

Elaborato

Modello elastico

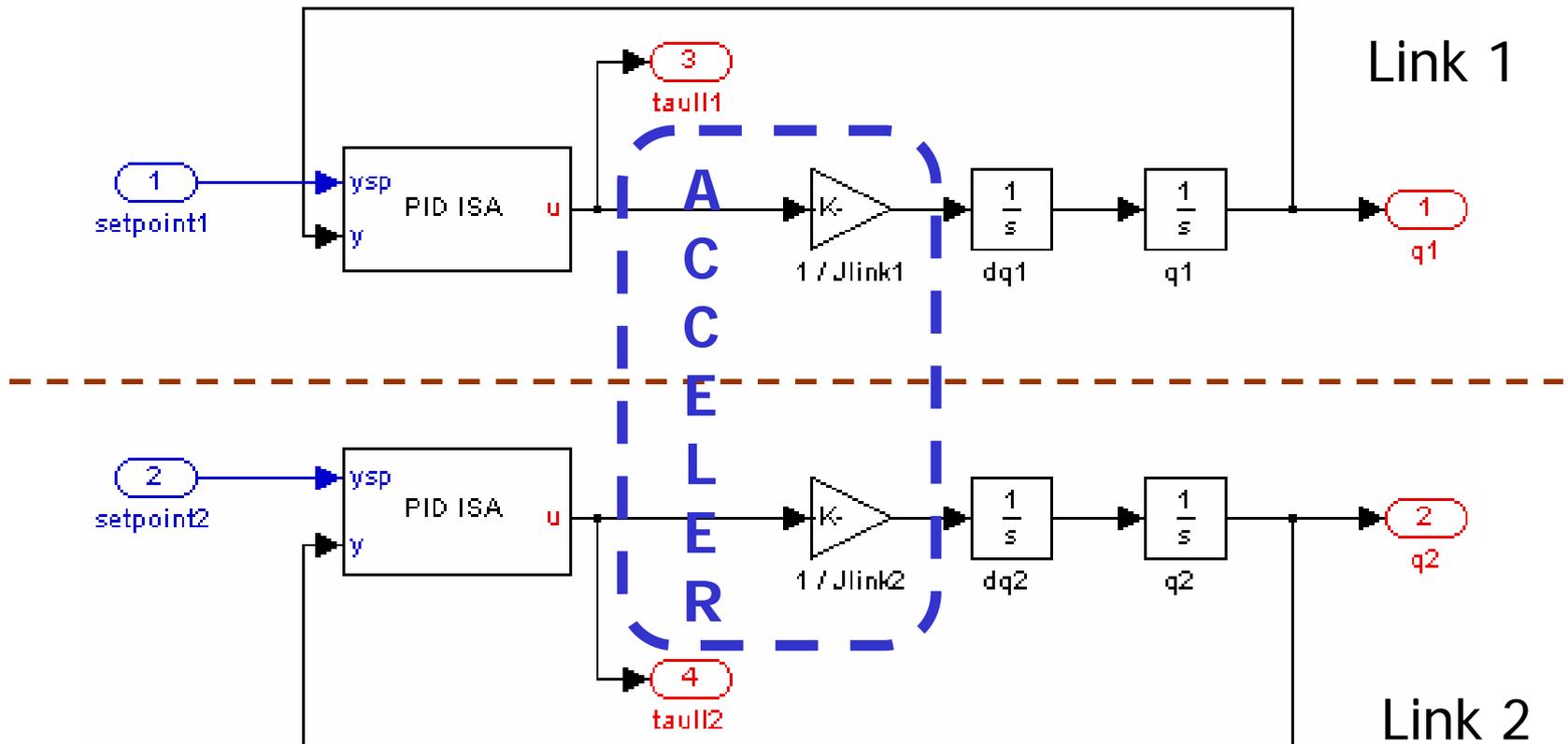
Robotica Industriale

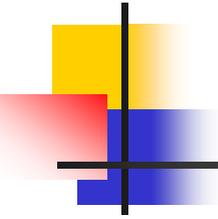
Prof. G.A. Magnani

a.a.2002/2003

Ing. M. Gritti e Ing. W. Spinelli

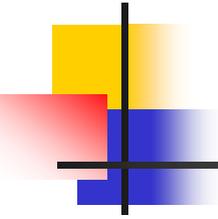
Precisazione: controllo disaccoppiato





Contenuti

- Dimensionamento di motori e riduttori
- Schemi di controllo del modello elastico
- Analisi del modello elastico

