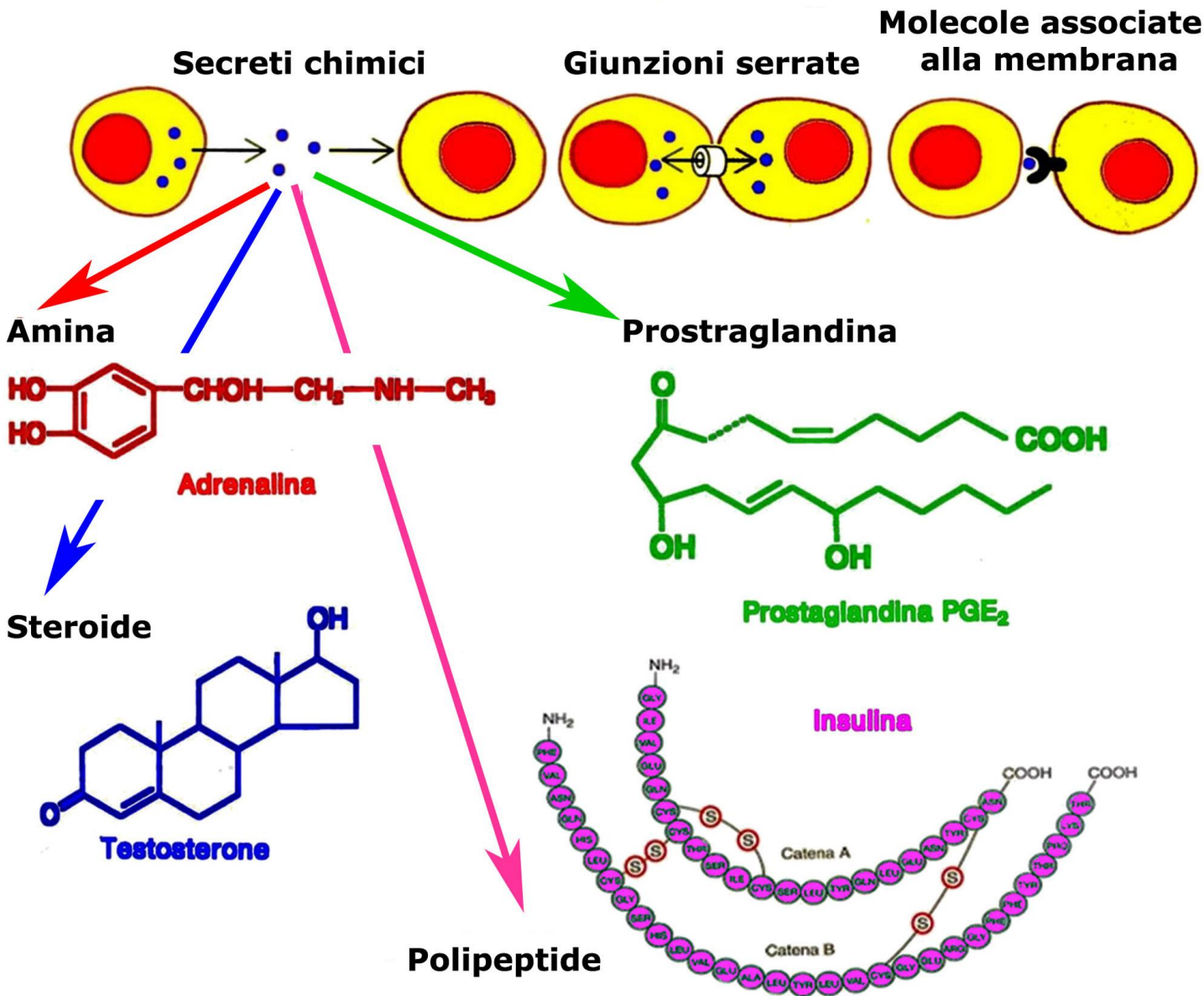




Corso di Zoologia. (M-Z) 2021

7. Sistema endocrino

Comunicazione cellulare



(A) Sono rappresentate schematicamente tre diverse modalità attraverso le quali si ritiene che le cellule possano comunicare tra di loro. La segnalazione può essere indiretta, a distanza, mediante secreti chimici. Oppure può essere diretta, attraverso giunzioni serrate, o mediante molecole associate alla membrana plasmatica. Le giunzioni serrate possono anche essere rettificanti, cioè consentire la trasmissione del segnale elettrico in una sola direzione. **(B)** Sono riportati esempi delle principali classi di **ormoni**, la modalità di comunicazione a distanza. Le tipologie di trasmettitori vengono rappresentate dal punto di vista chimico.

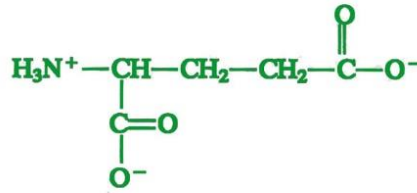
Mediatori chimici

Neurotrasmettitori

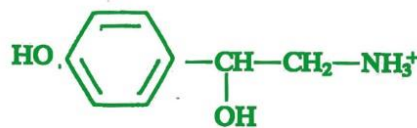
Acetilcolina



Glutammato (aminoacido)

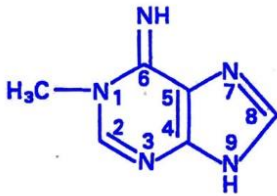


Octopamina (ammina)

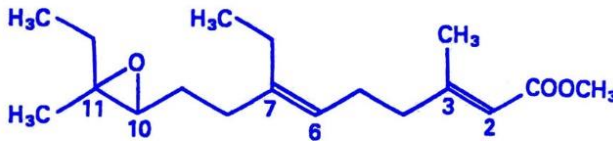


Ormoni

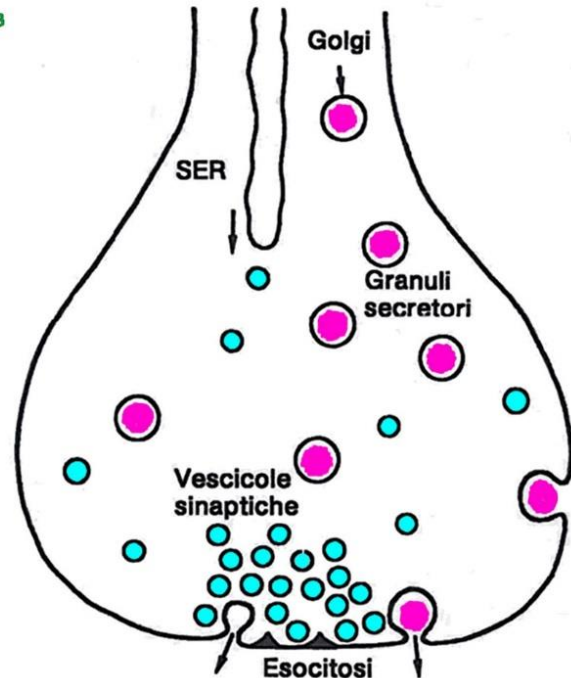
1-metil adenina



Ormone giovanile

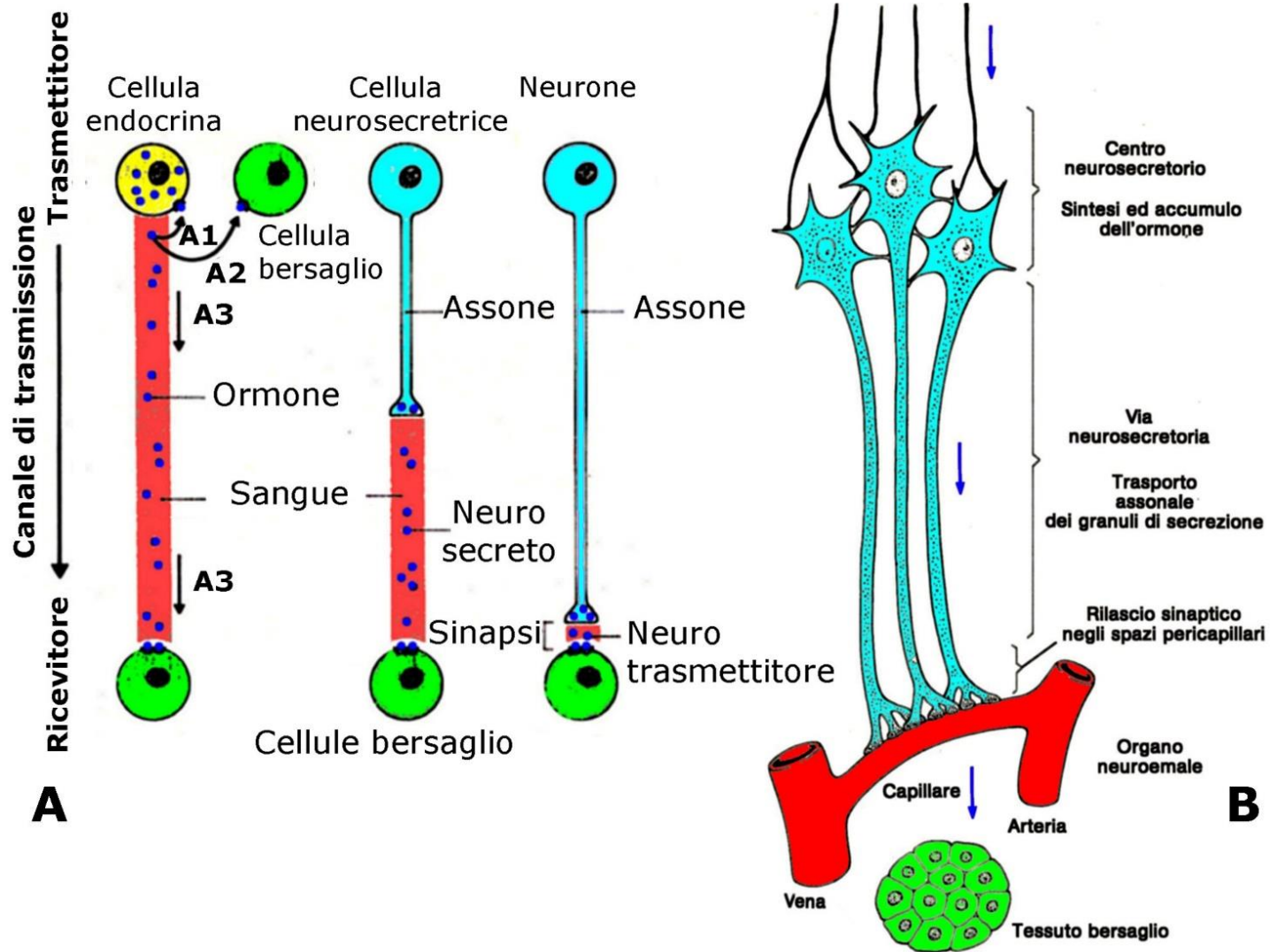


Attivatore del capo di *Hydra* (peptide)



Sono qui rappresentati alcuni dei **mediatori chimici** che troviamo negli invertebrati caratterizzati dal punto di vista funzionale. Si possono riconoscere diverse tipologie: **neurotrasmettitori**, **ormoni** e **feromoni**. Gli **ormoni** vengono rilasciati da cellule endocrine, i feromoni da cellule esocrine, mentre i **neurotrasmettitori** vengono rilasciati dalle terminazioni sinaptiche di cellule nervose attraverso due meccanismi secretori distinti che utilizzano granuli o vescicole. L'ultrastruttura delle terminazioni neurosecretrici è però identica.

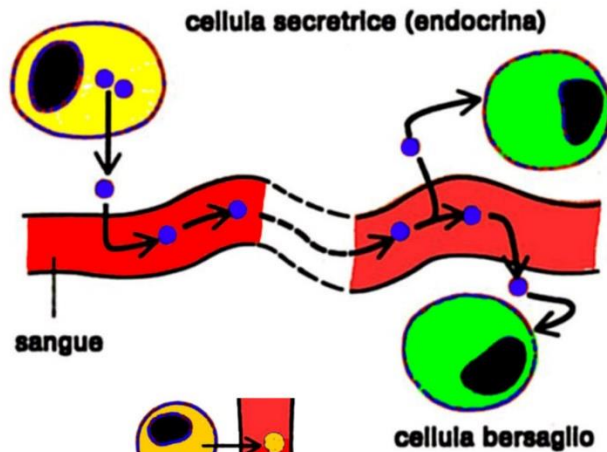
Sistemi neuroendocrini



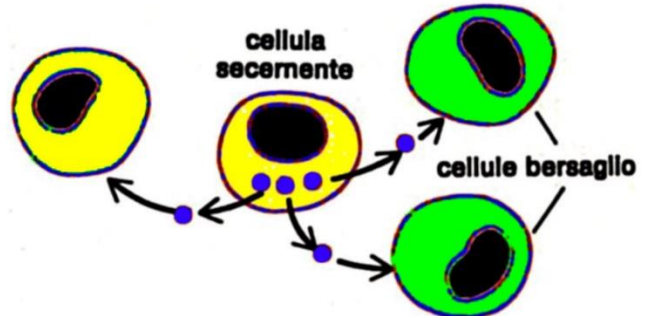
(A) La **neurosecrezione (cellule celesti)**, molto comune negli invertebrati, presenta caratteristiche intermedie tra la **trasmissione ormonale (cellula gialla)** e la **trasmissione neuronale (cellula celeste)**. Vengono mostrati tre meccanismi di trasmissione ormonale. **Autocrino (A1)**, il trasmettitore prodotto da una cellula modifica la fisiologia della cellula stessa, **paracrino (A2)**, il trasmettitore modifica la fisiologia delle cellule limitrofe, ed **endocrino (A3)**, il trasmettitore riversato nel torrente circolatorio modifica la fisiologia delle cellule bersaglio in tutto l'organismo. **(B)** Nel caso della neurosecrezione la secrezione di **ormoni (neurosecreti)** è opera di cellule del sistema nervoso.

Molecole segnale

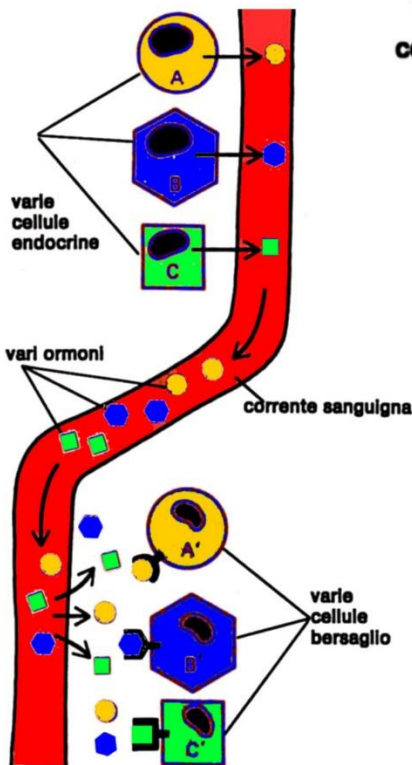
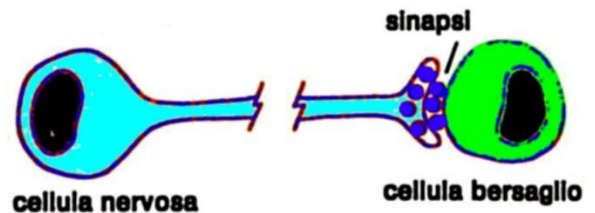
Ormone



Mediatore chimico locale



Neurotrasmettitore



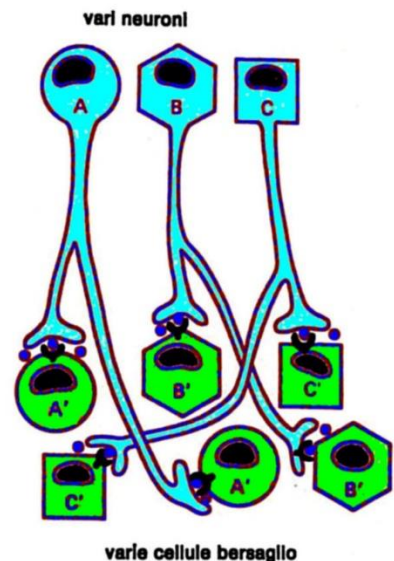
Segnalazione per mezzo di ormoni



Endocrino



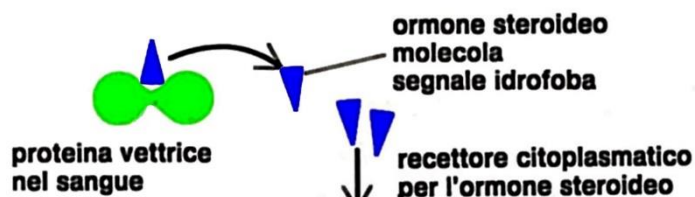
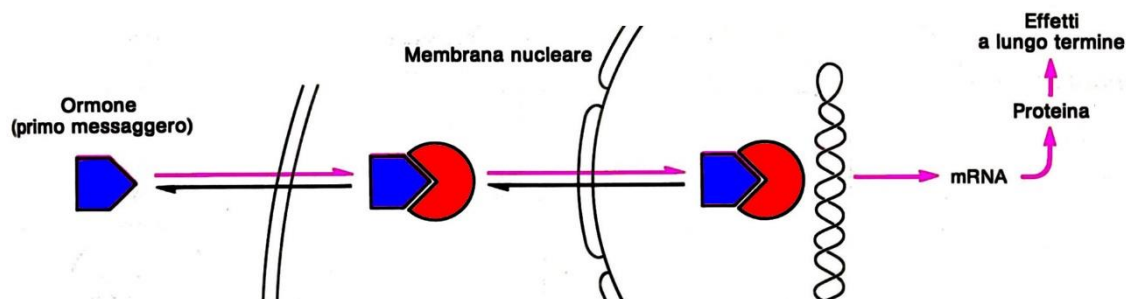
Nervoso



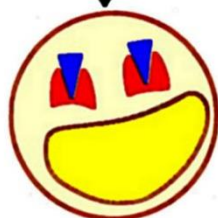
Segnalazione per mezzo di neurotrasmettitori

Mentre per comunicare con le loro cellule bersaglio specifiche, **cellule endocrine** differenti devono utilizzare **ormoni** diversi, per comunicare con le proprie cellule bersaglio **cellule nervose** differenti possono servirsi dello stesso **neurotrasmettitore** perché le contattano direttamente tramite uno specifico **contatto sinaptico**. Il primo caso è simile al messaggio di un megafono che comunica istruzioni a gruppi specifici di persone in mezzo a una folla. "Gli studenti dalla A alla C devono recarsi in aula 3!". Dire "Devono recarsi in aula!" senza specificare chi e dove risulterebbe ambiguo. Il secondo caso può essere paragonato ad una telefonata in cui frasi generiche possono avere un significato inequivoco per chi le riceve. "Ciao, come stai? Ci vediamo domani a casa della nonna?" non richiede di usare i nomi delle persone coinvolte, se si è certi di non avere sbagliato numero e di essere stati riconosciuti.

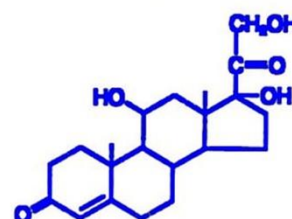
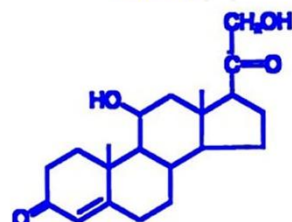
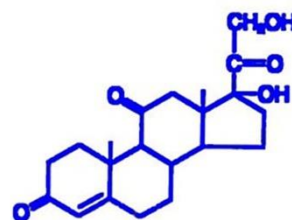
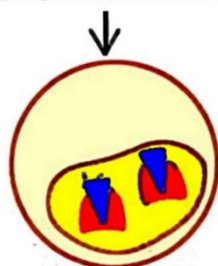
Molecole segnale idrofobe



IL LEGAME CON L'ORMONE MODIFICA LA CONFORMAZIONE DEL RECETTORE



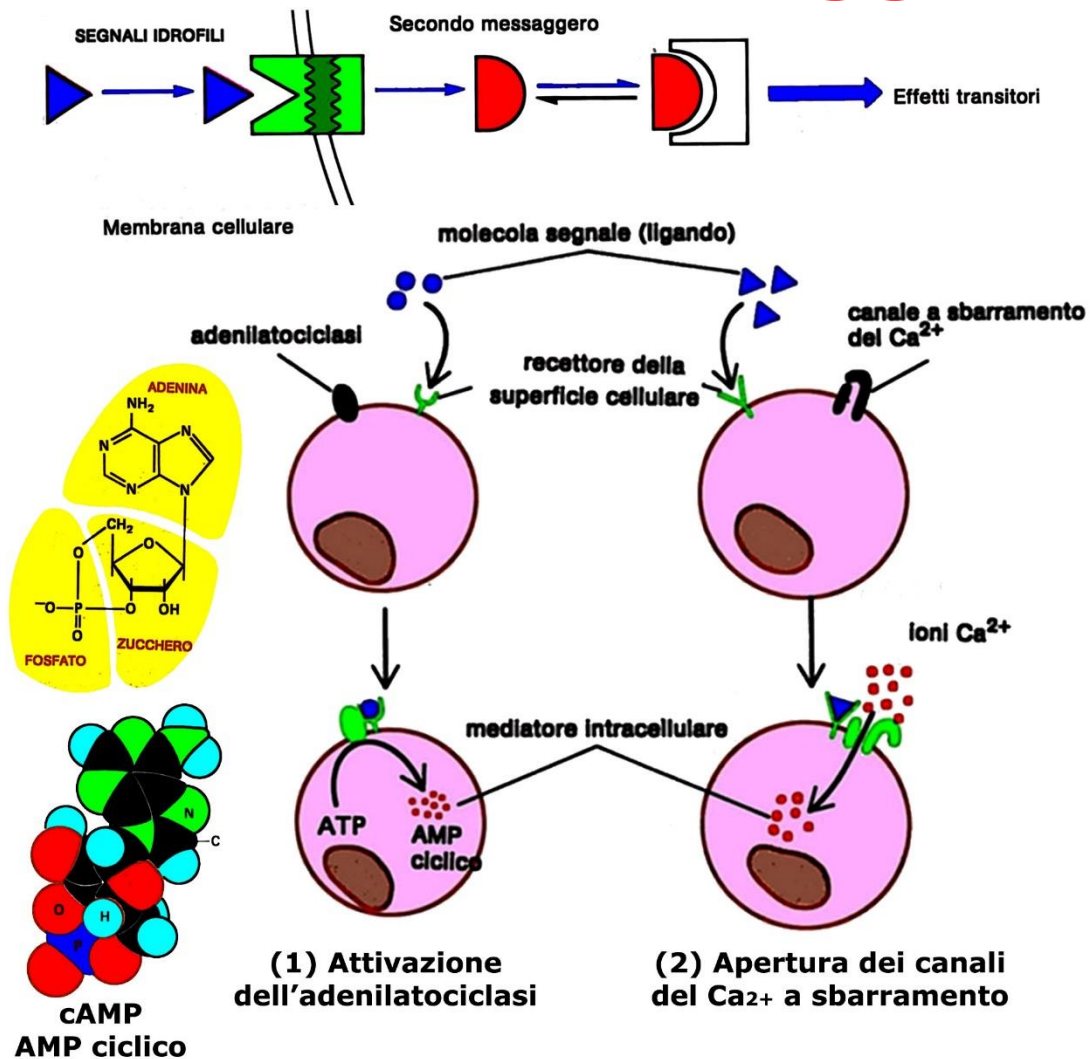
IL COMPLESSO ORMONE-RECETTORE SI LEGA CON LA CROMATINA DEL NUCLEO



Struttura di alcuni ormoni steroidei secreti dal surrene.

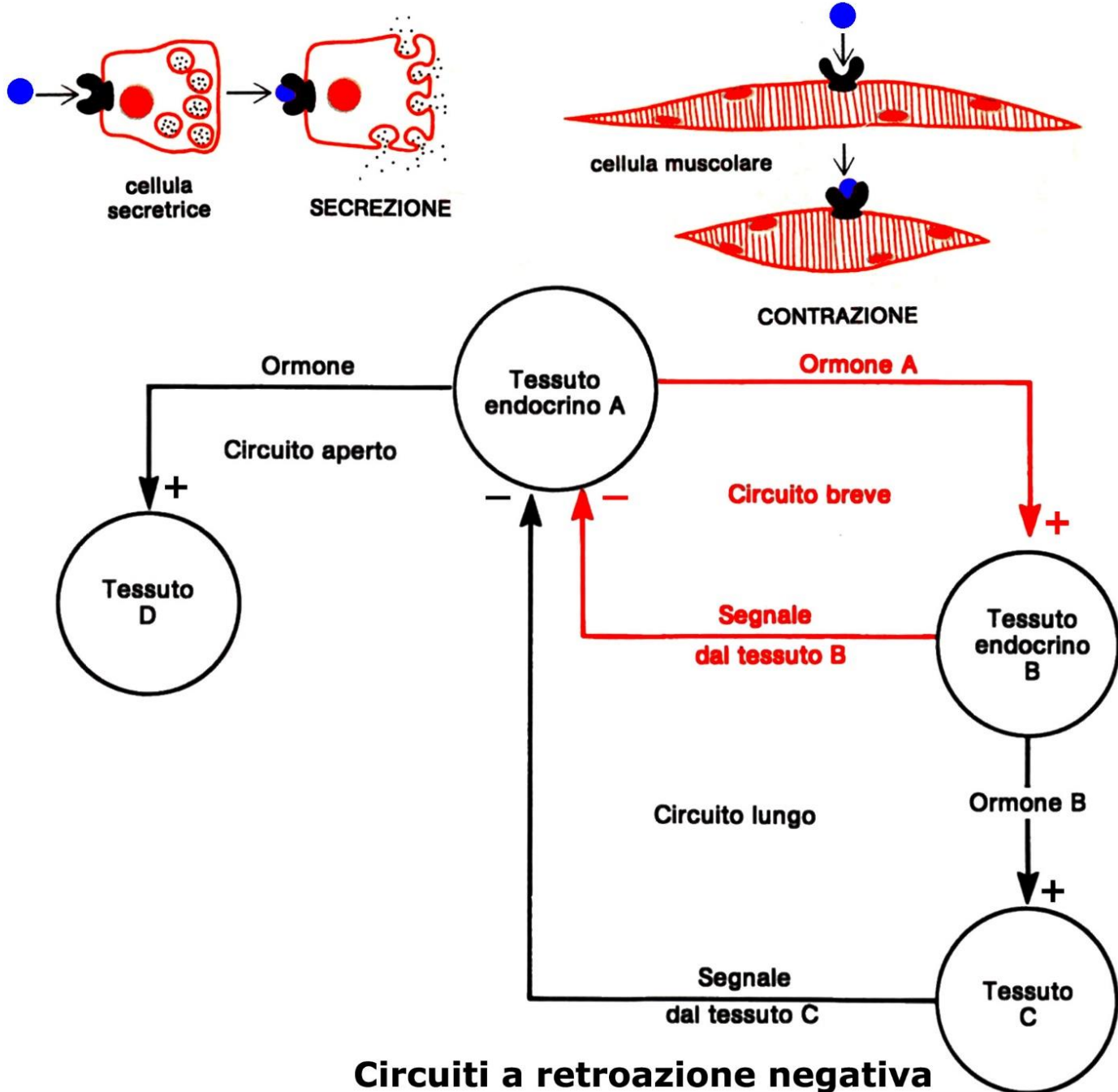
Le **molecole segnale idrofobe** vengono trasportate nel torrente circolatorio legate a specifiche proteine vettrici, in quanto insolubili nelle soluzioni acquose. Giunte alla cellula bersaglio gli ormoni si dissociano da queste proteine vettrici, penetrano facilmente attraverso la membrana plasmatica e si legano a proteine recettrici nel citoplasma. Il **complesso ormone-recettore** migra nel nucleo dove si lega alla cromatina finendo per regolare la trascrizione di geni specifici.

Molecole segnale idrofile e secondo messaggero



Differenti **recettori di membrana**, in seguito al legame con un ormone, raggiungono i geni bersaglio attraverso meccanismi differenti. Un **ormone idrofilo**, insolubile nei lipidi, si lega a un recettore di membrana, attivando la produzione enzimatica di un **secondo messaggero** che a sua volta si combina con un'altra molecola producendo un complesso metabolicamente attivo. Questi recettori possono essere suddivisi in cinque grandi gruppi: recettori accoppiati a proteine G con sette domini transmembrana (GPCRs), recettori tirosinchinasici, recettori serinchinasici, recettori citochinici, recettori guanililciclasici. Due comuni meccanismi grazie ai quali i recettori di membrana generano segnali intracellulari: **(1)** attivazione di molecole di **adenilato-ciclasasi** che aumentano la concentrazione intracellulare di **AMP ciclico**; **(2)** apertura di **canali del calcio** a sbarramento che consentono l'accesso del **Ca^{2+}** nella cellula. A mediare il legame tra recettori, ciclasasi e canali intervengono altre proteine.

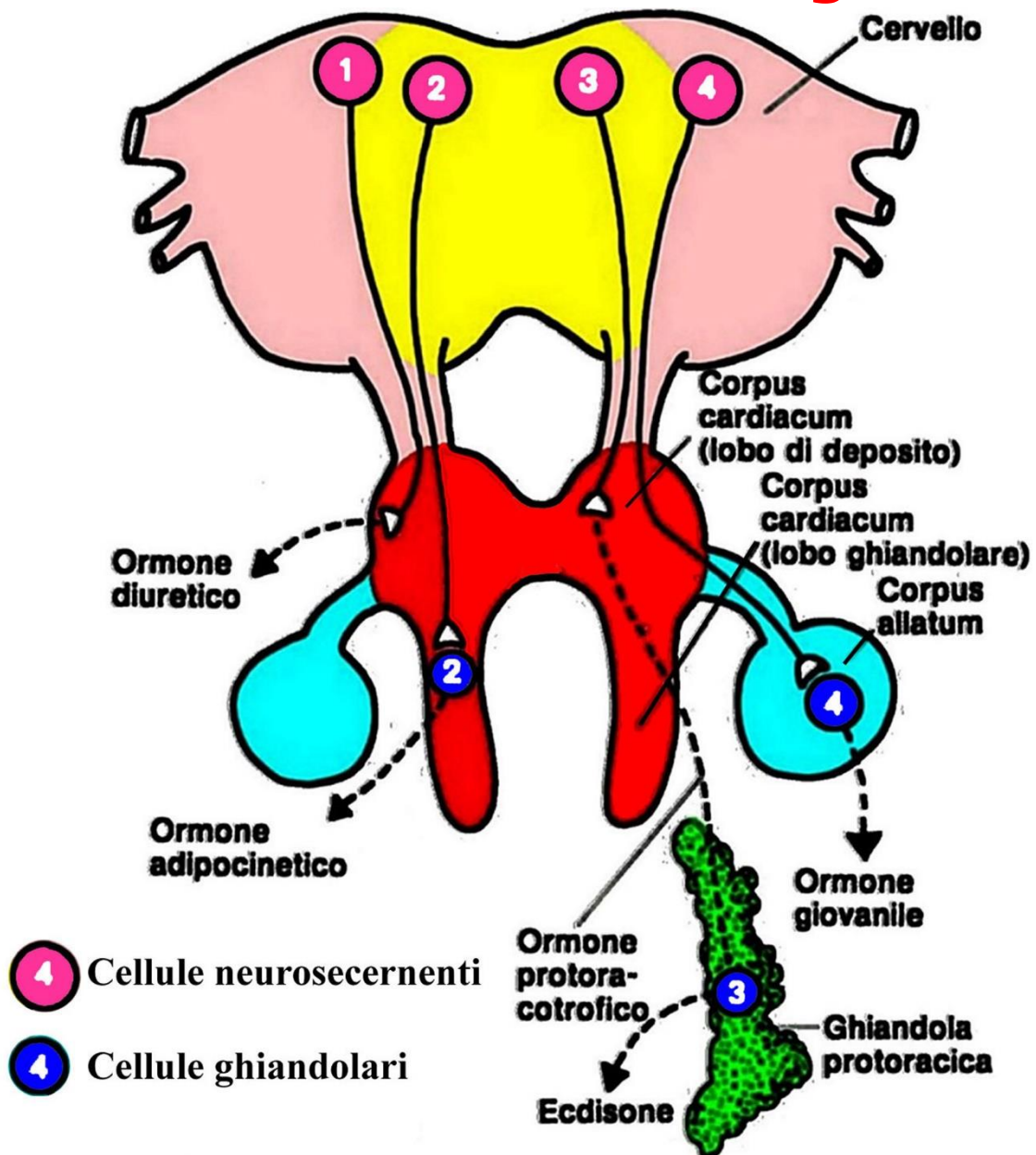
Risposta ormonale



Circuiti a retroazione negativa

La medesima molecola segnale, legandosi a recettori identici su due cellule bersaglio differenti, dà luogo a risposte diverse. Il controllo sulle risposte ormonali può essere esercitato mediante **feedback** (**retroazione**) a circuito breve e lungo. Perché si abbia un **feedback negativo** si richiedono un numero dispari di passaggi con effetti inibitori. Nel controllo a circuito aperto non si osserva un feedback.

Sistema neuroendocrino degli insetti



Rappresentazione schematica del cervello e degli organi endocrini della locusta.

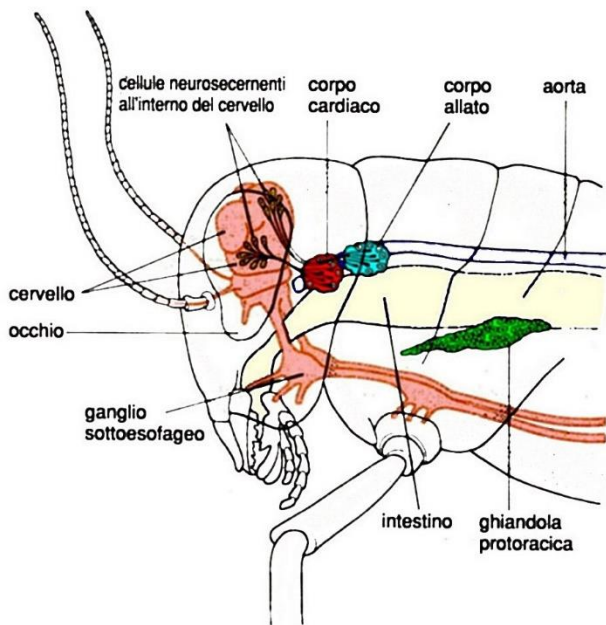
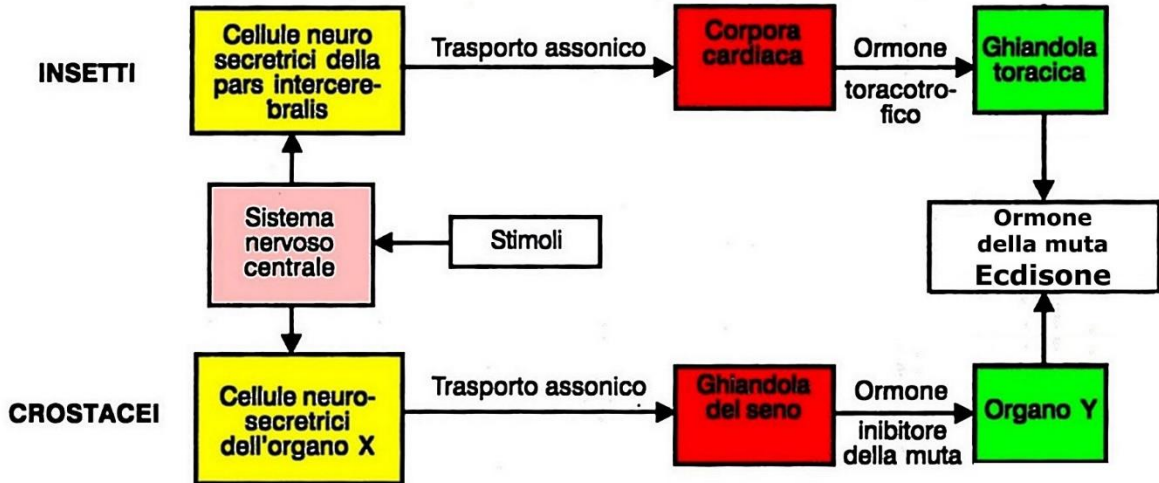
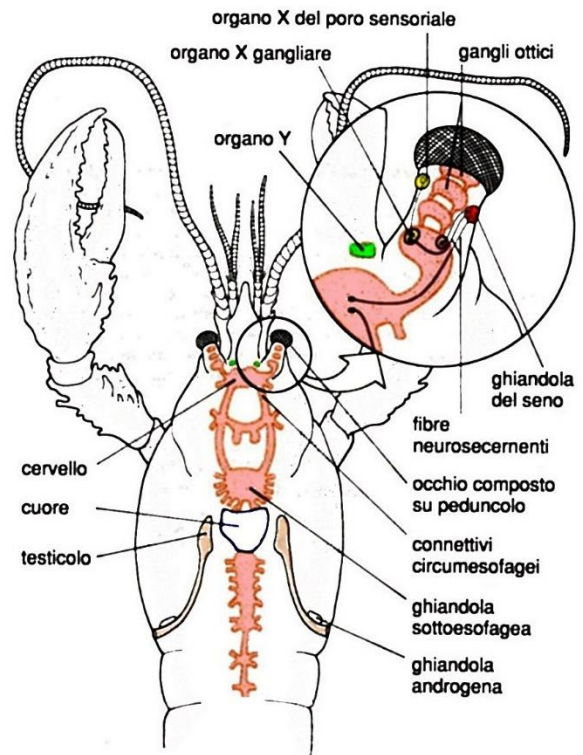
(1) L'**ormone diuretico** viene sintetizzato nel cervello e immagazzinato nel corpo cardiaco da dove viene liberato nel sangue. Stimola la produzione di urina da parte dei tubuli malpighiani. **Sistema di I ordine** (un solo passaggio ormonale).

(2) Le fibre nervose si estendono ai lobi ghiandolari dove liberano **octopamina**, un neurotrasmettitore del corpo cardiaco. I lobi ghiandolari liberano **ormone adipocinetico** che a sua volta mobilita i lipidi per fornire energia per il volo.

(3) Le cellule del complesso cervello-corpo cardiaco producono **PTTH** (**ormone protoracicotropico**). Le ghiandole protoraciche, non nervose, producono **ecdisone** che induce la muta. Questo caso è un **Sistema di II ordine** (2 passaggi ormonali).

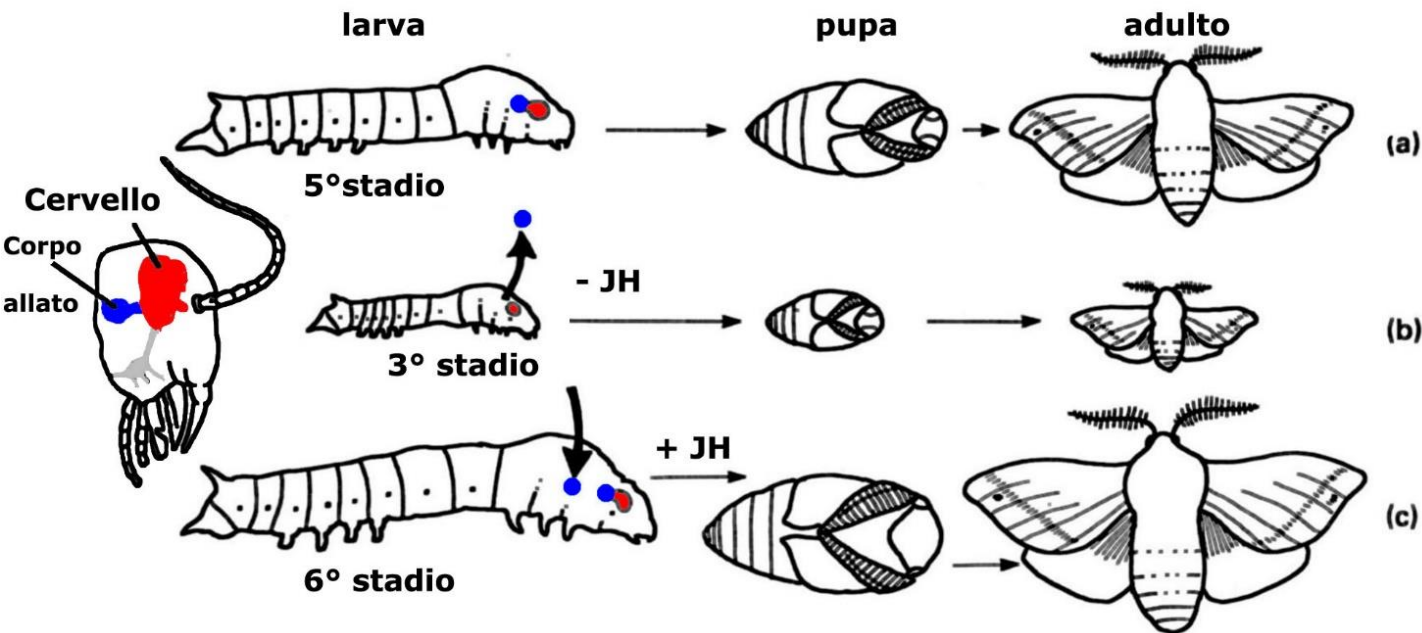
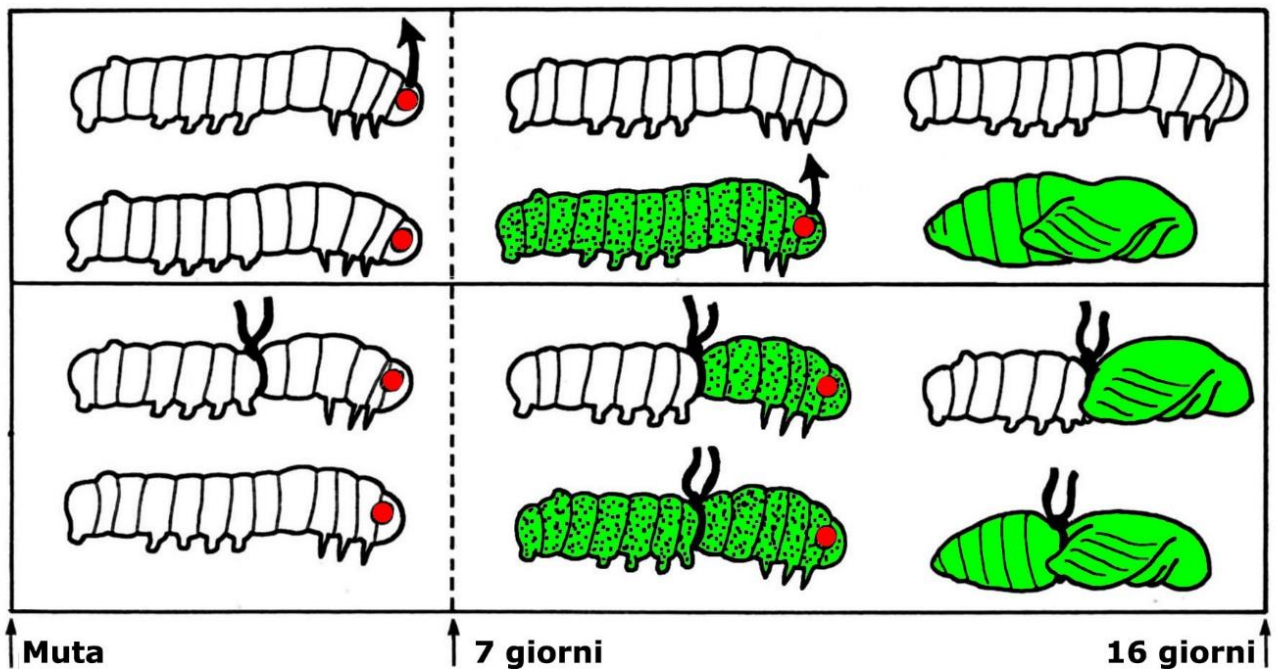
(4) Il corpo allato sotto un controllo nervoso diretto, secerne **ormone giovanile**.

Controllo della muta


Insetti

Crostacei

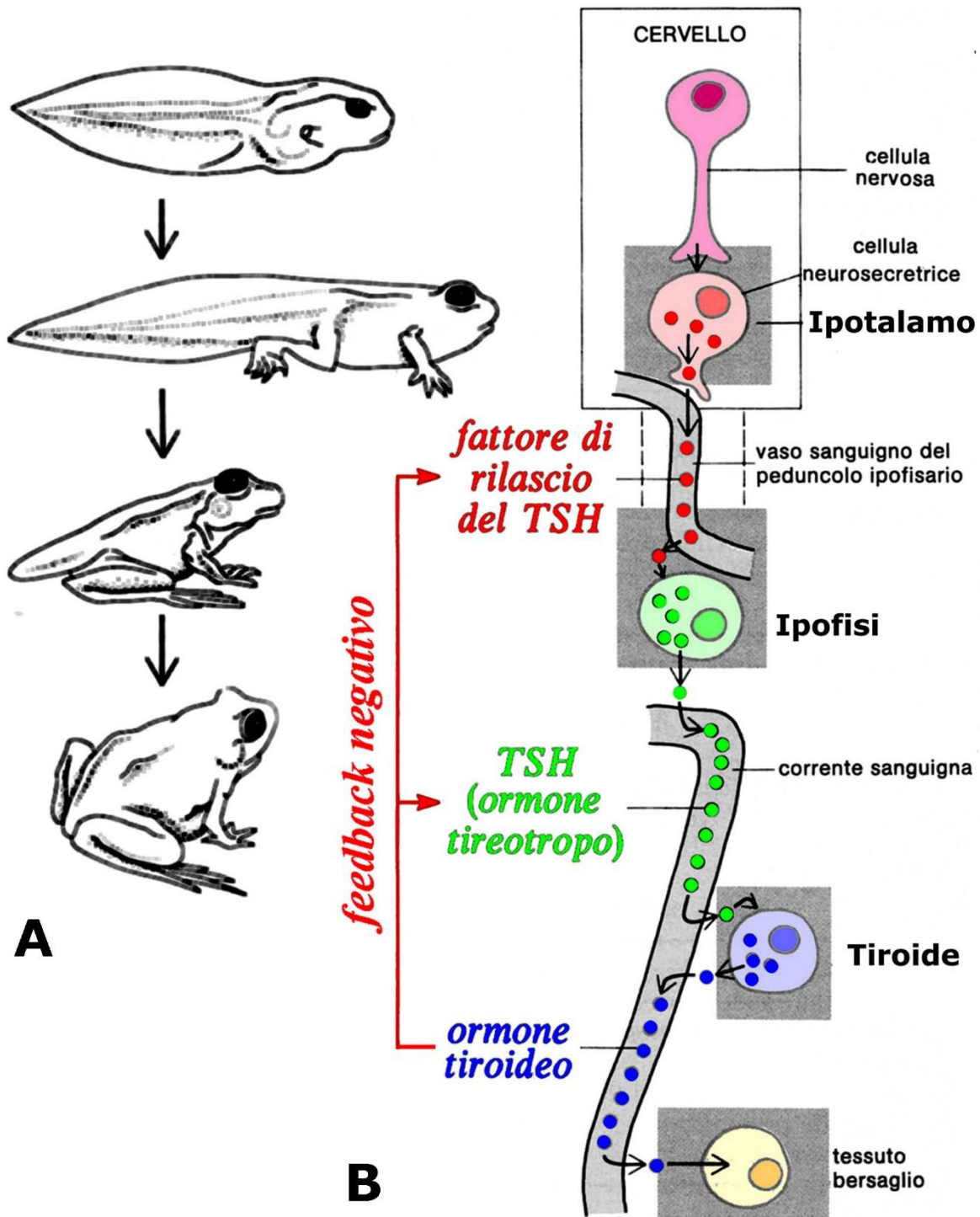
Confronto tra il controllo ormonale della **muta** negli insetti e nei crostacei. Le **ghiandole protoraciche** degli insetti e gli **organi Y** dei crostacei producono entrambe **ecdisone**. Tuttavia negli insetti l'ormone dei *corpora cardiaca* ne stimola la secrezione, mentre nei crostacei l'ormone della ghiandola del seno ne inibisce la secrezione. È curioso notare il grande numero di sinonimi del PTTH. Il nome corretto è **Ormone protoracicotropico** o Prothoracicotropic hormone (PTTH), ma si trova anche O. protoracicotropo, Ecdisiotropina, Toracotropina e Protoracotropina. Sarebbero errati invece, anche se riportati frequentemente i termini O. toracotrofico, O. protoracotrofico e O. toracotrofo.

Controllo della muta



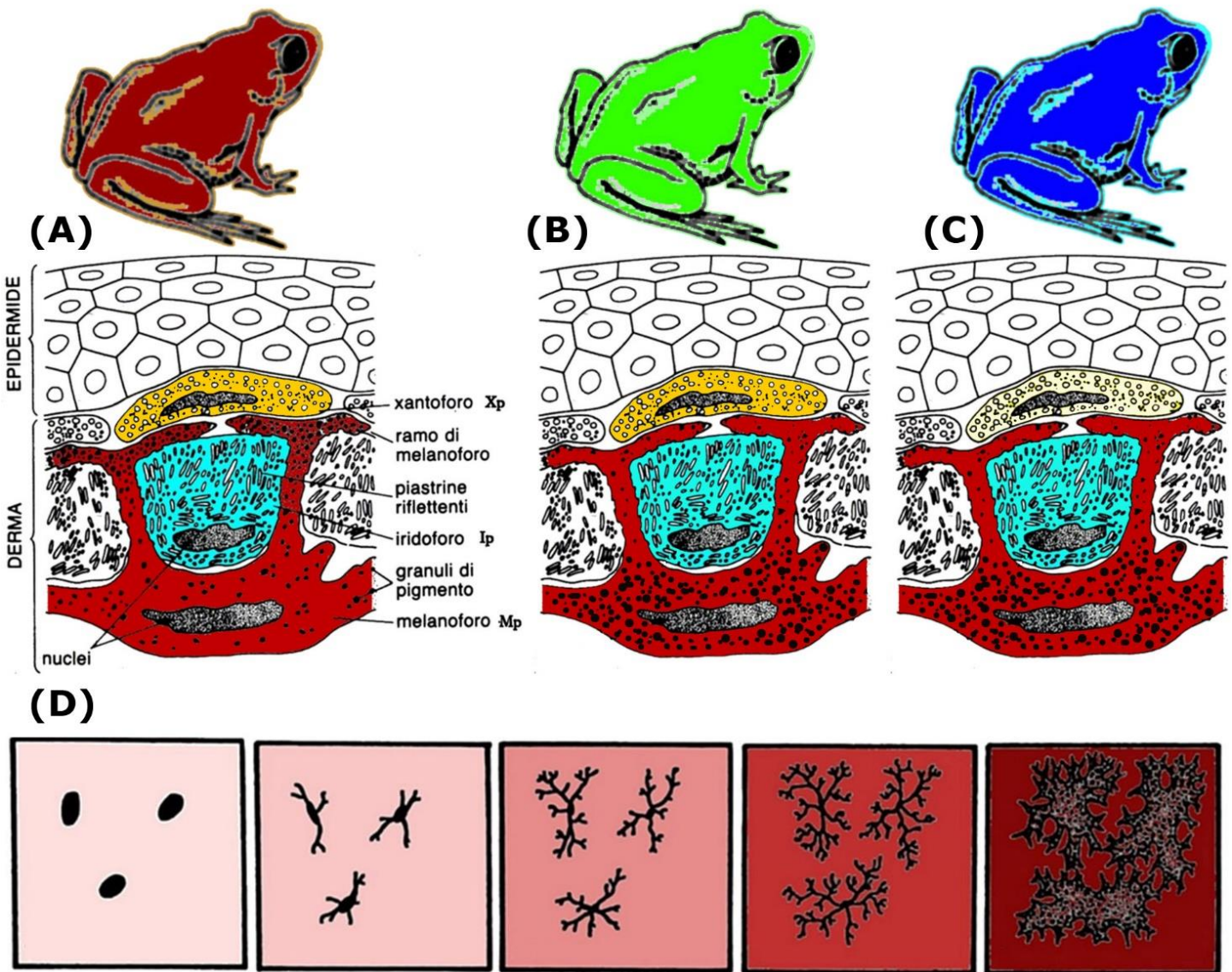
In sintesi il **PTTH** stimola la secrezione di **Ecdisone** (ormone della muta) che regola la **muta**. La **Neotenina** (ormone giovanile, **JH**) regola la **metamorfosi**, cioè il passaggio dallo stadio larvale alla pupa e infine all'adulto. Nell'esperimento **(A)** si osserva il ruolo del cervello sul controllo della metamorfosi in *Lymantria*. Dopo un periodo critico gli ormoni sono stati liberati in quantità sufficiente (in verde) per cui né la decerebrazione, né la legatura possono impedire la pupazione. Nell'esperimento **(B)** si osserva il ruolo del corpo allato che produce neotenina in *Bombyx*. a) Sviluppo normale con larva del quinto stadio, pupa e adulto. b) La rimozione del corpo allato in una larva del terzo stadio, ne provoca la metamorfosi accelerata originando un adulto nano. c) L'impianto di un corpo allato ectopico produce una larva anomala del sesto stadio e dà origine a un adulto gigante.

Ormone tiroideo



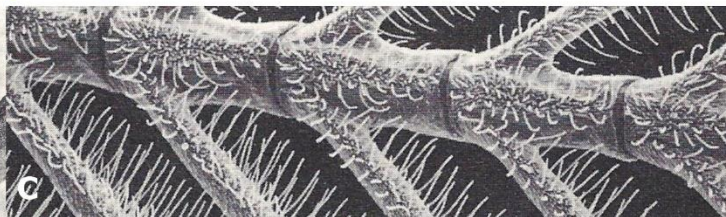
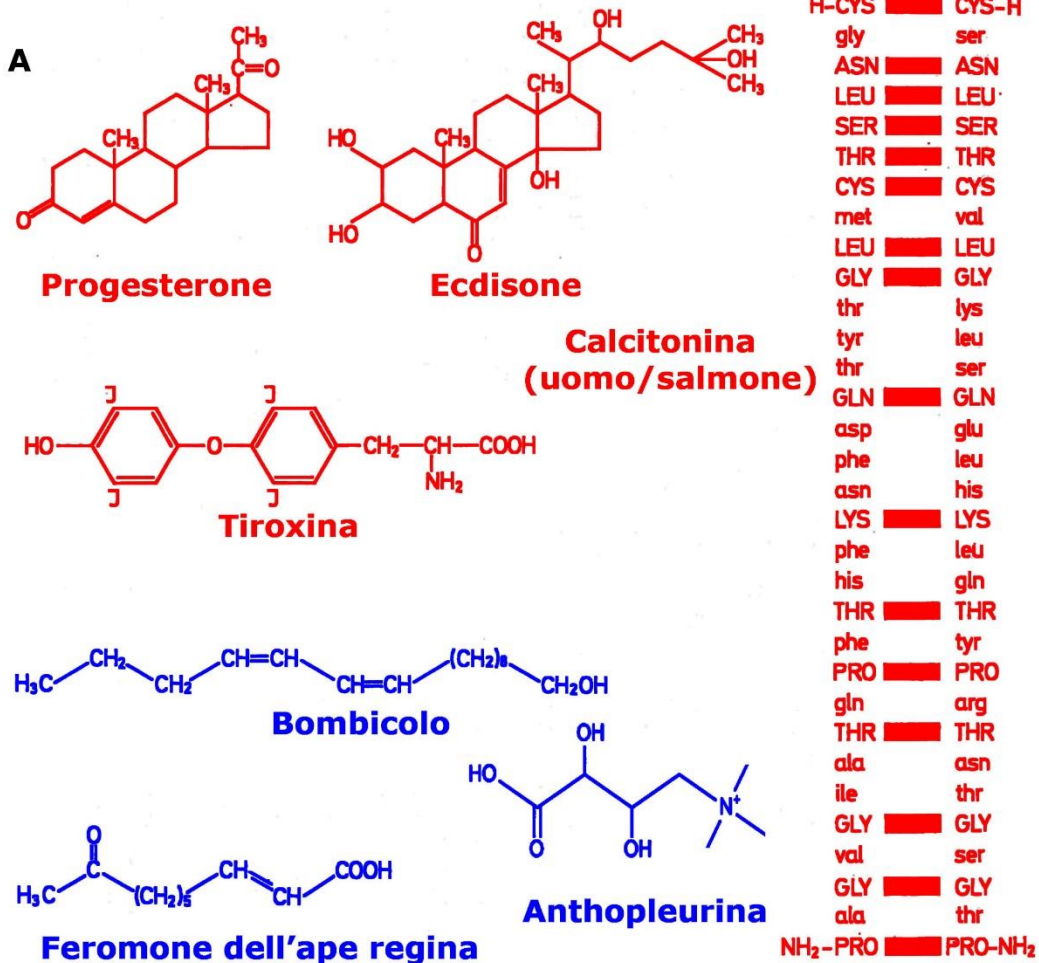
(A) Tra le sue molteplici funzioni l'ormone tiroideo è il segnale che, nel girino degli anuri, regola la **metamorfosi**. **(B)** In generale alcuni neuroni dei centri superiori dell'**encefalo** stimolano cellule neurosecernenti dell'**ipotalamo** a secernere il **fattore di rilascio di TSH (ormone tireotropo)**. Questo stimola il rilascio di TSH da parte di cellule dell'**ipofisi**. Il TSH stimola le cellule della **tiroide** a secernere ormone **tiroideo**.

Controllo della colorazione



Unità cromatoforiche di *Hyla cinerea*. **(A)** Raganella su una base scura. I granuli di melanina si portano nei processi cellulari dei **melanofori**. Colore della cute bruno. **(B)** Raganella su base chiara. I granuli di melanina si portano nel corpo del melanoforo. L'effetto di interferenza dato delle piastrine di guanidina dell'**iridoforo**, davanti a uno schermo scuro, produce il blu, che filtrato dal giallo degli **xantofori**, determina il colore verde finale della cute. **(C)** Raganella portatrice di una mutazione che determina una carenza di carotene, posta su una base chiara. Colore della cute blu. **(D) Cromatofori** di crostaceo. Come nelle cellule pigmentate dell'occhio composto, il pigmento si disperde sotto influenza ormonale determinando il colore dell'animale.

Ormoni e feromoni



(A) Mentre le **ghiandole endocrine** riversano i loro prodotti, gli **ormoni**, all'interno di un organismo, le **ghiandole esocrine** riversano il loro secreto all'esterno del corpo o in cavità che comunicano con l'esterno. I **feromoni** sono sostanze prodotte da ghiandole esocrine che vengono emessi a concentrazioni estremamente basse con la funzione di inviare segnali ad altri individui della stessa specie. **(B)** Le setole olfattive sui filamenti delle antenne permettono ai maschi di farfalle di rilevare minute quantità di un attrattivo sessuale liberato dalla femmina. **(C)** La fotografia al microscopio elettronico a scansione mostra l'enorme numero di setole che spiega la sensibilità del maschio.