



Fondazione
Pierfranco e Luisa Mariani

Filogenesi e Ontogenesi della musica

La musica nell'evoluzione delle specie
animali e nello sviluppo umano

A cura di Giuliano Avanzini, Tito Longo, Maria Majno,
Stefano Malavasi e Dario Martinelli

Premessa di Claudio Scimone

In collaborazione con Fondazione G.E. Ghirardi

FrancoAngeli

FILOGENESI DELLA COMUNICAZIONE ACUSTICA NEI VERTEBRATI: UN APPROCCIO COMPARATIVO PER LA BIOLOGIA DELLA MUSICA

Stefano Malavasi

Le origini evolutive della musica sono oggetto di studio e di dibattito da molto tempo. Un approccio comparativo alla biologia della musica si fonda sull'analisi della filogenesi della comunicazione acustica nel mondo animale. Nel presente lavoro, utilizzando i vertebrati come modello di studio, vengono analizzati quei processi comportamentali e quelle forze evolutive che si ritiene abbiano maggiormente contribuito a forgiare la complessità strutturale dei segnali acustici e ad accrescerne lo spettro di variabilità. Due processi comportamentali vengono qui considerati come fondamentali per fornire materia prima all'agire musicale:

- 1. la ritualizzazione del segnale acustico, ovvero il processo evolutivo che trasforma alcune componenti del fenotipo, atte a funzionare per qualche ragione da proto-segnale, in vero e proprio segnale. Si tratta di un processo che rende decodificabile il segnale stesso, attraverso l'aumento di ridondanza e stereotipia;*
- 2. l'apprendimento canoro, che consente agli individui di alcune specie, tramite diverse modalità di apprendimento sociale, di arricchire le vocalizzazioni di sempre nuove componenti.*

Inoltre, la filogenesi del segnale acustico nei vertebrati è qui analizzata in termini di interazione fra le forze evolutive che hanno agito sul segnale stesso: i vincoli morfologici posti dalla modificazione e dal riadattamento degli apparati specializzati a produrre e decodificare suoni, da un lato, e le pressioni selettive, poste dall'ambiente fisico e sociale, che hanno ottimizzato il trasferimento dell'informazione fra emettitori e riceventi, dall'altro. La conclusione principale del presente lavoro è che nella linea filetica dei vertebrati una combinazione di componenti omologhe, rappresentate da basi neurobiologiche ancestrali, e di convergenza adattativa, a livello di complessità dei sistemi sociali, ha permesso di raggiungere importanti vette di attività musicale.

Introduzione

Il dibattito sulle origini evolutive della musica era già piuttosto infiammato nella Gran Bretagna vittoriana ed “evoluzionistica” della seconda metà dell'ottocento, e vedeva come protagonisti il grande naturalista Charles Darwin e il filosofo Herbert Spencer. Se Darwin nella sua opera *The descent*

of man (1871) suggeriva che la musica era il frutto della trasformazione a scopo comunicativo di una serie di rumori e suoni casuali, prodotti durante l'eccitamento sessuale dai vertebrati più ancestrali, Spencer (1890) replicava che non poteva essere la selezione sessuale la sola forza evolutiva capace di promuovere il canto e la musica. Darwin era convinto che la funzione di attrazione del partner sessuale fosse il più chiaro valore adattativo della musica: le vocalizzazioni e i suoni più strutturalmente complessi sono ai suoi occhi quelli che oggi chiamiamo "caratteri sessuali secondari", che funzionano da "ornamenti e armamenti" (*armaments and ornaments* direbbero i moderni ecologi comportamentali) nella competizione per il partner sessuale, ossia l'equivalente acustico della coda del maschio del fagiano argo o del pavone. Al contrario, Spencer vedeva nell'attività musicale qualcosa di più ampio: un'attività autoremunerativa e ludica, l'espressione di un surplus energetico, in molti casi svincolata da una specifica funzione, quale appunto quella riproduttiva. Esprimendoci con il linguaggio della moderna biologia evolutiva, un puro adattamentista (Darwin) contro un critico dell'adattamentismo estremo (Spencer).

