



Università degli Studi dell'Insubria
Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate

Master di I livello “Fauna e *Human Dimension*”

La musica della natura: melodie per la tutela dell'ambiente

Relatore: Prof. Antonio Maria Orecchia

Candidata: Federica Teti
Matricola n. 728311

Anno Accademico 2023-2024

Indice

1. Tra note, versi, richiami e canti.....	2
2. Le origini della musica.....	5
3. Da ispirazione per i primi musicisti a bene da tutelare per gli artisti successivi.....	25
4. Melodie per la tutela dell'ambiente.....	35
4.1 Gli Uccelli: i cantanti più famosi.....	39
4.2 L'ecolocalizzazione dei pipistrelli: la musica che “non sentiamo.....	49
4.3 I suoni segreti sotto il pelo dell'acqua.....	58
4.4 Hei, mi senti? Sto parlando con te.....	71
5. Quando la musica fa bene e non solo all'anima.....	76
Ringraziamenti.....	81
Riferimenti.....	82

1. Tra note, versi, richiami e canti

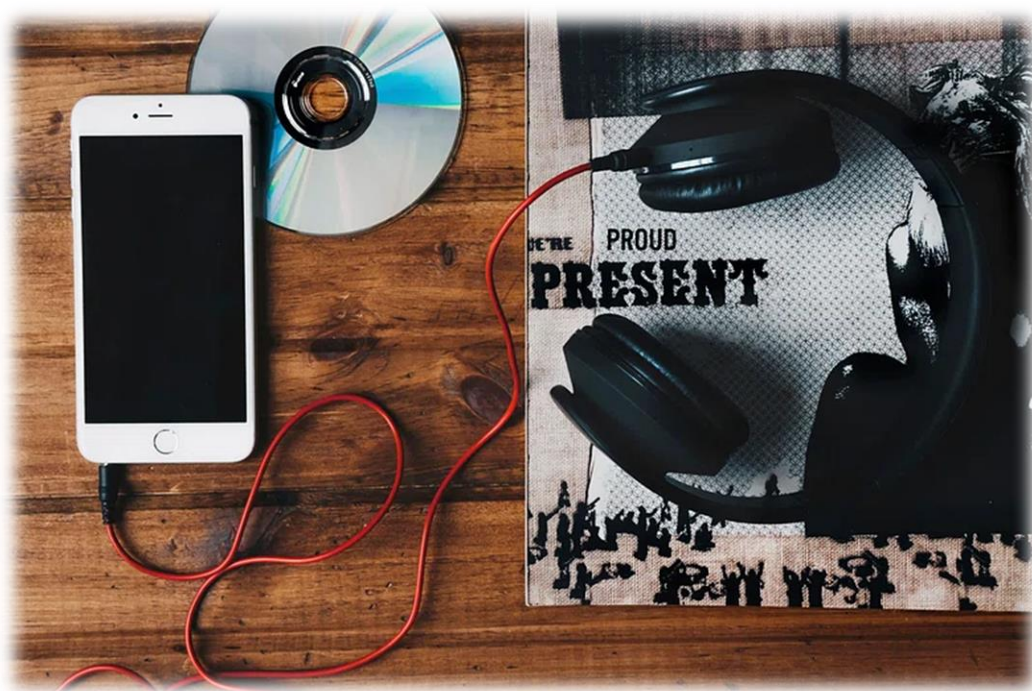


Figura 1. headphone image, CCO 1.0 DEED, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>, via rawpixel

Prendi una situazione, versala su un foglio bianco, aggiungi le sensazioni che hai provato e mescola il tutto. Assaporando manca qualcosa per valorizzarla al meglio... ah sì, un pizzico di note ed ecco la resa perfetta. Ecco che arrivano quel formicolio allo stomaco e la pelle d'oca che ci fanno sentire forti emozioni.¹ Ma com'è possibile? Che succede a livello della nostra mente quando sentiamo la musica? I ricercatori Narayan Sankaran, Matthew K. Leonard, Frederic Theunissen e Edward F. Chang sono stati incuriositi dalla questione ed hanno condotto uno studio i cui risultati sono disponibili su *Science Advances*.²

Non serve essere esperti per conoscere la musica

Ma partiamo dagli ingredienti alla base della produzione musicale. **Una melodia è composta da una sequenza di note, ognuna diversa dall'altra per la sua frequenza. Questa caratteristica è**

¹ Federica Teti, "La ricetta segreta della musica: la lista degli ingredienti e come vengono interpretati a livello cerebrale", articolo di Pikaia – Il portale dell'evoluzione, 8 aprile 2024

² Narayan Sankaran, Matthew K. Leonard, Frederic Theunissen and Edward F. Chang "Encoding of melody in the human auditory cortex", Proceedings of Science Advances, 16 February 2024 doi: 10.1126/sciadv.adk0010

definita col termine specifico di *pitch*, quindi ogni melodia è riassumibile in una sequenza di *pitch*. Terminologia tecnica a parte, non serve essere musicisti per avere una conoscenza delle strutture alla base delle canzoni, anche se in maniera inconsapevole. Durante le nostre giornate, infatti, siamo sottoposti a una serie di melodie: basti pensare per esempio a quando, mentre siamo al volante, ci facciamo accompagnare dal sottofondo della radio oppure a una giornata di shopping con la musica che permea gli ambienti dei centri commerciali. **Determinati schemi e sequenze risultano familiari alle nostre orecchie e alla nostra mente.** Siamo abituati a sentire successioni di note, al loro accostamento che percepiamo come piacevole e, se qualcosa non torna, notiamo tutta la dissonanza. Non sappiamo dare una spiegazione tecnica magari, ma è chiaro e cristallino se ci sia qualcosa che non vada.

I tre ingredienti alla base della musica attivano diverse regioni cerebrali

Pitch, passaggio da un pitch al seguente e aspettative degli ascoltatori relative a una sequenza musicale, sono i tre fattori esaminati dai ricercatori. Più nel dettaglio lo studio è stato condotto su otto pazienti, nessuno di loro musicista, già sottoposti a trattamenti per l'epilessia intrattabile. A ciascuna persona sono state impiantate griglie di elettrodi a livello della corteccia cerebrale ed è stata osservata la risposta delle varie regioni in seguito alla riproduzione di tracce musicali, secondo lo stile occidentale, con strumenti e generi diversi: classico, jazz e folk. I ricercatori hanno osservato come la regione che veniva attivata per la percezione del pitch fosse differente da quella che rispondeva al passaggio da una nota a quella successiva e ancor diversa era la regione attivata per la previsione e aspettativa sulla struttura della melodia, dimostrando quindi la presenza di **zone dedicate in maniera specifica all'analisi dei tre aspetti.** Indipendentemente dalla specificità di ruolo di queste regioni però, gli studiosi hanno notato come a livello meramente spaziale, **le regioni dedicate a queste dimensioni della musica siano localizzate in zone altamente sovrapposte lungo l'asse posteriore-anteriore della circonvoluzione temporale superiore, mostrando quindi la presenza di una regione precisa dedicata alla percezione della musica.**

Anche le parole sono composte da suoni, come le interpreta il cervello?

Il team di ricerca ha voluto fare un ulteriore passo nell'analisi delle nostre reazioni ai suoni, riflettendo anche sull'interpretazione a livello cerebrale del registro parlato. Per ottenere questi dati i pazienti sono stati sottoposti a registrazioni di frasi e si è visto come le regioni dedicate al pitch e al cambiamento di nota rispondevano anche con queste nuove tracce audio, mentre le restanti deputate alle aspettative musicali rimanevano silenziose. Per approfondire la questione quindi i ricercatori hanno creato un terzo tipo di stimolo, acusticamente identico al parlato, ma con un'organizzazione dei pitch come nelle melodie.

Il risultato è un **“discorso melodico” ottenuto alterando l’altezza di ogni sillaba, in modo tale che la frase si avvicinasse il più possibile alla scala musicale caratterizzante la musica occidentale.** Altri 11 ascoltatori sono stati sottoposti alle nuove tracce e hanno tutti dichiarato di percepire una melodia. **Lo stesso stimolo è stato poi sottoposto a due pazienti coinvolti negli esperimenti con gli elettrodi ed è risultata un’attivazione a livello della corteccia cerebrale molto simile alla risposta alle registrazioni audio unicamente musicali.** Anche in questo caso, analizzando le caratteristiche proprie del “discorso melodico” e delle risposte neuronali è stato possibile osservare **come l’aspetto principale di queste reazioni fosse la caratteristica relativa alla codifica dell’aspettativa melodica.**

Si può quindi osservare **come a livello cerebrale ci sia un’area organizzata deputata alla percezione generale dei suoni, all’interno della quale si trova una regione specifica relativa alle aspettative sulle sequenze musicali, istruita col tempo dall’ascolto personale.**

La musica ci accompagna costantemente, ci aiuta e dà la carica in giornate no oppure è un dolce sottofondo. Ma da dove è nato tutto questo?

Non sempre sono inoltre necessarie chitarre, pianoforti, fiati... proviamo a toglierci le cuffie, abbassare il volume della radio, ed ecco, una serie di suoni si incastrano e si alternano. Suoni di origine perlopiù antropica, se ci troviamo in città, ma tra un clacson arrabbiato e un treno di passaggio, si possono sentire gli uccelli che cantano, forse un po’ costretti ad urlare. Il mondo naturale è ricco di versi e richiami, di messaggi affidati alle vibrazioni di aria e acqua. Questo può esserci d’aiuto per svelare chi siano gli abitanti un po’ più “timidi” del pianeta senza per forza vederli. I loro richiami possono essere studiati e registrati per comprenderli, scoprire le loro abitudini e poterli quindi aiutare e proteggere. **Le melodie della natura si stanno rivelando un prezioso aiuto per la tutela dell’ambiente.**

2. Le origini della musica

Soffio del vento, rombo di tuono, scroscio di pioggia sono state le prime ispirazioni per la produzione sonora. L'uomo del Paleolitico utilizzava la musica come mezzo per connettersi con la natura, esprimere sé stesso e comunicare con gli altri: la vita quotidiana era piena di sfide da affrontare e la comunicazione era alla base della sopravvivenza. Per far fronte a questa necessità *Homo Sapiens* ha iniziato a produrre suoni, dapprima battendo mani e piedi, per giungere successivamente all'ideazione di percussioni sfruttando pietre e bastoni. Il passo per la produzione di strumenti a fiato è stato poi breve. Alcuni manufatti di questa tipologia, ricavati da ossa di animali, sono stati ritrovati durante scavi archeologici, soprattutto in Europa e sono risalenti al Paleolitico superiore.³ I più antichi strumenti musicali conosciuti risalgono a 40.000 anni fa. Nello specifico i primi flauti venuti alla luce provengono dalle caverne Swabian Jura, nel Sud-Ovest della Germania. La maggior parte di questi sono stati ricavati da ossa di uccello, prevalentemente radio o ulna di avvoltoio, ma anche da osso di cigno, mentre alcuni sono stati lavorati da avorio di mammut. Un'altra serie di ritrovamenti a Isturitz, in Francia, comprende circa 20 antichi flauti in osso di uccello, anche se l'età di questi varia ampiamente, da 32-35 mila anni fa a 11-17 mila anni fa.



Figura 2. Replica di un flauto del Paleolitico superiore da Geißenklösterle, *Foto di José-Manuel Benito, liberamente distribuibile e adattabile sotto licenza Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic Estratto da http://en.wikipedia.org/wiki/File:Flauta_paleol%C3%ADtica.

Uno dei flauti più antichi finora scoperti è stato ritrovato a Hohle Fels, in Germania e ricostruito a partire da frammenti. Lo strumento è costituito dal radio di un grifone (*Gyps fulvus*) e la porzione conservata del flauto, che i ricercatori presumono essere l'oggetto completo, è lunga 21,8 cm, con un diametro di 0,8 cm. Il corpo dello strumento è stato raschiato, per renderlo liscio e i fori per le dita sono stati creati da depressioni concave assottigliate, forate con l'uso di un attrezzo. L'estremità

³ Killin, A. (2018). "The origins of music: Evidence, theory, and prospects." proceedings of Music & Science, 1, Doi: 10.1177/2059204317751971

dell'osso è stata lavorata in modo da formare due V, ipoteticamente per ottenere una fessura per la bocca. Sono stati osservati dei segni vicino ai fori per le dita: i ricercatori pensano quindi che ci possa essere uno studio alla base del loro posizionamento, magari ai fini di creare una determinata scala musicale. A supporto di questa ipotesi, gli esperimenti di ricostruzione dei flauti preistorici rinvenuti nelle caverne Swabian Jura hanno mostrato la capacità di riprodurre una vasta gamma di toni possibili. Questi flauti primitivi sono quindi considerabili come strumenti musicali veri e propri.

Altri scavi, questa volta in Israele, hanno portato allo scoperto l'insediamento di Eynan–Mallaha, dove si è sviluppata la cultura Natufiana.⁴ Sette gli strumenti ritrovati qui, di cui uno completo, mentre dei restanti sei sono rimasti alcuni frammenti.⁵

Scelte precise per una produzione musicale consapevole

Gli aerofoni provenienti da Eynan–Mallaha sono realizzati a partire dalle ossa lunghe delle ali, in particolare un omero, cinque ulne e un radio, le cui sezioni centrali sono state perforate da una a quattro volte per formare i buchi su cui posizionare le dita. **La diafisi cava, caratteristica delle ossa di uccello, fornisce un tubo ottimale per la costruzione di aerofoni.** Nei tre casi in cui le epifisi, ovvero le estremità dell'osso, sono ancora presenti, anch'esse presentano fori, probabilmente per insufflare aria con la bocca. Sono inoltre visibili delle incisioni vicine ai buchi, che si suppone fossero pensate per suggerire il posizionamento delle dita. **Tutti gli strumenti rinvenuti mostrano segni di usura, a indicare che sono stati effettivamente utilizzati.** Poiché questi reperti sono parzialmente incrostati, il team di ricercatori ha sfruttato uno scanner Micro-CT, ovvero i raggi X, per osservarli al meglio. Dalle analisi risulta che le ossa utilizzate siano di alzavola eurasiatica (*Anas crecca*) e folaga eurasiatica (*Fulica atra*). Per quattro aerofoni le osservazioni sono state in grado di condurre unicamente al genere *Anas*, le dimensioni delle ossa sono associabili a quelle delle piccole anatre identificate nel sito.

La **scelta di utilizzare ossa di uccelli di dimensioni ridotte** solleva però qualche interrogativo. I Natufiani di Eynan – Mallaha, infatti, cacciavano altre specie più grandi, come rapaci (*Accipitridae*), uccelli acquatici come oche e cigni e soprattutto il germano reale (*Anas platyrhynchos*). **La scelta di ossa più piccole sembra quindi non essere relativa alla disponibilità di avifauna, quanto alla tipologia di suono prodotto.** Questa decisione non è priva

⁴ Federica Teti, "Alle origini della musica: come i suoni degli uccelli hanno ispirato Homo sapiens", articolo di Piakia – Il portale dell'evoluzione, 14 luglio 2023

⁵ Davin, L., Tejero, JM., Simmons, T. et al. "Bone aerophones from Eynan-Mallaha (Israel) indicate imitation of raptor calls by the last hunter-gatherers in the Levant.", proceedings of Scientific reports, 09 giugno 2023

di conseguenze, poiché tanto più stretto è il diametro dell'osso, maggiore è la difficoltà nel suonare. **Per sviluppare la giusta agilità e maestria è quindi richiesta una buona dose di pratica.** Inoltre, il fatto che, contrariamente a quanto si osserva in diverse culture archeologiche del Paleolitico superiore europeo, i Natufiani utilizzassero diversi tipi di ossa alari, probabilmente rivela **la ricerca di una produzione sonora variegata.** Entrando nel dettaglio, nei tre aerofoni che conservano almeno un'epifisi, le estremità delle ossa sono state perforate dalla pressione e presentano segni di usura da contatto di varia intensità. Sull'aerofono completo, l'epifisi prossimale è stata perforata due volte per formare l'imboccatura. Le due perforazioni non sono di uguali dimensioni, il che potrebbe essere stato fatto di proposito per influenzare il flusso d'aria, dato che la forma dell'imboccatura condiziona la sonorità e il modo di suonare lo strumento musicale. **La selezione della tipologia di ossa, la disposizione dei fori e i metodi dietro la realizzazione di questi strumenti inducono a pensare che siano il prodotto di un'attività umana ragionata e consapevole.**

Una musica composta da suoni simili a quelli degli uccelli?

Dalle analisi e dalle riproduzioni sperimentali (con le repliche degli aerofoni), **i suoni prodotti sono risultati paragonabili ai versi di gheppio e sparviero.** Questo ha portato a ipotizzare che gli strumenti potessero avere un ruolo nella loro caccia, producendo una sorta di richiamo ma, con un totale di sette aerofoni che riproducono i canti di un numero ridotto di specie rispetto a quelle identificate sul sito, il loro utilizzo come esche non sembra plausibile. Gheppio e sparviero erano comunque i rapaci più familiari e facilmente osservabili. Il cervello umano viene "plasmato" dai suoni circostanti, come sostiene la *sonic affinity theory*, di conseguenza, i richiami di questi uccelli hanno probabilmente influenzato lo sviluppo cerebrale dei Natufiani di Eynan – Mallaha. Le testimonianze etnografiche e archeologiche provenienti da varie regioni del mondo dimostrano costantemente che **i suoni vocali e strumentali di imitazione degli uccelli hanno un alto valore simbolico in musiche tradizionali e danze.** È ormai chiaro che l'evoluzione della musica al momento della transizione a una vita sedentaria, con una conseguente intensificazione della complessità socioculturale, è stata più ramificata di quanto si possa pensare. **L'esplorazione dell'acustica dei Natufiani offre una nuova prospettiva su questo periodo cruciale della storia umana.**

Il più antico flauto realizzato invece con avorio di Mammut conosciuto risale a circa 40 mila anni fa ed è sempre originario della Germania, proveniente da un insediamento Aurignaziano. Rispetto all'osso di uccello, la produzione di flauti in avorio richiede maggiore abilità, precisione e sforzo. Il radio e l'ulna derivanti dagli uccelli sono naturalmente cavi e già di dimensioni adeguate, oltre a

essere leggeri e robusti e quindi più facili da lavorare. L'avorio invece è di dimensioni maggiori ed è anche stratificato. La procedura di lavorazione è complessa, in quanto una sezione di avorio deve essere tagliata alla lunghezza giusta, poi ancora a metà. Segue quindi il passaggio di rimozione delle lamelle del nucleo e solo successivamente le due metà del flauto possono essere unite con una sostanza legante che deve creare una tenuta ermetica affinché il tubo produca un suono. I flauti in avorio di mammut sono un'impressionante dimostrazione di abilità nella produzione e nell'uso delle materie prime e l'impegno necessario fa presumere l'importanza della musica per *Homo Sapiens*. Le ricostruzioni di questi strumenti però suggeriscono che, sebbene sia i flauti in avorio che quelli in osso di uccello fossero in grado di produrre una gamma di note paragonabile a quello dei flauti moderni, i flauti d'avorio sono solo equivalenti o addirittura inferiori a quelli in osso di uccello per alcuni aspetti, in particolare a causa degli effetti dell'umidità sulla sostanza legante mentre si suona lo strumento. Dopo circa 30 minuti di riproduzione, la qualità del suono si riduceva e le metà del flauto dovevano essere incollate nuovamente o perlomeno risistemate per ripristinarne l'ermeticità. I flauti d'avorio erano quindi non solo costosi da produrre, ma anche da mantenere. L'impegno necessario per la fabbricazione di questi manufatti può riflettere una crescente differenziazione sociale nel Paleolitico superiore: l'avvento dell'agricoltura e di una vita più sedentaria hanno portato allo sviluppo di una società organizzata in gerarchie. **Questo aspetto ha colpito anche la musica, con una maggiore sofisticazione degli strumenti e dei sistemi musicali.** Si è aperto così un divario tra esecutore e pubblico, distinguendo i musicisti dai non musicisti. Dai ritrovamenti archeologici è emerso poi come, nelle antiche civiltà di varie regioni del mondo, sembra che la musica abbia preso completamente la connotazione di forma d'arte.

Le tombe nell'Antico Egitto: scrigni ricchi di strumenti musicali

Molte sono le testimonianze provenienti dall'Antico Egitto: la loro ricca iconografia ha permesso ai ricercatori di conoscere un mondo che veniva tramandato da musicista a musicista, senza lasciare nulla di scritto.⁶ **La musica era strettamente associata all'esercizio del potere, ai rituali religiosi, alle cerimonie di stato, alla danza, all'amore e alla morte.** Queste opere d'arte raffigurano una varietà di strumenti suonati da esperti esecutori di alto rango, tra cui membri di dinastie reali e divinità. L'importanza della musica nella vita dell'Antico Egitto è dimostrata dal fatto che più di un quarto di tutte le tombe della necropoli, rinvenuta nel sito della città di Tebe, è decorato con iconografie raffiguranti scene musicali. Cantanti, arapisti, suonatori di strumenti a fiato ad ancia, di

⁶ Barbara Faenza, "La musica nell'antico Egitto", articolo di National Geographic, Storica, 06 luglio 2022

liuto, lira e tamburo, donne che battono le mani e danzano, spesso accompagnando processioni o in occasione di feste pubbliche riempiono di colore le pareti. Le reliquie mostrano flautisti che suonano nei campi durante la raccolta dell'orzo e coppie di battitori di bastoni che si esibiscono durante la vendemmia. Un frammento parla di canti di pescatori, un altro di musica che accompagnava i rematori, presumibilmente per incoraggiare la voga ritmica e per tenere alto lo spirito. Oltre ai rilievi, ai testi, alle sculture e ad altri manufatti che raffigurano musicisti, gli archeologi hanno portato alla luce diversi strumenti, come lira, liuto, canna e tamburello. Per esempio, la tomba di Tutankhamon è stata lo scrigno di strumenti musicali, conservati al riparo dalle intemperie per oltre 3.300 anni.

Tra i più antichi e famosi strumenti si trova il *sescescet* o sistro sacro alla dea Hathor, formato da una lamina di bronzo piegata a ferro di cavallo allungato nella quale venivano inserite trasversalmente tre o più barrette mobili ripiegate all'estremità: agitando lo strumento le asticelle risuonavano percuotendo il telaio in cui erano collocate. Il sistro veniva utilizzato da sacerdotesse, principesse e regine durante le cerimonie religiose ed è tuttora utilizzato nella liturgia cristiana della chiesa copta in Etiopia. Ci sono poi le arpe, ad arco ed angolari: le prime, raffigurate già durante l'Antico Regno (2575-2125 a.C.), erano costituite da un unico pezzo di legno la cui curvatura ricordava un arco militare e le corde venivano attaccate a ciascuna estremità. Le seconde invece, apparse nel Nuovo Regno (1550–1069 a.C.), presentavano una forma molto simile alle arpe moderne.⁷ Una distinzione fondamentale dell'arpa angolare risiedeva nella costruzione del telaio principale, che era composto da



Figura 3. Sistro metallico. 350 a.C. Museo egizio di Berlino (dalla pubblicazione)

due pezzi uniti tra loro e che spesso era molto decorato. Questa seconda tipologia di arpa sembra essere un rimaneggiamento dell'arpa ad arco egiziana da parte degli abitanti della Mesopotamia, per poi arrivare nuovamente in Egitto, grazie al contatto tra le due culture. Questa supposizione deriva

⁷ Christine Kappel, "Ancient Egyptian Harp -Its origins and status within the Ancient Egyptian society", 09 novembre 2016

dal fatto che le rappresentazioni dell'arpa ad arco in Egitto sono precedenti a quelle in Mesopotamia, dove però poi successivamente viene rappresentata quella angolare prima di essere apparsa in Egitto. L'origine dell'arpa sembra essere sul campo di battaglia, forse una scoperta casuale da parte di un arciere, resosi conto della musicalità della sua arma. Da qui possono essere poi partite sperimentazioni per arrivare al modello finale. Con poche e isolate eccezioni, la maggior parte delle rappresentazioni visive indicano che l'arpa veniva suonata da un uomo, il che potrebbe suggerire ulteriormente le sue origini militari. Le decorazioni murali della tomba di Merefnebef, della VI dinastia, a Saqqara, ritraggono un'arpa suonata da un uomo, mentre un altro esempio di arpista proviene dalla tomba di Mereruka, dove è raffigurata una scena intima in ambienti privati, in cui la moglie di Mereruka suona l'arpa per il marito, ma rappresentazioni di arpisti di sesso femminile sono rare. **Musicisti, in questo caso sia uomini e che donne, erano parte integrante del personale del tempio e già dall'Antico Regno sono documentate delle vere e proprie "Compagnie dei musicisti del tempio", la cui direzione era affidata a donne di alto rango. Gli egizi ritenevano la musica un'offerta al pari di cibi e bevande e cerimonie di questo tipo erano all'ordine del giorno.** Non esisteva una divinità votata alla musica, ma alcune le erano particolarmente legate. È il caso della già citata dea Hathor, il cui strumento sacro era il sistro, e del dio Bes, che spesso suonava un tamburello o un'arpa mentre seguiva il corteo festoso appunto a seguito della dea Hathor. Nell'ambito della guerra invece, il tamburo, *kemkem*, accompagnava i soldati, durante il periodo del Nuovo Regno. Poteva essere di varie dimensioni e avere forma cilindrica o a barile e alla struttura di legno o metallo venivano fissate con chiodi, lacci o colla delle membrane di cuoio. La tromba, *sceneb*, invece è rappresentata in molte scene di festeggiamenti, dopo la vittoria sul campo di battaglia. Tra gli strumenti rinvenuti nella tomba di Tutankhamon, vennero ritrovate due trombe, una d'argento e una di rame, che, rimaste in silenzio per oltre tremila anni, vennero fatte suonare per la BBC il 16 aprile del 1939.

