

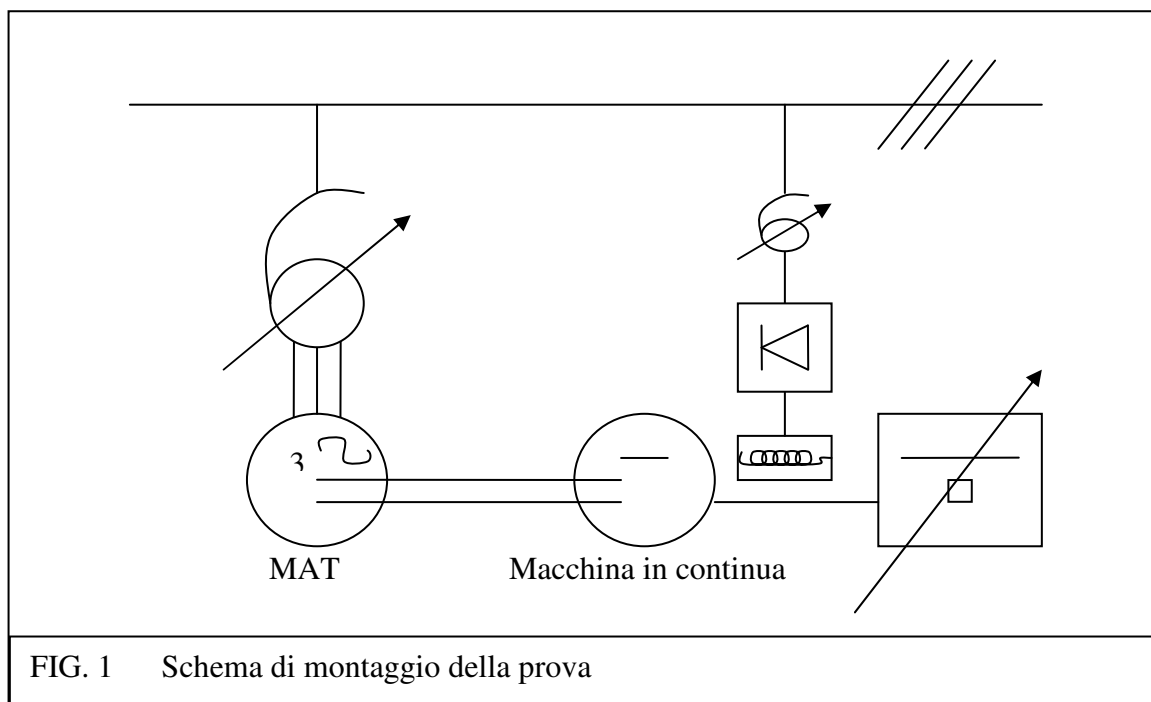


UNIVERSITÀ DI PISA
FACOLTÀ di
INGEGNERIA

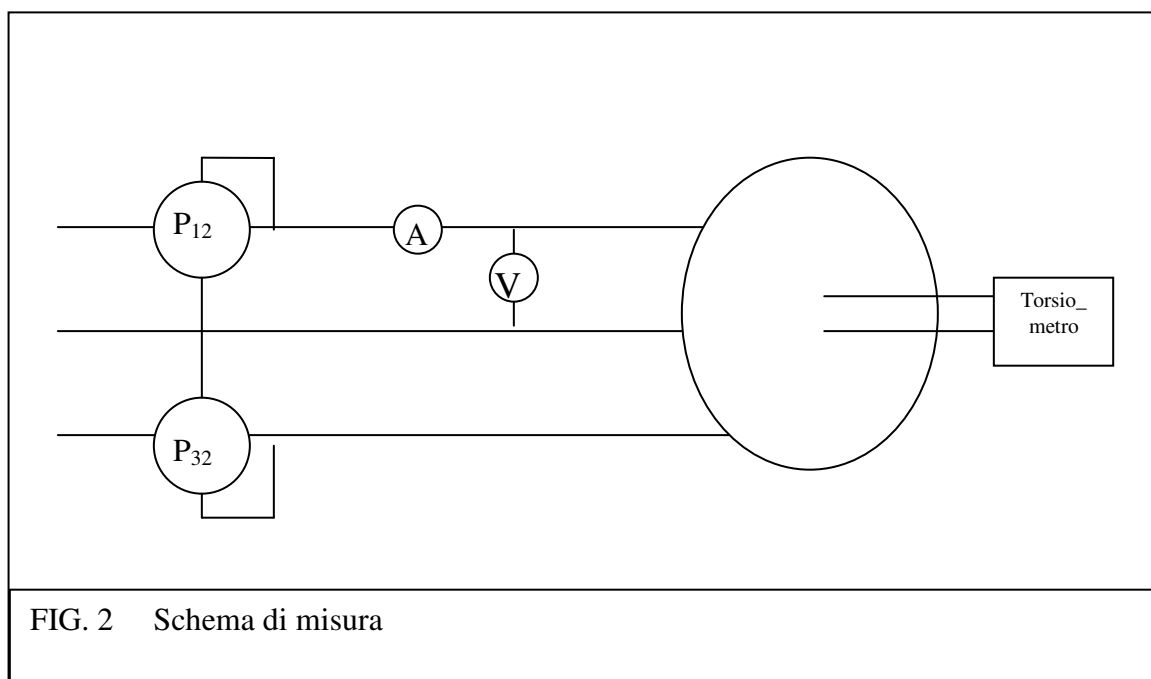
**ESPLORAZIONE DEL LUOGO POLARE E DELLA
CARATTERISTICA MECCANICA DI UNA MACCHINA
ASINCRONA:**