Nonostante la diversità di vedute dei due illustri studiosi britannici, in entrambi si può chiaramente notare la convinzione in base alla quale la musica debba essere comunque interpretata come un'attività modellata dai processi evolutivi che hanno accompagnato la linea filetica dei vertebrati. Un ramo di questo cespuglio evolutivo è quello che porta a *Homo sapiens*, e non c'è dubbio che entrambi gli studiosi vedano le manifestazioni musicali degli altri vertebrati non umani come il preludio alla più complessa e articolata produzione musicale dell'uomo.

Molto più di recente, Fitch (2005) affronta il problema di un approccio comparativo alla musica, mettendo a punto una biologia della musica che fondi le sue basi su di una robusta analisi filogenetica. Questo autore suddivide il fenomeno musicale in una componente vocale e in una strumentale, ritenendo che esso si sia evoluto più volte, sotto la spinta di convergenze adattative (dunque per analogia, e cioè somiglianza di funzione e non di origine), lungo il percorso filogenetico dei vertebrati. Mutuando un linguaggio che il grande biologo E.O. Wilson utilizzò per il comportamento sociale («vette del comportamento sociale» – Wilson, 1979), potremmo dire che Fitch individua, all'interno dei vertebrati, alcune "vette di musicalità". Tali vette di musicalità coincidono, secondo l'autore, con quattro gruppi: uccelli (specialmente passeriformi, psittaciformi, ossia i pappagalli, e trochiliformi, ovvero i colibrì), pinnipedi (foche e leoni marini), cetacei (delfini e balene) e primati. Le discriminanti utilizzate da questo autore per individuare tali rami evolutivi ricchi di una fiorente attività musicale sono fondamentalmente due: la struttura complessa delle vocalizzazioni e la capacità di apprendimento canoro (vale a dire, apprendimento sociale delle vocalizzazioni). Anche se queste considerazioni possono essere variamente discusse, si intende

circoscrivere il presente lavoro al mondo dei vertebrati, proprio in ragione del fatto che, in accordo con Fitch, è in questo gruppo che si osservano in modo quantitativamente e qualitativamente rilevante quelle manifestazioni sonore che etologi e filosofi chiamano da molto tempo, e senza indugio, “canto”. Con questo non si intende affermare aprioristicamente, e con una visione antropocentrica, che il mondo degli invertebrati non abbia prodotto alcune vette musicali, tant’è vero che parliamo di canto anche nel caso di grilli e cicale.

La disquisizione su cosa sia la musica, sull’uso estetico della comunicazione sonora, sulle implicazioni per il rapporto fra uomo e altri animali non umani, è al di là dello scopo del presente lavoro, rimandando il lettore, per tali complesse e intriganti problematiche, ad altri contributi della presente raccolta.

Nel presente contesto, vengono invece individuati e analizzati alcuni dei processi comportamentali ed evolutivi che si ritiene abbiano modellato le basi biologiche dell’agire musicale. I vertebrati sono qui utilizzati come modello di studio, anche alla luce delle più recenti scoperte nel campo dello studio della comunicazione acustica di questo gruppo.

Il presente lavoro prende in rassegna tre tipi di processi comportamentali ed evolutivi:

1. la ritualizzazione;
2. l’apprendimento canoro;
3. le interazioni fra storia e adattamento nell’evoluzione del segnale acustico.

Verrà discussa l’importanza di questi fattori nell’aver forgiato, in una prospettiva evolutiva, la materia prima dell’attività musicale.

