

# GITTATA CARDIACA

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

- Condizioni basali: consumo  $O_2$  250 ml/min

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

- Esercizio fisico: consumo  $O_2$  3-4 l/min

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

$$\mathbf{GC = F \times Gs}$$

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

# Metodi di misurazione

- Principio di Fick (applicazione della legge di conservazione della massa)
- Metodo della diluizione
- Flussimetria Doppler
- Flussimetria elettromagnetica

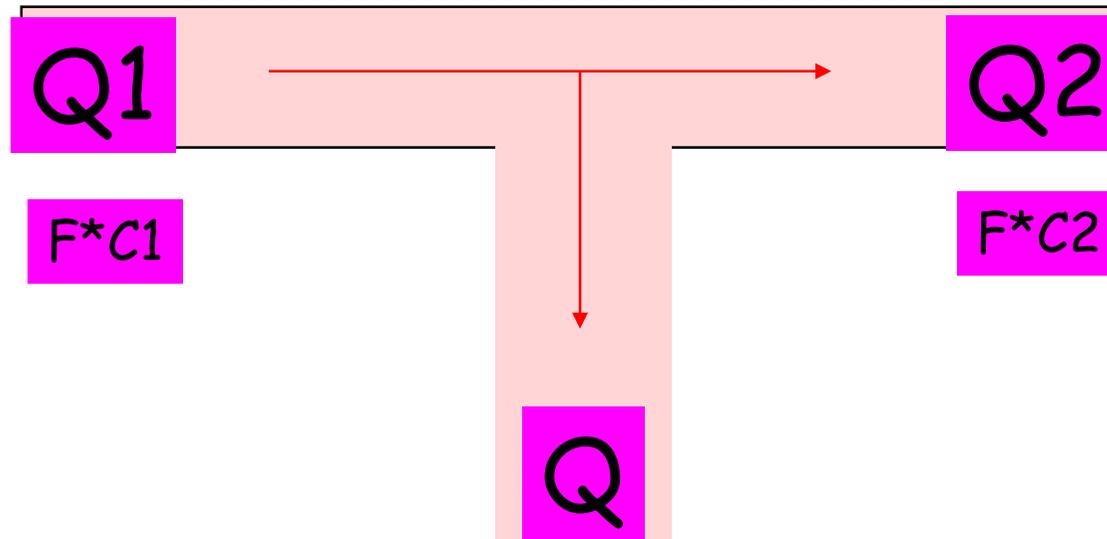
## Principio di FICK

- 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:

flusso ( $F$ , **volume/min**) x concentrazione sostanza ( $C$ ) risulta:

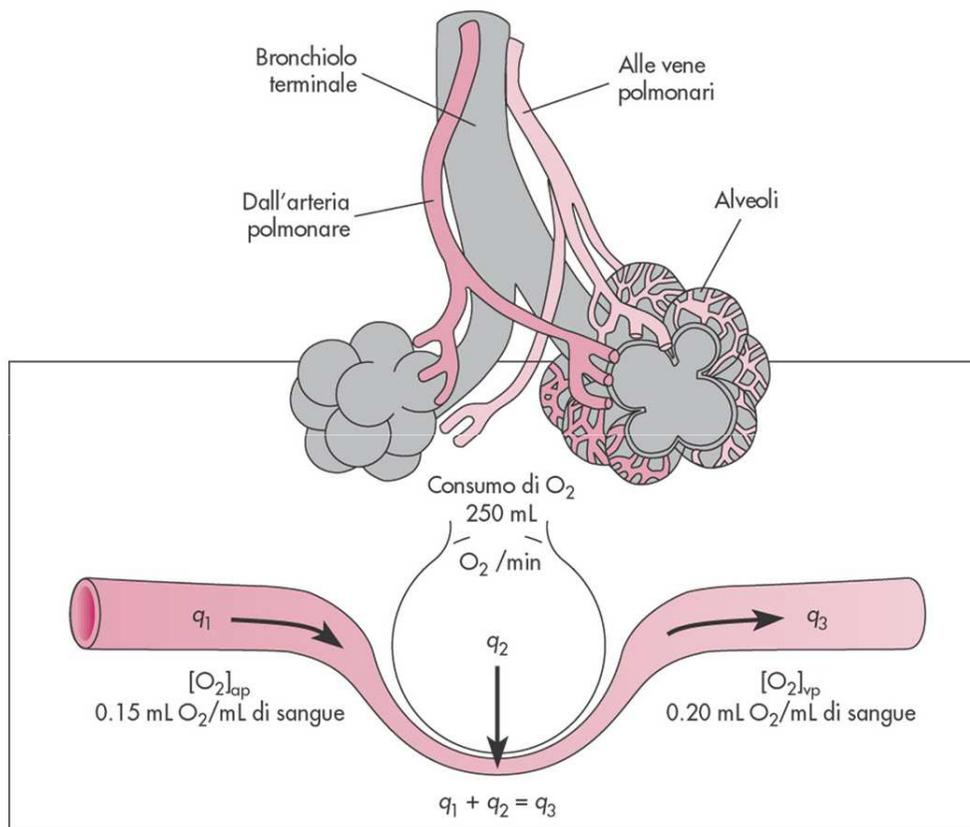
$$Q = Q_1 - Q_2 = FC_1 - FC_2 = F (C_1 - C_2)$$

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



Per determinare  $GC$ , 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' $O_2$ .

Quantità  $O_2$  contenuta nei capillari polmonari  $q_1$  + quantità prelevata in un minuto dagli alveoli  $q_2$ , è uguale a quantità trasportata nelle vene polmonari  $q_3$



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

$q$  = Quantità sostanza assorbita, è il volume di  $O_2$  ( $V_{O_2}$ ) prelevato nell'unità di tempo a livello polmonare (corrisponde al consumo di  $O_2$  misurato con uno spirometro)

$C_1 - C_2$  = differenza concentrazione di  $O_2$  tra sangue arterioso e venoso ( $C_{aO_2} - C_{vO_2}$ ). Per cui:

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

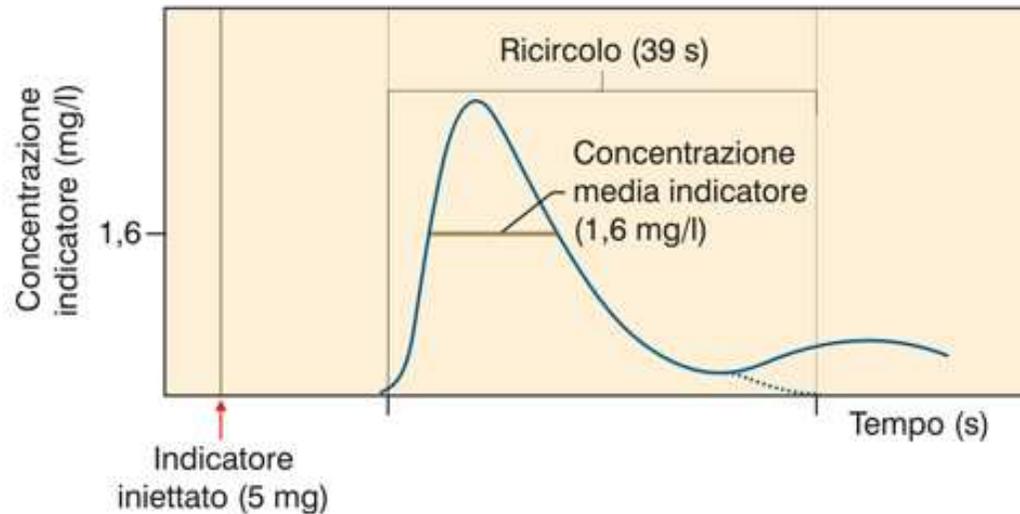
Individuo corporatura media:  
consumo  $O_2$  a riposo =  $250 \text{ ml/min}$ ,  
 $C_{aO_2}$  e  $C_{vO_2} = 0.2$  e  $0.15 \text{ ml/ml}$ .

Per cui:

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

# Tecnica diluizione indicatore

$$F = Q/C$$



$$\frac{\text{Concentrazione indicatore iniettato}}{\text{Concentrazione media} \times \text{durata prima circolazione}} = GC$$
$$\frac{5 \text{ mg}}{1,6 \text{ mg/l} \times 39/60 \text{ min}} = 4,80 \text{ l/min}$$

© 2005 edi.ermes milano

- 1) Iniezione colorante in una vena periferica.
- 2) Misura concentrazione indicatore in campioni di sangue prelevati, a tempi ravvicinati, da arteria periferica.
- 3) Calcolo concentrazione media nel tempo di durata della curva concentrazione-tempo estrapolata a 0 (= 1.6 mg/l).

