

# Progetto automazione

**Robot auto-bilanciante su due ruote**

# Obiettivo

L'obiettivo del progetto è la realizzazione di un robot con due ruote indipendenti che sia in grado di rimanere autonomamente in equilibrio.

# Obiettivo

Per farlo è necessario:

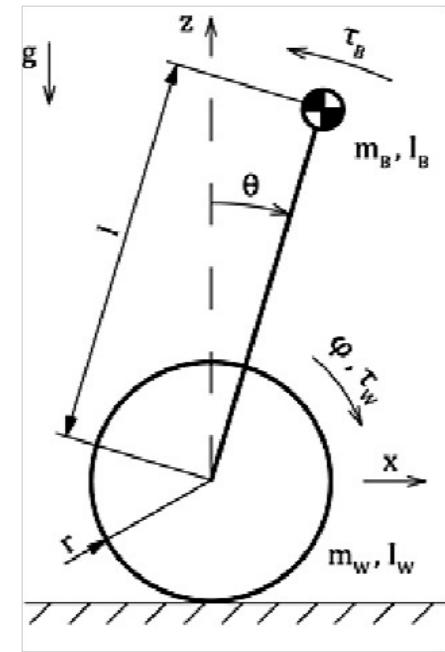
- Modellare il sistema
- Realizzare un controllore
- Simulare il sistema processo+controllore
- Costruire il robot e programmarlo

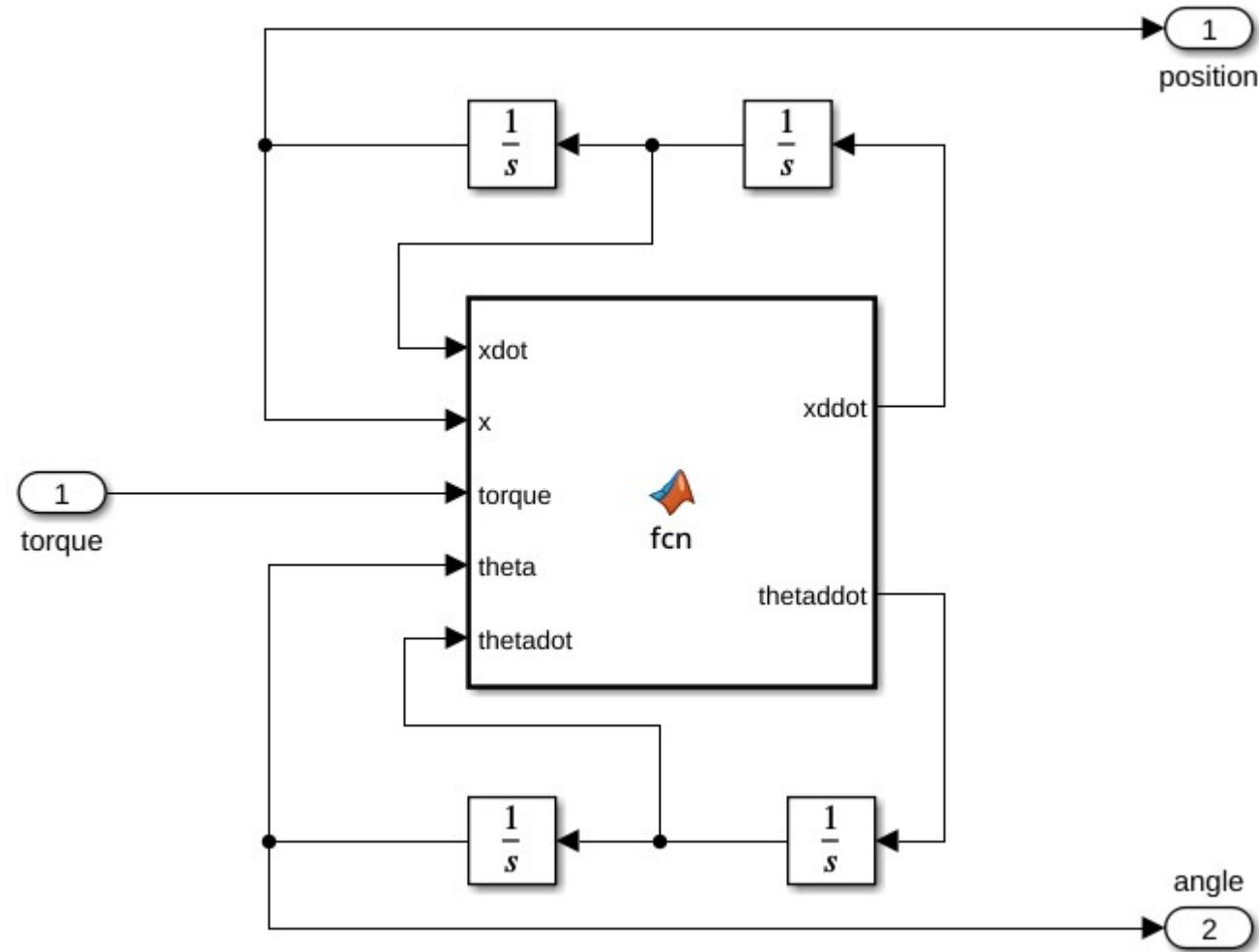
# Modellazione

- È una variazione del pendolo inverso.
- Modellazione con Lagrange, si ottengono equazioni differenziali del secondo ordine

$$\begin{cases} (I_b + m_b l^2) \ddot{\theta} + m_b l \ddot{x} \cos \theta - m_b g l \sin \theta = -(\tau_r + \tau_l) \\ (m_b + \frac{2I_w}{r^2} + 2m_w) \ddot{x} + m_b l \cos \theta \ddot{\theta} - m_b l \sin \theta \dot{\theta}^2 = \frac{\tau_r + \tau_l}{r} - 2b_w \frac{\dot{x}}{r^2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} (I_b + m_b l^2) \ddot{\theta} + m_b l \ddot{x} - m_b g l \theta = -(\tau_r + \tau_l) \\ (m_b + \frac{2I_w}{r^2} + 2m_w) \ddot{x} + m_b l \ddot{\theta} = \frac{\tau_r + \tau_l}{r} - 2b_w \frac{\dot{x}}{r^2} \end{cases}$$



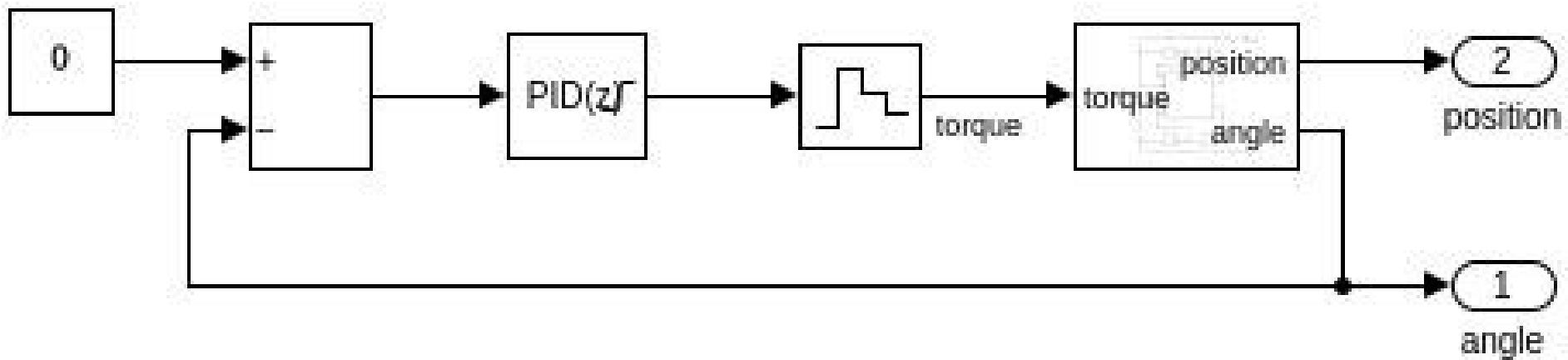


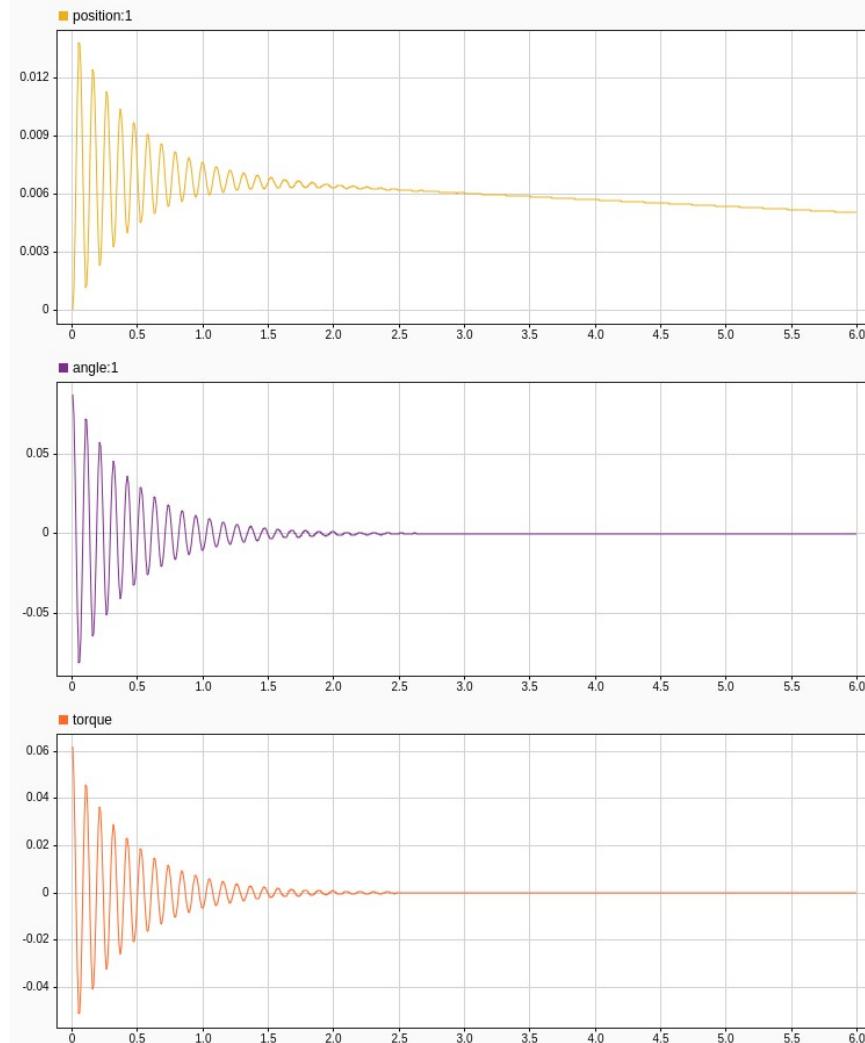
# Controllore

Il sistema linearizzato è stabilizzabile con un controllore PID, che può essere calibrato sia in maniera analitica che con il metodo di Ziegler-Nichols

# Simulazione

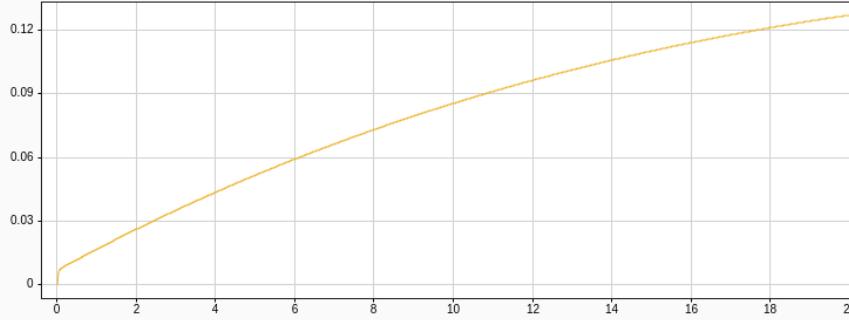
- Per calibrare il PID e dimensionare i motori è necessario simulare il sistema prima di acquistare i componenti
