

2 ANATOMIA E FISIOLOGIA DEGLI UCCELLI DOMESTICI

Gli uccelli domestici sono vertebrati omeotermi (41-42° C) con alcune caratteristiche peculiari: corpo coperto di penne, arti anteriori trasformati in ali più o meno atte al volo; ossa mascellari e mandibolari modificate e rivestite di un astuccio corneo detto **ranfoteca**.

2.1 TEGUMENTO E SUOI ANNESSI SISTEMA SCHELETRICO

L'apparato tegumentario è costituito dalla **pele** e dagli **annessi cutanei**. La pelle svolge numerose funzioni che vanno dalla protezione meccanica all'isolamento termico. Nella pelle degli uccelli sono pressoché assenti le ghiandole ad eccezione dell'**uropigio**.

Gli annessi cutanei sono organi derivati dalla ipercheratizzazione dell'epidermide o di tutte le strutture della pelle. Al primo tipo appartengono lo sperone, il becco, gli artigli, le squame e le penne; al secondo la cresta, i bargigli e la cera.

PELLE - Comprende uno strato superficiale di **epidermide** e uno profondo di **derma**. L'epidermide è costituita da un epitelio pavimentoso stratificato nel quale le cellule più superficiali sono trasformate in laminette cornee soggette a continuo sfaldamento.

Il derma, di natura connettiva, è notevolmente più ricco di vasi e di terminazioni nervose e risulta a contatto con il tessuto sottocutaneo in cui spesso sono presenti una notevole quantità di cellule adipose. Non sono presenti ghiandole sudoripare e un ruolo importante nella termoregolazione, oltre all'apparato respiratorio, sembra svolto dal becco.

GHIANDOLA DELL'UROPIGIO - E' una voluminosa ghiandola alloggiata nella regione indicata come codrione che elabora un secreto oleoso il quale, distribuito sulle penne, viene utilizzato dall'animale per impermeabilizzarle.

ANNESI CUTANEI - Nel tarso-metatarso dei maschi esiste un rilievo conico-osseo, rivestito di epidermide corneificata, detto **sperone**; la sua presenza nelle femmine è indice di vecchiaia.

L'annesso cutaneo maggiormente visibile negli uccelli è costituito dalle **penne** le quali, oltre a rendere possibile il volo, contribuiscono a isolarlo termicamente.

Le penne nascono su aree ben definite denominate **pterili**, che nel pollo sono in numero di 10, mentre le aree dove non sono impiantate, si chiamano **apterili**.

In una penna completamente formata si distingue (Figura 2.1): lo **scapo** e il **vessillo**.

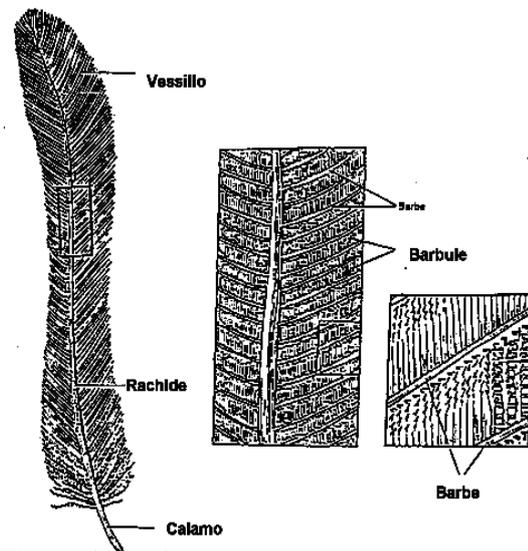


Figura 2.1 - Struttura schematica di una penna (da Pelagalli, Botte Anatomia veterinaria, Ed. Ermes, 1982).

Lo scapo comprende, a sua volta, due porzioni, il **calamo** e il **rachide**. Il calamo, infisso nel tegumento, è un cilindro corneo, cavo, liscio e pieno d'aria. Il rachide, ha una sezione quadrangolare piena: la faccia inferiore, leggermente concava, è percorsa in tutta la lunghezza da un profondo solco longitudinale che ne aumenta la resistenza.

Sul rachide si impiantano le barbe, disposte in due serie perpendicolari; le barbe a loro volta portano le barbicelle, fornite di piccoli uncini che hanno lo scopo di tenere ferme le barbule, conferendo una maggior coerenza a questo insieme che prende il nome di **vessillo**.

E' possibile distinguere diversi tipi di penne:

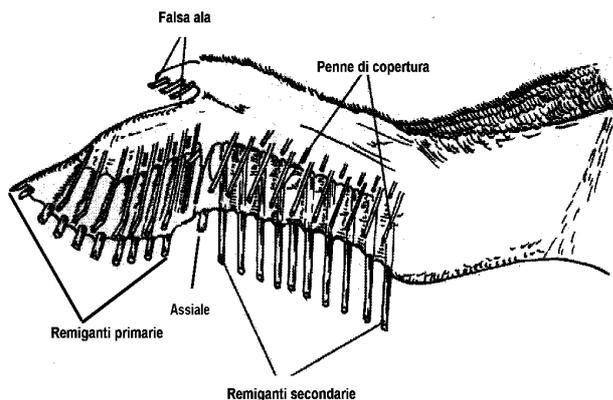
- **penne** propriamente dette, con calamo lungo e forte, rachide rigido e barbe coerenti;
- **pennopiume** (o semipiume) con calamo e rachide forti, ma barbe incoerenti, che si trovano principalmente nel sottocoda;
- **piume**, prive di rachide e di barbe, con barbule che si attaccano direttamente al calamo e formano uno strato continuo sopra la pelle, con funzione termoregolatrice;

- **filopiume**, con rachide continua e flessibile, che formano il piumaggio del pulcino;
- **penne tattili o vibrisse**, ridotte al solo rachide (es. setole del capo delle galline faraone).

Le penne si differenziano per forma, dimensioni e funzioni.

Sulle ali sono impiantate le **remiganti** e le rispettive copritrici che si distinguono in primarie e secondarie (10 e 10 rispettivamente). Le primarie, alle quali spetta principalmente la funzione del volo, sono situate alla estremità distale dell'ala; le secondarie sono inserite lungo l'avambraccio e coprono le primarie durante il riposo. Tra le due serie vi è una piccola penna detta assiale. Nei gallinacci le remiganti secondarie (Figura 2.2) sono lunghe quasi quanto le primarie, nelle anatre e nei colombi sono molto più brevi.

Figura 2.2 - Nomenclatura delle penne dell'ala.
(da Pelagalli, Botte - Anatomia veterinaria, Ed. Ermes, 1982).



Le penne della coda si chiamano **timoniere**, per la particolare funzione che esercitano nel volo; sono in numero pari (7-8 paia) e situate simmetricamente. Quelle mediane sono in genere più lunghe e diversamente colorate; nel gallo si presentano lunghe, sottili, arcuate e prendono il nome di falciformi. Sempre nel gallo esistono, sul collo e sul groppone, penne lunghe, sottili e lanceolate, dette **lancette**. La nomenclatura delle altre penne si identifica con quella della regione alla quale appartengono. Le penne del collo formano un insieme che va sotto il nome di mantellina, quelle che ricoprono le zampe formano i calzoni.

Le penne vanno soggette alla muta, cioè ad un rinnovo periodico, che negli individui adulti si verifica di norma ogni anno. Esistono, inoltre, delle mute giovanili che interessano i soggetti più

giovani, dalla nascita fino a circa 22 settimane di età. In questo periodo le penne di copertura subiscono quattro mute, quelle del volo (remiganti e timoniere) una sola muta. La muta può essere determinata anche da cause accidentali, non sempre accertabili, e comunque può venire influenzata anche da fattori ambientali (fotoperiodo, alimentazione, vedi § 80).

La muta inizia normalmente in settembre-ottobre e ha una durata di circa 12 settimane. Si possono comunque avere mute precoci (luglio-agosto) e tardive (dicembre-gennaio). Le prime sono generalmente molto lunghe (circa 24 settimane) le seconde, all'opposto, sono brevi (8-10 settimane) e parziali con il rinnovamento contemporaneo di due o più remiganti alla volta. La durata della muta può variare in rapporto alle condizioni di salute e di robustezza degli animali; polli forti, sani e molto produttivi hanno di solito mute brevi. Le prime penne a cadere sono quelle della testa e del collo, seguono le penne del petto, del corpo e delle ali. La caduta delle penne è sempre associata all'arresto o alla diminuzione della deposizione; stabilirne la durata, agli effetti della selezione, riveste quindi una notevole importanza. Un ottimo termine di valutazione è la durata di rinnovamento delle 10 remiganti primarie, che corrisponde, grosso modo, alla muta totale del piumaggio. La prima remigante che cade è quella più interna, segue gradatamente la caduta ed il rinnovamento di tutte le altre remiganti.

Entro sei settimane la nuova remigante primaria ha completato il suo sviluppo mentre sono in corso di rinnovamento le cinque remiganti successive. Nelle restanti sei settimane si ha la sostituzione delle ultime quattro remiganti primarie. In questo frattempo si sono rinnovate tutte le altre penne del corpo.

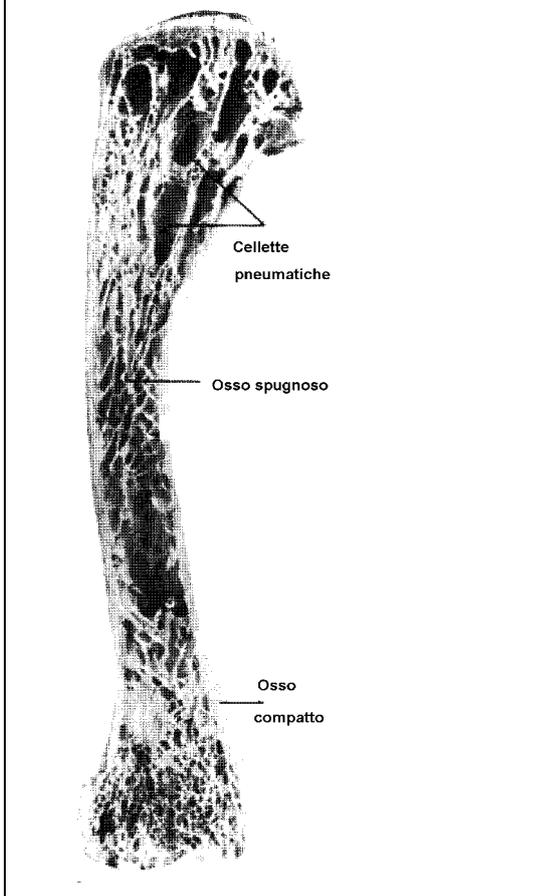
2.2 SISTEMA SCHELETRICO

Gli uccelli possono affidarsi a due forme differenti ed indipendenti di movimento; il cammino e il volo. Il volo richiede una leggerezza notevole senza però che sia compromessa la robustezza della struttura. Quest'ultima è migliorata attraverso un irrigidimento del tronco ed una tenace inserzione del cinto toracico.

Nella compagine di molte ossa si trovano delle cellette in cui si immettono le propaggini dei sacchi aerei: ne consegue un alleggerimento del peso (**ossa pneumatiche**) ed una notevole robustezza (Figura 2.3).

