

AIIC2023

FORTEZZA DA BASSO

Firenze 10-13 maggio 2023



Convegno Nazionale
Associazione Italiana Ingegneri Clinici

Innovazione e accessibilità:
il governo delle tecnologie sanitarie come sfida sociale



IC

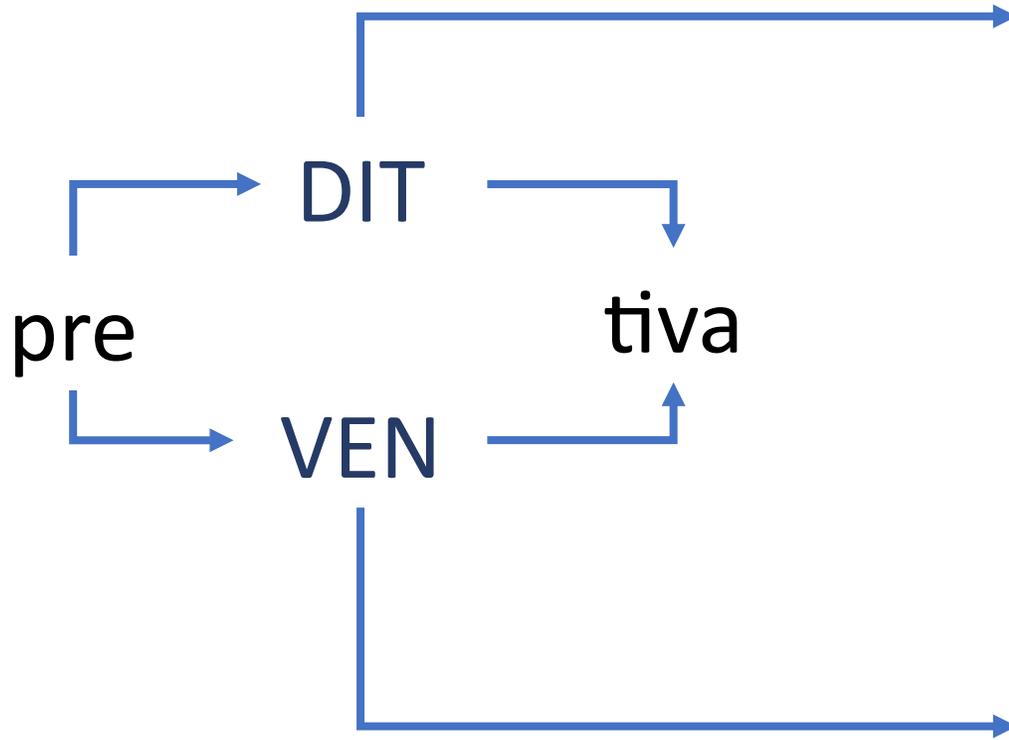


Manutenzione predittiva per una gestione intelligente degli asset tecnologici

Stefano Bellucci



Tre lettere, una grande differenza



La **manutenzione predittiva** ha come obiettivo quello di valutare lo **stato di una apparecchiatura** e/o delle sue componenti allo scopo di prevedere i guasti e prevenirne i possibili effetti negativi.

La **manutenzione preventiva** si basa sulla pianificazione degli interventi di sostituzione, calcolati su dati forniti dal fabbricante, sulla durata dei componenti, come **MTTF** e **MTBF** (Main Time To Fail e Between Fail), consentendo di organizzare i fermo-macchina.

Le pratiche di **manutenzione statistica** possono portare alla **sostituzione di componenti** ancora **funzionanti**. La loro applicazione è spesso ristretta ai soli **componenti critici**.

Cambio di paradigma

Guasto 3.0



La macchina è guasta

=

La macchina non va più.
Ora è necessario ripararla.

