

1- Macchine elettriche

Le macchine elettriche sono di tre tipi:

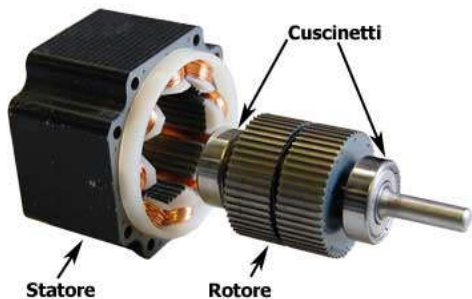
1. **Generatori**
 - Trasformano in energia elettrica energia di altra natura
2. **Motori**
 - Trasformano energia elettrica in energia meccanica
3. **Convertitori** (trasformatori, per corrente alternata)
 - Trasformano energia elettrica in energia elettrica con diverse caratteristiche

Le macchine elettriche si classificano in base al tipo di corrente che attraversa i circuiti della macchina:

- Macchine a corrente continua (DC: Direct Current)
- Macchine a corrente alternata (AC: Alternate Current)
 - Monofase
 - Polifase (di solito Trifase)
- Le macchine possono essere statiche o rotanti
- Le macchine rotanti si dicono:
 - Sincrone se ruotano ad una velocità assegnata (detta di sincronismo e legata alla frequenza di alimentazione)
 - Asincrone se la velocità di rotazione non è legata alla frequenza di alimentazione (dipende anche dal carico)

2 - Motori elettrici

Un motore elettrico è una macchina rotante che trasforma energia elettrica in energia meccanica.

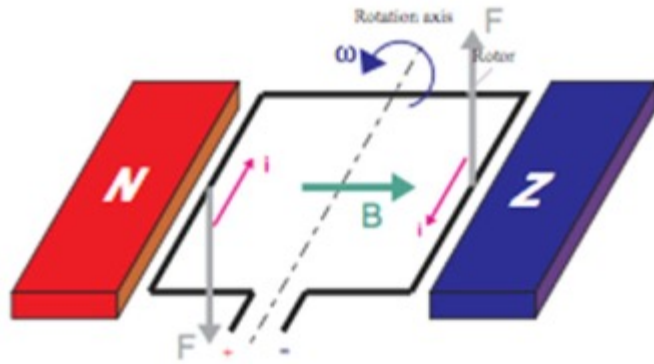


Esso è costituito da una parte rotante solidale con l'albero, detta **rotore** e da una parte fissa detta **statore**.

Su di essi vi sono dei dispositivi (magneti permanenti o avvolgimenti) capaci di generare **flussi magnetici**.

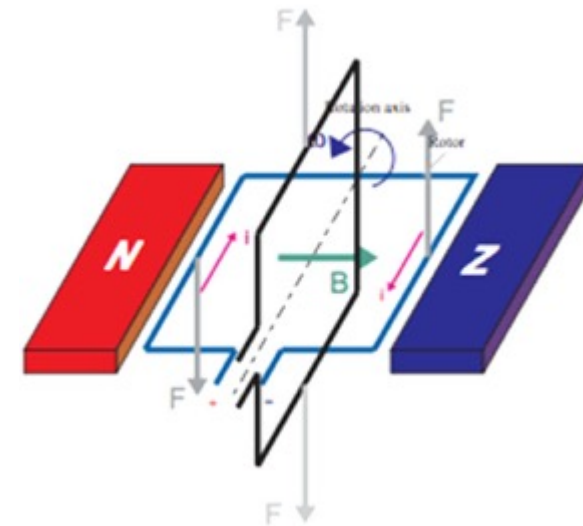
3 - Motori elettrici- Funzionamento

Alla base del funzionamento di un motore è la legge di Faraday che afferma che quando una corrente scorre in un conduttore immerso in un campo magnetico, si manifesta una forza sul conduttore stesso.

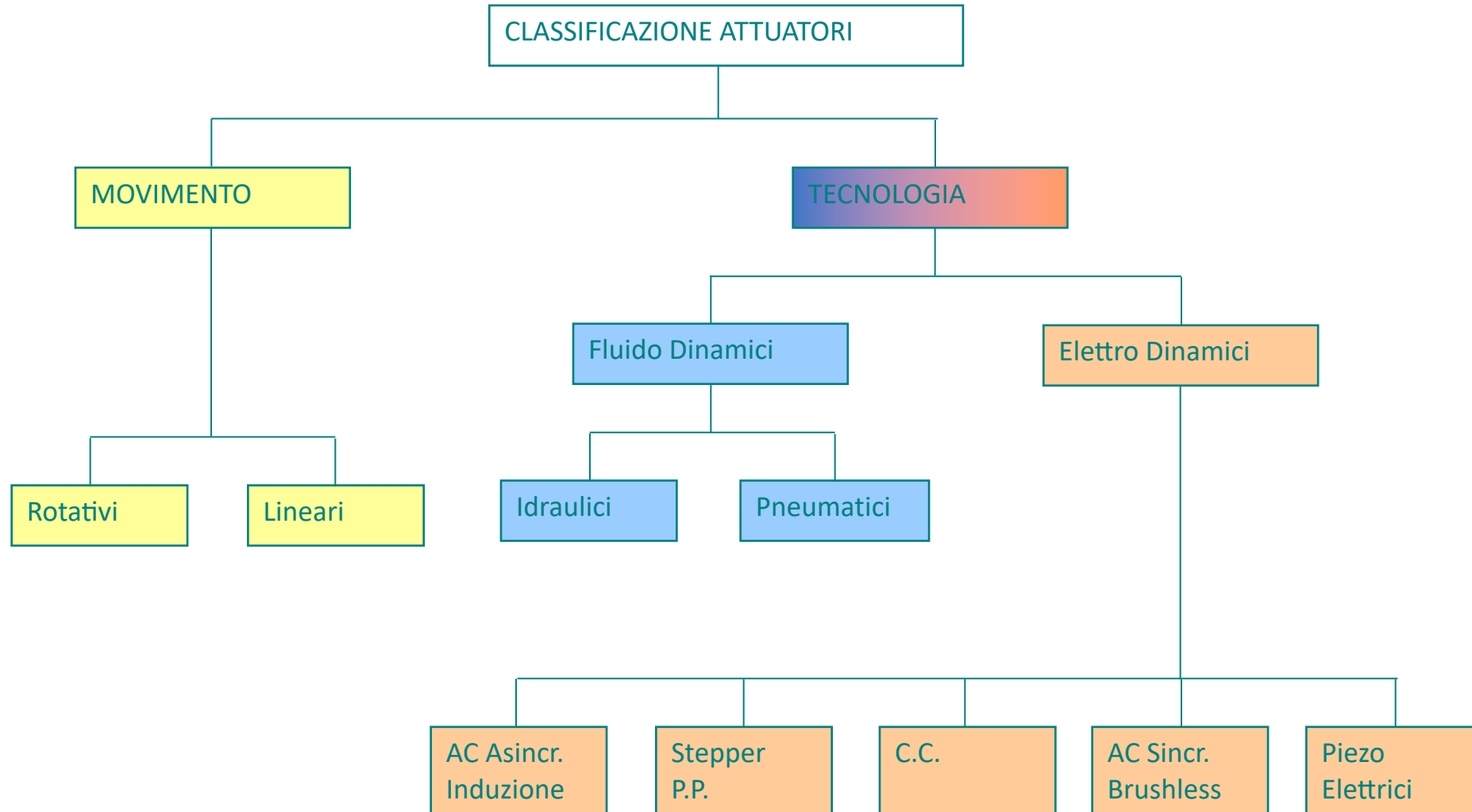


Quindi su una spira rettangolare come quella nella figura, si avrà una coppia meccanica.

Aumentando il numero di spire, ed eccitandole nella sequenza opportuna, si otterrà coppia con continuità e conseguentemente la rotazione dell'albero motore.



4 - Classificazione motori elettrici



5 – Scelta del motore

A seconda delle sue caratteristiche tecnologiche, un motore elettrico potrà eseguire diversi tipi di movimento: movimenti veloci, precisi, continui, a velocità costante, con variazioni di velocità, ecc. Per ogni tipo di movimento esiste una tecnologia più adatta di altre.

