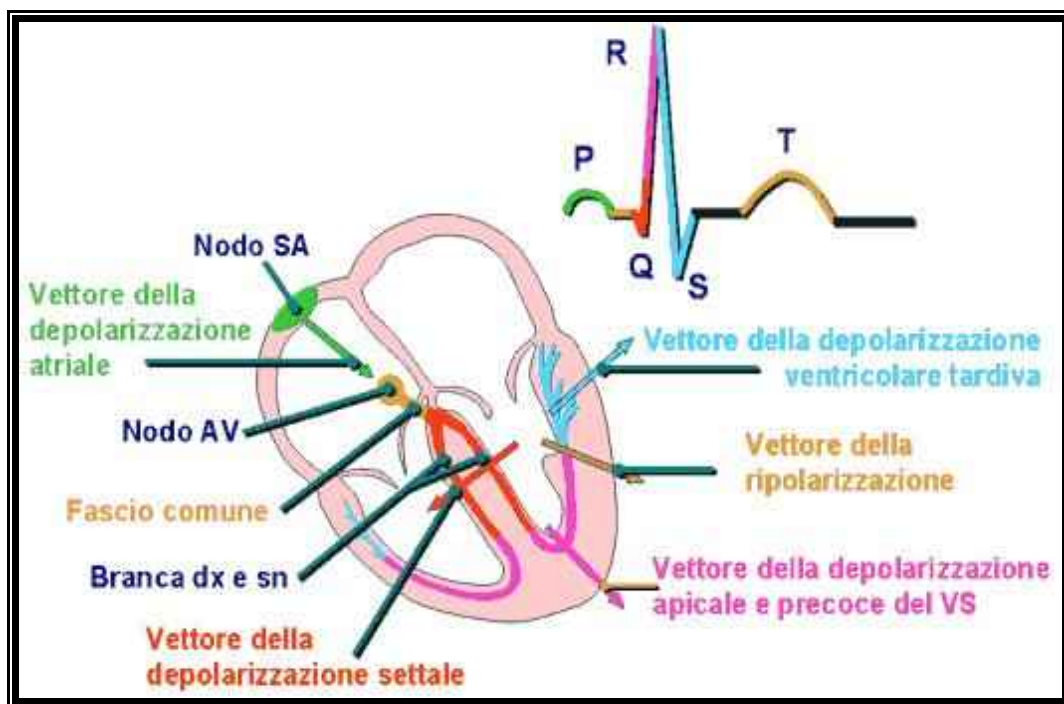


8. LE ONDE DELL'ELETTROCARDIOGRAMMA

Il principio su cui si basa la misurazione dell'attività elettrica del cuore è 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. La registrazione della differenza di potenziale da parte di elettrodi posti sulla superficie corporea avviene grazie alla conducibilità dei liquidi interstiziali del corpo umano. Il tracciato elettrocardiografico rappresenta il metodo più facile, meno dispendioso e più pratico per osservare se l'attività elettrica del cuore è normale oppure se sono presenti patologie di natura meccanica o bioelettrica. Il normale tracciato ECG presenta un aspetto caratteristico che varia soltanto in presenza di problemi. La morfologia fondamentale dell'ECG è data da tre deflessioni (P, QRS e T), che rappresentano la formazione e la diffusione dell'impulso elettrico cardiaco lungo le vie del sistema di conduzione.



8.1 Onda P

Lo stimolo origina dal nodo seno-atriale generando la prima onda del ciclo, e corrisponde alla depolarizzazione degli atri. È di piccole dimensioni, poiché la contrazione degli atri non è così potente. La sua durata varia tra i 60 e i 120 ms, l'ampiezza (o altezza) è uguale o inferiore ai 2,5mm.

8.2 Intervallo PQ o PR

Successivamente lo stimolo si trasmette lungo le vie di conduzione al nodo atrio-ventricolare dando vita a una linea isoelettrica che descrive il tempo di conduzione atrioventricolare. Quindi il segmento PR è importante anche in quanto viene impiegato come linea di riferimento o *isoelettrica*.

Tutte le modificazioni elettrocardiografiche che coinvolgono le onde P e l'intervallo PQ sono di origine sopraventricolare. Quindi le aritmie sopraventricolari modificano esclusivamente la porzione di tracciato che va dall'inizio dell'onda P fino all'onda Q e **NON** il complesso QRS che, viceversa, rimarrà normale.

8.3 Complesso QRS

Arrivato al nodo atrio-ventricolare, l'impulso arriva al setto attraverso il fascio di His. Nel setto si hanno due depolarizzazioni, una riguarda la parte sinistra, l'altra la parte destra; poiché l'attività elettrica della parte sinistra è maggiore, le depolarizzazioni non si elidono, ma prevale quella sinistra.

Otteniamo in questo momento l'**onda Q** (definita come l'onda negativa che precede l'onda R): negativa e di piccole dimensioni, e corrisponde alla depolarizzazione del setto interventricolare;

lo stimolo ora scende verso l'apice del cuore originando un'ampia

onda positiva: **la R** che corrisponde alla depolarizzazione dell'apice del ventricolo sinistro; l'impulso ora raggiunge la parete dei ventricoli dando vita all'

onda S è un'onda negativa anch'essa di piccole dimensioni, e corrisponde alla depolarizzazione delle regioni basale e posteriore del ventricolo sinistro.

La durata dell'intero complesso è compresa tra i 60 e 90 ms. In questo intervallo avviene anche la ripolarizzazione atriale che però non risulta visibile perché mascherata dalla depolarizzazione ventricolare.