Studente:	Giovanni Canní,
matricola:	271091
materia:	prove su macchine
docente:	Ing. Mauro Lemmi Gigli
data:	11/10/2005

SCHEMA DI PRINCIPIO:



SCHEMA DI MISURA:



ATTREZZATURA ADOPERATA:

DENOMINAZIONE	QUANTITA'	NOTE
Macchina in continua	1	
Accumulatori	4	$V_n = 60 \text{ V}$
Autotrasformatore	1	Trifase a rapp. variabile sotto carico
Autotrasformatore	1	Monofase a rapp. variabile sotto carico
Raddrizzatore	1	Ponte a diodi monofase

Tab. 1 attrezzatura adoperata

Macchina in prova:

M.A.T. Marelli

Servizio continuo S1

 $f = 50 \text{ Hz}$ $V_n = 400 \text{ V}$ (Collegamento a triangolo) $I_n = 22,5 \text{ A}$ $P_n = 11 \text{ kW}$ $n_n = 1460 \text{ giri/min}$ $\cos\phi = 0,8$ **VALORI DESUNTI DALLE MISURE:**resistenza avvolgimenti di una fase di statore: 1,166 [Ω] (a freddo); 1,348 [Ω] (a caldo)

n [rpm]	C [mV]	V [V]	I [A]	Q [VAR]	P [W]
1500	0	111.51	1.301	145.13	2.19
1493	47.3	111.21	1.6	151.14	95.96
1489	85.5	110.83	1.961	158.2	149
1480	173.5	110.14	2.83	185.9	250.6
1477	189.2	109.69	2.95	190.4	262.8
1470	248	109.58	3.6	218.5	329.4
1463	305.7	109.19	4.35	258.4	399.2
1448	363	108.46	5.43	327.2	490.3
1430	424.5	107.4	6.7	434	582
1412	442	106.7	7.45	498	602
1384	448.3	106.22	8.5	612.3	669.3
1362	440.7	105.39	9.23	690.6	684.4
1308	423.5	104.9	10.3	825.3	696.9
1207	368	104.2	11.4	972.3	682.6
1050	307.3	101	11.9	1027	625
797	286	100.44	12.6	1094	635
603	291.2	100.5	13	1129	660.5
506	293	100.36	13.07	1128	668.7
349	293.7	99.5	13.23	1133	670
270	296.5	99.7	13.27	1135	680
0	431.3	109.09	16.044	1512	880.7

Tab. 2 valori misurati⁽¹⁾⁽¹⁾il primo e l'ultimo punto della tabella sono, rispettivamente, ottenuti da prova a vuoto e a rotore bloccato della macchina

DESCRIZIONE DELLA PROVA ED ELABORAZIONE DEI DATI:

E' stata eseguita la prova di cui all'oggetto al fine di confrontare il vero comportamento di una macchina asincrona (con rotore a gabbia profonda) con quello desumibile dalle comuni prove a vuoto e a rotore bloccato.

