

Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

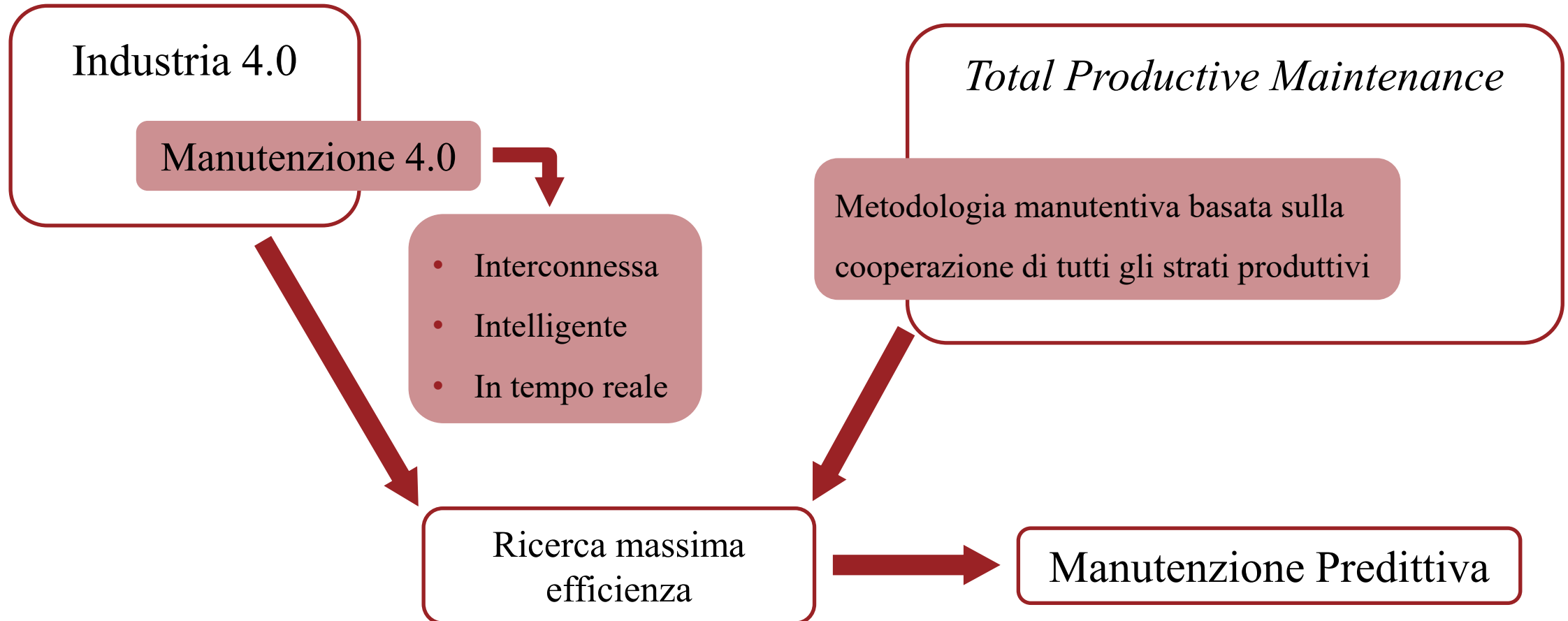
Relazione per la prova finale:

