

Segnale elettrocardiografico

ECG



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

Ritmo cardiaco

- Il ritmo cardiaco è il susseguirsi in maniera regolare di una sequenza di eventi, elettrici e meccanici, che permettono al cuore di funzionare come pompa.
- In condizioni normali, il ritmo cardiaco si origina dal nodo SA, per cui il ritmo normale del cuore viene anche detto *ritmo sinusale*.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

Frequenza cardiaca

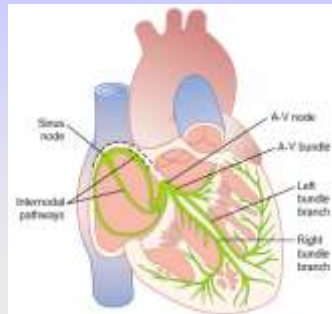
- La frequenza cardiaca è il numero di battiti al minuto (bpm).
- La frequenza cardiaca normale di un uomo adulto sano è di circa 70 bpm.
- Un ritmo più basso viene detto *bradicardia*.
- Un ritmo accelerato si dice *tachicardia*.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

1

Propagazione del potenziale cardiaco



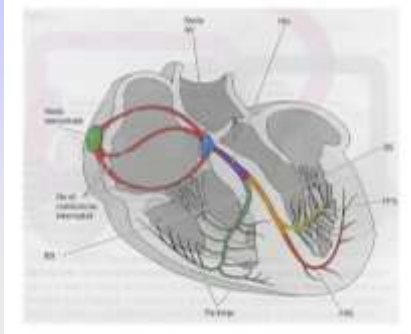
- Come si è visto, la contrazione cardiaca è stimolata da impulsi che partono dal **nodo seno atriale** (nodo SA o di Keith Fisch).
- Esso è una piccola striscia ellissoide di muscolo cardiaco specializzato di circa 3 millimetri di larghezza, 15 millimetri di lunghezza, ed 1 mm di spessore), che è anche detto **pacemaker primario** e che si trova nella parete laterale superiore dell'atrio destro vicino all'apertura della vena cava superiore.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

2

Propagazione del potenziale cardiaco



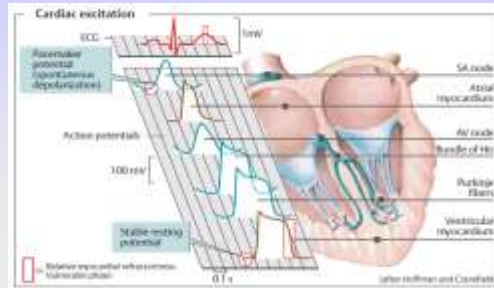
- Dal SA gli impulsi sono condotti attraverso entrambi gli atri al nodo atrioventricolare (nodo AV o di Aschoff Tawara), dal quale parte il fascio di His che rappresenta l'inizio del sistema di conduzione specializzato.
- Quest'ultimo include anche le branche destra e sinistra, di Tawara, e le fibre di Purkinje, che, a loro volta, trasmettono gli impulsi al miocardio ventricolare dove viaggiano dall'interno verso l'esterno e dall'apice alla base del cuore.



Prof. Francesco Amato - framato@uniud.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UniNA

3

Propagazione del potenziale cardiaco



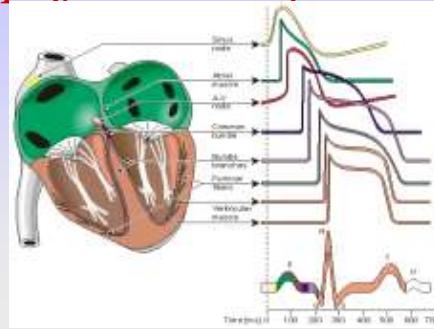
- Le cellule del nodo SA non hanno un potenziale di riposo costante ma lentamente si depolarizzano subito dopo ogni ripolarizzazione.
- Il valore più negativo è il massimo potenziale diastolico (circa -70 mV). La lenta depolarizzazione diastolica, o prepotenziale, prevale fino a quando è di nuovo raggiunto il potenziale di soglia e quindi si ha un nuovo potenziale d'azione.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

4

Propagazione del potenziale cardiaco



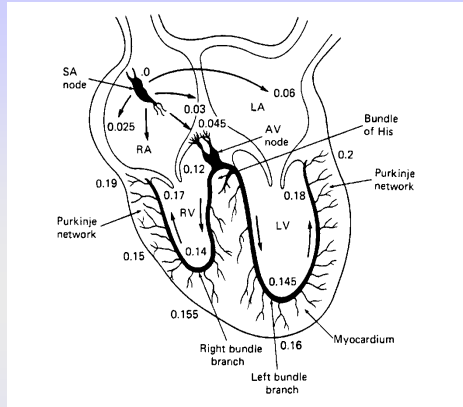
- La figura mostra come si costituisca un segnale globale a partire dalle variazioni di potenziale generate dai diversi potenziali d'azione nei diversi distretti del miocardio.
- Le cellule dei nodi SA e AV non hanno un potenziale di riposo costante ma lentamente si depolarizzano (come si vede nel primo e terzo segnale della figura) subito dopo ogni ripolarizzazione.



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

6

Propagazione del potenziale cardiaco



Tempi di propagazione (in secondi) dell'impulso elettrico dal nodo SA ai vari distretti del cuore.

Il tempo zero ovviamente corrisponde al nodo SA, dal quale si origina l'impulso.

