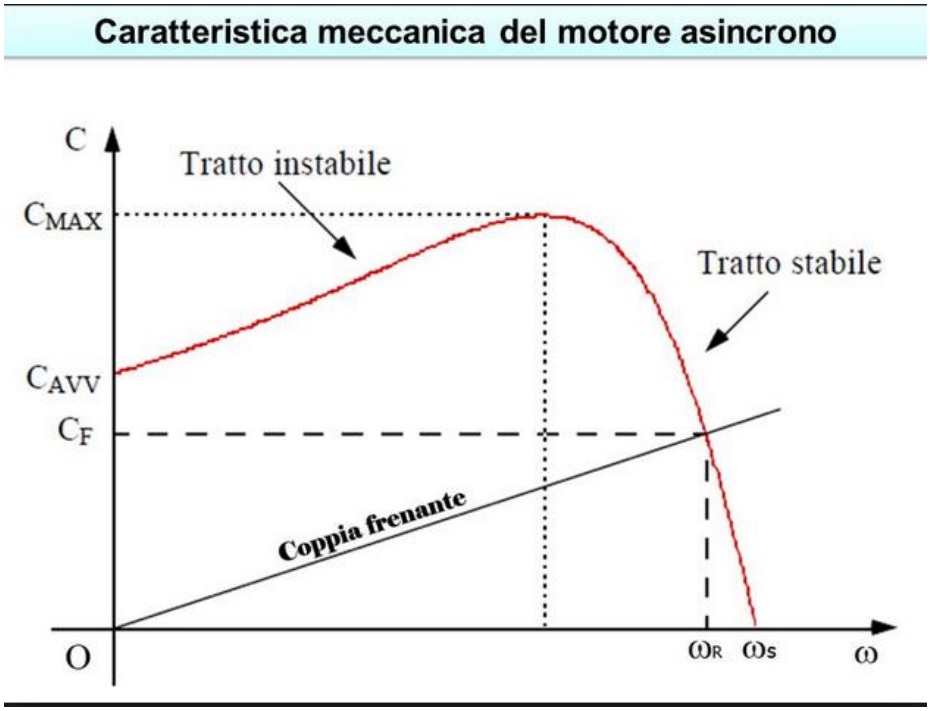
ISTRUZIONI PER LA CONDOTTA DI UNA LOCOMOTIVA TRIFASE IN OPEN RAILS

Cenni storici

Le locomotive trifase nate tra la fine dell'ottocento e inizio novecento erano molto diverse nelle caratteristiche di funzionamento rispetto alle locomotive attuali.
I vantaggi degli azionamenti odierni sono dovuti al controllo elettronico in tensione e frequenza ed alla relativa leggerezza della struttura e semplicità costruttiva del motore trifase con rotore a gabbia, rispetto ad altri tipi di motori elettrici di pari potenza.
E' noto che nel motore asincrono trifase la velocità di rotazione risulta direttamente proporzionale alla frequenza del sistema trifase di alimentazione; adottare motori a frequenza industriale (50Hz) non era al tempo un cammino praticabile in quanto la velocità di rotazione sarebbe stata troppo elevata ed in considerazione che all'epoca la metallurgia non aveva ancora sviluppato pienamente quei processi di cementazione che avrebbero consentito di costruire appropriati riduttori di giri.
Fu quindi necessario, per ridurre la velocità di rotazione dei motori, adottare una frequenza pari ad 1/3 di quella industriale, ovvero 16 2/3 Hz, che avrebbe richiesto sottostazioni di conversione dedicate per l'alimentazione.
Inoltre, essendo la velocità di rotazione inversamente proporzionale al numero di poli, si rese necessario incrementare il numero di coppie polari, costruendo grandi motori con rotore avvolto.
La regolazione della velocità si ottenne tramite commutatori che variavano il numero dei poli del motore durante la marcia.
Normalmente si poteva ottenere sino a quattro velocità fisse; le correnti rotoriche all'avviamento e durante le transizioni erano limitate mediante l'uso di un reostato che permetteva inoltre di sopperire alla ridotta coppia di avviamento tipica di un motore asincrono.

