

Volume di sangue espulso dal cuore in un minuto.
Dipende dalle esigenze metaboliche dell'organismo e quindi dal consumo di O_2

- Consumo O_2 medio in condizioni basali 250 ml/min

$$GC = 5 \text{ l/min}$$

- Consumo O_2 durante esercizio fisico 3-4 l/min

$$GC = 25-30 \text{ l/min}$$

$$GC = F \times Gs$$

Gli aumenti di GC sono possibili grazie ad aumenti della frequenza cardiaca e della gittata sistolica.

La misurazione della GC può essere effettuata applicando il Principio di Fick (applicazione della legge di conservazione della massa):

• In un organo, la quantità q di sostanza assorbita è uguale alla differenza tra la quantità apportata q_1 e la quantità eliminata q_2 .

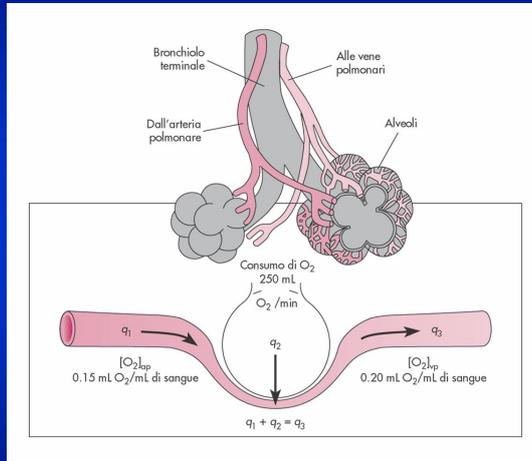
• Esprimendo la quantità di sostanza trasportata da un fluido nell'unità di tempo come il prodotto del flusso F (volume/min) per la concentrazione della sostanza C risulta:

$$q = FC_1 - FC_2 = F(C_1 - C_2)$$

$$F = q / (C_1 - C_2)$$

Per determinare la GC, questa relazione è applicata per calcolare il flusso di sangue F che attraversa il polmone, (GC del ventricolo D_s) utilizzando come indicatore naturale l' O_2 .

La quantità di O_2 contenuta nei capillari polmonari q_1 + la quantità che entra in un minuto nei capillari dagli alveoli q_2 , è uguale alla quantità di O_2 trasportata nelle vene polmonari q_3



La quantità di sostanza assorbita q è il volume di O_2 (V_{O_2}) prelevato nell'unità di tempo a livello polmonare, che corrisponde al consumo di O_2 (misurato con uno spirometro) e $C_1 - C_2$ è la differenza di concentrazione di O_2 nel sangue arterioso e venoso ($C_{aO_2} - C_{vO_2}$). Per cui:

$$GC = V_{O_2} / (C_{aO_2} - C_{vO_2})$$

In un individuo di taglia media, il consumo di O_2 a riposo è 250 ml/min, le concentrazioni arteriose e venose di O_2 sono rispettivamente 0.2 e 0.15 ml/ml. Per cui:

$$GC = \frac{250 \text{ ml/min}}{(0.2 - 0.15) \text{ ml/ml}} = 5000 \text{ ml/min}$$

