

## **TITOLO: Neuroscienze Computazionali Mod1 e Mod2**

<b>Docente:</b> Gianluca Baldassarre, PhD Prof. Michele Migliore	<b>Durata e crediti</b> <b>Formativi: ore/CFU</b> 48/3	<b>Settore disciplinare:</b> M-PSI/02
--	--	--

### **Scopo del corso (3-5 righe)**

The course aims to introduce students to the techniques for modeling real and artificial neurons, in order to study the processes of generation, transmission, and encoding of information in the central nervous system.

### **Module 1 scope:**

The main goal of this module is to develop in the students the capacity to use the specific language of this discipline, in order to study and understand the physiological and pathological processes and the mechanisms for generating, encoding, and transmitting signals in the central nervous system.

Il corso si propone di fornire agli studenti strumenti avanzati per la progettazione e l'implementazione di una simulazione di: (a) modelli di neuroni e reti neuronali realistici e dettagliati, allo scopo di studiare i processi di generazione, trasmissione, e codifica dell'informazione nel sistema nervoso centrale; (b) modelli "embodied" di sistemi cerebrali per lo studio della relazione cervello-comportamento.

### **Programma del Corso, Modulo 1/2 (Michele Migliore):**

The membrane equation. Passive characteristics and propagation of signals in dendrites. The input resistance of a neuron; the membrane time constant.

Download and use of 3D reconstructions of neurons; Introduction to the NEURON simulation environment. NEURON GUI, creation of a neuron and manipulation of the passive properties. Kinetics of activation and inactivation of ion channels.

The action potential dynamics.

Types of synapses and expressions for their conductance in the various cases.

The main types of ionic conductance (Na, KA, KDR), and their role for the generation of action potentials. The distribution of ion channels in the dendrites of the main types of pyramidal neurons, and their role in the modulation of the propagation of an action potential in the dendrites. Implementation of a realistic neuronal network.

Electroencephalographic rhythms, synchronization processes: the role of reciprocal connections and subthreshold oscillations.

Implementation of synaptic plasticity rules. Hopfield - Brody model for pattern recognition; associative memory.

Computational models to investigate brain diseases, drug effects, biochemical pathways, and external factor such as Electrical Fields at power lines frequency.

The Retina and the Olfactory Bulb: structure, neuron types, and principal circuits.

Caratteristiche passive e propagazione di segnali nei dendriti. Resistenza di input di un neurone; L'equazione di membrana; costante di tempo della membrana.

Download ed utilizzo di ricostruzioni 3D di neuroni; Introduzione all'ambiente di simulazione NEURON. Interfaccia grafica di NEURON, creazione di un neurone e manipolazione delle proprietà passive. Cinetiche di attivazione ed inattivazione dei canali ionici. La dinamica dei canali durante la generazione di un potenziale d'azione.

Tipi principali di conduttanze ioniche (Na, KA, KDR). Equazioni di Hodgkin-Huxley. Effetto dei vari canali ionici sui potenziali d'azione e la modulazione delle caratteristiche di firing.

Tipi di sinapsi ed espressioni per la conduttanza nei vari casi.

Implementazione di una rete di neuroni.

Il ruolo delle correnti ioniche nella modulazione della finestra d'integrazione temporale di segnali sinaptici. La distribuzione dei canali ionici nei dendriti dei tipi principali di neuroni piramidali, ed il loro ruolo nella modulazione della propagazione di un potenziale d'azione nei dendriti.

Modelli computazionali per la plasticità sinaptica. Implementazione di regole per la simulazione della plasticità sinaptica.

Ritmi Elettroencefalografici. Processi di sincronizzazione: ruolo dei collegamenti reciproci e delle oscillazioni subthreshold.

Memoria associativa. Il modello di Hopfield-Brody per il riconoscimento di patterns.

Modelli computazionali per simulare malattie mentali, effetti di droghe, pathways biochimici, e fattori esterni quali i campi elettrici a frequenza di rete.

La retina ed il bulbo olfattivo: struttura, tipi di neuroni e circuiti principali.

*Libri di testo consigliati:*

Christof Koch (1999). Biophysics of Computation. Oxford: Oxford University Press.

Lytton W.W. (2002). From Computer to Brain: Foundations of Computational Neuroscience. Berlin: Springer.

Johnston D., Wu S.M. (1995). Foundations of Cellular Neurophysiology. Cambridge, MA: The MIT Press.

### **Programma del Corso, Modulo 2/2 (Gianluca Baldassarre):**

Introduzione alle neuroscienze computazionali di sistema per lo studio della relazione cervello-comportamento.

Meccanismi neurali e funzioni adattive.

Il cervello come parte del sistema complesso adattivo cervello-corpo-ambiente: modelli embodied e situated; comportamento come fenomeno emergente; il ruolo centrale dell'apprendimento.

Neuroscienze computazionali di sistema per lo studio dello sviluppo motorio e cognitivo, e delle malattie neurodegenerative e mentali.

Modelli del neurone, modelli di reti di neuroni, modelli di sistema.

Cenni al linguaggio di programmazione Python. Uso di Python Notebook e Jupiter per la realizzazione di programmi commentati. Utilizzo di questi strumenti durante il corso per lo studio di reti neurali e modelli di sistema.

Dai modelli dettagliati dei neuroni ai modelli di neuroni "integrate and fire", "leaky units", e "firing rate".

Architetture di reti neurali: feedforward, recurrent.

Architetture di sistema: esempi (sistema limbico, sistema gangli della base-corteccia-cervelletto, sistemi corticali sensomotori).

Reti neurali e meccanismi di apprendimento non supervisionato.

Esempio di modello non supervisionato per lo studio dei sistemi percettivi.

Reti neurali e meccanismi di apprendimento supervisionato.

Esempio di modello di apprendimento supervisionato per lo studio del cervelletto.

Reti neurali e meccanismi di apprendimento per rinforzo: il modello attore critico.

Esempio di modello di apprendimento per rinforzo per lo studio dell'apprendimento motorio.

Modelli probabilistici ed interpretazione probabilistica di reti neurali a spike.

Esempio di modello di apprendimento associativo in reti neurali a spike per lo studio delle dinamiche corticali.

*Libri di testo consigliati:*

Anastasio, T. J. (2010). Tutorial on neural systems modelling. Sunderland, MA: Sinauer Associated.

Trappenberg T.P. (2010). Fundamentals of computational neuroscience. Oxford: Oxford

University Press.

Rolls E. T., Treves A. (1998). Neural networks and brain function. Oxford: Oxford University Press.

**Michele Migliore**

Telefono: 091-6809315

Email address: michele.migliore@cnr.it

**Gianluca Baldassarre**

Telefono: 06-44595231

Email address: gianluca.baldassarre@istc.cnr.it