

CONTROLLO DI MOTORI PASSO-PASSO

Uno dei componenti più interessanti nel mondo della robotica è senza dubbio il motore passo-passo. Per questa ragione, tra le varie proposte di dispositivi collegabili al computer, non poteva mancare una interfaccia per il controllo di questo particolare tipo di motori tramite PC.

In questo capitolo verranno fornite tutte le informazioni necessarie per costruire una interfaccia tra il calcolatore e un motore passo-passo, al fine di consentire ai lettori di addentrarsi in modo semplice e didattico nell'affascinante mondo dell'automazione. Durante la descrizione della parte realizzativa e di utilizzo di questa interfaccia verranno affrontati anche gli aspetti teorici relativi a questo tipo di motori, fino ad arrivare alla formulazione di un



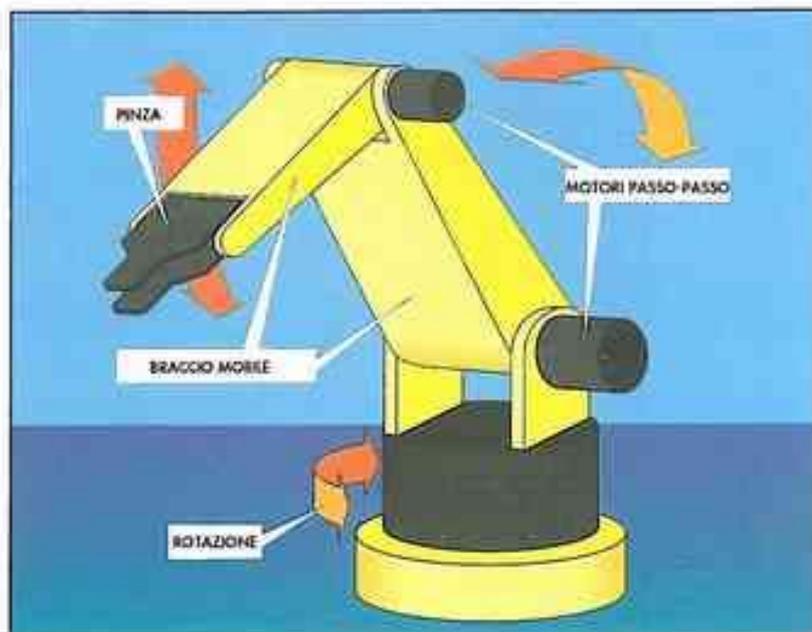
Costruendo e utilizzando questa interfaccia si può imparare buona parte della teoria relativa a questi motori.

Lo spostamento angolare di un motore di questo tipo avviene per passi fissi determinati dalla sua struttura costruttiva

Il programma in BASIC necessario per il suo funzionamento.

Questo circuito può essere utilizzato anche come controller, poiché se viene abbinato ad un qualsiasi relè di tipo standard facilita la comunicazione del PC con il mondo esterno.

Il primo tema che bisogna affrontare riguarda il funzionamento dei motori passo-passo; conoscendo questo aspetto sarà possibile comprendere i metodi e le tecniche utilizzate per il loro controllo con l'interfaccia proposta.



Con un motore passo-passo si ottengono movimenti di precisione

I MOTORI PASSO-PASSO

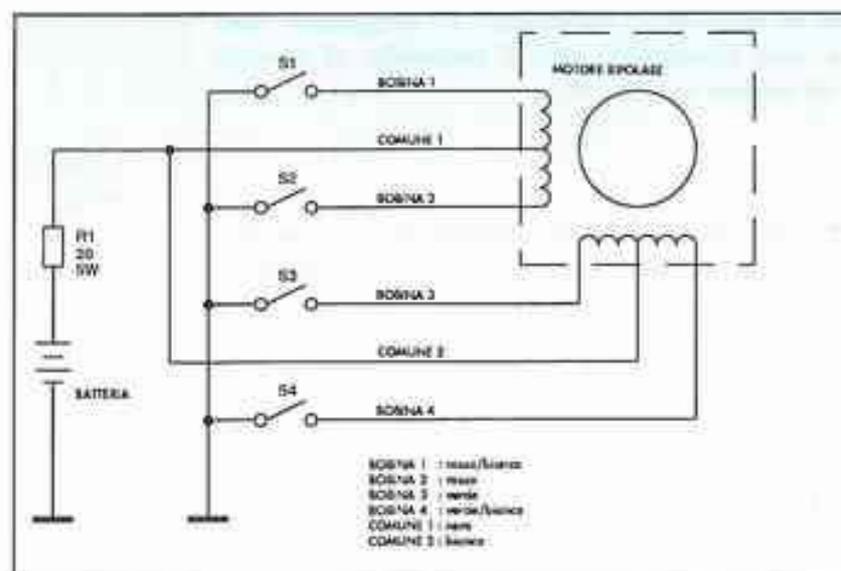
Solo pochi componenti hanno provocato tante mutazioni nel mondo dell'automazione industriale come i motori passo-passo. Oltre alla vastissima gamma di applicazioni nell'industria meccanica moderna, questi motori costituiscono l'elemento fondamentale della robotica applicata.

