

Cuore

Generalità



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

Introduzione

- La funzione e la struttura del sistema cardiovascolare è oggi ben nota. Sappiamo infatti che il cuore, le arterie e le vene sono, essenzialmente, i mezzi per portare il sangue ai capillari e per riceverlo da essi.
- Attraverso le sottili pareti dei capillari, le sostanze nutritive, l'ossigeno, l'anidride carbonica e altre molecole vengono scambiate tra il sangue e i liquidi che circondano le cellule.
- È noto anche che l'attività meccanica del cuore si accompagna ad un'attività elettrica, generata dalla propagazione del potenziale d'azione che innesca la contrazione della muscolatura cardiaca.



Introduzione

- Tuttavia, tale conoscenza si è assestata solo in tempi relativamente recenti.
- Sino all'inizio del XVII secolo, nel mondo occidentale era completamente assente il concetto di circolazione sanguigna e dominava la concezione di Galeno (131-201 d.C.) secondo la quale il sangue era prodotto all'interno dell'organismo a partire dall'aria respirata.
- Fu nel 1615 che l'inglese William Harvey (1579-1658), considerato discepolo di Galileo Galilei (1564-1642), formulò il concetto di circolazione del sangue basandosi sull'applicazione del metodo scientifico induttivo-deduttivo introdotto da Galileo stesso. In particolare, Harvey, per arrivare alle sue conclusioni, misurò frequenza cardiaca e volume ventricolare.
- La grande mole di conoscenze fisiologiche che si sono accumulate nel corso di oltre due secoli ha permesso, negli ultimi decenni, lo sviluppo di diversi modelli matematici del sistema cardiovascolare.
- L'uso del modello matematico ha assunto due funzioni fondamentali nella ricerca cardiovascolare: permettere la sintesi e l'organizzazione delle conoscenze in una struttura unitaria e fornire suggerimenti su possibili comportamenti e proprietà del sistema reale prima sconosciuti.



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

1

Sistema circolatorio

- L'apparato circolatorio è un sistema chiuso, continuamente attivo, i cui componenti hanno ruoli meccanici e funzionali ben schematizzabili.
- Le funzioni del sistema circolatorio possono essere divise in tre grandi aree: *trasporto, regolazione e protezione.*



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

Sistema circolatorio

2

- **Trasporto:** tutte le sostanze essenziali per il metabolismo cellulare sono trasportate dal sistema circolatorio. Esse possono essere suddivise in:
 - **Respiratorie:** le cellule rosse di sangue (eritrociti) trasportano ossigeno alle cellule. Nei polmoni, l'ossigeno dell'aria inalata si attacca alle molecole di emoglobina all'interno di queste cellule ed è trasportato alle altre cellule per la respirazione aerobica. L'anidride carbonica, prodotta dalla respirazione cellulare, è trasportata dal sangue ai polmoni per essere eliminata attraverso l'aria espirata.
 - **Nutritive:** il sistema digestivo è responsabile della frammentazione meccanica e chimica del cibo in modo che esso possa essere assorbito attraverso le pareti intestinali nel sangue e nei vasi linfatici. Il sangue poi trasporta questi prodotti della digestione attraverso il fegato e alle cellule del corpo.
 - **Escretorie:** i rifiuti metabolici, eccesso di acqua e ioni, ed altre molecole non necessarie per il corpo sono trasportate dal sangue ai reni ed escreti nelle urine.



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

Sistema circolatorio

3

- **Regolazione:** il sistema circolatorio contribuisce alla regolazione ormonale e di temperatura.
 - ✦ **Ormonale:** il sangue trasporta gli ormoni dal loro sito di produzione ai tessuti target, dove realizzano una serie di diverse funzioni di regolazione.
 - ✦ **Temperatura:** la regolazione della temperatura è aiutata dal dirottamento di sangue dai vasi cutanei più profondi a quelli più superficiali (nel caso la temperatura ambiente sia alta e si debba rinfrescare il corpo) o viceversa (quando si deve mantenere il corpo caldo).



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

Sistema circolatorio

4

- **Protezione:** il sistema circolatorio protegge contro perdite di sangue a causa di un infortunio e contro microbi e tossine introdotti nel corpo.
 - ✦ **Coagulazione:** il meccanismo di coagulazione protegge da perdite di sangue quando c'è un danneggiamento dei vasi.
 - ✦ **Immunitario:** la funzione immunitaria del sangue è realizzata dai leucociti (cellule bianche del sangue) che proteggono da molti agenti patogeni



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

1

Anatomia del sistema cardiocircolatorio

- Il sistema circolatorio è costituito da due suddivisioni: sistema cardiovascolare e sistema linfatico.
- Il sistema cardiovascolare (sul quale ci soffermeremo nel seguito) consiste del cuore e dei vasi sanguigni.
- Esso è costituito da un centro motore, il *cuore*, organo a struttura muscolare, che, grazie alla sua attività contrattile e ritmica, assicura la circolazione del sangue e da un sistema chiuso di tubi elastici a diversa struttura:
 - Arterie, che convogliano il sangue centrifugamente, cioè dal cuore verso la periferia;
 - Capillari, vasi esilissimi, microscopici, deputati allo scambio dell'O₂ e dei materiali nutritizi con i tessuti circostanti, ed anche sede di raccolta da essi della CO₂ e delle scorie del metabolismo.
 - Vene, che convogliano il sangue centripetamente (cioè dalla periferia al cuore) chiudendo il circolo.



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

2

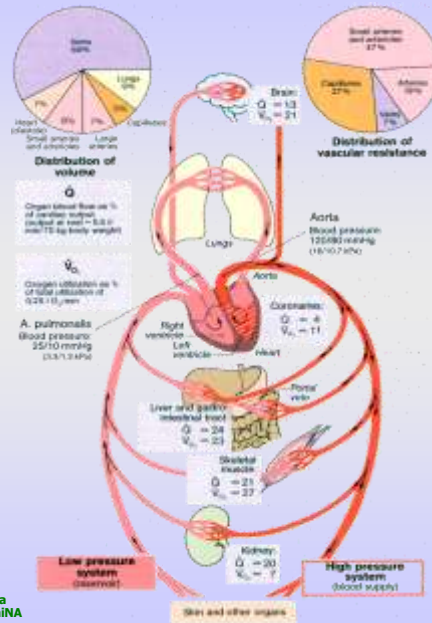
Anatomia del sistema cardiocircolatorio

Piccolo circolo o circolo polmonare

- Le **ARTERIE POLMONARI** portano sangue **DEOSSIGENATO** ai polmoni
- Negli alveoli avviene lo scambio gassoso e il sangue si arricchisce di ossigeno
- Le **VENE POLMONARI** riportano il sangue **OSSIGENATO** al cuore

Grande circolo o circolo sistemico

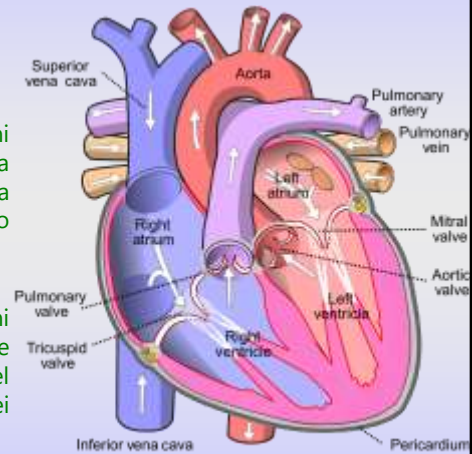
- L'**AORTA** e le **ARTERIE SISTEMICHE** portano il sangue **OSSIGENATO** a tutti gli altri organi del corpo
- L'ossigeno ed altre sostanze vengono rilasciate nei tessuti
- Le **VENE SISTEMICHE** riportano il sangue **DEOSSIGENATO** al cuore



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

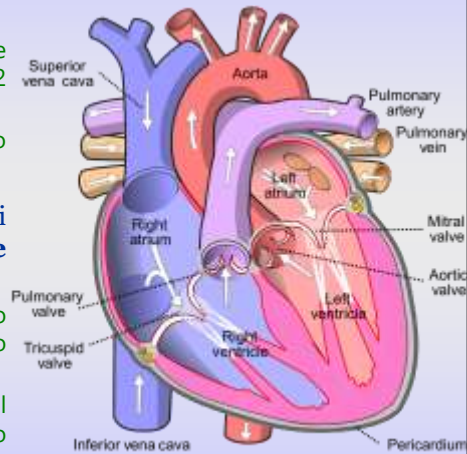
Il cuore

- Setto cardiaco mediano divide il cuore in:
 - Sezione sinistra
 - Sezione destra
- Ogni sezione si compone di due camere
 - **Atrio**: camera superiore, di dimensioni inferiori e pareti più sottili, deputata alla raccolta del sangue che arriva al cuore da uno dei due circoli, per poi pomparlo all'interno della camera inferiore.
 - **Ventricolo**: camera inferiore, di dimensioni maggiori, pareti più robuste e maggiore forza contrattile, deputata all'eiezione del sangue (che riceve dall'atrio) in uno dei due circoli.



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

- Atrii e ventricoli sono collegati da orifizi dotati di **valvole** che impediscono il **flusso retrogrado**:
 - ✦ **Mitrale o bicuspide**: collega atrio e ventricolo sinistro ed è costituita da 2 lembi, detti cuspidi.
 - ✦ **Tricuspide**: collega atrio e ventricolo destro ed è costituita da 3 cuspidi.
- I ventricoli si collegano ai due circoli attraverso orifizi dotati di **valvole semilunari**:
 - ✦ **Aortica**: collega il ventricolo sinistro all'**aorta ascendente**, quindi al circolo sistemico.
 - ✦ **Polmonare**: collega il ventricolo destro al **tronco polmonare**, quindi al circolo polmonare.

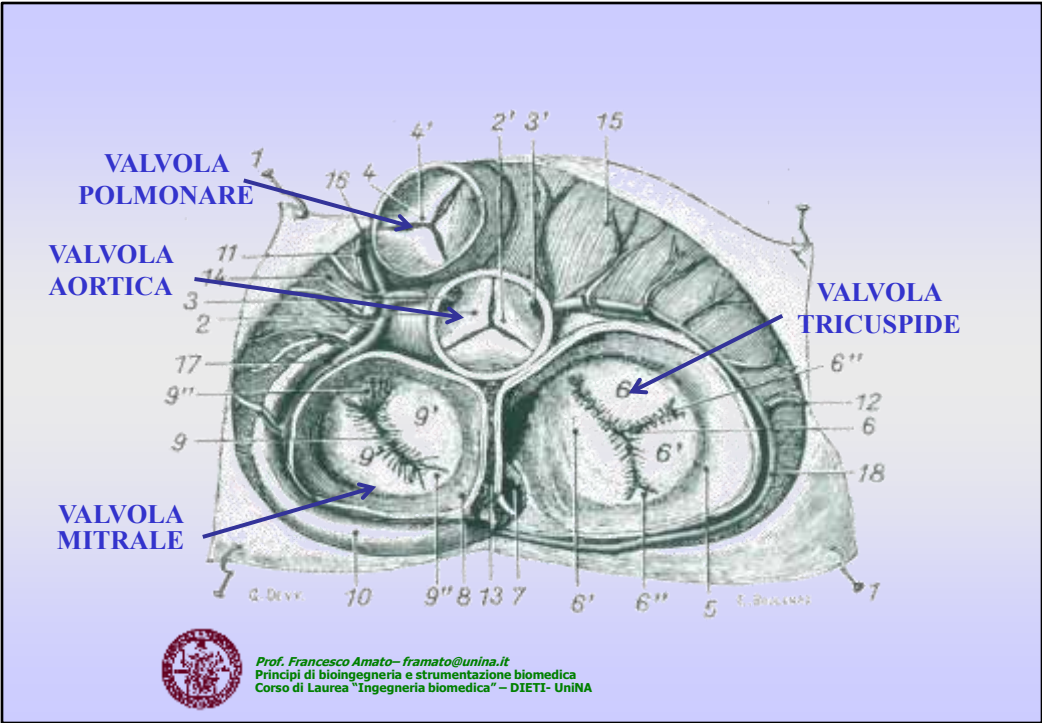


Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UNINA

Le valvole sono **PASSIVE**: cioè non hanno alcun tipo di controllo nervoso/muscolare, ma si aprono nel momento in cui il gradiente di pressione a cavallo dell'orifizio supera una certa soglia, cioè la pressione nella camera che deve eiettare aumenta talmente tanto che porta i lembi delle valvole ad aprirsi consentendo il flusso del sangue. Perché la pressione aumenta? Perché la chiusura della valvola impedisce al sangue di uscire dalla camera quando le sue pareti si contraggono, determinando quindi un aumento di pressione interna. Naturalmente, quando la valvola si apre ed il sangue fuoriesce, la pressione interna alla camera che si svuota diminuisce, per cui diminuisce il gradiente di pressione a cavallo dell'orifizio e, quando si porta al di sotto della soglia, non riesce più a mantenere i lembi della valvola aperti, per cui la valvola si chiude e termina l'eiezione. Questo vale sia per il flusso di sangue dagli atrii ai ventricoli, sia per il flusso di sangue dai ventricoli ai due circoli.

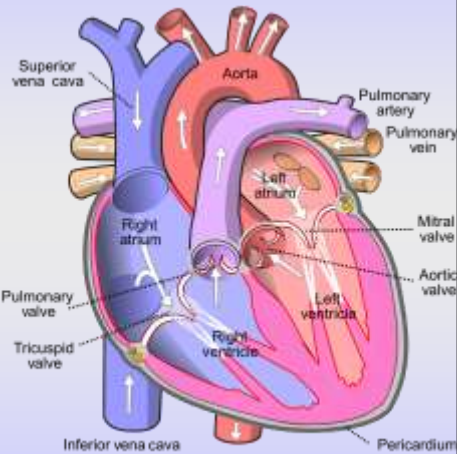
La pompa cardiaca funziona ritmicamente con una frequenza intorno a 70-80 contrazioni/minuto. Il sangue ritorna invece con flusso continuo.

Le cellule delle arterie più vicine al cuore sono simili a quelle muscolari e dotate di elasticità; consentono la conversione delle discontinuità in un flusso continuo.



Il cuore

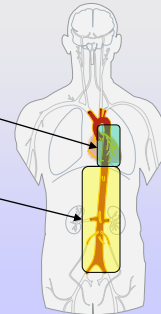
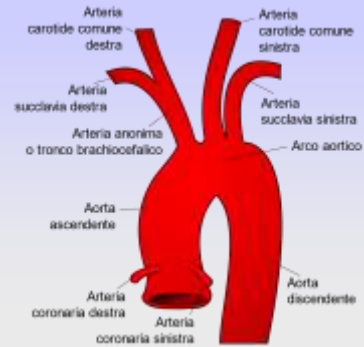
- ◆ Le camere cardiache sono collegate a diversi vasi sanguigni tra cui:
 - **Vene cave superiore e inferiore:** portano il sangue deossigenato dalla metà superiore e inferiore del corpo all'atrio destro.
 - **Tronco o arteria polmonare:** porta il sangue deossigenato dal ventricolo destro ai polmoni. Si divide in due rami che si dirigono verso ognuno dei polmoni.
 - **Vene polmonari:** portano il sangue ossigenato dai polmoni all'atrio sinistro.
 - **Aorta:** porta il sangue ossigenato dal ventricolo sinistro al circolo sistemico.



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

Il sangue che viene immesso nei circoli sistemico e polmonare dalla pompa cardiaca, con una frequenza media di circa 70-80 contrazioni al minuto, presenta un flusso piuttosto discontinuo. Il sangue che ritorna al cuore dai due circoli, invece, presenta un flusso continuo. Ciò avviene in virtù della componente muscolare che prevale nelle cellule delle arterie più vicine al cuore, consentendo la conversione del flusso intermittente in un flusso continuo.

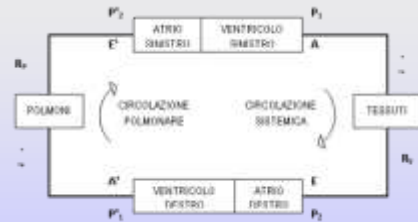
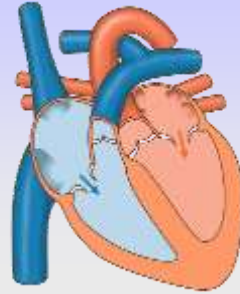
- L'aorta è un grande vaso sanguigno e si divide in più porzioni:
 - **Aorta ascendente:** parte dalla valvola semilunare aortica e sale verso l'alto
 - **Arco aortico:** da cui si dipartono la carotide comune sinistra, la succlavia sinistra, e il tronco brachiocefalico, che si biforca a sua volta in carotide comune destra e succlavia destra
 - **Aorta discendente:** si suddivide a sua volta in
 - **Aorta toracica:** dall'arco aortico al diaframma
 - **Aorta addominale:** dal diaframma fino all'incirca al limite con la zona inguinale, dove si biforca nelle arterie iliache comuni.



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

- Ricapitolando quindi:

- Dall'atrio destro il sangue fluisce attraverso la tricuspide nel sottostante ventricolo destro, dando origine alla circolazione polmonare.
- Dal ventricolo destro, il sangue viene immesso nel ciclo polmonare attraverso l'arteria polmonare ed i suoi rami di divisione, fino ai capillari polmonari ove avviene lo scambio con l'aria atmosferica, in cui cede CO_2 e si satura in O_2 .
- Il sangue ossigenato viene riportato all'atrio sinistro attraverso le vene polmonari.
- Di qui, attraverso la mitrale, il sangue carico di O_2 passa nel ventricolo sinistro da cui viene pompato nell'aorta, dando origine alla circolazione sistemica.



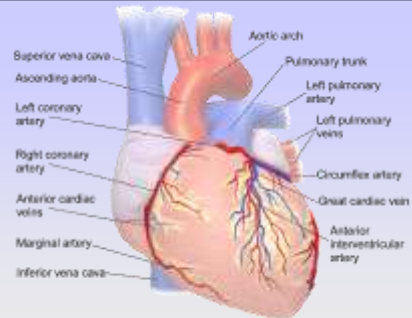
Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
 Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
 Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UnINA

Il ciclo sistemico e quello polmonare sono quindi organizzati in serie e assicurano lo svolgimento delle due fondamentali funzioni organiche della nutrizione dei tessuti e della ossigenazione del sangue.

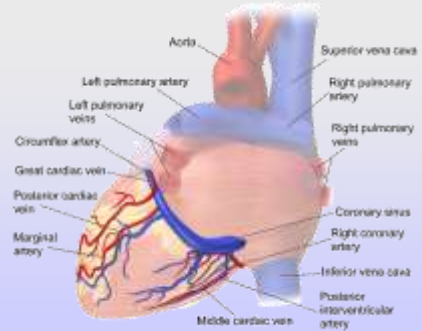
Riassumendo: per adempiere alla funzione di immettere ritmicamente sangue in circolo il cuore ha una struttura a camere, con valvole di separazione che determinano la direzione del flusso sanguigno. **L'aorta e le arterie maggiori distribuiscono il sangue alla periferia. Nello svolgere questo compito convertono il flusso intermittente generato dal cuore in un flusso quasi costante.**

- Il cuore ha una propria vascolarizzazione, detta **circolo coronarico**, costituita da:

- **Arterie coronariche**: si originano da 2 dei 3 seni aortici che costituiscono la valvola semilunare aortica, e portano il sangue ossigenato al muscolo cardiaco (**miocardio**) e al resto dei tessuti cardiaci.
- **Vene cardiache**: rimuovono il sangue deossigenato dal miocardio e lo portano nell'atrio destro, per farlo rientrare nel circolo polmonare, dove verrà riossigenato.



Coronary Circulation (Anterior)



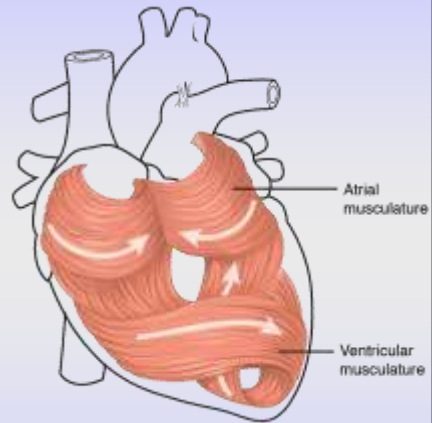
Coronary Circulation (Posterior)



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

Il cuore

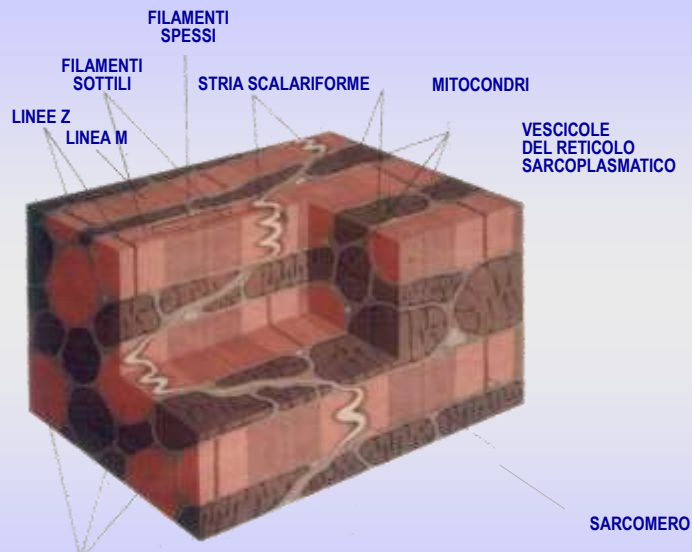
- L'eiezione del sangue dalle camere cardiache avviene attraverso la contrazione delle fibre muscolari del **miocardio**.
- Il miocardio è un **muscolo striato** (come i muscoli scheletrici), ma **involontario** (come la muscolatura liscia)
- È costituito da singole cellule muscolari cardiache, dette **cardiomiociti**.
- Per tale motivo non può essere considerato come un **sincizio anatomico**, cioè un'unica fibra.
- Tuttavia, risponde alla stimolazione con una contrazione praticamente simultanea (come se fosse un'unica fibra), dunque costituisce un **sincizio funzionale**.



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

8

Il cuore

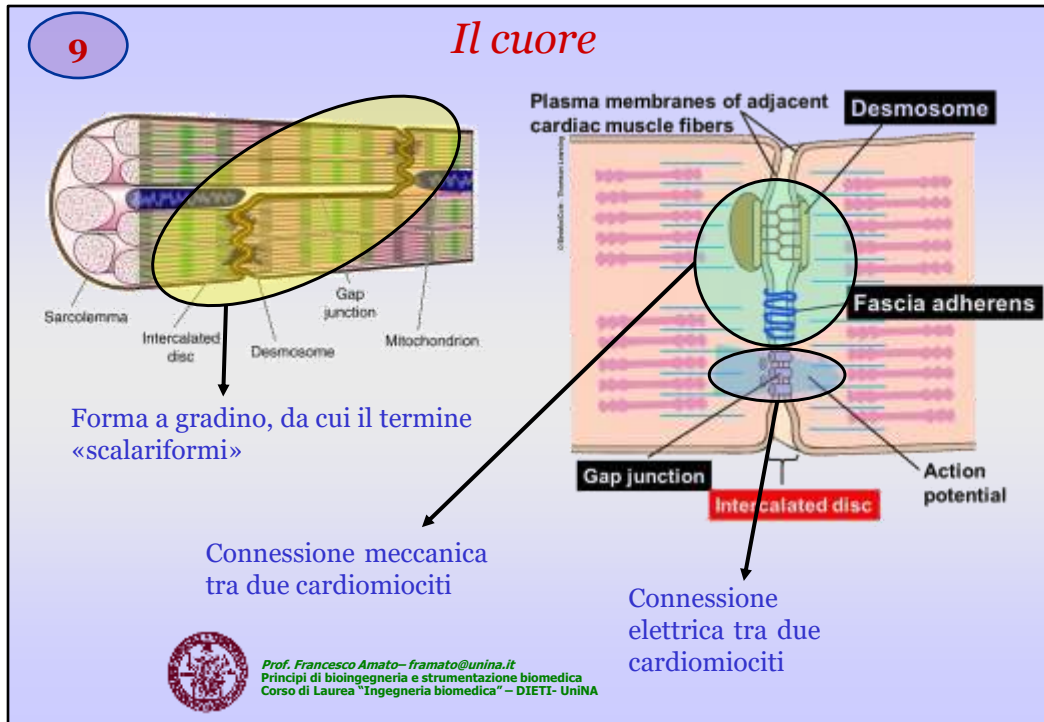


MIOFIBRILLE

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

9

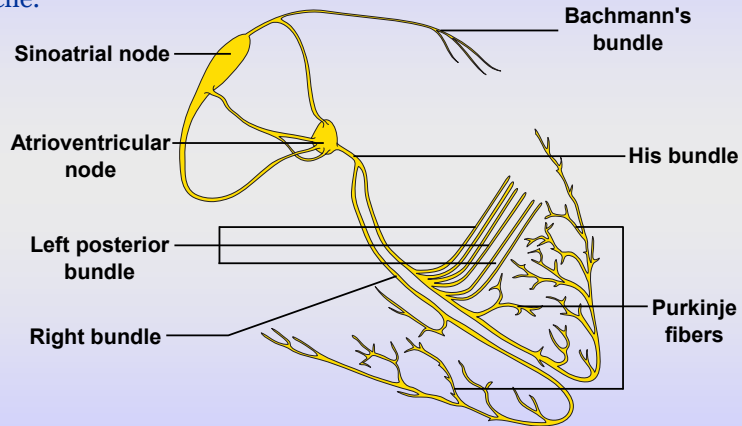
Il cuore



Come fanno i singoli cardiomiociti di una porzione di miocardio a comportarsi come un sincizio funzionale, cioè a contrarsi simultaneamente? Sono collegati da particolari strutture dette "dischi intercalari" o "strie scalariformi", che passano in corrispondenza delle linee Z dei sarcomeri, e supportano la contrazione sincronizzata delle miofibrille contenute all'interno dei cardiomiociti adiacenti. I dischi intercalari sono costituiti da varie strutture, che consentono sia il collegamento meccanico (e quindi il trasferimento della forza) sia il collegamento elettrico tra due cellule muscolari cardiache. Il collegamento elettrico è ottenuto tramite le gap junction: cioè delle zone in cui le membrane cellulari di due cardiomiociti sono collegate da canali di scambio di ioni ed altre sostanze che collegano il citoplasma delle due cellule, consentendo la propagazione dei potenziali d'azione da una cellula all'altra, senza la mediazione di fibre nervose.

Il cuore

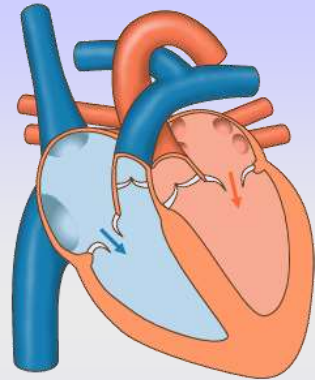
- Il cuore è costituito da una speciale rete di conduzione elettrica che controlla la stimolazione delle varie fibre del miocardio per la contrazione delle camere cardiache.



1

Ciclo cardiaco

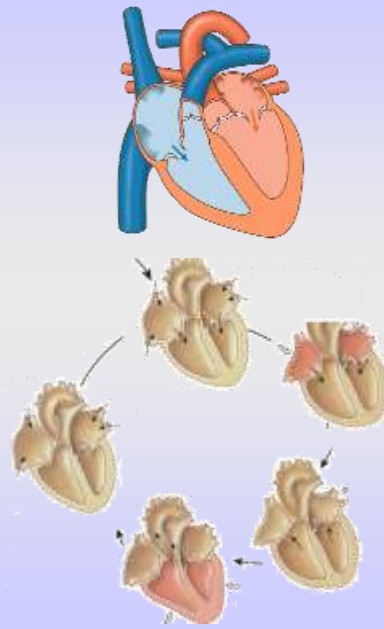
- Il ciclo cardiaco è l'insieme di eventi che si verificano tra due battiti cardiaci consecutivi
- L'attività delle quattro camere cardiache si suddivide in due fasi principali:
 - **Sistole**: contrazione della camera ed eiezione del sangue
 - **Diastole**: rilassamento della camera e riempimento di sangue



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

Ciclo cardiaco

- *Diastole*, il sangue fluisce passivamente dagli atri ai ventricoli
- *Sistole atriale*, gli impulsi del nodo SA contraggono gli atri che spingono una ulteriore quantità di sangue nei ventricoli
- *Contrazione ventricolare* isovolumica, le valvole AV si chiudono
- *Sistole ventricolare*, i ventricoli si contraggono e la pressione fa aprire le valvole polmonare e atriale
- *Rilasciamento ventricolare* isovolumico, i ventricoli si rilassano, la pressione diminuisce e le valvole polmonare e atriale si chiudono



