

Pacing cardiaco

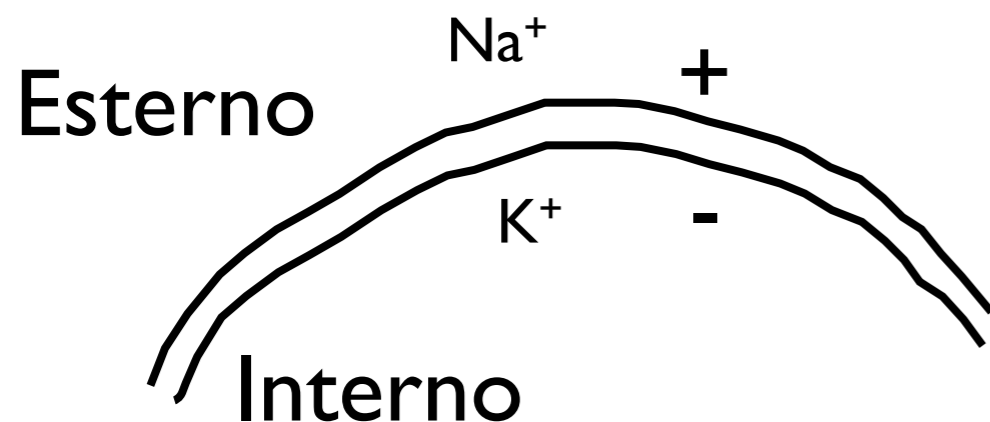
dispositivi minimamente invasivi

Stimolazione cardiaca tramite pacemaker

- Stimolatori cardiaci impiantabili
- si utilizzano in tutte quelle patologie dove l'impulso cardiaco non viene generato e dove la conduzione dell'impulso stesso è interrotta
- blocco atrio-ventricolare, blocco fascicolare, malattia del nodo seno-atriale
- uso più raro nelle tachiaritmie associato alla possibilità di defibrillare internamente

Potenziale a riposo cellula polarizzata

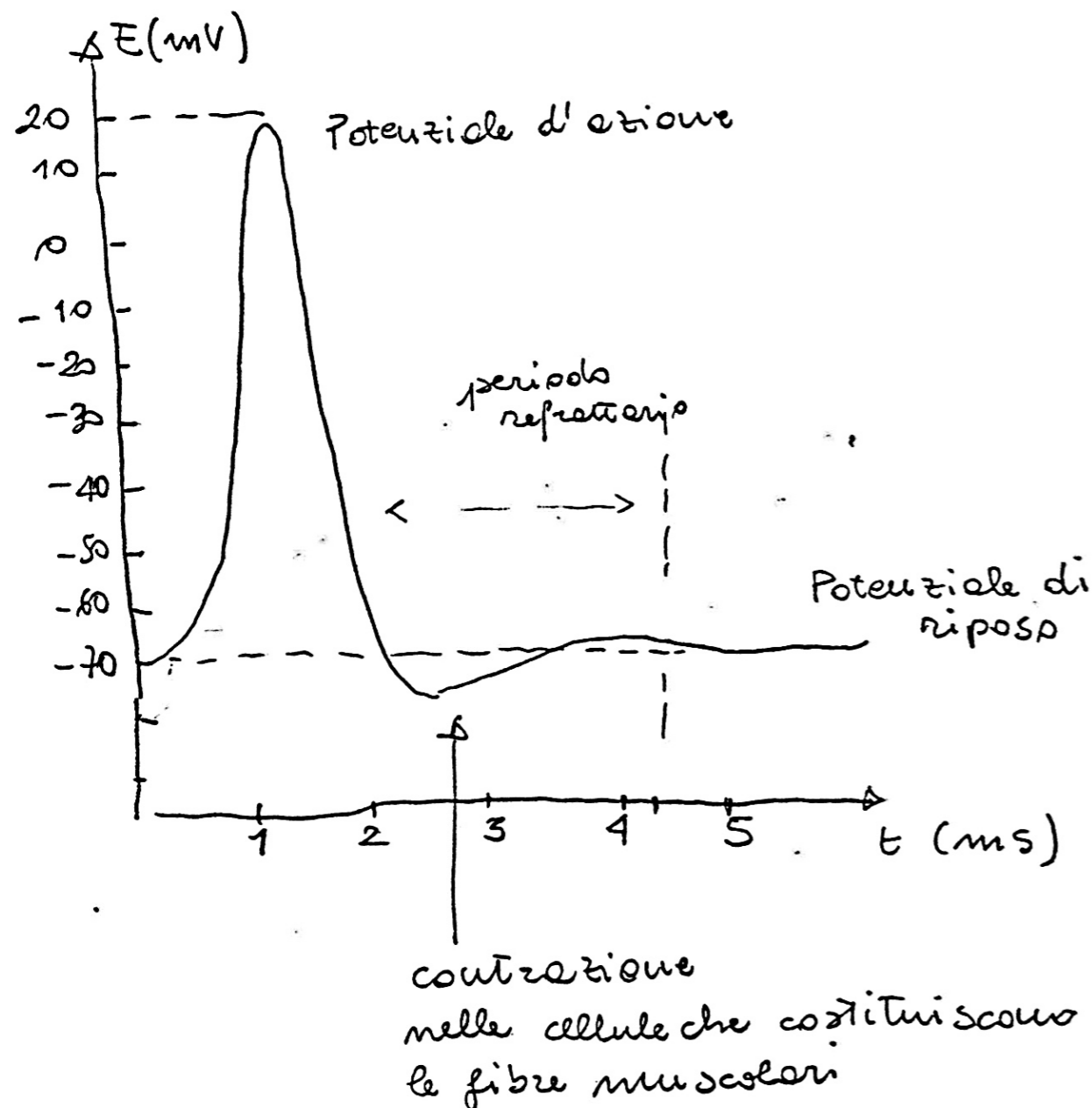
- Dovuto a diverse concentrazioni ioniche tra esterno e interno della membrana cellulare
 - principalmente Na^+ , K^+ , Cl^-
 - pompa sodio-potassio
 - meccanismo attivo: sodio fuori, potassio dentro
 - influenzato dalla permeabilità e dalla selettività delle membrane cellulari
 - + permeabile a K^+ , Cl^-
 - - permeabile a Na^+
- A riposo all'esterno abbiamo eccesso di carica +; all'interno eccesso di carica -



Si crea una differenza di potenziale (polarizzazione) a cavallo della membrana cellulare dovuta ad una diversa distribuzione ionica ai due lati della membrana (NERNST). Questo potenziale (negativo -70mV , tra interno ed esterno) nelle **cellule eccitabili** (cellule nervose e muscolari) prende il nome di **potenziale di riposo** poiché caratterizza lo stato di riposo.

Potenziale di azione

- Sotto stimolazione la natura della membrana cambia bruscamente (fa passare Na^+ verso l'interno) la cellula si depolarizza (il potenziale cresce fino a 20-40 mV per ms) e genera un potenziale di azione



Periodo refrattario

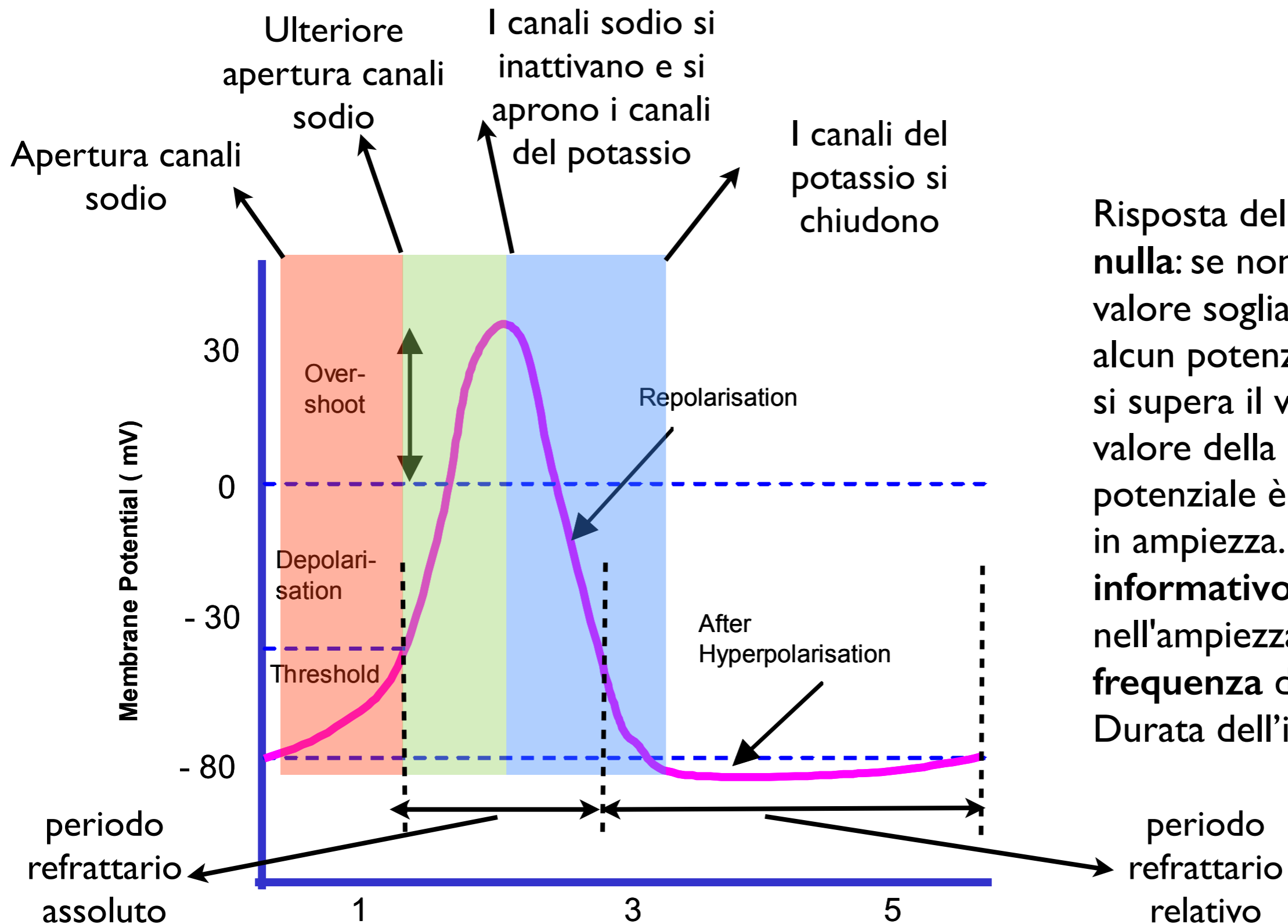
Dopo la depolarizzazione occorre aspettare un certo tempo prima di poter ottenere un nuovo potenziale di azione

Meccanismo di conduzione

Tipo "domino" il potenziale di azione di una cellula attiva quelle adiacenti e l'impulso si propaga

la depolarizzazione nasce in un punto preciso e poi si propaga su tutto il muscolo cardiaco con una corrispondente **contrazione**

Potenziale di azione



Risposta del tipo **tutto o nulla**: se non si raggiunge il valore soglia non si genera alcun potenziale d'azione, se si supera il valore soglia il valore della differenza di potenziale è sempre uguale in ampiezza. Il **contenuto informativo** non è mai nell'ampiezza ma **nella frequenza** del segnale. Durata dell'impulso sui 5 ms.

Potenziale di azione

- Se in un punto della membrana si supera un certo **potenziale di soglia** la **depolarizzazione** locale della membrana causa un potenziale di azione che sale velocemente fino a un valore massimo. La situazione iniziale viene immediatamente ristabilita una fase di **ripolarizzazione** che può essere seguita da una fase di **iperpolarizzazione** in cui il potenziale scende al di sotto del valore di riposo.
- Il superamento di questo potenziale di soglia può essere indotto **chimicamente** (attraverso la stimolazione neurale alla giunzione neuromuscolare) o **elettricamente** (cellule pacemaker, impulso fornito tramite una coppia di elettrodi)

Potenziale di azione

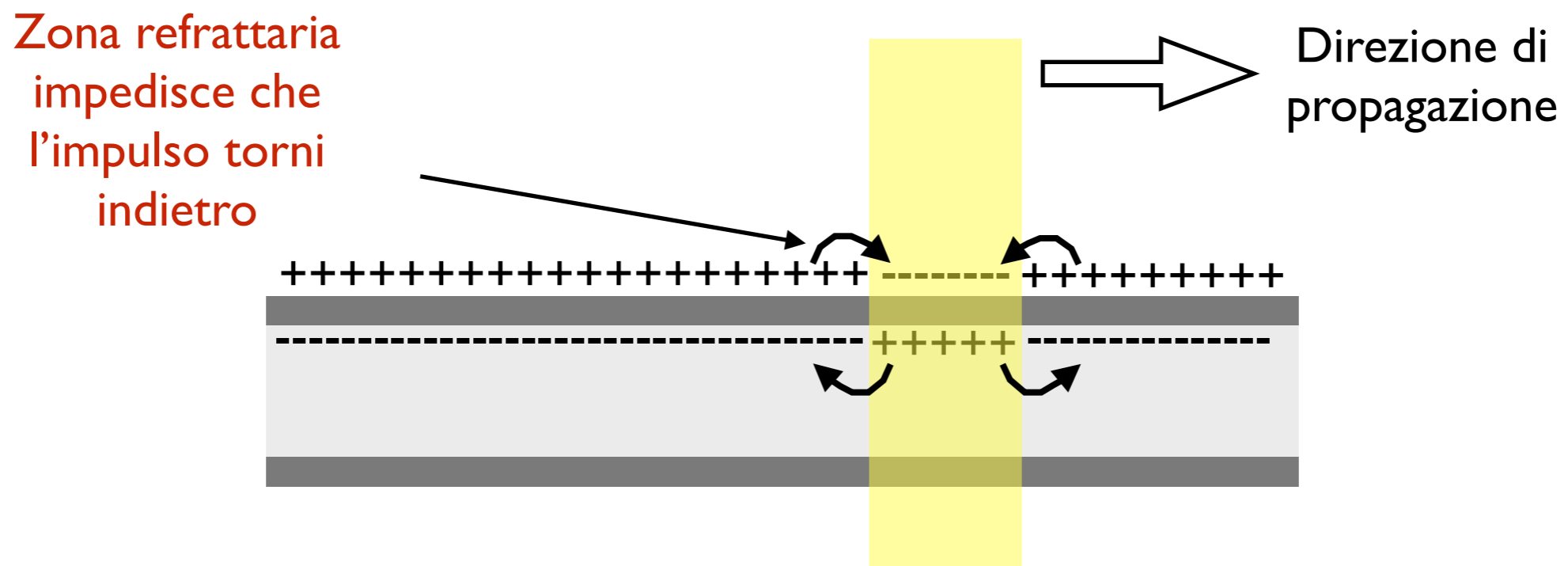
- **Depolarizzazione/ripolarizzazione della membrana:**
 1. **evento eccitatorio:** cariche positive entrano nella cellula (canali sodio stimolo-dipendenti) e il potenziale raggiunge il valore di **soglia**
 2. alla tensione di soglia si aprono i canali per Na^+ (canali sodio voltaggio-dipendenti) (ricordiamo che a riposo la permeabilità ad Na^+ era scarsa) e si ha un ingresso massiccio di Na^+ e dunque un'ulteriore **depolarizzazione** (il potenziale cresce per l'afflusso di carica positiva), il potenziale incrementa molto velocemente fino ad un valore massimo
 3. raggiunta questa tensione di picco si ha la chiusura dei canali Na^+ e l'apertura dei canali K^+ (canali potassio voltaggio-dipendenti), si ha dunque l'uscita di K^+ e la ripolarizzazione della membrana fino a quando, nelle vicinanze della tensione iniziale, i canali per il K^+ si chiudono
 4. I canali del potassio possono rimanere aperti anche quando la cellula ha raggiunto il potenziale di riposo: in tal modo può fuoriuscire un ulteriore quantitativo di potassio, e la cellula per un breve periodo di tempo può essere iperpolarizzata. In seguito l'azione della pompa sodio-potassio e la chiusura di tutti i canali voltaggio dipendenti riporta la situazione alla condizione iniziale

Potenziale di azione

- Durante la fase di depolarizzazione e gran parte della ripolarizzazione, la cellula non può essere nuovamente attivata (**periodo refrattario**) a causa dell'impossibilità di far entrare nella cellula ulteriore Na^+ (inattivazione dei canali al Na^+):
 - **assoluto** è il periodo in cui un'azione di stimolo locale sulla membrana non provoca risposta alcuna → la membrana non risponde ad alcuno stimolo, anche se di intensità elevata.
 - **relativo** è un periodo di pochi msec dopo il periodo refrattario assoluto → la membrana risponde solo a stimoli di intensità elevata.
- Maggiore è l'entità dello stimolo, maggiore è la frequenza dei potenziali. L'intensità dello stimolo può quindi influenzare la frequenza del potenziale d'azione, ma non il valore
 - L'informazione non è contenuta nella frequenza ma nell'ampiezza
- Il periodo refrattario, come vedremo, è di fondamentale importanza per la propagazione dello stimolo di contrazione

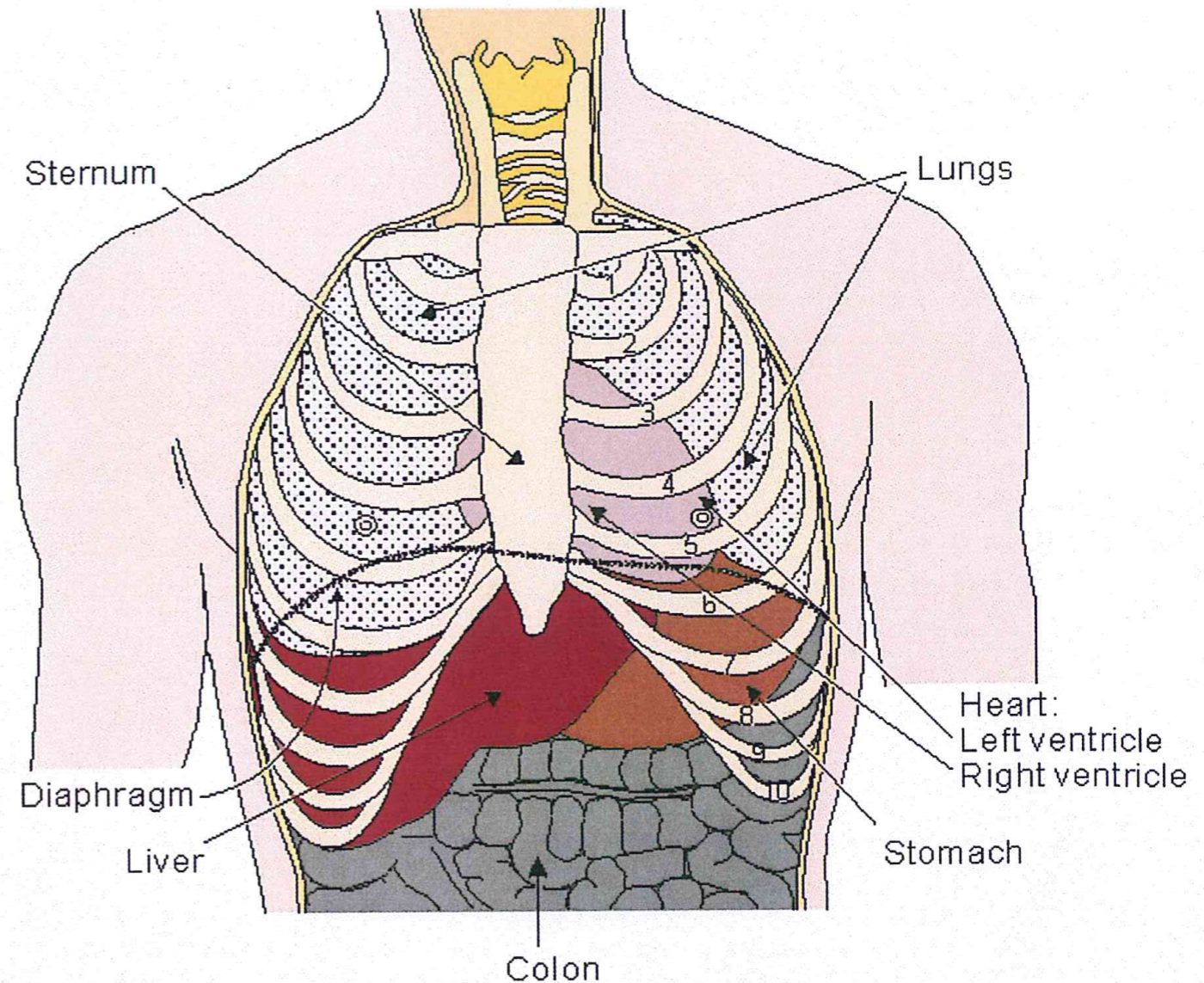
Propagazione del potenziale di azione

- La propagazione del potenziale d'azione si basa sulla generazione di nuovi potenziali d'azione nei punti successivi della fibra muscolare.
- L'insorgenza di un potenziale d'azione in un punto, crea una differenza di potenziale tra quel punto e le zone vicine che sono a riposo.
- Tra la zona attiva e quella inattiva, si crea una **corrente locale** che avvia la depolarizzazione della zona inattiva fino alla soglia per la nascita di un nuovo potenziale d'azione e così via



Cenni su anatomia e fisiologia

- Situato nel torace, dietro lo sterno e davanti ai polmoni
- Circondato dal pericardio
- Dimensioni di un pugno chiuso, peso 250-300g
- Parte superiore: grandi vasi (vena cava superiore inferiore, arteria e vena polmonare, aorta)



Cenni su anatomia e fisiologia

- La parete del cuore è costituita dal muscolo cardiaco (**miocardio**)
 - striato come il muscolo scheletrico
- Diviso in quattro compartimenti: atri (DX e SX) e ventricoli (DX e SX)
 - Atri e ventricoli costituiscono unità tra loro distinte