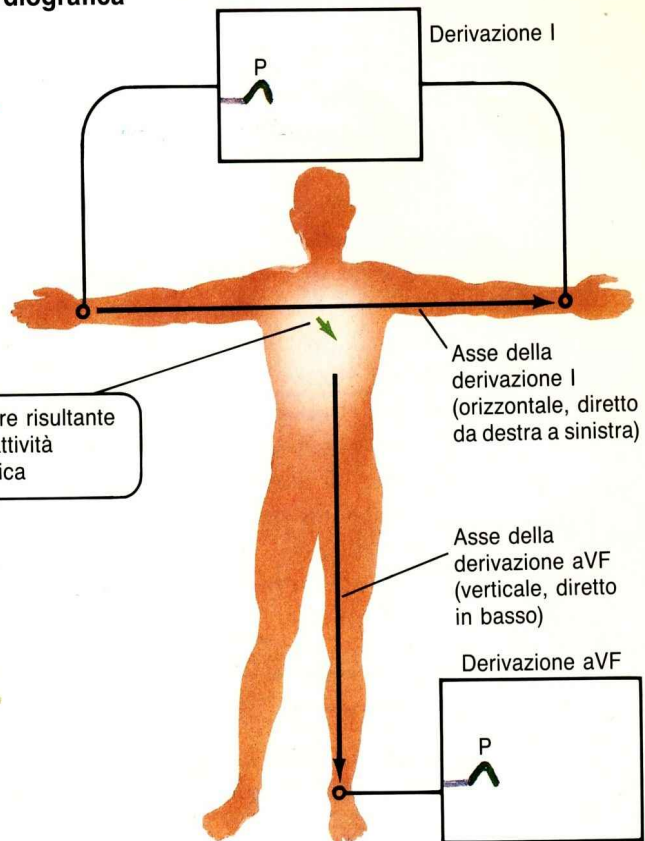
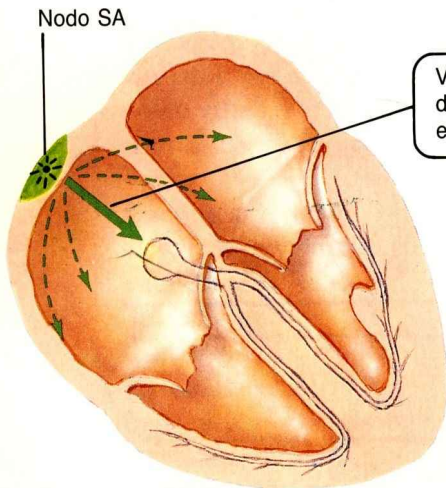
Le modificazioni elettrocardiografiche del complesso QRS sono tutte di origine ventricolare e avvengono quindi dopo il nodo atrio-ventricolare senza modificare l'onda P e il tratto PQ.

Ma non sempre è così semplice, in quanto possono coesistere modificazioni sia sopraventricolari che ventricolari (come per esempio una tachicardia sopraventricolare condotta con un blocco di branca: modifica il tracciato elettrocardiografico sia nel tratto sopraventricolare, aumentando la frequenza, che la morfologia della porzione ventricolare, allargando il complesso QRS).

Normale sequenza di depolarizzazione e di ripolarizzazione cardiaca e sua derivazione elettrocardiografica

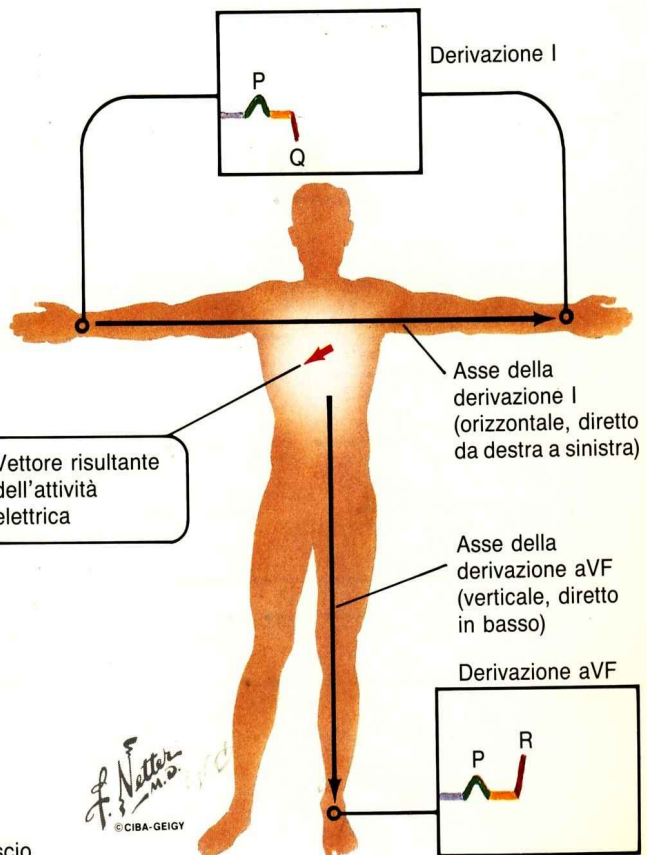
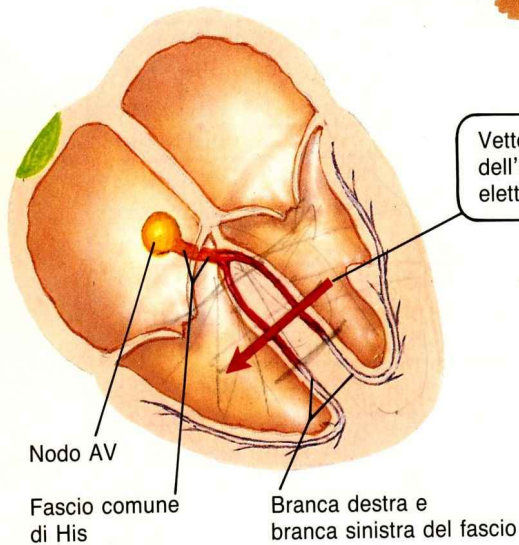
A. Origine dell'impulso e depolarizzazione atriale

