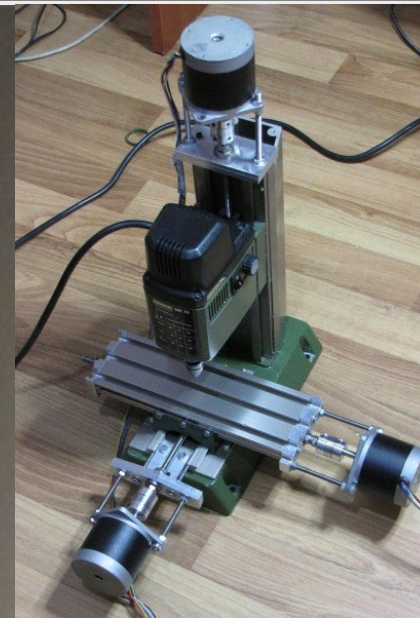
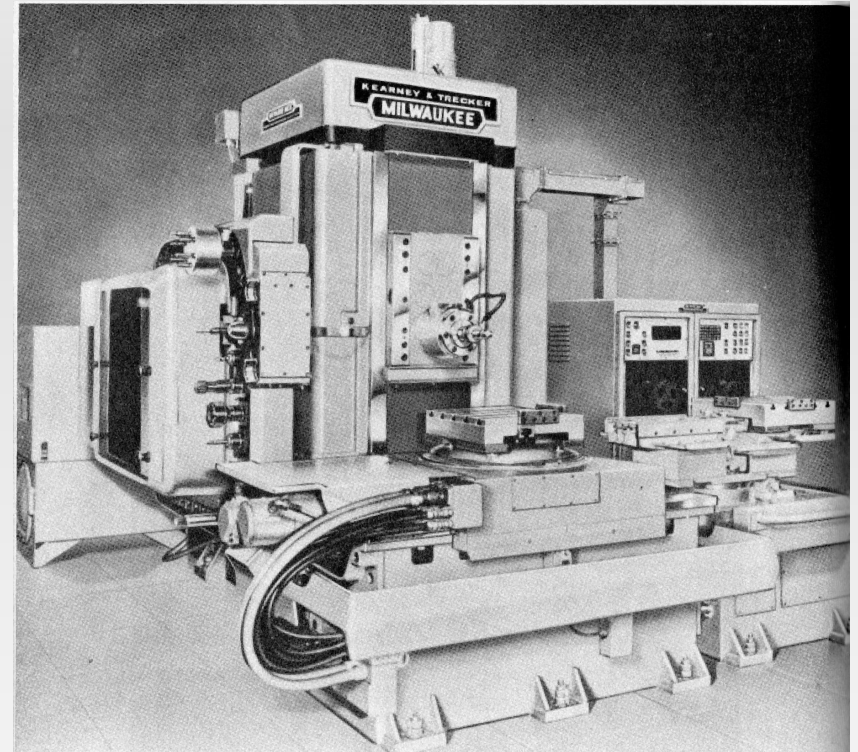


# CNC (computer numerical control)



# CNC (computer numerical control)

Le macchine CNC (computer numerical control in inglese), che fino agli anni ottanta erano usate solo per lavorazioni ad alta precisione, sono oggi molto diffuse e impiegate in quasi ogni campo della meccanica. La tecnologia delle macchine CNC ha coperto un po' tutti i rami della meccanica; le macchine a CNC più comuni sono presse piegatrici, punzonatrici, torni, fresatrici e macchine di taglio lamiera (laser, ossitaglio, plasma, a getto d'acqua, ecc.). Esse rappresentano l'evoluzione delle macchine NC, perché permettono il controllo numerico diretto da un computer esterno (CNC).



# Assi

Caratteristica principale di queste macchine è il numero di gradi di libertà disponibili, detti assi della macchina. I tipi più comuni sono:

- 2 assi: movimento solo su X e Y. Pezzi limitati a lavorazioni piane senza variazioni di profondità.
- 2.5 assi (due assi e mezzo): si tratta di macchine in grado di operare su tutti e tre gli assi, ma soltanto a passi discreti su uno di essi (generalmente l'asse Z), cioè gestiscono l'interpolazione soltanto su due assi. Sono oggi il tipo più economico.
- 4 e 5 assi: oltre al movimento sui tre assi X,Y e Z si aggiunge l'inclinazione (ed eventualmente la rotazione) del mandrino o di una tavola rotobasculante solidale al piano macchina. Queste macchine possono realizzare praticamente qualsiasi tipo di sagoma purché la forma delle concavità non vada in interferenza con il mandrino. Queste macchine sono molto costose.
- Nell'industria dei grandi trasporti si usano anche macchine dette "a 8 assi" o "a 10 assi": si tratta di centri di lavoro a due testate indipendenti, in grado di velocizzare le operazioni di lavorazione su pezzi di grandissime dimensioni.



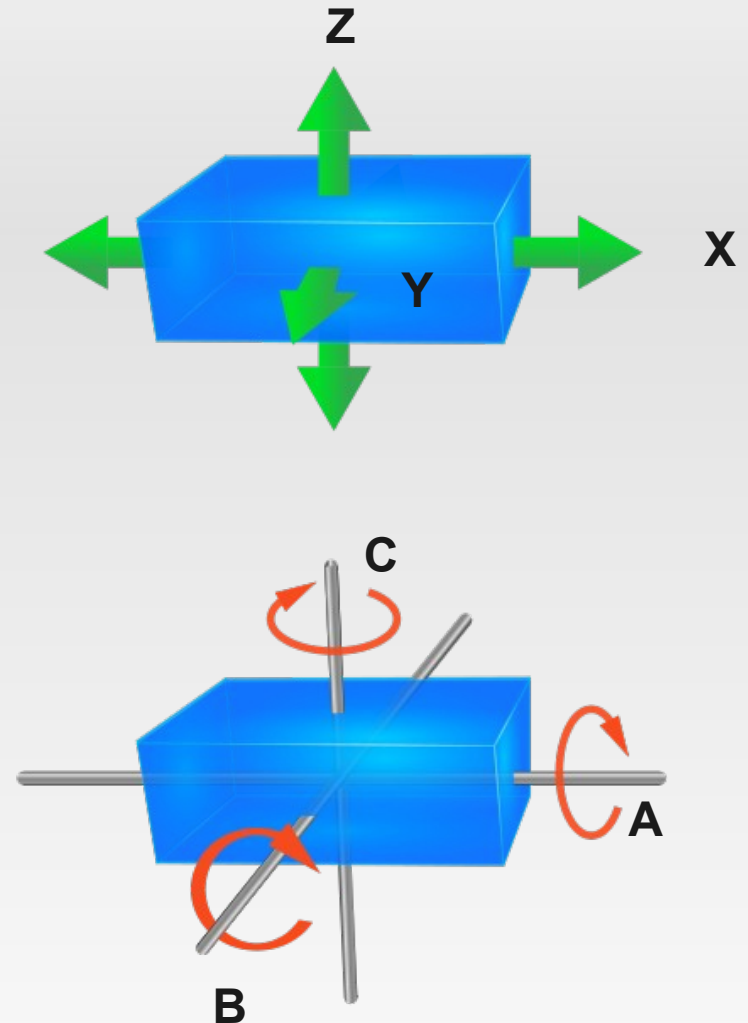
# Retroazionamento

Praticamente tutte le macchine CNC moderne sono "a circuito chiuso" (a catena chiusa o retroazionata): ogni asse è dotato di encoder (encoder rotativi oppure righe ottiche) che permettono al controllo di conoscere in ogni istante la posizione della testa di lavorazione rispetto al pezzo. L'uso di righe ottiche permette il recupero completo dei giochi della trasmissione misurando direttamente e non attraverso i cinematismi la posizione dell'asse e quindi una maggiore precisione di lavoro.



# Capacità delle macchine CNC

Le macchine CNC più avanzate sono dotate di testate orientabili (assi inclinabili) in grado di ruotare giroscopicamente lungo due assi (normalmente chiamati A, B, C o 4). Questo consente di inclinare l'utensile rispetto a tutti i piani di lavoro rendendo possibile realizzare figure molto complesse.



# Capacità delle macchine CNC

Con i controlli numerici più recenti si iniziano ad implementare funzioni di lavorazione avanzata delle superfici, permettendo di lavorare superfici 3D NURBS in modo nativo, senza bisogno di programmi CAM intermedi.

Lo sfruttamento ottimale delle caratteristiche di queste macchine può avvenire attraverso appositi accessori per copiatura e stampi oppure via computer, attraverso una catena di programmi: prima si crea con il CAD un oggetto, che poi viene passato al CAM che si incarica di creare il programma per la realizzazione su una data macchina, e infine il programma viene eseguito dalla macchina creando l'oggetto materiale.





