



# INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA  
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA  
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA  
A.A. 2019/20  
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: 0F

TITOLO PROGETTO: *L'udito in Natura.*

AUTORE 1: Valastro Antonio

AUTORE 2: Puglisi Dario

AUTORE 3: Rodolico Luca



## Indice

1. Obiettivi del progetto.....	2
2. Riferimenti Bibliografici .....	3
3. Argomenti Teorici Trattati.....	9



## 1. Obiettivi del progetto

La comunicazione è una caratteristica basilare degli esseri viventi, essa ha favorito lo sviluppo e la sopravvivenza della specie. Tutti gli animali hanno la capacità di comunicare attraverso la produzioni di stimoli che modificano il comportamento di chi riceve il segnale in funzione del messaggio comunicato.

La comunicazione animale assolve molteplici funzioni in vari contesti: permette agli individui di riconoscersi; permette a una comunità di riconoscere i propri componenti e stabilire delle gerarchie, consente i riti di corteggiamento ai fini della riproduzione, interviene nella difesa dai predatori e nella predazione. A seconda degli organi sensoriali attraverso cui vengono recepiti gli stimoli, la comunicazione viene distinta in chimica, visiva, uditiva e tattile. Noi analizzeremo la comunicazione uditiva che avviene attraverso l'emissione di suoni che può avvenire in vari modi, alcuni anche molto particolari.

Inoltre, confronteremo la Psicoacustica, cioè lo studio della percezione soggettiva umana dei suoni, con la percezione di varie specie di animali in particolare analizzeremo il linguaggio e l'udito dei seguenti animali:

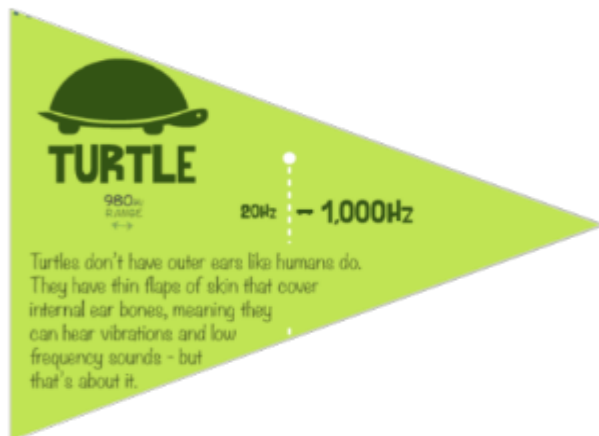
- ✚ Tartaruga
- ✚ Pesci
- ✚ Rane
- ✚ Uccelli
- ✚ Elefanti
- ✚ Scimmie
- ✚ Cani
- ✚ Gatti
- ✚ Topi
- ✚ Pipistrelli
- ✚ Delfini
- ✚ Cetacei



Faremo anche un riferimento anche alla struttura dell'orecchio di un antenato della nostra specie l'Uomo di Neanderthal, un ominide che visse in un periodo compreso tra i 200 000 e i 40 000 anni fa.

Infine, ci sarà un ulteriore approfondimento sul sistema di comunicazione utilizzato dai Pipistrelli e dai Delfini chiamato Ecolocalizzazione, questi animali utilizzano gli echi di ritorno per percepire gli oggetti o gli altri animali che li circondano.

## 2. Riferimenti Bibliografici



### TARTARUGHE

Iniziamo il nostro confronto analizzando un animale che è tra i più antichi rettili viventi, con centinaia di specie terrestri e di acqua dolce presenti in tutto il mondo eppure fino a poco tempo fa la scienza non sapeva che le tartarughe emettessero e sentissero suoni.

Per quanto riguarda l'anatomia dell'orecchio delle tartarughe è diversa da quella che noi siamo abituati a vedere nei mammiferi, le orecchie delle tartarughe mancano di padiglione auricolare, ma possiedono il timpano. Questa struttura si può notare ai lati della testa poiché è coperta da una squama rotondeggiante. Le vibrazioni percepite dal timpano vengono poi trasferite all'orecchio interno tramite

un ossicino, la columella che possiamo paragonare alla staffa presente nella specie umana.

Gli studi effettuati sulle capacità delle tartarughe dimostrano che possono percepire dei suoni a bassa frequenza, come ad esempio le vibrazioni prodotte sul suolo da un predatore che si avvicina, in particolari esistono due studi: "First Evidence of LeatherBack Turtle" pubblicato su Chelonian Conservation and Biology da un team brasiliano-messicano e "Sound Communication and Social Behavior in Amazonian River Turtle" pubblicato su Herpetologica da ricercatori brasiliani, colmano alcune delle principali lacune sulla comunicazione tra questi rettili. Una delle ragioni per cui i suoni non sono stati rilevati prima è stata la mancanza di apparecchi di controllo adeguati. I suoni sono al livello più basso della gamma udibile umana, così difficilmente le persone con più di 40 anni possono udirli, ma i giovani possono ascoltare i suoni delle tartarughe che emergono dal nido. I suoni oltre ad essere a bassa frequenza sono anche a basso volume e infrequenti, quindi facili da trascurare. Basta il movimento di qualcuno che nuota per fare abbastanza rumore da coprire i suoni delle tartarughe.

