

Attuatori ON/OFF

Gli **attuatori** sono dispositivi adatti a pilotare dispositivi di potenza con deboli segnali di controllo. In generale sono dispositivi elettromeccanici che convertono un segnale elettrico in un azionamento, anche se possono produrre un qualsiasi fenomeno fisico. Esempi di attuatori sono il relè elettromeccanico, il transistor BJT, la valvola pneumatica, ecc. Il relè è utilizzato per il comando d'interruzione o di commutazione di grandi potenze elettriche. Il transistor può essere utilizzato come interruttore elettronico per fornire potenza elettrica al circuito utilizzatore. La valvola pneumatica può essere utilizzata per gestire il flusso di fluidi. Nella **figura 5.1** sono riportati alcuni attuatori di piccola potenza.

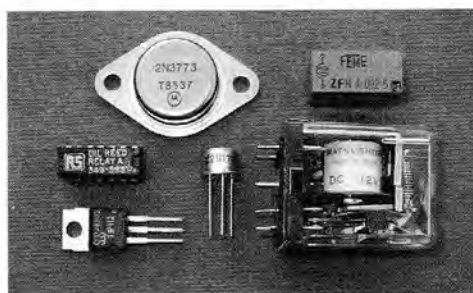
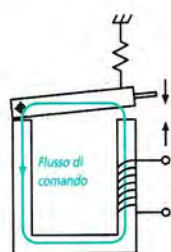


figura 5.1

5.1 Relè

Il **relè** è un attuttore di tipo elettromeccanico costituito da una bobina con un elevato numero di spire, da un circuito magnetico con una parte fissa (nucleo) ancorata al basamento del dispositivo, da una parte mobile (ancora) e da un traferro interposto tra la parte mobile e quella fissa (**figura 5.2**).



Schema di principio

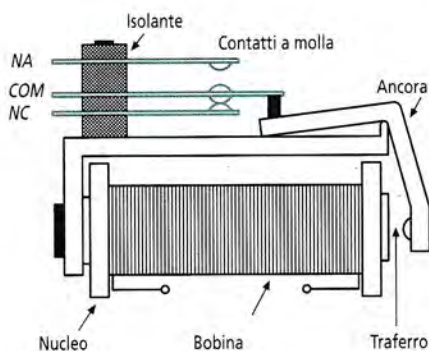
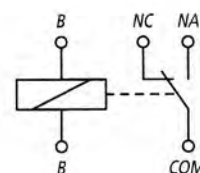


figura 5.2



Relè con un contatto di scambio

Quando la bobina è percorsa dalla opportuna intensità di corrente continua (corrente di eccitazione o di comando) genera la magnetizzazione del nucleo, provocando l'attrazione dell'ancora (circuito magnetico a minima riluttanza in assenza di traferro) azionando direttamente o indirettamente dei contatti elettrici a bassissima resistenza. In assenza di corrente d'eccitazione la molla di richiamo ripristina il contatto iniziale.

Con particolari accorgimenti si costruiscono relè elettromeccanici eccitati con corrente alternata.

Un relè **trasforma energia elettrica in energia meccanica**, chiudendo i contatti elettrici mobili, e **separa galvanicamente** il circuito pilota a bassa potenza da quello controllato a elevata potenza. In commercio sono disponibili relè elettromagnetici a uno o più scambi con contatti normalmente aperti (NA) o normalmente chiusi (NC).

Nella **tabella 5.1** sono riportate le specifiche di un relè commerciale.

tabella 5.1

Caratteristiche relè elettromagnetico in DC	Valori	Unità di misura
Portata max dei contatti (30 V DC)	2	A
Portata minima dei contatti (10 mV DC)	10	μA
Tensione max di commutazione (DC)	220	V
Corrente max di commutazione	2	A
Potenza max di commutazione	60	W
Tensione nominale della bobina	12	V
Resistenza della bobina	720	Ω
Materiale di contatto	Argento	–
Resistenza d'isolamento (500 V DC)	1000	M Ω
Tempo di eccitazione	4	ms
Tempo di rilascio	3	ms
N° di scambi	2	–
Terminali	c.s.	–
Vita meccanica	1	10^8 cicli

Nelle applicazioni pratiche il relè svolge la funzione di **amplificatore di commutazione** ossia gestisce potenze molto elevate con piccole potenze di comando controllate dall'interruttore *T* (**figura 5.3**).

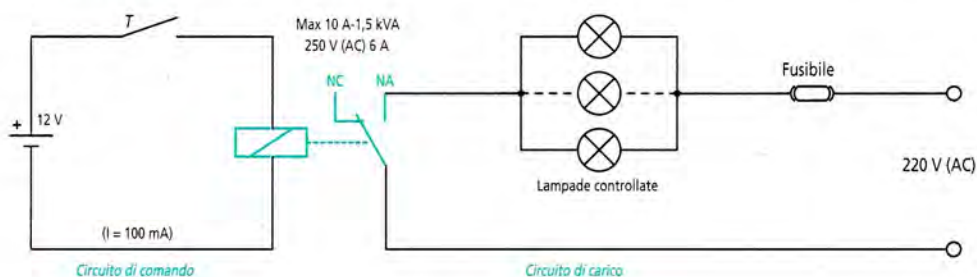


figura 5.3

Alcune applicazioni particolari richiedono relè con tempi di ritardo all'attrazione e/o alla caduta. Questi tipi di relè (detti relè temporizzati) si ottengono con l'opportuna connessione di alcuni componenti elettrici (resistenze, condensatori o resistenze dipendenti dalla temperatura NTC e PTC). In **figura 5.4** è mostrato un relè elettromeccanico in D.C. ritardato sia all'attrazione sia alla chiusura. Il circuito aggiunto *RC* carica e scarica il condensatore con tempi dipendenti dalla costante di tempo τ [ms] = R [k Ω] \cdot C [μF].

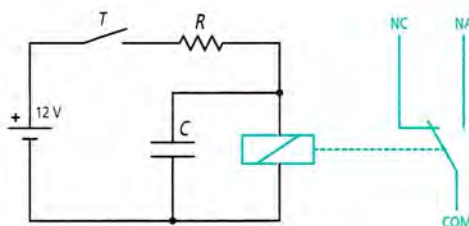


figura 5.4

esempio 5.1

Utilizzando una fotoresistenza come interruttore si può controllare un relè in modo diretto (relè fotoelettrico).

Si consideri la fotoresistenza NORP-12 e il relè della MATSUSHITA-HC3 12 V-DC che presenta una resistenza di $170\ \Omega$ (figura 5.5). Se l'illuminamento è elevato il relè diviene attivo quando l'intensità di corrente supera 42 mA (inferiore a quella nominale di 70 mA). Quando l'illuminamento diminuisce, il relè si diseccita poiché l'intensità di corrente che attraversa la bobina scende al di sotto di quella di tenuta (14 mA).

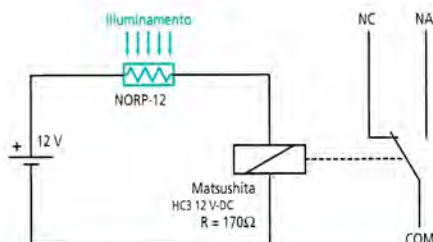


figura 5.5

5.1.1 Logica con relè

Una porta logica può essere realizzata con dispositivi di natura diversa da quelli a semiconduttori. Di seguito si propone la funzione di una porta logica NAND con due relè che, se eccitati, attivano dei contatti di commutazione. La logica a relè può ritenersi una forma analoga a quella dei circuiti elettronici anche se inizialmente i piccoli calcolatori erano gestiti mediante relè.

La porta logica NAND a relè è costituita dai contatti normalmente aperti (NA) di due relè pilotati con segnali *A* e *B* che attivano le bobine quando il livello di tensione è alto (5 V). In uscita (OUT) si ha il livello basso (0 V) solo quando entrambi i contatti NA sono chiusi, condizione possibile con gli ingressi *A* e *B* a livello alto (figura 5.6).

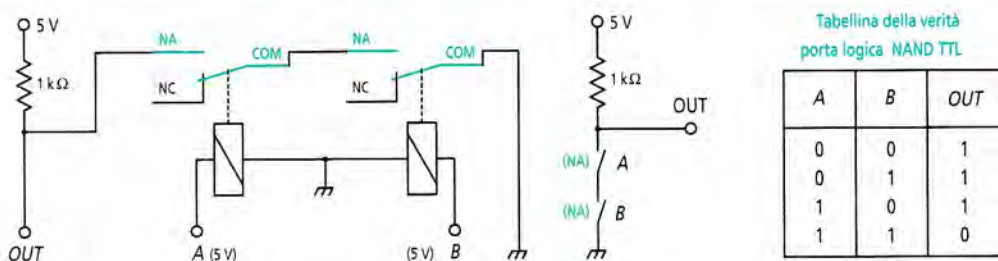


figura 5.6

Lo schema di figura 5.7 evidenzia il significato fisico della porta logica NAND utilizzato per la simulazione. La resistenza $R = 330\ \Omega$ limita l'intensità di corrente nel diodo LED e non cortocircuita la batteria quando entrambi gli interruttori sono chiusi.

