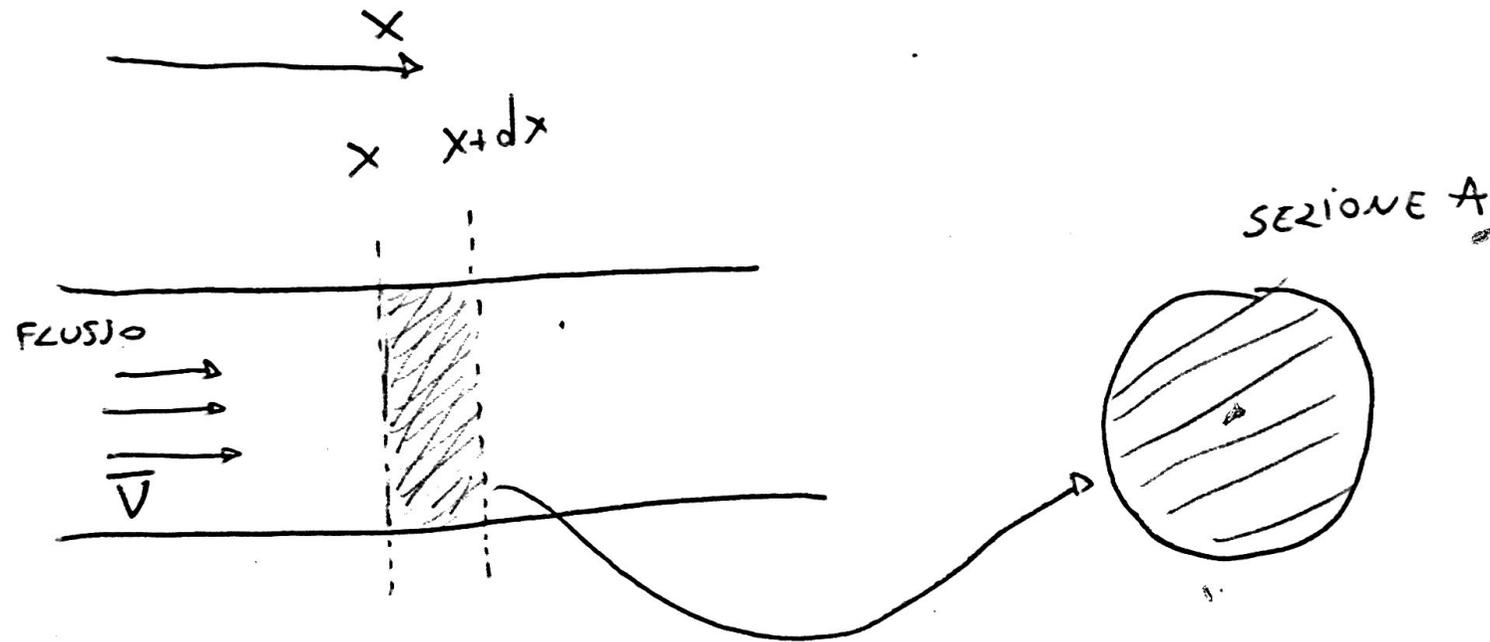


# Misura di portata cardiaca

- Portata: quantità di fluido che attraversa una determinata sezione nell'unità di tempo.
- Portata volumetrica [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] o [ $\text{l}/\text{min}$ ], data da  $A \cdot v$  dove  $v$  è componente di velocità del fluido perpendicolare alla sezione  $A$ .
- Portata sanguigna è un parametro ematico di fondamentale interesse biomedico (tipicamente viene rilevata durante la terapia intensiva)
- Bassa portata media
  - bassa pressione, bassa ossigenazione tessuti (possibili necrosi), shock, insufficienza renale....

