Politecnico di Torino

Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica

# Valutazione sperimentale delle perdite nel ferro e controllo di massima efficienza per motori SyR

**Relatori:**

Prof. Gianmario Pellegrino

Ing. Simone Ferrari

Dr. Paolo Pescetto

**Candidato:**

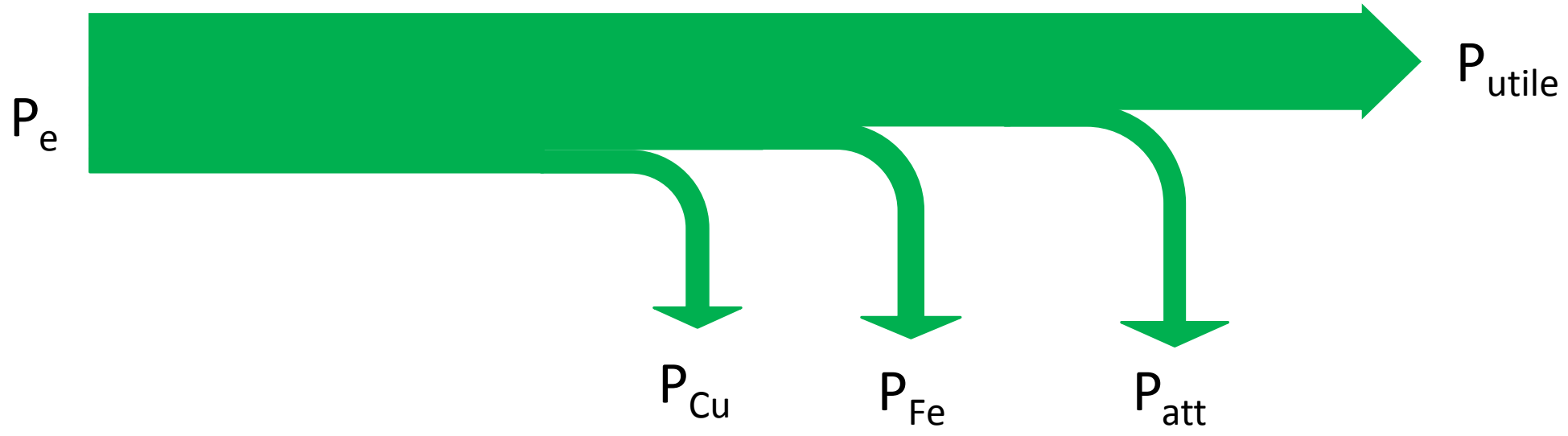
Giorgio Ariaudo

# Indice

- Obiettivi
- Dati del motore
- Simulazioni preliminari
- Caratterizzazione sperimentale
- Modello Dinamico del motore in ambiente di simulazione
- Sviluppo di una strategia di controllo a massima efficienza
- Conclusioni

# Obiettivi della tesi

- Valutazione del guadagno correlato ad un discostamento dal luogo delle minime perdite nel rame.
- Sviluppo di una strategia di controllo a massima efficienza.



# Dati del motore

Motore RawPower 2.2kW

Dati di targa

| | |
|---|---|
| $P_n$ [kW] | 2.2 |
| $T_n$ [Nm] | 21 |
| $n_n$ [rpm] | 1000 |
| $V_n$ [V] | 157 |
| $PF_n$ | 0,7 |
| $\eta_n$ | 85% |
| $I_n$ [A] | 13,2 |
| Paia poli | 3 |

# Simulazioni preliminari

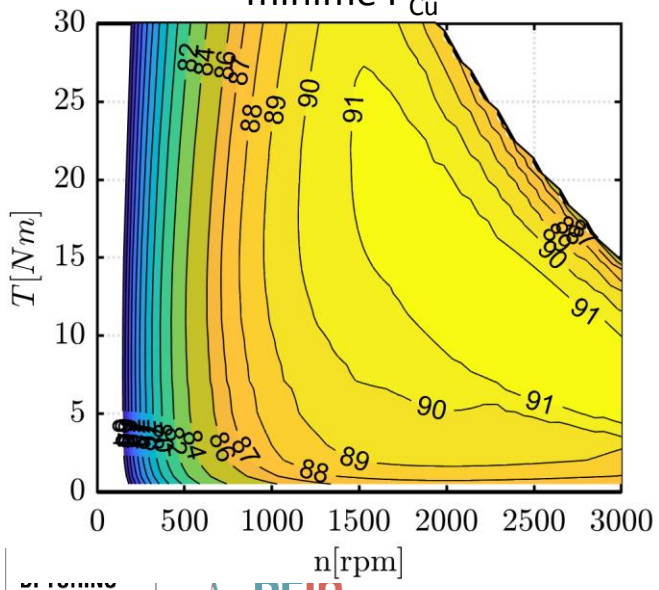
Simulazioni attraverso i programmi SyR-e e MagNet.

Con i valori ottenuti sono state effettuate:

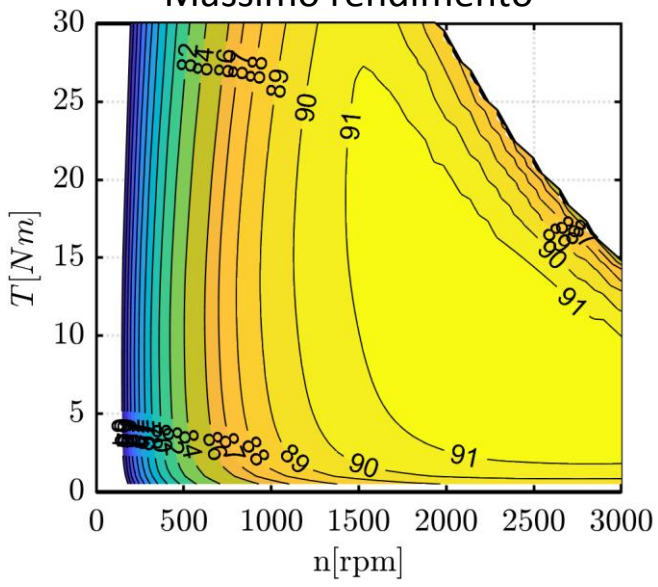
- Valutazione della mappa di efficienza attraverso lo script MaxTw di SyR-e.
- Valutazione della mappa di efficienza minimizzando le perdite del rame.

Le mappe sono state valutate ponendo la $V_{dc}$ = 312V e temperatura di avvolgimento posta a 20°C

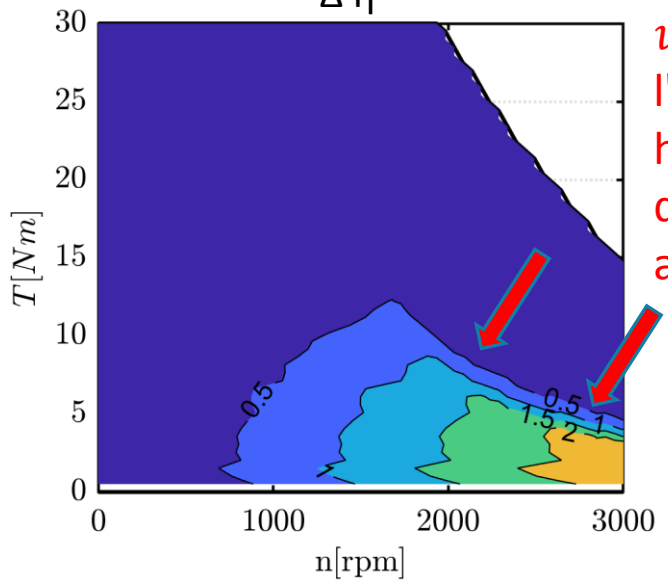
minime $P_{Cu}$




Massimo rendimento




Δ η




Aumentando $v_{dc}$ aumenta l'area in cui si ha un guadagno di efficienza apprezzabile

# Prove di identificazione del motore

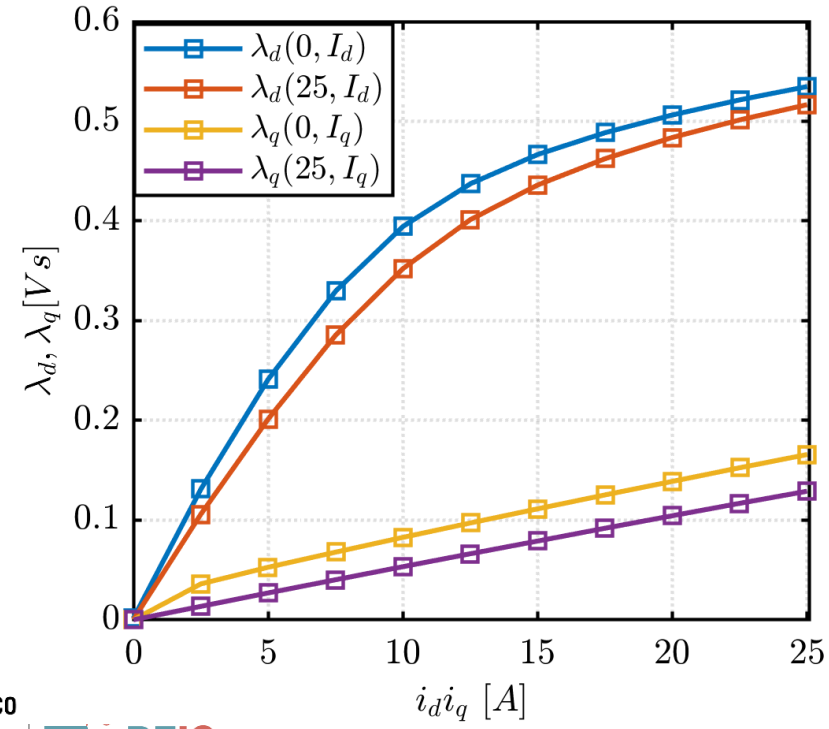
Valutazione delle perdite nel ferro per sottrazione:

$$P_{fe} = P_e - P_{Cu} - P_{att} - P_{mec}$$

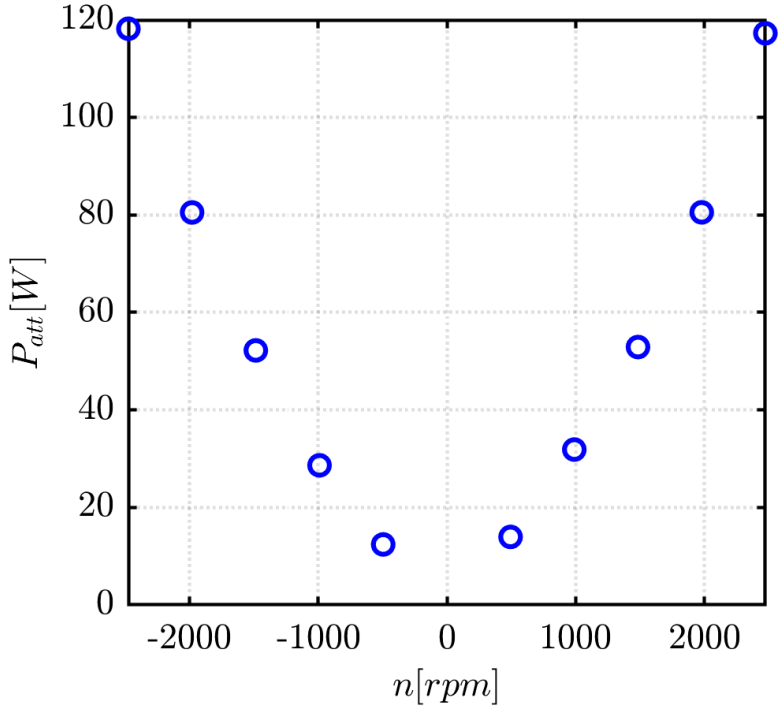
Tali dati sono epurati dall'offset del torsiometro valutato durante la prova.

