

# N capitolo

## Note

*Contenuto:*

- *Formule pratiche estratte dalle leggi elettriche e meccaniche.*
- *Tabelle delle grandezze principali.*
- *Unità di misura, simboli principali, tabelle di conversione delle unità più utilizzate.*
- *Regimi di neutro.*



- 
- **N.1 Grandezze e unità di misura** ..... *pagina 298*
  - **N.2 Corrente a carico nominale dei motori asincroni** ..... *pagina 299*
  - **N.3 Formule elettriche** ..... *pagina 300*
  - **N.4 Calcolo delle resistenze di avviamento** ..... *pagina 302*
  - **N.5 Formule meccaniche** ..... *pagina 303*
  - **N.6 Formule fondamentali** ..... *pagina 304*
  - **N.7 I regimi del neutro** ..... *pagina 305*
  - **N.8 Azionamento delle macchine** ..... *pagina 306*
  - **N.9 Tabelle di conversione delle unità più utilizzate** ..... *pagina 308*

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

N

**N.1 Grandezze e unità di misura**

Descrizione grandezza	Simbolo letterale	Descrizione unità di misura	Simbolo	Descrizione grandezza	Simbolo letterale	Descrizione unità di misura	Simbolo
accelerazione angolare	$\alpha$	radiante al secondo quadrato	rad/s <sup>2</sup>	massa	m	chilogrammo	kg
accelerazione in caduta libera	g	metro al secondo quadrato	m/s <sup>2</sup>	momento di una coppia	T o C	newton metro	N.m
accelerazione lineare	a	metro al secondo quadrato	m/s <sup>2</sup>	momento di una forza	M	newton metro	N.m
angolo piano	$\alpha, \beta, \gamma$	radiante	rad	momento d'inerzia	J o I	chilogrammo metro quadrato	kg.m <sup>2</sup>
		grado (d'angolo)	...°	peso	P	newton	N
		minuto (d'angolo)	...'	pressione	p	pascal	Pa
		secondo (d'angolo)	..."	profondità	h	metro	m
capacità	C	farad	F	potenza attiva	P	watt	W
campo magnetico	H	ampere al metro	A/m	potenza apparente	S	voltampere	VA
costante tempo	-	secondo	s	potenza reattiva	Q	voltampere reattivo	VAR
diametro	d	metro	m	quantità di calore	Q	joule	J
differenza di potenziale	U	volt	V	quantità di elettricità (carico elettrico)	Q	coulomb o ampere ora	C o A.h
durata di un periodo	T	secondo	s	raggio	r	metro	m
riscaldamento	$\Delta\theta$	kelvin o grado Celsius	K o °C	reattanza	X	ohm	$\Omega$
energia	W	joule	J	riluttanza	R	ampere per Weber	A/W
spessore	d	metro	m	rendimento	$\eta$	%	★
flusso magnetico	$\phi$	weber	Wb	resistenza	R	ohm	$\Omega$
forza	F	newton	N	resistività	$\rho$	ohm metro/metro quadrato	$\Omega.m/m^2$
forza elettromotrice	E	volt	V	superficie (area)	A o S	metro quadrato	m <sup>2</sup>
frequenza	f	hertz	Hz	temperatura Celsius	$\theta$	grado Celsius	°C
velocità di rotazione	n	giri al secondo	giri/s	temperatura termodinamica	T	kelvin	K
scorrimento	g	%	★	tempo	t	secondo (di tempo)	s
altezza	h	metro	m			minuto (di tempo)	min
impedenza	Z	ohm	$\Omega$			ora	h
induttanza propria	L	henry	H	tensione	U	giorno	d
induttanza mutua	M	henry	H	eccitazione	W	volt	V
induzione magnetica	B	tesla	T			joule	J
intensità di corrente elettrica	I	ampere	A	velocità angolare	$\omega$	raggio al secondo	raggio/s
larghezza	b	metro	m	velocità lineare	v	metro al secondo	m/s
lunghezza	l	metro	m	volume	V	metro cubo	m <sup>3</sup>

★ Senza dimensione

**Sotto multipli delle unità**

Prefisso	Simbolo che precede l'unità	Fattore di moltiplicazione
deci	d	10 <sup>-1</sup>
centi	c	10 <sup>-2</sup>
milli	m	10 <sup>-3</sup>
micro	$\mu$	10 <sup>-6</sup>
nano	n	10 <sup>-9</sup>
pico	p	10 <sup>-12</sup>

Esempi: Cinque nanofarad = 5 nF = 5.10<sup>-9</sup>F  
 Due milliampere = 2 mA = 2.10<sup>-3</sup>A  
 Otto micrometri = 8  $\mu$ m = 8.10<sup>-6</sup>m

**Multipli delle unità**

Prefisso	Simbolo che precede l'unità	Fattore di moltiplicazione
deca	da	10 <sup>1</sup>
etto	h	10 <sup>2</sup>
chilo	k	10 <sup>3</sup>
mega	M	10 <sup>6</sup>
giga	G	10 <sup>9</sup>
tera	T	10 <sup>12</sup>

Esempi: Due megajoule = 2 MJ = 2.10<sup>6</sup>J  
 Un gigawatt = 1 GW = 10<sup>9</sup>W  
 Tre kilohertz = 3 kHz = 3.10<sup>3</sup>Hz

