

# DAI MAGNETI AI MOTORI

*Per muoversi e interagire con l'ambiente circostante i robot necessitano di speciali dispositivi elettromeccanici: gli attuatori. Iniziamo a conoscerli partendo dai motori elettrici, una delle tipologie più note e diffuse.*

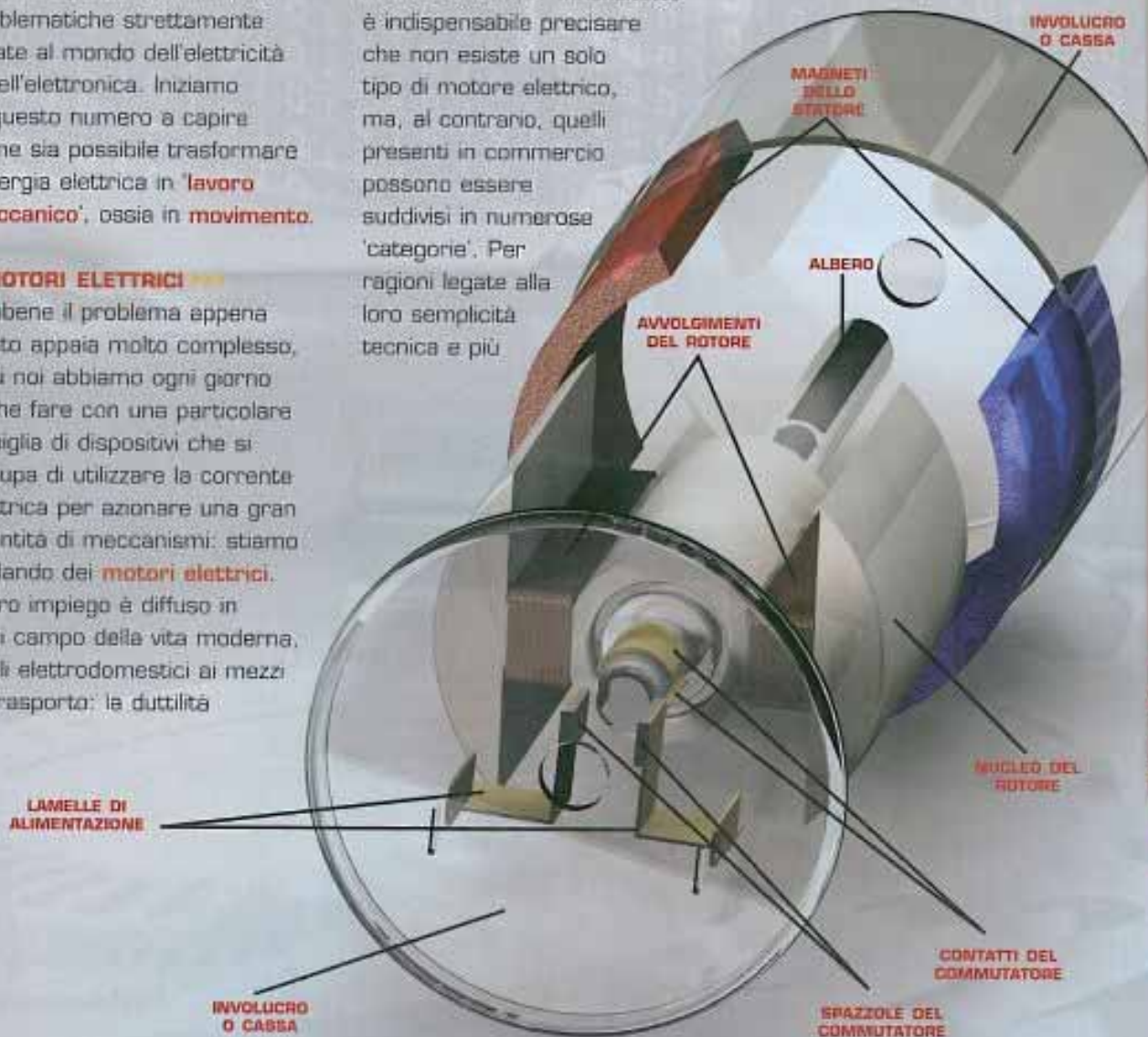
**F**ino a ora all'interno del Workshop abbiamo affrontato, in maniera teorica e pratica, solamente problematiche strettamente legate al mondo dell'elettricità e dell'elettronica. Iniziamo in questo numero a capire come sia possibile trasformare l'energia elettrica in **lavoro meccanico**, ossia in **movimento**.

