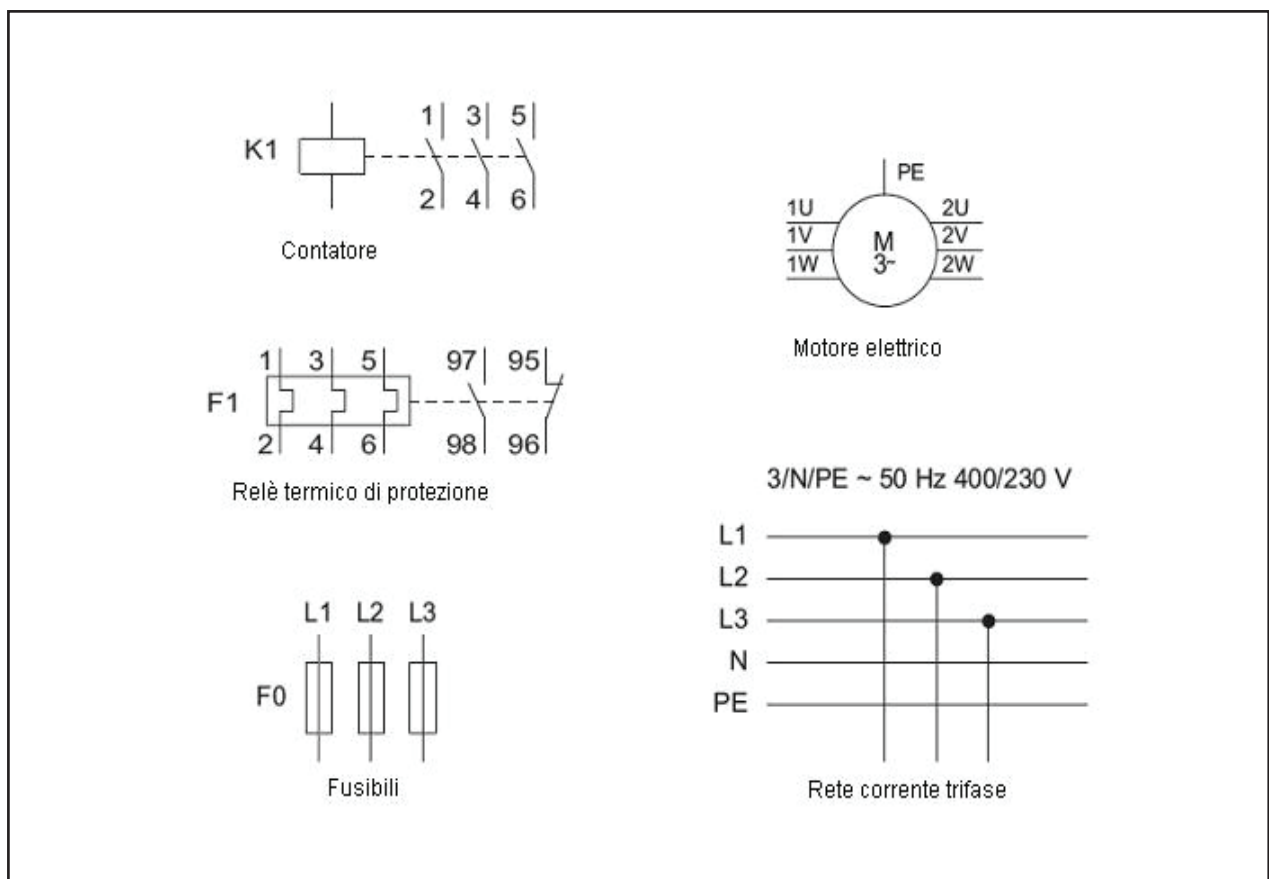


Figura 8.11: Simboli di elementi elettrici

8.3 Sviluppo di schemi elettrici per sistemi complessi

Per poter sviluppare sistemi di controllo complessi è necessaria una suddivisione in sottosistemi. Questi sistemi parziali che vengono azionati con lo stesso mezzo di trasmissione dell'energia dovrebbero essere considerati integralmente quando vengono redatti gli schemi funzionali.

Per l'esempio è stato supposto che il fissaggio vada eseguito con componenti pneumatici. L'avanzamento viene eseguito con mezzi idraulici. Il terzo sottosistema viene attrezzato con una attuatori elettrici.

La redazione degli schemi funzionali pneumatici, idraulici e elettrici per l'esempio può essere svolta indipendentemente dagli altri sottosistemi.

Per i diversi sottosistemi sono da considerare diverse norme.

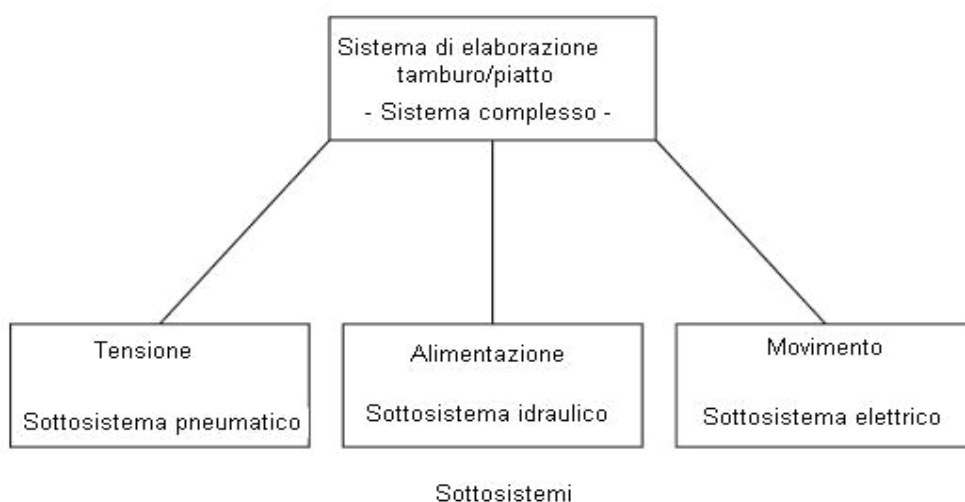


Figura 8.12: Sistema complesso e suoi sottosistemi

8.3.1 Schema funzionale pneumatico

Nel caso di uno schema funzionale bisogna attenersi alle norme DIN ISO 1219. Nella seconda parte è descritta come redigere uno schema elettrico e la denominazione dei singoli simboli.

La rappresentazione nello schema elettrico deve essere chiara e comprensibile. L'ordine dei componenti non viene considerato-

Il flusso di energia negli schemi elettrici pneumatici va rappresentato dall'alto verso il basso. I singoli circuiti di controllo vanno denominati partendo dal lato sinistro e procedendo verso destra.

Gli attuatori come cilindri e motori vengono inseriti nella parte superiore dello schema elettrico. Le aste dello stantuffo dovrebbero uscire verso destra. La numerazione procede progressivamente da sinistra a destra.

Sotto gli elementi di avanzamento vengono inseriti gli organi di controllo. Gli organi segnalatori vengono inseriti nella parte più bassa dello schema elettrico. Ancora più in basso e possibilmente sul lato sinistro si trova l'alimentazione a corrente.

Per la denominazione degli elementi vanno utilizzati le seguenti lettere:

A	Attuatori, cilindri, motori,
V	valvole,
S	ricevitore, tasti, rulli a tasteggio
Z	altri elementi, alimentazione a pressione

I cilindri vengono indicati progressivamente con 1A, 2A ecc. Tutte le valvole che impattano sul cilindro 1A vengono chiamati 1V, seguito da un altro numero. Questo numero viene assegnato iniziando dall'alto verso il basso e da sinistra verso destra .

Le valvole che impattano sul cilindro 2A dunque vengono denominati con 2 V, seguito da un numero progressivo.

Anche la prima cifra dei rulli a tasteggio si riferisce al cilindro a cui sono stati fissati. È indifferente la valvola o il cilindro su cui impattano.

Gli organi alimentati a pressione spesso non possono essere collegati ad un cilindro o uno schema elettrico e vengono segnalati anteponendo uno zero.

La denominazione può – ma non deve – essere incorniciata.

Schemi elettrici pneumatici nella posizione finale devono essere rappresentati con un ingresso di pressione.

Per la pneumatica e l'idraulica sono definite inoltre le seguenti posizioni delle apparecchiature:

- posizione di riposo dell'impianto

L'impianto è senza energia. Lo stato degli elementi viene fissato dal produttore o è facilmente deducibile.

- posizione di riposo degli elementi

Questa è la posizione nella quale le parti non azionate si trovano in una posizione determinata.

- posizione di base

L'energia è collegata. Gli elementi assumono uno stato ben determinato.

- posizione di partenza (iniziale)

Tutti gli elementi si trovano nello stato necessario per l'avvio del percorso di lavoro. Tale posizione deve soddisfare le condizioni di avviamento.

- Condizioni di avviamento

Contiene tutti i passi necessari per giungere dalla posizione di riposo a quella di partenza.

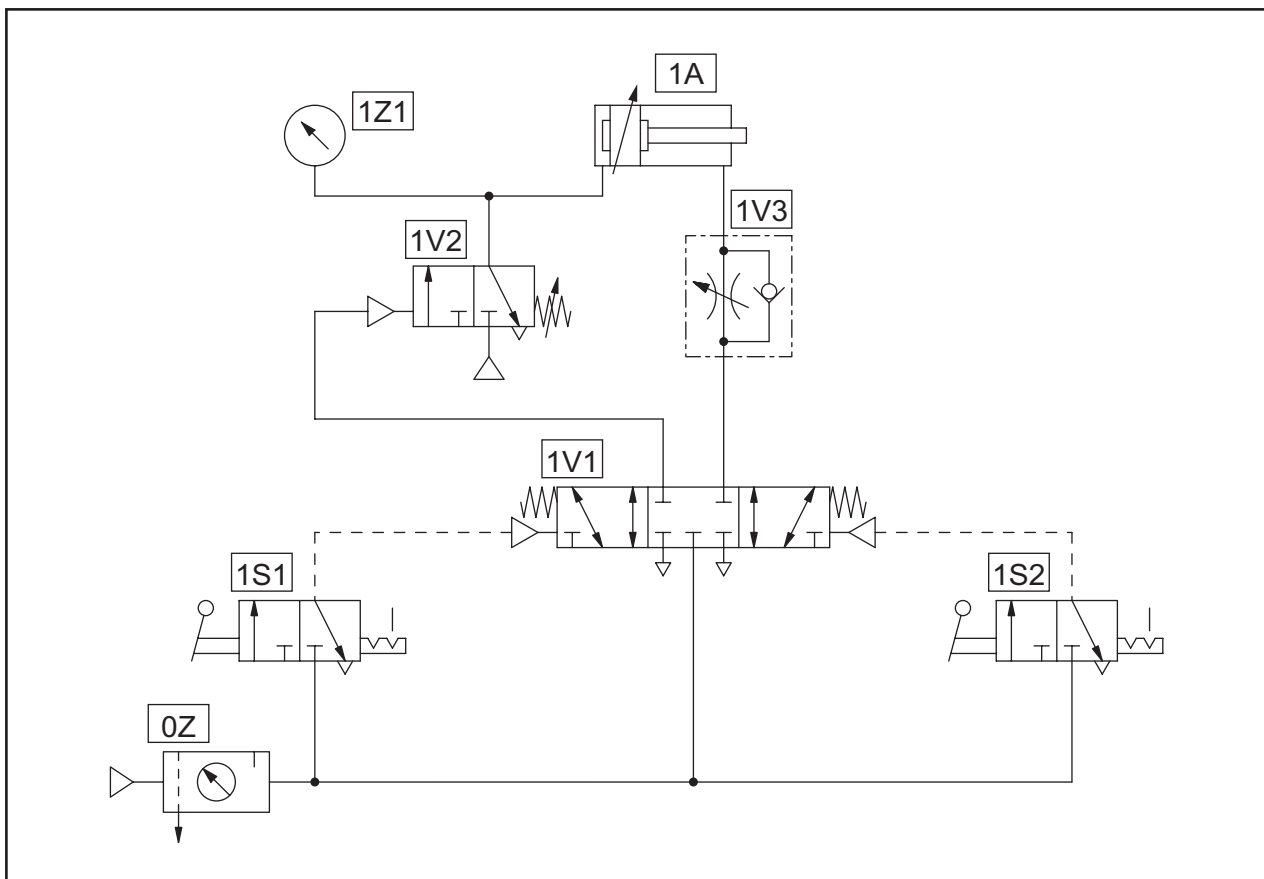


Figura 8.13: Schema elettrico per il sottosistema pneumatico

8.3.2 Schema funzionale idraulico

Lo schema funzionale idraulico viene redatto secondo la DIN ISO 1219. Lo schema elettrico spiega la costruzione di un impianto idraulico. Per rendere chiaro lo schema non viene considerata la posizione dei componenti. Gli elementi costruttivi dell'impianto sono da inserire nello schema nella direzione del flusso di energia come segue:

- in basso: simbolo per l'alimentazione di corrente,
- in mezzo: organo di controllo di corrente,
- in alto: attuatore.

Le valvole dovrebbero essere disegnate possibilmente in maniera orizzontale, e le condutture dritte e senza incroci. Bisogna fare attenzione che tutti gli impianti vengano disegnati nella posizione iniziale.

Se si tratta di un sistema di controllo complesso con più elementi di lavoro, il controllo dovrebbe essere suddiviso in singole catene di distribuzione, per ogni elemento operativo può essere formata una catena. Queste catene dovrebbero essere disegnate possibilmente nell'ordine del percorso del moto una accanto all'altra.

Un attuatore ed il relativo sistema di controllo formano una catena di controllo. I sistemi di controllo idraulici complessi consistono di più catene di distribuzione. Queste devono essere collocate l'una accanto all'altra e numerate con un numero di riferimento.

L'alimentazione a corrente può non essere assegnata ad una catena di controllo, visto che compete a più catene di controllo nei grandi sistemi di controllo idraulici. Viene assegnato il numero di riferimento 0.

La denominazione dell'elemento costruttivo può essere estesa mediante il numero dell'apparecchiatura. Questo viene messo davanti alla denominazione e separata con un trattino.

Esempio La denominazione di un elemento costruttivo è 2-3V5. Questa denominazione ha il seguente significato:

Esempio

2 numero dell'impianto
3 numero del circuito
V contrassegno dell'elemento costruttivo
5 numero dell'elemento costruttivo

Si tratta di una valvola con contrassegno dell'elemento costruttivo 5 nell'impianto 2 e nel circuito 3.

8.3.3 Schema dei circuiti elettrici

Le norme per simboli e schemi elettrici sono stati sistematizzati per lungo tempo nel “Deutsches Normenwerk” sotto diverse denominazioni, da DIN 40700 fino a DIN 40772. Dall'inizio del 1997 viene utilizzato un nuovo sistema di denominazione che inizia con il numero 600000. Denominazioni più vecchie come p.es. la IEC 617 in nuove edizioni vengono ribattezzate in IEC 60617.

In Germania i simboli elettrici seguono la norma DIN EN 60617 “Simboli grafici per schemi elettrici”. Questa norma sostituisce la DIN 40700.

Le disposizioni del VDE indicano quali documentazioni produrre insieme agli schemi elettrici, agli elementi costruttivi elettrici e alle apparecchiature. Contengono tutte le informazioni necessarie per l'utente su montaggio, avviamento e manutenzione dei sistemi elettrici di controllo.

Secondo la norma le documentazioni degli schemi elettrici vengono suddivise in base a scopo e modalità di rappresentazione. Vengono distinti:

- schemi che rappresentano il funzionamento del sistema di controllo, come lo schema generale, schema circuitale o diagramma funzionale,
- schemi che illustrano collegamenti e posizioni, come lo schema elettrico delle connessioni, elenco degli apparecchiature e diagramma di configurazione generale.

Lo schema del layout è la rappresentazione semplificata di un circuito. Vengono presi in considerazione soltanto gli elementi salienti del circuito. Mostra il modo di funzionamento e la struttura del circuito elettrico.

Le norme più importanti per le documentazioni dei circuiti sono:

DIN EN 60617	per i simboli utilizzati negli schemi elettrici,
DIN EN 60848	grafici, linguaggio specificata per schemi funzionali del delle sequenze di controllo,
DIN EN 61082	documenti elettrotecnici,
DIN EN 61293	indicazioni di apparecchiature elettriche.

Lo schema elettrico è una rappresentazione dettagliata del circuito. Ne illustra il funzionamento.

Il circuito viene suddiviso in percorsi di corrente. Viene rappresentato mediante archi di collegamento e connettori. Non si riferisce alla posizione dei collegamenti elettrici. Nel caso di impianti più grandi lo schema elettrico viene rappresentato diviso in circuito principale e circuito di controllo. Nel caso di impianti piccoli il circuito principale e il circuito di controllo non vanno necessariamente separati.

Lo schema elettrico contiene linee di potenziale inserite in maniera orizzontale e percorsi di corrente in verticale. Quasi tutti gli elementi di commutazione vengono rappresentati in uno stato non sottoposto a tensione.

Contattori automatici, come p. es. interruttori di fine corsa, vengono disegnati nella loro posizione iniziale in riferimento all'impianto completo. Qualsiasi scostamento dalle norme di rappresentazione va indicato esplicitamente.

Tutti i simboli vanno inseriti nella direzione della corrente, in maniera verticale dall'alto verso il basso. La direzione di moto dei simboli deve essere sempre da sinistra a destra.

Le indicazioni dei morsetti dovrebbero essere posizionate sempre alla sinistra del simbolo.

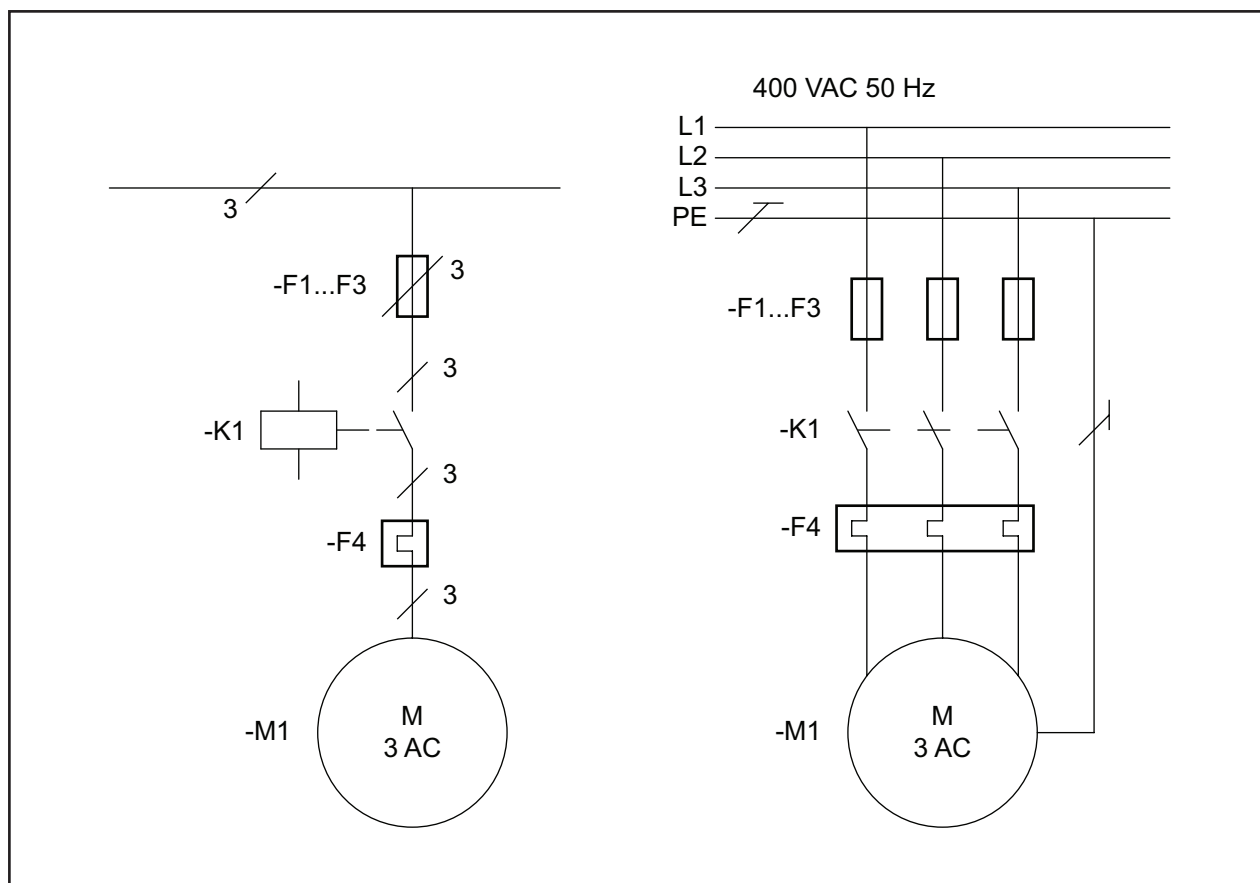


Figura 8.15: Schema elettrico generale e schema elettrico per il motore a corrente alternata

Una specifica richiesta per il trapano è la possibilità di una semplice regolazione della velocità angolare. La soluzione è usare un motore a corrente alternata asincrono con trasmissione.