**Total Productive Maintenance e
Manutenzione Predittiva nell'Industria 4.0**

Tutor universitario: Prof.ssa Martina Calzavara

Laureando: Marco Butturini

Padova, 21/11/2023



Industria 4.0

- Analisi dei dati forniti dalle macchine
- Analisi della domanda



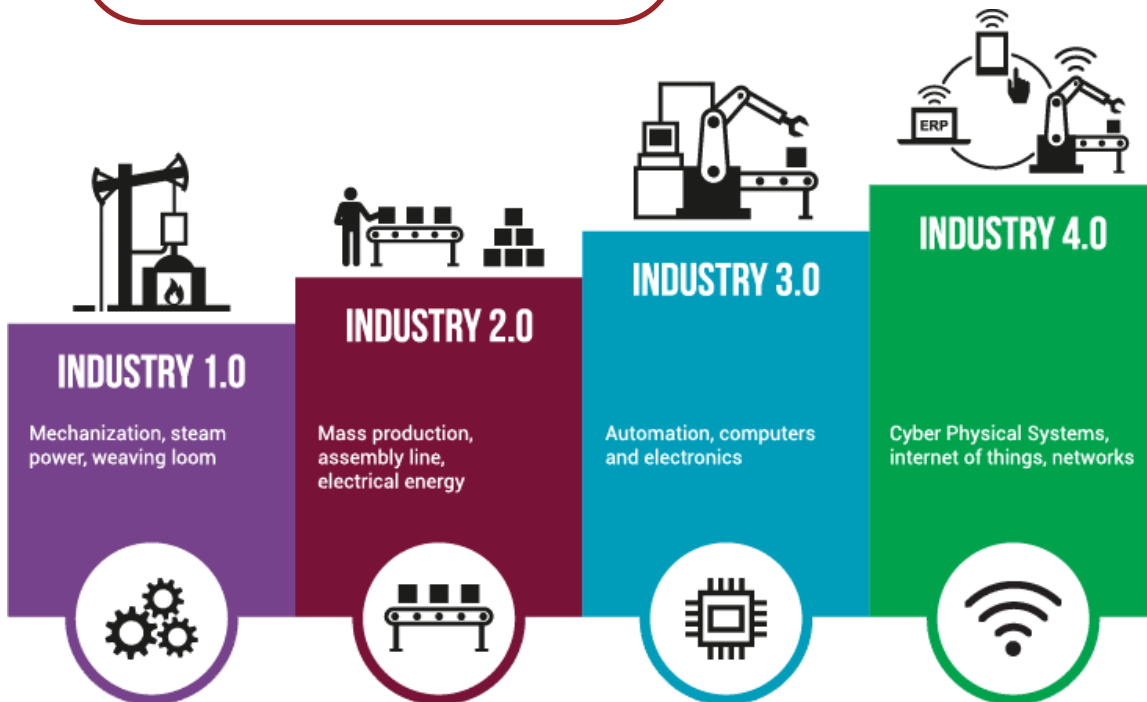
- Computer Integrati
- Sistemi Cyber-fisici
- Intelligenza Artificiale



