

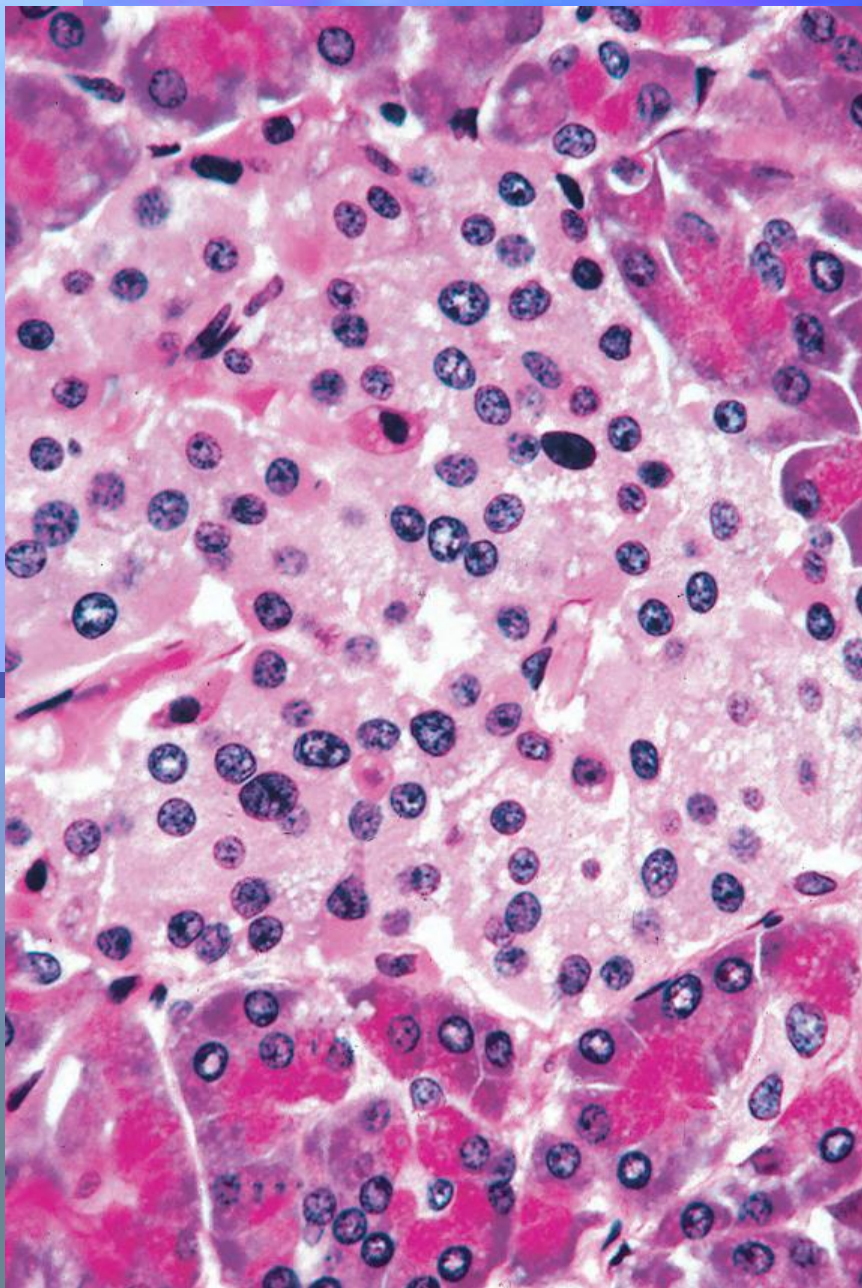


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Corso di Laurea Triennale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura

12-Sistema endocrino

Antonio Terlizzi
Laboratorio di Zoologia e Biologia Marina
aterlizzi@units.it



Gli ormoni sono sostanze chimiche prodotte da cellule vari organi o sistemi organici per poi essere riversati nel sangue. Rivestono un'importanza straordinaria per le nostre funzioni corporee e per il mantenimento degli equilibri metabolici. Gli ormoni raggiungono le "cellule bersaglio" attraverso il sistema circolatorio e, ad esse, trasmettono determinate informazioni e/o innescano altri processi metabolici.

Gli ormoni hanno compiti di vitale importanza all'interno del nostro organismo: regolano il metabolismo, la crescita, il sonno, la pressione sanguigna, la frequenza cardiaca, il tasso glicemico, la temperatura corporea, il bilancio idrico, il nostro desiderio sessuale, il concepimento, la procreazione, la gravidanza, lo stato d'animo, i sentimenti, la fame, la sete e tanto altro ancora

Alterazioni del Sistema endocrino sono causa di innumerevoli patologie

La chimica dell'innamoramento

Quando ci innamoriamo si attiva un'autentica tempesta di ormoni, neurotrasmettitori e sostanze chimiche che ci permettono di percepire intense sensazioni fisiche

Feniletilamina (PEA)

Responsabile dell'euforia e della positività all'inizio di un rapporto amoroso

Adrenalina

Provoca un aumento del battito cardiaco, della respirazione e della pressione sanguigna, da cui ha origine il rossore del volto

Ossitocina

Genera sensazioni affettive e protettive rafforzando la componente emotiva dell'innamoramento

Vasopressina

È l'ormone che spinge alla fedeltà

Endorfine

Hanno un'azione rilassante, calmante, analgesica. Entrano in gioco quando l'innamoramento si trasforma in una relazione meno passionale e più affettiva

Estrogeni e androgeni (donna)

Attivano i centri cerebrali capaci di tradurre un desiderio erotico in una risposta anche fisica che si propaga a tutto il corpo

Testosterone (uomo)

Rilasciato dai testicoli, è l'ormone principe del desiderio sessuale e stimola la libido

Dopamina

Genera sensazioni piacevoli di benessere

Noradrenalina

Provoca eccitazione, euforia ed entusiasmo. Fa passare l'appetito

Feromoni

Sono emessi da pelle, capelli, saliva, ghiandole ascellari, urina e flusso mestruale e, percepiti da un organo recettore situato nel vomere nasale, scatenano l'attrazione fisica

ATTRAZIONE

ATTACAMENTO

PASSIONE



"Il bacio" di Francesco Hayez

I meccanismi di azione ormonale

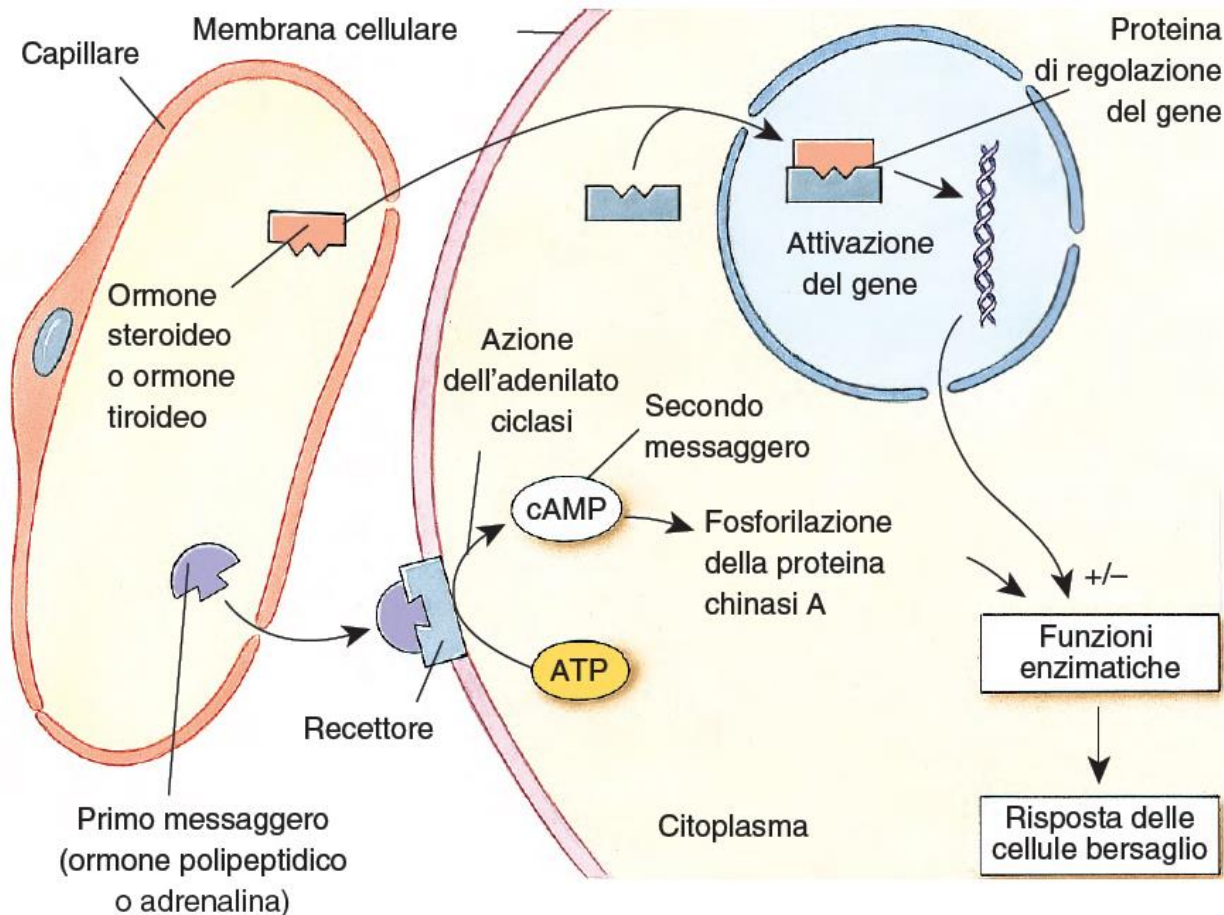


Figura 9.1 Meccanismo di azione ormonale. Gli ormoni peptidici e l'adrenalina agiscono attraverso sistemi che utilizzano un secondo messaggero, come, per esempio, l'AMP ciclico. La combinazione dell'ormone con un recettore di membrana stimola l'enzima adenilato ciclasi a catalizzare la formazione di AMP ciclico (secondo messaggero). Gli ormoni steroidei e quelli tiroidei penetrano nelle cellule attraverso la membrana e interagiscono con un recettore citoplasmatico o con un recettore nucleare, che modifica la trascrizione genica.

- **Ormoni idrosolubili:** (come insulina, glucagone, adrenalina) non possono attraversare facilmente la membrana cellulare. Si legano a recettori sulla superficie della cellula, attivando una cascata di segnali intracellulari che portano a una risposta.
- **Ormoni liposolubili:** (come ormoni steroidei) possono attraversare la membrana cellulare per legarsi a recettori intracellulari, nel citoplasma o nel nucleo. Una volta legati, possono influenzare direttamente l'espressione dei geni.

In generale l'adrenalina, attiva, attraverso, reazioni di attacco o fuga.

I suoi effetti, a livello sistemico comprendono:
rilassamento gastrointestinale
dilatazione dei bronchi
aumento della frequenza cardiaca e del volume sistolico,
deviazione del flusso sanguigno verso i muscoli,
il fegato, il miocardio e il cervello
aumento della glicemia
A livello locale gli effetti dell'adrenalina possono essere molto diversi o anche opposti a seconda del tipo di recettore espresso dalle cellule di uno specifico tessuto.



Il controllo endocrino a feedback negativo

Quando un ormone prodotto raggiunge un livello sufficiente, inibisce a sua volta la produzione di altri ormoni che lo avevano stimolato, ripristinando i valori normali. Esempi comuni includono il controllo della temperatura corporea o della glicemia

Freddo:

- L'ipotalamo, percependo il freddo, invia segnali endocrini.
- Rilascia l'ormone di rilascio della tireotropina (TRH), che stimola l'ipofisi anteriore.
- L'ipofisi rilascia l'ormone tireotropo (TSH).
- Il TSH agisce sulla tiroide, stimolando la produzione di tiroxina.
- La tiroxina aumenta il metabolismo cellulare, incrementando la produzione di calore.
- Viene anche stimolata la produzione di catecolamine, che favoriscono la vasocostrizione e la disponibilità di grassi e carboidrati

Caldo:

- L'ipotalamo inibisce il centro di promozione del calore e attiva quello di dispersione.
- Si verifica una diminuzione della secrezione della tiroide per ridurre la produzione di calore.
- Si attivano meccanismi di dissipazione del calore come la vasodilatazione cutanea (che aumenta il flusso sanguigno verso la pelle) e l'aumento della sudorazione per evaporazione

al freddo

PER DIMINUIRE LA
DISPERSIONE DI
CALORE

Costrizione dei
vasi sanguigni
della pelle

Riduzione della
sudorazione

Comportamenti
consapevoli,
come mettersi
un maglione o
ripararsi dal
vento

Riduzione della
superficie
corporea
rannicchiandosi



PER AUMENTARE
LA PRODUZIONE
DI CALORE

Tremore, brividi
e pelle d'oca

Aumento delle
attività fisiche

Aumento della
velocità del
metabolismo
(risposta a
lungo termine)

PER AUMENTARE
LA DISPERSIONE
DI CALORE

Dilatazione dei
vasi sanguigni
della pelle

Sudorazione

Comportamenti
consapevoli,
come togliersi
i vestiti o
accendere un
ventilatore

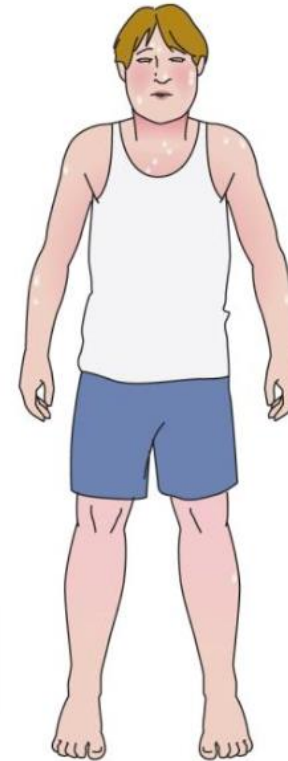
Aumento della
frequenza
respiratoria

al caldo

PER DIMINUIRE LA
PRODUZIONE DI
CALORE

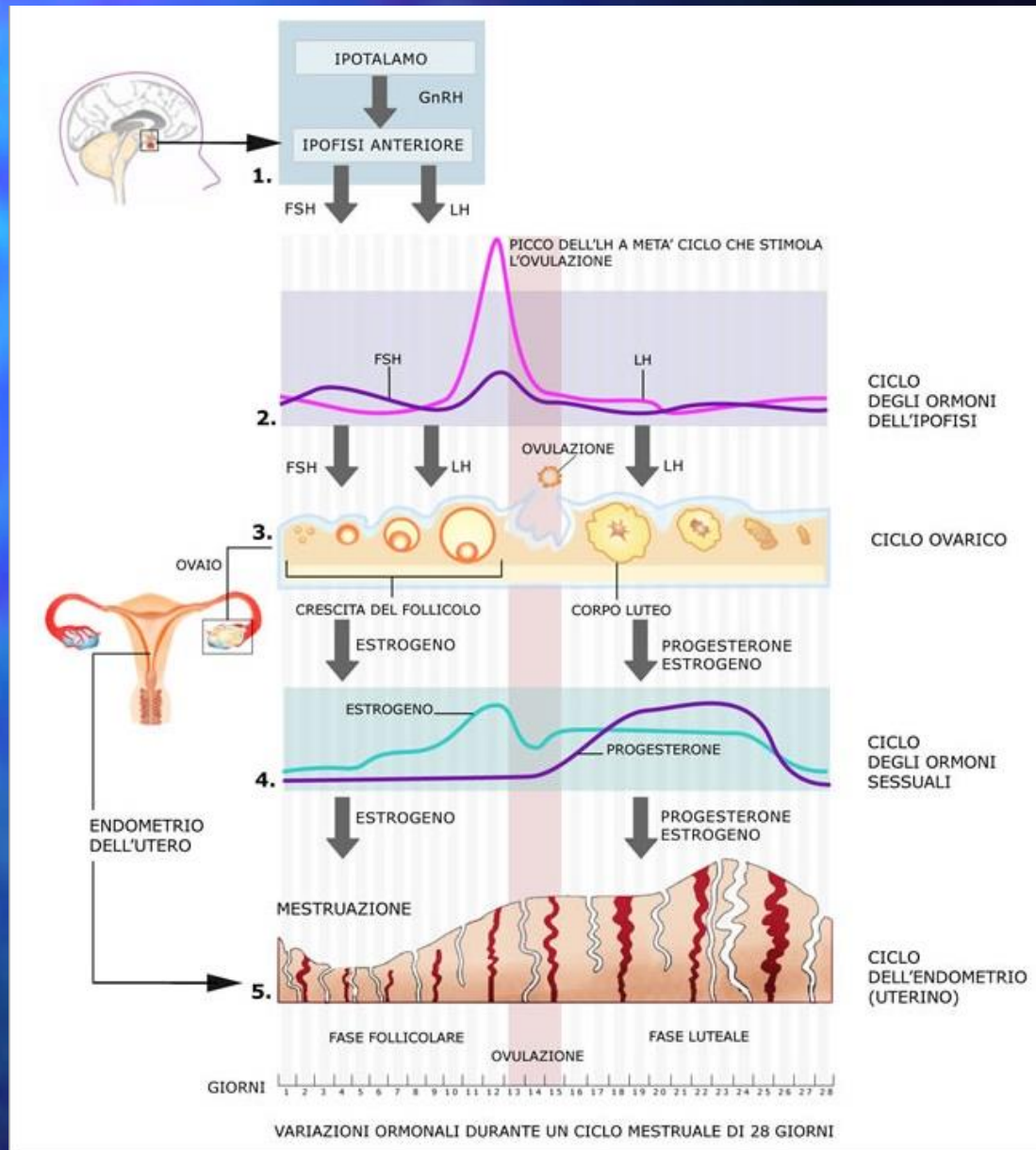
Diminuzione
delle attività fisiche

Diminuzione della
velocità del
metabolismo
(risposta a
lungo termine)



Il controllo a feedback positivo: ESEMPI

Il picco di **LH** induce la rottura del follicolo e il rilascio dell'ovulo maturo. Il rilascio dell'ovulo dal follicolo ne interrompe il picco



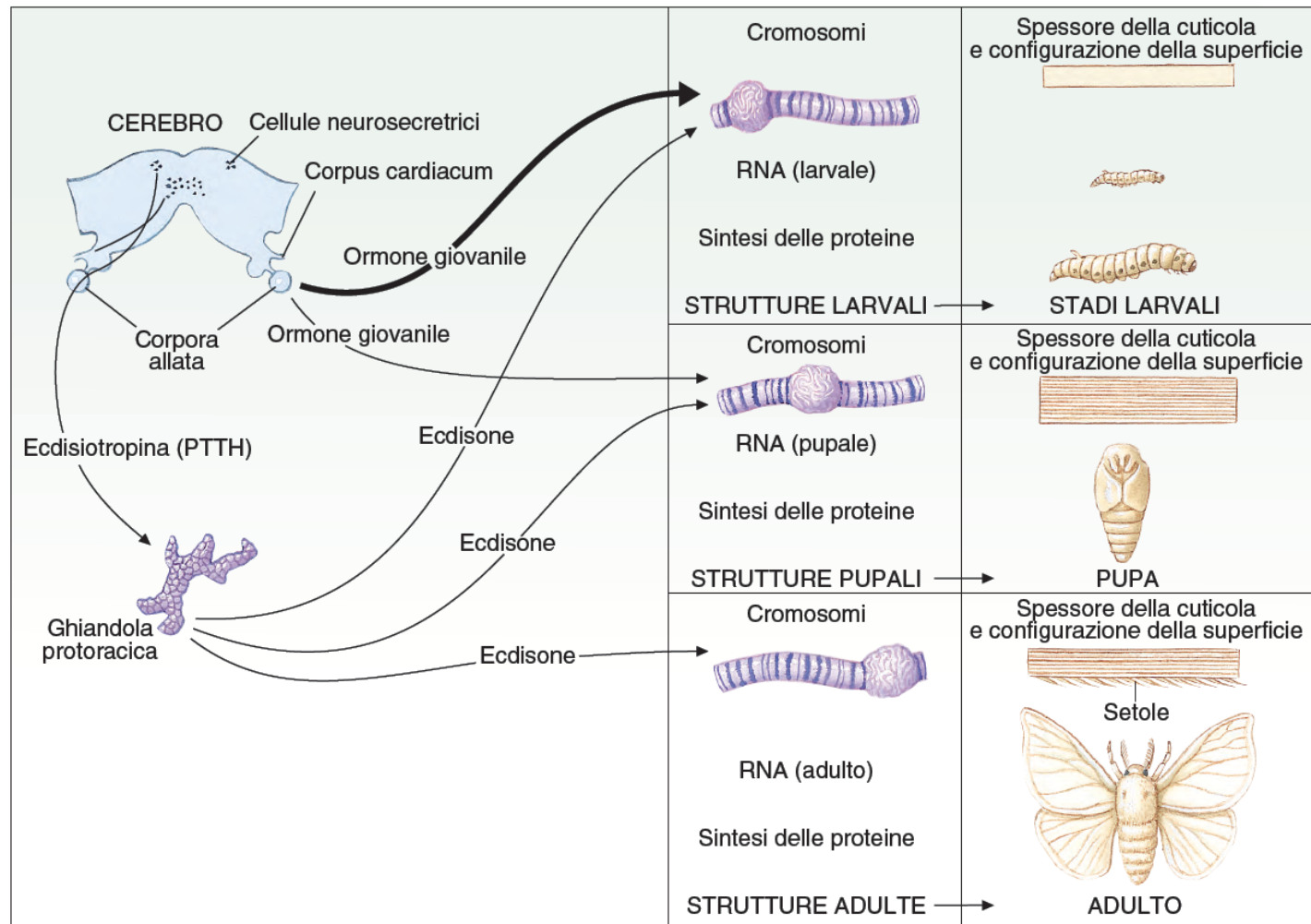


Figura 9.3 Controllo endocrino della muta in una falena, tipica degli insetti che hanno una metamorfosi completa (olometabola). Molte specie di falene si accoppiano in primavera o in estate e le uova deposte schiudono rapidamente, dando alla luce il primo di numerosi stadi larvali. Dopo l'ultima muta larvale, lo stadio di larva di dimensioni maggiori (il bruco) si avvolge in un bozzolo all'interno del quale si impupa. La pupa sverna e schiude in primavera, quando gli adulti daranno luogo a una generazione successiva. L'ormone giovanile e l'ecdisone interagiscono tra loro per controllare le mute e l'impupamento. Molti geni sono attivati durante la metamorfosi, come mostrato dai caratteristici rigonfiamenti (puff) sui cromosomi (colonna centrale). I "puff" si formano in sequenza durante mute successive. I cambiamenti nello spessore della cuticola e nelle caratteristiche della superficie sono mostrati a destra.

Le ghiandole esocrine sono strutture che producono e rilasciano secrezioni (come saliva, sudore, enzimi digestivi) all'esterno del corpo o in cavità interne che comunicano con l'esterno, come la bocca o l'intestino. Hanno una struttura che include una parte secernente (adenomero) e un dotto escretore, a differenza delle ghiandole endocrine che non hanno dotti e rilasciano i loro prodotti direttamente nel sangue

Ghiandole salivari

Ghiandole sudoripare

Ghiandole mammarie

Ghiandole sebacee

Ghiandole mucipare

Ghiandole lacrimali

Ghiandole peptiche

Ghiandole esocrine pancreatiche

Ghiandole esocrine epatiche

Prostata



Gli ormoni sono prodotti dalla ghiandole endocrine e regolano moltissime funzioni corporee: metabolismo, crescita, riproduzione, stress, equilibrio idrosalino, comportamento. Sono rilasciati nel sangue da ghiandole endocrine.

Ipotalamo

Ipofisi

Epifisi (ghiandola pineale)

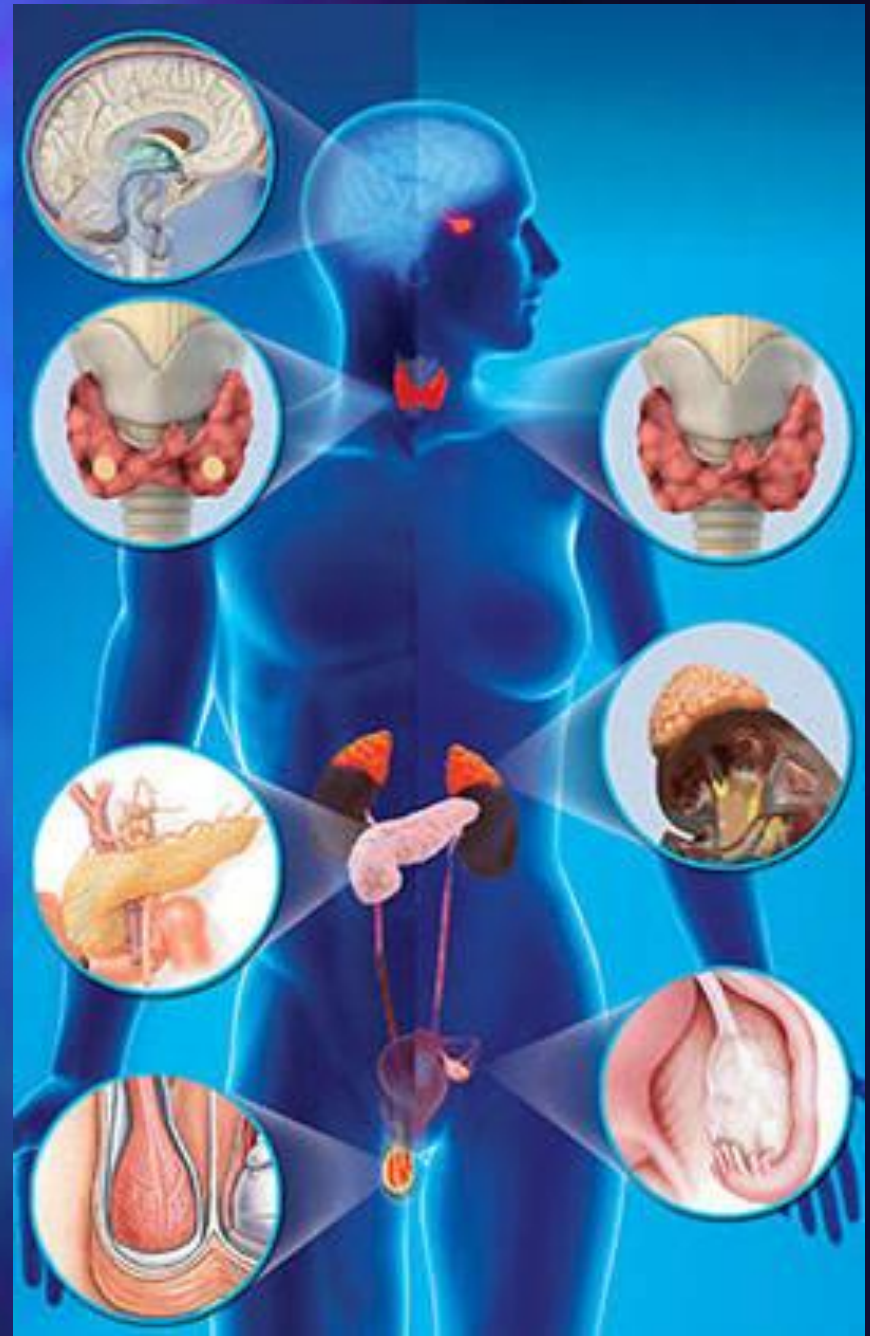
Ghiandola tiroidea

Paratiroidi

Ghiandole surrenali

Pancreas (endocrino)

Gonadi



Ipotalamo

- Coordina l'intero sistema endocrino
- Controlla l'ipofisi tramite ormoni di rilascio e inibizione

Ipofisi

- Due parti: adenoipofisi e neuroipofisi
- Regola tiroide, surreni, gonadi, crescita, lattazione, acqua corporea

Epifisi (ghiandola pineale)

- Produce melatonina
- Regola ritmo sonno–veglia

Ghiandola tiroidea

- Produce T3 e T4 → controllo del **metabolismo**
- Produce calcitonina → regolazione del **calcio**

Paratiroidi Producono PTH regolazione di calcio nel sangue

Ghiandole surrenali

- Corteccia**: cortisolo, aldosterone, androgeni
- Midollare**: adrenalina e noradrenalina

Pancreas (endocrino)

- Produce insulina, glucagone, somatostatina
- Regola la glicemia

Gonadi

- Ovaie**: estrogeni, progesterone
- Testicoli**: testosterone

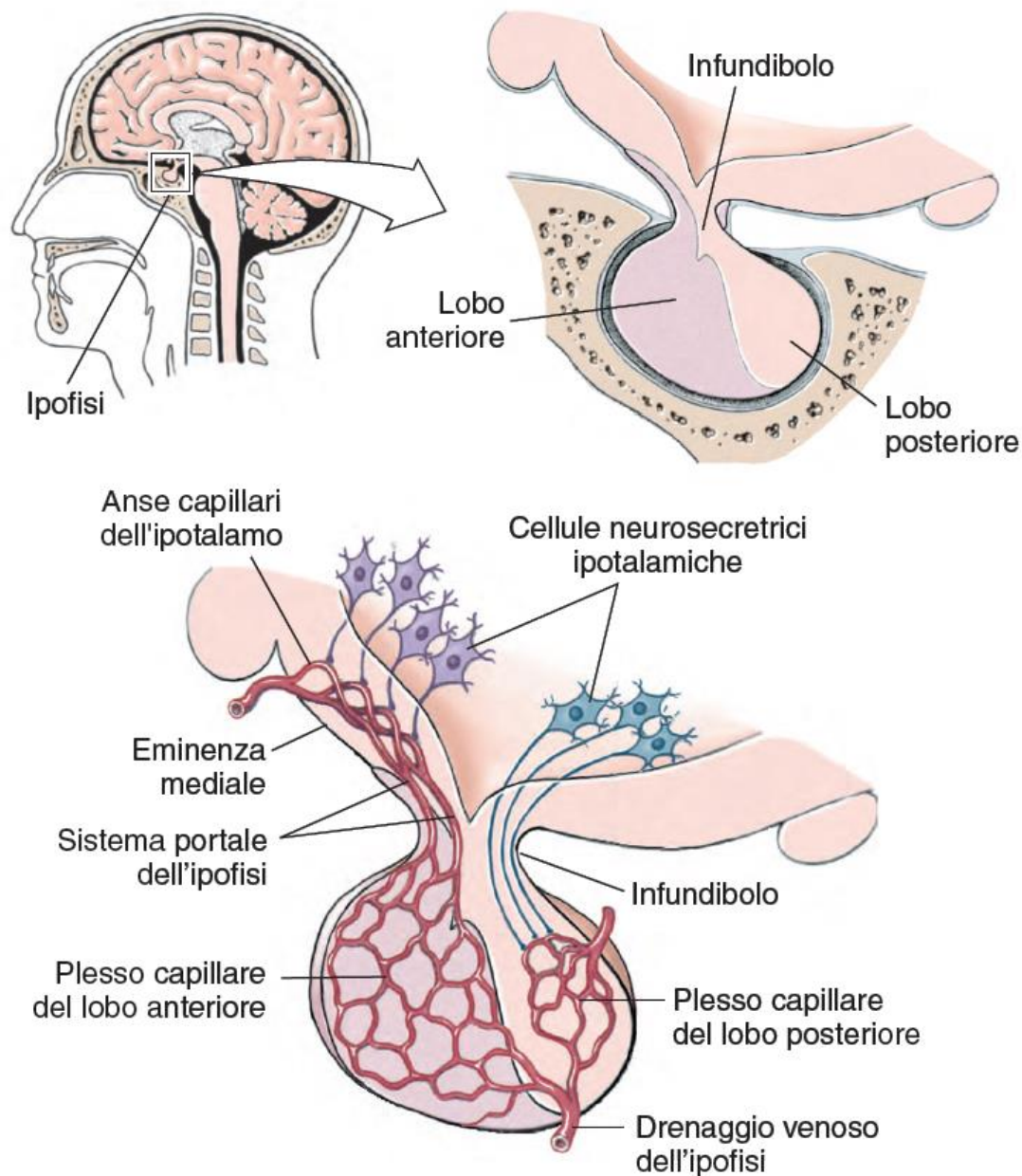


Figura 9.4 Ipotalamo e ipofisi nella specie umana. Il lobo posteriore è direttamente collegato all'ipotalamo da fibre neurosecretrici. Il lobo anteriore è collegato indirettamente all'ipotalamo attraverso un sistema di circolazione portale (mostrato in rosso), che inizia alla base dell'ipotalamo e termina nell'ipofisi anteriore.

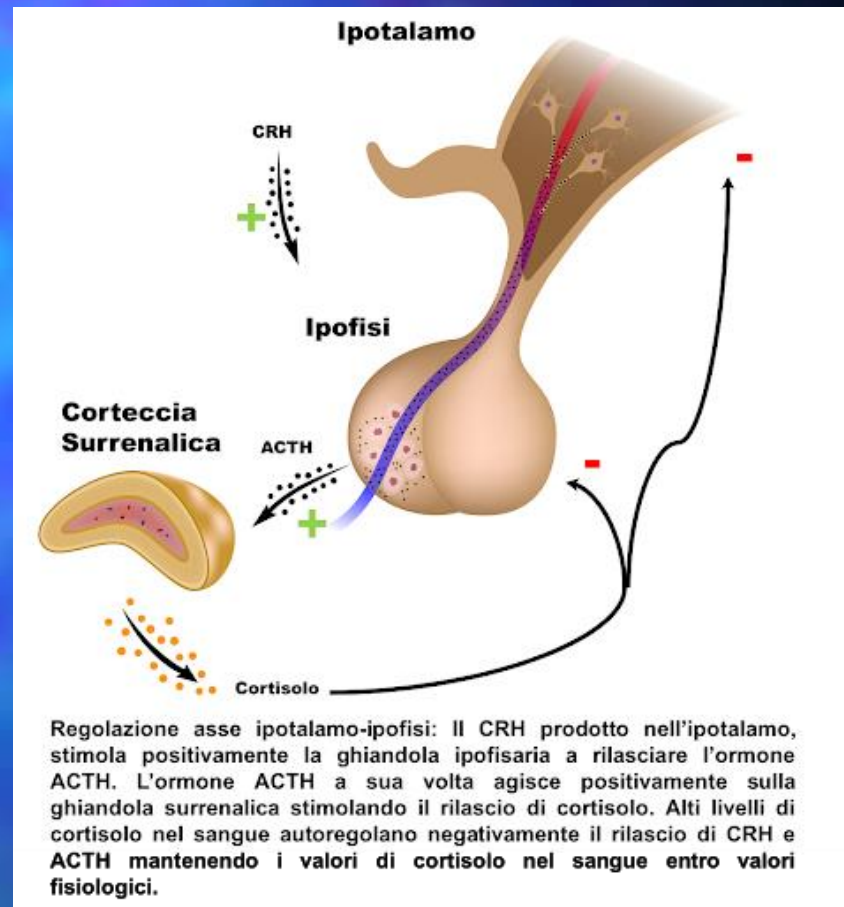
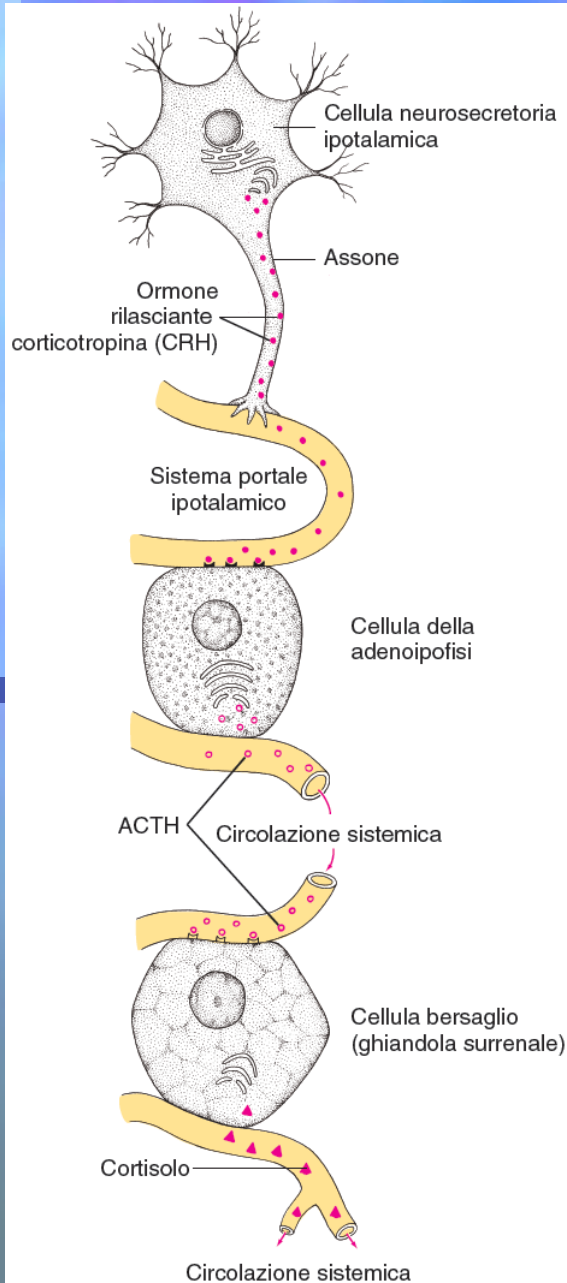


Figura 9.5 Relazioni tra ormoni ipotalamici, ipofisari e ghiandole bersaglio. Viene utilizzata come esempio la sequenza ormonale che controlla il rilascio di cortisolo dalla corteccia surrenale.

Tabella 9.1 Ormoni dell'ipofisi nei vertebrati

	Ormone	Natura chimica	Azione principale	Controllo da parte dell'ipotalamo
Adenoipofisi				
Lobo anteriore	Ormone tireotropo (TSH)	Glicoproteina	Stimola la tiroide a secernere gli ormoni tiroidei	Ormone di rilascio del TSH (TRH)
	Gonadotropine			
	Ormone follicolo-stimolante (FSH)	Glicoproteina	Stimola la produzione di spermatozoi nel maschio; stimola la maturazione del follicolo nelle femmine	Ormone di rilascio dell'ormone follicolo-stimolante (FSH-RH)
	Ormone luteinizzante (LH, ICSH)	Glicoproteina	Stimola la secrezione di testosterone nel maschio; stimola l'ovulazione, la formazione del corpo luteo e la produzione di estrogeno e progesterone nella femmina	Ormone di rilascio dell'ormone luteinizzante (LH-RH) Fattore di inibizione del rilascio dell'ormone luteinizzante
	Prolattina (PL)	Proteina	Stimola la crescita e la secrezione delle ghiandole mammarie nei mammiferi; varie funzioni riproduttive e non riproduttive in vertebrati inferiori	Fattore di inibizione del rilascio di prolattina (PIF)
	Ormone della crescita (o somatotropo) (GH)	Proteina	Stimola la crescita	Fattore di rilascio dell'ormone della crescita (GH-RF)
	Ormone adrenocorticotropo (ACTH)	Polipeptide	Stimola la corteccia della surrenale a secernere ormoni steroidei	Ormone di rilascio della corticotropina (CRH)
	Ormone melanocito-stimolante (MSH)	Polipeptide	Controlla la dispersione di pigmenti nei melanofori degli eterotermi; funzioni poco conosciute negli omeotermi	Fattore di rilascio dell'ormone melanocito-stimolante (MRF) Fattore di inibizione del rilascio dell'ormone melanocito-stimolante (MIF)
Neuroipofisi				
Lobo posteriore	Ossitocina	Octapeptide	Nei mammiferi stimola l'emissione del latte e le contrazioni dell'utero	
	Ormone antidiuretico (vasopressina)	Octapeptide	Nei mammiferi aumenta il riassorbimento di acqua da parte dei reni	
	Vasotocina	Octapeptide	Presente in tutte le classi di vertebrati; nei tetrapodi aumenta il riassorbimento di acqua	

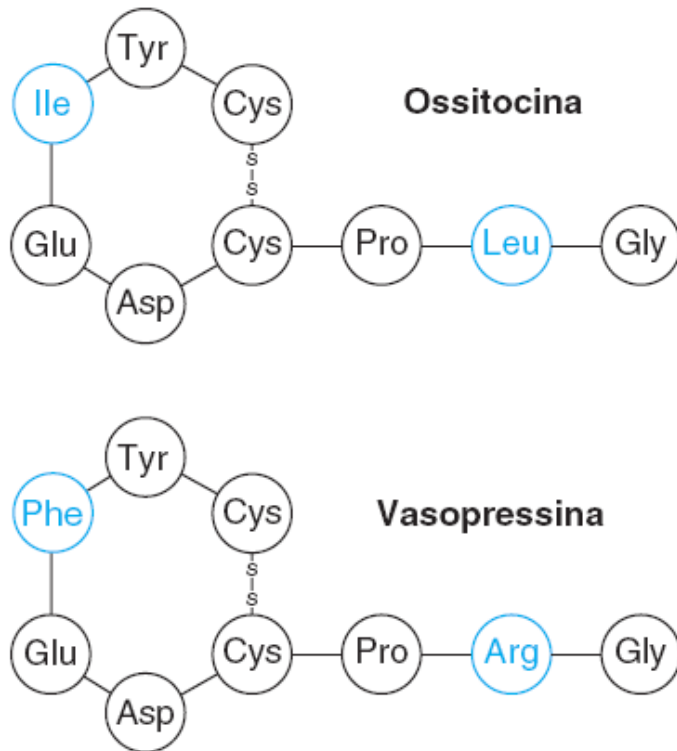


Figura 9.6 Ormoni del lobo posteriore (neuroipofisi) nei mammiferi. Sia l'ossitocina sia la vasopressina sono composte da 8 aminoacidi (le due molecole di cisteina legate da ponti disolfuro sono considerate come un singolo aminoacido, la cistina). L'ossitocina e la vasopressina sono identiche, tranne che per una sostituzione aminoacidica nelle posizioni segnate in azzurro. Le abbreviazioni rappresentano i diversi aminoacidi.

L'ipotalamo produce i due ormoni del lobo posteriore dell'ipofisi, Ossitocina e Vasopressina. Questi vengono poi accumulati nel lobo posteriore

Ossitocina induce il parto, la produzione di latte

La vasopressina agisce sul rene limitando la diuresi, innalza e regola la pressione arteriosa, stimola la sete

L'epifisi

Situata nella parte dorsale nel cervello di tutti i vertebrati, contiene tessuti ghiandolari e strutture sensoriali coinvolte nella risposta ai ritmi biologici legati alla luce. Negli uccelli e nei mammiferi l'epifisi produce melatonina un ormone che regola l'attività delle gonadi



La Tiroide

La tiroide è una piccola ghiandola con un diametro trasversale di circa 5 cm, situata sotto la pelle e inferiormente al pomo di Adamo. Le due metà (lobi) della ghiandola sono connesse nella parte centrale (detta istmo), che conferisce alla tiroide la forma di un cravattino



La tiroide secerne gli ormoni tiroidei che controllano la velocità con cui si svolgono i processi chimici dell'organismo (metabolismo). Gli ormoni tiroidei influenzano il metabolismo in due modi:

- Stimolando quasi tutti i tessuti dell'organismo a produrre proteine
- Aumentando la quantità di ossigeno utilizzato dalle cellule

Gli ormoni tiroidei influenzano molte funzioni vitali dell'organismo, come la frequenza cardiaca, la velocità con cui sono bruciate le calorie, l'integrità della pelle, la crescita, la produzione di calore, la fertilità e la digestione.

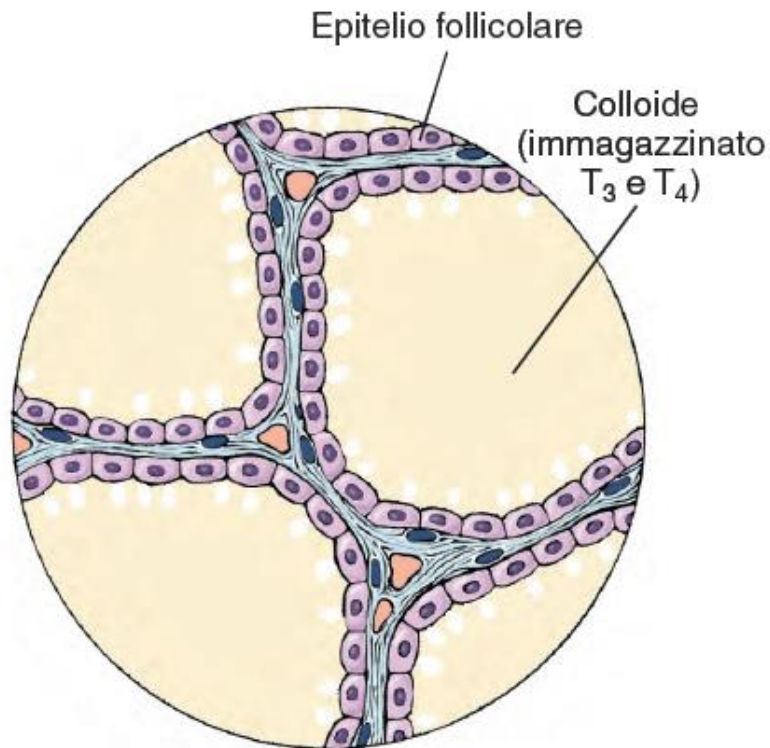
L'organismo possiede un meccanismo complesso per regolare il livello degli ormoni tiroidei. Prima di tutto, l'ipotalamo, situato nel cervello subito sopra l'ipofisi, secerne l'ormone di rilascio della tireotropina, che stimola la produzione da parte dell'ipofisi dell'ormone tireostimolante (TSH). Come suggerisce il nome, il TSH stimola la tiroide a produrre gli ormoni tiroidei. L'ipofisi riduce o aumenta il rilascio di TSH, in base all'aumento o alla riduzione dei livelli di ormoni tiroidei in circolo nel sangue.

I due ormoni tiroidei sono:

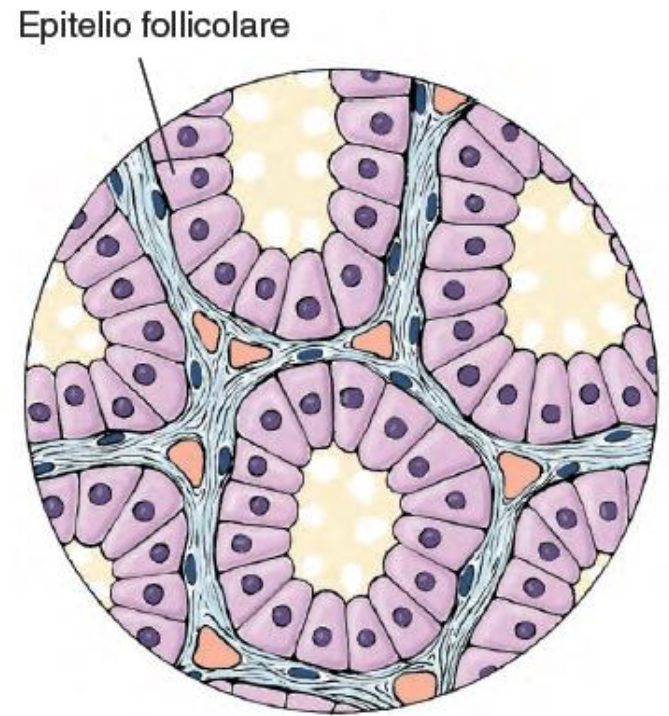
T4: tiroxina

T3: triiodotironina

La T4, il principale ormone prodotto dalla tiroide, ha solo un effetto minimo sulla stimolazione del metabolismo dell'organismo. Infatti, la T4 è convertita in T3, l'ormone più attivo. La conversione di T4 in T3 avviene nel fegato e in altri tessuti. Numerosi fattori controllano la conversione di T4 in T3, comprese le richieste dell'organismo e la presenza o meno di altre patologie.



Follicoli inattivi



Follicoli attivi

Figura 9.7 Aspetto dei follicoli tiroidei visti al microscopio ($\times 350$ circa). Quando sono inattivi, i follicoli risultano distesi, ripieni di colloide (la forma con cui viene immagazzinato l'ormone tiroideo) e le cellule epiteliali sono appiattite. Quando i follicoli sono attivi, la colloide scompare, in quanto l'ormone tiroideo viene secreto nel sistema circolatorio e le cellule epiteliali si ingrandiscono.

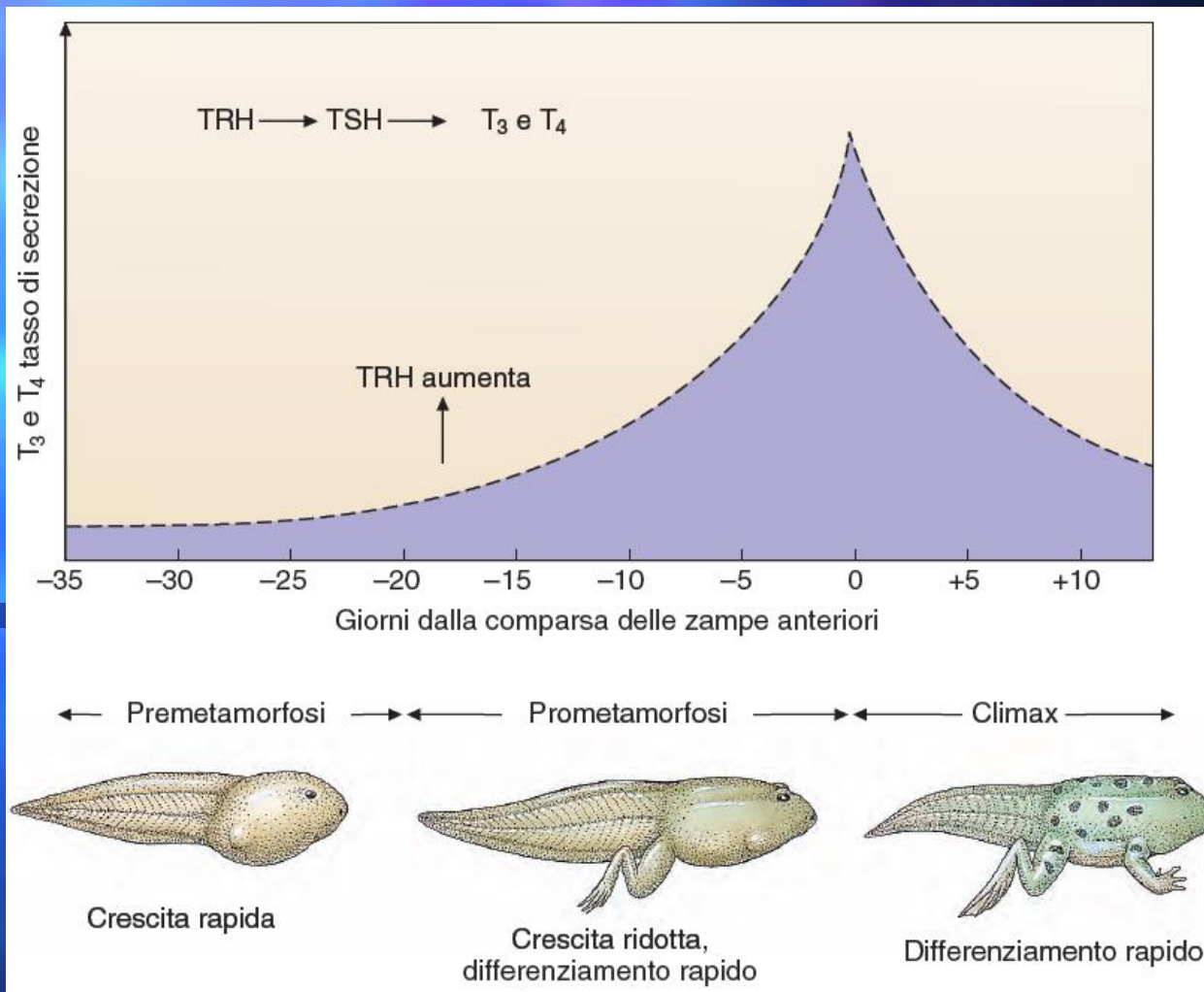


Figura 9.8 Effetti della tiroxina e della triiodotironina sulla crescita e sulla metamorfosi di rana. Il rilascio di TRH dall'ipotalamo alla fine della premetamorfosi mette in moto una serie di cambiamenti ormonali (aumento di TSH e di ormone tiroideo), che portano alla metamorfosi. I livelli di tiroxina raggiungono un massimo nella fase della comparsa degli arti.

Le paratiroidi

Le paratiroidi o ghiandole paratiroidiche assicurano la produzione e la secrezione endocrina (cioè interna) dell'ormone paratiroideo o paratormone (PTH), un particolare ormone indispensabile nella regolazione del metabolismo dei minerali (in particolare del calcio e del fosforo) all'interno dell'organismo.



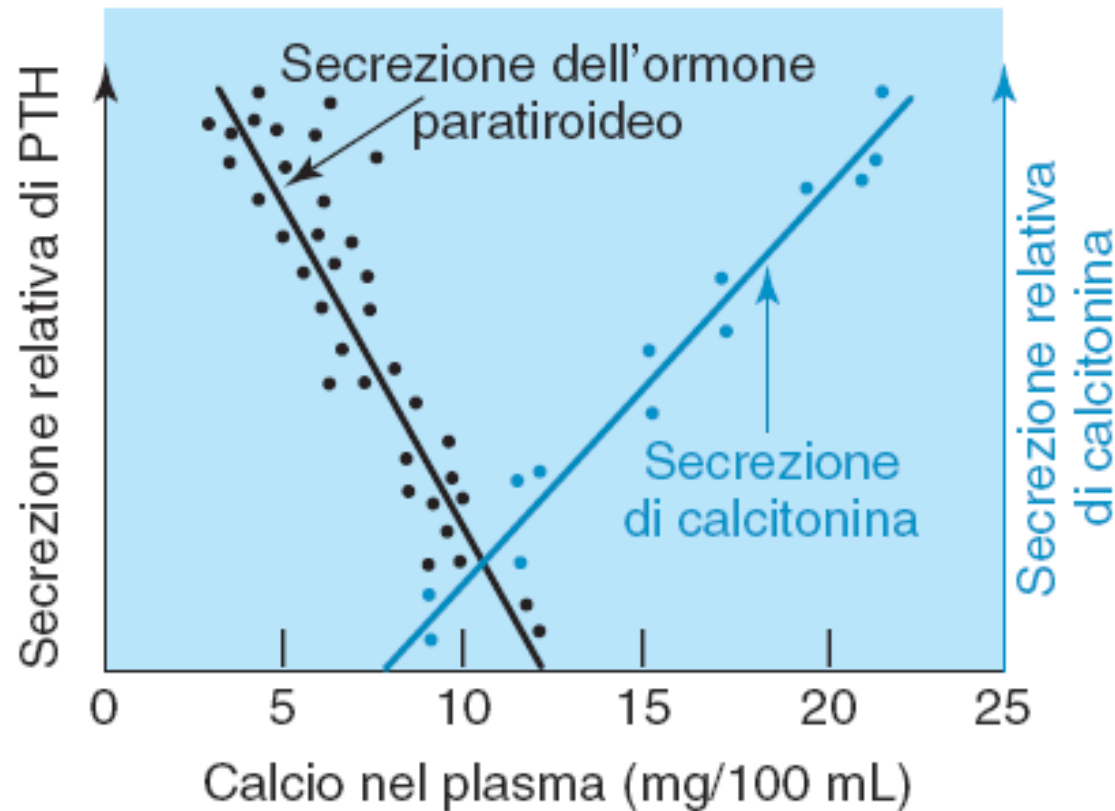
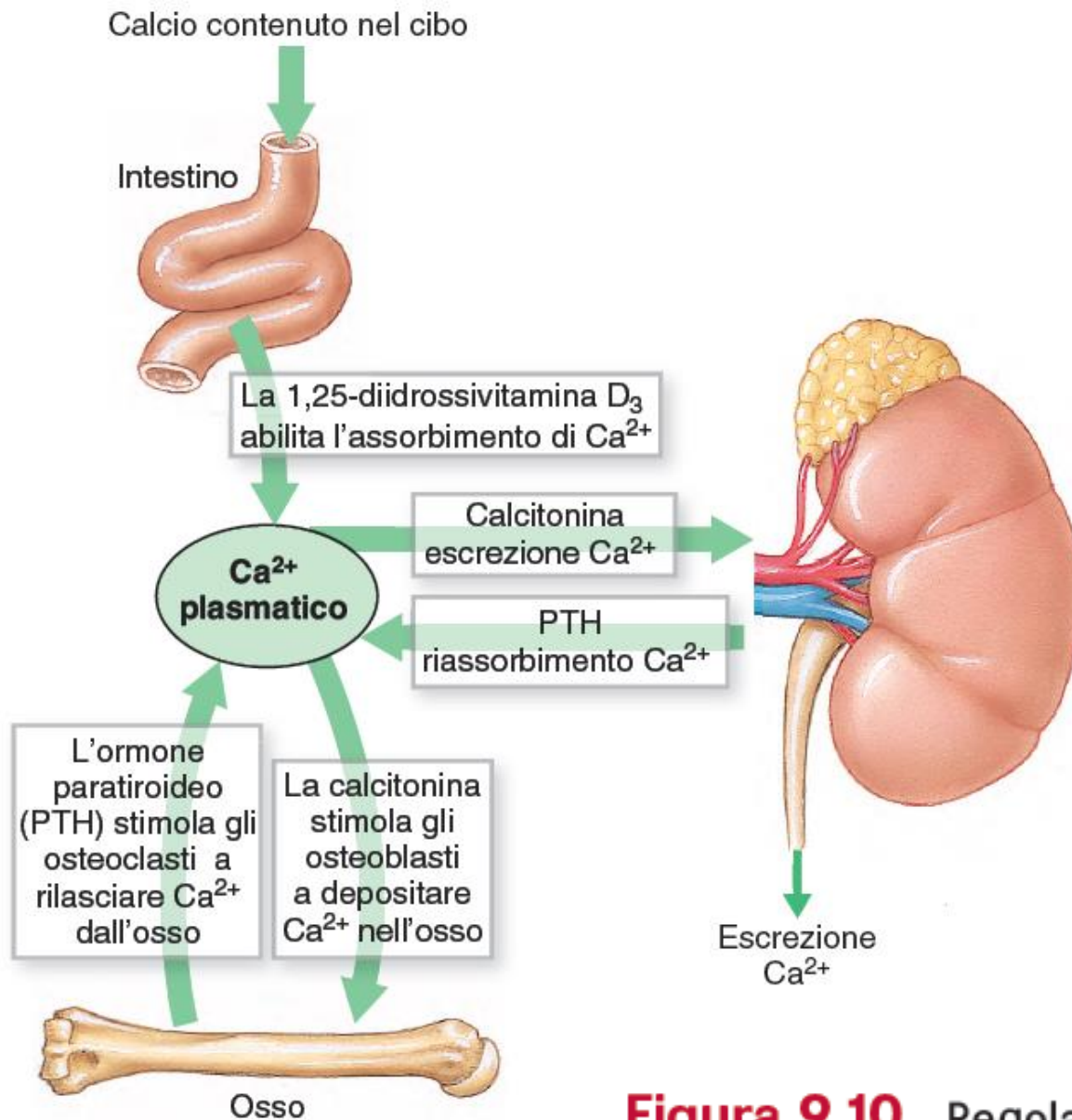


Figura 9.9 Variazione nella velocità di secrezione del paratormone (PTH) e della calcitonina al variare dei livelli ematici di calcio in un mammifero.

Se il livello del calcio diminuisce le paratiroidi aumentano la secrezione di PTH, stimolando gli osteoclasti a prelevare il Calcio dal tessuto osseo. Il PTH limita anche l'escrezione del calcio da parte dei reni



La carenza di Vitamina D3 determina, nell'uomo, il rachitismo

Figura 9.10 Regolazione dei livelli ematici del calcio negli uccelli e nei mammiferi.

Le ghiandole surrenali sono situate sull'estremità superiore di ciascun rene. Misurano circa 5 centimetri di lunghezza per 2,5 centimetri di larghezza.

Sono formate da due porzioni con diversa origine, struttura e funzioni: la parte midollare interna e quella corticale, esterna.

La corticale è formata da tre porzioni stratificate, ognuna specializzata nella produzione di particolari ormoni: la regione glomerulare (più esterna) produce aldosterone e altri ormoni mineralcorticoidi indispensabili per la regolazione del ricambio idrosalino all'interno dell'organismo; la porzione fascicolata (intermedia) produce cortisone, cortisolo e corticosterone (glicocorticoidi attivi sul ricambio glicidico); quella reticolata (più interna) provvede alla produzione di ormoni sessuali, prevalentemente del tipo androgeno, ma anche progesterone ed estrogeni.

La porzione midollare risulta avvolta dalla porzione corticale. È formata da cordoni cellulari irregolari che producono due catecolamine (neurotrasmettitori), adrenalina e noradrenalina, la cui produzione viene attivata in particolari situazioni. La secrezione degli ormoni della corteccia surrenale, e in particolare quella dei glicocorticoidi, è controllata dall'ormone ipofisario ACTH.