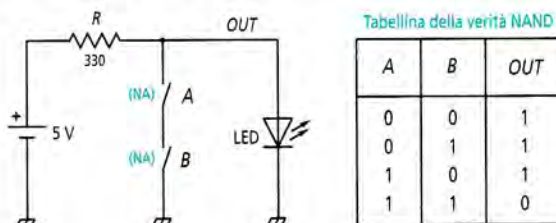


figura 5.7

Si disegna con Multisim lo schema di **figura 5.8** con le due resistenze $R_1 = R_2 = 50\ \Omega$ per limitare l'intensità di corrente nelle bobine. Il componente relè è prelevabile con BASIC \Rightarrow BASIC_VIRTUAL \Rightarrow RELAY1A_VIRTUAL. Per il simbolo DIN di **figura 5.8** occorre: OPTIONS \Rightarrow GLOBAL PREFERENCES \Rightarrow PARTS.

Il relè è attivo quando l'intensità di corrente supera quella di attivazione ($I_{ON} > 50\text{ mA}$) e si disattiva quando l'intensità di corrente scende al di sotto di quella di mantenimento ($I_{OFF} < 25\text{ mA}$). La **figura 5.8** della simulazione riporta lo stato dell'ultima riga della tabellina della verità.

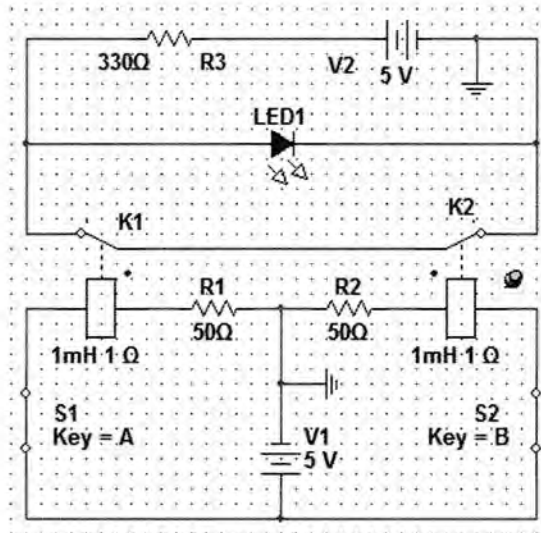


figura 5.8

5.1.2 Relè a impulsi

Un particolare relè elettromeccanico, utilizzato negli impianti d'illuminazione civili, sostituisce deviatori e invertitori quando occorre controllare delle lampade da 4 o più posti di comando (**figura 5.9**). Il dispositivo è un relè a passi (comando a impulsi) poiché a ogni attivazione con un pulsante la ruota a camme compie una rotazione tale da chiudere o aprire un contatto elettrico.



figura 5.9

Il relè (**figura 5.9**) è costituito da un circuito magnetico, da un'asta che aggancia una ruota dentata solidale con una ruota che contiene un numero di cave profonde (contatto elettrico aperto) e un ugual numero di cave meno profonde (contatto elettrico chiuso).

La **figura 5.10** mostra il comando di una lampada da tre posti con due deviatori e un invertitore e lo stesso sistema di comando a relè con 4 pulsanti.

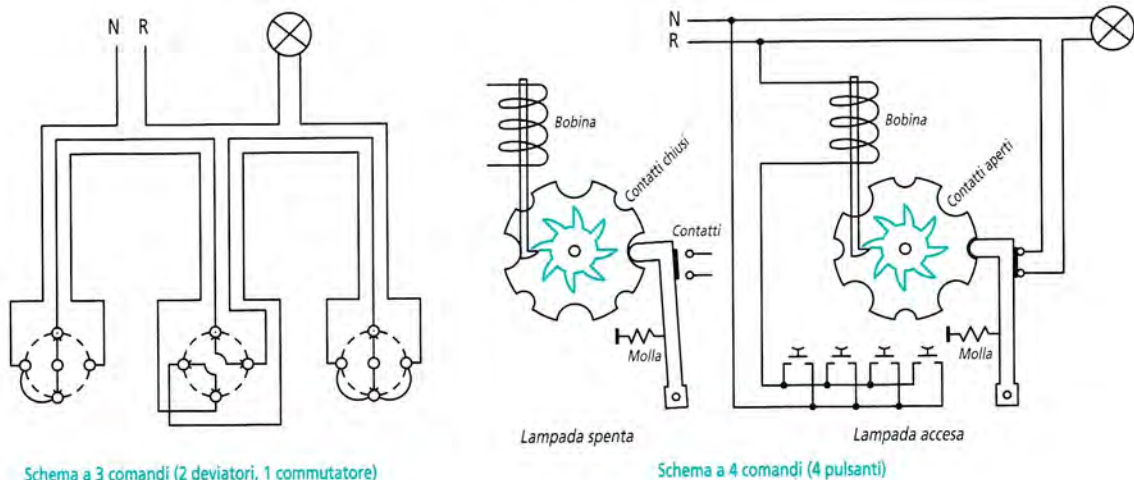


figura 5.10

5.1.3 Relè Reed

La **figura 5.11** mostra un particolare relè costituito da una coppia di lamine elastiche di materiale magnetico (Ferro-Nichel) in un bulbo di vetro (Ampolla Reed da cui il nome di **relè Reed**) con atmosfera di gas inerte (Azoto).



figura 5.11

Le lamine aperte nel bulbo si chiudono in presenza di un campo magnetico prodotto da un magnete permanente o da una bobina avvolta sul bulbo alimentata in DC con l'inserzione di un diodo polarizzato inversamente con la funzione di spegnimento (**figura 5.12**).

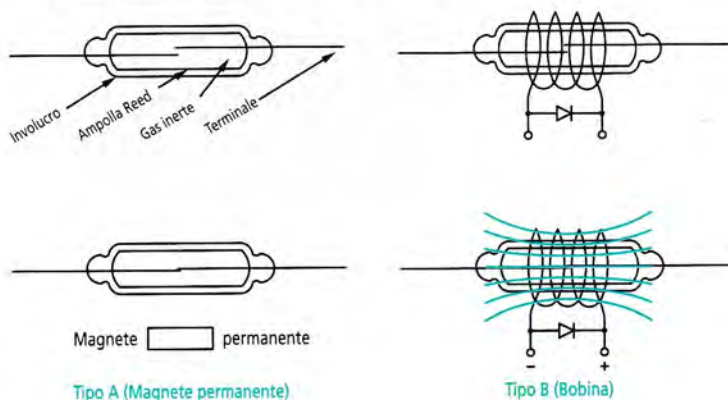


figura 5.12

Il magnete permanente o il campo magnetico generato dalla bobina inducono sulle lamine magnetiche (Stato di OFF) polarità magnetiche opposte a quelle proprie tale da attrarle e chiudere il contatto (Stato di ON). Le principali caratteristiche del relè Reed sono:

- una bassa resistenza di contatto ($m\Omega$);
- una elevata velocità di commutazione OFF/ON;
- una vita lunga dei contatti per la presenza di atmosfera neutra;
- una piccola dimensione tali da disporlo in contenitori DIP;
- la possibilità di eliminare antirimbaldi dei contatti con una minima presenza di mercurio;
- la commutabilità di potenze dell'ordine di un centinaio di VA (in alternata).

Il relè Reed di tipo A, per il suo principio di funzionamento, può essere classificato come un sensore magnetico utilizzabile nel rilievo di presenza di campo magnetico (sensore magnetico di prossimità).

Un'applicazione del relè Reed, visto come sensore magnetico, può essere quella di un controllo di una finestra aperta o chiusa come mostra la **figura 5.13**. Il relè Reed, sensore magnetico, all'atto dell'apertura della finestra, non rilevando più presenza di campo magnetico, attiva un circuito d'allarme.