Guasto 4.0



La macchina non è conforme

=

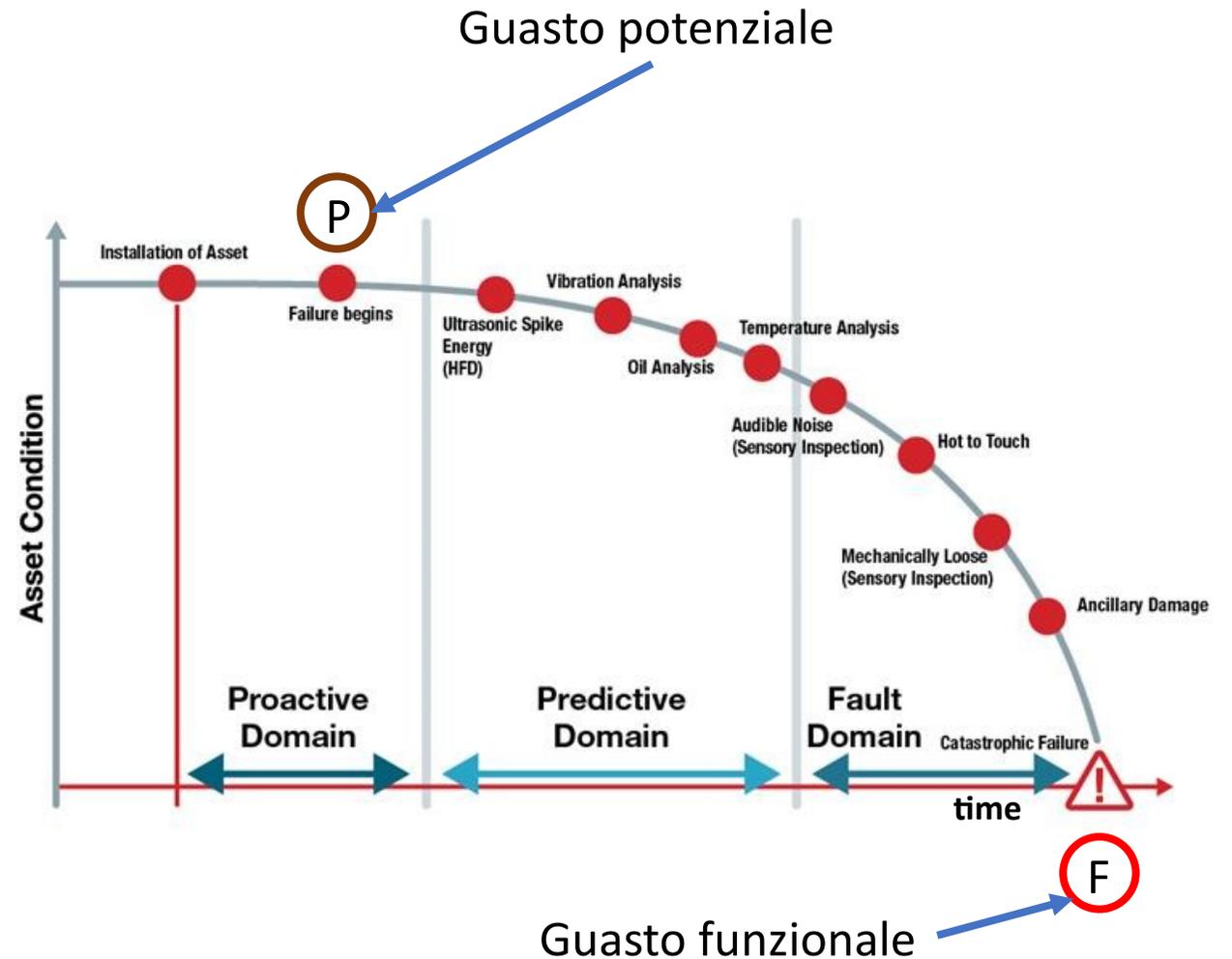
La macchina si comporta diversamente da quanto atteso.
Ora è necessario correggere il suo funzionamento
per riportarlo all'ottimale.

Razionale

La teoria che giustifica il monitoraggio della condizione è rappresentata dalla **curva P-F** che mostra l'evoluzione nel tempo di uno specifico modo di guasto di una entità.

È definita:

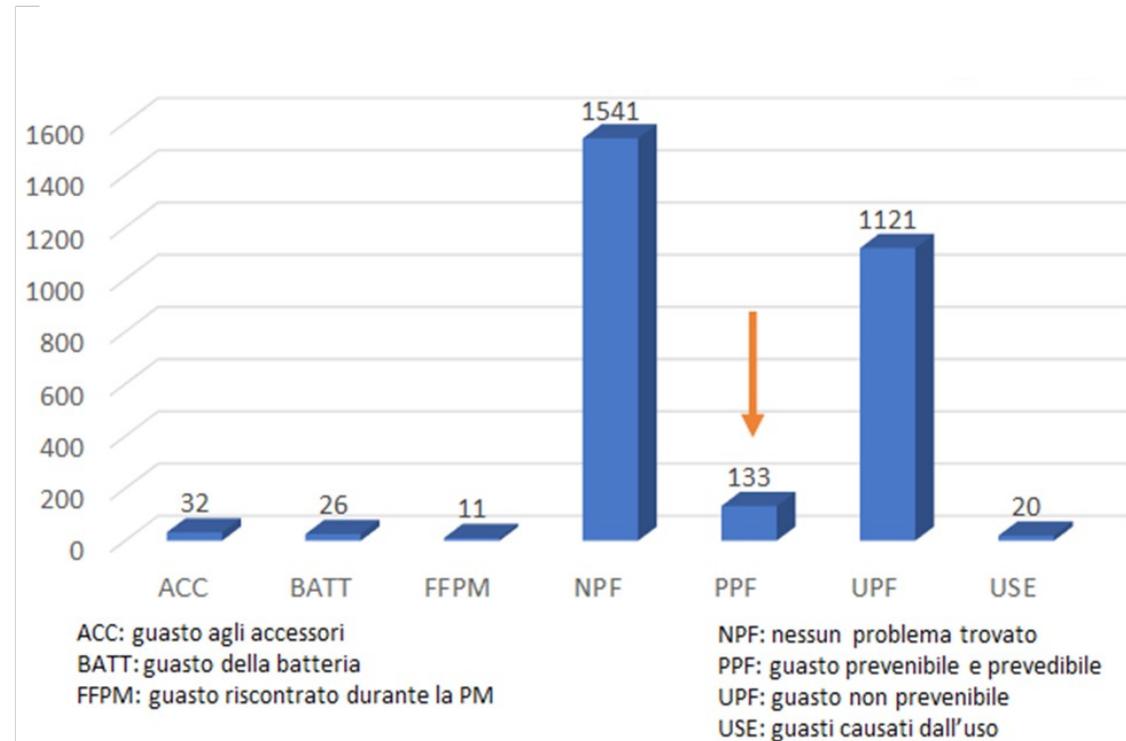
- dal **punto P** (momento in cui il guasto produce alterazioni della condizione rilevabili attraverso il monitoraggio di determinati parametri);
- dal **punto F** (quando l'entità non è più capace di svolgere la sua funzione a causa del guasto stesso).



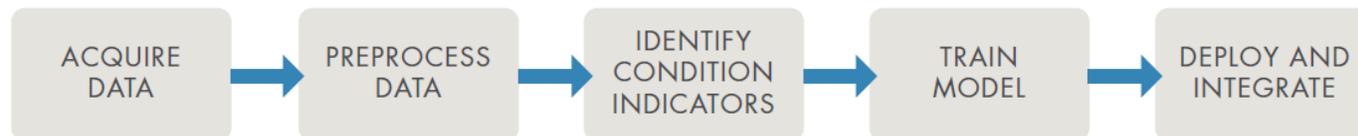
Caso di studio: i ventilatori a pressione positiva



Analisi di 2.885 interventi tra il 1999 ed il 2020

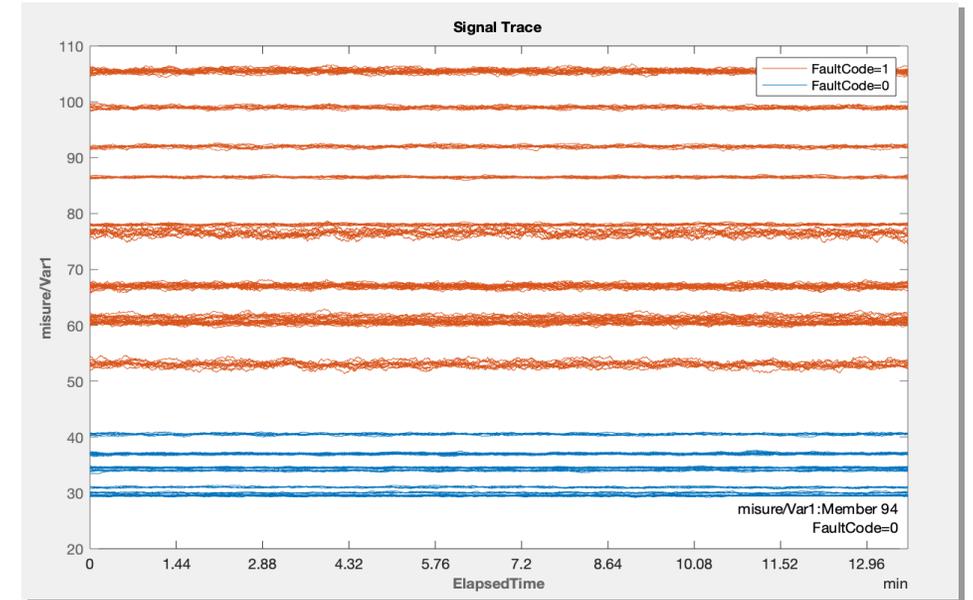


Ottimizzare la sostituzione della **turbina** attraverso un **predictive maintenance workflow**.



