

<b>Corso di Laurea</b> <b>Magistrale in Fisica</b>		<b>Insegnamento / Course</b> <b>Sensori, Rivelatori ed Elettronica Associata / Sensors, Detectors ad Associated Electronics</b>		
<b>SSD: FIS/01</b>	<b>CFU/Credits: 8</b>	<b>Anno di corso: I/II</b>	<b>Lezione (ore): 64</b>	<b>Esercitazione (ore): 0</b>
<b>Obiettivi formativi:</b> Introdurre lo studente alla comprensione del funzionamento di base, alla formazione ed al trattamento del segnale di varie tipologie di sensori e di rivelatori. Attraverso il metodo della trasformata di Laplace si studierà il comportamento dinamico dei sensori e dell'elettronica utilizzata per il trattamento dei segnali. Verranno fornite conoscenze di elettronica analogica e digitale utili alla analisi ed alla progettazione di sistemi di misura basati su sensori e rivelatori.		<b>Training objectives:</b> Introduce the student to the understanding of the basic functioning, to the development and the conditioning of various types of sensors and detectors. Using the Laplace transform method the dynamic behavior of the sensors and electronics used for the treatment of the signals will be studied. Knowledge of analog and digital electronics will be provided, useful for the analysis and design of measurement systems based on sensors and detectors.		

**Programma sintetico (sillabo):**

1) Introduzione ai sistemi e segnali: Teorema di Shannon-Nyquists, sistemi statici e dinamici, sistemi SISO e MIMO e rappresentazione ingresso-uscita. Sistemi stazionari e non, risposta libera e forzata, funzione di trasferimento.

2) Trasformate di Laplace: definizione e teoremi fondamentali, funzione di trasferimento, poli e zeri, metodi di anti-trasformazione, cancellazione polo-zero, poli dominanti, cenni sulla stabilità dei sistemi. Studio dei sistemi del primo e secondo ordine, teorema della risposta in frequenza, diagrammi di *Bode*, *Nyquist* e *Nichols*. Equazioni costitutive di elementi circuitali. Esempi ed applicazioni anche con l'utilizzo di MATLAB: circuito RC-CR, amplificatore passabanda, formatori  $CR(RC)^n$  partitore RC compensato, sonda dell'oscilloscopio, *base-line restoration* e *tail cancelation*.

3) Algebra di Boole e circuiti digitali: teoremi principali, forme SOP e POS, ridondanza e minimizzazione, codifiche elettriche dei segnali digitali, strutture *push-pull*, esempi e sintesi di reti combinatoriali, reti sequenziali, Flip-Flop, registri a scorrimento, automi a stati finiti e sintesi di circuiti sequenziali. Azzardi temporali, introduzione ai dispositivi logici programmabili.

4) Sensori e trattamento dei loro segnali: Introduzione ai sensori e classificazione, caratteristiche statiche e dinamiche, sensori primari, l'accelerometro ed il giroscopio. Micro-Electro-Mechanical System (MEMS). Sensori resistivi: potenziometri, estensimetri, sensori di temperatura: RTD, termistori, *magnetoresistor*. Sensori di luce, igrometri. Misure di resistenza, Il circuito di Kelvin. Metodi di misura per deflessione. Misura differenziale, doppia lettura. Divisori di tensione. Errore di carico sul potenziometro. Ponte di Wheatstone: metodi di azzeramento e metodo di deflessione. Sensori capacitivi: capacitori variabili, sensori induttivi: richiamo sui circuiti magnetici. Trasformatori differenziali linearmente variabili (LVDT). Trattamento dei segnali: divisori di tensione. Ponti di Wheatstone e pseudo-ponti. L'amplificatore a frequenza portante e demodulazione coerente del segnale.