- Le correnti elettriche extracellulari, generate dal processo di eccitazione descritto precedentemente, si propagano sino alla superficie del corpo, distribuendosi nel conduttore tridimensionale costituito dai tessuti circostanti il cuore.



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UnINA

7

Propagazione del potenziale cardiaco

- L'eccitazione naturale è regolata dal sistema nervoso autonomo (simpatico-parasimpatico).
- Essa controlla la frequenza del battito e la forza della contrazione.
- La funzione cardiaca possiede caratteristiche indipendenti: *automaticità* (autostimolazione) e *ritmicità* (costanza della frequenza).
- La massima ritmicità è posseduta dal nodo SA (*pacemaker naturale*), che in genere previene il verificarsi di stimolazioni precoci.
- In casi particolari possono generarsi pulsazioni precoci (*aritmie, in foci ectopici*), le quali dominano in situazioni quali: esaltazione della loro ritmicità, depressione di quella del nodo SA, blocco delle vie di conduzione da nodo SA a ectopico. La precedenza in termini di ritmicità passa dal nodo SA al nodo AV.
- Il ritmo imposto da un *pacemaker ectopico* è più lento di quello imposto dal nodo SA.
- In caso di blocco atrio-ventricolare la ritmicità è imposta dalle cellule della rete di Purkinje (*pacemaker idioventricolari*) che rallentano il ritmo a 30 - 40 battiti/minuto.



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNiNA

Aritmie

- Poiché molte parti del cuore possiedono una intrinseca ritmicità, in condizioni anomale, ogni porzione del miocardio specifico può diventare il pacemaker cardiaco, dando origine ad una aritmia.
- Ciò accade, ad es., quando l'attività del nodo SA è depressa, quando il fascio di His è interrotto o compromesso o quando un focus non normale (*ectopico*) scarica ad una frequenza superiore a quella del nodo SA.
- Quando il fascio di His è interrotto, i ventricoli battono alla loro frequenza intrinseca, detta *ritmo idioventricolare*.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

1

Elettrocardiografia

- L'elettrocardiogramma (ECG) è una registrazione del potenziale elettrico, generato dall'attività elettrica del cuore, effettuata sulla superficie del torace; pertanto il segnale ECG rappresenta il risultato della somma spaziale e temporale dei potenziali elettrici cardiaci che si propagano nel corpo (volume conduttore).
- Lo strumento per la misura dell'ECG è l'elettrocardiografo (ideato e costruito da Einthoven nel 1903).



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

Elettrocardiografia

- Come si può facilmente intuire dalla discussione precedente, lo studio del campo elettrico generato dall'attività cardiaca è molto complesso.
- Esso ha portato ad una intensa attività di ricerca mirata a risolvere il cosiddetto *problema inverso della Elettrocardiografia*, cioè alla determinazione delle sorgenti del campo elettrico nel cuore a partire dalle misure fatte sulla superficie del corpo.
- La risoluzione di questo problema presenta varie difficoltà, tra cui:
 - Distribuzione eterogenea lungo le diverse vie di conduzione;
 - Diversità dei potenziali d'azione nei diversi distretti;
 - Movimenti continui del cuore;
 - Complessità e variabilità della geometria e della struttura del corpo.



3

Elettrocardiografia

- In generale, da un punto di vista formale matematico, i problemi inversi non hanno una soluzione unica.
- Ciò significa che, in teoria, esistono infinite combinazioni di sorgenti che possono generare una certa distribuzione del campo elettrico sulla superficie di un volume conduttore (es. il corpo umano).
- Come si fa allora a risolvere questo tipo di problemi? Si utilizzano dei modelli, che quindi iniziano a porre dei vincoli alle caratteristiche delle sorgenti che si vogliono identificare.
- Inoltre, si sfruttano conoscenze specifiche sulla fisiologia, per escludere alcune soluzioni del problema inverso che presuppongono meccanismi non compatibili con la fisiologia umana.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UnINA

Elettrocardiografia

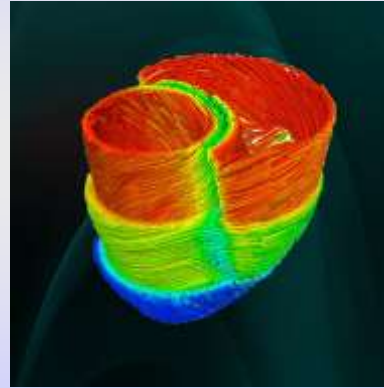
- Il modello più semplice è quello della teoria di Einthoven.
- Il modello si basa sulle seguenti assunzioni:
 - ✦ il torso è modellato come un **volume conduttore omogeneo e isotropo** di dimensioni finite, all'interno del quale si genera e si propaga l'attività elettrica cardiaca;
 - ✦ l'attività elettrica cardiaca è rappresentata da un **dipolo elettrico equivalente**, con **posizione fissata** e con **ampiezza e orientamento variabili**.
 - ✦ Quindi, la risultante di tutti i dipoli che si generano nel cuore durante l'attività cardiaca può, in ogni istante, essere rappresentata con un unico vettore, detto **vettore cardiaco equivalente**.



