

# I vantaggi di un motore passo-passo

E' interessante considerare le caratteristiche principali dei passo-passo e valutare i vantaggi che ne derivano

Caratteristiche	Vantaggi
Senza spazzole	Nessuna usura, quindi elevata durata di vita
Funzionamento ad anello aperto	Nessun bisogno di encoder (riduzione di costo)
Disponibili parecchi passi angolari	Possibilità di ottimizzare le caratteristiche: risoluzione-velocità, coppia
Commutazione diretta di un segnale digitale	Facilità d'integrazione in un sistema complesso

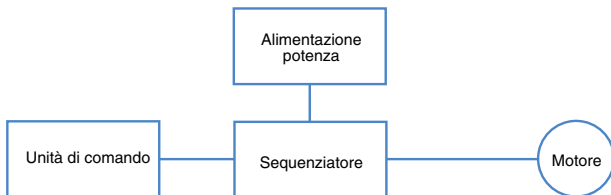
Il vantaggio essenziale del passo-passo è di funzionare ad anello aperto, vale a dire, nelle normali condizioni d'impiego, per un numero n d'impulsi si ottiene uno spostamento di n passi.

I passo-passo sono presenti in numerose applicazioni quali: fotocopiatrici, macchine da scrivere, stampanti bancarie, periferiche informatiche, tavoli da disegno, strumentazione, pompe per uso medico, siringhe, distributori, giochi elettronici, automobili, climatizzazione, regolazione.

## Principio dei motori passo-passo

Per il proprio funzionamento un motore passo-passo necessita dei seguenti elementi:

- Un'unità di comando (per esempio un microprocessore) che fornisce degli impulsi la cui frequenza proporzionale alla velocità di rotazione del motore definirà il senso di rotazione.
- Un sequenziatore che guiderà gli impulsi sulle diverse bobine del motore.
- Un'alimentazione di potenza.

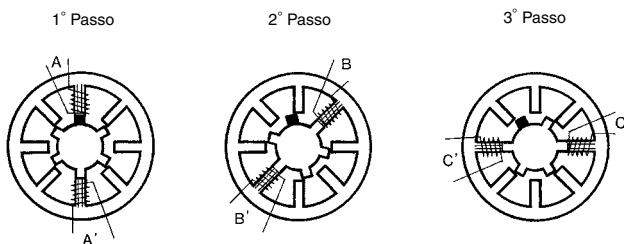


### → Il motore passo-passo a riluttanza variabile

Questo tipo di motore utilizza la legge del flusso massimo.

#### Composizione :

- Uno statore dentato
- Un rotore dentato

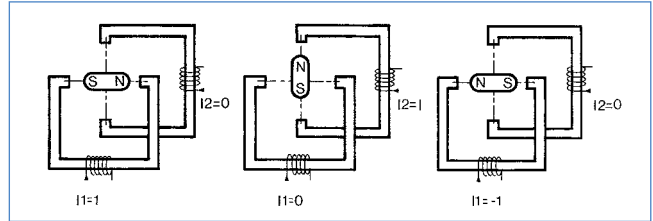


### → Il motore passo-passo a magneti permanenti

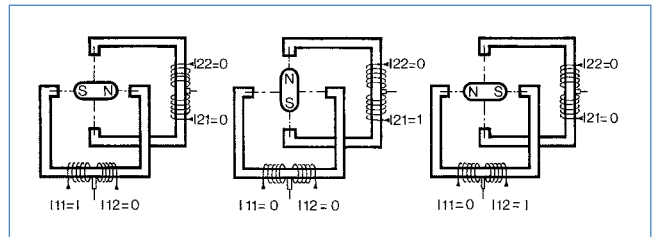
#### Composizione :