Infine, è poco probabile che riescano a percepire la voce umana, per cui parlare alla propria tartaruga la lascerebbe piuttosto indifferente. Inoltre, tramite l'udito le tartarughe hanno la capacità di percepire vibrazione provenienti dal suolo con recettori presenti nella corazza

## PESCI

Il secondo tipo di animali che noi tratteremo sono i pesci, questi comprendono in realtà molte varietà di tipi e specie ma che comunque condividono caratteristiche in comune.

Sebbene i pesci non siano muniti di un orecchio esterno sono capaci di udire, gli organi che servono a questo scopo sono localizzati nella parte posteriore del cranio. Attraverso alcuni esperimenti si è appurato che i pesci possono percepire suoni compresi tra una frequenza tra i 16 e i 7000 Hertz. Ma non tutti i pesci odono l'intera gamma di questi suoni in generale si può affermare che i pesci odono sicuramente tra i 100 e i 2000 Hertz.

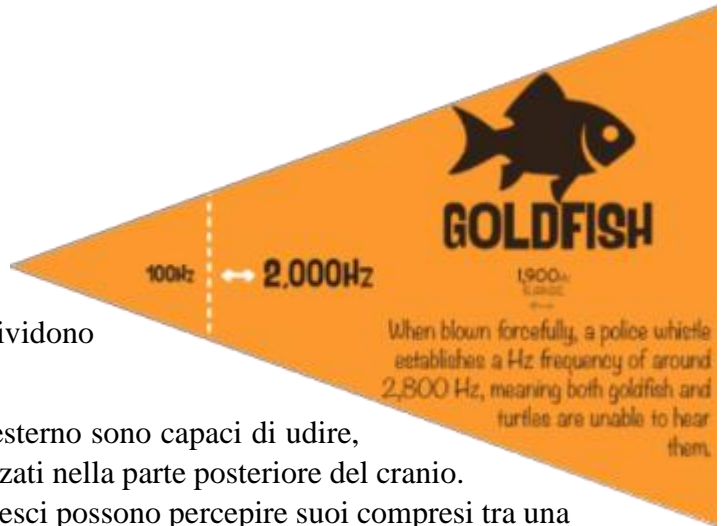
L'orecchio dei pesci non è complesso come quello umano dato che gli manca la parte dell'orecchio esterno, tuttavia i pesci sono facilitati alla comunicazione dato che le onde sonore si spostano meglio nell'acqua rispetto all'aria in quanto è più densa, emettono suoni sia facendo oscillare le pinne l'una contro l'altra sia con movimenti delle branchie.

I suoni generati all'interno del corpo possono essere amplificati usando la vescica natatoria come cassa di risonanza. In diversi pesci, la vescica natatoria è connessa all'orecchio mediante i cosiddetti ossicini di Weber, che mettono in grado l'orecchio di udire, attraverso la pelle, i minimi cambiamenti di pressione nell'ambiente acquoso. I pesci hanno poi un sesto senso, quello che chiamiamo sistema della linea laterale. Questa è formata da una serie di piccoli tubuli che decorrono a fior di pelle, lungo entrambi i fianchi, aperti verso l'esterno; all'interno i tubuli hanno dei bottoni sensitivi connessi a nervi collegati a nervi principali.

## RANE

L'importanza dell'udito è molto variabile tra gli anfibi. Le strutture dell'udito sono ben sviluppate nelle rane; il condotto uditivo è assente e la membrana timpanica è a livello della cute. Anche negli anfibi, come negli altri vertebrati, l'orecchio interno possiede le strutture preposte al senso dell'equilibrio come il labirinto nell'orecchio umano. Le rane sono capaci di sentire una piccola banda di frequenze che vanno dai 100 a circa 3000 Hertz, arrivando a 3136 Hz in alcune specie. Tra le rane possiamo trovare un caso molto particolare, cioè una piccolissima rana che è in grado di udire tuttavia è totalmente sprovvista di orecchie.

**APPROFONDIMENTO:** Una delle più piccole specie di rane al mondo, dalle dimensioni di appena 10 millimetri, non ha orecchi ma sente ugualmente: un microscopio potentissimo ha scoperto che queste minuscole rane riescono a sentire i suoni grazie alla bocca. Lo dimostra lo studio realizzato da ricercatori francesi, coordinati dall'Università di Poitiers, e pubblicato sulla rivista dell'Accademia delle Scienze degli Stati Uniti, che ha permesso di comprendere i meccanismi dell'udito di queste rane uniche del loro genere. Come tutte le altre rane, la piccolissima rana Gardiner che vive nelle isole Seychelles è sprovvista della parte 'visibile' dell'organo uditivo: l'orecchio esterno. Nonostante questa mancanza, la presenza di strutture interne – l'orecchio medio, necessario a veicolare il suono, e l'interno, dove viene trasformato in segnale elettrico per il cervello – permette a tutte le rane di udire perfettamente i suoni. A differenza però dei suoi parenti più grandi, la rana Gardiner appariva finora priva anche delle tipiche strutture dell'orecchio medio.





## UCCELLI

A differenza dei mammiferi, gli uccelli **non hanno orecchie esterne**, che svolgono una funzione importante e aiutano i mammiferi a identificare i suoni provenienti da differenti altezze. Ma gli uccelli sono in grado di percepire se la fonte di un suono è sopra o sotto o al loro stesso livello. Un gruppo di ricercatori dell'università di Bristol ha scoperto come gli uccelli sono in grado di localizzare questi suoni: utilizzando tutta la loro testa. I mammiferi identificare sorgenti sonore verticalmente con le loro orecchie esterne, che assorbono, riflettono o diffrangono le onde sonore grazie alla loro particolare struttura, il nostro udito utilizza queste informazioni per determinare l'altezza della sorgente sonora.

**Ma come fanno gli uccelli a percepire queste differenze?**

Studiando tre specie – corvo, anatra e pollo – i ricercatori hanno scoperto che gli uccelli sono in grado di identificare i suoni da diversi angoli di elevazione. Sembra che la loro testa a forma ovale trasformi leggermente le onde sonore in un modo simile alle orecchie esterne dei mammiferi.

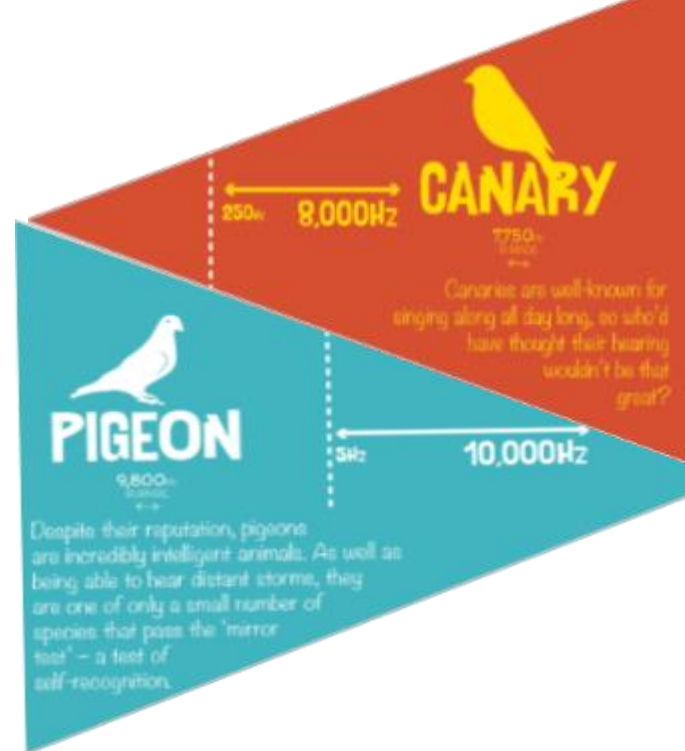
La soglia uditiva degli uccelli spazia mediamente da un minimo di circa 40 Hz ad un massimo di circa 10.000 Hz, con l'optimum tra i 1.000 e i 4.000 Hz. Ci sono comunque eccezioni, varie specie di uccelli possono percepire gli infrasuoni, come ad esempio il colombo che può percepire anche frequenze molto basse fino a 0,05 HZ. Inoltre, alcuni uccelli migratori sono in grado di percepire gli infrasuoni prodotti dal frangersi delle onde oceaniche, usando tali suoni per orientarsi con le linee di costa durante la migrazione. Tuttavia, ancora non ci sono state ricerche che dimostrino se gli uccelli possano sentire gli ultrasuoni.

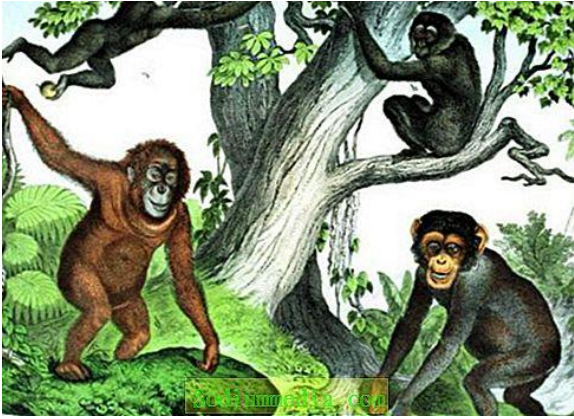
## ELEFANTI

**“Gli elefanti sentono anche coi piedi”**

Le **vibrazioni prodotte sul terreno** dai loro barriti sono utilizzate dagli elefanti africani per comunicare anche a lunga distanza. Secondo nuove ricerche, questi elefanti sarebbero in grado di provocare piccoli terremoti per parlarsi. Messaggi di pericolo, segnali di saluto, serenate d'amore, richiami dei famigliari. Gli elefanti sono animali sociali e nella savana riescono a comunicare nonostante le grandi distanze. Lo fanno grazie alla propagazione, attraverso l'aria, degli infrasuoni emessi dai loro barriti, che vanno dai 16 ai 10000 Hz ma non solo. Una volta registrate le vibrazioni prodotte, i ricercatori hanno capito che vengono captate e decodificate proprio come quelle che attraversano l'aria.

