

# Recupero di energia 1

Fonte immagini: dle

Ogni veicolo in movimento immagazzina energia cinetica. La quantità di questa energia dipende dalla massa del veicolo e dalla sua velocità: la massa influisce in modo lineare, mentre la velocità ha un effetto quadratico. Ciò significa che se un veicolo viaggia a 50 km/h, accumula una certa quantità di energia cinetica; a 100 km/h, invece, non ne immagazzina il doppio, ma quattro volte tanto. Durante la frenata, questa energia viene trasformata in calore attraverso l'attrito tra le pastiglie e i dischi dei freni. In caso di incidente, avviene la stessa cosa, ma attraverso l'attrito molecolare nelle lamiere e nelle strutture che si deformano. In un veicolo ibrido o elettrico, durante la decelerazione una parte di energia cinetica può essere riconvertita in energia elettrica dal motore e quindi immagazzinata nella batteria.

### Energia di frenata

Poiché nei veicoli ibridi ed elettrici le E-macchine possono funzionare sia come motori che come generatori, durante la frenata l'energia può essere direttamente riconvertita in elettricità dal motore e trasferita alla batteria tramite l'elettronica di potenza. Tuttavia, è necessario un microprocessore aggiuntivo che regoli esattamente quanta energia frenante debba essere trasformata in elettricità e quanta in calore. La fig. 1 mostra le energie convertibili elettricamente. Le aree blu devono essere convertite convenzionalmente utilizzando i freni ad attrito. Queste aree diventano più grandi o più piccole a seconda delle prestazioni del motore elettrico. Nell'area 3, la potenza massima del motore elettrico rappresenta il limite di recupero. Se dovesse convertire più energia di frenata, si surriscalderebbe. Nell'area 2, la macchina gestisce l'intera conversione di energia. In questo intervallo essa recupera con la migliore efficienza. Nell'area 1, invece, il regime di rotazione è inferiore, e quindi sia l'induzione che la capacità di recupero si riducono. Non si tratta solo del motore di trazione: la batteria deve essere in grado di assorbire e immagazzinare l'energia elettrica fornita in ogni momento.

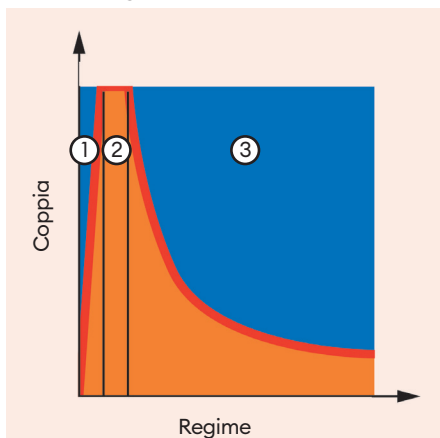


Figura 1: l'energia di frenata da dissipare è suddivisa tra il motore elettrico (arancione) e i freni ad attrito (blu).

Ciò significa che il recupero non è una sfida solo per il motore elettrico, ma per l'intero sistema di trazione. L'elettronica di controllo deve conoscere esattamente la capacità della batteria e la potenza che la E-macchina può convertire. Il resto dell'energia di frenata deve essere assorbita dai freni classici e convertita in calore.

### Recupero con il PSM

Per la frenata rigenerativa, la macchina sincrona a magneti permanenti (PSM) deve essere comandata. Naturalmente, sarebbe anche possibile non alimentare gli avvolgimenti di eccitazione. In questo modo, la rotazione del rotore e il flusso magnetico dei magneti permanenti genererebbero un'induzione, caricando la batteria e rallentando il veicolo. La PSM, in questa fase di funzionamento (non regolata), frenerà con la massima potenza, rendendo impossibile una frenata parziale.

Quando il motore viene azionato, scorre una grande corrente di eccitazione che genera il campo rotante nello statore. La frequenza del campo rotante deve corrispondere esattamente alla velocità del motore sincrono. Tuttavia, un angolo di carico positivo (fig. 3) può essere generato grazie ai sensori di posizione del rotore. Maggiore è l'angolo di carico, maggiori sono la coppia e l'accelerazione. Quando il veicolo è in fase di arresto, il campo rotante deve essere mantenuto in modo che i magneti permanenti non creino un'induzione di frenatura.

### Angolo di carico negativo

Se l'angolo di carico viene portato nel settore negativo, il rotore anticipa il campo rotante e l'induzione frenante diventa voluta (fig. 3). A un certo punto, l'induzione frenante supera la tensione di eccitazione, che viene disattivata, e la corrente di eccitazione viene deviata dalla corrente di induzione. La corrente di induzione in eccesso viene indirizzata verso la batteria tramite il convertitore DC/DC, che la carica. Nel diagramma a quattro quadranti (fig. 2), viene tracciata una curva che va dall'angolo in alto a

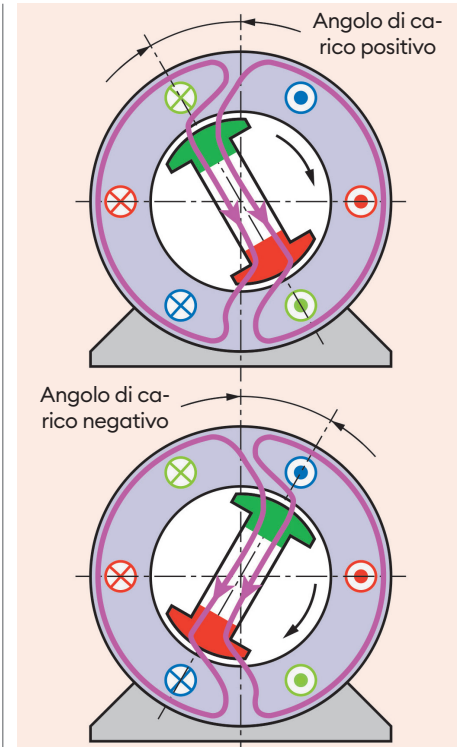


Fig. 3: l'angolo di carico si crea quando il campo rotante anticipa per accelerare, oppure quando il rotore viene frenato per rallentare. In alto: accelerazione, in basso: frenata.

destra (1° quadrante - funzionamento motore) verso il basso (4° quadrante - funzionamento generatore). La linea, a seconda della decelerazione, sarà quasi verticale o piuttosto inclinata. Più inclinata è la linea, maggiore è l'angolo di carico negativo impostato dall'elettronica, e di conseguenza, maggiore sarà il momento di frenata.

Secondo l'immagine 1, la velocità del motore elettrico diventa improvvisamente così bassa che un ulteriore recupero non è più sensato, e quindi il campo rotante viene regolato indietro (b nella fig. 2). Nella fase finale (c nella fig. 2), il campo rotante è regolato in modo tale che l'induzione frenante diventa nulla. Grazie ai potenti magneti permanenti, si genera un'induzione con ogni movimento del motore. Pertanto, anche a regime di folle, il motore deve essere azionato con grande precisione.

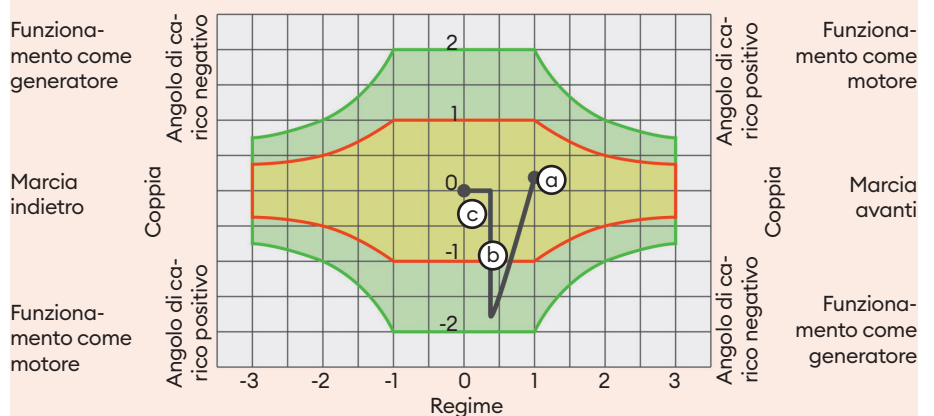


Fig. 2: diagramma a quattro quadranti con la curva di frenatura. a) La frenatura inizia - la decelerazione viene applicata fino a un angolo di carico negativo massimo (= coppia di frenatura) - b) La velocità del motore è troppo bassa per un recupero efficace - c) Il campo rotante è impostato al minimo.