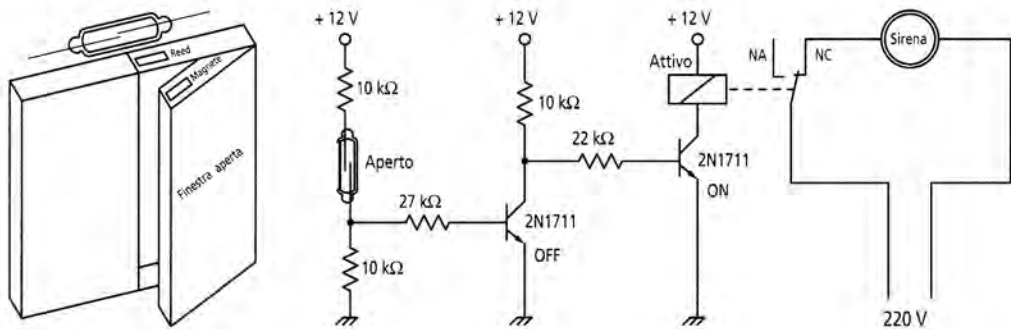


figura 5.13

5.2 Transistor

Il **transistor bipolare BJT** è un attuttore a semiconduttore il cui principio di funzionamento come interruttore elettronico (ON/OFF) è dovuto all'intensità di corrente di base I_B . Se la I_B è trascurabile ($I_B = 0$) anche quella di collettore è trascurabile ($I_C = 0$) e il transistor si comporta come un circuito aperto ($V_{CE} = V_{CC}$). Se, invece, l'intensità di corrente iniettata nella base è elevata ($I_B = I_{B-Sat}$), anche quella di collettore I_C è elevata e il transistor è in saturazione ($V_{CE-Sat} = 0$). In tal caso il transistor si comporta come un circuito chiuso (**figura 5.14**).

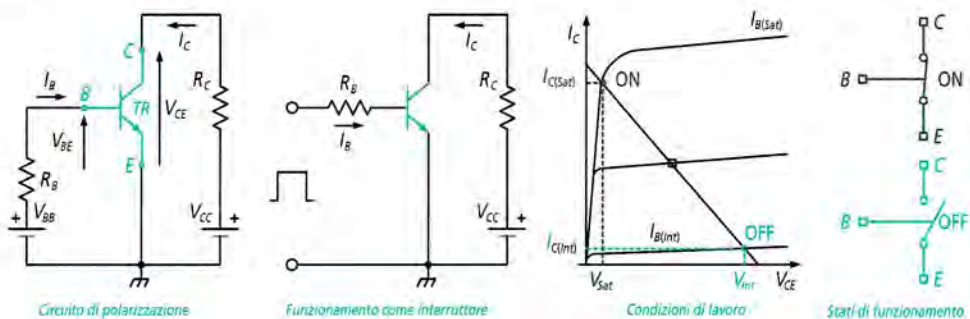


figura 5.14

Considerato che $h_{FE} = I_C/I_B$, dal circuito di **figura 5.14** si ricava:

$$I_{C-Sat} = \frac{V_{CC} - V_{CE-Sat}}{R_C} \quad [5.1]$$

$$I_{B-Sat} = \frac{I_{C-Sat}}{h_{FE-min}} \quad [5.2]$$

$$I_{B-Sat} = \frac{V_{BB} - V_{BE-Sat}}{R_B} \quad [5.3]$$

esempio 5.1

Si calcoli il valore dell'intensità di corrente I_B di un transistor BJT sapendo che $h_{FE} = 500$ e l'intensità di corrente $I_C = 10$ mA.

Poiché il guadagno statico in corrente è indicato dal parametro $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$, si ha:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{500} = 0,02 \text{ mA} = 20 \mu\text{A}$$

esempio 5.2

Sapendo che $V_{F(LED)} = 1,7$ V e $I_{D(LED)} = 10$ mA, applicando un'onda quadra di tipo TTL (0 V o 5 V) all'ingresso del circuito, si dimensionino i componenti per il transistor 2N2222.

Si assumi $h_{FE-min} = 75$ ($I_C = 10$ mA), $V_{CE-Sat} = 0,3$ V, $V_{BE-Sat} = 0,6$ V e $V_{CC} = 12$ V.

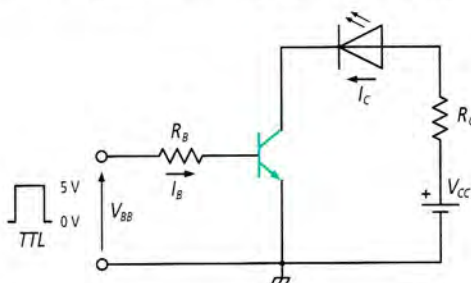


figura 5.15

Applicando il principio di Kirchhoff alla maglia d'uscita e d'ingresso si ricavano:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE-Sat} - V_{D(LED)}}{I_{C-Sat}} = \frac{12 - 0,3 - 1,7}{10 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$I_{B-Sat} = \frac{I_{C-Sat}}{h_{FE-min}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{75} = 133,3 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 133 \mu\text{A}$$

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE-Sat}}{I_{B-Sat}} = \frac{5 - 0,6}{13,3 \cdot 10^{-6}} = 33082,7 \text{ (33 k}\Omega\text{)}$$

Lo schema elettrico di **figura 5.15** può essere disegnato con Multisim come in **figura 5.16** per la simulazione.