## I MOTORI ELETTRICI

Sebbene il problema appena citato appaia molto complesso, tutti noi abbiamo ogni giorno a che fare con una particolare famiglia di dispositivi che si occupa di utilizzare la corrente elettrica per azionare una gran quantità di meccanismi: stiamo parlando dei **motori elettrici**. Il loro impiego è diffuso in ogni campo della vita moderna, dagli elettrodomestici ai mezzi di trasporto: le duttilità

tecnica di questi dispositivi è pressoché infinita. Ma come funziona concretamente un motore elettrico? Innanzitutto è indispensabile precisare che non esiste un solo tipo di motore elettrico, ma, al contrario, quelli presenti in commercio possono essere suddivisi in numerose 'categorie'. Per ragioni legate alla loro semplicità tecnica e più

**L'esplosione semplificata dei componenti di un motore DC a spazzole.**





immediata reperibilità, inizieremo trattando i **motori elettrici 'a spazzole'** alimentati in **corrente continua** (indicata con la sigla DC, ossia 'Direct Current'); un 'esploso' semplificato degli elementi costitutivi ideali è mostrato in apertura.

**LO STATORE E IL ROTORE**

Tralasciando l'**involucro** che costituisce la struttura di supporto ai componenti funzionali, il motore elettrico opera grazie a due elementi principali, chiamati **statore** e **rotore**, che sfruttano i fenomeni di attrazione e repulsione dei magneti. Di magnetismo ed elettromagnetismo abbiamo già parlato nei fascicoli precedenti, anche se in maniera molto elementare, tuttavia vale la pena ricordare le due proprietà essenziali che ci saranno indispensabili per comprendere i motori elettrici. Innanzitutto in ogni magnete sono identificabili

**due poli** (detti Nord e Sud) tra i quali viene prodotto un campo di forze. In secondo luogo, quando due o più sorgenti magnetiche sono poste in prossimità l'una dell'altra, si verifica un effetto di **repulsione** tra i **poli concordi** e di **attrazione** tra quelli **opposti**. Vediamo ora come tali proprietà sono applicate all'interno dei comuni motori DC. Partiamo dal primo dei due elementi citati in precedenza, lo statore. Esso è costituito, nel caso più semplice, da una **coppia di magneti permanenti**, posti l'uno di fronte all'altro in condizioni di attrazione, sulle pareti interne dell'involucro del motore (detto anche **cassa**). Si crea, così, tra di essi un campo magnetico costante (negli schemi all'interno del **box sottostante**, indichiamo in rosso il magnete che orienta il polo Nord verso l'asse di rotazione del motore, mentre

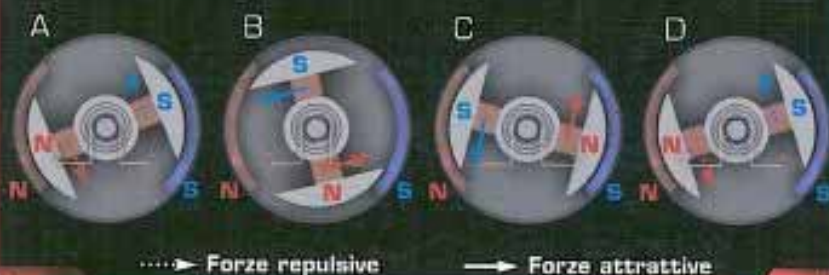


Due esemplari di motori elettrici per uso modellistico.

in blu quello che presenta il polo Sud). Immerso nel campo dello statore troviamo il rotore, che costituisce l'effettiva parte mobile dei motori elettrici. Esso è, in sostanza, un grosso **nucleo metallico** a geometria simmetrica, i cui 'bracci' sono rivestiti da numerosi **avvolgimenti** di filo smaltato. Quando nel filo elettrico viene imposto un flusso di corrente elettrica, il passaggio delle cariche crea un campo magnetico che viene amplificato dall'elevata permeabilità magnetica del metallo. Il rotore si trasforma, di conseguenza, in una potente elettrocalamita. A questo punto ci troviamo di fronte a un sistema composto da due sorgenti di forze, delle quali una fissa (statore) e una in grado di ruotare rispetto al proprio asse (rotore). Da quanto noto sui fenomeni magnetici, è facile intuire che il rotore, sottoposto al campo magnetico costante prodotto dallo statore, tenderà a ruotare fino ad allinearsi (**vedi box**) con il campo in cui si trova immerso (il polo Sud dello statore attrae quello

