



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea In Scienze Biologiche

Dalla Terra al Mare: le Origini di Balene, Delfini e Focene

From Land to Water: the Origin of Whales, Dolphins and Porpoises

Sessione straordinaria Maggio 2021

Anno Accademico 2019/2020

Tesi di:
Salvucci Paolo

Relatore:
Prof. Vincenzo Barucchi Caputo

Cosa rende i cetacei dei mammiferi e cosa li accomuna con degli antenati terrestri?

- Accudiscono la prole;
- Hanno i 3 ossicini dell'udito (staffa, incudine, martello);
- Hanno dei polmoni e riemergono per respirare;
- Anche se tutti i cetacei moderni mancano di pelliccia, alcune specie presentano dei peli e in altre i feti hanno dei baffi;
- Tracce di antenati terrestri sono ancora presenti negli embrioni dei cetacei: i cetacei moderni mancano di pinne posteriori ma i loro embrioni presentano ancora l'inizio degli arti posteriori, che poi scompaiono con lo sviluppo embrionale.

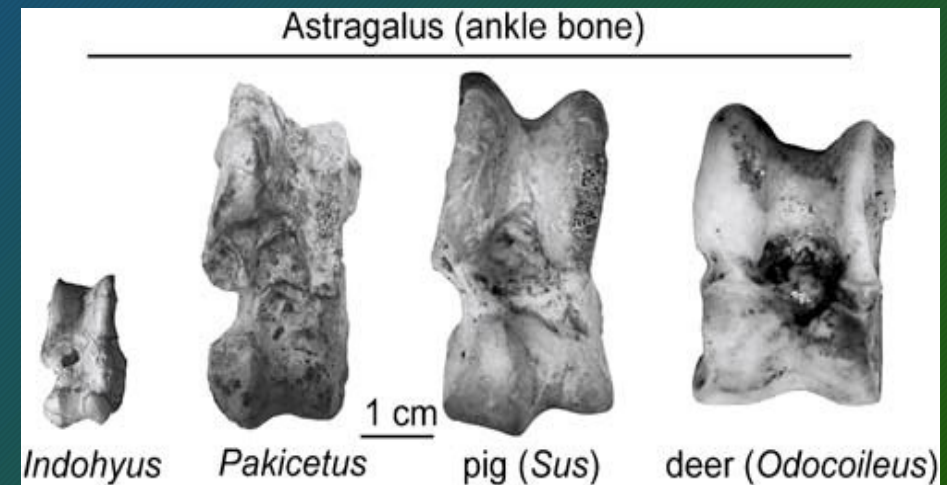
Anche se si sapeva che i cetacei avevano degli antenati terrestri, fino ai primi anni '90 non si ebbero prove fossili di ciò. In quegli anni vennero scoperti fossili, per lo più in India e in Pakistan, che documentarono il passaggio dalla terra all'acqua nel periodo dell'Eocene (da circa 54 a 34 milioni di anni fa).

Raoellidi: i Parenti Più Stretti dei Cetacei

- I raoellidi sono una delle famiglie appartenenti agli Artiodactyla, risalenti tra i 55 e i 45 Ma fa e la specie più conosciuta è l'*Indohyus*;
- Possedeva un muso ed una coda lunghi e alla fine di ogni arto aveva 4 o 5 dita che terminavano a zoccolo;

