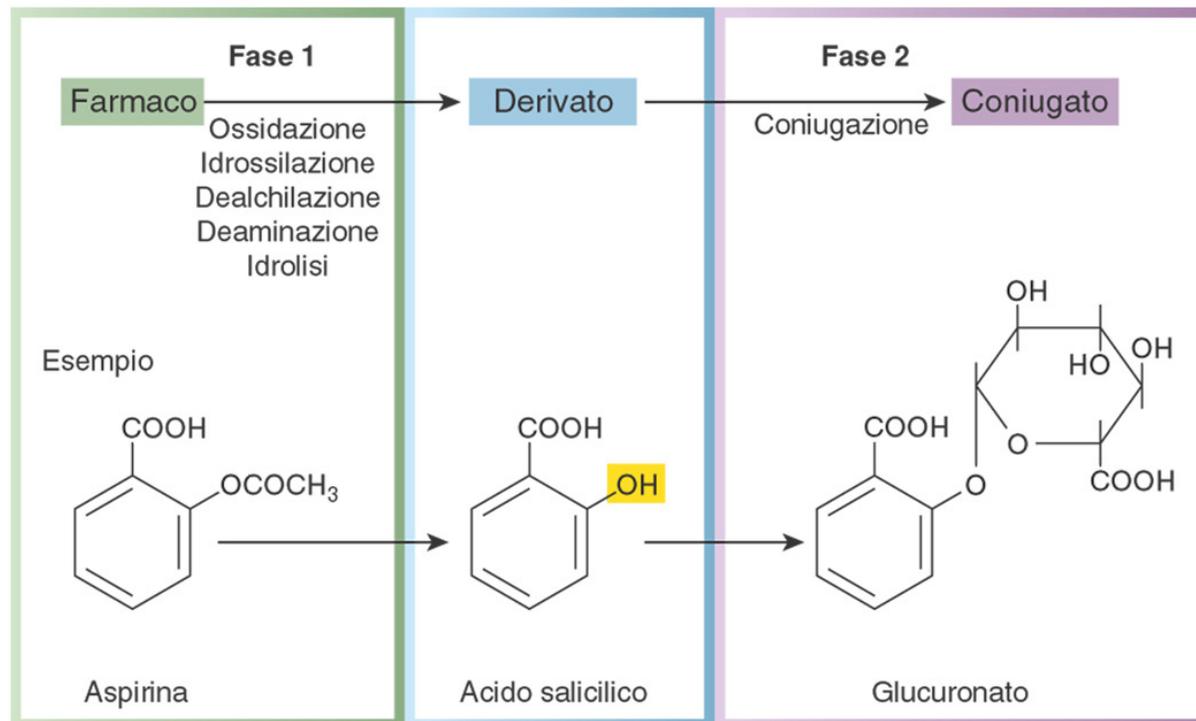
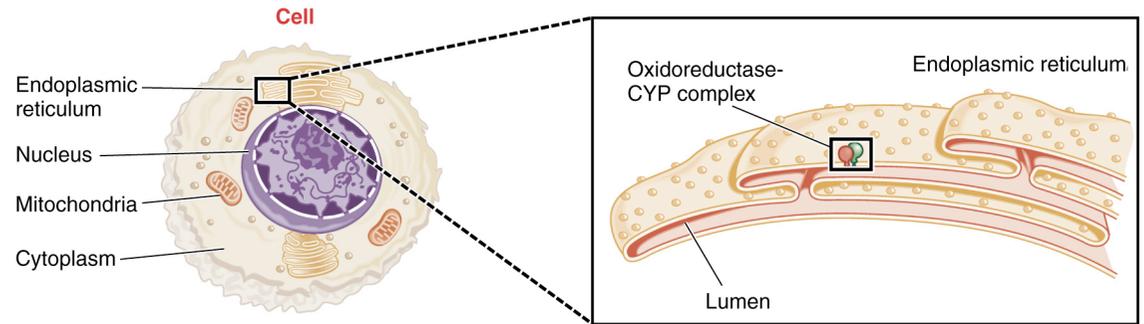


# Metabolismo dei farmaci

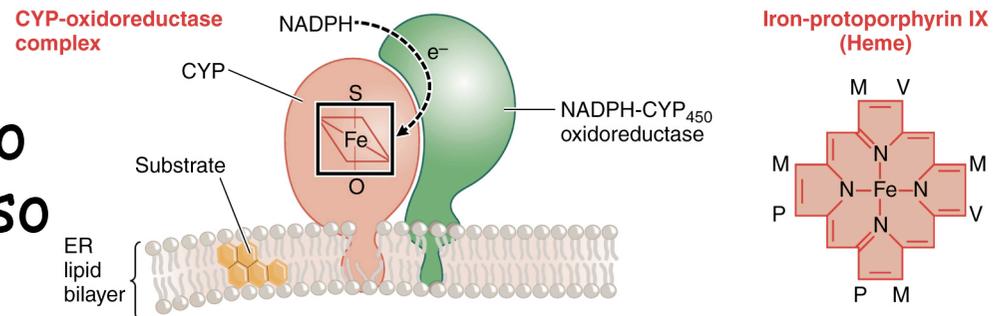
- **Reazioni di fase I o di funzionalizzazione:** hanno la finalità di inserire o mettere in evidenza gruppi funzionali di legame (-OH, -SH, -NH<sub>2</sub>, -COOH) per le reazioni di coniugazione. Dal punto di vista chimico sono prevalentemente reazioni di ossidazione, riduzione, idrolisi
- **Reazioni di fase II o di coniugazione:** glicuroconiugazione, solfatazione, metilazione, acetilazione, coniugazione con aminoacidi, con glutazione....



# Citocromo P450



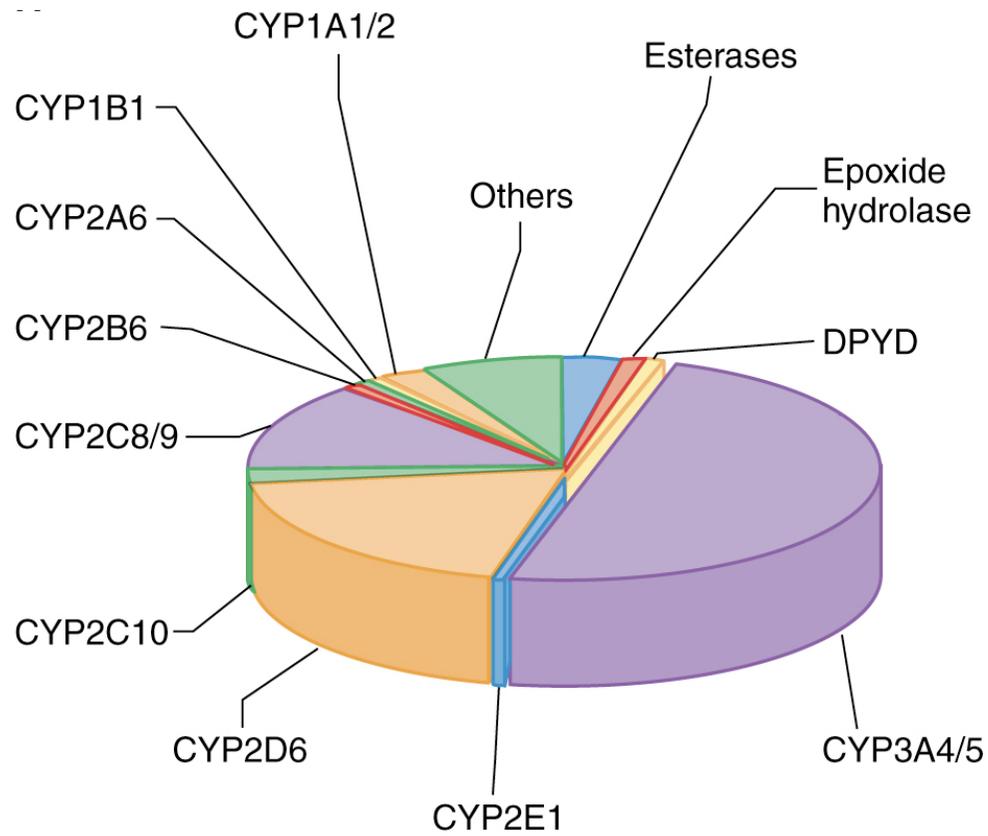
- Emoproteina (pigmento, P) che nello stato ridotto ( $\text{Fe}^{2+}$ ) forma un complesso inattivo con il monossido di carbonio con un picco di assorbimento a 450 nm.
- È una proteina transmembrana situata sul reticolo endoplasmatico liscio. un secondo enzima, la NADPH-CYP ossidoriduttasi trasferisce elettroni al CYP, che può, in presenza di ossigeno, ossidare substrati xenobiotici. Ogni CYP contiene una molecola di ferroporfirina IX che serve a legare ed attivare l'ossigeno.
- Sono state clonate e sequenziate oltre 300 diverse famiglie (<http://drnelson.utmem.edu/cytochromeP450.html>)



