

VELOCITY ESTIMATION AND MOTION CONTROL USING MEMS ACCELEROMETER

Luca Fardin

Relatore: Prof. Luca Schenato

Correlatore: Prof. Richard Kavanagh

INTRODUZIONE

Richiesta nei sistemi meccanici:

- Accurata informazione della velocità

In genere, stima della velocità:

- Posizione fornita dall'encoder: differenza di due successivi impulsi



Alte velocità: stima relativamente accurata

Basse velocità: stima altamente inaffidabile

METODI

- **Utilizzo encoder alta risoluzione:**
 - Maggiore precisione di stima;
 - Incremento del costo.
- **Stima della velocità tramite stimatori model-based**
 - Richiesta dei parametri del sistema;
 - Conoscenza disturbi esterni;
 - Non robusto in applicazioni con carichi o disturbi esterni variabili nel tempo.
- **Kinematic Kalman Filter (KKF)**
 - Non sono richiesti parametri del sistema;
 - Immune alle variazioni dei parametri;
 - Immune alla modellizzazione dell'incertezze.

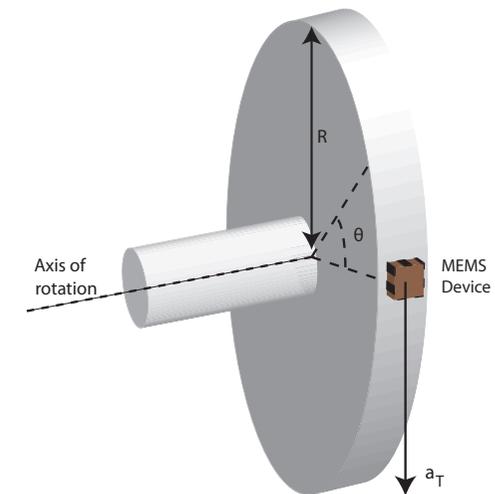
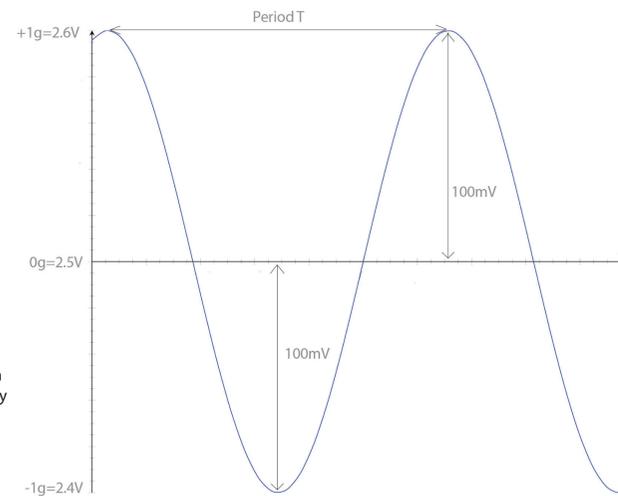
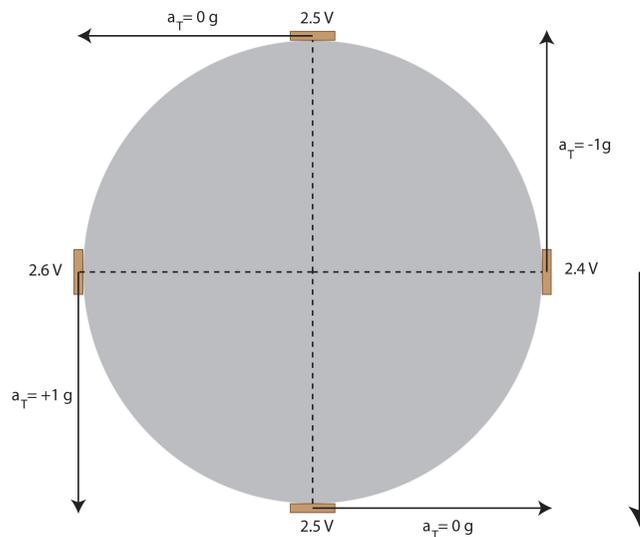
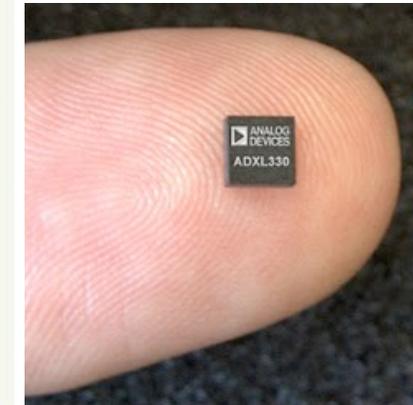
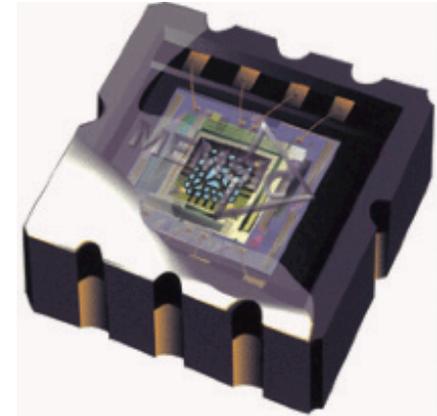
ANALISI E CONFRONTO

- Stimatore model-based
 - Non robusto in applicazioni con carichi variabili nel tempo;
 - Sensibile ai disturbi esterni;
 - Errore aumenta con il diminuire della risoluzione dell'encoder.
- Kinematic Kalman Filter (KKF)
 - Migliore stima della velocità;
 - Ottime prestazioni anche utilizzando encoder con bassa risoluzione;
 - Robusto alle variazioni di carico e dei parametri.

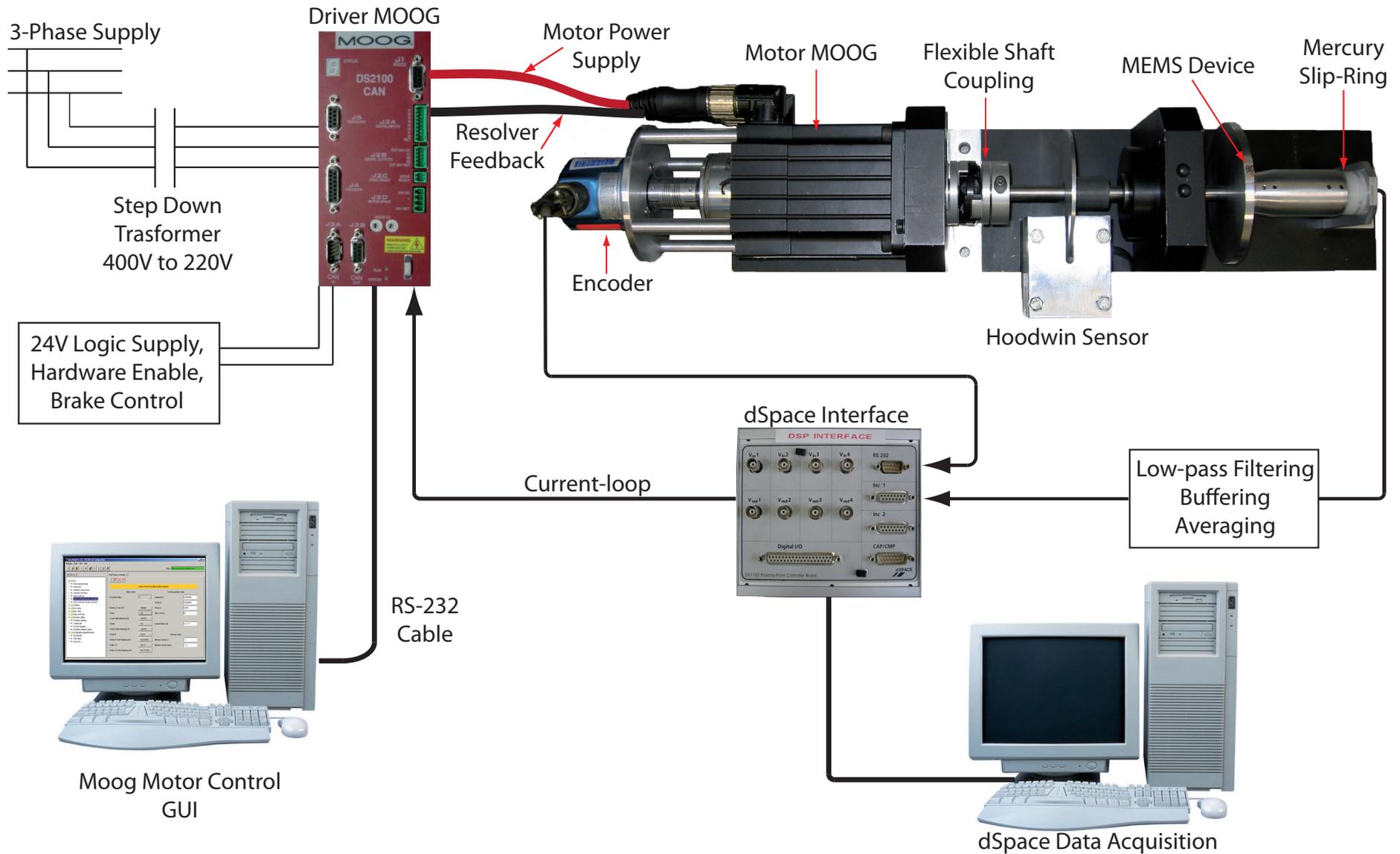
MEMS ACCELEROMETRO

Dispositivo analogico ADXL210E:

- Basso costo;
- Bassa potenza;
- Accelerometro a 2 assi;
- Uscita digitale e analogica.



APPARATO COMPLESSIVO



Stima della velocità con lo schema Model-based

$$J\ddot{\theta}(t) + b\dot{\theta}(t) = u(t) + d(t)$$

- J: valore nominale inerzia;
- b: valore nominale dello smorzamento viscoso;
- θ : posizione angolare;
- u: coppia in ingresso;
- d: disturbo esterno applicato alla coppia.

Utilizzando la stima del vettore di stato $x = [\theta \ \omega]^\top$

$$\begin{cases} x(k+1) = A_m x(k) + B_m(u(k) + w(k)) \\ y(k) = Cx(k) + q_\theta(k) \end{cases}$$

$$A_m = \begin{bmatrix} 1 & \frac{J}{b} (1 - e^{-\frac{b}{J}T_s}) \\ 0 & e^{-\frac{b}{J}T_s} \end{bmatrix}, B_m = \frac{1}{b} \begin{bmatrix} T_s - \frac{J}{b} (1 - e^{-\frac{b}{J}T_s}) \\ 1 - e^{-\frac{b}{J}T_s} \end{bmatrix}$$

$$\hat{x}_m(k+1) = A_{mc}\hat{x}_m(k) + B_{mc}(u(k) + \hat{w}(k)) + F_m y(k+1),$$

Kinematic Kalman filter (KKF)

$$\ddot{\theta}(t) = \alpha(t)$$

L'equivalente zero-order-hold è:

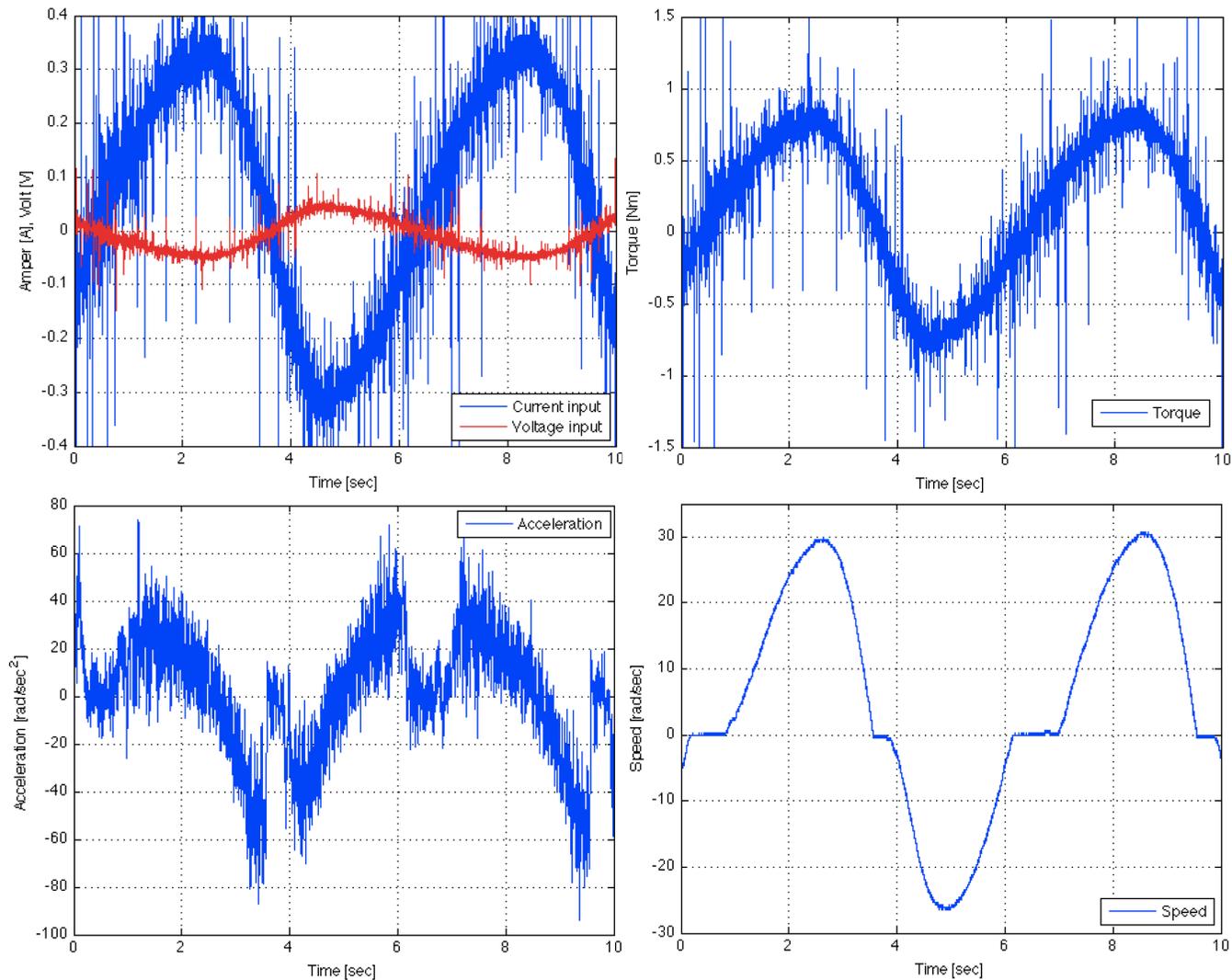
$$\begin{cases} x(k+1) = A_k x(k) + B_k(a(k) + w_a(k)) \\ y(k) = Cx(k) + q_\theta(k) \end{cases}$$

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, B_k = \begin{bmatrix} \frac{T_s^2}{2} \\ T_s \end{bmatrix}.$$

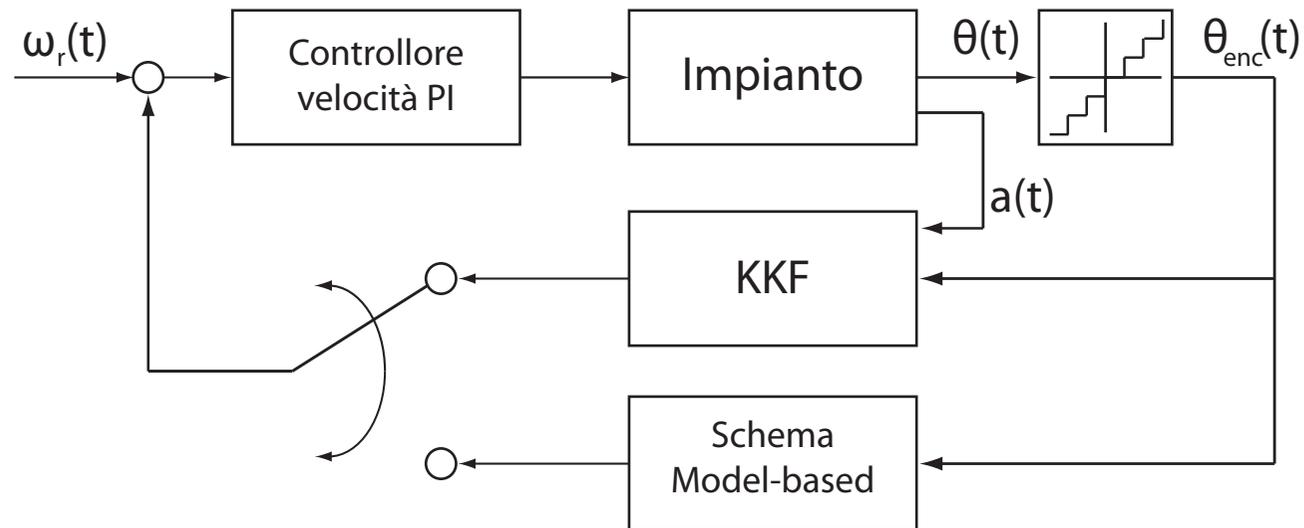
La stima dello stato è data da:

$$\hat{x}_k(k+1) = A_{kc}\hat{x}_k(k) + B_{kc}a(k) + F_k y(k+1)$$

- Stima dell'attrito e smorzamento viscoso

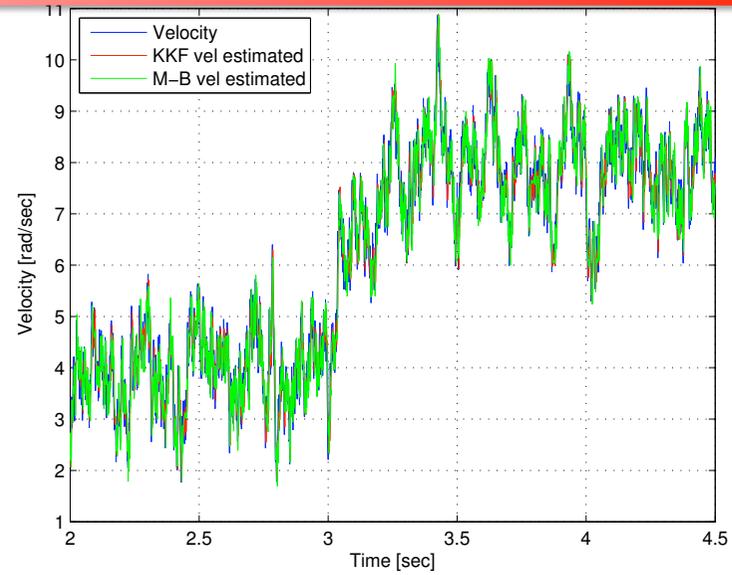
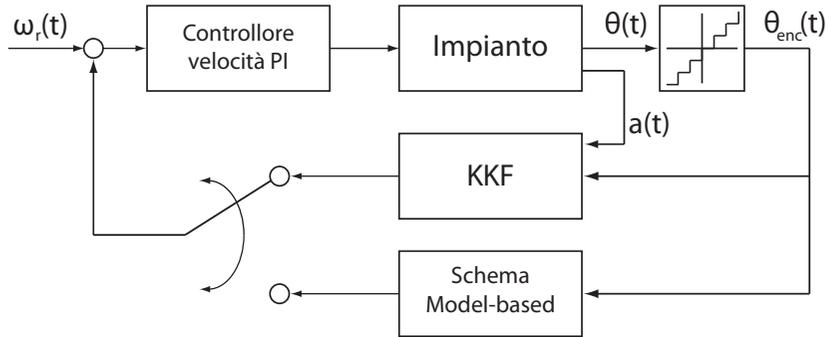


- Progettazione controllore PI
- Progettazione stimatori model-based e filtro di Kalman

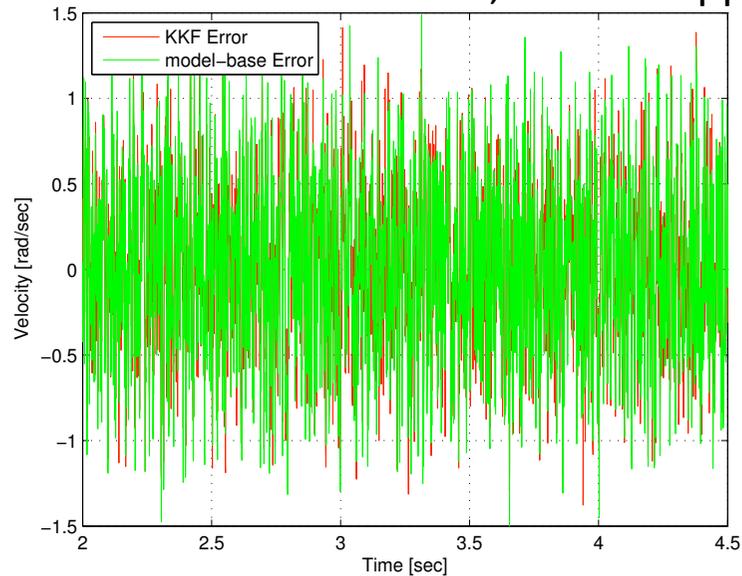


- Progettazione del controllore in linguaggio DSP

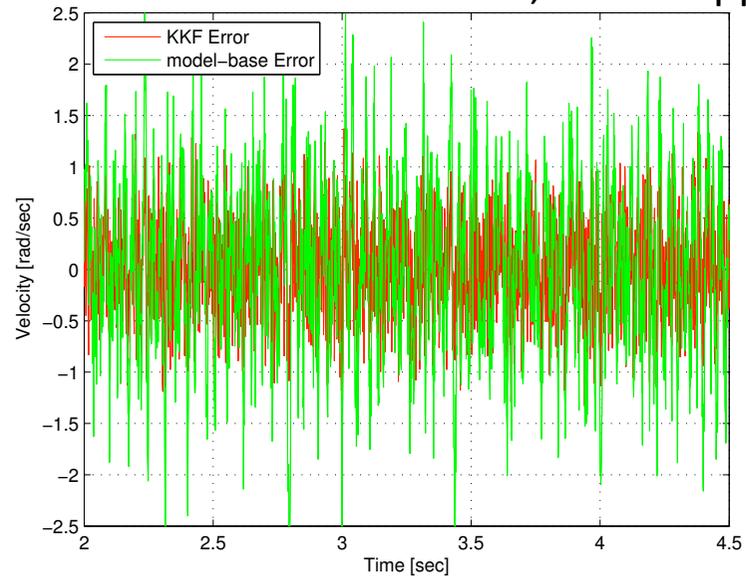
RISPOSTE SIMULATE



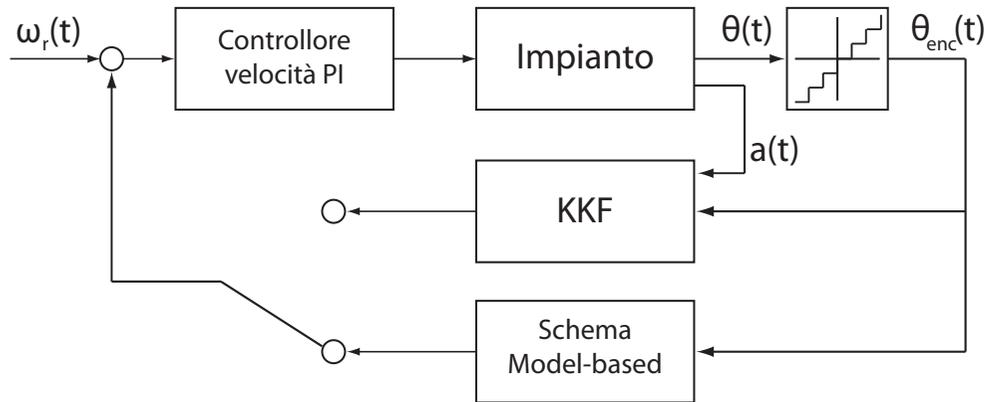