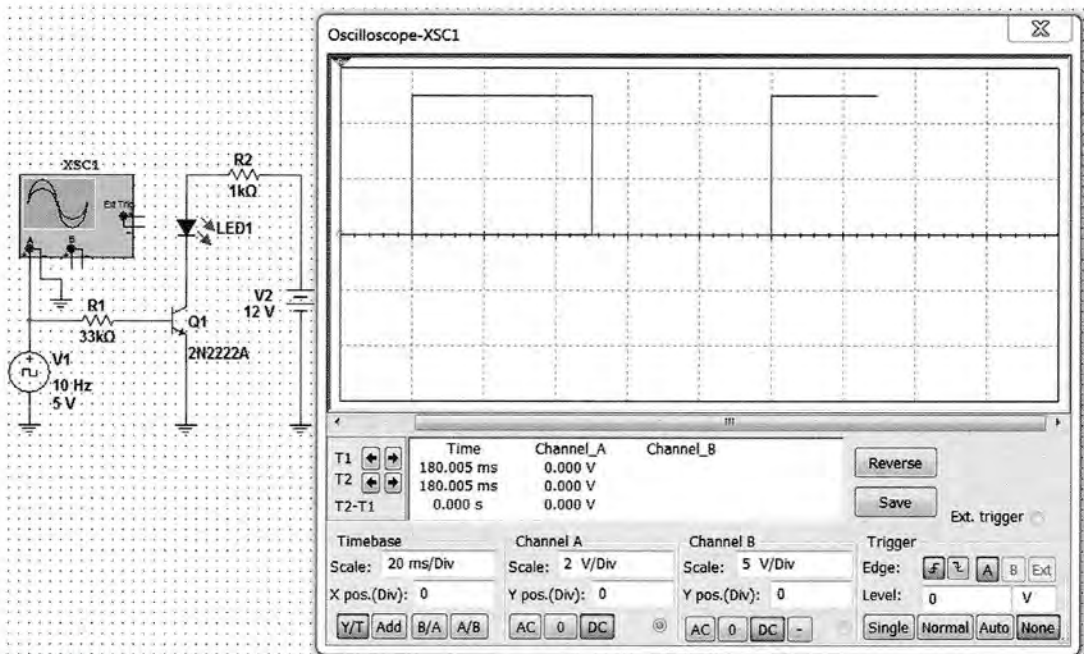


figura 5.16

Si osservi il funzionamento ON/OFF (diodo LED_Red acceso o spento) e contemporaneamente su quale livello del segnale TTL il diodo LED diviene luminoso.
Cambiare la frequenza del segnale TTL e osservare i tempi acceso/spento del diodo LED.

5.3 Valvola pneumatica

La valvola pneumatica è un dispositivo per la regolazione del flusso dei fluidi in una condotta con un comando a bassa pressione. È costituita da una membrana sulla quale è applicata una forza, da un corpo solidale con la membrana, da una molla antagonista, da due guarnizioni di tenuta e da un'asta che, a seconda della posizione, chiude o apre il flusso di un fluido per una regolazione ON/OFF (**figura 5.17**).

Se lo spostamento dell'asta è proporzionale alla forza si ottiene un controllo di tipo proporzionale.

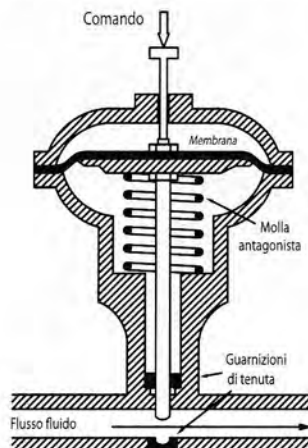


figura 5.17

Per aumentare la corsa dell'asta mobile occorre modificare la forma e la lunghezza della parte elastica della membrana come in **figura 5.18**.

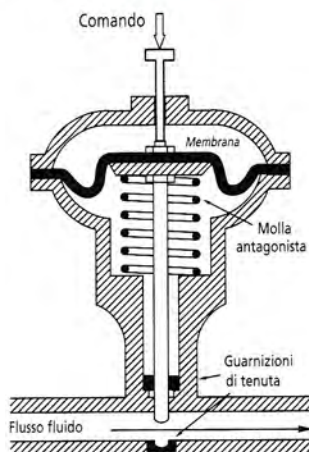


figura 5.18

Il dispositivo è un attuttore non di potenza che normalmente controlla, in modalità ON/OFF, il flusso di fluido (aria) nei motori pneumatici di potenza limitata per utensili di piccole dimensioni come trapani, mole, ecc. (**figura 5.19**).

