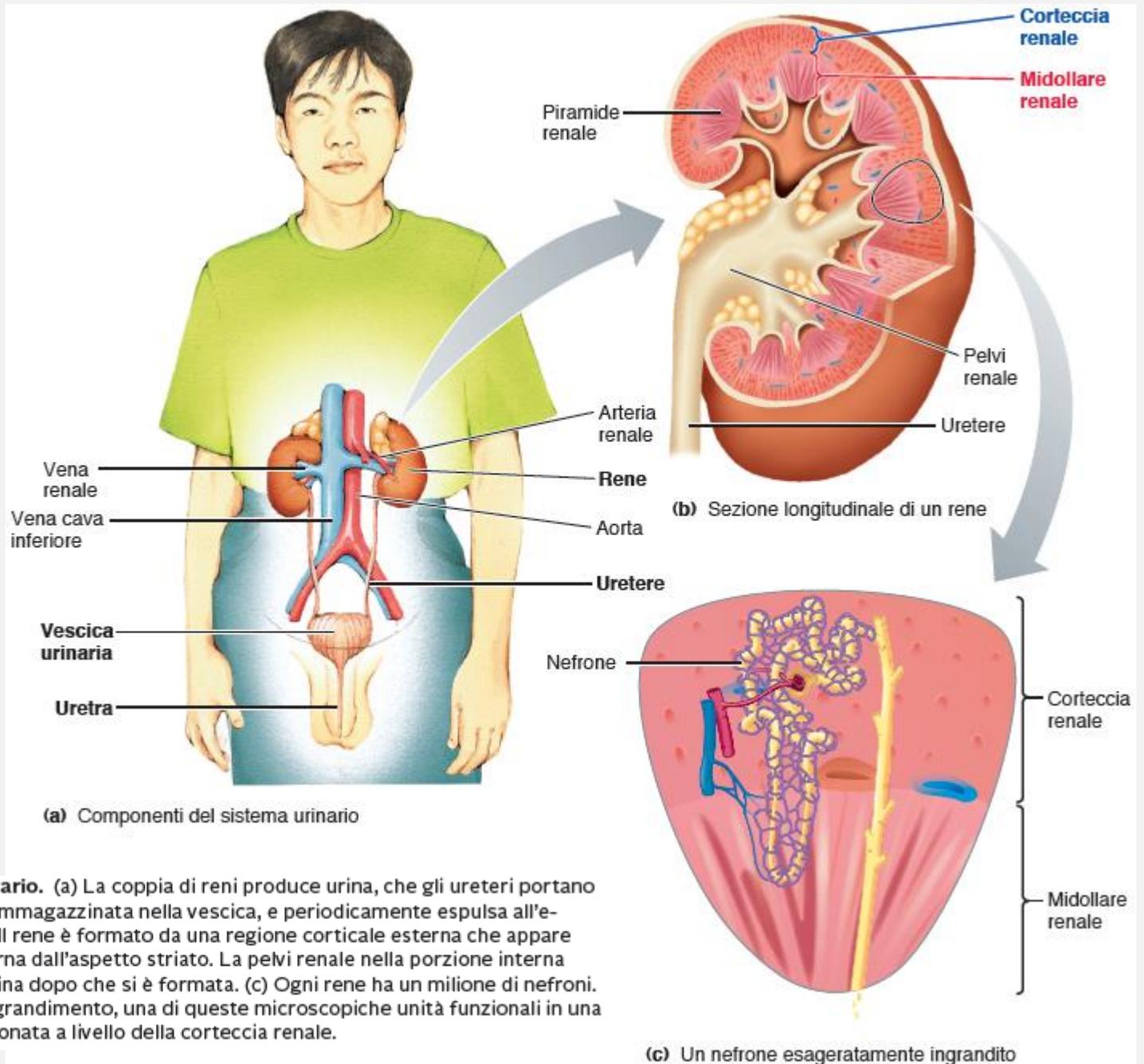


FUNZIONE RENALE

Funzioni dei reni

- ✚ Depurazione del sangue
- ✚ Controllo del bilancio idrico
- ✚ Controllo dell'osmolarità dei liquidi corporei
- ✚ Controllo dell'equilibrio elettrolitico
- ✚ Controllo dell'equilibrio acido-base
- ✚ Controllo della pressione arteriosa



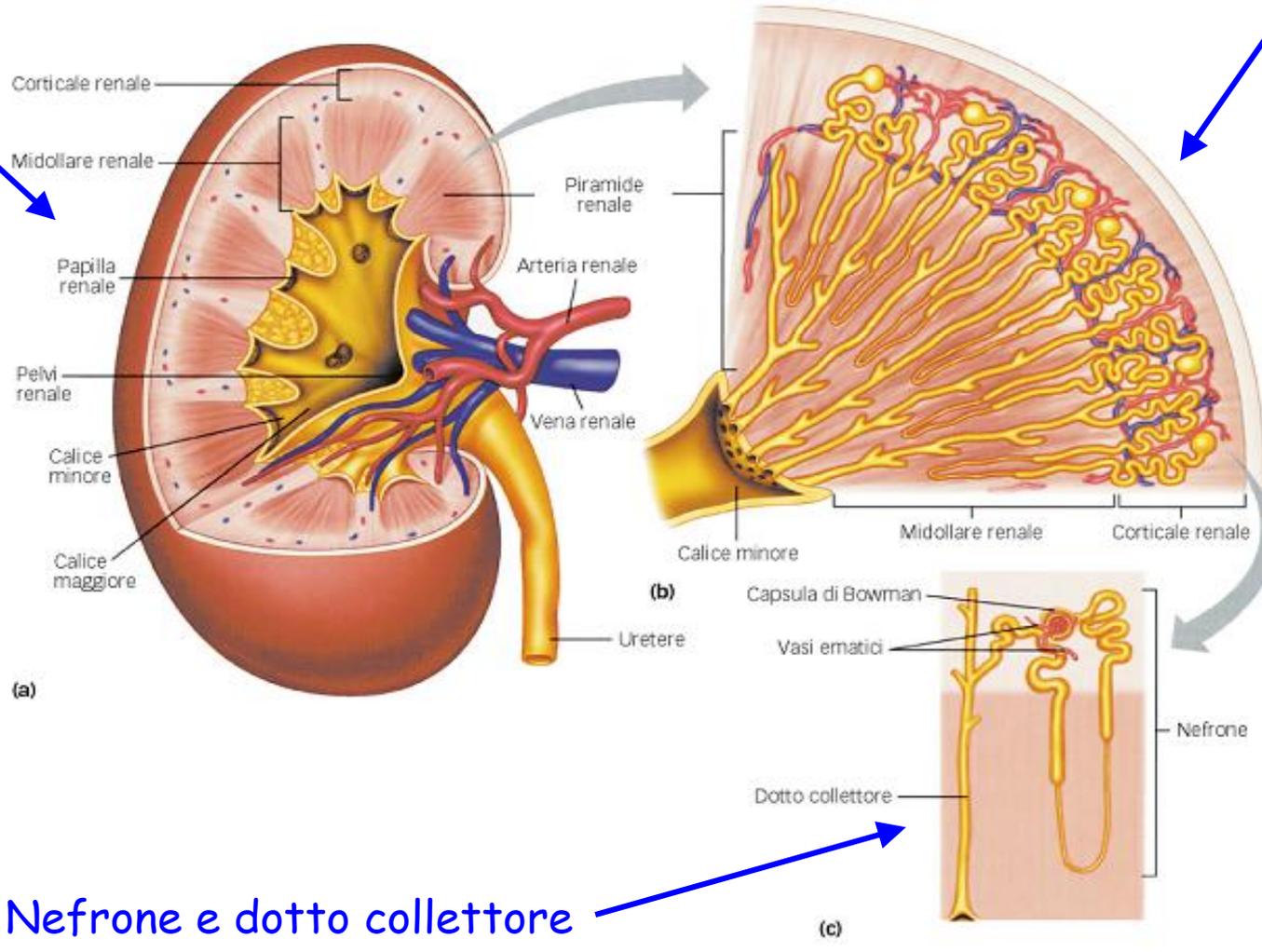
● **FIGURA 13-1 Il sistema urinario.** (a) La coppia di reni produce urina, che gli ureteri portano alla vescica urinaria. L'urina è immagazzinata nella vescica, e periodicamente espulsa all'esterno attraverso l'uretra. (b) Il rene è formato da una regione corticale esterna che appare granulata e una midollare interna dall'aspetto striato. La pelvi renale nella porzione interna mediale del rene raccoglie l'urina dopo che si è formata. (c) Ogni rene ha un milione di nefroni. Qui viene mostrata, ad alto ingrandimento, una di queste microscopiche unità funzionali in una piramide renale midollare sezionata a livello della corteccia renale.

(c) Un nefrone esageratamente ingrandito

Anatomia del rene

Sezione trasversale che mostra la corticale più esterna e la midollare più interna. La midollare è formata dalle piramidi renali.