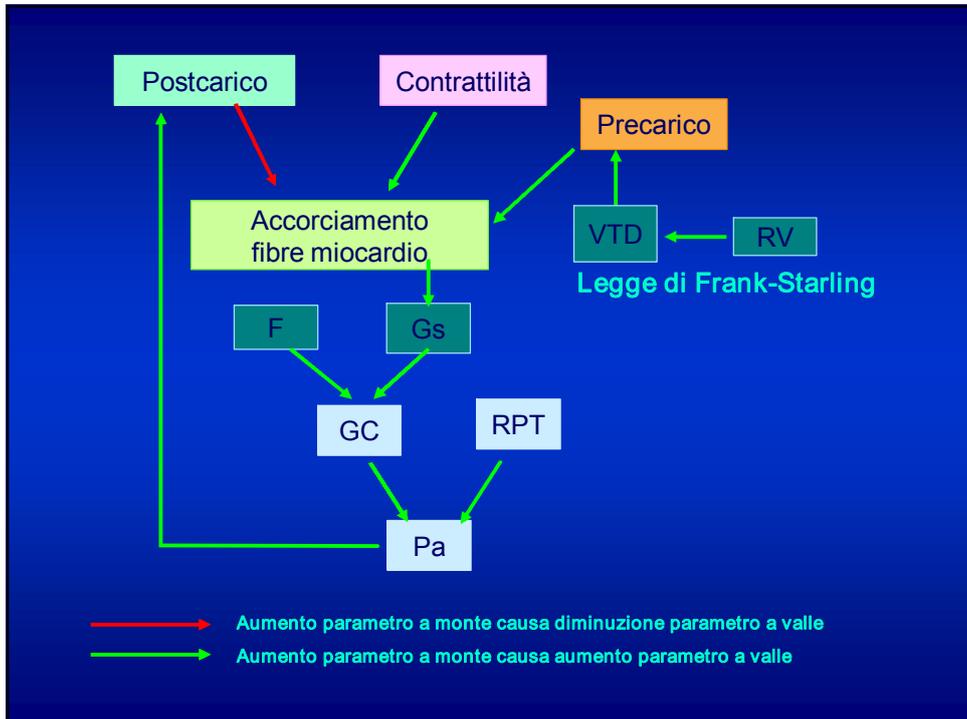
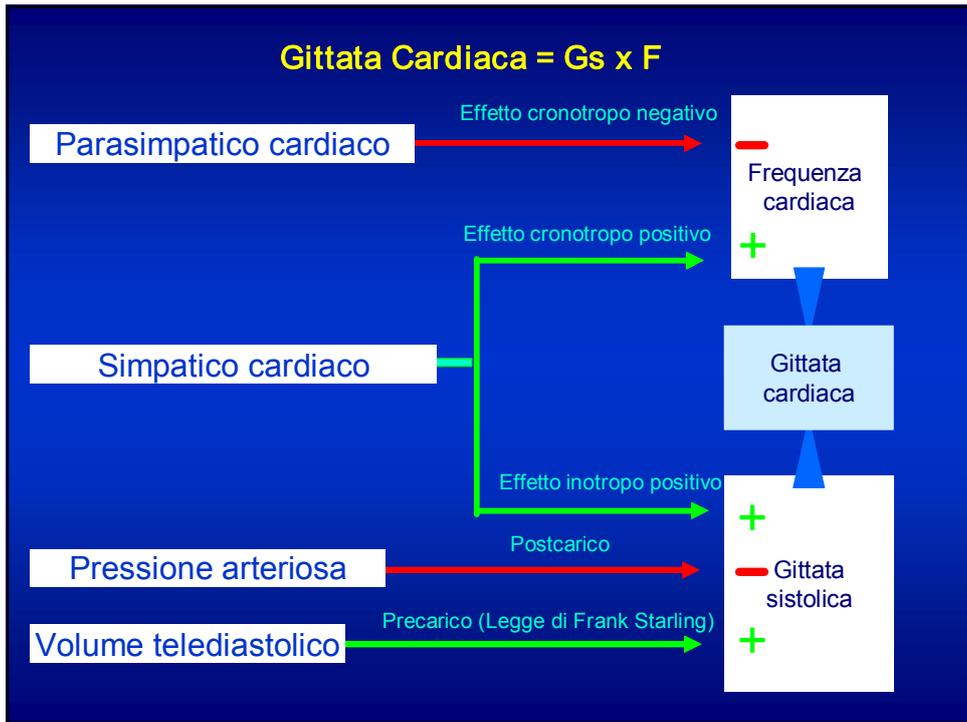
La GC, in valore assoluto, dipende anche dalle dimensioni corporee del soggetto, e viene quindi espressa in forma normalizzata per la superficie corporea, come:

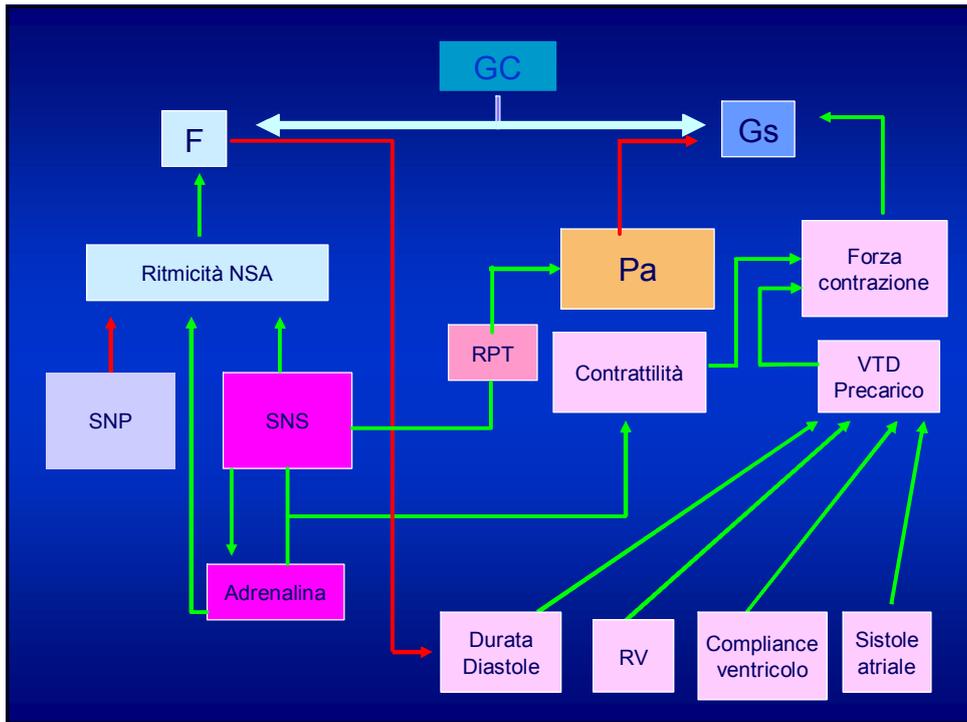
Indice cardiaco

La superficie corporea si calcola usando la formula di Du Bois:

$$SC \text{ (cm}^2\text{)} = 94,9 \cdot [\text{massa corporea (Kg)}]^{0.441} \cdot [\text{statura (cm)}]^{0.655}$$

In un soggetto di media taglia (70 Kg, 175 cm) la superficie corporea è 1.8 m² e l'indice cardiaco risulta 2.78 l/min/m²





**MODIFICAZIONI DI
FREQUENZA DETERMinate
DA AUMENTI DEL RITORNO
VENOSO**

Riflesso di Bainbridge:

Un maggior ritorno venoso provoca un aumento di frequenza in via riflessa attraverso la stimolazione di recettori da stiramento, localizzati nell'atrio. La branca afferente del riflesso è rappresentata da afferenze vagali, che a livello centrale, inibiscono il tono vagale ed aumentano quello simpatico.

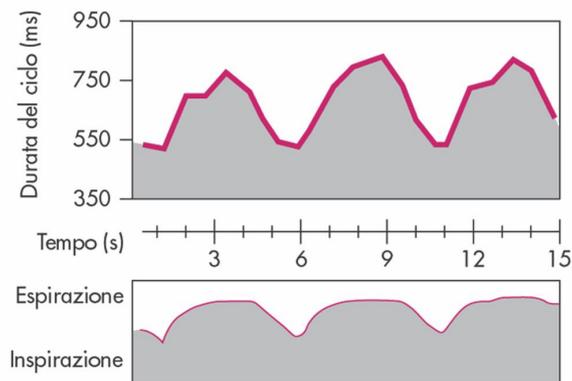
Responsabile dell'aritmia respiratoria: aumento frequenza cardiaca in inspirazione e riduzione in espirazione

Effetto meccanico diretto:

Un maggior ritorno venoso provoca un aumento di frequenza per stiramento delle cellule del nodo seno atriale.