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

Partendo da camere rilassate, valvole atrioventricolari aperte e semilunari chiuse (fase diastolica):

- 1) Gli atri si contraggono, eiettando il sangue in essi contenuto (detto quota atriale) nei relativi ventricoli attraverso le valvole atrioventricolari..
- 2) L'eiezione del sangue determina un calo di pressione negli atri che causa la chiusura delle valvole atrioventricolari.
- 3) Gli atri si rilassano e riprendono a riempirsi di sangue, mentre i ventricoli si contraggono. Le valvole semilunari però sono chiuse, per cui il volume ventricolare non varia e si ha quindi una prima fase di contrazione isovolumetrica, che determina un aumento della pressione intraventricolare.
- 4) L'aumento di pressione apre le valvole semilunari dando inizio all'effettiva eiezione del sangue nel circolo sistemico e polmonare.
- 5) La fuoriuscita di sangue dai ventricoli determina un calo della pressione intraventricolare, che causa la chiusura delle valvole semilunari.
- 6) I ventricoli si rilassano ma le valvole atrioventricolari sono ancora chiuse, per cui non c'è variazione di volume e si ha una prima fase di rilassamento isovolumetrico.
- 7) Nel frattempo, il riempimento degli atri determina un aumento della loro pressione interna, causando l'apertura delle valvole atrioventricolari, che consente quindi il riempimento passivo dei ventricoli (diastole).

Ciclo cardiaco

- Tutte le valvole cardiache sono chiuse durante le fasi di contrazione e rilassamento. La loro apertura e chiusura è controllata dalle differenze di pressione tra gli atri ed i ventricoli.
- Quando i ventricoli sono rilassati, il ritorno venoso del sangue negli atri fa aumentare la pressione al loro interno, le valvole AV quindi si aprono permettendo il passaggio di sangue nei ventricoli.
- Mentre i ventricoli si contraggono, la pressione intraventricolare aumenta e supera quella degli atri e spinge le valvole AV a chiudersi.



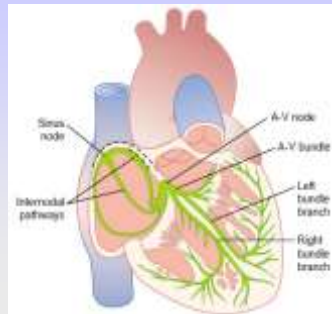
Ciclo cardiaco

- Nell'apparato cardiocircolatorio, dal punto di vista emodinamico, è possibile distinguere una sezione a basso regime pressorio costituita dalla parte venosa del grande circolo e da tutto il piccolo circolo.
- Il cuore al centro di questo sistema funziona con il sistema della pompa aspirante e premente, ricevendo il sangue dalla sezione a bassa pressione e spingendolo in quello ad alta pressione.
- La forza di espulsione non è uguale nei due ventricoli dato che il sangue nel circuito destro circola con una pressione notevolmente inferiore a quella del circuito sinistro.
- La capacità (cioè il volume di liquido che può essere contenuto) è uguale nei due settori. Ciò che varia sono le resistenze periferiche, notevolmente più basse a livello del circolo polmonare (1/4) rispetto a quelle del grande circolo.
- I tubi di uscita, quelli arteriosi, sono molto più spessi dovendo assorbire l'urto del liquido immesso dalla pompa sotto pressione. I tubi di ritorno, cioè le vene, hanno pareti più sottili dato che la pressione residua del liquido è inferiore a quella del circuito di andata.
- Le arterie sono costituite da tessuto elastico e muscolare. In quelle più vicino al cuore prevale la componente muscolare, ciò consente a questa porzione del circuito di convertire il flusso intermittente in un flusso continuo.



1

Impulso cardiaco e conduzione elettrica



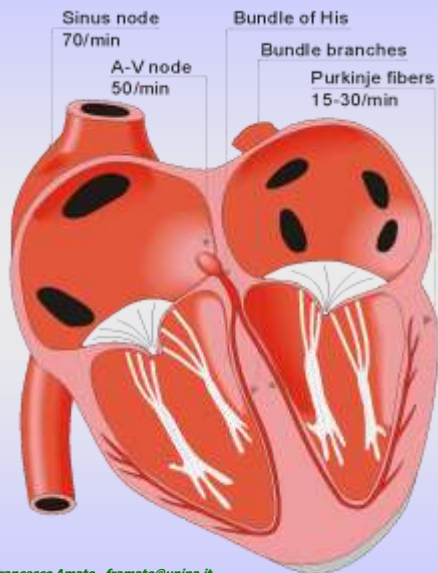
- L'eccitazione elettrica precede la contrazione meccanica.
- Il cuore è formato da cellule muscolari che generano l'impulso (sistema pacemaker: nodo SA e nodo AV), conducono (sistema di conduzione: fascio di His, branche e fibre di Purkinje) e rispondono ad impulsi elettrici (miocardio di lavoro).



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

2

Impulso cardiaco e conduzione elettrica



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

3

Impulso cardiaco e conduzione elettrica

- Le cellule che costituiscono il tessuto cardiaco sono in stretto contatto, sia elettricamente che meccanicamente.
- Questa caratteristica fa sì che il miocardio rappresenti una singola unità, cioè un *sincizio funzionale*.
- Questo significa che le membrane cellulari si fondono tra loro in modo da formare dei nodi di comunicazione (giunzioni) che consentono la diffusione quasi completamente libera degli ioni.
- Quindi, dal punto di vista funzionale, gli ioni si muovono con facilità nel fluido cellulare e i **potenziali d'azione** viaggiano facilmente da una cellula muscolare cardiaca alla successiva.
- In definitiva, il muscolo cardiaco è un sincizio di molte cellule così interconnesse che quando una di esse si eccita, il potenziale di azione si diffonde a tutte le altre.



