G. Sini, Settembre 2019

Art. n° A 24 – **Dai PESCI all'UOMO**

(Evoluzione, Classificazione ed Anatomia Comparata dei Vertebrati)

La COLONNA VERTEBRALE

Tutte le specie animali conosciute vengono suddivise in due grandi gruppi: Vertebrati (Ciclostomi, Pesci, Anfibi, Rettili, Uccelli, Mammiferi) ed Invertebrati (Spugne, Coralli, Crostacei, Molluschi, ecc.). Per ora limitiamoci a definire i primi come gli animali forniti di colonna vertebrale, e gli Invertebrati come quelli che ne sono privi.

Nella gran parte dei Vertebrati la colonna vertebrale è facilmente identificabile come una serie di ossi (vertebre) che percorre tutto il dorso dell'animale. Essendo le vertebre impilate l'una sull'altra, si forma una vera e propria "colonna"; la colonna vertebrale è molto flessibile, visto che le vertebre sono in massima parte articolate l'una sull'altra, e su di essa si articolano direttamente o indirettamente altre parti dello scheletro: - il cranio - il "cinto scapolare" (alcuni ossi su cui si articolano le zampe anteriori) - la "gabbia toracica" (costole e sterno) - il "cinto pelvico" (altro gruppo di ossi su cui si articolano le zampe posteriori).

Nell'uomo, come in molti Vertebrati, passando la mano sul dorso è facile avvertire una fila di protuberanze ossee (per questo la colonna vertebrale è detta anche"spina dorsale"): si tratta di una serie di sporgenze ("apofisi spinose"), una per ogni vertebra.

Ma non sempre la colonna vertebrale è così evidente. Cominciamo col dividere i Vertebrati in Tetràpodi[1] ed Àpodi. I Tetrapodi sono quelli provvisti di quattro zampe (Anfibi, Rettili, Uccelli, Mammiferi); gli Apodi sono quelli privi di zampe (Pesci in genere). Nei Tetrapodi, la colonna vertebrale porta il peso del corpo (tutti i visceri sono contenuti in sacchi muscolari e cutanei collegati alla colonna vertebrale) e lo scarica sulle zampe. Di conseguenza, essa deve essere collegata alle zampe e reggere gli sforzi dei vari movimenti della marcia, del salto, ecc.

Negli Apodi invece non esistono zampe ed il movimento (nuoto) è affidato alle flessioni del corpo e della coda; la colonna vertebrale serve solo da asse centrale del corpo, da punto d'inserzione per i muscoli e da supporto per la coda; il peso del corpo è controbilanciato dalla "spinta di Archimede" – che nasce dal fatto che l'animale si trova in acqua – ma non è scaricato né sulla colonna, né sulle zampe, che non esistono per gli Apodi.

Vedremo come l'evoluzione di alcuni pesci primitivi verso animali terrestri tetrapodi abbia richiesto un completo riassetto dello scheletro, proprio in vista di questa diversa funzione della colonna vertebrale. Ma è anche ovvio come in un pesce la colonna vertebrale si trovi più o meno al centro delle masse muscolari e del corpo, per cui essa non affiora mai sotto la pelle, se non dove la coda si assottiglia molto.

Ma ora cerchiamo di capire se la distinzione Vertebrati - Invertebrati è così netta come sembra.

Vedremo che i vari gruppi di Vertebrati non sono comparsi tutti sulla terra nello stesso momento; anzi, da qualche gruppo molto antico, attraverso trasformazioni successive e col passare del tempo, si sono originati tutti i gruppi di Vertebrati viventi e molti gruppi "fossili", cioè formati esclusivamente da specie estinte. Ebbene, esaminando all'indietro le varie forme[2] di Vertebrati di origine sempre più antica, estinti o viventi tuttora, si trovano animali con

---

[1] Dal greco "*tetras*" = quattro, e "*pous*" = piede. Dal gruppo dei tetrapodi non si escludono gli uccelli, anche se i loro arti anteriori sono trasformati in ali. Il termine "quadrupedi" è sinonimo di tetrapodi, ma è meglio limitarlo ad indicare i Mammiferi.

[2] Usiamo il termine "forma animale" per indicare in generale una specie, o un gruppo di specie simili, o una famiglia, un ordine, ecc.

colonna vertebrale sempre meno sviluppata o addirittura assente: si incontrano allora i progenitori dei Vertebrati, non ancora dotati di vertebre. Il confine non è netto.

Se si studiano gli Invertebrati, le cose vanno anche peggio: a parte alcuni gruppi privi di colonna vertebrale ma dotati di un organo precursore di essa, cioè di **corda dorsale** (Ascidie, Salpe, Dolìoli, ecc., detti globalmente Tunicati o Urocordati, e Leptocardi, detti Cefalocordati), negli Invertebrati sono stati raggruppati animali diversissimi come struttura e come origine; sarebbero insomma Invertebrati tutti gli altri animali che non siano Vertebrati: da quelli unicellulari (Amebe Flagellati, Foraminiferi, ecc.), alle spugne, alle meduse, polipi, coralli, ricci e stelle di mare, molluschi, crostacei, insetti, ragni, ed infiniti altri.

In altre parole, a partire dalle origini della vita, che sono sconosciute, sono comparsi sulla terra in tempi successivi numerosissimi gruppi animali, tutti diversi, spesso marini, spesso di piccole dimensioni e quindi poco conosciuti, in buona parte ormai estinti; i legami di parentela fra di loro sono a volte ignoti, e spesso assai remoti. In breve, i gruppi animali sono numerosi e molto diversi fra loro; la maggior parte di essi ricade fra gli Invertebrati, ma allora la sola cosa che li accomuna è la mancanza di colonna vertebrale; quel gruppo è dunque artificiale ed eterogeneo.

Diciamo che la distinzione Vertebrati - Invertebrati è comoda nel linguaggio corrente, ma solo il gruppo dei Vertebrati ha un'origine probabilmente unica e caratteristiche omogenee; gli Invertebrati sono un'accozzaglia di animali diversissimi, con scarsissimi caratteri in comune e di origine assai diversa. Del resto, si pensi che le specie di Vertebrati viventi conosciute sono circa 60.000, mentre quelle degli Invertebrati sono almeno 2 milioni, in massima parte Insetti.

Nelle pagine che seguono sono state inserite due tabelle. La prima riporta la successione delle ere e dei periodi in cui è normalmente suddivisa la storia della terra; per ogni periodo è indicato il tempo di inizio, espresso in milioni di anni fa (m.a.f.). I periodi più antichi sono in basso (come avviene nella successione dei terreni sedimentari). A destra sono accennati gli eventi più importanti. Questa tabella chiarirà i riferimenti, che faremo nel testo seguente, al momento di comparsa o estinzione dei vari gruppi.

Nella seconda tabella è indicata la successione dei gruppi principali di Vertebrati che si sono formati nel corso dell'evoluzione. L'asse dei tempi è stavolta orizzontale (ancora indicati i tempi di inizio dei vari periodi, in m.a.f.).

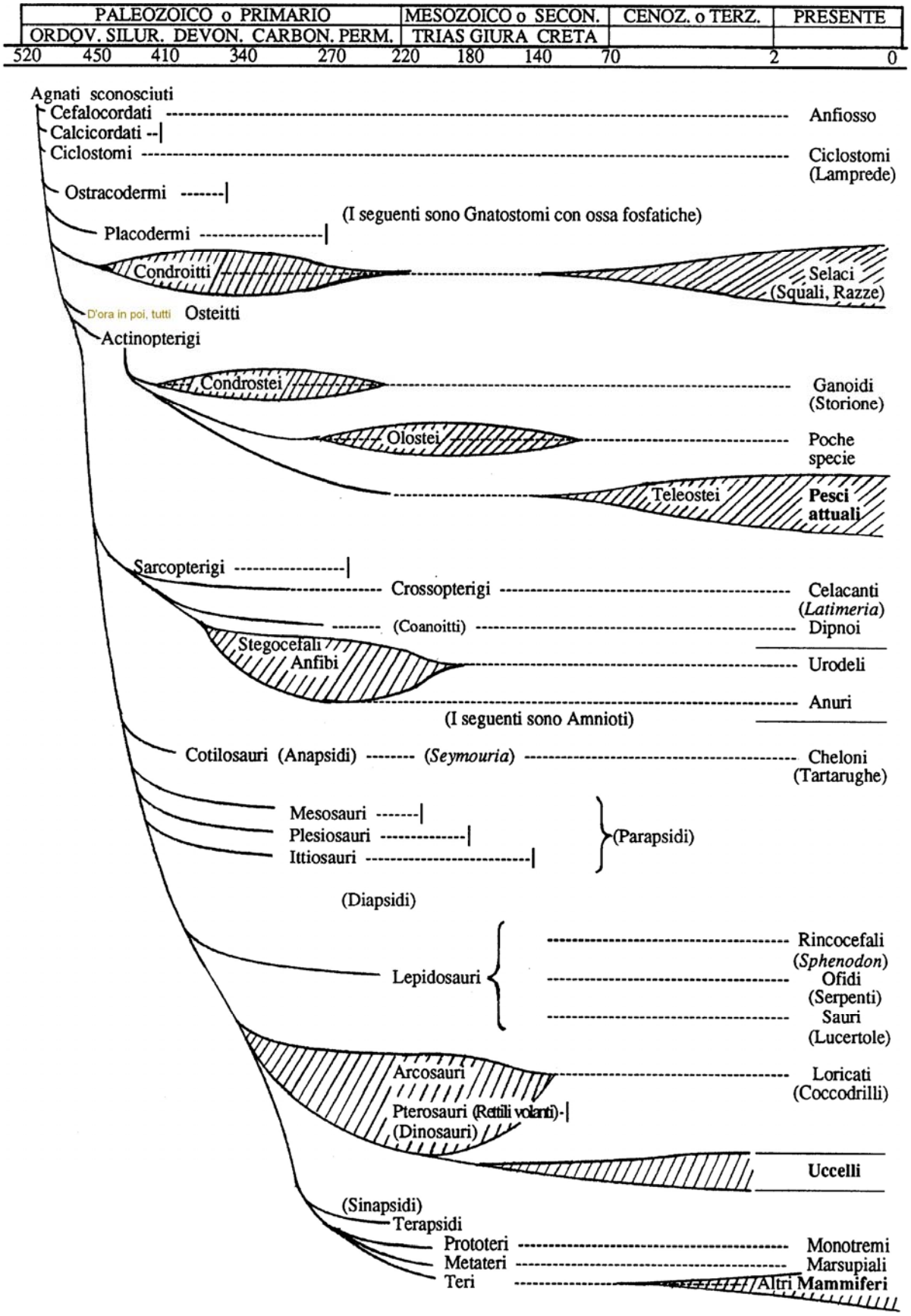
TAB. I – **Le ERE GEOLOGICHE ovvero la STORIA della TERRA e della VITA**[1]

ERA	maf	PERIODO	EVENTI	
	0,1	OLOCENE		
NEOZOICA o **QUATERNARIA**[2]	2	PLEISTOCENE	(Tirreniano 1 e 2 - Milazziano - Siciliano - Calabriano) Comparsa dell'uomo; glaciazioni (Würm, Riss, Mindel, Günz; Donau); regime pluviale nelle zone equatoriali.	
	24	NEOGENE La temperatura diminuisce	PLIOCENE MIOCENE	(Astiano, Piacenziano) Grande sviluppo dei mammiferi.
CENOZOICA o **TERZIARIA**	70	PALEOGENE Clima temperato-caldo	OLIGOCENE EOCENE PALEOCENE	Orogenesi alpina in pieno corso.
	140	CRETACICO (Super. - Infer.)	Inizio esplosivo delle Angiosperme - Urodeli, Uccelli. Inizio dell'orogenesi alpina.	
MESOZOICA o **SECONDARIA**	180	GIURASSICO	Teleostei - Anuri. Sviluppo delle Cicadofite ed (Malm, Dogger, Lias) Araucarie; regresso delle Felci. Primi Uccelli. Lepidotteri. Grande sviluppo dei rettili, Ammoniti e Belemniti. Calma orogenetica. Subsidenza. Clima caldo-secco.	
	220	TRIASSICO (Super., Medio, Infer.)	Primi Anfibi moderni; primi Mammiferi primitivi. Cicadali. Ditteri.	
	270	PERMIANO	Selaci. Rettili Teromorfi. Cheloni. Clima freddo-umido. Attività vulcanica. Scomparsa delle Trilobiti. Riduzione degli Anfibi. Riduzione delle felci; incremento delle Conifere. Coleotteri.	
	340	CARBONIFERO	Filicine - Licopodine – Equisetine, Gimnosperme. Molti insetti; Dipnoi ed altri pesci; Anfibi Stegocefali; vari rettili (primi Teromorfi). Orogenesi Ercinica (Appalachiani, Europa); glaciazioni; attività vulcanica.	
PALEOZOICA o **PRIMARIA**	410	DEVONIANO	Placodermi; scomparsa delle Graptoliti. Regresso dei Nautiloidi. Licopodi, Equiseti (*Calamites*); compaiono le Crittogame vascolari. Clima caldo. Primi Anfibi.	
	450	SILURIANO	Prime piante terrestri (Psilofite). Insetti apterigoti (primitivi, senz'ali) ed altri Artropodi terrestri.	
	520	ORDOVICIANO	Ostracodermi; declinano i Trilobiti. Clima più caldo. Orogenesi Caledoniana (Inghilterra, Scandinavia Appalachiani). Primi Insetti ?	
	600 ?	CAMBRIANO	Sono già presenti tutti i Phylum animali principali (tranne i Vertebrati) e sono noti a sufficienza i relativi fossili. Feoficee, Cloroficee, Sifonali (?). Clima uniforme moderato. Mancano le piante terrestri.	
	2˙600?	ALGONCHIANO	Prima d'ora, scarsissimi fossili: Cianoficee ? Solo rocce metamorfiche ed eruttive (le sedimentarie sono state metamorfosate nel frattempo). Orogenesi: Ebridi, Carelidi, Lofadi.	
ARCHEOZOICA o **PRIMITIVA**	4˙500 ?	ARCHEANO?????	Non essendo ancora sviluppate le piante, l'atmosfera era probabilmente più ricca di anidride carbonica e più povera di ossigeno che non quella attuale.	

[1] I numeri indicati rappresentano l'inizio di ogni era o periodo, espresso in milioni di anni fa (m.a.f.).

[2] Il Quaternario è spesso considerato come l'ultima parte del Terziario, e si potrebbe quindi ignorare.

TAB. II - FILOGENESI dei VERTEBRATI



NB: i trattini verticali (|) indicano la data d'estinzione di un dato gruppo animale.
Sulla colonna di destra, i gruppi tuttora esistenti.

Sempre nella Tab. II, la colonna a destra indica i gruppi viventi al tempo presente, cioè alla fine dell'era Quaternaria; si noterà che molti gruppi si sono estinti tra la metà del Paleozoico e la fine del Mesozoico. Si noti anche che i gruppi viventi, dai Cefalocordati fino ai Dipnoi (dall'alto in basso della colonna di destra), sono oggi raggruppati in un'unica Classe (Pesci) pur avendo struttura ed origine molto eterogenea. I due gruppi seguenti appartengono agli Anfibi viventi (Urodeli ed Anuri) e sono anch'essi assai differenti fra loro; la maggior parte degli Anfibi primitivi si sono estinti all'inizio del Mesozoico. Seguono, sempre nella colonna di destra, sempre procedendo dall'alto al basso, i gruppi di Rettili – anche qui, i gruppi viventi sono in minoranza rispetto a quelli estinti, e non hanno un'unica origine: Cheloni, Rincocefali, Ofidi, Sauri, Loricati.

I soli gruppi viventi di origine relativamente recente ed ancora in fase di espansione sono i pesci ossei (Teleòstei), gli Uccelli ed i Mammiferi, che sono gli attuali padroni delle acque, dell'aria e della terraferma.

Le ORIGINI e l'EVOLUZIONE dei VERTEBRATI

Il problema dei fossili

Nel ricostruire l'evoluzione e la discendenza (la **filogenesi**) dei Vertebrati, come di qualunque altro gruppo di esseri viventi, occorre studiare tutte le forme attuali ("viventi"), la loro struttura e le loro affinità, ma soprattutto le forme estinte, il momento della loro comparsa e scomparsa, le loro somiglianze.

Le forme estinte si studiano attraverso i fossili, cioè attraverso tutti i segni che esse hanno lasciato della loro attività e del loro corpo: impronte, uova, escrementi, gusci, conchiglie, ossa, denti, ecc. In teoria, tutte le parti di un animale potrebbero diventare fossili; in realtà, le parti molli si decompongono facilmente e la gran parte dei fossili è costituita da strutture mineralizzate (conchiglie, scheletri, denti, ecc.). Ma neppure le parti mineralizzate fossilizzano sempre: occorre che l'animale morto venga protetto dall'atmosfera (dall'ossidazione), dai carnivori, dai microrganismi putrifici, ecc. Questa protezione non si può trovare in un terreno umido, ricco di vegetazione, foglie morte, ecc. ma occorre che l'animale sia rapidamente sepolto da sabbie, argille o fanghi – tutti ambienti poveri di ossigeno. Questo può avvenire quasi solamente sott'acqua, dove i fiumi portano i detriti, o in occasione di alluvioni, quindi in casi rari.

Per tutte queste ragioni, gli esseri viventi che lasciano fossili sono più un'eccezione che la regola. Di molti gruppi non si conoscono fossili, oppure essi sono molto incompleti. Per giunta, nello studio dell'evoluzione, s'incontrano spesso gruppi viventi che, per tempi molto lunghi, non "variano" sensibilmente le loro caratteristiche, ed inoltre occupano aree molto estese; di conseguenza possono lasciare fossili numerosi. Ma le più interessanti sono le forme di transizione, gli "anelli intermedi", che in breve tempo variano profondamente; queste popolazioni a rapida evoluzione sono in genere costituite da piccoli gruppi di individui che si allontanano dalla loro popolazione di origine e rimangono isolate[1]. Il risultato è che le "forme intermedie", le più interessanti dal punto di vista dell'evoluzione, sono costituite da pochi individui che variano in tempi brevi. La loro probabilità di lasciare fossili è quindi ancora più bassa.

Per inciso, questa alternanza di periodi di stabilità e di rapida evoluzione è stata indicata dai paleontologi Niles Eldridge e Stephen Jay Gould col termine "equilibri punteggiati".

Coloro che studiano i fossili (i Paleontòlogi) sono quindi in possesso di elementi assai frammentari; molti passaggi evolutivi non sono documentati da fossili sufficienti e spesso si deve procedere per ipotesi. Questo spiega le incertezze e le contraddizioni nelle conclusioni di differenti studiosi; molti punti sono ancora controversi, ed anche il quadro che tracceremo per i Vertebrati è suscettibile di correzioni.

---

[1] Sono questi i "gruppi periferici isolati" di E. W. Mayr, che occupano sempre aree ristrette.

I precursori

Da quali forme siano originati i Vertebrati, è in sostanza ignoto. Si trattava certamente di forme piccole, forse senza scheletro, e quindi difficilmente fossilizzabili.