Per esplorare la caratteristica meccanica e il diagramma polare sono stati imposti un certo numero di punti di funzionamento del piano $c\omega$, opponendo una coppia resistente alla macchina in prova (alimentata a tensione ridotta), calettata al medesimo albero di una macchina in corrente continua (secondo lo schema di principio riportato in fig.1). Alimentando la macchina in continua per mezzo di 4 accumulatori (collegati come riportato in figura 3) si sono ottenute tensioni di armatura scaglionate in tre valori. Operando sull'eccitazione s'è ottenuta, inoltre, una regolazione fine della coppia. Infatti all'equilibrio si ha:

$$C_m = M_{sr} \cdot I_{ecc} \cdot I_a$$

$$I_{ecc} = \frac{V_{ecc}}{R_{ecc}} \quad (1, 2, 3)$$

$$I_a = \frac{V_a - E}{R_a}$$

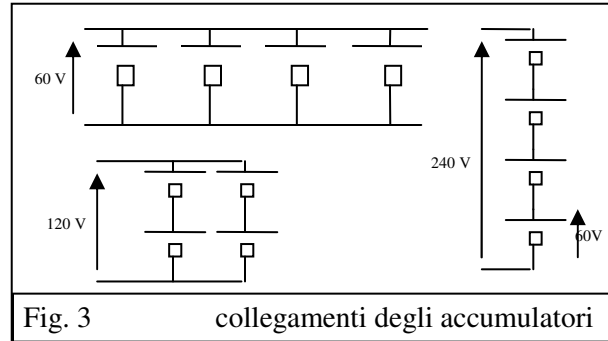


Fig. 3 collegamenti degli accumulatori

Per valori decrescenti della velocità di rotazione sono stati misurati la coppia (per mezzo di un torsionometro), la tensione di alimentazione della macchina in prova (in teoria costante, risente delle cadute nell'autotrasformatore), la potenza attiva e la potenza reattiva assorbite. I risultati delle misure (tabella 2), relativi al funzionamento a tensione ridotta, sono riportabili al valore di tensione nominale nell'ipotesi di comportamento lineare della macchina:

Grandezza:	Algoritmo di conversione:	fattore di conversione:
Coppia [mV]	$C_{v_n} = f_s \cdot C_{misurata} \cdot \left(\frac{V_n}{V_{ridotta}} \right)^2$ $f_s = \text{fatt. scala del trasduttore} = 20 \text{ [Nm/V]}$	$\sim 0,293 \text{ [N*m/mV]}$
Potenza attiva [W]	$P_{v_n} = 3 \cdot P_{misurata} \cdot \left(\frac{V_n}{V_{ridotta}} \right)^2$ 3 deriva dal tipo di collegamento	$\sim 44 \text{ [adimensionale]}$
Potenza reattiva [VAR]	$Q_{v_n} = 3 \cdot Q_{misurata} \cdot \left(\frac{V_n}{V_{ridotta}} \right)^2$	$\sim 44 \text{ [adimensionale]}$
Corrente [A]	$I_{v_n} = I_{misurata} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot V_n}{V_{ridotta}}$	$\sim 6,6 \text{ [adimensionale]}$

Tab. 3 fattori di riporto a tensione nominale

Per mezzo delle relazioni descritte in tabella 3 è possibile, pertanto, costruire la tabella seguente (Tab. 4):

C [Nm]	I [A]	P [W]	Q [VAR]
0	8.083214	84.53912	5602.357
12.23837	9.967741	3724.293	5865.877
22.27416	12.2586	5822.545	6182.058
45.76772	17.80172	9915.9	7355.81
50.31958	18.63269	10484.13	7595.81
66.0905	22.76103	13167.47	8734.34
82.05021	27.60114	16071.86	10403.23
98.74552	34.68573	20006.17	13351.05
117.7658	43.22063	24218.97	18060.19
124.2348	48.37405	25381.01	20996.25
127.147	55.44128	28474.06	26049.11
126.968	60.67683	29576.88	29844.82
123.1551	68.02716	30399.1	35999.97
108.4582	75.798	30176.72	42983.93
96.39839	81.62933	29408.88	48324.67
90.71991	86.91294	30213.54	52052.93
92.2591	89.61855	31389.32	53654.12
93.08856	90.2268	31867.74	53756.26
94.93094	92.12073	32484.03	54931.95
95.45185	92.2139	32836.72	54808.36
115.9737	101.8939	35522.16	60985.02

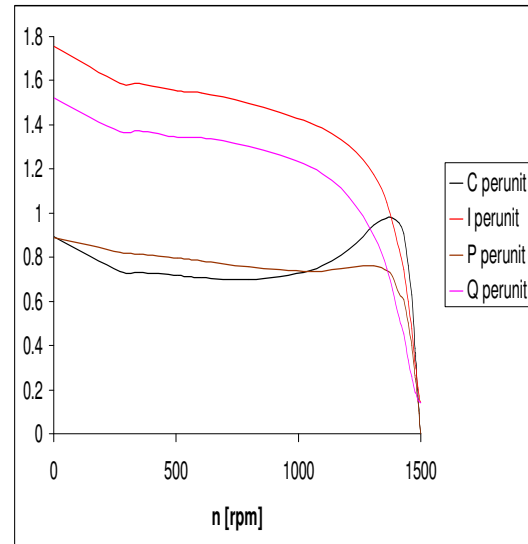


Fig.4 valori riportati in per unità

Tab. 4 Valori riportati a tensione nominale

Questi valori consentono di calcolare il $\cos\Phi$, la potenza meccanica e il rendimento:

cosfi	potenza meccanica	eta
0.015096	0	0
0.539311	1913.42747	0.513769
0.685589	3473.158881	0.596502
0.804012	7093.320958	0.715348
0.812174	7782.983699	0.742358
0.835031	10173.84203	0.77265
0.840487	12570.50257	0.782144
0.83254	14973.19846	0.748429
0.808829	17635.3402	0.728162
0.757336	18369.89102	0.723765
0.741324	18427.68694	0.647174
0.703593	18109.23082	0.612276
0.645016	16868.97766	0.554917
0.574654	13708.76339	0.454283
0.520025	10599.55658	0.36042
0.501775	7571.632907	0.250604
0.505564	5825.794267	0.185598
0.509809	4932.594871	0.154783
0.508985	3469.459532	0.106805
0.513991	2698.837477	0.08219
0.503203	0	0

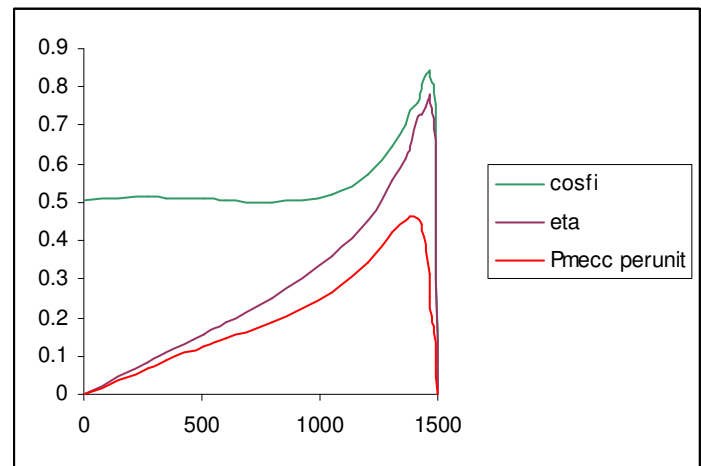


Fig. 5 Valori calcolati in per unità

Tab. 5 Valori calcolati

Dai valori calcolati è possibile costruire il luogo polare della macchina e la caratteristica meccanica di seguito riportati:

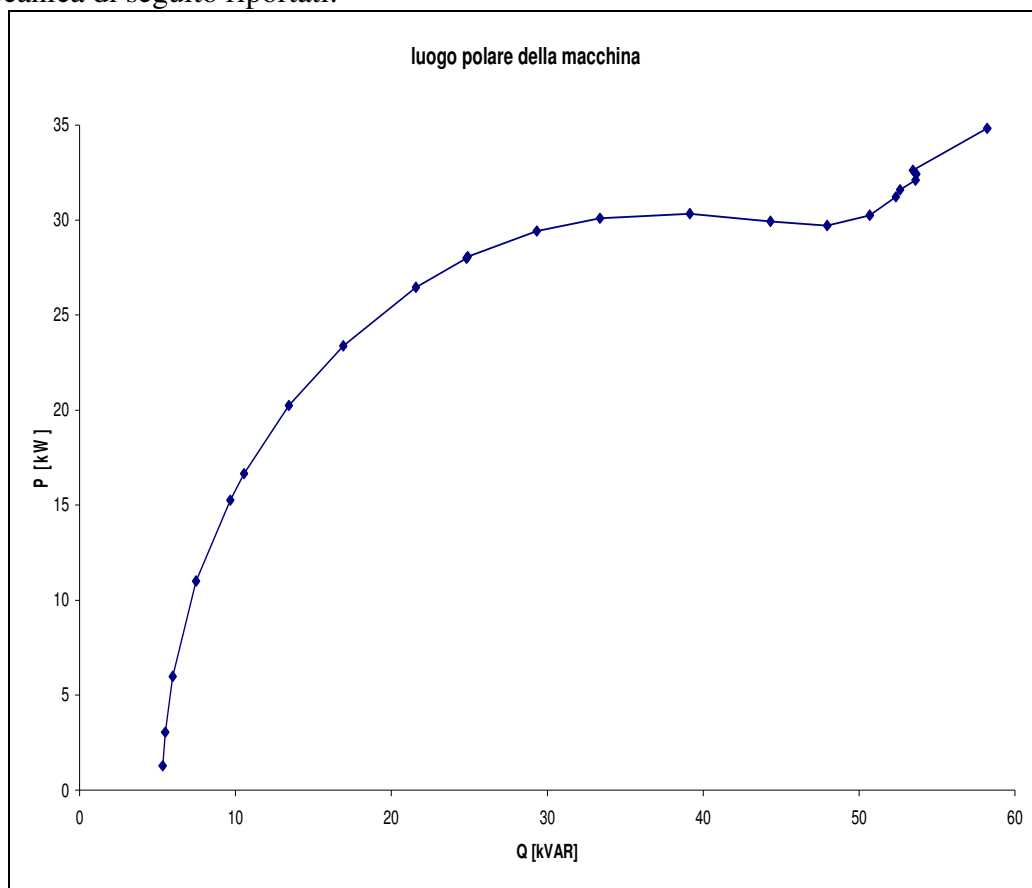


Fig. 5: luogo polare della macchina

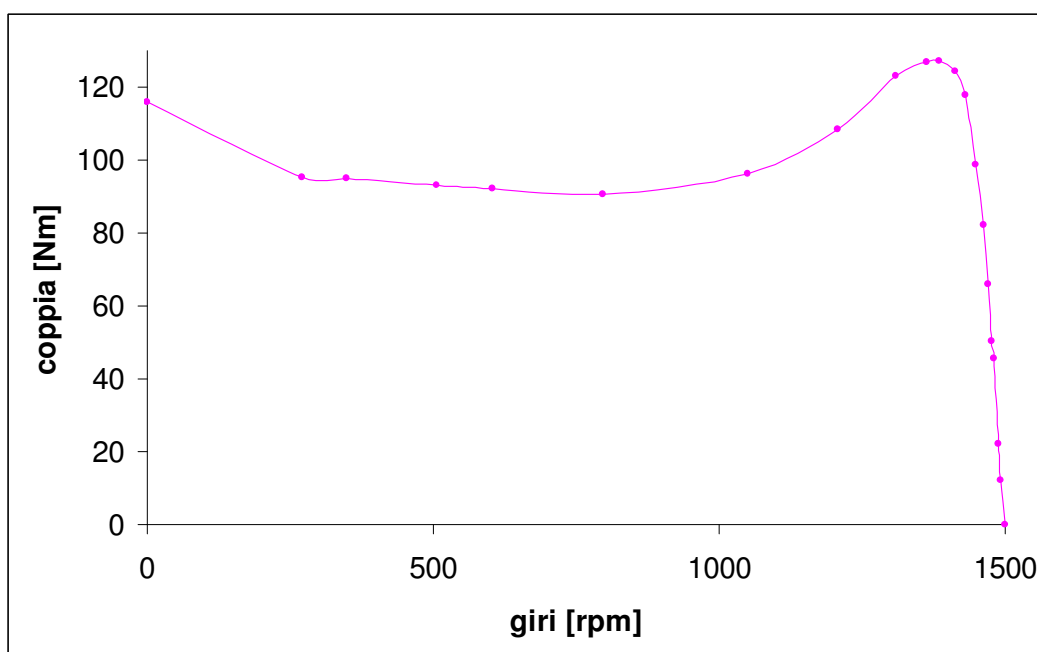


Fig. 6 Caratteristica meccanica della macchina

Da Tali diagrammi é possibile avere un riscontro qualitativo della divergenza tra il modello teorico della macchina in esame e il suo reale comportamento. Tale discrepanza è particolarmente marcata nelle immediate vicinanze del punto di funzionamento a scorrimento unitario, in cui è evidente l'esistenza della forma costruttiva a gabbia profonda.

Al fine di quantificare suddetta differenza sarà di seguito esposta l'elaborazione dei dati rilevati dalle sole prove a vuoto e a rotore bloccato della macchina asincrona in prova.