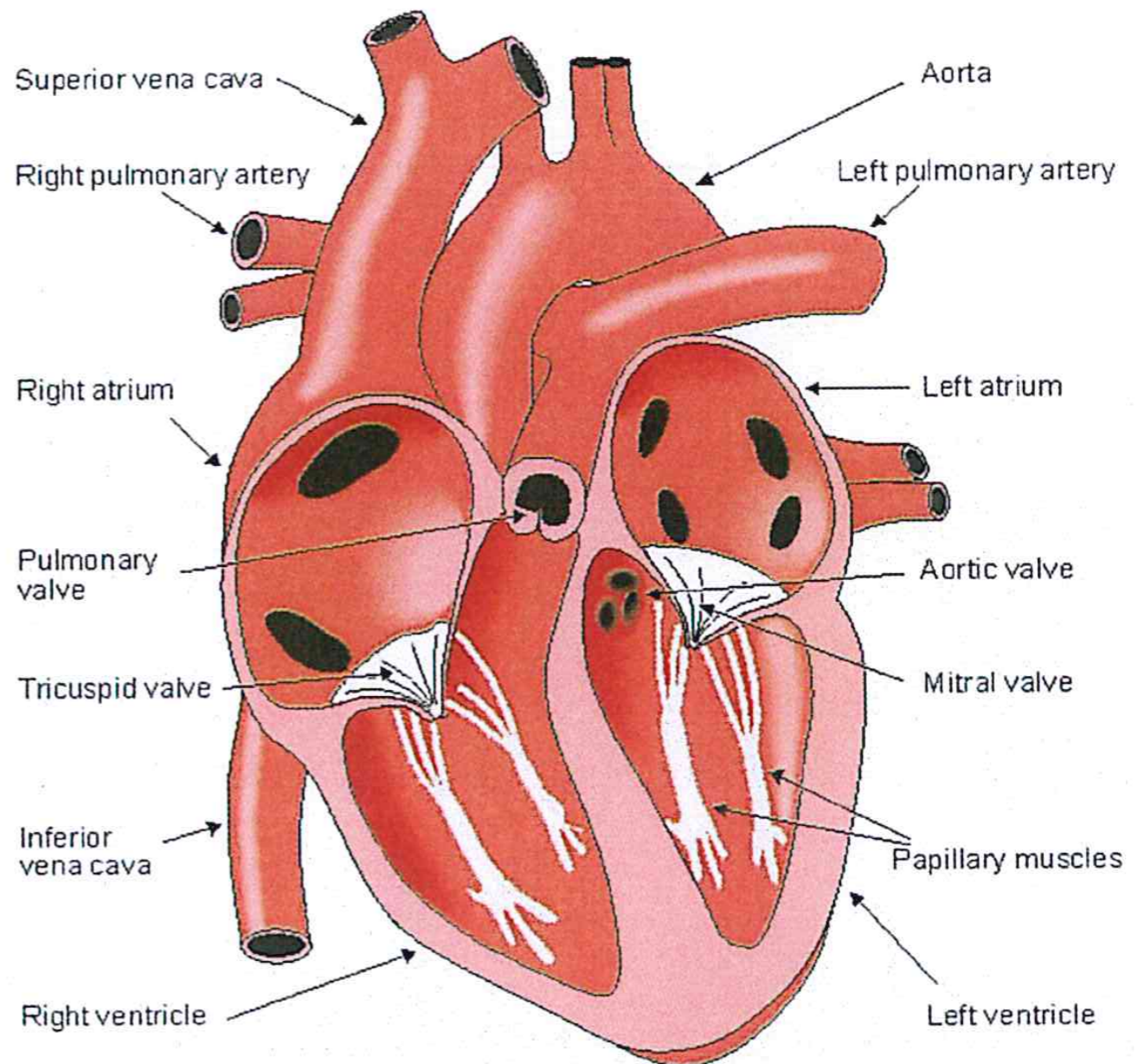


fig.2: Anatomia del cuore e vasi ad esso associati

Cenni su anatomia e fisiologia

- Le Fibre sono orientate a spirale tangenzialmente e si dividono in 4 gruppi
 - due gruppi avvolgono entrambi i ventricoli
 - un terzo gruppo avvolge i ventricoli con un differente percorso
 - un quarto gruppo avvolge solo il ventricolo sinistro

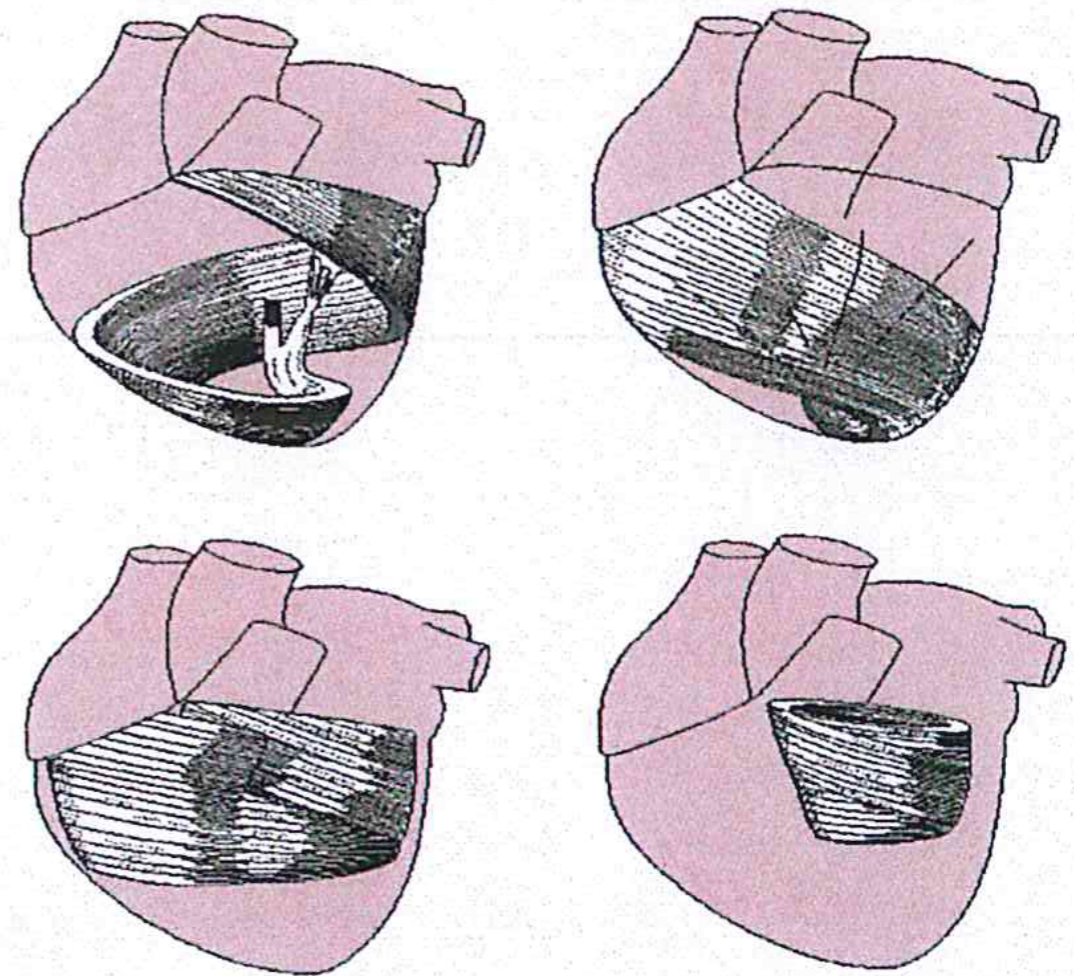


Fig.3: Orientazione delle fibre del muscolo cardiaco

Cenni su anatomia e fisiologia

- Quattro valvole: (1) tricuspide (tra atrio e ventricolo destro); (2) mitrale (tra atrio e ventricolo sinistro); (3) polmonare (tra ventricolo destro e arteria polmonare); (4) aortica (tra ventricolo sinistro e aorta)
- Il sangue ritorna all'atrio destro tramite la vena cava (superiore e inferiore) dopo aver ceduto ossigeno ai tessuti. Attraverso la valvola tricuspide arriva al ventricolo destro. Attraverso la valvola polmonare il sangue viene pompato dal ventricolo destro ai polmoni dove si ossigena. Ritorna poi all'atrio sinistro dalla vena polmonare e da qui, attraverso la valvola mitrale arriva al ventricolo sinistro. Da qui viene pompato, attraverso la valvola aortica, nell'aorta e di qui raggiunge i tessuti per ossigenarli.

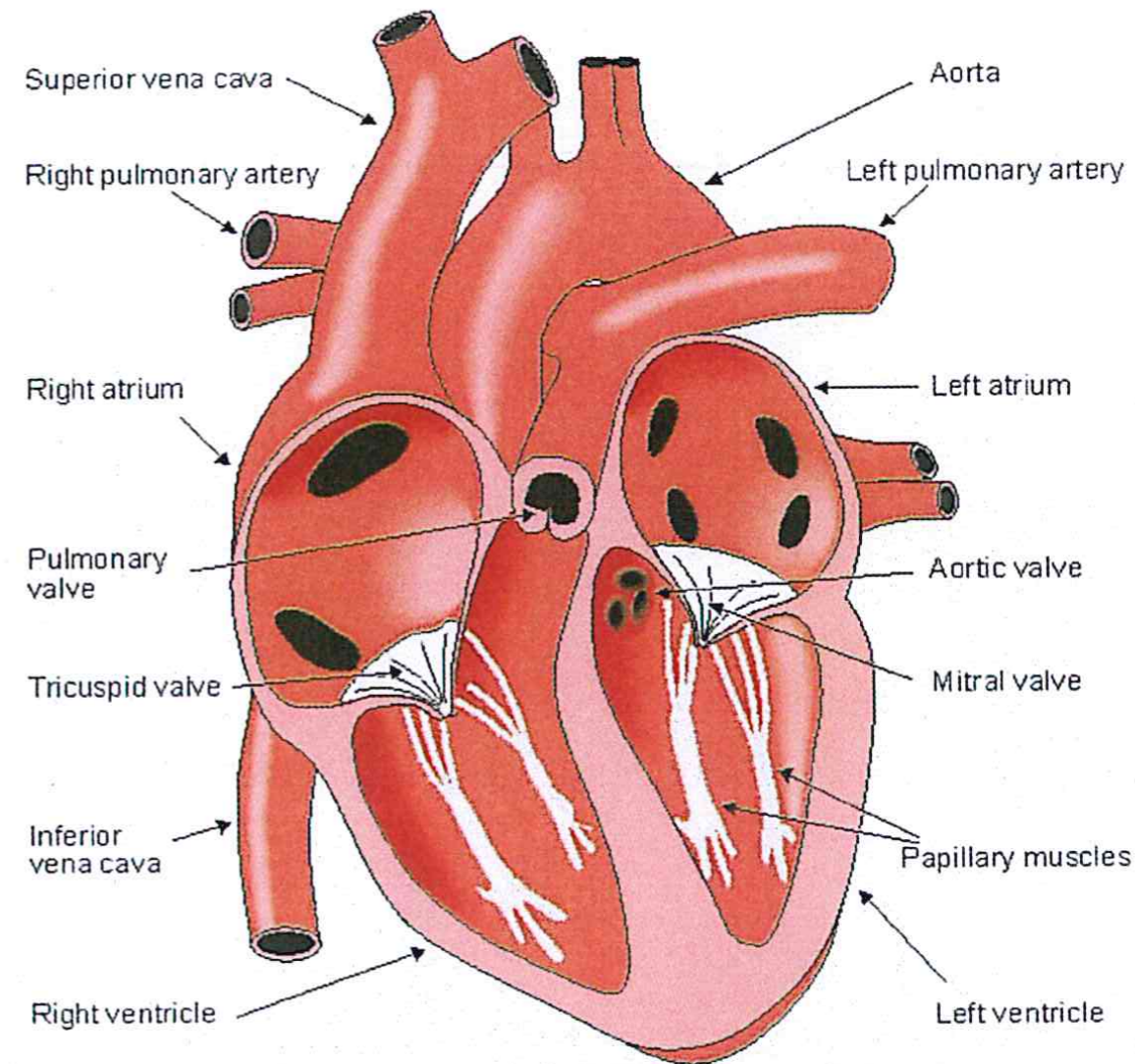


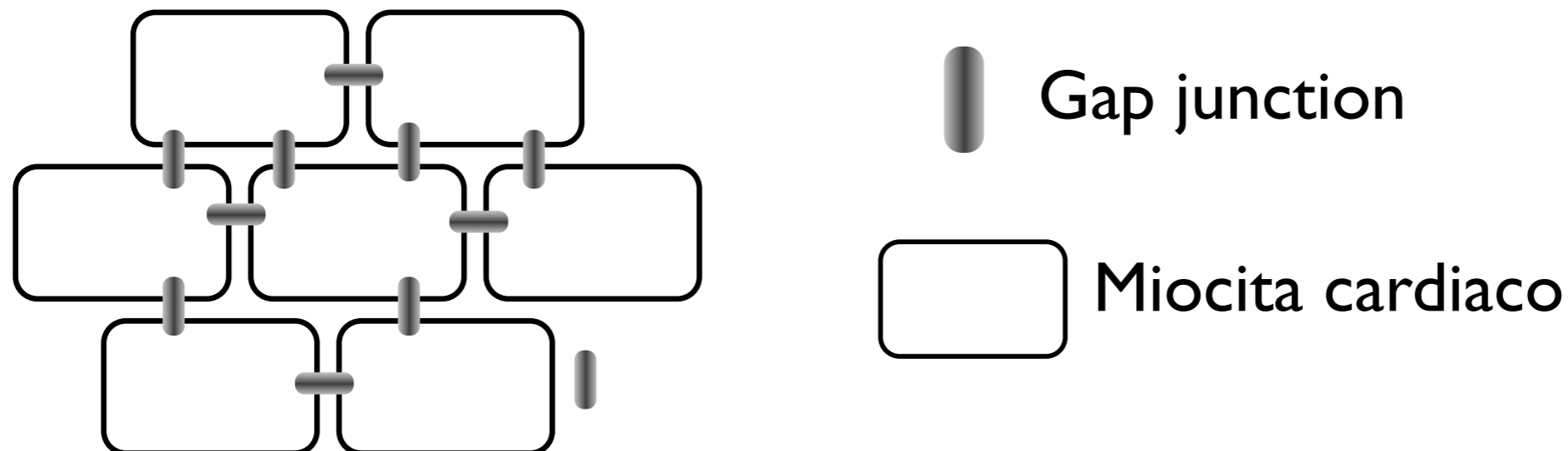
fig.2: Anatomia del cuore e vasi ad esso associati

Attivazione elettrica del cuore

- Muscolo cardiaco (**miocardio**)
 - La maggior parte è costituita **tessuto muscolare striato** (come nel muscolo scheletrico) formato da cellule dette miociti cardiaci.
 - L'1% delle cellule miocardiche è invece deputato alla generazione spontanea dello stimolo contrattile. Tali cellule, chiamate **autoritmiche o pace-maker**, hanno un ruolo fondamentale nella regolazione della frequenza cardiaca.
 - A differenza di quanto accade per il muscolo scheletrico, i miociti cardiaci sono **piccoli e mononucleati**.
 - Come il muscolo scheletrico, il miocita cardiaco ha nel **sarcolemma** (membrana cellulare) la sua principale unità funzionale. Con esso condivide anche la striatura ed i meccanismi di contrazione.

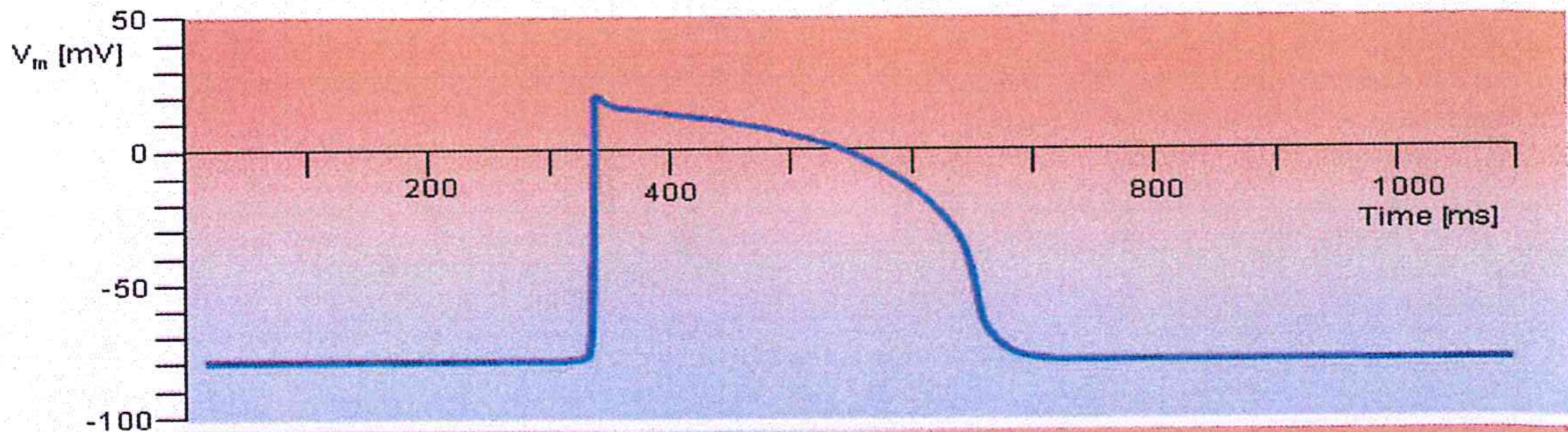
Attivazione elettrica del cuore

- Una delle caratteristiche peculiari del cuore è il legame esistente tra le singole cellule
 - I miociti cardiaci (a differenza delle fibre muscolari del muscolo scheletrico) sono connessi gli uni agli altri alle estremità, attraverso i dischi intercalari (gap junctions), che provvedono ad un accoppiamento sia elettrico che meccanico.
 - Grazie a questi stretti rapporti, le cellule si contraggono quasi simultaneamente ed il muscolo cardiaco può essere paragonato ad un'unica grande cellula



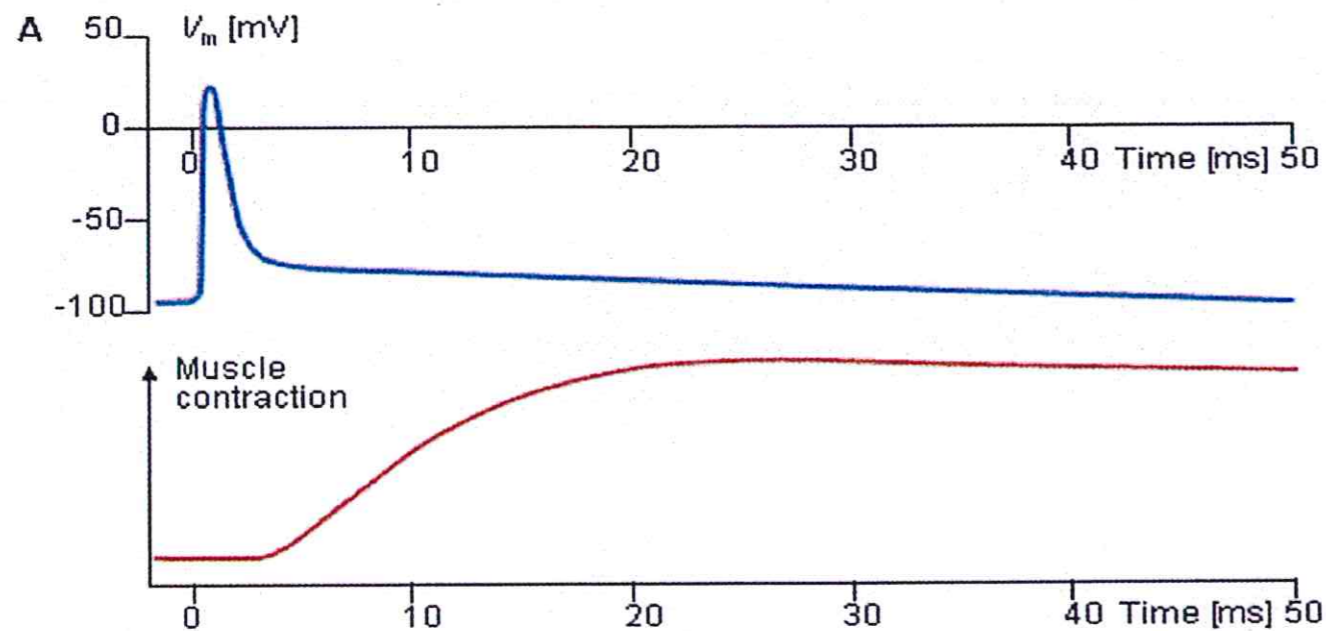
Attivazione elettrica del cuore

- Attivazione elettrica dei miociti avviene con le modalità viste in precedenza
- Potenziale di azione di ampiezza 100mV ma di durata molto maggiore a quella del potenziale di azione delle cellule nervose e del muscolo scheletrico
- Depolarizzazione veloce seguita una lunga fase di plateau a cui segue una ripolarizzazione: **durata circa 300 ms.**
 - periodo refrattario è molto lungo e questo è funzionale all'attività cardiaca (eventuali altri eventi di attivazione dovuti a cellule auto-ritmiche non daranno effetto)

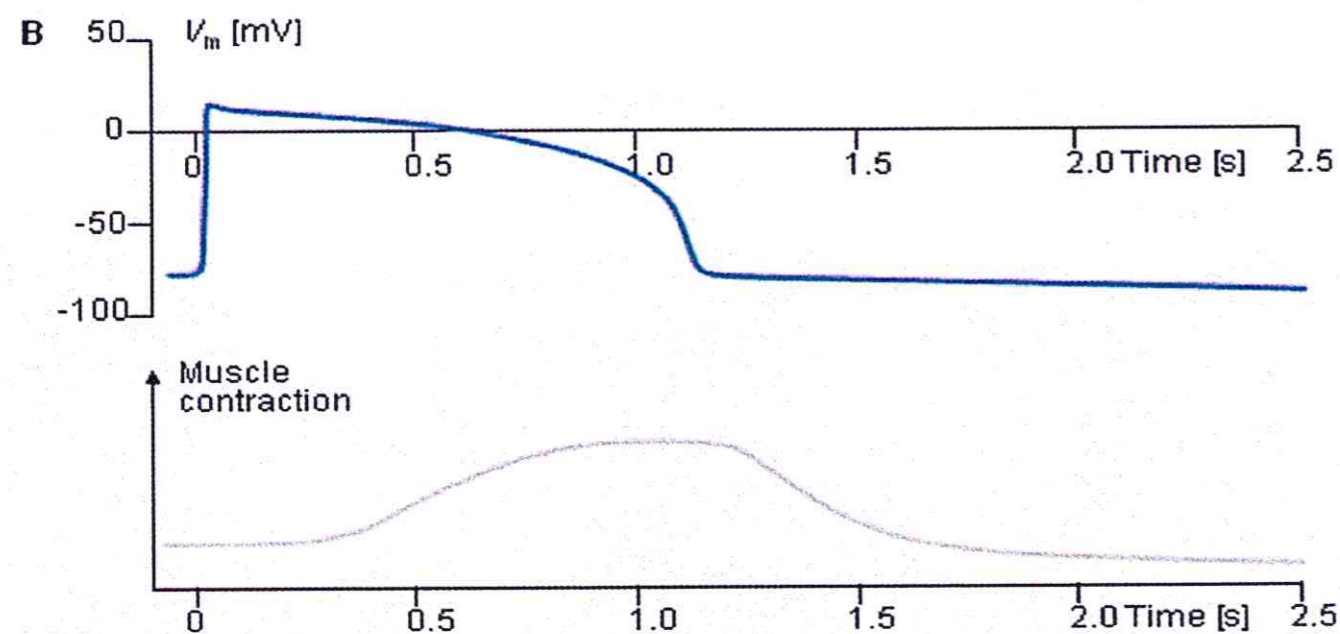


Attivazione elettrica del cuore

- Associata alla attivazione elettrica vi è la contrazione meccanica che avviene con un minimo tempo di ritardo.



