

**APPUNTI DI ELETTRONICA**

**MANUALE**  
*di*  
***Macchine Elettriche***

Accesso rapido a calcoli, dimensionamenti, perdite e rendimenti di macchine elettriche in corrente alternata

*A cura di Marco Dal Prà*

Versione n. 3.4 - Dicembre 2008

## ***Prefazione***

Questo manualetto vuole essere di aiuto a tutti coloro che studiano, lavorano o hanno a che fare con l'elettrotecnica e con le macchine elettriche.

E' uno scritto come opera di volontariato e non ha la pretesa di sostituirsi ai testi ufficiali.

Mi scuso già da ora se lungo il testo si troveranno errori; ringrazio già da ora chi vorrà indicarmeli per migliorare il testo, così come ringrazio chi mi ha aiutato a correggere errori trovati nelle precedenti edizioni.

Buona lettura.

## ***Bibliografia :***

- Mario Pezzi           Macchine Elettriche           2a. Ediz. - Zanichelli
- Bassi / Bossi        Elettrotecnica Pratica        Editoriale Delfino Marzo 2000
- Principi base dei Motori Trifase a induzione    Rockwell Automation Ott.1997
- [www.electroportal.net](http://www.electroportal.net)           Portale di elettrotecnica

## ***Indice***

1. Elettrotecnica Generale
2. Corrente Alternata (potenze ed altre espressioni)
3. Trasformatore
4. Elementi di Meccanica
5. Motori in Corrente Alternata
6. Motori Asincroni Trifasi

## Parte 1° - Elettrotecnica Generale

### Leggi Fondamentali

<b>Definizione</b>	<b>Espressione</b>	<b>Unità di Misura</b>
Prima Legge di Ohm	$R = \frac{V}{I}$	ohm - $\Omega$
Seconda Legge di Ohm	$R = \rho (l/s)$	ohm - $\Omega$
Resistività del Rame	$\rho = 0,0178$	$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$
Potenza su carico resistivo. Anche indicata con Pj per indicare che si tratta di perdite per effetto Joule	$P = R I^2$	watt - $W$
Potenza in Corrente Continua	$P = V I$	watt - $W$

### Riporto in Temperatura

Per riportare il valore di una resistenza presa a 20°C ad una temperatura “ $\theta$ ” :

$$R_{\theta} = R_{20} \frac{234,5 + \theta}{234,5 + 20}$$

Ad esempio per riportare il valore di una resistenza su un motore presa a 20°C e riportata alla temperatura di lavoro 70°C.

## Parte 2° - Corrente Alternata

### Espressione di una f.e.m. sinusoidale

Valore all'istante "t"	$v(t) = \sqrt{2} V_{\max} \text{sen}(\omega t)$
Valore Efficace di una tensione (quello che si misura con gli strumenti tradizionali)	$V = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$

### CONVENZIONI : ANGOLO di SFASAMENTO

Per convenzione l'angolo di sfasamento tra tensione (di alimentazione) e corrente (assorbita dal carico) è calcolato nel modo che segue :

$$\varphi = \Phi_V - \Phi_I$$

<b>angolo <math>\varphi</math></b>	<b>Tipo di carico</b>
tra 0 e 90°	Induttivo ( RL)
tra 0 e -90°	Capacitivo (RC)

**TRIANGOLO delle POTENZE**

<b>Definizione</b>	<b>Espressione</b>	<b>U. M.</b>
Potenza Apparente	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	VA
Potenza Attiva	$P = S \cos \varphi$	W
Potenza Reattiva	$Q = S \sin \varphi$ $Q = P \tan \varphi$	var
Tangente	$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$	-
Angolo	$\varphi = \arctan \frac{Q}{P}$	gradi