Successione di culture e strumenti in Mesopotamia

Tornando invece alla Mesopotamia, la musica seguì le diverse tradizioni artistiche dei numerosi popoli che abitarono le terre fra il Tigri e l'Eufrate, fra questi i Sumeri, gli Accadi, gli Assiri e gli Ittiti. **Gli archeologi hanno portato alla luce tavolette cuneiformi, risalenti al 2.600 a.C. che descrivono in dettaglio ed elencano gli strumenti musicali e forniscono alcune istruzioni su come suonarli, presentando forse la prima notazione musicale.**⁸ Tra gli strumenti dell'epoca si

⁸ "Musica della Mesopotamia", By Arteantica, Arte dell'antichità, Arte della Mesopotamia, 23 novembre 2017

va dal più classico flauto, chiamato *gi-bu*, “tubo lungo”, che non era dotato di imboccatura e veniva tenuto in posizione quasi verticale, a uno strumento simile all’odierno oboe, chiamato *chirimia*. Questo era formato da due tubi costruiti in argento, di uguale lunghezza, con quattro fori e senza bocchino. Le trombe dritte e le trombe a spirale sono comparse solo nel periodo assiro, dove venivano usate per le segnalazioni dell’esercito. Tra gli strumenti a corda, la lira, chiamata *kitara*, è considerato lo strumento sumero nazionale. Lire preziose, adornate con lastre d’oro, argento e conchiglia con profusione di illustrazioni, sono state rinvenute nelle tombe reali di Ur. L’artista si sedeva davanti allo strumento che era di grandi dimensioni, quindi appoggiato a terra, e suonava le corde con entrambe le mani. Questa versione venne poi modernizzata, creandone una a mano, la cui prima immagine riprodotta proviene dall’era babilonese. Un altro strumento a corda era il liuto chiamato *pantur*, cioè piccolo arco musicale. La sua esistenza è documentata in riproduzioni babilonesi del secondo pre-millennio cristiano. Del periodo sumero sappiamo ben poco ma gli studiosi ritengono che fin da quell’epoca i rapporti fra musica e riti fossero già strettissimi e stabiliti in modo che gli Assiri non abbiano poi fatto altro che svilupparli ulteriormente.⁹ Uno strumento, considerato rituale per eccellenza era il *balag*, una specie di timpano con cassa di risonanza, nominato in molti testi. Il *balag* accompagnava le cerimonie religiose svolte all’interno dei templi dove sacerdoti stessi di ambo i sessi, detti *nar*, erano musicisti, alcuni talmente famosi e ammirati da essere ricordati: questo è il caso del sacerdote Ushumgal-Kamma e della sacerdotessa, Ni-dagal-ki. Anche presso gli Assiri le cerimonie religiose erano accompagnate da musica sacra, suonata da sacerdoti, un rango sociale di alto rilievo. Per quanto riguarda invece i musicisti coinvolti nelle celebrazioni laiche, di guerra o banchetti, gli esecutori erano stranieri, talvolta addirittura nemici caduti.

Musica e spiritualità in India, due realtà inseparabili

In India invece dal 3200 a.C. era presente la Civiltà della valle dell’Indo. Scavi in questa regione hanno portato alla luce rappresentazioni di danzatrici e musicisti, in particolare negli scavi di Harappa e Mohanjodaro, dando testimonianza della diffusione di tali attività intellettuali, probabilmente già di alto livello. Dal 2500 a.C. poi, durante il periodo chiamato dagli studiosi Vedico, ci giungono statuette di fanciulle danzanti in bronzo che raffigurano strumenti musicali a corda. Nel corso della lunga storia dell’India, gli strumenti musicali si sono intrecciati con le tradizioni religiose indù a tal punto che isolare le caratteristiche puramente musicologiche sarebbe

⁹ Antonio Delisa, “Musica assiro-babilonese”, By Nuova Storia Culturale e Visuale – New Cultural and Visual History, 14 giugno 2022

un'impresa. **Sebbene esistano tradizioni che considerano strumenti musicali come invenzioni umane, la situazione in India è unica in quanto la maggior parte degli aspetti della musica, compresa la teoria e i numerosi strumenti, sono stati associati a esseri divini e alle verità spirituali fin dall'antichità.** Alcuni studiosi ipotizzano che la musica indiana debba la sua origine ai Sāma Veda, gli inni vedici che venivano cantati con un'intonazione e un accento particolari,



Figura 4. Saraswati che imbraccia un ekatantri vīṇā da Gorakhpur, Uttar Pradesh, 12th c.; al momento si trova al Lucknow State Museum (dalla pubblicazione)

utilizzati nelle opere religiose. **La dea indiana Saraswati, presente in quasi tutti i testi dell'India antica a partire dal 1000 a.C., è sempre raffigurata con in mano una veena o vīṇā, uno strumento a corde pizzicate la cui storia documentata risale circa al 1500 a.C., che simboleggia l'apprendimento e la conoscenza.**¹⁰

Le prime vīṇā indiane erano simili ad arpe con il ventre cavo ricoperto di pelle e completato da un braccio di legno ricurvo e incavato. Le corde, che si estendevano dal braccio alla pancia dello strumento, potevano essere in numero variabile e venivano pizzicate con le dita o con un plettro. Questi strumenti sono ampiamente citati nella letteratura indiana più antica, dai periodi vedico, epico, buddista e jainista e la vīṇā più diffusa, chiamata *mattakokila*, si ritiene fosse un'arpa con 21 corde. L'antico *tritantrīvīṇā*, noto anche come *jantra* o *jantar*, invece aveva tre corde e quindi potrebbe essere il precursore del *sitār*. Il *jantra* era usato per accompagnare i poeti o per insegnare musica a studenti. Un altro strumento, il

śatatantrīvīṇā, caratterizzato dall'averne cento corde, è il predecessore del *santūr*. Si ritiene che la base del principio di produzione del suono nel *santūr*, che comprendeva il percuotere le corde con piccole bacchette, sia stato successivamente applicato alla costruzione del pianoforte occidentale, in cui le corde sono percosse da tasti meccanici. Nel Ramayana, un testo epico risalente al 1900 a.C., viene menzionato un ottimo musicista e teorico della musica di nome Ravan insieme con strumenti

¹⁰ Anurag Gupta and Chaitali Dangarikar, "Design, construction and material of an Ancient Indian String Instrument", proceedings of ISMA 2019

musicali come il *veena* e il *mridang*, una sorta di tamburo, tra i più apprezzati.¹¹ Questo è composto da un corpo di legno cavo e massiccio con la forma caratteristica di due tronchi di cono posti uno di fronte all'altro, uno dei quali è più lungo. Sulle due estremità sono tese le due pelli di tamburo, dotate ciascuna di un anello di serraggio anch'esso in pelle e sono tenute in tensione da una corda di cuoio che passa attraverso le aperture degli anelli in 16 punti equidistanti. Otto blocchi cilindrici di legno inseriti a intervalli regolari sotto la fune forniscono i mezzi per una regolazione approssimativa della tensione.¹² Tra gli strumenti a percussione il *dundubhi* aveva un importante ruolo nelle cerimonie vediche ed era considerato sacro.¹³ La forma più antica di *dundubhi* era costituita da una fossa nel terreno su cui veniva tesa la pelle di un bue. La coda dell'animale veniva usata per battere il tamburo. Successivamente poi, al posto della fossa, la pelle venne tesa su una sorta di ciotola di terra e lentamente le sue dimensioni vennero ridotte sempre più per facilitarne il trasporto da parte di cavallo, cammello o asino, ma anche per essere portato al collo dal musicista. Una cerimonia che coinvolgeva questi tamburi e un'arpa era il *mahāvratā*, un tipo di rito che aveva lo scopo di rafforzare il sole al momento del solstizio d'inverno. Tra tutti gli strumenti a percussione presenti in India, si ritiene che i cimbali forniscano la manifestazione più distinta e accurata della misura del tempo. Il capitolo 31 del *Nāṭyaśāstra* è intitolato *Tālavdhānam*, tradotto “Sugli strumenti di misura del tempo”, il principale dei quali era il *ghana*, proprio un cimbalo. Associato mitologicamente a *Brahmā*, il cembalista era il principale *tāladhārin*, ovvero il contatore della misura del tempo nell'antichità e fungeva da unico custode del ritmo. La misurazione del ritmo musicale era parallela al conteggio delle sillabe nella recitazione dei mantra vedici e delle sequenze di azioni rituali. La consapevolezza del significato e della funzione dei cimbali nella misura del tempo e del fatto che erano associati a canti speciali in vernacolo chiamati *dhruva* nei *Nāṭyaśāstra*, contribuisce a una più profonda comprensione della loro ampia diffusione nella musica devozionale vernacolare del periodo medievale e moderno. Nella letteratura vedica si trovano abbondanti riferimenti a strumenti a fiato, tra i quali il flauto, chiamato *vaṃśī*, *bāṃsurī*, o *veṇu*. Ci sono ampie prove in sculture e dipinti che dimostrano come il flauto era molto popolare sia per le esibizioni da solista sia per l'accompagnamento. Testi come il *Sangītaratnākara* hanno enumerato non meno di 15 varietà di flauto. Il *bāṃsurī* è il più noto e immortalato nella mitologia indiana per la sua inseparabile associazione con *Kṛṣṇa*, soprattutto per il suo ruolo nel convocare i suoi devoti alla danza rotonda celeste chiamata *rāsālīlā*.

¹¹ “Storia della musica indiana”, sito web <https://www.remoscano.it/storia-della-musica-indiana>

¹² Raman, M.A., “The acoustical knowledge of the ancient Hindus”, proceedings of Asutosh Mookerjee Silver Jubilee, 1922

¹³ Guy L. Beck, “Divine Musical Instruments”, 18 febbraio 2013

In Cina la musica arriva grazie all'ingegno degli imperatori

Restando in tema di miti, secondo una leggenda cinese, la musica fu inventata dal grande imperatore Fu Hsi, il primo dei cinque "Governanti Divini", nel 9953 a.C. circa, che ideò il *ch'in*.¹⁴ Sebbene questo termine sia comunemente tradotto come "liuto" o "salterio", lo strumento non era propriamente né l'uno né l'altro, poiché le corde erano ferme, a differenza di quelle del salterio, e non aveva il manico simile a una penisola tipica del liuto o, per dirla in modo più preciso, era tutto manico e niente corpo. Il numero di corde sembra essere variato nel corso dei secoli, anche se sette sono state lo standard dell'ultima dinastia. In origine doveva essere lungo 366 decimi di pollice, perché si riteneva che l'anno contenesse un massimo di 366 giorni, mentre la larghezza dello strumento era di 6,6 pollici. **Poiché queste dimensioni erano divisibili per 3, il *ch'in* era considerato simbolo del Cielo, della Terra e dell'Uomo.** I primi *ch'in* raffigurati nell'arte cinese sono probabilmente quelli sulle lastre di pietra della dinastia Han. All'epoca in cui il *ch'in* fu inventato, si suppone che Fu Hsi abbia ideato una variante a 50 corde, ma rimase così profondamente colpito dal pathos della musica, che ordinò immediatamente di dimezzarne il numero. L'imperatrice Niu Wa, un'altra sovrana leggendaria, che si dice fosse la sorella di Fu Hsi, è accreditata dell'invenzione dello *sheng*, l'organetto cinese ad ancia libera. Questo era essenzialmente costituito da un gruppo di canne di diversa lunghezza inserite in un contenitore cavo, o camera d'aria. Ogni tubo conteneva una sottile canna di metallo ed era dotato di un foro per le dita. Nell'antichità sembra che esistesse in due dimensioni: il più grande, con 19 canne, era chiamato *ch'ao*, "nido d'uccello", l'altro, con 13 canne, portava il nome di *ho*, "concordia". Un certo Kratzenstein, organaro di San Pietroburgo, in qualche modo acquistò uno *sheng* e da esso concepì il principio del moderno organo a canne libere. Altri autori riconoscono nello *sheng* l'antenato della fisarmonica e dell'organo a bocca europeo, l'armonica. Qualunque sia il legame con gli strumenti europei di tipo simile, lo *sheng* era uno dei più popolari tra gli strumenti cinesi, come attestano i riferimenti nei testi classici e la frequenza con cui è raffigurato nelle opere d'arte. A questo proposito è **interessante notare la curiosa usanza di attribuire l'invenzione dei principali strumenti e sistemi musicali ai loro imperatori: praticamente ogni innovazione di rilievo ha origine nella corte imperiale.** Huang Ti, l'"Imperatore Giallo", è ricordato per aver formalizzato la scala con i pifferi, o *lüs*, da lui stesso ideati. Si racconta che mandò un certo Ling Lung, uno dei suoi ministri, a procurarsi bambù di spessore uniforme da un luogo chiamato Tahsia, a ovest delle

¹⁴ Robert W. Marks, "The Music and Musical Instruments of Ancient China", *The Musical Quarterly*, Oct., 1932, Vol. 18, No. 4 (Oct., 1932), proceedings of Oxford University Press

montagne K'uenlin, in una valle nota per la regolarità del bambù. Ling Lung tagliò il segmento tra due nodi che, secondo una versione della storia, fu usato per generare il primo tono, o fondamentale, della scala cinese. Parlando sempre di imperatori, si suppone che il primo set di pifferi di Pan sia stato inventato, come molti altri strumenti, musicali e non, dall'imperatore Shun intorno al 2255 a.C. ed è probabile che si tratti di un'evoluzione naturale del *lüs*.

Tra gli strumenti indigeni della Cina, i più interessanti sono i rintocchi di pietra, i *pien ch'ing*. La data precisa dell'invenzione o dell'introduzione in Cina del *pien ch'ing*, non è nota, ma un riferimento in una delle prime odi dello Shih Ch'ing stabilisce il suo uso prima dell'inizio della dinastia Chou, nel 1122 a.C. Lo strumento, che sopravvive ancora oggi, è composto da sedici pietre di dimensioni uniformi sospese a un grande telaio in due file uguali. Le pietre, di forma quadrata, differiscono l'una dall'altra solo per lo spessore. In passato, tuttavia, sembra che ci fosse una gradazione nelle dimensioni. Una lastra di pietra proveniente dalle tombe Wu (dinastia Han), mostra Confucio che suona su un rintocco contenente nove pietre smussate e di dimensioni diseguali. La scena raffigurata corrisponde a un episodio riportato negli Annaletti: «Il Maestro stava suonando un giorno su una pietra musicale a Wei, quando un uomo, che portava un cesto di paglia, passò davanti alla porta della casa dove si trovava Confucio e disse: "Ha il cuore pieno chi batte così la pietra musicale"». **Questo racconto illustra, in una certa misura, come veniva considerato il *pien ch'ing* in Cina in un'epoca in cui per il resto del mondo, gli strumenti a percussione non erano altro che funzionali a sostenere il ritmo.**

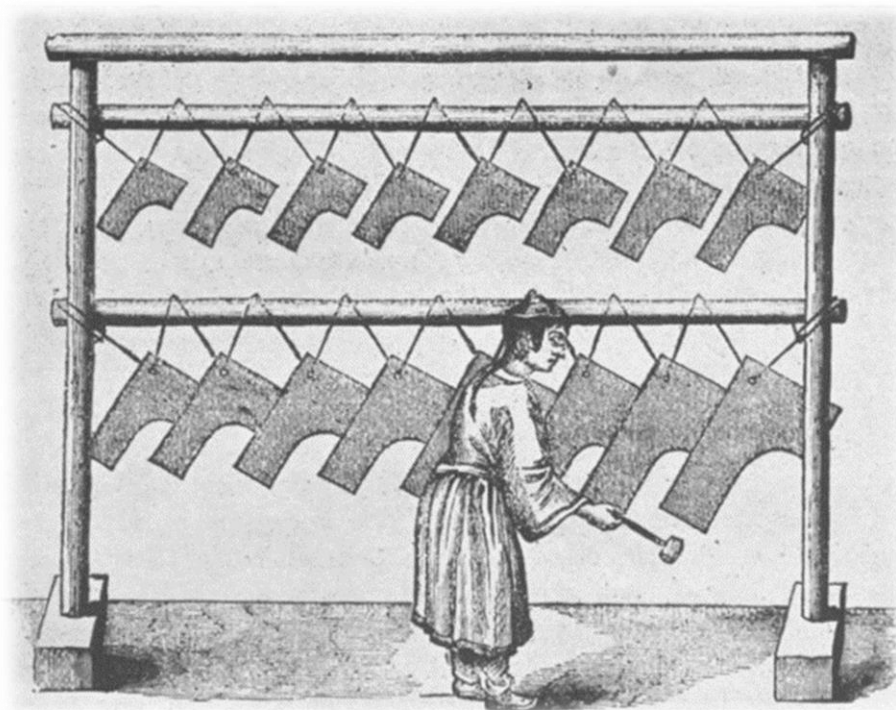


Figura 5. Pien ch'ing, by courtesy of the Metropolitan Museum of Art, New York (dalla pubblicazione)

Altri strumenti simili e caratteristici sono gong e campane. Un set di 65 gong in bronzo a tre livelli e scala cromatica, datato intorno al 500 a.C., ha stupito le comunità di ricerca archeologica ed etnomusicologica quando è stato scoperto negli anni '70.¹⁵ Tenuto insieme nella camera centrale della tomba del marchese Yi di Zeng, il più grande dei rintocchi di gong pesa oltre 200 kg. Nel 1978 una serie di 65 campane cinesi in bronzo, risalenti al V secolo a.C., è stata portata alla luce nella provincia di Hubei, nel sud della Cina. Le antiche iscrizioni hanno confermato quello che gli studiosi moderni cominciavano a sospettare, ovvero che le campane fossero costruite in modo tale che ognuna di esse potesse produrre suoni con due pitch, ovvero due frequenze, differenti.

¹⁵ Sinyan Shen, "Acoustics of Ancient Chinese Bells", *Scientific American*, Vol. 256, No. 4 (April 1987), pp. 104-111

La potenza musicale delle popolazioni nordiche

Proseguendo il viaggio alla scoperta della musica nelle società antiche, ora poniamo l'attenzione sul nord del globo. Anche in Scandinavia è stato ritrovato un set di gong di roccia, un tipo di strumento precedentemente segnalato in Africa e Galles.¹⁶ Si tratta di un grosso masso di granito, essenzialmente non modificato dall'uomo, che emette un suono "squillante" quando viene colpito da un altro oggetto duro. La pietra ha l'aspetto di qualsiasi altra pietra comune, ma il suo tono sottile la rende unica. È difficile immaginare che all'uomo preistorico potesse sembrare tutt'altro che magica e nemmeno noi possiamo essere certi del meccanismo fisico che sta dietro al fenomeno, perché non è possibile sottoporre la pietra ai raggi X. Dopo l'inizio dell'età del bronzo, intorno al 1.700 a.C., nella documentazione scandinava e baltica compaiono le *lurs*, delle trombe lunghe e ricurve, ritrovate nelle torbiere di Danimarca, Svezia, Norvegia e Germania settentrionale. Alcuni strumenti di questa tipologia sono raffigurati nell'arte rupestre della provincia svedese del Bohuslän, riconducibili al 1.000 a.C. Oltre a rappresentazioni figurative chiare, gli archeologi hanno scoperto reperti la cui reale funzionalità è ancora in discussione: è questo il caso delle ossa di mammut rinvenute a Mezin, nella Pianura Russa, a metà strada tra Mosca e il Mar Nero.¹⁷ L'archeologo Sergei N. Bibikov è convinto che fossero utilizzate come strumenti a percussione quasi 20.000 anni fa. La prova principale di Bibikov deriva dai segni superficiali sulle ossa, che indicano come siano state ripetutamente colpite o, in alcuni punti, levigate dal contatto con le mani. Gli archeologi russi, tra cui S.A. Semenov, il defunto esperto sovietico di analisi dell'usura delle tracce, concordano con questa osservazione, ma pochi sono disposti a sostenere che ciò implichi necessariamente che le ossa fossero strumenti musicali.

Andando avanti nel tempo, tra i ritrovamenti negli scavi archeologici, il ponte è una parte della lira che di tanto in tanto viene alla luce. In Svezia sono stati trovati tre ponti per lira risalenti al periodo precedente al 1100. Uno a Broa, nella parrocchia di Halla, è in ambra ed è risalente all'VIII-IX secolo. Un altro ponticello, proveniente dalla famosa località di Birka, nell'Uppland, è fatto di corno ed è datato all'epoca vichinga, così come l'ultimo ponte. Questo reperto, trovato a Garete, nella parrocchia di Fardhem, è realizzato in bronzo e ha la caratteristica insolita di una barra in più nella parte superiore, che permette alle corde di incrociarsi nello spazio tra la barra e le tacche. A parte questo dettaglio, il ponte ha un design simile a quello del ponte di corno di Birka. Il numero di

¹⁶ "The Sounds of Prehistoric Scandinavia" *Ethnomusicology*, Spring - Summer, 1985, Vol. 29, No. 2, by University of Illinois Press on behalf of Society for Ethnomusicology

¹⁷ Sergei N. Bibikov, "Ancient Musical Ensemble of Mammoth Bones", *Ethnomusicology*, Spring - Summer, 1985, Vol. 29, No. 2, by University of Illinois Press on behalf of Society for Ethnomusicology

corde di questi strumenti è incerto, poiché le tacche più lontane dai lati hanno un aspetto diverso, suggerendo la possibilità che non siano servite da tacche per le corde. Quindi, il reperto di Broa, può aver sostenuto quattro o sei corde, quello di Birka può aver sostenuto cinque o sette corde e il ponte di Gerete, sei o più corde. **A partire dall'XI secolo poi diversi strumenti a corda cominciarono a essere suonati con l'ausilio di un archetto, mentre gli strumenti appositamente costruiti per essere suonati con questa modalità apparvero più tardi, ma la versione a pizzico probabilmente perse la sua popolarità.** Passando ai fiati, col termine *karnyx* si fa riferimento ad una tromba da guerra in uso presso le popolazioni celtiche dotata di un padiglione zoomorfo.¹⁸ **I *karnykes* venivano utilizzati in battaglia con lo scopo di diffondere terrore tra i nemici tramite le loro sonorità.**



Figura 6. Mary Harrsc, "Gauls A Carnyx a Celtic war trumpet found in the Gallic sanctuary of Tintignac in the northern Bordeaux region of France", via Wikimedia Commons, CC BY-NC-SA 2.0 DEED

Di questo particolare modo di combattere dei Celti ci dà notizia il resoconto, generalmente attribuito allo storico Fabio Pittore, un politico e storico romano, relativo alla battaglia di Talamone che ebbe luogo nel 225 a.C. che riporta come i romani rimasero particolarmente colpiti dal suono che accompagnava l'avanzata dell'esercito nemico. "[I Romani] erano spaventati dall'aspetto e dal clamore dell'esercito dei Celti. Innumerevole era infatti la quantità dei buccinatori (*bukanêtôn*) e dei

¹⁸ Roncador Melini, "Il karnyx celtico di Sanzeno (Val di Non, Trentino): ritrovamento, indagini e ricostruzione" *The Sounds of Prehistoric Scandinavia* by Cajsa Lund: Drevneishii muzikal'nii

trombettieri (salpinktôn): un così lungo ed acuto clamore essi produssero quando tutti insieme intonarono il loro canto di guerra, che non solo le trombe (salpingas) dell'esercito, ma perfino i luoghi vicini, riecheggiando il frastuono, pareva emettessero una voce”.

Il prestigio della musica in Grecia

Gli antichi Greci e Romani hanno lasciato molte testimonianze di una cultura musicale pervasiva, ben sviluppata e completa, che comprendeva orchestre, cori e musica solistica. Anche in Grecia era presente la lira, ma a differenza del modello orientale, quello greco era caratterizzato da una forma più arrotondata.¹⁹ Le lire del mondo greco erano strumenti con corde della stessa lunghezza, ma di diverso spessore, massa e tensione. Solitamente erano realizzate in budello ritorto con una particolare manipolazione degli intestini degli animali, ma esistevano corde anche di canapa e lino. In Omero si parla anche di tendine come “neure” o “neuron”, cioè il tendine del toro usato per fare le corde d'arco. Inoltre, una caratteristica comune delle lire era la presenza di due bracci in legno o corno collegati a una cassa armonica. **La lira godeva di grande prestigio ed era l'unico strumento suonato regolarmente da un dio dell'Olimpo, Apollo.** Nelle illustrazioni questo strumento compare in contesti come danze, scene scolastiche, miti, simposi, riti religiosi ed era uno strumento ordinario di musicisti non professionisti. C'era poi il *barbitos*, il "fratello maggiore" della lira, così definito perché questo strumento aveva bracci più lunghi e stretti rispetto alla lira standard, per cui era considerato una sua varietà. Le corde, avendo maggior lunghezza, conferivano allo strumento un'intonazione più bassa e un tono più morbido. La *kithara* invece era uno strumento più massiccio. Pesante e solida, veniva suonata unicamente da adulti e, a causa del suo peso, veniva tenuta in posizione quasi verticale o inclinata verso il suonatore. Nella “Politica”, Aristotele definisce la *kithara* uno strumento professionale inadatto all'uso scolastico generale. In effetti era lo strumento dei musicisti professionisti della Grecia classica e più precisamente dei *kitharistes* e dei *kitharodo* al maschile e *kitharistria* e *kitharistris* al femminile, che significano rispettivamente giocatore e giocatrice di *kithara*. **I *kitharodos* professionisti, che suonavano e cantavano contemporaneamente, gareggiavano in grandi gare, nei Giochi Olimpici e Pitici o in altre competizioni festive come la Panathenaia.** Questo strumento, che richiedeva una grande abilità, accompagnava recite epiche, danze, canti lirici, rapsodie. Gli abili suonatori di *kithara* godevano di ampia fama e ammirazione nella società. Rimanendo tra gli strumenti a corda, *Psalterion* è il termine generico in greco per la famiglia delle arpe che significa "strumento a pizzico", ma esisteva

¹⁹ Athina Tsentemidou, “Musicians and Musical Instruments of Classical Greece”, University of Helsinki, Faculty of Arts Ancient Languages and Literatures Greek Language and Literature, Master’s Thesis, May 2020

anche un tipo di arpa chiamata con questo nome. Il termine deriva dal verbo ψάλλω, ovvero "pizzicare", rappresentativo del modo in cui veniva suonato. L'epigoneion in particolare era uno degli strumenti più grandi utilizzati in Grecia: aveva 40 corde e la sua invenzione è stata attribuita al musicista Epigono (Ἐπίγονος), vissuto nel VI secolo a.C. Il termine è composto dalla preposizione "ἐπί" (lett. "su") e dal sostantivo "γόνυ" (lett. "ginocchio") e significa "una cosa sulle ginocchia".

Passando poi agli strumenti a fiato dell'antica Grecia venivano solitamente suddivisi in due gruppi, quelli suonati con un'ancia e quelli suonati soffiando direttamente nello strumento. Gli scrittori antichi usavano il termine generico *aulos* per gli strumenti a fiato suonati con l'ancia e *syrinx* per quelli suonati senza ancia. Questi termini non sono solo generici, ma sono usati anche per descrivere specifici strumenti. **L'*aulos* era senza dubbio quello più importante della Grecia classica, come si può facilmente capire osservando le illustrazioni dei vasi dell'epoca in cui figure di divinità, satiri, muse e persone comuni sono spesso raffigurate mentre suonano due canne con fori per le dita.** Questo strumento infatti aveva due tubi con doppie ance, come in un oboe moderno, non uniti ma generalmente suonati con una fascia per la bocca per tenerli entrambi tra le labbra. Studi moderni affermano che essa produceva un suono basso simile a quello del clarinetto. Questi strumenti venivano suonati quasi sempre in coppia, ma esisteva anche il *monaulos*, a canna singola. L'*aulos* era principalmente legato al culto e alle celebrazioni di Dioniso ed era presente in tutti i tipi di cerimonie, nei simposi, nelle gare musicali, nei drammi teatrali e in tutti i tipi di attività di intrattenimento. Veniva suonato da schiavi, artisti di strada, mendicanti e pastori, ma c'erano anche musicisti famosi come Pronomus di Tebe, che prendevano parte ai giochi con costosi strumenti di rame, oro o bronzo. I materiali utilizzati per la produzione di un *aulos* comune erano canna, legno, avorio, corno, osso, metallo o una combinazione di questi. I Greci attribuirono l'invenzione dell'*aulos* ad Atena secondo un mito che descrive la creazione di questo strumento quando la dea udì le grida di dolore delle gorgoni, che si lamentavano per la morte della loro sorella Medusa, decapitata da Perseo. Secondo il mito, Atena creò lo strumento nel tentativo di imitare e replicare il suono delle loro urla di dolore.