«Quella sismica è un'altra forma di comunicazione e può essere una valida alternativa alla comunicazione acustica». Infatti, nella savana il vento, che può soffiare a 32 chilometri orari, e le temperature, che possono arrivare a 50 gradi centigradi, rallentano il diffondersi dei loro "discorsi" via aria e le orecchie tese diventano inefficaci. La capacità invece di percepire le onde sismiche da loro stessi prodotte permette agli elefanti di parlarsi anche con vento a sfavore. Si stima che i discorsi "via terra" vengano raccolti anche a 16 chilometri di distanza, molto di più dei 4 a cui vengono percepiti i barriti via aria. La percezione delle onde sismiche permette anche di "sentire" i temporali in lontananza. Grazie alle onde scaricate nel terreno dai tuoni, gli elefanti riescono a raggiungere la zona e approfittare di una rara pioggia nella savana.





## SCIMMIE

Adesso analizzeremo il senso uditivo dei nostri cugini primati, nonostante l'orecchio della maggior parte delle scimmie sia molto simile a quello umano, questi animali, come hanno ripetutamente dimostrato studi di comportamento, odono una gamma di suoni molto più ristretta. L'orecchio umano è notevolmente abile nel rilevare e differenziare suoni anche in presenza di una notevole quantità di rumore. Pressoché l'unica

differenza fra l'orecchio umano e quello delle scimmie è nel condotto che si estende dal timpano al padiglione auricolare e che negli esseri umani è molto più grande. Ciò che accade è che l'aria nell'orecchio interno delle scimmie essendo compressa in uno spazio più piccolo si riscalda maggiormente e i moti disordinati delle molecole producono più rumore: qualcosa di simile al “rombo” che udiamo accostando una conchiglia all'orecchio.

Tuttavia, un particolare tipo di primate, il **macaco**, ha un orecchio fine molto simile a quello umano. I macachi infatti sono capaci di scomporre le frequenze di suoni complessi molto meglio di altri mammiferi (Gatti o Topi). La scomposizione di un suono complesso nelle frequenze che lo compongono è fondamentale per poter identificare i suoni e la loro localizzazione, tutto ciò avviene nella coclea molto simile a quella umana, dove arrivano le vibrazioni sonore captate dal padiglione che poi vengono trasformate in segnali nervosi diretti al cervello, questa capacità dei macachi potrà essere studiata per sviluppare algoritmi per migliorare la precisione degli apparecchi acustici.

## CANI

L'udito del cane è il secondo senso più sviluppato dopo

l'olfatto. I cani hanno un udito che è **quattro volte superiore rispetto a quello umano**. Questa naturale capacità consente loro di captare suoni molto acuti, fino ad arrivare addirittura agli ultrasuoni.



Come anticipato poco fa, l'udito del cane è decisamente più sviluppato rispetto a quello dell'uomo. Questo dipende dal fatto che gli amici a quattro zampe hanno le orecchie quattro volte più grandi in confronto a quelle umane, e di conseguenza sono anche più forti. La grandezza delle orecchie dipende anche dalla tipologia di razza di cane: più le orecchie sono grandi ed alte, più i suoni vengono percepiti dai padiglioni auricolari dell'animale. Un altro fattore che ha inciso sullo sviluppo dell'udito nei cani è l'adattamento evolutivo: questi animali hanno infatti dovuto sviluppare meglio la ricezione dell'udito a lunga distanza, poiché in questo modo potevano sentire i richiami dei piccoli mammiferi, e avere quindi del cibo a disposizione.

L'udito del cane è in grado di percepire onde sonore fino a 40 mila Hertz, mentre l'orecchio umano non raggiungere neanche i 20 mila Hertz, e quello degli anziani scende addirittura a 12 mila Hertz. In generale, l'udito del cane è uno strumento molto potente, con cui gli animali possono captare fra le 35 e le 40 mila vibrazioni al secondo. È per questo motivo che i cani tendono a muovere continuamente le orecchie: queste, che rappresentano per loro dei veri e propri radar, sono

costantemente all'opera per captare frequenze e rumori che gli uomini non sono neanche lontanamente in grado di sentire.

La frequenza nell'udito dei cani è fondamentale per attribuire a ogni suono un significato. I rumori per cani acuti, in particolare, vengono considerati dall'animale come indice di paura da parte di chi li emette, mentre i suoni gravi sono interpretati come segnali intimidatori. La percezione degli ultrasuoni nei cani è poi un'altra loro straordinaria capacità: gli amici a quattro zampe riescono infatti a sentire vibrazioni sonore che viaggiano a una velocità maggiore rispetto alle frequenze che sente l'uomo. Grazie a questa dote, i cani sono in grado di mettersi in allerta prima dei proprietari, e hanno quindi spesso il tempo di avvisarli.

## GATTI

Adesso andremo ad analizzare l'udito di un altro "amico" dell'uomo, il gatto.



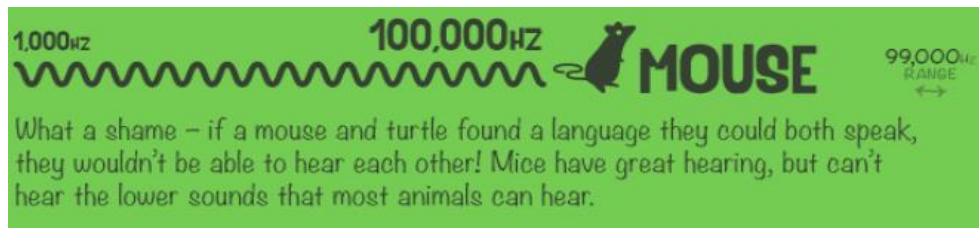
L'udito e la localizzazione dei suoni nel gatto sono decisamente migliori che nell'uomo. La soglia superiore di udibilità per gli animali adulti è di circa 50.000 Hz e i gatti giovani sono addirittura in grado di sentire suoni con una frequenza di 100.000 Hz, ben 5 volte la frequenza che riusciamo ad udire noi uomini nel meglio delle nostre capacità. Nei soggetti anziani questo dato tende a diminuire rapidamente, il che risulta evidente quando gli anziani non riescono più a sentire i fischietti ad ultrasuoni oppure i suoni emessi dai pipistrelli. Anche i cani, con un limite del campo uditivo pari a 40.000 Hz, sono inferiori ai gatti.