Si può fare una supposizione. Ricordiamo la "legge biogenetica fondamentale" (E. H. Haeckel) la quale afferma sinteticamente che "l'ontogenesi riassume la filogenesi"; in termini più chiari, ogni animale, durante il suo sviluppo dall'uovo all'adulto (**ontogenesi**) ripercorre la stessa successione di strutture ed organi che si trova nei suoi antenati, cioè nella sua genealogia (**filogenesi**). Per es., in tutti i Vertebrati (uomo compreso) all'inizio dello sviluppo si formano delle "fessure branchiali", cioè delle strutture che servono alla respirazione in acqua per i Pesci. Le fessure branchiali si conservano per tutta la vita nei pesci, ma scompaiono in fretta durante lo sviluppo di tutti gli altri Vertebrati. La presenza di questi organi all'inizio dello sviluppo di tutti gli animali terrestri (che non respirano per branchie!) starebbe a dimostrare che gli antenati dei Vertebrati terrestri possedevano branchie, come i pesci.

Allo stesso modo, si riscontra all'inizio dello sviluppo di tutti i Vertebrati la presenza della **corda dorsale**, già citata. Si tratta di un lungo cordone di tessuto semi-solido che percorre la schiena dell'animale per tutta la sua lunghezza e fa da ossatura a tutto l'organismo. Esso viene rapidamente riassorbito durante lo sviluppo e sostituito dalla colonna vertebrale. La sua presenza negli embrioni dei Vertebrati (e negli adulti della maggioranza dei Pesci) potrebbe voler dire che gli antenati dei Vertebrati possedevano una corda dorsale, e forse solo quella.

Ecco che fra gli animali marini troviamo alcune specie (Cefalocordati), di cui una molto nota è l'Anfiosso, che una volta era comune anche nel Mediterraneo col nome di "zumpariello" o "lancetta" – è una specie di pesciolino assai primitivo, di una decina di centimetri di lunghezza – senza scheletro, tutte specie dotate per tutta la vita di corda dorsale. Possiamo pensare che i Cefalocordati siano simili a qualche antenato "cordato" dei Vertebrati. Ma non se ne sa molto poiché le piccole dimensioni e l'assenza di parti mineralizzate non consentono a questi animali di lasciare fossili.

Esiste anche un gruppo di specie (**Calcicordati**), tutte estinte, i cui fossili si trovano nei terreni del periodo Ordoviciano (intorno a 500 m.a.f.). Questi animali hanno lasciato come fossili delle piastre di carbonato di calcio che facevano parte di una specie di corazza di protezione. Si trattava di animali "limivori" (mangiatori di fango, nel senso che sfruttavano il materiale organico presente sul fondo del mare assieme alla sabbia ed al fango). Oltre alla corazza di piastre, non sembra possedessero un vero scheletro, ma probabilmente una corda dorsale. Vedi la fig. 1.

I primi Vertebrati sicuri potrebbero essere i **Ciclostomi**, specie di anguille dallo scheletro cartilagineo, che hanno qualche rappresentante ancora vivente (missine, lamprede, Petromizonti) che si comporta da parassita, succhiando il sangue di altri pesci o divorando animali morti. La loro bocca è rotonda e non si può chiudere (da cui il loro nome, che significa "bocca a cerchio"). I Ciclostomi possono considerarsi i più primitivi Vertebrati viventi.

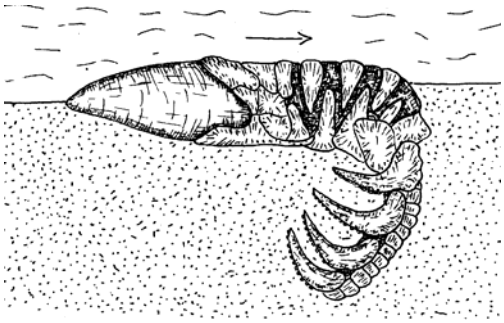


Fig. 1 - Un Calcicordato (ricostruzione). I pezzi calcarei appuntiti servivano a strisciare sul fango.

Da: G. MINELLI, "Dai Pesci agli albori dell'umanità", Jaka Book, Milano, 1984. Pag. 23.

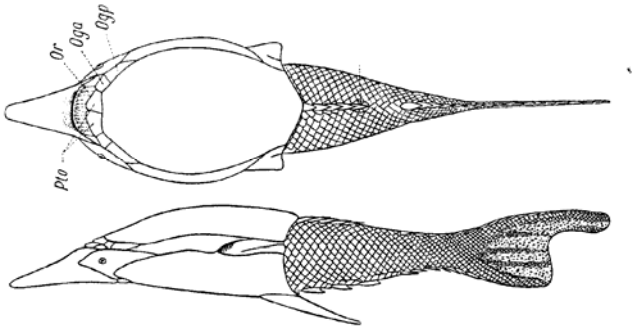


Fig. 2 - Ricostruzione di un Ostracoderma. Il capo ed una parte del tronco sono racchiusi in una corazza ossea (esoscheletro).

Da: J.P. LEHMAN, "L'évolution des Vertébrés Inférieurs", Monographies Dunod, 1959. Pag. 42.

Anche gli **Ostracodermi** sono delle specie di Pesci primitivi, protetti da una corazza di piastre carbonatiche come i Calcicordati (fig. 2); anche gli Ostracodermi sono tutti fossili; vissero dall'Ordoviciano al Devoniano (500 - 340 m.a.f., vedi le Tab. I e II); hanno uno scheletro, ma anch'essi non possono considerarsi veri pesci poiché, come tutti i gruppi nominati finora, hanno una bocca "fissa", rotonda, che non può chiudersi per afferrare o masticare. Cefalocordati, Calcicordati ed Ostracodermi sono infatti chiamati **Agnati** perché privi di mascella e mandibola[1].

Tutti questi antenati o Vertebrati primitivi non potevano quindi afferrare o masticare prede, ma solo filtrare l'acqua per recuperare microrganismi o detriti organici. La stranezza è che, in quell'epoca, esistevano molti Artropodi[2] marini, soprattutto Crostacei, dotati di esoscheletro mineralizzato e quindi rigido, di grandi dimensioni - fino a qualche metro - delle specie di enormi gamberi dotati di un apparato boccale perfezionato, e quindi capaci di azzannare e tritare anche grosse prede. Questi Crostacei (Gigantòstraci) hanno probabilmente favorito l'evoluzione nelle loro prede (Calcicordati, Ostracodermi, ecc.) delle piastre rigide di carbonato, sopra citate, come unica difesa.

L'acquisizione di una bocca mobile, con mascella e mandibola, avviene quindi nei Vertebrati assai tardi rispetto ai Crostacei, e questo spiega perché i Vertebrati veri e propri siano comparsi tardi rispetto agli altri gruppi: hanno dovuto prima acquisire una corazza per difendersi dai predatori ed una bocca mobile per afferrare le prede.

La mascella e la mandibola si sono sviluppate per trasformazione del terzo arco branchiale, una delle lamine scheletriche che si trovano dietro il capo nei Pesci e sostengono le branchie. Tutti i Vertebrati dotati di bocca mobile, cioè di mandibola, sono chiamati genericamente **Gnatostomi** (dal geco *gnathos* = mascella e *stoma* = bocca).

I VERI VERTEBRATI

I primi Gnatostomi ben conosciuti sono probabilmente i **Placodermi** che, invece di filtrare il fango come gli Ostracodermi, potevano catturare prede. Anche i Placodermi possedevano una corazza di piastre rigide, ma anche uno scheletro interno: una novità; invece delle semplici piastre ricche di carbonato di calcio, possedevano delle vere ossa, cioè organi formati da un tessuto vivente (tessuto osseo) irrigidito da vari sali, in particolare fosfato di calcio, meno fragile del carbonato (fig. 3).

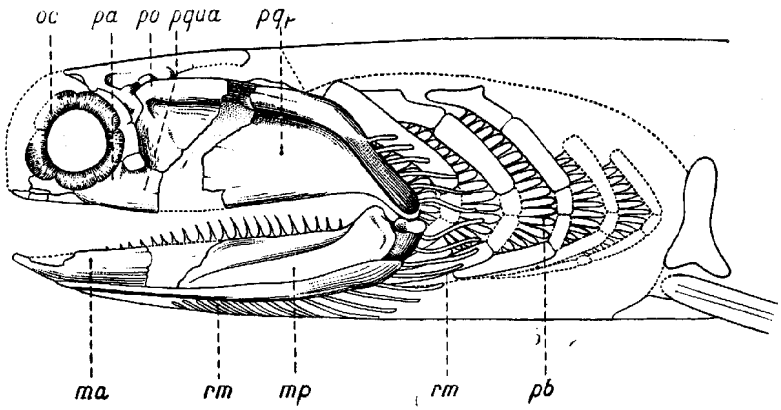


Fig. 3 - Ricostruzione dello scheletro interno del capo di un Placoderma. Sono visibili la mandibola (ma), gli archi branchiali (pb) e le ossa attorno all'occhio (oc).
Da: J.P. LEHMAN, "L'évolution des Vertébrés Inférieurs", Monographies Dunod, 1959. Pag. 58.

---

1 Dal greco " *a* " = privazione, e "*gnatos*" = mascella.

2 Gli artropodi sono Invertebrati forniti di uno scheletro esterno (esoscheletro) che fa da corazza o da guscio per tutto il corpo. Per consentire la motilità, l'esoscheletro è formato da pezzi tubolari articolati fra loro (da cui il loro nome, che significa "piedi articolati"). I gruppi principali di Artropodi sono: - Crostacei (granchi, gamberi) - Insetti - Miriapodi (millepiedi, centopiedi) - Aracnidi (ragni, acari, opìlii, scorpioni).

I Placodermi sono così i primi Vertebrati con bocca e scheletro osseo e si può parlare perciò di veri Pesci. I Placodermi hanno sostituito gli Ostracodermi e si sono sviluppati fra il Siluriano ed il Carbonifero (420 - 300 m.a.f.); non hanno lasciato discendenti.

••• I gruppi finora esaminati, come quelli che seguono, non vanno considerati come fasi successive dell'evoluzione. Intendiamo dire questo: i Placodermi non derivano dagli Ostracodermi, questi non derivano dai Calcicordati, ecc. I gruppi citati sono solo rami collaterali di un filone che potrebbe essere unico; i vari gruppi rappresentano strade secondarie a fondo cieco: evolvono per conto loro, possono estinguersi o conservarsi fino ai giorni nostri, ma evolvono in una direzione definita senza ritorno. Per es., dai Ciclostomi primitivi sono derivate forme moderne come la lampreda, certamente diverse dai progenitori, ma essenzialmente Ciclostomi, senza mascella né mandibola, senza scheletro osseo, ecc. E questa linea non può produrre pesci più "moderni", come quelli che vedremo fra poco, né altri Vertebrati. La Tab. II mette in evidenza questo andamento "a rami laterali". Si tratta sempre di ipotesi; come si è detto, la documentazione fossile è sempre scarsa, soprattutto per le "forme di passaggio", a rapida evoluzione. Ma certamente una forma ben assestata, ben adattata ad un certo ambiente, come un Ostracoderma o un Ciclostoma, non può "tornare indietro" ed imboccare un'altra via evolutiva per diventare, ad esempio, un pescecane. •••

Più o meno nello stesso periodo dei Placodermi, si affermano due grandi gruppi di veri pesci che portano con sé le recenti innovazioni evolutive (perdita delle piastre rigide esterne, bocca mobile, scheletro interno con colonna vertebrale, ecc.). Parliamo di pesci a scheletro cartilagineo (**Condroìtti**) ed a scheletro osseo (**Osteìtti**). Gli Osteitti erano dunque gnatostomi più evoluti dei Condroitti: a parte la presenza di tessuto osseo, possedevano la vescica natatoria, branchie protette da un "opercolo", coda a lobi uguali (omocerca), ecc.

I Condroitti ebbero un grande sviluppo fra il Devoniano ed il Permiano, poi si ridussero nell'era Mesozoica a causa della concorrenza degli Ittiosauri e di altri rettili marini estinti, infine ripresero un moderato sviluppo dal Cenozoico ad oggi. I moderni **Sèlaci** (squali, razze, ecc.) sono i diretti discendenti dei Condroitti del Paleozoico, rimasti abbastanza immutati per almeno 200 milioni di anni; essi non sono evoluti in altre direzioni, non hanno dato origine ad altri gruppi, ed il loro scheletro è rimasto cartilagineo.

Gli Osteitti invece si sono frazionati in molti altri gruppi (vedi sempre la Tab. II); i due principali sono gli **Actinopterigi**, in prevalenza marini, ed i **Sarcopterigi** in prevalenza d'acqua dolce, solo in seguito entrati nell'ambiente terrestre.

Dagli Actinopterìgi si sono sviluppati tre importanti gruppi di Pesci:

◊◊ **Condròstei**, numerosi nella seconda metà del Paleozoico, con scheletro ancora solo in parte osseo, oggi ridotti a poche specie, come lo storione.

◊◊ **Olòstei**, molto diffusi durante l'era Mesozoica, con scheletro completamente osseo, anch'essi ridotti oggi a poche specie viventi nei laghi americani.

◊◊ **Teleòstei**; questi sono diventati i veri pesci moderni, i più evoluti, i più specializzati, i più numerosi. Citare qualche specie, come il tonno o la trota, non ha molto senso poiché le specie sono troppo numerose. Bisogna sottolineare il fatto che i Teleostei sono un gruppo molto specializzato ed omogeneo, la cui origine inoltre è assai recente: il suo sviluppo è iniziato alla fine del Mesozoico, quando era cessata la concorrenza degli Olostei e dei rettili marini. Si tratta del gruppo più giovane dei Vertebrati; infatti, i Rettili, gli Uccelli ed i Mammiferi erano comparsi prima, nel corso del Mesozoico o addirittura (Anfibi e Rettili) alla fine del Paleozoico.

Il caso dei Sarcopterìgi è invece assai più complesso poiché furono essi ad invadere la terraferma.

••• L'adattamento dall'ambiente acquatico a quello terrestre ha richiesto lo sviluppo di alcuni organi nuovi, assenti nei Pesci esclusivamente acquatici:

◊◊ qualche organo capace di respirare aria (sacchi polmonari, polmoni, o altro) in luogo delle branchie, che sono adatte a respirare in acqua;

◊◊ un canale che colleghi le narici[1] con i polmoni (**coàne**) in modo da separare le vie respiratorie dal tubo digerente e rendere possibile la respirazione contemporaneamente alla masticazione ed alla deglutizione;

◊◊ la presenza di organi di locomozione "pari", cioè uno per lato, come le zampe. Molti pesci possiedono in prevalenza pinne "ìmpari", cioè poste una dietro l'altra lungo la linea mediana del corpo, e queste bastano per nuotare; nei Sarcopterigi invece compaiono pinne pari che possono aiutare il pesce a strisciare sulla riva senza rovesciarsi e col tempo si trasformeranno in zampe.

Con questi soli adattamenti, un pesce può uscire dall'acqua anche per tempi lunghi, respirando aria, e può strisciare sul terreno. Per avere un animale terrestre vero e proprio, come un Anfibio, occorrono altri adattamenti, come vedremo fra poco. Tutti questi adattamenti, infatti, non compaiono simultaneamente in un definito gruppo di Vertebrati: prima abbiamo Pesci striscianti, come i Coanoitti (vedi sotto), poi gli Anfibi, poi i Rettili, ecc. •••

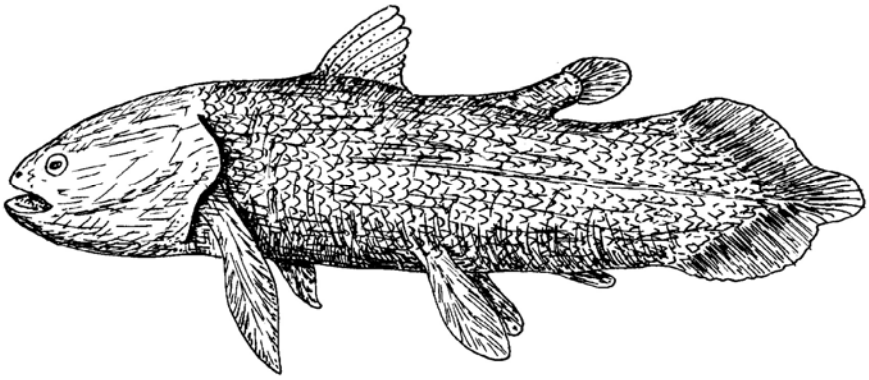


Fig. 4 - *Latimeria*. Un discendente ancora vivente dei Sarcopterigi. Notare le pinne pettorali e ventrali "pari". Da: G. MINELLI, "Dai Pesci agli albori dell'umanità", Jaka Book, Milano, 1984. Pag. 37.

Il fatto che i Sarcopterigi evolvano in fretta e lascino molti discendenti in buona parte terrestri è dovuto al fatto che essi colonizzavano le acque dolci, quindi laghi e stagni, lagune, insenature presso i fiumi, tutti ambienti instabili in cui temperatura, torbidità, salinità e la stessa presenza dell'acqua variano in fretta. Questa difficoltà e variabilità dell'ambiente consentono la sopravvivenza solo alle forme ben adattabili, capaci di sopportare tutte le variazioni dell'ambiente, capaci di restare all'asciutto e di strisciare. Al contrario, l'ambiente marino, uniforme, costante e conservativo, favorisce l'adattamento di specie intolleranti ai cambiamenti, con caratteri fissi.

Così i Sarcopterigi più primitivi (**Crossopterigi**), non ancora evoluti, sono molto simili a normali Pesci; essi compaiono a metà del Paleozoico e sono giunti fino ad oggi con pochissime specie come la *Latimeria* del gruppo dei **Celacanti** (fig. 4). Ma nella stessa epoca compaiono strani pesci, ben adattati a sopravvivere all'asciutto per lunghi periodi, sempre dotati di coane (si parla di **Coanoìtti**) e di robuste pinne pari, atte a funzionare come rudimentali zampe, che sopravvivono ancora oggi con poche specie di grossi pesci a forma di siluro, presenti in varie regioni del mondo nei laghi o stagni dei climi caldi: sono i **Dìpnoi**.

Con i Dipnoi, si può dire che abbiamo terminato l'elenco dei gruppi principali di Pesci. Da questo momento, seguendo il corso dell'evoluzione, ci troviamo davanti l'elenco dei **Tetrapodi**, animali terrestri, capaci di camminare, non più di strisciare, per mezzo di quattro zampe.

••• Abbiamo già elencato alcuni caratteri essenziali per vivere nell'aria (polmoni, coane, arti pari). I prossimi gruppi di Vertebrati, tutti Tetrapodi, debbono possedere inoltre una colonna vertebrale flessibile, con vertebre ben articolate fra loro, capace di sostenere il peso del corpo e capace di scaricare questo peso sulle zampe. Le zampe a loro volta, per sostenere questo peso, debbono essere collegate attraverso ossi e legamenti alla colonna vertebrale stessa.

[1] Le narici nei Pesci servono solo a percepire gli odori e sono formate da fossette a fondo cieco.

Debbono così comparire i "**cinti**", cioè gruppi di ossi intermedi, uno per le zampe anteriori, uno per le zampe posteriori (ne abbiamo accennato a pag. 1).

