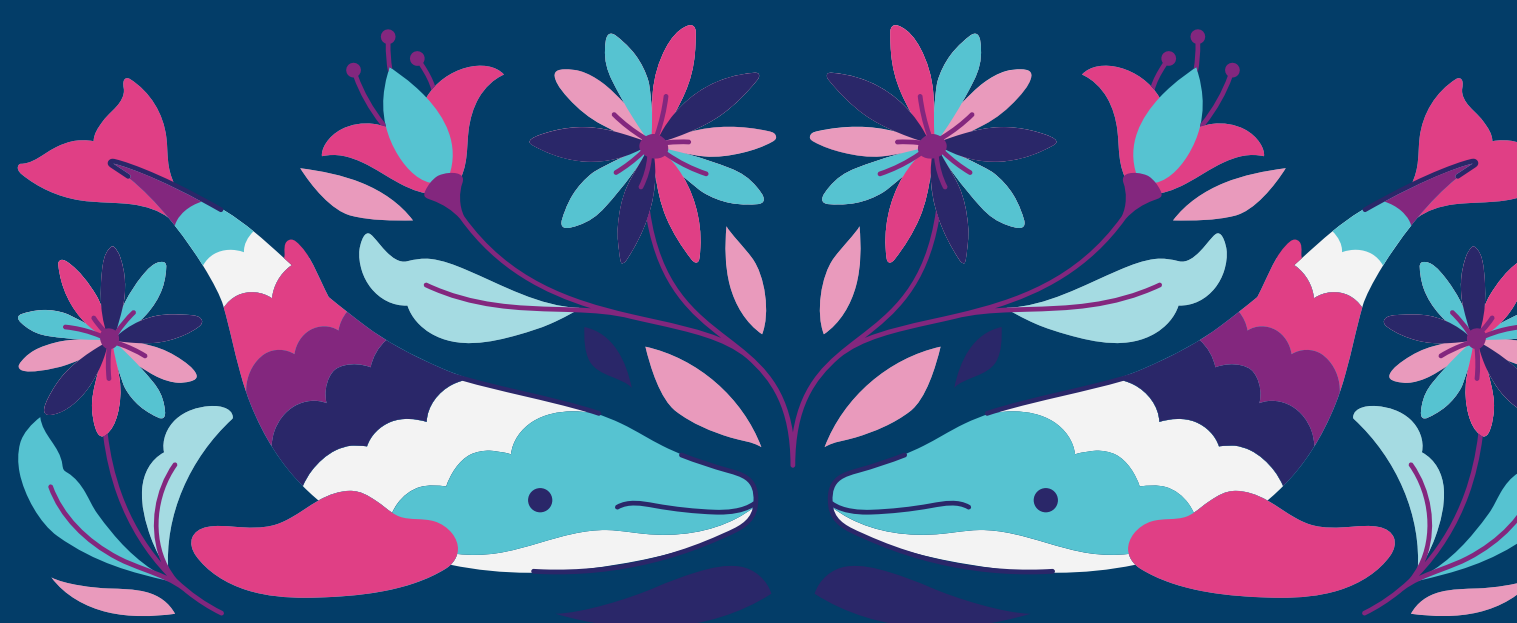


Ogni singolo organismo, che sia un protozoo, una medusa o uno squalo, ha la capacità di modificare, entro certi limiti, le sue funzioni biologiche e le sue strutture quando cambiano le condizioni di vita. Questo fenomeno, o meglio questa capacità di adeguamento degli individui, si chiama adattamento. C'è una sola alternativa all'adattamento: morire, se parliamo di un singolo organismo, o estinguersi, se parliamo di intere specie. Gli scienziati per studiare l'adattamento di una determinata specie si devono basare su diversi fattori come l'ecologia o la genetica di popolazioni, tenendo in esame sia il numero degli individui, la loro struttura genetica, e persino i fattori abiotici e biotici dell'ambiente che condizioneranno le proprietà quantitative e qualitative della popolazione presa in esame. All'interno dell'ambiente marino, a differenza dell'ambiente terrestre, i fattori ecologici subiscono delle oscillazioni di ampiezza assai minore, quindi l'ambiente marino è caratterizzato oltre che da continuità anche da una certa uniformità. La relativa povertà di barriere di isolamento rende meno evidente la differenza morfologica e fisiologica, che sono prese in analisi per i processi di adattamento. Infatti l'ambiente è l'insieme delle condizioni chimico-fisiche (fattori abiotici) e biologiche (fattori biotici) a cui è soggetto un organismo; l'insieme dei fattori abiotici e biotici definisce i fattori ecologici che definiscono e regolano ogni ambiente, agendo direttamente sugli esseri viventi in esso ospitati almeno durante una fase del loro ciclo di sviluppo. I fattori ecologici, tra l'altro influenzano direttamente la distribuzione degli organismi nello spazio e favoriscono la comparsa di modificazioni come risposte di adattamento. L'uniformità dei fattori ecologici marini si riduce tuttavia sensibilmente man mano che dall'ambiente oceanico aperto ci si sposta nelle regioni costiere, dove i cambiamenti biologici, come la salinità dell'acqua o la temperatura, divengono più pronunciati. Particolare è, infine, il ruolo e l'importanza, nell'ambiente marino, dei fattori biotici, poiché nel mare nessuna comunità di organismi è completamente indipendente. Altre zone che richiedono particolari adattamenti degli organismi sono le acque profonde ove ad esempio l'assenza di luce costituisce un fattore determinante.