Figura 7. Athenian vase (Nikias painter), c. 420 BCE. National Archaeological Museum of Spain, Madrid. ©Photo by Marie-Lan Nguyen, 2008.

Passando al *syrinx*, era uno strumento suonato solo dai pastori e viene tradotto come "pipa di Pan" o "pipa del pastore" appunto, ed era un piccolo strumento a fiato, progenitore dell'organo, costituito da una serie di canne di misura decrescente allineate nel senso della lunghezza, tenute insieme da cordoncini e otturate con della cera alle estremità inferiori; soffiandoci dentro ogni canna emetteva una nota della scala musicale. Questo strumento non aveva posto nella musica d'arte. Anche in questo caso esistevano due tipi di *syrinx*, *monokalamos*, cioè "a una sola canna" e *polykalamos*, ovvero "a molte canne". La *syrinx polykalamos* era un insieme di sette tubi senza fori, uniti tra loro e i primi esemplari risalgono al 400 a.C. circa ed erano realizzati in canna, legno, argilla, bronzo o un tipo di resina.

C'erano poi gli strumenti a percussione, chiamati *krousta* (κρουστά) o *krouomena* (κρουόμενα) e tra i più comuni c'erano il *tympanon* o *typanon*, cioè il tamburo, il *seistrion* ovvero il sonaglio, il batacchio, chiamato *krotalon*, il *krouomena* anch'esso una variante di tamburo, il *kymbalon* o come immaginabile, il cimbalo e il *krembala*, le nacchere. Le Menadi, le estatiche devote di Dioniso, di solito suonano il timpano a mano per il dramma del satiro. In generale, gli strumenti a percussione erano suonati per lo più da donne ed erano legati al culto di Dioniso e Cibele. **La musica accompagnava drammi, feste, cerimonie private, incontri pubblici e festival. Veniva impiegata per le cure e l'educazione e come offerta agli dei.** Esistevano canti per la lavorazione della lana, la fabbricazione di corde, la macinatura, la pestatura, l'impasto, la cottura, il lavoro nei campi, la raccolta dell'uva, la marcia, la battaglia e altre attività e forme di lavoro manuale. La musica domestica e personale divenne un'attività popolare. **Poiché nell'Antica Grecia le donne erano**

attivamente scoraggiate dal praticare la ragione, la musica divenne una via per l'autoespressione femminile, la creatività e la comunicazione di idee e valori culturali. Oltre agli strumenti utilizzati a scopo musicale, ne esistevano altri non necessariamente impiegati per fare musica, accompagnare voci o competere in gare musicali. Si trattava della *salpinx*, la tromba da guerra, e del corno, chiamato *keras* o *bycane*.

La musica tra le strade dell'Impero Romano

Dalla cultura greca a quella romana il passo è breve. **Giovani e anziani, uomini e donne, ricchi e poveri, tutti i romani hanno partecipato a una vibrante esperienza musicale che ha pervaso quasi ogni aspetto della loro vita quotidiana.** Ovunque riecheggiava l'eco familiare di canti e suoni, si poteva sentire ai matrimoni e ai funerali, ai sacrifici e alle parate, al lavoro e al gioco, alle riunioni grandi e piccole, pubbliche e private. I concorsi musicali erano abbastanza comuni e attiravano una vasta gamma di partecipanti, tra cui Nerone stesso, che si esibì come un dilettante e una volta si recò persino in Grecia per competere.²⁰ L'arte romana raffigura vari fiati, "ottoni", percussioni e strumenti a corda. Gli strumenti in stile romano si trovano in parti dell'Impero dove non erano costruiti ad indicare che la musica si diffuse ampiamente in tutte le province.



Figura 8. Trio di musicisti che sta suonando un aulos, un cimbalo, e un timpano (mosaico di Pompeii)

²⁰ "La musica nell'antica Roma", Wikiversità, https://it.wikiversity.org/wiki/La_musica_nell%27antica_Roma

La *tubae* romana era una tromba di bronzo lunga e dritta, con un bocchino conico staccabile come quello del moderno corno francese. Esemplari ancora oggi esistenti sono lunghi circa 1,3 metri dal boccaglio al punto in cui diventa a campana bruscamente, simile alla moderna tromba dritta vista nelle presentazioni di 'musica d'epoca'. Dal momento che non vi erano le valvole, la tuba era capace di riprodurre solo una singola serie di note che probabilmente suonerebbe familiare per l'orecchio moderno, dati i limiti di acustica musicale per strumenti di questa costruzione. In campo militare, è stata utilizzata appunto per le "marce militari", ma è anche raffigurata nell'arte, per esempio in mosaici mentre accompagna i giochi ed eventi di spettacolo. Le *tubae* erano al centro della cerimonia del *Tubilustrium* con la quale si inaugurava la stagione dedicata alle campagne militari attraverso una purificazione delle trombe sacre, che si svolgeva due volte l'anno, a marzo e a maggio. Il *cornu* era un lungo strumento a fiato in metallo di forma tubolare che girava intorno al corpo del musicista con una forma simile a una G maiuscola. Come la tuba, Il *cornu* è stato impiegato in contesti diversi: per i segnali militari e in parata, ma anche come accompagnamento per eventi pubblici e spettacoli dove usualmente era affiancato dall'organo, che poteva essere a mantici o idraulico. Il primo tipo di organo, introdotto probabilmente nei primi anni dell'età imperiale, era più leggero, più facilmente trasportabile e l'aria compressa era spinta al suo interno grazie a dei mantici: famosa è la ricostruzione dell'Organo di Aquincum i cui resti furono rinvenuti nella cittadina ungherese nel 1931²¹. Il secondo fu inventato intorno alla metà del III sec. a.C. da Ctesibio di Alessandria, ingegnere e inventore della pompa e dell'organo, il quale inserì nello strumento un sistema idraulico che permetteva all'aria compressa di assumere una pressione costante. Non sappiamo con esattezza quando questo strumento fu introdotto a Roma, ma nella metà del I sec. d.C. il suo impiego fu frequentissimo sia nelle rappresentazioni teatrali che nei giochi del circo e dell'anfiteatro, e Svetonio ci informa che Nerone ne fu un grandissimo cultore. Altri strumenti usati a scopi militari, ad esempio per dare segnali alle truppe, incitarle al combattimento o accompagnare imponenti marce trionfali erano il *lituus* e la *buccina*. Il *lituus*, di origine etrusca era costituito da un tubo bronzeo lungo e sottile, pressoché cilindrico e terminante in una sorta di cono ripiegato all'indietro. La *buccina* era forse lo strumento di uso militare più difficile da interpretare e spesso confuso con il corno. Secondo studi recenti avrebbe una forma pressoché semicircolare e sarebbe distinto dal corno per il fatto di essere realizzato in corno bovino e non in bronzo. Anche qui sono diffusi l'*aulos* e la lira, presi in prestito dai Greci. Quest'ultima venne poi abbandonata a favore della sofisticata cetra, uno strumento più grande, con una cornice a forma di scatola con

²¹ Giovanni Teresi, "La musica nell'antica Roma – Relazione in italiano e latino", 20 aprile 2016, <https://teresigiovanni.wordpress.com/2016/04/20/la-musica-nellantica-roma-relazione-in-italiano-e-latino-di-giovanni-teresi/>

corde tese dalla traversa in alto fino alla cassa di risonanza in basso. Era tenuta in posizione verticale e suonata con il plettro. Le corde erano accordabili regolando cunei di legno lungo la traversa. Il liuto, il vero precursore della chitarra, è considerato uno strumento medievale ma era suonato già dagli antichi romani. Il modello romano aveva tre corde e non era tanto popolare quanto la lira o la cetra, ma era più facile da suonare. Si differenziava dalla lira per la costruzione interamente lignea e vi erano varie versioni, che differenziavano in forma e dimensioni di cassa e braccia. Veniva suonato con plettri e dita, fissato al collo del suonatore con una cinghia, in maniera analoga alle attuali chitarre.

A partire da *Homo sapiens*, quindi, la musica ha assunto sempre più rilevanza ed è giunta fino ai giorni nostri, passando per epoche e culture differenti, assumendo le funzioni più disparate. Gli uomini si sono ingegnati per produrre una vasta gamma di suoni, studiando materiali e forme dei diversi strumenti. Da qui tanti sono gli stili e i generi musicali originati dalla creatività ed accompagnano anche oggi la nostra quotidianità. La musica è ovunque, a partire dal canto degli uccelli, da cui forse i primi uomini hanno preso spunto.

3. Da ispirazione per i primi musicisti a bene da tutelare per gli artisti successivi

La natura nella musica classica

Avvicinandoci ai tempi moderni, parlando di natura come fonte di ispirazione, a tutti salta subito alla mente Vivaldi, con la sua celebre composizione “Le quattro stagioni”

Quest’opera prevedeva che ogni stagione, oltre ad essere evocata dalla musica dell’orchestra, fosse affiancata con dei sonetti, che trasportassero ancora di più gli ascoltatori, facendoli viaggiare lontano dalle loro poltrone.²² Nella primavera si dice che i violini imitano "il mormorio dei rami e delle erbe", mentre la viola acuta suona come "il cane che abbaia". Il violino solista dovrebbe rappresentare "il capraio addormentato", citato anche nel sonetto:

“Giunt' è la Primavera e festosetti

La Salutan gl'Augei con lieto canto,

E i fonti allo Spirar de' Zeffiretti

Con dolce mormorio Scorrono intanto:

Vengon' coprendo l'aer di nero amanto

E Lampi, e tuoni ad annuntiarla eletti

Indi tacendo questi, gl'Augelletti

Tornan' di nuovo al lor canoro incanto:

E quindi sul fiorito ameno prato.

Al caro mormorio di fronde e piante

Dorme 'l Caprar col fido can' à lato

Di pastoral Zampogna al suon festante

Danzan Ninfe e Pastor nel tetto amato

²² Antonio Vivaldi and th “Four Seasons” explained, sito web
https://vicolando.org/en/antonio_vivaldi_the_four_seasons_explained.html

Di primavera all' apparir brillante.”²³

Anche nell'atmosfera calda dell'estate, la natura è una presenza importante con il canto ritmico del cuculo e le dolci melodie della tortorella e del cardellino. A queste sonorità si contrappongono poi i rumori forti della tempesta, lampi e tuoni che con la loro forza invadono la scena.

“Sotto dura Staggion dal Sole accesa

Langue l'uom, langue 'l gregge, ed arde il Pino

Scioglie il Cucco la Voce, e tosto intesa

Canta la Tortorella e 'l gardelino.

Zèfiro dolce Spira, ma contesa

Muove Bòrea improvviso al Suo vicino

E piange il Pastorel, perché sospesa

Teme fiera borasca, e 'l suo destino

Toglie alle membra lasse il Suo riposo

Il timore de' Lampi, e tuoni fieri

E de mosche e moscon lo Stuol furioso.

Ah, che purtroppo i suoi timor Son veri!

Tuona e fulmina il Ciel e grandioso:

Tronca il capo alle Spiche ed a' grani alteri.”

In autunno, le foglie si seccano gradualmente e, spinte dalla carezza del vento, cadono a terra, formando un tappeto croccante sotto i piedi. Vivaldi ha selezionato le sonorità del clavicembalo per stimolare l'immaginazione degli ascoltatori ed evocare l'immagine delle foglie cadenti.

“Celebra il Vilanel con balli e Canti

Del felice raccolto il bel piacere

E del liquor de Bacco accesi tanti

²³ Amici della musica di Cagliari, “Vivaldi i sonetti delle quattro stagioni”,
<http://www.amicidellamusicadicagliari.it/new/wp-content/uploads/2019/03/Sonetti-4-stagioni-2019.pdf>

Finiscono col Sonno il lor godere
Fà ch' ogn' uno tralasci e balli e canti
L'aria che temperata dà piacere,
E la Stagion ch' invita tanti e tanti
D'un dolcissimo Sonno al bel godere.
I cacciator alla nov'alba a caccia
Con corni, Schioppi, e canni escono fuore
Fugge la belva, e Seguono la traccia
Già Sbigottita, e lassa al gran rumore
De' Schioppi e cani, ferita minaccia
Languida di fuggir, ma oppressa muore.”

Arriva poi l'inverno: le note iniziali raffigurano la lenta e persistente caduta dei fiocchi di neve ed un primo assolo di violino porta una folata di vento che li scuote e li fa volteggiare. Anche la pioggia viene rappresentata, che però in breve tempo lascia il posto ad una feroce tempesta invernale, portata dai venti del Mediterraneo.

“Aggiacciato tremar trà nevi argenti
Al Severo Spirar d' orrido Vento,
Correr battendo i piedi ogni momento
E pel Soverchio gel batter i denti
Passar al foco i di quieti e contenti
Mentre la pioggia fuor bagna ben cento
Caminar Sopra il ghiaccio, e à passo lento
Per timor di cader gersene intenti
Gir forte Sdruzzolar, cader à terra
Di nuove ir Sopra 'l ghiaccio e correr forte
Sin ch' il ghiaccio si rompe, e si disserra

Sentir uscir dalle ferrate porte

Sirocco Borea, e tutti i Venti in guerra

Quest' é 'l verno, mà tal, che gioia apporte”

Si può vedere quindi come ogni momento sia caratterizzato tramite versi, canti e suoni tipici di quel periodo dell’anno, legati strettamente all’ambiente. È così che Vivaldi coglie l’essenza delle stagioni, nel naturale suono degli esseri viventi, dell’ambiente con fiumi e ruscelli e degli eventi atmosferici.

Un altro compositore affascinato dalla natura era Beethoven, solito passeggiare all’aria aperta con l’inseparabile taccuino, pronto a cogliere ogni attimo e non lasciarsi scappare nemmeno un barlume di ispirazione. **Uno studio basato sulle registrazioni del verso dello zigolo giallo (*Emberiza citrinella*), ha messo in evidenza la somiglianza di questi suoni con il tema d'apertura del concerto per pianoforte e orchestra in sol maggiore.**²⁴ Lo schema di 13 note in croma dell’abbozzo originale di Beethoven è identico al ritmo dei richiami tipico di questa specie e anche i profili melodici, compreso l'intervallo finale di seconda sostenuta crescente, mostrano una marcata somiglianza. Altre valutazioni di questo tipo sono state effettuate registrando diversi merli maschi dominanti che cantano in una zona rurale dell'Hampshire. Da queste si è notata un’analogia con due temi di quartetti del tardo Beethoven: la “Grosse fugue” op. 133 e il Finale dell'op. 135 in Fa d, "Es muss sein!". A sostegno di queste ipotesi, anche il canto del merlo scozzese, ricorda le due battute iniziali del finale del concerto per violino di Beethoven in Re op. 061. Continuando con gli esempi, non manca il tordo: nelle registrazioni effettuate nell’agosto del 2003 sempre nell’Hampshire emergono due frasi che sembrano convergere con motivi beethoveniani. La prima, un intervallo composto ripetuto, ricorda l'apertura dell'ultimo movimento del trio per pianoforte op. 1 no. 1 di Beethoven, mentre la seconda, una nota ripetuta, che consiste nel ritmo "te-tum-te-tum" usato nel finale della sonata per violino "Kreutzer". Il compositore stesso ci invoglia a credere a queste supposizioni, rispondendo così a chi gli ha chiesto quale fosse il suo metodo di lavoro: **“Potete chiedermi dove prendo le mie idee. Non posso rispondere con certezza: vengono senza essere sollecitate, spontaneamente o meno; potrei coglierle tra le mani all'aria aperta, nei boschi mentre cammino”**. Beethoven aveva una particolare affinità con gli alberi, luogo privilegiato per il canto degli uccelli. In una voce del suo taccuino, risalente al 1815 scrive: "Onnipotente nella foresta! Sono felice, beato nella foresta", o ancora in una nota del 1818 “quanto a me, in questa

²⁴ Sylvia Bowden, “The Theming Magpie: The Influence of Birdsong on Beethoven Motifs” proceedings of The Musical Times, Summer, 2008, Vol. 149, No. 1903 (Summer, 2008), pp. 17-35
Published by: Musical Times Publications Ltd.

parte vago per monti, crepacci e valli con un foglio di carta manoscritta, annotando molte cose, per il mio pane quotidiano". Il compositore, quindi, ha trasposto la sua enorme passione per la natura nella sua musica.

L'ambientalismo in note musicali

In questo caso la natura è stata una musa, ma andando avanti con gli anni è diventata sempre più un bene in pericolo, da tutelare, difendere e proteggere. Da qui i primi musicisti e cantanti si sono esposti, puntando i riflettori su un tema che tutt'oggi assume sempre più importanza. Le camminate nel verde di Beethoven ormai sono relegate ad ambienti non sempre vicino a casa, un contorno alla nostra quotidianità, una gita fuori porta. Affacciandosi dalla finestra il colore prevalente è il grigio dell'asfalto e proprio questo è quello che ha spinto Joni Mitchell a scrivere "**Big Yellow Taxi**", brano dell'album "Ladies of the Canyon" uscito nel 1970²⁵:

"Ho scritto Big Yellow Taxi durante il mio primo viaggio alle Hawaii. Ho preso un taxi per l'hotel e quando mi sono svegliata la mattina dopo, ho tirato indietro le tende e ho visto queste bellissime montagne verdi in lontananza. Poi, ho guardato in basso e c'era un parcheggio a perdita d'occhio, e mi si è spezzato il cuore... questa piaga sul paradiso. È stato allora che mi sono seduta e ho scritto la canzone"²⁶

Queste le parole con cui la cantante ha presentato il suo singolo il 29 novembre 1969. Scritto nella tonalità di Mi maggiore, la melodia di "Big Yellow Taxi" è vivace e allegra, in contrapposizione ad un testo impegnato, che trasmette un'emergenza ambientale. In questo brano si parla di deforestazione, con gli alberi che vengono "messi in un museo degli alberi", ovvero relegati nel Foster Botanical Garden di Honolulu. Un altro tema toccato dall'artista è l'inquinamento da DDT che colpisce "gli uccelli e le api", dialogando direttamente con l'ascoltatore "Hey contadino, metti via quel DDT adesso"²⁷. Il coro della canzone porta alla riflessione sulla perdita preziosa: "non sai cosa hai, finché non se n'è andato. Hanno lastricato il paradiso e messo su un parcheggio". Joni Mitchell utilizza il termine "paradiso", un'immagine idilliaca e piena di luce, confrontata al parcheggio che lo sostituisce, nel tentativo di sottolineare l'impatto negativo che l'uomo ha avuto sull'ambiente naturale. La giustapposizione della melodia e del testo cattura l'attenzione del pubblico e lo costringe a riconoscere che esiste una cupa realtà di fondo, rappresentata dalla

²⁵ Da Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Yellow_Taxi

²⁶ Dal sito: <https://jonimitchell.com/music/song.cfm?id=13>

²⁷ Lori Bedell, "1970 to 2011: A Shift in Environmentalism", 11 ottobre 2019, <https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.psu.edu/dist/f/28045/files/2020/09/Comparison-Essay-Rough-Draft.pdf>

frequente distruzione dell'ambiente. **Pubblicata nel 1970, la canzone si è affermata nel momento dell'istituzione del National Environmental Policy Act (NEPA), che richiedeva alle aziende statunitensi di valutare formalmente l'impatto ambientale del loro operato.** Questi eventi seguirono l'uscita di "Silent Spring" di Rachel Carson nel 1962, che denunciava gli effetti negativi del DDT e segnava l'inizio del movimento ambientalista. Joni Mitchell con la sua "Big Yellow Taxi" ha cavalcato quest'onda, prendendo parte alla denuncia sulla distruzione dell'ambiente attraverso una melodia orecchiabile e memorabile.

L'immagine del paradiso legato all'ambiente appare nel brano "The last resort" degli Eagles, dall'album "Hotel California", uscito l'8 dicembre 1976²⁸.

"Some rich men came and raped the land	"Alcuni uomini ricchi vennero e violentarono la terra
Nobody caught 'em	Nessuno li ha presi
Put up a bunch of ugly boxes	Hanno messo su un mucchio di brutte scatole
And, Jesus, people bought 'em	E, Gesù, la gente le comprò
And they called it paradise	E lo chiamarono paradiso
The place to be	Il posto dove stare
They watched the hazy sun	Guardavano il sole nebuloso
Sinking in the sea"	Affondare nel mare" ²⁹

In questo caso il termine viene utilizzato con tono amaro, perché riferito a quelle "brutte scatole" che l'uomo ha eretto, a discapito dell'ambiente circostante, paradiso per l'uomo, ma danno per la natura e gli esseri viventi.

²⁸ Da Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/The_Last_Resort_\(Eagles_song\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Last_Resort_(Eagles_song))

²⁹ Da Genius: <https://genius.com/Eagles-the-last-resort-lyrics>

Andando avanti nella rassegna musicale, i The birds, un altro nome evocativo per un gruppo musicale, hanno pubblicato “**Hungry Planet**”, rilasciata il 14 settembre 1970, nell’ album “Untitled”³⁰ dove fanno letteralmente parlare il Pianeta Terra:

“I'm a hungry planet	“Sono un pianeta affamato
I had the bluest seas	Avevo i mari più blu
Oh, the people kept choppin' down	Oh, la gente continuava a tagliare
All my finest trees	Tutti i miei alberi più belli
Poisonin' my oxygen	Avvelenando il mio ossigeno
Diggin' into my skin	Scavando nella mia pelle
Takin' more out of my good earth	Prendendo più dalla mia buona terra
Than they'll ever put back in”	Di quanto non ci rimetteranno mai dentro” ³¹

Con le loro sonorità rock travolgenti, insomma, entrano a gamba tesa nelle case delle persone, facendosi portavoce della natura in difficoltà.

Già nel titolo “**Mercy mercy me (The ecology)**”, Marvin Gaye ci rivela il tema del suo brano, uscito il 10 giugno del 1971 con l’album “What’s Going On”.³² Con una preghiera semplice, ma efficace, il cantante mostra i suoi segni di preoccupazione di fronte all’avanzata dell’industrializzazione, che influisce sin da subito sulla brillantezza del paesaggio. Sotto questo aspetto puramente estetico si nascondono poi gli effetti concreti, che oggi non passano più inosservati. Dall’ingrigire del cielo, infatti, Marvin Gaye scava più a fondo, portando l’immagine dei pesci pieni di mercurio e delle radiazioni che uccidono gli animali. Una voce delicata che affronta un tema crudo con termini duri.

³⁰ Da Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Untitled_\(The_Byrds_album\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Untitled_(The_Byrds_album))

³¹ Da Genius: <https://genius.com/The-byrds-hungry-planet-lyrics>

³² Da Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mercy_Mercy_Me_\(The_Ecology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mercy_Mercy_Me_(The_Ecology))

“Oil wasted on the oceans	“Il petrolio ha devastato gli oceani
and upon our seas	e sopra i nostri mari
Fish full of mercury	il pesce è pieno di mercurio
Oh, mercy mercy me	Oh, pietà, pietà per me
Oh, things ain’t what they used to be	Oh, le cose non vanno più come un tempo
No, no	No, no
Radiation in the ground and in the sky	Radiazioni nel terreno e nel cielo
Animals and birds who	animali ed uccelli che
live nearby are dying”	vivono nelle vicinanze stanno morendo” ³³

Un altro artista che ha espresso la sua preoccupazione per la natura è Neil Young nel 1990, con la sua “**Mother Earth**”, tratta dall’album “Ragged Glory”³⁴. La natura è rappresentata come madre, a sottolineare il legame con l’uomo. **La canzone ricorda una preghiera, che porta a riflettere sulle nostre azioni e il loro impatto sugli equilibri naturali.**

“Oh, ball of fire	“Oh, palla di fuoco,
In the summer sky	Nel cielo estivo
Your healing light,	La tua luce che guarisce
Your parade of days	La tua sfilata di giorni
Are they betrayed	Sono traditi
By the men of power	Dagli uomini di potere
Who hold this world	Che tengono questo mondo
In their changing hands	Nelle loro mani mutevoli
They hold the world	Loro tengono questo mondo
In their changing hands”	Nelle loro mani mutevoli” ³⁵

³³ Da Genius: <https://genius.com/Marvin-gaye-mercy-mercy-me-the-ecology-lyrics>

³⁴ Da Wikipedia: https://it.wikipedia.org/wiki/Ragged_Glory

³⁵ Da Genius: <https://genius.com/Neil-young-and-crazy-horse-mother-earth-natural-anthem-lyrics>

La voce morbida del cantante conclude con l'invito ad una maggiore consapevolezza di tutto quello che la natura fa per noi "Rispetta Madre Terra e i suoi modi di donare o scambiare i nostri giorni, i giorni dei nostri figli."

Avvicinandoci ai tempi moderni si arriva alla "Earth song" di Michael Jackson, dall'album "HIStory: Past, Present and Future - Book I" del 1995.³⁶ Questa canzone è una denuncia la situazione tragica del pianeta Terra, portando la tematica sotto i riflettori.³⁷ Tutto parla di emergenza, a partire dalla musica che accompagna un testo molto eloquente. Il tappeto musicale parte con un pianoforte delicato, per poi arrivare ad un'esplosione nel ritornello, a sostegno delle grida disperate del cantante, straziato dalla distruzione disseminata dall'uomo.

"What about nature's worth? (Ooh)	"E il valore della natura? (Ooh)
It's our planet's womb (What about us?)	È il grembo del nostro pianeta (E noi?)
What about animals? (What about it?)	E gli animali? (E noi?)
Turned kingdom to dust (What about us?)	Regno trasformato in polvere (E noi?)
What about elephants? (What about us?)	E gli elefanti? (E noi?)
Have we lost their trust? (What about us?)	Abbiamo perso la loro fiducia? (E noi?)
What about crying whales? (What about us?)	E le balene che piangono? (E noi?)
Ravaging the seas? (What about us?)	Che devastano i mari? (E noi?)
What about forest trails? (Ooh)	E i sentieri della foresta? (Ooh)
Burnt despite our pleas (What about us?) ³⁸	Bruciati nonostante le nostre suppliche (E noi?) ³⁹

E noi? Il brano riflette il nostro essere parte della natura. **Quello che facciamo ha ricadute sul mondo circostante, ma a catena, anche su di noi, esseri viventi inclusi negli equilibri degli ecosistemi.** Non siamo super partes, ma facenti parte.

