

Electric Drives  
Laboratory  
DII - UniPD

# Azionamenti Elettrici

Lezioni a.a. 2020-2021

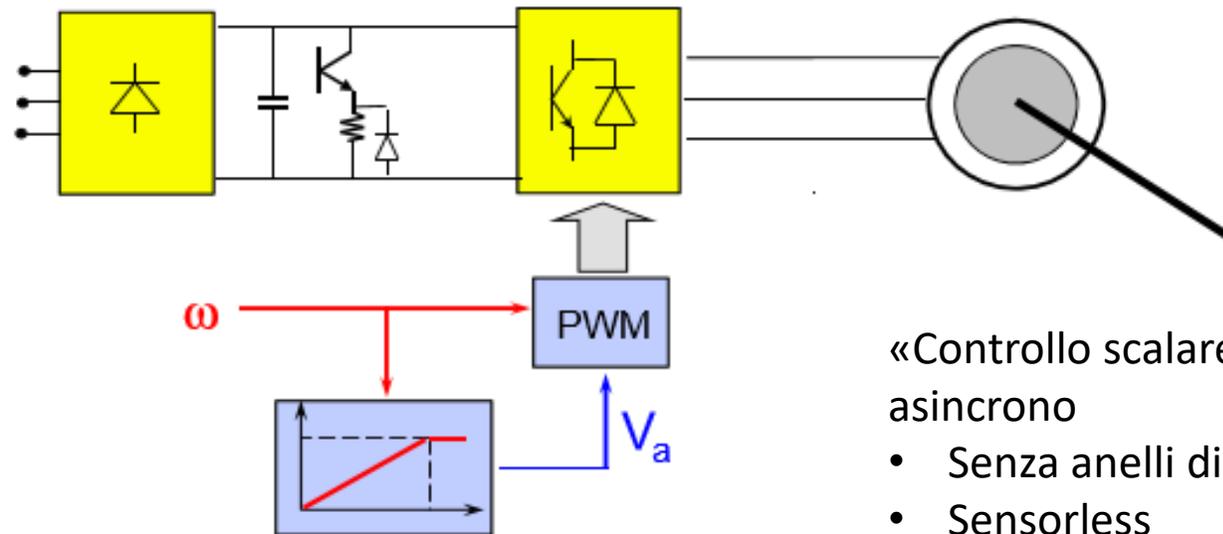
prof. Silverio Bolognani

PARTE IV

# Macchina asincrona (Macchina a induzione)

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

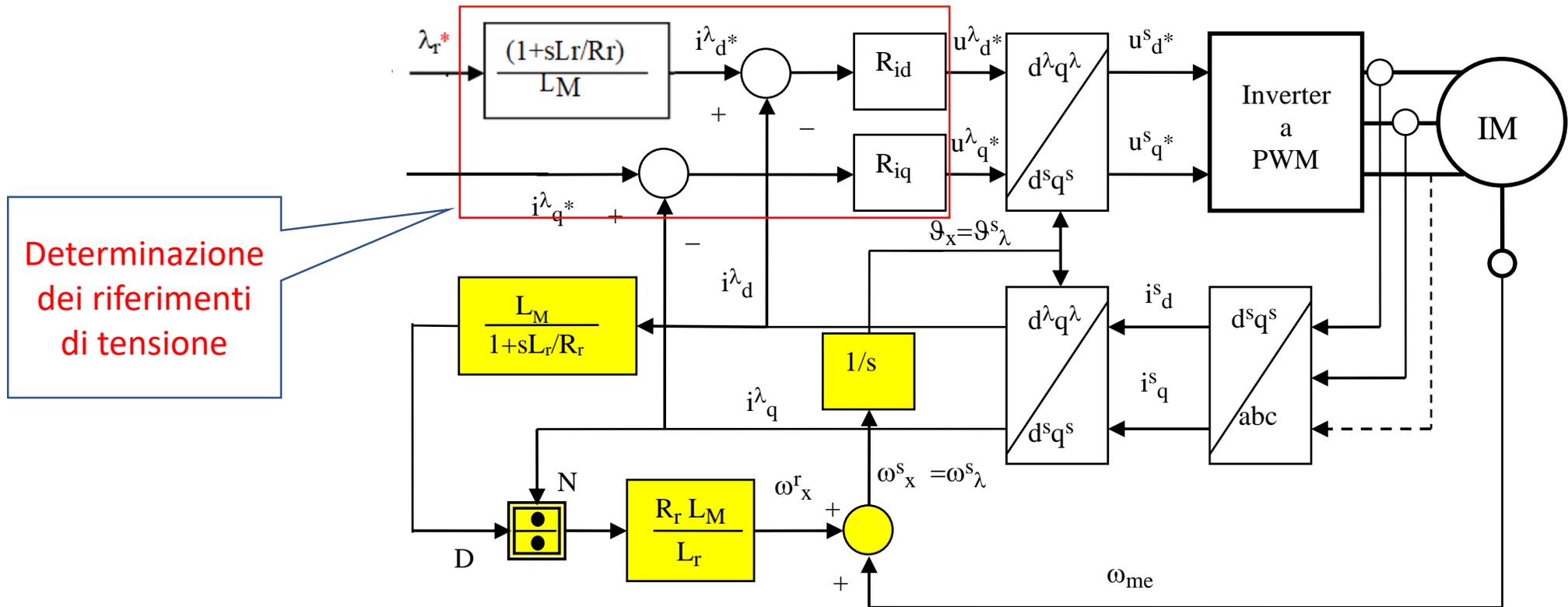
## Azionamento FOC a tensione impressa – Controllo scalare (V/f)



