

Guida all'uso delle elettrovalvole negli impianti (seconda parte)

Pubblicato il: 24/11/2004
Aggiornato al: 24/11/2004

di **Massimo Barezzi**

Le **bobine** o **solenoidi** rappresentano, nelle elettrovalvole, quei componenti che consentono di **interfacciare la valvola pneumatica al circuito elettrico di comando**.

Inoltre, devono essere realizzate con **connessioni elettriche di tipo rapido** e standardizzate al fine di **garantire l'intercambiabilità** tra diversi costruttori **in caso di sostituzione** della bobina.

1. Introduzione

Le **bobine** o **solenoidi** rappresentano, nelle elettrovalvole, quei componenti che consentono di **interfacciare la valvola pneumatica al circuito elettrico di comando**; esse devono perciò garantire le seguenti importanti condizioni di impiego:

- una **elevata forza di attrazione** anche con ridotti ingombri e basse potenze elettriche di alimentazione;
- un **funzionamento silenzioso**, in particolare quando la bobina è alimentata in corrente continua;
- un **alto grado di insensibilità alle vibrazioni**, spesso presenti sulle macchine e negli impianti industriali;
- la **capacità di sopportare un'elevata frequenza di manovra a vuoto**, senza superare le temperature massime previste dagli isolanti (classe di isolamento);
- la **possibilità di installazione in qualsiasi posizione**;
- un **elevato grado di protezione dall'acqua** e dai corpi estranei (grado di protezione IP);
- il **funzionamento anche in caso di servizio continuo** (ED 100%).

Inoltre, devono essere realizzate con **connessioni elettriche di tipo rapido** e standardizzate al fine di garantire **l'intercambiabilità** tra diversi costruttori **in caso di sostituzione della bobina**. L'isolamento delle bobine deve poter garantire il normale funzionamento con una temperatura ambiente variabile da -40 °C a +80÷85 °C anche in presenza di un'elevata umidità atmosferica, di stillicidio e di vapore. Al fine di garantire queste prestazioni, l'**avvolgimento** viene realizzato con **filo di rame trafilato e ricotto, smaltato** con apposite **resine isolanti**, mentre l'intera bobina è annegata in un bagno di resine (per esempio, di tipo epossidico) che va a costituire l'involucro isolante protettivo e che ne consente il fissaggio sull'elettrovalvola. Dal blocco sporgono le connessioni elettriche a cui fanno capo l'avvolgimento e la connessione con il circuito di terra collegato alla struttura metallica che supporta l'avvolgimento. I costruttori di bobine per elettrovalvole pneumatiche o oleoidrauliche offrono una vasta gamma di prodotti che sono in grado di coprire tutte le esigenze di potenza, rapidità di intervento e dimensionali.

Figura 19 c - Caratteristiche elettriche delle bobine per elettrovalvole: tensione nominale di alimentazione U_N , tipo di corrente AC/DC, potenza assorbita (Camozzi)

U_N [V]	Tipo di corrente	Potenza [VA]	U_N [V]	Tipo di corrente	Potenza [W]
24	AC 50/60 Hz	3,5	12	DC	3
110	AC 50/60 Hz	3,5	48	DC	3
220	AC 50/60 Hz	3,5	110	DC	3
48	AC 50/60 Hz	3,5	24	DC	3

Per quanto riguarda il funzionamento, è opportuno fare alcune considerazioni. Se l'elettromagnete viene alimentato alla tensione nominale U_N , l'avvolgimento è percorso da una corrente nominale I_N . Quest'ultima dipende dall'impedenza Z che, a sua volta, è legata alla resistenza R del filo e all'induttanza L dell'avvolgimento.

Quando l'avvolgimento è percorso dalla corrente, esso si riscalda a causa dell'effetto Joule ($P = R \cdot I^2$); il riscaldamento, inoltre, è in funzione del tempo t durante il quale la bobina viene alimentata. La forza F di attrazione è

legata all'intensità di corrente I_N che attraversa l'avvolgimento e al numero N di spire che caratterizza la bobina; tale forza varia in funzione della distanza che esiste tra il nucleo mobile e quello fisso.

Esaminiamo ora le differenze che esistono tra le **bobine** alimentate in **corrente continua** (DC) e quelle alimentate in **corrente alternata** (AC).

Gli elettromagneti alimentati in corrente continua sono caratterizzati da un circuito magnetico ad alto rendimento e meccanicamente semplice e robusto.

Durante il loro funzionamento, il calore prodotto dipende solamente dalla corrente I_N che, a parità di tensione nominale di alimentazione U_N , è legata alla resistenza R dell'avvolgimento ($I_N = U_N/R$); la quantità di calore sviluppata non dipende perciò dalla posizione del nucleo mobile, né dalla frequenza delle manovre e neppure dalla corsa che compie il nucleo mobile.

Gli elettromagneti alimentati in corrente continua vengono perciò utilizzati quando sono necessarie **elevate cadenze** ed **elevate corse**.

Il valore della corrente continua che attraversa la bobina non è influenzata dal valore dell'induttanza L che in particolare dipende dalla posizione del nucleo mobile; non c'è quindi pericolo che l'avvolgimento si danneggi se, per esempio, il pistoncino che determina le funzioni nella parte pneumatica dell'elettrovalvola si dovesse incollare o inceppare.

Vale la pena notare che, quando gli elettromagneti vengono alimentati, non si ha un istantaneo spostamento del nucleo mobile: questo avviene in tempi dell'ordine del decimo o del centesimo di secondo, in quanto il campo magnetico, generato dalla corrente I , assume il valore massimo dopo un certo tempo. Con le bobine in corrente continua, la corrente I assume nel tempo valori via via crescenti e tali valori sono calcolabili con la seguente equazione:

$$I(t) = \frac{U_N}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

che tende, all'aumentare del tempo t , alla seguente relazione:

$$I_N = \frac{U_N}{R}$$

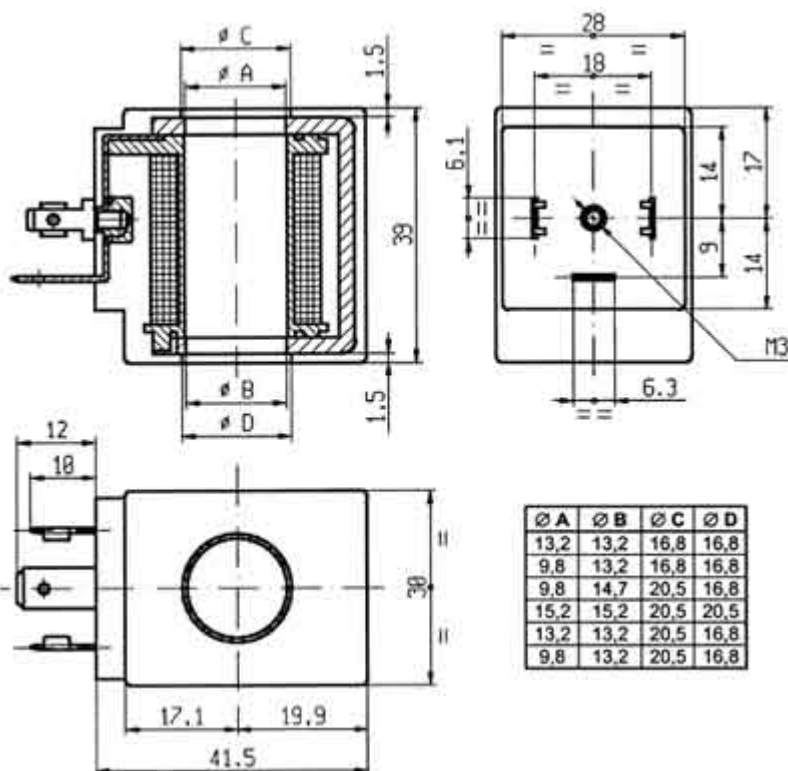


Fig.19a: Esempio di bobina per elettrovalvole; le dimensioni variano in funzione del modello (SIRAI)

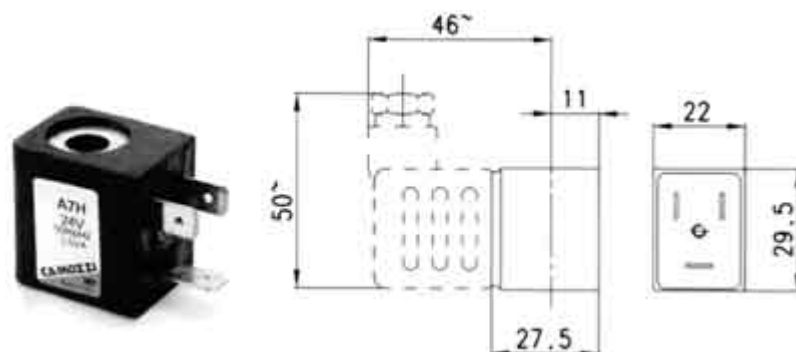


Fig.19b: Bobina per elettrovalvole ad azionamento diretto o indiretto tipo A7H 24 V, 50/60 Hz, 3,5 VA

Al fine di diminuire il tempo di eccitazione, si può alimentare la bobina con una tensione U , maggiore di nominale U_N avendo cura di inserire in serie alla bobina una resistenza addizionale R_a con lo scopo di rendere piccola la costante di tempo L/R .

Nelle bobine alimentate in corrente alternata si genera un campo magnetico alternato di direzione costante che attira il nucleo mobile all'interno del solenoide. La presenza di un campo magnetico alternato determina un riscaldamento del nucleo a causa delle perdite per isteresi e correnti parassite.

Le **perdite per isteresi**, di natura magnetica, sono dovute ad un fenomeno di attrito a livello molecolare, che è possibile assimilare a dei magnetini elementari che sono costretti ad orientarsi alternativamente in relazione al campo magnetico; queste perdite sono normalmente di modesta entità grazie alle proprietà magnetiche dei materiali con cui vengono realizzati i nuclei (permeabilità magnetica).

Le **perdite per correnti parassite**, altrimenti dette di *Foucault*, sono invece di natura elettrica e nascono a causa dell'effetto Joule provocato dalle correnti indotte nelle masse metalliche attraversate da un campo magnetico alternato.

Perdite di questo tipo, che possono essere anche di valore elevato, vengono ridotte normalmente aumentando la resistenza elettrica dei circuiti magnetici (per esempio, realizzando i nuclei con lamierini isolati tra di loro e serrati in modo da formare un pacco). La soluzione citata precedentemente porta alla costruzione di nuclei aventi una sezione rettangolare e, quindi, con un minore rendimento magnetico; inoltre, il circuito magnetico risulta meccanicamente più debole e di più complessa realizzazione.

