UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO | Dipartimento di Ingegneria Gestionale, dell'Informazione e della Produzione

Control Automation Lab

Dalla manutenzione su condizione alla manutenzione predittiva

Dati, diagnosi e prognostica

SPEAKER
Prof. Mirko Mazzoleni

mirko.mazzoleni@unibg.it

DATA
6 Novembre 2026

DIH Digital Innovation Hub Lombardia Bergamo

Pillole di Intelligenza Artificiale

CONFINDUSTRIA Bergamo

INTESA SANPAOLO

Kilometro Rosso innovation district

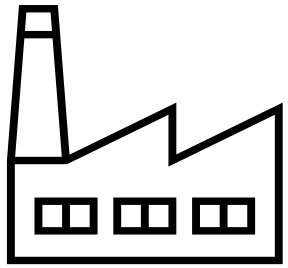
Outline

- Nomenclatura e tassonomia
- Obiettivi e metodologie di supervisione
- Best practices

Outline

- **Nomenclatura e tassonomia**
- Obiettivi e metodologie di supervisione
- Best practices

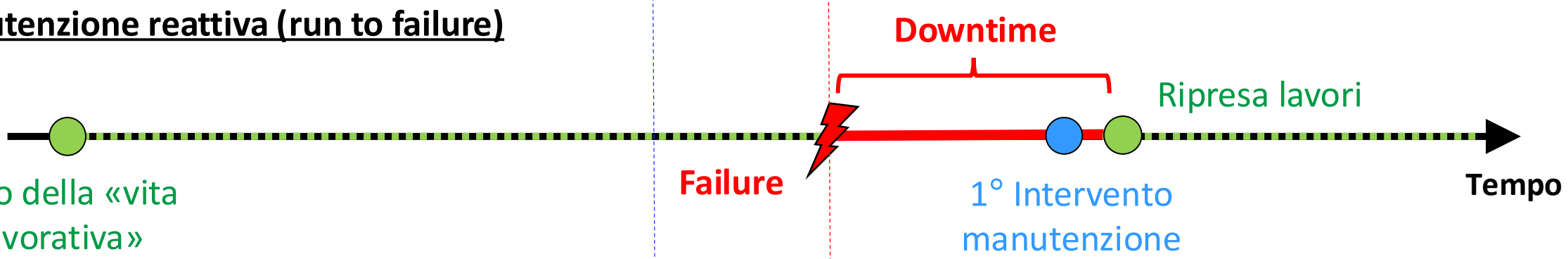
Misure, algoritmi, diagnosi, interventi



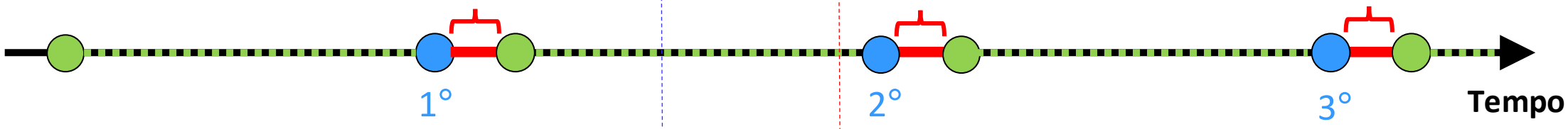
Misure → **Algoritmi** → **Valutazione stato di salute** → **Interventi**

Ottimizzare la **tempistica** degli interventi di **manutenzione** e ridurne i **costi**

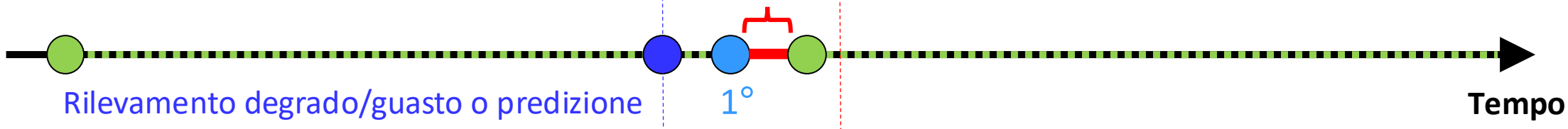
Manutenzione reattiva (run to failure)