«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 $d^{\lambda}q^{\lambda}$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{sd}^{\lambda} = R_s i_{sd}^{\lambda} + \frac{d\lambda_{sd}^{\lambda}}{dt} - \omega_{\lambda}^s \lambda_{sq}^{\lambda} \\ u_{sq}^{\lambda} = R_s i_{sq}^{\lambda} + \frac{d\lambda_{sq}^{\lambda}}{dt} + \omega_{\lambda}^s \lambda_{sd}^{\lambda} \end{array} \right. \quad \text{Si ottengono .....}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_s = L_s i_s + L_M i_r \\ \lambda_r = L_M i_s + L_r i_r \end{array} \right. \rightarrow \mathbf{i}_r = \frac{\lambda_r}{L_r} - \frac{L_M}{L_r} \mathbf{i}_s$$

$$\lambda_s = \frac{L_M}{L_r} \lambda_r + (L_s - \frac{L_M^2}{L_r}) \mathbf{i}_s = \frac{L_M}{L_r} \lambda_r + L_t \mathbf{i}_s$$

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

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

$=\lambda_r$        $=0$

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

$=\lambda_r$

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

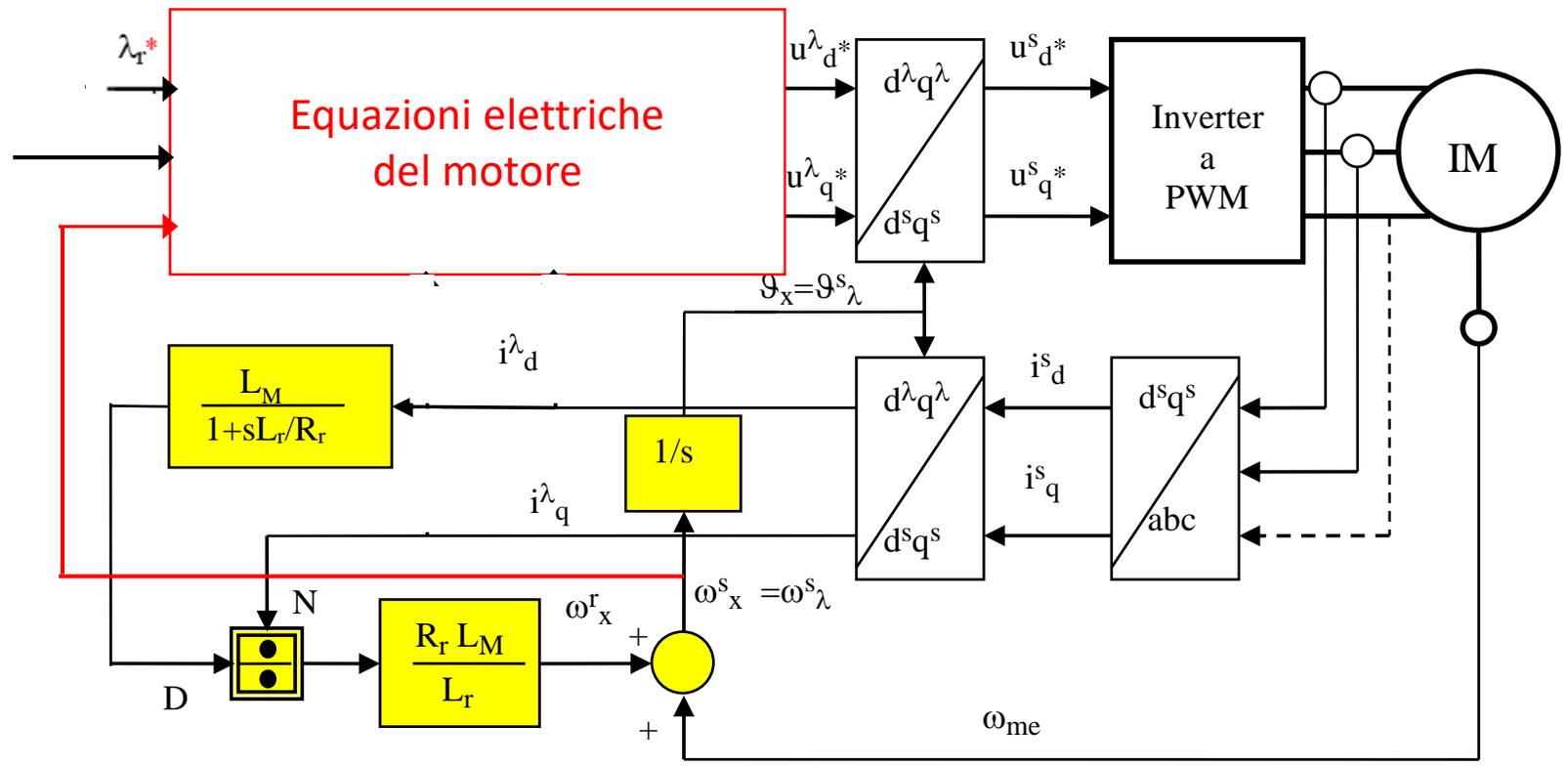
$$u_{sq}^{\lambda} = R_s i_{sq}^{\lambda} + L_t \frac{di_{sq}^{\lambda}}{dt} + \omega_{\lambda}^s \left( \frac{L_M}{L_r} \lambda_r + L_t i_{sd}^{\lambda} \right)$$

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

- 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!



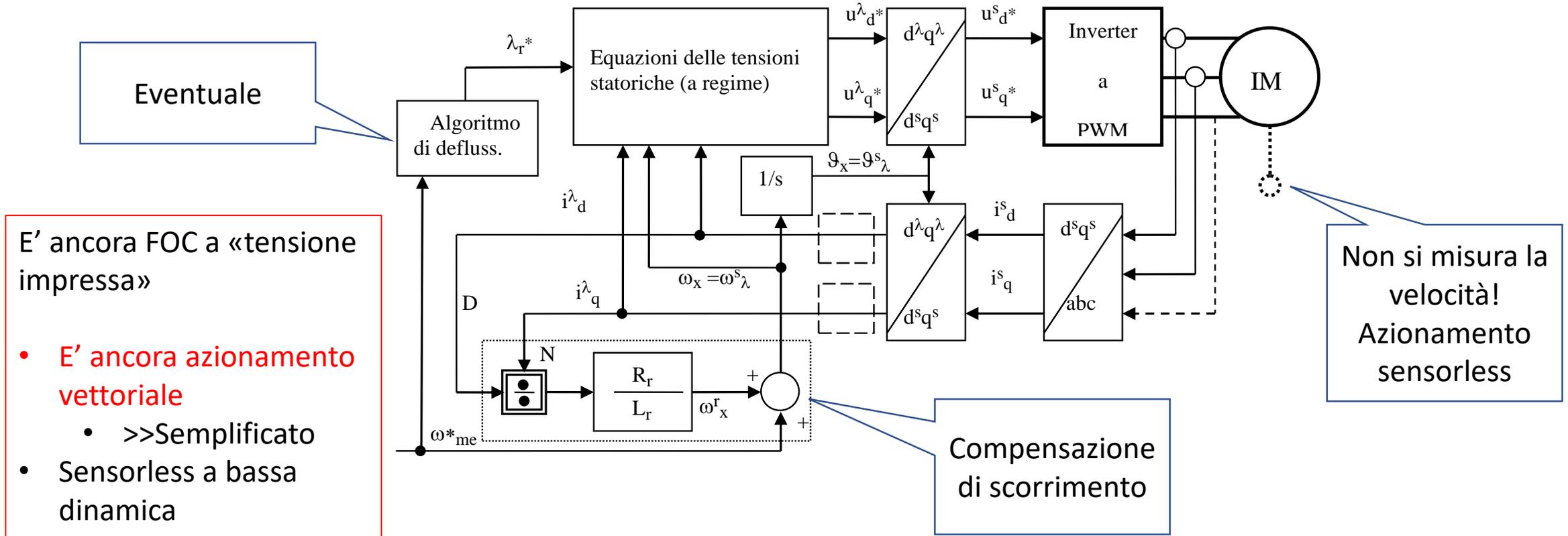
# Azionamento FOC diretto con «flux-model» a tensione impressa