L'impulso origina nel nodo SA e l'onda di depolarizzazione si diffonde attraverso gli atri, determinando un vettore elettrico diretto in basso e a sinistra. Ciò causa una deflessione verso l'alto (positiva) nelle derivazioni I e aVF (onda P).



B. Depolarizzazione settale

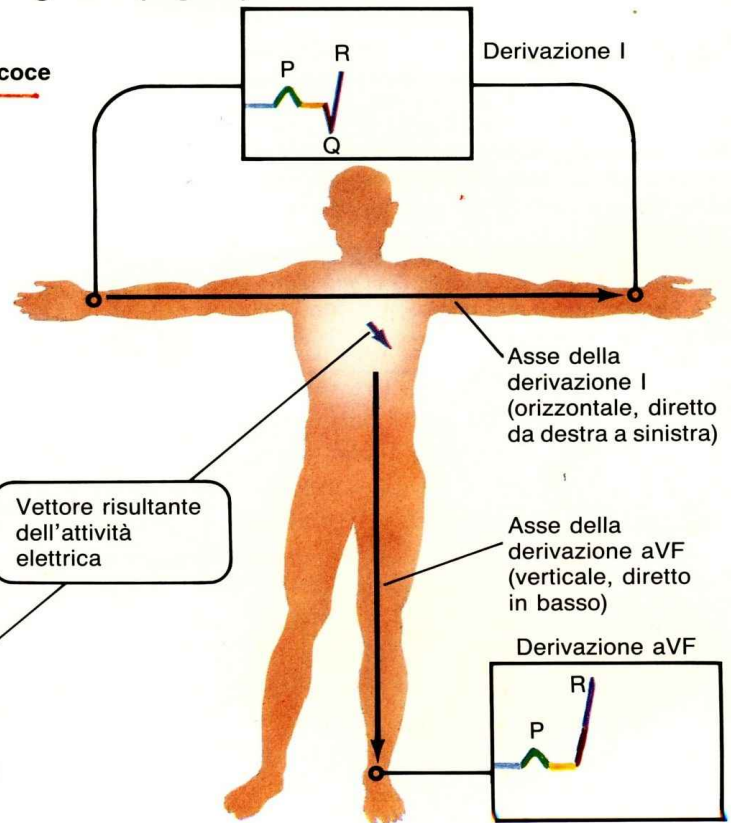
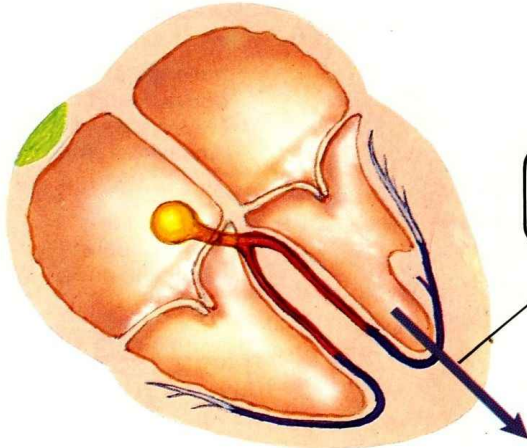
Dopo un breve ritardo nel nodo AV l'impulso attraversa il fascio di His e le branche del fascio e quindi passa nel setto interventricolare causando una depolarizzazione miocardica con un vettore elettrico diretto in basso e a destra. Ciò determina una piccola deflessione negativa (diretta in basso) nella derivazione I (onda Q) ed una deflessione positiva nella derivazione aVF (onda R).



Normale sequenza di depolarizzazione e di ripolarizzazione cardiaca e sua derivazione elettrocardiografica (seguito)

