



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER LA DIAGNOSTICA IN INGEGNERIA ELETTRICA

MAURO TUCCI

|               |                      |
|---------------|----------------------|
| Academic year | 2023/24              |
| Course        | INGEGNERIA ELETTRICA |
| Code          | 955II                |
| Credits       | 6                    |

|                                                                              |            |         |       |             |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|-------|-------------|
| Modules                                                                      | Area       | Type    | Hours | Teacher(s)  |
| INTELLIGENZA<br>ARTIFICIALE PER LA<br>DIAGNOSTICA IN<br>INGEGNERIA ELETTRICA | ING-IND/31 | LEZIONI | 60    | MAURO TUCCI |

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

Al termine del corso:

- lo studente avrà acquisito conoscenze in merito agli strumenti e alle metodologie per la diagnostica ed il monitoraggio di apparati elettrici
- lo studente avrà acquisito le basi della teoria dei segnali (determinati e stocastici), della teoria dell'identificazione dei sistemi lineari, delle carte di controllo
- lo studente avrà acquisito le basi dell'apprendimento automatico supervisionato e non supervisionato
- lo studente sarà in grado di padroneggiare metodologie avanzate di signal processing e machine learning per l'analisi dati e la creazione di modelli complessi

#### Modalità di verifica delle conoscenze

Due prove pratiche:

- 1) Analisi di un dataset per apprendimento automatico tramite Matlab
- 2) Approfondimento di un articolo scientifico scelto insieme al docente, riguardante la diagnostica ed il monitoraggio di apparati elettrici.

Prova orale

#### Capacità

- lo studente sarà in grado di padroneggiare metodologie avanzate di signal processing e machine learning per l'analisi dati e la creazione di modelli complessi al fine di progettare sistemi di monitoraggio e diagnostica di apparati elettrici
- lo studente avrà una buona padronanza del linguaggio Matlab

#### Modalità di verifica delle capacità

Durante il corso saranno tenute numerose esercitazioni in ambiente matlab per verificare la capacità dello studente di programmare in ambiente matlab facendo riferimento ad applicazioni di signal processing e machine learning

Due prove pratiche:

- 1) Analisi di un dataset per apprendimento automatico tramite Matlab o Python
- 2) Approfondimento di un articolo scientifico scelto insieme al docente, riguardante la diagnostica ed il monitoraggio di apparati elettrici.

#### Comportamenti

- Lo studente acquisirà sensibilità comportamentale per la determinazione delle metodologie più adatte alla soluzione dei problemi riguardanti la diagnostica ed il monitoraggio di apparati elettrici.
- Saranno quindi acquisite accuratezza e precisione nello svolgere attività di raccolta e analisi di dati sperimentali



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### Modalità di verifica dei comportamenti

I comportamenti saranno verificati tramite opportune sedute di esercitazione in classe e programmazione in ambiente Matlab

Due prove pratiche:

- 1) Analisi di un dataset per apprendimento automatico tramite Matlab o Python
- 2) Approfondimento di un articolo scientifico scelto insieme al docente, riguardante la diagnostica ed il monitoraggio di apparati elettrici.

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Sono prerequisito di questo corso conoscenze di teoria dei circuiti e di macchine elettriche, oltre alla analisi matematica, statistica e teoria della probabilità

### Indicazioni metodologiche

Seguire con continuità le lezioni e le indicazioni del docente, reperire e studiare approfonditamente tutto il materiale didattico indicato.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Esempi di applicazioni di diagnostica, analisi di segnale, classificazione.

Serie di Fourier in forma complessa per segnali periodici. Trasformata di Fourier. Condizioni di Dirichlet. Simmetria della trasformata di Fourier. Trasformata di una rect.

Proprietà della trasformata di Fourier. Trasformata di Fourier di segnali triangolari.

Somma di Poisson. Esempio in Matlab di ricostruzione di un segnale a onda rettangolare tramite serie di Fourier.

Energia e potenza di un segnale. Delta di Dirac, trasformata di segnali a potenza finita (costanti, periodici). Densità spettrale di energia e autocorrelazione di segnali a energia finita, teorema di Wiener-Khinchin. Teorema dell'energia di Rayleigh. Densità spettrale di potenza. Sistemi Lineari tempo invarianti, risposta impulsiva, risposta in frequenza

Filtro passa basso ideale, filtro causale. Filtri passa basso di Butterworth. Filtri passa basso di Chebychev e filtri ellittici. Esercitazione Matlab: progettazione di filtri analogici e visualizzazione della risposta in frequenza, filtraggio di un segnale con un filtro digitale.

Campionamento ideale. Pettine di delta di Dirac, trasformata e serie di Fourier. Trasformata di Fourier di un segnale campionato idealmente, somma di Poisson in frequenza. Teorema di Shannon. Aliasing e filtro anti aliasing, ricostruzione ideale con filtro cardinale. Interpolazione a mantenimento e lineare.

Trasformata di Fourier di una sequenza. Sequenze periodiche e DFT, matrice di Vandermonde. IDFT tramite DFT. Convoluzione tempo discreto, filtraggio lineare tramite DFT, zero padding, simmetria della DFT.