1. In primo luogo, è necessario scegliere fra **tre tipi principali di motori elettrici**:
 - Sincrono
 - Asincrono
 - Passo-passo
2. Ad orientare la vostra scelta, sarà l'**uso** che intendete fare del motore in questione:
 - se avete bisogno di un motore che funzioni in modo continuo e con poche variazioni di velocità, un motore asincrono farà al caso vostro;
 - per operazioni in cui, invece, sia necessario raggiungere velocità elevate, dovrete orientarvi verso un motore sincrono;
 - infine, per un posizionamento preciso, vi consigliamo di optare per un motore passo-passo.

5 – Scelta del motore

3. A seconda del movimento che desiderate ottenere, sarà inoltre necessario definire le **specifiche tecniche** del motore di cui avete bisogno e il suo **dimensionamento**:
 - per quanto riguarda le specifiche tecniche, sarà necessario determinare la **potenza, la coppia e la velocità**;
 - altri fattori da considerare sono le **dimensioni** (volume) e il **tipo di montaggio**, ossia come il motore verrà installato nel sistema che dovrà azionare.
4. La resistenza del motore da acquistare, inoltre, dipende anche anche dal tipo di **ambiente industriale** in cui il motore dovrà operare:
 - esistono modelli progettati per resistere a condizioni ambientali particolari, come ad esempio l'umidità, il rischio di esplosioni, di corrosione, le alte temperature;
 - i motori destinati ad [ambienti severi](#) sono protetti da alloggiamenti rinforzati, impermeabili, resistenti agli urti o allo sporco.
5. Per finire, negli ultimi anni anche l'**efficienza energetica** è diventata un criterio di scelta importante:
 - un motore elettrico a **basso impatto energetico**, oltre a ridurre i consumi e quindi i costi, avrà anche un **minore impatto ambientale**.

Come scegliere tra un motore AC e un motore DC?

Come indicato dal loro nome, la differenza fondamentale tra questi due motori è il **tipo di alimentazione**:

- i motori AC sono alimentati a corrente alternata mentre
- i motori DC sono alimentati a corrente continua che è quella fornita, ad esempio, dalle batterie.

Questi due tipi di motori si distinguono tra di loro anche per la **velocità** che sono in grado di raggiungere.

- **La velocità di un motore a corrente alternata viene controllata variando la corrente nel motore mentre**
- **quella di un motore a corrente continua viene controllata variando la frequenza, solitamente per mezzo di un convertitore di frequenza.**

Per questa ragione i motori a corrente alternata raggiungono una velocità di rotazione maggiore rispetto a quelli a corrente continua.

Motori AC

I motori AC sono i motori più diffusi nell'industria perché presentano diversi vantaggi:

- hanno una **struttura più semplice**;
- sono **più economici** perché consumano meno in fase di avviamento;
- sono **più robusti** e, di conseguenza, hanno una durata di vita generalmente maggiore;
- **richiedono poca manutenzione.**

Grazie al loro funzionamento, che comporta la sincronizzazione tra la rotazione del rotore e la frequenza di corrente, la velocità dei motori a corrente alternata rimane costante.

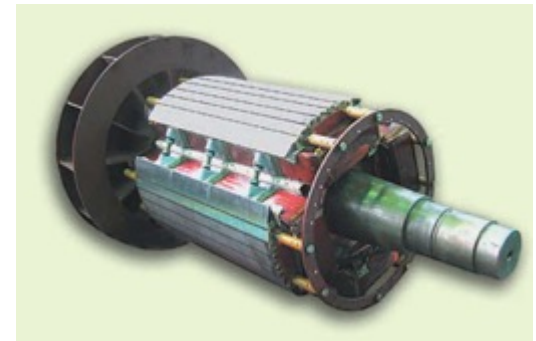
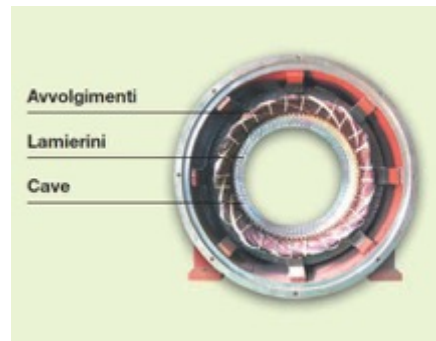
Per questa stessa ragione, i motori AC sono particolarmente adatti per effettuare operazioni in cui sia necessario generare un movimento continuo con pochi cambi di velocità.

Motore elettrico AC asincrono trifase (Induzione)

Sullo **statore** (esterno) si genera un campo rotante mediante alimentazione trifase di tre avvolgimenti (uno per ciascuna fase). Si genera così spontaneamente un flusso statorico rotante (detto **flusso induttore**). Sul rotore (interno) ci sono degli avvolgimenti che, concatenandosi con il campo generato dallo statore, generano il flusso rotorico che viene trascinato da quello statorico, ma ad una velocità inferiore (da cui il termine asincrono) che dipende dal carico applicato.

Il motore asincrono è un motore elettrico in corrente alternata in cui la velocità angolare del rotore è inferiore alla velocità di rotazione del campo magnetico generato dagli avvolgimenti dello statore, da cui l'asincronismo.

E' noto anche come **motore a induzione**.

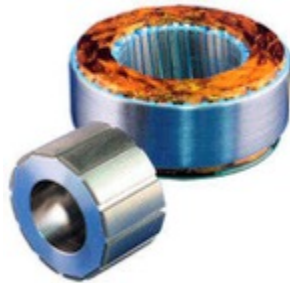


Motore elettrico AC asincrono trifase (Induzione)

- E' certamente il motore elettrico più semplice, economico, robusto ed affidabile. Per questo è anche il più diffuso. Ha peso ed ingombro ridotti rispetto ad altri motori di pari potenza.
- Non richiede particolari dispositivi di eccitazione/alimentazione.
- Adatta in modo spontaneo la sua velocità in base al carico applicato (solo per piccole variazioni, però).
- Ha correnti di spunto elevate.
- La coppia e la velocità sono praticamente costanti e non possono essere variate se non con un'adeguata elettronica di potenza.
- Ha qualche problema di dissipazione del calore.
- Di norma si usano due avvolgimenti per ciascuna fase (in gergo «due coppie polari»).
- Esistono anche motori AC asincroni monofase (si usano impedenze opportune per sfasare le correnti statoriche).
- La velocità può essere variata su intervalli ampi mediante accorgimenti opportuni (di norma variatori della frequenza di alimentazione)

Motore elettrico AC sincrono trifase (Brushless)

Sullo statore (esterno) si genera un campo rotante mediante alimentazione trifase di tre avvolgimenti (uno per ciascuna fase), esattamente come per il motore asincrono. Sul rotore (interno) ci sono magneti permanenti che generano il flusso rotorico che viene trascinato da quello statorico ad una velocità identica (da cui il termine sincrono) a quella del flusso statorico. I motori AC sincroni a magneti permanenti sono anche detti brushless sinusoidali.



- Sono motori nati per essere utilizzati con 220V@50Hz.
- Il flusso rotorico può essere generato da avvolgimenti in corrente continua anziché da magneti e quindi possono essere presenti spazzole per alimentare il rotore (ma ovviamente può essere realizzato in versione brushless).
- Non può avviarsi da solo, ma deve essere lanciato da un altro sistema (in genere mediante un rotore addizionale di tipo asincrono sul medesimo albero).

Motori DC

I motori a corrente continua trovano largo impiego anche in ambito industriale perché presentano vantaggi importanti che variano a seconda del tipo di costruzione:

- **sono precisi;**
- la loro velocità può essere controllata variando la tensione di alimentazione;
- sono facili da installare, anche in sistemi mobili (alimentati a batteria);
- la loro coppia di spunto è elevata;
- l'avviamento, l'arresto, l'accelerazione e l'inversione di marcia vengono effettuati rapidamente.

Questi motori sono molto adatti per **applicazioni dinamiche** che richiedono **alta precisione**, in particolare in termini di velocità, come nel caso degli ascensori, o in termini di posizione, come nel caso dei **robot** e delle [macchine utensili](#).

