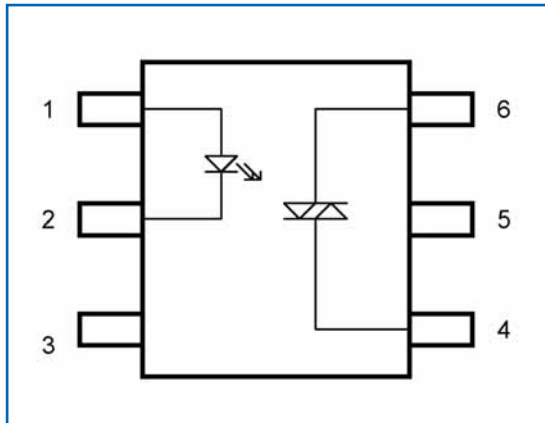


FOTOACCOPPIATORI

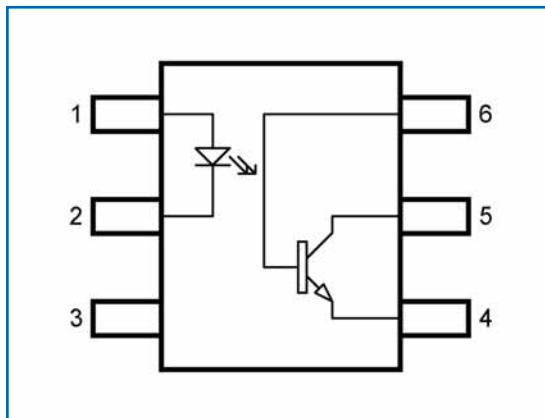
Il fotoaccoppiatore nasce come componente d'interfaccia tra un sistema elettronico di comando o di supervisione ed un circuito alimentato generalmente in bassa tensione ad un valore compreso tra i 48 e i 380 V.

Tramite il fotoaccoppiatore, i due sistemi risultano galvanicamente isolati tra loro, a favore della sicurezza sia dell'intero sistema, sia dell'operatore. Molto diffusi nel settore delle telecomunicazioni, vista l'alta velocità di trasmissione, questi componenti hanno ottenuto una larga diffusione anche nella Domotica, compresi i sistemi di regolazione della luminosità, di azionamento e di PLC, largamente impiegati nell'industria.

▲ **Figura 1:**
Struttura
interna
del fototriac



▲ **Figura 2:**
Struttura
interna del
fototransistor



■ STRUTTURA DEI FOTOACCOPPIATORI

I fotoaccoppiatori sono costituiti internamente da un diodo emittente, ovvero un diodo IRED, e da un fotorivelatore che s'identifica in genere in un fototriac o in un fototransistor.

I due componenti, l'uno emittente e l'altro ricevente, sono separati tra loro tramite da un dielettrico trasparente e questo fa sì che l'accoppiamento tra di essi sia esclusivamente ottico. In figura 1 è rappresentata la struttura interna del fototriac.

Questo fotoaccoppiatore incorpora un'uscita a triac, che consente la commutazione di correnti alternate isolate a bassa tensione. Caratteristica fondamentale dei fototriac è l'elevata tensione d'isolamento. Nella tabella 1 sono esposte le specifiche elettriche del diffuso MOC3020.

Si ricorre, in particolare, al fototriac quando si ha la necessità di pilotare il carico in fase con la tensione di rete. Nel fototriac, il gate risulta sensibile alle radiazioni ed il triac s'innescia quando le radiazioni hanno un'intensità tale da superare una certa soglia. Questo valore viene espresso mediante la corrente di trigger (I_{FTmax}).

L'applicazione principale del fototriac è nei sistemi di azionamento e controllo, come driver per triac di potenza.

La struttura interna del fototransistor è rappresentata in figura 2.

In questo tipo di fotoaccoppiatore, l'elemento

Caratteristiche elettriche e nominali del fototriac MOC 3020

Emettitore (fotodiodo)

Tensione diretta: 1,5 V

Corrente diretta di lavoro: 10 – 12 mA

Rivelatore (fototriac)

Tensione di isolamento: 7,5 kV

Corrente di lavoro massima: 100 mA

Tensione massima agli elettrodi: 400 V

Tensione d'isolamento

7,5 kV

emittente è sempre costituito da un fotodiode, mentre il rivelatore da un fototransistor. In genere, il fototransistor nella condizione di interdetto, quindi fotodiode spento, può sopportare una V_{ce} massima compresa tra i 30 ed i 70 V e può fornire in conduzione una corrente massima compresa tra i 30 ed i 50 mA (tabella 2).

Sono dei fototransistor ad alta tensione d'isolamento e rientrando nella categoria a Norme industriali, sfruttano un'alta velocità di trasmissione. L'utilizzo dei fototransistor trova impiego nei PLC, negli alimentatori switching e nel settore delle telecomunicazioni.

In figura 3 è rappresentata la struttura interna del fototransistor TLP521-2, che ingloba all'interno due canali indipendenti, mentre in figura 4 si fa riferimento alla serie TLP521-4, in grado di contenere all'interno quattro canali.

L'applicazione fondamentale di questi integrati è rivolta all'interfacciamento tra dispositivi digitali, nei PLC, nelle telecomunicazioni, ecc.

■ APPLICAZIONI GENERALI DEI FOTOACCOPIATORI

I fotoaccoppiatori possono consentire anche il pilotaggio di componenti di potenza come TRIAC o SCR, al fine di realizzare interruttori allo stato solido, sistemi di azionamento o di automatismo in base a certe informazioni esterne.

I progetti che seguiranno includono configurazioni tipiche dei fotoaccoppiatori, sia per il comando dei diodi controllati, sia per ricevere input di comando da logica TTL e CMOS.

Fototriac e triac per realizzare un interruttore allo stato solido

Nello schema elettrico di figura 5 è raffigurato il circuito funzionale di un interruttore allo stato solido, in grado di pilotare un carico massimo di 1 kW alla tensione di 230 V. Per piccoli motori a 230 V non vanno superati i 700 W.

L'interruttore statico è costituito da un triac di potenza, che riceve il comando di innesco dal fototriac MOC3020. All'accensione del circuito, l'interruttore si trova in condizione di OFF in quanto l'M555, configurato come circuito di memoria, agli ingressi 2 e 6 viene polarizzato ad un valore prossimo a V_{cc} , valore superiore alla soglia maggiore del trigger pari a $2/3 V_{cc}$.

Premendo PS, l'ingresso del trigger viene portato al potenziale di 0 V, valore inferiore alla soglia minore ($1/4 V_{cc}$) e questo consente al pin 3 di IC1 di portarsi a livello alto per poter comandare il fototriac OC1, che inibisce l'interruttore statico costituito da TRC. In questo stato l'interruttore commuta in ON, ossia chiuso.

Il transistor TR1, collegato in base al pin 3 di IC1 attraverso D2 e con il collettore agli ingressi 2 e 6 dello stesso integrato tramite PR (normalmente chiuso), forza l'M555 allo stato alto in uscita in seguito al comando su PS. Premendo PR, gli ingressi di IC1 vengono di nuovo portati al potenziale di V_{cc} e questa condizione porta di nuovo l'interruttore a riposo. Il LED rosso DL1 consen-

Caratteristiche elettriche e nominali dei fotoaccoppiatori 4N25,26,35

Emettitore (fotodiode)

Tensione diretta: 1,5V

Corrente diretta di lavoro: 12 mA

Rivelatore (fototransistor)