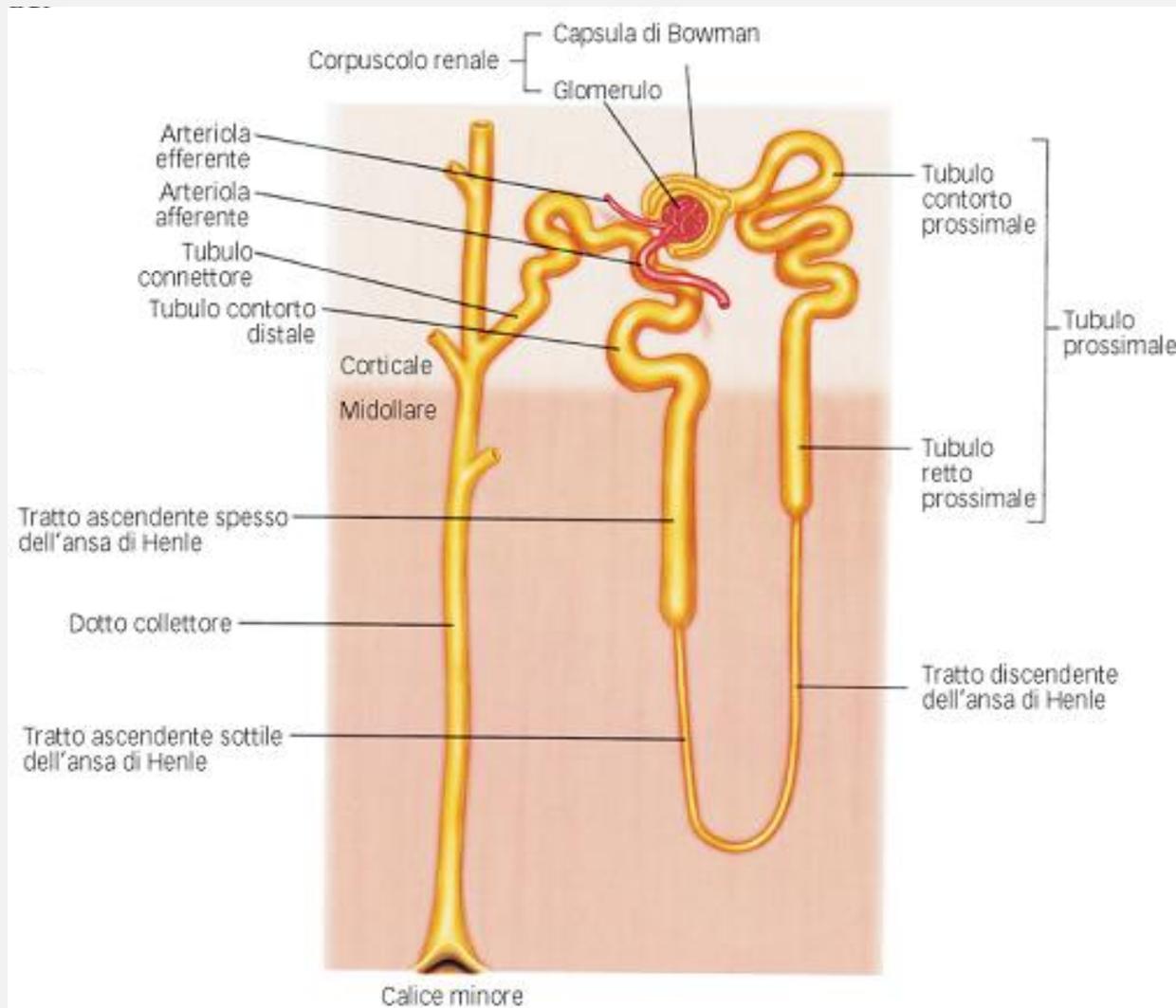
Piramidi renale. Mostra l'orientamento dei nefroni.

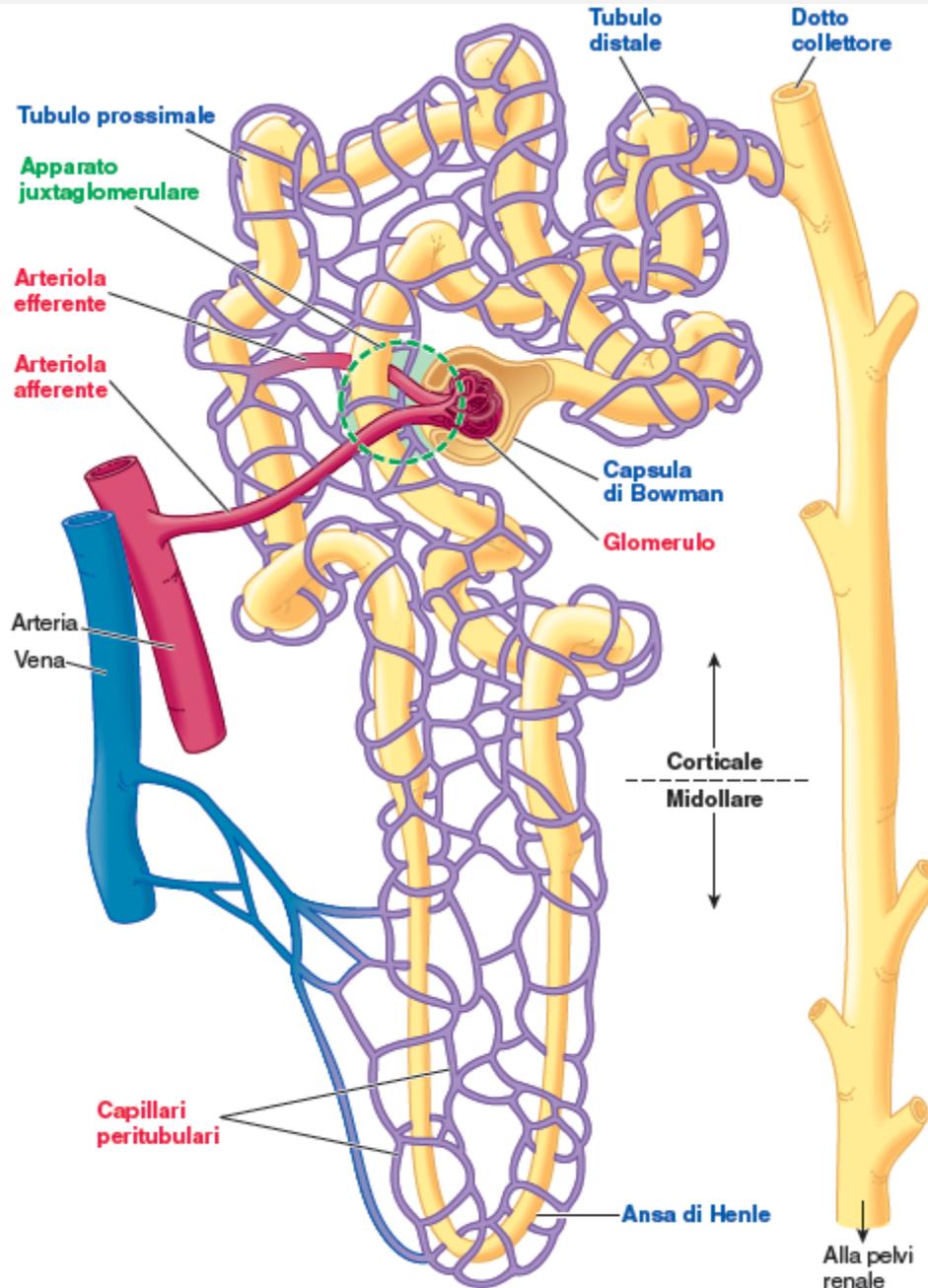


Nefrone e dotto collettore

Struttura del nefrone

Un nefrone è formato da due parti, il corpuscolo renale e il tubulo renale. Ogni corpuscolo renale è formato da una capsula di Bowman e da un glomerulo; ogni tubulo renale è formato da segmenti tubulari continui.





Riassunto delle funzioni delle diverse parti del nefrone

Componente vascolare

- **Arteriola afferente**: porta sangue al glomerulo
- **Glomerulo**: gomito di capillari che filtra un plasma privo di proteine nella componente tubulare
- **Arteriola efferente**: drena sangue dal glomerulo
- **Capillari peritubulari**: irrano il tessuto renale; coinvolti negli scambi con il liquido nel lume tubulare