È evidente che il passaggio da pinne "pari" a zampe richiede una ristrutturazione completa dello scheletro del Vertebrato.

A questo punto, abbiamo definito le caratteristiche del successivo gradino nell'evoluzione dei Vertebrati: il gruppo degli Anfibi (Fig. 5). •••

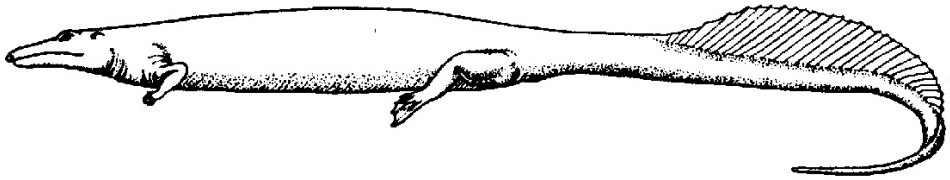


Fig. 5 - Anfibio primitivo. Sono già ben sviluppate le quattro zampe (ricostruzione)
Da: J.P. LEHMAN, "L'évolution des Vertébrés Inférieurs", Monographies Dunod, 1959. Pag. 124.

Gli **Anfibi** moderni, come vedremo, si riducono essenzialmente a due gruppi (Urodeli ed Anuri) che però hanno seguito fin dalle origini una via evolutiva diversa (Tab. II): sempre dal grande ceppo dei Sarcopterigi, sempre a metà del Paleozoico, circa 350 m.a.f., nasce un multiforme gruppo di Anfibi primitivi, che invade tutte le terre emerse e tutti gli ambienti con forme anche gigantesche, di qualche metro di lunghezza, simili esternamente a tozzi coccodrilli.

Sulla terraferma esistevano già da tempo molti Invertebrati, specialmente Artropodi (Insetti, Ragni, Miriapodi, ecc.), ma gli Anfibi sono i primi Vertebrati che possono vivere stabilmente all'asciutto, e poiché non esistono ancora altri animali terrestri di grandi dimensioni, essi invadono tutti gli ambienti, senza dover affrontare alcuna competizione.

Nel Mesozoico, gli Anfibi primitivi si riducono moltissimo, sia perché il clima si fa caldo-secco, sia perché si sviluppano i grandi rettili terrestri, più agguerriti. Cosa intendiamo con "agguerriti"? Vediamo qualche dettaglio.

••• Gli Anfibi si muovono lentamente: le loro zampe sono quasi orizzontali; sostengono male il peso del corpo, che deve praticamente strisciare sul ventre. È difficile per quei carnivori inseguire una preda.

Ma questo è ancora poco: essi debbono vivere in ambienti umidi e vicino all'acqua. Infatti, la loro pelle è formata da tessuti vivi e non sopporta il disseccamento; i loro reni ("mesoreni") espellono un'urina molto diluita, ricca d'acqua; il loro intestino recupera solo in parte l'acqua degli alimenti ed anche qui vi è una perdita; le loro uova non hanno guscio e possono essere deposte e svilupparsi solo in acqua; le uova vengono fecondate dal maschio solo dopo che la femmina le ha deposte in acqua: non esiste la "fecondazione interna"; lo sviluppo dei piccoli (girini) avviene inizialmente in acqua. •••

Dunque gli Anfibi possono vivere solo vicino all'acqua, debbono ritornarvi per la riproduzione, ed il clima deve essere umido. Tutti gli ambienti secchi ed aridi sono per loro preclusi. Il periodo del loro massimo sviluppo è proprio la fine del Paleozoico, dal clima umido. L'era successiva è invece segnata da clima costante caldo - secco, un disastro per gli Anfibi.

Così, dall'inizio del Mesozoico ad oggi, gli Anfibi si sono ridotti a poche e piccole specie, lasciando libero il campo ai nuovi Tetrapodi: i Rettili. I due piccoli gruppi odierni di Anfibi (Urodeli ed Anuri) sono lontani discendenti degli Anfibi paleozoici, ma hanno caratteristiche e radici un po' diverse (Tab. II).

Ecco che inizia l'era dei Rettili. Bisogna capire il perché del loro sviluppo: essi riusciranno a superare tutte le restrizioni degli Anfibi, appena elencate, sono "più agguerriti".

I **Rettili**

A questo punto, fra l'era Paleozoica e la Mesozoica, a causa soprattutto del cambiamento di clima, molti ambienti rimangono liberi a causa dell'ecatombe degli Anfibi. Quando un ambiente rimane vuoto, prima o poi qualche specie vi si adatta. In questo caso, l'ambiente terrestre fu di nuovo invaso da Tetrapodi, ma il clima secco li costrinse a maturare nuovi adattamenti (vedi la Tab. III alla pagina seguente):

••• — l'**epidermide** diventa quasi impermeabile poiché gli strati esterni sono costituiti da cellule morte impregnate di cheratina (una proteina molto resistente agli agenti chimici e fisici, assai diffusa in altri Vertebrati, nei loro peli, scaglie cutanee, penne, unghie, corni, ecc.);

— il **rene** dei Pesci ed Anfibi ("mesorene") viene sostituito durante lo sviluppo da un nuovo organo ("metarene") capace di recuperare buona parte dell'acqua contenuta nell'urina;

— anche l'**intestino** si modifica in modo da recuperare buona parte dell'acqua del suo contenuto (chiamato "chilo");

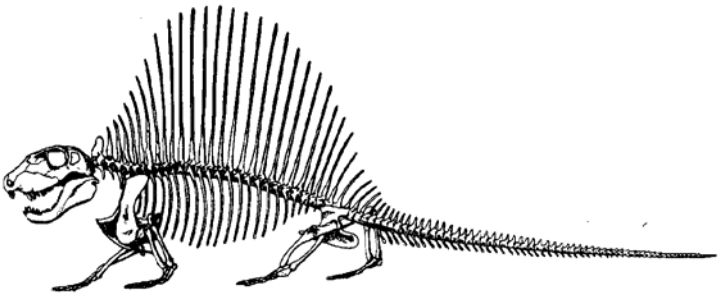
— le **uova** possiedono una membrana esterna che forma un sacco pieno di liquido (**àmnios** o sacco amniòtico[1]); l'embrione quindi rimane immerso in un liquido adatto, anche se l'uovo è deposto fuori dall'acqua. Rettili, Uccelli e Mammiferi formano uova con amnios e s'indicano globalmente con **amniòti**; Ciclostomi, Pesci ed Anfibi, invece, con uova prive di amnios, si chiamano **anàmni**. Le uova dei Rettili e degli Uccelli possiedono poi un **guscio esterno** corneo o carbonatico che dà loro una certa protezione meccanica ed impedisce il loro disseccamento;

— il maschio possiede un organo copulatore (pene) che gli consente di introdurre il seme o sperma direttamente nel corpo della femmina ("**fecondazione interna**"); le uova non debbono quindi essere deposte in acqua;

— le **zampe** tendono a disporsi verticalmente (pensiamo ad un cavallo) invece che orizzontalmente. Confrontando la fig. 5 con la 8 si vede bene questa diversa disposizione delle zampe che porta ad un migliore scarico del peso del corpo, ad una maggiore agilità e velocità di corsa. •••

(Fig. 5)

(Fig. 8)



[1] Dal greco *amnion* = vaso per raccogliere il sangue nei sacrifici.

TAB. III – **GRADINI ADATTATIVI per il PASSAGGIO dall'AMBIENTE ACQUATICO al TERRESTRE**

ORGANI o FUNZIONI OCCORRENTI	PESCI in genere	SARCOPTERIGI	ANFIBI	RETTILI
APPARATO RESPIRATORIO				
Narici o coane	—	si	si	si
Sacchi polmonari	—	si	si	si
Doppia circolazione	—	si	si	si
SCHELETRO				
Zampe per strisciare	—	si	si	si
Vertebre articolate	—	—	si	si
Cinto pelvico collegato alla colonna vertebrale	—	—	si	si
RESISTENZA al DISSECCAMENTO				
Epidermide impermeabile	—	—	—	si
Recupero di acqua nel rene	—	—	—	si
Recupero di acqua nell'intestino	—	—	—	si
UOVA				
Sviluppo dell'uovo in aria (amnios e guscio)	—	—	—	si
Fecondazione interna	—	—	—	si

Il passaggio dalla struttura degli Anfibi a quella dei Rettili comporta dunque molte modificazioni, che debbono avvenire tutte contemporaneamente, sia pure con gradualità. Ma il vantaggio è grande: l'animale può muoversi e correre agilmente, può allontanarsi anche per tempi lunghi dall'acqua, può vivere in ambienti ed in climi aridi.

La diffusione dei rettili nel Mesozoico è stata dunque maggiore di quella dei loro predecessori Anfibi, poiché nessun ambiente era loro precluso; forse, una difficoltà si presentava nei climi freddi; infatti, i rettili di quell'epoca erano in buona parte "a sangue freddo" (**eterotermi**), nel senso che non potevano tenere costante la temperatura corporea; in un clima freddo, il loro organismo si raffreddava al punto da impedire le funzioni vitali. I climi freddi erano quindi preclusi ai Rettili.

Per poter occupare tutti gli ambienti terrestri, i Vertebrati dovranno allora diventare **omeotermi** ("a sangue caldo"), cioè esser capaci di mantenere costante la temperatura corporea al variare della temperatura esterna (entro certi limiti); a questa condizione, i luoghi freddi divennero accessibili; anche oggi, le regioni più fredde sono occupate solo da animali a sangue caldo.

Gli animali omeotermi viventi sono esclusivamente Uccelli e Mammiferi, ma sembra che alcuni gruppi di rettili del Mesozoico avessero raggiunto l'omeotermìa, in particolare quelli che daranno poi origine ad Uccelli e Mammiferi, e ciò può spiegare in parte la loro diffusione. I rettili viventi sono invece tutti eterotermi, così come gli Anfibi, i Pesci e tutti gli Invertebrati.

Ma torniamo all'origine dei Rettili. È difficile ricostruire tutta la storia, ma sembra che il gruppo più antico presenti già tutti i caratteri di quella classe. Si tratta dei **Cotilosauri**, derivati presumibilmente dai pesci Sarcopterigi, come hanno fatto gli Anfibi; il loro cranio, chia-

mato "**anapside**", ha la forma di una scatola chiusa. Essi evolvono rapidamente in nuovi gruppi, fra cui grandi rettili marini; a questo punto il loro cranio si alleggerisce nel senso che presenta una finestra ai due lati, in alto nella regione temporale (cranio "**parapside**"): abbiamo allora alcuni gruppi di grandi rettili a forma di lucertoloni dal lungo collo (**Mesosauri** e **Plesiosauri**, vedi la fig. 6, a sinistra) ed il gruppo degli **Ittiosauri**, simili a grandi pesci, sempre marini (fig. 6, terza figura dall'alto, a destra). Tutti questi Rettili marini si estinguono prima della fine del Mesozoico, senza lasciare discendenti (vedi la Tab. II).

Un piccolo gruppo di rettili Anapsidi, quindi primitivi, comparsi insieme ai Cotilosauri o derivati da essi, rimane fino ad oggi costituendo il gruppo specializzato di rettili viventi chiamati **Cheloni** (tartarughe, testuggini).

Un altro gruppo di Cotilosauri presenta un cranio più alleggerito, con due finestre per lato nella regione temporale (cranio "**diapside**") e prende uno sviluppo enorme differenziandosi in numerosissime specie e gruppi. Possiamo parlare genericamente di **Dinosauri**[1] (fig. 7).

Ebbene, ecco i principali di questi rettili diapsidi, ramo evoluto dei Cotilosauri anapsidi.

Gli **Pterosauri** vissero per buona parte del Mesozoico e si estinsero senza seguito, ma sembra che avessero una capacità nuova fra i Vertebrati: il volo. Le loro zampe anteriori e le dita relative erano allungatissime e dovevano reggere un'ampia membrana di pelle, un po' come i moderni pipistrelli. Per volare però occorrono muscoli potenti e pezzi ossei su cui possano attaccarsi quei muscoli; basti pensare allo **sterno** degli Uccelli (l'osso che sta davanti nella gabbia toracica, su cui si articolano le costole). Per presentare un punto di ancoraggio ribassato ai muscoli alari, lo sterno presenta negli Uccelli una cresta centrale in forte rilievo, detta **carena**. Nulla di tutto ciò esiste nei Pterosauri, per cui non è chiaro come facessero a volare. Forse il loro volo era solo "planato": si lasciavano cadere da un supporto rialzato, come fanno gli attuali "scoiattoli volanti" (Mammiferi). Alcuni Pterosauri (**Ranforinchi**) possedevano una lunga e sottile coda; altri (**Pterodattili**) avevano sul cranio una lunga cresta ossea, rivolta all'indietro.

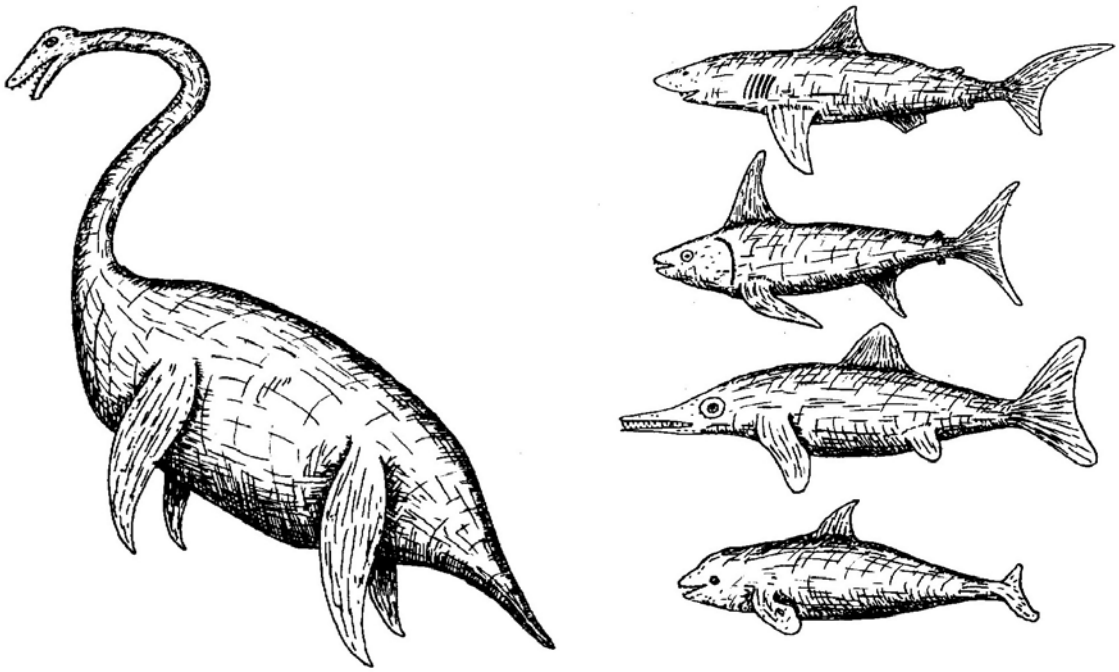


Fig. 6 - A sinistra, un Plesiosauro, rettile marino. A destra, quattro Vertebrati di struttura assai diversa, ma di forma esterna simile, cioè "convergenti": dall'alto, uno squalo (Selaci), un tonno (Teleostei), un Ittiosauro (Rettili estinti) ed un delfino (Mammiferi Cetacei).

Da: G. MINELLI, "Dai Pesci agli albori dell'umanità", Jaka Book, Milano, 1984. Pag. 60. (modif.)

[1] Questo termine non ha alcun valore scientifico poiché viene usato genericamente per indicare i grandi rettili fossili. Anche i Mesosauri od i Plesiosauri marini, già nominati, potrebbero rientrare nel termine impreciso di Dinosauri.

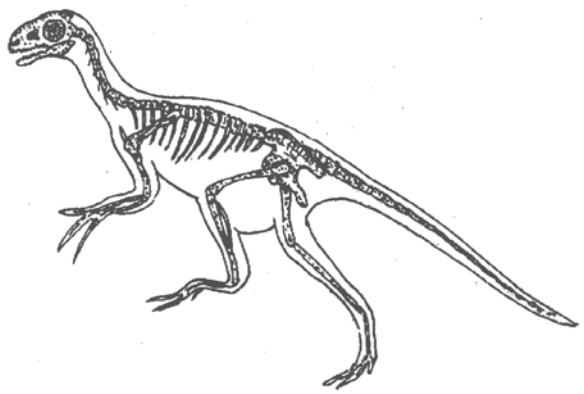


Fig. 7 - Scheletro di un rettile Cotilosauro, che può rientrare nel generico termine di "Dinosauro".
Da: G. MINELLI, "Dai Pesci agli albori dell'umanità", Jaka Book, Milano, 1984. Pag. 69.

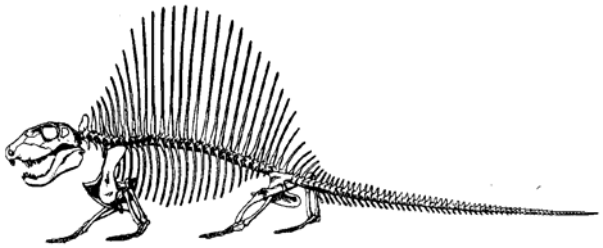


Fig. 8 - Sinapside del Permiano. Si notino le zampe ancora un po' allargate.
Da: J.P. LEHMAN, "L'évolution des Vertébrés Inférieurs", Monographies Dunod, 1959. Pag. 175.

Altri discendenti dei Cotilosauri, detti **Lepidosauri**[1] per il fatto di avere la pelle ricoperta da scaglie cornee, si evolsero lentamente in alcuni gruppi minori, alcuni dei quali tuttora viventi:

Rincocefali, come lo Sfenodonte, una specie di lucertolone con un terzo occhio in mezzo alla fronte (vedi oltre, pag. 24);

Ofidi (serpenti veri e propri) e

Sauri (lucertole, varani, iguane).

Ma il gruppo più numeroso fu quello degli **Arcosauri**, in cui possono rientrare molti dei cosiddetti "Dinosauri"; erano rettili di ogni dimensione e di struttura svariatissima, con ogni tipo di alimentazione, capaci di occupare tutti gli ambienti terrestri. Ne fecero parte il *Triceratops*, una specie di rinoceronte a tre corni, il Diplodòco, lungo fino a 25 m, dal lungo collo, ecc.

Ma il merito maggiore degli Arcosauri è che, da un piccolo gruppo di essi, nacquero i moderni **Loricati** (coccodrillo, alligatore, gaviale) e, da un gruppo sconosciuto, gli **Uccelli**.

I dettagli sull'origine degli Uccelli, verso la fine del Mesozoico, sono oscuri; mancano gli "anelli intermedi". Il famoso *Archeopterix*, un piccolo dinosauro fornito di piume ma con scheletro da Rettile, sembra essere un gradino evolutivo intermedio. Gli Uccelli rappresentano una linea molto specializzata di rettili omeotermi, con piume, ma soprattutto con uno scheletro fortemente modificato in vista del volo. Anche gli apparati respiratorio e digerente presenta delle caratteristiche particolari. Vedremo tra poco come i principali apparati si siano modificati nel corso dell'evoluzione dei Vertebrati.

Rimane da vedere l'ultimo gruppo importante dei Cotilosauri, riconoscibili perché il loro cranio presenta una finestra di alleggerimento sulla parte bassa della regione temporale (cranio Sinapside). All'inizio del Mesozoico i **Sinapsidi** avevano ancora uno scheletro da rettile (fig. 8) con lunga coda e dentatura omogenea (denti molto simili fra loro). Possedevano spesso una fila di spine ossee dorsali che sosteneva una piega la quale serviva forse a regolare la temperatura corporea, esponendola al sole nelle giornate fredde, oppure al vento, per dissipare il calore interno, nel caso di clima caldo. Molti Sinapsidi si estinsero entro la fine del Mesozoico, ma alcuni gruppi, forse simultaneamente, acquisirono i caratteri da Mammifero (**Terapsidi**, **Teriodonti**, ecc.). All'inizio dell'era Terziaria erano sopravvissuti i **Prototeri**, che evolsero in **Monotremi**, oggi presenti in Australia con poche specie (Echidna, Ornitorinco) dotate di pelo e ghiandole mammarie (vedi oltre), i **Metateri**, che evolsero nei Marsupiali moderni d'America e d'Australia, ed i **Teri**, da cui in brevissimo tempo si sono originati tutti gli altri Mammiferi.

Con l'acquisizione dell'omeotermìa, del pelo, delle ghiandole mammarie, di una dentatu-

[1] Dal greco "*lepis*" = squama e "*sauros*" = lucertola.

ra specializzata, di uno scheletro perfezionato, i Mammiferi rappresentano l'ultimo (per ora) salto evolutivo dei Vertebrati.

In fig. 9, qui sotto, si vede un **Teriodonte** del Trias, ancora rettile, ma già ben evoluto; la coda è corta, le zampe quasi verticali, la dentatura diversificata (si vede bene un canino), i "cinti" ormai simili a quelli dei Mammiferi moderni.

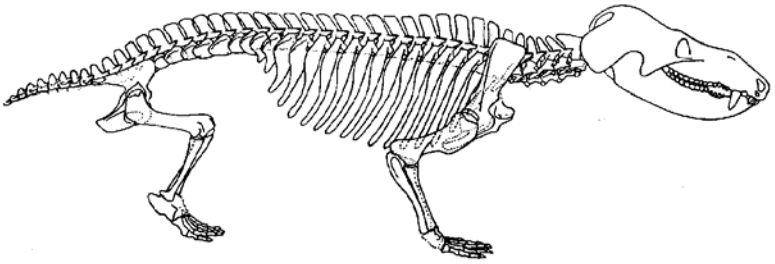


Fig. 9 - *Diademodon*, un precursore dei Mammiferi moderni; forse era ricoperto di peli.
Da: J.P. LEHMAN, "L'évolution des Vertébrés Inférieurs", Monographies Dunod, 1959. Pag. 177.

L'EVOLUZIONE dell'UOMO

Una frase spesso sbandierata, ed altrettanto spesso contestata, è: "l'uomo discende dalle scimmie". Le conclusioni dell'evoluzionismo sono state spesso fraintese o strumentalizzate, anche per trarne sostegno ad alcune visioni filosofiche o politiche.

Ma l'affermazione di cui sopra non è sostenibile, almeno non i quei termini. Vediamo qualche dettaglio.

Purtroppo, l'evoluzione dell'Uomo è avvenuta in tempi brevissimi, dal punto di vista paleontologico: pochi milioni di anni; e le prime popolazioni umane erano certamente piccole ed in continuo movimento; il numero dei fossili è quindi scarso e disperso su grandi aree. Così, si è spesso costretti a lavorare su delle ipotesi. D'altra parte, si può dire che ogni giorno vengono rinvenuti nuovi reperti, ed ogni volta si è costretti a ritoccare le ipotesi; la situazione si va chiarendo, ma non è ancora possibile dare un quadro definitivo di tutto il processo.

Comunque, alcuni punti sono ormai chiariti, e cercheremo di riassumerli.

Intanto, bisogna definire cos'è un uomo e cosa lo distingue dagli animali o dai suoi eventuali antenati. Questo problema è complesso e può essere affrontato in vari modi; per es., gli animali non sono capaci di comprendere ed usare le parole, il "linguaggio articolato", cosa facilissima per l'Uomo; oppure, gli animali non hanno il culto dei morti, né il concetto di un "al di là", né certe idee astratte, come quella di "giustizia" (che non sia in una versione materiale ed utilitaristica). Ma l'antropologo, lo studioso della specie umana e della sua storia, deve basarsi sui fossili cioè sui resti del corpo umano o delle sue attività: utensili in osso o pietra, costruzioni, focolari, pitture rupestri, ecc. e così egli considera normalmente come appartenente al genere *Homo* quel fossile che è accompagnato da utensili (pietre, ossi, ecc. lavorati per adibirli a funzioni particolari, ad es.) o da costruzioni finalizzate ad un risultato (focolari, sepolture, oggetti con valore simbolico, ecc.).

Ebbene, se andiamo a cercare gli antenati dei **Primati** (così si chiamano le scimmie in genere), li troviamo all'inizio dell'era Terziaria, circa 60 m.a.f.; erano piccoli, simili alle attuali Tupaie; il gruppo moderno delle **Proscimmie** che comprende appunto le tupaie, i lèmuri, i tàrsii, ecc. potrebbe essere il primo ramo del ceppo originario dei Primati. Gli altri due gruppi di Primati sono le **Platirrìne** (scimmie dal naso schiacciato e spesso dalla coda prensile) dell'America (Cèbidi, Atelini, ecc.) e le **Catarrìne**, africane ed asiatiche, dalla coda non prensile o assente. Questi due gruppi sono già ben distinti all'inizio del Terziario. Fra le Catarrine, sempre in tempi precoci, almeno 50 m.a.f., si trovano molti gruppi diversi (Cercopiteci, Pongidi, ecc.); uno di questi, comprendente l'attuale gibbone, potrebbe aver dato origine al **Ramapiteco**, vissuto fra 25 e 10 m.a.f.

Questa rapida diversificazione dei Primati può esser dovuta al fatto che essi occuparono l'ambiente arboricolo, in cui non trovavano competitori pericolosi; e tale ambiente era a

quell'epoca assai diffuso a causa del clima caldo-umido. Inoltre, i Primati sono forme poco specializzate, "generiche", quindi adattabili, e possono evolvere rapidamente.

Ma torniamo al Ramapiteco; esso somigliava all'attuale gibbone, il quale ha un modo particolare di muoversi fra gli alberi: salta da un ramo all'altro non con quattro zampe, ma afferra i rami con le sole zampe anteriori, mentre le posteriori gli servono a poggiarsi su un altro ramo. Questo impone una diversa posizione del cinto pelvico (il "**bacino**"), diversa rispetto a quella dei tetrapodi che camminano a quattro zampe, e ciò consente la posizione verticale della colonna vertebrale; il gibbone ed il Ramapiteco insomma "camminano" sui rami e questo è un primo inizio di posizione eretta. Quando, in seguito, il clima si fece più arido, molte foreste divennero savane, molti Primati si adattarono al nuovo ambiente e cominciarono a camminare a terra: il Ramapiteco era già pre-adattato alla stazione eretta. Poi (fig. 10) vi è un vuoto di almeno 5 milioni di anni fra la scomparsa del Ramapiteco ed i primi veri progenitori dell'Uomo, gli **Australopitèci** dell'Africa del Sud. Prima che questi scomparissero, erano già comparse due specie classificate come *Homo* poiché i loro resti sono accompagnati da utensili in pietra (l' *Homo abilis* e l' *Homo erectus*). Probabilmente, dall' *Homo erectus* sono nate le ultime due specie, l'uomo di Neanderthal, scomparso senza lasciare discendenti circa 30.000 anni fa, e l'uomo moderno (*Homo sapiens*).

Da quel poco che abbiamo detto, appare dunque chiaro che i precursori dell'uomo moderno, come il Ramapiteco, si sono differenziati da tutti gli altri Primati in tempi assai lontani, circa 20 m.a.f.; a quell'epoca, i predecessori dei Primati, che allora erano simili ad Insettivori, si erano già divisi in molti gruppi ed anche le scimmie catarrine, le più prossime a noi, si erano anche loro divise in svariati gruppi ben diversi dall'uomo.

Dunque, tornando al discorso iniziale, l'uomo non "discende dalle scimmie", e tanto meno dalle scimmie che conosciamo oggi; semmai, discende da qualche progenitore molto primitivo, simile a certi Primati di una ventina di milioni di anni fa, anch'essi primitivi.

L'uomo rappresenta l'ultima "invenzione" dell'evoluzione; ogni ambiente dove sia materialmente possibile la vita è già stato occupato da animali o piante: la terra, il mare, l'aria, i ghiacciai … dai batteri e dalle alghe microscopiche delle sorgenti termali, agli orsi ed ai pinguini delle zone polari. Ma l'Uomo ha occupato un nuovo ambiente: quello del pensiero (consapevole? astratto?); si parla di "noosfera" (Theilard de Chardin, *Fenomeno umano*, 1955).

Di solito, si pensa ad un ambiente come ad un luogo in senso topografico, dotato di certe caratteristiche (un prato, una spiaggia, un deserto, ecc.). Ma, all'interno di un dato ambiente, esistono molti modi di vivere. Per es., in un prato vi è posto per l'erbivoro, per il carnivoro, per la farfalla, per il lombrico, ecc. Tutti occupano lo stesso ambiente, ma vivono in modo diverso e sfruttano risorse alimentari diverse, al punto che possono non interferire fra loro.

Ognuno di questi "modi di vivere" viene chiamato **nicchia ecologica**. Così, un certo ambiente può dare spazio a numerosissime nicchie, ed in genere ogni specie animale o vegetale occupa una diversa nicchia[1].

Tornando all'uomo, esso può penetrare in diversi ambienti (foresta, prateria, ecc.) ma, con la propria attività tecnica e mentale, ha creato un nuovo ambiente, quello del pensiero pratico ed astratto, del linguaggio, della comunicazione, dei simboli, ecc. ed in esso esistono numerose nicchie (agricoltore, allevatore, artigiano, filosofo, ecc.): ogni attività professionale, artigianale o intellettuale può rappresentare una diversa nicchia. Allo stesso modo si possono considerare nicchie le attività di parassitismo sociale (furto, accattonaggio, frode, demagogia), alla stregua delle infinite forme di parassitismo e predazione presenti in tutto il mondo vivente. Qualunque modo di vivere in un dato ambiente, come quello umano, per chi vi si adatta, rappresenta un modo di sopravvivere: sopravvivenza per l'individuo, la popolazione o la specie.

[1] Se due o più specie dovessero occupare la stessa nicchia, vi sarebbe immediatamente una competizione totale e, prima o poi, solo una delle specie conviventi sopravvivrebbe.

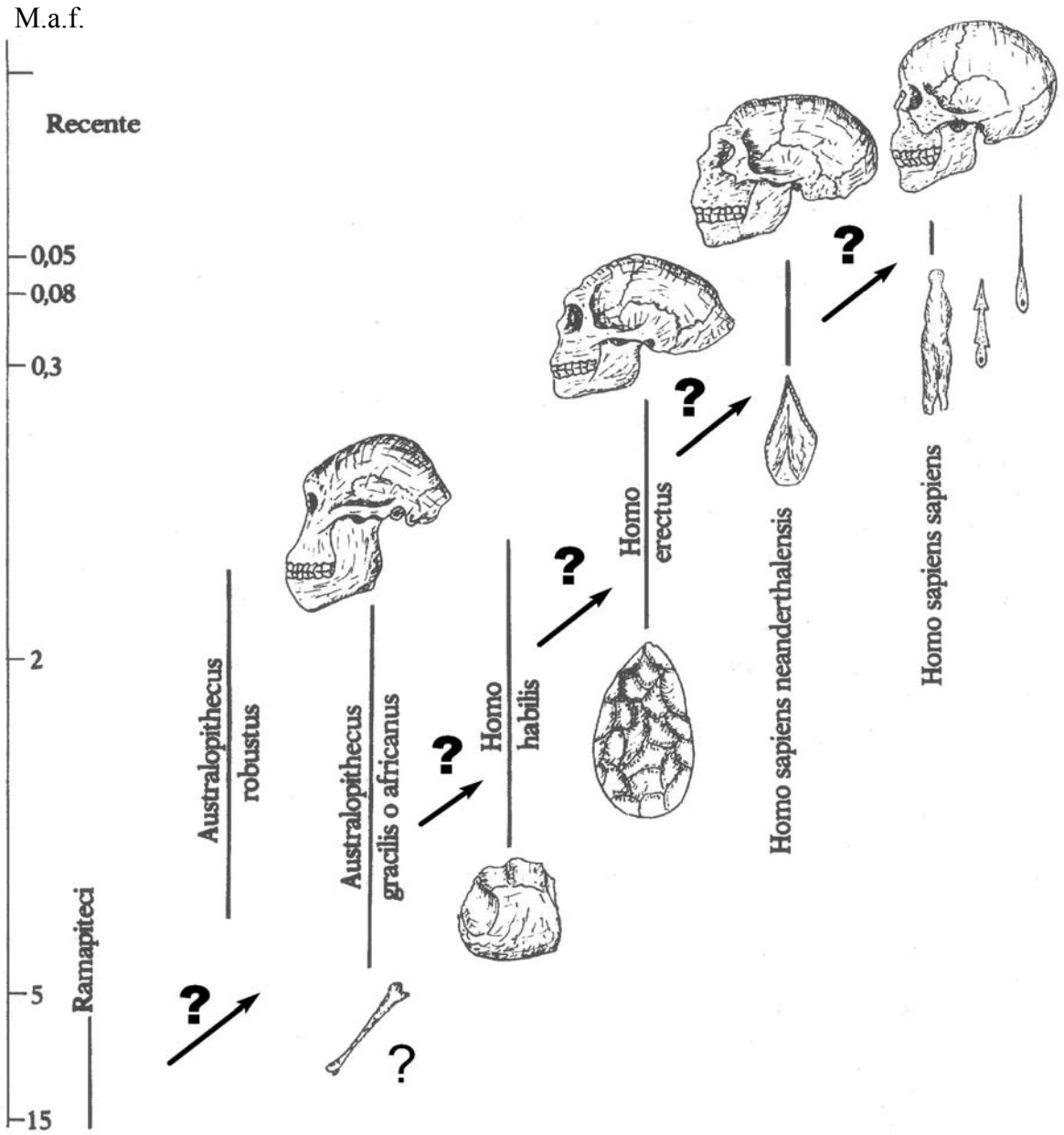


Fig. 10 - Ipotesi di evoluzione dell'uomo. Il primo cranio a sinistra è di "Lucy", un fossile ben conservato, proveniente dall'Etiopia. Sotto i vari crani, sono schematizzati i più diffusi utensili trovati vicino alle ossa. La scala a sinistra indica l'età dei reperti (espressa in m.a.f., in scala non lineare).
Da: G. MINELLI, "Dai Pesci agli albori dell'umanità", Jaka Book, Milano, 1984. Pag. 113 (modif.).

Ma questo nuovo ambiente è stato creato dall'uomo stesso (e viene continuamente modificato) in base ad alcune caratteristiche sue peculiari: – stazione eretta (capacità di stare ritto sulle gambe, che consente alle mani di svolgere altre attività); – pollice "opponibile", cioè la capacità di stringere e manipolare oggetti fra il pollice e le altre dita; – linguaggio articolato (a mezzo di parole) e quindi la possibilità di scambiare idee ed esperienze con altri; – una struttura sociale complessa con estrema suddivisione del lavoro, specializzazione delle attività individuali, collaborazione. In altre parole, un organismo molto adattabile e versatile, una grande intelligenza, consentita da un particolare sviluppo del sistema nervoso centrale, ed una fitta rete di rapporti familiari e sociali. L'uomo è la specie più sociale e più ecologicamente riuscita che esista: ha occupato l'intero globo terrestre.

È la prima volta che un essere vivente sviluppa, tutte assieme, queste caratteristiche. E con queste capacità l'Uomo riesce a sopravvivere in ogni tipo di ambiente: nessun animale è così diffuso su tutta la faccia della terra; anche nei luoghi più difficili l'uomo può vivere costruendo ripari, abitazioni, abiti, scarpe, utensili, oppure allevando animali, coltivando piante alimentari, ecc. E queste nuove (nuove dal punto di vista evolutivo) ed uniche possibilità han-

no consentito all'Uomo di diffondersi più di qualunque altra specie vivente.

È passato dalla semplice raccolta di frutti della terra, alla caccia (spesso di gruppo, con una forte spinta alla collaborazione ed alla comunicazione), all'allevamento di animali utili ed alla coltivazione di piante alimentari. L'allevamento e l'agricoltura, se non altro per l'attesa del raccolto, presuppongono la creazione di insediamenti stabili ("rivoluzione neolitica", circa 10.000 anni fa).

L'uomo non ha solo occupato una nuova nicchia, ma ha trasformato l'intero ambiente terrestre costruendo la sua particolare nicchia.

La CLASSIFICAZIONE dei VERTEBRATI VIVENTI

••• I caratteri comuni e la corda dorsale

Abbiamo già descritto a pag. 1 la corda dorsale, un cordone di tessuto semirigido che percorre tutto il dorso dell'animale. Tale "corda" rappresenta l'unica forma di scheletro per certi animali marini come l'Anfiosso (Cefalocordati, vedi sopra), ma è presente in qualche stadio dello sviluppo embrionale di tutti i Vertebrati. La corda permane per tutta la vita nei Ciclostomi, Selaci, Ganoidi, Olostei, Dipnoi ed alcuni Anfibi, ma scompare del tutto negli altri Anfibi, Rettili, Uccelli e Mammiferi; comunque, nei Vertebrati adulti la funzione scheletrica della corda viene assunta dalla colonna vertebrale; ogni vertebra nasce in genere da vari pezzi cartilaginei od ossei che circondano la corda (formando il "corpo vertebrale") ed il midollo spinale ("arco neurale")[1] e prima o poi si fondono fra loro a formare le vertebre. La corda viene quindi strozzata in tanti tronconi e può venire riassorbita.

La corda rappresenta così un carattere comune a tutti i Vertebrati, almeno in embrione.

Ma ve ne sono altri; vediamone qualcuno:

— il sistema organico in posizione più dorsale è quello nervoso; subito sotto, verso il ventre, vi è la corda o la colonna vertebrale, poi il sistema digerente, quello respiratorio, ed infine quello circolatorio; in molti invertebrati avviene quasi il contrario: vedi la figura seguente;

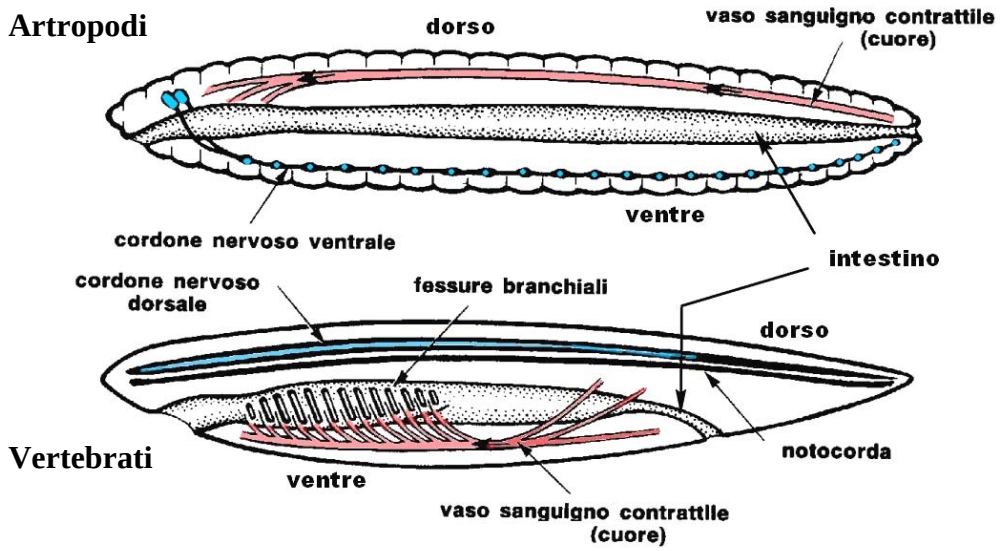


Fig. 11 – Negli Artropodi (Insetti, Crostacei, Aracnidi, Miriapodi) il sistema circolatorio è dorsale e quello nervoso ventrale. Nei Vertebrati è il contrario, oltre alla presenza della corda (in nero = notocorda) ed eventualmente della colonna vertebrale.

— almeno nell'embrione vi sono due serie di fessure branchiali ai lati del collo;

— il tegumento è a due strati (epidermide e derma); l'epidermide può produrre formazioni cornee (peli, penne, scaglie) e ghiandolari (ghiandole mucose, sudoripare, sebacee,

[1] A volte, in posizione ventrale, vi è anche un "arco emale" che circonda il cuore o l'aorta.

ecc.); il derma può produrre scaglie ossee, anche saldate fra loro, e formare un esoscheletro o scheletro esterno (vedi le tartarughe);

— vi è uno scheletro interno cartilagineo od osseo distinto in una parte centrale (o "assile" = cranio, colonna vertebrale, sterno e costole) ed una periferica (o "appendicolare" = appendici anteriori col cinto scapolare ed appendici posteriori col cinto pelvico);

— il primo tratto del tubo digerente, dopo la faringe, si allarga a formare la vescica natatoria dei Pesci, i sacchi polmonari dei Dipnoi, i polmoni dei Vertebrati terrestri;

— il sangue porta cellule speciali (globuli rossi o emàzie o eritrocìti) contenenti emoglobina[1] ed altre cellule con funzioni essenziali nel sistema immunitario (globuli bianchi o leucociti e piastrine);

— certi organi (vertebre, costole, muscoli relativi, nervi spinali, ecc.) sono metamèrici, cioè si ripetono un certo numero di volte lungo il corpo. La metameria è però comune a molti Invertebrati (Anellidi ed Artropodi) •••

Un primo schema di classificazione può dividere i Vertebrati attuali in cinque classi: Pesci, Anfibi, Rettili, Uccelli, Mammiferi.

Ma abbiamo già visto che alcune di queste classi sono eterogenee, cioè comprendono forme assai diverse per struttura ed origine, e sarebbe meglio aumentare il numero delle classi, per es. aggiungendo i Ciclostomi.

Da un altro punto di vista, si potrebbe ridurre tale numero, nel senso che i gruppi di Vertebrati di origine recente sono solo tre:

Teleostei, gli evoluti pesci ossei, nati dai pesci Osteitti o Actinopterigi del Paleozoico iniziale o dagli Olostei del Paleozoico finale, e poi improvvisamente evoluti alla fine del Mesozoico (Tab. II, pag. 4);

Uccelli, nati da un piccolo gruppo di rettili Arcosauri a metà del Mesozoico;

Mammiferi, nati da un altro piccolo gruppo di rettili (Terapsidi) dell'inizio del Mesozoico.

Questi tre gruppi sono abbastanza omogenei nelle loro caratteristiche e, a partire dalla loro origine, hanno avuto uno sviluppo crescente, in quanto a numero di specie, e soprattutto una vera evoluzione, cioè un perfezionamento delle loro strutture. Si potrebbe aggiungere a queste tre anche la classe dei

Selaci (pesci a scheletro cartilagineo), che si sono sviluppati un poco dopo la fine del Mesozoico, ma derivano da qualche sopravvissuto del grande gruppo dei Condroitti, i pesci cartilaginei della fine del Paleozoico; da quella loro antica origine, i Selaci non sono più evoluti e rimangono un gruppo molto primitivo, ben diverso quindi dalle prime tre classi, che sono Vertebrati evoluti e "moderni".

A questo punto, cosa dire degli altri gruppi di Vertebrati?

I principali gruppi di Vertebrati viventi, escluse le quattro classi sopra citate, sono:

Ciclostomi, Celacanti e Dipnoi	(Pesci)
Urodeli ed Anuri	(Anfibi)
Cheloni, Rincocefali, Ofidi, Sauri, Loricati	(Rettili).

Tutti questi sono da considerare dei "fossili viventi", cioè gruppi ridotti, lontani discendenti di gruppi assai diffusi un tempo, che non sono più evoluti, rimanendo quasi immutati dal tempo della loro riduzione ad oggi. Dei veri sopravvissuti. Stupisce che esistano gruppi di Vertebrati a rapidissima evoluzione (Teleostei, Uccelli e Mammiferi), accanto a gruppi molto conservativi (come tutti gli altri). Ma ciò avviene anche fra gli Invertebrati e fra le piante. Si pensi ai Celenterati (Meduse, polipi, coralli), molto primitivi e conservativi, mai evoluti dal Paleozoico ad oggi, ed invece agli Insetti, in veloce espansione fino a costituire la metà delle specie animali viventi.

Sono queste le stranezze dell'evoluzione, difficili da spiegare.

Ma torniamo alla classificazione, come la si intende generalmente.

---

[1] Anche alcuni Invertebrati (Molluschi, ecc.) possiedono emazie, sia pure con un pigmento respiratorio che può non essere emoglobina.

PESCI (in senso generico)

Escludendo i Cefalocordati (Anfiosso, pag. 6), che non sono propriamente Vertebrati, possiamo enumerare:

-- **Ciclostomi**: hanno forma di anguilla, senza squame nella pelle; bocca fissa, senza mandibola (per questo fanno parte degli "**agnati**" = senza mandibola), con denti cornei; non hanno pinne pari[1]; la narice è unica. Lo scheletro è molto leggero e solo cartilagineo.

Vi sono forme marine e d'acqua dolce; spesso sono parassiti di altri pesci, di cui perforano la pelle per penetrare nell'interno (fig. 12).

Non sono veri Pesci, e comunque, fra i Vertebrati viventi, sono certo i più primitivi.

Fig. 12 - Il Petromizònte, un Ciclostoma vivente. È marino, ma periodicamente risale i fiumi.
Da: U. D'ANCONA, Trattato di Zoologia, UTET, Torino, 1953, pag. 894.

-- **Sèlaci**: ora si può parlare di veri Pesci, con bocca mobile, cioè fornita di mandibola articolata; fanno parte infatti degli **Gnatostomi**, cioè dei Vertebrati con "bocca a mandibola" (vedi sopra). Essi però sono i discendenti, poco evoluti, dei pesci cartilaginei del Paleozoico (Condroitti), assai diffusi al loro tempo; anche loro sono quindi dei sopravvissuti, dei "fossili viventi".

Il loro scheletro è ancora in prevalenza cartilagineo, ma possiedono pinne "pari" e squame nella pelle. Il naso ha due narici, ma queste non comunicano ancora con la bocca poiché servono solo a percepire gli odori. I denti sono coperti di "smalto", uno strato speciale durissimo.

La respirazione avviene, come in tutti i Pesci, recuperando l'ossigeno sciolto nell'acqua, e ciò per mezzo di organi laminari, filiformi o ramificati (**branchie**); nei Selaci, le branchie laminari (da 5 a 7 paia) sono alloggiate in "fessure branchiali" disposte ai due lati del corpo, dietro la testa; per ogni fessura esiste un'apertura verso l'esofago (l'acqua entra dalla bocca), ed una verso l'esterno (per l'uscita dell'acqua). I Selaci non possiedono "vescica natatoria"[2].

I Selaci sono diffusi in tutti i mari, soprattutto negli oceani, e sono rappresentati da squali, razze, torpedini, pesce martello, pesce sega, ecc.

-- L'Agassiz chiamava **Ganòidi**: i Pesci primitivi (Condrostei + Olostei) che avrebbero formato un gruppo a parte, con caratteri primitivi, rappresentato allora da poche specie sopravvissute di un gruppo ancora più antico assai diffuso: i Condroitti (Tab. II). Il loro scheletro era in gran parte cartilagineo e la loro corda dorsale persisteva anche nell'adulto, carattere primitivo. Erano quasi privi di squame, ma a volte possedevano scudi ossei disposti in cinque file lungo tutto il corpo, come lo Storione, che ancora oggi vive nei mari e nei fiumi dell'emisfero Nord. La vescica natatoria è invece presente; mancano i denti.

-- Anche gli Olostei dell'era Mesozoica hanno lasciato qualche sopravvissuto: i **Lepidostèi**; si tratta però di pesci più evoluti, con scheletro fortemente ossificato, nonostante la persistenza della corda. La loro vescica natatoria è suddivisa in alveoli e può quindi servire da or-

---

[1] Come già ricordato, si chiamano "pari" quegli organi che esistono a coppia, cioè due organi simmetrici, uno a destra ed uno a sinistra, come le nostre mani e le pinne pettorali e pelviche della maggioranza dei Pesci; sono "impari" gli organi che esistono in esemplare unico sul piano mediano dell'animale, come il naso o la coda.

[2] Si tratta di una vescicola piena di gas, che nasce da un'espansione del tubo digerente; appositi muscoli possono modificare il volume di questa vescica e quindi il peso specifico dell'animale, facilitandone gli spostamenti verticali. In sostanza, viene modificata la tendenza al galleggiamento, cioè la "spinta di Archimede". La vescica natatoria fa quindi parte degli "organi idrostatici". Vedi la fig. 13 a pag. 21.

gano respiratorio, oltre che idrostatico. Si tratta di poche specie viventi nei fiumi del Nord America.

-- **Teleostèi**: questi sono i veri Pesci, non solo perché formano il gruppo più numeroso, non solo perché si sono adattati a tutti gli ambienti acquatici, non solo perché presentano caratteri più evoluti, ma soprattutto perché si sono sviluppati in tempi relativamente recenti, dopo l'inizio dell'Era Cenozoica (intorno a 70 milioni di anni fa), da un ramo laterale degli Osteitti – Actinopterigi paleozoici. Da allora, la loro espansione è stata continua; sono veramente dei Pesci "moderni".

Il loro scheletro è in buona parte ossificato e la corda scompare nell'adulto; le loro fessure branchiali sono coperte da un opercolo rinforzato da piastre ossee. La vescica natatoria ha funzioni solo idrostatiche. Le pinne pettorali (pari) sono collegate attraverso il cinto toracico al cranio, non al torace, come avviene invece nei Vertebrati più evoluti.

Il numero di specie è elevatissimo (oltre 20.000), dal tonno all'anguilla, dalla trota alla sogliola, e la loro struttura è svariatissima (figura qui sotto).

In certe specie, soprattutto abissali, esistono degli organi luminescenti, cosa che non avviene in nessun altro gruppo di Vertebrati.

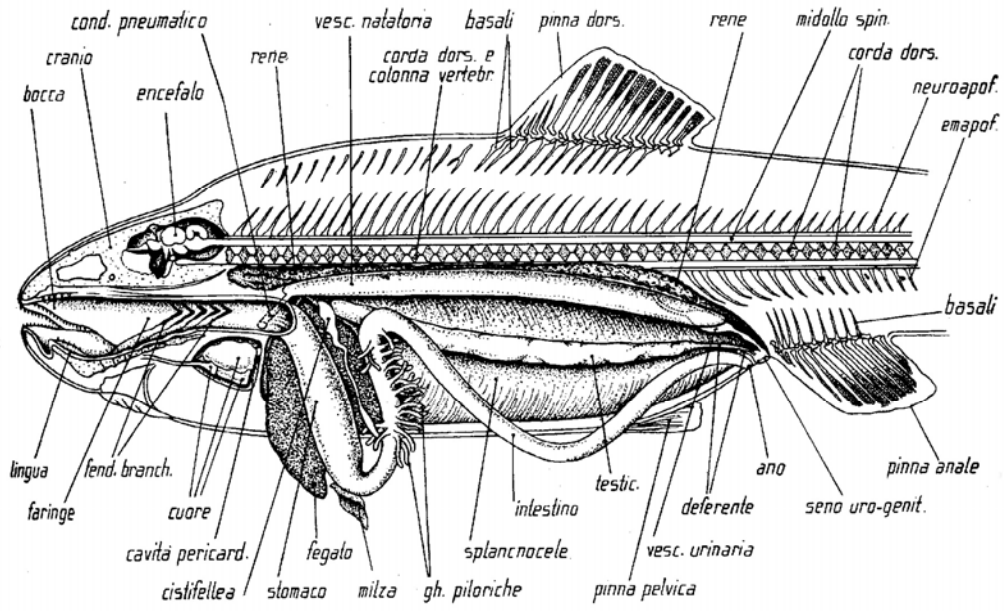


Fig. 13 - Anatomia interna di un Teleosteo: il Salmone. Si notino le piccole dimensioni dell'encefalo.
Da: G. COLOSI, Zoologia e Biologia Generale, UTET, Torino, 1956, pag. 1085.

-- **Celacànti**: I Celacanti rappresentano ancora una volta i lontani discendenti di un gruppo molto antico di Pesci, i Crossopterigi, e sono ridotti ad un solo genere, la *Latimeria*, dei mari del Sud (vedi la Tab. II e la fig. 4, pag. 9).

Come i Dipnoi, gli Anfibi, i Rettili, ecc., i Crossopterigi derivano da un grande gruppo di Pesci ossei, i **Sarcopterigi**, gruppo il quale si era diffuso nelle acque dolci, senza la concorrenza degli altri pesci, in maggioranza marini. Questo loro adattamento alle acque dolci (laghi, paludi, lagune), come è stato detto sopra, ha richiesto da parte loro la capacità di resistere al prosciugamento occasionale del loro ambiente, quindi di respirare aria e di strisciare sul terreno più o meno asciutto. Ed infatti questi pesci hanno spesso una vescica natatoria sviluppata che consente di respirare aria e possiedono coane, che permettono all'aria di arrivare direttamente all'esofago ed alla vescica natatoria senza attraversare la bocca; inoltre le pinne "pari" sono molto sviluppate e quelle posteriori (pelviche) sono spostate all'indietro (fig. 4). Essendo ancorate a qualche osso "basale", queste pinne sono pre-adattate a sostenere l'animale sul terreno, cioè a diventare zampe: su una pinna "impari" (mediana), un animale non potrebbe strisciare poiché si rovescerebbe su un lato.

Ecco l'importanza della *Latimeria*, unico rappresentante vivente dei Celacanti: essa può

indicare il passaggio da animali acquatici ad animali terrestri.

-- **Dìpnoi** (fig. 14): abbastanza simili ai Celacanti, anch'essi ridotti a poche specie viventi, sono particolarmente adattati a vivere nei fiumi delle zone tropicali che facilmente si prosciugano. Quando l'acqua scarseggia, infatti, essi respirano aria (sono dotati di sacchi polmonari efficienti), strisciano nel fango finché non trovano un terreno adatto e si scavano una tana profonda. Qui possono resistere anche per mesi, in attesa del ritorno delle piogge, essendo protetti da un involucro di muco disseccato.

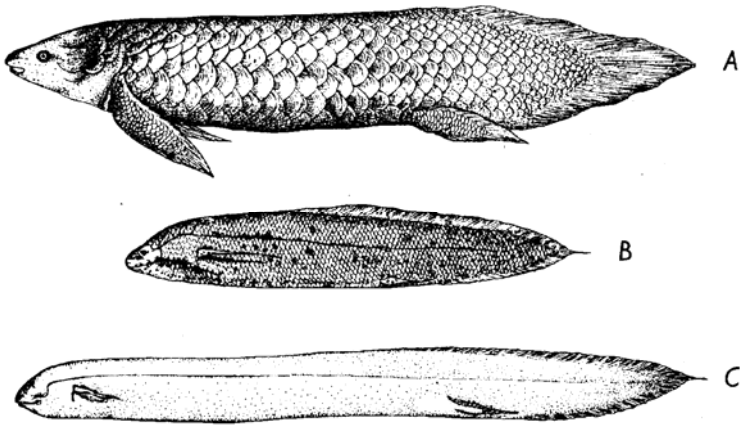


Fig. 14 - I tre generi di Dipnoi viventi: A - *Neoceratodus*, dell'Australia; B - *Protopterus*, dell'Africa; C - *Lepidosiren*, del Sud America.
Da: G. COLOSI, Zoologia e Biologia Generale, UTET, Torino, 1956, pag. 1075.

ANFIBI

Abbiamo già notato (vedi la tab. II) come gli Anfibi attuali siano rappresentati da gruppi diversi, abbastanza dissimili e di diversa origine. Del resto, gli Anfibi viventi sono anch'essi i (pochi) discendenti di Vertebrati terrestri che, alla fine del Paleozoico, erano assai numerosi, diffusi in tutti gli ambienti e spesso di grandi dimensioni: gli Stegocefali.

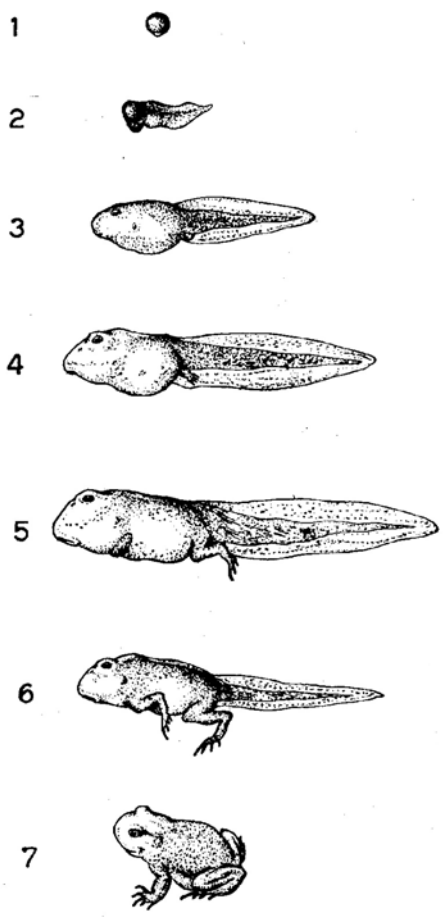
Gli Anfibi possiedono uno scheletro in prevalenza ossificato, in genere con quattro zampe completamente formate, molto più adatte alla marcia che non le pinne pari dei Dipnoi o di altri Pesci. Si tratta dunque dei primi veri animali terrestri a quattro zampe o Tetrapodi. La pelle non ha scaglie, ma spesso porta numerose piccole ghiandole.