# Capacità delle macchine CNC

La maggior parte dei centri di lavoro controllati da computer sono dotati di movimento verticale del mandrino in grado di realizzare incisioni, sculture e lavorazioni di grandissima precisione. Se utilizzate con frese coniche o sferiche possono arrivare a creare superfici assolutamente lisce, di altissima precisione, in modo rapido, automatizzato e ad un costo estremamente contenuto. Le migliori macchine CNC arrivano a una precisione di un decimillesimo di millimetro (100 nanometri).

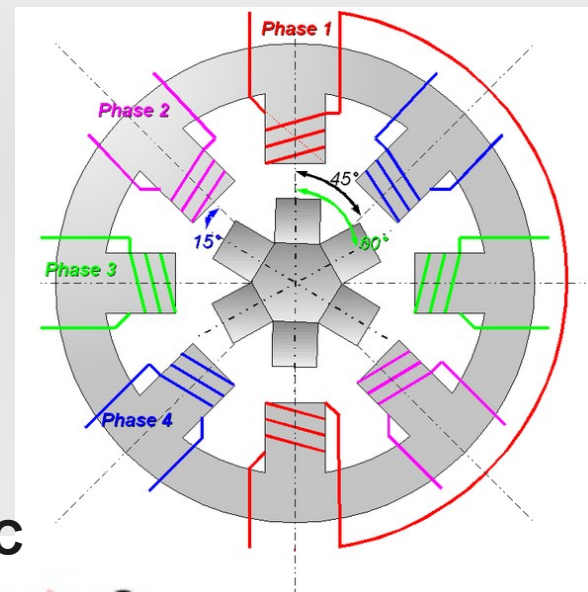


# Anatomia di una macchina CNC

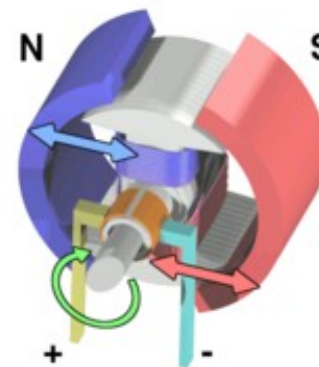
Una normale macchina CNC è costituita in modo molto simile alla sua corrispondente manuale, ma monta alcuni componenti in più:

- degli encoder, che informano il computer di bordo sul movimento e sulla posizione dell'asse su cui sono montati. Esistono sia encoder lineari (righe ottiche) che rotativi; alcuni encoder sono assoluti, cioè riferiscono una misura esatta di posizione, mentre altri sono relativi, cioè dicono soltanto di quanti passi si sta spostando l'asse in moto e in che direzione sta andando.
- dei motori elettrici speciali per controllare il movimento degli assi;
- degli azionamenti, speciali unità che alimentano e controllano il movimento dei motori suddetti. A seconda del tipo di motori (trifase o in corrente continua, con resolver o encoder) e a seconda del tipo di retroazione, l'azionamento sarà più o meno complesso.

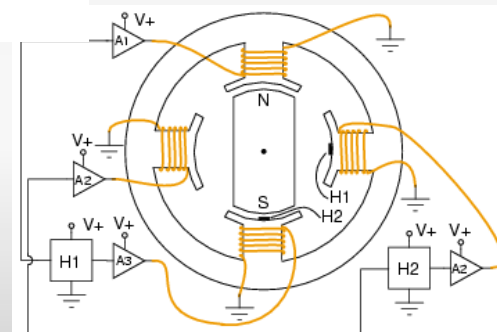
## Motore Passo Passo



## Motore DC



## Motore AC (Monofase)





# Motori Passo Passo

I motori bipolari sono caratterizzati dall'aver solo quattro fili di connessione. Una categoria particolare è costituita dai motori unipolari a sei fili: è infatti sufficiente in questi motori non collegare la coppia di fili comuni tra due fasi per ottenere un motore bipolare, anche se in genere con caratteristiche peggiori di quelli che "nascono bipolari".

Per questi motori il pilotaggio è più complesso che per quelli unipolari: infatti la corrente deve attraversare gli avvolgimenti nei due versi e questo rende piuttosto complesso il circuito di pilotaggio. Il vantaggio deriva dal fatto che, essendo le fasi due anziché quattro, a parità di potenza del motore, il peso e la dimensione sono minori in quanto è necessario usare una minor quantità di rame. Inoltre, usando appositi schemi, è possibile ottenere circuiti di pilotaggio più efficienti in termini di consumo energetico e velocità di rotazione ottenibile.

Infine si rende possibile introdurre nuove modalità di pilotaggio senza appesantire in modo sostanziale le difficoltà di progettazione dell'elettronica di potenza.

