

Electric Drives
Laboratory
DII - UniPD

Azionamenti Elettrici

Lezioni a.a. 2020-2021

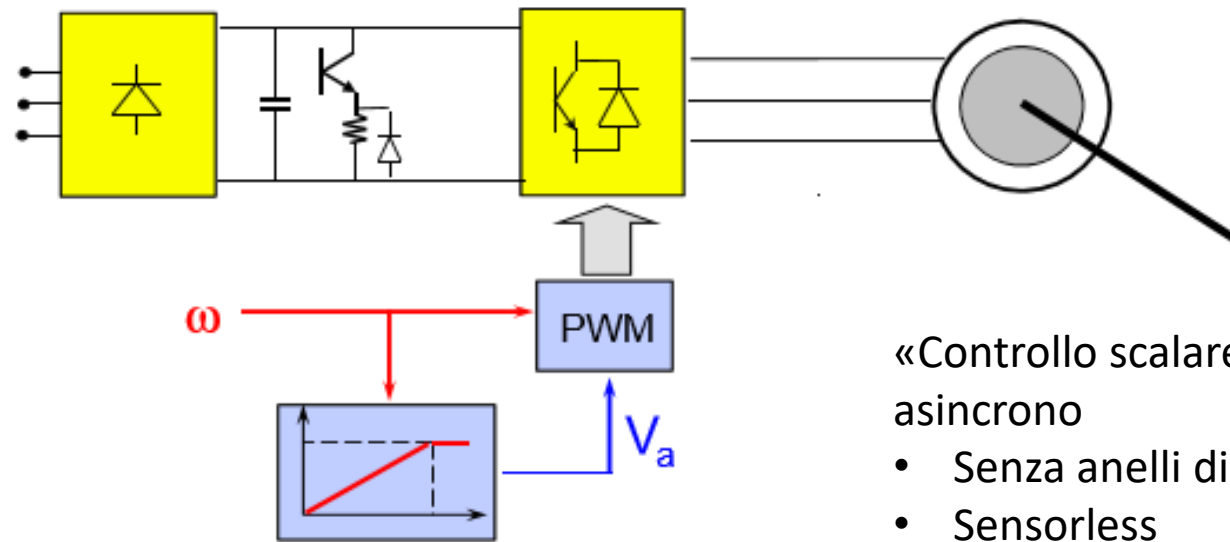
prof. Silverio Bolognani

PARTE IV

Macchina asincrona (Macchina a induzione)

Controllo FOC a tensione impressa;
Controllo tensione/frequenza
Controllo scalare

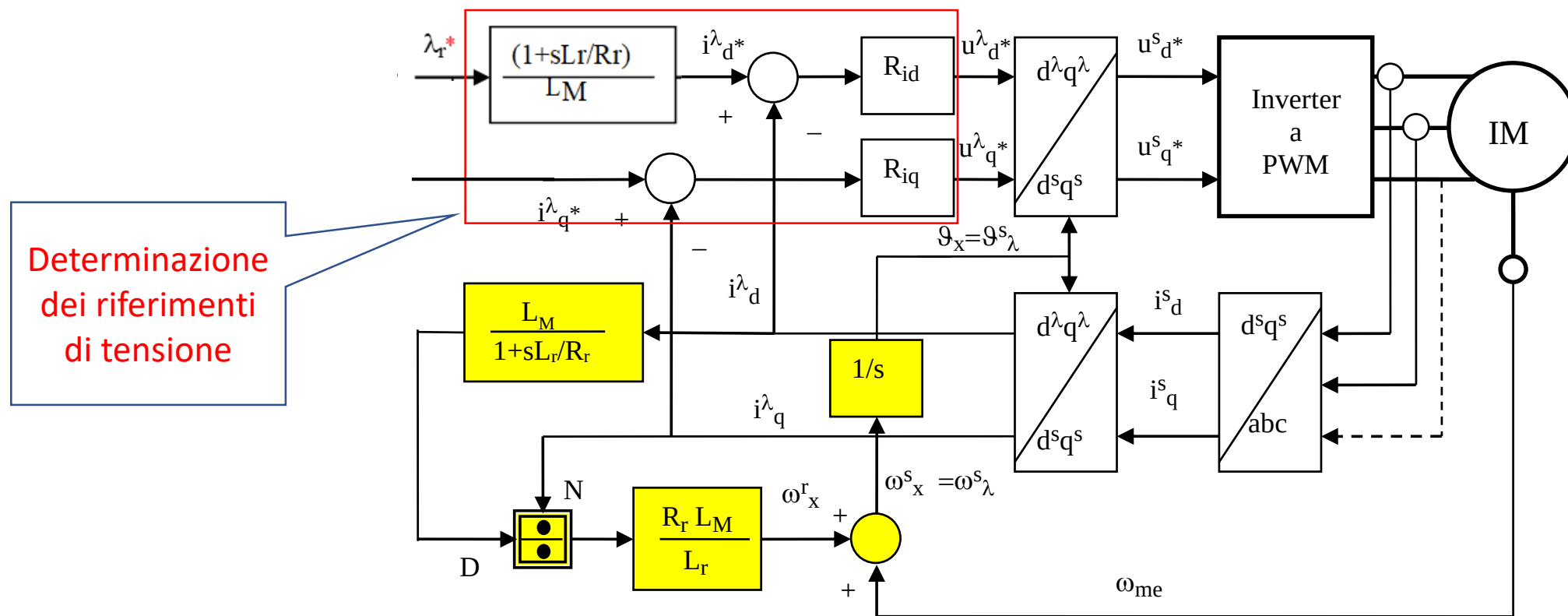
Azionamento FOC a tensione impressa – Controllo scalare (V/f)



«Controllo scalare» per motore asincrono

- Senza anelli di corrente
- Sensorless
- Bassa dinamica
- Non funziona a frequenze basse

Azionamento FOC diretto con «flux-model» a corrente impressa



Equazioni elettriche di statore in $d^{\lambda}q^{\lambda}$

$$\begin{cases} u_{sd}^{\lambda} = R_s i_{sd}^{\lambda} + \frac{d\lambda_{sd}^{\lambda}}{dt} - \omega_{\lambda}^s \lambda_{sq}^{\lambda} \\ u_{sq}^{\lambda} = R_s i_{sq}^{\lambda} + \frac{d\lambda_{sq}^{\lambda}}{dt} + \omega_{\lambda}^s \lambda_{sd}^{\lambda} \end{cases}$$

Si ottengono

$$\begin{cases} \lambda_s = L_s i_s + L_M i_r \\ \lambda_r = L_M i_s + L_r i_r \end{cases} \rightarrow i_r = \frac{\lambda_r}{L_r} - \frac{L_M}{L_r} i_s$$
$$\lambda_s = \frac{L_M}{L_r} \lambda_r + (L_s - \frac{L_M^2}{L_r}) i_s = \frac{L_M}{L_r} \lambda_r + L_t i_s$$

Equazioni elettriche di statore in $d^{\lambda}q^{\lambda}$ (in funzione di i_s e λ_r)

$$u_{sd}^{\lambda} = R_s i_{sd}^{\lambda} + \frac{L_M}{L_r} \frac{d\lambda_{rd}^{\lambda}}{dt} + L_t \frac{di_{sd}^{\lambda}}{dt} - \omega_{\lambda}^s \left(\frac{L_M}{L_r} \cancel{\lambda_{rq}^{\lambda}} + L_t i_{sq}^{\lambda} \right)$$

$=\lambda_r$ $=0$

$$u_{sq}^{\lambda} = R_s i_{sq}^{\lambda} + \frac{L_M}{L_r} \cancel{\frac{d\lambda_{rq}^{\lambda}}{dt}} + L_t \frac{di_{sq}^{\lambda}}{dt} - \omega_{\lambda}^s \left(\frac{L_M}{L_r} \lambda_{rd}^{\lambda} + L_t i_{sd}^{\lambda} \right)$$

