

# CICLO CARDIACO

Con il termine ciclo cardiaco, o rivoluzione cardiaca, si intende il TEMPO CHE INTERCORRE TRA UNA CONTRAZIONE CARDIACA E L'ALTRA.

In una persona con una frequenza di 75 battiti/min, esso ha una DURATA di circa 0.8 SEC. Durante il ciclo cardiaco si ha una regolare alternanza di SISTOLE (contrazione del muscolo) e di DIASTOLE (rilasciamento del muscolo) delle cavità del cuore. Per consentire un corretto flusso di sangue il ciclo è articolato in modo che quando gli atri sono in sistole i ventricoli siano in diastole e viceversa.

La rivoluzione cardiaca viene suddivisa in diverse fasi che sono strettamente correlate con la propagazione del segnale eccitatorio (fig. 1). Ogni fase sarà quindi messa in relazione con l'onda eccitatoria prodotta nel sistema di conduzione.

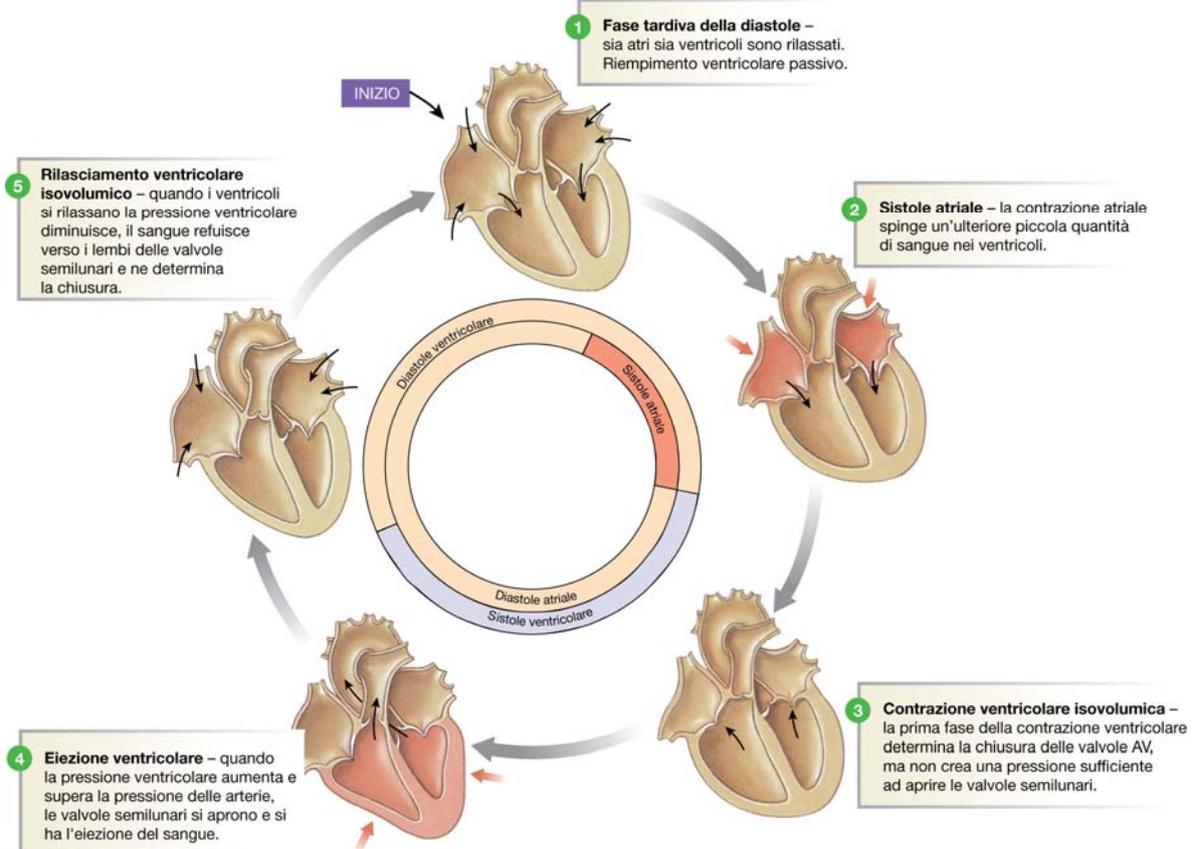


Fig 1

Per convenzione il ciclo si fa normalmente cominciare con la sistole ventricolare e tutti gli eventi si riferiscono a ciò che avviene nei ventricoli (il libro usa un'altra convenzione, ma non è rilevante per i concetti esposti)

## a) FASE DI SISTOLE VENTRICOLARE

Ha una durata di circa 0.3 sec e si articola in 3 fasi.

Ia) **CONTRAZIONE VENTRICOLARE ISOMETRICA** (o **isovolumetrica**, fig 1 pannello 3)

Questa fase ha inizio quando l'onda di depolarizzazione si *diffonde dal nodo AV al resto della muscolatura ventricolare* e quindi i VENTRICOLI COMINCIANO A CONTRARSI. La pressione ventricolare aumenta molto rapidamente (fig 2) causando l'immediata chiusura delle valvole A-V. Le valvole semilunari rimangono chiuse,

come lo sono state dall'inizio della diastole, in virtù del fatto che le pressioni esercitate dal sangue contenuto nell'aorta e nell'arteria polmonare sono maggiori di quelle prodotte dal sangue nei ventricoli. Siccome le valvole semilunari sono chiuse il sangue non può essere espulso. Il sangue, come tutti i liquidi, è incomprimibile e quindi in questa fase le fibre muscolari dei ventricoli non si possono accorciare. La contrazione loro contrazione produce solo un aumento della tensione parietale e di conseguenza del sangue contenuto. Questo tipo di CONTRAZIONE è ANALOGA alla contrazione ISOMETRICA del muscolo scheletrico.

Le fibre muscolari atriali si cominciano a rilassare (inizio diastole atriale) e a riempirsi

**VOLUME VENTRICOLARE:** costante.

**PRESSIONE ATRIALE:** si ha un aumento della pressione negli atri, dovuto soprattutto alla spinta esercitata dalla muscolatura ventricolare su quella degli atri. Questo evento corrisponde all'onda c nella curva della pressione atriale.

**PRESSIONE VENTRICOLARE:** in rapidissimo aumento. Alla fine di questa fase il **VENTRICOLO SINISTRO** raggiungerà gli 80 mmHg (fig 2), mentre il **VENTRICOLO DESTRO** raggiungerà gli 8 mmHg.

### IIa) **EIEZIONE VENTRICOLARE RAPIDA** (fig1 pannello 4)

La pressione ventricolare supera le pressioni delle valvole semilunari e queste si aprono (fig 2). Gran parte del sangue contenuto nei ventricoli viene spinto nell'aorta e nell'arteria polmonare. Si ha quindi una netta diminuzione del volume dei ventricoli e, contemporaneamente, un aumento della pressione ventricolare che, alla fine di questa fase, raggiunge il suo valore massimo. Tale incremento pressorio non è dovuto ad un aumento della tensione della parete muscolare ma alla diminuzione del raggio delle cavità ventricolari, provocato, a sua volta, dall'accorciamento delle fibre muscolari. Quindi restando costante la tensione muscolare, come in tutte le contrazioni iso toniche, ma diminuendo il raggio si ha un aumento di pressione. Gli atri continuano a riempirsi.

*Supponendo infatti che le cavità dei ventricoli abbiano una forma sferica per la legge di Laplace la pressione trasmurale è data da:*

$$P(t) = \frac{2dT}{r}$$

*d= spessore della parete del ventricolo*

*T= tensione prodotta dal muscolo ventricolare*

*r= raggio della cavità ventricolare*

**VOLUME VENTRICOLARE:** in rapida diminuzione

**PRESSIONE ATRIALE:** si abbassa sino a valori prossimi a 0 mmHg.

**PRESSIONE VENTRICOLARE:** si ha un progressivo aumento della pressione sanguigna. Nel ventricolo sinistro si passa da gli 80 mmHg ai 120 mmHg mentre nel ventricolo destro si passa dagli 8 mmHg ai 24 mmHg.

### IIIa) **EIEZIONE RIDOTTA (o PROTODIASTOLE)**

È la parte finale della sistole ventricolare. Le fibre muscolari dei ventricoli raggiungono la loro lunghezza minima e non possono quindi contrarsi ulteriormente. La velocità di efflusso del sangue decresce progressivamente sino ad azzerarsi. La

pressione ventricolare diminuisce ma essendo ancora più alta di quella atriale gli atri continuano a riempirsi.

**VOLUME VENTRICOLARE:** in lenta diminuzione.  
**PRESSIONE ATRIALE:** in progressivo aumento. Questo incremento è legato al riempimento delle cavità atriali.  
**PRESSIONE VENTRICOLARE:** in diminuzione.

## b) FASE DI DIASTOLE VENTRICOLARE

Ha una durata che si avvicina agli 0.5 sec. Viene suddivisa in 4 quattro fasi:

### Ib) RILASCIAMENTO ISOVOLUMETRICO

Questa fase ha inizio quando la muscolatura ventricolare comincia a rilassarsi. La pressione dei ventricoli scende al di sotto della pressione esercitata dal sangue contenuto nell'aorta e nell'arteria polmonare sulle valvole semilunari, che quindi si chiudono. Sebbene in declino la pressione ventricolare è ancora maggiore di quella atriale e quindi le valvole A-V rimangono chiuse. In definitiva non c'è alcun cambiamento di volume ematico nei ventricoli.

**VOLUME VENTRICOLARE:** raggiunge il suo valore minimo, (volume sistolico finale).  
**PRESSIONE ATRIALE:** si ha un aumento della pressione dovuto al riempimento degli atri.  
**PRESSIONE VENTRICOLARE:** in rapidissima diminuzione

### IIb) RIEMPIMENTO VENTRICOLARE RAPIDO

La pressione ventricolare scende al di sotto di quella atriale. In tale condizione le valvole A-V si aprono e il sangue accumulato negli atri si riversa rapidamente nei rispettivi ventricoli. Inoltre siccome la muscolatura ventricolare continua a rilassarsi le cavità continuano ad espandersi risucchiando a mo' di pompa il sangue dagli atri. Il rapido flusso di sangue è quindi dovuto ad entrambi i fattori.

**VOLUME VENTRICOLARE:** in rapido aumento  
**PRESSIONE ATRIALE:** prossima a 1 mmHg  
**PRESSIONE VENTRICOLARE:** prossima a 0 mmHg

### IIIb) RIEMPIMENTO VENTRICOLARE LENTO (o DIASTASI)

La pressione negli atri è leggermente più alta di quella dei ventricoli, perciò le valvole A-V rimangono aperte. Il sangue fluisce dalle vene cave all'atrio destro e quindi al ventricolo sinistro e dalle vene polmonari all'atrio sinistro e quindi al ventricolo sinistro. Alla fine di queste due fasi di riempimento i ventricoli risulta non essere pieni per il 70%.

**VOLUME VENTRICOLARE:** in aumento  
**PRESSIONE ATRIALE:** in minimo aumento  
**PRESSIONE VENTRICOLARE:** segue approssimativamente l'andamento della pressione atriale.

### IVb) SISTOLE ATRIALE

Il nodo SA scarica e gli ATRI SI CONTRAGGONO (fig1 pannello 2, fig 2). Una quantità relativamente piccola di sangue ivi contenuta viene spinta dagli atri ai ventricoli che vengono riempiti. La sistole atriale contribuisce al riempimento dei ventricoli per circa il 30%

**VOLUME VENTRICOLARE:** viene portato al suo valore massimo, circa 135 ml in un uomo di 70 Kg a riposo). Questo viene detto **volume diastolico finale**.  
**PRESSIONE ATRIALE:** si ha un innalzamento di pressione in entrambi gli atri. Nell'atrio destro il suo valore sale a 4-6 mmHg mentre nell'atrio sinistro sale a 7-8 mmHg (fig 2). **PRESSIONE VENTRICOLARE:** segue approssimativamente l'andamento della pressione atriale.

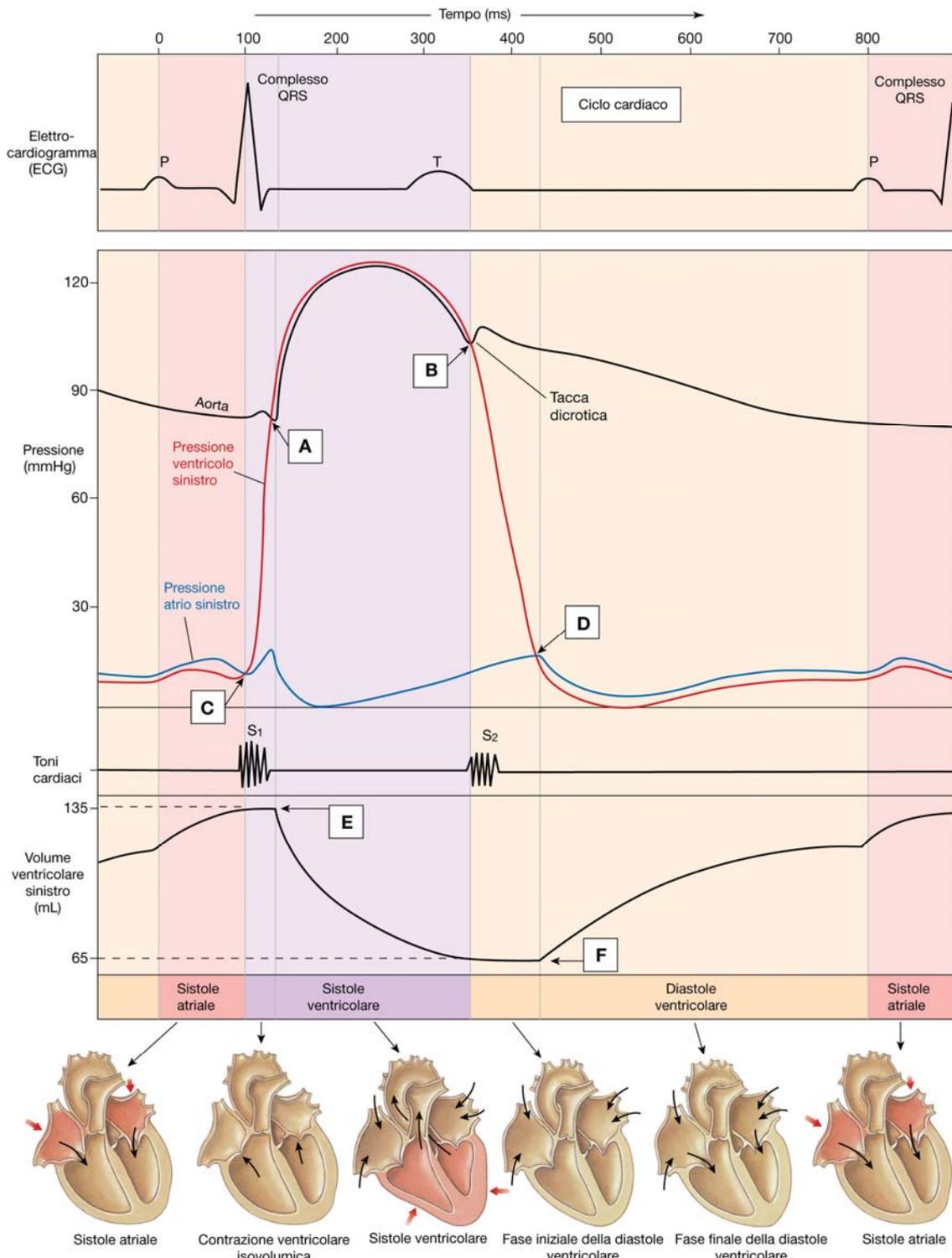
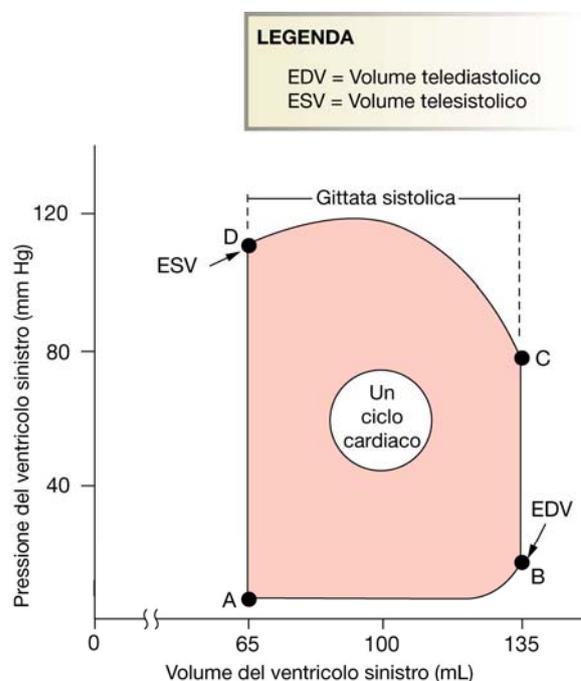


Fig 2 Relazione tra ECG, pressione nel ventricolo, nell'atrio sinistri e nell'aorta, e volume di sangue nel ventricolo sinistro.

IL VOLUME DI SANGUE POMPATO DAI DUE VENTRICOLI DURANTE LA SISTOLE è detto **GITTATA SISTOLICA** e, in condizioni di riposo, quella del ventricolo sinistro si aggira attorno ai 70 ml. Il volume di sangue contenuto nel ventricolo sinistro alla fine della diastole (VOLUME DIASTOLICO FINALE o TELEDIASTOLICO, EDV) era di circa 135 ml. Quindi venendo espulsi solo 70 ml di sangue rimarrà un volume residuo, detto VOLUME SISTOLICO FINALE (o TELESISTOLICO, ESV) che si aggira attorno ai 65 ml (fig 3).



### DOMANDE SUL GRAFICO

Abbinare i seguenti segmenti ai corrispondenti eventi ventricolari:

- A → B: (a) Immissione di sangue in aorta
- B → C: (b) Contrazione isovolumica
- C → D: (c) Rilasciamento isovolumico
- D → A: (d) Riempimento passivo e contrazione atriale

Abbinare i seguenti eventi ai punti A-D:

- (a) la valvola aortica si apre
- (b) la valvola mitrale si apre
- (c) la valvola aortica si chiude
- (d) la valvola mitrale si chiude

Fig 3. Grafico del rapporto pressione-volume relativo al ventricolo sinistro. (Fate l'esercizio!)

## TONI CARDIACI

Durante il ciclo cardiaco vengono prodotte delle vibrazioni sonore che si propagano fin sulla superficie corporea ove possono essere ascoltati sia ad orecchio nudo sia con lo stetoscopio. Queste vibrazioni, che hanno una frequenza variabile tra i 15-400 Hz, vengono chiamate TONI CARDIACI. I toni cardiaci sono 4, 2 sono prodotti durante la sistole, e sono detti TONI SISTOLICI, mentre altri 2 sono prodotti durante la diastole (fig 2), e sono detti TONI DIASTOLICI. Normalmente SOLO i TONI SISTOLICI sono UDIBILI, mentre i TONI DIASTOLICI sfuggono all'ascoltazione.

### TONI SISTOLICI

1) Il PRIMO TONO CARDIACO. Il primo tono viene prodotto all'inizio della sistole quando le valvole A-V si chiudono in virtù del rapido aumento di pressione nei ventricoli. Data la pressione del sangue, ivi contenuto, esso spinge i lembi delle valvole verso gli atri sino a quando questo movimento viene arrestato bruscamente dalle corde tendinee, poste in tensione della contrazione dei muscoli papillari. Il sangue viene quindi spinto contro le pareti dei ventricoli e di qui rimbalza all'interno della cavità provocando delle vibrazioni che si propagano sino alla parete toracica. Il primo tono ha una durata di circa 0.14 sec.

2) Il SECONDO TONO CARDIACO viene prodotto alla fine della sistole quando le valvole semilunari si chiudono in virtù dell'aumento di pressione nell'aorta e nell'arteria polmonare. La pressione del sangue, ivi contenuto, spinge le valvole verso i ventricoli, e queste, per reazione elastica, spingono il sangue contro le pareti dei vasi. Questi rimbalzi del sangue producono le vibrazioni che, una volta diffuse sulla superficie corporea, si possono udire. Il secondo tono ha una durata di circa 0.11 sec.

### **TONI DIASTOLICI**

3) Il TERZO TONO CARDIACO viene prodotto all'inizio della fase di riempimento rapido quando le valvole A-V si aprono in virtù dell'incremento di pressione negli atri. Non si sa con esattezza da cosa sia determinato questo tono, ma si suppone che venga generato dalla brusca irruzione del sangue nei ventricoli. Esso ha una frequenza piuttosto bassa e difficilmente può essere udito con lo stetoscopio.

4) Il QUARTO TONO CARDIACO, detto anche TONO ATRIALE, è prodotto durante la contrazione degli atri. Probabilmente esso è dovuto al flusso di sangue verso i ventricoli quasi pieni. La frequenza di questo tono è talmente bassa che può essere percepito solo utilizzando un apparato di amplificazione e registrazione delle onde sonore.