

Introduzione all'acquisizione e all'elaborazione di alcuni segnali biomedici

Studio in vivo del corpo umano:

- Emissione spontanea di energia da parte del corpo: Elettrocardiogramma (ECG), elettromiogramma(EMG), elettroencefalogramma (EEG), magnetoencefalogramma (MEG)
- Interazione con energia inviata sul corpo: Radiografia (RX, TAC), Risonanza magnetica (RM), Ecografia
- Interazione mirata a specifiche strutture mediante mezzi di contrasto: Scintigrafia planare, SPECT e PET.

Contenuti della lezione di oggi

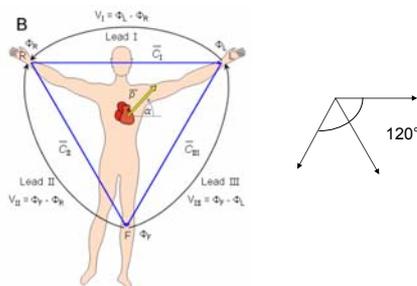
- Come nascono e come si misurano i segnali elettrocardiografici (ECG)
 - Come nascono e come si misurano i segnali elettroencefalografici (EEG)
 - Cosa è un'immagine di risonanza magnetica (RM)
- ↓
- Come si importano e si manipolano questi dati in Matlab

Il segnale ECG

- L'elettrocardiogramma (ECG) è la registrazione dell'**attività elettrica del cuore** che si verifica nel ciclo cardiaco
- La misurazione dell'attività elettrica si basa su un principio prettamente fisiologico: l'insorgere degli impulsi nel miocardio porta alla generazione di **differenze di potenziale** che variano nello spazio e nel tempo e che possono essere registrate tramite degli elettrodi
- L'attività elettrica del cuore può essere descritta, in prima approssimazione, da un **dipolo elettrico**. Gli elettrodi, misurando una differenza di potenziale sulla superficie corporea, rivelano la proiezione del vettore dipolo sulla propria congiungente.
- La congiungente tra i due elettrodi è chiamata **derivazione**

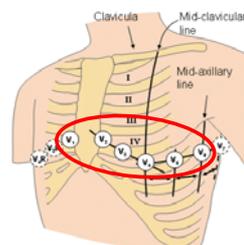
Derivazioni bipolari

- Triangolo di Einthoven → derivazioni bipolari o d'arto
- Questi potenziali misurano la proiezione sul piano frontale

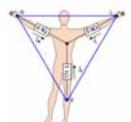


Derivazioni unipolari precordiali

- Elettrodi precordiali V1-V6
- Questi potenziali misurano proiezione sul piano perpendicolare

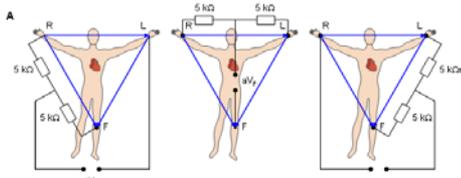


Essi misurano la differenza di potenziale tra l'elettrodo precordiale e il **terminale centrale di Wilson** dato dalla media dei potenziali posti alle estremità degli arti



V1 e V2 registrano prevalentemente l'attività del ventricolo destro.
V4, V5, V6 quella del ventricolo sinistro.
V3 è elettrodo di transizione.

Derivazioni unipolari periferiche aumentate

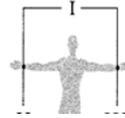


$$aVL = \frac{2V_L - V_F - V_R}{2} \quad \dots \quad \dots$$

Misurano sempre le proiezioni sul piano frontale

Non aggiungono informazioni rispetto alle derivazioni bipolari ma rendono più facilmente interpretabili alcune patologie mediche

Riassumendo: 9 elettrodi (+ pilotaggio attivo gamba dx) → 12 derivazioni



$$I = V_{LA} \\ II = V_{LL}$$

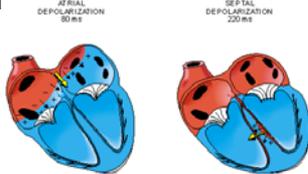


$$V_i = \phi_i - V_W \\ i = 1 \text{ to } 6$$

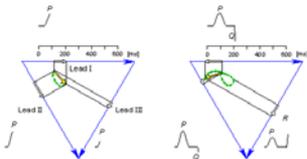


$$aVL = \frac{2V_{LA} - V_{RA} - V_{LL}}{2} \\ aVR = \frac{2V_{RA} - V_{LA} - V_{LL}}{2}$$

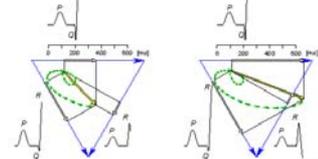
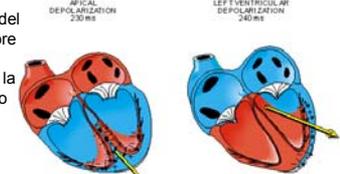
Lo stimolo parte dal nodo seno-atriale. Il vettore di depolarizzazione atriale che viaggia verso il nodo atrio-ventricolare



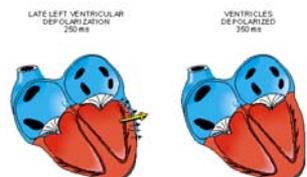
L'impulso arriva al setto ventricolare attraverso il fascio di His. Prevale la depolarizzazione della parte sinistra del ventricolo



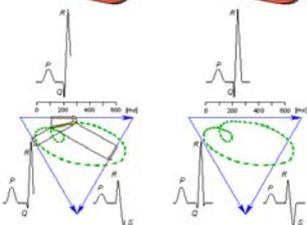
Lo stimolo ha raggiunto l'apice del cuore. Qui il vettore ha la massima estensione lungo la direzione del setto



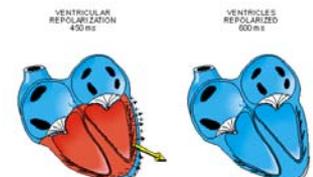
Lo stimolo ha raggiunto le pareti dei ventricoli. Anche qui la parte sinistra prevale su quella destra



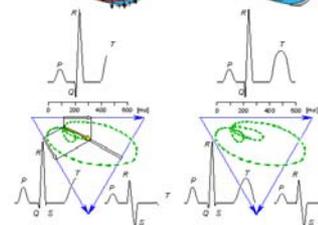
Ventricoli depolarizzati



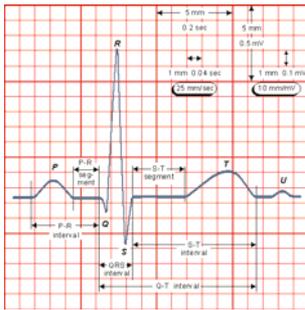
Ripolarizzazione ventricolare



Ventricoli ripolarizzati



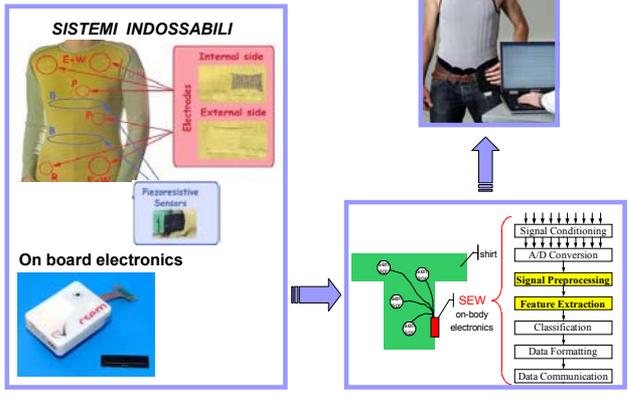
Ciclo cardiaco nel segnale ECG



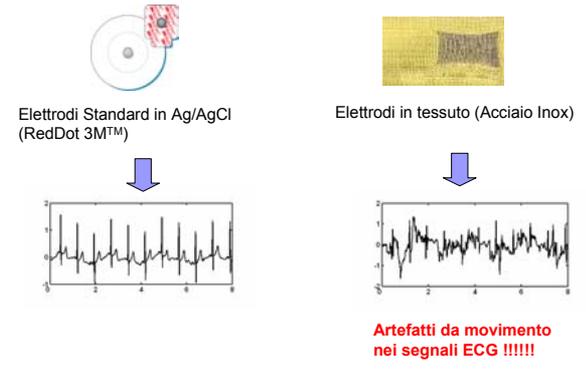
Dall'ECG riceviamo informazioni circa:

- **Frequenza cardiaca:** normale (60-90/min), tachicardia (oltre 90/min), bradicardia (<60/min)
- **origine dell'eccitamento** luogo di origine (seno atriale, nodo A-V, ventricolo ds. ventricolo sn);
- **disturbi del ritmo:** classificazione secondo il grado e la localizzazione in ritardo o blocco, blocco atrio-ventricolare, blocco di una branca o di rami del sistema di conduzione, associazione di più disturbi;
- **influenze extracardiache:** influenze di tipo vegetativo, metabolico, ormonale, squilibri elettrolitici, intossicazioni, farmaci;
- **infarto del miocardio:** indicazioni circa localizzazione, estensione e decorso.