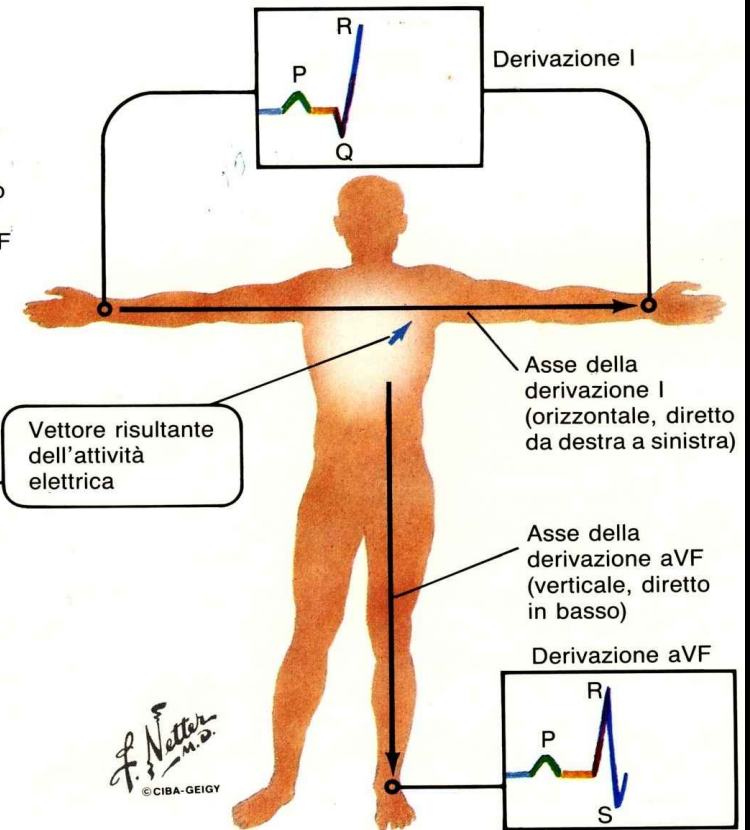
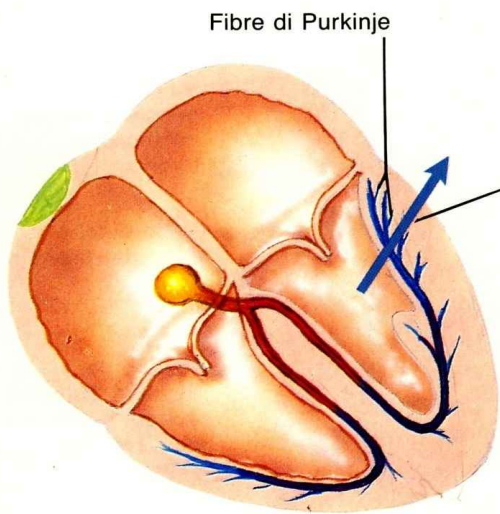
C. Depolarizzazione apicale e ventricolare precoce

L'impulso prosegue lungo il sistema di conduzione, causando la depolarizzazione del miocardio ventricolare apicale con vettore elettrico diretto in basso e a sinistra. Ciò determina un'ampia deflessione positiva (onda R) nella derivazione I che si estende alla derivazione aVF



D. Depolarizzazione ventricolare tardiva

Quando la depolarizzazione prosegue per i ventricoli, il vettore si sposta per dirigersi verso l'alto e a sinistra, estendendo perciò verso l'alto l'onda R nella derivazione I e causando una deflessione negativa (onda S) nella derivazione aVF



