

AI per la manutenzione
predittiva e modelli AI
per la produzione flessibile

Case Study: DIGIMAN

Ing. Luca Bernini

luca1.bernini@polimi.it

8 novembre 2022

PARTNERS

2



MUSP
Macchine Utensili e Sistemi di Produzione
Capofila
Laboratorio di ricerca



MISTER
SMART INNOVATION
Proponente
Laboratorio di ricerca



Consiglio Nazionale delle Ricerche
istec Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici

Proponente
Laboratorio di ricerca



Costruttore di
macchine utensili



Costruttore di
macchine utensili



Costruttore di
macchine utensili



Sistemi di misura
e controllo di
precisione

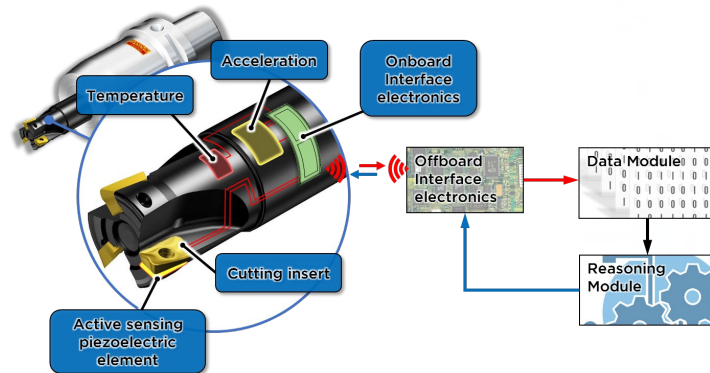


Produzione,
prototipazione e
co-design

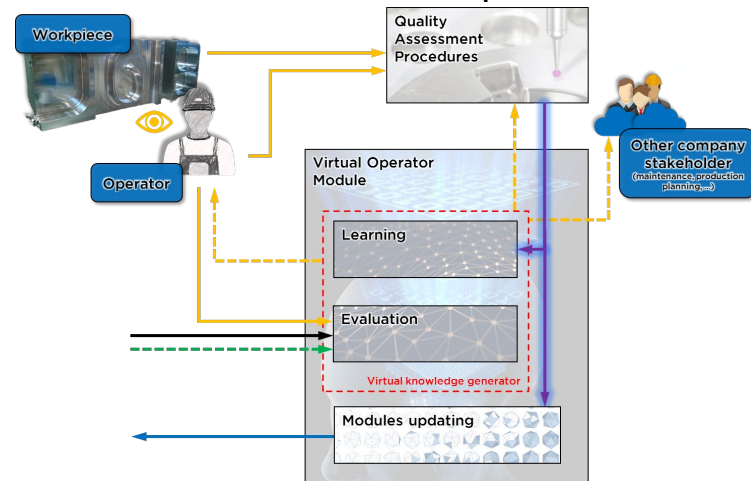


Realizzazione di
mandrini e
portautensili

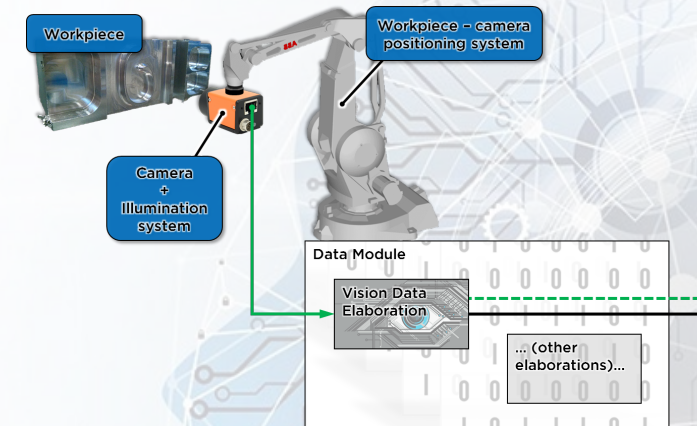
Result 1: Piezo-sensorized Advanced Tool