$=\lambda_r$

$$u_{sd}^{\lambda} = R_s i_{sd}^{\lambda} + \frac{L_M}{L_r} \frac{d\lambda_r}{dt} + L_t \frac{di_{sd}^{\lambda}}{dt} - \omega_{\lambda}^s L_t i_{sq}^{\lambda}$$

$$u_{sq}^{\lambda} = R_s i_{sq}^{\lambda} + L_t \frac{di_{sq}^{\lambda}}{dt} + \omega_{\lambda}^s \left(\frac{L_M}{L_r} \lambda_r + L_t i_{sd}^{\lambda} \right)$$

Si possono usare queste equazioni per calcolare i riferimenti di tensione a partire dai riferimenti di flusso e corrente

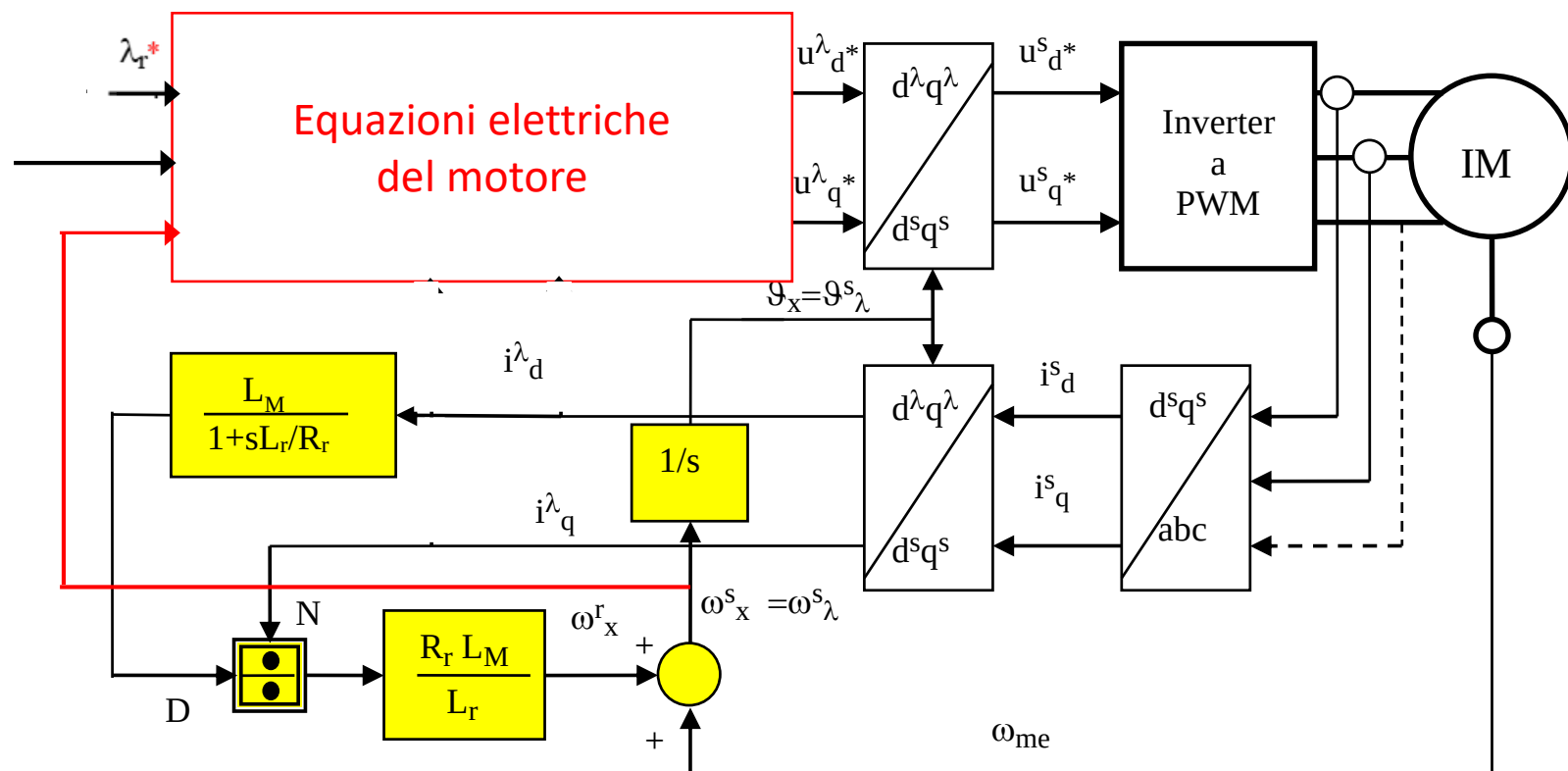
Azionamento FOC diretto con «flux-model» a tensione impressa