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

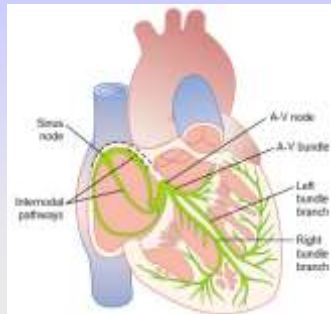
4

Impulso cardiaco e conduzione elettrica

- 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



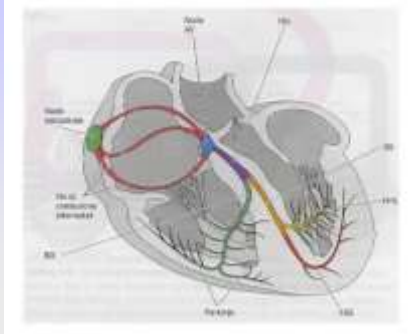
- Come si è visto, la contrazione cardiaca è stimolata da impulsi che partono dal **nodo seno atriale** (nodo SA o di Keith Fisch).
- Esso è una piccola striscia ellissoide di muscolo cardiaco specializzato di circa 3 millimetri di larghezza, 15 millimetri di lunghezza, ed 1 mm di spessore), che è anche 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

6

Impulso cardiaco e conduzione elettrica



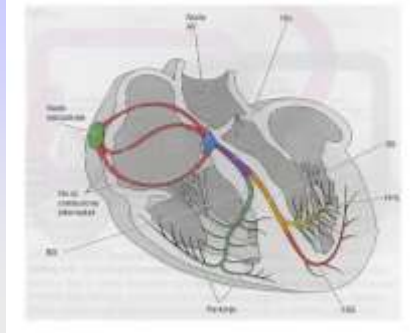
- Dal SA gli impulsi sono condotti attraverso entrambi gli atri al nodo atrioventricolare (nodo AV o di Aschoff Tawara), dal quale parte il fascio di His che rappresenta l'inizio del sistema di conduzione specializzato.
- Quest'ultimo include anche le branche destra e sinistra, di Tawara, e le fibre 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

7

Impulso cardiaco e conduzione elettrica



- Il nodo AV è sede del ritardo più rilevante (intervallo P-R – torneremo in seguito su questo punto a proposito dell'ECG).
- Questo consente il completamento del riempimento ventricolare durante la contrazione atriale.
- Benché sia possibile una conduzione retrograda (dal nodo AV verso gli atri), questa è molto più lenta di quella normale, e rappresenta di fatto un blocco monodirezionale. Anche il tempo di conduzione AV è controllato dal sistema autonomo.



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

8

Impulso cardiaco e conduzione elettrica

● Riassumendo:

- Le cellule pace-maker sono localizzate nel *nodo seno-atriale* e generano un potenziale d'azione alla frequenza di 70 imp/minuto.
- I potenziali d'azione si propagano rapidamente da una cellula all'altra. Il segnale elettrico passa dal nodo SA al *nodo atrio-ventricolare* (nodo AV) attraverso la via internodale, per poi proseguire nel fascio A-V, nelle due branche del fascio conduttore e, infine, nelle cellule miocardiche contrattili dei ventricoli.
- I setti cartilaginei tra atri e ventricoli impediscono il trasferimento diretto dell'impulso tra atri e ventricoli.
- *Se il nodo SA non funziona correttamente, altre cellule autoritmiche del nodo AV assumono il controllo della frequenza (50 imp/min).*

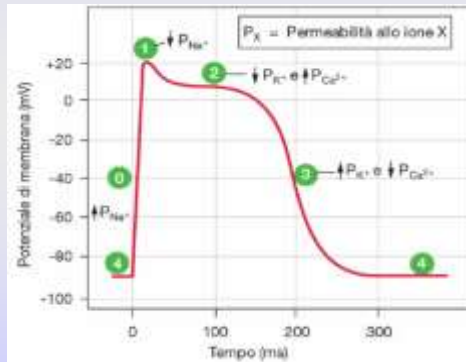


Prof. Francesco Amato – framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" – DIETI- UnINA

1

Potenziale d'azione

Un'importante distinzione tra muscolo cardiaco e muscolo scheletrico è che nel muscolo cardiaco l'ingresso di calcio (fase 2) prolunga la durata del potenziale d'azione miocardico determinando un *plateau*.



- 0 Canali del Na^+ si aprono
- 1 Canali del Na^+ si chiudono
- 2 Canali del Ca^{2+} si aprono; canali rapidi del K^+ si chiudono
- 3 Canali del Ca^{2+} si chiudono; canali lenti del K^+ si aprono
- 4 Potenziale di riposo

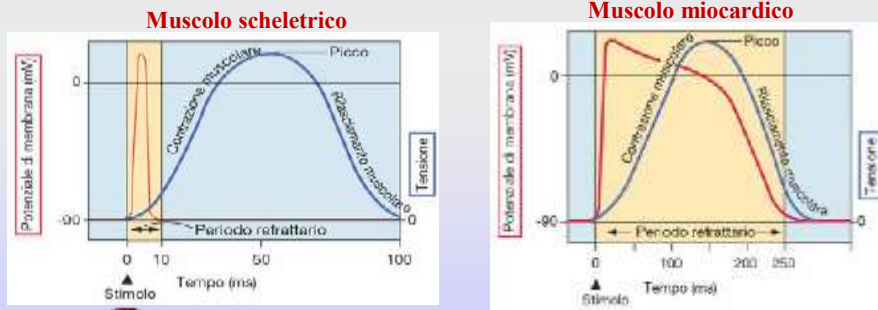


Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI- UNINA

Potenziale d'azione

2

Questa è una caratteristica importante per la funzione del cuore perché il miocardio, tra una contrazione e l'altra, deve subire un rilassamento (per permettere ai ventricoli di riempirsi di sangue). Se non ci fosse un ampio periodo refrattario rischieremmo di andare in contrazione tetanica (irrigidimento del muscolo a causa di sovrapposizione di stimoli), e non potremmo avere il rilassamento del miocardio.



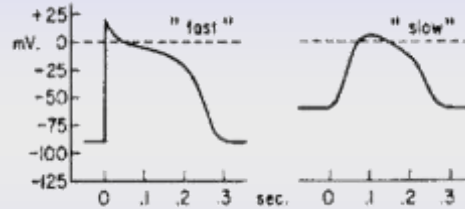
Prof. Francesco Amato - framato@unina.it
Principi di bioingegneria e strumentazione biomedica
Corso di Laurea "Ingegneria biomedica" - DIETI-UNINA

La lunga durata del periodo refrattario serve per fare in modo che il muscolo cardiaco non vada in tetanizzazione, NON per consentire ai ventricoli di riempirsi di sangue. A quest'ultimo scopo fa gioco il ritardo del nodo AV.

3

Potenziale d'azione

- Per quanto riguarda le cellule del muscolo cardiaco, esiste una ulteriore distinzione tra quelle con un PdA a *risposta veloce* (atri e ventricoli), e quelle caratterizzate da un PdA a *risposta lenta* (*nodo seno-atriale (SA)*, e il *nodo atrio-ventricolare (AV)*).



- Il PdA a risposta veloce ha un potenziale di riposo di -80 o -90 mV.
- Come si è detto, durante il plateau (fase 2) si manifesta un flusso di ioni Ca^{++} , attraverso i canali lenti che mantiene costante (per un certo periodo) il potenziale, per evitare che il cuore vada in tetanizzazione.



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

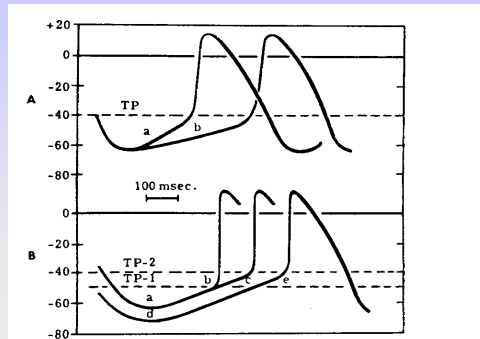
IMPORTANTE: gli ioni Ca^{++} passano dall'esterno verso l'interno della membrana, frenando la ripolarizzazione della cellula. In questo modo viene aumentato il periodo refrattario che protegge il meccanismo del PdA.

Potenziale d'azione

- Il PdA a risposta lenta è caratterizzato dalla mancanza di canali veloci Na^+ , per cui il suo fronte di salita è meno ripido.
- In particolare, le cellule del nodo SA non mantengono il potenziale di riposo della membrana allo stesso modo delle cellule neurali o muscolari.
- Infatti, durante la diastole, il PdA del nodo SA ha una caratteristica fase 4, a pendenza positiva, che consente la regolazione della frequenza.
- La figura successiva illustra le modalità di regolazione.



Potenziale d'azione



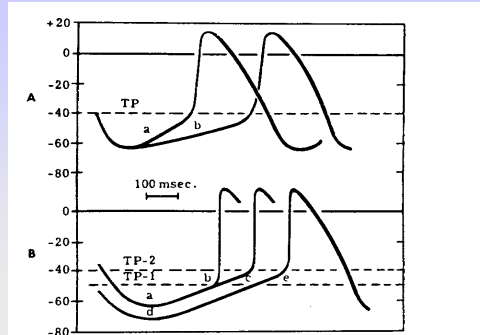
- Il potenziale di membrana parte da circa -60 mV e depolarizza lentamente fino a -40 mV, che rappresenta la soglia per produrre un potenziale in queste cellule.
- Questa depolarizzazione spontanea è prodotta dalla diffusione di ioni calcio Ca^{++} attraverso i *canali lenti* del calcio attraverso la membrana.
- Quando si raggiunge la soglia, si produce anche qui un effetto valanga attraverso i *canali veloci* del calcio, che permettono una diffusione rapida di Ca^{++} .



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

6

Potenziale d'azione



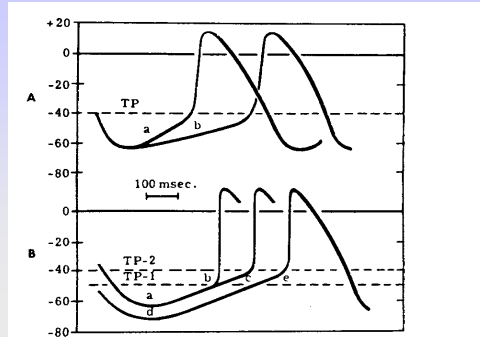
- A questo punto, l'apertura di canali attivi (lenti) del sodio, e la conseguente diffusione di ioni sodio nelle cellule, enfatizza ulteriormente l'azione di depolarizzazione.
- Infine, la ripolarizzazione è prodotta dall'apertura dei canali del potassio, come nelle altre cellule del miocardio.
- Quando si raggiunge la soglia posta a -60 mV, comincia un nuovo ciclo che culminerà nuovamente con l'attivazione del potenziale alla fine della diastole.



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

7

Potenziale d'azione



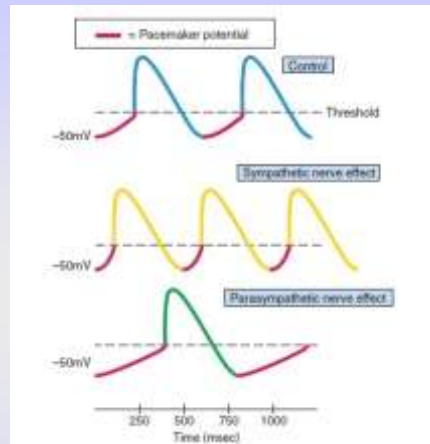
- La figura illustra le modalità di regolazione, in A per variazione di pendenza, in B per variazione di soglia (a) o di potenziale di riposo (d).
- Il sistema autonomo esercita la sua azione attraverso il rilascio di sostanze mediatrici. Con TP si indica la soglia di stimolazione.



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

8

Potenziale d'azione



In figura un esempio di come agisce il SNA.



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