

# IL MOTORE ELETTRICO A SPAZZOLE, QUESTO SCONOSCIUTO

Emanuele Stival

Cominciamo intanto col dire che il motore elettrico è una macchina che trasforma l'energia elettrica in lavoro meccanico. Nel campo aeromodellistico serve a trasformare l'energia elettrica che arriva da una batteria (di qualsiasi tipo sia: NiCd, NiMh, LiPoly, ecc.) in un lavoro meccanico che permette di muovere un'elica, una ventola, una superficie mobile (ad esempio nei servocomandi). I motori più economici (in genere, ma non sempre) sono quelli a spazzole (brush) e funzionano a corrente continua. I motori brushless (cioè senza spazzole) sono in genere più costosi (ma i prezzi sono ora in forte ribasso) e si possono considerare anch'essi a corrente continua.

## UN PO' DI TEORIA

Per capire qualcosa di più sui motori elettrici è necessario fare qualche precisazione e dare qualche definizione.

Qui semplificherò al massimo i concetti sperando di non far storcere (eccessivamente) il naso ai puristi, nostalgici di elaborate formule matematiche. Parliamo quindi di elettromagnetismo. In fig. 1 vediamo in sintesi cos'è un elettromagnete: un nucleo di materiale ferromagnetico (armatura) circondato da una o più spire (i "giri" di filo) di un

conduttore elettrico (normalmente è utilizzato il rame). In genere il conduttore è smaltato (ha cioè un rivestimento di vernice isolante "spruzzato") per evitare il cortocircuito tra le varie spire (senza non funziona niente). Quando il conduttore viene percorso da una corrente si genera un campo magnetico. Se la corrente con cui alimentiamo l'elettromagnete è continua, cioè gli elettroni viaggiano sempre nello stesso senso (per convenzione dal + verso il -) il campo magnetico è orientato sempre nella stessa direzione. Nell'esempio riportato in fig. 1 vediamo che se le spire sono avvolte nel senso illustrato, e colleghiamo il positivo della batteria nel filo superiore e il negativo al filo inferiore (immaginate a sinistra), si genererà un campo magnetico con il polo nord sopra e il polo sud sotto (sempre semplificando, perché più correttamente dovremmo parlare di linee di forza uscenti sopra ed entranti sotto). Se invertiamo le polarità (vedi sempre fig. 1 immagine a destra), il campo magnetico si inverte (sud sopra e nord sotto). Attenzione che se invertiamo il senso delle spire allora invertiamo di nuovo anche il campo magnetico: possiamo dire che invertire il senso della corrente o invertire il senso di avvolgimento delle spire è del tutto equivalente.

A questo punto bisogna dire una cosa fonamen-

tale: i poli opposti si attraggono (polo nord e polo sud) mentre quelli uguali si respingono (nord con nord e sud con sud). Queste forze di attrazione e repulsione aumentano tanto è minore la distanza tra i due magneti e diminuiscono se la distanza aumenta. Potete facilmente fare questa prova se possedete qualche calamita.

Ricordiamo anche che il materiale ferromagnetico a sua volta si magnetizza, almeno temporaneamente, se avvicina o tocca un magnete; anche questo effetto si può provare avendo una calamita ed alcuni chiodi: vedrete che si possono collegare due e più chiodi in catena l'uno all'altro.

Ora, prima di spiegare il funzionamento del motore elettrico a corrente continua, abbiamo bisogno di spiegare alcuni termini! Lo facciamo sinteticamente aiutandoci con la figura 2.

Nelle immagini esplicative si individuano vari componenti il motore a spazzole:

**Magneti permanenti:** lo dice il nome stesso; sono magneti che sono attivi sempre, anche quando il motore non è alimentato. Sono talvolta chiamate "calamite" e fanno parte dello statore. Di solito sono in ferrite (quelli più economici) e nei motori a più alto rendimento in neodimio (più costosi).

