DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

LABORATORIO DI ELETTRONICA

LABORATORY OF ELECTRONICS

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	**CdS**	FISICA (LM-17)
Codice	8066208	**Canale**	Unico
CFU	8	**Lingua**	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

PAOLO CAMARRI

CODOCENTE

GIULIO AIELLI

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	**OBIETTIVI FORMATIVI** Il corso di studio è volto a fornire una preparazione avanzata di Elettronica, con particolare rilievo sull'analisi dei segnali a tempo discreto. Gli obiettivi formativi prevedono la conoscenza delle tecniche di elaborazione di segnali digitali nel dominio del tempo, della frequenza e della variabile zeta, con lo scopo di progettare filtri digitali. **CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRENSIONE** Gli studenti devono avere una approfondita comprensione dello stato dell'arte nelle tecniche di elaborazione numerica dei segnali. Queste competenze sono ottenute tramite lezioni frontali e attivita' di laboratorio. La verifica delle conoscenze e della capacita' di comprensione viene fatta tramite prove orali. **CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE** Gli studenti devono essere in grado di identificare gli elementi essenziali di un problema fisico anche complesso nel campo dell'elaborazione di segnali e saperlo modellizzare, effettuando le approssimazioni necessarie. Devono essere in grado di adattare modelli esistenti a dati sperimentali nuovi. **AUTONOMIA DI GIUDIZIO.** Gli studenti devono essere in grado di effettuare autonomamente esperimenti, calcoli oppure simulazioni numeriche. Sviluppare la capacità di eseguire ricerche bibliografiche e di selezionare i materiali interessanti, in particolare sul WEB. Devono essere in grado di assumersi le responsabilità sia della programmazione di progetti che della gestione di strutture. Devono avere raggiunto un adeguato livello di consapevolezza etico nella ricerca e nell'ambito delle attività professionali. Tali capacita' sono acquisite durante lo studio per la preparazione degli esami, approfondendo alcuni argomenti specifici anche con la consultazione di articoli su riviste. **ABILITÀ COMUNICATIVE** Gli studenti devono essere in grado di lavorare in un gruppo durante le attività di laboratorio didattico. Devono essere in grado di presentare la propria ricerca o i risultati di una ricerca bibliografica ad un pubblico sia di specialisti che di profani.

	CAPACITA' DI APPRENDIMENTO. Gli studenti devono essere in grado di affrontare nuove problematiche attraverso uno studio autonomo. Devono acquisire la capacità di proseguire gli studi in un dottorato di ricerca o altre scuole di specializzazione.
English	LEARNING OUTCOMES The course of study aims at providing advanced preparation in electronics, with particular emphasis on the analysis of discrete time signals. The educational objectives include knowledge of digital signal processing techniques in the time domain, frequency and z variable, with the aim of designing digital filters. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING. Students must have an in-depth understanding of the state of the art in digital signal processing techniques. These skills are obtained through lectures and laboratory activities. The verification of knowledge and understanding is done through oral tests. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING. Students must be able to identify the essential elements of a complex physical problem in the field of signal processing and know how to model them, making the necessary approximations. They must be able to adapt existing models to new experimental data. MAKING JUDGEMENTS. Students must be able to independently perform experiments, calculations or numerical simulations. They must develop the ability to perform bibliographic searches and to select interesting materials, in particular on the WEB. They must be able to take responsibility for both project planning and facility management. Having achieved an adequate level of ethical awareness in research and in professional activities. These skills are acquired during the study for the preparation of the exams, deepening some specific topics also with the consultation of articles in journals. COMMUNICATION SKILLS. Students must be able to work in a group during the lab sessions. They must be able to present their research or the results of a bibliographic search to an audience of both specialists and laymen. LEARNING SKILLS. Students must be able to tackle new problems through independent study. They must acquire the ability to continue their studies in a research doctorate or other graduate schools.

