

*Studio di Ingegneria Moroni*

*via Savo D'Acquisto, 13  
21057 Olgiate Olona (Va) - Italy*

*Tel/fax: 0331640130 Cell: 3479680340  
e-mail: servizio.impianti@virgilio.it*

*TRANSITORI DI AVVIAMENTO STELLA TRIANGOLO  
DI UN MOTORE ASINCRONO TRIFASE*

*315KW - 400V/690V DY - 50HZ - 6 POLI*

Autore:

***Dott. Ing. Paolo Moroni***

## Contenuti.

Come noto, la corrente assorbita durante l'avviamento dei motori asincroni si mantiene inizialmente elevata e di entità pressoché indipendente dal carico fino al raggiungimento della velocità corrispondente alla coppia massima; dopo di che diminuisce divenendo dell'ordine della corrente nominale quando la macchina raggiunge velocità prossime alla velocità nominale. Si può dunque pensare di ridurre l'entità della corrente di avviamento alimentando il motore a tensione ridotta fino al raggiungimento di una velocità prossima alla nominale. Una delle tecniche di avviamento a tensione ridotta più diffuse è quella della commutazione stella triangolo. In queste note si riporta il risultato di uno studio effettuato sui transistori elettromeccanici prodotti da tale tipo di avviamento nel caso di una macchina asincrona alimentata a 400V e avente i seguenti dati nominali:

- potenza = 315 KW; fattore di potenza = 0.92; rendimento = 0.93;
- tensione = 400V (D) / 690V (Y), frequenza = 50 Hz;
- numero di poli = 6; velocità di sincronismo = 1000 giri/min;
- scorrimento = 1.12%; velocità = 988.8 giri/min; coppia = 3040 N·m;
- momento di inerzia = 15 Kg/mq.

La macchina presenta inoltre i seguenti parametri riferiti al circuito di statore collegato a stella:

- reattanza di disp. statore = 0.1397  $\Omega$ ; reattanza di disp. rotore = 0.1397  $\Omega$ ;
- reattanza magnetizzante = 5.824  $\Omega$ ;
- resistenza statore = 0.0169  $\Omega$ ; resistenza rotore = 0.0149  $\Omega$ .

Lo studio viene effettuato risolvendo numericamente le equazioni della macchina nelle variabili d'asse.

## Avviamento diretto.

La macchina viene collegata a triangolo e alimentata da un sistema trifase a 400 V. L'avviamento avviene sotto carico con una coppia resistente  $C$  [N·m] espressa in funzione della velocità angolare  $v$  [giri/min] dalla relazione  $C = 0.002193 \cdot v^2$ .

In Figura 1, 2 e 3 si riportano rispettivamente gli andamenti istantanei della corrente assorbita dalla linea di alimentazione, della corrente negli avvolgimenti di statore e della corrente negli avvolgimenti di rotore riportata allo statore.

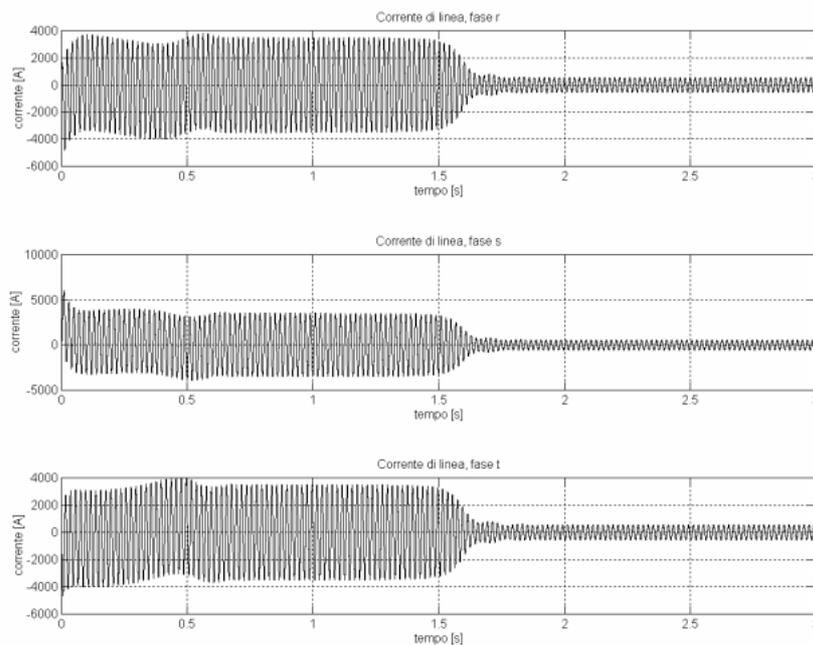


Figura 1: Correnti di linea (valore istantaneo).