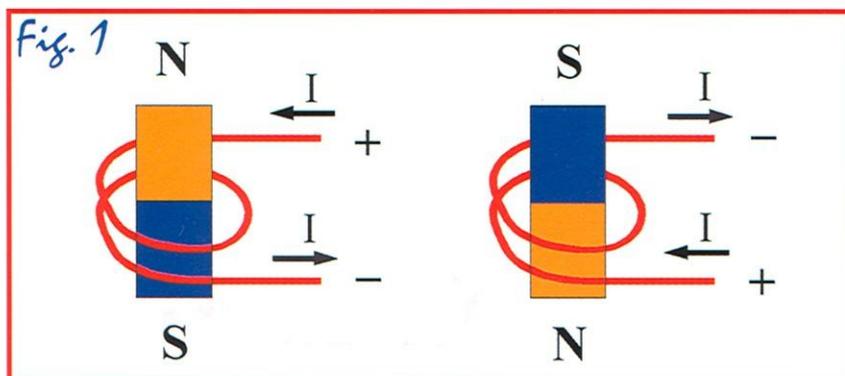
**Albero:** albero motore.

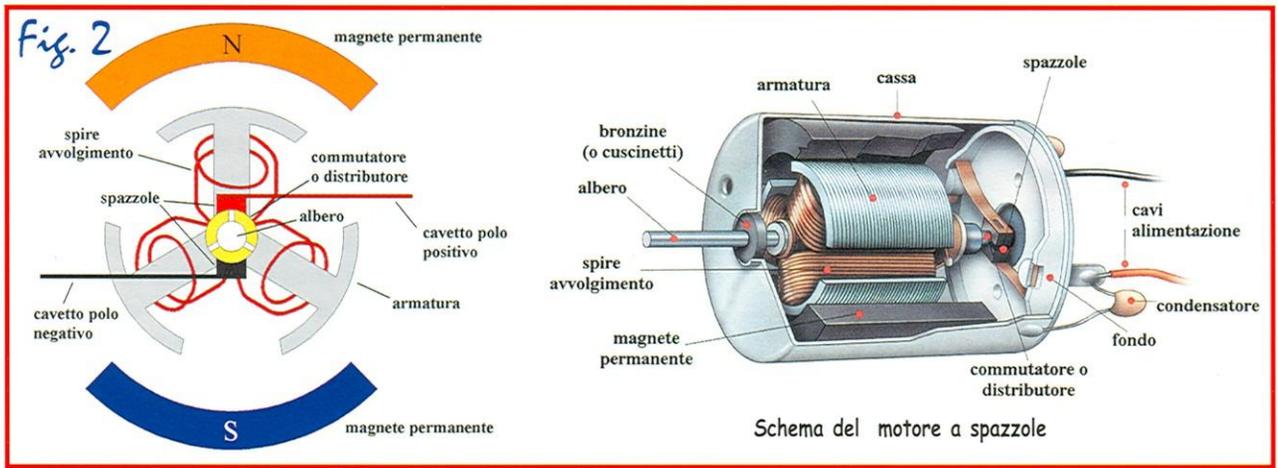
**Commutatore o distributore:** contatti elettrici solidali con il rotore che permettono di portare la corrente alternativamente (distribuendola correttamente) ai vari avvolgimenti.

**Spazzole:** sono solidali allo statore e tramite i cavetti di alimentazione portano la corrente al commutatore.

**Spire e avvolgimento:** filo di rame smaltato avvolto attorno all'armatura; le spire nel loro insieme costituiscono l'avvolgimento.

**Armatura:** materiale ferromagnetico che costituisce il nucleo dell'elettromagnete. Di solito è





costituito da un pacco di lamelle sovrapposte.

**Rotore:** la parte rotante del motore comprendente gli avvolgimenti, il commutatore, l'armatura e l'albero.

**Statore:** è la parte che non ruota del motore e comprende i magneti permanenti, le spazzole e la cassa.

### COME FUNZIONA UN MOTORE A SPAZZOLE

Nelle illustrazioni tenteremo di spiegare il funzionamento del motore a corrente continua a spazzole. Teniamo conto che i magneti permanenti e gli elettromagneti sono colorati in arancio per il polo nord, ed in azzurro per rappresentare il polo sud (come detto sopra questa è una semplificazione). Quando un elettromagnete è inattivo (e quindi non magnetizzato), perché nell'avvolgimento non circola corrente, è visualizzato in grigio. Il filo di ali-

mentazione positivo, la spazzola ad esso collegata e la parte del commutatore a contatto sono colorati in rosso, mentre il filo di alimentazione negativo, la relativa spazzola e parte del commutatore a contatto sono in nero.

