UNIVERSITÀ DI PISA

SISTEMI SENSORIALI

NICOLA CARBONARO

Anno accademico	2022/23
CdS	INGEGNERIA BIOMEDICA
Codice	613II
CFU	12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
BIOSENSORI	ING-INF/06	LEZIONI	60	LUCIA ARCARISI ALEJANDRO LUIS CALLARA 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 analizzare problemi sia di tipo pratico sia di tipo teorico, e della prova orale in cui lo studente dovrà dimonstrare 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

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 bioelettrodo, 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
- 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 dinamiche (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
- Macroelettrodi
- 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 iono-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

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

UNIVERSITÀ DI PISA

Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI

- 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 29/07/2022 10:17