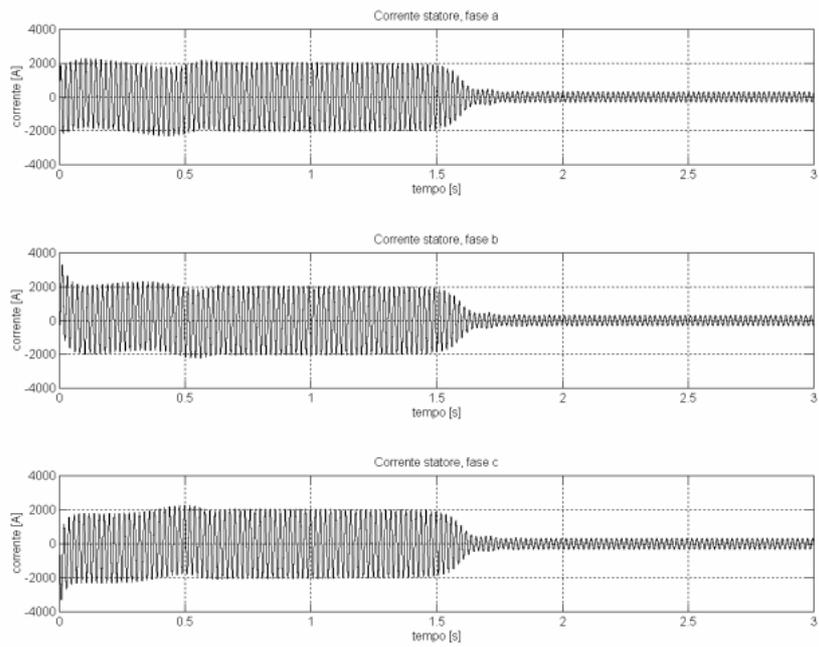


Figura 2: Correnti nelle fasi di stat ore (valore istantaneo).

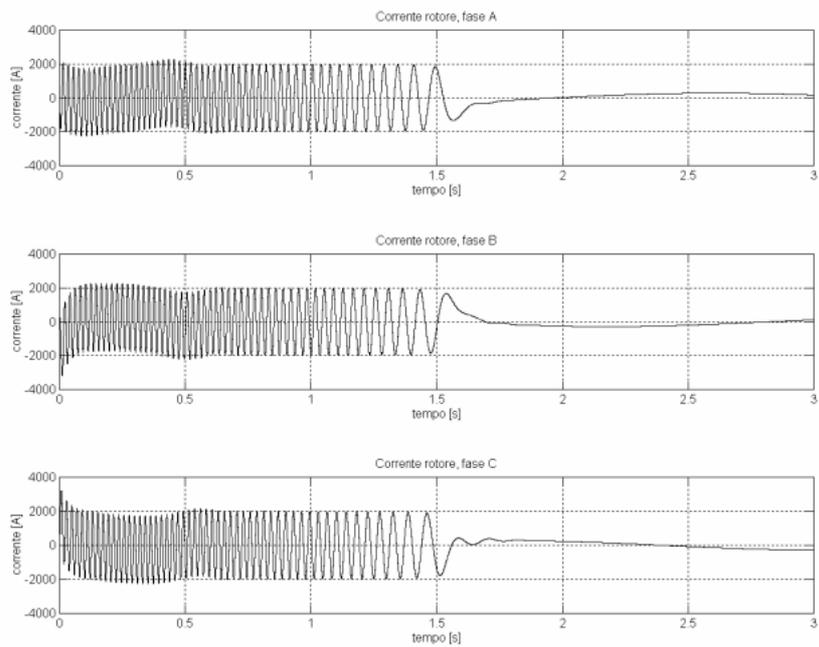


Figura 3: Correnti nelle fasi di rotore (valore istantaneo).

In Figura 4 e 5 si riportano gli andamenti della velocità angolare e della coppia fornita all'albero della macchina.

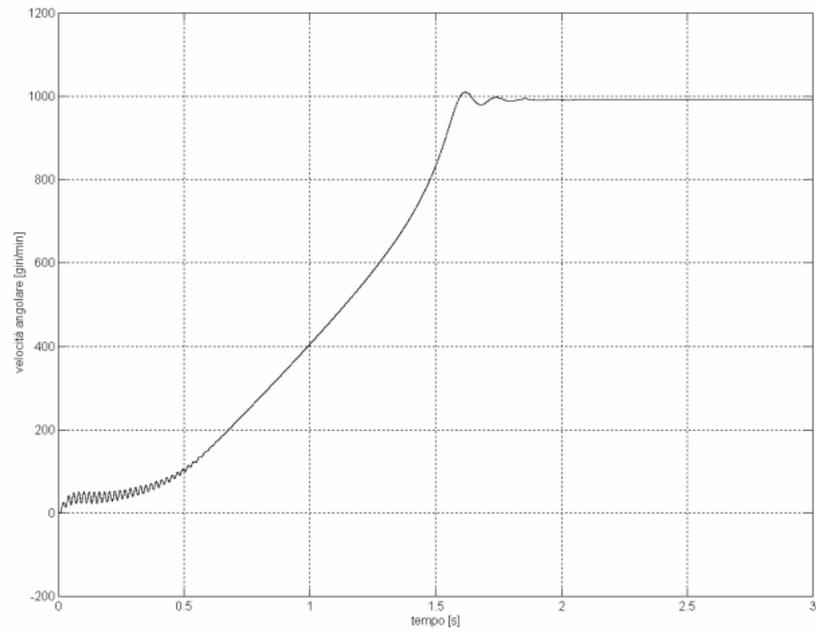


Figura 4: Velocità angolare.

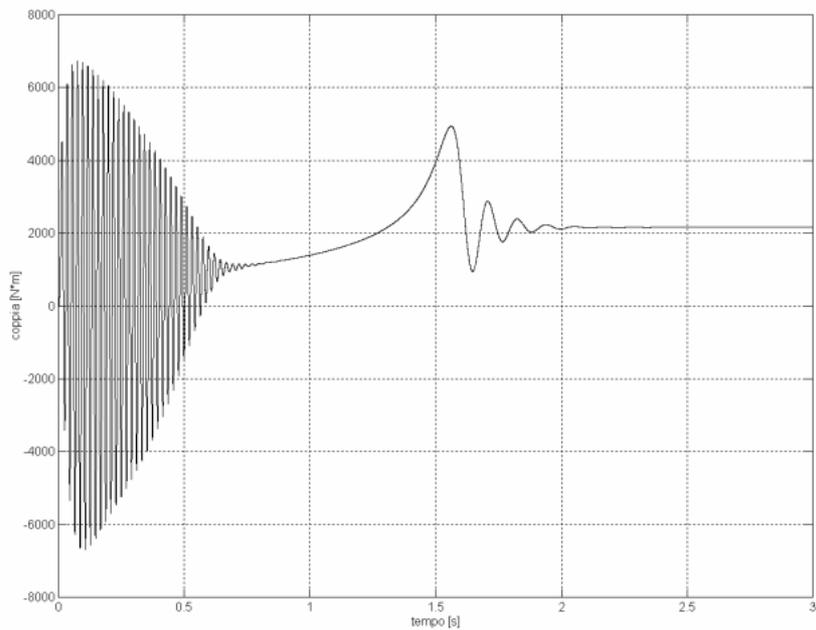


Figura 5: Coppia all'albero.