Prove preliminari:

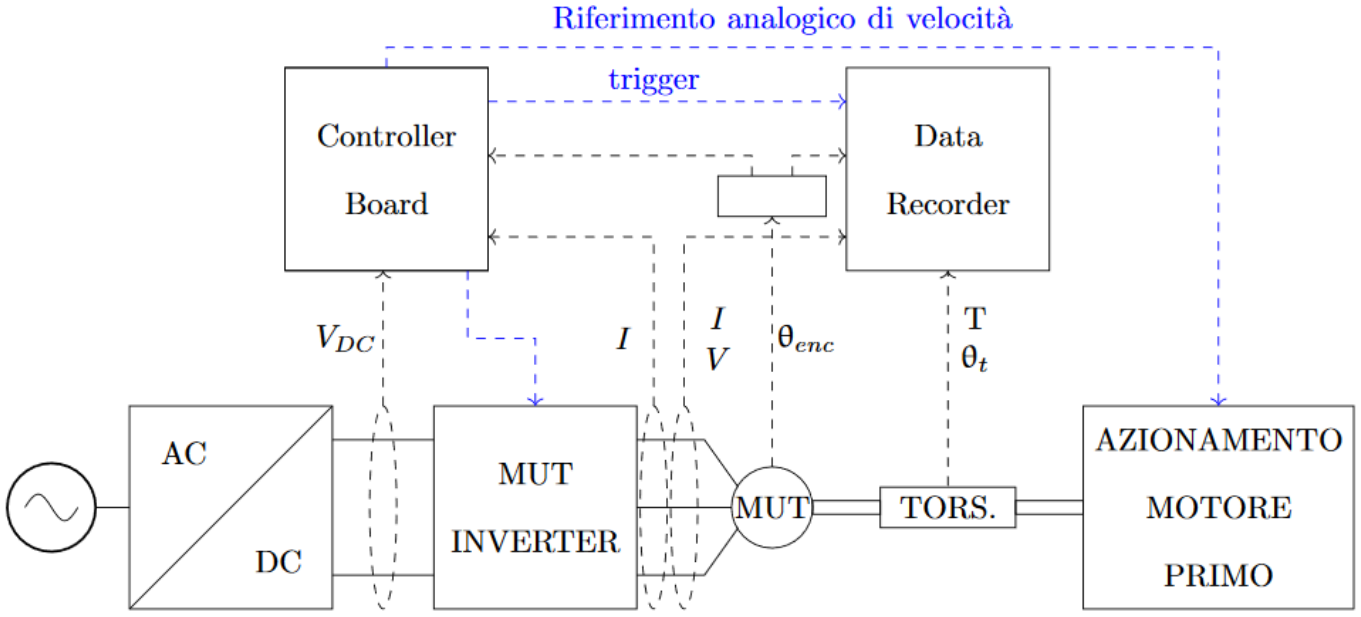
Flussi concatenati

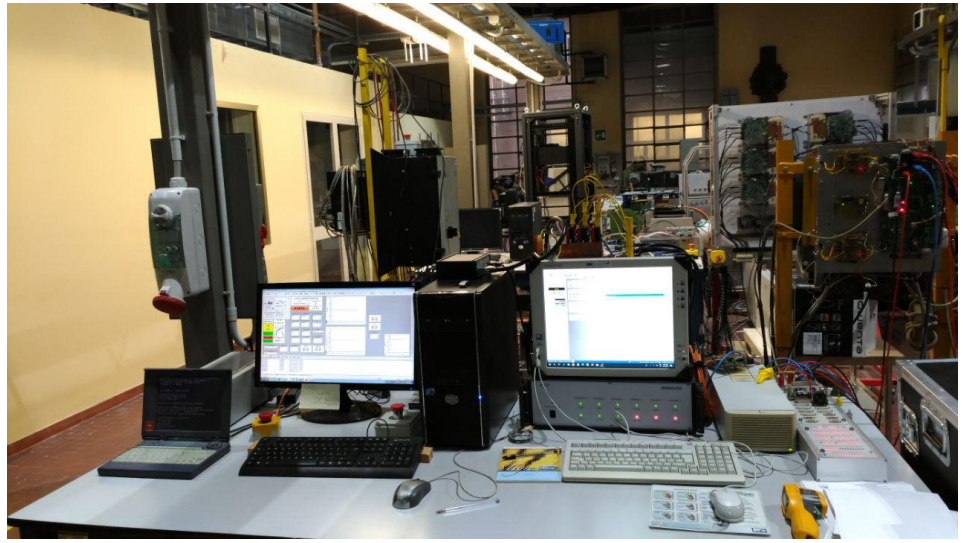



Perdite per attrito

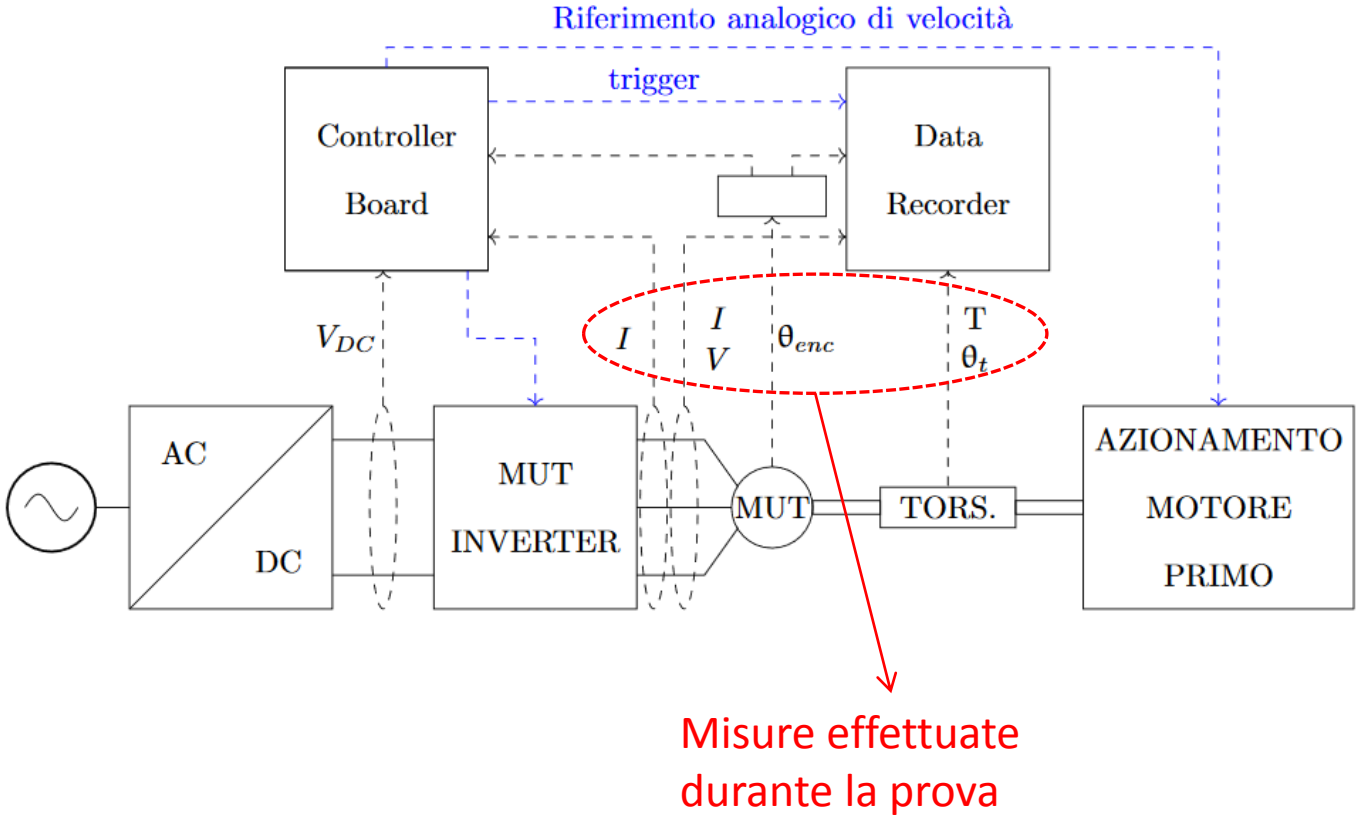


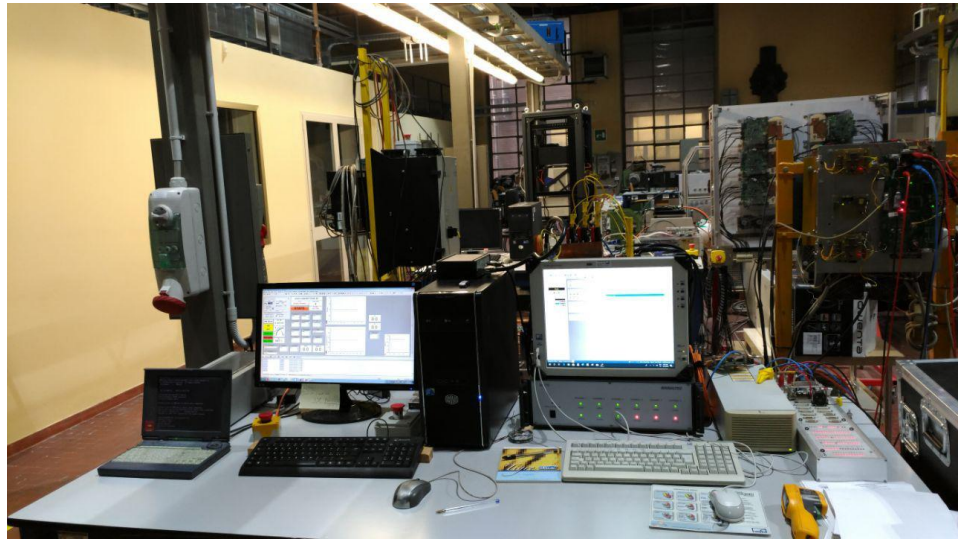
# Banco di Prova



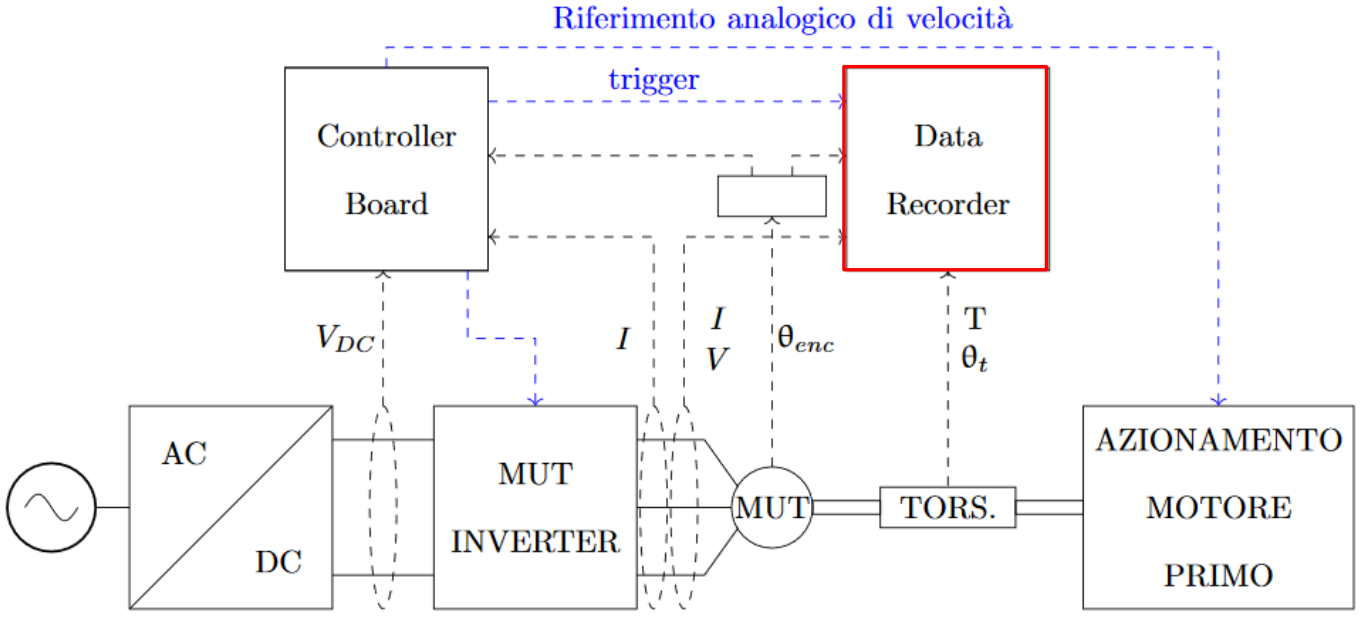


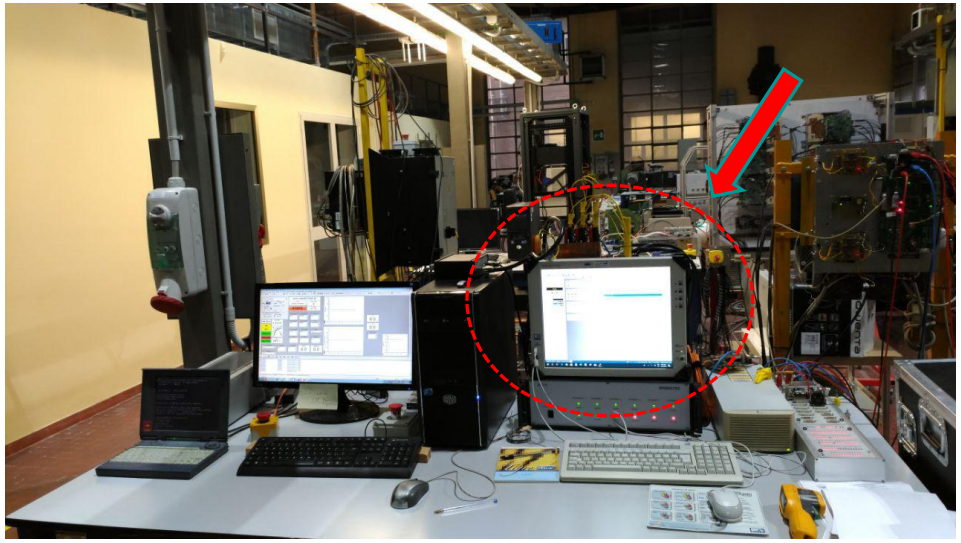
# Banco di Prova





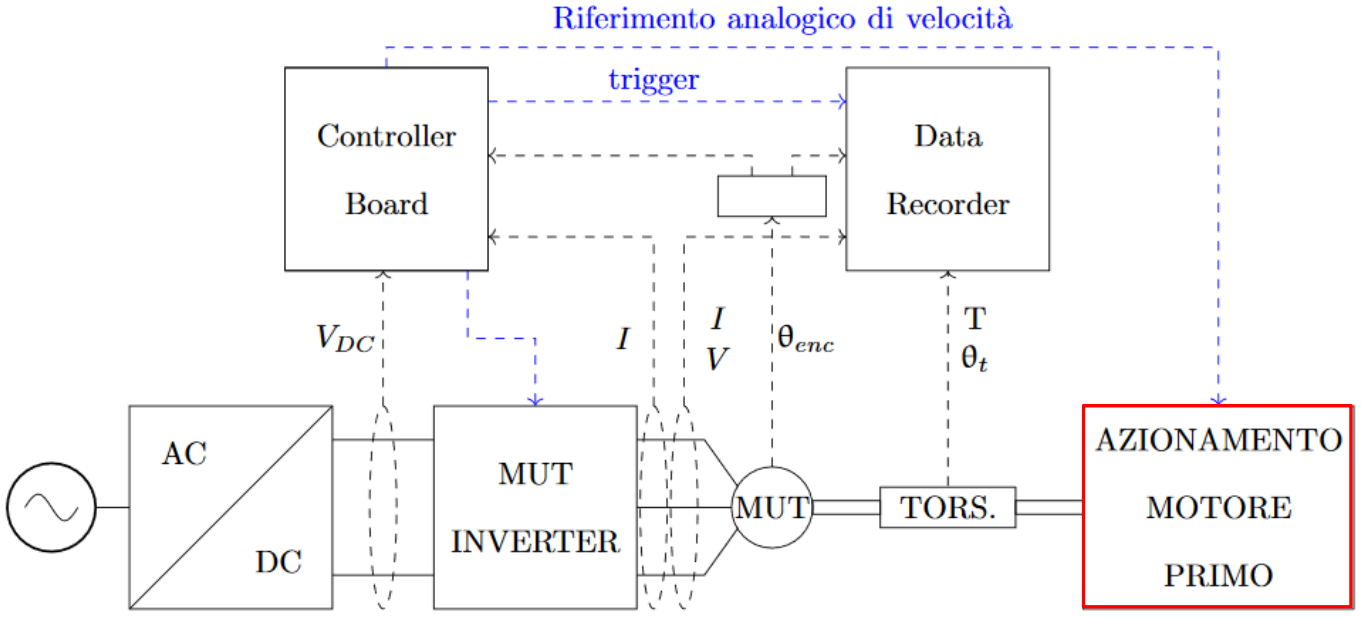