All'inizio della vita menano vita acquatica e respirano per branchie. Poi, spesso, si sviluppano i polmoni. I denti esistono, ma sono piccoli.

Di solito sono ovipari, cioè depongono uova, ma nel corso dello sviluppo l'animale si trasforma anche profondamente: si parla di **metamòrfosi**. I piccoli, sempre provvisti di branchie (all'inizio, branchie esterne formate da piccoli ciuffi ramificati, poi branchie interne simili a quelle della maggioranza dei pesci), sempre provvisti di coda, si chiamano genericamente "girini" (fig. 15, pagina seguente).

Al n° 4 della figura 15 è evidente dietro la testa una "tasca branchiale" rigonfia che contiene le branchie interne; l'acqua che entra dalla bocca e traversa le branchie esce da un foro mediano detto **spiracolo**, sul lato inferiore della tasca; nella stessa tasca si formano anche gli abbozzi delle zampe anteriori.

-- **Àpodi** o **Gimnofioni**: come eccezione fra gli Anfibi, gli Apodi sono privi di zampe; hanno un corpo cilindrico come quello di un serpente. Come i serpenti, sono dotati di numerosissime vertebre, fino a 300. Si tratta di poche specie sparse in tutto il mondo. Vivono in climi caldi ed umidi, nell'acqua o nel fango.



-- **Urodèli**: hanno un corpo allungato, con una lunga coda che di solito rimane anche nell'adulto. Le zampe anteriori hanno quattro dita, le posteriori cinque (come anche in molti Anuri). La metamorfosi non è forte, e spesso si limita alla perdita delle branchie.

Vivono in terra o nell'acqua, ma sempre in luoghi umidi poiché la loro pelle, come in tutti gli Anfibi, è sottile e priva di strato corneo. I polmoni sono presenti negli adulti, anche se vivono in acqua.

Sono comuni le Salamandre, che vivono in terra, ed i Tritoni, dalla coda crestata, che vivono in acqua.

-- **Anùri**: si tratta di Anfibi assai più evoluti degli altri; la loro metamorfosi è forte (figura a lato) e la coda scompare nell'adulto, come dice il loro nome ("senza coda"). Le loro costole sono piccole e non connesse allo sterno[1]. Le zampe posteriori sono molto sviluppate ed atte al salto.

Numerosissime specie in tutto il mondo: rane, rospi ed affini.

Fig. 15 - La metamorfosi di un Anuro, il rospo, da uovo ad adulto.
Da: G. COLOSI, Zoologia e Biologia Generale, UTET, Torino, 1956, pag. 1111.

Come si è visto, parlando dell'evoluzione dei Vertebrati, tutti i gruppi visti finora (Pesci ed Anfibi) sviluppano le uova in acqua e quindi, anche se da adulti vivono all'asciutto, debbono stare vicino all'acqua per potersi riprodurre.

Le loro uova non possiedono quindi involucri contro il disseccamento poiché stanno sempre in acqua. Negli altri Vertebrati (Rettili, Uccelli e Mammiferi) invece l'uovo è circondato da una membrana piena di liquido, detta **àmnios**.

RETTILI

Abbiamo visto che la storia dei Rettili è molto complessa; così come gli Anfibi avevano dominato la terraferma alla fine del Paleozoico, così i Rettili la dominarono per tutto il Mesozoico, ed i Mammiferi la dominarono dal Cenozoico ad oggi. È il normale corso dell'evoluzione.

Oltre all'"invenzione" dell'amnios, abbiamo già visto gli adattamenti richiesti dall'occupazione di ambienti aridi, come l'epidermide rivestita da uno strato corneo impermeabile di cellule morte (vedi la Tab. III, pag. 12).

Data però la lunga evoluzione dei Rettili, non è da stupirsi se i gruppi viventi sono tanto diversi fra loro, trattandosi di veri relitti. Inoltre, com'è avvenuto per gli Anfibi, per qualche gruppo di Uccelli e di Mammiferi (basti pensare ai Mammut), anche i Rettili, nel periodo del loro massimo sviluppo, erano andati incontro al **gigantismo**, nel senso che molte specie mostravano dimensioni enormi; il gigantismo, per vari motivi fisiologici e genetici, porta, prima o poi, all'estinzione della specie; si può dire che l'evoluzione, per ogni gruppo vivente, finisce per imboccare un vicolo cieco al termine del quale quel gruppo è destinato a scomparire. Naturalmente, ogni gruppo che scompare apre la strada ad un gruppo esordiente.

Per contro, tutte le grandi radiazioni evolutive, cioè i forti aumenti del numero di specie di un certo gruppo, partono da specie di piccole dimensioni. Anche fra i vegetali superiori,

[1] Come già detto, lo sterno è un osso piatto che sta al centro del petto e su cui si possono articolare le costole.

Felci, Gimnosperme ed Angiosperme, si nota la stessa successione: espansione di specie piccole, aumento del numero di specie, gigantismo, riduzione. Le specie residue di Felci sono poche e sono le più piccole del gruppo. Così i rettili attuali sono pochi e di piccole dimensioni.

••• Per inciso, le cause dell'estinzione delle specie giganti sono varie:

– Ragioni meccaniche impongono ai grandi organismi delle prestazioni impossibili; per es., un albero alto 200 metri richiederebbe una solidità del legno che non è consentita ai tessuti vegetali; l'evoluzione dovrebbe "inventare" materiali inesistenti. Anche un animale più alto dei grandi dinosauri estinti richiederebbe muscoli troppo potenti, un sistema circolatorio capace di spingere il sangue ad altezze eccessive (il muscolo cardiaco ha dei limiti anch'esso), e così via.

– Grandi organismi richiedono grandi quantità di cibo e quindi solo pochi esemplari in un dato territorio. I pochi individui devono incrociarsi fra loro e la consanguineità riduce la variabilità della specie e quindi la capacità di adattarsi ai mutamenti dell'ambiente.

– Le aumentate necessità di cibo richiedono la continua invasione degli ambienti confinanti e quindi la concorrenza totale con popolazioni e specie contermini. •••

-- **Cheloni** (tartarughe, testuggini, ecc.): sono, fra i Rettili viventi, i più primitivi. Non hanno denti, ma una specie di becco corneo, detto **ranfotèca**, come gli Uccelli e le seppie. Il loro tronco (torace ed addome) è racchiuso in una scatola rigida formata da piastre ossee saldate fra loro; la scatola ha una parte ventrale (**piastrone**) ed una dorsale (**scudo**). La pelle ricopre il tutto con lamine cornee, che vengono usate dall'uomo per molti manufatti, come gli "occhiali di tartaruga". La colonna vertebrale è fusa con lo scudo.

-- **Sauri** ed **Ofidi** ("Squamati"). Sono relativamente affini, nonostante le differenze esterne. Hanno la pelle protetta da squame; posseggono veri denti.

Gli **Ofidi** non mostrano mai zampe né sterno. La mandibola è formata da due ossi uniti sul davanti da legamenti, il che permette loro di divaricarsi; l'articolazione della mandibola avviene tramite altri ossi, come il "quadrato", ed essa si può quindi ulteriormente spostare in avanti; anche la mascella è formata da due ossi, articolati anch'essi. Il risultato è che la loro bocca si può dilatare molto e permette di deglutire prede più grosse del loro capo. Le vertebre e le costole sono numerosissime (anche oltre 400) e consentono le ondulazioni del corpo e la locomozione per strisciamento.

Sono questi i cosiddetti "**serpenti**", dall'aspetto caratteristico, ma anche qualche altro rettile[1] e qualche anfibio ha lo stesso aspetto di anguilla.

I **Sauri** hanno quattro zampe (salvo gruppi minori, come gli innocui orbettini, vedi la nota a piè di pagina), occhi con palpebre mobili, e mandibola di un pezzo unico. Comprendono i gechi, le Lacerte (fra cui le lucertole) ed i camaleonti. Ma, pensando alle lucertole, si ricordi che nel gruppo delle Lacerte si trovano anche le grandi Iguane ed i grandissimi Varani (fino a 3 metri di lunghezza). L'iguana marina (*Amblyrhincus cristatus*) è l'unico sauro marino.

-- **Rincocèfali**: sono rappresentati da un'unica specie della Nuova Zelanda, già citata: lo Sfenodonte (*Sphenodon punctatus*) (*tuatara* per gli indigeni), un autentico fossile vivente (pag. 14). È un grosso lucertolone con cinque dita per zampa e costole anche nell'addome.

-- **Loricàti**: sono forse, fra gli animali viventi, i più simili ai progenitori Arcosauri dell'era Mesozoica ed al sottogruppo dei "Dinosauri". Il loro aspetto generale è ancora quello di un lucertolone, ma la lunghezza arriva a molti metri. A differenza dei Sauri, la loro pelle sul dorso e sul ventre è protetta da piastre ossee molto scolpite. I denti sono conici e fissati in alveoli (cavità delle ossa mascellari e mandibolari). Le costole possono essere presenti anche nell'addome.

---

[1] L'orbettino (*Anguis fragilis*), ovoviviparo, assomiglia esternamente ad un serpente, ma è solo una lucertola che ha perso le zampe. È perseguitato come se fosse velenoso: è la solita vittima dell'ignoranza. È anche utile perché è insettivoro.

Oggi vivono quattro gruppi di specie: i **Gaviali** dell'India; i **Crocodili** (coccodrilli) diffusi dalla Malesia all'Africa ed all'America; gli **Alligatori** dell'America settentrionale e della Cina; i **Caimàni** dell'America centro-meridionale.

UCCELLI

Come si è già detto, Teleostei, Uccelli e Mammiferi sono i soli gruppi di Vertebrati "moderni", la cui espansione ha avuto luogo nell'era Cenozoica, non oltre 80 milioni di anni fa. Gli uccelli sono certamente derivati da un piccolo gruppo di Arcosauri e sono quindi parenti stretti dei Dinosauri e dei coccodrilli, e molte sono le somiglianze, specialmente per quanto riguarda lo scheletro. Le differenze fra rettili ed uccelli sono qui sotto riassunte.

RETTILI	UCCELLI
Sangue freddo (eterotermi)	Sangue caldo (omeotermi)
Pelle con scaglie cornee o piastre ossee	Pelle con penne o piume
Arti anteriori normali	Arti anteriori trasformati in ali
Dentatura di solito sviluppata	Denti sostituiti da un becco formato da due leggere "ranfotèche" cornee.

Altre differenze vedremo nell'ultima parte (Anatomia Comparata).

Le scaglie cornee, così diffuse fra i Rettili, si trovano negli uccelli solo a livello delle zampe. Spesso lo sterno porta una cresta mediana (**carena**) che serve da attacco ai muscoli volatori. Di solito vi è lo scheletro di tre dita nell'ala e quattro dita sviluppate nelle zampe. Alla base della trachea vi è un rigonfiamento (**siringe**) che serve da cassa si risonanza durante il canto. L'esofago ha una dilatazione (gozzo o **ingluvie**) che serve da magazzino temporaneo per il cibo; nei colombi, l'ingluvie produce una poltiglia grassa ("latte del gozzo") che sia il maschio che la femmina rigurgitano per nutrire i piccoli per la prima settimana dopo la schiusa delle uova. Al confine fra stomaco ed intestino, lo strato muscolare che fa parte della parete di tutto il tubo digerente si ingrossa e forma un'espansione chiamata **ventriglio**, che gli uccelli granivori utilizzano per tritare i semi di cui si nutrono.

Non tutti gli uccelli volano: alcune specie (struzzi, kiwi, casoari, pinguini, ecc.) hanno le ali e talvolta il piumaggio rudimentali.

Le specie sono numerose (quasi 10.000), distinte in una ventina di ordini; l'alimentazione è la più varia: carnivora, vegetariana, insettivora, granivora, ecc.

Molte specie, spesso ottime volatrici, sono adattate alla vita acquatica e possiedono zampe "palmate", con una membrana "interdigitale" che consente di nuotare durante il galleggiamento; il galleggiamento è spesso assicurato dall'impermeabilità del piumaggio: presso la coda, molti uccelli, anche non acquatici, possiedono la "**ghiandola uropigiale**" che produce una specie di grasso oleoso; l'animale col becco preleva questo grasso e lo spalma sulle piume; non è difficile osservare questi movimenti caratteristici nelle anatre, oche, ecc. Alcune specie marine, non solo i pinguini, sono adattate così bene alla vita in acqua da tornare a terra solo per la deposizione e la cova delle uova.

MAMMIFERI

Benché conti relativamente poche specie (circa 5.000, contro le 25.000 di pesci, le 100.000 di Molluschi, almeno un milione di Insetti, ecc.), questo gruppo è il più conosciuto, sia perché comprende animali di grandi dimensioni, sia perché molti di essi sono legati all'uomo come oggetto di caccia, di allevamento, ecc.

I Mammiferi si distinguono per avere la pelle ricoperta di peli e per possedere una o più paia di ghiandole "mammarie" in posizione ventrale, di solito addominale, che servono alla nutrizione della prole. Tranne i Monotremi (vedi sotto), gli altri Mammiferi sono vivipari: le uova (prive di guscio) vengono trattenute nel corpo della madre e vi iniziano la crescita, in modo che viene deposto un embrione più o meno sviluppato ("**feto**"). Il nutrimento e

l'ossigeno necessari allo sviluppo vengono forniti dal sistema circolatorio della madre il quale si intreccia con quello dell'embrione; non vi è uno scambio diretto di sangue fra madre e feto, ma i vasi sanguigni dell'una si accostano a quelli dell'altro ed intorno ad essi si forma un organo particolare chiamato **placenta**. La struttura e la funzione della placenta sono molto diverse nei vari gruppi di Mammiferi. I Mammiferi dotati di placenta (tutti, tranne i Monotremi ed i Marsupiali), sono chiamati **Placentati**.

La viviparità non è esclusiva dei Mammiferi: sia pure in forma ridotta, essa si trova anche in certi pesci, Anfibi, Rettili (anche se manca una vera placenta). Altre volte, non vi è rapporto diretto fra madre e feto, ma le uova non vengono deposte finché l'embrione, nel loro interno, non ha avviato lo sviluppo utilizzando i materiali che l'uovo stesso contiene (albume, tuorlo o simili). In altre parole, vengono deposte uova già sviluppate. Le specie che presentano questo fenomeno si chiamano **ovo-vivipare** (qualche lucertola, qualche vipera, orbettino, alcuni Pesci Ciprinodonti, oltre a vari insetti). Quando viene deposta una larva, si parla di larviparità.

I **Monotremi** dunque, probabilmente i Mammiferi più primitivi, depongono uova come gli uccelli; però si classificano fra i Mammiferi per vari caratteri, fra cui la presenza del pelo e delle ghiandole mammarie. Non hanno denti ossei, almeno gli adulti, ma piuttosto denti cornei ed una specie di sottile becco corneo.

Le specie di Monotremi viventi sono pochissime, diffuse in Australia e nella Nuova Guinea (Echidna, simile ad un istrice, ed Ornitorinco, dotato di un becco piatto, simile ad un castoro, anche come habitat).

I **Marsupiali** sono già più affini ai veri Mammiferi poiché depongono embrioni, sia pure poco sviluppati, ma non uova. Il completo sviluppo dell'embrione è consentito dal suo soggiorno in una tasca ventrale delle femmine (**marsupio**) formato da un'ampia piega della pelle. Nel marsupio sboccano le piccole ghiandole mammarie[1].

I Marsupiali hanno denti. Sono diffusi in Australia ed America[2] ed hanno occupato tutte le nicchie che altrove sono occupate dai Placentati; ve ne sono di carnivori, erbivori, insettivori.

I veri e più numerosi carnivori sono i **Placentati**, dotati di placenta più o meno sviluppata.

I principali ordini sono:

-- **Insettivori** (tupaie, talpe, ricci, toporagni), con cinque dita per zampa, muso spesso allungato, abitudini notturne. Si nutrono spesso di insetti od altri piccoli animali.

-- **Chirotteri**: sono i pipistrelli ed affini (il loro nome viene dal greco e significa "alimano" poiché le loro zampe anteriori funzionano da ala, sia pure con una struttura ben diversa dall'ala degli uccelli); queste ali sono costituite da un'ampia piega della pelle tesa fra le dita (dalla 2ª alla 5ª); vi sono numerosissime specie, insettivore o frugivore (mangiatrici di frutti), spesso ottime volatrici.

-- **Roditori** (topi, scoiattoli, istrici, castori, criceti, arvicole, cavie, cincillà, lepri, ghiri); sono dotati di forti incisivi a crescita continua, ma sono privi di canini. In genere sono erbivori o granivori, di piccola taglia.

-- **Carnivori**, dalla tipica dentatura a canini lunghi ed arcuati, incisivi quasi assenti, molari appuntiti (Felini, Viverridi, Iènidi, Canìdi, Ursidi, Procionidi, Mustelidi {donnola, faina, puzzola, tasso, lontra, ermellino, martora}).

-- **Pinnìpedi** (foche, trichechi, otarie) dalle zampe e coda ridotti, ben adattati al nuoto.

-- **Cetàcei** (balene, megattere, delfini, narvàlo, capodoglio), ancora più adattati all'ambiente marino, con zampe ridotte a pinne o mancanti, specie le posteriori; la forma esterna assomiglia a quella di un grosso pesce ("convergenza" – vedi l'art.n° 23, pag. 18).

-- **Ungulati**, cosiddetti per le forti unghie o "zoccoli"; questi animali infatti poggiano sul

---

[1] Anche nei Monotremi può esistere un marsupio, anche se rudimentale. Del resto, organi adibiti alla conservazione o allo sviluppo delle uova, analoghi ad un marsupio, si trovano anche in alcuni pesci, come i cavallucci di mare, in certi Anfibi simili a rospi, ecc.

[2] In Australia, prima dell'arrivo degli europei, esistevano solo Monotremi, Marsupiali e pochi placentati (il dingo, pipistrelli e qualche topo).

terreno con la punta delle dita (si parla di "**digitìgradi**") al contrario dei Carnivori (in parte), Roditori, Ursidi, ecc. che poggiano tutta la pianta del piede ("**plantìgradi**"). Possono presentarsi spiccate riduzioni delle dita, fino a tre o addirittura una sola, come nei cavalli (fig. 23 F, pag. 33) o due, come nei **Ruminanti** (fig. 23 G/H). La dieta è essenzialmente erbivora, e ciò comporta una digestione più lunga, divisa in varie fasi; per facilitare questa funzione, lo stomaco dei Ruminanti è suddiviso in quattro cavità (**rumine**, per un primo accumulo del cibo masticato in parte; **reticolo**, per il rinvio di questo cibo alla bocca in vista di una seconda masticazione, **omàso** ed **abomàso**, per la digestione vera e propria). Vedi la fig. 16, qui sotto.