Anche nel pilotaggio bipolare sono possibili diverse modalità:

- WaveMode: una sola fase alla volta è attiva. Da notare che le condizioni di funzionamento per ciascuna fase sono tre: corrente in un verso, corrente nell'altro verso, assenza di corrente (situazioni indicate rispettivamente con  $I$ ,  $-I$  e  $0$  nella tabella).
- Two phase-on: la corrente è sempre presente nelle due fasi ma cambia verso. Ho già descritto nel paragrafo dedicato ai motori unipolari gli effetti sulla coppia (che aumenta di 1.4 volte) e la corrente assorbita (che raddoppia).
- Half-step senza controllo di coppia: è l'insieme dei due metodi precedenti, con l'effetto principale di ottenere il raddoppio del numero dei passi. Ho già descritto gli effetti sulla coppia e la corrente assorbita.

# Motori passo passo

- **Half-step con controllo di coppia:** con la tecnica di pilotaggio a mezzo passo quando la corrente scorre in due fasi contemporaneamente la coppia è maggiore di quando la fase energizzata è una sola. Il problema è risolvibile riducendo la corrente che passa nelle due fasi ad un valore tale che la coppia rimanga costante. Chi ha voglia di pensarci un po' su, scoprirà che tale corrente va ridotta a 0,707 volte quella nominale.

Se si vuole adottare questo schema di pilotaggio occorre aggiungere alla difficoltà di invertire il verso della corrente anche quella di doverne regolare il modulo. Usando le stesse tecniche normalmente necessarie per pilotare con efficienza un motore bipolare e descritte in seguito, questo problema non è insormontabile. Sarebbe invece un grosso problema per i motori unipolari, in quanto usati soprattutto quando l'obiettivo principale è la semplificazione dell'elettronica, anche a scapito delle prestazioni.

Da notare infine che permane il problema dell'irregolarità di assorbimento di corrente ma gli effetti negativi di questo fenomeno sono in genere poco rilevanti e comunque minori che nel caso di non controllo della coppia (la corrente varia da 1 a 1.4 anziché da 1 a 2).

- **Il microstepping:** un'evoluzione del metodo di pilotaggio half-step con controllo di coppia è basato sulla considerazione che, così come posso ottenere un passo intermedio alimentando in contemporanea due fasi con corrente ridotta, posso ottenere una serie ampia a piacere di posizioni intermedie tra due step inviando due correnti di diverso modulo nelle due fasi adiacenti: il rotore si posizionerà tanto più vicino ad una posizione di equilibrio tanto maggiore sarà la corrente nella fase corrispondente rispetto a quella dell'altra.

Passo	Ph1	Ph2
1	1	0
2	0.707*1	0.707*1
3	0	1
4	-0.707*1	0.707*1
5	-1	0
6	-0.707*1	-0.707*1
7	0	-1
8	0.707*1	-0.707*1

# Motori passo passo

In pratica le correnti assumono un andamento che tende ad approssimare quello sinusoidale, con uno sfasamento di  $90^\circ$  tra le due fasi. Ciò fa assomigliare il funzionamento del motore passo-passo a quello di un motore sincrono a due fasi, che in effetti è suo stretto parente.

Di lato la tabella necessaria per quadruplicare il numero di passi, ampliabile a piacere semplicemente tenendo presente che la corrente assume il valore massimo in una fase quando nell'altra è zero e che la somma dei quadrati dei coefficienti delle due correnti deve sempre essere uno (in pratica una senoide ed una cosenoide...).

Per regolare la corrente serve una notevole dose di "intelligenza" all'elettronica di pilotaggio in quanto è necessario inviare invece di una semplice onda quadra un segnale sinusoidale variabile in fase e frequenza: in pratica applicazioni concrete possono essere fatte solo con un processore dedicato oppure con appositi circuiti integrati.

Pur essendo teoricamente possibile un enorme aumento del numero di posizioni dell'albero (occorrerebbe però realizzare una meccanica molto precisa e quindi costosa), il vantaggio di questa tecnica è l'eliminazione praticamente totale del funzionamento a scatti, uno dei difetti più importanti di questo tipo di motore nelle applicazioni di precisione.

Anche in un motore bipolare, per invertire il senso di rotazione è necessario invertire l'ordine di applicazione della sequenza scorrendo la tabella da basso in alto.