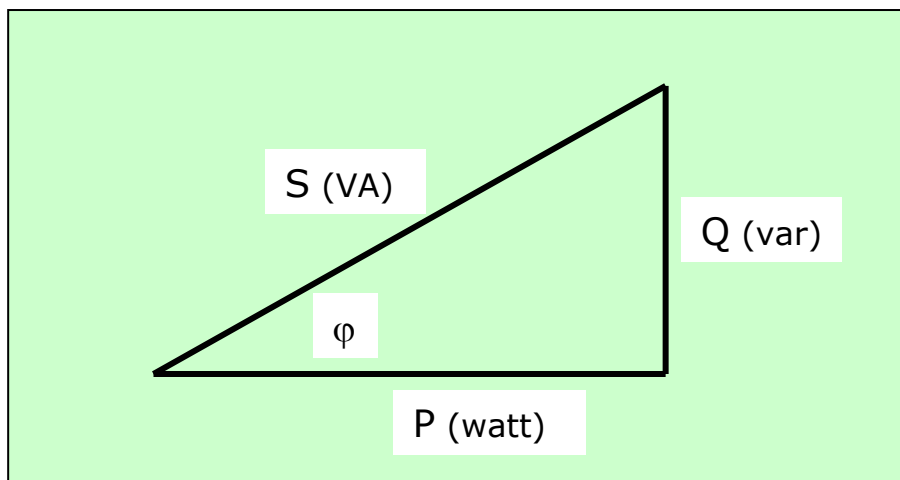


Figura : il Triangolo delle potenze

**POTENZA - Circuiti in Corrente Alternata**

<b>Definizione</b>	<b>Espressione Trifase</b>	<b>Espressione Monofase</b>	<b>Unità di Misura</b>
Potenza Apparente	$S = \sqrt{3} V I$	$S = V I$	VA
Potenza Attiva	$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi$	$P = V I \cos \varphi$	W
Potenza Reattiva	$Q = \sqrt{3} V I \sin \varphi$	$Q = V I \sin \varphi$	var
Corrente	$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi}$	$I = \frac{P}{V \cos \varphi}$	A
Fattore di potenza (f.p.)	$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} V I}$		-
Angolo (dal fattore di potenza)	$\varphi = \arccos (\text{f.p.})$		gradi

**LEGGE di Ohm – Circuiti Trifasi**

<b>Descrizione</b>	<b>Espressione</b>	<b>U.m.</b>
Potenza Apparente	$S = 3 Z I^2$	VA
Potenza Attiva	$P = 3 R I^2$	W
Potenza Reattiva	$Q = 3 X I^2$	var
Angolo di sfasamento	$\varphi = \arctang \frac{X}{R}$	

**RIFASAMENTO**

<b>Definizione</b>	<b>Espressione</b>	<b>U. M.</b>
Fattore di potenza consigliabile per impianti rifasati	$\cos \varphi \geq 0,95$	
Angolo di sfasamento ammesso per considerare un impianto rifasato	$\varphi \leq 25^\circ$	
Potenza Reattiva massima ammessa per impianti rifasati	$Q_{\max} = P \tan 25^\circ$	<i>var</i>
Potenza Rifasante	$Q_c = Q - Q_{\max}$	<i>var</i>
Reattanza capacitiva di rifasamento (Trifase)	$X_c = 3 \frac{V^2}{Q_c}$	<i>ohm</i>
Condensatore di rifasamento	$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$	<i>F</i>
Corrente sul condensatore	$I = \frac{Q_c}{\sqrt{3} V}$	<i>A</i>

NOTA :

Gli impianti utilizzatori tipicamente vengono “sanzionati” quanto il fattore di potenza scende al di sotto di 0,90.

E’ comunque utile tendere, almeno in via progettuale, al valore a 0,95 , che è cautelativo per l’utente e comunque utile al buon funzionamento della rete.

Meno correnti “reattive” circola nella rete, più aumenta la qualità e la stabilità della tensione, con vantaggio per tutti gli utenti.