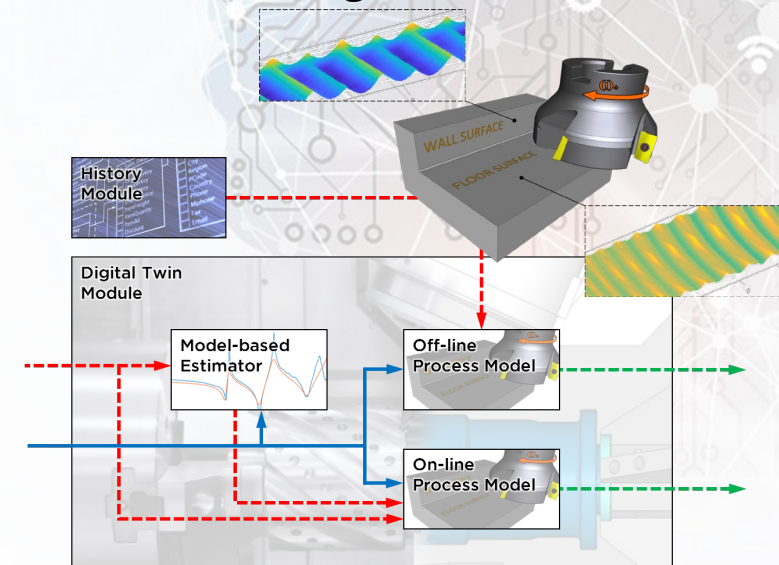
Result 3: Virtual Operator



Result 2: Semi-autonomous Product Inspection System



Result 4: Digital-Twin Module



REATTIVA



- Intervento dopo il guasto
- Alti costi di manutenzione
- Alti costi di mancata produzione



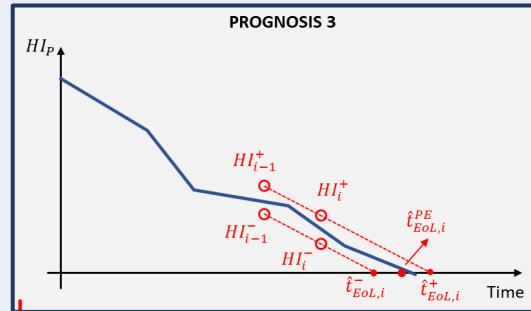
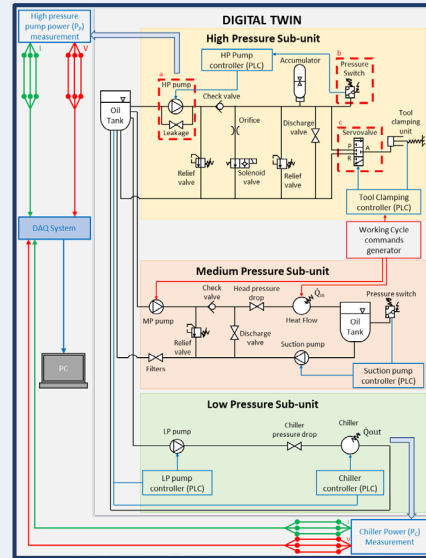
PREVENTIVA

- Intervento pianificato
- Alti costi di mancata produzione
- Fermi macchina ridondanti

PREDITTIVA



- Intervento basato sulla stima del tempo residuo di vita
- Bassi costi di mancata produzione
- Bassi costi di manutenzione
- Maggiori costi di investimento



CENTRALINA IDRAULICA



Fresatura



Foratura



Water Jet

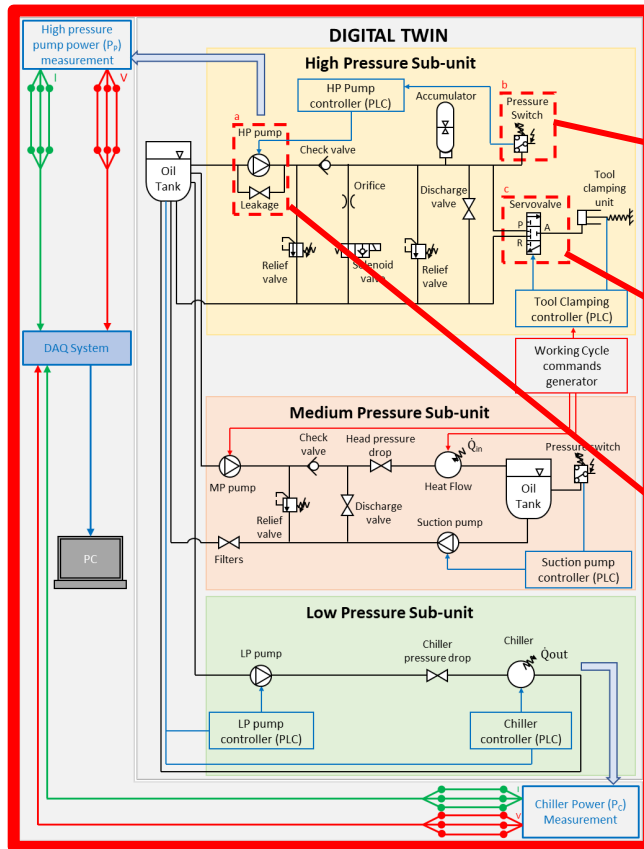
Analisi firma tecnologica
ed inferenza processo