**IL FUNZIONAMENTO DEI MOTORI ELETTRICI A SPAZZOLE ...**

Il principio di funzionamento dei motori a spazzole in corrente continua può essere riassunto dalla sequenza sottostante. All'inizio (A) il rotore subisce la forza repulsiva dello statore e si mette in rotazione per allontanare i suoi poli magnetici da quelli dei magneti permanenti presenti sulla cassa. Superato il quarto di giro (B) diventano dominanti le forze attrattive tra i poli opposti. Il nucleo continua il movimento finché, oltrepassati i 180° di rotazione, il commutatore inverte il flusso di corrente negli avvolgimenti (C, D). Il ciclo ricomincia, così, dall'inizio.







Nord del rotore ecc.). Tuttavia, cosa avviene quando i due elementi magnetici raggiungono l'allineamento? Intuitivamente (e peraltro in maniera corretta) sarebbe logico aspettarsi che il rotore rimanga immobile, mantenendo la posizione di equilibrio appena raggiunta.

### IL COMMUTATORE

Il proseguimento del processo di rotazione è possibile con l'ausilio di un elemento che prende il nome di **commutatore**. Esso è formato da due blocchetti di grafite (una delle forme del carbonio) chiamati **'spazzole'**, che sono posti tra le lamelle di alimentazione del motore e due contatti in rame situati alla base dell'**albero del rotore**. Proprio a questi contatti sono saldati i terminali delle bobine elettromagnetiche del nucleo. Lo scopo del commutatore è, in pratica, quello di 'cambiare' il verso della corrente che scorre negli avvolgimenti, con la conseguente inversione del campo magnetico prodotto dal nucleo. In tale modo si mantiene il rotore in uno stato di 'instabilità forzata', che lo porta a ruotare assecondando le forze magnetiche presenti, senza mai raggiungere, però, una condizione di equilibrio definitiva e stabile.

### PROPRIETÀ DEI MOTORI

Abbiamo visto come operano i motori elettrici a spazzole da un punto di vista fisico, proviamo a identificare, ora, alcune delle loro caratteristiche più 'pratiche'. Sappiamo che il fenomeno motorio è prodotto dall'interazione tra magneti

5 *Un motore elettrico per uso industriale. Il mercato offre una enorme quantità di motori elettrici differenti.*



permanenti ed elettromagneti. Le forze coinvolte, quindi, sono tanto più grandi quanto più intensi sono i campi agenti tra il rotore e lo statore. Ovviamente, poiché nel nostro caso lo statore è composto da sorgenti di campo 'non manipolabili', se non tramite la loro sostituzione fisica, ciò su cui potremo operare è l'intensità del campo magnetico prodotto dal rotore. Ricordando quanto detto sulla legge di Ampère e quanto hai potuto sperimentare costruendo l'elettrocalamita, ne consegue che possiamo aumentare la velocità di rotazione del motore incrementando la tensione di alimentazione e, quindi, la corrente che scorre nel circuito. Una maggiore corrente negli avvolgimenti, infatti, produce un campo più forte e una maggiore 'repulsione magnetica'. Inoltre, invertendo la polarità dell'alimentazione, invertiremo anche il verso del campo generato dal rotore e, con esso, il senso di rotazione del motore stesso. Anche se, per come è stato presentato, il motore elettrico può apparire come una macchina molto semplice, come tutte le macchine non è immune dai problemi di funzionamento. Uno di questi

è dovuto al passaggio di correnti intense all'interno di avvolgimenti realizzati con fili molto sottili. Il risultato di ciò è un rapido **surriscaldamento** (per effetto Joule) con la necessità di disperdere il calore prodotto: un compito non semplice dato che gli elementi da raffreddare sono in continuo movimento in uno spazio estremamente ristretto. Un secondo problema risiede nella presenza del commutatore a spazzole e dal fatto che il contatto tra i blocchetti in grafite e le piastrelle di alimentazione delle bobine elettromagnetiche è garantito solamente dalla pressione che le lamelle esercitano sull'albero del motore. Vi è, quindi, un costante attrito tra questi componenti, che si traduce in un'inevitabile e progressiva **usura delle parti in grafite**, che devono essere periodicamente rimpiazzate con altre equivalenti.