Manutenzione preventiva (time-based)



Manutenzione su condizione e predittiva



Supervisione, maintenance, fault, failure

FAULT (definizione)

Un **`fault`** è lo **stato** di un **`item`** che occorre quando esso si degrada o esibisce una **deviazione** dal comportamento nominale. Un **`fault`** può causare la **`failure`** dell'**`item`**

I **`fault`** possono essere espressi definendo:

- nome dell'**`equipment`**
- nome dell'**`item`** su cui si verifica il **`fault`**
- tipo di degrado dell'**`item`**
- gravità del **`fault`**

Esempio:

- Unità n. 1, Turbina
- Cuscinetto n. 3
- Pitting pista interna
- Gravità maggiore (4 su 5)

Supervisione, maintenance, fault, failure

FAILURE (definizione)

Una **failure** è un **evento** che si verifica quando un **item** smette di adempiere alle proprie **funzioni** rispetto a determinate **specifiche** di performance

Una **failure** viene descritta (principalmente) tramite:

a) **Failure mode**: modalità in cui la **failure** accade ⇨ Esempio:
   - Valvola bloccata chiusa

b) **Failure effect**: conseguenze di una **failure mode** sullo stato di un **equipment** o dell'**item** ⇨ Esempio:
   - La valvola *fallisce* nell'aprirsi e a fornire acqua

Outline

- Nomenclatura e tassonomia
- **Obiettivi e metodologie di supervisione**
- Best practices

Algoritmi di supervisione (per la manutenzione su condizione e predittiva)

Gli algoritmi di supervisione dei guasti possono avere diversi **obiettivi** (non esclusivi):

1. **Rilevamento e diagnosi:** output **dicotomico** (sano/guasto, altre info come individuazione componente guasto, gravità e cause) ad ogni istante di tempo **attuale**

2. **Monitoraggio condizioni:** output **continuo** (`condition indicator`) ad ogni istante di tempo **attuale**

3. **Prognostica:** output **continuo** (`condition indicator`) ad istanti di tempo **futuri**

Algoritmi di supervisione (per la manutenzione su condizione e predittiva)

Gli algoritmi di supervisione possono essere implementati usando diverse **metodologie** (non esclusive):

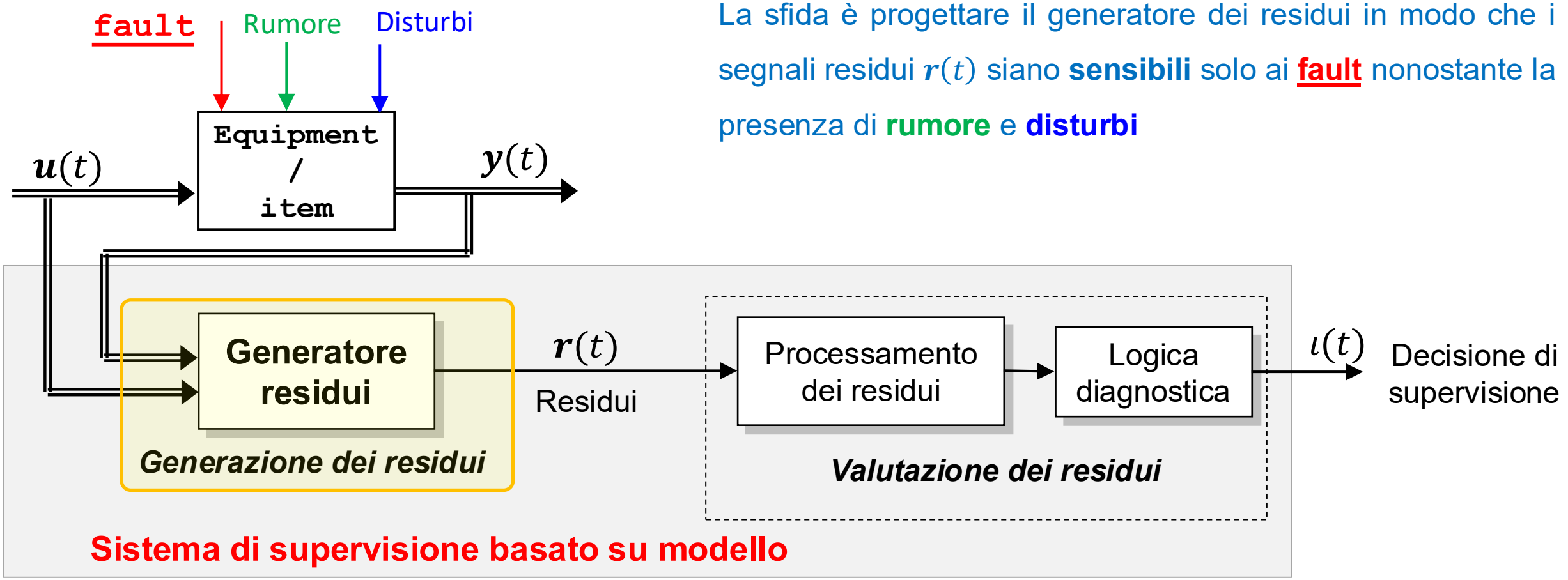
A. **Basati su modello:** si basano su un **modello matematico** delle relazioni tra le quantità (segnali, variabili, proprietà,…), che caratterizzano l'oggetto sotto supervisione