Passo	Ph1	Ph2
1	1	0
2	0.924*1	0.383*1
3	0.707*1	0.707*1
4	0.383*1	0.924*1
5	0	1
6	-0.383*1	0.924*1
7	-0.707*1	0.707*1
8	-0.924*1	0.383*1
9	-1	0
10	-0.924*1	-0.383*1
11	-0.707*1	-0.707*1
12	-0.383*1	-0.924*1
13	0	-1
14	0.383*1	-0.924*1
15	0.707*1	-0.707*1
16	0.924*1	-0.383*1



# Motori passo passo

Il circuito di pilotaggio è più complesso di quello unipolare in quanto è necessario fornire anche l'inversione del verso della corrente, normalmente attraverso il cosiddetto "ponte ad H": non solo servono il doppio dei transistor di potenza ma metà di questi hanno l'emettitore o il source non connesso a massa, con qualche complicazione nell'adattamento delle tensioni di pilotaggio.

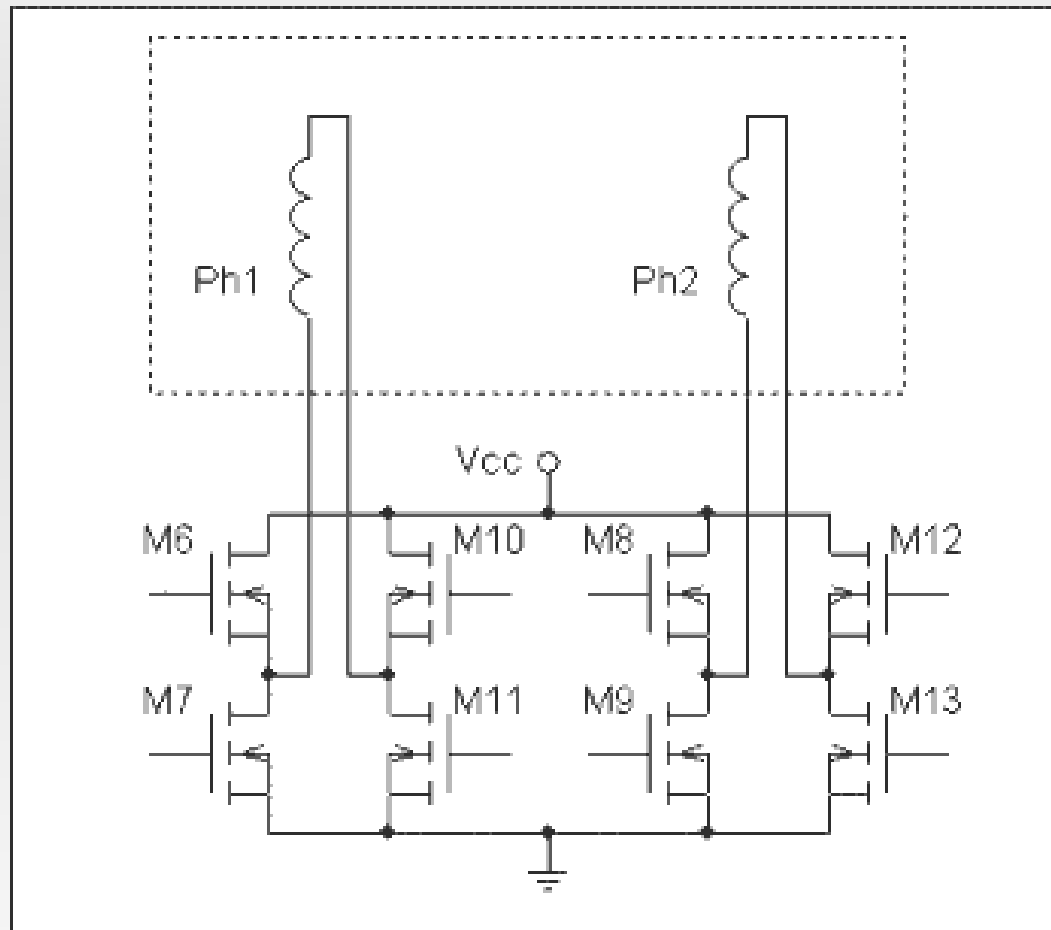
## Ponte ad H

Facendo riferimento allo schema sopra riportato, per far passare corrente in una fase devono essere attivate contemporaneamente le coppie di transistor in diagonale (per esempio M6 ed M11 per il passaggio della corrente in un verso, M7 e M10 per il passaggio nell'altro verso). Segnalo che lo schema è solo di principio.