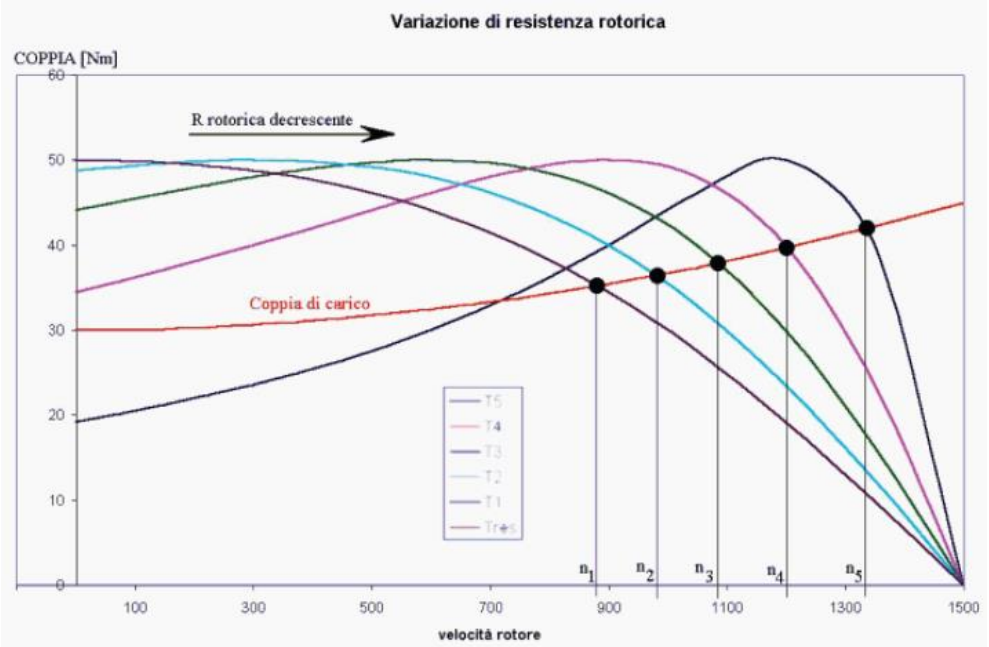


Come accennato i motori trifase asincroni a regime ruotano a una velocità fissa funzione della frequenza e del numero di coppie polari. Nella figura è rappresentata la curva della coppia motrice in funzione della velocità angolare di rotazione del motore, proporzionale al numero di giri.
Si distinguono due zone: un tratto stabile e un tratto instabile.

Il motore asincrono trifase lavora normalmente nel tratto stabile della curva ove al diminuire della velocità per effetto del carico (coppia frenante), la coppia motrice cresce fino a raggiungere una nuova velocità di equilibrio.
Per fare un esempio, un treno che si muova a velocità costante, quando incontra una livelletta in salita tende a rallentare, ma diminuendo la velocità aumenta lo sforzo di trazione sino al raggiungimento di un nuovo equilibrio.
Se la velocità continua tuttavia a diminuire per superamento della prestazione della macchina, si supera il punto di coppia massima (Cmax) e si passa nel tratto instabile, ove la coppia diminuisce al diminuire della velocità pur avendosi notevole aumento di corrente assorbita.
Il treno tende quindi ad arrestarsi; se non si distacca la trazione si ha l'intervento delle protezioni per evitare lo stallo del motore ed i conseguenti gravi danni.