In Figura 6 si riportano nel piano velocità  $\times$  coppia gli andamenti della caratteristica di avviamento transitoria, statica e del carico; in Figura 7 si evidenzia la convergenza verso la soluzione statica.

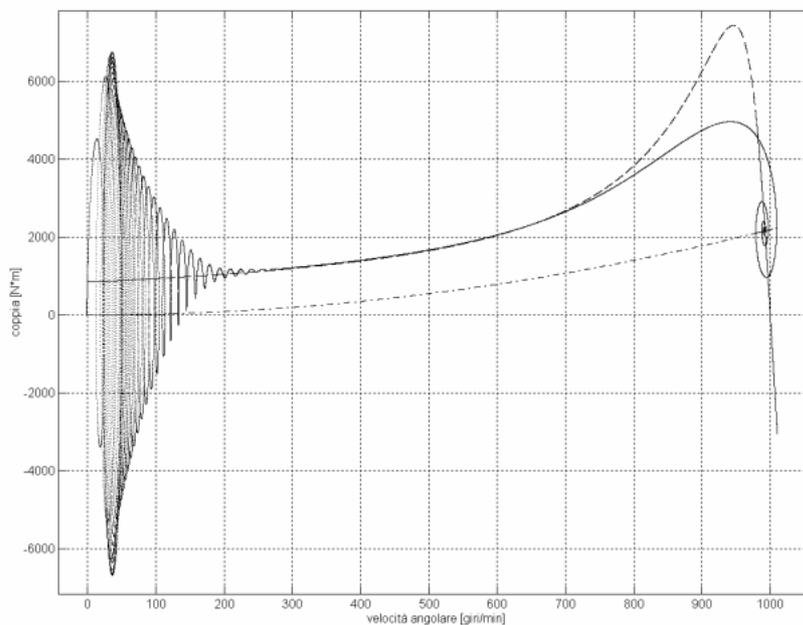


Figura 6: Caratteristica di avviamento.

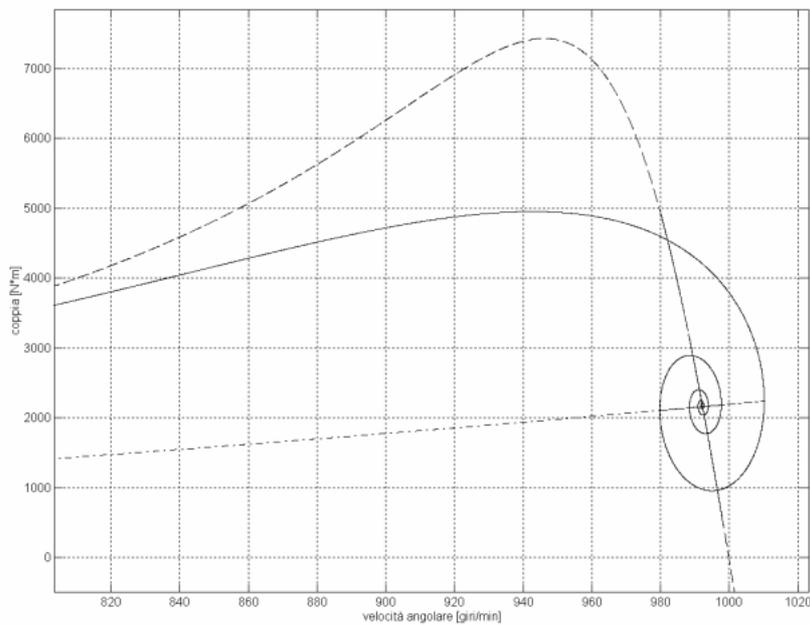


Figura 7: Caratteristica di avviamento: convergenza verso la soluzione statica.

Risulta evidente che la macchina raggiunge la velocità di regime dopo un transitorio di circa 1.5 s durante il quale assorbe dalla linea una corrente di valore efficace 2480 A. A regime la macchina eroga al carico una potenza di 224.4 KW fornendo una coppia di 2159.3 N·m a una velocità angolare di 992.2 giri/min, e assorbendo dalla linea una corrente di valore efficace 380 A. Le condizioni di regime sono individuate dal punto di intersezione tra la caratteristica statica e la caratteristica del carico.

## Avviamento stella triangolo.

La macchina viene collegata a stella e alimentata da un sistema trifase a 400 V; dopo un tempo di 10 s il collegamento commuta nella configurazione a triangolo. L'avviamento avviene sotto carico con una coppia resistente pari a quella agente durante l'avviamento diretto.

In Figura 8, 9 e 10 si riportano rispettivamente gli andamenti istantanei della corrente assorbita dalla linea, della corrente negli avvolgimenti di statore e della corrente negli avvolgimenti di rotore riportata allo statore.