Le ossa dell'arto posteriore risultano invece più compatte avendo il compito di sostenere l'intero

Figura 2.3 - Omero di tacchino (da Pelagalli, Botte - Anatomia veterinaria, Ed. Ermes, 1982).



peso del corpo.

A parte la distinzione in ossa pneumatiche e non, il tessuto osseo può essere distinto in:

Osso corticale - con funzioni di sostegno;

Osso midollare - costituito da spicole contenute nella cavità midollare delle ossa lunghe. Questo tessuto costituisce anche un deposito di ioni minerali da utilizzare durante l'ovodeposizione.

Nello scheletro si distingue una **parte assile** (teschio e colonna vertebrale) sulla quale si impiantano, tramite i rispettivi cinti, gli arti (Figura 2.4).

Il **teschio** comprende una porzione aborale, il cranio, ed una orale, appuntita, la faccia. Le ossa del cranio sono: occipitale, sfenoide, base-temporale, parietale, frontale, temporale ed etmoide. L'occipitale, impari, si articola con la prima e seconda vertebra cervicale mediante un unico condilo e ciò consente una rotazione molto ampia del capo sulla colonna vertebrale.

Le ossa della faccia sono rappresentate da: incisivi, zigomatici (iuguale e quadrato iugale), lacrimali, nasali, pterigoidei, vomere e mandibola (impari). Gli incisivi, mascellari, zigomatici (iuguale e quadrato-iugale), lacrimali, nasali, pterigoidei, vomere e mandibola (impari). Gli incisivi che, durante l'incubazione si fondono in un unico osso, rappresentano la base del becco (valva superiore) e circoscrivono, unitamente alle ossa nasali, le narici. La mandibola, base scheletrica della valva inferiore del becco, si articola al cranio tramite l'interposizione dell'osso quadrato e ciò permette una grande libertà di movimenti.

La **colonna vertebrale** comprende, nel pollo, 42 vertebre ripartite nelle regioni: cervicale (14), toracica o dorsale (7), lombosacrale (14) e coccigea (7). Le cervicali sono molto lunghe e sottili per assicurare mobilità al collo. Le 14 vertebre lombo-sacrali sono fuse formando un'unica massa che comprende anche l'ultima toracica e la prima coccigea. Tra le coccigee la più caratteristica è l'ultima che prende il nome di **pigostilo** ed è la sede di impianto delle penne timoniere. Le coste, in numero di 7 paia, si articolano, con le vertebre toraciche e con lo sterno ad eccezione del 1°, 2° e 7° paio (fluttuanti) che non lo raggiungono. Lo **sterno** ha uno sviluppo notevole, in quanto riceve l'inserzione dei muscoli del volo. Presenta una forma di lamina quadrilatera ricurva ed è provvisto di vari processi: il processo caudale mediano, o metasterno, è il più sviluppato e porta una cresta laminare detta **carena** - assente negli uccelli corridori - su cui si inseriscono le potenti masse muscolari del petto.

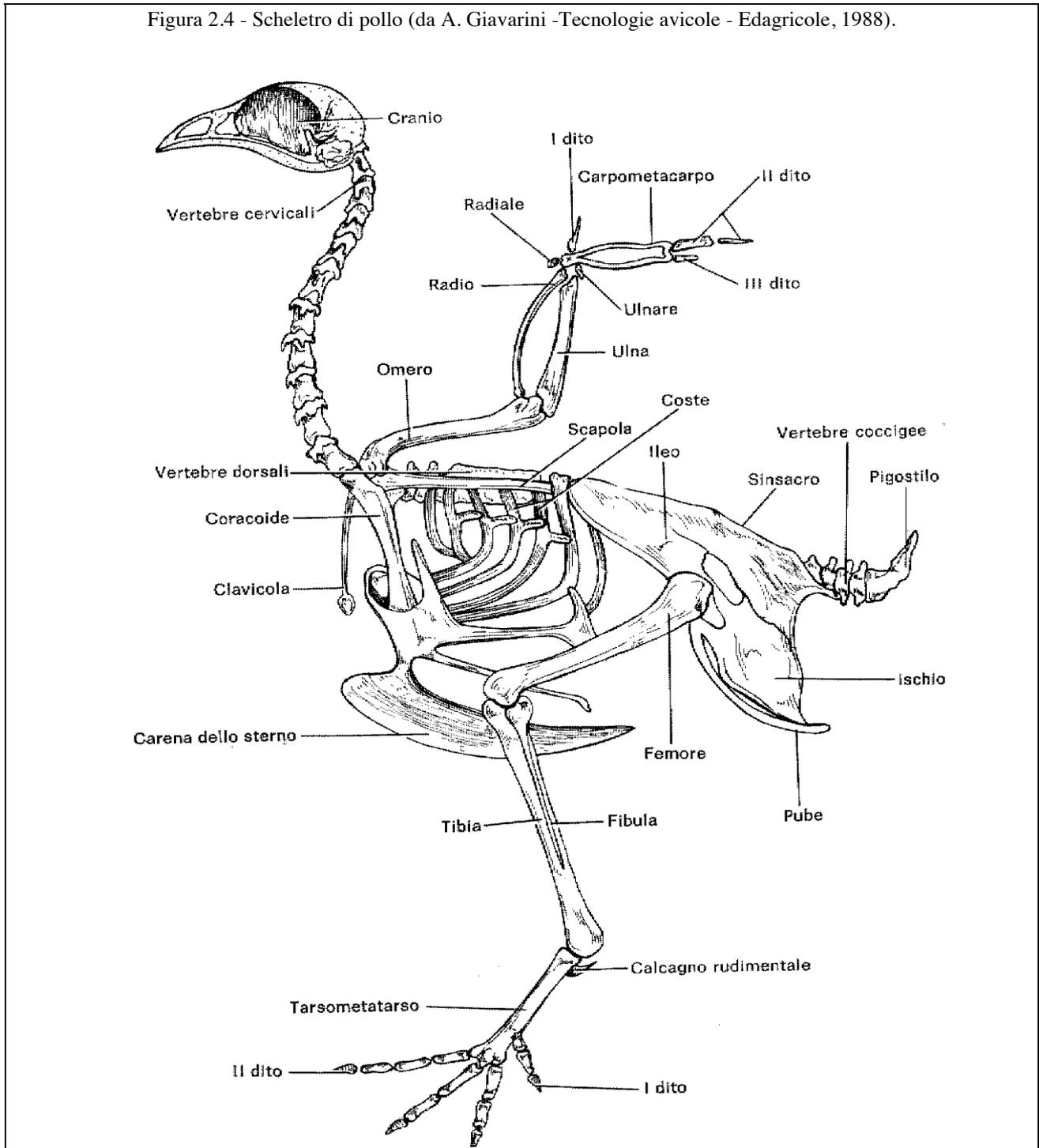
Il processo craniale, molto breve, prende il nome di **rostro**. Il processo laterale si biforca dando cranialmente il processo costale, che ricopre la porzione sternale delle ultima due coste, e posteriormente il processo xifoideo, lungo e sottile. Il cinto scapolare, che unisce l'ala al tronco, è formato da: **scapola**, **coracoide** e **clavicola**. La **scapola**, a forma di sciabola decorre parallelamente alla colonna vertebrale, sopra le coste.

Il **coracoide** è l'osso più robusto del cinto e si articola distalmente con la porzione anteriore dello sterno (**rostro**). La **clavicola** prossimalmente si articola col coracoide e distalmente si salda con quella del lato opposto formando la cosiddetta "forchetta"; l'espansione piatta che deriva da tale unione si collega, mediante un legamento, alla porzione più craniale

della carena. L'arto anteriore o ala comprende: **omero** (braccio), **radio e ulna** (avambraccio),

carpo (2 ossa), **metacarpo** (osso unico) e **3 dita** (rispettivamente con 2, 2 e 1 falange).

Figura 2.4 - Scheletro di pollo (da A. Giavarini -Tecnologie avicole - Edagricole, 1988).



Il cinto pelvico è formato da **ileo**, **ischio** e **pube** che saldandosi con le vertebre lombo-sacrali delimitano la cavità del bacino. Il cinto è incompleto perché manca una sinfisi pubica e ischiatica determinando una cavità addomino-

pelvica più ampia per consentire il passaggio delle uova.

L'arto posteriore è costituito da: **femore** (coscia), **rotula** (ginocchio) **tibia e fibula** (gamba), **metatarso** (il tarso è saldato con la porzione distale della tibia) e **dita** (piede).

Nei maschi il metatarso presenta un rilievo che fa da supporto allo sperone; le dita sono 4, il primo dei quali è rivolto all'indietro e consta di 3 falangi; le altre portano 3, 4 e 5 falangi.

2.3 SISTEMA MUSCOLARE

L'apparato muscolare si presenta altamente modificato in rapporto al volo ed è caratterizzato da una marcata riduzione delle masse muscolari della regione dorsale, e da un forte sviluppo dei muscoli pettorali e, soprattutto in alcune specie, di quelli della coscia.

2.4 APPARATO DIGERENTE

E' costituito da un lungo tubo che presenta dilatazioni, restringimenti e curvature. Può essere suddiviso in due porzioni, una anteriore che comprende la **cavità boccale**, il **faringe**, l'**esofago**, il **gozzo** o **ingluvie**, lo **stomaco ghiandolare** e quello **muscolare** e una posteriore che include l'**intestino tenue**, il **crasso**, il **cieco** e la **cloaca**.

All'apparato digerente sono annesse due grosse ghiandole, il **fegato** e il **pancreas**.

La cavità orale degli uccelli è molto diversa da quella dei mammiferi perché mancante di labbra, guance, denti e velo pendulo. Queste particolari caratteristiche anatomiche fanno sì che negli uccelli manchi una masticazione vera e propria. Sul pavimento della bocca poggia la lingua, stretta ed appuntita. Il palato è incompleto per la mancata fusione dei processi palatini per cui la cavità boccale comunica ampiamente con le fosse nasali. Nella bocca si trovano numerose ghiandole mucose e sierose, il cui secreto esplica una funzione emolliente.

Il **faringe** è comune alle vie digerenti e a quelle respiratorie. L'**esofago** è un tubo muscolare che dal faringe si porta allo stomaco ghiandolare percorrendo tutta la regione del collo; prima di immettersi nel torace si dilata in un sacco, detto **gozzo** o **ingluvie**, che rappresenta un serbatoio ove il cibo sosta per alcune ore, subendo un processo di rammollimento. Il ritmo col quale il gozzo si vuota dipende da vari fattori, quali la quantità e qualità degli alimenti ingeriti, la mancanza di acqua. Le contrazioni peristaltiche del gozzo hanno inizio nell'esofago e proseguono fino alla porzione distale dello stesso.

Nel piccione, verso il 10° giorno di cova, si verifica, in entrambi i sessi, una proliferazione dell'epitelio e un suo arricchimento in sostanze grasse ed in albumine. Subito dopo la schiusa i prodotti di desquamazione cellulare, unitamente ad un miscuglio di alimenti rigurgitati, formeranno il "**latte di piccione**", alimento particolarmente energetico, con cui verranno nutriti i piccoli nei primi 15 giorni di vita.

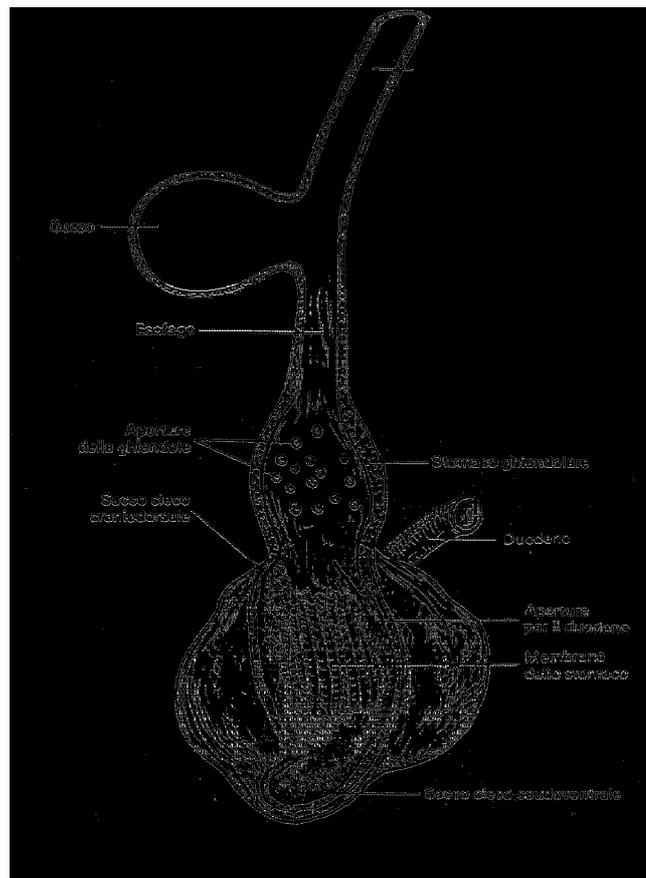
Al gozzo fa seguito lo **stomaco ghiandolare** o proventricolo poco sviluppato, con l'asse maggiore situato tra i due lobi del fegato (Figura 2.5).

La parete interna dello stomaco è costituita da una tonaca muscolare e da una sottomucosa nella quale hanno sede numerosissime ghiandole che

secernono il "succo gastrico", un liquido a reazione acida, contenente: acqua, acido cloridrico e un proenzima (il **pepsinogeno**). L'azione catalitica dell'acido cloridrico trasforma il pepsinogeno in **pepsina**, enzima proteolitico che scinde le proteine in polipeptidi e peptoni.

L'acido cloridrico acidifica il contenuto del proventricolo, concorrendo alla digestione delle proteine. In questo tratto dell'apparato digerente

Figura 2.5 - Schema della porzione anteriore dell'apparato digerente del pollo (da Pelagalli, Botte - Anatomia veterinaria, Ed. Ermes, 1982).



sarebbe secreta anche l'amilasi, enzima che collabora alla scissione dei polisaccaridi.

Nel proventricolo gli alimenti stazionano per un periodo molto breve, sufficiente a che il bolo alimentare si arricchisca dei secreti suddetti.

Il **ventriglio** è un organo muscolare a forma di lente biconvessa, rivestito esternamente da una membrana tendinea e internamente da un epitelio corneificato che svolge funzione di triturazione ed omogeneizzazione degli alimenti. Il grado di acidità del ventriglio è leggermente inferiore a quella del proventricolo (2 a 2,5) e consente di mantenere l'attività proteolitica della pepsina.

La muscolatura del ventriglio è molto forte: quella di un tacchino, per esempio, riesce a produrre fino a 75-80 kg/cm² di pressione.

L'**intestino tenue** comprende **duodeno**, **digiuno** ed **ileo**. Il duodeno ha la forma di un'ansa, tra i cui rami è compreso il pancreas. Gli enzimi prodotti dalle pareti intestinali e attivati dal succo pancreatico e dalla pepsina completano i processi digestivi consistenti nella rottura dei peptidi in aminoacidi, e del saccarosio e maltosio in zuccheri semplici.

Nel pollo il **cieco** è formato da 2 appendici ben sviluppate (nel piccione ridotte a 2 tubercoli) ed è provvisto di numerosi villi e di tessuto linfoide. In corrispondenza degli orifizi ciecali inizia il **colon**, cui fa seguito il **retto** che termina nella cloaca.

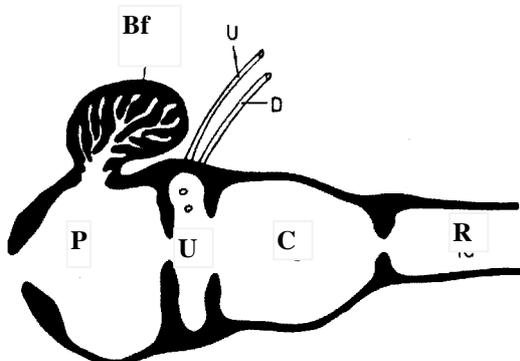
La cloaca è un organo tubolare ove confluiscono i sistemi digerente, urinario e genitale (Figura 2.6). Comprende il **coprodeum** diretta prosecuzione del retto, l'**urodeum** ove sboccano gli ureteri e i condotti genitali, il **proctodeum** ove si apre un organo di natura linfoide, denominato Borsa di Fabrizio molto sviluppata nei giovani, con una funzione immunologica.

GHIANDOLE ANNESSE ALL'APPARATO DIGERENTE

Sono ghiandole collegate all'apparato digerente attraverso dei dotti che sboccano nell'intestino tenue; i loro secreti sono indispensabili alla digestione e assimilazione degli alimenti.

FEGATO - Ha colore rosso scuro, è formato da due lobi di cui quello destro è più sviluppato. Dietro al lobo destro c'è la **cistifellea** che presenta due dotti: quello **epatico** che si collega col lobo sinistro e il dotto **cistico** con quello destro è più sviluppato.

Figura 2.6 - Rappresentazione schematica della cloaca di pollo (da Avicoltura 5, 1959).



P= proctodeo; U = urodeo; C= coprodeo; R= retto; D=dotto deferente; u=uretere; Bf = Borsa di Fabrizio.

Le funzioni del fegato sono molteplici e molto importanti: depura l'organismo annullando l'azione tossica di alcune sostanze; trasforma gli zuccheri in glicogeno, cioè in riserve energetiche; concorre al metabolismo lipidico e proteico, immagazzina alcune vitamine, provvede alla formazione delle proteine del plasma, inattiva gli ormoni polipeptidici, secerne la bile.

La **bile** è un liquido viscoso di colore giallo-verdastro, leggermente acido che non contiene enzimi. La sua funzione è di neutralizzare l'acidità dell'apparato digerente e di consentire la digestione dei grassi emulsionandoli, dando quindi la possibilità alla **lipasi**, secreto dal pancreas, di aggredirli, rendendoli assimilabili. La bile inoltre facilita l'eliminazione del colesterolo e dell'emoglobina (bilirubina, biliverdina), responsabili del caratteristico colore della stessa.

PANCREAS - È una ghiandola molto sviluppata, di colore giallastro, situata tra due anse del duodeno. E' formata, nei polli, da tre lobi, ognuno dei quali possiede un proprio dotto, che sbocca nel duodeno. Produce il **succo pancreatico** che neutralizza la secrezione acida del proventricolo. La secrezione pancreatica è ricchissima in enzimi proteolitici (tripsinogeno, chimotripsinogeno A-B, procarbosipeptidasi A-B, collagenasi), lipolitici (lipasi, esterasi), amilolitici (amilasi) e nucleolitici (ribonucleasi, desossiribonucleasi) che hanno un ruolo importantissimo nella digestione degli alimenti.

2.6 APPARATO RESPIRATORIO

Gli uccelli presentano una struttura respiratoria peculiare in quanto i polmoni sono piccoli e poco elastici. Alla ventilazione contribuisce una serie di **sacchi aerei** connessi al sistema bronchiale ma privi di tessuto respiratorio. Le vie aeree, oltre ad assicurare la respirazione, contribuiscono principalmente al riscaldamento dell'aria inspirata, alla sua umidificazione, alla regolazione del pH, alla vocalizzazione.

L'apparato inizia con le **narici** cui seguono le **cavità nasali**, brevi e strette, le quali comunicano con la cavità boccale e con il **faringe**.

Nel pavimento del faringe si rinviene una fessura allungata e stretta, costituita da una ripiegatura della mucosa, i cui lembi, durante la deglutizione, collabiscono per impedire al cibo di prendere la via della trachea non esistendo una epiglottide. La laringe craniale è poco sviluppata e non ha funzioni vocali.

Segue la **trachea**, formata da anelli cartilaginei uniti da legamenti membranosi, che percorre il collo e penetra nella cavità toracica ove si biforca nei due bronchi.

La funzione vocale spetta alla **siringe** che consiste in una compressione della trachea prima della sua biforcazione. Questa consiste in una struttura su cui si impiantano 3 membrane, con funzioni omologhe alle corde vocali dei mammiferi.

Dopo la siringe la trachea si biforca in due bronchi, che dopo un tragitto extra-polmonare entrano danno origine ai bronchi primari.

L'area della sezione del bronco extrapolmonare raggiunge i 15 mm² nelle razze pesanti da carne che è di gran lunga superiore alla sezione della trachea (30 mm² contro 12,5 mm²).

Dentro il polmone il bronco **principale** perde gli anelli cartilaginei e si espande in una dilatazione da cui si dipartono verso la periferia, vari rami bronchiali **secondari** (6-10 dorsali; 4-5 ventrali) che si immettono nei bronchioli **terziari** (o **parabronchi**) che rappresentano l'unità respiratoria. A differenza dei mammiferi, tutti i rami sono comunicanti e i bronchi primari e secondari proseguono nei sacchi aerei (Figura 2.7). Inoltre mentre nei mammiferi i grossi bronchi sono posizionati al centro del polmone, negli uccelli sono disposti alla periferia con ramificazioni centripete. Dopo la seconda curvatura il diametro del bronco primario (20 mm²) diventa simile a quello di un bronco terziario (2,5 mm²).

Ciascun bronco primario dà origine a 3-4 gruppi di bronchi secondari: i primi due sono strettamente integrati tra loro da 300-500 bronchi terziari (Figura 2.8) che vanno a costituire il **paleopolmo** che comprende circa 2/3 del polmone, dove avvengono la maggior parte degli scambi gassosi.

Altri 200-300 parabronchi, che si anastomizzano liberamente tra loro, originano direttamente dai bronchi primari e secondari dando origine al **neopolmo**.

Nei bronchi terziari, che negli uccelli possono emergere da bronchi di qualsiasi ordine, sono presenti le strutture atte agli scambi gassosi e sono le vie aeree più abbondanti nel polmone degli uccelli.

Tutti i numerosi parabronchi, si anastomizzano tra loro, formando dei lunghi circuiti bronchiali. Il diametro dei parabronchi varia da 1,5 a 2 mm.

Ciascun parabronco possiede moltissime aperture, con un diametro di 100-200 µm, che a loro volta conducono a invaginazioni più piccole a forma di imbuto. Da dette invaginazioni origina la rete dei capillari aeriferi (10 µm) in stretto contatto con una ricca rete di capillari sanguigni.

Figura 2.7 - Schema dell'apparato respiratorio di gallina (da Boiti, Zootecnica Int. 1995 modificato).

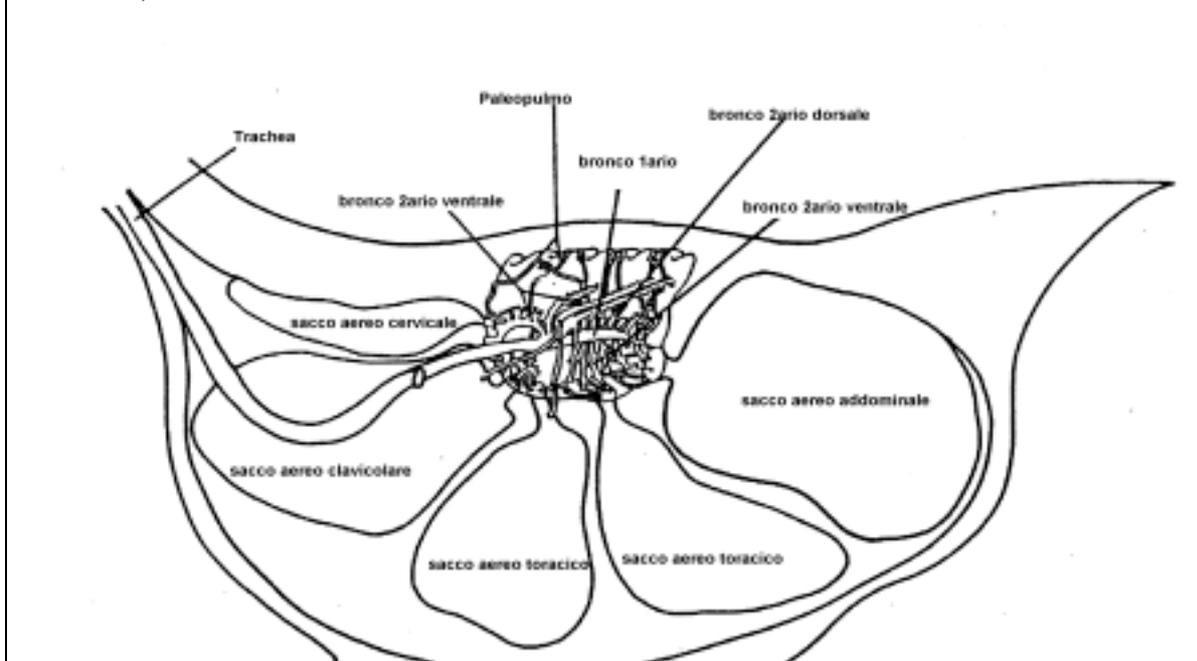
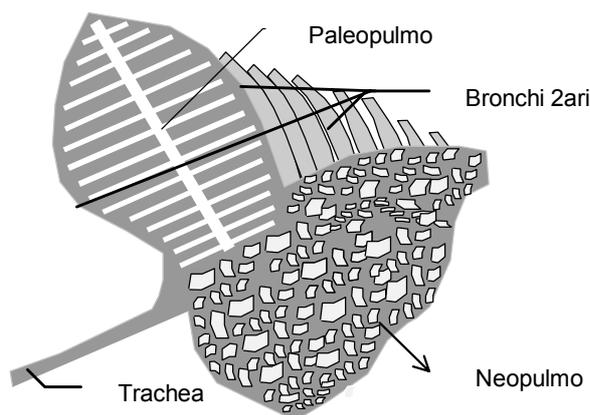


Figura 2.8 - Schema dell'organizzazione dei parabronchi neo e paleopolmonari.



Il tessuto polmonare degli uccelli è ricco di fibre muscolari lisce che possono ridurre notevolmente le dimensioni del lume dei bronchi quando attivate dall'acetilcolina o stimolato dai nervi efferenti vagali.

I **polmoni** degli uccelli sono relativamente piccoli e dotati di scarsa elasticità per le aderenze che stabiliscono con la gabbia toracica. Mancando un vero e proprio diaframma, la loro faccia ventrale, ricoperta da un'esile membrana, è in connessione con i visceri toracici e addominali

SACCHI AEREI

I bronchi, primari e secondari, proseguono nei sacchi aerei, diretta continuazione della mucosa che li riveste internamente.

Sono presenti:

- 1 **sacco clavicolare**, che invia prolungamenti nell'omero, nel cinto scapolare e nello sterno;
- 1 **sacco cervicale**, a volte sdoppiato nell'adulto, che si prolunga nelle vertebre cervicali e toraciche e nelle coste;
- 2 **grandi sacchi addominali**, diretta continuazione dei mesobronchi, interposti tra gli organi e le pareti addominali, spingendosi fino alle ossa del sacro, del bacino e del femore;
- 2 **sacchi toracici-craniali e 2 toracici-caudali** che non penetrano nello scheletro.

Da un punto di vista funzionale è possibile semplificare ulteriormente la distribuzione dei sacchi aerei in due categorie: i sacchi aerei **craniali** che comprendono il clavicolare, il cervicale ed i toracici-craniali, e quelli **caudali** che comprendono i toracici-caudali e gli addominali.

I sacchi aerei contribuiscono all'isolamento termico, alla regolazione della temperatura nonché ad una maggior stabilità della posizione di equilibrio. Inoltre, la presenza di aria all'interno delle ossa conferisce allo scheletro una notevole leggerezza e galleggiabilità.

La principale funzione dei sacchi aerei è comunque legata alla respirazione. Il volume complessivo dei sacchi aerei, è molto maggiore rispetto a quello del polmone stesso, rappresentando circa l'80% del volume respiratorio totale (vedi Tabella 2.1). I sacchi aerei, grazie all'azione dei muscoli respiratori toracici ed addominali, agiscono come mantici assicurando ulteriore ventilazione ai polmoni.

Tabella 2.1 - Volume respiratorio di un pollo di 2,9 kg (King, 1966).

Spazio aereo	Volume (ml)	% Vol. Resp. Totale
Cervicale (n. =2)	20	6.80
Clavicolare	55	18.71
Toracico craniale (n.= 2)	50	17.01
Toracico caudale (n. =2)	24	8.16
Addominale (n. =2)	110	37.41
Polmoni (n. =2)	35	11.90
Volume respiratorio	294	-

I sacchi aerei, inoltre, fungono da serbatoi interni di aria "fresca" e "stantia" dove per "fresca" intendiamo un'aria relativamente ricca di O₂ e povera di CO₂ e per "stantia" l'aria a fine espirazione (vedi Tabella 2.2).

I sacchi aerei non esercitano alcun ruolo negli scambi gassosi, infatti, il sottile epitelio risulta scarsamente vascolarizzato. Sono invece ben presenti terminazioni nervose che controllano la loro distensione e, probabilmente, anche la pressione parziale di CO₂.

DINAMICA DEL FLUSSO GASSOSO

Sia nell'inspirazione che nell'espiazione, il gas si muove attraverso il polmone unidirezionalmente dalla parte posteriore verso l'anteriore.

Il processo di respirazione può essere schematicamente rappresentato come segue (Figura 2.9):

INSPIRAZIONE

- il flusso di aria ricco di ossigeno, raggiunti i bronchi II^{ari} confluisce nei sacchi aerei caudali;
- il gas già contenuto nei bronchi II^{ari} si muove attraverso il paleopolmo, scambia ossigeno, e si dispone nei sacchi aerei craniali.

ESPIRAZIONE

- il gas si muove dai sacchi aerei caudali di nuovo attraverso il neopolmo nei bronchi II^{ari} e da questi nel paleopolmo;
- contemporaneamente il gas, più povero di O₂, abbandona i sacchi aerei craniali e, attraverso i bronchi 2^{ari}, entra nel mesobronco e viene espulso attraverso la trachea.

In sintesi osservando il movimento di un singolo bolo di gas inalato attraverso il sistema respiratorio si nota come siano necessari due cicli respiratori per la sua completa eliminazione consentendo una maggiore possibilità di diffusione dell'O₂ (Figura 2.10).

MECCANICA RESPIRATORIA

Le forze necessarie al movimento convettivo dei gas nel polmone derivano dall'azione dei muscoli respiratori, che determinano variazioni di volume e di pressione nella cavità toraco-addominale durante ciascun atto respiratorio.

La parete toraco-addominale, subisce dei movimenti in grado di modificare il volume dei sacchi aerei. I muscoli respiratori devono vincere l'impedenza al movimento della parete toraco-

2.7 APPARATO CIRCOLATORIO

La circolazione sanguigna degli uccelli, analogamente a quella dei mammiferi, è doppia e completa. L'apparato circolatorio è costituito da un organo propulsore, il **cuore**, al quale fanno capo le **vene** e dal quale si dipartono le **arterie**, e da una fittissima rete di capillari che collega il sistema venoso e quello arterioso.

Caratteristici sono i globuli rossi (da 2,5 a 3,5 $10^6/\text{mm}^3$) che, a differenza di quelli dei mammiferi, sono provvisti di nucleo, sono ellittici anziché tondeggianti, sono biconvessi anziché biconcavi. Il loro numero varia sia in rapporto alle specie che al sesso. Il sangue rappresenta circa il 7% del peso di una gallina.

Il battito cardiaco di una Livorno è di circa 350/minuto, razze più pesanti presentano valori più bassi (250/min). La manipolazione di un pulcino di un giorno può aumentare il battito cardiaco da 300 fino a 560/min.

La pressione sistolica e quella diastolica in galline adulte è di circa 190 e 150 mm Hg; nel tacchino la stessa raggiunge 300 e 220 determinando, nelle razze pesanti, una predisposizione genetica alla rottura dell'aorta.

2.8 APPARATO URINARIO

Essendo gli uccelli sprovvisti di ghiandole sudorifere, l'escrezione avviene esclusivamente tramite i **reni**, che sono addossati alla cavità addominale e si compongono di 3 lobi.

L'unità renale è rappresentata dal **nefrone**, che ha origine a livello di un glomerulo arterioso.

Mentre nei mammiferi il costituente principale dell'urina è l'urea, negli uccelli è l'**acido urico** che viene sintetizzato nel fegato e giunge al rene col sangue e determina il caratteristico colore bianco degli urati. L'urina viene escreta attraverso gli ureteri, raggiunge l'**urodeo** (gli uccelli non hanno una vescica) e risale nel **coprodeo** ove si verifica un riassorbimento di acqua e la precipitazione degli urati. Il tutto si mescola alle feci, provenienti dal retto, e viene espulso all'esterno.

Un pollo adulto produce circa 120 ml di urina/d. L'urina contiene circa 440 mg/100 ml di prodotti azotati di cui l'85% è rappresentato da acidi urici ed il resto da ammoniaca (6,8%), urea (5,3%), creatinina (0,5%) e aminoacidi (1,7%).

Il fatto che negli uccelli il prodotto terminale del catabolismo azotato sia l'acido urico è stata messa in relazione alla necessità di risparmiare acqua durante lo sviluppo embrionale. Gli urati infatti, praticamente insolubili, consentirebbero il deposito delle scorie azotate in cavità allantoidea e la possibilità di riutilizzare l'acqua delle urine in quantità molto maggiore.