I motori DC, inoltre, trovano impiego anche per applicazioni che richiedono potenze elevate (ad esempio 10.000 kW).

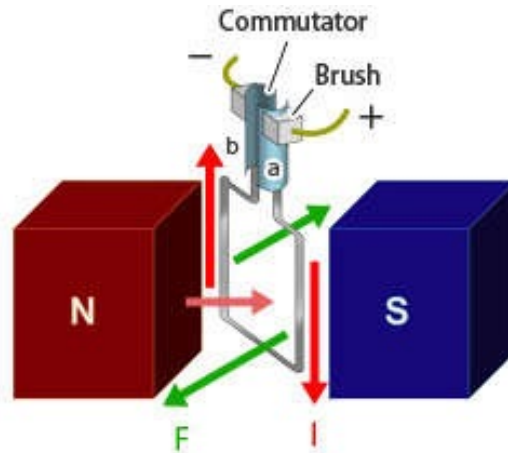
Tuttavia, a seconda delle loro caratteristiche costruttive, presentano alcuni svantaggi rispetto ai motori a corrente alternata:

- sono meno adatti alle applicazioni che richiedono alte potenze e, di conseguenza, sono meno usati dei motori a corrente alternata;
- sono costituiti da molte parti, soggette ad usura e costose da sostituire.

I due tipi più comuni di motori DC sono i motori a spazzole e i motori brushless.

Motori DC Brushed

Lo statore produce un campo magnetico fisso e costante ed è (in generale) costituito da magneti permanenti. Il flusso rotorico è prodotto da avvolgimenti alimentati da una corrente continua. Un dispositivo di commutazione (collettore a spazzole) alimenta gli avvolgimenti del rotore in modo opportuno durante la rotazione.



- Sono storicamente i primi motori sviluppati.
- I problemi principali sono legati alla commutazione a spazzole: queste si usurano e possono generare archi voltaici.
- La coppia erogata è proporzionale alla corrente circolante negli avvolgimenti rotorici.
- Per costruzione garantisce che flusso statorico e rotorico siano ortogonali, con conseguente massimizzazione della coppia.
- Il controllo della velocità di rotazione avviene in modo molto semplice modulando la tensione applicata agli avvolgimenti.
- Il flusso statorico può essere generato anche da avvolgimenti alimentati (statore avvolto)

Motori DC – Brushed (PRO)

I motori a spazzole sono i motori più semplici e più frequentemente utilizzati, anche in ragione del loro basso costo, e trovano impiego soprattutto nelle apparecchiature industriali di base. I motori a spazzole presentano diversi vantaggi:

- sono facili da controllare;
- la coppia a basso numero di giri è ottima;
- sono economici.

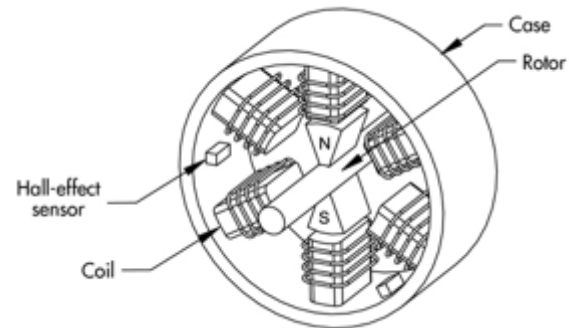
Motori DC – Brushed (CONS)

Tuttavia, tutti i motori a spazzole presentano degli svantaggi:

- sono meno efficienti dei motori brushless (75-80% di rendimento contro 85-90%);
- la loro vita utile è breve perché le spazzole, a causa dell'attrito regolare che subiscono, si consumano più rapidamente (vita utile compresa tra 1.000 e 10.000 ore di funzionamento, a seconda della frequenza di applicazione, della potenza, della velocità, delle vibrazioni, ecc.);
- l'arco delle spazzole e del collettore può generare disturbi elettromagnetici tali da causare incendi;
- l'attrito può provocare scintille e ciò fa sì che i motori a spazzole siano poco indicati in ambienti esplosivi;
- la loro velocità è generalmente limitata dal riscaldamento delle spazzole che, se in grafite, possono anche produrre polveri dannose ad altri dispositivi, ad esempio ai dispositivi ottici;
- devono essere lubrificati, il che ne rende impossibile l'uso negli aspirapolvere.

Motori DC Brushless

Il principio di funzionamento è il medesimo del motore DC brushed, tranne per il fatto che la commutazione delle fasi avviene elettronicamente sulla base di una misura della posizione dell'albero motore.



- E' privo di spazzole e quindi non soffre dei problemi ad esse dovuti
- Si possono realizzare motori con elevata potenza ed elevata coppia
- Sono più costosi di quelli a spazzole
- Necessitano di un'elettronica di potenza e di controllo abbastanza complessa

Motori DC- Brushless

I motori brushless non hanno gli svantaggi inerenti alla presenza di spazzole e hanno diversi vantaggi:

- possono funzionare a velocità più elevate (fino a 100.000 giri/min. rispetto ai 20.000 giri/min. dei motori a spazzole);
- hanno una vita utile più lunga (oltre 10.000 ore di funzionamento)
- sono più affidabili ed efficienti;
- ad eccezione dei cuscinetti, non contengono pezzi soggetti ad usura, il che riduce le operazioni di manutenzione.

Il fatto che questi motori possano funzionare a velocità molto elevate li rende particolarmente adatti a **smerigliatrici, ventilatori e seghe**.

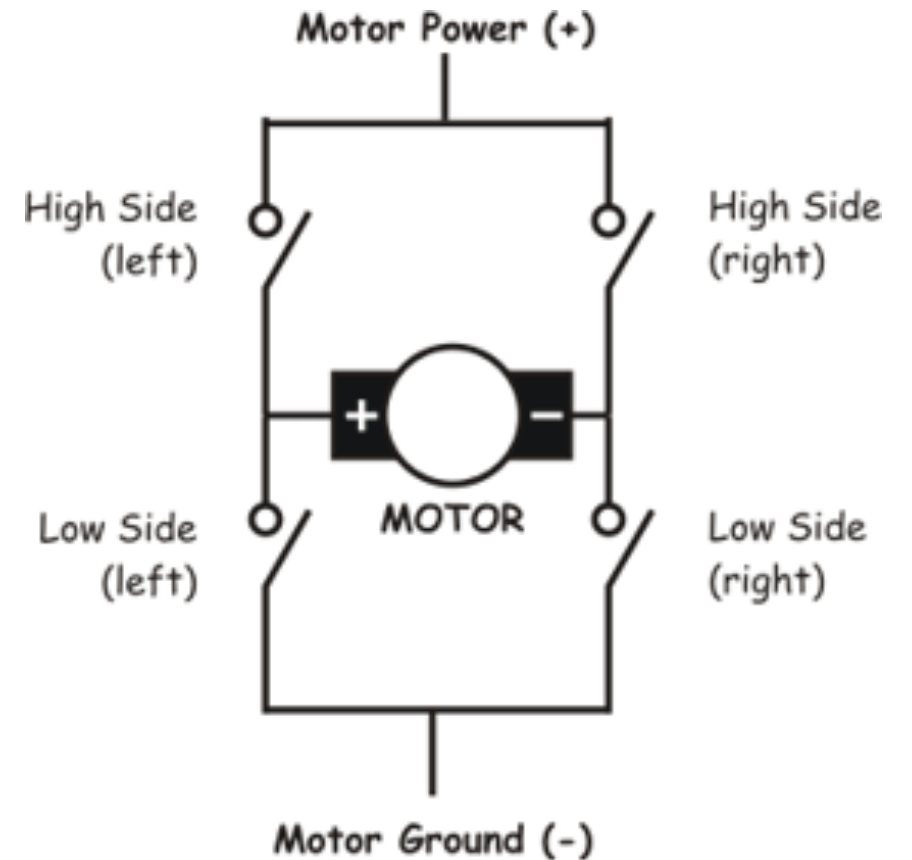
I motori brushless sono sistematicamente dotati di un encoder, ossia di un sensore che rende possibile la commutazione elettronica e la determinazione della posizione del rotore. Per questa ragione, i motori brushless sono la soluzione ideale per i [servomotori](#) destinati a realizzare operazioni di alta precisione.