Componente tubulare

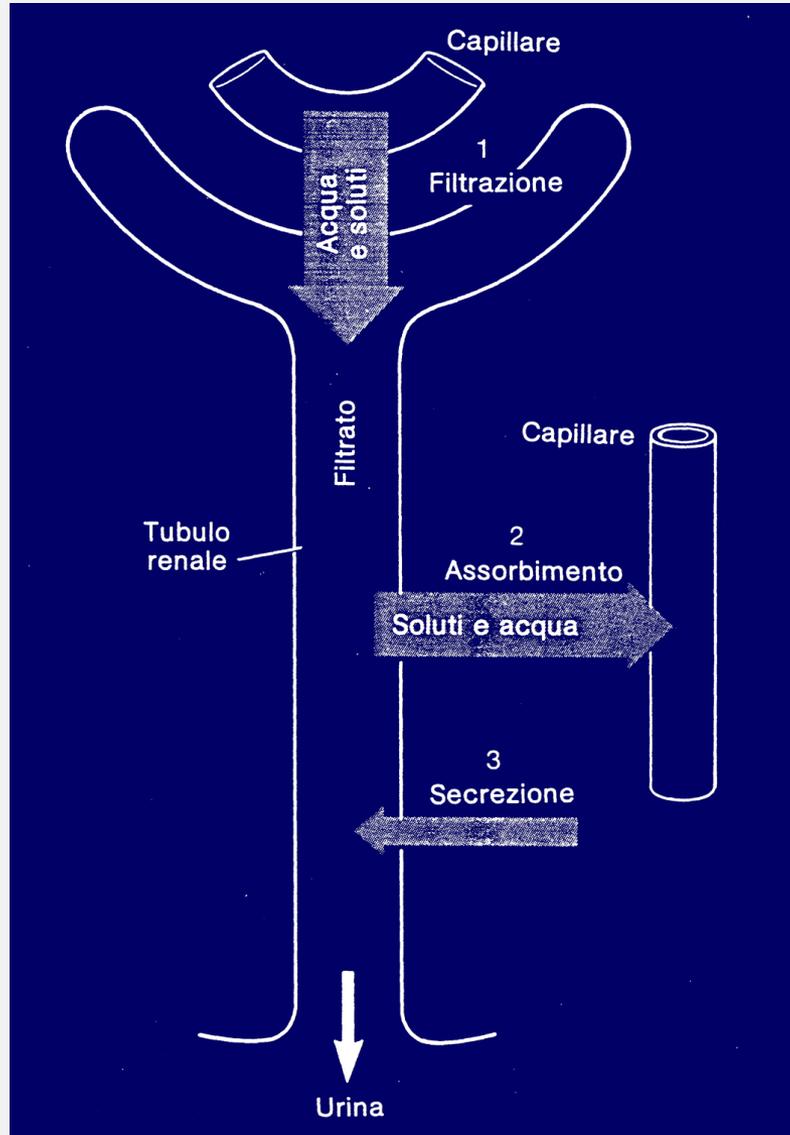
- **Capsula di Bowman**: raccoglie il filtrato glomerulare
- **Tubulo prossimale**: qui avvengono il riassorbimento e la secrezione non controllati di determinate sostanze
- **Ansa di Henle**: stabilisce un gradiente osmotico nella midollare renale, fondamentale per la capacità dei reni di produrre urina a diverse concentrazioni
- **Tubulo distale e dotto collettore**: qui avvengono il riassorbimento controllato e variabile di Na^+ e H_2O e la secrezione sempre controllata e variabile di K^+ e H^+ ; il liquido che esce dal dotto collettore è urina, che entra nella pelvi renale

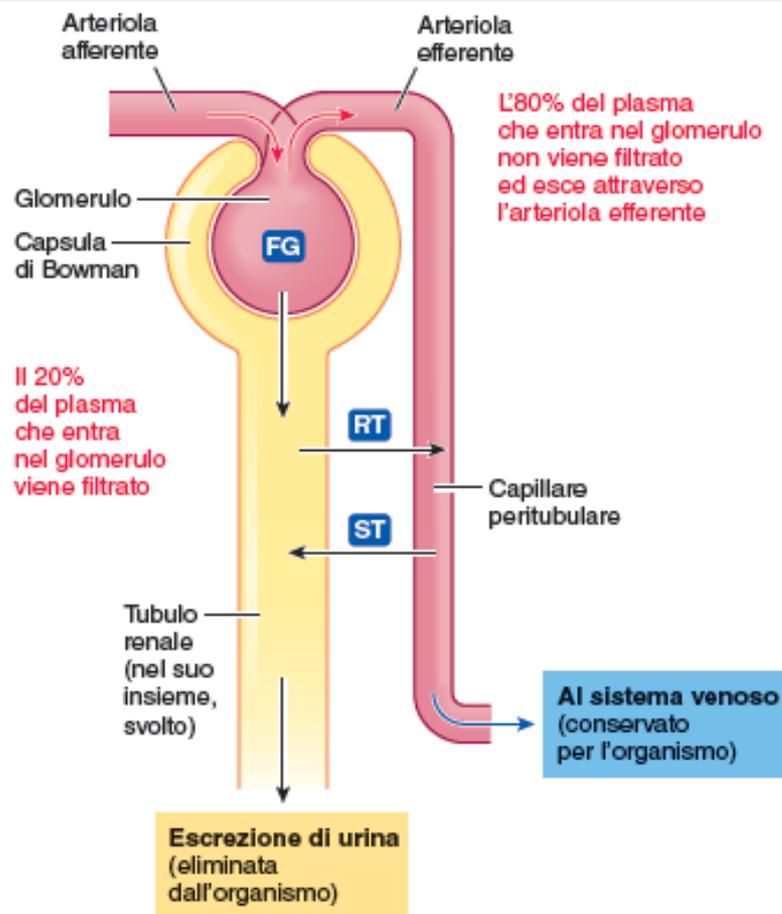
Componente mista vascolare/tubulare

- **Apparato juxtaglomerulare**: produce sostanze coinvolte nel controllo della funzione renale

● FIGURA 13-2 Un nefrone.

Principio di funzionamento del nefrone





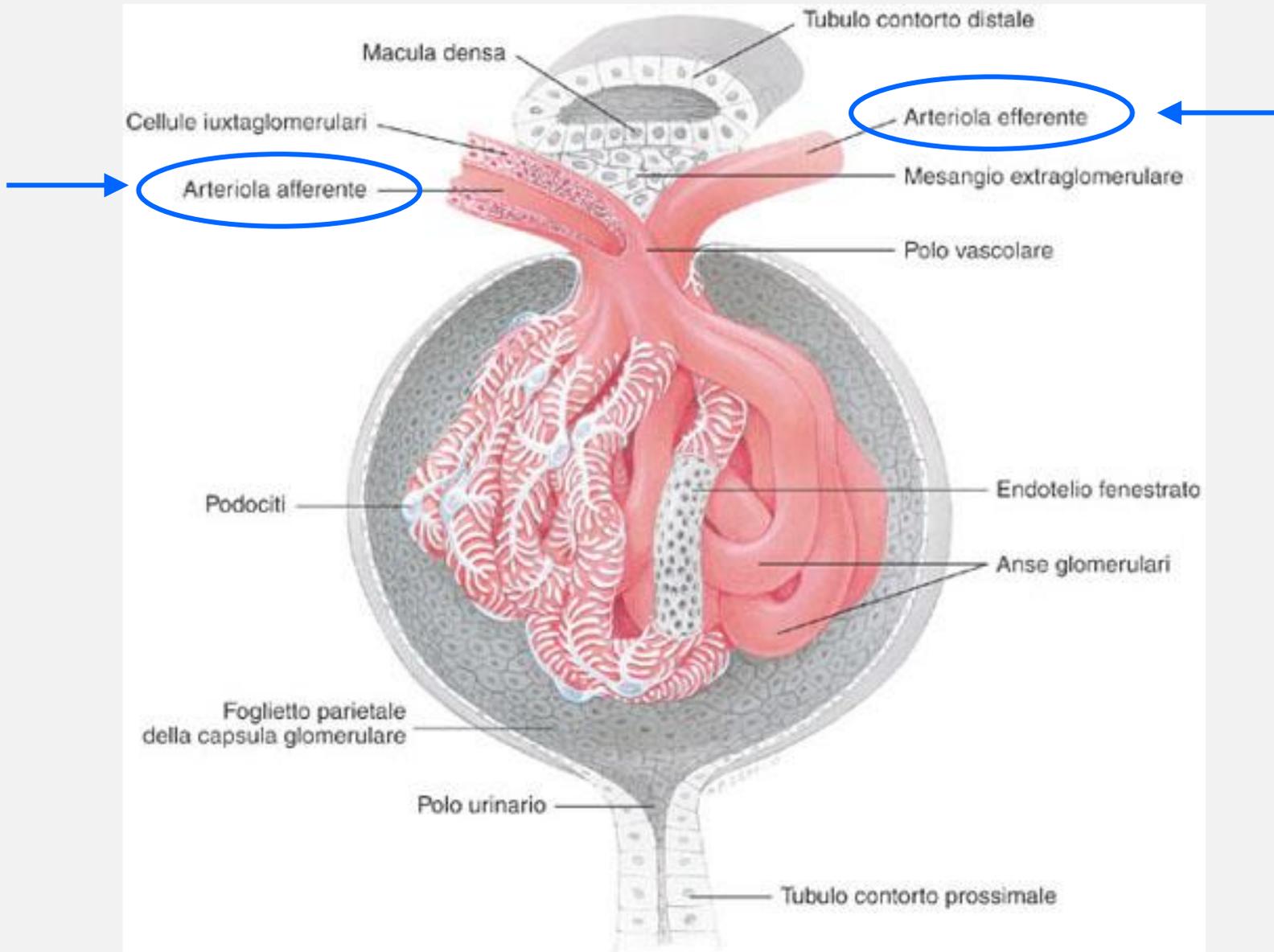
FG = **Filtrazione glomerulare**: filtrazione indiscriminata di plasma privo di proteine dal glomerulo nella capsula di Bowman

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

● **FIGURA 13-4 I processi renali fondamentali.** Tutto ciò che viene filtrato o secreto ma non riassorbito viene escreto nell'urina ed eliminato dall'organismo. Tutto ciò che viene filtrato e successivamente riassorbito, o non filtrato del tutto, torna nel sangue venoso e viene conservato dall'organismo.