## 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

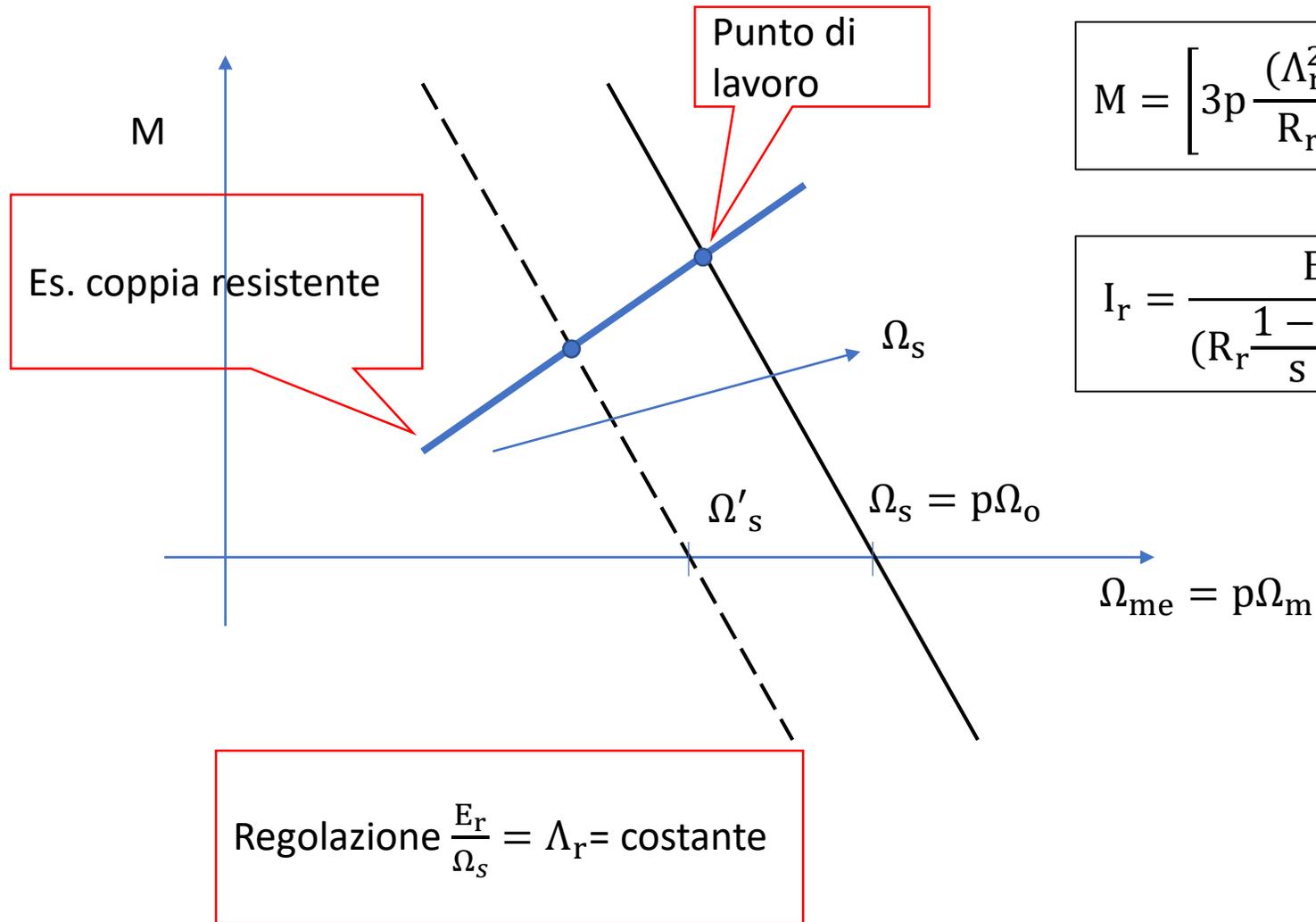
Caduta di tensione RL  
statorica  
(compensazione  
delle cdt statoriche)