muscolo
scheletrico



cuore

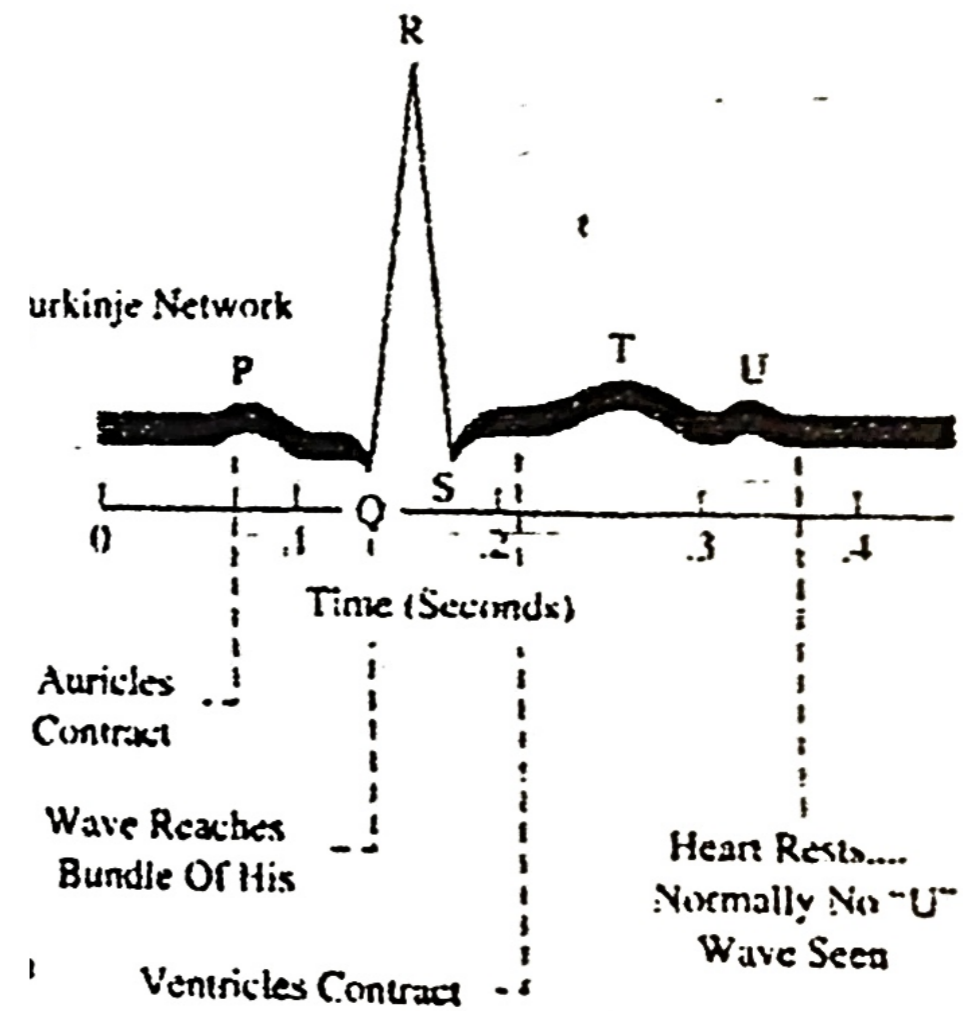
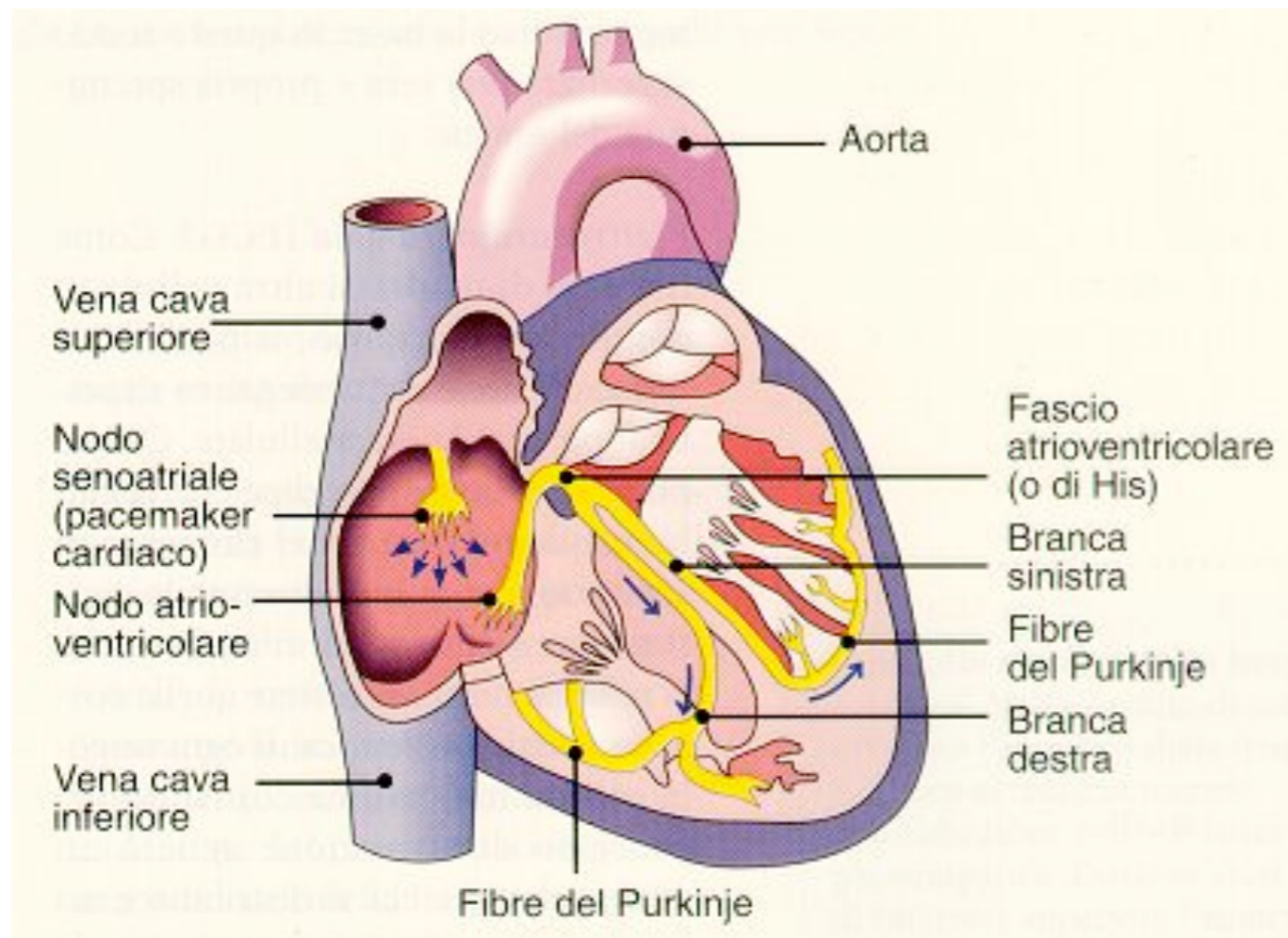
Attivazione elettrica del cuore

- Dal punto di vista elettrico esistono numerose analogie fra cellule miocardiche e nervose
 - Eccitabili, mantenimento del potenziale di riposo attraverso pompe attive (contro gradiente)
- Differenze
 - Le cellule miocardiche formano un sincizio funzionale: regioni di contatto (dischi intercalari) lungo la sezione in cui il segnale elettrico può propagarsi da una cellula all'altra
 - Velocità di propagazione: miocardio 0.3 m/sec, assone 100 m/sec

Conduzione dell'impulso elettrico nel cuore

- L'eccitamento del cuore ha origine nel **nodo seno-atriale** (SA) dal quale l'impulso si propaga alla muscolatura atriale, al **nodo atrio-ventricolare** (AV), al sistema di Purkinje e alla muscolatura ventricolare.
- Nodo SA eccita gli atri e controlla la frequenza delle pulsazioni
- Ventricoli e atri isolati elettricamente da un anello fibroso. La conduzione può avvenire esclusivamente tramite il nodo AV (introduce un ritardo, l'impulso si propaga fino alle fibre del Purkinje)
 - si evita che l'impulso si propaghi troppo velocemente da atri a ventricoli (gli atri hanno il tempo di pompare il loro contenuto prima che cominci la contrazione ventricolare)
- Dal nodo AV il sistema del Purkinje trasmette l'impulso alla muscolatura ventricolare (velocità alta fino a 2 m/s). Il sistema del Purkinje consente un trasmissione istantanea dell'impulso alla muscolatura ventricolare.

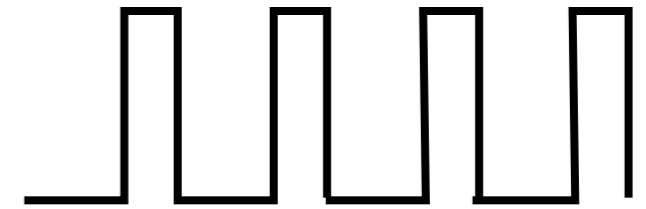
Generazione e conduzione dell'impulso



The ECG Measures The Gross Condition Of The Heart Muscle

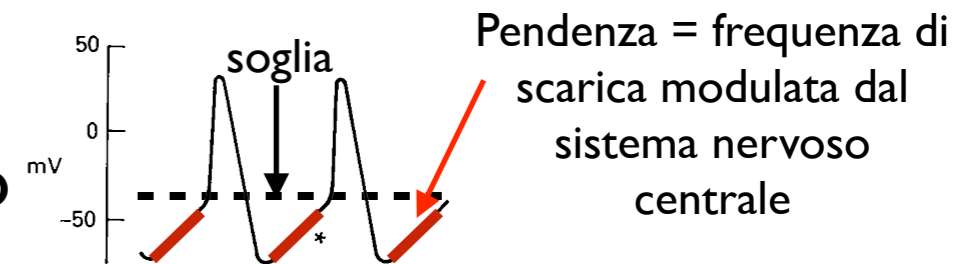
Generazione e conduzione dell'impulso

- Depolarizzazione e contrazione atriale (onda P)



- Avviata dal nodo seno-atriale (SA)

- sottile fascia di cellule poste nell'atrio destro



- Cellule auto-ritmiche: generano spontaneamente potenziali d'azione in assenza di stimoli provenienti dal sistema nervoso. Hanno un potenziale di membrana instabile, che parte da -60 mV e sale lentamente verso un valore di soglia. Questo potenziale di membrana instabile è detto potenziale pacemaker (non si parla di potenziale di membrana a riposo, perché non presenta mai a un valore costante).

- “astabile” triggerabile dal sistema nervoso centrale dà l'avvio alla contrazione atriale (onda quadra dal periodo modulabile)

- Il potenziale generato dal nodo SA eccita i muscoli atriali e l'impulso di depolarizzazione si propaga lungo i muscoli degli atri (0.3 m/s) e su tessuto specializzato verso il nodo atrio-ventricolare (0.45 m/s)

Generazione e conduzione dell'impulso

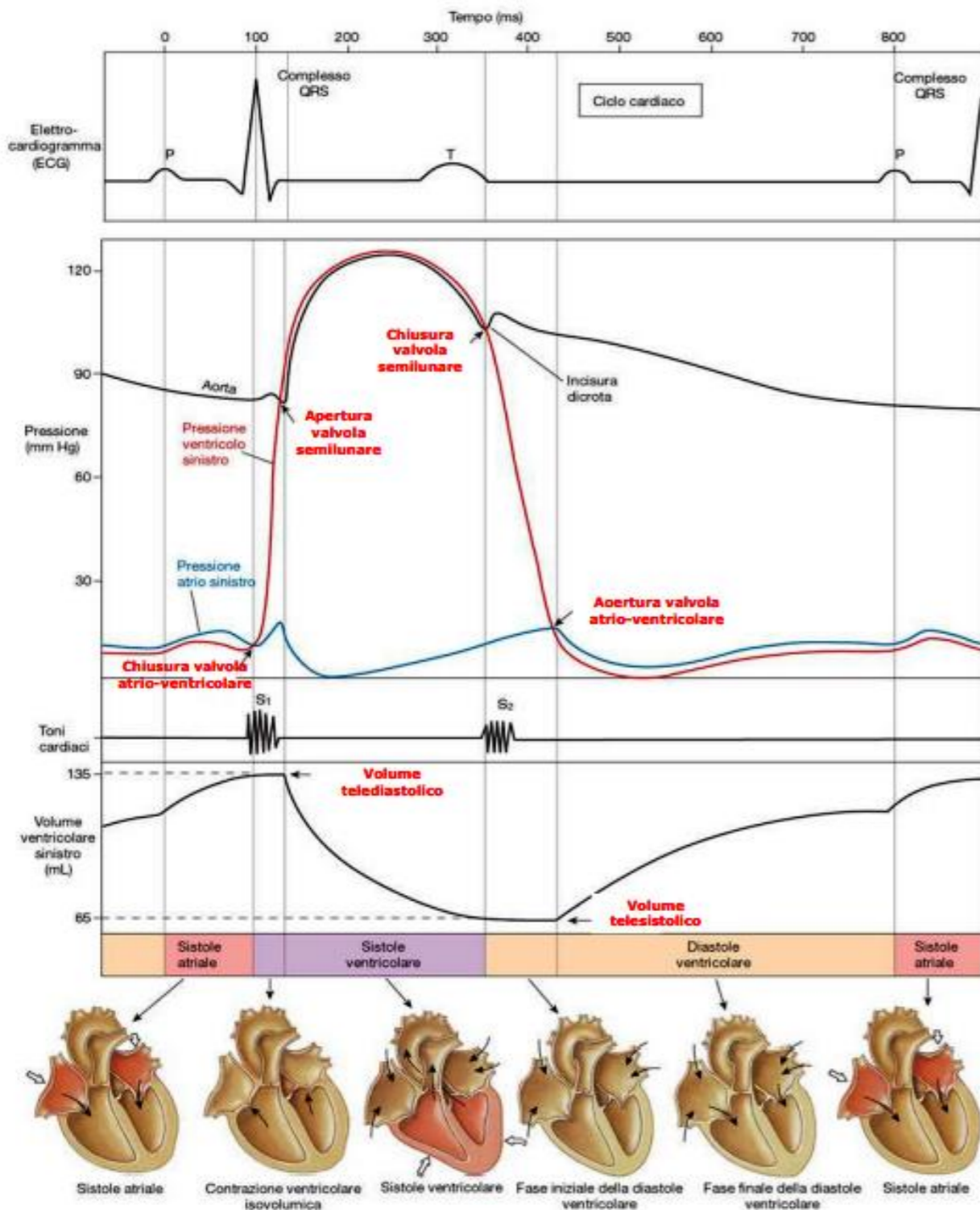
- Depolarizzazione e contrazione ventricolare (complesso QRS)
 - L'impulso atriale non può trasmettersi direttamente ai ventricoli
 - L'impulso arriva al nodo atrio-ventricolare (AV) che lo trasmette ai ventricoli attraverso il gruppo di HIS
 - il nodo AV si comporta come un monostabile che introduce un ritardo di circa 100 ms per sincronizzare la contrazione ventricolare col flusso sanguigno
 - in condizioni normali: cellula auto-ritmica inibita (frequenza di scarica 40-60 impulsi/min.)
- Le fibre del Fascio di His (cellula auto-ritmica inibita: 20-40 impulsi/min) propagano l'impulso alla massa cardiaca ventricolare, dividendosi in due branche, destra e sinistra.
- Fibre di Purkinje: conduzione veloce dell'impulso (2-4 m/s) permettono di portare contemporaneamente l'impulso di contrazione a tutti i muscoli del ventricolo



Generazione e conduzione dell'impulso

- L'insieme dei potenziali di azione delle cellule coinvolte e delle fibre muscolari dà luogo a un segnale rilevabile esternamente: ECG
 - Onde P, Q, R, S, T
 - Durata costante indipendente dalla frequenza del battito (dipende dalla velocità di conduzione e dal ritardo del nodo atrio-ventricolare)
 - Corrispondenza tra caratteristiche elettriche del segnale ECG e comportamento meccano-idraulico del cuore
 - Onda T corrisponde alla ripolarizzazione ventricolare
- In ambito di pacemaker i potenziali di azione vengono rilevati all'interno delle cavità cardiache

Segnali elettrici e meccanici



Diastole A e V: cuore a riposo, A e V sono rilasciati, le valvole AV sono aperte. A si stanno riempiendo di sangue proveniente dalle vene. Il sangue fluisce dagli A ai V per gradiente di pressione e i V si espandono per facilitare l'ingresso del sangue.

Sistole A e diastole V: il completo riempimento ventricolare avviene durante la contrazione atriale, quando gli atri si contraggono e spingono il sangue nei ventricoli. (**ONDA P**)

Sistole V e diastole A: la sistole V ha inizio quando termina la sistole A e si chiudono le valvole AV. Con le valvole AV e semilunari (aortica e polmonare) chiuse i ventricoli continuano a contrarsi ma il volume di sangue non cambia. Nel frattempo inizia la diastole A (**QRS**).

Eiezione V e diastole A: la contrazione dei V è tale che la pressione è sufficiente da aprire le valvole semilunari e spingere il sangue nelle arterie. Nel frattempo gli atri si continuano a riempire e le valvole AV sono ancora chiuse (alla fine **onda T**).

Diastole V e diastole A: al termine dell'eiezione la pressione V diminuisce e una volta che scende sotto quella delle arterie, le valvole semilunari si chiudono. A questo punto i V sono di nuovo isolati e sia le valvole semilunari che le AV sono chiuse. Quando il rilasciamento V provoca un abbassamento della pressione V al di sotto di quella atriale, le valvole AV si aprono. Il sangue che si è accumulato negli A durante la contrazione V passa nei ventricoli e il ciclo cardiaco ricomincia.

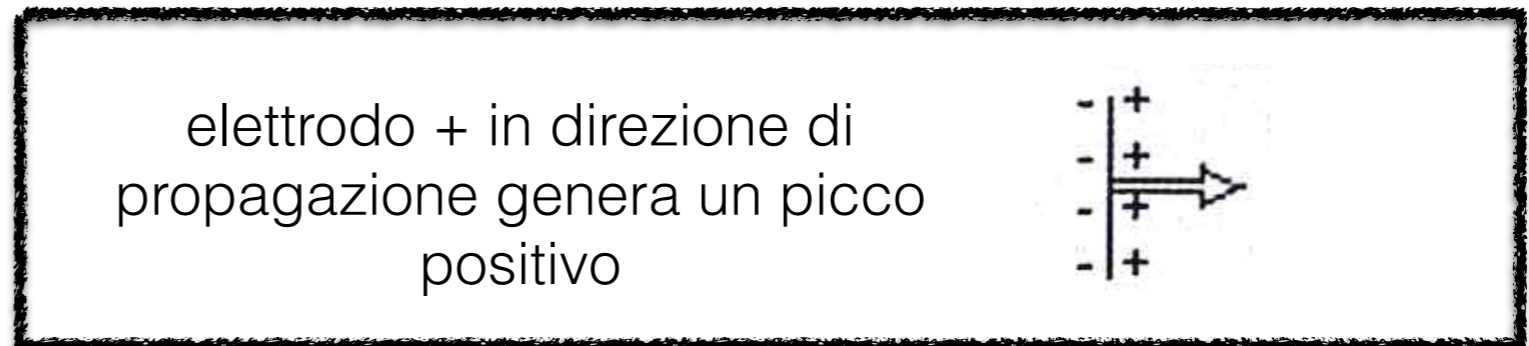
Diagramma di Wiggers

Potenziali rilevabili

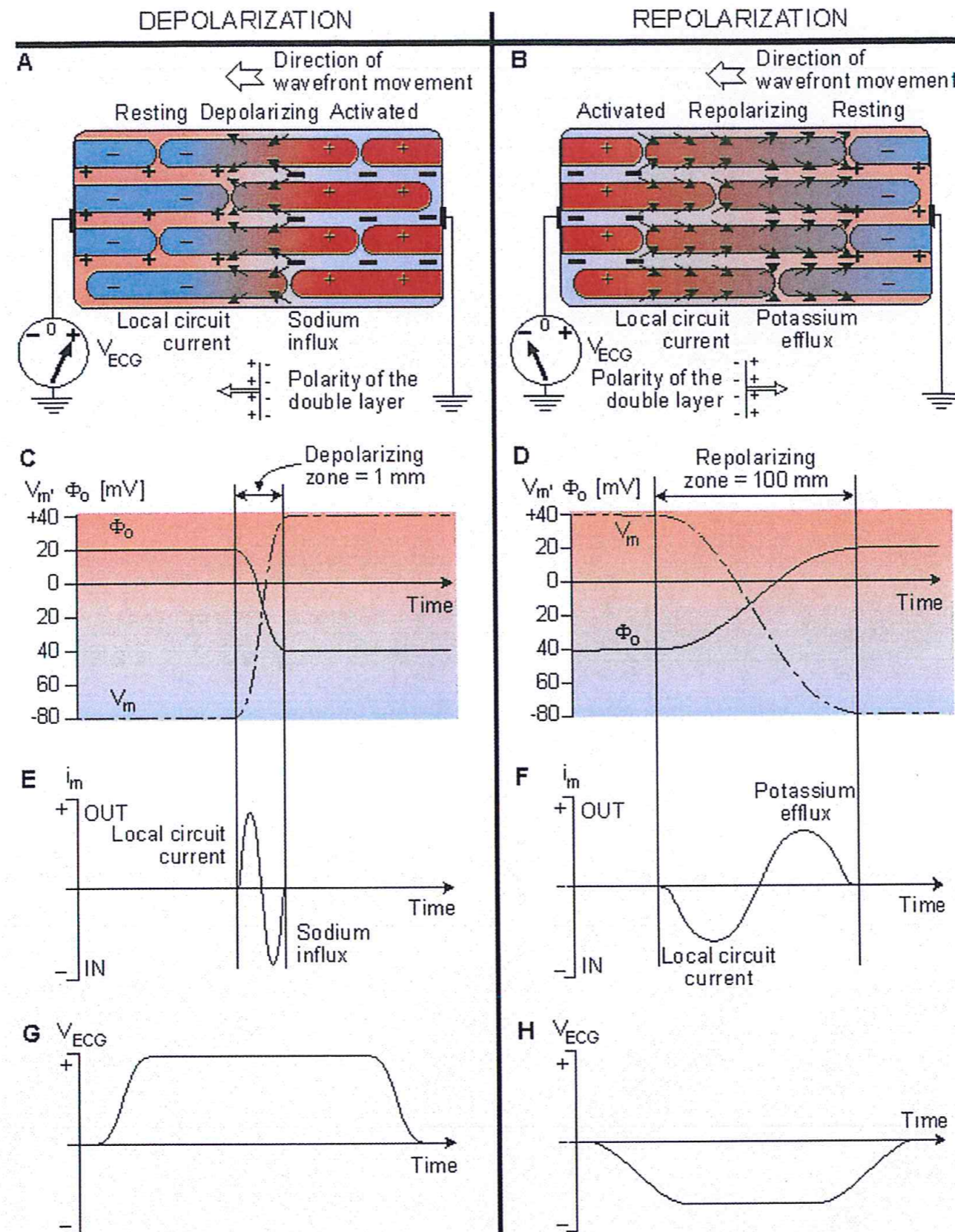
- Elettrocardiogramma: registrazione del potenziale elettrico generato dall'attività elettrica del cuore effettuata sulla superficie del torace
- Nei pacemaker si misura del potenziale elettrico generato inserendo microelettrodi impiantabili all'interno delle camere cardiache
- Quando un'onda elettrica attraversa il cuore e si dirige verso l'elettrodo positivo la polarità della tensione misurata è positiva, e viceversa.
- Le proprietà del tessuto cardiaco fanno sì che le **correnti** intra-cellulari ed extra-cellulari siano confinate a propagarsi in **direzione parallela** alla direzione di **propagazione del fronte di depolarizzazione**.
 - Gap junctions: percorsi a bassa resistenza tra cellule adiacenti. Consentono alla corrente di fluire dallo spazio intra-cellulare di un miocita a quello di una cellula adiacente.
 - Dimensioni ridotte spazio interstiziale tra le cellule (meno del 25% del totale)

Potenziali rilevabili

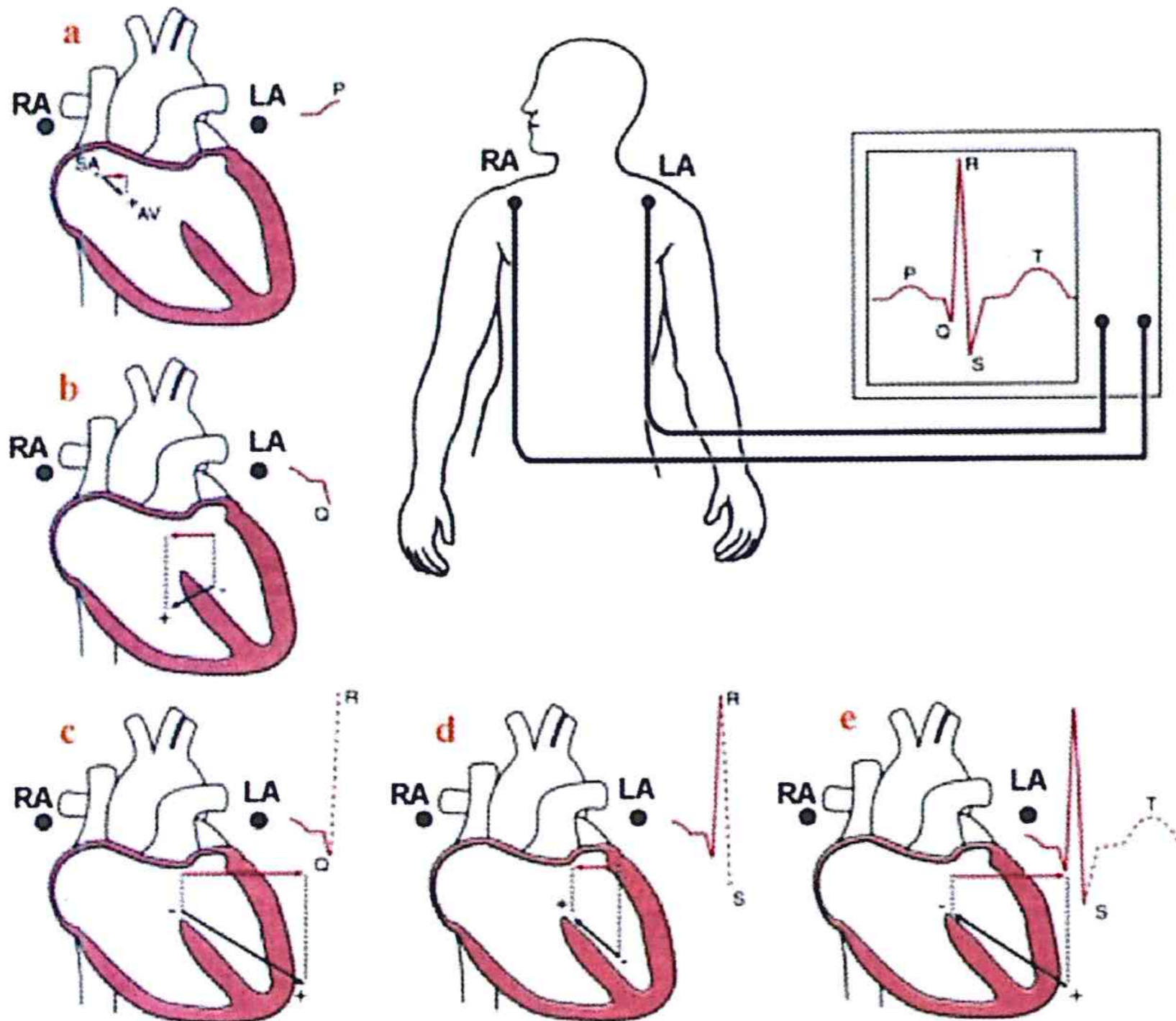
- A riposo le cellule miocardiche hanno carica positiva all'esterno e negativa all'interno
- Quando si depolarizzano l'esterno diventa negativo
 - quelle ancora a riposo restano invariate
- Una parte del miocardio che si depolarizza in modo ordinato diventa un dipolo
- Depolarizzazione: dipolo +- orientato nella direzione di propagazione.



