

# **Fenomeni Bioelettrici parte II - programma dettagliato e materiale di studio AA 2018/2019**

Libro consigliato: "Bioelectromagnetism" (<http://www.bem.fi/book/book.pdf>)

Sito del corso: <http://www.centropiaggio.unipi.it/course/fenomeni-bioelettrici.html>

Nota: Il materiale di supporto presente sul sito (cuore, FES) riporta esempi grafici estratti dal libro.

Appunti del docente pubblicati sul sito del corso.

## **Cellule nervose e muscolari: aspetti generali**

Materiale:

- Libro Capitolo 2
- Nuove dispense De Rossi:  
[http://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/material/neuroni\\_e\\_reti\\_neurali.pdf](http://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/material/neuroni_e_reti_neurali.pdf)

Aspetti generali sulle cellule eccitabili (nervose, muscolari); Introduzione qualitativa alla anatomia/fisiologia delle cellule eccitabili: neurone, membrana cellulare, sinapsi, cellula muscolare, potenziale di azione e sua propagazione, periodo refrattario. Il neurone biologico e il neurone formale: analisi dei principali modelli matematici. Reti neurali e Sinapsi chimiche.

## **La membrana cellulare sottosoglia**

Materiale:

- Libro Capitolo 3
- Appunti fenomeni bioelettrici II – Sottosoglia  
(<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appunti-fenomeni-bioelettrici-ii-sottosoglia> )

Origine del potenziale di riposo; modello elettrico della membrana a riposo e quantificazione del potenziale di riposo (equazione di Goldman - Hodgkin - Kats, vista nella parte I).

Modello elettrico comprendente la capacità di membrana e i rami legati ai flussi ionici di Sodio, Potassio e Cloro (calcolo delle correnti ioniche e approfondimento sulle giuste polarità dei generatori); modello semplificato: capacità di membrana e unico ramo resistivo (parallelo tra le tre conduttanze identificate in precedenza).

Propagazione sotto-soglia nel caso stazionario e non stazionario (cable equation); curve intensità durata, tempo di chronaxy e corrente reobase.

## **Comportamento attivo della membrana**

Materiale

- Libro Capitolo 4
- Appunti fenomeni bioelettrici II – Soprasoglia (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appunti-fenomeni-bioelettrici-ii-soprasoglia> )
- Appunti fenomeni bioelettrici II - simulazione potenziale azione senza propagazione spaziale (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appunti-fenomeni-bioelettrici-ii-simulazione-potenziale-azione-senza-propagazione> )
- Appunti fenomeni bioelettrici II - simulazione generazione e propagazione del potenziale di azione (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appunti-fenomeni-bioelettrici-ii-simulazione-generazione-e-propagazione-del> )
- Simulazioni Matlab modello HH (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/simulazioni-matlab-modello-hh> )
- Dispensa Segnali extra-cellulari generati da neuroni accoppiati a micro-elettrodi (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/segnali-extra-cellulari-generati-da-neuroni-accoppiati-micro-elettrodi> )
- Seminario su Spontaneous and evoked neuronal dynamics in cultured networks coupled to micro-electrode arrays (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/spontaneous-and-evoked-neuronal-dynamics-cultured-networks-coupled-micro-electrode> )

Introduzione al comportamento attivo della membrana; equazione generale relativa alla propagazione del potenziale di azione; introduzione agli esperimenti di Hodgkin e Huxley (space clamp, voltage clamp).

Teoria di Hodgkin e Huxley: osservazioni sperimentali sulle caratteristiche corrente di membrana/tempo al variare del potenziale di membrana (regime di voltage clamp, gradini di tensione rispetto alla tensione di riposo); corrente relativa al sodio (iniziale) e al potassio (finale) e isolamento dei due contributi.

Modello di Hodgkin e Huxley (HH): equazioni relative alla conduttanza del potassio; equazioni relative alla conduttanza del sodio. Impulso nervoso che si propaga nello spazio: equazione generale con derivate in  $x$  e  $t$ , soluzione stazionaria considerando l'impulso che viaggia a velocità costante.

Esercitazioni Matlab (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/simulazioni-modello-hh> ) per il calcolo e la simulazione del modello di HH:

- 1) calcolo dei coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  ("alpha\_beta\_cond.m");
- 2) calcolo di  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $h$ , costanti di tempo e correnti ioniche applicando impulsi di clamping ("sim\_n.m");
- 3) Risoluzione equazione differenziale di Hodgkin-Huxley (metodo di Eulero) ed implementazione Matlab a temperatura fissata ("HH\_sim\_fin.m") e variabile ("HH\_sim\_fin\_T.m"). Simulazione dei risultati (potenziale azione, conduttanze e correnti ioniche, corrente totale) al variare delle condizioni operative (comportamento tutto o niente, dipendenza da intensità dello stimolo, forma del potenziale di azione, periodo refrattario).
- 4) Simulazione della propagazione del potenziale di azione su una fibra nervosa non mielinata ("HH\_sim\_fin\_propx.m").

## Sorgenti bioelettriche elementari

Materiale

- Libro Capitolo 8
- Appunti di Fenomeni Bioelettrici II - Sorgenti bioelettriche (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appunti-di-fenomeni-bioelettrici-ii-sorgenti-bioelettriche> )
- Simulazione Matlab potenziale esterno singola fibra isolata (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/potenziale-esterno-singola-fibra-isolata-simulazione-matlab> )

Aspetti generali sulle sorgenti bioelettriche elementari.