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



- E' ancora FOC a «tensione impressa»
- E' ancora azionamento vettoriale
    - >>Semplificato
  - Sensorless a bassa dinamica

## Caratteristica meccanica a flusso rotorico costante

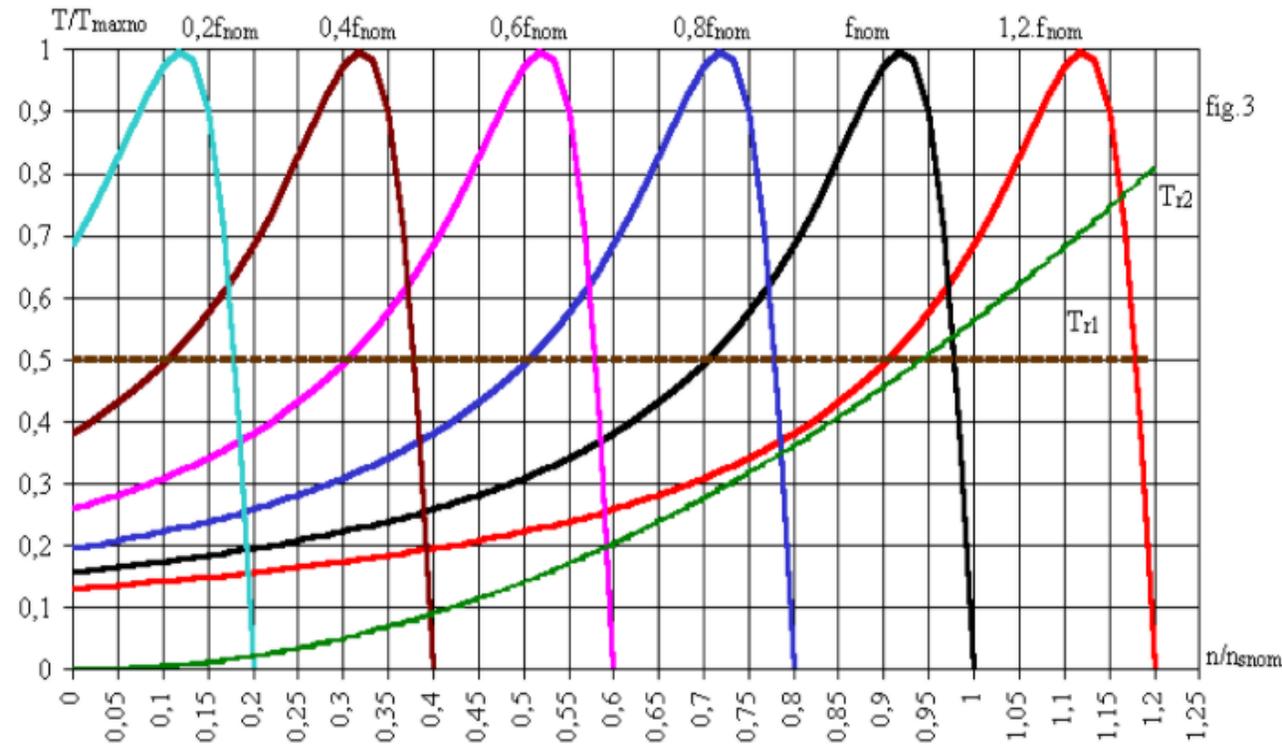