Genesi del potenziale misurato



Potenziali rilevabili



Ampiezza dipolo:
proporzionale alla massa
interessata

Direzione e verso:
propagazione dell'onda di
depolarizzazione/
ripolarizzazione

Polarità: orientamento
degli elettrodi rispetto al
cuore

Figura 1. Sequenza dei dipoli principali che danno origine alle onde elettromagnetiche: le frecce nere sono i vettori che ne rappresentano l'ampiezza e la direzione. L'ampiezza è proporzionale alla massa del miocardio interessata; la direzione è determinata dall'orientamento delle regioni depolarizzate e di quelle polarizzate del miocardio. Le linee nere verticali a puntini rappresentano la proiezione di ogni vettore sulle coordinate RA-LA, determinando la componente verticale che è registrata dall'ECG (frecce rosse). Riquadro a: Attivazione atriale (onda P); Riquadri b, c, d: Depolarizzazione ventricolare (complesso QRS); Riquadro e: Ripolarizzazione ventricolare (onda T)

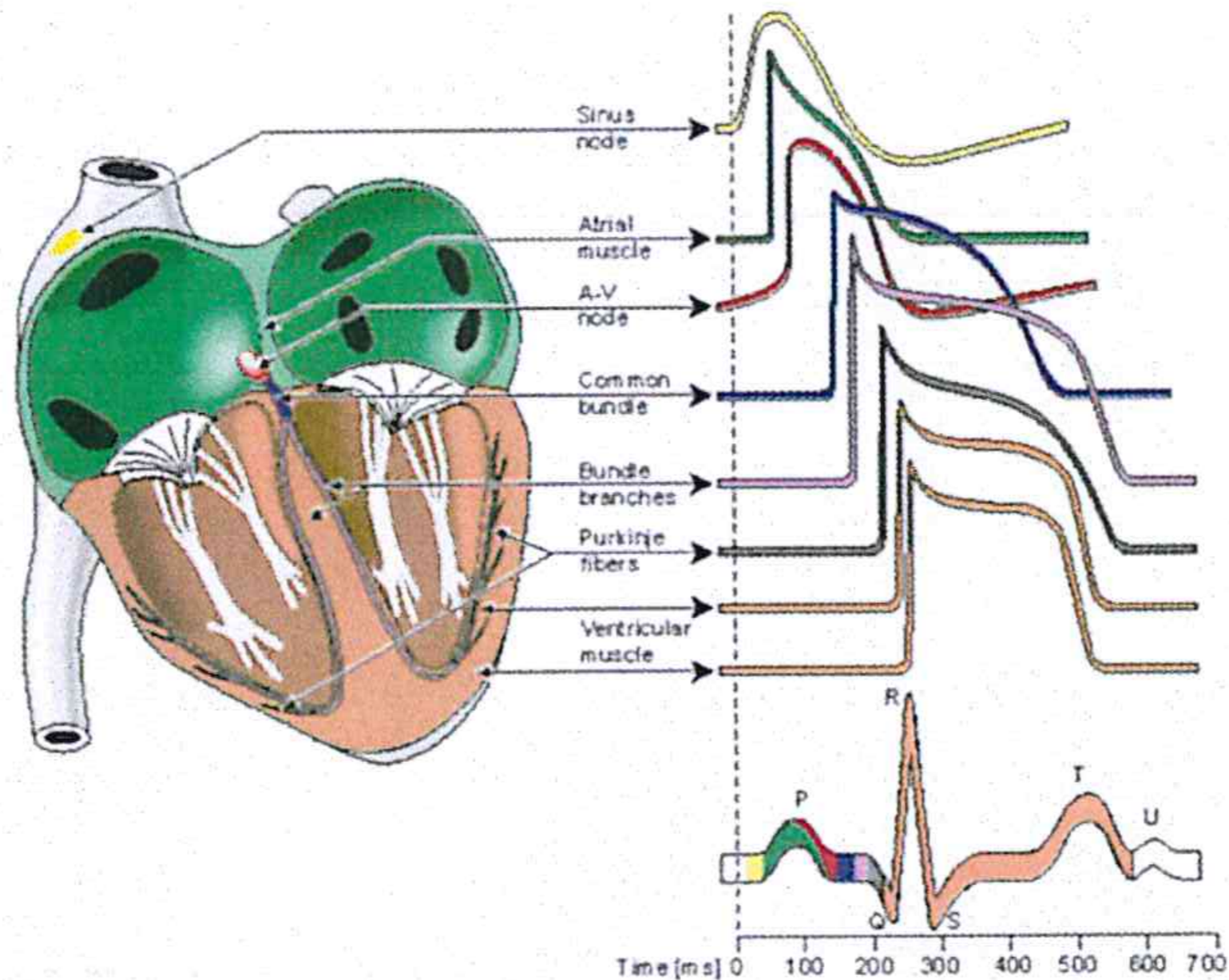
Fasi ECG

- Onda P e attivazione atriale
 - L'eccitazione degli atri deriva da un'onda di depolarizzazione che ha origine nel nodo seno-atriale e si propaga nel miocardio atriale. Il dipolo generato ha ampiezza proporzionale alla massa degli atri ed è diretto verso il nodo atrio-ventricolare.
- Tratto PR e conduzione atrio-ventricolare
 - Con il procedere lento dell'eccitazione attraverso il nodo AV, la massa di miocardio interessata è troppo piccola e il segnale non è rilevabile esternamente (intervallo tra onda P e inizio depolarizzazione ventricolare)

Fasi ECG

- **Onda T e la ripolarizzazione ventricolare**

- La ripolarizzazione ventricolare genera un dipolo (polarità - in direzione di propagazione) che sull'elettrocardiogramma è rappresentato dall'onda T.



Fasi ECG

- Il complesso QRS e la depolarizzazione atrio-ventricolare
 - L'onda di depolarizzazione emerge dal nodo AV e procede lungo il fascio di HIS e il sistema di Purkinje. Nella prima fase il punto RA è positivo rispetto a LA (provoca un picco negativo, così piccolo da essere appena visibile).
 - Successivamente l'onda di depolarizzazione si propaga a tutta la superficie interna dei ventricoli, procedendo poi dagli strati più interni (endocardio) a quelli più esterni (epicardio). Il dipolo prodotto è positivo rispetto al punto LA e provoca un picco molto ampio a causa della massa coinvolta.
 - L'ultima parte dei ventricoli che si depolarizza è quella a contatto con gli atri. In questa ultima fase il dipolo è orientato in modo da generare una deflessione negativa (punto LA positivo rispetto a RA). Il voltaggio torna a zero quando tutta l'area ventricolare si è depolarizzata.
- Il complesso QRS riflette la progressione della depolarizzazione ventricolare

Forma d'onda ECG

| Evento | Durata (sec) | Ampiezza (mV) | Significato |
|-----------------------|---------------------|----------------------|--|
| ONDA P | 0.07-0.12 | 0.2-0.4 | Depolarizzazione atri |
| COMPLESSO QRS | 0.06-0.10 | 1-2 | Depolarizzazione ventricoli |
| ONDA T | 0.18-0.20 | 0.4-0.5 | Ripolarizzazione ventricoli |
| INTERVALLO P-R | 0.12-0.20 | | Tempo di conduzione atrio-ventricolare |
| INTERVALLO Q-T | 0.40-0.42 | | Tempo depolarizzazione e ripolarizzazione ventricoli |
| INTERVALLO S-T | 0.30-0.34 | | Tempo dalla fine della depolarizzazione all'inizio della ripolarizzazione ventricoli |
| INTERVALLO R-R | 0.8-0.9 | | Durata ciclo cardiaco |

lettura tracciato ECG

- Necessità di un algoritmo di lettura rapido e semplice che permetta l'identificazione di un'aritmia anche col solo utilizzo del monitor
- Approccio sistematico a passi successivi

- 1. È PRESENTE UNA QUALCHE ATTIVITÀ ELETTRICA?*
- 2. QUAL È LA FREQUENZA VENTRICOLARE? (QRS)*
- 3. IL RITMO (SUCCESIONE DEI QRS) È REGOLARE O IRREGOLARE?*
- 4. IL COMPLESSO QRS È STRETTO O LARGO?*
- 5. È IDENTIFICABILE L'ATTIVITÀ ATRIALE?*
- 6. QUAL È LA RELAZIONE TRA L'ATTIVITÀ ATRIALE E QUELLA VENTRICOLARE?*

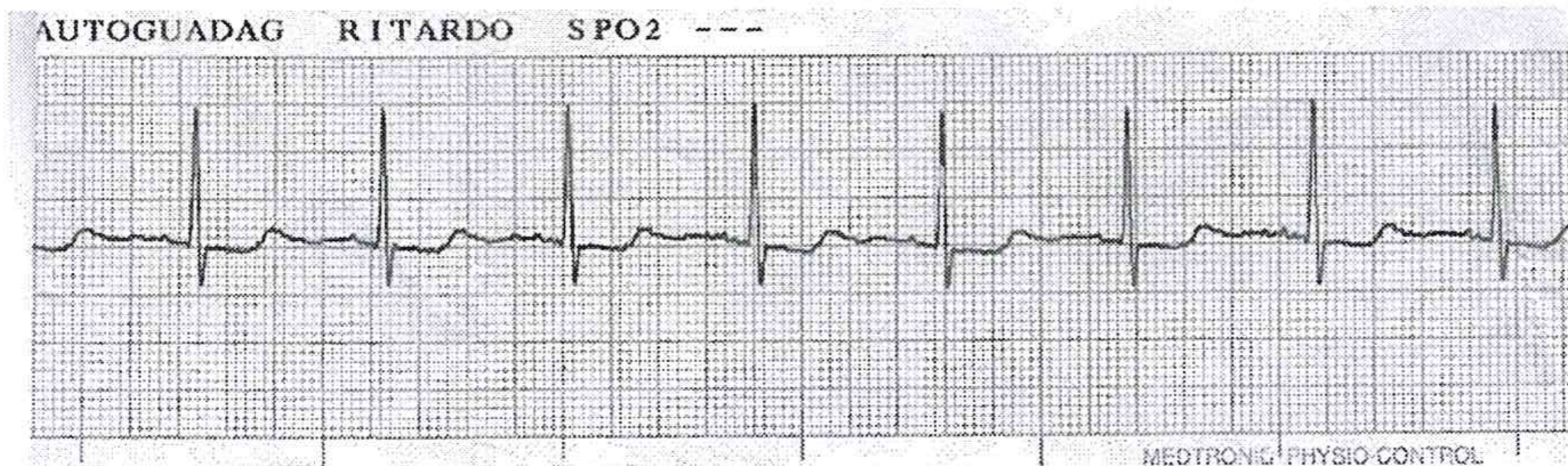
Attività elettrica -> QRS, se non sono identificabili possibile fibrillazione ventricolare o asistolia

Frequenza ventricolare

FREQUENZA = $300/n^\circ$ di quadretti larghi tra un QRS ed il successivo

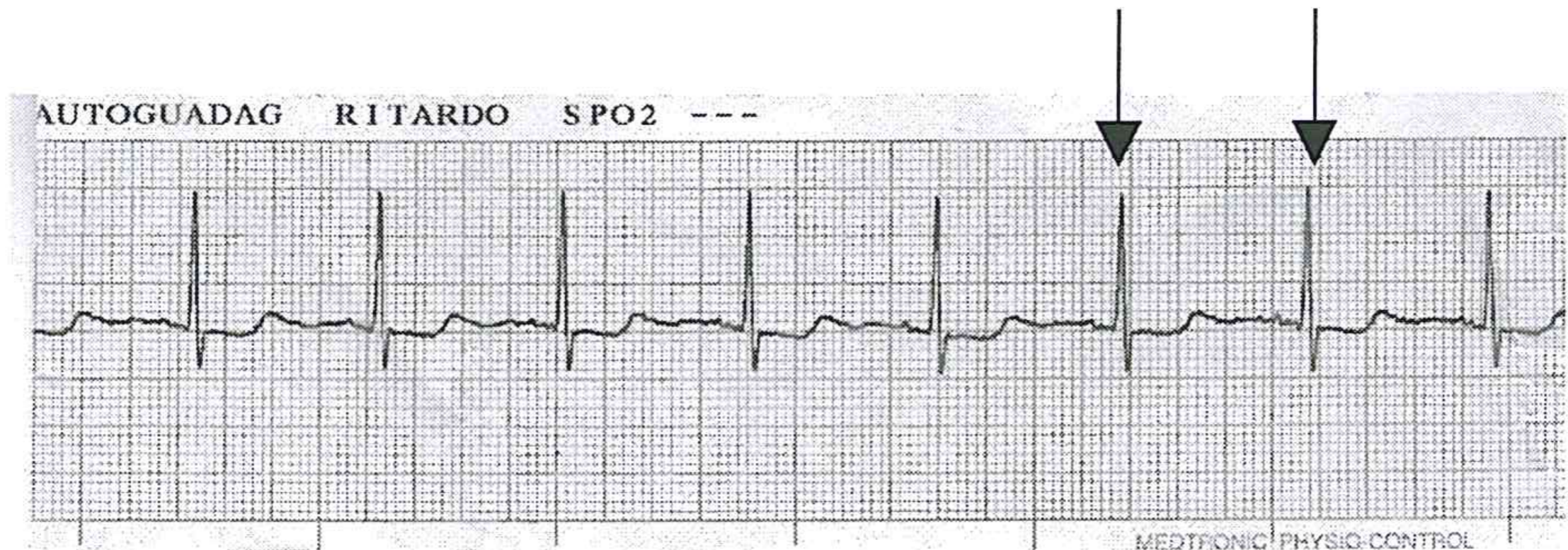
Distanza RR

| | |
|-------------------|----------------|
| FREQUENZA NORMALE | 60 – 100 b/min |
| BRADICARDIA | < 60 |
| TACHICARDIA | > 100 |



Ritmo regolare/irregolare

- Confrontare la durata degli intervalli RR



Classificazione delle aritmie

Una grossolana distinzione delle aritmie le suddivide secondo **L'ORIGINE** in:

Sopraventricolari:

origine al di sopra della biforcazione del fascio di His (atrii, giunzione av)
complessi usualmente stretti (<120 msec), ripolarizzazione normale

Ventricolari:

origine distalmente alla biforcazione del fascio di His (branche, fibre del Purkinje, miocardio di lavoro)
complessi larghi (>120 msec), ripolarizzazione alterata

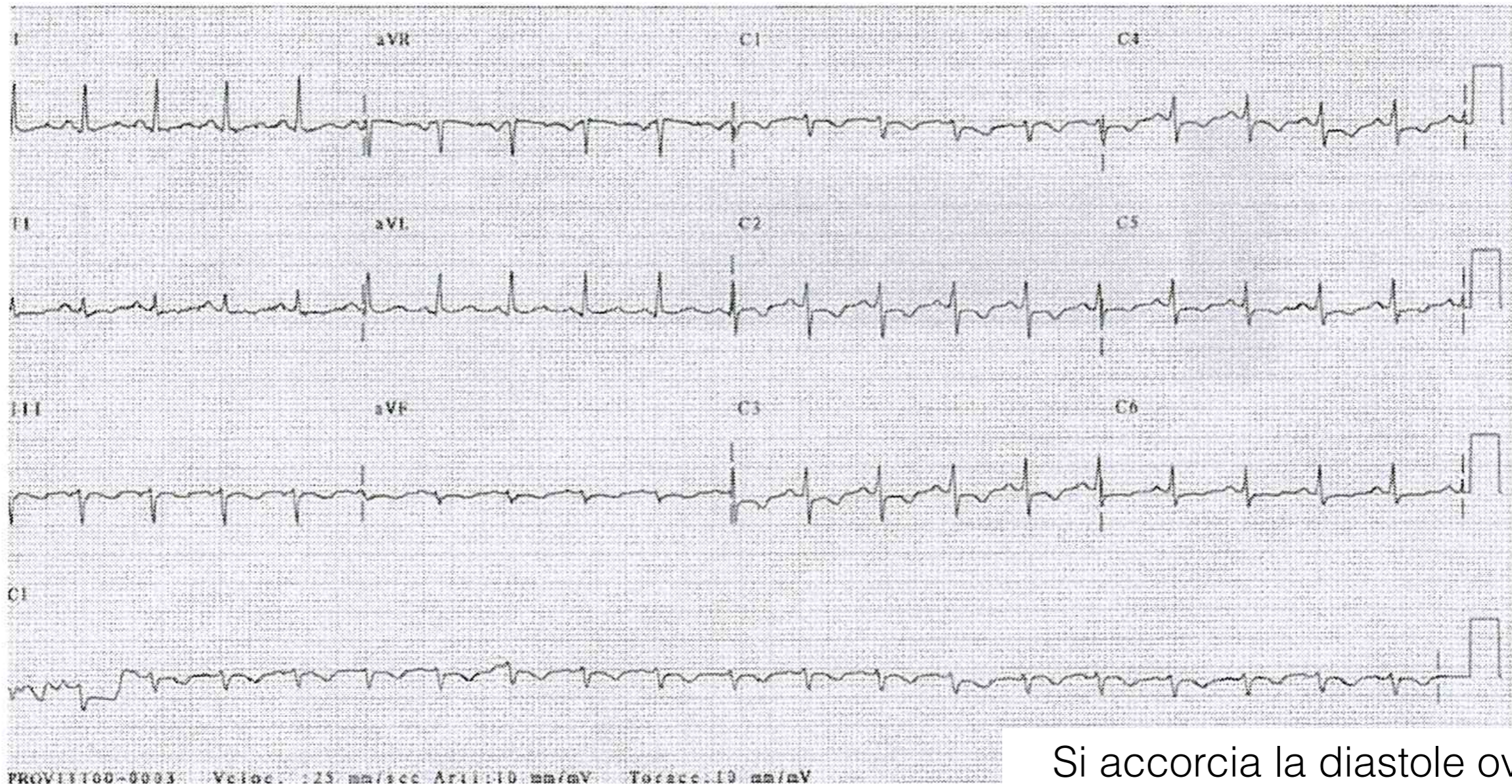
Ispezione forme d'onda

- Attività atriale (onda P)
 - Valutazione della frequenza, regolarità e morfologia
 - Da rallentare se a frequenza troppo elevata
- Attività ventricolare (QRS)
 - Se normale insorge in sede sopraventricolare
 - Se largo insorge in sede ventricolare (cellule autoritmiche del fascio di HIS) o sopraventricolare con perdita della conduzione
- è utile osservare la correlazione tra onda P e complesso QRS

Tachicardia sinusale

TACHICARDIA SINUSALE

La tachicardia sinusale è un ritmo sinusale ad una frequenza uguale o maggiore a 100 bpm.