# Misura di portata cardiaca



$$v \cdot A = A \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{A dx}{dt} = \frac{dV}{dt}$$

Valori tipici portata media 4-9 L/min  
(Vol. cuore 70-100ml X 60-90 Battiti/minuto)

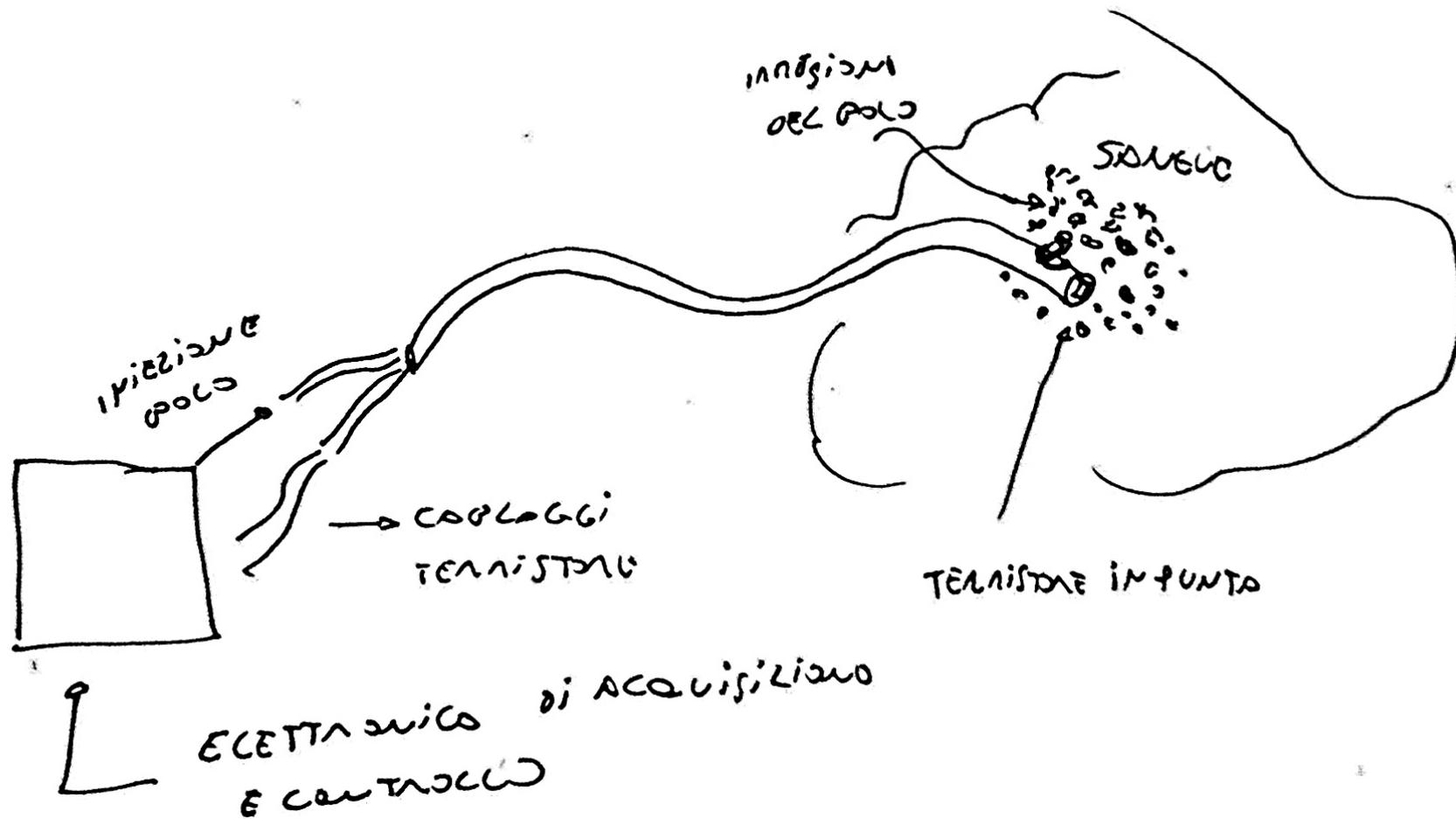
# Misura di portata cardiaca

- Metodi diretti o indiretti
  - Diretti: conoscenza della velocità istantanea del flusso in un punto del vaso e integrazione sulla sezione sapendo il profilo di flusso
    - Flussimetri elettromagnetici o velocimetri
  - Indiretti: misurano la portata mediata su un certo periodo di tempo.
    - Basati sulla diluizione del tracciante.

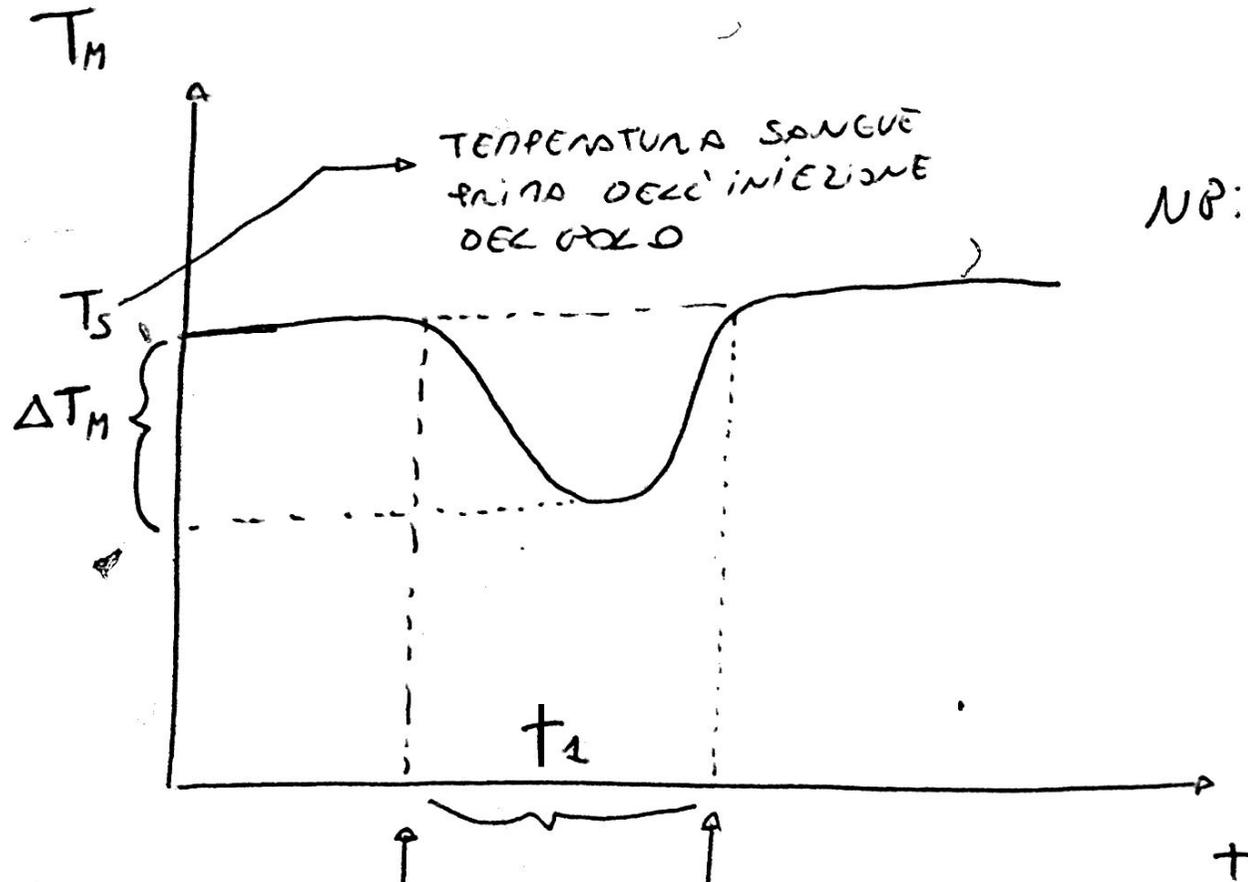
# Termodiluizione

- Iniezione di un bolo freddo di fluido nel sangue attraverso un lume del catetere strumentato (viene utilizzato destrosio,  $\Delta T < 0$  per motivi medici)
- Andando a misurare la temperatura della mistura sangue/fluido si risale all'entità della diluizione del fluido che è legata alla portata sanguigna
  - Maggiore la portata, maggiore la diluizione, maggiore la velocità con cui la temperatura della mistura tenderà a quella sanguigna
- La temperatura è misurata tramite un **termistore**
- Ipotesi: il fluido immesso non varia la portata in modo significativo e che tra monte (dove inietto il fluido) e valle (dove misuro la temperatura) non ci sia perdita di calore