F. Netter M.D.
© CIBA-GEIGY

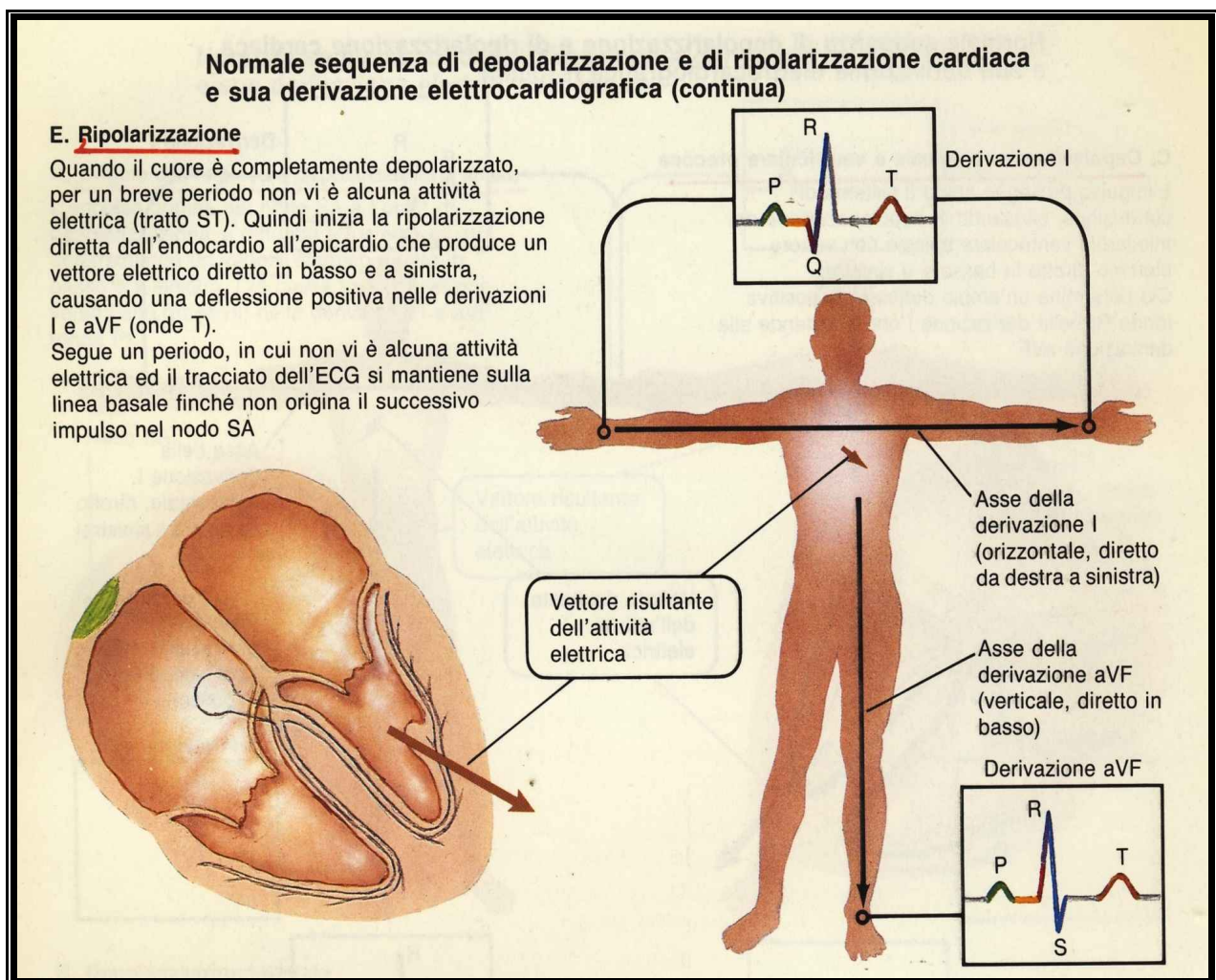
8.4 Tratto ST

Rappresenta il periodo in cui le cellule ventricolari sono tutte depolarizzate e pertanto non sono rilevabili movimenti elettrici. Da ciò deriva che di norma è isoelettrico, cioè posto sulla linea di base del tracciato, da cui si può spostare verso l'alto o il basso di non più di 1mm. Tale scostamento viene misurato, per convenzione, a 0,08 sec. dal punto J, cioè a 2mm dal punto di incontro tra la fine del QRS e l'inizio del segmento ST.

8.5 Onda T

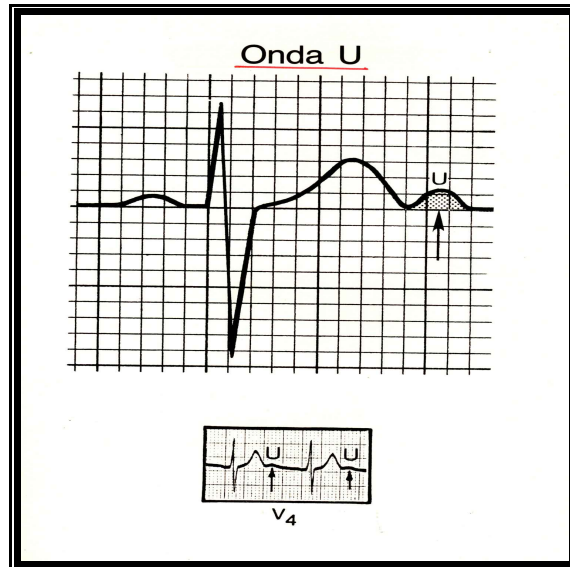
Per ultimo ecco arrivare l'onda che rappresenta la ripolarizzazione dei ventricoli. Una piccola onda positiva non sempre è identificabile, perché può anche essere di valore molto piccolo.

Le alterazioni della ripolarizzazione coinvolgono il tratto ST e l'onda T.



8.6 Onda U

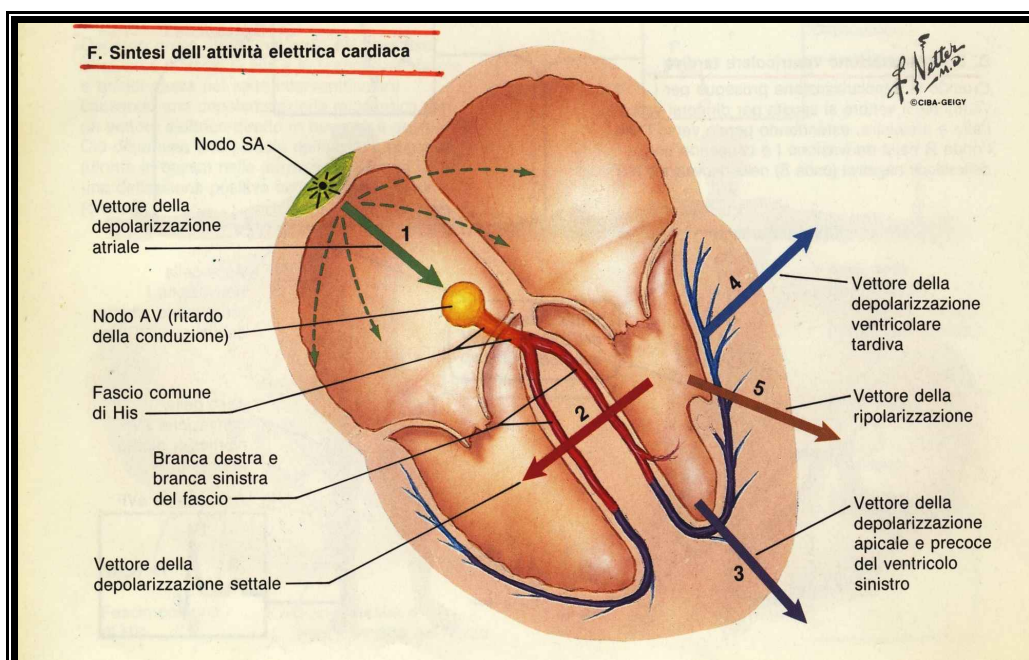
E' un'onda che non sempre è possibile apprezzare in un tracciato, dovuta alla ripolarizzazione dei muscoli papillari. E' sovente meglio osservabile nelle derivazioni precordiali intermedie (V3 e V4) ed ha la stessa direzione dell'onda T.