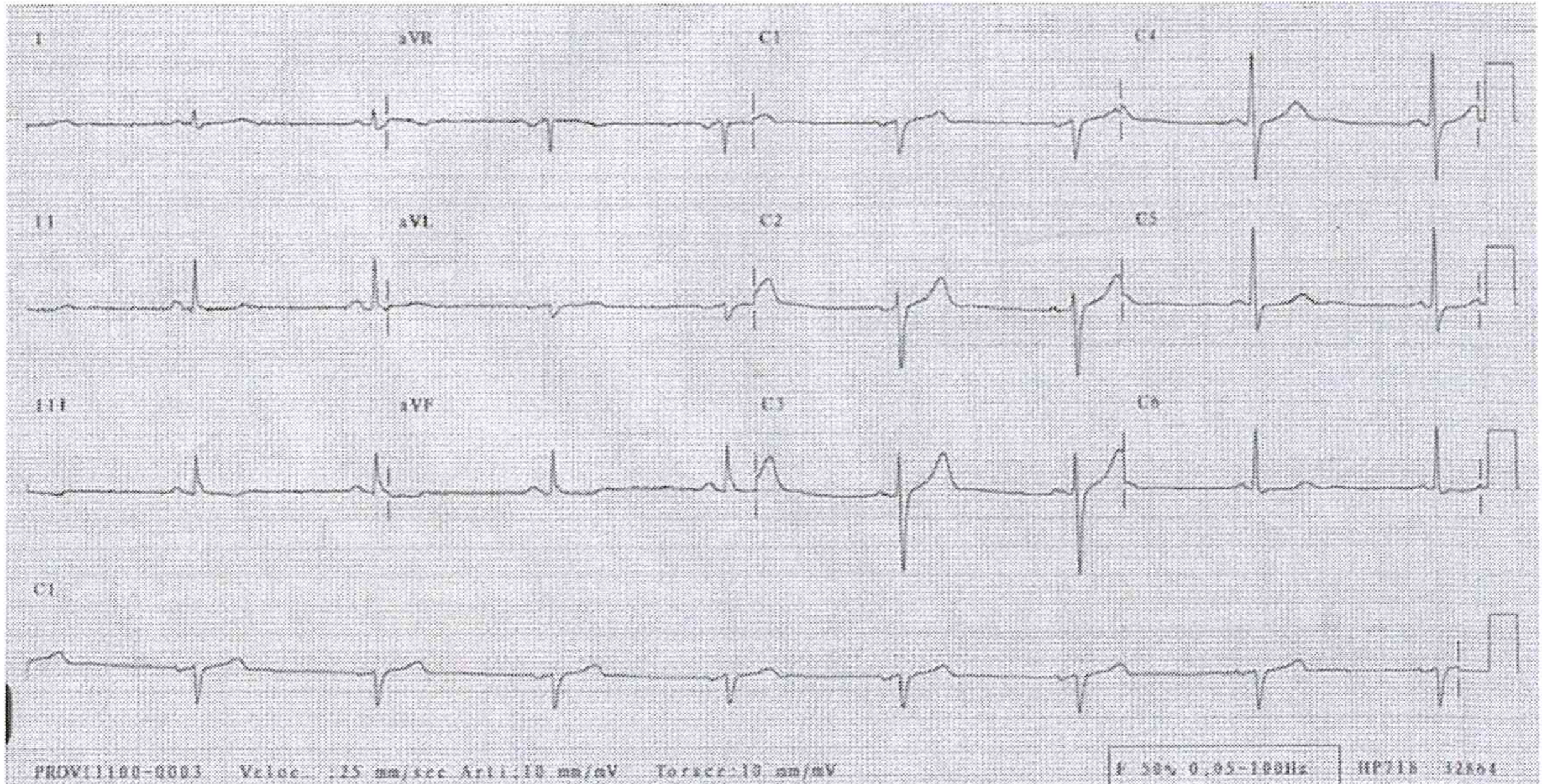


Si accorcia la diastole ovvero l'unico intervallo di tempo in cui il cuore può essere perfuso da ossigeno

Bradycardia sinusale

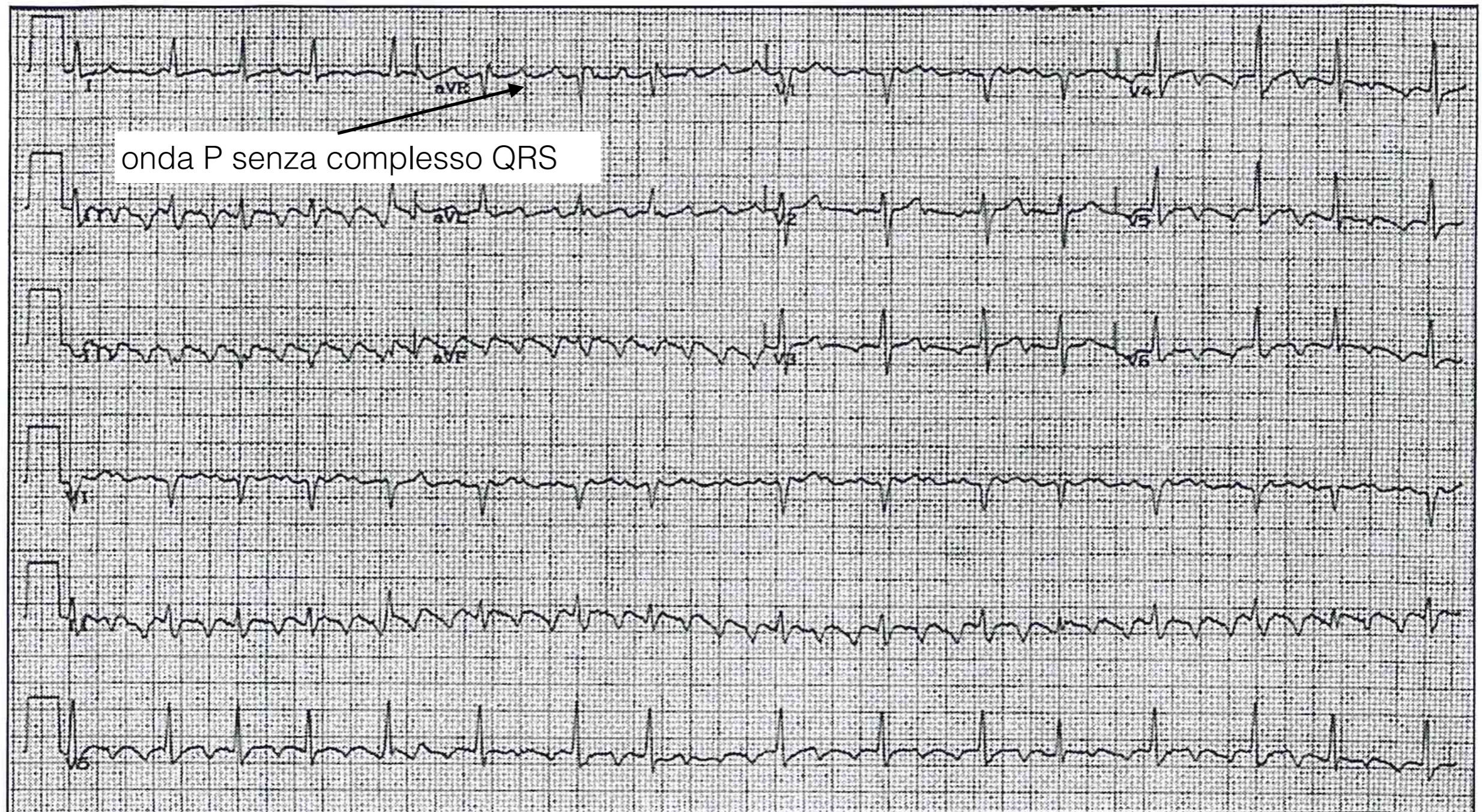
BRADICARDIA SINUSALE

La bradicardia sinusale è un ritmo sinusale con una frequenza cardiaca inferiore a 60 bpm.



Flutter atriale

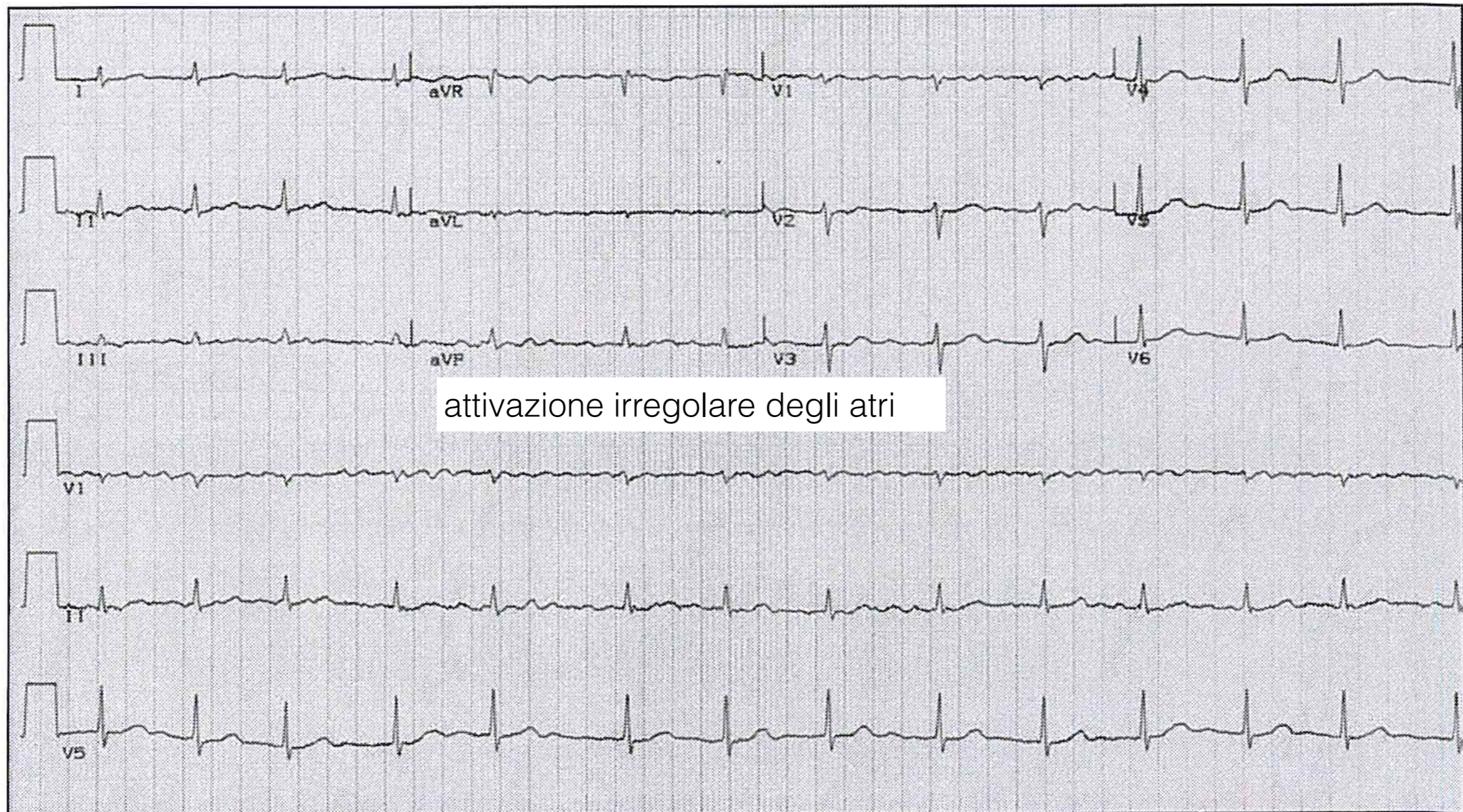
Aritmia sopraventricolare con contrazione dell'atrio molto rapida (la frequenza atriale può arrivare a 250-350 impulsi al minuto). Generalmente si instaura un blocco nella conduzione atrio-ventricolare (la frequenza percepita è normalmente di circa 150 battiti al minuto, le onde P generano un QRS. Il meccanismo elettrofisiologico alla base del flutter è un rientro dello stimolo elettrico all'interno dell'atrio (rientro intra-atriale) che può interessare tutto l'atrio o una parte di esso.



Fibrillazione atriale

Aritmia sopra-ventricolare caratterizzata da un'attivazione casuale degli atri.

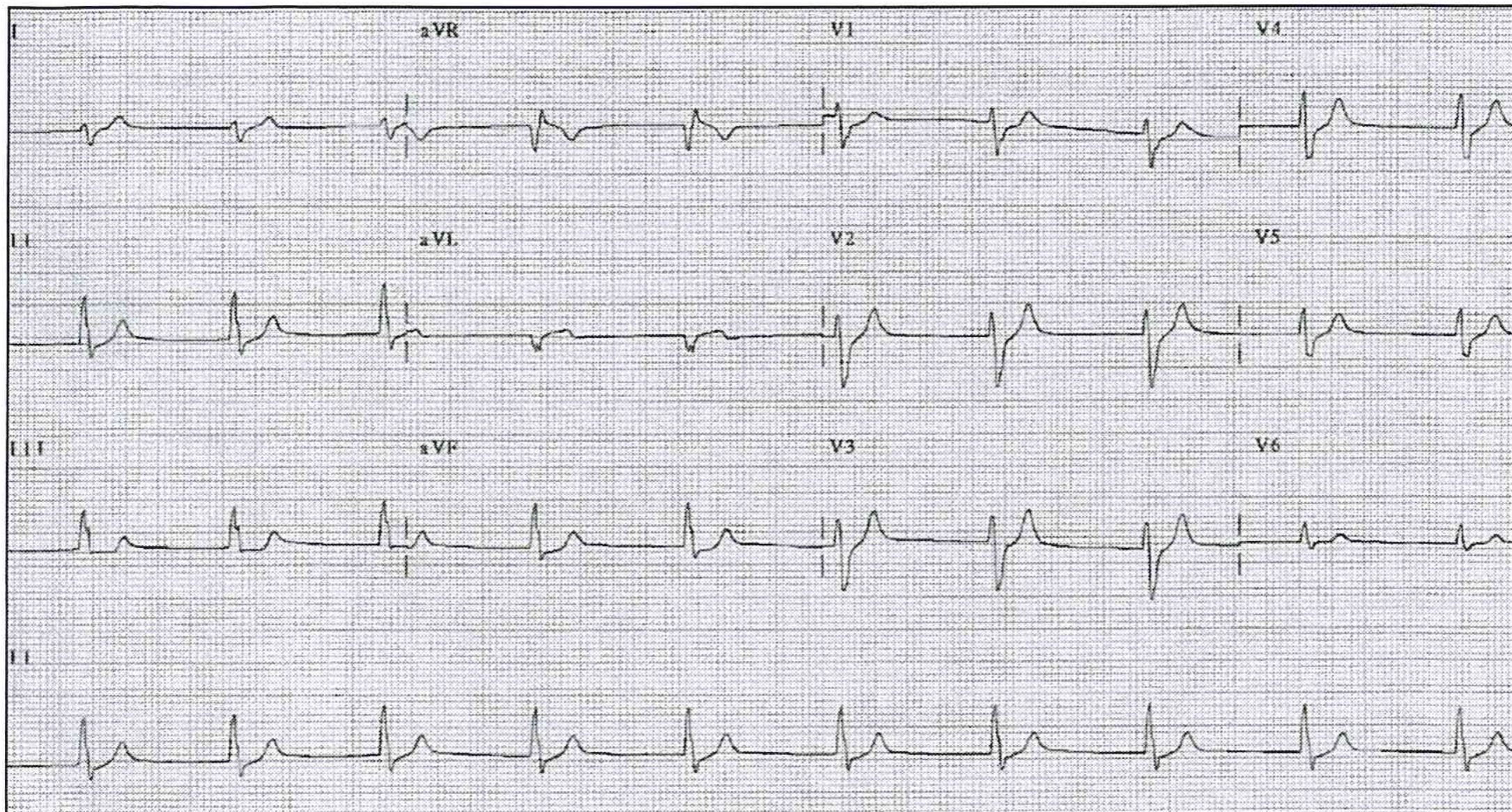
L'attivazione atriale avviene in maniera caotica e frammentaria dando origine a multipli fronti d'onda e a contrazioni disorganizzate e frammentarie.



Ritmo giunzionale

Ritmo di scappamento ovvero generato da cellule pacemaker diverse dal nodo SA

Il ritmo giunzionale è un ritmo di scappamento ad origine nel nodo AV il quale prende sopravvento, agendo come pacemaker del cuore, se il nodo del seno non funziona e negli atri non emerge alcun altro *focus* di eccitazione. Il ritmo è regolare, FC 40-60 bpm, complessi QRS normali che possono essere preceduti o seguiti da onde P retrograde. (N.B.: i complessi QRS sono slargati/deformati se vi è un preesistente BBD o BBS).



Ritmo idioventricolare

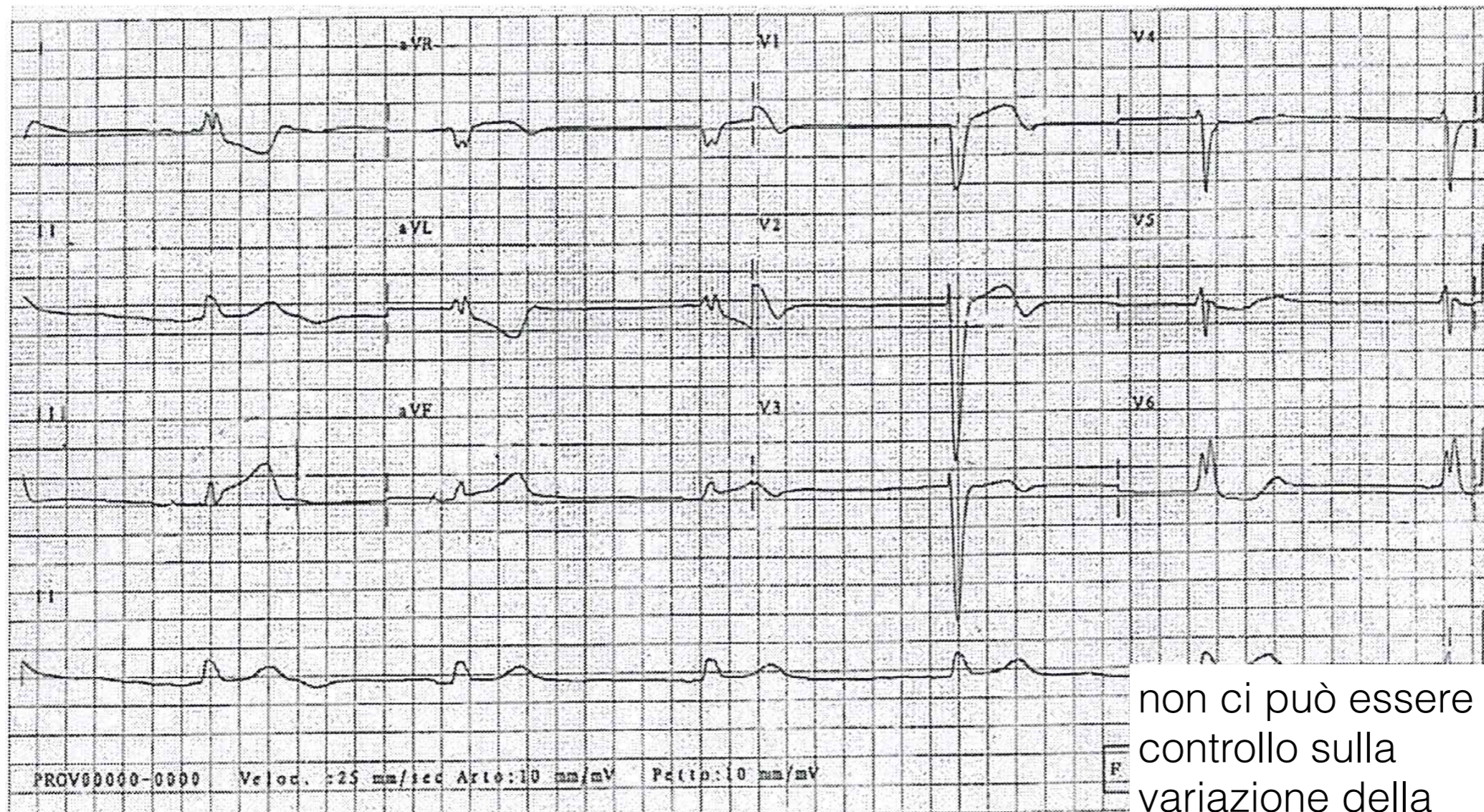
RITMO IDIOVENTRICOLARE

Il ritmo idioventricolare è un ritmo di scappamento molto lento che origina dai ventricoli alla frequenza di 15-40 bpm.

L'intervallo R-R è regolare, i complessi QRS sono larghi e simili tra loro senza onde P.

Una variante è il ritmo idioventricolare accelerato caratterizzato da una frequenza compresa tra 40-100 bpm.

Nasce nel fascio di HIS

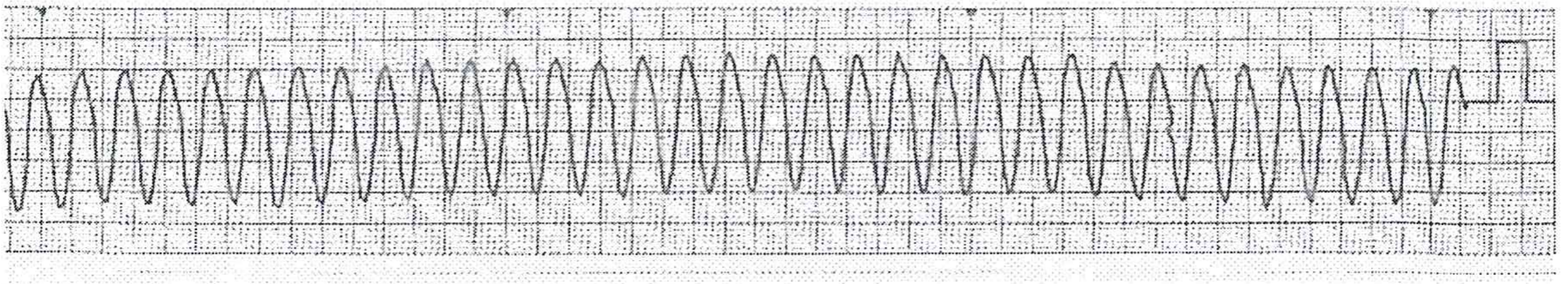


non ci può essere controllo sulla variazione della frequenza cardiaca

Tachicardia ventricolare

La tachicardia ventricolare è un'aritmia ventricolare rapida, normalmente associata a sintomi e segni clinici drammatici. Se non trattata la TV può degenerare in una fibrillazione ventricolare fatale.

Si presenta con una frequenza tra i 100 e i 300 bpm, con QRS largo, regolare, con onde P non identificabili.



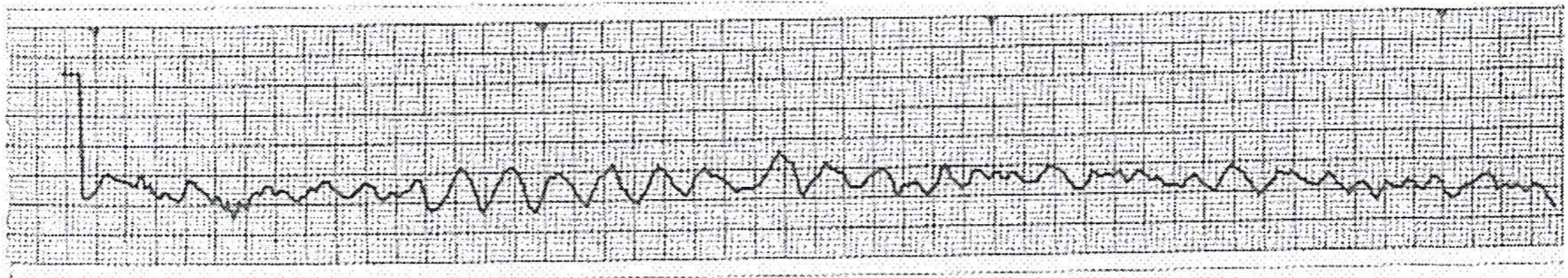
L'onda di depolarizzazione non nasce nel nodo seno-atriale ma a livello del miocardio ventricolare. La depolarizzazione può in alcuni casi superare il nodo atrio-ventricolare e depolarizzare in maniera retrograda gli atri.

Fibrillazione ventricolare

La fibrillazione ventricolare è un'aritmia caratterizzata da una disorganizzazione totale dell'attività elettrica cardiaca e, ugualmente, anche l'attività meccanica è totalmente disorganizzata. I complessi QRS non sono identificabili.