Le balene sono anche protagoniste del brano "Whale Song" dei Pearl Jam, rilasciata l'11 novembre 2003 e facente parte dell'album "Lost Dogs"³⁹. In alcuni punti è udibile il richiamo di questi enormi mammiferi, descritti come animali dal cuore immenso, che non rispondono all'"odio" delle

³⁶ Da Wikipedia: https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Song

³⁷ Silvia Argento, "MICHAEL JACKSON, LA STORIA E IL SIGNIFICATO DI EARTH SONG", <https://www.r3m.it/2020/11/16/michael-jackson-la-storia-e-il-significato-di-earth-song/>

³⁸ Da Genius: <https://genius.com/Michael-jackson-earth-song-lyrics>

³⁹ Da Genius: <https://genius.com/Pearl-jam-whale-song-lyrics>

baleniere con l'odio. Le strofe parlano di sfruttamento di ciò che è libero solo per il proprio tornaconto. L'uomo, visto come un essere egoista, viene posto in contrapposizione alle balene con un cuore enorme, che rimane puro nonostante quello che subiscono.

“Prendi quello che vuoi. Uccidi quello che puoi. La mente umana conosce solo questa strada. Prendi le loro vite. Vendi le loro parti. Ma non c'è modo di prendere i loro cuori”

Queste strofe dure mettono quindi a paragone l'innocenza della natura in generale con la cattiveria dell'essere umano.

Le balene sono diventate anche cantanti ufficiali per l'album “**Songs of the Humpback Whale**” del biologo Roger Payne.⁴⁰ **Lo scenario di partenza è sempre la caccia commerciale alle balene e il disco di Payne contribuì a dare il via al movimento contro la loro caccia, di cui le struggenti canzoni delle megattere erano l'inno non ufficiale.**

"Ho iniziato a suonare i suoni delle megattere agli amici e ad altri piccoli spettatori, e presto è diventato chiaro che questi suoni commuovevano profondamente le persone".⁴¹

Con questo album il biologo ha fatto un enorme dono agli ascoltatori, aprendo le porte del mondo sottomarino. Avvicinandoli a qualcosa che prima era distante ed ignoto, il problema delle baleniere diventa più concreto e tangibile.

⁴⁰ <https://paulwinter.bandcamp.com/album/songs-of-the-humpback-whale>

⁴¹ Sito ufficiale di Roger Payne: <https://rogerpayne.com/>

4. Melodie per la tutela dell'ambiente



Figura9. Hitenpatel123, CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>, via Wikimedia Commons

La musica della natura può anche essere un indicatore della salute degli ecosistemi, delle dinamiche al loro interno: gli organismi viventi rivelano la loro presenza attraverso segnali acustici che possono essere facilmente rilevati, registrati, salvati e analizzati.⁴² **Questo è il campo della bioacustica**, una scienza interdisciplinare che si occupa dello studio della comunicazione acustica, dell'ecolocalizzazione e della percezione sonora negli animali. **In questo contesto si inserisce l'ecoacustica**, una scienza sempre più emergente che indaga i suoni naturali e antropici e il loro rapporto con l'ambiente. Come illustrato nella Rivista Italiana di Acustica, grazie all'utilizzo del **Monitoraggio Acustico Passivo (PAM)**, è possibile registrare dati su grande scala spaziale e temporale e si possono raccogliere informazioni a lungo termine sulla distribuzione delle specie animali e sulle variazioni nelle dinamiche delle comunità biologiche a causa delle attività antropiche. **Attraverso il monitoraggio acustico passivo di un habitat è quindi possibile**

⁴² Federica Teti, "La musica della natura: melodie per la tutela dell'ambiente", articolo di Pikaia – Portale dell'evoluzione, 7 luglio 2023

ottenere “un’immagine” del paesaggio sonoro inteso in senso esteso a infrasuoni e ultrasuoni, costituito da tre diverse componenti.

In primo luogo, ci sono i suoni prodotti dagli animali, che compongono la **biofonia**, perlopiù tra 2.000 e 8.000 Hz ma che si estende fino a 120kHz. La seconda componente include i suoni di eventi atmosferici e fisici, che costituiscono la **geofonia**: vento, pioggia, acque correnti, che sono compresi in un intervallo di frequenze più ampio, dalle basse frequenze che indicano la presenza del vento, per esempio, a frequenze più alte tipiche di eventi piovosi. Infine ci sono i rumori legati alla presenza dell’uomo, definiti **antropofonia, o tecnofonia** quando è dominante il rumore continuo dei sistemi di trasporto, automobili, treni, aeroplani, navi e delle attività industriali, che generalmente occupano le basse frequenze tra 20 e 2.000 Hz.

Si può quindi osservare il **paesaggio sonoro** nella sua complessità. La definizione di questo termine si deve al musicista e **studioso canadese Raymond Murray Schäfer**, secondo cui il paesaggio sonoro è la manifestazione acustica del “luogo”, nel senso che i suoni danno agli abitanti un “senso del luogo” e la qualità acustica del luogo è modellata dalle attività e dal comportamento degli abitanti. Ogni specie animale emette suoni adatti a comunicare ad altri un pericolo, la disponibilità di cibo o gli stati d’animo, ma anche minacce, ordini o inviti. **Insieme a quelli delle altre specie, i gridi e i canti costruiscono in ogni ambiente paesaggi sonori diversissimi.**

La nascita dei primi studi di bioacustica

I primi interrogativi sull’ambito acustico risalgono al ‘700, grazie ad una supposizione di Lazzaro Spallanzani. Lo studioso si domandò come i pipistrelli facessero ad orientarsi al buio e, per indagare il fenomeno, preparò un percorso nella completa oscurità con dei fili tesi, dotati di campanello. Da bendati gli animali evitarono i fili e non fecero suonare nulla, mentre, quando vennero tappati i canali uditivi, fecero suonare i campanelli, urtando gli ostacoli. Essendo gli ultrasuoni emessi da tali animali non udibili per l’orecchio umano, restava ancora oscuro il meccanismo di orientamento nello spazio da essi adottato, ma fu possibile ricondurre ai doti uditivi la capacità di muoversi al buio.

L’esatto meccanismo alla base di questa peculiarità di molti chiroterteri fu scoperto per la prima volta intorno al 1938, dallo zoologo Donald Griffin in collaborazione con il neuroscienziato Robert Galambos. I due ricercatori riuscirono ad identificare come fosse possibile che i pipistrelli percepissero gli ostacoli al buio. **Fu poi Griffin nel 1944 a coniare il termine “ecolocalizzazione”.** Grazie a un sistema in grado di registrare anche le frequenze non udibili, gli scienziati scoprirono infatti che i pipistrelli emettevano note di un’ottava più acute del

limite massimo di sensibilità dell'orecchio umano. Basandosi sull'eco generata da questi suoni, gli animali erano in grado di identificare gli ostacoli con grande precisione. La controprova venne data dal fatto che i pipistrelli, quando venivano loro tappate la bocca o le orecchie, non erano più in grado di orientarsi al buio. In seguito questo sistema venne scoperto anche nei cetacei e in alcune specie di uccelli.

Un altro pioniere della bioacustica è stato lo sloveno Ivan Regen, che ha posto l'attenzione sul mondo degli insetti. Nel 1925 dimostrò che grilli e cavallette rispondono agli stimoli acustici che ricevono da altri individui, spingendosi a stimolare gli insetti a rispondere a suoni artificiali tramite degli altoparlanti. Fu il primo studioso a comprendere e descrivere l'organo timpanale, dal quale originano le capacità uditive degli insetti.

Un vero e proprio esperto di bioacustica moderna in Italia ed Europa era il professor Gianni Pavan, scomparso di recente. Amante della musica, ha iniziato ad interessarsi di suoni dapprima come fonico, per una band di amici. Ha studiato scienze naturali all'università ed è poi riuscito ad unire le due passioni, musica e natura, con una brillante carriera nel modo della bioacustica. Dopo la laurea per molti anni si è dedicato allo studio dei mammiferi marini con lo sviluppo di strumenti e di software dedicati. Negli ultimi vent'anni si è sempre più concentrato sullo studio dell'ambiente acustico, comprendendo infrasuoni e ultrasuoni. Come racconta, dal 2014 aveva preso parte ad un importante progetto di monitoraggio acustico finanziato dal CNRS francese. Grazie alle nuove tecnologie ha iniziato il monitoraggio della Riserva Naturale Integrale di Sasso Fratino, con la grande collaborazione dell'Ufficio UTB di Pratovecchio del Corpo Forestale dello Stato, ora transitato nel Reparto Biodiversità dei Carabinieri. Il progetto prevede la registrazione del paesaggio sonoro delle riserve della Lama e di Sasso Fratino con un protocollo di 10 minuti di registrazione ogni mezz'ora, giorno e notte. Analogo monitoraggio è in programmazione anche nella Riserva dell'Isola di Montecristo gestita dal Reparto Biodiversità dei Carabinieri.

Metodi innovativi e pratici per monitorare la biodiversità

Monitorare la biodiversità è fondamentale per osservare la salute degli ecosistemi ed è importantissimo ai fini della conservazione e tutela dell'ambiente. Per stimare la presenza delle specie in un habitat vengono osservati due parametri, rispettivamente chiamati α e β .⁴³

Con **diversità α** si intende la varietà di specie all'interno di una comunità di viventi, mentre per **diversità β** si osservano le differenze tra le comunità in una stessa area geografica. Per misurare

⁴³ Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., & Duvail, S. (2008). Rapid Acoustic Survey for Biodiversity Appraisal. PLoS One, 3(12), e4065. doi: 10.1371/journal.pone.0004065

la diversità biologica sono stati introdotti alcuni metodi: può essere infatti calcolata come il cambiamento medio (*turnover*) nella composizione delle specie tra due comunità. La sua quantificazione si basa principalmente su inventari che sono costosi e difficili da compilare e richiede che l'identità delle specie sia nota. Per raccogliere questi dati sono necessari diversi anni di sforzi, un importante gruppo di specialisti e, nella maggior parte dei casi, è illusorio registrare e confrontare la ricchezza assoluta di specie di comunità in un breve periodo di tempo. In alternativa, ci si può concentrare su un solo *taxon*, ovvero un gruppo di organismi facenti parte di una stessa categoria, avendo determinate caratteristiche comuni e ben distinguibili da altri taxa.

Si può supporre che la diversità all'interno di questo gruppo sia rappresentativa della varietà degli altri taxa, tuttavia, per affermare che questo taxon sia un indicatore affidabile, è necessario che diversi criteri relativi alle sue proprietà biologiche vengano oggettivamente testati, sempre attraverso campionamenti in posizioni rappresentative dell'habitat. **La bioacustica può quindi essere applicata in questo ambito, per osservare lo stato di salute e la biodiversità dei vari ambienti. Questo tipo di studi risulta meno impegnativi e dispendiosi e possono protrarsi per un intervallo di tempo più lungo.** Queste tecnologie hanno però il limite di essere sensibili anche ai rumori, rendendo quindi necessari studi preliminari e analisi acustiche.

4.1 Gli uccelli: i cantanti più famosi

Prepariamoci quindi ad entrare nel mondo musicale della natura, partendo proprio dal progetto a cui ha preso parte Gianni Pavan nella riserva naturale integrale (RNI) di Sassofratino, istituita per prima nel 1959.⁴⁴ Quest'area di inestimabile valore ha tra i più alti livelli di biodiversità in Italia ed è stata anche riconosciuta a livello internazionale con il Diploma Europeo per la Conservazione della Natura dal Consiglio d'Europa. È il progetto SABIOD (Scaled Acoustic BIODiversity) ideato nel 2014 in collaborazione con l'Università di Pavia (Italia), il Corpo Forestale dello Stato (ora Reparto Carabinieri), l'Università di Toulon (Francia), l'Università di San Pietroburgo (Francia) e con il supporto del Centro Nazionale Francese per la Ricerca Scientifica (CNRS,) quello che ha visto coinvolto il professor Pavan e il suo team. **Nel dettaglio il progetto consiste nella registrazione e nell'indagine del paesaggio sonoro di siti naturali con diversi livelli di protezione e contaminazione dal rumore antropico, attraverso l'installazione di una serie di registratori autonomi per una durata di un anno.**

In un'intervista⁴⁵, il ricercatore italiano ha evidenziato l'importanza del sito: “Con le registrazioni effettuate a partire dal 2014 con registratori automatici che registrano 10 minuti ogni mezz'ora, costantemente, emerge un quadro molto preciso di un ecosistema sonoro ricco di biodiversità, modellato dal ciclo giorno/notte, dal ciclo delle stagioni e delle temperature. Inverni silenziosi con la prevalenza dei suoni della geofonia, in primavera notti silenziose con l'esplosione dei canti degli uccelli all'alba che poi continuato per tutto il giorno con un picco finale al tramonto; l'arrivo dell'estate è segnato della diminuzione dei canti diurni degli uccelli, ma con l'aumento della temperatura iniziano a cantare gli ortotteri sia di notte che di giorno, e con l'autunno iniziano i bramiti dei cervi nel periodo riproduttivo. Uno studio complesso che mostra i ritmi naturali del paesaggio sonoro, non perturbato dalla presenza dell'uomo e delle sue macchine rumorose. Inoltre, seguendo un approccio analitico più classico, le registrazioni ci testimoniano la presenza di specie canore riconoscibili dal loro canto e pertanto possiamo verificarne la presenza e osservare eventuali cambiamenti di anno in anno. La biofonia si estende poi anche a frequenze non udibili dall'uomo, ad esempio molti ortotteri emettono anche ultrasuoni, e i pipistrelli usano gli ultrasuoni per l'ecolocalizzazione, per volare e trovare le loro prede durante la notte. In questa visione estesa oltre i sensi dell'uomo si parla più propriamente di “ambiente acustico”. Il progetto di ricerca include

⁴⁴Roberta Righini, Gianni Pavan, “A soundscape assessment of the Sasso Fratino Integral Nature Reserve in the Central Apennines, Italy”, proceedings of BIODIVERSITY, 19 novembre 2019, doi: 10.1080/14888386.2019.1696229

⁴⁵Sito web: <https://www.parcforestecasentinesi.it/it/news/i-suoni-di-sasso-fratino>

anche gli ultrasuoni dei pipistrelli e appositi registratori mostrano una rassicurante presenza di questi animali che ulteriormente testimoniano la ricchezza dell'ecosistema.”

Nell'ambito di questo studio una serie di rilevazioni è stata effettuata, secondo le modalità descritte dal professor Pavan, dall'8 maggio al 10 giugno 2017 e sono stati raccolti 488,30 GB di dati acustici, ovvero 4560 file di registrazione, provenienti da tre diversi siti all'interno della riserva. Dalle registrazioni è si è osservato come in tutti i siti le notti fossero tranquille, rispetto alle ore diurne, invece molto ricche di suoni. La biofonia, complessa e composita, occupava per lo più l'intervallo di 1500-9000 Hz, mentre poche specie che vocalizzavano nell'intervallo 400-1500 Hz. È stata rilevata anche la componente tecnofonica, dovuta, come da previsione, a sorvoli aerei ad alta quota. Il sito di registrazione in posizione marginale presentava un paesaggio sonoro differente, rispetto agli altri due forse per il fatto che si tratta di un'area di transizione dal bosco alla radura più aperta e presenta una maggiore eterogeneità arborea. Durante il giorno, inoltre, le tendenze orarie nei tre siti di registrazione erano diverse. Escludendo le influenze antropogeniche, questa differenza è probabilmente dipendente da fattori ambientali che possono influenzare la struttura acustica delle vocalizzazioni aviarie.

Ai tempi di questo primo studio, le registrazioni venivano analizzate in toto dagli esperti. Si trattava di un lavoro complesso e impegnativo anche dal punto di vista dell'impiego temporale, ma con il persistente impegno nell'innovazione tecnologica, sono nati i primi sistemi automatizzati per il riconoscimento dei suoni prodotti dagli animali. Di questo aiuto hanno usufruito i ricercatori per il monitoraggio dell'avifauna nel Parco Nazionale dello Yushan⁴⁶:

Il progetto di monitoraggio acustico passivo nel Parco Nazionale dello Yushan

Il gruppo di ricerca di Shih-Hung Wu, ricercatore presso il dipartimento di Scienze Biologiche dell'Università Nazionale di Sun-Yat Sen di Taiwan e presso l'Istituto di Ricerca per le specie endemiche di Nantou, si è affidato alle tecniche di monitoraggio acustico passivo (PAM, *passive acoustic monitoring*) combinate con l'utilizzo di un identificatore audio automatico, per osservare la situazione nel **Parco Nazionale dello Yushan**, in Cina. L'area dello studio, come riportato **nell'articolo pubblicato sul *Biodiversity Data Journal***⁴⁷, è la regione più a sud del parco, composta da un classico ecosistema montano, nel centro di Taiwan. Gli studiosi si sono concentrati sull'analisi delle popolazioni di uccelli, comunemente considerati indicatori di biodiversità, il cui

⁴⁶ Federica Teti, “Canti degli uccelli per osservare la salute degli ecosistemi”, articolo di Pikaia – Il portale dell'evoluzione, 28 luglio 2023

⁴⁷ Shih-Hung Wu et al., “An acoustic detection dataset of birds (Aves) in montane forests using a deep learning approach”, proceedings of Biodiversity Data Journal 11, doi: 10.3897/BDJ.11.e97811

monitoraggio con tecniche tradizionali risulta complesso sia per l'inaccessibilità delle regioni studiate che per l'investimento economico necessario. **Il monitoraggio acustico passivo sta guadagnando terreno in ecologia perché utilizza unità di registrazione autonome (ARU, *autonomous recording unit*) che possono essere posizionate in ambienti diversi per lunghi periodi, consentendo di raccogliere grandi quantità di dati ad alta risoluzione.** I vantaggi dell'assenza dell'osservatore, la necessità di un numero ridotto di esperti qualificati e i bassi costi di manutenzione rendono il PAM un metodo conveniente di monitoraggio a lungo termine, in particolare per gli uccelli. L'estrazione manuale delle informazioni sulla specie degli individui da un gran numero di registrazioni richiede però molto tempo e lavoro. A supporto di questo sistema, vengono quindi utilizzati **strumenti di identificazione automatizzata, quali BirdNET e SILIC, che sono stati sviluppati per superare questi problemi.** Si tratta di sistemi di apprendimento automatico che funzionano in maniera simile alle reti neurali umane e, una volta "addestrati", sono in grado di procedere in autonomia al riconoscimento delle varie specie. In particolare, BirdNet è disponibile anche in forma di applicazione gratuita ed è a disposizione di tutti gli utenti.

Nello specifico i monitoraggi presso il Parco Nazionale dello Yushan hanno avuto inizio nel 2020, con il posizionamento di sei stazioni per le rilevazioni acustiche. Il set di dati raccolto contiene 6.243.820 vocalizzi appartenenti a **sette specie di uccelli della foresta montana** registrate nel 2020



Figura 10. Gray-chinned Minivet, Shih-Hung Wu, Ph.D. Candidate, CC BY, via Pensoft publishers

e nel 2021: si tratta di *Heterophasia auricularis*, *Psilopogon nuchalis*, *Liocichla steerii*, *Yuhina brunneiceps*, *Pericrocotus solaris* (in foto), *Myiomela leucura* e *Corvus macrorhynchos*. Queste vocalizzazioni sono state identificate automaticamente da 1.776.492 registrazioni di un minuto, circa 29.608 ore, usando SILIC. Le specie, le coperture temporali e spaziali vengono aggiornate annualmente.

Canti di uccelli per riflettere sull'impatto di attività umane e cambiamenti climatici

Nella maggior parte dei metodi tradizionali di osservazione umana per il monitoraggio degli uccelli, vengono osservati i cosiddetti "eventi". In queste osservazioni, per evento si intende la presenza di uno o più organismi in un luogo e in un momento specifici. Tuttavia, in questo set di dati, **i soggetti**

sono le vocalizzazioni, non gli individui, perché non possiamo identificare gli esemplari che hanno prodotto i suoni uditi nelle registrazioni. **Il numero di vocalizzi rilevati per ogni classe sonora in una specifica registrazione viene quindi considerata come un evento.** Il numero di uccelli non può essere direttamente dedotto, anche se alcuni studi hanno trovato una relazione positiva tra vocalizzazioni e abbondanza di individui.

Grazie alle informazioni ottenute tramite monitoraggio acustico passivo è possibile fare considerazioni relative al comportamento degli animali, la loro distribuzione, i periodi migratori. **Queste considerazioni possono anche essere estese, ponendo attenzione all'influenza delle attività umane e dei cambiamenti climatici sulla composizione e sulle dinamiche delle popolazioni.** Bisogna tenere conto anche che le sei stazioni PAM, ognuna delle quali contiene una sola unità di registrazione automatica, potrebbero non rappresentare pienamente la popolazione animale in habitat o ad altitudini simili. Inoltre, il raggio di rilevamento delle ARU non è noto e, di conseguenza, non è stato possibile valutare il volume di spazio campionato. Non è possibile conoscere nemmeno l'intensità dei suoni emessi e il suo effetto sul processo di rilevamento automatico. **I ricercatori al momento quindi analizzano il dataset, concentrandosi sulla presenza delle specie, piuttosto che sulla loro abbondanza.** Esaminando le registrazioni in un secondo momento senza programmi di identificazione automatica, gli utenti potrebbero fornire un dataset veritiero utile a sviluppare nuovi modelli per i sistemi di identificazione del suono.

Pensando al paesaggio sonoro, manteniamo la nostra attenzione sui canti degli uccelli, che si sentono nei parchi cittadini, sugli alberi vicino a casa, anche se i rumori di origine antropica talvolta li sovrastano. I loro versi sono quello che più si avvicina alla musica e, come abbiamo visto, sono stati fonte d'ispirazione per l'uomo preistorico, ma anche per i primi compositori nella creazione delle loro opere. Anche gli studiosi sono stati catturati dalla magia del loro linguaggio e, grazie alle nuove tecnologie esistenti, si sono potuti addentrare sempre di più nel mondo naturale per osservare come si comportano questi animali "in punta di piedi", senza che siano turbati dalla presenza umana. Grazie a questi stratagemmi è stato possibile osservare come la comunicazione tra gli uccelli sia tutt'altro che banale, ci sono numerosissimi schemi melodici, con funzioni differenti e le sfumature della comunicazione delle diverse specie sono ancora da comprendere fino in fondo.

Lo sfumato confine tra canti e richiami⁴⁸

Il confine tra richiami e canti è difficile da delineare. Uno dei primi studi volti a definire i canti degli uccelli risale al 1773, in cui il naturalista Daines Barrington si è posto come obiettivo quello di

⁴⁸ Federica Teti, "Il canto degli uccelli: un immenso mondo da esplorare", articolo di Pikaia – Il portale dell'evoluzione, 11 agosto 2023

chiarire cosa caratterizzi i canti degli uccelli. Per lo studioso è **la successione di tre o più note differenti, senza interruzione durante lo stesso intervallo, con una battuta musicale composta da quarti in movimento adagio, o, più concretamente, mentre un pendolo oscilla per quattro secondi**. Lo studioso riconosce alcune sfumature tra il canto degli uccelli e le altre vocalizzazioni chiamate richiami e definisce questi ultimi come suoni che un uccello può fare intorno a un mese e mantenuti per tutta la vita, sia dagli esemplari di sesso maschile che femminile. Negli anni successivi poi, ci sono stati diversi tentativi di inquadrare i vari linguaggi utilizzati dagli uccelli, ma spesso le descrizioni sono vaghe e contraddittorie. **In generale i canti sono riconoscibili per la loro lunghezza, complessità e aspetto “quasi ritmico”** e queste caratteristiche valgono sia per i maschi che per le femmine. Nel 2021, i ricercatori guidati da Austin V. D. hanno fornito una nuova definizione secondo cui **i canti sono identificabili come vocalizzazioni risultate dalla selezione inter- e intrasessuale e comprendono solo le vocalizzazioni che sono controllate dalle due vie cerebrali strettamente collegate: la via motoria, che controlla la produzione di suoni e la via del prosencefalo, coinvolta nell'apprendimento.**⁴⁹

I limiti delle ricerche svolte fino ad oggi

L'aspetto predominante osservato è l'utilizzo del canto da parte degli esemplari di sesso maschile, sia per attirare le femmine che con fini territoriali. Nel 2014 però **Odom et al. hanno riscontrato** tramite registrazione **il canto femminile nel 70% delle famiglie di passeriformi**. Studi successivi hanno iniziato a integrare anche le vocalizzazioni delle femmine ed è risultato che i canti sono simili in struttura acustica e complessità a quelli degli esemplari maschi e, durante la stagione primaverile, emettono suoni per attirare partner o difendere il territorio. Alcuni canti risultano invece più semplici e con strutture differenti rispetto a quelle della controparte maschile ed è stato osservato anche l'utilizzo di suoni non a scopo riproduttivo, sono necessari altri studi per poter avere una maggiore comprensione dei suoni emessi dalle femmine.

Concentrandosi principalmente sui canti finalizzati all'accoppiamento, durante la stagione degli amori, si ha una carenza di dati sulle emissioni sonore degli uccelli nelle altre stagioni, soprattutto durante il periodo invernale. **A livello evolutivo la selezione sociale può aver influito sull'evoluzione dei canti degli uccelli, in quanto lo sviluppo di organizzazioni sociali complesse ha portato anche a un adattamento del linguaggio** e questo potrebbe essere particolarmente utile per capire i canti femminili, meno focalizzati sulla riproduzione. Per quanto riguarda i canti funzionali all'accoppiamento, in generale il periodo è stabilito da segnali ambientali, quali per

⁴⁹ “The singing question: re-conceptualizing birdsong”, Evangeline M. Rose et al., proceedings of Biological Reviews (2022), 97, pp. 326-341 doi: 10.1111/brv.12800

esempio l'abbondanza di cibo e la luminosità che vengono interpretati a livello del sistema neuroendocrino. Per le specie che abitano in regioni dal clima temperato, la luminosità è un buon modo per predire la futura abbondanza di cibo e quindi un periodo favorevole. Questi animali sono influenzati **dall'asse ipotalamo-ipofisi-gonadi (hypothalamic-pituitary-gonadal axis – HPG)**, che risponde alla lunghezza delle giornate, regolando di conseguenza il periodo di accoppiamento. Gli animali che vivono in habitat tropicali invece, risultano sempre pronti e la limitazione a questi comportamenti è data dalla disponibilità energetica.

Anche gli uccelli possono imparare nuove canzoni

Con l'aumento delle conoscenze e della comprensione dei meccanismi a livello cerebrale si è potuta osservare la capacità di imparare vocalizzazioni e suoni ed è stata riscontrata **una differenza enorme delle modalità di apprendimento tra le diverse specie**. La regione cerebrale coinvolta nell'apprendimento sonoro è risultata comunque la stessa legata alla produzione di suoni e richiami. Le prime evidenze di apprendimento vocale sono state ottenute attraverso **un'analisi dei suoni** che permetteva di visualizzare e comparare le vocalizzazioni emesse da vari individui, durante le diverse fasi della vita. È curioso come esistano specie dove i richiami siano parzialmente o completamente imparati, inoltre c'è un continuo aumento di studi e analisi che evidenziano **l'incredibile flessibilità acustica dei richiami** tra specie differenti, sia per esemplari di sesso maschile che femminile. In generale sono stati descritte **8 variabili che influiscono sulle modalità di apprendimento**: il periodo della vita dell'animale, l'ampiezza del repertorio, la misura relativa dell'imitazione rispetto all'improvvisazione, il ruolo dell'esposizione precoce, i potenziali modelli, il grado di differenza tra i sessi, il tipo di risposta sociale e il contesto sociale. **Gli uccelli sono diventati il modello neurobiologico dominante dell'apprendimento vocale, e allo stesso modo quest'ultimo è diventato parte integrante della definizione di canto.**

In conclusione, le vocalizzazioni degli uccelli costituiscono un universo ancora da esplorare a fondo, per poterne osservare, conoscere e comprendere tutte le sfumature.

Una potente serenata per attirare la partner



Figura 11. White bellbird singing, dalla pubblicazione

Per sedurre una compagna si sa, ci vuole qualcosa che la colpisca, che le faccia intuire la propria prestanza fisica. Gli esemplari maschi della specie *Procnias albus*, sono dei veri e propri esibizionisti, come hanno potuto sperimentare con le proprie orecchie i ricercatori Jeffrey Podos e Mario Cohn-Haft.⁵⁰ Durante le loro spedizioni in una foresta pluviale dell'Amazzonia brasiliana,

areale di questi animali, si sono adoperati per misurare l'ampiezza e l'intensità dei canti di accoppiamento in due specie di *cotinga*, l'uccello campanaro bianco e il piha urlante (*Lipaugus vociferus*). Tra i passeriformi, il piha urlante presenta il canto più forte, ma gli studiosi hanno notato che gli uccelli campanari bianchi sono più rumorosi di 9 dB, raggiungendo all'incirca il triplo dei livelli di pressione sonora dei piha. Hanno scoperto che i maschi di campanaro bianco danno il meglio di sé quando una femmina si trova nelle vicinanze, cantando al massimo delle proprie possibilità in termini di volume e ruotando il corpo a metà canzone per affrontare la femmina a testa alta. Insomma, le urlano letteralmente in faccia. Il loro potente canto ha una sonorità quasi metallica, lontana dal classico cinguettio trillante a cui siamo abituati. Le femmine in queste interazioni si sono sempre ritirate durante o poco prima che il maschio cantasse, ma hanno comunque assistito alla performance a distanza molto ravvicinata, a volte a quattro metri o meno. Non conosciamo altre specie in cui segnali vocali di tale ampiezza siano diretti a ricevitori così vicini: **con un volume massimo che si aggira intorno ai 125 dB, il campanaro bianco risulta l'uccello con il canto più potente finora documentato.** In entrambe le specie di uccelli Podos e Cohn-Haft, hanno notato una correlazione tra intensità e durata della vocalizzazione, ipotizzando che la regolazione del flusso d'aria per aumentare l'ampiezza del canto, porti ad un esaurimento più rapido di quest'ultima, con canti conseguentemente più potenti, ma di più breve durata.

Uccelli dotati di sonar

Ma il mondo degli uccelli non ha ancora finito di stupire con le sue particolarità. Alcuni di loro hanno voluto distinguersi dalla massa, sviluppando la capacità di ecolocalizzare. Si tratta dei guaciari, *Steatornithidae caripensis* dell'ordine *Caprimulgiformes*, uccelli di grandi dimensioni,

⁵⁰ Jeffrey Podos, Mario Cohn – Haft, "Extremely loud mating songs at close range in white bellbirds", proceedings of Current Biology, 21 ottobre 2019, doi: 10.1016/j.cub.2019.09.028

tanto che il loro nome scientifico letteralmente significa “uccello grasso di Caripe”, ma anche di alcune specie di rondoni ovvero *Apodiformes*, *Apodidae*, *Collocaliini*, *Aerodramus* spp. and *Collocalia troglodytes*.⁵¹

I primi pesano intorno ai 400 grammi, con una lunghezza dal becco alla coda di 45 centimetri e un'apertura alare fino ad 1 metro. Si appollaiano in grotte naturali, principalmente nella foresta tropicale dell'America meridionale occidentale e di Trinidad, ma sono stati osservati alcuni individui anche sugli alberi. La loro dieta è costituita principalmente da frutta, di cui si cibano durante le ore notturne. Questi uccelli possiedono occhi di grandi dimensioni e una retina con recettori per i bastoncelli disposti in una struttura a tre strati, che conferisce un rapporto tra questi ed i coni molto più elevato rispetto ai gufi, tra i più famosi rapaci notturni, e una densità di bastoncelli superiore a quella di qualsiasi altro vertebrato. Questa peculiarità potrebbe conferire ai guaciari una maggiore sensibilità visiva in condizioni di scarsa illuminazione rispetto ai parenti di Anacleto.

Questi uccelli sembrano dipendere principalmente dalla vista quando possibile, come dimostrano le osservazioni secondo cui l'incidenza delle emissioni di click sonar diminuisce nelle notti di luna luminosa o in presenza di fonti di luce artificiale. Rispetto ai guaciari invece i rondoni sono molto più piccoli, si aggirano intorno ai 10 grammi, sono principalmente diurni e cacciano piccoli insetti. Si trovano in tutta la regione indopacifica, dalle Seychelles e Mascarenes nell'Oceano Indiano a Tahiti, Mo'orea e le Marchesi nel Pacifico meridionale. Di notte si appollaiano tipicamente in nidi situati sulle pareti di grotte naturali o di miniere e gallerie, ma è interessante notare che sono state pubblicate osservazioni di attività notturne, compreso il nutrimento, da parte di alcune specie di rondoni al di fuori dei loro rifugi in grotta. **Non tutte le specie di rondone sono in grado di ecolocalizzare, ad oggi è sicuro che solo 16 abbiano questa capacità.** Anche loro hanno occhi relativamente grandi per le loro dimensioni corporee e sembrano utilizzare la vista anche in condizioni di scarsa illuminazione.

L'ecolocalizzazione consiste nell'estrarre informazioni sull'ambiente circostante dagli echi di ritorno dei propri segnali. Tuttavia, la fisiologia vocale, i meccanismi di produzione del suono e la progettazione del segnale differiscono notevolmente tra gli ecolocalizzatori. In questo caso gli uccelli emettono dei "click", ovvero segnali acustici brevi che non presentano variazioni strutturate di frequenza nel tempo. Una successione rapida di questi suoni, che hanno origine dalla siringa, un organo vocale specifico che si trova vicino al punto in cui la trachea si biforca nei polmoni, è chiamata "click burst". **Gli uccelli ecolocalizzatori utilizzano click dominati da basse frequenze**

⁵¹ Signe Brinkløv, M. Brock Fenton, John M. Ratcliffe, “Echolocation in Oilbirds and swiftlets”, proceedings of Frontiers in Physiology, 28 maggio 2013, doi: 10.3389/fphys.2013.00123

che limitano la loro capacità di individuare bersagli di piccole dimensioni. Un corpo riflette gli echi solo se la sua sezione trasversale è grande almeno un terzo delle lunghezze d'onda che lo colpiscono. Pertanto, i click di ecolocalizzazione degli uccelli non sono adatti a rilevare oggetti più piccoli, come le prede di diametro inferiore a 2-3 cm. Per quanto riguarda i guaciari, nutrendosi di frutta di dimensioni maggiori, sembra plausibile l'ipotesi che utilizzino i click per la ricerca di cibo, ma in generale sia questi uccelli che i rondoni si orientano visivamente quando le condizioni di luce ambientale sono sufficienti, come indicato dall'assenza di suoni di ecolocalizzazione in tali condizioni e suggerito dai loro occhi più grandi rispetto ad altri uccelli. Tuttavia, l'assenza di dati sui livelli di luce rilevati in concomitanza con le registrazioni acustiche rende poco chiaro in quali condizioni esattamente gli uccelli dovrebbero affidarsi all'ecolocalizzazione piuttosto che alla visione.

I click emessi dagli uccelli sembrano invece avere un ruolo importante nella loro comunicazione: nelle grotte dove riposano devono far fronte a una serie di riverberi provenienti dalle superfici rocciose e a una cacofonia di click dei conspecifici. Ad esempio, gli starnazzi sociali dei guaciari assomigliano a una raffica prolungata di click, che comprende fino a più di 20 subunità, e sono spesso emessi quando più uccelli volano insieme. Tali segnali hanno probabilmente una funzione comunicativa per gli uccelli che volano in prossimità, analogamente alle funzioni sociali suggerite per i ronzii dei pipistrelli emessi al di fuori del contesto della cattura di prede. Inoltre, sia i guaciari che i rondoni sembrano foraggiare socialmente, come indicato dalle osservazioni di uccelli che arrivano ai luoghi di alimentazione e tornano alle grotte in gruppi di due o più individui. I rondoni dovrebbero essere in grado di mantenere il contatto visivo durante i loro foraggiamento diurno, ma per i guaciari, dato che si nutrono di notte, i segnali sonori possono facilitare la coesione sociale durante il volo. I ricercatori hanno notato come i click dei rondoni siano caratterizzati da frequenze differenti caratteristiche di ogni specie, portando a supporre che i click di ecolocalizzazione dei rondoni possano essere utilizzati per il riconoscimento dei conspecifici, una strategia importante quando diverse specie hanno distribuzioni geografiche sovrapposte e possono condividere o competere per l'accesso alle grotte. Analogamente, l'asimmetria morfologica della siringa dei guaciari può consentire il riconoscimento individuale durante la comunicazione vocale. Le differenze individuali nell'asimmetria del tratto vocale sono state suggerite come mezzo per distinguere gli echi provenienti dai propri segnali di ecolocalizzazione dai click e dagli echi provenienti dai loro coinquilini. Gli studiosi suppongono che questi animali utilizzino segnali di tipo "click" per l'ecolocalizzazione, perché sono di breve durata e permettono di rilevare oggetti anche a distanze molto ridotte. In aggiunta o in alternativa, i click potrebbero essere segnali più efficaci per il rilevamento di oggetti a distanze maggiori, perché

meno costosi dal punto di vista energetico, da produrre utilizzando la siringa e più rumorosi di altri segnali che utilizzano lo stesso input energetico. Nonostante i numerosi tentativi di scoprire eventuali specializzazioni morfologiche e neurologiche, non è stata ancora trovata alcuna specializzazione nella morfologia delle siringhe, nelle capacità uditive, nella morfologia dell'orecchio medio o nei centri di elaborazione superiore a livello cerebrale dei guaciari o dei rondoni ecolocatori che li distingua dagli uccelli non ecolocatori. Entrambi i gruppi utilizzano l'ecolocalizzazione per accedere ai siti di riposo e ai nidi nelle grotte e nelle gole profonde, dove possono essere protetti da alcuni predatori. Questa variabile ecologica comune, quindi potrebbe aver fornito l'impulso evolutivo per la comparsa multipla dell'ecolocalizzazione all'interno del clade. Un'analogia connessione tra l'abitare le grotte e l'uso dell'ecolocalizzazione sembra essere presente nei pipistrelli rousette.

4.2 L'ecolocalizzazione dei pipistrelli: la musica che “non sentiamo”

A proposito di ecolocalizzazione e pipistrelli, i ricercatori Adriano Martinoli e Damiano Preatoni sono degli esperti in questo settore ed hanno rilasciato un'interessante intervista per “Pikaia – Il portale dell'evoluzione”⁵²

*“Quando abbiamo catturato per la prima volta la **Nottola di Leisler**, la più piccola tra le tre presenti in Italia, ci siamo detti: «beh figurati, come sarà possibile che produca una emissione sonora così forte» e ci siamo avvicinati tendendo l'orecchio. Ha fatto una percussione allucinante: Damiano aveva fatto anche un calcolo della potenza sonora ed equivaleva a uno sparo di fucile a distanza di 10 metri, quindi è un impatto veramente molto, molto forte. Così abbiamo capito come mai gli insetti, colpiti da questa onda d'urto sonora, in effetti qualche conseguenza la riportino”*

Stiamo parlando di pipistrelli, nel caso specifico della cattura, di un esemplare di **Nottola di Leisler**, da parte dei professori **Adriano Martinoli** e **Damiano Preatoni**, ricercatori presso l'Università degli Studi dell'Insubria. I **chiroterri**, spesso circondati da un alone di mistero, emettono suoni a frequenze non udibili dall'essere umano: “*Noi Homo sapiens, si sa, siamo antropocentrici: così come ci siamo inventati l'infrarosso nel visibile, perché è un limite nostro, abbiamo gli infrasuoni e gli ultrasuoni, ma semplicemente perché è un modo un po' elegante per dire che noi lì, non ce la facciamo*” afferma Preatoni.

Tra aneddoti divertenti e battute pungenti i due ricercatori hanno sottolineato l'importanza delle innovazioni tecnologiche nel contributo alla ricerca per la tutela di specie a rischio e conseguentemente della salute degli ecosistemi più in generale.

Ma come e perché rilevare la presenza e le dinamiche delle popolazioni di pipistrelli? Quali gli strumenti per udire i loro versi?

*“I pipistrelli in generale – illustra il professor Martinoli – in particolar modo quelli europei e quindi, di conseguenza, quelli italiani, sono tutte specie minacciate di estinzione, a parte pochissime eccezioni. Noi usiamo la **bioacustica** come sistema molto speditivo per capire se i pipistrelli siano o meno presenti, utilizzando uno strumento che si chiama **rilevatore di ultrasuoni, bat detector** se vogliamo usare un inglesismo. Registrando i suoni e facendo delle analisi, riusciamo a capire che gruppi di specie siano presenti per poi **procedere con la cattura degli animali**. Si possono poi effettuare analisi sanitarie e genetiche, valutare lo stato di salute degli*

⁵² Federica Teti, “L'ecolocalizzazione dei pipistrelli: la musica che non sentiamo”, articolo di Pikaia – Il portale dell'evoluzione, 11 ottobre 2023

*animali o mettergli dei tag che ci permettono di seguirli e di conseguenza, di studiare la loro ecologia comportamentale, dove vanno alimentarsi e a rifugiarsi. Se invece il bat detector ci dice «guarda qua non sta girando niente» cambiamo aria e non perdiamo una serata. Molto spesso è proprio la volontà di fornire delle indicazioni per la tutela e per la conservazione attiva di determinate colonie il motivo per cui vengono avviati studi approfonditi come quello descritto. Un punto di fragilità dei pipistrelli, infatti, essendo animali gregari durante alcune fasi del loro ciclo vitale, è che si riuniscono anche in grandi numeri in posti in molto ristretti come una grotta o il sottotetto di una casa, il che aumenta molto la loro vulnerabilità. Se io impazzissi letteralmente, entrassi in una grotta e facessi scoppiare una bomba, distruggerei l'intera popolazione. In sostanza **non ci siamo messi a studiare pipistrelli perché siamo matti, ma perché ce n'era bisogno.**”*

La situazione attuale in Europa

I due studiosi hanno cominciato a studiare i chiroteri trent'anni fa, quando si conoscevano poco più di 20 specie di pipistrelli italiani. **Ora sono 36, e tutte minacciate.**

*“Sono state identificate specie nuove – spiega Preatoni – quasi tutte “specie sorelle”, cioè entità che sono ben distinte geneticamente, anche se molto simili tra loro. Ce ne siamo accorti insospettiti da alcune minime differenze, e questo ci indica che c'è uno stato di conoscenze in avanzamento. **Le specie di pipistrelli europee sono tutte presenti nell'allegato IV della Direttiva Habitat e quindi inserite in Rete Natura 2000.** E ogni sei anni, ogni stato membro dell'Unione Europea deve compilare, banalizzando un po', una specie di «dichiarazione dei redditi» in cui indica quanti siti Natura 2000 ha, se ci siano pipistrelli, quanti, se sono aumentati o diminuiti. Proteggere vuol dire sapere quanti esemplari hai e dove”*

Ma il problema, spiegano i ricercatori, è proprio che **i pipistrelli sono animali difficili da censire. Gli uccelli cantano** e li sentiamo, altri animali lasciano tracce visibili, i pipistrelli no. Entrano in quel gruppo di “specie complicate” che eludono le nostre capacità sensoriali.

*“Come diceva Adriano, in due momenti del loro ciclo annuale sono gregari e se hai trovato la colonia la segui, ma trovarla...è più facile fare 13 al totocalcio.” esclama sorridendo, consapevole dell'iperbole proposta. “Allora l'unico momento, o comunque uno dei pochi momenti, in cui i pipistrelli potrebbero essere contattabili è **quando fanno un rumore.** Attenzione perché qui il suono c'è, ma non ha una funzione di comunicazione come nel caso degli uccelli, dei cervi o di altri mammiferi, come l'ululato del lupo per esempio. Più frequentemente, i «rumori» emessi dai pipistrelli servono come impulsi sonar. **Il fossile più antico (Icaronycteris gunnelli) ha 52 milioni***

*di anni, ed era già fatto a forma di pipistrello. Le parti molli non è che si conservino bene, però quella struttura fa dire ai paleontologi che **quegli animali erano già in grado di localizzare**, cioè di orientarsi con gli ultrasuoni. E qua entriamo nella fisica acustica: una corda di chitarra molto piccola fa un suono molto acuto, una corda lunga tre metri produce una nota molto bassa: viste le loro dimensioni ridotte, per i pipistrelli tutto è in proporzione. I pipistrelli, quindi, producono dei suoni così acuti che le nostre orecchie non ce la fanno a percepirli.”*

Un aiuto ai ricercatori è arrivato dalla **tecnologia**, che si è evoluta moltissimo.

*“Da quando abbiamo cominciato io e Adriano c’è stato un cambiamento radicale. In quegli anni non potevamo mettere un tag agli animali, perché le trasmissioni erano enormi, pesantissime. Oggi con 200 € puoi procurarti una trasmissioni che pesa mezzo grammo, anche meno. Trovi il pipistrello che si alimenta, gli metti il tag e lo segui. Diventando pazzi per un paio di notti, inseguendo il segnale radio del tag, alla fine si capisce dov’è la colonia. Per quanto riguarda il monitoraggio con gli ultrasuoni, oggi **persino uno smartphone può essere usato come strumento**. In certi casi puoi anche azzardare, in base alla registrazione, un’identificazione della specie. Ma non essendo comunicazione nel senso etologico del termine, non è presente dell’informazione specie-specifica in quei segnali, e raramente è possibile un’identificazione certa. Però il modo di lavorare è molto migliorato: prima era una noia mortale riportare i dati. Si lavorava in analogico, dal nastro a cassette, dovevamo scaricare il suono sul computer, poi riportare come grafico, perché tra i nostri sensi è la vista quello che funziona meglio... Sì, noi siamo dei primati, degli animali visivi, non uditivi, quindi per studiare i suoni è più conveniente un certo tipo di rappresentazione che si chiama **sonogramma**. Ti mettevvi lì al computer con il mouse, altre volte con strumenti analogici, con l’oscilloscopio e il frequenzimetro, a metter giù dei punti di misura segnati su un pezzo di carta...adesso si è riusciti a insegnare a dei programmi per computer non solo a far le misure, ma a tagliare fuori il pezzettino di suono giusto su cui farle.”*

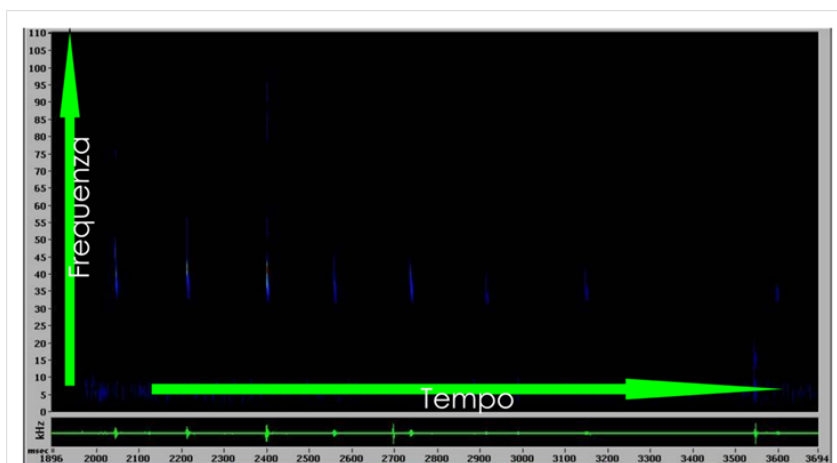


Figura 12. D.G. Preatoni, sonogramma

Citizen science: anche i cittadini possono venire in aiuto

Un altro strumento utile è la *citizen science*. Si tratta del coinvolgimento dei cittadini nelle ricerche scientifiche, e molte riguardano appunto il monitoraggio della biodiversità. Spiega Preatoni:

*“Gli svizzeri da anni hanno messo in piedi, come rete federale, dei centri di protezione chiroterri. **Chi ha una colonia di pipistrelli in casa la segnala** e poi arriva il chiroterrologo, l’esperto di chiroterri. Fanno così anche in Inghilterra. Ci sono i Bat Group: siccome i rilevatori di pipistrelli, i bat detector, oggi costano poco o è possibile autocostruirseli, **ci sono persone che per hobby fanno il monitoraggio di pipistrelli**. È chiaro che non puoi aspettarti la sistematica, però è **utile per sapere dove ce ne sono di più e indirizzare i ricercatori**. Noi e molti altri colleghi in Toscana, in Emilia lo facciamo lavorando con gli speleologi, per esempio. È il segmento di popolazione, di citizens, che magari fanno i bancari, però vanno in grotta e hanno visto «IL pipistrello». Perché nell’immaginario «il pipistrello» è uno, poi sono più di 30 specie. Allora diciamo «fammi una foto», «fammi una foto con un elemento di riferimento così capisco quanto è grosso», «mi ci porti» ...Mi fanno magari vedere la grotta, **da solo ci passeresti di fianco nel bosco e non la vedresti, perché è un buco di 30 cm**. Quindi sì, è possibile sfruttare la citizen science, anche se non è così facile come osservare la distribuzione degli uccelli a Milano.”*

Proprio come abbiamo visto nel caso di guaciari e rondoni, anche i pipistrelli emettono suoni per comunicare e riconoscersi

I pipistrelli chiacchierano tra loro con frequenze compatibili con l’udito umano

Ma gli scienziati non cercano solo gli ultrasuoni dei pipistrelli. **I pipistrelli comunicano tra loro, e in questo caso non usano gli ultrasuoni.**

*“**I pipistrelli sono animali sociali e se c’è se c’è socialità, ci deve per forza essere comunicazione. Ci deve per forza essere la capacità di riconoscere l’altro individuo, non semplicemente come conspecifico, ma «Ehilà ciao Pino, da quanto tempo non ci vediamo!»**. C’è una capacità di riconoscimento che si basa su segnali audio che però hanno due problemi per noi che vogliamo studiarli: primo non li fanno certo mentre stanno volando o comunque molto raramente. Questa vera e propria comunicazione, anche udibile da noi, **avviene quando sono in colonia, insieme**. Prima di tutto il tuo problema è trovare la colonia, poi questi segnali di comunicazione udibili non vengono emessi sempre e continuamente. Si possono sentire in questo periodo dell’anno, per esempio, perché l’autunno è il periodo che prelude all’ibernazione, quello in cui avvengono gli accoppiamenti. Molte specie fanno quello che si chiama **swarming, in italiano sciamatura, e fanno proprio questi display acustici per dire agli altri maschi di stare alla larga e poi per dire***

alle femmine «accoppiati con me che sono quello col genoma migliore», però succede solo in un certo periodo dell'anno e quindi, da un punto di vista dell'uso come strumento di indagine, si tratta di una finestra temporale che è talmente ristretta che è meglio lasciar perdere.» conclude Preatini

La maggior parte delle specie di chiroteri è a rischio di estinzione a causa dei cambiamenti climatici e della perdita di habitat idonei per cacciare e rifugiarsi. **Il loro monitoraggio attivo, grazie all'ausilio della bioacustica, è un passo importante per la loro tutela.**

Pipistrelli dal naso a foglia

Nell'immaginario collettivo i chiroteri sono avvolti da un alone di mistero, spesso collegati a leggende e miti spaventosi, ma la realtà è ben diversa. L'origine delle leggende probabilmente deriva dai pipistrelli ematofagi, che, per essere chiari, non si nutrono di sangue umano, ma di piccoli animali o di bestiame. In generale l'alimentazione di questi animali varia da specie a specie: ci sono nettariatori, frugivori, insettivori, alcuni si nutrono di piccoli mammiferi o pesci e nessuno di loro si tramuta in vampiro durante la notte.



Figura 13. Hugo Hulsberg, "Flat-faced Fruit-eating Bat (*Artibeus planirostris*)", CCO 1.0 Universal Public Domain Dedication, via Wikimedia Commons

Molto simpatico, per esempio, è il musetto dei fillostomidi (*Phyllostomidae*), con un nasino letteralmente a forma di foglia, tanto che in inglese sono chiamati leaf-nosed bat. In Brasile, dove sono state effettuati dei monitoraggi acustici di questi animali, sono presenti almeno 84 specie di fillostomidi, molte delle quali **forniscono servizi ecosistemici, come impollinazione, dispersione dei semi e soppressione degli artropodi, che sono fondamentali per il mantenimento di ecosistemi e habitat che sono sottoposti a una pressione sempre maggiore da parte delle attività**

antropiche. In questi ambienti il campionamento acustico integra le tecniche di cattura tradizionali, che da sole non sono sufficienti per inventariare completamente gli assembramenti di specie locali. Le diverse specie di fillostomidi, si nutrono diversamente, ma utilizzano richiami con una struttura simile, caratterizzati da modulazione di frequenza, tempi brevi e banda larga, costituiti da

armoniche multiple. È stato dimostrato che la divergenza nella struttura delle foglie del naso è legata alla specializzazione alimentare all'interno di questo gruppo, ma, questa variazione morfologica e la variazione associata nella struttura dei richiami sono probabilmente limitati da vincoli filogenetici. Pertanto, nonostante la loro diversità alimentare, questi chiroterteri si affidano a strategie di foraggiamento simili, tipicamente raccogliendo il cibo tra la fitta vegetazione. La bassa intensità e l'alta direzionalità dei loro richiami di ecolocalizzazione li rendono difficili da registrare e la maggior parte degli studi condotti finora si è concentrata su una o poche specie, lasciando molti richiami dei fillostomidi non descritti. I ricercatori Natalie Yoh, Peter Syme, Ricardo Rocha, Christoph F. J. Meyer e Adrià López-Baucells hanno tentato di colmare queste lacune, descrivendo e confrontando i richiami di ecolocalizzazione di 40 specie dell'Amazzonia centrale brasiliana, all'interno dell'area per il Biological Dynamics of Forest Fragments Project (BDFFP) a circa 80 km a nord di Manaus.⁵³ Accanto alle analisi acustiche sono state effettuate sessioni di cattura tra l'agosto 2011 e l'ottobre 2014, utilizzando reti da nebbia sia a livello del suolo che a livello delle chiome, posizionate in una varietà di habitat: foresta primaria continua, frammenti di foresta e foresta secondaria. Le reti sono rimaste posizionate per sei ore continue dopo il tramonto e gli individui che sono rimasti impigliati sono stati identificati utilizzando le guide di campo e le chiavi morfologiche disponibili. **Per l'analisi acustica sono stati analizzati 2112 impulsi provenienti da 135 individui e sono stati prodotti sonogrammi per 39 delle 40 specie ritrovate.** Per *Lophostoma schulzi* non è stato ottenuto un richiamo di ecolocalizzazione rappresentativo e di qualità sufficiente. **Tutte le specie, ad eccezione di *Ametrida centurio*, hanno prodotto richiami multiarmonici visibili nelle registrazioni grezze, in cui la frequenza di massima energia si trovava quasi esclusivamente nella seconda o terza armonica.** Le armoniche superiori alla terza erano rare e sono state considerate l'armonica di massima energia solo per il 2% degli impulsi registrati. La frequenza di picco della terza armonica è risultata significativamente inversamente proporzionale alla dimensione corporea: i pipistrelli di grandi dimensioni, come *Artibeus planirostris* con una massa corporea media di 51,0 g, hanno generalmente richiami a bassa frequenza, mentre i pipistrelli più piccoli, come *Vampyriscus bidens* la cui massa corporea media si aggira intorno ai 12,0 g, hanno esibito richiami ad alta frequenza. Ma è risaputo, esiste l'eccezione che conferma la regola: gli esemplari di *D. rotundus* hanno utilizzato frequenze inferiori a quelle attese in relazione alle loro dimensioni corporee. Ciò è probabilmente dovuto alle sue particolari

⁵³ Natalie Yoh, Peter Syme, Ricardo Rocha, Christoph F. J. Meyer, Adrià López-Baucells, "Echolocation of Central Amazonian 'whispering' phyllostomid bats: call design and interspecific variation" proceedings of Mammal Research, 30 maggio 2020, doi: 10.1007/s13364-020-00503-0

abitudini alimentari, ma non è chiaro se ciò sia legato alla strategia di foraggiamento o al tipo di preda.