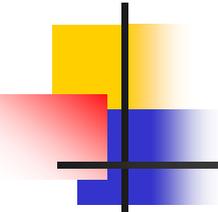


Contenuti

- **Dimensionamento di motori e riduttori**
 - **Precisazioni sulla documentazione**
 - **Esempio di dimensionamento**
 - **Esempio di scelta di motore e riduttore**
- Schemi di controllo del modello elastico
- Analisi del modello elastico

Parametri del motore

- Parametri da documentare nell'elaborato
 - Coppia continuativa τ_c
 - Coppia di picco τ_p
 - Velocità nominale (giri/min) N
 - Corrente continuativa I
 - Costante di coppia K_t
 - Momento d'inerzia del rotore J_m
- Come coefficiente di attrito viscoso D_m assumere il valore riportato sul libro $D_m = 0.0034 \text{ Nm/rad}$
- Nel dimensionamento del motore si fa riferimento alla coppia continuativa (o nominale, o di stallo)



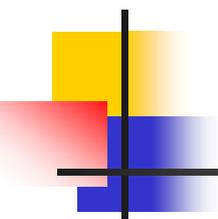
Parametri del riduttore

- Parametri da documentare nell'elaborato

- Rapporto di riduzione n
- Rigidità torsionale (1÷10) K_{el}
- Momento d'inerzia J_{rid}
- Coppia di picco massima τ_{rid}^{max}

- Come coefficiente di smorzamento del riduttore D_{el} assumere il valore riportato sul libro $D_{el} = 0.0022 \text{ Nm/rad}$

- Nel modello Simulink si usa il coefficiente di rigidità torsionale visto dal lato motore: $K_{el}^m = K_{el}^l / n^2$



Esempio di dimensionamento

- Dati per il dimensionamento

- Masse dei link

$$m_1 = 12 \text{ kg} \quad m_2 = 5 \text{ kg}$$

- Velocità massima dei link

$$\omega_l^{\max} = 3 \text{ rad/s}$$

- Accelerazione massima dei link

$$\dot{\omega}_l^{\max} = 15 \text{ rad/s}^2$$

- Coppia massima applicata dal carico

- Link 1 $\tau_{L1}^{\max} = J_{l1} \cdot \dot{\omega}_{l1}^{\max} + \tau_{l1}^{\max} = 370 \text{ Nm}$

- Link 2 $\tau_{L2}^{\max} = J_{l2} \cdot \dot{\omega}_{l2}^{\max} + \tau_{l2}^{\max} = 50 \text{ Nm}$

Scelta del motore per il primo link

Kollmorgen B-204-B



Coppia continuativa	4.7 N·m
Coppia di picco	13.8 N·m
Velocità nominale	3600 giri·min ⁻¹
Corrente continuativa	5.3 A _{rms}
Costante di coppia	0.85 N·m·A _{rms} ⁻¹
Inerzia del rotore	0.000173 kg·m ²
Coefficiente di attrito viscoso	0.0034 N·m·s·rad ⁻¹
Peso	6.2 kg

Scelta del riduttore per il primo link

Harmonic Drive HFUC-2A 40



Rapporto di riduzione	120
Rigidità torsionale	15.97 N·m·rad ⁻¹
Momento d'inerzia	0.00045 kg·m ⁻²
Coppia media	451 N·m
Coppia di picco ripetuta	617 N·m
Velocità media in ingresso	3600 giri·min ⁻¹
Coefficiente di smorzamento	0.0022 N·m·s·rad ⁻¹