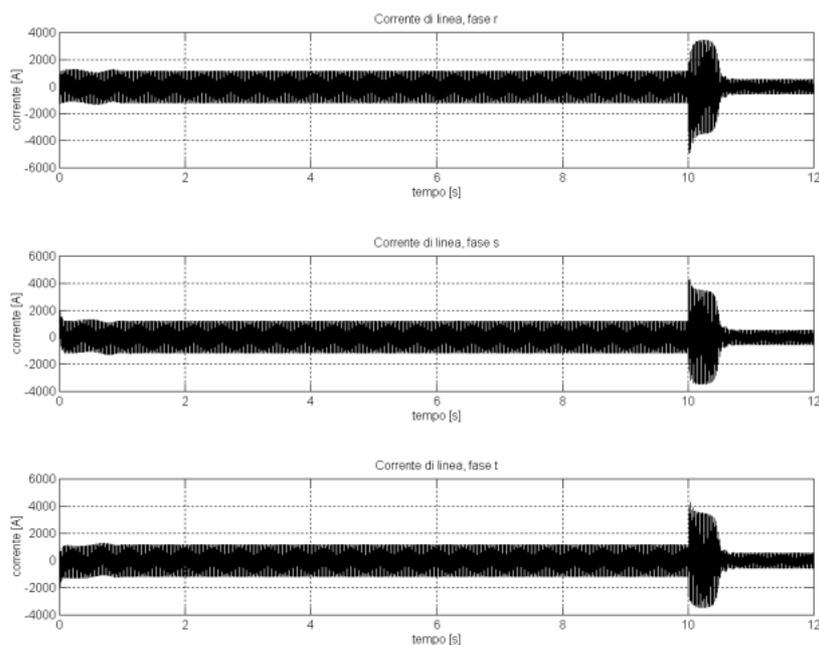


Figura 8: Correnti di linea (valore istantaneo).

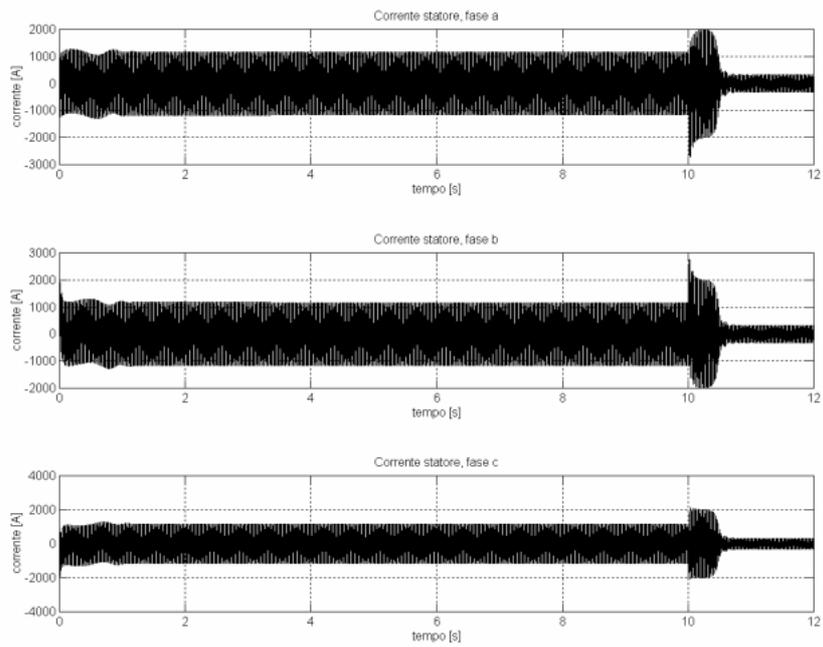


Figura 9: Correnti nelle fasi di statore (valore istantaneo).

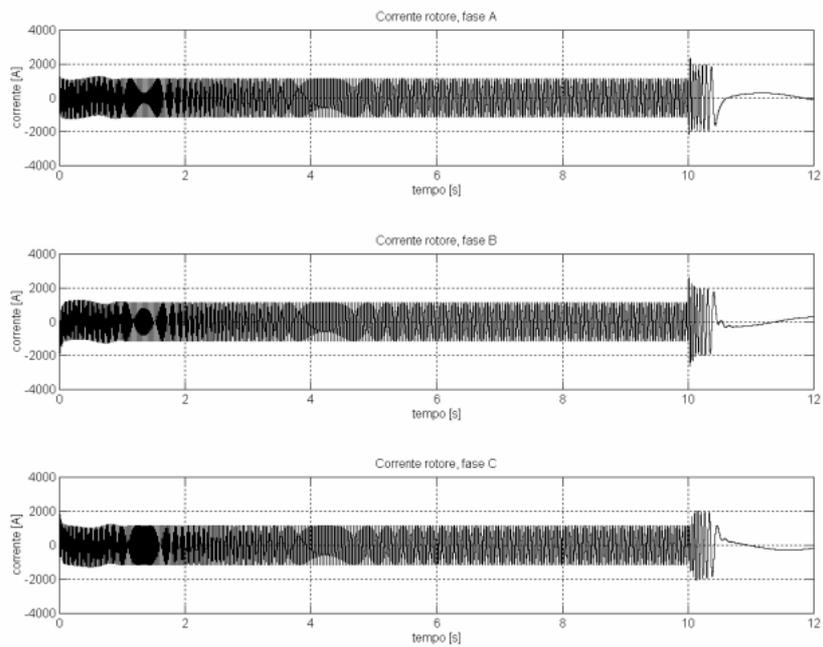


Figura 10: Correnti nelle fasi di rotore (valore istantaneo).

In Figura 11 e 12 si riportano gli andamenti della velocità angolare e della coppia fornita all'albero della macchina.