Le bobine alimentate in corrente alternata sono caratterizzate da un'elevata **corrente di spunto** con il vantaggio di avere dei ridotti tempi di intervento. In definitiva, si ottiene un'elettrovalvola più veloce, ma proprio a causa dei valori elevati di corrente che si possono

raggiungere, queste bobine vengono utilizzate con basse cadenze e corse brevi. Contrariamente alle bobine alimentate in corrente continua, se avviene un inceppamento del meccanismo pneumatico azionato dal nucleo mobile, si ha un rapido riscaldamento della bobina che può, in breve tempo, portare al danneggiamento degli isolanti. Queste bobine, inoltre, si riscaldano a causa della corrente che le attraversa. Il valore della corrente dipende dalla lunghezza della corsa e dalla resistenza R dell'avvolgimento. Se non vengono effettuate elevate cadenze, è possibile calcolare il riscaldamento con la seguente relazione: $Q = R \cdot I^2 \cdot t$, dove R è la resistenza della bobina, I la corrente che la attraversa e t il tempo di inserzione.

In definitiva, le bobine alimentate in corrente alternata presentano le seguenti caratteristiche:

1. l'alimentazione della bobina determina una forte corrente di spunto che diminuisce via via che il nucleo mobile si muove fino a quando il circuito

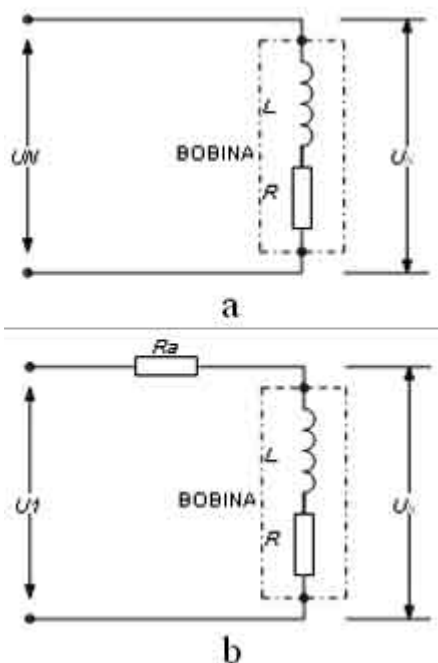


Fig.20:a) Circuito di alimentazione di una bobina per elettrovalvola - b) Circuito per l'eccitazione rapida di bobine per elettrovalvole

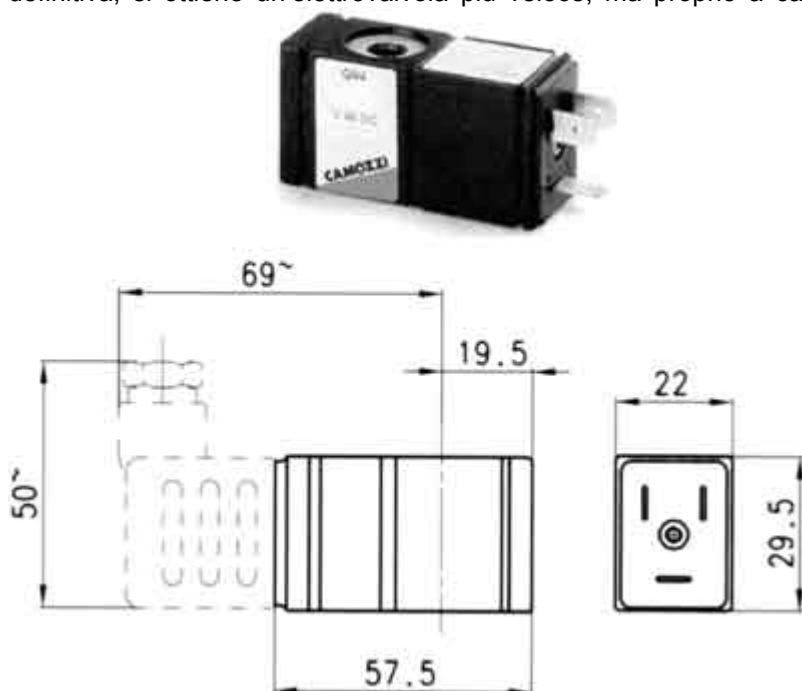


Fig.21a:Esempio di bobina con memoria magnetica funzionante con comando ad impulso

1. magnetico si è chiuso;
2. nella bobina si sviluppa una quantità di calore Q che è proporzionale al quadrato della corrente I che la percorre;
3. quando la bobina è alimentata, in essa si sviluppa del calore che deve essere dissipato, pena il danneggiamento degli isolanti.

Il terzo punto indicato precedentemente determina che:

1. se al nucleo mobile è impedito di compiere completamente la sua corsa e di chiudere il circuito magnetico, la corrente assorbita mantiene gli elevati valori della corrente di spunto, danneggiando così l'isolante in pochi minuti;
2. se la bobina viene eccitata e diseccitata con una frequenza superiore a 2÷3 inserzioni al secondo, essa non riesce a dissipare il calore prodotto dall'alta corrente di spunto, danneggiando l'isolante;
3. se una bobina prevista per funzionare a 60 Hz viene alimentata alla stessa tensione nominale, ma avente una frequenza di 50 Hz, si può verificare un surriscaldamento eccessivo dell'avvolgimento, entrambe le bobine si danneggiano rapidamente se vengono alimentate per errore in corrente continua;
4. un valore eccessivo di corrente si può manifestare anche se la bobina viene alimentata con una tensione molto superiore a quella nominale.

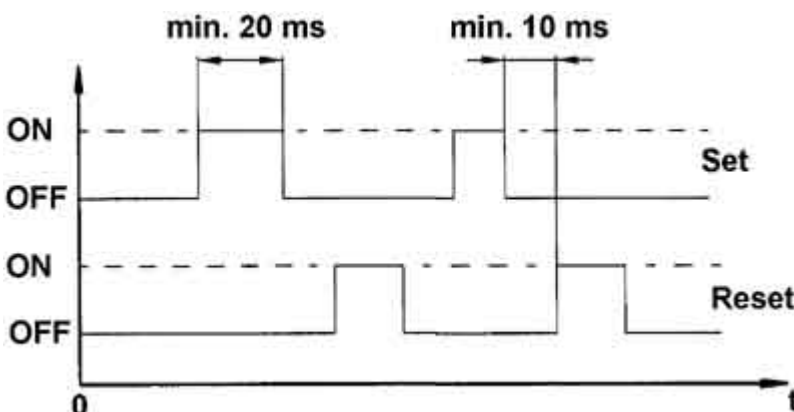


Fig.21b: Sequenza di comando di una bobina con memoria e relativi tempi di set e reset

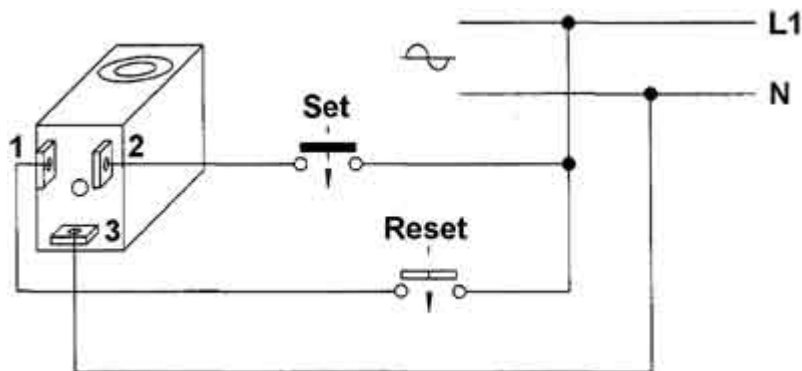


Fig.21c: Funzionamento con l'alimentazione in corrente alternata

Le bobine per elettrovalvole vengono costruite per tensioni di funzionamento di 24, 48, 110 e 220 V in AC, con una tolleranza di +10%÷15%, e di 12, 24, 48 e 110 V in DC, con una tolleranza di ±10%, con potenze che variano da 3,5 a 5 VA in AC e da 2 a 4 W in DC. Le bobine funzionano normalmente per un servizio di tipo continuo ED 100%, che è inteso come il tempo d'inserzione massimo tollerato dalle bobine. Se con la sigla ED 100% si indica il funzionamento in servizio continuo, con una percentuale minore si intende, invece, un servizio discontinuo, cioè intervallato da tempi attivi e tempi di riposo. Si ottiene così che:

$$ED = \frac{T_i}{T_i + T_r} \cdot 100$$

dove:

T_i = tempo di inserzione

T_r = tempo a riposo

Per esempio, se $T_i = 10'$ e $T_r = 10'$ si ottiene che

$$ED = \frac{10'}{10' + 10'} \cdot 100$$

e quindi $ED = 50\%$.

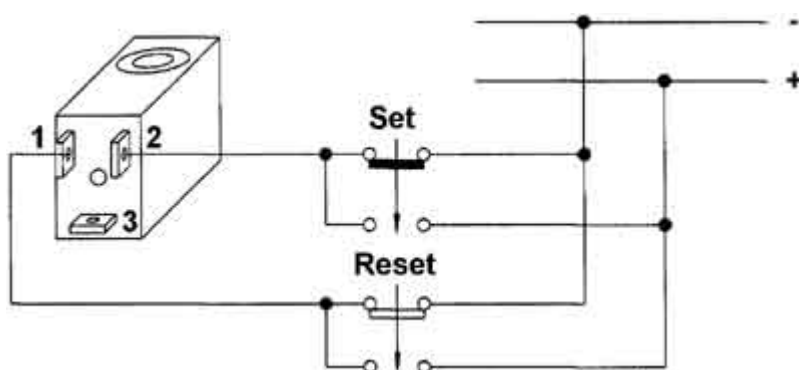


Fig.21d: Funzionamento con l'alimentazione in corrente continua

Nei **comandi elettromeccanici tradizionali**, o con **PLC di vecchia generazione**, le bobine per le elettrovalvole funzionano generalmente in corrente alternata, mentre con i sistemi attuali (per esempio quelli che utilizzano i bus di campo) la scelta è quasi sempre rivolta verso quelle a corrente continua. Il dimensionamento dell'impianto elettrico (sezione dei conduttori e potenza del trasformatore/alimentatore di alimentazione) dovrà essere conforme al numero massimo delle bobine agenti contemporaneamente; inoltre, in

relazione al fatto che le elettrovalvole alimentate in corrente continua non assorbono elevati spunti di corrente, è possibile una certa economia nel dimensionamento dei circuiti di controllo rispetto a quelli in corrente alternata (in particolare se si utilizzano PLC). Con elettrovalvole alimentate in corrente alternata, un **insufficiente dimensionamento del circuito di alimentazione** può determinarne un **funzionamento instabile**, che può causare seri danni agli isolanti (bruciatura degli avvolgimenti).

Sono disponibili in commercio bobine che possono trasformare un'elettrovalvola monostabile in bistabile; tali bobine prevedono un funzionamento ad impulso. Nella fig. 21 viene mostrata una bobina di questo tipo: se alimentata attraverso il morsetto 2, si ottiene il set dell'elettrovalvola, se invece si alimenta il morsetto 1 si attua il reset. Il principio di funzionamento è basato sull'uso di particolari sistemi magnetici che necessitano, per il funzionamento, solamente di un impulso elettrico e non di una corrente che circola permanentemente. Questo tipo di bobine presentano i seguenti vantaggi:

- il **consumo del solenoide è particolarmente limitato**, in quanto il comando di apertura e chiusura è ottenuto con un impulso della durata di circa 20 ms. La valvola resta costantemente nella posizione comandata, senza alcuna alimentazione, sino a che non si invia l'impulso inverso che ne commuta la posizione;
- la **valvola rimane nella posizione comandata** (aperta o chiusa) anche se viene a mancare l'alimentazione elettrica all'impianto in cui è inserita e, quindi, può essere utilizzata come memoria di posizione;
- qualora sia necessario impiegare valvole normalmente aperte, non occorre utilizzare valvole con la parte meccanica invertita in quanto una valvola normalmente chiusa diviene normalmente aperta invertendo la sequenza dell'impulso di comando;
- queste bobine trovano applicazione dove si devono intercettare fluidi ad alta temperatura, dove esistono problemi con temperature ambiente elevate e nei comandi con PLC o microprocessori;
- la **bobina non ha punte di surriscaldamento**;
- l'**impulso minimo richiesto** per la manovra deve avere, come è stato precisato precedentemente, una durata minima di 20 ms; se per ragioni circuitali l'impulso deve durare per un tempo molto lungo, non vi sono pericoli di riscaldamento in quanto il solenoide è progettato per funzionare anche per il servizio continuo (ED 100%).

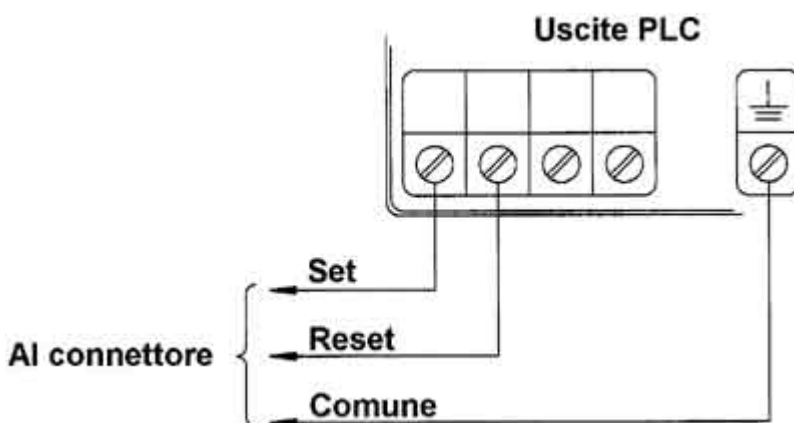


Fig.21e: Interfaccia per il comando di queste bobine mediante PLC e in corrente continua

Possono funzionare sia in corrente alternata sia in corrente continua; eventualmente può essere necessaria un'interfaccia se il comando avviene mediante PLC. Nella fig. 21 sono riportati i possibili schemi di comando. Queste bobine funzionano con tensioni comprese tra 12 e 48 V, sia in AC sia in DC, con una tolleranza del $\pm 10\%$ e correnti assorbite, variabili a seconda della tensione di alimentazione, comprese all'incirca tra 60÷300 mA per l'impulso di set e tra 150 mA per l'impulso di reset.÷10

2. Connettori

Per effettuare il collegamento delle elettrovalvole vengono normalmente utilizzati dei **connettori** che consentono un **rapido e sicuro collegamento elettrico ai contatti delle bobine**; i connettori vengono fissati generalmente mediante una vite.

Questi connettori possono venire utilizzati per i collegamenti elettrici in diverse applicazioni; la più comune riguarda la connessione con dispositivi elettromagnetici, idraulici e pneumatici come, per esempio, le elettrovalvole. Possono inoltre essere impiegati come presa-spina su pressostati, sensori di tutti i tipi, motori e moto-riduttori di bassa potenza ed in molti altri impieghi industriali dove è necessaria una connessione veloce e sicura.

In commercio sono disponibili connettori con circuiti di segnalazione incorporati che segnalano la **presenza della tensione di alimentazione** (mediante lampada o diodo LED) e **dispositivi di protezione contro le sovratensioni** ed

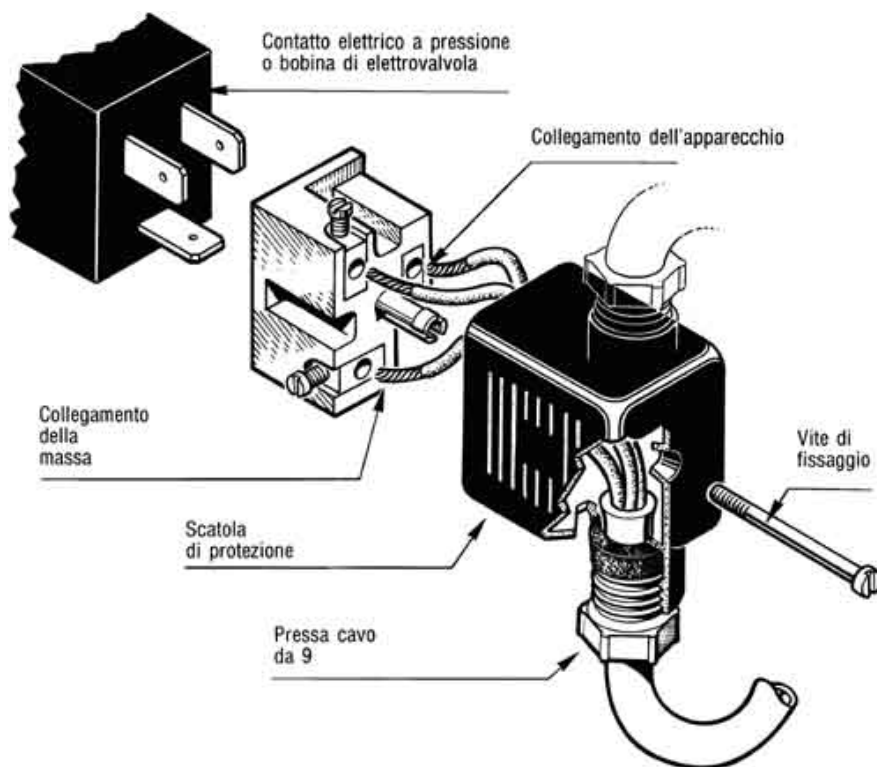


Fig.22a: Collegamento tra una bobina e il connettore. Il connettore ha due morsetti di collegamento ed una presa di terra

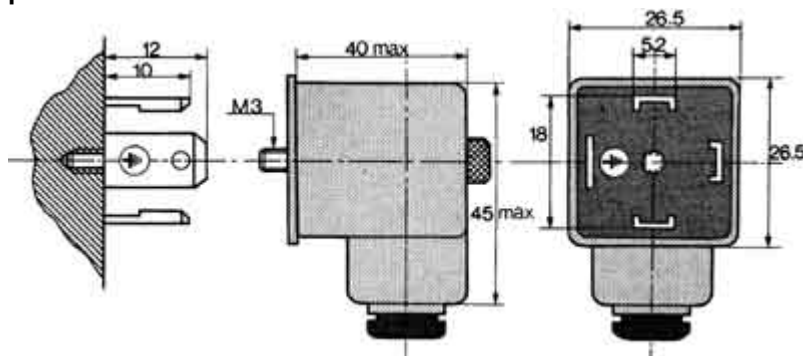


Fig.22b: Esempio di connettore, secondo la norma DIN 43650, in uso per i componenti oleodinamici e pneumatici a comando elettrico

i disturbi elettrici che normalmente impiegano gruppi RC, **varistori** (VDR), **diodi** o **transil** (con o senza segnalazione). Sono inoltre disponibili connettori con **circuito raddrizzatore a ponte** e con **circuito a LED bicolore**. Questi ultimi vengono impiegati sia per indicare la posizione di un contatto, per esempio di un pressostato, sia per indicare l'eventuale interruzione del carico (bobina interrotta).

Questi connettori prevedono normalmente un **grado di protezione**, secondo le **norme CEI ed europee EN 60529, IP65** e, su richiesta **IP67**, qualora vengano correttamente installati con le relative viti di fissaggio e guarnizioni di tenuta che, normalmente, completano ogni imballo.

In genere sono caratterizzati dall'unione tra il porta contatti e la protezione esterna a scatto, in modo da garantire sia un bloccaggio sicuro sia un montaggio veloce ed economico. La **sicurezza del bloccaggio** è essenziale per garantire una completa protezione dell'operatore durante la manipolazione del connettore. Il porta contatti può poi facilmente

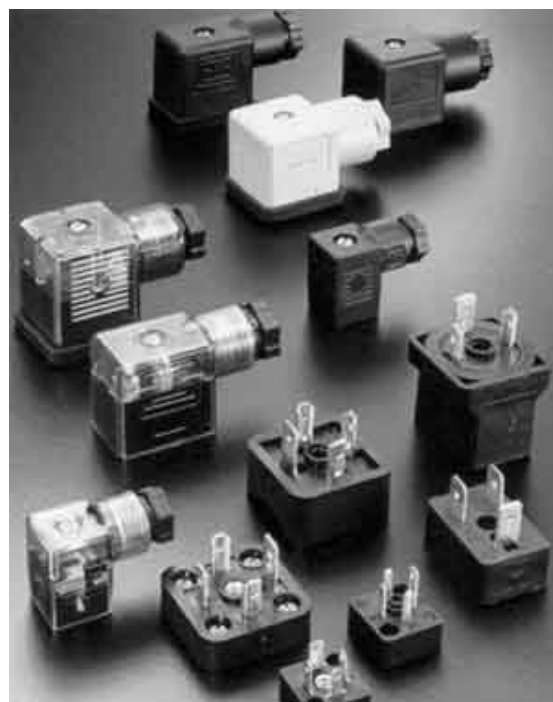


Fig.23a: Connettori a norma DIN 43650 forma A, B, C e industrial standard A e C, da cablare, con o senza circuito antidisturbo e indicatore LED di segnalazione

essere estratto dalla custodia esterna mediante un cacciavite; tale operazione permette, inoltre, un libero orientamento del contatto di terra/massa secondo le necessità.

I connettori per le elettrovalvole, che vengono realizzati in varie forme (mostrate nella fig. 24a-e), sono costruiti in modo da poter funzionare con una tensione massima di 250 V AC e 300 V DC; hanno una portata nominale dei contatti di 10 A e una portata massima di 16 A.