- Uno statore dentato
- Un rotore magnetico

### → Motore 2 fasi - alimentazione bipolare



### → Motore 4 fasi - alimentazione unipolare



## Le diverse condizioni d'eccitazione

### → 2 fasi

	I1	I2	°
1 fase on	I	0	0
	0	I	90
	-I	0	180
	0	-I	270
2 fasi on	I	I	45
	-I	I	135
	I	-I	315
	I	0	0
1/2 passo	I	I	45
	0	I	90
	-I	I	135
	-I	0	180
	-I	-I	225
	0	-I	270
	I	-I	315

### → 4 fasi

	I11	I12	I21	I22	°
1 fase on	I	0	0	0	0
	0	0	I	0	90
	0	I	0	0	180
	0	0	0	I	270
2 fasi on	I	0	I	0	45
	0	I	I	0	135
	0	I	0	I	225
	I	0	0	I	315
1/2 passo	I	0	0	0	0
	I	0	I	0	45
	0	0	I	0	90
	0	I	I	0	135
	0	I	0	180	
	0	I	0	225	
	0	0	0	I	270
	I	0	0	I	315

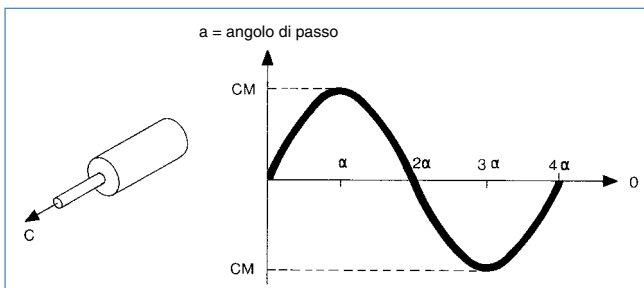
## Le caratteristiche statiche

### → Corrente per fase

E' l'intensità per fase a frequenza nulla (motore fermo) che provoca il riscaldamento massimo ammesso dal motore. Questa corrente viene misurata a freddo, nel caso di alimentazione a tensione costante.

### → Coppia di mantenimento statica

A motore alimentato, la coppia di mantenimento statica è la coppia che si deve applicare sull'asse motore per ottenere una rotazione continua.



### → Coppia di mantenimento (Cm)

La coppia di mantenimento è la coppia minima che è necessario applicare al rotore per farlo ruotare, quando il motore è alimentato 2 fasi per volta a frequenza nulla.

### → Coppia residua

Questa coppia ha la stessa definizione della coppia di mantenimento ma col motore non alimentato.

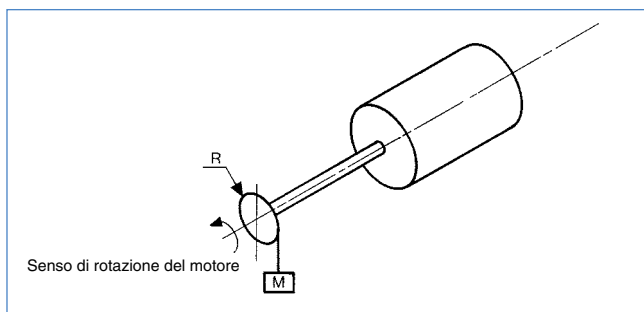
## Le caratteristiche dinamiche

### → Avanzamento elementare

Esistono 4 tipi di sollecitazioni che possono essere applicate sul motore:

#### Il carico inerziale JL

La sua azione si manifesta durante l'accelerazione o decelerazione del motore, influisce anche sulla frequenza di risonanza. Se JL è la risultante delle inerzie del carico (riportate sull'asse del rotore) la coppia equivalente dovuta a questa inerzia è funzione del sistema di trasmissione (vedere allegato «richiami di meccanica»).



#### La coppia antagonista MR

Si tratta di una coppia che si oppone alla rotazione generale del rotore. E' il sistema peso-puleggia che lo schematizza meglio.

#### La coppia resistente dovuta agli attriti viscosi

E' proporzionale alla velocità. Per definizione, questo attrito è la risultante delle azioni di un liquido o di un gas che si applicano su un solido che si sposta in un ambiente liquido o gassoso. Gli esempi dell'automobile o dell'aereo sono molto concreti.