Tensione collettore/emettitore massima: 30 V

Corrente diretta di lavoro massima: 50 mA

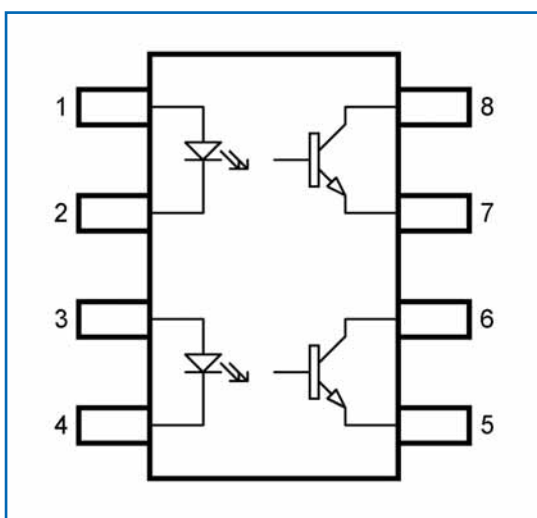
Tensione d'isolamento

4N25: 2,5 kV

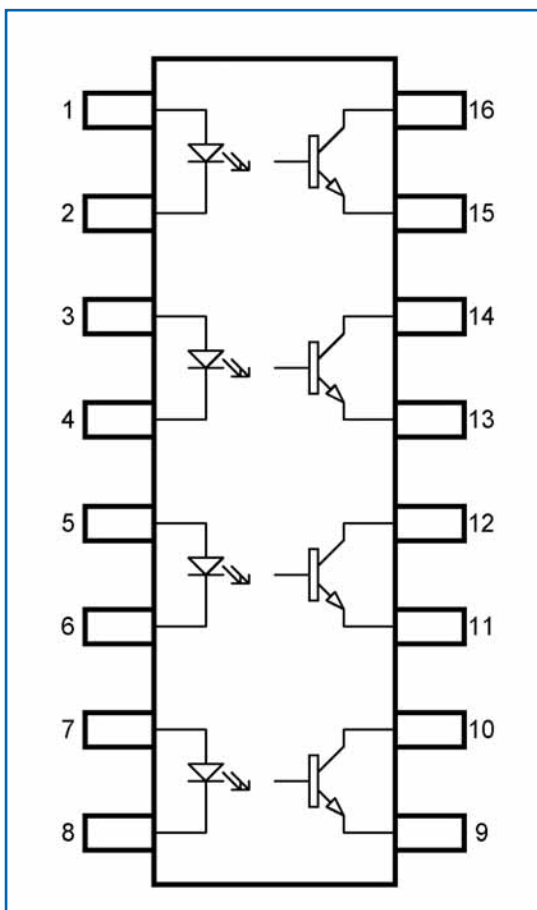
4N26: 1,5 kV

4N35: 3,55 kV

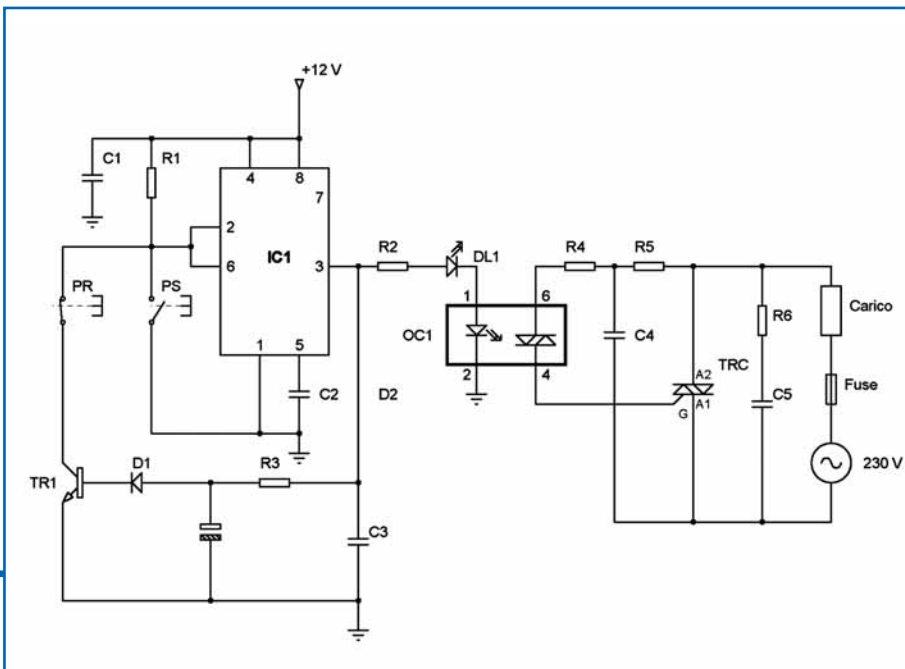
Tabella 2



▲ Figura 3: Struttura interna del fototransistor TLP521-2

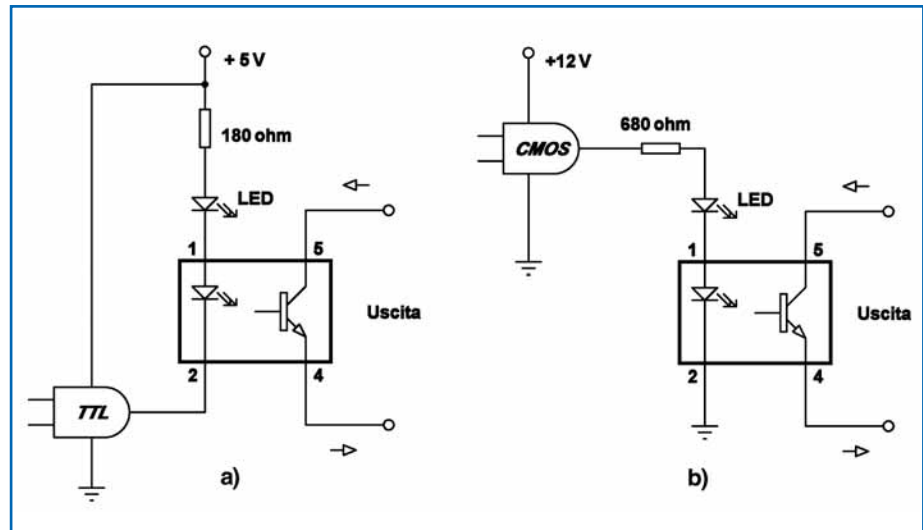


▲ Figura 4: Struttura interna del fototransistor TLP521-4



◀ **Figura 5:** Circuito funzionale di un interruttore allo stato solido

▶ **Figura 6:**
a) Polarizzazione del fotodiode tramite AND - TTL
b) Polarizzazione del fotodiode tramite AND - CMOS



Elenco componenti dell'interruttore allo stato solido

Tabella 3

R1 = 2,7 kΩ
R2 = 680 Ω
R3 = 39 kΩ
R4 = 150 Ω
R5 = 1,2 kΩ/2 W
R6 = 220 Ω/2 W
C1 = 100 nF
C2 = 10 nF
C3 = 47 nF
C4 = 10 μF elettrol. 25 V
C5 = 100 nF/630 V
C6 = 100 nF/630 V
D1, D2 = 1N4148
DL1 = LED rosso
TR1 = 2N2222A
TRC = Triac 800 V - 10 A
IC1 = LM555
OC1 = MOC3020
Fuse = Fusibile 4,5 A
PS = Pulsante NO
PR = Pulsante NC

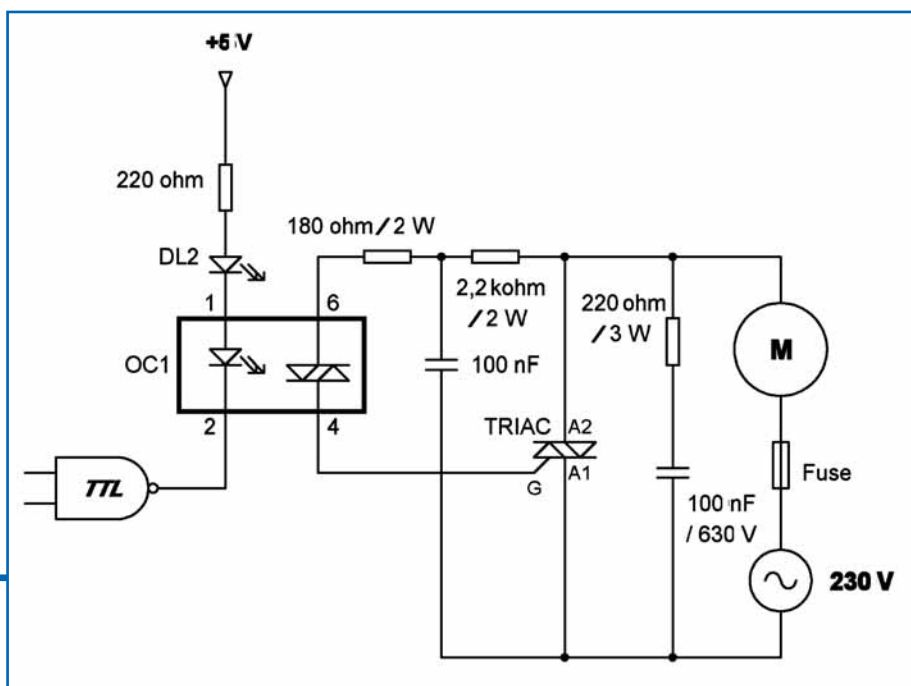
te di visualizzare lo stato di polarizzazione del fotoaccoppiatore.