# Banco di Prova

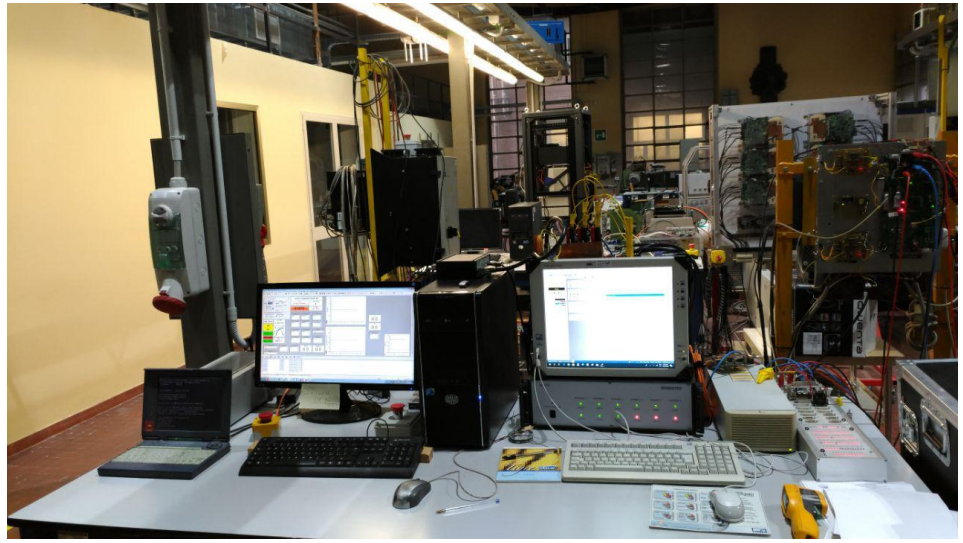




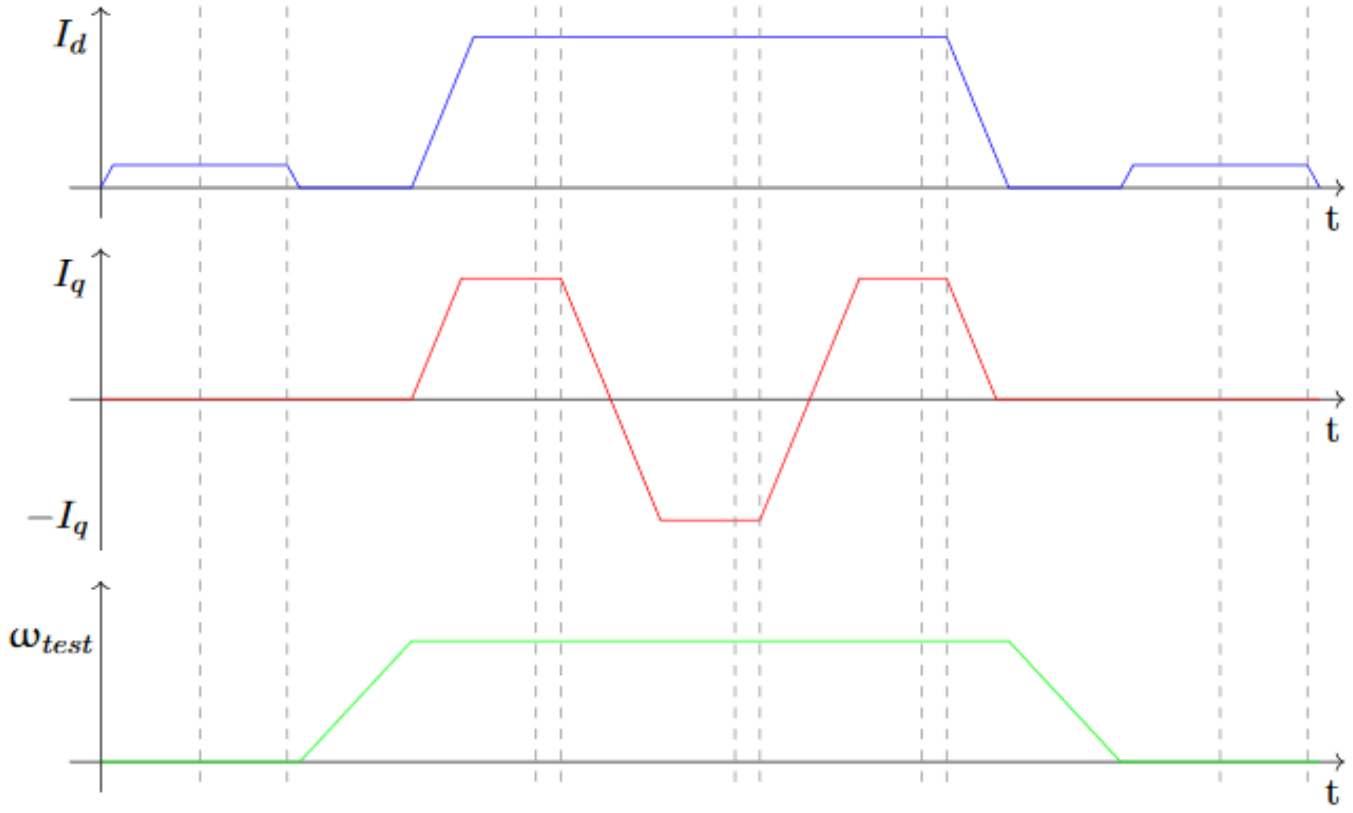
# Banco di Prova

Motore primo di potenza prevalente



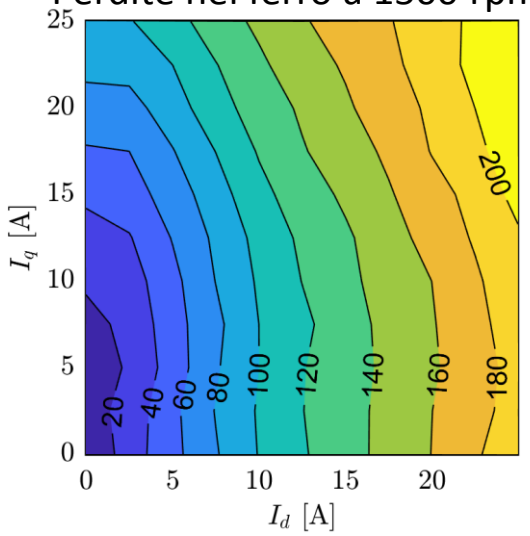


# Valutazione delle perdite nel ferro

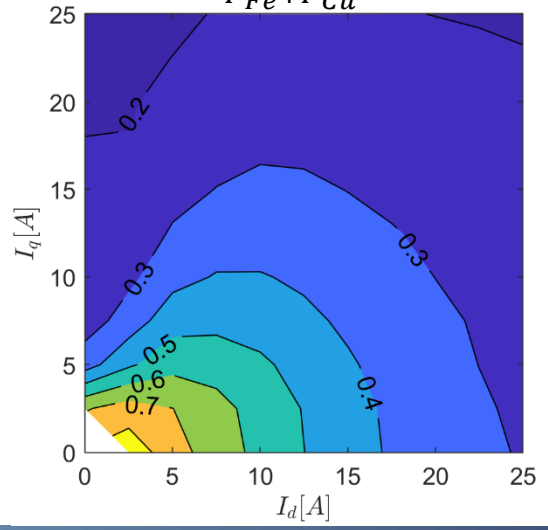



Sequenza temporale della prova per il punto ($I_d$ , $I_q$ )

Perdite nel ferro a 1500 rpm

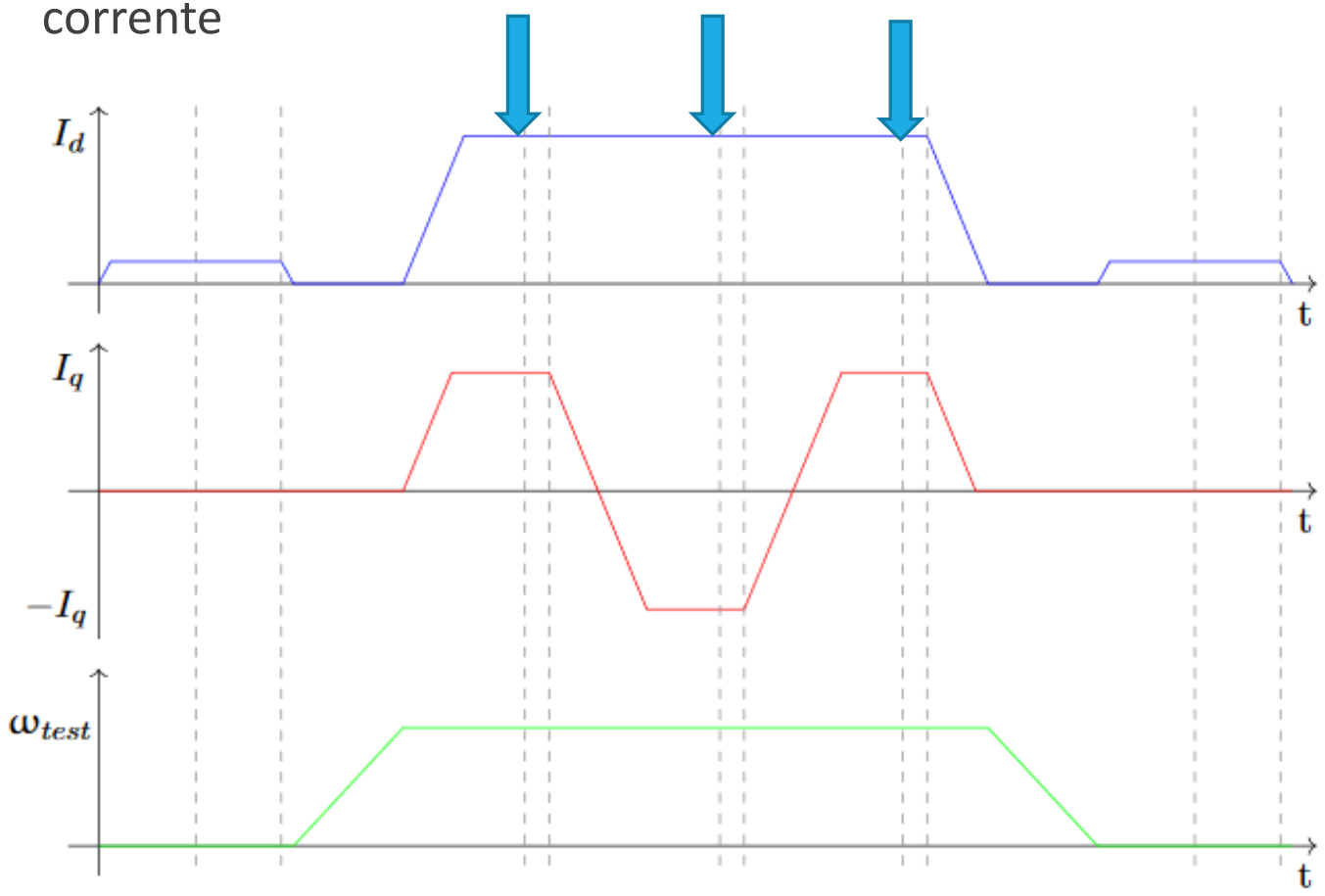



Rapporto $\frac{P_{Fe}}{P_{Fe}+P_{Cu}}$ $T_{avv}$ =70°C



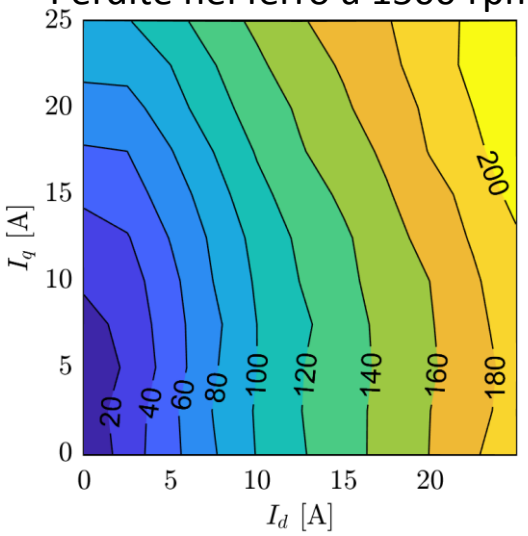
# Valutazione delle perdite nel ferro

La prova è analoga alla caratterizzazione magnetica, con reiezione dell'errore di resistenza tramite opportuna serie di riferimenti di corrente

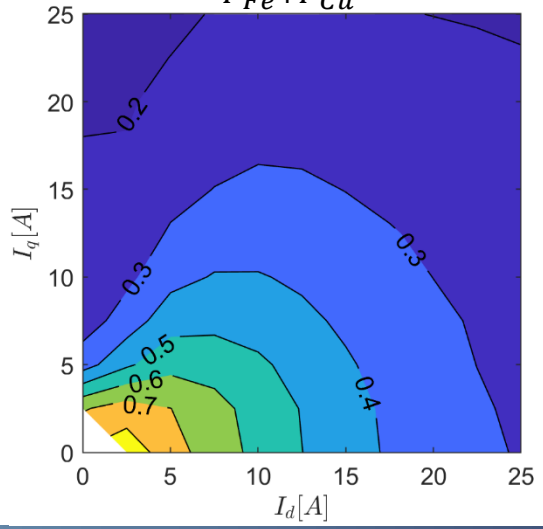



Sequenza temporale della prova per il punto ($I_d$ , $I_q$ )

Perdite nel ferro a 1500 rpm

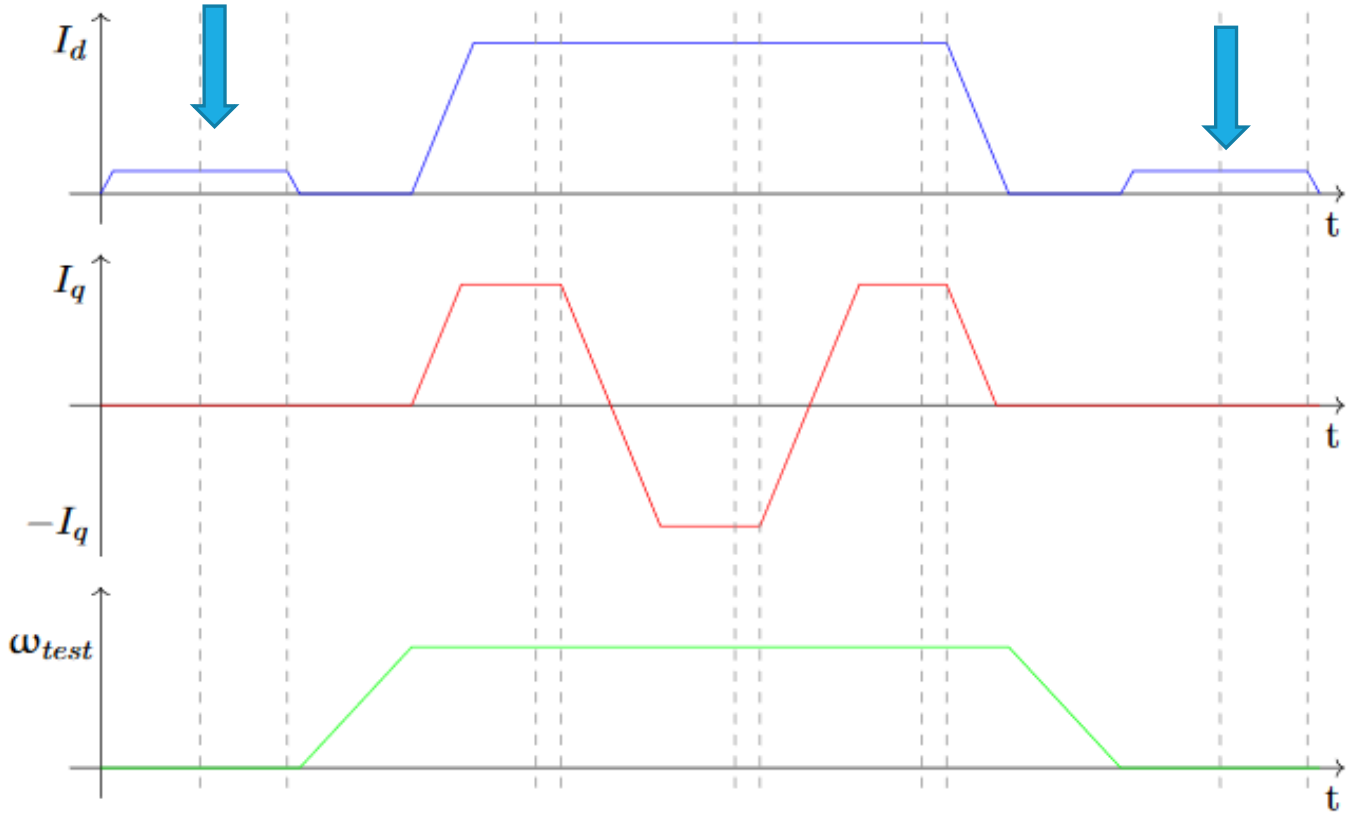



Rapporto $\frac{P_{Fe}}{P_{Fe}+P_{Cu}}$ $T_{avv}$ =70°C



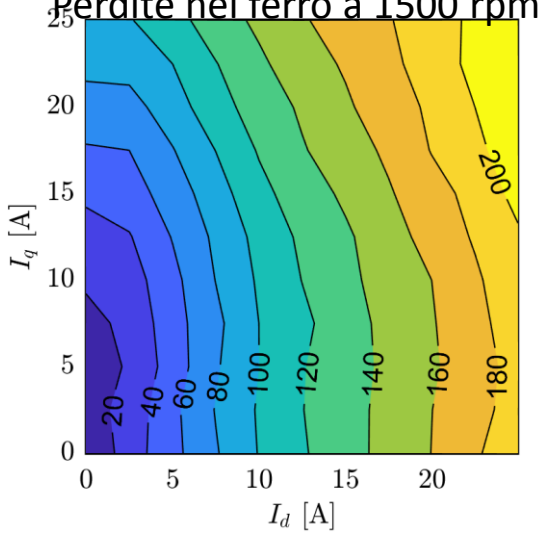
# Valutazione delle perdite nel ferro

Per ogni coppia di correnti analizzata si misura la resistenza di avvolgimento a macchina bloccata per poter valutare le perdite nel rame (trascurando l'effetto pelle, poco rilevante alle velocità testate)

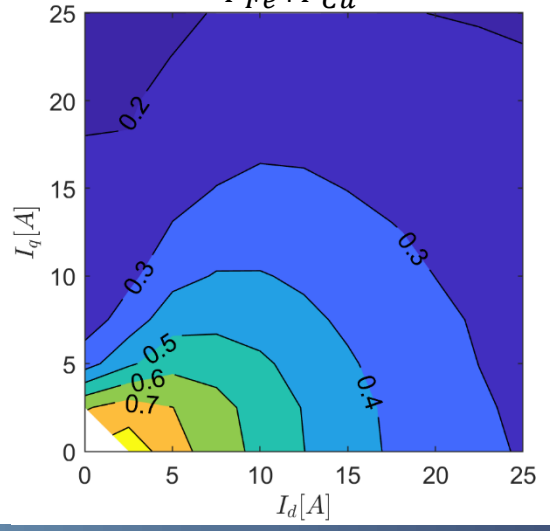



Sequenza temporale della prova per il punto ($I_d$ , $I_q$ )