PROVA A VUOTO:

Dalla tabella 4 si prelevano i dati relativi a tale prova:

V [V]	I [A]	P [W]	Q [VAR]
400	8.083214	84.53912	5602.357

$$\Rightarrow Z_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I} = 85,7[\Omega]$$

$$\cos(\varphi_0) = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V \cdot I} = 0,015 \quad (\text{oppure}) \quad \cos(\varphi_0) = \cos\left[\arctan\left(\frac{Q}{P}\right)\right] = 0,015 \quad (4,5,6)$$

$$\Rightarrow R_0 = Z_0 \cdot \cos(\varphi_0) = 1,29[\Omega]; \quad X_0 = Z_0 \cdot \sin(\varphi_0) = 82,4[\Omega]$$

PROVA A ROTORE BLOCCATO:

Dalla tabella 4 si prelevano i dati relativi a tale prova:

V [V]	I [A]	P [W]	Q [VAR]
400	101.8939	35522.16	60985.02

$$\Rightarrow Z_{cc} = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{I} = 6,8[\Omega]$$

$$\cos(\varphi_{cc}) = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot I} = 0,503 \quad (\text{oppure}) \quad \cos(\varphi_{cc}) = \cos\left[\arctan\left(\frac{Q}{P}\right)\right] = 0,503 \quad (7,8,9)$$

$$\Rightarrow R_{cc} = Z_{cc} \cdot \cos(\varphi_{cc}) = 3,42[\Omega]; \quad X_{cc} = Z_{cc} \cdot \sin(\varphi_{cc}) = 5,87[\Omega]$$

Dai parametri calcolati si può desumere la caratteristica meccanica ideale ricordando che:

$$C = \frac{V^2}{\omega_0} \cdot \frac{R_2' \cdot s}{R_2'^2 + X_{cc}'^2 \cdot s^2} = \frac{2040 \cdot s}{4 + 34,5 \cdot s^2} \quad (10)$$

Dai risultati ottenuti è possibile ricavare un luogo polare e una caratteristica meccanica:

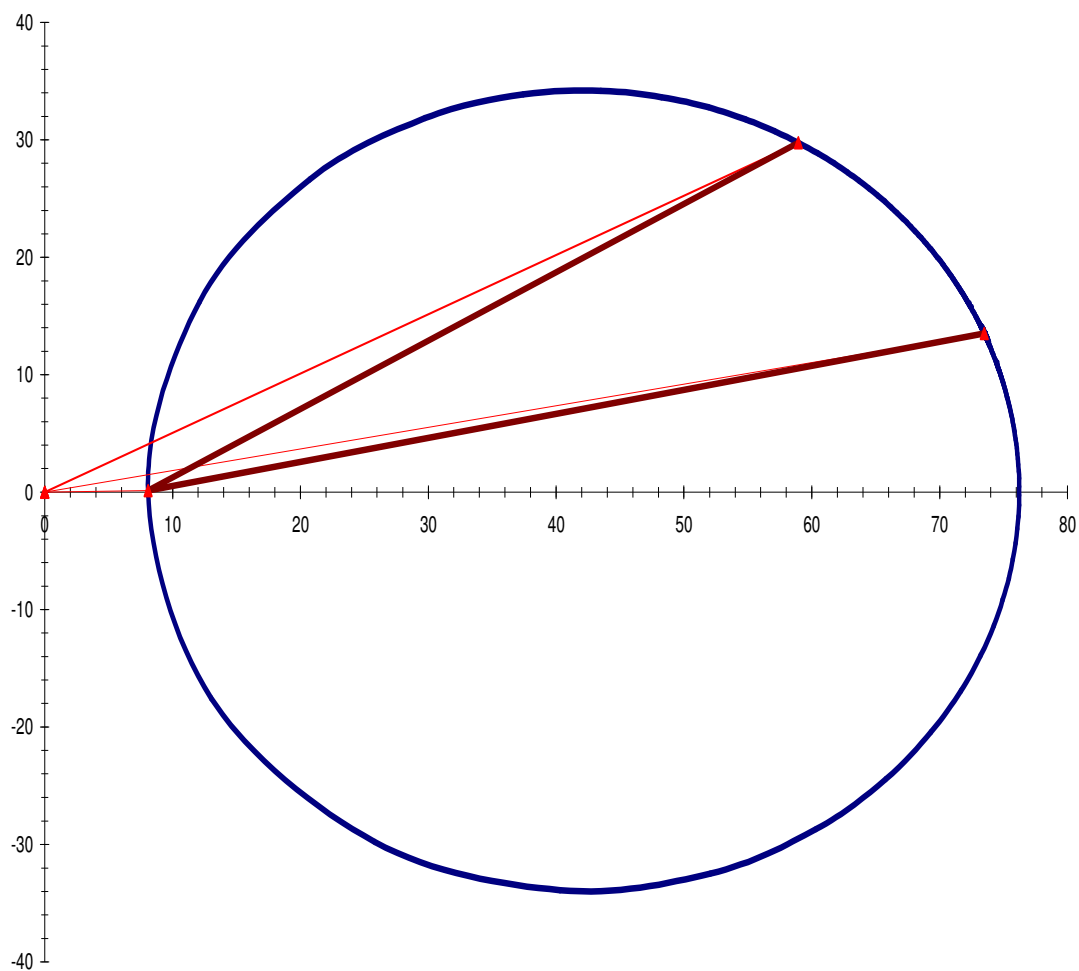


Fig. 7 : Diagramma circolare

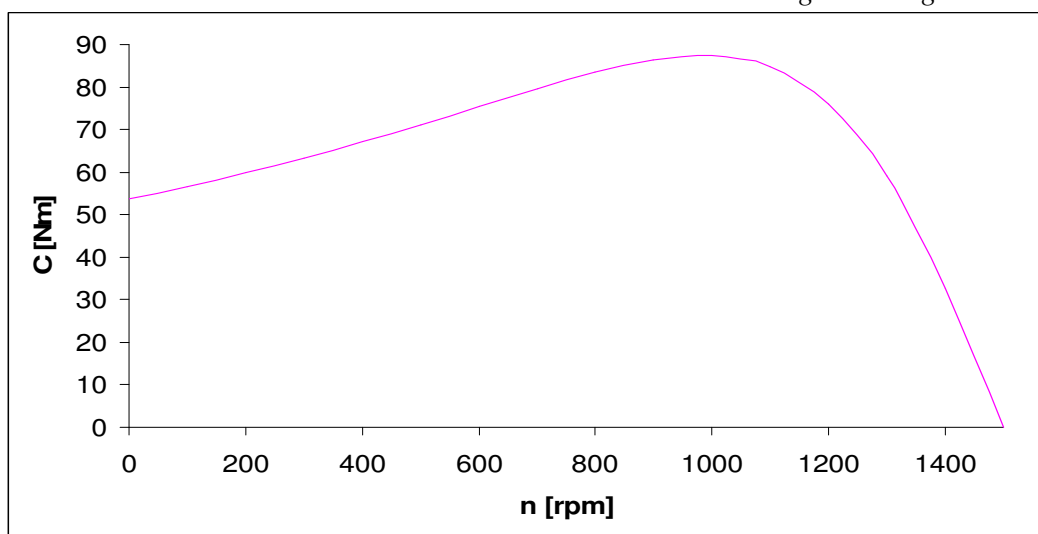


Fig. 8: caratteristica meccanica teorica

Infine, sovrapponendo i diagrammi teorici e sperimentali si ottiene un riscontro significativo:

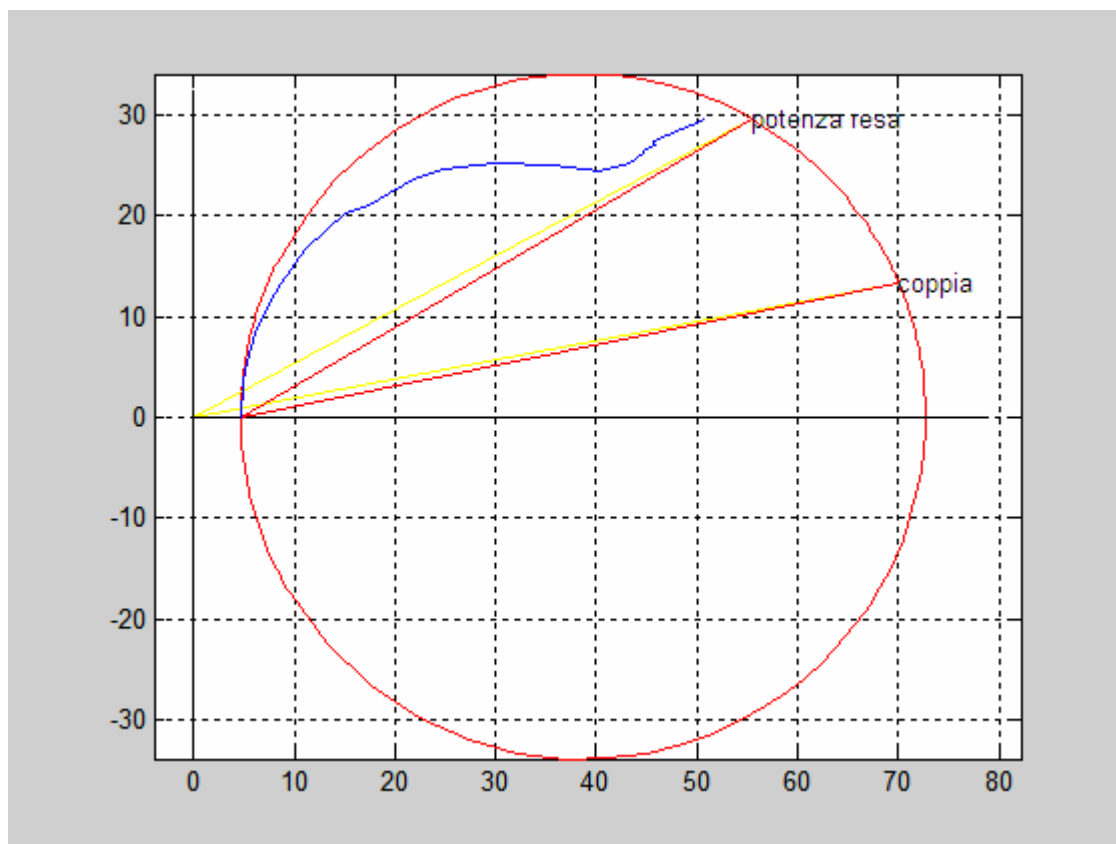


Fig. 9: confronto tra luogo polare teorico e reale

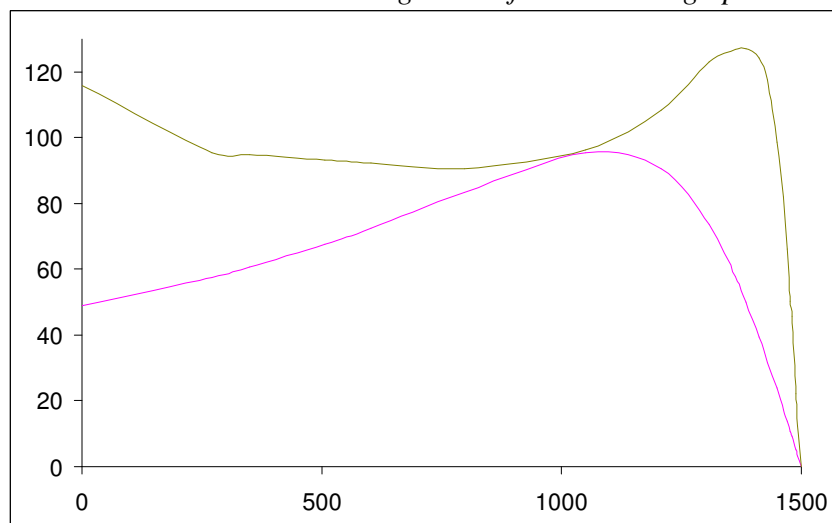


Fig. 10: confronto tra caratteristica meccanica ideale e reale

Gli errori commessi affidandosi al modello teorico della macchina si manifestano visibilmente nella zona di funzionamento a rotore bloccato, infatti:

$$C|_{s=1} = \frac{V^2}{\omega_0} \cdot \frac{R'_2}{R'^2_2 + X'^2_{cc}} = \frac{400^2}{2 \cdot \pi \cdot 25} \cdot \frac{2,25}{2,25^2 + 5,87^2} \cong 58[Nm] \quad (11)$$

La coppia di spunto sperimentale risulta invece:

$$C_{s=1 \text{ eff.}} \simeq 116 [Nm] \quad (12)$$

L'errore commesso dal modello teorico è, pertanto:

$$e_1 = \frac{C_{eff} - C_{id}}{C_{eff}} = \frac{116 - 58}{116} = 50\% \quad (13)$$

La coppia massima teorica risulta:

$$C_{max} = \frac{V^2}{\omega_0} \cdot \frac{1}{2 \cdot X'_{cc}} = \frac{400^2}{2 \cdot \pi \cdot 25} \cdot \frac{1}{2 \cdot 5,87} \cong 87[Nm] \quad (14)$$

Mentre la coppia massima desunta dalle misure è:

$$C_{max \text{ eff}} = 127[Nm] \quad (15)$$

L'errore commesso nella determinazione teorica di tale coppia risulta:

$$e_2 = \frac{C_{eff} - C_{id}}{C_{eff}} = \frac{127 - 87}{127} \cong 31\% \quad (16)$$

Per quanto riguarda la corrente di spunto, il modello teorico fornisce:

$$I|_{s=1} = \sqrt{3} \cdot \frac{V_n}{Z_{cc}} = \sqrt{3} \cdot \frac{400}{6,8} = 102[A] \quad (I_n = 22,5 [A] \Rightarrow \frac{I_{max}}{I_n} \cong 4,5) \quad (17, 18)$$

Sperimentalmente è stata rilevata:

$$I_{max} = 102 [A] \Rightarrow \frac{I_{max}}{I_n} \cong 4,5 \quad (19)$$

In questo caso si nota che il risultato ottenuto dal modello teorico risponde al reale comportamento della macchina.