# Termodiluzione



# Termodiluizione



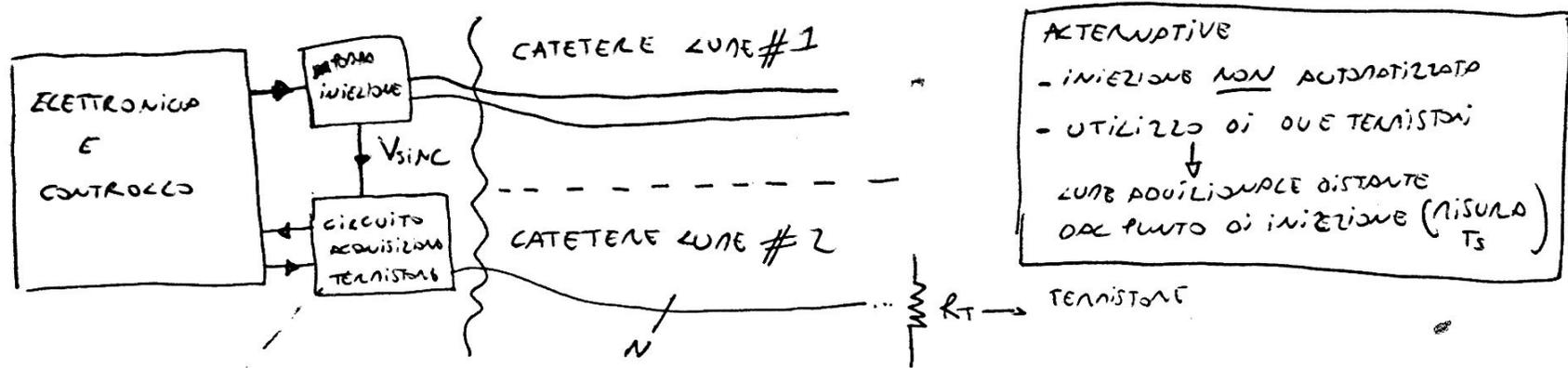
NP:  $t_1 <$  PORTATA  
 $\Delta T \rightarrow$  MOLTO PICCOLI

INIEZIONE  
 MISTURA

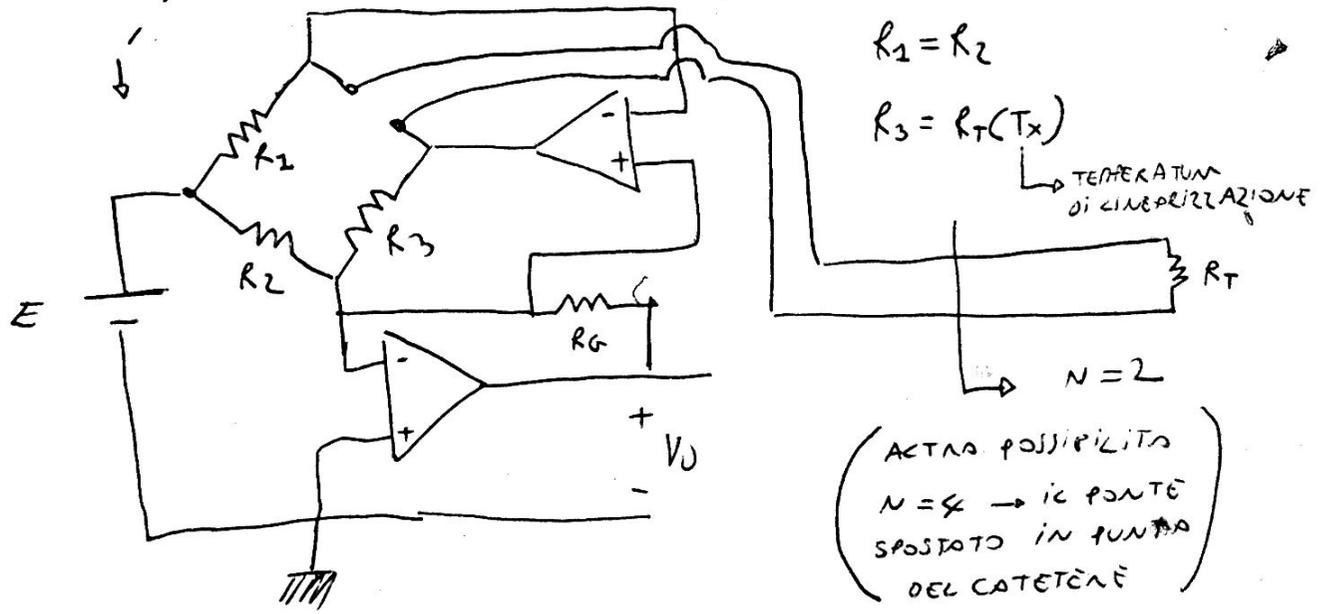
DOPO UN CERTO TEMPO  
 $t_1 \rightarrow T_M = T_S$