ECG 4. *Fibrillazione ventricolare grossolana.*

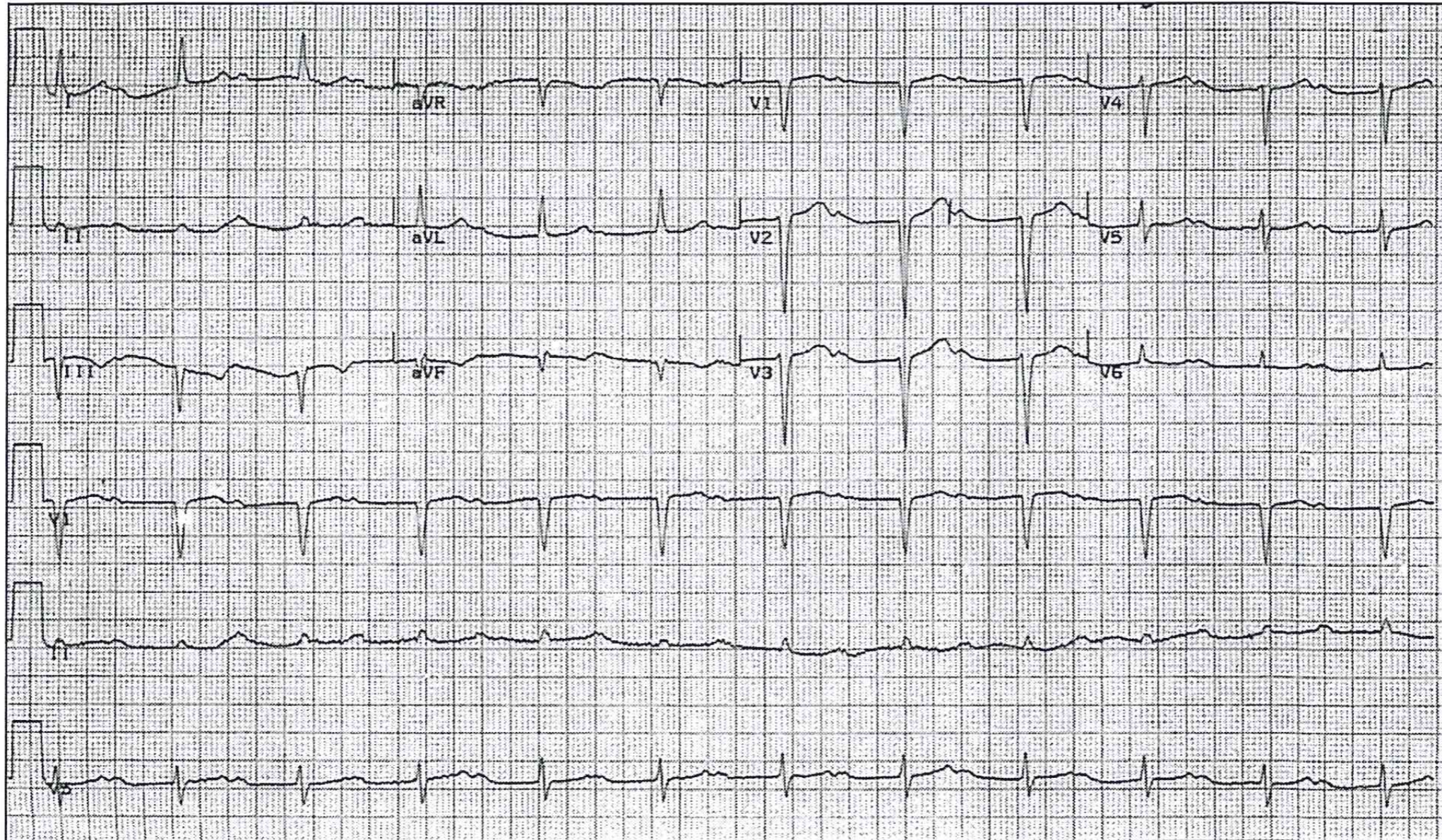


ECG 5. *Fibrillazione ventricolare fine.*

Blocco AV di primo grado

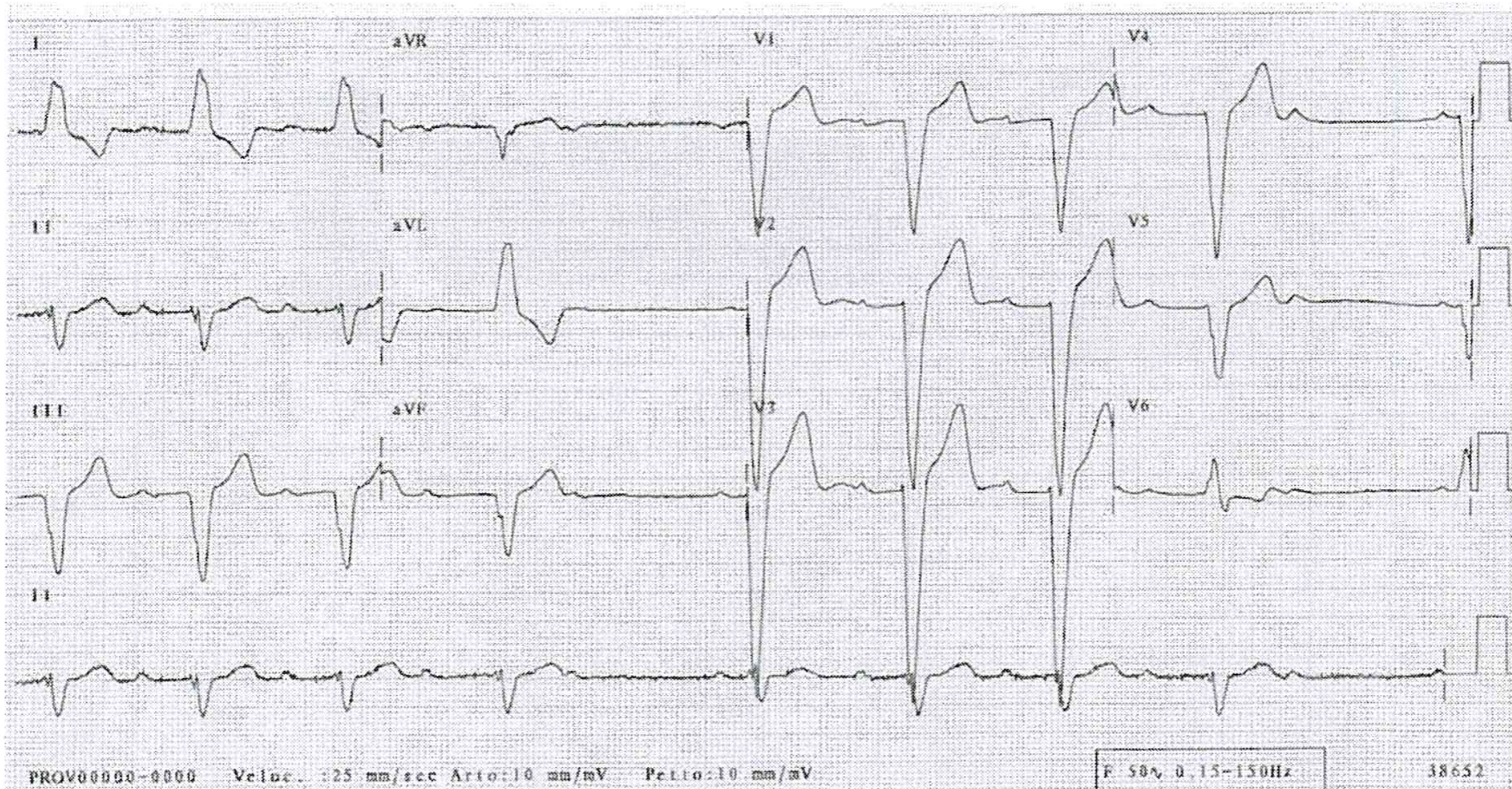
BLOCCO AV DI PRIMO GRADO

Il blocco AV di I grado è caratterizzato da un intervallo PR prolungato e superiore a 0.20 sec. Ogni onda P è seguita da un complesso ventricolare, il che significa che ogni impulso che origina dal nodo del seno è condotto ai ventricoli. La lunghezza dell'intervallo PR è costante.



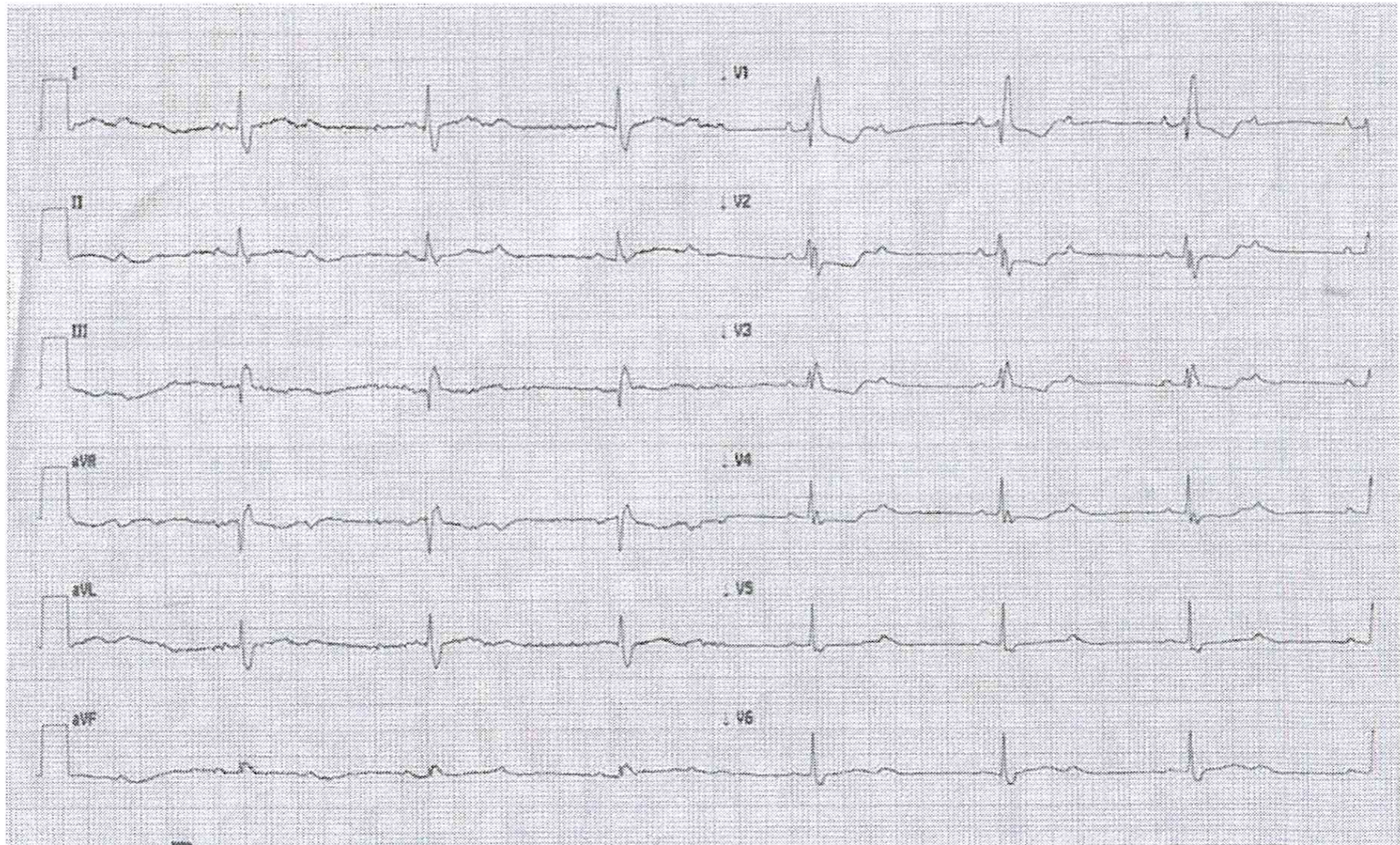
Blocco AV di secondo grado di tipo I

BAV II GRADO TIPO I (con PERIODISMO DI WENCKEBACH): la frequenza del polso è irregolare; avviene un progressivo allungamento del tratto PR fino alla scomparsa del complesso QRS. L'onda P appare all'ECG ma non è seguita da un complesso QRS, mentre l'impulso atriale successivo viene di nuovo condotto. L'incremento del ritardo di conduzione è dovuto ad un affaticamento del sistema di conduzione, che determina l'alterazione appena descritta.



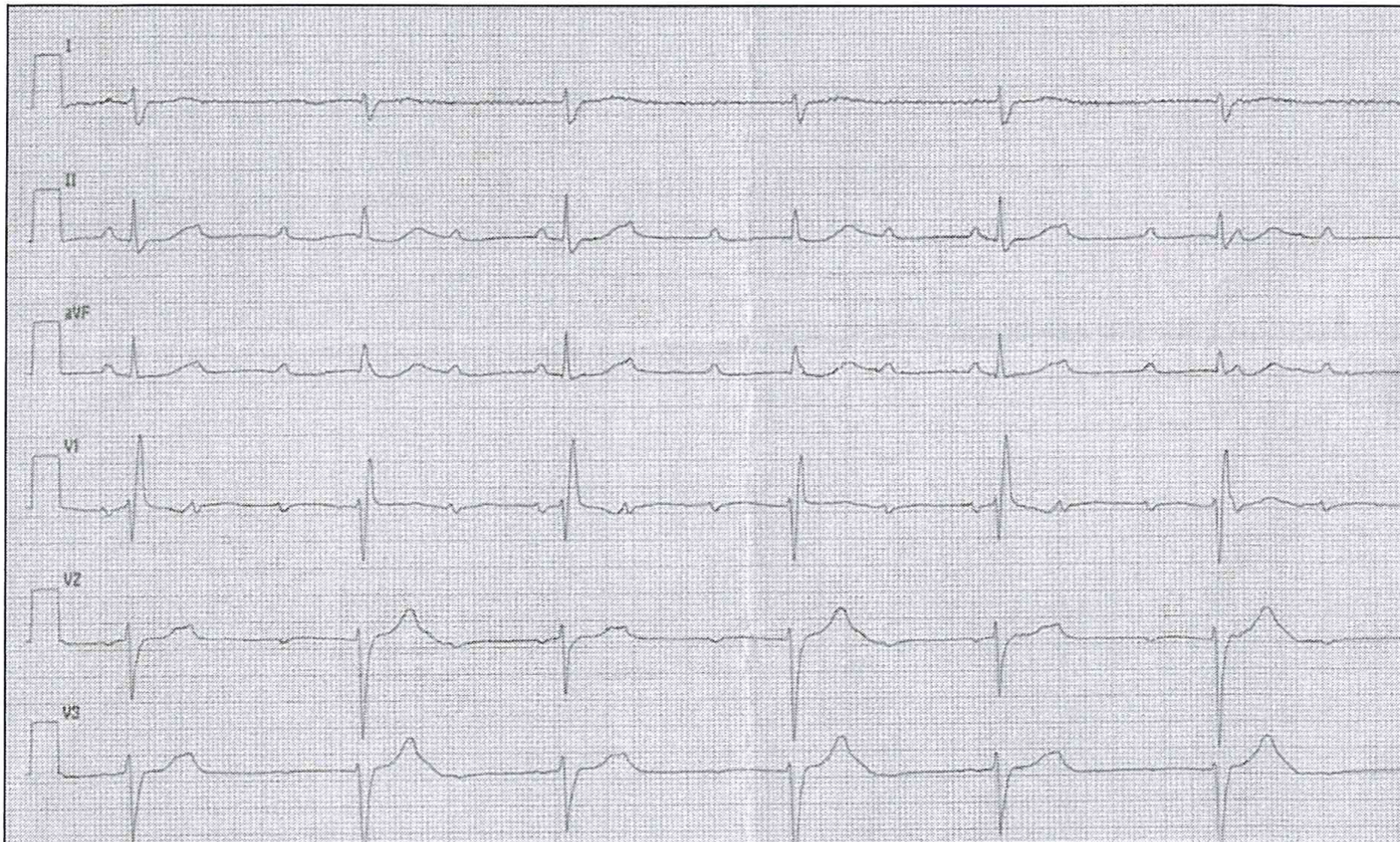
Blocco AV di secondo grado di tipo II

BAV DI II GRADO TIPO II (blocco MOBITZ II): la frequenza del polso è regolare, ma non tutti gli impulsi atriali vengono condotti; l'impulso viene trasmesso ai ventricoli solo ogni secondo o terzo o n-esimo impulso atriale ed i più frequenti rapporti di conduzione del dell'impulso sono 2:1 o 3:1. La frequenza del polso diviene irregolare se cambia il rapporto di conduzione, cioè se ad un dato momento si passa dalla conduzione ogni secondo impulso alla conduzione ogni terzo impulso.



Blocco AV di terzo grado (blocco AV completo)

Il blocco AV completo è caratterizzato dalla completa assenza della conduzione ai ventricoli degli impulsi atriali, e costituisce una delle più severe alterazioni del ritmo. In tale condizione può prendere il sopravvento un segnapassi di scappamento a frequenza minore, posto sotto il livello del blocco. Il blocco cardiaco completo è caratterizzato dal battito indipendente di atri e ventricoli: le onde P compaiono sull'ECG ad una certa frequenza, mentre i complessi QRS non correlati con le onde P, presentano una frequenza minore.



Tipologia di pacemaker

- stimolazione: atrio, ventricolo, atrio/ventricolo
- sensing: possibilità di rilevare l'attività cardiaca residua e:
 - rafforzarla (triggerati): **stimolo sempre in presenza di un determinato evento**
 - on demand, evitare di stimolare quando l'attività è sufficiente (inibiti): **normalmente stimolo ma non lo faccio se ho attività sufficiente**
 - in caso non ci sia sensing si parla di modalità asincrona (frequenza di stimolo pre-impostata)
- programmazione: i parametri del pacemaker possono variare secondo impostazioni esterne (telemetria) o secondo le esigenze del paziente (rate responsive)

Classificazione pacemaker

- 5 lettere: cosa stimolo, dove è il sensing, come stimolo, cosa posso programmare, funzioni anti-tachicardiche (codice univoco, universale)
 - 1^a: cavità stimolata (A atrio, V ventricolo, D bicamera, O nessuna)
 - 2^a: cavità sensita (A atrio, V ventricolo, D bicamera, O nessuna)
 - 3^a: modalità di stimolazione (I inibita, T triggerata, D una o l'altra in funzione del sensing, O asincrona)
 - 4^a: programmabilità (O nessuna, P semplice [frequenza e/o ampiezza], M multipla [più di due parametri], C controllo remoto tramite telemetria, R rate responsive)
 - 5^a: funzioni anti-tachicardiche (O nessuna, P stimolazione particolare, S shock defibrillatorio, D entrambe le precedenti)

Classificazione pacemaker

- AAIOS stimolazione atriale inibita dall'onda P (perchè sensing atriale) non programmabile e con defibrillatore
 - Arresto sinusale: quando c'è onda P c'è QRS, non stimolo in caso di rilevazione di onda P.
- VDDRO stimolazione ventricolare, triggerata o inibita in funzione della rilevazione dell'onda P e del complesso QRS, rate responsive
 - Blocco atrio ventricolare II grado: depolarizzazione atriale presente, quando rilevo onda P stimolo (triggerata) nel caso non rilevi complesso QRS (inibita), adattamento della frequenza cardiaca all'esigenza del paziente (eventuali patologie atriali, e.g. incompetenza cronotropa).

Patologie cardiache

- Infarto: scarsa perfusione cardiaca
- Aritmie: tachicardia (oltre 110 battiti/minuto), bradicardia (sotto i 50 battiti/minuto)
- Contrazioni premature atriali e/o ventricolari (generate da punti diversi dal nodo seno-atriale)
- **Arresto cardiaco: interruzione percorso di conduzione dal nodo seno-atriale al resto del miocardio (si recupera attraverso un PACEMAKER)**
- Fibrillazione: perdita di fase delle cellule muscolari cardiache. Si perde la capacità di contrazione (si riflette in una perdita della forma d'onda caratteristica dell'ECG)
 - Atriale, meno grave, resta QRS e una portata sufficiente
 - Ventricolare: molto grave, potenzialmente mortale (DEFIBRILLATORE)

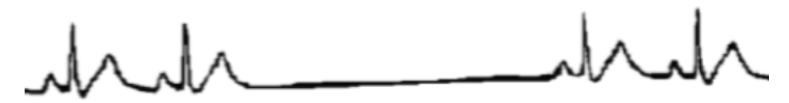
Impianto di pacemaker - Patologie

- **Bradicardia sinusale:** frequenza di scarica del nodo SA inferiore a 60 bpm. I complessi P - QRS sono normali, ma la frequenza delle onde P è inferiore ai 60 bpm.



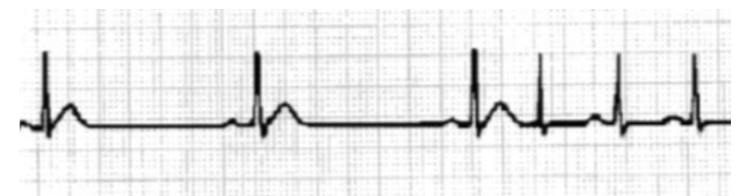
AAIRO

- **Arresto sinusale:** mancata formazione dell'impulso nel nodo SA con conseguente assenza di depolarizzazione atriale e periodi assenza di sistole ventricolare. I complessi P - QRS sono normali ad eccezione del momento in cui si verifica l'arresto sinusale



AAIOO AAIRO

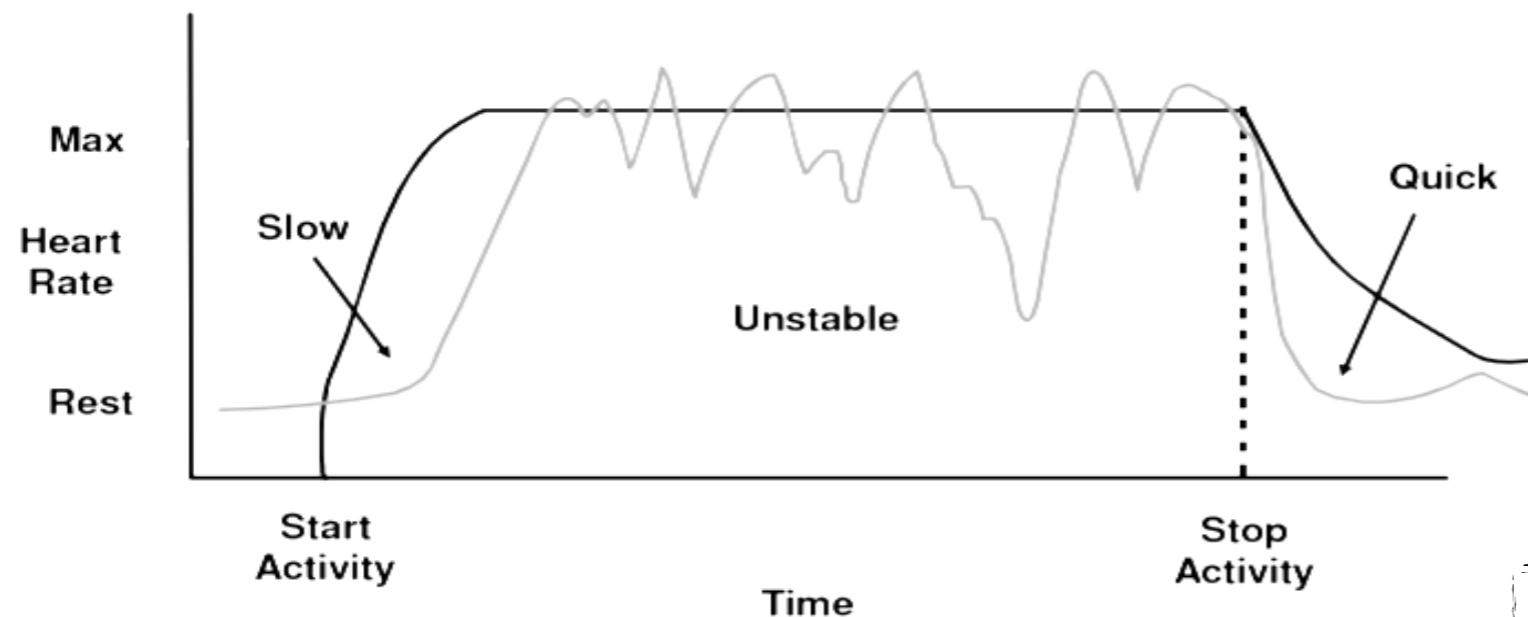
- **Bradicardie persistenti che si alternano ad episodi di tachiaritmie sopraventricolari.** La frequenza può essere 43 bpm durante la bradicardia sinusale e 130 bpm durante la tachicardia.



