



## UNIVERSITÀ DI PISA SISTEMI SENSORIALI

---

**ALESSANDRO TOGNETTI**

Anno accademico 2021/22  
CdS INGEGNERIA BIOMEDICA  
Codice 613II  
CFU 12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
BIOSENSORI	ING-INF/06	LEZIONI	60	LUCIA ARCARISI ALESSANDRO TOGNETTI
SENSI NATURALI E ARTIFICIALI	ING-INF/06	LEZIONI	60	NICOLA CARBONARO

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

##### **Modulo BIOSENSORI**

Al termine del corso lo studente avrà acquisito conoscenze su:

- aspetti di carattere generale e terminologia in ambito sensoristico (e.g. taratura, sensibilità, incertezza, non linearità, parametri dinamici nel dominio del tempo e della frequenza)
- principali sensori utilizzati negli apparecchi biomedicali (principio fisico, modellistica, problematiche, circuiti elettronici di misura, principi di pre-elaborazione del segnale)
- elettrodi per la misura di biopotenziali (modellistica, interfacce polarizzabili e non, impedenza ed effetto sulla misura del segnale)
- sensori fisici (temperatura, forza/deformazione), sensori chimici (pH, ioni in soluzione, gas disciolti), biosensori (glucosio, biomarker cardiaci)

##### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

Al termine del corso lo/la studente avrà acquisito conoscenze su:

- sistemi sensoriali e neuronali con scopi di modellazione, replica con dispositivi artificiali e sostituzione con opportune protesi
- modelli matematici, utili sia in ambito medico che ingegneristico, che descrivano la genesi del segnale sensoriale e nervoso, e la sua percezione (i.e. psicofisica)
- nozioni di base necessarie alla progettazione di protesi sostitutive e di dispositivi di ausilio

#### Modalità di verifica delle conoscenze

##### **Modulo BIOSENSORI**

La verifica delle conoscenze sarà oggetto della valutazione dell'elaborato scritto, in cui lo studente dovrà dimostrare di essere in grado di analizzare problemi sia di tipo pratico sia di tipo teorico, e della prova orale in cui lo studente dovrà dimostrare un'approfondita conoscenza dei concetti trattati durante il corso.

##### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

La verifica delle conoscenze sarà oggetto della valutazione dell'elaborato scritto in cui lo/la studente dovrà dimostrare di essere in grado di esporre i contenuti scientifici del corso in forma di saggio breve e di rispondere a quesiti sui contenuti tecnici del corso. Nella prova orale lo/la studente dovrà dimostrare un'approfondita conoscenza dei concetti trattati durante il corso.

#### Capacità

##### **Modulo BIOSENSORI**

Al termine del corso lo studente saprà:

- scegliere un sensore per una data applicazione sulla base delle caratteristiche metrologiche statiche e dinamiche
- caratterizzare e tarare un sensore dal punto di vista statico e dinamico
- valutare l'utilizzo di una data tipologia di bioelettrodo per un'applicazione biomedica
- valutare l'utilizzo di una data tipologia sensore per un'applicazione biomedica
- dimensionare l'elettronica di lettura di un sensore in funzione di determinate specifiche
- analizzare le fonti di errore e le incertezze di una misura



## UNIVERSITÀ DI PISA

### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

Al termine del corso lo/la studente:

- avrà conoscenze sulle principali soluzioni tecnologiche per recuperare in parte il senso del tatto mediante protesi
- avrà conoscenze sulle principali soluzioni tecnologiche per recuperare in parte il senso dell'udito mediante protesi
- avrà conoscenze sulle principali soluzioni tecnologiche per recuperare in parte il senso della vista mediante protesi
- avrà conoscenze sui principali metodi psicofisici per valutare la soglia percettiva del soggetto

#### *Modalità di verifica delle capacità*

### **Modulo BIOSENSORI**

Sia durante le lezioni sia in sede di esame finale sono proposti allo studente esercizi e quesiti che richiedono l'utilizzo delle capacità acquisite.

### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

Sia durante le lezioni sia in sede di esame finale sono proposti allo/alla studente quesiti, esercizi o progetti che richiedono l'utilizzo delle capacità acquisite.