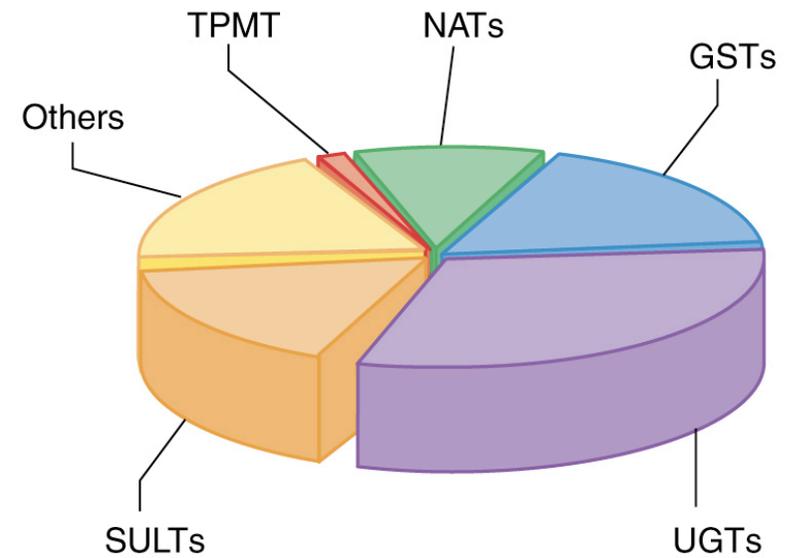
CYP	FARMACO	INIBITORE	INDUTTORE
1A2	Paracetamolo, caffeina, ondansetron, fenacetina, tamoxifene, teofillina, (R)-warfarin	Fluoxetina, fluorochinolonici, cimetidina, amiodarone	Fumo di sigaretta
2A6	Metossiflurano		
2C8	Tassani		
2C9	Molti FANS (inclusi i COXIB), losartan, fenitoina, antidiabetici orali, (S)-warfarin	Fluconazolo, fluoxetina, amiodarone	Barbiturici, rifampicina
2C19	Diazepam, (S)-mefenitoina, inibitori della pompa protonica, propranololo	Fluoxetina, inibitori della pompa protonica, isoniazide, ketoconazolo	Carbamazepina, rifampicina
2D6	Codeina, molti $\beta$ -bloccanti, antidepressivi triciclici e SSRI, antipsicotici	Amiodarone, cimetidina, fluoxetina	Rifampicina, desametasone
2E1	Paracetamolo, caffeina, anestetici inalatori, teofillina		Etanolo (assunzione cronica), isoniazide
3A4	Molti calcio antagonisti, benzodiazepine, inibitori delle proteasi, nevirapina, statine, ciclosporina, tacrolimus, taxolo, terfenadina, etinilestradiolo, metadone	Macrolidi, telitromicina, quinupristin/ dalfopristin, azoli, cimetidina	Barbiturici, rifampicina, rifabutina, desametasone, carbamazepina, ritonavir

Isoforme che presentano polimorfismo genetico

## Reazioni di fase 1

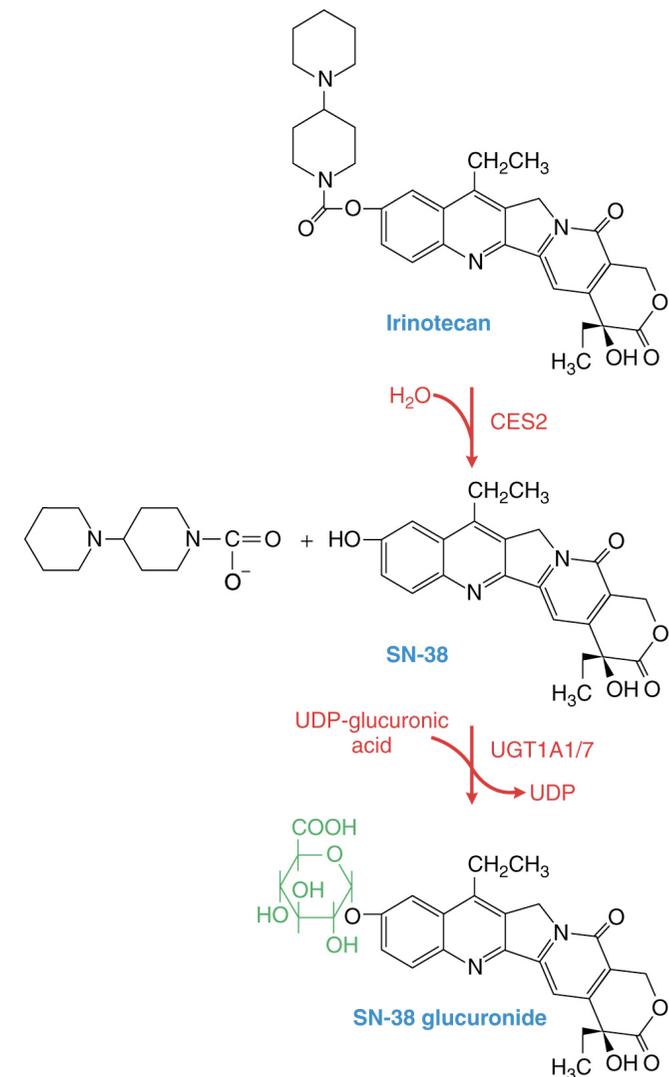
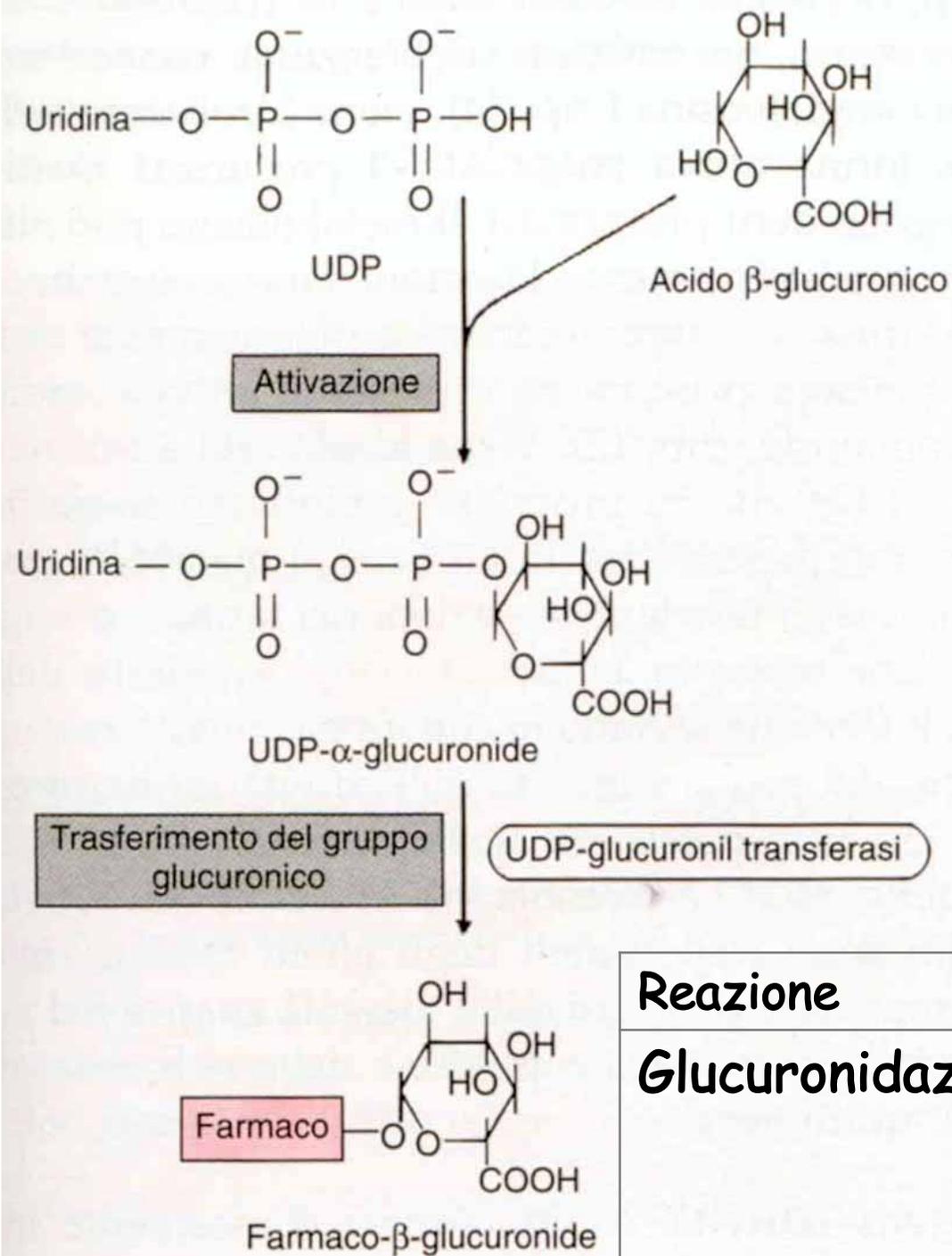


## Reazioni di fase 2



# Reazioni di fase II: le coniugazioni

- Riguardano in genere residui polari (spesso resi tali da reazioni di fase I)
- Richiedono la presenza di un coenzima che fornisca la molecola coniugante al substrato tramite una trasferasi