Struttura del glomerulo



Proprietà della membrana filtrante

Proprietà fisiche

Endotelio fenestrato: pori da ca. 700 Å.
Blocca le cellule

Membrana basale: glicoproteine. Blocca le
proteine

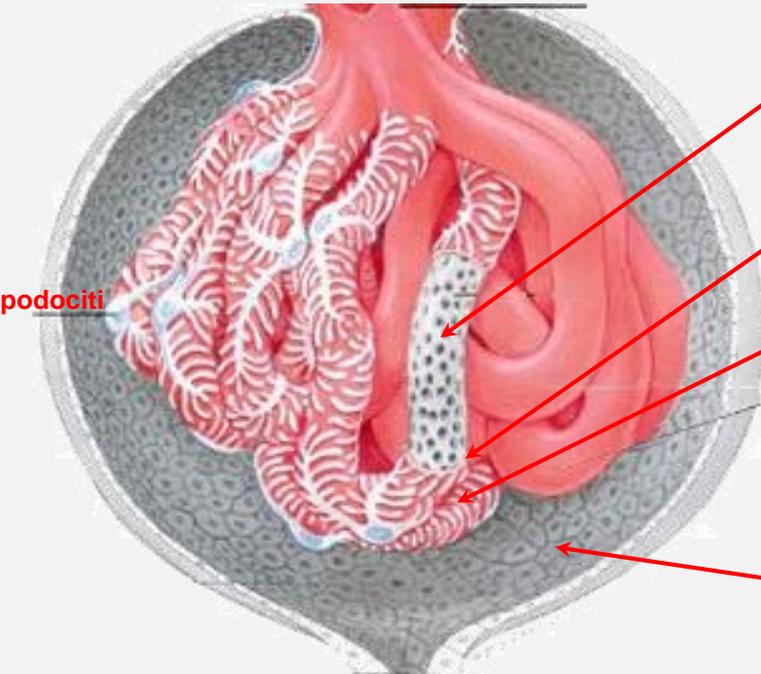
Fessure di filtrazione: pori da 40 - 140 Å
Blocca proteine e macromolecole

Proprietà chimiche

Glicoproteine cariche negativamente nella
membrana basale. Bloccano gli anioni
proteici

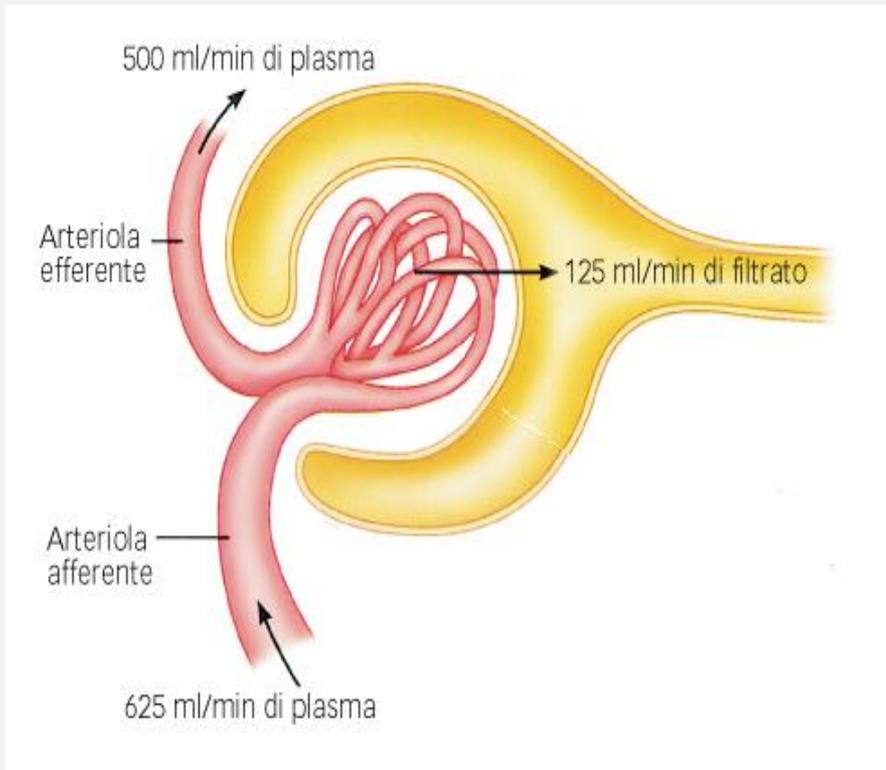
Composizione del filtrato

Plasma privo di proteine



Frazione di filtrazione

È il rapporto tra la velocità di filtrazione glomerulare e il flusso plasmatico renale



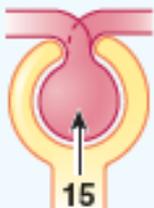
Flusso plasmatico = 625 ml/min

Velocità di filtrazione
glomerulare = 125 ml/min

Frazione di filtrazione

= $125/625 = 0,20 = 20\%$

▲ Tabella 13-1 Forze Coinvolte nella Filtrazione Glomerulare

Forza	Effetto	Valore (mm Hg)
Pressione sanguigna nei capillari glomerulari	Favorisce la filtrazione	 55
Pressione colloid-osmotica plasmatica	Si oppone alla filtrazione	 30
Pressione idrostatica nella capsula di Bowman	Si oppone alla filtrazione	 15
Pressione di filtrazione netta (differenza tra la forza che favorisce la filtrazione e le forze che vi si oppongono)	Favorisce la filtrazione	 10

$55 - (30 + 15) = 10$

Funzioni dei tubuli

Tubulo contorto prossimale

Epitelio cilindrico con fitto orletto a spazzola

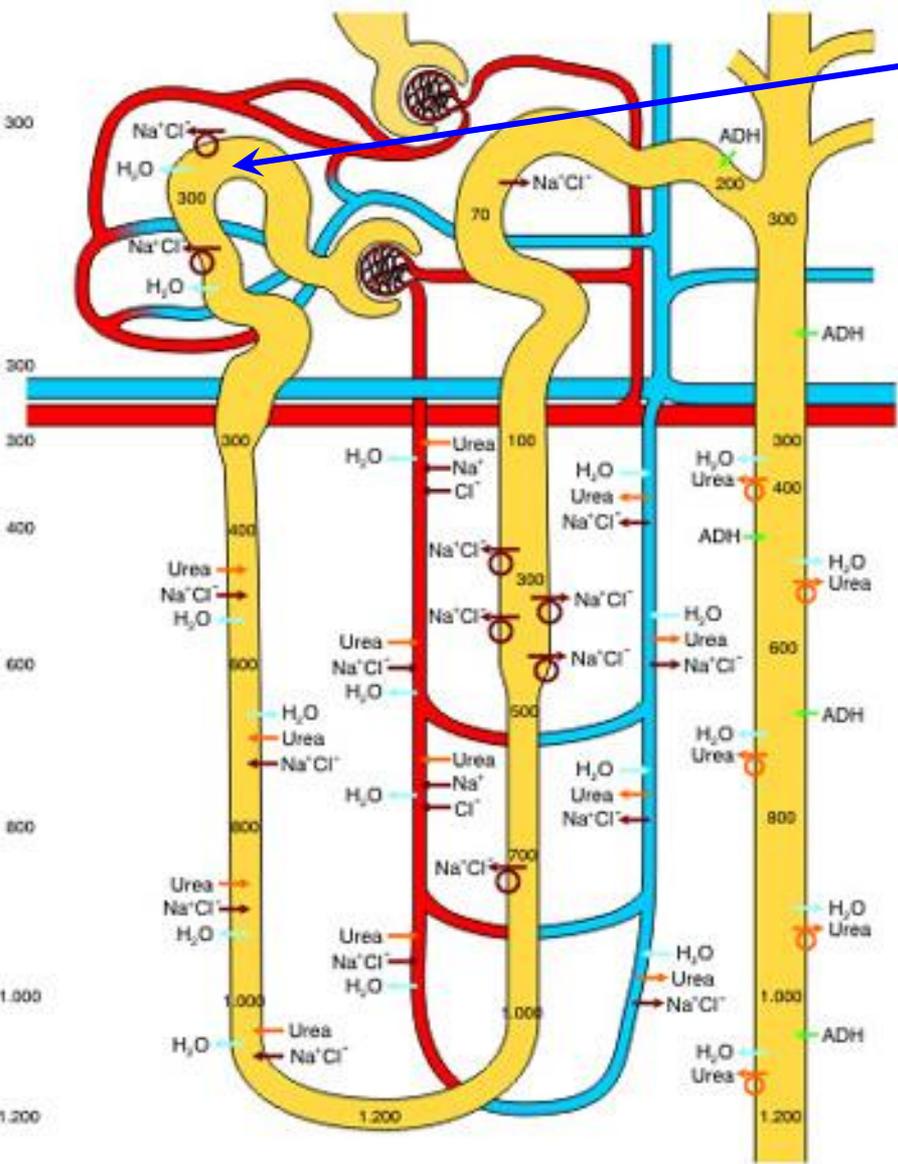
Alta permeabilità all' H_2O

Funzione:

Riassorbimento attivo di Na^+ e passivo del 60% del filtrato

Riassorbimento attivo di glucosio e aminoacidi

Secrezione di H^+



Funzioni dei tubuli

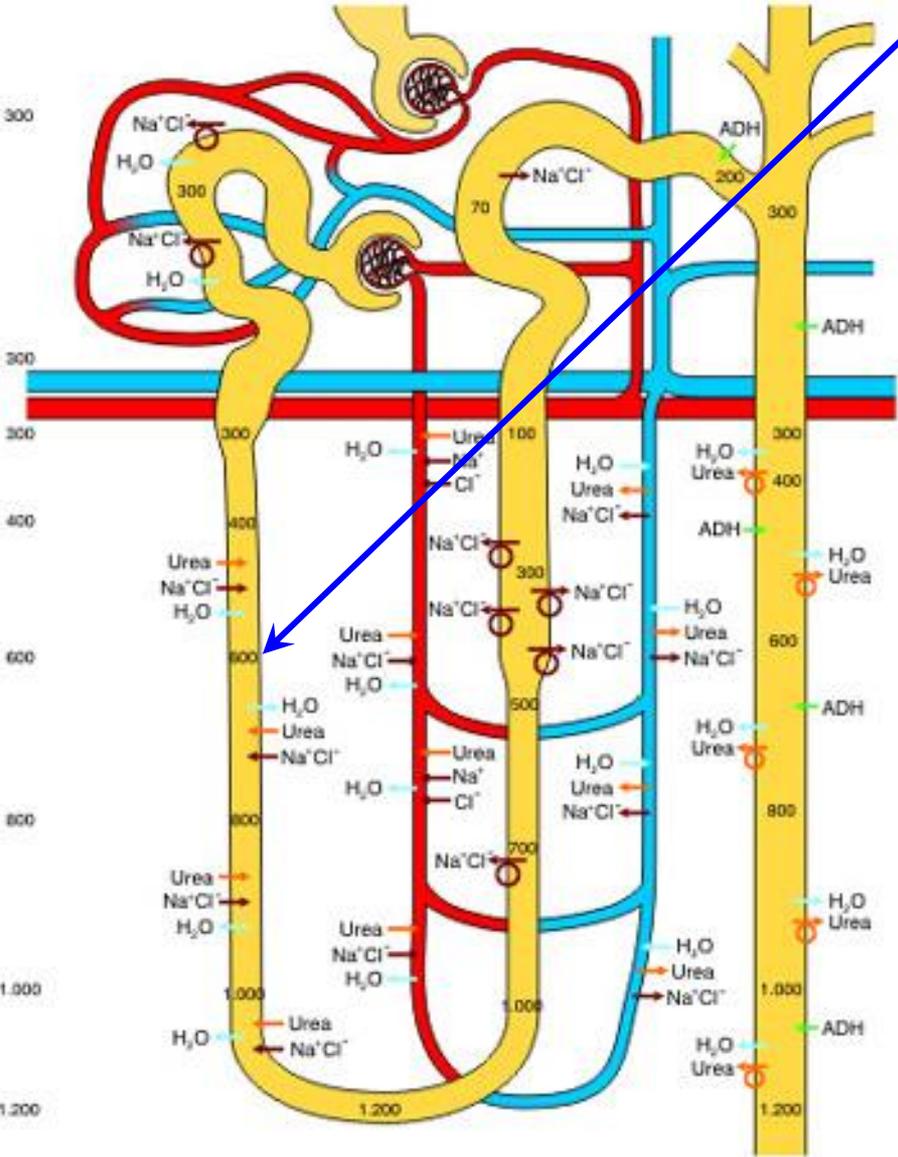
Segmento sottile discendente dell'ansa di Henle

Epitelio piatto senza orletto a spazzola

Elevata permeabilità all' H_2O , moderata agli altri ioni

Funzione:

Diffusione di acqua e ioni



Funzioni dei tubuli

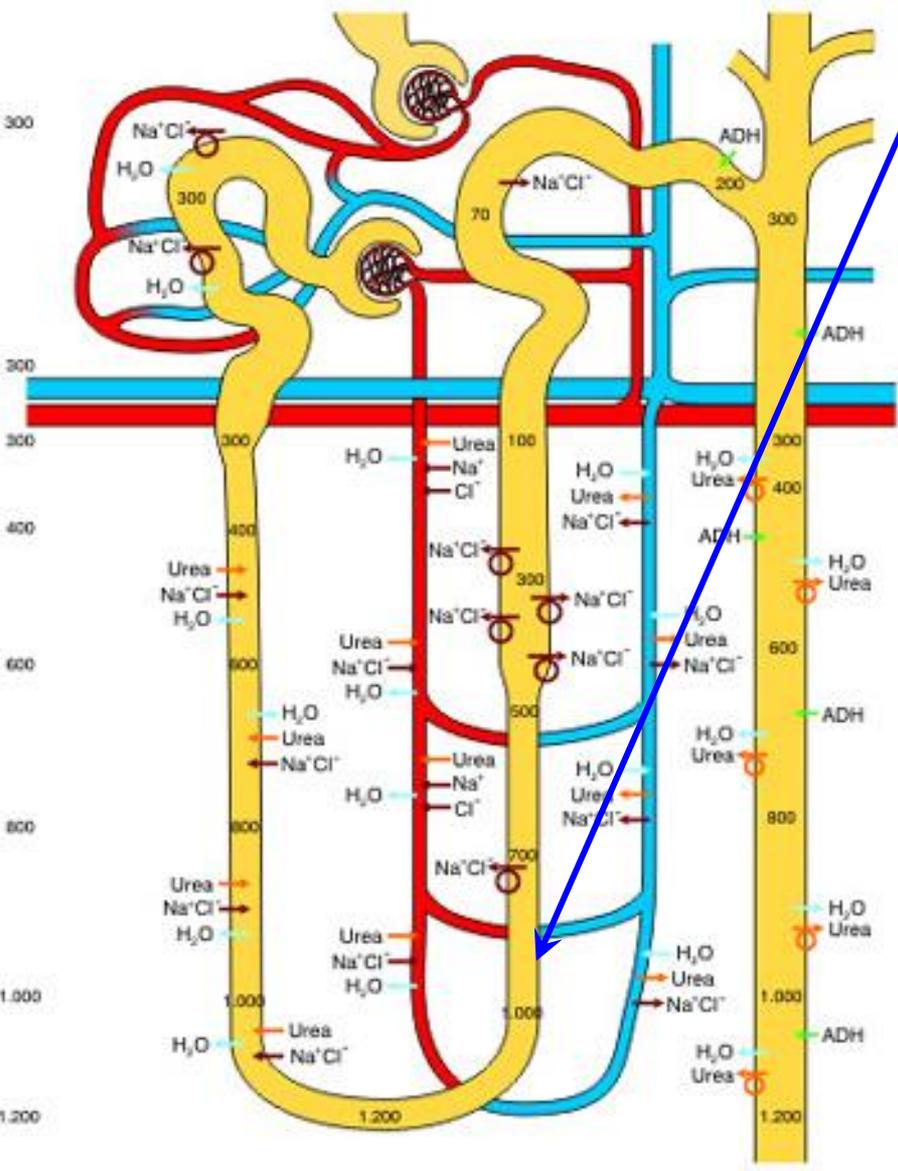
Segmento sottile ascendente dell'ansa di Henle

Epitelio come il discendente

Bassa permeabilità all' H_2O , moderata agli altri ioni

Funzione:

Concentrazione dell'urina



Funzioni dei tubuli

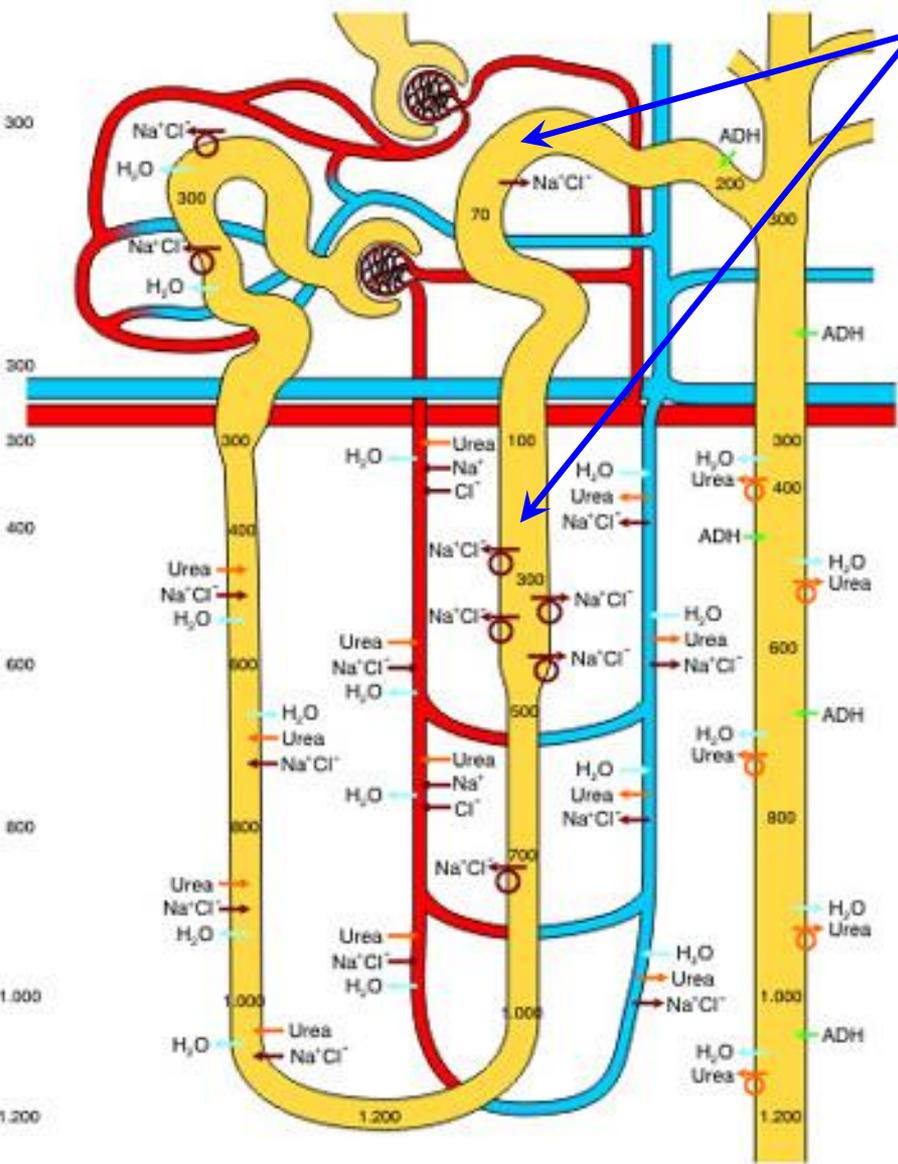
Segmento spesso dell'ansa di Henle e primo tubulo distale

Epitelio cilindrico o cubico con orletto a spazzola rudimentale. Strette giunzioni serrate. Permeabilità all'H₂O assente

Funzione:

Trasporto attivo di Na⁺

Diluizione dell'urina



Funzioni dei tubuli

Seconda parte del tubulo distale e dotto collettore corticale

Epitelio cilindrico o cubico con orletto a spazzola rudimentale.