Questi motori, tuttavia, hanno anche alcuni svantaggi:

- rappresentano un costo iniziale elevato perché devono essere associati ad un apposito dispositivo di commutazione (controller);
- nelle applicazioni di trasmissione, devono generalmente essere associati ad un riduttore.

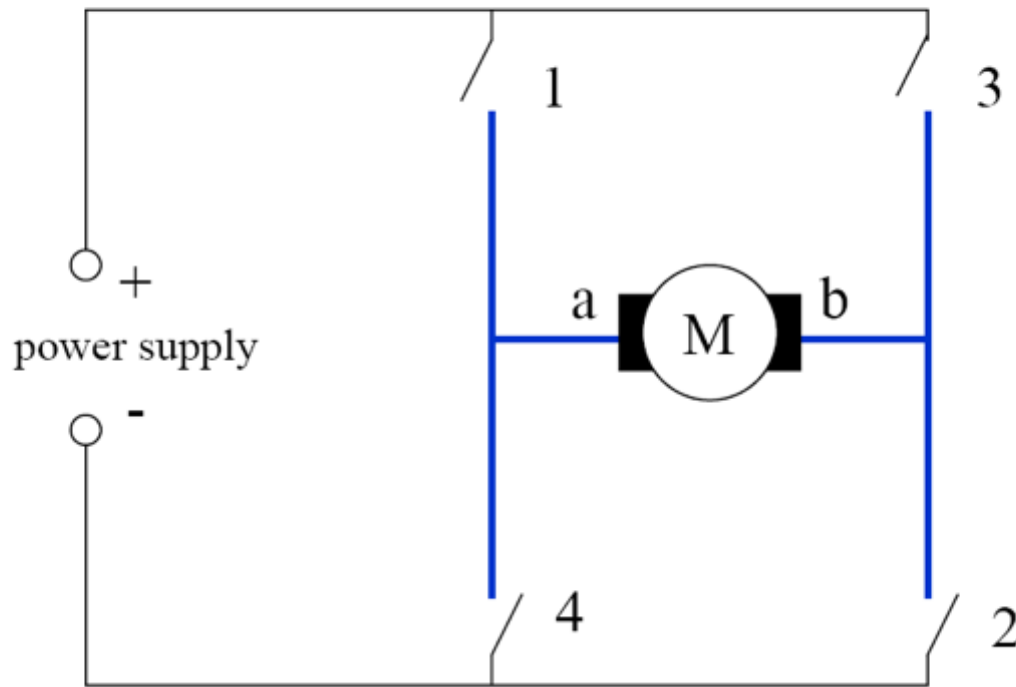
Motore DC- controllo

- Controller + H-bridge
- PWM-control
- Speed control by controlling motor current=torque
- Efficient small components
- PID control



Ponte H

Allows a motor to be driven in both directions



Drive forward:

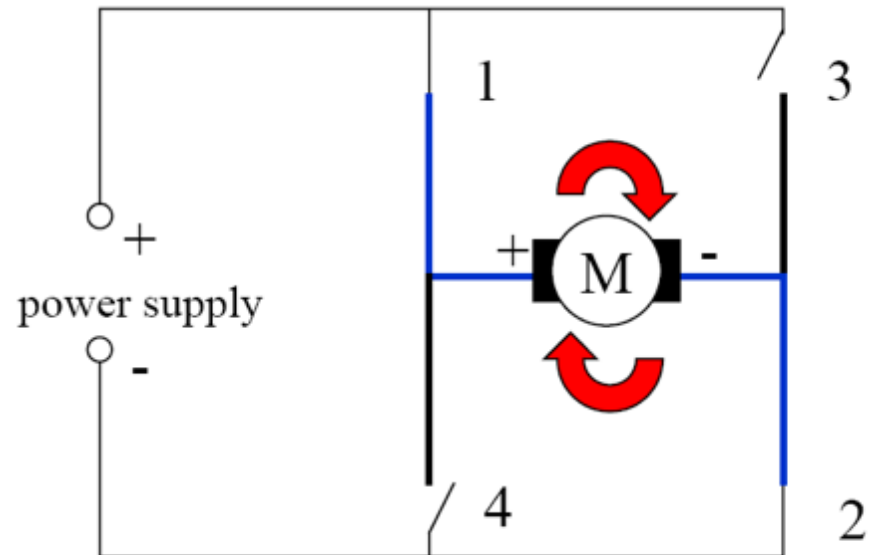
- Close 1 and 2

Drive backward:

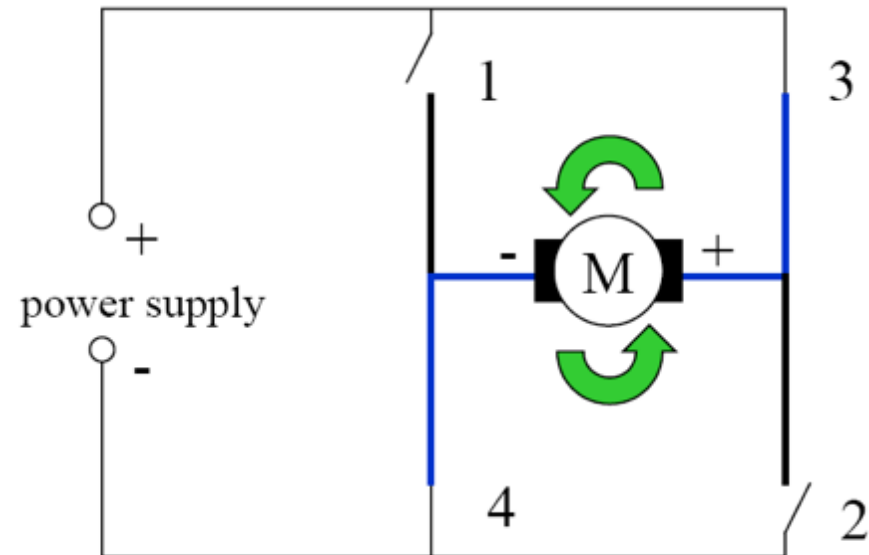
- Close 3 and 4

Ponte H

Drive forward:



Drive backward:



Motori passo-passo: Che cosa sono?

Sono motori elettrici sincroni che mantengono con precisione la propria velocità di rotazione e posizione senza l'ausilio di trasduttori di feedback (come ad esempio encoder o dinamo tachimetriche).

il motore passo-passo non modifica la velocità di rotazione in funzione del carico, ma la mantiene costante. Se lo sforzo richiesto al motore supera la coppia massima erogabile il motore semplicemente si ferma.

Per ruotare i motori passo-passo necessitano di un'elettronica di controllo chiamata azionamento o drive. Non è possibile utilizzare il motore passo-passo semplicemente fornendo tensione come si fa con un motore CC. L'azionamento imprime al motore passo-passo una corrente costante che produce una coppia costante all'albero del motore.

A parità di volume la coppia erogata da un motore passo-passo è molto più alta di quella di un motore brushless o CC.

La costruzione semplice e robusta ed il basso costo di produzione hanno favorito la diffusione del motore passo-passo in ogni settore.



Motori passo-passo: A cosa servono?

I motori passo-passo sono largamente impiegati sia nelle applicazioni consumer che in quelle industriali.

L'industria utilizza il motore passo-passo nelle etichettatrici, nelle macchine automatiche di riempimento e confezionamento, nei centri di lavoro CNC, nelle roccatrici, nei telai, ecc.

Gli impianti fotovoltaici di ultima generazione ne fanno uso per realizzare l'inseguimento solare.