#### *Comportamenti*

### **Modulo BIOSENSORI**

- Lo studente potrà saper sviluppare e caratterizzare un sensore biomedico e/o biolettrodo, anche basato su principi diversi da quelli affrontati nel corso
- Lo studente potrà saper gestire il progetto di uno strumento biomedico per quanto riguarda il blocco di interazione col paziente (sensore e/o elettrodo, front-end analogico, pre-elaborazione segnale)

### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

Lo/la studente potrà:

- saper elaborare una relazione tecnico-scientifica su temi di fisiologia dei sensi fisici
- saper elaborare una relazione tecnico-scientifica su temi di sensi fisici artificiali
- saper progettare un sistema di acquisizione, elaborazione, rappresentazione di dati di sensori fisici
- comprendere le principali sfide tecnico-scientifiche per realizzare sistemi protesici in grado di conseguire il parziale recupero di funzioni sensoriali

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

### **Modulo BIOSENSORI**

La verifica dei comportamenti avviene attraverso la discussione nella prova orale.

### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

La verifica dei comportamenti avviene attraverso la prova scritta e attraverso la discussione nella prova orale.

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

### **Modulo BIOSENSORI**

Conoscenze di base di elettronica, automatica e principi di chimica

### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

Conoscenze di analisi matematica e fisica, fondamenti di elettronica ed elettrotecnica, principi di chimica e fisiologia.

#### *Indicazioni metodologiche*

### **Modulo BIOSENSORI**

- lezioni frontali con ausilio slide
- esercitazioni, anche pratiche con l'ausilio di codice Matlab
- ricevimento su appuntamento

### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

- lezioni frontali, esercitazioni e seminari con ausilio di slide
- ricevimento su appuntamento

#### *Programma (contenuti dell'insegnamento)*

### **Modulo BIOSENSORI**

#### **SENSORI E MISURE IN CAMPO BIOMEDICO**

- Schema generale di un sistema di misura biomedico
- Classificazione delle misure biomediche



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- Parametri di interesse biomedico
- Errore nelle misure biomediche
- Schema generale di un sensore
- Modello matematico del sensore
- La taratura del sensore le caratteristiche metrologiche in regime stazionario
- Caratteristiche metrologiche in regime dinamico (regime del tempo e della frequenza)
- Calibrazione

### BIO-ELETTRODI

- Celle elettrochimiche
- Classificazione elettrodi
- Elettrodi di riferimento
- Potenziale di Equilibrio di Nernst
- Interfaccia elettrodo/elettrolita: Modelli di Helmholtz, Gouy-Chapman e Stern
- Elettrodi polarizzabili e non polarizzabili
- Sovra-potenziale dovuto al trasferimento elettronico (legge di Butler-Volmer)
- Sovra-potenziale dovuto al trasporto di massa
- Impedenza di Warburg
- Impedenza di elettrodo complessiva
- Macro elettrodi
- Risposta a forme d'onda complesse
- Risposta a impulsi di corrente e tensione
- Disturbi nella misura dei biopotenziali
- Effetto impedenza elettrodo sulla misura di ECG

### SENSORI FISICI

- **Sensori di temperatura**
- Misure di temperatura
- Analogia elettro-termica ed errori di misura
- Trasduttori termoresistivi (RTD, termistori)
- Circuiti di lettura (due e quattro fili)
- Ponte di Wheatstone
- Misura indiretta della portata cardiaca per termo-diluizione
  
- **Sensori di forza/deformazione**
- Sensori piezoresistivi ed estensimetri
- Caratteristiche resistenza/deformazione
- Circuiti di lettura
- Compensazione effetti della temperatura
- Misura di forza tramite sensori FSR

### SENSORI CHIMICI

- Sensori potenziometrici
- Misura di pH tramite elettrodo metallo/ossido del metallo (e.g.)
- Misura di pH tramite elettrodi a vetro
- Circuiti di lettura per sensori potenziometrici
- Elettrodi per sodio e potassio
- Elettrodi a membrana ione-selettiva
- Misura di gas disciolti
- Metodi amperometrici ed elettrodo di Clark.