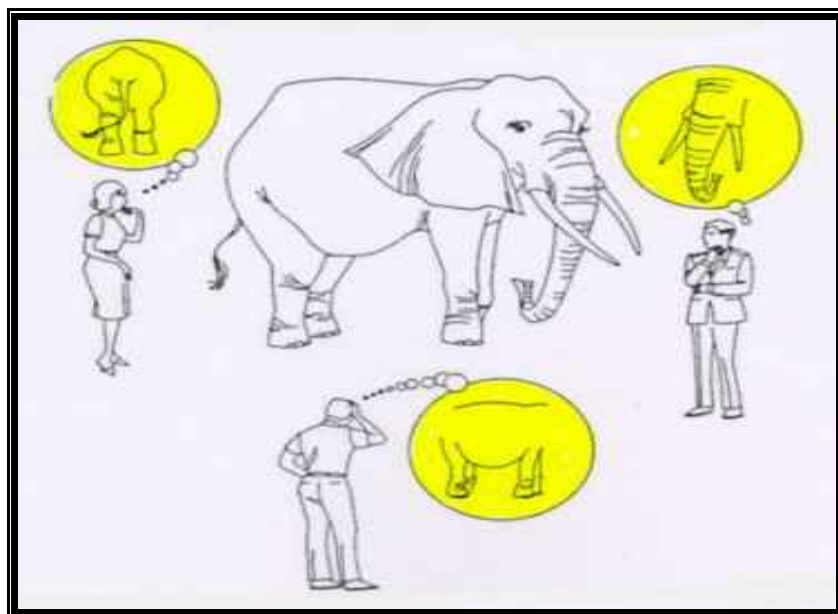
8.7 Intervallo QT

Rappresenta la sistole elettrica, cioè il tempo in cui avviene la depolarizzazione e la ripolarizzazione ventricolare. La sua durata varia al variare della frequenza cardiaca, generalmente si mantiene tra i 350 e i 440ms.

Al termine della ripolarizzazione vi è un periodo di inattività elettrica e la traccia dell'ECG resta isoelettrica fino a che non prende origine l'impulso successivo.



Da porre in evidenza che il diverso aspetto del QRS nelle varie derivazioni dipende dall'orientamento delle correnti di attivazione ventricolare rispetto all'asse delle derivazioni. Ricordiamoci che i tracciati delle derivazioni rappresentano diversi modi di vedere uno stesso fenomeno da punti di osservazione diversi.



8.8 Tracciato elettrocardiografico

Il tracciato ECG viene compilato su carta millimetrata per rendere possibile effettuare alcune misurazioni.

Immaginiamo l'elettrocardiogramma come una rappresentazione dell'attività elettrica del cuore, durante un periodo di tempo determinato (*ciclo cardiaco*), riportata graficamente su un sistema di assi cartesiani, avremo:

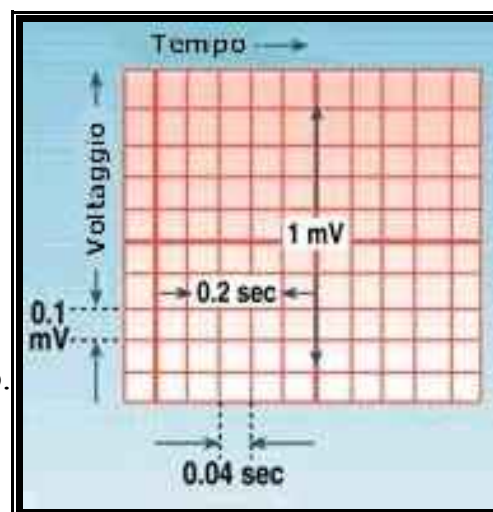
1. **l'asse orizzontale** rappresenta il **tempo**.

La carta scorre infatti, normalmente, nell'elettrocardiografo ad una velocità di **25mm** al secondo.

Sulla carta standard le linee orizzontali sono tracciate alla distanza di 1mm, con linee maggiormente demarcate ogni 5mm: 5 di questi quadrati da 5mm ciascuno corrispondono a 25mm e quindi a 1 secondo.

Facendo un rapido calcolo matematico, quindi :1mm equivale a 0,04 secondi e il quadrato da 5mm equivale a 0,20 secondi

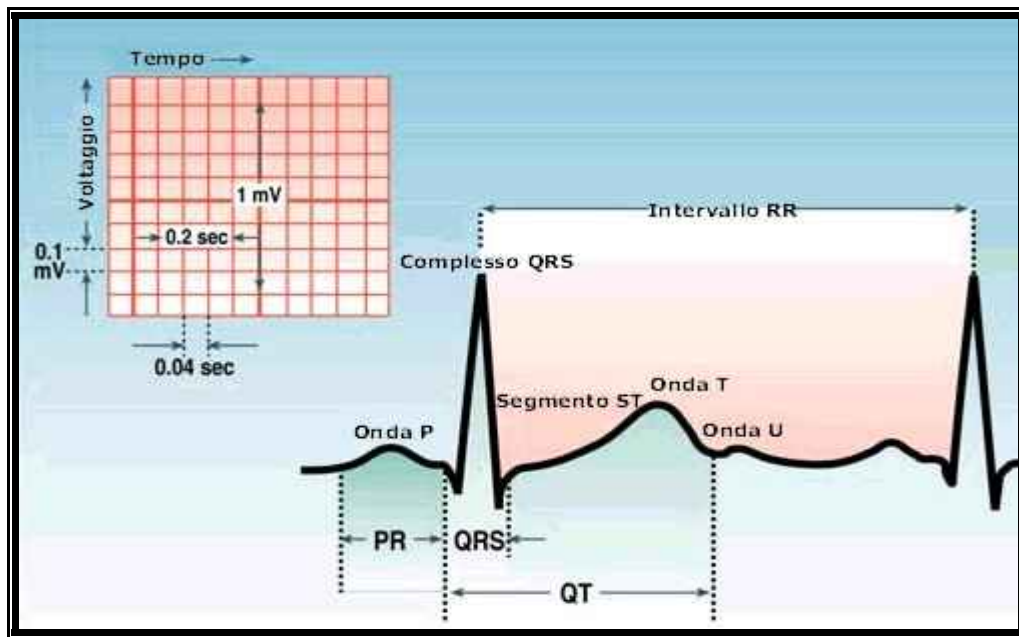
($0,04 \times 5$). Ora se 5 quadretti da 5mm equivalgono a 1 secondo, e occorrono 60 secondi per fare un minuto, $5 \times 60 = 300$: in un minuto ci sono **300** quadretti grandi (da 5 millimetri). Analogamente, se 25mm equivalgono a 1 secondo e, se per fare un minuto occorrono 60 secondi, ci