## N.2 Corrente a carico nominale dei motori asincroni

### N.2 Corrente a carico nominale dei motori asincroni

kW	HP	220V A	240V A	kW	HP	230V A	400V A	415V A	440V A	500V A	690V A
0,37	0,5	3,9	3,6	0,37	0,5	2	0,98	–	0,99	1	–
0,55	0,75	5,2	4,8	0,55	0,75	2,8	1,5	–	1,36	1,21	–
0,75	1	6,6	6,1	0,75	1	3,6	1,9	2	1,68	1,5	–
1,1	1,5	9,6	8,8	1,1	1,5	5,2	2,5	2,5	2,37	2	–
1,5	2	12,7	11,7	1,5	2	6,8	3,4	3,5	3,06	2,6	–
1,8	2,5	15,7	14,4	2,2	3	9,6	4,8	5	4,42	3,8	–
2,2	3	18,6	17,1	3	4	11,5	6,3	6,5	5,77	5	–
3	4	24,3	22,2	3,7	5	15,2	–	–	–	–	–
4	5,5	29,6	27,1	4	5,5	–	8,1	8,4	7,9	6,5	–
4,4	6	34,7	31,8	5,5	7,5	22	11	11	10,4	9	–
5,2	7	39,8	36,5	7,5	10	28	14,8	14	13,7	12	–
5,5	7,5	42,2	38,7	9	12	–	18,1	17	16,9	13,9	–
6	8	44,5	40,8	11	15	42	21	21	20,1	18,4	12,1
7	9	49,5	45,4	15	20	54	28,5	28	26,5	23	16,5
7,5	10	54,4	50	18,5	25	68	35	35	32,8	28,5	20,2
				22	30	80	42	40	39	33	24,2
				30	40	104	57	55	51,5	45	33
				37	50	130	69	66	64	55	40
				45	60	154	81	80	76	65	46,8
				55	75	192	100	100	90	80	58
				75	100	248	131	135	125	105	75,7
				90	125	312	162	165	146	129	94
				110	150	360	195	200	178	156	113
				132	180	–	233	240	215	187	135
				147	200	480	222	260	236	207	128
				160	220	–	285	280	256	220	165
				185	250	600	–	–	–	–	–
				200	270	–	352	340	321	281	203
				220	300	720	388	385	353	310	224
				250	350	840	437	425	401	360	253
				280	380	–	–	–	–	–	–
				315	430	–	555	535	505	445	321
				335	450	1080	–	–	–	–	–
				355	480	–	605	580	549	500	350
				375	500	1200	–	–	–	–	–
				400	545	–	675	650	611	540	390
				450	600	1440	800	–	–	–	–
				500	680	–	855	820	780	680	494
				560	–	–	950	920	870	760	549
				630	–	–	1045	1020	965	850	605
				710	–	–	1200	1140	1075	960	694
				800	1090	–	–	1320	1250	1100	–
				900	1220	–	–	1470	1390	1220	–

### N.3 Formule elettriche

#### Potenza attiva

- in continua  $P = UI$   
 in monofase  $P = UI \cos \varphi$   
 in trifase  $P = UI \sqrt{3} \cos \varphi$
- con P : potenza attiva in watt  
 U : tensione in volt (in trifase tensione tra fasi)  
 I : corrente in ampere  
 $\cos \varphi$  : fattore di potenza del circuito

#### Potenza reattiva

- in monofase  $Q = UI \sin \varphi = UI \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$   
 in trifase  $Q = UI \sqrt{3} \sin \varphi = UI \sqrt{3} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$
- con Q : potenza reattiva in voltampere reattivo  
 U : tensione in volt (trifase: tensione tra fasi)  
 I : corrente in ampere  
 $\cos \varphi$  : fattore di potenza del circuito

#### Potenza apparente

- in monofase  $S = UI$   
 in trifase  $S = UI \sqrt{3}$
- con S : potenza apparente in voltampere  
 U : tensione in volt (trifase: tensione tra fasi)  
 I : corrente in ampere

#### Fattore di potenza

$$\cos \varphi = \frac{\text{potenza attiva}}{\text{potenza apparente}}$$

#### Rendimento

$$\eta = \frac{\text{potenza utile}}{\text{potenza attiva consumata}}$$

#### Corrente consumata da un motore

- in monofase  $I = \frac{P}{U \eta \cos \varphi}$   
 in trifase  $I = \frac{P}{U \sqrt{3} \eta \cos \varphi}$   
 in continua  $I = \frac{P}{U \eta}$
- con P : potenza attiva in watt  
 I : corrente consumata dal motore in ampere  
 U : tensione in volt (trifase: tensione tra fasi)  
 $\eta$  : rendimento del motore  
 $\cos \varphi$  : fattore di potenza del circuito

#### Resistenza di un conduttore

- $$R = \rho \frac{l}{S}$$
- con R : resistenza del conduttore in ohm  
 $\rho$  : resistività del conduttore in ohm-metro  
 l : lunghezza del conduttore in metri  
 S : sezione del conduttore in metri quadrati

#### Resistività

- $$\rho_\theta = \rho(1 + \alpha \Delta\theta)$$
- con  $\rho_\theta$  : resistività alla temperatura  $\theta$  in ohm-metro  
 $\rho$  : resistività alla temperatura  $\theta_0$  in ohm-metro  
 $\Delta\theta$  :  $\theta - \theta_0$  in gradi Celsius  
 $\alpha$  : coefficiente di temperatura in gradi Celsius alla potenza meno uno

#### Legge di Joule

- $$W = RI^2t \text{ in monofase}$$
- con W : energia consumata in joule  
 R : resistenza del circuito in ohm  
 I : corrente in ampere  
 t : tempo in secondi

#### Reattanza induttiva di un'induttanza singola

- $$X_L = L\omega$$
- con  $X_L$  : reattanza induttiva in ohm  
 L : induttanza in henry  
 $\omega$  : impulso =  $2\pi f$   
 f : frequenza in hertz

#### Reattanza capacitiva di una capacità singola

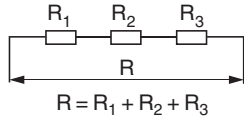
- $$X_C = \frac{1}{C\omega}$$
- con  $X_C$  : reattanza capacitiva in ohm  
 C : capacità in farad  
 $\omega$  : impulso =  $2\pi f$   
 f : frequenza in hertz

#### Legge di Ohm

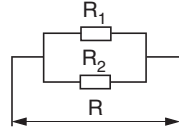
- Circuito a resistenza singola  $U = RI$   
 Circuito a reattanza singola  $U = XI$   
 Circuito a resistenza e reattanza  $U = ZI$
- con U : tensione ai morsetti del circuito in volt  
 I : corrente in ampere  
 R : resistenza del circuito in ohm  
 X :  $X_L$  o  $X_C$  reattanza del circuito in ohm  
 Z : impedenza del circuito in ohm

Per la determinazione di Z, vedere qui di seguito.

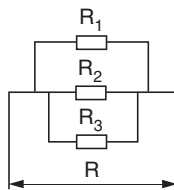
## Circuiti a resistenze



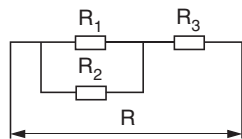
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

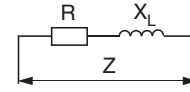


$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$$

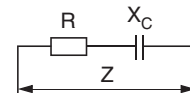


$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} + R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

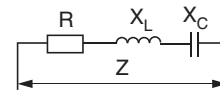
## Circuiti a resistenze e reattanze



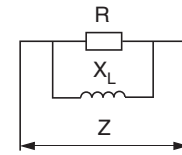
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



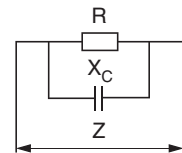
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



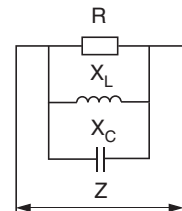
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$



$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}} = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

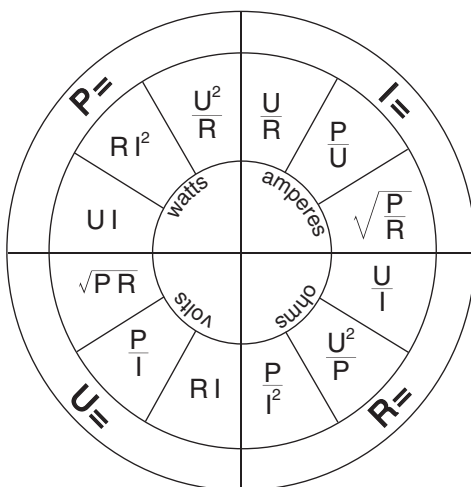


$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}} = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$



$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} = \frac{R \cdot X_L \cdot X_C}{\sqrt{X_L^2 \cdot X_C^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}$$

## Legge di Ohm



### Simboli

- U = Tensione in volt
- I = Corrente in ampere
- R = Resistenza in ohm
- P = Potenza in watt

## N.4 Calcolo delle resistenze di avviamento

### Per motori a gabbia

#### Resistenza storica

In trifase

$$R = 0,055 \frac{U}{I_n}$$

ove R: valore ohmico della resistenza per fase in ohm  
U: tensione della rete in volt  
I<sub>n</sub>: corrente nominale del motore in ampere

I media = 4,05 I<sub>n</sub>

Per comandare una resistenza, indicare: la durata di messa sotto tensione della resistenza e il numero di avviamenti all'ora.  
Solitamente, consideriamo 12 avviamenti all'ora di 10 secondi ciascuno, di cui 2 consecutivi a partire dallo stato freddo.

#### Resistenza per avviamento stella-triangolo 3 tempi

$$R = \frac{0,28 U}{I_n}$$

ove R: valore ohmico della resistenza per fase in ohm  
U: tensione della rete in volt  
I<sub>n</sub>: corrente nominale del motore in ampere

I medio = 1,5 I<sub>n</sub>

Per comandare una resistenza, indicare: il tempo di interruzione della resistenza e il numero di avviamenti all'ora.  
Generalmente, prevediamo 2 avviamenti consecutivi di 3 secondi distanziati di 20 secondi.

#### Autotrasformatore

Durante l'avviamento.

$$\begin{aligned} U_{\text{motore}} &= k U_{\text{linea}} \\ C_{\text{motore}} &= k^2 C \\ I_{\text{linea}} &\neq k^2 I \\ I_{\text{motore}} &= k I \end{aligned}$$

ove k: rapporto dell'autotrasformatore U uscita / U linea  
C: coppia in avviamento diretto  
I: corrente in avviamento diretto

Per comandare un autotrasformatore indicare:  
– che si tratta di un autotrasformatore a intraferro (se possibile);  
– il picco di corrente del motore in avviamento diretto (dato dal costruttore del motore);  
– il valore della tensione all'uscita rispetto alla tensione della rete, in percentuale;  
– la durata di messa sotto tensione dell'autotrasformatore e il numero di avviamenti all'ora.