Il gruppo RC, costituito da R8 e C5, serve per lo spegnimento del triac in fase di disinnesco e per sopprimere il rumore di commutazione in seguito ai comandi di accensione e spegnimento dell'interruttore (tabella 3).

Comando dei fotoaccoppiatori tramite porte logiche

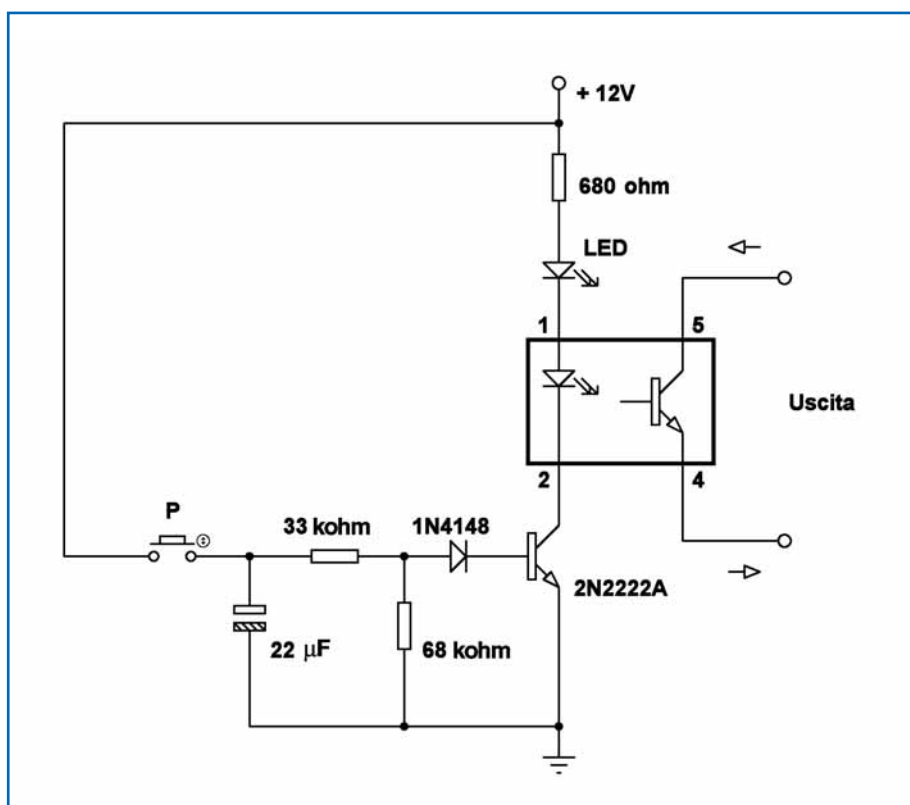
Nelle immagini di figura 6 il fototransistor viene comandato rispettivamente da porte logiche TTL (a) e CMOS (b). Si noti, in riferimento alla figura 6a, come la logica TTL debba polarizzare il fotodiode.

In funzione della connessione, il diodo IRED può entrare in conduzione solo se l'uscita TTL si porta a livello 0. Impiegando una porta TTL, non risulta conveniente polarizzare il fotodiode all'anodo, in quanto questo tipo di logica può fornire in uscita solo pochi milliamperere. Il diodo LED posto in serie all'IRED segnala lo stato ON del fotoaccoppiatore.



◀ **Figura 7:**
Azionamento
di un piccolo
motore a 230 V

► **Figura 8:** Comando
fotoaccoppiatore con NPN



Nello schema elettrico di figura 6b il fotodiode viene polarizzato da una porta logica CMOS: in questo caso l'IREL viene alimentato direttamente all'anodo. La famiglia CMOS dispone di uno stadio d'uscita in grado di erogare fino a 15 mA. Quando l'uscita della porta CMOS si porta a livello logico 1, il fotodiode può entrare in conduzione.

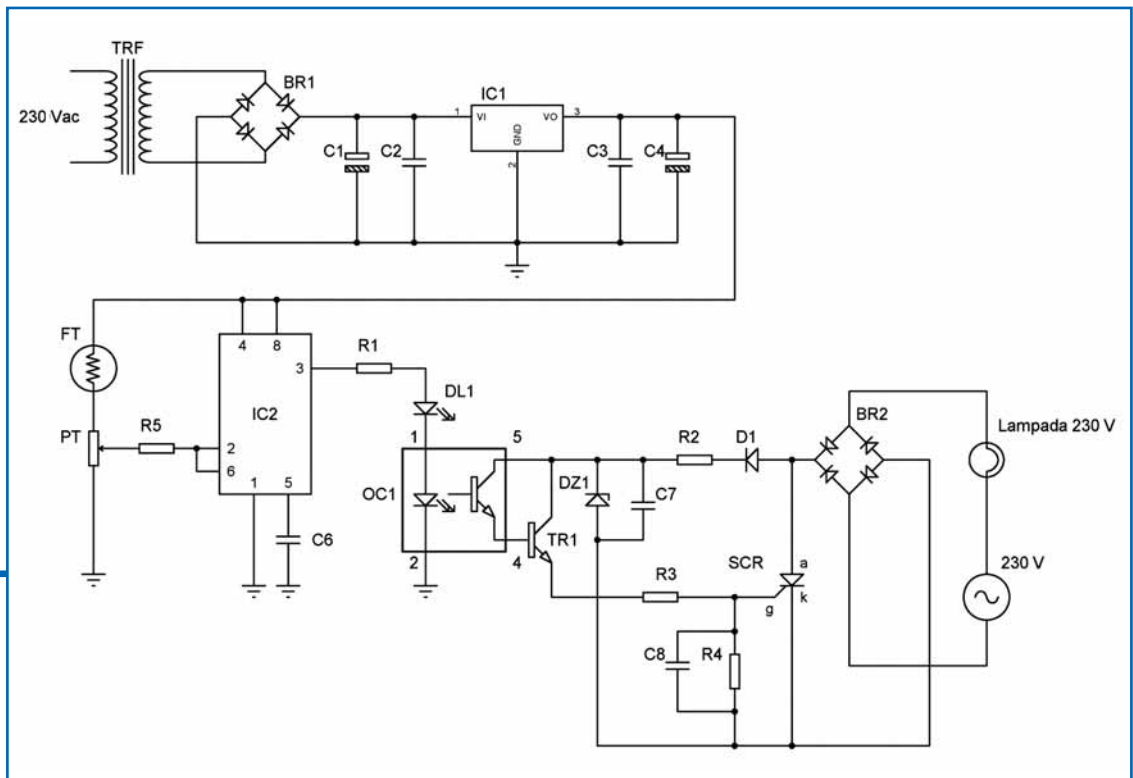
In figura 7 è raffigurato l'azionamento di un piccolo motore a 230 V in alternata tramite triac a gate sensibile come il BT137. Il triac viene innescato tramite fototriac, che può essere scelto nel MOC3020 o nel MOC3023.

Il fotoaccoppiatore viene comandato da logica di

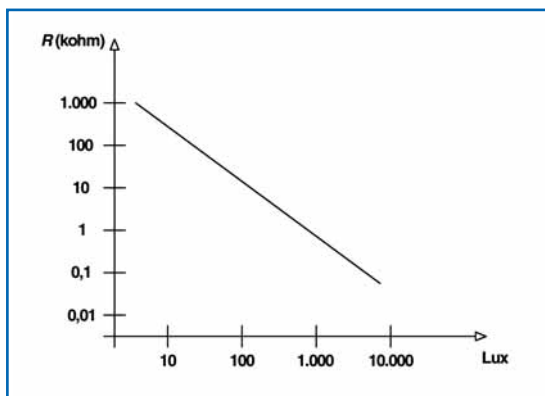
tipo TTL, obbligatoriamente alimentata al valore di 5 V. La potenza del motore non deve superare i 700 W.

In figura 8 il fototransistor viene pilotato da un transistor NPN inserito come interruttore. Nei sistemi logici e sequenziali generalmente vengono impiegati transistor di commutazione come il 2N2222 o il 2N2222A, per la giunzione NPN, e il tipo 2N2907, per la giunzione PNP. Premendo il pulsante P si consente la conduzione dell'IREL. Il condensatore C e il diodo D1 costituiscono un semplice circuito anti rimbalzo, utile per rendere il transistor immune ai transitori di commutazione quando viene premuto P.

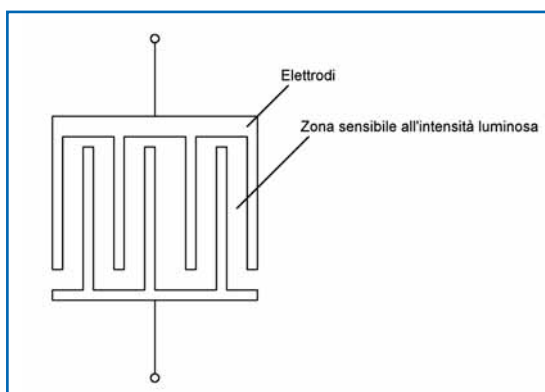
► **Figura 9:** Interruttore crepuscolare con interruttore SCR



► **Figura 10:** Legame tra resistenza ed intensità luminosa



► **Figura 11:** Struttura della fotoresistenza



elettrico di figura 9, l'interruttore statico è costituito da un diodo SCR con gate sensibile, comandato da un fototransistor.

Il circuito è stato dimensionato per pilotare una lampada ad incandescenza da 200 W alla tensione di 230 V.

Descrizione dello schema elettrico

L'interruttore crepuscolare utilizza come elemento sensibile una fotoresistenza, la cui caratteristica fondamentale è quella di variare il proprio valore ohmico in funzione della luminosità. Nei fotoresistori, il legame tra resistenza ed intensità luminosa, espressa in lux, è inversamente proporzionale, come indicato dal grafico di figura 10.

Le fotoresistenze sono dispositivi che sfruttano le proprietà di semiconduttori come il solfuro di cadmio, il silicio, il solfuro di piombo, ecc., che diminuiscono la propria resistenza all'aumentare delle radiazioni luminose. Nell'immagine di figura 11 è rappresentata la struttura di una fotoresistenza.

Il tempo di reazione del fotoresistore ad una variazione luminosa è abbastanza lento: infatti, non può giungere al di sotto di 0,4 ms. Inoltre, il ritorno ai valori di resistenza elevata dopo l'interruzione di una forte illuminazione è estremamente lento.

Nella condizione di massima luminosità, il valore ohmico della resistenza FT assume un valore bassissimo, circa 300 Ω, mentre nella condizione di buio il suo valore raggiunge circa i 3 MΩ. In riferimento di nuovo allo schema elettrico, questo comportamento della fotoresistenza fa sì che i pin 2-6 di IC1, in presenza di luce, tendano ad assumere una polarizzazione prossima a V_{cc} , mentre al buio tale polarizzazione risulterà pros-

Interruttore crepuscolare con interruttore ad SCR

Ricordiamo che per interruttore allo stato solido s'intende un componente di manovra che non impiega parti meccaniche, ma, in seguito ad un comando di consenso, il semiconduttore interno è strutturato in modo tale da consentire il passaggio di corrente, comportandosi come un vero e proprio interruttore.