Il motore asincrono viene realizzato in un collegamento triangolare. In questo caso il motore deve avviarsi sotto il carico della trasmissione. Sono quindi necessarie considerazioni aggiuntive sulla realizzazione tecnica degli accoppiamenti.

Durante l'avviamento del motore sotto carico potrebbero verificarsi tempi di avviamento tanto lungo da azionare il relé, a protezione del motore, settato sulla corrente nominale e spegnere il motore durante il processo di avviamento.

Per offrire comunque una sufficiente protezione per tali motori viene collegato in serie un secondo relé regolato in modo tale da non entrare in azione durante il processo di avviamento del motore, ma in grado di fermare il flusso della corrente in caso di errato funzionamento, p.es. quando si blocca il rotore.

Il relé regolato su corrente nominale durante il tempo di avviamento viene superato con un contattore K2. Questo contattore dopo il tempo di avviamento viene spento con un relé temporizzatore.

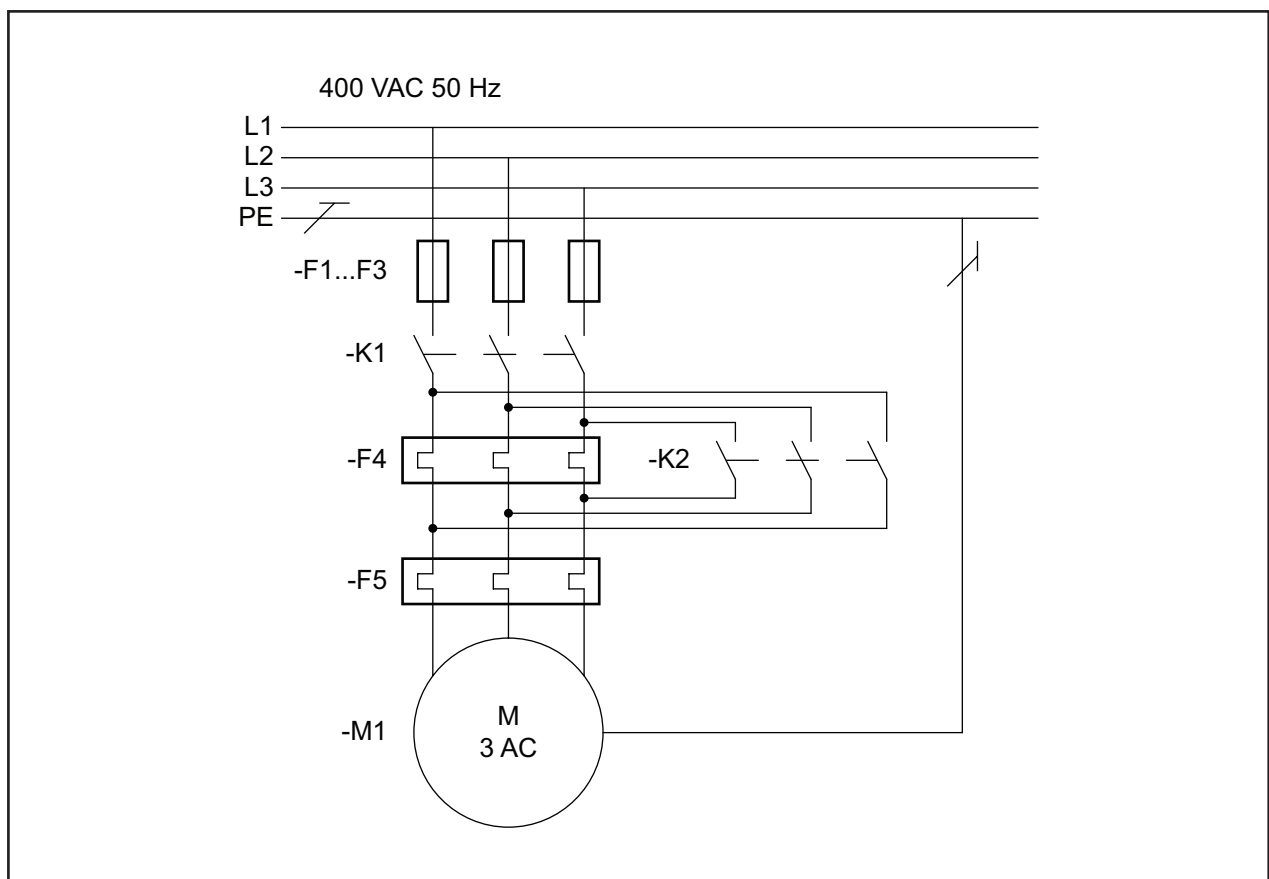


Figura 8.16: Superamento di un interruttore del motore durante l'avviamento

Per poter utilizzare i contattori del motore elettrico è necessario un altro schema elettrico. Questi contattori vengono azionati con 24 V di tensione continua. Con l'interruttore S1 viene assicurato il collegamento di tutti i percorsi della rete anche in caso di emergenza (interruzione di corrente).

Si accende il motore azionando il tasto S3. Così viene azionato il contattore K2 e il relé temporizzatore K3T. Il contattore K2 viene attivato, chiude il contatto e attiva il contattore K1.

Il contattore K1 viene acceso, chiude il circuito e resta attivo mediante il contatto K1. Anche quando il tasto S3 viene rilasciato K2 e K3T tramite il contatto di chiusura K1, il contatto di chiusura K2 e il contatto di apertura K3T rimangono sotto tensione e quindi attivati.

Il motore viene acceso mediante il contattore K1. Il relé temporizzatore dopo 3 s si spegne e spegne K2 aprendo il contatto K3T. Così viene interrotto il collegamento alla valvola di protezione del motore durante l'avviamento.

Azionando il tasto S2 viene interrotto il circuito di controllo. Si disattiva il contattore K1 e il motore viene spento.

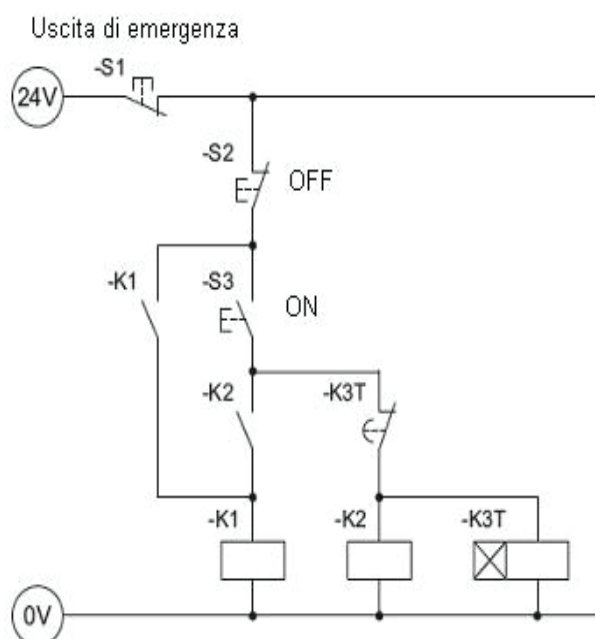


Figura 8.17: Schema elettrico per lo spunto del motore sotto carico

8.4 Costruzione di un sistema di controllo complesso

Prima di mettere a disposizione un controllo complesso c'è la situazione iniziale: sono a disposizione più schemi elettrici per i singoli compiti parziali.

- schema funzionale pneumatico per il fissaggio,
- schema funzionale idraulico per l'avanzamento del trapano,
- circuito di controllo e circuito principale per il controllo del motore e per la realizzazione di diverse velocità angolari del trapano.

In questo caso si verificano i seguenti svantaggi:

- non possono essere controllati mediante controllore programmabile,
- non possono essere collegati fra di loro visto che vengono utilizzati diverse fonti di energia per l'elaborazione del segnale,
- non sono possibili operazioni automatiche, ma solo manuali

Dunque per costruire un sistema di controllo complesso è necessario:

- eliminare gli svantaggi sopra elencati
- combinare i vantaggi di pneumatica e idraulica con quelli dell'elettronica.

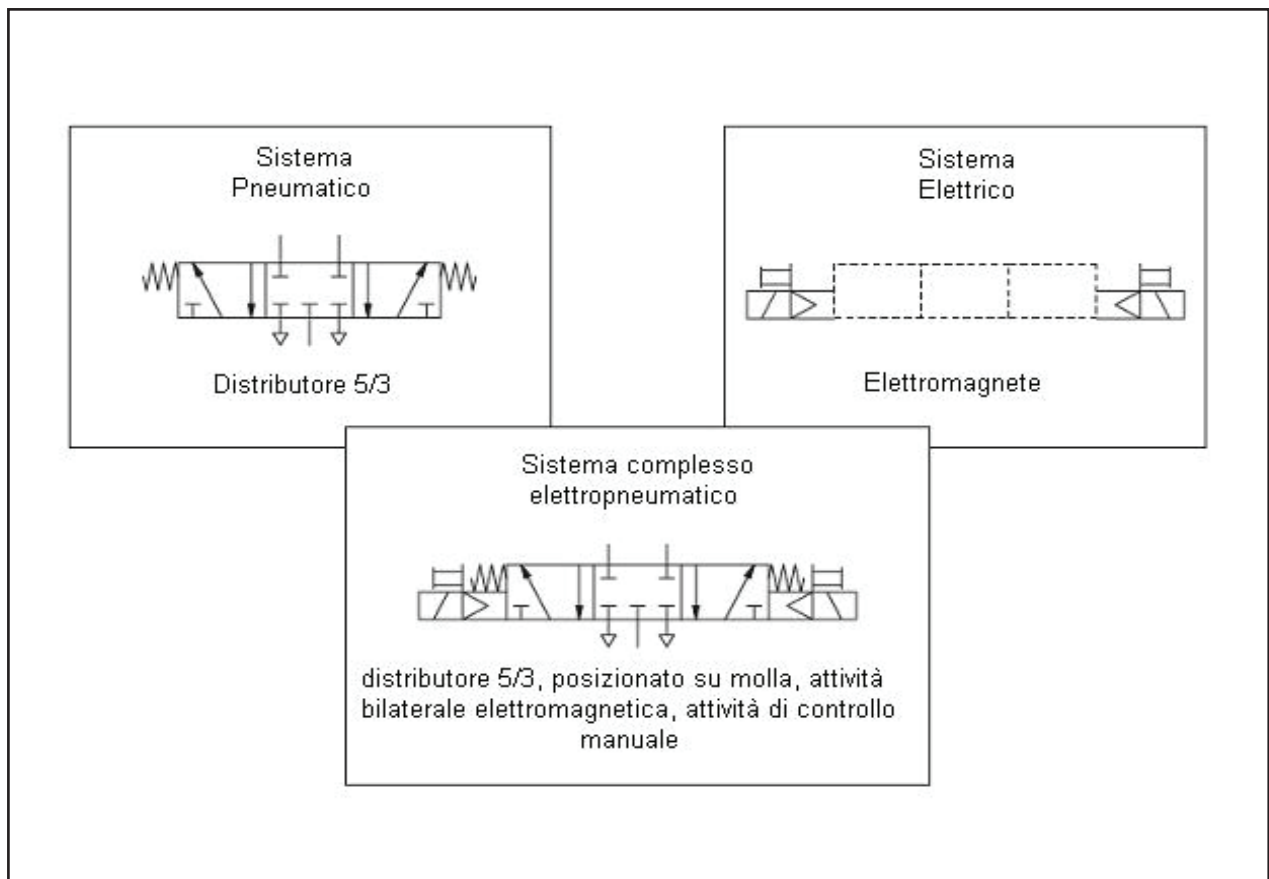


Figura 8.18: Principio del sistema complesso pneumatica elettrica

Per poter eliminare gli svantaggi menzionati per il fissaggio mediante organi pneumatici è necessario sfruttare i vantaggi dei sistemi pneumatica in combinazione con quelli elettrici in un sistema complesso: la pneumatica elettrica.

Per assicurare la controllabilità elettrica alcuni elementi costruttivi vanno sostituiti. Come regolatore viene utilizzato un distributore 5/3 con azionamento elettromagnetico. Il centraggio a molla resta immutato.

Si raggiunge la posizione di controllo quando viene accesa l'una o l'altra bobina magnetica. Se non è attiva una bobina magnetica la valvola si porta nella sua posizione media.

Inoltre deve essere sostituito anche un altro elemento costruttivo. Per monitorare la forza di fissaggio al posto della valvola di pressione viene inserito un trasformatore pneumatico-elettrico con la denominazione B6. Un interruttore a pressione ha la forza di una molla regolabile mediante cui viene regolata la pressione che è necessaria per ottenere un segnale dall'interruttore.

Mediante il controllo elettrico del distributore 5/3 non sono necessari i due elementi di segnale, i distributori 3/2. I due distributori sono utilizzati come valvole di controllo pilota nel distributore 5/3.

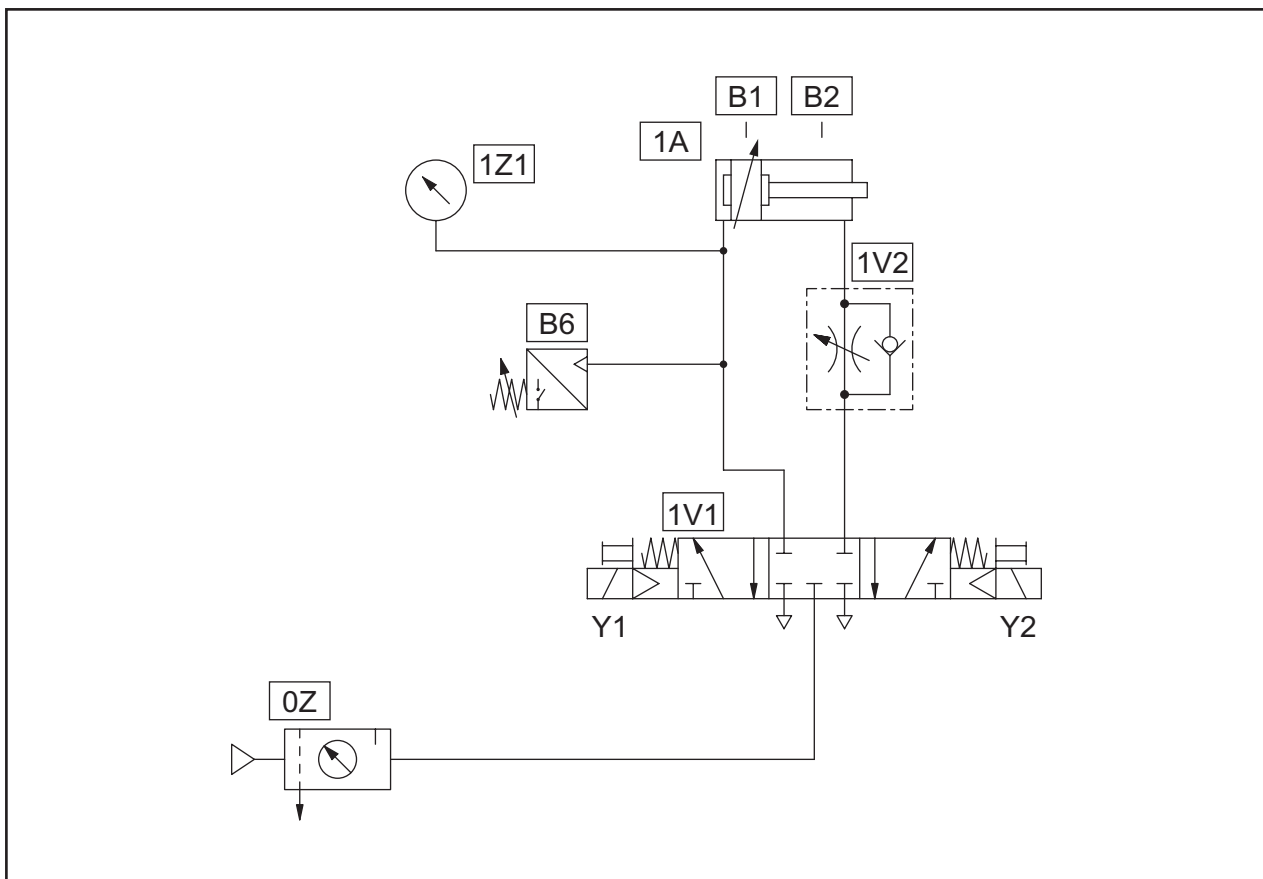


Figura 8.19: Schema funzionale elettropneumatico

Come già fatto per pneumatica ed l'elettrotecnica. che danno vita all'elettropneumatica, possono essere utilizzati attuatori idraulici con dispositivi di controllo elettrici e creare delle apparecchiature ibride elettroidrauliche

Il distributore 4/3 deve essere attivabile per via elettrica così come la commutazione da avanzamento rapido ad avanzamento di servizio con il distributore 2/2 dovrebbe avvenire mediante un distributore azionato elettricamente.

Visto che spesso non è disponibile un distributore 2/2, al suo posto può essere utilizzato anche un distributore 2/4. I collegamenti non necessari possono essere isolati mediante tappi di sigillo.

Visto che le bobine magnetiche del distributore pneumatico sono già state denominate Y1 e Y2, le bobine magnetiche del distributore 4/3 vengono denominate Y3 e Y4. La bobina magnetica per la commutazione delle velocità viene denominata Y5.

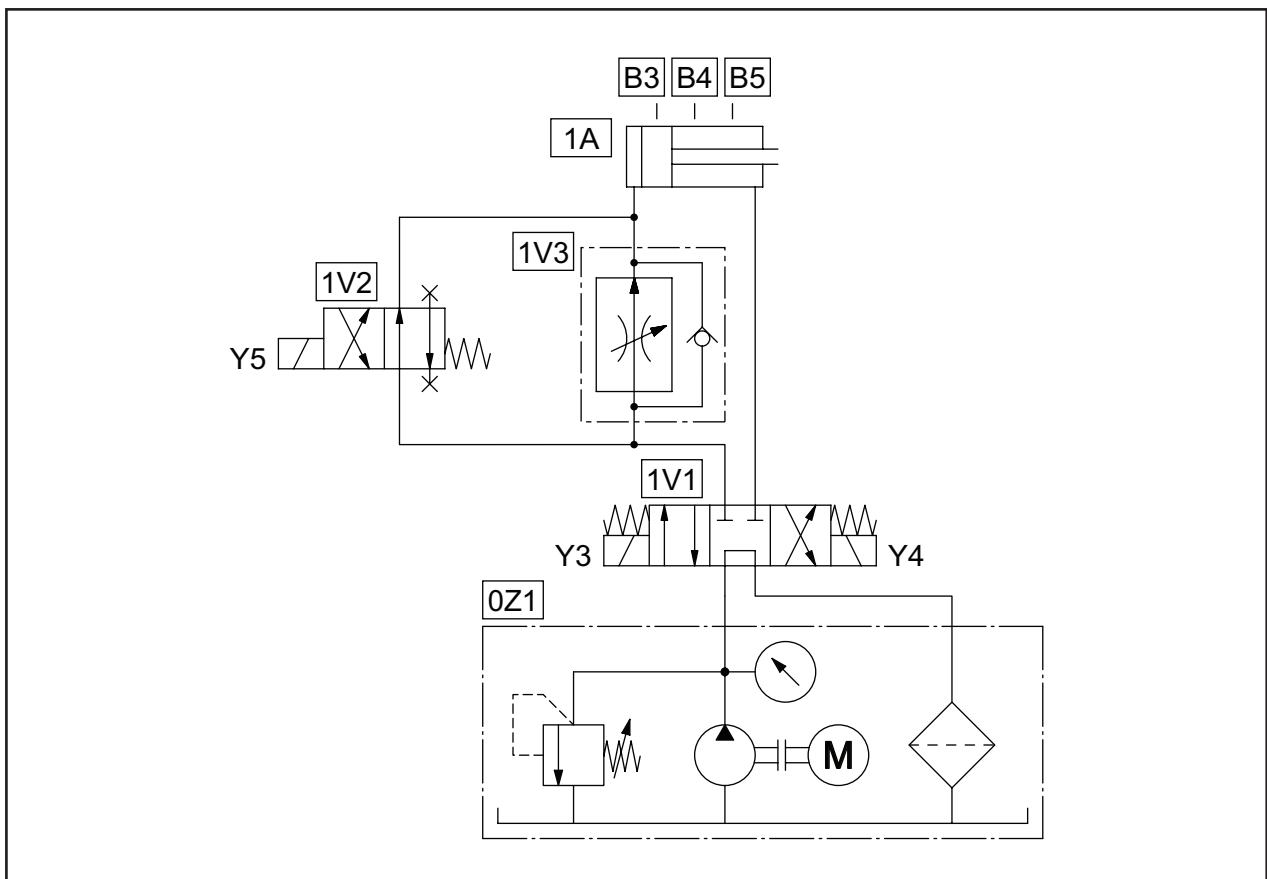


Figura 8.20: Schema funzionale elettroidraulico

Il collegamento dei singoli schemi elettrici fra di loro avviene con un controllo a relé. Lo schema elettrico utilizzato per il circuito di controllo può essere preso come esempio per la programmazione del controllore. Il programma per il controllore può essere eseguito anche senza sviluppare preventivamente lo schema elettrico.

