



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'ENERGIA ELETTRICA  
E DELL'INFORMAZIONE  
"GUGLIELMO MARCONI"

## **Metodi, modelli, algoritmi, strumenti e piattaforme per il controllo e la diagnostica di sistemi avanzati meccatronici e di automazione**

Tutor: Andrea Tilli

In "Industria 4.0", e dell'evoluzione "Industria 5.0", vi è un interesse sempre maggiore nell'introduzione di sistemi ed algoritmi che consentano di monitorare in modo continuativo ed automatico la "condizione di salute" di macchine e impianti. Questo può essere basato sull'analisi di misure e informazioni provenienti dai sistemi di controllo di processo già intrinsecamente presenti, può essere ottenuto attraverso "sovrasensorizzazione" o può essere realizzato con una combinazione di questi due approcci a cui eventualmente aggiungere "dati operativi di alto livello" (es: modalità di funzionamento dell'impianto o della macchina, tipo di "ricetta" eseguita).

Le tecniche più utilizzate per realizzare questa funzionalità, detta Condition Monitoring, sono spesso basate su learning legato all'analisi dei dati, vista la difficoltà di trattare per intero i fenomeni fisici coinvolti in termini di generazione di modelli dalle leggi della fisica. D'altro canto, una conoscenza a priori, per quanto parziale, della "fisica del sistema" è usualmente disponibile. In ragione di ciò, sarebbe auspicabile riuscire a combinare approcci di tipo data-driven learning con metodi di modellazione basati sulla fisica.

La disponibilità di una funzione di Condition Monitoring (ovvero: ricostruzione di informazione sullo stato corrente di salute) rappresenta la base su cui costruire una ulteriore ambiziosa evoluzione: la capacità di predire il tempo rimanente prima che un lieve degrado si tramuti in un fault e quindi in un failure significativo per la macchina o l'impianto (tale tempo viene detto Remaining Useful Life - RUL). Questa informazione di prognostica è fondamentale in ottica Predictive Maintenance.

Un ulteriore aspetto, parallelo a quanto fin ora descritto, riguarda l'integrazione delle suddette funzionalità in sistemi meccatronici e di automazione avanzati e complessi che sviluppino un nuovo paradigma di concezione, realizzazione e controllo dei

### **DIREZIONE E AMMINISTRAZIONE**

Viale del Risorgimento, 2 | 40136 Bologna | Italia | Tel. + 39 051 2093001 | dei.amministrazione@unibo.it

### **UNITA' OPERATIVA DI SEDE:**

Via dell'Università, 50 | 47522 Cesena | Italia | Tel. + 39 0547339200



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'ENERGIA ELETTRICA  
E DELL'INFORMAZIONE  
"GUGLIELMO MARCONI"

servomeccanismi, basato su un design-space ampliato abilitato dalla manifattura additiva e dalle piattaforme di edge computing; il tutto in una ottica di minimizzazione dei consumi energetici, di ampliamento delle funzionalità e di miglioramento della prestazioni (si veda ad esempio il progetto ACMEC – [acmec.it](http://acmec.it) e il video di riassunto del progetto: <https://www.youtube.com/watch?v=9phOQwwB4I4>). In questa linea, le funzioni di condition monitoring e di prognostica non sono più solo applicate a sistemi "tradizionali", ma sono integrate in sistemi mecatronici innovativi per i quali diventano fondamentali, vista la necessità di monitorare e gestire correttamente questi sistemi caratterizzati da elevate potenzialità, ma anche da maggiore complessità.

Inoltre, la maggiore complessità dei servomeccanismi sopracitati richiede l'adozione di tecniche di controllo avanzate per sfruttare al meglio le loro potenzialità. Il classico controllore utilizzato nell'automazione industriale, che assume una struttura a cascata SISO (Single Input, Single Output) per i regolatori di posizione, velocità e coppia, basato su leggi di retroazione lineare combinate con azioni in avanti, non è sufficiente per sfruttare efficacemente questi meccanismi. In questo contesto, tecniche di controllo avanzate come il controllo ripetitivo diventano fondamentali per ottimizzare le prestazioni dei servomeccanismi.

Detto questo, è ancora più evidente quanto siano fondamentali le piattaforme di edge computing, che con le loro elevate capacità computazionali, sono cruciali per implementare controllori sofisticati e funzionalità diagnostiche avanzate, garantendo un'azione di controllo in tempo reale ad alte prestazioni. Tuttavia, per sfruttarle al meglio, è necessaria un'infrastruttura hardware e software dedicata.

Alla luce di quanto sopra riportato, il presente assegno di ricerca si inquadra in un Progetto (legato a diverse attività del gruppo ACTEMA del DEI, <https://dei.unibo.it/en/research/research-groups/actema>, anche in collaborazione con diversi enti), la cui ambizione è la seguente:

- Approfondire le tecniche di condition monitoring, abbinando metodologie Physics-based modelling (spesso indicati come "Model-based") e Model of Signals per la feature-extraction

**DIREZIONE E AMMINISTRAZIONE**

Viale del Risorgimento, 2 | 40136 Bologna | Italia | Tel. + 39 051 2093001 | [dei.amministrazione@unibo.it](mailto:dei.amministrazione@unibo.it)

**UNITA' OPERATIVA DI SEDE:**

Via dell'Università, 50 | 47522 Cesena | Italia | Tel. + 39 0547339200



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'ENERGIA ELETTRICA  
E DELL'INFORMAZIONE  
"GUGLIELMO MARCONI"

(più adatte a sistemi dinamici e che consentono l'inserimento di insights ingegneristici e di "leggi della fisica"), con tecniche di machine learning, statistical learning e artificial intelligence. Particolare attenzione viene posta alla definizione di approcci che consentano un "learning continuativo" e il "transfer-learning", ovvero: che consentano di avere già primi risultati con una base dati ridotta, per poi avere un progressivo affinamento. Questo scenario è particolarmente adatto ai domini come quello delle macchine automatiche e dell'industria di processo (es: sistemi di produzione degli asfalti) dove il numero di esemplari oggetto di studio è limitato. In particolare, si esplorano anche soluzioni di training/validation basate sulla generazione di dati sintetici, secondo modelli qualitativi/quantitativi, a diverso grado di dettaglio, legati alla interpretazione dell'esperto di dominio e/o ai dati parziali "dal campo" e/o alla fisica del processo. In particolare, per questo secondo caso, particolarmente importanti saranno anche approcci alla diagnostica/condition monitoring di tipo model-based (come precedentemente accennato). Oltre a tutto quanto riportato in precedenza, si mira a definire soluzioni che producano risposte con un significato probabilistico, ovvero che semplifichino la definizione di soglie decisionali da parte di utenti non esperti di dominio.

- Studiare tecniche di "prognostica" per la stima della Remaining Useful Life basate su metodologie solide a chiara interpretazione probabilistica. Anche in questo caso sarà fondamentale un approccio che consenta di partire da una base dati esigua ed una eventuale "conoscenza pregressa" (anche eventualmente legata a concetti di "transfer learning"), per poi raffinare i risultati man mano nuovi dati saranno presenti.

- Sviluppare tecniche di controllo nell'ambito dell'automazione industriale con l'obiettivo di realizzare algoritmi di controllo più avanzati rispetto a quelli comunemente impiegati in questo ambito, per soddisfare le esigenze dei servomeccanismi evoluti.

- Integrare i risultati ottenuti nei punti precedenti nelle piattaforme di calcolo per il deployment finale delle soluzioni e nelle infrastrutture di supporto alla progettazione e all'analisi. L'obiettivo è la progettazione e la realizzazione di sistemi di monitoraggio per impianti tradizionali e sistemi innovativi. È fondamentale porre particolare attenzione alla gestione della pipeline dei dati, specificando e ottenendo un "modello di esecuzione" chiaro

#### **DIREZIONE E AMMINISTRAZIONE**

Viale del Risorgimento, 2 | 40136 Bologna | Italia | Tel. + 39 051 2093001 | dei.amministrazione@unibo.it

#### **UNITA' OPERATIVA DI SEDE:**

Via dell'Università, 50 | 47522 Cesena | Italia | Tel. + 39 0547339200



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'ENERGIA ELETTRICA  
E DELL'INFORMAZIONE  
"GUGLIELMO MARCONI"

e ripetibile, con vincoli in tempo reale quando necessario, oltre a una corretta marcatura e sincronizzazione temporale dei dati.

Le piattaforme di calcolo eterogenee orientate all'IoT rappresentano una tecnologia abilitante cruciale in questa direzione. Tuttavia, per sbloccare pienamente il loro potenziale in un contesto hard-real-time, è necessario arricchirle con il software adeguato.

Le fasi in cui si articolerà l'attività che caratterizzerà l'assegno di ricerca saranno pertanto le seguenti (portate avanti col team di lavoro dedicato al Progetto):

- 1) Analisi e sviluppo di soluzioni per la realizzazione di tecniche di modellazione miste physics-driven / data-driven per sistemi elettromeccanici complessi (con particolare attenzione al dominio macchine automatiche) in condizioni nominali e in condizioni degradate.
- 2) Definizione di algoritmi per l'analisi delle condizioni di funzionamento dei sistemi considerati e iniziale verifica simulativa.
- 3) Verifica, revisione e messa a punto, alla luce di dati sperimentali ottenuti da casi pilota nell'ambito di collaborazioni con enti e aziende.
- 4) Sviluppo e implementazione di tecniche di controllo avanzate per servomeccanismi evoluti nell'ambito dell'automazione industriale:
  - Utilizzo della modellazione mista physics-driven / data-driven per sviluppare algoritmi di controllo avanzati.
  - Superamento delle prestazioni dei sistemi di controllo attuali, migliorando l'efficienza e la precisione dei processi.
  - Validazione degli algoritmi prima in ambiente simulativo e successivamente in applicazioni reali.
- 5) Studio e sviluppo di un'infrastruttura software per piattaforme di calcolo eterogenee, per implementare efficacemente algoritmi di diagnostica e controllo avanzati con vincoli di tempo hard real-time.

**DIREZIONE E AMMINISTRAZIONE**

Viale del Risorgimento, 2 | 40136 Bologna | Italia | Tel. + 39 051 2093001 | dei.amministrazione@unibo.it

**UNITA' OPERATIVA DI SEDE:**

Via dell'Università, 50 | 47522 Cesena | Italia | Tel. + 39 0547339200