



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## APPARATI ELETTRICI PER L'ENERGIA

### ANTONINO MUSOLINO

Anno accademico	2023/24
CdS	INGEGNERIA DELL'ENERGIA
Codice	975II
CFU	9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
APPARATI ELETTRICI PERING-IND/32,ING-IND/33 L'ENERGIA		LEZIONI	90	GIOVANNI LUTZEMBERGER ANTONINO MUSOLINO

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Lo studente che ha completato il corso sarà in grado di dimostrare una buona conoscenza dei dispositivi di conversione elettrica. In particolare, dimostrerà una solida conoscenza delle principali problematiche legate alle macchine elettriche statiche e rotanti.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Lo studente sarà valutato sulla sua capacità di discutere i principali contenuti del corso utilizzando la terminologia appropriata.

##### *Capacità*

Lo studente che ha completato il corso sarà in grado di analizzare quantitativamente il funzionamento di sistemi di potenza con particolare riguardo ai dispositivi di conversione dell'energia elettrica.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

Per la verifica delle capacità acquisite dallo studente è previsto lo svolgimento di un esame finale per evidenziare le capacità di analisi acquisite.

##### *Comportamenti*

Si ritiene che lo studente possa acquisire la necessaria sensibilità per affrontare le problematiche relative alle interazioni che avvengono nei sistemi elettrici complessi, in particolare la produzione, la trasformazione, il trasporto e l'utilizzo dell'energia elettrica.

##### *Modalità di verifica dei comportamenti*

La verifica dei comportamenti verrà effettuata nel corso dello svolgimento dell'esame finale.

##### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Le conoscenze di base necessarie al proficuo svolgimento delle attività dell'insegnamento derivano dai corsi di Analisi Matematica, Fisica II e Principi di Ingegneria elettrica.

##### *Indicazioni metodologiche*

Il corso viene svolto con lezioni frontali a carattere teorico ed applicativo con lo svolgimento di esercitazioni numeriche. Le lezioni verranno svolte anche con la proiezione di lucidi. Sono previste tre ore di ricevimento alla settimana.

La frequenza è consigliata

##### *Programma (contenuti dell'insegnamento)*

Introduzione ai circuiti magnetici e ai materiali utilizzati nella costruzione delle macchine elettriche.

Trasformatori: Richiami sul trasformatore monofase. Trasformatori trifase. Collegamenti interfasci su primario e secondario.

Principi di conversione elettromeccanica. Sistemi conservativi e teorema dei lavori virtuali. Energia e Coenergia in sistemi con 1 grado di libertà meccanico e con 1 o più eccitazioni elettriche. Determinazione di forze e coppie da energia e coenergia. Forze e coppie in sistemi con magneti permanenti.

Introduzione alle macchine rotanti. Avvolgimenti concentrati e distribuiti. Coefficiente di avvolgimento. Avvolgimenti concentrati equivalenti.



## UNIVERSITÀ DI PISA

Forze magnetomotrici degli avvolgimenti distribuiti. Distribuzioni di induzione magnetica al traferro. Forze magnetomotrici e campi magnetici rotanti al traferro. Tensioni indotte negli avvolgimenti. Coefficienti di auto e mutua induzione di avvolgimenti distribuiti. Coppie in macchine rotanti isotrope.

Macchina sincrona. Costituzione e principio di funzionamento della macchina sincrona trifase in condizioni di funzionamento simmetrico ed equilibrato. Derivazione del circuito equivalente della macchina sincrona trifase. Caratteristiche a vuoto e in corto circuito. Caratteristica coppia-angolo. Analisi delle perdite nelle macchine sincrone. Cenno al funzionamento in parallelo degli alternatori.

Macchina a induzione trifase. Costituzione e principio di funzionamento. Derivazione del circuito equivalente, Caratteristica meccanica (coppia velocità' angolare) della macchina a induzione. Determinazione dei parametri del circuito equivalente: prova a rotore libero e a rotore bloccato.

Avviamento della macchina a induzione: macchina a rotore avvolto con resistenze addizionali, macchine a doppia gabbia.

Macchina in corrente continua. Il commutatore. Costituzione e principio di funzionamento della macchina in corrente continua. Il circuito di eccitazione e quello di armatura. Equazioni del comportamento elettromeccanico dalla macchina in corrente continua. Circuiti di eccitazione della macchina in corrente continua.

Macchina a riluttanza variabile. Costituzione e principi di funzionamento. Dipendenza della coppia dalla posizione e dalle correnti. Analisi delle forme d'onda delle correnti e delle coppie. Cenno all'analisi non lineare.

Macchina a induzione monofase. Principio di funzionamento. Avvolgimenti ausiliari per l'avviamento. Circuito equivalente della macchina a induzione monofase. Cenno al motore bifase.

Introduzione all'elettronica di potenza. Componenti elettronici di potenza: diodi, SCR, TRIAC, IGBT, MOSFET. Circuiti raddrizzatori a singola e doppia semionda con carico induttivo e con sorgente induttiva. Raddrizzatori trifase. Inverter a ponte e cenno al funzionamento PWM.

Conversione dell'energia e accumulo in forma elettrochimica. Analisi delle principali tipologie, parametri caratteristici, tecniche di modellazione, stima dello stato di carica, criteri di dimensionamento. Le macchine e i convertitori come sistemi interagenti. Il linguaggio di programmazione MODELICA. Esempi di applicazione: sistemi a propulsione elettrica in ambito veicolare, architetture di veicoli elettrici e ibridi, sviluppo di modelli di simulazione.

Compatibilmente con le disposizioni in materia di contenimento della pandemia da COVID 19 verranno svolte alcuni semplici attività di laboratorio riguardanti la descrizione di alcune misure. Prove a vuoto e in corto per la determinazione dei parametri del circuito equivalente di trasformatori monofase e trifase. Visualizzazione della corrente primaria a vuoto e della corrente magnetizzante. Motore asincrono trifase: visualizzazione della corrente allo spunto. Pilotaggio della macchina con inverter trifase. Descrizione del banco prova per la caratterizzazione di macchine elettriche rotanti.

### Bibliografia e materiale didattico

A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, S. D. Umans; Electric Machinery, Sixth Edition, McGraw Hill

Materiale didattico fornito dai docenti in forma di dispense.

### Modalità d'esame

L'esame è composto da una prova scritta e una prova orale.

La prova scritta richiede la soluzione numerica di alcuni problemi sulle macchine elettriche più importanti.

La prova orale consiste in un colloquio mirato a verificare la conoscenza dei principi di funzionamento delle macchine elettriche.

Prova scritta e prova orale devono essere sostenute nello stesso appello. Il superamento della prova scritta è condizione necessaria per sostenere la prova orale.

### Altri riferimenti web

Le lezioni si svolgeranno in presenza e su piattaforma TEAMS al link:

[https://teams.microsoft.com/j/channel/19%3anW\\_7KaVjMn2i6StVjY0Hzl58N2ZM7wGrFJTqBvIQbQ1%40thread.tacv2/General?groupId=944d9e00-51d0-45db-8682-b8928abbe8a4&tenantId=c7456b31-a220-47f5-be52-473828670aa1](https://teams.microsoft.com/j/channel/19%3anW_7KaVjMn2i6StVjY0Hzl58N2ZM7wGrFJTqBvIQbQ1%40thread.tacv2/General?groupId=944d9e00-51d0-45db-8682-b8928abbe8a4&tenantId=c7456b31-a220-47f5-be52-473828670aa1)

Ultimo aggiornamento 21/10/2023 09:38