

# Diagramma di funzionamento Macchine elettriche

Fonte immagini: dle

Mentre un diagramma coppia-potenza in funzione del numero di giri per i motori a combustione è generalmente noto e di facile interpretazione, quello delle macchine elettriche rappresenta una sfida più complessa per gli esperti del settore automobilistico. Ciò è dovuto principalmente alla minore familiarità con i meccanismi delle macchine elettriche e alla maggiore difficoltà nel comprendere il comportamento della corrente alternata trifase.

## Limiti

Anche le macchine elettriche hanno limiti meccanici e termici che non devono essere superati, se non per brevi periodi, per evitare danni permanenti. Dal punto di vista meccanico, il limite principale riguarda la velocità di rotazione del rotore: superando la velocità massima, il rotore rischia di esplodere. Nelle macchine a magneti permanenti, i magneti sono solitamente integrati nel rotore, richiedendo lamelle in ferro punzonate con spazi per i magneti. Queste lamelle devono essere progettate per resistere alle elevate forze centrifughe. Dal punto di vista termico, il problema principale è il calore elettrico nelle teste degli avvolgimenti dello statore, dove i conduttori sono molto vicini o saldati, come negli avvolgimenti hairpin. Una maggiore resistenza elettrica riduce la tensione e genera ulteriore calore. I sensori di temperatura installati in questi punti avvertono l'elettronica di controllo in caso di surriscaldamento, così da ridurre la tensione, diminuendo corrente e coppia. Anche i cuscinetti possono subire danni a causa di temperature troppo elevate. Per questi motivi, le macchine elettriche vengono monitorate con grande precisione.

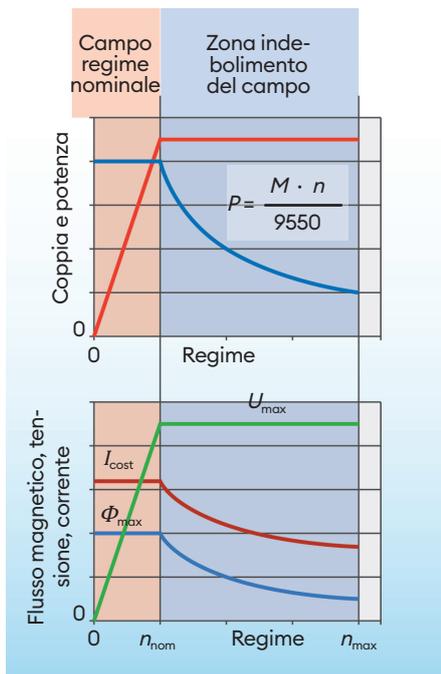


Fig. 1: diagramma ideale della potenza/coppia delle macchine elettriche trifase con le grandezze fisiche fornite.

Tuttavia, le macchine possono resistere a sovraccarichi per brevi periodi e i limiti elettrici possono essere superati. In questi casi, il motore può erogare da 1,5 a 2,5 volte più coppia (come mostrato nella figura 2). Il vantaggio sta nel fatto che il motore può essere costruito più piccolo e leggero, dovendo erogare la coppia di sovraccarico solo in momenti specifici.

## Funzionamento

Alle tre bobine dello statore vengono applicate o prelevate tensione e corrente (cioè potenza elettrica). Al contrario, nel rotore della macchina elettrica viene applicata o prelevata potenza meccanica (cioè coppia e regime di rotazione). Tra lo statore e il rotore c'è un traferro in cui avviene la conversione dell'energia elettrica in meccanica (o viceversa).

## Campo di regime nominale

Se il rotore è fermo e una corrente scorre attraverso gli avvolgimenti dello statore, si parla di spunto. Influenzando la resistenza e la tensione da parte del progettista, si può determinare la corrente che provoca un flusso magnetico  $\Phi$  nello statore e quindi la coppia nel rotore. Per mantenere costanti la corrente, il flusso magnetico e la coppia all'aumentare della velocità, è necessario aumentare la tensione.