Per poter collegare le singole funzioni dei sottosistemi sono necessari e apparecchiature che assorbano segnali e che li trasmettono. Queste apparecchiature sono sensori.

Per il rilevamento della posizione dei cilindri, necessario nell'esempio, esistono diversi sensori.

Come interruttori di prossimità per il cilindro pneumatico sono stati scelti interruttori Reed azionati magneticamente. Sono gli interruttori a cilindro più diffusi e utilizzati.

Per la segnalazione della posizione dei cilindri sono adatti anche gli interruttori di prossimità induttivi. Vengono utilizzati prevalentemente per cilindri idraulici. Le camme dei pistoni devono essere di materiale metallico, visto che con un interruttore di prossimità induttivo possono essere rilevati soltanto materiali conduttori.

Per monitorare la pressione di fissaggio si usa un interruttore a pressione. Per i sensori sono state fissate le seguenti denominazioni:

- B1 posizione finale interna, fissaggio con cilindro pneumatico,
- B2 posizione finale esterna, fissaggio con cilindro pneumatico,
- B3 posizione finale interna, avanzamento con cilindro idraulico,
- B4 posizione di commutazione da corsa rapida a corsa di servizio,
- B5 posizione finale esterna, avanzamento tramite cilindro idraulico,
- B6 interruttore a pressione, monitoraggio della forza di fissaggio.

Il collegamento degli elementi costruttivi mediante sensori può essere rappresentato anche nel diagramma funzionale.

Il percorso descritto nell'esempio consiste di diversi passi che si svolgono uno dopo l'altro. Perciò anche lo sviluppo del controllo è suddiviso in diverse parti.

Passo 1: Preselezione della velocità angolare

Il controllo viene azionato mediante tensione continua a 24 V. Il tasto S0 è predisposto come tasto di emergenza. Azionando tale tasto viene interrotta l'erogazione di corrente elettrica a tutto il sistema di controllo.

Con i tasti S2 e S3 viene selezionata la velocità angolare del trapano indicata mediante due lampade.

H1 velocità angolare velocità angolare alta / bassa

H2 velocità angolare..... velocità angolare alta / bassa

Con ognuno dei due tasti viene azionato un relé che resta attivo anche in seguito al rilascio del tasto. Sul percorso del circuito è presente un altro relé connesso con un contatto normalmente chiuso in modo da evitare che entrambi i relé vengano azionati contemporaneamente.

Un contatto normalmente chiuso viene utilizzato per evitare l'autospegnimento. Il relé coinvolto non deve necessariamente essere individuato in questa fase.

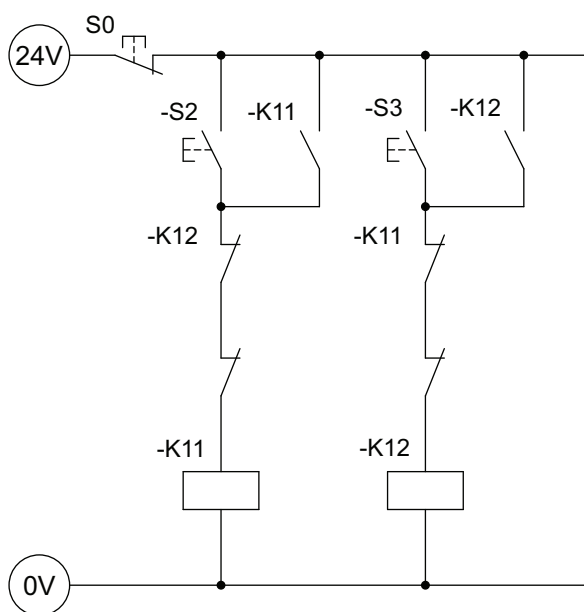


Figura 8.21: Scelta della velocità angolare

Passo Nr. 2: Avvio e fissaggio della carrucola

L'avvio tramite il tasto S1 è possibile soltanto se uno dei due relé K11 o K12 è stato attivato ossia è stata scelta la velocità angolare desiderata.

Quando è stato azionato il tasto di avvio il relé K13 resta attivo mediante il bloccaggio automatico del proprio contatto. Contemporaneamente la bobina magnetica del cilindro pneumatico per il fissaggio viene attivata mediante un altro contatto del relé.

L'autobloccaggio viene eliminato mediante un normale contatto di apertura. In questa fase non può essere determinato il relé a cui appartiene questo contatto

Passo Nr. 3: Avanzamento rapido e accensione del motore

Se è stata raggiunta la posizione finale d'uscita B2 del cilindro di tensione e quando l'interruttore di pressione B6 segnala una pressione di fissaggio sufficientemente grande, il relé K14 e il relé K15 vengono attivati. Il relé a tempo dopo tre secondi spegne il relé K2 e ricollega dunque il secondo salvamotore.

Il terzo passo può essere svolto soltanto quando al secondo passo il relé K13 viene attivato.

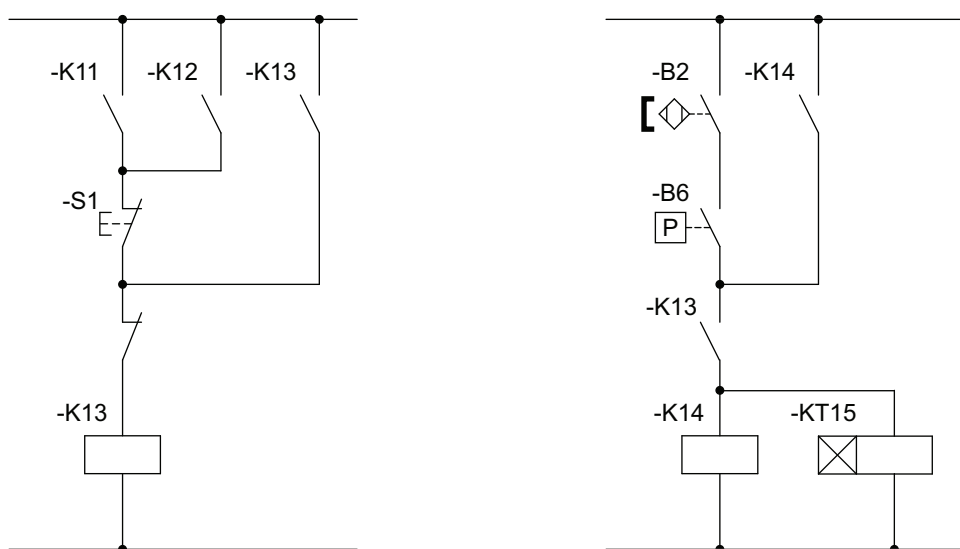


Figura 8.22: Fissare e accendere il motore e l'avanzamento

Passo Nr. 4: Disattivare l'avanzamento rapido

Il cilindro idraulico di avanzamento ruota con grande velocità. Quando viene raggiunto l'interruttore cilindrico B4 il distributore viene commutato per bypassare la valvola di corrente. Dunque il fluido idraulico può raggiungere il cilindro soltanto tramite la valvola di corrente limitando la velocità di lavoro.

La variazione della velocità può avvenire soltanto se prima è stato attivato il motore e il relé K14 è attivo.

Passo 5: Corsa di ritorno del cilindro di avanzamento

Quando è stata raggiunta la posizione finale d'uscita del cilindro di avanzamento l'interruttore cilindrico B5 viene azionato. In tal modo viene invertita la valvola di controllo direzionale del cilindro idraulico.

Anche questo passo può essere eseguito soltanto se prima è stato attivato il relé K16 e se è stato eseguito il passo precedente.

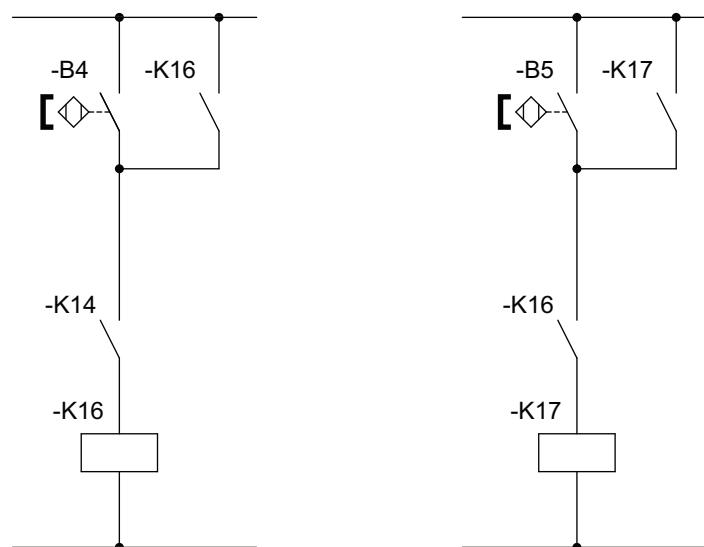


Figura 8.23: Disattivazione dell'avanzamento rapido e corsa di ritorno

Passo Nr. 6 Spegnimento del motore e corsa di ritorno del cilindro di fissaggio

Quando il cilindro di avanzamento ha raggiunto nuovamente la sua posizione finale d'entrata viene azionato l'interruttore B3. Visto che questo interruttore cilindrico nella posizione iniziale di controllo è già stato azionato viene rappresentato come elemento attivo nel diagramma. Questo viene indicato con una freccia alla sinistra del simbolo. Anche il contatto di chiusura viene rappresentato a seconda del proprio stato di attivazione. Con il relé K 18 da un lato viene spento il motore elettrico, dall'altro viene commutato il distributore del cilindro di fissaggio in modo da tornare nella propria posizione iniziale.

Passo Nr. 7: Segnalazione di fine del operazione

Il relé K19 viene attivato quando il cilindro di fissaggio pneumatico ha raggiunto la sua posizione finale d'entrata. Anche l'interruttore cilindrico B1 è attivato in posizione iniziale, a come tale viene rappresentato.

Con il relé K19 viene eliminato l'autobloccaggio dei relé K11 o K12 preposti alla selezione della velocità angolare. Contemporaneamente viene nuovamente spento il relé K13, che è stato attivato mediante il tasto di avvio. L'indicazione dei contatti coinvolti va effettuata nei primi due passi.

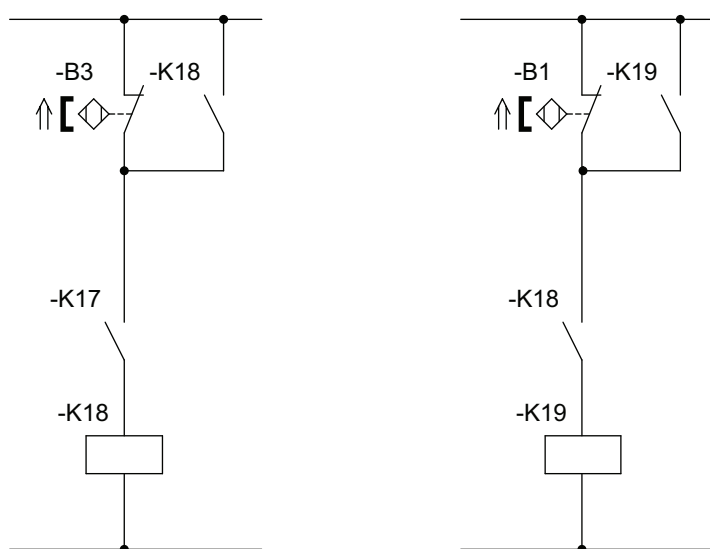


Figura 8.24: Spegnimento del motore, sblocco del fissaggio e preparazione di un nuovo avvio

Una volta disattivato il relé K13 anche i successivi passi vengono ripristinati. Il circuito dunque è pronto per un nuovo avvio.

L'uscita dei segnali dei relé avviene nella componentedi potenza del circuito. Due led segnalano la scelta di una determinata velocità angolare (tra le due possibili).

Con il relé K1 viene acceso il motore elettrico. Il relé K2, che serve per collegare il salvamotore durante l'avviamento, viene attivato con leggero ritardo.

Visto che le valvole di controllo dei due cilindri hanno due bobine magnetiche, nel momento in cui viene accesa la seconda bobina magnetica la prima va spenta. Questo avviene mediante i contatti di apertura nei rami del circuito in corrispondenza delle bobine magnetiche Y1 e Y3.

Anche la bobina magnetica Y5 della valvola di controllo per la commutazione della velocità viene spenta mediante un contatto di apertura se il cilindro è uscito del tutto.

Lo schema elettrico completo dell'organo di controllo è riportato alla pagina seguente.

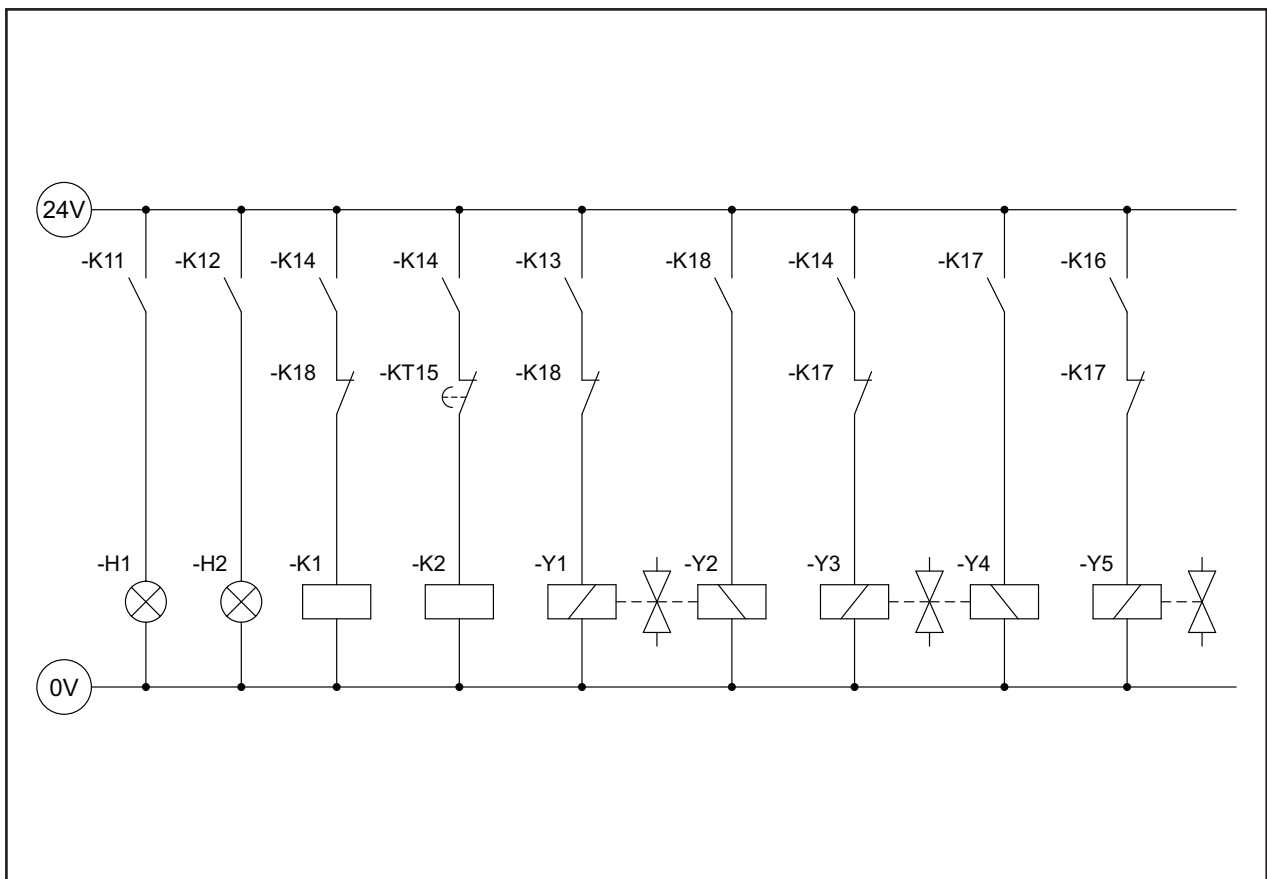


Figura 8.25: Circuito principale

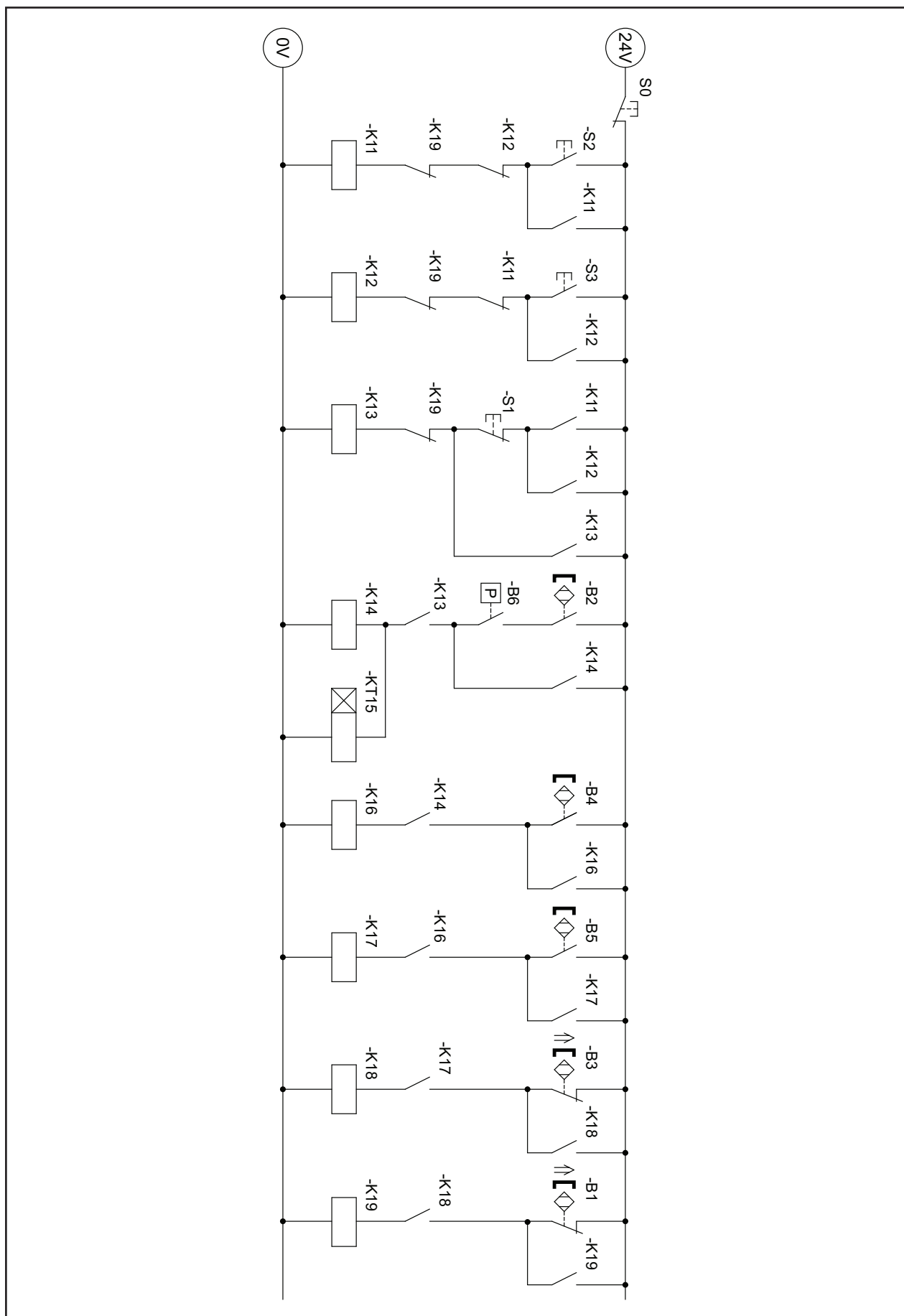


Figura 8.26: Circuito di controllo

Per poter collegare i singoli sottosistemi di controllo può essere scelto anche un controllore programmabile. Per la programmazione ci sono diversi linguaggi utilizzabili a scelta. Visto che adesso il controllo è già in forma di schema elettrico il ladder diagram potrebbe essere una valida alternativa.