Implementazione in Matlab dell'algoritmo DFT. Relazione tra DFT trasformata continua. Creazione dell'asse fisico delle frequenze.

Densità spettrale di potenza di un segnale periodico, teorema di Parseval per segnali periodici e sequenze periodiche. Introduzione alla teoria delle probabilità, assiomi, funzioni di distribuzione e di densità di probabilità, densità di probabilità congiunta, operatore di aspettazione, valore medio e varianza di variabili aleatorie.

Variabili aleatorie Gaussiane, teorema del limite centrale. Trasformazione integrale di probabilità. Esperimento in Matlab di approssimazione del teorema del limite centrale, programma Matlab per la stima delle funzioni di distribuzione e densità di probabilità.

Covarianza, variabili aleatorie indipendenti e incorrelate. Processi stocastici, stazionarietà del primo e del secondo ordine, stazionarietà in senso lato. Funzione di autocorrelazione. Medie temporali ed ergodicità. Densità spettrale di potenza di un processo stocastico. Periodogramma medio di Welch. Relazione di Wiener-Khinchin tra PSD e funzione di autocorrelazione. Interpretazione della funzione di autocorrelazione (valore medio-varianza).

Processi Gaussiani, rumore bianco, rumore colorato, filtraggio del rumore bianco. Implementazione in matlab del metodo di Welch per la stima della PSD di un rumore. Filtraggio di un rumore bianco.

Identificazione non parametrica della risposta in frequenza, metodo ETFE. Progetto di una sessione di identificazione. Cross-correlazione e cross-spettro. Stima della risposta in frequenza con metodo del cross-spettro. Stima parametrica, equazioni alle differenze e polinomi in  $q$ , modello ARX, pseudoinversione.

Identificazione parametrica tramite Modello Box Jenkins, modelli FIR, ARMAX e OE. Stima dell'ordine dei polinomi. Esercitazione Matlab: filtraggio di un segnale chirp tramite simulink, identificazione del filtro parametrica e non parametrica tramite.

Introduzione alla diagnostica di trasformatori di potenza. Tecniche di diagnostica innovativa dello stato degli avvolgimenti, risposta in frequenza e tecnica SFRA. Diagnostica dello stato dell'isolante, tecnica PDC.

Tecnica FDS (Frequency Dielectric Spectroscopy) per la diagnosi dello stato globale dell'isolante di trasformatori di potenza. Metodo DIRANA. Esempi di campagne di misura. Indici diagnostici di riferimento. Carte di controllo di Shewart e carta CUSUM.

Monitoraggio di processi multivariati, matrice di covarianza dei dati. Carta di controllo tramite statistica  $T^2$  di Hotelling. Analisi alle componenti principali, riduzione della dimensionalità.

Introduzione all'apprendimento automatico. Reti neurali multistrato feedforward. Teorema di approssimazione universale. Cenni all'algoritmo di backpropagation. Divisione del dataset per allenamento di una rete neurale. Criterio di stop tramite insieme di validazione, regolarizzazione Bayesiana, metodo di scelta dei meta-parametri tramite k-fold cross-validation.

Algoritmo K-nn (K-nearest neighbours) per regressione e classificazione. Classificazione tramite Support Vector Machines: iperpiano ottimo tramite problema di programmazione quadratica, rilassamento dei vincoli, problema duale e stratagemma del kernel.

Apprendimento supervisionato tramite Ensemble. Apprendimento non supervisionato, clustering, algoritmo k-means, quantizzazione vettoriale, neural gas, self-organizing-maps.

Seminario da parte di i-EM su impianti fotovoltaici, tecnologie di pannello e di impianto, problematiche di impianto. Modellistica, monitoraggio e diagnostica di un impianto fotovoltaico. Diagnostica predittiva. Cenni al Forecast di produzione a breve termine.

Esercitazione Matlab : analisi del dataset IRIS tramite reti neurali (apprendimento supervisionato), divisione del dataset, cross-validation. Analisi non supervisionata del dataset IRIS, visualizzazione dei dati, clustering tramite k-means.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### Bibliografia e materiale didattico

Slides del docente,

W. H. Tang Q. H. Wu " Condition Monitoring and Assessment of Power Transformers Using Computational Intelligence", Springer 2011. Peter Tavner, Li Ran, Jim Penman and Howard Sedding "Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines", IET POWER AND ENERGY SERIES 56. Marco Luise, Giorgio M. Vitetta, "Teoria dei segnali", Mc graw - Hill S. Haykin, M. Moher: "Introduzione alle telecomunicazioni analogiche e digitali", Casa Editrice Ambrosiana Christopher M. Bishop "Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics)", Springer Simon Haykin, Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Prentice Hall Timothy Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, Wiley A.E. Eiben, J.E. Smith, Introduction to Evolutionary Computing, Springer

### Indicazioni per non frequentanti

Studenti non frequentanti possono contattare il docente per avere informazioni sul materiale didattico necessario a preparare il corso

### Modalità d'esame

Prova orale

Ultimo aggiornamento 18/09/2023 09:03