#### La coppia resistente dovuta agli attriti secchi

Si oppone sempre allo spostamento. Per definizione, questo attrito è la risultante delle azioni che si esercitano su un solido che si sposta su un altro solido.

#### Casi di trascinamento della carta su una stampante.

##### Inerzie :

J pignoni + J ingranaggi + J rulli. Queste inerzie devono essere riportate all'asse motore.

##### Coppia antagonista:

E' la coppia dovuta al peso della carta. E' debole in rapporto alla coppia di attrito secco.

##### Coppia di attrito viscoso:

Questa coppia dovuta allo spostamento del rullo nell'aria è trascurabile.

##### Coppia di attrito secco:

Si tratta della coppia dovuta all'attrito dei vari assi (ingranaggi + rullo) sui loro cuscinetti.

Finora abbiamo parlato di sollecitazioni esterne, ma vi sono anche le sollecitazioni dovute all'inerzia, all'attrito viscoso e all'attrito secco all'interno del motore.

##### Inerzia:

Inerzia del rotore.

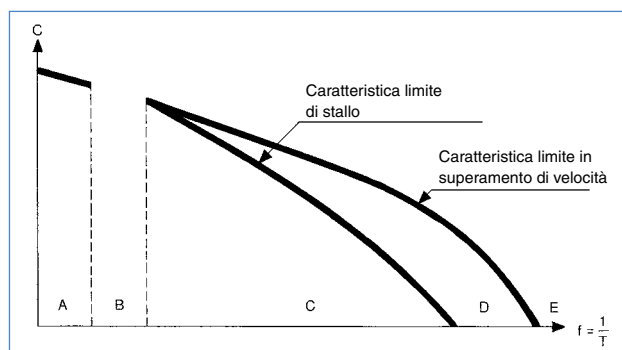
##### Attrito viscoso:

- Attrito del rotore nell'aria.
- Coppia resistente dovuta alle correnti indotte il cui effetto è equivalente ad un attrito viscoso

##### Attrito secco:

Attrito dell'asse rotore sui cuscinetti.

Per studiare il movimento del rotore si deve tener conto di tutti i carichi interni ed esterni applicati sul motore.



### → Le coppie dinamiche

Per un sistema dato, la variazione della coppia antagonista e della frequenza degli impulsi determinano le caratteristiche dinamiche del motore, per una data alimentazione.

#### Zona A

Funzionamento possibile ma con forte rischio di generare rumore dovuto alle vibrazioni del motore.

#### Zona B

Rischio di perdita del sincronismo: risonanza bassa frequenza.

#### Zona C

Zona d'arresto-avviamento.

Avviamento e arresto del motore in questa zona senza perdita di passi.

#### Zona D

Zona di sovravelocità.

Funzionamento possibile se arresto e avviamento sono in zona C.

#### Zona E

Funzionamento impossibile.

→ **Commento sulle caratteristiche presentate**

Per un tipo di motore e un numero di fasi dati vengono proposte più bobine. Sono state calcolate per adattare il motore ad ogni tipo di elettronica.

Per esempio:

una resistenza debole è necessaria per un'alimentazione a corrente costante ed una resistenza più elevata sarà utile per un'alimentazione a tensione costante. Perciò, dal punto di vista della potenza assorbita, ampere giro, e della costante di tempo L/R tutte le bobine più o meno si equivalgono (a motore fermo).

Questi motori avranno quasi le stesse caratteristiche per una data elettronica.

Esempio motore 82 910 - 2 fasi.

		82 910 001	82 910 005	82 910 022
R	Ω	9	12,9	66
L	H	12	15	68
N	tr	320	373	762
I e	A	0,52	0,44	0,19
NI	A.tr	166,4	164	145
P	W	4,9	5	4,8
Z=L/R	ms	1,3	1,15	1

→ **Precisione del passo**

**Condizione: (in passo intero 2 fasi alimentate)**

I carichi esterni sono nulli, la corrente è al suo valore nominale. La misura viene effettuata su tutti i passi e su un giro.

