

Competence Center nazionale specializzato sui Big Data



bi-REX
Big Data Innovation & Research Excellence

BANDI E PROGETTI

*Focus sui progetti 4.0 sviluppati
nell'ambito dei bandi emessi da BI-REX*

bi-REX
Big Data Innovation & Research Excellence

presenta



KINeMA
KNOWLEDGE INTEGRATION IN NEURAL
NETWORKS FOR e-MAINTENANCE



RUOLO DEI PARTNER

Partner aziendali



Bonfiglioli Riduttori S.p.A.

Coordinatore, supporto a casi d'uso



Eni S.p.A.

Supporto a casi d'uso, coordinamento dello sviluppo della metodologia di integrazione, simulazione d'impianto



Aetna Group S.p.A.

Supporto a casi d'uso, monitoraggio messa in opera



I.M.A. Industria Macchine Automatiche S.p.A.

Supporto a casi d'uso ed alla metodologia di integrazione

RUOLO DEI PARTNER

Partner aziendali

N I E R

NIER Ingegneria S.p.A.

Coordinamento delle attività di analisi e raccolta dei requisiti, sviluppo di modelli predittivi

 Alascom

Alascom S.r.l.

Coordinamento delle attività di sviluppo, sviluppo di modelli per l'individuazione di outlier


MindIT

MindIT S.r.l.

Supporto alla progettazione e sviluppo software


MARPOSS

Marposs S.p.A.

Supporto a casi d'uso ed alla messa in opera

RUOLO DEI PARTNER

Subcontractor universitari ed enti di ricerca



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE
DI RICERCA INDUSTRIALE ICT

CIRI ICT - Centro di ricerca industriale dell'Università di Bologna per le tecnologie ICT

Coordinamento scientifico, sviluppo di modelli di manutenzione predittiva, sviluppo delle metodologie di integrazione, sviluppo software



MechLav - Laboratorio di meccanica avanzata del tecnopolo di Ferrara

Analisi di segnali vibrazionali, sviluppo di modelli di manutenzione predittiva, sviluppo software



Work Package 1

Coordinamento e Comunicazione

Leader: BRI, Subcontractor: Bi-Rex, UniBo

- Coordinamento delle attività operative
- Coordinamento amministrativo
- Coordinamento delle attività di pubblicazione



Deliverable

- Una pubblicazione su conferenza internazionale

Supervised Anomaly Detection in Crude Oil Stabilization

Mattia SILVESTRI ^{a,1} Michele LOMBARDI ^a Emiliano MUCCHI ^b Luca CADEI ^c
Giovanna MAGNAGO ^c Marco PIANTANIDA ^c Valentina D'OTTAVIO ^c
Nguyen VAN TU ^c Simona DUMA ^c Silvia TADDEI ^c Annagiulia TIOZZO ^c
Andrea CORNEO ^c Lorenzo LANCIA ^c Laura ROCCHI ^d
Pietro COFFARI DI GILFERRARO ^d

^a University of Bologna

^b University of Ferrara

^c Eni S.p.A.

^d NIER Ingegneria S.p.A.

Abstract.

In recent years, pervasive digitalization has affected the industrial world, including the oil and gas sector. With more and more data becoming available, Machine Learning algorithms have become a promising tool to improve Predictive Maintenance operations. In this work, we have designed an alerting system that notifies the site operator with an adequate advance when an anomaly is going to occur. In particular, we focus our analysis on the stabilization column of an Oil Stabilization Facility to prevent the column bottom temperature to overcome safety boundaries. The experimental analysis demonstrates that our system provides reliable results, in terms of both identified anomalies and false alarms. In addition, the system is currently under deployment on the company computing infrastructure and the first working version will be available by the end of May 2022.

Keywords. Neural Networks, Anomaly Detection, Oil and Gas industry

1. Introduction

We present a case study for a practical application of AI techniques to an industrial problem, namely *anomaly detection in an oil-stabilization facility*. The plant is operated by Eni² an Italian multinational energy company headquartered in Rome with operations



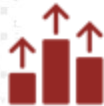
Risultati ottenuti: casi d'uso BRI

Contesto: motoriduttori **convenzionali** ed epicicloidali

- Analisi di segnali vibrazionali globali
- Inferenza di segnali vibrazionali per specifici ingranaggi
- Modelli per l'individuazione di anomalie locali
- Modelli per la stima dello stato di salute del sistema
- Modelli neuro-differenziali per la caratterizzazione termica

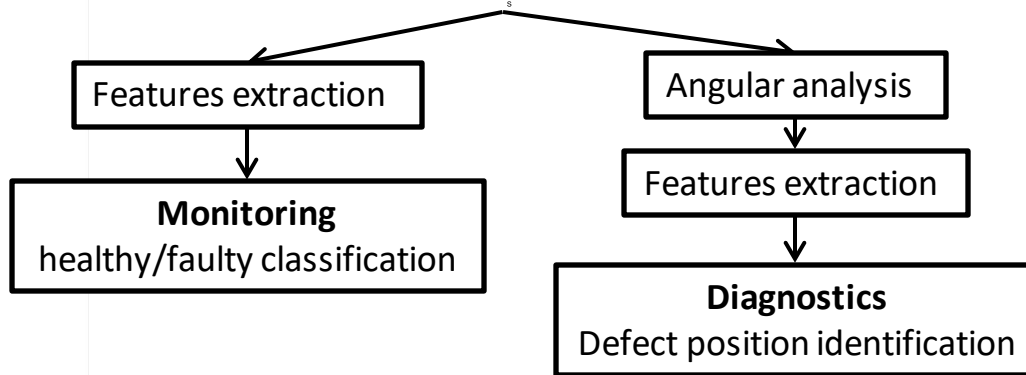
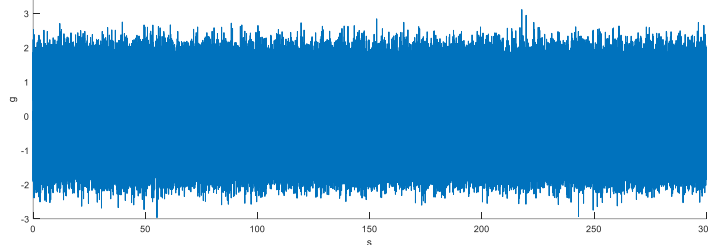


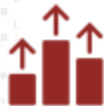
RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



Risultati ottenuti: casi d'uso BRI

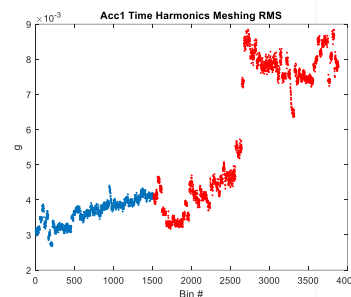
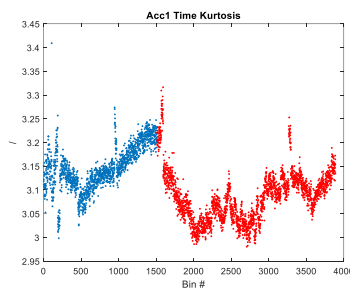
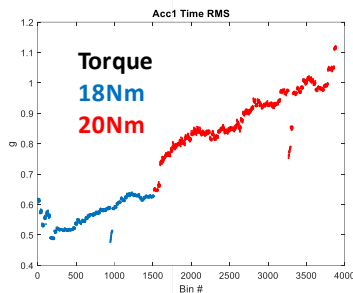
Analisi multidominio dei segnale di vibrazione per l'estrazione di parametri di monitoraggio e diagnostica



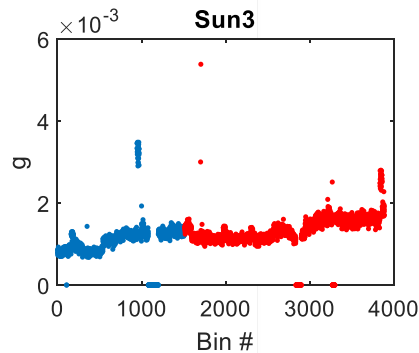
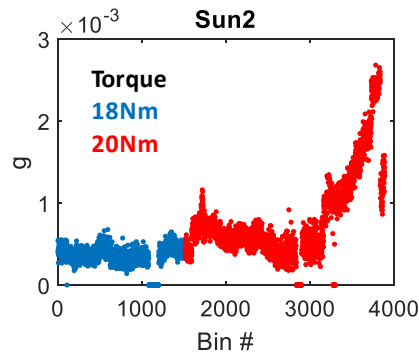
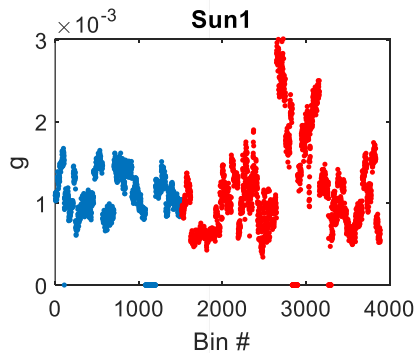


Risultati ottenuti: casi d'uso BRI

Estrazione di informazioni globali per il monitoraggio del sistema



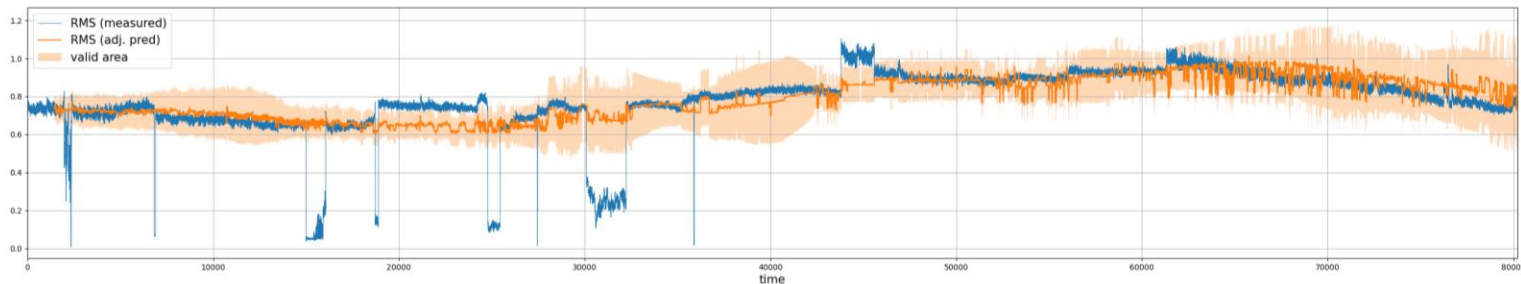
Estrazione di informazioni diagnostiche tramite l'analisi delle singole ruote dentate



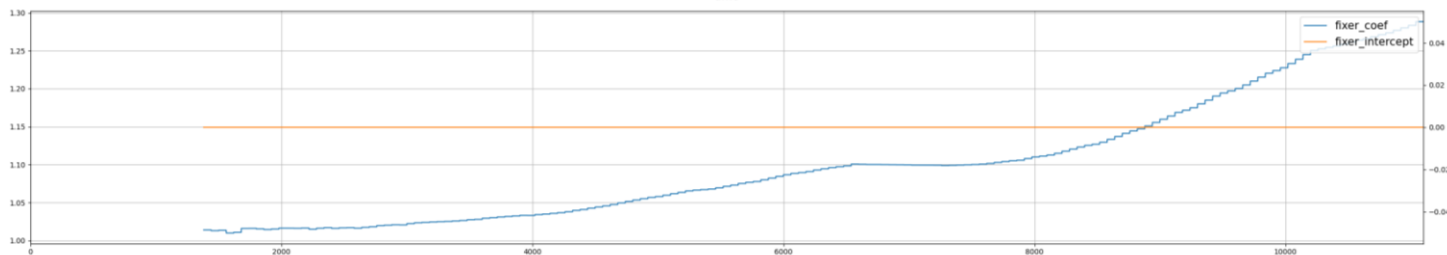


Risultati ottenuti: casi d'uso BRI

Individuazione di anomalie locali (metodi data-driven)



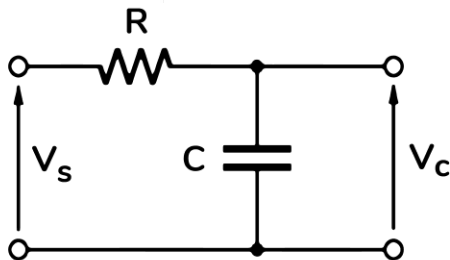
Stima dello stato di salute del sistema (metodi data-driven)





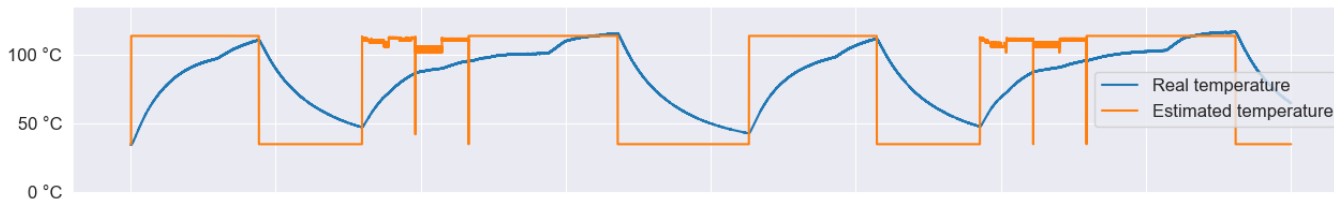
Risultati ottenuti: casi d'uso BRI

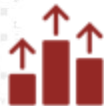
Caratterizzazione del comportamento termico (modello neuro-differenziale)



$$\dot{V} = \frac{1}{RC(V, t)} (V - V_s(V, t))$$

Anticipo del comportamento termico a regime

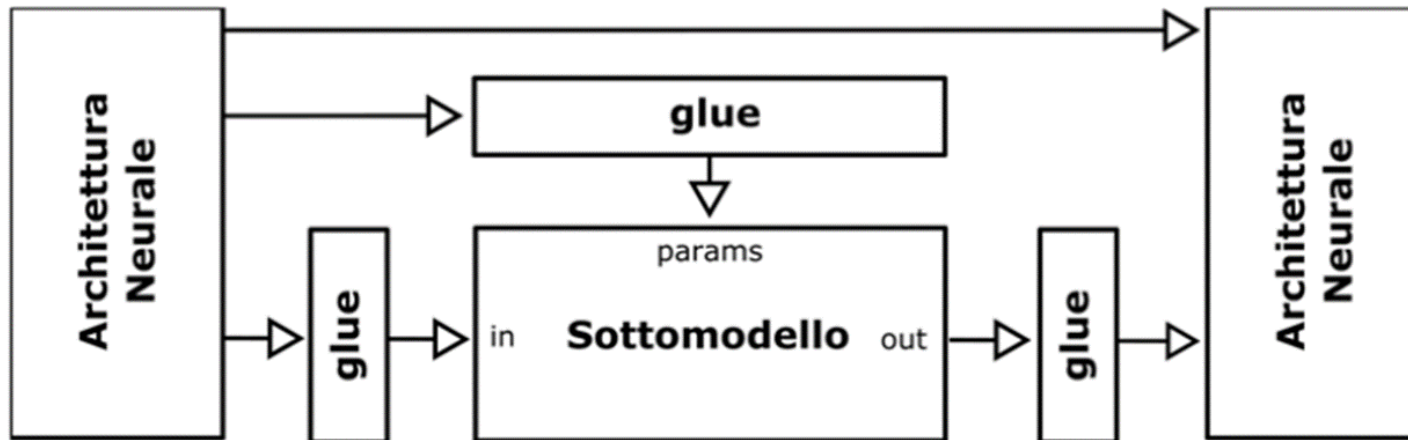




Risultati ottenuti: metodologia di integrazione

Modello di un impianto/macchinario ottenuto come integrazione dei modelli dei componenti e rappresentando le diverse sorgenti di conoscenza mediante gli stessi: Modelli di ML, Modelli statistici, Modelli fisici, Regole empiriche

La composizione consiste nel involuppare ogni sotto-modello in una architettura neurale, mediante l'introduzione di "livelli-collante" (glue layers), allenati seguendo gli approcci del deep learning

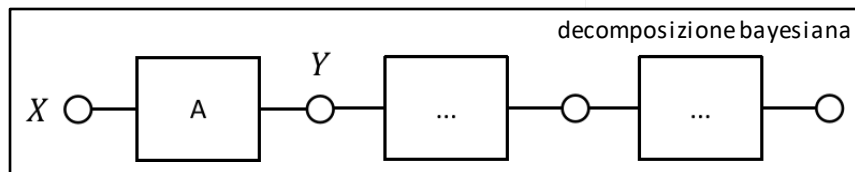
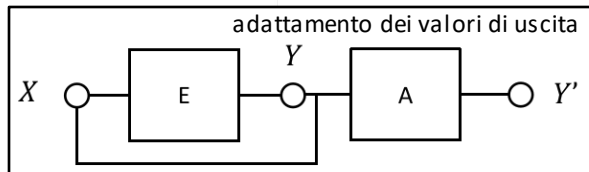
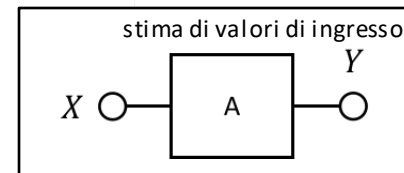
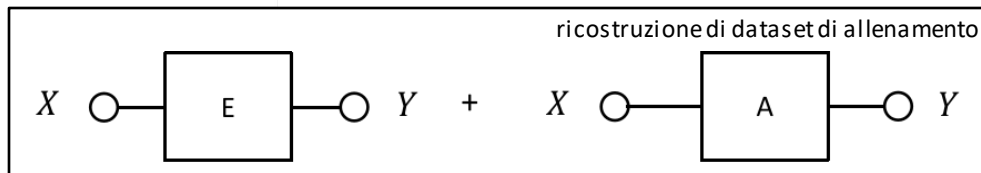
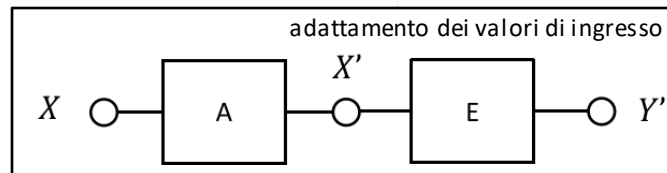
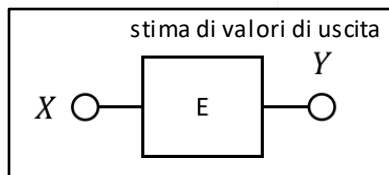


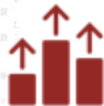
RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



Risultati ottenuti: metodologia di integrazione

6 pattern di integrazione per modelli da sorgenti esterne



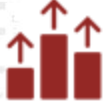


Metodologia di Integrazione: utilizzo in ENI

Metodologia di integrazione di modelli eterogenei:

- Target finale: applicazione a **macchine complesse, come ad esempio turbocompressori a più stadi**, in cui i fornitori di componenti potrebbero fornire i modelli pre addestrati al banco della turbina, dei singoli stadi dei compressori, dei gearbox di accoppiamento
- L'approccio è stato dimostrato su un componente più semplice: una **colonna di stabilizzazione** dell'impianto del Centro Olio Val d'Agri, orientato alla predizione o identificazione di comportamento anomalo di grandezze critiche per il suo funzionamento (Pressione di Vapore dell'olio stabilizzato, Temperatura di fondo colonna) e all'identificazione di componenti difettosi

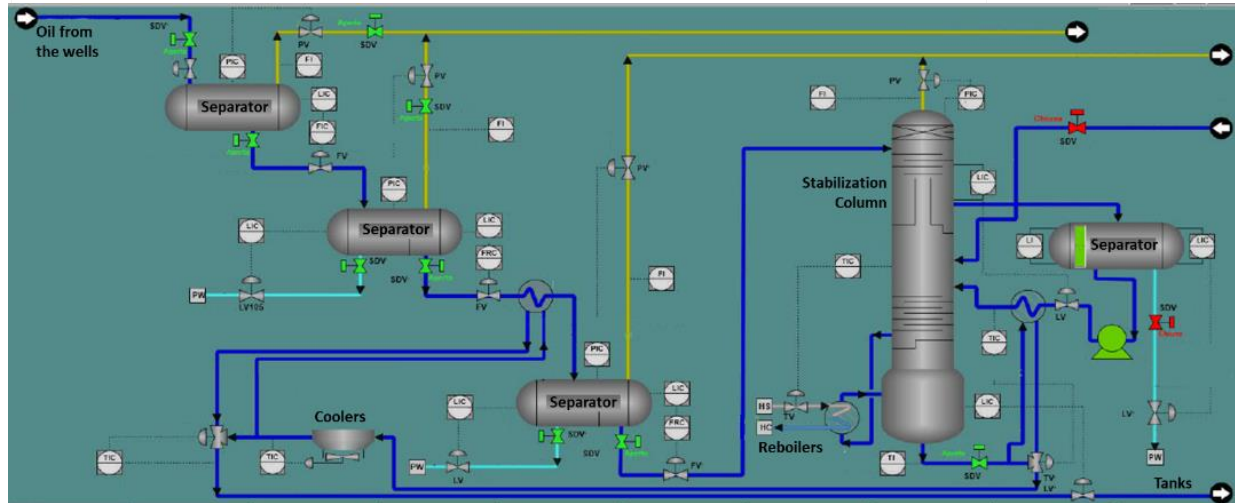
RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



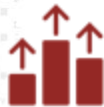
Risultati ottenuti: casi d'uso ENI

Contesto: separazione e stabilizzazione del crude oil proveniente dai pozzi

- Obiettivo dell'impianto: separare olio, gas e acqua, stoccare l'olio in forma stabile a temperatura e pressione ambiente
- Obiettivo del modello: anticipo di anomalie sulla temperatura di fondo colonna

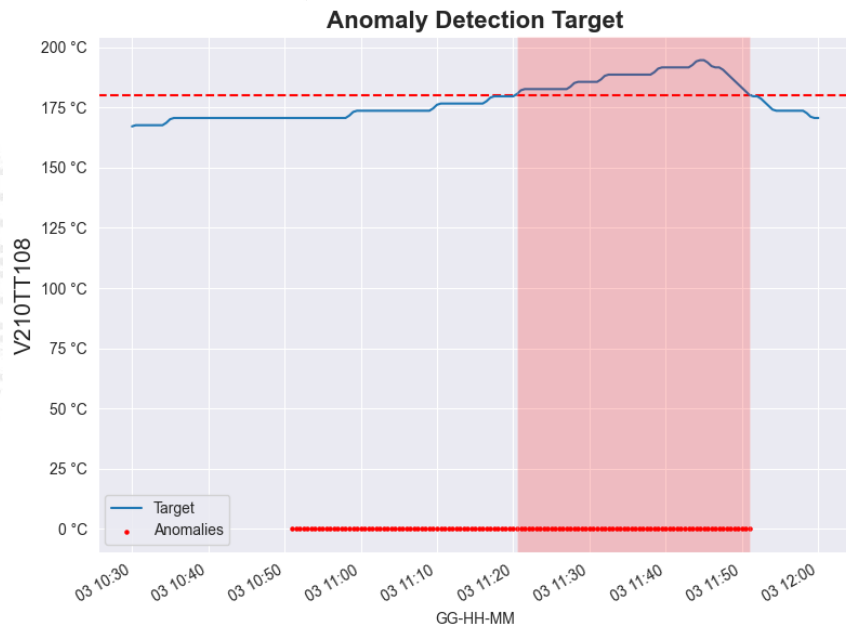


RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



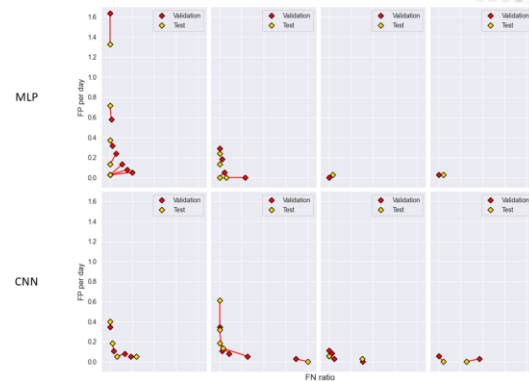
Risultati ottenuti: casi d'uso ENI

Anticipo di anomalie sulla temperatura di fondo colonna

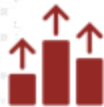


Business Oriented Validation Framework (BOVF): sistema per bilanciare falsi

positivi/negativi in base alle esigenze degli utenti di business (esigenza di aggregare e anticipare): Validation Undershoot, Threshold, Anomaly Undershoot, Minimum Advance, Blurred Area

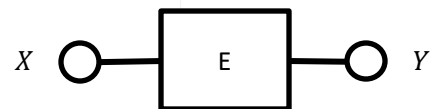
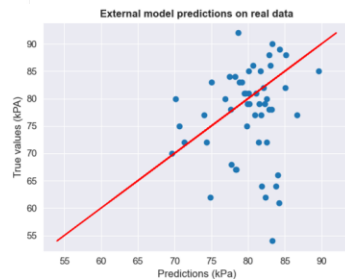
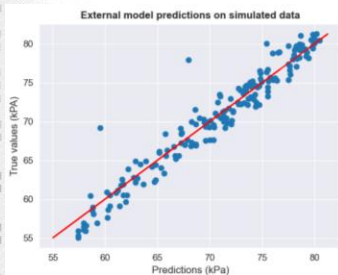


RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



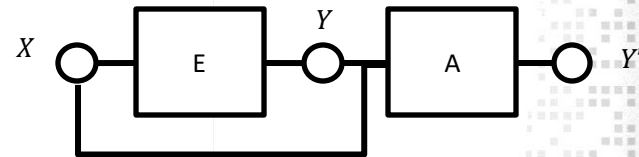
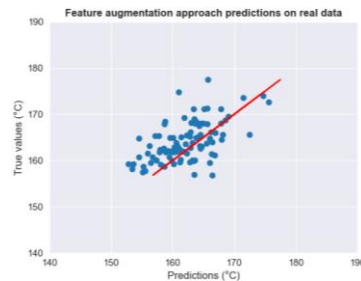
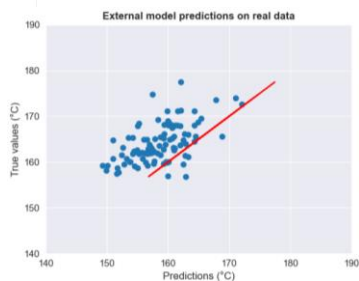
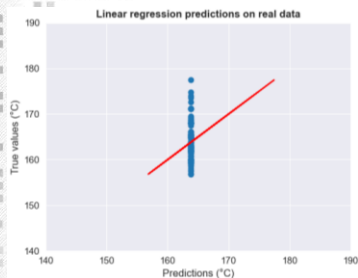
Risultati ottenuti: casi d'uso ENI

Stima di grandezze mediante l'utilizzo di modelli esterni

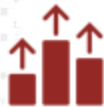


Use Case #3: estimate Y, i.e. the output of a component (External model)

...Miglioramento dei risultati mediante metodi di integrazione



Use Case #2/Variant B: output adapter dell'External model

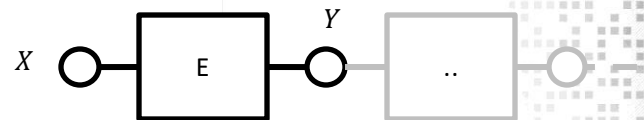


Risultati ottenuti: casi d'uso ENI

Localizzazione di anomalie in sistemi multi-componente

Partendo dal predittore di T del ribollitore, addestrato su dati di simulazione Hysys (External Model), sfruttando il teorema di Bayes si localizza l'anomalia sui dati di input o sul componente

- $P(X,Y)$ bassa significa che X e Y si allontanano congiuntamente dal comportamento ideale
- Quando $P(X)$ è basso significa che X si allontana dal comportamento ideale, quindi ho problemi a monte (sui dati di input)
- Quando $P(Y|X)$ è basso e $P(X)$ è alto significa che X è in linea con il comportamento ideale ma non Y, quindi ho problemi sul ribollitore



Use Case #1: combining models to detect localized anomalies (Bayes theorem approach)

$$P(X, Y) = P(X) P(Y|X)$$

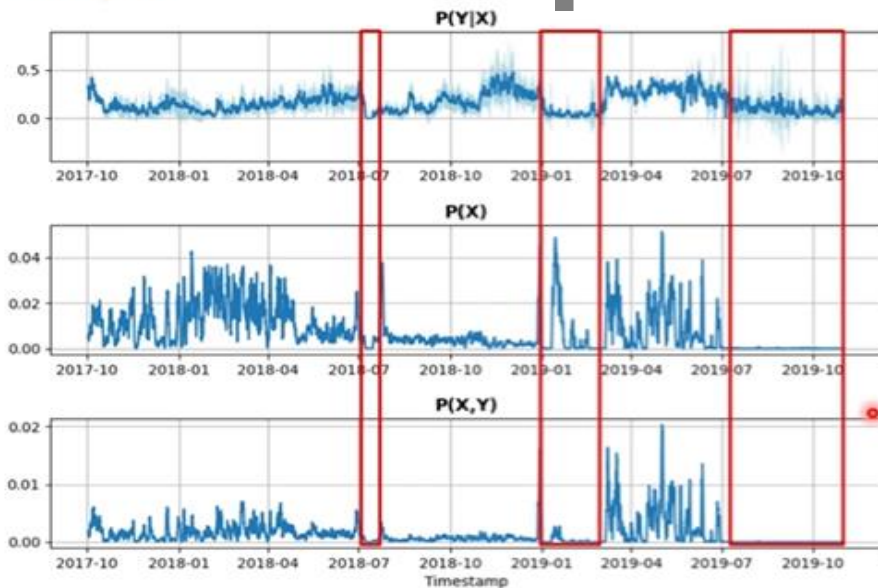
RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



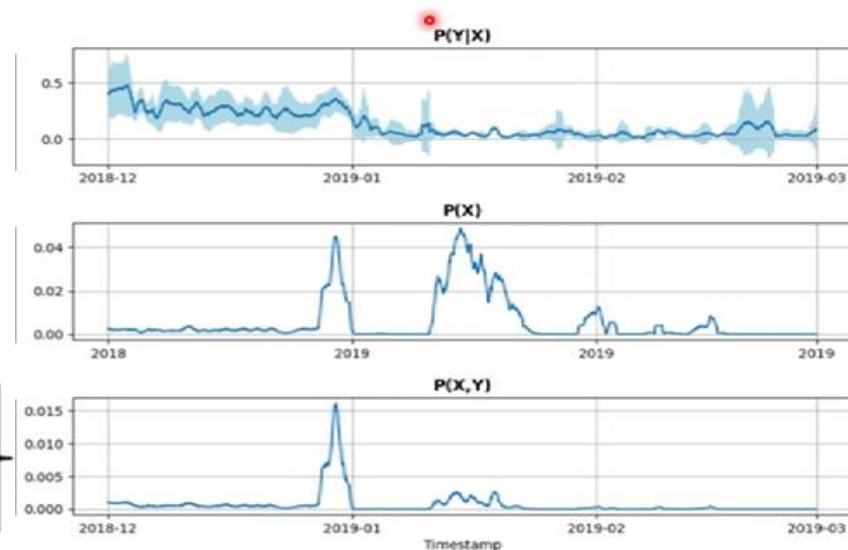
Risultati ottenuti: casi d'uso ENI

Localizzazione di anomalie in sistemi multi-componente

Analysis:



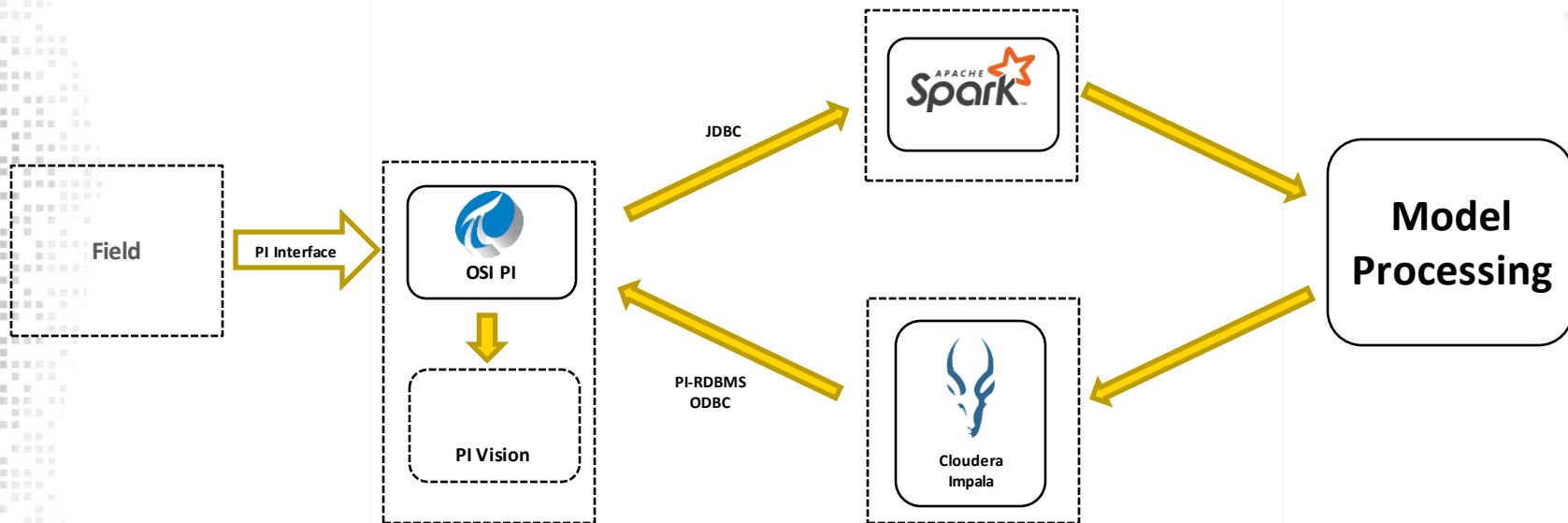
Problema sul ribollitore



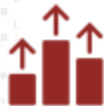


Risultati ottenuti: casi d'uso ENI

Architettura e Data Flow

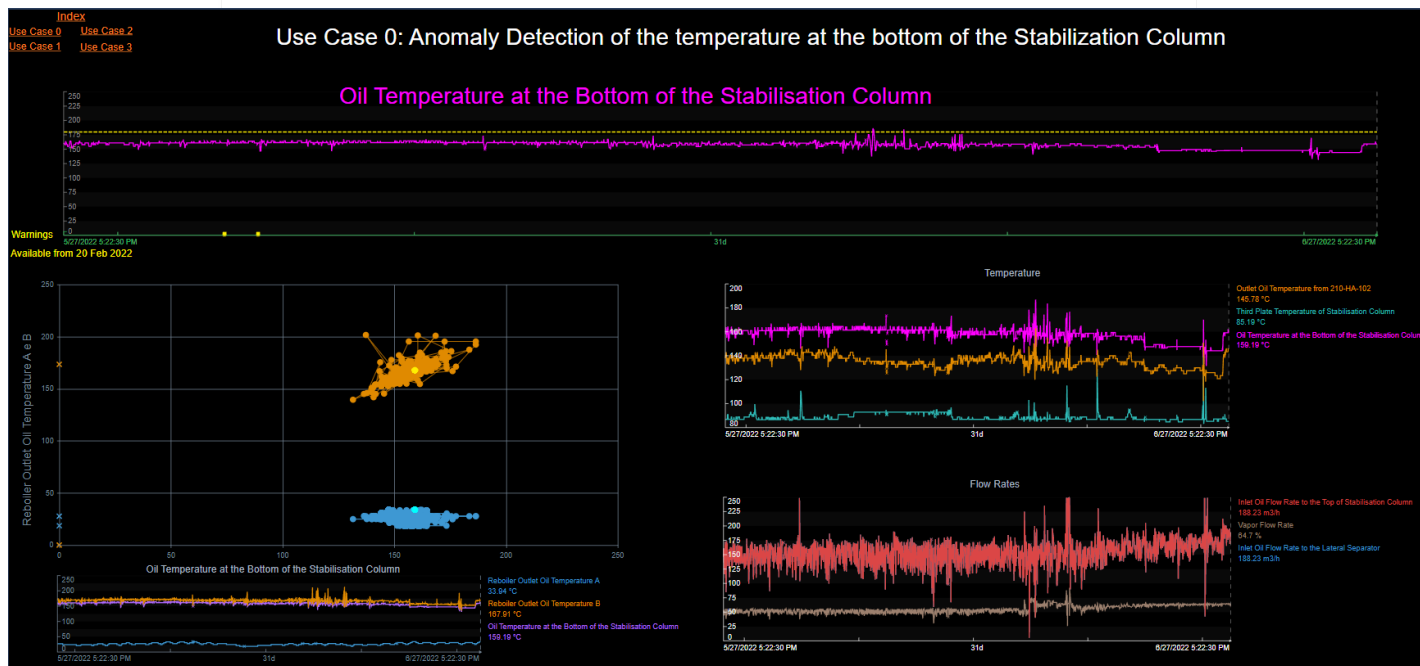


RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



Risultati ottenuti: casi d'uso ENI

Dashboard implementata in sala controllo

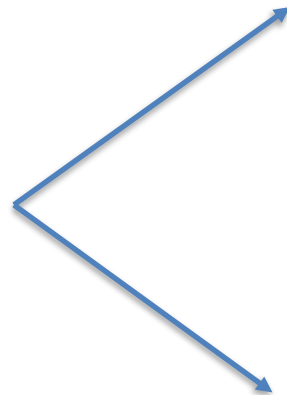


RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



Risultati ottenuti: casi d'uso AET

Fenomeni dissipativi nella macchina



Movimento
rotazionale

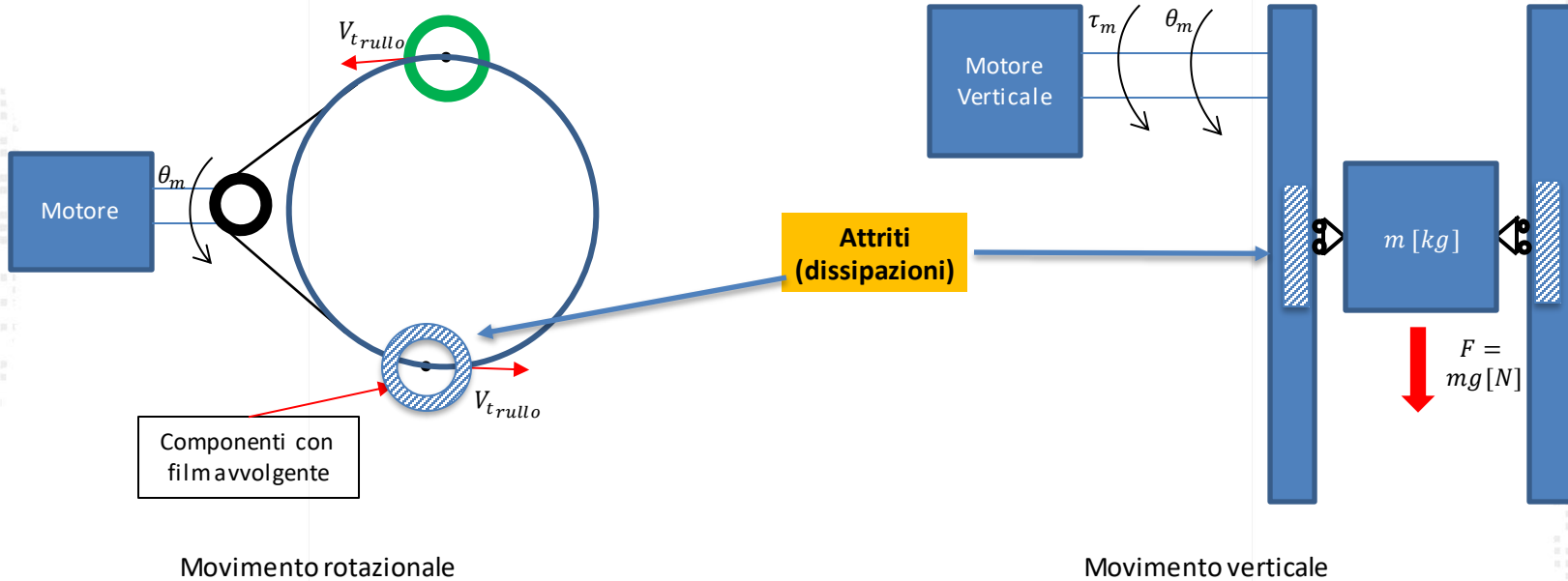


Movimento
verticale



Tecnologie e strumenti utilizzati

Schemi Cinematici con dissipazione





Tecnologie e strumenti utilizzati

Modello matematico per fenomeni dissipativi su cicli operativi:

$$W_m = \frac{d}{dt} E_m + W_{diss} \quad \longrightarrow \quad \tau_m(q, \dot{q}, t) \cdot \dot{q}(t) = \tau_{cp}(q, \dot{q}) \cdot \dot{q}(t) + \tau_d(q, \dot{q}) \cdot \dot{q}(t)$$

Il termine dissipativo $\tau_d(q, \dot{q})$ è la coppia d'attrito ridotta al motore.

Un possibile modello di dissipazione è quello che prende in considerazione sia l'attrito secco che quello viscoso:
 $\tau_d(q, \dot{q}) = \mathbf{B}v \cdot \dot{q}(t) + \mathbf{C}ro \cdot \text{sign}(\dot{q}(t))$

La potenza media valutata su un ciclo di lavoro vale:

$$\left(\frac{1}{T_2 - T_1} \right) \int_{T_1}^{T_2} \tau_m(q, \dot{q}, t) \cdot \dot{q}(t) dt = \left(\frac{1}{T_2 - T_1} \right) \int_{T_1}^{T_2} \tau_d(q, \dot{q}) \cdot \dot{q}(t) dt$$

$$\left(\frac{1}{T_2 - T_1} \right) \int_{T_1}^{T_2} \tau_m(q, \dot{q}, t) \dot{q}(t) dt = \mathbf{B}v \left(\frac{1}{T_2 - T_1} \right) \cdot \int_{T_1}^{T_2} \dot{q}(t)^2 dt + \mathbf{C}ro \left(\frac{1}{T_2 - T_1} \right) \cdot \int_{T_1}^{T_2} |\dot{q}(t)| dt$$

Coefficiente resistivo equivalente globale \rightarrow **STIMATORE ATTRITO**

$$\pi_{Med}(T) = \mathbf{B}v(\dot{q}_{RMS})^2 + \mathbf{C}ro|\dot{q}|_{Med}$$



$$C_{reg} = \frac{\pi_{Med}(T)}{(\dot{q}_{RMS})^2} = \left(\mathbf{B}v + \mathbf{C}ro \cdot \frac{|\dot{q}|_{Med}}{(\dot{q}_{RMS})^2} \right)$$



Tecnologie e strumenti utilizzati

La definizione del C_{reg} è il rapporto tra la potenza media sul ciclo di lavoro e il valore rms della velocità al quadrato, ma può anche essere ottenuto stimando le grandezze Bv e Cro .

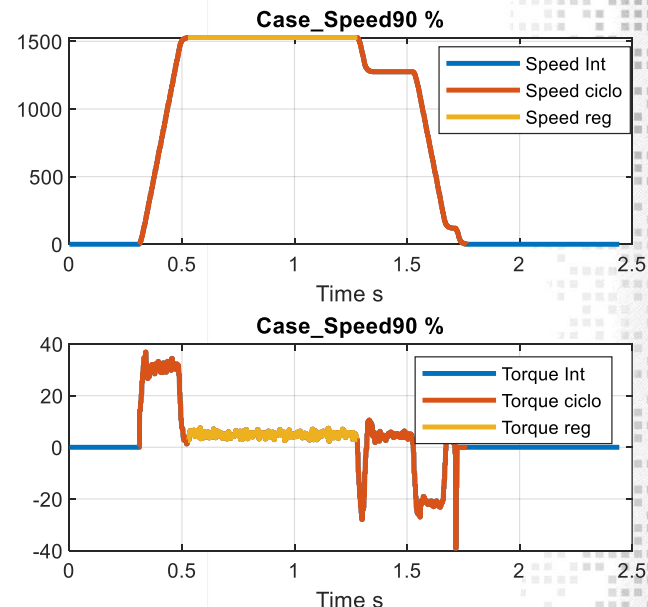
$$C_{reg} = \frac{\pi_{Med}(T)}{(\dot{q}_{RMS})^2} = \left(Bv + Cro \cdot \frac{|\dot{q}|_{Med}}{(\dot{q}_{RMS})^2} \right)$$

Una prima stima di Bv e Cro si può ottenere dal bilancio di coppia in regime di velocità costante:

$$\tau_m(q, \dot{q}, t) = Bv \cdot \dot{q}(t) + Cro \cdot \text{sign}(\dot{q}(t))$$

Oppure dal bilancio di potenza:

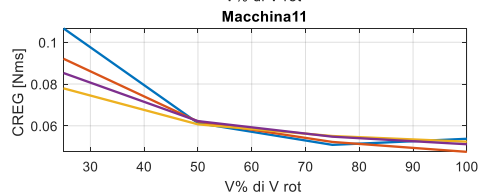
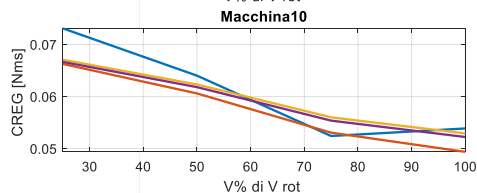
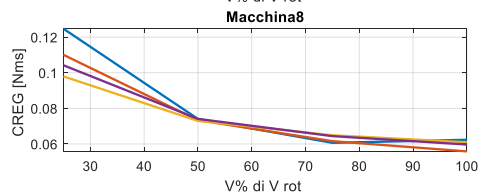
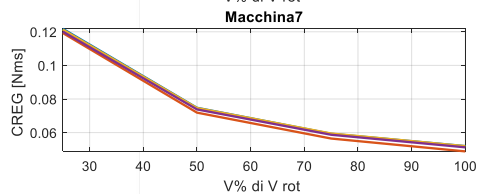
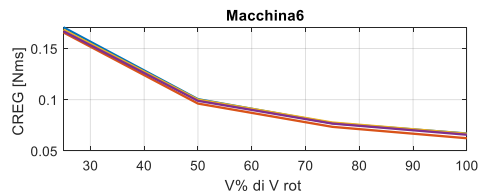
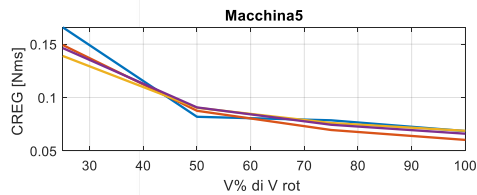
$$\pi_{Med}(T) = Bv \cdot (\dot{q}_{RMS})^2 + Cro \cdot |\dot{q}|_{Med}$$





Risultati ottenuti: casi d'uso AET

Gli indicatori sono ripetitivi per un set di machine differenti

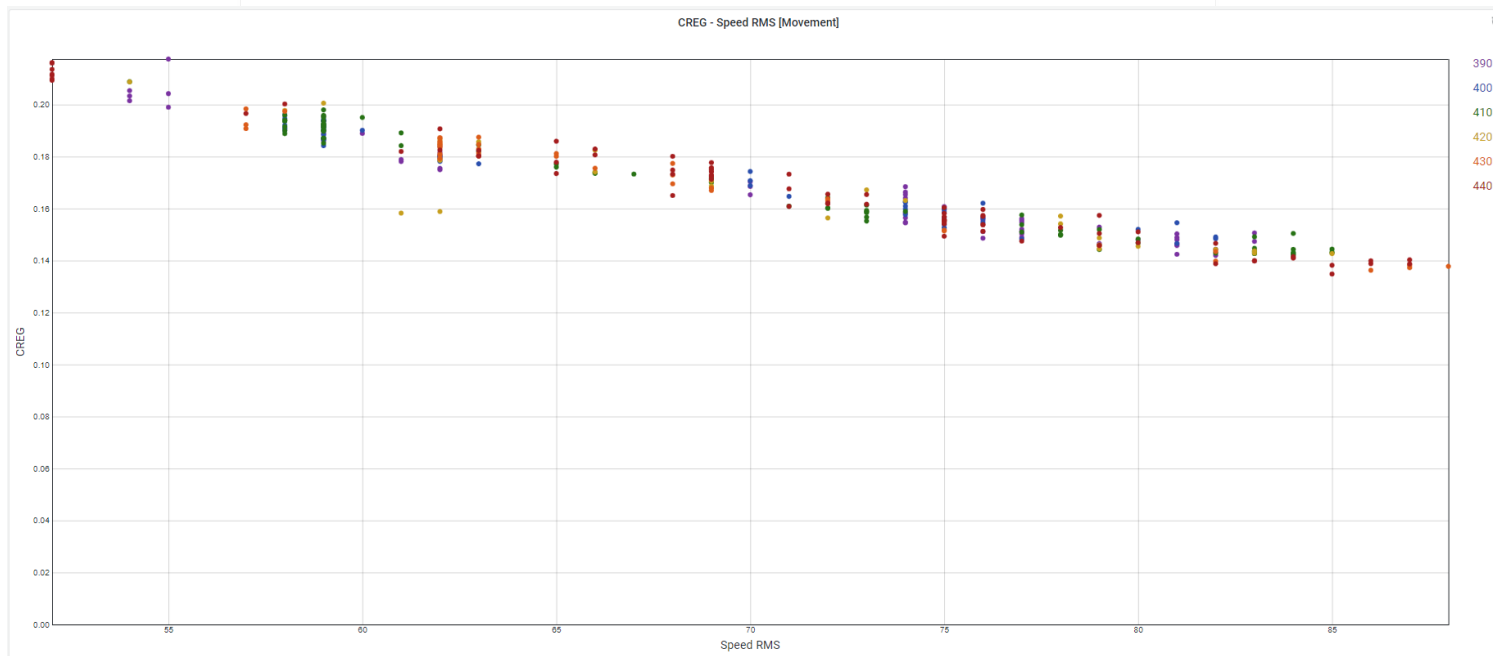


RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO

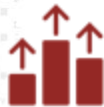


Risultati ottenuti: casi d'uso AET

La valutazione del Creg è consistente anche per percorsi diversa lunghezza

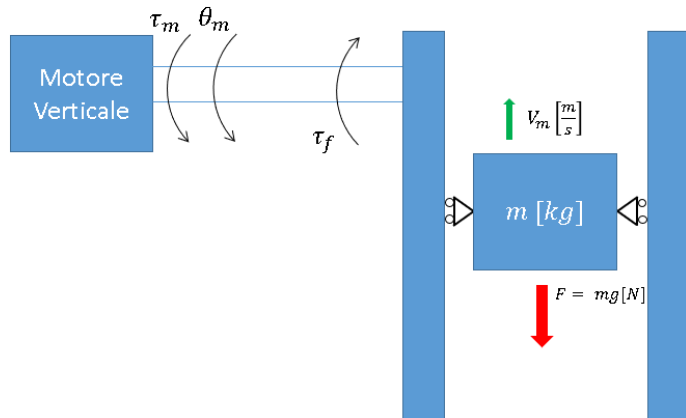


RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO

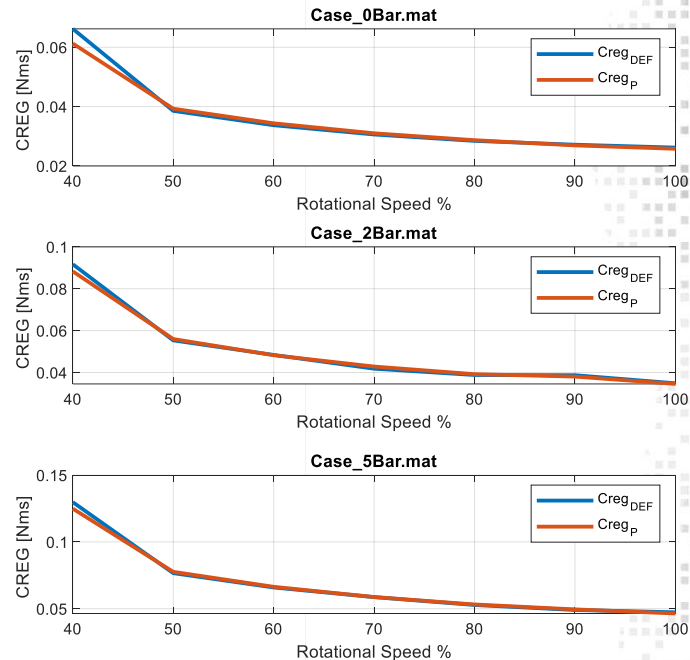


Risultati ottenuti: casi d'uso AET

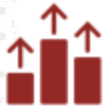
Verifica sperimentale efficacia Creg



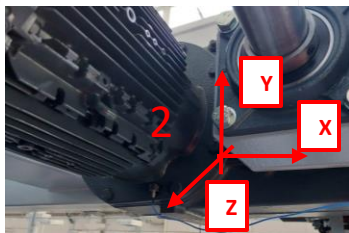
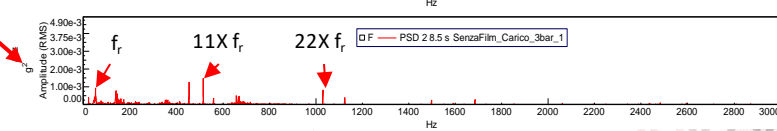
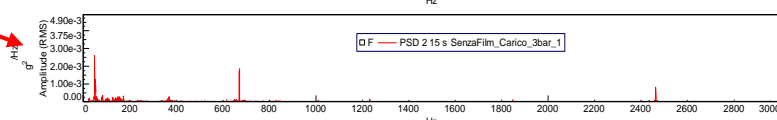
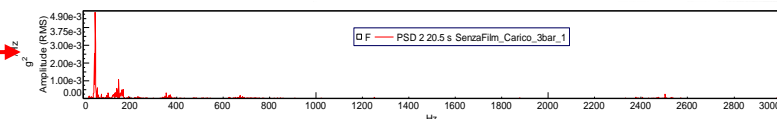
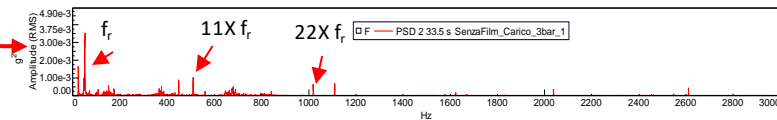
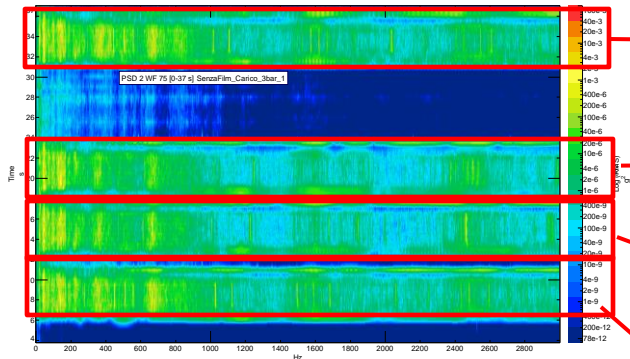
Si nota che all'aumentare del valore di pressione, e quindi di coppia frenante, il Creg subisce un aumento.



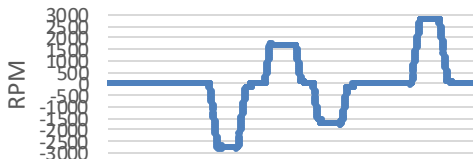
RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



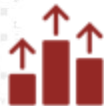
Risultati ottenuti: casi d'uso AET Analisi Vibrazionali



DB250_DataScaled.80T1.Speed



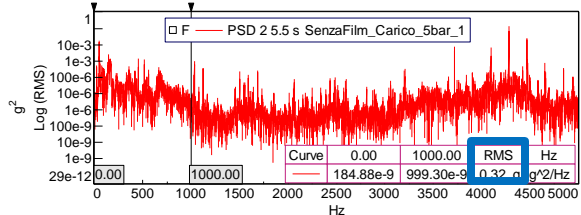
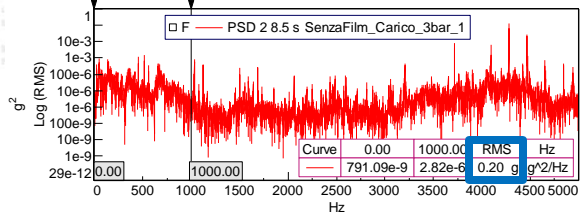
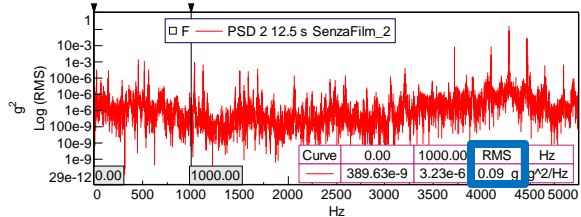
RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO



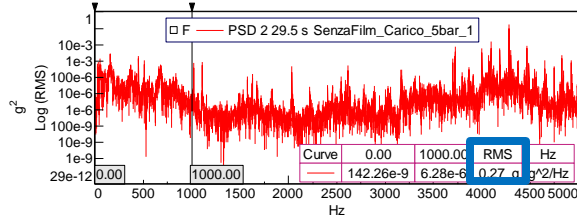
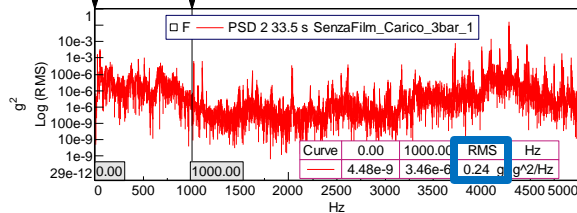
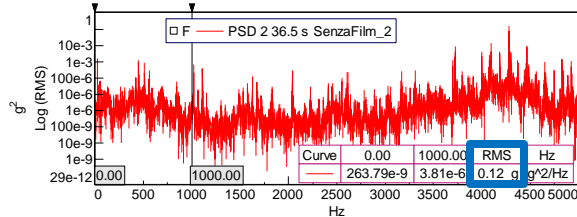
Risultati ottenuti: casi d'uso AET

Analisi Vibrazionali

DISCESA



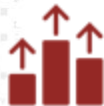
SALITA



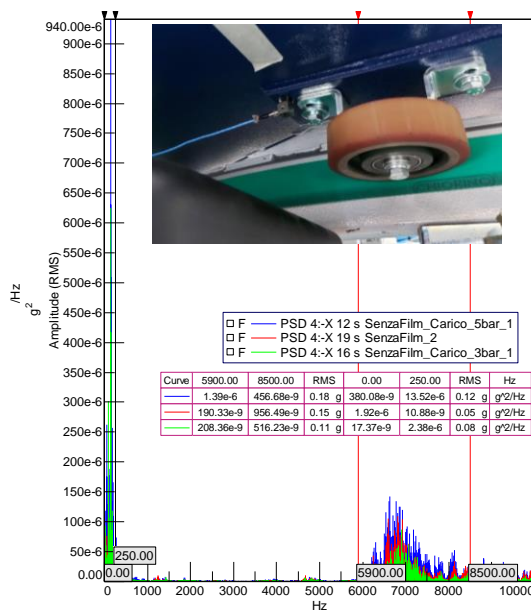
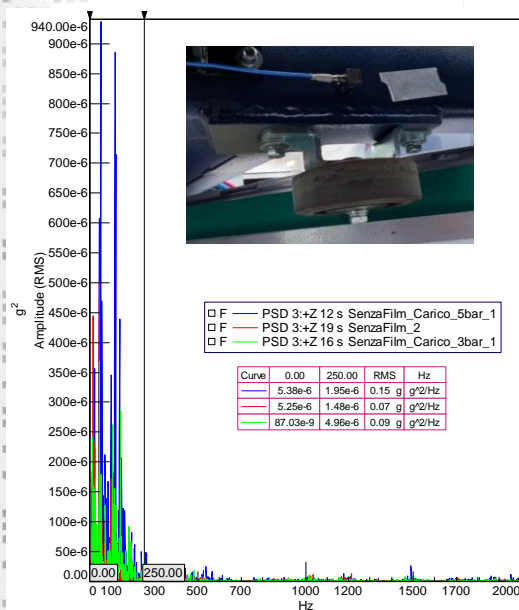
L'effetto del carico applicato va ad influire sul comportamento meccanico del moto-riduttore



Di conseguenza, l'effetto del carico applicato è chiaramente visibile nel range a bassa frequenza dove le componenti legate alla meccanica del sistema sono contenute



Risultati ottenuti: casi d'uso AET Analisi Vibrazionali



L'effetto dell'aumento del carico simulato con il freno si sente anche nelle ruote di contenimento dell'anello, si nota una crescita del livello energetico a varie frequenze dove le componenti di natura meccanica risentono maggiormente dell'aumento del carico resistente



Tecnologie e strumenti utilizzati

Librerie software open source allo stato dell'arte

- Pandas
- numpy
- scipy
- scikit-learn
- Tensorflow
- Boost
- Eclipse PAHO



TensorFlow





Ruolo di Bi-Rex

- Costruzione della rete di collaborazione
- Supporto alla gestione dei contratti
- Supporto alla gestione del progetto

RISULTATI DI PROGETTO E IMPATTO

Impatto nelle realtà aziendali

Tutti casi d'uso (BRI, ENI, AETNA) sono stati integrati nelle piattaforme proprietarie per una applicazione e validazione nelle diverse realtà operative.

Per una introduzione definitiva nei vari processi sarà necessario, da parte dei vari EndUsers, ampliare il numero di casi sotto monitoraggio, per una conferma dei risultati ottenuti anche in diverse condizioni operative e ambientali.

Il lavoro svolto, ha permesso ai vari End User, oltre ad identificare soluzioni di diagnostica dedicate per le specifiche esigenze, di consolidare una metodologia utile per le future applicazione, che in questo settore, sono in costante evoluzione.

I NOSTRI CONTATTI

SCOPRI DI PIÙ SUL PROGETTO



[https://bi-rex.it/.....](https://bi-rex.it/)



Paolo Cominetti
Referente progetto



Paolo.cominetti@bonfiglioli.com

Per conoscere gli altri bandi e le attività di BI-REX:



www.bi-rex.it



info@bi-rex.it



+39.051.0923250



Via Paolo Nanni Costa, 20
40133 – Bologna, Italia

Seguici sui canali social:

