


*La Condition Based Maintenance in  
Industria 4.0 – approcci Model  
Based*

Mario Terzo

Università degli Studi di Napoli Federico II

## Manutenere? Tecnologie e prospettive di innovazione?

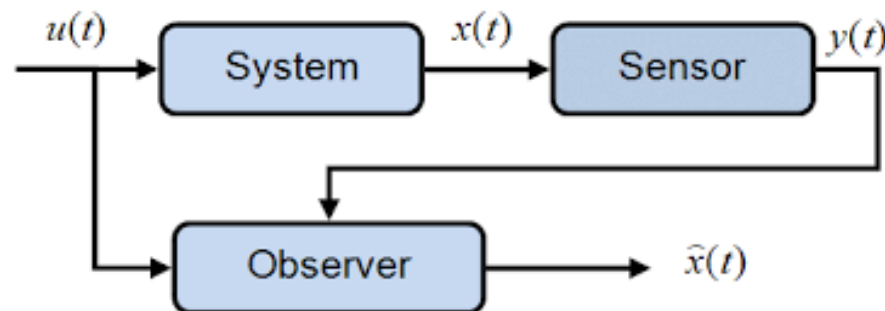
---

- R: Il complesso delle operazioni necessarie a conservare la conveniente funzionalità ed efficienza di un sistema
- Approcci impiegati?
- Es. Manutenzione preventiva
  - Manutenzione statistica
  - Manutenzione predittiva
  - Manutenzione secondo condizione  Approcci *model-based*

Impiego di modelli matematici dei sistemi per progettare tecniche di stima (es. filtro di Kalman) orientate al monitoraggio del sistema

# Osservatori di stato

- Le tecniche di stima basate sul modello matematico restituiscono alcune grandezze stimate del sistema da monitorare
- Alcune di queste grandezze sono anche misurate direttamente sul sistema (apparente ridondanza)
- Confrontando le stimate con le misurate posso correggere la bontà della procedura di stima e intervenire anche sulle grandezze stimate ma non misurate (osservatori di stato)



# Ambito ferroviario



# Parametri attenzionati (grandezze non direttamente misurabili!)

Smorzamenti sospensioni (primaria, secondaria, anti-serpeggio secondario)

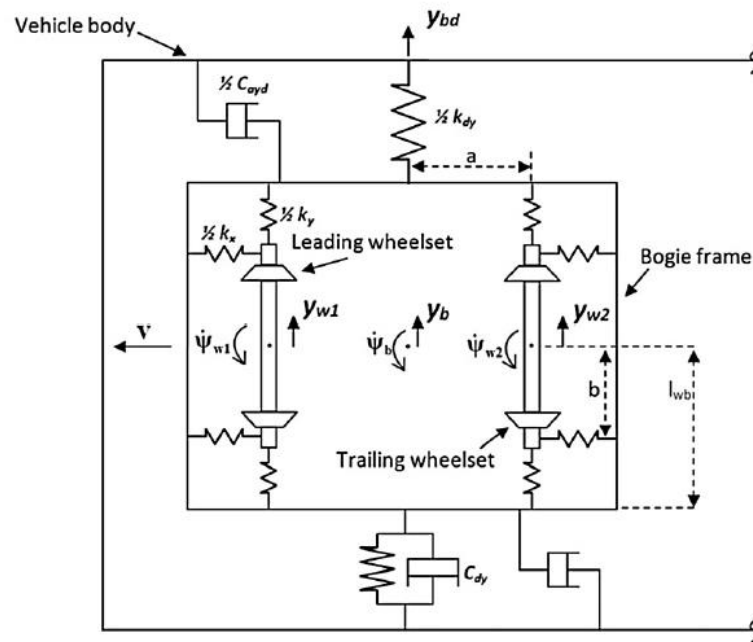


Contatto ruota-rotaia usura componenti



# Potenza dell'approccio model-based

- Progettato il modello matematico del sistema anche i parametri non direttamente misurabili divengono accessibili



# Il modello e le misure

$$\left\{ \begin{array}{l}
 m_{w1} \ddot{y}_{w1} = -\frac{2f_{22} \dot{y}_{w1}}{v} + 2f_{22} \psi_{w1} - k_y y_{w1} + k_y y_b + ak_y \psi_b \\
 I_{w1} \ddot{\psi}_{w1} = -\frac{2f_{11} l^2 \dot{\psi}_{w1}}{v} - \frac{2f_{11} l \lambda d_1}{r_0} - k_x b^2 \psi_{w1} + k_x b^2 \psi_b \\
 m_{w2} \ddot{y}_{w2} = -\frac{2f_{22} \dot{y}_{w2}}{v} + 2f_{22} \psi_{w2} - k_y y_{w2} + k_y y_b - ak_y \psi_b \\
 I_{w2} \ddot{\psi}_{w2} = -\frac{2f_{11} l^2 \dot{\psi}_{w2}}{v} - \frac{2f_{11} l \lambda d_2}{r_0} - k_x b^2 \psi_{w2} + k_x b^2 \psi_b \\
 m_b \ddot{y}_b = k_y y_{w1} + k_y y_{w2} - 2k_y y_b - k_{dy} y_b + k_{dy} y_{bd} - C_{dy} \dot{y}_b + C_{dy} \dot{y}_{bd} \\
 I_b \ddot{\psi}_b = ak_y y_{w1} + k_x b^2 \psi_{w1} - ak_y y_{w2} + k_x b^2 \psi_{w2} - C_{ayd} l_{wb}^2 \dot{\psi}_b - 2k_x b^2 \psi_b - 2k_y a^2 \psi_b \\
 m_{bd} \ddot{y}_{bd} = k_{dy} y_b - k_{dy} y_{bd} - C_{dy} \dot{y}_{bd} + C_{dy} \dot{y}_b
 \end{array} \right.$$

Grandezze misurate: accelerazione laterale cassa, accelerazione laterale carrello, velocità d'imbardata carrello

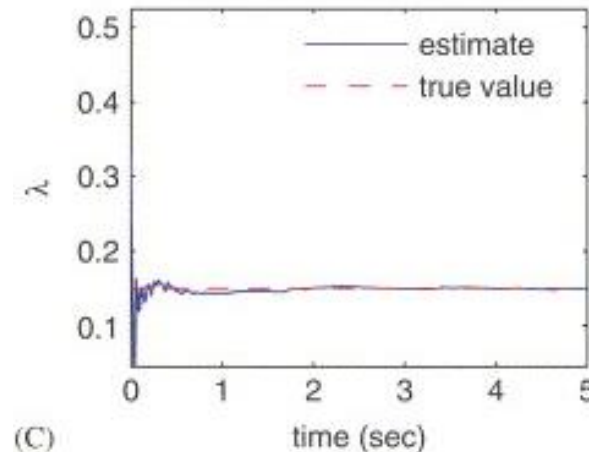
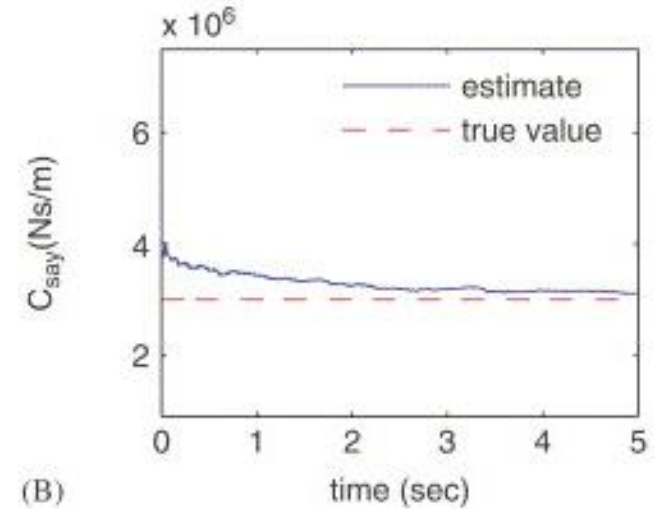
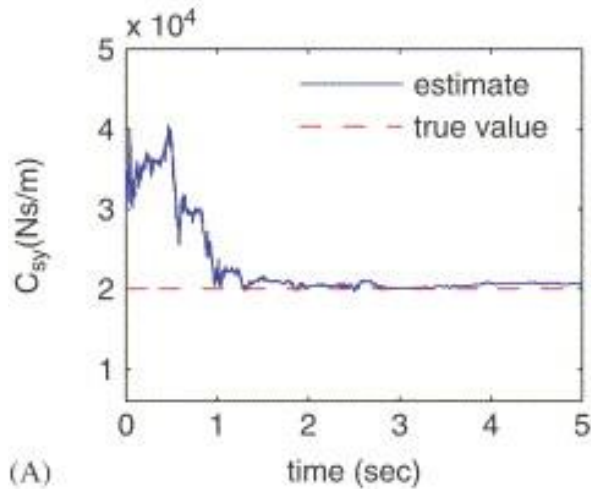
# Parametri d'interesse