GC si calcola come rapporto tra la concentrazione del colorante iniettato e la concentrazione media del colorante per il tempo di eliminazione.

Se il sangue trasporta 1.6 mg/l perchè possano passare attraverso il cuore e i polmoni 5 mg in 39 sec è necessario che in questo tempo passino  $5/1.6$  l di sangue per  $39/60$  min = 4.8 l/min.

## Flussimetro Doppler



Si determina la velocità del sangue che attraversa la mitrale, utilizzando un fascio di ultrasuoni. Il suono trasmesso lungo la corrente del flusso sanguigno è in parte riflesso dai globuli rossi (frequenza onde riflesse < frequenza onda trasmessa, perchè i globuli rossi si allontanano: **Effetto Doppler**)

**+ Vel del corpo → - Freq**

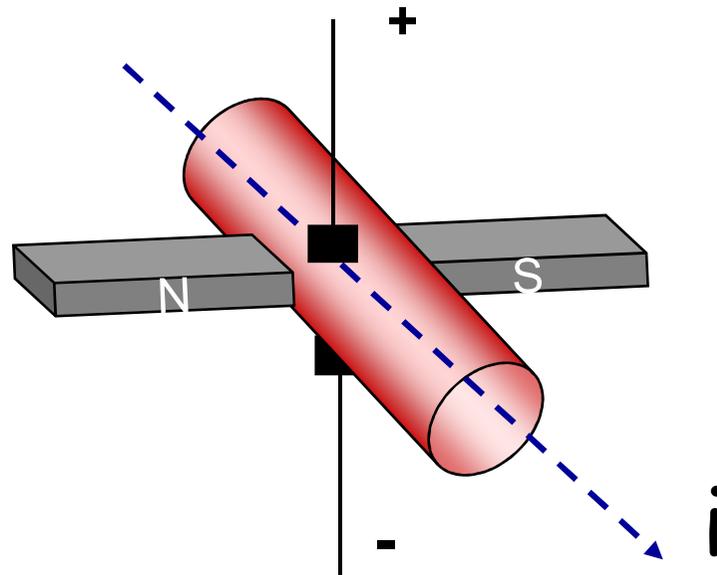
Contemporaneamente, si misura l'area della valvola (ecocardiografia bidimensionale).

**Velocità \* sezione valvola = Flusso (GC)**

Questo metodo è usato per misurare il flusso di sangue in qualsiasi vaso, conoscendo la sezione del vaso

**Velocità \* sezione vaso = Flusso**

## Flussimetria elettromagnetica



**Un conduttore, che si muove attraverso un campo magnetico (CM), genera un campo elettrico perpendicolare alla direzione del movimento e alle linee di forza del CM stesso.**

Vaso sanguigno posto tra due poli di un magnete + due elettrodi collocati ai due lati del vaso, perpendicolarmente alle linee di forza del magnete.

Quando il sangue (conduttore perché contiene elettroliti) scorre attraverso il CM, tra i due elettrodi si genera un voltaggio proporzionale all'entità del flusso.