Perdite nel ferro a 1500 rpm




Rapporto $\frac{P_{Fe}}{P_{Fe}+P_{Cu}}$ $T_{avv}$ =70°C

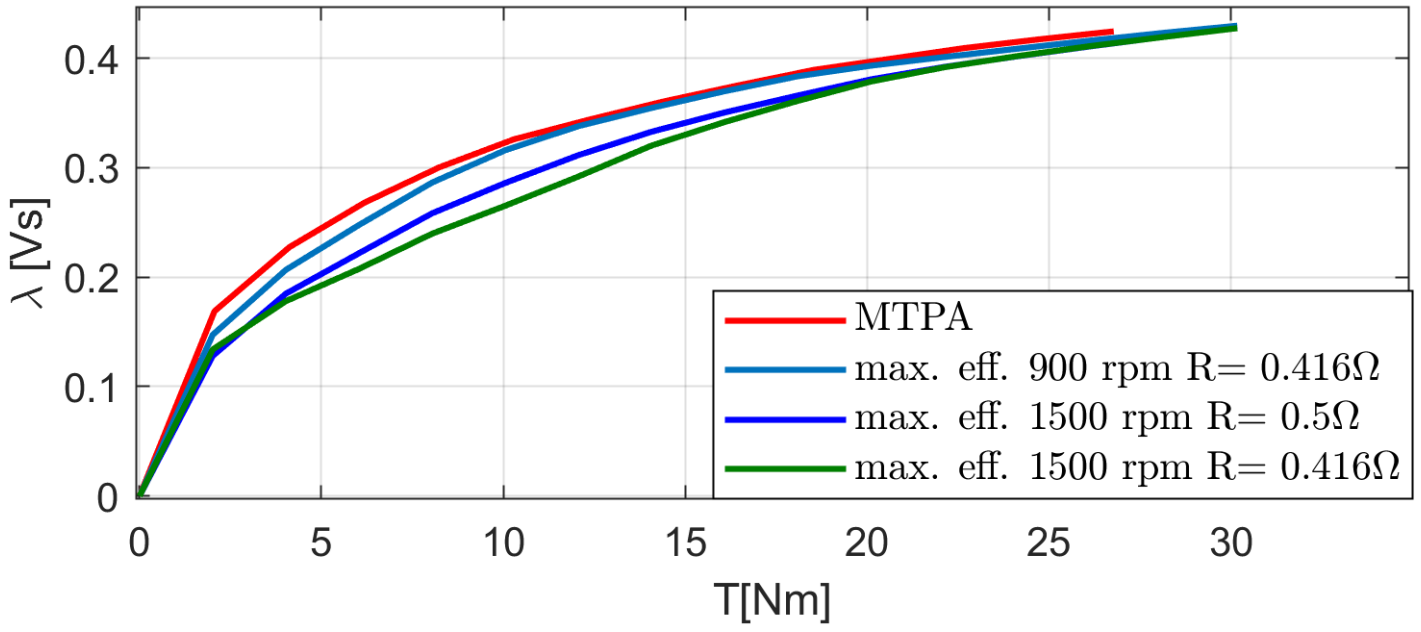


# Luogo di massima efficienza

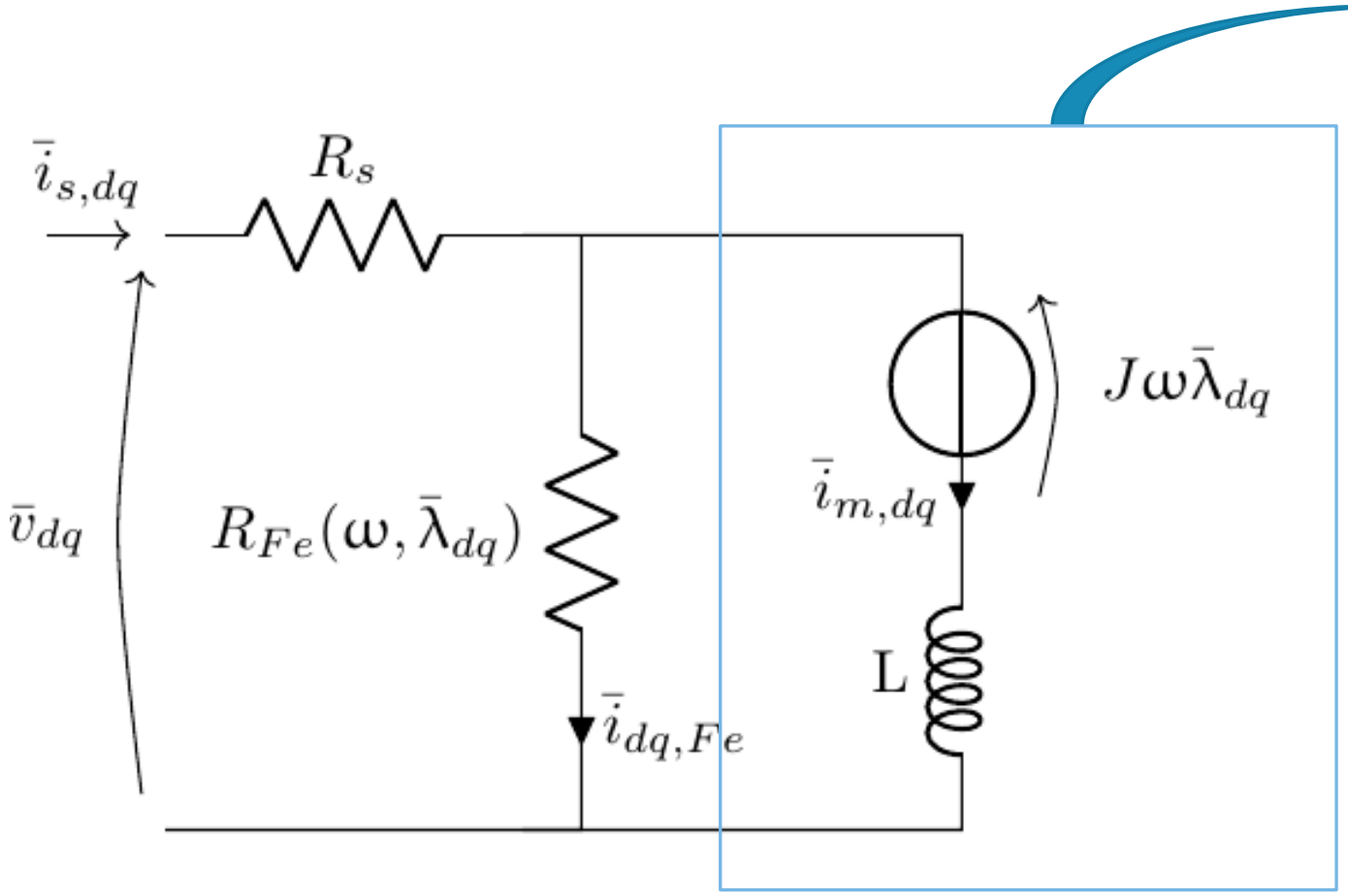
Dai valori sperimentali si ha la relazione fra flussi, correnti, $P_{Fe}$ e coppie per una velocità.

Si riscontra:

- Dipendenza della curva dalla temperatura della macchina
- Dipendenza della curva alla velocità di rotore



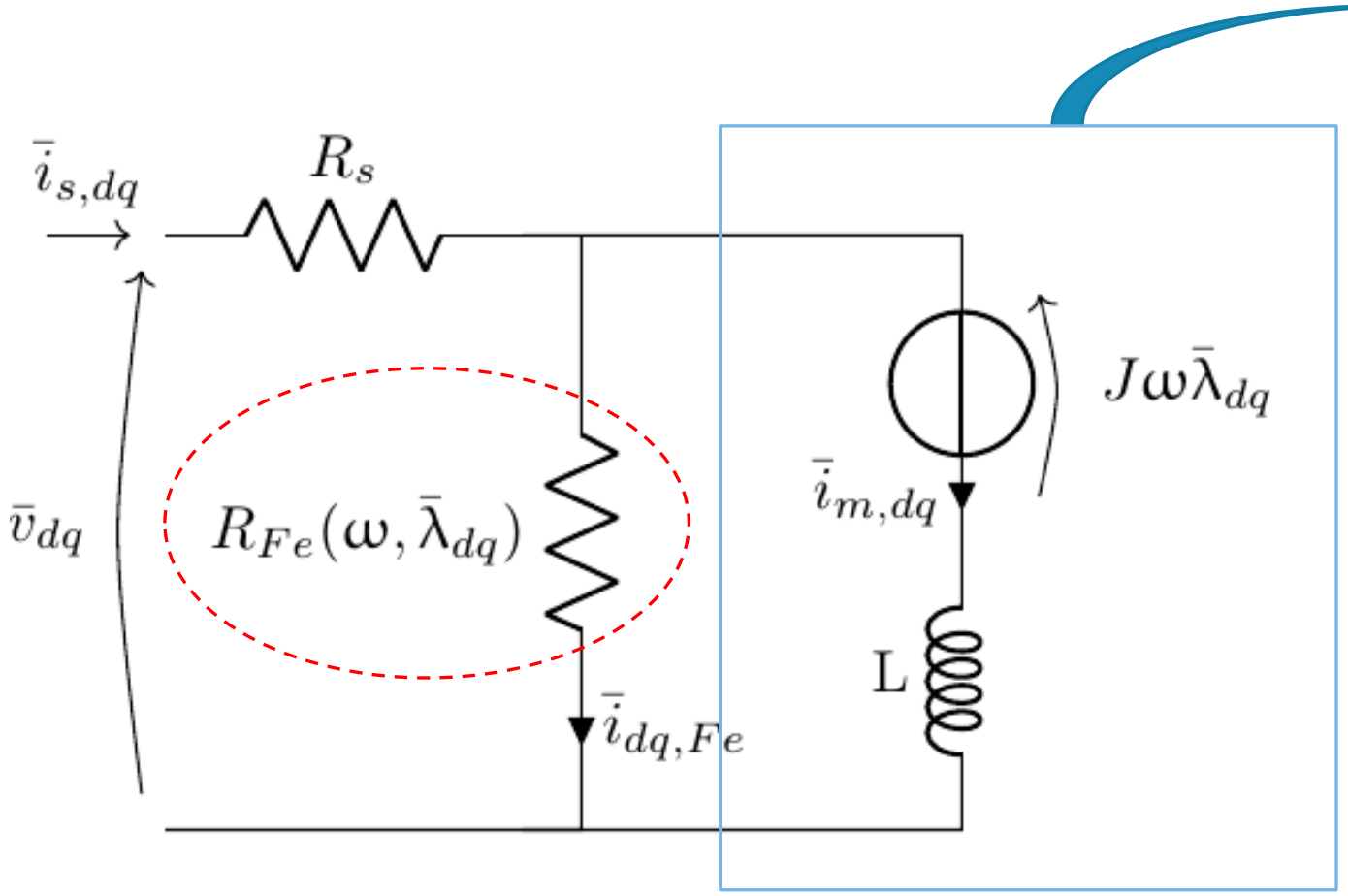
# Modello Dinamico del Motore con Perdite nel Ferro




Equazioni di statore nel modello in assi $\alpha\beta$

- $\int v_{\alpha\beta} - R_s i_{s,\alpha\beta} dt = \lambda_{\alpha\beta}$
- $\lambda_{\alpha\beta} \longrightarrow \lambda_{dq}$
- $\lambda_{dq} \longrightarrow i_{m,dq}$

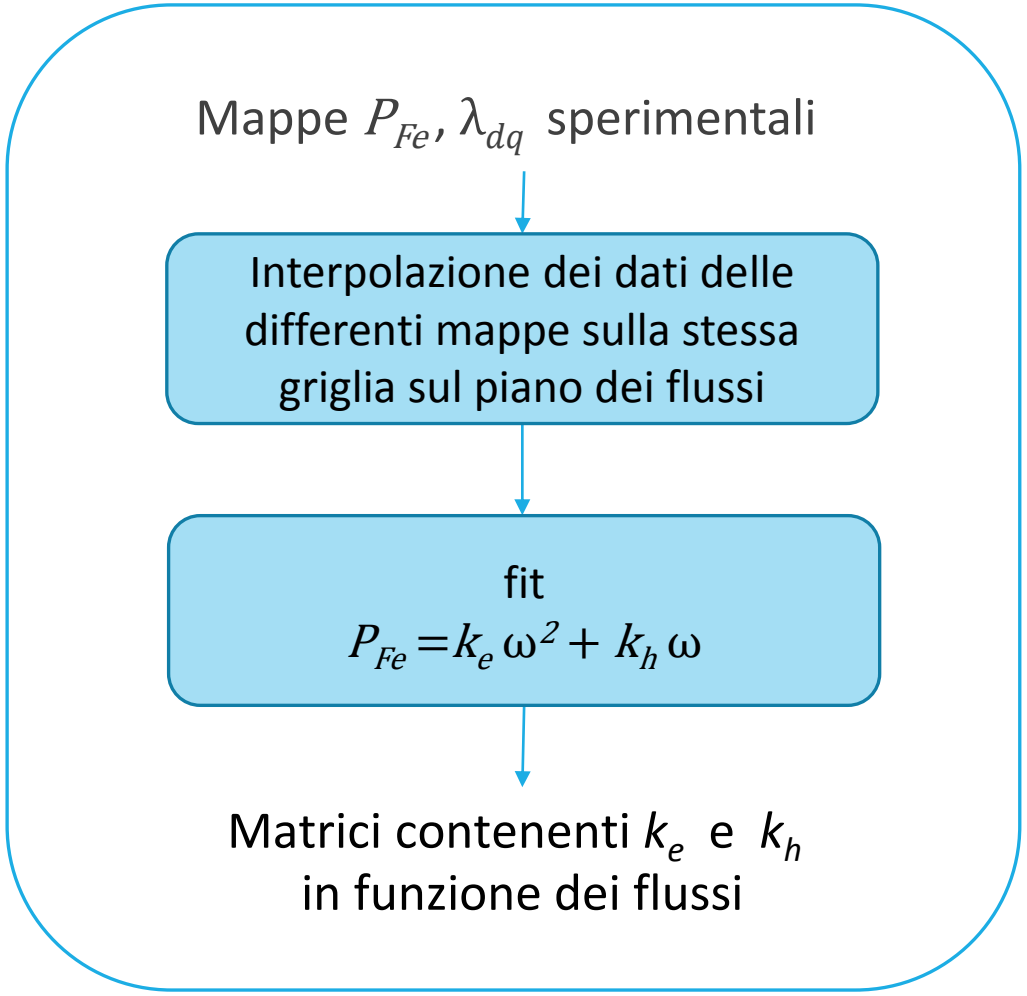
# Modello Dinamico del Motore con Perdite nel Ferro