Generalmente si prevedono delle registrazioni a 0,55 U<sub>n</sub> e 0,65 U<sub>n</sub> e 5 avviamenti all'ora di 8 secondi. Senza precise caratteristiche del motore, prendiamo:

$$\frac{I_d}{I_n} = 6.$$

### Per motori ad anelli

#### Resistenza unitaria (1)

In trifase

$$R_u = \frac{333 P}{I_r^2}$$

ove P: potenza nominale in kilowatt  
I<sub>r</sub>: corrente rotorica nominale in ampere  
R<sub>u</sub>: in ohm

cioè

$$R_u = \frac{245 P}{I_r^2}$$

ove P: potenza nominale in cavalli  
I<sub>r</sub>: corrente rotorica nominale in ampere

#### Valore della resistenza al primo tempo

$$R(1) = \frac{R_u + r}{1^\circ \text{ picco}} - r$$

ove R(1): valore della resistenza per fase  
R<sub>u</sub>: resistenza unitaria  
r: resistenza interna del motore  
1° picco: picco di corrente desiderato all'avviamento

#### Valori intermedi della resistenza

$$R(n) = \frac{R(n-1) + r}{\text{Picco}} - r$$

ove R(n): valore della resistenza per fase per questo tempo  
R(n-1): resistenza al tempo precedente  
r: resistenza interna del motore  
Picco: picco di corrente desiderato al tempo corrispondente

#### Picco all'ultimo tempo

$$\text{Picco} = \frac{R(n-1) + r}{r}$$

ove Picco: picco di corrente ottenuto  
R(n-1): resistenza al tempo precedente  
r: resistenza interna del motore

#### Altra caratteristica

$$I_{\text{media}} = I_r + \frac{I_p - I_r}{3}$$

ove I<sub>media</sub>: corrente termicamente equivalente  
I<sub>r</sub>: corrente rotorica nominale  
I<sub>p</sub>: picco di corrente

Per comandare una resistenza, indicare: la durata di messa sotto tensione della resistenza, il numero di avviamenti all'ora e eventualmente la possibilità di frenatura in contro-corrente .

(1) La resistenza unitaria è il valore teorico della resistenza per fase da inserire nel circuito rotorico per ottenere, con rotore bloccato, la coppia nominale. È indispensabile per determinare la resistenza di avviamento.

**N.5 Formule meccaniche**

**Velocità angolare**

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

ove  $\omega$  : velocità angolare in radianti al secondo  
 $n$  : velocità di rotazione in giri al minuto

**Frequenza di rotazione a vuoto**

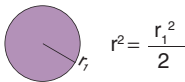
Velocità di sincronismo di un motore asincrono

$$\omega = \frac{2pf}{p} \quad \text{o} \quad n = \frac{60f}{p}$$

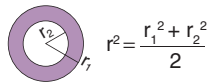
ove  $\omega$  : velocità angolare in radianti al secondo  
 $n$  : velocità di rotazione in giri al minuto  
 $f$  : frequenza della rete in hertz  
 $p$  : numero di coppie di poli del motore

**Raggio di inerzia**

cilindro pieno



cilindro vuoto



ove  $r$  : raggio giratore  
 $r_1$  : raggio esterno  
 $r_2$  : raggio interno

**Momento d'inerzia di un corpo di massa m**

$$J = mr^2$$

ove  $J$  : momento d'inerzia in chilogrammi-metro quadrato  
 $m$  : massa in chilogrammi  
 $r$  : raggio giratore in metri

Qualche volta è espresso dalle seguenti formule:

$$J = \frac{MD^2}{4} \quad \text{o} \quad \frac{GD^2}{4} \quad \text{o} \quad \frac{PD^2}{4}$$

**Momento di inerzia in rapporto alla velocità  $\omega$**

$$J\omega = J'\omega' \frac{\omega^2}{\omega'^2}$$

ove  $J\omega$  : momento di inerzia in chilogrammi-metro quadrato in rapporto alla velocità angolare  $\omega$   
 $J'\omega'$  : momento di inerzia in chilogrammi-metro quadrato in rapporto alla velocità angolare  $\omega'$

**Coppia nominale**

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n}$$

ove  $T_n$  : coppia nominale del motore in newton-metro  
 $P_n$  : potenza nominale del motore in watt  
 $\omega_n$  : velocità angolare nominale del motore in radianti al secondo

**Coppia acceleratrice**

$$T_a = T_m - T_r$$

ove  $T_a$  : coppia acceleratrice in newton-metro  
 $T_m$  : coppia motore in newton-metro  
 $T_r$  : coppia resistente in newton-metro

**Durata avviamento**

Durata avviamento dalla velocità 0 alla velocità  $\omega_n$  con una coppia acceleratrice costante  $T_a$

$$t = \frac{J\omega_n}{T_a} \quad \text{o} \quad t = \frac{J\omega_n^2}{P_n} \frac{1}{(T_a/T_n)}$$

ove  $t$  : tempo di avviamento in secondi  
 $J$  : momento di inerzia totale delle masse in movimento (motore + carico) in chilogrammi-metro quadrato  
 $\omega_n$  : velocità angolare nominale in radianti al secondo  
 $T_a$  : coppia acceleratrice in newton-metro  
 $P_n$  : potenza nominale del motore in watt  
 $T_a/T_n$  : rapporto della coppia acceleratrice alla coppia nominale del motore

In caso di coppie di accelerazione che variano con la velocità, vengono generalmente utilizzate formule pratiche proprie alle diverse applicazioni per adattarsi a casi di coppie acceleratrici costanti per consentire calcoli rapidi approssimativi.

