

LOCOMOTORI ELETTRICI FERROVIARI

1. I locomotori reostatici

Il motore a corrente continua di un treno non è poi così diverso, come principio di funzionamento, dai piccoli motori montati sui treni elettrici in miniatura: è formato da un rotore, dotato di avvolgimenti, che prende corrente attraverso spazzole striscianti su un collettore. Tuttavia, le grandi potenze in gioco impongono una sostanziale differenza: tutti i "transitori", cioè le variazioni di movimento, come la partenza e l'accelerazione del treno, devono essere gestiti con idonee apparecchiature, in modo da limitare la corrente entro valori accettabili. Nelle macchine reostatiche, cioè in tutti i mezzi FS a corrente continua fino alle E.656, questa funzione è svolta dal reostato, che permette di ridurre temporaneamente la tensione ai capi dei motori, dissipando l'energia nei suoi pacchi di resistenze.

È noto che la velocità di rotazione di un motore è direttamente proporzionale alla tensione e inversamente al flusso magnetico.

Dato che su un locomotore ci sono più motori, il modo più semplice per impostare differenti velocità è quello di cambiare il modo con cui i motori sono collegati fra loro: se si collegano i motori in serie, ciascuno disporrà di una tensione pari alla tensione totale divisa per il numero di motori; viceversa se li si collega in parallelo, tutti disporranno della tensione totale e gireranno quindi a velocità maggiore. Collegando i motori a gruppi, si riescono a ottenere in genere fino a quattro combinazioni, chiamate tradizionalmente serie, serie-parallelo, parallelo e superparallelo, come mostrato nella figura 1.

A ciascuna combinazione corrisponde una velocità di regime, o, come si usa dire, una velocità economica, funzione anche dello sforzo richiesto, cioè della massa del treno.

La tensione ai capi di ciascun motore è pari alla tensione di linea (3000 V) divisa per il numero di motori nel ramo. Quindi le combinazioni di serie comportano una tensione minore e dunque una minore velocità di rotazione.

La corrente massima in ciascun ramo è limitata da appositi relé di massima corrente, tarati ai valori indicati (in superparallelo il

limite di 450 A per ramo è dato dal relè di massima corrente generale tarato a 1800 A).

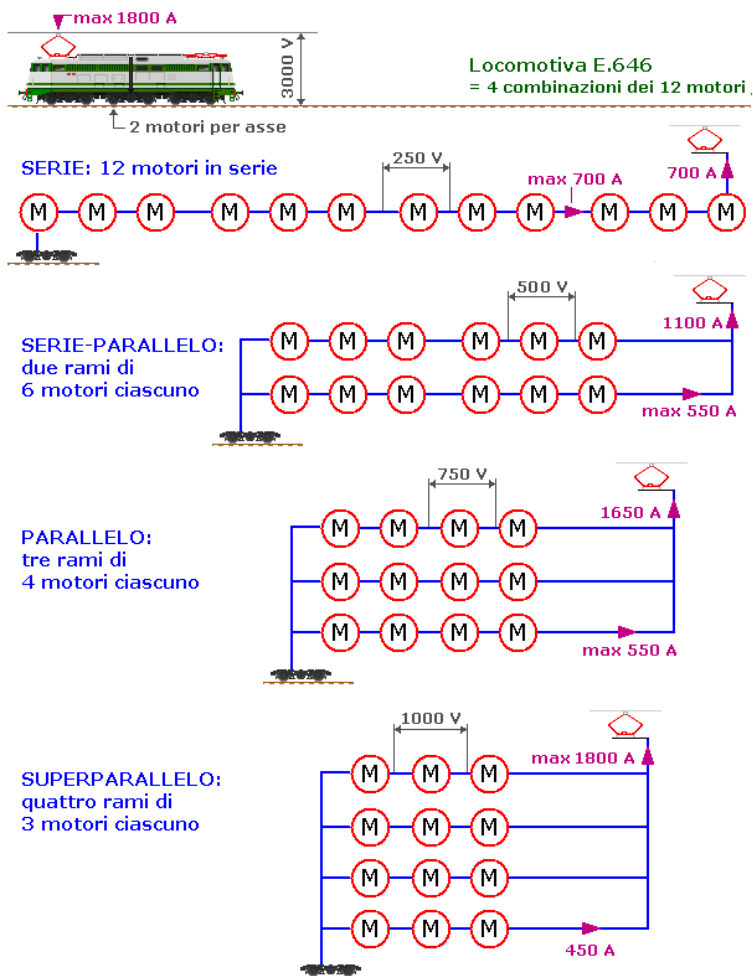


Figura 1 – Combinazione dei motori

La corrente massima assorbita dalla linea (cioè captata dal pantografo) è data dalla somma delle correnti di ciascun ramo. Di

conseguenza le combinazioni di parallelo comportano un assorbimento complessivo maggiore, e infatti corrispondono alle velocità maggiori, in cui la locomotiva sta sviluppando più potenza.

2. Curve caratteristiche del locomotore E.656

Ad ogni combinazione dei motori corrisponde una **curva caratteristica**, cioè un legame tra la velocità del locomotore e lo sforzo di trazione esercitato (figura 2).

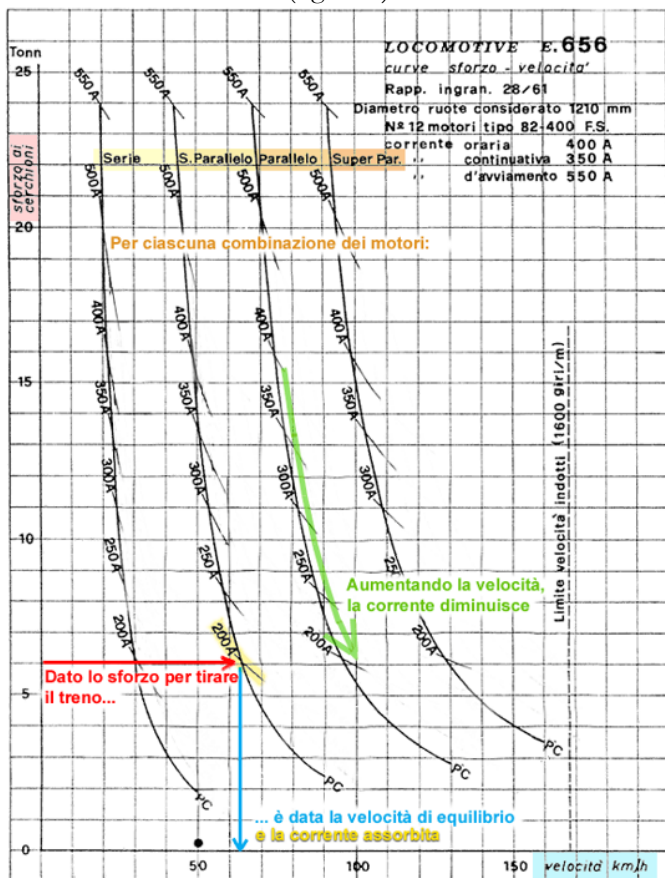


Figura 2 - Curve caratteristiche di una locomotiva E.656

Finché lo sforzo è maggiore della resistenza opposta dal treno, il locomotore accelera e di conseguenza ci si sposta lungo la curva caratteristica verso destra (senso della freccia verde); la velocità aumenta e la corrente diminuisce, come si legge dalle curve che "tagliano" la caratteristica: 400 A, 350, 300 e così via.

Quando lo sforzo eguaglia la resistenza, la locomotiva marcia a velocità costante, cioè alla **velocità economica** corrispondente a quella data combinazione dei motori. Ad esempio nella combinazione serie-parallelo, se per tirare il treno sono necessarie 6 t (riga rossa), il locomotore si stabilizza alla velocità di circa 63 km/h (riga azzurra) a cui corrisponde un assorbimento di 200 A in ciascun motore (pari a 400 A captati dal pantografo, come si vede dalla figura 4).

Per ampliare il numero di velocità economiche, si ricorre all'indebolimento di campo o shunting: alcune spire dell'avvolgimento che genera il campo magnetico vengono cortocircuitate, cioè escluse. Il flusso magnetico diminuisce e quindi la velocità di regime aumenta, a parità di tensione applicata, cioè a parità di combinazione dei motori. Naturalmente, dal momento che per andare più veloce occorre più energia, ciò corrisponde a un aumento della corrente assorbita.

Il numero totale di velocità economiche è dato dal prodotto delle combinazioni per i gradini di indebolimento di campo (che in genere variano tra uno e cinque) più la condizione a pieno campo. Ad esempio la E.636 ha tre combinazioni e un gradino di indebolimento (più il pieno campo), cioè 6 velocità economiche, la E.444 ha due combinazioni e cinque gradini oltre al pieno campo, cioè 12 velocità economiche.

3. Avviamento di un locomotore reostatico

In partenza, non è possibile applicare immediatamente la piena tensione ai motori, sia pure nella combinazione in serie.