PREREQUISITI

Italiano	Analisi Matematica 1 e 2, Fisica Generale 1 e 2, Laboratorio di Fisica 1 e 2
English	Calculus 1 and 2, General Physics 1 and 2, Physics Laboratory 1 and 2

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Linee di trasmissione ideali e reali. Analisi di circuiti nei domini di Laplace e di Fourier. Segnali periodici. Segnali a tempo discreto. DTFT e criterio di Nyquist-Shannon. Trasformata zeta. Elaborazione a tempo discreto di segnali a tempo continuo. Analisi di

	sistemi lineari nel dominio delle trasformate. Strutture per sistemi digitali. Tecniche di progetto di filtri digitali. DFT e tecniche ottimizzate di calcolo (FFT). Approfondimenti sui filtri analogici: filtri di Butterworth, di Chebyshev ed ellittici. Tecniche di progetto di filtri a tempo discreto IIR: invarianza all'impulso e trasformazione bilineare. Tecniche di progetto di filtri a tempo discreto FIR: metodo delle finestre, fase lineare generalizzata; cenni sui filtri equiripple. Segnali aleatori e processi stocastici. Media d'insieme: valore medio, varianza, correlazione, covarianza. Medie temporali e processi ergodici. Spettro di densità di potenza e teorema di Wiener-Khinchin. Potenza di rumore in uscita. Calcolo della potenza media tramite la trasformata zeta. Approfondimento sui segnali aleatori a tempo discreto: relazioni ingresso-uscita oer sistemi lineari tempo-invarianti. Stimatori non distorti e consistenti (esempio: rumore bianco). Proprietà del periodogramma per la stima dello spettro di densità di potenza di segnali aleatori: stima con distorsione, non distorsione asintotica; stima non consistente. Periodogramma medio: procedimento di Bartlett. Calcolo della media dei periodogrammi usando la DFT. Esempio di analisi del periodogramma. La conduzione elettrica nei materiali: conduzione nei metalli, conducibilità nei gas , conduzione nei liquidi (ionica). Conduzione nei semiconduttori (drogaggio). Conduzione nei dielettrici. Le giunzioni nei dispositivi elettronici. I diodi: storia dei diodi, diodi raddrizzatori (potenza, grande superficie e bassa frequenza, tipo Zener), diodi RF (alta frequenza tipo Shottky). Reti periodiche: attenuazione, diffusione, propagazione. Il Rumore – tipi. Rumore indotto: gabbia di Faraday e schermo magnetico. Rumore auto indotto: rumore di corrente di modo comune. Rumore intrinseco: termico, shot e giunzione, 1/f. Strategie di riduzione del rumore. Amplificatori (storia, dalle valvole, al BJT): polarizzazione e dinamica, amplificatori in generale, amplificatori controreazionati, amplificatori operazionali. Sistemi di selezione data driven GA. Sistemi triggerless. Sistemi di trigger multi livello. Sistemi di trigger topologici. Reti digitali riprogrammabili (FPGA). Reti neuromorfe per calcolo analogico GA. Cenni sulle neuroreti biologiche. Esempi di reti neuromorfe. La Weighting Resistive Matrix. Problemi di frontiera nel trattamento dei dati in tempo reale. Esperienza di laboratorio: studio della risposta in frequenza di un circuito con maglie LC reali e modellazione mediante software di simulazione circuitale SYMETRIX.
English	Ideal and real transmission lines. Circuit analysis in the Laplace and Fourier domains. Periodic signals. Discrete-time signals. DTFT and the Nyquist-Shannon criterion. Zeta transform. Discrete-time processing of time-continuous signals. Transform analysis of linear systems. Structures for digital systems. Digital-filter design techniques. The DFT and optimized computation techniques (FFT). In-depth study of analog filters: Butterworth, Chebyshev, and elliptic filters. Design techniques for discrete-time IIR filters: impulse invariance and the bilinear transformation. Design techniques for discrete-time FIR