Ad esempio, la coppia di accelerazione nel caso di un avviamento rotorico può essere assimilata, per calcolo approssimativo, ad una coppia costante equivalente:

$$T_a = T_m \text{ min} + \frac{T_m \text{ max.} - T_m \text{ min.}}{3} - T_r$$

ove

$T_m \text{ mini.}$  : coppia motore immediatamente prima della messa in corto-circuito di una sezione di resistenza  
 $T_m \text{ max.}$  : coppia motore immediatamente dopo la messa in corto-circuito di questa sezione  
 $T_r$  : coppia resistente presunta costante





**N.6 Formule fondamentali**

Sistema internazionale di unità SI: MKSA

Grandezza	Unità di base	
lunghezza	l = metro	m
massa	m = chilogrammo	kg
tempo	t = secondo	s
corrente elettrica	i = ampere	A

**Cinematica (movimento rettilineo)**

**Lunghezza**  $l$

**Velocità**

$$v = \frac{dl}{dt} = \frac{l}{t} \quad \text{in m/s}$$

**Accelerazione**

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \text{in m/s}^2$$

**Dinamica (movimento rettilineo)**

**Forza**

$$F = m a \quad \text{in N (newton)}$$

**Forza di massa in movimento**

$$F = m a$$

**Eccitazione**

$$W = F \times l \quad \text{in J (joule)}$$

**Potenza**

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fl}{t} = Fv \quad \text{in W (watt)}$$

$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ secondo}}$$

**Energia**

$$W = 1/2 m v^2$$

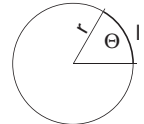
l'energia cinetica è caratterizzata dalla velocità del corpo

**Cinematica (movimento circolare)**

**Arco**

$\Theta$  in radiante, con

$$\Theta = \frac{l}{r}$$



**Velocità angolare**

$$\omega = \frac{d\Theta}{dt} = \frac{\Theta}{t} \quad \text{in rad/s}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{n in giri/min}$$

**Velocità**

$$v = \frac{l}{t} = r\omega \quad \omega \text{ in rad/s}$$

**Accelerazione angolare**

$$\alpha = \frac{d^2\Theta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} \quad \text{in rad/s}^2$$

**Accelerazione tangenziale**

$$a_T = r \alpha \quad \begin{matrix} \alpha \text{ in rad/s}^2 \\ a \text{ in m/s}^2 \end{matrix}$$

**Dinamica (movimento circolare)**

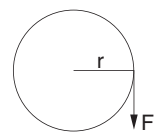
**Coppia**

$$T = F_x r \quad \begin{matrix} \text{in N.m} \\ \text{o J/rad} \end{matrix}$$

**Coppia di massa in movimento**

$$C = J \frac{d\omega}{dt}$$

J = momento d'inerzia in kgm<sup>2</sup>



**Eccitazione**

$$W = C\Theta \quad \text{in J (Joule)}$$

**Potenza**

$$P = \frac{C\Theta}{t} = C\omega \quad \text{in W (watt)}$$

$$P = C \frac{2\pi n}{60} \quad \text{N in giri/min}$$

**Energia**

$$W = 1/2 m r^2 \omega^2 = 1/2 J \omega^2$$

l'energia cinetica è caratterizzata dalla velocità di un corpo

## N.7 I regimi di neutro

I regimi di neutro mettono in causa principalmente:

### Il neutro

Sono i punti neutri dei trasformatori AT/MT e MT/BT ed i conduttori neutri che, in regime equilibrato, non sono percorsi da alcuna corrente.

### Le masse

Sono le parti conduttrici accessibili di un componente elettrico che possono assumere una tensione..

### La terra

La terra può essere considerata come un corpo conduttore con un potenziale convenzionalmente fissato a zero.

## I regimi bassa tensione

Esistono tre regimi di neutro in bassa tensione definiti mediante schemi e con riferimenti di due lettere. Sono i regimi TN (C o S), TT e IT. La prima lettera corrisponde alla posizione del neutro rispetto alla terra, e la seconda alla situazione delle masse rispetto alla terra.

Il significato di ogni lettera è il seguente:

T = Terra                      N = Neutro                      I = Impedenza  
 C = Combinato                S = Separato

### Lo schema TN.C

Corrisponde a un neutro collegato alla terra e le masse al neutro. È importante notare che il conduttore neutro e quello di protezione sono combinati.

### Lo schema TN.S

Corrisponde a un neutro collegato alla terra e le masse al neutro, ma qui, il conduttore neutro è separato da quello di protezione.

### Lo schema TT

Il neutro è direttamente collegato alla terra e alle masse mediante due prese di terra separate.

### Lo schema IT

Il neutro è collegato alla terra mediante un'impedenza o isolato. Le masse sono collegate direttamente alla terra.

Questi diversi regimi consentono di adattare la protezione ai locali e usi, rispettando il tempo di interruzione, basato sulla durata della resistenza di un individuo agli effetti di una corrente elettrica, in funzione della sua tensione (normalmente 50 V per 5 secondi e 100 V per 0,2 secondi).