SISTEMA "APERTO", I  
 POLMONI FUNGONO DA  
 SCAMBiatori di CALORE

# Schema di principio



**ALTERNATIVE**  
 - INIEZIONE NON AUTOMATIZZATA  
 - UTILIZZO DI DUE TERMISTORI  
 ↓  
 ZONA ADDIZIONALE DISTANTE  
 DAL PUNTO DI INIEZIONE (MISURA  $T_s$ )

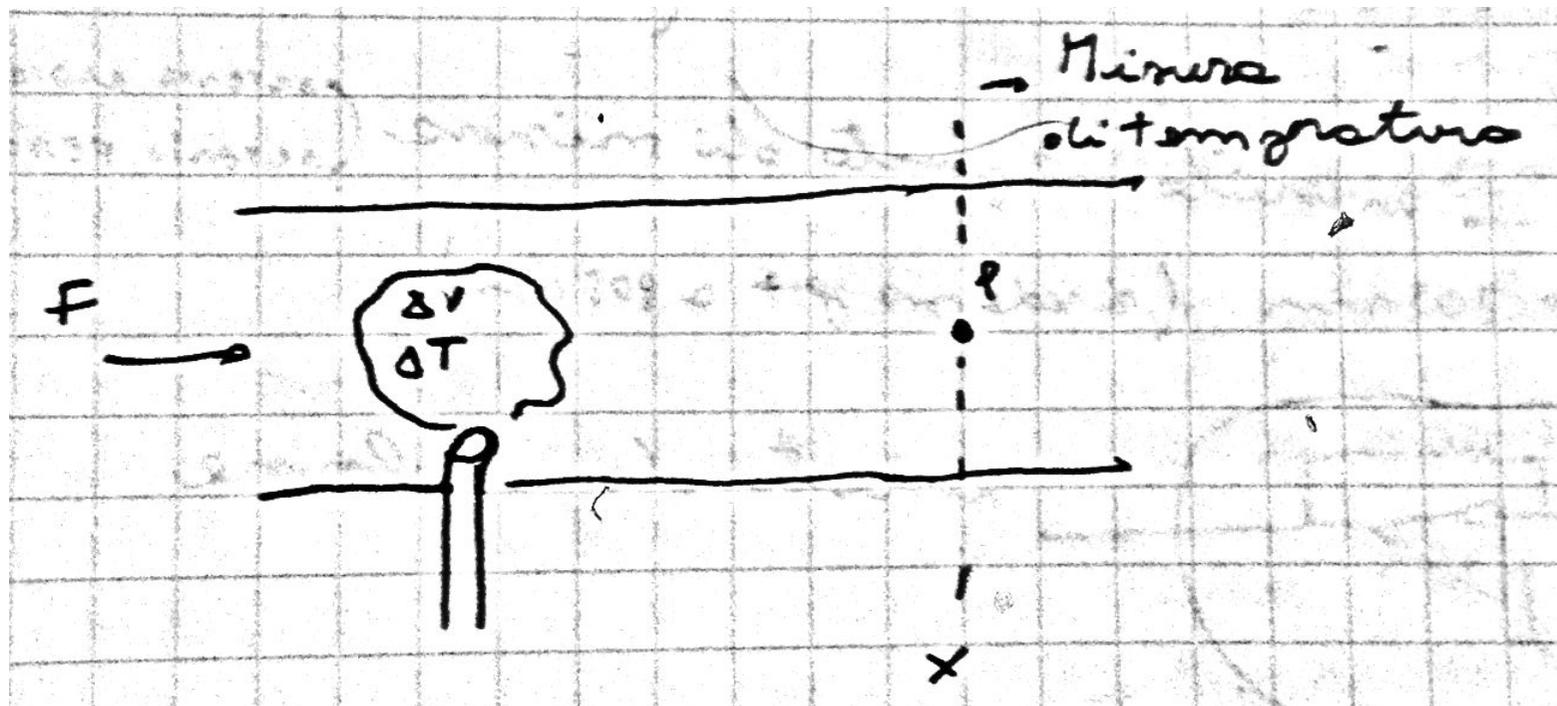


(ALTRA POSSIBILITA  
 $N \neq 2 \rightarrow$  IC PONTE  
 SPOSTATO IN PUNTA  
 DEL CATETERE)