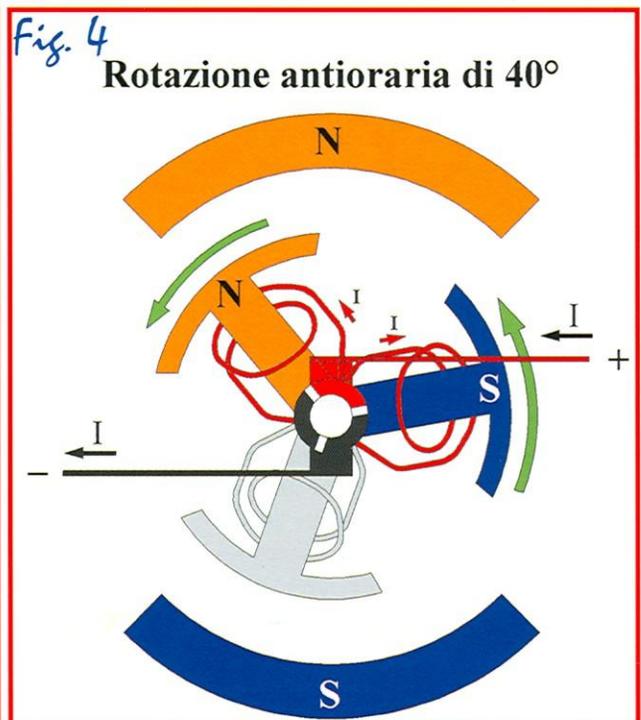
Nella figura 3 consideriamo la partenza del motore (l'immagine illustra il motore virtualmente sezionato perpendicolarmente all'asse dell'albero).

Diamo tensione + al + e - al -. Entrano quindi in funzione i due elettromagneti in basso, mentre quello in alto è cortocircuitato e quindi non alimentato. In base al senso delle correnti (considerando sempre dal + verso il -) otteniamo che l'elettromagnete in basso a sinistra diventa un polo nord che è attratto verso il magnete polo sud e contemporaneamente l'elettromagnete in basso a destra diventa un polo sud che respinge il vicino magnete polo sud. Ne consegue che si genera una coppia che farà ruotare il rotore e con esso l'albero in senso antiorario (sempre che ovviamente il

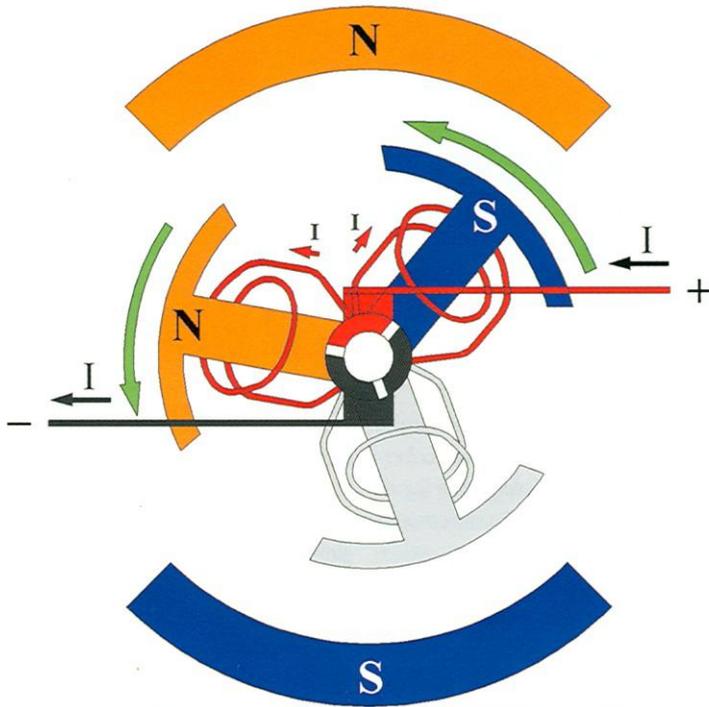
rotore sia libero di girare) Fig. 4.

Dopo il primo spunto che ha fatto avviare il motore, supponiamo ora che il motore abbia già compiuto una rotazione di  $40^\circ$  corrispondente a  $1/9$  di giro completo). La distribuzione della corrente agli avvolgimenti è ora stata modificata dalla rotazione del rotore e del commutatore. Come possiamo vedere sopra l'elettromagnete in basso è a riposo, mentre quello sopra a sinistra (che nella sequenza precedente era a riposo) diventa un polo nord che viene respinto dal magnete soprastante polo nord e contemporaneamente l'elettromagnete in alto a destra diventa un polo sud che è attratto verso il vicino magnete polo nord. Continua quindi la coppia che fa ruotare il rotore in senso antiorario.