Reazione

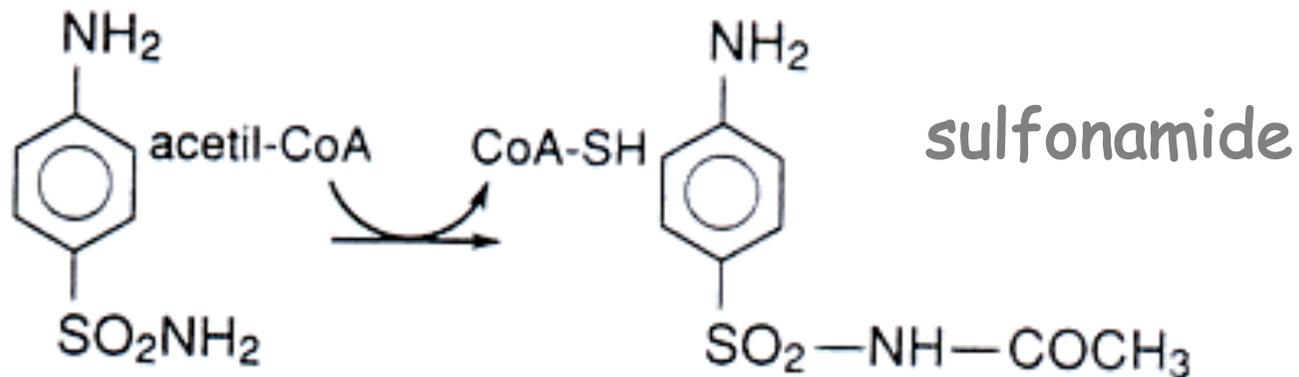
Glucuronidazione

Esempi di substrato

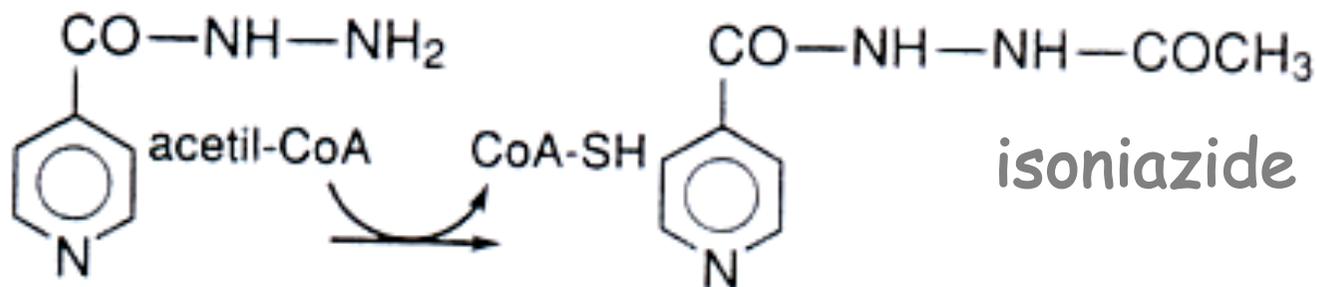
Morfina, paracetamolo, nitrofenolo, diazepam, meprobamato, bilirubina, acido benzoico

Reazione	Esempi di substrato
<b>N-acetilazione</b>	Sulfamidici, idralazina, isoniazide, clorazepam, acido para-amino-salicilico, dapsona

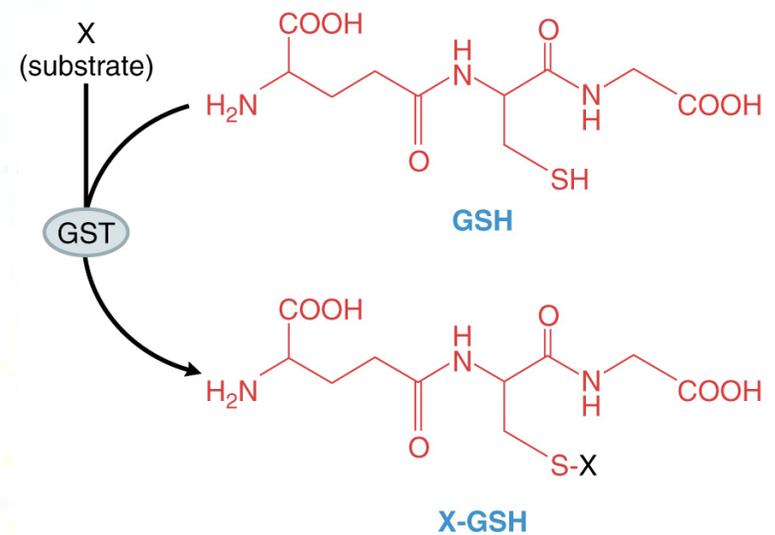
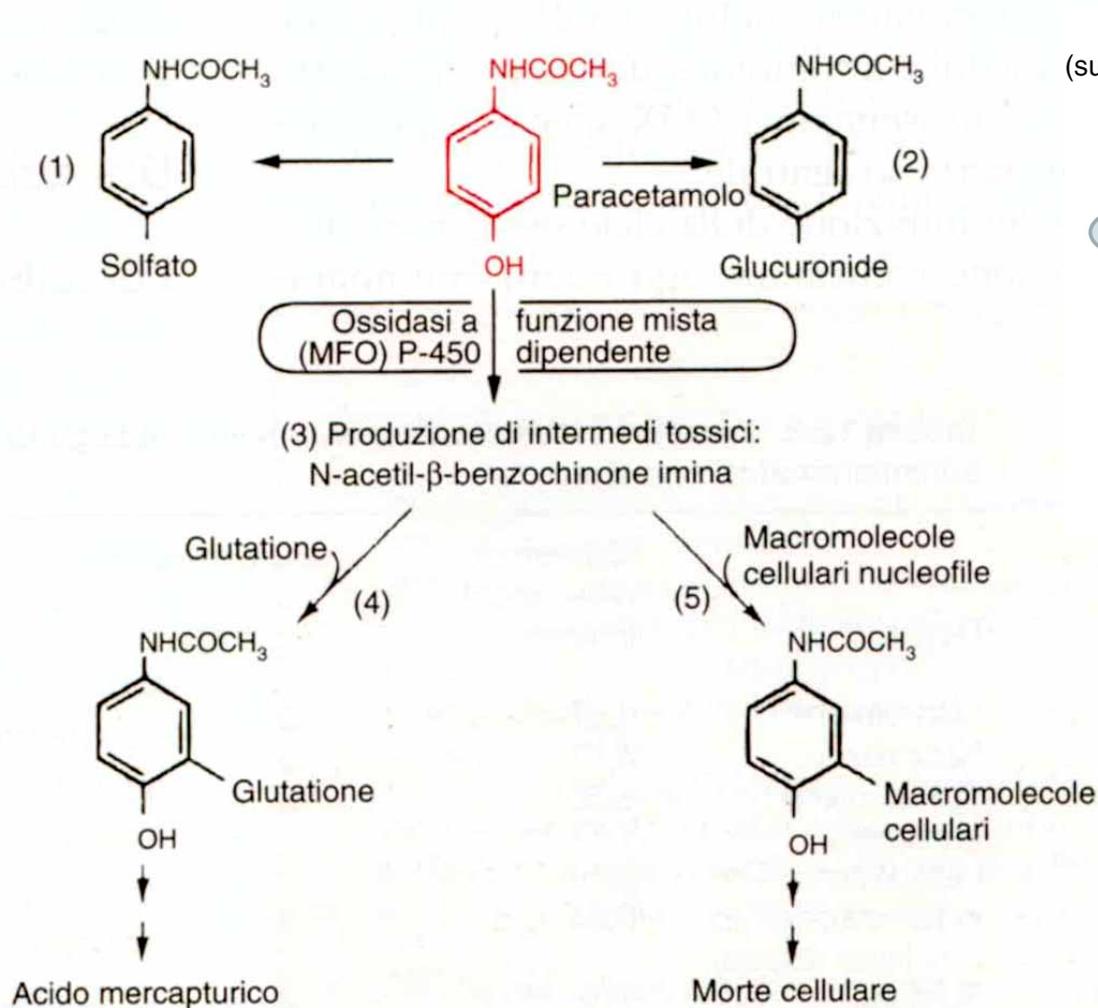
A)



B)

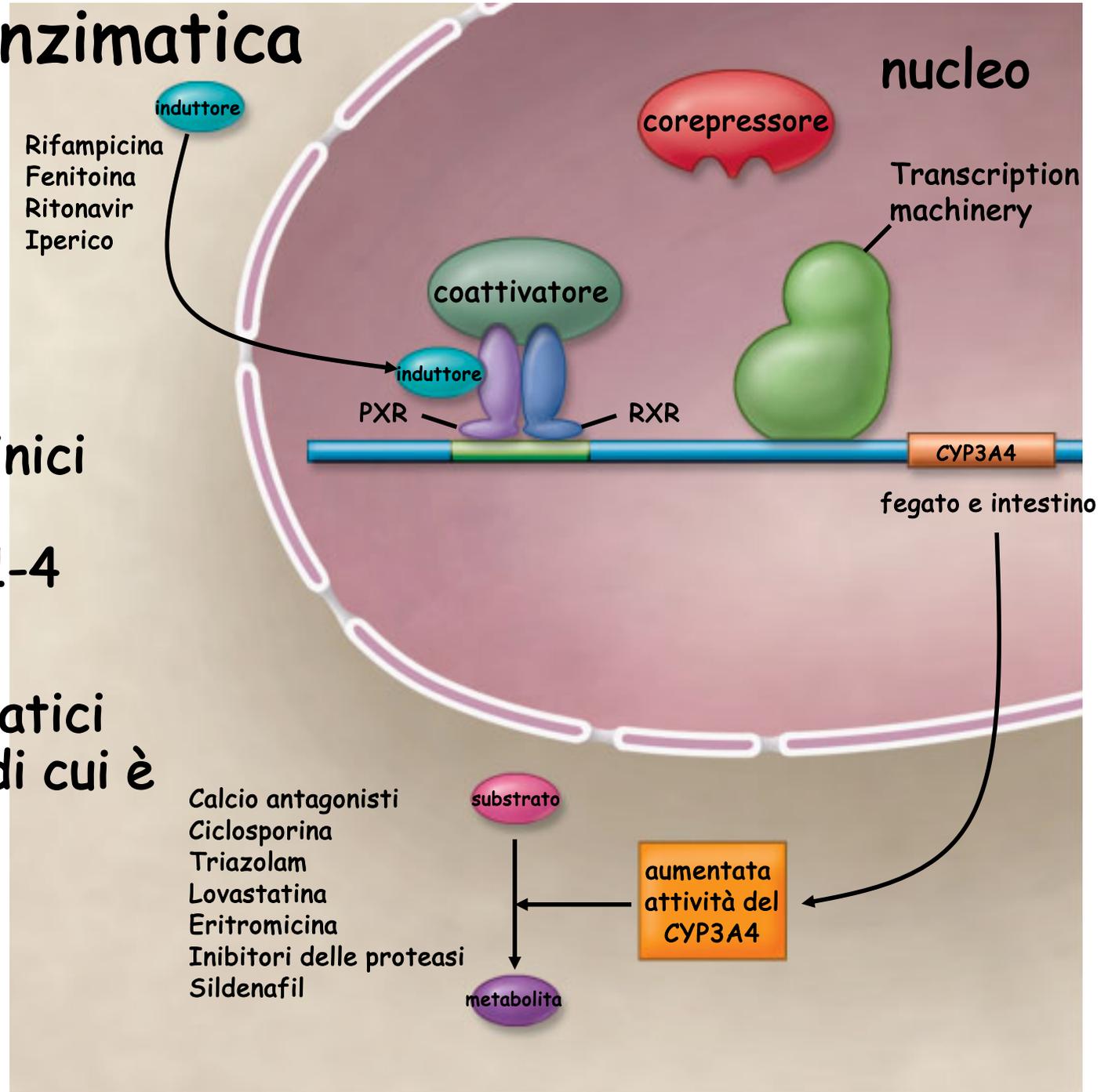


Reazione	Esempi di substrato
Coniugazione con glutazione	Acido etacrinico, bifenili policlorurati, naftalene, caffeina, paracetamolo



# Induzione enzimatica

- Gli effetti clinici compaiono lentamente (1-4 settimane)
- I livelli plasmatici del farmaco di cui è indotto il metabolismo diminuiscono

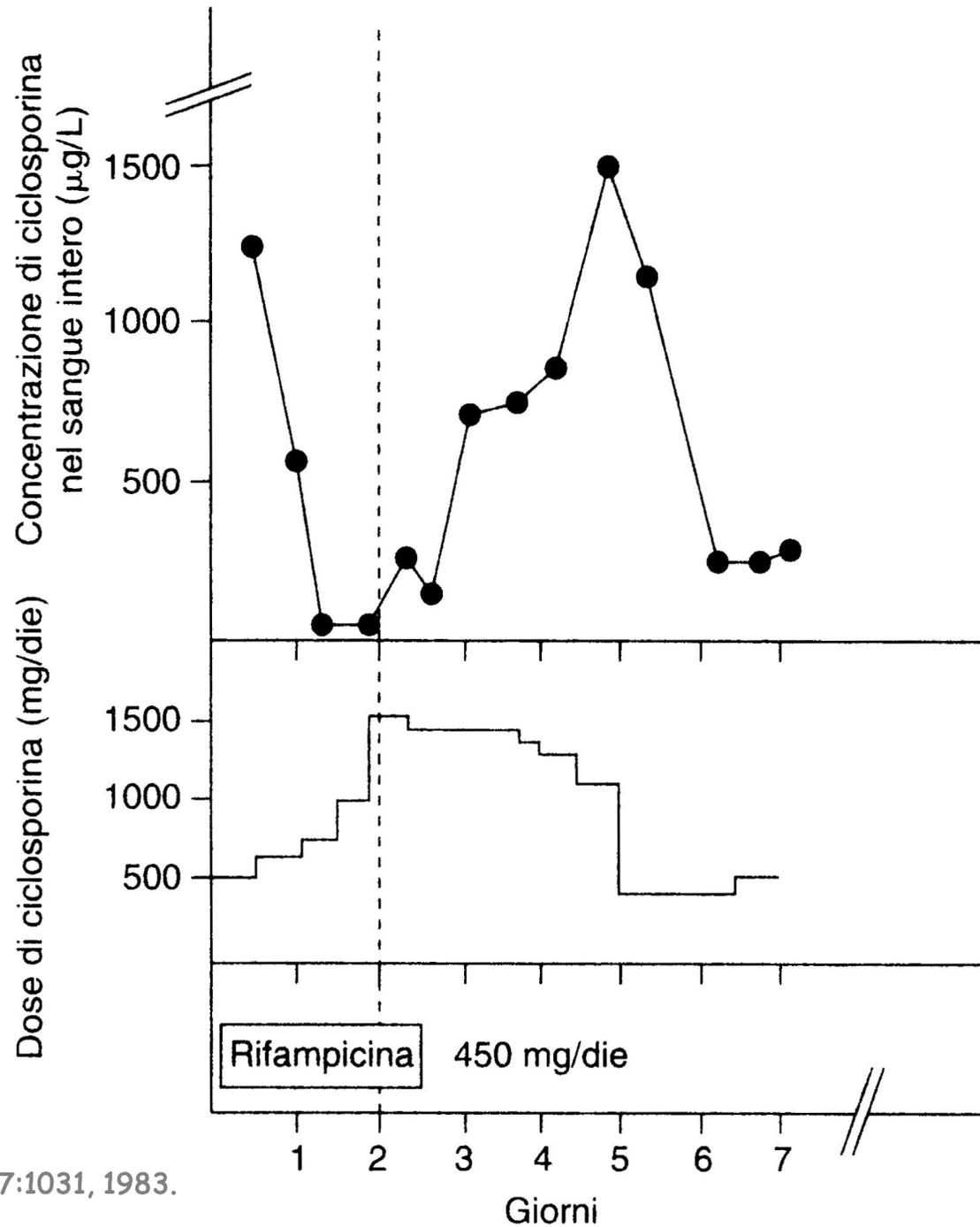


# Induttori enzimatici

Classe	Composto
Antiepilettici	Fenobarbital, fenitoina, carbamazepina, primidone
Antibiotici	Rifampicina, griseofulvina
Antidiabetici	Tolbutamide
Antiinfiammatori	Fenilbutazone (cronico)
Droghe sociali	Alcool (cronico), caffeina, fumo di sigaretta
Antidepressivi	Iperico perforato
Alimenti	Brassicacee
Inquinanti ambientali	Idrocarburi policiclici aromatici
Erbicidi e defoglianti	TCDD
Additivi alimentari	Idrossianisolo butilato (antiossidante)



# Induzione del metabolismo della ciclosporina da parte della rifampicina



**Interaction between broad-spectrum antibiotics and the combined oral contraceptive pill A literature review.**

**Contraception, Volume 59, Issue 2, Pages 71-78**

**K. Weaver**

# Inibizione enzimatica

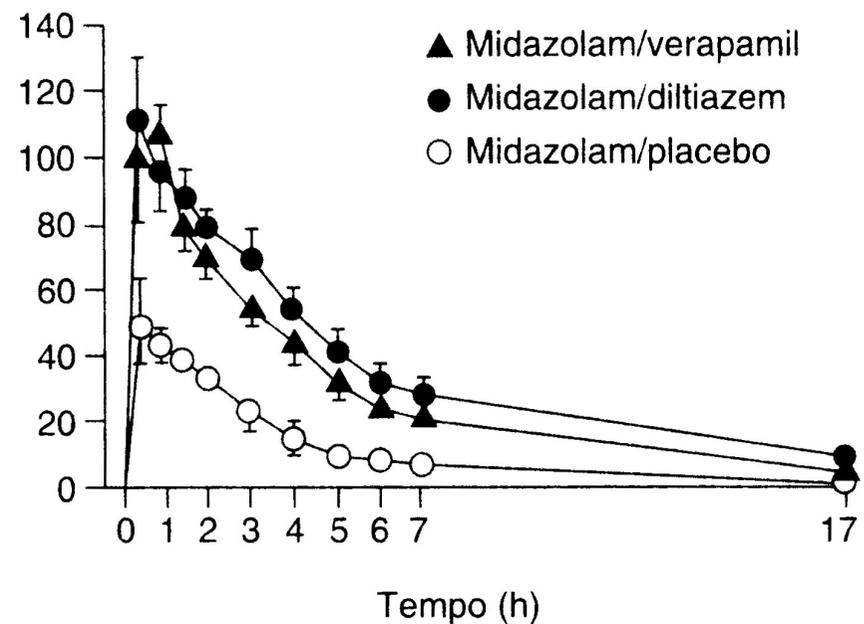
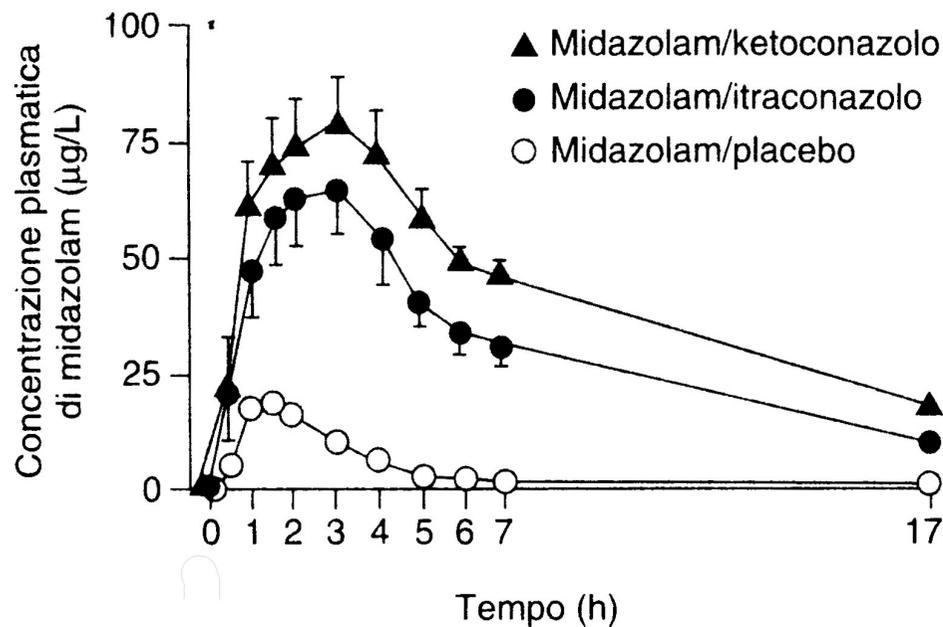
- Competizione reversibile tra due farmaci per il sito di legame dell'enzima (è il meccanismo più comune)
- Legame forte, ma non irreversibile, a formare un complesso inattivo (macrolidi)
- Distruzione dell'enzima (cloruro di vinile)
- I livelli plasmatici del farmaco di cui è inibito il metabolismo aumentano
- Gli effetti clinici sono quasi immediati

# Inibitori enzimatici

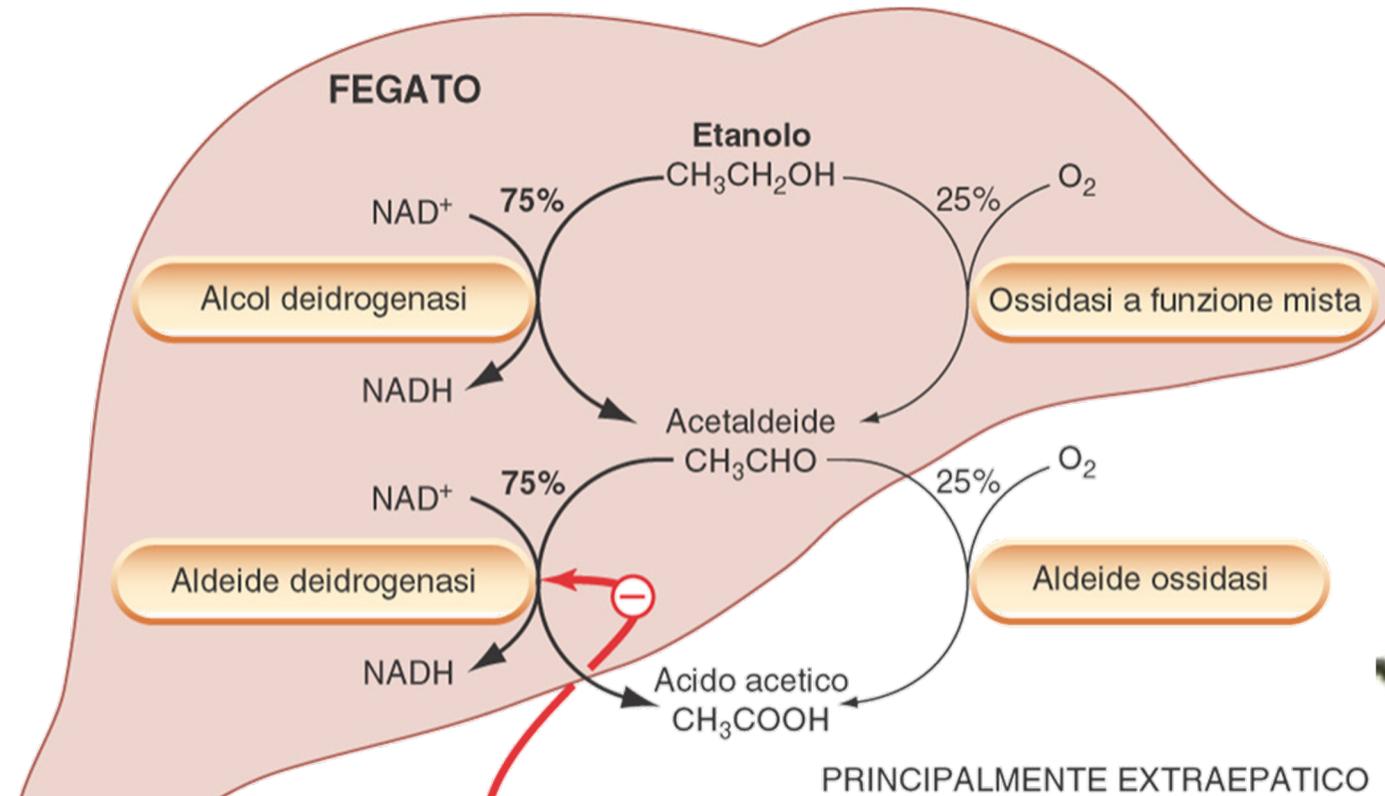
Isoforma	Farmaco inibente
1A2	Fluoxetina, cimetidina, eritromicina
2C	Cimetidina
2C9	Fluvastatina
2C19	Fluoxetina
2D6	Chinidina, cimetidina, fluoxetina
2E1	Alcool (acuto)
3A4	Cimetidina, chinidina, antifungini azolici, macrolidi, succo di pompelmo



# Inibizione enzimatica: inibizione del metabolismo del midazolam ad opera di ketoconazolo, itraconazolo, verapamil e diltiazem



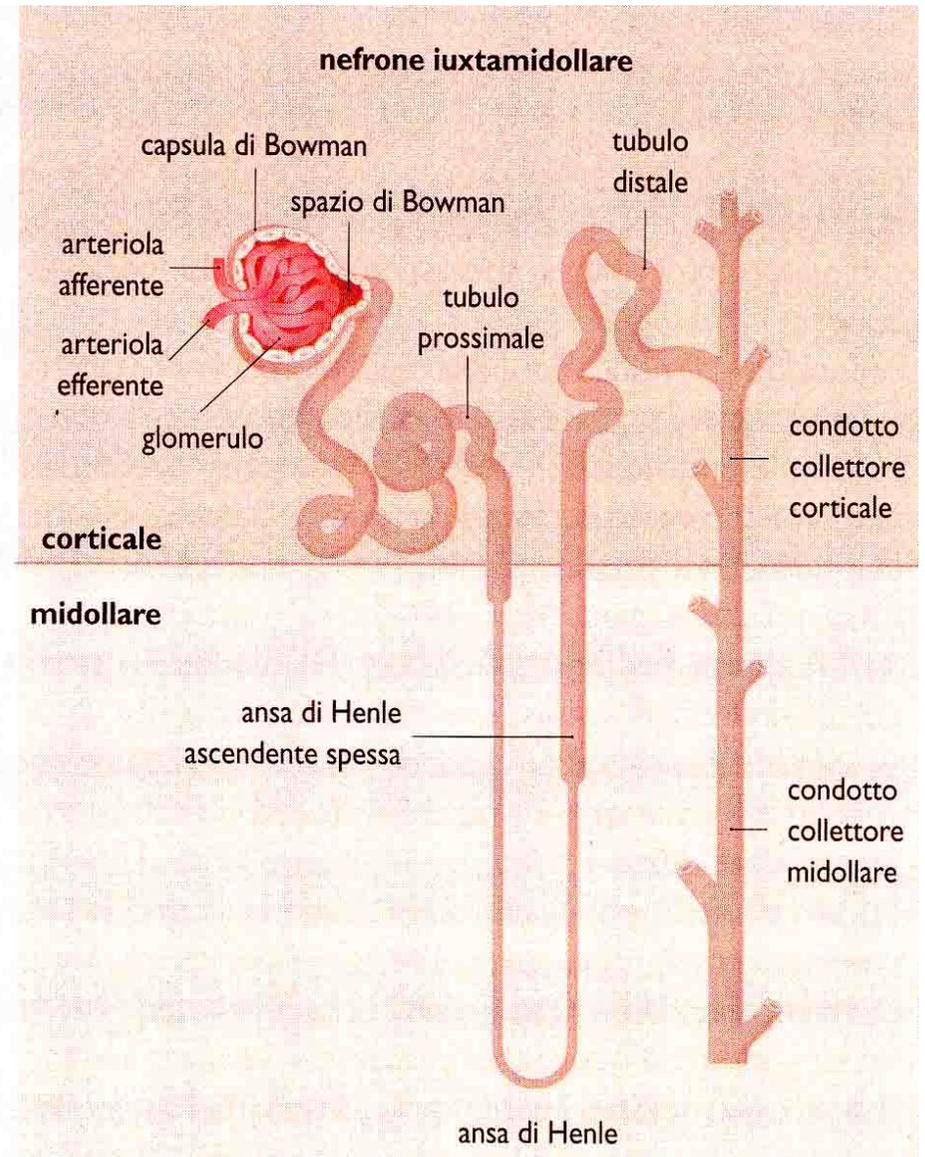
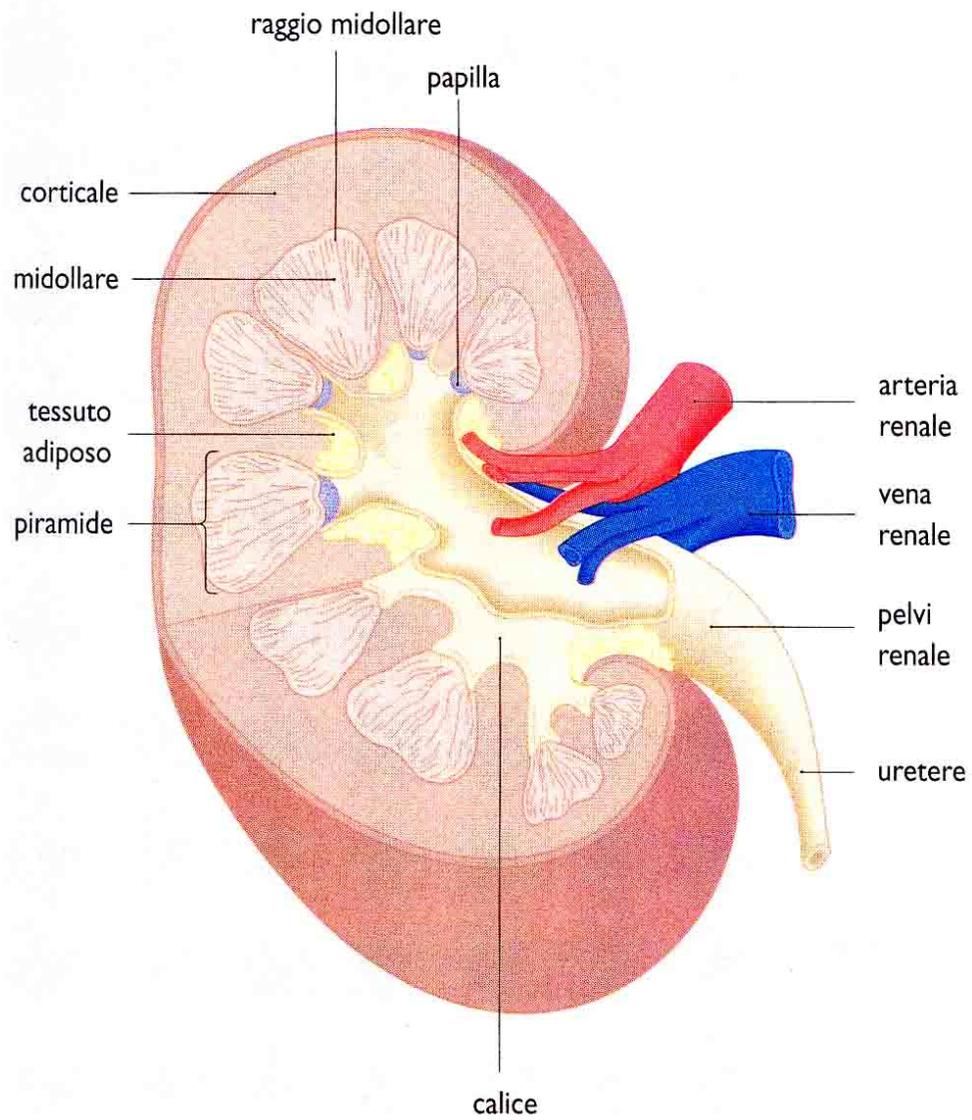
# Metabolismo dell'etanolo



DISULFIRAM

Metronidazolo,  
nitrofurantoina,  
sulfaniluree....

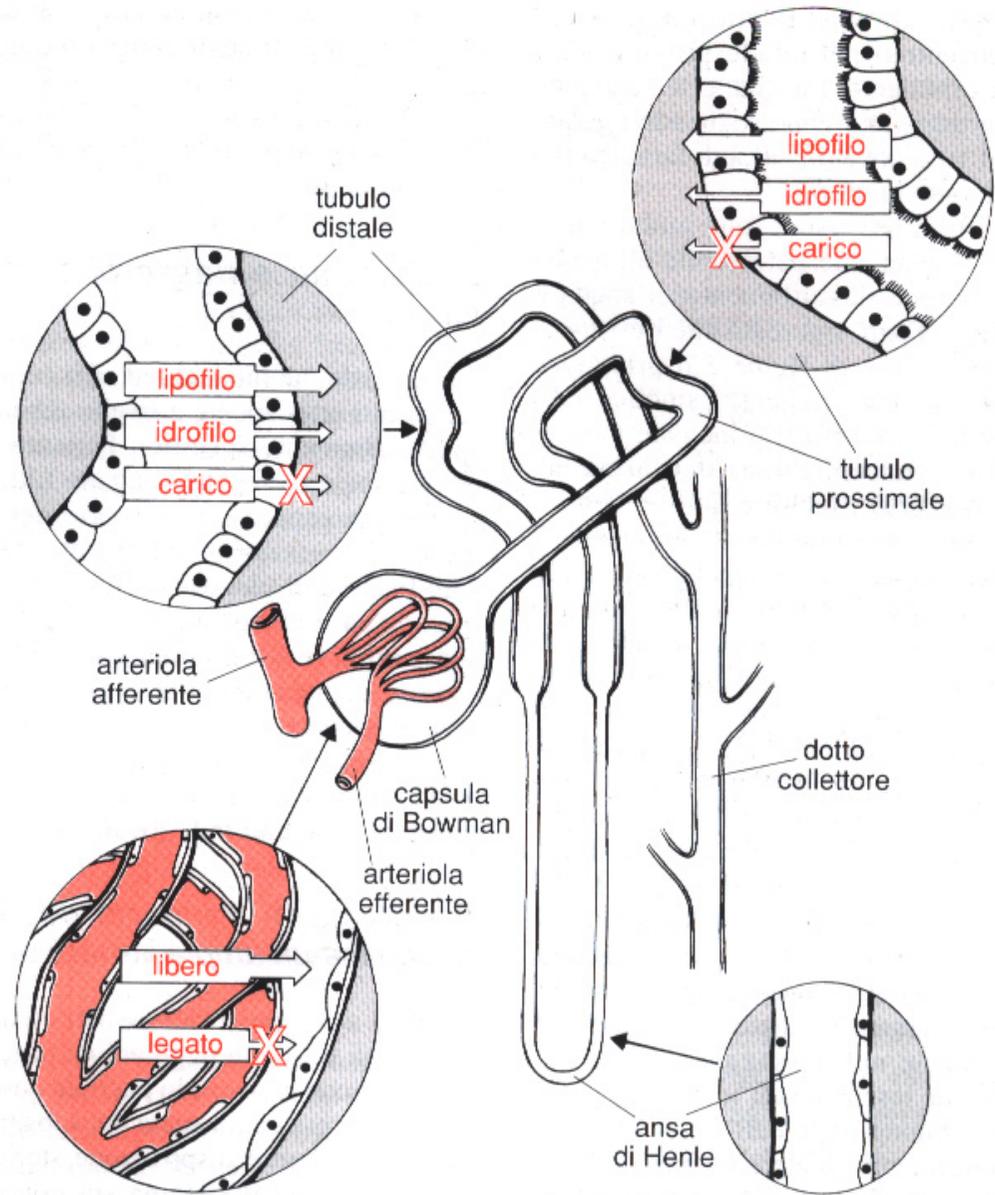




# Escrezione renale: filtrazione

- Ogni giorno attraverso i reni passano circa 850 l di sangue (50 volte il volume dei liquidi extracellulari, 17 l)
- Circa il 20% del plasma che circola attraverso i reni viene filtrato
- il volume di preurina prodotto in 24 ore è di circa 170 l (20% di 850 l)
- il 65% viene riassorbito nel tubulo contorto prossimale, il 15% lungo la branca discendente dell'ansa di Henle, il 19% in parti uguali nel tubulo contorto distale e nel dotto collettore
- l'1% dell'ultrafiltrato viene escreto nelle urine (1.7 l)

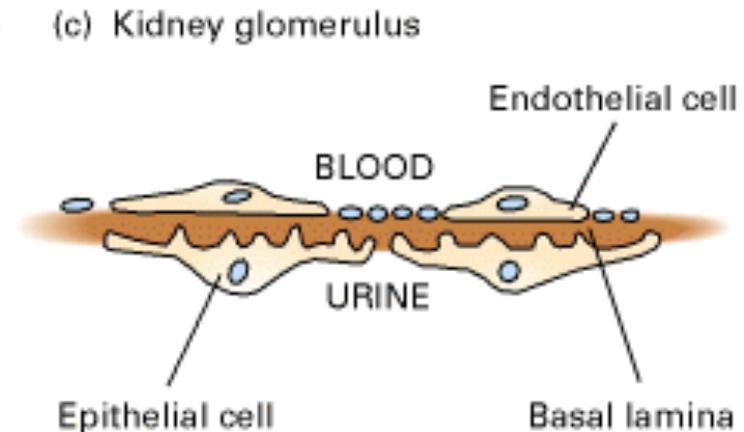
# Movimenti dei farmaci lungo il nefrone



# Filtrazione glomerulare

Il filtro glomerulare è costituito da tre strati che separano il lume dei capillari dallo spazio nella capsula di Bowman

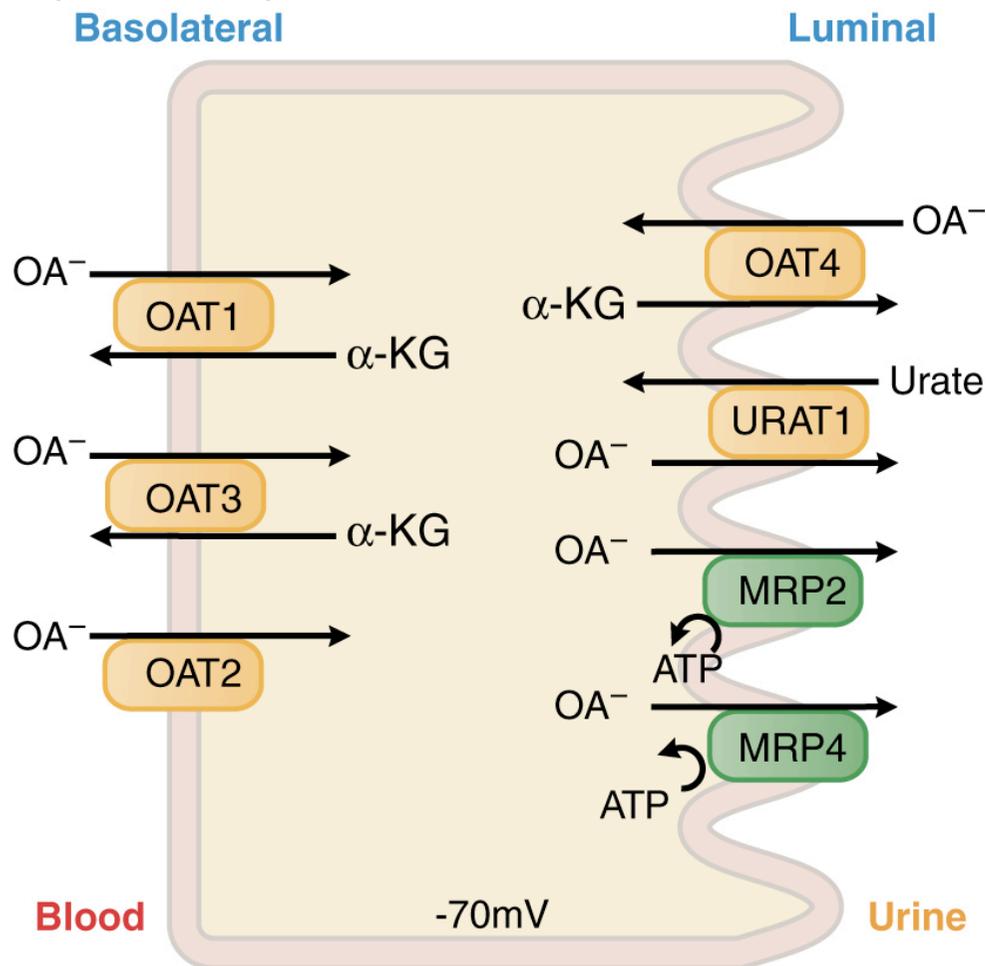
- endotelio capillare: presenta ampie fenestrature con un diametro di 50-100 nm (non passano le cellule ematiche)
- lamina basale: reticolo tridimensionale di glicoproteine dotate di forte carica polianionica immerso in una matrice omogenea
- podociti dell'epitelio della capsula di Bowman: formano delle fessure di filtrazione di 20-50 nm, ma sono ulteriormente ricoperti dal glicocalice che permette il passaggio di molecole con raggio effettivo  $< 1,5$  nm, ed è praticamente impermeabile a molecole con raggio  $> 4,5$  nm. In pratica non vengono filtrate molecole con un PM  $> 60$  kDa (passano bene quelle con pM  $< 20$  kDa). Macromolecole polianioniche passano con maggior difficoltà rispetto a molecole neutre o cationiche



# Filtrazione glomerulare

- Passano attraverso il filtro glomerulare tutti i farmaci, se non sono legati alle proteine plasmatiche

# Composti secreti dal sistema di trasporto degli anioni organici (OAT)



## Composti endogeni

Sali biliari, bilirubina, cAMP, cGMP, acidi grassi, ossalati, urati, prostaglandine

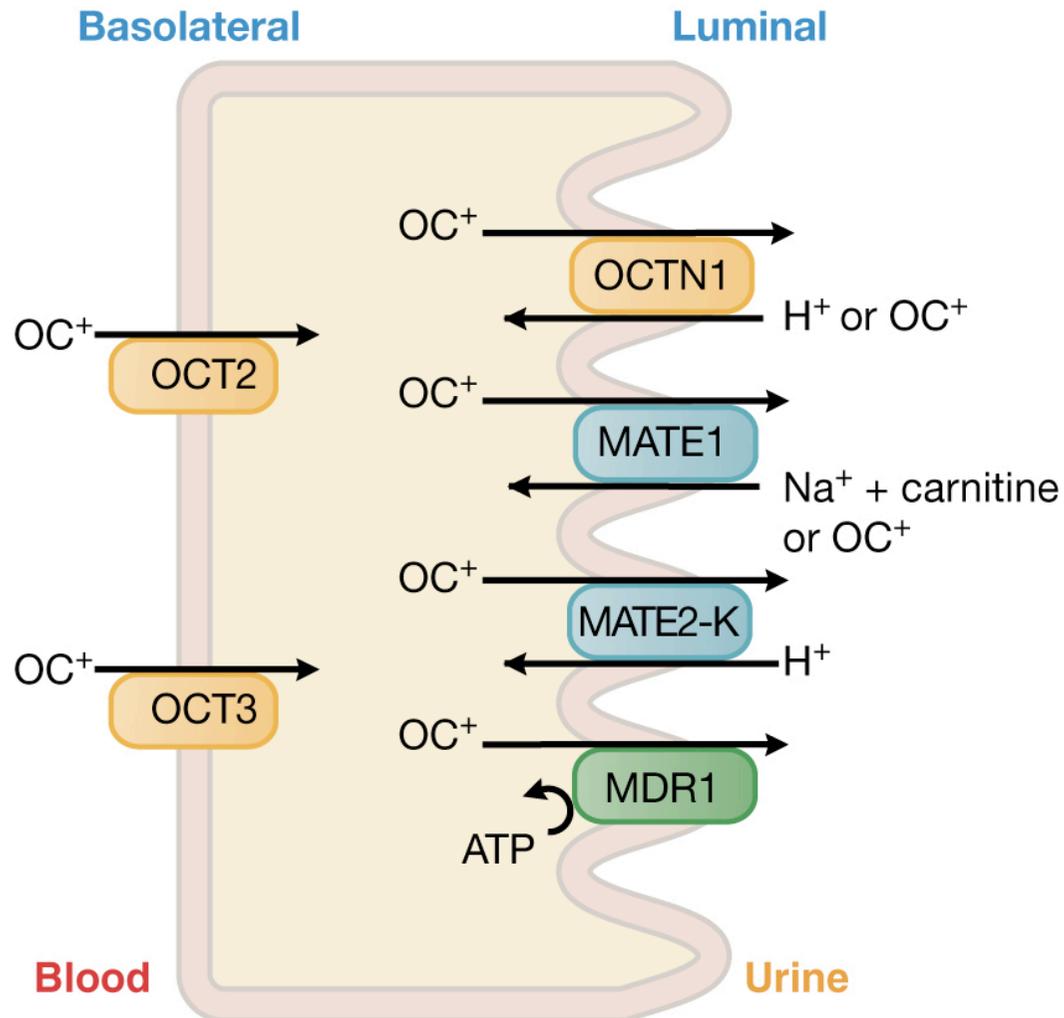
## Metaboliti di farmaci

Glucuroconiugati, coniugati con glutatione, coniugati con glicina, sulfoconiugati, sulfamidici acetilati

## Farmaci

Aciclovir, cefalosporine, penicilline, sulfamidici, probenecid, captopril, chinolonici, tiazidici, furosemide, acido etacrinico, ibuprofene, indometacina, salicilati

# Composti secreti dal sistema di trasporto dei cationi organici (OCT)



## Composti endogeni

Acetilcolina, creatinina, catecolamine

## Farmaci

Amiloride, atropina, cimetidina, ranitidina,  $\beta$ -bloccanti, procainamide, chinidina, chinina, triamterene, trimetoprim

# Trasporto passivo

- Nella rete capillare peritubulare la pressione idrostatica è praticamente uguale a quella del liquido nel lume del tubulo contorto prossimale, ma la pressione colloidosmotica è molto più elevata → riassorbimento di acqua e soluti diffusibili
- la superficie di assorbimento è molto sviluppata, soprattutto a livello del tubulo prossimale, per la struttura dell'orletto a spazzola che aumenta di circa 40 volte la superficie di contatto
- i farmaci sono riassorbiti in percentuali variabili a seconda delle loro caratteristiche chimico fisiche
- l'aumento delle concentrazioni del farmaco nell'ultrafiltrato può raggiungere livelli tossici per le cellule renali o può comportare il raggiungimento del limite di saturabilità oltre al quale si ha la precipitazione formazione di cristalli

# Trasporto passivo

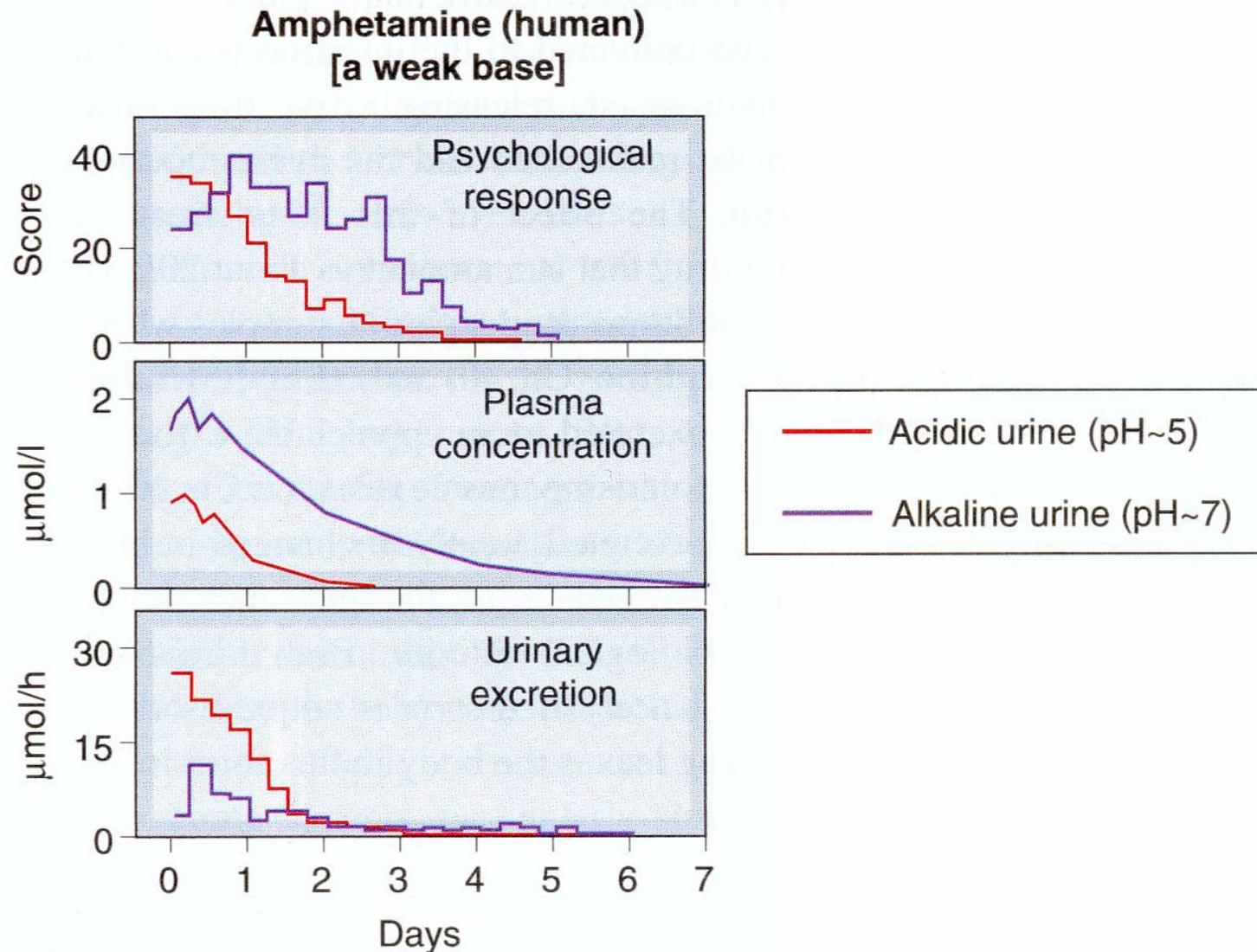
È condizionato da:

- pH urinario
  - un farmaco acido in ambiente alcalino è più ionizzato e quindi più facilmente escreto
  - un farmaco basico in ambiente acido è più ionizzato e quindi più facilmente escreto
- flusso urinario
  - diminuisce il gradiente di concentrazione (il farmaco è più diluito)
  - diminuisce il tempo di contatto del farmaco con le cellule tubulari

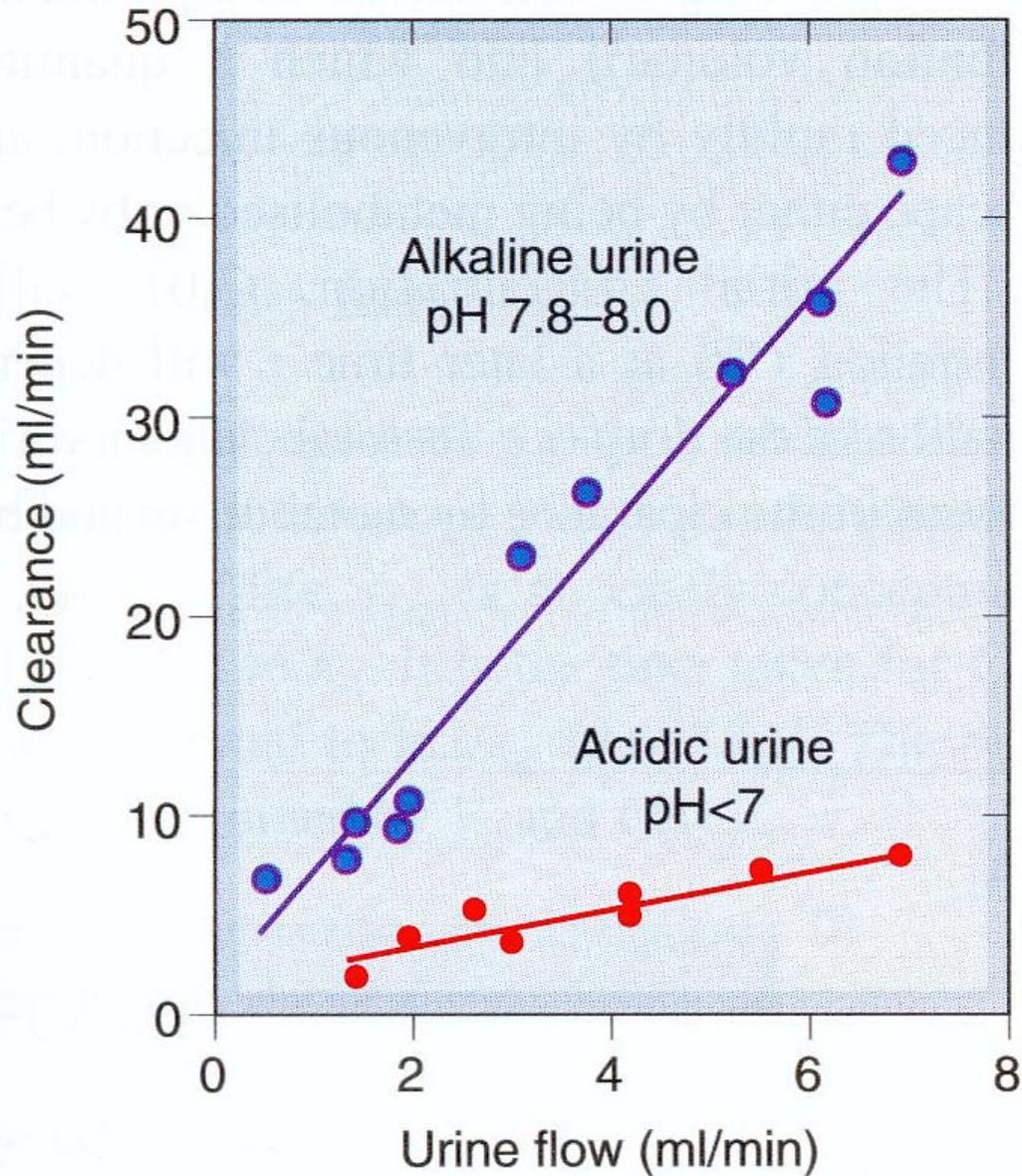
# Composti con un' eliminazione urinaria pH-dipendente

Acidi deboli (pk 3 - 7.5)	Basi deboli (pK 5 - 11.3)
Fenobarbital	Anfetamine
Salicilati	Fenciclidina
Sulfamidici	Pseudoefedrina
Metotrexate	Tocainide

# Effetto del pH urinario sull'escrezione dell'amfetamina



**Phenobarbital (dog)**  
**[a weak acid]**



Clearance del  
fenobarbital in  
funzione del  
pH e del flusso  
urinario

# Altre vie di eliminazione

- Via biliare
- Via polmonare (anestetici generali, etanolo)
- Latte
- Saliva e sudore
- Capelli e cute