Fig.23b: Connettori a norme DIN 43650/A, B, industrial standard B, DIN 43650/C costampati con cavo in PVC, PUR o altri tipi di cavo speciale, con o senza circuito antidisturbo e indicatore LED

per installare sensori, interruttori fotoelettrici ed elettrovalvole.

Essendo molto leggeri e compatti, consentono di ridurre sensibilmente i tempi di montaggio, i rischi di errore di connessione (una tacca di riferimento impedisce un inserimento errato) e i costi finali di assemblaggio delle macchine. I sistemi anti-vibrazione, di cui sono dotate le ghiera di fissaggio in plastica o in acciaio inox, ne favoriscono l'uso in ambienti gravosi o particolarmente corrosivi, pur garantendo un grado di protezione IP67 o IP68. Come mostrato nella fig. 26, questi connettori sono disponibili sul

Nella fig. 24f viene mostrato un grafico che riporta la **dipendenza della portata dei contatti** in funzione della temperatura ambiente (maggiore è la temperatura, minore è la portata dei contatti). Sono normalmente dotati di morsetti in grado di consentire il collegamento con conduttori aventi una sezione massima di $1,5 \text{ mm}^2$, con un diametro esterno del cavo che può variare a seconda dei modelli da $6+8 \text{ mm}$ a $8+10 \text{ mm}$. Sono in grado di garantire, se installati correttamente, un grado di protezione almeno IP 65 e, infine, sono dotati di guarnizioni in NBR o silicone aventi rispettivamente una temperatura di lavoro da -40 a $+90 \text{ }^\circ\text{C}$ e da -40 a $+125 \text{ }^\circ\text{C}$.

Per migliorare il sistema di connessione, i costruttori propongono dei **connettori circolari da pannello o precablati** aventi un **attacco filettato M8 o M12**; vengono realizzati nel tipo diritto e angolare a 90° , sia maschio sia femmina.

Sono stati studiati per semplificare e velocizzare i sistemi di connessione

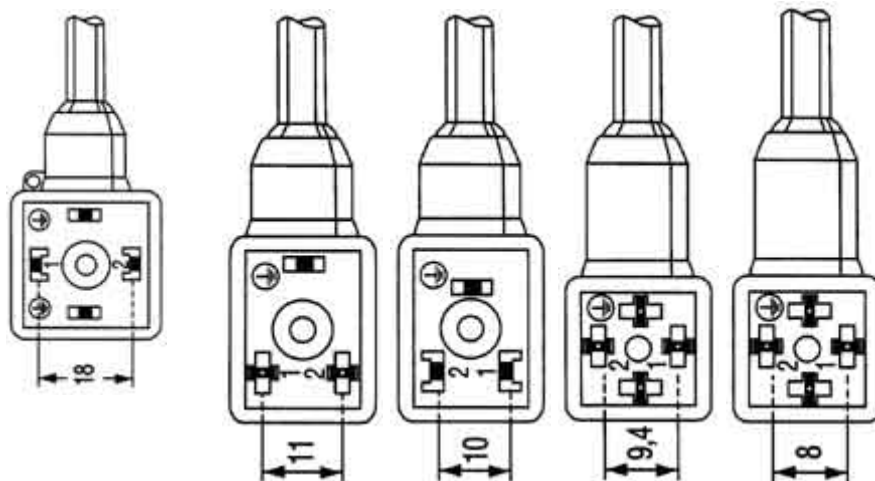


Fig.24a: Connettori per elettrovalvole Forma A secondo la norma DIN 43650 (ISO 4400)

Fig.24b: Connettori per elettrovalvole. Forma B con una distanza dei contatti di 11 mm secondo lo standard industriale

Fig.24c: Connettori per elettrovalvole. Forma B con una distanza fra i contatti di 10 mm secondo la norma DIN 43650 (ISO 6952)

Fig.24d: Connettori per elettrovalvole. Forma C con una distanza fra i contatti di 9,4 mm secondo lo standard industriale

Fig.24e: Connettori per elettrovalvole. Forma C con una distanza fra i contatti di 8 mm secondo la norma DIN 43650 (ISO 6952)

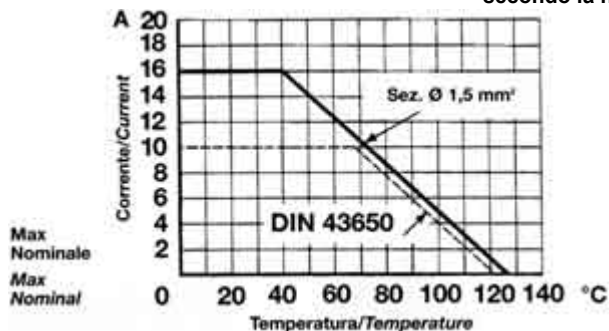


Fig.24f: Diagramma di portata in corrente [A] e temperatura [°C] dei connettori delle forme A e B (MPM)

mercato a seconda del tipo M8 o M12, nelle versioni da 3 a 8 poli; i tipi precablati possono essere dotati di un cavo ad alta flessibilità multipolare con le seguenti lunghezze: 0,3/0,6/0,9/1,2/1,5/2,0/2,5/3,0/5,0/10,0 m.

I connettori possono essere previsti, come citato precedentemente, anche con cavo precablato (**norme EN 175301-803**) e venire utilizzati in tutte le applicazioni nelle quali sia prevista una connessione elettrica tramite connettore su tutti i tipi di elettrovalvole e solenoidi in genere. L'uso di tali connettori riduce notevolmente i tempi di installazione,

eliminando una parte del cablaggio manuale.



Fig.25a: Connettori circolari diametro M8

Fig.25b: Connettori circolari diametro M12. Nelle figure sono mostrati i tipi diritto, angolare (90°), precablati, da pannello, sia di tipo maschio sia di tipo femmina

Anche in questo caso sono disponibili in diverse versioni: con o senza circuito di visualizzazione e protezione e con varie tipologie e lunghezze di cavo che possono variare da 0,3 a 10 m. Per le caratteristiche si veda la tab. 8. Nel caso della versione con circuito, il connettore viene fornito con schema elettrico tampografato per una corretta identificazione.



Fig.26a: Configurazione numero poli e conduttori. Connettori circolari diametro M8

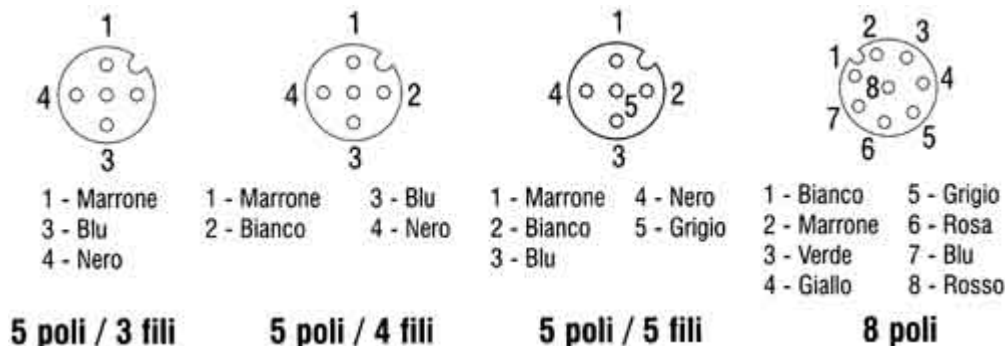


Fig.26b: Configurazione numero poli e conduttori. Connettori circolari diametro M12

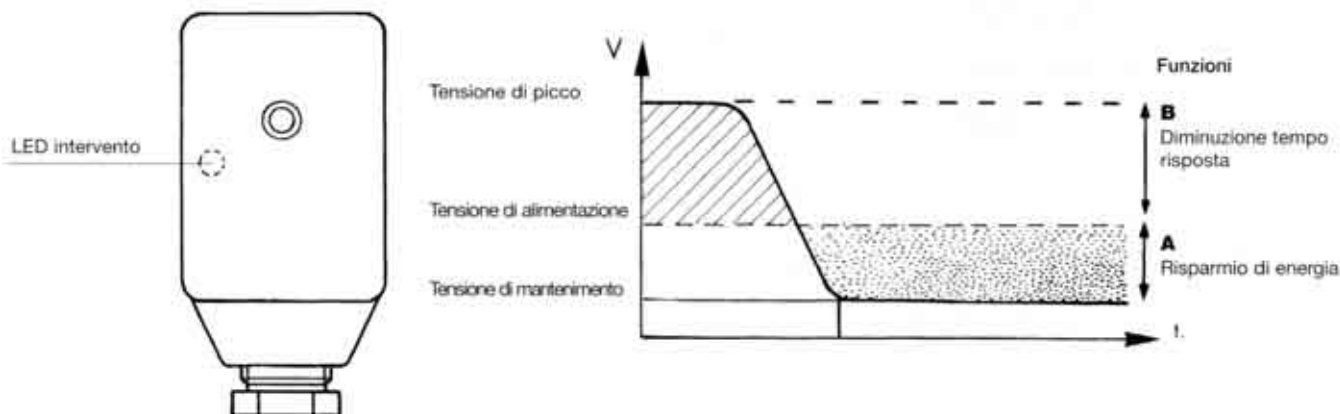


Fig.27: Connettore con interfaccia amplificata (MPM)

Tabella 8 - Specifiche sui tipi di cavo utilizzati per i connettori precablati (MPM)

Tipo di cavo	Codice MPM	Caratteristiche	Sezione conduttori	Numero conduttori	Raggio di curvatura
PVC CEI 2022 II	N	Approvato norme CEI 2022 II. Adatto ad applicazioni generiche con caratteristiche di buona resistenza all'acqua, ma scarsa resistenza all'olio. Temperatura di utilizzo - 5÷+70 °C.	0,5 mm ² 0,75 mm ² 1 mm ²	2,3,4,5	15 x diametro esterno
CEI CEI 2022 II	I	Approvato norme CEI 2022 II e norme IEC332-2A, non propagante la fiamma e autoestinguente. Offre una limitata resistenza agli oli minerali. Temperatura di utilizzo - 5÷+70 °C.	0,5 mm ² 0,75 mm ² 1 mm ²	2,3,4,5	10 x diametro esterno
PUR	P	Offre buona resistenza agli oli e agli agenti chimici. Può dilatarsi se immerso in olio. Temperatura di utilizzo -5÷+70 °C.	0,5 mm ² 0,75 mm ² 1 mm ²	2,3,4,5	10 x diametro esterno
PVC CSA- UL	A	Approvato CSA-UL 2661 (norme canadesi). Adatto ad applicazioni generiche con una buona resistenza all'acqua, ma scarsa resistenza all'olio. Temperatura di utilizzo - 15÷+105 °C.	20 AWG (circa 0,5 mm ²) 18 AWG (circa 0,75 mm ²)	2,3,4,5	10 x diametro esterno
PUR CSA- UL	B	Approvato CSA-UL 20668 (norme canadesi). Offre una buona resistenza agli oli e agli agenti chimici. Temperatura di utilizzo -25÷+90 °C.	20 AWG (circa 0,5 mm ²) 18 AWG (circa 0,75 mm ²)	2,3,4,5	10 x diametro esterno

Se il cavo viene utilizzato in **posa mobile**, occorre tenere presente che il rame all'interno del cavo può essere piegato moltissime volte senza subire danni; si deve evitare, invece, in modo assoluto di creare stiramenti. Un esempio tipico di stiramento dannoso si verifica quando il cavo viene piegato tra due punti abbastanza vicini tra loro, vincolati in modo da non lasciar scorrere il rame all'interno dell'isolante.

In questo caso avviene uno **stiramento concentrato nel punto di curvatura** che porta in breve tempo alla **rottura del conduttore**.

Può essere utile applicare i seguenti suggerimenti.

Quando si utilizzano delle catene portacavi, i cavi devono essere disposti paralleli, senza accavallamenti all'interno della guida.

Ogni cavo, per quanto possibile, dovrebbe avere una propria sede ed essere separato dagli altri. Lo spazio libero nella sede dovrebbe essere il 20% del diametro del cavo.

I cavi non devono essere attaccati o legati tra loro nella guida. Occorre prestare la massima cura nel permettere ai cavi di muoversi liberamente nel punto di curvatura, in modo da evitare torsioni o tensioni sul cavo.

Nel caso in cui il tratto di cavo mobile non sia molto lungo e si scelga di non usare una catena portacavo, il cavo non deve essere attaccato o legato a nessun elemento della macchina; deve, invece, essere completamente libero di muoversi e, nel punto di curvatura, occorre evitare torsioni o tensioni sul cavo.

Talvolta è utile inserire il cavo in un tubetto di plastica dura e flessibile (per esempio, i tubi normalmente usati per l'aria compressa). In questo modo è possibile fissare il tubo lasciando libero il movimento del cavo all'interno. I costruttori hanno a listino modelli di connettori che possono svolgere particolari funzioni, come per esempio modelli dotati di un temporizzatore ciclico, oppure versioni per il controllo elettronico di valvole proporzionali.

Di seguito viene illustrato un **particolare connettore** in grado di **migliorare le caratteristiche di funzionamento di un elettromagnete** di un'elettrovalvola. Questi connettori, che, a seconda dei modelli, possono funzionare in AC o DC, forniscono all'avvolgimento un picco di tensione per alcuni millisecondi (circa 70 ms), con un successivo dimezzamento della tensione una volta che il solenoide si è attivato.

Il picco di eccitazione serve per vincere il traferro dell'elettromagnete; quindi, il valore scende automaticamente fino a raggiungere quello impostato nel circuito elettronico del connettore, sufficiente però a trattenere il nucleo incollato al contronucleo dell'elettromagnete. In questo modo, l'elettromagnete assorbirà una maggiore quantità di energia durante l'eccitazione; successivamente, per tenere bloccato il nucleo, sarà necessaria una minore quantità di energia.

Questa modalità di funzionamento presenta i seguenti vantaggi:

- si ottiene un aumento del campo magnetico;
- permette di ridurre il consumo di energia del solenoide consentendo così una minore dissipazione termica;
- aumenta la rapidità di risposta all'inserzione (per esempio, alimentando a 24 V una bobina con una tensione nominale di 12 V);
- si possono realizzare bobine, a parità di prestazioni, di minori dimensioni e costo.

3. Circuiti antidisturbo

Alla **disinserzione dei carichi induttivi** (relè, contattori, elettrovalvole, ecc.) si generano delle sovratensioni e dei disturbi di natura elettrica che possono provocare malfunzionamenti e, talvolta, causare danni alle apparecchiature elettroniche. Da rilievi fatti sui contattori si è visto che, con tensioni di alimentazione di 380 V, si possono generare dei picchi di tensione di alcune migliaia di volt, valore che dipende dalla rapidità con la quale i contatti si aprono e dall'energia induttiva che il circuito, che viene interrotto, ha immagazzinato.

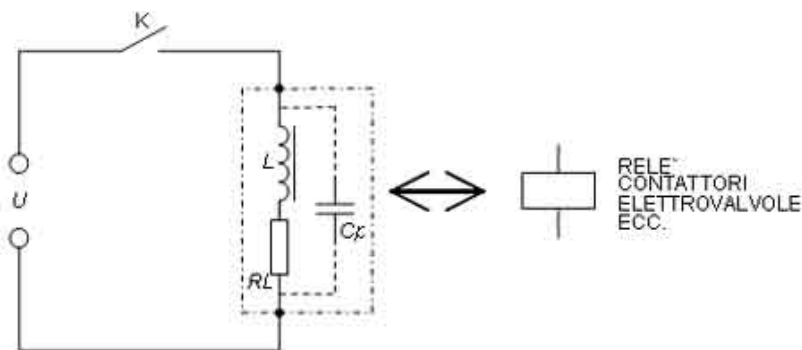


Fig.28: Schema equivalente della bobina di un relè, di un contattore, di una elettrovalvola, ecc.

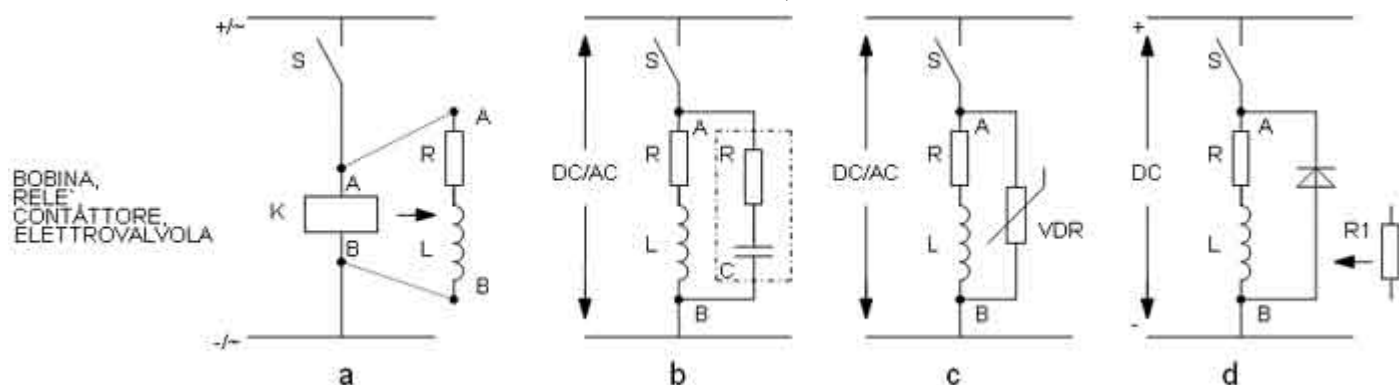


Fig.29: Smorzatori di picco nella manovra di apertura dei contatti di comando di carichi induttivi: a) ohmico-induttivi b) con gruppo RC c) con VDR d) con diodo

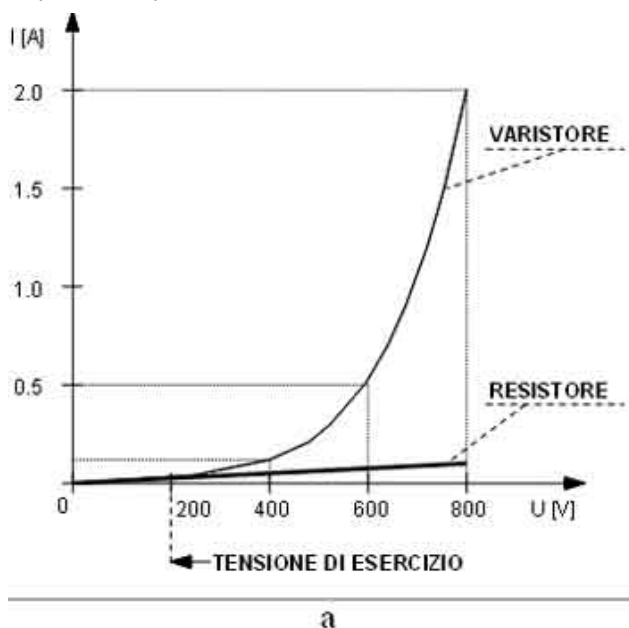


Fig.30a: Caratteristica tensione-corrente di un varistore, confrontata con quella di una normale resistenza

L'origine delle sovratensioni è da attribuire all'induttanza L che, all'atto dell'apertura del contatto K , realizza un circuito oscillante con la capacità parassita C_p .

Il circuito costituito dagli elementi R_L , L e C_p diventa, all'atto dell'apertura del contatto K , sede di oscillazioni libere ad alta frequenza che tendono rapidamente a smorzarsi a causa della presenza di R_L . Se si trascurano le perdite che intervengono in R_L e se si ritiene, per semplicità, che l'apertura del contatto avvenga senza formazione di arco e senza rimbalzi, ai capi della capacità C_p si viene a creare una sovratensione.

Si ha, considerando l'energia, un'ampiezza della tensione U_{CP} pari a $u = -i \cdot \sqrt{L/C_p}$ (cioè, fissati i valori della corrente i e dell'induttanza L); il valore della tensione d'induzione nell'utilizzatore è determinata soltanto dal valore di C_p . Dall'equazione riportata si vede che, quando $C_p = 0$, la tensione tende teoricamente all'infinito. Occorre pertanto eliminare questa energia. In pratica, i rapporti sono più favorevoli in quanto, già durante l'apertura del contatto, si ha un'eliminazione d'energia attraverso R_L , cui

segue l'eventuale formazione di un arco elettrico.

È necessario, perciò, **limitare il valore delle sovratensioni con particolari dispositivi antidisturbo** applicati all'apparecchiatura, che non devono condizionare in alcun modo il funzionamento del contattore. La scelta del tipo di protezione dipende dal tipo di corrente impiegata. I costruttori offrono per i propri contattori i seguenti dispositivi antidisturbo:

- gruppi RC;
- varistori (VDR);
- diodi.

Si utilizzano, in genere, gruppi RC e varistori in parallelo ai contatti del contattore con i circuiti funzionanti in DC oppure in AC; queste due soluzioni possono essere adottate anche nel caso che il "contatto" sia del tipo a semiconduttore.

Nel caso il circuito funzioni in DC, si preferisce in genere usare dei diodi collegati in modo opportuno, polarizzati cioè inversamente (v. fig. 29).

Fondamentalmente non c'è differenza se il dispositivo viene applicato al carico oppure all'interruttore (contatto elettromeccanico o semiconduttore).

