



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

Università degli Studi di Brescia

Corso di Studio	05821 - INGEGNERIA ELETTRONICA
Insegnamento	750603 - ELETTRONICA PER STRUMENTAZIONE, SENSORI E MICROSISTEMI
Anno Offerta	2025/2026
Responsabile	FERRARI VITTORIO
Periodo	Secondo Semestre
Sede	BRESCIA
Modalità didattica	Convenzionale
Lingua	ita

ATTIVITÀ FORMATIVA DI RIFERIMENTO

Corso di Studio	05821 - INGEGNERIA ELETTRONICA
Insegnamento	750603 - ELETTRONICA PER STRUMENTAZIONE, SENSORI E MICROSISTEMI
Titolare	FERRARI VITTORIO

CAMPI

LINGUA INSEGNAMENTO

Italiano, con materiale didattico prevalentemente in Inglese.

CONTENUTI

La prima parte del corso tratta tecniche e circuiti per l'estrazione e l'elaborazione dell'informazione nella strumentazione elettronica, con particolare riferimento all'interfacciamento di sensori. Sono affrontati l'amplificazione del segnale e la riduzione dei contributi indesiderati di disturbo dovuti a rumore, interferenza e grandezze di influenza, nell'ottica complessiva di massimizzare il rapporto segnale-disturbo.

La seconda parte del corso riguarda sensori e microsistemi elettromeccanici (MEMS) basati su

microfabbricazione in silicio. Sono affrontati effetti di trasduzione, tecnologie costruttive, e interfacciamento a circuiti elettronici di estrazione e trattamento del segnale. Sono presentati metodi di sviluppo e esempi di dispositivi e sistemi, applicazioni attuali in ambito industriale e recenti tendenze di ricerca, tra cui energy harvesting per alimentazione di sensori e microsistemi wireless, sensori per Internet of Things, sistemi wearable per parametri fisiologici.

LIBRI DI TESTO/LIBRI CONSIGLIATI

Materiale didattico predisposto e reso disponibile dal docente on line durante il corso.

Testi di consultazione:

- R. Pallás-Areny, J. G. Webster, "Sensors and Signal Conditioning" 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2001.
 - S. D. Senturia, "Microsystem Design", Kluwer Academic Publishers, 2001.
-

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso mira a fornire conoscenze dettagliate e sviluppare capacità progettuali su circuiti e tecniche elettroniche per la lettura e il trattamento dei segnali nella strumentazione, e su sensori e microsistemi.

Al termine dell'insegnamento lo studente acquisisce le capacità di:

- conoscere tecniche e circuiti per l'estrazione e l'elaborazione dell'informazione nella strumentazione elettronica;
 - comprendere problematiche e soluzioni per l'amplificazione del segnale e la riduzione dei contributi indesiderati di disturbo dovuti a rumore, interferenza e grandezze di influenza;
 - analizzare struttura e funzionamento e applicare tecniche di modellizzazione di sensori e microsistemi elettromeccanici (MEMS);
- e l'abilità di:
- applicare le conoscenze acquisite al progetto di sistemi composti da sensori e/o MEMS e relativi circuiti elettronici di interfaccia e lettura dei segnali, con riferimento a differenti campi applicativi, e documentare e presentare efficacemente i risultati ottenuti.
-

PREREQUISITI

Circuiti e sistemi elettronici analogici, digitali e misti, nozioni di teoria dei segnali, nozioni di fisica dei semiconduttori.

METODI DIDATTICI

Seguendo un approccio orientato alla progettazione, il corso comprende una parte di didattica frontale sui contenuti generali, affiancata da un'attività sperimentale e progettuale di laboratorio in cui gli studenti concorderanno col docente l'approfondimento di temi specifici di loro interesse, tipicamente organizzandosi autonomamente in piccoli gruppi di lavoro.

ALTRÉ INFORMAZIONI

MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Prova scritta sull'intero programma, seguita dalla redazione di una relazione sul progetto svolto e dalla sua esposizione in forma orale.