Dalle analisi i ricercatori hanno notato una notevole somiglianza strutturale tra le varie sottofamiglie e tutte le specie, tranne gli esemplari di *Ametrida centurio*, hanno prodotto impulsi con più componenti armoniche, la maggior parte delle quali mostrava un alto grado di sovrapposizione spettrale. Questa estensione è funzionale ad ottenere una rappresentazione più completa dell'ambiente, con tanto di informazioni su forma, dimensioni e consistenza della vegetazione vicina. I fillostomidi non sono gli unici a utilizzare richiami multiarmonici a bassa intensità. Le famiglie *Nycteridae* e *Megadermatidae* non solo mostrano un'evoluzione convergente in termini di struttura dei richiami, ma presentano anche somiglianze con i fillostomidi per quanto riguarda la struttura del naso e le strategie di foraggiamento. Pertanto, pressioni ecologiche simili hanno portato ad adattamenti evolutivi simili. *Ametrida centurio* è una specie composta da esemplari che si muovono tra le chiome degli alberi e gli studiosi ritengono che la produzione di richiami con armoniche singolari rifletta le sue preferenze di habitat. Essendo inoltre i fillostomidi più piccoli, hanno minori esigenze in termini di manovrabilità rispetto ai pipistrelli più grandi. **Per poter sfruttare più risorse, la maggior parte dei fillostomidi presenta una struttura di richiami generalista. Ciò consente loro di adattare i richiami alla vasta gamma di condizioni ambientali incontrate e di risorse alimentari sfruttate.** Tuttavia, sono evidenti differenze sostanziali nelle frequenze di picco e la suddivisione acustica tra le specie è solitamente legata a differenze quali la preferenza per l'habitat e la selezione delle prede, o per facilitare la comunicazione intraspecifica. Confrontando gruppi più ampi di specie, la ricerca futura potrebbe essere in grado di scoprire i fattori determinanti per le caratteristiche dei richiami. In questo modo, si migliorerebbe la comprensione della funzionalità di queste caratteristiche e del loro scopo e, più in generale, si amplierebbero le conoscenze sull'ecologia del suono.

Frequenze e dimensioni corporee

Sulla relazione tra dimensioni corporee e frequenze dei richiami è incentrato un altro studio, in cui i ricercatori Mario G. Castro, Talita Ferreira Amado e Miguel Á. Olalla-Tárraga hanno analizzato frequenza di picco, larghezza di banda, durata del richiamo e massa corporea di ben 329 specie di Chiropteri, catalogandole anche in relazione al tipo di emissione nasale o orale.⁵⁴ Come previsto, l'aumento delle dimensioni è stato accompagnato da una diminuzione della frequenza di picco e della larghezza di banda e da un aumento della durata del richiamo e viceversa. L'aumento delle

⁵⁴ Castro, M.G., Amado, T.F. & Olalla-Tárraga, M.Á., "Correlated evolution between body size and echolocation in bats (order Chiroptera).", proceedings of BMC Ecology and Evolution, 15 aprile 2024, doi: 10.1186/s12862-024-02231-4

dimensioni corporee influenza le dimensioni delle camere di risonanza, rendendo gli animali più grandi costretti a produrre suoni a bassa frequenza. Inoltre, sebbene tutti i parametri analizzati abbiano mostrato un'evoluzione correlata, **è stato riscontrato che la massa corporea influisce maggiormente sulla durata dei richiami, piuttosto che sulla larghezza della banda.**

All'aumentare delle dimensioni corporee, infatti, corrispondono polmoni più grandi, in grado di mantenere il richiamo un intervallo di tempo maggiore. Per quanto riguarda l'ampiezza della banda, non sono ancora chiari i fattori fisici che la influenzino. A livello evolutivo si pensa che i pipistrelli le dimensioni ridotte siano state favorite in ambienti ricchi di vegetazione, in quanto suoni ad alta frequenza permettono la rilevazione di ostacoli vicini, consentendo di ottenere informazioni dettagliate dell'ambiente circostante. Un pipistrello relativamente grande che vola più velocemente, si troverà meglio a foraggiare in aree aperte, dove, per evitare l'attenuazione dell'ecolocalizzazione e aumentare il raggio di rilevamento di prede e ostacoli, la frequenza dei richiami deve essere ridotta. Dalle intercettazioni riscontrate durante lo studio, è stato osservato che le strutture nasali come le foglie del naso o i risonatori nasali producono frequenze più elevate rispetto all'emissione orale. Gli ultrasuoni prodotti nella laringe di un pipistrello a emissione nasale senza foglie nasali perderebbero rapidamente la direzionalità e, di conseguenza si pensa che, per ovviare al problema, questi animali possano aver sviluppato particolari forme del naso, come nel caso del leaf-nosed bat sopracitato. Inoltre, tutti gli emettitori nasali di questo studio, eccetto i *Rhinolophidae*, che emettono richiami significativamente più lunghi, probabilmente perché funzionali a compensare l'effetto Doppler, emettono richiami più brevi rispetto agli emettitori orali. Sono state proposte anche altre alternative alle dimensioni del corpo per spiegare la diversità dei richiami di ecolocalizzazione dei pipistrelli. In primo luogo, la co-evoluzione con falene in grado di sentirne i richiami sembra possa aver condotto ad un'alterazione delle frequenze di alcune specie, nel tentativo di eludere le prede. In secondo luogo, il ruolo dell'ecolocalizzazione nella comunicazione è stato proposto come utile nella suddivisione della nicchia e nella riduzione della competizione inter e intraspecifica.

I chiroteri come muse ispiratrici

Le emissioni dei pipistrelli hanno suggestionato anche il mondo della tecnologia e della musica. I ricercatori dell'Università di Mosul, in Iraq, si sono posti come obiettivo quello di sviluppare e realizzare un sistema informatico intelligente per riconoscere le immagini delle note musicali e classificarne la forma al fine di contribuire alla diffusione della cultura musicale e garantire allo stesso tempo semplicità, trasparenza, accuratezza e velocità nella comunicazione con gli utenti. Per sviluppare questo software hanno anche utilizzato un **“Bat algorithm”, uno degli algoritmi**

metaeuristici creati dal mondo nel 2010, ispirato alla natura che viene così spiegato sull'International Journal of Electrical and Computer Engineering⁵⁵:

“Sulla base delle caratteristiche precedenti, sono state sviluppate le seguenti tre regole di base per l'algoritmo: I pipistrelli utilizzano l'ecolocalizzazione con rilevamento della distanza e capiscono cosa si trovano di fronte, una preda o un ostacolo. In posizione X_i , il pipistrello vola a velocità (V_i) con la frequenza q_{min} , con la lunghezza d'onda variabile λ e il volume L_0 per cacciare la preda. Può regolare automaticamente la lunghezza d'onda (o la frequenza) dall'impulso emesso e regolare la velocità di emissione dell'impulso (0, 1) in base alla sua vicinanza al bersaglio. Sebbene l'intensità acustica possa differire da uno all'altro sotto molti aspetti, si presume che l'intensità acustica sia solitamente limitata e che L_0 vari da un valore fisso elevato a un valore costante minimo di L_{min} .”

In questa descrizione viene espresso in modo chiaro, se già dal nome non si fosse intuito, chi abbia ispirato gli studiosi e contribuito inconsapevolmente allo sviluppo di questo sistema intelligente per il riconoscimento delle note musicali.

⁵⁵ Ansam Nazar Younis, Fawziya Mahmood Ramo, “A new parallel bat algorithm for musical note recognition”, proceedings of International Journal of Electrical and Computer Engineering, 01 febbraio 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i1.pp558-566

4.3 I suoni segreti sotto il pelo dell'acqua

I pipistrelli sono famosi per l'ecolocalizzazione e, come abbiamo visto, anche alcuni uccelli utilizzano questo stratagemma. Ma non sono i soli: nelle acque profonde, dove la visibilità è scarsa, i grandi mammiferi sono giunti alla stessa conclusione.

Il suono non è altro che vibrazione, particelle che oscillano in un mezzo fluido e giungono all'ascoltatore. Siamo costantemente sottoposti a questo fenomeno, rumori di ogni tipo attraversano l'aria, ma non ci viene spontaneo pensare a quello che accade sotto la superficie dell'acqua, un ambiente distante dalla nostra quotidianità. **Delfini, orche e capodogli, tra gli odontoceti più conosciuti, sfruttano diversi registri vocali per l'ecolocalizzazione e la comunicazione**, producendo rumori, suoni e canti affascinanti e magici.⁵⁶

L'utilizzo dei suoni per la percezione dell'ambiente circostante

Per **ecolocalizzazione** negli odontoceti si intende l'emissione di una serie di "click" prodotti al fine di esaminare i dintorni, percepire ostacoli e prede. Ciò avviene tramite l'analisi delle tempistiche del ritorno degli echi dall'ambiente, che permette agli animali di avere una stima della distanza dell'ostacolo incontrato dal suono. Il team composto dai biologi danesi Peter T. Madsen, Coen Elemants e dalla tedesca Ursula Siebert ha osservato inoltre l'utilizzo di registri diversi per la comunicazione, paragonabili a quelli dell'essere umano e gli esiti di questo studio sono stati pubblicati su *Science*.⁵⁷ Secondo la prima ipotesi, la produzione dei suoni partiva dalla laringe, ma, grazie a una serie di analisi è stato possibile osservare come **la vera origine della comunicazione sia a livello delle cosiddette labbra foniche, strutture simili alla cavità nasale nell'uomo e situate nel cranio, affiancate da corpi adiposi chiamati *bursae***. Questa ipotesi è stata verificata tramite l'osservazione in vivo grazie a un endoscopio, durante la produzione del "click", delle labbra foniche in esemplari addestrati di tursiopi (*Tursiops truncatus*) e di focene comuni (*Phocoena phocoena*). Nello stesso momento è stata misurata la pressione dell'aria sia sopra che sotto le labbra foniche ed è stato osservato come delfini e focene producano il suono solo con un aumento della pressione nella zona sottostante queste ultime.

⁵⁶ Federica Teti, "Suoni sottomarini: la produzione musicale di delfini, orche e capodogli", articolo di Pikaia – Il portale dell'evoluzione, 5 settembre 2023

⁵⁷ "Toothed whales use distinct vocal registers for echolocation and communication" Peter T. Madsen, Coen Elemants, Ursula Siebert, *proceedings of Science*, 2 Mar 2023, Vol 379, Issue 6635, pp. 928-933, doi: 10.1126/science.adc9570

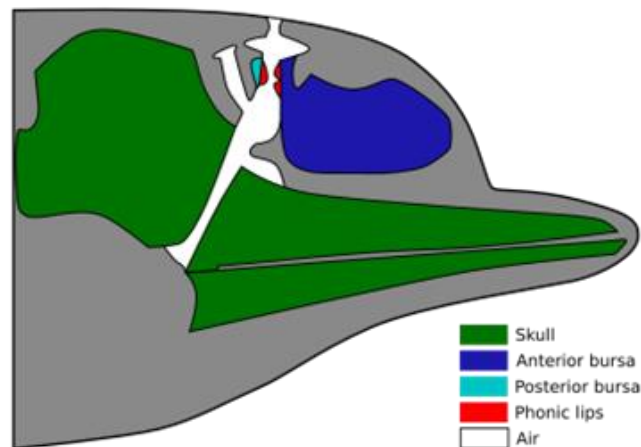


Figura 141. Testa di delfino schematizzata, che mostra le regioni coinvolte nella produzione del suono. Questa immagine è stata ridisegnata basandosi sul Cranford (2000). Immagini di Achim Raschka CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Per comprendere la meccanica dietro la produzione del “click” sono state fotografate le labbra foniche durante la produzione sonora in una preparazione *in vitro* di un complesso nasale di focene morte. Inducendo la produzione di sequenze di “click” a pressioni di soglia nasale maggiori a 5 kPa, si è potuto osservare come il suono fosse prodotto dalla collisione dell’aria sulle labbra foniche e non dalla loro apertura. Si tratta quindi di un fenomeno dovuto alla pressione esercitata su questi organi in seguito ad un flusso di aria, piuttosto che a una serie di veloci contrazioni muscolari. Osservando e registrando i tempi di apertura e chiusura delle labbra in corrispondenza dei suoni emessi fino a profondità di 1800 m e analizzando anche il fenomeno *in vitro*, gli studiosi hanno notato come gli odontoceti riducano l’ampiezza dell’apertura per aumentare l’accelerazione delle labbra, aggiungendo potenza ai “click” emessi ai fini dell’ecolocalizzazione.

Anche gli odontoceti “parlano” tra loro

Oltre ai fini dell’ecolocalizzazione, gli odontoceti producono una serie di suoni a bassa intensità e bassa frequenza per comunicare, descritti come scoppi, grugniti e fischi, anche questi originanti dalle labbra foniche. Negli esseri umani è possibile identificare tre registri distinti, in base all’ampiezza dell’apertura delle corde vocali che vibrano a differenti frequenze al passaggio del flusso d’aria. Il registro più basso (M0) è chiamato “vocal fry” seguito dalla voce di petto (M1), con suoni a frequenze maggiori, fino ad arrivare al falsetto (M2), padroneggiato dai cantanti. Per osservare come questo avvenga negli odontoceti, i ricercatori hanno utilizzato la

tecnica della DiceCT, ovvero una particolare tomografia computerizzata con contrasto. Dalle osservazioni risulta come le *bursae* siano funzionalmente analoghe alle corde vocali e sono stati riscontrati due adattamenti morfologici per ottimizzare l'emissione di suoni con registro M0, **ovvero una posizione più elevata, paragonata a quella delle corde vocali, riduce l'ampiezza dell'apertura tra le labbra foniche. Inoltre queste sono ricoperte da creste a livello dello strato superficiale, fattore che comporta un'anisotropia, ovvero una reazione differente in base alla direzione del flusso d'aria**, permettendo di produrre sonorità distinte.

Le osservazioni hanno quindi condotto a comprendere come **gli odontoceti producano suoni direzionati, potenti e ad alta frequenza per ottenere un quadro dell'ambiente circostante, mentre per comunicare si affidano a suoni con frequenze inferiori**. Grazie allo sviluppo di queste strutture anatomiche suoni e canti sono riproducibili anche sott'acqua, una magia che emoziona chi è in ascolto.

I canarini di mare

Tra i cetacei, i beluga, *Delphinapterus leucas*, chiamati anche balene bianche per la loro caratteristica colorazione, o “canarini di mare” per le loro vocalizzazioni molto musicali, **sono specie sentinella, ovvero la loro presenza indica un ecosistema salutare.**



Figura 15. Steve Snodgrass, “Beluga”, CC BY 2.0 DEED, via Flickr

Monitorare questi animali è

complesso, a causa dell'estesa copertura invernale di ghiaccio e delle condizioni ambientali estreme, con temperature molto basse e scarsa illuminazione. In aiuto ai ricercatori interviene la bioacustica, grazie all'ausilio di idrofoni e strumenti specializzati per il monitoraggio acustico passivo. Un team di studiosi, guidato da Manuel Castellote, ha registrato sequenze di click in tre regioni differenti.⁵⁸

La prima indagine è stata organizzata nel Kongfjorden, situato sulla costa nord-occidentale di Spitsbergen, in Norvegia, nell'arcipelago delle Svalbard, nel maggio 2007. Si tratta di un'area

⁵⁸ Castellote, M., Leeney, R.H., O'Corry-Crowe, G. et al. “Monitoring white whales (*Delphinapterus leucas*) with echolocation loggers”, proceedings of Polar Biology, 13 dicembre 2012, doi: 10.1007/s00300-012-1276-2

sogetta a scambi intermittenti tra le acque torbide del fiordo glaciale e le acque limpide dell'Atlantico. Tuttavia, durante l'inverno a cavallo tra il 2005 e il 2006, c'è stato un grande afflusso di acqua atlantica che ha fatto sì che questo fiordo rimanesse privo di ghiaccio marino. Questa zona presenta condizioni di bassa turbolenza in primavera, quando sono stati posizionati i **T-POD (Timing POrpoise Detectors)** e i **C-POD (Cetacean and POrpoise Detectors)**, ovvero i **dispositivi acustici passivi autonomi utilizzati per monitorare gli odontoceti**. I beluga sono i cetacei più comunemente osservati e più numerosi nell'arcipelago delle Svalbard, tuttavia, la dimensione della popolazione è sconosciuta. La seconda indagine si è svolta a Disenchantment Bay, lungo la costa centro-meridionale dell'Alaska, negli Stati Uniti, nel maggio 2008. L'acqua è molto torbida in quest'area studio ed è caratterizzata da un elevato accumulo di sedimenti a causa della presenza di diversi ghiacciai, tra cui il ghiacciaio Hubbard, che è il più lungo ghiacciaio di marea del Nord America e il più grande ghiacciaio di marea non polare del mondo. Il distacco del ghiaccio, o calving, può rimuovere grandi quantità di ghiaccio dai ghiacciai in tempi molto brevi e, durante questo studio sul campo, la sua quantità nell'area ha oscillato dallo 0 al 100% di copertura della superficie marina in intervalli di poche ore. La combinazione di vento, correnti e maree ha reso la presenza di ghiaccio alla deriva estremamente imprevedibile e dinamica. La presenza di balene bianche a Disenchantment Bay è interessante. Piccoli gruppi di beluga sono stati sporadicamente documentati in questa regione dal 1976, con stime sulle dimensioni dei gruppi che vanno da 2 a 21 balene. I risultati genetici suggeriscono che si tratti probabilmente di una piccola popolazione residente che potrebbe avere un'ecologia unica e un home range stagionale ristretto. La terza indagine si è svolta a Cape Beluzy, situato sulla costa occidentale dell'isola di Solovetskiy, nel Mar Bianco, in Russia, nel luglio 2008. In questo periodo il Mar Bianco non è ghiacciato e le acque torbide raggiungono l'area di studio dalla zona del delta dell'Onega. La circolazione ciclonica lungo la costa del Mar Bianco dirige il flusso delle acque relativamente trasparenti del Mare di Barents lungo la costa occidentale del Mar Bianco, raggiungendo l'isola di Solovetskiy rendendo quindi le acque di questa zona meno torbide rispetto a quelle osservate a Disenchantment Bay, ma non così limpide come nel Kongfjorden. I beluga abitano il Mar Bianco tutto l'anno, anche se sono osservati più regolarmente dalla fine di maggio a settembre. La stima delle dimensioni della popolazione di balene bianche residenti in questa regione è di 2.000-2.500 balene, con proporzioni sconosciute di animali residenti e migratori. Cape Beluzy è stato identificato come un'area di raduno.

Partendo dalla prima area, il 15 maggio 2007 i ricercatori hanno riscontrato la presenza di un gruppo composto da circa 40 beluga, con una registrazione di 6 treni di click composti da 4 a 68 emissioni, per un totale di 127 click. I treni effettivi prodotti dalle balene bianche erano indubbiamente più lunghi, poiché il sistema veniva attivato da alti livelli di pressione sonora mentre

un determinato animale era rivolto verso l'idrofono. Tra il 10 e il 20 maggio 2008, a Disenchantment Bay, quattro T-POD sono stati impiegati per 607 ore, rilevando 167.579 click di ecolocalizzazione. Successivamente tra il 25 e il 31 maggio 2009, un C-POD è stato dispiegato per 141 ore e sono stati rilevati rispettivamente 750 click di ecolocalizzazione il 28 maggio e altri 57 click il 30 maggio. Le registrazioni sonore effettuate nell'area di studio sia nel 2008 che nel 2009 hanno rivelato che il movimento del ghiaccio e il suo scioglimento creano un ambiente estremamente rumoroso. Tra il 7 e il 24 luglio 2008, un T-POD è stato dispiegato per 408 ore a Cape Beluzy e durante questo periodo sono stati rilevati in totale 1.612.091 click di ecolocalizzazione.

I risultati di Kongfjorden sono in contrasto con quelli di Disenchantment Bay e Cape Beluzy. Sebbene questa discrepanza possa essere legata a differenze nelle proprietà acustiche e quindi nei campi di rilevamento degli strumenti, è più probabile che sia dovuta a differenze nel comportamento delle balene bianche. Disenchantment Bay è un bacino di drenaggio glaciale e fluviale caratterizzato da acque estremamente torbide, così come Cape Beluzy, situato nella regione interna di un'insenatura e influenzato dal dinamismo del bacino di drenaggio del fiume Onega. Il Kongfjorden, invece, presentava acqua particolarmente limpida al momento dell'indagine, per **cui le balene bianche hanno potuto affidarsi a spunti visivi e ridurre l'uso dell'ecolocalizzazione per il rilevamento a corto raggio**. Inoltre, si ritiene che le balene bianche possano ridurre la loro attività di ecolocalizzazione e il tasso di vocalizzazione come meccanismo per evitare la predazione. Nelle Svalbard sono presenti orche che si nutrono di mammiferi e i beluga sono generalmente silenziosi per spostarsi tra i siti di foraggiamento. Osservazioni visive sono state affiancate a quelle uditive e a Disenchantment Bay i suoni emessi dalle balene bianche sono stati registrati diversi minuti prima che gli esemplari fossero avvistati e i rilevamenti sono continuati minuti dopo aver osservato gli animali per l'ultima volta. Come già detto, la torbidità dell'acqua e il ghiaccio pesante a Disenchantment Bay hanno reso difficile l'avvistamento delle balene bianche ma i modelli di movimento all'interno e all'esterno della baia sono stati efficacemente tracciati acusticamente. Questi risultati suggeriscono che lo sforzo acustico è efficace quanto quello visivo, almeno nelle condizioni ambientali di quest'area di studio. Tuttavia, i risultati acustici della baia di Disenchantment dimostrano che il rumore del ghiaccio può sovrapporsi in frequenza ai segnali di ecolocalizzazione della balena bianca e che questa fonte di rumore è estremamente abbondante. Pertanto, gli ambienti in cui c'è molto ghiaccio galleggiante rappresentano una sfida per l'individuazione di questi cetacei attraverso il monitoraggio dei segnali di ecolocalizzazione. **Questo ci porta a riflettere anche su come i cambiamenti climatici influiscano sulla comunicazione delle specie marine. Il mondo subacqueo non è così silenzioso come pensiamo e**

lo scioglimento dei ghiacci provoca un gran frastuono. Le linee di ormeggio a Disenchantment Bay e Cape Beluzy hanno permesso di studiare inoltre la relazione della presenza di questi animali con il livello delle maree. Sono stati ottenuti risultati opposti nelle due aree studio, con segnali più frequenti in corrispondenza di alta marea nella prima regione, viceversa, ovvero in presenza di bassa marea a Cape Beluzy. Questi risultati opposti potrebbero essere spiegati dalle posizioni specifiche dei punti di ormeggio, poiché i risultati dell'ormeggio posizionato al di fuori di Disenchantment Bay, in un'area più profonda, hanno mostrato rilevamenti più elevati alle basse maree. Questi risultati combinati suggeriscono che i beluga in queste aree, mostrano una preferenza per le acque basse solo durante i periodi di alta marea. Nel caso di Cape Beluzy, è stato osservato un forte andamento diurno dell'attività di ecolocalizzazione. I rilevamenti sono infatti aumentati notevolmente alle 02:00, raggiungendo un picco alle 07:00, per poi diminuire costantemente fino a raggiungere un livello basso alle 23:00. Questo andamento corrisponde al ciclo solare: l'alba nella regione delle Solovki durante il periodo di campionamento è stata tra le 2:08 e le 3:07 e il tramonto è avvenuto tra le 22:19 e le 23:15. Il modello di attività di ecolocalizzazione osservato potrebbe essere spiegato da uno spostamento giornaliero dentro e fuori il raggio d'azione della strumentazione o da un cambiamento nel comportamento di ecolocalizzazione durante il giorno. Le osservazioni visive supportano quest'ultima ipotesi, poiché le balene bianche sono rimaste nell'area durante i periodi di scarsa illuminazione.

Questo studio è un esempio concreto di come la bioacustica venga in aiuto per l'osservazione di specie altrimenti difficilmente monitorabili e ci permetta di conoscere i loro modelli di comportamento. **Grazie a strumenti innovativi lo studio e la tutela di queste specie sono diventati un po' più semplici.**

Le Hit delle balene

Abbiamo parlato dei canarini marini, ma tra gli artisti più famosi del mondo sottomarino, muse dei Pearl Jam e protagoniste di un CD tutto loro, ci sono le grandi balene. Il metodo di comunicazione di questi animali è basato su vere e proprie canzoni: per esempio le emissioni vocali delle megattere sono composte da unità di suoni ripetute e unite, mentre le balenottere azzurre sviluppano temi meno complessi, specifici per la popolazione e questi canti rimangono relativamente stabili nel tempo senza alcuna indicazione di trasmissione vocale tra i vari gruppi. Tuttavia, diversi studi hanno identificato la variabilità nella frequenza, nella lunghezza e nella struttura delle unità e delle frasi di canto all'interno delle popolazioni stesse. Le megattere invece sembra si tramandino le hit del momento quando i diversi nuclei entrano in contatto durante i loro spostamenti.