USURA UTENSILI

CENTRALINA IDRAULICA: LE SFIDE

6

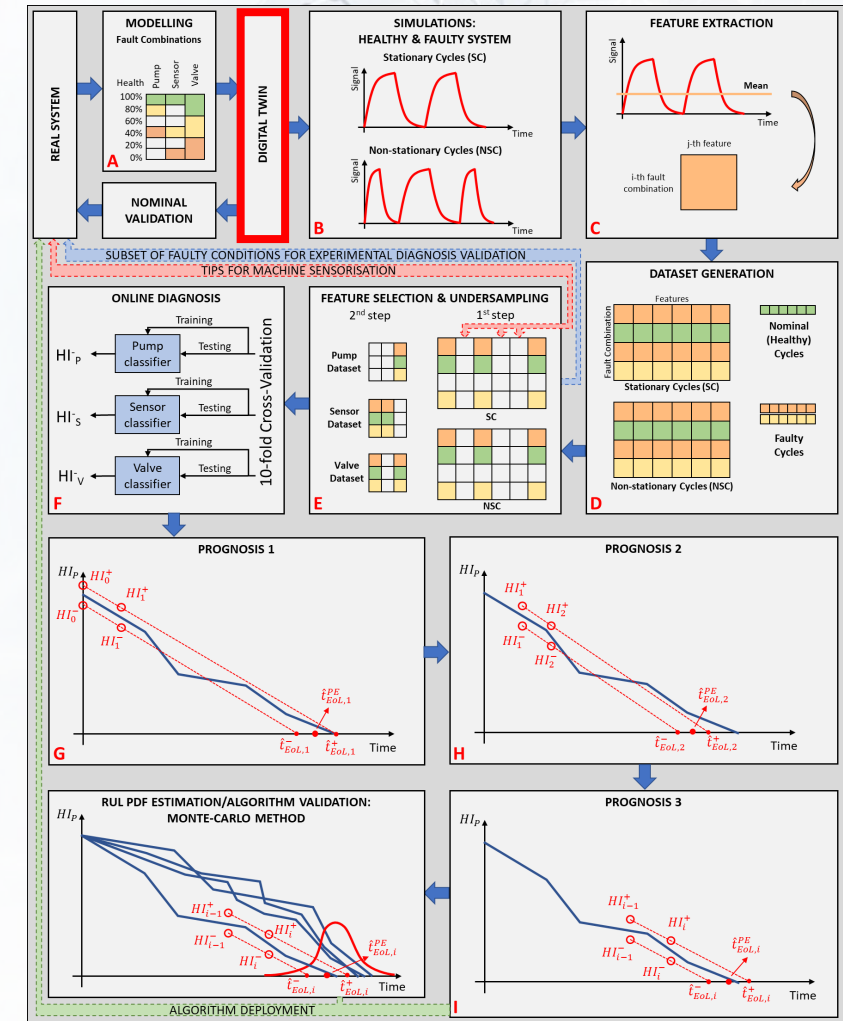
- Variabilità del regime operativo
- Onerosità delle campagne sperimentali (dati di guasto)
- Interazione tra guasti



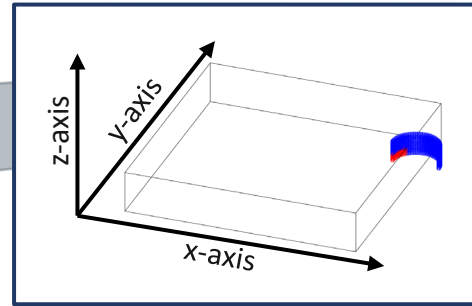
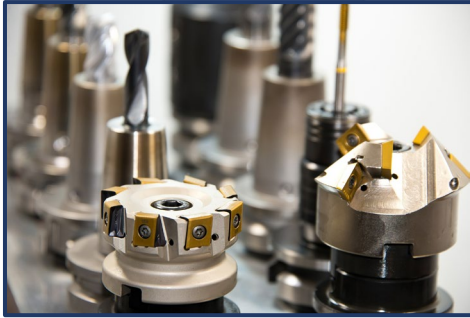
Sensore di
pressione