Occorre evitare nel modo più assoluto la contemporanea conduzione dei transistor sullo stesso lato (per esempio M6 e M7): infatti si creerebbe un cortocircuito con possibile distruzione dei transistor o dell'alimentatore.

Ovviamente ulteriori complicazioni insorgono se si vuole utilizzare la tecnica di pilotaggio microstepping o a mezzo passo con controllo di coppia in quanto occorrerebbe perlomeno prevedere una resistenza (o qualcosa di simile) per la misura della corrente.

Anche per questi motori l'individuazione dei fili corrispondenti alle varie fasi va fatta con l'ausilio di un tester e provando quindi, a caso, una delle combinazioni compatibili con le resistenze misurate.



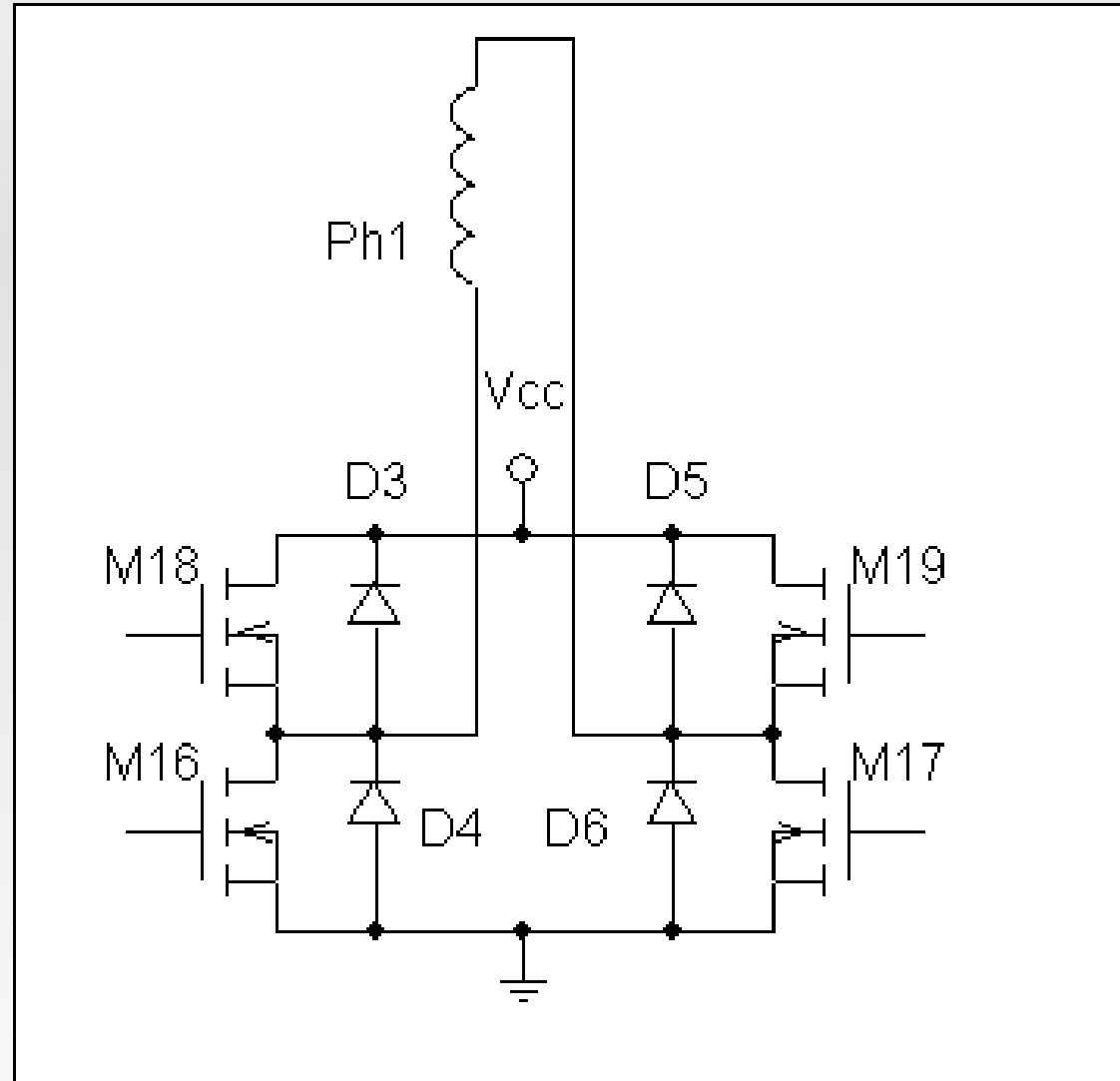
# I diodi di Ricircolo

I diodi di ricircolo sono necessari anche nella connessione con ponte ad H, come rappresentato qui sopra. Essi devono permettere il passaggio di corrente "in salita" quando tutti gli interruptori sono aperti.