Caso di studio: i ventilatori a pressione positiva

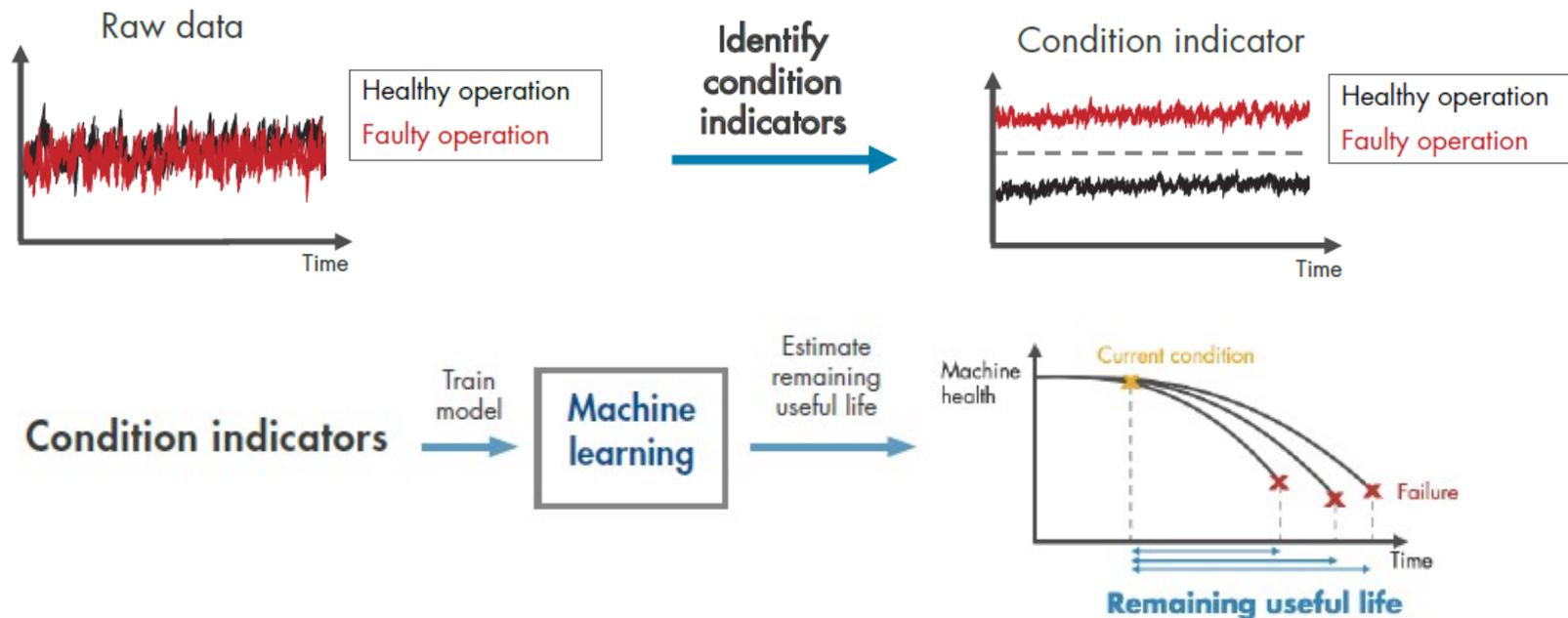
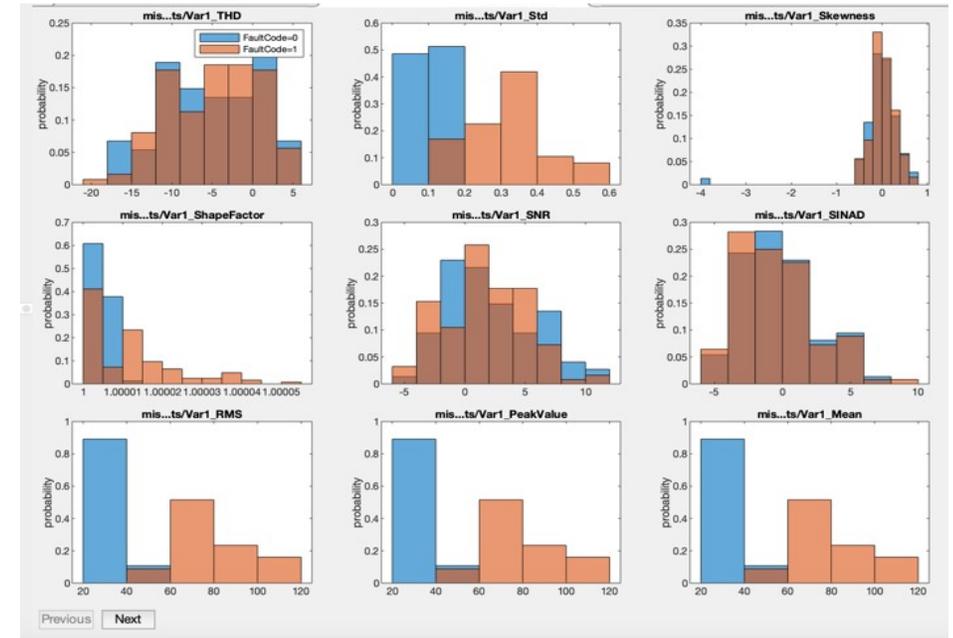
- **Feature:** caratteristica distintiva estratta da un sistema reale dalla cui analisi è possibile ricavare informazioni sul suo corretto funzionamento (parametro, variabile di stato, residuo, altro);
- **Sintomo:** cambiamento non usuale di una feature rispetto al suo valore abituale o nominale;
- **Sintomo euristico:** sintomo qualitativo osservato dalle persone che operano sul processo (rumore acustico, oscillazioni, vibrazioni, colore, fumi, altro);
- **Serie storica e statistica del guasto:** dati storici sul processo **fonometro portatile**, posizionato a bordo del campione di ventilatori, dalle **1.000** alle **22.000** ore e tempo di campionamento di **200** ms.
 - Pre-elaborazione dei raw data ed estrazione delle feature per distinguere lo stato **sano (blu)** da quello **guasto (arancione)**.



Questi **dati** sono serviti per **confermare** l'esistenza della **correlazione** ipotizzata tra **rumore acustico** e **stato di funzionamento sano e difettoso**.