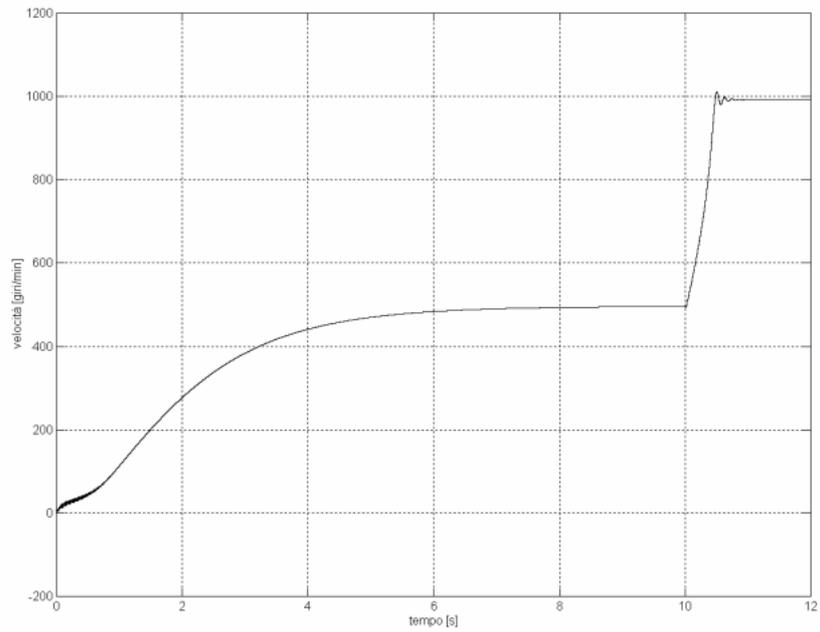


Figura 11: Velocità angolare.

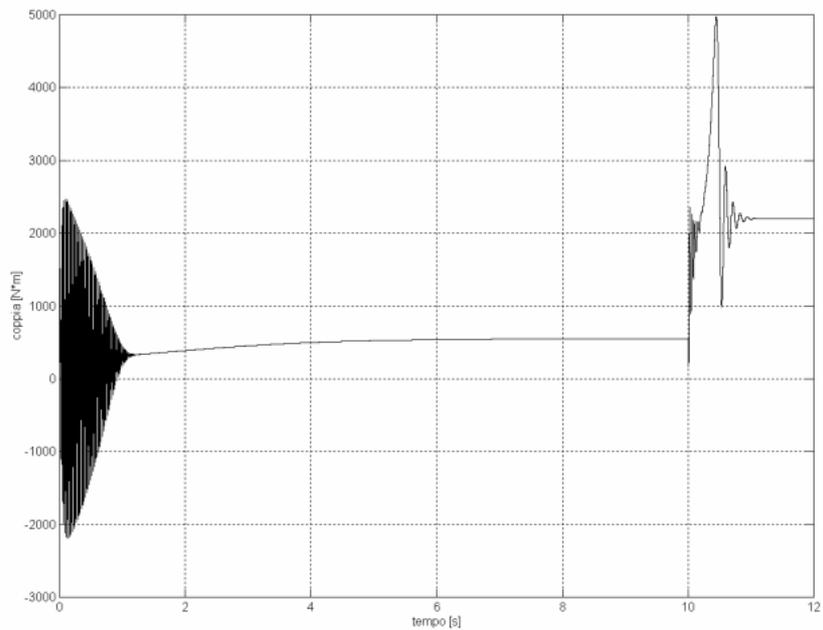


Figura 12: Coppia all'albero.

In Figura 13 si riportano nel piano velocità  $\times$  coppia gli andamenti della caratteristica di avviamento transitoria, statica e del carico; in Figura 14 si evidenzia la convergenza verso la soluzione statica.

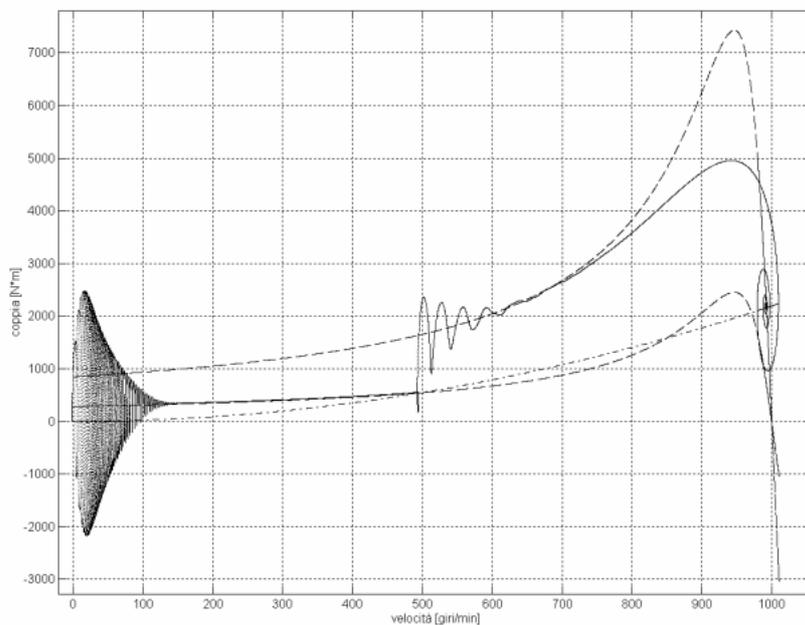


Figura 13: Caratteristica di avviamento o.