Progetto MyHeart

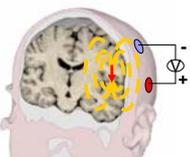


Problemi di acquisizione



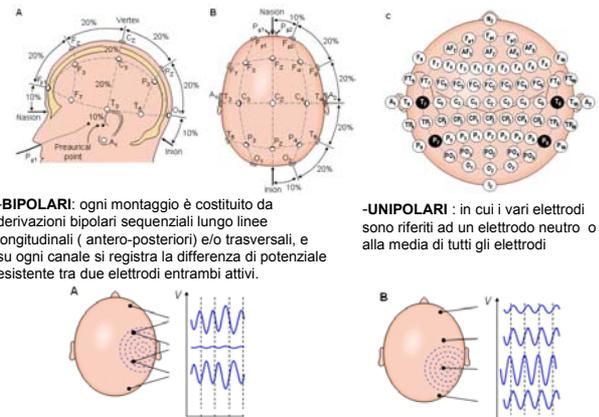
Elettroencefalogramma

- L'EEG registra l'attività cerebrale che ha sede sulla superficie dell'encefalo ed è generato prevalentemente dalla materia grigia della corteccia e, in minima parte, dalla materia grigia che si trova più in profondità
- L'EEG è una misura del flusso di corrente extracellulare che viene generato dalla somma delle attività di un elevato numero di neuroni disposti in corrispondenza dell'area corticale sottostante l'elettrodo



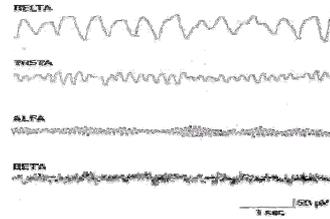
L'attività generata da un'area corticale viene ben descritta e modellata da un singolo **dipolo elettrico equivalente**. In questo modo, il potenziale elettrico prodotto, può essere calcolato in qualsiasi punto dello spazio circostante a patto di avere un modello del volume conduttore.

SISTEMA 10-20



Caratterizzazione dell'EEG in base alla frequenza e all'ampiezza

Ritmo	Frequenza	Ampiezza (μV)	Stati mentali, livelli di coscienza
delta	<4	50-250	Sonno profondo o se in veglia condizioni patologiche
theta	4-7	25-100	Sonno profondo
alfa	8-13	10-25	Rilassamento mentale, occhi chiusi
beta	14-30	1-20	Attenzione, concentrazione, aree corticali attivate
gamma	>30	1-20	Attenzione, concentrazione, aree corticali attivate

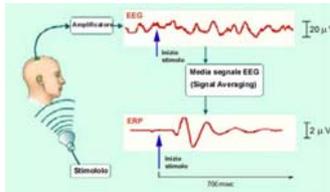


Amplificazione 10⁶



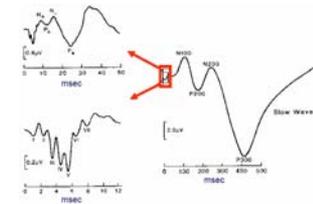
Potenziali evento correlati (Event Related Potentials, ERPs)

- Gli ERP riflettono l'attività sincrona (nel tempo) di un ampio numero di neuroni che rispondono alla presentazione di uno **stimolo** e che sono coinvolti nella sua elaborazione
- La registrazione di un potenziale evocato ha inizio circa 100 ms prima della presentazione dello stimolo e termina all'incirca 1000ms dopo
- la variazione che viene registrata è molto piccola e per rendere più facile la sua individuazione è necessario estrarre il segnale dal rumore di fondo ad esempio con la tecnica "averaging".



Componenti degli ERPs

- Le componenti che compongono un ERPs vengono distinte in N o P a seconda se il picco è rivolto verso l'alto o verso il basso e la latenza viene indicata con un numero. A differenza del segnale EEG spontaneo, gli ERPs danno una risposta allo stimolo di pochi μV e tale risposta è legata nel tempo allo stimolo stesso ('time locked');



Bioimmagini (1)

- Le immagini sono il risultato dell'interazione dell'energia prodotta da una **sorgente** con la materia costituente gli **oggetti** della scena osservata oppure con un sensore. A tale interazione è associata una trasformazione che rappresenta lo spazio 3D (un volumetto o voxel) in uno spazio 2D (un quadratino o pixel).

- 1) **Generazione** di un fascio di energia (ad esempio elettromagnetica o meccanica) mediante una sorgente esterna (tubo a raggi X, sonda ultrasonica)
- 2) **Interazione** dell'energia generata con la materia costituente la scena osservata
- 3) La **generazione** di un fascio di energia emergente che rende accessibile una determinata grandezza caratteristica $g(x,y,z,t)$ (attenuazione, riflettanza, attività della sorgente).
- 4) Una **trasformazione geometrica** che associa alla $g(x,y,z,t)$ un'altra grandezza $i(x,y,t)$ funzione delle coordinate di un piano (piano immagine) ed eventualmente del tempo.

