

EXECUTIVE MASTER

MOTORI, AZIONAMENTI ELETTRICI E SISTEMI DI ACCUMULO

DALLE APPLICAZIONI INDUSTRIALI
ALLA MOBILITÀ, DALLE BATTERIE
ALLE FUEL CELLS

Edizione 2024

48 ORE

In collaborazione con



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Dipartimento di
Ingegneria "Enzo Ferrari"



RETE ALTA TECNOLOGIA
EMILIA-ROMAGNA
HIGH TECHNOLOGY NETWORK
TECNOPOLO MODENA



Motori, Azionamenti elettrici e Sistemi di accumulo: dalle applicazioni industriali alla mobilità, dalle batterie alle fuel cells

In un periodo storico che si sta muovendo sempre di più verso un'ottica di **sostenibilità**, il motore elettrico rappresenta il motore green per eccellenza. Il compito a cui deve assolvere è uno solo: trasformare l'energia al fine di produrre movimento. Ma il costante progresso a cui assistiamo ci costringe ad affrontare sfide sempre nuove legate all'evolversi delle esigenze e degli scenari tecnologici sempre più avanzati, come quella di soddisfare la richiesta di tempi di ricarica più brevi o di una maggiore leggerezza della batteria, ma anche la conformità ai nuovi requisiti di sicurezza, l'aumento dei costi e non ultimo la salvaguardia di qualità, durata e prestazioni. Per massimizzare i benefici e le opportunità che possono essere prodotti è quindi necessario rimanere aggiornati e competitivi su diversi fronti come **l'efficienza energetica** del motore, che incide direttamente su aspetti come la durata della batteria, i costi e la sostenibilità; **la potenza**, particolarmente importante per applicazioni come **l'automotive, l'aeronautica e la robotica**, dove sono richieste alte prestazioni in spazi ristretti; **l'affidabilità**, che comporta una comprensione approfondita dei materiali e delle tecniche di produzione utilizzati, nonché una buona progettazione e conoscenza dell'elettronica di potenza e di controllo. Lo stimolo derivante dal processo di elettrificazione richiede pertanto un'**azione trasversale di aggiornamento costante e continuo** che passa dal rafforzamento della collaborazione tra imprese e ricerca, dal potenziamento delle competenze tecnologiche elettriche, fino alla diffusione della consapevolezza relativa ai benefici dell'elettrificazione e ad una conoscenza approfondita di tutti gli aspetti ad essa correlati.

Il **corso**, proposto da Fondazione Democenter in collaborazione con il MELting Lab (Laboratorio di Macchine e Azionamenti Elettrici) del Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari dell'Università di Modena e Reggio Emilia, si rivolge ad aziende che operano in diversi settori industriali che utilizzano motori elettrici (trasporti, macchine motrici e operatrici off-highway, automazione industriale, macchine utensili CNC, robotica, ecc.). L'iniziativa prevede **due moduli**, uno di base e uno avanzato, della rispettiva durata di **27 e 21 ore**. Il modulo base si propone di fornire conoscenze iniziali tecniche e specifiche relative alle caratteristiche costruttive, al funzionamento, al controllo e all'impiego dei diversi tipi di motori elettrici. Il modulo avanzato invece, partendo dalle conoscenze di base apprese nel primo modulo, vuole fare un affondo verticale e puntuale su argomenti specifici come il controllo delle macchine sincrone, la progettazione delle macchine elettriche e i convertitori di potenza. Questo secondo modulo può essere visto sia come continuazione di quello base oppure come corso a sé stante. In quest'ultimo caso come requisito vengono richieste ai partecipanti conoscenze pregresse su elettrotecnica e teoria dei controlli; principi costruttivi, principi di funzionamento ed equazioni fondamentali delle macchine elettriche sincrone e asincrone a flusso radiale; conoscenze base dei dispositivi e convertitori elettronici di potenza.

Alla fine del primo modulo, i partecipanti saranno in grado di selezionare un motore elettrico comprendendone le caratteristiche, le specifiche tecniche, le normative, gli accoppiamenti e dialogare in modo efficace con i fornitori al fine di gestire correttamente il processo di scelta, confronto e acquisto. Alla fine del secondo modulo i partecipanti avranno acquisito e sviluppato competenze specifiche relative alla progettazione.



MODULO BASE: **23 GENNAIO, 6, 13 E 22 FEBBRAIO 2024**

MODULO AVANZATO: **28 MAGGIO, 4 E 11 GIUGNO 2024**



9:00 – 17:00



TECNOPOLO DI MODENA - Via P. Vivarelli 2, 41125 Modena

DOCENTI

Prof. Giovanni Franceschini, Dipartimento DIEF - *Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia*

Prof. Davide Barater, Dipartimento DIEF - *Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia*

Dr. Stefano Nuzzo, Dipartimento DIEF - *Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia*



OBIETTIVI

Il corso si pone l'obiettivo di fornire conoscenze approfondite:

- Sulle funzioni e sulle caratteristiche fondamentali dei componenti di base degli azionamenti elettrici: *convertitori, attuatori, carichi, sistemi di controllo e interfacce utente*;
- Sulla dinamica del motore elettrico – carico meccanico e illustrazione delle più tipiche traiettorie del moto;
- Sui materiali conduttori, isolanti e magnetici dolci e duri, sulla conversione elettromeccanica, sulle perdite e sul rendimento delle macchine elettriche;
- Sulle caratteristiche costruttive, il principio di funzionamento, le equazioni fondamentali, le caratteristiche meccaniche e gli schemi di controllo del motore in corrente continua a campo avvolto e a magneti permanenti;
- Sulla dinamica in assi D e Q delle macchine sincrone a magneti permanenti superficiali e interni e a riluttanza e a campo avvolto;
- Sull'utilizzo dei sistemi di accumulo come batterie, supercondensatori e Fuel cells a idrogeno;
- Sulla progettazione elettromagnetica preliminare e di dettaglio delle macchine elettriche;
- Sulla conversione statica di potenza.