Produzione interconnessa
e intelligente



Smart factories



Roosefert Mohan et al. 2021
Tortorella et al. 2021

Total Productive Maintenance

 Seiichi Nakajima

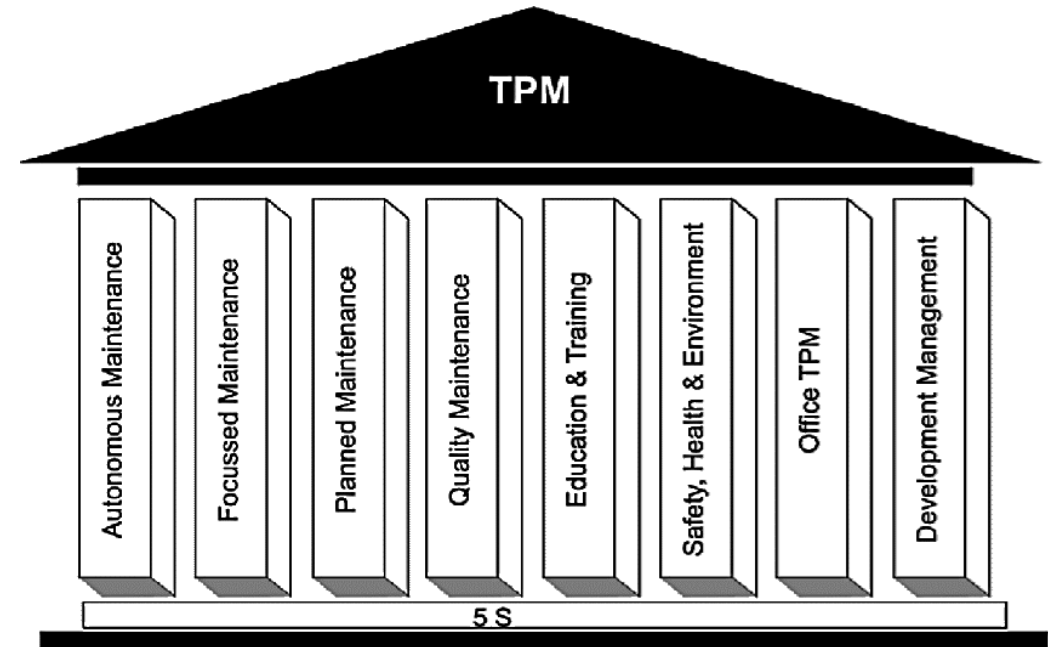
 Giappone

 Anni '70

Obiettivi:

- Affidabilità dei processi
- Eliminazione dei fermi

Ricerca della massima efficienza



Indicatore chiave di prestazione:

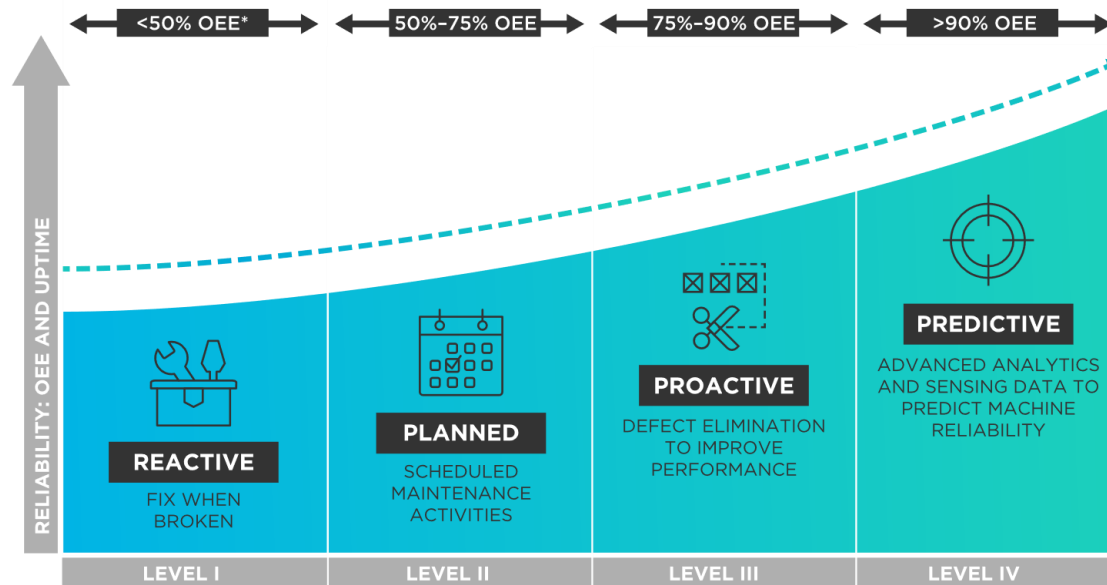
$$OEE = A \cdot PE \cdot Q$$

Ahuja et al. 2008
Korchagin et al. 2022
Nakajima 1988

Manutenzione Predittiva

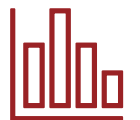
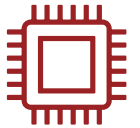
Condition-based

WHY PREDICTIVE MAINTENANCE?



*OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

L'attrezzatura, tramite i **sensori**, comunica i **dati** relativi all'utilizzo e al proprio stato che vengono immagazzinati nel *cloud* e analizzati per **prevenire** i guasti



La manutenzione predittiva moderna si può
suddividere in tre tipologie:

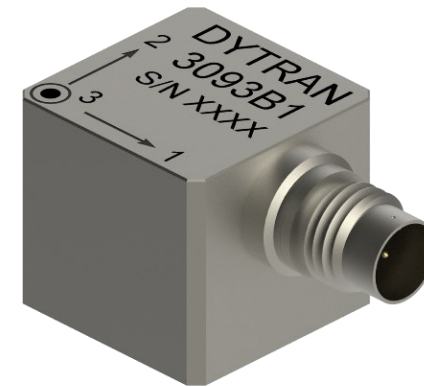
- *Reliability-based*
- *Physical model-based*
- *Data-driven*

Basate su...

Dati passati
Modello matematico
Dati presenti

Monitoraggio continuo

- Accelerometri
- Sensori termici
- Sensori acustici
- ...



Liu et al. 2022
Zonta et al. 2020

Accelerometri:

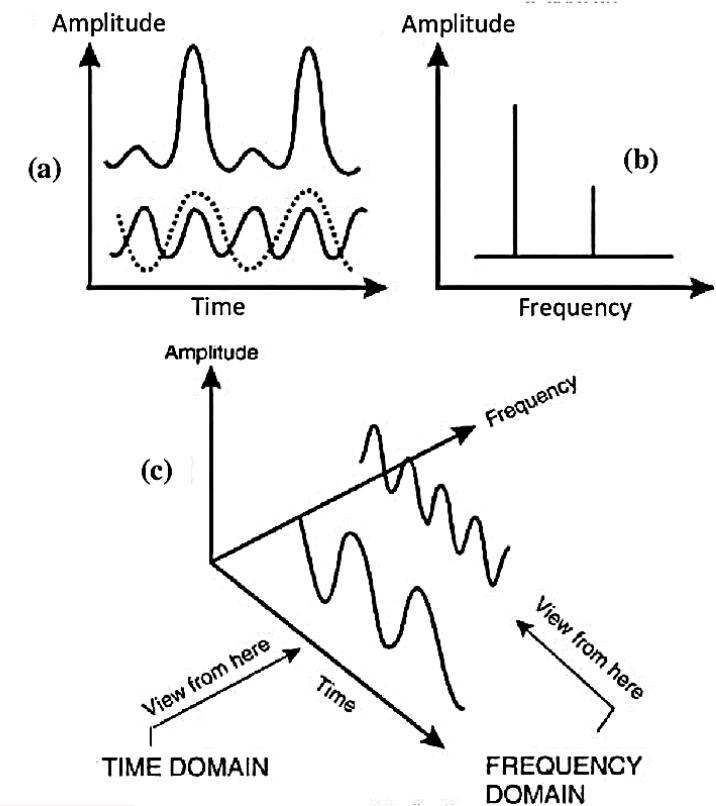
- Piezoelettrici
- MEMS capacitivi

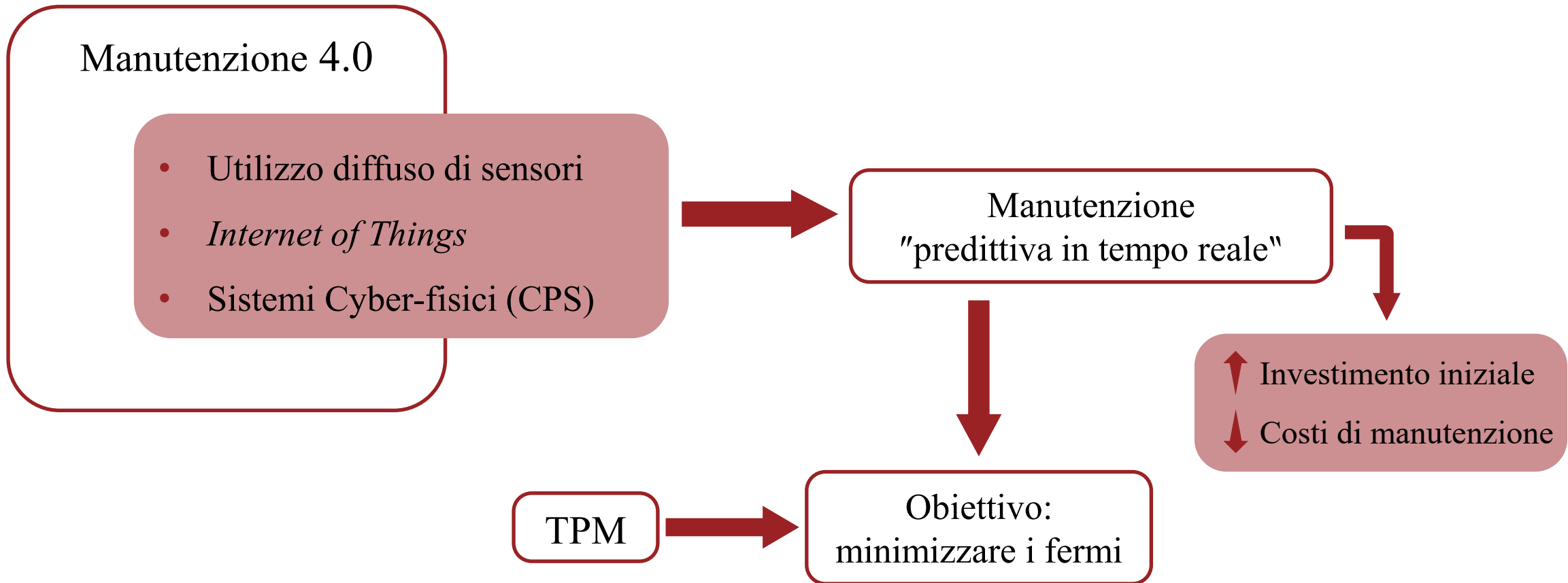
Raccolta dati nel
dominio del tempo

Trasformate (Fourier, *wavelet*...)

Analisi nel dominio della frequenza

In base ai picchi, si associano le
frequenze ai guasti imminenti





Korchagin et al. 2022
Tortorella et al. 2021
Poor et al. 2019

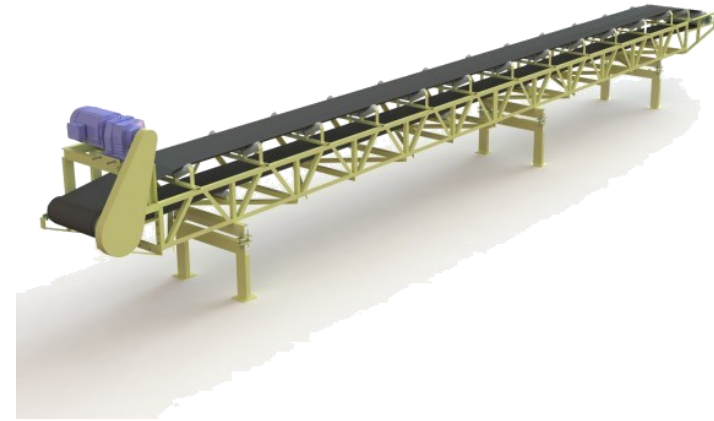
Nastro Trasportatore

Modello:

- Sensori
 - *Gateway*
 - *Cloud*
 - Dispositivi mobili
 - Adattamento 8 pilastri della TPM
- } Manutenzione 4.0

Periodo di osservazione:

3 + 1 settimane (420 ore totali)



Obiettivo:
migliorare l'efficienza

Come?