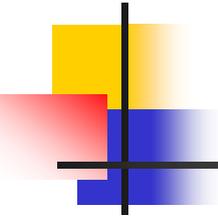
Verifica del dimensionamento

- Il rispetto dei seguenti vincoli garantisce la correttezza del dimensionamento eseguito

$$3.15 \text{ rad/s} = \frac{N_1 \left(\frac{\text{giri}}{\text{min}} \right)}{n_1} \cdot \frac{2\pi}{60} \geq 3 \text{ rad/s}$$

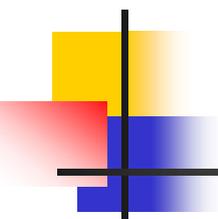
$$564 \text{ Nm} = n_1 \cdot \tau_{c1} \geq \tau_{L1}^{\max} + (J_{m1} + J_{rid1}) \cdot n_1^2 \cdot \dot{\omega}_{l1}^{\max} = 502 \text{ Nm}$$

$$1 \leq \rho = \frac{J_{l1}}{n_1^2 \cdot (J_{m1} + J_{rid1})} = 1.74 \leq 5$$



Contenuti

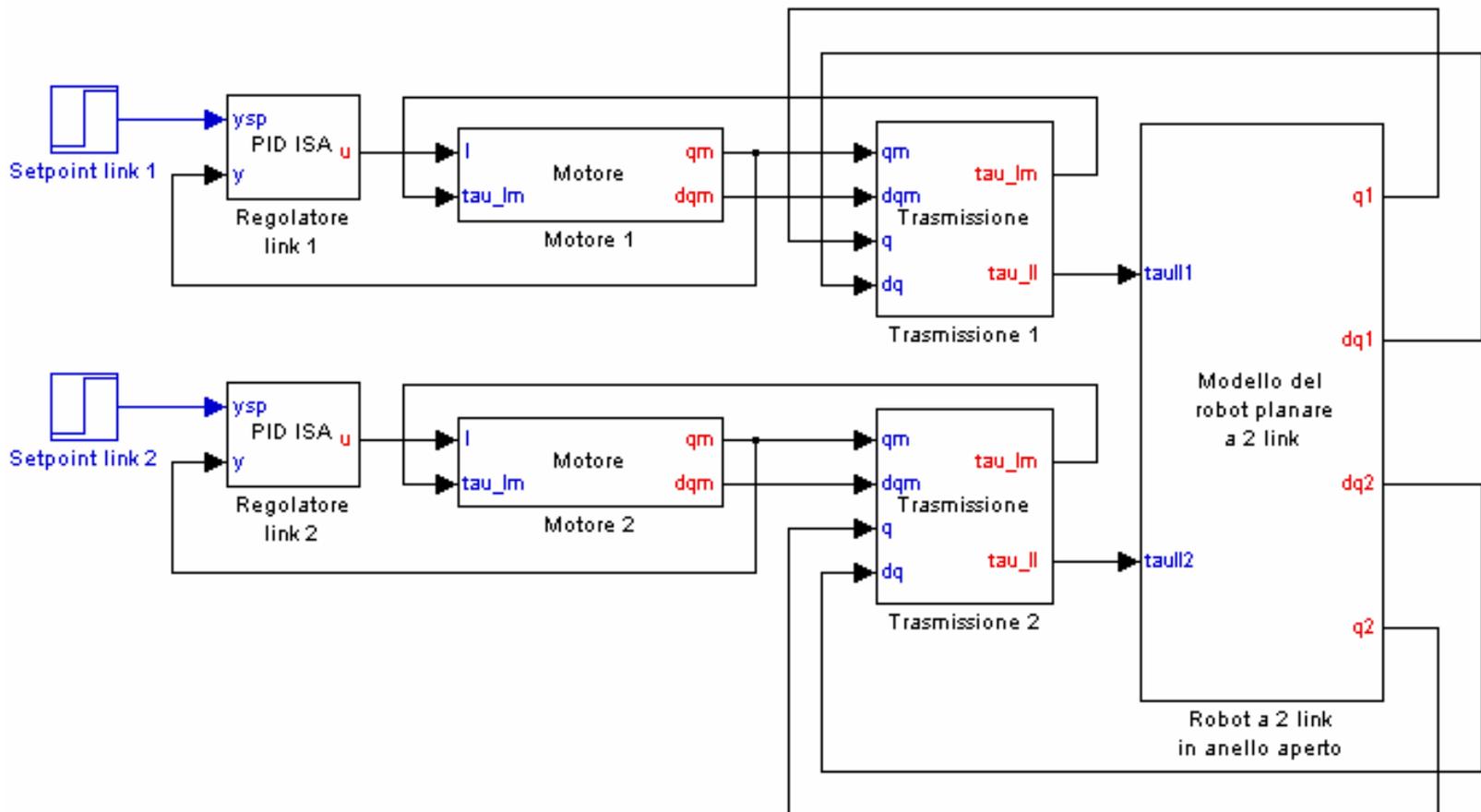
- Dimensionamento di motori e riduttori
- **Schemi di controllo del modello elastico**
 - **Controllo PID**
 - **Controllo P/PI**
- Analisi del modello elastico