Caso di studio: i ventilatori a pressione positiva

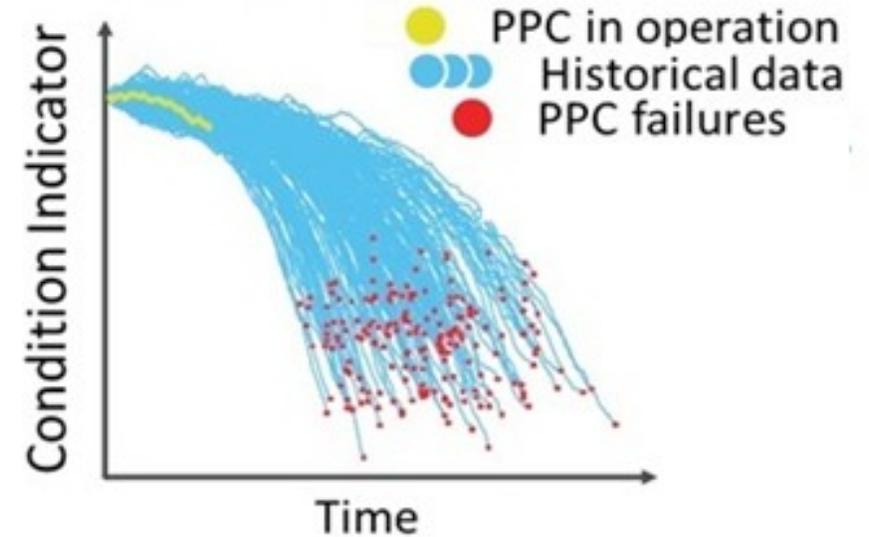
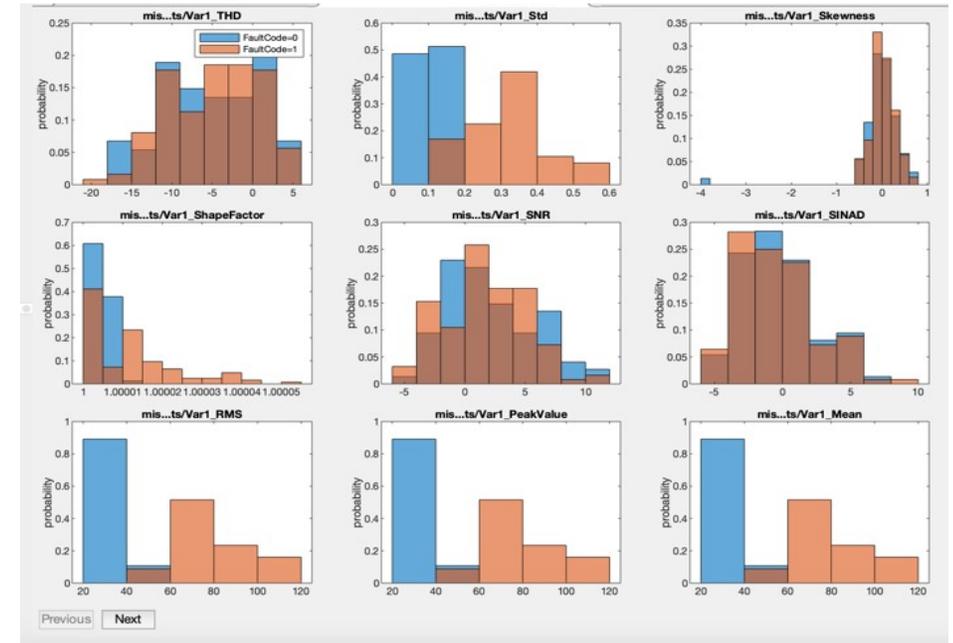
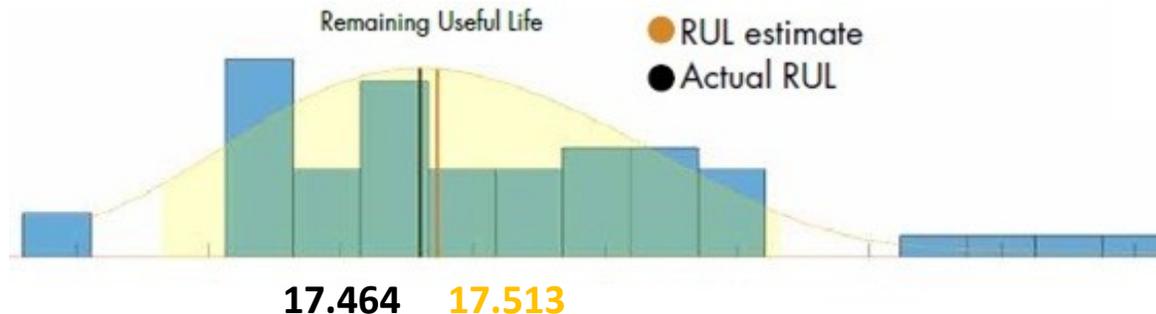
L'applicazione **Diagnostic Feature Explorer** di Matlab permette di valutare più **indicatori** e tracciare **istogrammi** che visualizzano la loro **efficacia** nel separare i dati provenienti da entità in stati diversi (nel nostro caso sono differenziati, su due colori, i dati provenienti da **ventilatori sani** e da **ventilatori guasti**).



Caso di studio: i ventilatori a pressione positiva

L'applicazione **Diagnostic Feature Explorer** di Matlab permette di valutare più **indicatori** e tracciare **istogrammi** che visualizzano la loro **efficacia** nel separare i dati provenienti da entità in stati diversi (nel nostro caso sono differenziati, su due colori, i dati provenienti da **ventilatori sani** e da **ventilatori guasti**).

- **Stima Remaining Useful Life (RUL):** tempo che intercorre tra la condizione attuale di una entità e il guasto.
- Ad ogni iterazione il modello trova le traiettorie delle turbine più vicine ed aggiorna la stima del **RUL**.