Quando si parla di robotica industriale, molti lettori potrebbero essere portati a pensare ad apparecchiature molto grandi e complesse, ma

non sempre è così. Di fatto, i motori passo-passo vengono utilizzati anche in dispositivi molto comuni, come possono essere i floppy drive del calcolatore, le stampanti e addirittura qualche gioco per bambini. La conoscenza di questi dispositivi e dei loro circuiti di controllo è sicuramente un requisito indispensabile per coloro che intendono addentrarsi nel mondo dell'elettronica industriale. Infatti, si è sviluppato un gergo del tutto particolare legato a questi dispositivi e alle periferiche alle quali sono connessi.

Qualcuno si potrebbe chiedere cosa hanno di tanto particolare i motori passo-passo per essere considerati così speciali; bisogna sapere, che essenzialmente non differiscono molto da un motore in corrente continua standard, anche se il modo di operare è completamente diverso. Un motore passo-passo viene progettato e costruito non per ruotare in modo continuo ad una determinata velocità, ma per eseguire una rotazione angolare prefissata in corrispondenza di ogni impulso che arriva al suo sistema di controllo; ciascuna di queste rotazioni parziali viene definita passo reale del motore.

I motori passo-passo sono dotati di due bobine con presa centrale



BOBINA	1	2	3	4	EQUIVALENTE DECIMALE
PASSO 1	1	0	1	0	10
PASSO 2	1	0	0	1	9
PASSO 3	0	1	0	1	5
PASSO 4	0	1	1	0	6

1 = ATTIVATA
0 = DISATTIVATA

Tabella dei passi e dei corrispondenti valori di ciascun bit

Ogni motore di questo tipo, per eseguire una rotazione completa di 360 gradi, deve effettuare un certo numero di passi finito, che dipende dalle caratteristiche intrinseche di costruzione. Un passo di 1,8 gradi può essere considerato un valore normale; ciò significa che ad ogni impulso (che sarà esaminato successivamente) ricevuto direttamente dal controller, l'asse del motore effettua una rotazione di 1,8 gradi per poi fermarsi. In questo caso, se l'asse deve effettuare una rotazione complessiva di 18 gradi è necessario applicare al controller del motore 10 impulsi. Se invece si desidera una rotazione continua, che comunque avviene per scatti successivi, il controller deve ricevere un flusso permanente e costante di impulsi.

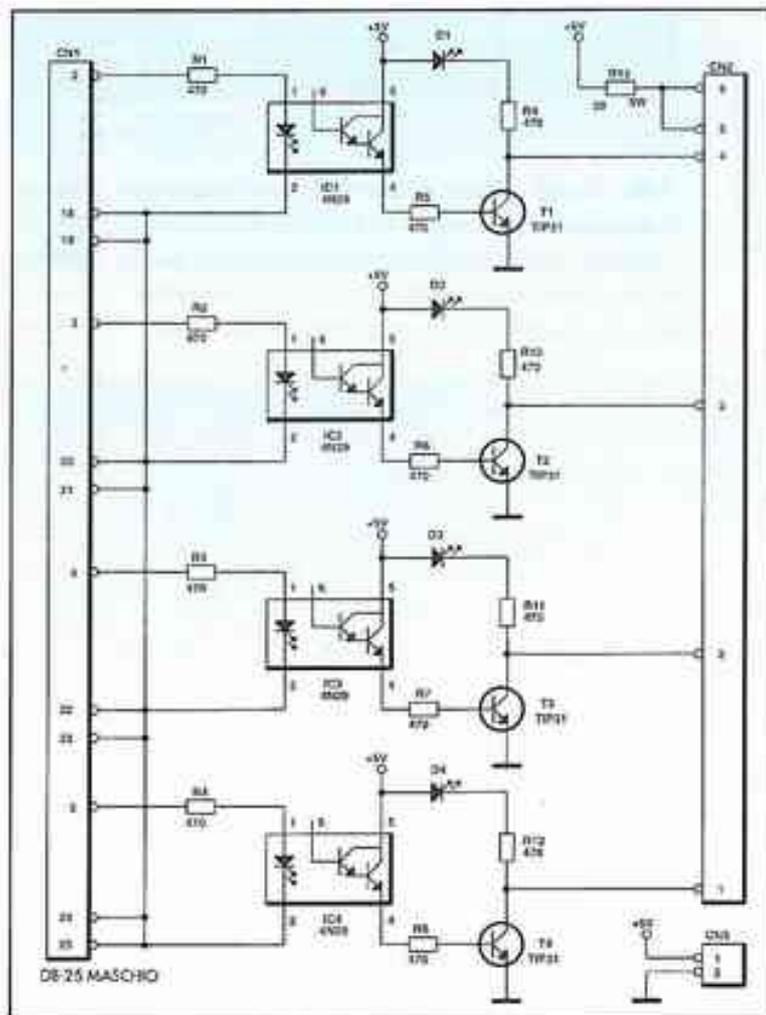
In esempio significativo del sistema di controllo di un motore passo-passo è costituito dalla testina di una stampante, che percorre la carta longitudinalmente guidata da una cinghia dentata a sua volta pilotata da una puleggia dentata calettata sull'asse di un motore passo-passo. Il software (o per essere precisi il "firmware", un insieme di programmi contenuti in una memoria PROM) della stampante conosce in anticipo il numero di passi da applicare al suo motore, che corrispondono a un determinato numero di spazi percorsi dalla testina sulla carta. Dopo aver ordinato la stampa di un determinato carattere, il firmware invia al motore il numero esatto di impulsi perché questo si

sposti dello spazio necessario per eseguire la stampa del carattere successivo. Grazie al particolare sistema con cui vengono controllati questi motori, è possibile effettuare un cambio di direzione sfruttando semplicemente una logica molto simile a quella appena descritta. Questo è il motivo per cui alcune stampanti possono agire in entrambe le direzioni. Un'altra particolarità dei motori

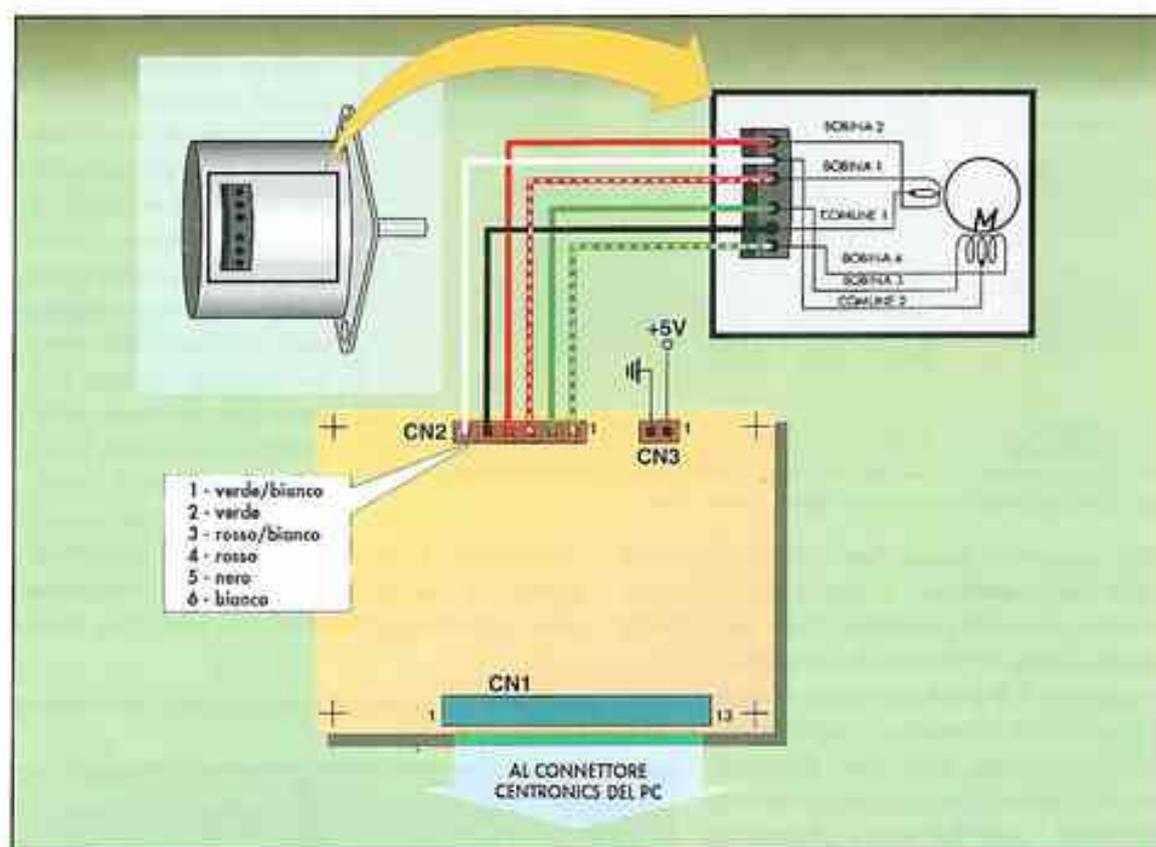
Una particolarità dei motori passo-passo è la loro capacità di fermarsi in una posizione determinata