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

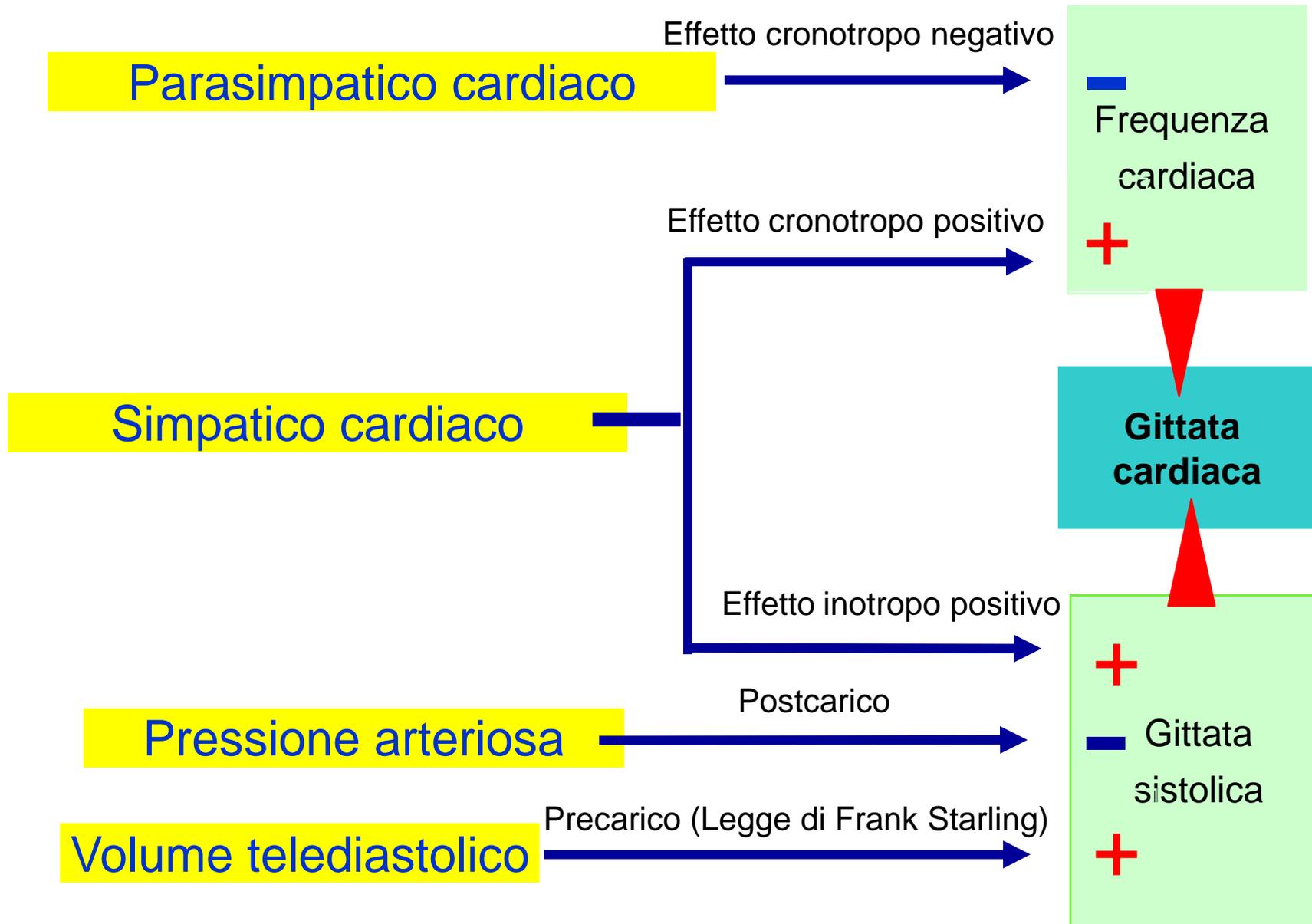
## **Indice cardiaco**

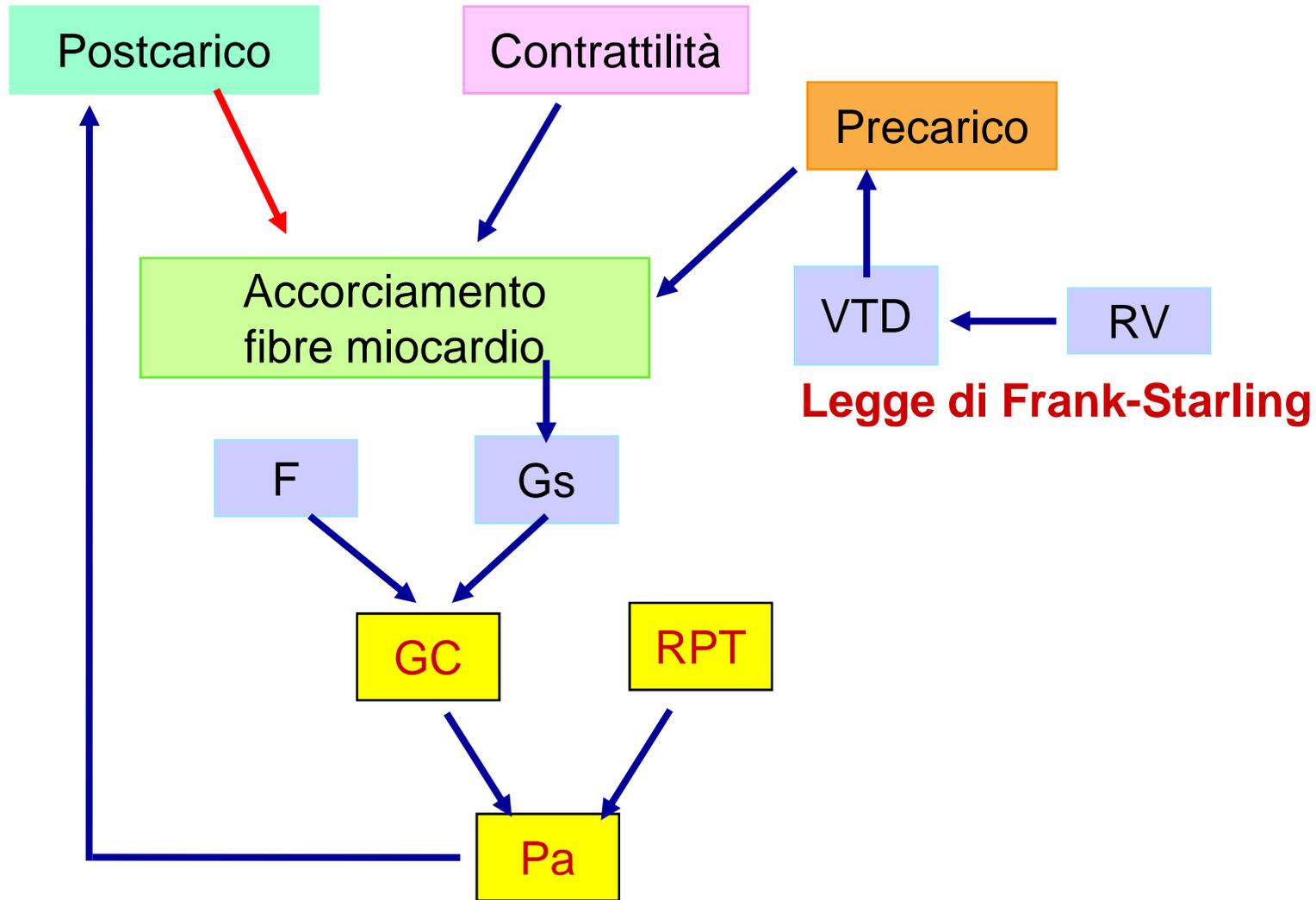
La superficie corporea si calcola usando la formula di Du Bois:

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

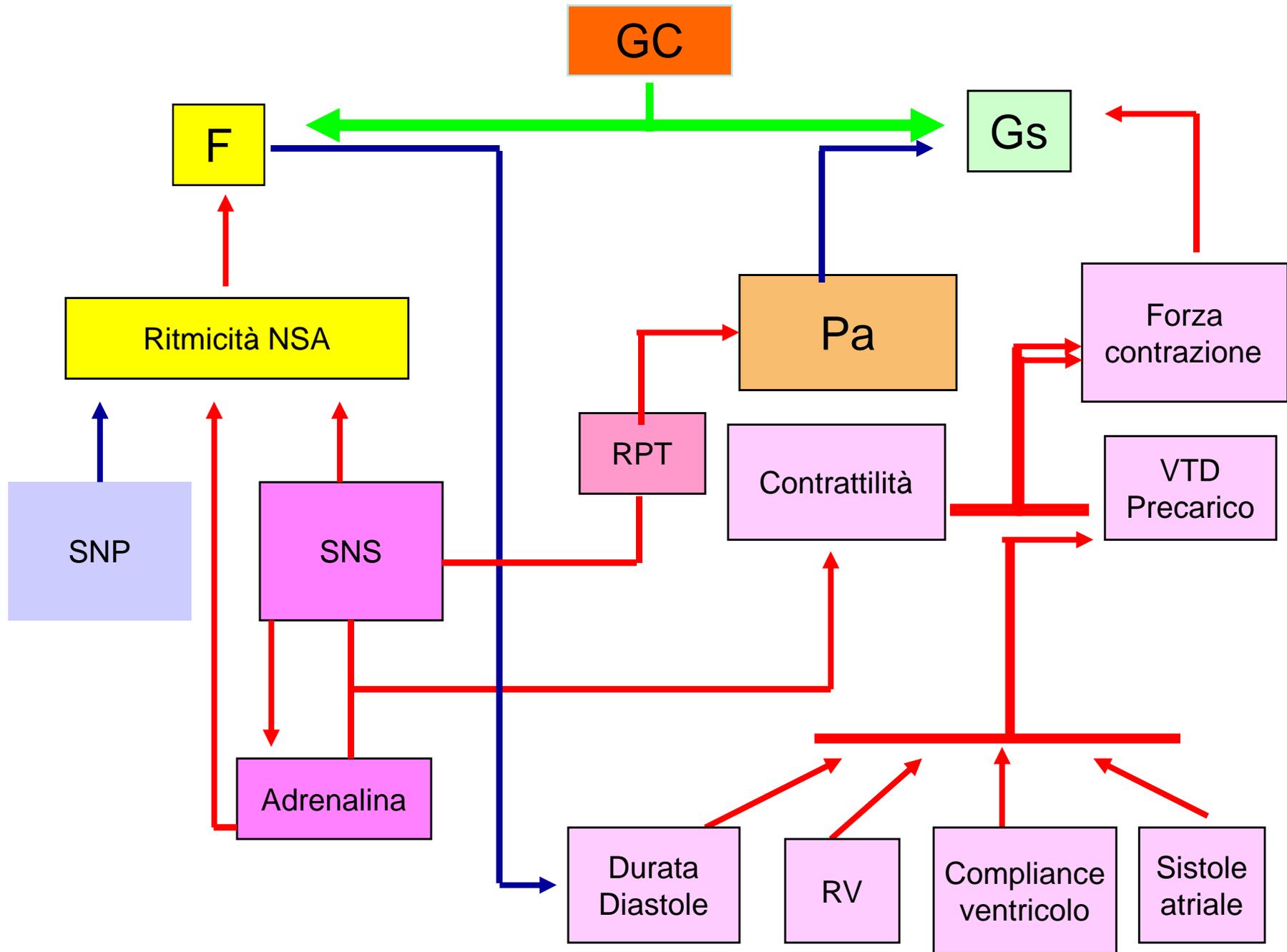
In un soggetto di taglia media (70 Kg, 175 cm) la superficie corporea è 1.8 m<sup>2</sup> e l'indice cardiaco risulta 2.78 l/min/m<sup>2</sup>

# Gittata Cardiaca = $G_s \times F$





- **Aumento parametro a monte causa diminuzione parametro a valle**
- **Aumento parametro a monte causa aumento parametro a valle**

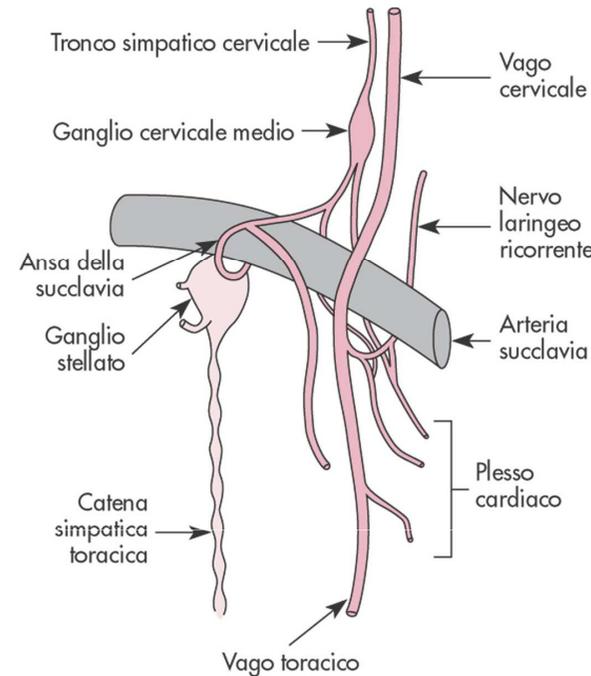
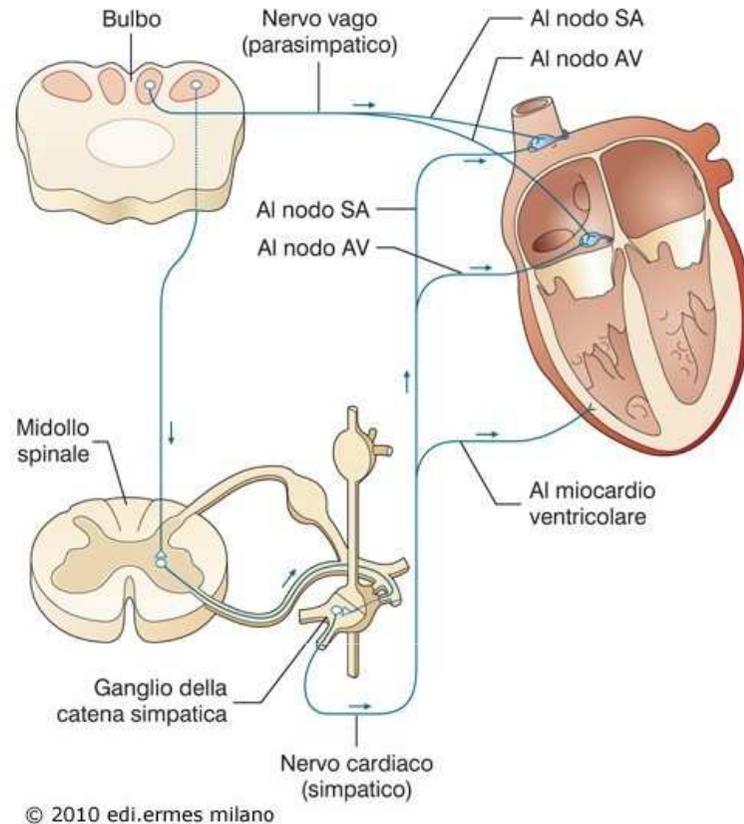


# **MODIFICAZIONI FREQUENZA DETERMINATE DA AUMENTI DEL RITORNO VENOSO**

↑RV → ↑frequenza cardiaca

- **Riflesso di Bainbridge**
- **Effetto meccanico diretto**

# Innervazione cardiaca



**Parasimpatico:** Neuroni pregangliari: n. motore dorsale del vago e ambiguo, postgangliari: a livello cardiaco vicino nodi SA e AV

**Vago Ds:** innervazione prevalente nodo SA (effetto cronotropo negativo)

**Vago Sn:** innervazione prevalente tessuto di conduzione e nodo AV

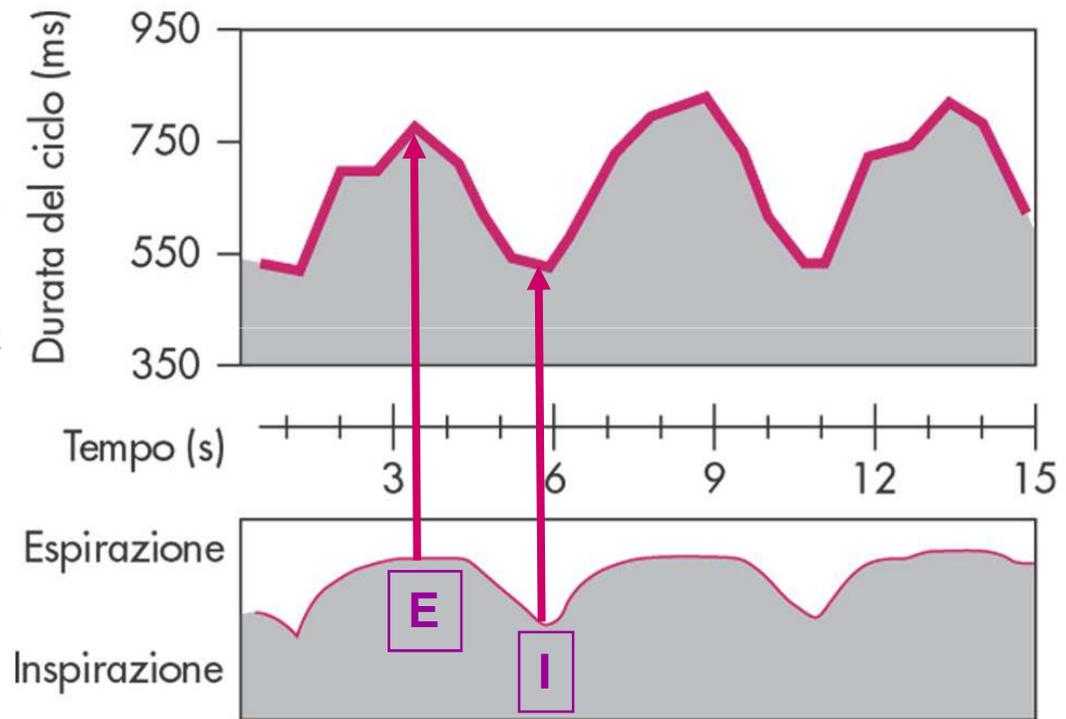
**Simpatico:** Neuroni pregangliari: colonna intermedio-laterale midollo spinale (C5-C6, T1-T5-6). Neuroni postgangliari: ganglio stellato o cervicale medio. **Simpatico**

**Ds:** prevalente su nodo SA (effetto cronotropo positivo). **Simpatico Sn:** prevalente su nodo AV e camere cardiache (effetto inotropo positivo)

## Riflesso di Bainbridge:

Provocato da stimolazione recettori da stiramento atriali: afferenze vagali inibiscono centralmente il tono vagale ed aumentano quello simpatico. Responsabile dell'aritmia respiratoria.

**Aritmia respiratoria**  
Inspirazione → ↑frequenza  
(↓durata ciclo cardiaco)  
Espirazione → ↓frequenza  
(↑durata ciclo cardiaco)



## Effetto meccanico diretto:

Stiramento cellule nodo seno atriale facilita depolarizzazione.

# Aumento Gittata sistolica:

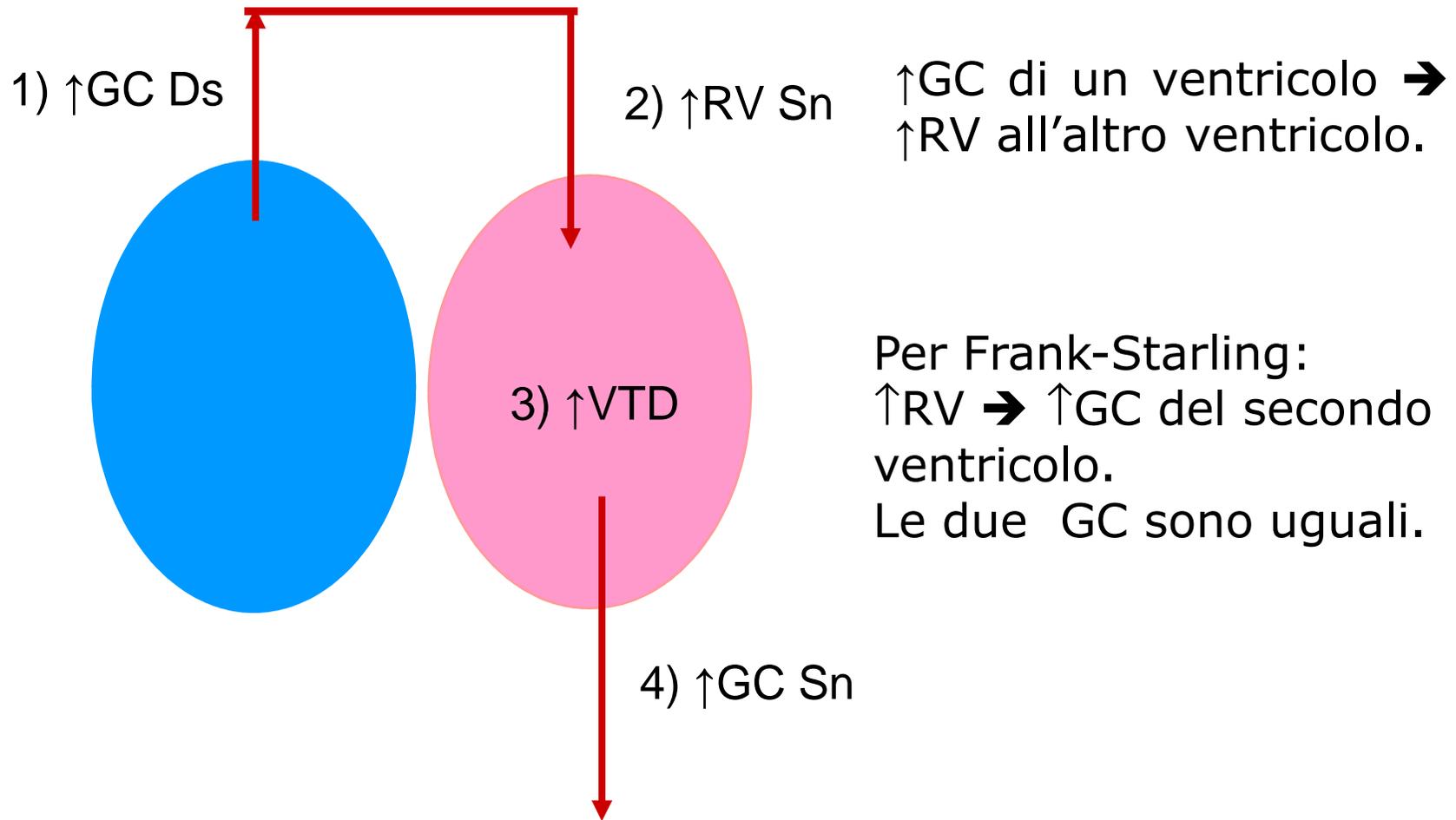
- Meccanismo di Frank-Starling

↑RV → ↑VTD (precarico) → ↑GC

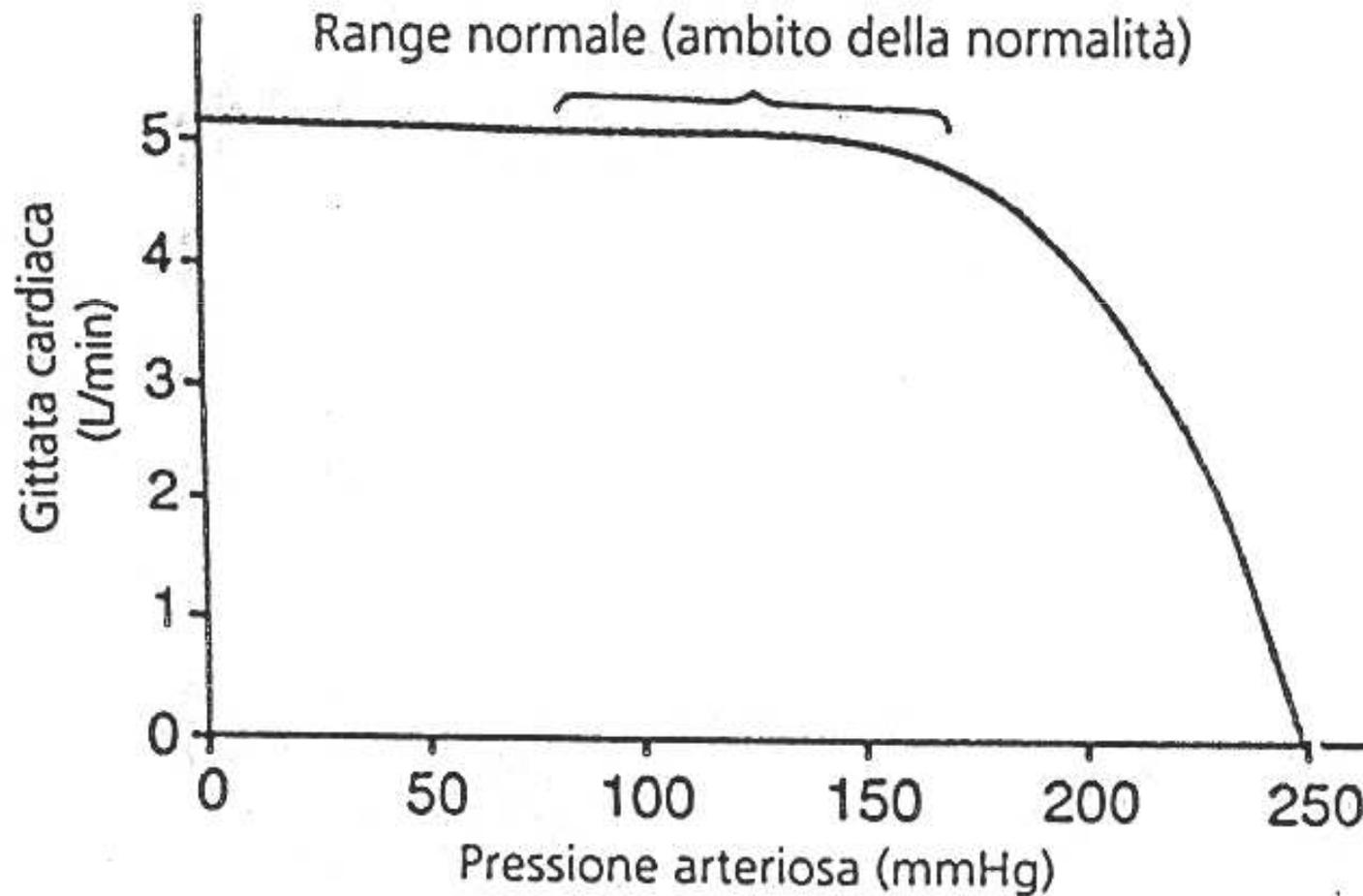
- Aumento della contrattilità

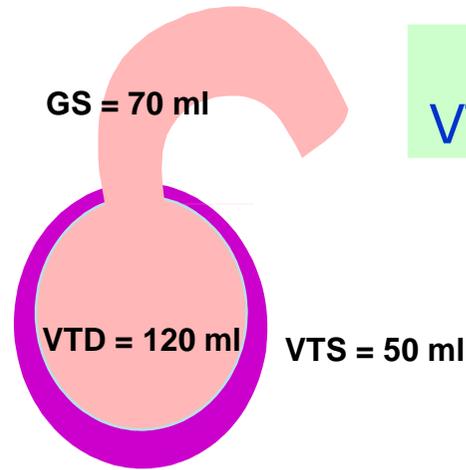
↑attività simpatica cardiaca → ↑contrattilità → ↑GC

Il meccanismo di Frank-Starling permette di equilibrare la GC con il RV e mantenere uguali le GC dei ventricoli Ds e Sn.



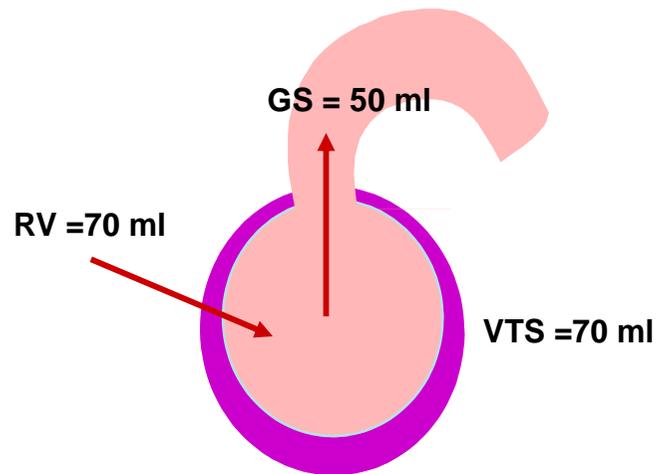
Il meccanismo di Frank-Starling permette di mantenere costante la GC in caso di aumento della pressione arteriosa (POSTCARICO).



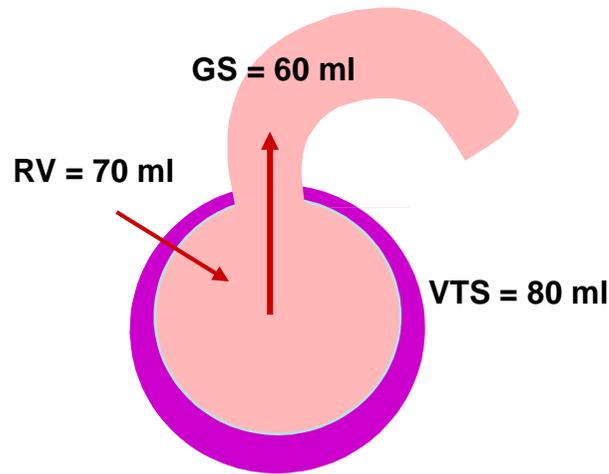


**Condizioni iniziali**  
 $VTD = 120 \text{ ml}$ ,  $GS = 70 \text{ ml}$ ,  $VTS = 50 \text{ ml}$

$\uparrow Pa$ :  $\downarrow GS$  (da 70 a 50 ml),  $RV$  rimane costante = 70 ml



**Condizione 1**  
 $\downarrow GS \rightarrow \uparrow VTS$   
 $VTS = VTD - GS = 120 - 50 = 70 \text{ ml}$   
 Poichè  $RV$  rimane costante  $\rightarrow \uparrow VTD$   
 $VTD = VTS + RV = 70 + 70 = 140 \text{ ml}$



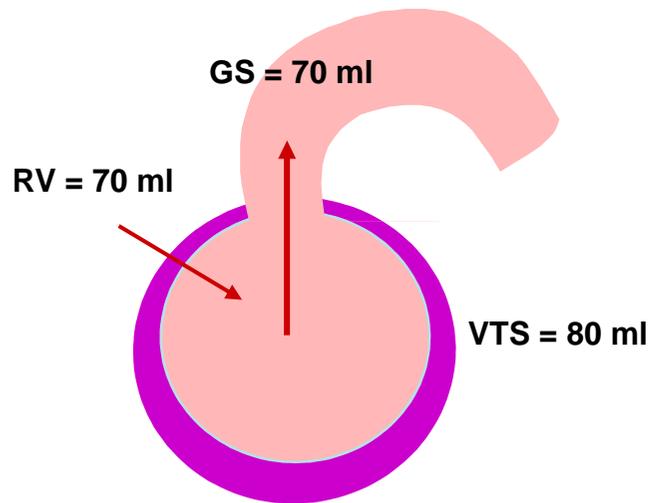
### Condizione 2

Frank-Starling:  $\uparrow$ VTD  $\rightarrow$   $\uparrow$ GS (50  $\rightarrow$  60 ml)  
quindi:

$$\mathbf{VTS = VTD - GS = 140 - 60 = 80 \text{ ml}}$$

Con RV costante  $\rightarrow$  ulteriore  $\uparrow$ VTD

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



### Condizione 3

$\uparrow\uparrow$ VTD  $\rightarrow$   $\uparrow\uparrow$ GS (torna a valori normali)  
Permane aumento VTS e VTD

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

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

**Grazie al meccanismo di Frank-Starling, aumenta la T attiva sviluppata dal ventricolo e quindi aumenta la GS.**

**Si raggiunge un equilibrio tra GS e RV mantenendo però il ventricolo in uno stato di dilatazione.**

Effetti positivi



Sistema nervoso simpatico

Catecolamine circolanti

Regolazione omeometrica

Glicosidi cardioattivi

## **Inotropismo cardiaco**

Effetti negativi



Sistema nervoso parasimpatico

Barbiturici

Ipossia, Ipercapnia

Insufficienza cardiaca

# REGOLAZIONE HOMEOMETRICA

La contrattilità cardiaca varia al variare della frequenza cardiaca.

Variazioni frequenza → variazioni concentrazione  $\text{Ca}^{2+}$  intracellulare → variazioni contrattilità.

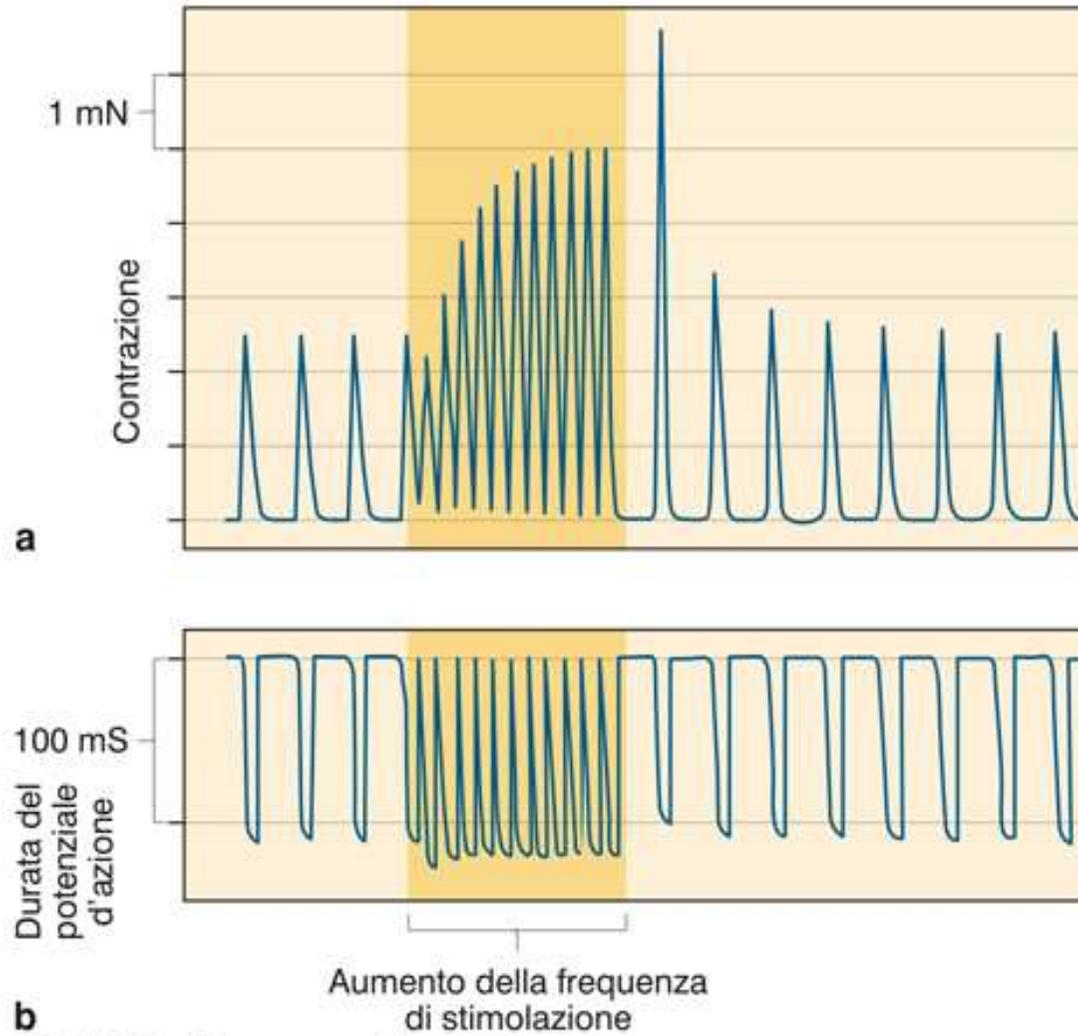
## Effetto Bowditch o fenomeno della scala:

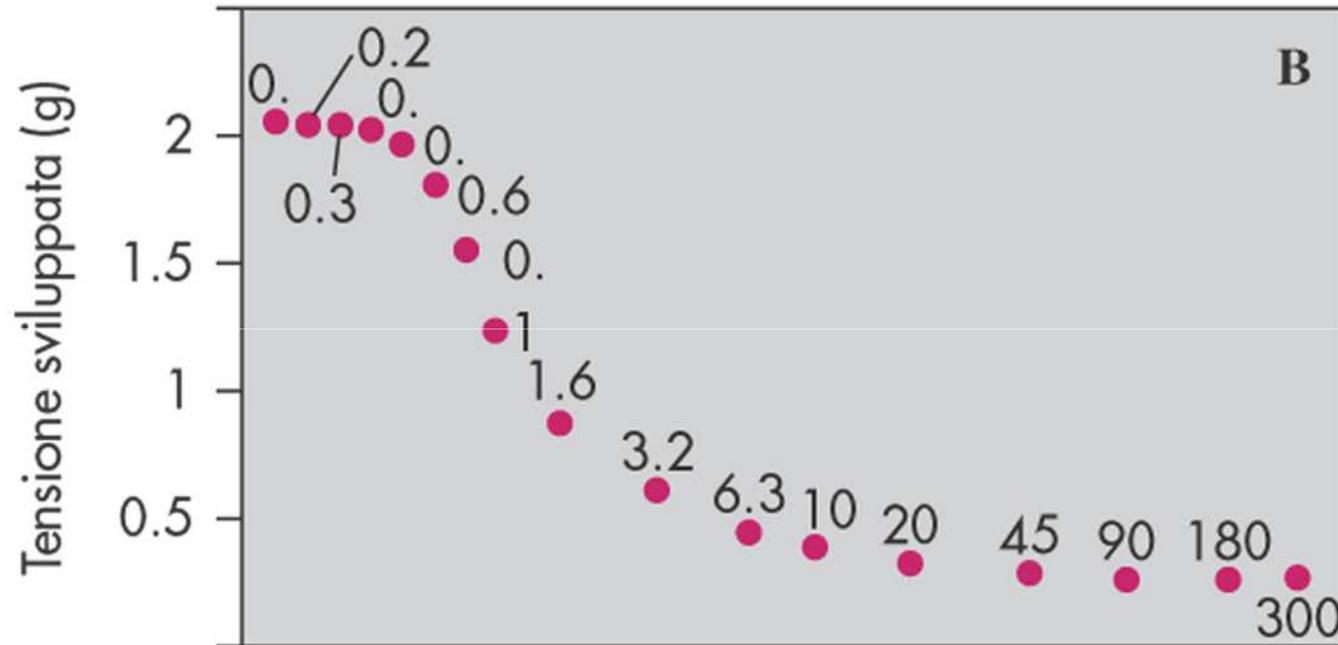
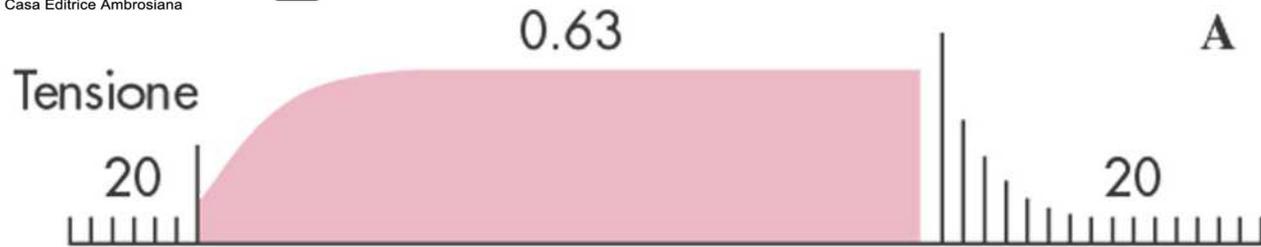
↑Frequenza → ↑contrattilità.