COME STANNO IN ASSETTO LE TARTARUGHE?

L'ambiente oceanico cambia sostanzialmente al variare della profondità, e se gli animali acquatici desiderano stanziare ad una determinata profondità devono solamente modificare la loro gravità. Negli abissi marini, i pesci possono raggiungere profondità grazie al galleggiamento, molto importante per le specie marine, con la quale possono spendere minori energie. Molte specie aumentano la proporzione di sostanze più leggere dell'acqua all'interno del proprio organismo, come olio e grasso, per raggiungere un galleggiamento ottimale. Il gas è particolarmente efficace per incrementare e migliorare il galleggiamento nell'acqua grazie alla sua bassa densità, rispetto a quella dell'acqua. In questo modo, la vescica natatoria (in quelle specie che la posseggono) svolge un ruolo molto importante per quanto riguarda il galleggiamento dei pesci, perché aumentano o diminuiscono il volume di gas nell'organismo. Le tartarughe marine utilizzano i polmoni e il gas contenuto in essi per immergersi fino alle profondità dell'oceano. Questi animali riescono a mantenersi in assetto anche senza nuotare, utilizzando i polmoni, raggiungendo una galleggibilità prossima alla neutralità. Esistono due metodi per raggiungere una galleggibilità neutra utilizzando i polmoni: 1) regolando il volume di aria all'interno dei polmoni in funzione della profondità preferita (ADS, active depth detection), 2) o regolando la profondità in modo tale che la profondità stazionaria sia una conseguenza del volume d'aria nei polmoni (PDS, passive depth detection). Durante l'immersione le tartarughe rimangono per un periodo ad una certa profondità senza nuotare. L'immersione della tartaruga è caratterizzata da una fase di risalita graduale durante la quale la tartaruga rimane ad una profondità relativamente costante. Le immersioni possono essere suddivise in quattro fasi specifiche: una prima discesa, una salita, una discesa graduale e infine la salita finale [X].



3: COME SENTONO I PESCI?

I pesci, come tutti i vertebrati, hanno una varietà di sistemi sensoriali, che garantiscono informazioni provenienti dal mondo esterno. Ogni organo fornisce informazioni sulla base di determinati segnali, provenienti dall'esterno. Ogni sistema sensoriale ha la sua funzione specifica, come ad esempio il sistema uditivo. I pesci in generale determinano i suoni esterni attraverso i relativi movimenti tra gli otoliti e le cellule ciliate sensoriali. In particolare, i pesci dotati di un udito sovrappieno, determinano i suoni ambientali anche attraverso la vescica natatoria, contenuta nell'addome. La vescica natatoria svolge numerose funzioni nei pesci, ma nasce come meccanismo di regolazione del galleggiamento, infatti i pesci possono regolare il volume di gas all'interno della vescica per galleggiare senza problemi a qualsiasi profondità. In questo modo non devono spendere ulteriore energia per mantenere la posizione verticale. Gli altri due ruoli della vescica natatoria sono: l'ascolto e la produzione di suoni. Grazie alla sua forma, l'aria presente nella vescica natatoria funziona come un amplificatore sonoro, infatti il gas amplifica il rumore prodotto dalle pareti della vescica; e questi suoni raggiungono la parte interna dell'orecchio e stimola l'otolite dell'epitelio sensoriale, costituito da cellule di rivestimento che hanno la funzione di ricevere e trasmettere determinati stimoli esterni alle cellule del tessuto nervoso. Invece, i pesci che non hanno sviluppato un sistema uditivo efficace, hanno la vescica natatoria lontana dall'orecchio e quindi i suoni prodotti raggiungono l'orecchio con minore intensità. Così queste specie probabilmente non sentono determinati suoni. I pesci che hanno sviluppato un apparato uditivo efficiente, come i pesci rossi (*Carassius auratus*), hanno una serie di ossa (ossa di Weberian) che connettono la vescica natatoria alla parte interiore dell'orecchio. Infatti, quando le pareti della vescica natatoria si muovono, delle ossa vibrano e portano i rumori direttamente all'orecchio. Oltre alle specie con le ossa di Weberian, altri pesci hanno evoluto diverse strategie per migliorare la ricezione dei suoni. Per esempio alcune specie hanno prodotto degli organi speciali, che connettono direttamente gli otoliti e la vescica natatoria, migliorando così la ricezione dei suoni esterni. Infine, alcune specie hanno sviluppato delle bolle d'aria, posizionate vicino all'orecchio, che svolgono lo stesso compito della vescica natatoria. Queste bolle aumentano il campo uditivo, aiutando il pesce a rilevare suoni di minor intensità [y].