La musica degli abitanti del mondo subacqueo ha attirato i ricercatori Capri D. Jolliffe Robert D. McCauley, Alexander N. Gavrilov, che hanno registrato i canti delle balene pigmee blu dell'Oceano Indiano orientale a Perth Canyon, in Australia occidentale, durante la loro migrazione settentrionale del 2017.⁵⁹ Grazie all'ausilio di un algoritmo, **le 933 registrazioni sono state analizzate tracciando la variazione di frequenza per tutta la durata del segnale, osservando la presenza di unità sonore.** I canti sono stati classificati in base alla loro struttura. Sono state definite P3 le canzoni composte da tre unità differenti, P2 quelle composte da l'unità II e III, mentre P1 unicamente dalla ripetizione dell'unità II. Le varianti ibride del canto, costituite da una frase P3 e una P2 in sequenza o da una frase P2 e una P1 in sequenza, sono state classificate rispettivamente come P3A e P2A. In rare occasioni sono stati osservati canti composti da una frase P3 seguita da un'unità I e un'unità II, classificati come P3B. **Le analisi hanno messo in evidenza un alto livello di variabilità nella struttura della frase che suggerisce come unità diverse possano contenere informazioni diverse, per esempio, sulle condizioni fisiche dell'animale.** Possono però anche avere altre funzioni, come nel caso delle popolazioni di megattere, dove il canto è sfruttato dai maschi per attirare le femmine, che costituiscono un pubblico molto esigente, prediligendo alti livelli di complessità. Studi precedenti hanno concluso che **l'unità II sembra essere l'unità fondamentale del canto**, data la sua presenza in tutte le varianti, e hanno osservato uno spostamento verso strutture di canto più brevi durante i periodi di maggiore rumore ambientale.

Non sono solo le unità di un canto ad avere il potenziale per trasmettere informazioni importanti su un animale, ma anche **la variabilità temporale, influenzata dalle interruzioni delle unità all'interno e tra le unità, ha il potenziale di comunicare informazioni su un individuo o un gruppo di animali.** Queste interruzioni, osservabili come pause nella produzione del segnale, sono state riscontrate in tutte le unità di canto, con alcuni canti che non presentano interruzioni di unità e altri che presentano interruzioni di unità comprese tra una e tre unità. La presenza e la posizione di questi elementi possono riguardare le condizioni ambientali o rappresentare qualcosa sull'animale, come ad esempio lo status sociale. Tuttavia, se i cambiamenti nelle interruzioni dell'unità, nella lunghezza del canto e nella sua produzione riflettessero i cambiamenti delle condizioni ambientali, sarebbe probabile che si osservino differenze nella produzione del canto tra i mesi del campione a causa delle fluttuazioni stagionali delle condizioni ambientali. Le interruzioni dell'unità, misurate attraverso il confronto dei codici degli impulsi dei canti tra i mesi dello studio, effettivamente sono risultate variabili, indicando che la divisione di qualsiasi unità di canto in due potrebbe essere

⁵⁹ Jolliffe, C.D., McCauley, R.D. & Gavrilov, A.N. "Do Whales Sing to Their Own Tune? Comparing the Variability Within and Between Song Events of the Eastern Indian Ocean Pygmy Blue Whale.", proceedings of Acoustic Australia, 10 marzo 2024, doi: 10.1007/s40857-024-00314-2

utilizzata per rappresentare qualcosa sull'ambiente in quel momento. Come abbiamo detto **il canto però ha anche una funzione sociale all'interno delle popolazioni, quindi è probabile che possa variare anche in base a età, sesso e classe di animali che si muovono nell'area dello studio in momenti differenti.**

Le balenottere azzurre non sono generalmente considerate animali sociali, sebbene siano state osservate coppie di maschi e femmine nelle zone di riproduzione. Si ritiene che i maschi competano per le femmine, quindi è probabile che le femmine esercitino una pressione di selezione sui maschi, che può influenzare comportamenti sociali come il canto. Anche se un gran numero di animali può aggregarsi in aree di alimentazione, di solito si spostano a distanza l'uno dall'altro. È importante notare che ciò che consideriamo solitario può non esserlo nel contesto di animali che possono comunicare su distanze così grandi, e quindi i canti possono rappresentare una forma di comunicazione con uno scopo che va oltre la sola attrazione di un compagno. Inoltre, i canti possono contenere informazioni sulla qualità di un individuo, dalle dimensioni alle capacità cognitive. Livelli consistenti di variabilità nei mesi di campionamento forniscono un'ulteriore prova che gli animali possono avere la plasticità vocale di passare da un tipo di canto all'altro in circostanze diverse, piuttosto che il tipo di canto sia legato esclusivamente a gruppi di animali di passaggio. L'evoluzione continua del tipo di canto, vista di recente con l'inclusione di pause e divisioni unitarie, può rappresentare un modo nuovo per aumentare la complessità del canto senza un ulteriore dispendio energetico e può anche servire a mediare le interazioni con i conspecifici. Ciò suggerisce che potrebbe esistere una variabilità individuale nella produzione del suono, che potrebbe essere influenzata dal contesto ambientale o sociale, oppure potrebbe rappresentare la firma vocale individuale dell'animale. Anche se ulteriori analisi dovranno includere una qualche forma di identificazione visiva o genetica per confermarlo, i risultati di questo studio rappresentano la prima applicazione di successo di un algoritmo di tracciamento dei contorni di frequenza all'analisi dei richiami di balenottera azzurra ed evidenziano la possibilità che i singoli animali abbiano una propria "voce" unica.

Un passaparola di melodie

Tornando alle megattere invece, si tratta di una specie gregaria che vive vicino alle coste, alle isole al largo, alle piattaforme continentali e alle montagne sottomarine. La popolazione di megattere nell'emisfero meridionale è diminuita rapidamente a causa della caccia alle balene e nel 1963 è diventata una specie protetta. Gli sforzi di conservazione hanno portato a un aumento della popolazione negli ultimi anni e lo status dell'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) di questa specie è ora classificato come "least concern". Le migrazioni annuali delle

megattere tra le aree di alimentazione estive subpolari e le aree di riproduzione invernali tropicali o subtropicali, in alcuni casi separate da migliaia di chilometri, sono state ben documentate e rivelano che la migrazione in entrambe le direzioni è lievemente condizionata temporalmente dalla classe di età, dal sesso e dallo stato riproduttivo delle singole balene. Durante la stagione riproduttiva in acque calde, le balene sono tipicamente impegnate in comportamenti che richiedono molta energia per la competizione, oltre che per l'accoppiamento, il parto e l'allattamento.

I maschi di *Megaptera novaeangliae* producono canti complessi e strutturati che sono condivisi a livello di popolazione e trasmessi culturalmente. Questi evolvono progressivamente nel tempo, sia durante la stagione riproduttiva sia tra gli anni, ma subiscono anche periodi di cambiamento relativamente rapido, definiti "rivoluzioni". Le popolazioni di megattere possono essere studiate attraverso il confronto del loro canto, una serie complessa di suoni in una struttura gerarchica. Sia i maschi che le femmine emettono suoni, ma solo i maschi producono canti durante la migrazione da e verso le zone di riproduzione e quando si trovano nelle zone stesse. I maschi di megattera hanno modelli di canto altamente stereotipati, ripetitivi e in progressiva evoluzione. **Tutti i maschi di una popolazione si conformano alla versione corrente del tipo di canto, apprendendo e incorporando i cambiamenti**, per garantire così la continuità all'interno della popolazione. Il ritmo del cambiamento varia da graduale e incrementale, che richiede fino a 5 anni per un ricambio completo, a rapidi cambiamenti di composizione che formano un canto completamente nuovo in 2 anni. Anche in questo caso il monitoraggio acustico passivo può essere d'aiuto per studiare l'evoluzione dei canti di questi artisti sottomarini.

La ricercatrice Sara Vieira, dell'Università di Tolone, ha raccolto registrazioni dal 2016 al 2018 a St. Gilles, sull'isola di Reunion, nell'Oceano Indiano, e per tutto il 2018 a St. Marie, in Madagascar per valutare la variazione spazio-temporale delle strutture dei canti e la connettività delle popolazioni.⁶⁰ Sono stati selezionati 46 campioni di canto di alta qualità, che rappresentano 2.760 minuti di registrazioni a Reunion, mentre in Madagascar sono stati analizzati 12 campioni che rappresentano 240 minuti di registrazioni. Attraverso l'analisi delle strutture di frase di Saint Gilles, è stato possibile identificare la canzone completa di ogni stagione. Nel 2018 un canto è stato ripetuto 62 volte in un periodo di 26 ore, dimostrando che le megattere possono cantare per ore senza fermarsi. Il canto più breve è stato di 4 minuti e il più lungo di 32 minuti, con una durata media di 18 minuti. Il canto di 4 minuti consisteva in un ciclo completo di tutti i temi, ripetuto 18 volte di seguito e durante le ripetizioni, la qualità del segnale era media, quando due balene cantavano

⁶⁰ Sara Vieira, "Humpback whale song variations in La Reunion Island from 2016 to 2018 and in Madagascar in 2018", proceedings of Marine Mammal Science, 25 marzo 2023, doi: 10.1111/mms.13017

simultaneamente, alta quando si trattava di un cantante solista. Questo brano era composto da 12 frasi, di cui 9 sembrano essersi evolute dal 2017. Il 2016 presentava una canzone relativamente semplice, con solo sette frasi e varianti. Durante la stagione riproduttiva sono state osservate piccole variazioni temporali: i canti registrati a giugno erano molto simili a quelli registrati a fine settembre e inizio ottobre, con cambiamenti solo nelle varianti di frase. Il 2016 è risultato l'anno più distante in termini di somiglianza de brani, con solo il 5% delle frasi ritrovate nel 2017 e meno del 2% nel 2018. Inoltre, nove varianti del 2018 si sarebbero evolute dalle frasi del 2017, quindi il 66,6% delle frasi sono state condivise tra il 2017 e il 2018. Per quanto riguarda le registrazioni in Madagascar nel 2018, sono state ritrovate le stesse 11 frasi e varianti dell'isola di Reunion e sono state sviluppate solo due nuove varianti. Pertanto, il canto registrato a Sainte Marie era molto simile a quello dell'Isola della Riunione nel 2018. Per quanto riguarda le canzoni all'interno di una stagione, a parte il primo motivo rilevato nel 2017 e fatta eccezione per la configurazione precisa di alcune unità e il numero di frasi in un tema, c'è stata relativamente poca variazione nelle interpretazioni successive. **La canzone all'inizio della stagione era simile a quella a metà stagione e alla fine della stagione e questo è stato osservato per ogni anno dello studio, indicando quindi la presenza di un singolo brano a stagione.**

Da queste osservazioni si nota quindi come il tema del 2016 sia stato rapidamente sostituito, mentre le frasi musicali del 2018 si sono evolute dalle frasi del 2017, fenomeno che prende il nome di "evoluzione culturale". **Il processo di apprendimento della produzione vocale di un tipo di canzone completamente nuovo potrebbe avvenire attraverso una serie di cambiamenti strutturali della canzone**, poiché nuovi temi devono essere appresi e i vecchi temi eliminati man mano che un individuo impara la nuova canzone. Tali trasformazioni possono essere la diminuzione o l'aumento della durata delle unità, modifiche della frequenza e aumenti o diminuzioni del numero di ripetizioni sia di unità che di intere frasi. È stato dimostrato che, quando i cantanti che utilizzavano i vecchi e i nuovi tipi di canzoni erano nella stessa popolazione, i nuovi brani venivano appresi in segmenti, come un'entità separata, indicando che la segmentazione è un meccanismo di apprendimento. Le trasmissioni culturali in un animale su scale spazio-temporali sono state precedentemente documentate solo nell'uomo. Le megattere possiedono molteplici tradizioni che si evolvono in modo indipendente, tra cui la fedeltà del sito di riproduzione e alimentazione e i canti che sono soggetti all'evoluzione culturale e alla rivoluzione.

Il fatto che nel 2018 nei due siti, i repertori di canzoni si siano sovrapposti, con un'elevata somiglianza condivisa dalle popolazioni adiacenti per tutta la stagione, suggerisce una forte connettività tra le aree in esame.

Questo studio ne integra uno precedente che ha previsto l'utilizzo di tag satellitari posizionati su 15 balene durante il picco della stagione riproduttiva sull'isola di Reunion. Le balene sono state monitorate da pochi giorni a diversi mesi, con una durata media del tag di 31 giorni. I movimenti individuali hanno mostrato che gli individui di Reunion si sono poi spostati verso la costa nord-orientale de Madagascar nello stesso anno e hanno rivelato un alto livello di connettività tra le sottoregioni Mascarene e Madagascar, suggerendo che i maschi visitano diversi siti per massimizzare il loro successo riproduttivo. In Madagascar invece, 23 balene sono state marcate via satellite durante il picco della stagione riproduttiva al largo delle coste nord-orientali e sud-occidentali e la durata media del tag è stata di 24,2 giorni. Alcune balene marcate nel nord-est del Madagascar hanno dimostrato, per la prima volta, il movimento dal Madagascar alla costa nord-orientale dell'Africa. Inoltre, le acquisizioni fotografiche raccolte dal 2000 al 2006 sulla costa orientale del Madagascar e dal 2001 al 2010 sulle coste occidentali e meridionali dell'isola di Reunion, hanno dimostrato scambi nel corso degli anni tra questi siti, con un piccolo numero di individui fotografati in Madagascar che sono stati riavvistati vicino all'Isola Reunion 6-8 anni dopo. I dati raccolti in Madagascar provenivano dalla costa orientale, pertanto gli scambi con l'isola potrebbero essere facilitati dall'assenza di confini geografici.

I risultati ottenuti dal monitoraggio acustico hanno mostrato inoltre un aumento significativo dell'utilizzo del sito di riproduzione dell'Isola di Reunion nel 2017 e nel 2018 rispetto al 2016, che potrebbe derivare da un aumento della popolazione di megattere su scala regionale, ma anche come conseguenza dell'aumento della densità di popolazione in altri siti che abbia spinto le balene a spostarsi. Un altro aspetto potrebbe essere la disponibilità di fonti alimentari e per verificare questa ipotesi sono state intraprese analisi preliminari dell'influenza delle variabili ambientali sul ciclo del krill antartico e dei successivi collegamenti con gli avvistamenti di megattere nel loro luogo di riproduzione a Reunion. I risultati della modellazione hanno mostrato una potenziale influenza della concentrazione di clorofilla A in Antartide sugli avvistamenti di megattere sull'isola di Reunion 30 mesi dopo. Pertanto, le basse concentrazioni di clorofilla A durante le estati australi del 2013-2014 in diverse aree antartiche potrebbero spiegare, almeno in parte, il basso livello di presenza di megattere nei siti di riproduzione a Reunion nel 2016.

I suoni di origine antropica influiscono sulla vita sottomarina

Sotto il pelo dell'acqua però non si odono unicamente i suoni dei viventi, delle correnti e delle maree. L'uomo ha varcato il confine delimitato dalla terraferma e, con lui, sono stati introdotti negli ambienti sottomarini anche rumori e suoni che prima gli esseri che li abitano non avevano mai sentito. È facilmente intuibile come questi possano interferire con la comunicazione nel mondo subacqueo, talvolta portando a risvolti tragici. Gianni Pavan ha trattato questo tema durante il 41° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica, tenutosi a Pisa nel giugno 2014.⁶¹

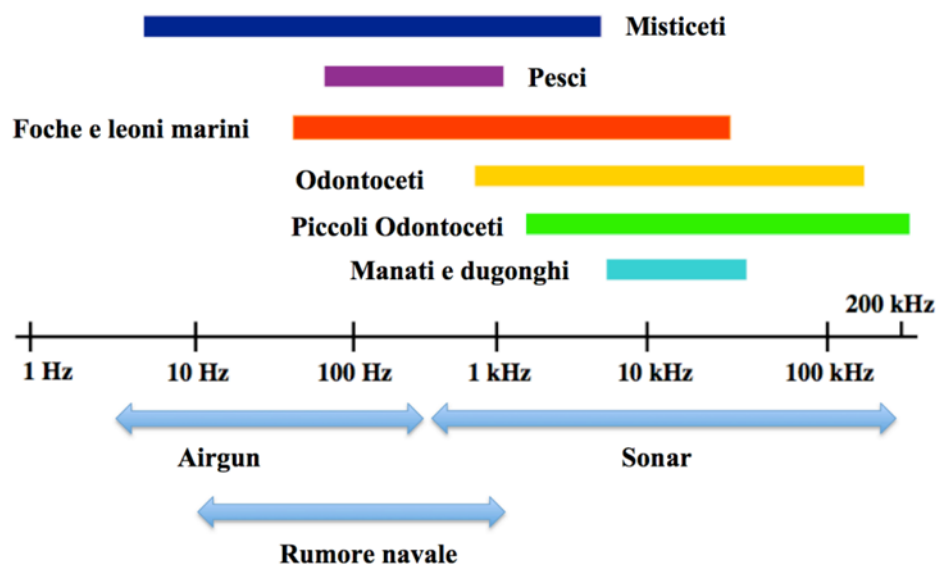


Figura 16. Frequenze di emissione naturali e antropiche

In questa figura è possibile osservare come le frequenze delle nuove tecnologie utilizzate dall'uomo coincidano con quelle degli abitanti del mare. **Le vibrazioni ed i suoni derivanti dalle attività umane costituiscono il cosiddetto inquinamento acustico**, che va ad interferire sia a livello della comunicazione tra gli animali, per esempio rendendo difficile la comunicazione durante il periodo riproduttivo, piuttosto che l'individuazione delle prede, con un conseguente effetto a cascata sulla salute delle popolazioni, ma anche a livello fisico, provocando danni all'apparato uditivo e ad altri organi, fino a condurre alla morte degli animali, quando si tratta di emissioni sonore molto potenti. Inoltre, i rumori possono generare stress, portando anche in questo modo alla diminuzione della capacità riproduttiva, oppure inducendo l'allontanamento da determinate aree o dalle usuali rotte di migrazione, con gravi implicazioni per la sopravvivenza delle specie interessate e imprevedibili conseguenze ecologiche per l'ambiente marino. Un esempio, nel 1996 presso la baia di Kyparissia,

⁶¹ Gianni Pavan, "Monitoraggio del rumore subacqueo per la protezione dei cetacei", 01 giugno 2014, 41° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica

in Grecia è lo spiaggiamento di massa di zifi, una specie di odontoceti, seguito da altri episodi simili in concomitanza di esercitazioni navali con sonar. Studi ulteriori hanno poi consentito di correlare episodi di spiaggiamenti con esercitazioni navali a partire dagli anni '60, evidenziando la estrema sensibilità al rumore del gruppo degli zifi. Questi aspetti sono quindi da tenere sotto controllo: come abbiamo visto la comunicazione sonora tra gli animali è molto importante e tutto questo rumore li mette in pericolo, andando ad influire sulle reti ecologiche e la salute degli ecosistemi su più ampia scala.

4.4 Hei, mi senti? Sto parlando con te

Si sa, alla fine decidono sempre le donne

Dalle enormi distese d'acqua, passiamo ora ai più piccoli stagni e acquitrini, dove è facilmente udibile il gracidare di rane e rospi. In generale ad essere artisti sono gli esemplari di sesso maschile, che, con le loro vocalizzazioni, cercano di attirare le femmine. Vanno invece controcorrente gli esemplari di rana di torrente dalle orecchie concave, *Odorrana tormota*, che vive in un habitat rumoroso, caratterizzato dal suono dello scorrimento delle acque e da forti piogge. Per far fronte a questo problema, **le femmine di rana del torrente dalle orecchie concave rispondono ai richiami della controparte maschile, producendo vocalizzazioni di corteggiamento a banda larga con un'energia che si estende fino alla gamma degli ultrasuoni e che i compagni sono in grado di udire.**⁶² Inoltre, i ricercatori Yatao Wu, Xiuli Luo, Pan Chen e Fang Zhang hanno notato come il 39% dei richiami femminili e il 93% di quelli maschili contengano almeno un NLP, ovvero fenomeni non lineari, quali salti di frequenza, subarmoniche, cioè delle frequenze inferiori rispetto alla fondamentale, caos deterministico, ovvero tratti di vocalizzazioni in cui l'energia è distribuita in modo difforme, e biforcazione del suono. Questi fenomeni a livello fisico sono generati da differenze di dimensioni e spessore delle pliche vocali, che vengono tese in maniera differente col passaggio del flusso d'aria. Dalle osservazioni sul campo e in laboratorio, con la cattura di **120 esemplari** di sesso maschile sottoposti all'ascolto di registrazioni di risposte vocali femminili, gli studiosi hanno notato come le femmine utilizzino diversi NLP nei richiami di corteggiamento per influenzare il comportamento dei maschi. In particolare, i richiami femminili con salti di frequenza hanno suscitato più richiamo "staccato", ovvero il suono prodotto prima dell'amplesso, mentre a richiami femminili con presenza di subarmoniche gli esemplari di sesso maschile hanno risposto con vocalizzazioni più brevi. Gli studiosi ipotizzano che il salto di frequenza possa essere un forte stimolo che raggiunge il mesencefalo uditivo della rana dalle orecchie concave. Questa speculazione si basa su risultati elettrofisiologici che suggeriscono che frequenze diverse di chiamate suscitano potenziali diversi in quest'area cerebrale del maschio di *O. tormota*. Tuttavia, sono necessarie ulteriori ricerche a sostegno di questa ipotesi. Poiché le rane femmine preferiscono i maschi più piccoli e c'è una relazione inversa tra le dimensioni dei maschi e la frequenza

⁶² Yatao Wu, Xiuli Luo, Pan Chen, Fang Zhang, "Frequency jumps and subharmonic components in calls of female *Odorrana tormota* differentially affect the vocal behaviors of male frogs", proceedings of Frontiers in Zoology, 8 dicembre 2023, doi: 10.1186/s12983-023-00517-9

fondamentale della loro vocalizzazione, i ricercatori hanno ipotizzato che la presenza di subarmoniche nei richiami della femmina di *O. tormota* possano suscitare un'ulteriore produzione di suoni da parte dei maschi di rana, permettendo alle femmine di avere maggiori informazioni per la valutazione e scelta del potenziale partner. Inoltre, tramite la riproduzione di richiami registrati, hanno osservato come il richiamo maschile sia diverso in base alla distanza della femmina.

Non solo in *Homo sapiens*, ma anche nelle rane del genere *Odorrana* le donne sono chiacchierone

Sulle vocalizzazioni di coppia tra gli anuri si sono concentrati anche i ricercatori Jun-Xian Shen, Zhi-Min Xu e Peter M. Narins, hanno registrato i richiami di *O. graminea* tra le 19:30 e le 21:30 lungo il torrente Tau Hua a Huangshan Hot Springs, Anhui, in Cina, nel maggio 2007, ovvero durante il periodo riproduttivo.⁶³ Successivamente sono stati condotti esperimenti di comportamento acustico tra il 30 luglio e l'8 agosto 2010 e tra il 5 e il 26 luglio 2011 in un laboratorio di Huangshan Hot Springs. Sette femmine gravide e sedici maschi sono stati raccolti dal Tau Hua Creek nelle notti di pioggia. Le prime registrazioni sono state effettuate 30 minuti dopo la cattura e successivamente ogni notte, essendo esemplari attivi in questo periodo della giornata. Prima dell'ovulazione notturna, le femmine gravide in cattività hanno prodotto semplici richiami ripetuti circa una volta ogni 10 minuti, che hanno immediatamente suscitato la risposta dei maschi, sia vocale che con il successivo avvicinamento alla "cantante". Anche sottoponendo gli esemplari maschi a registrazioni di vocalizzazioni di femmine al buio, tutti gli esemplari si sono avvicinati alla fonte sonora. **Pertanto, grazie a questo studio è stato dimostrato che anche le femmine emettono richiami e che tali richiami siano uno stimolo altamente attrattivo, chiamato "richiamo di corteggiamento femminile" (FCC).** È stato possibile osservare inoltre, come i maschi ricettivi emettano richiami di maggiore durata con drastici cambiamenti di tono per superare il rumore ambientale, aumentare l'effetto del segnale di comunicazione, attirare le femmine, facilitare l'amplesso e garantire il successo della riproduzione. In laboratorio, il fatto che gli stimoli di richiamo femminili emessi da un altoparlante suscitano in modo affidabile la prima risposta con un tempo di latenza compreso tra 0,2 a 2,7 secondi, suggerisce che gli esemplari si concentrino sul riconoscimento, piuttosto che sulla localizzazione della partner. Dopo il secondo o terzo stimolo sonoro il maschio aggiustava la sua direzione, orientandosi correttamente verso l'altoparlante.

⁶³ Jun-Xian Shen, Zhi-Min Xu, Peter M. Narins, "Male antiphonal calls and phonotaxis evoked by female courtship calls in the large odorous frog (*Odorrana graminea*)", proceedings of Journal of Comparative Physiology A, 8 agosto 2022, doi: 10.1007/s00359-022-01561-2

In queste due specie di rana appartenenti al genere *Odorrana* è quindi stata riscontrata la capacità di emettere vocalizzazioni anche da parte degli esemplari di sesso femminile, che si sono rivelate strumenti perfetti per studiare e attirare il partner.

La musica dei gibboni non è poi così diversa dalla nostra

Anche nel regno dei mammiferi è stata notata la capacità di influenzare le vocalizzazioni tra gli individui, come nel caso dei gibboni.⁶⁴ Proprio sulle emissioni sonore di questi animali si è concentrato il gruppo di ricercatori, capitanato da Teresa Raimondi del dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, presso l'Università di Torino e gli esiti della loro ricerca sono stati pubblicati su *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*.⁶⁵ Gli studiosi hanno osservato quattro gruppi di gibboni nel santuario di Huai Kha Kaeng, in Thailandia e due gruppi rispettivamente nel Parco Faunistico Cappeller a Cartigliano e nel Parco della Falconara ad Ancona, per un totale di **12 esemplari**. Nel dettaglio hanno raccolto **215 registrazioni di canti**, di cui 157 di femmine in duetto, altrettanti maschi sempre in duetti e 58 “assoli” maschili. Lo scopo dei ricercatori era capire come interagiscano questi primati a livello vocale e come si influenzino a vicenda, andando a esplorare un campo ancora poco compreso.