### Parte 3° - Trasformatore Trifase

#### Caratteristiche Fondamentali

Descrizione	Espressione	U.m.
Potenza Nominale	$S_n = \sqrt{3} V_{1n} I_1 = \sqrt{3} V_{20} I_2$	VA
Tensione al primario	$V_1$	V
Tensione al secondario	$V_2$	V
Tensione al secondario <u>a vuoto</u>	$V_{20}$	V
Potenza Assorbita	$P_1 = P_2 + \text{Perdite}$	W
Potenza Resa	$P_2 = \sqrt{3} V_2 I_2 \cos \varphi_2$	W
Rendimento (vedere anche in seguito)	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$	
Corrente Nominale al Primario	$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{1n}}$	A
Corrente Nominale al secondario	$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{20}}$	A

Trasformatore : **BILANCIO ENERGETICO**

Descrizione	Espressione	U.m.
Potenza Assorbita	$P_1 = P_2 + P_{fe} + P_{cu}$	W
Perdite nel Ferro (*)	$P_{fe} = \left( \frac{V_1}{V_{1n}} \right)^2 P_0$	W
<b>Grado di Carico</b> Esprime quanto si sta “sfruttando” un trasformatore;  Si calcola rapportando la corrente che circola sul secondario alla corrente nominale del secondario.	$\alpha = \frac{I_2}{I_{2n}}$	0 ... 1
Perdite a vuoto	$P_0 = \sqrt{3} V_{1N} I_0 \cos \varphi_0$	W
Perdite nel Rame	$P_{cu} = \alpha^2 P_{cc}$	
<b>Bilancio complessivo delle potenze</b>	$P_1 = P_2 + P_0 + \alpha^2 P_{cc}$	
<b>Rendimento Convenzionale</b>	$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + \alpha^2 P_{cc}}$	
(dalle Norme CEI)	$P_2 = \sqrt{3} V_2 I_2 \cos \varphi_2$	
Grado di carico al rendimento massimo	$\alpha_{max} = \sqrt{\frac{P_0\%}{P_{cc}\%}}$	

\***NOTA** : Tipicamente si assume  $V_1 = V_{1n}$ , quindi  $P_{fe} = P_0$ .

Trasformatore : **PERDITE a VUOTO**

<b>Descrizione</b>	<b>Espressione</b>	<b>U.m.</b>
Perdite nel Ferro	$P_{fe} = P_i + P_{cp}$	W
Perdite per Isteresi	$P_i$	W
Perdite per Correnti Parassite	$P_{cp}$	W
Perdite a vuoto	$P_0 = \sqrt{3} V_{1N} I_0 \cos \varphi_0$	W
Corrente attiva a vuoto	$I_a = I_0 \cos \varphi_0$	A
Corrente Magnetizzante	$I_\mu = I_0 \sin \varphi_0$	A
Rapporto tra le correnti	$I_\mu \gg I_a$	
Fattore di potenza a vuoto	$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V I_0}$	
Resistenza equivalente delle perdite nel ferro	$R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_a}$	$\Omega$
Perdite a vuoto (conoscendo il rendimento)	$P_0 = \frac{P_2}{\eta} - P_2 - \alpha^2 P_{cc}$	W

Trasformatore : **PERDITE in CORTO CIRCUITO**

Descrizione	Espressione	U.m.
Perdite in corto circuito da Pcc percentuale	$P_{cc} = S_n \frac{P_{cc}\%}{100}$	W
Perdite nel Ferro	$P_{fe} \cong 0$ (in quanto la $V_1 \cong 0$ )	W
Perdite in corto circuito equivalenti al primario	$P_{cc} = \sqrt{3} V_{1cc} I_{1n} \cos \varphi_{cc}$	W
	$P_{cc} = 3 R_{1cc} I_{1n}^2$	W
equiv. al secondario	$P_{cc} = 3 R_{2cc} I_{2n}^2$	W
Fattore di potenza in cortocircuito	$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}\%}{V_{cc}\%} = \frac{100 P_{cu}}{V_{cc}\% S_n}$	
	$\cos \varphi_{cc} = \frac{R_{1cc}}{Z_{1cc}} = \frac{R_{2cc}}{Z_{2cc}}$	
	$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} V_{1cc} I_{1n}} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} V_{2cc} I_{1n}}$	
Tensione di c.c. al Primario	$V_{1cc} = V_{1N} \frac{V_{cc}\%}{100}$	V
Tensione di c.c. al Secondario	$V_{2cc} = V_{20} \frac{V_{cc}\%}{100}$	V