5

Elettrocardiografia

- Nel tempo, sono stati sviluppati modelli più complessi, che utilizzano una descrizione più realistica dei meccanismi di depolarizzazione e ripolarizzazione dei tessuti cardiaci.
- Nell'ultimo decennio, si è arrivati addirittura ad utilizzare modelli del torso e del cuore con geometria e proprietà elettriche soggetto-specifiche, che consentono quindi di risolvere il problema inverso in maniera specifica per ogni soggetto.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

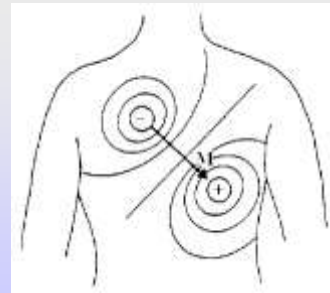
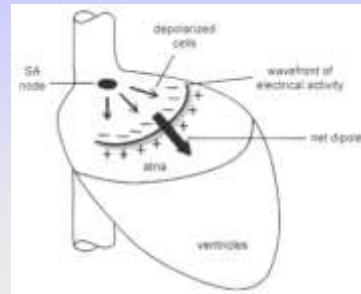
6

Elettrocardiografia

- Il fronte di eccitazione nel muscolo cardiaco equivale ad una distribuzione di dipoli elettrici.
- Ogni dipolo può essere rappresentato con notazione vettoriale (momento di dipolo)

$$\vec{p} = q\vec{d}$$

- La combinazione di tutti i dipoli ha come risultante un unico dipolo, rappresentato dal vettore cardiaco equivalente (o semplicemente vettore cardiaco).
- Ampiezza e direzione di questo vettore cambiano istante dopo istante poiché il fronte di eccitazione varia continuamente nel tempo.



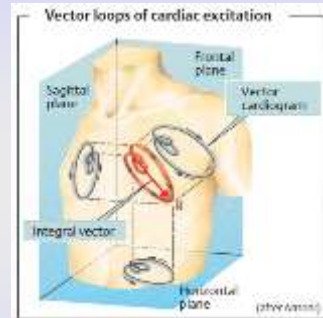
Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

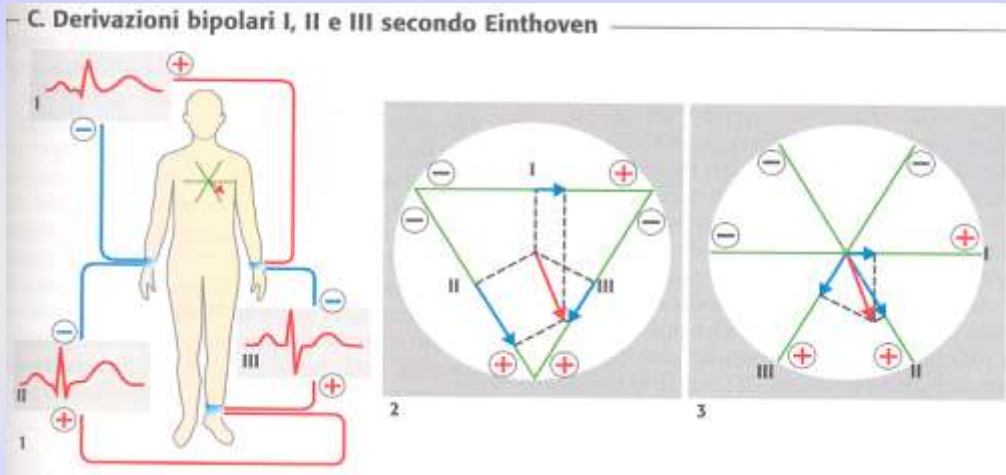
Elettrocardiografia

- Il segnale ottenuto misurando la differenza di potenziale tra due punti sulla superficie del corpo, nell'ambito del modello considerato, può essere interpretato come la **proiezione** del vettore cardiaco equivalente lungo la direzione su cui giacciono i due elettrodi.
- Per tale motivo, il posizionamento degli elettrodi è di fondamentale importanza ed è oggetto di standardizzazione nelle procedure cliniche.



- L'ampiezza e la direzione del vettore cardiaco cambiano durante il ciclo cardiaco e dipendono dalla somma spaziale e temporale dei vari dipoli elettrici che rappresentano l'attività locale delle varie porzioni del miocardio.
- Anomalie nella generazione e/o nella conduzione dell'impulso elettrico che determina la contrazione cardiaca, determinano ulteriori variazioni nell'andamento temporale di ampiezza e direzione del vettore cardiaco.
- La traiettoria della punta del vettore produce, graficamente, il tipico diagramma noto come vettorcardiogramma (VCG).





Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

Legge di Einthoven: ogni derivazione può essere ottenuta come somma delle altre due.

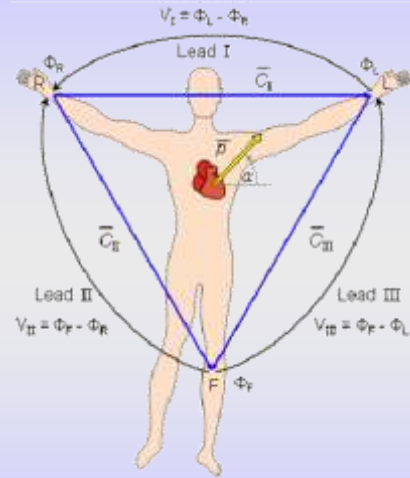
Questo perché i tre lati del triangolo di Einthoven formano una maglia chiusa e, per la legge di Kirchhoff delle tensioni, la somma delle tre derivazioni (con opportuno segno) è uguale a zero.

Ciò significa che le tre derivazioni di Einthoven sono linearmente dipendenti.

3

Teoria di Einthoven

- Nella figura è rappresentato il cosiddetto triangolo di Einthoven, nel quale le due braccia e la gamba sinistra sono gli apici di un triangolo equilatero che circonda il cuore.
- In questa rappresentazione, l'origine del vettore cardiaco (media, istante per istante, di tutti i dipoli elettrici che si hanno nel cuore) è posto al centro del triangolo e ciascuna derivazione è la proiezione di tale vettore sul lato relativo.



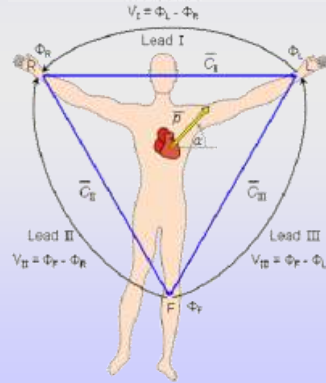
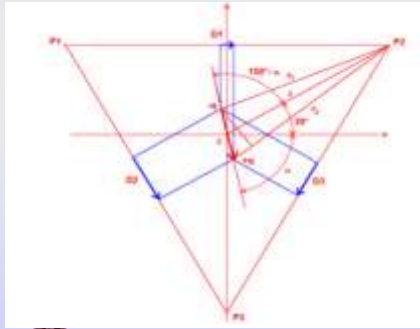
Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

4

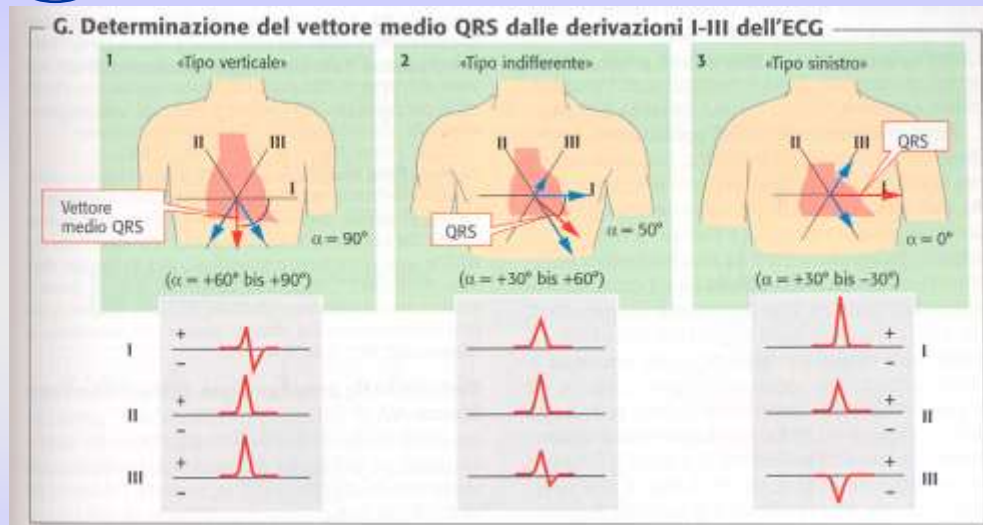
Teoria di Einthoven

Derivazioni bipolari (misura di differenza di potenziale tra due punti) elettrodo di riferimento.

Le ampiezze delle onde elettrocardiografiche sono proporzionali, in ogni istante, alla proiezione del vettore cardiaco istantaneo sui tre lati (assi di derivazione) del *triangolo di Einthoven*.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

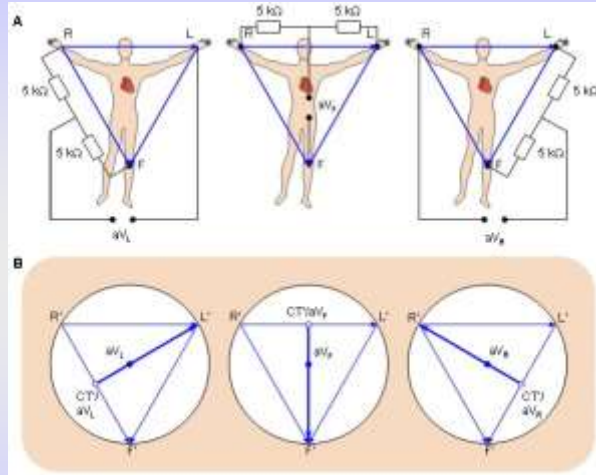
1

Derivazioni aumentate di Goldberger

Le derivazioni aumentate di Goldberger sono definite come differenze tra il potenziale di un arto e il punto medio tra i potenziali degli altri due arti.

Il punto medio si ottiene collegando i due arti attraverso due resistenze uguali.

Dunque, si collega il polo positivo ad un arto ed il polo negativo al punto di connessione tra le due resistenze.