passo-passo è costituita dalla loro capacità di fermarsi in una posizione prestabilita, situazione che consente di posizionarli con precisione asso-

Schema dell'interfaccia. Tramite il connettore DB-25 viene collegata alla porta Centronica del calcolatore



La commutazione di polarità di un motore passo-passo si ottiene grazie ad un circuito esterno dotato di transistor



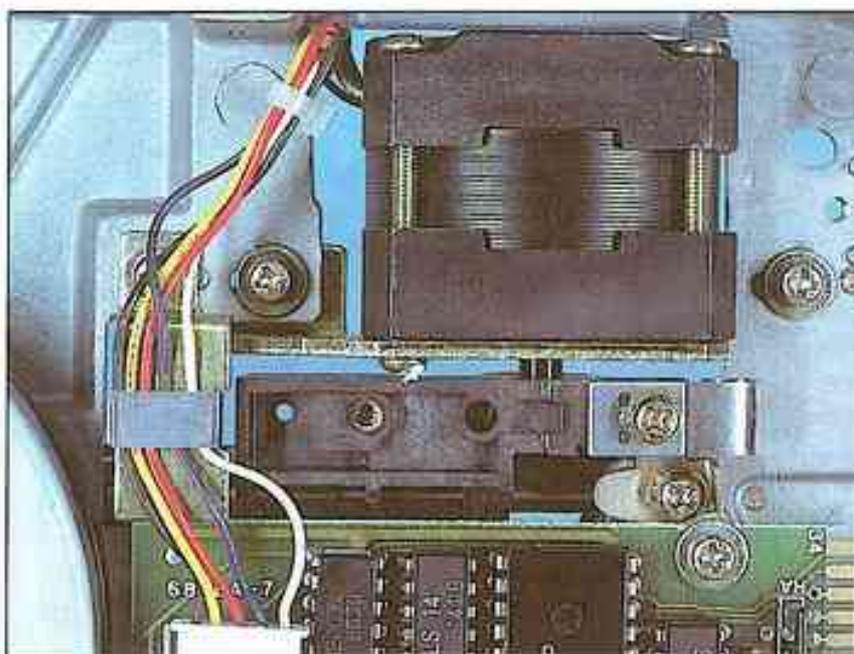
Collegamenti tra il circuito e il motore. Questi possono variare in funzione del tipo di motore

luta. Si può utilizzare uno di questi motori per controllare ad esempio la rotazione di una vite filettata applicata ad una piattaforma scorrevole

dotata di un foro filettato. Questa vite senza fine consente lo spostamento avanti/indietro della piattaforma di uno spazio proporzionale al numero di impulsi o passi forniti al motore.