5) Rivelatori a semiconduttori: struttura dei rivelatori a semiconduttore, formazione del segnale, interazione con fotoni, fluttuazioni della carica, il fattore di Fano, volume del sensore, dopaggio, sensori a pixel e a strip, raccolta della carica, dipendenza temporale del segnale, teorema di Ramo, raccolta di cariche in presenza di trappole, risoluzione sulla posizione, rumore, materiali per rivelatori a semiconduttori. Tecnologie dei dispositivi a semiconduttori Fotodiodi a semiconduttore: fotodiodi *PN* e *PIN*, diodi a valanga, modalità geiger, fotomoltiplicatori al silicio: modalità di funzionamento, formazione del segnale, guadagno, efficienza, *cross-talk* ottico, *after pulsing*, misure di PDE, linearità, dipendenza dalla temperatura, proprietà temporali, resistenza alla radiazione, misure di parametri, esempi di SiPM.

6) Fotomoltiplicatori: tipologie di fotomoltiplicatori, formazione del segnale, misure di guadagno ed efficienza

7) Rivelatori a gas: principi di funzionamento, camere a ionizzazione, a filo, RPC, micropattern (GEM, MICROMEAS)

**Contents:**

1) Introduction to systems and signals: Shannon-Nyquists theorem, static and dynamic systems, SISO and MIMO systems and input-output representation. Stationary and non-stationary systems, free and forced response, transfer function.

2) Laplace transforms: definition and fundamental theorems, transfer function, poles and zeros, anti-transformation methods, pole-zero cancellation, dominant poles, hints on the stability of systems. Study of first and second order systems, frequency response theorem, Bode, Nyquist and Nichols diagrams. Constitutive equations of circuit elements. Examples and applications also with the use of MATLAB: RC-CR circuit, bandpass amplifier, CR (RC)<sup>n</sup> shapers, compensated RC divider, oscilloscope probe, base-line restoration and tail cancelation.

3) Boolean algebra and digital circuits: main theorems, SOP and POS forms, redundancy and minimization, electrical coding of digital signals, push-pull structures, examples and synthesis of combinatorial networks, sequential networks, Flip-Flop, shift registers, finite states machines and synthesis of sequential circuits. Temporal hazards, introduction to programmable logic devices.

4) Sensors and conditioning of their signals: Introduction to sensors and their classification, static and dynamic characteristics, primary sensors, the accelerometer and the gyroscope. Micro-Electro-Mechanical System (MEMS). Resistive sensors: potentiometers, strain gages, temperature sensors: RTD, thermistors, magnetoresistors. light sensors, hygrometers. Resistance measurements, The Kelvin circuit. Measurement methods for deflection. Differential measurement, double reading. Voltage dividers. Loading error on the potentiometer. Wheatstone bridge: zeroing methods and deflection methods. Capacitive sensors: variable capacitors, inductive sensors: recall on magnetic circuits. Linearly Variable Differential Transformers (LVDT). Signal processing: voltage dividers. Wheatstone bridges and pseudo-bridges. The carrier frequency amplifier and coherent signal demodulation.

5) Semiconductor detectors: structure of semiconductor detectors, signal formation, interaction with photons, charge fluctuations, the Fano factor, sensor volume, doping, pixel and strip sensors, charge collection, signal time dependence, Ramo theorem, charge collection in the presence of traps, position resolution, noise, materials for semiconductor detectors. Semiconductor device technologies Semiconductor photodiodes: PN and PIN photodiodes, avalanche diodes, geiger mode, silicon photomultipliers: operating modes, signal formation, gain, efficiency, optical cross-talk, after pulsing, PDE measurements, linearity, temperature dependence, temporal

properties, radiation resistance, parameter measurements, examples of SiPM. 6) Photomultipliers: types of photomultipliers, signal formation, gain measurements and efficiency 7) Gas detectors: operating principles, ionization chambers, wire chambers, RPC, micropattern (GEM, MICROMEAS).

**Esami propedeutici / Propaedeutic exams: -**

**Prerequisiti / Prerequisites: -**

**Finalità e modalità di verifica dell'apprendimento**

Esame orale, consistente nella discussione di alcuni esercizi assegnati e nella presentazione orale di argomenti svolti durante le lezioni frontali del corso.

Il corso può essere erogato in lingua inglese in presenza di studenti stranieri (es. Erasmus) / The course can be given in English in presence of foreign students (e.g. Erasmus)