La prova scritta della durata di 2 ore è composta da tre domande aperte di tipologia analoga a quella di esempi rappresentativi messi anticipatamente a disposizione degli studenti. Il voto massimo è 32/30. Il progetto prevede attività sperimentale, redazione di una relazione sui risultati ottenuti e loro presentazione in una esposizione orale. Il voto massimo è 30/30.

Il punteggio finale deriva dalla media ponderata tra voto della prova scritta e voto della relazione di progetto e sua esposizione. Prova scritta e presentazione del progetto possono essere svolte in appelli diversi.

Le modalità di verifica sono le medesime per studenti frequentanti e non frequentanti.

PROGRAMMA ESTESO

1. Concetti generali

Misura, informazione, segnale. Disturbi, rumore, interferenza. Grandezze di influenza.

2. Amplificazione, rumore, interferenza

Amplificazione DC e AC. Rumore elettronico nei circuiti, rapporto segnale/rumore. Interferenze elettromagnetiche (EMI) e loro contenimento nei collegamenti cablati.

3. Tecniche di estrazione dell'informazione e miglioramento del rapporto segnale-disturbo

Modulazione e demodulazione. Rilevazione sensibile alla fase. Tecnica lock-in. Filtraggio. Tecniche di media (averaging). Correlazione.

4. Richiami su sensori, attuatori e sistemi di trasduzione

Caratteristiche e ruolo in differenti applicazioni, dai principi di trasduzione alla realizzazione di sistemi e microsistemi basati su sensori e attuatori. Tecnologie tradizionali e avanzate.

5. Tecnologie di microlavorazione e MEMS

Tecnologie di microfabbricazione e microlavorazione del silicio (silicon micromachining): sviluppo e evoluzione di microdispositivi e MEMS (MicroElectroMechanical Systems). Il silicio come materiale per sensori: proprietà strutturali, elettriche e meccaniche. Microlavorazione di superficie e di volume (surface e bulk micromachining). Processi di fabbricazione: deposizione, litografia, attacco chimico e fisico (etching) e definizione di geometrie, assemblaggio e incapsulamento (bonding e packaging).

6. Progetto di sensori e MEMS

Effetti fisici utilizzati in sensori e MEMS: piezoresistivo, piezoelettrico, piroelettrico, termoelettrico, capacitivo-resistivo-induttivo e a variazione di impedenza. Configurazioni di sensori: ad anello aperto, retroazionate ad anello chiuso (servo), risonanti. Metodi di ausilio alla progettazione: descrizione analitica, elasticità nei solidi, modellizzazione mediante analogie elettromeccaniche e elettrotermiche, simulazioni numeriche a elementi finiti, progettazione assistita al calcolatore. Esempio di utilizzo di strumenti di progettazione software applicato a un processo tecnologico per sensori e MEMS.

Analisi e soluzioni di sviluppo di sensori e MEMS, per esempio per la misura di microdeformazione (strain), pressione, forza, accelerazione, inclinazione, massa, proprietà di film e di liquidi.

7. Sistemi e applicazioni

Sensori e circuiti elettronici di interfaccia e elaborazione del segnale: sistemi a blocchi discreti, microsistemi integrati, sensori intelligenti (smart). Sensori a uscita cablata e senza cavo (wireless). Interfacce di uscita e collegamento tra sensori. Alimentazione di sensori: sorgenti di alimentazione

esauribili, ricaricabili, alimentazione tramite tecniche di recupero di energia dall'ambiente (energy harvesting), sensori autonomi.

8. Attività sperimentale e progettuale di laboratorio

Approfondimento di temi specifici riguardanti circuiti elettronici di interfaccia per sensori e microsistemi, MEMS e strumentazione attraverso implementazioni hardware e/o software.

DOCENTI ASSOCIATI

FERRARI MARCO

NASTRO ALESSANDRO