Prima della programmazione va stilata una tabella con tutte le entrate e le uscite. Questo elenco viene chiamato lista delle assegnazioni. Le seguenti entrate e uscite p.es. possono essere fissate come segue:

Parametro	simbolo	commento
E0.0	S0	interruttore di emergenza
E0.1	S1	avvio
E0.2	S2	velocità angolare bassa
E0.3	S3	velocità angolare alta
E0.4		
E0.5		
E0.6		
E0.7		
E1.0	B1	
E1.1	B2	posizione finale interna, cilindro di fissaggio
E1.2	B3	posizione finale interna, cilindro di avanzamento.
E1.3	B4	avanzamento rapido / avanzamento di lavoro, cilindro di avanzamento
E1.4	B5	posizione finale esterna, cilindro di avanz.
E1.5		
E1.6	B6	interruttore a pressione
E1.7		
A0.0		
A0.1	Y1	uscita del il cilindro di fissaggio
A0.2	Y2	entrata del cilindro di fissaggio
A0.3	Y3	uscita del cilindro di avanzamento
A0.4	Y4	entrata del cilindro di avanzamento
A0.5	Y5	avanzamento lento
A0.6		
A0.7		
A1.0		
A1.1	K1	salvatore
A1.2	K2	bypass salvatore
A1.3		
A1.4	H1	indicazione velocità angolare bassa
A1.5	H2	indicazione velocità angolare alta
A1.6		
A1.7		

A seconda del controllore programmabile a disposizione può essere eseguita la programmazione.

MECCATRONICA

Modulo 7: attivazione, sicurezza e teleservizio

Manuale

(concetto)

Matthias Römer

Università Tecnica di Chemnitz,
Germania



Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007
Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008 al 2010

Il presente progetto è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente

Contenuto

1	Sicurezza	5
1.1	Sicurezza	
1.2	Affidabilità	6
1.2.1	Soluzioni tecniche	7
1.3	Sicurezza di impianti tecnici	8
1.4	Sicurezza di impianti idraulici	10
1.5	Sicurezza di impianti elettrici	12
2	Attivazione	14
2.1	Introduzione	14
2.2	Direttive generali per l'attivazione	15
2.3	Attivazione di impianti elettrici	16
2.3.1	Uso di un oliatore nebbiogeno.....	16
2.3.2	Realizzazione dell'attivazione	17
2.3.3	Ispezione	18
2.4	Attivazione di impianti elettrici	19
2.4.1	Riempire la macchina con fluido idraulico	19
2.4.2	Realizzare l'attivazione	20
2.4.3	Ispezione	21
2.5	Attivazione di impianti elettrici	22
2.6	Attivazione di speicherprogrammierbaren Steuerungen	23
2.6.1	Tipici guasti durante la programmazione	23
3	Ricerca guasti	24
3.1	Definizione	24
3.2	Localizzare disturbi e guasti durante l'attivazione	24
3.3	Come cercare guasti e disturbi	25
3.3.1	Ricerca guasti con un diagramma di funzoni	25
3.3.2	Ricerca guasti con un programma per la ricerca di disturbi	25
3.4	Problemi comuni durante l'attivazione	27
3.4.1	Uso del controllore programabile durante la ricerca di disturbi	27

1 Sicurezza

1.1 Introduzione

Da macchine o impianti possono derivare diversi pericoli. Questi pericoli possono originarsi in modi diversi:

Sono esposte a rischio tutte le persone che hanno a che fare con macchine. Sono dunque quelli che devono montare la macchina o le persone che l'attivano. Ma anche chi normalmente la usa o chi la sistema è sottoposto a pericoli. Visto che le persone di solito hanno un bisogno fondamentale di sicurezza è stato sviluppato un gran numero di direttive per la protezione. Per renderle note sono da tenere regolarmente corsi formativi e istruzioni.

In Europa valgono direttive che hanno il carattere di leggi. Così ad esempio in Germania è stata attuata la Direttiva macchine europea adeguando una legge per la sicurezza delle attrezzature.

Le direttive sono sostenute da norme di sicurezza. Le norme contengono proposte per la costruzione di macchine rispettando i diversi criteri di sicurezza.

Le norme europee di sicurezza sono suddivise in un sistema a tre gradini.

- A – Norme sono le norme di base per la sicurezza. Fra queste troviamo i concetti fondamentali e le norme generali per la strutturazione/costruzione delle macchine. Fra di loro c'è anche la valutazione del rischio.

-Le norme B1 contengono p.e. le distanze di sicurezza, dispositivi di protezione o le velocità dell'utensile prensile.

-Le norme B2 contengono direttive per dispositivi di protezione tecniche. Ne fanno parte dispositivi di blocco ma anche comandi a due mani o interruttori d'emergenza.

-Le norme C sono tipiche per le singole macchine. Ne fanno parte norme per presse meccaniche o idrauliche, presse piegatrici o i robot nell'industria.

Le norme C hanno priorità davanti alle norme A e B. Valgono anche se ci sono delle differenze fra le singole norme. Ma soltanto se tutte le norme (A, B e C) sono state considerate, può essere assegnato il marchio CE della direttiva della comunità Europea.

1.2 Affidabilità

La sicurezza di una macchina o di un impianto dipende dai provvedimenti assunti per contrastare gli effetti nocivi che può avere sulle persone o sull'ambiente.

Con la parola “affidabilità” invece si descrive la capacità di una macchina o impianto di realizzare una data funzione. Perciò una funzione eseguita non è necessariamente anche sicura.

Il livello di affidabilità richiesto determina la progettazione costruttiva del sistema. Ad es. bisogna prevedere la disponibilità di elementi di riserva; la manutenzione deve essere programmata.

Esempio I contatti dei relais sono progettati per una certa corrente elettrica e una data tensione. Spesso hanno una durata di vita di diversi milioni di cicli di rottura. Quando è raggiunta tale durata di vita i relais vanno sostituiti. La loro sostituzione è indispensabile se si tratta di relais con funzioni rilevanti per la sicurezza.

Per potere valutare la affidabilità e quindi la sicurezza di sistemi, si usano diversi parametri di affidabilità. Si identificano per il sistema gli stati: “in grado di funzionare” e “non in grado di funzionare”.

Per sistemi che non sono riparabili sono da usare le seguenti parametri di affidabilità:

- il tasso di fermo/guasto
- la distribuzione della durata di vita
- la probabilità di guasto
- la probabilità di sopravvivenza
- la densità di probabilità di guasto

Per sistemi che sono riparabili sono validi i seguenti parametri:

- durata media di funzionamento fino al momento del guasto
- distanza media fra i guasti
- distanza media fra due guasti
- durata media di un fermo
- disponibilità istantanea e stazionaria
- probabilità di ripristino

Questi parametri già mostrano che per la trattazione matematica dell'affidabilità bisogna utilizzare il calcolo della probabilità.

1.2.1 Fondamenti delle soluzioni tecniche

Nella tecnica per la sicurezza vengono usate diverse strategie. Queste si fondano sui seguenti principi.

Il principio della separazione delle funzioni: ad ogni funzione che deve compiere un elemento costruttivo correla diversi elementi "responsabili per la funzione". Così ad es. un serbatoio in pressione può essere internamente rivestito di acciaio inossidabile per evitare la corrosione. Ma le forze di pressione nel recipiente vengono contrastate grazie all'acciaio.

Il principio della vita sicura: significa che ogni parte di un gruppo della macchina, ma anche il gruppo stesso sopravvive senza guasti per la durata di funzionamento prevista. Per raggiungere questo scopo ogni parte viene sovradimensionata con un certo fattore di sicurezza.

Il principio del guasto sicuro: permette inconvenienti tecnici. Questi però non devono creare problemi gravi. Qui valgono le seguenti condizioni:

- A causa dell'inconveniente tecnico la funzione può essere limitata soltanto in maniera tale, che le persone, l'ambiente o cose non sono in pericolo.
- La limitata funzione del pezzo deve essere garantita finché può essere fermato e sostituito senza pericolo.
- La limitata funzione del pezzo difettoso deve essere chiaramente visibile.
- Anche se un pezzo non funziona più, deve essere possibile una valutazione della sicurezza generale.

Nel caso della duplicazione diverse copie della parte vengono installate così che le parti in più possono svolgere pienamente o parzialmente la funzione degli elementi difettosi. Questa condizione si chiama ridondanza.

Si distingue fra ridondanza attiva e passiva. Con la ridondanza attiva tutte le copie degli elementi costruttivi lavorano simultaneamente, anche se una sola potrebbe assolvere la funzione. In questo caso si ha una durata di vita attesa più breve, ma non si rischiano problemi con l'avviamento della riserva quando durante il funzionamento diviene necessario ricorrervi.

Nella ridondanza passiva, invece, le parti necessarie nel caso di un guasto sono in riserva. Per l'attivazione devono essere attivate.

Il principio del funzionamento alternativo assomiglia alla ridondanza. In questo caso le riserve degli elementi garantiscono la stessa funzione ma usano un diverso meccanismo di funzionamento. Ad es. per una pompa a propulsione elettrica la pompa di riserva può essere azionata con un motore a scoppio.

1.3 La sicurezza di impianti pneumatici

I requisiti di sicurezza per gli impianti tecnici a fluido ed i loro elementi costruttivi sono specificamente descritti nella norma DIN EN 983.

Questa norma contiene principi e regole di comportamento per la progettazione, la costruzione ed l'assemblaggio di elementi costruttivi o sistemi pneumatici. Inoltre contiene istruzioni per il montaggio, la regolazione, l'uso e la manutenzione. Le indicazioni fondamentali sono descritte nel seguito.

Le parti dell'impianto devono essere attivate o utilizzate soltanto nelle condizioni indicate dal fornitore o produttore.

I movimenti meccanici non devono creare rischi per le persone.

L'aria di scarico non deve creare pericoli.

Inserire e disinserire la corrente, una caduta, la mancanza o il ritorno della corrente non devono portare a pericoli. Una caduta della pressione sotto un livello critico non deve essere un pericolo per le persone.

L'impianto deve essere progettato e costruito così che tutte le parti siano raggiungibili in maniera da poterle regolare e mantenere in sicurezza.

Con l'aiuto di sistemi di protezione deve essere garantito che parametri specifici dell'impianto non vengono superati. Nella pneumatica ad es. si garantisce il controllo della pressione massima con le valvole di sicurezza.

Azionamenti pneumatici come cilindri o motori sono previsti per un certo utilizzo in ragione delle caratteristiche costruttive. I valori indicati dal produttore per la pressione, il momento torcente, il numero di giri, il fissaggio e il collegamento vanno rispettati.

È da verificare che l'azionamento venga montato nel sistema in maniera tale che possono essere sostenute tutte le forze prevedibili. Indicazioni su questo argomento si trovano nei cataloghi e nelle istruzioni per l'uso.

Se si tratta di cilindri pneumatici bisogna badare alla sicurezza nelle condizioni di pressoflessione, del dispositivo d'arresto, alla posizione e alla protezione dell'asta dello stantuffo.

Per le valvole pneumatiche vanno rispettate alcune prescrizioni fin dal momento dell'installazione. Ne fanno parte il tipo di valvola e la maniera in cui viene installata; il luogo in cui viene inserita nel sistema e come viene fissata. Inoltre è da verificare attentamente la maniera in cui viene usata la valvola e l'azionamento a mano se si tratta di valvole elettriche.

Le valvole vanno etichettate secondo la marcatura per i mezzi di produzione.

I lubrificanti usati devono essere adatti a tutte le parti della costruzione, le plastiche, le tenute, i tubi ed i raccordi. Per questi elementi vanno rispettate le indicazioni del produttore.

Molte valvole oggi hanno un contenuto di lubrificante sigillato, sufficiente per la loro durata di vita. Valvole che sono state lubrificate già una volta con un oliatore nebbiogeno sono da lubrificare anche in seguito con l'oliatore.

Le condutture d'aria compressa sono da installare così che non possano essere usate per scopi diversi da quello previsto, ad es. come scaletta. Non devono essere possibili collegamenti erronei a causa dei quali possano nascere pericoli.

Le condutture d'aria compressa non devono interferire con le linee di lavoro. La raggiungibilità durante lavori, riparazioni o sostituzioni di elementi va assicurata.

Canali, condutture e collegamenti di condutture devono essere liberi di corpi estranei. Le estremità dei tubi vanno saldamente fissate. Gli elementi per il fissaggio delle condutture non devono essere saldati alle condutture stesse. In generale i tubi non devono essere danneggiati per il loro fissaggio.

I tubi non devono mai essere usati per sostenere altri apparecchi. Nella pneumatica le tubature possono essere anche di materie plastiche. Le caratteristiche tecniche di questi tubi vanno sempre rispettate.

Per i serbatoi a pressione valgono le norme della DIN EN 286—1 (DIN: Norma tedesca per l'industria). Sono da disporre possibilmente in luoghi freschi e facilmente raggiungibili.

I serbatoi di aria compressa sono da sottoporre ad un trattamento finale anti-corrosione. Questo vale sia se l'ambiente è "aggressivo", sia perché nell'aria compressa potrebbe essere acqua.

Per la filtrazione o la disidratazione vanno installate apparecchiature in luoghi adatti. I serbatoi non metallici vanno rivestiti con una protezione antiscoppio.

1.4 Sicurezza di impianti idraulici

I requisiti per la sicurezza degli impianti idraulici sono descritti nella DIN EN 982.

Questa norma contiene principi e regole di comportamento per la progettazione, la costruzione e l'assemblaggio di sistemi o elementi costruttivi. Ne fanno anche parte le istruzioni per il montaggio, la regolazione, l'uso e la manutenzione. I principi più importanti sono descritti nel seguito.

Gli elementi costruttivi usati nell'impianto devono essere scelti in maniera che funzionino secondo le condizioni dettate dal produttore o dal fornitore. I movimenti meccanici non devono creare pericoli per le persone.

Tutti i elementi costruttivi attivati devono essere protetti contro pressioni che superino la massima pressione di lavoro. Questo solitamente viene realizzato con una valvola limitatrice di pressione.

Durante la progettazione, la costruzione e la messa a punto dell'impianto va assicurato che i picchi di pressione siano ridotti al minimo. In generale i picchi di pressione non devono diventare origine di pericoli.

Inserire e disinserire la corrente, una caduta, la mancanza o il ritorno della corrente non devono portare a pericoli. Una caduta della pressione sotto un livello critico non deve essere un pericolo per le persone.

Inoltre un degrado interno degli elementi costruttivi non deve causare pericoli.

L'impianto deve essere progettato e costruito in maniera che gruppi di elementi costruttivi siano facilmente raggiungibili durante la regolazione, riparazioni o quando devono essere sostituite parti.

Durante la progettazione e la costruzione particolare attenzione è dovuta ad alcune condizioni come ad es. vibrazioni, temperature alte o basse, pericoli di esplosioni e fuoco.

Inoltre è da evitare ogni inutile sviluppo di calore. Deve essere assegnato l'intervallo completo delle temperature massime dell'impianto. Il valor medio della pressione di esercizio deve essere garantito senza superare la temperatura massima permessa.

Le tubazioni non devono rendere difficili lavori di regolazione e la manutenzione. Il loro smontaggio durante la manutenzione non dovrebbe condurre ad una perdita significativa di fluido. Inoltre in questo caso non dovrebbe essere necessario procedere allo svuotamento del serbatoio.

Azionamenti elettrici come cilindri o motori sono previsti per specifici casi nei quali vengono usati in accordo alle caratteristiche costruttive. I valori per la tensione, il momento torcente, il numero dei giri, il fissaggio, i collegamenti, le fessure per il raffreddamento e l'aerazione, tutti indicati dal produttore, vanno rispettati.

E verificare che gli azionamenti vengano installati in maniera tale che tutte le forze prevedibili possono essere sostenute. Indicazioni al riguardo si trovano nei cataloghi o nelle istruzioni per l'uso.

Relativamente ai cilindri idraulici è da prestare attenzione alla loro resistenza alla pressoflessione, al dispositivo d'arresto, all'allineamento e al fissaggio, alla ventilazione e alle uscite dell'aria. Se necessario va protetta l'asta dello stantuffo.

Se si tratta di cilindri idraulici fin dal momento dell'installazione bisogna prestare attenzione al tipo di valvola ed alla maniera in cui viene installata, il punto d'installazione e ad ogni possibile concatenazione fra gli effetti della manovra delle valvole. Inoltre è da verificare la maniera in cui viene usata la valvola e l'azionamento a mano se si tratta di valvole elettriche.

Le valvole vanno etichettate secondo la marcatura per i mezzi di produzione.

Il fluido a pressione usato nel sistema deve essere specificato: devono esserne definiti sia il tipo sia le caratteristiche. L'indicazione del nome del produttore in questo caso non basta. Inoltre il fluido non deve danneggiare altri elementi costruttivi del sistema.

Se c'è il pericolo di fuoco bisogna prendere in considerazione l'uso di fluidi difficilmente infiammabili.

Quando l'impianto è in funzione è necessario un controllo regolare della contaminazione del fluido a pressione. Perciò i filtri vanno regolarmente controllati.

In generale vanno assunte opportune misure precauzionali per l'uso del fluido a pressione. Bisogna prestare attenzione al drenaggio come pure allo smaltimento del fluido dismesso.

Canali, tubature e raccordi fra tubature devono essere liberi da corpi estranei. Le tubature devono essere sistemate in maniera tale che non possono essere usate per uno scopo diverso da quello previsto.

Anche per i tubi flessibili esistono istruzioni per il montaggio. I tubi flessibili non devono avere raggi di curvatura troppo piccoli e non devono essere ritorti, compressi o messi in tensione.

I serbatoi dei fluidi devono poter accogliere l'intera quantità di questi e consentire di smaltire il calore accumulato dal fluido.

1.5 Sicurezza di impianti elettrici

Evitare incidenti elettrici è d'importanza primaria. Il numero di incidenti elettrici che causano la morte di persone paragonato con il numero di tutti gli infortuni sul lavoro è sempre abbastanza alto. Probabilmente la ragione per la situazione descritta è che non possiamo percepire direttamente l'energia elettrica.

Proteggersi dall'energia elettrica può significare proteggersi da un contatto diretto con la corrente.

Questo può essere raggiunto con i metodi seguenti:

- con l'isolamento,
- sistemando gli elementi sotto tensione in modo che siano inaccessibili;
- installando sistemi di protezione che non permettono il contatto

In casi particolari può essere completamente isolato il luogo stesso in cui si trova l'impianto.

Anche i sistemi di protezione che dovrebbero impedire il contatto con gli elementi sotto tensione, possono – a causa di un isolamento perso o invecchiato anzitempo – lasciar entrare in contatto con questi elementi.

Misure di protezione contro tensioni di contatto generalmente sono necessarie in reti con punto di rete messo a terra se la tensione tra conduttori e terra supera 65 V; in reti senza punto di rete se la tensione nominale supera 65 V.