Anche per quel che riguarda l'intensità del suono i gatti sono decisamente avanti rispetto a noi. Un suono per noi appena percepibile, da loro può essere percepito a 1/1000 della sua intensità. Per non essere schiacciati da un enorme sottofondo sonoro proveniente da tutte le direzioni, i gatti **filtrano e selezionano i suoni che per loro sono significativi**: per esempio i topi emettono sempre un leggero squittio per rimanere in contatto con i loro simili. Il gatto riesce a percepirlo anche da una distanza di 20 metri. Con l'età anche nel gatto l'udito si indebolisce, ma rimane sempre così fino che insieme al tatto potrebbe sostituire completamente la vista. Quindi un gatto cieco non è mai disorientato.

La conseguenza di questo udito eccezionale è evidente: i gatti detestano la musica ad alto volume e le urla. A causa della loro tecnica "venatoria" per loro è sempre stato importante percepire anche i rumori più lievi. Anche se adesso molti gatti non devono più cacciare per la sopravvivenza, il loro udito continua a essere ultrasensibile. Registrano gli ultrasuoni prima che noi ci accorgiamo che si sta profilando qualcosa di insolito. Anche nel sonno le loro orecchie sono sempre in ascolto.

## TOPI

Adesso andiamo a parlare di un animale che non è proprio molto amico dell'uomo, il topo.



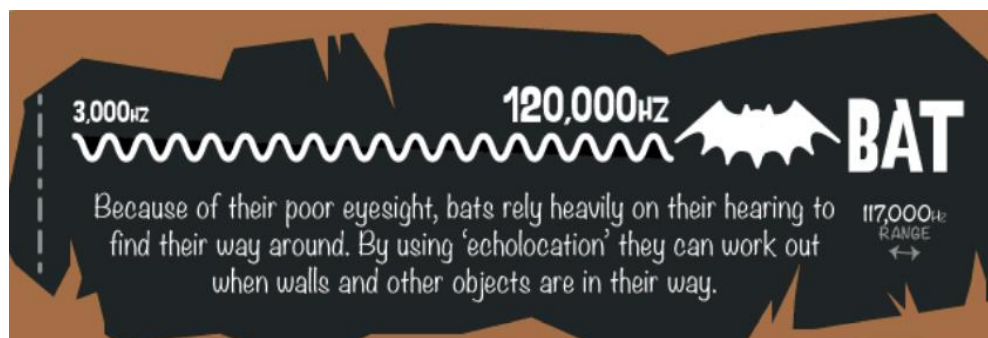
L'udito nei topi, anzi nei ratti in generale, è molto sviluppato ed è estremamente sensibile ai rumori molesti e non conosciuti. È in grado di riconoscere frequenze che superano di gran lunga gli ultrasuoni, anche emessi da altri individui, fino a 100 kHz. Questa proprietà di captazione e di trasmissione di ultrasuoni viene utilizzata come “radar” per il superamento di ostacoli e per comunicare con gli altri membri del gruppo; l'emissione dei segnali avviene a diverse frequenze, a seconda del messaggio che viene trasmesso: aggressività, chiamata, sessualità, pericolo, ecc.

Uno dei difetti nell'udito di questi piccoli animali è la difficoltà che hanno nel percepire gli infrasuoni, da alcune ricerche si è scoperto che in media la minima frequenza che l'orecchio del topo può captare è di circa 1000 Hz.

## PIPISTRELLI

Un altro animale noto per il suo udito finissimo è il pipistrello, che ha il miglior udito nel mondo dei mammiferi.

Il loro udito spazia in un range ampissimo di



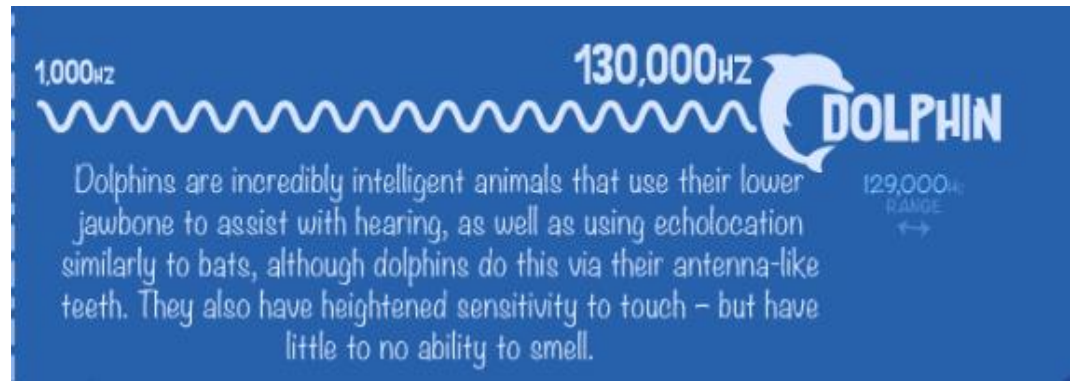
frequenze che vanno dai 3000 fino ad arrivare ad ultrasuoni ad una frequenza di 120 000 Hz. In quanto creature notturne, i pipistrelli devono affrontare una sfida unica: trovare e cacciare le prede nel buio più totale. Questi mammiferi volanti hanno evoluto una soluzione eccellente: l'Ecolocalizzazione, grazie alla quale emettono onde sonore che rimbalzano sulla preda e ne rivelano la posizione, queste onde sono raccolte dalle loro orecchie che in alcuni casi possono essere anche eccezionalmente enormi paragonate al resto del corpo. Ma questa capacità innata non è che una frazione delle incredibili e sofisticate tecniche dei pipistrelli per procacciarsi cibo.

Quando l'Ecolocalizzazione non funziona a dovere (negli spazi piccoli e chiusi come il sottobosco, dove individuare una preda è complicato) i pipistrelli ascoltano passivamente alla ricerca di suoni più deboli. Ad esempio, il vampiro comune si nutre interamente di sangue succhiato furtivamente da mammiferi addormentati. Questo pipistrello ha neuroni che si attivano solo in risposta al suono del respiro di un animale, ed è così che localizza la preda inoltre è in grado di identificare il respiro specifico di una preda precisa, per tornare a nutrirsi da quell'animale (ad esempio una mucca) notte dopo notte. Altri pipistrelli ascoltano i loro simili in cerca di indizi sulla posizione del cibo e si dirigono verso il suono dell'Ecolocalizzazione di altri pipistrelli. Il pipistrello pescatore minore dell'America si inserisce nei suoni ad alta intensità emessi da altri pipistrelli mentre individuano la posizione degli insetti. Questo lo conduce facilmente a enormi quantità di insetti riuniti sopra specchi d'acqua e gli risparmia la fatica della ricerca.



## DELFINI

Ora analizziamo una specie molto interessante, i delfini, anche se vivono in acqua sono mammiferi, proprio come noi, e come noi anche loro respirano aria, infatti almeno ogni 15 minuti devono uscire dall'acqua per respirare.



Il loro sofisticato senso dell'udito si trova in piccole aperture auricolari su entrambi i lati della testa, anche se si ritiene che l'udito subacqueo avvenga principalmente attraverso l'osso che conduce le vibrazioni all'apparato. Sono in grado di sentire una gamma molto più ampia di frequenza rispetto agli esseri umani, fino a 7 volte maggiore. Noi infatti possiamo udire suoni da 20 Hz a 20 KHz, mentre loro possono arrivare a 130 KHz. Lo straordinario udito consente loro di localizzare gli oggetti e le forme di vita che lo circondano, procurarsi il cibo e spostarsi.

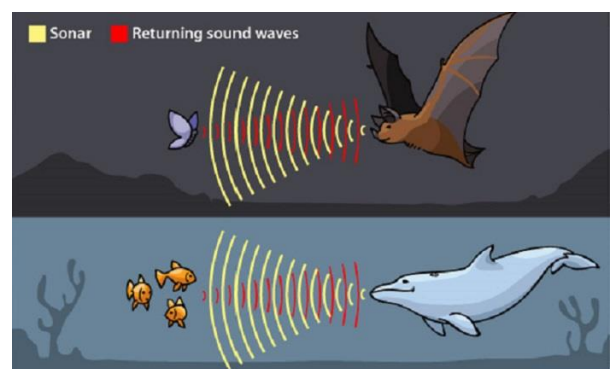
Come i pipistrelli anche i delfini usano gli ultrasuoni per poter sentire e “vedere”, per i delfini infatti l'udito è un senso primario in quanto è fondamentale per poter nutrirsi e percepire l'ambiente che li circonda.

## Ecolocalizzazione

L'Ecolocalizzazione, chiamata anche biosonar, è un sonar biologico usato da alcuni mammiferi quali pipistrelli e delfini. Questi animali emettono suoni nell'ambiente e ascoltano gli echi che rimbalzano da diversi oggetti. Gli echi sono usati per localizzare, identificare e stimare la distanza degli oggetti. L'Ecolocalizzazione è usata anche per l'orientamento e la ricerca del cibo o la caccia in vari ambienti.

### Come funziona l'Ecolocalizzazione?

L'Ecolocalizzazione funziona come un sonar, utilizzando suoni prodotti dagli animali stessi. La stima della distanza è ottenuta misurando il tempo trascorso tra l'emissione del suono da parte dell'animale e il ritorno degli echi dall'ambiente. Diversamente da alcuni sonar che hanno un raggio d'azione estremamente limitato, il biosonar agisce su molteplici ricevitori. Gli animali che usano questa tecnica, in genere, presentano due orecchi distanziati tra loro. Gli echi di ritorno arrivano agli orecchi a tempi e intensità differenti, in base alla posizione dell'oggetto che li ha generati. Queste differenze sono usate dagli animali per percepire la direzione. Per mezzo dell'Ecolocalizzazione, pipistrelli ed altri animali sono in grado di determinare non solo la direzione in cui stanno andando, ma anche quanto grandi sono altri animali, di che genere di animale si tratta ed altre caratteristiche.



## Ecolocalizzazione nei pipistrelli

I pipistrelli utilizzano l'Ecolocalizzazione per l'orientamento e la ricerca del cibo, spesso nella totale oscurità. I pipistrelli producono ultrasuoni per mezzo della laringe ed emettono il suono dal naso o dalla bocca aperta. L'intervallo di frequenza dei suoni prodotti dai pipistrelli va da 14000 a ben più di 100000 Hz, molto al di là della capacità dell'orecchio umano, che percepisce suoni con una frequenza che va da 20 a 20000 Hz.

Alcune specie di pipistrelli eco localizzano utilizzando uno specifico intervallo di frequenza che si adatta al loro ambiente e alle loro prede. Questo talvolta viene usato dai ricercatori per identificare i pipistrelli che volano in una data area semplicemente registrando i loro gridi con registratori di ultrasuoni chiamati bat detectors.

Quando sono alla ricerca del cibo, i pipistrelli producono circa 10-20 suoni al secondo. Durante la fase di ricerca del cibo, l'emissione del suono è accoppiata alla respirazione, che è a sua volta accoppiata al battito delle ali. È stato ipotizzato che questo accoppiamento consenta all'animale di conservare energia. Dopo aver localizzato una potenziale preda - per individuarne la posizione - i pipistrelli aumentano il numero di impulsi emessi, fino ad arrivare al terminal buzz (anche 200 suoni al secondo). Durante l'avvicinamento all'obiettivo, la durata dei suoni decresce gradualmente.

## Ecolocalizzazione nei delfini

I delfini usano il biosonar perché vivono in un habitat subacqueo che ha favorevoli caratteristiche acustiche e dove la visibilità è limitata a causa dell'assorbimento della luce e dalla torbidità dell'acqua. Emettono un raggio focalizzato di click ad alta frequenza nella direzione in cui punta la loro testa. I suoni vengono generati dal passaggio di aria dalle ossa delle narici attraverso le labbra foniche.

Le eco vengono ricevute in due modi diversi: dalla mandibola, da cui vengono trasmesse all'orecchio interno per mezzo di un corpo grasso, mentre i suoni laterali vengono ricevuti da lobi che circondano le orecchie che hanno una densità acustica simile a quelle delle ossa.

## Ecolocalizzazione umana

Un approfondimento interessante proviene da uno studio di ricerca su alcune persone non vedenti, in cui è stata sviluppata una tecnica di ecolocalizzazione basata sul rimbalzo nell'ambiente circostante di "schiocchi" di lingua o altri suoni ad alta frequenza, questa tecnica chiamata visione facciale funziona come il biosonar ed è studiata già dagli anni '50.

## Cetacei

L'ultima specie che andiamo ad analizzare sono i cetacei, mammiferi acquatici di cui fanno parte animali come le balene o le focene. (N.B. Anche i delfini sono cetacei ma abbiamo voluto approfondirli separatamente)



Essendo animali che vivono negli oceani si sono dovuti adattare all'ostico ambiente oceanico e sicuramente il senso che ha subito il maggior numero di adattamenti e che ora risulta il più importante in questi animali è l'udito. I Cetacei ricevono i suoni attraverso le ossa del cranio, soprattutto quelle della mascella inferiore che posteriormente presenta un corpo ovale costituito principalmente di grasso, che facilita così la conduzione

del suono. Così facendo si realizza un passaggio liquido-aria-liquido che consente ai Cetacei di percepire la direzione del suono.

È stato appurato sperimentalmente che l'udito dei cetacei è estremamente acuto, tanto da consentire la percezione di sequenze più alte di tre ottave rispetto a quelle cui è sensibile l'orecchio umano. Questo fenomeno avviene grazie anche al fatto che il suono nell'acqua viaggia circa cinque volte più velocemente che in aria.

I ricercatori hanno individuato tre principali tipologie di suoni di questo gruppo:

- **click**: sono suoni secchi metallici caratterizzati da una larga banda di frequenza, che generalmente varia da 0,2 a 150kHz, sono prodotti per tempi brevissimi e vengono utilizzati soprattutto per l'ecolocalizzazione (così come i delfini e i pipistrelli).
- **fischi**: sono continui con frequenza variabile tra 1 e 20 KHz, di durata maggiore rispetto ai primi vengono impiegati principalmente per la comunicazione sociale;
- **brontolii**: una serie di suoni ad impulsi, ripetuti in modo talmente frequente, da sembrare un unico suono continuo. Le frequenze di questi suoni generalmente sono più basse dei 20 KHz.

I suoni ad alta frequenza sono utilizzati per localizzare le prede e altri oggetti posti a breve distanza.

Tale sistema consiste nell'emissione di suoni direzionali e nel successivo ascolto dell'eco proveniente dall'oggetto colpito: in questo modo, il cetaceo ottiene un'immagine acustica dell'oggetto indagato, tanto più precisa quanto minore è la lunghezza d'onda dell'impulso emesso.

