

*Laurea in Ingegneria Elettronica*

**Corso di Misure Elettriche (6 CFU)**

Docente: prof. Emanuele Piuze

*Anno Accademico 2023-2024*

***Programma delle lezioni e delle esercitazioni***

<b>Data</b>	<b>Orario</b>	<b>Argomento lezione</b>
26 febbraio 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: generalità sul processo di misurazione e regole per una buona misura, cavi di collegamento, presentazione dell'alimentatore stabilizzato e del generatore di forme d'onda
27 febbraio 2024	16:00 – 18:00	Presentazione del corso, vocabolario di metrologia, processo di misurazione, errore di misura
28 febbraio 2024	16:00 – 18:00	Cause di incertezza, errori casuali e sistematici, modulo massimo dell'errore, regole di scrittura della misura
4 marzo 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: presentazione del multimetro digitale, specifiche di accuratezza, misura di tensione DC, di resistenza e di corrente DC
5 marzo 2024	16:00 – 18:00	Compatibilità metrologica tra misure, legge di propagazione degli errori, variabili aleatorie
6 marzo 2024	16:00 – 18:00	Valore atteso e varianza, stimatori di valore atteso e varianza, varianza della media, leggi di distribuzione di probabilità Incertezza tipo e sua valutazione di categoria A e di categoria B
11 marzo 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: correzione dell'effetto di carico nella misura di corrente, misura di tensione AC con multimetro digitale, generalità sul metodo volt-amperometrico di misura delle resistenze, misura volt-amperometrica di resistenza (inserzione voltmetrica a valle)
12 marzo 2024	14:30 – 16:00	Varianza di una funzione di variabili aleatorie, legge di propagazione dell'incertezza, incertezza composta per funzioni di misura elementari, incertezza estesa
13 marzo 2024	14:30 – 16:00	Importanza dei sistemi di unità di misura e della tracciabilità delle misure, grandezze fondamentali e derivate, sistemi di unità di misura, la CGPM, il Sistema Internazionale
18 marzo 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: misura volt-amperometrica di resistenza (inserzione voltmetrica a monte), presentazione dell'oscilloscopio digitale (DSO), impostazioni dell'asse verticale
19 marzo 2024	16:00 – 18:00	I campioni di misura, riferibilità e tracciabilità, campioni di frequenza, tensione, resistenza e corrente
20 marzo 2024	16:00 – 18:00	Il multimetro digitale, tipi di convertitori analogico-digitale, il convertitore a doppia rampa, principio di funzionamento, schema pratico
25 marzo 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: specifiche di incertezza dell'asse verticale del DSO, misura del valore efficace di tensioni sinusoidali e in onda quadra, impostazioni dell'asse orizzontale