In questo progetto, rappresentato nello schema

sima agli 0 V, permettendo all'interruttore crepuscolare di portarsi allo stato di ON.

La soglia d'intervento del circuito può essere però regolata tramite PT, che inibisce l'inserimento del crepuscolare all'intensità di luce desiderata.

Ruotando il potenziometro tutto verso sinistra, ai piedini 2 - 6 dell'NE555 viene fornito un valore di tensione circa pari a V_{cc} , ossia 12 V. Essendo questo valore di tensione superiore ad $1/3 V_{cc}$ l'integrato fornisce in uscita al pin 3 un livello basso. In questa condizione, il crepuscolare è a riposo. Ruotando PT tutto verso destra, i pin 2 - 6 vengono portati verso massa, quindi la tensione su tali ingressi scende ad un valore basso inferiore ad $1/3 V_{cc}$, inferiore ai 4 V.

Questo valore di tensione porta a livello alto l'uscita dell'NE555, che può così porre in conduzione il LED di segnalazione DL1 e il fotodiode interno di OC1.

Attraverso il fototransistor connesso in darlington con il 2N1711, l'SCR può innescarsi, consentendo l'accensione della lampada.

Dopo aver descritto l'azione del potenziometro sull'NE555 in funzione di FT, si deduce, quindi, che, in funzione della luminosità dell'ambiente e agendo sullo stesso PT, si può stabilire la soglia d'intervento dell'interruttore crepuscolare.

Solo l'aumentare della luminosità FT consentirà agli ingressi 2-6 di superare i $2/3 V_{cc}$ (8 V) e l'NE555 fornirà in uscita di nuovo 0 V, disinnescando il tiristore.

Dimensionamento del circuito di potenza

Il dimensionamento del circuito di potenza a 230 V risulta molto importante per il corretto funzionamento del sistema e per evitare possibili danni.

Collegando l'uscita del crepuscolare ai 230 V, il ponte BR2 fornirà alle uscite (+) e (-) 230 V pulsanti. Dovendo sfruttare questa tensione per comandare l'SCR tramite IC3, essa dovrà essere notevolmente ridotta, ad un valore inferiore comunque ai 30 V, che rappresenta la tensione massima sopportabile dal fototransistor.

Si è scelta una tensione pari a 12 V tramite DZ1 da 1,3 W e una $I_{tot} = (I_z + I_{gate})$, pari a circa 17 mA.

Per R2 si ha, quindi:

$$\begin{aligned} V_{cc} &= 230 \text{ V} \\ V_z &= 12 \text{ V} \\ I_{tot} &= 17 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$R2 = (V_{cc} - V_z) / I_{tot} \text{ (A)} = 12 \text{ k}\Omega$$

con potenza pari a:

$$PR2 = (I_{tot} \cdot I_{tot}) R2 = \text{circa } 3,5 \text{ W (che dimensioneremo per sicurezza a } 5 \div 6 \text{ W)}$$

Al tiristore TYN412, essendo ad alta sensibilità, per la polarizzazione della porta (gate) sono sufficienti per l'innescamento circa 0,8 V di V_{gate} e circa 7 mA di I_g per un carico di 500 mA.

Elenco componenti dell'interruttore crepuscolare

Tabella 4

680 Ω
R2 = 12 k Ω - 5/6 W a filo
R3 = 68 Ω
R4 = 10 k Ω
R5 = 2,2 k Ω
PT = Potenz. Lineare 47 k Ω
C1 = 330 μ F elettrol. 40 V
C2, C3 = 100 nF
C4 = 47 μ F elettrol. 25 V
C5, C6 = 100 nF
C7 = 3,3 μ F poliestere 63 V
C8 = 47 nF
D1 = 1N4007
DL1 = Diode LED
DZ1 = Diode zener 12 V/1,3 W
TR1 = 1N1711
FT = Fotoresistenza
IC1 = μ A7812
IC2 = NE555
OC1 = Fotoaccoppiatore 4N26
SCR = TYN412
BR1 = Ponte a diodi 100 V/1,5 A
BR2 = Ponte a diodi 800 V/6 A
TRF = Trasform. 12 V/500 mA

Le resistenze in cui la potenza non risulta specificata, sono da 1/4 W.

Per assicurare l'innescamento in funzione di lampade da 200 W, è stata posta sul gate una resistenza di limitazione del valore di 68 Ω (tabella 4).

Montaggio del circuito stampato

Per il montaggio del circuito stampato s'inizia con il fissaggio e la saldatura degli zocchetti di IC2 e di OC1, si prosegue poi con la saldatura delle terminazioni del potenziometro PT, che dovrà essere esterno al circuito.

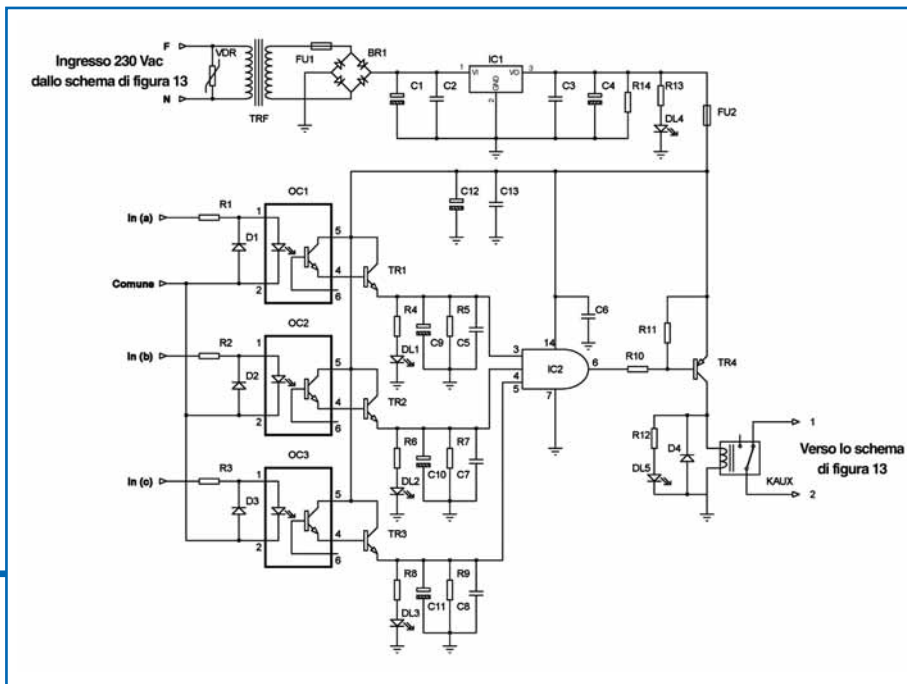
Segue il montaggio di tutte le resistenze, facendo in modo che la resistenza di potenza R2 rimanga sollevata dal piano della basetta di almeno 5 mm, considerando la quantità di calore che dovrà smaltire quanto l'SCR è in conduzione. Si prosegue con il montaggio dei condensatori, di D1, del diode LED e dei due ponti raddrizzatori BR1 e BR2.

Considerando che BR2 lavora direttamente a 230 V e per un carico massimo di circa 1,15 A, su di esso si consiglia il fissaggio di una piccola aletta di alluminio che misuri 50 x 30 mm, dello spessore di 2 mm. Tra il dissipatore e il ponte a diodi interporre pasta termica al silicone. Si continua con la saldatura dell'SCR e di IC1 e con quella della fotoresistenza FT.

Infine, possono essere montati sui rispettivi zocchetti gli integrati IC2 e OC1.

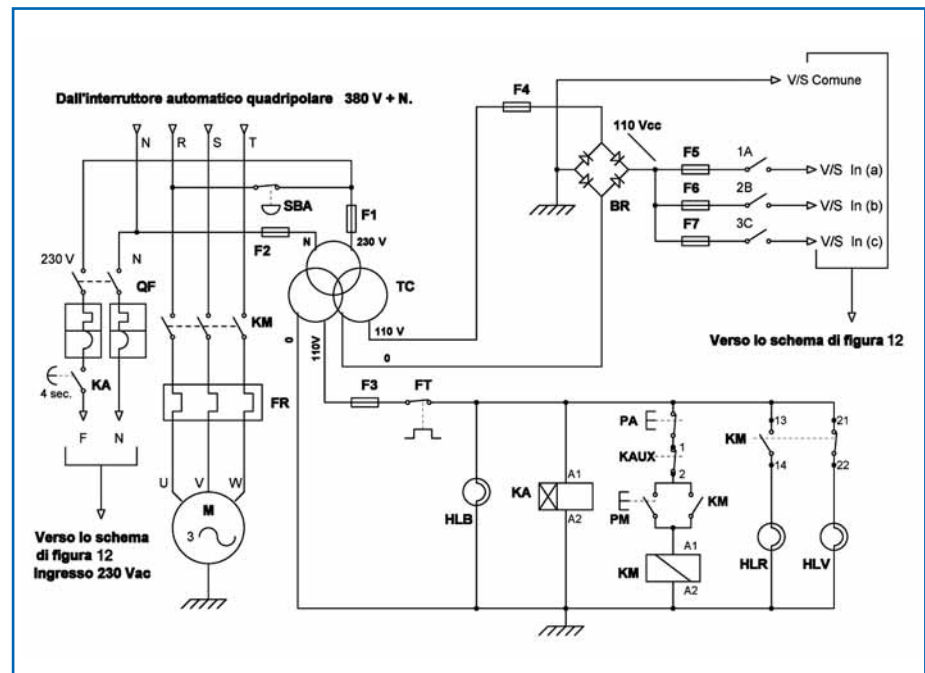
Taratura e collaudo del circuito

La taratura del circuito deve essere impostata al crepuscolo. Raggiunta la bassa luminosità desiderata, il potenziometro PT deve essere ruotato lentamente verso destra, consentendo all'NE555 di portarsi a livello alto in uscita, per poter co-



◀ Figura 12: Circuito funzionale di un sistema logico completo

▶ Figura 13



mandare il fototransistor OC1 e, quindi, l'SCR che permetterà l'accensione della lampada. A questo punto la taratura è stata impostata e l'interruttore crepuscolare tornerà automaticamente a riposo in presenza di luce. Occorre prestare particolare attenzione perché parte del circuito è alimentata direttamente al valore di 230 V. Toccando le piste o componenti in tensione, si è soggetti ad elettrocuzione grave.

■ APPLICAZIONE DEI FOTOACCOPIATORI IN CAMPO INDUSTRIALE

Macchine ad alte prestazioni come gruppi elettrogeni a motore Diesel, grandi compressori, ecc., per le particolari caratteristiche meccaniche che possiedono, necessitano spesso di circuiti ausiliari di preriscaldamento del motore, sensori per il controllo del liquido refrigerante, pressostati, ecc.