$V_{SINC} \rightarrow$  SINCRONIZIA D'ACQUISIZIONE  
 CON L'INIEZIONE DEL  
 PUNTO

# Termodiluzione

- Viene misurata la temperatura della mistura  $T_m$  in un punto P a distanza  $x$  dal punto di iniezione del bolo



# Termodiluizione

- Parametri

- $m_I$  ( $\rho_I$ ),  $c_I$ ,  $T_I$  massa (densità), calore specifico e temperatura del fluido
- $m_s$  ( $\rho_s$ ),  $c_s$ ,  $T_s$  massa (densità), calore specifico e temperatura del sangue
- **Il calore specifico di una sostanza è definito come la quantità di calore necessaria per innalzare (o diminuire) la temperatura di una unità di massa di 1 K (o di 1°C) ( [joule / (Kg K)] )**
- Bilancio energetico: tutta la quantità di calore immessa dall'iniezione del bolo viene assorbita dal sangue
- Suppongo che le caratteristiche ( $\rho_s$ ,  $c_s$ ,  $T_s$ ) del sangue non varino nel tempo

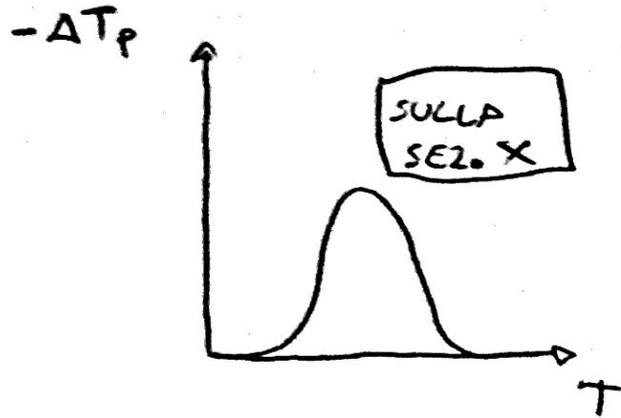
# Termodiluzione

$$\Delta T = T_b - T_s$$

$$\Delta T_p = T_m - T_s$$

↓  
misurando

- INIEZIONE [di un volume  $\Delta V$  di DESTROSIDO FREDDO ( $\Delta T < 0$ )
- HP #1: [PERCORRENDO X LA VARIAZIONE di T si DISTRIBUISCE UNIFORMEMENTE SULLA SEZIONE]



N.B: SISTEMA APERTO PERCHÈ I POLMONI FUNZIONANO DA SCAMBiatori di CALORE

$\rho_1, \rho_s$  DENSITA'  $\frac{[MASSA]}{[VOLUME]}$   
 $c_1, c_s$  [CALORE SPECIFICO]

$$\int_0^{\infty} Q \Delta T_p \rho_s c_s dt =$$

↑  
PORTATA SANGUE [L/MIN]

$$\underbrace{\Delta T \Delta V \rho_1 c_1}_{\text{QUANTITA' di CALORE "INSERITO"}}$$

QUANTITA' di CALORE ASSORBITO DAL SANGUE

integro sulla sezione a distanza x dal punto di iniezione (dove misuro)

# Termodiluzione

$$Q = \frac{\Delta V \Delta T p_1 c_1}{\int_0^{\infty} \Delta T_p p_s c_s dt}$$

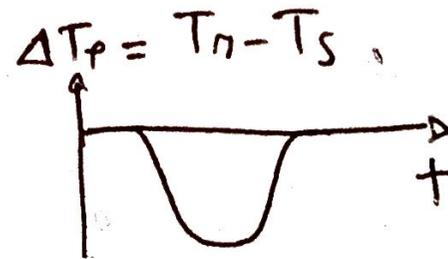
$T_1 - T_s < 0$

HP #2 → LE CARATTERISTICHE DEL SANGUE SONO COSTANTI

⇓  
 $p_s, c_s \rightarrow \infty$  NON DIPENDONO

$$Q = \frac{\Delta V (T_1 - T_s)}{\int_0^{\infty} \Delta T_p dt} \cdot \frac{p_1 c_1}{p_s c_s}$$