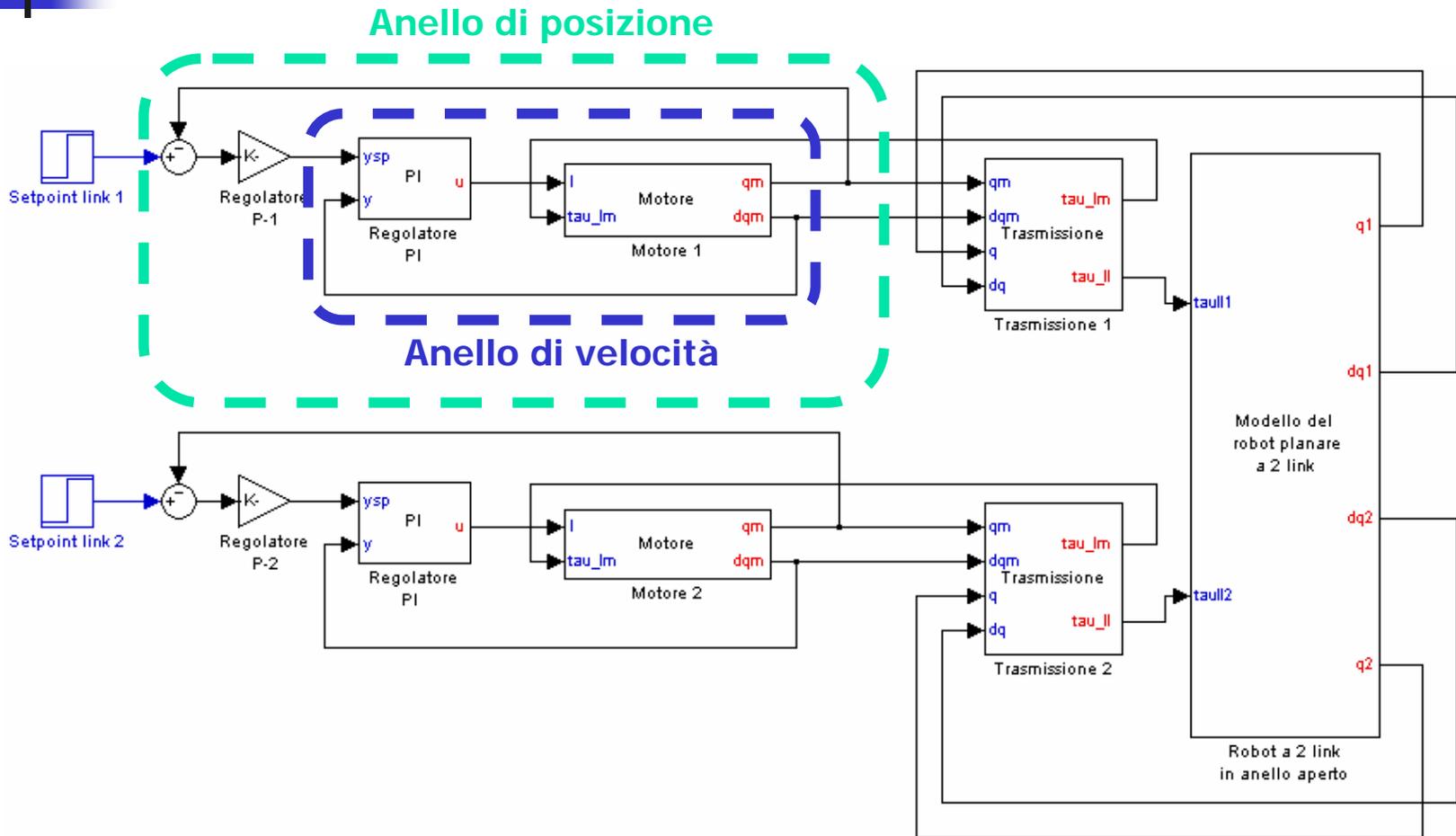
Considerazioni sul modello elastico

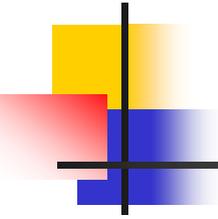
- Il controllo di posizione viene realizzato supponendo di conoscere solo la posizione del motore e non quella del carico
 - Nel modello rigido le due misure sono equivalenti (a meno del rapporto di riduzione)
 - Nel modello elastico invece le differenze sono significative (*N.B.* inizializzazione)
- Si suppone che dai regolatori escano le correnti di alimentazione dei motori
- Nel modello si trascura la dinamica dell'anello di corrente

Schema del modello elastico con PID



Schema del controllo in cascata P/PI





Contenuti

- Dimensionamento di motori e riduttori
- Schemi di controllo del modello elastico
- **Analisi del modello elastico**
 - **Funzioni di trasferimento in anello aperto**
 - **Diagrammi di Bode**

Funzioni di trasferimento

- Posto $J_{mr} = (J_m + J_{rid})$ e $J_{eff} = n^2 J_{mr} + J_l$ risulta:
- FdT tra setpoint di corrente e posizione del motore (modello rigido)

$$G_{pr}(s) = \frac{K_t n^2}{s(J_{eff}s + n^2 D_m)}$$

- FdT tra setpoint di corrente e velocità del motore (modello elastico)

$$G_{vm}(s) = \frac{K_t (J_l s^2 + n^2 D_{el} s + n^2 K_{el})}{J_l J_{mr} s^3 + (J_{eff} D_{el} + J_l D_m) s^2 + (J_{eff} K_{el} + n^2 D_m D_{el}) s + n^2 D_m K_{el}}$$

- FdT tra setpoint di corrente e posizione del motore (modello elastico)

$$G_{pm}(s) = \frac{1}{s} \cdot G_{vm}(s)$$

Parametri dinamici del modello elastico

- Funzione di trasferimento $G_{pm}(s)$

- Poli » damp (G_{pm})

- Polo nell'origine

- Polo semplice

- $\omega_r \cong 2 \text{ rad/s}$

- Poli della risonanza

- $\omega_p \cong 200 \text{ rad/s}$

- $\xi_p \cong 0.022$

- Zeri » damp ($1 / G_{pm}$)

- Zeri dell'antirisonanza

- $\omega_z \cong 120 \text{ rad/s}$

- $\zeta_z \cong 0.0083$

Diagrammi di Bode

- Modulo di $G_{pm}(s)$