Riferimento di
«coppia» da
anello di
velocità

$i_q^{\lambda*}$

E' FOC a «tensione impressa»

- L'implementazione è difficile perché le equazioni contengono derivate
- Serve comunque la velocità, per anello di velocità e per calcolo frequenza di scorrimento!



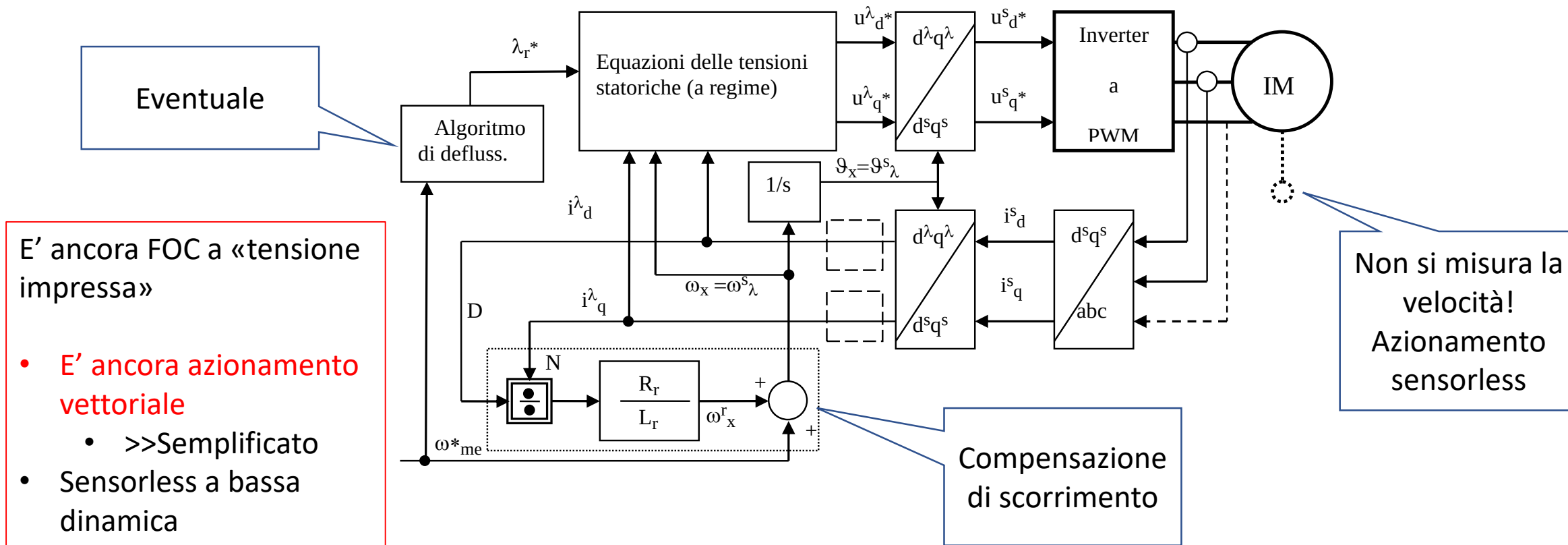
Azionamento FOC diretto con «flux-model» a tensione impressa

Soluzione pratica

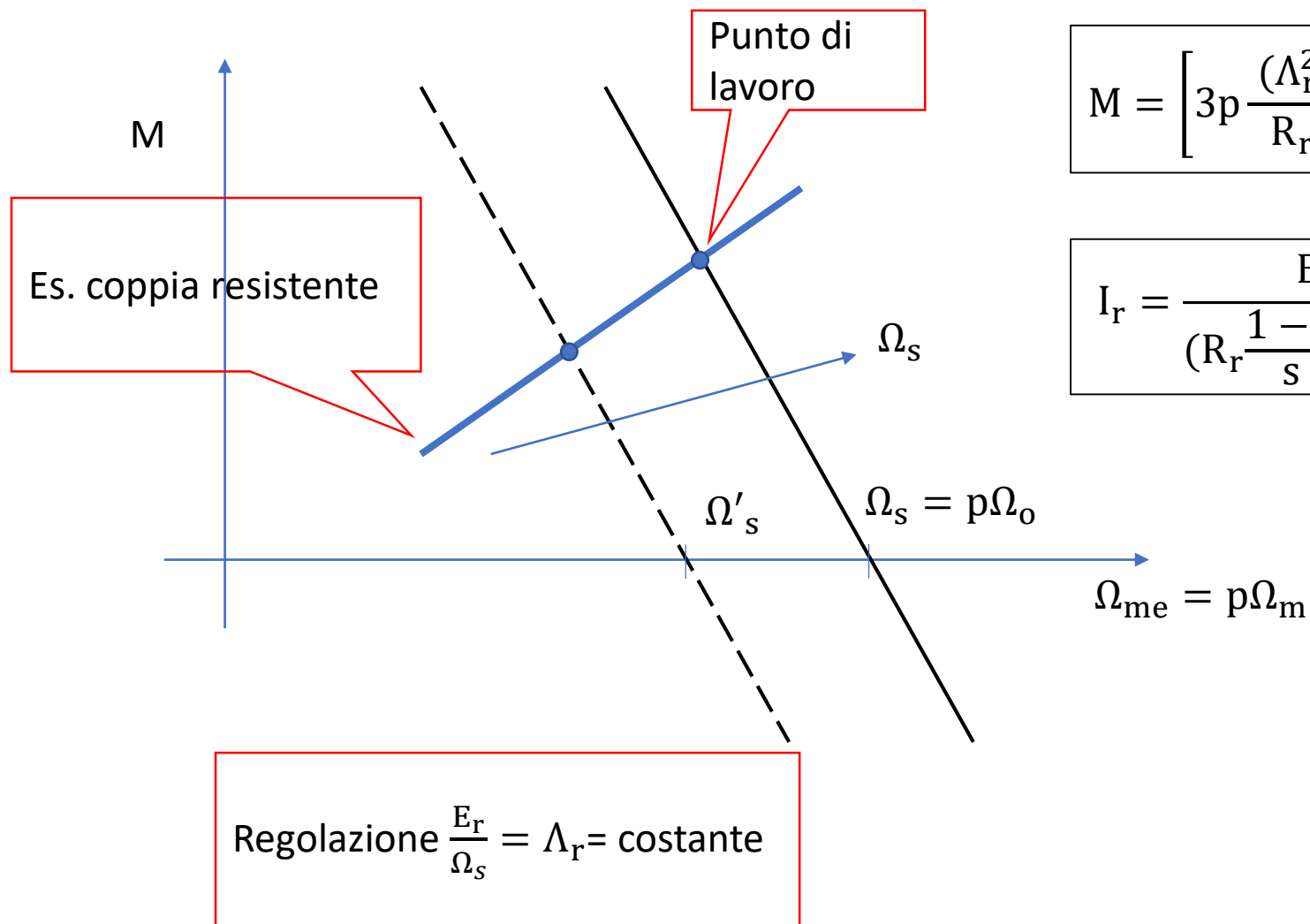
- Assumo/accetto dinamica lenta dell'azionamento
 - >> elimino le derivate
 - >>> prendo equazioni a regime:
 - $u_{sd}^{\lambda*} = (R_s i_{sd}^{\lambda} - \omega_{\lambda}^s L_t i_{sq}^{\lambda})$
 - $u_{sq}^{\lambda*} = (R_s i_{sq}^{\lambda} + \omega_{\lambda}^s L_t i_{sd}^{\lambda}) + \omega_{\lambda}^s \frac{L_M}{L_r} \lambda_r^*$
- Assumo/accetto riferimento di velocità lentamente variabile
 - >> velocità vera coincide con riferimento
 - >>> utilizzo riferimento al posto della velocità misurata!
 - >>> utilizzo correnti misurate al posto dei loro riferimenti