Misure di protezione che rimuovono la condizione di una tensione di contatto troppo alta sono:

- il collegamento a terra,
- la messa a terra del neutro,
- il collegamento a terra della tensione di scarica,
- collegamento di sicurezza per la corrente di scarica,
- collegamento di sicurezza della tensione di scarica.

Misure di protezione che evitano che possa svilupparsi una tensione di contatto troppo alta sono:

- l'isolamento di sicurezza,
- la bassa tensione di sicurezza,
- la messa a terra,
- il sistema di conduttori a terra.

La bassa tensione di sicurezza si usa soprattutto in casi di grande pericolo, ad es. nei giocattoli per bambini.

I motori elettrici devono essere protetti contro sovraccarichi, cortocircuiti, dispersioni a terra e di massa.

Quando si sceglie gli apparecchi per la protezione del motore bisogna prestare attenzione sia al collegamento del motore sia al carico. Questi variano in fase di avviamento, marcia continua o quando il motore si ferma.

Per quanto riguarda la protezione del motore si distinguono i seguenti tipi:

- Con le valvole fusibili si protegge il motore dal cortocircuito. Interruttori automatici bimetallici *riaffiliati* servono per proteggere l'impianto dalla sovracorrente.
- Negli interruttori salvamotore sono raggruppati apparecchi con dispositivi elettromagnetici di protezione dai cortocircuiti e dispositivi di interruzione bimetallici per la protezione dalla sovracorrente. Possono essere usati anche fusibili con filamenti che fondono.
- I fusibili per la protezione contro cortocircuiti possono essere combinati con sensori di calore. Questi sono realizzati con lamine bimetalliche e si trovano direttamente alla bobina del motore. In tal modo può essere sorvegliata la temperatura nel motore – una modalità che viene chiamata 'protezione completa del motore'.
- Invece degli interruttori bimetallici si impiegano anche conduttori a freddo. La loro resistenza aumenta quando si alza la temperatura – questa condizione si nota con un apparecchio di misura.

Per i motori asincroni per corrente trifase c'è da sorvegliare se una delle tre fasi si è staccata.

Nel circuito a stella in questo caso la tensione che circola nelle altre due bobine aumenta e l'interruttore per la protezione del motore viene attivato.

Nel circuito triangolare invece la tensione aumenta in una bobina mentre cade leggermente nelle altre due. Se il motore è soltanto leggermente carico è probabile che l'interruttore per la protezione del motore non venga attivato e si può bruciare il motore. Una protezione sicura in questo caso si raggiunge soltanto con un conduttore a freddo in ognuna delle tre bobine.

Nei circuiti di comando vengono integrate diverse misure per migliorare la sicurezza di funzionamento. Una possibilità consiste nell'integrazione di elementi di interruzione ridondanti.

In caso di pericolo è importante poter mettere la macchina in stato d'assenza di tensione mediante un dispositivo per l'arresto di emergenza.

Altre norme importanti sono la direttiva per la bassa tensione che regola la circolazione di apparecchiature elettriche nell'UE e la direttiva EVM (EVM: Compatibilità elettromagnetica) che vale per apparecchiature che possono creare disturbi elettromagnetici.

2 Avviamento

2.1 Introduzione

L'avviamento di solito è l'ultima fase del montaggio di un prodotto. Ne fanno parte tutte quelle operazioni che portano gli elementi costruttivi, le macchine o impianti complessi a lavorare ed a funzionare.

Il controllo del corretto stato della macchina e della sua efficienza fanno parte dell'assicurazione di qualità e non dell'avviamento.

In linea di massima, per quanto riguarda l'avviamento si contraddistinguono il primo avvio e gli avviamenti seguenti. Durante il primo avvio l'impianto viene messo per la prima volta nello stato di funzionamento. Prima di ciò diversi sottosistemi possono essere già stati avviati.

Prima di un avviamento 'normale' invece l'impianto potrebbe non essere in grado di riprendere a lavorare a causa di guasti critici. Con gli opportuni interventi di ripristino l'impianto deve essere ricondotto ad uno stato adeguato prima di poter proseguire con l'avviamento.

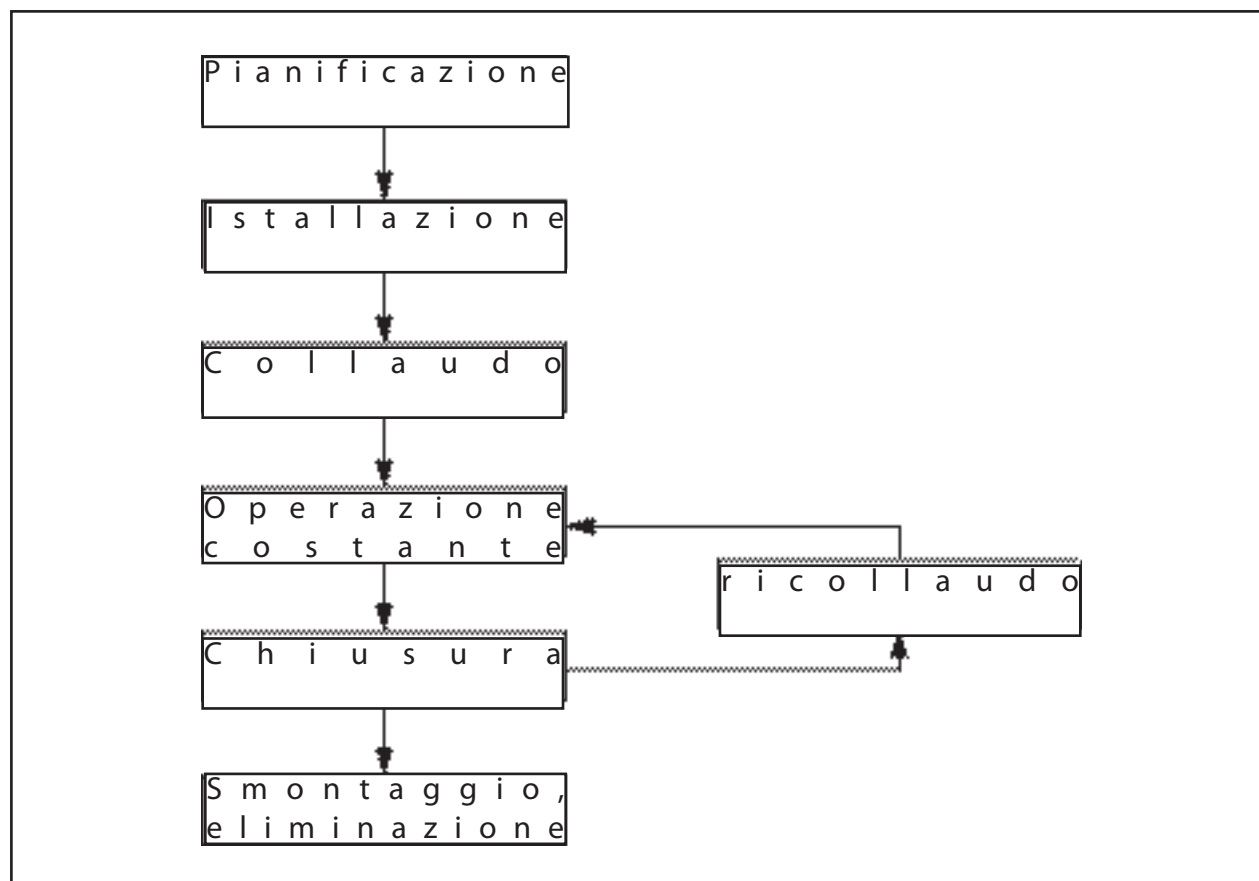


Immagine 1: Durata di vita di un impianto

2.2 Misure generali per l'avviamento

Problemi durante l'avviamento di solito vengono creati da difficoltà in altri sistemi. La necessità di una lunga ricerca di guasti può essere conseguenza da un guasto durante la costruzione. Ma è anche possibile che l'avviamento sia stato predisposto con scarsa attenzione.

Stando all'esperienza, i problemi più frequenti durante l'avviamento sono:

- I programmi del controllore programmabile contengono errori.
- I singoli elementi del programma non sono abbastanza strutturati.
- Gruppi di elementi o pezzi di ricambio sono stati montati in maniera errata o non sono stati correttamente regolati.
- Mancano gruppi di elementi o parti singole.
- Durante l'installazione si sono verificati problemi. Spesso ne è responsabile il cablaggio nel quadro di comando.
- Collegamenti di tubi dei sottosistemi pneumatico ed idraulico sono stati scambiati fra loro.

Il costruttore è responsabile per un impianto funzionante ed un avviamento senza problemi. Configurando le singole parti bisogna anche verificare che i lavori all'impianto durante l'avviamento siano semplificati o eventualmente che non sono necessari.

Una struttura del progetto del sistema orientata all'avviamento può permettere che si possano eseguire prove o avviamenti parziali in anticipo.

Per una prova anticipata o un avviamento anticipato i gruppi di elementi devono essere assemblabili prima. Questi elementi devono poter funzionare in gruppo e avere interfacce con altri gruppi di elementi costruttivi.

Durante l'esame anticipato di gruppi di elementi costruttivi va ad es. controllato il montaggio sistematico delle singole parti, il loro comportamento termico o il livello di rumore. Anche il regolare funzionamento del gruppo può essere controllato.

Inoltre durante l'avviamento anticipato possono essere svolte le seguenti attività:

- la regolazione di interruttori di arresto;
- la regolazione di valvole pneumatiche o idrauliche;
- il recupero di pezzi difettosi;
- il bilanciamento di azionamenti.

L'avviamento anticipato è un vantaggio se un gruppo di elementi costruttivi assolve una specifica funzione autonoma. Questo accade molto più spesso nell'impiantistica che nelle costruzioni di macchine, visto che si tratta di un ambito nel quale singoli gruppi possono svolgere funzioni diverse in un unico impianto.

2.3 Aviazione di impianti elettrici

Per un funzionamento senza disturbi devono essere considerate le prescrizioni del produttore o del fornitore per il montaggio e l'uso. Importanti sono soprattutto la presenza di una completa documentazione tecnica e delle misure per l'avviamento per il sottosistema corrispondente.

Per l'elettro-pneumatica, oltre alle istruzioni del produttore sono da prendere in considerazione alcuni consigli di carattere generale.

Prima dell'installazione di attrezzature elettro-pneumatiche va controllato se le caratteristiche tecniche prescritte, quali la tensione ed il tipo di corrente, corrispondono con il punto di collegamento e con le indicazioni tecniche del produttore.

Nella pneumatica l'aria compressa normalmente viene 'trasportata' in tubature di materia plastica. Queste devono essere installate seguendo le indicazioni del produttore. Sono da evitare pieghe a causa di raggi di curvatura troppo piccoli come anche zone di strozzamento e punti di sfregamento. Inoltre le tubature di materia plastica devono essere fissate così che cambiamenti di pressione nella rete di aria compressa non diano luogo a movimenti indesiderati. I punti con perdite non sono da evitare ad ogni costo, ma il loro numero dovrebbe comunque rimanere basso.

Parti movimentate come le asta dello stantuffo o cilindri interi devono essere schermate con dispositivi adatti se il loro movimento potrebbe essere pericoloso per il lavoratore.

2.3.1 Uso di oliatori nebbiogeni

Oliatori nebbiogeni dovrebbero arricchire l'aria con nebbia di olio per oliare le parti in movimento. Ormai la maggioranza delle moderne parti pneumatiche hanno una pellicola lubrificante che basta per tutta la loro durata di vita. Per questo motivo, ed anche perché l'uso di oliatori nebbiogeni spesso causa problemi, si consiglia di ridurre il ricorso all'uso di aria arricchita con olio.

Nei seguenti casi tuttavia tale uso è necessario:

- se gli elementi sono già stati usati con aria arricchita di olio;
- se i cilindri compiono movimenti molto veloci;
- se vengono usati motori del tipo a lamelle.

Per la corretta regolazione dell'oliatore nebbiogeno è consigliato aggiungere alcune gocce d'olio per metro cubo di aria compressa. Se le portate in volume sono conosciute si possono dare anche indicazioni a minuto.

Per poter controllare la giusta regolazione dell'oliatore nebbiogeno dovrebbe essere scelto il cilindro con la più grande distanza dall'oliatore. Davanti all'uscita dell'aria usata dal distributore indirizzato verso questo cilindro si mette un foglio di carta bianca. La distanza dovrebbe essere circa 10 centimetri.

Quando il cilindro è messo in moto sulla carta dovrebbe essere visibile uno strato sottile di olio. Se è così si può essere sicuri che l'olio raggiunge anche questo cilindro. Se l'olio gocciola dalla carta significa che nell'aria compressa c'è troppo olio.

Si consiglia usare soltanto olio indicato dal produttore. In nessun caso dovrebbe essere allungato l'olio p.es. con petrolio visto che lo scioglie. Caratteristiche di oli buoni per oliatori nebbiogeni sono:

- un'alta resistenza contro l'invecchiamento;
- la giusta viscosità;
- impermeabilità e protezione contro la corrosione.

2.3.2 Effettuare l'attivazione

In ogni impianto nuovo o riparato c'è il pericolo che un cilindro si muova in maniera incontrollabile. Tali movimenti possono essere la causa per danni alle persone ed anche portare alla rottura dell'impianto. Per questo motivo si consiglia di redigere un piano per l'attivazione.

Durante l'attivazione vanno rispettati i seguenti punti:

- Prima dell'attivazione deve essere verificato che l'impianto è senza pressione.
- Tutti gli azionamenti devono essere nella posizione di partenza.
- Le valvole di comando vanno regolate nella loro giusta posizione. Un cambiamento di posizione si opera con l'azionamento a mano o tramite un impulso di comando.
- Le valvole a farfalla per regolare la velocità del stantuffo vanno chiuse.
- La pressione nell'impianto va aumentata lentamente con il regolatore di pressione del sistema di manutenzione o in maniera automatica con una valvola per il travaso.
- Le valvole a farfalla vanno aperte lentamente.
- Prima va fatta una prova di funzionamento senza pezzi in lavorazione. L'intero processo sulla linea può essere diviso in diverse fasi. Lo smistamento dei pezzi può avvenire a intermittenza.
- Le posizioni degli interruttori di fine corsa vanno controllate. Devono scattare in maniera sicura e non essere sovraccaricati.
- Una successiva prova di funzionamento va condotta con un pezzo in lavorazione.
- Va verificato che le forze e le velocità indicate vengano raggiunte.

2.3.3 Ispezione

Quando un impianto è stato avviato ed è in marcia, va prestata attenzione ai seguenti dettagli:

- il corretto funzionamento, il rendimento e lo stato del sistema pneumatico come anche dei singoli attrezzi è da sorvegliare.
- La temperatura dell'ambiente non deve essere difforme dai valori indicati per i singoli elementi.
- Lo stato del fluido nell'oliatore nebbiogeno è da controllare regolarmente. Se necessario va aggiunto olio.
- Lo stato del fluido nel separatore d'acqua è da controllare regolarmente. Se necessario va svuotato il serbatoio.
- I filtri sono da cambiare regolarmente o quando necessario.
- La pressione nel sistema deve essere controllata regolarmente.
- Le coperture protettive ed i dispositivi di sicurezza devono essere installati e dovrebbero funzionare perfettamente.
- Attrezzature o altri elementi devono essere installati in maniera sicura.
- L'impianto elettrico è da controllare con riguardo alla impermeabilità. Parti non impermeabili vanno riparate.

Inoltre le seguenti componenti del sistema pneumatico vanno regolarmente controllate:

- Lo stato del olio nell'oliatore nebbiogeno.
- Lo stato del filtro e del separatore d'acqua.
- Il funzionamento dei dispositivi di visualizzazione è da controllare.
- Lo stato generale della rete di tubature è da controllare.
- L'innesto dolce dei attrezzi è da controllare in quanto possibile.

Durante l'esecuzione di lavori all'impianto occorre prestare attenzione all'area di corsa dei cilindri. Anche piccoli cilindri possono provocare danni alle persone!

2.4 Attivazione degli impianti elettrici

Prima dell'installazione o del montaggio esterno sono da controllare gli elementi elettroidraulici. È da verificare se le loro caratteristiche tecniche come la tensione e il tipo di corrente corrispondono con quelle del punto di collegamento.

Durante l'installazione o il montaggio occorre prestare attenzione a tutte le indicazioni ed agli schemi del produttore. Le condutture di tubi devono essere posate esattamente secondo la pianta del produttore. Dopo la posa i tubi non devono essere sottoposti a tensioni meccaniche. Non devono verificarsi vibrazioni e altri movimenti che potrebbero causare danni.

Per l'uso di tubi flessibili è da badare che siano sufficientemente lunghi e non abbiano raggi di curvatura troppo piccoli. I tubi non devono avere punti di sfregamento, essere piegati e strozzati.

Prima dell'installazione è da controllare la pulizia dei tubi, se necessario vanno puliti. Per quanto riguarda tubi saldati o tubi che sono stati piegati quando erano caldi, vanno controllate le calamine sulle parti interne. Risciacquando i tubi senza valvole e cilindri si possono rimuovere le eventuali impurità.

Nei tubi forati non deve crearsi un rigurgito. Il fluido idraulico dovrebbe poter tornare al serbatoio senza problemi.

In caso di necessità vanno schermati per evitare pericoli i pezzi non coperti dei cilindri, come l'asta dello stantuffo. Da nessun elemento movimentato devono nascere pericoli per i lavoratori.

2.4.1 Riempimento dell'impianto con il fluido idraulico

Il serbatoio, i tubi, i tubi flessibili ed i filtri devono essere liberati da sporco ed impurità prima di riempire l'impianto.

È da verificare secondo la loro funzione se le valvole devono essere aperte o chiuse.

Nel serbatoio idraulico non deve entrare aria non filtrata. Il filtro per l'aria in entrata o uscita deve essere funzionale.

Va usato soltanto l'olio idraulico previsto dal produttore. Va prestata attenzione al tipo, alla viscosità ed alle altre caratteristiche richieste.

Quando si riempie l'impianto vanno aperte le valvole a farfalla e le valvole di mandata.

Si deve prestare attenzione alla pulizia soprattutto quando si rabbocca il fluido idraulico. Il fluido nei serbatoi di trasporto potrebbe già contenere acqua o essere contaminato. Perciò va filtrato il fluido da rabboccare. Non deve assolutamente essere introdotta acqua nell'impianto.

Particolare attenzione è necessaria quando si riempiono i serbatoi idraulici. Quelli riempiti di gas per la spinta devono essere collegati esclusivamente con mandate d'azoto. Le relative prescrizioni del produttore vanno rispettate.

Prima dell'avviamento va controllato il verso di rotazione della pompa idraulica, accendendola brevemente. Durante questo processo l'impianto dovrebbe essere sgravato di pressione per evitare che si crei sovrappressione. La condotta di aspirazione verso la pompa deve essere aperta.

2.4.2 Procedura di avviamento

Prima dell'avviamento vanno rispettati i seguenti passaggi:

- Prima di usare l'impianto idraulico è consigliabile un funzionamento a vuoto per 4 ore.
- La valvola di sicurezza va regolata secondo le indicazioni del produttore. In seguito la regolazione va piombata così che non possano verificarsi cambiamenti di pressione.
- Le valvole a farfalla, le valvole di flusso e le valvole di mandata vanno regolate. In caso di necessità anche in questo caso le regolazioni vanno piombate.
- Durante il funzionamento a vuoto sono da controllare la pressione, il livello del olio, le temperature della pompa, del motore e dell'olio idraulico. Va controllato se si verificano cali di pressione.
- Allorché la pompa idraulica è stata avviata va cambiata l'aria nell'impianto. L'aria va cambiata un'altra volta quando l'olio per i comandi idraulici ha raggiunto la sua temperatura di regime. Anche il livello del fluido va nuovamente controllato.
- Dopo il funzionamento a vuoto il sistema può lavorare normalmente. La pressione deve essere continuamente sorvegliata. Anche in questa fase va controllato se esistono perdite, soprattutto in corrispondenza di raccordi filettati e chiusure. La riparazione delle perdite dovrebbe essere svolta soltanto quando l'impianto è in uno stato senza pressione.
- Quando sono state raggiunte condizioni di lavoro normali va eseguito un controllo delle velocità dei cilindri e della spinta. I valori vanno annotati in un registro. Anche possibili problemi vanno da registrati. Le temperature ammesse non vanno superate.
- Dopo l'avviamento vanno puliti i filtri. Questo vale soprattutto se vengono usate valvole regolatrici e valvole proporzionali.
- Durante l'avviamento di pompe assiali deve essere sicuro che queste non possano aspirare il fluido idraulico. Perciò vanno preventivamente riempite con olio idraulico.
- Durante la sostituzione delle pompe va evitato che le pompe fredde vengano istantaneamente alimentate con olio troppo caldo.