Aritmia sinusale respiratoria:

La frequenza cardiaca aumenta durante l'inspirazione e si riduce durante l'espirazione, con conseguente variazione della durata del ciclo cardiaco (riduzione in inspirazione ed aumento in espirazione)



Aumenti della Gittata sistolica:

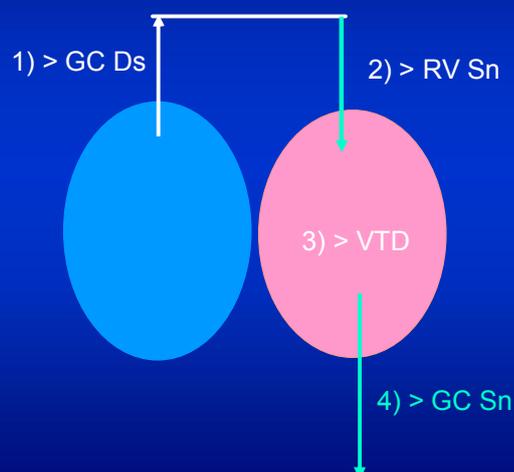
- Meccanismo di Frank-Starling

Aumento del VTD (precarico) conseguente all'aumento del ritorno venoso

- Aumento della contrattilità

Aumento dell'attività simpatica cardiaca

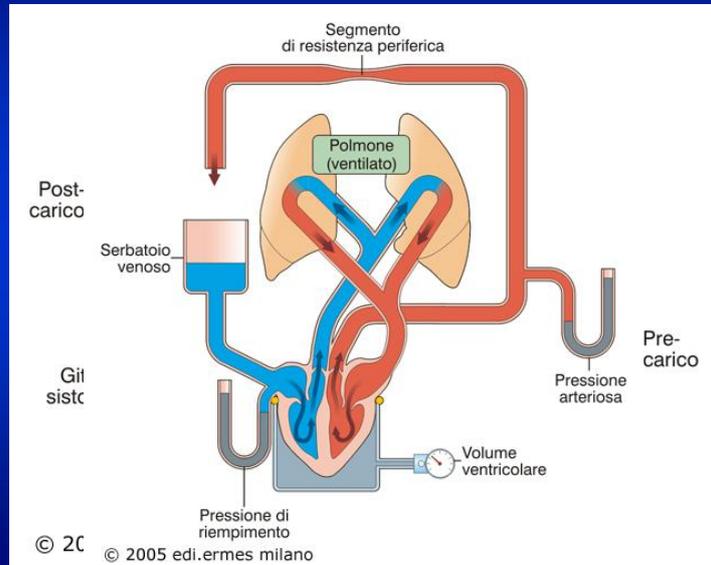
Il meccanismo di Frank-Starling permette di equilibrare la GC con il RV e di mantenere un preciso equilibrio tra la GC del ventricolo destro e sinistro.



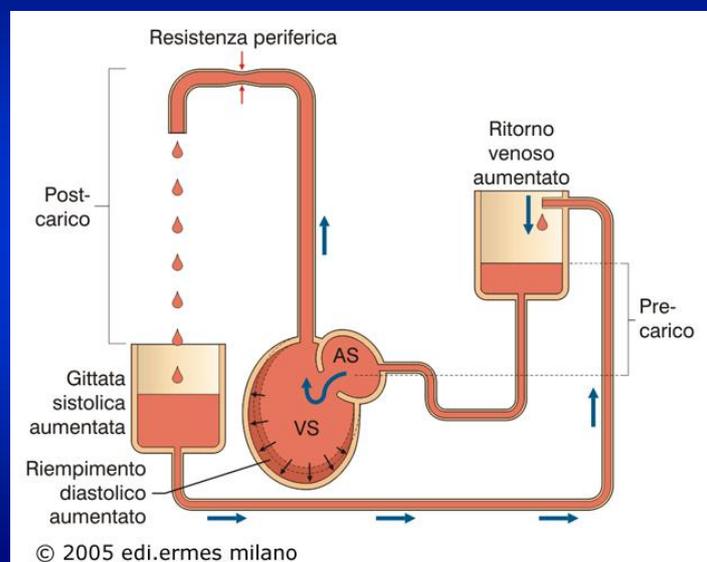
Ogni improvviso aumento di GC di un ventricolo provoca un maggior RV all'altro ventricolo.