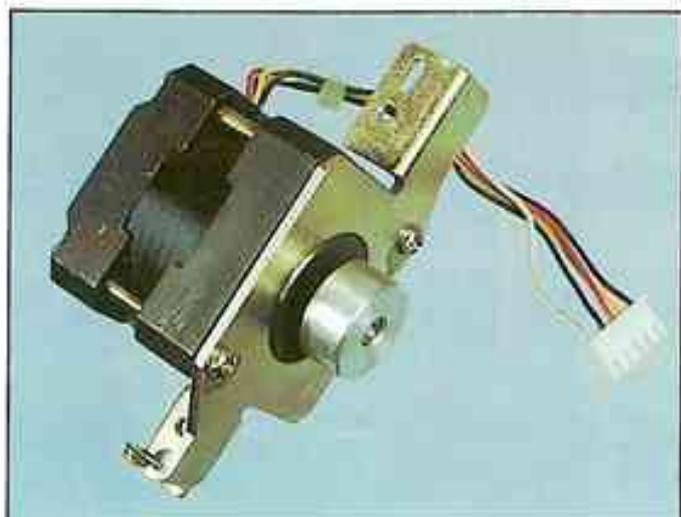
Con due viti di questi tipo, tra loro orientate di 90 gradi, si può generare un movimento sul piano X-Y simile al movimento del pennino di un platter. Con una apparecchiatura dotata di tre dispositivi passo-passo si può ottenere un movimento spaziale sui tre assi, condizione molto frequente nella meccanica dei processi industriali.

Il motore può essere recuperato da un vecchio disk drive



AVANZAMENTO PASSO-PASSO

La struttura di un motore passo-passo è simile a quella dei motori in corrente continua a magnete permanente. Entrambi infatti utilizzano un rotore a magnete permanente e uno statore formato da



Motore passo-passo di un disk drive.

una armatura e da una bobina (o da una serie di bobine) che costituisce l'avvolgimento necessario per generare il campo magnetico. Questo campo si oppone a quello creato dal magnete permanente, e genera la rotazione del rotore. In un motore standard è necessario provocare una "commutazione" che faccia variare il campo generato dalle bobine, in modo che l'opposizione di quest'ultimo sia continua rispetto al campo intrinseco del rotore per dare origine al movimento ininterrotto. Nei motori "normali" questa commutazione viene realizzata per mezzo di "spazzole" e di un collettore a lamelle (formato da un cilindro segmentato in piccole parti o lamine che viene calettato direttamente sull'asse di rotazione). La rotazione del motore provoca di conseguenza anche la rotazione del collettore, che chiude il circuito delle diverse bobine di statore in funzione delle lamelle che di volta in volta vengono a contatto con le spazzole; ovviamente queste bobine sono costruite in modo da essere attraversate dalla corrente alternativamente in senso opposto, per creare quella continuità di flusso magnetico che si oppone allo statore per provocarne la rotazione.

A differenza di quanto detto sinora, nel motore passo-passo la commutazione avviene in un circuito esterno a quello del motore stesso, che provoca il collegamento o l'apertura delle bobine tramite dei transistor. Inoltre, in questi motori non è richiesta la generazione di un campo magnetico continuo in opposizione; ciò che si vuole ottenere è semplicemente una "attrazione" del rotore da

parte delle bobine per portarlo in una posizione prestabilita e mantenerlo in quella condizione. Per far avanzare il motore di un passo, è necessario eccitare determinate bobine per provocare ancora l'attrazione del rotore nella nuova posizione. Nella figura corrispondente si può osservare lo schema tipico di un motore passo-passo. Se la tensione viene applicata alle quattro bobine in un certo ordine, si ottiene l'avanzamento di un passo del motore. In motori diversi sono necessarie sequenze di passo differenti. Nella tabella riportata in figura viene presentata una sequenza tipica di attivazione. Se si eccitano le bobine nella successione indicata da

questa tabella si fa avanzare il motore in un verso; invertendo la sequenza il motore si sposta nel verso contrario. L'arresto del motore si ottiene applicando tensione contemporaneamente a due bobine. Per aumentare o diminuire la velocità di rotazione del motore è sufficiente variare la frequenza di commutazione delle bobine. Questo processo di accelerazione/decelerazione viene definito *ramping*, ed è generalmente utilizzato quando al motore viene applicato un carico elevato. Gli elementi circuitali necessari per generare i comandi richiesti dal motore possono essere semplici oppure relativamente complessi. La sequenza degli impulsi si può ottenere con delle porte logiche, con dei sistemi a microprocessore monoscheda, oppure con dei controller pilotati da PC. Questi ultimi sono normalmente costituiti da una scheda in grado di gestire più motori contemporaneamente che si inserisce in una slot dell'elaboratore. In alcuni sistemi più complessi, per ottenere un controllo più sicuro della posizione dell'asse viene utilizzato anche un codificatore ottico.

