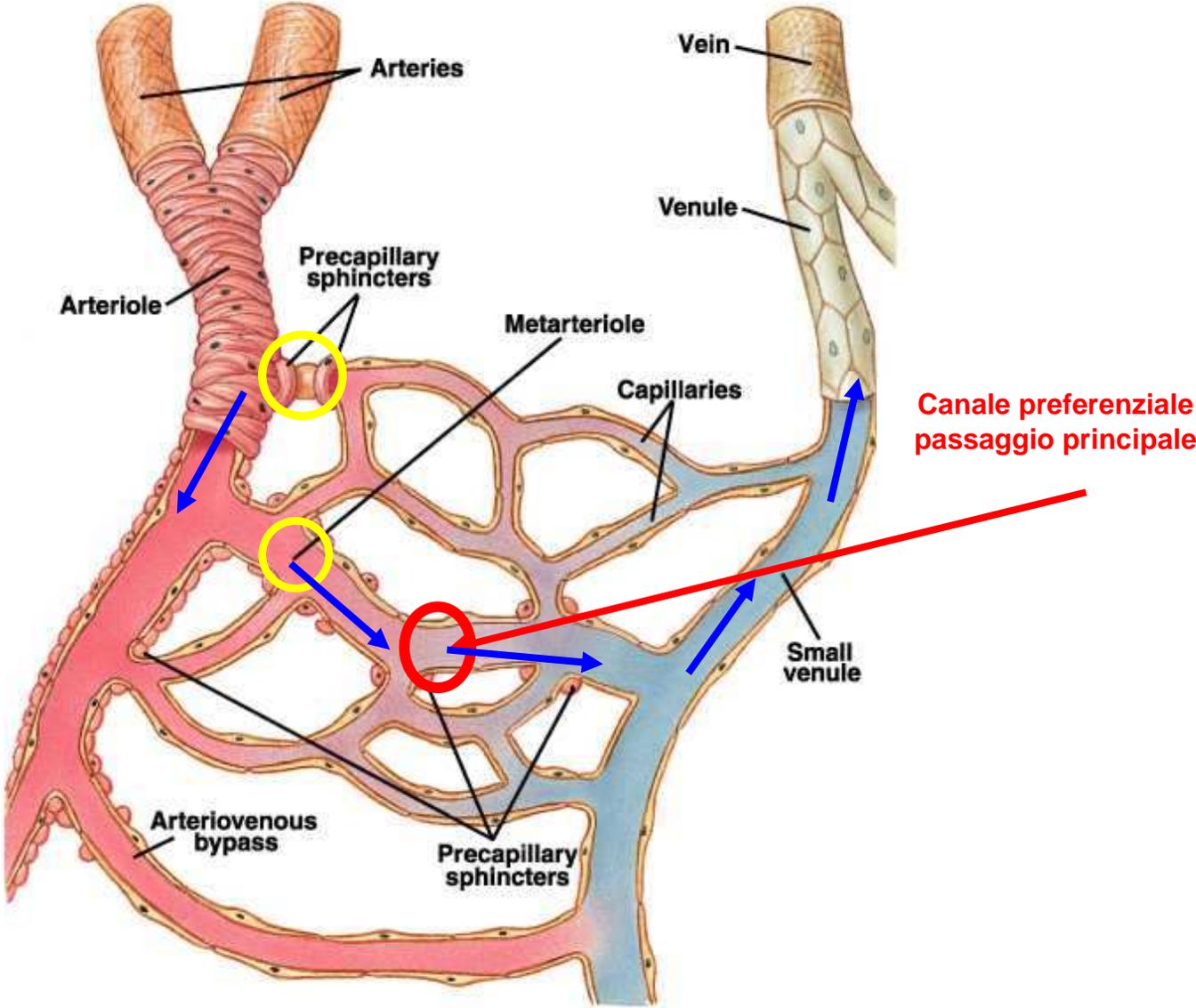
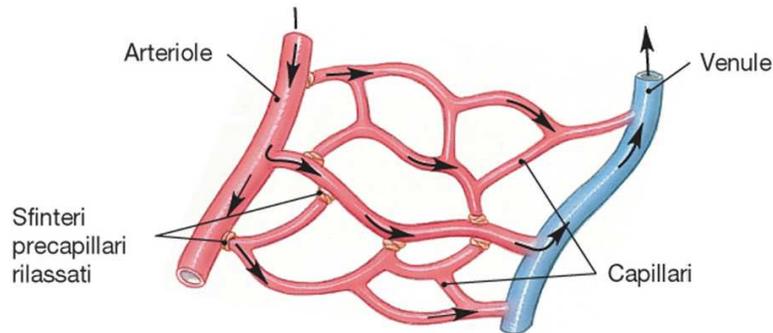