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

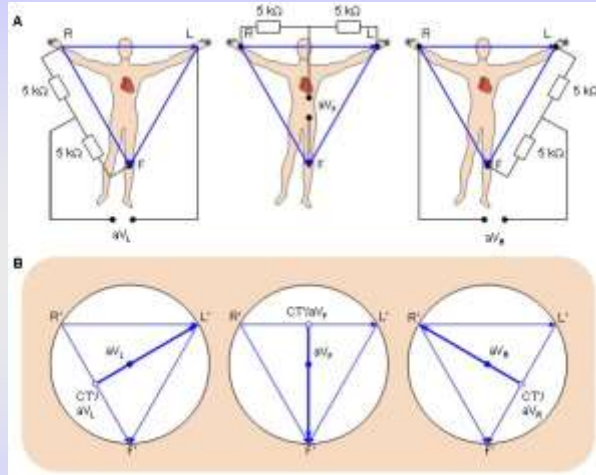
2

Derivazioni aumentate di Goldberger

$$aV_L = \phi_{LA} - \frac{\phi_{RA} + \phi_{LL}}{2}$$

$$aV_R = \phi_{RA} - \frac{\phi_{LA} + \phi_{LL}}{2}$$

$$aV_F = \phi_{LL} - \frac{\phi_{LA} + \phi_{RA}}{2}$$

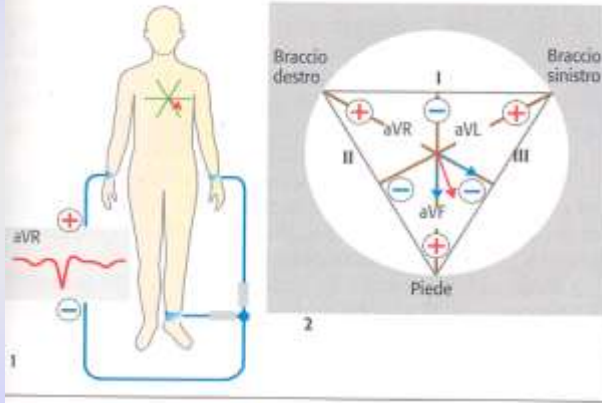


Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

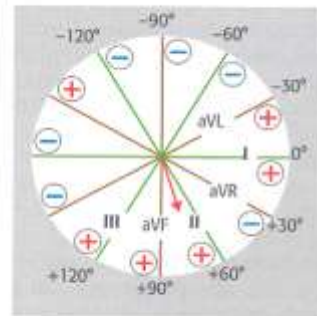
4

Derivazioni aumentate di Goldberger

D. Derivazioni unipolari alle estremità secondo Goldberger



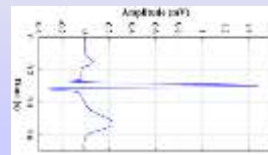
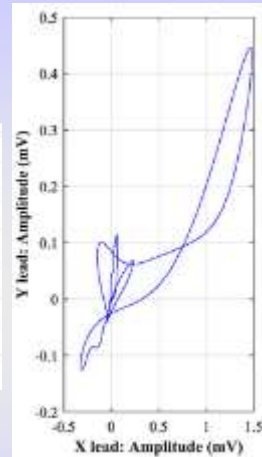
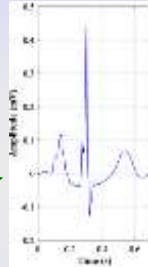
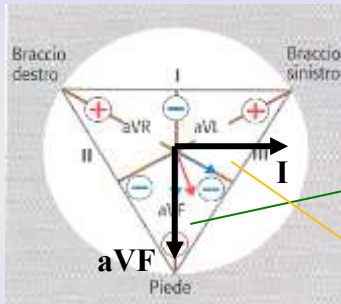
E. Cerchio di Cabrera



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI - UnINA

1

Vettorcardiogramma 2D

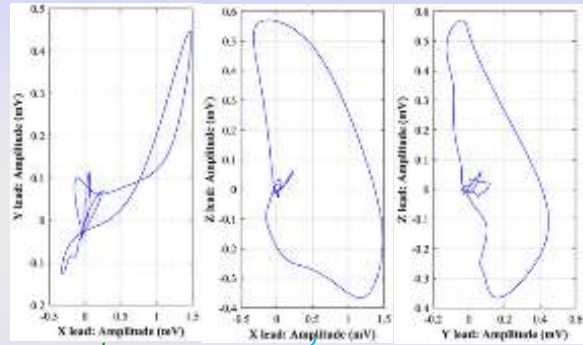
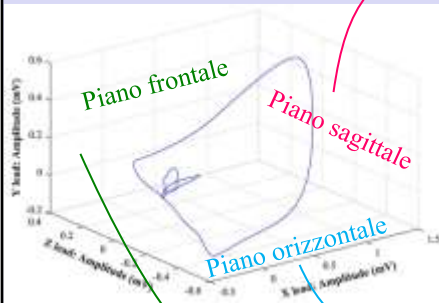


Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UnINA

La prima derivazione di Einthoven costituisce la proiezione del vettore cardiaco lungo l'asse x del piano frontale, mentre la derivazione aumentata aVF di Goldberger costituisce la proiezione del vettore cardiaco lungo l'asse y del piano frontale. Graficando su un piano cartesiano i valori di tensione istantanei delle derivazioni I e aVF, rispettivamente come coordinate x e y, si ottiene la proiezione del vettorcardiogramma sul piano frontale.

2

Vettorcardiogramma 2D

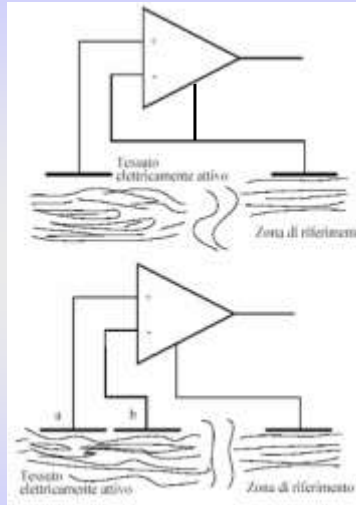


Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

Derivazioni unipolari

■ UNIPOLARE
(MONOPOLARE)

■ BIPOLARE



Nelle *derivazioni unipolari* uno dei due elettrodi non risente immediatamente degli eventi elettrici cardiaci, ma permane invece ad un potenziale all'incirca costante lungo tutto il ciclo cardiaco.

Tale elettrodo è detto *indifferente*, mentre l'altro elettrodo è detto *esplorante*.