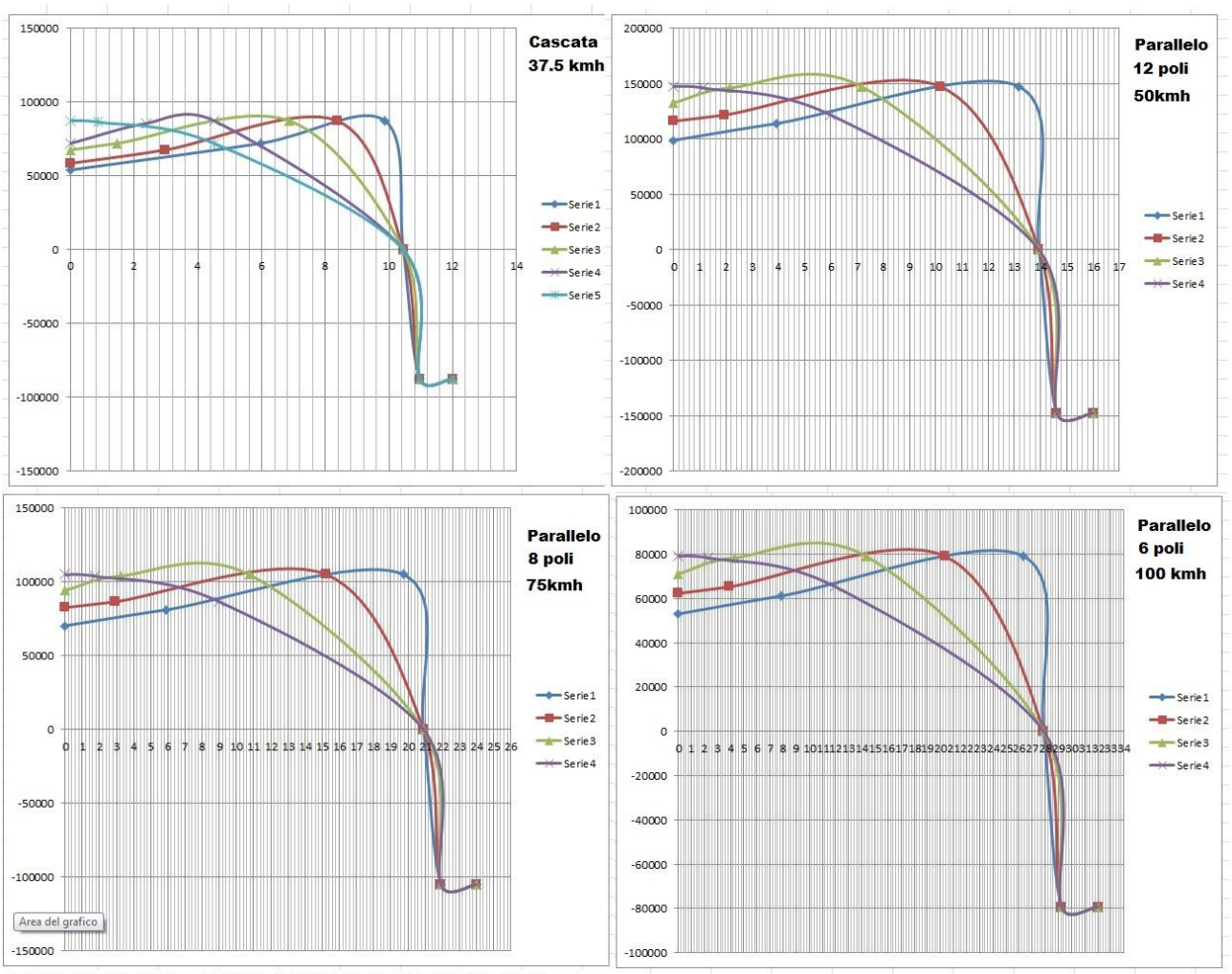
Specifiche di funzionamento

Ciò premesso, passiamo all'avviamento del motore asincrono a rotore avvolto: le fasi di rotore vengono chiuse su un reostato che ha una duplice funzione: ridurre le correnti rotoriche e spostare il punto di coppia massima a velocità inferiori.
L'effetto è illustrato nella figura seguente: l'inserzione del reostato sposta il massimo della coppia e quindi il tratto stabile verso velocità inferiori, permettendo così l'avvio del treno.