Caso di studio: i ventilatori a pressione positiva

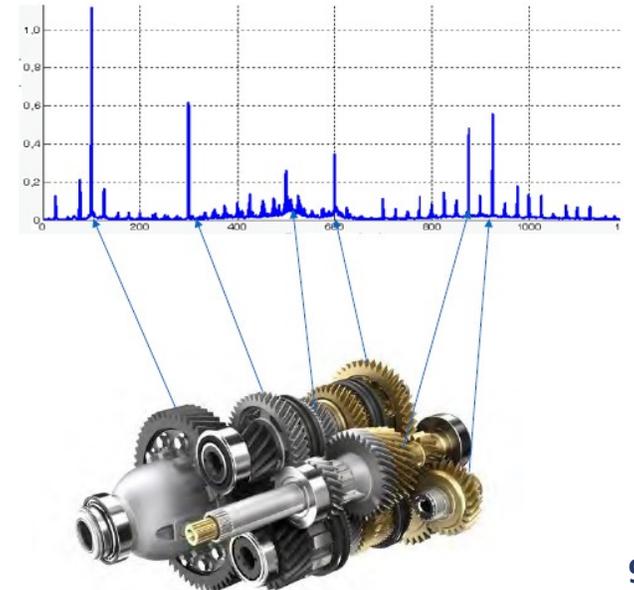
- Ogni macchina, durante il funzionamento, dissipa una parte dell'energia sotto forma di calore e vibrazioni meccaniche. Le vibrazioni sono un indicatore importante dello stato della macchina.
- L'aumento dell'intensità delle vibrazioni o le modificazioni nelle loro caratteristiche indicano di norma uno stato di deterioramento delle componenti meccaniche
- Quando l'intensità delle vibrazioni cresce oltre una certa soglia, è necessario un intervento per prevenire guasti.

L'onda sonora prodotta da un coro è la **somma delle onde sonore** prodotte da ciascun corista.

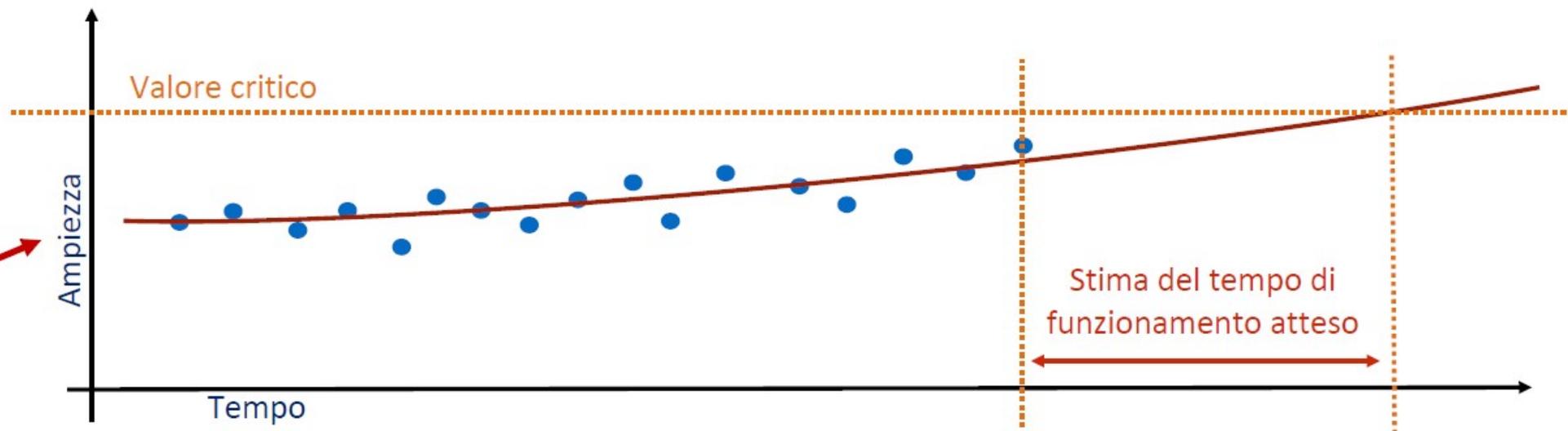


La vibrazione prodotta da una macchina è la **somma delle vibrazioni** delle sue componenti.

Lo spettro della forma d'onda consente di **scomporre** la stessa nelle sue **componenti**.