Nella figura 5 vediamo ora che il rotore ha ruotato di ulteriori  $40^\circ$  in senso antiorario arrivando ad una rotazione complessiva di  $80^\circ$  rispetto alla partenza. Rispetto al punto precedente l'alimenta-



**Fig. 5 Rotazione antioraria di 80°**



zione agli avvolgimenti continua essere la stessa o così pure le forze di attrazione/repulsione continuano nello stesso senso.

Arriviamo ora ad una posizione del rotore che ha ormai compiuto una rotazione di 120° rispetto alla posizione di partenza, che se osservate rispetta esattamente la prima immagine della sequenza perché i tre elettromagneti sono a 120° l'uno rispetto all'altro e quindi ora l'elettromagnete che all'inizio era in basso a destra è ora nella posizione superiore.

A questo punto il discorso si ripete senza sosta finché alimentiamo il motore o finché si guasta qualcosa... (consumo eccessivo delle spazzole, interruzione di un filo negli avvolgimenti, scassature meccaniche varie, cortocircuiti vari, ecc.).

**AVVOLGIMENTI, TENSIONI, CORRENTI...**

Quando sentiamo parlare di un motore a 16 spire, ciò significa che ogni elettromagnete è costituito da un'armatura avviluppata da 16 spire di conduttore smaltato. Ovviamente il diametro del conduttore cambia in base al numero delle spire: più aumenta il numero delle spire e più diminuisce il diametro con alcune conseguenze importanti perché in base alla sezione del conduttore si determina la massima corrente sopportabile (senza provocare danni permanenti). Per fare un esempio, se un motore da 10 spire ha avvolgimenti fatti con un conduttore di sezione uguale a

2 mm<sup>2</sup> sopporta al massimo 30 A, un'altro motore identico però con 25 spire può avere, supponiamo, avvolgimenti con conduttore da 0,8 mm<sup>2</sup> e una relativa corrente massima supportata di 12 A. E tutto ciò ovviamente per ragioni di spazio! Attenzione però, il motore con 25 spire sopporterà approssimativamente una tensione 2,5 volte

quella che sopporta il motore a 10 spire, e quindi la potenza dissipata sarà circa la stessa (a parità di carico, ovviamente).

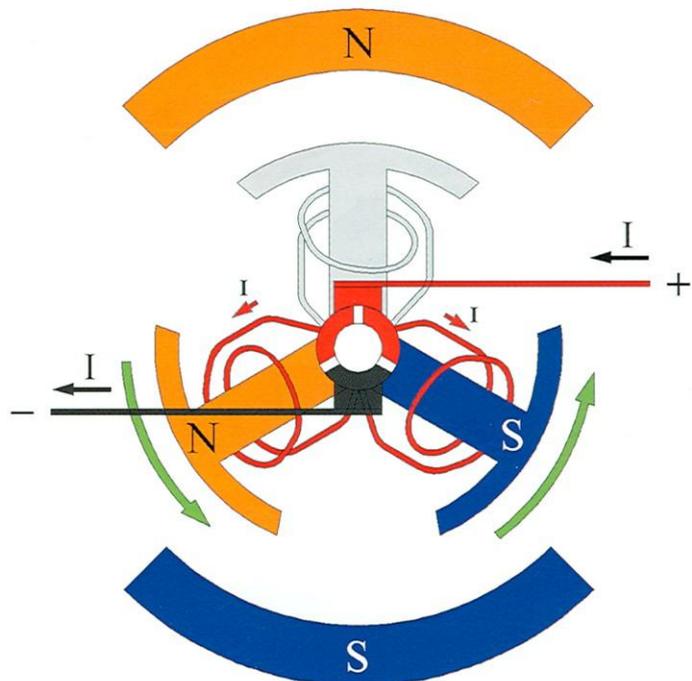
**ANTICIPO**

L'anticipo consiste essenzialmente nel variare la posizione angolare delle spazzole rispetto ai magneti permanenti in modo da anticipare il punto neutro. E' equivalente all'anticipo che c'è nei motori a scoppio. I motori nascono con un anticipo già predefinito in fabbrica, che però di solito è modificabile ruotando lievemente il fondo del motore in senso orario o antiorario. La modifica di questo anticipo è bene sia fatta con cognizione di causa e con una metodologia particolare che esula dagli obiettivi di questo articolo.