B. **Basati su segnale:** si basano su **indicatori specifici** (**decriptors**) calcolati su segnali specifici **segnali**

C. **Basati sui dati:** si basano solo su **dati storici,** generalmente solo in stato sano (ma anche dati collezionati in stato di guasto, se disponibili)

Approccio basato su modello (sistema input/output)

Un modello matematico del sistema I/O sotto osservazione è utilizzato per progettare un **generatore dei residui**



La sfida è progettare il generatore dei residui in modo che i segnali residui $r(t)$ siano **sensibili** solo ai **fault** nonostante la presenza di **rumore** e **disturbi**

Approccio basato sull'analisi del segnale

Alcuni segnali **noti e misurabili** possono portare informazioni sui guasti da rilevare

- Da questi segnali vengono calcolati degli indicatori detti **descriptors**

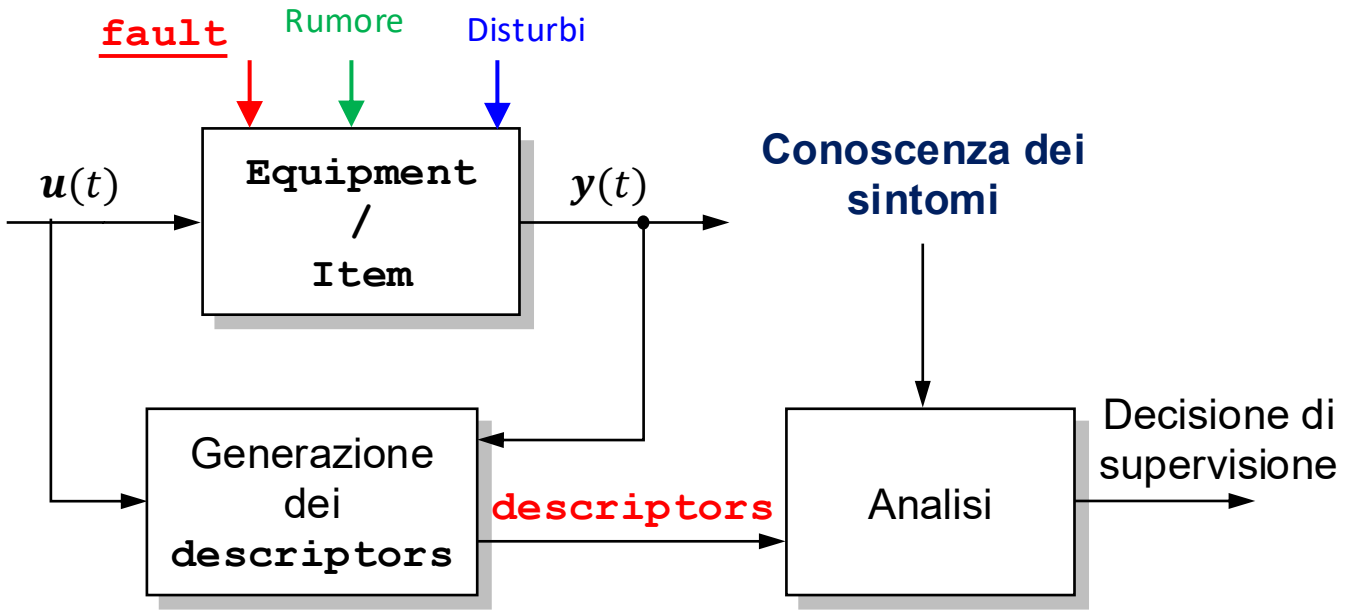
Esempi di descrittori: ampiezza della prima armonica del segnale accelerazione, temperatura del cuscinetto