Servo-valvola

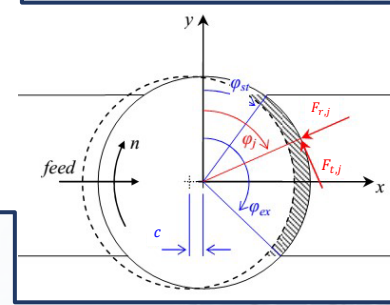
Pompa
alta-pressione



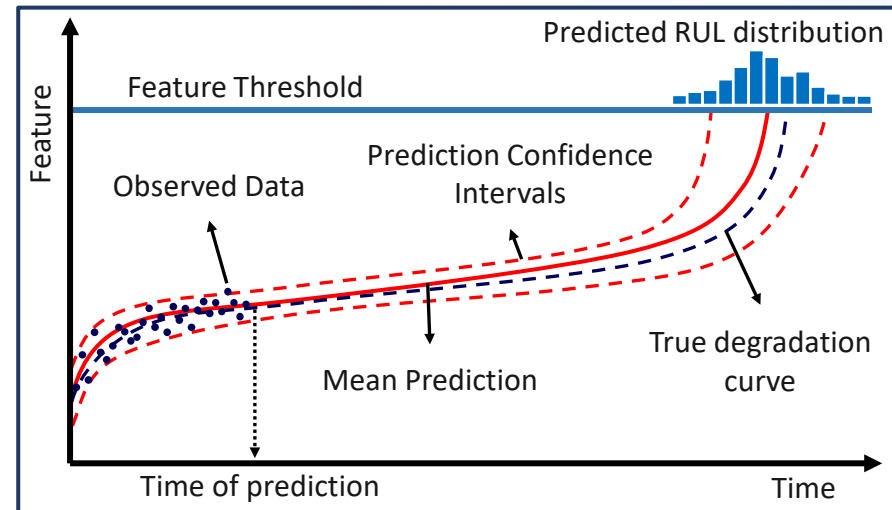
- Variabilità del regime operativo



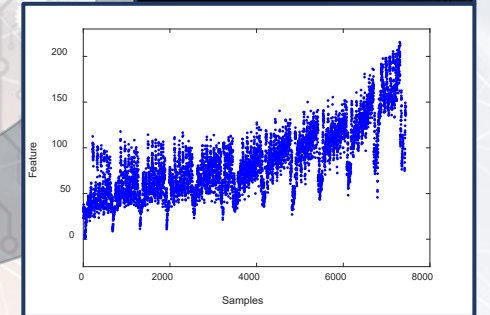
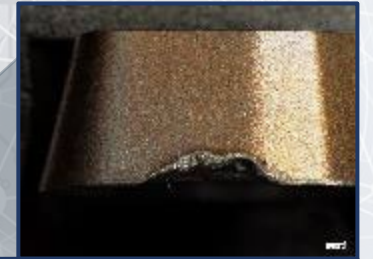
- Modello del processo tecnologico