Caduta di tensione RL
statorica
(compensazione
delle cdt statoriche)

Azionamento FOC diretto con «flux-model» a tensione impressa



Caratteristica meccanica a flusso rotorico costante

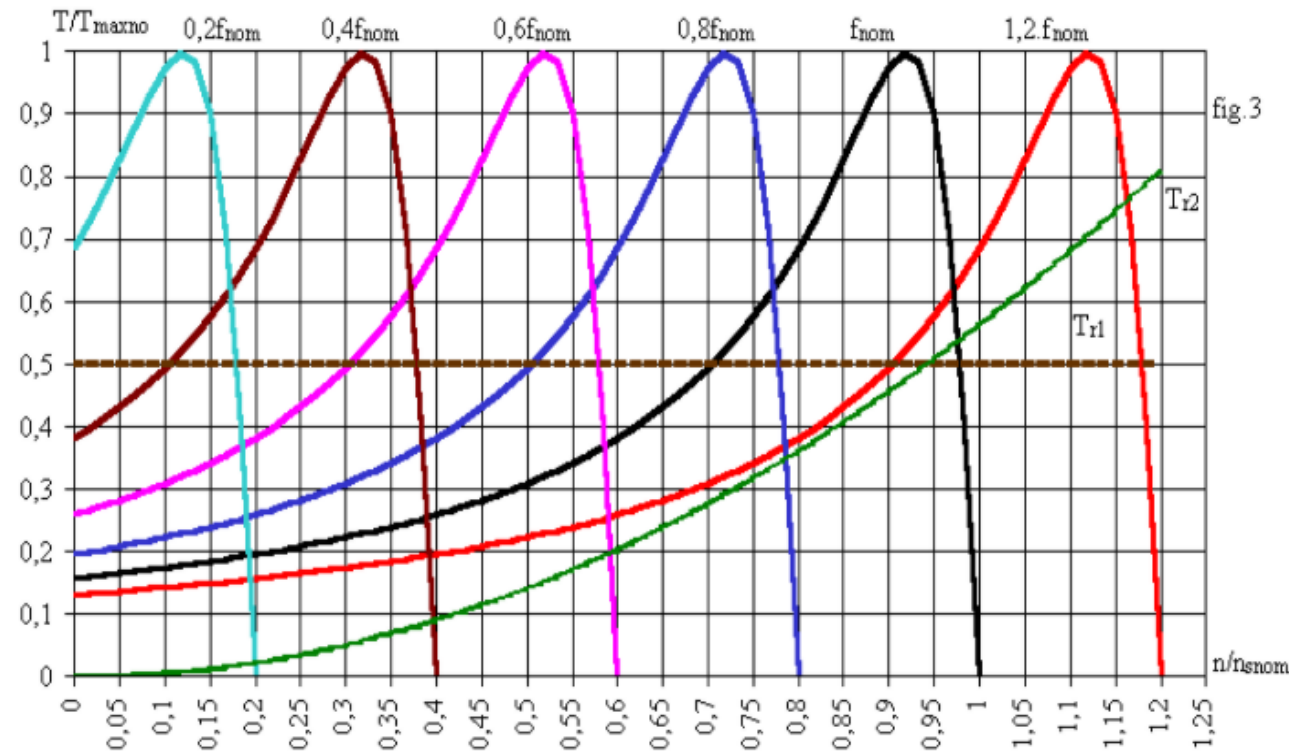


$$M = \left[3p \frac{(\Lambda_r^2)}{R_r} \right] (\Omega_s - \Omega_{me}) = \frac{3p}{R_r} \left(\frac{E_r}{\Omega_s} \right)^2 (\Omega_s - \Omega_{me})$$

$$I_r = \frac{E_r}{(R_r \frac{1-s}{s} + R_r)} = \frac{sE_r}{R_r} = \frac{s\Lambda_r\Omega_s}{R_r} = \frac{\Lambda_r}{R_r} (\Omega_s - \Omega_{me})$$