**Definizione:**

**Precisione di posizionamento**

Si tratta dell'errore in rapporto alla posizione d'equilibrio teorico

**Precisione di passo**

Si tratta dell'errore sulla differenza angolare (passo).

→ **Influenza dell'inerzia del carico**

- Fo - Frequenza massima d'arresto-avviamento a inerzia di carico nulla
- JR - Inerzia del rotore
- JL - Inerzia del carico

Attenzione:

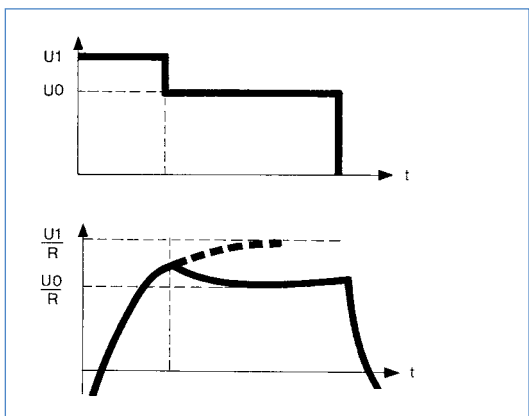
La formula suddetta è valida supponendo JL ~ JR

→ **Alimentazione con due livelli di tensione**

Tutti i miglioramenti sono originati dall'aumento della pendenza all'entrata della corrente nel circuito R-L.

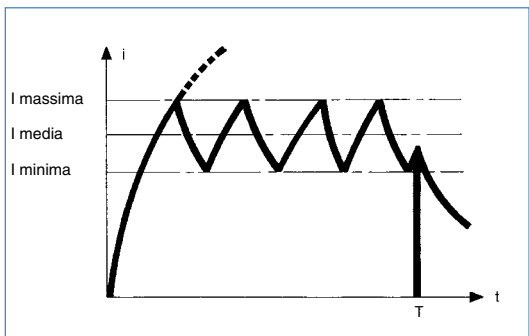
Il primo metodo consiste nell'aumentare la resistenza totale del circuito.

Il secondo metodo consiste nell'aumentare la tensione d'alimentazione per un certo tempo; in questo caso, la potenza media dissipata nel motore non produce un riscaldamento superiore al massimo ammesso.



→ **Alimentazione a corrente costante**

La tensione d'alimentazione è superiore a RI nominale. La corrente viene regolata da un transistor che funziona in «ON/OFF» secondo il principio dell'interruzione dell'alimentazione.



**Le alimentazioni di potenza**

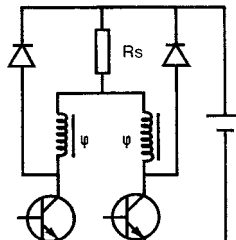
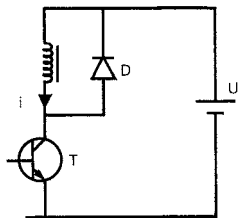
→ **Nota**

Una fase di un motore avrà una resistenza R e una induttanza L

→ **Alimentazione a tensione costante**

Senza resistenza in serie

Con resistenza in serie



L'impiego di una resistenza in serie rende necessario un aumento della tensione di alimentazione di

$$U \text{ a } \frac{R + R_0}{R} U \text{ per mantenere la potenza assorbita a livello del motore}$$

**Confronti**

→ **Eccitazione «1 fase per volta» «2 fasi per volta»**

Confronto a potenza assorbita uguale.

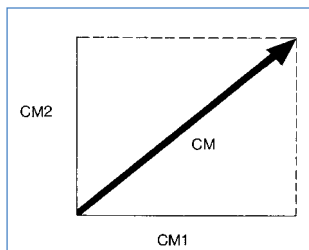
	1 fase per volta	2 fasi per volta
Potenza	$P = R (\sqrt{2}I)^2$	$P = 2RI^2$
Corrente per fase	$\sqrt{2} I$	$I$
Coppia di mantenimento	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2} C_m$

La coppia di mantenimento è proporzionale alla corrente nella zona magnetica lineare del materiale.