Queste curve sono state digitalizzate per utilizzarle come caratteristiche di trazione in Open rails, interpolando alcuni punti della caratteristica meccanica del motore trifase noti i valori di potenza e massimo sforzo di trazione per ciascuna locomotiva.

Per una macchina a 4 velocità fisse (locomotive dalle ruote motrici di grande diametro come le e431, e432…) si hanno 4 combinazioni e per ciascuna combinazione più curve di trazione, che corrispondono al progressivo disinserimento del reostato sino alla sua completa esclusione.



Diagrammi sforzo (N) - velocità (m/sec) nelle varie combinazioni
Escludendo il reostato la coppia massima si sposta verso la velocità di sincronismo

Quindi come procede un macchinista per avviarsi e prendere velocità?
Effettuato l'avviamento, esclude il reostato gradualmente, passando da una curva alla successiva quando l'amperometro tende a diminuire, cercando di mantenersi vicino al valore di massimo sforzo di trazione.
Raggiunta la prima velocità fissa, se si vuole ulteriormente accelerare si passa alla combinazione superiore e si procede analogamente.
Quando il treno rallenta e l'amperometro tende a diminuire, si reinserisce parzialmente il reostato per inseguire il punto di sforzo massimo.
Essendo il reostato a liquido, questo poteva essere mantenuto parzialmente inserito, pur a prezzo di dissipare energia.
Per una macchina a 2 velocità fisse (locomotive a ruote di piccolo diametro come e551, e554…) si hanno solamente 2 combinazioni, il resto non cambia.

Come condurre le locomotive in OR

Per condurre appropriatamente il modello in simulazione si opera con il throttle, che provvede sia ad escludere il reostato sia al passaggio da un combinazione all'altra, ovvero al movimento sincronizzato delle due manovelle (reostato e combinatore).
Ricapitolando, all'avviamento si osserva l'amperometro; come la lettura tende a diminuire si passa alla tacca successiva e così via fino a chiudere il rotore in corto circuito alla velocità prescelta.

Poi si esegue la transizione, l'amperometro va a zero e si passa alla successiva combinazione con reostato inserito, procedendo come descritto in precedenza.

Locomotiva e431 a quattro velocità: 37,5, 50, 75 e 100 km/h.

Locomotiva e554 a due velocità: 25 e 50 km/h

Le velocità fisse (37.5, 50, 75, 100) sono riferite al sincronismo ove la coppia è nulla e che la macchina non raggiunge mai. La macchina si assesta ad una velocità leggermente inferiore a quella fissa corrispondente alla combinazione in essere ed inversamente proporzionale allo sforzo di trazione. Tale differenza, detta scorrimento, è nell'ordine del 5%; se il carico rimorchiato eccede la prestazione, lo scorrimento aumenta, la velocità diminuisce e superato il punto di coppia massima si va nella parte instabile di funzionamento della curva ove la coppia decresce al decrescere della velocità fino a causare l'arresto del treno.

Riguardo alla frenatura automatica a recupero, quando per effetto della forza di gravità viene superata la velocità di sincronismo la macchina si comporta da generatore assestandosi ad una velocità leggermente superiore a quella di sincronismo, fornendo una coppia resistente che tende a frenare il convoglio.