INTEGRARE OGGI CURVA DI VARIAZIONI DELLO  $T$  MISURATO

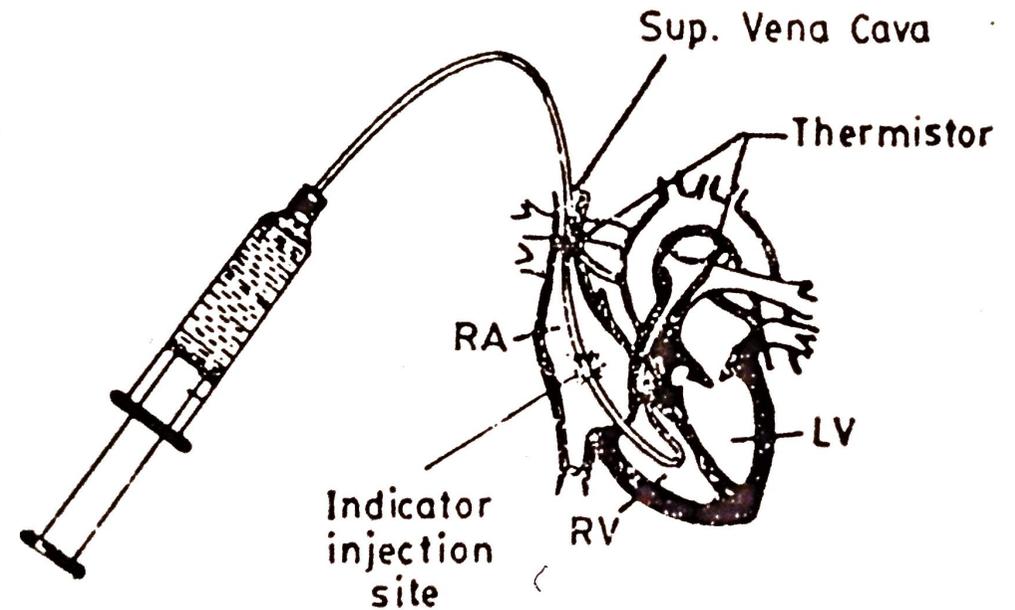


# Termodiluizione

- $T_m$  misurata dal termistore utilizzata per ricavare la **curva di diluizione** ovvero  $\Delta T_p = T_m(t) - T_s$
- Nota: minore l'area della curva di diluizione, maggiore la portata media (conferma quanto visto all'inizio)
- Scelta del sensore di temperatura
  - Necessità di un'elevata sensibilità perché le variazioni di temperatura da rilevare sono molto piccole ( $\Delta T_M$  piccolo)
  - Termistori NTC: alta sensibilità a discapito di una forte non linearità
    - possiamo tranquillamente linearizzare visto che la temperatura del sangue ha piccole fluttuazioni attorno ad un valore costante (**come valutare l'errore dovuto alla linearizzazione??**)

# Termodiluizione

La curva di temperatura viene di solito rilevata tramite catetere strumentato (e.g. catetere a 3 lumi di Swann-Ganzz)



- Catetere inserito da vena cava in atrio DX, ventricolo DX, arteria polmonare
- iniezione del destrosio in atrio DX
- due termistori uno in vena cava ( $T_s$ , non risente dell'iniezione del bolo) e l'altro in arteria polmonare (misura  $T_m$ )

# Termodiluizione

- Si tenta di iniettare il bolo in fase di diastole (il cuore si riempie prima della sistole) per sfruttare la fase sistolica (contrazione)
  - sistema di sincronizzazione tramite rilevazione ECG
- Problemi
  - scambi di calore con l'esterno tramite il catetere
  - fluttuazioni della temperatura del sangue
    - compensati con l'utilizzo dei due termistori
  - disomogeneità nell'iniezione del destrosio

# Termodiluizione

- Tecnica alternativa: termodiluizione attraverso riscaldamento attivo utilizzando un riscaldatore nella punta del catetere
- Viene riscaldato il sangue e misurata la temperatura dopo un certo tempo
- Maggiore la velocità con cui il sangue torna alla temperatura iniziale maggiore la portata

