UNIVERSITÀ DI PISA

BIOROBOTICA E SISTEMI COMPLESSI

ALBERTO MAZZONI

Academic year	2022/23
Course	FISICA
Code	392BB
Credits	9

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
BIOROBOTICA E SISTEMI COMPLESSI	FIS/03	LEZIONI	54	ALBERTO MAZZONI STEFANO PALAGI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze
Il corso è articolato in due parti:

1. **Active matter and smart materials: from cell motility to micro-robots (27 h) – docente: Alessandro Lucantonio**

Il concetto centrale del corso è quello di “attività”, riferita ai materiali (*smart materials* o “materiali attivi”) e alla materia (*active matter* o “materia attiva”). Nell’ambito dei materiali, ne denota la capacità di deformarsi in risposta a stimoli di natura non meccanica (temperatura, campi elettromagnetici, umidità, reazioni chimiche), cioè in assenza di applicazione diretta di forze esterne. Con materia attiva si intende invece un sistema costituito da un elevato numero di componenti in grado di muoversi individualmente sfruttando una fonte di energia dando luogo a fenomeni collettivi complessi. Manifestazioni naturali del concetto di attività sono presenti, ad esempio, nei fenomeni di motilità cellulare.
Dal punto di vista della modellazione fisico-matematica, forniremo una descrizione teorica piuttosto generale della relazione fra attività e cambiamento di forma negli *smart materials*. Traendo ispirazione da sistemi naturali, studieremo come tale relazione può essere sfruttata nella realizzazione di sistemi di attuazione a diverse scale spaziali. In particolare, analizzeremo come è possibile attuare comportamenti complessi (navigazione, locomozione con gambe) in sistemi naturali e nelle rispettive repliche artificiali.
Fra le applicazioni presenteremo alcune tecnologie di attuazione basate su *smart materials* alla scala macroscopica e l’impiego di biomateriali attivi in medicina rigenerativa. Infine vedremo come lo studio dell’attività cellulare, della micro-motilità e della fisica alla microscala forniscono principi di design di micro-attuatori e micro-robot bio-ispirati.

2. **Systems Bioengineering (27 h) docente: Alberto Mazzoni**

Questa seconda 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.

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

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- **Physics and geometry of smart materials** (11h)

Prerequisiti: Fisica I, Analisi Matematica I e II, Elementi di geometria delle superfici

- **Cell biophysics and micro-motility** (6h)

Prerequisiti: Analisi Matematica, Geometria, Meccanica Classica, Metodi Matematici

- **Scaling laws for micro-nano robotics** (6h)

Prerequisiti: Fisica I e fisica II, qualche cenno di fisica quantistica

- **Animal and robot locomotion** (4h)

Prerequisiti: Analisi Matematica, Geometria, Fisica I e II, cenni di Informatica.

- **Processing of biological signals** (10h)

Prerequisiti: Analisi Matematica I e II, Fisica II (necessari). Metodi Matematici per la Fisica I e Statistica (addizionali). Distribuzione di probabilità, termodinamica.

- **Oscillatori adattivi** (5h)

Prerequisiti: Fisica I, Analisi I e II

- **Computational Neuroscience: spiking neurons networks** (7h)

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

- **Modelli ibridi per lo sviluppo di interfacce neurali** (5h)

Prerequisiti: Equazioni di maxwell, Risoluzione numerica di equazioni

Programma (contenuti dell'insegnamento)

- **Physics and geometry of smart materials** (11h)

Contenuti: Introduzione alla fisica dei materiali attivi (naturali e sintetici). Un framework teorico unificato per lo studio del controllo della forma (*shape morphing*) di materiali attivi: concetto di metrica e suo controllo. Esempi di forme bio-ispirate. Un esempio di materiale attivo: gli idrogel (fisica e applicazioni). Il modulo include alcune lezioni sulle tecnologie di attuazione basate su smart e sulle applicazioni di biomateriali in medicina rigenerativa.

- **Cell biophysics and micro-motility** (6h)

Contenuti: Biofisica della motilità cellulare e batterica. Moto flagellare di cellule singole, fenomeni collettivi e bacterial turbulence. Applicazioni di controllo della forma per il movimento. Design di micro- e nano-strutture bio-ispirate.

- **Scaling laws for micro-nano robotics** (6h)

Contenuti: Gerarchia di forze nella microscala, numero di Reynolds e locomozione nei fluidi, scaling di forze magnetiche ed elettriche. Regole di design per MEMS e piccole strutture.

- **Animal and robot locomotion** (4h)

Contenuti: Principi di *embodied intelligence* e comportamenti emergenti. Ruolo del corpo (sensori, materiali, attuatori) nella definizione del comportamento di un agente (animale o robot). Corpi deformabili (smart o soft) per variare lo spazio delle fasi di un comportamento.

- **Processing of biological signals** (10h)

Contenuti: Esempi di segnali neurali: LFP, EEG, EMG, MEG, fMRI,Calcium Imaging,Spikes, e non neurali: ECG, cinematica, respirazione, speech. Analisi stazionaria e non-stazionaria di segnali univariati e multivariati (analisi di Fourier, Wavelets, Riduzione di dimensionalità). Decodifica tramite SVM, Classificatori ad Albero e Reti Neurali. Esempi di decodifica neurale tramite segnali periferici registrati dal nervo vago e segnali corticali provenienti da aree motorie-premotorie e somatosensoriali. Entropia, Informazione di Shannon, Informazione congiunta Ridondanza, Curse of dimensionality, Bias, vari metodi di bias reduction (+ eventualmente rate coding vs temporal coding)

- **Computational Neuroscience: spiking neurons networks** (12h)

Contenuti: 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 cortical, 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 ibridi per lo sviluppo di interfacce neurali** (5h)

Contenuti: 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.

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 30/08/2022 17:13