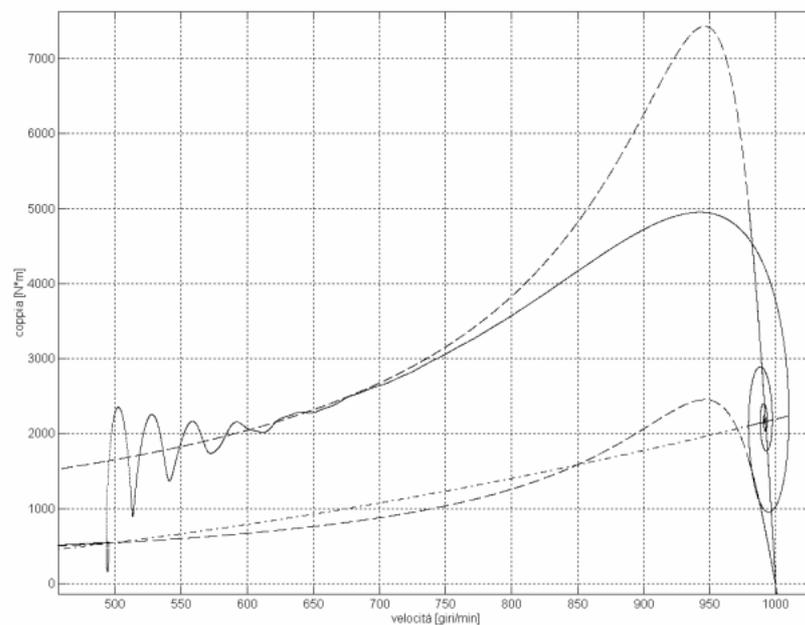


Figura 14: Caratteristica di avviamento: convergenza verso la soluzione statica.

La macchina raggiunge le stesse condizioni di regime raggiunte nell'avviamento diretto, tuttavia nella configurazione a stella tende a stallare alla velocità di 496.4 giri/min (corrispondente alla prima intersezione tra la caratteristica statica a tensione ridotta e la caratteristica del carico) assorbendo una corrente di valore efficace 826 A; il passaggio alla configurazione a triangolo avviene dunque lontano dalla velocità nominale, con una corrente che può danneggiare il sistema di commutazione. Inoltre dopo la commutazione e fino al raggiungimento della velocità corrispondente alla coppia massima le correnti assorbite sono della stessa entità di quelle assorbite durante l'avviamento diretto, con la conseguente perdita dei benefici derivanti dall'avviamento a tensione ridotta.

### Avviamento con carico ridotto.

La macchina viene collegata a stella e alimentata da un sistema trifase a 400 V; dopo un tempo di 6 s il collegamento commuta nella configurazione a triangolo. L'avviamento avviene a carico ridotto, con una coppia resistente data dalla relazione  $C = 0.001097 \cdot \omega^2$ .

In Figura 15, 16 e 17 si riportano rispettivamente gli andamenti istantanei della corrente assorbita dalla linea, della corrente negli avvolgimenti di statore e della corrente negli avvolgimenti di rotore riportata allo statore.

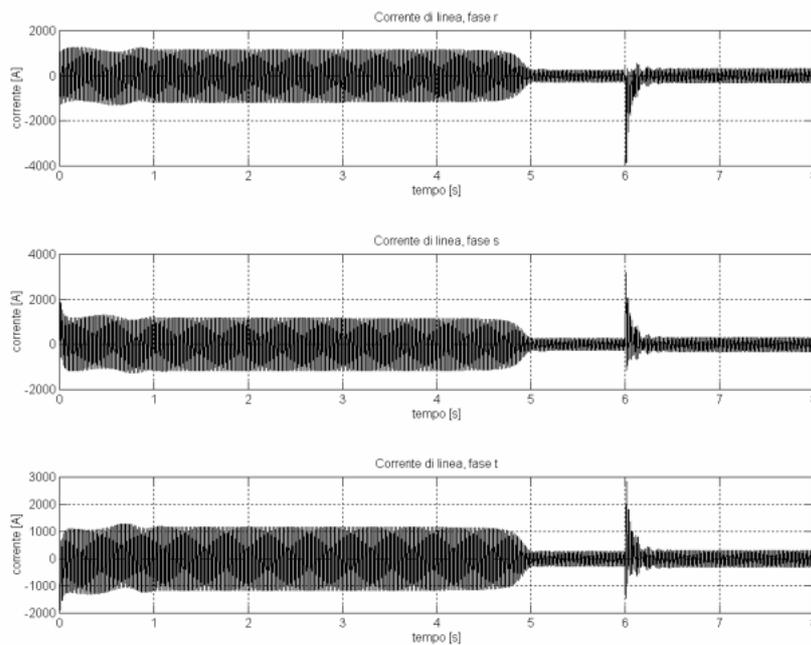


Figura 15: Correnti di linea (valore istantaneo).

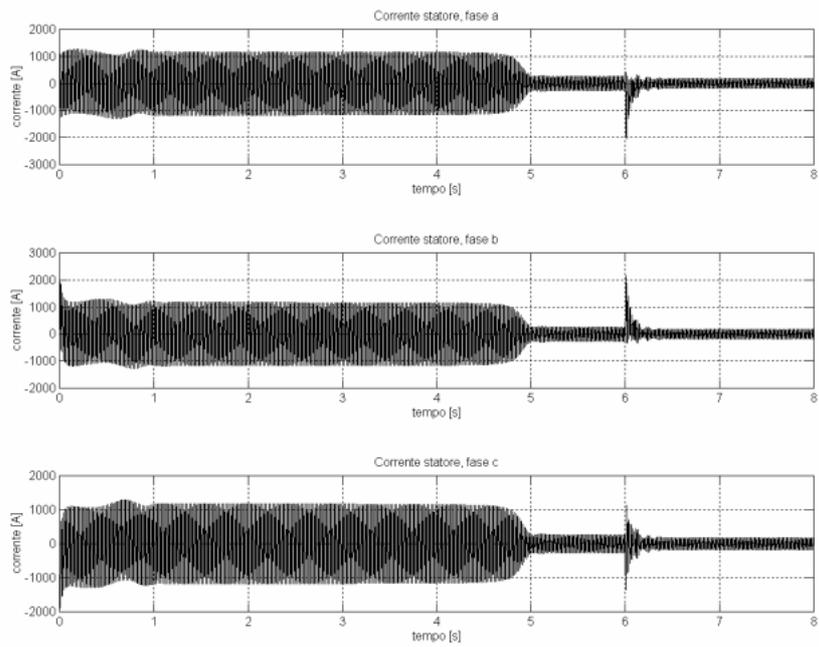


Figura 16: Correnti nelle fasi di statore (valore istantaneo).