Encoder alta risoluzione, N = 4096 ppr



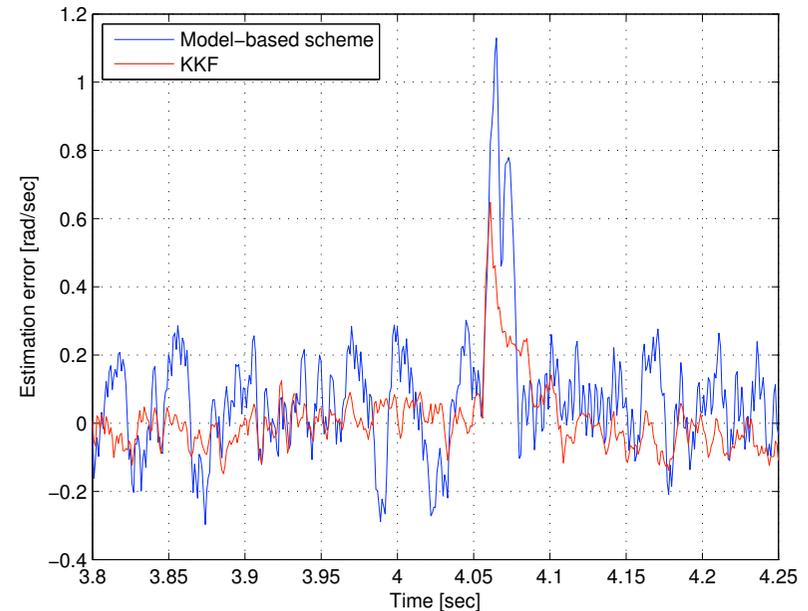
Encoder bassa risoluzione, N = 256 ppr



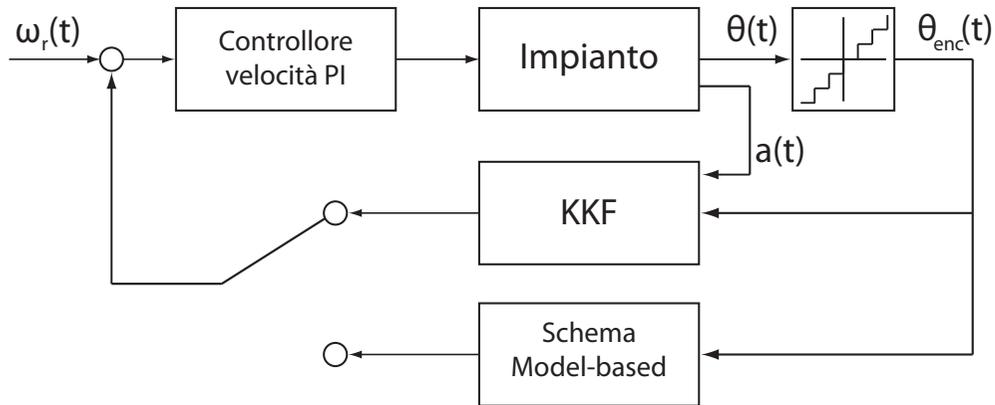
RISULTATI SISTEMA REALE



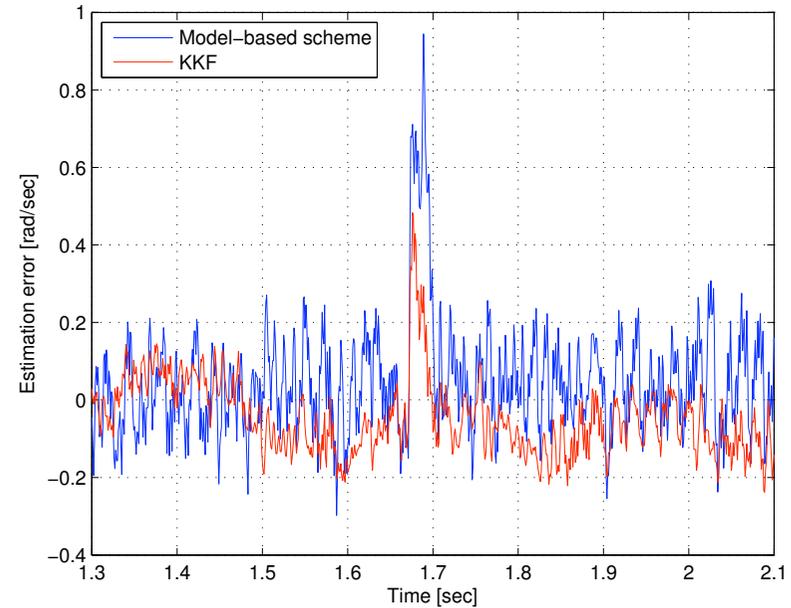
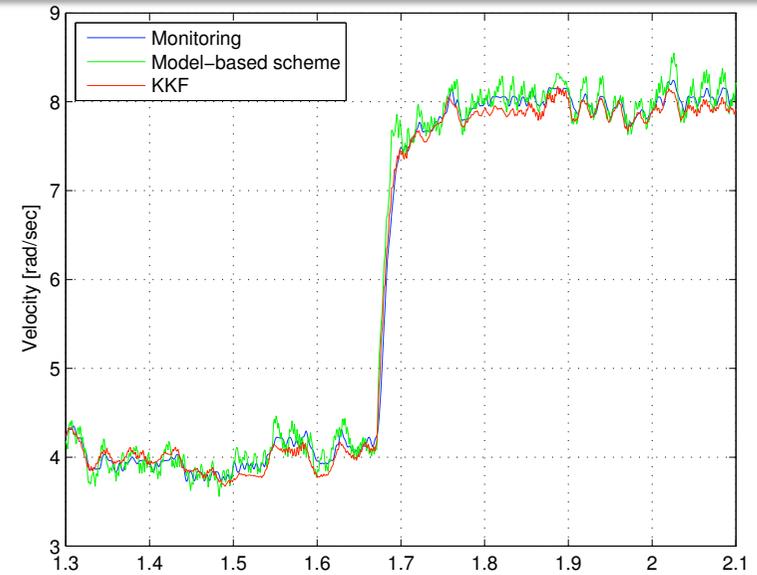
Encoder con bassa risoluzione,
N = 256 ppr



RISULTATI SISTEMA REALE



Encoder con bassa risoluzione,
N = 256 ppr



CONCLUSIONI

- Superiorità dell'utilizzo Kinematic Kalman Filter
- Accelerometro MEMS: affidabile e conveniente;

Lavoro futuro:

- Miglior fissaggio dei dispositivi;
- Utilizzo uscita digitale.