Al di là, il fenomeno di saturazione rende la coppia di mantenimento quasi indipendente dalla corrente.

Cm1 = Coppia di mantenimento dovuta alla fase 1 alimentata da I.

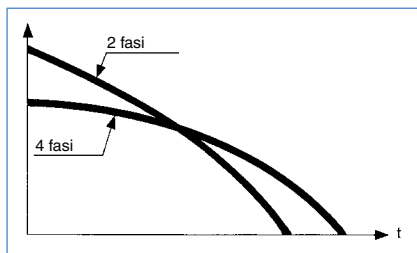
Cm2 = Coppia di mantenimento dovuta alla fase 2 alimentata da I.



CM = Coppia di mantenimento motore alimentato «due fasi per volta».

→ **Confronto «2 fasi» - «4 fasi»**

Confronto a tensione costante e resistenza costante.



Confronto del motore «2 fasi» e «4 fasi» alimentato a tensioni costanti.

	2 fasi	4 fasi
Prestazioni	Elevate in BF Basse in AF	Elevate in BF
Prezzo del motore	Ridotto	Sovrapprezzo dovuto ai 6 fili
Elettronica	8 transistor	4 transistor

**Omologazioni**

→ **Motori passo-passo a magneti permanente**

I fili di uscita standard AWG22 sono omologati UL 80°C, 300V. (AWG24 su richiesta).

→ **Motori ibridi**

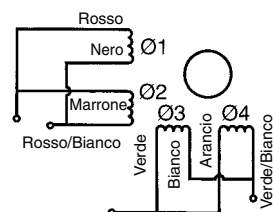
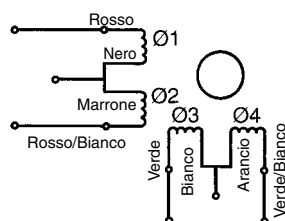
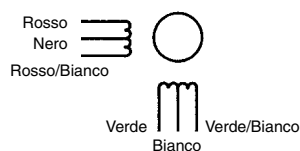
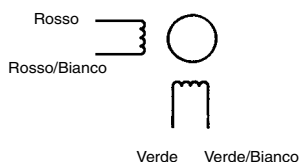
I fili di uscita standard AWG22 sono omologati UL 125°C, 300 V (UL 325 - 6 CSA).

→ **Altre possibilità tra i motori ibridi**

Alcuni motori ibridi possono essere forniti anche a 2 fasi (4 fili) o 4 fasi (8 fili). L'identificazione dei motori sarà la seguente.

A - Collegamenti in serie

B - Collegamenti in parallelo



**Nota**

In questo fascicolo ogni motore presentato viene indicato con un codice a 8 cifre, che lo definisce. Per evitare qualsiasi errore, questo codice deve figurare sugli ordini.

**Come definire le vostre esigenze**

Il motore passo-passo è valido in numerose applicazioni; per poter rispondere alle vostre esigenze definire alcuni punti.

→ **Le caratteristiche meccaniche**

Definite chiaramente il vostro sistema e la vostra catena cinematica per valutare gli attriti e le inerzie, misurate rispetto all'asse motore (vedere nozione di meccanica).

Formalizzate il vostro modo di trasmissione. Determinate la coppia utile, dinamica e di mantenimento.

Determinate il numero di passi da compiere ed il tempo destinato a questo movimento.

Scegliete una velocità di funzionamento.

Scegliete un modo di alimentazione, (tensione costante, due livelli di tensione, corrente costante).

Nella misura in cui il motore selezionato sviluppa la coppia necessaria alla frequenza voluta ma nella zona di sovravelocità, non si deve dimenticare di prevedere una rampa di accelerazione e di decelerazione per evitare qualsiasi perdita di passi.