### BIOSENSORI

- Introduzione: "recettori" biologici associati a trasduttori chimico/fisici
- Biosensori catalitici
- Biosensori catalitici potenziometrici
- Cinetica di Michaelis-Menten
- Cinetica elettrodo a enzima
- Biosensore per glucosio
- Biosensori ad affinità e tecniche di lettura ottiche (TIRF, SPR)
- Tecniche di recente sviluppo in ambito cardiovascolare

### Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI

#### INTRODUZIONE E PSICOFISICA

- Introduzione al corso
- Obiettivi del corso
- Piano del corso, materiale didattico e modalità di esame
- Introduzione ai sensi, psicofisica e metodi di indagine neuroscientifica
- Leggi di Weber-Fechner-Stevens
- Rassegna parziale di tecniche di elettrofisiologia



## UNIVERSITÀ DI PISA

### FISIOLOGIA DEL TATTO E TATTO ARTIFICIALE

- Il sistema somatosensoriale
- Sensazioni epicritiche e protopatiche
- Classi principali dei meccanorecettori: corpuscoli di Merkel, Meissner, Ruffini e Pacini
- Terminazioni nervose libere e loro funzione
- Adattamento dei recettori tattili
- Proprietà spaziali dei recettori tattili
- Senso del tatto artificiale
- Codici tradizionali di tatto artificiale
- Tecniche di analisi e classificazione dei segnali dai sensori di tatto artificiale
- Recupero sensoriale tattile mediante neuroprotesi di arto superiore

### FISIOLOGIA DELLA VISTA E VISTA ARTIFICIALE

- Introduzione al sistema visivo, visione come processo complesso, luce visibile, contrasti e illusioni ottiche, effetto del contesto, effetto dell'attenzione
- L'occhio e la retina, funzione di focalizzazione e trasduzione, sistema ottico
- Funzione di trasduzione, struttura della retina
- Fovea e punto cieco, evoluzione convergente dell'occhio e retina senza punto cieco
- Coni e bastoncelli: differenze anatomiche e funzionali, topologia della retina
- Fototrasduzione
- Elaborazione del segnale da parte della retina, campi recettivi gangliari
- Cellule orizzontali e amacrine e antagonismo centro-periferia, via orizzontali e campi circolari
- Cellule M e P
- Immagini retiniche e dimostrazione disco ottico, proiezione al collicolo, pretetto e CGL, dal CGL alla corteccia visiva, via magnocellulare e parvocellulare, corteccia visiva primaria e blocchi elementari, moduli funzionali della V1
- Protesi retiniche: epiretiniche, subretiniche e supracoroidali
- Protesi con stimolazione del nervo ottico e del corpo genicolato laterale
- Protesi corticali. Sensori, circuiteria elettrica, matrice di microelettrodi, strutture di contenimento. Limiti e performance: miglioramento tramite elaborazione delle immagini. Estrazione di caratteristiche, elaborazioni aumentate

### FISIOLOGIA DELL'UDITO E UDITO ARTIFICIALE

- Introduzione all'udito
- Orecchio esterno
- Orecchio medio
- Orecchio interno
- Coclea e organo del Corti
- Cellule ciliate esterne e interne
- Localizzazione dei suoni
- Percorso dello stimolo fino alla corteccia cerebrale
- Protesi uditive: 5 casi di studio

### Bibliografia e materiale didattico

#### **Modulo BIOSENSORI**

Materiale didattico: dispense di lezioni ed esercitazioni scaricabili dal sito del corso (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/biosensori>)  
Testo suggerito per la consultazione "Transducers for biomedical measurements : principles and applications", Richard S.C. Cobbold

#### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**

Materiale didattico: dispense di lezioni ed esercitazioni scaricabili dalla pagina del corso  
(<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/sensi-naturali-e-artificiali>)

Testi suggeriti per la consultazione:

- Sensation & perception di Jeremy M. Wolfe et al.
- Sensation and perception di E. Bruce Goldstein

### Indicazioni per non frequentanti

Non ci sono variazioni per studenti non frequentanti.

### Modalità d'esame

#### **Modulo BIOSENSORI**

- Esame scritto con esercizi di carattere pratico e quesiti teorici
- Esame orale orientato alla verifica delle nozioni teoriche di base
- Si accede all'orale avendo superato lo scritto con un voto di almeno 18/30

#### **Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI**



## **UNIVERSITÀ DI PISA**

---

- Esame scritto con quesiti teorici e risposta in forma di saggio breve ed esercizi di carattere pratico.
- Si accede all'orale avendo superato lo scritto con un voto di almeno 18/30
- Esame orale orientato alla verifica delle nozioni teoriche di base

*Ultimo aggiornamento 16/07/2021 12:39*