Figura 17. Immagine: di User:MatthiasKabel, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

⁶⁴ Federica Teti, “La musica dei gibboni non è poi così diversa dalla nostra”, articolo di Pikaia-il portale dell’evoluzione, 25 ottobre 2023

⁶⁵ Raimondi, T., Di Panfilo, G., Pasquali, M., Zarantonello, M., Favaro, L., Savini, T., ...Ravignani, A. (2023). Isochrony and rhythmic interaction in ape duetting. *Proceedings of the Royal Society B*, 290(1990), 20222244. doi: 10.1098/rspb.2022.2244

Isocronia e sincronia, due aspetti caratterizzanti del linguaggio dei gibboni

Il canto dei gibboni ha molteplici funzioni, come la difesa del territorio, la definizione delle gerarchie sociali, il corteggiamento e l'espressione delle emozioni. Gli studiosi hanno notato alcune somiglianze con la nostra musica, come l'aspetto di condivisione e l'associazione col movimento. La struttura ritmica più semplice e comune nella comunicazione umana, inoltre, è l'**isocronia**, in cui gli intervalli di tempo tra un suono e quello successivo hanno tutti una durata approssimativamente uguale, e questa organizzazione è stata riscontrata anche nelle emissioni vocali dei gibboni. Per analizzare le registrazioni, i ricercatori hanno definito il **tasso di richiamo, in inglese *call rate*, come il numero di vocalizzazioni emesse in 10 secondi**. Non sono emerse particolari differenze di *call rate* nei duetti maschili e femminili, mentre sono stati osservati valori significativamente più elevati negli assoli degli esemplari maschi, andando di pari passo però con una minor isocronia. Osservando le interazioni tra gli animali, è stato notato come **il 95% dei contributi a duetti maschio-femmina influiscano sull'emissione vocale del compagno o della compagna e come i gibboni riescano a raggiungere un'elevata sincronia, con una buona sovrapposizione delle vocalizzazioni dei due partecipanti al duetto**. È stato notato come le tempistiche di fonazione degli individui siano correlate a quelle del compagno, suggerendo una **potenziale interazione ritmica**. Nei duetti gli esemplari di sesso maschile mostrano una maggior isocronia rispetto alla loro emissione sonora in solitario, mentre sembra che per i gibboni femmina la sovrapposizione delle vocalizzazioni con un altro individuo riduca la regolarità delle loro emissioni sonore. **Isocronia, sincronia e gestione dei turni richiedono la capacità di apprendimento e adattamento tra gli individui**. A supporto di questa ipotesi i ricercatori hanno osservato come le coppie di gibboni che duettano da più tempo insieme emettano canti meglio organizzati e più coordinati.

Cosa si cela dietro a questi stratagemmi musicali

La sovrapposizione delle vocalizzazioni sembra essere la strategia prediletta da questi primati, probabilmente sfruttata per diverse funzioni, tra cui avvertire della loro presenza nella foresta, col fine di evidenziare il proprio territorio e ridurre il più possibile i conflitti. La sincronia non influenza in maniera così significativa l'isocronia negli esemplari di sesso maschile, ma cosa cambia per le femmine? La regolarità del loro canto sembra invece essere influenzata negativamente. Studi precedenti suggeriscono che i migliori richiami delle femmine non vengano emessi in sovrapposizione col compagno e siano un indice della loro condizione fisica. Si suppone quindi che in alcuni casi le femmine riducano al minimo la sincronia, modificando quindi la

struttura ritmica di un canto: **la femmina sarebbe ritmicamente più flessibile tra i due, per mettersi in luce col partner.**

Osservazioni sulla comunicazione sia a livello del linguaggio parlato che musicale da parte di *Homo sapiens* hanno messo in evidenza l'utilizzo di una struttura sonora regolare, quando si tratta di coordinare un gruppo di più persone. I risultati delle analisi delle registrazioni dei gibboni, mostrando una maggiore isocronia durante i duetti da parte dei maschi, hanno portato i ricercatori a supporre che **essi condividano con noi alcuni modi di organizzarsi e coordinarsi** e quindi si pensa possano essere stati sottoposti a pressioni selettive simili. Se così fosse, questa somiglianza potrebbe riflettersi anche sui meccanismi neuronali che sono alla base di ritmo e coordinazione nell'essere umano. **I ricercatori ritengono che, addentrandosi sempre più nell'analisi del legame tra sincronia e isocronismo, sia possibile ricostruire le origini della musica e il significato che questa abbia per noi e per le altre specie.**

Sa, Sa, Prova! Si sente lo sbadiglio?

Rimanendo nel mondo dei primati, è stato scoperto un modo di comunicare molto particolare e comico tra le scimmie appartenenti alla specie *Theropithecus gelada*, che rimangono in contatto grazie a sbadigli...contagiosi.⁶⁶ Luca Pedruzzi, Martina Francesconi, Elisabetta Palagi e Alban Lemasson hanno studiato questo fenomeno in una colonia di scimmie di questa specie, che vivono nel nord dell'Etiopia: **sembirebbe non sia solo questione di sonno.**



Figura 18. Immagine: sbadiglio di un gelada allo NaturZoo Rheine, foto di: M. Francesconi, dalla pubblicazione

⁶⁶ Federica Teti, "Sa Sa, Prova! Si sente lo sbadiglio? Perché le scimmie gelada emettono sbadigli udibili a grandi distanze", articolo di Pikaia – il portale dell'evoluzione, 6 febbraio 2024

La potenza degli sbadigli: udibili fino a 40 metri di distanza

Le scimmie della specie *Theropitecus gelada* vivono secondo strutture gerarchiche, seguendo un'organizzazione a più livelli. Il gruppo fondamentale su cui si basa questa organizzazione può essere composto da un unico maschio adulto in età riproduttiva, con le femmine, la prole ed eventualmente un altro esemplare maschio, oppure un gruppo tutto al maschile, in cui giovani adulti si riuniscono dopo essersi allontanati dall'unità in cui sono nati. **Queste scimmie producono degli sbadigli che sembrano essere vere e proprie vocalizzazioni, udibili fino a 40 metri di distanza.** Come per noi, inoltre, **la vista di un compagno sbadigliare, porta gli altri animali a rispondere**, ma perché tutto questo impegno per uno sbadiglio? La potenza e l'estensione dei suoni emessi in questo atto ha portato gli studiosi a pensare che basti solo il suono per stimolare gli altri esemplari.

Microfoni, casse e videocamere per catturare gli sbadigli migliori

I ricercatori hanno indagato il fenomeno sottoponendo una colonia di *Theropitecus gelada* nel NaturZoo di Rheine, in Germania a registrazioni di sbadigli e versi di esemplari maschi adulti e i risultati, pubblicati su *Scientific Reports*⁶⁷, hanno portato a ipotesi interessanti.

L'esperimento è stato svolto tra i mesi di aprile e maggio 2023, dove la colonia ospitata dallo zoo era composta da un totale di 106 individui. La distribuzione non era uniforme, in quanto uno stagno divideva fisicamente gli animali in due gruppi, denominati rispettivamente G1 e G2, che potevano vedersi e sentirsi, ma non avere forme di contatto. I gruppi erano così composti: 2 unità con un unico esemplare maschio il primo, mentre 2 unità con un esemplare maschio e un'unità composta solo da scimmie di sesso maschile il secondo. **33 esemplari adulti (7 maschi e 26 femmine, 21 appartenenti al gruppo G1 e 12 al gruppo G2) sono stati sottoposti registrazioni di sbadigli o versi di individui appartenenti alla colonia stessa, registrati in condizioni di serenità e senza altri rumori o versi ad influenzare la reazione degli animali.** Durante la riproduzione dei suoni, le 33 scimmie sono state filmate per analizzare le risposte ai diversi stimoli.

Non è una questione di sonno

È stato osservato come le registrazioni degli sbadigli abbiano indotto una maggior risposta sia nelle femmine che nei maschi, con un numero più elevato di reazioni analoghe, rispetto alle registrazioni contenenti semplicemente versi. È stato notato inoltre come l'appartenenza a un gruppo abbia influito sulla risposta degli altri membri del gruppo, stimolandoli a emettere un maggior numero di

⁶⁷ Luca Pedruzzi, Martina Francesconi, Elisabetta Palagi, Alban Lemasson "The sound of yawns makes geladas yawns" Proceedings of Scientific Reports, 07 January 2024 doi: 10.1038/s41598-023-49797-5

sbadigli, rispetto a un individuo esterno. **La componente acustica può essere ricondotta quindi a una sorta di impronta digitale degli individui, rendendoli riconoscibili individualmente dagli altri compagni.** L'esperienza ha messo in evidenza anche **come le risposte allo stimolo sonoro siano avvenute in assenza di contatto visivo**, suggerendo la funzione di interazione sociale degli sbadigli, probabilmente per far fronte alla necessità di mantenere i collegamenti in una società ben organizzata, anche quando un contatto visivo non è possibile.

Le scimmie della specie *Theropitecus gelada*, essendo organizzate in società complesse, vivendo in ambienti vasti e dove non è sempre facile vedersi, hanno sviluppato una modalità di comunicare peculiare. **Lo sbadiglio contagioso, quindi, non è una questione di sonno, ma uno strumento di riconoscimento sociale, con un ruolo nella comunicazione e coordinazione anche a distanza.**

5. Quando la musica fa bene e non solo all'anima



Figura 19. Karen Arnold, pubblico dominio, via publicdomainpictures.net

“La musicista in me ha riconosciuto il musicista in loro”: così la dottoressa **Hollis Taylor**, violinista, ornitologa e ricercatrice presso l’Università Macquarie, sente il legame della natura con la musica, come riportato dalla giornalista Marlow Straling nell’articolo **“It Rocks in the Tree Tops, but Is That Bird Making Music?”** uscito la scorsa estate sul New York Times. La musica della natura non è solo affascinante, ma i suoni e i rumori che ci circondano posso aiutarci concretamente.⁶⁸

Studiare la melodia della natura e lasciarsi ispirare

Grazie alla **bioacustica** è possibile indagare le dinamiche all’interno delle comunità di animali, a partire dagli uccelli, ma anche delfini, pipistrelli, gibboni e molti altri. Analizzando lo “spartito della natura” i ricercatori possono trarre numerose informazioni, preziose per lo studio e la conservazione delle specie, con una conseguente reazione a catena sulla salute degli ecosistemi. **Non si tratta solo del benessere di animali e piante, perché gli effetti positivi di un ambiente sano si riflettono anche sulla qualità della vita dell’uomo.**

“C’è della magia nella musica. Anche le canzoni degli uccelli sembrano avere un po’ di magia” afferma lo psicologo Ofer Tchernichovski, sempre citato sul New York Times. I suoni naturali ispirano sentimenti ed emozioni nella mente umana da sempre ed hanno stimolato l’uomo

⁶⁸ Federica Teti, “Quando la musica fa bene e non solo all’anima”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 21 novembre 2023

nella produzione musicale. Come dice lo psicologo Daniel J. Levitin, l'autore di "Fatti di Musica", le nostre melodie hanno radici molto antiche, risalgono a prima che l'uomo diventasse *sapiens*.⁶⁹ Una recente ricerca inoltre ha dimostrato che nel neolitico la civiltà Natufiana non solo costruiva flauti primitivi utilizzando le ossa cave degli uccelli, ma stando ai suoni che producevano probabilmente erano stati ispirati dai versi di alcuni rapaci.

Suoni della natura: si parla davvero di musica?

Ci viene spontaneo rimandare l'ignoto a qualcosa di conosciuto, come in questo caso i richiami degli animali alle sonorità prodotte dall'uomo, ma possiamo davvero chiamare "musica" l'insieme di melodie emesse dagli altri esseri viventi? Nell'articolo Marlow Straling ha cercato di fare il punto della situazione raccogliendo diversi pareri e gli esiti di studi esistenti con focus principale sui canti degli uccelli.

Le ricerche condotte finora sono giunte a una conclusione: **la struttura delle canzoni degli uccelli è simile a quella della musica prodotta da *Homo sapiens*, in quanto tempo, *pitch* e timbro sono arrangiati come nelle nostre composizioni e melodie.** La Dottoressa Taylor ha addirittura osservato dei comportamenti particolari, riconducibili a delle sessioni di riscaldamento vocale, prove e gare canore in alcuni uccelli. **Inoltre alcune specie hanno dimostrato di avere la capacità di imparare canzoni e sequenze vocali: si tratta sia di uccelli come pappagalli e colibrì, ma anche di pipistrelli, elefanti e mammiferi marini.** Alla base di queste capacità c'è sempre il cervello, spiega Johan Bolhuis, zoologo specializzato in neurobiologia cognitiva sia in ambito ornitologico che a livello della mente umana. Bolhuis sostiene che questi animali abbiano un modo simile al nostro per apprendere la musicalità. **Sembra che gli uccelli canori siano più vicini a noi persino rispetto ai primati in termini di musica** e condividano con noi le abilità creative nella composizione di melodie e suoni. Così come la musica risuona con i nostri stati d'animo e ha il potere di condizionarli, anche gli uccelli possono inoltre influenzare il comportamento dei loro simili sia per avvicinarli ai fini dell'accoppiamento, sia per mandarli via. Le loro canzoni fungono anche come segno di riconoscimento, di identità.

La natura è maestra, anche nella musica

C'è ancora molto da scoprire nel mondo della musica "naturale", ma una cosa è sicura: ha ispirato i musicisti. La Dottoressa Taylor si è esibita in giro per il mondo con composizioni orchestrali ispirate al canto degli uccelli, mentre Francois-Bernard Mâche, compositore francese,

⁶⁹ Federica Teti, "Musica e scienza: due mondi che si incontrano", articolo di Pikaia – Il portale dell'evoluzione, 6 novembre 2023

fondatore della zoomusicologia, sostiene che gli uccelli possano aver influenzato le composizioni di Stravinsky. Mozart invece, in una lettera destinata al padre, ha scritto che trovava “piacevole” il canto dello storno europeo che ha tenuto con sé a Vienna per tre anni, e l’accuratezza con cui l’uccello aveva imparato e ripeteva precisamente una delle sue composizioni. Non ci sono prove concrete, ma rimane l’idea che gli uccelli abbiano influenzato i suoi lavori. **Insomma, i suoni della natura sono una fonte di benessere per l’uomo e possono essere usati anche per la conservazione delle specie e dell’ambiente che ci circonda. La musica è una preziosa presenza nella vita di tutti gli esseri viventi.**

Ringraziamenti

A conclusione di questo elaborato, desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno accompagnato in questo percorso.

Ringrazio il professor Orecchia Antonio Maria, che ha accolto il progetto e mi ha fornito le indicazioni migliori per la stesura dell'elaborato.

Un ringraziamento speciale va a Dalla Casa Stefano, che mi ha accolto tra le righe di "Pikaia – Il portale dell'evoluzione", guidata nella stesura degli articoli con gentilezza, simpatia e competenza, insegnandomi come trattare temi complessi in modo semplice, ma non banale.

Grazie a Damiano Preatoni, direttore del corso, sempre disponibile nel momento del bisogno, e al professor Adriano Martinoli, che mi hanno sostenuta anche nella ricerca del tirocinio.

Ringrazio tutti i docenti del Master FAUNA&HD, che ci hanno sommerso con le loro conoscenze, coinvolto in maniera divertente e per nulla scontata, mostrandoci le mille sfumature della comunicazione.

Una menzione d'onore va a Filippo Zibordi, la nostra roccia, che ci ha accompagnato in ogni esperienza, portando la sua ironia pungente e restandoci sempre accanto, pronto a fronteggiare ogni necessità.

Ringrazio Antea, Elisa, Erica, Giulia, Martina, Mattia, Miriam e Roberta, compagni in questo viaggio incredibile, che è andato oltre all'esperienza puramente didattica. Da sconosciuti, siamo diventati un gruppo forte ed unito, anche nelle piccole disavventure. Grazie a loro non è mai mancato il sorriso, il coraggio di buttarsi e mettersi in gioco. Sostegno ed incoraggiamento sono sempre stati presenti all'appello, insieme a gioia e divertimento.

Grazie alla mia famiglia, che mi ha supportato in questa scelta e mi ha sostenuta nei momenti di difficoltà.

Ringrazio Gianluca, che mi ha aiutato a prendere la decisione un po' azzardata di iscrivermi a questo Master. Ha ragionato con me e mi è sempre stato vicino. La sua amicizia mi ha sempre spronato ad impegnarmi e migliorarmi.

Un ringraziamento speciale a Sheila, una persona lontana ma vicina, che mi ha aiutata ad affrontare dubbi, insicurezze, ansie e paure.

Grazie a Paolo che mi ha ascoltata pazientemente durante la stesura di questo elaborato.

Riferimenti

- Federica Teti, “La ricetta segreta della musica: la lista degli ingredienti e come vengono interpretati a livello cerebrale”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 8 aprile 2024
- Narayan Sankaran, Matthew K. Leonard, Frederic Theunissen and Edward F. Chang “Encoding of melody in the human auditory cortex”, Proceedings of Science Advances, 16 February 2024 doi: 10.1126/sciadv.adk0010
- Killin, A. (2018). “The origins of music: Evidence, theory, and prospects.” proceedings of Music & Science, 1, Doi: 10.1177/2059204317751971
- Federica Teti, “Alle origini della musica: come i suoni degli uccelli hanno ispirato Homo sapiens”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 14 luglio 2023
- Davin, L., Tejero, JM., Simmons, T. et al. “Bone aerophones from Eynan-Mallaha (Israel) indicate imitation of raptor calls by the last hunter-gatherers in the Levant.”, proceedings of Scientific reports, 09 giugno 2023
- Barbara Faenza, “La musica nell’antico Egitto”, articolo di National Geographic, Storica, 06 luglio 2022
- Christine Kappel, “Ancient Egyptian Harp -Its origins and status within the Ancient Egyptian society”, 09 novembre 2016
- “Musica della Mesopotamia”, By Arteantica, Arte dell'antichità, Arte della Mesopotamia, 23 novembre 2017
- Antonio Delisa, “Musica assiro-babilonese”, By Nuova Storia Culturale e Visuale – New Cultural and Visual History, 14 giugno 2022
- Anurag Gupta and Chaitali Dangarikar, “Design, construction and material of an Ancient Indian String Instrument”, proceedings of ISMA 2019
- “Storia della musica indiana”, sito web <https://www.remosciano.it/storia-della-musica-indiana>
- Raman, M.A., “The acoustical knowledge of the ancient Hindus”, proceedings of Asutosh Mookerjee Silver Jubilee, 1922
- Guy L. Beck, “Divine Musical Instruments”, 18 febbraio 2013
- Robert W. Marks, “The Music and Musical Instruments of Ancient China”, The Musical Quarterly, Oct., 1932, Vol. 18, No. 4 (Oct., 1932), proceedings of Oxford University Press
- Sinyan Shen, “Acoustics of Ancient Chinese Bells”, Scientific American, Vol. 256, No. 4 (April 1987), pp. 104-111
- “The Sounds of Prehistoric Scandinavia” Ethnomusicology , Spring - Summer, 1985, Vol. 29, No. 2, by University of Illinois Press on behalf of Society for Ethnomusicology
- Sergei N. Bibikov, “Ancient Musical Ensemble of Mammoth Bones”, Ethnomusicology, Spring - Summer, 1985, Vol. 29, No. 2, by University of Illinois Press on behalf of Society for Ethnomusicology
- Roncador Melini, “Il karnyx celtico di Sanzeno (Val di Non, Trentino): ritrovamento, indagini e ricostruzione” The Sounds of Prehistoric Scandinavia by Cajsa Lund: Drevneishii muzikal'nii
- Athina Tsentemidou, “Musicians and Musical Instruments of Classical Greece”, University of Helsinki, Faculty of Arts Ancient Languages and Literatures Greek Language and Literature, Master’s Thesis, May 2020
- “La musica nell'antica Roma”, Wikiversità, https://it.wikiversity.org/wiki/La_musica_nell%27antica_Roma
- Giovanni Teresi, “La musica nell’antica Roma – Relazione in italiano e latino”, 20 aprile 2016, <https://teresigiovanni.wordpress.com/2016/04/20/la-musica-nellantica-roma-relazione-in-italiano-e-latino-di-giovanni-teresi/>
- Antonio Vivaldi and th “Four Seasons” explained, sito web https://vinculando.org/en/antonio_vivaldi_the_four_seasons_explained.html
- Amici della musica di Cagliari, “Vivaldi i sonetti delle quattro stagioni”, <http://www.amicidellamusicadicagliari.it/new/wp-content/uploads/2019/03/Sonetti-4-stagioni-2019.pdf>

Sylvia Bowden, “The Theming Magpie: The Influence of Birdsong on Beethoven Motifs” proceedings of The Musical Times, Summer, 2008, Vol. 149, No. 1903 (Summer, 2008), pp. 17-35

Published by: Musical Times Publications Ltd.

Da Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Big_Yellow_Taxi

Dal sito: <https://jonimitchell.com/music/song.cfm?id=13>

Lori Bedell, “1970 to 2011: A Shift in Environmentalism”, 11 ottobre 2019, <https://bpb-us-el.wp.mucdn.com/sites.psu.edu/dist/f/28045/files/2020/09/Comparison-Essay-Rough-Draft.pdf>

Da Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/The_Last_Resort_\(Eagles_song\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Last_Resort_(Eagles_song))

Da Genius: <https://genius.com/Eagles-the-last-resort-lyrics>

Da Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Untitled_\(The_Byrds_album\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Untitled_(The_Byrds_album))

Da Genius: <https://genius.com/The-byrds-hungry-planet-lyrics>

Da Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mercy_Mercy_Me_\(The_Ecology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mercy_Mercy_Me_(The_Ecology))

Da Genius: <https://genius.com/Marvin-gaye-mercy-mercy-me-the-ecology-lyrics>

Da Wikipedia: https://it.wikipedia.org/wiki/Ragged_Glory

Da Genius: <https://genius.com/Neil-young-and-crazy-horse-mother-earth-natural-anthem-lyrics>

Da Wikipedia: https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Song

Silvia Argento, “MICHAEL JACKSON, LA STORIA E IL SIGNIFICATO DI EARTH SONG”, <https://www.r3m.it/2020/11/16/michael-jackson-la-storia-e-il-significato-di-earth-song/>

Da Genius: <https://genius.com/Michael-jackson-earth-song-lyrics>

Da Genius: <https://genius.com/Pearl-jam-whale-song-lyrics>

<https://paulwinter.bandcamp.com/album/songs-of-the-humpback-whale>

Sito ufficiale di Roger Payne: <https://rogerpayne.com/>

Federica Teti, “La musica della natura: melodie per la tutela dell’ambiente”, articolo di Pikaia – Portale dell’evoluzione, 7 luglio 2023

Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., & Duvail, S. (2008). Rapid Acoustic Survey for Biodiversity Appraisal. *PLoS One*, 3(12), e4065. doi: 10.1371/journal.pone.0004065

Roberta Righini, Gianni Pavan, “A soundscape assessment of the Sasso Fratino Integral Nature Reserve in the Central Apennines, Italy”, proceedings of BIODIVERSITY, 19 novembre 2019, doi: 10.1080/14888386.2019.1696229

Sito web: <https://www.parcoforestecasentinesi.it/it/news/i-suoni-di-sasso-fratino>

Federica Teti, “Canti degli uccelli per osservare la salute degli ecosistemi”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 28 luglio 2023

Shih-Hung Wu et al., “An acoustic detection dataset of birds (Aves) in montane forests using a deep learning approach”, proceedings of Biodiversity Data Journal 11, doi: 10.3897/BDJ.11.e97811

Federica Teti, “Il canto degli uccelli: un immenso mondo da esplorare”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 11 agosto 2023

“The singing question: re-conceptualizing birdsong”, Evangeline M. Rose et al., proceedings of Biological Reviews (2022), 97, pp. 326-341 doi: 10.1111/brv.12800

Jeffrey Podos, Mario Cohn – Haft, “Extremely loud mating songs at close range in white bellbirds”, proceedings of Current Biology, 21 ottobre 2019, doi: 10.1016/j.cub.2019.09.028

Signe Brinklöv, M. Brock Fenton, John M. Ratcliffe, “Echolocation in Oilbirds and swiftlets”, proceedings of Frontiers in Physiology, 28 maggio 2013, doi: 10.3389/fphys.2013.00123

Federica Teti, “L’ecolocalizzazione dei pipistrelli: la musica che non sentiamo”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 11 ottobre 2023

Natalie Yoh, Peter Syme, Ricardo Rocha, Christoph F. J. Meyer, Adrià López-Baucells, “Echolocation of Central Amazonian ‘whispering’ phyllostomid bats: call design and interspecific variation” proceedings of Mammal Research, 30 maggio 2020, doi: 10.1007/s13364-020-00503-0

Castro, M.G., Amado, T.F. & Olalla-Tárraga, M.Á., “Correlated evolution between body size and echolocation in bats (order Chiroptera).”, proceedings of BMC Ecology and Evolution, 15 aprile 2024, doi: 10.1186/s12862-024-02231-4

Ansam Nazar Younis, Fawziya Mahmood Ramo, “A new parallel bat algorithm for musical note recognition”, proceedings of International Journal of Electrical and Computer Engineering, 01 febbraio 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i1.pp558-566

Federica Teti, “Suoni sottomarini: la produzione musicale di delfini, orche e capodogli”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 5 settembre 2023

“Toothed whales use distinct vocal registers for echolocation and communication” Peter T. Madsen, Coen Elemants, Ursula Siebert, proceedings of Science, 2 Mar 2023, Vol 379, Issue 6635, pp. 928-933, doi: 10.1126/science.adc9570

Castellote, M., Leeney, R.H., O’Corry-Crowe, G. et al. “Monitoring white whales (*Delphinapterus leucas*) with echolocation loggers”, proceedings of Polar Biology, 13 dicembre 2012, doi: 10.1007/s00300-012-1276-2

Jolliffe, C.D., McCauley, R.D. & Gavrilov, A.N. “Do Whales Sing to Their Own Tune? Comparing the Variability Within and Between Song Events of the Eastern Indian Ocean Pygmy Blue Whale.”, proceedings of Acoustic Australia, 10 marzo 2024, doi: 10.1007/s40857-024-00314-2

Sara Vieira, “Humpback whale song variations in La Reunion Island from 2016 to 2018 and in Madagascar in 2018”, proceedings of Marine Mammal Science, 25 marzo 2023, doi: 10.1111/mms.13017

Gianni Pavan, “Monitoraggio del rumore subacqueo per la protezione dei cetacei”, 01 giugno 2014, 41° Convegno Nazionale dell’Associazione Italiana di Acustica

Yatao Wu, Xiuli Luo, Pan Chen, Fang Zhang, “Frequency jumps and subharmonic components in calls of female *Odorrana tormota* differentially affect the vocal behaviors of male frogs”, proceedings of Frontiers in Zoology, 8 dicembre 2023, doi: 10.1186/s12983-023-00517-9

Federica Teti, “La musica dei gibboni non è poi così diversa dalla nostra”, articolo di Pikaia-il portale dell’evoluzione, 25 ottobre 2023

Raimondi, T., Di Panfilo, G., Pasquali, M., Zarantonello, M., Favaro, L., Savini, T., ...Ravignani, A. (2023). Isochrony and rhythmic interaction in ape duetting. Proceedings of the Royal Society B, 290(1990), 20222244. doi: 10.1098/rspb.2022.2244

Federica Teti, “Sa Sa, Prova! Si sente lo sbadiglio? Perché le scimmie gelada emettono sbadigli udibili a grandi distanze”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 6 febbraio 2024

Luca Pedruzzi, Martina Francesconi, Elisabetta Palagi, Alban Lemasson “The sound of yawns makes geladas yawns” Proceedings of Scientific Reports, 07 January 2024 doi: 10.1038/s41598-023-49797-5

Federica Teti, “Quando la musica fa bene e non solo all’anima”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 21 novembre 2023

Federica Teti, “Musica e scienza: due mondi che si incontrano”, articolo di Pikaia – Il portale dell’evoluzione, 6 novembre 2023