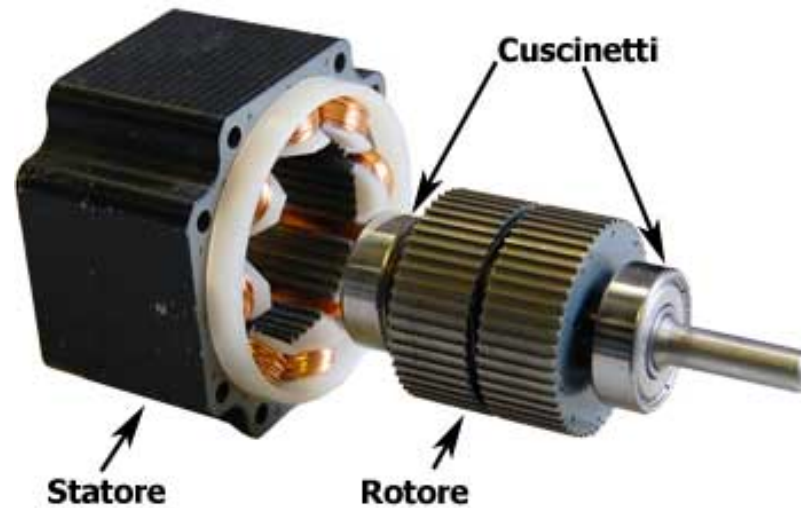
Il motore passo-passo è in grado di erogare una coppia molto elevata a basso numero di giri ed è in grado di mantenere il carico fermo in posizione senza vibrazioni o pendolamento. Queste caratteristiche lo rendono l'alternativa ottimale al classico gruppo motore+riduttore, con il vantaggio di migliorare il rendimento del sistema, eliminare i giochi meccanici, semplificare il montaggio ed abbattere i costi.

Le applicazioni che richiedono accelerazioni e frenate repentine traggono vantaggio dell'elevato rapporto coppia/inerzia del rotore.

La totale assenza di componenti delicati all'interno del motore (come resolver o encoder) o soggetti a rapida usura (ad esempio non esistono contatti striscianti) rende il motore passo-passo privo di manutenzione ed un'ottima scelta in tutte le applicazioni ostili dove è richiesto un funzionamento continuo ed affidabile.

Motori passo-passo: Come sono fatti?

Essi sono composti da una parte esterna, detta statore (dove risiede l'avvolgimento), ed un rotore che per semplicità possiamo immaginare come un magnete permanente (una calamita).



Motori passo-passo: Come sono fatti?

- Il rotore è solidale con l'albero, che lo attraversa esattamente al centro. Ai lati del rotore si trovano i cuscinetti, che hanno il compito di sorreggere l'albero ed il rotore permettendone la rotazione. I due cuscinetti sono a loro volta alloggiati rispettivamente all'interno della flangia anteriore e posteriore del motore passo-passo.
- Da questa prima descrizione si nota che non esistono contatti striscianti, come avviene invece nei motori CC, e questo conferisce al motore passo-passo un'elevata affidabilità e assenza di manutenzione.
- Anche i motori brushless non hanno spazzole (e questo è uno dei motivi per cui stanno rimpiazzando sempre di più i motori a corrente continua) ma sono molto più costosi rispetto ai motori passo-passo. **Possiamo quindi pensare ai motori passo-passo come ad un motore brushless economico, in grado di funzionare senza feedback** (senza encoder, dinamo tachimetrica o altro).

Motori passo-passo: Scegliere il motore giusto

È molto importante comprendere qual è l'utilizzo ottimale di un motore passo-passo per evitare di impiegarlo in modo errato.

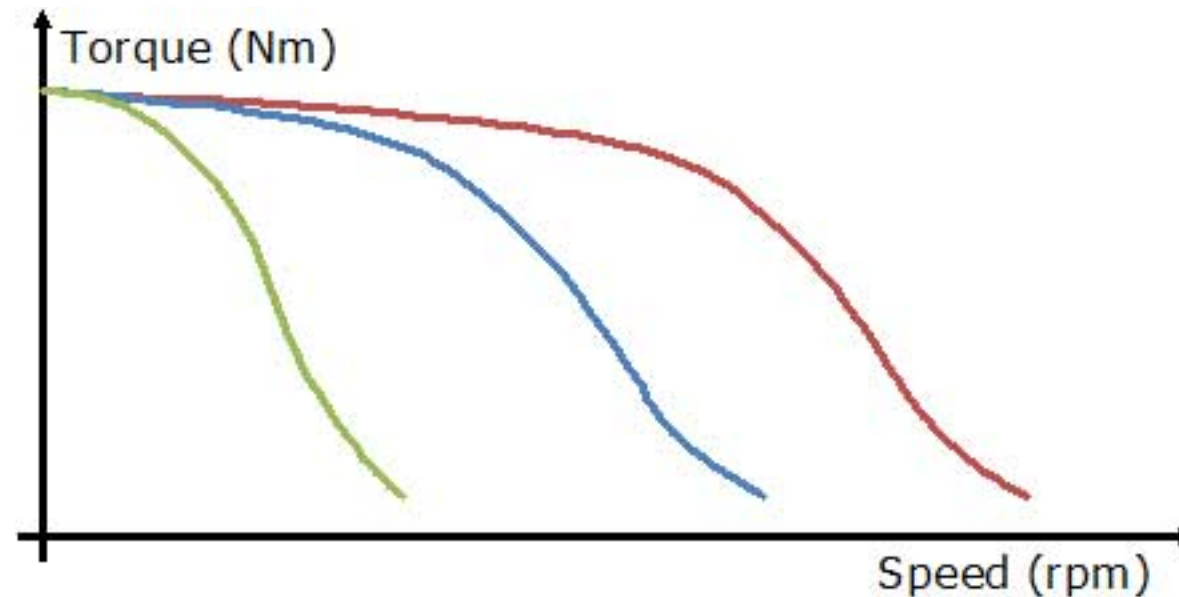
Per prima cosa possiamo dire che un motore passo-passo non è adatto per un uso continuativo ad alta velocità.

Nel caso in cui siano richieste velocità di rotazione continuative superiori a 2000rpm (giri/minuto) è generalmente preferibile orientarsi verso tipologie diverse di motore. Per contro i motori passo-passo offrono stabilità e coppie elevate a velocità molto basse e spesso è possibile impiegarli in presa diretta, senza l'ausilio di alcun riduttore meccanico.

Un secondo aspetto da tenere presente è che la coppia erogata dal motore passo-passo non è costante ma decresce all'aumentare della velocità. L'andamento con cui la coppia decresce dipende dalle caratteristiche elettriche del motore e dalla tensione di alimentazione dell'azionamento.

Motori passo-passo: Scegliere il motore giusto

Il grafico sottostante mostra l'andamento tipico della coppia di un motore passo-passo in funzione della velocità di rotazione.



Motori passo-passo: Scegliere il motore giusto

Il grafico evidenzia come a bassa velocità la coppia è praticamente costante, mentre man mano che la velocità aumenta la coppia erogabile dal motore passo-passo decresce.

Maggiore è la tensione di alimentazione dell'azionamento e migliore è l'erogazione di coppia del motore a velocità elevata (curva rossa), al contrario alimentando l'azionamento con una tensione inferiore la coppia del motore si esaurirà prematuramente (curva verde).

Si tenga inoltre presente che a parità di tensione di alimentazione dell'azionamento è possibile ottenere una diversa risposta del motore scegliendo un diverso avvolgimento interno.

Aumentando il numero di spire nello statore la corrente nominale del motore diminuisce e le prestazioni in velocità si riducono (curva verde). Riducendo il numero di spire il motore necessita di maggiore corrente per erogare la coppia nominale, ma le prestazioni in velocità migliorano (curva rossa).

Questa è la ragione che spinge molti costruttori a mettere a catalogo lo stesso motore passo-passo (in termini di dimensioni meccaniche, costo e coppia erogata) ma con avvolgimenti diversi (riconoscibili dalla diversa corrente di fase nominale).

Motori passo-passo: Scegliere il motore giusto

La ragione per cui non si realizza un solo motore con l'avvolgimento più performante è il costo dell'azionamento, che aumenta in modo proporzionale alla corrente erogata.

Per selezionare il motore ottimale per l'applicazione è innanzitutto necessario stabilire quale sia la coppia resistente generata dal carico alle diverse velocità e condizioni di utilizzo (caso peggiore).