Per il meccanismo di Frank-Starling, all'aumento del RV corrisponde un aumento della GC del secondo ventricolo. Le due GC risultano così uguali.

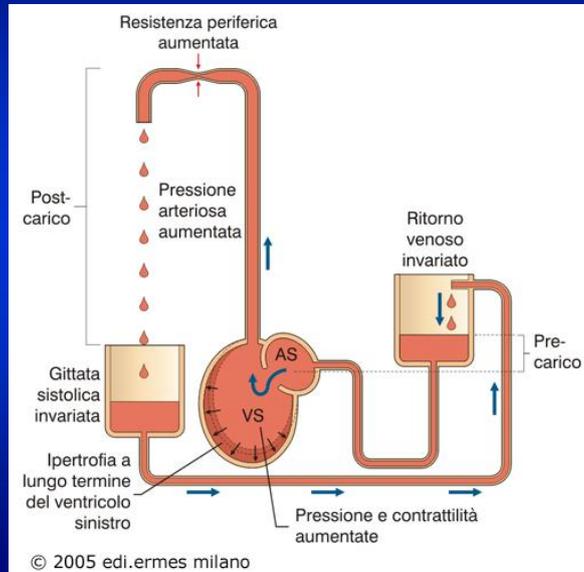
Preparato cuore-polmoni



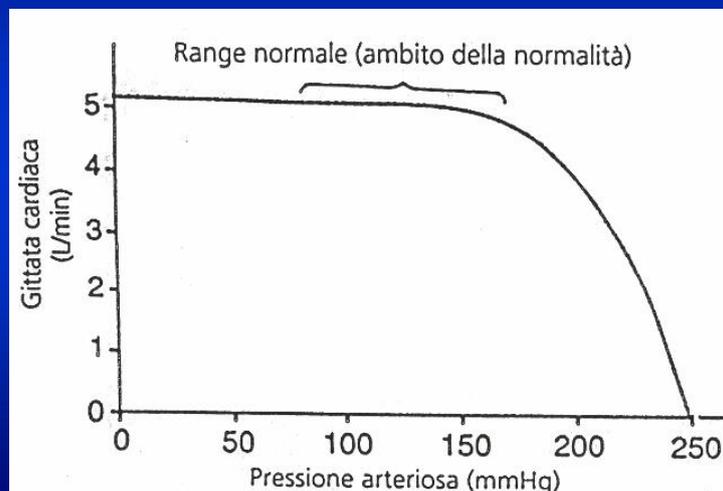
Aumento del ritorno venoso

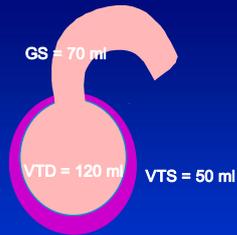


Aumento della resistenza periferica



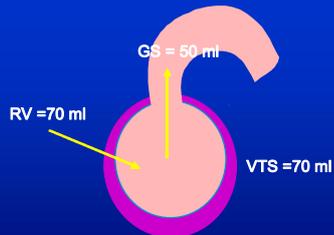
Il meccanismo di Frank-Starling permette al cuore di mantenere costante la Gittata cardiaca anche in casi di aumento della pressione arteriosa (POSTCARICO).





Condizioni iniziali
VTD = 120 ml, GS = 70 ml, VTS = 50 ml

Aumenta la Pa: GS diminuisce (da 70 a 50 ml), RV rimane costante = 70 ml

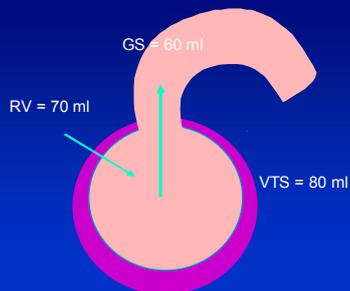


Fase 1

La riduzione della GS fa aumentare il VTS
 $VTS = VTD - GS = 120 - 50 = 70 \text{ ml}$

Poiché il RV rimane costante, aumenta il VTD

$$VTD = VTS + RV = 70 + 70 = 140 \text{ ml}$$

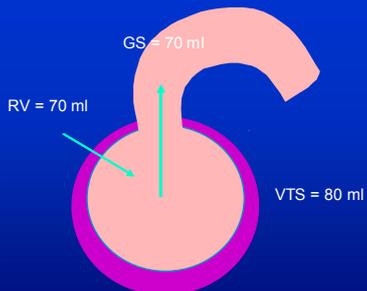


Fase 2

Per la legge di Frank-Starling, l'aumento di VTD determina aumento di GS (da 50 ml a 60 ml) quindi:
 $VTS = VTD - GS = 140 - 60 = 80 \text{ ml}$

Poiché RV rimane costante il VTD aumenta ulteriormente

$$VTD = VTS + RV = 80 + 70 = 150 \text{ ml}$$



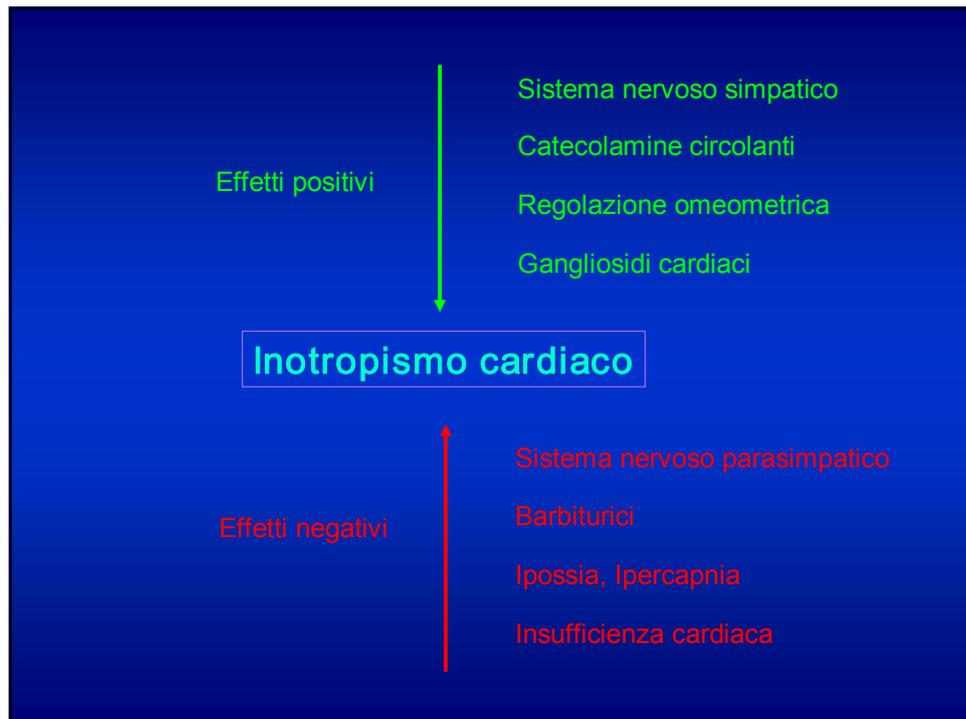
Fase 3

L'ulteriore aumento di VTD porta all'ulteriore aumento di GS che torna ai valori normali. VTS e VTD rimangono però costantemente aumentati

$$VTS = VTD - GS = 150 - 70 = 80 \text{ ml}$$

$$VTD = VTS + RV = 80 + 70 = 150 \text{ ml}$$

Grazie al meccanismo di Frank-Starling, aumenta la tensione attiva sviluppata dal ventricolo, con conseguente aumento della GS. Si raggiunge così un equilibrio tra GS e RV mantenendo il ventricolo in uno stato di dilatazione



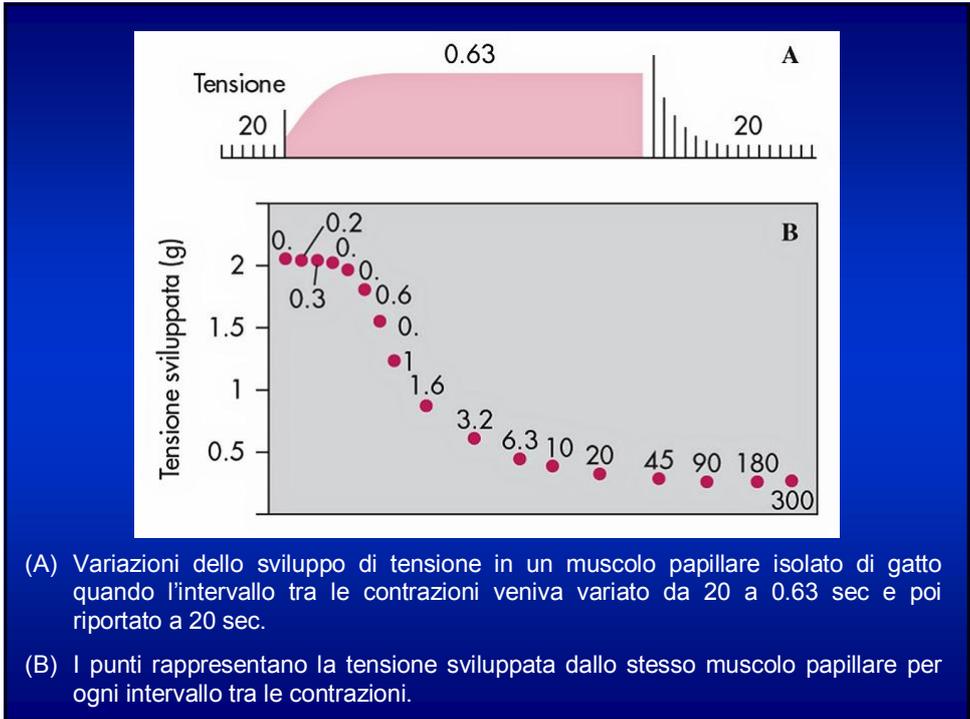
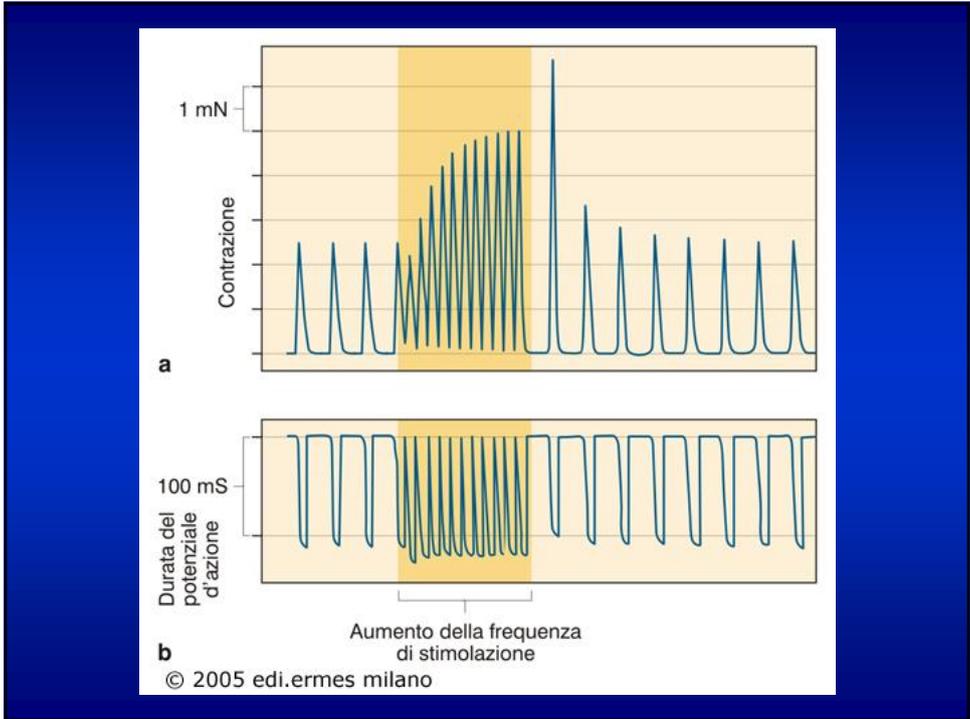
REGOLAZIONE OMEOMETRICA

La frequenza cardiaca è uno dei meccanismi che regola la contrattilità cardiaca. Una variazione della frequenza modifica la contrattilità, variando la concentrazione del Ca^{2+} intracellulare.