4: COME SI IMMERGONO IN PROFONDITÀ I MAMMIFERI MARINI?

Tutti gli animali vertebrati marini "respiratori d'aria" sono in grado fare immersioni di corta durata, anche se il termine corto per alcuni animali è molto relativo. Infatti zifio (*Ziphius cavirostris*), capodoglio (*Physeter macrocephalus*) e grampo (*Grampus griseus*) sono in grado di fare immersioni che superano le 2 ore [z]. Il corpo degli animali deve ovviamente reagire all'assenza di ossigeno e al cambiamento di pressione. L'adattamento riguardante la pressione permette di evitare diversi problemi. Il primo è il collasso dei polmoni, i mammiferi marini hanno una barriera flessibile sul petto per far fronte alla pressione. Per evitare che la pressione crei problemi di compensazione nelle orecchie sembrerebbe che i seni si possano riempire di sangue per riempire lo spazio d'aria [a].

Gli animali marini hanno anche un metabolismo che supporta le immersioni, infatti tutti gli animali marini hanno un metabolismo anaerobico che quindi non necessita di ossigeno. Inoltre hanno anche un grande concentrazione di emoglobina e mioglobina che sono globuli rossi che portano grandi quantità di ossigeno in modo da poter restare in apnea. Il sangue è diretto soprattutto agli organi vitali come polmoni, cervello e ovviamente cuore che devono evitare di collassare.

MAMMIFERI MARINI

I mammiferi marini sono, dopo rettili e uccelli, l'ultimo grande gruppo di vertebrati ad essersi adattati all'ambiente marino.

L'adattamento dei mammiferi è stato scaturito da sette grandi ostacoli fisiologici: l'anossia (mancanza di ossigeno), la pressione (negli ambienti marini anche pochi metri sotto il livello del mare la densità aumenta enormemente), la respirazione (i mammiferi hanno bisogno di meno tempo per respirare in superficie e più tempo per cacciare negli abissi), la visibilità (molte zone di caccia di mammiferi sono caratterizzate da poca visibilità e da eterno buio), l'udito (la poca visibilità negli abissi aumenta l'importanza dell'apparato uditivo), il freddo (i mammiferi marini a sangue caldo, per adattarsi al freddo delle acque del nord, hanno il corpo 10-15 volte più caldo delle acque caraibiche e tropicali) e la viscosità (nuotare ad alte velocità è difficile a causa dell'alta viscosità dell'acqua).

Il bisogno di adattarsi per superare queste difficoltà ha portato a dei notevoli adattamenti fisiologici e morfologici, grazie ai quali spesso si possono distinguere i mammiferi marini grazie a singoli dettagli anatomici.

ADATTAMENTO ALL'ANOSSIA [B] .

Quando i mammiferi marini si immergono entrano in un ambiente anossico, nonostante sia presente nell'acqua una grande quantità di ossigeno disciolto. Non potendo estrarre l'ossigeno dall'acqua, a causa della mancanza di branchie, hanno sviluppato alcuni adattamenti, come l'immagazzinamento di ossigeno, la ridistribuzione del sangue tramite regolazione cardiovascolare e la riduzione metabolica durante l'immersione.

Nei mammiferi marini l'immagazzinamento dell'ossigeno durante l'immersione avviene in 3 compartimenti del corpo: il sistema respiratorio, il sangue e la muscolatura.

La riserva del sistema respiratorio è marginale rispetto alle altre poiché 80% della capienza massima dei polmoni durante l'immersione è occupato dall'azoto.

Per quanto riguarda l'ossigeno nel sangue, la sua capienza è determinata dalla quantità di globuli rossi e dalla concentrazione di emoglobina nel sangue, alcuni mammiferi marini hanno molta capacità di immagazzinamento nel sangue. Il sistema di conservazione muscolare, invece, si basa sulla presenza di una determinata proteina (la mioglobina), presente in tutti i mammiferi, che forma legami chimici con l'ossigeno. Questa proteina ha una concentrazione da 3 a 15 volte più alta nella muscolatura dei mammiferi marini, ciò permette loro di usufruire dell'apparato muscolare anche come magazzino di ossigeno.