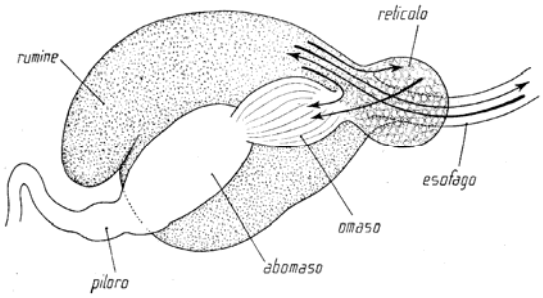


Fig. 16 – Lo stomaco di Ruminanti, diviso in quattro cavità distinte.

Da: G. COLOSI, Zoologia e Biologia Generale, UTET, Torino, 1956, pag. 1205.

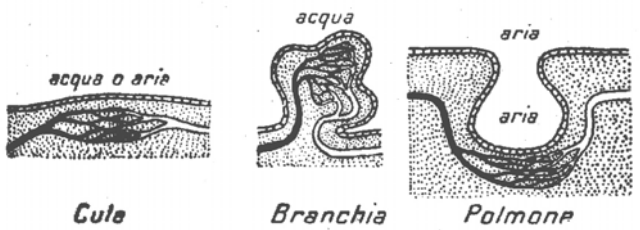


Fig. 17 – In sintesi: la respirazione direttamente attraverso la cute, come in molti Anfibi - per mezzo di branchie, in acqua (pesci, anfibi)- per mezzo di polmoni o simili, in aria.

Da: G. COLOSI, Corso di Biologia, Le Monnier, Firenze, 1940, pag. 45.

Gli Ungulati comprendono come principali gruppi:

- **Proboscidàti** (elefanti)
- **Sirènidi** (manato, dugongo), acquatici
- **Perissodàttili**, con una o tre dita (tapìri, rinoceronti, equini)
- **Artiodàttili**, con due o quattro dita (suini, ippopotami, cammelli, ruminanti {Cèrvidi, renne, giraffe, mosco, okapia, antìlopi, bovini, capre, pecore})

-- **Primàti**: comprende i Lèmuri (tarsii, lemuri) e gli Antropòidi, questi ultimi distinti in:

- Platirrìni, a naso corto e largo, con coda lunga, dell'America, e
- Catarrìni, a naso stretto, dell'Africa e dell'Asia (Cercopitèci, Ilobatidi, gibbone, orango, gorilla, scimpanzé, babbuini, bonobo); sono le scimmie più simili all'Uomo, prive di coda; vengono chiamate anche "antropomòrfe".

ANATOMIA COMPARATA

È questa una branca dell'anatomia che confronta ("compàra") la struttura di specie o gruppi di specie simili. Il suo studio chiarisce spesso i rapporti di parentela e discendenza fra le specie, che possono essere male interpretati alla luce dei soli caratteri esterni. Noi vogliamo qui esaminare alcuni apparati dei Vertebrati (solo alcuni, per brevità), per confrontare le differenze con cui essi si presentano nelle varie classi; in questo modo potremo meglio comprendere i caratteri che distinguono un gruppo dall'altro e chiariscono il processo della loro evoluzione.

Apparato respiratorio

Sappiamo che gli scambi di gas fra un organismo e l'ambiente costituiscono la **respirazione** : assorbimento dell'ossigeno (necessario per l'ossidazione del glucosio ed altre sostanze, quindi per la produzione dell'energia), ed emissione di anidride carbonica (risultato dell'ossidazione). Questi scambi di gas possono avvenire in vario modo:

in aria, attraverso la pelle, attraverso i "sacchi polmonari" (vescicole collegate

all'esofago, vedi la fig. 18[1]), o attraverso i polmoni, che sono una specie di perfezionamento dei sacchi polmonari;

in acqua, attraverso le branchie (esterne od interne rispetto alla superficie del corpo; fig. 17).

I polmoni sono delle specie di sacchi dalla parete pieghettata; oppure la loro parete forma dei prolungamenti tubulari che si ramificano più volte fino a costituire una specie di spugna; ogni prolungamento terminale della cavità polmonare (**alvèolo**) è una vescichetta piena d'aria circondata da capillari sanguigni. I gas diffondono attraverso questa doppia parete: parete dell'alveolo e parete del capillare. I polmoni sono organi interni: l'aria entra nell'organismo attraverso la bocca o il naso e viene portata molto vicino ai capillari ("inspirazione"). Poi, l'aria deve tornare all'esterno ripercorrendo a ritroso la stessa via ("espirazione"). Nell'acqua invece i polmoni non funzionerebbero poiché l'acqua non potrebbe entrare ed uscire con sufficiente velocità dalla lunga serie di condotti (bocca-trachea-bronchi-bronchìoli-infundìboli) che portano agli alveoli. Per respirare in acqua occorrono organi o sporgenti (e quindi immersi in acqua: le **branchie esterne**) o in cui l'acqua possa entrare da una parte ed uscire dall'altra (le **branchie interne**). Le branchie interne dei Pesci e di molti Anfibi sono delle specie di fessure ai lati del collo, in cui l'acqua passa provenendo dall'interno (dalla bocca) ed esce verso l'esterno. Spesso le "fessure branchiali" sono poco visibili perché coperte da un "opercolo", ma ciò non cambia la sostanza. Naturalmente, all'interno delle fessure vi sono dei tessuti molli disposti in lamine o in filamenti ramificati, ricchi di capillari. Poiché gli scambi gassosi avvengono attraverso la superficie di separazione fra tessuti ed aria (od acqua), gli organi respiratori debbono possedere una grande superficie e perciò hanno forma di lamine o di ramificazioni. Nota: anche molti Invertebrati possiedono branchie, interne od esterne, di questo tipo.

Le branchie esterne, delle specie di ciuffi più o meno ramificati ai lati del collo, che sporgono dalla superficie del corpo, si trovano nei girini degli Anfibi, nei primi stadi di sviluppo, ed in alcuni Anfibi adulti. Le branchie interne, a struttura lamellare, sono l'organo respiratorio normale dei Pesci, Molluschi, ecc. I polmoni invece sono tipici di tutti i Vertebrati terrestri, comprendendo in questa categoria anche quegli organi rudimentali che sono i sacchi polmonari dei Dipnoi ed altri Pesci.

In fig. 18 è schematizzato l'abbozzo dei polmoni, che nascono da un'espansione del tubo digerente, in particolare della faringe o dell'esofago.

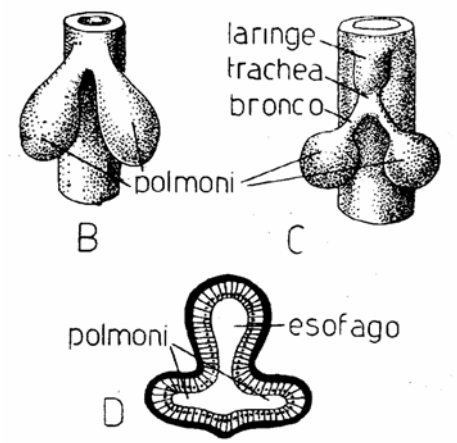


Fig. 18 - Schema dello sviluppo dei polmoni nei Vertebrati terrestri. In basso, una sezione trasversale a livello della dilatazione dell'esofago

Da: M. SALFI, Elementi di Morfologia dei Vertebrati, "HUMUS" di Pellerano - Del Gaudio, Napoli, 1940; pag. 403.

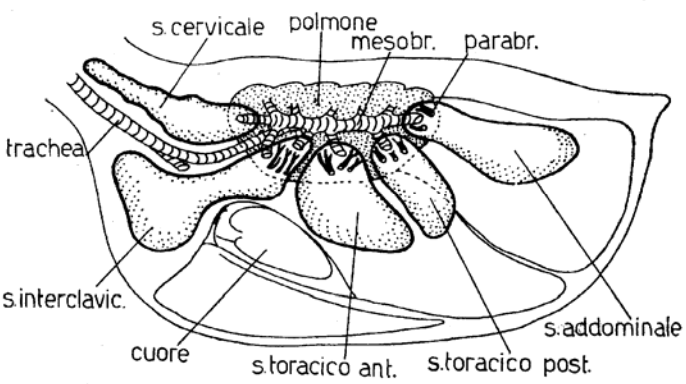


Fig. 19 - Il sistema respiratorio degli Uccelli. NB: l'abbreviazione "s." sta per "sacco".

Stessa fonte della figura precedente; pag. 410.

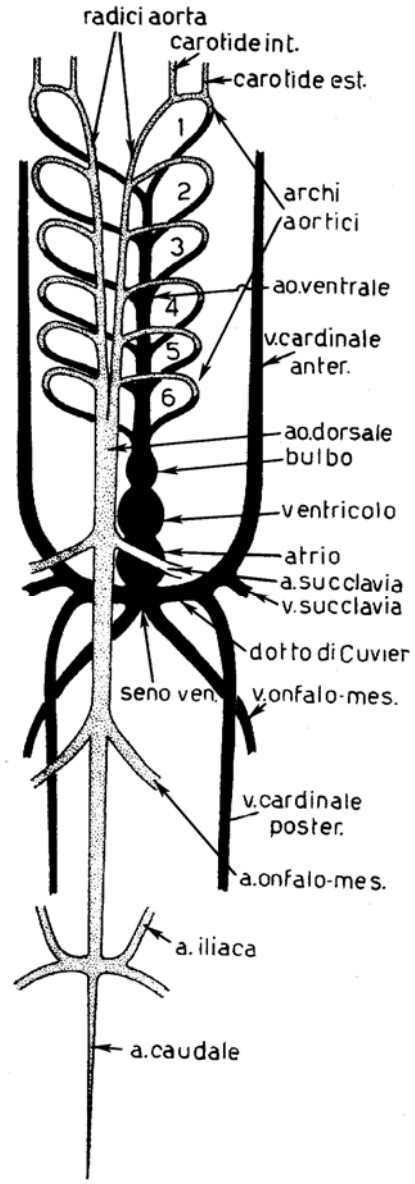
Negli uccelli vi sono molte cavità piene d'aria (**sacchi aerei**) collegate con la cavità pol-

[1] In certi Invertebrati (ragni, ecc.) si chiamano "sacchi polmonari" o "polmoni a libro" certe cavità respiratorie di altra origine, che sboccano direttamente all'esterno, senza rapporto con il tubo digerente.

monare (figura precedente); non hanno funzione strettamente respiratoria, ma consentono un più rapido movimento di aria nei polmoni tutte le volte che essi vengono compressi e decompressi dai muscoli volatori. Dai sacchi aerei si dipartono dei sottili tubi, sempre pieni d'aria, che terminano all'interno delle ossa: si parla di "**ossa pneumatiche**", con la funzione di alleggerire le ossa. Nella figura precedente si vede il polmone ed il sistema dei sacchi aerei degli Uccelli.

Apparato circolatorio

È questo un complesso di organi che provvede alla continua circolazione del sangue in tutto l'organismo. Vi è un organo propulsore (cuore), dei vasi in cui esso spinge il sangue (arterie) e dei vasi che lo riportano il sangue al cuore (vene). Le ultime propaggini delle arterie sono in collegamento colle prime ramificazioni delle vene tramite vasi sottilissimi detti **capillari**.



Il cuore, nel caso più semplice, è costituito da due cavità: quella che riceve il sangue dalle vene (**orecchietta** od **atrio**) e quella che lo comprime nelle arterie (**ventrìcolo**). La parete di queste cavità mostra uno spesso strato muscolare. Spesso, fra vene ed atrio, vi è un'ulteriore cavità a pareti più sottili ("seno venoso"). Fra ventricolo e prime arterie (aorta e sue diramazioni) vi può essere un'altra cavità ("bulbo aortico" o "cono arterioso"). Si veda la figura a lato. Opportune valvole fra una cavità e l'altra obbligano il sangue a circolare solo in un senso.

La disposizione generale di fig. 20 prevede che il sangue venoso (ricco di anidride carbonica, povero di ossigeno) proveniente da tutto l'organismo entri nel cuore (seno venoso od atrio) e dall'atrio passi nel ventricolo e poi nell'aorta; le prime diramazioni dell'aorta sono "pari", disposte a doppio pettine (fig. 20, "archi aortici") ed attraversano le branchie, se presenti; qui, il sangue cede una parte dell'anidride carbonica e si lega con l'ossigeno, diventando "arterioso". Dopo le branchie, gli archi aortici confluiscono di nuovo nella "aorta dorsale" (in punteggiato, fig. 20) che poi si dirama in tutti gli organi con altrettante arterie.

Questo schema si ritrova essenzialmente nei Pesci; il sangue compie un giro completo attraversando il cuore una sola volta (**circolazione semplice**) senza mai mescolare il sangue venoso con quello arterioso (**circolazione completa**). Il cuore è attraversato solo da sangue venoso. L'atrio è in posizione caudale (posteriore) rispetto al ventricolo: negli altri Vertebrati avviene un'inversione dell'orientamento del cuore e le vene entrano da sopra nel cuore poiché l'atrio si sposta verso il capo.

Fig. 20 - Schema fondamentale dell'apparato circolatorio nei Vertebrati, in particolare nei Pesci. In nero i vasi che contengono sangue venoso; in punteggiato il sangue arterioso. "a." indica "arteria"; "v." indica "vena"; "ao" indica "aorta".
Da: M. SALFI, Elementi di Morfologia dei Vertebrati, "HUMUS" di Pellerano - Del Gaudio, Napoli, 1940; pag. 415. (modif.)

Negli Anfibi adulti, la circolazione si dice **doppia** ed **incompleta**; doppia, poiché l'atrio è diviso in due parti da un setto centrale; incompleta, poiché il sangue venoso si mescola coll'arterioso. L'atrio destro riceve il sangue venoso come nei Pesci; il sinistro riceve il sangue che proviene dai polmoni (dalle vene polmonari[1]), ma è sangue ossigenato, quindi arterioso. I due tipi di sangue si mescolano parzialmente nel ventricolo e da qui imboccano le arterie. Le arterie branchiali o **archi aortici**, cioè le diramazioni dell'aorta, non attraversano più le branchie, che si riducono durante lo sviluppo in molti Anfibi; esse del resto contengono già sangue ossigenato e vanno direttamente agli organi (vedi la fig. 21, qui sotto).

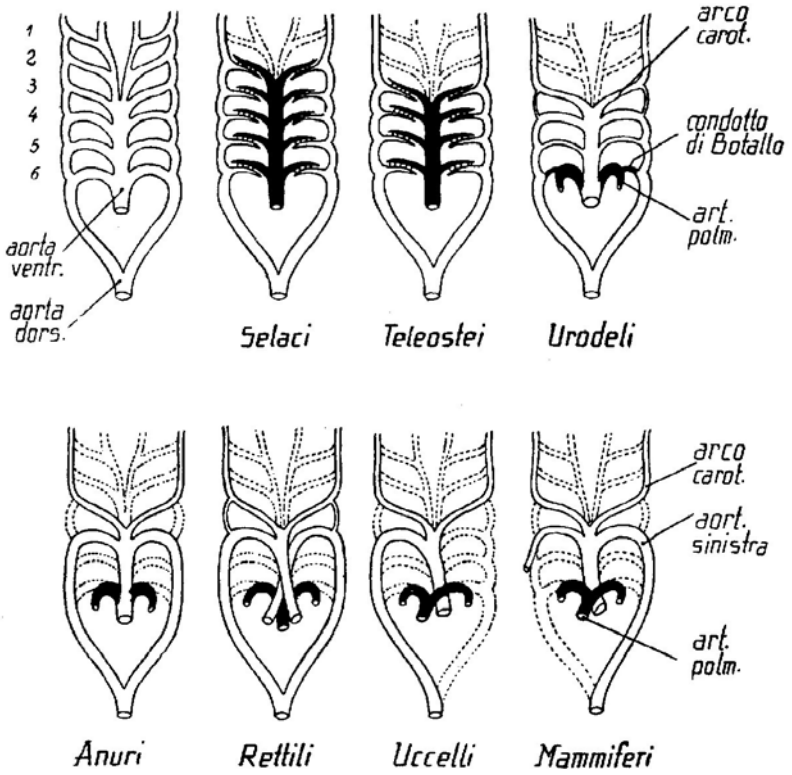


Fig. 21 - Schema dell'apparato circolatorio in vari gruppi di Vertebrati. La "aorta ventrale" è la prima arteria che esce dal cuore (non disegnato). In nero sono le arterie che portano sangue venoso dal cuore alle branchie (Selaci-Teleostei) o ai polmoni (arterie polmonari). A contorni punteggiati sono gli archi aortici che scompaiono nel corso dell'evoluzione.

Da: G. COLOSI, Zoologia e Biologia Generale, UTET, Torino, 1956, pag. 1014.

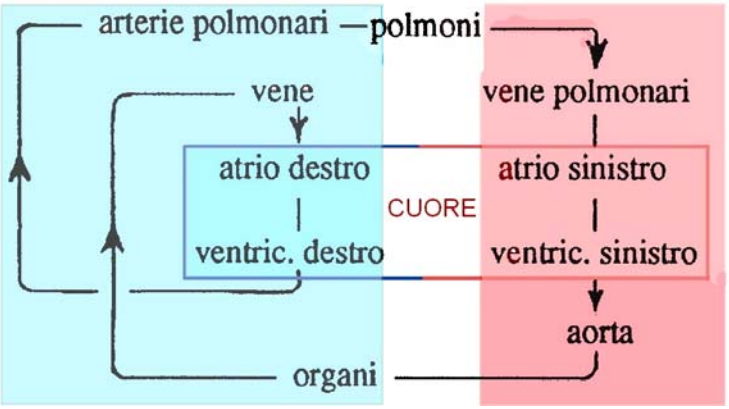
Sempre negli Anfibi adulti, l'orecchietta doppia comporta la circolazione "doppia", vale a dire che il sangue passa due volte per il cuore prima di compiere un giro completo: dal cuore, attraverso i rami dell'aorta, va a tutti gli organi, fra cui i polmoni; dai polmoni torna all'orecchietta sinistra (sangue arterioso); da qui al ventricolo e di nuovo a tutti gli organi; da questi (esclusi i polmoni) il sangue (venoso) torna all'orecchietta destra e di nuovo al ventricolo. Nel ventricolo si mescolano dunque il sangue arterioso (dai polmoni e dalle vene polmonari) e quello venoso (da tutti gli altri organi). Da qui il termine già citato di "**circolazione incompleta**".

Nei Rettili, la situazione è simile, ma il ventricolo è anch'esso parzialmente diviso da un setto centrale, quindi il mescolamento fra sangue arterioso e venoso è minore. Inoltre, in alcuni gruppi di Rettili (soprattutto Loricati), si sdoppia anche il tronco aortico: questa è la vera innovazione; infatti, dalla metà destra del ventricolo (che riceve sangue venoso dalle vene e dall'atrio destro) partono le arterie polmonari dirette ai polmoni; dalla metà sinistra del ventricolo partono i rami (o il ramo unico) dell'aorta che portano sangue arterioso proveniente dalle vene polmonari e dall'atrio sinistro. Dunque, ancora circolazione doppia incompleta.