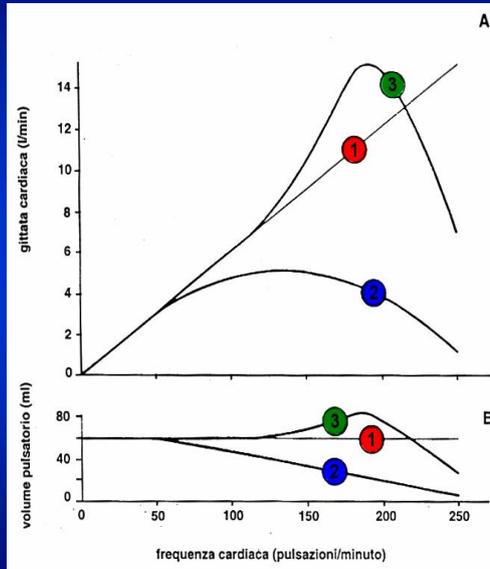
Effetto Bowditch o fenomeno della scala:

La forza di contrazione aumenta, con l'aumento della frequenza. La maggiore concentrazione di Ca^{2+} è dovuta a:

- Numero maggiore di potenziali d'azione al minuto, con conseguente aumento della corrente di Ca^{2+}
- Minore durata della diastole e quindi del periodo nel quale il Ca^{2+} viene espulso dalla cellula e riportato nel reticolo sarcoplasmatico



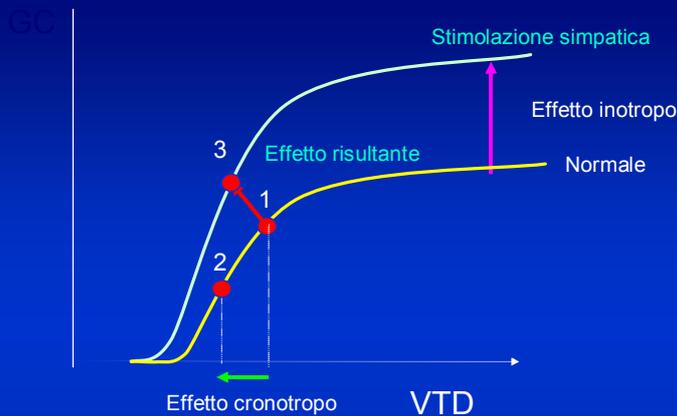
Effetto dell'aumento di frequenza cardiaca sulla gittata cardiaca



1: **Situazione teorica** in cui aumenta solo la frequenza e la GS rimane costante, la GC aumenta all'infinito

2: **Cuore isolato** stimolato elettricamente. La GC aumenta con la frequenza fino ad un valore limite oltre il quale diminuisce. La riduzione è conseguenza della riduzione di GS per accorciamento della diastole.

3: **Cuore in vivo** stimolato dal simpatico. La riduzione di GC avviene a frequenze maggiori rispetto al cuore isolato (oltre i 180/min). L'effetto del minor riempimento ventricolare (per accorciamento della diastole) è controbilanciato dall'aumento di contrattilità



L'aumento solo di frequenza riduce il tempo di diastole e quindi il VTD. Questo comporterebbe una riduzione della GC, spostamento sulla curva normale da 1 a 2

Il contemporaneo aumento di contrattilità, che segue la stimolazione del simpatico, sposta la curva verso l'alto, permettendo di compensare la riduzione del VTD, spostamento dal punto 1 della curva normale al punto 3 della curva di maggior contrattilità