

**PROGRAMMA DETTAGLIATO di**  
**SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA (9 CFU)**

**72 h**

**LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ELETTRICA**  
**PRIMO ANNO SECONDO SEMESTRE**

**DOCENTE PROF. ING. ROBERTO BENATO**

**1) INTRODUZIONE AL CORSO (1 h)**

**2) RICHIAMI SUI DOPPI BIPOLI LINEARI (3 h)**

- 2.1) Significato di doppio bipolo lineare: porte, matrice delle impedenze e delle ammettenze
- 2.2) Matrice di trasmissione o ibrida: parametri  $\underline{A}$ ,  $\underline{B}$ ,  $\underline{C}$ ,  $\underline{D}$  e loro significato fisico
- 2.3) Doppi bipoli reciproci e simmetrici
- 2.4) Doppi bipoli in cascata: la linea mista aerea-cavo-aerea
- 2.5) Doppi bipoli in parallelo: due linee elettriche in parallelo
- 2.6) Doppi bipoli degeneri
- 2.7) Rappresentazione a T o a  $\Pi$ -greco
- 2.8) Esempio di applicazione al trasformatore. Trasformatore non di gruppo 0 o 6. Rapporto di trasformazione complesso.

**3) IL REGIME SINUSOIDALE DELLE LINEE ELETTRICHE (12 h)**

- 3.1) Richiami sulle costanti delle linee elettriche visti nel corso di Impianti elettrici: il calcolo della conduttanza trasversale;
- 3.2) Le equazioni dei telegrafisti: la costante di propagazione e l'impedenza caratteristica;
- 3.3) Calcolo della costante di propagazione e dell'impedenza caratteristica nel caso di linea aerea e nel caso di linea in cavo: le condizioni di Heaviside;
- 3.4) Funzionamento della linea alla potenza naturale: "carta d'identità" della linea
- 3.5) Significato teorico della linea di lunghezza infinita
- 3.6) Linea a vuoto

- 3.7) Linee reali e il teorema di Ossanna per la determinazione del regime di linea;
- 3.8) Linee relativamente corte e possibilità di trasmettere potenze molto superiori alla potenza naturale fino al limite termico
- 3.9) Le linee in cavo in AAT
- 3.10) Cenni alle linee isolate in gas: gas insulated lines da un punto di vista precipuamente trasmissivo;

#### **4) CENNI AI DIAGRAMMI TIPICI DELLE LINEE DI TRASMISSIONE (2 h LABORATORIO)**

- 4.1) Cenni ai diagrammi ellittici e diagrammi circolari: tracciamento degli stessi mediante MATLAB
- 4.2) Cenno alle capability charts patavine ideate da Benato-Paolucci

#### **5) LA RAPPRESENTAZIONE DI UNA RETE ELETTRICA IN REGIME SINUSOIDALE COL METODO "PER UNITÀ" (4 h=1 h DF+3 h eser.)**

- 5.1) La pratica determinazione delle impedenze in "per unità"
- 5.2) Esempio di impiego del metodo "per unità"
- 5.3) Applicazione del metodo "per unità" a una linea ideale
- 5.4) Reti con trasformatori non di gruppo zero
- 5.5) Reti con trasformatori a rapporto variabile

#### **6) LO STUDIO DEI "FLUSSI DI POTENZA" NELLE RETI ELETTRICHE: POWER FLOW MONOFASE (4 h)**

- 6.1) Il metodo di Newton-Raphson e di Gauss-Siedel
- 6.2) Il metodo Benato-Paolucci-Turri con la matrice alle ammettenze nodali che include le ammettenze dei generatori;
- 6.3) Valutazione approssimata dei flussi di potenza attiva
- 6.4) La regolazione "primaria e secondaria" delle tensioni nelle grandi reti
- 6.5) Cenni ai power flow trifase
- 6.6) La multiconductor cell analysis (MCA) applicata alle linee aeree (Benato-Dambone Sessa- Guglielmi) e alle linee in cavo compensate e non (Benato) e alle linee ibride;

#### **7) LA REGOLAZIONE DELLA TENSIONE (4 h)**

- 7.1) La regolazione della tensione in casi semplici

7.2) Regime delle tensioni e delle potenze trasmesse in un collegamento puramente induttivo

7.3) Provvedimenti per la regolazione della tensione

## **8) LA REGOLAZIONE DELLA FREQUENZA (8 h + 2 h LABORATORIO)**

8.1) Comportamento tipico di un regolatore di velocità di un gruppo idroelettrico

8.2) La regolazione primaria in un sistema "generatore con carichi"

8.3) L'introduzione della regolazione secondaria nel sistema "generatore con carichi"

8.4) La regolazione della frequenza in un sistema con più generatori

8.5) La regolazione frequenza-potenza nelle reti interconnesse

8.6) Cenni sull'organizzazione della regolazione frequenza potenza nella rete italiana

## **9) STABILITÀ DEL PARALLELO (6 h)**

9.1) Limiti di stabilità statica nel parallelo di una macchina sincrona con una rete

9.2) Limiti di stabilità statica in lunghe linee di trasmissione

9.3) La compensazione serie

9.4) La potenza attiva erogata da una macchina sincrona in regime transitorio

9.5) L'equazione del moto della macchina in regime perturbato

9.6) Il criterio delle aree

9.7) Il modello semplificato della macchina sincrona

9.8) L'influenza dei guasti sulla stabilità del parallelo

9.9) Criteri per il miglioramento della stabilità

## **10) LA PROPAGAZIONE DEI TRANSITORI NELLE LINEE (6 h)**

10.1) Onde viaggianti in linea priva di perdite

10.2) I coefficienti di riflessione e di trasmissione

10.3) Linea con terminazione non puramente resistiva. Generatore equivalente

10.4) Riflessioni multiple in una linea di lunghezza finita

**11) SOVRATENSIONI DI ORIGINE ESTERNA (4 h)**

11.1) La formazione delle scariche atmosferiche

11.2) La fulminazione diretta di un conduttore di linea

11.3) La fulminazione diretta di un sostegno di linea

11.4) Fulminazioni su linee con fune di guardia

**12) PROTEZIONE SELETTIVA NELLE RETI MAGLIATE  
MEDIANTE RELÈ DISTANZIOMETRICI (2h)**

12.1) L'impiego dei relè distanziometrici

**13) SEMINARI DI AZIENDE LEADER NELLA TRASMISSIONE  
DELL'ENERGIA ELETTRICA (6 h)**

13.1) Il contributo alla rete di trasmissione di TERNA RETE ITALIA

13.2) Il contributo alla rete di trasmissione di Prysmian Power Link

**DIDATTICA FRONTALE (50 h)**

**ATTIVITÀ SEMINARIALE (6 h)**

**ESERCIZI DI TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA (8 h) e**

**LABORATORIO (8 h)**