vorranno $25\text{mm} \times 60 = 1500\text{mm}$ per fare 1 minuto (quindi 1500 quadretti piccoli equivalgono a 1 minuto). Questo è molto importante ricordarlo per poter agevolmente calcolare la frequenza cardiaca.

2. L'*asse verticale* della carta, rappresenta il voltaggio. Ogni elettrocardiografo può essere tarato in maniera che un segnale di 1mV produca una deflessione di 10mm . Quindi sull'asse verticale 1mm equivale a $0,1\text{mV}$, un quadrato da 5mm corrispondono a $0,50\text{mV}$ e due quadrati da 5mm a 1mV .

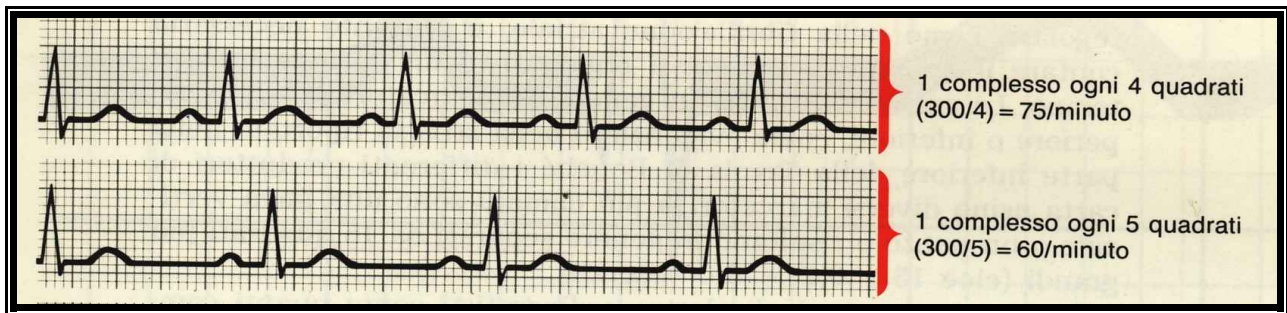
Queste tarature è importante che siano verificate prima dell'esecuzione dell'elettrocardiogramma (vedi requisiti di un ECG correttamente eseguito).



8.9 Calcolo della frequenza

È quindi facile immaginare come si possa immediatamente ricavare la frequenza cardiaca regolando valutando quanto tempo passa tra un ciclo e l'altro (misurando il tempo intercorso tra due complessi QRS adiacenti, per esempio).

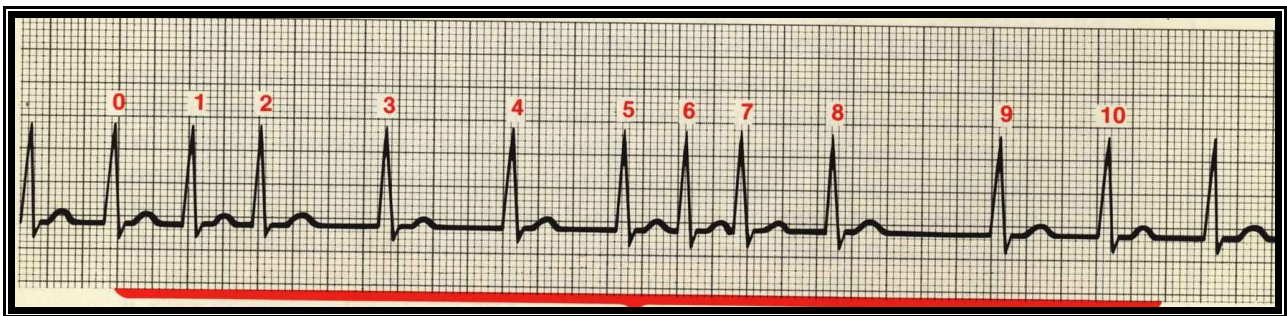
In pratica si divide 300 (che è il numero di quadretti grandi presente in 1 minuto) per il numero di quadretti grandi compresi tra due QRS successivi.



A volte, in caso di elevata frequenza cardiaca, è necessario contare il numero di quadretti piccoli (di 1mm) presenti tra due QRS per valutare in maniera più precisa la frequenza. In questo caso bisogna dividere 1500 (ricordo il numero di quadretti piccoli presente in 1 minuto) per il numero di quadretti compreso tra i due QRS.