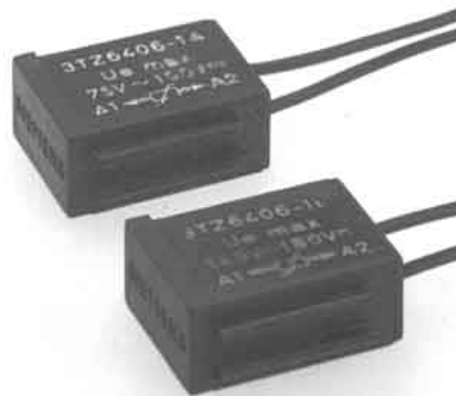


Fig.30b: Protezione smorzatore di picco con varistore

La disposizione in parallelo all'interruttore è opportuna quando la sua protezione è di primaria importanza; tale disposizione avviene con elementi a semiconduttori, oppure quando non si vuole aumentare la potenza del carico.

In generale, però, si evidenziano una serie di svantaggi:

- la non separazione galvanica nel caso di contatti meccanici;
- il perdurare dell'alimentazione del carico in caso di guasto del

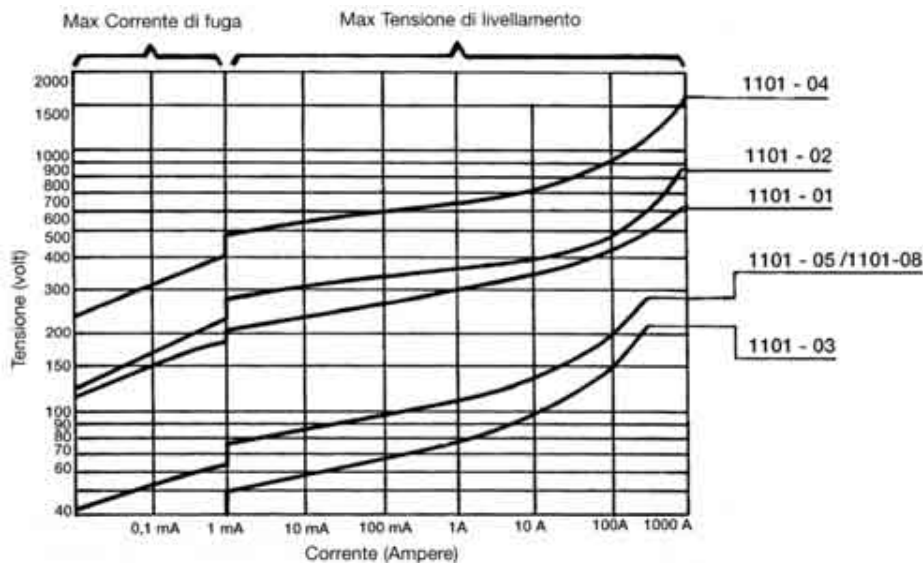


Fig.31: Curve caratteristiche tensione-corrente di alcuni tipi di VDR (MPP)

dispositivo;

- la necessità, per contatti posti in serie, di un dispositivo per ogni contatto.

È per questi motivi che si preferisce **installare il dispositivo antidisturbo in parallelo alla fonte** che genera i disturbi, cioè ai capi del contattore, del relè, dell'elettrovalvola, ecc.

Di seguito verranno analizzati questi sistemi per

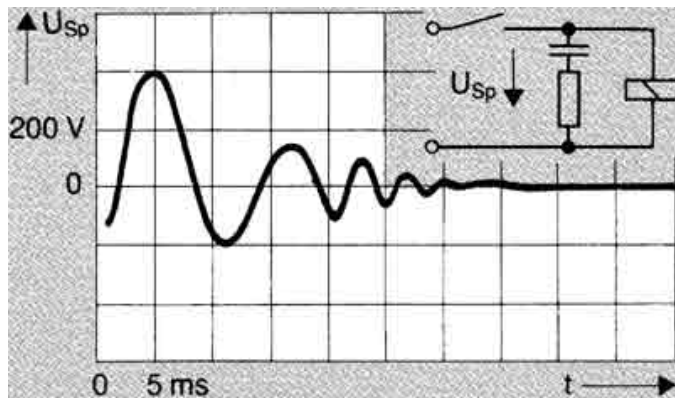


Fig.32b: Sovratensioni generate dall'apertura di un contattore con la bobina funzionante a 220 V, 50 Hz, 10VA - protezione con un gruppo RC con resistenza da 110 Ω e capacità da 0,22 μ F

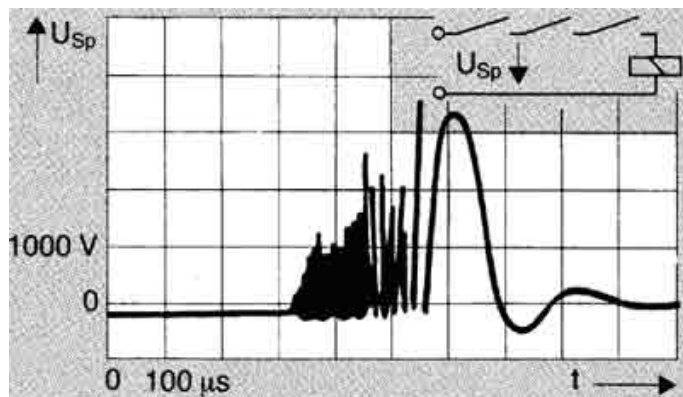


Fig.32a: Sovratensioni generate dall'apertura di un contattore con la bobina funzionante a 220 V, 50 Hz, 10 VA - senza protezione contro le sovratensioni

individuare quali sono i loro vantaggi e svantaggi e per effettuare una corretta scelta, per altro facilitata dall'utilizzo dei cataloghi forniti dai costruttori dei contattori.

Per ridurre le sovratensioni e i disturbi elettrici si possono utilizzare gruppi RC formati da resistenze e condensatori posti fra loro in serie e di valore opportuno.

Il funzionamento di questi dispositivi si basa sul principio che, all'apertura dei contatti, il condensatore, come un accumulatore elettrico, assorbe inizialmente tutta l'energia immagazzinata dall'induttanza, che altrimenti si annullerebbe nell'arco elettrico dei contatti. Nel momento in cui il condensatore ha raggiunto una tensione sufficientemente alta, la distanza tra i contatti è già talmente grande che la tensione ai capi del condensatore non può più provocare un dannoso arco elettrico. Questa soluzione presenta i seguenti vantaggi:

- può essere utilizzata sia con bobine funzionanti in AC sia con bobine funzionanti in DC;
- si ottiene una forte limitazione della tensione di picco;
- si ha una notevole stabilità dei parametri R e C nel tempo.

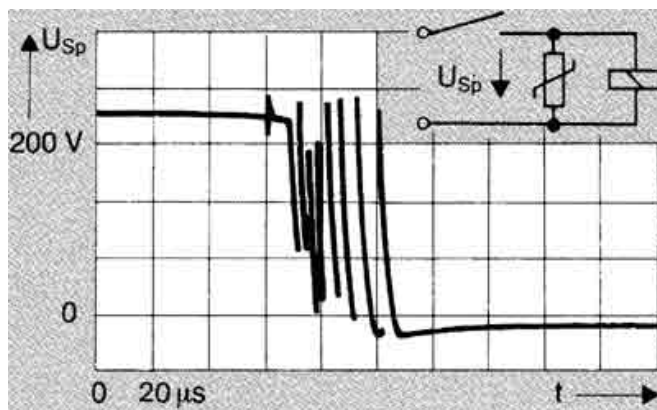


Fig.32c: Sovratensioni generate dall'apertura di un contattore con la bobina funzionante a 220 V, 50 Hz, 10VA - protezione con varistore



Fig.33: Principio di funzionamento del diodo di ricircolo



Nel contempo, però, occorre considerare alcuni svantaggi:

- si possono presentare dei fenomeni di risonanza;
- si possono verificare dei tempi di estinzione dell'arco relativamente lunghi per smorzamenti accettabili;
- si può conseguentemente avere un aumento dei tempi di apertura nel caso dei contattori;
- per i contattori alimentati in corrente continua, nelle versioni senza resistenza di risparmio, ci possono essere delle difficoltà a limitare il valore di picco, a causa dell'elevato valore dell'energia immagazzinata (elevato valore dell'induttanza L).

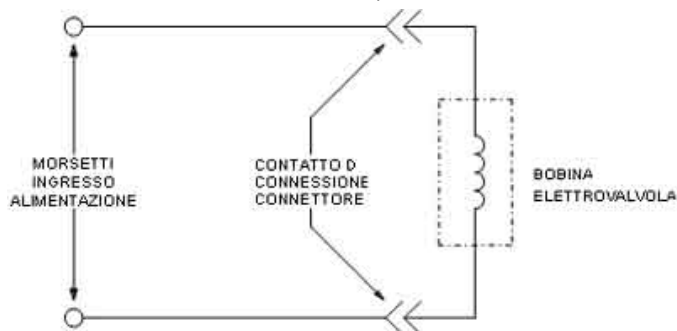


Fig.34a: schemi elettrici inseriti nei connettori Senza circuito di segnalazione e antidisturbo, schema di collegamento morsetti di alimentazione e bobina elettrovalvola

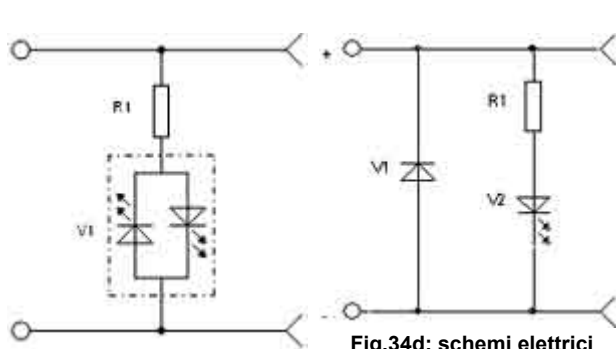


Fig.34b: schemi elettrici inseriti nei connettori, con diodo LED bipolare, funzionante in DC e AC

Fig.34d: schemi elettrici inseriti nei connettori con diodo LED bipolare e con circuito antidisturbo con VDR, funzionante in DC e AC

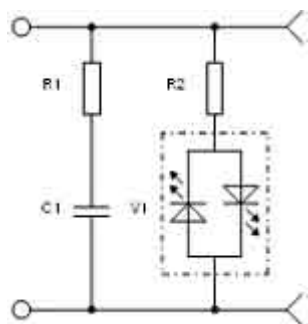


Fig.34e: schemi elettrici inseriti nei connettori con diodo LED bipolare e con circuito antidisturbo con gruppo RC, funzionante in DC e AC

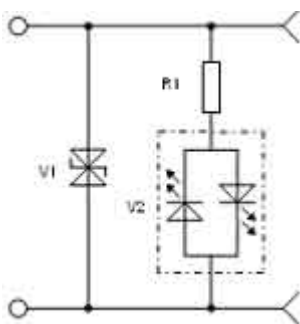


Fig.34f: schemi elettrici inseriti nei connettori con diodo LED bipolare e circuito antidisturbo con diodo transil, funzionante in DC e AC

I **varistori (VDR)** sono **resistori** la cui **resistenza diminuisce quando aumenta il valore della tensione** che viene loro applicata.