Bioimmagini (2)

- Un'immagine statica (in cui è eliminata la dipendenza temporale) viene descritta mediante una funzione scalare **$i(x,y)$** . La funzione $i(x,y)$ in generale è a valori reali, non negativi e limitati
→ rappresenta il valore del **livello di grigio**

- Al variare di (x,y) in un dominio predefinito del piano, $i(x,y)$ rappresenta la grandezza fisica g la cui natura dipende dal processo di imaging considerato

Parametri fisici descrittivi di un'immagine

■ Contrasto: $c = \frac{\Delta i}{i} = \frac{i_s - i_r}{i_r}$

■ Risoluzione (spaziale, temporale e in ampiezza)

■ Rapporto segnale rumore $SNR = \frac{\bar{i}}{\sigma^2}$ oppure $SNR_d = \frac{\bar{i}_d - \bar{i}_s}{\sigma^2}$



Fluttuazioni statistiche nella sorgente che produce l'energia usata

Fluttuazioni statistiche introdotte dai vari anelli della catena di immagine

Risonanza Magnetica per Immagini

La **Risonanza Magnetica per Immagini (RMI)** è una tecnica di indagine che permette di studiare le proprietà magnetiche dei tessuti. Sfrutta la diversa interazione degli atomi di idrogeno con campi magnetici statici e dinamici applicati, a seconda del tipo di tessuto nel quale sono contenuti

- Durante l'indagine RMI il soggetto viene immerso in un campo magnetico uniforme e ad elevata intensità (dell'ordine di 1-3 Tesla, dunque superiore di un fattore 10^4 al campo magnetico terrestre) e un impulso a radiofrequenza (RF) viene inviato, al fine di indurre il fenomeno di risonanza magnetica.
- L'energia trasportata dall'impulso a RF viene assorbita dall'organismo e ri-emessa sotto forma di un segnale RF che dipende dalle proprietà chimico-fisiche dei tessuti interessati
- Il segnale RM dipende dalla concentrazione di nuclei di idrogeno (densità protonica) e da due costanti di tempo T_1 e T_2 che descrivono le modalità temporali con cui il sistema ritorna all'equilibrio dopo lo stimolo indotto dall'impulso RF. Tali costanti di tempo dipendono dall'ambiente chimico-fisico in cui i nuclei sono di idrogeno sono immersi (dalle modalità di interazione dei nuclei di idrogeno con l'ambiente circostante)

Effetto BOLD : Blood Oxygenation Level Dependent

Ossiemoglobina : diamagnetica
Deossiemoglobina : paramagnetica

→ Campo non omogeneo
Riduzione della costante T_2^*



Attivazione → Vasodilatazione locale → Aumento apporto di ossigeno

Risonanza magnetica funzionale

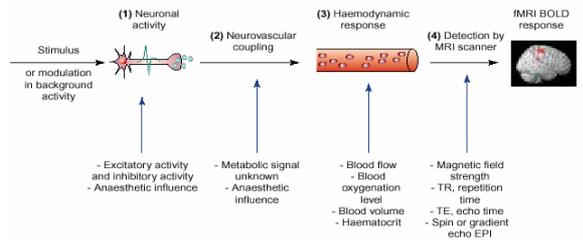
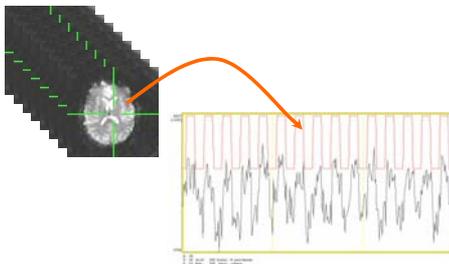


Immagine di risonanza magnetica funzionale



Come si presentano segnali ed immagini in Matlab:

- I segnali visti possono presentarsi in diversi formati (.txt, .dat...)
- È possibile inserire i dati in Matlab tramite alcune funzioni che permettono di leggere i file (come ad esempio *textread*, che permette di leggere file di testo, *imread* per leggere le immagini o *fread* che permette di leggere file binari), tramite *l'import wizard* che riesce a importare automaticamente una grande quantità di tipi di dati (*l'import wizard* viene fatto partire selezionando *Import Data* dal menù *File*) o manualmente.
- Una volta caricati i dati nel workspace...

HANDS ON !!!