- Aumentando il MTBF
- Aumentando la disponibilità
- Riducendo il MTTR
- Riducendo il numero di fermi

Mendes et al. 2023

Prime 3 settimane (in media):

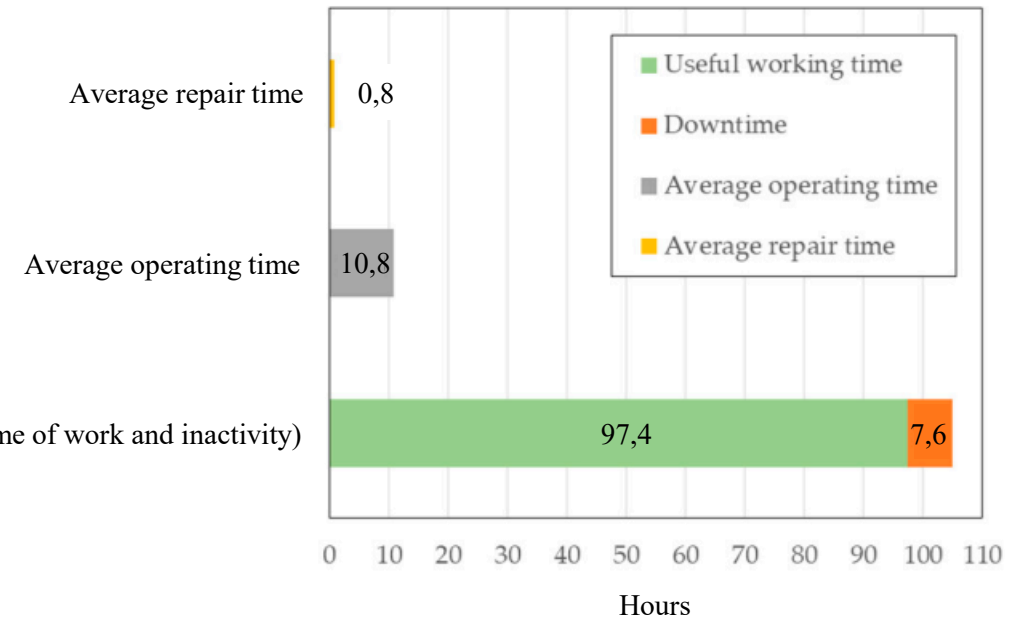
- 14 h di fermo
- 11 h di tempo medio operativo
- 1,7 h di MTTR

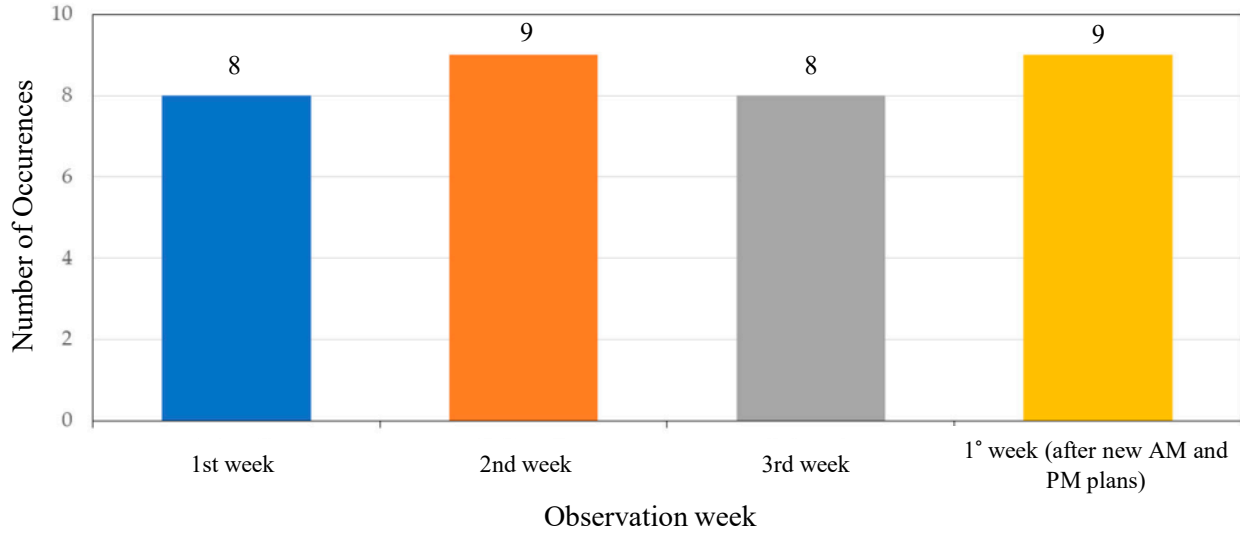
Settimana dopo l'introduzione del modello:

- 7,6 h di fermo
- 10,8 h di tempo medio operativo
- 0,8 h di MTTR

Observation week after implementing
the AM and PM pillars

Time of a work shift (useful time of work and inactivity)



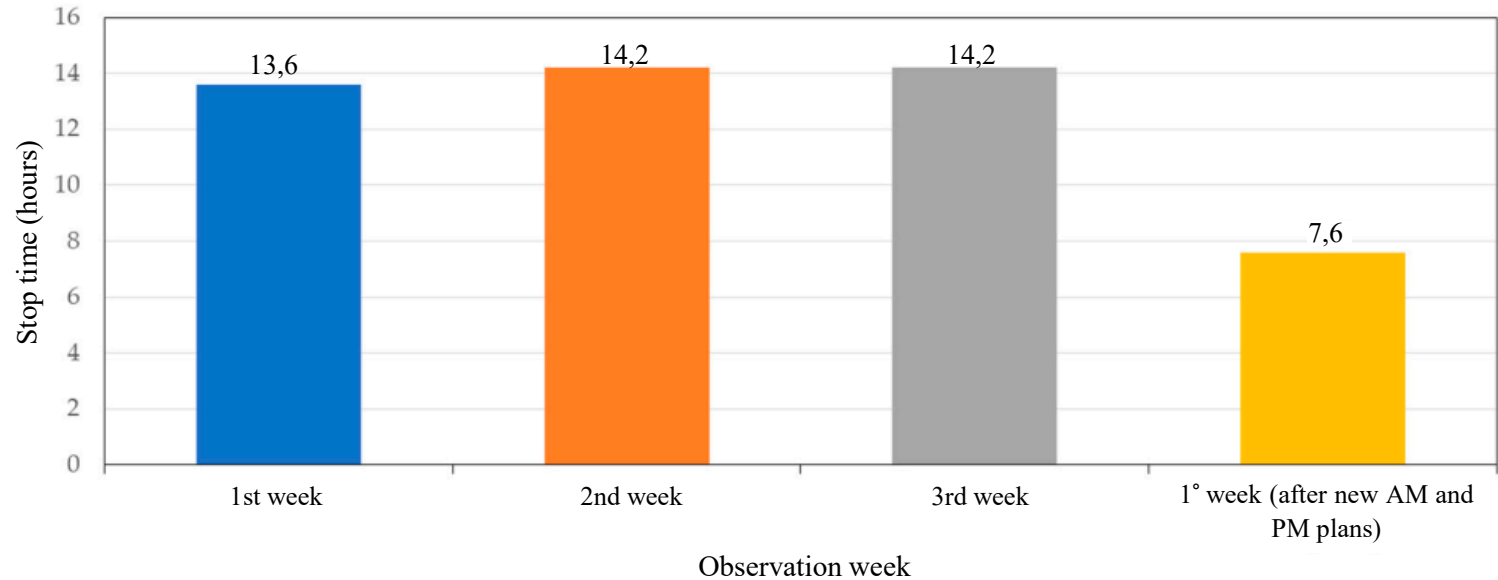


Dopo una sola settimana dall'introduzione del modello, il numero di guasti settimanali è rimasto invariato...

...mentre le ore totali di fermo sono diminuite del 45%






Disponibilità (A) del 93%



La manutenzione 4.0 ("predittiva in tempo reale") in combinazione con le tecniche della TPM porta a:

- Riduzione numero di fermi
- Calo MTTR
- Aumento MTBF



-  Aumento dell'efficienza
-  Riduzione dei costi
-  Maggior controllo sulla qualità