Sono normalmente ottenuti da carburo di silicio e trovano importanti applicazioni proprio nella protezione dalle sovratensioni che si verificano nelle apparecchiature elettriche. Il varistore viene collegato, come si è visto, in parallelo al carico induttivo (per esempio, relè, contattore, elettrovalvola, ecc.).

La resistenza del varistore diminuisce bruscamente, facendogli assorbire parte dell'energia accumulata dall'induttanza; in questo modo si riesce a ridurre l'ampiezza dell'impulso. Infatti, durante l'apertura del contatto, la sovratensione che ne risulta porta rapidamente il varistore alla conduzione e la durata del transitorio d'estinzione è molto breve; nello stesso

transitorio, il varistore dissipa quasi interamente l'energia immagazzinata nel circuito. Per la scelta si devono soddisfare le seguenti condizioni: l'energia massima dissipabile dal varistore deve essere maggiore di quella massima immagazzinata dalla bobina; inoltre, la tensione di esercizio del varistore deve essere almeno uguale alla tensione di alimentazione della bobina.

Tipo di VDR	Tensione di lavoro [V]
1101-03	12
1101-05	24
1101-01	48
1101-02	115
1101-04	230
1101-08	24

Questa soluzione presenta alcuni vantaggi:

- tempi di estinzione brevissimi (in pratica non aumentano i tempi di apertura del contattore);
- assenza di fenomeni di risonanza;
- può essere impiegato sia in AC sia in DC.

Nel contempo, però, si evidenziano i seguenti svantaggi:

- ha una limitazione non eccessiva della tensione di picco;
- il dispositivo subisce nel tempo un certo invecchiamento e la sua affidabilità diminuisce a causa delle sollecitazioni termiche che questo subisce quando deve dissipare l'energia immagazzinata nel circuito.

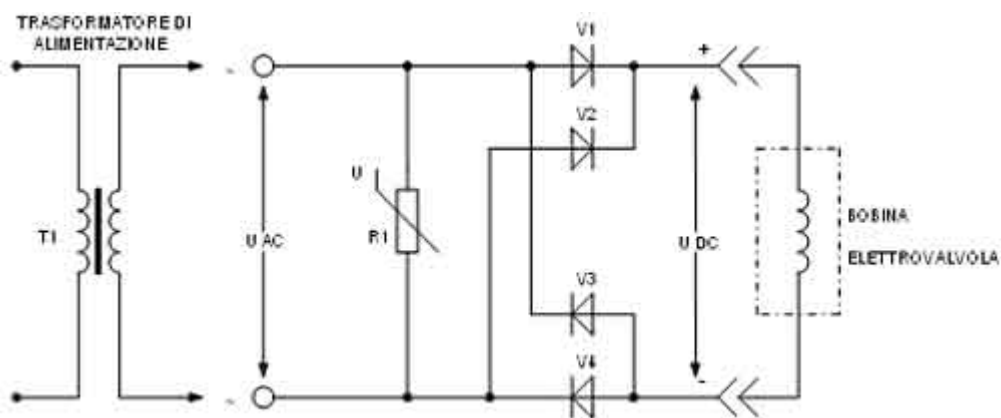


Fig.35a: Connettore con circuito raddrizzatore a ponte; si noti il trasformatore di alimentazione T1

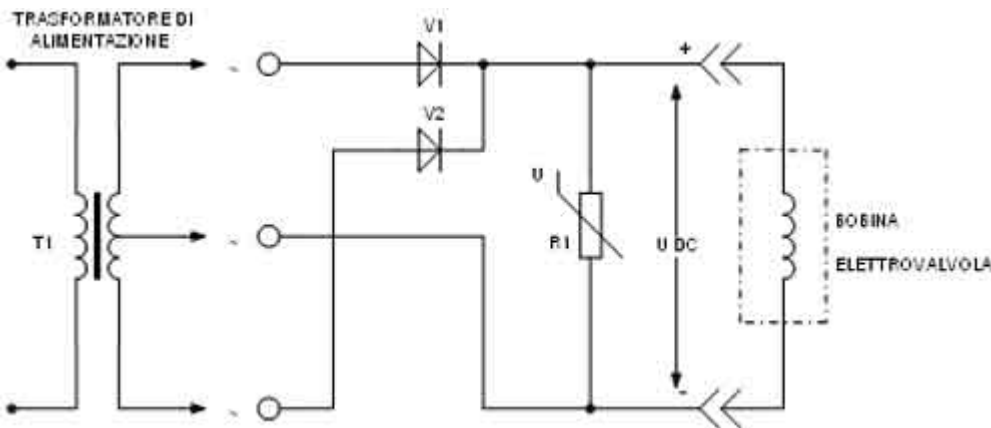


Fig.35b: Connettore con circuito raddrizzatore a semionda

I **diodi** sono in grado di offrire **ottimi risultati in termini di soppressione delle sovratensioni**, riuscendo a limitare la tensione di picco alla piccola tensione che si ha ai capi del dispositivo quando è polarizzato direttamente. Il funzionamento può essere così sintetizzato.

L'**induttanza della bobina** dei relè, delle elettrovalvole o dei contattori alimentati in DC **accumula**, durante la fase di aumento della corrente I (chiusura del contatto di alimentazione posto tra i morsetti A e B), **dell'energia**: quando la corrente I decresce (fase di apertura del contatto), la bobina genera una forza contro elettromotrice (fem) indotta, restituendo al circuito l'energia accumulata, che provoca archi elettrici sui contatti posti in serie alla bobina. Per porre rimedio a questo fenomeno, quando il circuito funziona in DC si pone in parallelo alla bobina un diodo V1 polarizzato inversamente (non in conduzione) durante la normale fase di alimentazione della bobina; nell'istante di apertura del contatto, la forza contro elettromotrice che si genera viene ad avere polarità opposta alla precedente, in grado, quindi, di polarizzare direttamente V1 che, entrando in conduzione, limita l'ampiezza della sovratensione.

La corrente I' (corrente di libera circolazione) circola fino al completo esaurimento dell'energia accumulata dall'induttanza che, quindi, viene dissipata tutta su se stessa. Il diodo va scelto in modo tale che il valore massimo della tensione inversa, di un coefficiente che può variare da 1,5 a 3,0, sia inferiore al valore della tensione nominale del circuito. Il valore della corrente I' dovrà essere inferiore al valore dichiarato dal costruttore, altrimenti si avrà un invecchiamento precoce o una rottura del diodo.

L'uso dei diodi presenta il grande vantaggio di ridurre le sovratensioni a valori molto bassi.

Viceversa, comporta i seguenti svantaggi:

- si possono utilizzare solo in corrente continua;
- occorre rispettare le polarità (è necessario polarizzarli inversamente, come mostrato nella precedente figura, collegando il catodo del diodo alla polarità positiva dell'alimentazione);
- si possono avere dei ritardi alla diseccitazione del contattore.

In alcuni casi è possibile utilizzare **gruppi antidisturbo con un diodo e**

una resistenza in serie: la resistenza favorisce lo smaltimento per effetto Joule dell'energia immagazzinata nel circuito e, in questo modo, la corrente di libera circolazione I' si estingue più velocemente.

I **diodi trasil** sono ancora più efficaci dei comuni diodi. Sempre collegati in parallelo alle bobine, con essi si hanno minori ritardi alla disinserzione, anche se, al di sotto di certi valori di tensione, non si ha nessuna soppressione. Questa soluzione presenta alcuni vantaggi:

- dimensione molto compatta;
- basso valore di tensione residua (buona soppressione dell'impulso di disturbo);
- bassi valori dei tempi di ritardo all'inserzione;
- bassi valori dei tempi di disinserzione;
- facile dimensionamento;
- adatto all'impiego sia in AC sia in DC e indipendente dalla polarità;
- elevata capacità di assorbimento di energia.

Nel contempo, però, presenta i seguenti svantaggi:

- tensione di disturbo residua con un'elevata presenza di armoniche;
- limitata frequenza di comando.

I **diodi luminosi LED** sono componenti **elettronici** che emettono luce se alimentati con la giusta polarità in corrente continua; esistono però dei tipi bipolari che possono funzionare in corrente alternata e in corrente continua senza tener conto delle polarità.

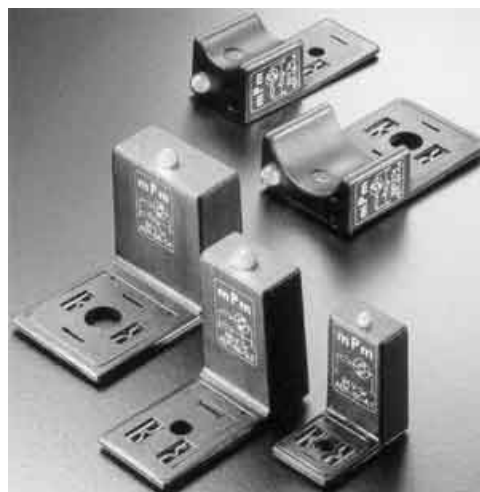


Fig.36a: Adattatori con circuito antidisturbo con segnalazione luminosa, da aggiungere ad impianti esistenti o per ottimizzare i tempi di montaggio

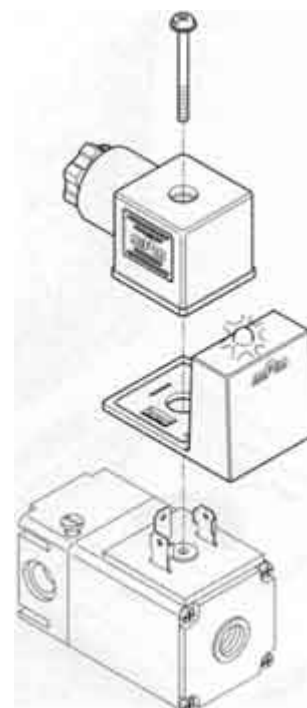


Fig.36b: Esempio di installazione di un adattatore antidisturbo con segnalazione

Utilizzati normalmente per visualizzare quando una bobina è alimentata o quando un sensore è azionato, offrono numerosi vantaggi rispetto alle normali lampade:

- hanno una vita elettrica molto lunga, oltre 200000 ore (la vita di una lampadina per usi professionali è di circa 100000 ore);
- funzionano senza problemi anche in presenza di carichi induttivi, fonti di calore e vibrazioni;
- consumano una corrente media di circa 5 mA (una lampada arriva ad assorbire una corrente di 35 mA);
- non hanno nessun picco di corrente al momento dell'accensione; per una lampadina, invece, questo picco può superare anche 15 volte il valore nominale e può provocare danni al finecorsa o al PLC che comanda l'elettrovalvola;
- possono funzionare in corrente continua, DC e corrente alternata AC (tipo bipolare); con pochi modelli è possibile coprire una gamma di tensione da 10 V a 50 V DC e AC, oppure da 70 V a 250 V AC e DC.

Per alimentare delle bobine funzionanti in DC, quando si ha a disposizione l'alimentazione in corrente alternata (per esempio, da un trasformatore di alimentazione T1) e nel contempo si vogliono ridurre gli effetti dei disturbi elettrici, è possibile utilizzare un connettore con incorporato un circuito raddrizzatore a ponte o a semionda. Nel caso del raddrizzatore a ponte, all'apertura del contatto di alimentazione (elettromeccanico o elettronico), l'energia immagazzinata dall'induttanza L della bobina (elettrovalvola) viene dissipata dai diodi (V3-V1 e V4-V2) e dalla resistenza R del filo con cui è realizzata la bobina stessa. In questo modo, non vengono generate sovratensioni pericolose.

Il varistore R1 ha lo scopo di proteggere il ponte raddrizzatore e l'elettrovalvola stessa da sovratensioni provenienti dalla linea di alimentazione in corrente alternata. Qualora venga utilizzato un raddrizzatore a semionda, all'apertura del contatto di alimentazione viene generata una sovratensione che deve essere limitata da un varistore posto in parallelo alla bobina.

Vale la pena ricordare che la tensione media rettificata di uscita U_{DC} da un raddrizzatore a ponte o a semionda dipende dal valore efficace della tensione di ingresso U_{AC} . In particolare, $U_{DC} = 0,9 \cdot U_{AC}$. Così, per esempio, se si applica all'ingresso di un connettore con un raddrizzatore a ponte una tensione di 220 V AC, si avrà in uscita una tensione media rettificata di 198 V DC. I costruttori forniscono, inoltre, tabelle o grafici atti a verificare se le condizioni di funzionamento di questi connettori siano compatibili con le caratteristiche dei diodi usati. Per esempio, la corrente di uscita dal ponte dei diodi può essere di 1,5 A se la temperatura dei diodi non supera i 75 °C, ma, al di sopra di questo valore, la corrente che può essere fornita diminuisce (a 120 °C è di circa 0,95 A). È buona norma richiedere dai diodi una corrente inferiore del 20÷50% rispetto al valore limite fornito dai costruttori. Sono disponibili in commercio degli adattatori che vanno posizionati tra i contatti del solenoide ed il connettore standard.

È così possibile inserire un dispositivo antidisturbo e di segnalazione luminosa ottimizzando i tempi di montaggio e migliorando il funzionamento dell'impianto senza sostituire i componenti già utilizzati. Questi adattatori, disponibili in vari formati, hanno generalmente un grado di protezione IP65 e una temperatura di impiego compresa tra -20 °C e +120 °C.

4. Interfacce per sensori e attuatori

I moderni sistemi di installazione sono studiati per consentire un risparmio di materiale, denaro, tempo, spazio e peso. Le interfacce per sensori e attuatori sono prodotti adatti per soddisfare queste esigenze. Sono disponibili a scelta con quattro, sei o otto collegamenti in diverse varianti, con quattro o cinque poli per ciascuna versione M12 e con tre o quattro poli nella versione M8.

Vengono integrate con **montaggio diretto** nella macchina o nell'impianto. Sono piatte e robuste e sono realizzate con una custodia in materiale plastico o di metallo per applicazioni speciali dove è richiesta un'elevata resistenza contro agenti chimici e meccanici, in ogni caso hanno un elevato grado di protezione che può arrivare fino a IP68. Queste **interfacce** raccolgono i segnali dai sensori (per esempio, interruttori magnetici) e dagli attuatori (per esempio, elettrovalvole) sul campo. I costi di installazione e manutenzione risultano ridotti grazie all'impiego di cavi precablati e di connettori circolari M8 o M12 comunemente in commercio.

Sull'altro lato dell'interfaccia, un cavo principale fornisce il **collegamento con il sistema di comando** (per esempio, un PLC). Il cavo può essere lungo sino a una decina di metri e, nel caso di segnali analogici, può essere schermato.

A seconda dei tipi, il cavo principale può essere fisso oppure collegato a morsetti a vite o a molla autobloccante; con questa versione, le operazioni di manutenzione sono agevolate e i costi sono ridotti notevolmente poiché, in caso di un cavo difettoso, è sufficiente sostituire il morsetto con la calotta e l'interfaccia completa. Un ulteriore vantaggio è dato dalla presenza di etichette identificative per ogni uscita, che rendono facile l'individuazione dei segnali durante le operazioni di manutenzione e la ricerca degli errori. Le etichette possono essere ordinate separatamente e siglate in modo automatico mediante l'uso di un plotter.



Fig.37a: Esempi di interfacce passive per sensori e attuatori



Fig.37b: Esempi di applicazione di interfacce per sensori e attuatori installate sul bordo macchina

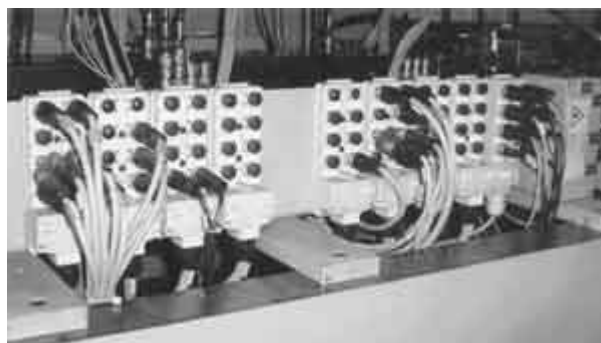
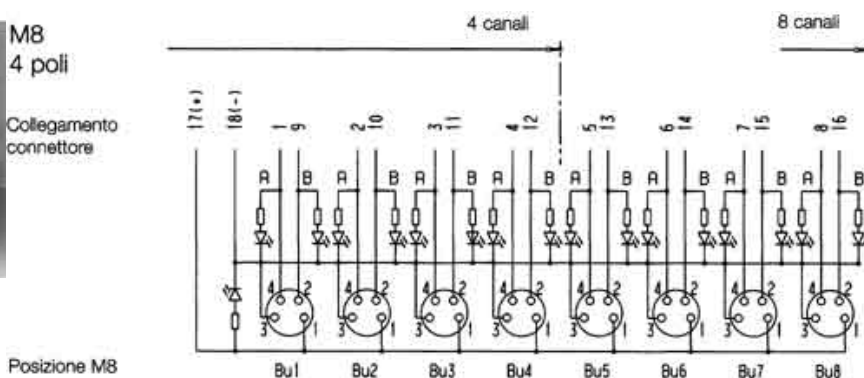


Fig.37c: Esempi di applicazione di interfacce per sensori e attuatori installate sul bordo macchina



Fig.38a: Esempio di interfaccia passiva SAI-M8 con collegamento tipo M8 a 8 canali

Fig.38b: schema di collegamento per interfaccia SAI-M8, per connettori M8 a 4 poli, a 4 e 8 canali



Queste interfacce vengono proposte con quattro, sei o otto canali, con quattro o cinque poli e possono essere dotate di diodi LED di indicazione di stato dell'uscita, che aiutano a ridurre i tempi di fermo macchina in caso di guasto. Hanno una temperatura di utilizzo che varia da -20 a +90 °C e una corrente massima di 2 A per ogni contatto.

Le **interfacce** descritte precedentemente vengono definite **passive** in quanto i sensori e gli attuatori sono collegati all'unità di controllo che, in genere, è un PLC.

Per semplificare ulteriormente il cablaggio, possono venire utilizzate le interfacce attive con un grado di protezione fino a IP68 con diverse soluzioni.

Le interfacce passive standard vengono integrate da un modulo elettronico attivo; tali moduli sono disponibili per i bus di campo più diffusi (i bus di campo verranno trattati successivamente): Profibus-DP, CanOpen, DeviceNet, InterBus-s e AS-i.

Il vantaggio di questo sistema modulare è dato dal premontaggio del modulo passivo. La decisione del tipo di modulo attivo da utilizzare può poi essere presa indipendentemente dal modulo passivo già cablato. Il tipo di bus di campo può successivamente subire delle modifiche senza influenzare il cablaggio del campo.



Fig.39a: Esempio di interfaccia attiva per sensori e attuatori con connettori M12, con modulo ad innesto e con connettori circolari IP67 per bus di campo Profibus-DP, DeviceNet CanOpen



Fig.39b: Esempio di interfaccia attiva per sensori ed attuatori con connettori M12 per bus di campo AS-i

Una volta assemblate e codificate le due unità (v. fig. 39a), è impossibile effettuare degli inserimenti errati durante le operazioni di sostituzione o manutenzione.

Sono disponibili anche moduli elettronici attivi che prevedono, al posto dei connettori circolari per il bus e la tensione di alimentazione, l'uso di pressacavi con i quali è possibile concatenare sia la tensione di alimentazione sia i segnali del bus di campo da modulo a modulo; in questo caso, è opportuno fare attenzione alla corrente massima accettata dal sistema.

5. L'opera

Tratto dal catalogo della Editrice San Marco

M. Barezzi

Comandi automatici:

Sistemi pneumatici ed elettropneumatici

Principi fondamentali e applicazioni.

ISBN 88-8488-021-1

Pagg. 720

27,00 €

Struttura dell'opera. L'evoluzione delle tendenze che interessa aziende di tutte le tipologie, porta ad una sempre più intensa applicazione dei sistemi automatici nelle più svariate realtà produttive. La pneumatica e l'elettropneumatica consentono di risolvere in modo veloce, economico e razionale problemi di automazione semplici e complessi presenti nei processi industriali. Con questo testo si vuole proporre a docenti e studenti un utile strumento di studio, indispensabile per la futura attività lavorativa degli allievi; è inoltre un valido supporto per il lavoro di tecnici impiantisti, anche se specialisti del settore, e un'utile fonte di consultazione per progettisti e manutentori di impianti automatizzati.

Contenuti: Caratteristiche dei sistemi automatici e loro integrazione - Caratteristiche dell'aria, leggi dei gas - Generazione, preparazione e linee di distribuzione dell'aria compressa - Attuatori pneumatici - Valvole pneumatiche di controllo direzionale e ausiliarie - Esempi di circuiti e applicazione di pneumatica - Interfacce e sensori elettrici ed elettronici - Esempi di circuiti e applicazioni di elettropneumatica - Controllori logici programmabili - Esercizi e questionari.