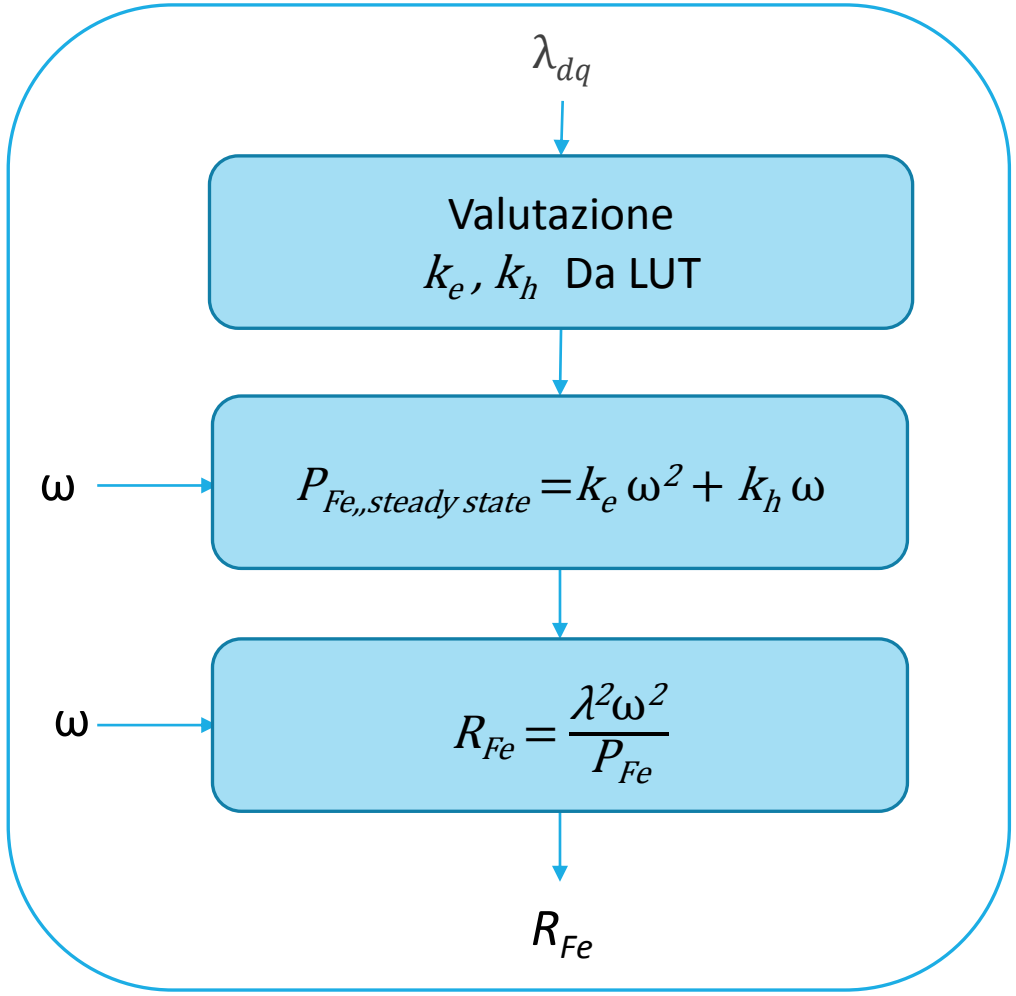

Equazioni di statore nel modello in assi $\alpha\beta$

- $\int v_{\alpha\beta} - R_s i_{s,\alpha\beta} dt = \lambda_{\alpha\beta}$
- $\lambda_{\alpha\beta} \longrightarrow \lambda_{dq}$
- $\lambda_{dq} \longrightarrow i_{m,dq}$

# Modello delle perdite nel ferro




Preparazione dei dati delle $P_{Fe}$



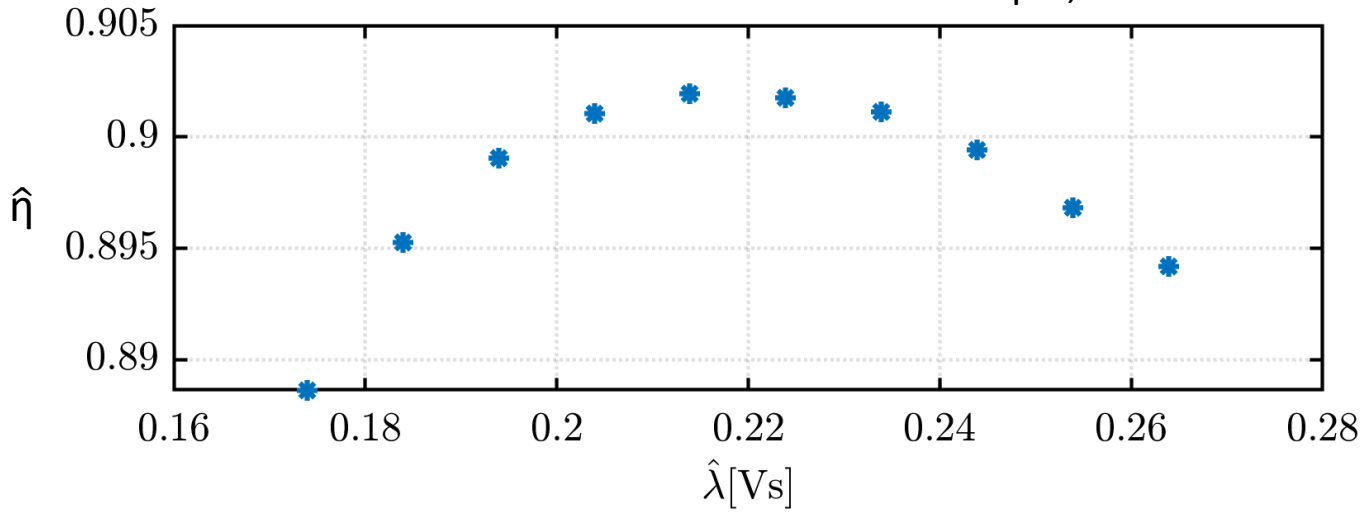

Valutazione della resistenza nel modello Simulink

# Nuovo controllo ad alta efficienza

- Ricerca effettuata online.
- Richiede la stima della potenza meccanica ed elettrica.

$$\begin{cases} \hat{P}_e = \frac{3}{2}\left(i_\alpha \; v_\alpha^* + i_\beta \; v_\beta^*\right) \\ \hat{P}_{mec} = \frac{3}{2} p \; \omega_m \left(i_q \, \hat{\lambda}_d - i_d \, \hat{\lambda}_q\right) - \hat{P}_{Fe} \end{cases}$$

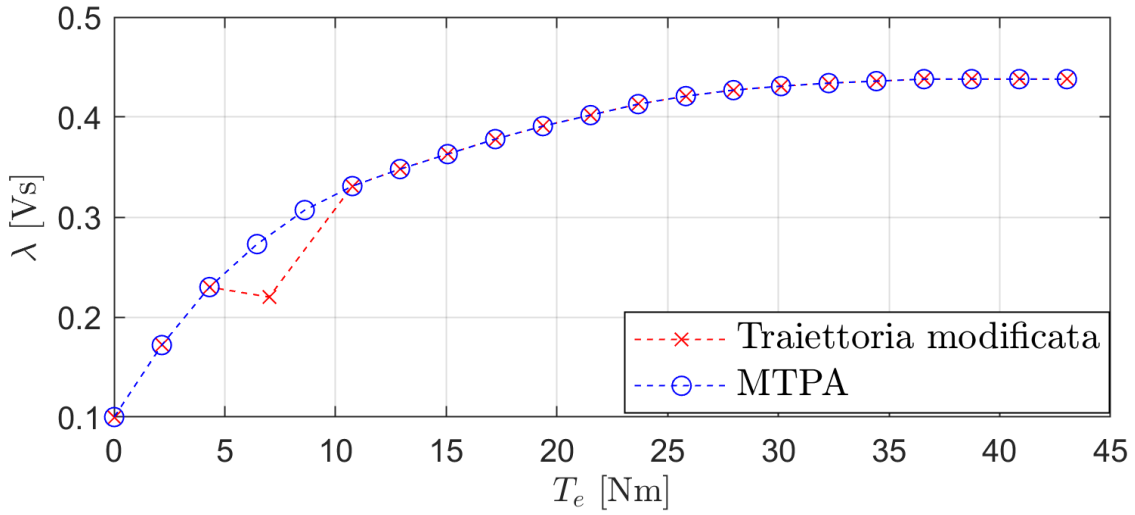
Efficienza valutata dal controllo con n=1500rpm, $T^*$ = 6Nm