IL MOTORE

Attualmente non è difficile trovare in commercio un motore passo-passo per la costruzione di un prototipo sperimentale. Ad esempio, è possibile recuperarlo da una stampante rotta o da un disk drive guasto, purché il problema non sia dovuto proprio al motore stesso. Bisogna tener presente però, che esistono diversi tipi di motori passo-

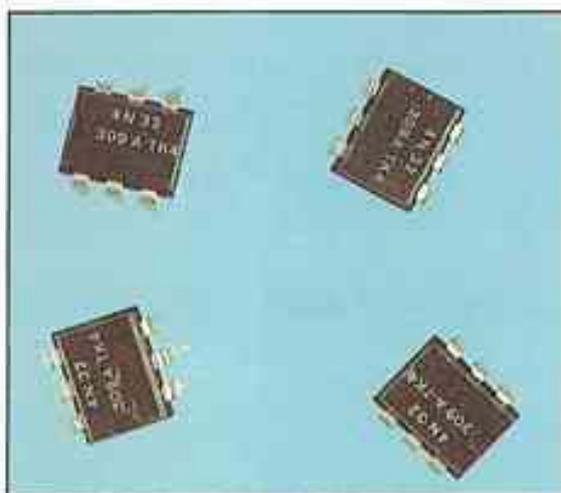
Gli elementi circuitali necessari per generare i dati che servono al motore possono essere semplici o, al contrario, relativamente complessi

L'unica precauzione è quella di regolare l'alimentazione al valore indicato sull'etichetta presente sul corpo del motore

passo, e ciascuno richiede una logica di controllo diversa. La configurazione più semplice da gestire per un controller è quella riportata in figura. Questo motore passo-passo è chiamato *ibrido ad avvolgimento bipolare* e a sei connessioni. La scheda di controllo proposta è basata su questo tipo di motore, poiché la struttura di questo modello si può ricavare facilmente verificando con un tester la continuità delle sue bobine, ciascuna delle quali è dotata di presa centrale. Inoltre, i colori che identificano i diversi terminali rispettano generalmente uno standard internazionale, per cui è immediato stabilire se il motore che si possiede è dello stesso tipo di quello rappresentato in figura.

Dopo aver localizzato i terminali comuni, è necessario identificare i rimanenti. Il metodo più semplice è senza dubbio quello di provare a collegarlo nel modo mostrato in figura. L'unica precauzione è quella di regolare la tensione di alimentazione al valore indicato sull'etichetta applicata sul corpo del motore. Gli interruttori indicati con S1 - S4 possono essere sostituiti con qualunque altro tipo di interruttore che si ha a disposizione. La resistenza da 20 Ω è utilizzata come limitatrice e la sua funzione è quella di evitare dei surriscaldamenti quando il motore si ferma in una posizione statica. Per definire un *modus operandi* corretto è necessario numerare in modo arbitrario due fili (che condividano un comune centrale) con 1 e 2 e gli altri due con 3 e 4. Per osservare meglio il verso di rotazione del motore si consiglia di applicare all'asse di rotazione un pezzo di carta. Dopo aver eseguito tutti i collegamenti bisogna chiudere gli interruttori corrispondenti ai terminali 1 e 3. Successivamente si devono aprire questi interruttori e chiudere quelli corrispondenti ai terminali 1 e 4. In questo modo si simula in pratica la sequenza di alimentazione delle bobine; per procedere si deve consultare la tabella riportata in figura. Se il motore avanza di un solo passo alla volta e sempre nello stesso verso allora si può essere certi che la numerazione iniziale dei cavi è stata eseguita correttamente.

Se invece la rotazione avviene in un verso, e al passo successivo si inverte, si devono rinumerare i cavi finché non si trova la combinazione esatta, che corrisponde alla rotazione del motore sempre nello stesso verso.



I fotoaccoppiatori sono di tipo Darlington

L'INTERFACCIA

Invece di utilizzare un circuito di controllo complesso, oppure addirittura una scheda a microprocessore, si è preferito progettare un controller costituito semplicemente da una interfaccia non intelligente in grado però di permettere il colloquio tra un personal computer ed il motore. Ciò significa che il compito di "pensare" spetta al calcolatore, mentre la scheda di controllo si limita ad applicare i segnali ricevuti dal PC alle bobine del motore. Esistono diversi sistemi per immettere e ricevere informazioni da un elaboratore, ma in questo caso si è preferito scegliere la via più semplice utilizzando la porta Centronics dedicata alla stampante. Questa infatti è una porta parallela, per cui si hanno a disposizione simultaneamente otto linee con i relativi bit. Tutto quello che si deve fare è utilizzare quattro di queste linee, assegnare ciascuna di esse ad una delle bobine del motore passo-passo, e comunicare al calcolatore di inviare l'opportuna sequenza per il controllo del motore. Il controller svolge due funzioni piuttosto semplici:

- agisce come interfaccia di potenza per poter pilotare le bobine, che richiedono una corrente piuttosto elevata, con i livelli di potenza presenti sulle uscite della porta parallela. Ciò si ottiene con i transistor di potenza indicati con le sigle T1-T4.
- agisce da separatore galvanico grazie all'isolamento fornito dai fotoaccoppiatori. Questi componenti isolano completamente la parte di control-

lo, rappresentata dalla porta Centronics e perciò dal computer, dalla parte di potenza, costituita dai transistor e dalle bobine. Essendo poi dotati di fototransistor Darlington, sono in grado di generare direttamente la corrente di base necessaria per i transistor di potenza. Inoltre, eventuali rumori elettrici provocati dal motore, o qualsiasi difetto del controller, non potranno in nessun modo raggiungere l'elaboratore, per cui diventa impossibile un suo danneggiamento causato da questa applicazione. Per questa ragione i fotoaccoppiatori rappresentano un dispositivo semplice, economico e molto utile per il progetto in questione e per qualsiasi altro progetto che presenti le stesse problematiche.

MONTAGGIO

Prima che il lettore decida l'acquisto dei componenti, è opportuno segnalare che i valori delle resistenze relative alla parte controllata dai transistor sono stati scelti per una tensione standard, per cui può essere necessario modificarli leggermente per ottenere delle prestazioni migliori. Se il motore gira, ma non fornisce le prestazioni dovute, si deve modificare il valore delle resistenze finché si trova quello ottimale.

Il circuito stampato è a doppia faccia con fori non metallizzati, per cui alcuni componenti dovranno essere saldati su entrambe le facce. I primi componenti che si devono montare sono le resistenze, ma per le ragioni espresse in precedenza può capitare che la loro installazione non sia quella definitiva. Il connettore DB-25 maschio deve essere montato in modo tale che le sue file di terminali rimangano incastrate nella stampato. Dopo aver saldato tutti i componenti si possono inserire i circuiti integrati dei fotoaccoppiatori nei rispettivi zoccoli.

Al termine delle operazioni di montaggio, bisogna collegare la scheda alla porta parallela del PC con il connettore DB-25. Collegando poi il motore alla scheda, e fornendo l'appropriata alimentazione, il circuito è pronto per subire le prime verifiche.

CONTROLLO DEL MOTORE

Fare in modo che il computer comunichi con il motore è forse la fase più semplice di questo progetto. Ritornando ancora una volta alla tabella, si può osservare che per ogni passo della sequenza di controllo devono variare le alimentazioni "logiche" delle bobine. Se si pensa a queste combinazioni come digit binari si può verificare che sono necessarie parole di 4 bit. Tutto quello che si deve fare è inviare queste parole alla porta parallela del computer ogni volta che si desidera far ruotare il motore di un passo. Trasformando questa informazione da binaria a decimale, si può notare che la sequenza necessaria per far avanzare il motore di quattro passi è 10-9-5-6; per mantenere il motore in rotazione continua è sufficiente perciò ripetere la stessa sequenza. Realizzare questa operazione è molto facile; il sistema più semplice è quello di inviare questa informazione direttamente all'uscita della stampante tramite un'istruzione scritta in BASIC. Si deve quindi caricare il BASIC e scrivere la seguente istruzione:

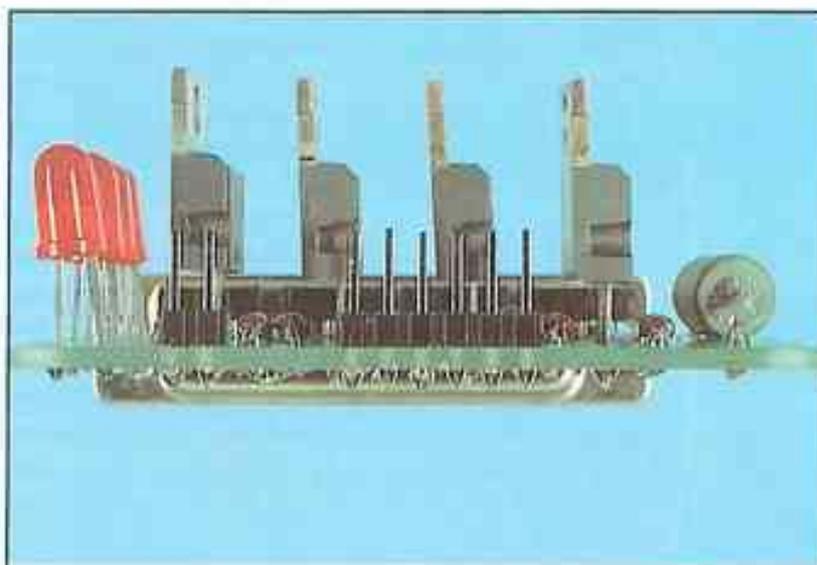
```
OUT 888,10 <RETURN>
```

Questo comando invia un valore decimale 10 (1010 in binario) alle prime quattro linee della porta parallela. I diodi LED corrispondenti alla prima sequenza di rotazione si illuminano e il motore si muove di un passo. Se ora si scrive l'istruzione:

```
OUT 888,9 <RETURN>
```

I fotoaccoppiatori rappresentano un utile, economico, e sicuro dispositivo per questo circuito

Il motore viene collegato al circuito tramite i terminali maschi



Elenco componenti

Resistenze

R1 ... R12 = 470 Ω, 1/4 W

R13 = 20 Ω, 5 W

Semiconduttori

IC1 ... IC4 = 4N29 (p-

lot/Darlington equivalent)

T1 ... T4 = 2N31 o equivalenti

D1 ... D4 = LED rosso diametro 5

mm

Varie

8 terminali maschi per c.a.

24 terminali femmine per zoccolo

1 connettore DB-25 maschio

1 circuito stampato

PC10193V536

la sequenza di accensione dei diodi LED cambia, e il motore avanza sino alla posizione successiva. Per i successivi avanzamenti si devono scrivere le due istruzioni che seguono:

OUT 888,5 <RETURN>

OUT 888,6 <RETURN>

Se si vuole ottenere un comportamento più "professionale" dal circuito, si consiglia di scrivere un breve programma che controlli il movimento completo del motore:

10 OUT 888,10 <RETURN>

20 OUT 888,9 <RETURN>

30 OUT 888,5 <RETURN>

40 OUT 888,6 <RETURN>

50 GOTO 10

Per fermare il ciclo continuo del programma si devono premere contemporaneamente i tasti CTRL-BRK. In funzione della velocità del calcolatore utilizzato si possono verificare due situazioni: il motore funziona correttamente, oppure rimane completamente fermo. La ragione di questo comportamento è dovuta al fatto che la velocità alla quale la sequenza dei dati di azionamento viene inviata al motore dipen-

de dalla velocità stessa del calcolatore. Se questi ordini arrivano al motore passo-passo ad una velocità superiore a quella per cui è stato progettato non è in grado di sincronizzarsi con queste istruzioni. Ciò significa che viene persa l'"integrità di passo" di ciascuna istruzione. La cosa peggiore che si può verificare è che il motore si blocchi e cominci a emettere strani rumori. Se ci si trova in questa situazione il programma deve essere modificato introducendo una breve pausa tra ogni singola istruzione di movimento.

10 OUT 888,10 <RETURN>

15 GOSUB 100

20 OUT 888,9 <RETURN>

25 GOSUB 100

30 OUT 888,5 <RETURN>

35 GOSUB 100

40 OUT 888,6 <RETURN>

45 GOSUB 100

50 GOTO 10

100 FOR X=1 TO 10

110 NEXT X

120 RETURN

Così facendo il programma tra una istruzione di movimento e quella successiva salta alla subroutine

presente alla linea 100, che rappresenta un temporizzatore. Variando il valore riportato in questa linea (ad esempio 20 invece di 10), si modifica il tempo di ritardo programmato tra ciascuna istruzione. È possibile migliorare questo programma inserendo all'inizio una richiesta di INPUT, in modo che venga richiesto il verso di rotazione desiderato; per ottenere una rotazione in senso orario si deve fornire la sequenza 10-9-5-6, mentre per ottenere una rotazione antioraria bisogna fornire la sequenza inversa, 6-5-9-10. Con un minimo di fantasia si possono programmare diversi movimenti del motore, simulando la gestione di un robot. Con dieci movimenti diversi, ciascuno con la sua sequenza di controllo e relativo numero di impulsi, è possibile simulare il movimento di apparecchiature diverse, inserire delle pause per eseguire determinate operazioni e, se si desidera, pilotare un carico di una certa consistenza per sperimentare la tecnica "ramping".

Il circuito richiede un'alimentazione esterna, il cui valore dipende dal tipo di motore utilizzato

