

## IL SISTEMA CARDIVASCOLARE

Il ruolo del sistema cardiovascolare è quella di **trasportare** all'interno dell'organismo i materiali che sono stati scambiati tra ambiente interno ed esterno dal sistema respiratorio, digerente e urinario (vedi lezione introduttiva).

Il sistema cardiovascolare è formato dal cuore, dai vasi sanguigni, dal plasma e dagli elementi corpuscolati del sangue. I vasi che dal cuore portano il sangue nella periferia corporea si chiamano **arterie** quelli che dalla periferia lo riportano al cuore si chiamano **vene**. Grazie ad un sistema di valvole (descritto in seguito) il **flusso del sangue è unidirezionale** (fig 1)

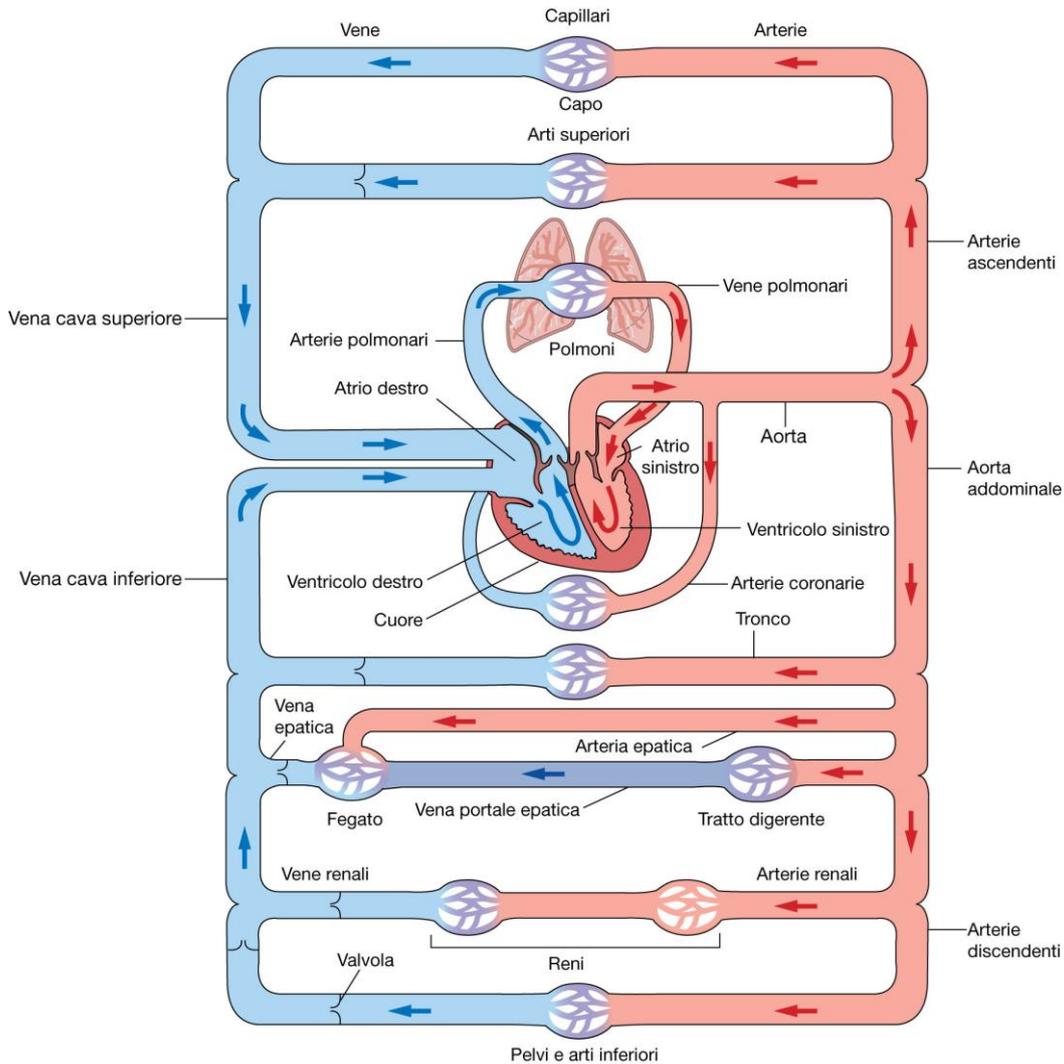


Fig 1

La circolazione sanguigna è per convenzione divisa nel **circolo polmonare** e in quello **sistemico**.

La circolazione polmonare è decisamente più piccola di quella sistemica. È formata dai vasi che portano il sangue dal ventricolo destro all'atrio sinistro (atri e ventricoli sono le cavità del cuore, vedi dopo). Dal ventricolo destro il sangue raggiunge i polmoni dalle **arterie polmonari** e dai polmoni torna all'atrio sinistro tramite le **vene polmonari**.

L'insieme dei vasi che portano il sangue dal ventricolo sinistro all'atrio destro formano il circolo sistemico. Il vaso che si diparte dal ventricolo sinistro è l'**aorta** che poi si ramifica in

tutte le parti dell'organismo (meno i polmoni). Le ramificazioni si assottigliano fino a formare i capillari a livello dei quali l'ossigeno e le sostanze nutritive vengono ceduti ai tessuti. Il sangue viene quindi raccolto dalle vene e quello proveniente dalla parte inferiore del corpo viene riportato all'atrio destro dalla **vena cava inferiore**, mentre quello proveniente dalla parte superiore del corpo viene riportato all'atrio destro dalla vena cava superiore.

## ANATOMIA FUNZIONALE DEL CUORE

Il cuore è un organo muscolare sito al centro della cavità toracica (fig 2). Ha la forma di un cono rovesciato con l'apice spostato a sinistra.

Il cuore è completamente avvolto dal **pericardio**, una membrana connettivale che forma un sacco. Tra il pericardio e il cuore c'è il liquido pericardico che lubrifica la superficie del cuore mentre questo batte nel sacco.

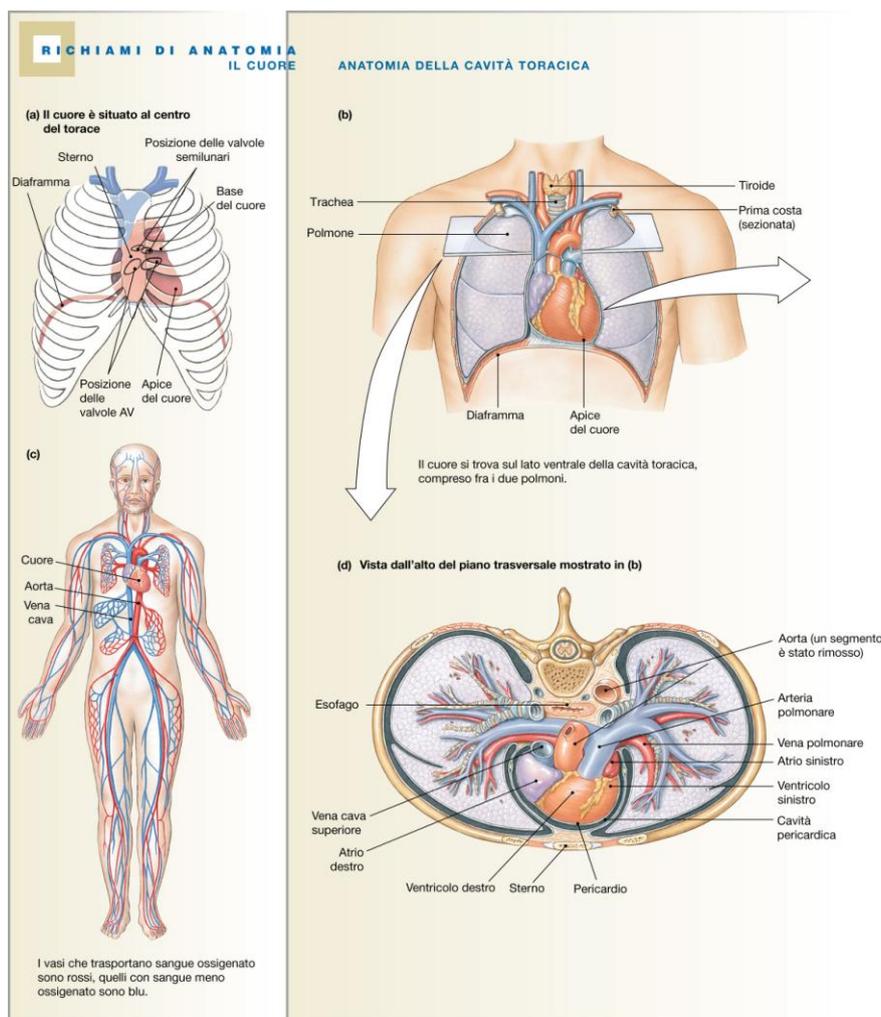


Fig 2

## ATRI E VENTRICOLI

Il cuore è costituito da quattro cavità (fig 3):

1. ATRIO DESTRO
2. ATRIO SINISTRO
3. VENTRICOLO DESTRO
4. VENTRICOLO SINISTRO

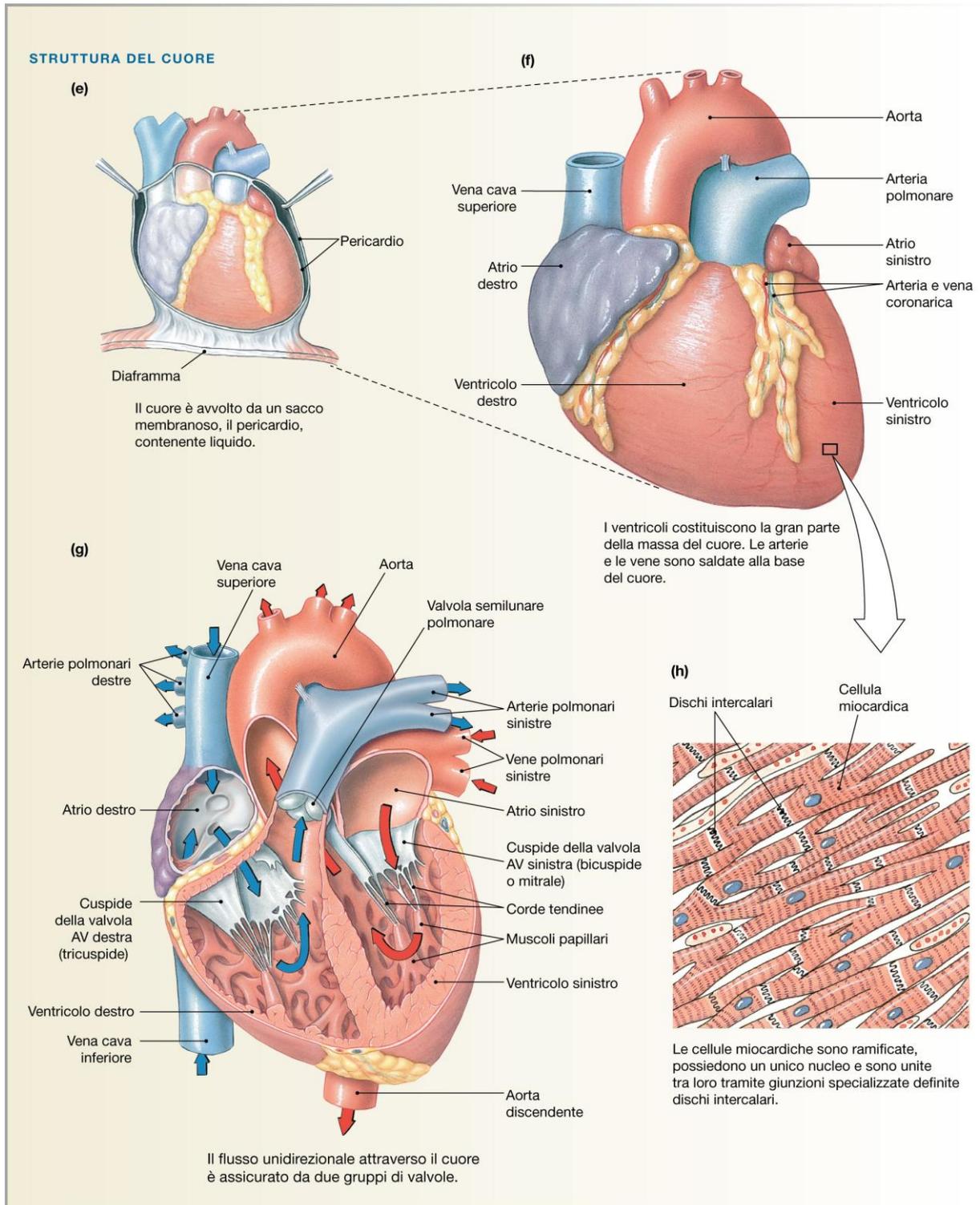


Fig 3

Il cuore è formato principalmente da tessuto muscolare cardiaco o miocardio (descritto in seguito, vedi anche fig 3h). Quest'organo è irrorato dalle arterie e dalle vene **coronariche**.

Gli **ATRI** presentano una parete muscolare sottile, al contrario dei **VENTRICOLI** la cui parete muscolare è piuttosto **SPESSA**. In una sezione trasversale (fig 3g) si nota che il **VENTRICOLO SINISTRO** ha una **PARETE** muscolare **più robusta** di quella del

VENTRICOLO DESTRO. Ciò rende il ventricolo sinistro adatto A POMPARE NEL CIRCOLO SISTEMICO, di gran lunga più esteso del circolo polmonare, grandi quantità di sangue.

Atri e ventricoli NON comunicano tra loro. I primi sono separati dal SETTO INTERATRIALE, i secondi dal SETTO INTRAVENTRICOLARE. In virtù di quest'organizzazione anatomica, propria dell'adulto, IL SANGUE VENOSO E QUELLO ARTERIOSO non si mescolano.

### LE VALVOLE CARDIACHE

Ciascun atrio comunica con il ventricolo ipsilaterale tramite un orifizio munito di valvola (valvole atrioventricolari). L'orifizio tra l'atrio e il ventricolo DESTRO presenta una valvola costituita da tre lembi chiamata TRICUPSIDE. L'orifizio tra l'atrio e il ventricolo SINISTRO presenta una valvola costituita da due lembi chiamata BICUPSIDE o MITRALE. Le valvole sono strutturate in modo **da facilitare** al massimo il passaggio del sangue dagli atri ai ventricoli e, al tempo stesso, **impedirne il reflusso**.

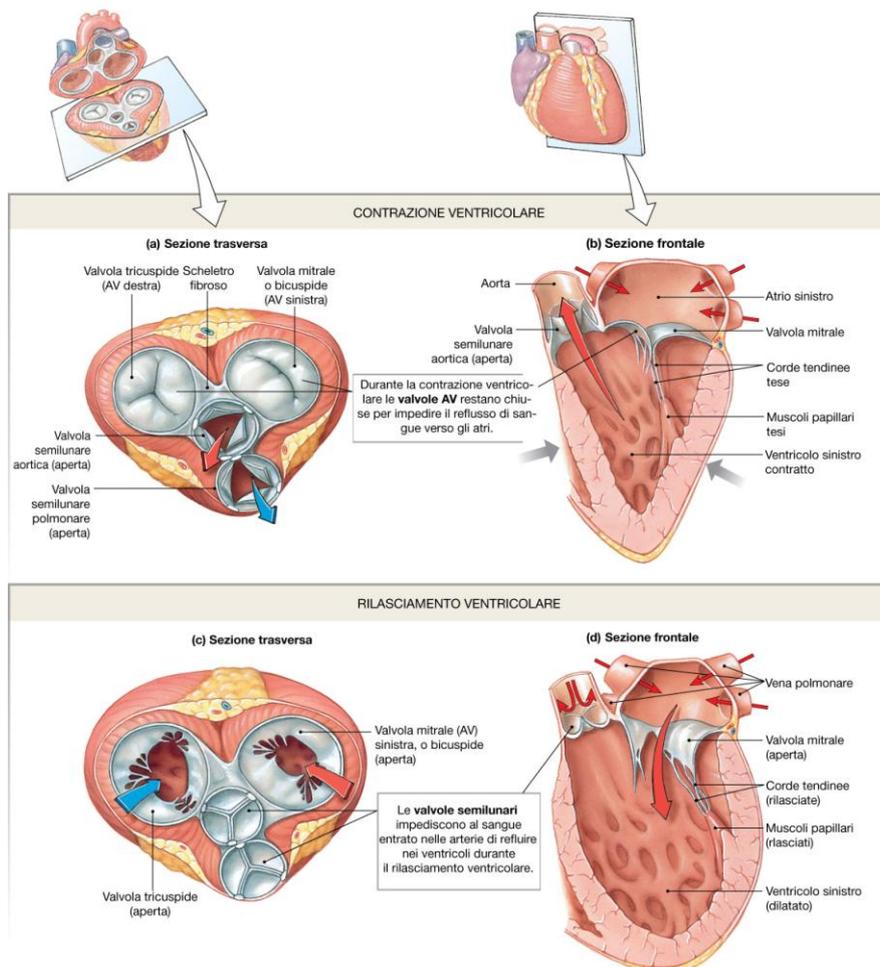


Fig 4

Il loro FUNZIONAMENTO è di tipo MECCANICO, ovvero si APRONO e si CHIUDONO in funzione delle VARIAZIONI della pressione ATRIALE E VENTRICOLARE (fig 4).

Durante la DIASTOLE VENTRICOLARE (rilasciamento, vedi fig 4a e 4b), quando la PRESSIONE ATRIALE è MAGGIORE di QUELLA VENTRICOLARE, le valvole si APRONO e il sangue fluisce dagli atri ai ventricoli.

Durante la SISTOLE VENTRICOLARE (contrazione), quando la PRESSIONE VENTRICOLARE è MAGGIORE di QUELLA ATRIALE, le valvole SI CHIUDONO. In questo frangente esse vengono sottoposte ad una notevole pressione che tenderebbe ad aprirle. Ciò viene impedito grazie al seguente espediente. Sulla faccia ventricolare dei lembi delle valvole prendono attacco delle strutture connettivali filiformi dette CORDE TENDINEE. Queste si legano, all'altro capo, ai MUSCOLI PAPILLARI. Poco dopo l'inizio della sistole ventricolare, questi muscoli si contraggono tendendo le corde. La forza così esercitata sulle valvole è sufficiente a controbilanciare la forza di pressione del sangue che ha direzione opposta.

### **Le valvole semilunari**

Oltre che con i rispettivi atri, i ventricoli COMUNICANO, rispettivamente, il VENTRICOLO SINISTRO CON L'AORTA e il VENTRICOLO DESTRO CON L'ARTERIA POLMONARE (fig 3 e 4). La comunicazione avviene mediante orifizi muniti di VALVOLE, che data la loro forma sono dette SEMILUNARI. Avendo una forma a coppa (fig 4d) impediscono il reflusso del sangue dai vasi alle cavità ventricolari in quanto vengono di colpo riempite dal sangue che tenta di fluire all'indietro.

## STRUTTURA DEL MIOCARDIO

Il miocardio, o muscolo cardiaco, è formato da due tipi di muscolatura:

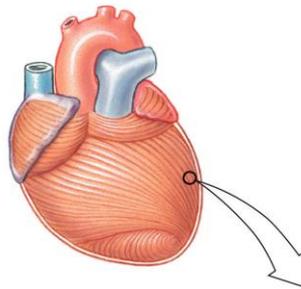
- 1) Il MIOCARDIO COMUNE che è formata da fibre striate la cui funzione è quella **contrattile**.
- 2) Il MIOCARDIO SPECIALIZZATO che è formato da cellule specializzate e la cui funzione è quella di **produrre e condurre l'eccitamento elettrico**.

### MIOCARDIO COMUNE

È formato da fibre muscolari striate. La striatura, come per i muscoli scheletrici, è dovuta dalla ripetizione di unità funzionali e strutturali (i sarcomeri). Tuttavia ci sono diverse differenze tra le fibre del miocardio e quelle dei muscoli scheletrici:

- 1) Ogni fibra è formata da **CELLULE UNINUCLEATE** (fig 5), (nel muscolo scheletrico ogni fibra è formata da un'unica cellula multinucleata).

(a) La disposizione a spirale del muscolo ventricolare permette alla contrazione ventricolare di spingere il sangue verso l'alto, dall'apice del cuore.



(b) I dischi intercalari contengono desmosomi che permettono il trasferimento della forza da cellula a cellula. Le giunzioni comunicanti nei dischi intercalari permettono ai segnali elettrici di passare rapidamente da cellula a cellula.

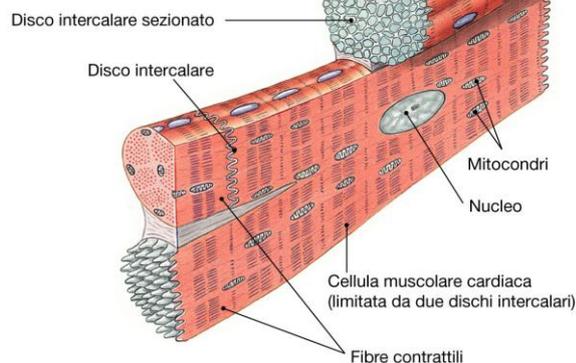


Fig 5

- 2) Ogni cellula si unisce alle altre a livello di particolari zone dette **DISCHI INTERCALARI** (Fig 5). In questi punti vi sono i desmosomi (che tengono saldamente unite le cellule contigue, fig 6d) e le giunzioni comunicanti (che consentono la comunicazione tra i citoplasmi di due cellule adiacenti, fig 6c).

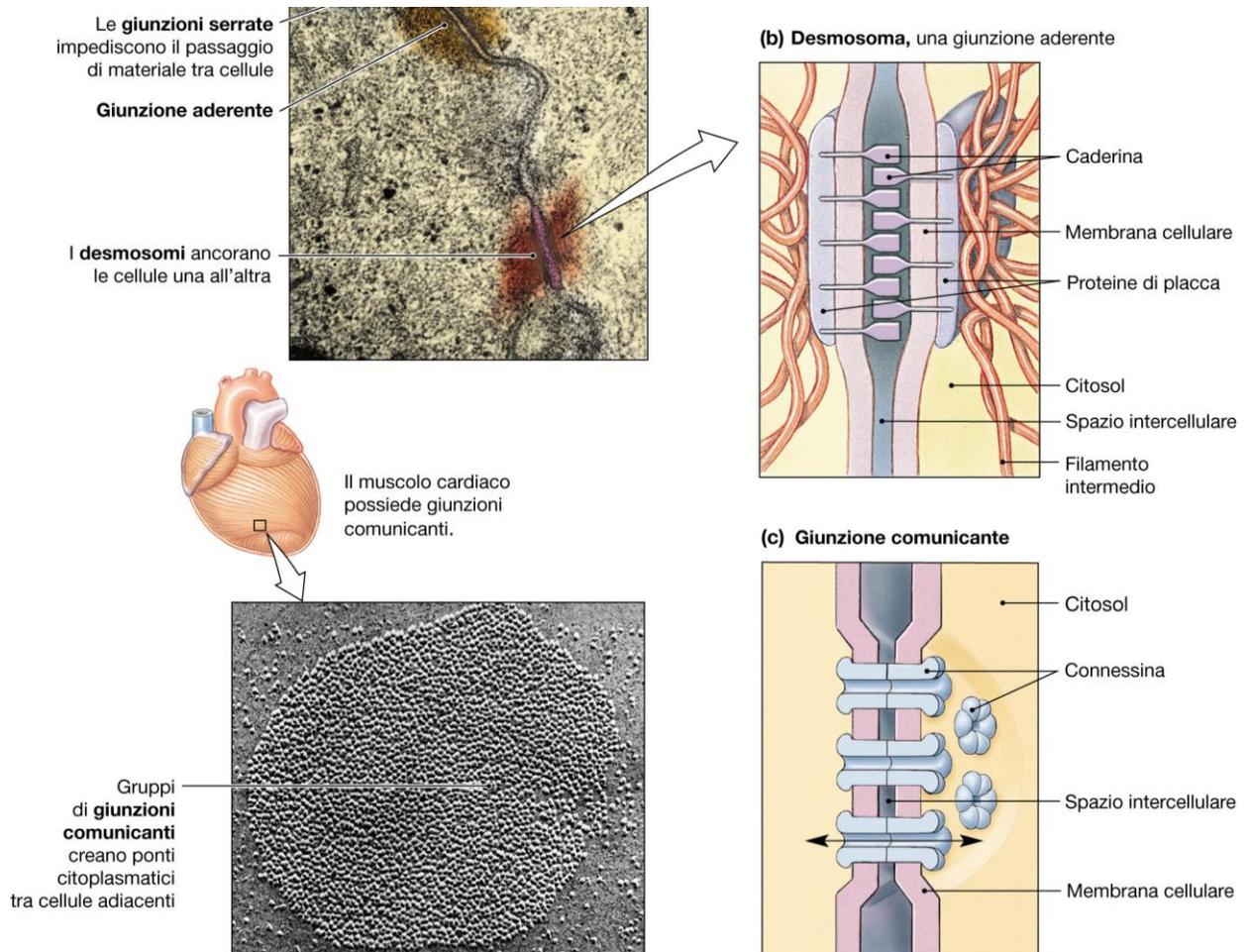


Fig 6

- 3) Le cellule di una fibra si uniscono agli elementi cellulari di un'altra fibra, in tal modo **LE FIBRE MIOCARDICHE** formano **UN RETICOLO** (fig 5), (nel muscolo scheletrico le fibre muscolari sono distinte l'una dall'altra).
- 4) Il **RETICOLO SARCOPLASMATICO** è **MENO SVILUPPATO**, in particolare per quanto riguarda le cisterne, mentre **I TUBULI T HANNO UN DIAMETRO MAGGIORE**. Ci sono molti più mitocondri a fronte dell'alta richiesta energetica di queste cellule (circa il 75% dell'ossigeno del sangue che irrorà il cuore viene usato da queste cellule).

Le cellule del miocardio hanno un **POTENZIALE DI MEMBRANA A RIPOSO** che si aggira sui **-90 mV**. In risposta ad un adeguato stimolo, si eccitano e si contraggono con modalità simili a quelle delle fibrocellule muscolari striate. Rispetto a queste però, vi è una fondamentale differenza, **L'ECCITAMENTO SI DIFFONDE IN TUTTO IL TESSUTO** grazie alle gap junctions dei dischi intercalari che consentono la libera diffusione degli ioni. Per

questa ragione si dice che le cellule del miocardio comune formano dei **sincizi funzionali**. Nel cuore vi sono 2 SINCIZI FUNZIONALI DISTINTI:

- a) Il SINCIZIO ATRIALE.
- b) Il SINCIZIO VENTRICOLARE.

Le cellule muscolari degli atri sono infatti separate da quelle dei ventricoli da uno strato di tessuto fibroso disposto tra le valvole cardiache. L'eccitamento si trasmette dal sincizio atriale a quello ventricolare solamente tramite il fascio atrio-ventricolare (o fascio di His, vedi dopo). Data la struttura anatomica del miocardio comune, questo tessuto ubbidisce alla LEGGE DEL TUTTO O NULLA. Ovvero quando viene prodotto uno STIMOLO al di sopra del valore di soglia la RISPOSTA del miocardio è della MASSIMA AMPIEZZA POSSIBILE e NON CRESCE ALL'AUMENTARE DELL'INTENSITA' DELLO STIMOLO.

### **MIOCARDIO SPECIALIZZATO**

Rispetto alle altre cellule del miocardio comune quelle del miocardio specializzato (che sono separate dalle prime da una lamina connettivale) hanno le seguenti caratteristiche:

- 1) Presentano una QUANTITA' MINIMA DI MIOFILAMENTI, per cui la loro CAPACITA' DI CONTRARSI E' NOTEVOLMENTE DIMINUITA.
- 2) Hanno un GRANDISSIMO NUMERO DI GAP JUNCTIONS, che facilitano notevolmente la diffusione dello stimolo depolarizzante.
- 3) Sparse nel sarcoplasma, vi sono grandi RISERVE DI GLICOGENO, che vengono utilizzate per il funzionamento delle pompe ioniche nella fase di ripolarizzazione.

Tutte queste peculiarità sono funzionali alla auto-produzione e alla trasmissione degli impulsi elettrici.

### **ECCITAMENTO DEL CUORE**

Nel CUORE L'ECCITAZIONE e LA CONTRAZIONE del MIOCARDIO insorgono RITMICAMENTE ED IN MANIERA SPONTANEA. Per tale ragione si dice che le contrazioni cardiache sono di **origine miogena**, ovvero sono di origine muscolare. Tutte le fibrocellule cardiache avrebbero potenzialmente la capacità di AUTO-ECCITARSI RITMICAMENTE e quindi di CONTRARSI in maniera AUTONOMA, tuttavia tale proprietà è più sviluppata in certe parti del cuore piuttosto che in altre.

Nel cuore dei MAMMIFERI L'ECCITAMENTO viene PRODOTTO da un gruppo di fibrocellule del miocardio specializzato detto NODO SENO-ATRIALE. Qui gli IMPULSI vengono prodotti con la FREQUENZA PIU' ALTA CHE IN OGNI ALTRA PARTE DEL CUORE, così TUTTE LE ALTRE FIBROCELLULE VENGONO TRASCINATE AL SUO RITMO. Questo fenomeno è noto come LEGGE DELLA DOMINANZA DEL RITMO PIU' FREQUENTE.

### **SISTEMA DI CONDUZIONE DELL'ECCITAZIONE**

Il sistema (fig 7) viene normalmente suddiviso in due settori: 1) IL SISTEMA SENO-ATRIALE; 2) IL SISTEMA ATRIO-VENTRICOLARE.

Il primo elemento del **sistema seno-atriale** è il **NODO SENO-ATRIALE**. Si trova nella parete superiore dell'ATRIO DESTRO, spostato sul lato destro rispetto all'orifizio della vena cava, subito al di sotto dell'endocardio. Qui **VENGONO GENERATI, SPONTANEAMENTE, GLI IMPULSI PER LA CONTRAZIONE DELLA MUSCOLATURA CARDIACA**. Dal nodo seno-atriale l'**IMPULSO** si **DIFFONDE** al sistema atrio-ventricolare attraverso delle vie di conduzione specializzate dette **internodali**.

Il **sistema atrio-ventricolare** comincia con il **NODO ATRIO-VENTRICOLARE** che si trova nella parete inferiore dell'ATRIO DESTRO, appena al di sopra della valvola tricuspide. Qui la diffusione dell'impulso **VIENE RALLENTATA** consentendo **LA CONTRAZIONE DEGLI ATRI**. L'onda di depolarizzazione viene condotta nei ventricoli tramite **IL FASCIO DI HIS** (detto anche fascio atrio-ventricolare), che scorre nel setto interventricolare. Il fascio si suddivide in un **RAMO DESTRO** e in un **RAMO SINISTRO** che scorrono lateralmente al setto nei corrispondenti ventricoli. A livello dell'apice del cuore i due rami si suddividono in un certo numero di piccole fibre riccamente anastomizzate tra loro note come **RETI DI PURKINJE**. Queste ultime trasportano l'impulso dagli apici dei ventricoli verso le rispettive basi. La **CONDUZIONE** dello stimolo dal nodo atrio-ventricolare in poi è **ESTREMAMENTE VELOCE** consentendo che una **CONTRAZIONE OMOGENEA DEI VENTRICOLI**.

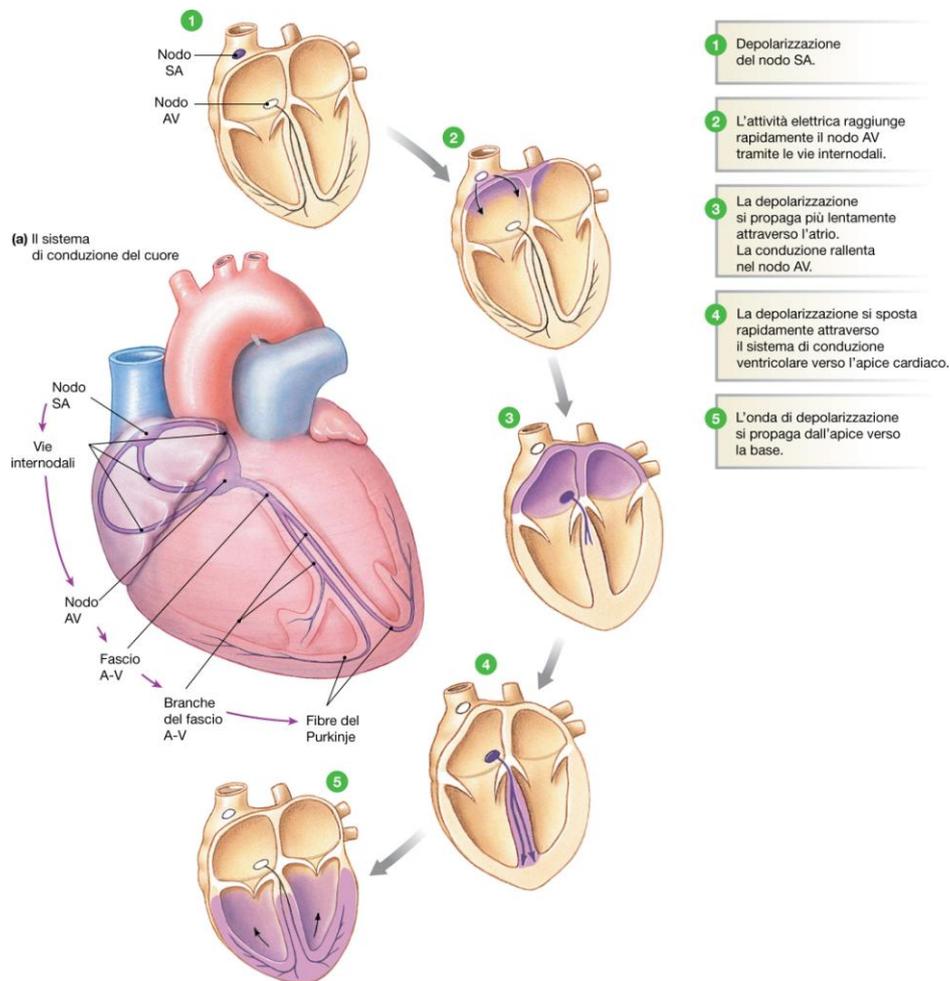


Fig 7

La diffusione dell'eccitamento avviene mediante CORRENTI ELETTROTONICHE. Queste correnti si originano poichè le cellule STIMOLATE presentano la SUPERFICIE INTERNA CARICA POSITIVAMENTE e quella ESTERNA CARICA NEGATIVAMENTE mentre le cellule NON STIMOLATE presentano la SITUAZIONE OPPOSTA. Siccome le fibrocellule SONO ACCOPPIATE ELETTROMECCANICAMENTE DALLE GAP JUNCTIONS si creano dei FLUSSI DI CORRENTE che DEPOLARIZZANO le fibrocellule connesse a quelle stimulate.

La VELOCITA' DI CONDUZIONE delle correnti presenta le seguenti due caratteristiche:

- 1) La sua DIREZIONE E' QUELLA DELL'ASSE MAGGIORE delle fibrocellule, poichè questa è la via a minor resistenza.
- 2) Il suo modulo AUMENTA CON IL DIAMETRO DELLA FIBROCELLULA ATTRAVERSATA, poichè all'aumentare del diametro cellulare la resistenza citoplasmatica diminuisce.

L'impulso viene prodotto dal NODO SENO-ATRIALE e da qui si propaga NELLA MUSCOLATURA ATRIALE SECONDO UN FRONTE DI INVASIONE che ha una VELOCITA' DI CIRCA 1 m/sec.

Siccome il sincizio atriale è separato da quello ventricolare l'onda di depolarizzazione si può DIFFONDERE ALLA MUSCOLATURA VENTRICOLARE SOLO ATTRAVERSO IL SISTEMA DI CONDUZIONE ATRIO-VENTRICOLARE. Le cellule del NODO ATRIO-VENTRICOLARE hanno una forma A TRONCO DI CONO, con la SUPERFICIE MINORE RIVOLTA VERSO LE FIBROCELLULE ATRIALI e la SUPERFICIE MAGGIORE RIVOLTA VERSO LE FIBROCELLULE DEL FASCIO DI HIS.

