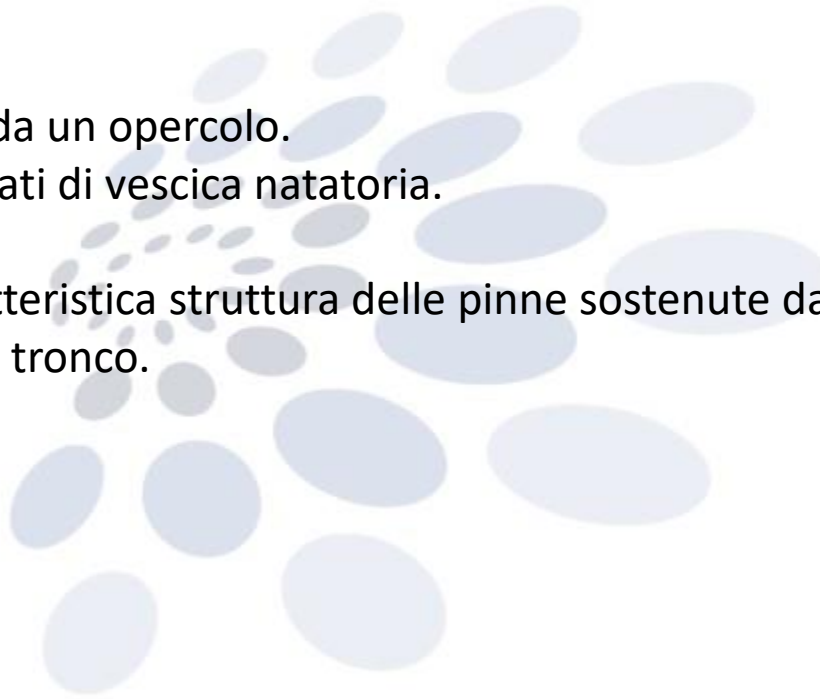


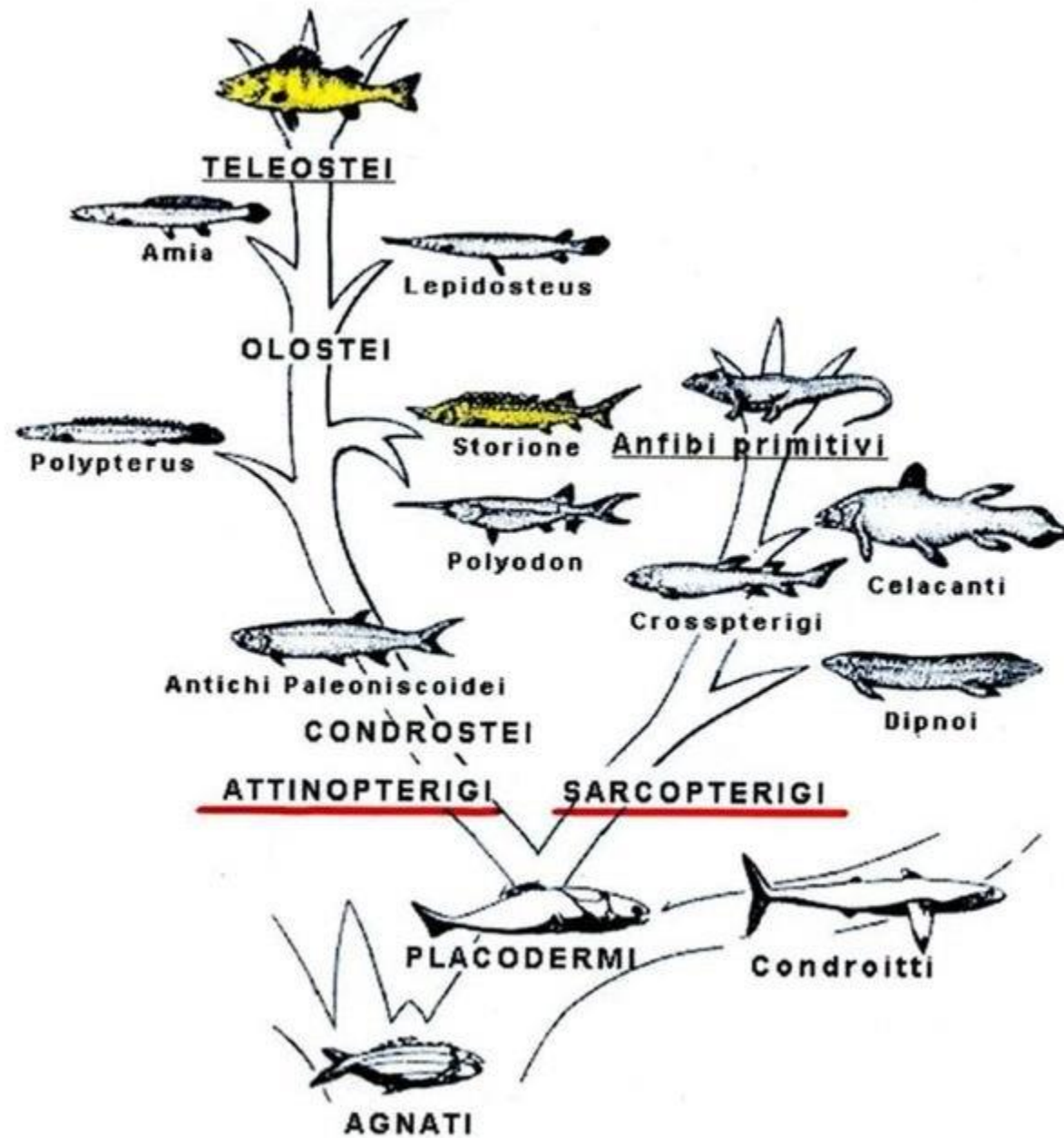
SUMMARY OSTEITTI –

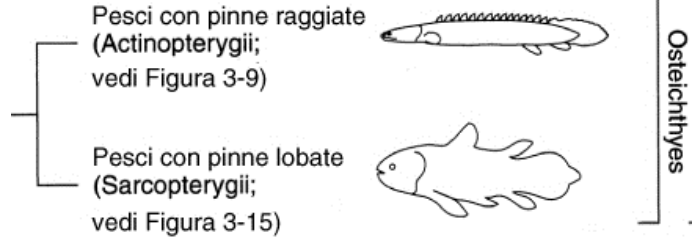
Sono inclusi in questa Classe i pesci dotati di un endoscheletro osseo o cartilagineo con parziali ossificazioni encondrali e con squame ossee.

Le loro fessure branchiali sono ricoperte da un opercolo.
Possiedono pinne pari e sono spesso dotati di vescica natatoria.

Actinopterigi Derivano il nome dalla caratteristica struttura delle pinne sostenute da sottili raggi (lepidotrichi) e mosse da muscoli inseriti nella parete del tronco.

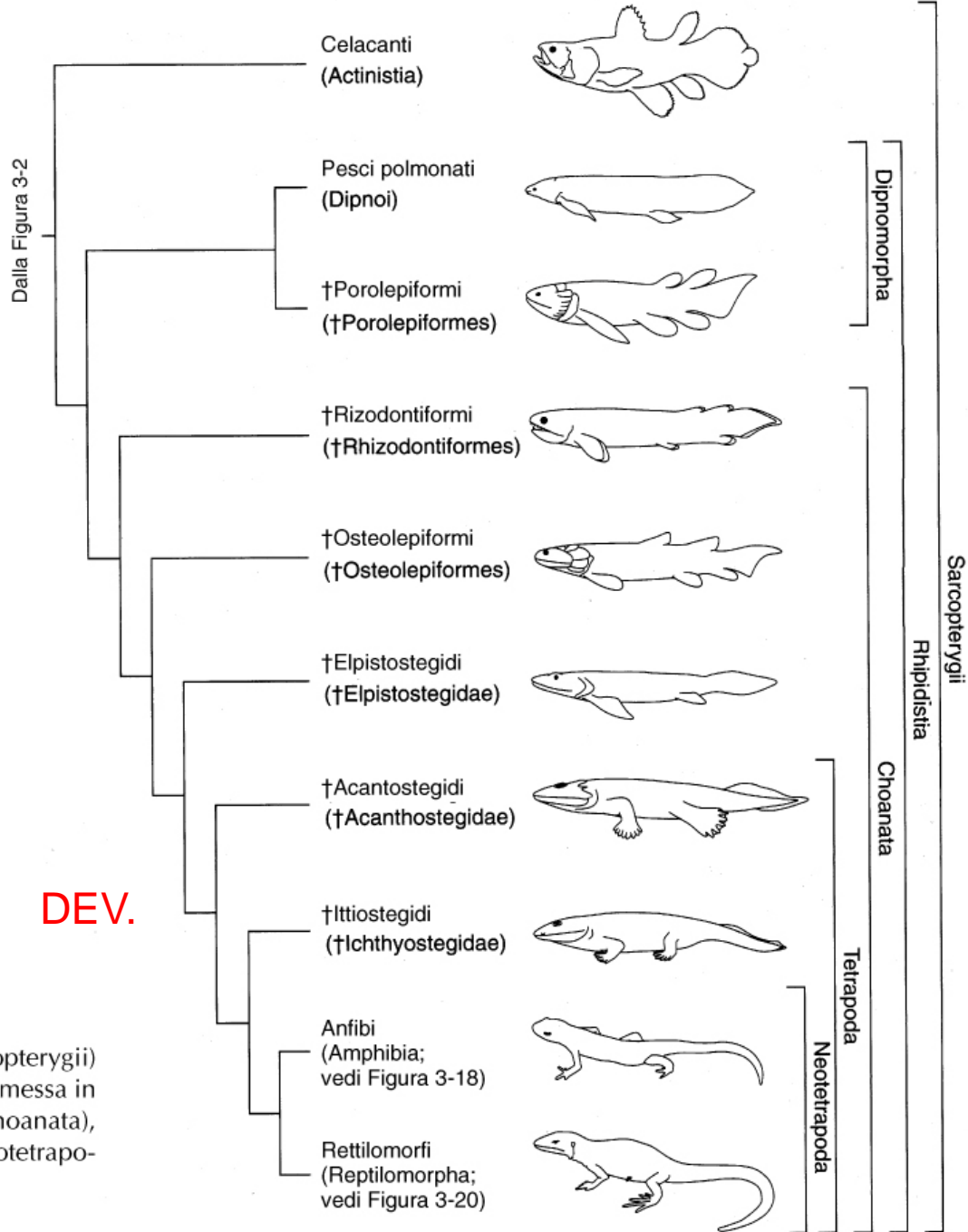






- Sarcopterygi paleozoici avevano un' articolaz. intracranica
- I dipnoi ancestrali e i primi ripidisti avevano scaglie cosmoidi romboidali, prive di dentelli e con struttura simile alle piastre ossee degli agnati primitivi.
- pinna monobasica: sempre omero e femore
- coda eterocerca → dificerca

Liem, Bemis, Walker, Grande
Anatomia comparata dei Vertebrati
EdiSES



DEV.

FIGURA 3-15
Filogenesi dei sarcopterygi (Sarcopterygii) viventi e fossili, nella quale viene messa in evidenza l'origine dei coanati (Choanata), dei tetrapodi (Tetrapoda) e dei neotetrapodi (Neotetrapoda).

Evoluzione dei Sarcopterigi: panoramica aggiuntiva

- I Sarcopterigi presentano un'evoluzione caratterizzata dalla progressiva specializzazione delle pinne lobate e dall'acquisizione di strutture scheletriche omologhe agli arti dei tetrapodi.
- Il loro cranio complesso e la presenza di scaglie cosmoidi riflettono forme primitive, mentre la comparsa di polmoni primitivi e narici interne ha contribuito alla loro radiazione evolutiva.

Sarcopterigi

A differenza degli Actinopterigi, hanno pinne pari formate da elementi ossei interni di sostegno e dotate di una muscolatura propria, donde il nome di “pesci dalle pinne carnose” cui fa riferimento la denominazione della sottoclasse.

Da loro hanno preso origine i primi tetrapodi.

Questi pesci, molto diffusi nel Paleozoico, sono oggi ridotti a tre Generi di Dipnoi di acque dolci tropicali e dalla sola specie *Latimeria calumnae*.

Crossopterigi *Latimeria*, Ordine Actinisti, è un vero fossile vivente

Presenta tipicamente pinne carnose, coda trilobata, corpo rivestito da scaglie cicloidi. Possiede un diverticolo intestinale sacciforme posto dorsalmente (forse omologo al polmone dei Dipnoi) ed è ovovivipara e uricotelica.

I Ripidisti sono tutti estinti, ma costituiscono un gruppo importante poiché da essi si sarebbero evoluti gli Anfibi. Dotati di robuste pinne carnose sostenute da uno scheletro interno monoseriato, avevano, oltre alle branchie, coane con narici interne connesse a polmoni e possedevano denti caratterizzati da una serie di invaginazioni (Labirintodonti). Vivevano in acque lagunari o salmastre in prossimità di coste (i.e. *Eusthenopteron*.)

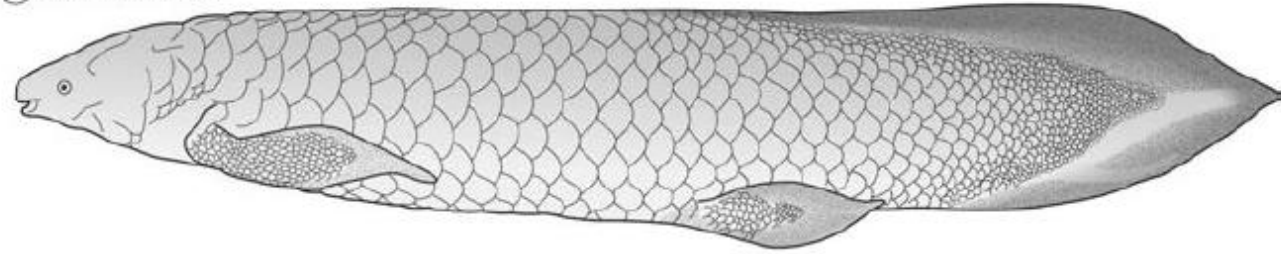
Dipnoi comprendono i Generi *Neoceratodus* (australiano), *Lepidosiren* (sudamericano), *Protopterus* (africano).

Sono tutti caratterizzati da una doppia respirazione: polmonare e branchiale;

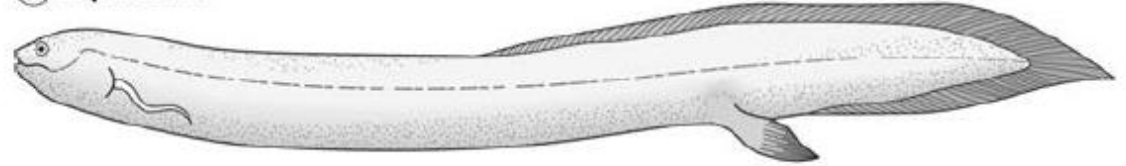
modificazioni nella struttura del cuore e degli archi branchiali che portano ad una circolazione doppia e incompleta.

Le pinne pari, biseriatae in *Neoceratodus*, sono filiformi o ridotte negli altri due Generi.

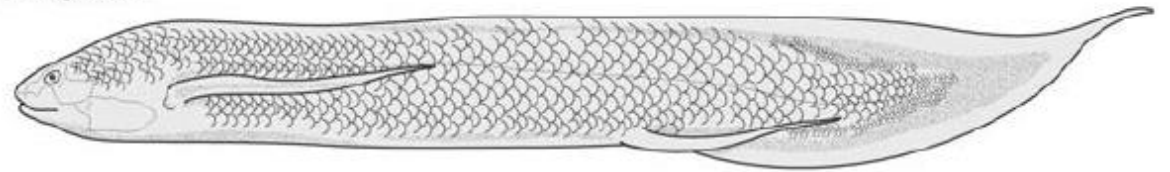
A *Neoceratodus*



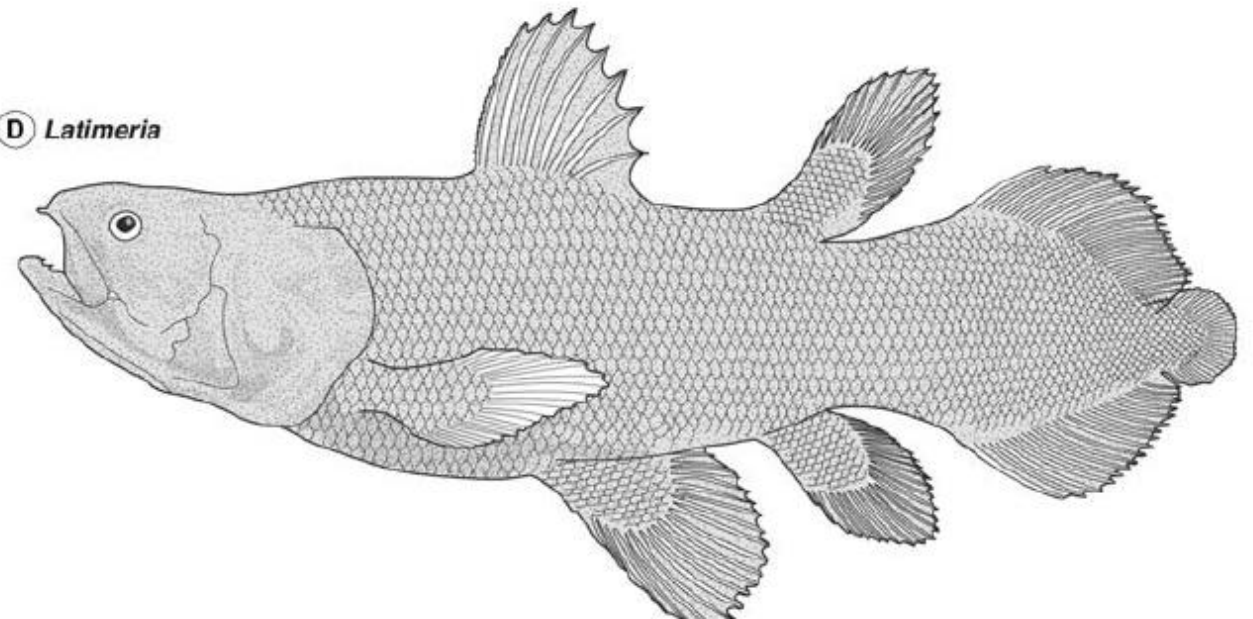
B *Lepidosiren*



C *Protopterus*



D *Latimeria*



200 m

Sc. Cosmoidi, polmone grasso,
Art. intracranica

Sarcopterigi

Organo
Rostrale elettrosensorio

A. *Latimeria chalumnae*
menadoensis

Pinna
gefirocera

Sarcopterigi rappresentativi. A, *Latimeria*, il genere di Celacanto vivente, **mostrante i grandi lobi muscolosi delle pinne pari**, la pinna anale e la seconda pinna dorsale.

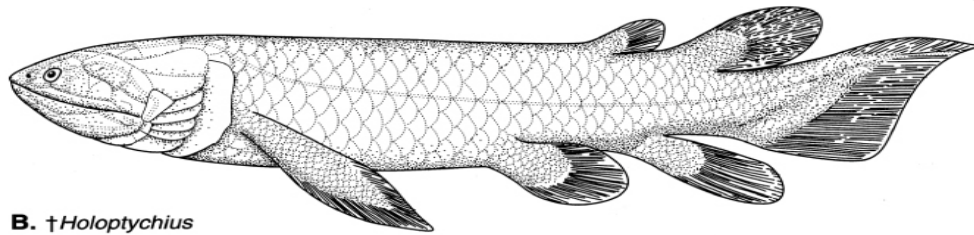
B, ricostruzione di un †porolepiforme †*Holoptychius*.

C, ricostruzione di un dipnoo del Devoniano, †*Dipterus*, in vista laterale; notare che sono presenti tutte le quattro pinne mediane.

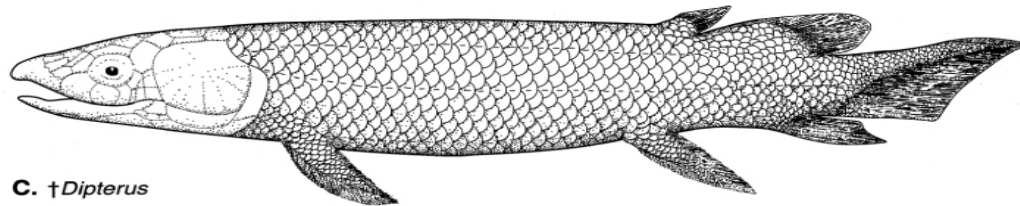
D, il pesce polmonato vivente in Australia, *Neoceratodus*; notare che è presente soltanto una singola pinna mediana.

E, una delle quattro specie di pesci polmonati africani del genere *Protopterus*. I pesci polmonati africani hanno pinne pari filiformi allungate.

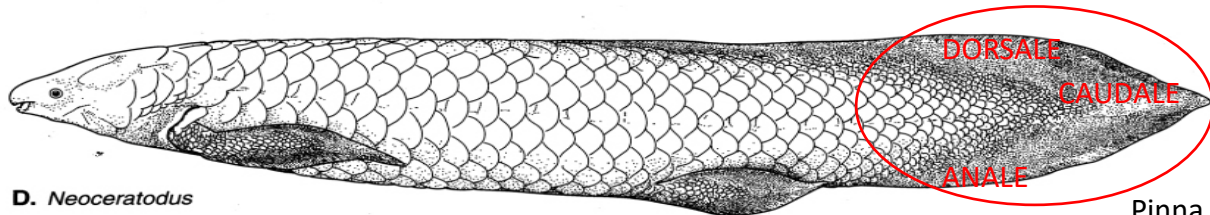
DEVONIANO
SCH. INTERNO PARZ. OSSIFICATO
ATTUALI: SCARSAMENTE
AUTOSTILIA
NARICI ANT. INTERNE AL LABBRO SUP.
PIASTRE DENTARIE TRIANGOLARI
Scaglie cicloidi che si sono evolute indipendentemente da quelle dei teleostei



B. †*Holoptychius*



C. †*Dipterus*

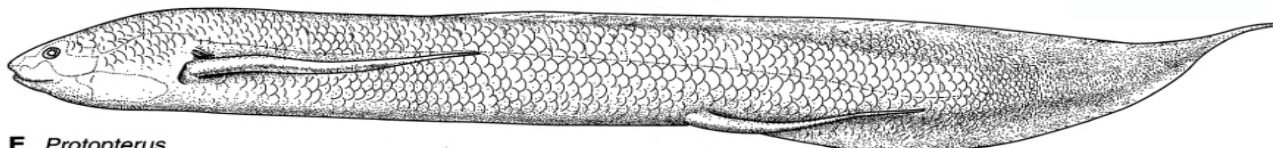


D. *Neoceratodus*

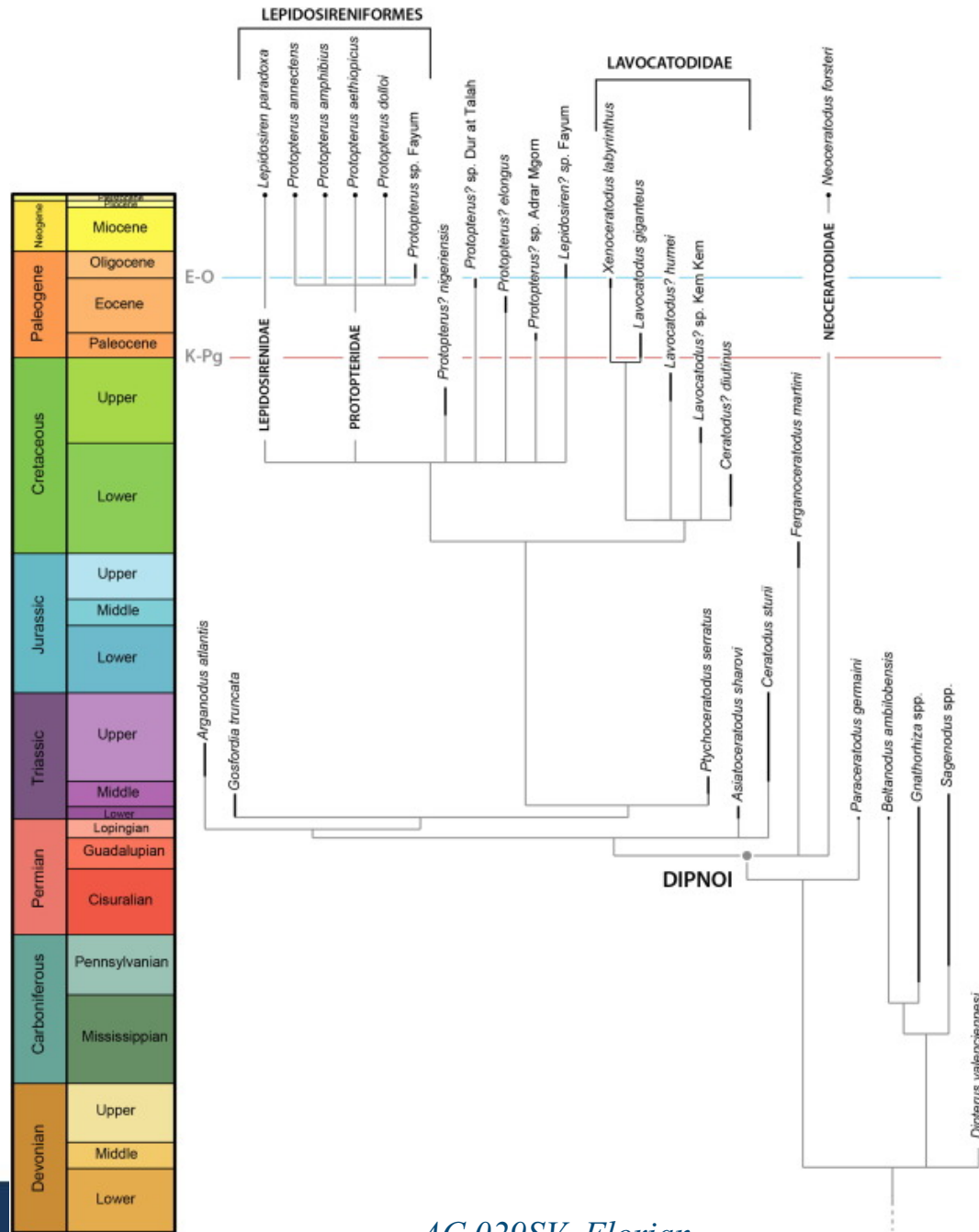
Pinna
dificerca



Lepidosiren paradoxa



E. *Protopterus*



A wide range of Cretaceous and Cenozoic lungfish from Africa referred to *Protopterus* and *Lepidosiren* are unresolved in the phylogeny, and likely represent stem members of Protopteridae, Lepidosirenidae, or Lepidosireniformes.

Analysis of the African coelacanth genome sheds light on tetrapod evolution

C. T. Amemiya et al. (Proff. Marco Gerdol- Alberto Pallavicini)

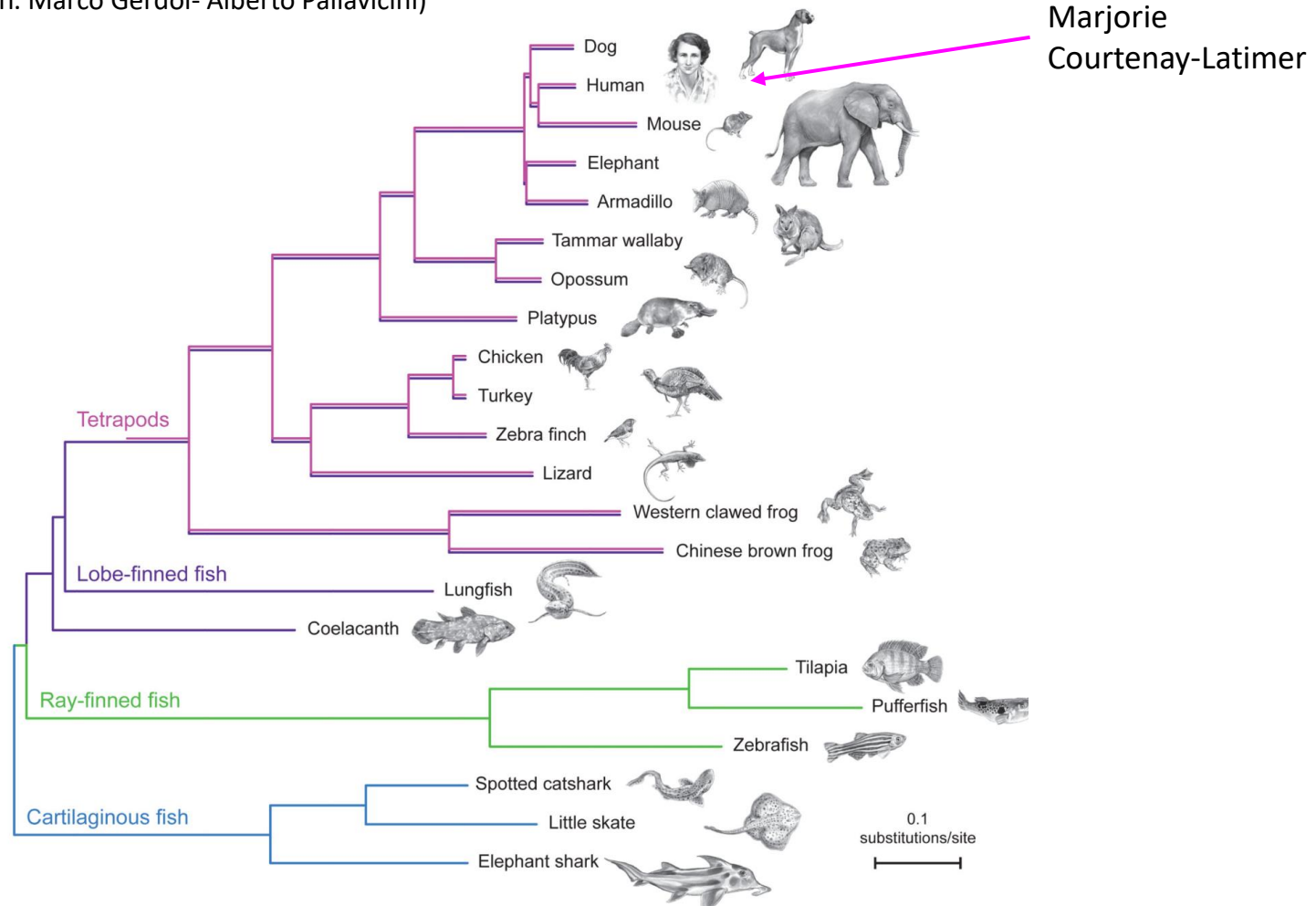
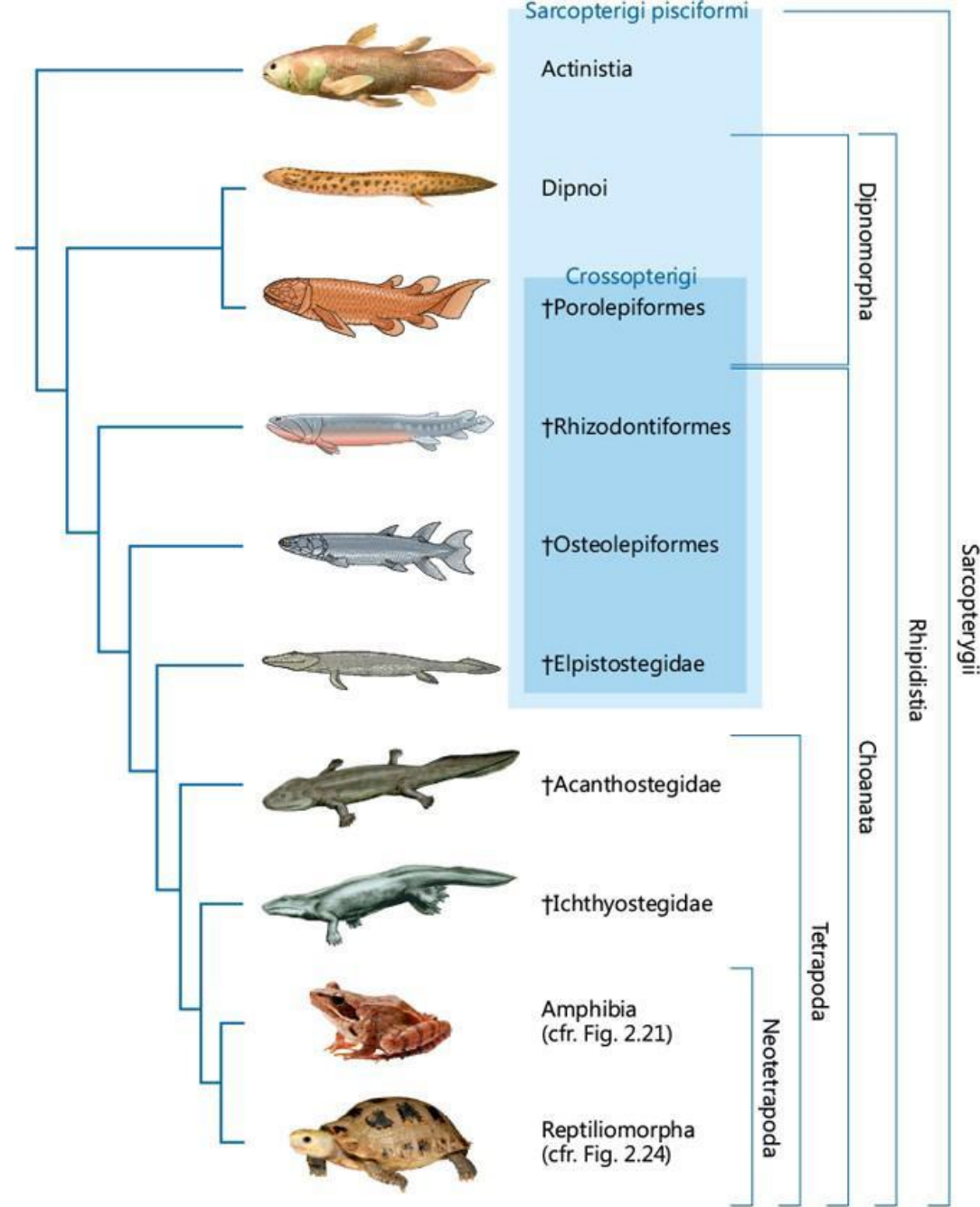


Figure 1. A phylogenetic tree of a broad selection of jawed vertebrates shows that lungfish, not coelacanth, is the closest relative of tetrapods. Multiple sequence alignments of 251 genes present as 1-to-1 orthologs in 22 vertebrates and with a full sequence coverage for both lungfish and coelacanth were used to generate a concatenated matrix of 100,583 unambiguously aligned amino acid positions. The tree was rooted on cartilaginous fish. It shows both that lungfish is more closely related to tetrapods than coelacanth and that the protein sequence of coelacanth is slowly evolving.



I rappresentanti del gruppo **Rhipidistia** hanno denti nei quali lo smalto si piega verso l'interno e, per questo motivo, sono stati chiamati denti labirintici.

I †Porolepiformes dal greco, poros = buco + lepis = scaglia) e i

Dipnoi (pesci polmonati) costituiscono il clade di rhipidisti Dipnomorpha

I dipnomorfi hanno pinne pari lunghe, con numerosi elementi assiali centrali.

I dipnoi viventi utilizzano queste pinne per “camminare” sul fondo, usando la stessa andatura che osserviamo nei tetrapodi.

Adattamenti dei Dipnoi

Respirazione doppia

I Dipnoi possiedono respirazione branchiale e polmonare, adattandosi a periodi di siccità e ipossia in acque dolci.

Specializzazioni nei generi

Neoceratodus ha pinne robuste e polmoni accessori, mentre Protopterus e Lepidosiren hanno polmoni sviluppati e pinne filiformi.

Estivazione e metabolismo

Alcune specie entrano in estivazione, creando un bozzolo mucoso e rallentando il metabolismo fino al ritorno dell'acqua.

Sistema cardiocircolatorio intermedio

Il cuore dei Dipnoi presenta separazione parziale del sangue ossigenato e deossigenato, ponte verso la circolazione doppia dei tetrapodi.

Ruolo ecologico dei Dipnoi nel passato geologico

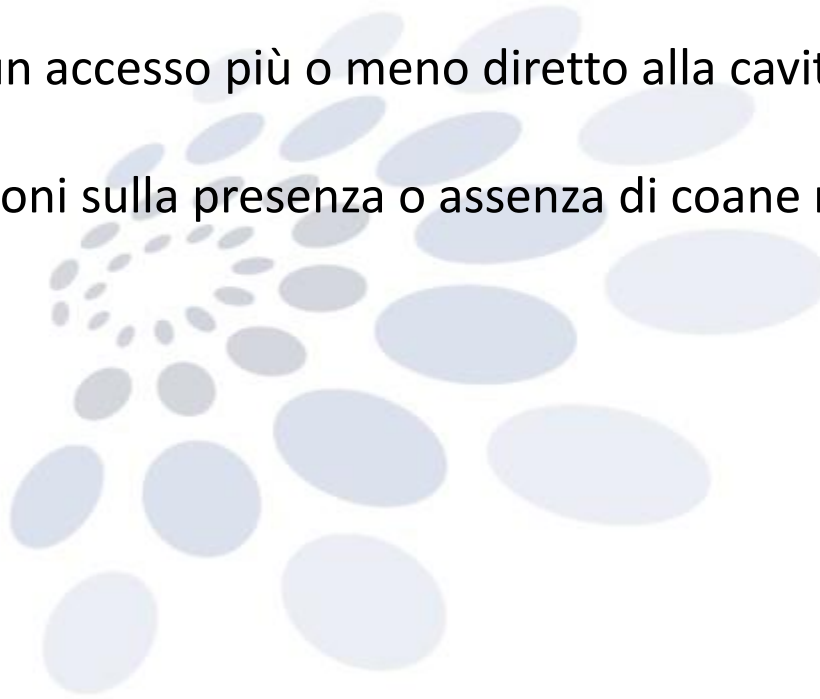
- Nel Paleozoico i Dipnoi occupavano una grande varietà di nicchie ecologiche, fungendo da importanti consumatori di invertebrati e contribuendo al riciclo dei nutrienti negli ecosistemi d'acqua dolce.
- La loro tolleranza alle variazioni ambientali li rese resistenti ai cambiamenti climatici e alle crisi ecologiche dell'epoca.

Approfondimento sulla genomica dei Celacanti

- La genomica dei Celacanti ha rivelato una sorprendente lentezza nel tasso evolutivo, con conservazione di molte sequenze geniche.
- L'analisi comparativa ha identificato geni implicati nello sviluppo degli arti, nella morfologia cranica e nelle funzioni sensoriali, cruciali per comprendere la transizione evolutiva verso i tetrapodi.

I rappresentanti dei **Choanata** hanno coane, una specializzazione che permette all'aria di essere condotta nella cavità orale attraverso il naso.

I coanati hanno solo un paio di aperture nasali esterne, chiamate narici inalanti, e l'aria che passa al loro interno ha un accesso più o meno diretto alla cavità orale e alla faringe. Ci sono state molte discussioni sulla presenza o assenza di coane nei gruppi dei sarcopterigi.



Coane e transizione acqua-terra

Evoluzione delle coane

Le coane sono narici interne che hanno permesso il passaggio dell'aria verso i polmoni indipendentemente dalla bocca.

Adattamento ai polmoni primitivi

Lo sviluppo dei polmoni primitivi ha favorito la vita in acque povere di ossigeno e ha preparato il passaggio alla terraferma.

Transizione evolutiva acquatica-terrestre

Gli elpistostegidi come Tiktaalik mostrano caratteristiche intermedie tra pesci e primi tetrapodi terrestri.

Impatto evolutivo delle coane

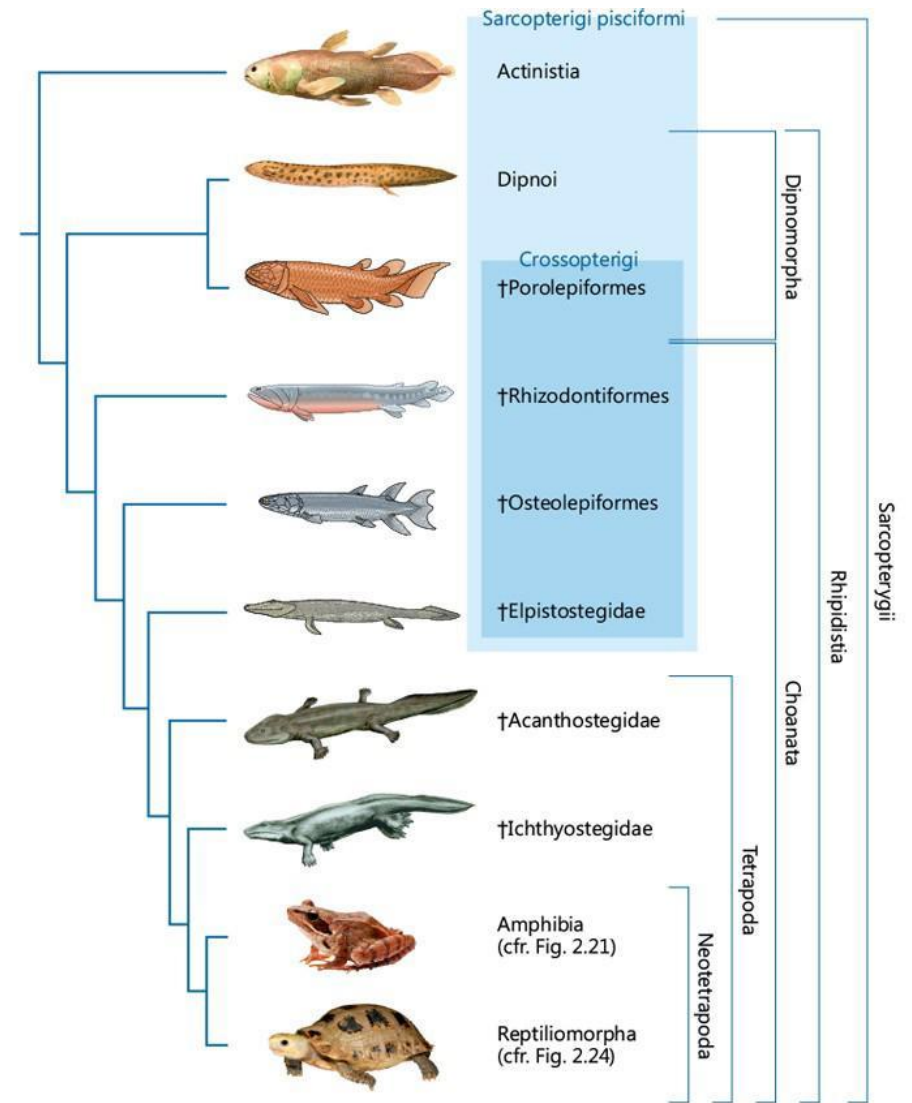
Le coane hanno permesso il controllo della respirazione e l'evoluzione di vertebrati terrestri diversificati.



†Rhizodontiformes predatori (più di 2 metri di lunghezza)

†Osteolepiformes e †Eusthenopteron con scaglie ascellari ingrandite, come pure delle pinne pari.

†Osteolepiformi, con numerosi dettagli dello scheletro, osservati negli si conservano nei tetrapodi, come ad esempio il modello di base delle ossa della volta del cranio e delle appendici pari. †Elpistostegidae condividono con i tetrapodi primitivi numerosi caratteri, quali l'organizzazione delle ossa della volta del cranio, un omero allungato, la perdita della pinna dorsale, e la perdita della pinna anale.



© edi.ermes, milano

Edi.Ermes in concessione a FIORELLA FLORIAN



FIGURA 5.1

Gli ambienti d'acqua dolce del Devoniano erano infestati da grandi pesci predatori (in primo piano, un sarcopterigio), mentre gli habitat terrestri abbondavano di potenziali prede ed erano privi di competitori e predatori.

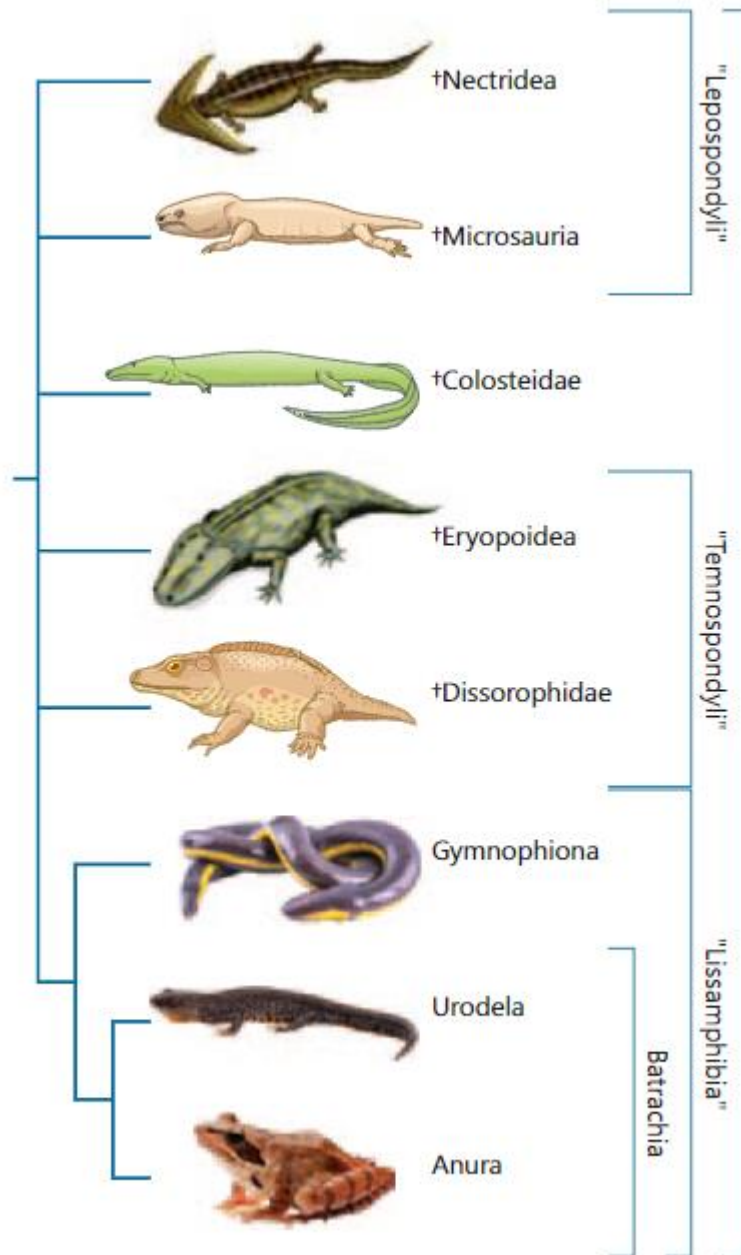
Tetrapodi

Sinapomorfie

- I tetrapodi primitivi presentano arti, forniti di tre parti: lo stilopodio, lo zeugopodio e l'autopodio. mentre i primi due segmenti sono rilevabili probabilmente anche nella pinna dei crossopterigi, l'autopodio, fornito di dita, è esclusivo di questo clade e rappresenta una novità evolutiva
- La cintura pettorale perde la connessione con il cranio e compare la regione cervicale (il collo), utile per muovere la testa indipendentemente dagli arti anteriori, una volta che questi siano appoggiati a terra per la deambulazione.
- Le vertebre si articolano tra loro tramite processi più complessi, detti zigapofisi
- La cintura pelvica prende, per la prima volta, connessione con la colonna vertebrale
- Anche gli organi di senso si modificano in relazione all'ambiente terrestre.

tetrapodi primitive

neotetrapodi (Neotetrapoda) forniti di un numero massimo di dita pari a cinque – 2 line ANFIBI e RETTILOMORFI



scompaiono dalle testimonianze fossili nel Permiano inferiore

Albero filogenetico degli anfibi.
I "temnospondili" e i "lepospondili" (gruppi parafiletici).

I temnospondili si estinsero nel Cretacico

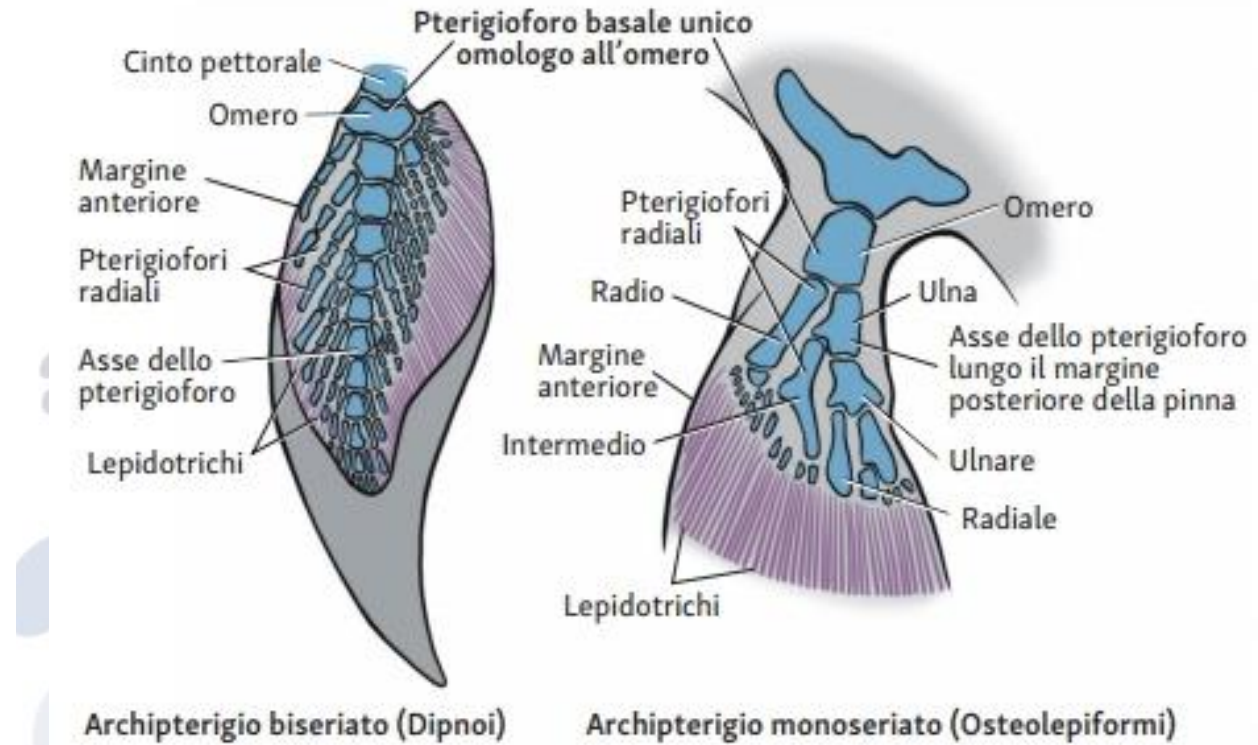
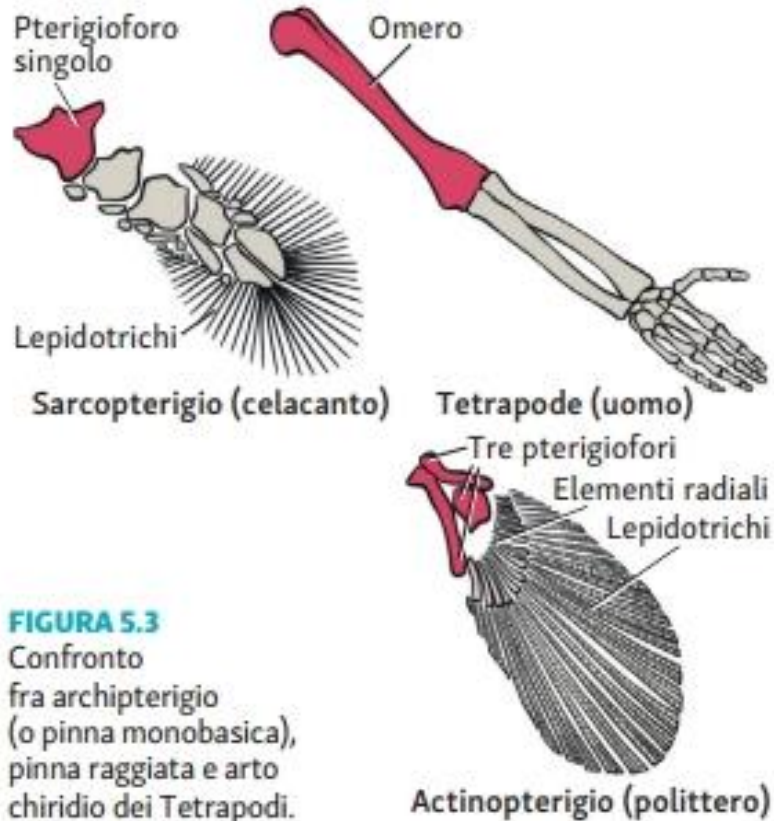
Amphibia

- Forme larvali
- Mano con quattro dita
- Timpano

Anfibi:

- Lepospondili
- Temnospondili
- Lissanfibi

PREADATTAMENTI ALLA VITA TERRESTRE



PREADATTAMENTI ALLA VITA TERRESTRE

Correlate alle sacche polmonari

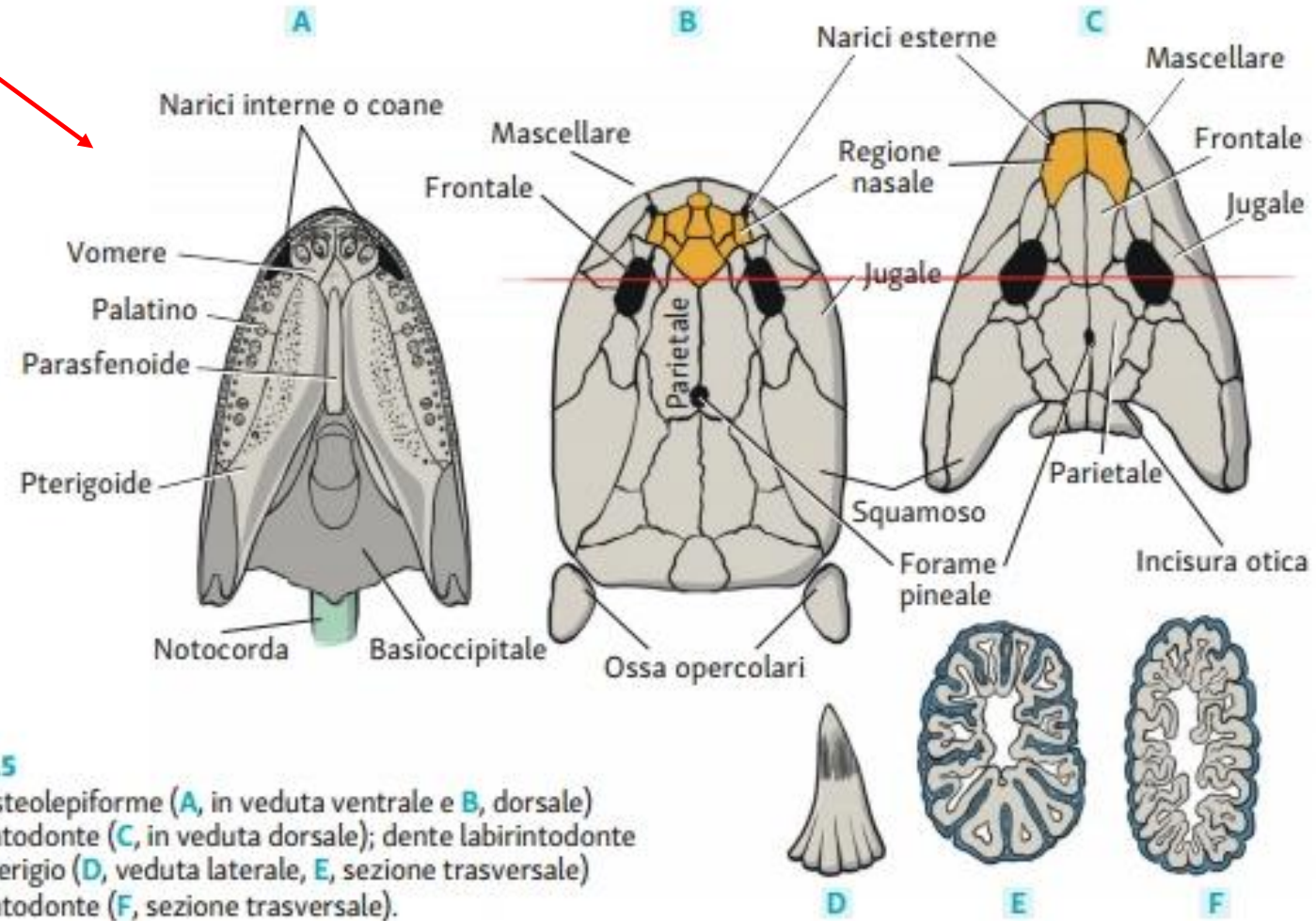


FIGURA 5.5

Crani di osteolepiforme (A, in veduta ventrale e B, dorsale) e di labirintodonte (C, in veduta dorsale); dente labirintodonte di sarcopterigio (D, veduta laterale, E, sezione trasversale) e di labirintodonte (F, sezione trasversale).

PREADATTAMENTI ALLA VITA TERRESTRE

Elpistostegide

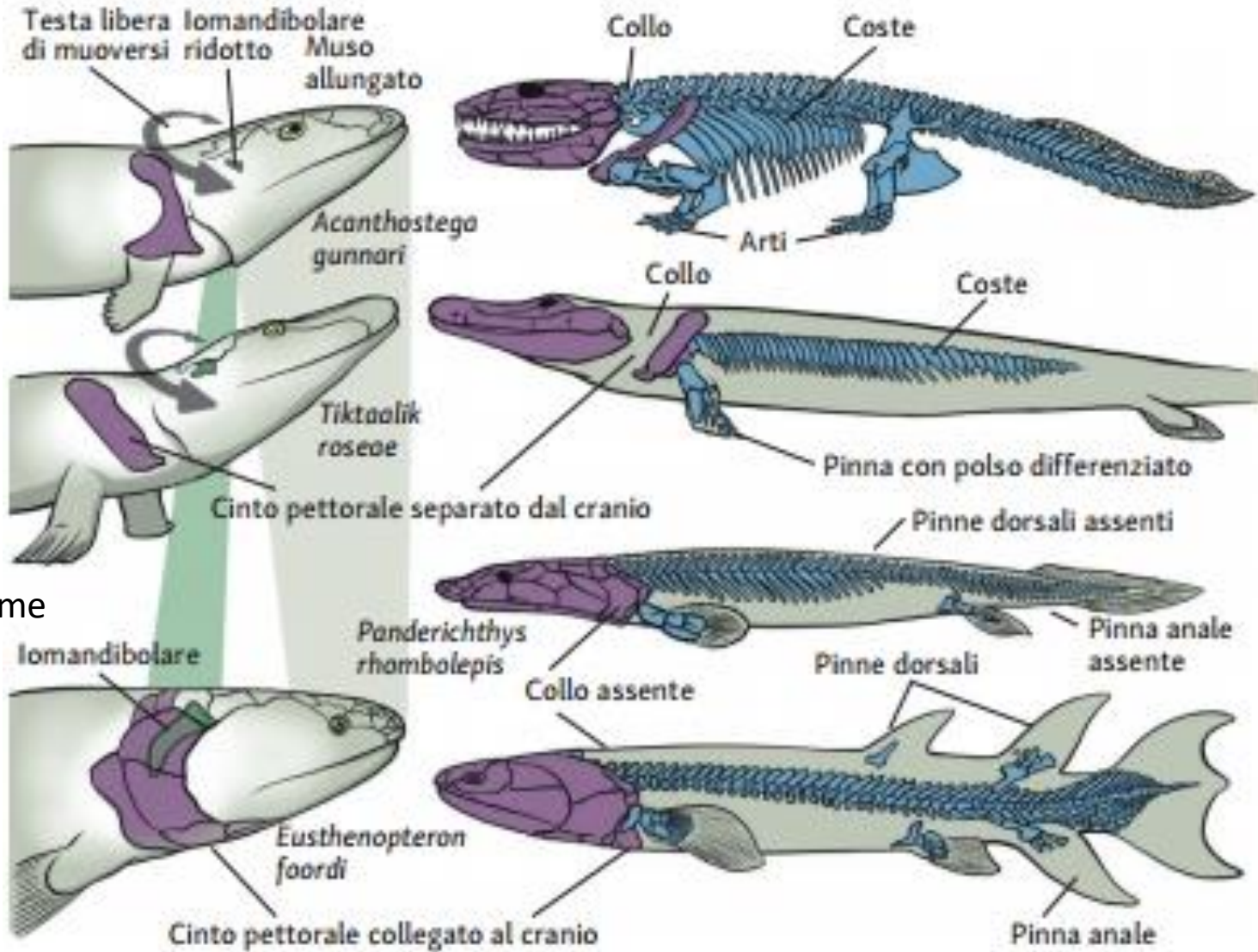


FIGURA 5.7

Adattamenti scheletrici alla vita terrestre. Le pinne si espandono per sostenere il corpo fuori dall'acqua e le coste si irrobustiscono, mentre il cinto pettorale perde la connessione con il cranio in modo che la testa sia più libera di muoversi lateralmente; il muso si allunga, mentre l'omandibolare si riduce, avendo perso il ruolo di collegamento fra mascelle e cranio.

Osteolepiforme

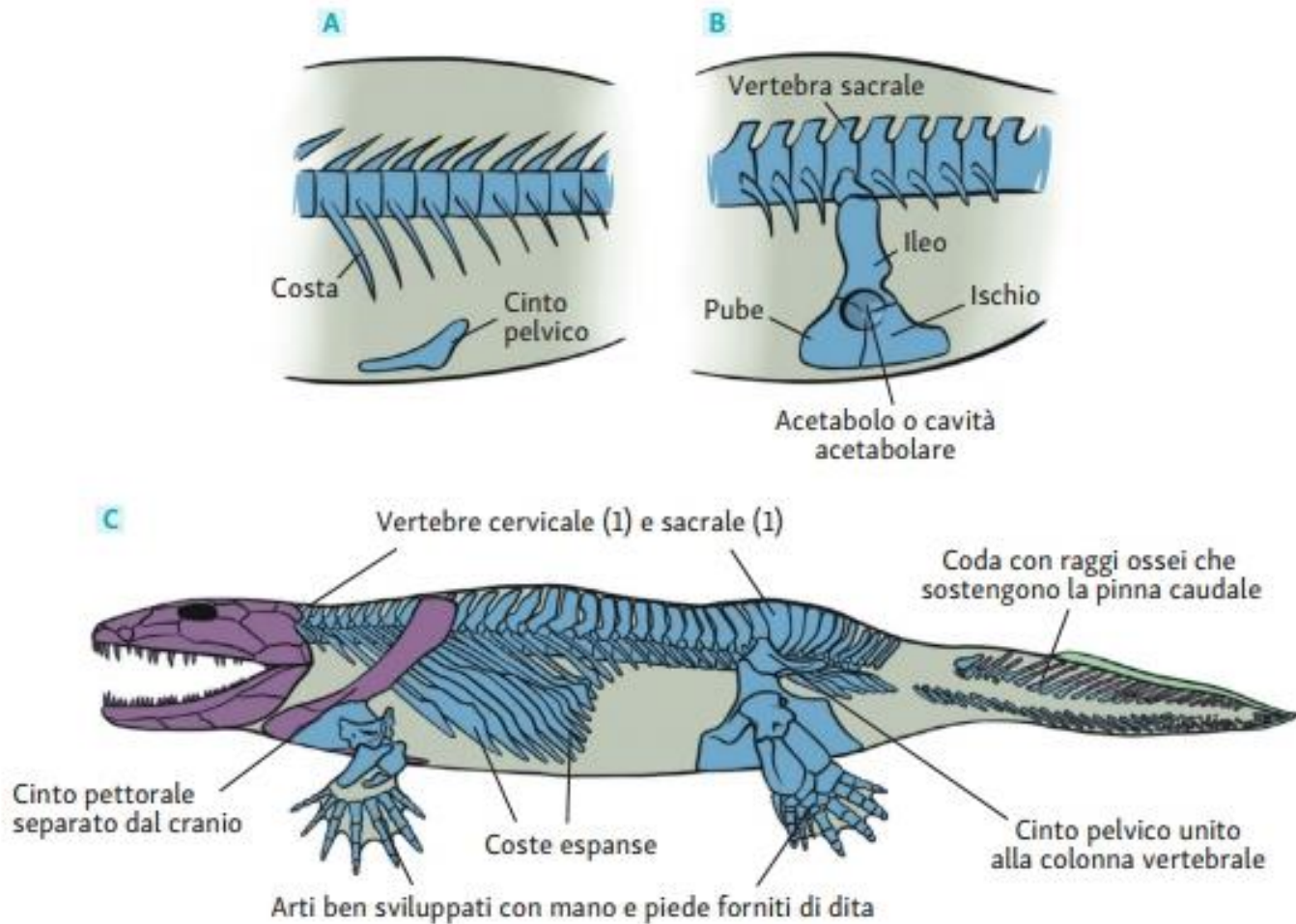


FIGURA 5.11

Colonna vertebrale e cinto pelvico di un pesce (A) e un tetrapode (B); (C) scheletro di *Ichthyostega*, esempio di evoluzione a mosaico. In viola, le ossa dermiche; in azzurro, le ossa di sostituzione.

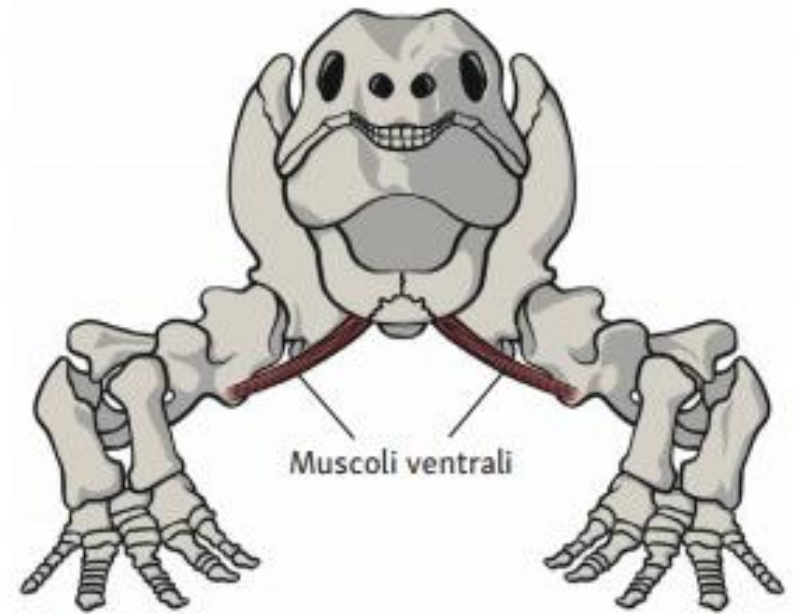


FIGURA 5.12

Gli arti trasversali dei primi Tetrapodi richiedevano potenti muscoli ventrali per sollevare il corpo dal terreno.

Permane la notocorda

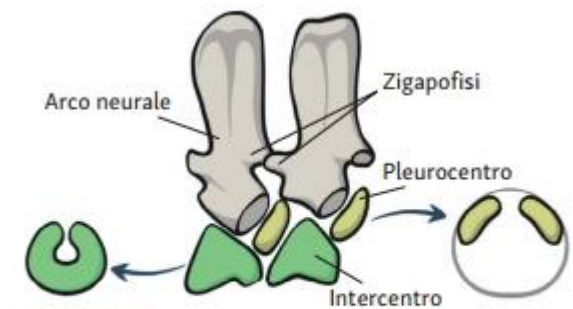
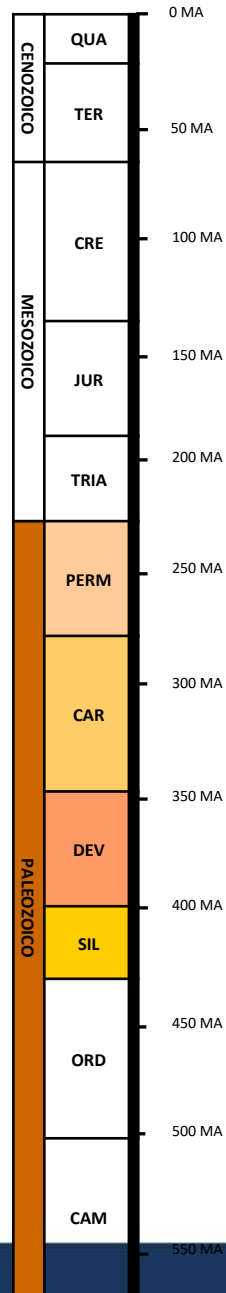


FIGURA 5.13

Nei Labirintodonti il corpo vertebrale è ancora formato da segmenti separati (intercentro e pleurocentro) ma l'articolazione fra le vertebre è rinforzata da zigapofisi.



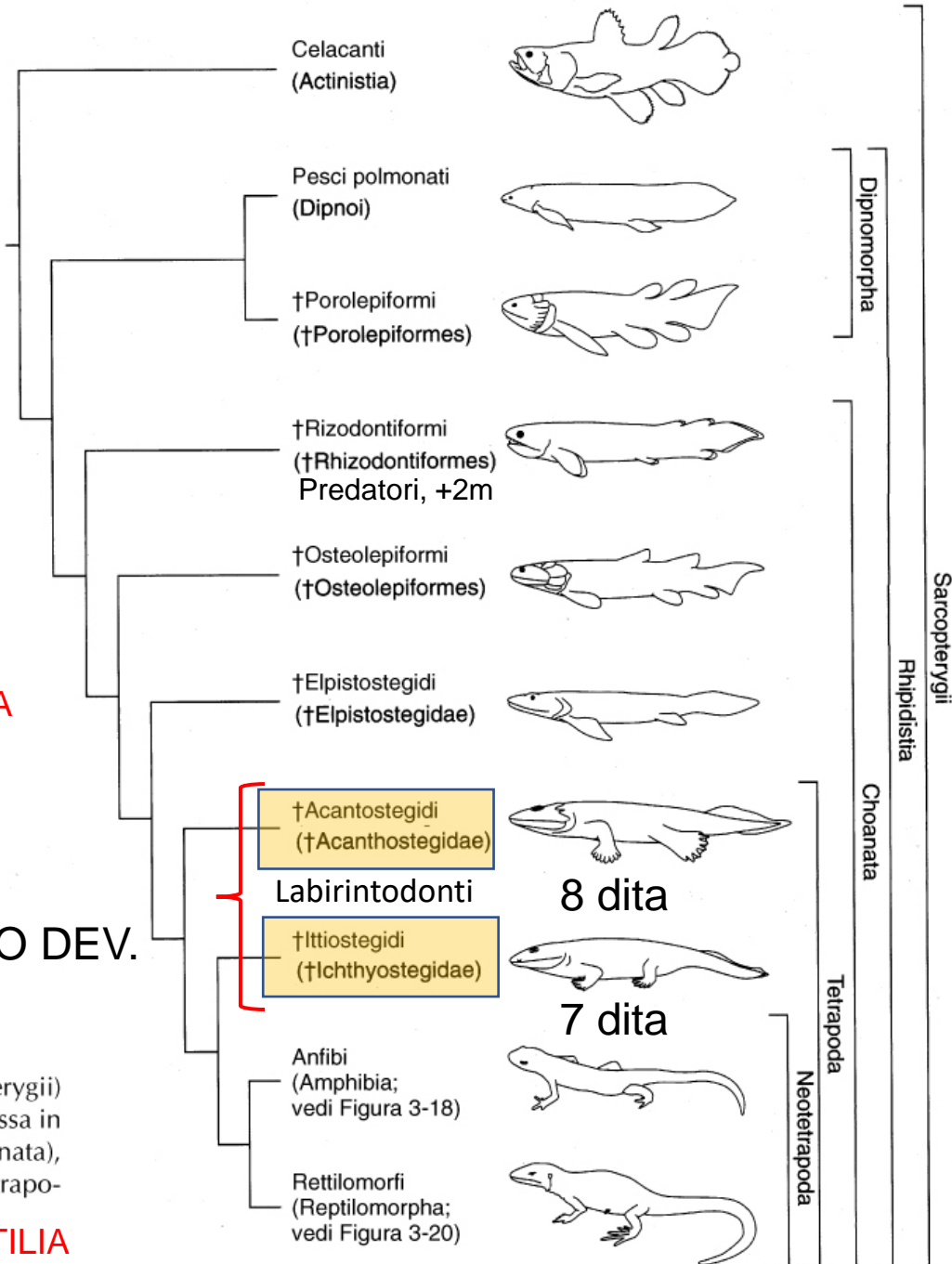
CHOANATA: COANE E FOSSA GLENOIDEA PER LA TESTA DELL'OMERO

TARDO DEV.

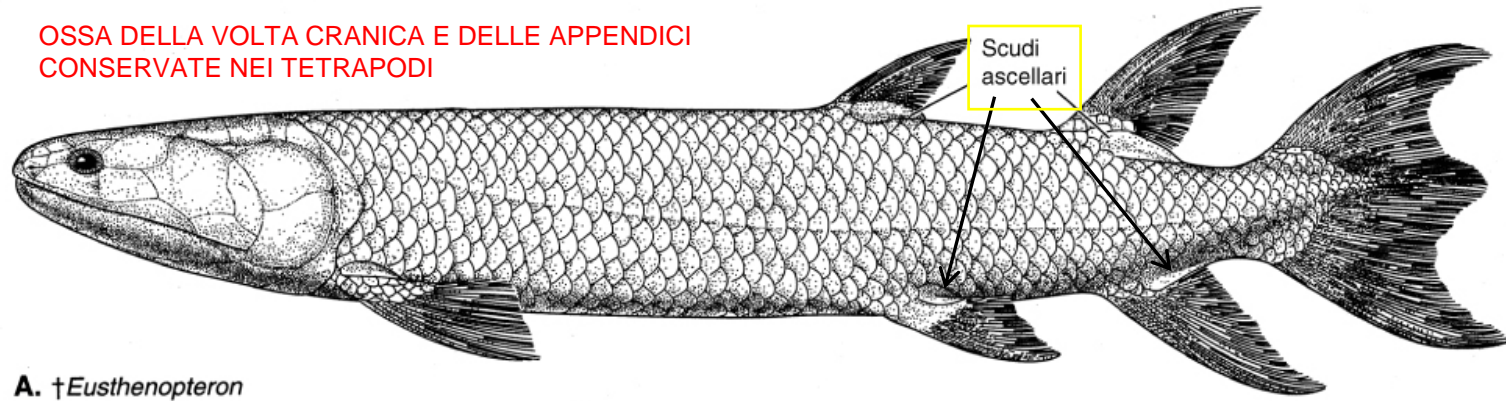
FIGURA 3-15
Filogenesi dei sarcopterigi (Sarcopterygii) viventi e fossili, nella quale viene messa in evidenza l'origine dei coanati (Choanata), dei tetrapodi (Tetrapoda) e dei neotetrapodi (Neotetrapoda).

PENTADATTILIA

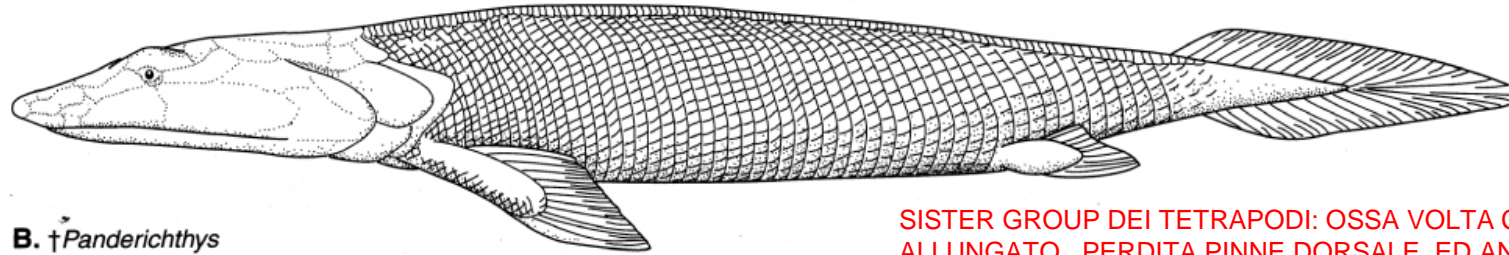
Dalla Figura 3-2



OSSA DELLA VOLTA CRANICA E DELLE APPENDICI
CONSERVATE NEI TETRAPODI



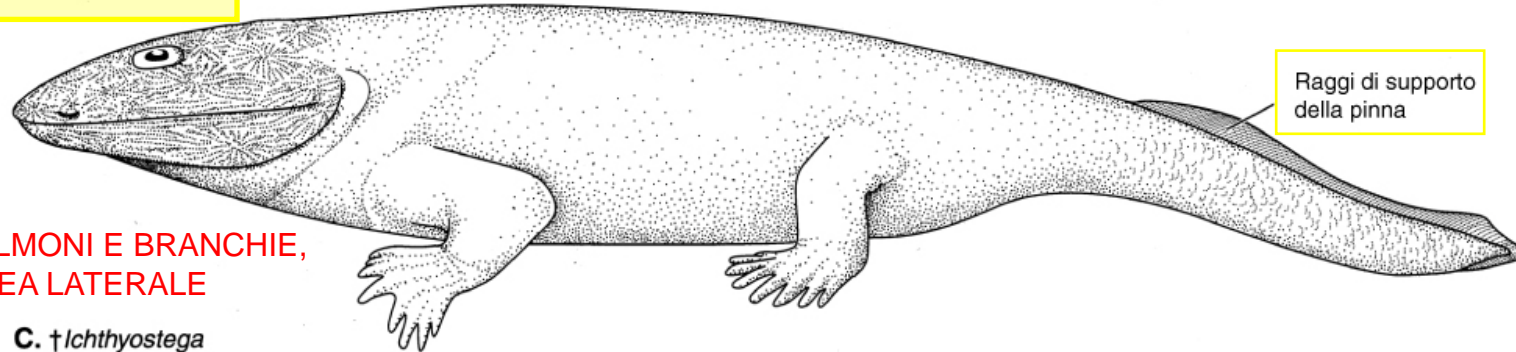
A. †*Eusthenopteron*



B. †*Panderichthys*

SISTER GROUP DEI TETRAPODI: OSSA VOLTA CRANIO, Omero
ALLUNGATO, PERDITA PINNE DORSALE ED ANALE

TETRAPODI



POLMONI E BRANCIE,
LINEA LATERALE

C. †*Ichthyostega*
Labirintodonte

4 ARTI CON DITA, CAMBIAMENTI COLONNA E CINTURE
ZIGAPOFISI, NO CONNESSIONE CRANIO-CINTO PETTORALE

FIGURA 3-17

Coanati rappresentativi. A, Ricostruzione di †*Eusthenopteron*, uno dei meglio conosciuti tosteolepiformi del Devoniano.
B, Ricostruzione dell'telpistostegide †*Panderichthys* in vista laterale. Notare l'assenza delle pinne dorsale ed anale.
C, Ricostruzione di †*Ichthyostega*.

ADATTAMENTI ORGANODI SENSO

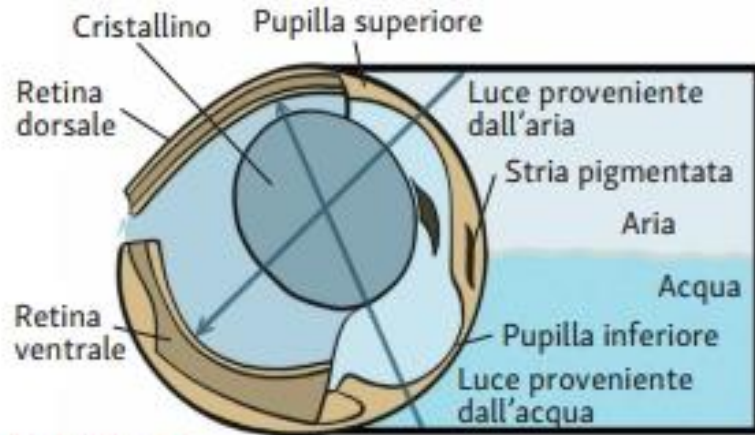
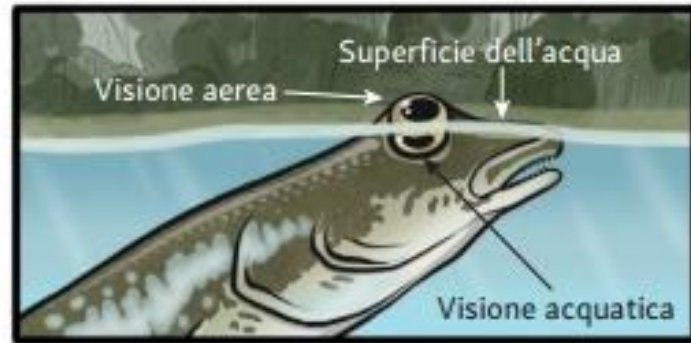


FIGURA 5.15

Il pesce quattrocchi (*Anableps anableps*) dell'America meridionale ha un occhio provvisto di due pupille e di un cristallino la cui forma consente la messa a fuoco delle immagini sia nell'acqua sia nell'aria. Quando nuota sul pelo dell'acqua, la luce che entra nell'occhio dall'aria attraversa l'asse minore del cristallino ed è focalizzata sulla parte ventrale della retina. La luce che entra nell'occhio dall'acqua attraversa l'asse maggiore del cristallino ed è messa a fuoco sulla parte dorsale della retina.

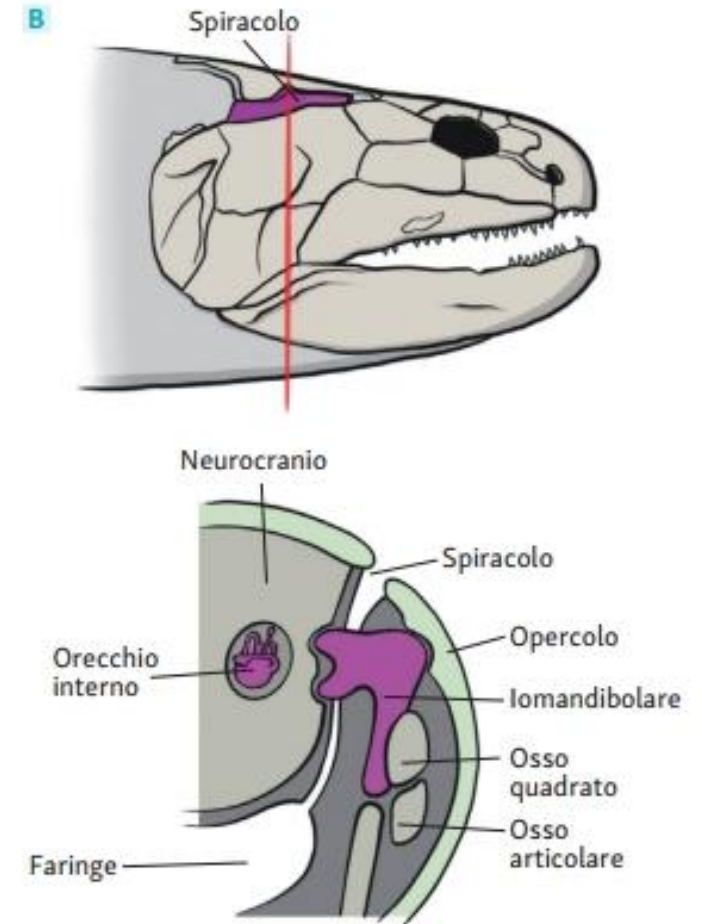
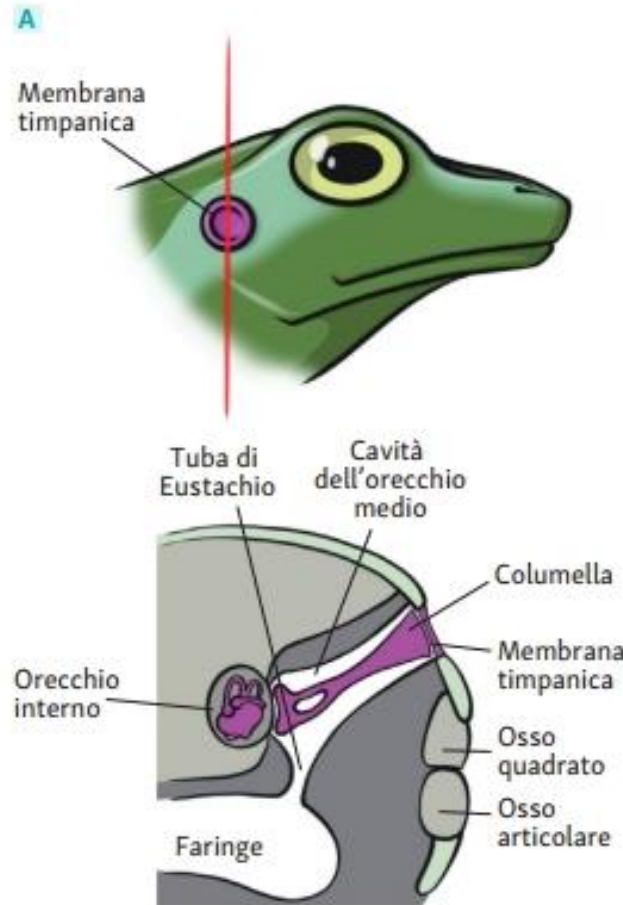
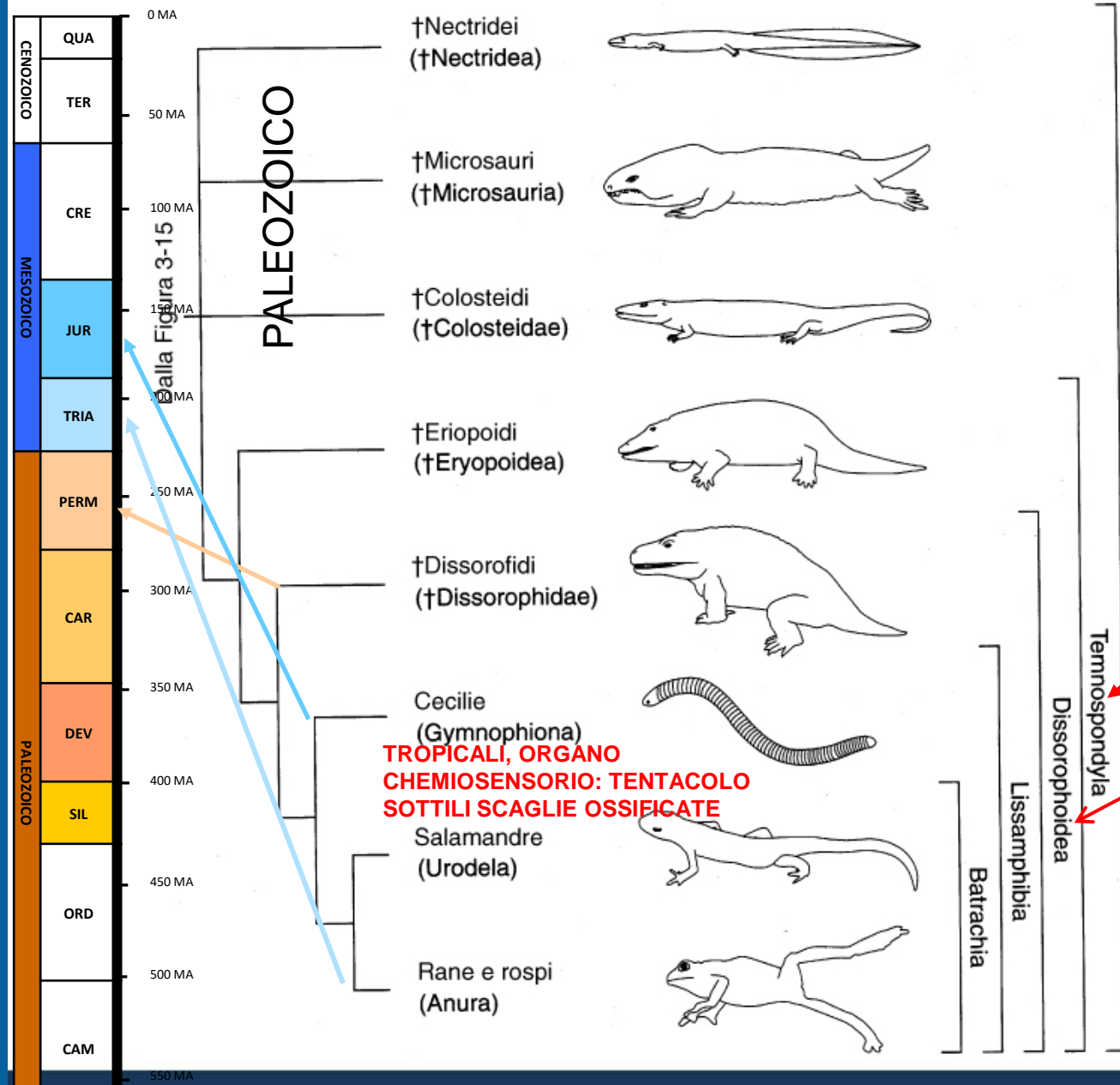


FIGURA 5.16

Confronto fra la regione faringea di un tetrapode (A, rana) e di uno gnatostoma acquatico (B, sarcopterigio). La linea verticale rossa indica il livello della sezione mostrata in basso.



Dalla Figura 3-15

TROPICALI, ORGANO
CHEMIOSENSORIO: TENTACOLO
SOTTILI SCAGLIE OSSIFICATE

FIGURA 3-18
Filogenesi di anfibii attuali e fossili, nella quale viene messa in evidenza l'origine e la diversità dei lissanfibi (Lissamphibia).

**APO MORFIA: 4 O MENO DITA
CICLO VITALE BIMODALE**

**VERTEBRA CON PIÙ PEZZI
COLUMELLA**

**DENTI BICUSPIDATI E PEDICEL-
LATI: SEPARAZ. TRA CORONA E
BASE (PEDICELLO)**

SINAPOMORFIE ANFIBI

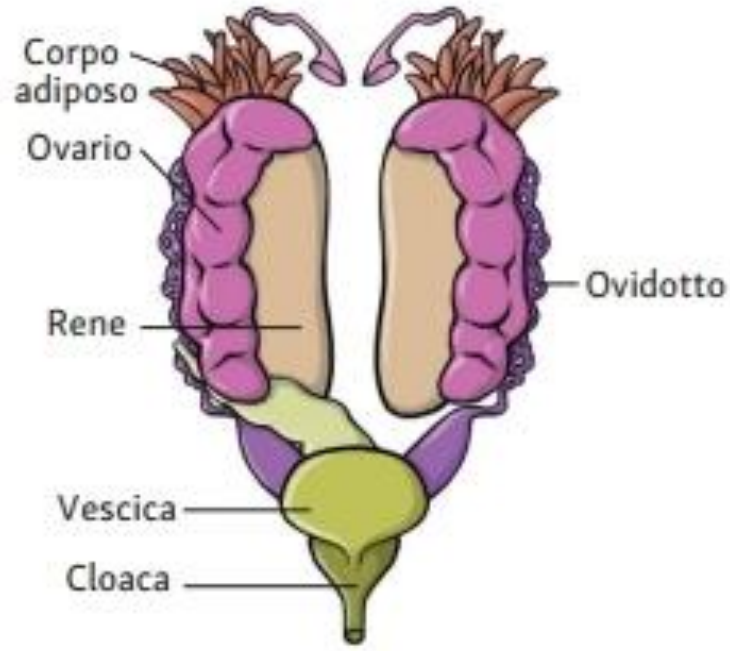


FIGURA 5.24

Alcune sinapomorfie degli Anfibi.
(A) Denti pedicellati; (B) corpo adiposo; (C) bastoncini verdi nella retina.

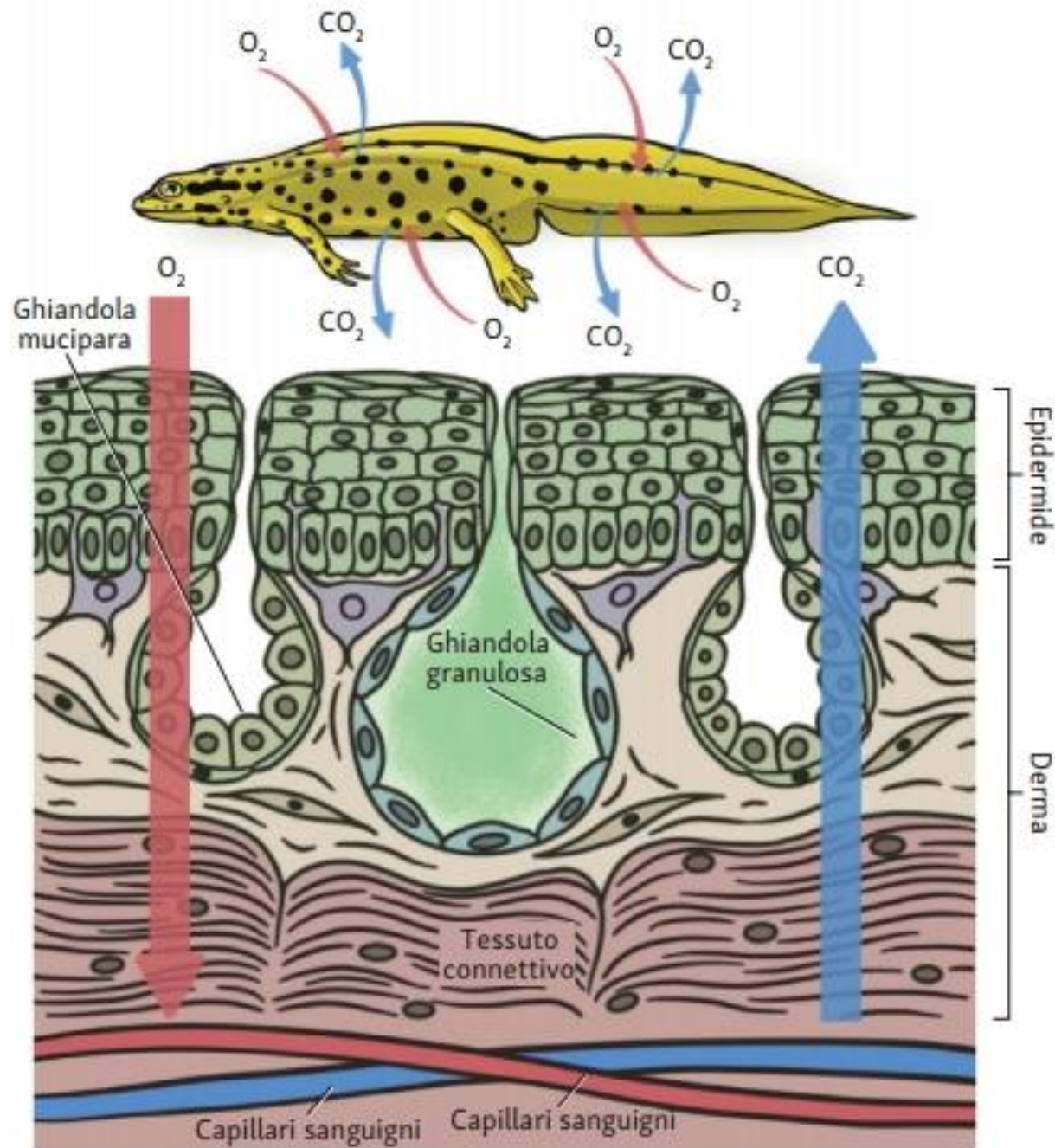


FIGURA 5.23

La pelle degli Anfibi è vascolarizzata, permeabile e costituisce il principale organo respiratorio.



Gli Anfibi: Anatomia Comparata

Adattamenti evolutivi e transizione all'ambiente terrestre



Il Phylum Amphibia

Gli anfiabi, primi tetrapodi a colonizzare la terra, segnano la transizione evolutiva da pesci a rettili.

Caratteristiche:

- **Doppia vita:** Acquatica da giovane (branchie), terrestre da adulto (polmoni).
- **Pelle:** Nuda, vascolarizzata, permeabile, senza scaglie.
- **Termoregolazione:** Ectotermi (sangue freddo).

ENGLISH TRANSLATION: EVOLUTION TO AMPHIBIANS
Detailed description of the evolutionary path from fish to amphibians, including mentions of gills, lungs, and the transition to land.



Anatomia Skeletrale Comparata

■ Omero / Femore

■ Radio-Ulna / Tibia-Fibula

■ Cinture di supporto

Distacco dal cranio

Cintura Scapolare

Connessione Sacrale

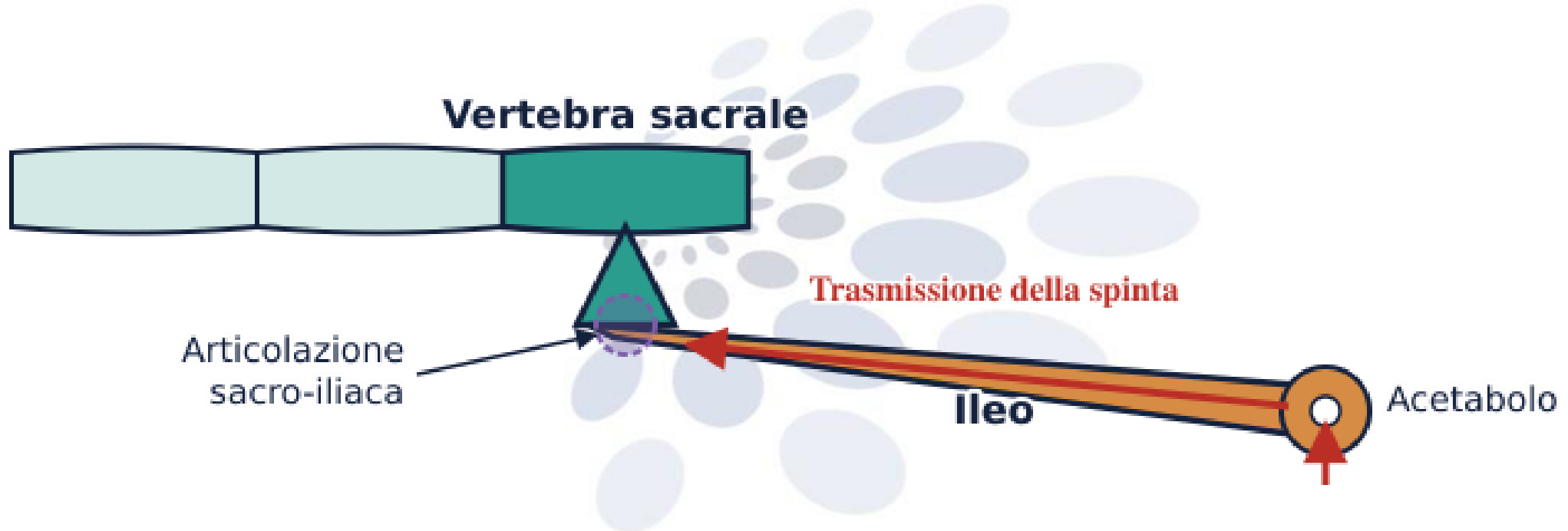
Cintura Pelvica

Sarcopterygio

Anfibio Primitivo

L'Articolazione del Bacino

A differenza dei pesci, gli anfibi hanno sviluppato un bacino robusto collegato alla colonna vertebrale per trasmettere le forze propulsive durante la locomozione terrestre.

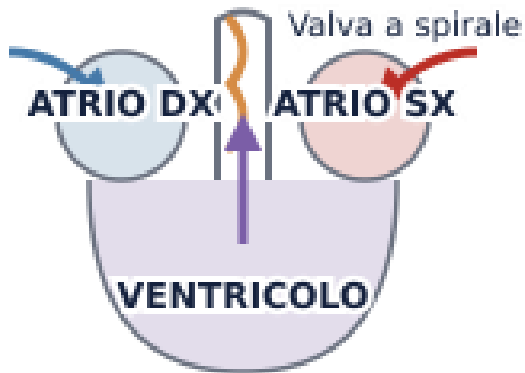


L'evoluzione dell'ileo e l'articolazione con il sacro (v. sacrale) sono fondamentali per permettere all'animale di sollevare il corpo dal suolo contro la gravità.

Circolazione e Separazione Ematica

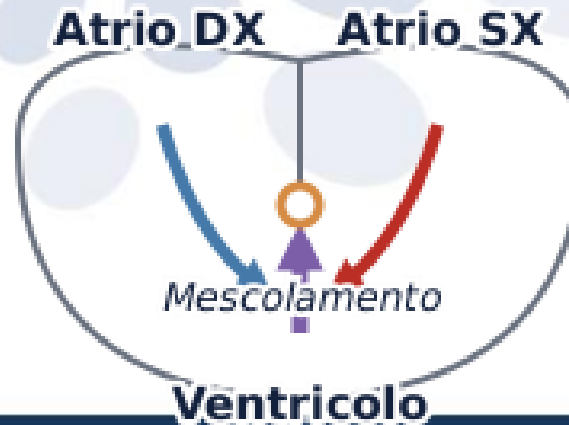
Cuore Tri-camerale

Composto da due atri e un ventricolo singolo.



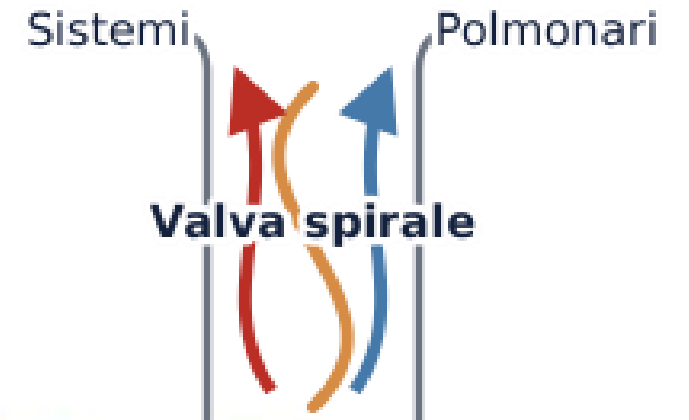
Miste del Sangue

Nel ventricolo, sangue ossigenato e deossigenato si mescolano parzialmente.



Cono Arterioso

Una valva a spirale dirige il sangue nei vasi appropriati (circolazione polmonare o sistemica).



Respirazione: Cutanea e Polmonare

Respirazione Polmonare

I polmoni degli anfibi sono strutture relativamente semplici, simili a sacchetti.

- Hanno una **superficie interna ridotta** rispetto ai mammiferi.
- La ventilazione avviene per pressione positiva (gonfiamento boccale), non tramite diaframma.
- Spesso insufficiente da sola a soddisfare il fabbisogno di ossigeno.

Respirazione Cutanea

La pelle nuda svolge un ruolo vitale, specialmente durante l'ibernazione o sott'acqua.

- Ricca di **capillari** per lo scambio gassoso diretto con l'ambiente.
- Deve rimanere **umida** per permettere la diffusione dell'ossigeno.
- In alcune specie (es. Plethodontidae), i polmoni sono assenti e la respirazione è esclusivamente cutanea.

Sistema Nervoso Centrale

1 Telencefalo

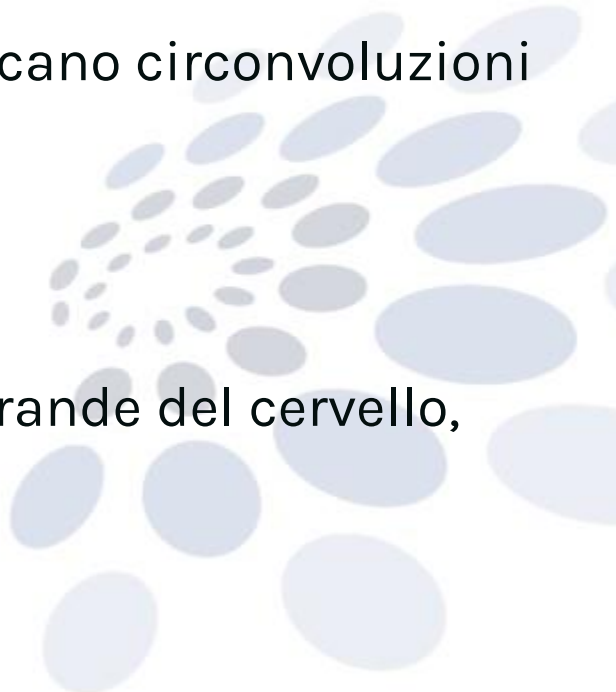
Piccolo, liscio, olfatto. Mancano circonvoluzioni corticali.

2 Mesencefalo

Corpo ottico: la parte più grande del cervello, domina il senso visivo.

3 Cerebellum

Piccole dimensioni: locomozione meno complessa di rettili/uccelli.



ANFIBI VIVENTI:

Lissanfibi

- **Urodeli** (parte salamandre e tritoni, mantengono una morfologia generale di tipo primitivo)
- **Anuri** (numerose modificazioni morfologiche, i.e. salto)
- **Gimnofioni** (corpo tubulare e dall'assenza di arti e cinture, per via del loro stile di vita strettamente fossorio)

Gli Urodeli: Le Forme Primitive

Definizione

Conosciuti comunemente come tritoni e salamandre, mantengono la coda anche da adulti. Hanno un aspetto più simile ai rettili antichi.

Adattamenti Chiave

- **Corpo Allungato:** Arti generalmente corti e di uguale lunghezza, adatti a camminare e nuotare.
- **Coda:** Muscolosa, funge da propulsore principale nell'acqua.
- **Neotenia:** Alcune specie (come l'assolotto) rimangono allo stadio larvale (con branchie) tutta la vita.



Gli Anuri



Definizione

Il gruppo più numeroso e conosciuto, caratterizzato dall'assenza della coda nell'adulto. Sono specializzati nel movimento saltatorio.

Adattamenti Chiave

- **Arti Posteriori:** Incredibilmente allungati e muscolosi per il salto.
- **Scheletro:** Vertebre fuse e accorciate formano l'urostyle, assorbendo l'urto dell'atterraggio.
- **Nutrizione:** Carnivori, catturano le prede con una lingua proiettile.

I Gimnofioni: Anfibi Ciechi

Un Mondo Sotterraneo

Anfibi tropicali evolutivamente distinti, spesso confusi con vermi per il loro aspetto.



Corpo vermiforme senza arti, occhi ridotti e ciechi, e tentacoli sensoriali unici tra narici e occhi per la percezione chimica dell'ambiente.

Confronto Tra i Tre Gruppi



Anuri

Corpo tozzo, arti posteriori lunghi, assenza di coda nell'adulto. Es: Rana verde.



Urodeli

Corpo allungato, coda presente nell'adulto, arti di pari lunghezza. Es: Tritone crestato.



Gimnofioni

Corpo vermiforme, assenza di arti, vita sotterranea. Es: Cecilia.

RIPRODUZIONE



FIGURA 5.27
Incubazione delle uova
(A) nel tegumento
dorsale nel rospo del
Suriname (*Pipa pipa*),
(B) nello stomaco nella
rana australiana
Rheobatrachus silus.
(C) Sorveglianza delle
uova in un apode.

Ciclo Vitale

- **Metamorfosi:** La maggior parte inizia come larva acquatica (con branchie) e si trasforma in adulto terrestre (con polmoni).
- **Fecondazione:** Generalmente esterna, con sviluppo di uovo senza guscio in ambiente umido.

Anuri: quasi tutti ovipari a fecondazione esterna, alcune specie tropicali presentano forme di incubazione delle uova (A) e (B)

Urodeli: fecondazione interna, ovipari. Salamandre europee, ovovipare

Apodi: fecondazione interna. 25% ovipare, deposte in prossimità dell'acqua e sorvegliate dalla femmina (C) il restante 75% è ovoviparo

**COLUMELLA A CONTATTO
CON IL TIMPANO
(CONVERGENZA)**

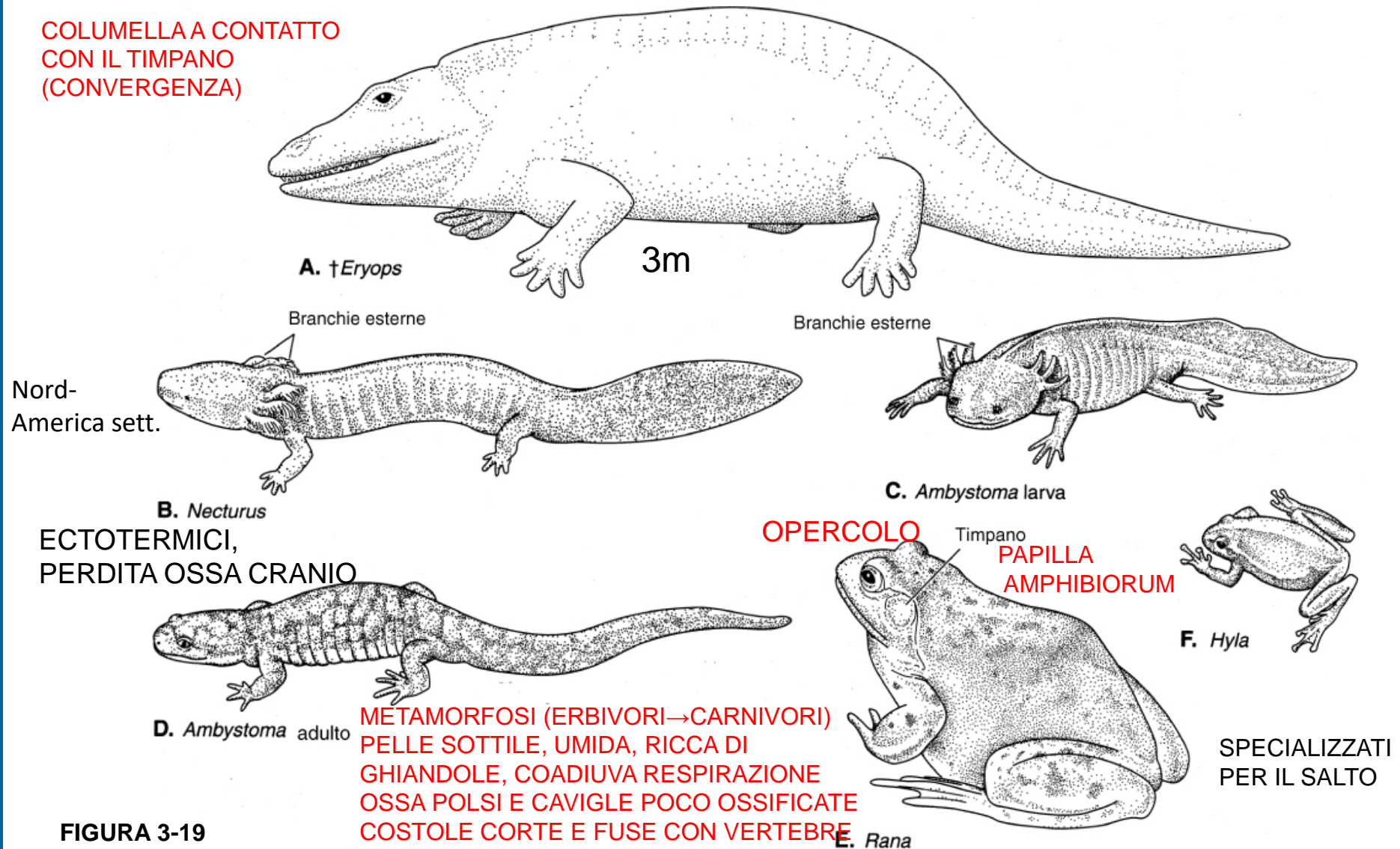


FIGURA 3-19

Anfibi rappresentativi. A, Ricostruzione di un tetrapospondilo primitivo, *Eryops*. B, *Necturus* che vive in acqua e mantiene le branchie per tutta la vita. C, Larva di *Ambystoma* mostrante le branchie esterne piumose. D, Adulto metamorfosato di *Ambystoma*. Le branchie e le altre caratteristiche relative alla vita acquatica sono andate perdute con la metamorfosi. E, La rana toro, *Rana*. Notare il grande timpano. F, Una raganella, *Hyla*, che ha la punta delle dita specializzata per aderire a superfici ripide.

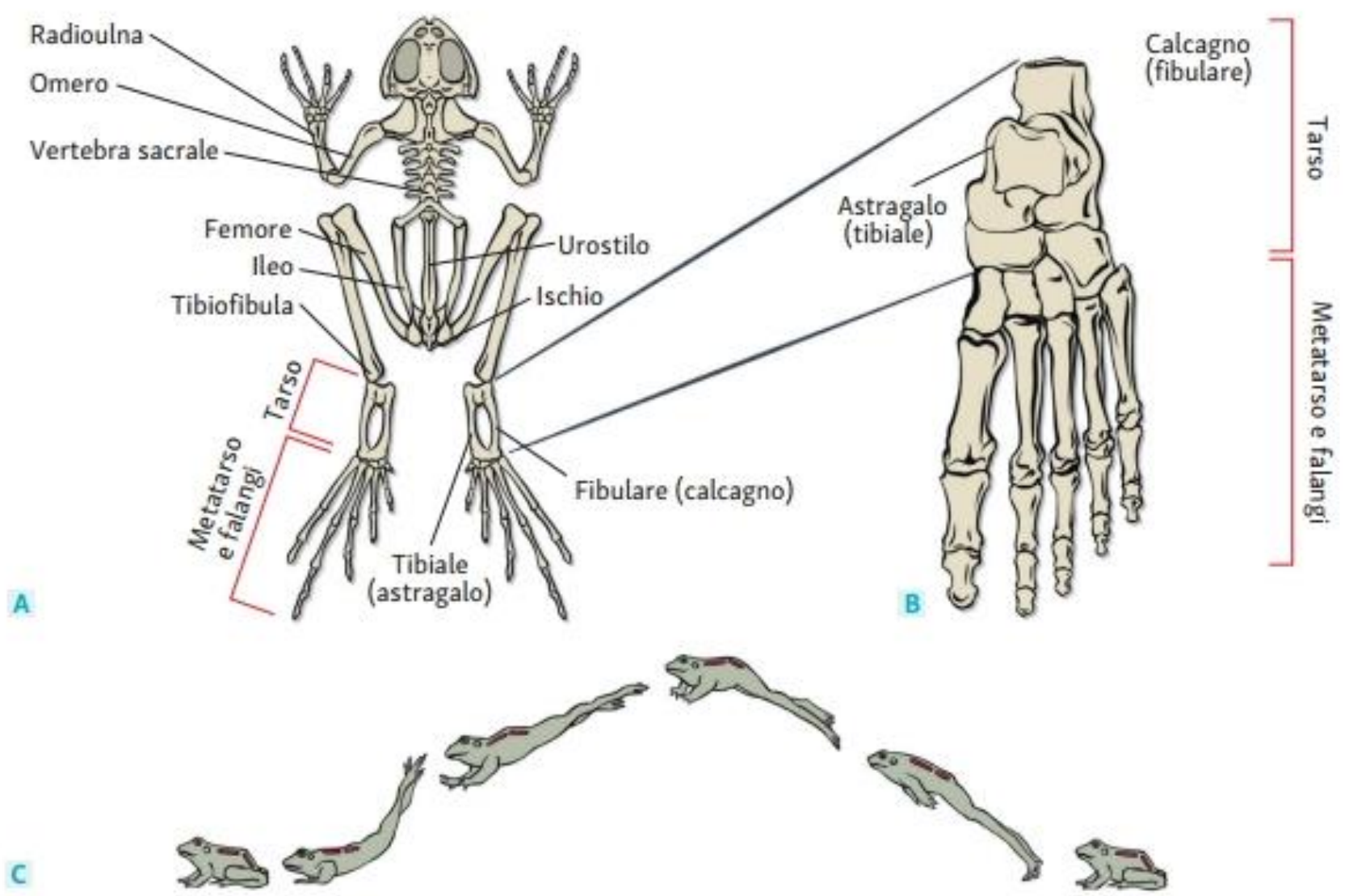


FIGURA 5.25

Struttura scheletrica di un anfibio anuro (A) e confronto con il piede di un uomo (B) per mostrare l'allungamento delle ossa del tarso (tibiale e fibulare). (C) Dinamica del salto di una rana.

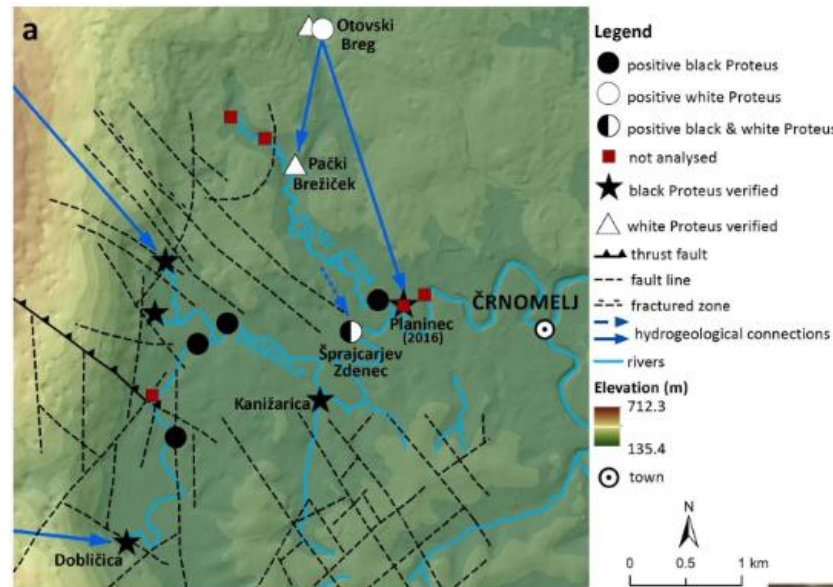


FIGURA 5.26
(A) Arto posteriore palmato di una rana; (B) espansioni adesive delle dita di un anuro arboricolo (raganella).

Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for *Proteus*

Špela Gorički^{1,*}, David Stankovič^{1,2,3,4,†}, Aleš Snoj², Matjaž Kuntner⁴, William R. Jeffery⁵, Peter Trontelj⁶, Miloš Pavičević⁷, Zlatko Grizelj⁸, Magdalena Năpăruș-Aljančič^{1,9} & Gregor Aljančič¹

Europe's obligate cave-dwelling amphibian *Proteus anguinus* inhabits subterranean waters of the north-western Balkan Peninsula. Because only fragments of its habitat are accessible to humans, this endangered salamander's exact distribution has been difficult to establish. Here we introduce a quantitative real time polymerase chain reaction-based environmental DNA (eDNA) approach to detect the presence of *Proteus* using water samples collected from karst springs, wells or caves. In a survey conducted along the southern limit of its known range, we established a likely presence of *Proteus* at seven new sites, extending its range to Montenegro. Next, using specific molecular probes to discriminate the rare black morph of *Proteus* from the closely related white morph, we detected its eDNA at five new sites, thus more than doubling the known number of sites. In one of these we found both black and white *Proteus* eDNA together. This finding suggests that the two morphs may live in contact with each other in the same body of groundwater and that they may be reproductively isolated species. Our results show that the eDNA approach is suitable and efficient in addressing questions in biogeography, evolution, taxonomy and conservation of the cryptic subterranean fauna.

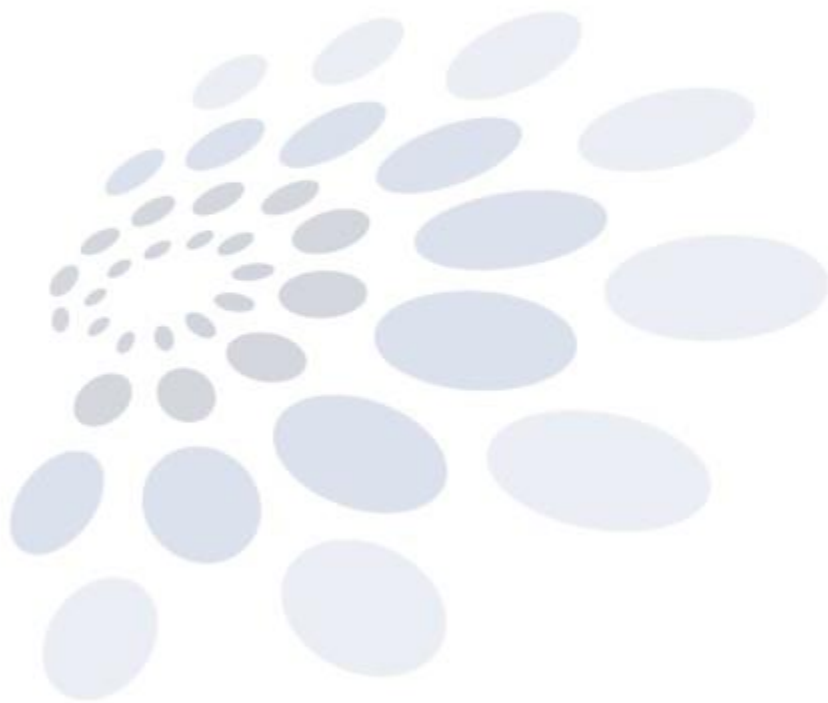


(a) Distribution of eDNA specific for (b) black and (c) white *Proteus* in spring samples in Bela Krajina (Slovenia). Circles and squares depict the results of eDNA analyses; stars and triangles represent known localities of the black or the white *Proteus*, respectively.



Proteus anguinus parkelj

Proteus anguinus



Approfondimento sulle scaglie cosmoidi e cicloidi

- Le scaglie cosmoidi, tipiche dei sarcopterigi primitivi, sono costituite da cosmina e rappresentano una struttura resistente e pesante.
- Le scaglie cicloidi, invece, sono più leggere e flessibili e compaiono in gruppi più derivati.
- La transizione da scaglie robuste a forme più semplificate rappresenta un passo verso una maggiore efficienza nel nuoto.

Evoluzione delle pinne carnose: aspetti funzionali

- Le pinne carnose derivano da un unico elemento basale che sostiene una serie di ossa distali, paragonabili allo stilopodio e allo zeugopodio.
- Questa configurazione ha favorito la locomozione in ambienti marginali e la capacità di sollevarsi dal substrato, anticipando la funzione degli arti dei primi tetrapodi.

Transizione acquatica-terrestre: nuove evidenze

- Le nuove evidenze paleontologiche mostrano che la transizione acqua-terra fu caratterizzata da forme con pinne robuste, articolazioni funzionali e una maggiore mobilità del collo.
- Fossili come Tiktaalik e Panderichthys mostrano la progressiva perdita della pinna dorsale, la comparsa di costole più robuste e una struttura dell'omero simile a quella dei tetrapodi.

Evoluzione della circolazione nei primi vertebrati terrestri

- L'evoluzione della circolazione nei primi vertebrati terrestri vide una crescente separazione tra sangue ossigenato e deossigenato attraverso lo sviluppo di setti cardiaci.
- Nei Dipnoi, il cuore presenta già elementi che prefigurano il sistema dei tetrapodi, migliorando l'efficienza respiratoria in ambienti poveri di ossigeno.

Adattamenti sensoriali nei primi tetrapodi

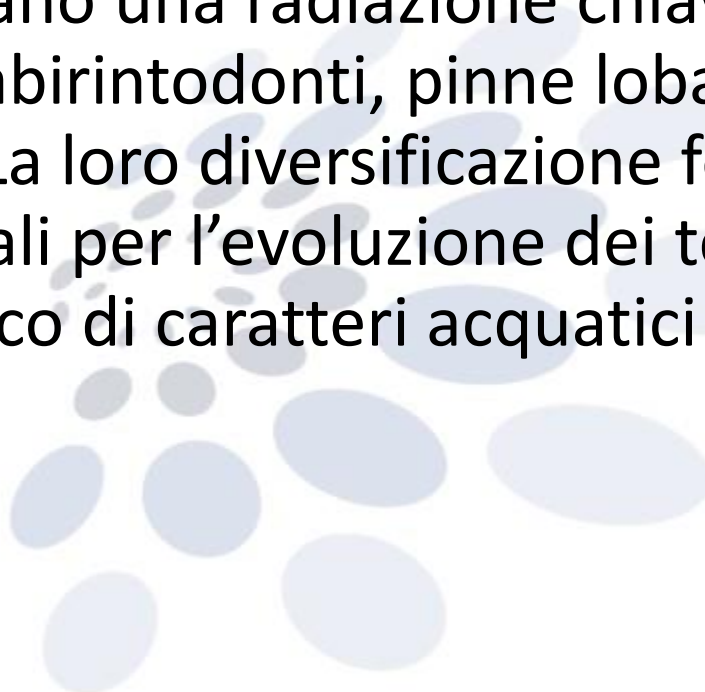
- I primi tetrapodi svilupparono adattamenti sensoriali fondamentali: un orecchio medio per percepire suoni aerei, una vista più efficiente fuori dall'acqua e un sistema olfattivo più complesso.
- La riduzione dell'organo della linea laterale riflette la progressiva specializzazione verso la vita terrestre.

Ruolo delle variazioni climatiche nel Devoniano

- Durante il Devoniano si verificarono periodi di instabilità climatica che portarono alla frammentazione degli ambienti acquatici.
- Questi cambiamenti favorirono specie dotate di capacità respiratorie supplementari e strutture locomotorie più robuste, accelerando la transizione verso ambienti subaerei.

Diversificazione dei Rhipidistia

- I Rhipidistia rappresentano una radiazione chiave dei Sarcopterigi, caratterizzati da denti labirintodonti, pinne lobate e un cranio altamente strutturato. La loro diversificazione fornì le basi morfologiche e funzionali per l'evoluzione dei tetrapodi, con forme che mostrano un mosaico di caratteri acquatici e terrestri.



Tetrapodi iniziali: nuove scoperte paleontologiche

- Nuove scoperte paleontologiche rivelano che i primi tetrapodi erano molto più variabili di quanto si pensasse, includendo forme con differenti numeri di dita, variazioni nella struttura della cintura pettorale e differenti modalità di locomozione. Queste scoperte ampliano la comprensione delle prime fasi evolutive.

Sintesi comparativa tra Sarcopterigi e Actinopterigi

- La comparazione tra Sarcopterigi e Actinopterigi evidenzia differenze profonde: i Sarcopterigi possiedono pinne lobate con ossa interne e polmoni primitivi, mentre gli Actinopterigi hanno pinne sostenute da raggi e maggiore diversificazione ecologica.
- Queste distinte strategie evolutive hanno definito percorsi divergenti nello sviluppo dei vertebrati.