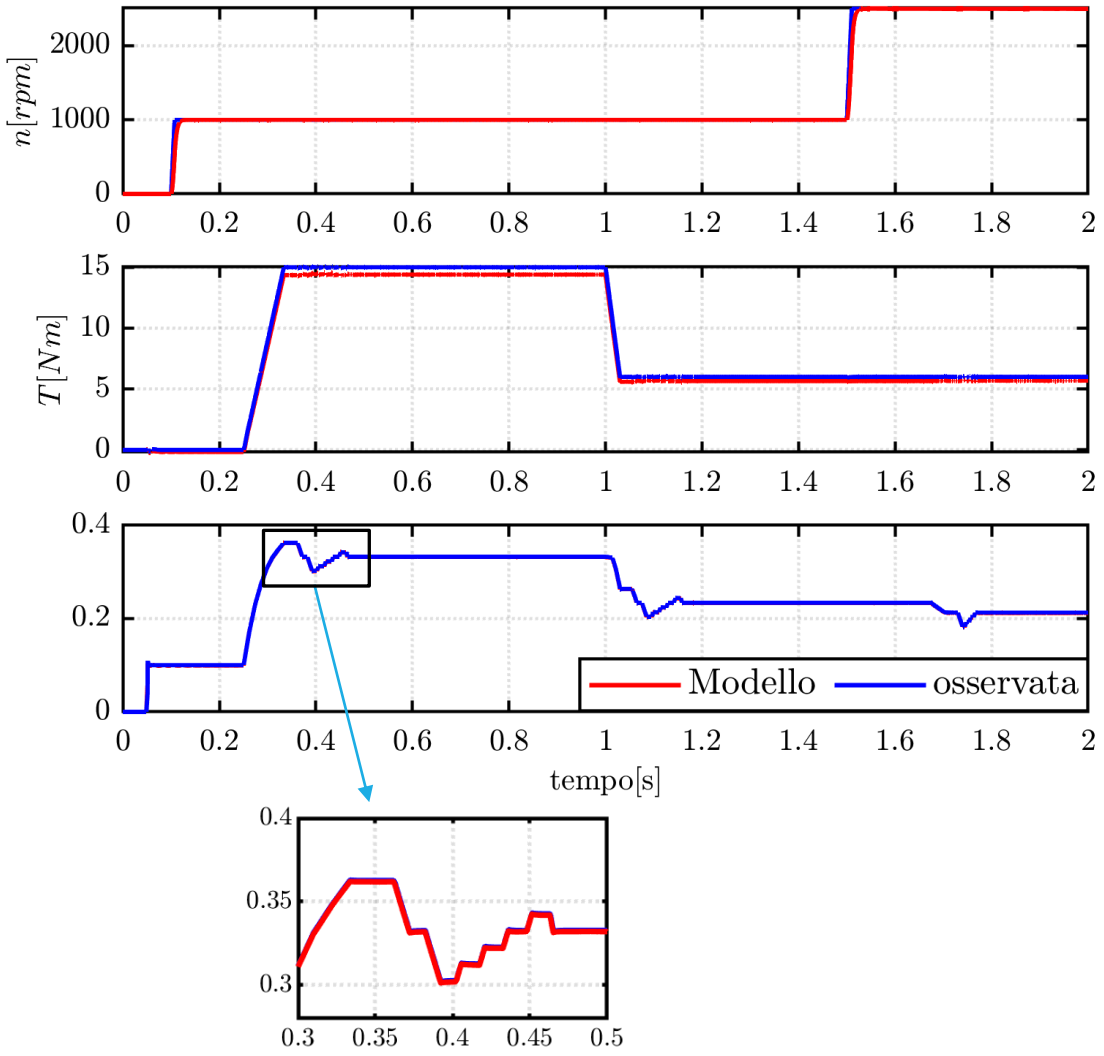
# Controllo Coppia

- Avvio dell'analisi in condizione di stazionarie.
- Trovato il punto a efficienza migliorata la curva di controllo è modificata fino alla nuova ricerca

Curva di controllo

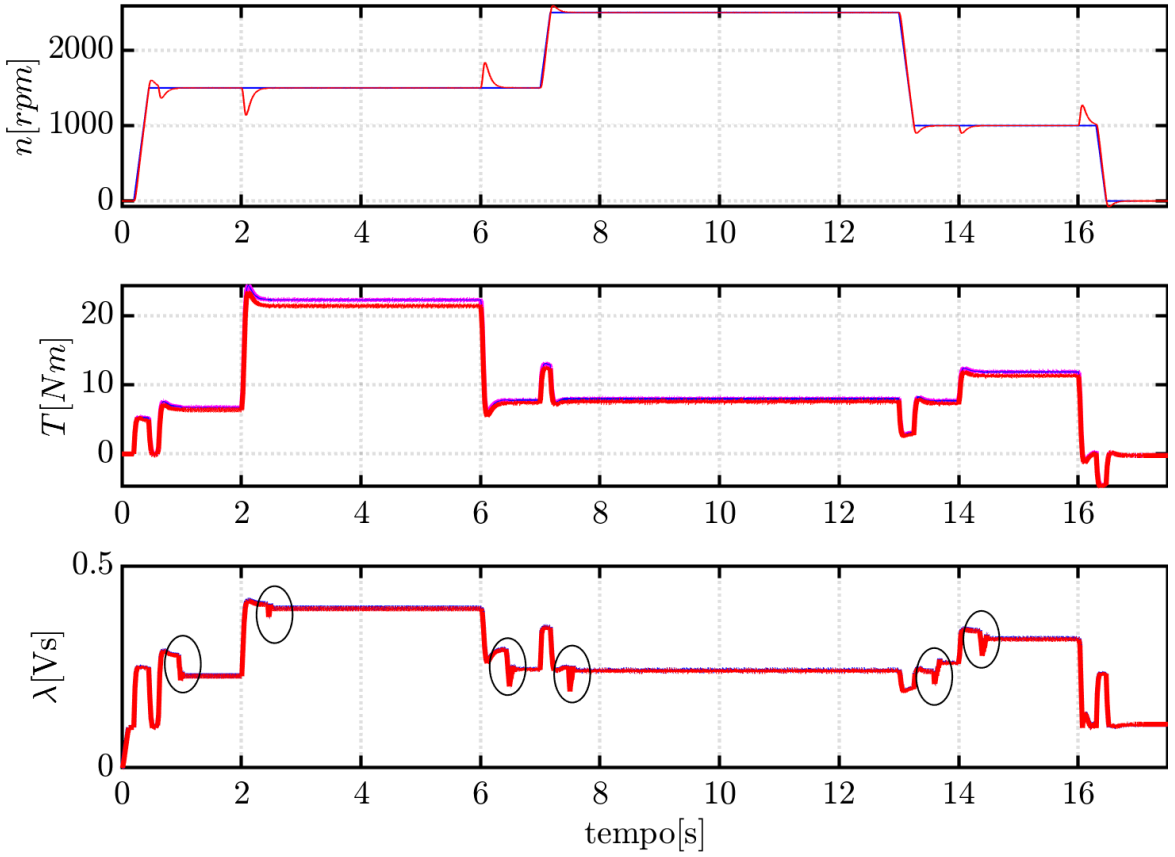



Ciclo di lavoro

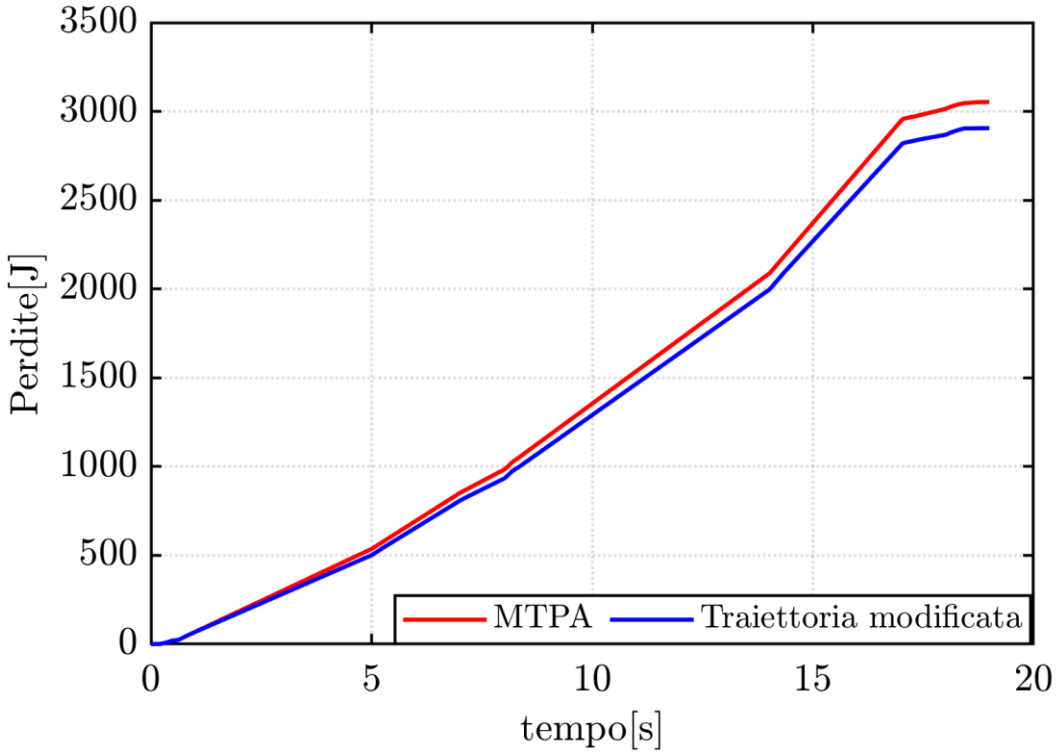


# Controllo velocità

Ciclo di lavoro




Perdite totali



# Conclusioni

- Una procedura di testing sperimentale è stata definita per valutare le perdite nel ferro a differenti velocità ed è stata applicata a un motore sincrono a riluttanza.
- Un modello Simulink è stato sviluppato in grado di descrivere fedelmente la macchina.
- Un algoritmo di ricerca del punto  di massima efficienza è stato sviluppato e testato in simulazione.
- I guadagni riscontrati sono stati modesti e non validati in laboratorio per questioni di tempo, tuttavia si ritiene che per motori ad alta velocità i guadagni correlati potrebbero essere di maggiore interesse pratico.

# Grazie per l’attenzione

Giorgio Ariaudo
s245169@studenti.polito.it