



Università
degli Studi
di Ferrara

DE Department of
Engineering
Ferrara

LA MANUTENZIONE PREDITTIVA DELLE MACCHINE E DEGLI IMPIANTI

Prof. Emiliano Mucchi

05/11/2020

Agenda

- Un pò di storia
- Politiche di Manutenzione
- Manutenzione Predittiva
- Step della manutenzione Predittiva
 - Data acquisition/Signal Processing/Feature Representation/Feature Selection/Diagnostics, Monitoring/Prognostics
- Applicazioni

Storia della Manutenzione

- L'enciclopedia Treccani alla voce *Manutenzione* dice:
«il mantenere in buono stato; in particolare, l'insieme di operazioni che vanno effettuate per tenere sempre nella dovuta efficienza funzionale, in rispondenza agli scopi per cui sono stati costituiti, un edificio, un impianto, una macchina, ecc.»
- *Un po' di storia...*
 - *Homo Abilis* (2 milioni di anni fa): produceva manufatti elementari per la caccia e per lavorare. E' probabile che facesse una qualche forma di manutenzione per tenerli efficienti.
 - *Egiziani* (3000 a.c): un alto funzionario praticava la manutenzione (affinché non si ostruissero) dei canali per portare acqua dove il fiume Nilo non arrivava.
 - *Il Diritto Romano* conteneva regole su come effettuare la manutenzione delle strade, degli edifici e degli acquedotti.
 - *Nel 1959 in Italia* nasce l'associazione italiana tecnici di Manutenzione (AIMAN).

Obiettivi della Manutenzione

- miglioramento continuo dell'affidabilità;
- miglioramento continuo della manutenibilità;
- miglioramento continuo dell'efficienza globale;
- conservazione del patrimonio impiantistico;
- ottimizzazione dei costi di manutenzione;
- miglioramento della stabilità dei processi;
- miglioramento della sicurezza e della tutela dell'ambientale;
- sviluppo della pianificazione dei lavori;
- miglioramento continuo delle capacità professionali dei manutentori.

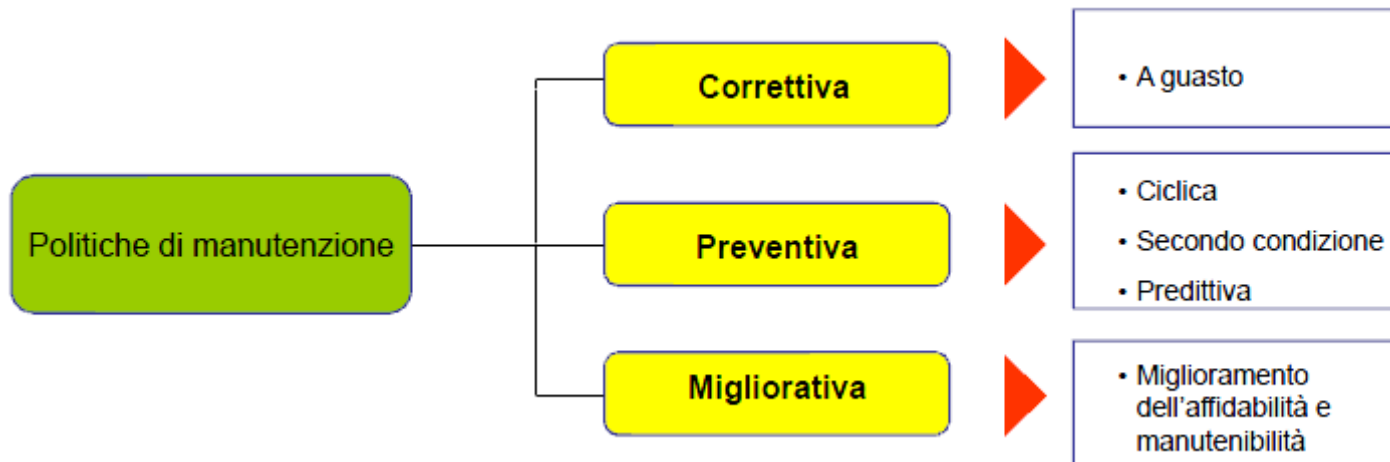
Politiche di Manutenzione

Le politiche di manutenzione rappresentano i diversi approcci che si possono attuare per realizzare la mission di manutenzione. Vengono scelte tenendo conto degli aspetti tecnici e organizzativi dell'attività manutentiva, dopo un'attenta analisi di valutazione dei seguenti punti:

- **comportamento a guasto del componente critico e conseguenze sulla macchina**, tenendo conto della possibilità di monitorare/ispezionare l'entità;
- confronto tra i **costi di manutenzione** in caso di anticipo del guasto e manutenzione effettuata in seguito;
- **costi e benefici** derivanti dall'introduzione di possibili miglioramenti nel modo di operare la manutenzione.

Politiche di Manutenzione

Le politiche di manutenzione rappresentano i diversi approcci che si possono attuare per realizzare la mission di manutenzione



Le politiche manutentive si dividono in tre politiche canoniche le cui definizioni normative sono tratte da UNI EN 13306 e UNI 10147.

Manutenzione Correttiva (o a guasto)

E' la manutenzione “**eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare l'entità nello stato in cui essa possa eseguire la funzione richiesta**”. Si procede quindi alla sostituzione o a alla riparazione dell'entità in avaria. La sua convenienza si manifesta in sistemi non critici e facili da rimpiazzare, vale a dire quando risulta più conveniente attendere il guasto piuttosto che effettuare un qualsiasi intervento preventivo.

Gli svantaggi sono causati da:

- fermi macchina, i quali accadono inaspettatamente e spesso nel momento meno opportuno;
- dalle conseguenze, a volte anche gravi, che un determinato guasto può causare sull'intera macchina;
- tempi più lunghi di riparazione, i quali possono ostacolare la produzione occupando poco proficuamente il personale tecnico.

Manutenzione preventiva

E' la manutenzione "eseguita ad intervalli determinati o in accordo a criteri prescritti e volta a ridurre la probabilità di guasto o il degrado di funzionamento di un'entità. La manutenzione preventiva si divide in ulteriori 3 sottopolitiche:

- *Manutenzione preventiva ciclica*
- *Manutenzione su condizione*
- *Manutenzione predittiva*

Manutenzione preventiva ciclica

E' effettuata in base ad intervalli di tempo o cicli di utilizzo prefissati, ma senza una precedente indagine sulle condizioni dell'entità. È un tipo di manutenzione programmata, eseguita in accordo con un piano temporale stabilito, il quale si esprime in funzione dei cicli di utilizzo più appropriati (ad esempio i tempi di funzionamento di una macchina, chilometri percorsi, numeri di cicli di lavoro, ecc). La sostituzione o riparazione di un componente dell'entità viene quindi effettuata sulla base dell'avvenuto utilizzo predeterminato (ad esempio la sostituzione del filtro dell'olio di un automobile ogni 20000 km).

La manutenzione preventiva ciclica è efficace sia in termini economici, sia di riduzione dell'indisponibilità della macchina quando il guasto presenta una certa regolarità di accadimento.

Manutenzione su Condizione (Condition Based Maintenance)

E' un'attività di manutenzione preventiva “**basata sul monitoraggio delle prestazioni di un'entità e/o dei parametri significativi per il suo funzionamento e sul controllo dei provvedimenti conseguentemente presi**”. È quindi una **manutenzione eseguita subordinatamente al raggiungimento di un valore limite predeterminato** di una misura indicativa dello stato di usura di un'entità .

La manutenzione su condizione permette di evitare inutili interventi di manutenzione, portando questi al numero minimo necessario a garantire l'affidabilità della macchina

Manutenzione predittiva

E' una ulteriore evoluzione dell'attività di manutenzione su condizione: essa è una manutenzione preventiva effettuata a seguito dell'individuazione e della misura di uno o più segnali (ad esempio una misura di vibrazioni e di temperatura olio in una macchina rotante) e della successiva **estrapolazione a partire da tali segnali, sulla base di un modello di calcolo appropriato, del tempo residuo atteso prima del guasto**. L'intervento di manutenzione dipende quindi dalla misura del sintomo di un guasto incipiente.

Manutenzione predittiva

- Step della manutenzione Predittiva
 - Data acquisition/Signal Processing/Feature Representation/Feature Selection/Diagnostics, Monitoring/Prognostics
- Applicazioni di Manutenzione predittiva

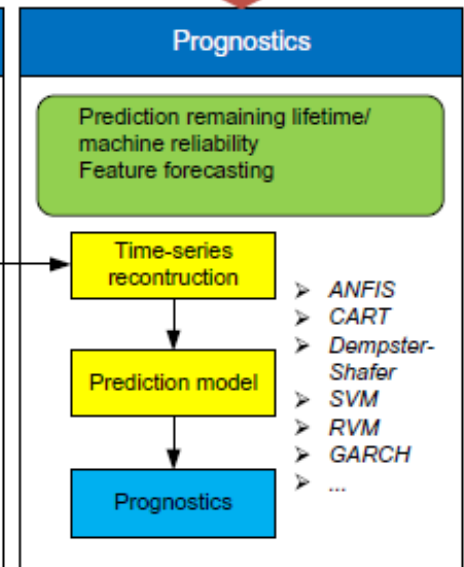
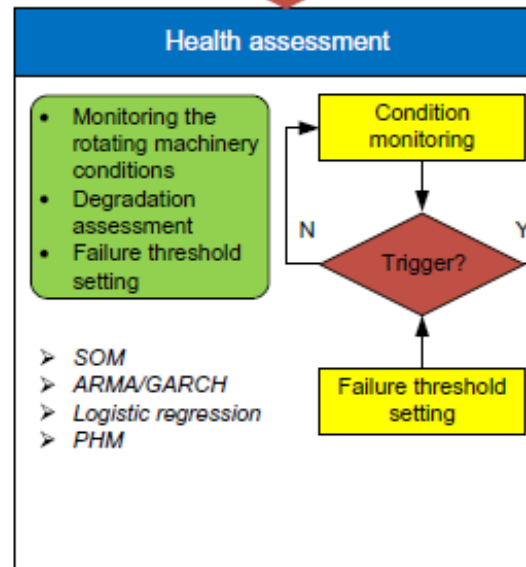
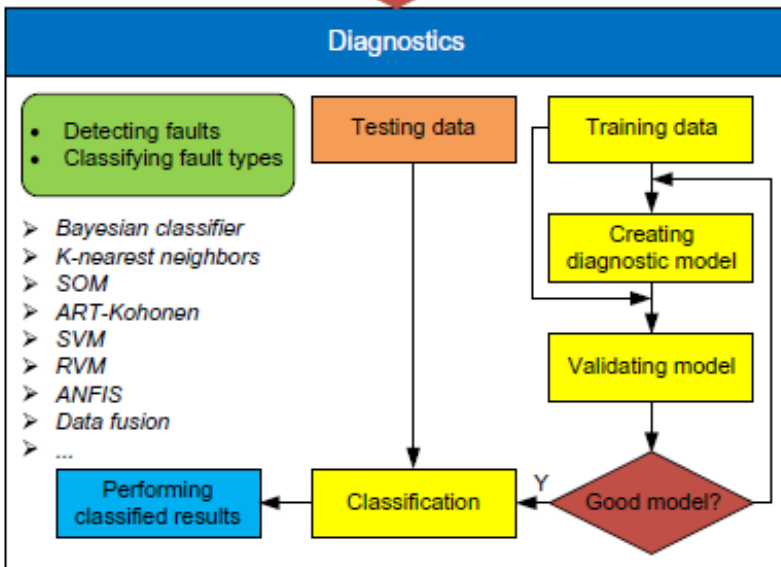
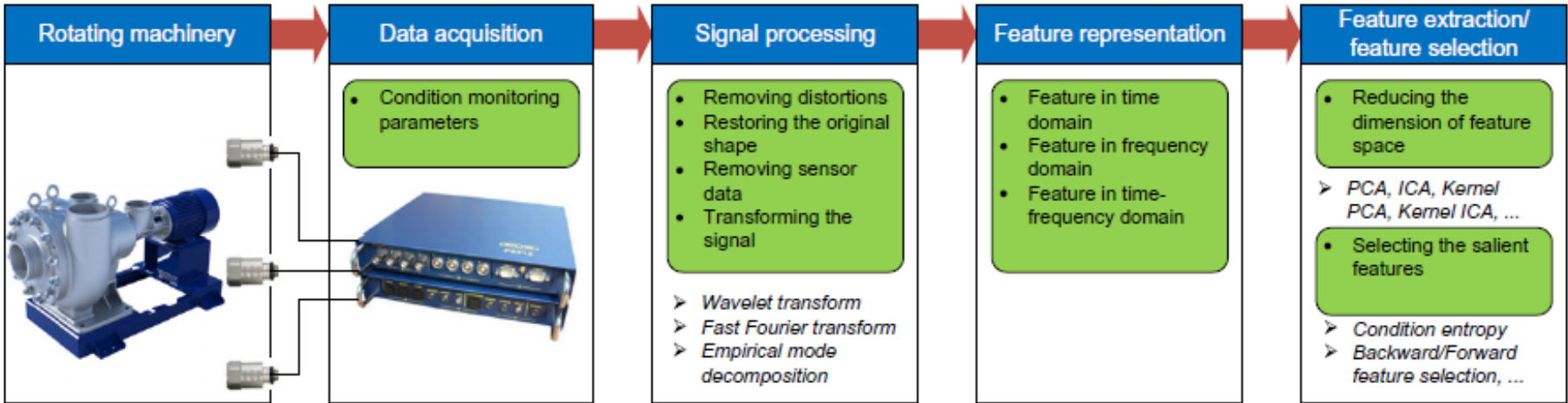


Manutenzione

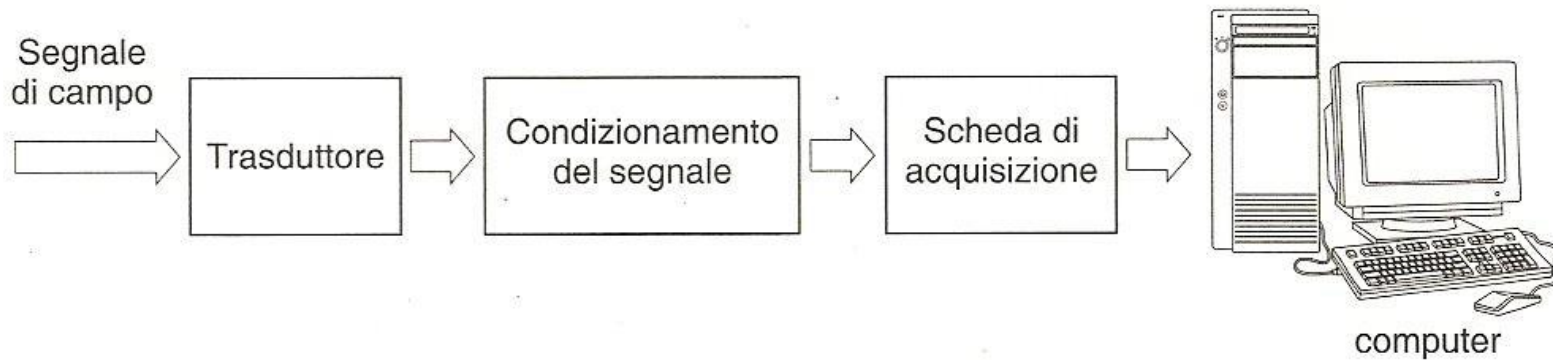
la manutenzione basata su condizione, ed in particolar modo la predittiva, rappresentano l'avanguardia nelle metodologie di manutenzione delle macchine. Attraverso **la diagnosi e la prognosi**, le quali rappresentano gli strumenti più evoluti in ambito manutentivo, è possibile individuare e prevenire i guasti ed **effettuare previsioni sul futuro trend di degrado e la vita utile** rimanente per un determinato componente.

Alla base di tutto questo vi è il monitoraggio dello stato di salute dell'entità sotto osservazione, il cui indicatore viene detto *Segnale Debole*.

Alla base di qualsiasi metodologia di diagnosi e prognosi vi è il **monitoraggio** dello stato di salute di una macchina



Data acquisition



L'insieme di elementi che permettono di raccogliere dal campo il segnale corrispondente ad una grandezza fisica (*Data Acquisition*), viene detto *Catena di Misura*.

- **Trasduttore**: è l'elemento che trasforma la grandezza fisica (ad esempio temperatura, forza, distanza) rilevata dal sensore in un'altra grandezza (solitamente di tipo elettrico, quale tensione, corrente, resistenza, ecc.)
- **Condizionatore**: il condizionatore viene utilizzato per normalizzare il segnale elettrico, dove la normalizzazione rappresenta il trattamento del segnale affinché questo rientri in determinati standard di corrente e tensione (generalmente 0-20mA per la corrente e 0-12 Volt per la tensione). In genere è costituito da dispositivo amplificatore, attenuatore, filtro, da un alimentatore, un ponte di bilanciamento
- **Cavo di trasmissione**: elemento che serve per trasportare il segnale fino ai dispositivi di conversione (oggi si tende però a convertire il segnale vicino al punto di misura stesso)
- **Convertitore A/D**: digitalizza il segnale elettrico proveniente dal condizionatore.

Signal Processing

Il **signal processing** rappresenta il processo di **pulizia del segnale attraverso la rimozione delle distorsioni**, il ripristino della fase originale e, nel caso di un'analisi multi sensore, l'eliminazione dei dati provenienti dai sensori irrilevanti. Questo processo ci permette di esplicitare il segnale in maniera più espressiva. Esistono a tale scopo diversi algoritmi in grado di effettuare tale elaborazione del segnale:

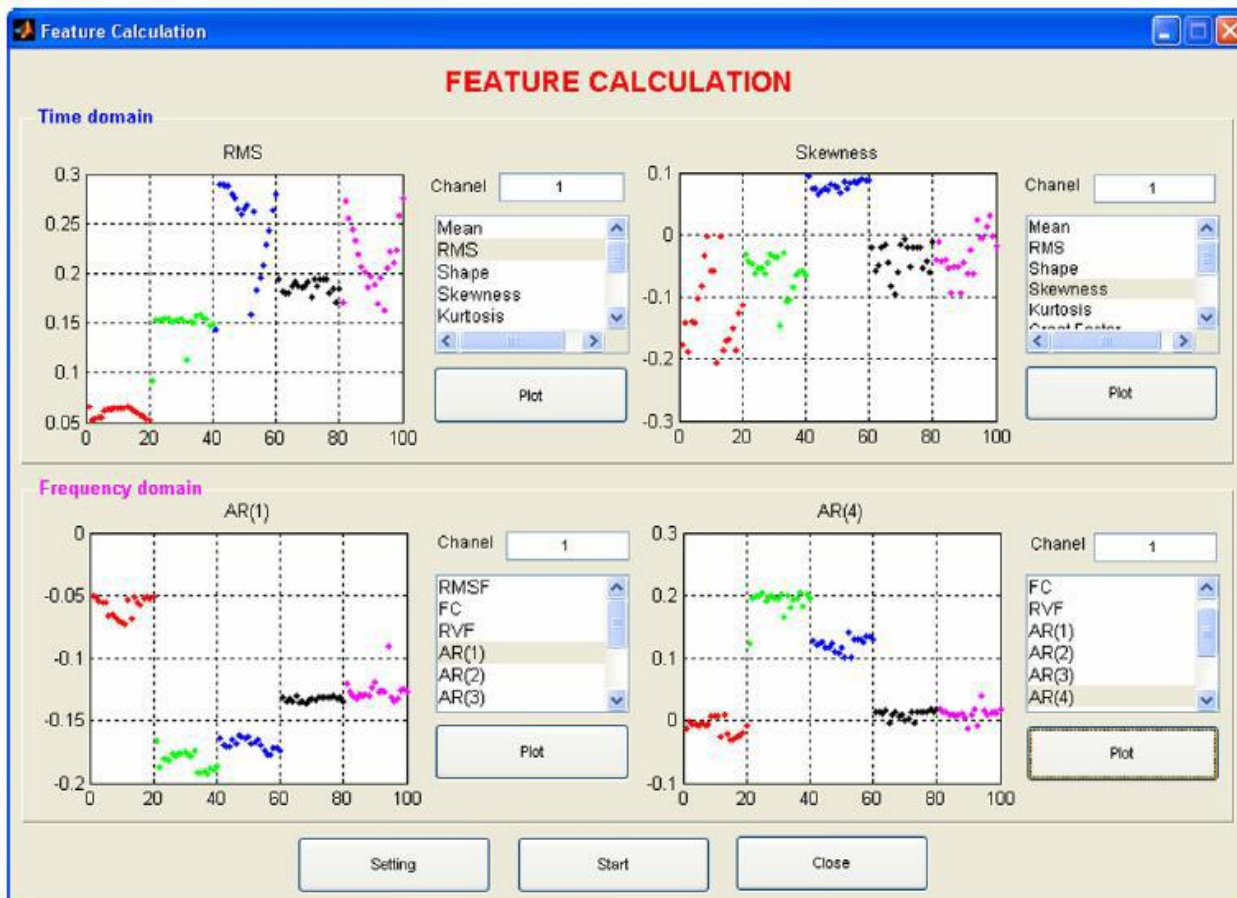
- Trasformata Wavelet/STFT;
- Trasformata di Fourier veloce (FFT);
- Empirical Mode Decomposition

Non effettuare questa pulizia può portare al fenomeno chiamato «**garbage in garbage out**»

Rappresentazione del segnale sottoforma di funzione (Feature Representation)

I dati ottenuti dal modulo precedente raramente possono essere utilizzati nella loro forma grezza a causa delle loro enormi dimensioni (big data) (*e.g. 15 sensori, Fc 4kHz, 1mese* → 2Tb). Queste elevate dimensioni non solo portano problemi di memorizzazione dei dati, ma anche di trasferimento. Rappresentare i dati sotto forma di funzione è una necessità per ridurre queste dimensioni e rendere più semplice l'analisi del segnale. L'analisi nel dominio del tempo permetterà di calcolare alcuni indici come: valor medio, RMS, varianza, skewness, kurtosis, fattore di cresta, contenuto energetico, cioè l'energia nell'intervallo di tempo considerato, ecc. Nell'analisi della frequenza si ricavano altri indicatori (ampiezza di armoniche, etc)

Rappresentazione del segnale sottoforma di funzione (Feature Rapresentation)



Estrazione e/o selezione della funzione (Feature extraction and/or feature selection)

In questa fase vengono estratte delle **funzioni vettoriali che rappresenteranno l'input principale per gli algoritmi di diagnosi e di prognosi dei guasti**. Per quanto riguarda gli algoritmi di estrazione della funzione vengono citati: Principal Component Analysis (PCA), Independent Component Analysis (ICA).

Sebbene la dimensione è stata notevolmente ridotta dalla Feature Extraction, spesso, ogni set di funzioni contiene molte funzioni ridondanti o irrilevanti, oltre a quelle che possono interessare per gli scopi manutentivi. Di conseguenza, risulterà necessario un ulteriore passo, denominato Feature Selection, per trovare un sottoinsieme ottimale di funzioni che massimizzi il contenuto di informazioni.

Monitoraggio, Diagnostica e Prognostica

- **Monitoraggio dello stato di una macchina:**
Ricerca e raccolta di informazioni e di dati che indichino lo stato di una macchina
- **Diagnostica:** esame di sintomi e di sindromi per stabilire la natura dei difetti o dei guasti;
- **Prognostica:** qual è la vita utile?



Diagnostics

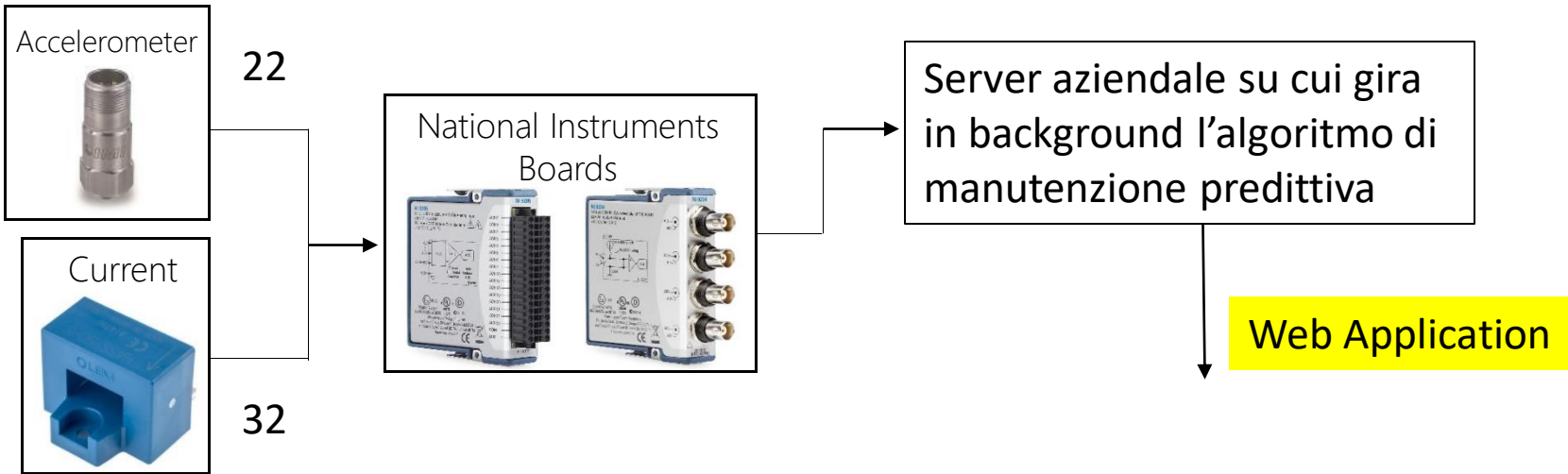
Attraverso le grandezze misurate dai sensori/trasduttori, con un'adeguata strumentazione di elaborazione del segnale è possibile indagare da un punto di vista diagnostico lo stato di salute degli organi di macchina. Le tecniche applicate in campo industriale sono di varia natura e le più importanti sono:

- **Correnti indotte:** il campo magnetico generato da una bobina alimentata con corrente alternata produce, nel pezzo da esaminare, delle correnti indotte. Tali correnti influenzano il valore di impedenza della bobina che le ha generate. La presenza di una qualsiasi discontinuità, modifica l'intensità ed il percorso delle correnti indotte e quindi l'impedenza del circuito, la cui variazione è indice di possibile difettosità;
- **Emissione acustica:** il principio si basa sulla rilevazione delle onde acustiche emesse da un materiale per deformazione, innesco e/o evoluzione di un difetto;
- **Liquidi penetranti:** il metodo si basa sul fenomeno della capillarità, ossia la tendenza di un liquido a risalire all'interno di un tubo capillare e su caratteristiche fisiche dei liquidi quali la viscosità e la tensione superficiale.
- **Magnetoscopia:** il principio del metodo si basa sulla deviazione che le linee del campo magnetico indotto in un materiale subiscono in presenza di una discontinuità;
- **Metodi ottici:** il principio si basa sull'impiego della luce come mezzo rivelatore dei difetti. Analizzando la direzione, l'ampiezza e la fase della luce diffusa o riflessa dalla superficie di un oggetto opaco, o trasmessa all'interno di un mezzo trasparente, si possono ottenere informazioni sullo stato fisico dell'oggetto sotto esame;
- **Radiografia:** il principio si basa sulla variazione di attenuazione che le radiazioni elettromagnetiche, nel caso in oggetto raggi X e raggi gamma, subiscono quando incontrano un difetto nel loro percorso attraverso il materiale;
- **Rilevazione di fughe di fluidi:** quando in una parete che separa due ambienti a pressione diversa esiste una discontinuità passante, il fluido contenuto nell'ambiente a pressione maggiore passa in quello a pressione minore, con portata variabile con la velocità.
- **Termografia:** il principio si basa sulla misura della distribuzione dell'energia irradiata da una superficie, correlata alla variazione di temperatura e/o emissività superficiale dell'oggetto in esame. Un'anomalia in tale distribuzione di temperature è indicativa di un possibile difetto;
- **Ultrasuoni:** il metodo ad ultrasuoni si basa sul fenomeno della riflessione che un'onda acustica subisce quando, viaggiando all'interno di un materiale, incontra un ostacolo alla sua propagazione. Se l'ostacolo è posto normalmente alla direzione di incidenza dell'onda, questa ritorna verso la sorgente che l'aveva generata ;
- **Analisi degli oli:** la presenza di residui metallici negli oli di lubrificazione delle macchine con parti in movimento è un sicuro indicatore di usura delle parti stesse. L'analisi dei contenuti metallici degli oli (ferro grafia) è pertanto un potente metodo di indagine dell'usura;
- **Analisi delle vibrazioni:** può risultare utile approfondire la tecnica riguardante l'analisi delle vibrazioni, la quale risulta tra le più utilizzate nell'ambito della diagnostica dei guasti su macchine rotanti

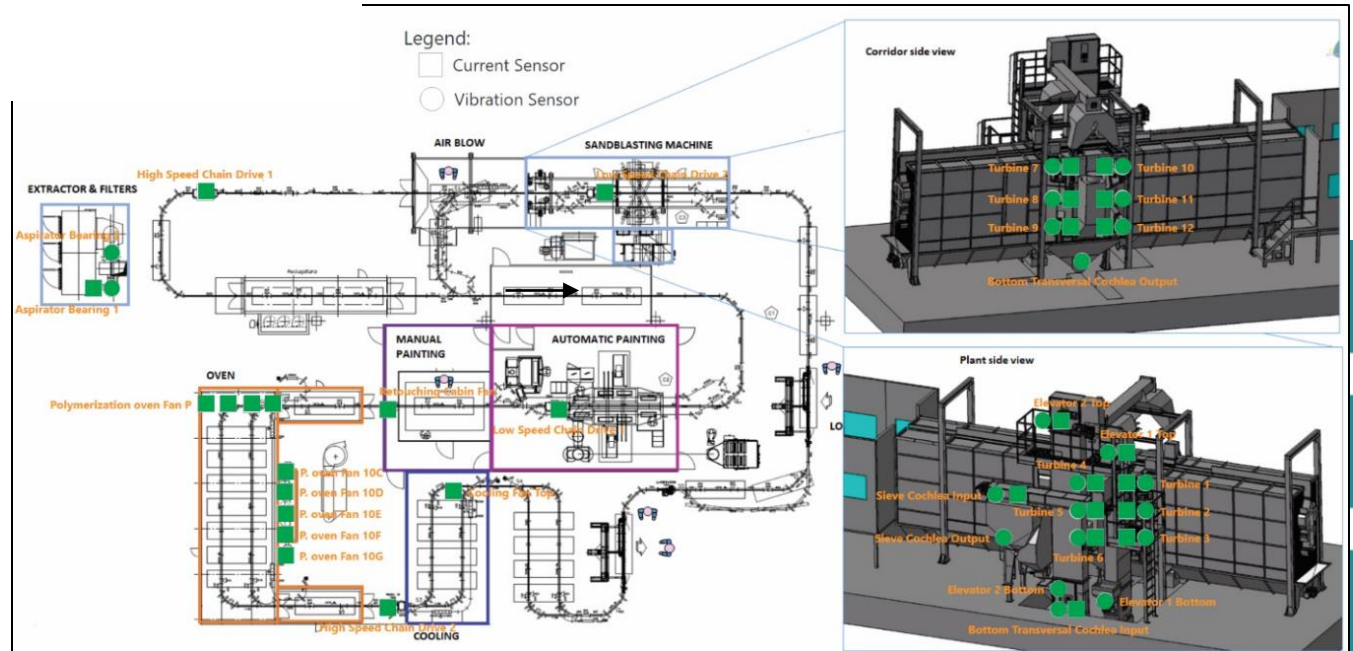
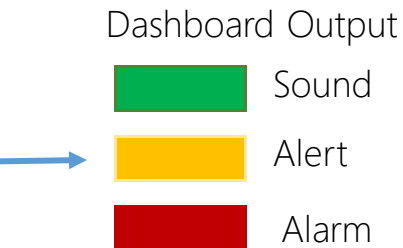
Modelli Prognostici

- ***Modello Physics-Based***: riguarda la costruzione di modelli matematici che descrivono fisicamente il sistema e i suoi modi di guasto, come ad esempio la propagazione delle cricche. Un approccio basato sulla fisica può essere, ad esempio, la modellazione dell'espansione delle cricche.
- ***Modello Data-Driven***: tenta di derivare i modelli direttamente dai dati collezionati, invece di costruire modelli basati sulla comprensione fisica del sistema o sull'esperienza umana. Tali modelli sono costruiti basandosi sull'uso di dati storici e producono output previsionali. Le più convenzionali tecniche Data-Driven includono semplici modelli di proiezione come ad esempio *l'Exponential Smoothing* e il *Modello Autoregressivo (AR)*.

Applicazioni. Manutenzione Predittiva in impianto



NI acquisisce dati e il server processa blocchi di 10s. Fornisce online le informazioni di allarme



Applicazioni. Manutenzione Predittiva in impianto

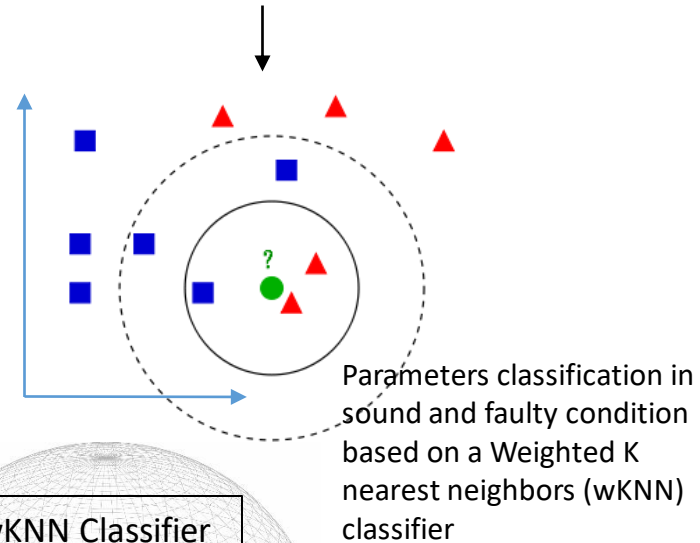
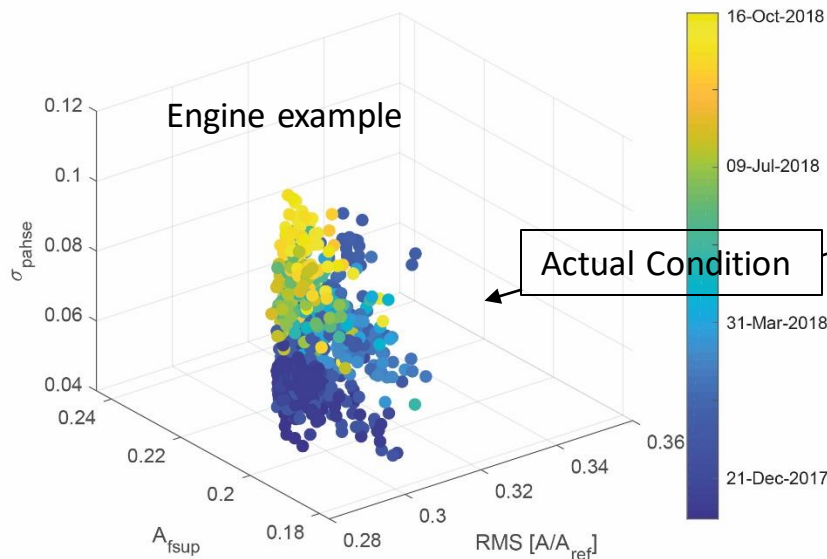
Classificatore wKNN

Bearing features:

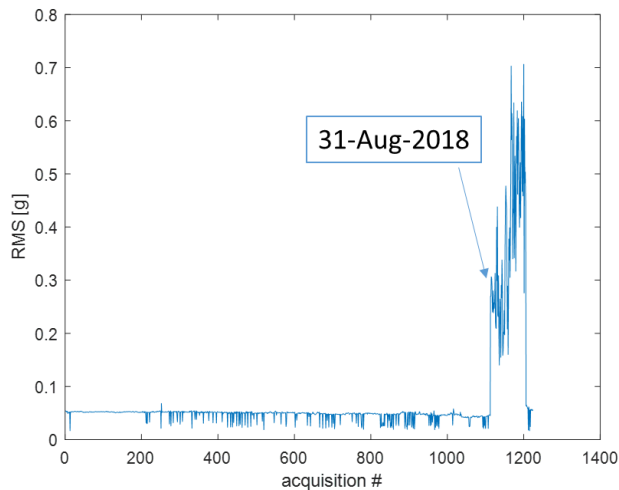
- Feature related to system fault
- Feature related to inner race fault
- Feature related to outer race fault

Engine features:

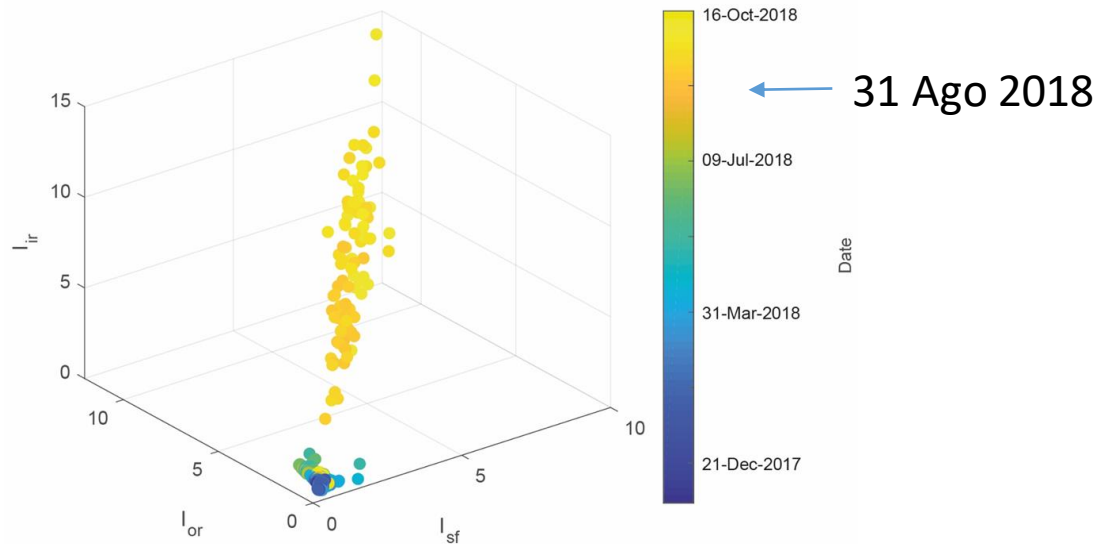
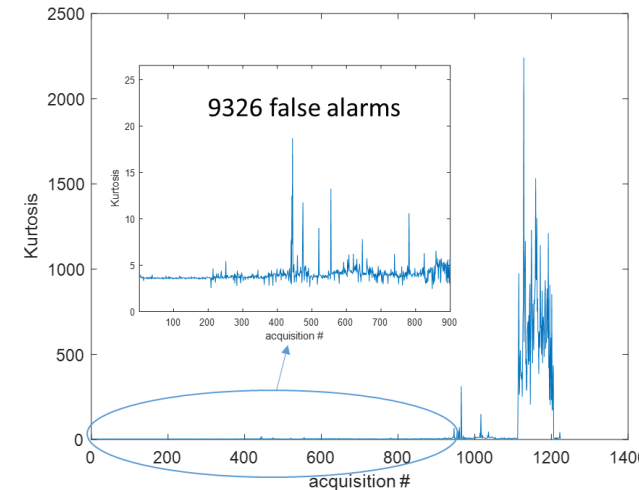
- Root Mean Square
- Supply frequency amplitude
- Phase of the filtered analytic signal



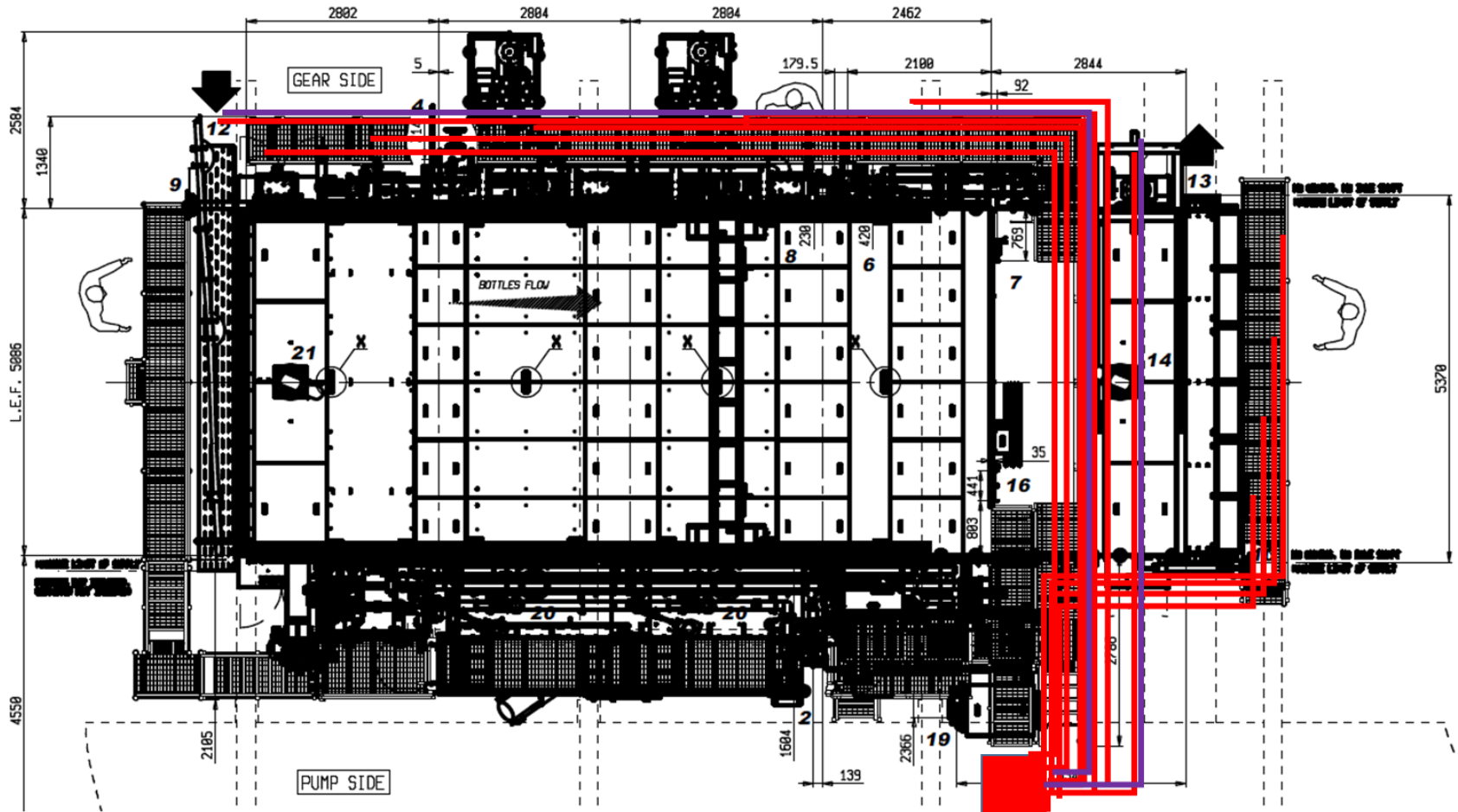
Applicazioni. Manutenzione Predittiva in impianto



