

## Programma di Ricerca per Assegno di Ricerca

### Proponente e Tutor (SSD)

Gabriele Rizzoli (IIND-08/A, Convertitori, Macchine ed Azionamenti Elettrici)

### Titolo del programma di ricerca

Tecniche di controllo per l'emulazione di macchine elettriche mediante sistemi di Power Hardware in the Loop.

### Progetto di ricerca

Le macchine elettriche rotanti e i convertitori statici di potenza DC/AC sono dispositivi cruciali nell'industria moderna, impiegati in una vasta gamma di applicazioni, dai veicoli elettrici agli impianti industriali di automazione. Tradizionalmente, la fase di sviluppo e testing di un inverter (Device Under Test, DUT) richiede l'utilizzo di un banco prova composto da due macchine elettriche: la macchina target prevista per l'azionamento e una macchina freno, la quale consente di imporre un profilo di coppia/velocità. Gli alberi meccanici delle due macchine sono accoppiati meccanicamente mediante sensori per la misura della coppia e della velocità. Un esempio di banco prova per azionamenti elettrici è mostrato in Fig. 1.

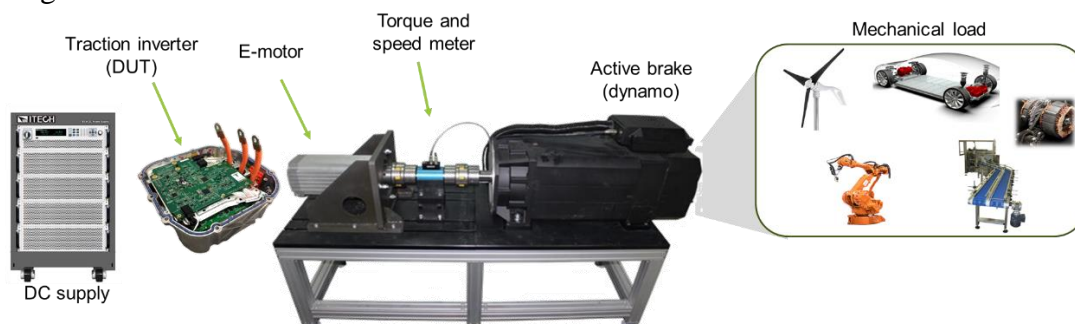


Figura 1 - Banco prova per il collaudo di inverter e macchine elettriche.

Un sistema di test innovativo prevede l'emulazione del carico elettrico visto dall'inverter in prova (DUT) mediante un amplificatore di potenza (Motor Emulator) in grado di replicare il comportamento dinamico della macchina e del carico meccanico accoppiato. Per ottenere una rappresentazione realistica del carico elettrico, è necessario introdurre un sistema di *Power Hardware in the Loop* (PHiL). Il PHiL combina una piattaforma per la simulazione in tempo reale del modello del sistema con un convertitore statico di potenza; in questo modo è possibile emulare il comportamento dinamico di sistemi elettrici complessi. Un approccio avanzato nell'ambito dei PHiL è l'uso del *Modular Multilevel Converter* (MMC) come amplificatore di potenza. L'MMC è un tipo di convertitore DC/AC che offre elevate prestazioni in termini di efficienza, qualità della tensione generata ed è adatto per l'impiego in sistemi ad alta tensione e potenza. Grazie alla sua capacità di produrre onde di tensione quasi sinusoidali con una bassa distorsione armonica, l'MMC rappresenta una scelta ideale per l'emulazione delle macchine elettriche in un Motor Emulator. Il sistema di testing oggetto del progetto di ricerca è quindi in grado ridurre significativamente i costi e i tempi associati al collaudo dell'inverter, incrementando inoltre la flessibilità e l'efficienza del sistema di testing. Un esempio di banco prova per inverter basato su sistemi PHiL è rappresentato in Fig. 2.

Il presente progetto di ricerca si concentra sull'uso di sistemi PHiL per emulare macchine elettriche rotanti, con l'obiettivo di sviluppare metodologie avanzate per testare il comportamento di inverter in condizioni prossime a quelle previste dall'applicazione industriale. L'adozione di sistemi PHiL avanzati

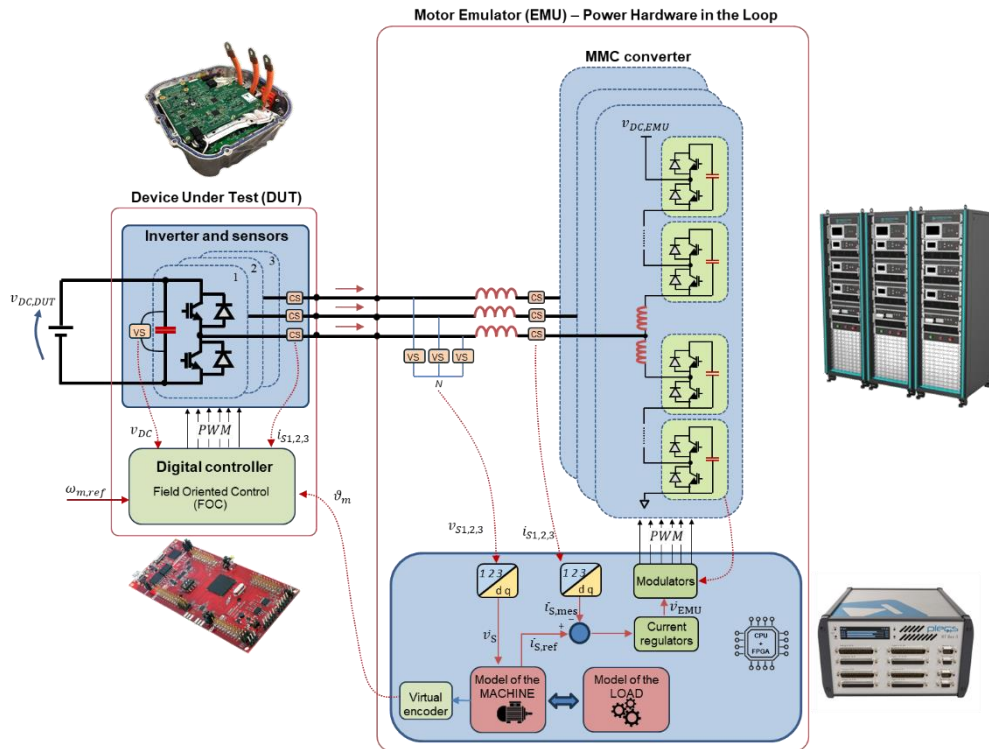


Figura 2 – Sistema PHIL per l'emulazione di macchine elettriche.

consentirà inoltre una maggiore flessibilità nei test, inclusa la possibilità di simulare scenari di carico estremi o condizioni operative difficili da riprodurre in sicurezza in laboratorio. Inoltre, gli algoritmi di controllo sviluppati contribuiranno a rendere queste emulazioni più precise e affidabili. Il progetto esplorerà la progettazione, l'implementazione e l'ottimizzazione di un sistema PHiL per emulare le dinamiche delle macchine rotanti e valuterà le prestazioni e l'affidabilità di tali emulazioni.

Obiettivi principali del progetto di ricerca:

- Sviluppare un sistema PHiL impiegando come amplificatore di potenza un convertitore di tipo MMC per l'emulazione di macchine elettriche rotanti (motori sincroni, asincroni e generatori).
- Studiare l'interazione tra il convertitore MMC e il sistema di calcolo in tempo reale per garantire un controllo accurato e una risposta rapida in condizioni dinamiche, minimizzando distorsioni e ritardi nel loop di retroazione.
- Progettare e implementare algoritmi di controllo per migliorare la gestione della potenza, la stabilità del sistema e la qualità dell'emulazione, affrontando condizioni operative complesse come transitori, variazioni di carico e guasti.
- Convalidare la precisione del sistema PHIL con MMC emulando macchine elettriche rotanti attraverso esperimenti in laboratorio e confrontando i risultati con quelli ottenibili mediante di sistemi tradizionali di test.

L'Assegnista sarà inserito nelle attività del Gruppo di ricerca in Convertitori, Macchine ed Azionamenti elettrici e potrà giovare del supporto delle Aziende del settore con le quali il gruppo è in contatto.

## Piano di attività

### MESI 1-3

Inizialmente, dopo una fase di ricerca bibliografia, si procederà alla definizione di opportuni modelli matematici (digital twin) in grado di rappresentare la dinamica delle principali macchine elettriche sincrone impiegate in ambito industriale. Inoltre, verranno analizzati e implementati i principali schemi per il controllo dei convertitori di tipo MMC.

### MESI 4-6

L'attività di ricerca proseguirà con la simulazione numerica di un sistema di emulazione completo, composto dall'inverter sotto test, il PHiL, il modello del sistema emulato e l'algoritmo per il controllo della corrente. Le prestazioni delle diverse soluzioni saranno confrontate tra loro mediante simulazioni numeriche al calcolatore in ambiente Matlab/Simulink e PLECS.

### MESI 7-12

Gli schemi di controllo sviluppati saranno trasferiti in ambiente PLECS sfruttando il sistema di prototipazione rapida PLECS RT-Box. In questa fase, il sistema PHiL completo sarà implementato e testato in laboratorio. I test includeranno scenari di carico variabile, avviamento, arresto e simulazione di guasti per verificare la capacità sistema di emulare accuratamente le dinamiche delle macchine rotanti.