$$M = 3p\Lambda_r I_r$$

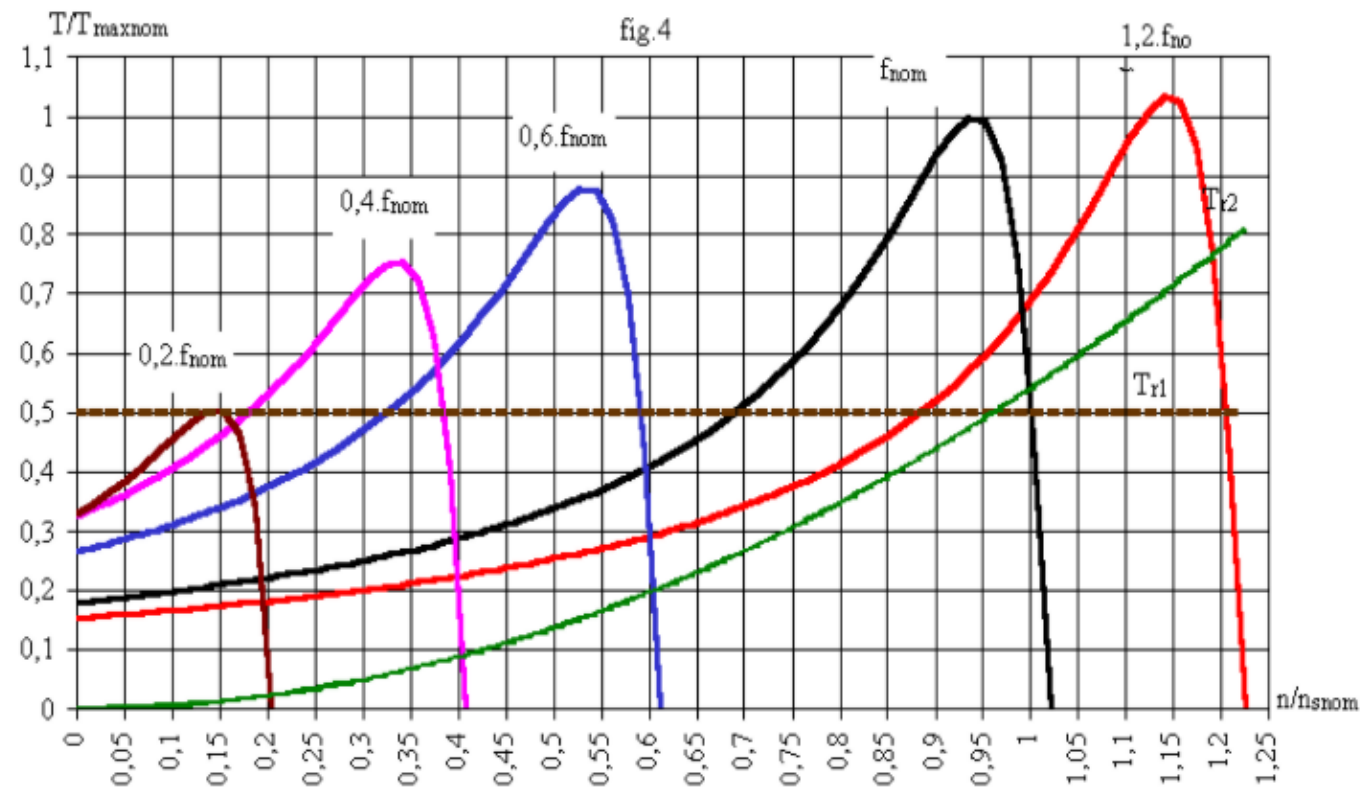
Caratteristiche meccaniche a flusso statorico costante



Si ottiene aggiustando la tensione statorica con la corrente assorbita in modo da compensare la cdt solo resistiva di statore.

$$\text{Regolazione } \frac{E_s}{\Omega_s} = \Lambda_s = \text{costante}$$

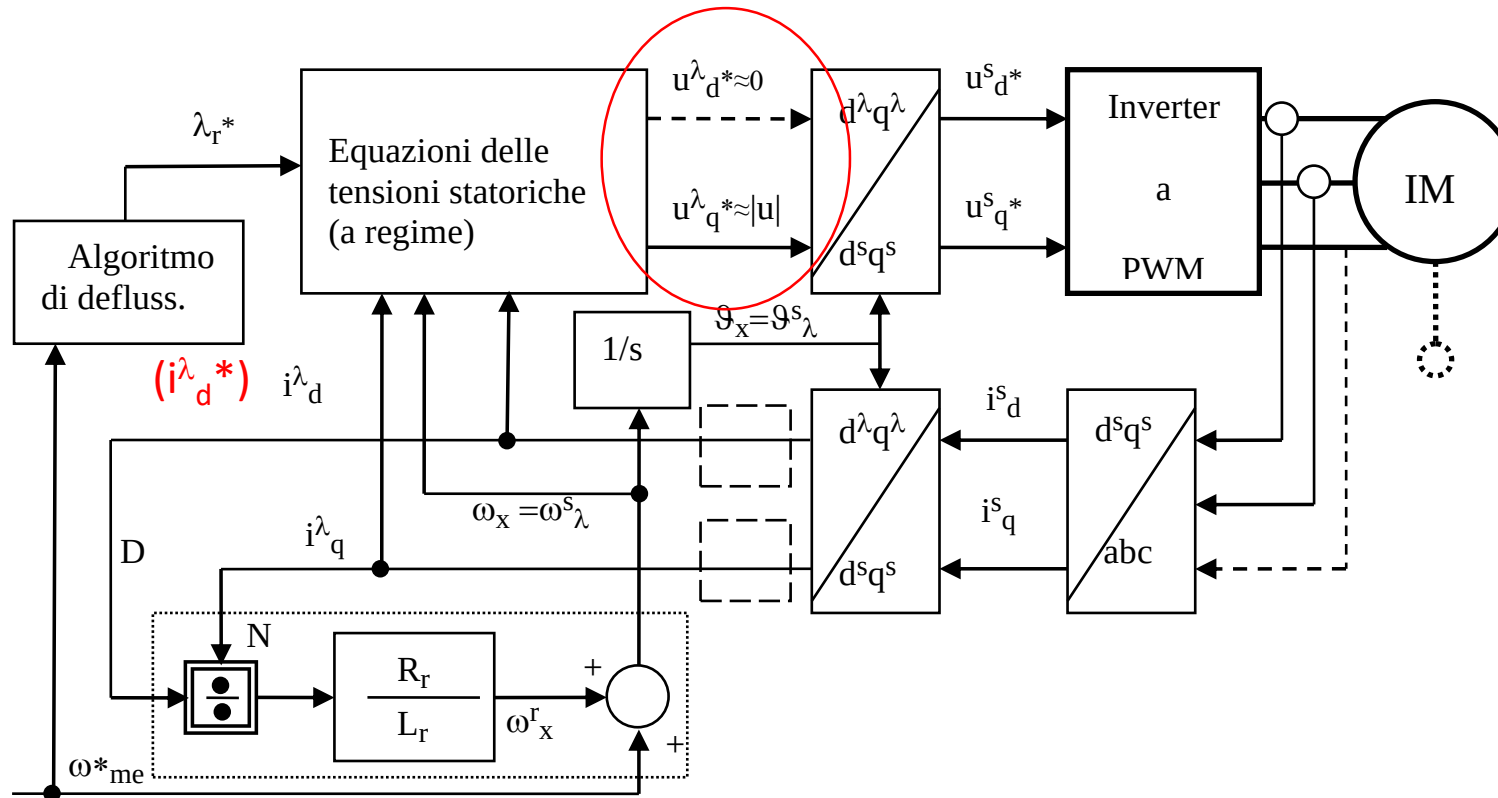
Caratteristiche meccaniche a tensione/frequenza costante



Senza compensare le
cdt di statore.

Regolazione $\frac{U_s}{\Omega_s} = \text{costante}$

Azionamento a tensione impressa tensione «scalare»



La soluzione «scalare» introduce una ulteriore semplificazione (non necessaria!):

- Rimuove il riferimento vettoriale delle tensioni
 - Si semplifica la trasformazione $dq/\alpha\beta$
 - Errore grave alle basse frequenze!
- Anche la trasformazione $\alpha\beta/dq$ delle correnti può essere semplificata misurando la sola i_q (corrente attiva)