Le ghiandole surrenali



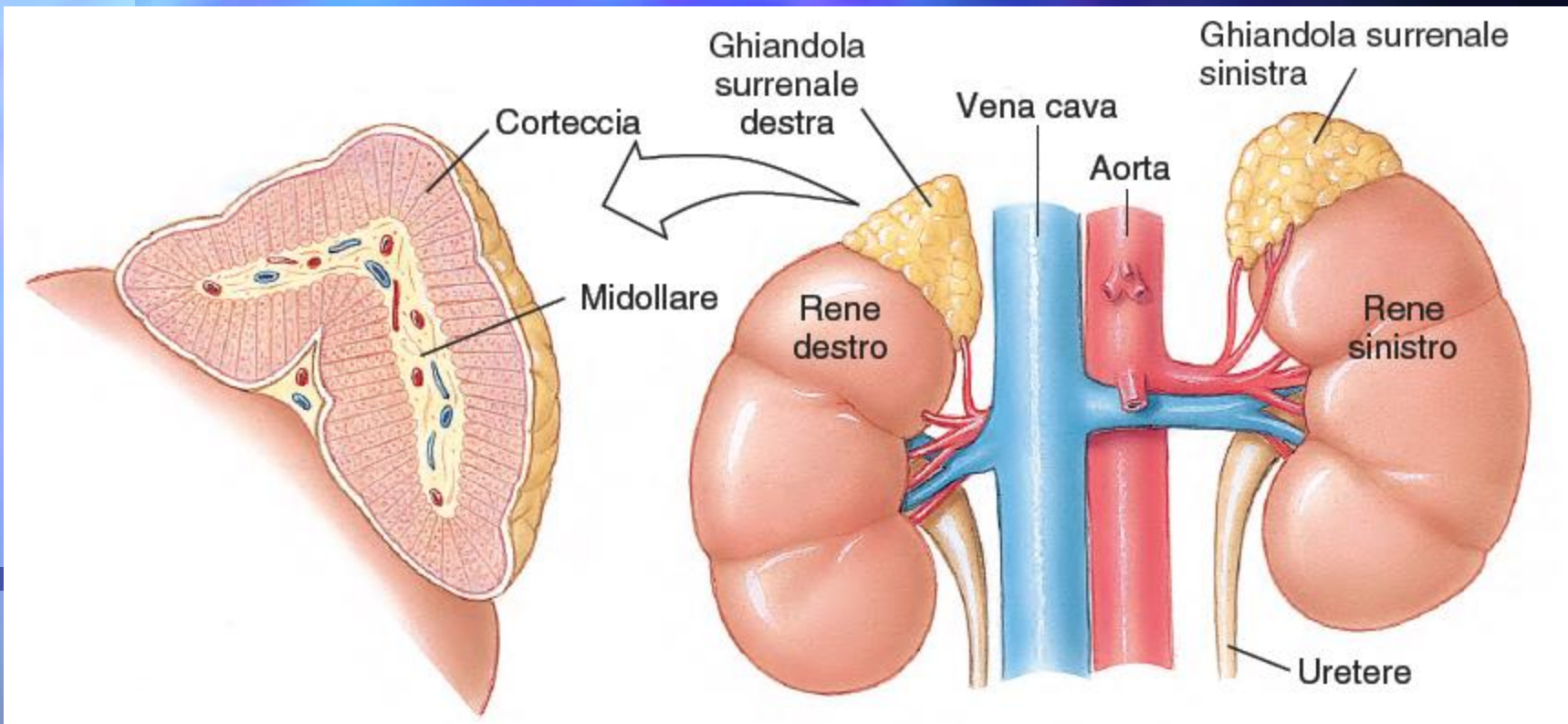


Figura 9.11 Ghiandole surrenali nell'uomo (a sinistra la struttura macroscopica e a destra la loro posizione nella parte superiore del rene). Gli ormoni steroidei vengono prodotti dalla corteccia. Gli ormoni del simpatico, adrenalina e noradrenalina, vengono invece prodotti dalla regione midollare.

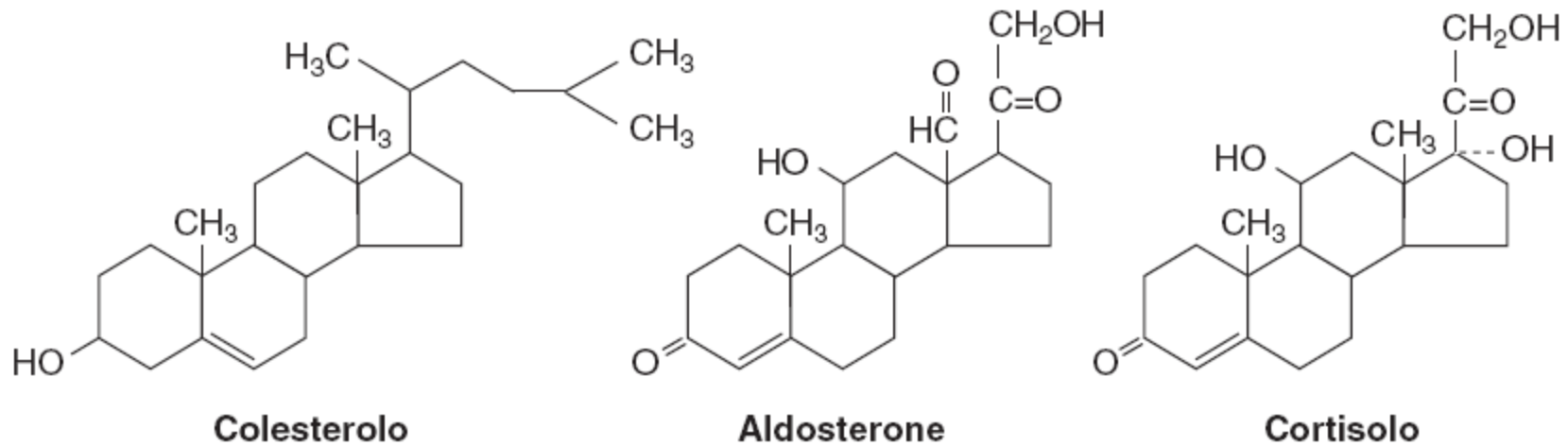


Figura 9.12 Ormoni della corteccia surrenale. Il cortisolo (un glucocorticoide) e l'aldosterone (un mineralcorticoide) sono due dei diversi ormoni steroidei che vengono sintetizzati nella corteccia surrenale a partire dal colesterolo.

L'aldosterone regola l'equilibrio di sale e acqua, influenzando la pressione sanguigna, mentre il cortisolo gestisce il metabolismo, la risposta allo stress e all'infiammazione.

Il pancreas

Il pancreas è una ghiandola a forma di cono allungato deputata alla secrezione endocrina ed esocrina. Posizionato pressoché orizzontalmente, si trova nella parte superiore dell'addome, disposto trasversalmente e dietro lo stomaco

Le funzioni del pancreas sono principalmente due: la secrezione esocrina e la secrezione endocrina. La prima è indispensabile per lo svolgimento della digestione del cibo, fondamentale per il funzionamento del sistema digerente; la seconda è invece coinvolta nel funzionamento del sistema endocrino.



La secrezione endocrina viene svolta dalle cellule endocrine raggruppate nelle isole di Langerhans. Le cellule endocrine sono le cellule alfa, le cellule beta e le cellule delta: le cellule alfa si occupano di secernere il glucagone (ormone iperglicemizzante); le beta secernono l'insulina (l'ormone ipoglicemizzante); le delta, infine, secernono l'ormone somatostatina, grazie al quale riescono a monitorare l'attività delle alfa e delle beta.

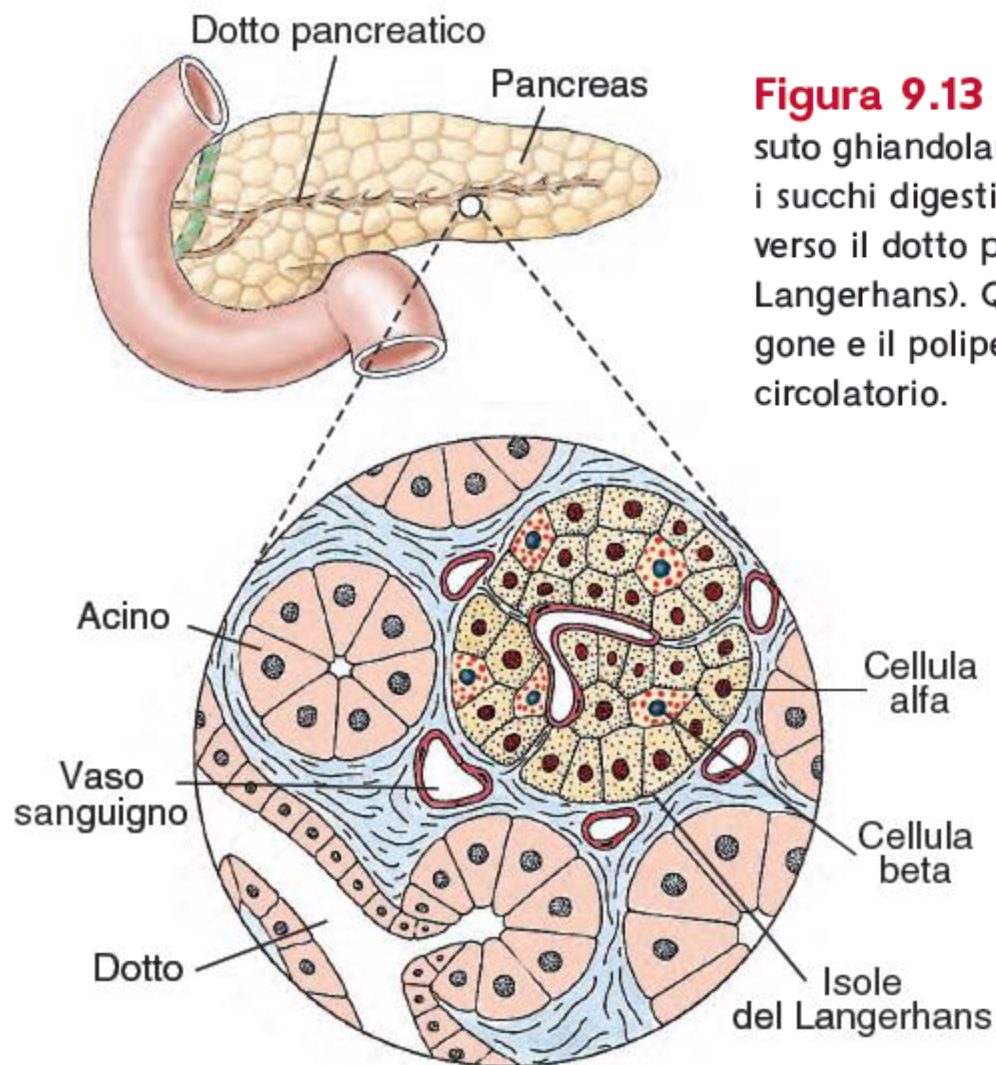


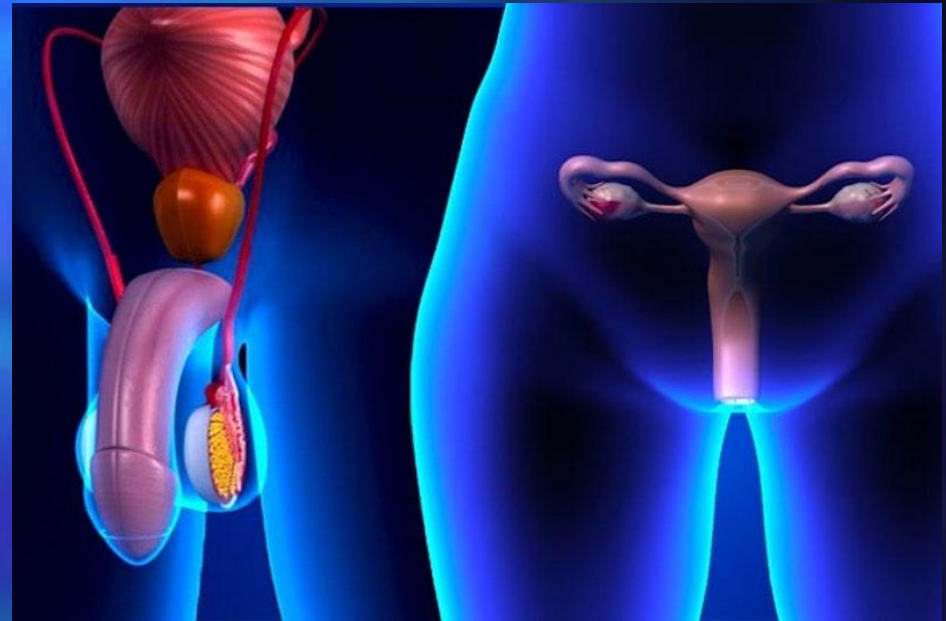
Figura 9.13 Il pancreas è composto da due tipi di tessuto ghiandolare: le cellule esocrine (acini), che secernono i succhi digestivi che vengono riversati nell'intestino attraverso il dotto pancreatico, e le cellule endocrine (isole del Langerhans). Queste ultime secernono l'insulina, il glucagone e il polipeptide pancreatico direttamente nel sistema circolatorio.

Le gonadi

Le gonadi sono gli organi sessuali maschili e femminili (testicoli e ovaie) che producono i gameti (spermatozoi e ovuli) e gli ormoni sessuali. La loro attività è regolata dall'asse ipotalamo-ipofisi-gonadi, che controlla la produzione ormonale. Producono gli ormoni sessuali che influenzano lo sviluppo, la pubertà e le caratteristiche sessuali secondarie.

Negli uomini, producono testosterone.

Nelle donne, producono estrogeni e progesterone.



Ipotalamo: Secerne il **GnRH** in modo pulsatile, stimolando l'ipofisi.

Ipofisi: Sotto lo stimolo del GnRH, rilascia due gonadotropine: l'**FSH** e l'**LH**.

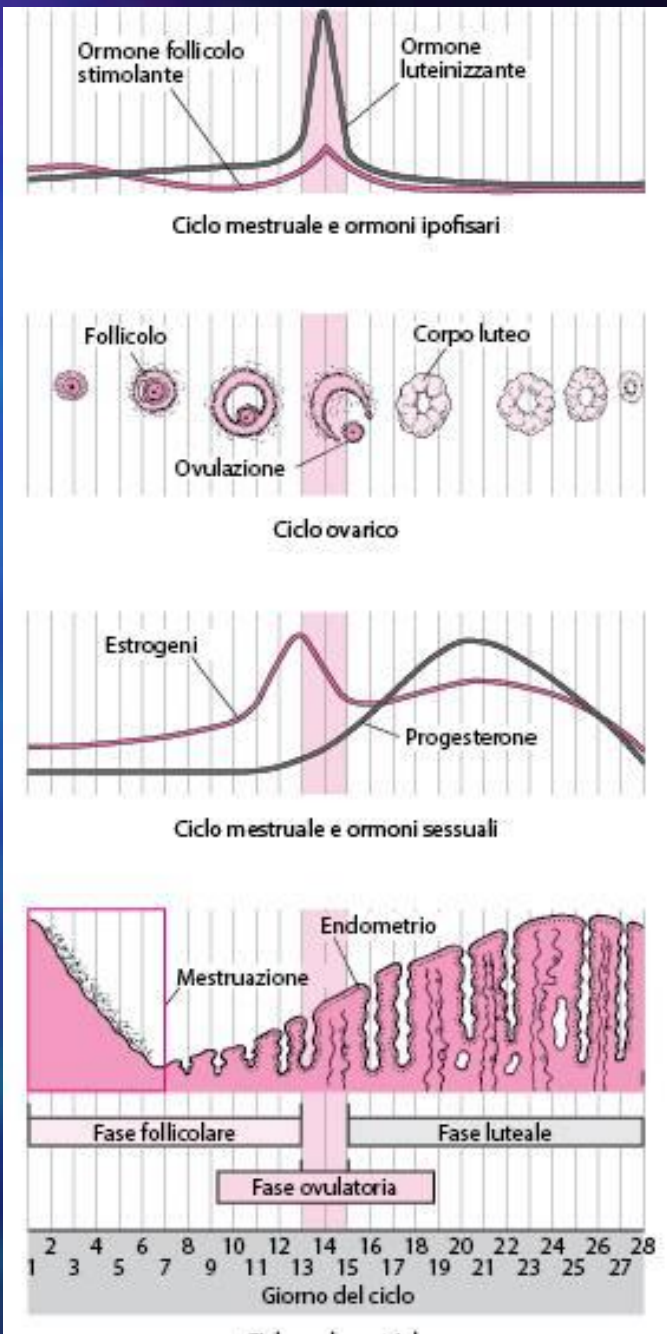
Ovaie: FSH e LH agiscono sulle ovaie, stimolando la maturazione dei follicoli e la produzione di ormoni sessuali femminili.

Fase follicolare: L'**FSH** stimola la crescita e lo sviluppo di diversi follicoli ovarici, anche se solitamente solo uno diventa dominante. Le cellule del follicolo producono **estrogeni**, i cui livelli aumentano progressivamente.

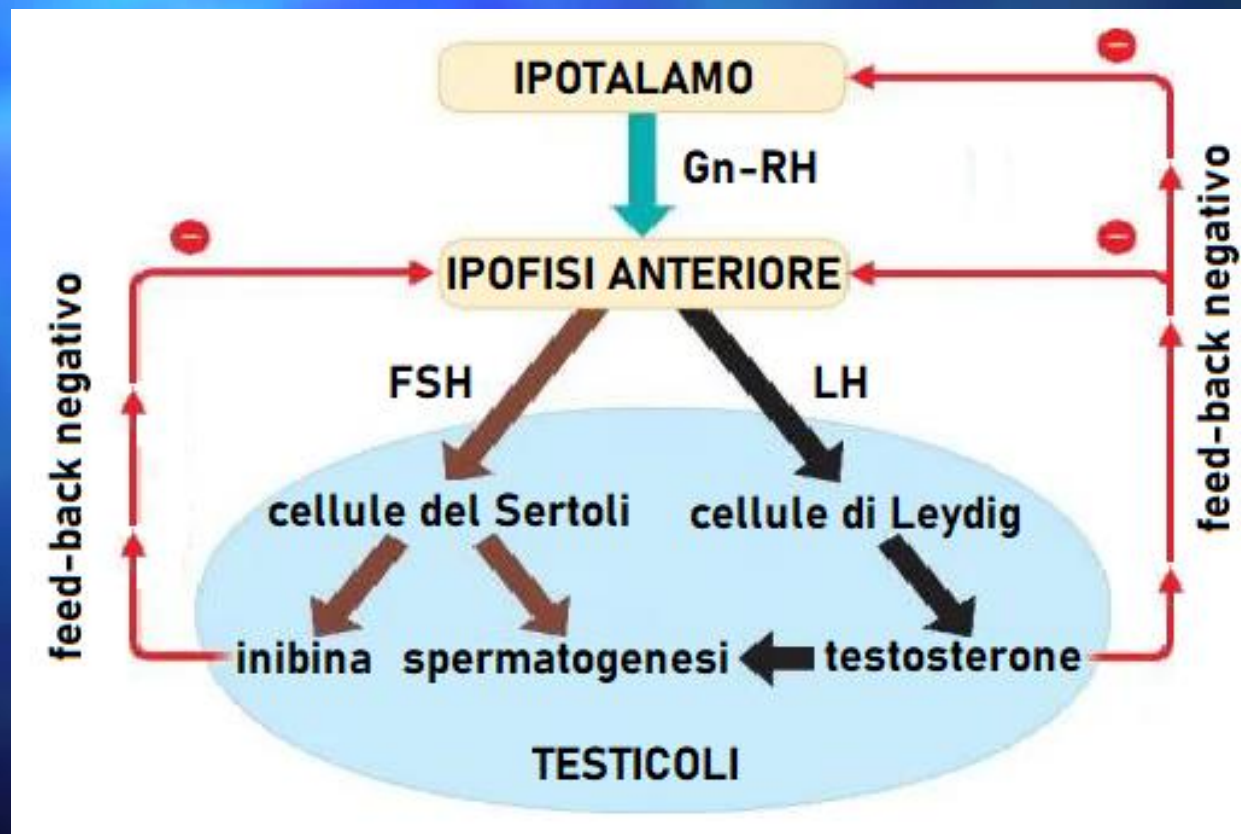
Picco ovulatorio: Quando i livelli di estrogeni raggiungono una soglia critica, innescano un **picco** improvviso e massiccio di **LH** (e, in misura minore, di FSH) da parte dell'ipofisi.

Ovulazione: Il picco di LH è il segnale cruciale che induce la rottura del follicolo dominante e il rilascio dell'ovulo maturo (ovocita) nell'arco di circa 16-32 ore.

Fase luteale: Dopo l'ovulazione, il follicolo rotto si trasforma in **corpo luteo**, che inizia a produrre grandi quantità di **progesterone** e, in misura minore, estrogeni. Il progesterone prepara l'utero a un'eventuale gravidanza. In assenza di fecondazione, il corpo luteo degenera, i livelli ormonali crollano e il ciclo ricomincia con la mestruazione.



Il meccanismo endocrino della spermiogenesi è regolato dall'asse ipotalamo-ipofisi-testicolo, che coinvolge tre ormoni principali: GnRH, FSH e LH, e il testosterone. L'ipotalamo produce GnRH, l'ormone di rilascio delle gonadotropine che stimola l'ipofisi a rilasciare FSH e LH. L'FSH agisce sulle cellule di Sertoli per favorire la spermiogenesi, mentre l'LH stimola le cellule di Leydig a produrre testosterone. Il testosterone agisce tramite un meccanismo a feedback negativo sull'ipotalamo e l'ipofisi, regolando così l'intero processo.





Il sistema endocrino coordina le funzioni vitali di un animale attraverso ormoni, sostanze chimiche prodotte dalle ghiandole endocrine che vengono rilasciate nel flusso sanguigno. Gli ormoni influenzano processi come crescita, riproduzione, metabolismo, temperatura corporea e mantenimento dell'equilibrio interno (omeostasi). Il Sistema endocrino funziona in stretta sinergia con il sistema nervoso, ma ha effetti più lenti e prolungati, inviando segnali chimici a distanza per regolare le attività corporee