La coppia resistente deve essere calcolata tenendo conto degli attriti statici e dinamici e dell'inerzia del sistema vista dal motore durante l'accelerazione e la decelerazione. Una volta noto l'andamento della coppia resistente alle diverse velocità è sufficiente selezionare un motore con una curva di coppia superiore alla curva di coppia resistente del carico.

Per garantire affidabilità all'applicazione è buona norma selezionare un motore passo-passo con una coppia superiore almeno del 30% rispetto alla richiesta del carico.

Come ultima considerazione è importante non superare un rapporto d'inerzia tra carico e motore di 10:1 altrimenti possono verificarsi fenomeni di instabilità dovuti all'impossibilità, da parte del motore passo-passo, di gestire il carico.

Motori passo-passo: Capire i dati caratteristici

- **NEMA**, indica le dimensioni della flangia del motore.
- **Holding Torque (Coppia statica)**, è la coppia massima offerta dal motore alimentato alla corrente nominale con rotore fermo.
- **Detent Torque (Coppia residua)**, è la coppia resistente che il motore offre quando non è alimentato.
- **Rated Current (Corrente nominale)**, indica il valore di corrente che genera la Holding Torque (vedi sopra).
- **Phase Inductance (Induttanza di fase)**, è il valore di induttanza di ciascuna fase del motore.
- **Phase Resistance (Resistenza di fase)**, è il valore di resistenza di ciascuna fase del motore.
- **Rotor Inertia (Inerzia del rotore)**, indica l'inerzia del rotore del motore.
- **Step Angle (Angolo di passo)**, è lo spostamento che il rotore compie quando esegue un passo intero.
- **Step Angle Accuracy (Accuratezza dell'angolo di passo)**, indica la differenza massima tra la posizione meccanica del rotore e la posizione elettrica (posizione comandata).
- **Max temperature (Temperatura massima)**, è la massima temperatura a cui il motore può funzionare.
- **Axial Load (Carico assiale)**, è il massimo carico che è possibile applicare in direzione assiale all'albero del motore.
- **Radial Load (Carico radiale)**, è il massimo carico che è possibile applicare in direzione radiale all'albero del motore.

Motori passo-passo: NEMA

I motori passo-passo ibridi a magnete permanente sono per la maggior parte prodotti in accordo alle flange definite dallo standard NEMA.

Le più diffuse in ambito industriale sono lo standard NEMA17 (42x42mm), NEMA23 (57x57mm), NEMA34 (86x86mm) e NEMA42 (108x108), mostrate nell'immagine sottostante.



Mantenendo la medesima flangia i produttori spesso offrono motori di differente lunghezza, che corrisponde ad una differente potenza.

In altre parole è spesso possibile aumentare o ridurre la potenza del motore semplicemente variando la lunghezza dello statore, senza la necessità di modificare il fissaggio meccanico.

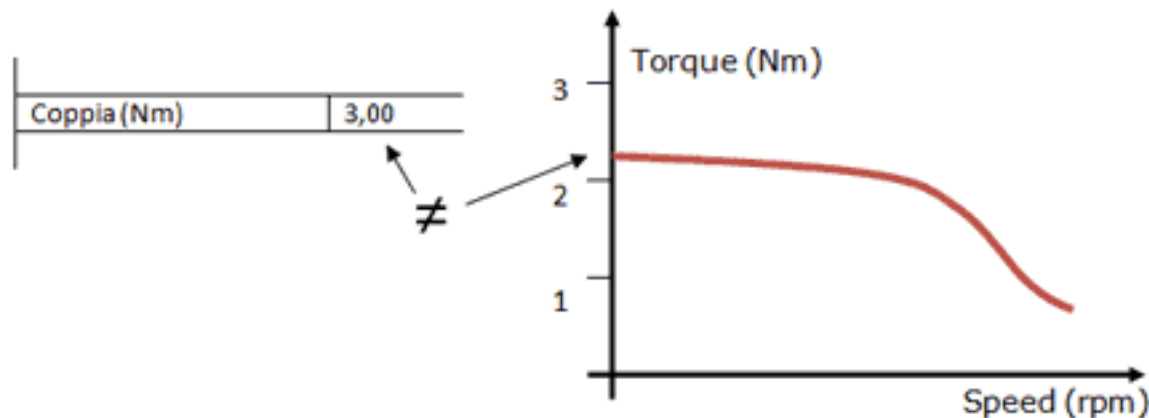
Esistono anche altre dimensioni (ad esempio 60x60mm) ma sono poco diffuse e con scarsa disponibilità di modelli, pertanto è preferibile scegliere prodotti conformi agli standard più diffusi sopra enunciati.

Motori passo-passo: Holding Torque – Coppia statica

È la coppia di tenuta, ossia la **coppia resistente offerta dal motore a rotore fermo**, quando il motore è alimentato alla corrente nominale.

Si osservi che **la corrente nominale è normalmente espressa in corrente efficace Arms**.

Se la coppia statica (Holding Torque) riportata nel data sheet è maggiore dalla coppia iniziale del motore, come mostrato nell'immagine sottostante, significa che l'azionamento in questione non è in grado di erogare la corrente nominale richiesta dal motore con conseguente penalizzazione della prestazioni.



Tipicamente la coppia di un motore passo-passo è espressa in N-m (Newton-metro) oppure oz-in (Once-pollice).

- $\text{N-m} = \text{oz-in} / 141.6$
- $\text{oz-in} = \text{N-m} \times 141.6$

Motori passo-passo: Step angle – Angolo di step

Indica lo spostamento angolare del rotore corrispondente all'esecuzione di un passo intero.

Normalmente questo valore è di $1,8^\circ$ (motori da 200passi/giro) ma esistono anche motori con angoli di passo diversi.

La tabella sottostante mostra le divisioni più comuni con i corrispondenti angoli.

Numero di divisioni del giro	Angolo del passo intero
48	$7,5^\circ$
100	$3,6^\circ$
200 (più comune)	$1,8^\circ$
400	$0,9^\circ$

Motori passo-passo: Step angle – Angolo di step

I motori passo-passo possono eseguire posizionamenti con risoluzione superiore a quella del passo intero quando sono abbinati ad azionamenti capaci di frazionare elettronicamente il passo meccanico del motore.

In commercio esistono azionamenti in grado di dividere il passo interno in 2, 4, 5 o più parti. Gli azionamenti più evoluti sono in grado di dividere in 128 parti il passo intero raggiungendo la notevole risoluzione di 25.600 micropassi per giro. **Questa tecnica è indicata con il nome di pilotaggio a micropasso (microstepping).**

Le posizioni intermedie tra un passo intero e l'altro sono ottenute modulando opportunamente la corrente di fase (solitamente con andamento sinusoidale).

Quando si fa uso di questa tecnologia è molto importante assicurarsi che il valore efficace della corrente resti invariato tra un micro passo ed il successivo, diversamente la coppia erogata dal motore non sarà costante. Questa informazione è solitamente riportata nel manuale d'uso dell'azionamento o in alternativa potete chiederla al produttore dello stesso.

Motori passo-passo: Step Angle Accuracy – Precisione dell'angolo di passo

È un valore, normalmente espresso in gradi o percentuale dell'angolo di passo, che indica l'errore massimo di posizionamento che il rotore può compiere nell'esecuzione di un passo intero. Il dato è valido in assenza di carico applicato al motore (la presenza del carico può aumentare considerevolmente l'errore).

Normalmente un buon motore passo-passo offre una precisione migliore del 5% dell'angolo di passo intero, che significa che un motore da 200 passi/giro ha un errore di posizionamento inferiore a $0,09^\circ$ ($(360/200)*5/100$).

È importante notare che l'errore del motore è indipendente dalla risoluzione utilizzata sull'azionamento.

Essendo l'errore una percentuale dell'angolo di passo intero è possibile diminuirlo solo aumentando il numero di divisioni a giro. Se ad esempio usiamo un motore da 400 passi/giro, con una precisione dell'angolo di passo del 5% potremo apprezzare fino a $0,045^\circ$.

Si osservi infine che l'errore non è cumulativo ma si annulla ad ogni passo. In pratica l'errore indicato è il massimo errore che ci si può aspettare dopo un passo intero, dopo l'esecuzione di un quarto di giro, due giri o mille giri.

