



## DIAGNOSTICA DI MACCHINE E AZIONAMENTI ELETTRICI

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anno immatricolazione | 2020/2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Anno offerta          | 2020/2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Normativa             | DM270                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| SSD                   | ING-IND/32 (CONVERTITORI, MACCHINE E AZIONAMENTI ELETTRICI)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Dipartimento          | DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Corso di studio       | INGEGNERIA ELETTRICA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Curriculum            | Energetica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Anno di corso         | 1°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Periodo didattico     | Primo Semestre (28/09/2020 - 22/01/2021)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Crediti               | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ore                   | 24 ore di attività frontale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Lingua insegnamento   | Italiano                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Tipo esame            | ORALE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Docente               | FROSINI LUCIA (titolare) - 3 CFU                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Prerequisiti          | Agli studenti di questo corso è richiesto il possesso o l'acquisizione di un'adeguata preparazione iniziale in merito agli aspetti funzionali e costruttivi delle macchine elettriche rotanti asincrone e sincrone.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Obiettivi formativi   | Il corso si propone di far acquisire agli studenti la conoscenza dei principali tipi di guasto che si possono verificare nelle macchine elettriche sincrone e asincrone (azionate da rete o tramite convertitore di potenza, in bassa e in alta tensione), dei metodi diagnostici per la loro individuazione precoce e delle tecniche per ridurre la probabilità dei guasti e l'entità dei danni da essi derivanti. Al termine del corso, gli studenti dovranno essere in grado di individuare gli strumenti diagnostici opportuni per l'identificazione di guasti esistenti o incipienti nelle diverse macchine elettriche rotanti e le tecniche per la mitigazione degli effetti prodotti da tali guasti. |

## 1. Concetti introduttivi

Finalità di un sistema diagnostico: individuazione, localizzazione e identificazione del guasto. Relazioni tra diagnostica e concetti di protezione, manutenzione, monitoraggio delle condizioni. Manutenzione reattiva, preventiva, predittiva, pro-attiva. Affidabilità, disponibilità, densità di probabilità di guasto, tasso di guasto, criteri di classificazione dei guasti.

## 2. Tipi di guasti nelle macchine e negli azionamenti elettrici e metodi per la diagnostica

Localizzazione dei principali tipi di guasto: statore (avvolgimenti e nucleo), cuscinetti, rotore, irregolarità statiche e dinamiche del traferro. Misure di tipo elettrico: tensioni, correnti, potenze, flusso magnetico (al traferro e disperso), tensioni d'albero, correnti nei cuscinetti, scariche parziali. Misure di tipo meccanico: vibrazioni, rumore acustico, forze, coppie, velocità. Misure di tipo chimico e di temperatura. Analisi dei segnali nel dominio del tempo e delle frequenze.

## 3. Vibrazioni nelle macchine elettriche

Misura delle vibrazioni come strumento diagnostico. Vibrazioni longitudinali, flessionali (rotore di Jeffcott), torsionali. Vibrazioni naturali e forzate. Forze elettromagnetiche: tensore di Maxwell, forza di Lorentz. Eccentricità statica e dinamica. Vibrazioni delle testate. Esempi applicativi.

## 4. Guasti nei cuscinetti

Cuscinetti a rotolamento e a strisciamento. Possibili danni e cause dei guasti nei cuscinetti. Metodi per la diagnostica dei guasti nei cuscinetti: analisi di vibrazioni e corrente di statore. Esempi applicativi.

## 5. Guasti negli avvolgimenti di statore

Stress termici, elettrici, ambientali e meccanici che determinano i guasti dell'isolamento degli avvolgimenti.

Avvolgimenti di statore in bassa tensione: caratteristiche costruttive e possibili guasti. Metodi diagnostici per l'individuazione dei guasti in avvolgimenti alimentati da rete o da inverter: analisi della corrente di statore e del flusso disperso esterno. Stress aggiuntivi negli azionamenti elettrici dovuti al fenomeno dell'onda riflessa.

Avvolgimenti di statore in alta tensione: caratteristiche costruttive, guasti dell'isolamento verso massa. Metodi diagnostici off-line: resistenza di isolamento, indice di polarizzazione, tan-delta o fattore di potenza dell'isolamento, AC e DC hipot test. Misura delle scariche parziali (PD): polarità positiva e negativa delle PD, confronto dell'efficacia del metodo delle PD con gli altri metodi diagnostici, individuazione delle PD con la misura degli impulsi elettrici, interpretazione dei risultati, PD come causa diretta e come sintomo, effetto del carico e della temperatura sulle PD.

## 6. Tensioni e correnti d'albero

Tensioni e correnti d'albero nei turboalternatori: cause, metodi diagnostici per il loro monitoraggio e tecniche per prevenire i guasti. Tensioni e correnti d'albero negli azionamenti elettrici in bassa tensione, indotte dall'alimentazione tramite inverter: cause e tecniche per la loro

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | <p>mitigazione.</p> <p>7. Guasti di rotore</p> <p>Corto circuiti di rotore nei generatori sincroni e metodi per la loro diagnostica: rilievo del flusso interno, rilievo riflettometrico, misura dell'impedenza dinamica. Rottura di barre di rotore nei motori asincroni e loro individuazione con l'analisi di corrente di statore, vibrazioni e flusso disperso. Fenomeno delle correnti tra barre.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Metodi didattici</b>                                  | <p>Il corso è organizzato in lezioni frontali, svolte mediante presentazioni in PowerPoint proiettate su schermo, che consentono di mostrare agli studenti molte immagini di macchine elettriche (sane e guaste) e di sistemi diagnostici, necessarie per raggiungere gli obiettivi formativi del corso. Le lezioni comprendono anche alcune analisi di applicazioni specifiche di metodi diagnostici, con presentazione di risultati sperimentali tramite grafici. Le attività formative sono completate da un seminario tenuto da personale tecnico, con solida preparazione industriale.</p> <p>Lezioni (ore/anno in aula): 24</p>                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Testi di riferimento</b>                              | <p>Le presentazioni in PowerPoint, preparate ed utilizzate dal docente durante il corso, sono rese disponibili agli studenti, in formato PDF, tramite la piattaforma KIRO. Tale documentazione è sufficientemente approfondita da costituire il testo di riferimento per il corso.</p> <p>Per ulteriori approfondimenti, possono essere consultati i seguenti testi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peter Tavner, Li Ran, Jim Penman and Howard Sedding: Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines, 2nd Edition, IET, 2008.</li> <li>- Stone G., Boulter E.A., Culbert I., Dhirani H.: Electrical Insulation for Rotating Machines: Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair, Wiley-IEEE Press, 2004.</li> <li>- Geoff Klempner, Isidor Kerszenbaum: Handbook of Large Turbo-Generators. Operation and Maintenance, Wiley-IEEE Press, 2008.</li> </ul> |
| <b>Modalità verifica apprendimento</b>                   | <p>L'esame consiste in una prova orale individuale, volta ad accertare le competenze acquisite relativamente ai contenuti del corso. La prova verte su almeno tre argomenti distinti trattati durante il corso. La valutazione finale si basa sul grado di approfondimento e comprensione degli argomenti presentati e sulla capacità di integrare le conoscenze acquisite durante il corso.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Altre informazioni</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Obiettivi Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile</b> | <p><a href="#">\$Ibl_legenda_sviluppo_sostenibile</a></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |