

BIOACUSTICA

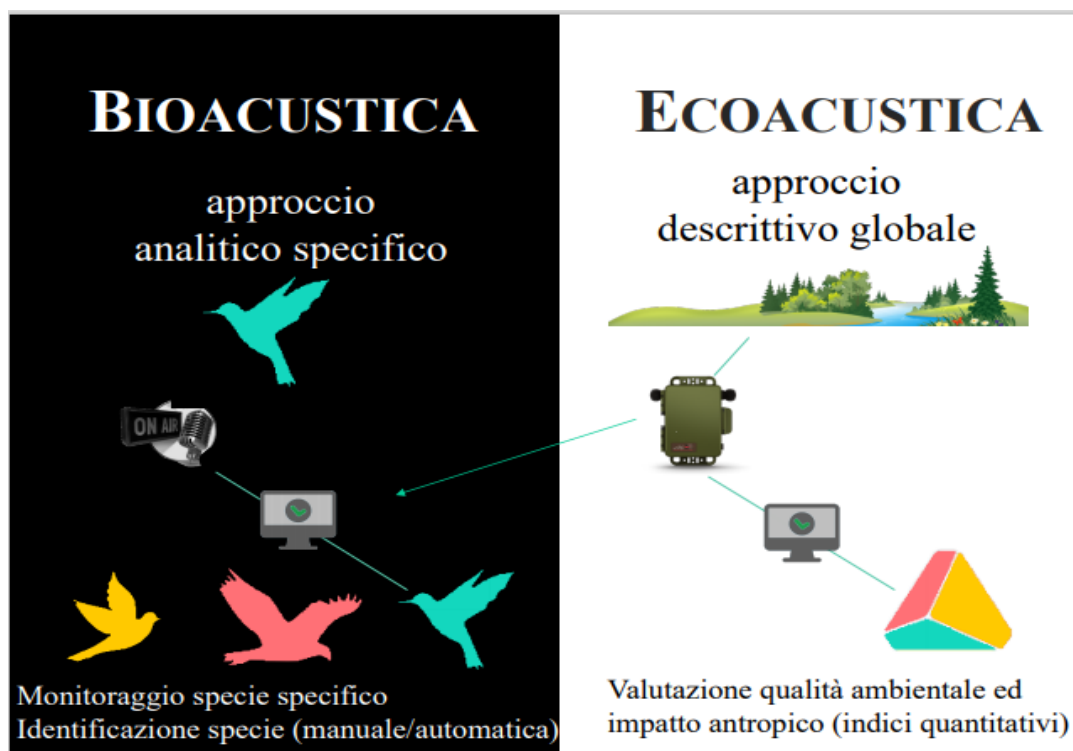
Pavan

La **bioacustica** studia i suoni emessi dagli animali per comunicare e, in pipistrelli e delfini, per ecolocalizzare ostacoli e prede. Considera anche la percezione dei suoni dell'ambiente per poterne stimare la **provenienza** e la **distanza**

L'**ecoacustica** studia l'insieme dei suoni e rumori prodotti dalla natura che compongono il paesaggio sonoro (percepito dall'uomo) e l'ambiente acustico (anche oltre la percezione umana (ultrasuoni per es.)). Si tratta di suoni biologici (**biofonia**), di rumori naturali (pioggia, vento, tuoni, che formano la **geofonia**) e anche dei suoni e rumori prodotti dall'uomo (**antropofonia** e **tecnofonia**).

ECOACUSTICA

L'ecoacustica è una scienza interdisciplinare che studia suoni e rumori sia naturali che di origine antropica e il loro rapporto con l'ambiente in un ampio intervallo di scale di studio, spaziali e temporali, comprendendo **individui, comunità e popolazioni**. L'ecoacustica opera in tutti i tipi di ecosistemi **terrestri e acquatici** (acqua dolce e marina). Nell'ecoacustica i suoni possono essere sia **soggetto** che **strumento di ricerca**. Come soggetto, i suoni sono studiati al fine di comprenderne l'evoluzione, le funzioni e le proprietà anche in risposta a pressioni ambientali e antropiche. Come strumento, i suoni vengono utilizzati per studiare e monitorare la **qualità** dell'ambiente, la diversità, l'abbondanza, il comportamento, la dinamica e la distribuzione degli animali, anche in relazione alle pressioni ambientali e antropiche.



I CINQUE SENSI

Gli organismi viventi hanno cinque sensi (vista, udito, olfatto, gusto e tatto) che consentono di percepire le caratteristiche dell'ambiente circostante e di relazionarsi con esso. I cinque sensi consentono inoltre di ricevere informazioni da altri organismi: segnali visivi (forme, movimenti e colori), odori, sapori, vibrazioni e contatti fisici, e ovviamente segnali sonori.

Suoni e rumori possono rappresentare segnali **attivi**, emessi volontariamente per trasmettere un'informazione, in questo caso si tratta di **segnali di comunicazione**, oppure essere **involontari** prodotti ad esempio dal movimento o da altre attività. Anche in questo caso sono importanti e forniscono un'informazione utile per il ricevente: sentire il rumore di un animale che si avvicina può mettere in allarme. Tutti i vertebrati hanno il senso dell'udito e la maggior parte degli invertebrati ha qualche sistema sensibile a suoni e vibrazioni.

LA COMUNICAZIONE

Comunicare è una esigenza primaria degli animali e dell'uomo. Serve a **trasmettere informazioni** e a **regolare i comportamenti** individuali e sociali. Si parla di comunicazione quando un individuo emette un segnale (un suono, un odore, un gesto) e questo viene ricevuto da un altro individuo. Se il ricevitore cambia comportamento in funzione del segnale ricevuto allora vi è stata comunicazione. Ma può anche avvenire che il ricevitore soltanto memorizzi l'informazione ricevuta per usarla in un secondo tempo. In questo caso è più difficile dimostrare che vi è stata comunicazione.

Se il segnale è sonoro, allora si parla di **comunicazione sonora** o acustica. Ma vi sono anche altri tipi di segnali: chimici, visivi, tattili. In molti casi non esiste un solo sistema di comunicazione, ma più sistemi (o "canali") coesistono, ciascuno con un proprio ruolo e precise relazioni con gli altri canali. Quando parliamo comunichiamo anche con l'espressione del viso e i gesti!

Comunicazione ed evoluzione

Nel corso dell'evoluzione il suono si è affermato come eccellente strumento di percezione dell'ambiente di comunicazione. L'uso del suono si è sviluppato soprattutto nei vertebrati e in particolare in anfibi, uccelli e mammiferi, meno negli invertebrati. Rispetto alle altre forme di comunicazione, chimica, tattile, visiva, alle

quali si sovrappone, il suono comporta molti vantaggi rispetto agli altri sensi, infatti si possono **modulare**, con **basso dispendio di energia**, infiniti messaggi che si propagano velocemente in ogni direzione e a **grande velocità** e **distanza**, di giorno e di notte a differenza della vista, ha **durata relativamente breve** a differenza dei segnali chimici, come i feromoni, che perdurano per molto tempo aumentando il rischio di contattabilità, hanno un raggio d'azione e una capacità comunicativa minore rispetto al suono (**variabilità limitata**), infine il suono può viaggiare per diversi km in **aria** e centinaia di km in **acqua**. Alcuni gruppi animali, soprattutto pipistrelli e delfini, hanno anche sviluppato la capacità di indagare l'ambiente circostante tramite l'emissione di **impulsi ultrasonici** e l'ascolto dei relativi **echi** (**ecolocalizzazione**).

La forma di comunicazione più complessa è il linguaggio vocale dell'uomo. Nato come esclusivamente sonoro si è poi anche affermato nella forma scritta, visuale.



Evoluzione del linguaggio sonoro

Il linguaggio dei suoni si è sviluppato da forme primitive di segnali che servivano alle funzioni biologiche essenziali quali **riproduzione** (segnali di richiamo sessuale, presenti in tutti i gruppi animali in grado di percepire il suono) e **difesa** (segnali di allarme); con l'evoluzione gli organi di produzione dei suoni si sono perfezionati per produrre una maggior varietà di segnali e di **modulare** su uno stesso suono diverse variazioni di uno stesso messaggio, per es. nei cercopitechi esiste un segnale di allarme per i predatori, modulabile in base all'avvistamento di un felino di un serpente o di un rapace.

In insetti e pesci i suoni sono limitati a segnali di richiamo sessuale, di aggressione, difesa o delimitazione territoriale, e di allarme. I rettili producono pochi semplici suoni. Negli anfibi compaiono nuovi segnali, ad esempio pre e post copulatori, mentre è negli uccelli e poi nei **mammiferi** che la produzione sonora raggiunge le **massime possibilità espressive**. Nei mammiferi si sviluppa anche la capacità di emettere brevi segnali e di ricostruire le caratteristiche dell'ambiente circostante con l'ascolto degli echi da esso riflessi (**ecolocalizzazione**).

■ suono e l'udito

Viviamo immersi in un mondo di suoni e di rumori, piacevoli e spiacevoli, che continuamente ci informano di ciò che accade attorno a noi.

Fra i cinque canali sensoriali quello sonoro ha avuto un enorme sviluppo nel corso dell'evoluzione ed ha portato alla nascita di forme di comunicazione molto complesse ed articolate. Massima espressione di questa evoluzione è rappresentata dal **linguaggio umano** che consente la creazione di un numero infinito di messaggi e che ha in se la capacità di evolversi molto velocemente. Il linguaggio si è evoluto anche nel corso dell'esistenza dell'uomo sul pianeta e ancora oggi esistono testimonianze di **linguaggi primitivi**; tra questi i linguaggi "fischiati" che consentivano di comunicare a grande distanza.

vantaggi del suono

I **segnali visivi** (movimenti e colori) possono funzionare solo quando c'è luce e se emettitore e ricevitore possono vedersi. Non funzionano di notte, nelle acque torbide, in mezzo alla vegetazione densa.

I **segnali odorosi** e i sapori richiedono specifici organi per essere prodotti, persistono nell'ambiente se le sostanze odorose vengono applicate su un corpo solido, ma sono evanescenti se disperse in aria o nell'acqua. Consentono di inviare solo **semplici messaggi** e non possono essere variati o cancellati velocemente.

I segnali tattili funzionano solo se c'è **vicinanza** fra emettitore e ricevitore, per consentire un contatto fisico, oppure se entrambi sono su uno stesso substrato che conduce le vibrazioni dall'uno all'altro.

Propagazione del suono

Il suono si propaga in tutte le direzioni **molto velocemente** (340m/sec in aria, 1500m/sec in acqua), entro certi limiti aggira gli ostacoli (si propaga bene anche in ambienti con densa vegetazione) e consente di comunicare a **grandi distanze** (km in aria, decine e centinaia di km in acqua) fornendo anche una indicazione su posizione e distanza dell'emettitore.

Inoltre suoni diversi possono essere facilmente prodotti per inviare messaggi diversi. Nel corso dell'evoluzione gli organi di produzione dei suoni si sono perfezionati per diversificare i segnali sonori e aumentare sempre più la quantità di informazioni trasmissibili.

In poche parole il suono è un mezzo di comunicazione che richiede **basso dispendio energetico** che diminuisce sempre più con l'evoluzione (una falena impiega molta energia nella produzione del suono a differenza dell'uomo per cui è invece molto semplice), che consente di inviare messaggi che si propagano velocemente in tutte le direzioni, e che consente una **enorme flessibilità** di composizione dei messaggi. La cultura dell'uomo non avrebbe potuto svilupparsi senza un linguaggio articolato e flessibile. L'importanza del suono è anche testimoniata dallo sviluppo della musica come strumento di intrattenimento, di socializzazione, di aggregazione e anche di comunicazione para-verbale.

Ulteriore passo importante nella cultura umana è stata la capacità di tradurre il linguaggio vocale in segni permanenti, la scrittura, per meglio conservare e trasmettere concetti e informazioni.

La voce umana

L'uomo ha sviluppato un sistema di produzione sonora estremamente flessibile ed efficiente che ha consentito l'affermarsi del linguaggio vocale. Inoltre il linguaggio dell'uomo si sviluppa principalmente con l'apprendimento e questo consente un adattamento e una evoluzione molto rapida anche nell'ambito di una stessa generazione, nonché la possibilità di apprendimento di linguaggi diversi, caratteristici di popolazioni differenti.

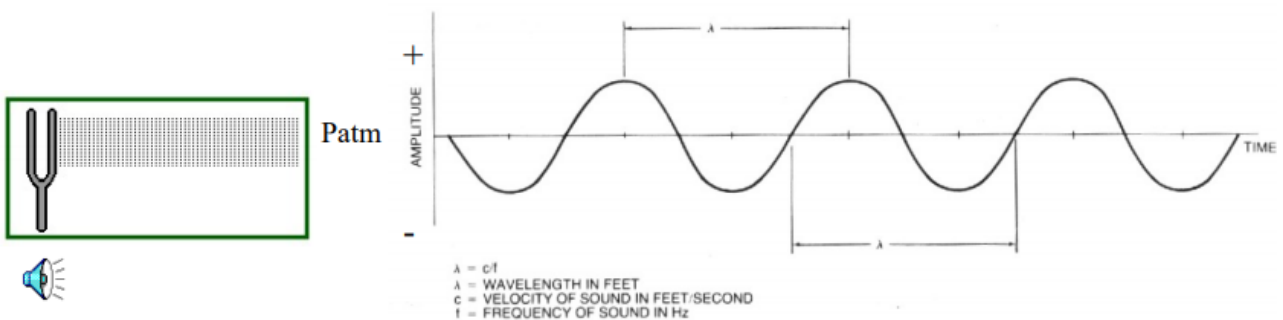
L'udito è un senso essenziale nella nostra vita. Non solo per comunicare con i nostri simili. Ma anche per capire l'ambiente attorno a noi, sentire i pericoli o avvisare gli altri!

IL SUONO

Il suono è la sensazione evocata da **rapide fluttuazioni**, più o meno periodiche, della pressione atmosferica che vengono recepite da appositi **recettori** dell'orecchio interno e trasmesse al sistema nervoso centrale che le trasforma in «sensazione sonora».

Tali variazioni di pressione vengono prodotte da un oggetto che **vibra** e si propagano nell'aria come **onde di pressione** alla velocità di circa 340m/s.

La velocità del suono è in funzione della **densità del mezzo** in cui si propaga: **340 m/s** in aria e **1500 m/s** in acqua; nei materiali solidi si propaga ancora più velocemente.



La velocità di propagazione del suono dipende principalmente da **elasticità, densità e temperatura del mezzo**. Non può esserci propagazione senza un mezzo, quindi nel vuoto il suono non si propaga.

In aria la velocità in m/s è $v=331+0.6*t$

dove t è la temperatura in gradi Celsius

In acqua la velocità di propagazione dipende da temperatura, salinità e pressione (profondità).

Nel legno suoni e vibrazioni si propagano a velocità variabili tra 3000 e 4000 m/s. Nel suolo le velocità possono essere estremamente variabili.

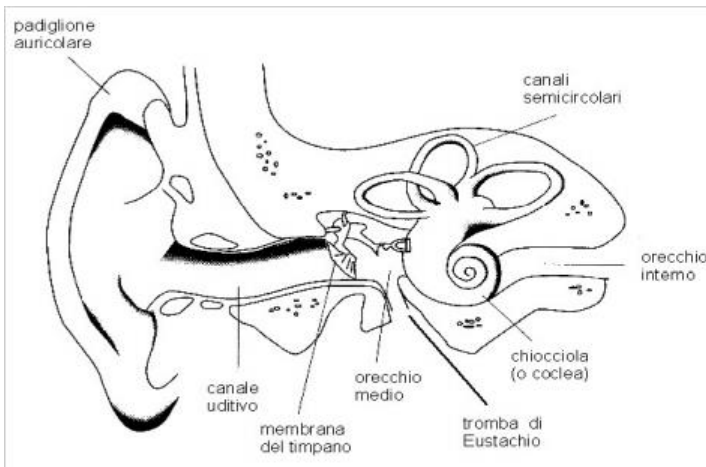
Nel percorso dalla sorgente al ricevitore il livello del suono si **attenua** secondo varie regole; in un ambiente isotropo **l'ampiezza si dimezza** ad ogni **raddoppio** della **distanza**, ma bisogna anche considerare altri fenomeni di assorbimento dell'energia acustica che sono dipendenti dalla **frequenza** del suono. Più è alta la frequenza e maggiore è l'attenuazione con la distanza.

Come regola generale le **alte frequenze** si attenuano di più delle **basse frequenze**. Vedremo comunque che la propagazione in un ambiente reale è un fenomeno complesso spesso **difficilmente modellizzabile**.

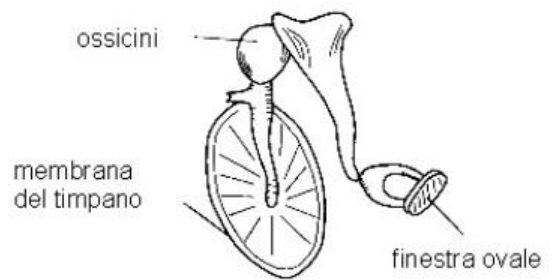
Il **diapason** è un oggetto che tende a vibrare in modo costante e regolare. Le vibrazioni di un diapason generano onde di pressione che si propagano nell'aria circostante diffondendosi in tutte le direzioni. Il numero di vibrazioni per secondo determina la frequenza del suono che viene generato. La frequenza si misura in Hertz (Hz) o cicli/secondo. La frequenza di vibrazione dipende dalle **dimensioni** del diapason: tanto più il diapason è piccolo tanto più elevata è la sua frequenza di vibrazione.

Questa regola vale per tutti i corpi che vibrano: più sono **piccoli** più **vibrano velocemente** e producono **frequenze alte**, acute. Al contrario all'aumentare delle dimensioni diminuisce la frequenza e i suoni sono **bassi**, gravi. Questo vale anche per gli strumenti musicali: il violino emette note molto acute, mentre viola, violoncello e contrabbasso producono note sempre più basse.

Percezione del suono



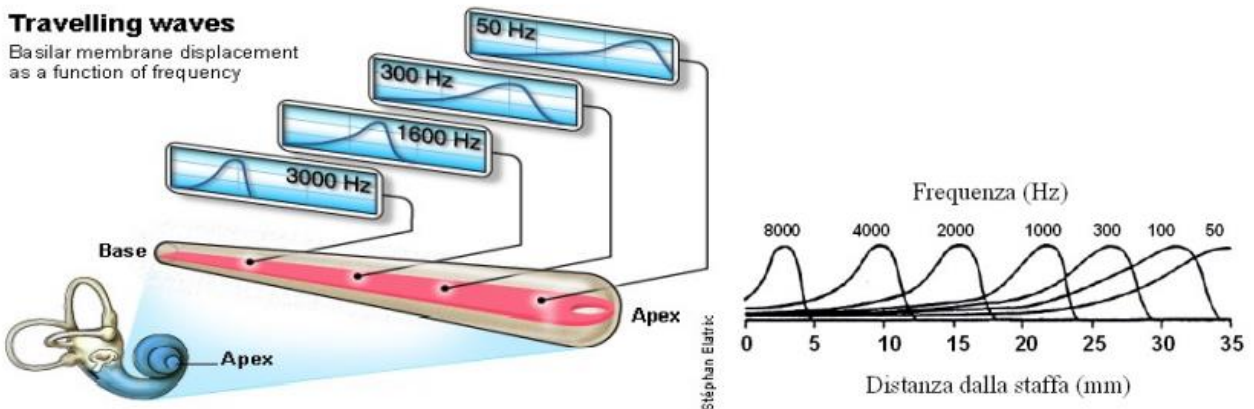
Percezione del suono



Le variazioni di pressione dell'aria vengono convogliate dal **padiglione auricolare** nel canale uditivo e fanno vibrare la membrana del **timpano**. Il timpano trasmette le vibrazioni a una catena di ossicini che le amplificano e le trasmettono alla finestra ovale della coclea. La **coclea**, a forma di chiocciola, è piena di **liquido** e ospita la membrana basilare coperta di **cellule ciliate**: le vibrazioni trasmesse dalla finestra ovale muovono il liquido e le cellule ciliate disposte sulla membrana basilare; queste generano gli impulsi nervosi che poi il cervello interpreta come "suono".

Travelling waves

Basilar membrane displacement as a function of frequency



La membrana basilare ha forma allungata che si allarga verso l'apice e tende a vibrare in parti diverse a seconda della frequenza di sollecitazione. Nella parte più stretta e sottile vibra alle frequenze più alte (acute) mentre dove è più larga e spessa vibra alle frequenze più basse (gravi). In questo modo **differenti gruppi di cellule ciliate** disposte sulla membrana vibrano a seconda delle frequenze che compongono il segnale ricevuto fornendo così al cervello informazioni sulla composizione in **frequenza** (struttura spettrale) del segnale.

Il suono è una variazione di pressione, un fenomeno meccanico. La sensazione di "suono" in realtà "esiste" solo nel cervello dell'ascoltatore quando riceve tali variazioni con una frequenza compresa nell'intervallo percepibile dall'apparato uditivo; nell'uomo tra circa **20** e **16000 Hz**.

Gli animali percepiscono come "suono" gamme di frequenza diverse dall'uomo. Roditori, cani e pipistrelli, ad esempio sentono anche gli **ultrasuoni** con frequenze troppo alte per essere "sentite" dall'uomo.

La sensazione di suono è normalmente caratterizzata da 3 parametri:

- **Intensità**, determinata dall'ampiezza delle variazioni di pressione
- **Altezza**, determinata dalla frequenza
- **Timbro**, determinato dalla qualità della forma d'onda del suono

Strumenti musicali

Ogni strumento musicale ha caratteristiche sonore proprie e riconoscibili che sono determinate non solo dal corpo che vibra (corda, lamina, o altro) ma da come viene attivata la vibrazione (martelletto, plettro, archetto, dita, soffio) e dalle altre parti dello strumento che entrano in vibrazione (cassa armonica). Un ruolo importante è dato dalle **dimensioni**: più un corpo è piccolo e più **acuti** sono i suoni che può produrre; viceversa più è **grande** e più **bassi** sono i suoni. Violoncello Contrabbasso, violoncello, viola e violino sono strumenti fra loro simili ma producono suoni con frequenze molto diverse.

A frequenza, intensità e timbro si deve aggiungere l'evoluzione nel tempo del suono, e cioè come questi parametri variano nel corso di una nota.

Una stessa nota suonata da diversi strumenti musicali si differenzia non solo per il timbro ma anche per evoluzione nel tempo dell'intensità (iniluppo) e del timbro stesso. Ad esempio una nota di pianoforte è diversa dalla stessa suonata su un organo o su una chitarra. Ciascuno strumento impone un proprio caratteristico timbro e iniluppo.

Negli strumenti a corda (pianoforte, violino, chitarra, arpa, ecc.) la frequenza e durata delle note è data dalla **lunghezza** e dalla **tensione** delle corde: quelle più corte e più tese producono i suoni più acuti e più brevi. Nell'organo è la dimensione delle canne che determina la frequenza, mentre negli strumenti a fiato è la lunghezza del percorso dell'aria.

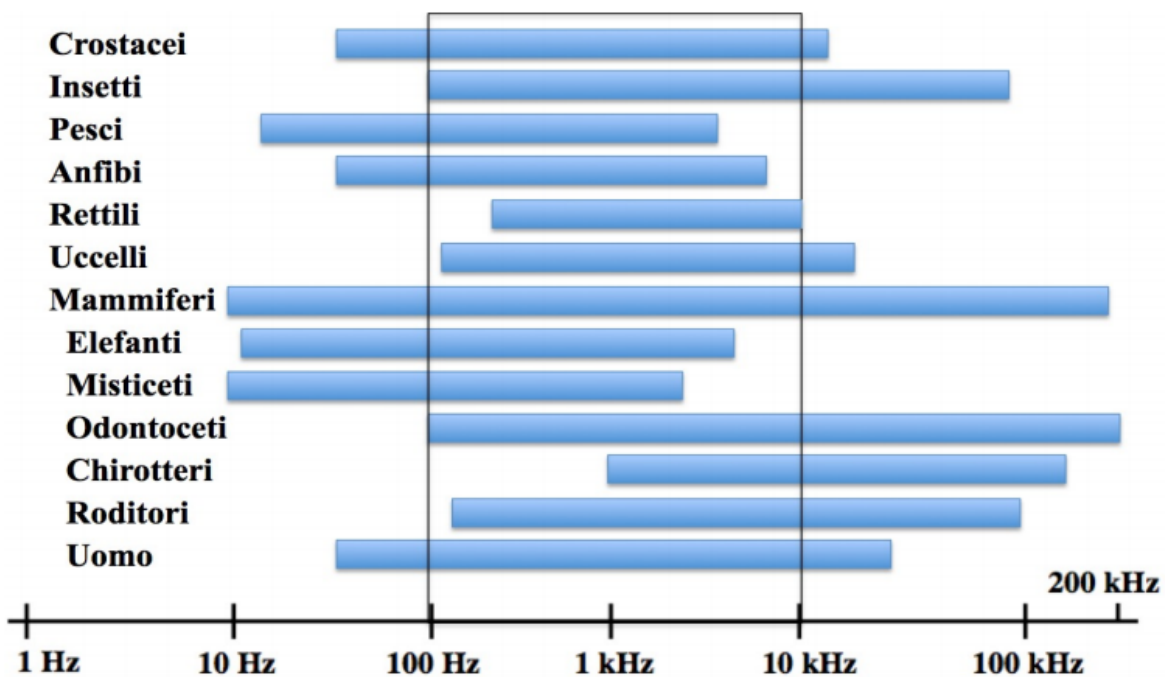
Negli animali e nell'uomo succede lo stesso: i bambini hanno una voce più acuta degli adulti, i topolini emettono frequenze acute e addirittura ultrasuoni, mentre gli elefanti emettono frequenze molto basse e infrasuoni. Lo stesso accade in acqua: i **piccoli delfini** emettono suoni molto **acuti** mentre le **grandi balene** emettono suoni **bassi**.

L'udito nei vertebrati

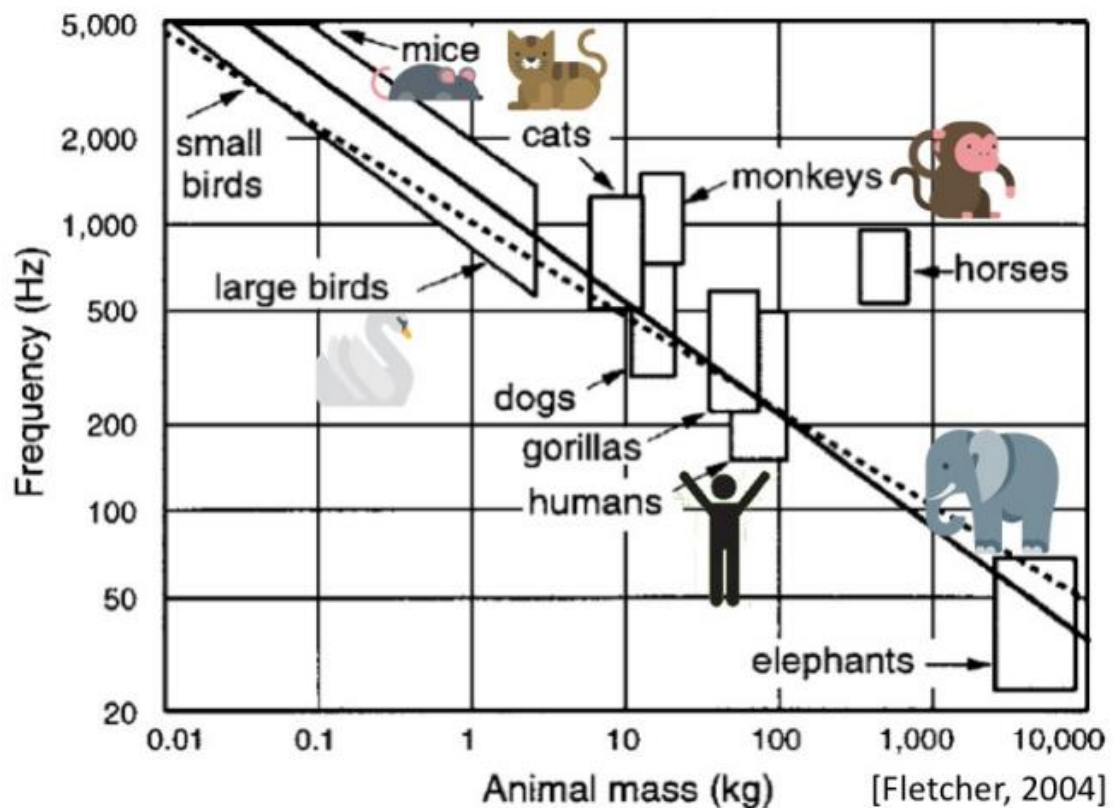
Tutti i vertebrati hanno il senso dell'udito ma percepiscono i suoni a frequenze diverse. Gli elefanti e le balene sentono anche gli **infrasuoni**, con frequenze inferiori a 20 Hz, mentre i piccoli roditori, i pipistrelli, i delfini, e anche i cani, sentono gli **ultrasuoni**, con frequenze superiori a 16000 Hz, fino a oltre 100000 Hz.

Anche molti invertebrati hanno il senso dell'udito o perlomeno recettori che percepiscono variazioni di pressione e/o vibrazioni del substrato. In alcuni casi la capacità uditiva si è sviluppata come **risposta antipredatoria**, ad esempio per sfuggire all'ecolocalizzazione dei pipistrelli.

Certe farfalle quando sentono gli ultrasuoni dei pipistrelli incominciano a volare a zig-zag, altre chiudono le ali e si lasciano cadere, altre ancora rispondono con ultrasuoni che confondono il pipistrello in caccia!



L'orecchio umano può sentire solo una piccola parte dei messaggi sonori emessi dagli animali.



Relazione fra dimensioni (e massa) e frequenze emesse; come negli strumenti musicali, all'aumentare delle dimensioni diminuiscono le frequenze emesse.

Suono e rumore

Suono e rumore hanno la **medesima natura** fisica, si tratta di suoni (sempre in senso ampio, comprendendo infrasuoni e ultrasuoni), che nascono da una sorgente e raggiungono un ricevitore.

La distinzione fra suono e rumore dipende dal **ricevitore**, ed è spesso ambigua e altamente **soggettiva**. In senso generale si intende suono qualcosa di piacevole o perlomeno neutrale, mentre con rumore si intende qualcosa di spiacevole, disturbante, che può generare stress, che impedisce di sentire quello che si vorrebbe (es. musica o parlato), che induce ad allontanarsi. Nel momento in cui un suono genera disturbo e stress può anche diventare dannoso per la salute. Frequentemente il rumore è qualcosa di «non voluto», ad esempio generato da una macchina.

Oltre certi livelli di intensità sia il suono piacevole che il rumore disturbante possono diventare dannosi per il nostro apparato uditivo e produrre **danni** sia temporanei che permanenti.

Come il rumore è fastidioso e dannoso per l'uomo, lo è ancora di più per quegli animali che fanno del suono uno strumento essenziale per sopravvivere, per comunicare, per trovare un partner e riprodursi, per riconoscere ed evitare ostacoli e pericoli, per cacciare le prede di cui si nutrono, per sentire ed evitare i predatori.

Udito in pericolo

L'udito è un senso prezioso che va costantemente difeso. Serve sia per la comunicazione che per “sentire” l'ambiente circostante.

La legislazione in materia è sempre più attenta a regolamentare e limitare l'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro, nella vita quotidiana, e anche nelle nostre case.

Vi sono situazioni e professioni a rischio nelle quali è obbligatorio indossare **specifiche protezioni** (cuffie antirumore, tappi auricolari) e non superare determinati “dosi” di rumore definite sia in termini di intensità che di durata dell'esposizione. Ma vi sono anche comportamenti volontari che ci espongono a livelli sonori molto elevati, concerti rock e discoteche, anche le cuffiette del walkman, che determinano piccoli danni all'udito che si accumulano col tempo fino a portare a significative perdite di sensibilità uditiva.

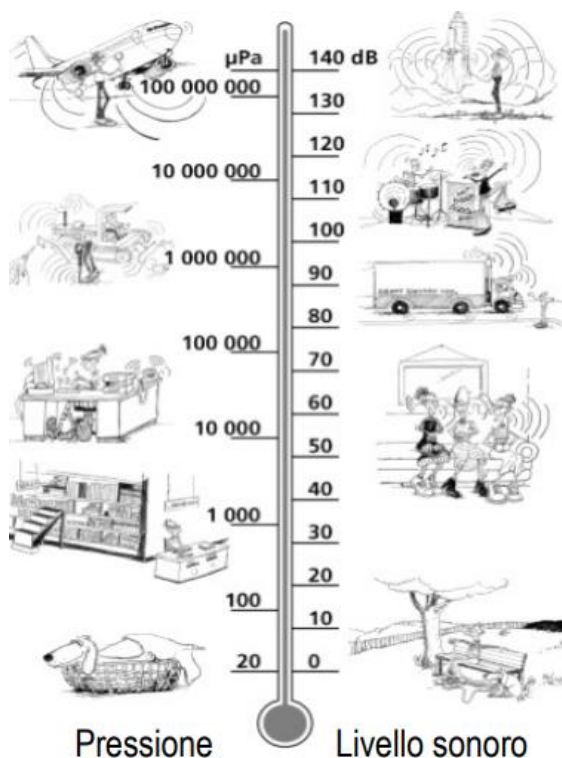
Gli esseri umani usano la visione e il suono per una continua interazione con i propri simili e con **l'ambiente circostante**. Il rumore ha un forte impatto sul nostro benessere. Il rumore produce disturbo, stress, alterazione del sonno, malattie cardio-vascolari, ictus, sordità, con un elevato costo sociale. La maggior parte del rumore subito dalla popolazione europea deriva dai **sistemi di trasporto**.

EEA Report No 10/2014
Noise in Europe 2014
ISSN 1977-8449

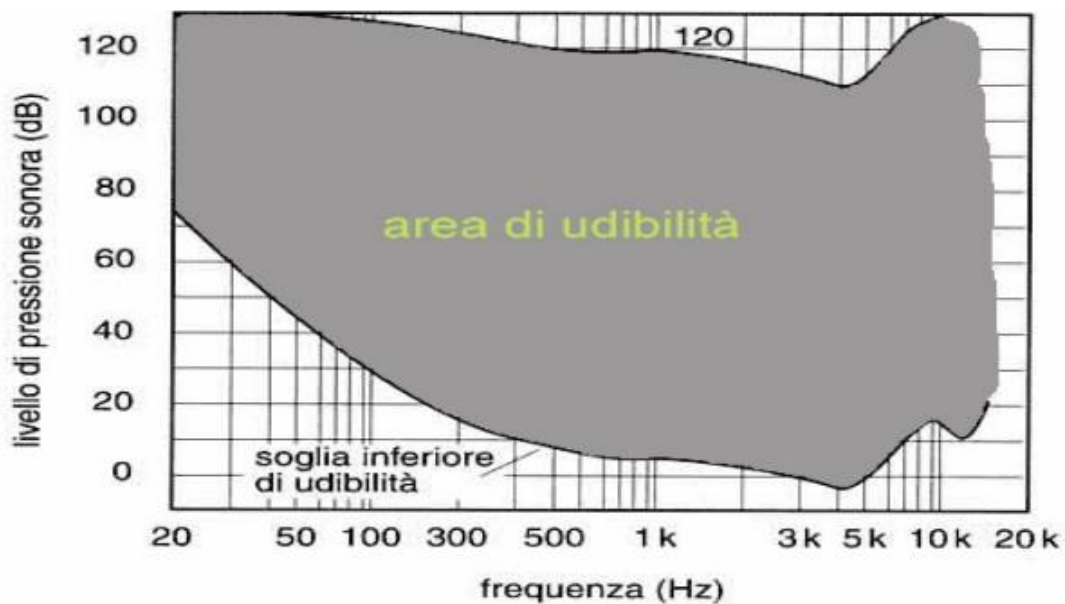
Health and well-being effect	Population
(Severe) annoyance	Adults
(Severe) sleep disturbance	Adults
Reading impairment	7 to 17-years old
Hypertension	Total population
Coronary heart disease (mortality and morbidity)	Total population
Stroke (mortality and morbidity)	Total population

In EU, each year, exposure to chronic noise contributes to 10000 deaths and to 900000 cases of hypertension and heart diseases.

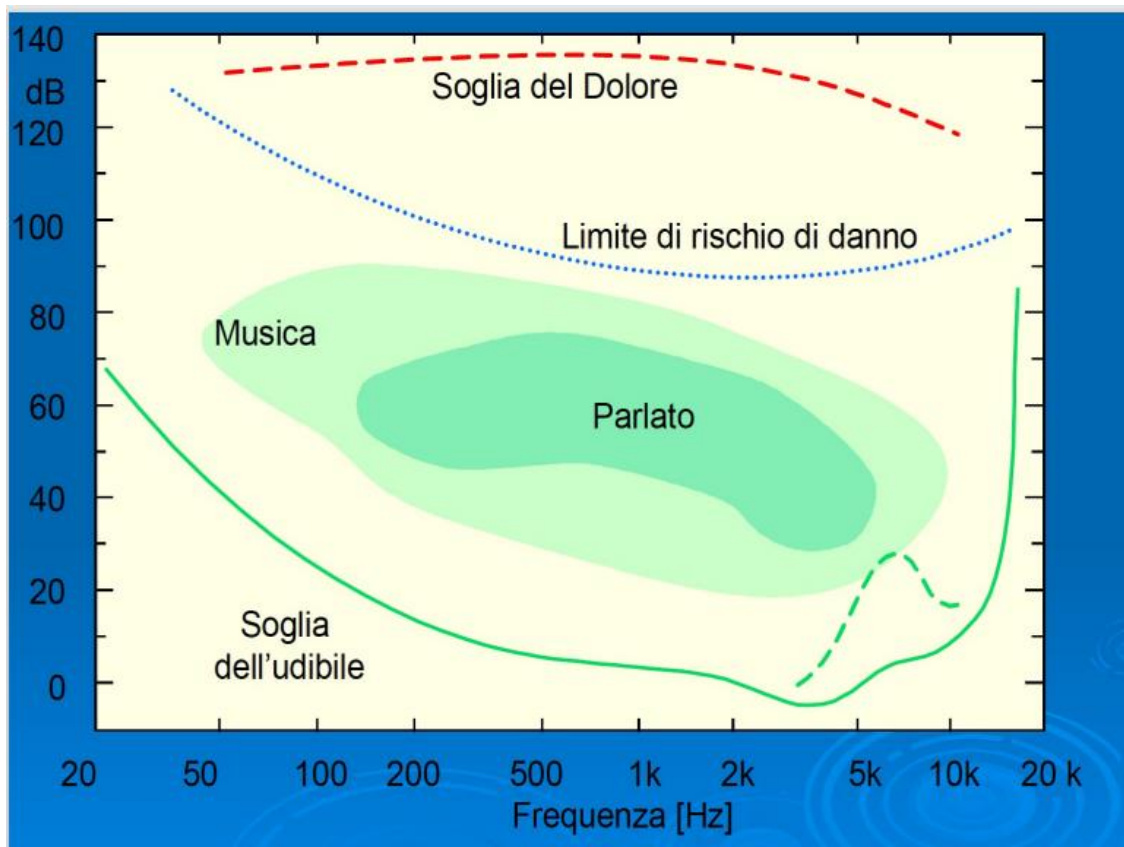
- Exposure to noise is severely regulated
- Exposure limits will be decreased in next future



I livelli di intensità sonora vengono rappresentati con una **scala logaritmica** nella quale il livello minimo percepibile (soglia di udibilità) è definito **0 dB**. I valori superiori sono calcolati con la formula $\text{Log}_{10}(20 \cdot P/P_0)$ che determina una scala sulla quale i valori udibili sono quelli da 0 a 120 dB (soglia del dolore). Oltre i 120 dB l'orecchio può subire **danni permanenti**. Ma già livelli superiori a 100 dB possono provocare danni che sono proporzionali all'intensità ed alla durata dell'esposizione.



I limiti dell'udito sono dati non solo dalle frequenze ma anche dall'intensità: nell'uomo, variazioni di pressione inferiori a 20 microPa non vengono percepite (soglia di udibilità), mentre variazioni superiori a 10 Pa producono dolore e danni all'apparato uditivo. 20microPa vengono assunti come riferimento 0 per le misure in dB.



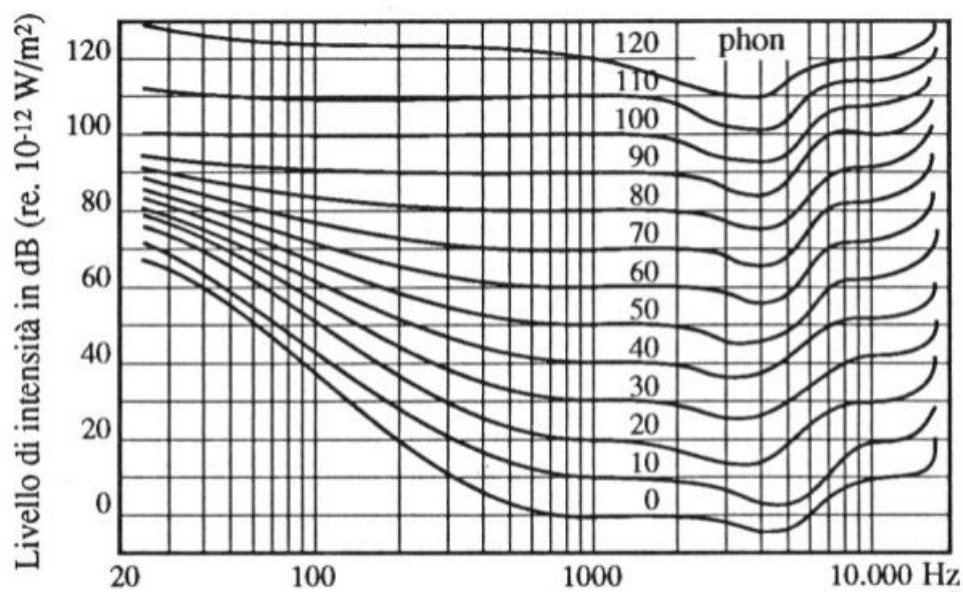
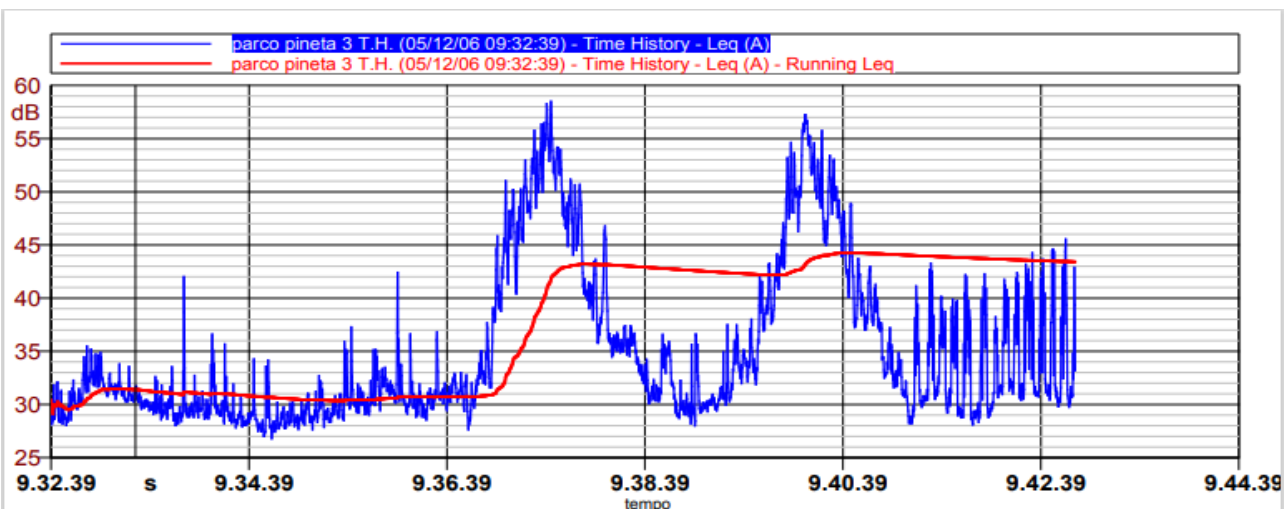


Fig. 1.5 - Curve isofoniche di sensazione soggettiva per toni puri, in cam libero; ascolto biauricolare frontale (Fletcher e Munson, da Beranek [2])



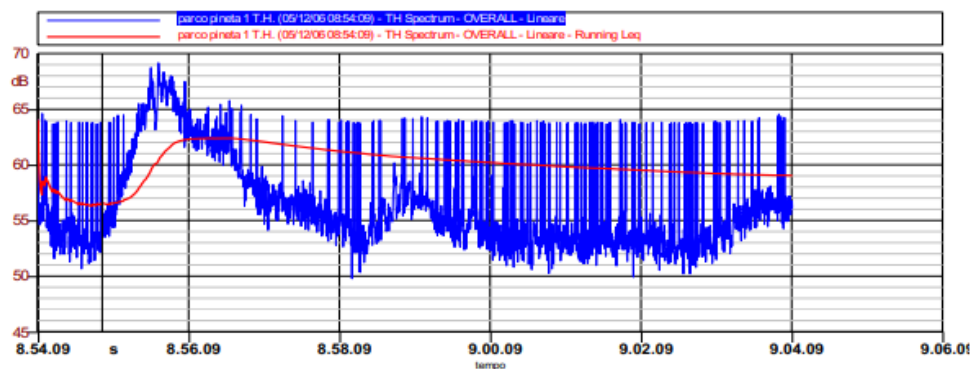
Il **fonometro** è lo strumento per misurare con precisione i livelli di pressione acustica. Il requisito principale è la calibrazione, che garantisce misure assolute, cioè accurate e ripetibili. Ma non tutti i fonometri sono uguali.... I fonometri economici danno solo un valore globale in dB, generalmente riferito a frequenze fino a 8 kHz, con pesatura lineare o con pesatura A. I più sofisticati arrivano a oltre 20 kHz e mostrano la distribuzione dei livelli per bande di 1, 1/3, 1/12 di ottava. Mostrano cioè lo spettro del rumore che misurano. Alcuni modelli possono anche registrare come varia lo spettro del rumore nel tempo.



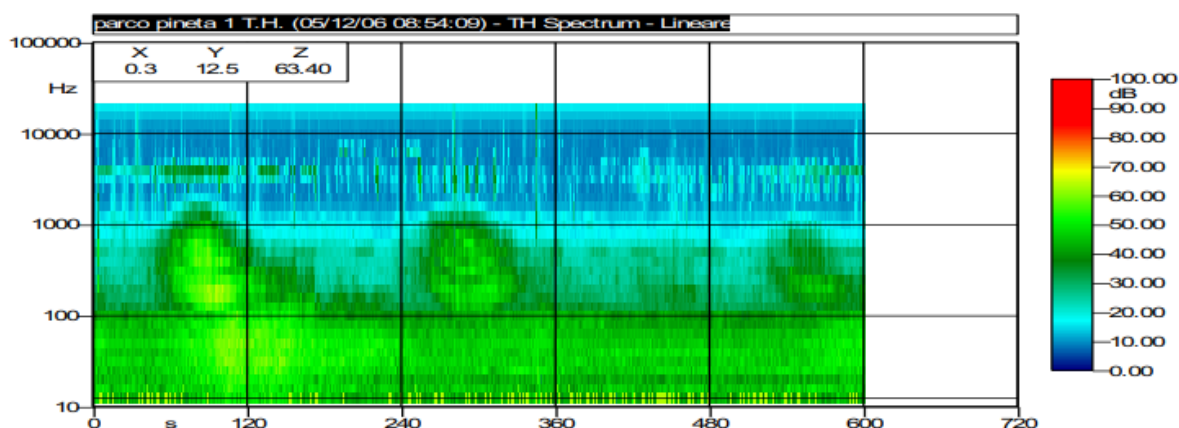


<i>LAeq</i>	<i>LAS max</i>	<i>LAF max</i>	<i>LN01</i>	<i>LN10</i>	<i>LN50</i>	<i>LN90</i>	<i>LN95</i>
43.4A	56.6 dBA	58.9 dBA	55.4 dBA	N/A dBA	31.8 dBA	28.9 dBA	28.4 dBA

Rilievo fonometrico in ambiente naturale: la linea rossa è la misura del rumore secondo uno standard accettato, ma che non rappresenta il dettaglio degli eventi che contribuiscono a tale misura. I due picchi maggiori sono passaggi di aerei; i picchi stretti e fitti sono canti di uccelli. Il rumore “normale” dell’ambiente è quello a sinistra dei picchi!

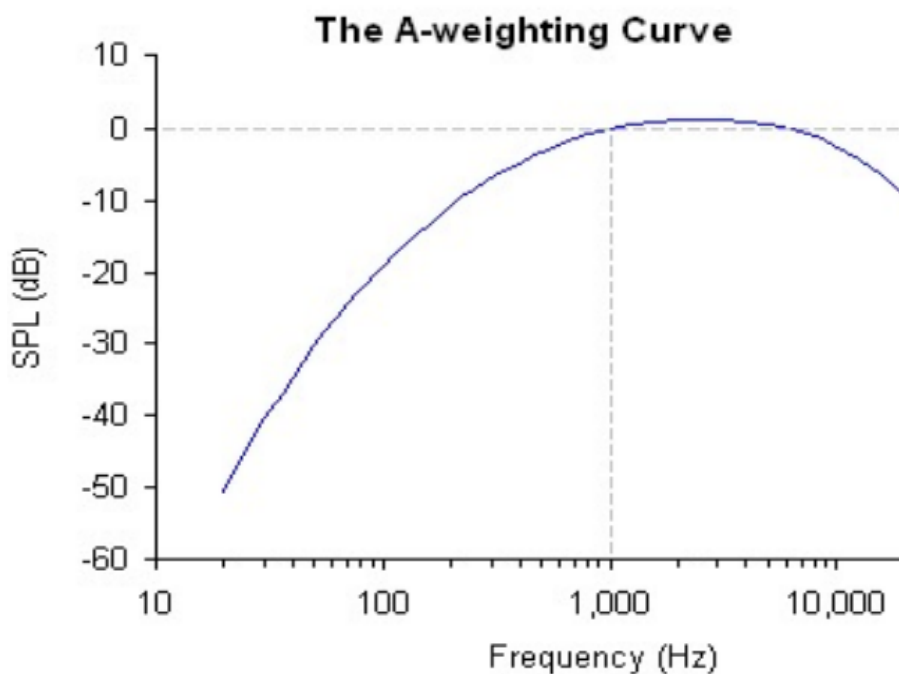
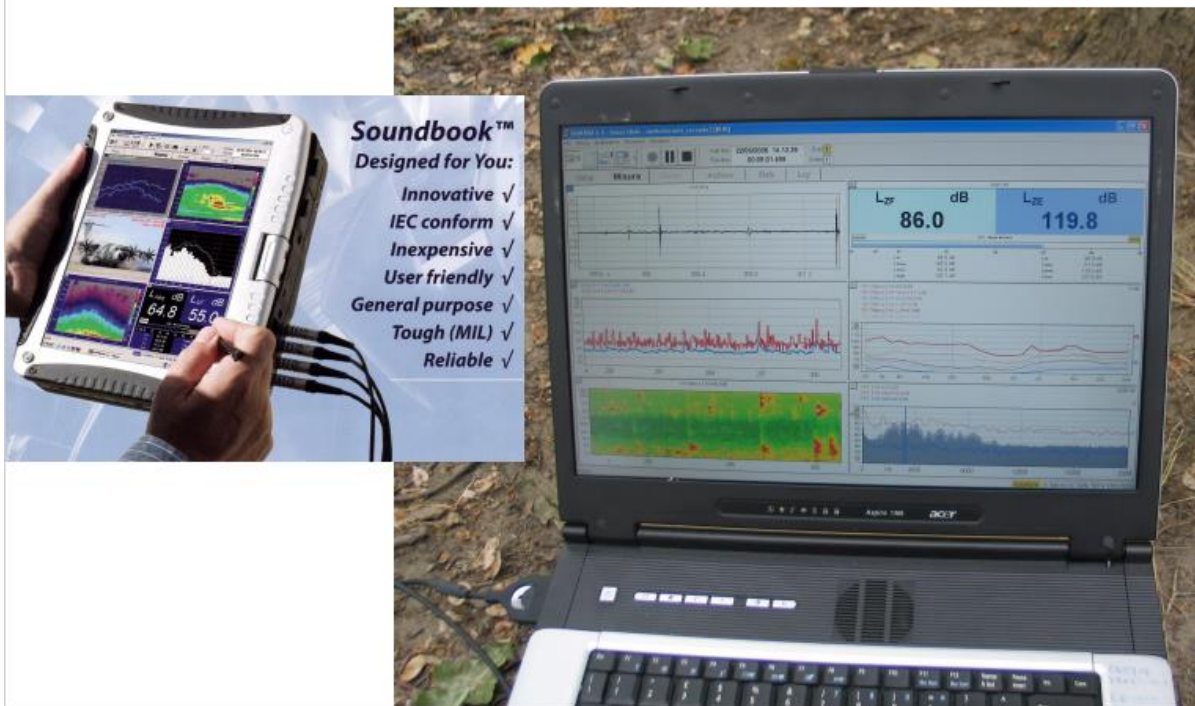


<i>LAeq</i>	<i>LAS max</i>	<i>LAF max</i>	<i>LN01</i>	<i>LN10</i>	<i>LN50</i>	<i>LN90</i>	<i>LN95</i>
59.0A	58.8 dBA	61.1 dBA	57.3 dBA	N/A dBA	32.9 dBA	29.5 dBA	28.9 dBA

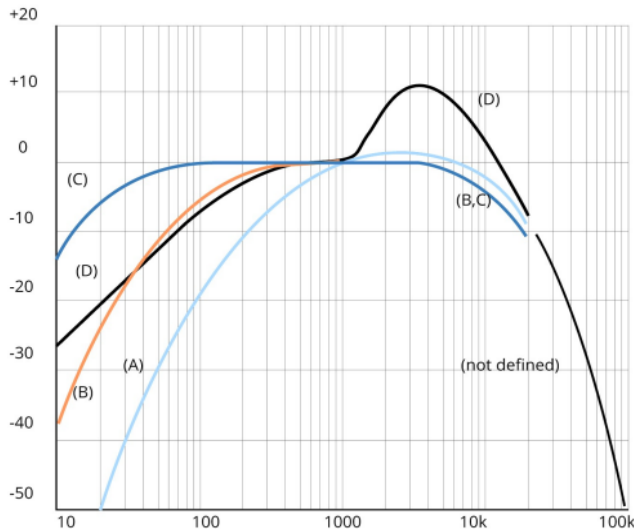


Acquisizione, analisi statistica e registrazione continua dei livelli di rumore per caratterizzare sia fenomeni brevi che di lunga durata.

I risultati possono essere pubblicati in tempo reale su una pagina web.



Se le misure sono orientate alla valutazione dei livelli di rumore per l'uomo, sono generalmente effettuate con la **curva di pesatura A** che "pesa" i livelli dando meno importanza alle frequenze che l'uomo sente meno, le basse e le alte frequenze. Una valutazione invece riferita ad una **qualità ambientale** deve essere lineare e tenere conto di tutte le frequenze del rumore, anche se poco percepibili dall'uomo.

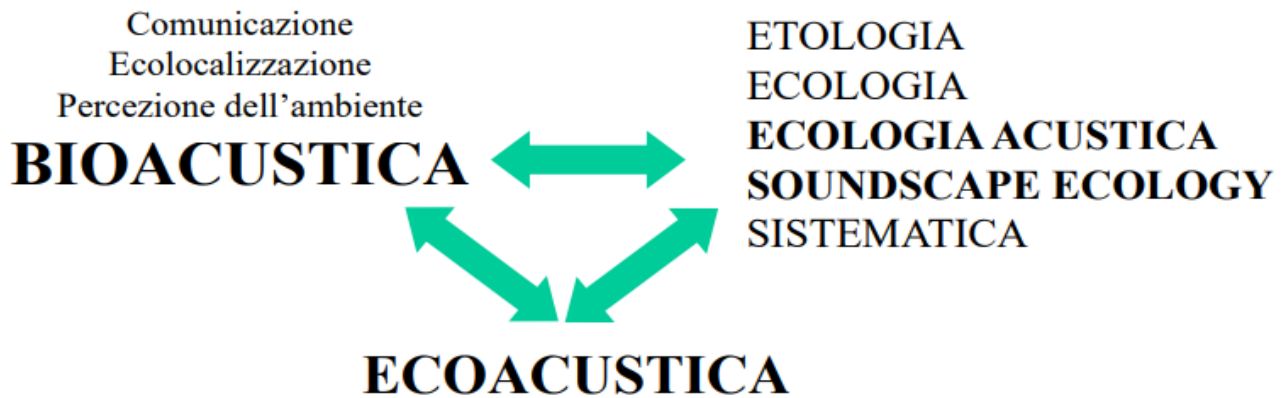


L'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro e ad alti livelli di pressione sonora nei concerti e nelle discoteche provocano danni cumulativi che fanno progressivamente diminuire la sensibilità alle alte frequenze fino a portare, nei casi più gravi, alla sordità.

Il primo sintomo di una esposizione a livelli troppo elevati è un temporaneo abbassamento della sensibilità uditiva che è il primo meccanismo messo in atto

dall'orecchio per difendersi dal suono troppo forte: ad esempio, uscendo da una discoteca tutto sembra più silenzioso... anche il rumore del motore della propria automobile e questo può indurre a correre di più del consueto perché il nostro cervello non sentendo rumore forte ci fa credere che stiamo andando piano...

LA BIOACUSTICA



Applicazioni

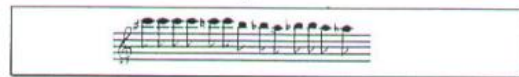
Riconoscimento specifico
Riconoscimento individuale
Censimenti e studi di popolazione
Monitoraggio ambientale
Monitoraggio biodiversità
Analisi paesaggio sonoro

Controllo specie alloctone/invasive
Controllo impatto rumore
Lotta biologica
Etofarmacologia
Comunicazione uomo-animali

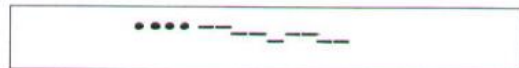
Già negli scritti antichi si ritrovano interessanti osservazioni sui suoni emessi dagli animali e nell'800 i naturalisti hanno incominciato ad interpretarli come linguaggio, cioè a considerarli funzionali alla sopravvivenza delle specie e in definitiva parte integrante dei meccanismi che regolano il funzionamento degli ecosistemi.

Il **canto degli uccelli** ha sempre riscosso grande interesse, ispirato poeti e musicisti, e molti furono i tentativi di trascrizione fonetica e musicale. E' però con la nascita degli **strumenti per registrare**, riprodurre e **analizzare** i suoni che la bioacustica ha potuto avere un effettivo sviluppo sia in campo scientifico che applicativo.

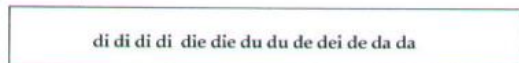
a) notation musicale (selon A. Voigt)



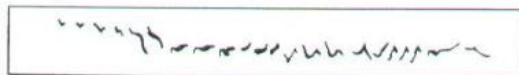
b) notation schématique de la tonalité et de la durée des sons

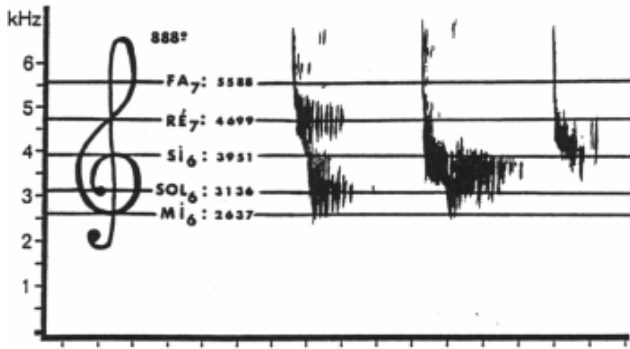


c) onomatopée



d) sonagramme

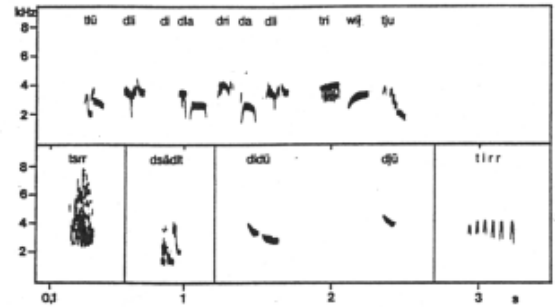
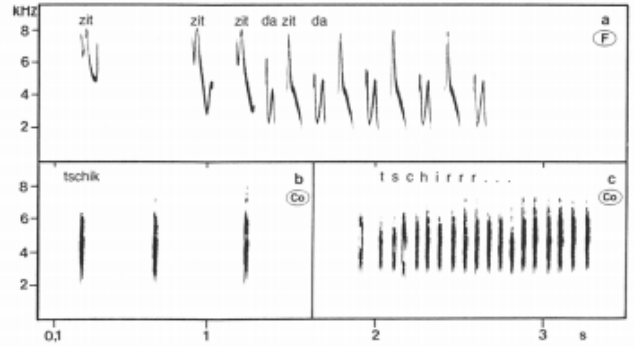




Scala musicale sovrapposta a un sonogramma raffigurante tre note emesse dal lui piccolo (*Phylloscopus collybita*); risulta evidente come sia difficile applicare il concetto di nota musicale a un canto d' uccello. (Da Leroy, 1979).



Trascrizione su pentagramma di un duetto di averla (*Lanius aethiopicus major*). (Thorpe, 1966 - in Leroy, 1979).



Trascrizione fonetica di canti; le trascrizioni sono soggettive e dipendenti dalla lingua.

L'ampliamento degli interessi della bioacustica nasce anche dallo sviluppo delle tecnologie di registrazione e analisi dei suoni. Con lo sviluppo degli attuali sistemi di registrazione digitale possiamo registrare TB di dati acustici da molteplici sensori, ma ancora non disponiamo di strumenti di analisi sufficientemente potenti e flessibili per analizzare in modo più o meno automatico tutti i dati che acquisiamo.

Computational Bioacoustics

Sviluppo di algoritmi e programmi per **l'analisi automatica** sia con supervisione che senza supervisione di un esperto bioacustico. L'obiettivo è di realizzare sistemi di registrazione automatica con network di sensori, riconoscimento segnali, riconoscimento specie, localizzazione sorgenti sonore per avere sistemi di monitoraggio permanente degli ambienti naturali e semi-naturali.

Bioacustica ed ecoacustica trovano applicazione nello studio e nel **monitoraggio** dell'ambiente naturale anche per applicazioni di gestione faunistica attraverso il riconoscimento dei segnali sonori tipici delle specie presenti.

La disponibilità di sistemi di registrazione autonomi di lunga durata (giorni, mesi, anni) apre nuove prospettive:

- **Riconoscimento delle specie vocali** (insetti, anfibi, uccelli, mammiferi, pipistrelli presenti nell'ambiente e dei loro cicli di attività diurna, stagionale, transiente)
- **Riconoscimento di specie di particolare** rilevanza (rare, minacciate, invasive).
- **Localizzazione delle sorgenti sonore**
- **Valutazione dei cambiamenti a lungo termine** **Analisi scientifica del paesaggio sonoro** >>>> Ecoacustica



paesaggi sonori

Il paesaggio sonoro è quanto percepiamo con il nostro apparato uditivo che è limitato, mentre con ambiente acustico si intende anche quanto non possiamo percepire come infrasuoni e ultrasuoni.

Il **paesaggio sonoro** e l'**ambiente acustico** sono espressione di uno specifico ambiente ed è composto da suoni biologici (**biofonia**), da rumori naturali (pioggia, vento, tuoni, acque correnti, che formano la **geofonia**) e

anche da suoni e rumori prodotti dall'uomo (**antropofonia** e **tecnofonia**).

BIOFONIA

(soprattutto compresa tra 2.000-8.000 Hz) suoni prodotti dalla comunità biologica, uccelli, insetti, mammiferi, anfibi, etc... utili per :

- Riproduzione
- Territorialità
- Socialità
- Allarme > 20 kHz
- Ecolocalizzazione > 20 kHz



Ogni ambiente ha una sua precisa caratterizzazione acustica che nasce dalle voci e dai rumori degli animali in essa presenti, dai fenomeni naturali e sempre più dalla presenza dell'uomo...

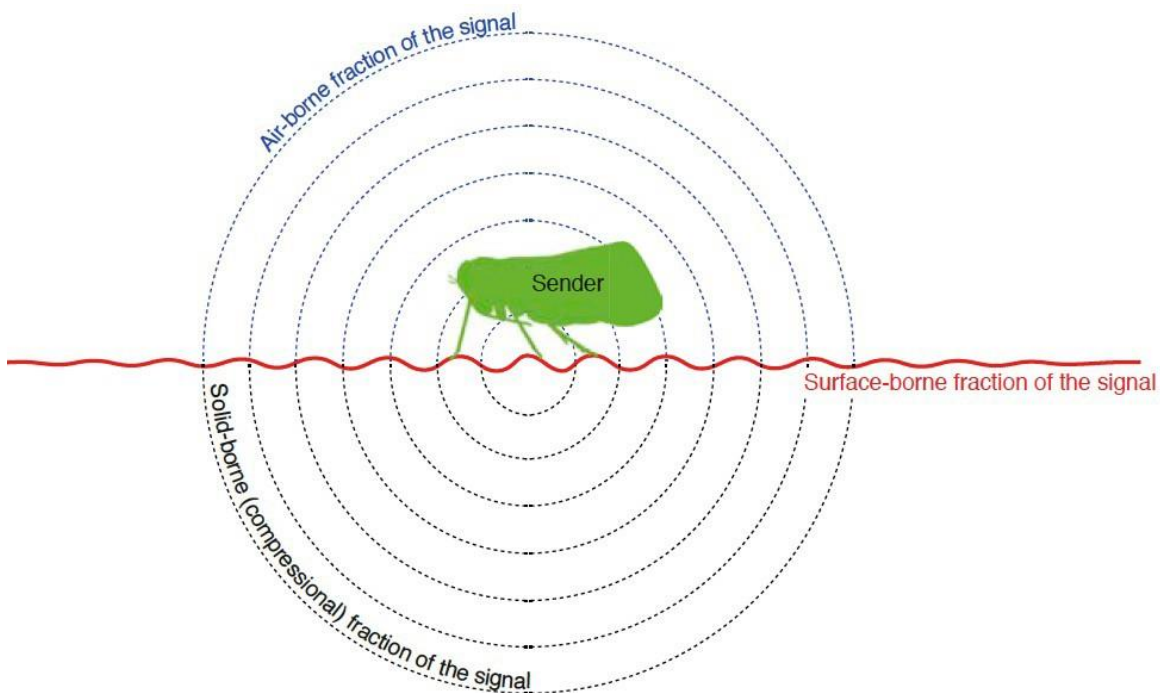
Il paesaggio sonoro si sovrappone e completa il paesaggio visivo.

Il paesaggio sonoro può avere specifici "**sound mark**" che lo caratterizzano e lo rendono riconoscibile

Paesaggio sonoro : quanto percepito dall'uomo

Ambiente acustico : l'insieme delle caratteristiche acustiche a prescindere dalla percezione dell'uomo

Frequentemente si intende «paesaggio sonoro» nella sua completezza, includendo infrasuoni e ultrasuoni, ma una nuova disciplina, la «**biotremology**» estende il concetto alle vibrazioni che perturbano suolo e piante che si integra alla bioacustica.



Si comincia dunque anche a parlare di un paesaggio vibrazionale che si chiama **vibroscapes** che nasce dall'azione di alcuni insetti che utilizzano queste vibrazioni nell'ambito del corteggiamento e che possono essere disturbati dall'azione antropica come le vibrazioni del traffico stradale.

Si è anche sviluppata una tecnica per interferire negativamente con queste vibrazioni, generando ulteriori vibrazioni tramite emettitori, per impedire a specie parassite di riprodursi.

Viviamo immersi in un mondo di suoni.

I paesaggi sonori non solo quelli della natura, ma anche quelli prodotti dall'uomo, dalla cultura, dal lavoro, dalle tradizioni. I suoni evocano ricordi, immagini di culture diverse, di spazi lontani... Conservare l'ambiente naturale significa anche apprezzarne e conservarne i "paesaggi sonori" che sono espressione della **biodiversità** e della **ricchezza** dei vari habitat; se non ne saremo capaci avremo un mondo più povero e più silenzioso.

La **contaminazione** data dal rumore prodotto dall'uomo è un vero e proprio "inquinamento acustico" che produce danni sia all'uomo che agli animali e indirettamente a interi ecosistemi.

Nel momento in cui si riconosce il paesaggio sonoro come espressione della struttura e diversità di un ambiente, i suoni diventano uno strumento di studio e monitoraggio dell'ecosistema.

Bioacustica >> Ecologia acustica >> Ecoacustica

Con l'**ecologia acustica** si studiano le relazioni fra le caratteristiche acustiche dell'ambiente e le caratteristiche acustiche degli animali che vi abitano, considerando anche l'apporto del rumore prodotto dalle attività umane e i suoi effetti negativi.

Con lo sviluppo delle attuali tecnologie di registrazione possiamo registrare TB di dati acustici da molteplici sensori, ma ancora non disponiamo di strumenti di analisi sufficientemente potenti e flessibili per analizzare in modo più o meno automatico tutti i dati che acquisiamo.

L'**ecoacustica** è una nuova disciplina scientifica, non ancora pienamente sviluppata e codificata, che vuole superare le incertezze degli approcci tradizionali e antropomorfi alla "soundscape analysis". Mentre con la **bioacustica** si studiano le vocalizzazioni delle singole specie, e solo talvolta si prendono in considerazione i possibili rapporti fra specie diverse, come nel caso dei segnali di allarme e del

rapporto preda- predatore, con l'ecologia acustica si studia come le specie si sono adattate alle caratteristiche acustiche dei diversi ambienti e dei diversi insiemi di specie con le quali competere per un canale di comunicazione "libero", infatti anche in ambito acustico si può definire il concetto di **nicchia**, infatti una specie tende ad occupare un territorio con un ambiente acustico che gli permetta di sfruttare al meglio le proprie capacità di comunicazione acustiche oppure a competere per esso, animali che sfruttano canali di comunicazioni simili occupano areali lontani per non confondersi .

L'ecoacustica studia i paesaggi sonori per valutarne in modo oggettivo alcuni parametri che possono fornire indicazioni utili all'ecologo, anche a prescindere dal riconoscimento delle singole specie componenti. Si stanno per questo studiando "**indici**" che possano dare una misura della ricchezza biologica e della biodiversità di un ambiente attraverso l'analisi del paesaggio sonoro. Questo per confrontare ambienti diversi, o per studiare l'evoluzione di un ambiente nel tempo o per valutarne l'evoluzione quando sottoposto a fattori esterni (cambiamenti climatici, antropizzazione, introduzione di specie aliene, inquinamento acustico, ecc.).

International Ecoacoustic Society

The aims of the society can be grouped into six main activities:

GENERAL

- To promote a scientific approach to the study of ecoacoustics
- To create a network between scientists and students to facilitate the exchange of information about theories, methods and tools in ecoacoustics

DISSEMINATION OF IDEAS AND RESEARCH

- To facilitate regular meetings, workshops and seminars
- To promote publications (proceedings, book series and journals)
- To support collaboration with other scientific disciplines with links to acoustics, ecology and conservation biology

CONSERVATION

- To work with other organizations to use ecoacoustics to help achieve ecological integrity in the world's disappearing ecosystems
- To encourage acoustic research projects on endangered species and threatened

ecosystems and to promote the conservation of acoustic diversity and natural soundscapes

ENGINEERING

- To promote interdisciplinary approaches in the development of data acquisition and analysis tools by bringing together competences in microelectronics, signal processing, and information technology
- To promote new approaches to data analysis by bringing together competences in “big data” and “data mining”

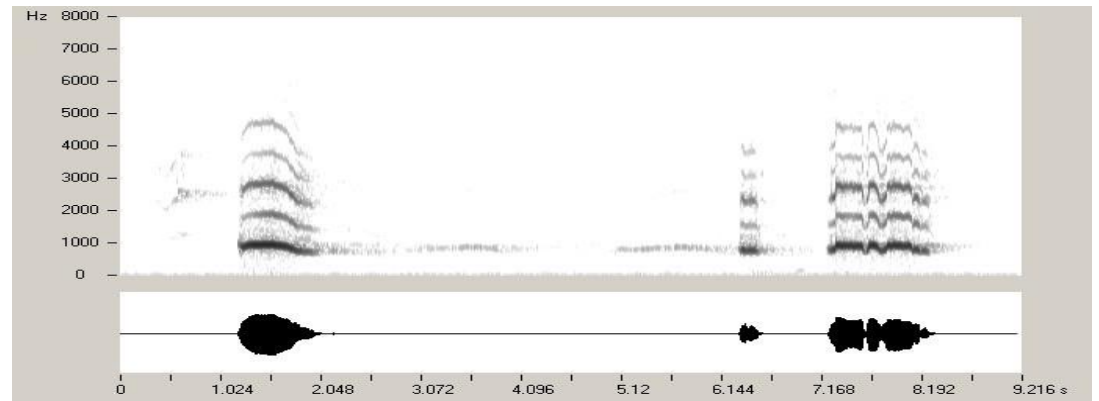
ARCHIVING

- To promote the collection and archiving of natural sounds in public access sound libraries

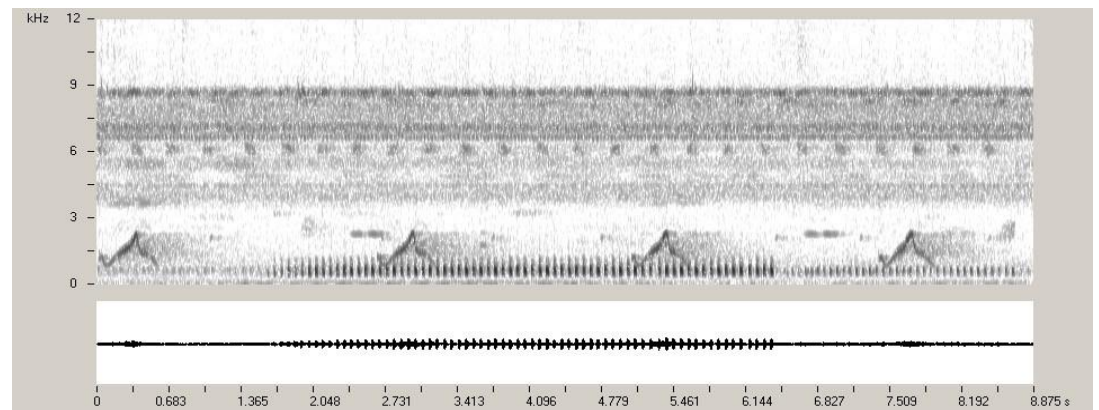
EDUCATION

- To promote ecoacoustics public outreach through new educational formats and science-based sound art across the widest possible range of disciplines
- To promote the public awareness about the values linked to the soundscapes
- To promote the valorization and appreciation of soundscapes and natural sounds

questa
registrazione si
sente solo il
richiamo
dell'allocco



In questa, invece,
si sovrappongono
i suoni di molti
animali



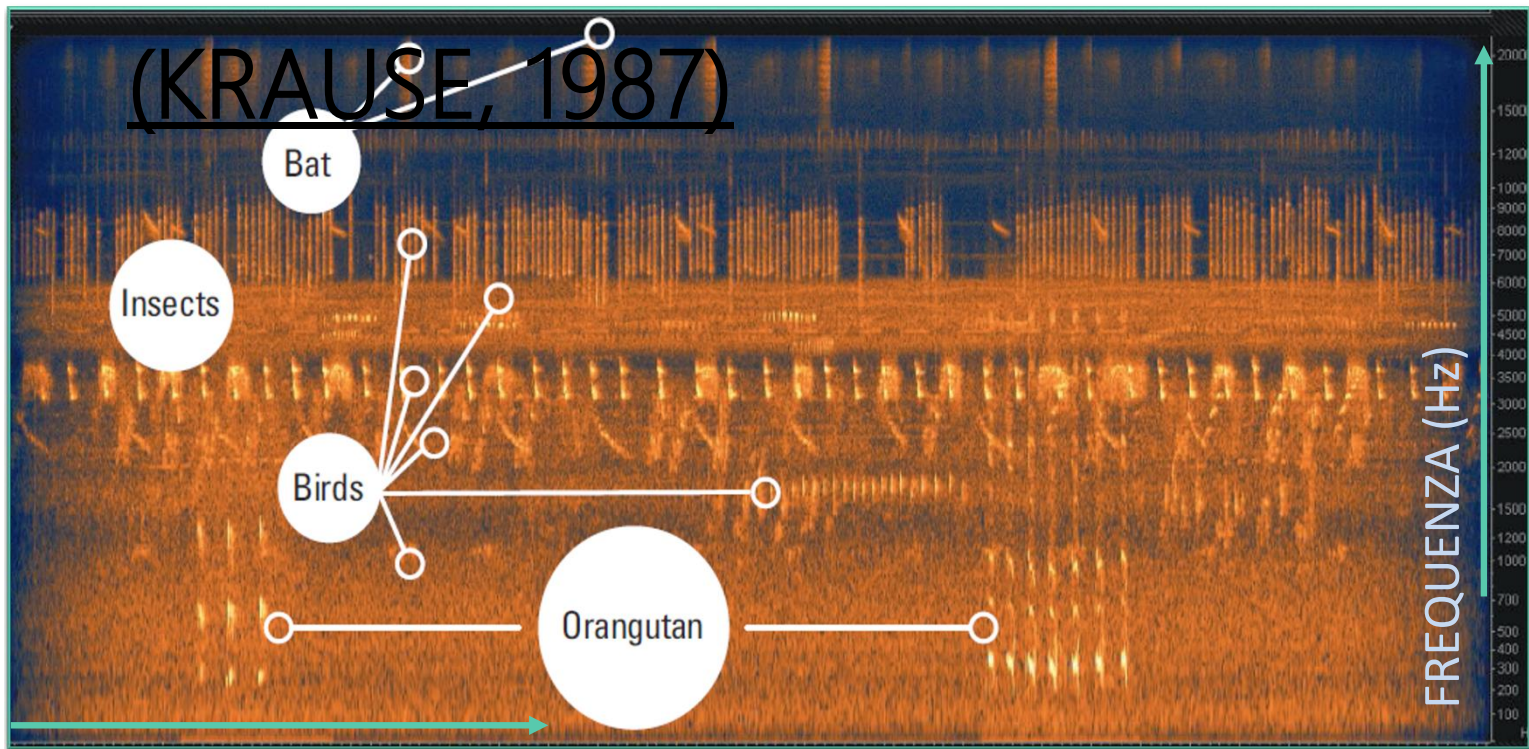
Quando si registrano tutti i suoni di un ambiente si parla più propriamente di “paesaggio sonoro” che testimonia la complessità e la biodiversità dell’ecosistema. Qui entra in gioco l’ecoacustica con lo sviluppo di concetti quali «**habitat acustico**» e «**nicchia acustica**»

Secondo il concetto di nicchia acustica di Krause, ogni specie nell’ambiente acustico “occupa” una posizione nella frequenza così da creare un ambiente ricco, nonostante le specie **coesistano** nello spazio e nel tempo, quindi per esempio gli oranghi riescono a comunicare e riconoscersi perché occupano le **frequenze** più basse pur coesistendo con i pipistrelli che occupano invece le frequenze più alte della ambiente, proprio come succede nelle nicchie ecologiche, per quanto riguarda la territorialità.

Inoltre gli ambienti acustici di una stessa zona si differenziano a seconda della fascia oraria del giorno e delle stagioni, formando in questo modo una rete molto complessa di sonorità

LA NICCHIA ACUSTICA

(KRAUSE, 1987)



TEMPO (minuti)

Lo studio dei paesaggi sonori ha anche finalità pratiche e scientifiche, ad esempio per il riconoscimento di specie difficili da avvicinare o da vedere, e per il monitoraggio della biodiversità.

I paesaggi sonori variano con le stagioni. All'inizio di ottobre, è caratteristico degli accoppiamenti.

Si distinguono molto bene le voci di diversi individui; ognuno ha proprie caratteristiche che dipendono dalla struttura fisica e dallo stato motivazionale.



Computational Bioacoustics

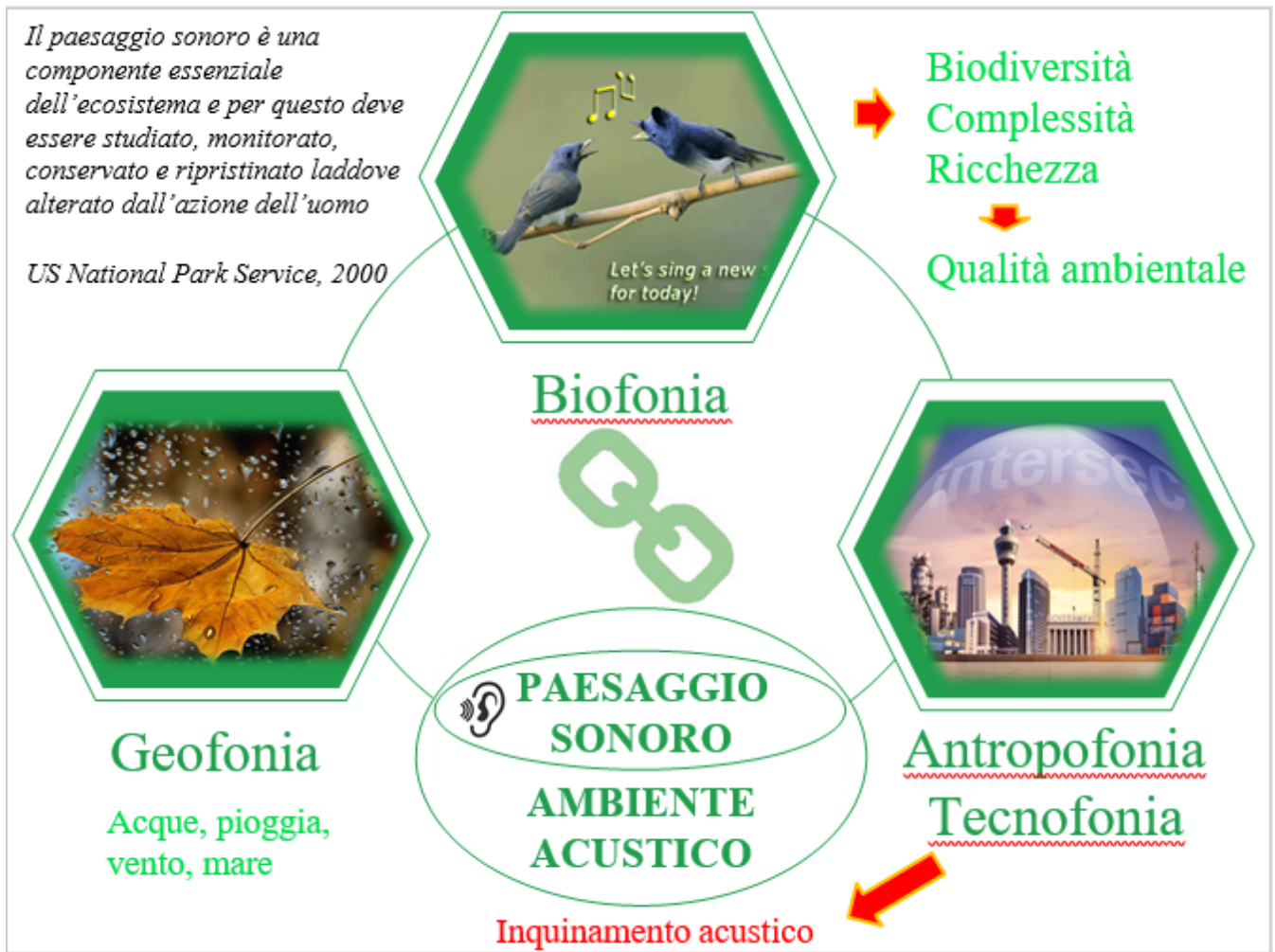
sviluppo di algoritmi e programmi per l'analisi automatica sia con supervisione che senza supervisione di un esperto bioacustico L'obiettivo è di realizzare sistemi di registrazione automatica con network di sensori, riconoscimento segnali, riconoscimento specie, localizzazione sorgenti sonore per avere sistemi di monitoraggio permanente degli ambienti naturali e semi-naturali

Analisi del paesaggio sonoro

- analisi del complesso sonoro di un habitat per riconoscerne le componenti > analisi della biodiversità acustica
- identificazione delle specie presenti o di specie di particolare interesse (ancora affidata a orecchie esperte)
- localizzazione e conteggio delle sorgenti sonore
- analisi della ricchezza e diversità acustica a prescindere dall'identificazione delle specie e generazione automatica di "indici" di ricchezza, diversità, periodicità, silenziosità

Il tema della conservazione della natura è un tema ora emergente di fronte all'evidenza degli impatti delle attività umane, sia locali che globali. La tutela degli ambienti naturali deve considerare anche i silenzi e i suoni come componenti essenziale. Come alteriamo o conserviamo i paesaggi visivi, possiamo alterare o conservare anche i paesaggi sonori. E alterando i paesaggi, di qualunque tipo essi siano, ne alteriamo anche la qualità e le funzioni.

Conservare l'ambiente naturale significa anche apprezzarne e conservarne i "paesaggi sonori" che sono espressione della biodiversità e della ricchezza di un ambiente; se non ne saremo capaci avremo un mondo più povero e più silenzioso.



Gli animali, per le proprie esigenze vitali, in primis per il corteggiamento, l'accoppiamento e la difesa del territorio, emettono segnali riconoscibili a livello di specie, talvolta anche a livello di popolazione o area geografica, e di individuo (riconoscimento individuale). Riconoscere i segnali acustici tipici di ogni specie consente di determinare la presenza nell'ambiente delle varie specie, talvolta riconoscendone anche i comportamenti e gli individui.

Questo apre ampie prospettive per il monitoraggio ambientale anche a lungo termine, per valutare, ad esempio, gli impatti delle attività dell'uomo, gli effetti dei cambiamenti climatici, i cambiamenti dei comportamenti migratori, l'insediarsi di specie alloctone e/o invasive. Ma anche per monitorare la ricchezza e biodiversità e valutare l'efficacia degli interventi di conservazione e di ripristino ambientale.

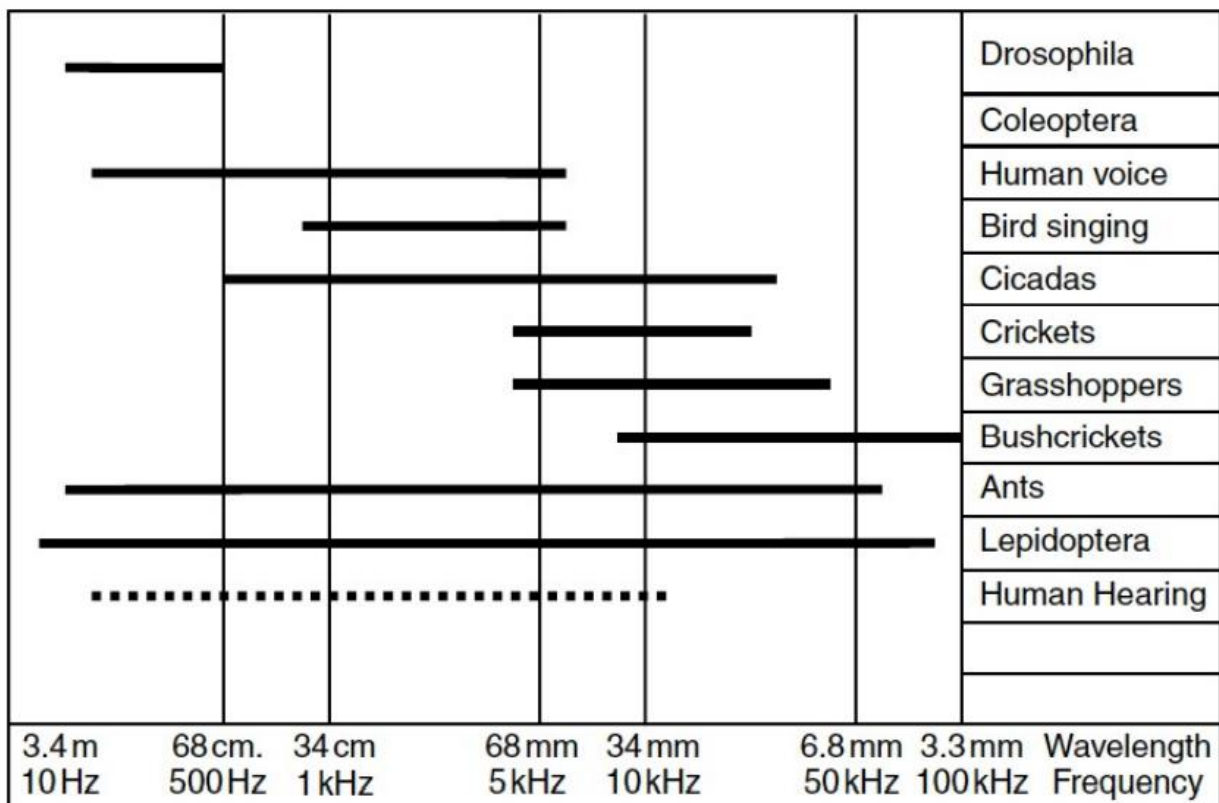
La **comunicazione** è una esigenza primaria degli animali. Serve a trasmettere informazioni e a regolare i comportamenti **individuali** e **sociali**. Si parla di comunicazione quando un individuo emette un segnale (un suono, un odore, un gesto) e questo viene ricevuto da un altro individuo. Se il ricevitore cambia comportamento in funzione del segnale ricevuto allora osserviamo che vi è stata comunicazione. Ma può anche avvenire che il ricevitore soltanto memorizzi l'informazione ricevuta per usarla in un secondo tempo. Diventa quindi necessario progettare esperimenti sofisticati per verificare la trasmissione di informazioni. Se il segnale è sonoro, allora si parla di **comunicazione sonora** o acustica. Ma vi sono anche altri tipi di segnali: segnali **chimici**, segnali **visivi**, segnali **tattili**. In molti casi non esiste un solo sistema di comunicazione, ma più sistemi (o "canali") **coesistono**, ciascuno con un proprio ruolo e precise relazioni con gli altri canali. Le esigenze di comunicazione fondamentali sono quelle legate alla **riproduzione**, alla **difesa del territorio**, alla **segnalazione** di un pericolo. I richiami sessuali, che possono essere emessi sia dal maschio che dalla femmina, sono sempre **specie-specifici**. Devono necessariamente attrarre un partner della stessa specie per poter dar luogo alla riproduzione. I segnali territoriali vengono prodotti per difendere il proprio territorio, il nido o il partner; spesso il segnale territoriale ha anche la funzione di richiamo sessuale. Le caratteristiche di questi segnali possono essere **ereditarie** e/o **apprese**. Negli insetti, nei pesci, negli anfibi, nei rettili queste sono trasmesse geneticamente. Negli uccelli alla trasmissione ereditaria si aggiungono apprendimento, imitazione e innovazione. Nei mammiferi la situazione è variabile da specie a specie: nell'uomo si ha l'esempio di apprendimento totale che però si basa sempre su una qualche predisposizione genetica.

I SUONI DEGLI ANIMALI

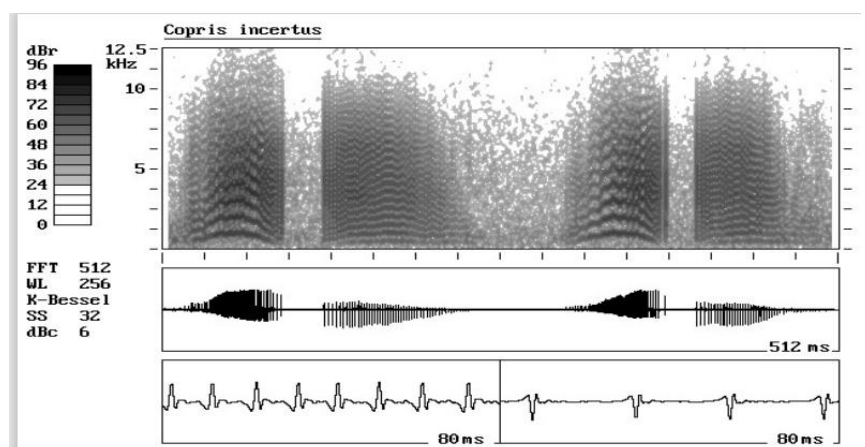
CROSTACEI

Esistono crostacei detti "snapping shrimp" in grado di provocare un suono schioccando le proprie chele. Questo schiocco causa una bolla di cavitazione che crea un suono, utilizzato per stordire le prede

INSETTI



Negli insetti il meccanismo di produzione dei suoni più diffuso è la **stridulazione**, basata sullo sfregamento di due parti, **plectrum** e **pars stridens** che è una superficie leggermente zigrinata, spesso lo sfregamento avviene in modo regolare con movimenti di andata e ritorno. Questo sistema produce suoni **ripetitivi**



e che quindi non sono quasi per niente modulabili

Negli insetti i suoni servono principalmente come richiamo sessuale e solo secondariamente come segnale territoriale o come segnale di allarme. La produzione di segnali specie-specifici, diversi per ogni specie, è soprattutto basata sugli aspetti temporali, quali **durata**, **successione delle note** e **ritmo** che sono determinati **geneticamente**. Con un semplice esperimento di playback con richiami sessuali preregistrati è facile studiare la “fonotassi”, cioè l’avvicinamento di un individuo verso la sorgente del richiamo sonoro preferito.

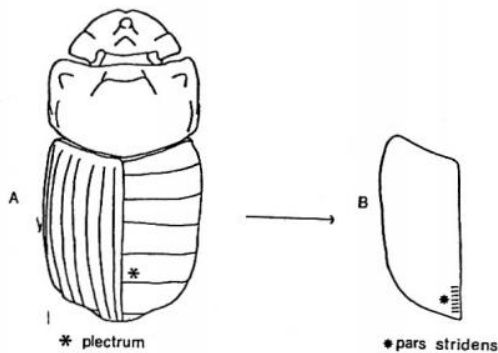
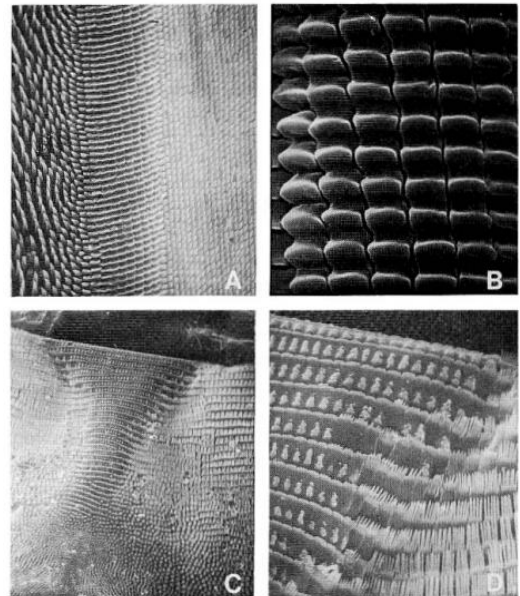
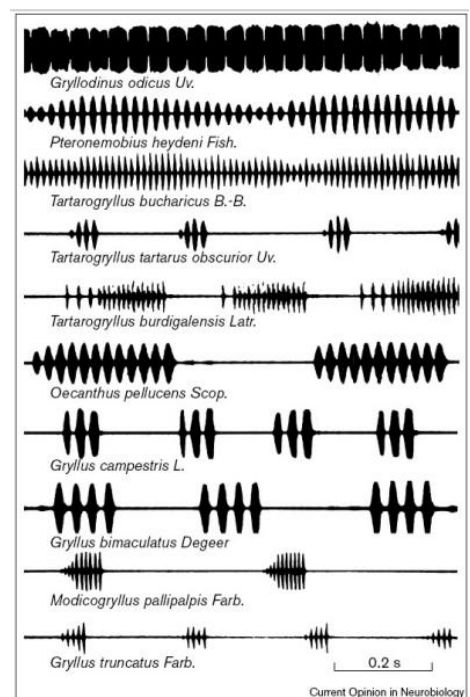


Fig. 1 Dorsal view of an adult (A) with an elytra removed to highlight **plectrum** location and ventral view of the elytra (B) to show the location of the **pars stridens**.



Nei Coleotteri la stridulazione è diffusa, con apparati stridulatori generalmente localizzati sulle elitre.

Ma sono **grilli** e **cicale** i più noti produttori di suoni. Il suono dei grilli (Orthoptera, Ensifera), prodotto dallo sfregamento tra le nervature delle tegmine o per sfregamento delle tegmine contro i femori posteriori, frequentemente domina i paesaggi agricoli e le praterie. Le cicale (Homoptera, Cicadidae) hanno apparati molto specializzati, sono dotate di membrane su entrambi i lati dell’addome, dette **timballi**, che vengono fatte vibrare da appositi muscoli. Il suono ottenuto viene amplificato da **sacche d’aria**. La vibrazione prodotta è molto potente e si sente fino ad un chilometro di distanza. In queste specie si hanno comunicazioni sonore più articolate, con modulazioni dei suoni in base al ritmo.



Nella figura si riconoscono i diversi suoni attribuibili a diverse specie di ortotteri e cicale

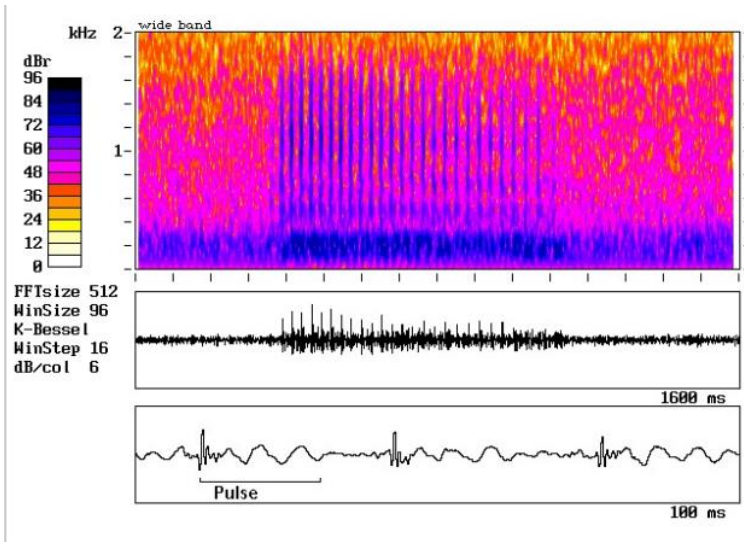
PESCI

Nei pesci solo i Teleostei, i pesci ossei, producono suoni. Più di 50 famiglie includono specie "sonore", sia di mare che di acque dolci. Si tratta sempre di suoni semplici, richiami sessuali nel periodo riproduttivo, segnali territoriali, in pochi casi segnali di

allarme e di competizione.

Nei Gobidi i suoni vengono prodotti con contrazioni di fibre muscolari specializzate generalmente collegate alla vescica natatoria che fa da diffusore.

Nello spettrogramma si riconoscono le singole contrazioni. Queste cambiano ovviamente poi a sonda della specie e delle sue caratteristiche

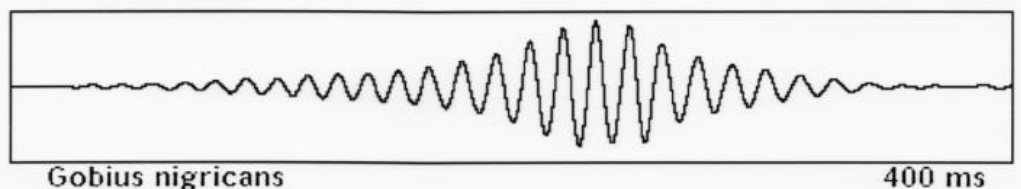
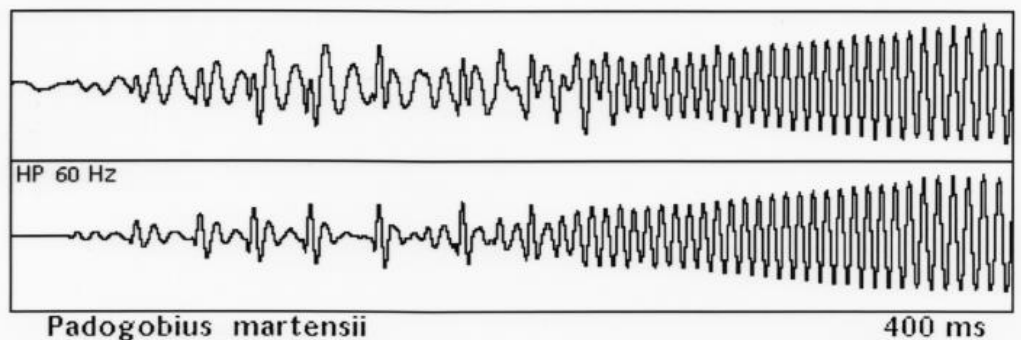
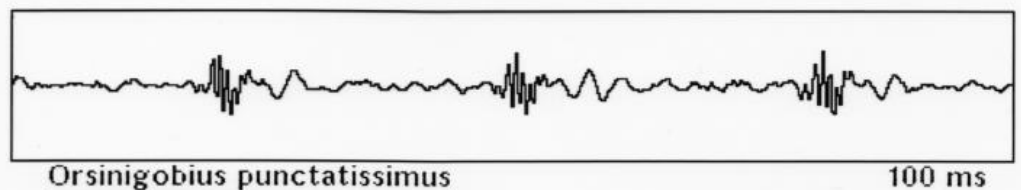


morfologiche.

in *Orsinogobius punctatissimus* si riconoscono brevi periodi di contrazioni costanti che creano impulsi sonori singoli riconoscibili, in *Padogobium martensii* si riconoscono invece impulsi sonori singoli all'inizio delle contrazioni, che poco dopo vengono però velocizzati e fusi insieme in modo da formare un impulso sono singolo più

pronunciato.

Infine *Gobius nigricans* si osserva un impulso con un andamento sinusoidale e crescita graduale, e relativamente più lungo.



Trattandosi di un sistema muscolare, con fibre specializzate per contrarsi molto velocemente, la produzione sonora richiede un certo dispendio energetico, inoltre il sistema è soggetto ad affaticamento e dipende dalle condizioni ambientali, in primis la temperatura. Essendo eterotermi all'aumentare della temperatura aumenta l'efficienza e la frequenza, mentre diminuisce la durata. Quindi la temperatura dell'acqua è un fattore limitante, ma anche di controllo, perché a un determinato livello della temperatura è associata una determinata prestazione nelle contrazioni. Nel periodo della riproduzione l'acqua si trova a una certa temperatura che permette le sonorità volte alla riproduzione.

I pesci adulti usano il suono per il corteggiamento e la difesa del territorio, mentre le larve usano i suoni per orientarsi verso le zone biologicamente più ricche.

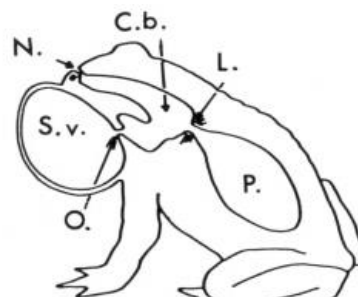
ANFIBI

Negli anfibi solo gli anuri, rane e rospi, producono suoni ben evidenti. L'apparato vocale è molto specializzato, funziona ad aria e questo consente di produrre suoni molto variati e intensi con un basso dispendioso a differenza dei pesci che usano i muscoli. Si tratta di suoni perlopiù usati come richiamo sessuale, quindi molto specie-specifici e facilmente riconoscibili anche a distanza. In molte specie un apposito "sacco vocale" collocato sotto la gola consente non solo di accumulare l'aria necessaria per vocalizzare ma anche di diffondere i suoni

meccanismo di produzione del suono.



- P polmoni
- L laringe
- S.v. sacco vocale
- Co cavità orale
- O canale vocale



Rana dalmatina
registrata sott'acqua



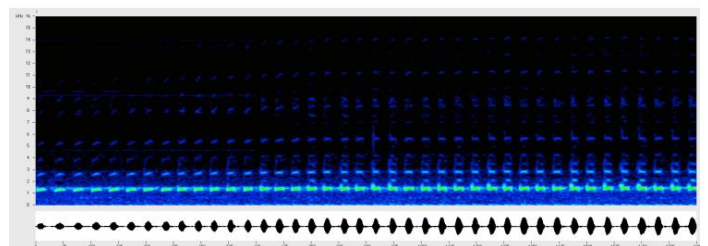
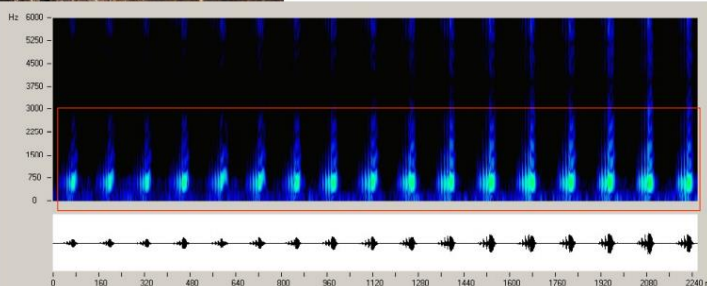
Con Rospo comune



Smeraldino

Bufo viridis

specie opportunistica e colonizzatrice di pozze di recente formazione con vegetazione acquatica scarsa o assente.



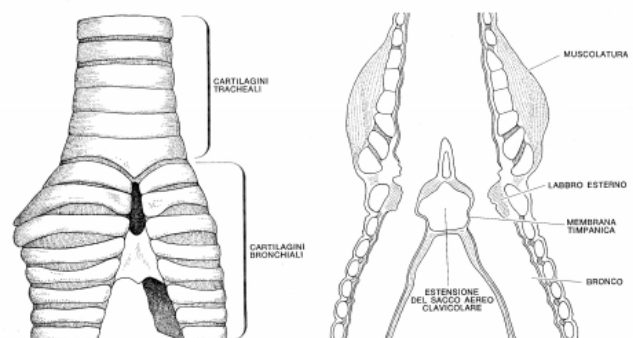
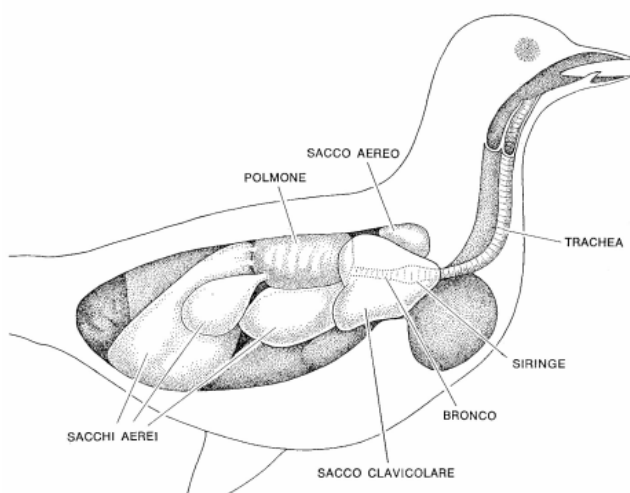
RETTILI

Nei rettili la comunicazione acustica è poco diffusa, e anche poco studiata. Gecki, alligatori e tartarughe producono brevi suoni soprattutto nel periodo dell'accoppiamento.

UCCELLI

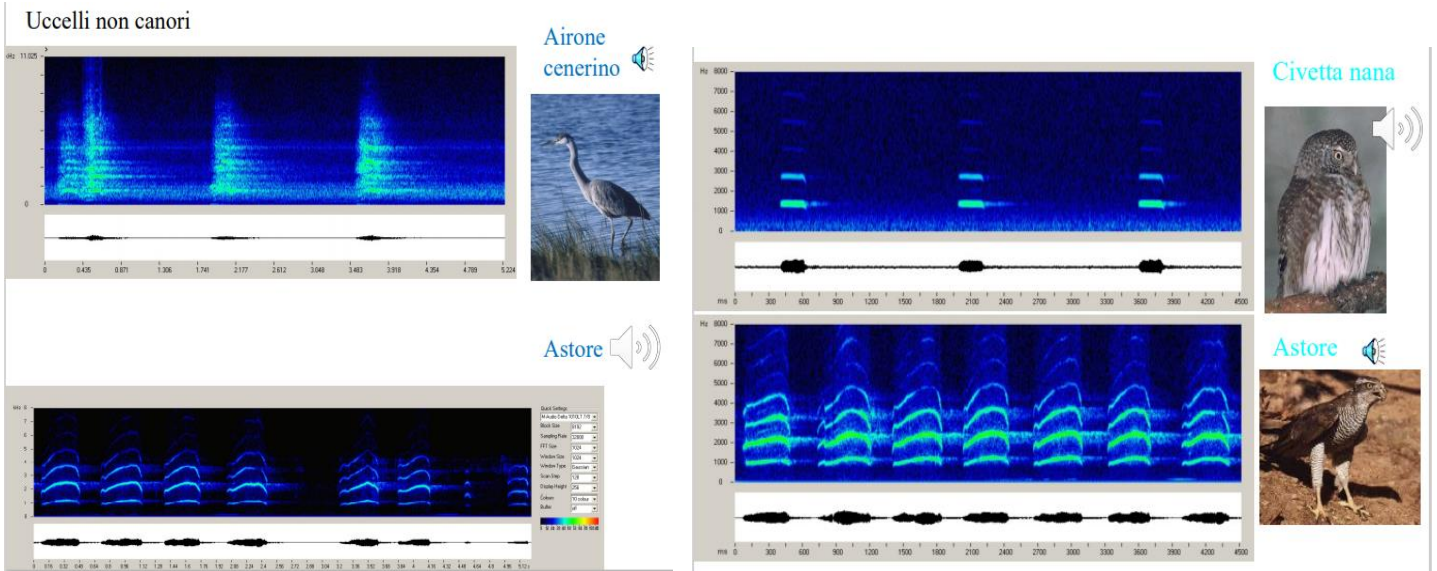
Negli uccelli la comunicazione acustica è invece diffusa in praticamente tutte le specie con forme anche vistose e complesse. Si distinguono gli uccelli **non canori** che hanno vocalizzazioni semplici e ripetitive perlopiù determinate geneticamente, dagli uccelli **canori** che sono invece caratterizzati da veri e propri canti anche molto complessi le cui caratteristiche sono variamente determinate da imprinting, apprendimento, innovazione, imitazione ed eredità genetica. Questa differenza corrisponde a comportamenti ed esigenze ecologiche molto diverse. Gli uccelli non canori sono di **grandi dimensioni** e frequentano soprattutto spazi aperti dove la visione è il senso più importante. I canori, invece, sono piccoli e abitano ambienti con vegetazione densa dove la vista è impedita e quindi il suono diventa l'elemento più importante per la comunicazione e il mantenimento dei contatti. Tanto importante che certe specie morfologicamente simili si differenziano unicamente tramite il canto. Negli uccelli, l'affermazione del suono come strumento di comunicazione è avvenuta grazie alla **siringe**, piccolo organo situato nell'apparato respiratorio dove i bronchi si congiungono nella trachea. Le membrane della siringe hanno un fine controllo neuromuscolare che consente di produrre suoni intensi e molto variati con il flusso d'aria proveniente dai polmoni.

L'abilità nell'uso della siringe raggiunge la massima evoluzione negli uccelli canori.



Da Greenwalt, 1970

Il controllo neuromuscolare diventa molto preciso e raffinato, con anche la possibilità di pilotare in modo indipendente le due membrane siringeali per produrre il cosiddetto “duetto interno”. Il canto si impara iniziando con l’imprinting e avanza con l’apprendimento per esperienza



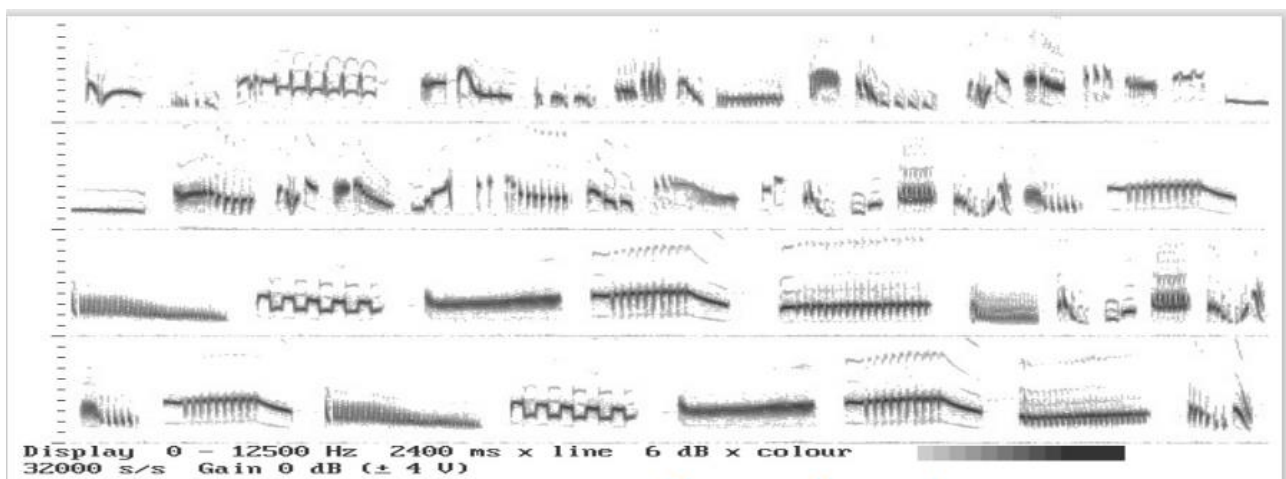
Gli uccelli non canori come l’airone l’astore o la civetta nana emettono versi poco vari e ricorrenti costituiti da un unico verso. Per gli allocchi l’unica cosa che cambia è che i maschi riecono a emettere un canto per il loro riconoscimento individuale solo cambiando la terza nota.



Gli uccelli canori producono canti complessi costituiti da un continuo succedersi di note diverse. Al nostro orecchio sembrano un fluire continuo di suoni, solo la rappresentazione grafica ci mostra la loro reale struttura.

Si tratta di note ben strutturate, ciascuna con una forma precisa, emesse in sequenze organizzate; perfettamente udibili dal fine orecchio degli uccelli, devono essere rallentate per diventare ben riconoscibili dal nostro orecchio.

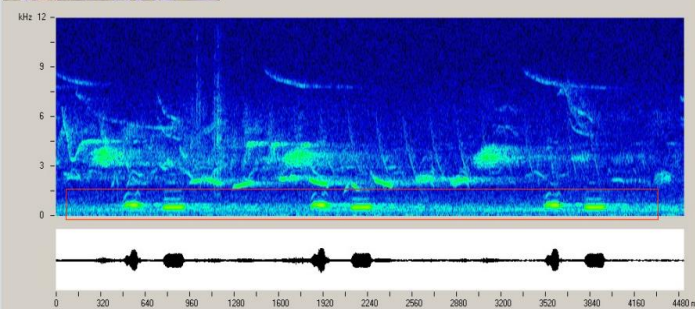
Le capacità uditive e vocali di ciascuna specie sono reciprocamente adattate. Le differenze di udito fra specie e specie non sono date solo dalla gamma di frequenze udibili ma anche dalla risoluzione temporale, che è la capacità di sentire come separati suoni consecutivi. Gli uccelli hanno una risoluzione temporale 10 volte superiore a quella dell'uomo, come dire che un canto deve essere rallentato 10 volte perché l'uomo lo possa sentire bene riconoscendone tutte le note componenti.



Cuculo

Cuculus canorus

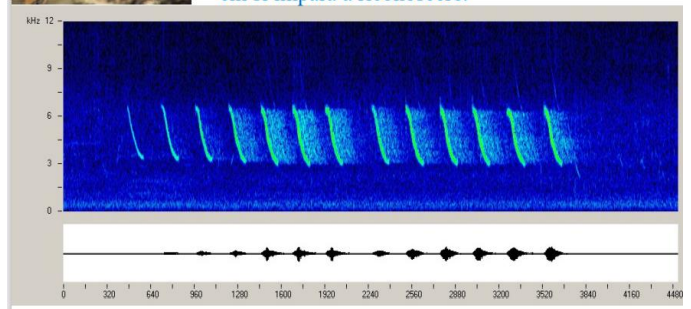
Frequenta tutti gli habitat forestali, preferisce le caducifoglie, ma si trova anche nelle campagne alberate, e nelle zone umide. Evita gli spazi aperti.



Cincia bigia

Parus palustris

Nelle cince i canti sono generalmente costituiti da sequenze molto rapide di note strutturalmente semplici. Per questo le cince sono le prime specie che si impara a riconoscere.



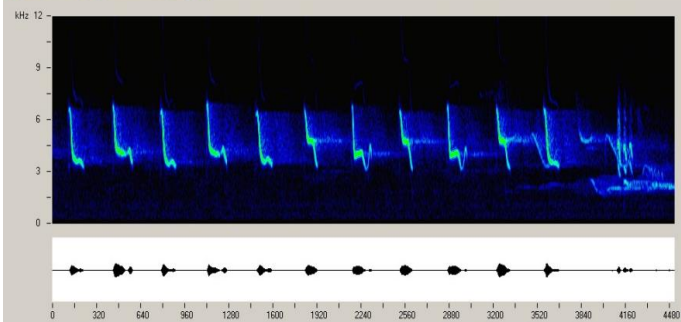


Lui piccolo

Phylloscopus collybita

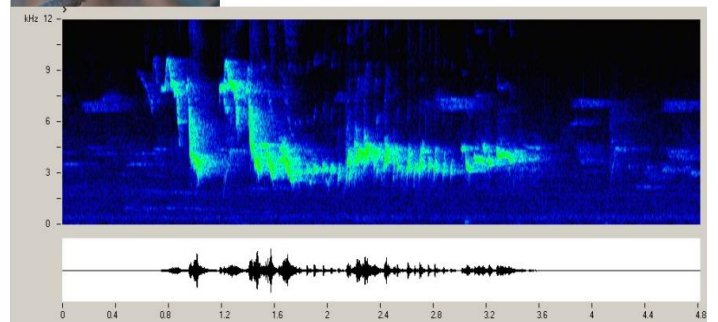


Tipico in zone boschive ma anche agricole purchè con alberi e arbusti, nidifica anche in giardini e parchi



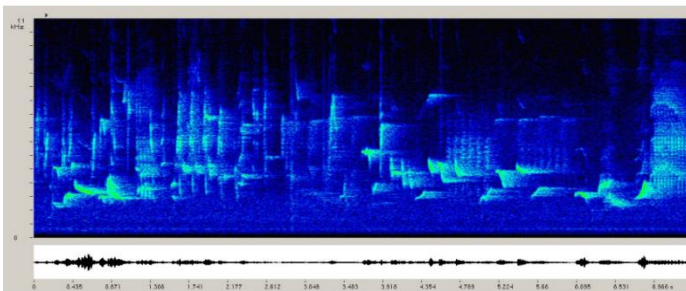
Pettirosso

Erithacus rubecola



Merlo

Turdus merula

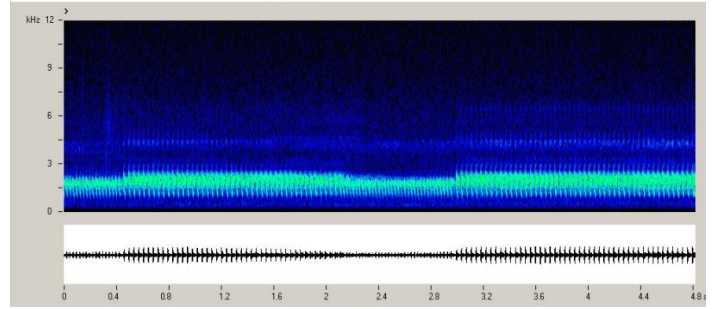


Succiacapre

Caprimulgus europaeus



Preferisce i versanti di bassa collina soleggiate e asciutti, con boschi aperti e radure, con sottobosco, anche confinanti con coltivi, prati, incolti

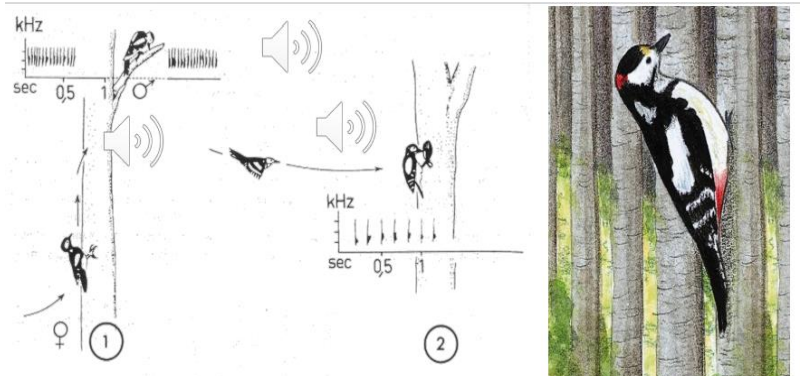
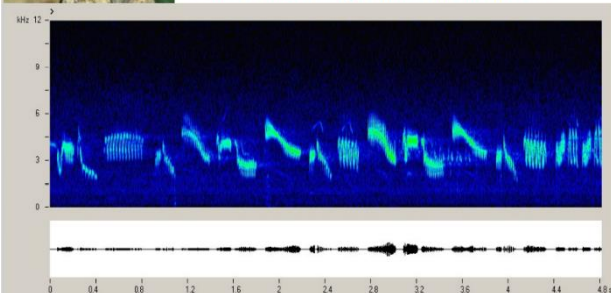


Allodola

Alauda arvensis



Predilige gli spazi aperti, campagne più o meno coltivate, steppe, prati, pascoli e dune sabbiose, sia in pianura che in quota. Nidifica a terra. Caratteristico il lungo canto emesso in volo.



Altre specie associano ai suoni vocalici i suoni strumentali, prodotti ad esempio percuotendo un tronco con il becco, come nei picchi. E anche in questo caso ogni specie ha il proprio ritmo caratteristico.

MAMMIFERI

Nei mammiferi si è sviluppata la capacità di articolare suoni complessi, con varie tonalità, grazie alla laringe che produce un suono base e alla cavità orale che ne modella le caratteristiche spettrali.

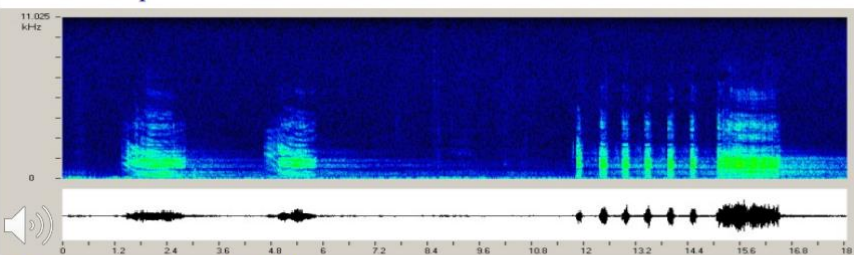
Nell'uomo la plasticità del linguaggio vocale nasce dal fine controllo neromuscolare di tutta la cavità orale. Le diverse vocali e consonanti sono prodotte modificando la conformazione del cavo orale (posizione della lingua, del palato e delle labbra).

L'apparato vocale umano consente di produrre una quasi infinita varietà di suoni e quindi di articolare infiniti messaggi, condizione essenziale per lo sviluppo di linguaggi evoluti.

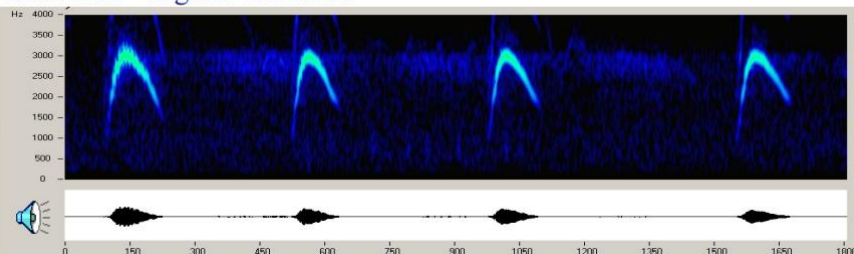
Nei mammiferi si è anche sviluppata la capacità di **ecolocalizzare**, cioè di individuare ostacoli e prede con l'emissione di suoni e l'ascolto degli echi provenienti dall'ambiente circostante. Comparsa in forma rudimentale in alcuni uccelli cavernicoli, questa abilità si è sviluppata nei pipistrelli (**Chiroteri**) e nei delfini (**cetacei odontoceti**).



Cervo – sequenza di bramiti



Marmotta – segnali di allarme

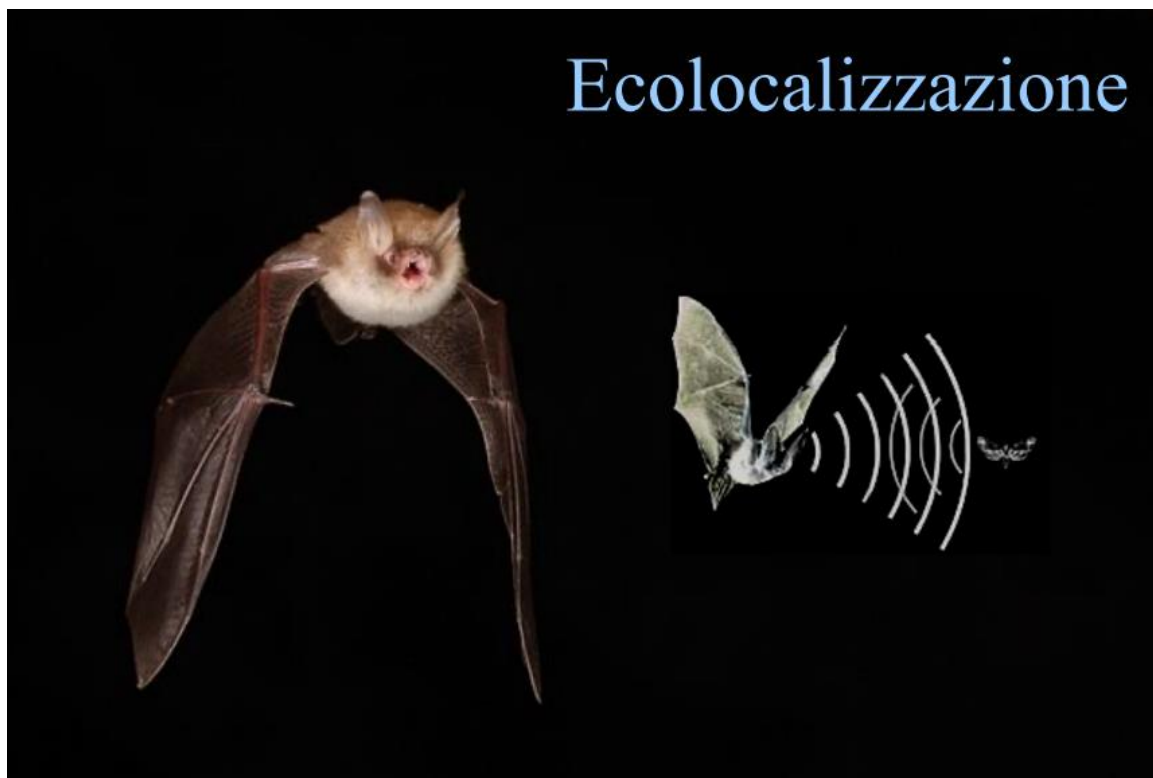


Nella stagione riproduttiva, all'inizio dell'autunno, i maschi di cervo si esibiscono vocalmente emettendo i "bramiti", soprattutto all'imbrunire e durante la notte. I bramiti hanno marcate differenze individuali e con essi ciascun maschio informa le femmine e i potenziali competitori delle sue dimensioni, forza e forse carattere. L'analisi di queste caratteristiche consente di effettuare il "censimento al bramito". Le marmotte emettono segnali di allarme per

l'avvistamento di predatori nel momento in cui stanno svolgendo il ruolo di vedetta nella comunità, e modulati a seconda del pericolo

Oppure i piccoli roditori, oltre a suoni udibili, emettono anche ultrasuoni fino a 100kHz soprattutto come segnali di allarme, di disagio e di richiesta di aiuto. I piccoli di topo domestico per le prime due settimane di vita devono essere riscaldati dalla madre, nel nido. Se si allontanano dal nido si raffreddano ed emettono un "allarme termico" a circa 50-70 kHz che consente alla madre di ritrovarli e riportarli nel nido anche nella completa oscurità.

Al contrario dei piccoli roditori che emettono ultrasuoni, i grandi elefanti emettono suoni a bassa frequenza e infrasuoni che si propagano su lunghe distanze, anche parecchi chilometri. Con questi segnali infrasonici gruppi di elefanti anche distanti possono comunicare tra loro, ad esempio per segnalare la presenza di pozze d'acqua.



L'ecolocalizzazione è la capacità di individuare un oggetto tramite l'emissione di un breve segnale acustico, generalmente ultrasonico, e l'ascolto dell'eco riflesso dall'oggetto. Questa capacità si è sviluppata in modo rudimentale in alcuni uccelli cavernicoli, ma ha raggiunto una piena funzionalità solo in alcuni mammiferi: nei pipistrelli e nei cetacei odontoceti.



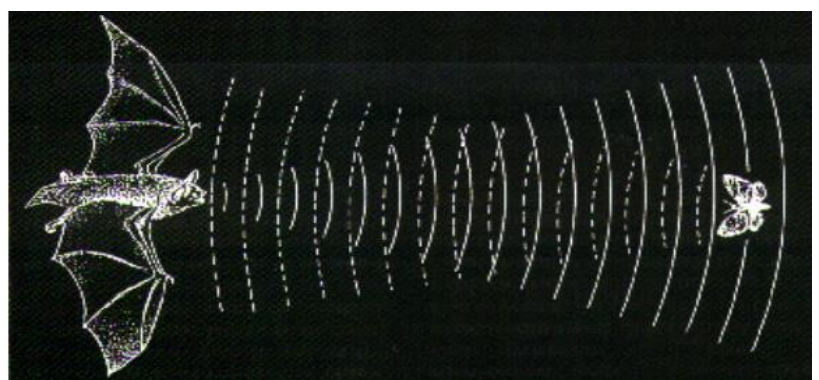
L'ecolocalizzazione serve a individuare ed evitare ostacoli ed orientarsi ma anche a individuare, inseguire e catturare le prede nella completa oscurità.

L'ecolocalizzazione è indispensabile per i **pipistrelli**: sono animali notturni, vivono in colonie all'interno delle grotte o nei sottotetti di vecchi edifici. Volano e cacciano nella completa oscurità!

I delfini invece vivono in un ambiente dove la luce penetra solo per poche decine di metri e dove comunque la vista è limitata a pochi metri, o anche molto meno nel caso di acque torbide. In particolare i delfini che vivono nei grandi fiumi (Gange, Rio delle Amazzoni, Yangtze, Mekong) con acque torbide hanno limitata capacità visiva e si affidano quasi unicamente all'ecolocalizzazione.

Lazzaro Spallanzani, scienziato italiano del 1700, per primo intuì che i pipistrelli dovevano avere una speciale abilità sensoriale per volare, orientarsi ed evitare gli ostacoli nella completa oscurità. Pur non avendo i sofisticati strumenti che oggi rivelano gli ultrasuoni emessi dai pipistrelli, ideò e realizzò una serie di esperimenti per studiare il loro volo nel buio. Preparò una stanza completamente oscurata e vi tese dei sottili fili collegati a delle campanelle così se i pipistrelli li avessero urtati, le campanelle avrebbero suonato. Fece volare dei pipistrelli con gli occhi bendati e questi volarono senza problemi, ma quando fece volare pipistrelli con i canali auricolari tappati con la cera, questi non riuscirono a evitare i fili. Tali impulsi, fra 30 e oltre 100 kHz, inaudibili dall'uomo, sono brevi e modulati in frequenza (**FM**); solo nei pipistrelli **rinolofi** sono invece a frequenza quasi costante (**CF**) e con durata maggiore che raggiunge i 100ms, i primi producono i suoni dalla laringe ed escono dalla bocca mentre nei rinolofi, escono dal naso, infatti il loro naso ha delle membrane paraboliche che

focalizzano il suono frontalmente. Spallanzani individuò quindi nell'udito un elemento essenziale per il volo notturno dei pipistrelli, ma solo dopo il 1940 si scoprì che i



pipistrelli emettono brevi impulsi ultrasonici e con l'ascolto e interpretazione dei relativi echi individuano prede e ostacoli

Gli impulsi vengono generati nella laringe e proiettati all'esterno dalla bocca o dal naso, che nei rinolofi assume una conformazione particolare. Gli echi riflessi dall'ambiente sono recepiti grazie ad ampi padiglioni auricolari quindi analizzati e

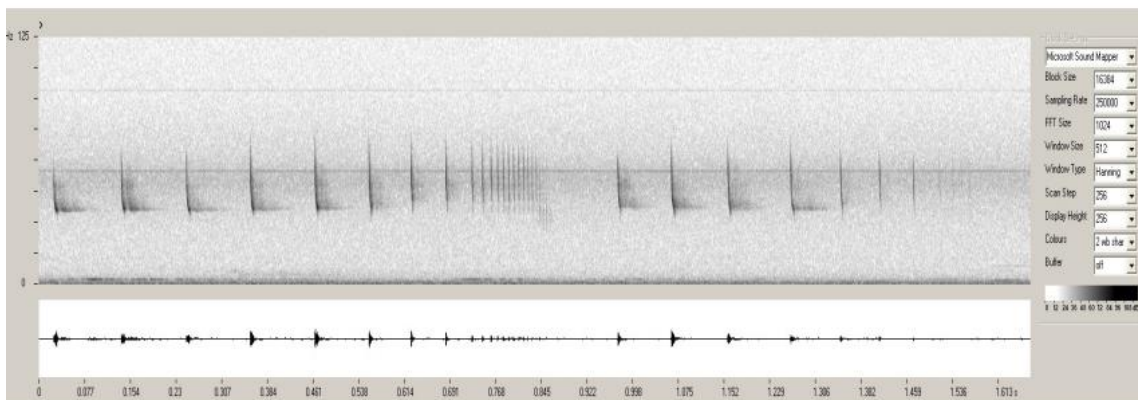


interpretati per fornire numerose informazioni. Se si tratta dell'eco di una preda, quindi di un insetto in volo, il **ritardo** fra impulso emesso e ritorno dell'eco indica la distanza, la **struttura spettrale** dell'eco fornisce informazioni sulle dimensioni della preda infatti più un oggetto è grande maggiore sarà l'energia che riflette quindi basse le frequenze, il contrario per gli oggetti piccoli, le modulazioni doppler indicano la sua velocità relativa e anche la frequenza di battito delle ali.

Con queste informazioni il pipistrello può pianificare l'attacco e determinare con precisione il punto di intercettazione della preda, a meno che la preda non metta in atto particolari comportamenti

antipredatori.

Un classico esempio di coevoluzione è rappresentato da varie specie di farfalle, perlopiù notturne, percepiscono i segnali ultrasonici emessi dai pipistrelli loro predatori e attuano specifici comportamenti antipredatori; alcune specie incominciano a volare a zig-zag per non farsi intercettare, altre chiudono le ali e si lasciano cadere. Ma quelle più specializzate emettono impulsi ultrasonici per confondere (jamming) i pipistrelli in caccia.



Ricognizione

Sequenza di caccia

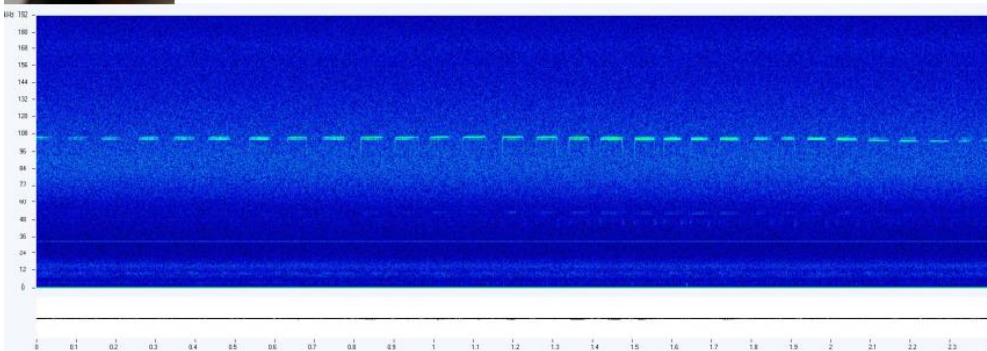
Ricognizione e orientamento

quando un pipistrello è in volo lancia continuamente degli impulsi sonori che sono chiamati di **ricognizione**, che sono molto ritmici, durante i quali si trova nella fase di ricerca della preda, se percepisce la presenza di un oggetto che può essere una preda, comincia ad aumentare la frequenza degli impulsi per aumentare la precisione sulla localizzazione, il riconoscimento ed eventualmente la cattura



Ferro di cavallo minore

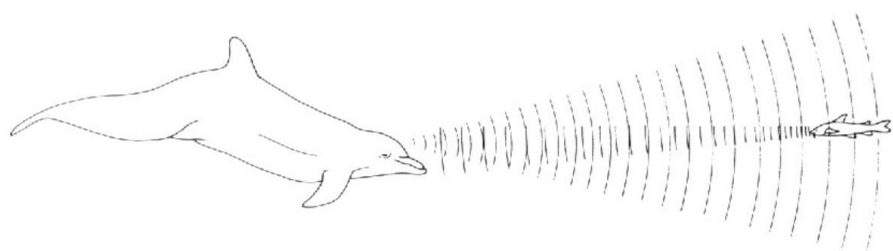
Rhinolophus hipposideros



Sequenza in volo, sono caratteristici di questa specie i segnali a circa 108 kHz a frequenza costante

L'ecolocalizzazione si è sviluppata anche nei cetacei odontoceti, ma per analogia con i SONAR navali, questa capacità è chiamata BioSonar. SONAR è l'acronimo di Sound Orientation, Navigation and Ranging. Nel capodoglio, che compie immersioni anche a oltre 1000 metri di profondità, il biosonar è indispensabile per sentire la distanza dal fondo marino.

I cetacei odontoceti sono in grado di perlustrare l'ambiente producendo forti segnali impulsivi (click): analizzando l'onda riflessa dagli oggetti colpiti (eco) possono avvertire la presenza, la distanza, la dimensione, la direzione di spostamento e la consistenza di una potenziale preda, di un ostacolo o di un pericolo. Come i pipistrelli hanno la capacità di ecolocalizzazione. In cattività un tursiopo è in grado di discriminare una sfera di acciaio di 2.5 cm a 72 metri di distanza. Questa abilità è preziosa ed è usata con tursiopi appositamente addestrati a scovare le mine sui fondali marini.



Nei delfini gli impulsi di ecolocalizzazione vengono prodotti nel tratto terminale dell'apparato respiratorio e vengono proiettati all'esterno attraverso il melone, una struttura adiposa che si trova frontalmente al cranio che agisce come "lente acustica" per focalizzare gli impulsi nella direzione frontale. Nei mammiferi marini l'apparato uditivo è modificato rispetto ai mammiferi terrestri, gli echi vengono recepiti dai tessuti sub mandibolari e convogliati attraverso speciali canali acustici di tessuto adiposo verso l'orecchio interno.

Appunti da aggiungere

lez 9-10

slide "il microfono"

il sistema a bobina mobile, il primo ad essere utilizzato, è molto semplice e consiste in una membrana che vibra con il suono e una bobina elettrica alle spalle con un magnete posto ancora dietro. Il suono causa la vibrazione della membrana che vibra insieme alla bobina, il movimento della bobina rispetto al magnete provoca una variazione elettrica che poteva essere registrata

"regole generali"

il self noise è il rumore interno generato dal microfono stesso e che disturba la percezione dei suoni nell'ambiente, un microfono con un self noise di 20 dBA non può percepire suoni al di sotto di quel valore

"da analogico a digitale"

la registrazione analogica consiste in sistemi che funzionano in modo coordinato, ma è tutto basato su movimenti fisici che traducono il suono in un segnale elettrico, per questo la lavorazione sulla registrazione originale risultano complicate e molto limitate, a differenza del digitale dove lavorare sulla registrazione originale non comporta perdite della qualità o compromissioni dell'originale, ovvero quanto accade per l'analogico... una copia di una registrazione analogica non è della stessa qualità dell'originale, nel digitale non c'è distinzione tra copia e originale.

il passaggio al digitale comporta due aspetti: il primo è che il segnale non viene replicato in modo continuo ma registrato e replicato a intervalli di tempo regolari che corrispondono alla frequenza di campionamento detti cicli. Il secondo è che ciascun campione del segnale deve essere trasformato in un numero, rappresentato in un quantitativo di bit. Se abbiamo una frequenza di campionamento sufficientemente alta e un range di valori di bit abbastanza alti possiamo definire la registrazione relativamente fedele e di qualità

min. 53 lez 3 per chiarire aliasing

c/s= campioni al secondo

cd= disco

dat=registratore digitale a nastro

hd/sd= hard disk/schede di memoria

in questi tre diagrammi vengono rappresentati tre diversi sistemi di registrazione agli estremi, uno molto arretrato e uno più avanzato a 8 bit. Nel primo si nota che sono presenti solo 4 livelli (0,1,2,3), e la differenza tra l'andamento della curva del suono reale e quello registrato è molto visibile, questo errore viene rappresentato dalla linea verde al centro che si chiama rumore di campionamento, al contrario nel sistema a 8 bit l'errore di campionamento è molto ridotto.

"ad overload"

quando si registra in digitale bisogna tenere conto di diversi fattori per avere una registrazione di buona qualità, quindi bisogna sapere adeguare il sistema di registrazioni al tipo di sonorità che si vuole registrare. In questo diagramma nell'asse orizzontale è rappresentata la frequenza che arriva fino alla metà della frequenza di campionamento e su quello verticale c'è invece l'intensità dei suoni che nell'ambito della registrazione ha come picco gli 0 dB e viene valutata in valori negativi a differenza della realtà. Superando lo 0 dB il segnale è irriconoscibile andando invece sotto un certo valore subentrano i self noise del microfono del convertitore del registratore ecc. che devono stare tutti più o meno allo stesso livello. Quindi per una buona registrazione bisogna restare nello spazio bianco che aumenta al crescere del numero di bit

lez 11-12

"il guadagno(amplificazione)"

le parabole più sono grandi e più sono sensibili alle frequenze più basse, per un corretto funzionamento esse devono avere un diametro maggiore della lunghezza d'onda del suono per poterlo convogliare nel fuoco della parabola, quindi una parabola di 30 cm può andare bene fino a 500 Hz assolutamente inutile per esempio per registrare il gufo reale per il quale servirebbe una parabola da almeno 120 cm

“microfoni ultradirezionali”

in questi microfoni il suono che entra frontalmente attraversa l'intera lunghezza del microfono mentre quelli fuori asse entrano dalle fessure ai lati percorrendo un viaggio differente che porta all'attenuazione

LEZ 13-14

“analisi e visualizzazione del suono”

l'oscilloscopio è il classico analizzatore di segnali, che consente di vedere sul proprio monitor la forma d'onda del segnale, è utile specialmente per visualizzare forme d'onda periodiche e molto statiche, per cui è ormai in disuso

“analisi dei suoni”

con l'oscillogramma è già possibile osservare se si tratta di suoni sinusoidali, con modulazioni, stazionari o anche confusionari è comunque limitato perché è visualizzabile solo un tratto limitato dell'intera registrazione

con l'involuppo si ha una visione più di insieme ma si perde il dettaglio della forma d'onda con lo spettro istantaneo si ha invece una visuale di un intervallo di tempo minimo che permette di analizzarne bene le caratteristiche come la frequenza spesso lo spettrogramma è accompagnato da un involuppo

“teorema di fourier”

la fase indica la posizione delle sequenze l'una rispetto alle altre, quindi se sono sfalsate o meno non possiamo sapere se vi sono variazioni all'interno perché lo assumiamo come stazionario e non possiamo collocarlo nel tempo la segmentazione del segnale varia a seconda della sua struttura per segnali più complessi e caotici si avrà la necessità di segmentarlo in molte porzioni molto piccole

“fft analysis”

con la trasformata di fourier si prende un segmento del segnale espresso in funzione del tempo e lo si cambia nel dominio (in funzione) delle sole frequenze in cui non si ha più il tempo, e facendo l'analisi in frequenza si ottiene una figura chiamata spettro che ci dice da quali frequenze è composto il pezzetto (window) di segnale che abbiamo trasformato

“(del) to exit”

quello in basso rappresenta lo window di un oscillogramma che è stato trasformato, quello in alto rappresenta lo spettro ottenuto che indica che la sua frequenza è costante e corrisponde a un certo valore

“forme d'onda..”

l'ultimo segnale è un segnale composto dalla somma dei primi due e la cui trasformazione li riporta infatti entrambi

rivedere lez da 45' alla fine

lez 15-16

“sound level meters”

gli strumenti che consentono di registrare il suono sono microfono e registratore ma questi non sono poi in grado di fornire informazioni sul volume del suono registrato perché lo strumento viene sottoposto a regolazioni utili ad avere un segnale di qualità ma che non ha un volume fedele, per esempio un suono molto debole viene amplificato per essere registrato. Per questo si usa il fonometro il cui unico compito è quello di riferire la pressione acustica del suono, esistono fonometri di tipo 0,1,2,3

“il livello di pressione sonora”

il fonometro restituisce solo valori istantanei, per avere una visione d'insieme di un periodo più o meno prolungato si fa una media che viene chiamata livello equivalente (LEq) che riporta nello stesso intervallo di tempo lo stesso contenuto di energia sonora contenuto nel rumore reale sotto forma di valore costante anche se non dà indicazione sulla forma del segnale con eventuali picchi e cali

“slide con diagramma blu dal 16 al 20 maggio”

nello spettrogramma in basso si notano i canti degli uccelli dai 2k ai 5/6k Hz in verde di giorno quindi alle alte frequenze con valori in dB intorno ai 50, nelle stesse fasce orarie ci sono a frequenze minori i rumori di fondo che arrivano fino a 70 dB. Queste fasi che sono quelle giornaliere si alternano con le notti che si evidenziano alle alte frequenze con rumori molto bassi di 20 dB e intorno ai 50 dB alle basse frequenze