Per una macchina a 4 velocità fisse (E431, E432, E330) si hanno le seguenti posizioni del Throttle:

```
   Throttle ( 0 1 0.05 0
NumNotches ( 21
     Notch( 0  0 Dummy )                ZERO - MOTORI DISINSERITI
     Notch( 0.05  0 Dummy )             CASCATA REOSTATO INSERITO
     Notch( 0.1  0 Dummy )              ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.15  0 Dummy )             ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.2  0 Dummy )              ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.25  0 Dummy )             CASCATA CORTO CIRCUITO (REGIME 37.5)
     Notch( 0.3  0 Dummy )              TRANSIZIONE A POTENZA ZERO
     Notch( 0.35  0 Dummy )             PARALLELO 12 POLI REOSTATO INSERITO
     Notch( 0.4  0 Dummy )              ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.45  0 Dummy )             ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.5  0 Dummy )              PARALLELO 12 POLI CORTO CIRCUITO (REGIME 50 )
     Notch( 0.55  0 Dummy )             TRANSIZIONE A POTENZA ZERO
     Notch( 0.6  0 Dummy )              PARALLELO 8 POLI REOSTATO INSERITO
     Notch( 0.65  0 Dummy )             ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.7  0 Dummy )              ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.75  0 Dummy )             PARALLELO 8  POLI CORTO CIRCUITO (REGIME 75)
     Notch( 0.8  0 Dummy )              TRANSIZIONE A POTENZA ZERO
     Notch( 0.85  0 Dummy )             PARALLELO 6 POLI REOSTATO INSERITO
     Notch( 0.9  0 Dummy )              ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.95  0 Dummy )             ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 1  0 Dummy )                PARALLELO 6 POLI CORTO CIRCUITO (REGIME 100)
```

Per una macchina a 2 velocità fisse (E554) si hanno le seguenti posizioni del Throttle:

```
   Throttle ( 0 1 0.1 0
NumNotches ( 11
     Notch( 0  0 Dummy )                ZERO - MOTORI DISINSERITI
     Notch( 0.1  0 Dummy )              CASCATA REOSTATO INSERITO
     Notch( 0.2  0 Dummy )              ESCLUSIONE REOSTATO
     Notch( 0.3  0 Dummy )              ESCLUSIONE REOSTATO
```

Notch(0.4 0 Dummy)	ESCLUSIONE REOSTATO
Notch(0.5 0 Dummy)	CASCATA CORTO CIRCUITO (REGIME 25)
Notch(0.6 0 Dummy)	TRANSIZIONE A POTENZA ZERO
Notch(0.7 0 Dummy)	PARALLELO 8 POLI REOSTATO INSERITO
Notch(0.8 0 Dummy)	ESCLUSIONE REOSTATO
Notch(0.9 0 Dummy)	ESCLUSIONE REOSTATO
Notch(1.0 0 Dummy)	PARALLELO 8 POLI CORTO CIRCUITO (REGIME 50)

Servizio di spinta

Le E554, potenti eredi delle E550 “mulo dei Giovi”, oltre che titolari di pesanti treni merci anche in trazione multipla, erano utilizzate per il servizio di spinta dei treni passeggeri pesanti sulle dure rampe della Porrettana.
Esse venivano agganciate in coda al treno a Porretta ed a Pistoia per i treni ascendenti.
Generalmente le macchine titolari dei suddetti treni (E431, E432, E330) erano a 4 velocità fisse (37.5, 50, 75, 100) mentre le E554 ne avevano solo 2 (25 e 50).
Si imponeva pertanto la limitazione di velocità a 50 km/h, unica velocità comune ad entrambi i gruppi.
Al fine di simulare correttamente tale servizio in Open rails, nel pack delle E554 sono contenute alcune macchine nominate FS_E554_XXX_spinta; esse hanno le posizioni del throttle sincronizzate con quelle delle macchine a 4 velocità.

All’avviamento del treno, essendo alla guida delle macchina di testa, si deve rapidamente passare dalla posizione:

Notch(0 0 Dummy)	ZERO - MOTORI DISINSERITI

alla posizione seguente, per iniziare l’avviamento vero e proprio:

Notch(0.35 0 Dummy)	PARALLELO 12 POLI REOSTATO INSERITO

Quindi completare l’avviamento sino alla posizione:

Notch(0.5 0 Dummy)	PARALLELO 12 POLI CORTO CIRCUITO (REGIME 50)

al raggiungimento della velocità di 50 km/h.

Fulvio Oddone e Renzo Grassi - 2020