Permeabilità all' H_2O dipendente da ADH.

Cellule intercalate secernenti attivamente H^+

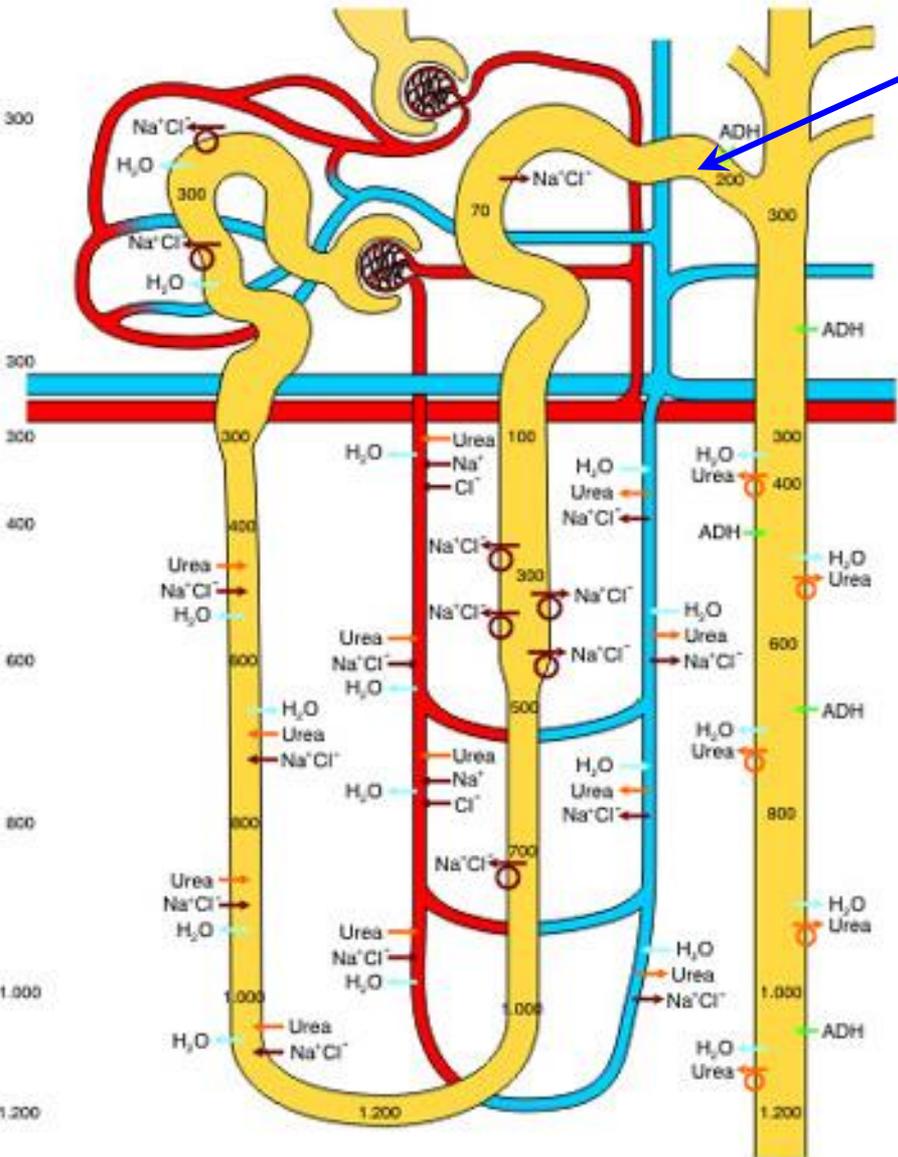
Funzione:

Riassorbimento attivo di Na^+ e secrezione di K^+ dipendenti da Aldosterone

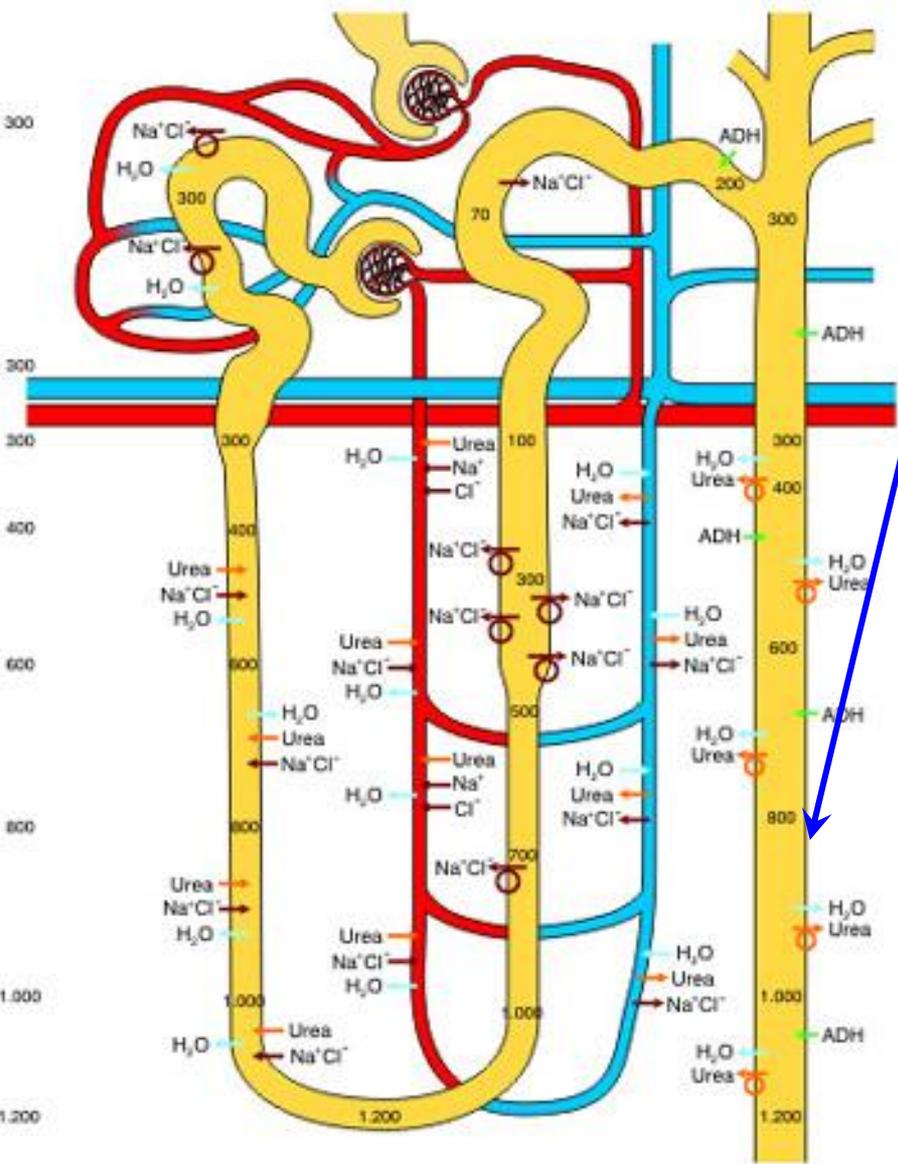
Diluizione o concentrazione dell'urina

Secrezione attiva di H^+

Acidificazione dell'urina



Funzioni dei tubuli



Dotto collettore midollare

Epitelio cubico a superfici lisce

Permeabilità all' H_2O
dipendente da ADH

Funzione:

Riassorbimento di H_2O e urea

Concentrazione dell'urina

Secrezione attiva di H^+

Acidificazione dell'urina

Meccanismi di trasporto nei tubuli prossimali

■ Sodio

Riassorbimento per diffusione ? + trasporto attivo primario

■ Cloro

Riassorbimento per diffusione e gradiente elettrico (via paracellulare)

■ Glucosio e aminoacidi

Riassorbimento per trasporto attivo secondario + diffusione

■ Acqua

Riassorbimento per osmosi (via paracellulare)

▲ Tabella 13-2 Riepilogo dei Trasporti Attraverso le Porzioni Proximale e Distale del Nefrone

TUBULO PROSSIMALE

Riassorbimento

Il 67% del Na^+ filtrato viene riassorbito attivamente, e non è soggetto a regolazione; il Cl^- segue passivamente

Tutto il glucosio e gli aminoacidi filtrati vengono riassorbiti per mezzo di un trasporto attivo secondario; non soggetto a regolazione

Quantità variabili di PO_4^{3-} e di altri elettroliti filtrati vengono riassorbiti; soggetto a regolazione

Il 65% dell' H_2O filtrata viene riassorbito osmoticamente; non soggetto a regolazione

Il 50% dell'urea filtrata viene riassorbito passivamente; non soggetto a regolazione

Quasi tutto il K^+ filtrato viene riassorbito; non soggetto a regolazione

Secrezione

Secrezione variabile di H^+ che dipende dallo stato acido-base dell'organismo

Secrezione di ioni organici; non soggetta a regolazione

TUBULO DISTALE E DOTTO COLLETTORE

Riassorbimento

Riassorbimento variabile di Na^+ , controllato dall'aldosterone; il Cl^- segue passivamente

Riassorbimento variabile di H_2O , controllato dalla vasopressina

Secrezione

Secrezione variabile di H^+ che dipende dallo stato acido-base dell'organismo

Secrezione variabile di K^+ regolata dall'aldosterone

Clearance renale

Funzione del rene è la depurazione del plasma → (filtrazione glomerulare e secrezione tubulare).