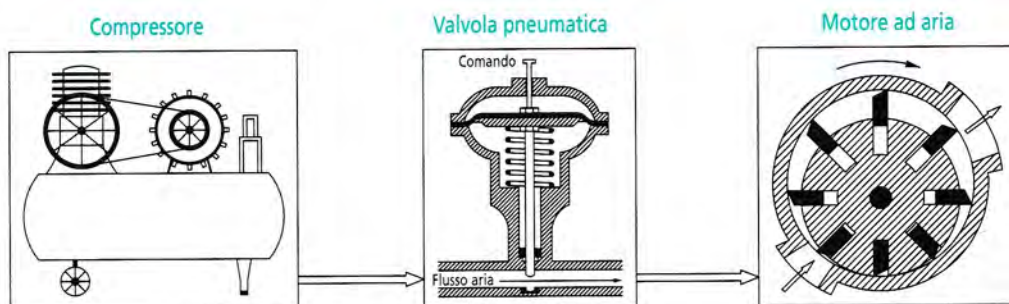


figura 5.19

La **figura 5.20** mostra un piccolo utensile per molatura in funzionamento ON/OFF azionato da un flusso di aria compressa.

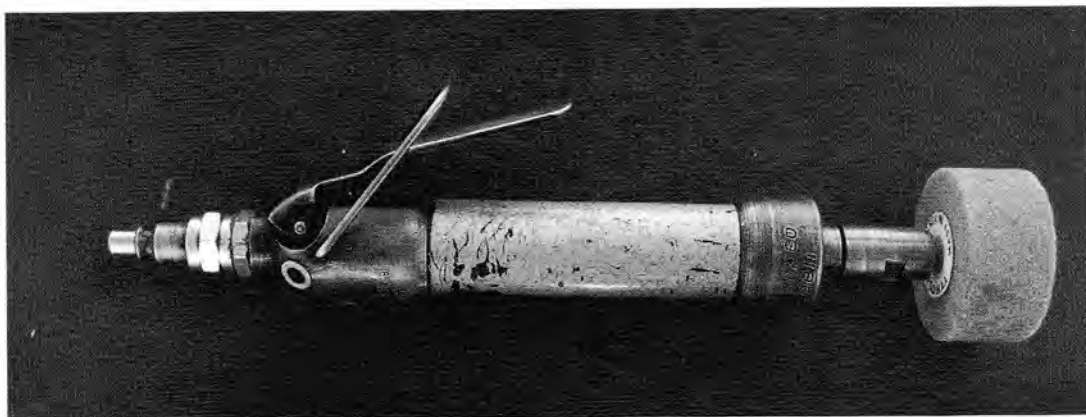


figura 5.20

esercizi

svolti

- 1** Utilizzando un relè Reed come interruttore si può controllare un relè di potenza che attiva un carico.

Si consideri il relè Reed di tipo A inserito nel circuito di **figura 5.21a** e il relè della MATSUSHITA-HC3 12 V-DC. Se il relè Reed rileva presenza di campo magnetico diviene attivo ed eccita il relè di controllo. Il relè Reed si diseccita quando non c'è presenza di campo magnetico. Il sistema può essere utilizzato, ad esempio, per l'accensione di lampade controllate da un sensore magnetico (**figura 5.21b**).

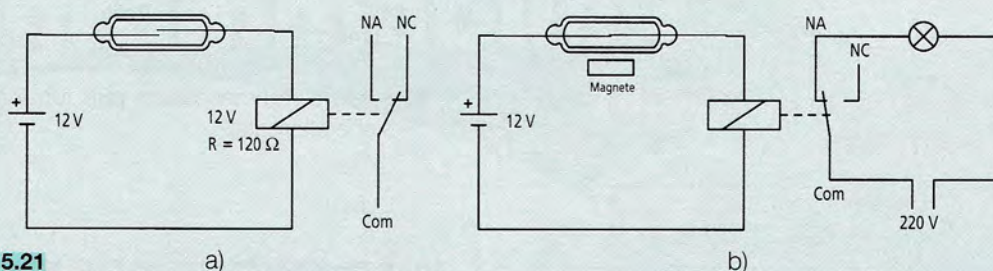


figura 5.21

- 2** Si realizzi un controllo di luminosità, di tipo ON/OFF, per l'accensione di un gruppo di lampade da utilizzare in un impianto d'illuminazione.

Si utilizza un transistor funzionante in ON/OFF con una tensione d'alimentazione $V_{CC} = 12\text{ V}$ identica a quella del relè. Sia $R_B = 1550\ \Omega$ la resistenza della bobina.

Lo schema di base è quello di **figura 4.4** (→ Unità 4 del presente modulo) dove il LED e la resistenza R_1 sono sostituite da un relè con resistenza interna $R_B = 1550\ \Omega$ e con l'alimentazione $V_{CC} = 12\text{ V}$ (**figura 5.22**).

