



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## BIROBOTICA E SISTEMI COMPLESSI

**ALBERTO MAZZONI**

Anno accademico 2023/24  
CdS FISICA  
Codice 392BB  
CFU 9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
BIROBOTICA E SISTEMI COMPLESSI	FIS/03	LEZIONI	54	ALBERTO MAZZONI STEFANO PALAGI ELEONORA RUSSO

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

Il corso è articolato in tre parti:

##### 1. Systems Neuroengineering (18 h) docente: Alberto Mazzoni

Questa prima parte del corso è dedicata all'analisi e alla simulazione di sistemi biologici a fini bioingegneristici. Il punto di partenza sarà un blocco consistente dedicato all'analisi dei segnali biologici (con un focus su quelli neurali), che giungerà ad affrontare temi di machine learning e teoria dell'informazione avanzati, con esempio di applicazioni bioingegneristiche in particolare nell'ambito del controllo motorio e della percezione sensoriale. La seconda metà del corso si focalizzerà sulla simulazione delle dinamiche neurali, a livello funzionale per singoli neuroni e microcircuiti e quindi a livello morfologico, sempre affiancando aspetti teorici e applicazioni nel campo bioingegneristico e biomedico in particolare. Verranno presentati modelli di disfunzioni e patologie e di terapie di neuromodulazione.

##### 2. Theories of mind (18 h) - docente: Eleonora Russo

L'obiettivo di questa parte del corso è di fornire una panoramica introduttiva su alcune delle più importanti teorie di neuroscienze computazionali. Nelle lezioni discuteremo diverse modalità di codifica dell'informazione da parte di popolazioni di neuroni e di come la loro interazione collettiva possa supportare l'esecuzione (attraverso l'evoluzione di sistemi dinamici) di alcune funzioni cognitive. Tra gli argomenti trattati ci sarà, ad esempio, come diversi tipi di memoria (a breve e lungo termine) possano essere implementati in una rete neurale; come le informazioni immagazzinate modifichino la nostra percezione di stimoli esterni; e come le passate esperienze aggiornino il nostro modello mentale del mondo esterno e, di conseguenza, le nostre azioni.

##### 3. Bioinspired microrobots & active matter (18h) – docente: Stefano Palagi

L'obiettivo di questa parte del corso è fornire le seguenti competenze: saper discutere le principali sfide e i principali approcci della microrobotica; saper descrivere i fenomeni fisici che regolano il movimento e la vita a scala microscopiche e applicarli allo sviluppo di microrobot bioispirati; saper descrivere, analizzare e simulare sistemi stocastici, incluso il moto Browniano e il moto di particelle attive Browniane; saper discutere i meccanismi alla base del moto e dei comportamenti collettivi delle particelle auto-propellenti (particelle attive); saper presentare il concetto di materia attiva.

#### Modalità di verifica delle conoscenze

Esame finale con selezione di un approfondimento da parte dello studente

#### Capacità

Non ci sono moduli hands-on

#### Modalità di verifica delle capacità

Non si applica

#### Comportamenti

Non è previsto l'insegnamento di comportamenti

#### Modalità di verifica dei comportamenti

Non si applica



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- **System Neuroengineering**

*Prerequisiti:* Fisica II ed Equazioni differenziali necessarie - Sistemi dinamici e teoria delle reti utili

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

- **System Neuroengineering**

*Contenuti:* Esempi di segnali neurali: LFP, EEG, EMG, MEG, fMRI, Calcium Imaging, Spikes, e non neurali: ECG, cinematica, respirazione, speech. Entropia, Informazione di Shannon, Informazione congiunta Ridondanza, Curse of dimensionality, Bias, vari metodi di bias reduction (+ eventualmente rate coding vs temporal coding)

Modelli di singolo neurone: proprietà dinamiche generali, cellular automata, la famiglia degli integrate and fire, Izhikevich, Hodgkin e Huxley, modelli morfologici. Modelli di rete: emergenza delle oscillazioni, modelli di rete sensoriale corticale, modelli di talamo e transizione di fase, modelli morfologici di segnale extracellulare. Verranno studiate le proprietà di elaborazione dell'informazione dei vari regimi dinamici delle reti in entrata (elaborazione degli stimoli sensoriali) e in entrata (controllo sensomotorio), alla luce di applicazioni biomedicali come la diagnosi di neuropatie e il design di terapie elettroceutiche. Modelli computazionali di neurostimolazione elettrica. Il corso prevede simulazioni della struttura di fasci di fibre neuronali e della propagazione del segnale elettrico attraverso di esse (con software Neuron), combinate con la simulazione di elettrodi di stimolazione (con software FEM). I risultati dei modelli saranno confrontati con i risultati funzionali ottenuti con neuroprotesi e altre terapie di neurostimolazione. La parte finale del corso sarà dedicata a studi computazionali e sperimentali sulla stimolazione neurale a ultrasuoni.

- **Bioinspired microrobots & active matter**

In questa parte del corso introdurremo la *microrobotica*, discutendo le sfide relative alla miniaturizzazione e allo scalare degli effetti fisici (specialmente in fluidodinamica). Analizzeremo le soluzioni per lo sviluppo di microrobot capaci di muoversi in mezzi liquidi, basate sull'imitazione del movimento dei microorganismi. Affronteremo dunque la descrizione e simulazione dei *sistemi stocastici*, incluso il moto Browniano. Studieremo quindi lo sviluppo di *particelle auto-propellenti* e la loro simulazione come *particelle Browniane attive*. Introdurremo infine il concetto di *materia attiva* e ne discuteremo le caratteristiche principali e il ruolo nello sviluppo di microrobot bioispirati avanzati per applicazioni biomedicali.

*Contenuti:* Microrobotica: definizione, sfide, approcci; leggi di scala; bioispirazione: locomozione e tassi cellulari; microrobot bioispirati; sistemi stocastici e moto Browniano; foresi; micro/nano-motori e particelle auto-foretiche; comportamenti collettivi e materia attiva.

### Bibliografia e materiale didattico

Per ogni modulo saranno forniti articoli scientifici di approfondimento.

### Indicazioni per non frequentanti

Tutte le lezioni saranno registrate e disponibili online. Tutte le presentazioni e tutti gli articoli di approfondimento verranno condivisi online.

### Modalità d'esame

L'esame consiste nella presentazione in forma di seminario breve di uno degli articoli scientifici di approfondimenti, seguita da alcune domande teoriche su tutto il programma del corso

*Ultimo aggiornamento 14/02/2024 10:18*