$$\left\{ \begin{aligned}
 m_{w1} \ddot{y}_{w1} &= -\frac{2f_{22} \dot{y}_{w1}}{\nu} + 2f_{22} \psi_{w1} - k_y y_{w1} + k_y y_b + a k_y \psi_b \\
 I_{w1} \ddot{\psi}_{w1} &= -\frac{2f_{11} l^2 \dot{\psi}_{w1}}{\nu} - \frac{2f_{11} l \lambda d_1}{r_0} - k_x b^2 \psi_{w1} + k_x b^2 \psi_b \\
 m_{w2} \ddot{y}_{w2} &= -\frac{2f_{22} \dot{y}_{w2}}{\nu} + 2f_{22} \psi_{w2} - k_y y_{w2} + k_y y_b - a k_y \psi_b \\
 I_{w2} \ddot{\psi}_{w2} &= -\frac{2f_{11} l^2 \dot{\psi}_{w2}}{\nu} - \frac{2f_{11} l \lambda d_2}{r_0} - k_x b^2 \psi_{w2} + k_x b^2 \psi_b \\
 m_b \ddot{y}_b &= k_y y_{w1} + k_y y_{w2} - 2k_y y_b - k_{dy} y_b + k_{dy} y_{bd} - C_{dy} \dot{y}_b + C_{dy} \dot{y}_{bd} \\
 I_b \ddot{\psi}_b &= a k_y y_{w1} + k_x b^2 \psi_{w1} - a k_y y_{w2} + k_x b^2 \psi_{w2} - C_{ayd} l_{wb}^2 \dot{\psi}_b - 2k_x b^2 \psi_b - 2k_y a^2 \psi_b \\
 m_{bd} \ddot{y}_{bd} &= k_{dy} y_b - k_{dy} y_{bd} - C_{dy} \dot{y}_{bd} + C_{dy} \dot{y}_b
 \end{aligned} \right.$$

Il modello contiene i parametri d'interesse

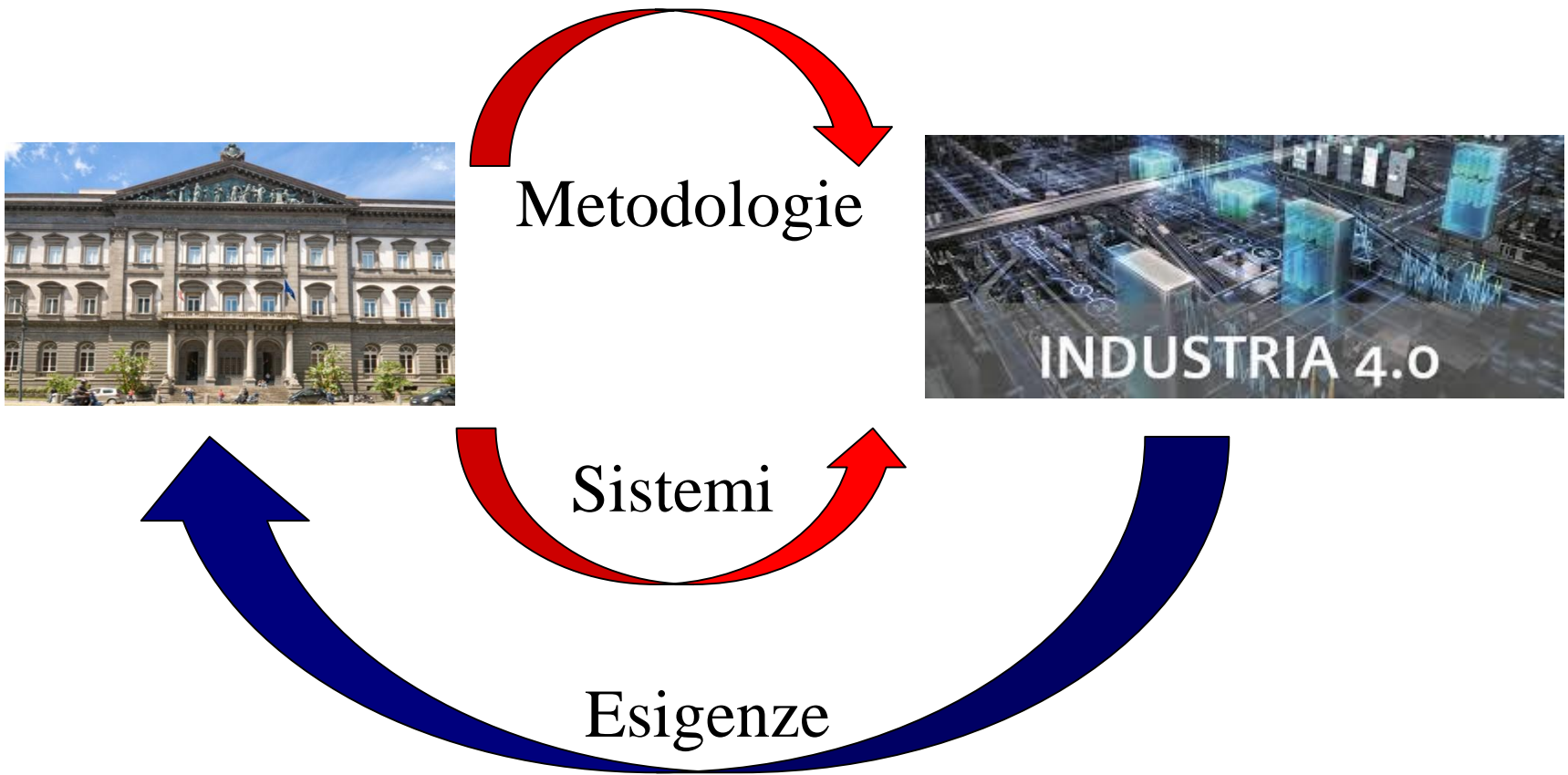


# Qualche risultato

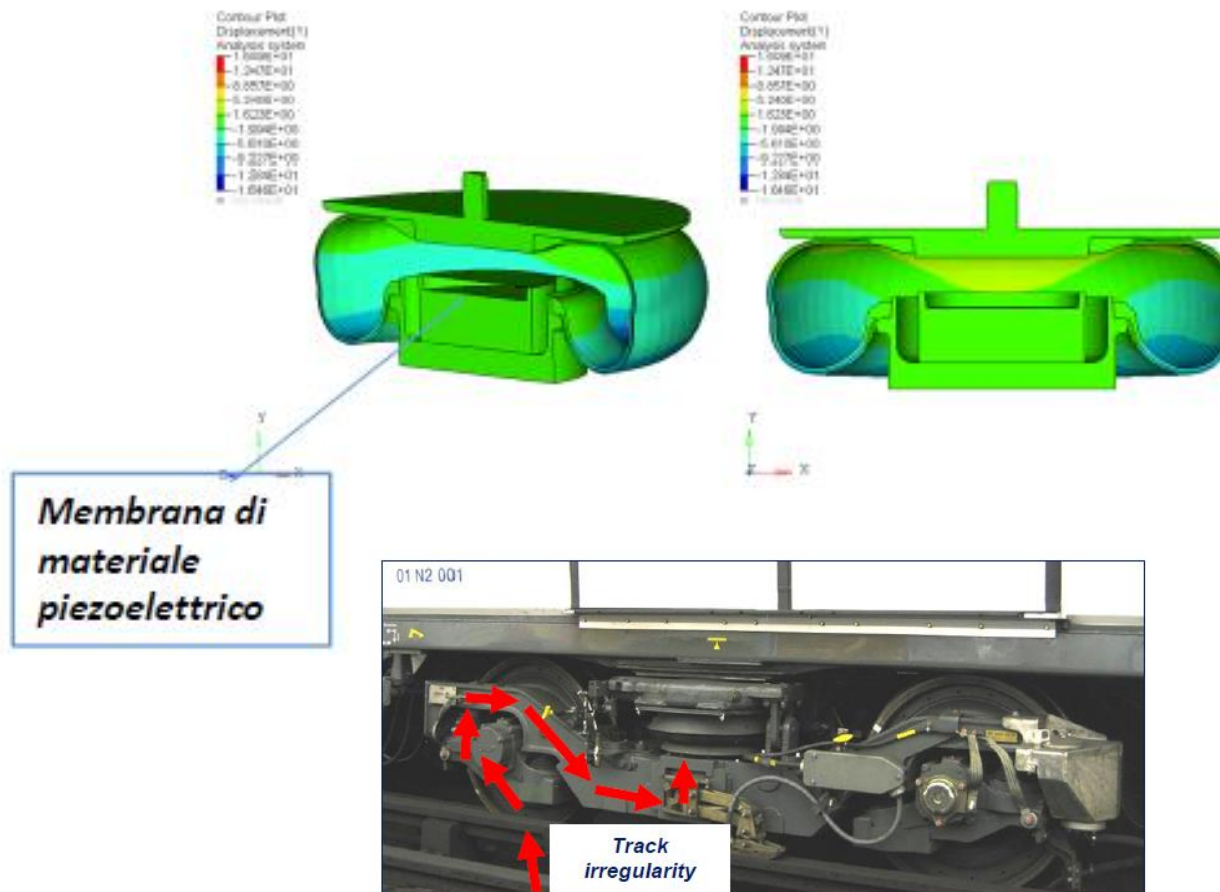


Primi risultati confortanti per  
trasferire tecnologicamente  
la metodologia al mondo  
industriale

# Trasferimento tecnologico in ambito *condition based maintenance*



# Esempio di sistema (funzionale nell'ambito della *condition based maintenance*)



# Molla ad aria con sistema di energy harvesting

- Volume chiuso in cui collocare elementi di piezoquarzo
- Recupero energetico per alimentare un accelerometro integrato eliminando i tipici cablaggi e trasmettendo in modalità wireless il segnale



# ***Grazie***

mario.terzo@unina.it