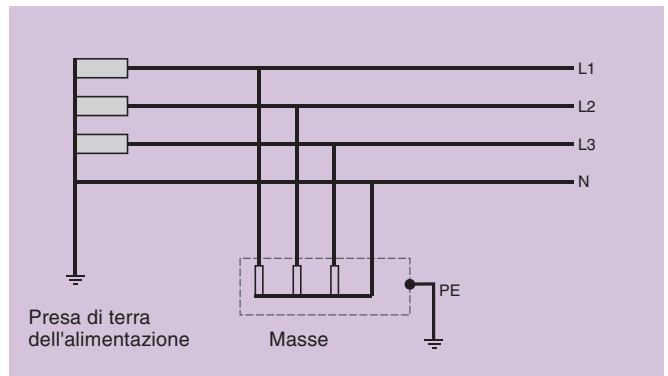
Le reti di distribuzione bassa tensione degli utenti privati sono normalmente del tipo TT, tranne quando interpongono un trasformatore di separazione che lascia loro completa libertà di scelta.

Lo schema TT è semplice da utilizzare, ma è limitato agli impianti poco estesi e poco complessi. Si sgancia al primo difetto e garantisce una sicurezza totale ed è dipendente dal valore di resistenza di terra.

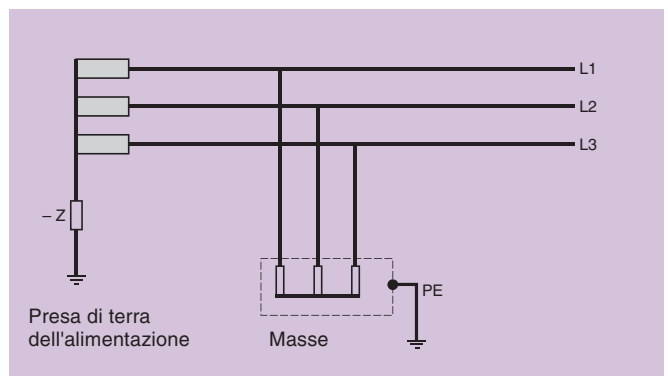
Lo schema IT ha la caratteristica di sganciarsi solo al secondo difetto. Quindi è particolarmente indicato ogni volta che è necessaria una continuità di servizio, cosa che richiede una particolare manutenzione per rilevare e intervenire a partire dal primo difetto prima che se ne verifichi un secondo.

Tuttavia, la garanzia della continuità di alimentazione non è ancora sufficiente per gli informatici, che preferiscono lo schema TN.S, con un'aggiunta di precauzioni e di apparecchiature specifiche.

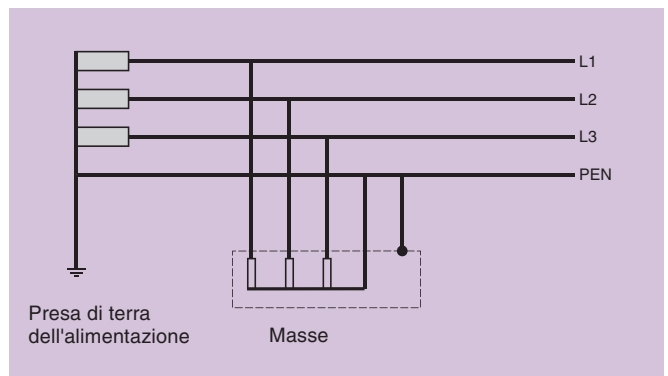
Lo schema TN garantisce, rispetto al precedente, una grande economia d'impianto. È il regime indispensabile con correnti di fuga elevate.



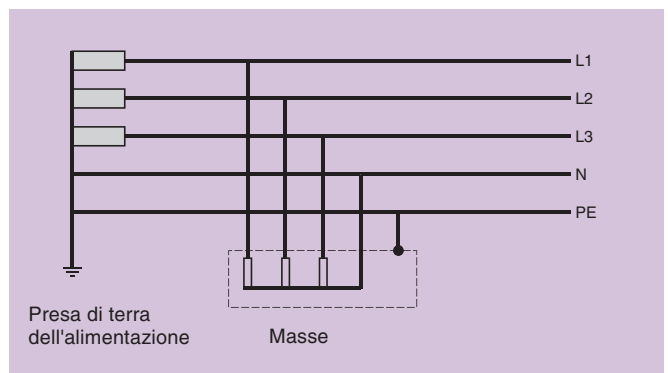
Schema TT



Schema IT



Schema TNC



Schema TNS



**N.8 Azionamento delle macchine**

La macchina accoppiata al motore presenta essenzialmente un momento di inerzia  $J$  (kg.m<sup>2</sup>) al quale è necessario aggiungere quello del motore, talvolta rilevante. La conoscenza dell'inerzia totale consente lo studio dei regimi transitori (avviamenti e arresti), ma non interviene in regime stabilito.

**Movimento di rotazione**

Se la macchina è azionata da un riduttore alla velocità  $n1$ , il suo momento di inerzia riportato al motore che gira a velocità  $n2$  si esprime con la formula:

$$J \text{ (macchina ridotta al motore)} = J \text{ (macchina)} \left(\frac{n1}{n2}\right)^2$$

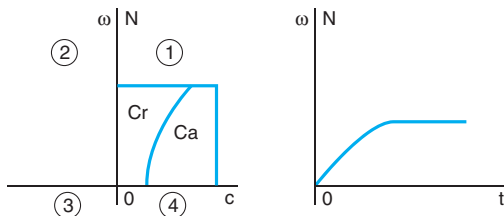
**Movimento di traslazione**

Se la macchina, con massa  $m$  (kg), si muove alla velocità lineare  $v$  (m/s), per la velocità di rotazione  $\omega$  (rad/s) del motore di azionamento, il momento di inerzia a livello dell'asse di azionamento si esprime con la formula:

$$J \text{ (macchina)} = \frac{mv^2}{\omega^2} = \frac{m \cdot v^2 \cdot 3600}{4 \pi^2 \cdot n^2} \quad \text{con } \omega = \frac{2 \pi n}{60}$$