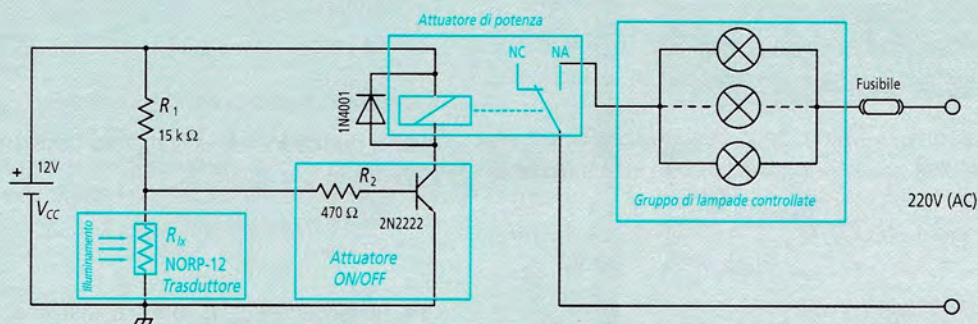


figura 5.22

Quando c'è luce la fotoresistenza assume un valore di resistenza trascurabile che porta il transistor nello stato di OFF (lampade spente). Quando è buio, la fotoresistenza assume un valore resistivo alto tale da mandare in conduzione il transistor portandolo nello stato di ON (lampade accese).

L'esempio proposto è un semplice sistema di controllo di luminosità a catena aperta. Il trasduttore rileva la luminosità, il transistor è l'attuatore ON/OFF che attiva, a sua volta, il relè (attuatore di potenza) per azionare il gruppo di lampade. La **figura 5.23** schematizza il sistema a blocchi.

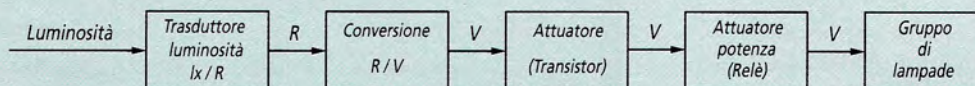


figura 5.23

esercizi proposti

1. Che cosa è un generico attuatore?

.....

.....

.....

2. Il termine elettromeccanico, per un relè, indica:

.....

.....

.....

3. Che cosa contiene l'ampolla di Reed?

.....

.....

.....

4. Quale funzione svolge la molla nella valvola pneumatica?

.....

.....

.....

5. Quando un transistor è in interdizione?

.....

.....

.....

6. Si calcolino i valori delle resistenze R_C ed R_B **figura 5.24** perché il transistor vada in saturazione. Sia $V_{F(LED)} = 1,8 \text{ V}$, $I_{D(LED)} = 10 \text{ mA}$, $V_i = 0 \text{ V} \div 10 \text{ V}$ (Segnale C-MOS), $h_{FE-min} = 75$ (con $I_C = 10 \text{ mA}$), $V_{CE-Sat} = 0,2 \text{ V}$, $V_{BE-Sat} = 0,55 \text{ V}$, $V_{CC} = 18 \text{ V}$.

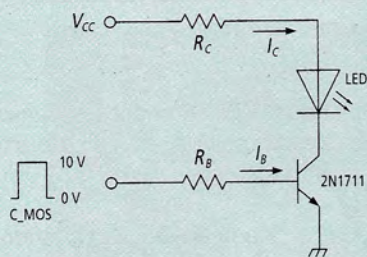


figura 5.24

7. Si può invertire la posizione del diodo LED nello schema di **figura 5.24**.

- ☐ vero
- ☐ falso

8. Il relè elettromeccanico può essere classificato come un amplificatore ON/OFF.

- ☐ vero
- ☐ falso

9. Il relè elettromeccanico può funzionare con tensione alternata.

- ☐ vero
- ☐ falso

10. Il relè a impulsi è un relè elettromeccanico.

- ☐ vero
- ☐ falso

11. Il relè reed di tipo A può essere classificato come un dispositivo magneto-meccanico.

- ☐ vero
- ☐ falso

12. Il relè reed può essere utilizzato in applicazioni lineari.

- ☐ vero
- ☐ falso

13. Il guadagno statico h_{FE} del transistor è il rapporto tra la I_B e la I_C .

- ☐ vero
- ☐ falso

14. Il termine $h_{FE} \cdot I_B$ del transistor è un generatore ideale di corrente.

- ☐ vero
- ☐ falso

15. La valvola pneumatica può essere strutturata con più molle antagonistiche.

- ☐ vero
- ☐ falso