



UNIVERSITÀ DI PISA SISTEMI SENSORIALI

ALESSANDRO TOGNETTI

Anno accademico 2016/17
CdS INGEGNERIA BIOMEDICA
Codice 613II
CFU 12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
BIOSENSORI	ING-INF/06	LEZIONI	60	ALESSANDRO TOGNETTI
SENSI NATURALI E ARTIFICIALI	ING-INF/06	LEZIONI	60	CALOGERO MARIA ODDO

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
- utilizzo di software di progettazione grafica per l'acquisizione e l'elaborazione di dati da sistemi sensoriali

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 di tipo pratico, 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/tesina/progetto 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 oppure di progettare graficamente l'acquisizione/elaborazione di dati di sistemi sensoriali. 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
- saprà utilizzare il metodo di Eulero per discretizzare equazioni differenziali, con particolare riferimento al modello di neurone artificiale di Izhikevich
- saprà utilizzare il software National Instruments LabVIEW, con particolare riferimento al modulo Core 1, per acquisire, elaborare, rappresentare e memorizzare dati di sistemi sensoriali
- saprà utilizzare il software Matlab per acquisire ed elaborare immagini

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 e memorizzazione 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 o progettino o tesina, 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

Corequisiti

Modulo BIOSENSORI

Utile lo studio parallelo dei fenomeni bioelettrici e della strumentazione biomedica

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



UNIVERSITÀ DI PISA

- lezioni frontali e seminari con ausilio slide
- esercitazioni, anche pratiche con l'ausilio di codice Labview
- 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
- Macrolettrodi
- 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



UNIVERSITÀ DI PISA

- 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
- Codici neuromorfi di tatto artificiale
- Recupero sensoriale tattile mediante neuroprotesi di arto superiore
- Presentazione di 3 casi di studio: "Direct neural sensory feedback and control of a prosthetic arm", "Restoring natural sensory feedback in real-time bidirectional hand prostheses", "A neural interface provides long-term stable natural touch perception"

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
- Complessivo della via visiva, agnosie visive
- 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
- Visione polarizzata nell'*Octopus vulgaris*
- 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
- Proseguimento delle vie magno e parvi, movimento e corteccia parietale, visione tridimensionale, riconoscimento oggetti, coordinazione tra le diverse vie, collegamento nel sistema visivo
- Immagini digitali e a colori
- Operazioni puntuali (monadiche), conversione in livelli di grigio
- Scurimento e schiarimento, istogramma, trasformate fondamentali
- Equalizzazione dell'istogramma, sogliatura e posterizzazione
- Operazione puntuali su due immagini (diadiche), sfondo verde e immagini ad elevata definizione, sottrazione e stima dello sfondo
- Operatori spaziali, correlazione, convoluzione ed effetti di bordo, smoothing e kernel fondamentali, individuazione dei contorni, gradiente (ampiezza e direzione), differenza di gaussiane e rumore
- Individuazione dei contorni di Canny, maschere laplaciane e laplaciano di gaussiana, riconoscimento di template
- Operatori morfologici
- Esempio del Justin robot
- Caratteristiche delle regioni, sogliatura OTSU, locali e Niblack
- Classificazione tramite colore e cluster K-mean, etichettatura e vicini 4- e 8-connessi
- MSA (algoritmo dello studente motivato)
- Segmentazione basata su grafo
- Rappresentazione concisa: bounding boxes, momenti ed ellissi equivalenti
- Caratteristiche invarianti e rappresentazione a bordo
- Trasformata di Hough, matrice di accumulazione e soglia
- Caratteristiche puntuali
- 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
- Tecnologie assistive aptiche per protesi sensoriali visive



UNIVERSITÀ DI PISA

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
- Modello di Jeffress
- Tecnologie assistive aptiche per protesi sensoriali uditive
- Protesi uditive: 5 casi di studio
- Cenni al sistema vestibolare

PROGRAMMAZIONE GRAFICA PER SISTEMI SENSORIALI

- Introduzione a LabVIEW
- Ambiente di progettazione
- Parti di uno strumento virtuale (VI)
- Pannello frontale
- Diagramma a blocchi
- Nodi e terminali in LabVIEW
- Help e modalità di ricerca in LabVIEW
- Selezione degli strumenti e modalità di connessione di blocchi in LabVIEW
- Risorse in LabVIEW
- Comunicazione mediante UDP
- Gestione del flusso dei dati in LabVIEW
- Tecniche di soluzione problemi e debug in LabVIEW
- Dati indefiniti e inattesi
- Comunicazione mediante UDP
- Progettazione di un semplice VI in LabVIEW
- Tipi di dato in LabVIEW
- Documentazione del codice LabVIEW
- Cicli di while
- Cicli di for
- Temporizzazione di VI in LabVIEW
- Implementazione del modello di neurone artificiale di Izhikevich mediante metodo di Eulero
- Shift register in LabVIEW
- Grafici in LabVIEW
- Strutture case, incluse tipologie enum e error
- Tunnel di input e di output
- Sviluppo di applicazioni modulari in LabVIEW
- Strutture dati in LabVIEW: array
- Funzioni principali con gli array in LabVIEW
- Polimorfismi
- Strutture dati in LabVIEW: cluster
- Gestione delle risorse e dei file in LabVIEW
- Risolvere problematiche di flusso dei dati in LabVIEW
- Variabili locali

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 attivata sulla piattaforma Moodle (<http://elearn.ing.unipi.it/enrol/index.php?id=891>)

Testi suggeriti per la consultazione:

- Principles of Neural Science, E.R. Kandel et al. Part V, Perception
- Robotics, Vision and Control, P. Corke (Ch. 11-14)
- Selezione di articoli scientifici fornita dal docente

Indicazioni per non frequentanti

Non ci sono variazioni per studenti non frequentanti.



UNIVERSITÀ DI PISA

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

- Esame scritto con quesiti teorici e risposta in forma di saggio breve ed esercizi di carattere pratico. A scelta dello/della studente, la prova scritta può essere sostituita da un progettino o una tesina sui temi del corso.
- Si accede all'orale avendo superato lo scritto con un voto di almeno 12/30
- Esame orale orientato alla verifica delle nozioni teoriche di base

Pagina web del corso

<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/biosensori>

Altri riferimenti web

Modulo SENSI NATURALI E ARTIFICIALI

Pagina del corso attivata sulla piattaforma Moodle: <http://elearn.ing.unipi.it/enrol/index.php?id=891>

Ultimo aggiornamento 27/07/2017 09:21