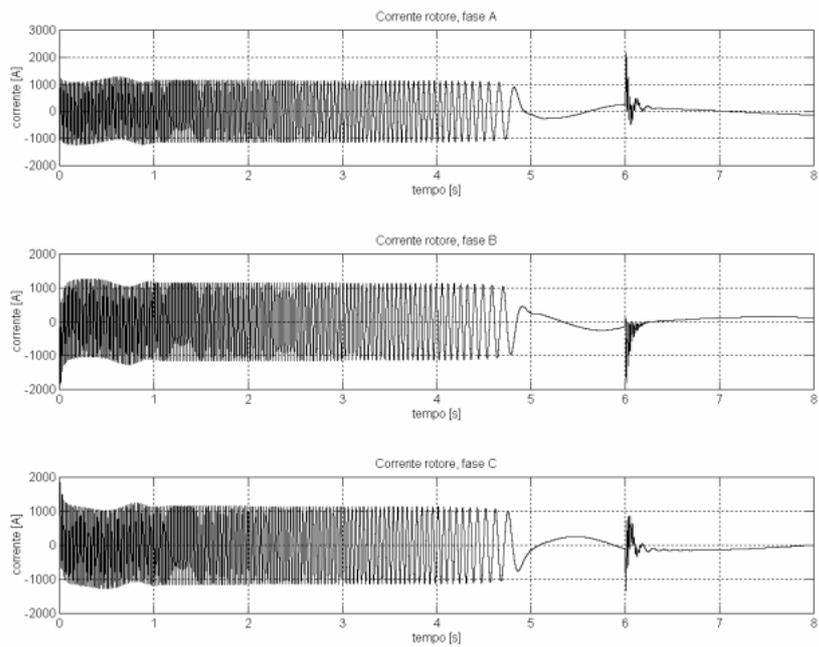


Figura 17: Correnti nelle fasi di rotore (valore istantaneo).

In Figura 18 e 19 si riportano gli andamenti della velocità angolare e della coppia fornita all'albero della macchina.

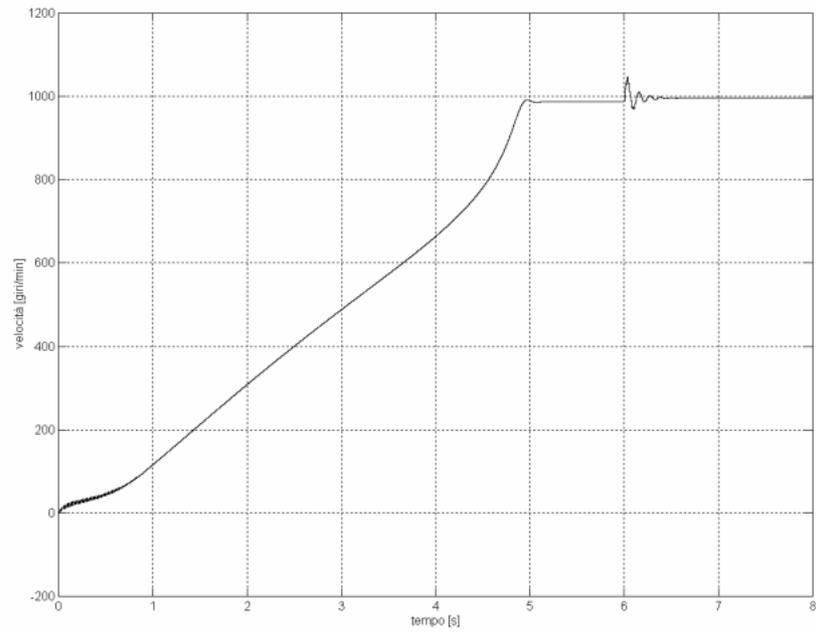


Figura 18: Velocità angolare.

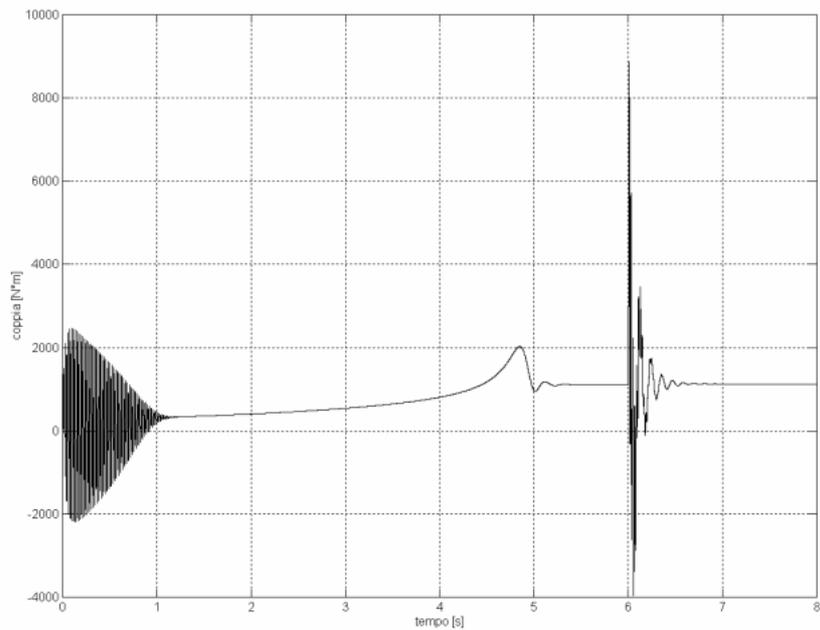


Figura 19: Coppia all'albero.