Questo vale se la frequenza cardiaca è regolare, ma se i complessi si ripetono in modo irregolare bisognerà fare un calcolo approssimativo contando i complessi per un periodo di tempo più lungo, facendone poi la media.

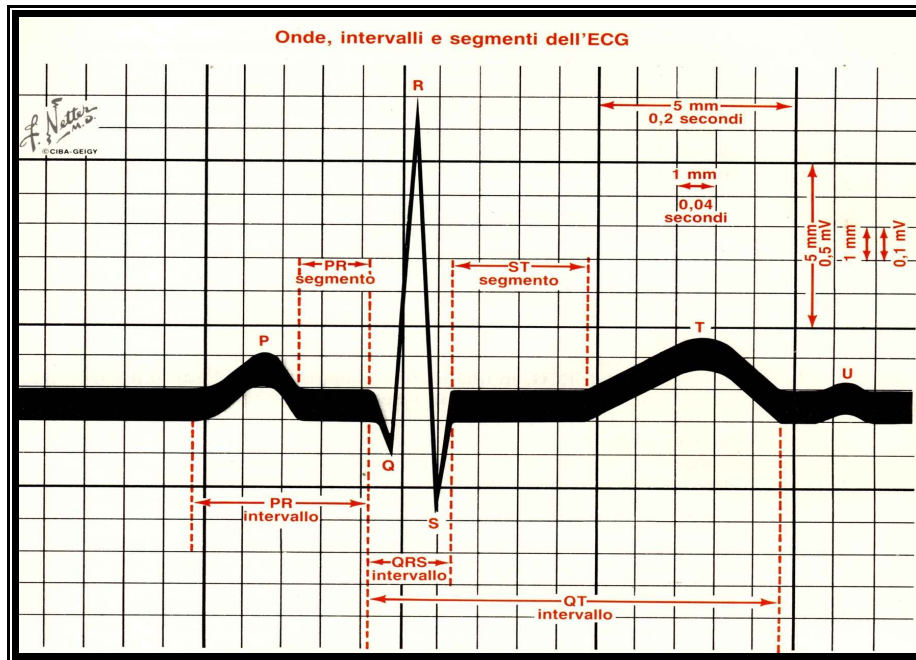
Generalmente si contano i complessi QRS presenti in 6 secondi e si moltiplica poi per 10 ($6 \times 10 = 60$ secondi). Nell'esempio riportato qui sotto in 6 secondi ci sono 10 QRS + $\frac{1}{2}$ per cui la frequenza media sarà di 105 battiti al minuto.



Nulla ci impedisce però di registrare una striscia di ECG più lunga e conteggiare per esempio i QRS presenti su 10 secondi e poi moltiplicarli questa volta per 6.

Ma il fatto che il tracciato elettrocardiografico sia registrato su carta millimetrata ci porta a pensare che ci siano altre misurazioni da effettuare: gli intervalli elettrocardiografici e l'ampiezza delle onde.

8.10 Tempi, intervalli e ampiezze



L'**onda P** che è la prima deflessione positiva del tracciato, normalmente dura meno di **0,11sec.**, cioè poco meno di 3mm.

L'**intervallo PR o PQ** viene misurato dall'inizio dell'onda Q (prima deflessione verso l'alto) fino alla prima deflessione del complesso QRS sia essa negativa (Q) o positiva (R). Esso varia da **0,12 a 0,20** secondi, cioè tra i 3 e i 5 millimetri.

La **durata del QRS** viene misurata dalla prima deflessione dalla linea isoelettrica del complesso stesso, sia essa positiva o negativa, sino al ritorno alla linea di base (isoelettrica). Deve durare meno di **0,10** secondi, cioè meno di 2,5mm.

Il **segmento ST** viene misurato dal ritorno alla linea isoelettrica del QRS fino all'inizio dell'onda T, sia che la deflessione sia negativa o positiva. La durata di tale segmento non ha particolare rilievo, ma esso è rilevante in quanto slivellamenti verso l'alto o verso il basso possono essere associati a condizioni patologiche molto importanti (STEMI o NSTEMI o, ancora pericarditi).

L'**intervallo QT** viene misurato dall'inizio del QRS al punto di ritorno alla linea isoelettrica dell'onda T. Esso è dipendente dalla frequenza cardiaca e per calcolarlo si fa uso di tabelle o formule che tengano conto di questa variante.

L'intervallo QT (corretto) viene quindi calcolato secondo la formula:

$$QTc = \sqrt{r + r}$$

dove per "r + r" si intende l'intervallo RR.

Anche l'elettrocardiografista esperto utilizza tabelle già precalcolate.

Indicativamente con una frequenza cardiaca normale (60 – 100 batt/min) l'intervallo

QT è compreso tra 0,30 – 0,40 secondi con il valore massimo più lungo del 10% nelle donne rispetto agli uomini. Intervalli sopra 0,44sec. sono probabilmente prolungati in maniera anomala.

Alcuni farmaci possono prolungare questo intervallo come chinidina, cordarone, sotalolo e procainamide, oltre a antidepressivi, ansiolitici, antipsicotici e alcuni antibiotici.

L'**onda T** è l'onda positiva successiva al QRS. E' più larga del complesso QRS con branche lievemente asimmetriche ed una sommità arrotondata. Generalmente è positiva in quelle derivazioni ove il complesso QRS è prevalentemente positivo. L'onda T negativa con branche simmetriche in sedi non abituali può esprimere ischemia miocardica.