- Viene simulato direttamente il sistema non lineare con un blocco Simulink "Funzione Matlab".
- Il controllore è calcolato sul sistema linearizzato



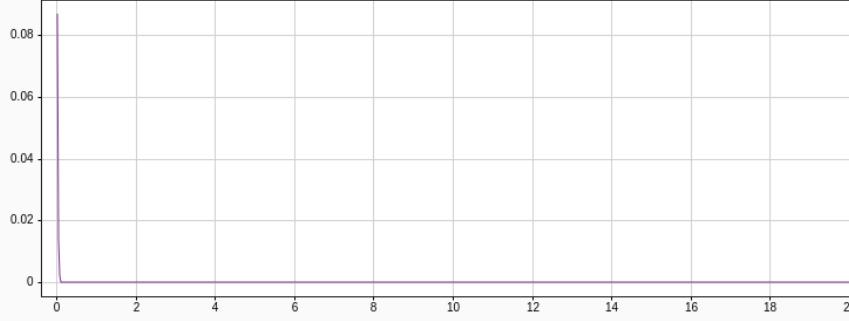


$K_p = -0.6, K_i = -0.2, K_d = -0.001$

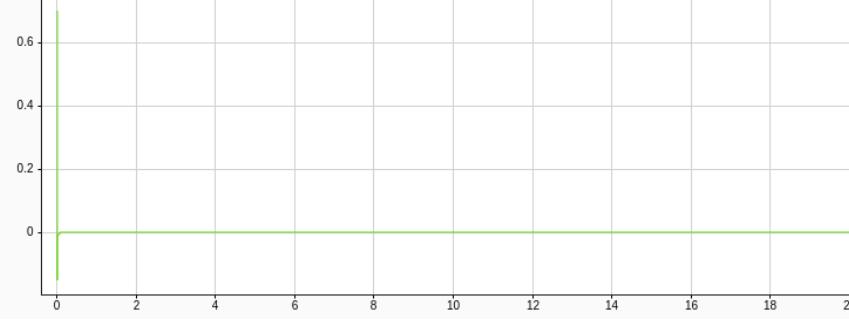
■ position:1



■ angle:1



■ torque



$K_p = -5.8, K_i = -0.2, K_d = -0.1$

# Realizzazione

- Raspberry Pi Pico (microcontrollore arduino-compatibile)
- Servomotori CC Hitec HS-322HD
- Motor driver L298N
- IMU a sei assi MPU6050
- Pezzi stampati in 3D (PLA) e tagliati a laser (compensato 3mm)

# E poi?

## I problemi da risolvere

- Le simulazioni dimostrano che il controllo del solo angolo di pitch porta il robot a essere in perenne movimento
- Il controllo è estremamente sensibile a incertezze nei parametri costruttivi e a errori di misura
- Le ruote non mantengono sincronia, il robot tende a storcersi lungo lo yaw
- I motori sono leggermente sottodimensionati