Motori passo-passo: Cos'è la coppia?

Semplificando molto possiamo dire che la coppia è un modo per esprimere la forza esercitata da qualcosa che gira. In particolare la coppia indica la forza esercitata ortogonalmente ad una ben precisa distanza dal fulcro di rotazione.

Se ad esempio un motore sviluppa una coppia di 1,6Nm (Newton metro) significa che a 1m centro dell'asse del motore è disponibile una forza ortogonale di 1,6N. Se poi vogliamo ragionare in termini di peso sollevabile è sufficiente dividere la forza (espressa in Nm) per 9,8.

In conclusione possiamo affermare che un motore in grado di sviluppare una coppia di 1,6Nm è in grado di sollevare un peso di 163gr (1,6 / 9,8) appeso ortogonalmente all'estremità di un'asta che misura 1m dal centro di rotazione del motore.

Se la distanza dal centro di rotazione aumenta il peso sollevabile si riduce mentre se la distanza dal centro di rotazione diminuisce il motore sarà in grado di sollevare un peso maggiore. Ad esempio a 10mm dal centro di rotazione il motore da 1,6Nm dell'esempio precedente è in grado di sollevare ben 16,3Kg.

Alcuni produttori specificano la coppia dei motori passo-passo in oz-in (Once-pollice) anziché N-m (Newton-metro). Per convertire il valore da un'unità all'altra è sufficiente applicare le seguenti formule:

$$\text{N-m} = \text{oz-in} / 141.6$$

$$\text{oz-in} = \text{N-m} \times 141.6$$

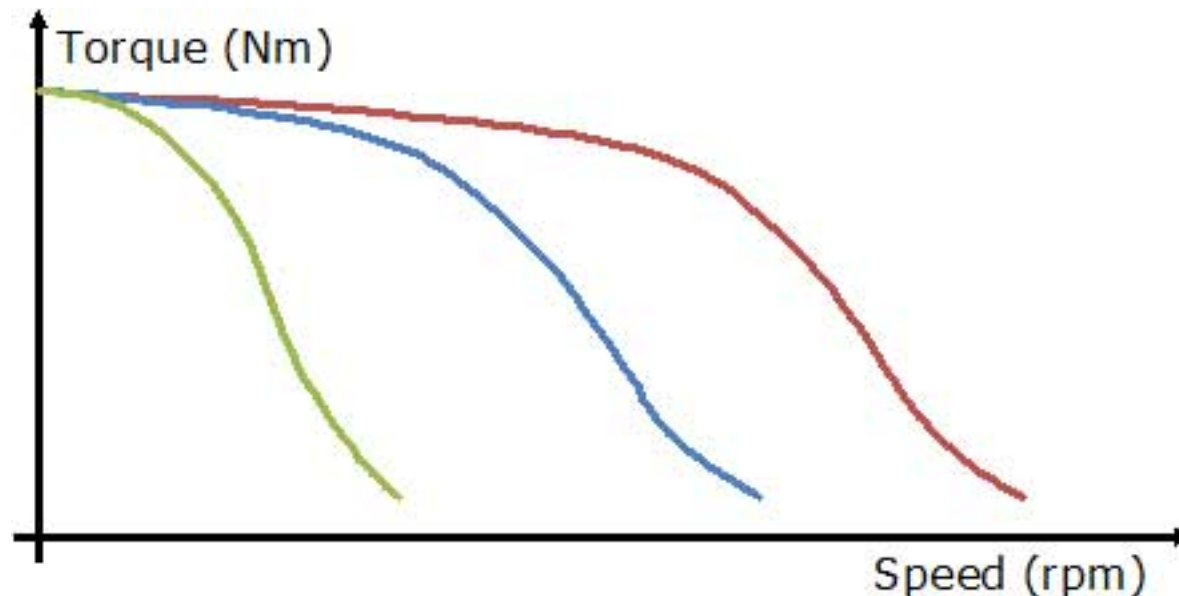
Motori passo-passo: Cos'è la curva di coppia?

- La curva di coppia di un motore passo-passo mostra il valore di coppia che il motore è in grado di erogare ad una determinata velocità.
- La coppia erogata infatti non è costante ma decresce man mano che la velocità aumenta.
- L'andamento della curva è influenzato sia dai parametri elettrici del motore passo-passo, ed in particolare dalla forza controelettrica e dall'induttanza di fase, sia dalla tensione di alimentazione dell'azionamento.
- L'induttanza di fase si oppone alla variazione di corrente nelle fasi del motore operata dall'azionamento, pertanto minore è il valore dell'induttanza del motore e più rapido è il raggiungimento del set-point di corrente comandato dall'azionamento. In altre parole minore è l'induttanza del motore e migliore è la curva di coppia.
- La forza controelettrica generata dal motore durante la rotazione si sottrae alla tensione che l'azionamento applica alle fasi del motore per raggiungere il set-point di corrente e pertanto tanto maggiore sarà la forza controelettrica del motore e tanto minore sarà la differenza di potenziale che l'azionamento ha a disposizione per controllare la corrente di fase.
- In altre parole minore è la forza controelettrica del motore e migliore è la curva di coppia.

Motori passo-passo: Cos'è la curva di coppia?

Da quanto appena detto si intuisce che maggiore è la tensione di alimentazione dell'azionamento e maggiore è la differenza di potenziale che l'azionamento può applicare alle fasi del motore per regolare la corrente. Ciò significa che maggiore è la tensione di alimentazione dell'azionamento e migliore sarà la curva di coppia del motore.

Il grafico sottostante evidenzia l'impatto che ha la tensione di alimentazione dell'azionamento sul motore.



La curva rossa è ottenuta alimentando l'azionamento alla massima tensione, la curva blu ad un valore intermedio mentre la curva verde corrisponde all'alimentazione minima dell'azionamento.

Osservando il grafico si nota come le tre curve coincidano nel tratto iniziale indicando che **a bassi regimi la tensione di alimentazione dell'azionamento è poco influente ai fini della coppia erogata, mentre è indispensabile una tensione di alimentazione elevata per ottenere una coppia significativa a velocità sostenute.**

SERVO Motor SG90



The servo motor has three terminals.

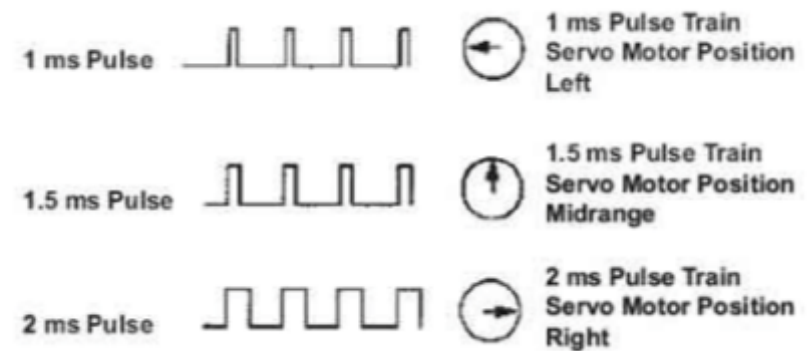
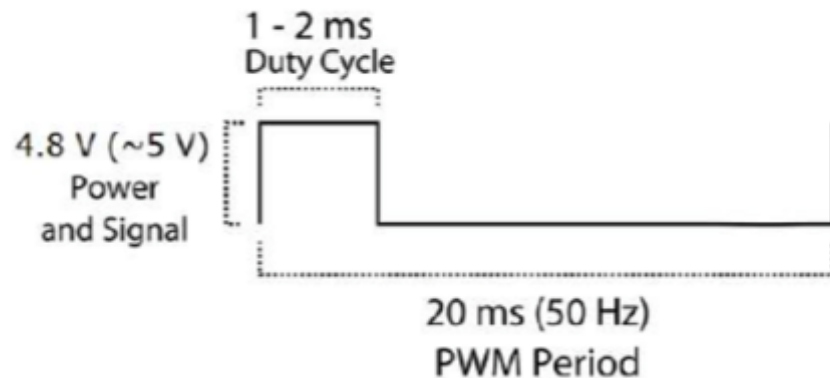
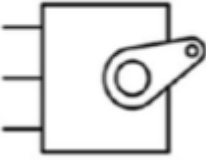
1. Position signal (PWM Pulses)
2. V_{cc} (From Power Supply)
3. Ground

The **servo motor angular position is controlled by applying PWM (Pulse Width Modulation) pulses** of specific width.