APPROCCIO IBRIDO

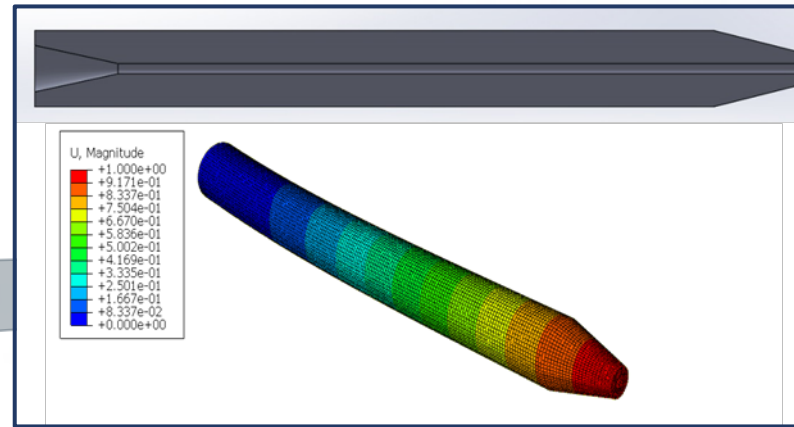


- Predizione probabilità di guasto



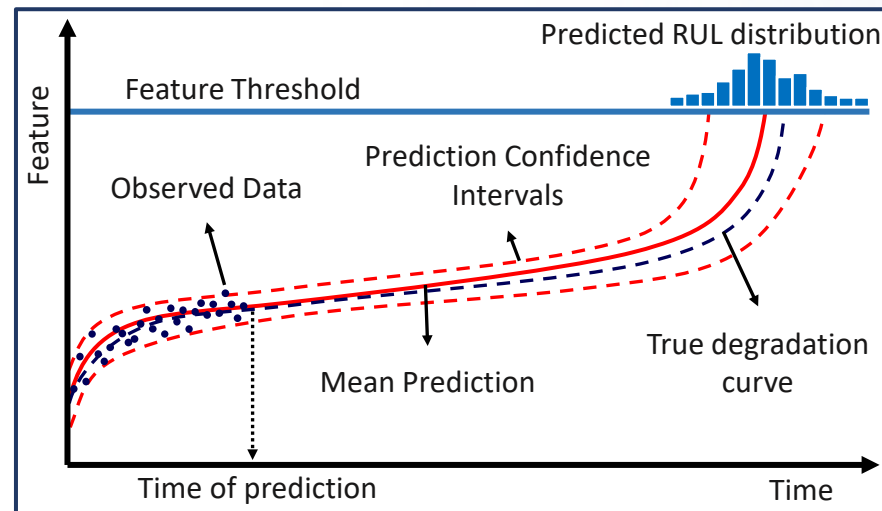
- Features sensibili al guasto

- Variabilità del regime operativo

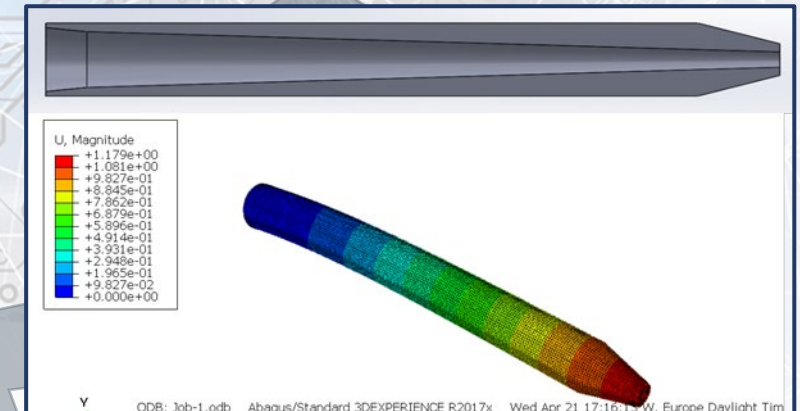


- Modellazione strutturale
- Sensorizzazione "protetta"