26 marzo 2024	16:00 – 18:00	Misura per conteggio degli intervalli temporali, risoluzione, portata, incertezza ed errori dovuti alle non idealità del convertitore a doppia rampa, il convertitore a rampe multiple
27 marzo 2024	16:00 – 18:00	Il voltmetro e l'amperometro multi-portata, schemi pratici, effetti di carico
3 aprile 2024	16:00 – 18:00	L'ohmmetro multi-portata, misure di resistenza a 4 fili, specifiche di un multimetro digitale, modello dell'errore nel multimetro, specifiche globali di incertezza
8 aprile 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: specifiche di incertezza dell'asse orizzontale del DSO, misura di frequenza e di duty cycle, presentazione della sonda compensata, procedura di compensazione della sonda
9 aprile 2024	16:00 – 18:00	Sospensione attività didattica (Open DIET)
10 aprile 2024	16:00 – 18:00	Cause dei disturbi nei multimetri, reiezione dei disturbi impulsivi e dei disturbi armonici Misura di grandezze alternate, valore efficace, convertitori TRMS, convertitori a valor medio
15 aprile 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: generalità su risposta in frequenza e risposta impulsiva di filtri, modalità di misura della risposta in frequenza, generalità sul filtro passa basso RC, visualizzazione con il DSO della risposta in frequenza di un filtro RC, misura del modulo della risposta in frequenza di un filtro passa basso RC alla frequenza di taglio
16 aprile 2024	16:00 – 18:00	Convertitori a valore di picco Generalità sull'oscilloscopio, l'oscilloscopio digitale (DSO), la conversione analogico-digitale, il teorema del campionamento
17 aprile 2024	16:00 – 18:00	La ricostruzione seno cardinale, circuito sample and hold I convertitori utilizzati negli oscilloscopi digitali Convertitori a inseguimento e ad approssimazioni successive e loro incertezza
22 aprile 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: misura con il DSO della fase della risposta in frequenza di un filtro passa basso RC alla frequenza di taglio, misura del tempo di salita della risposta al gradino di un filtro passa basso RC, generalità sul filtro RLC
23 aprile 2024	16:00 – 18:00	Convertitore flash e relativa incertezza, convertitori in parallelo Struttura dell'oscilloscopio digitale, il blocco di ingresso dell'oscilloscopio digitale, amplificatore, banda passante, attenuatore
24 aprile 2024	16:00 – 18:00	Partitore compensato, configurazione di ingresso single-ended La sonda dell'oscilloscopio, le sonde compensate, banda passante
29 aprile 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: visualizzazione con il DSO della risposta in frequenza di un filtro RLC, misura con il DSO della pendenza in banda soppressa del modulo della risposta in frequenza di un filtro RLC, visualizzazione con il DSO della risposta al gradino di un filtro RLC, misura della frequenza e sovra-elongazione del ringing nella risposta al gradino di un filtro RLC sotto-smorzato, impostazioni del trigger
30 aprile 2024	16:00 – 18:00	Tempo di salita dell'oscilloscopio, memoria di acquisizione, display dell'oscilloscopio, modalità di sincronizzazione e trigger, il circuito di trigger

6 maggio 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: Introduzione al software LabVIEW, block diagram e control panel, semplici elaborazioni sui dati, i sub-VI e le waveform in LabVIEW, generazione e visualizzazione di un segnale periodico
7 maggio 2024	16:00 – 18:00	Modalità di campionamento in tempo reale, posizione orizzontale, pre e post-trigger, frequenza di campionamento, aliasing nell'oscilloscopio digitale, campionamento in tempo equivalente sequenziale e casuale, il circuito interpolatore fine Incertezza sull'asse verticale dell'oscilloscopio digitale
8 maggio 2024	16:00 – 18:00	Incertezza sull'asse orizzontale dell'oscilloscopio digitale Generalità sui sistemi automatici di misura, strumentazione "stand-alone" e da sistema, le schede DAQ, architetture e standard di interfacciamento dei sistemi ATE con strumentazione da banco e su scheda, il software di supporto per i sistemi ATE e gli standard software, lo strumento virtuale
13 maggio 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: Visualizzazione, misura di frequenza e ampiezza efficace di un segnale periodico tramite LabVIEW, acquisizione di una tensione periodica da scheda DAQ, misura di frequenza e ampiezza efficace e valutazione della relativa incertezza
14 maggio 2024	16:00 – 18:00	Analisi Monte Carlo dell'incertezza di misura Analisi spettrale dei segnali, analizzatore di spettro digitale e differenze rispetto a quello analogico, DTFT e DFT
15 maggio 2024	16:00 – 18:00	Proprietà della DFT, FFT, leakage nella DFT, finestre rettangolare, Hann, flat-top, specifiche di un analizzatore di spettro digitale
20 maggio 2024	10:00 – 13:00	Esercitazione: utilizzo della funzione FFT dell'oscilloscopio digitale per eseguire semplici operazioni di analisi spettrale Esempio di valutazione Monte Carlo dell'incertezza di una misura indiretta tramite LabVIEW
21 maggio 2024	16:00 – 18:00	Incertezza di misura di un analizzatore di spettro digitale, numero di bit effettivi I contatori di frequenza, misura diretta di frequenza, risoluzione di misura, incertezza di misura
22 maggio 2024	16:00 – 18:00	Misura diretta di periodo, risoluzione di misura, incertezza di misura, scelta ottimale del livello di trigger nei frequenzimetri, contatori reciproci, misura di intervalli temporali, risoluzione di misura, il circuito interpolatore fine, misura di sfasamenti, risoluzione e incertezza di misura, misura di frequenze elevate
27 maggio 2024	10:00 – 14:00	Prova pratica