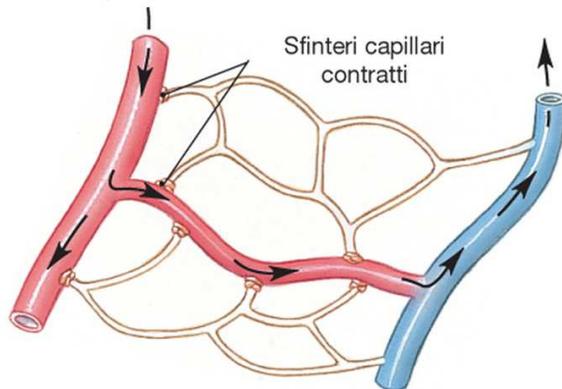
# Struttura del territorio circolatorio terminale



(a) Quando gli sfinteri precapillari sono rilasciati, il sangue scorre nel letto capillare a valle di questi.



(b) Se gli sfinteri precapillari sono contratti, il flusso sanguigno viene dirottato verso altri capillari, oppure bypassa completamente i capillari scorrendo attraverso le metarteriole.



Numero complessivo capillari  
(uomo):  $30-40 \cdot 10^9$

Superficie di scambio:  $1000 \text{ m}^2$ .

Densità capillare funzionale:  $8 - 10 \cdot 10^9$

Superficie di scambio a riposo:  $\sim 300 \text{ m}^2$

Densità capillare e superficie di scambio variano da organo ad organo:

cervello ( $500 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ), muscolo scheletrico ( $100 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ), tessuto adiposo ( $10 \text{ cm}^2/\text{gr}$ )

## Tipi di capillari

**Continui** (cardiaco, scheletrico, cutaneo, connettivo, adiposo, polmonare)

Fessure intercellulari (4-5 nm), elevata permeabilità acqua e soluti, scarsa alle proteine

**Fenestrati** (glomeruli renali, ghiandole esocrine ed endocrine, mucosa intestinale, corpi ciliati e coroidei)

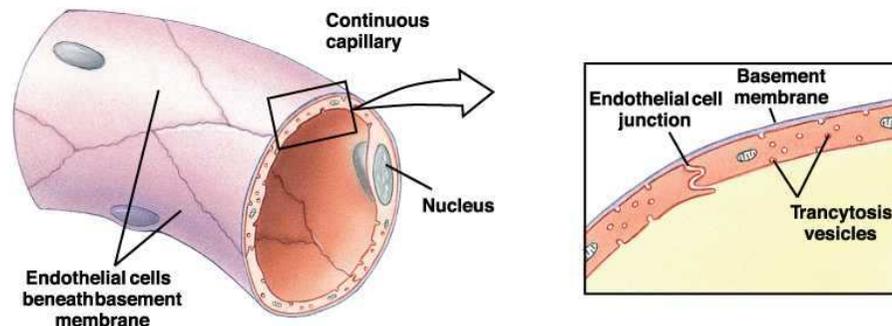
Pori intracellulari (50-60 nm), elevata permeabilità acqua e soluti, relativamente bassa alle proteine

**Discontinui** (fegato, milza e midollo osseo)

Fessure intra ed intercellulari (fino a 1  $\mu\text{m}$ ), permeabilità elevata alle proteine e grosse molecole

**Capillari cerebrali**

Endotelio continuo con giunzioni strette (barriera ematoencefalica), impermeabile a tutte le sostanze idrosolubili



Gli scambi di sostanze capillare  $\leftrightarrow$  interstizio avvengono attraverso due meccanismi:

**Diffusione (ruolo fondamentale)**

**Filtrazione**

## Diffusione

- Sostanze liposolubili (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, ecc.) passaggio diretto attraverso le membrane. Scambio limitato dalla perfusione
- Sostanze idrosolubili passaggio attraverso pori e fessure (55 l/min). Scambio dipendente dal rapporto tra dimensioni molecola e poro, che limita la diffusione

Diffusione regolata da Legge di Fick:

$$V = D \cdot A \cdot \Delta C / dx$$

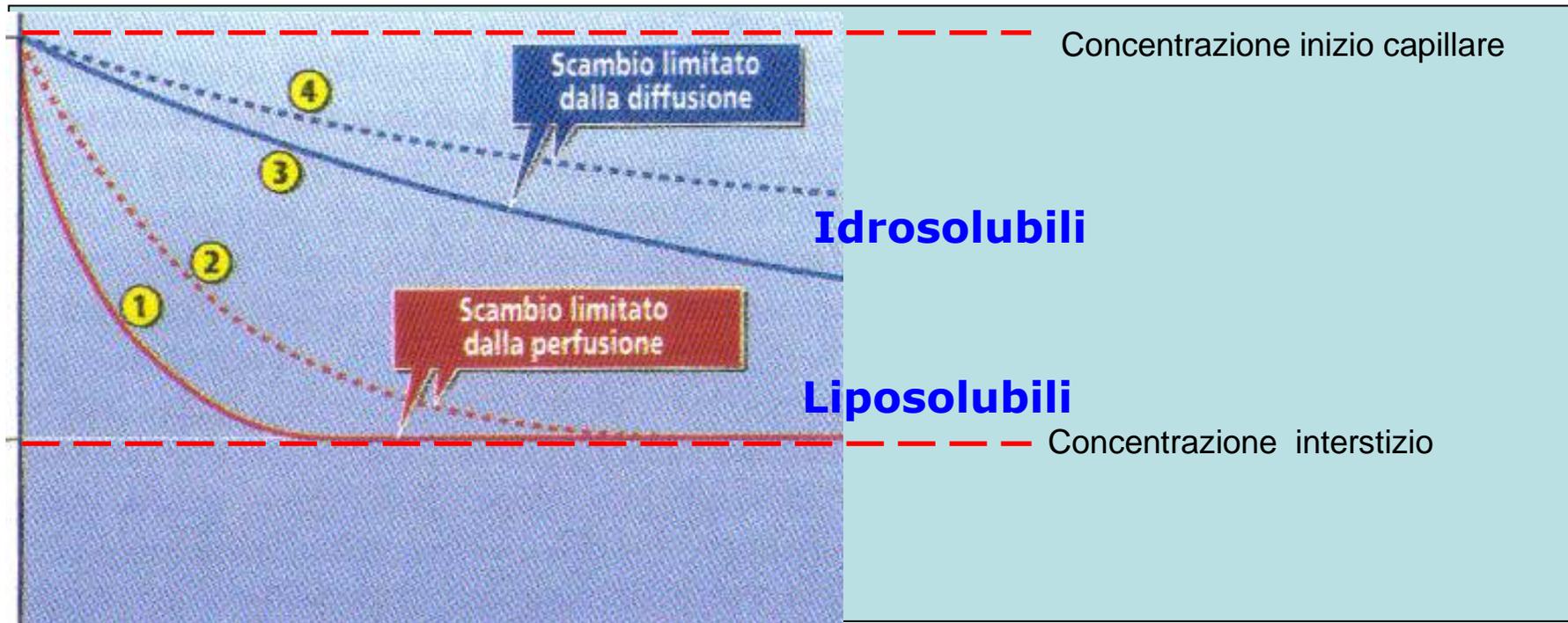
D = coefficiente di diffusione (1/√PM)

A = Superficie di scambio

ΔC/dx = gradiente di concentrazione/distanza

- Quando la permeabilità è elevata, l'equilibrio di concentrazione è raggiunto rapidamente, la quantità di sostanza che passa dipende dall'entità di flusso ematico (perfusione).
- Quando la permeabilità è ridotta, la quantità di sostanza che passa dipende dalla diffusione.

# Permeabilità



- (1) Permeabilità parete alla sostanza elevata: equilibrio di concentrazione raggiunto prima della fine del capillare.
- (2) Aumento velocità di flusso non provoca problemi, perché può essere utilizzato altro spazio capillare disponibile.
- (3) Permeabilità parete bassa: equilibrio di concentrazione a fine capillare non raggiunto.
- (4) Aumento velocità di flusso riduce il tempo disponibile per lo scambio, l'estrazione della sostanza diminuisce.

# Filtrazione e Riassorbimento:

## Equazione di Starling

- A livello capillare esistono forze (pressioni) che favoriscono il movimento di liquido vaso → interstizio (filtrazione) e forze che facilitano il movimento di liquido interstizio → vaso (riassorbimento)
- L'**equazione di Starling** mette a confronto queste forze. Dal prevalere delle une o delle altre dipende se il liquido viene filtrato o riassorbito.

**Forze che favoriscono la filtrazione:** Pressione capillare ( $P_c$ ) + pressione colloido-osmotica interstizio ( $\pi_i$ , dovuta a concentrazione interstiziale delle proteine)

**Forze che favoriscono il riassorbimento:**  $P$  idrostatica interstizio ( $P_i$ ) + pressione colloido-osmotica capillare ( $\pi_c$ , dovuta a concentrazione plasmatica delle proteine)

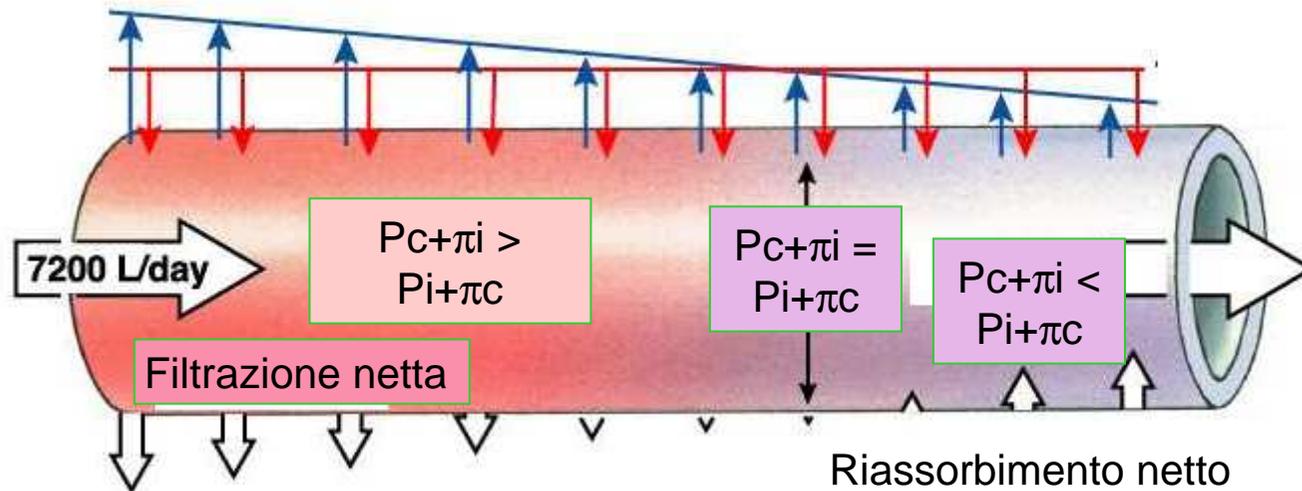
$$P_{eff} = (P_c + \pi_i) - (P_i + \pi_c)$$

### Estremità arteriolare

$P_c = 30 \text{ mmHg}$   
 $\pi_c = 28 \text{ mmHg}$   
 $\pi_i = 8 \text{ mmHg}$   
 $P_i = -3 \text{ mmHg}$

### Estremità venulare

$P_c = 10 \text{ mmHg}$   
 $\pi_c = 28 \text{ mmHg}$   
 $\pi_i = 8 \text{ mmHg}$   
 $P_i = -3 \text{ mmHg}$



↓  $\pi_c + P_i =$  forze a favore del riassorbimento

↑  $P_c + \pi_i =$  forze a favore della filtrazione

## Estremità arteriosa

**Forze a favore della filtrazione:**  $P_c = 28-30$  mmHg,  $\pi_i = 8$  mmHg

**Forze a favore del riassorbimento:**  $P_i = -3$  mmHg,  $\pi_c = 28$  mmHg

$$P = (28-30 + 8) - (-3 + 28) = 11-13 \text{ mmHg} = \text{filtrazione}$$

## Estremo venoso

**Forze a favore della filtrazione:**  $P_c = 10$  mmHg,  $\pi_i = 8$  mmHg

**Forze a favore del riassorbimento:**  $P_i = -3$  mmHg,  $\pi_c = 28$  mmHg

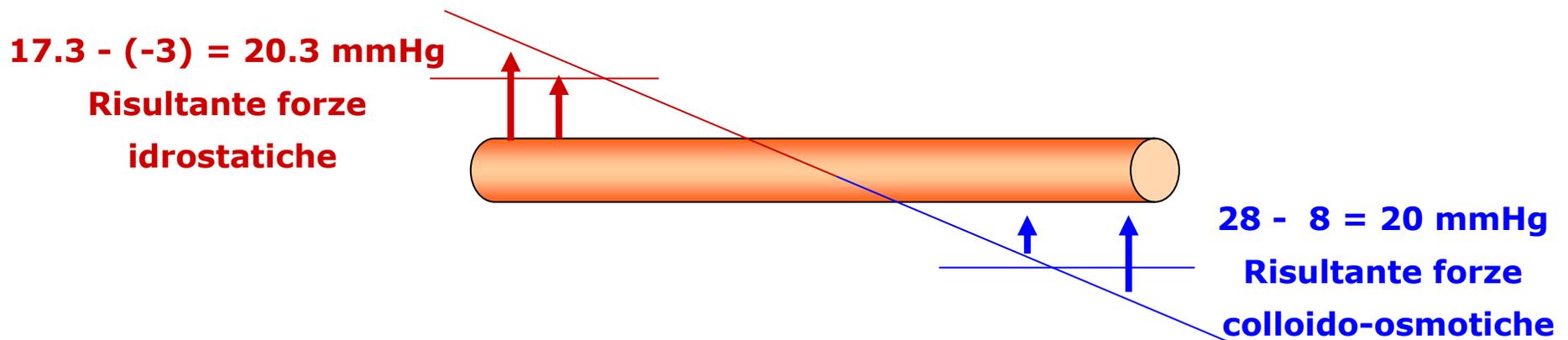
$$P = (10 + 8) - (-3 + 28) = -7 \text{ mmHg} = \text{riassorbimento}$$

$P_c$  diminuisce progressivamente da estremità arteriolare → estremità venulare, il suo valore medio è **17.3 mmHg**

La  $P$  netta risultante sarà quindi:

$$P = (17,3 + 8) - (-3 + 28) = 0.3 \text{ mmHg} = \text{filtrazione netta}$$

**La filtrazione supera il riassorbimento**



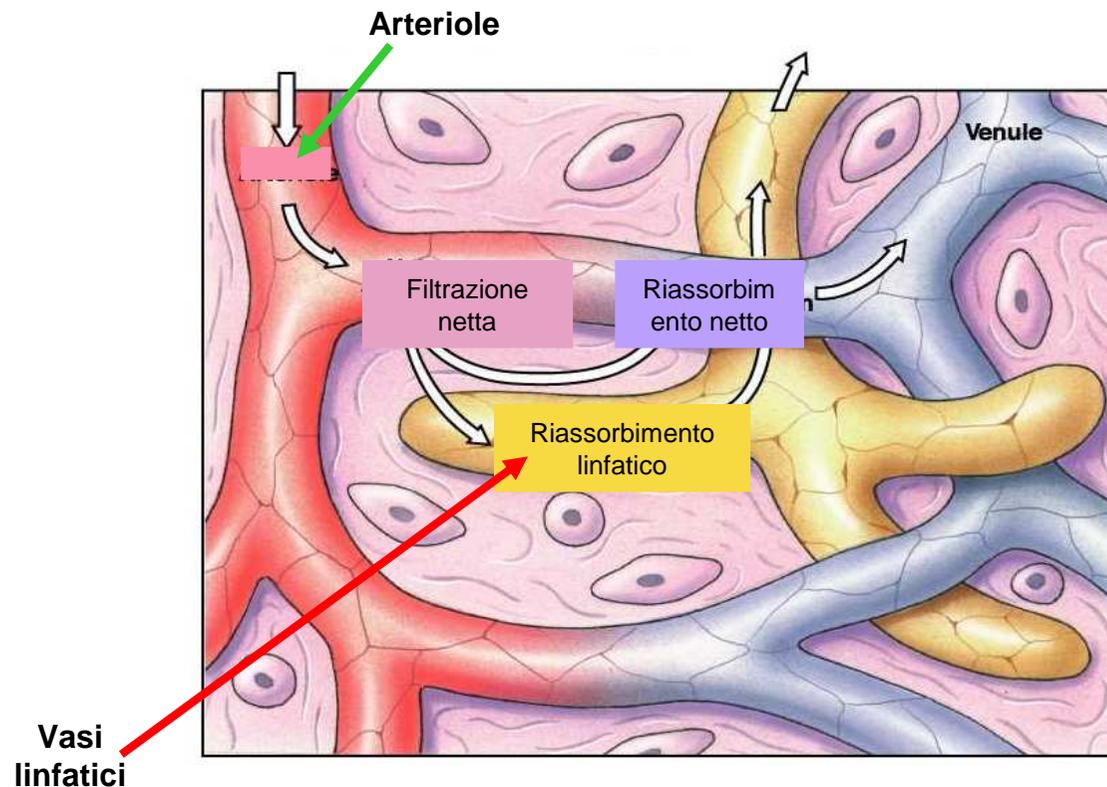
## Coefficiente di filtrazione

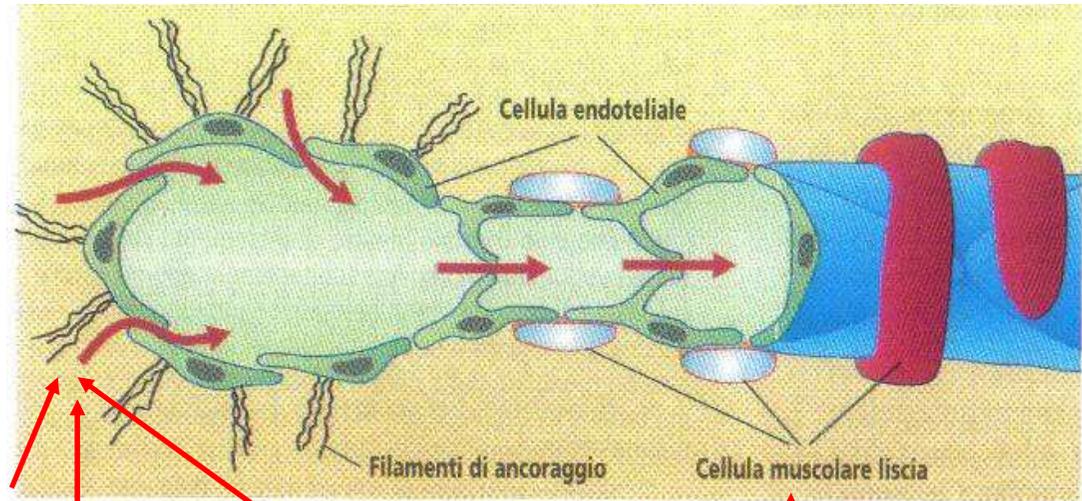
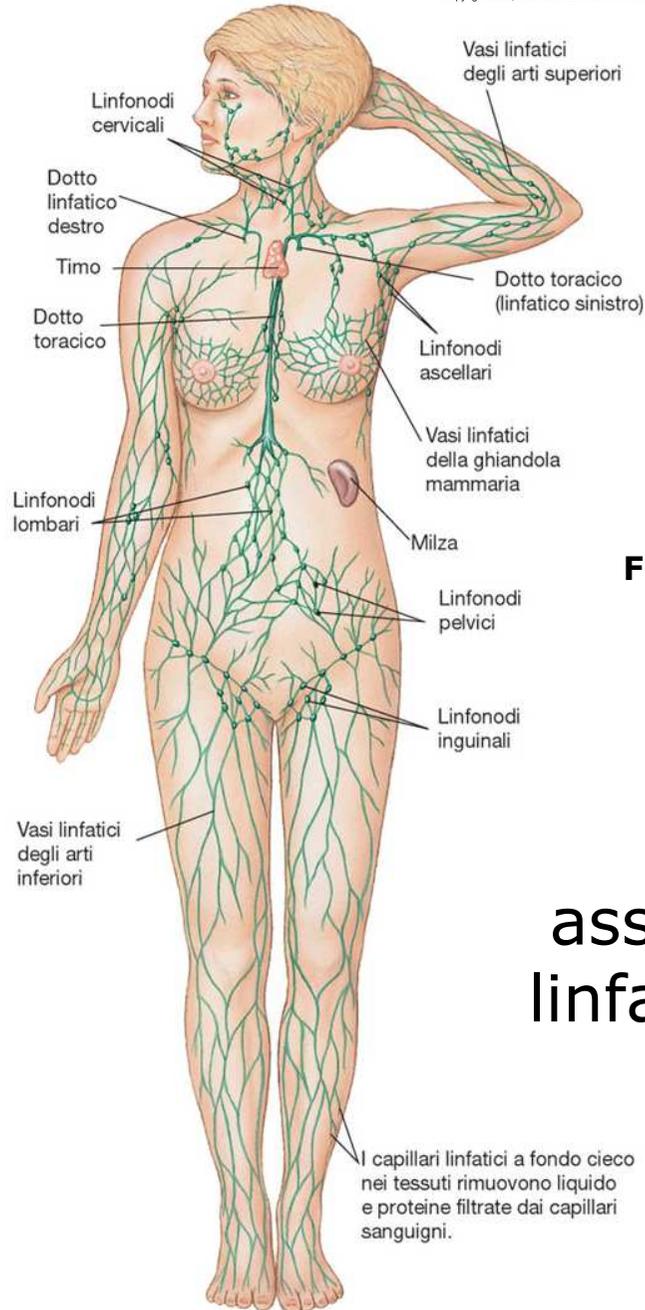
**0.5%** volume plasmatico (14 ml/min, 20 l/dì) filtrato nella porzione arteriosa dei capillari

**90%** riassorbito nella porzione venosa + **10%** residuo (~ 2 l/dì) drenato dai vasi linfatici

Filtrazione netta = 2ml/min (6.67 ml/min/mmHg)

**Coefficiente di filtrazione:** prodotto tra conduttanza idraulica della parete capillare e superficie di scambio [Basso cervello e muscolo, elevato intestino e fegato, con % filtrazione proteine 1.5-6% (fegato)].



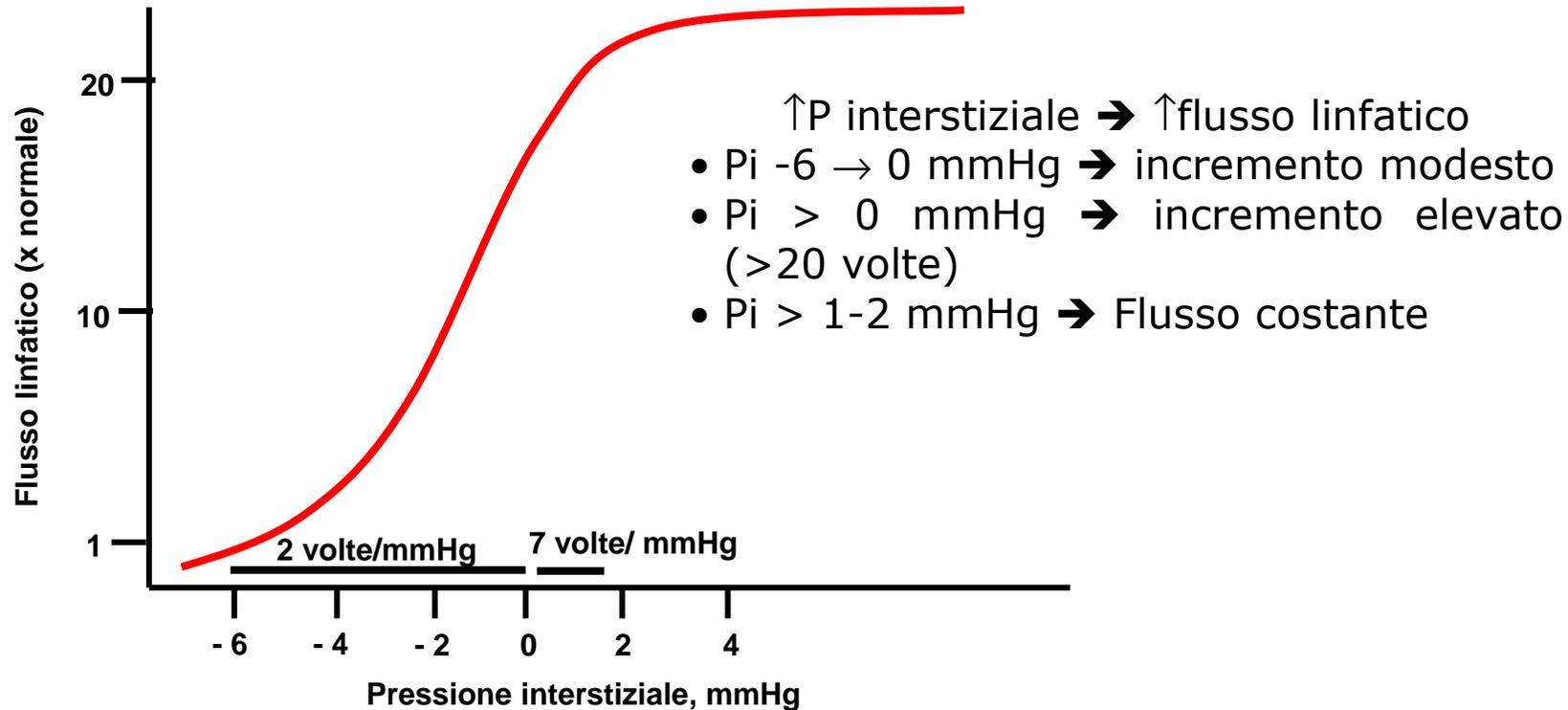


**Fluido**  
**Proteine**  
**Macromolecole lipidiche**  
**Vasomozione**

**Sistema Linfatico**  
(Flusso = 120 ml/h, 2-3 l/dì)  
assicurato da meccanismi di pompa  
linfatica intrinseci e dalla presenza di  
valvole

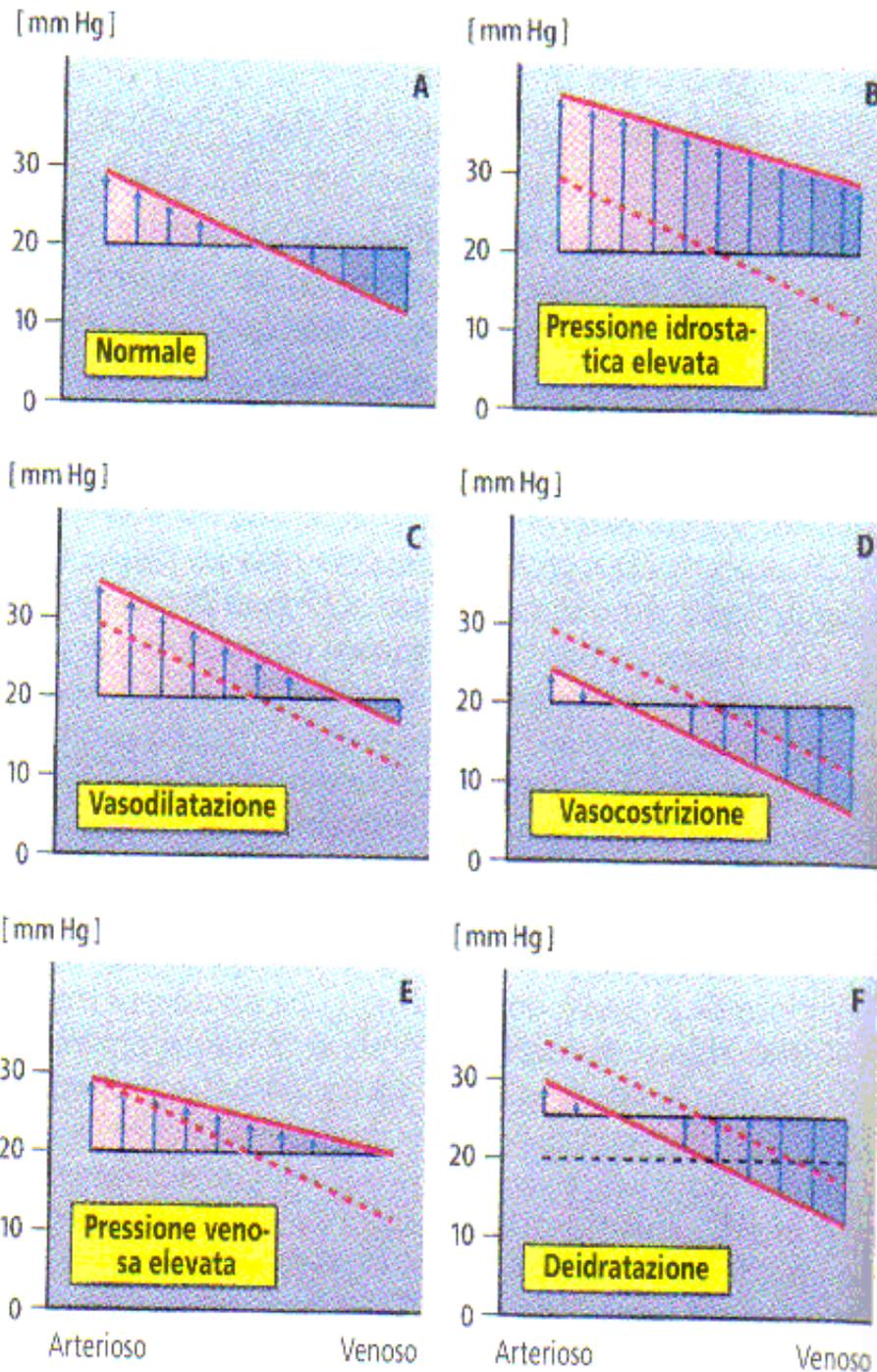
La linfa si riversa nella circolazione venosa.

# Relazione P interstiziale - flusso linfatico



- Condizioni che aumentano la filtrazione, determinano aumento del flusso linfatico:
- ↑P capillare
- ↓ $\pi$  plasmatica
- ↑ $\pi$  interstiziale
- ↑permeabilità capillare

I rapporti filtrazione-riassorbimento capillare possono variare



# Formazione edema

In tutte le condizioni in cui la filtrazione > riassorbimento, e si accumula liquido nell'interstizio, si parla di **edema interstiziale**.

Possibili cause di formazione di edema:

## **Aumento P capillare causata da:**

- ↑P arteriosa
- Dilatazione vasi di resistenza pre-capillari
- Costrizione venule post-capillari
- ↑P venosa (insufficienza cardiaca)

## **Riduzione $\pi$ plasmatica:**

Carenza proteica, escrezione renale di proteine, deficit sintesi proteica

## **Aumentata permeabilità della parete capillare**

Infiammazioni, reazioni allergiche, ustioni

## **Deficit drenaggio linfatico**