Trasformatore : **Caratteristiche Interne**

	<b>Descrizione</b>	<b>Espressione</b>
<b>Caratteristiche Interne al Primario</b>	Resistenza Equivalente al primario	$R_{1cc} = R_1 + R_2 m^2$
	Impedenza al Primario	$Z_{1cc} = \frac{V_{1CC}}{\sqrt{3} I_{1N}}$
<b>Caratteristiche Interne al Secondario</b>	Impedenza al Secondario	$Z_{2cc} = \frac{V_{2CC}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{V_{cc} \% V_{20}^2}{100 S_n}$
	Resistenza equivalente al secondario	$R_{2cc} = \frac{P_{CC}}{3 I_{2n}^2}$
		$R_{2cc} = \frac{P_{cc} \% V_{20}^2}{100 S_n}$

Trasformatore : **CADUTA di TENSIONE**

Le seguenti formule valgono nella condizione in cui il trasformatore alimenta un carico induttivo.

<b>Assoluta</b>	$\Delta V = V_{20} - V_2$ $\Delta V = \sqrt{3} I_2 (R_{2cc} \cos \varphi_2 + X_{2cc} \sin \varphi_2)$
<b>Percentuale</b>	$\Delta V \% = \alpha V_{cc} \% (\cos \varphi_{cc} \cos \varphi_2 + \sin \varphi_{cc} \sin \varphi_2)$
Formula semplificata	$\Delta V \% \cong \alpha V_{cc} \% (\cos^2 \varphi_2 + \sin^2 \varphi_2)$

Tenere conto che  $\cos \varphi_2 = \cos \varphi$  del carico.

Trasformatore : ASPETTI COSTRUTTIVI e PERDITE

Descrizione	Espressione
Dipendenza delle perdite dalla tensione al primario	$P_{fe} = k V_1^2$
Espressione generalizzata delle perdite	$P_{fe} \cong \frac{V_1^2}{(4,44 N_1 A_{fe})^2} \left[ \frac{a}{f} + b \delta^2 \right] \text{Vol}_{fe}$
Dipendenza dal peso del nucleo	$P_{fe} = c B_M^2 \text{Peso ferro}$
Flusso Massimo determinato dalla tensione al primario	$\Phi_M = \frac{V_1}{4,44 f N_1}$
Perdite per isteresi	$P_i = a f B_M^2 \text{Vol}_{fe}$
Perdite per correnti parassite (di Foucault)	$P_{cp} = b (\delta f B_M)^2$
Note	f = frequenza $\delta$ = spessore lamierini

Rapporti Primario / Secondario

Rapporto Spire	$m = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$
Rapporto di Trasformazione	$K = \frac{V_1}{V_2}$

Trasformatore : **POTENZE NORMALIZZATE PER LE CABINE MT/BT**

S (kVA)	Po (W)	Pcc (W)	Vcc%	Io%
100	480	1955	6	2,3
160	650	2850	6	2
250	880	3800	6	1,8
315	1030	4600	6	1,7
400	1200	5500	6	1,5
500	1400	6780	6	1,4
630	1650	7800	6	1,3
800	2000	9200	6	1,1
1000	2300	10800	6	1
1250	2700	13100	6	0,9
1600	3100	15800	6	0,9
2000	4000	18000	6	0,8
2500	5000	21850	6	0,7
3150	5600	24150	8	0,6

La tabella riporta i valori comuni che assumono le potenze e la tensione di corto circuito nei trasformatori MT/BT di potenza tipicamente utilizzati nelle cabine di distribuzione pubbliche e private.