Negli Uccelli e nei Mammiferi si completa la separazione fra le due metà del ventricolo;

[1] Sono **vene** i vasi afferenti (che portano sangue al cuore, anche se è arterioso, come nel caso delle vene polmonari dei mammiferi); sono **arterie** i vasi efferenti che portano il sangue fuori dal cuore, anche se è sangue venoso (come le arterie polmonari dei mammiferi).

il sangue quindi passa due volte per il cuore (**circolazione doppia**) senza alcun contatto fra sangue venoso ed arterioso (**circolazione completa**). Il percorso completo è così effettuato:



Nella metà sinistra (a destra in rosa nella figura) circola sangue ossigenato (arterioso); nella metà destra, in celeste, circola sangue venoso.

Quello che bisogna notare è la trasformazione progressiva della circolazione:

1) semplice nei pesci (fig. 20 e fig. 21 in alto), in cui il sangue venoso (nero in figura) che è spinto dal cuore si ossigena nelle branchie e poi va direttamente agli organi attraverso gli archi aortici; da qui, ritornato venoso, torna al cuore attraverso le vene;

2) doppia incompleta degli Anfibi e certi rettili, in cui il sangue venoso entra nell'atrio destro mentre quello arterioso (che ha traversato i polmoni) entra nel sinistro; vi è dunque uno sdoppiamento delle vene: quelle che provengono da tutto l'organismo ("vene" in senso stretto) e quelle che vengono dai polmoni (vene polmonari, che portano sangue arterioso); un solo ventricolo; rimescolamento parziale del sangue venoso e di quello arterioso;

3) doppia incompleta di altri Rettili, in cui si sdoppiano anche le arterie: l'aorta principale, che irrora tutto l'organismo, orientata a destra, e le arterie polmonari (dal ventricolo destro), contenenti sangue venoso, che irrorano i polmoni (fig. 21, seconda figura in basso);

4) doppia completa degli Uccelli e dei Mammiferi, in cui si completa la separazione fra circolo venoso e circolo arterioso (fig. 21, terza e quarta figura in basso).

Dalla fig. 21 appare anche chiara la progressiva riduzione degli archi aortici presenti nei pesci, che danno origine alle arterie carotidi (dirette al capo), alle succlavie (dirette alle zampe anteriori dei Tetrapodi) ed alla (o alle) aorte.

Dalla stessa figura, in apparenza inspiegabilmente, appare che l'andamento dell'arco aortico s'inverte passando degli Uccelli ai Mammiferi. È a destra (a sinistra in figura: l'apparato è visto dal davanti) negli Uccelli, mentre è a sinistra (fig. 21, ultima da sinistra in basso) nei Mammiferi, uomo compreso. Poiché l'aorta principale era a destra nei Rettili (seconda da sinistra in basso in fig. 21 – un secondo arco aortico dall'altro lato tenderà a scomparire) si deduce che si tratta di un carattere ereditato dai rettili, come deriva dalla filogenesi, di cui si era parlato a proposito della Tab. II.

In altre parole, si conferma che gli Uccelli sono i pronipoti dei Rettili Arcosauri diapsidi mesozoici, mentre i Mammiferi vengono da un ramo di sinapsidi che si sono distaccati assai presto dagli Arcosauri, forse già nel Paleozoico.

Apparato scheletrico

Dato il grande numero delle ossa, lo studio delle loro modificazioni nei vari gruppi di Vertebrati sarebbe troppo complesso. Ci limitiamo quindi ad accennare allo scheletro degli arti. La fig. 22 mostra in A lo schema-base di molti pesci: le pinne pari sono sorrette, oltre che da eventuali "raggi" cartilaginei od ossei, da due file di ossicini, "basali" e "radiali". In alcuni pesci (B), fra questi ossicini si cominciano a distinguere quelli che diventeranno il braccio dei Tetrapodi (omero) e quelli dell'avambraccio (ulna e radio). Nei Crossopterigi (*Latimeria* ed affini, C in figura 22), le ossa terminali dell'arto ("intermedio" e simili) cominciano a trasformarsi. Nei Dipnoi (D) essi formano l'asse portante della pinna. In molti Rettili ed Anfibi si riconoscono già le cinque dita, con le relative serie di falangi (E) per arrivare all'arto "normale" di molti Rettili e Mammiferi (F).

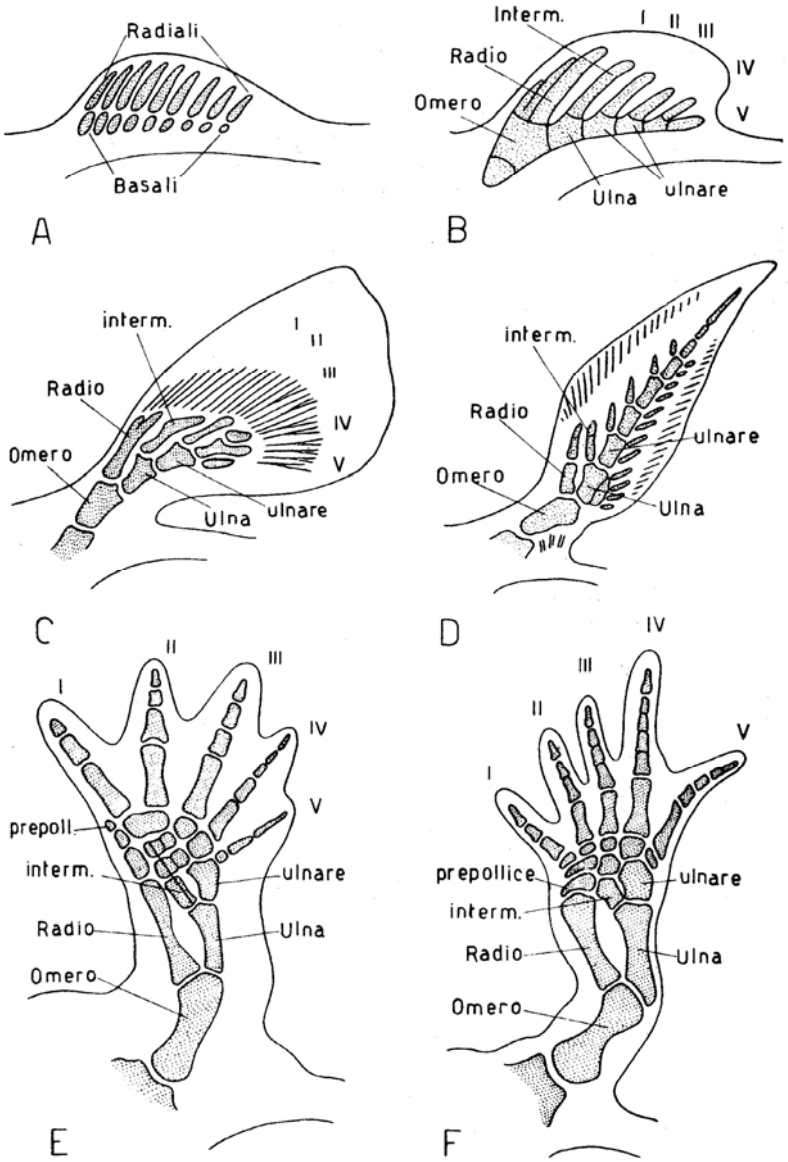


Fig. 22 - Schema dell'evoluzione dell'arto anteriore nei Vertebrati

Da: M. SALFI, Elementi di Morfologia dei Vertebrati, "HUMUS" di Pellerano - Del Gaudio, Napoli, 1940; pag. 259.

Ma è chiaro che questo schema generale si adatterà volta per volta alle esigenze dei vari ambienti. In fig. 23, alla pagina seguente, si vede qualche esempio: A : pinna di Ittiosauro (rettile marino fossile) con moltiplicazione delle falangi; B : zampa trasformata in pinna di un Mammifero Cetaceo; C : zampa scavatrice di talpa; D : ala di anatra; E ed F : piedi di rinoceronte e di cavallo (Mammiferi Ungulati Perissodattili) con numero dispari di dita; G ed H : zampe di maiale e di cervo (Ungulati Artiodattili) con numero pari di dita.

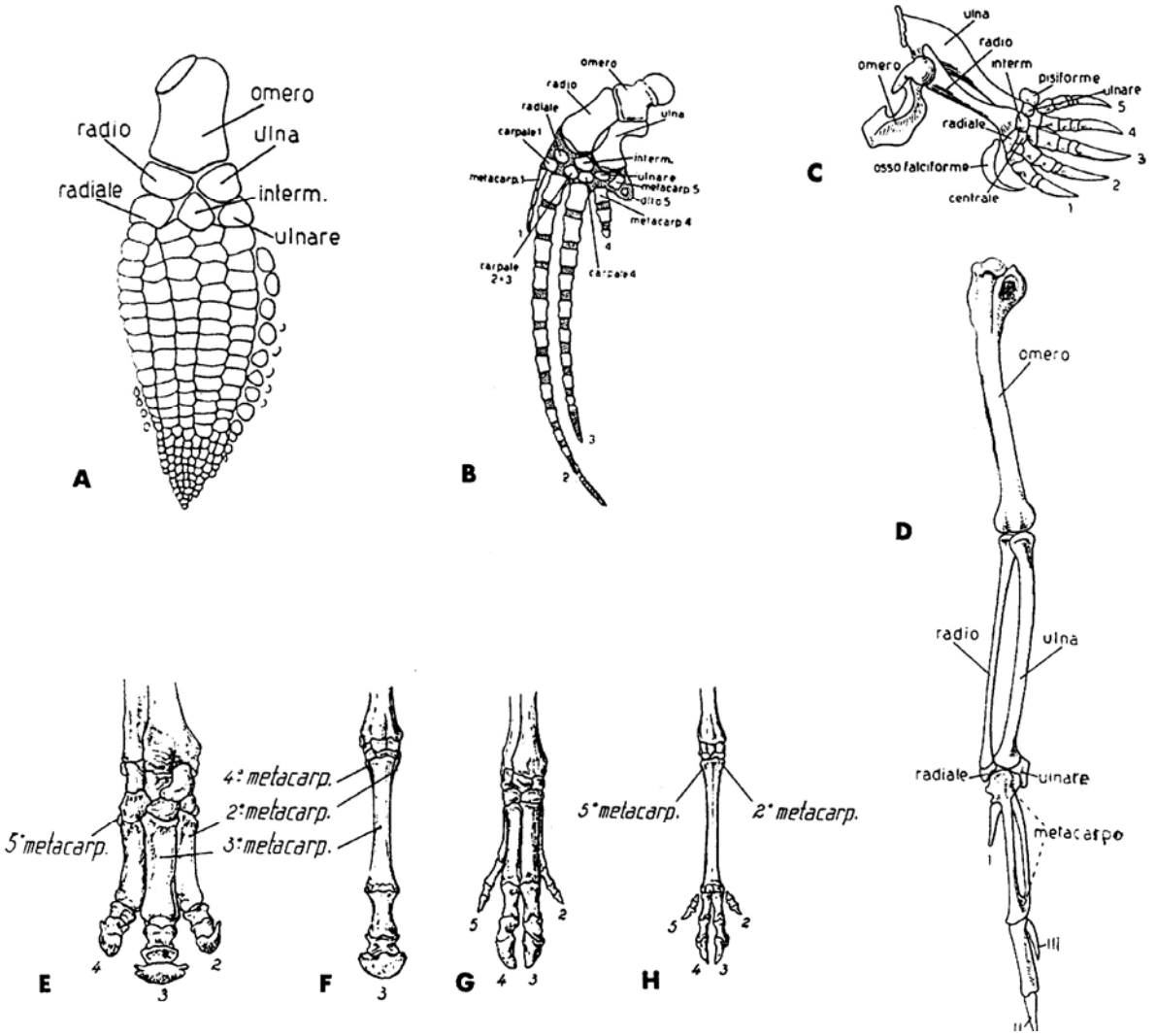


Fig. 23 - Scheletro dell'arto anteriore in vari gruppi di Vertebrati, con modificazioni legate all'adattamento a vari modi di vivere (vedi testo).

Da: M. SALFI, Elementi di Morfologia dei Vertebrati, "HUMUS" di Pellerano - Del Gaudio, Napoli, 1940; pag. 250, 254, 251 (A, B, C e D),

e da: G. COLOSI, Zoologia e Biologia Generale, UTET, Torino, 1956, pag. . 1246 e 1251 (E, F, G, H).

(Alla ricerca di una) CONCLUSIONE

Da quanto detto, appare evidente come la graduale trasformazione di singoli organi od interi apparati, nel corso dei tempi geologici, consenta ad alcune specie viventi (quelle che non ci riescono, semplicemente, si estinguono), di adattarsi ad ambienti mutevoli o ad ambienti fino allora inesplorati. Variabilità della specie, selezione, adattamento, sono i meccanismi basilari dell'evoluzione, degli organi e delle specie.

– Variabilità: mutazioni ed interscambio sessuale. Influenze ambientali? (epigenetica).

– Selezione: progressivo prevalere su base statistica delle varietà e delle specie col maggior tasso riproduttivo.

– Adattamento: progressivo prevalere dei caratteri che assicurano il maggior tasso di sopravvivenza in ogni dato ambiente.

Ma … Quella che abbiamo esposto finora è una ricostruzione classica, assai condivisa. In essa sono stati considerati gli adattamenti che alcuni apparati hanno subìto nel corso dei tempi geologici. Però abbiamo trascurato altri fenomeni che indicherebbero qualche alternativa. Per es., la necessità per ogni animale di mantenere entro stretti limiti la pressione osmotica dei

propri liquidi interni (sangue e linfa) – un caso particolare dell'**omeostasi**[1] (conservazione delle proprietà dell'ambiente interno all'animale).

••• Precisiamo: se due soluzioni con lo stesso solvente (acqua nel caso nostro), di diversa concentrazione, sono separate da una membrana permeabile, si verifica la diffusione sia del soluto che del solvente (**osmosi**) in due direzioni finché le due soluzioni raggiungono la stessa concentrazione.

Se la membrana è invece semipermeabile, ossia non consente la diffusione del soluto, il solvente può trasferirsi dalla soluzione più diluita a quella più concentrata, ma solo fino ad un certo punto: infatti, esso aumenta la pressione dal lato più concentrato e tale pressione riduce la possibilità della diffusione del solvente fino a bloccarla. Il valore di tale pressione, possiamo chiamarla "pressione di equilibrio", che impedisce ogni ulteriore diffusione del solvente, è chiamato "**pressione osmotica**".

Salvo casi particolari (cuticole, piastre cornee od ossee), e se l'animale è acquatico, l'epidermide, le membrane esterne delle branchie o del tubo digerente, o comunque tutte le superfici a contatto con l'acqua ambiente, sono appunto **membrane semipermeabili**. Poiché la pressione osmotica influisce su tutti gli scambi chimici fra i tessuti, essa deve essere mantenuta entro stretti limiti per tutti i liquidi interni di ogni essere vivente – il che rientra nel fenomeno generale dell'omeostasi.

Se tali liquidi interni hanno la stessa pressione osmotica dell'acqua in cui vive un animale acquatico, lo scambio di acqua fra l'interno e l'esterno di esso diventa trascurabile. In caso contrario, occorrono dei meccanismi attivi (con consumo di energia) per spostare acqua fra l'interno e l'esterno, in un senso o nell'altro, in modo da stabilizzare la concentrazione dei liquidi interni. •••

Conviene ora esaminare la pressione osmotica interna di alcune classi di animali acquatici.

Gli Invertebrati marini oscillano sul valore di 2 atm., in accordo quasi perfetto con l'acqua di mare. Adattamento ottimale.

I Selaci (razze e squali) si trovano in analoga situazione, anche se la loro pressione osmotica è dovuta per quasi due terzi ad un accumulo di urea nel sangue, per la quale le branchie sono impermeabili.

<u>Per tutti gli altri animali acquatici</u> (Invertebrati d'acqua dolce, Teleostei d'acqua dolce e marini, Anfibi, qualche rettile, uccello e mammifero acquatico), la pressione osmotica interna è circa un terzo di quella dell'acqua marina (ma, ovviamente, ben superiore a quella dell'acqua dolce). Come fanno a stare in equilibrio osmotico nell'acqua?

1° caso: animale d'acqua dolce.

L'acqua dolce tende a diffondere verso l'interno attraverso le membrane esterne. L'animale "imbarca" acqua.

Per evitare di scoppiare, occorre un sistema drenante costituito dai reni o organi simili, che producono grandi quantità di urina diluita (ipotonica).

Analogo problema interessa gli <u>animali terrestri</u>, i quali bevono acqua dolce (con pressione osmotica minima). L'assorbimento avviene attraverso le pareti intestinali e l'espulsione avviene attraverso i reni (urina diluita).

2° caso: animale marino.

L'acqua marina è ipertonica (pressione osmotica tripla) rispetto ai liquidi interni dell'animale (Teleostei marini). L'acqua tende a diffondersi attraverso le membrane verso l'esterno e l'animale si disidrata. Caso opposto al precedente.

Per recuperare acqua, questi animali marini devono bere, ma solo acqua salata, ed il problema si aggraverebbe. Attraverso l'intestino entra acqua con tutti i suoi sali.

Rimedio: speciali ghiandole unicellulari nell'epitelio delle branchie provvedono a recuperare quei sali e ad espellerli verso l'esterno.

Notare che tutte queste operazioni (espulsione di acqua o di sali) avvengono con meccanismi vitali attivi e quindi con consumo di energia.

---

[1] Dal greco *omoios* = simile e *stasis* = posizione.

A parte gli speciali adattamenti richiesti dalle diverse situazioni, da questo semplice approccio si possono dedurre alcune conclusioni.

Tanto per cominciare, l'approccio seguito finora, consistente nell'esame dell'anatomia, cioè della struttura dei vari sistemi (nel caso nostro, come esempi, apparato respiratorio, circolatorio e scheletrico), risulta insufficiente. Anche la fisiologia (il funzionamento degli organi, senza guardare solo alla loro anatomia) può dare ragguagli precisi sulla discendenza e l'evoluzione dei grandi gruppi animali.

In particolare: secondo lo schema visibile in tab. II (pag. 4), si consideravano i pesci marini moderni (Teleostei) come successori di altri animali marini, come gli Actinopterigi. La loro pressione osmotica interna dovrebbe allora essere la stessa dell'acqua marina.

Ma essa invece è quasi identica a quella degli animali d'acqua dolce, fra cui vanno compresi molti Teleostei.

Se ne può dedurre allora che alcuni animali marini Cordati primitivi si siano da tempo adattati all'acqua dolce modificando il loro metabolismo e riducendo la loro pressione osmotica ad un terzo di quella iniziale, abbiamo evoluto in direzione dei Teleostei moderni (dulciacquicoli), e solo dopo siano ritornati in mare, provvedendo con ulteriori adattamenti a mantenere costante la loro pressione osmotica interna.

Nello schema di Tab. II, i Teleostei non vanno quindi indicati come successori del gruppo Actinopterigi marini, ma (molto più tardi) di Sarcopterigi già adattati all'acqua dolce.

La definizione di qualunque albero genealogico (filogenesi) e della relativa evoluzione, è quindi passibile di molti aggiustamenti.

••• Molte idee e figure presenti in questo testo sono state tratte dal bel libro "Dai PESCI agli ALBORI dell'UMANITÀ" (1984) del compianto Prof. G. Minelli, titolare di Anatomia Comparata all'Università di Bologna. Alla sua memoria, il nostro grato ricordo. •••