Infatti il motore a corrente continua ha la caratteristica di assorbire correnti che diminuiscono con l'aumentare della velocità: a macchina ancora ferma, il motore è assimilabile a un cortocircuito e ciò provocherebbe l'assorbimento di una corrente

altissima. È qui che entra in scena il reostato, cioè un insieme di resistenze interposte tra i motori e la linea di alimentazione, che saranno progressivamente escluse man mano che la velocità aumenta.

L'avviamento di un locomotore reostatico consiste pertanto nell'inserire completamente il reostato e posizionare i motori in configurazione "serie": la locomotiva assorbe una corrente elevata, ma limitata dal reostato (che dissipa in calore l'energia in eccesso); man mano che la locomotiva prende velocità, la corrente comincia a scendere e il reostato viene quindi gradualmente escluso, cioè la sua resistenza viene via via ridotta; ad ogni esclusione la corrente risale un poco, per poi riprendere a scendere, mentre la locomotiva accelera.

Nelle locomotive più vecchie - quelle con il maniglione di comando, come l'E.636 - l'esclusione del reostato è fatta a mano dal macchinista; in quelle più moderne, come E.444 ed E.656, a ciò provvede un sistema automatico, che avanza di una posizione ogni volta che la corrente assorbita scende sotto un prefissato valore.

Una volta escluso tutto il reostato, si raggiunge una condizione di equilibrio: infatti aumentando la velocità, diminuisce la corrente assorbita e quindi la forza di trazione esercitata dalla locomotiva, fino a che la marcia si stabilizza: si è raggiunta la prima velocità economica, che sarà più bassa per un treno pesante e in salita (cioè che richiede una maggiore forza di trazione) e più alta per treno leggero e in pianura.

A questo punto si può procedere con i vari gradini di indebolimento di campo, guadagnando velocità; ottenuto il massimo indebolimento, si può passare alla combinazione successiva: si ritorna a pieno campo, si reinserisce tutto il reostato e la procedura riprende, tenendo presente che più la velocità attuale è prossima a quella di equilibrio della combinazione successiva, meno tempo è necessario per escludere tutto il reostato. Va infatti detto che, dato che il reostato dissipa energia in calore, il suo uso deve essere assolutamente limitato al minor tempo possibile, pena il danneggiamento e la messa fuori servizio del locomotore: questo è l'elemento più delicato dei locomotori

elettrici tradizionali, però pienamente compensato dalla grande semplicità costruttiva.

È noto, infatti, che l'E.636, interamente basato su tale impostazione, ha mantenuto per lungo tempo il primato di locomotore più robusto, con un indice di guasto di appena 6-7 richieste di riserva (cioè richieste di una macchina sostitutiva) per milione di km percorsi, contro le oltre 12 delle macchine delle generazioni successive.

4. L'elettronica di potenza

A metà degli anni Settanta del secolo scorso, l'evoluzione nel campo dei componenti elettronici ha permesso di superare i due limiti intrinseci delle macchine tradizionali: il ridotto numero di velocità economiche e la presenza del reostato.

Con tre esemplari di E.444 (056, 057 e poi 005) si è sperimentato un sistema di regolazione del tutto diverso, che è diventato poi quello di serie a partire dalle E.633 intorno al 1979.

Questo nuovo sistema utilizza un frazionatore o chopper, cioè un componente elettronico che permette di dare e togliere la tensione periodicamente secondo una certa frequenza, a sua volta impostabile a piacere: l'effetto di una tensione piena erogata a frequenza variabile è quello di applicare ai motori una tensione "efficace" (cioè media), anch'essa variabile con continuità.

È proprio variando questa tensione media che si regola la velocità del motore, rendendo superflui non solo il reostato ma anche le varie combinazioni, tanto che i motori sono permanentemente collegati in parallelo fra loro, e la loro tensione di funzionamento può essere qualunque, e non più soltanto un sottomultiplo della tensione di linea.

La messa a punto delle prime macchine, agli inizi degli anni 80 del secolo scorso, è stata lunga e laboriosa, ma alla fine hanno prevalso i grandi benefici dell'elettronica: una minore soggezione alle fluttuazioni nella tensione di linea, la possibilità di impostare e mantenere automaticamente una qualunque velocità e, soprattutto, una maggiore capacità di traino. L'avviamento, infatti, avviene a corrente costante, e quindi a sforzo costante, senza

strappi, cosa che era impossibile da ottenere con il tradizionale reostato, la cui esclusione può solo avvenire a gradini.

In questo modo, per la prima volta, le prestazioni delle locomotive a corrente continua sono diventate paragonabili a quelle delle macchine estere a corrente alternata, in cui è sempre stato più facile ottenere la regolazione della tensione, attraverso un normale trasformatore.