2.4.3 Ispezione

Quando un impianto è in marcia, va prestata attenzione ai seguenti punti:

- il corretto funzionamento, il rendimento e lo stato di tutto il sistema vanno continuamente sorvegliati.
- Particolare attenzione è dovuta al fluido idraulico ed al suo raffreddamento.
- Anche il livello del fluido è da controllare di continuo. Se necessario il fluido idraulico va rabboccato. Se il livello del fluido si alza potrebbe essere presente acqua nell'impianto.
- La pressione nel sistema è sempre da tenere sotto controllo. Se differisce dal valore prescritto il corretto funzionamento dell'impianto non è più garantito.
- La silenziosità di funzionamento delle pompe e dei motori va controllata.
- Non va ridotta la funzionalità degli impianti di sicurezza e delle protezioni. È da controllare il corretto fissaggio degli impianti e di gruppi di elementi.
- Inoltre è di cruciale importanza la tenuta dell'impianto idraulico. Le perdite vanno sistemate quando l'impianto non è in marcia.

Gli impianti idraulici vanno regolarmente controllati. Va prestata attenzione ai seguenti punti:

- Lo stato del fluido idraulico è da tenere sotto controllo.
- I filtri sono da controllare e se troppo sporchi da cambiare. Anche i separatori magnetici sono da controllare e se necessario da pulire.
- I dispositivi di visualizzazione sono da controllare, devono funzionare correttamente.
- Va verificato l'innesto dolce di tutti gli elementi.
- Bisogna valutare lo stato generale della rete di distribuzione.
- Particolare attenzione necessitano anche i serbatoi in pressione. Se si tratta di serbatoi riempiti di gas va controllata la pressione di serraggio e corretta ove necessario.

Particolare attenzione è dovuta anche nel caso di impianti idraulici con valvole regolatrici. A causa della loro sensibilità quando vengono lavati è da tenere presente che:

- la valvola regolatrice va rimossa prima del lavaggio e sostituita con una flangia per il risciacquo. Così la condotta di mandata viene collegata al ritorno. Le condotte del cilindro vengono in tal modo bloccate.
- Prima del lavaggio rimuovere l'elemento filtrante del filtro a pressione e poi lavare l'impianto.
- Dopo il lavaggio, rimontare l'elemento filtrante del filtro a pressione e cambiare il filtro di ritorno.
- Risciacquare l'impianto e rimontare la valvola regolatrice.

2.5 Avviamento degli impianti elettrici

Al primo avviamento di ogni macchina motrice elettrica questa va sottoposta ad un esame preventivo. Con questo viene verificato se i dati tecnici prescritti per l'impianto sono stati rispettati.

Durante il primo esame nella procedura di test l'impianto viene collegato alla tensione elettrica. Parallelamente ai valori elettrici viene esaminata anche la solidità meccanica. Le seguenti caratteristiche vengono controllate:

- La temperatura che si sviluppa a causa del riscaldamento della macchina quando è in funzione.
- La capacità di sovraccarico a causa di brevi picchi elettrici o momenti torcenti maggiorati.
- Il numero di giri di centrifugazione, che è pari al numero di giri nominale più alto aumentato del 20% (moltiplicato per un fattore 1,2). La durata della prova al numero di giri aumentato è di due minuti.
- La capacità di isolamento dell'avvolgimento delle singole bobine della macchina.
- Il momento d'inerzia di massa della macchina.

Per le diverse caratteristiche sono ammissibili differenze dai valori ideali. Se le differenze non superano quelle previste la macchina può essere consegnata e essere impiegata presso il cliente.

Prima dell'avviamento restano da fare ancora diversi altri controlli. I dati più importanti dovrebbero essere registrati. Va tenuto conto delle procedure di verifica già svolte.

Nel caso di motori elettrici sono oggetto di verifica la corrente nominale e la corrente di picco, la tensione, il rendimento, la frequenza ed il numero di giri. Va prestata attenzione anche alla ventilazione del motore ed ai collegamenti di protezione.

Prima dell'avviamento sono da considerare i seguenti punti:

- va controllato se i fusibili hanno il giusto dimensionamento.
- Dopo l'avviamento va controllata la tensione con cui viene alimentato il motore.
- Va controllata la direzione di rotazione del motore.
- Le interruzioni di protezione dei circuiti di comando vanno provate.
- I morsetti, le spazzole ed i portaspazzole vanno controllati visivamente.
- L'allineamento meccanico ed il collegamento del motore con le parti mosse dell'impianto vanno controllati.

In generale è da verificare che tutte le direttive applicabili siano osservate.

2.6 Avviamento di controllori a programma memorizzato

Nel caso di controllori a programma memorizzato o PLC (diversamente dal caso dei comandi programmati a collegamento con relè e valvole) il programma vero e proprio, detto software, può essere provato anche separatamente dalla parte hardware. In tal caso è necessario disporre di un software di simulazione.

Con un simulatore hardware è possibile impostare il segnale degli ingressi (input) e verificare l'attivazione delle uscite (output). I valori degli input del PLC vengono comandati con interruttori a potenziale zero in maniera mirata. Diodi luminosi o lampade segnalano come le uscite vengono commutate.

È anche possibile definire lo stato degli input dal lato software e provare così i singoli elementi del programma.

Quando si prova il programma il PLC è collegato al computer. Con l'aiuto del monitor del computer si può osservare lo svolgimento del programma per il PLC.

In generale con la simulazione possono essere trovati molti errori del programma già prima dell'avviamento vero e proprio. Così si limita decisamente il tempo necessario per un corretto avviamento.

2.6.1 Errori tipici durante la programmazione

Già prima di provare il programma per il PLC questo dovrebbe essere controllato in relazione ai tipici errori di programmazione. Tra questi:

- Flag, output, temporizzatori, contatori o altri variabili non vengono inizializzati dal programma.
 - Gli indirizzi di flag o altri variabili vengono assegnate più volte.
- Questo porta a risultati diversi nelle diverse parti del programma.

Il moderno software per la programmazione spesso riconosce automaticamente questo tipo di errori e ne informa il programmatore.

Quando il programma è libero da errori può essere caricato nel PLC. Visto che durante il caricamento viene trasmesso soltanto il codice del programma va in ogni modo conservato anche il programma originale. Soltanto così è possibile in secondo momento rielaborare il programma per PLC.

Prima di installare il PLC bisogna inoltre assicurarsi che la tensione di esercizio del PLC e le tensioni per le uscite e le entrate corrispondano con i valori dell'impianto.

3 Ricerca di guasti

3.1 Definizione

Un guasto secondo la DIN 31051 viene definito come segue:
Un guasto è la mancata esecuzione di una funzione richiesta ad un elemento dell'unità considerata.

La funzione viene determinata in relazione all'attività, la lavorazione, lo scopo o il compito dell'unità considerata.

Un guasto, o malfunzionamento, è dunque una funzione che non si svolge secondo gli ordini o che non si svolge affatto.

Un disturbo - al contrario del guasto di una funzione - è un arresto nello svolgimento di un compito definito di un'unità considerata.

Con la dicitura blocco, invece, si intende il fermarsi dell'esecuzione di un prefissato compito dell'unità considerata a causa di un problema inerente all'unità stessa e allo sforzo ammesso.

Il motivo di un disturbo o un guasto dunque è un guasto. ***

3.2 Localizzazione di disturbi e guasti durante l'avviamento

La localizzazione di disturbi e guasti durante l'avviamento delle componenti idraulica, pneumatica ed elettrica di un impianto richiede una ricerca sistematica. Più complessa è la configurazione dell'impianto, più importante è una logica per procedere durante la ricerca dei guasti.

Un aiuto sostanziale offrono al personale presente durante l'avviamento le descrizioni complete e realistiche dell'impianto. Fra queste si considerano:

- le documentazioni tecniche quali schemi funzionali, schemi circuitali, viste generali con valori previsti, schemi elettrici, elenchi di attrezzature ed altri elementi,
- la documentazione tecnica con le istruzioni d'uso per i diversi impianti tecnici e gruppi di elementi, la descrizione tecnica e il diagramma di funzionamento, le norme per l'avviamento,
- le istruzioni per l'avviamento,

3.3 Modo di procedere durante la ricerca di disturbi o guasti

Se si verifica un disturbo o uno guasto in un sistema complesso, questo si manifesta in una funzione alterata o porta alla sospensione della funzione del impianto. Per rendere possibile che il responsabile possa localizzare velocemente il guasto o il disturbo è necessario di cercarlo con operazioni svolte secondo un corretto ordine:

- diagnosi del disturbo (scoperta del disturbo dal rumore o visiva);
- delimitare il guasto con mezzi di ausilio (ad es. schemi funzionali);
- eliminazione del guasto o del disturbo.

Allorché si tratta con sistemi complessi costituiti da sottosistemi idraulici, pneumatici, elettrici o sottosistemi connessi una precisa localizzazione del disturbo è ancora più importante.

3.3.1 Ricerca di disturbi con diagramma funzionale

Una utile alternativa per localizzare disturbi tecnici o guasti è l'uso del diagramma funzionale. Sono adatti a questo scopo anche schemi logici, diagrammi dello svolgimento delle funzioni o diagrammi di flusso del programma. Insieme con gli schemi funzionali anche il diagramma funzionale è una efficiente opportunità.

3.3.2 Ricerca di disturbi con programma per la ricerca di disturbi

Grazie ad un continuo lavoro di sviluppo di algoritmi per la ricerca di disturbi e le esperienze fatte con disturbi in diversi impianti e sistemi questi programmi possono essere perfezionati e aggiornati. Ma questo presuppone che il personale responsabile per la manutenzione compili con cura i registri d'ispezione e raccolga l'informazione sui problemi ricorrenti.

Esempio La pompa idraulica in funzione produce un 'forte rumore'.

Sulla base di questa descrizione il disturbo è già diagnosticato. A questo punto sarebbe opportuno seguire un programma per la ricerca di guasti.

Le domande vengono esaminate una dopo l'altra (nel corretto ordine). Se viene trovata una possibile causa per il problema, la rimozione del guasto deve essere condotta nella maniera prescritta. Successivamente va controllato se la rimozione del guasto ha avuto successo. A questo scopo si esegue nuovamente il programma per la ricerca di guasti per trovare altri possibili guasti.

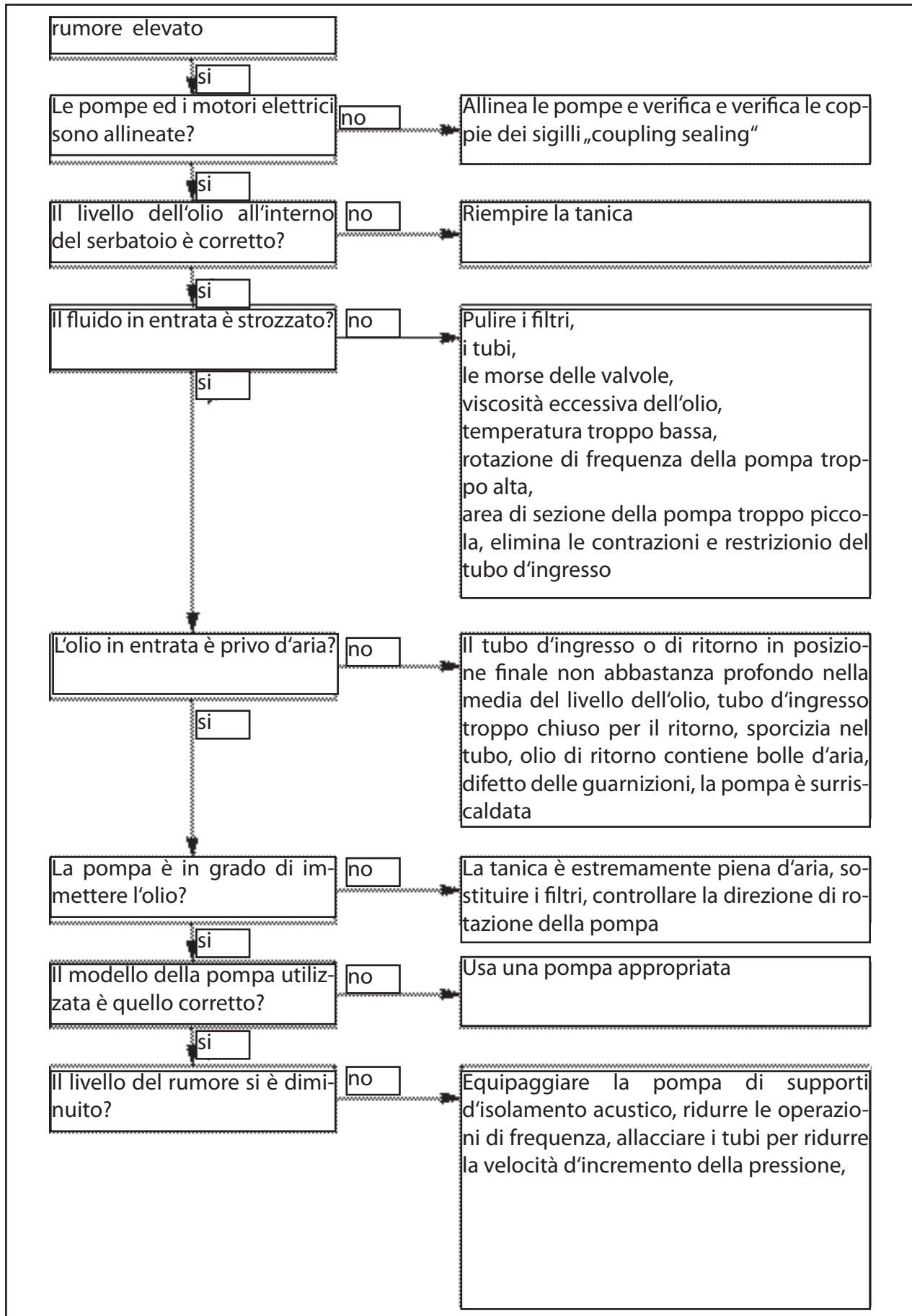


Bild 2: Programma di localizzazione disturbi e guasti "rumore elevato di una pompa idraulica"

3.4 Guasti comuni durante l'avviamento

Di solito diversi guasti si verificano più spesso che altri. Questi guasti dovrebbero essere primariamente analizzati. Tra questi:

a) Componente elettropneumatica

- i cilindri non sono abbastanza riforniti di aria compressa;
- la pressione di funzionamento non è abbastanza alta;
- le tubature del cilindro sono state scambiate;
- gli interruttori di prossimità sono messi al posto sbagliato;
- i collegamenti delle entrate e uscite del PLC sono difettosi.

b) Componente idraulica elettrica

- le tubature di lavoro, le tubature di pressione o le tubature di rifornimento sono state scambiate;
- la regolazione della valvola limitatrice della pressione è errata;
- gli interruttori di prossimità sono troppi pochi o messi al posto sbagliato;
- il collegamento delle entrate e uscite del PLC è errato.

c) Componente elettrica

- i cavi o le tubature di collegamento sono difettose;
- i collegamenti sono imperfetti.

d) PLC

- software difettoso;
- hardware difettoso.

3.4.1 Uso del PLC durante la ricerca di difetti

Se si usa il PLC per controllare il complesso sistema è adatto di fare un test della regolazione senza le componenti idraulici, pneumatici e elettrici della parte lavorativa.

Secondo il produttore del PLC le funzioni sono descritte / nominate / chiamate diversamente, ma in generale hanno la stessa funzionalità. In ogni caso è da fare uso dalla possibilità di un test del programma del PLC.

3.5 Ricerca di guasti durante l'attivazione

Esempio 1. Guasti durante l'attivazione

Effetto:

Si osserva che il programma di controllo non parte. Tutti cilindri pneumatici tranne uno si trovano nella posizione iniziale.

Ricerca di guasti:

Innanzitutto va controllato se tutti i cilindri si trovano nella posizione iniziale. Durante il controllo si osserva che il cilindro 1A non è nella posizione iniziale.

Perciò il sensore della posizione iniziale non viene eccitato ed il corrispondente input del PLC non viene attivato. Questo si vede nell'attività di test del controllore programmabile e anche dal LED per l'input. L'avvio della programma di controllo non è dunque possibile, visto che una delle condizioni per l'avvio non è verificata.

A questo punto va chiarito perché il cilindro 1 A non è arrivato a fine corsa.

Una possibilità è il posizionamento errato della valvola di apertura. La valvola deve essere portata nella posizione iniziale manualmente. Se il cilindro 1 A adesso raggiunge la sua posizione iniziale, si attiva il sensore per la posizione e potrebbe seguire l'avvio del controllore.

Il LED per il corrispondente output segnala il comando per il ritorno del cilindro. Nonostante questo segnale il cilindro 1A non ritorna.

Adesso dovrebbe essere controllato quale bobina magnetica della valvola viene eccitata. Si osserva al controllo che le connessioni per le bobine magnetiche sono state scambiate. Dopo la correzione il cilindro ritorna ed il programma di controllo può correttamente partire.

Prima di riparare il guasto dovrebbe essere azionato l'interruttore generale d'emergenza per evitare che subito dopo la correzione parta il programma e nasca il pericolo di ferirsi.

Risultato della ricerca di guasti:

Le connessioni della valvola di comando durante il montaggio sono state scambiate. A causa di ciò il cilindro 1 A non è nella posizione iniziale.

Esempio 2. Guasti durante l'attivazione

Conseguenza:

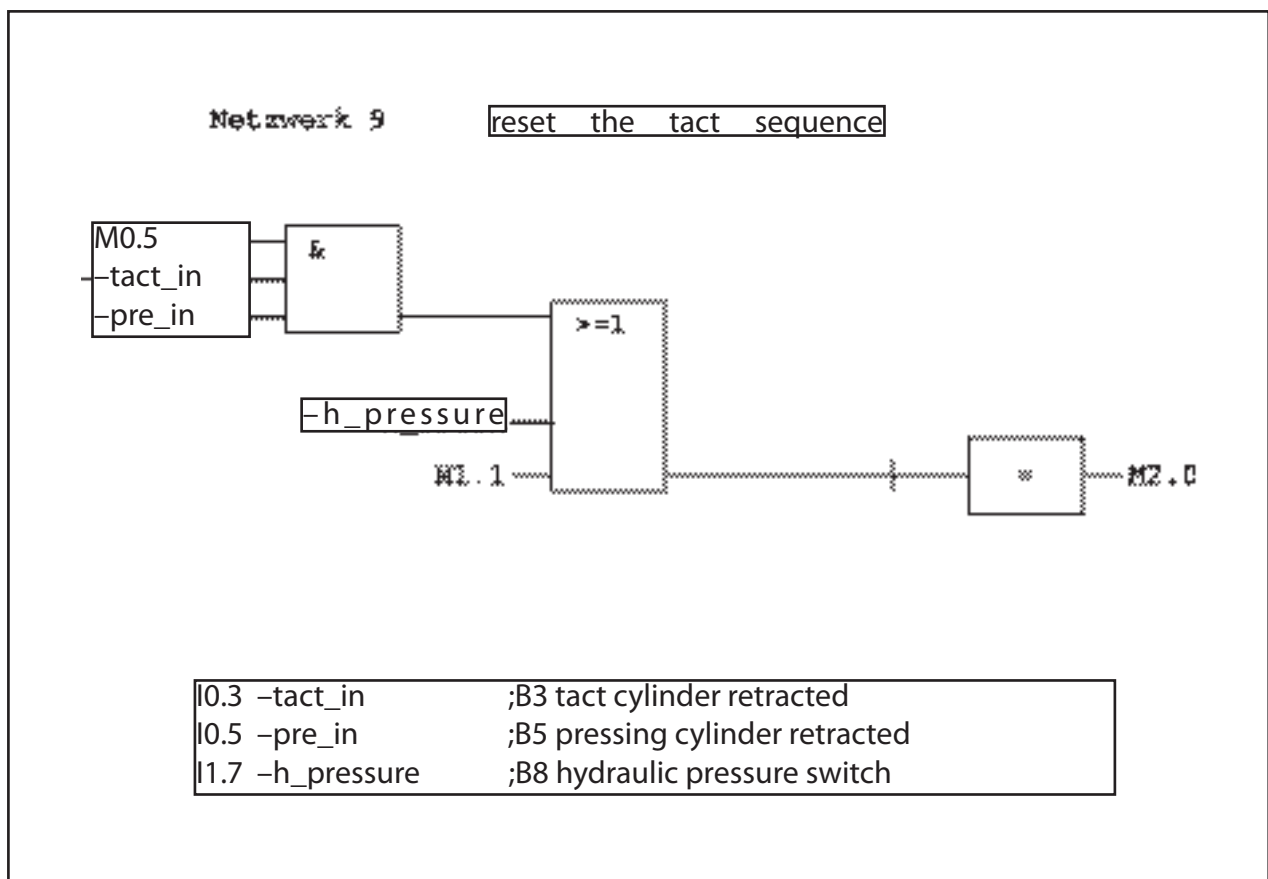
Tutti i cilindri si trovano nella posizione iniziale ma non è possibile l'avvio.