Dato che anche il trasformatore per funzionare ha bisogno di una corrente per la sua magnetizzazione, invece che “richiamarla” dalla rete, tale corrente è possibile generarla in loco con dei condensatori di rifasamento.

L’unità di rifasamento dovrà avere una potenza fissa, per rifasare la corrente a vuoto  $I_0$  (che è prevalentemente reattiva) ed una potenza variabile a seconda del carico.

Potenza per il rifasamento a vuoto	Potenza per il rifasamento a carico
$Q_{Trv} = S \frac{I_0 \%}{100} \text{ (kvar)}$	$Q_{Trc} = S \frac{\alpha^2 V_{CC} \%}{100} \text{ (kvar)}$

La potenza totale per il rifasamento del trasformatore, è data dalla somma di tali due potenze.

Tipicamente, mentre il rifasamento a vuoto è ottenuto tramite una batteria di condensatori fissi, in rifasamento a carico è effettuato dal sistema di rifasamento dell’impianto BT.

Trasformatore :

## CONDIZIONI di FUNZIONAMENTO PARTICOLARI

### 1. Tensione di alimentazione Superiore a quella nominale

- il flusso aumenta in proporzione con l'aumento della tensione
- l'induzione aumenta in proporzione
- le perdite nel ferro aumentano in proporzione quadratica
- la corrente magnetizzante aumenta, dato che il trasformatore dissipa più energia nel ferro, ed aumenta la sua distorsione
- la f.e.m. al secondario aumenta proporzionalmente, e quindi ciò comporta un aumento della potenza erogata al carico.

### 2. Tensione di alimentazione Inferiore a quella nominale :

- il flusso diminuisce in proporzione alla tensione
- l'induzione diminuisce in proporzione
- le perdite nel ferro diminuiscono in proporzione quadratica con la tensione
- la corrente magnetizzante diminuisce, dato che il trasformatore dissipa meno energia nel ferro
- la f.e.m. al secondario diminuisce.

Tensione al primario	Variazione di $P_{fe}$	Variazione di $I_0$
$V_1 > V_{1n}$	aumenta	aumenta
$V_1 < V_{1n}$	diminuisce	diminuisce

### 3. Frequenza Superiore a quella nominale

- il flusso diminuisce in quanto è inversamente proporzionale alla frequenza
- in egual modo diminuisce l'induzione
- le perdite nel ferro diminuiscono leggermente, in quanto :
  - Le perdite per isteresi diminuiscono
  - Le perdite per correnti parassite restano costanti
- la corrente magnetizzante diminuisce, e diminuisce la distorsione della sua forma d'onda.
- le Reattanze di dispersione aumentano, facendo aumentare le cadute di tensione all'interno del trasformatore, soprattutto se il carico è molto induttivo.

### 4. Frequenza Inferiore a quella nominale

- il flusso magnetico aumenta in quanto inversamente proporzionale alla frequenza, ed aumenta l'induzione ;
- le perdite nel ferro diminuiscono leggermente, in quanto :
  - Le perdite per isteresi aumentano
  - Le perdite per correnti parassite restano costanti
- aumenta la corrente di magnetizzazione, e le sue componenti armoniche (la 3° e la 5°);
- le Reattanze di dispersione diminuiscono, facendo diminuire le cadute interne.