Caso di studio: i ventilatori a pressione positiva

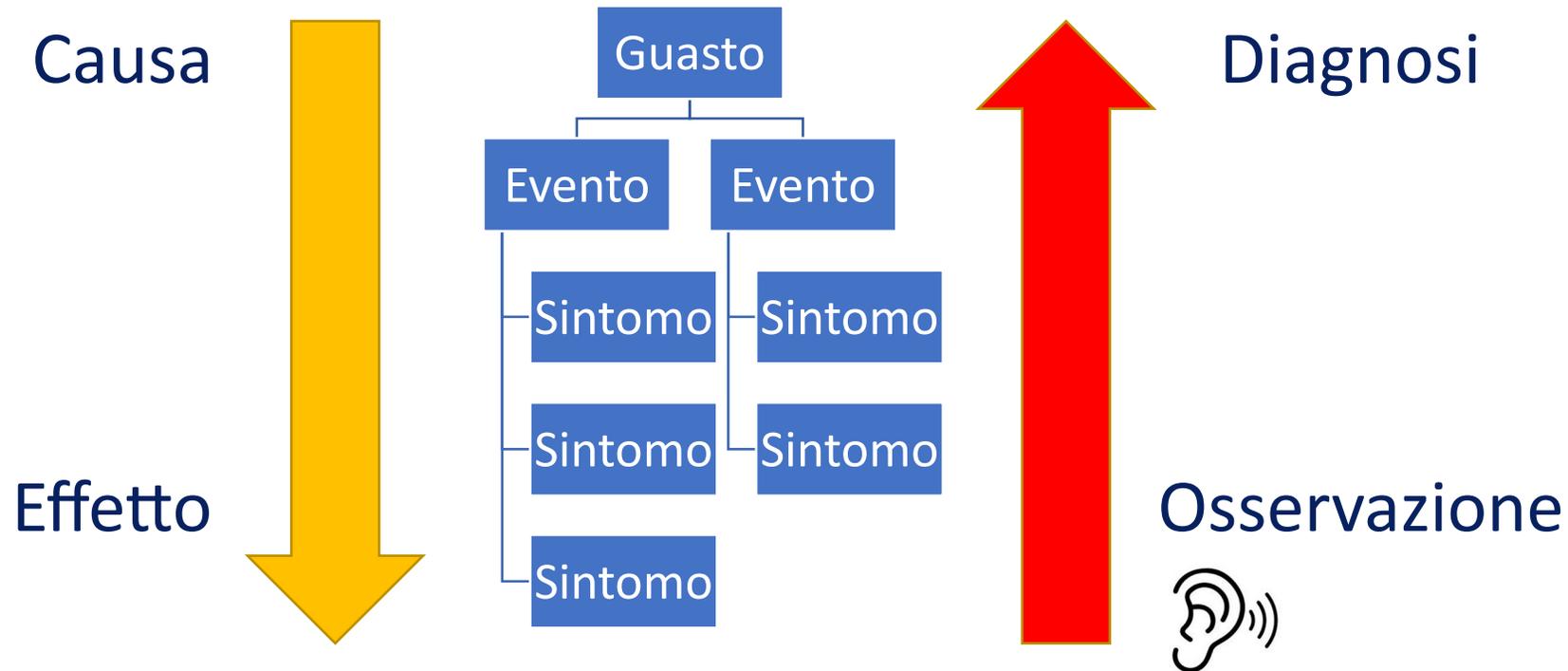


Analizzando la **variazione di ciascuna frequenza** nel tempo, è possibile **prevedere il tempo rimanente** prima del raggiungimento di **un livello critico**.

Se il livello critico è ignoto, risulta **comunque significativa la velocità con la quale l'ampiezza della vibrazione incrementa**, ovvero l'accelerazione del fenomeno.

Il **monitoraggio sistematico delle vibrazioni** consente la realizzazione di un sistema di allarme **completamente automatico**.

Relazione sintomo-guasto



Da un lato un **guasto** causa degli **effetti**, ed a sua volta dei **sintomi** che **possono essere osservati** (rapporto di tipo **causa-effetto diretta**), dall'altro **non è immediato** risalire, a partire dal sintomo, alla causa che l'ha generato, per cui spesso ci si affida a tecniche di **intelligenza artificiale**.

Intelligenza artificiale

- Le tecnologie **dell'intelligenza artificiale** rappresentano un **punto di svolta** per la **manutenzione predittiva**.
- **Machine learning** e **deep learning** sono certamente **l'evoluzione naturale della diagnostica**, la loro applicazione richiede **impegno** e **tempo**, prima di acquisire una **reale efficacia**.
- Bisogna però tenere conto del fatto che queste tecnologie si basano sull'analisi di **parametri acquisiti**, con la capacità di riconoscere situazioni che, nella maggior parte dei casi, **devono già essersi verificate un certo numero di volte**.



Reti di sensori

La realizzazione di reti di sensori realmente **affidabili, sostenibili e capillari** è una scommessa da **non sottovalutare**:

- **Architettura e trasporto dei dati;**
- Grandi volumi di dati da **acquisire, archiviare e analizzare;**
- Identificazione e applicazione degli **algoritmi di analisi automatica.**

Esempio

Scenario con 100 punti di misura che integrano un:

- accelerometro a tre assi con frequenza di campionamento 3.200 Hz;
- accelerometro monoasse con frequenza di campionamento 100 kHz;
- sensore di temperatura.

La misura produrrebbe:

- circa 165 GB/giorno per gli accelerometri a tre assi;
- circa 1.720 GB/giorno per accelerometro da 100 kHz;
- trascurabile flusso dati per le temperature.

In un anno sono in tutto **688 TB**
(86 dischi da 8 TB ciascuno).

Strategie di gestione dei dati

- Limitare le misurazioni e dello storico;
- Adottare connessioni in **fibra ottica** ed utilizzare strategie di **compressione**;
- Utilizzare sistemi **Edge Computing**, realizzando dispositivi di acquisizione in grado di svolgere una parte del processo on site.
 - Oltre all'acquisizione dei dati, il dispositivo consente di fare attività di analisi in locale;
 - solo i dati ottimizzati vengono trasferiti alla piattaforma centralizzata, con cadenza temporale predefinita (riduzione 10^4);
 - possibile utilizzo di una rete **Lo.Ra**.