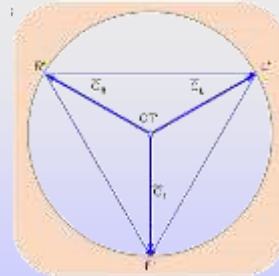
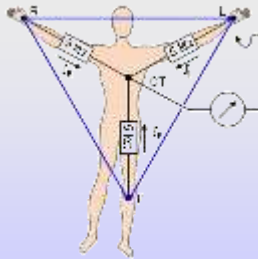


Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

1

Derivazioni unipolari di Wilson

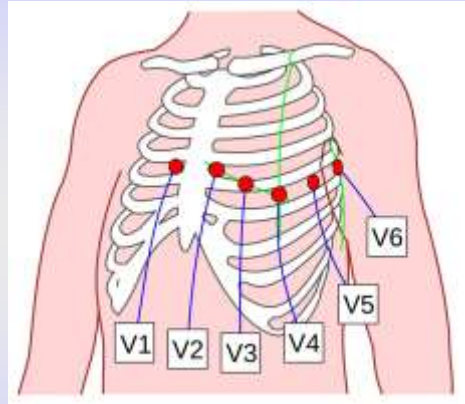
- Wilson introduce delle derivazioni unipolari, misurate rispetto ad un potenziale di riferimento noto come **Terminale Centrale di Wilson** (Wilson Central Terminal, **WCT**).
- Il centrale di Wilson è definito come punto medio tra i potenziali degli arti ai vertici del triangolo di Einthoven e corrisponde al centro del triangolo.
- Si ottiene, quindi, collegando i terminali sui 3 arti tramite resistenze uguali. Il terminale di connessione tra le 3 resistenze è il WCT.



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

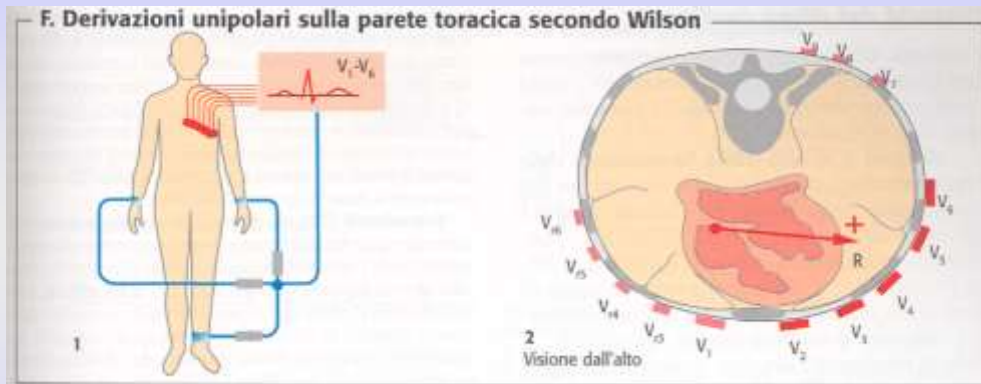
Derivazioni unipolari di Wilson

- Le derivazioni unipolari introdotte da Wilson sono dette anche **precordiali**, e indicate con i simboli V1, V2, V3, V4, V5, V6.
- Per ogni derivazione, l'elettrodo esplorante è posto in una delle posizioni V1-V6, mentre l'elettrodo di riferimento è collegato al centrale di Wilson.
- Parte delle precordiali non giace nel piano frontale, quindi consente di misurare delle proiezioni del vettore cardiaco fuori di tale piano, consentendo di descrivere le rotazioni del vettore cardiaco in uno spazio tridimensionale.



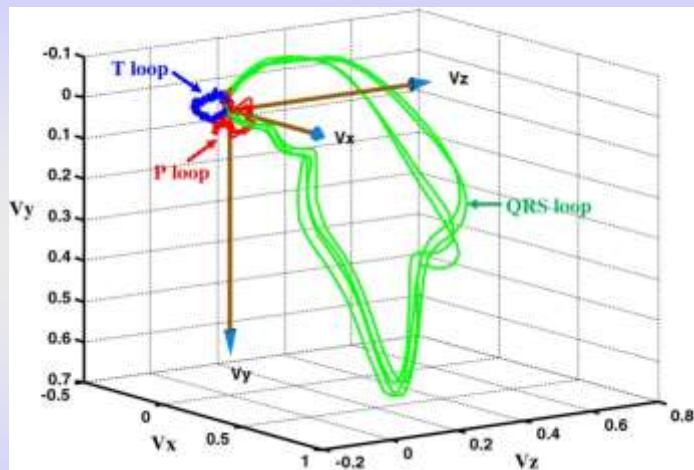
3

Derivazioni unipolari di Wilson



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

Vettorcardiogramma 3D



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UnINA

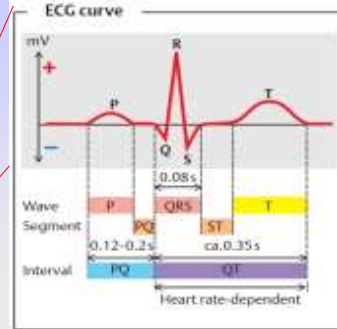
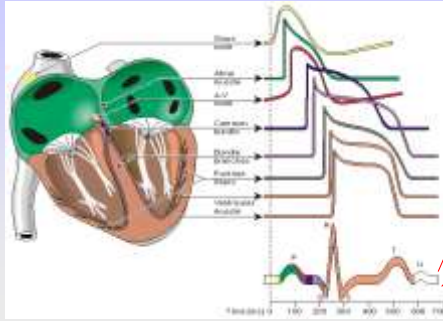
Elettrocardiografia

- Lo standard clinico per l'analisi dell'ECG è basato sulla registrazione di 12 derivazioni ECG:
 - Derivazioni bipolari di Einthoven (I, II, III)
 - Derivazioni aumentate di Goldberger (aVL, aVR, aVF)
 - Derivazioni precordiali unipolari di Wilson (V1,V2,V3,V4,V5,V6)
- Certe anomalie si rilevano più facilmente in particolari derivazioni e possono non essere affatto visibili nelle altre.
- Tra le valutazioni rese possibili dalla elettrocardiografia si ricordano le seguenti:
 - alterazione della conduzione
 - alterazioni del ritmo
 - ischemia e lesioni del tessuto miocardico, effetto di farmaci
 - orientazione del cuore



1

Propagazione del potenziale cardiaco/ECG



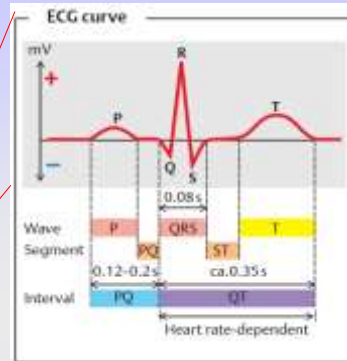
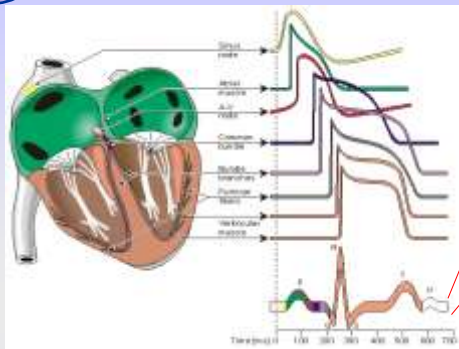
- Nel seguito vedremo come un tipico segnale ECG si relaziona ai PdA generati nei differenti distretti del cuore.
- L'onda P ($< 0,3$ mV; $< 0,1$ s) rappresenta l'attività elettrica associata con la depolarizzazione atriale prima che la loro contrazione inizi.
- Quando gli atri sono depolarizzati totalmente, per un breve periodo di tempo scompaiono le differenze di potenziale perché tutte le fibre del miocardio atriale si trovano nella fase di plateau del potenziale d'azione.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

2

Propagazione del potenziale cardiaco/ECG



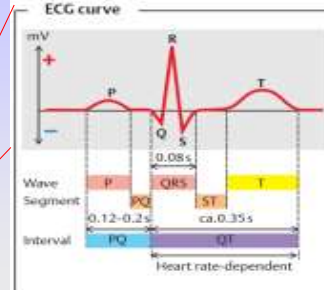
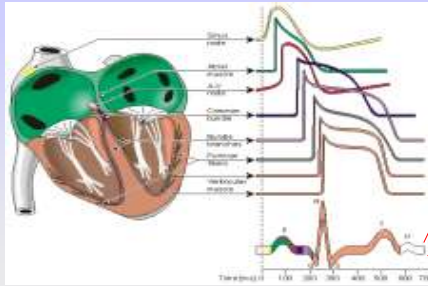
- Solo quando l'eccitamento arriva al miocardio ventricolare compaiono nuovamente vettori medi rilevabili.
- La ripolarizzazione degli atri normalmente non può essere visualizzata sull'ECG poiché è mascherata dal complesso QRS, causato dalla depolarizzazione ventricolare.



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UniNA

3

Propagazione del potenziale cardiaco/ECG



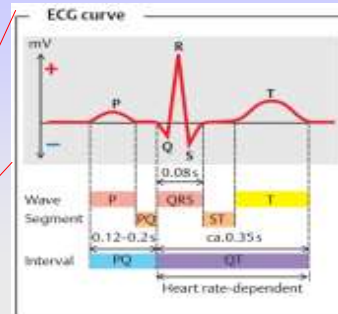
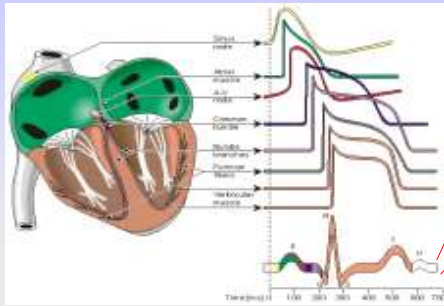
- Il complesso QRS ($< 0,1$ s) rappresenta la depolarizzazione ventricolare, prima della contrazione meccanica. Esso consiste di tre componenti:
- onda Q ($mV < \frac{1}{4} R$; $< 0,04$ s), che corrisponde alla diffusione dell'eccitamento sul lato sinistro del setto intraventricolare e dà origine ad un vettore medio diretto verso la base;
- onda R, diffusione dell'eccitamento verso l'apice del cuore;
- onda S ($R+S > 0,6$ mV), la diffusione nei ventricoli termina con l'eccitamento di un lembo situato alla base del ventricolo sinistro, in questa condizione il vettore medio punta verso destra e indietro in direzione della base.