↑concentrazione  $\text{Ca}^{2+}$  dipende da:

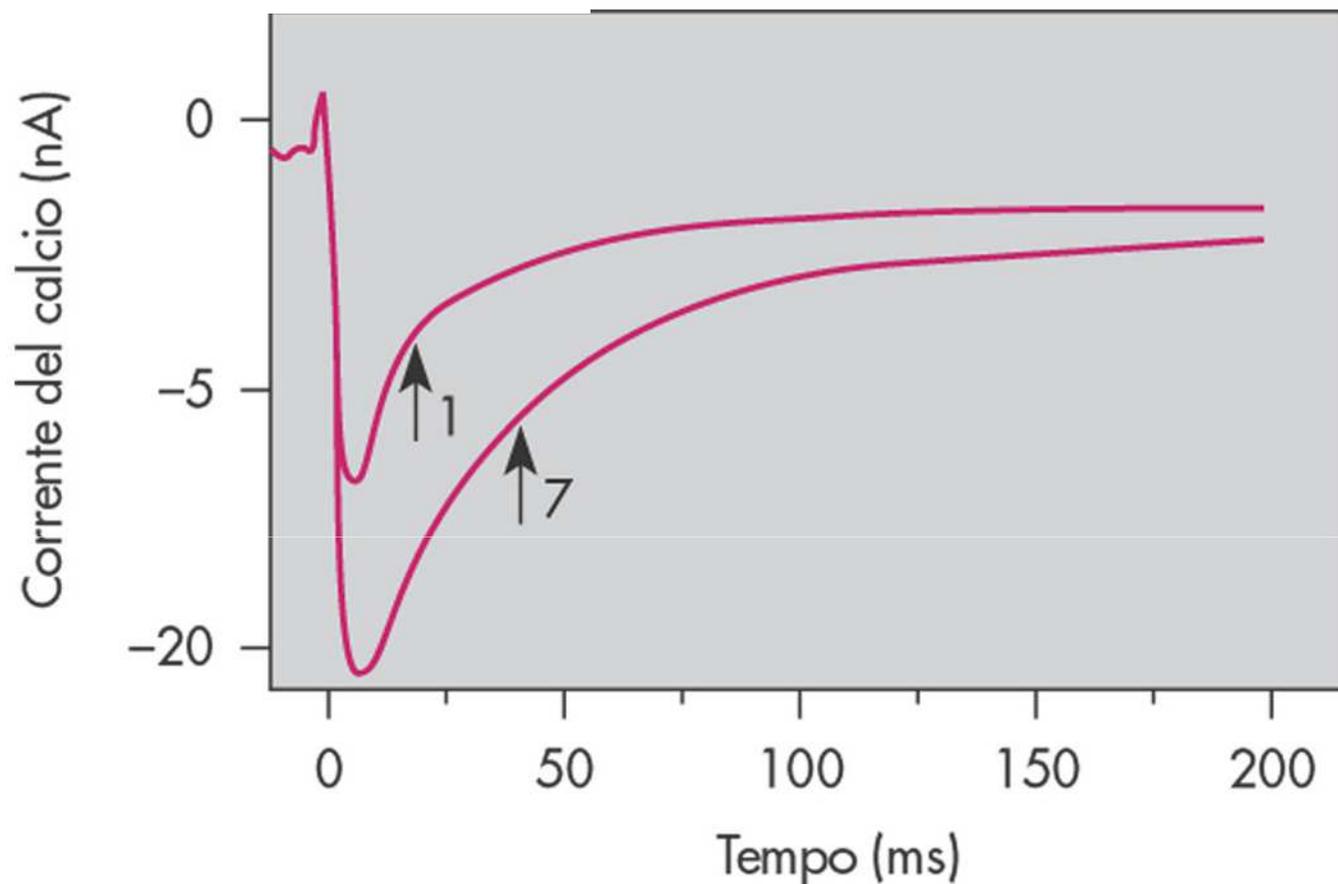
- ↑Numero PA al minuto → ↑corrente di  $\text{Ca}^{2+}$
- ↓durata diastole → ↓tempo disponibile alla ↓ $\text{Ca}^{2+}$  intracellulare (espulsione dalla cellula e rientro nel reticolo sarcoplasmatico).

# Effetto Bowditch

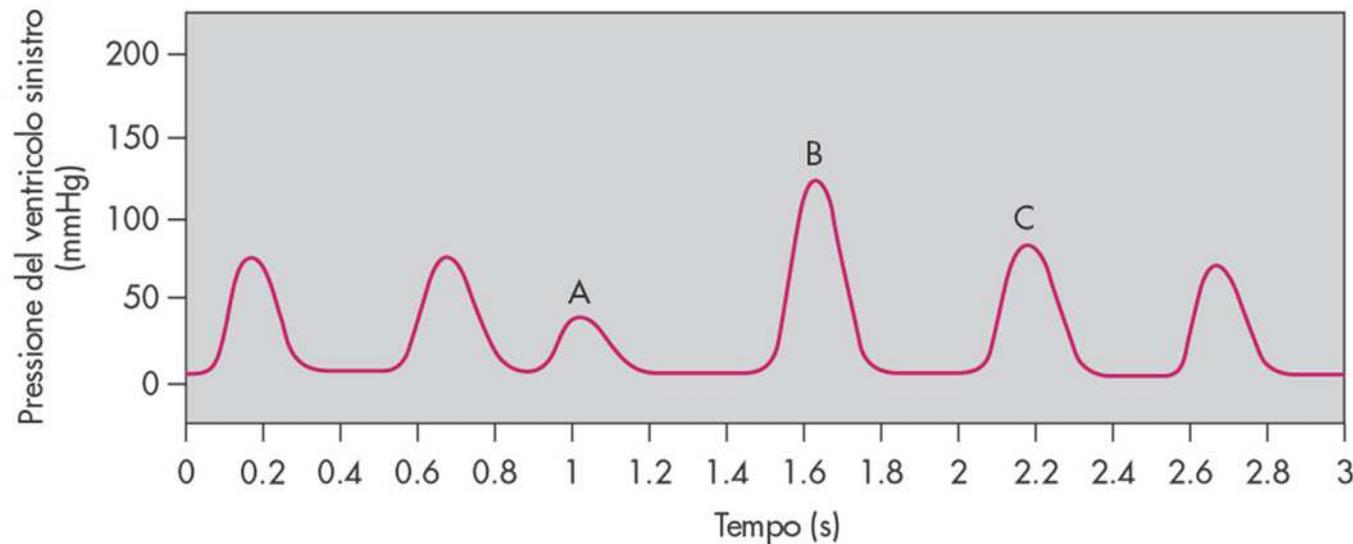




- (A) Variazioni dello sviluppo di tensione in un muscolo papillare isolato di gatto quando l'intervallo tra le contrazioni variava da 20 a 0.63 sec e poi riportato a 20 sec.
- (B) I punti rappresentano la tensione sviluppata dallo stesso muscolo papillare per ogni intervallo tra le contrazioni.



Correnti  $\text{Ca}^{2+}$  indotte in un miocita durante la prima (1) e settima (7) depolarizzazione. Corrente entrante  $\text{Ca}^{2+}$  maggiore e decadimento corrente (inattivazione) più lento, alla settima depolarizzazione.