	filters: the window method, generalized linear phase; an introduction to equiripple filters. Random signals and stochastic processes. Ensemble averages: mean value, variance, correlation, and covariance. Time averages and ergodic processes. Power spectral density and the Wiener-Khinchin theorem. Output noise power. Calculating average power using the z-transform. Further study of discrete-time random signals: input-output relationships for linear time-invariant (LTI) systems. Unbiased and consistent estimators (e.g., white noise). Properties of the periodogram for estimating the power spectral density of random signals: biased estimation, asymptotic unbiasedness, and inconsistency. Averaged periodogram: Bartlett's method. Computing the average of periodograms using the DFT. Example of periodogram analysis. Electrical conduction in materials: conduction in metals, conductivity in gases, and conduction in liquids (ionic). Conduction in semiconductors (doping). Conduction in dielectrics. Junctions in electronic devices. Diodes: history of diodes, rectifier diodes (power, large-area/low-frequency, Zener types), and RF (high-frequency) diodes, such as Schottky diodes. Periodic networks: attenuation, scattering, and propagation. Noise – types. Induced noise: Faraday cages and magnetic shielding. Self-induced noise: common-mode current noise. Intrinsic noise: thermal, shot, junction, and 1/f noise. Noise reduction strategies. Amplifiers (history, from vacuum tubes to BJTs): biasing and dynamic range, general amplifiers, feedback amplifiers, and operational amplifiers. Data-driven selection systems. Triggerless systems. Multi-level trigger systems. Topological trigger systems. Reprogrammable digital networks (FPGAs). Neuromorphic networks for analog computing. An overview of biological neural networks. Examples of neuromorphic networks. The resistive weighting matrix. Frontier challenges in real-time data processing. Laboratory experience: study of the frequency response of a circuit with real LC meshes and modeling using SYMETRIX circuit simulation software.

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	R.E. Collin; "Foundations for microwave engineering", ed. McGraw Hill A.V. Oppenheim, R.W. Schafer; "Discrete-time signal processing", ed. Prentice Hall J. Millman, C. C. Halkias; "Microelettronica", ed. Bollati Boringhieri
English	*R.E. Collin; "Foundations for microwave engineering", ed. McGraw Hill* *A.V. Oppenheim, R.W. Schafer; "Discrete-time signal processing", ed. Prentice Hall* *J. Millman, C. C. Halkias; "Microelettronica", ed. Bollati Boringhieri*

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Lezioni frontali in aula e attività di laboratorio.
English	Lectures and lab sessions

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Frequenza facoltativa alle lezioni frontali, frequenza obbligatoria alle sessioni di laboratorio.
English	Attendance at the lectures is not compulsory. Attendance at the lab sessions is compulsory.

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☐ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica

☐ Valutazione in itinere ☐ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Prof. Paolo Camarri
Prof. Giulio Aielli

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La prova di esame sarà valutata secondo i seguenti criteri: Non idoneo: importanti carenze e/o inaccuratezza nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi, frequenti generalizzazioni. 18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili imperfezioni; capacità di analisi, sintesi e autonomia di giudizio sufficienti. 21-23: Conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; Capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica coerente. 24-26: Discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso. 27-29: Conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi, sintesi. Buona autonomia di giudizio. 30-30L: Ottimo livello di conoscenza e comprensione degli argomenti. Notevoli capacità di analisi e di sintesi e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale.
English	The examination will be evaluated according to the following criteria: Ineligible: major deficencies and/or inaccuracy in knowledge and understanding of topics; limited analytical and synthesis skills, frequent generalizations. 18-20: knowledge and understanding of topics only sufficient with possible imperfections; analytical skills, synthesis and judgment autonomy just sufficient.

	21-23: knowledge and understanding of topics at a basic level; Correct analysis and synthesis skills with consistent logical reasoning. 24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analytical and synthesis skills with rigorous arguments. 27-29: Ccomplete knowledge and understanding of the topics; remarkable ability of analysis, synthesis. Good autonomy of judgment. 30-30L: Excellent level of knowledge and understanding of topics. Remarkable ability of analysis and synthesis and autonomy of judgment. Arguments expressed in an original way