$$M = \left[ 3p \frac{(\Lambda_r^2)}{R_r} \right] (\Omega_s - \Omega_{me}) = \frac{3p}{R_r} \left( \frac{E_r}{\Omega_s} \right)^2 (\Omega_s - \Omega_{me})$$

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

$$M = 3p\Lambda_r I_r$$

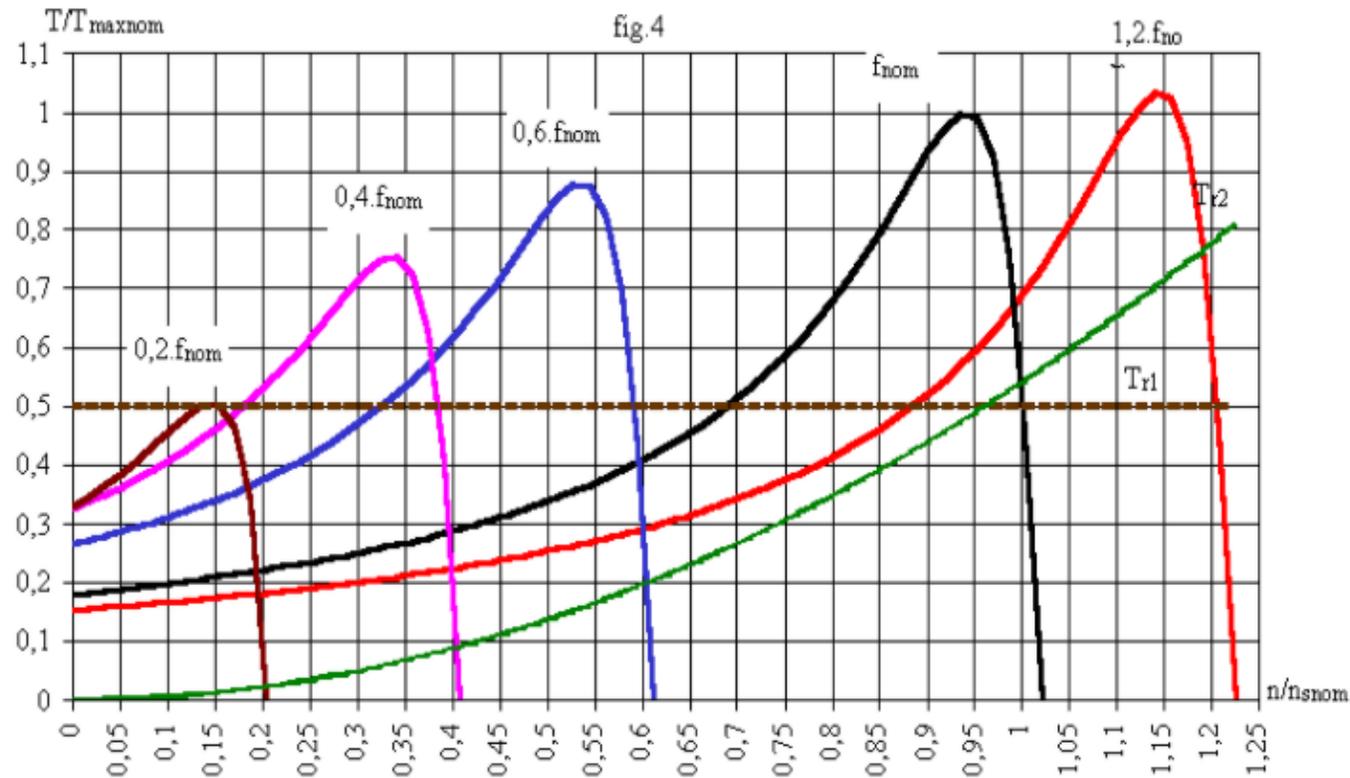
## Caratteristiche meccaniche a flusso statorico costante