## Ponte ad H con diodi di ricircolo

A volte, utilizzando un ponte ad H, i diodi non sono presenti come componenti discreti ma viene utilizzato il diodo del substrato sempre presente tra collettore ed emettitore (o tra drain e source per i MOS): questa scelta deve essere valutata con grande attenzione in quanto molto spesso tale diodo è troppo lento e quindi inefficace. Se occorre progettare il ponte ad H, potrebbe essere utile verificare questa caratteristica sui fogli tecnici degli switch scelti (quando questa possibilità è prevista è in genere riportata con evidenza).

Un problema legato all'uso dei diodi di ricircolo deriva dal fatto che la corrente che attraversa i diodi "ritorna" (mi si scusi il termine) verso la sorgente di alimentazione, causando a volte un aumento anche considerevole della tensione. In genere l'alimentazione è costituita da un ponte seguito da un condensatore di filtro: è opportuno che tale C, generosamente dimensionato abbia una tensione di lavoro almeno doppia di quella fornita dal ponte. In genere non è consigliabile usare, neppure per prova, alimentatori stabilizzati, troppo facili da distruggere in questo modo, anche quando "protetti".



# Motori DC

I motori elettrici in corrente continua (DC motor, CC motor) hanno una notevole flessibilità di impiego e la loro velocità è facilmente controllabile, soprattutto quando non è richiesta una particolare precisione. Questo tutorial presenta le loro caratteristiche principali ed il principio di funzionamento dei circuiti elettronici necessari per pilotarli.

I motori DC hanno numerosi pregi:

- Hanno un elevato rapporto potenza/peso
- Sono relativamente facili da regolare, sia come velocità che come coppia, soprattutto se non sono richieste prestazioni elevate
- Hanno un'elevata coppia di spunto che li rende ideali, per esempio, nella trazione elettrica





# Motori DC

Ed hanno anche numerosi difetti:

- Le spazzole sono oggetti particolarmente fragili ed inaffidabili nel lungo periodo
- La commutazione meccanica delle spazzole causa picchi di tensione elevata che mettono a dura prova l'elettronica ed aumentano le emissioni elettromagnetiche
- Le spazzole limitano la massima velocità a poche migliaia di giri al minuto
- La coppia di inerzia è relativamente elevata (anche se comparabile a quella di altri motori "tradizionali")

Come si vede i difetti più gravi derivano dalla presenza delle spazzole: questi problemi sono stati risolti con i motori senza spazzole (**brushless**), a scapito della notevole complicazione dell'elettronica.

# Motori AC

Il design semplice del motore a corrente alternata - semplicemente una serie di tre avvolgimenti in esterno ( statore ) sezione con una semplice sezione rotante ( rotore ). Il campo cambiamento causato dalla 50 o 60 Hertz linea di tensione alternata fa sì che il rotore di ruotare intorno all'asse del motore.

- **Basso Costo**

Il motore a corrente alternata ha il vantaggio di essere il motore con il più basso costo per applicazioni che richiedono più di circa 1 / 2 CV (325 watt) di potenza.

- **Un funzionamento affidabile**

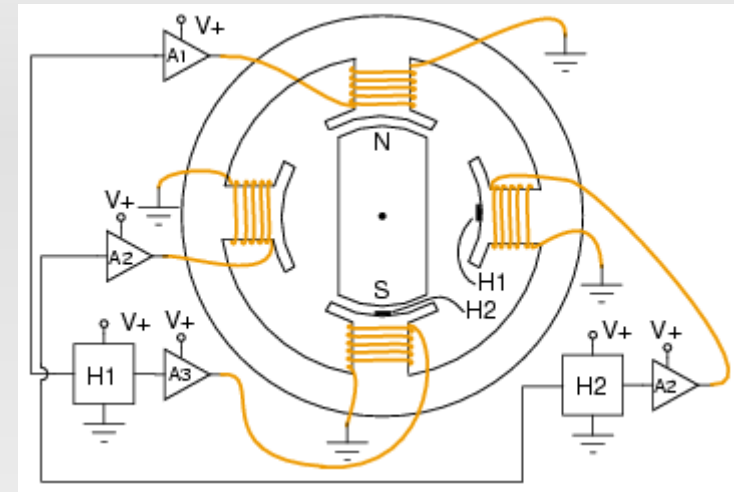
Il design semplice del motore a corrente alternata risulta estremamente affidabile con poca manutenzione. A differenza del motore a corrente continua , non ci sono spazzole da sostituire. Se l'applicazione è ben progettata, un motore a corrente alternata può non avere bisogno di nuovi cuscinetti per più di un decennio. Sostituzioni facilmente reperibili, Varietà di stili di montaggio, Molti Contenitori per svariati Ambienti.