I cetacei hanno sviluppato variazioni o strutture interamente nuove all'interno del sistema cardiovascolare, molte delle quali hanno una funzione ancora sconosciuta.

Un esempio di questo è costituito da una struttura molto diffusa tra i cetacei, ovvero il bulbo aortico, ovvero un allargamento dell'arco aortico, che funziona in modo simile ad una camera elastica e capiente.

Questo bulbo assorbe gran parte dell'energia sviluppata durante la sistole dai ventricoli sinistri. L'impulso è poi distribuito nel resto dell'apparato circolatorio, e questo è indispensabile per mantenere la pressione sanguigna durante le immersioni, in cui si sviluppa spesso una situazione di bradicardia. In generale, all'inizio dell'immersione inizia una rapida insorgenza di bradicardia che può oscillare fra il 20% e il 90% delle pulsazioni a riposo. Questo dipende da diversi fattori, ad esempio la durata dell'immersione, la velocità con cui l'animale si sposta e le condizioni di stress che possono subentrare nel caso l'immersione si dettata da situazioni di pericolo. Durante le immersioni più lunghe, c'è una riduzione del flusso di sangue diretto agli organi che tollerano situazioni di ipossia, mentre gran parte del sangue è diretto al cervello che, in queste situazioni, diventa il maggior consumatore dell'ossigeno immagazzinato nel sistema circolatorio.

Nelle foche è presente una notevole modifica dell'apparato circolatorio venoso. In particolare una particolare vena (la vena extradurale intravertebrale) è responsabile di gran parte del flusso di ritorno diretto al cervello.

Gran parte delle informazioni, nonché le più complete, riguardo alle funzioni cardiovascolari ci arrivano dalle balene, e si ottengono in particolare durante le immersioni effettuate alla ricerca di cibo.

ADATTAMENTO ALLA PRESSIONE

Un altro grande problema per i mammiferi marini è la pressione, infatti già a pochi metri dalla superficie la pressione idrostatica diventa elevata aumentando di 1 bar ogni 10 m di profondità.

Per adattarsi a questo problema la loro fisionomia è cambiata rispetto a quella dei mammiferi terrestri: la gabbia toracica si è compattata per comprimere i polmoni a organo solido, i polmoni hanno un rivestimento cartilagineo e il rivestimento dell'orecchio medio si può espandere per adattarsi alla pressione. L'adattamento più importante però è la capacità di non assorbire gas nuotando a profondità elevatissime, allo scambio, anche minimo, di azoto nel sangue, seguirebbe, durante la rapida risalita, la formazione di bolle di gas, quindi la malattia da decompressione.

Adattamento per la ventilazione

I polmoni dei mammiferi marini si svuotano fino al 5-10% della totale capacità polmonare; tuttavia, questa caratteristica rende possibile che la capienza vitale sia del 90% della capacità massima, che è spesso simile alla quantità di aria che viene assorbita con un ciclo respiratorio. Per nuotare rapidamente, infatti, i delfini utilizzano questa loro caratteristica e alcuni esemplari arrivano al 90% della capienza massima in 0,7 secondi.

ADATTAMENTO PER LA LOCOMOZIONE

La forma dei mammiferi marini è adattata all'alta densità dell'acqua, che è circa 1000 volte quella dell'aria. La loro velocità media in acqua è di $2-3 \text{ ms}^{-1}$, e grazie alla loro forma il 90% della resistenza è annullato.

ADATTAMENTO PER LA LUMINOSITÀ

I mammiferi marini sono animali notturni, anche se possono essere attivi anche di giorno poiché cacciano in acque molto profonde dove arriva poca luce.

Per adattarsi alla mancanza di luce, gli occhi di mammiferi come la foca elefante si sono sviluppati variando notevolmente rispetto agli occhi dei mammiferi terrestri.

Un primo cambiamento si nota nel diametro interno dell'occhio, nelle foche elefanti è di 52 per 61mm, nell'uomo di 24 per 24mm; un'altra caratteristica è l'alta concentrazione di bastoncelli, i fotorecettori della retina, ciò agevola la visione nelle zone profonde; infine la dimensione della pupilla: nella foca elefante si dilata dagli 0.9 mm^2 ai 422 mm^2 , tuttavia in una nottata di luna la pupilla si dilata solamente al 22% del diametro totale, quest'ultimo viene raggiunto solamente quando l'animale nuota a profondità in cui la luce non arriva.