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

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

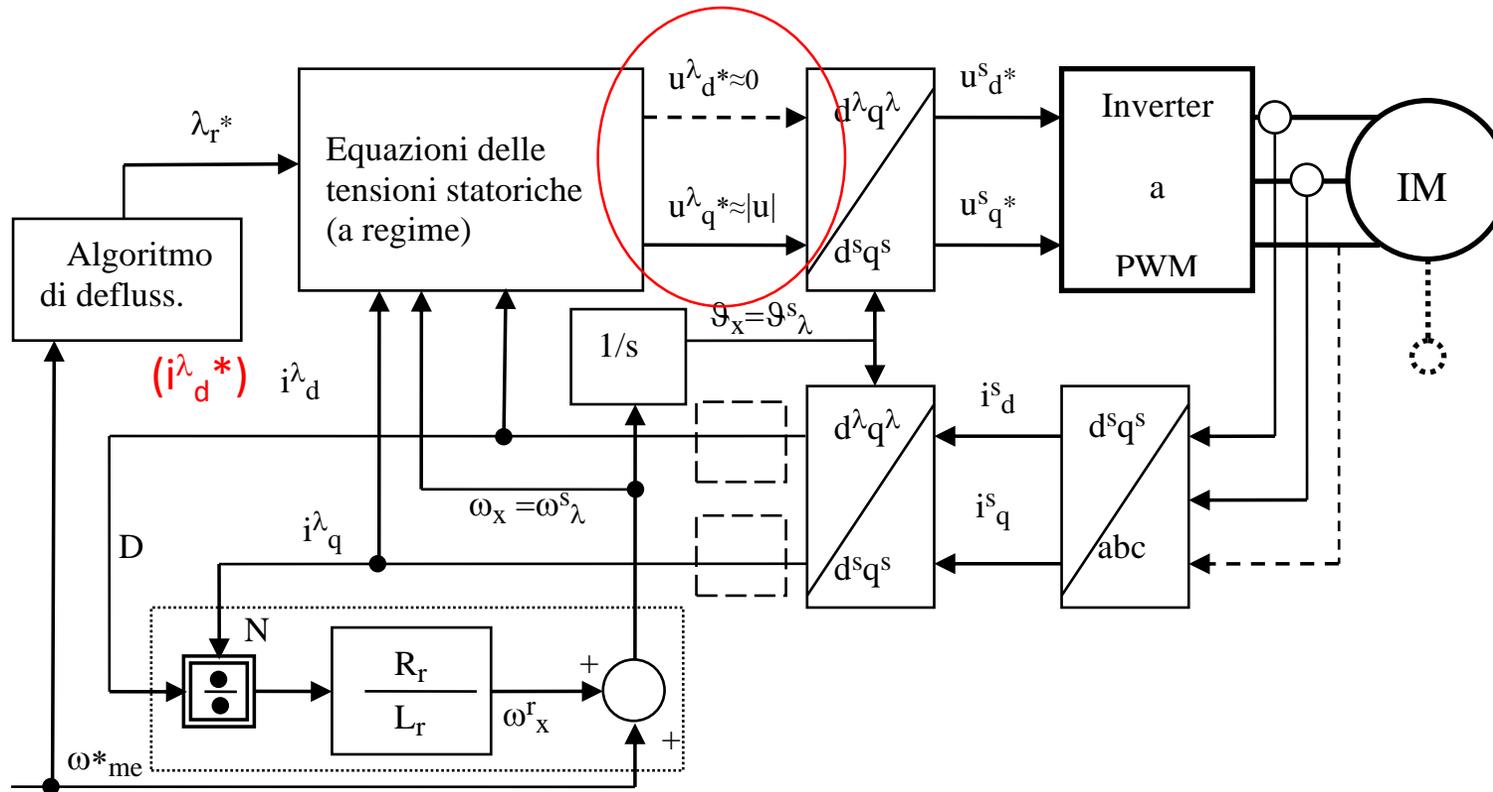
## Caratteristiche meccaniche a tensione/frequenza costante



Senza compensare le  
cdt di statore.

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

# Azionamento a tensione impressa «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)