Modelli di sorgenti volumetriche di biopotenziali (monopolo e bipolo di corrente, libro 8.2.1 – 8.2.2).

Potenziale transmembrana generato da una singola fibra isolata e modello tripolare associato (metodo teorico per calcolare il campo elettrico associabile a una singola fibra muscolare o nervosa).

### **Stimolazione elettrica funzionale FES**

Materiale:

- Libro capitolo 21
- Appunti di Fenomeni Bioelettrici II – FES (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appunti-di-fenomeni-bioelettrici-ii-fes> )
- dispensa “applicazioni terapeutiche FES” (opzionale) <http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/applicazioni-terapeutiche-fes> )
- Materiale di supporto: FES (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/materiale-di-supporto-fes> )
- Calcoli Matlab: <http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/eseempio-matlab-funzione-attivazione-di-una-sorgente-puntiforme-distanza-h-da-una>

Stimolazione elettrica funzionale (FES) definizioni generali e cenno alle applicazioni; Modello elettrico della stimolazione: elettrodo monopolare posto a una certa distanza dall'assone; Modello elettrico per fibra mielinata e non. Sviluppo modello elettrico per una fibra non mielinata; calcolo della funzione di attivazione per una sorgente puntiforme (monopolo corrente, esempio matlab: <http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/eseempio-matlab-funzione-attivazione-di-una-sorgente-puntiforme-distanza-h-da-una>); relazioni intensità di corrente / distanza / diametro fibra; modello elettrico assone mielinato; grafici intensità vs. durata per la FES; Grafici Intensità vs. diametro fibra; Reclutamento muscolare e fatica.

### **Potenziali bioelettrici cardiaci**

Materiale

- Libro Capitolo 6
- libro paragrafi: 8.2.1, 8.2.2, 11.4
- appunti fenomeni II – CUORE (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appuntifenomeni-ii-cuore> )
- esercitazioni Matlab (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/matlab-ecg>)

- Materiale di supporto: cuore  
(<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/materiale-di-supporto-cuore> )

Aspetti anatomici e fisiologici del cuore; potenziale azione cellula miocardica e propagazione da una cellula alle adiacenti (sincizio); il sistema di conduzione; genesi schematica elettrocardiogramma; modello schematizzato di generazione (fronte di polarizzazione, potenziale esterno, corrente di membrana, depolarizzazione e ripolarizzazione).  
 Problema diretto e inverso; metodi risoluzione problema inverso; ECG a 12 derivazioni. teoria del vettore delle derivazioni (derivazioni unipolari e bipolari, libro 11.4).  
 Teoria del vettore delle derivazioni applicata al triangolo di Eintoven; ECG derivazioni standard e ricostruzione del dipolo risultante; Derivazioni a voltaggio aumentato e rappresentazione sul triangolo di Eintoven; formazione ECG e dipolo cardiaco nelle varie fasi del ciclo (depolarizzazione atriale, depolarizzazione ventricolare, ripolarizzazione ventricolare); derivazioni precordiali (dipolo cardiaco sul piano orizzontale); principi di diagnosi ECG.  
 Esercitazione Matlab (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/matlab-ecg>) su ricostruzione del dipolo cardiaco tramite misure ECG ("ECG\_eint.m") su derivazioni standard (dati estratti dal database Physionet) e tracciati di ECG a 12 derivazioni ("ECG\_12l.m")

## Pacing e defibrillazione cardiaca

### Materiale

- Libro capitolo 23 e capitolo 24
- libro paragrafi: 9.2, 9.3, 9.4, 9.5
- Appunti Fenomeni II - Stimolazione cardiaca  
(<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/appunti-fenomeni-ii-stimolazione-cardiaca> )

esercitazioni Matlab su calcolo Calcolo dei potenziali di membrana e delle correnti assiali interne e esterne nella defibrillazione (<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/defibrillazione-matlab-articolo-di-riferimento>)

Aspetti generali del Pacing cardiaco e della defibrillazione cardiaca. Modellistica pacing cardiaco: il cuore come un bi-dominio (modello continuo composto da uno spazio intracellulare e uno spazio extracellulare, che occupano lo stesso volume, e sono separati dalla membrana cellulare). Modello del pacing cardiaco applicato al bi-dominio cardiaco (equazioni e condizioni al contorno per sorgente di raggio  $a$ , corrente in funzione della distanza, corrente massima).  
 Modello defibrillazione cardiaca (singola fibra equivalente e monodimensionale alimentata agli estremi, condizioni al contorno, andamento del potenziale in funzione di  $x$ , non considerando l'effetto delle resistenze giunzionali. Modello Defibrillazione considerando l'effetto delle resistenze giunzionali.

## Potenziali bioelettrici muscolari

### Materiale:

- Dispensa potenziali bioelettrici muscolari  
(<http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/potenziali-bioelettrici-muscolari-0>)

Elettromiografia di superficie: generazione e misura del segnale; Potenziale transmembrana generato da una singola fibra isolata e modello tripolare associato (metodo teorico per calcolare il

campo elettrico associabile a una singola fibra muscolare). Calcolo del potenziale elettrico fibra isolata (File Matlab: <http://www.centropiaggio.unipi.it/course/material/potenziale-esterno-singola-fibra-isolata-calcolo-matlab-0> ) ; Interpretazione della misura EMG; relazione tra forza muscolare e ampiezza e frequenza di attivazione; considerazioni sull'importanza della condizione sperimentale; metodi di analisi ampiezza (AVR, RMS); normalizzazione rispetto a MVC; Interpretazione della misura tramite EMG.