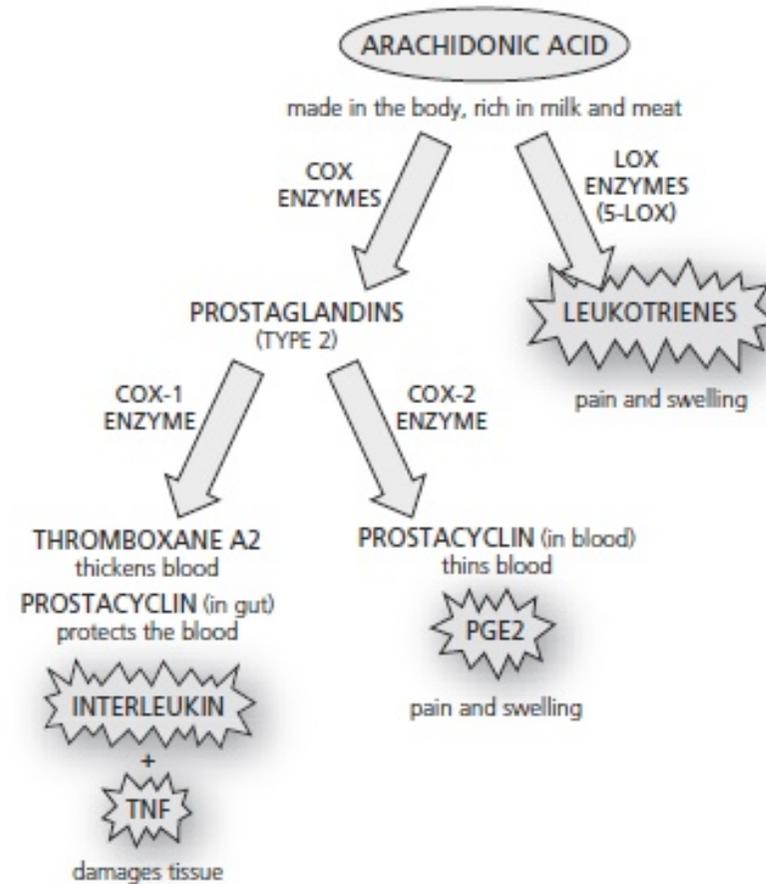


Inflammation & Anti-inflammatory Drugs

Maurizio Romano, PhD
Dipartimento di Scienze della Vita
Edificio R – Stanza 219
<http://tinyurl.com/edificior>
<http://tinyurl.com/maurizioromanoita>

Università di Trieste
Via A. Valerio, 28
Tel: 040-3757316
e-mail: mromano@units.it



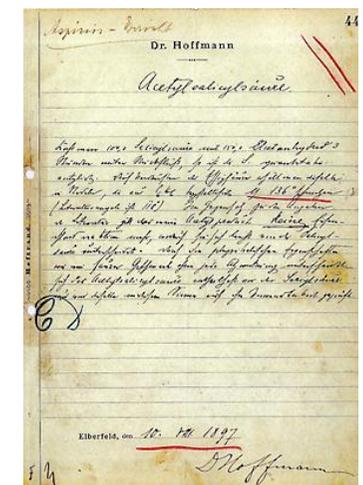
**Farmaci Anti-
infiammatori
Non Steroidei**

**NSAIDs –
nonsteroidal
anti-inflammatory
drugs**

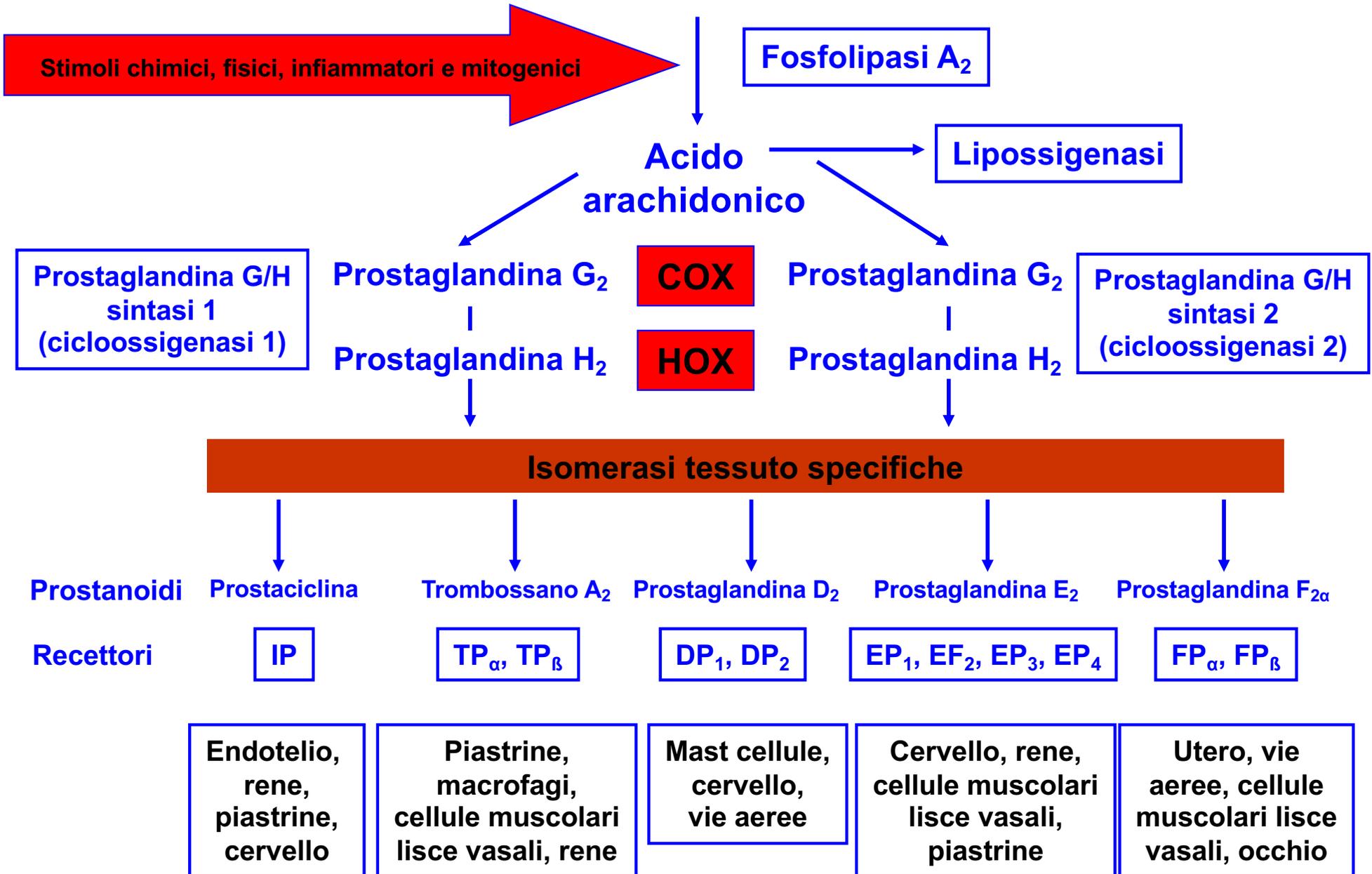


FANS

- Uso corteccia e foglie di salice per alleviare la febbre: Ippocrate (460 AC)
- 1763 Documentata - 1763: rev. Edmund Stone.
- Proprietà simili: **Regina dei prati** (*Spiraea ulmaria*), da cui deriva il nome **aspirina**.
- 1829 cristallizzata Salicina da Leroux
- 1836 Pina ha isolato l'acido salicilico.
- 1859 Kolbe sintetizza l'acido salicilico
- 1874 produzione industrialmente.
- Indicazioni: febbre reumatica, gotta, antipiretico.
- 1899 Hoffmann (chimico Bayer), pensò di migliorare il profilo di effetti avversi dell'acido salicilico. Riuscì nel suo intento mediante acetilazione.
- Bayer ha iniziato a provare l'acido acetilsalicilico negli animali dal 1899 – la prima volta che un farmaco è stato studiato sugli animali in un contesto industriale – e ha poi proceduto con studi sull'uomo e con la commercializzazione dell'aspirina.
- 1971 Vane propone che gli effetti terapeutici e tossici dei FANS siano mediati dall'inibizione della cicloossigenasi (COX) enzima chiave nella sintesi delle prostaglandine
- 1991 scoperta esistenza due isoforme di COX (COX-1 e la COX-2).
- 2002 COX-3 enzima codificato dal gene PTGS1 (COX1), ma non è funzionale negli esseri umani.

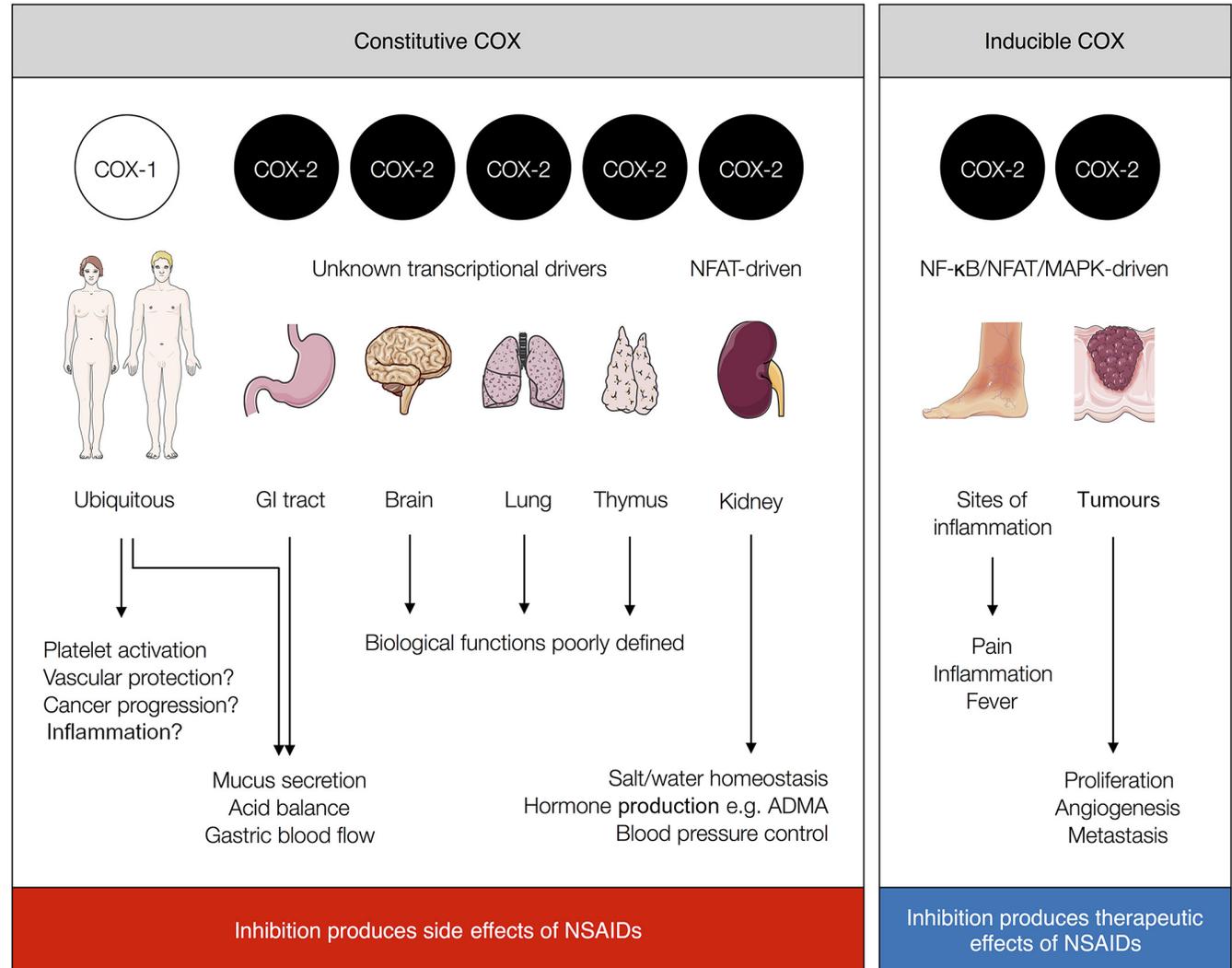


Membrana fosfolipidica



COX tra fisiologia e patologia

	COX I	COX II
Espressione	Costitutiva	Inducibile
Funzioni	<ul style="list-style-type: none"> • Controllo delle funzioni cellulari • Piastrine • Stomaco • Rene • Endotelio 	<ul style="list-style-type: none"> • Processi infiammatori • Macrofagi • Leucociti • Fibroblasti • Endotelio • Apoptosi in cellule tumorali
Inibizione	FANS	FANS glucocorticoidi

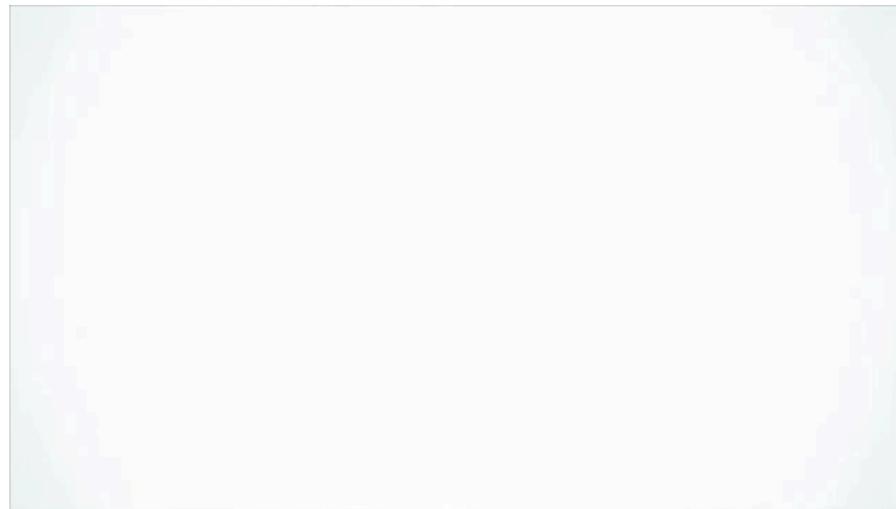


Meccanismi di azione dei FANS

- **COX** lega **FANS** su un residuo di arginina (**Arg 120**) => inibizione del farmaco da blocco del sito attivo dell'enzima (in realtà, enzima è bifunzionale e ha due siti attivi, uno che trasforma acido in PGG2 ed un altro che trasforma quest'ultimo in PGH2) =>>>> i FANS inibiscono solo il primo dei due siti.
- **Inibizione competitiva reversibile**
- **Eccezione: aspirina lega Serina 530 con un legame irreversibile.**
- **Effetto dura anche dopo eliminazione del farmaco, finchè non sintetizzato nuovo enzima.**
- **FANS possono essere suddivisi sulla base della loro selettività alla COX**

COX selettiva	Farmaco
COX-1	Aspirina, piroxicam, ibuprofene
COX-1 + COX-2	Diclofenac, naprossene, paracetamolo
COX-2	Nimesulide, celecoxib, etoricoxib

<https://youtu.be/VY7xPVZc5Xs>



AZIONI FARMACOLOGICHE dei FANS I

- **Effetti infiammatori**

modificazione della risposta infiammatoria

- **Effetti analgesici**

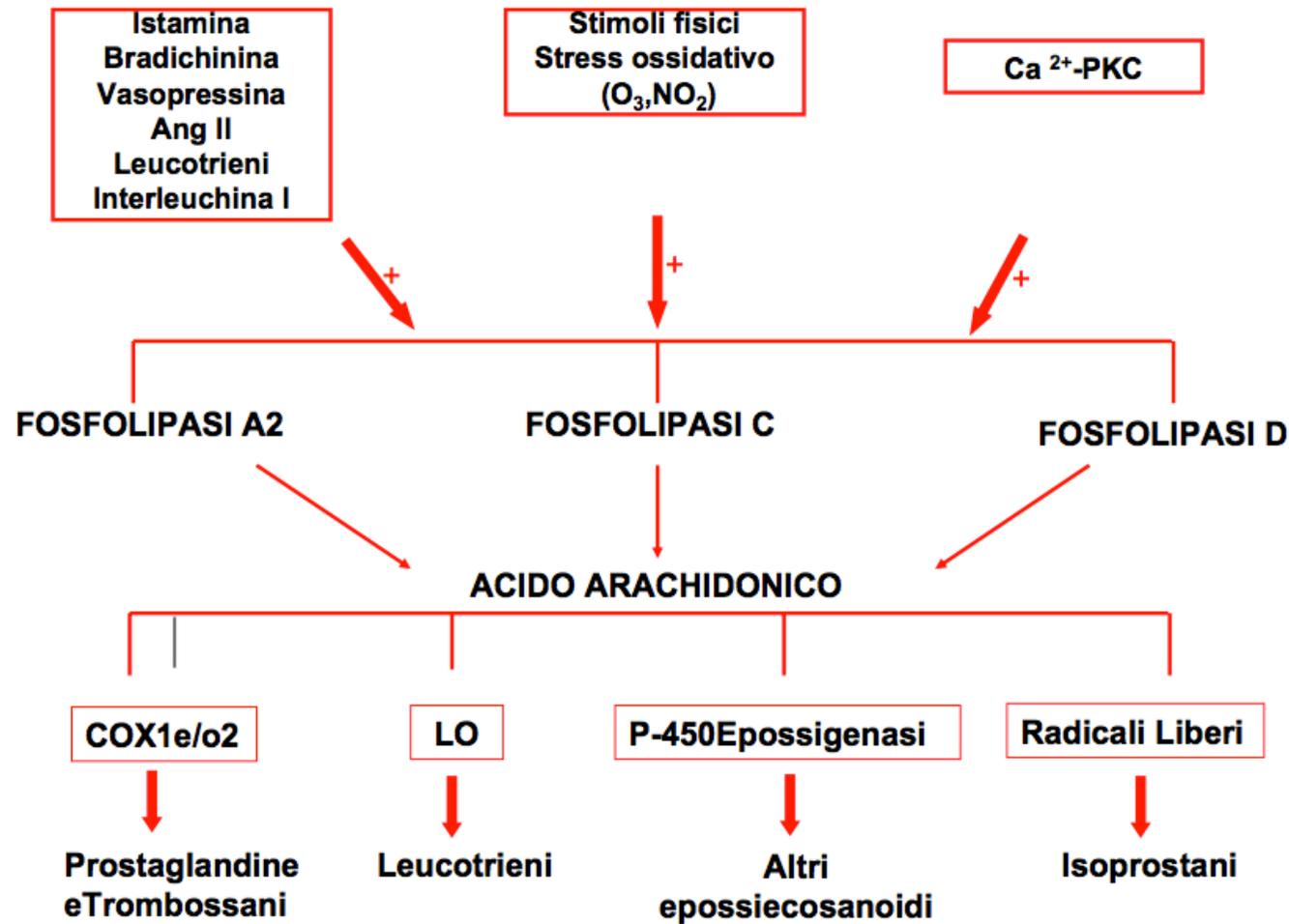
riduzione di certe forme di dolore

- **Effetti antipiretici**

abbassamento della temperatura corporea

Effetto anti-infiammatorio

- Attraverso inibizione COX =>> inibita sintesi di prostaglandine, prostaciline e trombossani ==> diminuzione della vasodilatazione, edema e dolore



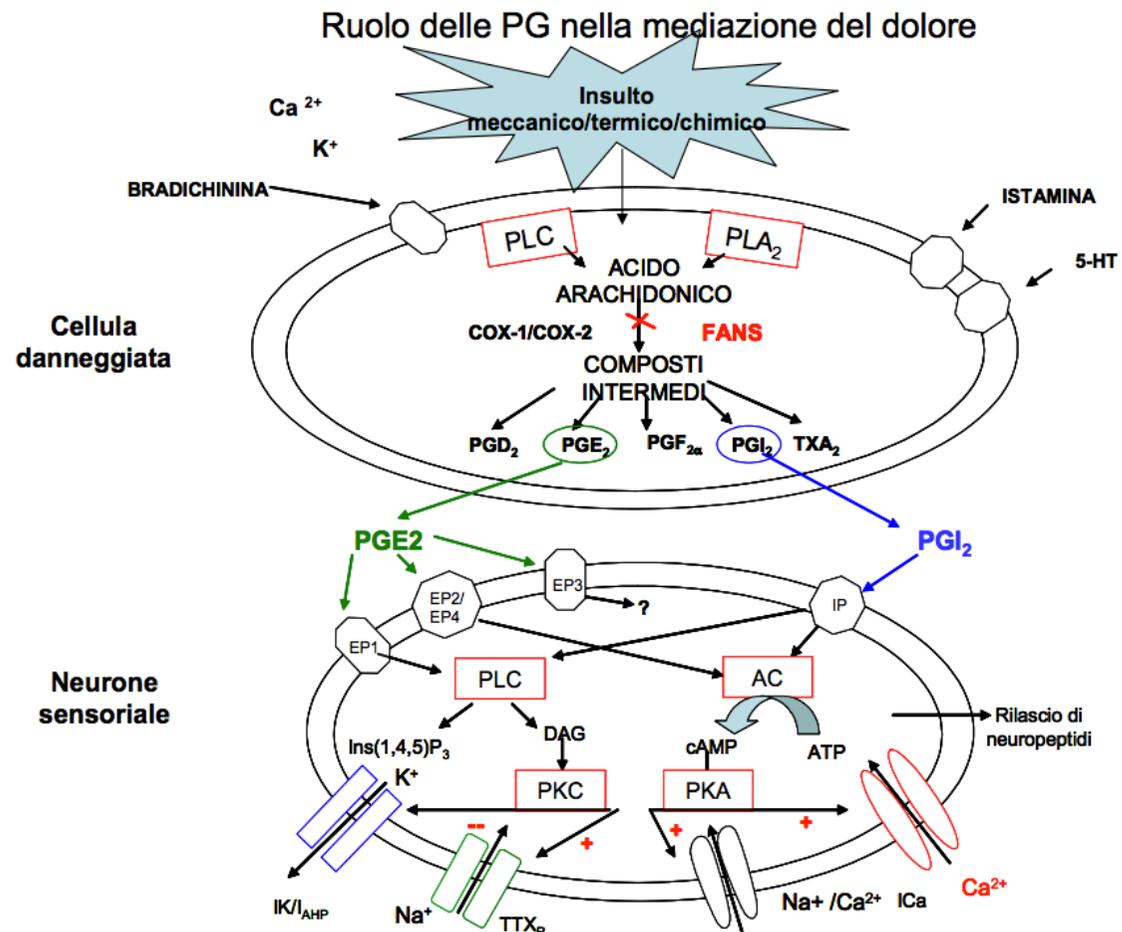
Effetto analgesico

SENSIBILIZZAZIONE NOCICETTORI
A STIMOLI MECCANICI E CHIMICI
(ISTAMINA, BRADICHININA, SOSTANZA P)

DOLORE

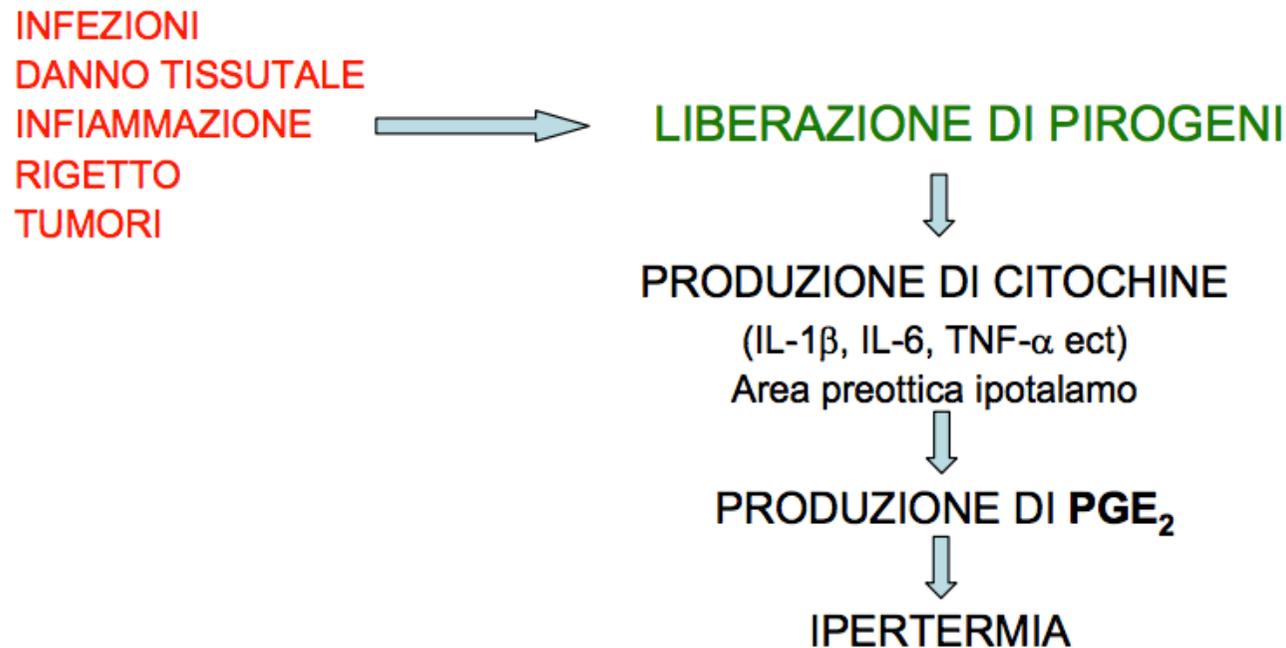
PGE₂

- Prostaglandine (PGE₂ e PGI₂) sensibilizzano i nocicettori a stimoli meccanici e chimici o a mediatori infiammatori (bradichinina).
- FANS attivi nel dolore di bassa e media intensità. In particolare, in condizioni in cui l'infiammazione ha causato la sensibilizzazione dei nocicettori a stimoli meccanici e chimici normalmente subliminali.
- Dolore viscerale (con eccezione del dolore mestruale) **NON** viene in genere alleviato.



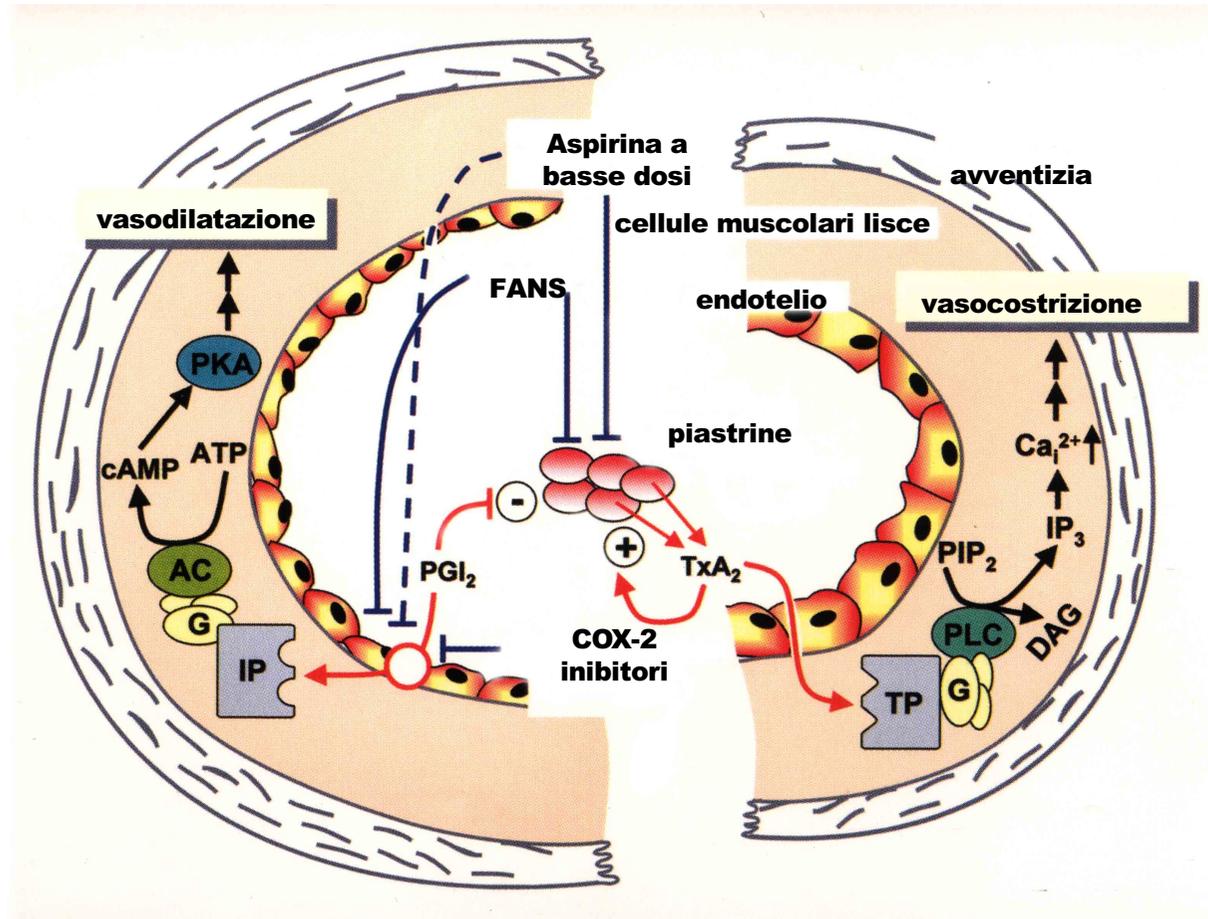
Effetto anti-piretico

- In seguito a vari stimoli e alla liberazione di pirogeni, si ha la produzione di citochine IL-1 β , IL-6, INF- α , INF- β , TNF- α .
- le citochine inducono la sintesi di PGE₂ negli organi circumventricolari e nell'area preottica ipotalamica.
- la PGE₂, mediante l' aumento di cAMP, stimola ipotalamo a elevare la temperatura corporea.
- **FANS inibiscono la risposta ipotalamica inibendo al sintesi di prostaglandine**



Effetto anti-aggregazione piastrinica

- **Piastrine esprimono solo COX-1**
- **FANS tradizionali causano allungamento del tempo di sanguinamento**
- **Coxib non interferiscono con la funzione piastrinica**
- **Azione antiaggregante:** attraverso inibizione della sintesi di trombossano a livello piastrinico; l'azione antiaggregante è caratteristica particolare dell'aspirina.



AZIONI FARMACOLOGICHE

- **INDOMETACINA, & PIROXICAM** **fortemente antiinfiammatori**
- **NAPROXENE, NABUMETONE & IBUPROFENE** **moderatamente antiinfiammatori**
- **PARACETAMOLO** **no antiinfiammatorio**
- **ASPIRINA** **ha altre attività farmacologiche**

	Antinfiammat.	Antidolorif.	Antifebbre	Eff. collaterali
Aspirina	**	**	**	***
Celecoxib	**	**		****
Diclofenac	**	***		**
Ibuprofene	***	***		**
Indometacina	****	**		****
Ketoprofene	***	***	*	****
Naprossene	***	***	*	***
Nimesulide	***	****	**	****
Paracetamolo	*	***	****	**
Piroxicam	***	***		****

Farmacogenetica & FANS

- Esiste una variabilità individuale nelle risposte ai FANS
- Con eccezione dell'acido acetilsalicilico (aspirina), tutti i FANS sono metabolizzati in ampia misura dal CYP2C9.
- Il CYP2C9 rappresenta il 17% circa di tutti gli isoenzimi del sistema del CYP450.
- Per il CYP2C9 è stata dimostrata l'esistenza di polimorfismo genetico.

Substrati, inibitori, ed induttori del CYP2C9		
SUBSTRATI	INIBITORI	INDUTTORI
Fans: diclofenac, naproxene, piroxicam, ibuprofene, celecoxib Antidiabetici orali: glipizide, tolbutamide, glibenclamide Sartanici: irbesartan, losartan Anticoagulante orale: warfarina	Fluconazolo Ketoconazolo Metronidazolo Itraconazolo Ritanovir	Rifampicina

mod da: <http://medicine.iupui.edu/flockhart/table.htm>

- Studio condotto in pazienti con emorragia digestiva da FANS (diclofenac, ibuprofene, naprossene, piroxicam o celecoxib).
- Due varianti alleliche **CYP2C9** comuni rilevanti per il metabolismo della Warfarina:
 - *2 SNP ex 3 CGT>TGT Arg144Cys
 - *3 SNP ex 7 ATT>CTT Ile359Leu
- Rispetto all'allele wild type *1 (WT), metabolizzano più lentamente Warfarina
=> Pz non WT richiedono dosi mediamente più basse Wf, rispetto ai pazienti WT.
- Rischio di emorragia da uso Warfarina:

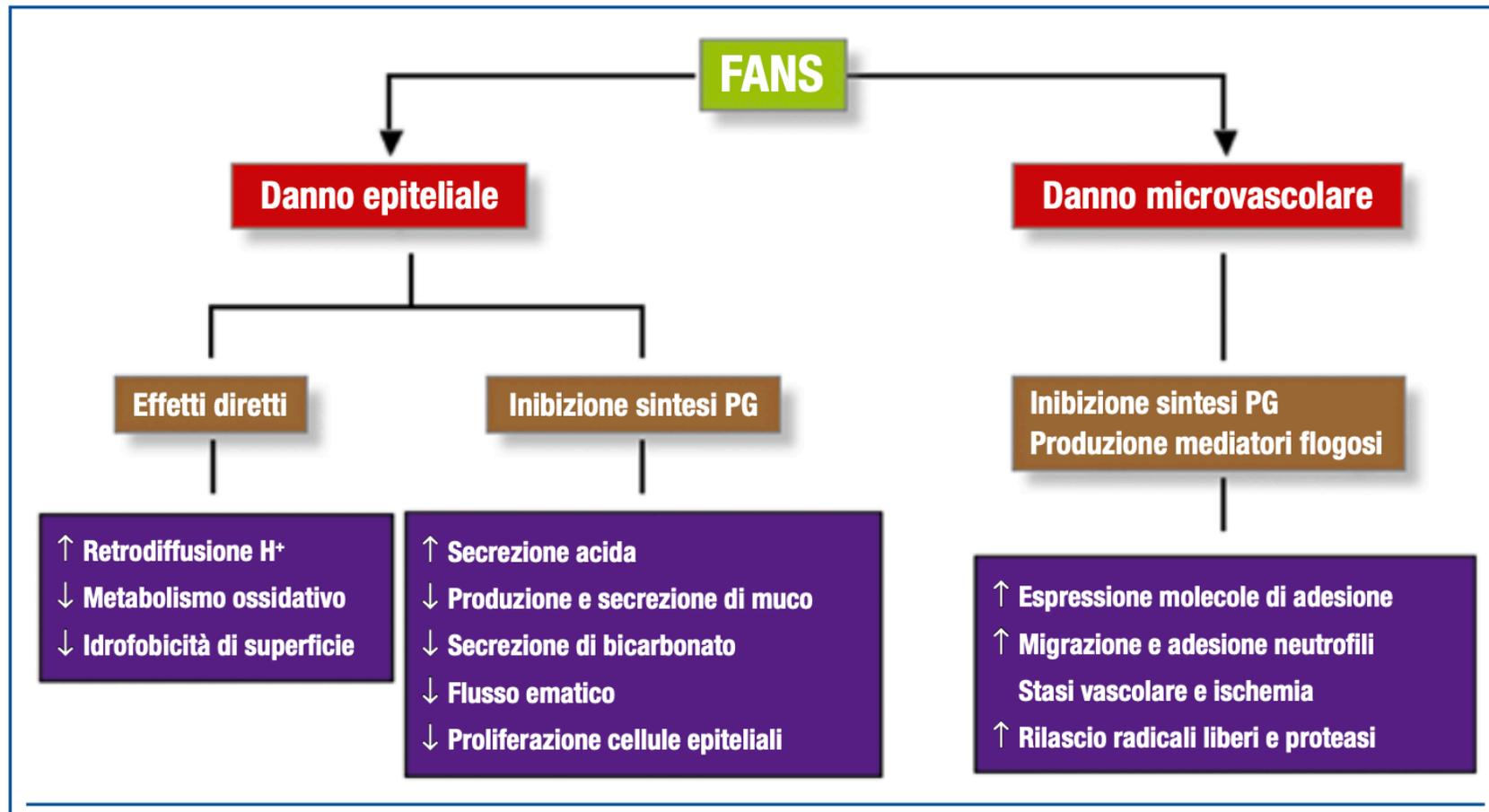
Pz *1/*3 vs *1/*1 13x

Pz *1/*2 vs *1/*1 4x

FANS: effetti collaterali

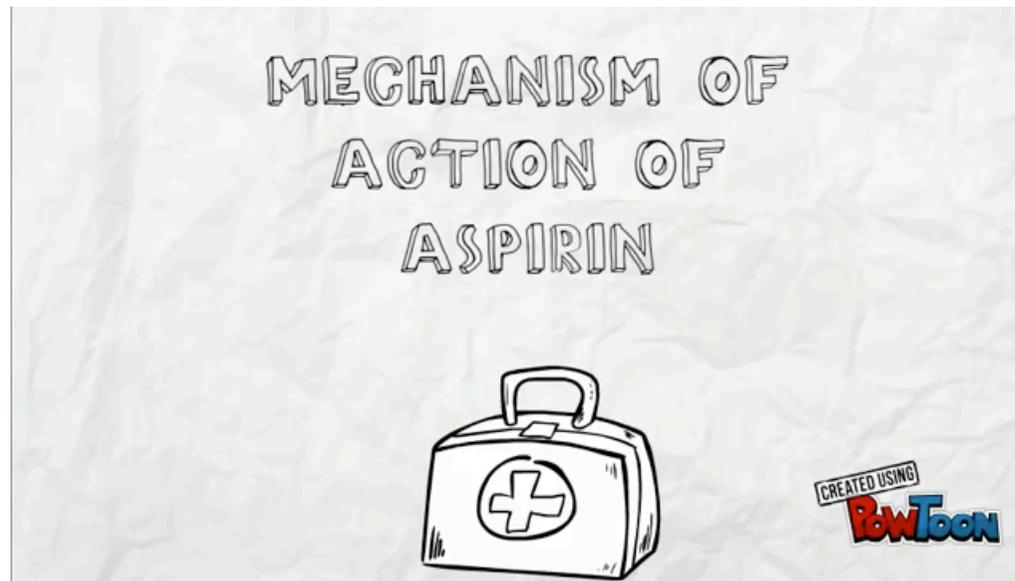
SISTEMA	MANIFESTAZIONI
GI (effetti collaterali diminuiti con farmaci selettivi per COX-2)	Dolore addominale Nausea Anoressia Erosioni gastriche/ulcere Anemia Emorragia GI Perforazione Diarrea
Renali	Ritenzione idro-salina Edema, peggioramento della funzione renale in pazienti renali/cardiaci e cirrotici Diminuita efficacia dei medicinali antiipertensivi Diminuita efficacia dei medicinali diuretici Diminuita escrezione di urati (soprattutto con aspirina) Ipokaliemia
SNC	Mal di testa Vertigini Sonnolenza Confusione Depressione Abbassamento della soglia convulsiva Iperventilazione (salicilati) Picco
Piastrine (effetti collaterali diminuiti con farmaci selettivi per COX-2)	Inibizione dell'attivazione piastrinica Propensione ai lividi Aumentato rischio di emorragia
Utero	Prolungamento della gestazione Inibizione del travaglio
Ipersensibilità	Rinite vasomotoria Edema angioneurotico Asma Orticaria Eruzioni Ipotensione Shock
Vascolare	Chiusura del dotto arterioso

Effetti collaterali dei FANS

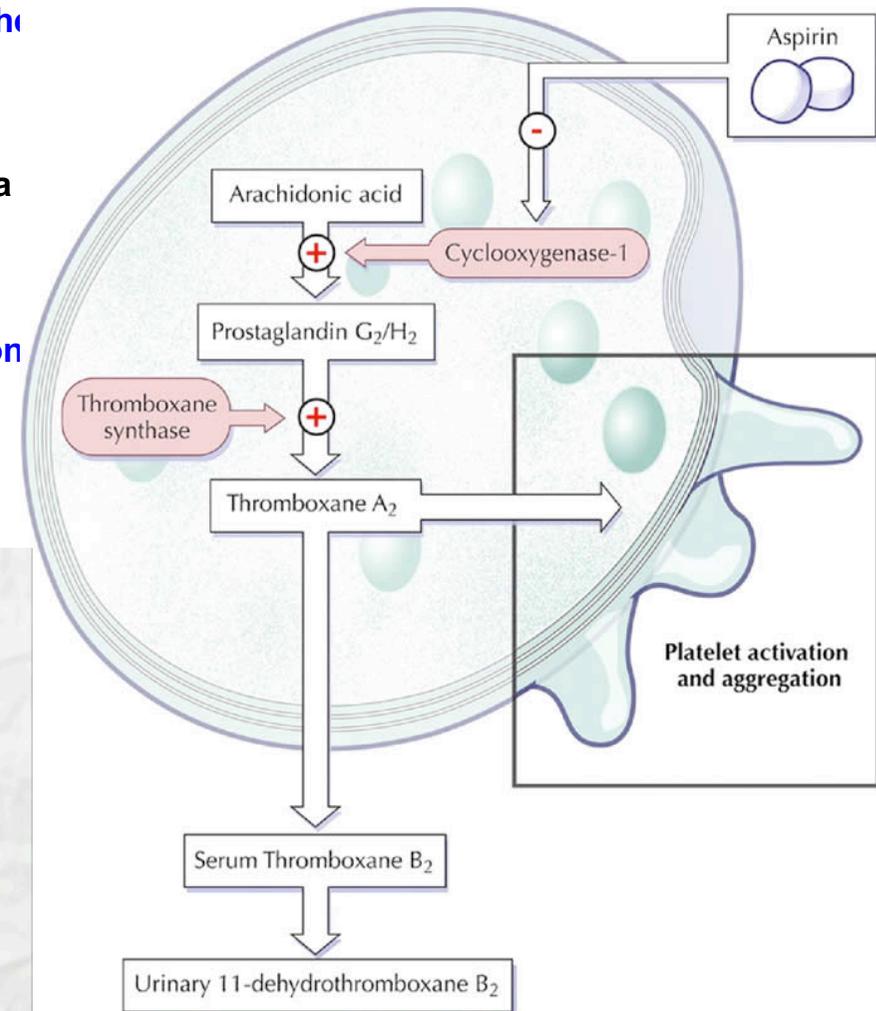


- **Aspirina è un inibitore irreversibile** perché acetila una serina del sito attivo (Serina 530, COX-1; Serina 516, COX-2).
- I meccanismi di altri inibitori sono poco noti, ma sembra che siano inibitori competitivi irreversibili.
- **Aspirina blocca la COX piastrinica entro 1 ora dalla somministrazione orale.** Inibizione dura per intera vita della cellula perché essa non rinnova l'enzima (parecchi giorni dopo una sola dose di aspirina)
- I prodotti delle cicloossigenasi non sono chemotattici e non attivano i leucociti: **aspirina non arresta i disturbi infiammatori cronici.**

<https://youtu.be/fUz3hd1yHRY>

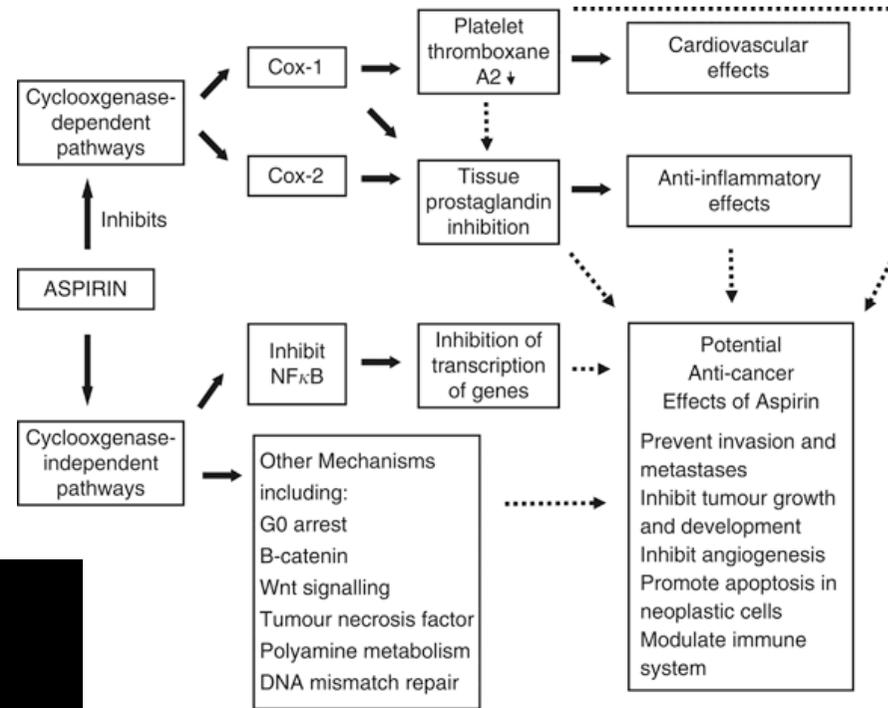
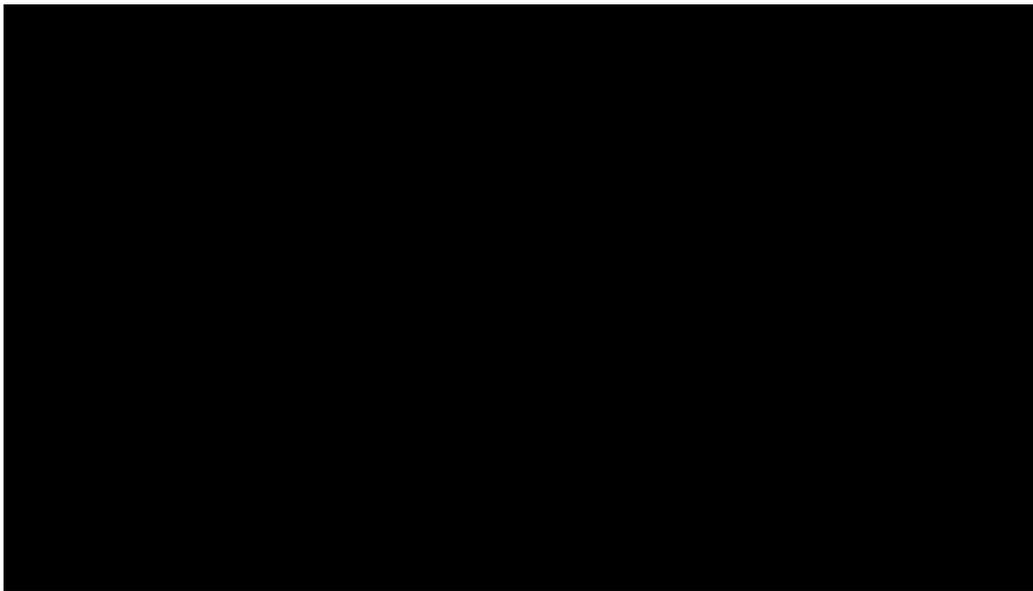


Effetti dell'aspirina



Effetti antitumorali dell'Aspirina

<https://youtu.be/WbEA6qvAUY4>



https://youtu.be/l-6_wbOFFpww

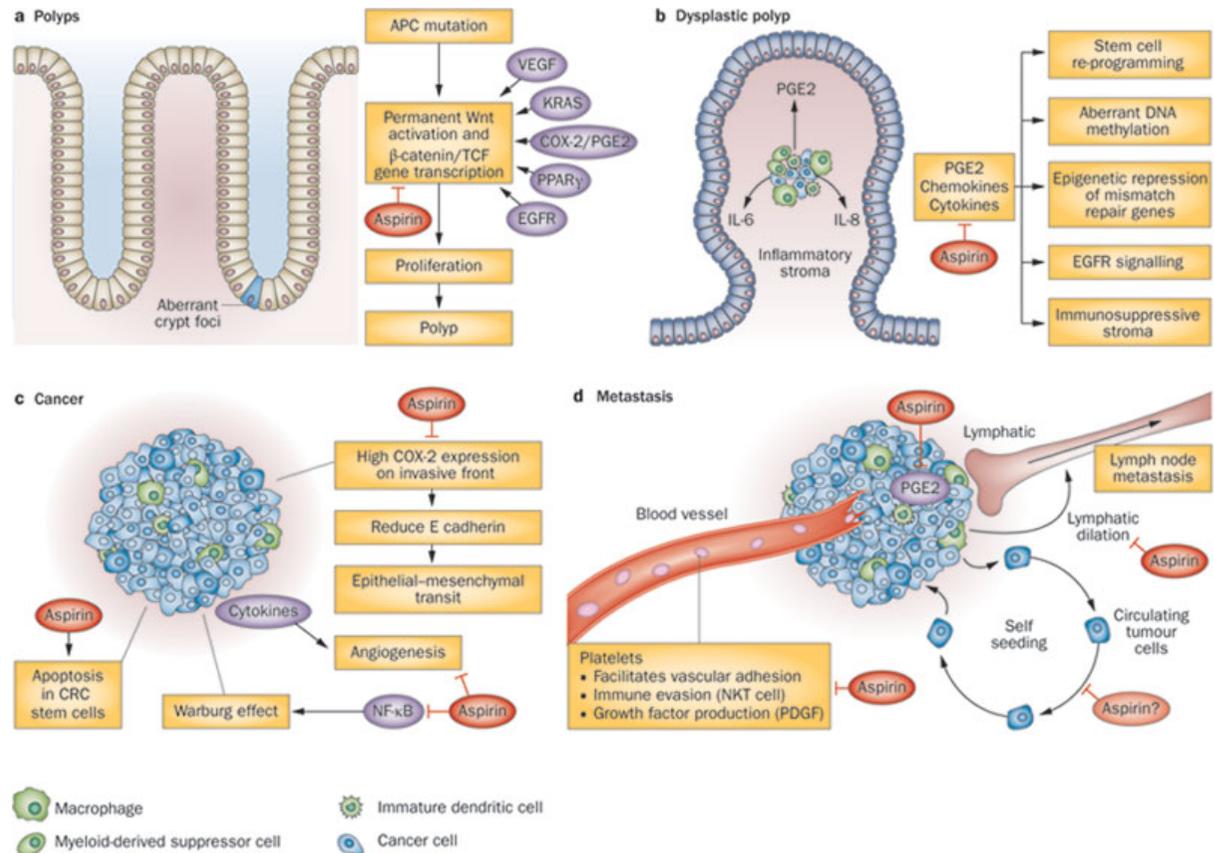


Aspirin and cancer: has aspirin been overlooked as an adjuvant therapy?
R E Langley, S Burdett, J F Tierney, F Cafferty, M K B Parmar and G Venning

FANS & Tumori

- **Inflammatione cronica** è fattore di rischio per il **canro del colon retto**. **FANS** riducono l'inflammatione inibendo la sintesi delle prostaglandine e sembrerebbero interferire con vie importanti per la carcinogenesi (proliferazione, apoptosi e angiogenesi).
- **Uso di FANS di qualsiasi tipo per più di 4 giorni alla settimana per più di 4 anni => rischio più basso del 42% di sviluppare cancro del colon-retto.**

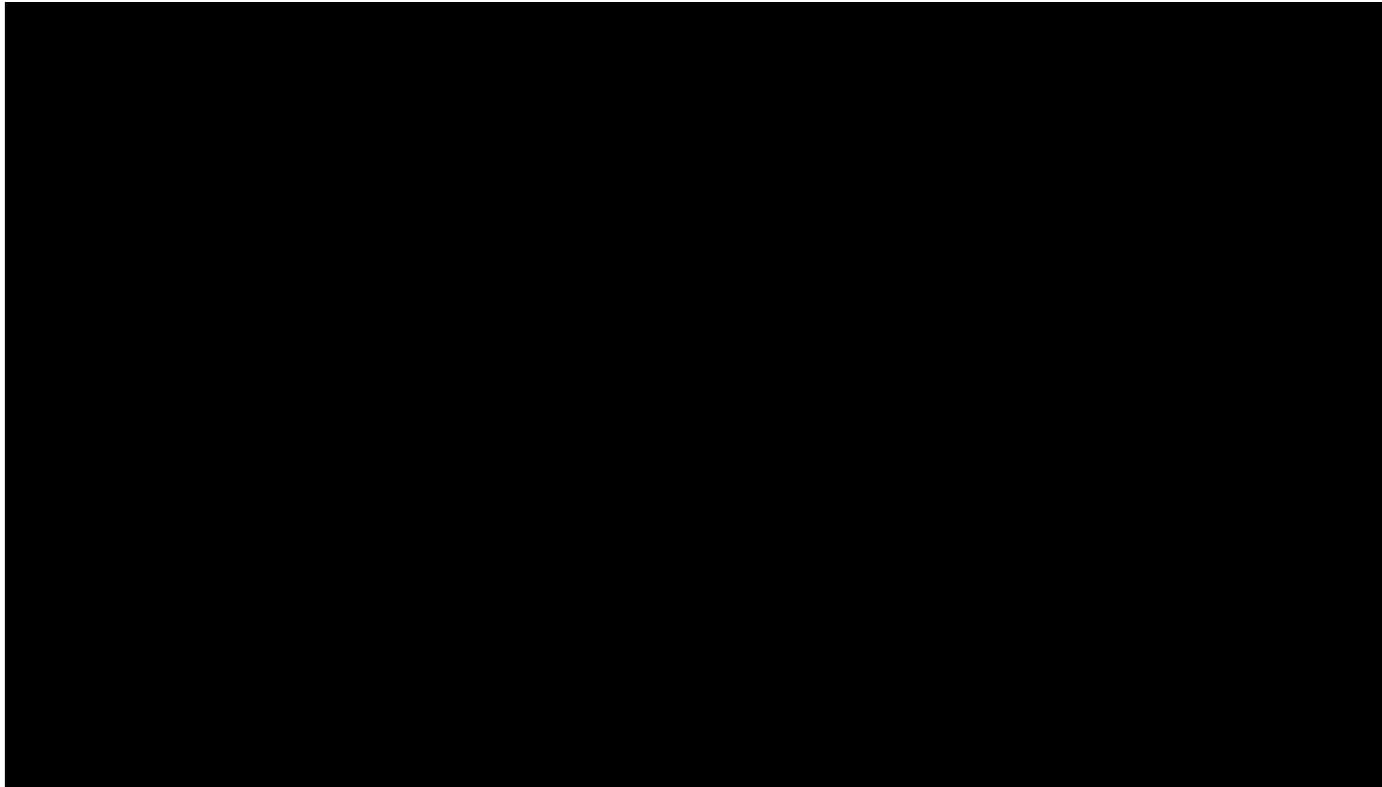
- persone che segnalavano un alto uso di qualsiasi tipo di FANS (> 4 giorni/settimana per più di 4 anni nel periodo dei 10 anni prima del basale) avevano un rischio inferiore del 42% di CRC rispetto a persone che non ne avevano fatto uso.
- E' stata osservata una maggiore riduzione del rischio per gli uomini (obesi, e bevitori di alcol regolari).
- Elevato utilizzo dei FANS è risultato associato a un rischio inferiore del 46% di CRC tra gli uomini e del 37% tra le donne.
- Efficacia dei FANS potrebbe comunque essere legata alla biodisponibilità del composto attivo e le differenze interindividuali nel metabolismo dei farmaci potrebbero modificare gli effetti terapeutici.
- Metabolismo dei FANS coinvolge primariamente la glicina N-aciltrasferasi, l'uridina 5'glucuronosiltrasferasi (per es. UGT1A6) ed il CYP2C9.
- Presenza di polimorfismi del CYP2C9 o quelli dei geni della famiglia dell'UGT potrebbe influenzare effetto dei FANS e modificare il rischio di carcinoma coloretale.



Paracetamolo antipiretico ma non anti-infiammatorio

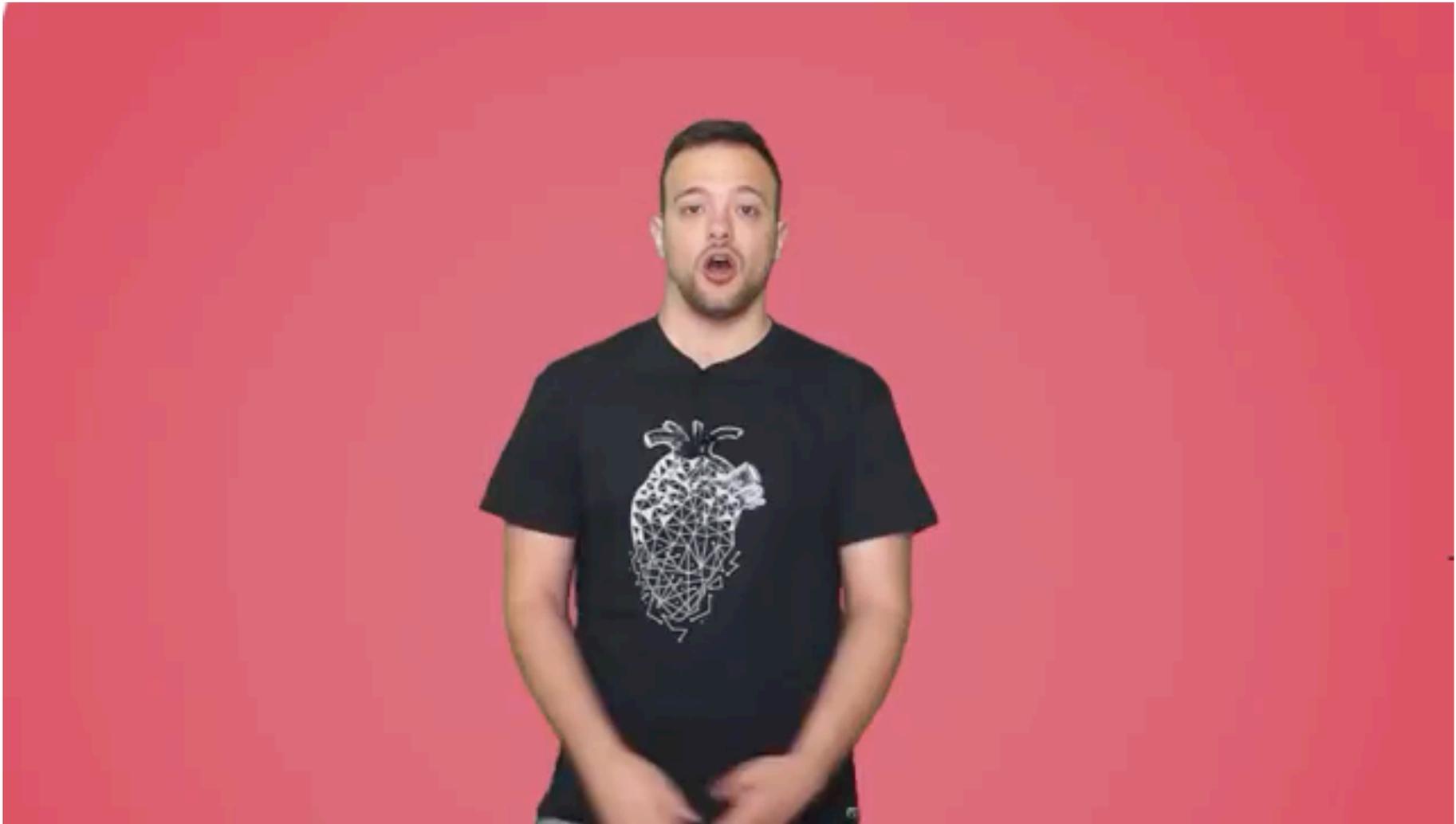
- Debole inibitore di COX-1, COX-2 (svolge un'attività inibitrice particolarmente selettiva per l'enzima costitutivo COX-3? tale enzima è presente a livello del SNC e sarebbe coinvolto nella genesi della febbre e del dolore).
- Paracetamolo può inibire COX solo in assenza di perossido: scarsa attività antinfiammatoria (nelle sedi d'infiammazione ci sono alte concentrazioni di perossidi prodotte dai leucociti).
- **Paracetamolo**: farmaco di prima scelta nei pazienti con dolore ma che non necessitano di effetto antinfiammatorio.

<https://youtu.be/POjFCT9rZro>



FANS in video

<https://youtu.be/g0iliGpha3c>



FARMACI CORTISONICI

SAIDs – steroidal anti-inflammatory drugs



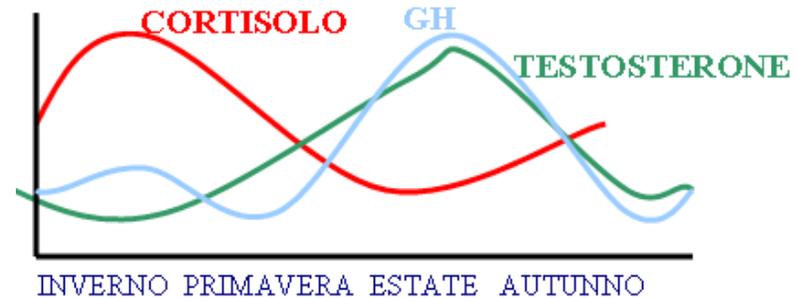
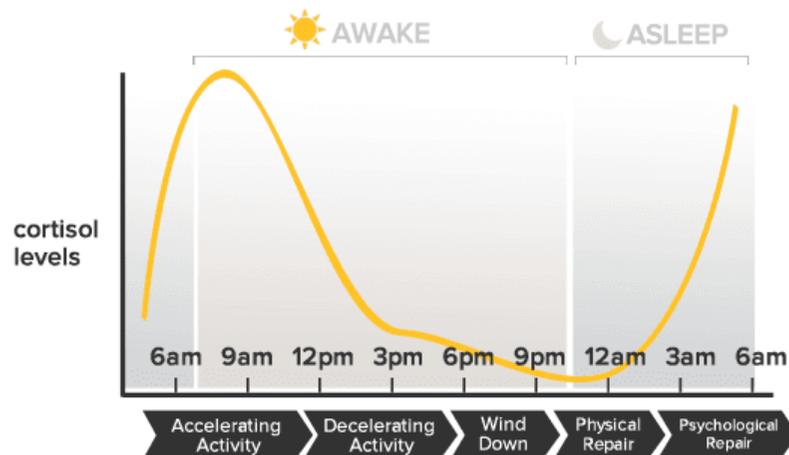
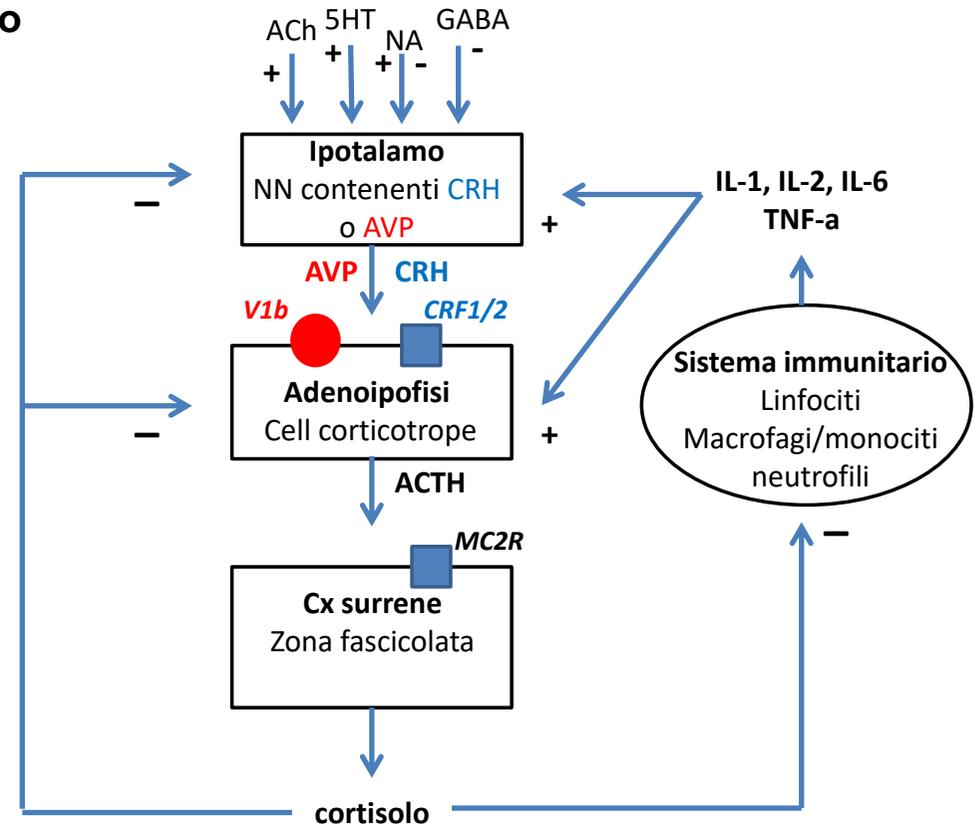
CORTICOSTEROIDI

- Derivati steroidi del metabolismo del colesterolo
- Prodotti dalla corteccia surrenale

- Steroidi surrenalici

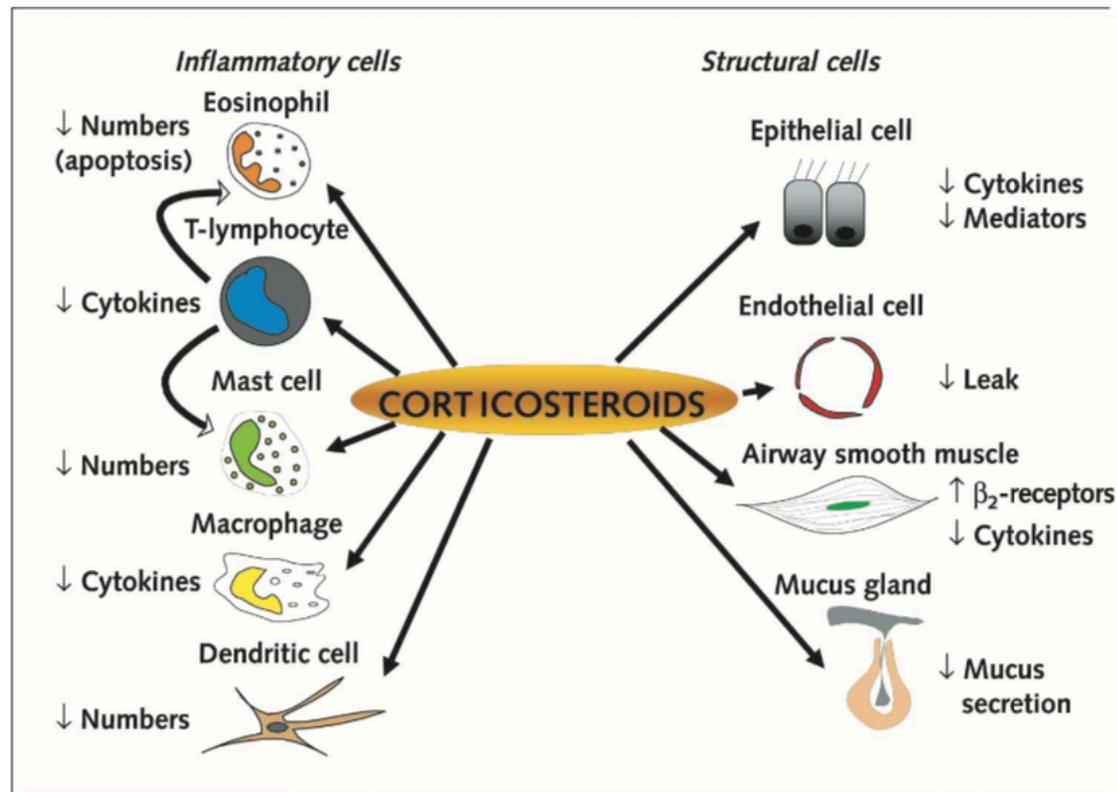
- **Stimolano:**

- ✓ **metabolismo glucidico (gluconeogenesi)**
- ✓ **lipidico (lipolisi)**
- ✓ **proteico (catabolismo)**
- ✓ **mantenimento bilancio idro-salino, mantenimento omeostasi sistemi CV, immunitario, rene, scheletrico, endocrino e nervoso.**



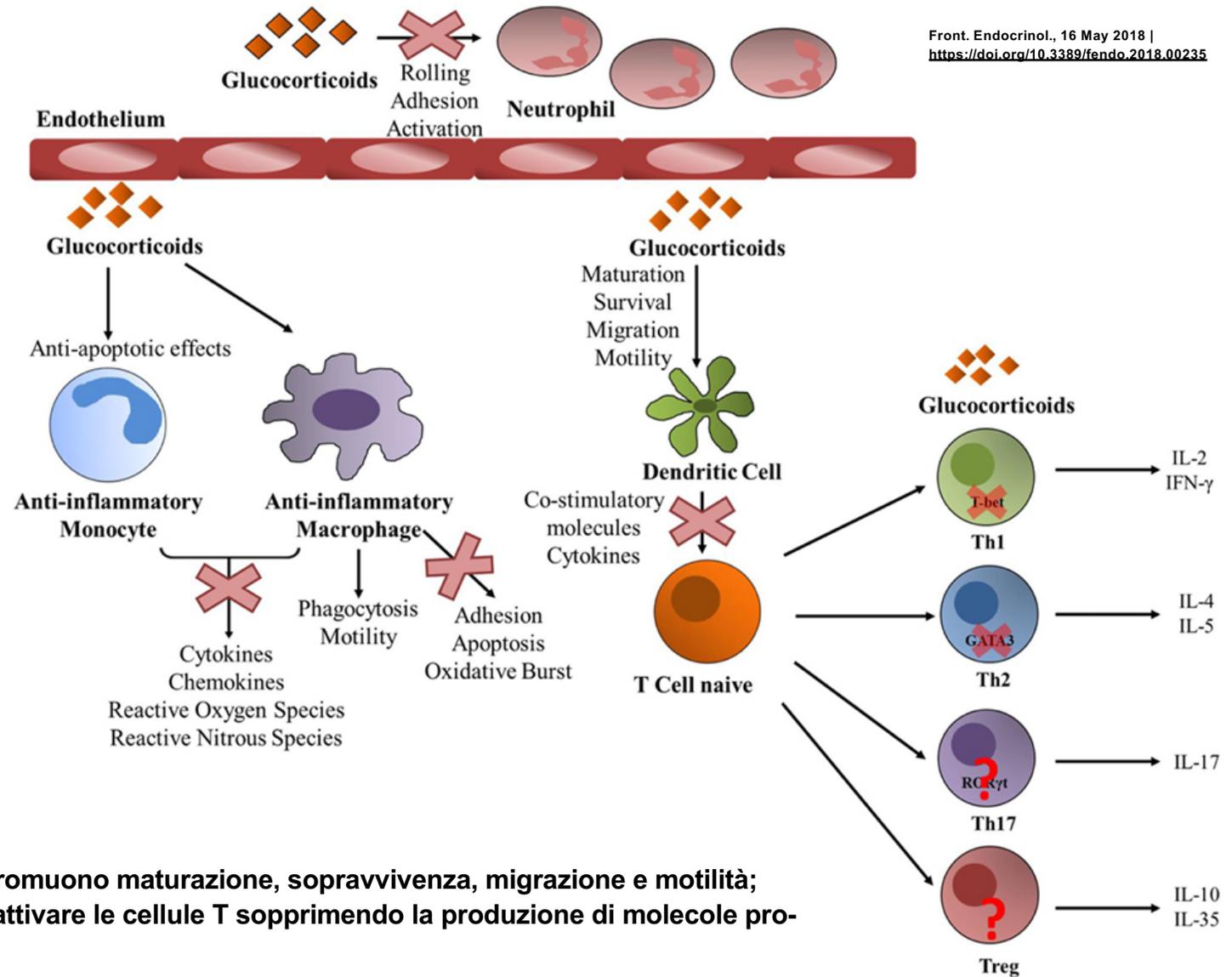
CORTISONICI: ATTIVITA'

- Cortisonici sono farmaci di sintesi analoghi ai corticosteroidi surrenalici
 - ✓ **Attività antinfiammatoria**
 - ✓ **Attività immunosoppressiva**



CORTISONICI: ATTIVITA'

Front. Endocrinol., 16 May 2018 |
<https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00235>



- **Neutrofili:** inibizione rotolamento, adesione e l'attivazione.
- **Monociti:** GC impediscono ai monociti di entrare in apoptosi e inibiscono la liberazione di mediatori pro-infiammatori.
- **Macrofagi:** promuovono fagocitosi e la motilità, mentre inibiscono l'adesione, l'apoptosi e il burst ossidativo.

- **Cellule dendritiche (DC):** GC promuovono maturazione, sopravvivenza, migrazione e motilità;
- GC inibiscono capacità DC di attivare le cellule T sopprimendo la produzione di molecole pro-infiammatorie.
- **Linfociti Th1:** sopprimono produzione di molecole pro-infiammatorie (IL-2 e IFN γ)
- **Linfociti Th2:** Sopprimono anche l'attività di GATA3, inibendo l'espressione di IL4 e IL5

Recettori dei Glucocorticoidi

- **Espressione del Recettore dei Glucocorticoidi (GCR) è regolata in maniera specifica per ogni tipo di cellula**
- **Controllo trascrizionale da: GRC attivato**
- **Controllo post-trascrizionale da: sbilanciamento GCR α e GCR β**
- **Controllo post-traduzionale da: Fosforilazione => Riduzione Emivita**

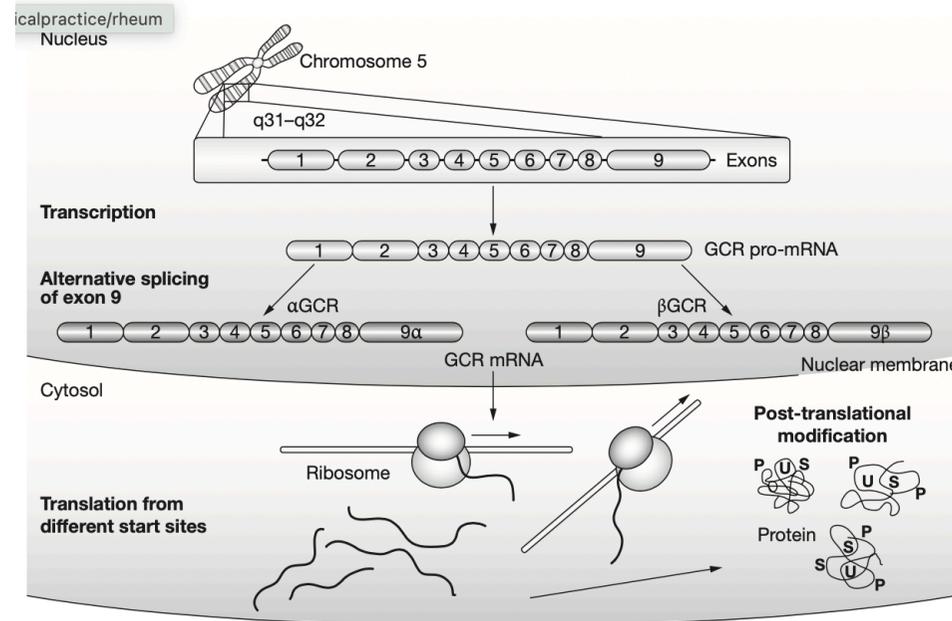


Figure 1 One gene encodes different receptor variants. The GCR gene contains nine exons and is located on chromosome 5 q31-q32. Two different GCR isoforms are produced by alternative splicing of exon 9. Other receptor variants are caused by different lengths of the N-terminus depending on the starting point of translation, and post-translational modifications, such as phosphorylation or sumoylation, that affect levels of transcriptional activity. Abbreviations: GCR, glucocorticoid receptor; P, phosphorylation; S, sumoylation; U, ubiquitination.

Cortisonici: effetti genomici

- **Effetto genomico:**

- **Diretto**
- ✓ **Transrepressione** (Molecole di Adesione, Citochine, COX2, PLA2)
- ✓ **Transattivazione** (Lipocortina-1, β 2- recettori, IL-RII- IL1ra, I κ B α)
- ✓ **Indiretto**
- ✓ **NF-kB**

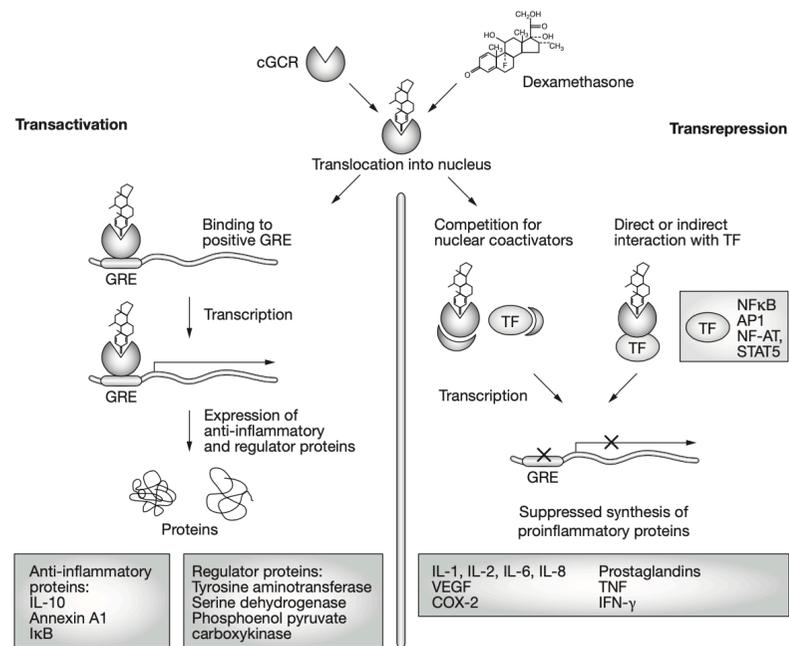


Figure 2 Genomic effects of glucocorticoids include transactivation and transrepression. Binding of the glucocorticoid-cGCR complex to GREs leads to expression of anti-inflammatory and regulatory proteins such as IL-10 or I κ B (transactivation). A suppressed synthesis of proinflammatory proteins (transrepression) is caused by competition for nuclear coactivators, or direct or indirect interaction with transcription factors. Abbreviations: AP1, activator protein 1; cGCR, cytosolic glucocorticoid receptor; COX-2, cyclooxygenase 2; GRE, glucocorticoid response element; I κ B, inhibitor of NF κ B; IFN- γ , interferon γ ; IL, interleukin; NF-AT, nuclear factor of activated T cells; NF κ B, nuclear factor κ B; STAT5, signal transducer and activator of transcription 5; TF, transcription factor; TNF, tumor necrosis factor; VEGF, vascular endothelial growth factor.

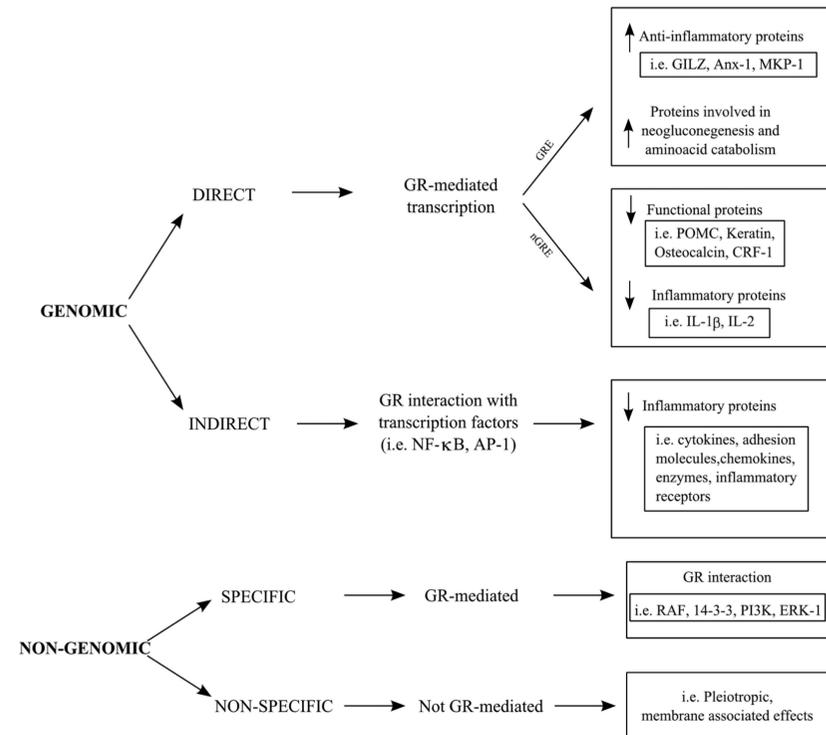
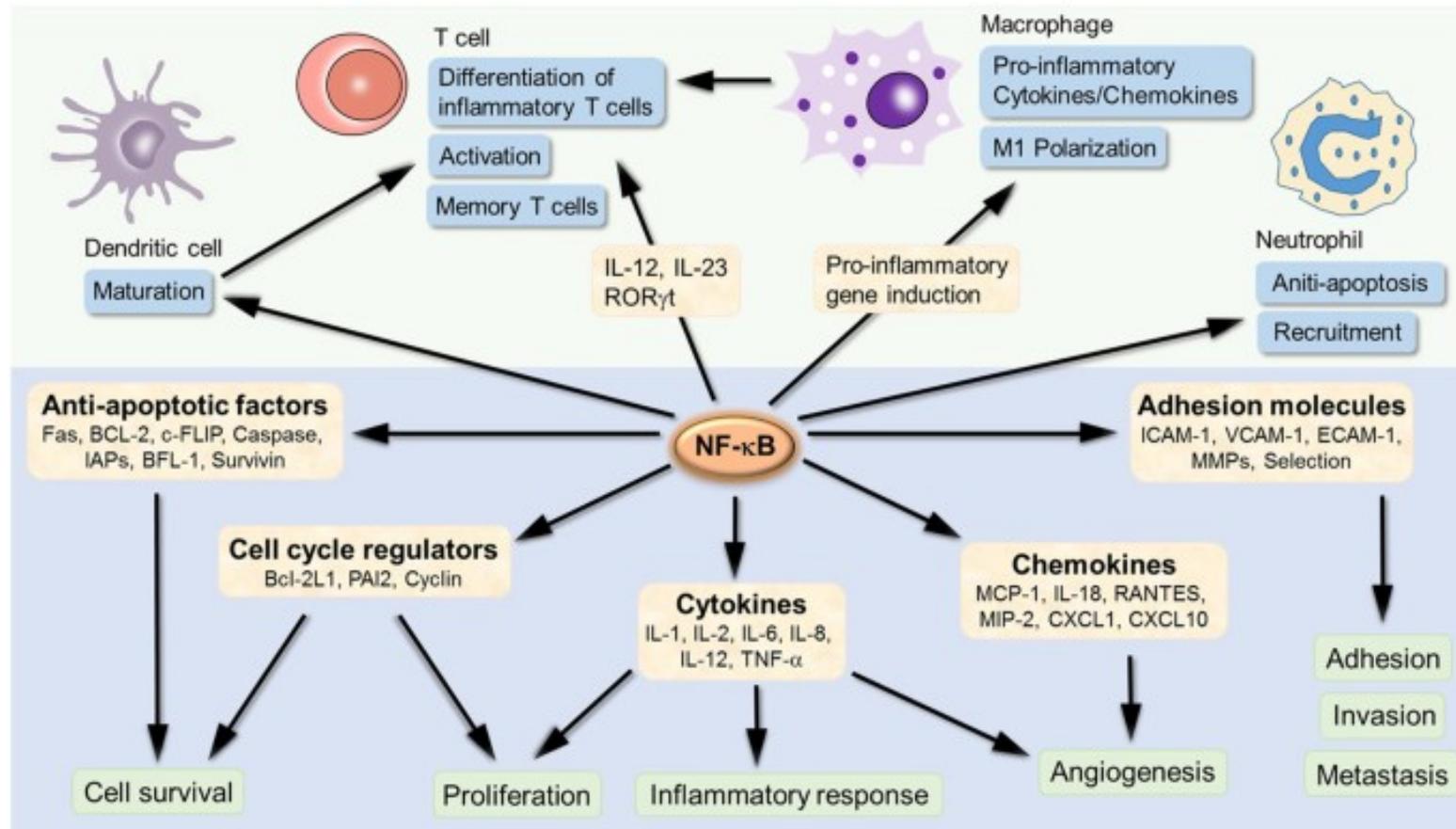


Figure 2. Genomic and nongenomic glucocorticoid molecular mechanisms. GC effects are mediated by transcription-dependent (genomic) and transcription-independent (nongenomic) mechanisms. The genomic direct mechanisms involve the interaction of GR with either GRE or negative GRE (nGRE), whereas the genomic indirect mechanisms are mediated by GR interaction and inhibition of proinflammatory transcription factors. The nongenomic GC effects may involve specific GR action or nonspecific GC interactions with cell membrane. CRF-1, corticotropin-releasing factor type 1; POMC, proopiomelanocortin.

doi: 10.1096/fj.12-216382

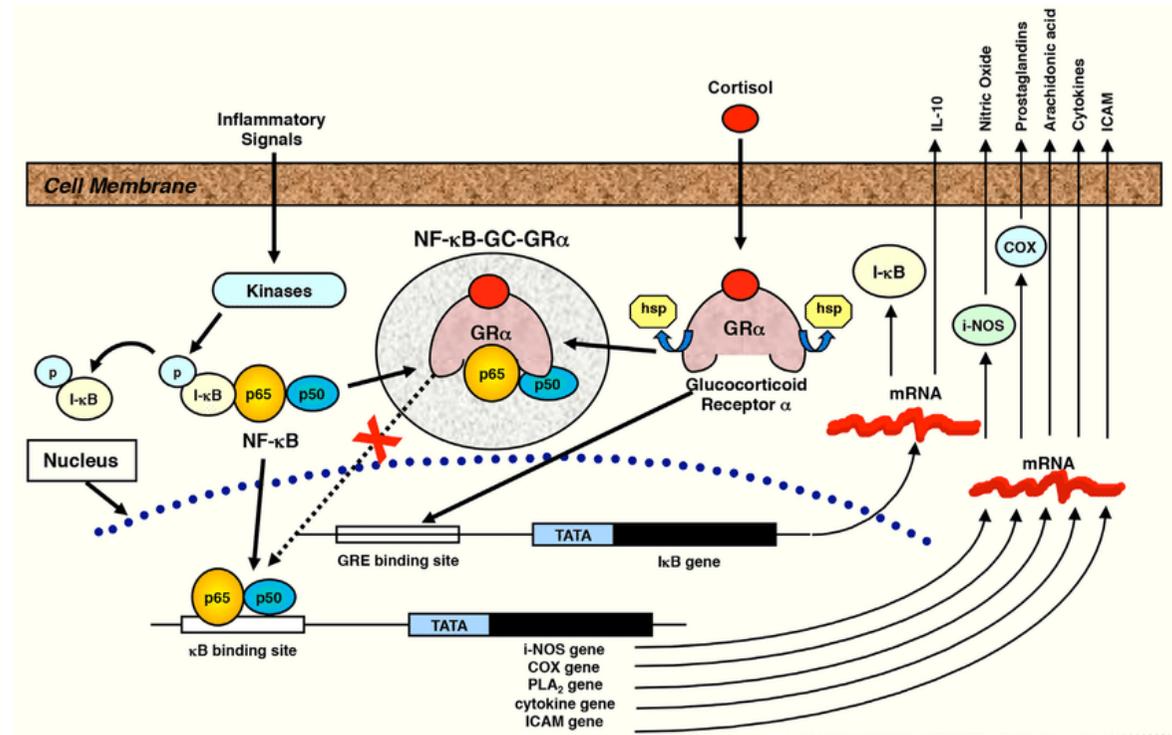
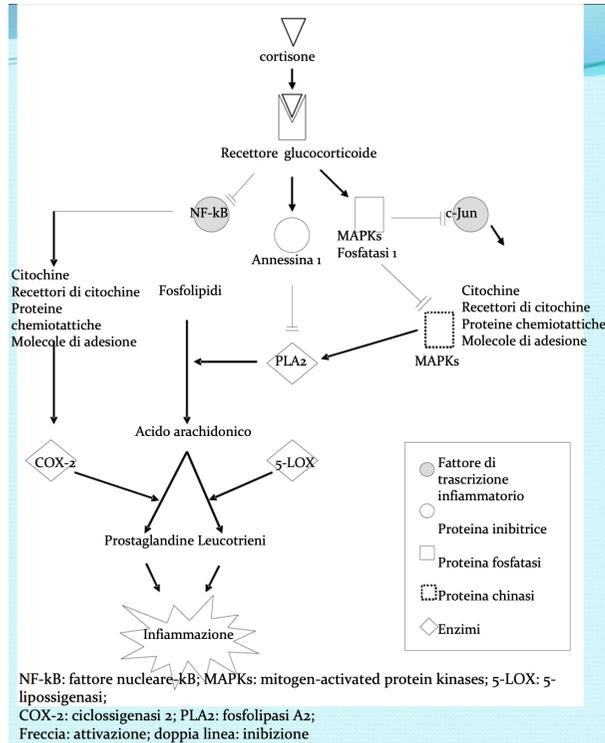
NF-κB & Infiammazione



Liu, T., Zhang, L., Joo, D. et al. NF-κB signaling in inflammation. *Sig Transduct Target Ther* 2, 17023 (2017).
<https://doi.org/10.1038/sigtrans.2017.23>

Cortisonici & Sistema NF-κB

- **Effetto genomico:**
 - **Indiretto**
 - ✓ **NF-κB**



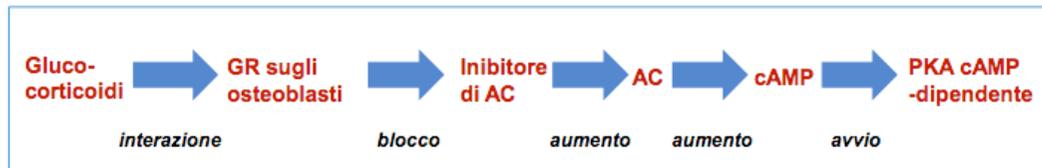
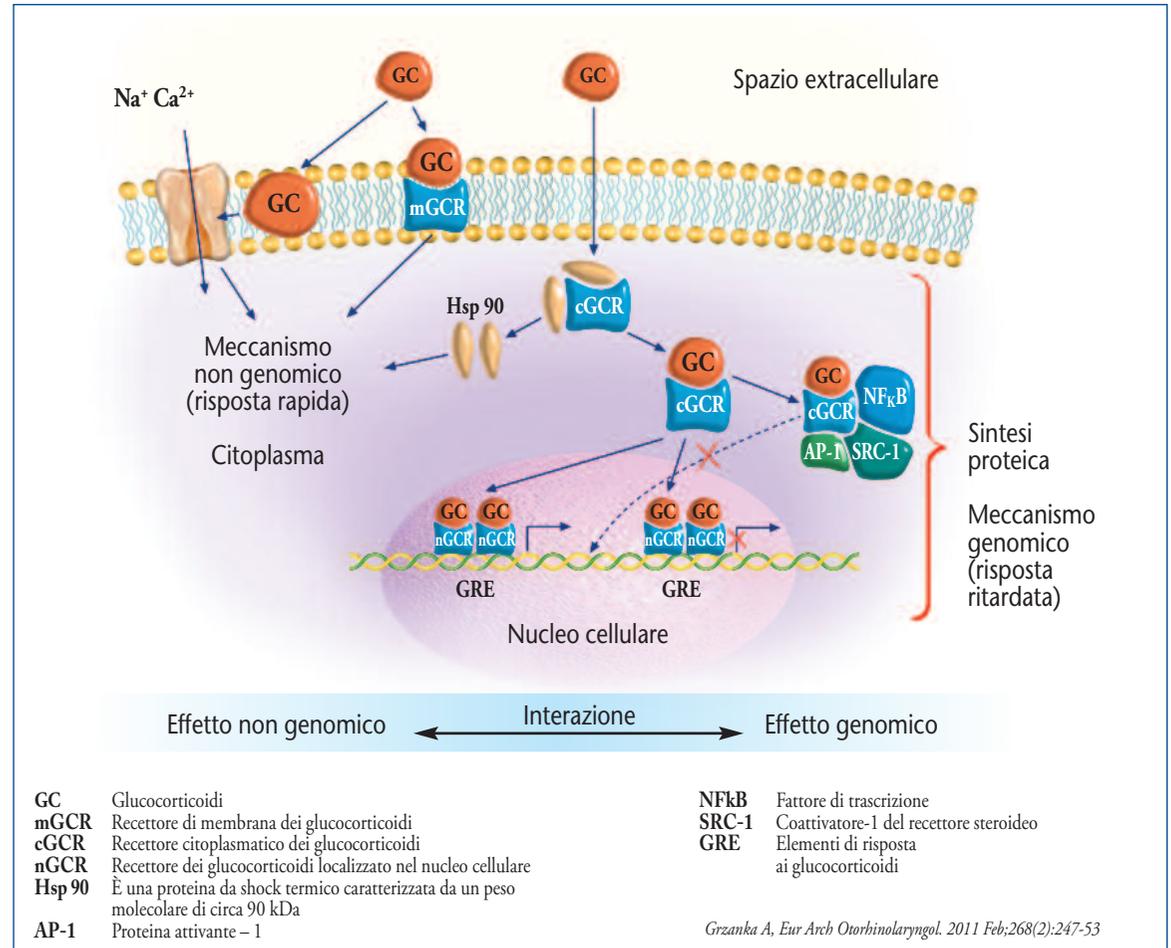
GC interferisce con attività trascrizionale NF-κB

- **Neutrofili e Monociti:** Inibizione fagocitosi
- **Neutrofili e cellule sinoviali:** Inibizione produzione enzimi degradativi
- **Inibizione produzione di linfocine infiammatorie e monochine, IL-1, TNF-α.**

Cortisonici: effetti non genomici

- ✓ **Attività fosfolipidi di membrana**
- ✓ **Interazione con cGCR**
- ✓ **Interazione con mGCR**

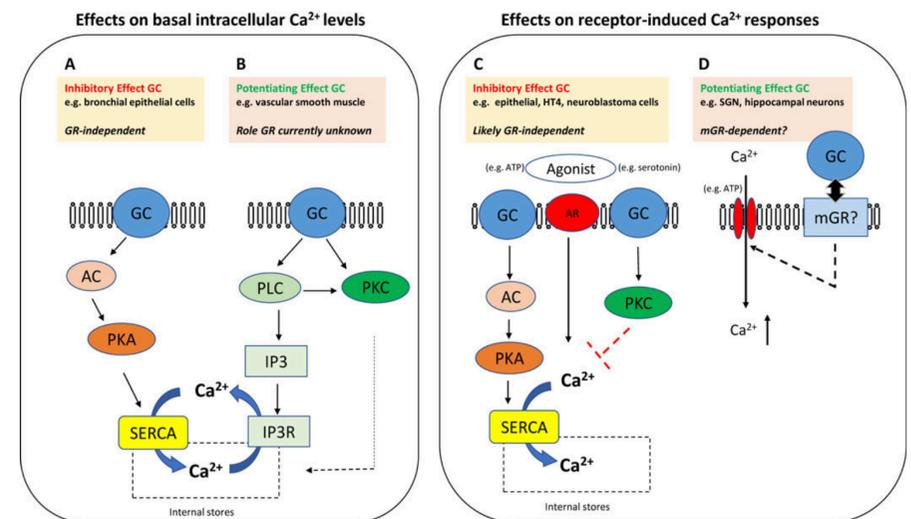
- **Alte concentrazioni (dose equivalente prednisone >30 mg al giorno):** GC possono cambiare le proprietà fisico-chimiche delle membrane biologiche, specialmente quelle plasmatiche e mitocondriali (alterazione funzioni delle proteine associate alla membrana, influenzando perossidazione lipidica e la permeabilità delle membrane)
- **Cellule immunitarie:** interazione GC-MP => rapida riduzione dei flussi di calcio e sodio attraverso le membrane, => immunosoppressione + riduzione dell'infiammazione.
- **GC diminuiscono anche la produzione di ATP =>** Inibiscono la fosforilazione ossidativa e aumentando la perdita protonica mitocondriale (ATP essenziale per le cellule immunitarie per la sintesi delle citochine, la migrazione, la fagocitosi, l'elaborazione e la presentazione degli antigeni).

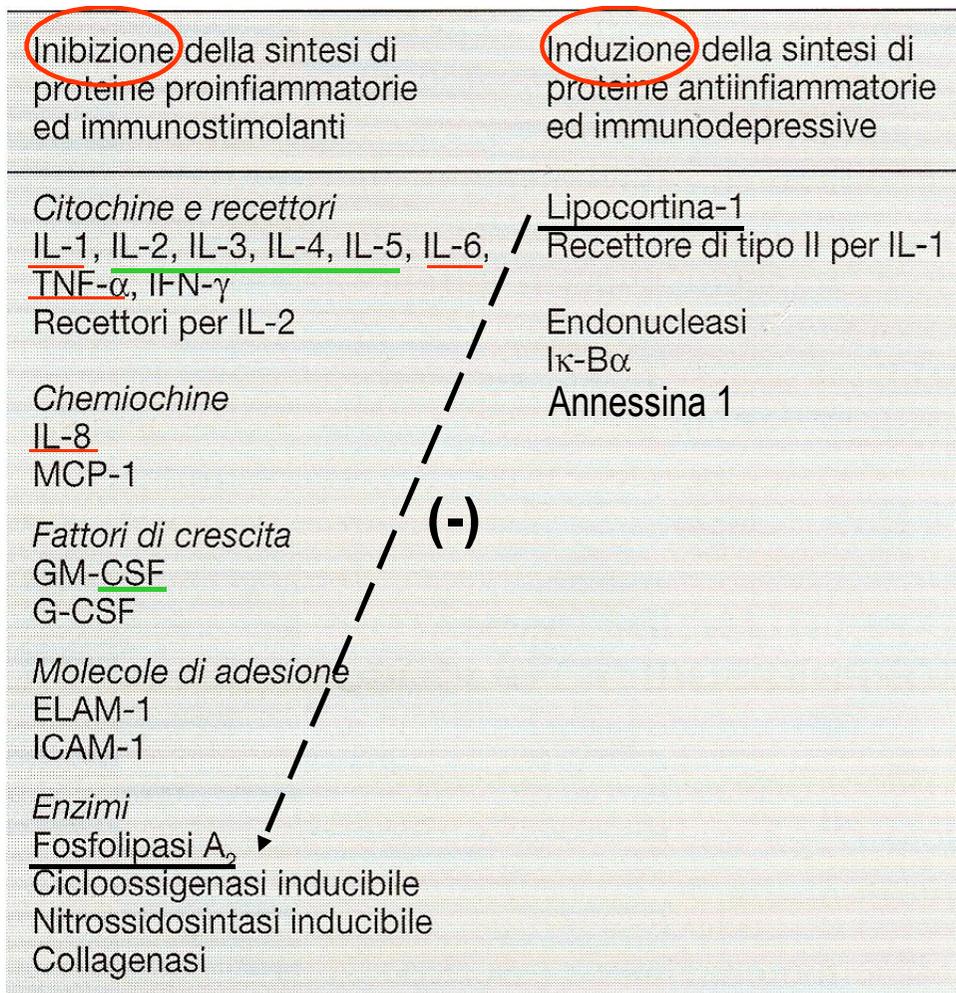


- ❖ GC legandosi ai GR determinano il **blocco dell'inibitore della adenil-ciclastasi (Adenyl-Cyclase, AC)**, cioè dell'enzima di membrana che trasforma ATP in adenosina monofosfato ciclica (cyclic Adenosine MonoPhosphate, cAMP), con conseguente aumento dell'attività di AC e successivo incremento di cAMP.
- ❖ **Incremento di cAMP determina l'avvio delle pathway della proteina chinasi A (PKA) dipendente da cAMP.**

Examples of signaling pathways activated by GCs via non-genomic mechanisms

	Signaling pathways	Cell types	GCs
	<ul style="list-style-type: none"> PKA SERCA Ca²⁺-ATPases Adenylyl cyclase 	Human bronchial epithelial cells	Dexamethasone
	<ul style="list-style-type: none"> PKC 	Mouse cortical collecting duct cells	Dexamethasone Aldosterone
	<ul style="list-style-type: none"> IP3 accumulation PKC 	Rat vascular smooth muscle cells	Dexamethasone Aldosterone
	<ul style="list-style-type: none"> PKA 	HT4 neuroblastoma cells	Corticosterone
	<ul style="list-style-type: none"> PKC 	Rat B103 neuroblastoma cells	Corticosterone
	<ul style="list-style-type: none"> CaMKII AMPK 	Mouse skeletal myotubes	Dexamethasone
	<ul style="list-style-type: none"> PKC 	Tracheal smooth muscle tissues	Cortisol
	<ul style="list-style-type: none"> Rho kinase 	Rat vascular cells smooth muscle	Dexamethasone
	<ul style="list-style-type: none"> ROS/RNS (NO synthase) 	Human breast cancer cells	Cortisol
	<ul style="list-style-type: none"> NO pathways 	Guinea-pig cochlear spiral ganglion neurons Human vascular endothelial cells Human umbilical endothelial cells	Dexamethasone
	<ul style="list-style-type: none"> ERK1/2, P38MAPK, JNK 	PC12 cells Rat vascular smooth muscle cells	Dexamethasone
	<ul style="list-style-type: none"> Src tyrosine kinase 	Human breast cancer cells A549 cells	Cortisol Dexamethasone
	<ul style="list-style-type: none"> PI3K/Akt 	Human vascular endothelial cells	Dexamethasone





Meccanismo antinfiammatorio/immunodepressivo dei glucocorticoidi

IL = interleuchina, TNF- α = *tumor necrosis factor- α* , IFN- γ = interferone- γ , MCP-1 = *monocyte chemotactic protein-1*, GM-CSF = *granulocyte-macrophage colony stimulating factor*, G-CSF = *granulocyte colony stimulating factor*, ELAM-1 = *endothelial-leukocyte adhesion molecule-1*, ICAM-1 = *intercellular adhesion molecule-1*.

- attivano sistema immunitario
- risposta infiammatoria, attivano sistema immunitario

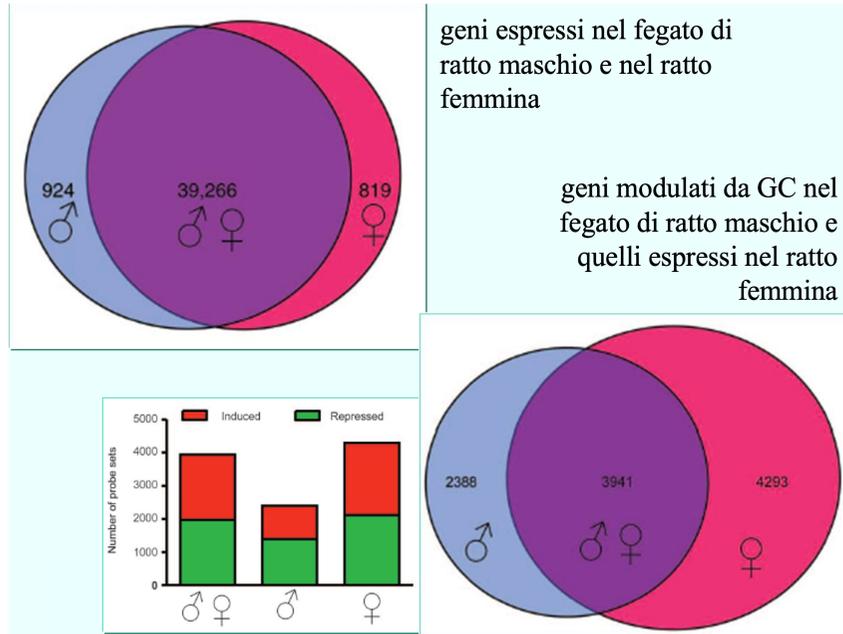
Glucorticoidi: cosa fanno?

<https://youtu.be/RoXIXSbJ43E>



Condizionamenti della Risposta ai Glucorticoidi

Genere



Polimorfismi

- **Associazione genomewide tra GLCC1 e risposta alla terapia con glucocorticoidi nell'asma:**
- **SNP funzionale (rs37973):** riduce significativamente l'espressione di GLCC1, un gene che influenza la risposta farmacologica ai glucocorticoidi inalatori nell'asma.