Frequenza al primario	Variazione di $P_{fe}$	Variazione di $I_0$
$f > f_n$	leggera diminuzione	diminuisce
$f < f_n$	leggero aumento	aumenta

**Parte 4° - Elementi di Meccanica**

<b>Definizione</b>	<b>Espressione</b>	<b>U. M.</b>
<b>Potenza Nominale</b>	$P_n$	$kW$
Velocità effettiva del rotore	$n$	$Giri/min$
Velocità Angolare (effettiva)	$\omega = \frac{2\pi n}{60}$	$Rad/sec$
<b>Coppia Nominale</b> resa all'asse (valida per qualunque tipo di motore)	$C_n = \frac{P_n}{\omega}$	$Nm$
Velocità nominale o sincrona	$n_1$	$Giri/min$
Velocità Angolare sincrona (del c.m.r.)	$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$	$Rad/sec$
<b>Coppia Trasmessa</b> (dallo statore al rotore)*	$C_t = \frac{P_t}{\omega_1}$	$Nm$

(\*)  $P_t$  è la Potenza Trasmessa dal c.m.r. (vedere oltre)

### Coppia Persa per Attrito e Ventilazione

$C_n = C_t - C_m$ $C_m = \frac{P_m}{\omega}$	<p><math>P_m</math> = Perdite meccaniche per attrito e Ventilazione</p> <p><math>C_m</math> = Coppia persa a causa delle perdite meccaniche</p> <p><math>C_n</math> = Coppia Nominale (o coppia resa)</p> <p><math>C_t</math> = Coppia Trasmessa (dal c.m.r.), anche detta Coppia Lorda</p>
--	---

### NOTA : Le Pompe idrauliche

Dalla portata e dalla prevalenza (altezza) di una pompa idraulica si trova la potenza necessaria per muovere il fluido (acqua) :

$P = Q g h$ $P_n = 1,25 P (*)$	<p>Q = Portata in Litri /secondo</p> <p><math>g = 9,8 \text{ m/s}^2</math></p> <p>h = altezza in metri</p>
--------------------------------	--

(\*) Si considera una maggiorazione del 25% per tenere conto delle perdite di carico e del rendimento effettivo della pompa.

Il calcolo è valido anche per calcolare la potenza resa da una turbina idraulica di una centrale idroelettrica.

## Parte 5° - Motori in Corrente Alternata

### Campo Magnetico Rotante

La velocità di rotazione del campo magnetico rotante, detta anche velocità Sincrona, si calcola con la seguente espressione :

$n_1 = \frac{60 f}{2p} = \frac{120 f}{p} \text{ (giri/min)}$	<p>p : numero di poli                  2p : numero di coppie polari                  f : frequenza (ad es. 50 Hz)</p>
--	---

### Tabella fondamentale delle velocità dei motori trifasi a 50 Hz

Numero di Poli	Coppie Polari	Velocità (giri/min.)
2	1	3000
4	2	1500
6	3	1000
8	4	750
10 *	5	600
12 *	6	500
ecc..	..	...

\* Oltre gli 8 poli non sono motori standard in commercio.

## Potenza

<b>Definizione</b>	<b>Espressione</b>	<b>U. M.</b>
<b>Potenza Nominale</b> (resa all'asse, meccanica) : è la potenza indicata sulla targa del motore	$P_n$	<i>kW</i>
<b>Potenza Assorbita</b> (dalla rete elettrica)	$P_a = \frac{P_n}{\eta}$	<i>kW</i>
	$P_a = \sqrt{3} V_n I_n \cos \varphi$	<i>kW</i>

<b>Rendimento</b>	$\eta = \frac{P_n}{P_a}$
Esempio	$\eta = 0,915 = 91,5\%$

## Parte 6° - Motori Asincroni Trifasi

### Scorrimento

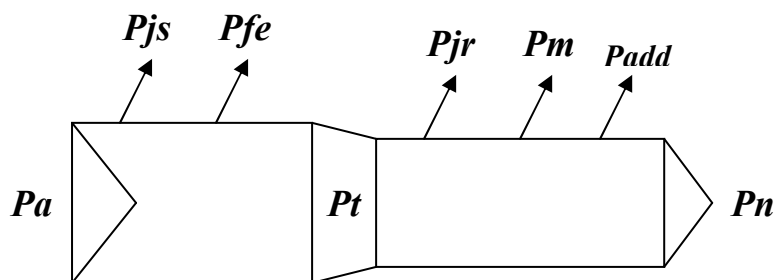
Indicando con  $n_1$  la velocità di rotazione del campo magnetico rotante, e con  $n$  quella effettiva del rotore si ha che :

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \qquad n = n_1 - s n_1$$

### Frequenza Rotorica

Rapporto tra le frequenze  $f_2 = s f_1$

### BILANCIO ENERGETICO A CARICO



$$P_a = P_{fe} + P_{js} + P_{jr} + P_m + P_{add} + P_n$$

### POTENZA TRASMESSA

Potenza Trasmessa [vista da lato alimentazione]	$P_t = P_{ass} - P_{fe} - P_{js}$
Potenza Trasmessa [vista da lato asse]	$P_t = P_{jr} + P_m + P_{add} + P_n$

**Motore Asincrono : PERDITE a CARICO**

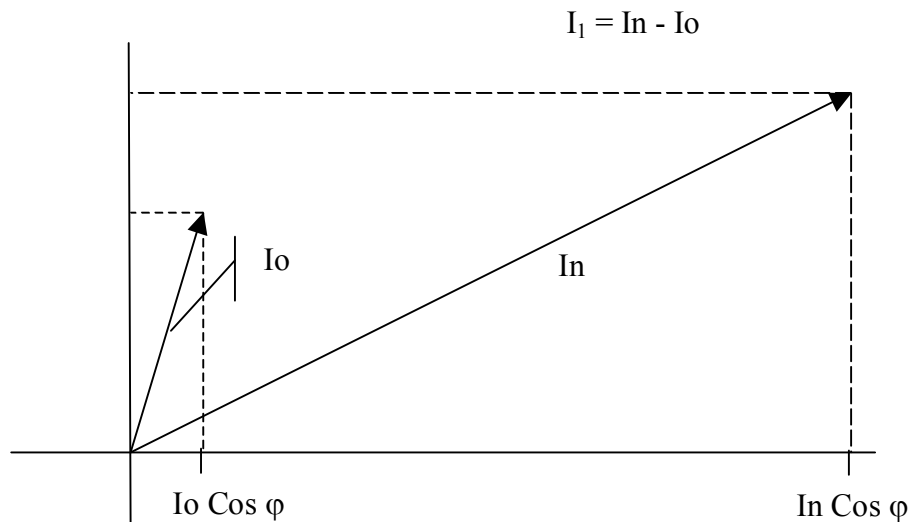
<b>Descrizione</b>	<b>Espressione</b>
Perdite nel Ferro	<b>P<sub>fe</sub></b> <i>P<sub>fe</sub> = P isteresi + P correnti parassite</i>
Dipendenza delle Perdite nel ferro dalla tensione e frequenza di statore	<b>P<sub>fe</sub> = V<sup>2</sup> K = V<sup>2</sup> ( <math>\frac{K_1}{f} + K_2</math> )</b>
Perdite nel rame, o Joule, di statore (Rs = resistenza a stella)	<b>P<sub>js</sub> = 3 R<sub>s</sub> I<sub>n</sub><sup>2</sup></b>
Perdite nel rame di rotore	<b>P<sub>jr</sub> = s P<sub>t</sub></b>
Perdite Meccaniche	<b>P<sub>m</sub></b> <i>P<sub>m</sub> = P attrito + P ventilazione</i>
Perdite Addizionali	<b>P<sub>add</sub> = 0,5% di P<sub>n</sub> o P<sub>t</sub></b>