Determinazione delle condizioni d'impiego: temperatura, carichi assiali o radiali, cicli di funzionamento. In certi casi l'uso di un riduttore può essere utile per motivi di coppia o di velocità. In questi casi riferirsi alle curve del catalogo che indicano la potenza utile disponibile in funzione della velocità.

→ **Necessità specifiche**

Elementi da fornire per determinare bene un motore non trovato a catalogo:

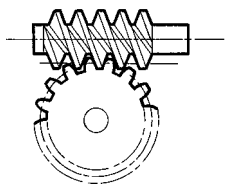
Dimensioni, passo angolare, resistenza, numero di fasi, lunghezza dei fili, tipo di connettore, tipo d'alimentazione, frequenza, coppia richiesta, ciclo di funzionamento.

Ma se il vostro problema necessita di un asse speciale o di altri adattamenti meccanici o elettronici (pignoni, connettori ...) i nostri servizi sono a vostra disposizione (per quantitativi significativi).

Vi segnaliamo inoltre che esistono molti adattamenti standard o semi-standard.

**Sistema ruota/vite**

$$J = J_v + \frac{1}{R^2} J_r$$



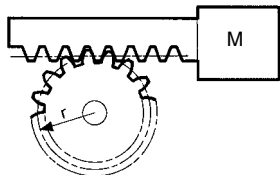
$J_v$  = Inerzia della vite considerata come un cilindro di diametro uguale a quello primitivo.

$J_r$  = Inerzia della ruota considerata come un cilindro pieno con diametro uguale al diametro primitivo.

R = Rapporto di riduzione

**Cremaagliera**

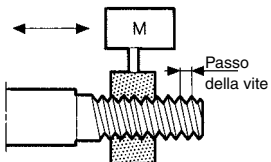
$$J = M r^2 + \frac{m r^2}{2}$$



M = Peso in movimento  
m = Peso pignone

**Dispositivo vite/dado**

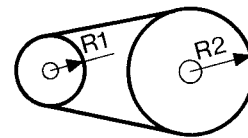
$$J = \frac{M p^2}{4 \pi^2} + \frac{m r^2}{2}$$



M = Peso in movimento  
m = Peso della vite  
r = Raggio medio della vite

**Trasmissione con cinghia (o catena)**

$$J = \frac{M_1 + 2m + M_2}{2} R_1^2$$

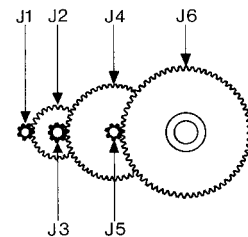


$M_1$  = Peso puleggia motore  
 $M_2$  = Peso puleggia trasportata

m = Peso cinghia

Se la puleggia trasportata riceve anche il momento d'inerzia  $J_c$  di un carico si ha allora:

$$J = \frac{M_1 + 2m + M_2}{2} R_1^2 + J_c \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^2$$



**Caso di un riduttore**

$$J = \frac{1}{R^2} J_c + J_r$$

$J_c$  = Inerzia del carico trascinato in uscita dal riduttore

$J_r$  = Inerzia del riduttore

R = Rapporto del riduttore

→ Nota :

L'inerzia del riduttore si calcola stadio per stadio, essendo ogni ruota considerata come un cilindro.

$$J_r = J_1 + \left( \frac{1}{R_1} \right)^2 (J_2 + J_3) + \left( \frac{1}{R_1} \right)^2 (J_4 + J_5) + \dots$$

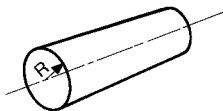
In pratica, il calcolo dell'inerzia delle due prime ruote, anzi più spesso della prima, dà un valore approssimato sufficiente.

**Inerzia**

**Calcolo delle inerzie rispetto al motore**

→ Cilindro

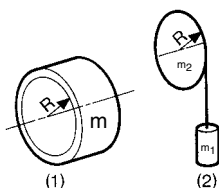
$$J = \frac{m R^2}{2}$$



→ Cilindro - cavo/puleggia

$$J = m R^2$$

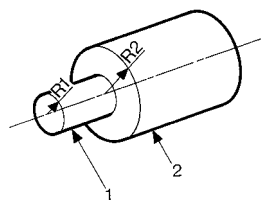
$$J = m R^2 + \frac{m R^2}{2}$$



→ Cilindri coassiali (alberi supportati)

$$J = \frac{M_1 R_1^2}{2} + \frac{M_2 R_2^2}{2}$$

$M_1$  = Peso del cilindro 1  
 $M_2$  = Peso del cilindro 2



## Conversione delle coppie

	Nm	cm kg	cm N	m Nm	cm gr	in.oz	lb.Ft
1b.Ft	1,383	=13,83	=138,3	=1383	=13830	=192	=1
in.oz	0,00072	=0,0723	=0,723	=7,23	=72,3	=1	=0,0052
cm gr	0,0001	=0,001	=0,01	=0,1	=1	=0,0,139	=0,0000723
m Nm	0,001	=0,01	=0,1	=1	=10	=0,139	=0,000723
cm N	0,01	=0,1	=1	=10	=100	=1,39	=0,00723
cm kg	0,1	=1	=10	=100	=1000	=13,9	=0,0723
Nm	1	=10<					


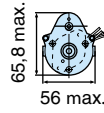










## Momento d'inerzia

A \ B	kg-cm <sup>2</sup>	g-cm <sup>2</sup>	kg-cm-s <sup>2</sup>	g-cm-s <sup>2</sup>	lb-in <sup>2</sup>	oz-in <sup>2</sup>	lb-in-s <sup>2</sup>	oz-in-s <sup>2</sup>	lb-ft <sup>2</sup>	lb ft -s <sup>2</sup>
kg-cm <sup>2</sup>	1	10 <sup>3</sup>	1.01972 x10 <sup>-3</sup>	1.01972	0.341716	5.46745	8.85073 x10 <sup>-4</sup>	1.41612 x10 <sup>2</sup>	2.37303 x10 <sup>-3</sup>	7.37561 x10 <sup>3</sup>
g-cm <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	1.01972 x10 <sup>-6</sup>	1.01972 x10 <sup>-3</sup>	3.41716 x10 <sup>-4</sup>	5.46745 x10 <sup>-3</sup>	8.85073 x10 <sup>-7</sup>	1.41612 x10 <sup>-5</sup>	2.37303 x10 <sup>-6</sup>	7.37561 x10 <sup>-6</sup>
kg-cm-s <sup>2</sup>	980.665	980.665 x10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	335.109	5.36174 x10 <sup>3</sup>	0.867960	13.8874	2.32714	7.23300 x10 <sup>-2</sup>
g-cm-s <sup>2</sup>	0.980665	980.665	10 <sup>-3</sup>	1	0.335109	5.36174 x10 <sup>-4</sup>	8.67960 x10 <sup>-4</sup>	1.38874 x10 <sup>-2</sup>	2.32714 x10 <sup>-3</sup>	7.23300 x10 <sup>-5</sup>
lb-in <sup>2</sup>	2.92641	2.98411 x10 <sup>3</sup>	2.98411 x10 <sup>-3</sup>	2.98411	1	16	2.59009 x10 <sup>-3</sup>	4.14414 x10 <sup>-2</sup>	6.94444 x10 <sup>-3</sup>	2.15840 x10 <sup>-4</sup>
oz-in <sup>2</sup>	0.182901	182.901	1.96507 x10 <sup>-4</sup>	0.186507	0.0625	1	1.61880 x10 <sup>-4</sup>	2.59009 x10 <sup>-3</sup>	4.34028 x10 <sup>-4</sup>	1.34900 x10 <sup>2</sup>
lb-in-s <sup>2</sup>	1.12985 x10 <sup>3</sup>	1.12985 x10 <sup>6</sup>	1.15213	1.15213 x10 <sup>3</sup>	386.088	6.17740 x10 <sup>-3</sup>	1	16	2.68117	8.33333 x10 <sup>2</sup>
oz-in-s <sup>2</sup>	70.6157	70.6157 x10 <sup>3</sup>	72.0079 x10 <sup>-3</sup>	72.0079	24.1305	386.088	6.25 x10 <sup>-2</sup>	1	0.107573	52.0833 x10
lb-ft <sup>2</sup>	421.403	421.403 x10 <sup>3</sup>	0.429711	429.711	144	2304	0.372972	5.96756	1	3.10810 x10 <sup>2</sup>
lb ft -s <sup>2</sup>	1.35582 x10 <sup>4</sup>	1.35582 x10 <sup>7</sup>	13.8255	1.38255 x10 <sup>4</sup>	4.63305 x10 <sup>3</sup>	7.41289 x10 <sup>4</sup>	12	192	32.1740	1