- I **descriptors** vengono confrontati con la **conoscenza disponibile** sui **symptoms** dei **fault**

- I **descriptors** vengono inclusi nella descrizione dei **symptoms** di **fault**

Esempi di sintomi:

- incremento lento e regolare dell'ampiezza della prima armonica del segnale accelerazione misurato sul cuscinetto
- la temperatura del cuscinetto è 10°C sopra il suo valore nominale



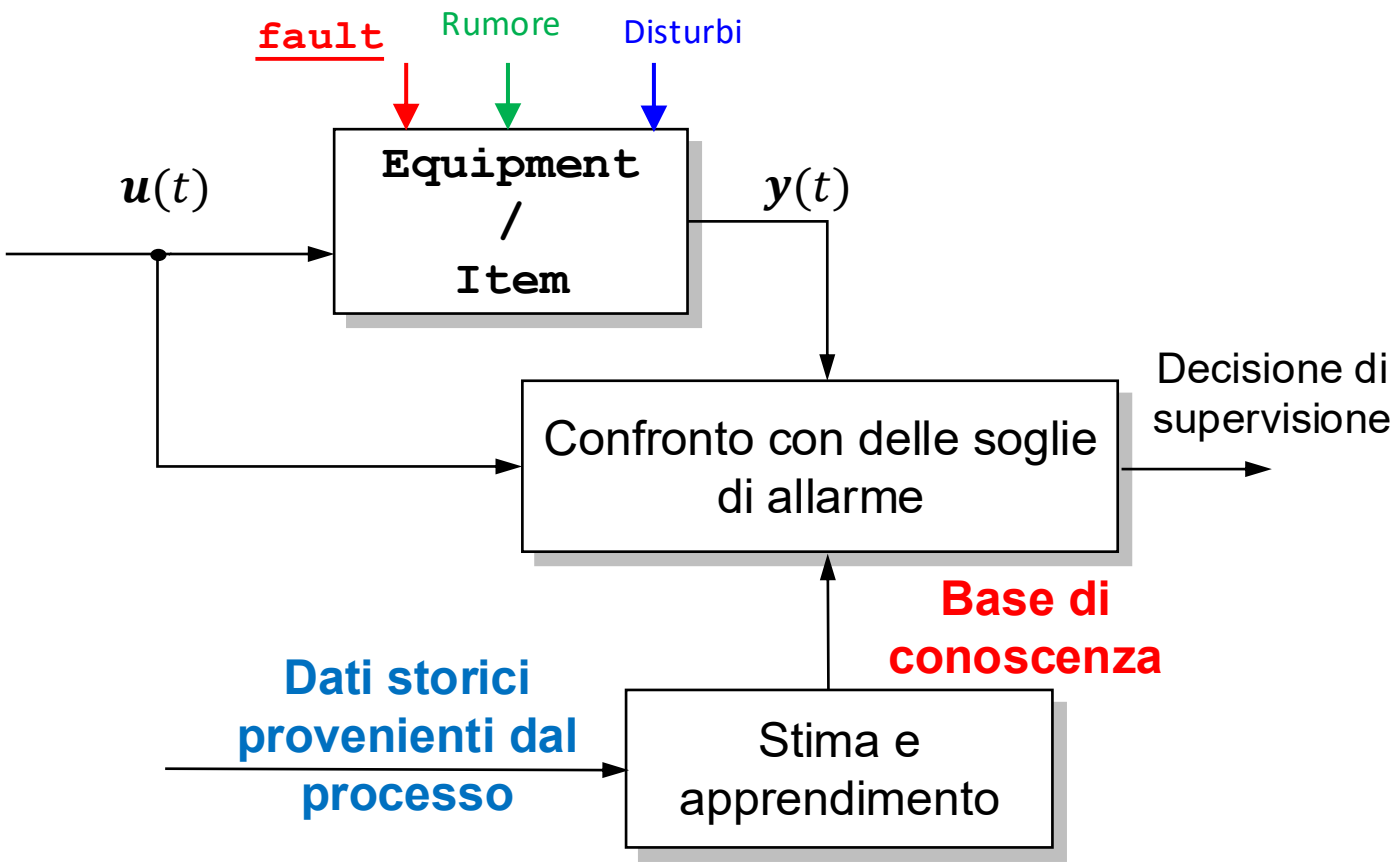
Approccio basato sui dati

Grande ammontare di **dati storici** disponibili (spesso solo in stato «sano»)

- Non c'è una conoscenza preliminare sui **symptoms** dei **fault**: tale conoscenza deve **essere estratta dai dati**