The *duration* of pulse varies from about 1 ms for 0 degree rotation to 2 ms for 180 degree rotation.

The pulses need to be given at *frequencies* of about 50Hz to 60Hz.

PWM=Orange (⏏)
Vcc = Red (+)
Ground=Brown (-)



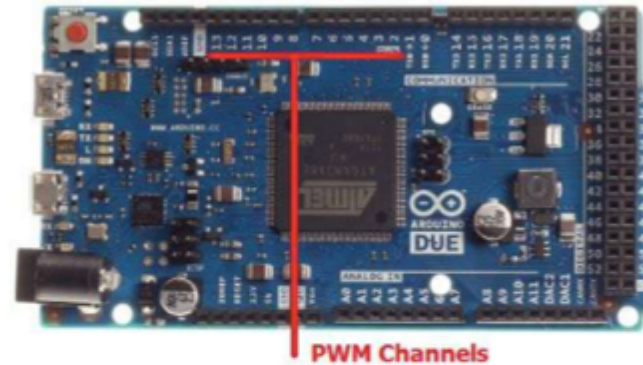
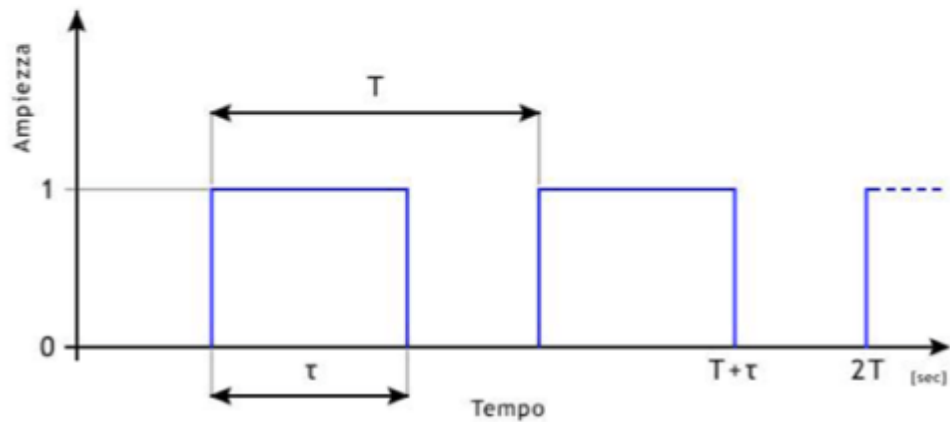
PWM with Arduino Due

There are **12 PWM Channels** (Pin 2 to Pin 13)

`pinMode(pin, OUTPUT)`
`analogWrite(pin, value)`

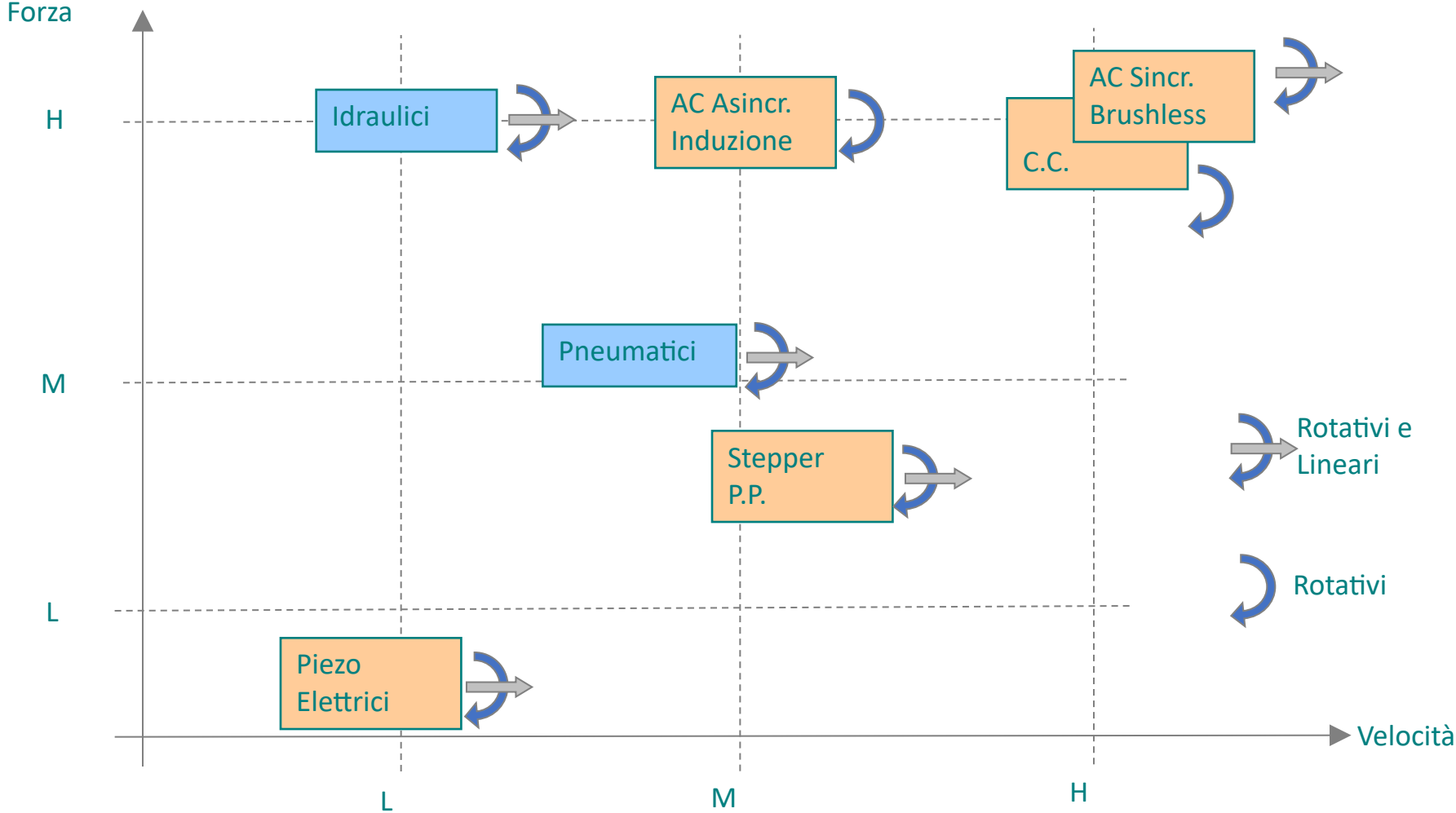
d

The default PWM resolution is to 8-bit, which can be changed to 12-bit resolution using the `analogWriteResolution()` function.



Duty cycle: $d = \frac{\tau}{T}$

Scelta del motore



Exercise 2: positioning of Servo motor using a

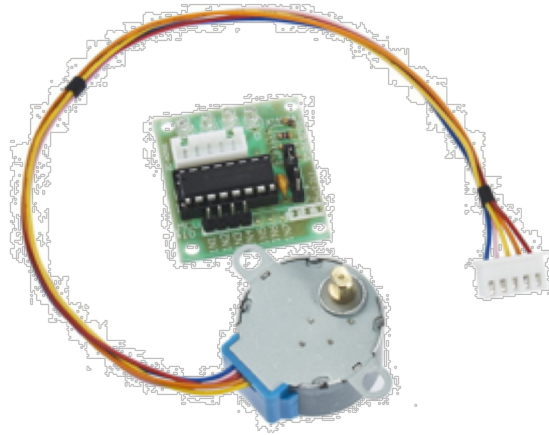
Use analog read values from potentiometer (0 to 1023) to position servo motor from 0 to 180 degrees



```
#include <Servo.h>
```

FIND DATASHEET

Exercise 3: change stepper speed using a



```
#include <Stepper.h>
```

FIND DATASHEET