### I MOTORI BRUSHLESS

Una valida soluzione a questi problemi è l'uso dei cosiddetti **motori brushless** (letteralmente 'privi di spazzole'). Anche questi



ultimi fanno parte della famiglia dei motori elettrici, ma hanno una struttura complementare rispetto a quella dei motori a spazzole. Nei brushless, in sostanza, vengono invertiti i ruoli svolti dal rotore e dallo statore: gli elettromagneti sono spostati

all'esterno, mentre sull'albero del rotore viene posto un nucleo magnetico permanente. Non è più necessario, quindi, il commutatore, ma poiché il campo del rotore è fisso, l'azionamento del motore è legato alla manipolazione

delle forze esterne prodotte dallo statore. Tale compito viene svolto tramite un'elettronica di controllo specifica che, però, aumenta la complessità tecnico-costruttiva dell'attuatore facendone lievitare in maniera rilevante i costi di produzione.

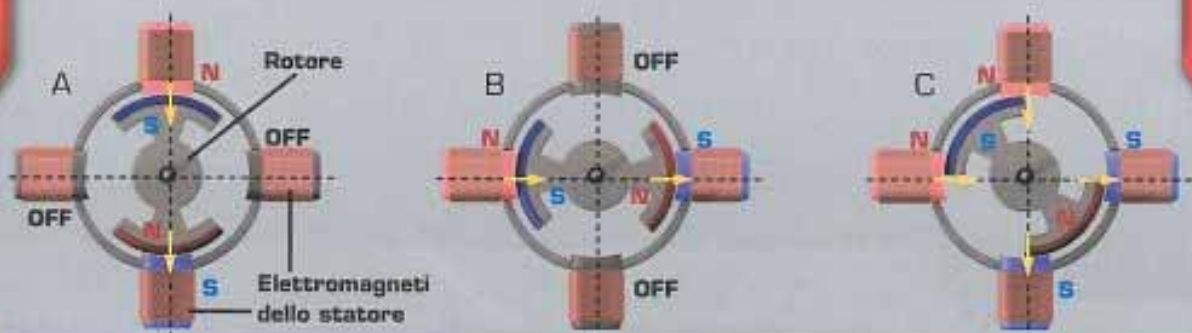
F O C U S O N



I MOTORI PASSO PASSO

Uno dei principali problemi legati all'impiego degli attuatori è quello del **controllo dei movimenti**. Immaginiamo un braccio robotico che deve spostare il proprio end-effector da un punto a un altro: come può fare il robot a sapere come azionare i propri attuatori per eseguire un movimento corretto? A parte le soluzioni che includono l'impiego di sensori come encoder ottici o potenziometri, una delle possibili strategie

di progettazione riguarda l'utilizzo dei cosiddetti **motori passo-passo** (o **'stepper motor'**, nella foto). Questi particolari motori elettrici sono una categoria di motori brushless in grado di muoversi secondo **'passi angolari'** definiti, chiamati in gergo tecnico **'step'** (da cui il nome). In pratica, attivando opportunamente gli **elettromagneti che costituiscono lo statore**, il rotore si orienterà in modo da allinearsi rispetto al campo magnetico imposto. Se immaginiamo, ad esempio, un motore con uno statore composto da quattro elettrocalamite (come negli esempi mostrati sotto) è facile intuire che il rotore potrà essere allineato rispetto ai quattro **'step'** principali (due dei quali rappresentati in A e B), oppure, rispetto alle quattro posizioni **'diagonali'** (una delle quali è mostrata in C) secondo quelli che sono detti **'half-step'** (mezzi passi). Questa proprietà, unita a un apposito sistema di controllo, consente ai motori passo-passo di eseguire movimenti precisi e definiti (facilmente traducibili da **'numero di step'** a **'gradi angolari'**) in una direzione o nell'altra. Si capisce, quindi, come l'impiego di tali motori faciliti notevolmente le problematiche di controllo dei movimenti dei robot.





# STEPbySTEP

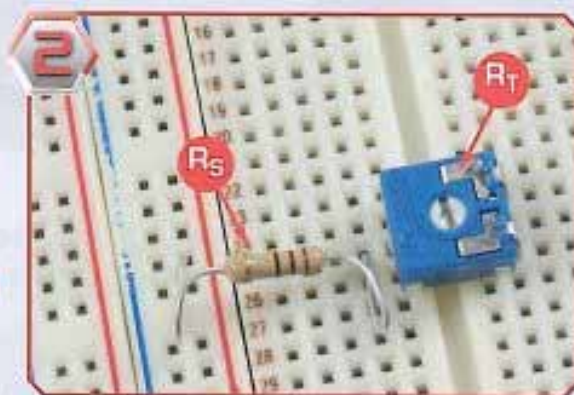
## REGOLIAMO LA VELOCITÀ▶▶

L'esperimento di questo Workshop riguarda un semplice metodo per il controllo della velocità di rotazione di motori elettrici in corrente continua, attraverso la variazione della resistenza elettrica complessiva del circuito.