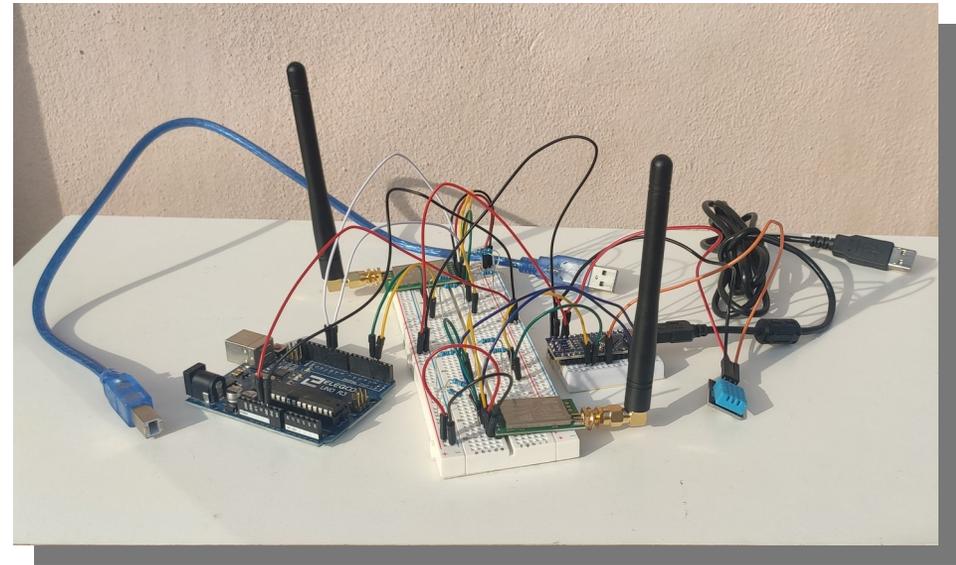
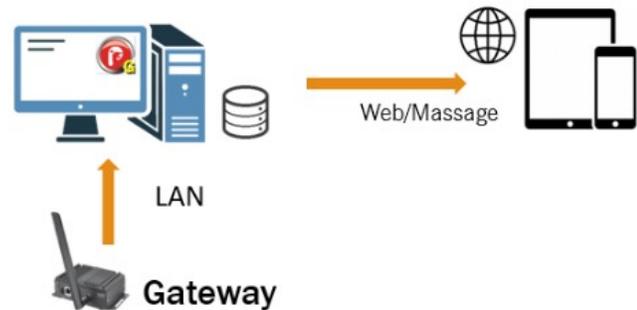


Reti ottimizzate

- **Lo.Ra.** è lo strumento ottimale per il trasferimento di dati su **reti di sensori distribuiti**;
- Questa tecnologia consente di trasferire dati digitali con velocità che **non superano i 21 Kbps** via radio;
- Il vantaggio di questa tecnologia consiste nella possibilità di coprire **distanze davvero considerevoli**, che di un contesto esterno arrivano fino a **18 Km.**



Case studio: DAE, smart management delle batterie



- Monitoraggio dello **stato di salute delle batterie** e termico locale;
- **Stima della capacità e previsione della RUL**;
- Approccio in **Cloud** incentrato sull'**Edge computing**. I dati vengono raccolti e pre-elaborati a livello periferico per poi essere distribuiti in una forma già ottimizzata per il training del Machine Learning model.

Caso studio: apparecchiature RX e scanner MRI

I tubi dello scanner TC sono componenti **critici** e possono essere utilizzati solo **un numero limitato di volte**. Essendo **onerosi**, tutti cercano di ottenere il più possibile da loro.

Devono essere tenuti sotto controllo per **ridurre le interruzioni** ed i **costi**. Ottimisticamente, ci sono **segnali di allarme precoce** a cui prestare attenzione **per identificare** quando si avvicina la sua **sostituzione**.

Nei sistemi MRI superconduttori il **chiller** è un componente critico. I dati raccolti tramite sensori generano informazioni su come sia stato utilizzato e su come si sia comportato nel tempo. La concordanza **informazioni/guasto** porta a determinare **relazioni causa-effetto**.



Take Home Message

- La **manutenzione predittiva** va inquadrata nel contesto più ampio di Industria 4.0. **Manutenzione 4.0** non significa soltanto raccolta ed analisi automatizzata di dati, ma è necessario creare una **integrazione** snella tra sistemi diversi per **massimizzare le possibilità di successo**.
- Sono accessibili soluzioni tecno che hanno un potenziale altissimo e sono abilitanti per **una gestione** consapevole ed (artificialmente) **intelligente** della manutenzione degli asset.
- L'AI, in ambito manutentivo, **sta crescendo nelle sue capacità** ed il suo ricorso, per attuare **nuove pratiche**, appare **sempre più naturale**.



HAL 9000, supercomputer di bordo della nave spaziale Discovery nel film 2001: Odissea nello spazio di Stanley Kubrick

Grazie per l'attenzione