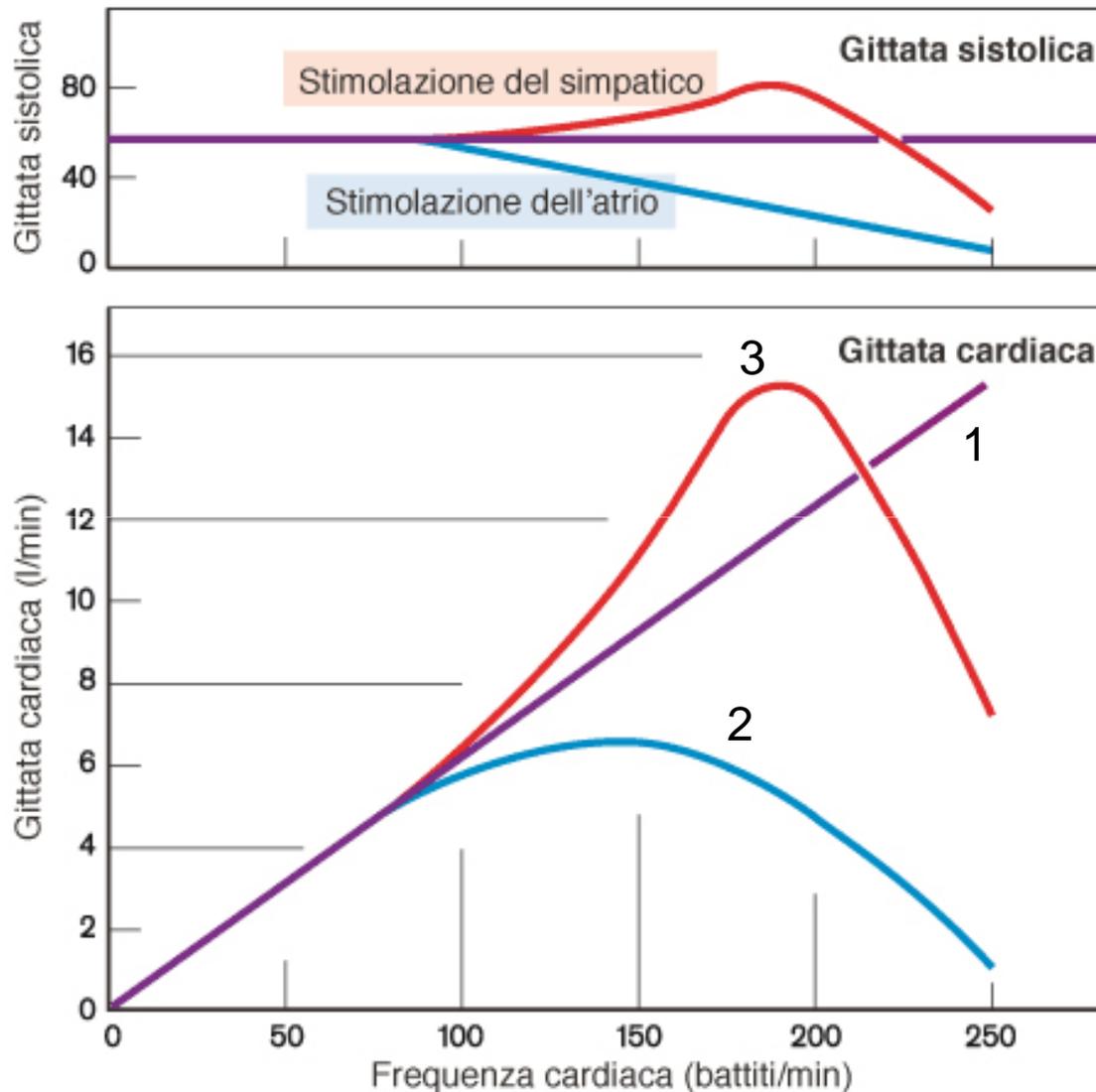
Pressione sviluppata in un preparato di ventricolo Sn isolato, durante una extrasistole (A) e la contrazione post-extrasistolica (B).

**A:** contrazione debole (il  $\text{Ca}^{2+}$  ricaptato nel reticolo sarcoplasmatico, durante il rilasciamento precedente, non è immediatamente disponibile).

**B:** contrazione più intensa della sistole normale (durante la pausa compensatoria un'elevata quantità di  $\text{Ca}^{2+}$  è stata captata dal reticolo sarcoplasmatico).

Nel cuore intatto, il potenziamento post-extrasistolico è in parte dovuto al meccanismo di Frank-Starling (maggior riempimento ventricolare durante la pausa compensatoria).

## Effetto aumento frequenza cardiaca sulla gittata cardiaca

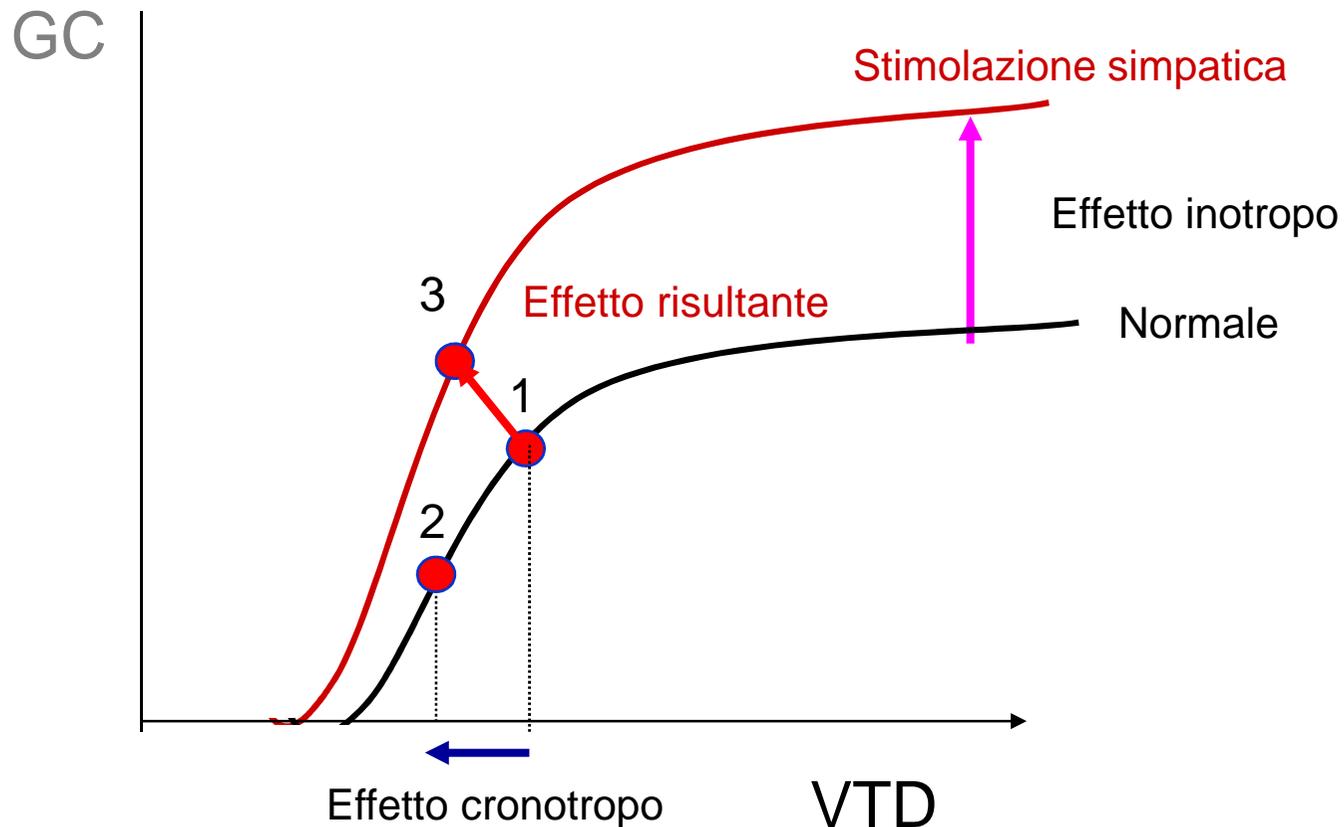


**1. Situazione teorica:**  
↑Frequenza (GS costante)  
→ ↑GC proporzionale

**2. Cuore isolato**  
**stimolazione artificiale dell'atrio:**

↑Frequenza → ↑GC fino ad un limite (~130/min), oltre il quale la GC diminuisce per riduzione GS (accorciamento diastole).

**3. Cuore stimolato dal simpatico:** La GC si riduce per frequenze maggiori (> 180/min) perchè l'effetto della riduzione della diastole è controbilanciato dall'aumentata contrattilità (maggiore GS).



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

Il contemporaneo aumento di contrattilità, dovuto alla stimolazione del simpatico, sposta la curva verso l'alto, permettendo di compensare la riduzione del VTD, **spostamento da 1 (curva normale) a 3 (curva di maggior contrattilità)**