Grazie a questo espediente, la VELOCITA' DI PROPAGAZIONE dell'impulso NEL NODO ATRIO-VENTRICOLARE VIENE NOTEVOLMENTE ABBASSATA, (la velocità media di propagazione è attorno agli 0.1 m/sec). L'AVANZAMENTO dell'onda di depolarizzazione viene RALLENTATO CONSENTENDO LA CONTRAZIONE DELLA MUSCOLATURA ATRIALE.

Dal nodo atrio-ventricolare l'impulso viene trasportato attraverso IL FASCIO DI HIS, i suoi rami e le reti di Purkinje e da qui alle pareti ventricolari. In queste parti del sistema di conduzione LA VELOCITA' DI CONDUZIONE E' MOLTO ELEVATA, 4 m/sec nel fascio di His e 4 m/s nelle reti di Purkinje. Ciò è molto importante per CONSENTIRE UNA STIMOLAZIONE OMOGENEA DELLE FIBROCELLULE DELLE PARETI VENTRICOLARI e quindi UNA CONTRAZIONE SINCRONICA.

Quindi data la sua struttura IL SISTEMA DI CONDUZIONE PERMETTE IL RITMICO ALTERNARSI DI SISTOLE E DIASTOLE AD OGNI CICLO CARDIACO.

### **L'ELETTROCARDIOGRAMMA (ECG)**

L'ECG è una registrazione EXTRACELLULARI DELLA DIFFERENZA DI POTENZIALE NEL TEMPO rilevata da elettrodi collocati in appositi punti sulla superficie corporea.

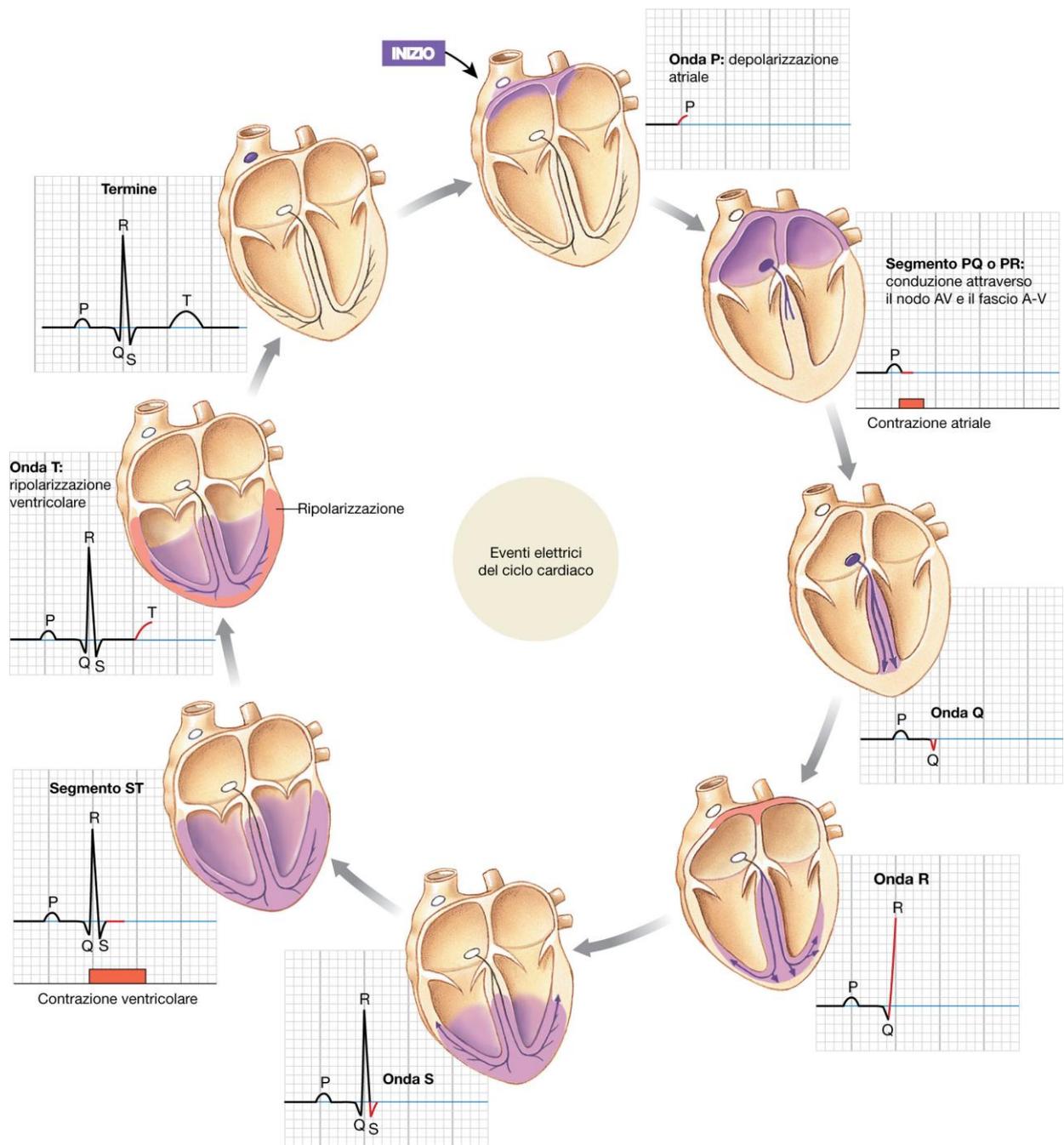


Fig 8