**RODAGGIO**

Una parola sul rodaggio. E' sempre bene farlo, soprattutto nelle applicazioni aeromodellistiche e otterremo almeno due/tre risultati: minor scintillio tra spazzole e commutatore (e quindi meno disturbi che arrivano alla ricevente), durata del motore maggiore e rendimento lievemente aumentato. Se quest'ultimo elemento non è decisivo, la durata lo è senz'altro; potremmo rischiare di trovarci un motore con le spazzole e commutatore danneggiati seriamente già dopo pochi voli.

**Fig. 6 Rotazione antioraria di 120°**



## RENDIMENTO

In base a come è costruito (materiali, conformazione, ottimizzazioni varie, ecc) otteniamo un certo rendimento del motore.

E' meglio dire subito che il rendimento di un certo motore non è costante, ma varia secondo le condizioni di impiego. Ad esempio un certo motore con magneti permanenti in ferrite che ha un rendimento ottimale del 74% con un assorbimento di 8 A, potrebbe vedere il rendimento scendere ad un misero 49% con un assorbimento di 15 A (dati puramente ipotetici). Se lo stesso motore avesse invece magneti in neodimio potrebbe avere valori di rendimento rispettivamente di 78% e 71%, e questo perché il neodimio ha valori di saturazione con correnti più alte. Motori con queste caratteristiche si trovano ad esempio nella serie Speed 700 della quale sono prodotti sia in ferrite che in neodimio (più costosi ma con maggior rendimento).

Conoscere il rendimento è fondamentale perché permette di sapere la potenza che giunge all'elica dal motore. Per esempio un motore con rendimento dell'80% e una potenza fornita all'ingresso di 100 W (ad esempio 10 V con 10 A), "verserà" sull'elica (o sul riduttore) 80 W. Se lo stesso motore avesse nelle stesse condizioni solo il 50% di rendimento la potenza che giunge all'elica sarebbe

solo di 50 W, con un calo del 38 %! Si può capire quindi perché motori che funzionano bene in certe condizioni, poi sovraccaricati rendano pochissimo. E badate bene che se "strapazziamo" i motori con assorbimenti assurdamente alti possiamo arrivare anche a rendimenti del 30 - 35 %.

## ATTENZIONE AGLI... USI ESTREMI

Richiamo qui brevemente alcuni accorgimenti che aiutano a far durare al massimo la vita del motore a spazzole. E' quindi normalmente consigliato far funzionare il motore nei limiti indicati dal produttore (eliche, tensione, ecc.) poiché è costruito per dare il massimo (funzionando già al limite delle sue possibilità) in quelle condizioni. E' ovvio che scostamenti piccoli dai valori consigliati hanno poca importanza; ma vediamo un attimo di analizzare alcune criticità.

Temperatura di funzionamento: attenzione a non arrivare a temperature troppo alte: i magneti permanenti, e mi riferisco soprattutto ai quelli al neodimio, si smagnetizzano a temperature discretamente alte. Quindi occhio all'installazione del motore che sia fatta in modo da permettere una adeguata ventilazione. Sappiamoci quindi regolare anche sulla scelta delle eliche e/o dei riduttori

facendo in modo che le correnti e le potenze assorbite non siano eccessive.

Spazzole: correnti troppo elevate (inadeguate al motore) e/o un rodaggio fatto male o non fatto possono anch'essi portare ad una usura troppo veloce delle spazzole dovuta al notevole scintillio nel contatto con il commutatore. Anche quest'ultimo con usi impropri si può talvolta ricoprire di una patina che non favorisce un buon contatto elettrico.

## UNA CURIOSITA': LA DINAMO

Forse non tutti sanno che un motore a spazzole è automaticamente anche una dinamo; una macchina cioè che fa il contrario di un motore: trasforma l'energia meccanica che viene fornita all'albero in una corrente continua. Il nostro motore/dinamo quindi è una macchina reversibile. Si può facilmente verificare che un motore è una dinamo, collegando un tester sui due terminali elettrici del motore (impostandolo per la misura della tensione o anche della corrente) e quindi fare girare abbastanza rapidamente l'albero del motore; si vedrà che il voltmetro segnerà una tensione proporzionale alla velocità con cui riusciremo a farlo girare.

Emanuele Stival