La **clearance renale** rappresenta la quantità di plasma completamente depurato dal rene relativamente a una certa sostanza.

Quantità escreta = filtrata - riassorbita + secreta

$$\text{Clearance} = \frac{V_u \times C_u}{C_p}$$

V_u = volume urinario

C_u = concentrazione urina

C_p = concentrazione plasma

$$\text{Clearance} = \frac{\text{mg/min}}{\text{mg/ml}} = \text{ml/min}$$

Inulina → filtra liberamente
(125ml/min)

PAI (acido para-amminoippurico) →
FPR 630ml/min

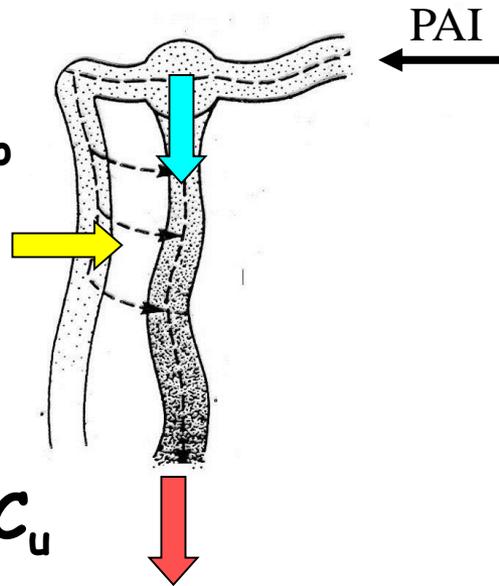
Flusso plasmatico renale Clearance del PAI

Filtrazione glomerulare Clearance dell'inulina

$$\text{FPR} = \frac{V_u \times C_u}{C_p}$$

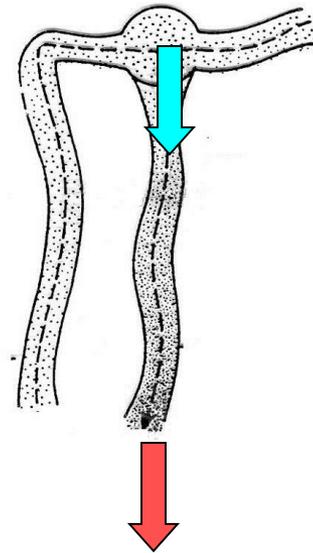
$$\text{VFG} = \frac{V_u \times C_u}{C_p}$$

$$Q_p = \text{FPR} \times C_p$$



$$Q_u = V_u \times C_u$$

Inulina



$$Q_f = \text{VFG} \times C_p$$

$$Q_u = V_u \times C_u$$

Escrezione = filtrazione + secrezione

Escrezione (Q_u) = filtrazione (Q_f)

MECCANISMI DI REGOLAZIONE

Ruolo dell'ADH nel controllo della secrezione dell'urina

Quando i liquidi corporei sono troppo concentrati viene secreta una grande quantità di ADH. Ciò permette ai reni di eliminare forti quantità di soluti ma di trattenere acqua. In assenza di ADH i reni eliminano urina diluita.

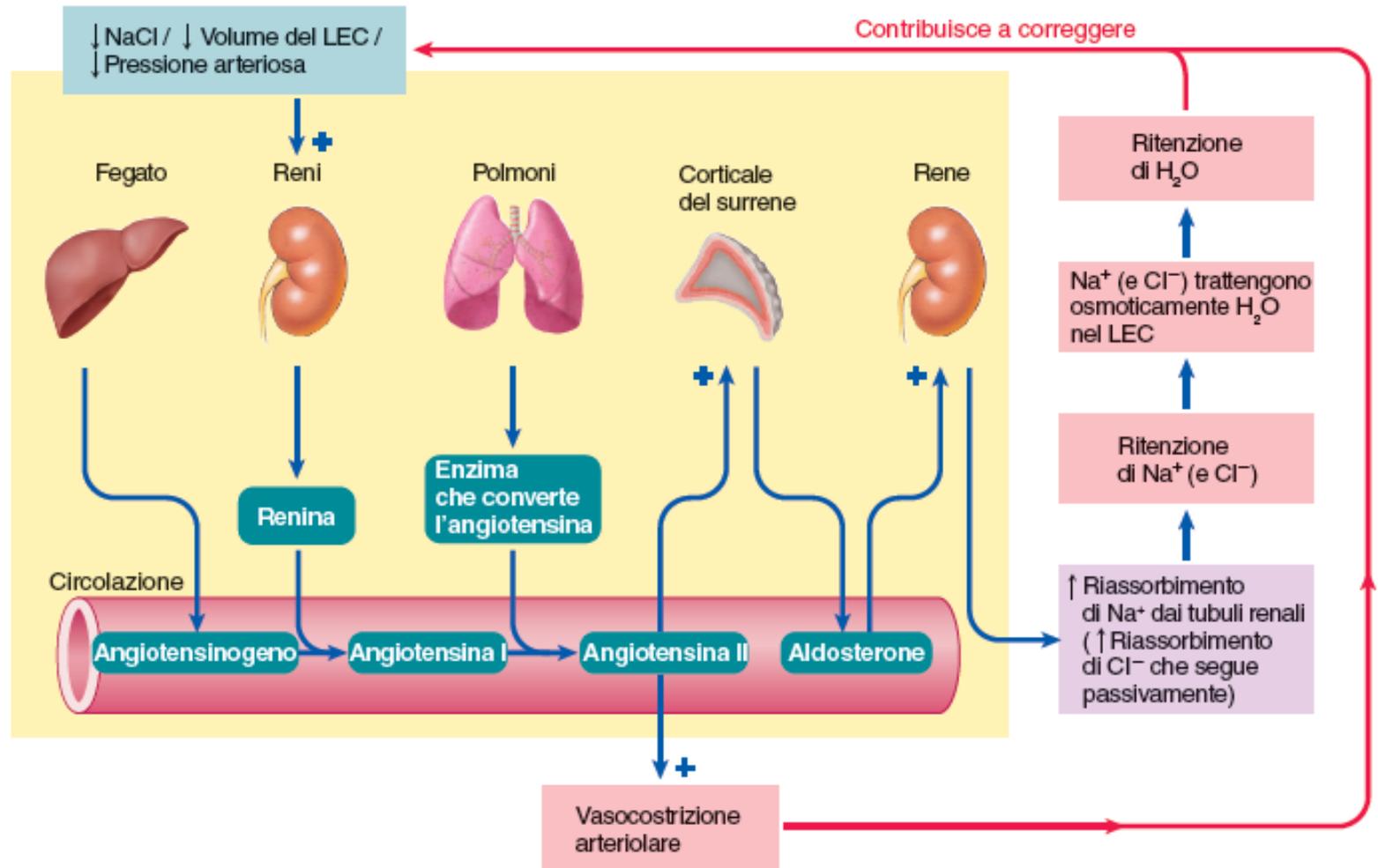
Esiste un sistema di controllo a feed-back osmocettori-ADH:

1. Un aumento di osmolarità (eccesso di Na^+ e anioni) eccita gli osmocettori che si trovano nei nuclei supraottici dell'ipotalamo.
2. L'eccitazione degli osmocettori stimola la produzione di ADH
3. ADH fa aumentare la permeabilità dei tubuli distali terminali e dei dotti collettori, provocando un maggior riassorbimento di acqua.
4. La ritenzione renale di acqua ma non di sodio e altri soluti, provoca una diminuzione della loro concentrazione nel liquido extracellulare.