## Tabella di conversione

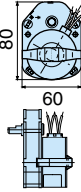
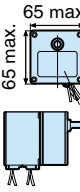






g			kg			cmkg			cmg		
ounces			lbs			in/ lbs			in/oz		
7.1	1/4	0.008	0.23	1/2	1.10	1.152	1	0.870	72	1	0.013
14.2	1/2	0.017	0.45	1	2.20	2.304	2	1.739	144	2	0.026
21.3	3/4	0.025	0.91	2	4.41	3.456	3	2.609	216	3	0.039
28.3	1	0.035	1.36	3	6.61	4.608	4	3.478	288	4	0.053
42.5	1 1/2	0.053	1.81	4	8.82	5.760	5	4.348	360	5	0.069
56.7	2	0.070	2.27	5	11.0	6.912	6	5.218	432	6	0.078
70.9	2 1/2	0.087	2.72	6	13.2	8.064	7	6.087	504	7	0.091
85.0	3	0.106	3.18	7	15.4	9.216	8	6.957	574	8	0.106
113.0	4	0.141	3.63	8	17.6	10.368	9	7.826	648	9	0.120
142.0	5	0.176	4.08	9	19.8	11.520	10	8.696	720	10	0.139
170.0	6	0.212	4.54	10	22.0				1152	12	0.212
198.0	7	0.247	4.99	11	24.2				1440	20	0.278
227.0	8	0.282	5.44	12	26.4				2160	30	0.416
255.0	9	0.318	5.90	13	28.6				2880	40	0.555
283.0	10	0.353	6.35	14	30.8				3600	50	0.694
312.0	11	0.388	6.80	15	33.1						
340.0	12	0.424	7.26	16	35.2						
368.0	13	0.459									
397.0	14	0.494									
425.0	15	0.53									
454.0	16	0.564									

# Guida alla scelta di motori passo-passo

Riduttore		Coppia massima (Nm)		0,5		2		
		Tipo di riduttore		81 021		81 033		
<b>Motore diretto (Nm)</b>				 65,7 max. 56 max.		 65,8 max. 56 max.		
Potenza assorbita (W)	Coppia di mantenimento statico (mN.m)		Numero di fasi	Tipo di motore dimensioni (mm)	81 021		81 033	
	2 fasi	4 fasi			p.158		p.160	
5	25	20	24	▶ p.146/148 82 910 Ø 35/50 	▶ p.158 82 914 	▶ p.160 82 919 		
5	20	15	48	▶ p.150 82 910 Ø 35/50 	▶ p.158 82 914 			
7,5	70	57	48	▶ p.152 82 920 Ø 51/77 	▶ p.158 82 924 	▶ p.160 82 929 		
10	180	155	48	▶ p.154 82 930 Ø 58/79 				
12,5	300	240	48	▶ p.156 82 940 65 x 65 				

5



3	5
81 023	81 037
	
▶ p.162 80 913 	▶ p.164 80 917 
▶ p.162 80 913 	
▶ p.162 80 923 	▶ p.164 80 927 
▶ p.162 80 933 	
	▶ p.166 80 947 