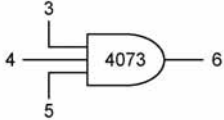
Tutte queste peculiarità consentono l'avviamento dell'utenza solo se gli strumenti che registrano determinate condizioni forniscono uno stato di consenso, tramite una tensione o un livello logico. Il progetto che sarà proposto dispone di tre fotoaccoppiatori in grado di registrare lo stato dei consensi della macchina, per permetterne l'avviamento o accertarne lo stato di indisponibilità.

Centralina per la verifica dei consensi ausiliari per avviamento macchina

Nello schema elettrico proposto in figura 12, è rappresentato il circuito funzionale di un sistema logico completo, in grado di consentire o meno il comando di un teleruttore di potenza a 110 V in alternata, in funzione delle condizioni presenti gli ingressi In (a), (b), (c). Tali ingressi vengono alimentati direttamente alla tensione di 110 V in

▲ **Figura 14:** Tabella della verità della porta CMOS/AND 4073

Ingressi			Uscita
3	4	5	6
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1



continua, tramite i contatti 1A, 2B e 3C, normalmente aperti, raffigurati nello schema elettrico di figura 13.

I fototransistor degli integrati OC1, OC2 e OC3, collegati in configurazione Darlington con i transistor di commutazione 2N2222A, forniscono lo stato degli ingressi In (a), (b) e (c) alla porta logica AND, del tipo CMOS – 4073, che costituisce un comparatore logico utile per confrontare lo stato delle informazioni provenienti dal campo. Affinché la logica AND possa fornire in uscita livello alto per non saturare TR4, è necessario che tutti gli ingressi ai pin 3, 4 e 5 siano polarizzati a livello logico 1, come deducibile dalla tabella della verità di figura 14.

Questa condizione è possibile quando ai tre ingressi In (a), (b) e (c) giungono i 110 Vcc, grazie alla chiusura di 1A, 2B e 3C. L'entrata in conduzione di TR4, che inibisce l'indisponibilità, avverrebbe quando anche un solo ingresso, ad esempio In (a), non fornisce polarizzazione all'IREL dell'OC1, a causa della mancata chiusura di 1A. La porta logica fornirebbe in uscita un livello logico 0, utile per saturare lo stesso TR4, essendo PNP, ed a questo segue l'eccitazione di KAUX, che aprirebbe il proprio contatto posto a monte ed in serie alla bobina di KM (figura 13). In questo modo, il teleruttore non sarebbe più disponibile.

I diodi LED DL1, DL 2 e DL 3, inseriti agli ingressi della porta NAND, indicano visivamente lo stato logico presente agli stessi ingressi della centralina, consentendo, inoltre, di discriminare il contatto non disponibile associato ad un possibile strumento di misura.

Secondo lo schema elettrico di figura 12, il sistema logico è visto disponibile, ossia con il contatto del KAUX chiuso verso KM in figura 13.

Il circuito di alimentazione impiega come regolatore l'LT1084CP-12, un regolatore della serie low-dropout in contenitore TO3P, in grado di erogare una corrente massima di 5 A.

Nella condizione di corrente massima, lo stabilizzatore necessita di un dropout minimo di

Elenco componenti del circuito logico di comando

R1 = 8,2 kΩ - 3 W
R2 = 8,2 kΩ - 3W
R3 = 8,2 kΩ - 3W
R4 = 1 kΩ
R5 = 10 kΩ
R6 = 1 kΩ
R7 = 10 kΩ
R8 = 1 kΩ
R9 = 10 kΩ
R10 = 5,6 kΩ
R11 = 15 kΩ
R12 = 820 Ω
R13 = 820 Ω
R14 = 560 Ω
C1 = 2.200 μF – elettrol. 40 V –105 °C low esr
C2 = 100 nF
C3 = 100 nF
C4 = 470 μF – elettrol. 25 V –105 °C low esr
C5 = 47 nF
C6 = 100 nF
C7 = 47 nF
C8 = 47 nF
C9 = 10 μF elettrol. 25 V – 105 °C low esr
C10 = 10 μF elettrol. 25 V – 105 °C low esr
C11 = 10 μF elettrol. 25 V – 105 °C low esr
C12 = 220 μF elettrol. 25 V –105 °C low esr
C13 = 100 nF
VDR = Varistore 230 V – serie SIOV ossido di metallo
D1 = 1N4007
D2 = 1N4007
D3 = 1N4007
D4 = 1N4004
D5 = 1N4004
TR1= 2N2222A
TR2 = 2N2222A
TR3 = 2N2222A
TR4 = 2N2905
DL1, DL 2, DL 3, DL 4, DL 5 = Diodi LED
IC1 = LT1084CP -12
IC2 = CMOS - 4073
OC1= 4N25
OC2 = 4N25
OC3 = 4N25
KAUX = Relè 12 Vcc – 230 V/16 A - 1 scambio
FU = Fusibile rapido 2 A
BR1 = Ponte a diodi 400 V – 3 A
TRF = Trasformatore 230 V/12 V – 3 A

Tabella 5

1,5 V, una caratteristica ottima per un regolatore di tipo lineare.

Il circuito di alimentazione impiegato nello schema di figura 12, può essere sfruttato per alimentare un massimo di 15 centraline identiche a quella proposta, in funzione della potenza massima sopportabile dal regolatore IC1 ed affinché lo stesso lavori in modo ottimale a livello termico. Per più centraline, il regolatore va dotato di dissipatore con RT = 4 °C/W, aggiungendo pasta termica al silicone (tabella 5).

Anche in questo caso, parte del circuito è alimentata direttamente al valore di 110 V. Toccando le piste o componenti in tensione, si è soggetti ad elettrocuzione grave.