AAIRP

Impianto di pacemaker - Patologie

- **Incompetenza cronotropa:** incapacità da parte del nodo SA di incrementare adeguatamente la frequenza cardiaca durante l'attività fisica
- Esempio: si raggiunge all'apice dello sforzo il 75% della sua frequenza massima.
- andamento instabile della frequenza



in nero l'andamento per un soggetto sano

interessante per pacemaker
rate responsive

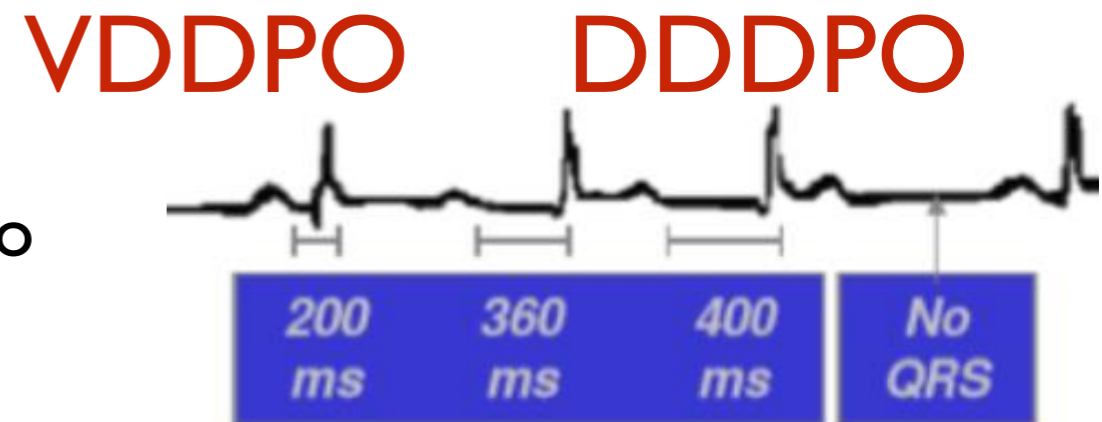
Impianto di pacemaker - Patologie

- Blocco atrio-ventricolare: disturbo della conduzione dell'impulso, transitorio o permanente, dovuto a una compromissione anatomica o funzionale del tessuto miocardico specifico. Quando il disturbo di conduzione degli impulsi è tra gli atri e i ventricoli si parla di blocco atrio-ventricolare. Si stimola sempre il ventricolo, "sentendo" l'atrio per mantenere la coordinazione atrio-ventricolare (meno importante in caso di blocco totale). si stimola l'atrio se sono presenti contemporaneamente patologie al nodo SA.

- I grado: ritardo nella conduzione dell'impulso. Si ha un PQ lungo e un PR superiore a 210 ms (intervallo PR tempo che intercorre tra depolarizzazione atriale e ventricolare)



- Il grado: progressivo rallentamento della conduzione fino al completo blocco di un impulso. Corrisponde nell'ECG al progressivo prolungamento dell'intervallo PQ fino alla comparsa di un'onda P bloccata (cioè non seguita dal complesso QRS)



- III grado: nessuna conduzione dell'impulso tra gli atri e i ventricoli. Si osservano delle onde P e QRS stretti o larghi e tra loro dissociati

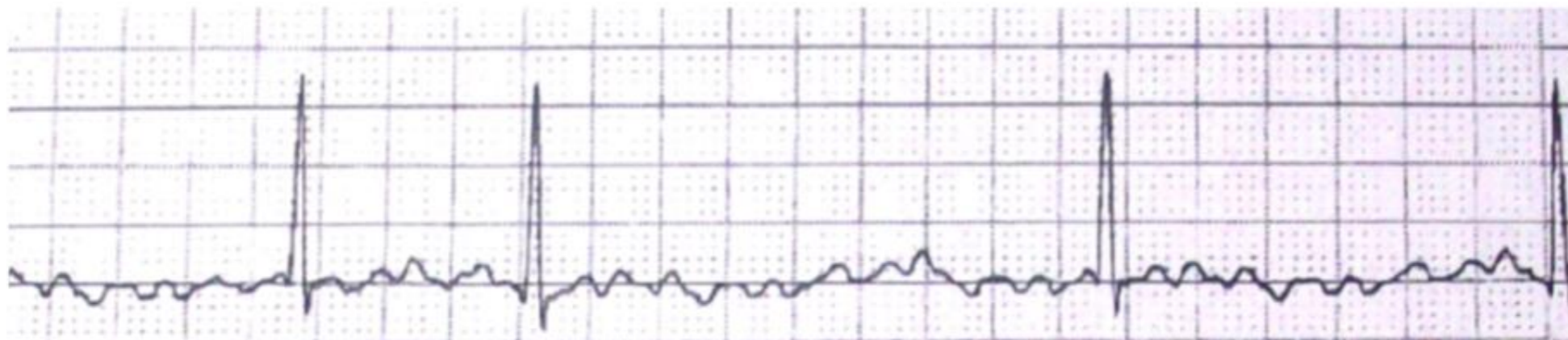


Impianto di pacemaker - Patologie

- Tachicardie sopraventricolari
 - l'attivazione degli atri è irregolare con la contemporanea presenza di più fronti d'onda che circolano in modo imprevedibile. Il tracciato ECG mostra assenza di onde P e irregolarità degli intervalli R-R. L'attività atriale è assente o caotica sia in ampiezza sia in frequenza, con frequenza atriale di 300-600 bpm. L'intervallo R-R è variabile e il QRS ha l'aspetto abituale.

AAIOP

DDDOP



Caratteristiche funzionali

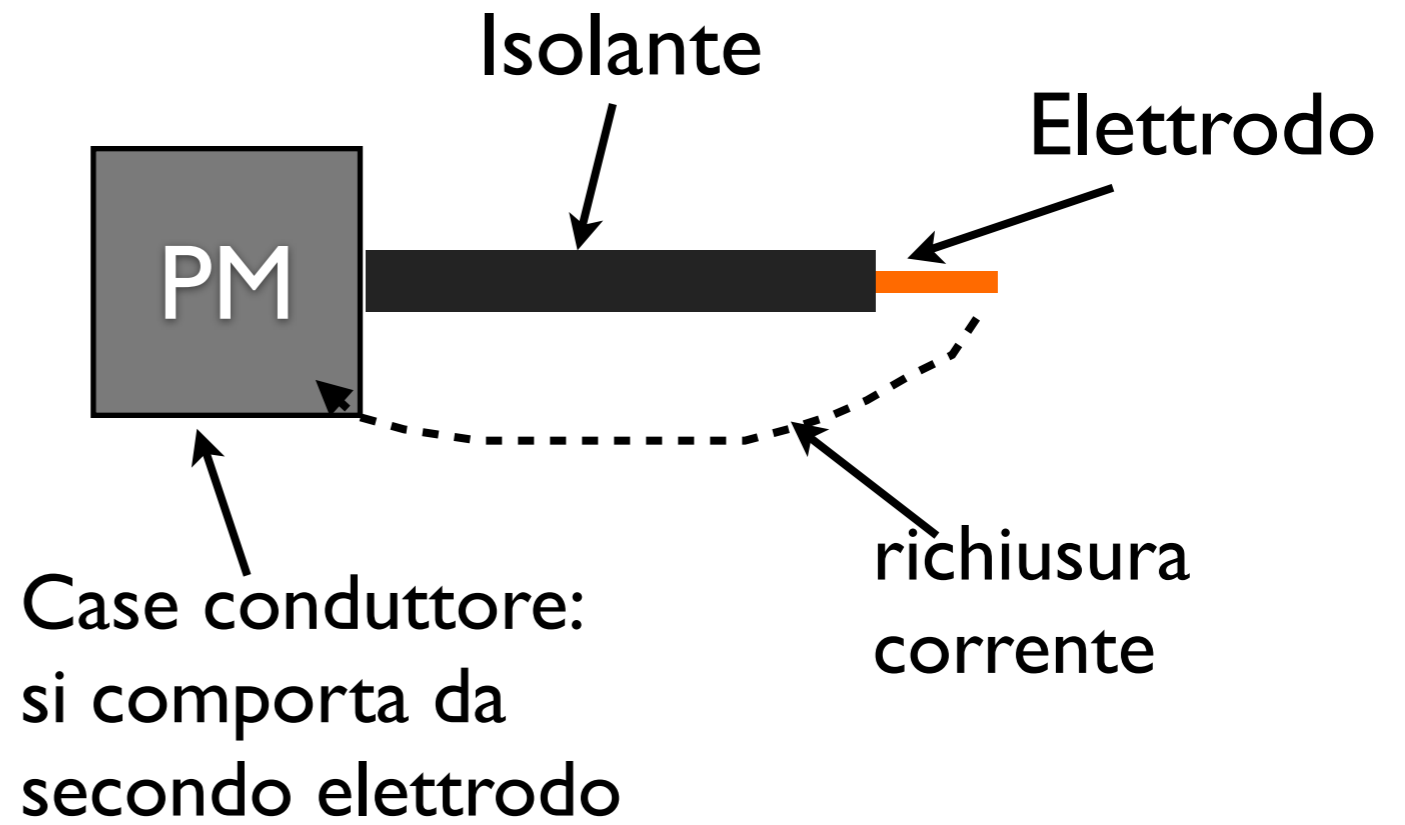
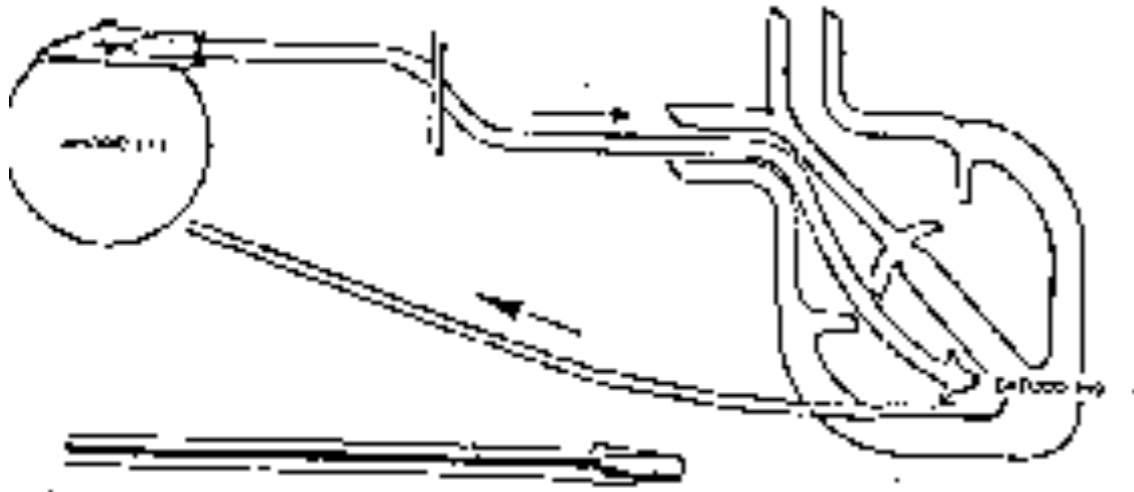
- Esterni o interni
 - gli esterni si usano solo in applicazioni di cardiocirurgia e per il setting dei parametri pre-impianto
- Monocamerale o bicamerale
 - Elettrodi inseriti **sempre** a Dx (elettrodo inserito tramite catetere venoso dalla vena cava: meno pressione)
- modalità di programmazione
 - programmabili o meno (mentre si programmano funzionano comunque sempre in modalità asincrona)

Caratteristiche funzionali

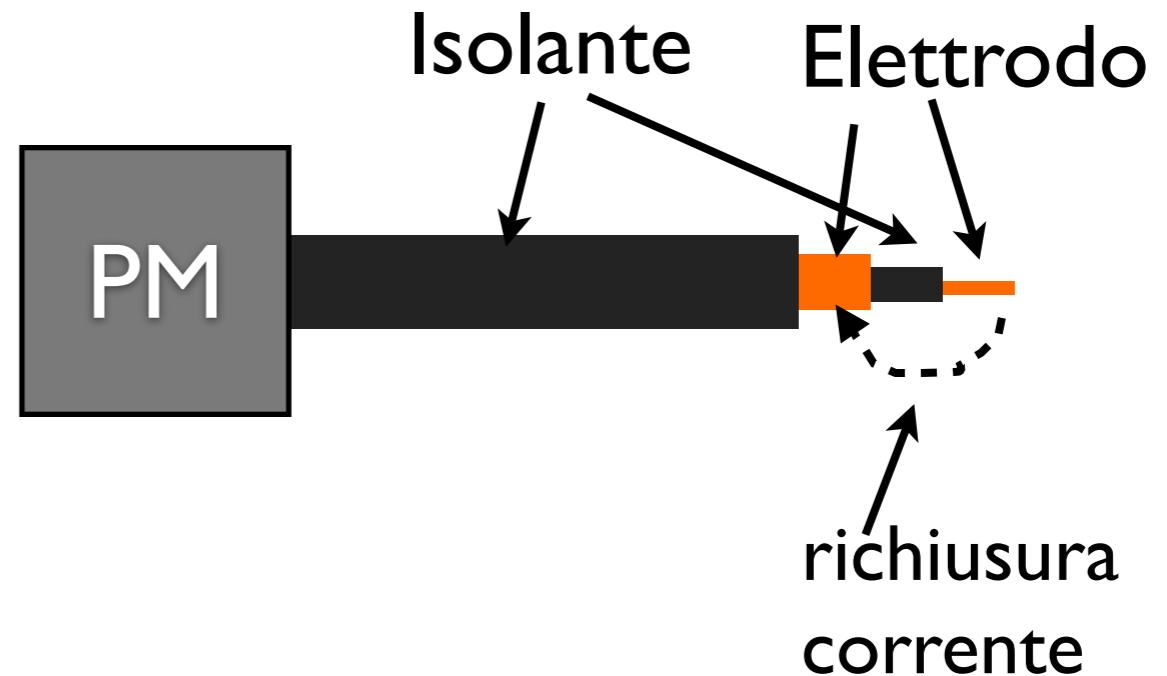
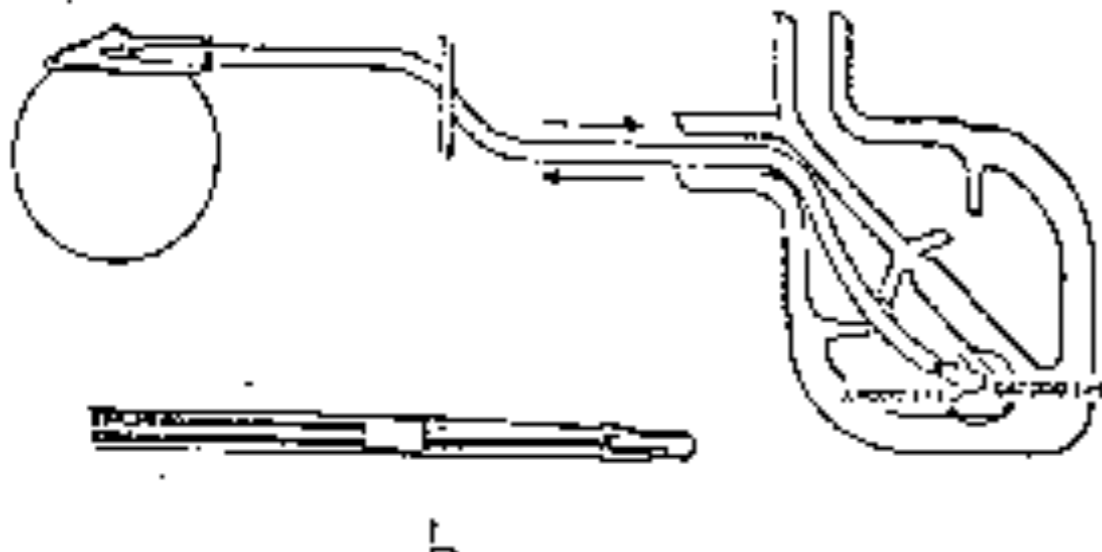
- elettrodi unipolari/bipolari
 - usati contemporaneamente per sensing e stimolazione
 - nel caso unipolare il catodo si trova nel cuore e l'anodo in un'altra parte del corpo; in genere l'anodo è proprio la cassa del pace-maker, realizzata in titanio (materiale biocompatibile). Il circuito elettrico si chiude attraverso il tessuto cardiaco e quello frapposto tra anodo e catodo.
 - più robusto dal punto di vista meccanico
 - nel caso bipolare, invece, anodo e catodo si trovano sull'estremità dell'elettrocatetere, distanziati di 2 - 3 cm, e sono posizionati internamente al cuore; il circuito elettrico, dunque, è localizzato completamente nella camera cardiaca da supportare.
 - più fragile
- unipolari peggiori performance elettriche ma maggiore robustezza e affidabilità

Caratteristiche funzionali

Unipolare



Bipolare



Vantaggi e Svantaggi

- Unipolari
 - Gli elettrodi sono distanti e la corrente attraversa il tessuto corporeo
 - Sensing meno selettivo: Percezione nell'atrio di potenziali ventricolari, fenomeno del cross-talk, percezione in una camera cardiaca dello stimolo erogato nell'altra camera (tipicamente accade che lo stimolo atriale sia sentito nel ventricolo e venga quindi inibita la stimolazione in quest'ultimo, causando asistolia in paziente pacemaker-dipendente), oversensing di potenziali muscolari con conseguente inibizione dello stimolo (nei sistemi bicamerali un oversensing atriale può determinare un inappropriato coinvolgimento del ventricolo con conseguente aritmia e/o perdita del sincronismo atrio-ventricolare); interferenze elettromagnetiche esterne, che si possono verificare in presenza di campi elettrici molto intensi con conseguente inibizione o aritmie dovute a oversensing del pacemaker.
 - Induzione della stimolazione del muscolo pettorale sottostante la cassa del pacemaker.
- Bipolari
 - Sensing più selettivo (non ci sono i problemi soprariportati)
 - Spessore maggiore e minore affidabilità a lungo termine, seppure la differenza non sia attualmente così significativa. Il diametro di un elettrocatteter bipolare coassiale è 4-5 F (1 French=0.33 mm)

Caratteristiche funzionali

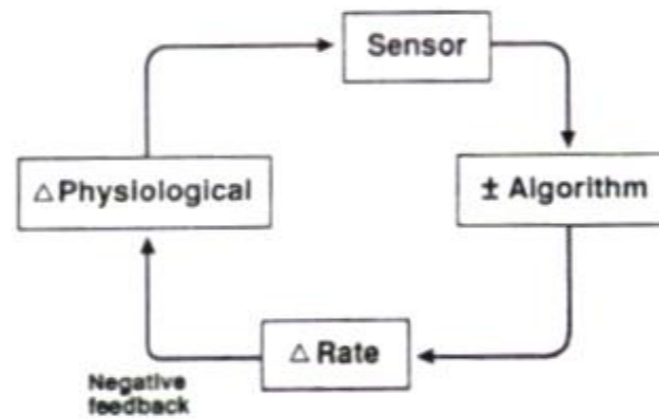
- Rate responsiveness
 - Pacemaker rate responsive controllano la frequenza cardiaca rilevando, oltre alla frequenza atriale, segnali fisiologici o fisici. Idealmente i sensori rate-adaptive dovrebbero riprodurre il più possibile la funzione del nodo SA.
 - Capacità di adattarsi alle esigenze del paziente: prelievo di una serie di parametri del paziente che serviranno per modulare la risposta del pacemaker
 - La Frequenza cardiaca “adattiva” in seguito ai parametri misurati
 - Possibili parametri misurati: saturazione dell’ossigeno, pH venoso, intervallo QT, movimento del corpo, frequenza respiratoria, portata cardiaca, temperatura venosa centrale, ventilazione....
 - esistono molti studi clinici che hanno attestato l’adeguatezza o inadeguatezza di questi parametri
 - **Closed loop: fissato un valore di riferimento per il parametro misurato la frequenza cardiaca viene regolata in modo tale da mantenere costante il parametro misurato.**
 - **Open loop: una variazione del parametro fisiologico/fisico viene correlata tramite un algoritmo ad una variazione della frequenza cardiaca**

Pacemaker rate responsive

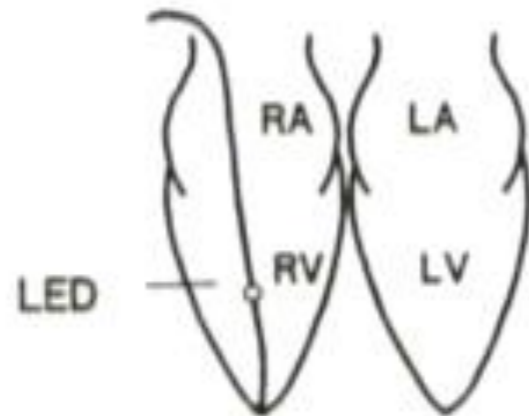
- Esempio closed loop
- Rilevazione della saturazione di ossigeno nel sangue venoso misto (Content Venous Oxygen, CVO₂). L'esercizio fisico in assenza di un'adeguata portata cardiaca comporta un aumento dell'estrazione di ossigeno, ad opera dei tessuti, e quindi una diminuzione del CVO₂.
- In un sistema rate-adaptive la diminuzione di CVO₂ prevede l'aumento di frequenza cardiaca fino a quando la portata cardiaca non raggiunge il livello adeguato all'esercizio con conseguente riduzione dell'estrazione di ossigeno e un aumento di CVO₂.
- Sotto condizioni di equilibrio, la frequenza di stimolazione si autoregola per mantenere CVO₂ ad un valore di riferimento (nota feedback negativo).

Pacemaker rate responsive

CLOSED LOOP

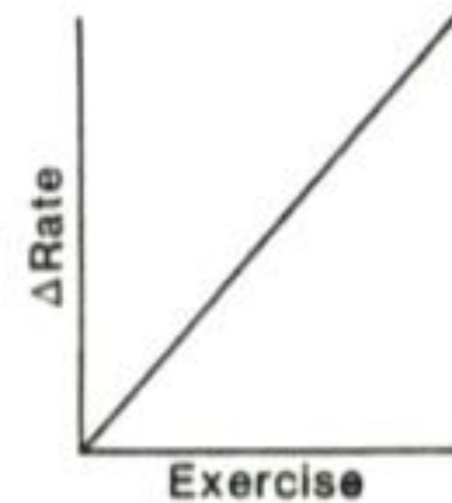
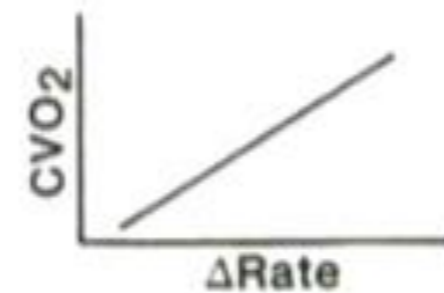


SENSOR



(a)

ALGORITHM

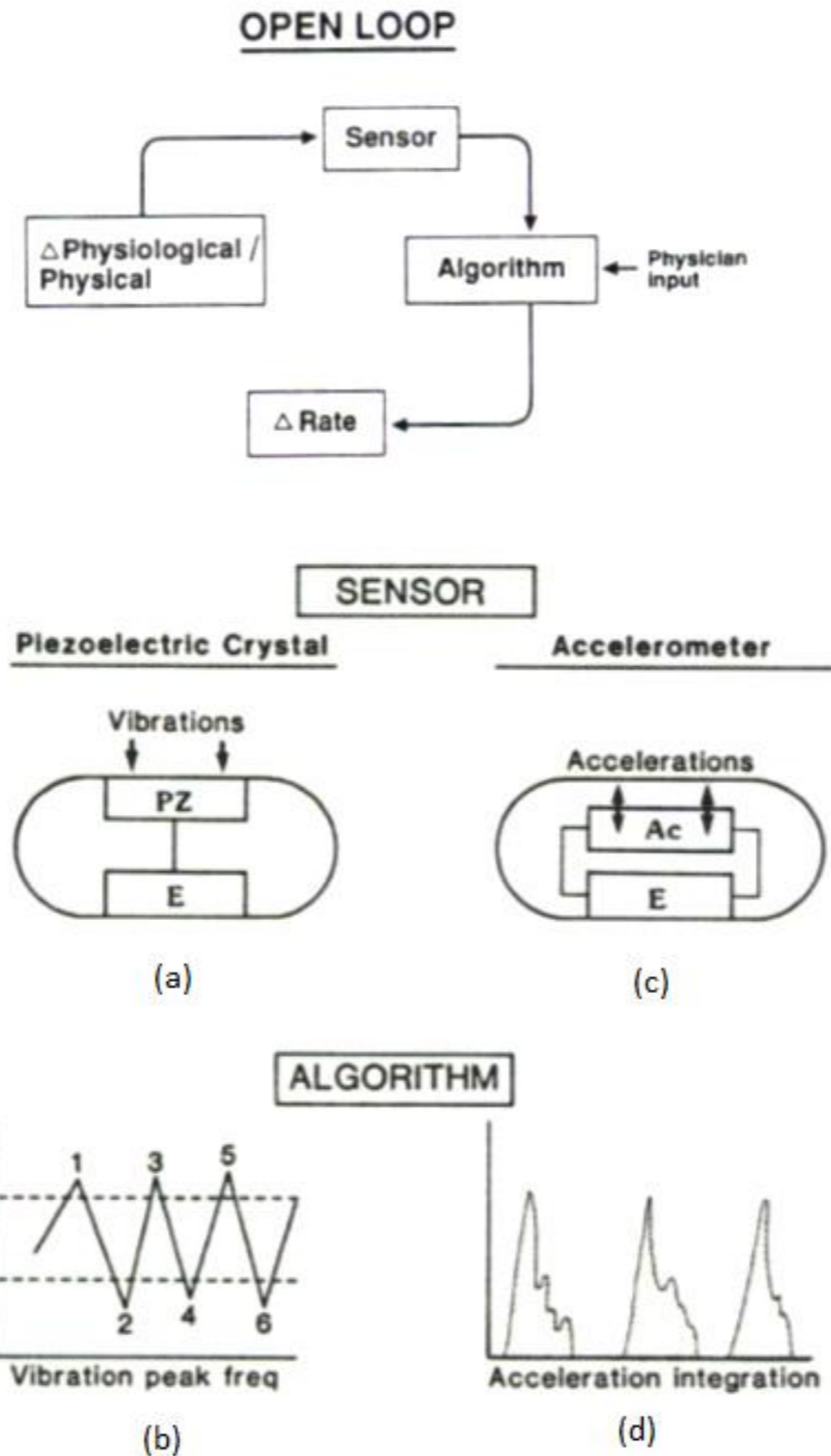


(b)