Parametri statistici “globali” possono dare informazioni tardive sulla presenza del difetto o generare numerosi falsi allarmi, in quanto risentono di condizioni ambientali di funzionamento.



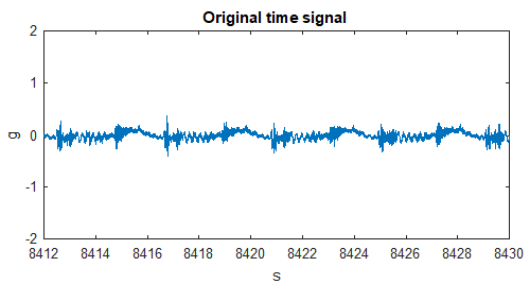
Applicazioni: Impianto



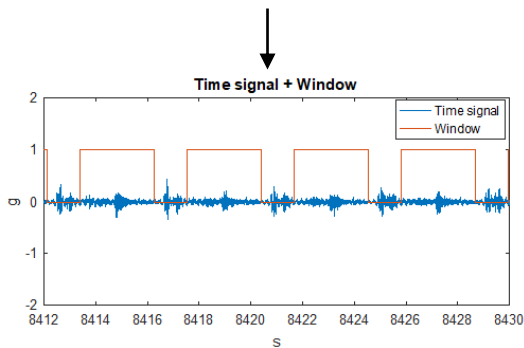
Position of the acquisition system

Applicazioni: Impianto

Esempio di analisi del segnale

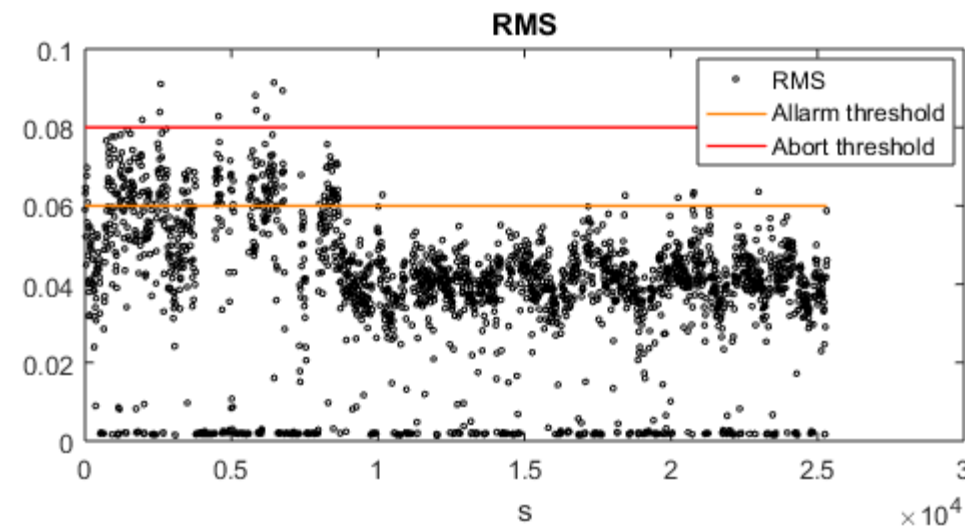
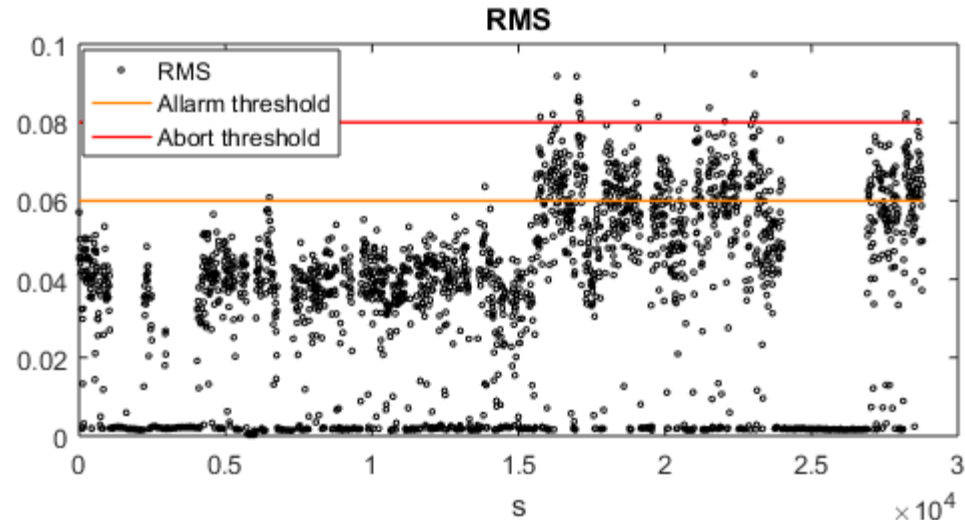


Il segnale originale viene prima opportunamente filtrato



Vengono poi considerate opportune sezioni legate al funzionamento della macchina

Selezione di opportune bande in frequenza su cui calcolare il contenuto energetico del segnale (RMS) → **FEATURE Extraction/selection**



Prof. Emiliano MUCCHI, PhD
MechVib - Mechanics and Vibration Research Group
DE - Department of Engineering
University of Ferrara
Via Saragat, 1
I-44122 Ferrara, Italy
Tel: +39 0532 974913
Mobile: +39 3397661381
Fax: +39 0532 974913
E-mail address: emiliano.mucchi@unife.it
<http://docente.unife.it/emiliano.mucchi>
www.mechvib.it