**Motore Asincrono : BILANCIO ENERGETICO a VUOTO**

<b>Descrizione</b>	<b>Espressione</b>
Perdite in base alla corrente assorbita	<b>P<sub>0</sub> = √3 V I<sub>0</sub> Cos φ<sub>0</sub></b>
Causa delle perdite a vuoto	<b>P<sub>0</sub> = P<sub>js0</sub> + P<sub>fe</sub> + P<sub>m</sub></b>
Perdite nel rame di statore	<b>P<sub>js0</sub> = 3 R<sub>s</sub> I<sub>0</sub><sup>2</sup></b>
Perdite nel rame di rotore	<b>P<sub>jro</sub> = 0</b> (trascurabili)

### Corrente di Statore

La corrente dello statore è composta da 2 correnti, quella utile per erogare potenza meccanica e quella dovuta alle perdite a vuoto, quindi per trovare la  $I_1$  è necessario fare una sottrazione vettoriale :



<i>Componenti Attive</i>	<i>Componenti Reattive</i>
$I_{na} = I_n \cos \varphi$ $I_{oa} = I_o \cos \varphi_0$	$I_{nr} = I_n \sin \varphi$ $I_{or} = I_o \sin \varphi_0$
$I_{1a} = I_{na} - I_{oa}$	$I_{1r} = I_{nr} - I_{or}$
$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1r}^2}$	

### Corrente al Rotore

La corrente che circola nel rotore dipende dalla corrente che lo statore gli “trasmette”, da calcolarsi mediante il rapporto di trasformazione, qui indicato con  $k$  :

$$I_2 = k I_1$$

**Motore Asincrono :**

**ALIMENTAZIONE a TENSIONE RIDOTTA**

Dato che la coppia è direttamente proporzionale al quadrato della tensione, si avrà una conseguente riduzione anche della potenza, applicando la seguente proporzione :

$$P_a : V_n^2 = P_{rid} : V_{rid}^2$$

**Resistenza Statorica**

Formula per calcolare la potenza dissipata dallo statore (perdite nel rame o perdite Joule) misurando la resistenza statorica :

$$P_{js} = 3/2 R_s I^2$$

La  $R_s$  si intende la resistenza statorica misurata su due morsetti del motore con tutti gli avvolgimenti collegati (valida indifferentemente sia a stella che a triangolo).

## **COPYRIGHT - Proprietà del Documento**

Questo documento è stato redatto da Marco Dal Prà, perito industriale iscritto all'albo della Provincia di Venezia.

### ***Cosa si può fare***

Il documento può essere liberamente utilizzato e distribuito per scopi didattici sia da parte di studenti che di docenti di scuole di ogni ordine e grado.

Può essere liberamente stampato per uso personale.

### ***Cosa non si può fare***

Il documento non può essere replicato, su altri siti internet, mailing list, pubblicazioni cartacee (riviste) e cd-rom, ciò indipendentemente dalle finalità di lucro.

E' proibito utilizzarlo a scopo di lucro, come ad esempio da parte di società private che a qualsiasi titolo tengano corsi di aggiornamento e/o di specializzazione.

Per tali finalità è possibile prendere accordi che dovranno essere formulati in forma scritta da entrambe le parti.

### ***Esclusione di Responsabilità***

I contenuti del presente documento sono utilizzabili così come sono.

Nonostante i controlli fatti prima di renderlo di pubblico dominio nel sito internet, **non** è possibile assicurare che il documento sia esente da errori e/o omissioni.

Nessuna responsabilità può essere attribuita all'autore del documento per l'utilizzo dello stesso.

### ***Note***

I marchi citati nel presente documento sono di proprietà dei relativi produttori.

### ***Aggiornamenti***

Il presente documento può essere aggiornato dall'autore a sua discrezione e senza alcun preavviso.

Ad esempio l'autore può decidere di effettuare un aggiornamento sulla base di libere segnalazioni fatte dai lettori, all'indirizzo [dalpra.marco@gmail.com](mailto:dalpra.marco@gmail.com).

In ogni caso, ciò non avviene a cadenza periodica.

Per verificare la presenza di una versione più aggiornata consultare il sito [www.marcoDalpra.it](http://www.marcoDalpra.it).