- Fasi di **training** e di **test**

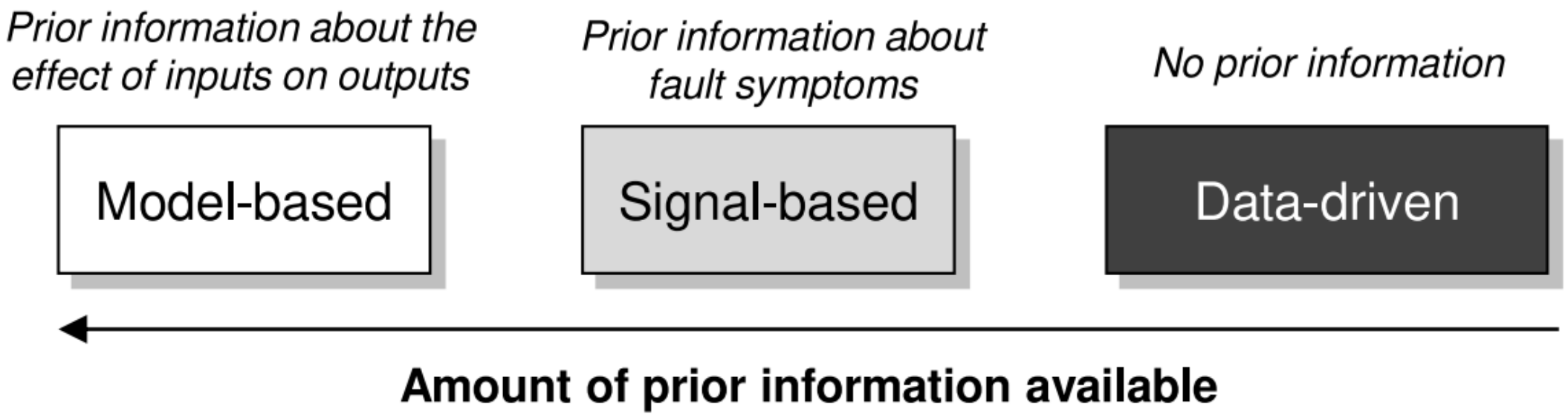
Esempi di approcci data-driven:

- Machine learning (classificazione/ rilevamento delle anomalie)
- Statistical Process Monitoring (carte di controllo, Principal Components Analysis, statistical change detection)



Sintesi degli approcci principali

Quale metodologia di supervisione usare? Dipende (oltre che dall'obiettivo della supervisione) da **quanta informazione a priori** (sul sistema/componente) si ha a disposizione



Outline

- Nomenclatura e tassonomia
- Obiettivi e metodologie di supervisione
- **Best practices**