**Avviamento**

Per avviare in un tempo imposto  $t$  (passaggio dall'arresto a una velocità angolare  $\omega$ ), la conoscenza del momento di inerzia  $J$  consente di determinare la coppia di accelerazione media necessaria  $Ca$ .



$$Ca \text{ (N.m)} = J \text{ (kg.m}^2) \frac{d\omega \text{ (rad/s)}}{dt \text{ (s)}}$$

$$= J \text{ (kg.m}^2) \frac{2\pi N \text{ (giri/min)}}{60t \text{ (s)}}$$

La coppia resistente media  $Cr$  dovuta alla meccanica e la coppia di accelerazione media  $Ca$  determinano la coppia motore media  $Cd$  necessaria durante il tempo di avviamento.

$$Cd = Cr + Ca$$

Inversamente, se una coppia di accelerazione  $Ca$  è fissata, il tempo di avviamento, per  $Ca$  costante, si determina con:

$$t = \frac{J\omega}{Ca}$$

In pratica:

– a corrente continua

$Cd = kCn$  ove  $Cn$  = coppia nominale motore

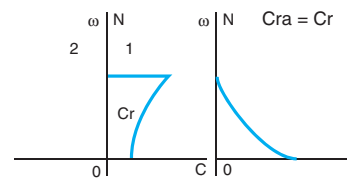
$k$  = coefficiente di sovraccarico del motore. È legato al tempo di sovraccarico e alla temperatura iniziale. Generalmente è compreso tra 1,2 e 1,9 (vedere catalogo Produttore di motori). In questa gamma la corrente d'indotto e la coppia possono essere sensibilmente proporzionali,

– a corrente alternata

Fare riferimento alle caratteristiche di sovracoppia e di sovracorrente riportate nel catalogo Produttore e alle caratteristiche d'impiego indicate da questo catalogo.

**Arresto**

Se la macchina viene lasciata a se stessa durante l'interruzione della tensione di alimentazione, la coppia di rallentamento è pari alla coppia resistente:

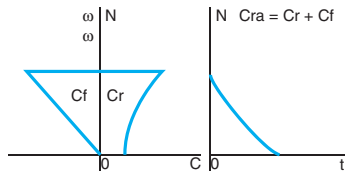


$$Cra = Cr = J \frac{d\omega}{dt}$$

L'arresto si verificherà al termine di un tempo ( $t$ ) legato al momento di inerzia mediante la relazione:

$$t = \frac{J}{Cr} \omega \text{ se } Cr \text{ è più o meno costante.}$$

## Frenatura reostatica

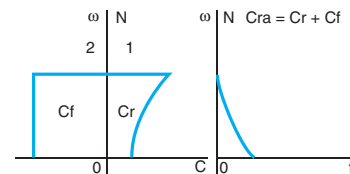


Se il tempo di arresto è inaccettabile, è necessario aumentare la coppia di rallentamento di una coppia di frenatura elettrica Cf come:

$$C_{ra} = C_r + C_f = J \frac{d\omega}{dt}$$

La frenatura può essere di tipo reostatico; ricordarsi comunque che la sua efficacia è proporzionale alla velocità ( $C_f = k\omega$ )

## Frenatura con recupero

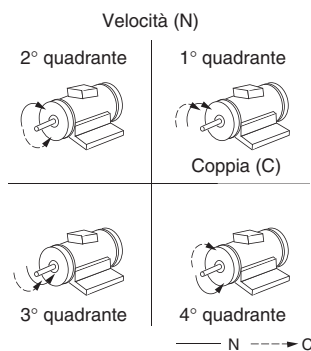


La frenatura di tipo con recupero è ottenuta utilizzando variatori reversibili.

In limitazione di corrente, la coppia di frenatura è costante fino all'arresto.

La macchina condiziona il dimensionamento del motore e dell'apparecchiatura che devono rispondere al regime permanente, ma anche ai regimi transitori: avviamenti frequenti o rapidi, a impulsi di carico ripetuti.

## Senso di funzionamento



Il disegno sopra riportato mostra le 4 possibilità di funzionamento (4 quadranti) sul piano coppia velocità riassunte nella tabella qui di seguito.

Rotazione	La macchina funziona	Coppia C	Velocità n	Prodotto C x n	Quadrante
1° senso	come motore	+	+	+	1
	come generatore	-	+	-	2
2° senso	come motore	-	-	+	3
	come generatore	+	-	-	4

## Coppia e potenza

Per determinare convenientemente l'insieme motore-variante, è molto importante conoscere la caratteristica coppia/velocità delle diverse macchine azionate.

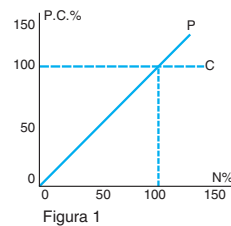


Figura 1

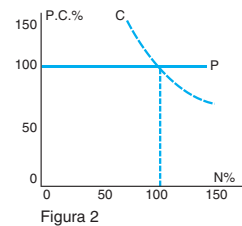


Figura 2

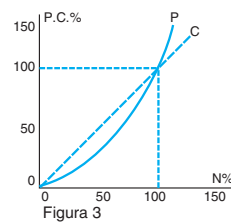


Figura 3

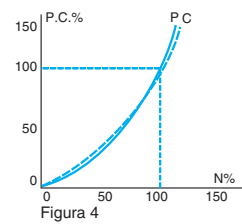


Figura 4

In pratica, ogni macchina può essere classificata nelle 4 categorie base:

- coppia costante (figura 1),
  - potenza costante (figura 2),
  - coppia crescente linearmente con la velocità  $C = kn$ , con la potenza che varia in base al quadrato della velocità (figura 3),
  - coppia crescente in base al quadrato della velocità  $C = kn^2$ , con la potenza che varia in base al cubo della velocità (figura 4).
- Un numero limitato di macchine può avere caratteristiche di funzionamento risultanti dalla combinazione di queste diverse categorie.