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UnINA

4

Propagazione del potenziale cardiaco/ECG

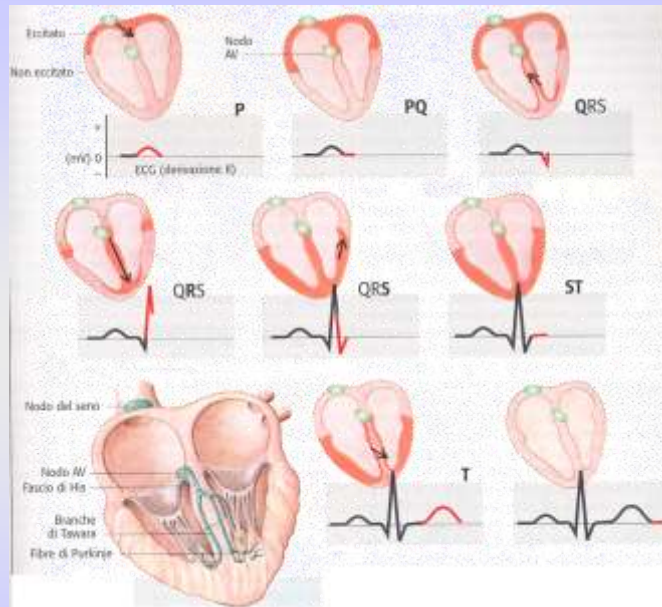


- Durante l'eccitamento totale dei ventricoli (tratto ST), così come durante quello degli atri, le differenze di potenziale scompaiono per un breve periodo.
- L'onda T, infine, rappresenta la ripolarizzazione ventricolare. I ventricoli sono contratti fino a che è in atto la ripolarizzazione, cioè fino alla fine dell'onda T (il vettore cardiaco punta verso sinistra e in basso per tutta la durata della ripolarizzazione).



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

5



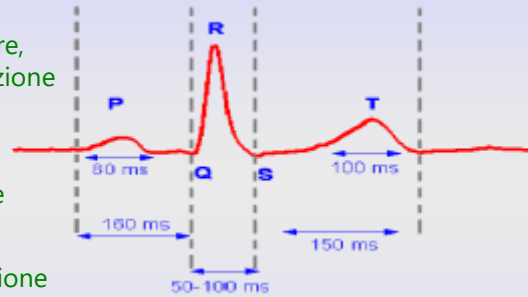
Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

- Segmento PQ: quando gli atri sono completamente attivati non c'è differenza di potenziale
- Onda Q: diffusione dell'eccitamento nel setto intraventricolare
- Onda R: diffusione verso l'apice
- Onda S: la diffusione dell'eccitamento dei ventricoli termina con l'attivazione di un lembo situato alla base del lato sinistro

1

Tempi caratteristici ECG

- **Onda P**
 - ✦ depolarizzazione atriale
- **Complesso QRS**
 - ✦ depolarizzazione ventricolare, che maschera la ripolarizzazione atriale
- **Onda T**
 - ✦ ripolarizzazione ventricolare
- **Intervallo P-R**
 - ✦ dovuto al ritardo di conduzione nel nodo AV
- **Intervallo T**
 - ✦ durata media della regione di plateau delle cellule ventricolari



Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI - UNINA

Tempi caratteristici ECG

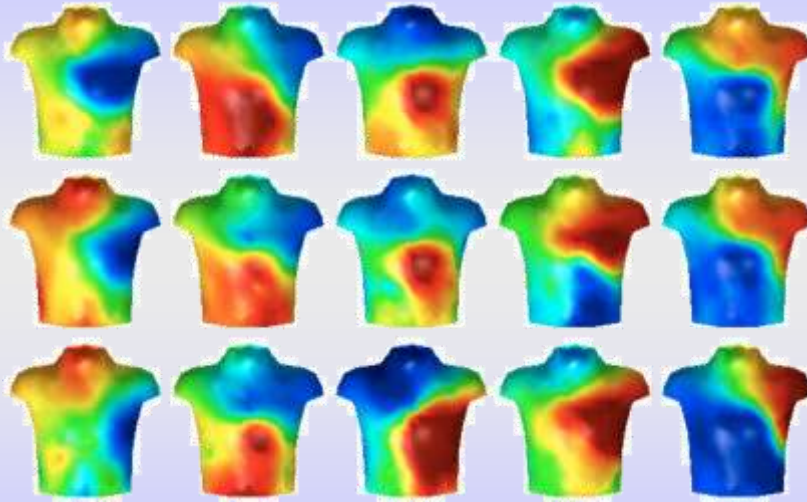
Parametri ECG	Intervalli di normalità
intervallo PR	0.12 - 0.20 s
intervallo QRS	0.06 - 0.10 s
intervallo QT (limite superiore)	0.422 s

Complesso	Valori di normalità
P	durata media = 0.1 s ampiezza <0.25 polarità verso l'alto in : I, II, V _F e V ₄ -V ₆ polarità invertita in : V _R
QRS	durata media = 0.05-0.1 s ampiezza 1-3 mV
T	polarità verso l'alto in: I, II, V _F polarità invertita in: V _R



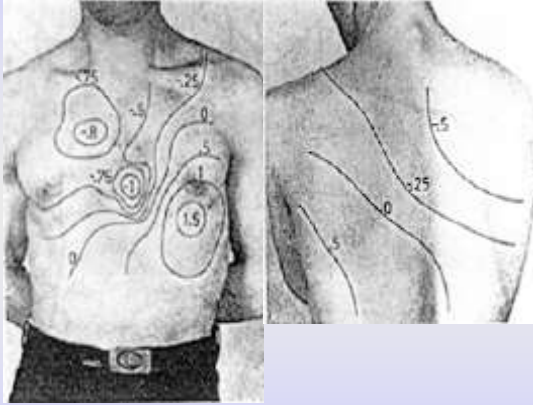
Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UnINA

Elettromappe cardiache



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

Elettromappe cardiache: metodo di prelievo



Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UnINA