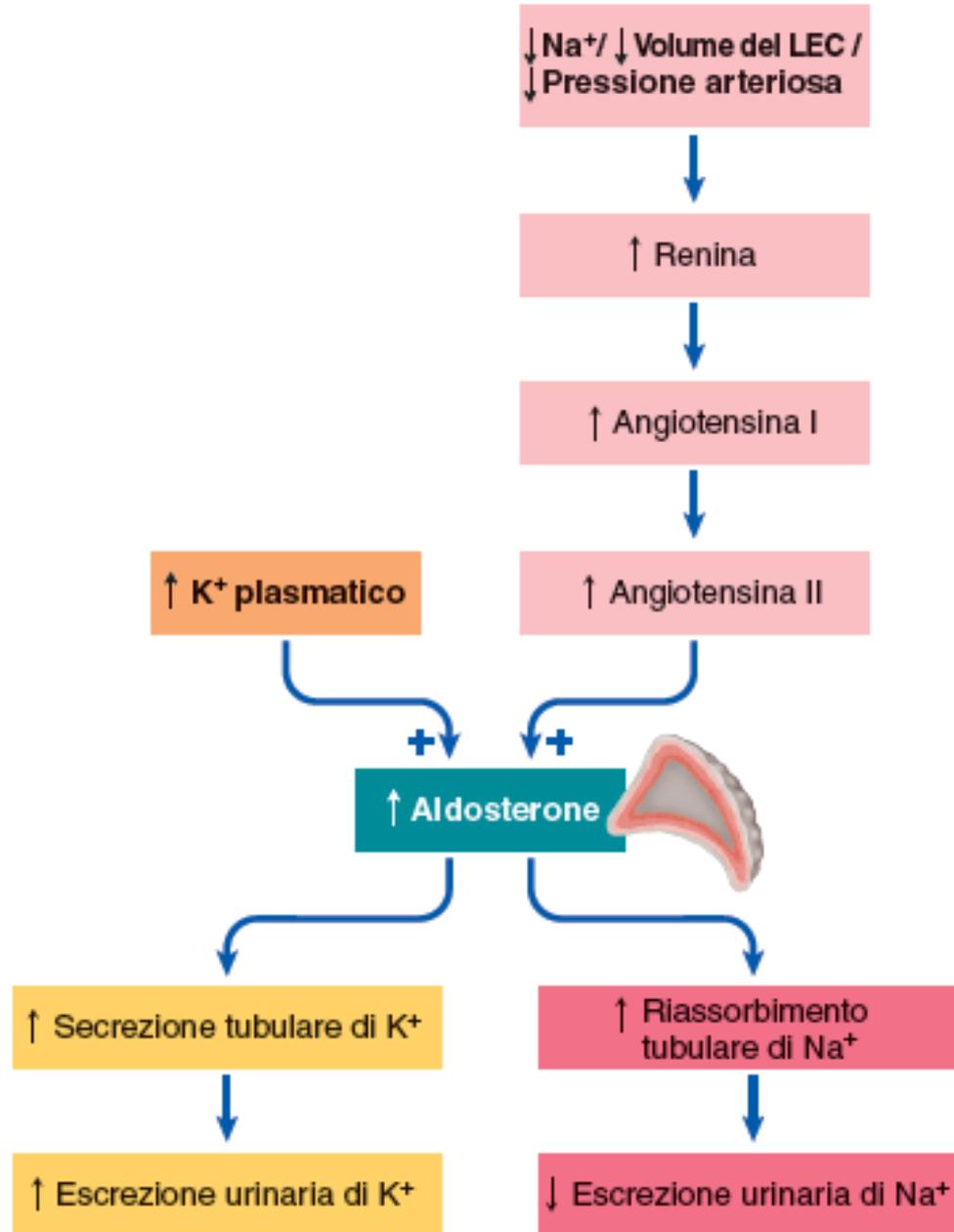
Ruolo dell'aldosterone nell'escrezione di sodio

Il riassorbimento di Na^+ nei tubuli distali e nei dotti collettori è controllato dalla concentrazione ematica di aldosterone. In presenza di una grande quantità di aldosterone quasi tutto il Na^+ che resta nei tubuli viene riassorbito, così è quasi nullo il quantitativo di Na^+ che passa nelle urine.

In assenza di aldosterone invece, quasi tutto il Na^+ che entra nei tubuli distali non viene riassorbito e viene eliminato con le urine.



● **FIGURA 13-12 Il sistema renina-angiotensina-aldosterone.** I reni secernono l'ormone enzimatico renina in risposta ad una diminuzione della quantità di NaCl, del volume del LEC e della pressione arteriosa. La renina attiva l'angiotensinogeno, una proteina plasmatica prodotta dal fegato, in angiotensina I. L'angiotensina I viene convertita in angiotensina II dall'enzima che converte l'angiotensina (ACE) prodotto dai polmoni. L'angiotensina II stimola la secrezione da parte della corticale del surrene dell'ormone aldosterone, che stimola il riassorbimento di Na⁺ nei reni. La ritenzione di Na⁺ che ne deriva esercita un effetto osmotico che trattiene più H₂O nel LEC. Nell'insieme, la conservazione di Na⁺ e di H₂O contribuisce ad attenuare lo stimolo originario che aveva attivato questo sistema ormonale. L'angiotensina II esercita anche altre azioni che contribuiscono a ridurre lo stimolo originario, ad esempio induce vasocostrizione arteriolare.



● **FIGURA 13-16** Doppio controllo della secrezione di aldosterone da parte del K⁺ e del Na⁺.

Regolazione del pH

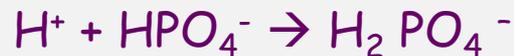
Un tampone acido-base è una soluzione di due o più composti chimici capaci di impedire cospicue variazioni della concentrazione idrogenionica quando un acido o una base vengono aggiunti alla soluzione.

Livelli di regolazione del pH del sangue:

- 1) Respiro
- 2) Rene

Tamponi:

- 1) Fosfato



- 2) Bicarbonato/ acido carbonico



- 3) Proteinati/emoglobina



Regolazione respiratoria dell'equilibrio acido-base

Un aumento della concentrazione di CO_2 abbassa il pH verso l'acidità, mentre una diminuzione lo sposta in alto verso l'alcalinità.

Poiché una variazione della concentrazione di CO_2 fa variare il pH, una variazione della ventilazione alveolare determina una modificazione nella concentrazione di ioni idrogeno. La concentrazione di ioni idrogeno ha un'azione diretta sui centri respiratori del tronco dell'encefalo.

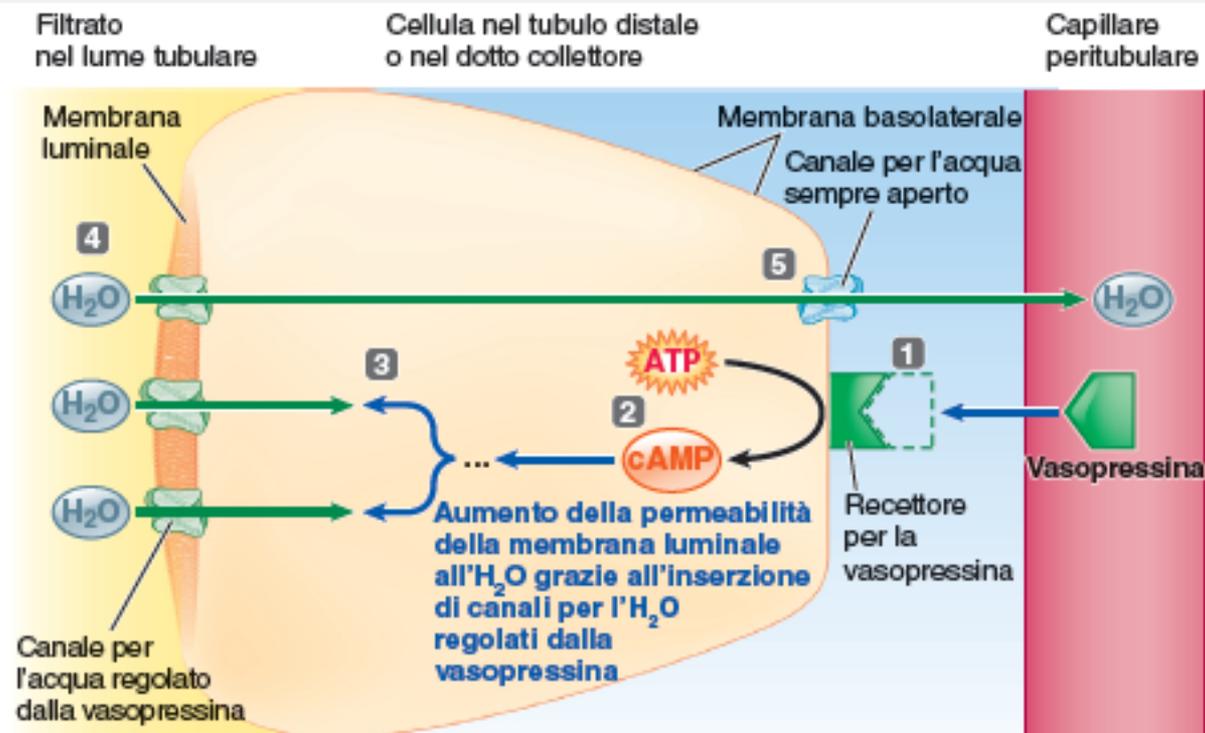
Regolazione renale della concentrazione idrogenionica

I reni regolano la concentrazione di ioni idrogeno nel liquido extracellulare mediante escrezione di urine acide (riduzione della quantità di acidi nel liquido extracellulare) o alcaline (riduzione delle basi).

Gli ioni bicarbonato vengono filtrati dal glomerulo per rimuovere le basi dal sangue; d'altra parte un gran numero di ioni idrogeno è secreto dai tubuli da parte dell'epitelio tubulare per allontanare gli acidi dal liquido extracellulare.

Quindi:

Se vengono secreti più idrogenioni di quanti ioni bicarbonato vengono filtrati si avrà una perdita di acidi, viceversa di basi.



- 1** La vasopressina trasportata dal sangue si lega con i recettori nella membrana basolaterale di una cellula del tubulo distale o del dotto collettore.
- 2** Questo legame attiva all'interno della cellula il sistema di secondi messaggeri dell'AMP ciclico (cAMP)
- 3** L'AMP ciclico fa aumentare la permeabilità all'H₂O della membrana luminale promuovendo l'inserzione in questa membrana di canali per l'acqua regolati dalla vasopressina. In assenza di vasopressina la membrana luminale sarebbe impermeabile all'H₂O.
- 4** L'acqua entra nella cellula dal lume tubulare attraverso questi canali per l'acqua appena inseriti.
- 5** L'acqua esce dalla cellula attraverso canali per l'acqua sempre aperti diversi dai precedenti posizionati permanentemente sulla membrana basolaterale; successivamente entra nel sangue venendo così riassorbita.

● **FIGURA 13-21** Meccanismo di azione della vasopressina.