Ricerca dei guasti:

All'inizio della ricerca di guasti si dovrebbe usare la funzione del test del controllore programmabile. Con il comando corrispondente bisognerebbe entrare nella rete e con questo viene dato il segnale di partenza per l'avvio. Nell'esempio qui presentato si tratta della rete 4.

In questa rete può essere verificato che il segnale di reset è nello stato 1 corrispondente al flag M 2.0. Il segnale di reset è conseguentemente attivo, anche se non dovrebbe esserlo per l'avvio.

Adesso si dovrebbe commutare alla rete in cui è attivo il flag M 2.0. Questa ad es. potrebbe essere la rete 9. Ora si può controllare perché il flag M 2.0 è sempre attivato.



3: Esempio di una rete di un programma del PLC

Osservando la rete può essere constatato che sono attivi sia i due contatti delle posizioni finali del cilindro e del cilindro a iniezione. Nonostante ambedue le posizioni finali sono raggiunte, il collegamento AND non assume lo stato 1, visto che il flag M 0.5 non è attivato.

Dopo segue un collegamento OR. In questo caso basta che venga impostato ad 1 uno dei segnali d'entrata, che il flag M 0. 2 all'uscita si attivi.

Si nota che l'ingresso "h_pressure" (I 1.7) è nello stato 1. Questo segnale dovrebbe segnalare che la pressione idraulica ha superato il limite.

Questo guasto si nota subito se la pressione idraulica non è ancora applicata. Dunque non ci può essere pressione. Anche il manometro sulla linea di alimentazione non segnala pressione.

Sul LED per l'ingresso I 1.7 del controllore programabile viene tuttavia rappresentato l'input adiacente.

Dopo va controllato perché l'interruttore di pressione dia già un segnale, nonostante non ci sia pressione. Può essere un segno di un difetto dell'interruttore di pressione o anche di un problema di collegamento hardware.

Perciò va controllato se l'interruttore di pressione come descritto nella documentazione è collegato come contatto di chiusura.

Risultato della ricerca di guasti:

Si nota che l'interruttore a pressione è stato collegato in maniera errata. Invece del contatto di chiusura è stato cablato il contatto di apertura. Perciò l'interruttore di pressione dà un segnale, se anche se non è stato attivato.

Dopo il ricablaggio sul contatto di chiusura nella rete 9 non c'è un segnale dell'interruttore di pressione e il flag non viene attivato. Con ciò sono soddisfatte le premesse per far partire il controllo nella rete 4 e il funzionamento può iniziare.

Esempio 3. Guasti durante l'attivazione

Conseguenza:

Il controllo è in funzione senza problemi. Il cilindro 2A ritorna nella sua posizione iniziale, ma il cilindro idraulico 3A, che dovrebbe partire dopo, non si muove.

Ricerca degli guasti:

Viene proposto il seguente metodo:

In accordo al diagramma funzionale il segnale per la partenza del cilindro 3A viene dato con un interruttore di posizione finale montati sul cilindro 2A. Questo stesso interruttore fa ritornare anche il cilindro 2A.

Giunge il segnale d'input da parte dell'interruttore di posizione finale?

Sì, altrimenti il cilindro 2A non partirebbe.

Adesso si esegue il test del controllore programabile.

È stato attivato il flag necessario per i passi nel programma ed è stato attivato il passo per l'uscita del cilindro idraulico 3A?

Sì, la catena dei passi fa come previsto il passo per l'uscita del cilindro idraulico.

È stata eccitata nel programma la corrispondente bobina magnetica responsabile dell'uscita del cilindro?

Sì, il programma ha attivato al punto giusto l'output per la bobina magnetica.

Questo è visibile sul LED di output del controllore programmabile?

Sì, il LED è acceso.

La corrispondente bobina magnetica si è attivata?

Sì, il controllo avviene togliendo il cappellotto ed installandolo nuovamente. Si può sentire chiaramente il rumore quando il magnete viene attirato. Il LED della bobina magnetica si accende quando il cappellotto viene rimesso.

Adesso si prosegue con la ricerca con lo schema idraulico:

C'è pressione fino al collegamento P della valvola 4/2-distributore?

Sì, c'è la pressione al distributore.

Sono stati scambiati le condutture che portano al cilindro?

No, le condutture che portano al cilindro sono collegate correttamente.

C'è pressione all'uscita B del distributore?

Sì, anche l'uscita B della valvola distributrice è in pressione.

Dunque il guasto si deve trovare tra il collegamento B del distributore e il collegamento del cilindro sul lato del pistone, oppure il fluido idraulico non può ritornare all'altro collegamento del cilindro.

Prima va controllato se i componenti che interagiscono tra di loro funzionano in maniera giusta. Tali componenti sono:

- valvola di strozzamento,
- interruttore di pressione.

Risultato della ricerca di guasti:

Si nota, che la valvola di strozzamento non è stata installata correttamente. È stata chiusa del tutto e funziona come una valvola d'arresto. Perciò il cilindro 3 A non poteva uscire.

Se la valvola viene reinstallata in maniera corretta, il controllo funziona normalmente.

MECCATRONICA

Modulo 8: manutenzione remota, diagnosi

Manuale

(concetto)

Jerzy Jędrzejewski

Politecnico di Wroclaw,
Polonia



Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di
personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007

Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008
al 2010

Il presente progetto è finanziato con il
sostegno della Commissione europea.
L'autore è il solo responsabile di questa
pubblicazione (comunicazione) e la
Commissione declina ogni responsabilità
sull'uso che potrà essere fatto delle
informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente

Indice

Obiettivi di teleservizio e diagnosi	5
Sistemi di diagnosi	8
Manutenzione di sistemi di diagnosi	12
Tendenze nello sviluppo	16

1 Aims and tasks of remote diagnostics and servicing

Modern machine systems are highly automated. The control systems used in the automation perform their tasks on the basis of instructions (control decisions) generated in microprocessors, processors or computers. Control decisions are taken on the basis of signals from sensors located in executing mechatronic system components, supplying information about the condition of the latter and about the performance of the tasks. The information is used to infer about system operation and task (process) performance correctness and to evaluate the intensity of disturbances resulting in errors which need to be actively minimized and compensated. The control is conducted according to an algorithm which takes into account all the factors having a bearing on the functioning of the mechatronic system and on the performance of the processes. In many cases control functions are carried out intelligently using appropriate AI tools. The diagnosing of a single mechatronic system, whole machines and processes, the supervising of the operation of mechatronic systems and machines and their diagnosing for service purposes can be made intelligent.

Malfunctions of and damage to machines during their operation result in high costs of production delays, standstills and repairs for the users. Therefore it has become necessary to continuously monitor machines and processes, forecast disturbances, take measures preventing process quality deterioration and take necessary remedial actions based on the forecasts. Such monitoring is more and more often remote and decisions are taken remotely. Even service functions are performed remotely. In many cases it is necessary to monitor and service remotely since only the manufacturers of mechatronic modules and systems have the required knowledge to identify nonstandard disturbances and their effects and to take service decisions.

The task of remote diagnostics is to wirelessly transmit (for a short or considerable distance) diagnostic signals with the required informational content from the diagnosed object to a near or far receiver, a monitoring station or a monitoring centre. A proper inference system, an intelligent advisory system or an expert will assess the disturbances and will take appropriate service decisions, remotely generating forecasts, evaluating the deviations and identifying the degradation of the operating parameters with a required accuracy and probability. The diagnosing system's response are diagnostic inferences which are the basis for taking service decisions.

The tasks of a remote servicing system include:

- preventing excessive deterioration of mechatronic system (machine and equipment) operating parameters by reducing disturbances and compensating errors;
- predicting excessive errors and defects before they occur, whereby remedial action can be taken in a planned and prepared way to keep adverse economic consequences to minimum (intelligent action);
- optimum planning of service tasks for operating periods most convenient to the user.



A revolution in remote diagnostics was the development of wireless supply of sensors and wireless reception of their diagnostic signals, whereby the measuring systems could be miniaturized, measurements could be improved and the structure of objects could be penetrated by means of sensors to satisfy diagnostic needs.

The connection of sensors to communication networks has resulted in almost limitless possibilities of controlling the diagnosis process using not only single sensors but also groups of sensors. As a result, information from sensors can be used by control, diagnostic and forecasting systems. This is of great significance for the diagnosis of mechatronic system components and modules.

2 Idea, structure and operation of diagnostic system

Diagnostics of machines ensures their precise and reliable operation. The more complex a machine, its mechatronic system and the conducted technological processes are, the larger the number of various disturbances which need to be periodically or continuously monitored and the errors they cause reduced. The higher the precision required of machines (diagnosed objects), the greater the precision and reliability of identification (i.e. the greater the precision of the sensors, the processing of diagnostic signals and transmitting them to a monitor, a control system and a diagnostic or service centre) must be. Thus the design or choice of a proper diagnostic system, software and hardware requires extensive knowledge of machine building, the processes involved, the theory and practice of diagnosis and all diagnostic system components.

Diagnostic complexity and precision depends on the effect which the diagnosed parameters of machines have on the latter's work processes. Typical malfunction percentages for a selected machining centre are shown in table 1 and typical quantities to be monitored are presented in Fig. 1.

Malfunction location	Share [%]
Conveying and feeding objects	20.1
DNC system	18.2
Retooling mechanism	14.6
Tool length setting	14.1
Machine tool mechanical assemblies	12.1
Tool damage	6.8
Workpiece clamping	2.6
Fine-tuning control	1.7
Feeding coolant	1.7
Clamping palettes	1.1
NC system	0.9
Problems with chips	0.9
Hydraulics	0.9
Other malfunctions	4.3

Table 1: Malfunction percentages for machining centres

Full diagnostics of such a complex object as an operating machine tool is very difficult and costly. Sensors for continuous or periodic monitoring must be permanently installed within the machine tool structure, which is highly expensive. The sensors are connected by wires and sometimes wirelessly (using proper communication standard) to signal processing circuits. The signals must be explicit, i.e. they should precisely inform about any changes in the monitored quantities and should not be subject to any interference during their transmission to processing circuits. The processed signal is then used in inference which, in a simple case, consists in evaluating the measured quantity against the value proper for the monitored parameter. The result of inference is the basis for the formulation of diagnostic conclusions. For complex phenomena and object behaviours many diagnostic signals must be simultaneously evaluated. Such an inference process can be highly complex and require very complex procedures and algorithms and sometimes artificial intelligence tools: fuzzy logic, artificial neural networks and expert systems.

Also the efficiency of the communication system, especially when the diagnosed quantities are critical for system operation reliability (require a quick response), is important. The further away from the signal source the sensor is, the greater the danger that the monitoring system sensitivity may be not high enough and the response time too long. In such cases it may become necessary to employ measurement amplifiers integrated with the sensors, digital filters and proper signal processing. In this way one can greatly increase the measurement resolution.

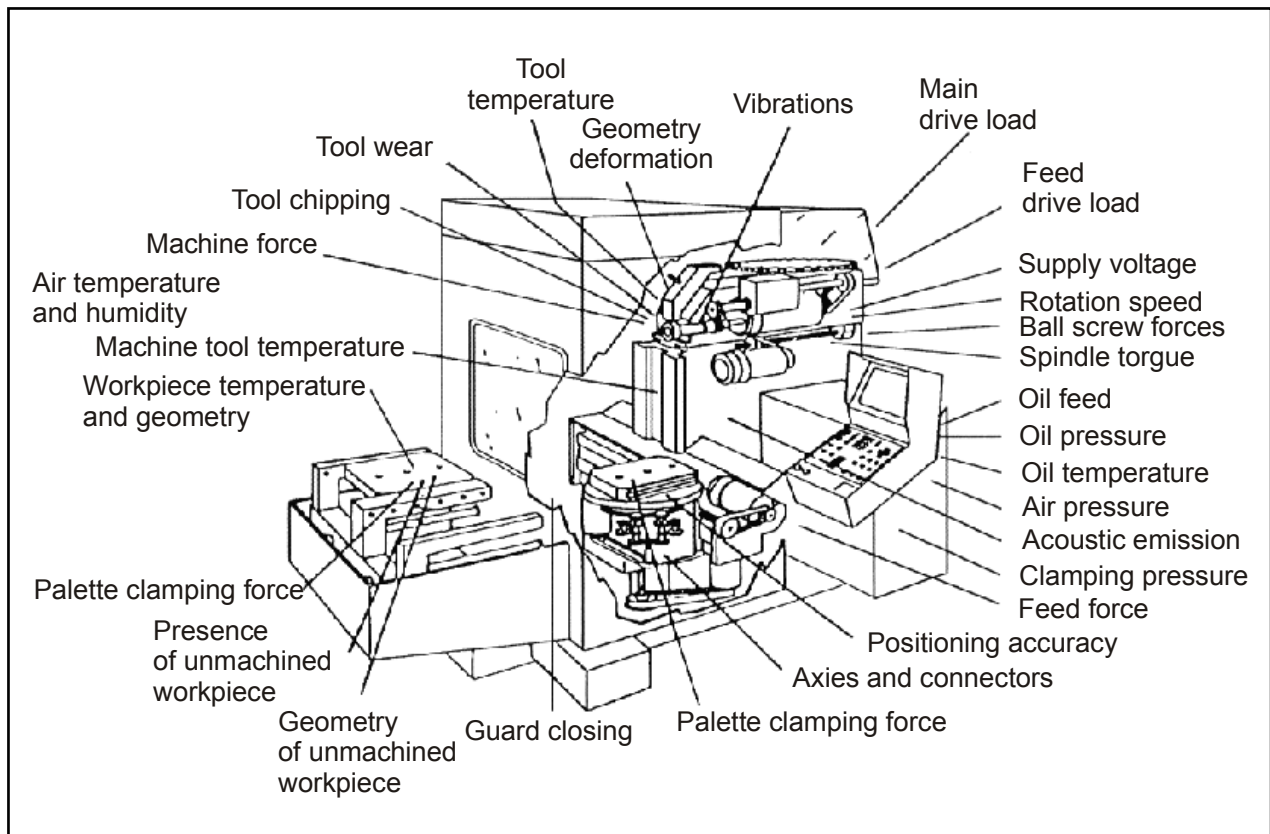


Fig.1: Typical machining centre quantities requiring monitoring

The input data for object diagnostics are:

- diagnostic signal properties and acquisition points (sensor locations, the rate of changes and availability for service),
- the boundary values of controlled quantities,
- dependencies between the generated signal and the disturbances in the performance of an object or a process,
- sensors and measuring instruments (sensitivity, complexity, adaptability, numerousness, cost, the degree of automation),
- the form of acquired information,
- the methods of processing signals,
- verification methods,
- the method of communicating with receivers,
- the strategy of diagnosis,
- inference methods.

In order to reduce the number of sensors and the complexity of the signal processing system one should use such sensors which can supply much information about the behaviour of an object.

Measurement paths can be much simplified and diagnostic information more easily acquired if intelligent converters are used. The structure of an intelligent force converter is shown in Fig. 2. These are usually small-sized units made as MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) microstructures, which include a sensor with a matching digital amplifier and a microprocessor with stored knowledge for intelligent signal processing.

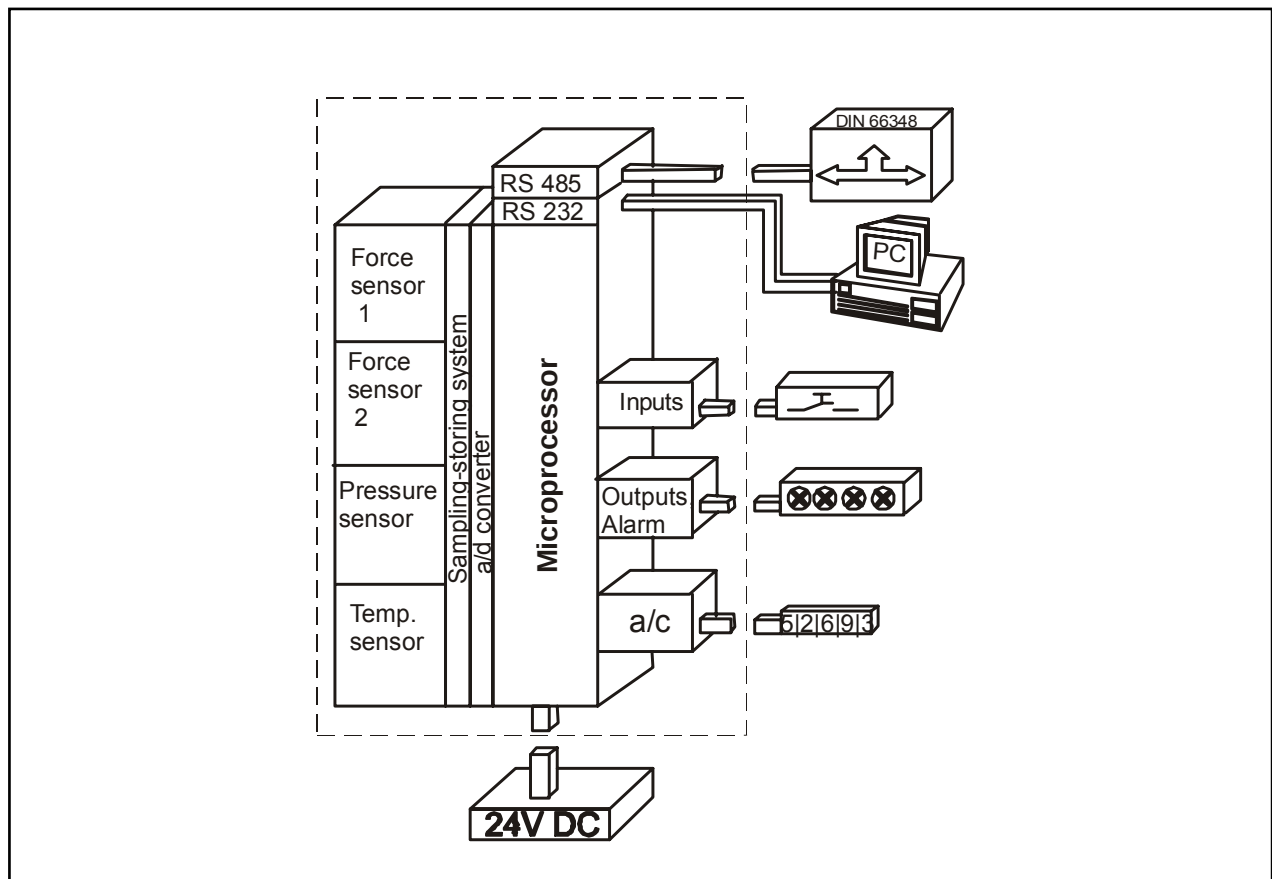


Fig. 2: Structure of intelligent force converter



The criteria for designing diagnostics are:

- diagnostic signal sensitivity to changes in machine/process performance and information capacity,
- the degree of machine/process degradation,
- the level of service personnel qualifications,
- reliability,
- operating costs.