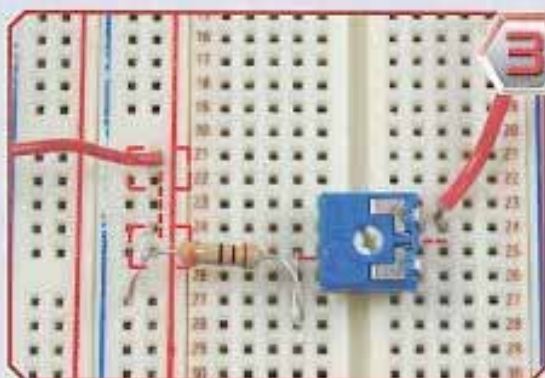


- 1 un tester
- 2 un portatile da 4 stilo con relative batterie (meglio se ricaricabili)
- 3 una breadboard
- 4 un cacciavite
- 5 un motorino elettrico da modellismo da 3 V
- 6 fili per breadboard
- 7 un resistore (valore da sperimentare)
- 8 un trimmer (valore da sperimentare)

Iniziamo il circuito per questo esperimento partendo dal posizionamento dei componenti resistivi. La scelta dei valori del resistore e del trimmer dovrebbe essere fatta in funzione delle specifiche elettriche del motore utilizzato: per ovviare a questo problema puoi procurarti campioni di questi elementi con resistenze differenti e sperimentare i loro effetti. Inserisci il trimmer nella breadboard e collega il resistore al reoforo associato al cursore, come mostrato nella foto. La funzione di  $R_S$  è quella di fornire un **carico di sicurezza** che limiti la corrente all'interno del circuito quando il cursore di  $R_T$  è spostato interamente verso uno degli estremi del trimmer. Noi abbiamo utilizzato un resistore da 10 ohm con una potenza di 0,5 watt (non usare resistori da 0,25 watt, potrebbero fondere).

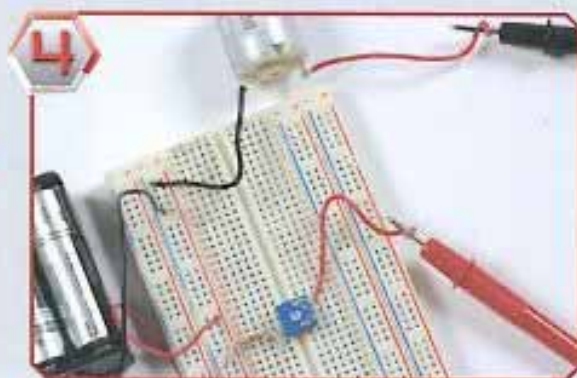






3 Collega ora il polo positivo del portatile al reoforo libero del resistore (nella foto, a sinistra) e un filo per breadboard a uno dei pin liberi del trimmer. Con il cacciavite, ruota il cursore del trimmer verso il pin rimasto libero. In questo modo, i due elementi resistivi offriranno la resistenza massima per il circuito. Verifica anche di aver posizionato il trimmer in maniera che ogni pin si trovi su una fila isolata dalle altre.

Ora, utilizzando i fili per breadboard, riproduci il circuito mostrato nella foto: collega il polo negativo del portatile a uno dei connettori del motore elettrico e le due sonde del tester al filo connesso al trimmer (sonda rossa) e al terminale libero del motore elettrico (sonda nera). Ricordati di verificare che le sonde siano inserite correttamente nel tester per la misurazione delle correnti.



5 Seleziona sul tester la modalità di misurazione delle correnti e, successivamente, accendilo. Vedrai il tester rilevare una corrente (il valore sarà indicato dal display), tuttavia il motore potrebbe rimanere fermo.

Aiutandoti con il cacciavite, ora, ruota il cursore del trimmer. In questo modo, andrai a diminuire progressivamente la resistenza del circuito e, di conseguenza, ad aumentare la corrente che scorre all'interno di esso (vedrai il valore sul display del tester aumentare progressivamente) fino alla soglia di accensione del motore. Al di sopra di quel valore, il motore si metterà in moto con una rotazione che diverrà sempre più intensa con il diminuire della resistenza offerta dal trimmer.