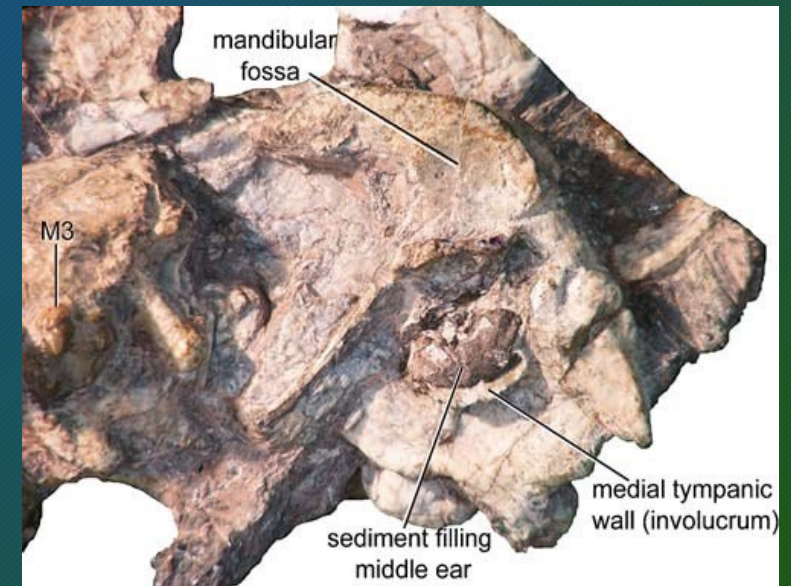
Perché viene inserito negli Artiodactyla?

- La motivazione più importante che indica ciò risiede in un osso della caviglia: l'astragalo;
- In tutti i mammiferi quest'osso forma un'articolazione con la tibia chiamata troclea;
- Nei raoellidi, nei cetacei estinti ed in altri artiodattili l'astragalo ha una seconda troclea, localizzata all'estremità opposta rispetto alla prima e si va ad articolare con le ossa rimanenti della caviglia;
- Mobilità del piede aumentata in direzione anteroposteriore.



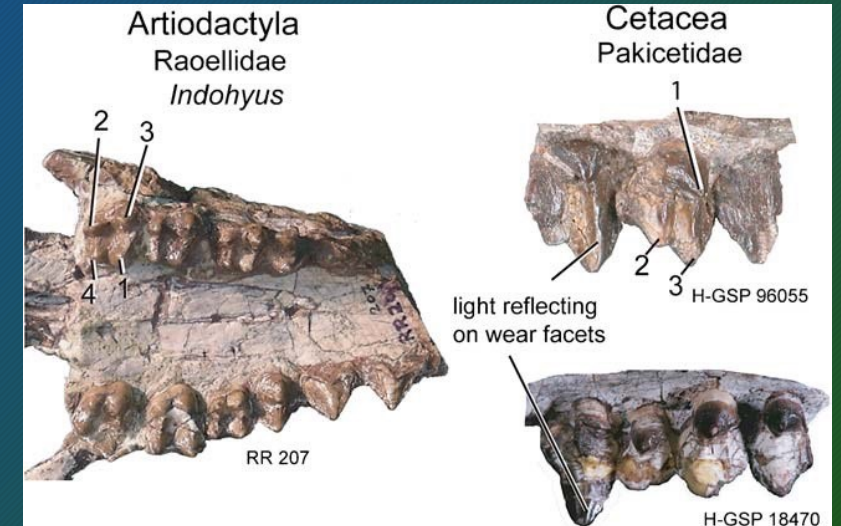
Quali sono le Caratteristiche che rende *Indohyus* un parente dei Cetacei?

- L'ectotimpano è un osso che racchiude la cavità dell'orecchio medio e lo spessore della parete è costante in quasi tutti i mammiferi;
- Nei cetacei, sia estinti che moderni, il labbro interno è più spesso dell'esterno e viene chiamato involucrum; L'involucrum non è presente in altri mammiferi eccetto in uno: *Indohyus*;
- Le ossa degli arti di *Indohyus* presentano un'altra caratteristica: in sezione trasversale la cavità del midollo osseo occupa il 42% del femore rendendo le ossa pesanti (ossa osteosclerotiche);
- *Indohyus* viveva in corsi di acqua dolce; uno studio sul rapporto tra due isotopi dell'ossigeno rinvenuti nei suoi denti conferma ciò perché il rapporto tra loro, in animali terrestri e acquatici, cambia.



Pakicetidae: i Primi Cetacei

- I pakicetidi vivevano in corsi d'acqua poco profondi circa 50 Ma fa ed avevano arti con ossa osteosclerotiche;
- Le orbite erano posizionate vicine tra loro e sulla parte superiore del cranio;
- Lo spazio che intercorre tra orbite e fossa mandibolare era molto stretto influenzando quindi l'attacco dei muscoli masticatori, suggerendo che mangiavano cibi differenti rispetto ai raoellidi;
- Hanno denti con cuspidi separate da una profonda cavità;
- Presentano un astragalo con 2 troclee;
- Come raoellidi e cetacei hanno un ectotimpano con involucrum.



La transizione da raoellidi a pakicetidi e quindi da artiodattili a cetacei è stato un evento che ha incluso la ricostruzione su larga scala del cranio

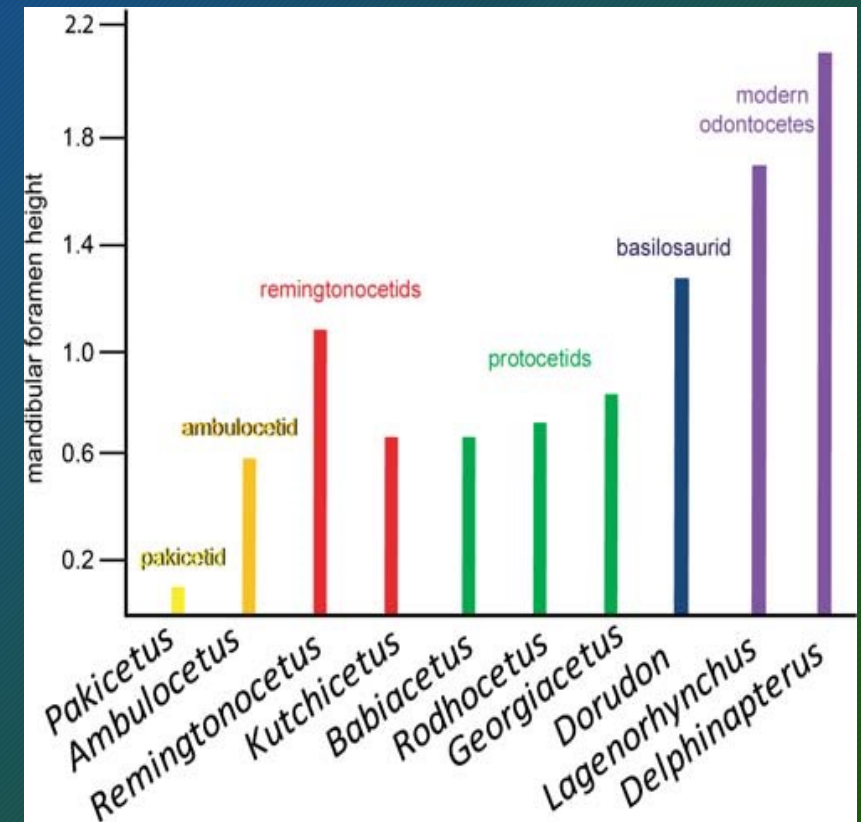
Ambulocetidae: i Primi Cetacei Marini

- Lo scheletro più completo è quello di *Ambulocetus natans* risalente a circa 49 Ma fa;
- I dati sugli isotipi indicano che *Ambulocetus* viveva in ambienti di acqua dolci, probabilmente vicino ad una foce di un fiume;
- Ha arti posteriori corti e potenti con 5 dita nella mano e 4 nel piede;
- Le vertebre della coda sono robuste suggerendo quindi una coda muscolosa, utilizzata per il nuoto insieme agli arti posteriori;
- Proprio come i pakicetidi avevano delle ossa osteosclerotiche con cavità del midollo osseo del femore pari al 57%;
- Ha un muso allungato e le orbite sono rivolte verso i lati anche se sono ancora posizionate in alto sul cranio.



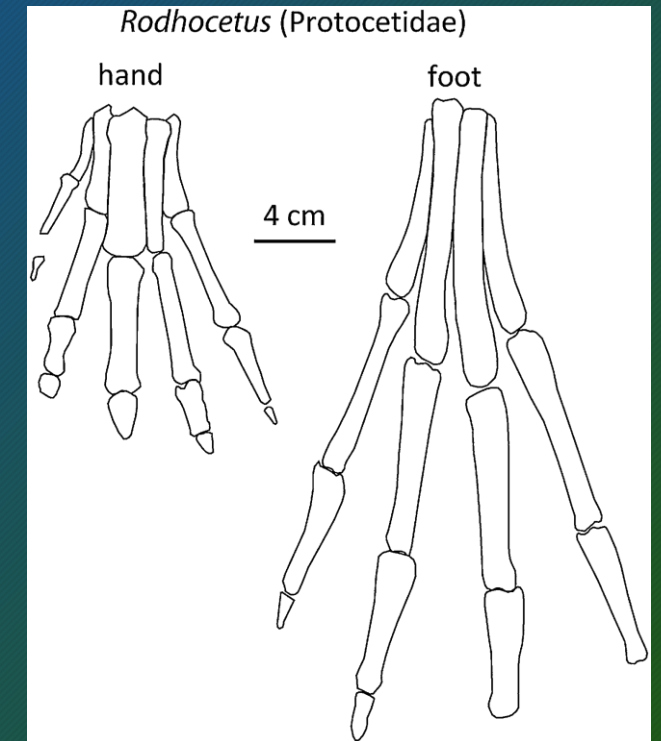
Remingtonocetidae: Cetacei dal muso lungo

- I fossili risalgono al periodo compreso tra i 48 e i 41 Ma fa;
- I loro molari hanno perso la cavità tipica di pakicetidi e ambulocetidi;
- Nel genere *Remingtonocetus* gli occhi sono piccoli, le orecchie sono grandi e distanti dal cranio;
- Ha un foro mandibolare enorme in cui vi è situato un cuscinetto di grasso che collega la mandibola all'orecchio medio, migliorando la trasmissione dei suoni sott'acqua;
- I loro canali semicircolari sono piccoli limitandone la loro sensibilità;
- *Remingtonocetus* probabilmente viveva in una baia fangosa protetta dall'oceano grazie ad isole o penisole.



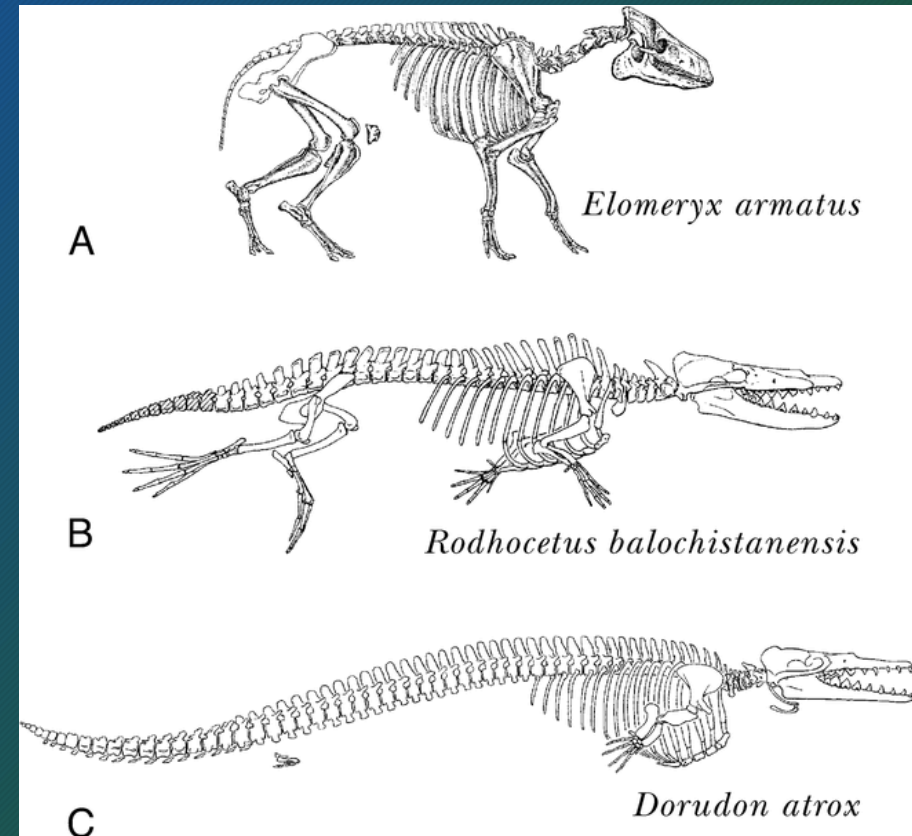
Protocetidae: i Cetacei che Conquistarono gli Oceani

- Con l'avvento dei protocetidi i cetacei si sono diffusi in tutto il mondo nel periodo dell'Eocene, tra i 49 e i 40 Ma fa;
- Gli occhi sono grandi, rivolti lateralmente e posizionati lontano dalla linea mediana del cranio sotto allo scudo sopraorbitale;
- Le aperture nasali si trovano posteriormente sul muso, prefigurando la formazione dello sfiatatoio;
- *Artiocetus* e *Rodhocetus* avevano arti corti ed erano capaci di camminare sulla terra ferma;
- *Georgiacetus* aveva un bacino che non era collegato alla colonna vertebrale suggerendo che non poteva supportare il peso dell'animale.



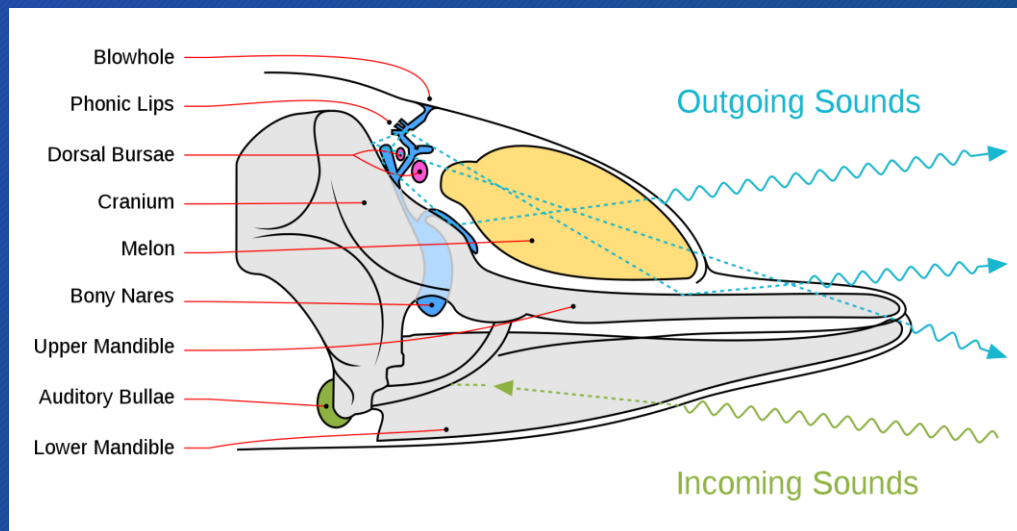
Basilosauridae: i Primi Cetacei Completamente Acquatici

- I fossili risalgono al periodo compreso tra i 41 e i 35 Ma fa;
- Hanno un'apertura nasale spostata in direzione posteriore che forma un foro di sfiatamento;
- Gli arti anteriori formano delle pinne ed ha un'articolazione del gomito non mobile;
- Gli arti posteriori sono piccoli e quindi non supportano il peso sulla terra ferma;
- Presentavano una colonna vertebrale lunga per via dell'aumento delle vertebre lombari e per l'aumento di lunghezza di ogni vertebra; il bacino non vi è attaccato;
- Hanno una dentizione di tipo eterodonte e i molari non presentano la cavità centrale circondata dalle cuspidi.



Odontoceti e Mysticeti: i Cetacei Moderni

- Intorno ai 34 Ma fa sono stati rinvenuti i primi rappresentanti dei cetacei moderni;
- Gli odontoceti hanno acquisito un'importante innovazione: l'ecolocalizzazione
- I mysticeti hanno acquisito un nuovo metodo di alimentazione grazie alla comparsa dei fanoni



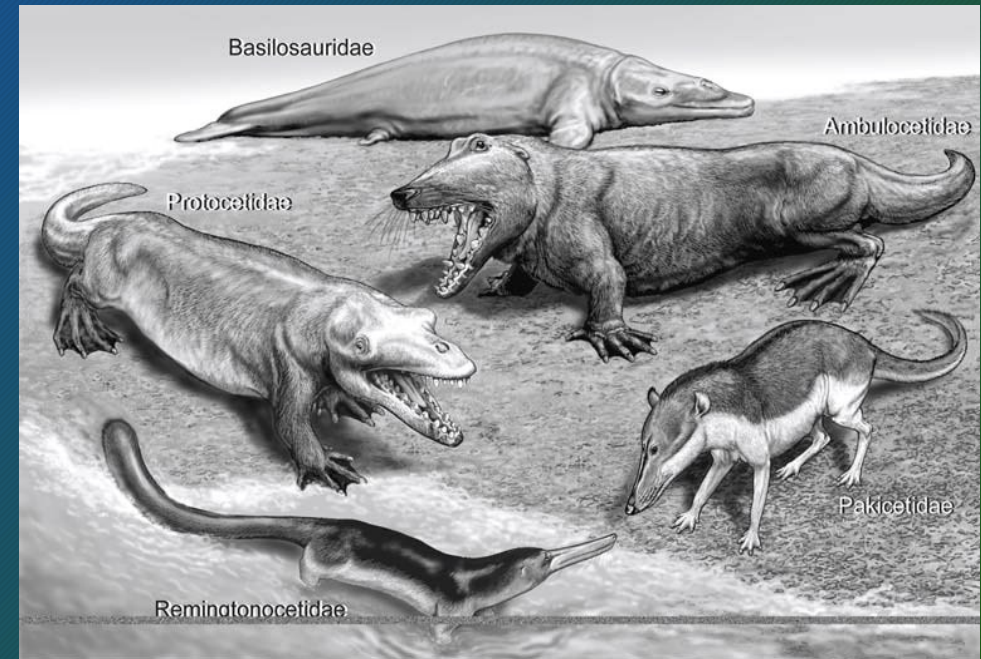
https://it.wikipedia.org/wiki/Ecolocalizzazione#/media/File:Toothed_whale_sound_production.svg



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/19/Baleen.jpg>

Conclusioni

- Nonostante i progressi non è chiaro quale processo abbia causato il modello di origine dei cetacei: perché sono entrati negli oceani?
- Sembrava dipendesse dalla disponibilità di cibo ma gli studi dimostrano che gli antenati vivevano in acque dolci poco profonde;
- Le nuove scoperte sul comportamento dei raoellidi ci suggeriscono che questi animali utilizzavano l'acqua come rifugio dai pericoli.



Riassunto Esteso

I cetacei (balene, delfini, focene) sono un ordine di mammiferi che si sono originati circa 50 milioni di anni fa, nell'epoca dell'Eocene. Anche se tutti i rappresentanti attuali sono mammiferi acquatici obbligati, i primi erano anfibi e i loro antenati erano artiodattili. La transizione dalla terra all'acqua di questi animali è documentata principalmente da fossili provenienti dall'India e dal Pakistan. Nel presente elaborato esamineremo alcuni ordini di animali che testimoniano questa transizione attraverso un'analisi delle loro caratteristiche fisiche, come ad esempio la transizione degli arti anteriori da zoccolo, caratteristica dei raoellidi, a pinna, comparsa nei basilosauridi. Inoltre si prenderanno in esame l'evoluzione dei denti nei vari ordini, nello specifico dei molari e come questo ha portato alla scomparsa della masticazione. Infine si esaminerà il comportamento dei raoellidi per capire il motivo per cui i cetacei sono entrati negli oceani.