Best practices

1 Definizione dell'**ambito** della supervisione

1.1) Obiettivi della supervisione *(detection and diagnosis, condition monitoring, prognostics)*

1.2) Specifiche tecniche della soluzione *(computing power, memory, internet connection, supply power,…)*

1.3) Componenti critici *(fault severity and frequency, FMECA, talk with maintenance operators,…)*

1.4) Informazioni di manutenzione/supervisione *(maintenance reports, useful physical quantities,…)*

1.5) Approcci metodologici *(model-based, signal-based, data-driven,,…)*

2 Prove **sperimentali**

2.1) Piano dei test *(machine availability, definition of healthy and faulty status, fault injection, endurance tests,…)*

2.2) Acquisizione misure *(additional sensors, measurement synchronization, data storage, acquisition verification,…)*

3 **Sviluppo** tecnico

3.1) Tecnica algoritmica

3.2) Implementazione soluzione

3.3) Dashboard/ interfaccia uomo-macchina

Best practices

Journal of Industrial Information Integration 41 (2024) 100667

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Industrial Information Integration

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jii



Review article

Design of supervision solutions for industrial equipment: Schemes, tools and guidelines for the user

Mirko Mazzoleni

Università degli Studi di Bergamo, Department of Management, Information and Production Engineering, via Marconi 5, 24044, Dalmine (BG), Italy

ARTICLE INFO

Keywords:
Supervision
Condition-based maintenance

ABSTRACT

The advent of Industry 5.0 envisages production systems that are more resilient, embrace human–machine collaboration and promote sustainability driven by technological research. The development of supervision solutions for industrial equipment fills in this picture as a basis for more proactive Condition-Based Maintenance strategies. The goal of this paper is to provide a self-contained set of guidelines to design such supervision solutions. With respect to existing literature on the topic, we provide a design process with a strong focus on experimental data collection and failure reproduction activities. Moreover, the connections between the steps of the proposed process are clearly highlighted to guide the user. First, the paper provides a set of tools to select the critical items and the methodological approaches for supervision. Then, these tools are used and referenced in the proposed design process. Finally, the proposed process is exemplified on two industrial case studies to show its effectiveness. Considerations, hints, and a user guidelines are given at the end of most sections.

Mazzoleni, Mirko. **"Design of supervision solutions for industrial equipment: Schemes, tools and guidelines for the user."** *Journal of Industrial Information Integration* (2024)

Riferimenti

[1] Mazzoleni, Mirko. **Design of supervision solutions for industrial equipment: Schemes, tools and guidelines for the user.** *Journal of Industrial Information Integration*, 2024, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452414X24001110

[2] ISO 13372:2012, **Condition monitoring and diagnostics of machines - Vocabulary,** Standard, *International Organization for Standardization,* 2012.

[3] ISO 17359-1:2012, **Condition monitoring and diagnostics of machines – Data interpretation and diagnostics techniques - Part 1: General guidelines**, Standard, *International Organization for Standardization,* 2012.

[4] ISO 13374:2019, **Condition monitoring and diagnostics of machines - Data processing, communication and presentation - Part I: General guidelines**, Standard*, International Organization for Standardization,* 2019.

[5] IEC 60812, **Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA),** Tech. rep., *International Electronic Commission* (IEC), 2018.

[6] MIL-STD-1629A, **Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis,** Tech. rep., *USA Department of defense*, Washington DC, 1994.

[7] MIL-HDBK-217F, **Reliability prediction of electronic equipment**, Tech. rep., *Reliability Information Analysis Center (RIAC), USA Department of defense*, Washington DC, 1995.

[8] IEC 61709, **Electric components - Reliability - Reference conditions for failure rates and stress models for conversion**, Tech. rep., *International Electronic Commission (IEC)*, 2017.

[9] FMD-2016, **Failure Mode / Mechanism Distributions**, Tech. rep*., Reliability Information Analysis Center (RIAC), USA Department of defense*, Washington DC, 2016.

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO

Dipartimento
di Ingegneria Gestionale,
dell'Informazione e della Produzione

Grazie per l'attenzione