**M.9 Tabelle di conversione delle unità più utilizzate****Lunghezza**

Unità	m	in.	ft	yd
1 metro (m)	1	39,37	3,281	1,094
1 pollice (in. o ")	0,0254	1	0,0833	0,02778
1 piede (ft o')	0,3048	12	1	0,3333
1 iarda (yd)	0,9144	36	3	1

**Superficie**

Unità	m <sup>2</sup>	sq.in	sq.ft	sq.yd
1 metro quadrato (m <sup>2</sup> )	1	1550	10,764	1,196
1 pollice quadrato (sq.in.) (in <sup>2</sup> )	6,45 10 <sup>-4</sup>	1	6,944 10 <sup>-3</sup>	7,716 10 <sup>-4</sup>
1 piede quadrato (sq.ft) (ft <sup>2</sup> )	0,0929	144	1	0,111
1 iarda quadrata (sq.yd) (yd <sup>2</sup> )	0,8361	1296	9	1

**Volume**

Unità	m <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup>	cu.in.	cu.ft	cu.yd
1 metro cubo (m <sup>3</sup> )	1	1000	61024	35,3147	1,3079
1 decimetro cubo (dm <sup>3</sup> ) (litro)	0,001	1	61,024	0,0353	0,0013
1 pollice cubo (cu.in.) (in <sup>3</sup> )	1,639 10 <sup>-5</sup>	0,0164	1	5,787 10 <sup>-4</sup>	2,143 10 <sup>-5</sup>
1 piede cubo (cu.ft) (ft <sup>3</sup> )	0,0283	28,32	1728	1	0,0370
1 iarda cubo (cu.yd) (yd <sup>3</sup> )	0,7645	764,5	46656	27	1

**Massa**

Unità	kg	oz	lb
1 chilogrammo (kg)	1	35,27	2,205
1 oncia (oz)	0,028	1	0,0625
1 libbra (lb)	0,454	16	1

**Pressione**

Unità	Pa	MPa	bar	psi
1 pascal (Pa) o newton al m <sup>2</sup> (N/m <sup>2</sup> )	1	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	1,45 10 <sup>-4</sup>
1 mega pascal (MPa) o 1 newton al mm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	10 <sup>6</sup>	1	10	145,04
1 bar (bar)	10 <sup>5</sup>	0,1	1	14,504
1 pound weight al pollice quadrato 1 lbf/in <sup>2</sup> (psi)	6895	6,895 10 <sup>-3</sup>	0,06895	1

## Velocità angolare

Unità	rad/s	tr/min
1 radiante al secondo (rad/s)	1	9,549
1 giro al minuto (giri/min)	0,105	1

## Velocità lineare

Unità	m/s	km/h	m/min
1 metro al secondo (m/s)	1	3,6	60
1 chilometro all'ora (km/h)	0,2778	1	16,66
1 metro al minuto (m/min)	0,01667	0,06	1

## Potenza

Unità	W	ch	HP	ft-lbf/s
1 watt (W)	1	1,36 10 <sup>-3</sup>	1,341 10 <sup>-3</sup>	0,7376
1 cavallo (ch)	736	1	0,9863	542,5
1 horse-power (HP)	745,7	1,014	1	550
1 ft-lbf/s	1,356	1,843 10 <sup>-3</sup>	1,818 10 <sup>-3</sup>	1

## Forza

Unità	N	kgf	lbf	pdl
1 newton (N)	1	0,102	0,225	7,233
1 chilogrammo-forza (kgf)	9,81	1	2,205	70,93
1 pound weight (lbf)	4,448	0,453	1	32,17
1 poundal (pdl)	0,138	0,0141	0,0311	1

## Energia-eccitazione-calore

Unità	J	cal	kW/h	B.t.u.
1 joule (J)	1	0,24	2,78 10 <sup>-7</sup>	9,48 10 <sup>-4</sup>
1 caloria (cal)	4,1855	1	1,163 10 <sup>-6</sup>	3,967 10 <sup>-3</sup>
1 kilowatt-ora (kW/h)	3,6 10 <sup>6</sup>	8,60 10 <sup>5</sup>	1	3412
1 British thermal unit (B.t.u)	1055	252	2,93 10 <sup>-4</sup>	1

## Momento d'inerzia

Unità	kg.m <sup>2</sup>	lb.ft <sup>2</sup>	lb.in <sup>2</sup>	oz.in <sup>2</sup>
1 chilogrammo metro quadrato	1	23,73	3417	54675
1 libbra-piede quadrato (lb.ft <sup>2</sup> )	0,042	1	144	2304
1 libbra-pollice quadrato (lb.in <sup>2</sup> )	2,926 10 <sup>-4</sup>	6,944 10 <sup>-3</sup>	1	16
1 oncia-pollice quadrato (oz.in <sup>2</sup> )	1,829 10 <sup>-5</sup>	4,34 10 <sup>-4</sup>	0,0625	1