In Figura 20 si riportano nel piano velocità  $\times$  coppia gli andamenti della caratteristica di avviamento transitoria, statica e del carico; in Figura 21 si evidenzia la convergenza verso la soluzione statica.

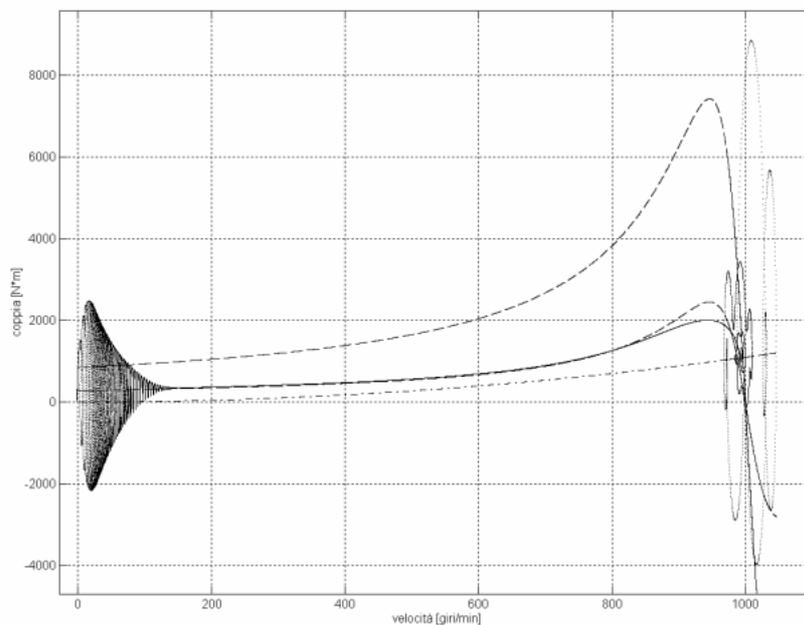


Figura 20: Caratteristica di avviamento.

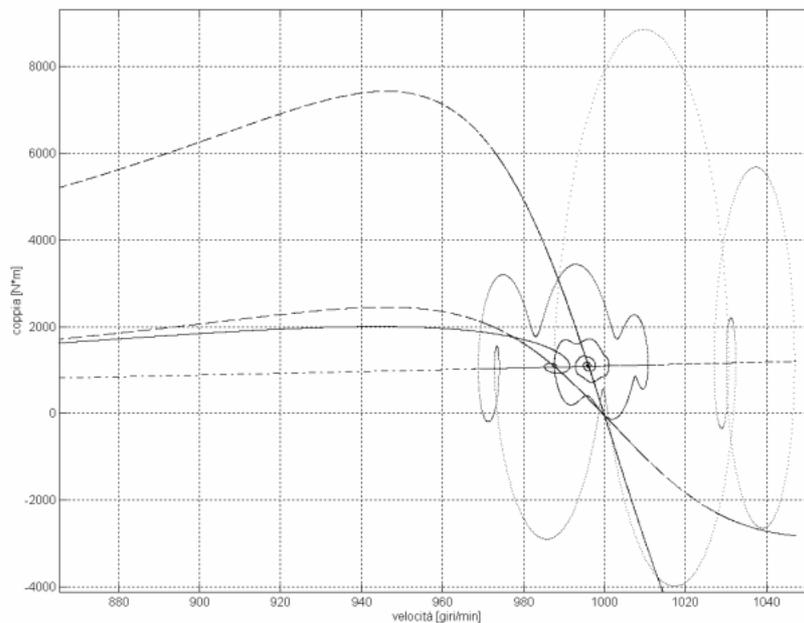


Figura 21: Caratteristica di avviamento: convergenza verso la soluzione statica.

La macchina avviata con carico ridotto raggiunge la velocità di regime dopo due transitori. Il primo, della durata di circa 5 secondi, porta la macchina ad una velocità prossima a quella di regime con l'assorbimento di una corrente di linea di valore efficace 826 A. Il secondo, della durata di circa 200 ms, sposta il punto di lavoro dalla caratteristica a tensione ridotta a quella a tensione piena.

A regime la macchina eroga al carico una potenza di 113.5 KW fornendo una coppia di 1088.1 N·m a una velocità angolare di 996.1 giri/min; la macchina si porta a lavorare a fattore di potenza 0.81 e assorbe dalla linea una corrente di valore efficace 221 A.

## BIBLIOGRAFIA E SOFTWARE

- [1] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley Jr., A. Kusko, *Macchine elettriche*, Edizioni Franco Angeli, 1978.
- [2] G. Petrecca, E. Bassi, F. Benzi, *La teoria unificata delle macchine elettriche rotanti*, Ed. Clup, 1983.
- [3] P. Moroni, *AV20 - Software di simulazione della macchina asincrona trifase*, 2005.
- [4] P. Moroni, *ST20 - Software simulazione macchina asincrona (avviamento stella triangolo)*, 2005.

————— FINE DOCUMENTO —————