A typical unit for diagnosing mechanical objects consists of the following assemblies and components:

1. A measuring system (sensors, matching systems – responsible for energy and information matching of signals, diagnostic sockets for retrieving information from the object).
2. Instrumentation amplifiers, a/d converters, channel selectors, I/O ports and other.
3. A digital signal processor (used for calculating diagnostic symptoms).
4. A decision system (incorporating logic converters, voltage level translators, digital comparators and other).
5. An information display system which decodes information and presents it in the form most convenient for the user (monitor, printer, analogue indicators, digital indicators and other).
6. An information storage system (memory: RAM, RAM-DISK, VDISK).
7. Software (operating system, signal processing and analysis, state diagnosis and prediction, functions performed by the diagnostic unit, communication between system layers, system operation management).

A block diagram of the diagnostic unit is shown in Fig. 3.

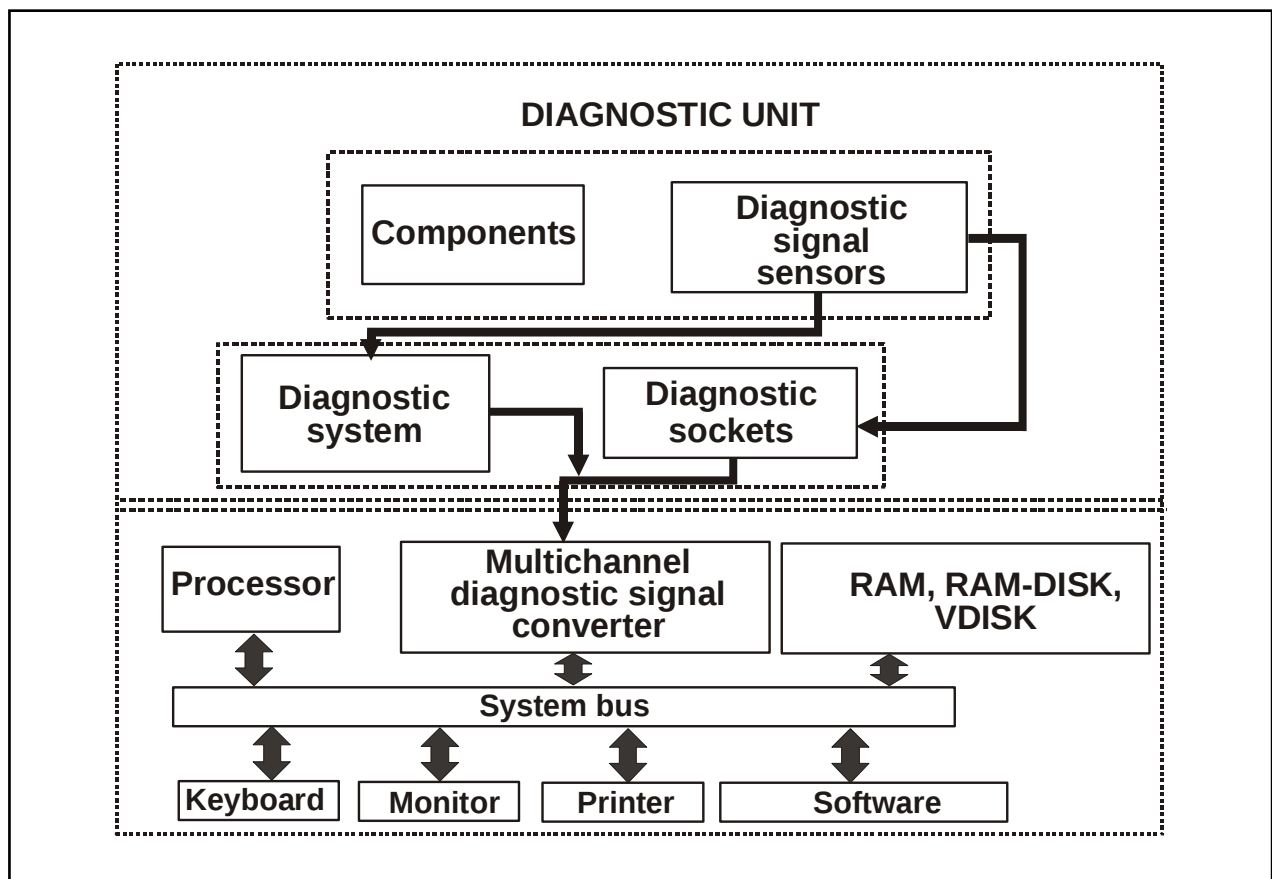


Fig. 3: Block diagram of microprocessor diagnostic unit



3 Idea, components and operation of service diagnosing system

As opposed to the general diagnosing of the operation of an object and the work processes the latter carries out, which informs the user if the disturbances are within permissible limits and if sufficient product accuracy is being achieved, the purpose of service diagnostics is periodic error correction and planned recovery of the correct operating parameters. Service diagnostics consists in tracking the degree of object (machine) degradation in order to apply error correction and compensation or carry out a planned and well prepared repairs during a short standstill at a time convenient for the user. Thus the purpose of service diagnostics is to restore the machine's operating parameters guaranteeing the desired process (product) accuracy.

In order to forecast the degradation of machine components one must probe deeper into the wear processes and the mechanism of change of operating parameter values (symptoms of progressing damage) than in general diagnostics. This means that in service diagnostics one must apply extensive up-to-date knowledge about the design and operation of the machine, its precision, disturbances in the precision, error correction and compensation methods and repair techniques and technologies.

Service diagnostics capabilities should be generally taken into account already at the machine design stage. This applies particularly to the location in the machine of (intelligent) sensors and components enabling their communication with the user's or manufacturer's diagnostic-servicing centre. Also at this stage simulations of the dependencies between diagnostic signals and defects should be carried out, which will facilitate forecasting service activities and determining the needs relating to the structure of the measuring systems.

The application of knowledge in this kind of diagnostics involves modelling machine behaviour in the operating conditions, modelling errors in the form of simplified functions suitable for periodic supervision and compensation, limited forecasting and modelling permissible deterioration in machine performance and possible types of damage.

These are highly complex activities and require adequate computer hardware and software and highly qualified designers. In many cases one can use dedicated commercial software and diagnostic modules.

A typical graph of machine/technological device operating parameter degradation, with the admissible value and the boundary value of the measured signal (diagnostic symptom) marked (indicating whether the machine is or is not functional), is shown in Fig. 4. If the symptom exceeds admissible value U_a , this means that the diagnosed device is no longer fully functional but it can be operated for a certain time, i.e. it is still capable of performing its functions. If the symptom exceeds boundary value U_g (which marks the ultimate date for doing repairs), this means that it is no longer fit for use. Serviceability and unserviceability areas can overlap to some extent. In the overlapped area the device is not fully functional but still serviceable (Fig.5).

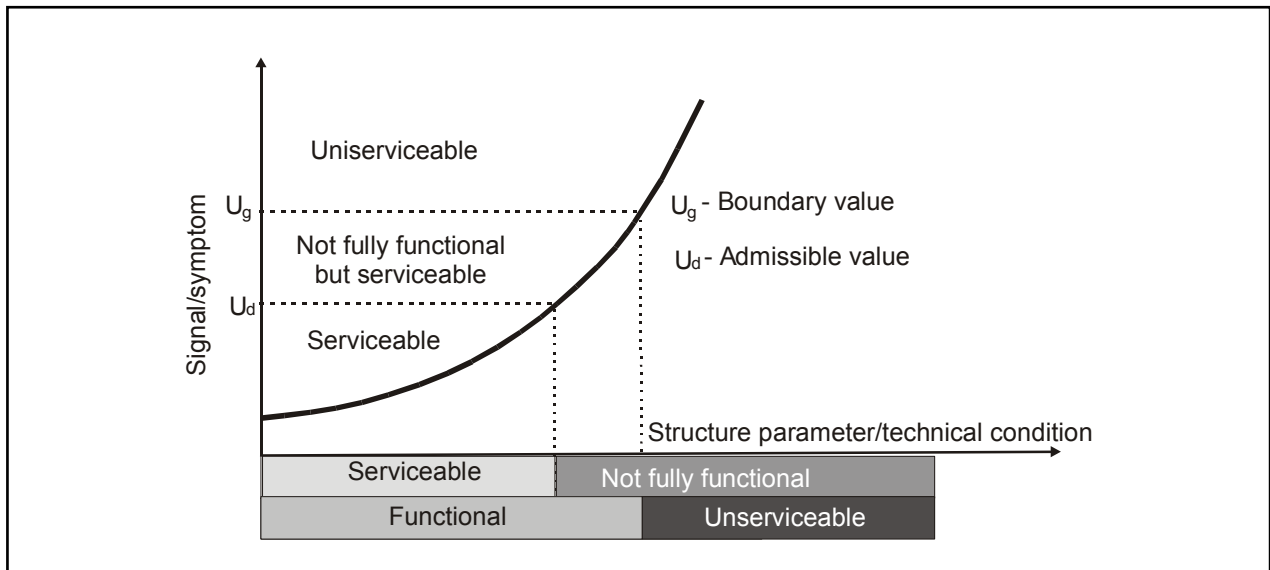


Fig.4: Classification of technical condition of machines and devices

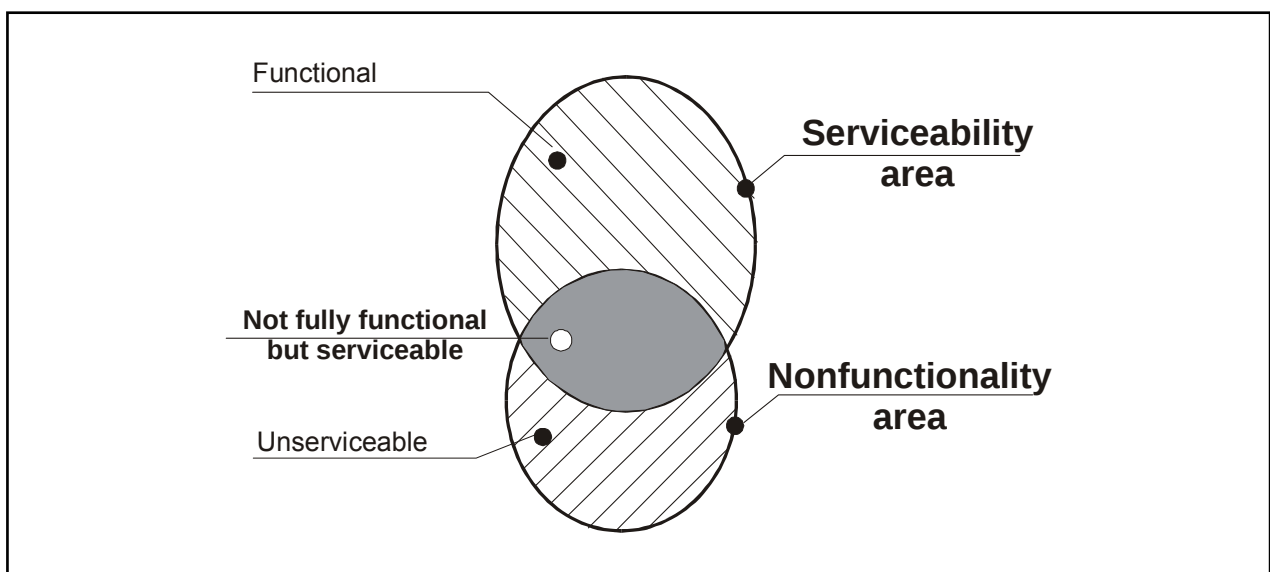


Fig. 5: Areas of technical condition of machines and devices



The range in which in technical object operation is aided with knowledge processing and diagnostics is shown in Fig. 6. The range covers a very wide spectrum of analyses and the use of AI tools.

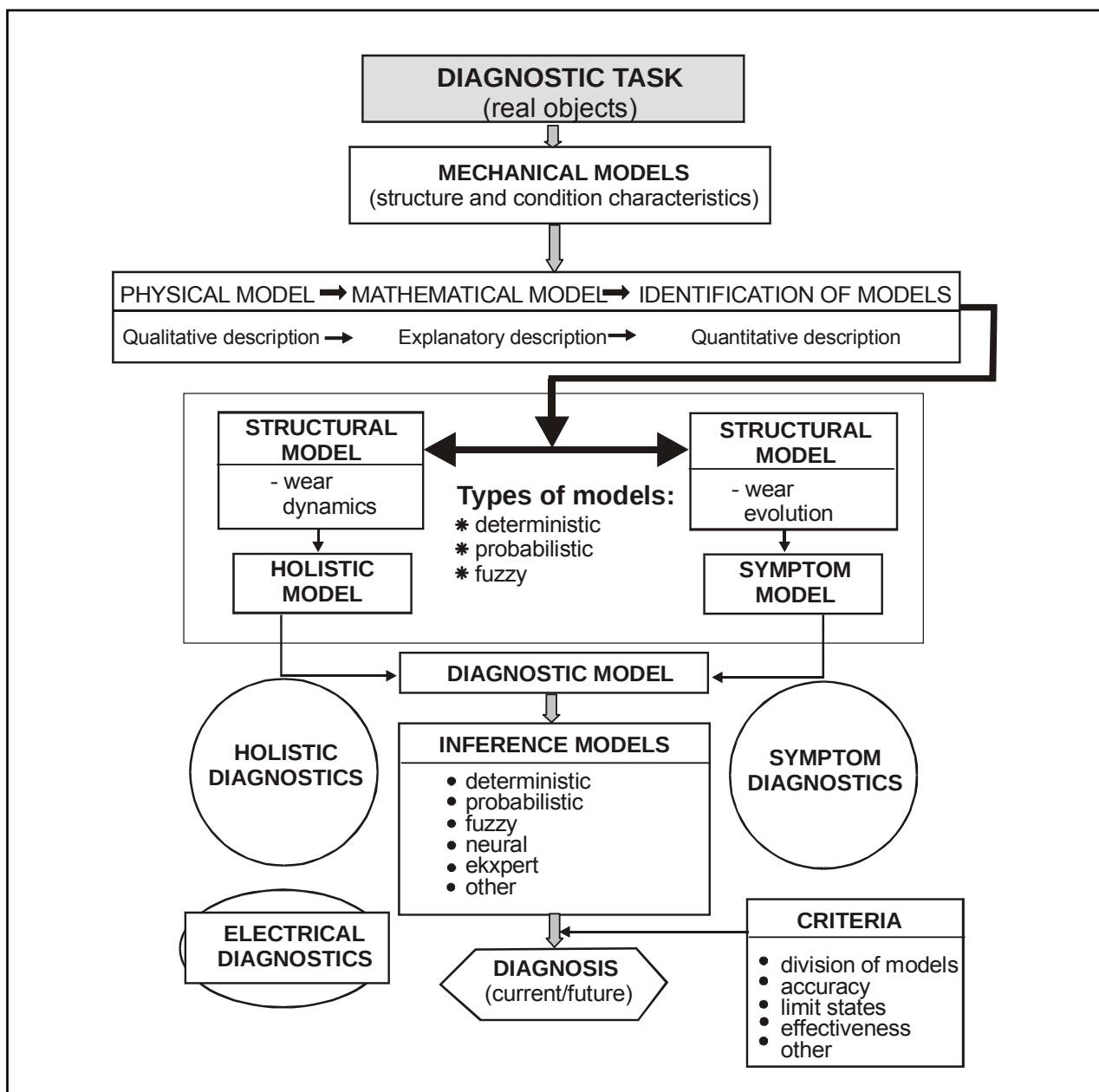


Fig. 6: Object diagnostic modelling capabilities

The way in which relationships between a symptom and a defect are sought (which is the aim of service diagnostics) is shown in Fig. 7. This requires highly complex operations on models: model reversing, complicated testing of models' sensitivity to defects, training data generation, creating adaptational models and building diagnostic relations.

Thanks to the use of such simulation techniques of acquiring symptom-defect relations the operators of the device being diagnosed are able to view on the monitor not only information about the occurrence of a failure but also defect identification data.

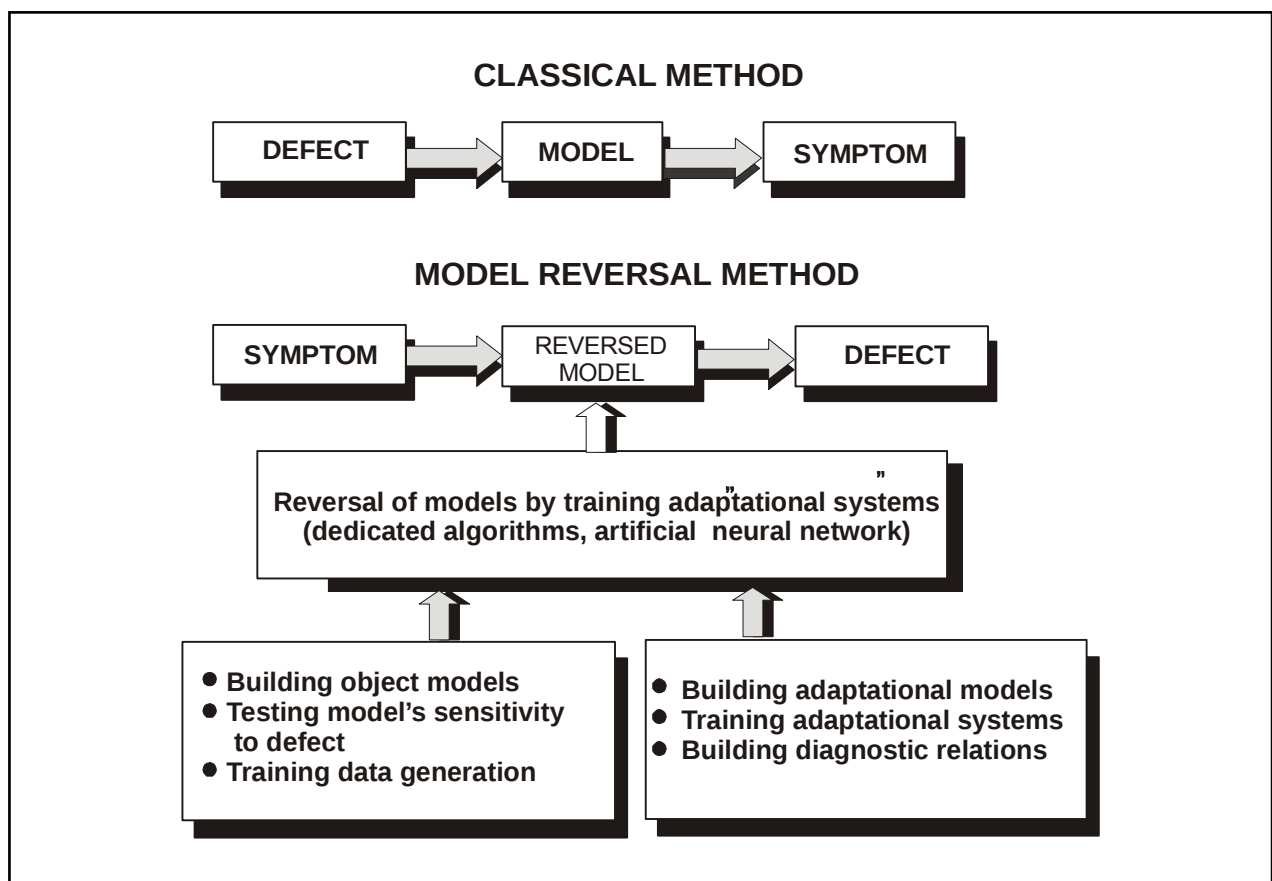


Fig.7: Simulation techniques of acquiring diagnostic relations: classical and based on object model reversal methodology



4 Developmental trends

Remote diagnostics and servicing have strong economic reasons since they contribute to longer product life. Therefore attempts to increase product life span will translate into the development of diagnostics and supervision. In addition, as the globalization of manufacturing increases so does its dispersion whereby it becomes necessary to employ remote diagnostics and servicing in order to significantly increase the reliability of mechatronic systems, technological processes and the manufactured products. This means that diagnostic system modularity will continue to be developed and an ever larger number of diagnostic functions will be carried out by intelligent sensors. This will naturally be accompanied by the miniaturization of measuring systems and their integration with the processes responsible for signal processing and diagnostic inference. Also reliable technologies for remotely supplying the systems with power and transmitting the information generated in them to a higher decision level – to diagnostic-servicing centres – will continue to be developed. New, more advanced communication standards and decision algorithms aided with AI tools will be used for this purpose.

The development of remote diagnosing and servicing of machine systems tends towards full coverage of the latter and towards total supervision and servicing based on forecasts.