Le balene e le balenottere emettono suoni con frequenze molto più basse di delfini, orche e focene, in genere inferiori ad alcune decine di Hz. Questi suoni sono capaci di coprire grosse distanze anche superiori ai 1500 km, sembra che una delle funzioni primarie di questi suoni sia quella dell'accoppiamento.

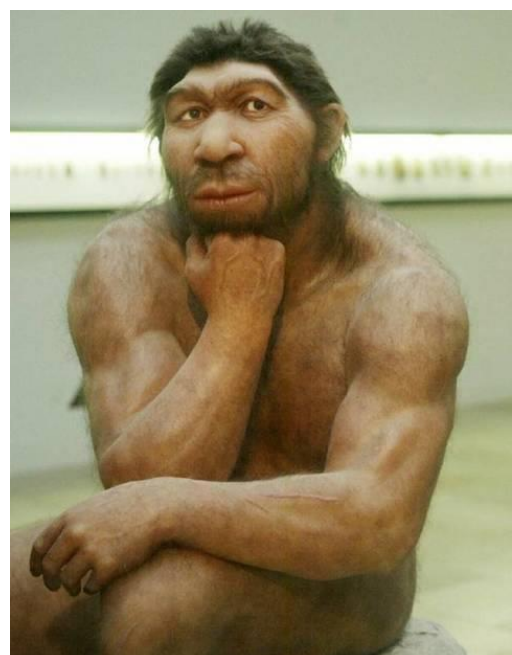
Accanto alle emissioni vocali, i Cetacei possono produrre anche altri segnali acustici percuotendo per esempio la superficie dell'acqua con alcune parti del loro corpo o producendo emissioni dallo sfiatatoio; aggiungendo così, alla già complessa comunicazione vocale, anche un vero e proprio linguaggio del corpo.

## Uomo di Neanderthal

Come ultimo passo analizziamo l'Uomo di Neanderthal, un ominide simile al Homo Sapiens che visse in un periodo compreso tra i 200 000 e i 40 000 anni fa.

Dei ricercatori hanno scoperto che i nostri cugini prossimi avevano una struttura dell'orecchio interno diversa dalla nostra, ma il funzionamento era simile.

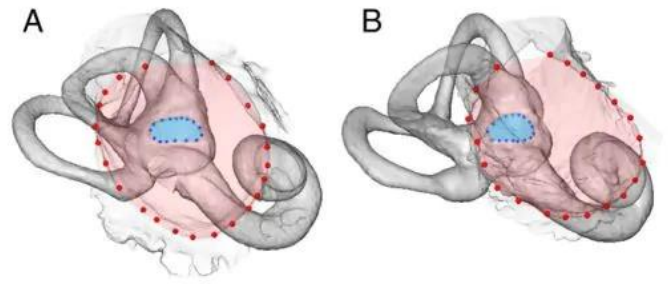
Infatti, una delle discussioni più vivaci che della Paleontologia riguarda la possibilità che noi fossimo in grado di parlare con i nostri cugini, oppure se loro non fossero in grado di capire il nostro linguaggio articolato.



Da un'analisi condotta su un campione molto ampio di fossili ha fatto una scoperta interessante chiarendo che i Neandertaliani non erano molto diversi da noi.

I tre ossicini che connettono il timpano al resto dell'apparato uditivo: martello, incudine e staffa. Erano presenti anche nei nostri cugini ma da una ricerca fatta cercando di stabilire le funzionalità di

questi ossicini si ha avuto che le tre minuscole strutture dei nostri cugini esistenti sono diverse dalle nostre. Questo significa che il loro era un udito differente, ma ciò non implica che la parola doveva essere diversa dalla nostra poiché sebbene diversi i tre ossicini neandertaliani avevano comunque la stessa funzionalità dei nostri.



Gli orecchi medi di un uomo moderno(A) e il Neanderthal(B), in rosso il timpano e in azzurro la finestra ovale.



### 3. Argomenti Teorici Trattati



#### Fisica e cognizione, fisiologia dell'udito

- + In questo progetto abbiamo analizzato la fisiologia dell'udito in molte specie animale. Sia dal punto di vista fisico dunque come fisicamente riescono a percepire il suono, sia dal punto di vista cognitivo cioè di quali sono i parametri della percezione degli animali.



#### Parametri della percezione e Ultrasuoni

- + Per quanto riguarda i parametri della percezione abbiamo analizzato il range di frequenze che ogni animale è capace di udire e abbiamo analizzato che molte specie sono in grado di superare di molto l'udito umano che è vincolato in un range di frequenze che va dai 20 ai 20000 Hertz, soprattutto per quanto riguarda gli ultrasuoni dato che in natura molti animali li usano, non solo per comunicare ma principalmente per cacciare o orientarsi.



#### Localizzazione delle sorgenti sonore

- + Un aspetto da non sottovalutare è la capacità che possiedono gli animali, ognuno a suo modo, per localizzare le altre sorgenti sonore, ad esempio la testa degli uccelli che ha una forma adatta a localizzare le sorgenti.



#### Ecolocalizzazione

- + Infine, abbiamo parlato di un'abilità importantissima e davvero interessante che possiedono alcuni animali come pipistrelli e cetacei, il Biosonar, ovvero l'Ecolocalizzazione usare l'eco di ritorno degli ultrasuoni per poter "vedere" tutto il mondo che li circonda, usando questa capacità per predominare sul territorio e sugli altri animali.