La resistenza ohmica dipende dal materiale e dalla sezione del conduttore e rimane costante. Durante l'inserimento e lo spegnimento del campo magnetico nello statore, negli avvolgimenti dello stesso si genera una tensione di autoinduzione. Questa tensione di autoinduzione è opposta alla tensione applicata e riduce quindi la tensione effettiva e, tramite la resistenza ohmica costante, anche la corrente. Per mantenere costante la corrente, nonostante l'aumento del regime di rotazione, la tensione applicata viene aumentata fino a una tensione di progetto ben definita (regime di

rotazione nominale). Nel regime di sovraccarico, è possibile aumentare ulteriormente questa tensione per brevi periodi. Tuttavia, fino al regime di rotazione nominale, la tensione cresce in modo proporzionale all'aumento della velocità del motore, mantenendo così un equilibrio ottimale delle prestazioni.

## Zona indebolimento del campo

Dopo aver superato la zona del regime di rotazione nominale (come illustrato nella figura 2), la tensione non viene più incrementata, ma la velocità del motore continua ad aumentare. Questo porta a un incremento dell'autoinduzione. Di conseguenza, la tensione effettiva applicata agli avvolgimenti dello statore si riduce, determinando una diminuzione della corrente, del flusso magnetico e, di conseguenza, della coppia motrice. Quando la coppia diminuisce proporzionalmente rispetto all'aumento del regime di rotazione, la potenza totale rimane costante. Questo equilibrio permette al motore di operare in modo efficiente anche oltre il regime nominale.

## Diagramma a quattro quadranti

Se gli assi x (ascissa) e y (ordinata) di un diagramma vengono estesi oltre la linea dello zero, si aprono tre nuovi campi, creando così quattro quadranti distinti. Questi quadranti sono numerati in senso antiorario, con il primo posizionato in alto a destra. Per le macchine elettriche, la presenza di questi quattro quadranti indica che il motore può operare sia in modalità motrice, sia in avanti che all'indietro, e può anche funzionare come generatore in entrambe le direzioni. Il diagramma mostrato nella fig. 2 è idealizzato, quindi tutte le curve risultano perfettamente coincidenti. Tuttavia, nella realtà, a causa delle specifiche di progettazione e delle limitazioni pratiche della macchina, questa coincidenza è difficilmente raggiungibile.

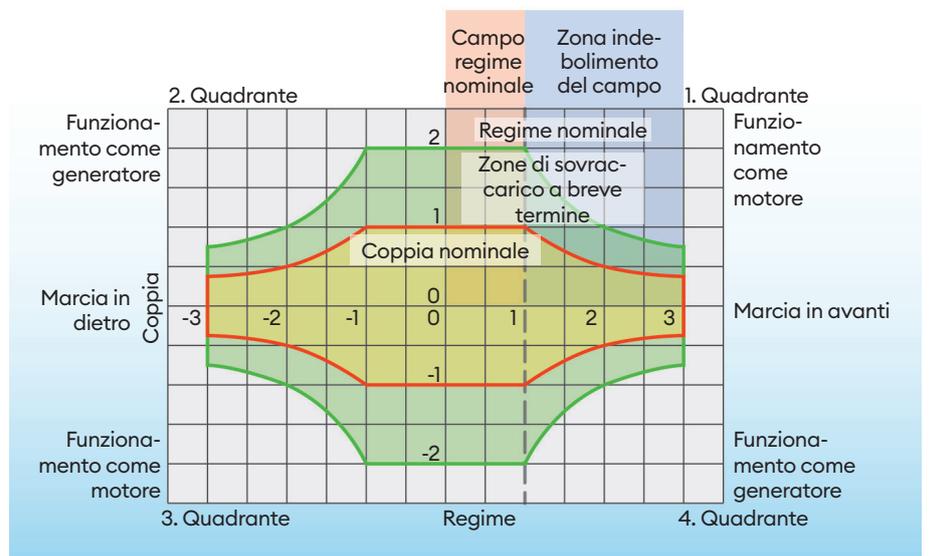


Fig. 2: diagramma potenza/coppia ideale dei motori elettrici in corrente alternata nei quattro quadranti del diagramma. I profili di coppia, come pure le zone di sovraccarico sono identici in tutti i quadranti.

Partner: © A&W Verlag AG / SVBA-ASETA-ASITA / AGVS/UPSA / Andreas Lerch

**DERENDINGER**

Sponsor: