

# **Sistema urinario: la funzione renale**

## FUNZIONI:

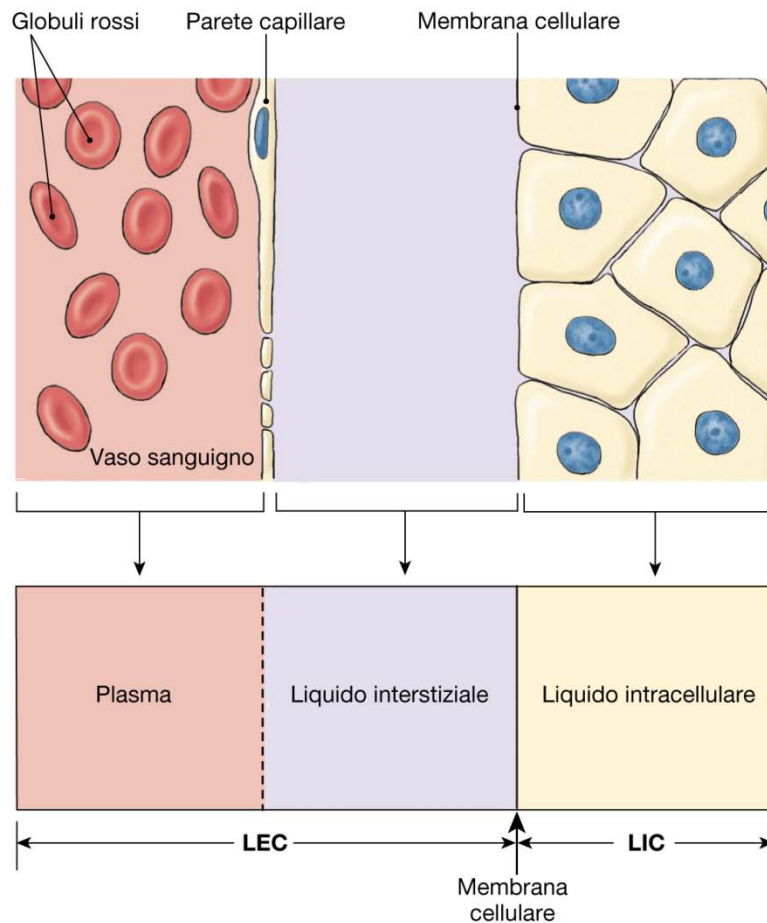
**Regolazione della composizione ionica del sangue:** aumentando o diminuendo l'escrezione di ioni specifici, i reni ne regolano la concentrazione plasmatica ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e fosfati).

**Regolazione del volume plasmatico:** controllando la velocità di escrezione dell'acqua. Ciò ha un effetto diretto sul volume totale e pertanto sulla pressione del sangue.

**Regolazione dell'osmolarità plasmatica:** attraverso la velocità di escrezione di acqua in rapporto ai soluti.

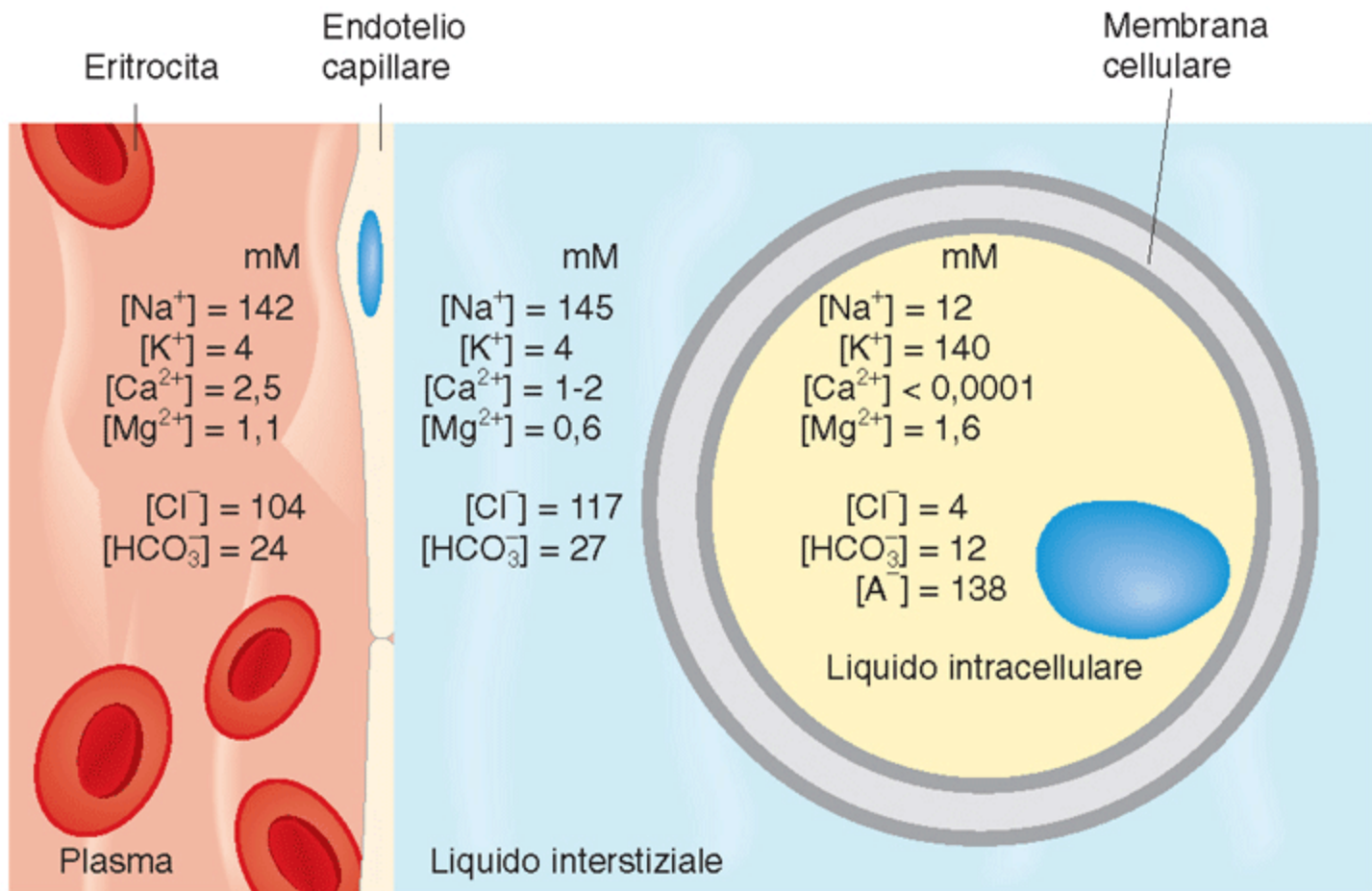
**Regolazione della concentrazione di idrogenioni (pH):** regolando la concentrazione di  $\text{H}^+$  e bicarbonato nel plasma.

**Rimozione di prodotti di scarto del metabolismo e di sostanze estranee dal plasma:** secernendo prodotti di scarto sia di origine metabolica come l'urea e l'acido urico, generati dal catabolismo delle proteine e degli acidi nucleici, sia sostanze estranee come additivi alimentari e farmaci.



Il compartimento liquido extracellulare (**LEC**)  
 è suddiviso in plasma e liquido interstiziale.  
 Il materiale che si sposta fra la cellula e LEC  
 deve attraversare la membrana cellulare.

Regolando il volume e la composizione  
 del plasma i reni regolano anche il  
 volume e la composizione del liquido  
 interstiziale le cui modificazioni  
 influiscono sulla composizione del LIC.

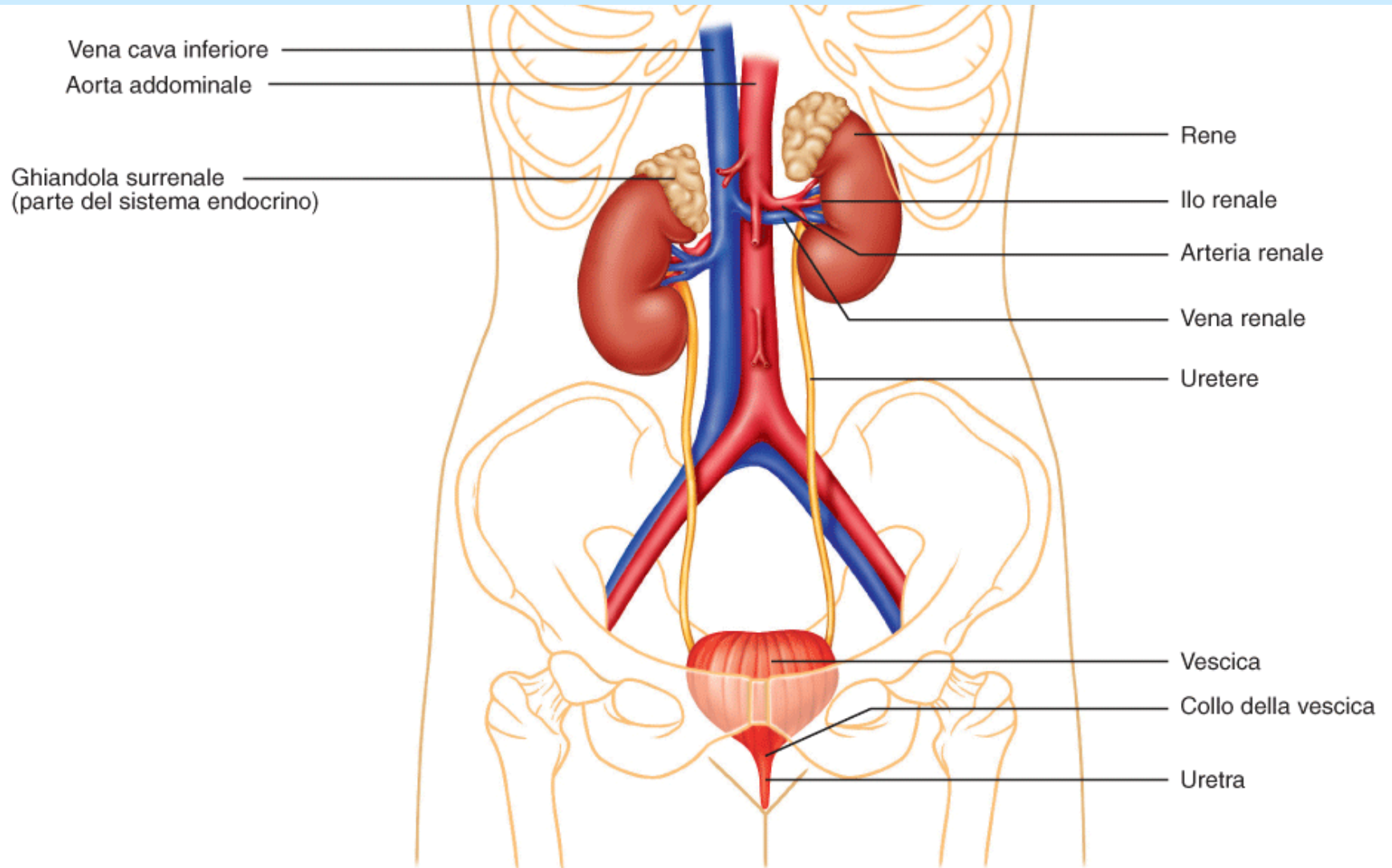


Altre funzioni:

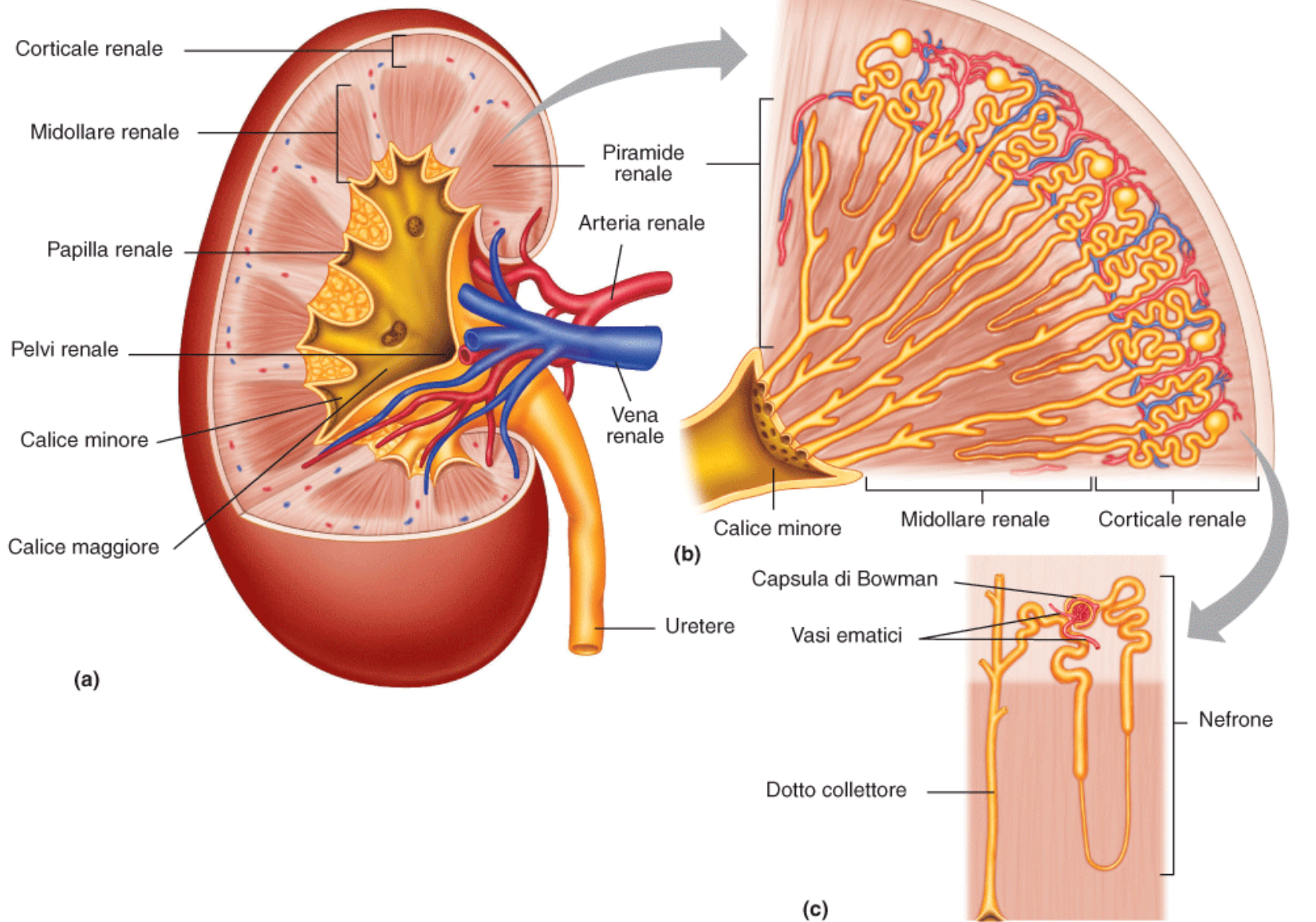
-secernono l'ormone **eritropoietina** che stimola la produzione di eritrociti all'interno del midollo osseo.

-secernono l'enzima **renina** che è necessario per la produzione di angiotensina II importante per la regolazione del bilancio idrosalino e quindi per il controllo a lungo termine della pressione sanguigna.

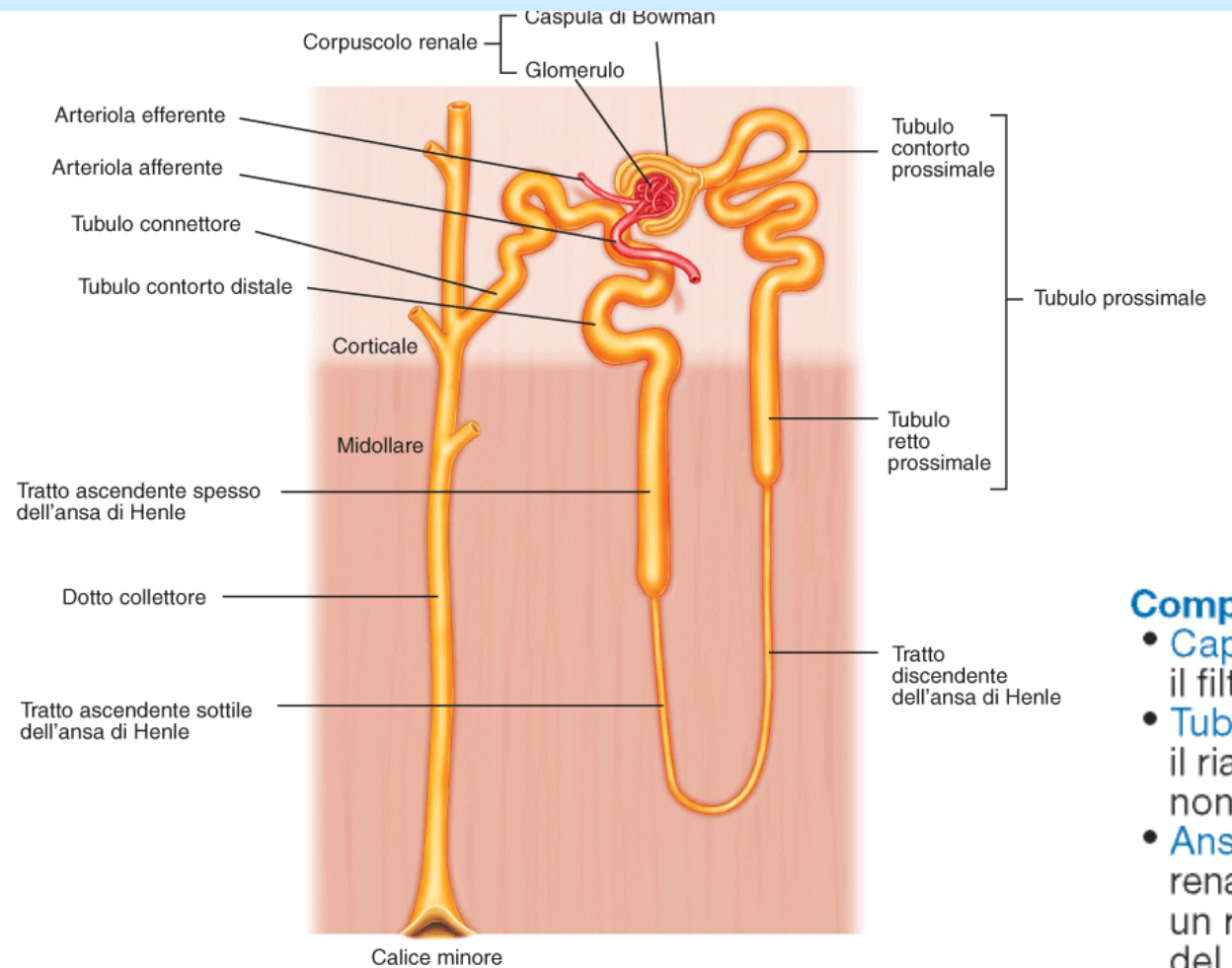
## Strutture del sistema urinario.



# Anatomia del rene.



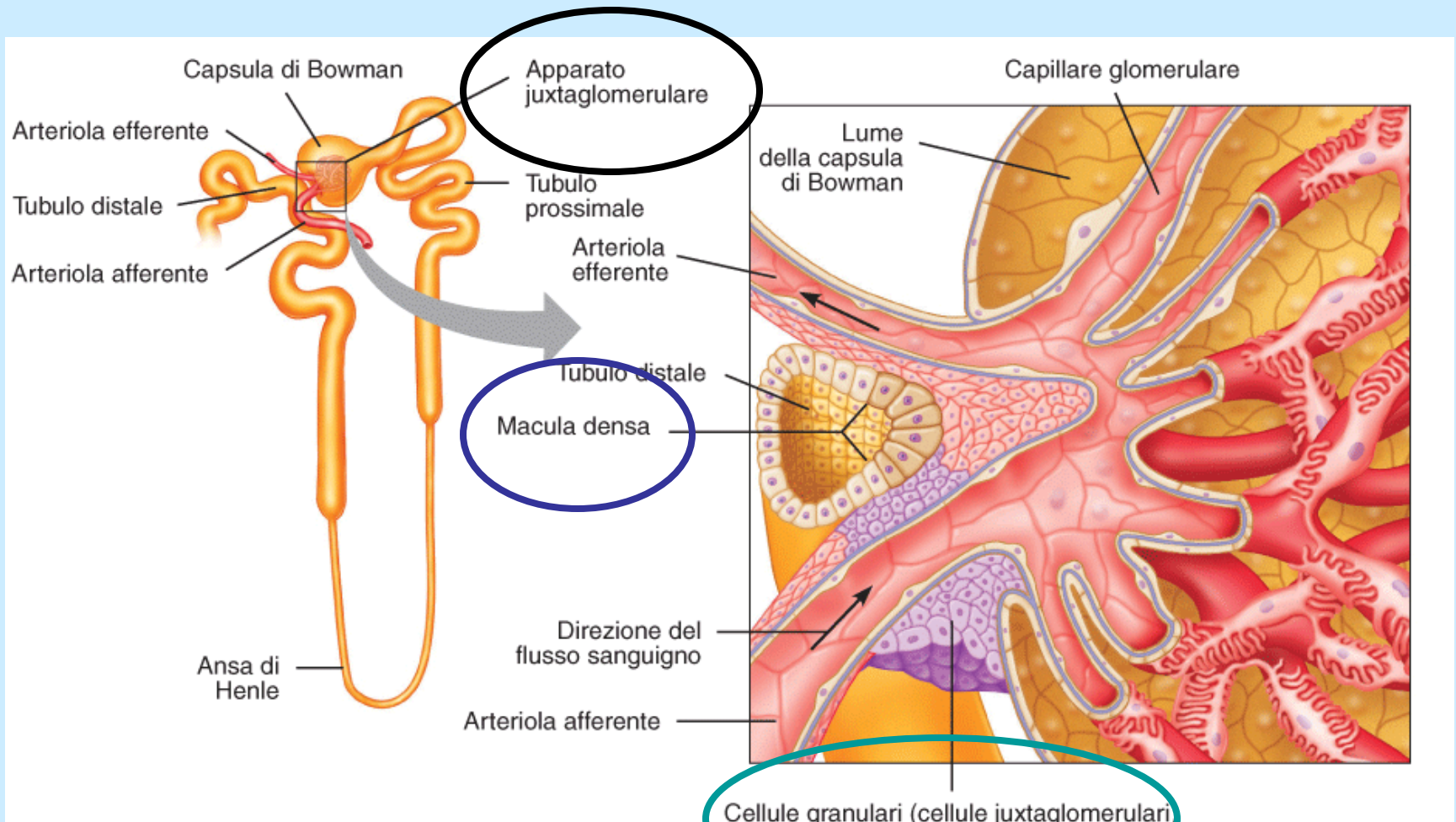
# Anatomia di un nefrone



## Componente tubulare

- **Capsula di Bowman** – raccoglie il filtrato glomerulare
- **Tubulo prossimale** – vi hanno luogo il riassorbimento e la secrezione non regolati di sostanze selezionate
- **Ansa di Henle** – stabilisce nella midollare renale un gradiente osmotico che ha un ruolo importante nella capacità del rene di produrre urine di concentrazione variabile
- **Tubulo distale e dotto collettore** – vi hanno luogo il riassorbimento variabile, regolato, di  $\text{Na}^+$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , e la secrezione regolata di  $\text{K}^+$  e  $\text{H}^+$ ; il liquido che esce dal dotto collettore è urina che entra nella pelvi renale

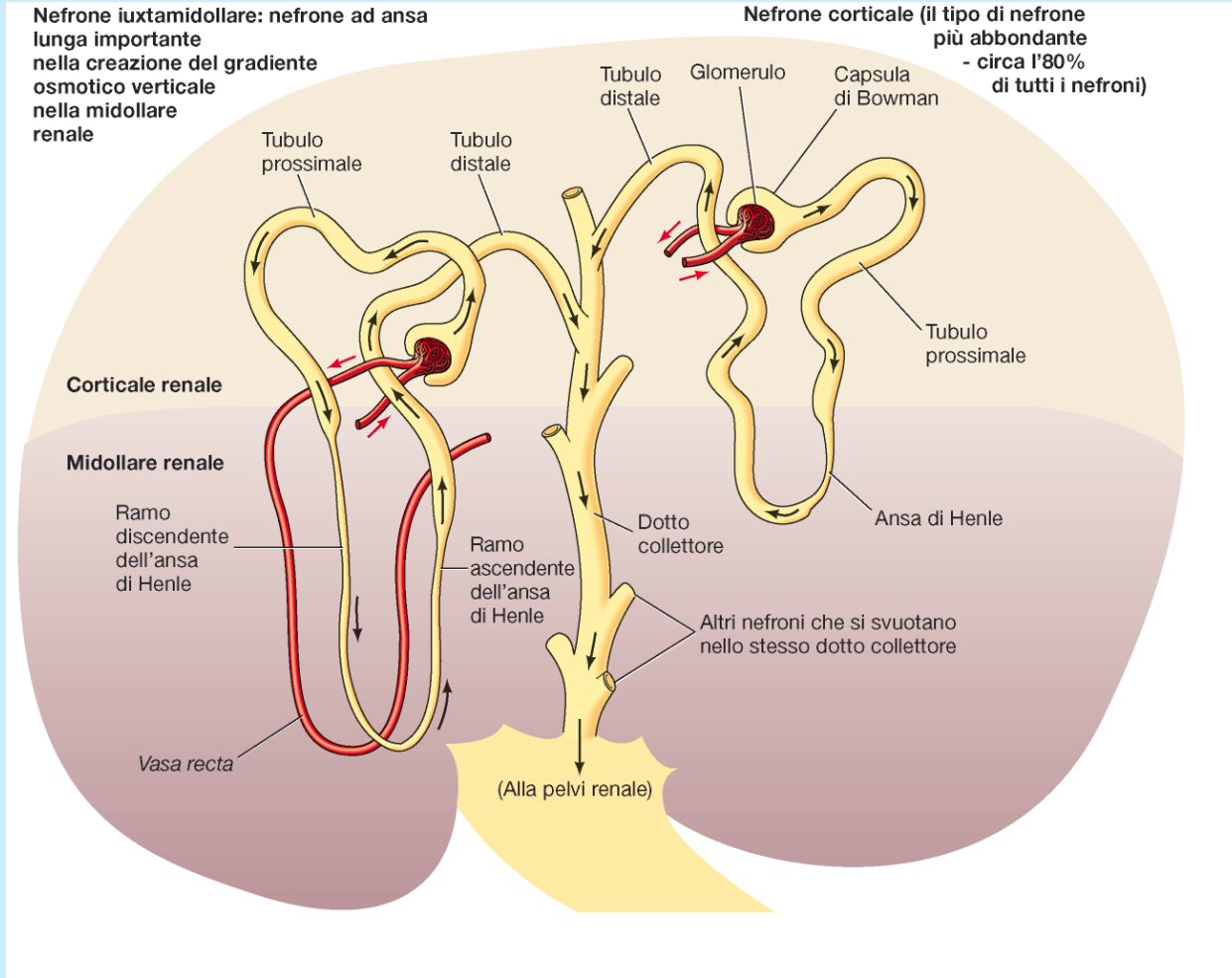


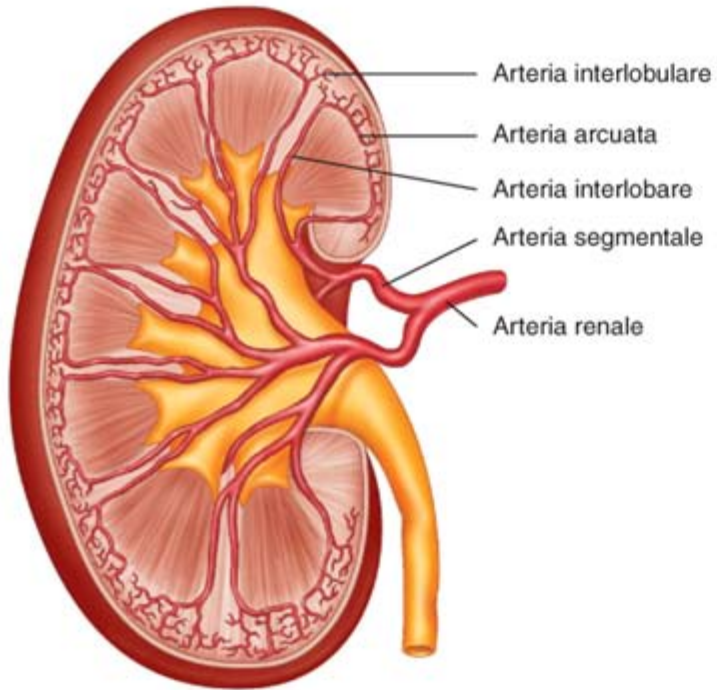


Gioca un ruolo fondamentale nella regolazione del volume e della pressione sanguigna

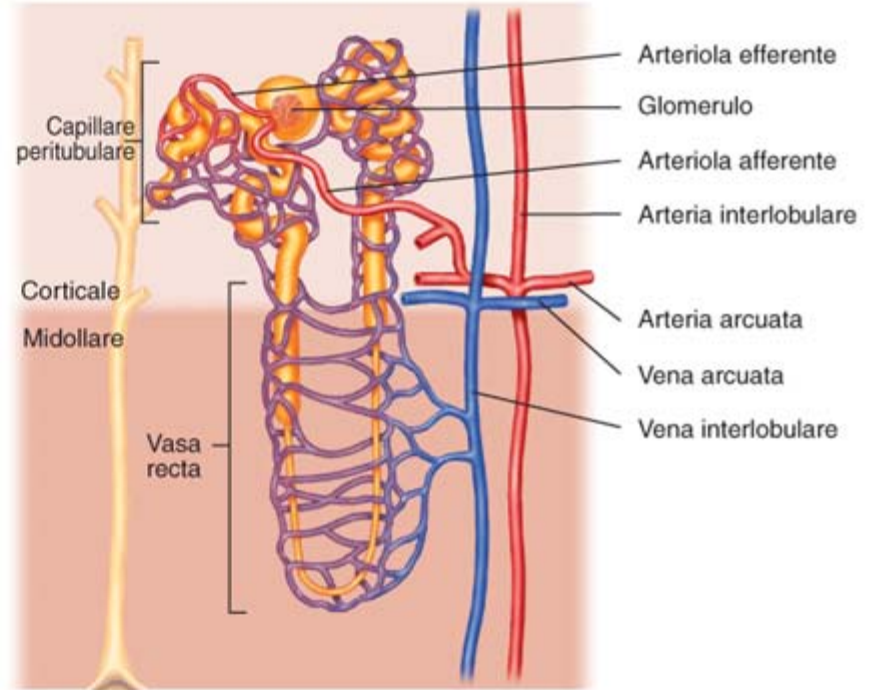
**Nefrone iuxtamidollare: nefrone ad ansa lunga importante nella creazione del gradiente osmotico verticale nella midollare renale**

**Nefrone corticale (il tipo di nefrone più abbondante - circa l'80% di tutti i nefroni)**

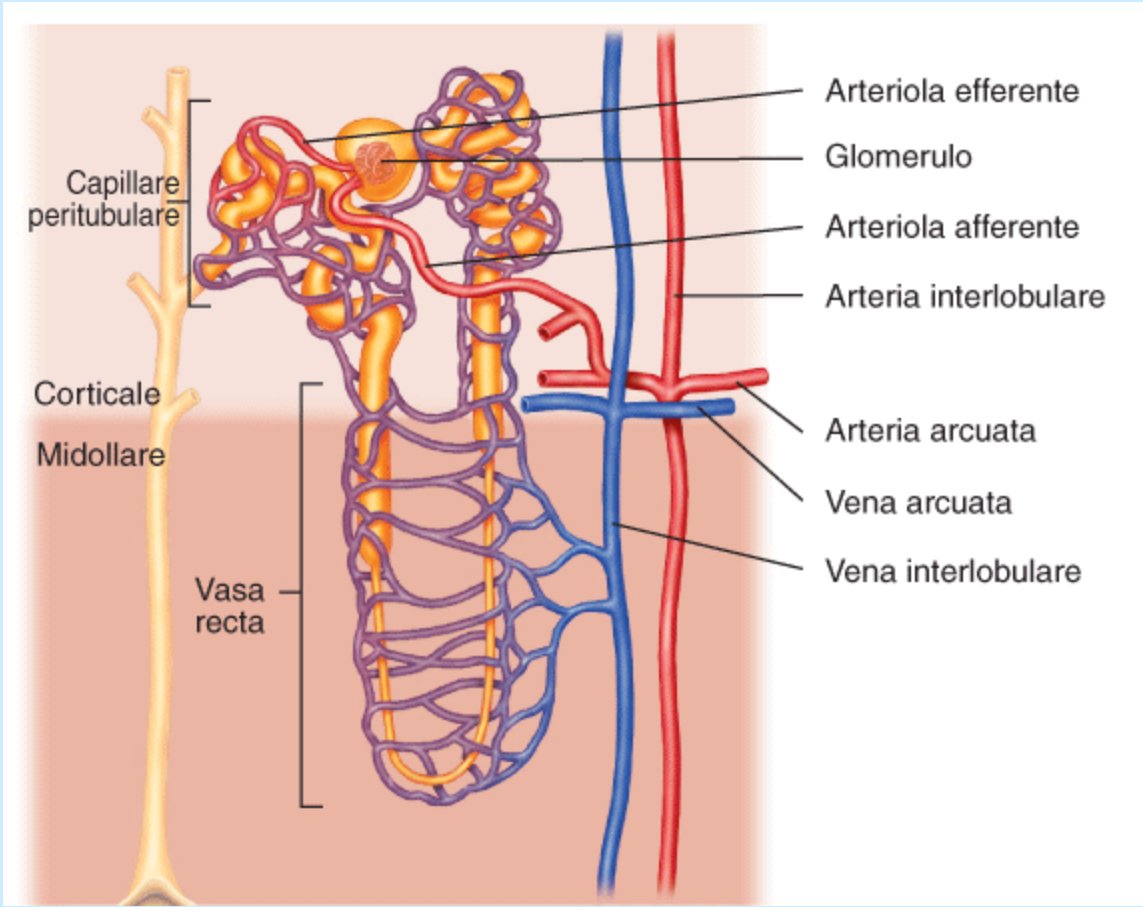




(a)



(b)



Capillare  
peritubulare

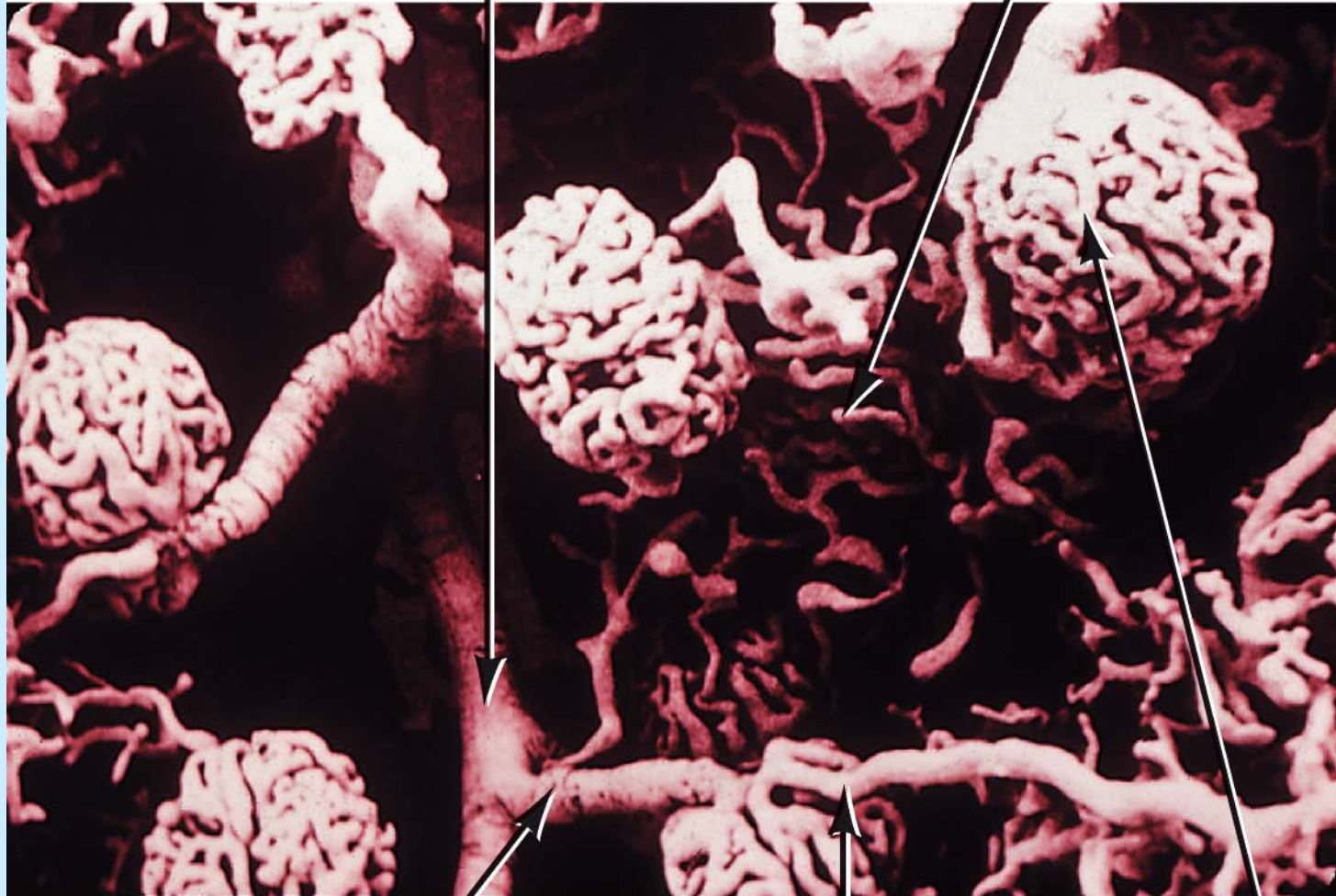
Corticale  
Midollare

Vasa  
recta

Arteriola efferente  
 Glomerulo  
 Arteriola afferente  
 Arteria interlobulare  
 Arteria arcuata  
 Vena arcuata  
 Vena interlobulare

Piccolo ramo dell'arteria renale

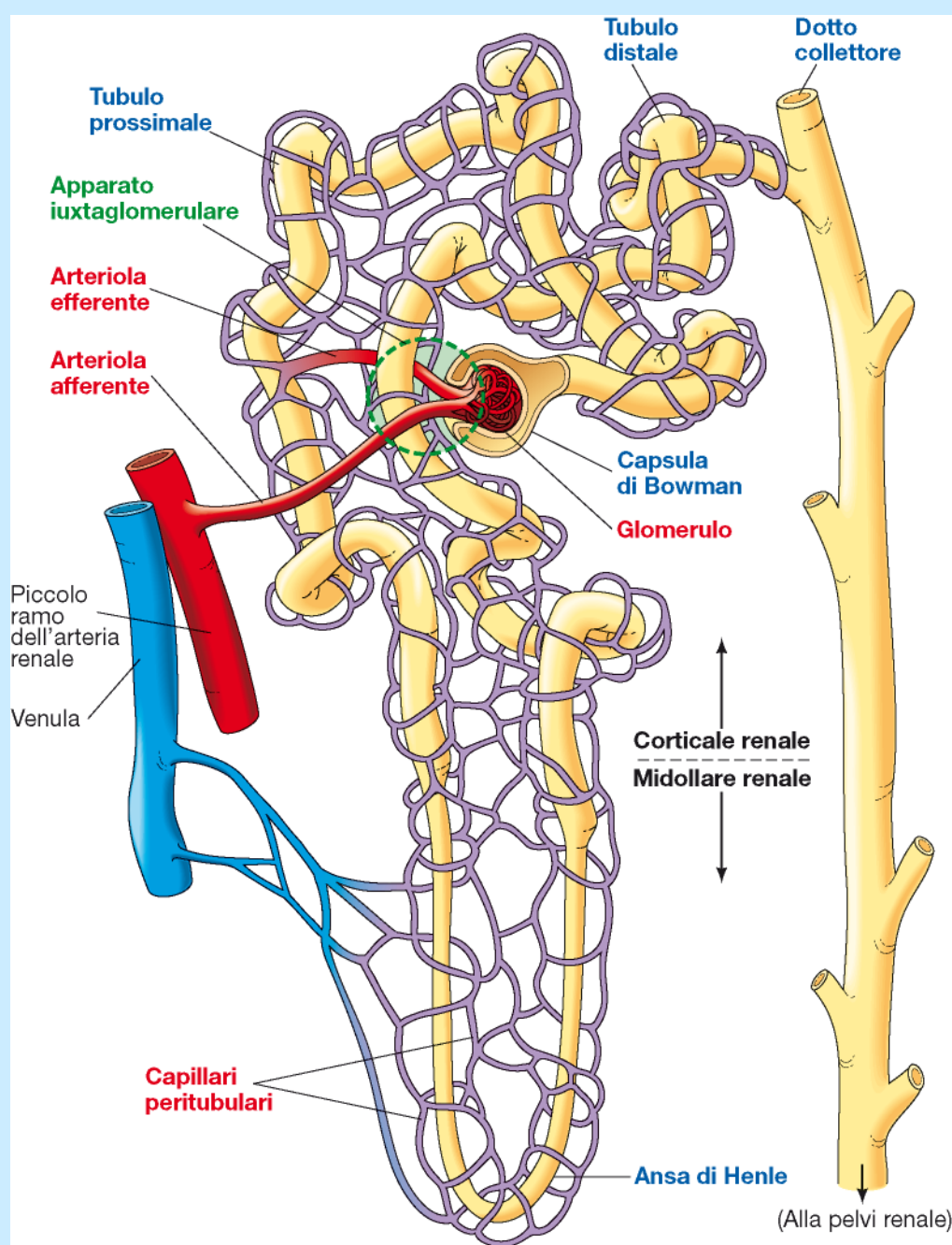
Capillari peritubulari



Arteriola afferente

Arteriole efferente

Glomerulo



### Rassegna delle funzioni delle parti di un nefrone

#### Componente vascolare

- **Arteriola afferente** – trasporta sangue al glomerulo
- **Glomerulo** – un gomitolo di capillari che filtra un plasma privo di proteine nella componente tubulare
- **Arteriola efferente** – raccoglie il sangue refluo dal glomerulo
- **Capillari peritubulari** – irrorano di sangue il tessuto renale; intervengono negli scambi con il liquido che fluisce nel lume tubulare

#### Componente mista vascolare/tubulare

- **Apparato iuxtaglomerulare** – produce sostanze che intervengono nella regolazione della funzione renale

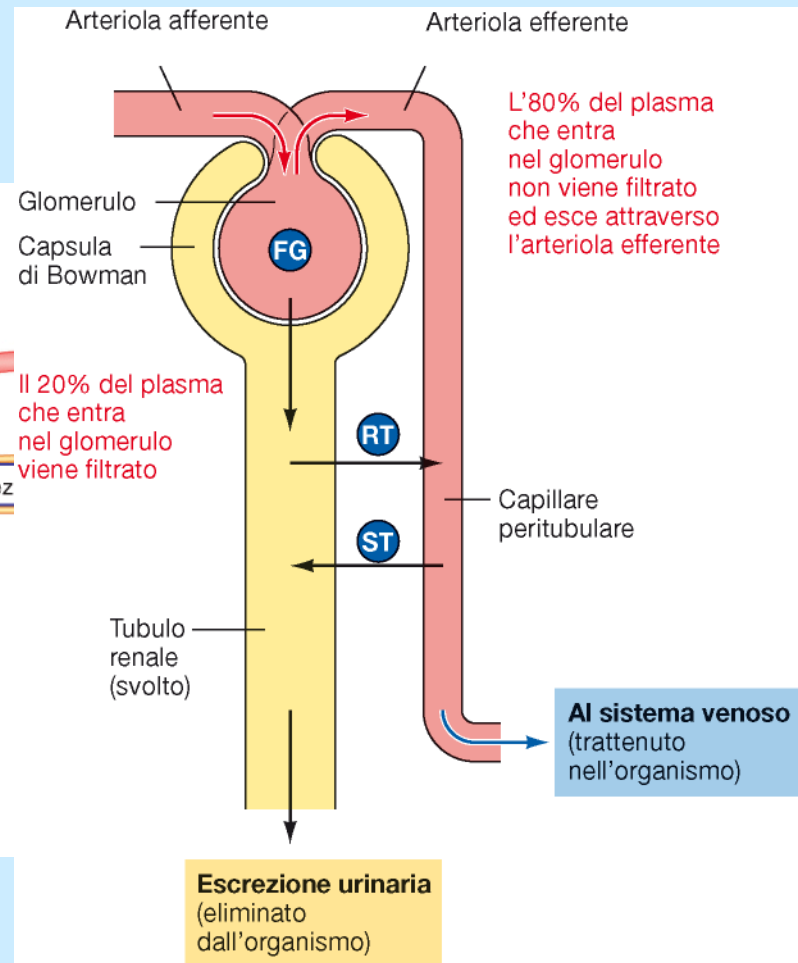
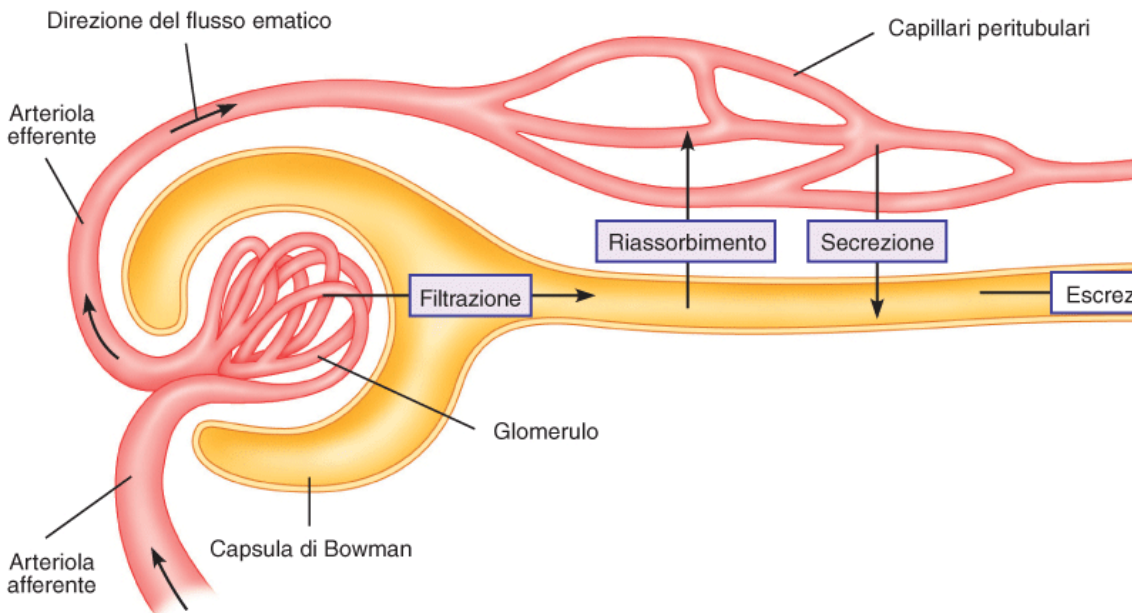
#### Componente tubulare

- **Capsula di Bowman** – raccoglie il filtrato glomerulare
- **Tubulo prossimale** – vi hanno luogo il riassorbimento e la secrezione non regolati di sostanze selezionate
- **Ansa di Henle** – stabilisce nella midollare renale un gradiente osmotico che ha un ruolo importante nella capacità del rene di produrre urine di concentrazione variabile
- **Tubulo distale e dotto collettore** – vi hanno luogo il riassorbimento variabile, regolato, di  $\text{Na}^+$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , e la secrezione regolata di  $\text{K}^+$  e  $\text{H}^+$ ; il liquido che esce dal dotto collettore è urina che entra nella pelvi renale

□ Una delle funzioni primarie del rene è eliminare dal sangue, riversandole nelle urine, sostanze non necessarie, e trattenere le sostanze necessarie.

La formazione dell'urina deriva da tre processi:

- **Filtrazione glomerulare**
- **Riassorbimento tubulare**
- **Secrezione tubulare**



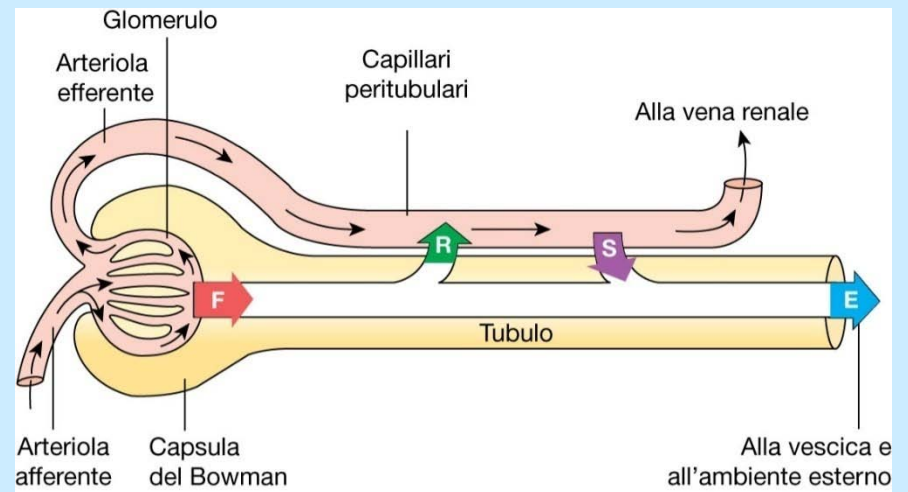
- FG** **Filtrazione glomerulare:** filtrazione non selettiva del plasma privo di proteine dal glomerulo alla capsula di Bowman
- RT** **Riassorbimento tubulare:** movimento selettivo di sostanze filtrate dal lume tubulare ai capillari peritubulari
- ST** **Secrezione tubulare:** movimento selettivo di sostanze non filtrate dai capillari peritubulari al lume tubulare



**TABELLA 19-1**

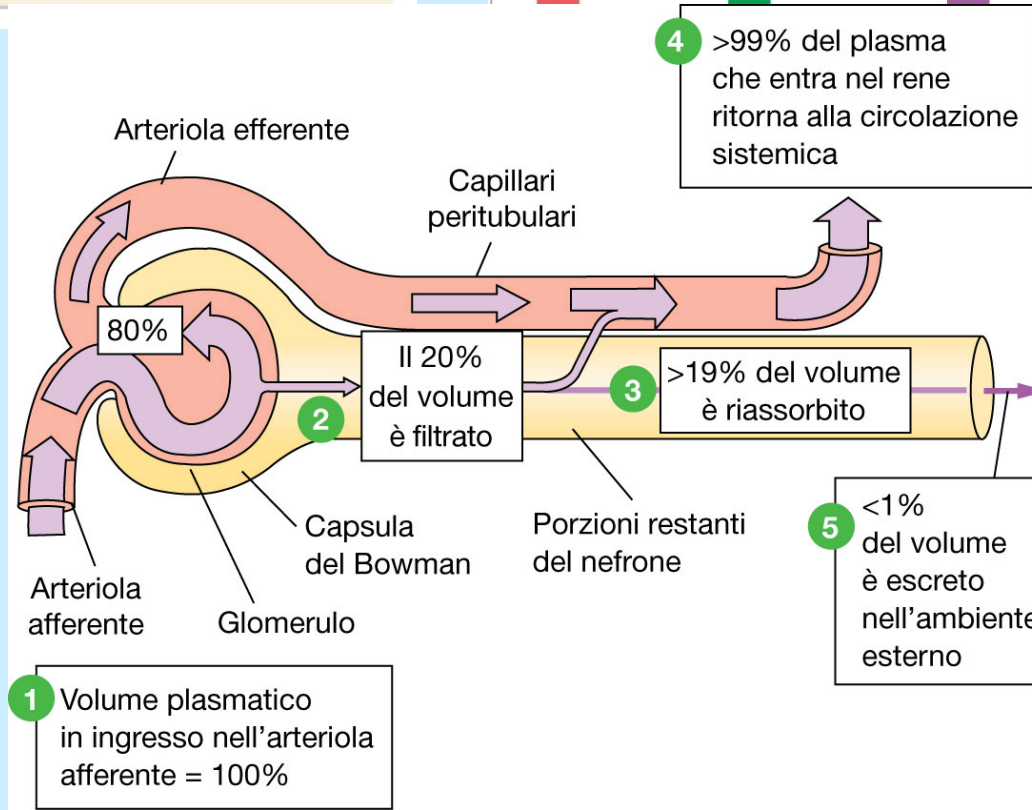
**Variazioni di volume e osmolarità del filtrato lungo il nefrone**

REGIONE DEL NEFRONE	VOLUME DEL LIQUIDO	OSMOLARITÀ DEL LIQUIDO
Capsula del Bowman	180 L/die	300 mOsM
Fine del tubulo prossimale	54 L/die	300 mOsM
Fine dell'ansa di Henle	18 L/die	100 mOsM
Fine del dotto collettore (urina finale)	1,5 L/die (media)	50-1200 mOsM

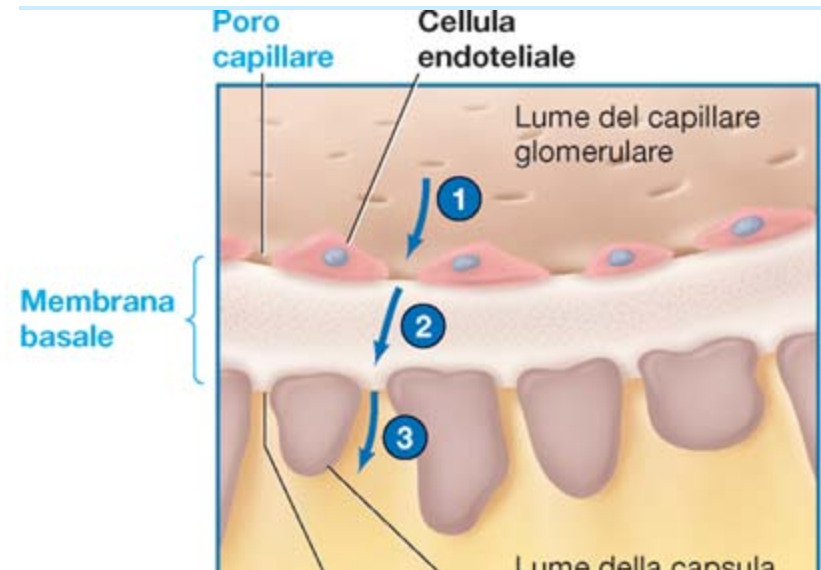
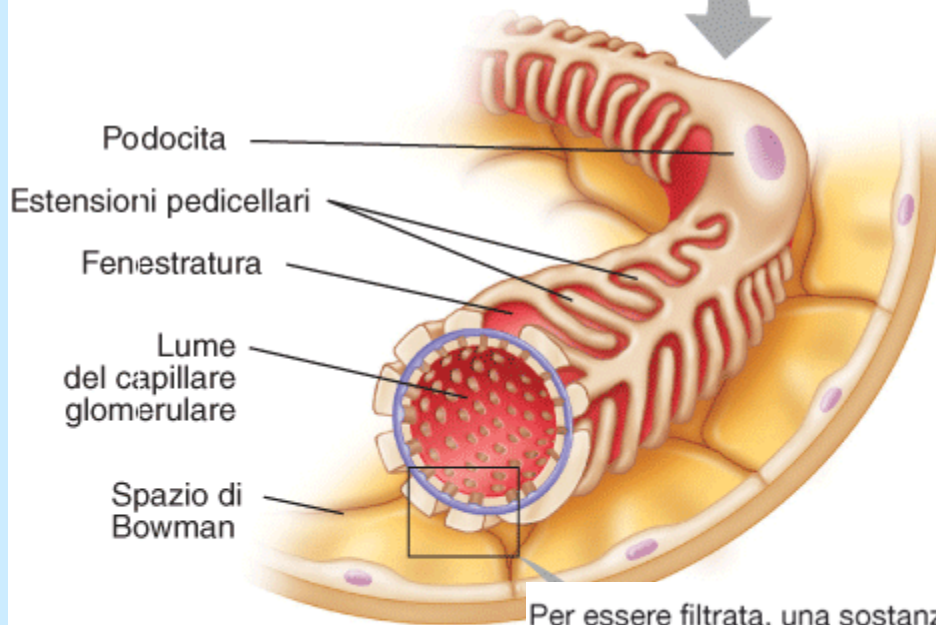
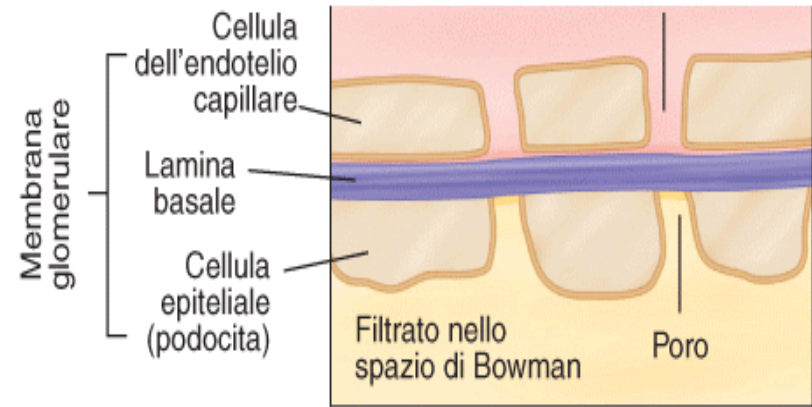
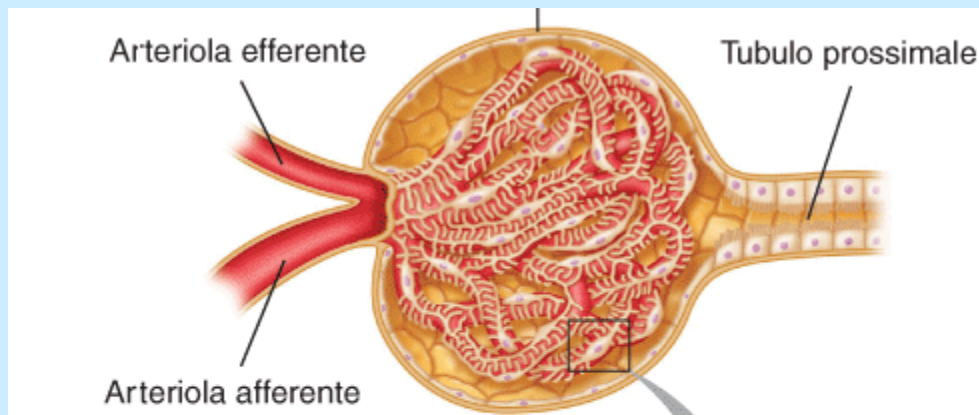


$$\text{Quantità filtrata (F)} - \text{quantità riassorbita (R)} + \text{quantità secreta (S)} = \text{Quantità di soluto escretata (E)}$$

I processi tubulari altamente selettivi operano sul filtrato per restituire al sangue un liquido avente la composizione e il volume necessari per mantenere costante l'ambiente liquido interno.



# FILTRAZIONE GLOMERULARE



Per essere filtrata, una sostanza deve passare attraverso:

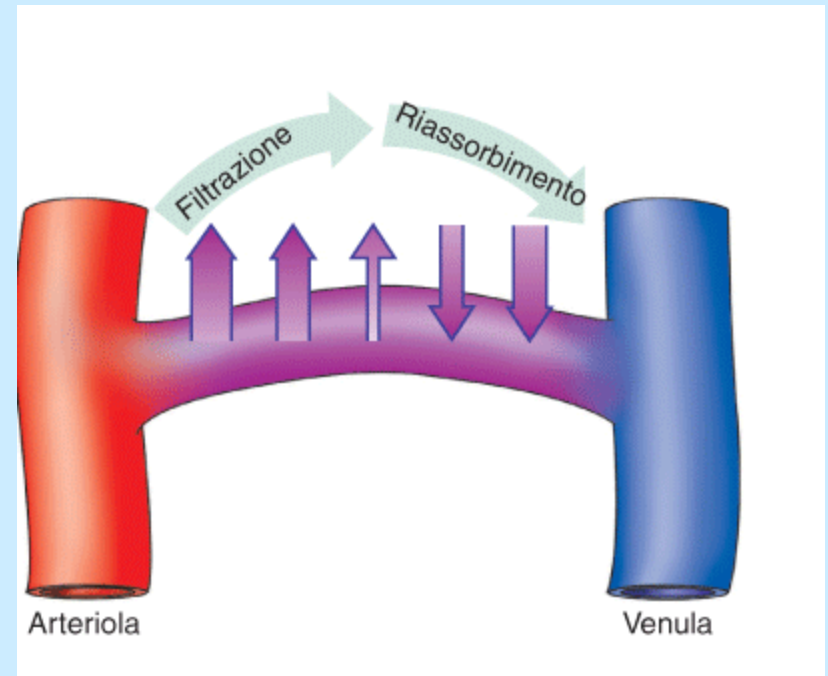
- 1 i pori tra le cellule endoteliali del capillare glomerulare;
- 2 una membrana basale acellulare;
- 3 le fessure di filtrazione tra i pedicelli dei podociti dello strato interno della capsula di Bowman.

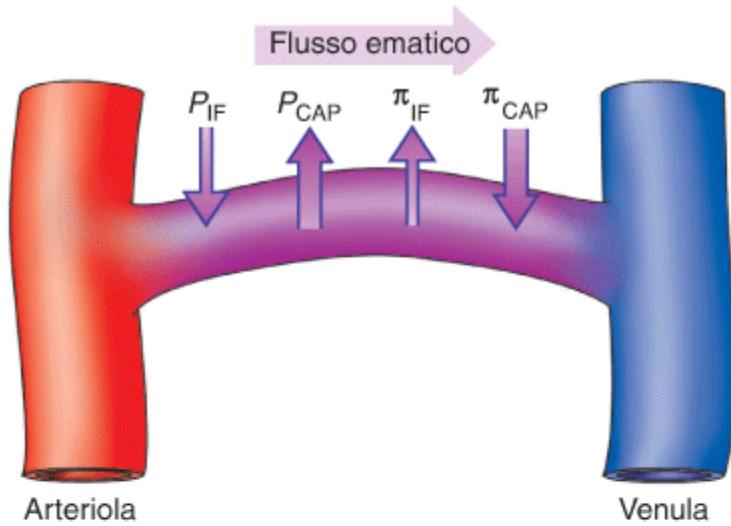
**LA FILTRAZIONE DEL CORPUSCOLO RENALE** è sotto il controllo delle forze di Starling (gradienti di pressione idrostatica e osmotica) che esistono tra le pareti dei capillari glomerulari.

Queste forze sono le stesse che guidano la filtrazione del liquido dai capillari di tutto l'organismo.

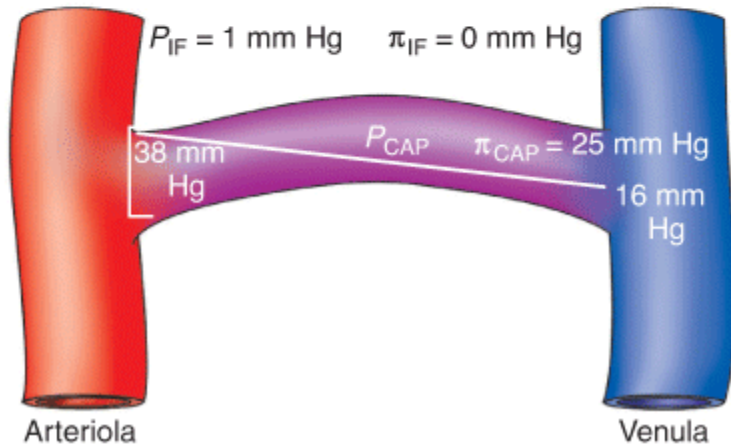
I capillari glomerulari sono molto più permeabili degli altri capillari, quindi viene filtrato più liquido per una data pressione di filtrazione.

Il bilancio delle forze che agiscono attraverso la membrana glomerulare è tale che la filtrazione avviene lungo l'intero decorso dei capillari.





(a)



Estremità arteriolare

Pressione di  
filtrazione

$$\frac{P_{CAP} = 38 \text{ mm Hg}}{\pi_{IF} = 0 \text{ mm Hg}}$$

Pressione di  
assorbimento

$$\frac{\pi_{CAP} = 25 \text{ mm Hg}}{P_{IF} = 1 \text{ mm Hg}}$$

PNF = Pressione di filtrazione  
– Pressione di assorbimento

$$= 38 \text{ mm Hg} - 26 \text{ mm Hg} = 12 \text{ mm Hg}$$

(b)

Estremità venulare

Pressione di  
filtrazione

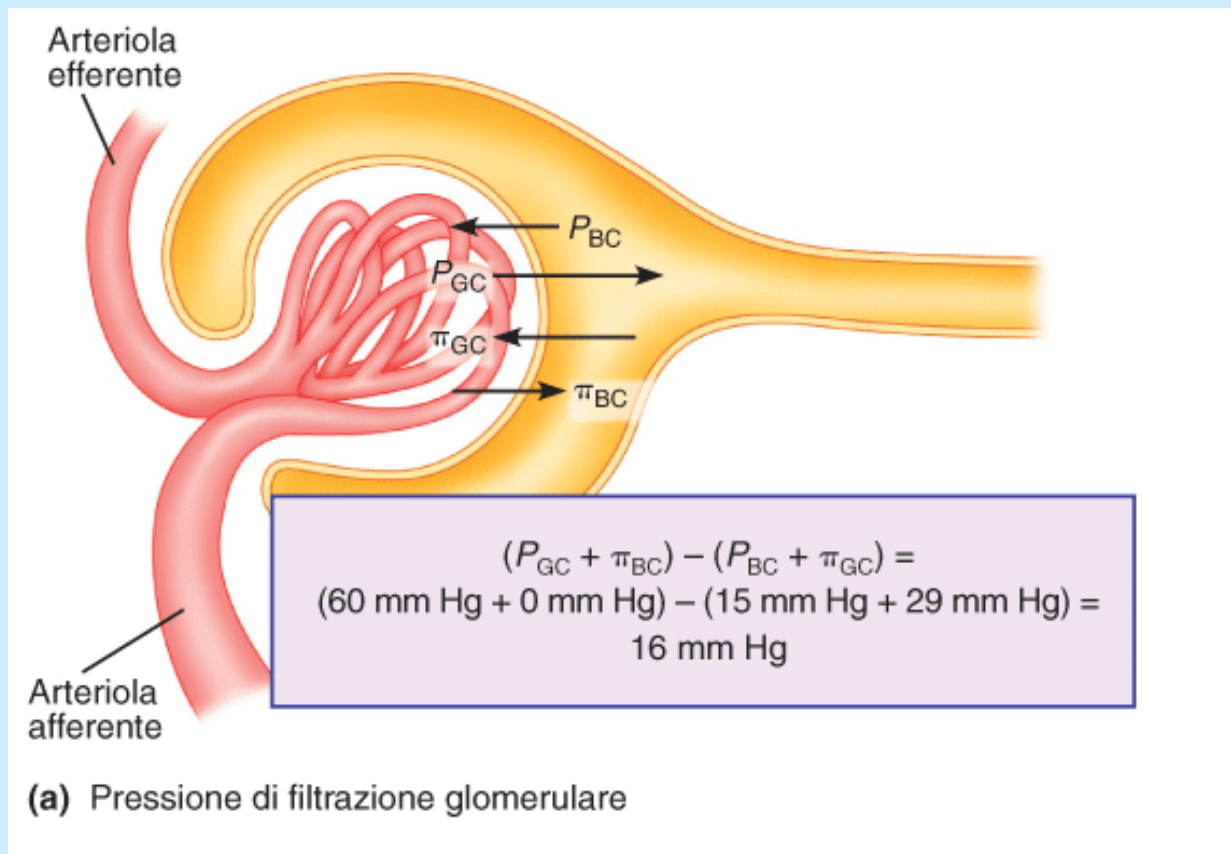
$$\frac{P_{CAP} = 16 \text{ mm Hg}}{\pi_{IF} = 0 \text{ mm Hg}}$$

Pressione di  
assorbimento

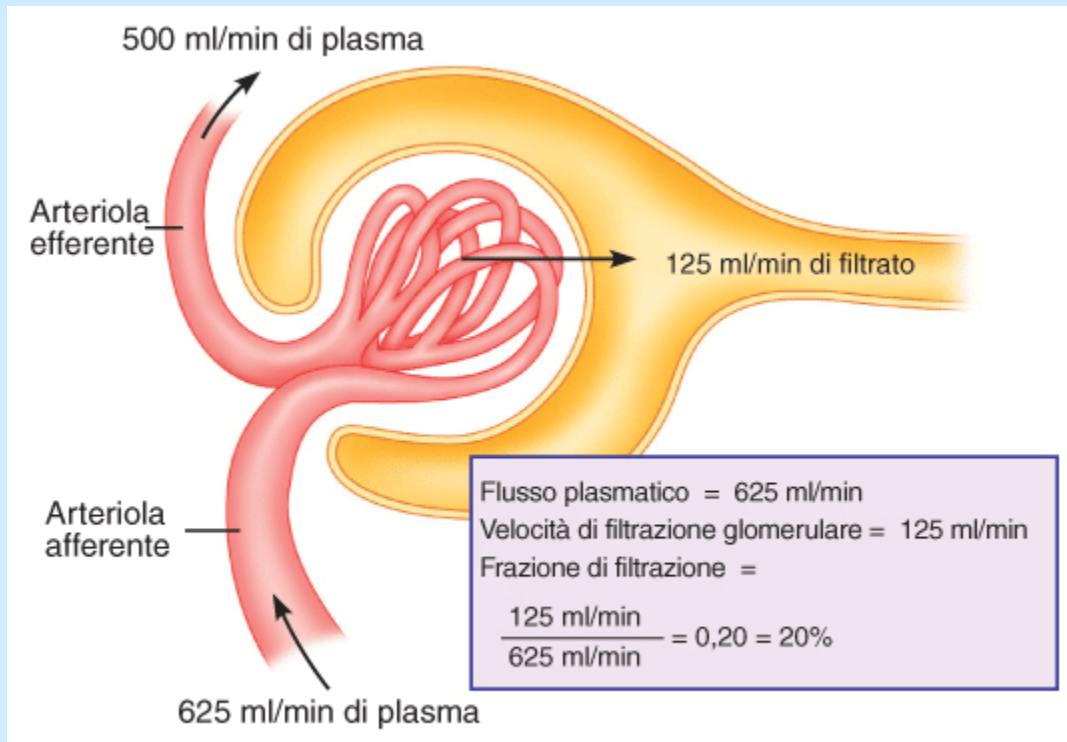
$$\frac{\pi_{CAP} = 25 \text{ mm Hg}}{P_{IF} = 1 \text{ mm Hg}}$$

PNF = Pressione di filtrazione  
– Pressione di assorbimento

$$= 16 \text{ mm Hg} - 26 \text{ mm Hg} = -10 \text{ mm Hg}$$



**Filtrazione glomerulare. (a)** La pressione di filtrazione glomerulare è risultato di quattro forze di Starling: (1) la pressione idrostatica nei capillari glomerulari ( $P_{GC}$ ), (2) la pressione idrostatica nella capsula di Bowman ( $P_{BC}$ ), (3) la pressione oncotica nei capillari glomerulari ( $\pi_{GC}$ ) e (4) la pressione oncotica nella capsula di Bowman ( $\pi_{BC}$ ). La pressione netta di filtrazione è di 16 mm Hg.

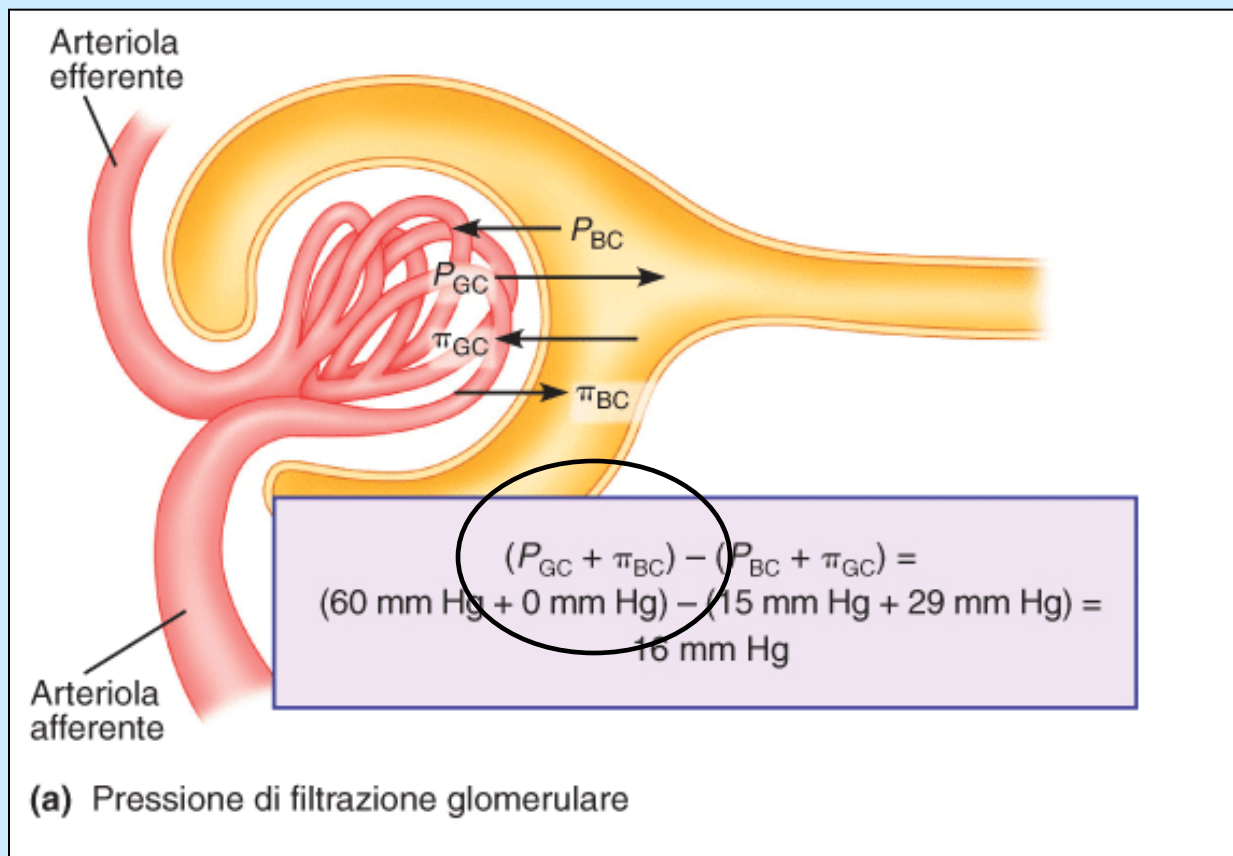


**VFG** velocità di filtrazione glomerulare è il volume di plasma filtrato nell'unità di tempo ed è circa 125 ml/min. pertanto in un giorno i reni filtrano 180 litri di plasma.

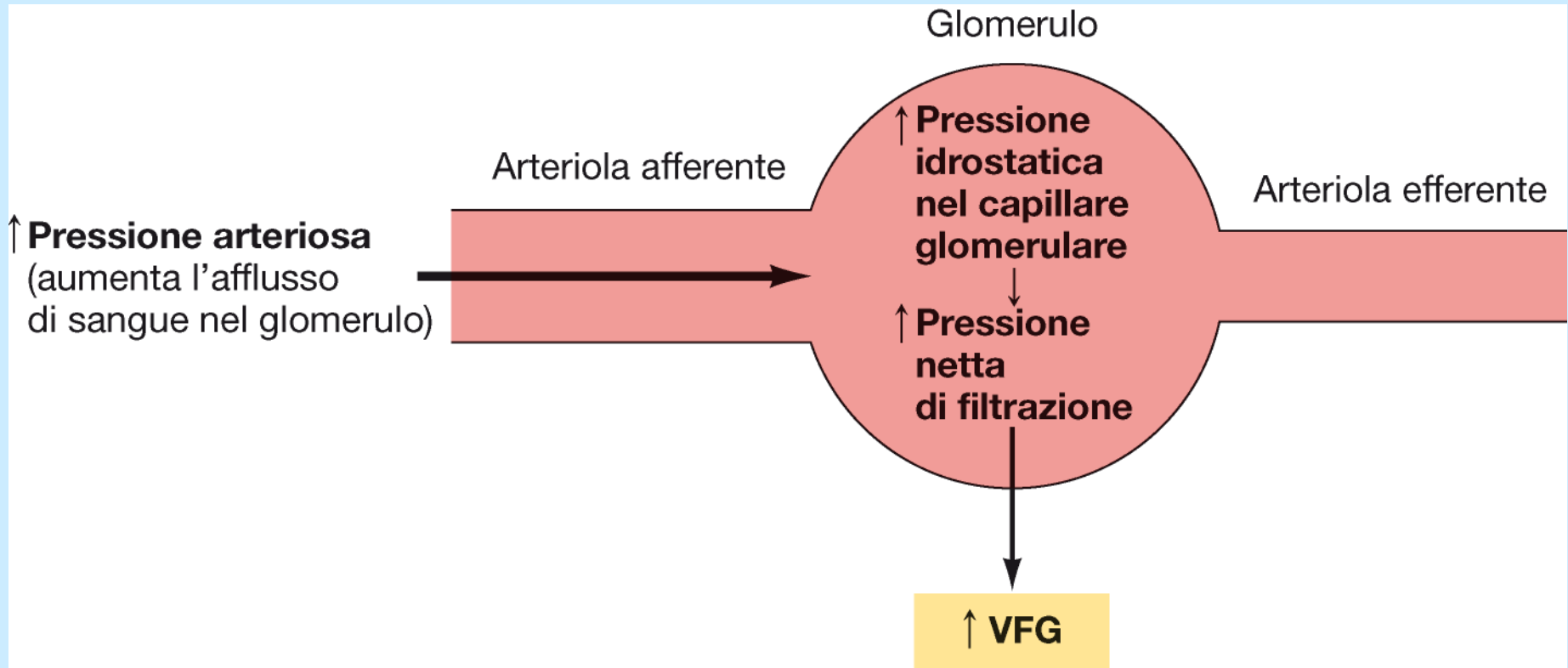
**Frazione di filtrazione** è la frazione di volume plasmatico renale che viene filtrato

**Carico filtrato** è la quantità di un soluto filtrato nell'unità di tempo  
 $VFG \times [sost]_{\text{plasmatica}}$

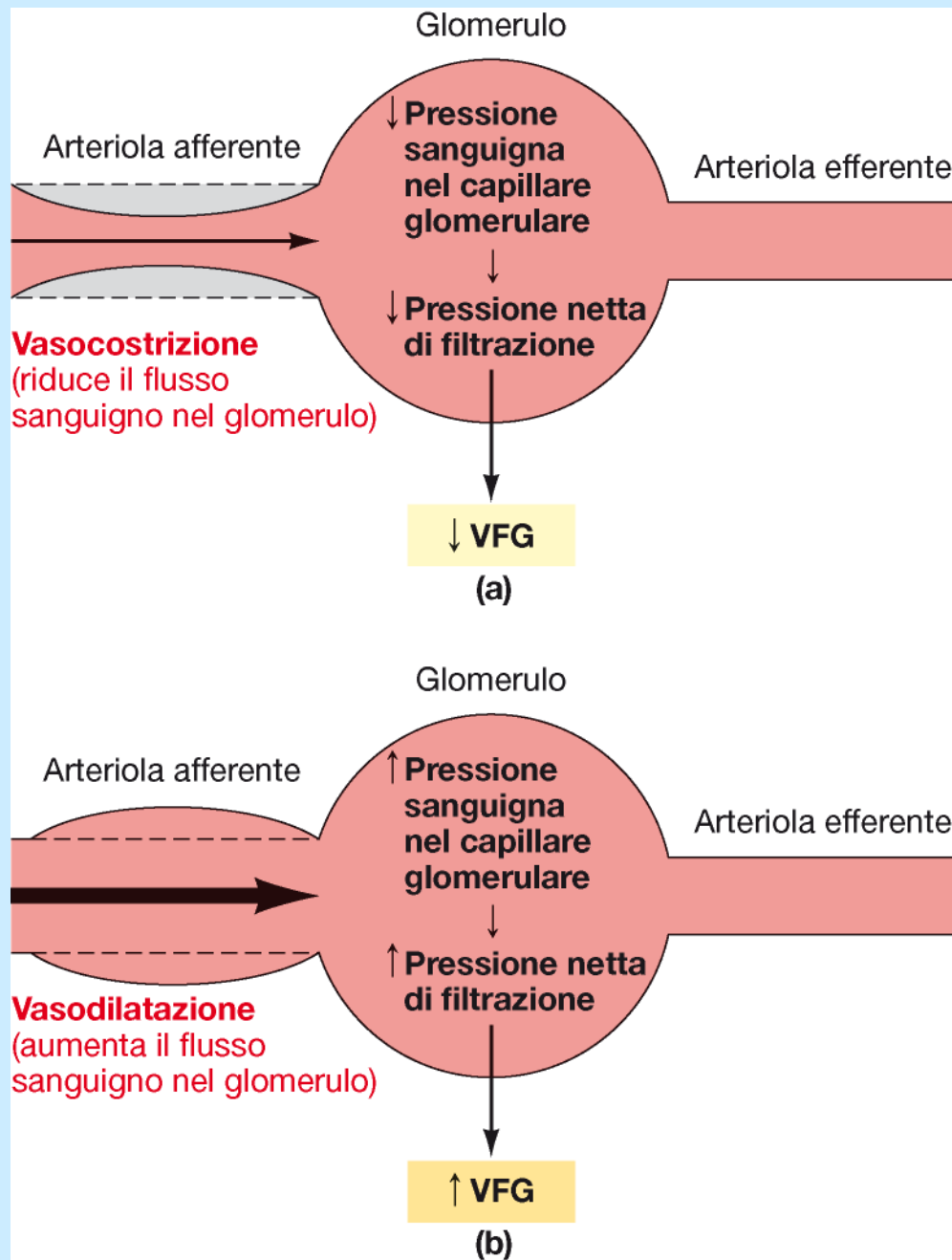
- (b)** La velocità di filtrazione glomerulare è il volume di liquido che nell'unità di tempo passa dai capillari glomerulari nella capsula di Bowman  
 La frazione di filtrazione è la porzione di plasma renale che è filtrato nella capsula di Bowman.  
 Il valore normale della frazione di filtrazione è 20%



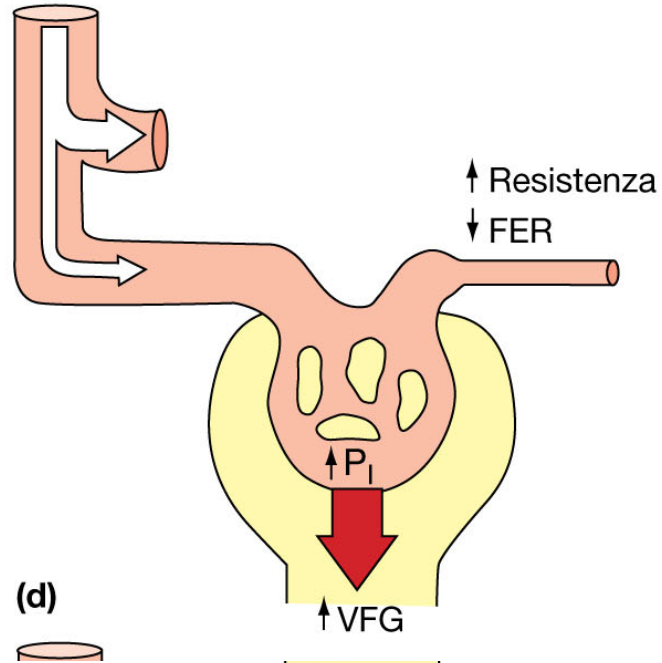
Poiché il sangue può entrare più facilmente nel glomerulo attraverso l'arteriola afferente di calibro maggiore che uscire attraverso l'arteriola efferente di calibro minore, la pressione idrostatica nei capillari glomerulari viene mantenuta elevata per effetto dell'accumulo di sangue. Inoltre, a causa dell'elevata resistenza offerta dalle arteriole efferenti, la pressione sanguigna non ha la stessa tendenza a diminuire lungo il decorso dei capillari glomerulari che ha lungo gli altri capillari.



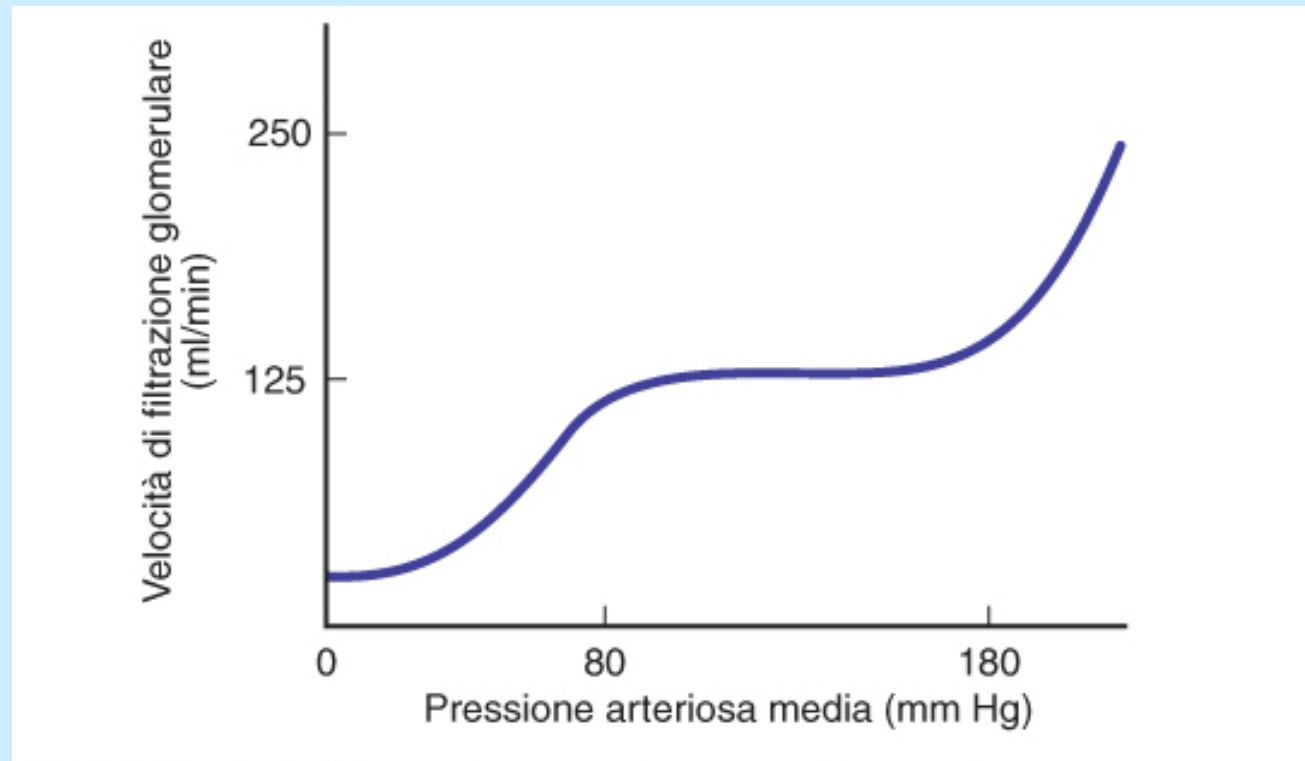




(c) L'aumento della resistenza dell'arteria efferente riduce il flusso ematico renale ma aumenta la  $P_i$  e la VFG.

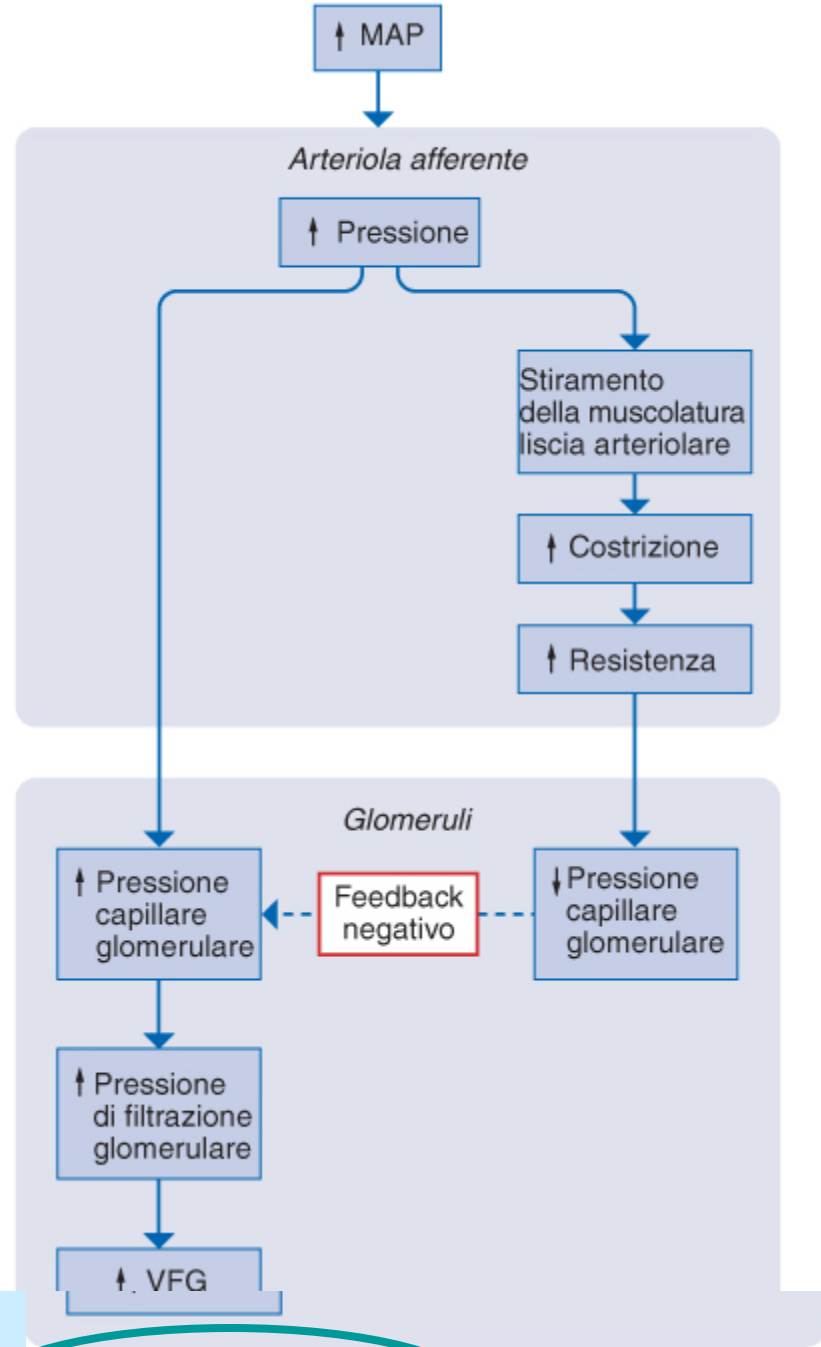


# Regolazione della velocità di filtrazione glomerulare

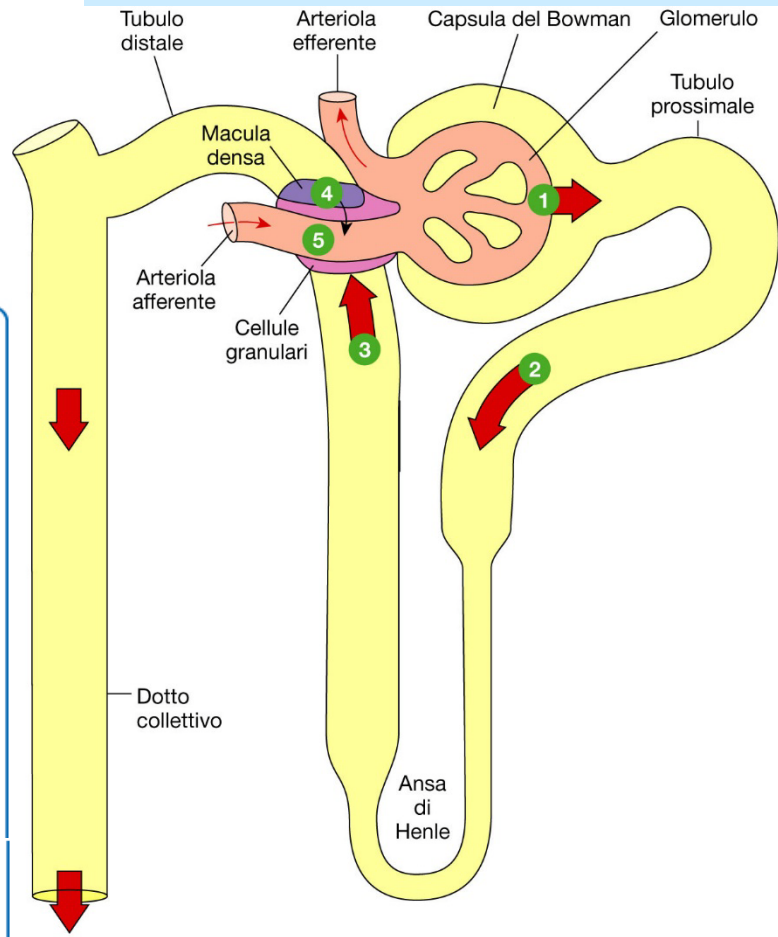
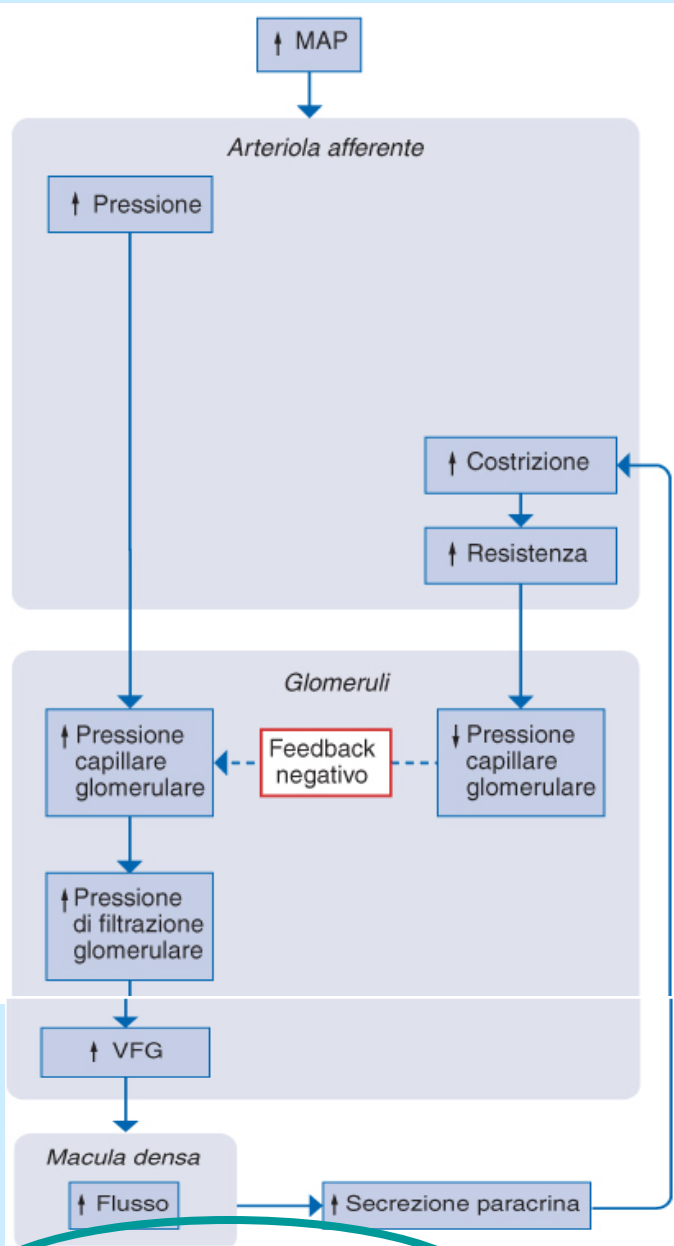


**Effetti della pressione arteriosa media sulla velocità di filtrazione glomerulare.** Tra 80 mm Hg e 180 mm Hg la velocità di filtrazione glomerulare non si modifica al variare della pressione arteriosa media grazie all'azione dei meccanismi di regolazione intrinseci.

# Controllo intrinseco della velocità di filtrazione glomerulare



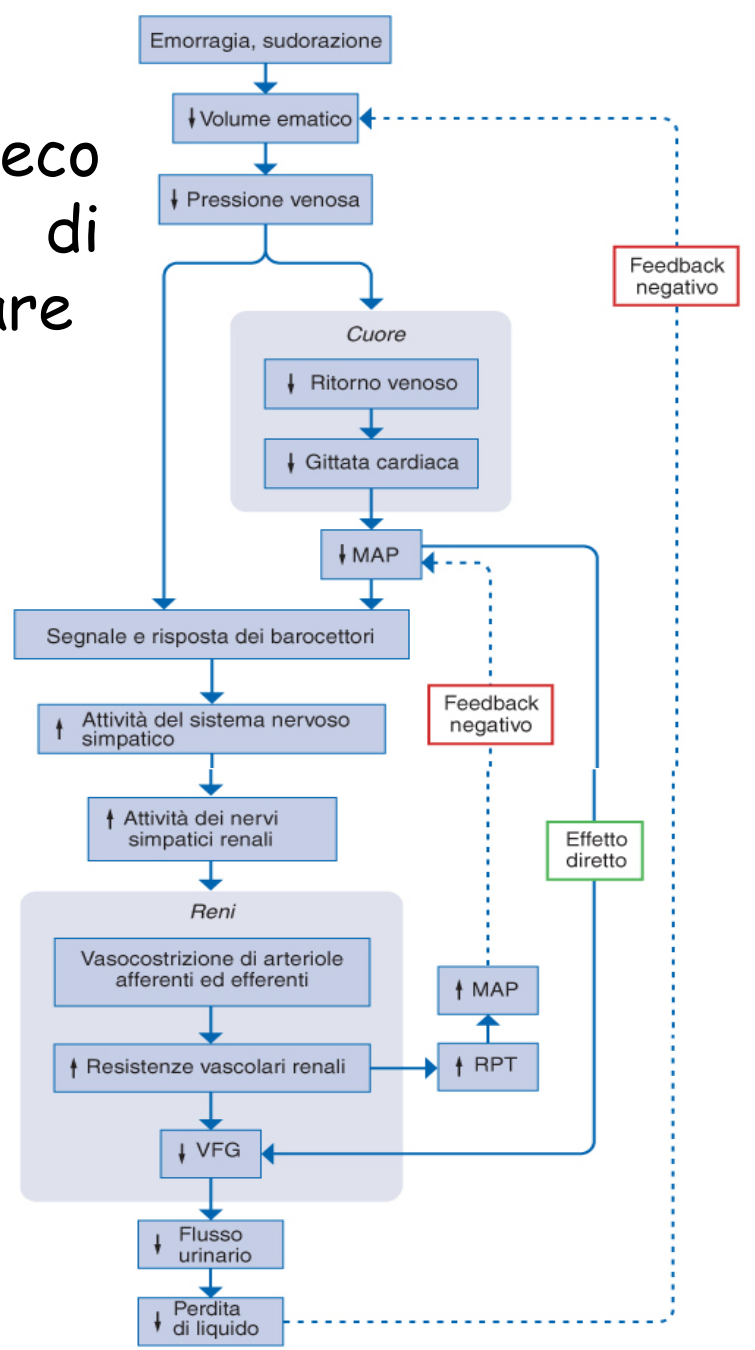
(a) Regolazione miogena

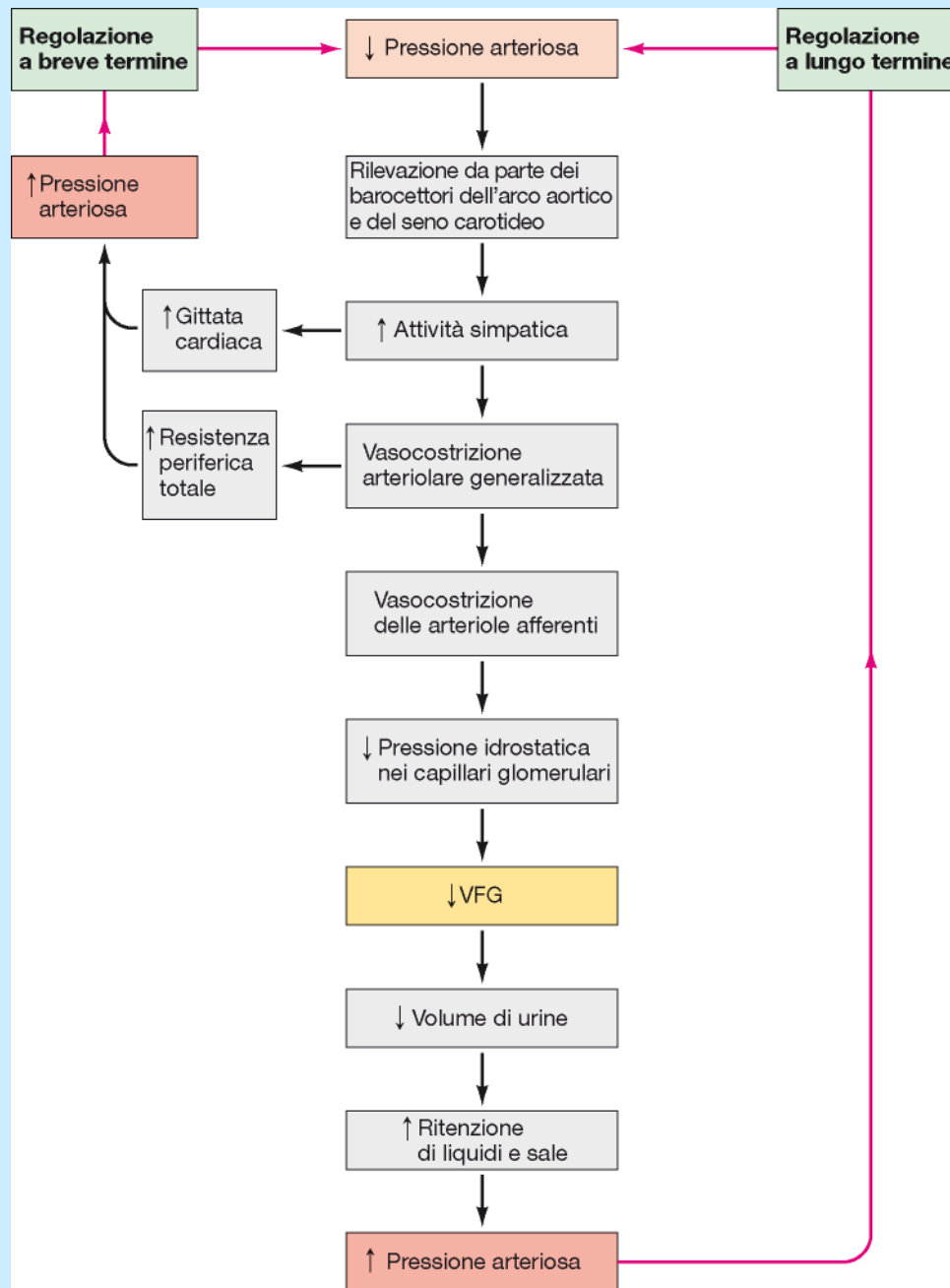


- 1 La VFG aumenta.
  - 2 Il flusso nel tubulo aumenta.
  - 3 Il flusso a livello della macula densa aumenta.
  - 4 Sostanze paracrine diffondono dalla macula densa all'arteriola afferente.
  - 5 L'arteriola afferente si costringe.
- La resistenza dell'arteriola afferente aumenta.
- La pressione idrostatica nel glomerulo diminuisce.
- La VFG diminuisce.

**(b) Feedback tubulo-glomerulare**

# Controllo estrinseco della velocità di filtrazione glomerulare





Anche altri meccanismi, come l'aumento del riassorbimento tubulare di acqua e di sale e l'aumento della sete, contribuiscono al mantenimento a lungo termine della pressione arteriosa, contribuendo a ripristinare il volume plasmatico nonostante le perdite

## Le urine si formano mediante tre processi:

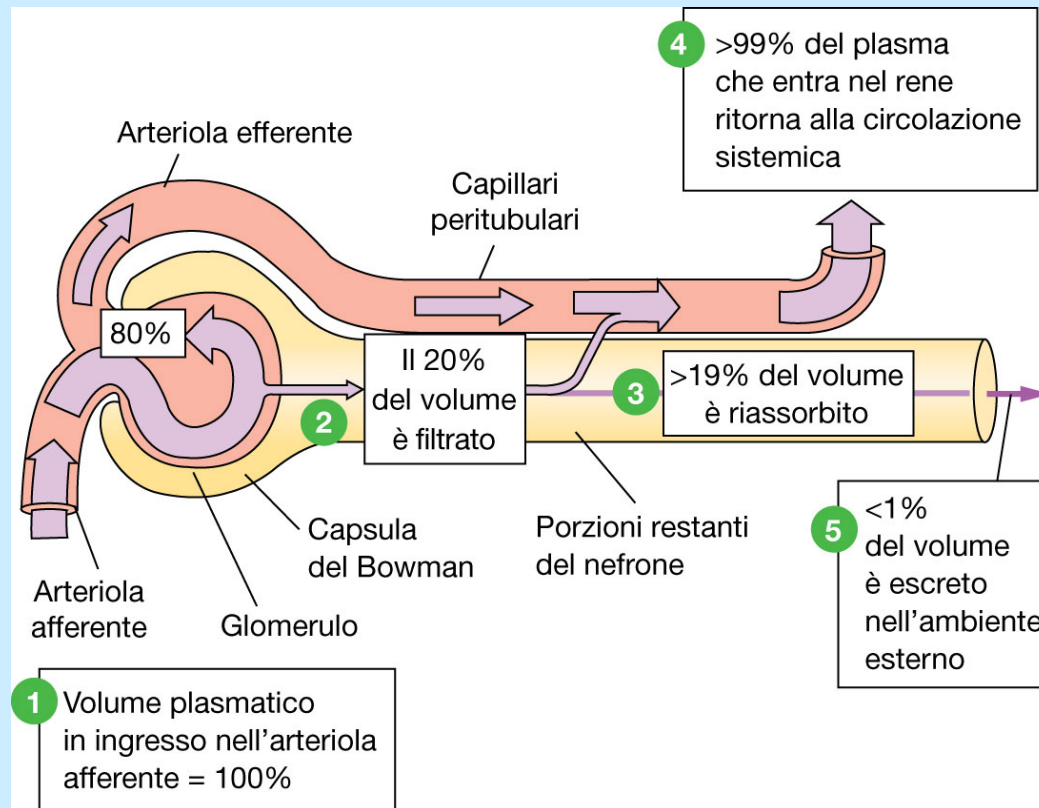
- Filtrazione glomerulare
- Riassorbimento di acqua e soluti dall'ultrafiltrato
- Secrezione selettiva di alcune sostanze che vengono trasferite dai capillari peritubulari al liquido tubulare

I tubuli renali modificano **composizione e volume** dell'ultrafiltrato



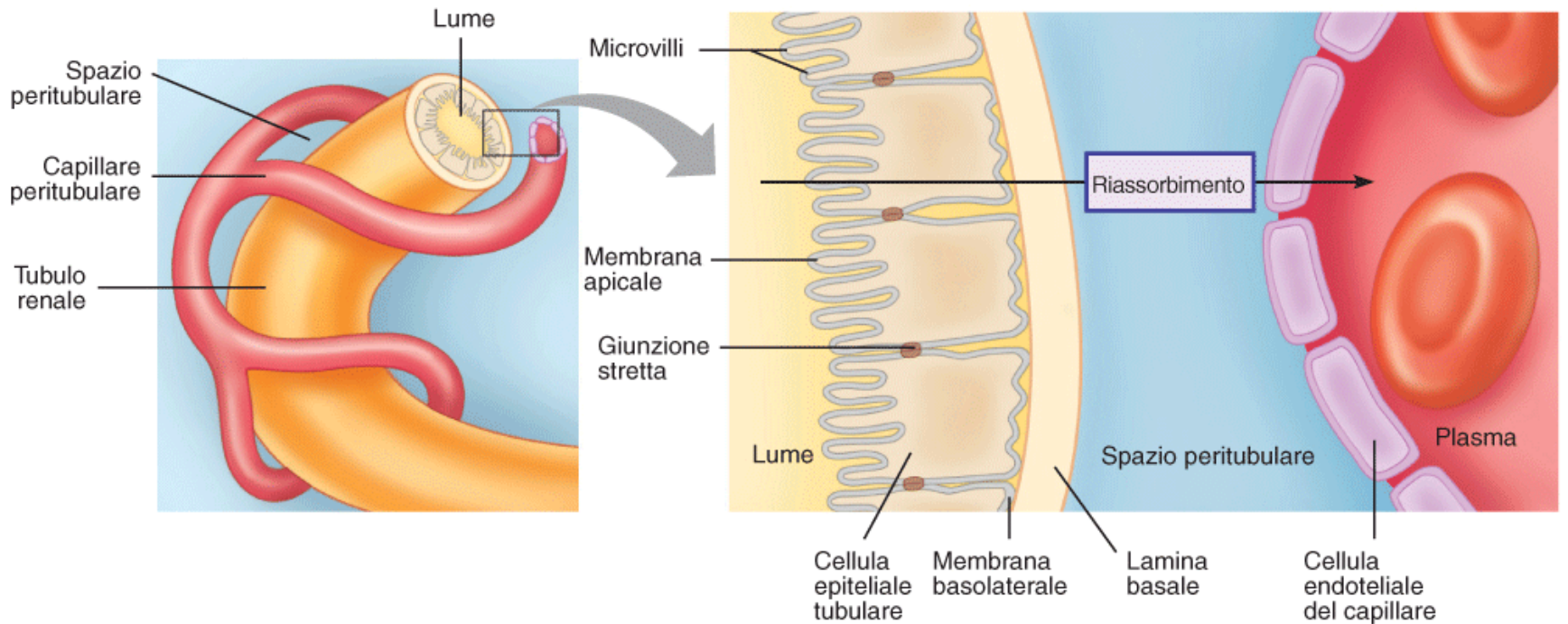
# RIASSORBIMENTO

Dei 125 mL/min filtrati, 124 mL/min vengono riassorbiti.  
I tubuli riassorbono il 99% dell'acqua filtrata, il 100% dello zucchero filtrato e il 99,5 % del sale filtrato.

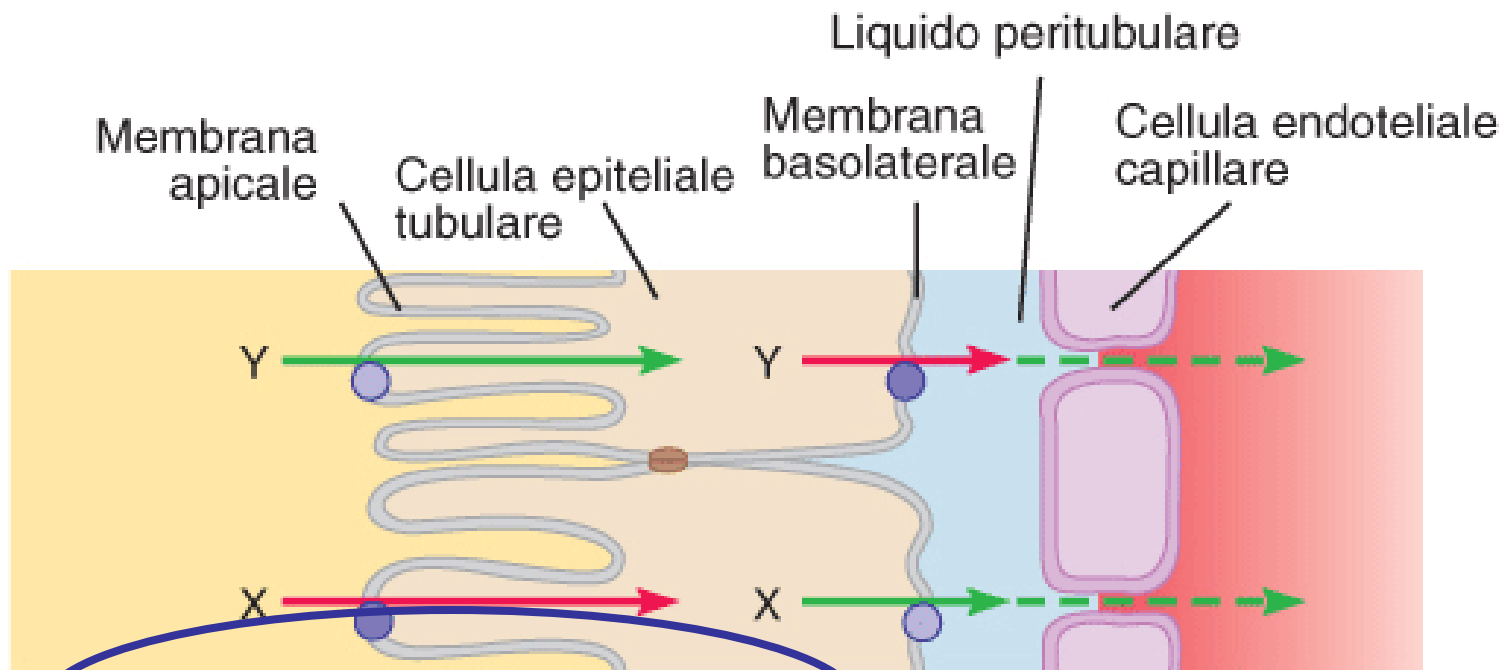


<b>Sostanza</b>	<b>Filtrazione</b>	<b>Riassorbimento</b>	<b>% carico filtrato riassorbito</b>
Acqua	180 L/giorno	178,5 L/giorno	99,2%
Glucosio	800 mmoli/giorno	800 mmoli/giorno	100%
Urea	933 mmoli/giorno	467 mmoli/giorno	50%
Na <sup>+</sup>	25,20 moli/giorno	25,05 moli/giorno	99,4%
K <sup>+</sup>	720 mmoli/giorno	620 mmoli/giorno	86,1%
Ca <sup>2+</sup>	540 mmoli/giorno	530 mmoli/giorno	98,1%
Cl <sup>-</sup>	18 moli/giorno	17,85 moli/giorno	99,2%
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,320 moli/giorno	4,318 moli/giorno	99,9%

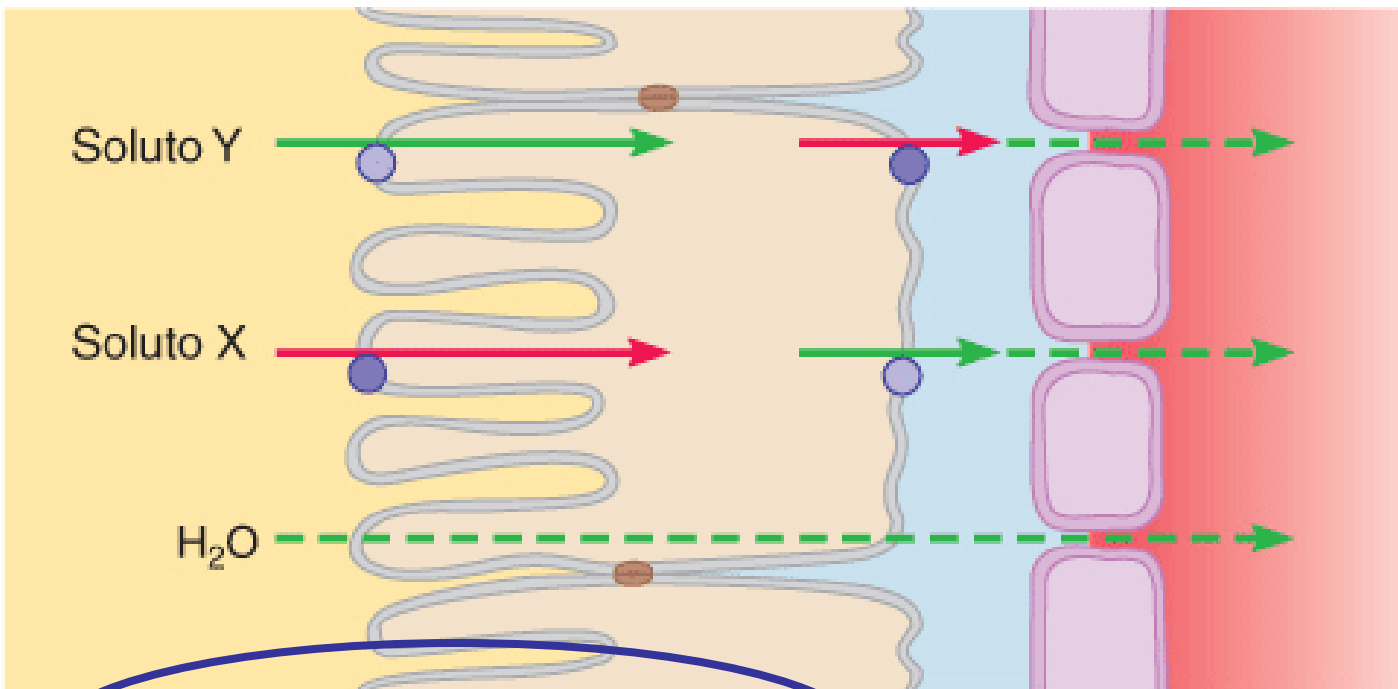
# Riassorbimento tubulare



Il riassorbimento tubulare dei soluti avviene tramite meccanismi passivi (diffusione) ed attivi

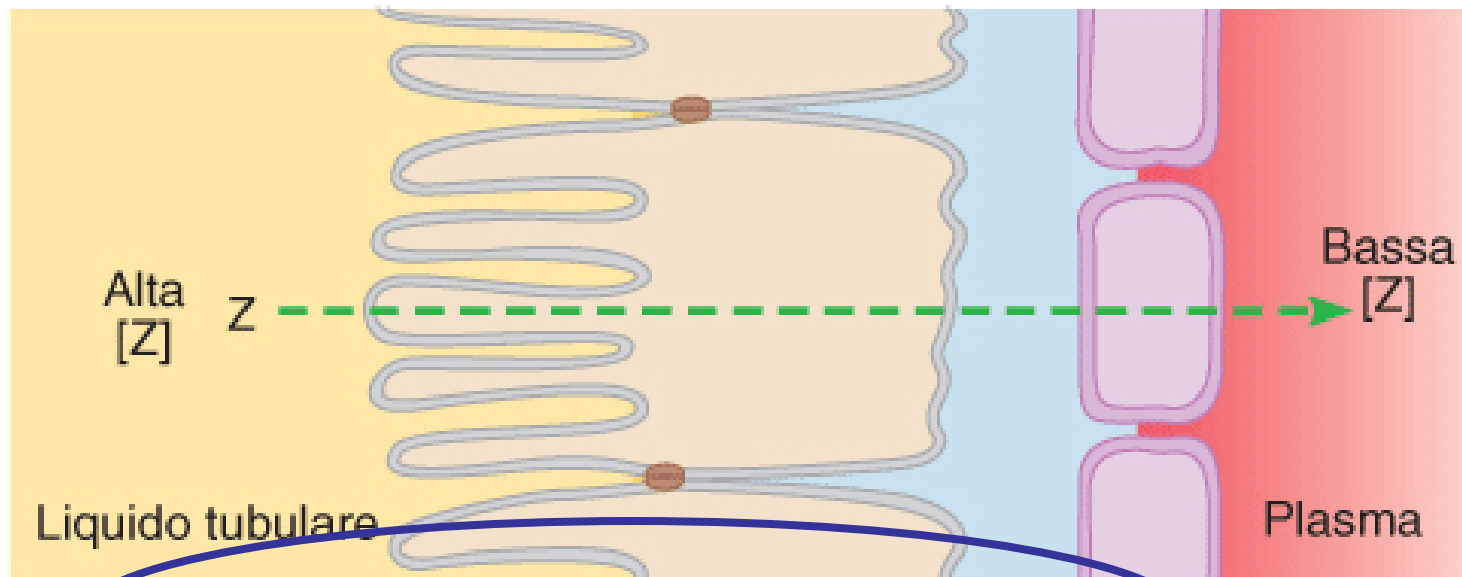


(a) Riassorbimento attivo di soluto

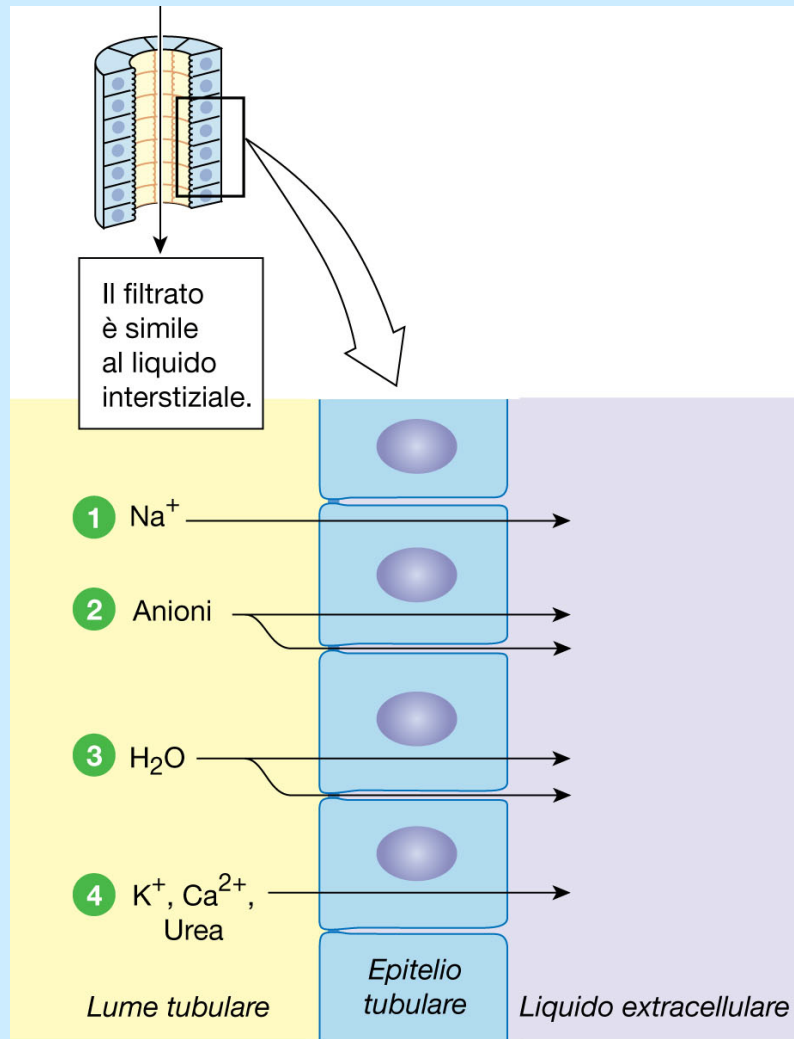


**(b)** Riassorbimento dell'acqua (passivo)

Il riassorbimento dell'acqua segue il riassorbimento dei soluti



**(c)** Riassorbimento passivo del soluto per diffusione



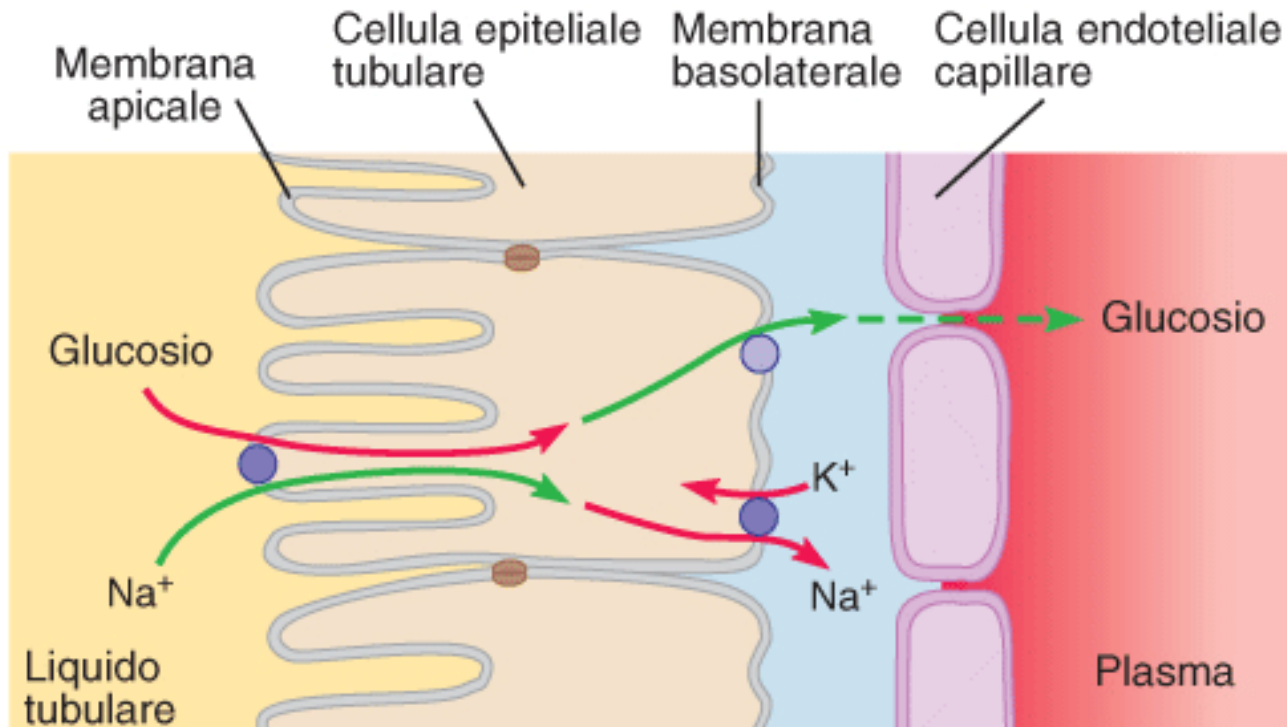
1  $\text{Na}^+$  è riassorbito per trasporto attivo.

2 Il gradiente elettrochimico consente il riassorbimento di anioni.

3 L'acqua fluisce per osmosi, seguendo il riassorbimento di soluti.

4 Le concentrazioni di altri soluti aumentano man mano che il volume del liquido nel lume decresce. I soluti permeabili sono riassorbiti per diffusione.

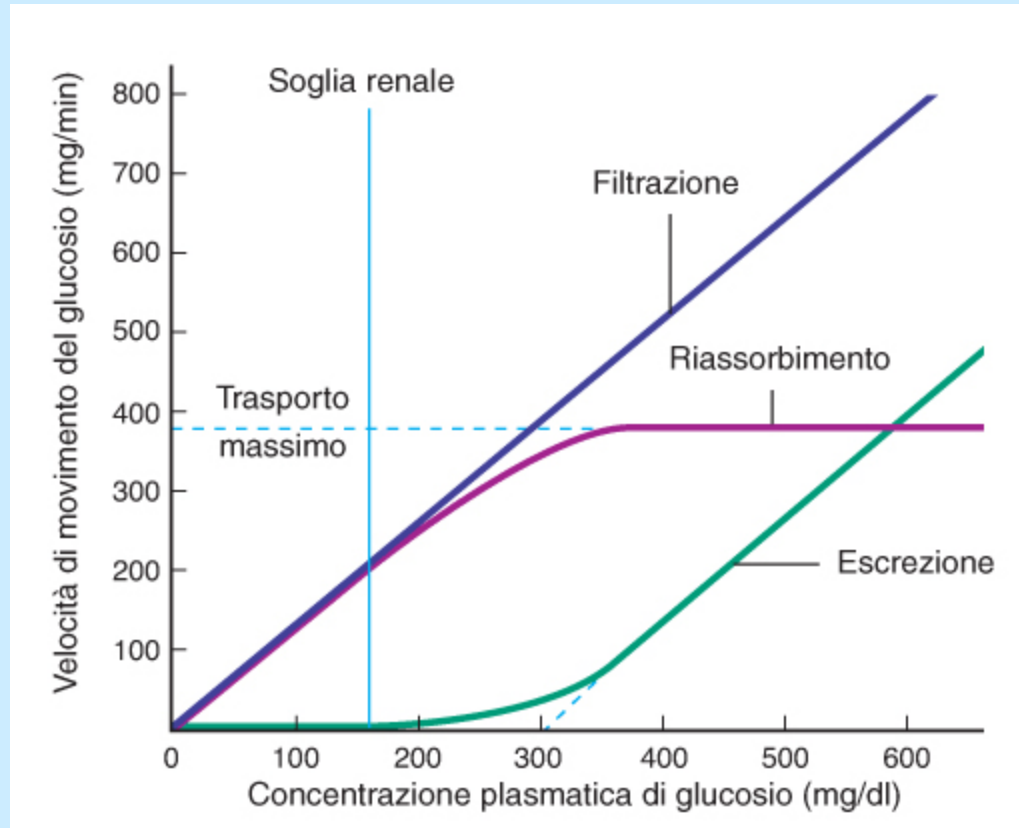
## Meccanismo del riassorbimento del glucosio.





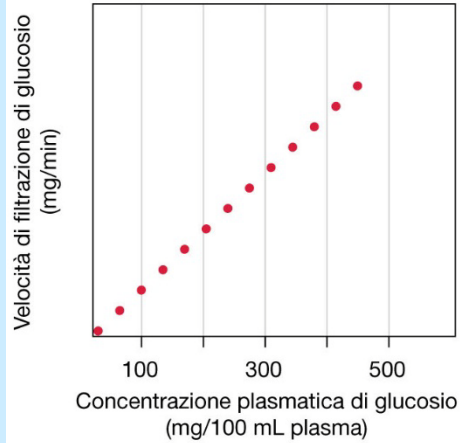
## Trasporto massimo

Per le sostanze riassorbite con meccanismo attivo, esiste un limite alla velocità di trasporto detto **trasporto massimo**, dovuto alla saturazione dei sistemi di trasporto. Si ha saturazione quando il **carico tubulare** è in eccesso rispetto alla disponibilità del trasportatore.

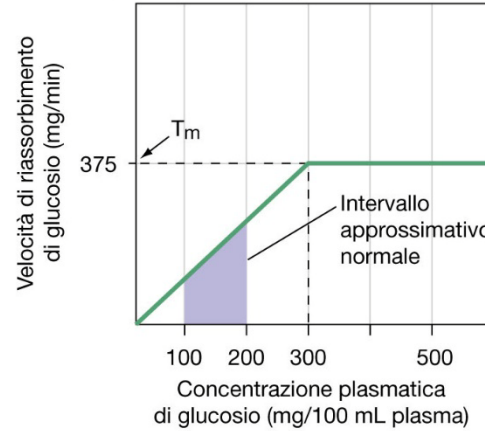


Il  $T_m$  per il riassorbimento di glucosio è 375 mg/min, la soglia renale teorica è 300 mg/dl

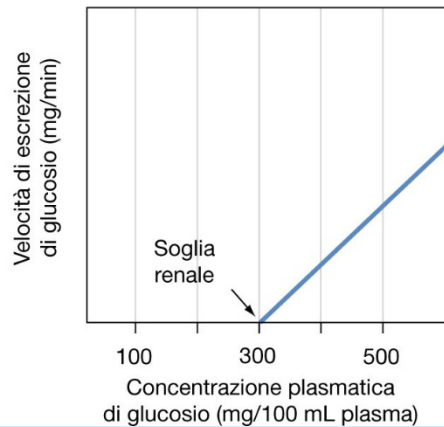
(a) La filtrazione di glucosio è proporzionale alla sua concentrazione plasmatica.



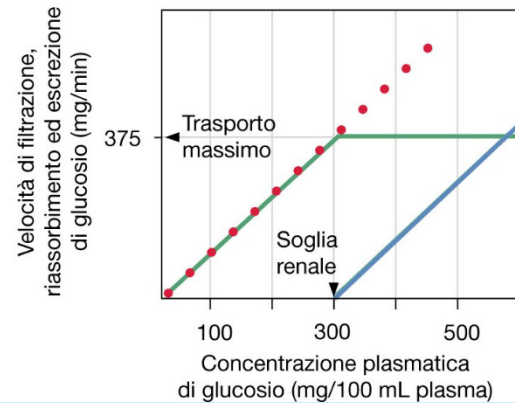
(b) Il riassorbimento di glucosio è proporzionale alla sua concentrazione plasmatica finché si raggiunge il trasporto massimo ( $T_m$ ).



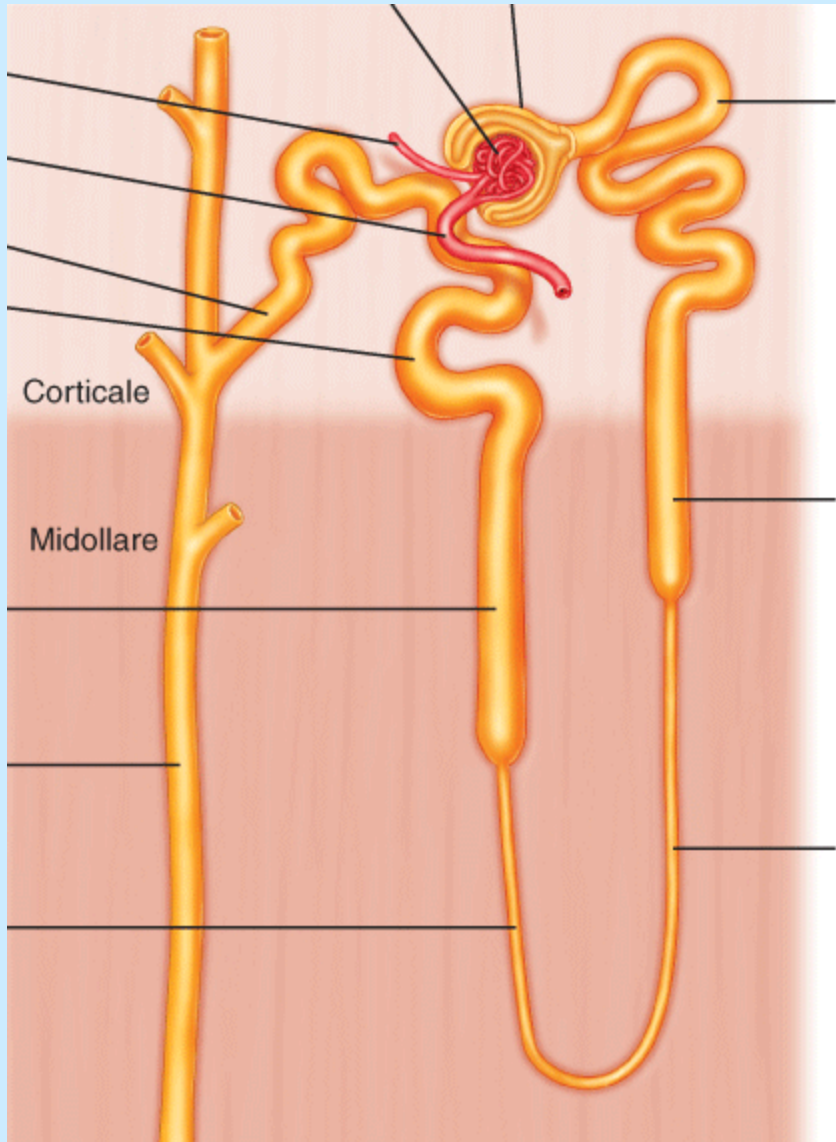
(c) L'escrezione di glucosio è nulla finché non si raggiunge la soglia renale.



(d) La sovrapposizione dei grafici mostra le relazioni tra la filtrazione, il riassorbimento e l'escrezione del glucosio.



# Sostanze riassorbite lungo i diversi segmenti tubulari



**Tubulo prossimale:**  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , glucosio, AA, vitamine, urea, colina

**Ansa di Henle discendente:** acqua

**Ansa di Henle ascendente:**  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$

**Tubo distale:** acqua,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$

**Dotto collettore:**  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$ , urea, acqua.

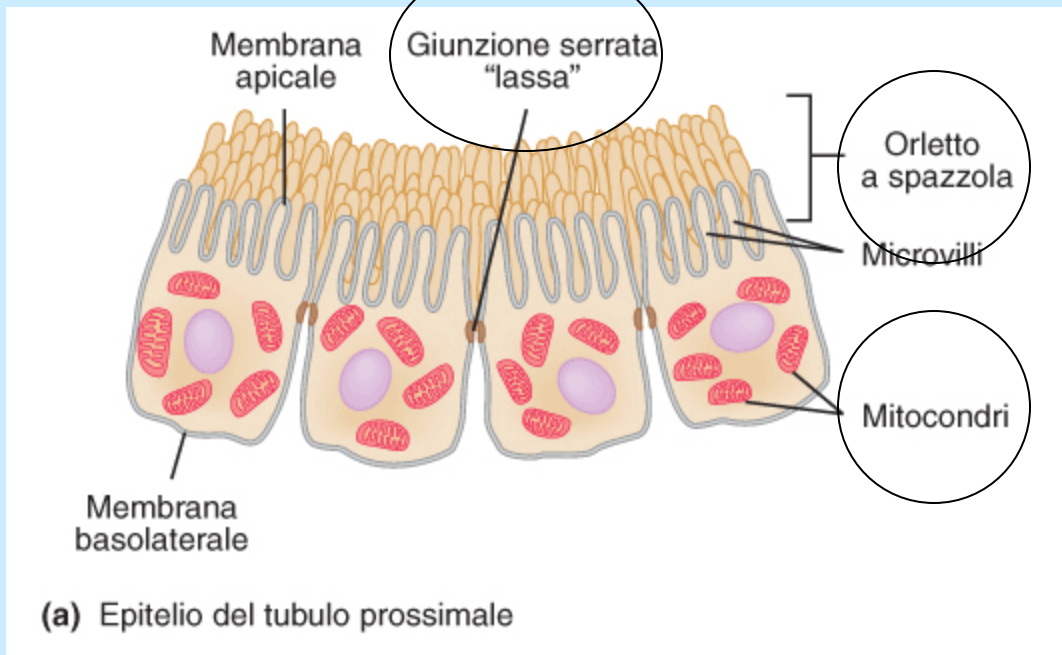
Lungo i tubuli renali viene riassorbita la maggior parte dei soluti e il 99% dell'acqua.

**VFG = 125 ml/min**

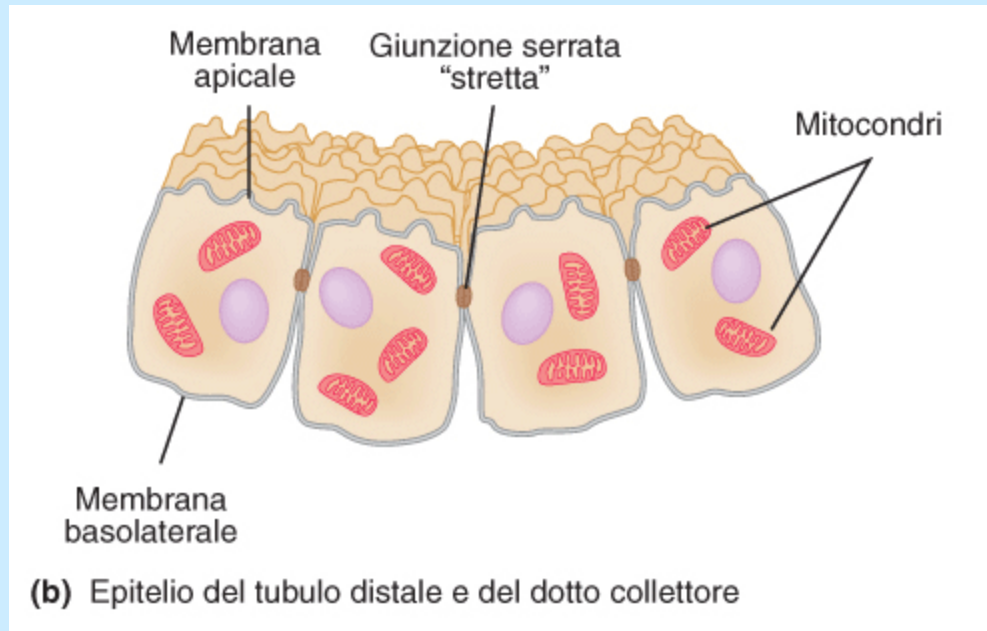
**Riassorbimento = 124 ml/min**

**Escrezione = 1 ml/min**

Il 65% del carico filtrato di acqua e sodio viene riassorbito nel **tubulo prossimale (riassorbitore di massa)**.



Il riassorbimento di soluti nel tubulo prossimale è un processo non regolato

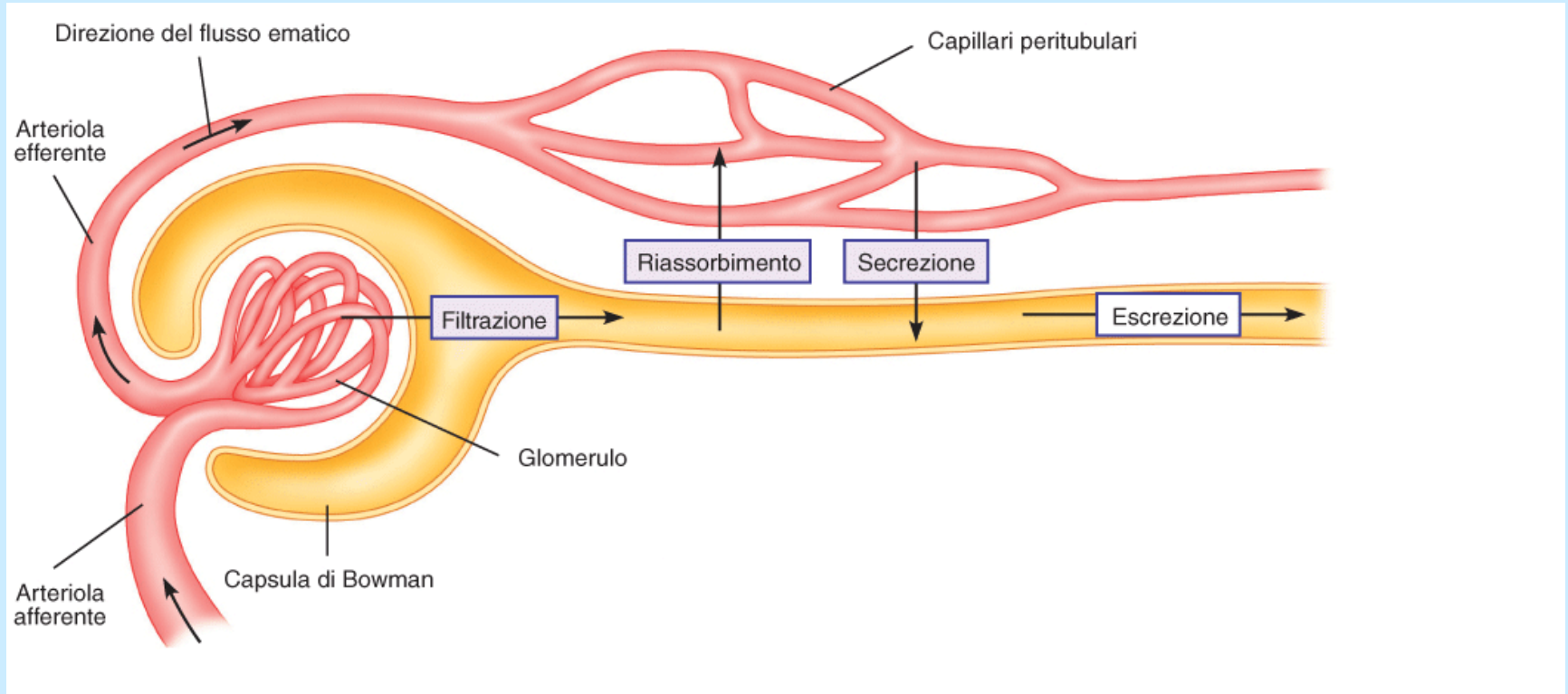


Riassorbimento e secrezione sono regolati a livello del **tubulo distale** e del **dotto collettore**. Il riassorbimento del sodio è stimolato dall'aldosterone e inibito dal peptide natriuretico atriale. Il riassorbimento dell'acqua è stimolato dall'ADH

# SECREZIONE

Nella secrezione le molecole si muovono dal plasma dei capillari peritubulari nel tubulo renale per diventare parte del filtrato.

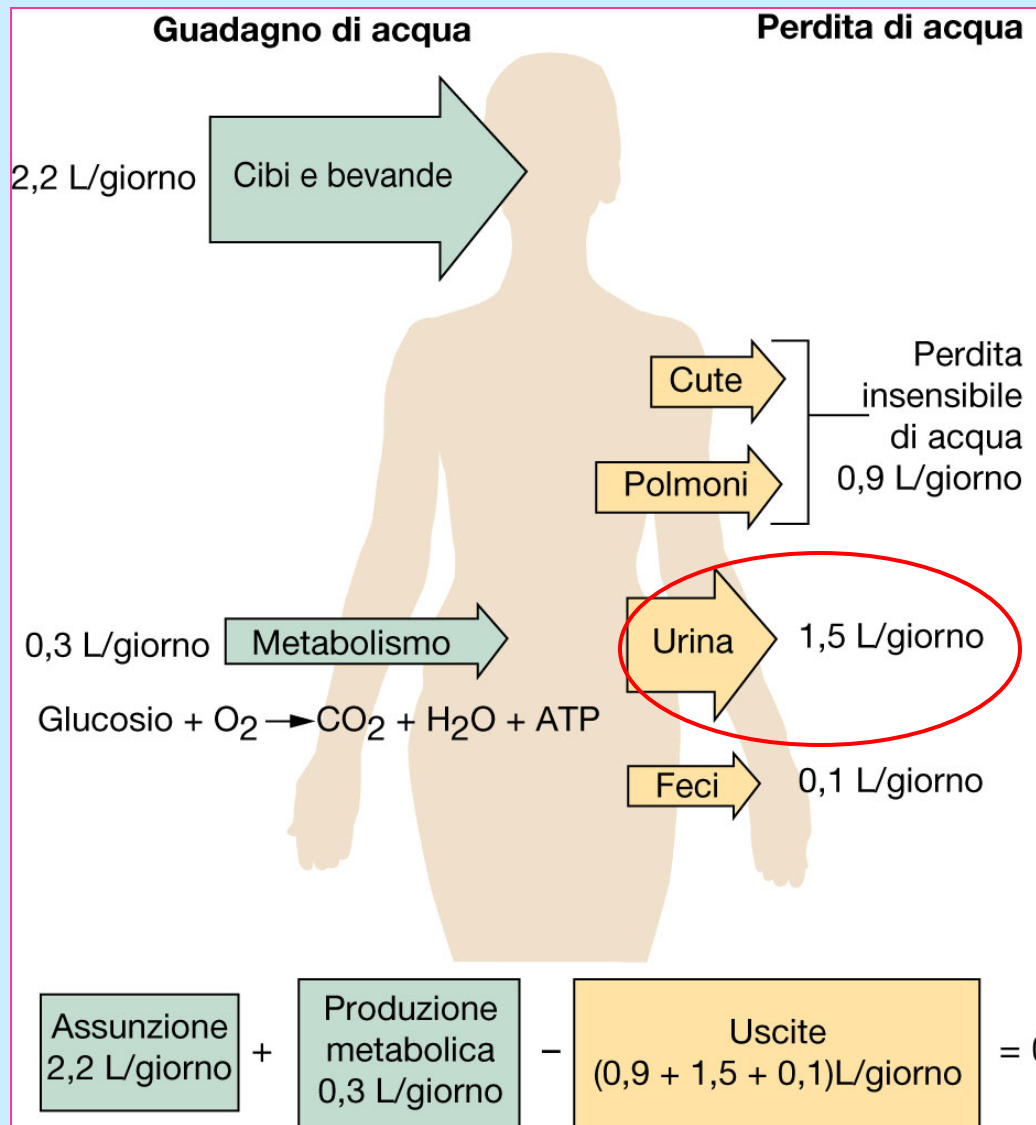
Tra le sostanze secrete attivamente dai tubuli renali vi sono il **potassio**, gli **idrogenioni**, **prodotti metabolici** come la colina e la creatinina, **sostanze estranee** come gli antibiotici.



I reni giocano un ruolo importante nel regolare l'equilibrio idrico ed elettrolitico e l'equilibrio acido-base.

I meccanismi di controllo omeostatici del bilancio idro-elettrolitico sono finalizzati al mantenimento di quattro parametri:

- Il volume dei liquidi corporei
- L'osmolarità
- Le concentrazioni dei singoli ioni
- Il pH



**Solo la perdita di acqua con le urine può essere regolata**



L'acqua corporea è controllata da:

- **Assunzione di acqua**, dipendente dai fattori che determinano la sete
- **Escrezione renale di acqua**, dipendente dai fattori che influiscono sulla **VFG** e sul **riassorbimento tubulare**

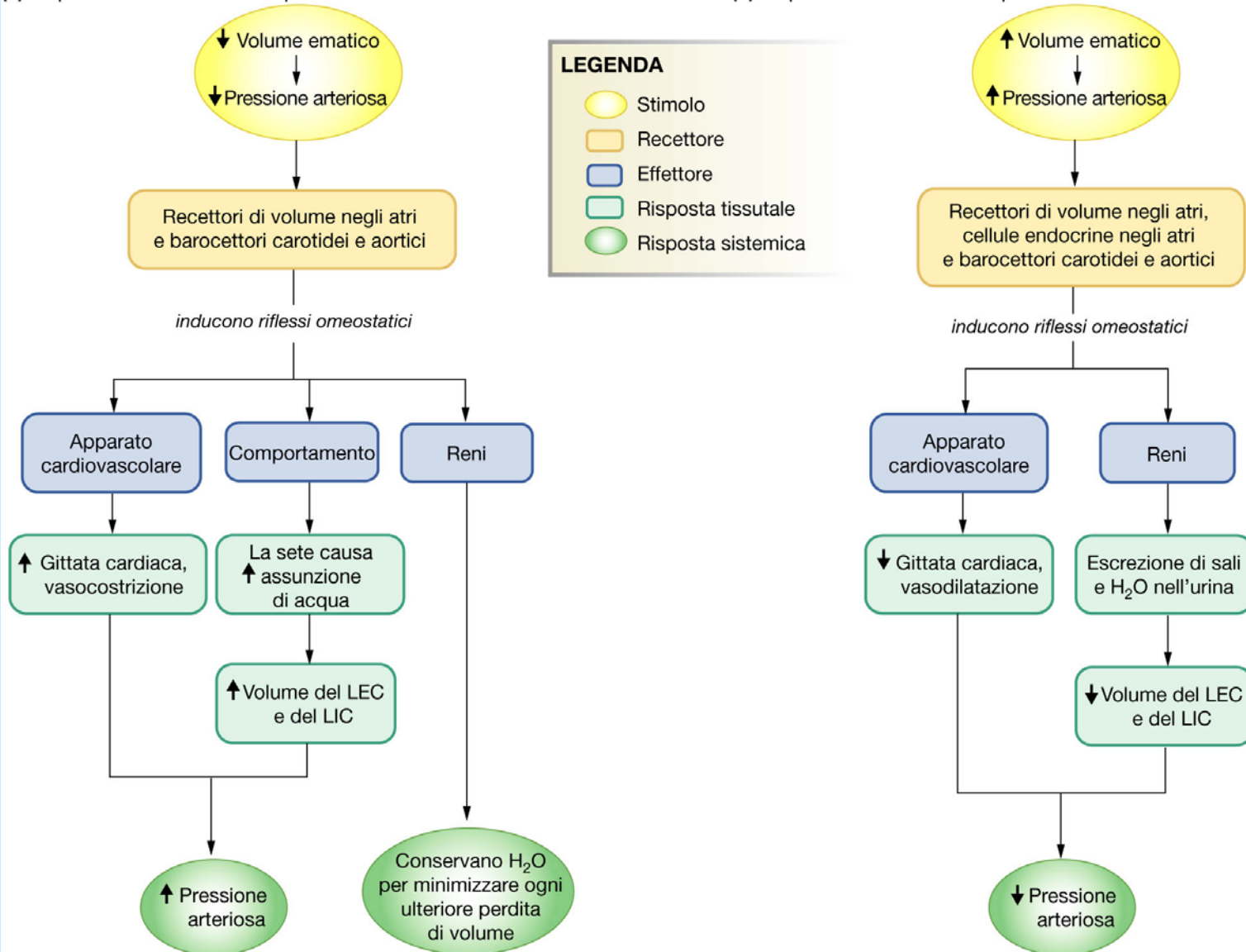
Il controllo renale dell'escrezione di acqua è fondamentale per regolare il volume e l'osmolarità del plasma.

Il volume del plasma è direttamente correlato alla pressione del sangue

Il volume del plasma può influire sull'osmolarità e quindi sulla distribuzione di liquidi tra i compartimenti influenzando il volume delle cellule e quindi delle loro funzioni.

(a) Risposta alla riduzione della pressione arteriosa e del volume ematico

(b) Risposta all'aumento della pressione arteriosa e del volume ematico

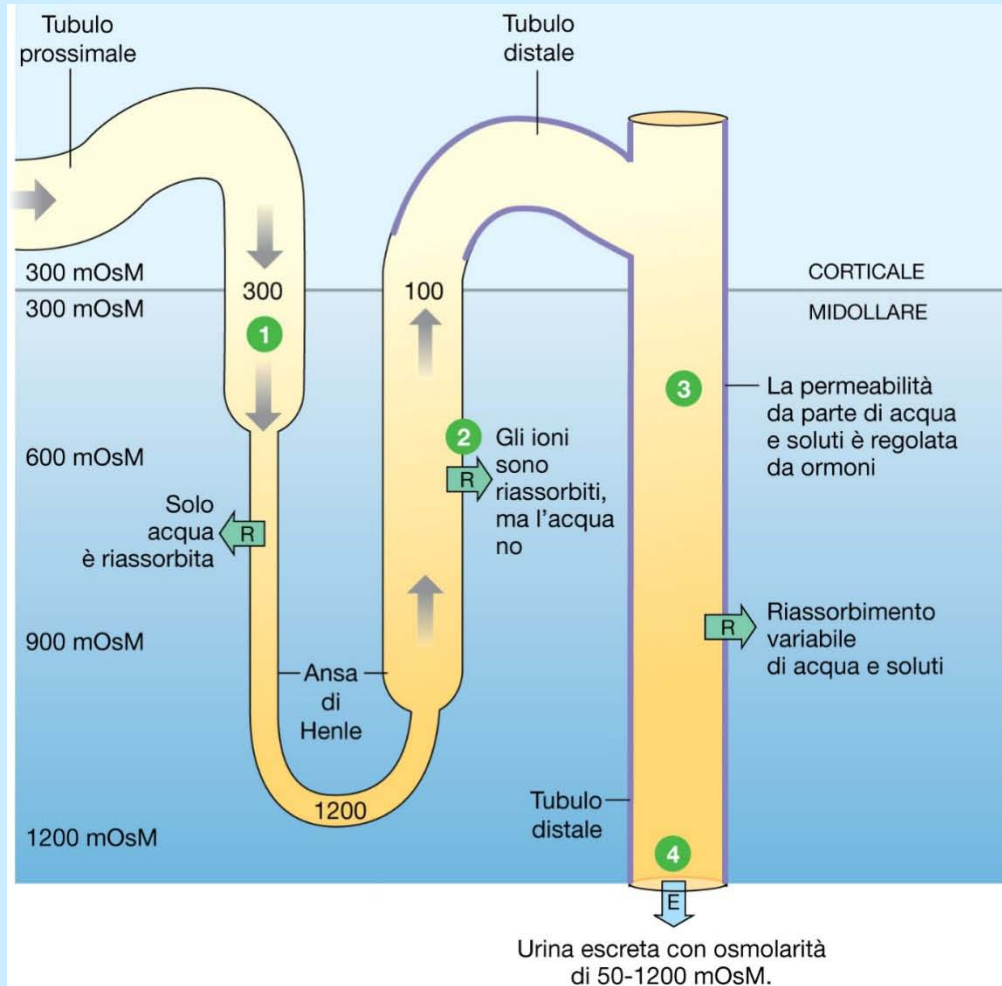


Nei tubuli renali il riassorbimento di acqua avviene in maniera passiva ed è accoppiato al riassorbimento dei soluti.

Nei **tubuli prossimale e distale** il riassorbimento dei soluti aumenta l'osmolarità del liquido peritubulare che guida il riassorbimento dell'acqua per osmosi.

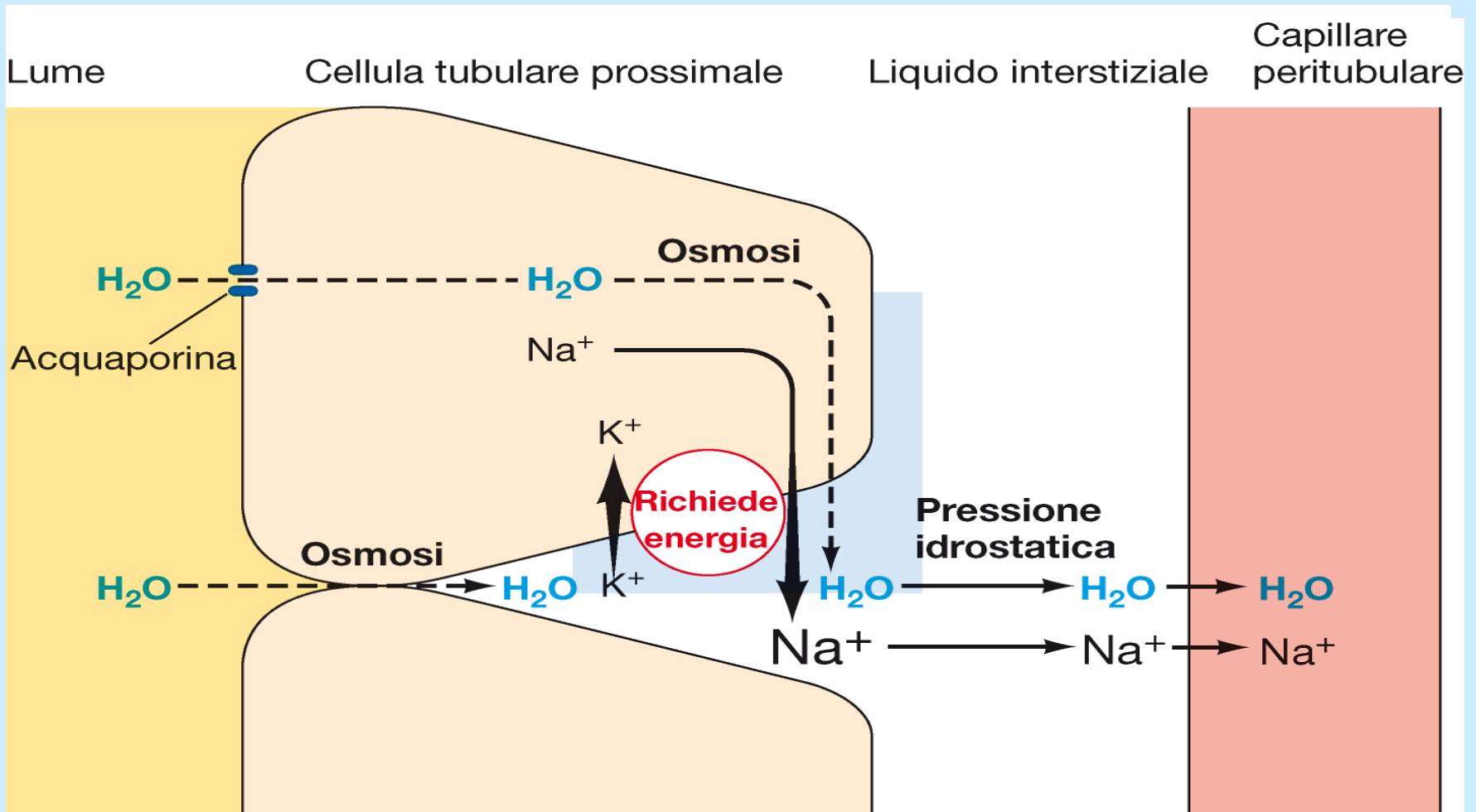
Nel **dotto collettore** è il gradiente osmotico midollare che regola il riassorbimento di acqua.

Dell'acqua filtrata, il 65% (117L/die) viene riassorbita passivamente dalla parte finale del tubulo prossimale. Un altro 15% viene riassorbito obbligatoriamente dall'ansa di Henle. Quantità variabili del restante 20% vengono riassorbite nelle porzioni distali del tubulo in relazione allo stato di idratazione dell'organismo.

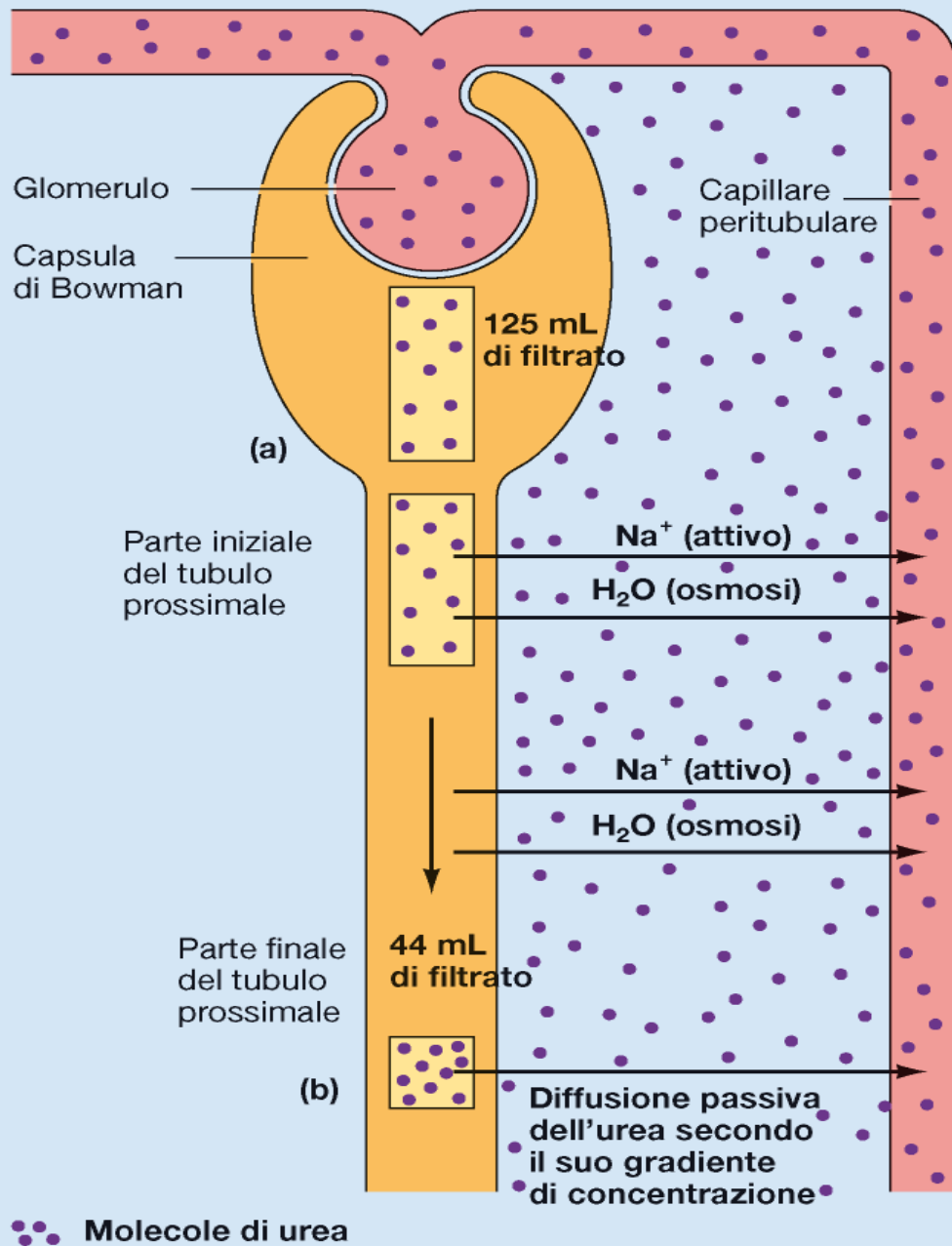


- 1 Il liquido isoosmotico che lascia il tubulo prossimale diviene progressivamente più concentrato nella branca discendente.
- 2 La rimozione di soluti nella branca spesso ascendente genera un liquido ipoosmotico.
- 3 Gli ormoni controllano la permeabilità del nefrone distale all'acqua e ai soluti.
- 4 L'osmolarità delle urine dipende dal riassorbimento nel dotto collettore.

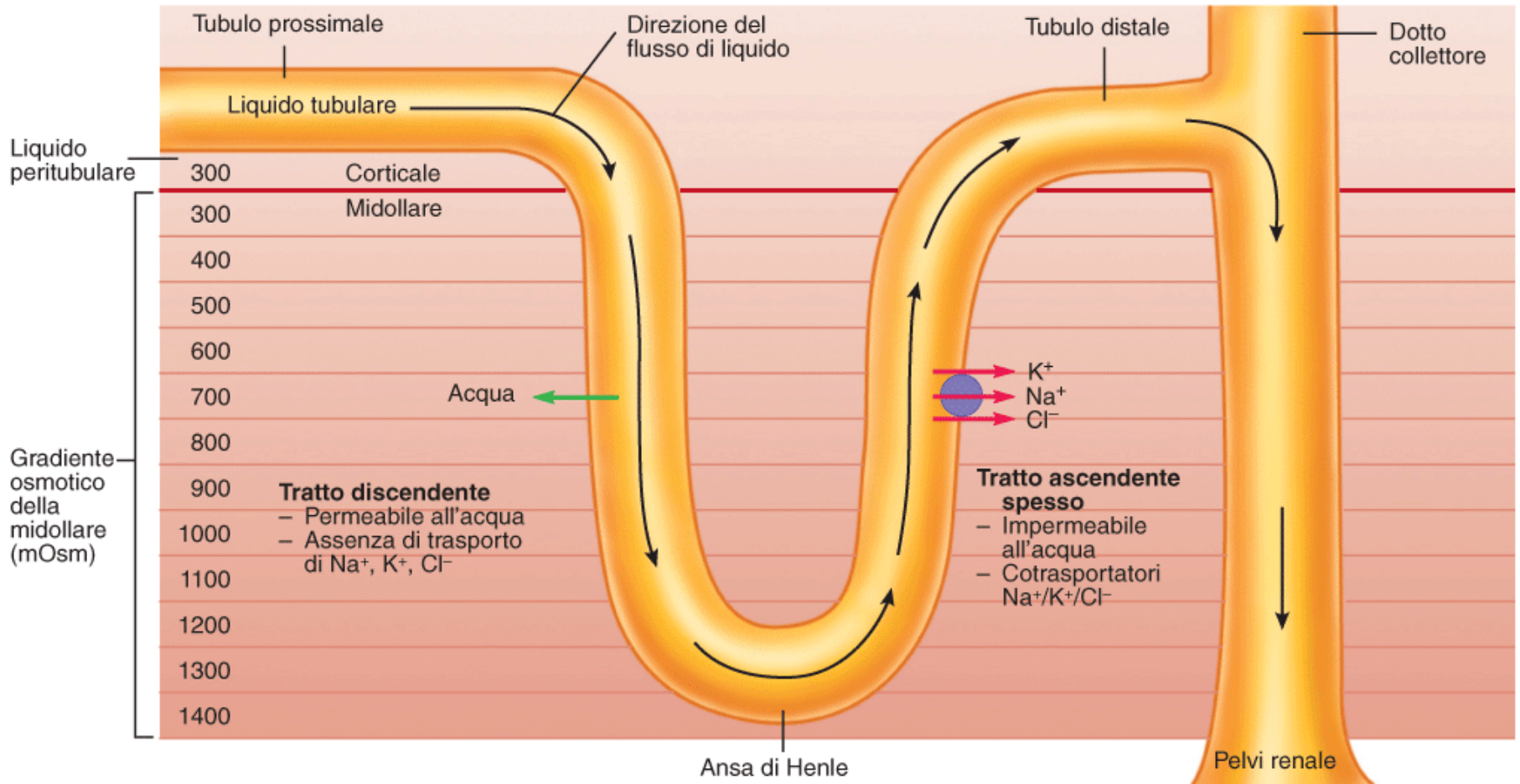
# Riassorbimento di acqua nel tubulo prossimale



Il sodio è il soluto principalmente responsabile della generazione del gradiente osmotico che guida il riassorbimento dell'acqua

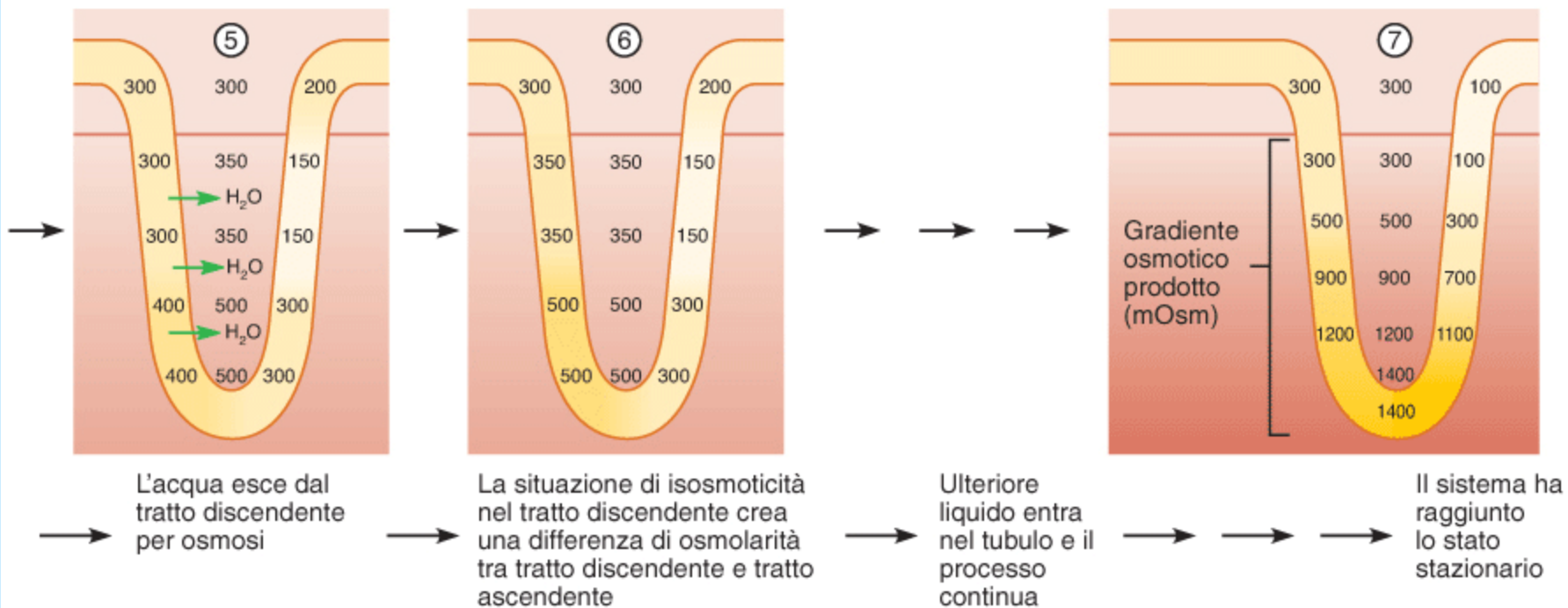
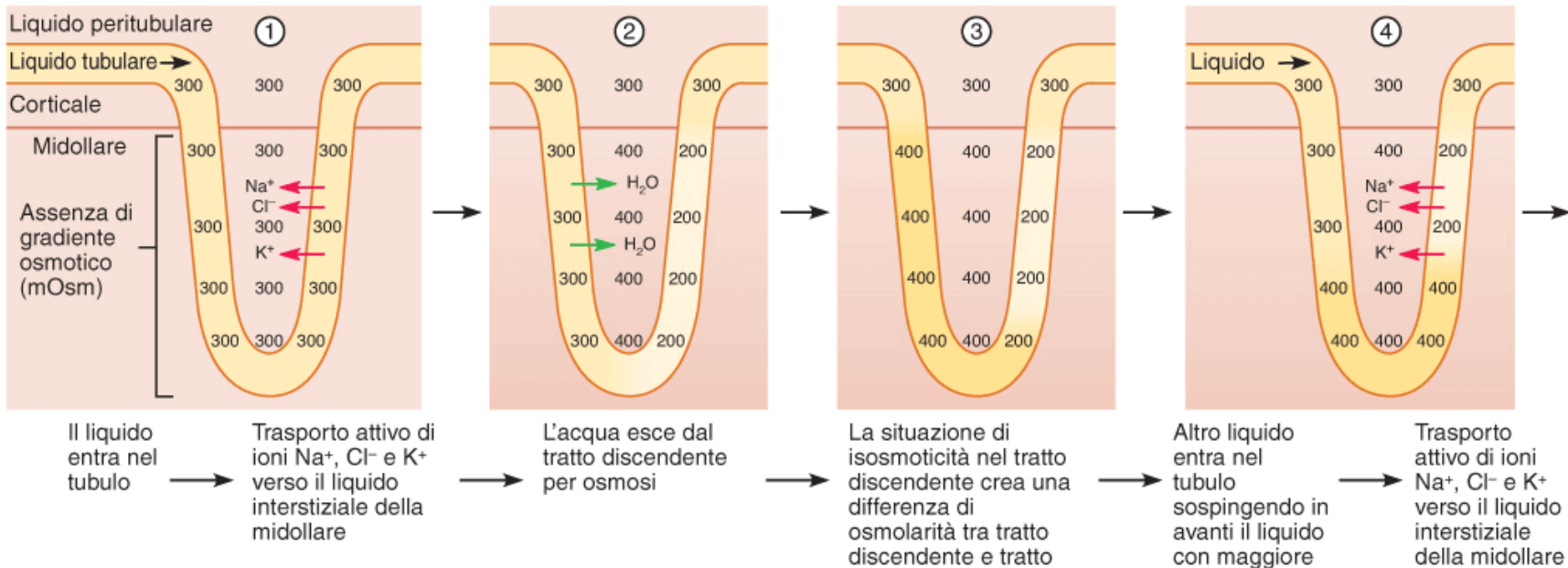


## Il gradiente osmotico nella midollare del rene. I



Questo gradiente che è responsabile del riassorbimento dell'acqua dal dotto collettore esiste per il meccanismo della moltiplicazione controcorrente.

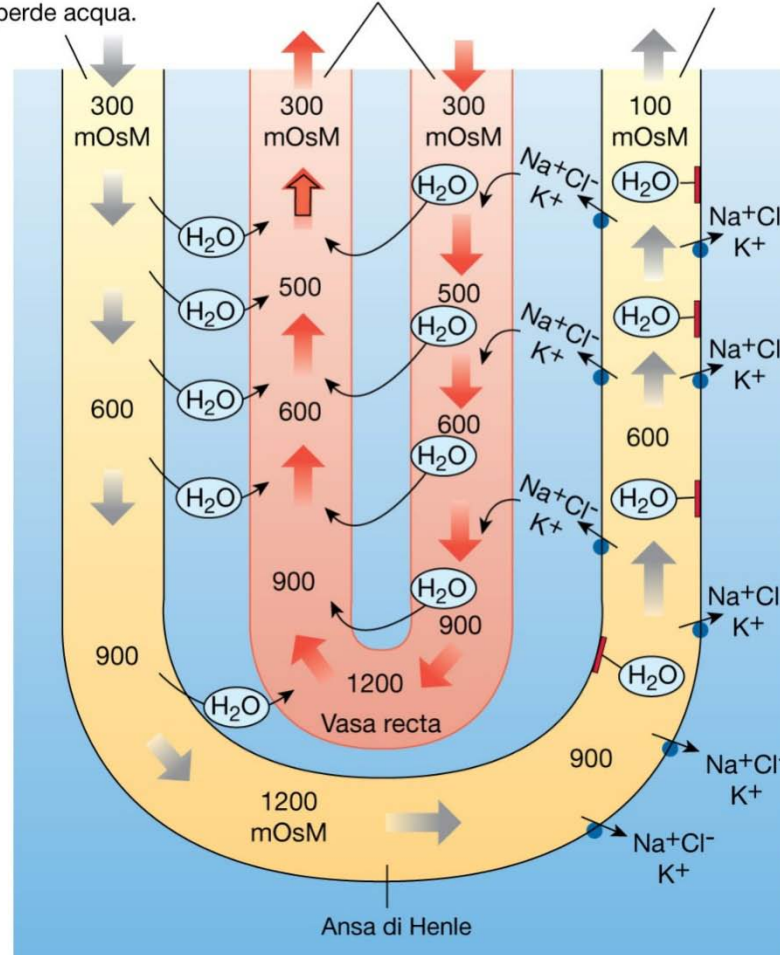




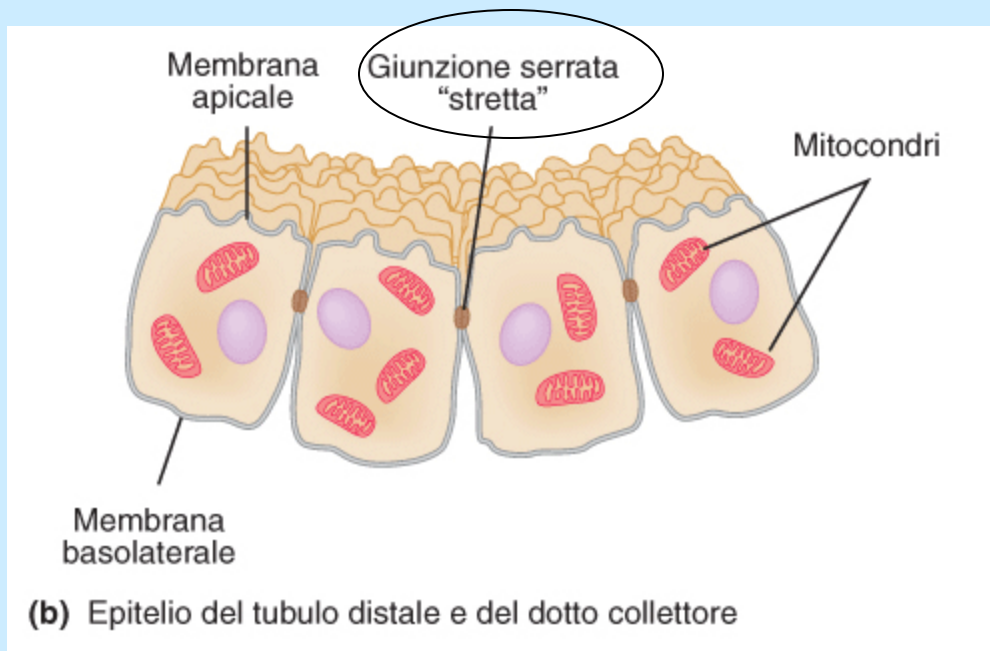
Il filtrato che entra nella branca discendente diviene progressivamente più concentrato mentre perde acqua.

Il sangue nei vasa recta rimuove l'acqua che lascia l'ansa di Henle.

La branca ascendente pompa  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  fuori dal lume e il filtrato diviene iposmotico.

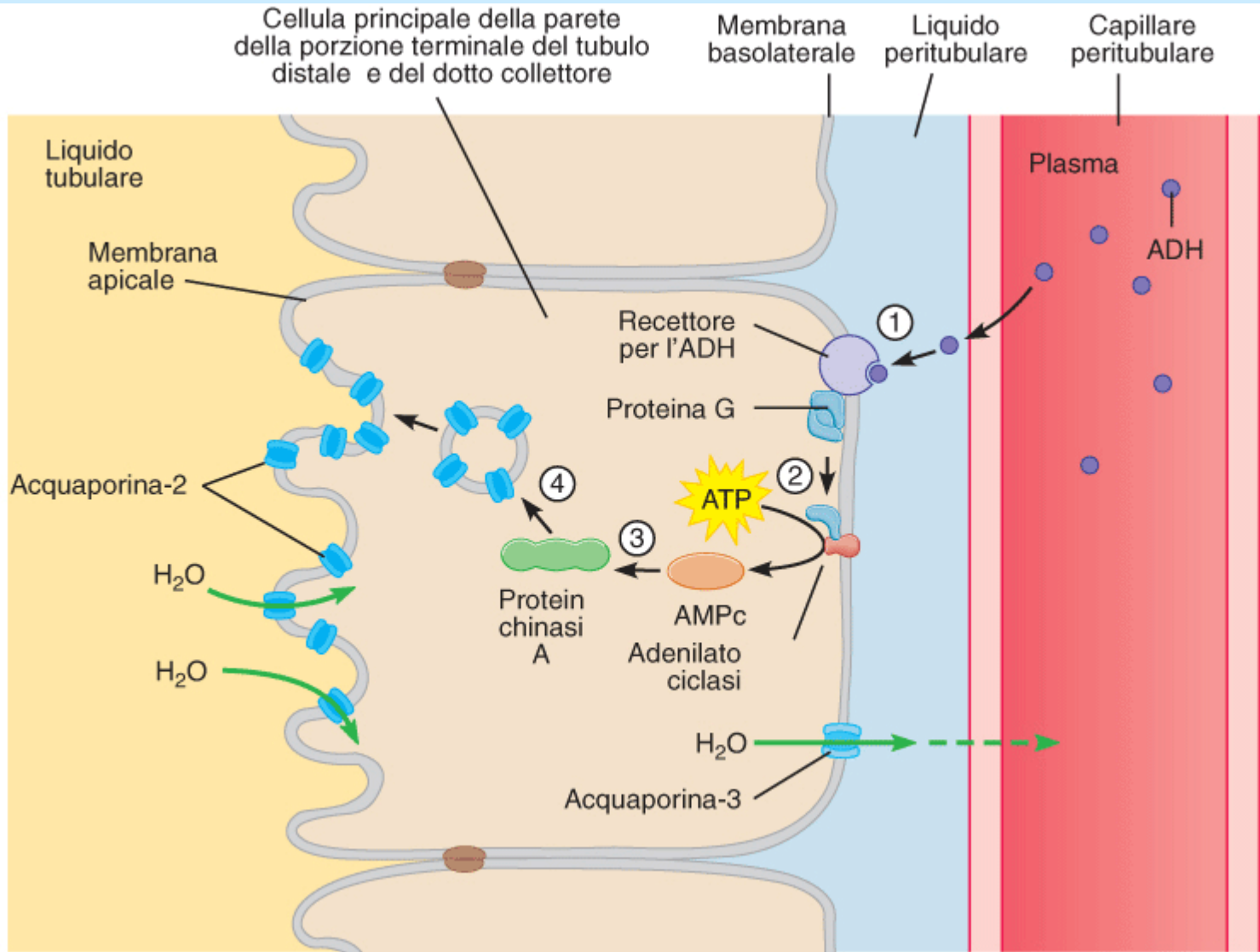


Regolando la permeabilità dell'acqua nella porzione terminale dei tubuli distali e nei dotti collettori, i reni possono far variare la concentrazione delle urine da 100 a 1400 mOsm.

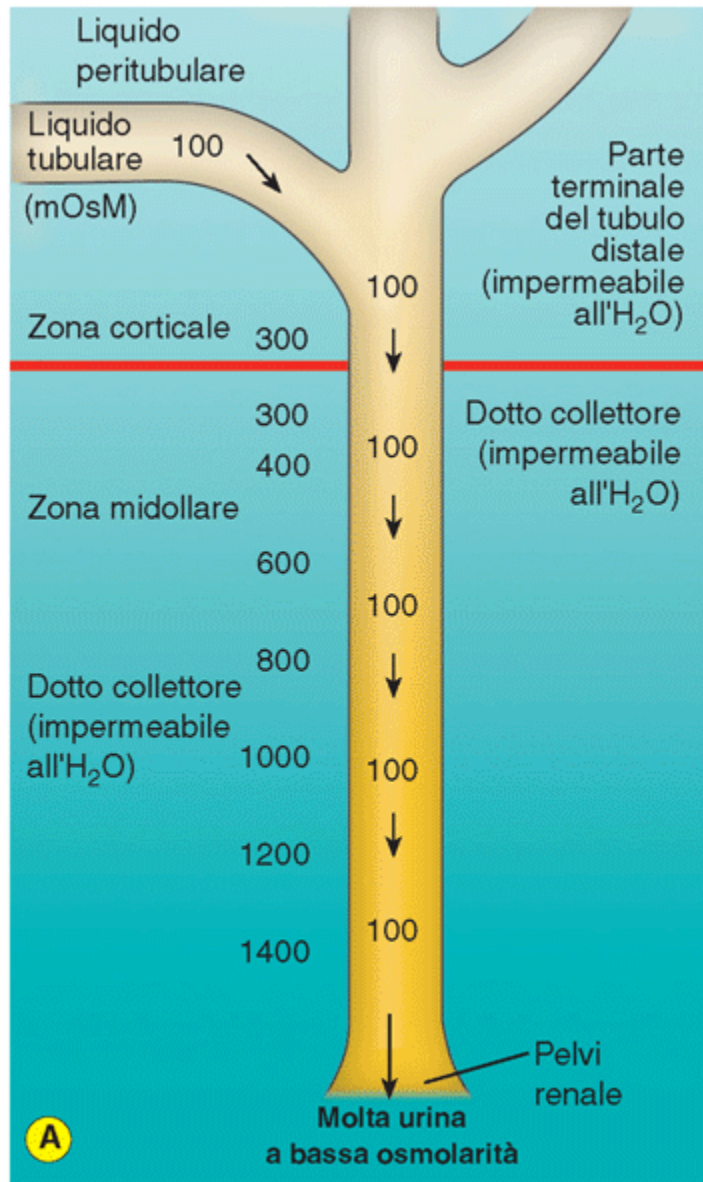


Acquaporina 3 presente sulla membrana basolaterale costantemente

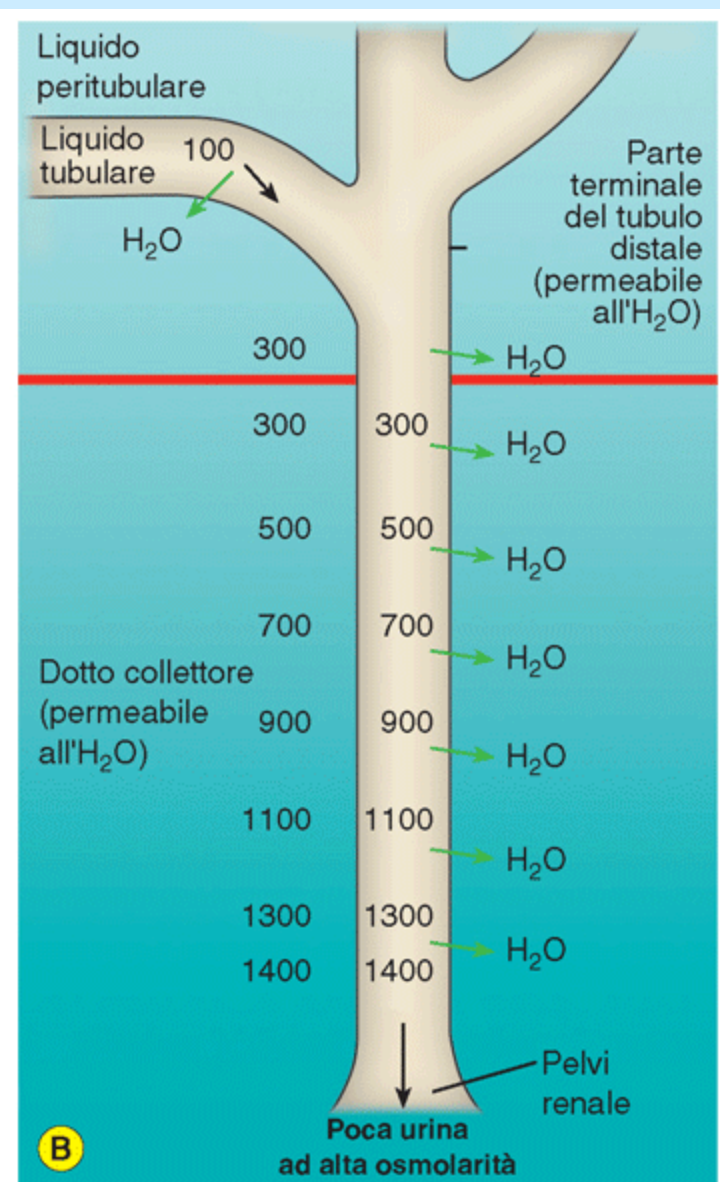
Acquaporina 2 presente sulla membrana apicale solo in presenza dell'ormone **ADH**



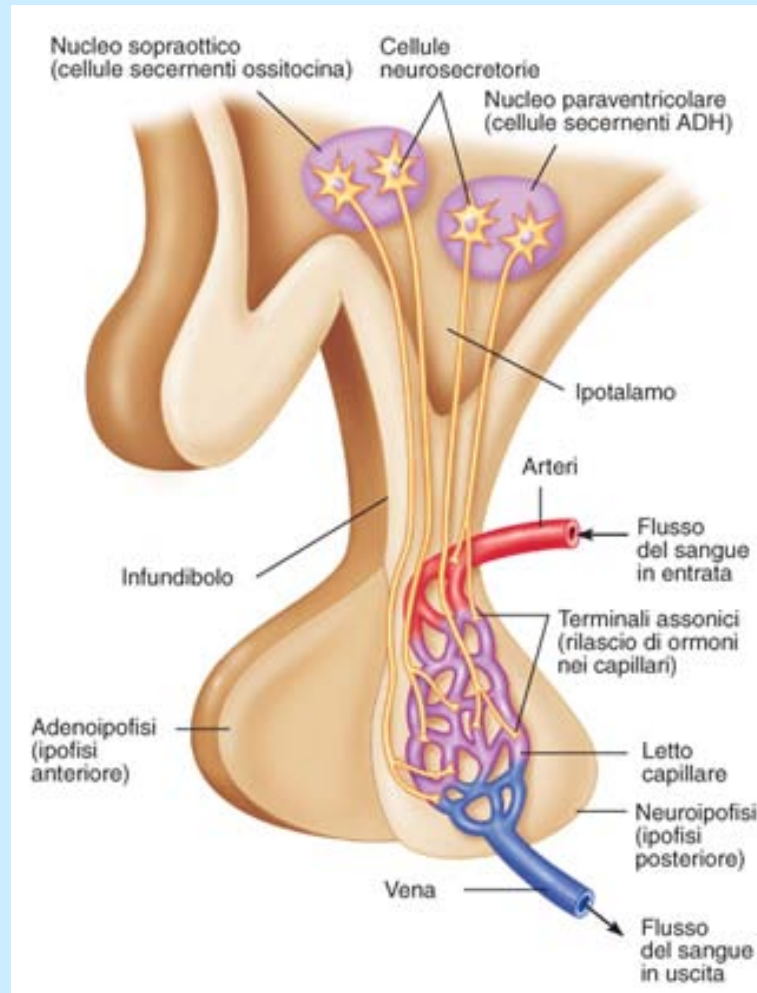
Concentrazione delle urine nel dotto collettore:

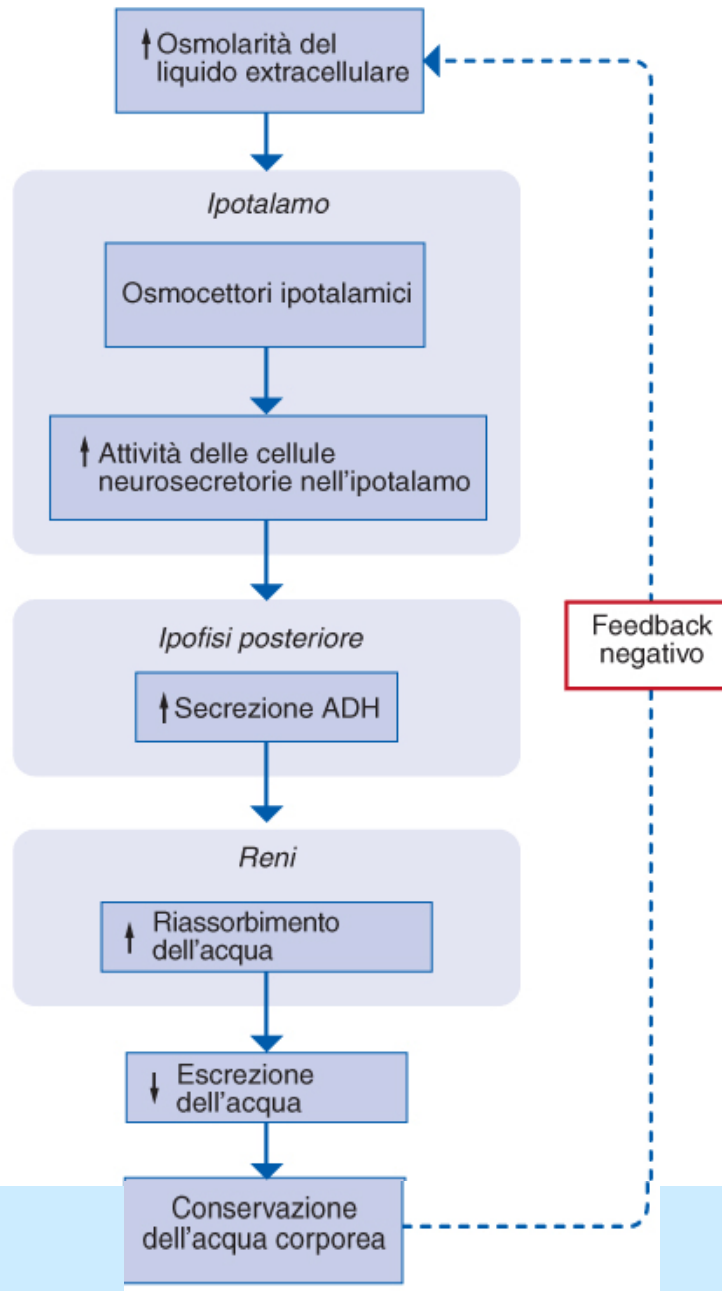


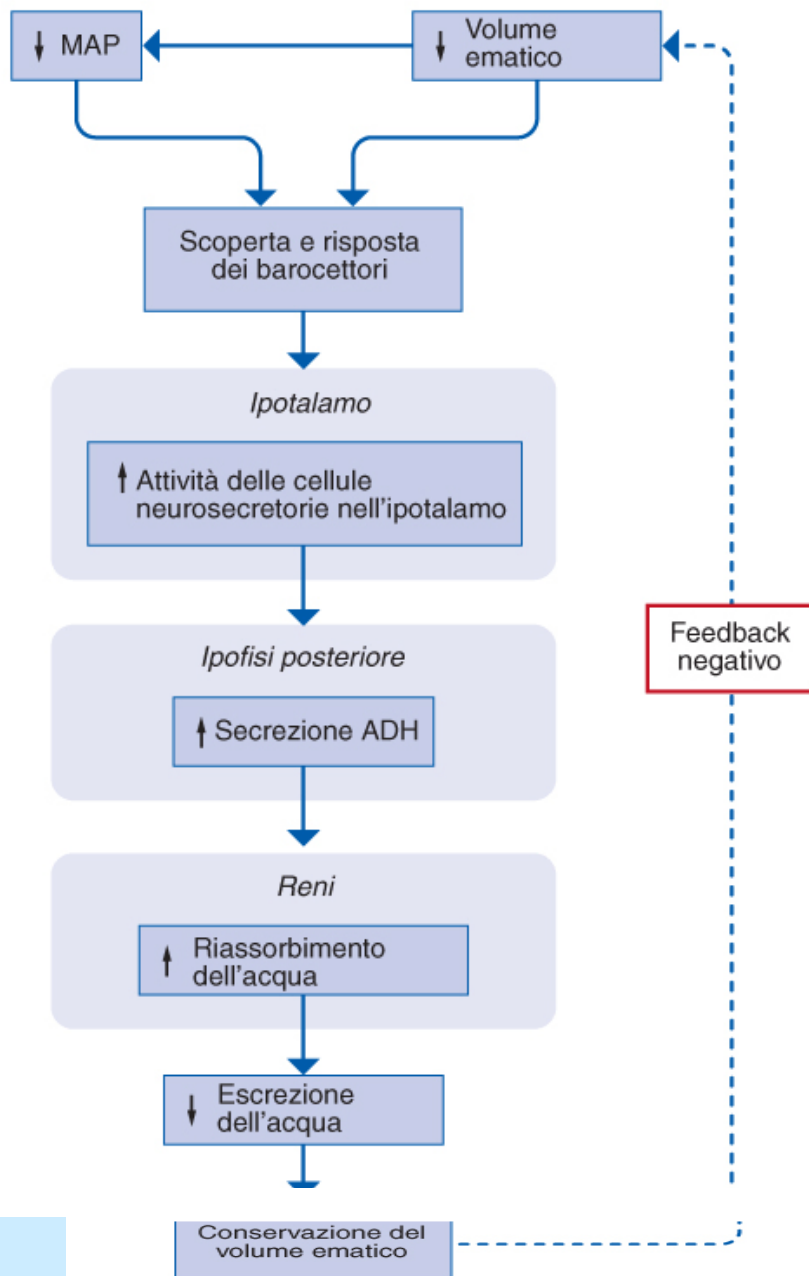
In assenza di ormone antidiuretico (ADH) **ridotta permeabilità all'acqua**



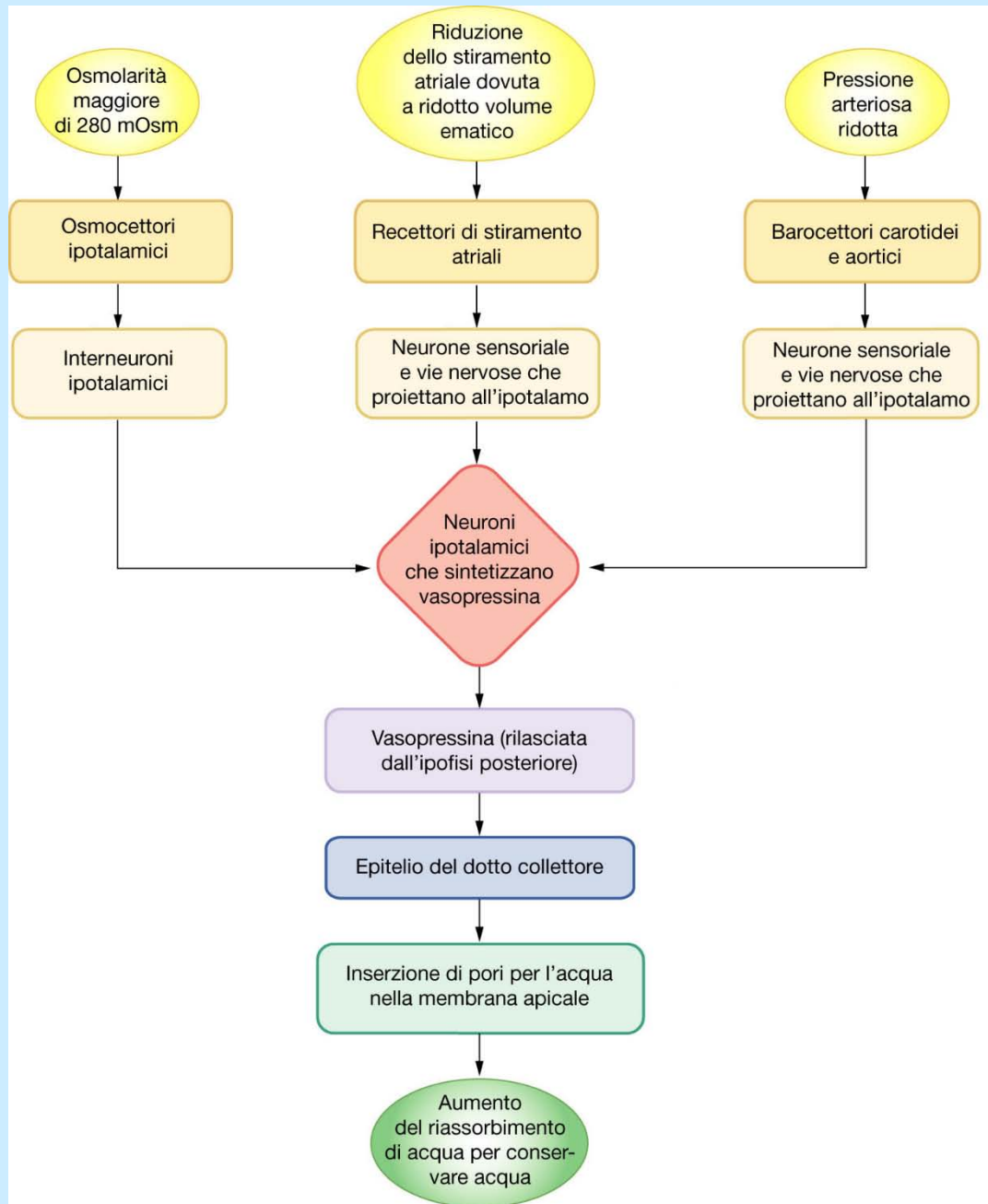
In presenza di ormone antidiuretico (ADH) **elevata permeabilità all'acqua**









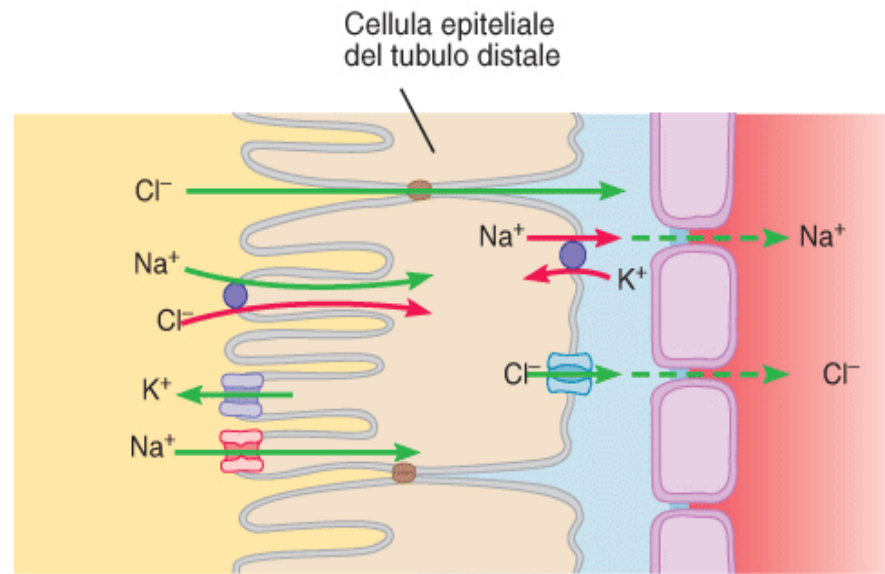
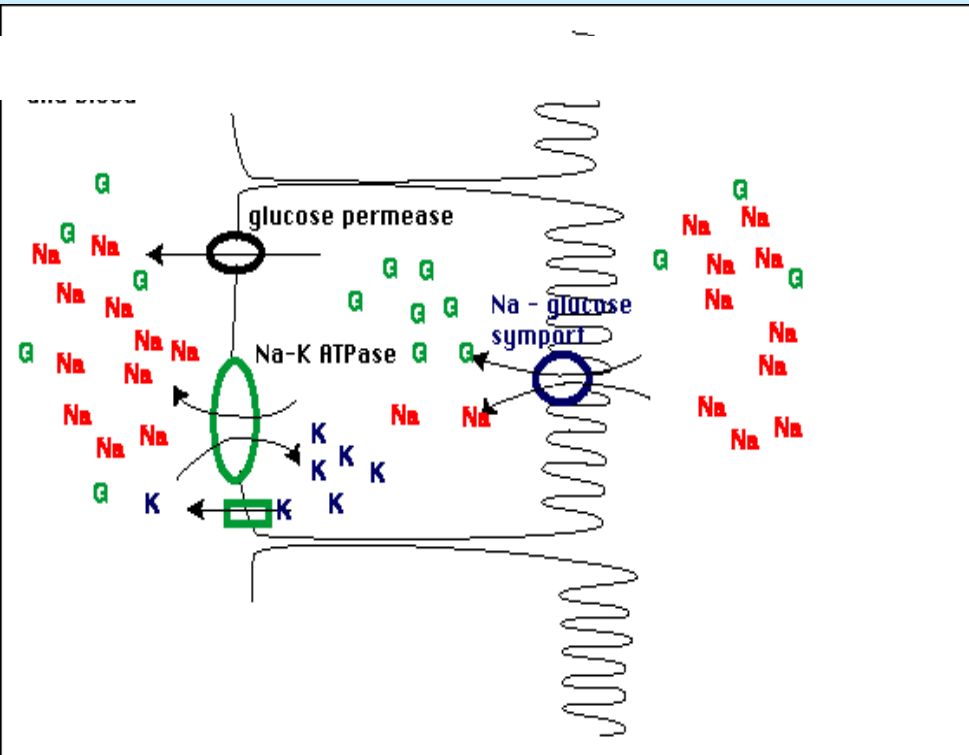


# Bilancio del sodio

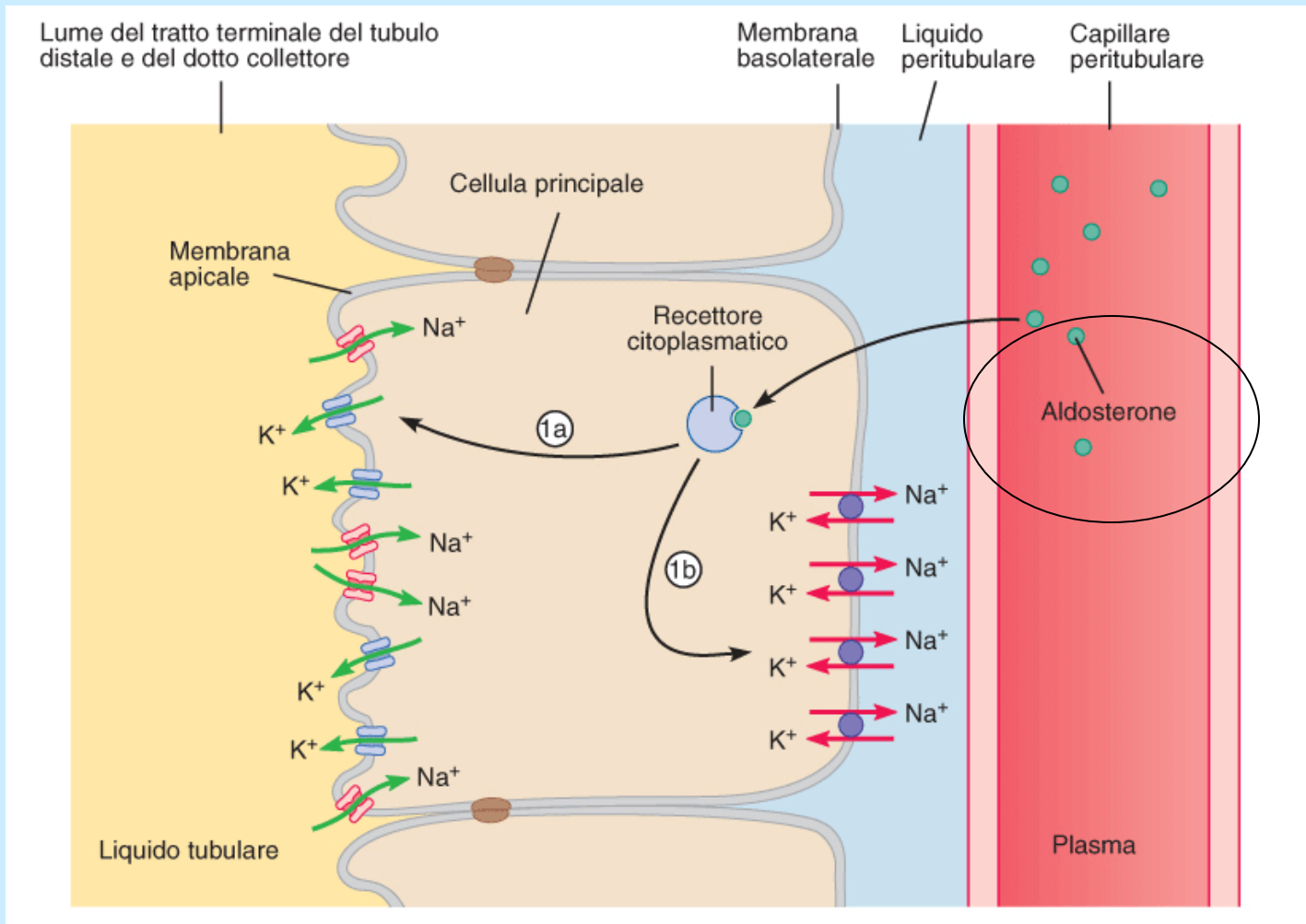
Il livello del sodio nel plasma è regolato, una ipernatriemia può provocare ritenzione idrica e aumento della pressione arteriosa, una iponatriemia è associata a bassi volumi plasmatici e ad ipotensione.

La regolazione del sodio plasmatico avviene durante il riassorbimento tubulare (il sodio non viene secreto).

Del sodio filtrato, il 67% viene assorbito nel tubulo prossimale, il 25% nell'ansa di Henle e l'8% nel tubulo distale e nel dotto collettore.

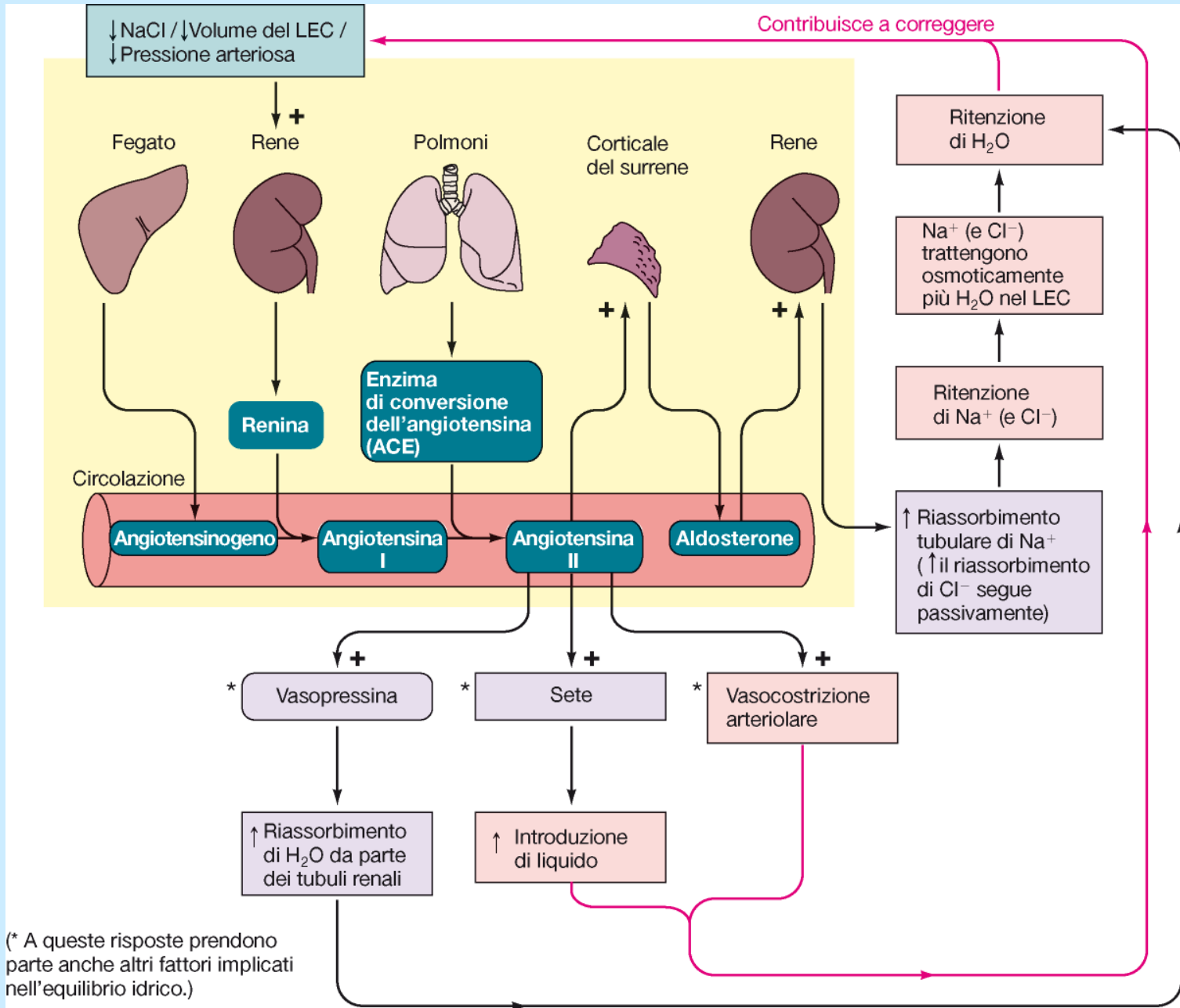


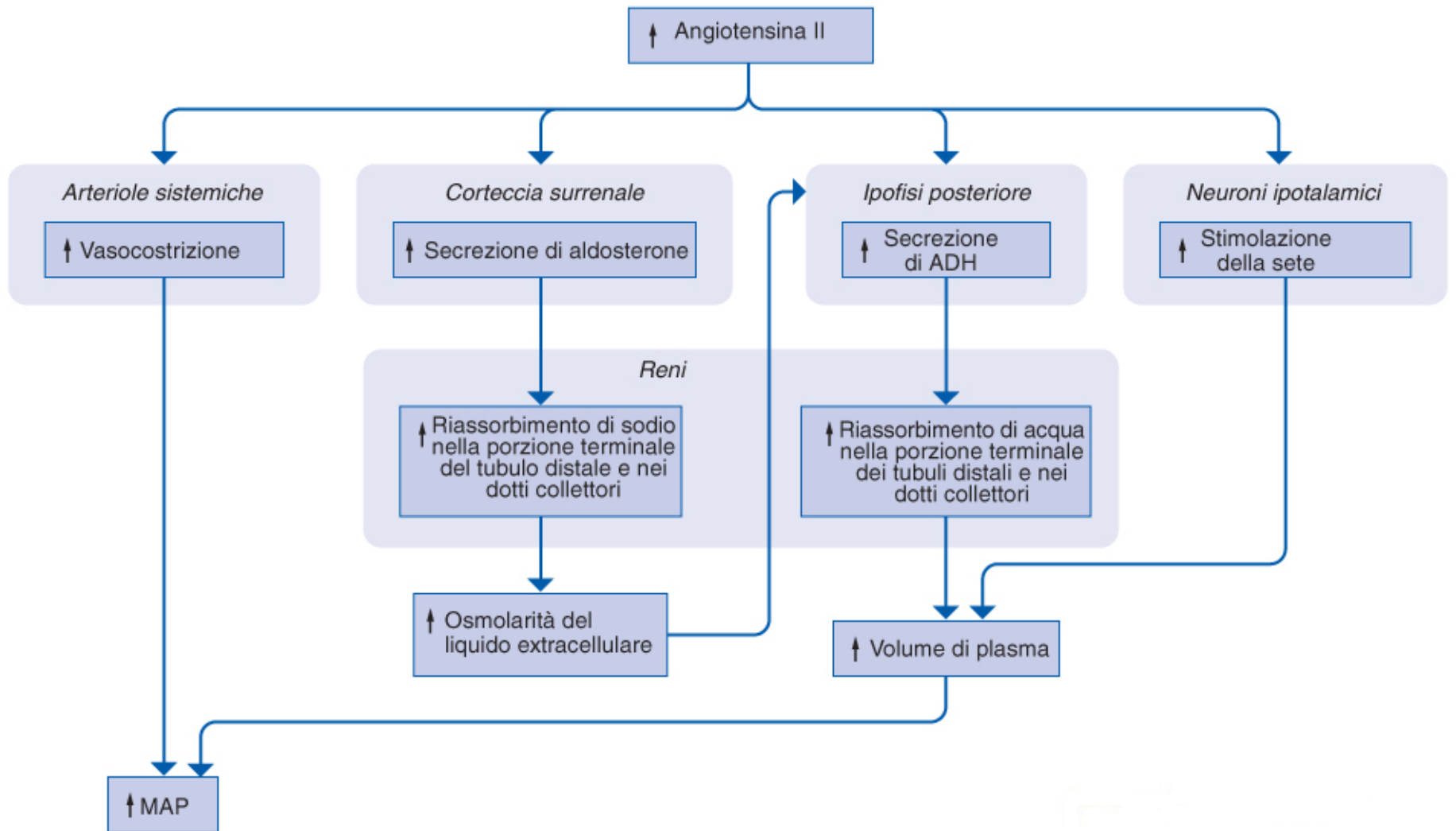
(b) Riassorbimento di sodio nel tubulo distale



L'**aldosterone** regola sia il riassorbimento del sodio che la secrezione di potassio

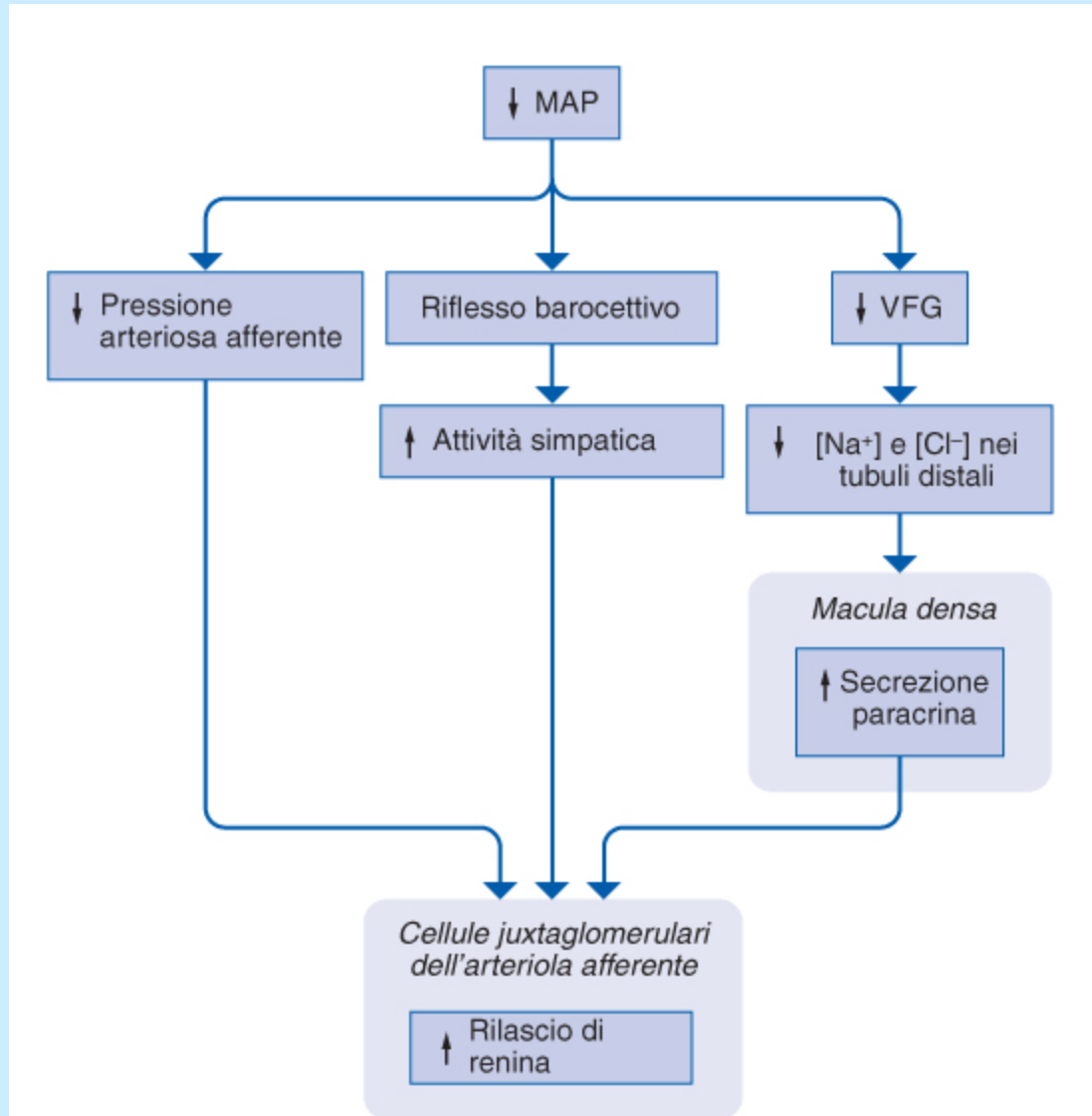
# Il rilascio di aldosterone è regolato dal sistema renina-angiotensina-aldosterone





**Meccanismi con cui l'angiotensina II aumenta la pressione arteriosa**

Dato che il sistema renina-angiotensina-aldosterone determina un aumento della PAM , una riduzione della pressione arteriosa ematica è lo stimolo principale per il rilascio di renina.



Contribuisce a correggere

Contribuisce a correggere

↑ NaCl / ↑ Volume del LEC /  
↑ Pressione arteriosa

Atri  
cardiaci



Peptide natriuretico atriale (ANP)

Riassorbimento  
di Na<sup>+</sup> da parte  
dei tubuli renali

Sistema renina-  
angiotensina-  
aldosterone (SRAA)  
che promuove la  
ritenzione di sale

Muscolo liscio  
delle arteriole  
afferenti

Sistema nervoso  
simpatico

Vasodilatazione  
delle arteriole  
afferenti

↓ Gittata  
cardiaca

↓ Resistenza  
periferica  
totale

↑ VFG

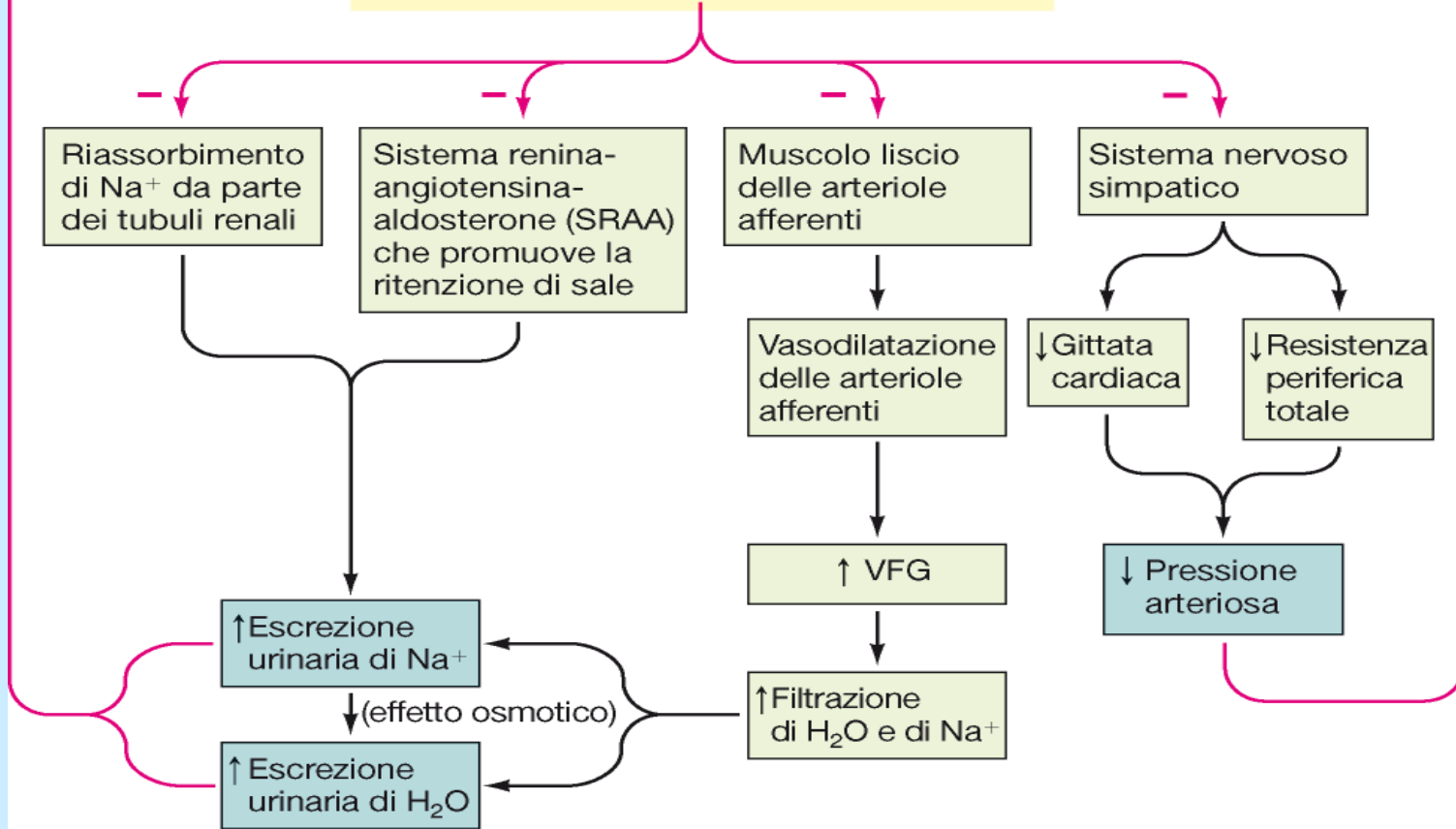
↓ Pressione  
arteriosa

↑ Escrezione  
urinaria di Na<sup>+</sup>

↑ Filtrazione  
di H<sub>2</sub>O e di Na<sup>+</sup>

↑ Escrezione  
urinaria di H<sub>2</sub>O

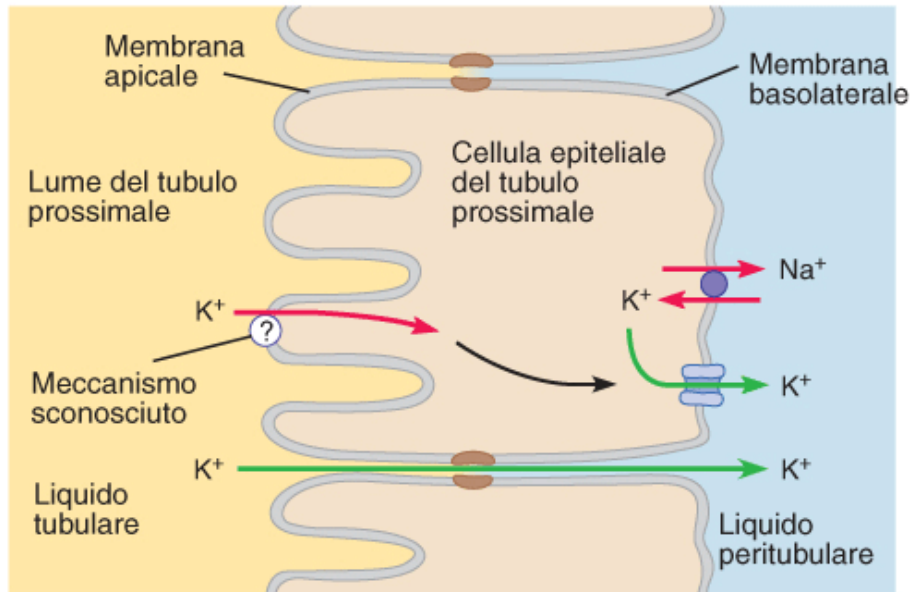
↓ (effetto osmotico)



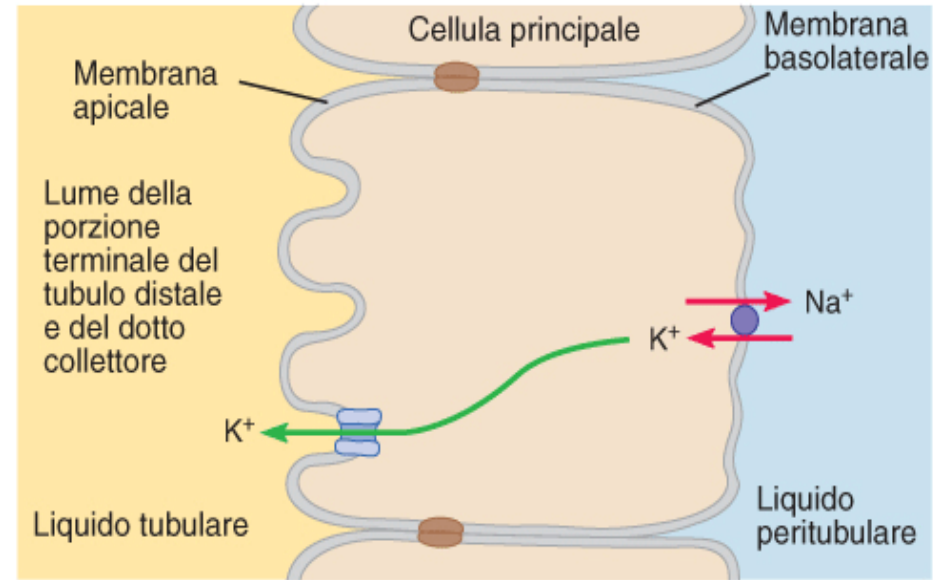


# Bilancio del potassio

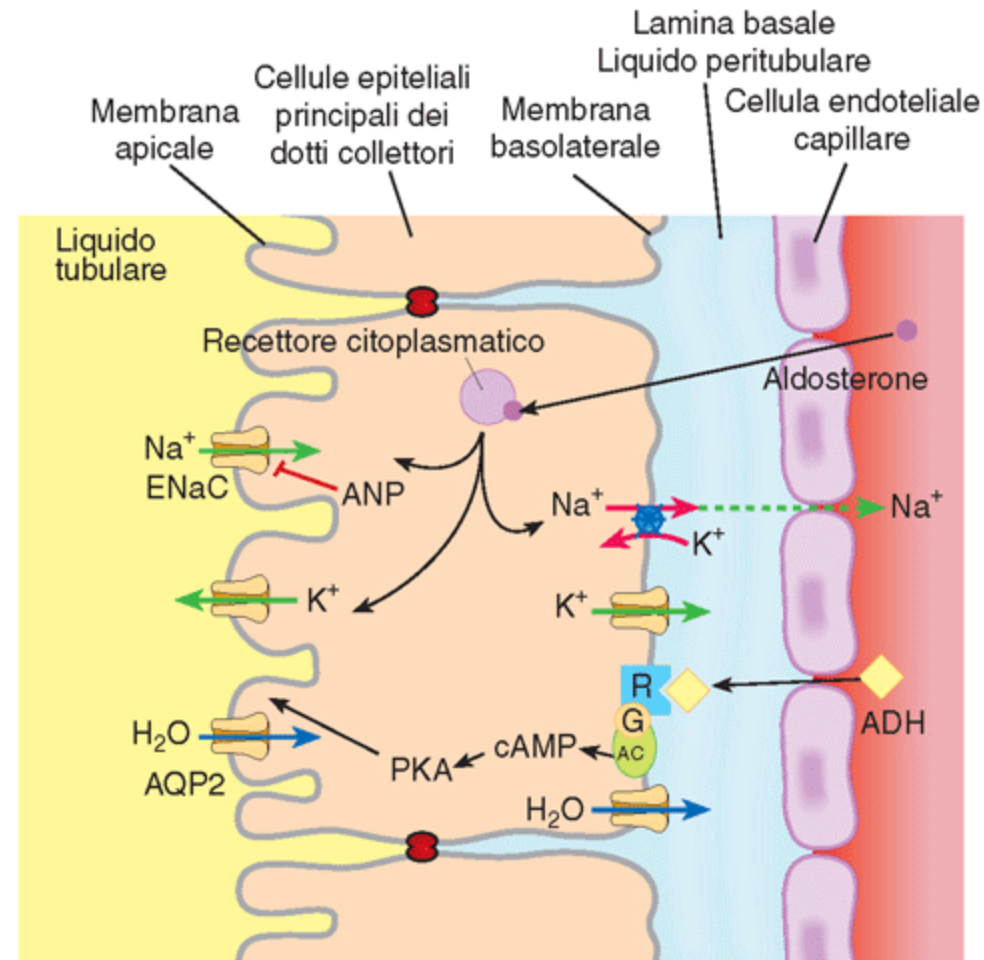
Il potassio filtrato a livello del glomerulo viene quasi tutto riassorbito nel tubulo prossimale e secreto nel tubulo distale e nel dotto collettore; la secrezione è modulata (aldosterone).



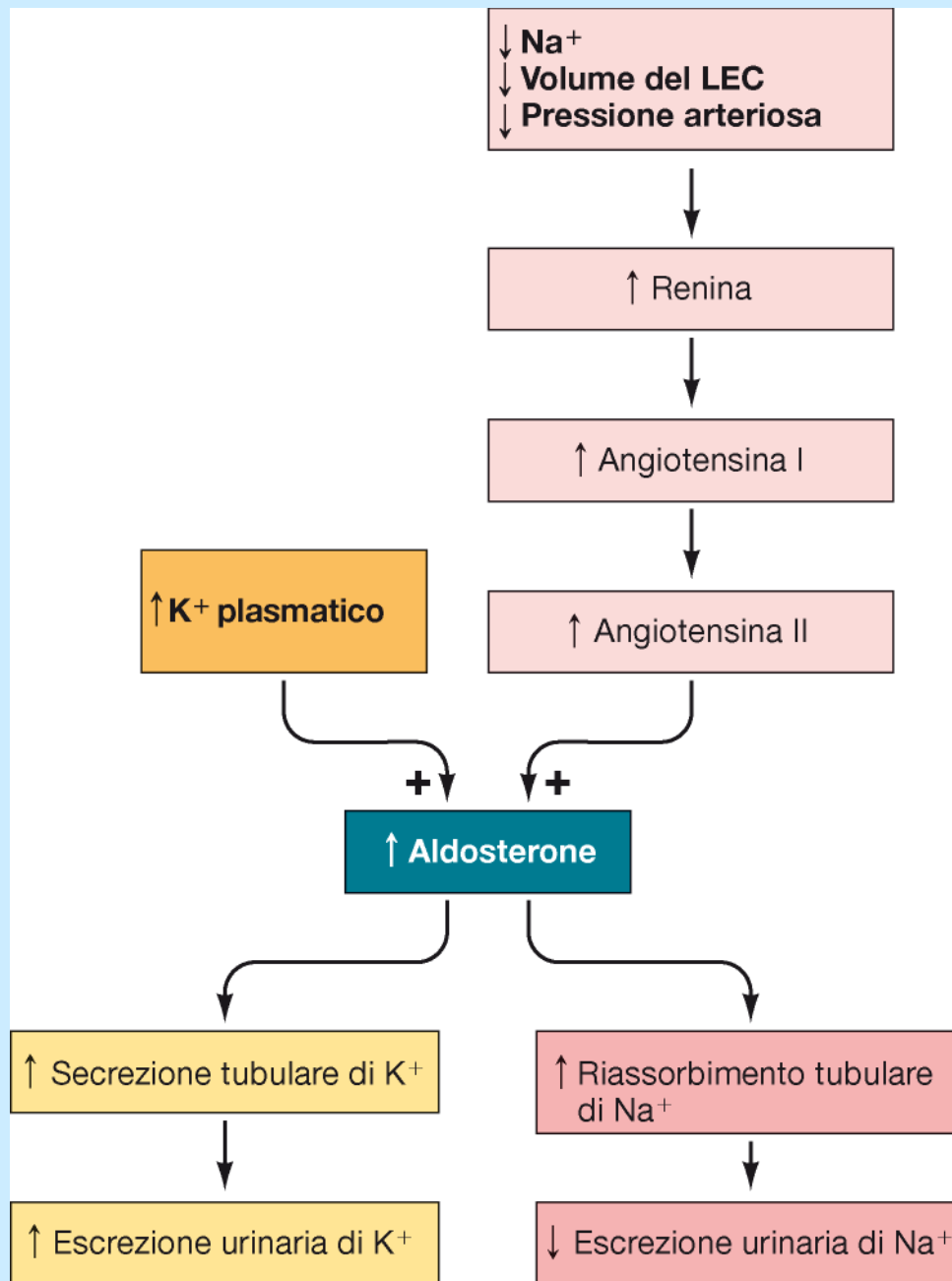
(a) Riassorbimento del potassio nel tubulo prossimale



(b) Secrezione del potassio nella porzione terminale del tubulo distale e del dotto collettore

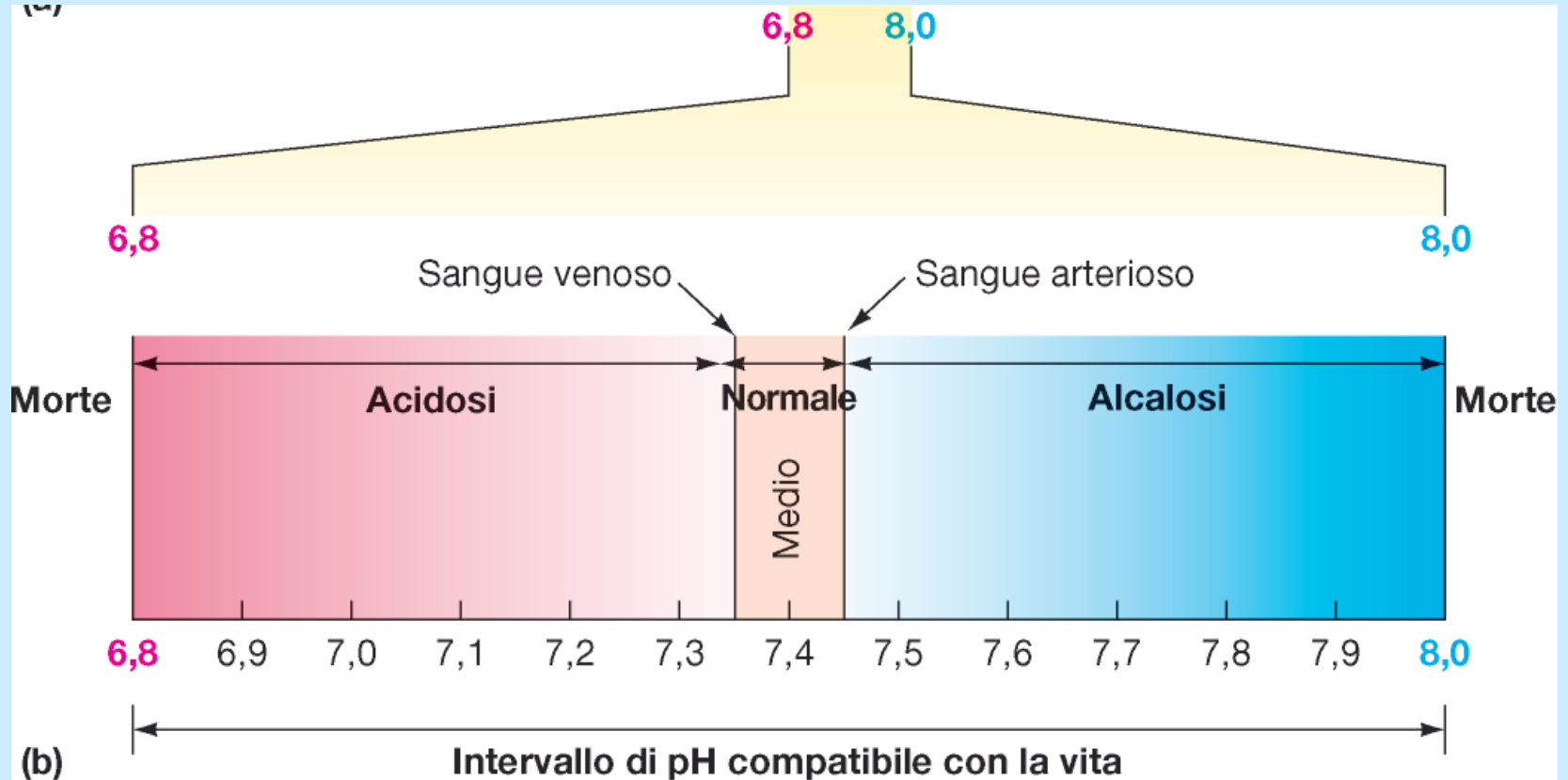


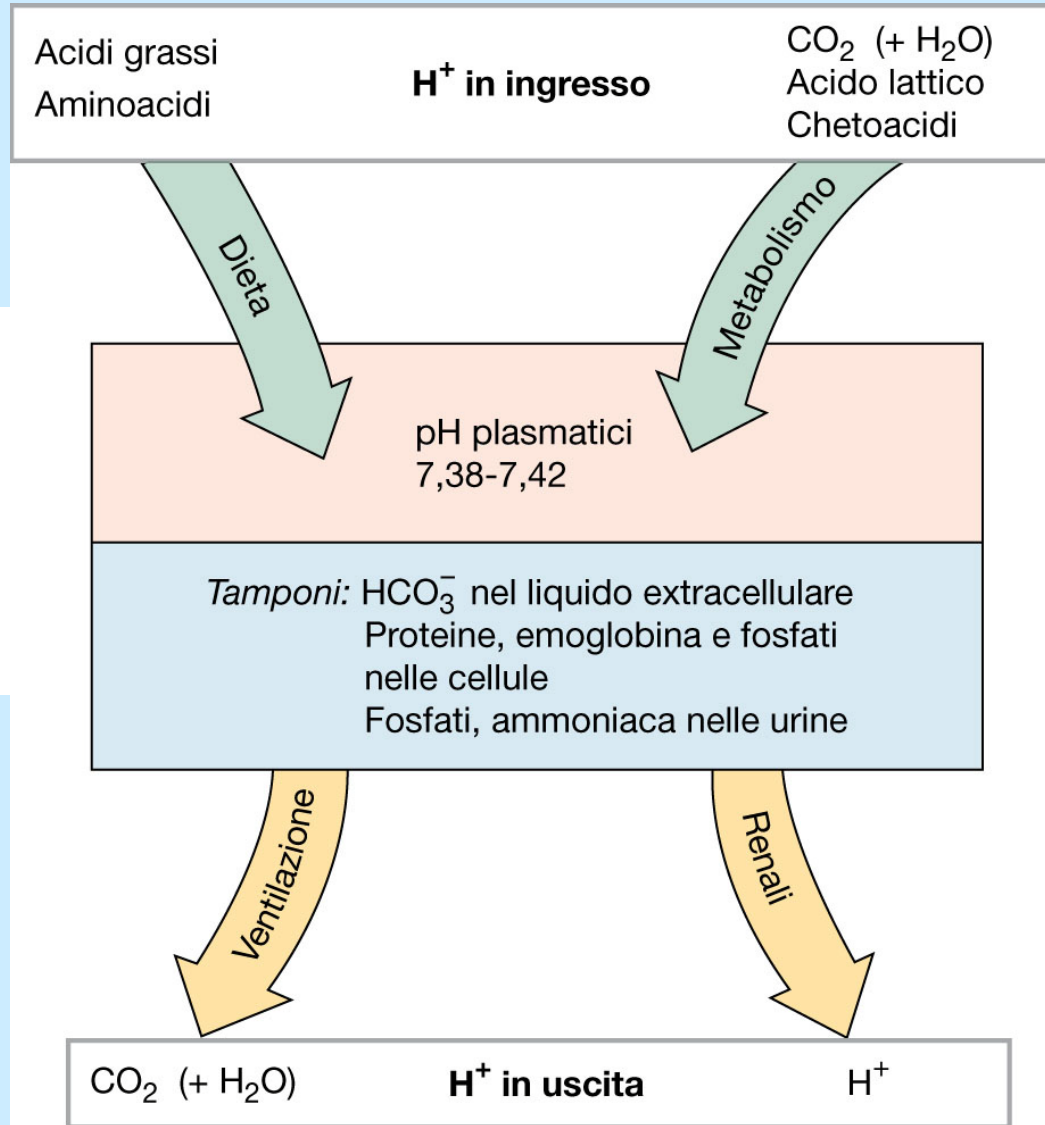
Schema dei meccanismi di trasporto ionico nelle cellule principali dei dotti collettori che regolano il bilancio di Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e H<sub>2</sub>O sotto il controllo dell'aldosterone, del peptide natriuretico atriale (ANP) e dell'ormone antidiuretico (ADH).



# Equilibrio acido-base

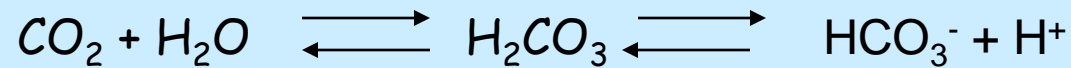
Il pH arterioso è mantenuto entro i suoi valori normali tra 7.38 e 7.42 dall'azione combinata dei polmoni e dei reni. Una riduzione del pH sotto 7.35 è detta acidosi, un aumento sopra 7.45 è detta alcalosi.





# Tre linee di difesa contro le variazioni della $[H^+]$

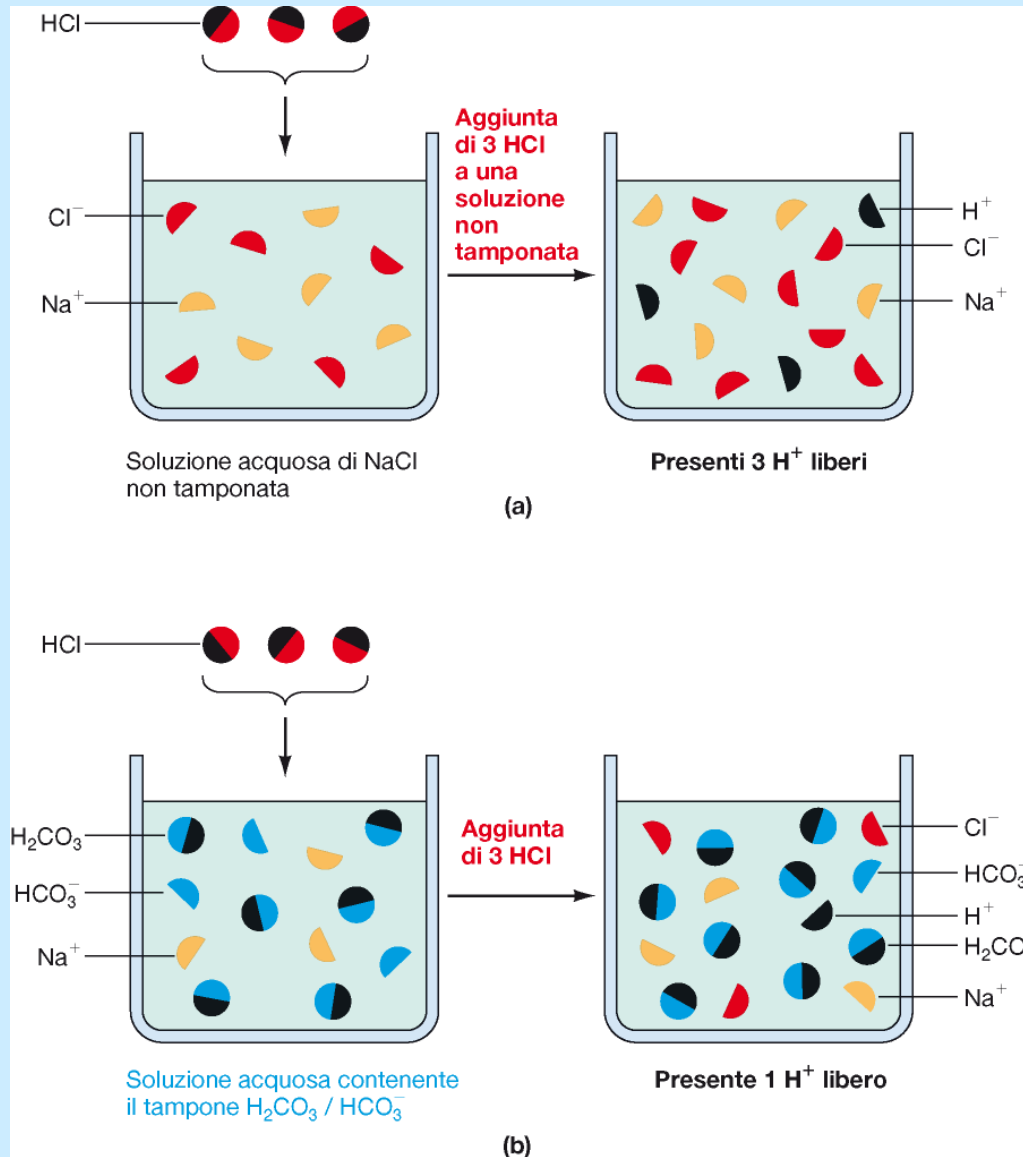
Il sistema respiratorio contribuisce al mantenimento dell'equilibrio acido-base regolando il livello di  $CO_2$  nel sangue



Compensazione renale modificando la velocità con la quale gli ioni idrogeno vengono secreti e gli ioni bicarbonato vengono riassorbiti dai tubuli renali

Effetto tampone degli ioni idrogeno. Il tampone più importante nel LEC è il bicarbonato, nel LIC proteine e fosfati.

I sistemi tampone riducono al minimo le variazioni del pH legandosi con gli  $H^+$  liberi o rilasciandoli

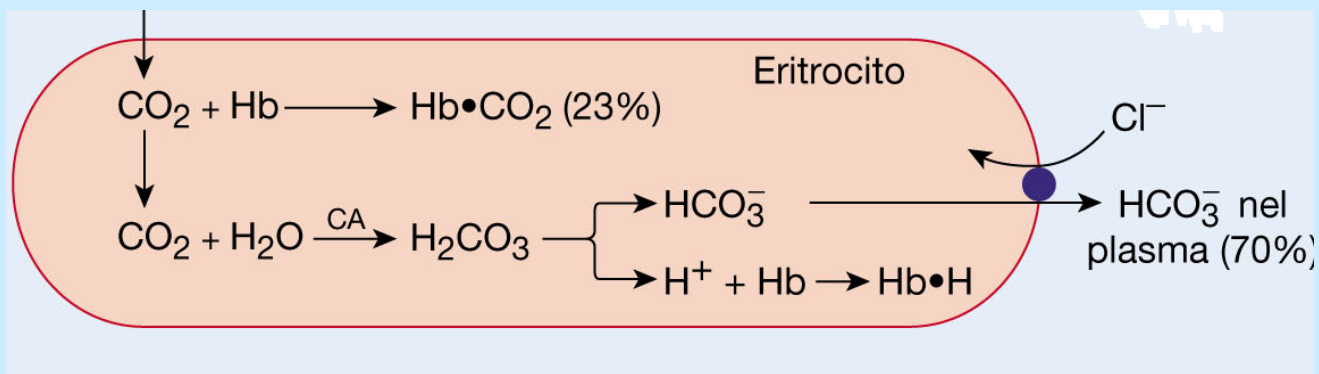


**Sistema tampone acido carbonico/bicarbonato** (tampone primario del LEC contro le variazioni degli acidi non carbonici)

**Sistema tampone proteico** (tampone primario del LIC, tampona anche il LEC)

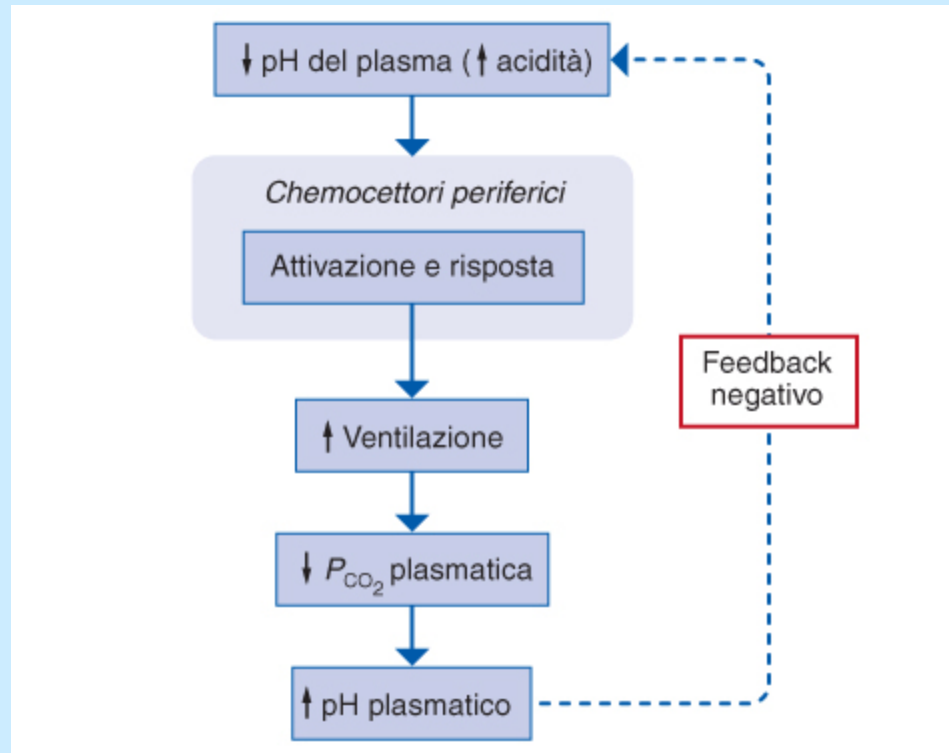
**Sistema tampone emoglobina** (tampone primario contro le variazioni dell'acido carbonico)

**Sistema tampone fosfato** (importante tampone urinario, tampona anche il LIC)

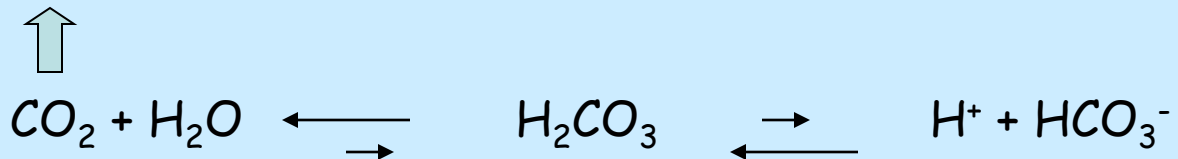


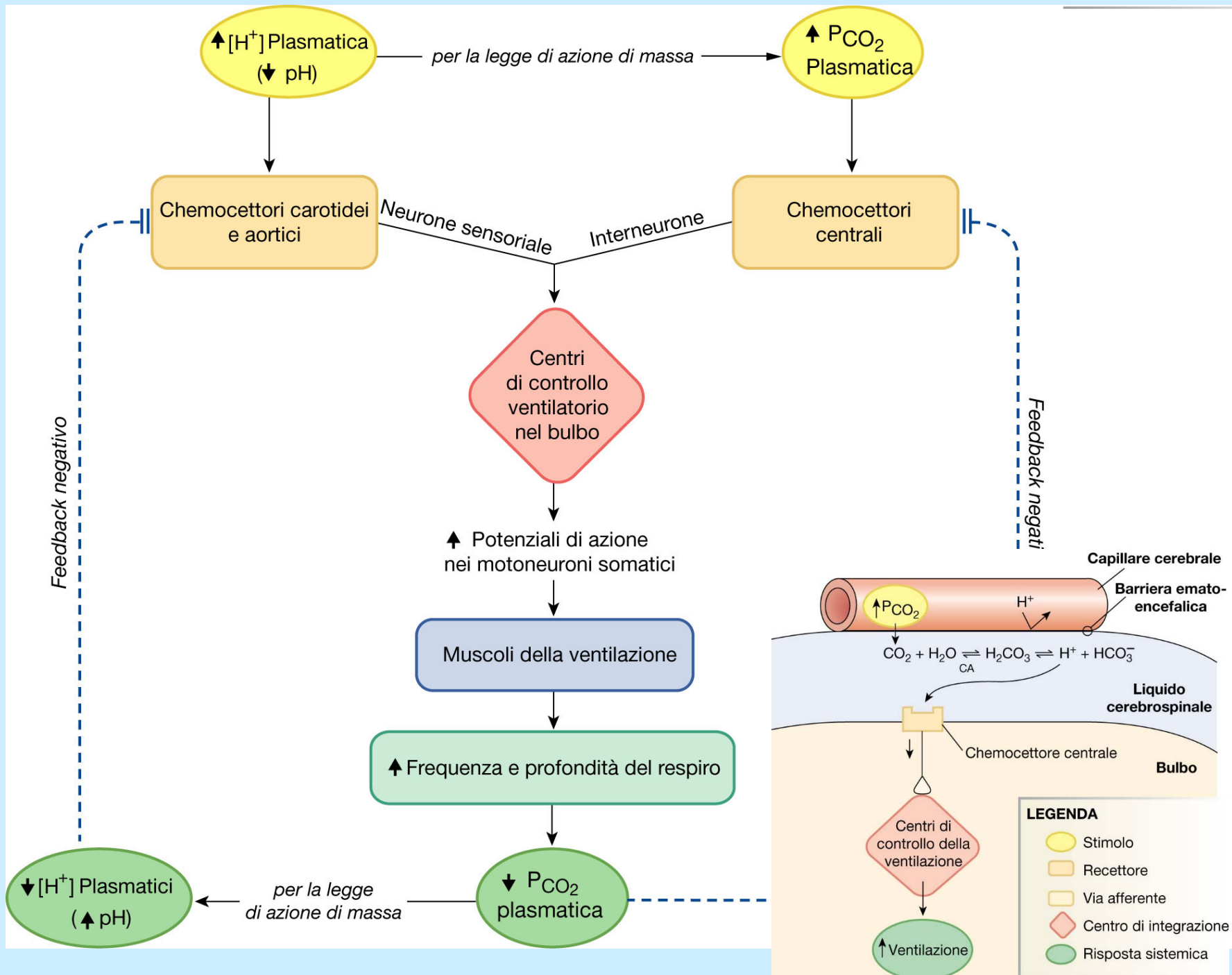


# Compensazione respiratoria

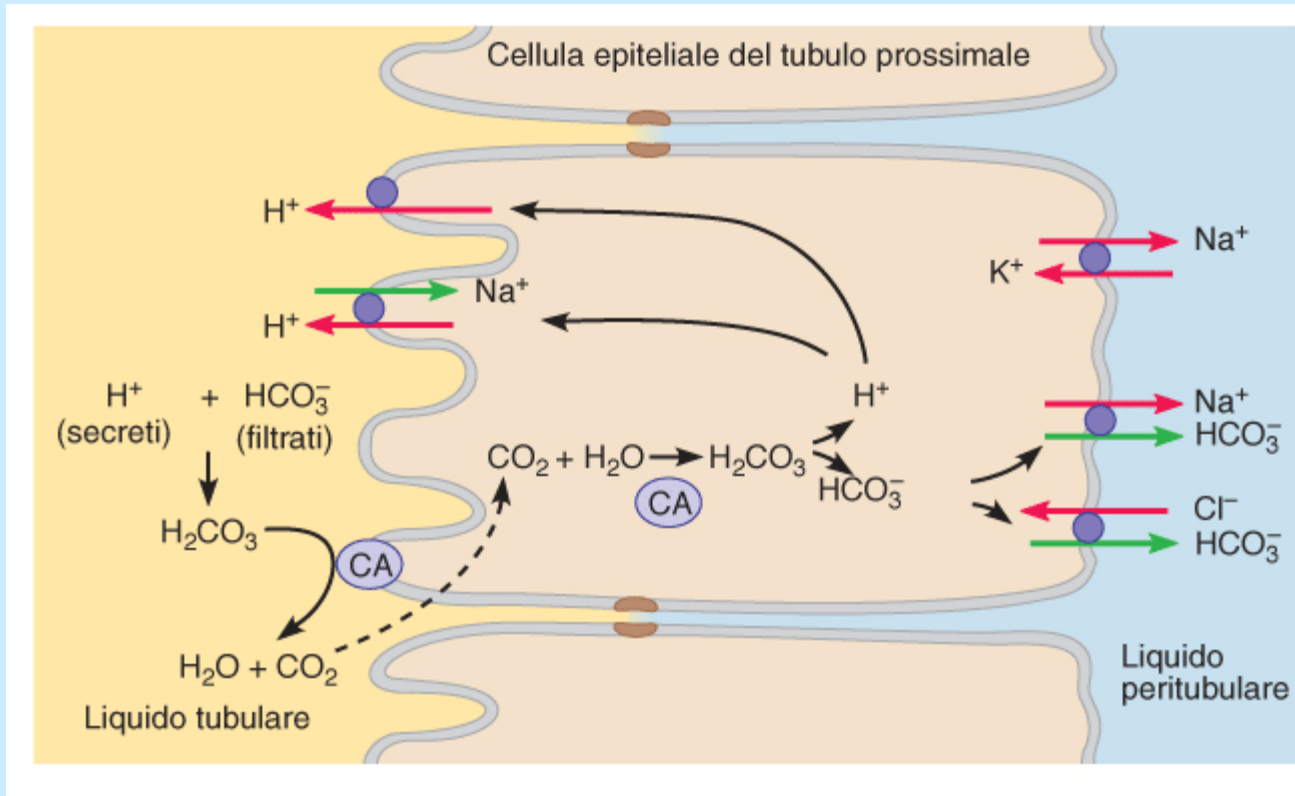


L'aumento della ventilazione polmonare  
Rimuove CO<sub>2</sub>

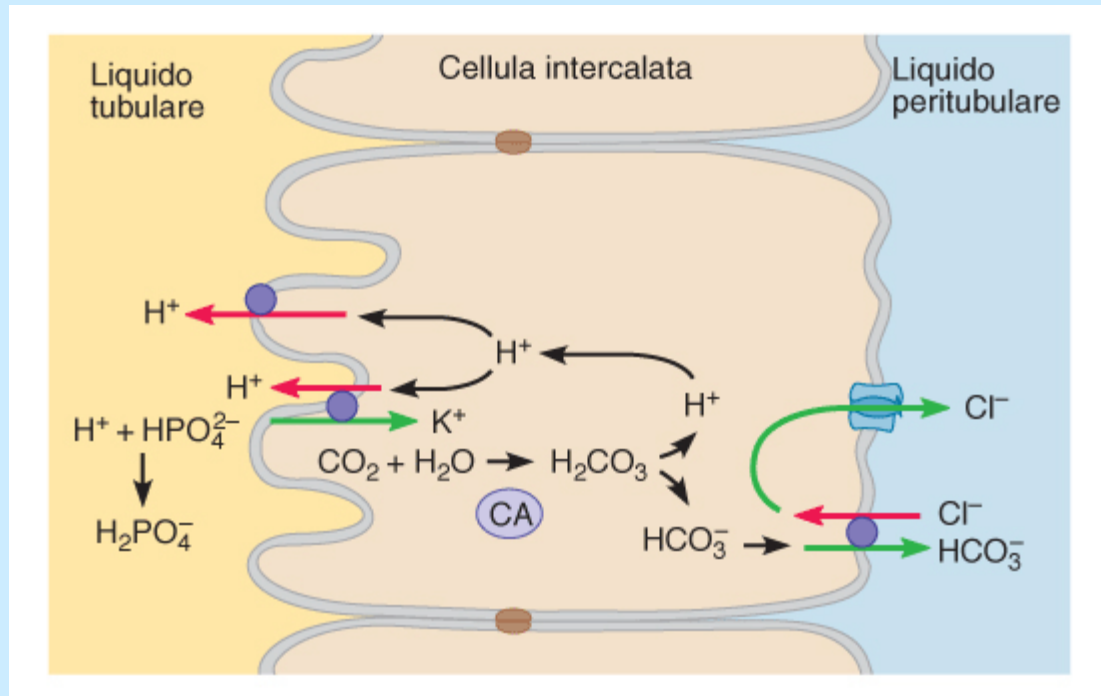




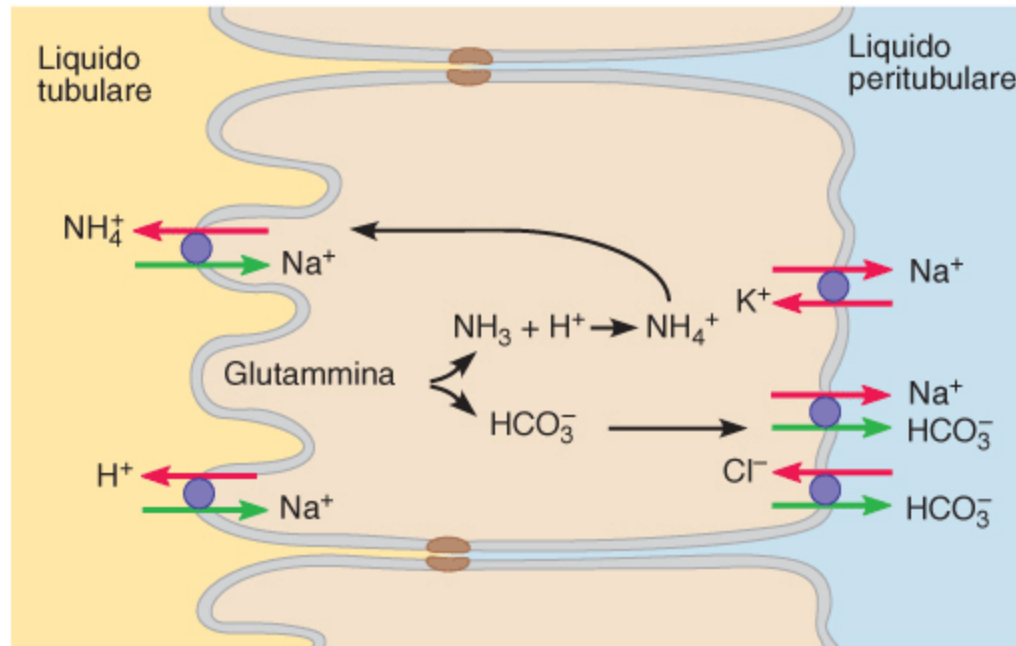
# Compensazione renale



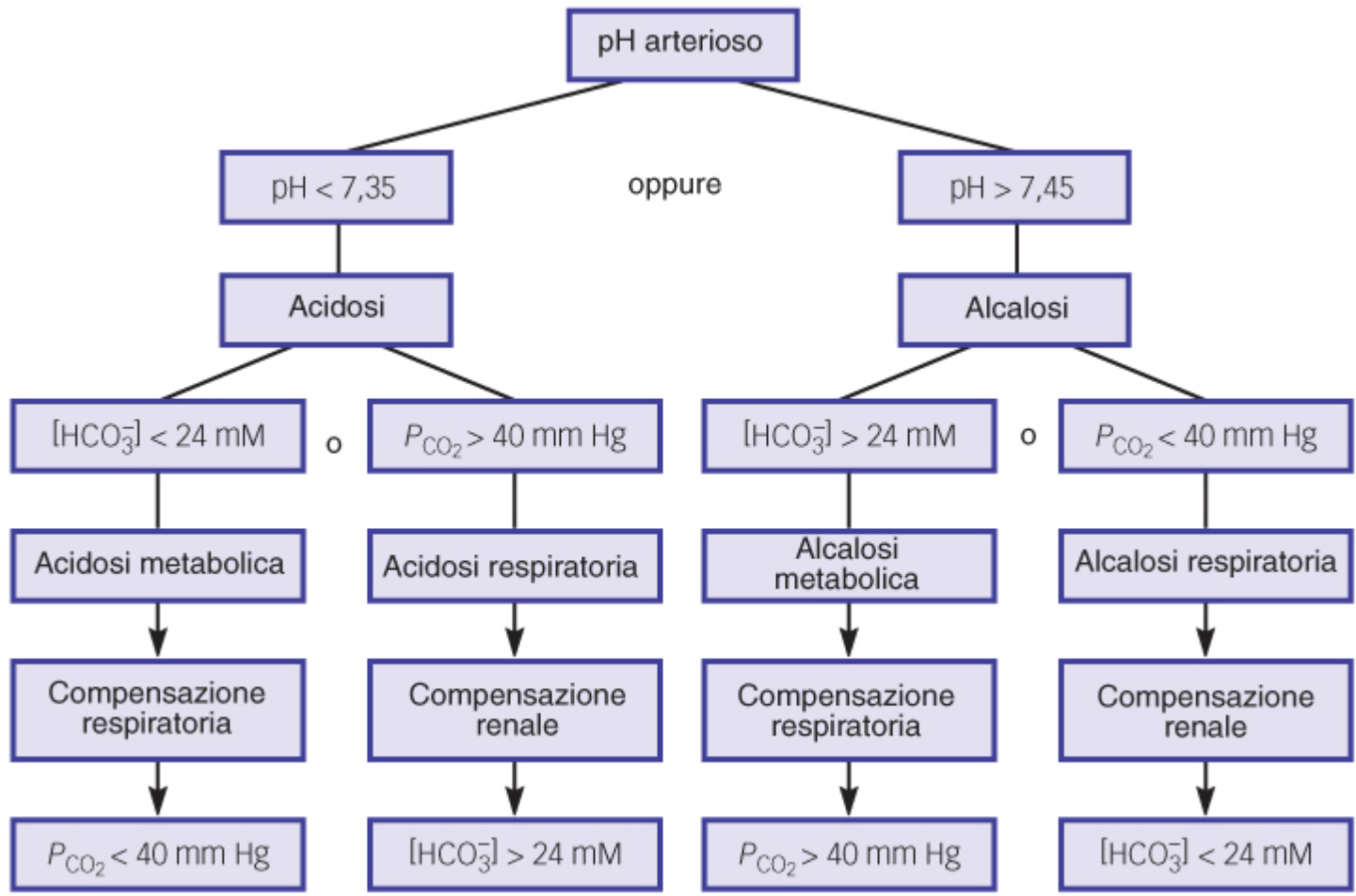
**Riassorbimento del bicarbonato e secrezione di ioni idrogeno nel tubulo prossimale.**



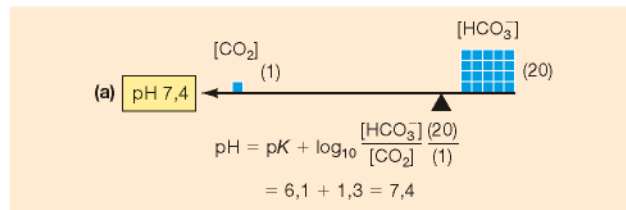
**Sintesi del bicarbonato e secrezione degli ioni idrogeno dalle cellule intercalate del tubulo distale e del dotto collettore**



**Sintesi del bicarbonato e secrezione di idrogeno grazie al metabolismo della glutammina nel tubulo prossimale.**

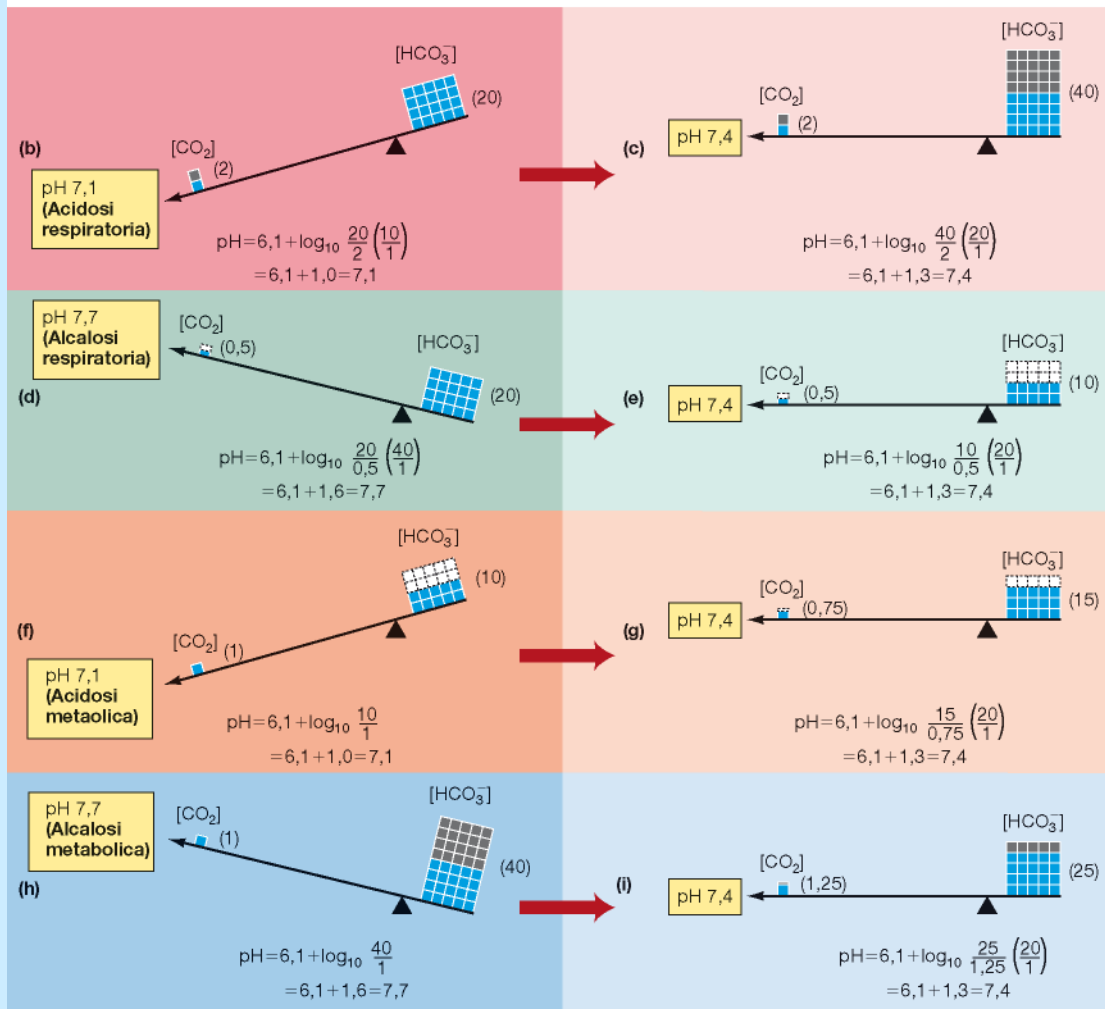


Normale



Disturbi scompensati dell'equilibrio acido-base

Disturbi compensati dell'equilibrio acido-base



(Nella rappresentazione dell'equilibrio la lunghezza dei bracci non è in scala.)