Pacemaker rate responsive

- Esempio open loop
 - Rilevazione il movimento del corpo (activity sensing con accelerometro e calcolo di SMA). L'esercizio fisico provoca un'accelerazione che viene rilevata da un sensore (tipicamente un accelerometro) e che può essere usata per incrementare la frequenza di stimolazione.
 - Nota: l'aumento della frequenza di stimolazione non modificherà il movimento del corpo (no si potrà parlare di closed loop!).
 - Più semplice da implementare, meno "fisiologico", comporta un feedback positivo che tende ad aumentare troppo la frequenza cardiaca

Pacemaker rate responsive

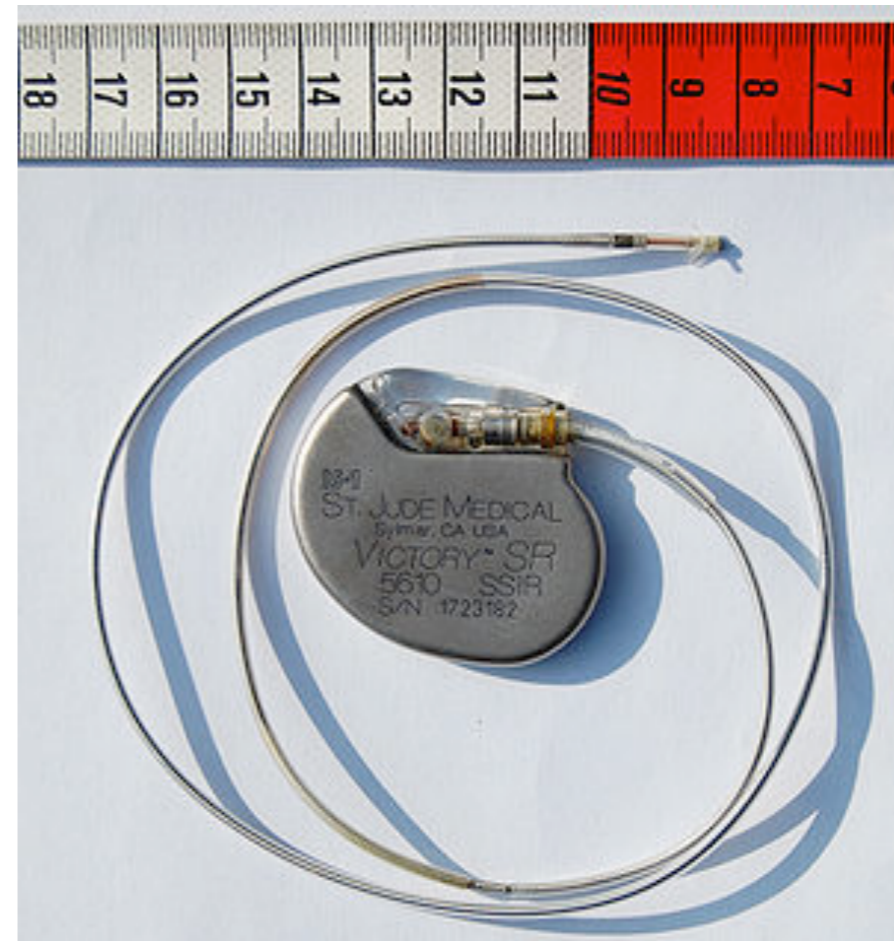


Altre caratteristiche funzionali

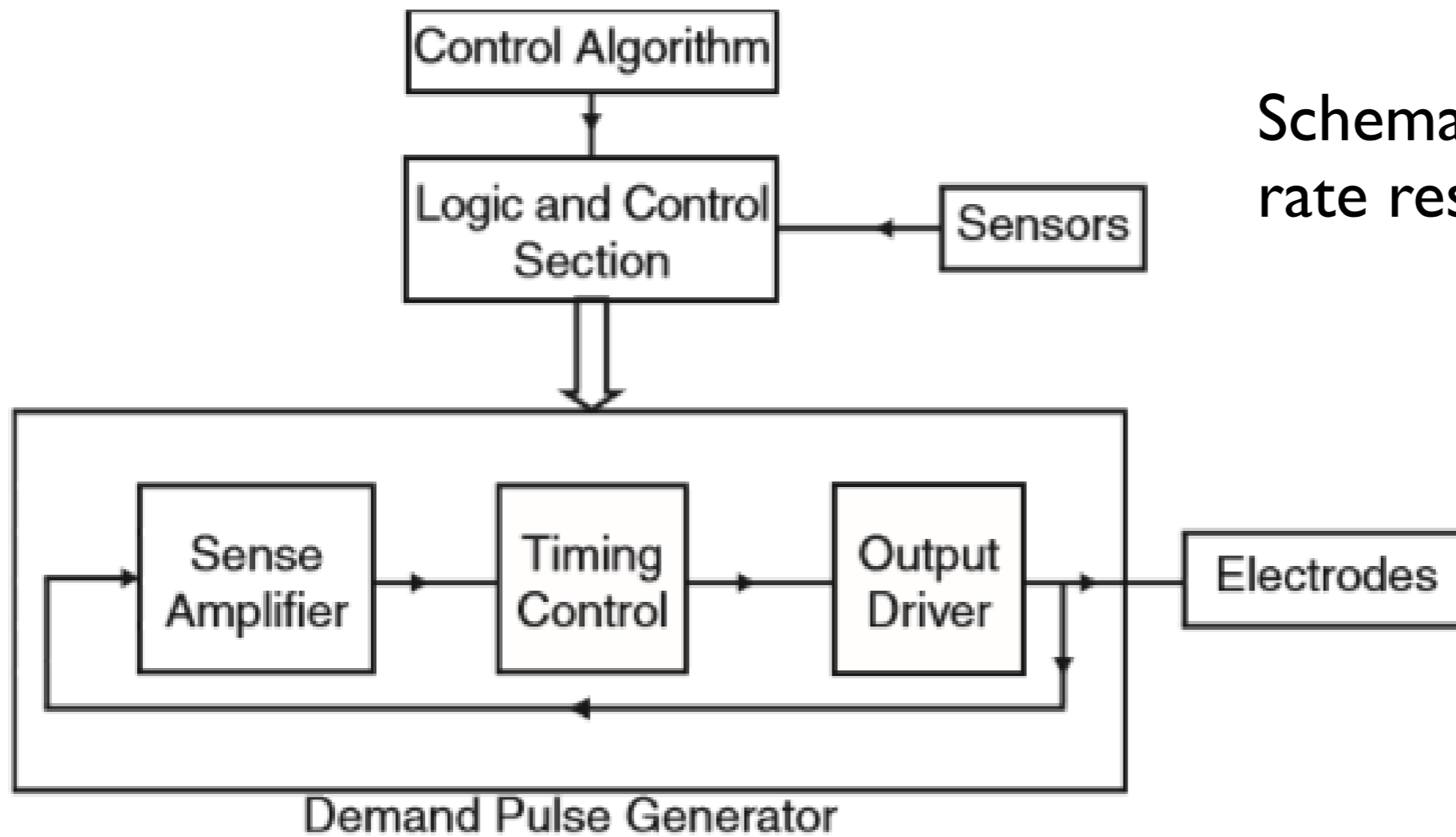
- Antitachicardici: presenza di programmi e algoritmi speciali atti all'eliminazione delle tachicardie
- Defibrillatori: presenza della funzione di defibrillazione

Elementi essenziali

- Lo stimolatore
- Gli elettrodi
- La sorgente di energia
- La telemetria

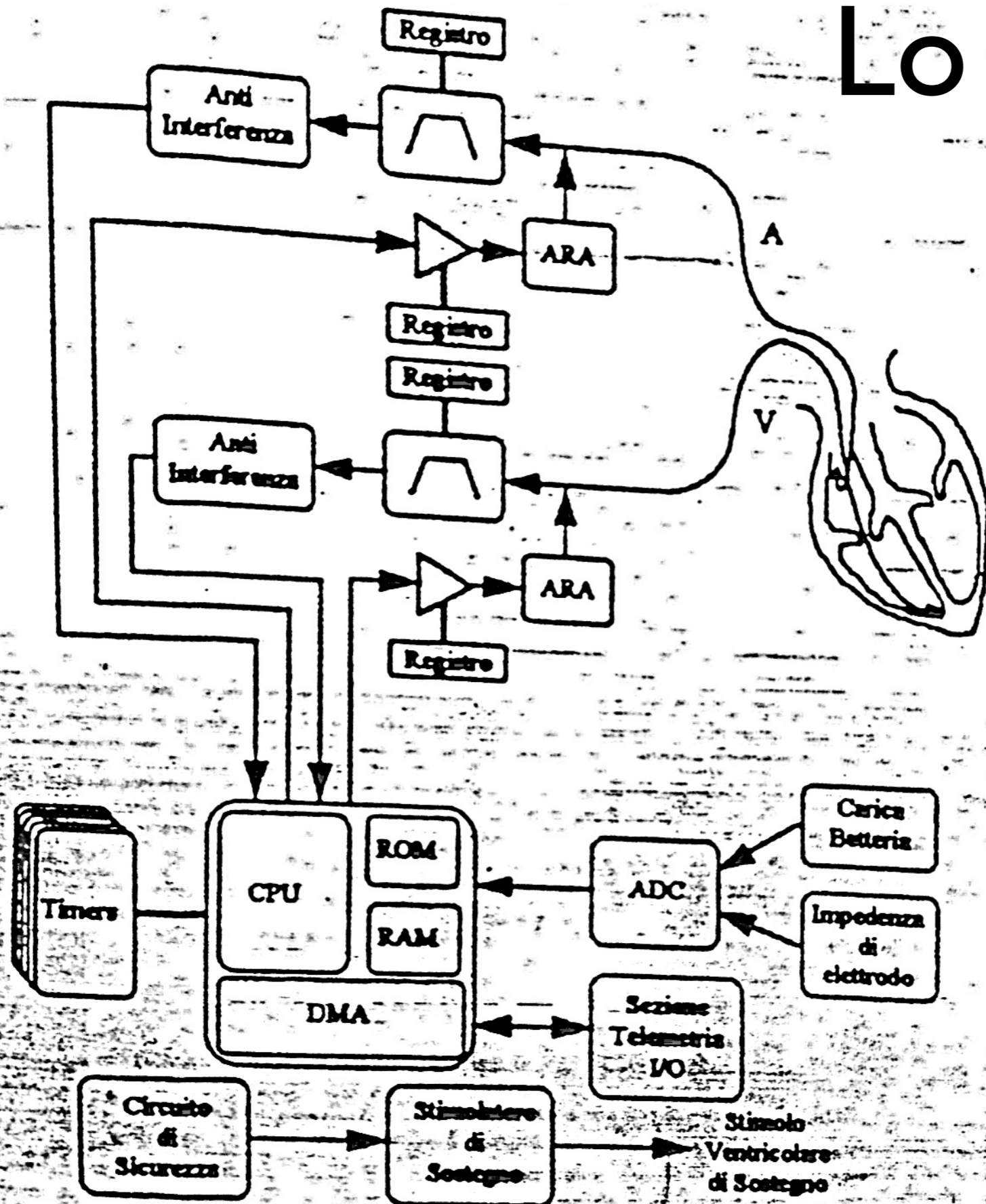


Schema a blocchi



Schema a blocchi pacemaker
rate responsive

Lo stimolatore



Lo stimolatore

- Elettrodi atriali/ventricolari utilizzati sia per stimolazione che per sensing (sensing atriale onda P, sensing ventricolare QRS)
- Sensibilità: Guadagno dello stadio di ingresso del sensing. Il potenziale cardiaco viene rilevato, filtrato (passa banda) e viene discriminata l'ampiezza del segnale (in digitale o direttamente in analogico utilizzando circuitistiche appropriate)
 - il parametro rilevato viene usato dal micro-controllore (μC) per modulare il segnale di stimolazione e per decidere se stimolare o no
- Registri del μC : contengono i parametri della stimolazione/sensing
 - Esempio: parametri del filtraggio e dell'amplificatore ECG, guadagno dell'amplificatore in uscita (ampiezza del segnale di stimolazione)

Lo stimolatore

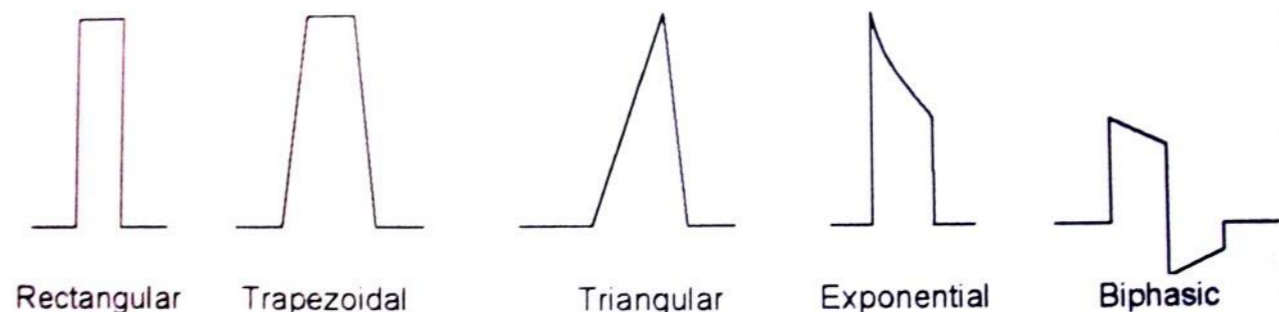
- ARA - protezione *anti run away*: evita che la frequenza di stimolazione superi un valore massimo ≈ 150 battiti/minuto (si potrebbe verificare per un guasto o un malfunzionamento del sensing)
- Protezione da interferenza: evita la falsa rilevazione dovuta all'accoppiamento di disturbi elettromagnetici esterni o ad altri biopotenziali
- Parametri fondamentali dello stimolo gestiti dal μC
 - periodo: fisso (PM asincroni) o rilevato tramite sensing o rate responsive.
 - durata impostabile (esempio $500 \mu\text{s}$)
 - ampiezza
 - impostabile su diversi valori (esempio 5V)
 - tipicamente si parla di energia necessaria per attivare le cellule del miocardio $\approx 100\mu\text{J}$
 - pompa di tensione in grado di incrementare la tensione della batteria (tipicamente inferiore ai 3V)

Lo stimolatore

- Oscillatore di backup: utile nel caso in cui le funzioni di sensing vengano perse o in fase di programmazione
 - garantisce almeno un funzionamento asincrono
- Periodo refrattario: periodo durante il quale il sensing è cieco, ovvero durante la stimolazione cardiaca.
- **Autodiagnosi di parametri che potrebbero incidere sulla stimolazione e/o sensing: carica della batteria, Rin batteria, impedenza elettrodi (può variare nel tempo a causa di fenomeni legati all'impianto, formazione di tessuto fibroso sulla superficie degli elettrodi)**

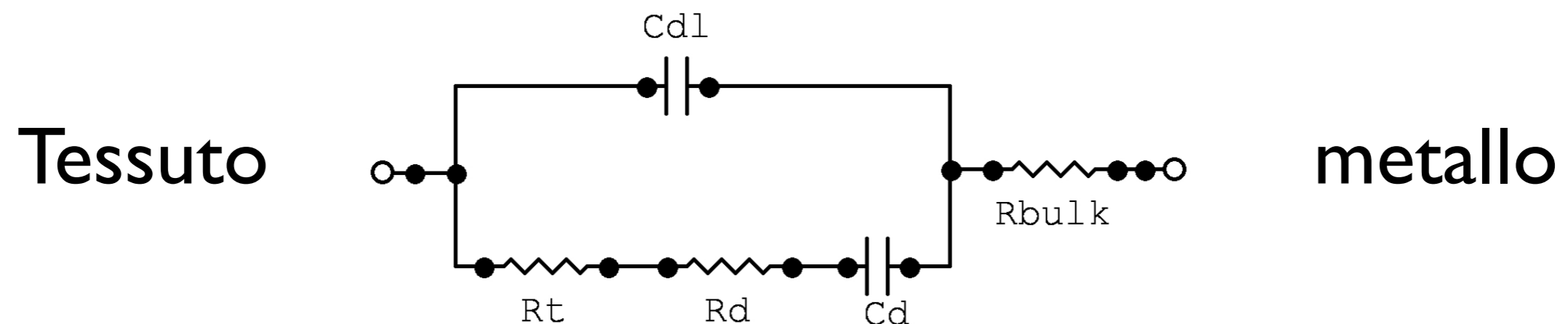
Circuiti analogici di sensing stimolazione

- Circuito di sensing: analogo a quello visto per misura ECG e rilevazione del complesso QRS
- Circuito di stimolazione
 - Comandato dal microprocessore in seguito al rilevamento dell'impulso di sensing (eccetto che negli asincroni) e dei parametri misurati dai sensori (rate responsive)
 - Il segnale in uscita ha una specifica ampiezza, durata e frequenza. L'ampiezza può variare da 0.1 a 7.5 V. Poiché la batteria tipicamente usata eroga 2.8 V sono necessari dei moltiplicatori di tensione per raggiungere voltaggio di ampiezza maggiore. Questo è reso possibile da elementi capacitivi in grado di accumulare, a partire dalla tensione della batteria, una tensione in uscita.
 - Un segnale ad onda quadra può avere ampiezza 5 V e durata di circa 500 ms.



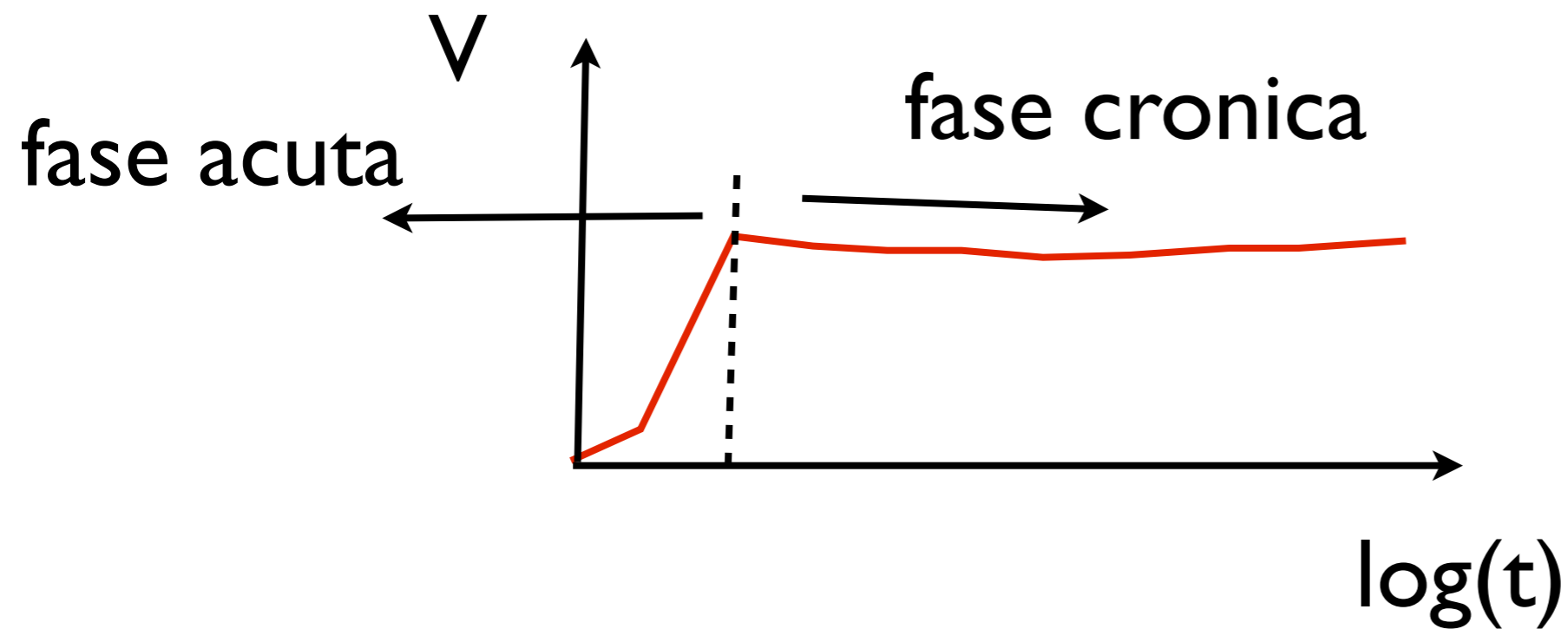
Elettrodi

- Bipolari/unipolari
- Problema principale è l'affidabilità: 37000000 di cicli di flessione/torsione/trazione anno
- conseguenze di una rottura sono letali
- bipolari meno affidabili dal punto di vista meccanico
- Leghe metalliche inattaccabili, alta resistenza a fatica, lavorate a spirale (elasticità, flessibilità)



Elettrodi

- Impedenza incrementa dopo l'impianto
- maggiore attenuazione del segnale → necessità di incrementare l'ampiezza dell'impulso
- necessità di misurare l'impedenza degli elettrodi



Sorgenti di energia

- caratteristiche ideali
 - tempo di vita (a 37°) più lungo possibile
 - elevata densità di energia volumetrica e gravimetrica
 - possibilità di miniaturizzazione
 - assenza assoluta di perdita di gas/liquidi
 - impermeabilità
 - tensione adeguata (più alta possibile)

Sorgenti di energia

- soluzioni
 - accumulatori Ni-Cd
 - bassa capacità, continue ricariche (induzione), bassa affidabilità, scarica brusca e di difficile previsione
 - pile Zn-Hg
 - rischio di perdite
 - Celle nucleari (anni 70)
 - buona capacità e affidabilità (durata 20-40 anni)
 - rischio di contaminazione ambientale all'espanto
 - Batterie Litio
 - Buona capacità e affidabilità
 - Facili da monitorare
 - Precauzioni sull'uso del litio
 - energy harvesting
 - <http://iopscience.iop.org/0964-1726/17/4/043001>
 - http://apl.aip.org/resource/1/applab/v100/i4/p042901_sl?ver=pdfcov

Telemetry

- Interfaccia wireless
 - attivazione di relè: campo magnetico costante + un campo a RF per l'effettiva programmazione
 - in fase di programmazione funzionamento asincrono

Rate responsiveness

- Sensori di movimento (frequenza di pacing varia con attività)
- Sensore di acidità
 - riduzione pH durante esercizio fisico
- Sensori di temperatura
 - attività muscolare +0.6-0.7 C
- Saturazione ossigeno
- Frequenza respiratoria (sensore meccanico o impedenza transcutanea)