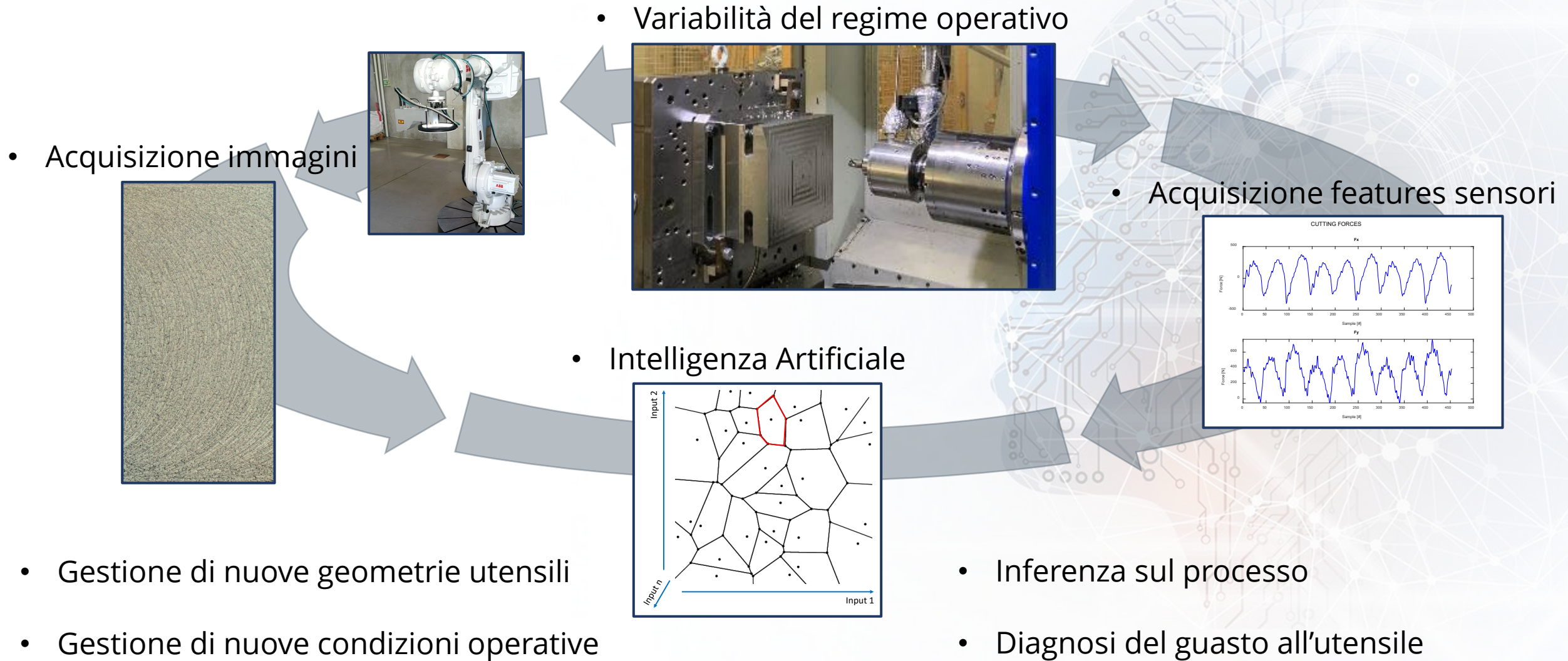
APPROCCIO IBRIDO



- Predizione probabilità di guasto



- Features sensibili al guasto

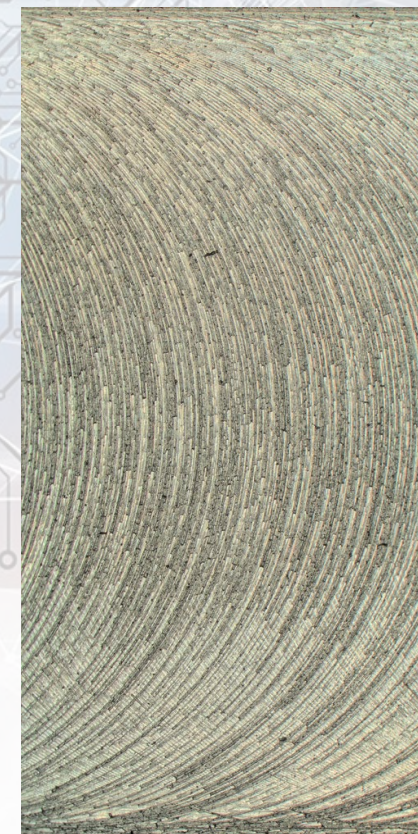


ANALISI FIRMA TECNOLOGICA: SPERIMENTAZIONE 10

Tipo di parametro	Parametro	Valore
Processo	Condizione utensile	Nominale Scheggiatura Run-out
	Avanzamento [mm/min]	0.10
		0.15
		0.20
		0.60
		0.70
		0.80
	Velocità di taglio [m/min]	80
		150
		220
Tecnologico	Diametro utensile [mm]	27.9
		32.0
	Raggio di punta [mm]	0.4
		0.8
		1.0
		1.2
		1.5

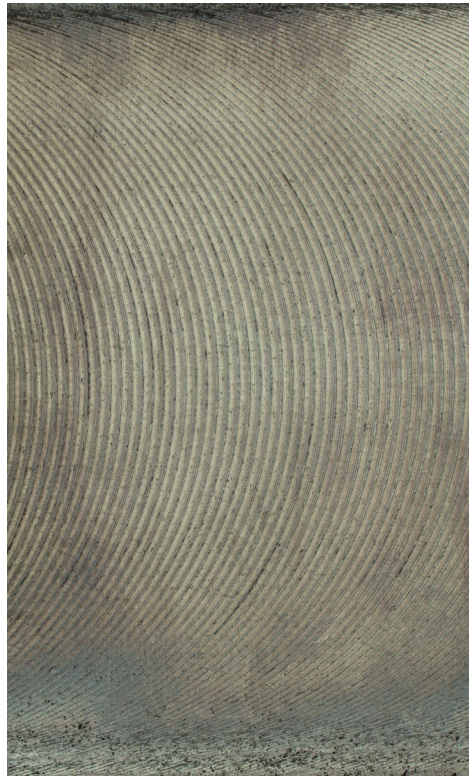
Dataset di 100 test:

- Immagini superficiali
- Misure accelerometriche + forze di taglio



Effetti indesiderati

Run-out

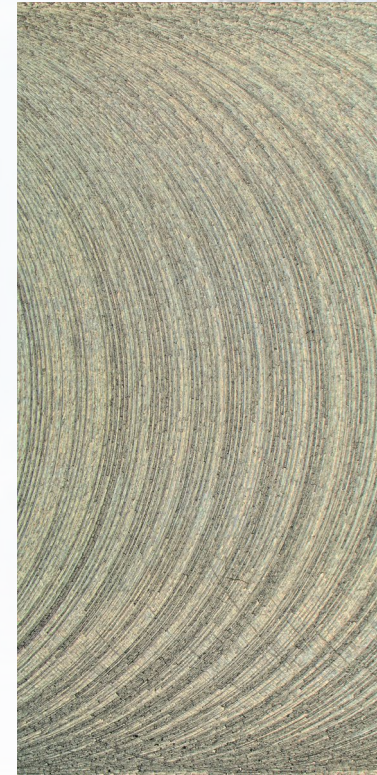


Scheggiatura



Processo: velocità di taglio

Bassa



Alta



Condizione utensile

ML algorithm	Texture descriptor	F1-score (5-fold)
SVM	LBP	0.10000 ± 0.00000
	HOG	0.84375 ± 0.03204
	GLCM	0.10000 ± 0.00000
KNN	LBP	0.80714 ± 0.07319
	HOG	0.85385 ± 0.04770
	GLCM	0.86667 ± 0.03275
RF	LBP	0.86364 ± 0.02335
	HOG	0.85455 ± 0.01508
	GLCM	0.82083 ± 0.04502
CNN		0.86838 ± 0.02786

Velocità di taglio

ML algorithm	Texture descriptor	F1-score (5-fold)
SVM	LBP	0.66667 ± 0.05590
	HOG	0.74412 ± 0.07682
	GLCM	0.63636 ± 0.08090
KNN	LBP	0.81429 ± 0.06268
	HOG	0.78750 ± 0.11087
	GLCM	0.59167 ± 0.11583
RF	LBP	0.74167 ± 0.07360
	HOG	0.73750 ± 0.09910
	GLCM	0.64375 ± 0.08210
CNN		0.85294 ± 0.04400

Metrica:

$$F_{1,score} = \frac{2 \cdot P \cdot R}{P + R}$$

Dove:

$$P = \frac{true\ pos.}{true\ pos. + false\ pos.}$$

$$R = \frac{true\ pos.}{true\ pos. + false\ neg.}$$

Prestazioni medie

ML algorithm	Texture descriptor	Global F1-score
SVM	LBP	0.48836 ± 0.27908
	HOG	0.74735 ± 0.19355
	GLCM	0.45527 ± 0.27900
KNN	LBP	0.70674 ± 0.20472
	HOG	0.75930 ± 0.17571
	GLCM	0.63152 ± 0.18542
RF	LBP	0.69601 ± 0.20383
	HOG	0.73327 ± 0.20770
	GLCM	0.60355 ± 0.20057
CNN		0.81455 ± 0.12996

Metrica:

$$F_{1,score} = \frac{2 \cdot P \cdot R}{P + R}$$

Dove:

$$P = \frac{\text{true pos.}}{\text{true pos.} + \text{false pos.}}$$

$$R = \frac{\text{true pos.}}{\text{true pos.} + \text{false neg.}}$$

- Robustezza rispetto alle condizioni operative
- Integrazione della conoscenza del sistema e del processo
- Trasversalità rispetto al processo tecnologico
- Approccio ibrido di prognostica della probabilità di guasto
- Reverse engineering e inferenza sul processo





GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CONTATTI:

Ing. Luca Bernini

luca1.bernini@polimi.it

Prof. Paolo Albertelli

paolo.albertelli@polimi.it

www.digiman.tech