# Motore AC

## Svantaggi

- **Controllo della velocità costoso**

Il controllo della velocità è costoso. Componenti elettronici necessari per gestire un inverter AC disco sono molto più costose di quelle necessarie per gestire un motore in corrente continua. Tuttavia, se i requisiti di prestazioni possono essere soddisfatti - il che significa che la gamma di velocità richiesto è di oltre 1/3 della velocità di base - gli inverter AC e motori AC sono di solito più convenienti rispetto ai motori DC e azionamenti in corrente continua per le applicazioni più grandi di circa 10 cavalli di potenza, a causa della riduzione dei costi nel motore a corrente alternata.





# Esempi 2 assi



# Esempi 3 Assi

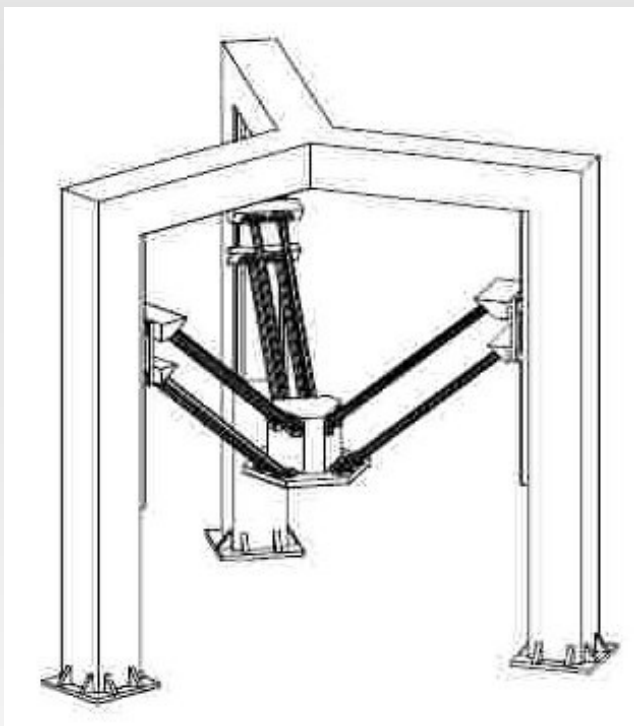


# Esempio con 5 assi

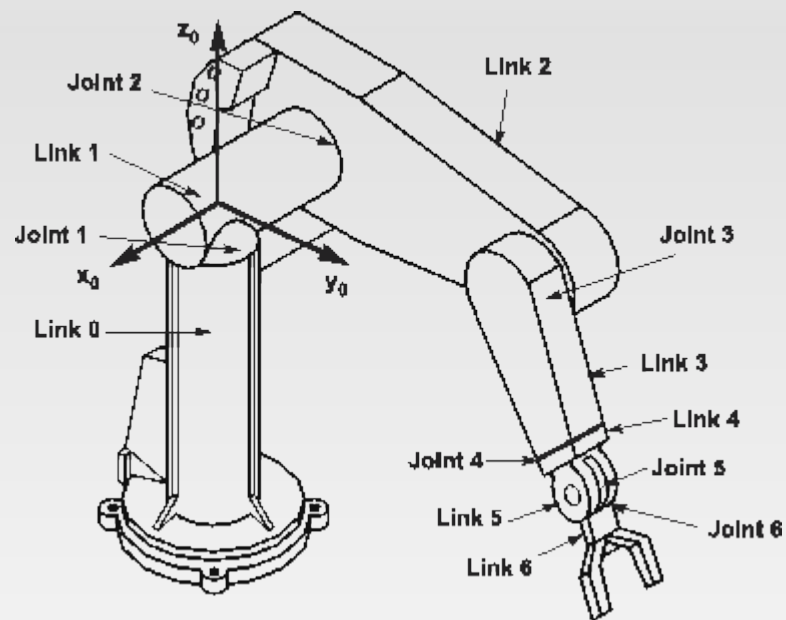


# Tipi insoliti di CNC

Hexaglide



Puma



Scara