Infine, ha l'obiettivo di far comprendere i principi che sono alla base della conversione statica dell'energia, fornire conoscenze sui componenti elettronici di potenza e sul loro impiego nei convertitori e acquisire strumenti e metodologie utili per la corretta esecuzione di test sperimentali sulle macchine elettriche.

DESTINATARI

Personale tecnico delle aree Progettazione/Ufficio Tecnico, Ricerca & Sviluppo, Sperimentazione, Commerciale e assistenza post-vendita.

Requisiti:

Per la partecipazione al modulo avanzato è richiesta la precedente partecipazione al modulo base (anche degli anni passati) oppure:

- *conoscenze base di elettrotecnica e teoria dei controlli;*
- *conoscenze specifiche sui principi costruttivi, principi di funzionamento ed equazioni fondamentali delle macchine elettriche sincrone e asincrone a flusso radiale;*
- *conoscenze di base dei dispositivi e convertitori elettronici di potenza.*

PROGRAMMA

MODULO BASE – 27 ORE

MARTEDI 23 GENNAIO 2024, 9:00 – 17:00

Introduzione agli azionamenti elettrici:

- Definizioni e componenti
- Dinamica motore – carico
- Sovraccaricabilità e regioni di funzionamento degli azionamenti

Introduzione ai motori elettrici:

- Panoramica sulle tipologie di motore elettrico
- Materiali, perdite e rendimento
- Linee guida per il dimensionamento dei motori elettrici

MARTEDI 6 FEBBRAIO 2024, 9:00 – 17:00

Macchina in corrente continua:

- Principi costruttivi
- Principi di funzionamento
- Circuiti equivalenti e caratteristiche meccaniche

Controllo della macchina in corrente continua:

- Cenni di teoria dei controlli
- Controllo ad alta dinamica
- Scelta dei parametri del controllore
- Simulazione in ambiente Simulink

MARTEDI 13 FEBBRAIO 2024, 9:00 – 17:00

Macchine sincrone e asincrone:

- Richiami sui sistemi trifase
- Principi costruttivi, principi di funzionamento e circuiti equivalenti dei motori asincroni
- Principi costruttivi, principi di funzionamento e circuiti equivalenti dei motori brushless DC (BLDC) e AC (BLAC)
- Cenni sul controllo delle macchine sincrone

Scelta dell'azionamento:

- Principio di funzionamento dei convertitori per il controllo dei motori
- Guida ai parametri fondamentali dei convertitori
- Guida alla lettura datasheet motore e convertitore
- Accoppiamento corretto motore convertitore – esempi

GIOVEDI 22 FEBBRAIO 2024, 9:00 – 16:00

Sistemi di accumulo per azionamenti elettrici:

- Parametri fondamentali e principio di funzionamento delle batterie al litio
- Modelli equivalenti delle batterie
- Esempio di dimensionamento del pacco batterie
- Supercondensatori, principio di funzionamento e parametri fondamentali
- Fuel cells, principio di funzionamento e parametri fondamentali

MODULO AVANZATO – 21 ORE

MARTEDI 28 MAGGIO 2024, 9:00 – 17:00

Controllo delle macchine sincrone:

- Richiami su principi costruttivi e di funzionamento
- Strategie di controllo in assi d e q
 - Macchine a magneti permanenti superficiali
 - Macchine a magneti permanenti interni
 - Macchine a riluttanza
 - Macchine a campo avvolto

Controllo delle macchine sincrone:

- Modelli in assi d e q
- Esempi di simulazione in ambiente Simulink/Plecs

MARTEDI 4 GIUGNO 2024, 9.00 – 17.00

Progettazione delle macchine elettriche:

- Richiami sui materiali e linee guida
- Analisi degli avvolgimenti
- Formule di dimensionamento

Progettazione agli elementi finiti delle macchine elettriche:

- Esercizio pratico di dimensionamento
- Esercizi in ambiente di simulazione agli elementi finiti

MARTEDI 11 GIUGNO 2024, 9:00 – 17:00

Convertitori di potenza:

- Introduzione ai dispositivi di potenza
- Parametri fondamentali nella selezione dei dispositivi di potenza dei convertitori
- Architetture di convertitori per azionamenti elettrici
- Modulazione PWM

Convertitori DC/AC (Inverter):

- Modulazione SPWM e SVM per convertitori DC/AC
- Iniezione di terza armonica nei convertitori DC/AC trifase
- Esempi di funzionamenti in ambiente Simulink/Plecs

**Per la partecipazione al modulo avanzato è richiesta la precedente partecipazione al modulo base (anche degli anni passati) oppure:*

- conoscenze base di elettrotecnica e teoria dei controlli;

- conoscenze specifiche sui principi costruttivi, principi di funzionamento ed equazioni fondamentali delle macchine elettriche sincrone e asincrone a flusso radiale;

- conoscenze di base dei dispositivi e convertitori elettronici di potenza.