La ritualizzazione del segnale acustico

Il fenomeno comunicativo implica lo scambio di un segnale fra un emettitore e un ricevente, che possono essere individui della stessa specie o, meno comunemente, di due specie differenti. Il segnale, una volta emesso dall’apparato di produzione dell’emettitore, attraversa il mezzo ambientale, per essere decodificato dal ricevente, grazie a una struttura specializzata per la ricezione e decodifica del segnale stesso. È ovvio attendersi che segnale e apparati di produzione/ricezione si siano co-evoluti in risposta alle pressioni selettive poste dal mezzo ambientale e in relazione ai vantaggi adattativi dell’emettitore e/o del ricevente. Il segnale è in genere ritualizzato e per ritualizzazione l’etologia classica intende un processo evolutivo che trasforma un elemento del fenotipo, che funzionava originariamente da “proto-segnale” involontario (*inadvertent cue* secondo l’accezione anglosassone), e cioè inavvertitamente lanciato a un potenziale ricevente, in un vero e proprio segnale. In altre parole,

una componente del fenotipo, che in origine ha funzione non comunicativa, viene trasformata e rifinita in funzione comunicativa attraverso un processo che denominiamo ritualizzazione. In accordo con Bradbury & Veherecamp (1998), la ritualizzazione agisce attraverso uno o più di quattro fondamentali passaggi che trasformano il proto-segnale in vero segnale:

1. semplificazione o riduzione nel numero delle componenti;
2. esagerazione delle componenti che vengono selezionate dal processo di riduzione e semplificazione;
3. ripetizione del segnale;
4. stereotipia (costanza nella forma), ovvero riduzione della varianza nella forma del segnale durante le reiterazioni dell'emissione del segnale stesso.

In accordo con Wiley (1983), la ritualizzazione rende efficiente la comunicazione creando un segnale facilmente decodificabile dal ricevente, attraverso la realizzazione di un forte contrasto tra segnale e tutto ciò ne costituisce lo sfondo, e da cui il segnale, e il suo contenuto di informazione, devono nettamente differenziarsi. Questo contrasto si realizza attraverso quattro proprietà:

1. la ridondanza, ovvero la presenza di relazioni prevedibili tra le differenti parti del segnale;
2. la cospicuità, ovvero la preminenza del segnale rispetto a tutto ciò che non è segnale, una sorta di enfattizzazione del segnale stesso;
3. la riduzione della dimensione del repertorio e la presenza di un'intensità tipica, e quindi quella combinazione di riduzione delle componenti e stereotipia a cui si è poc'anzi accennato;
4. componenti d'allerta: il segnale deve possedere elementi che permettano di prevedere gli intervalli di tempo durante i quali il ricevente può attendersi di ricevere il segnale.

Applicando tali concetti alla comunicazione acustica, si può ipotizzare che le componenti fenotipiche che si prestano a essere rifinite in funzione comunicativa e dunque ritualizzate siano ad esempio quelle che si ascrivono al comportamento alimentare o alla funzione respiratoria. Per quel che riguarda il comportamento alimentare, emblematico è il caso del picchio, che usa il suo becco specializzato a mo' di scalpello per scovare gli invertebrati nella corteccia degli alberi, e come strumento percussivo per attrarre il partner sessuale durante la stagione riproduttiva.

Per quel che riguarda la respirazione, pensiamo al laringe, la cui funzione primigenia è quella di separare funzione alimentare da funzione respiratoria, ma poi con l'evolversi di altri annessi acquisisce anche la funzione di produzione acustica (Bradbury & Veherecamp, 1998). In alcuni pesci è un organo idrostatico, la vescica natatoria, che grazie all'ausilio di muscoli specializzati a essa annessi consente la produzione di vocalizzazioni (Bradbury & Veherecamp, 1998).

Qualunque siano le strutture e gli elementi originali implicati, un segnale può andare incontro a processi di ritualizzazione di entità variabile, ma la sua stessa natura di segnale implica che, in una qualche misura, alcuni dei processi sopra descritti abbiano agito.

In accordo con Martinelli (2011), il fenomeno musicale è definito da tre componenti:

1. strutture;
2. pratiche;
3. esperienze.

La struttura musicale è caratterizzata dall'uso di ripetizioni, di intervalli e scale, e da suoni con ritmo, tempo e timbro caratteristici. La ritualizzazione fornisce dunque la materia grezza per plasmare una rudimentale forma musicale, essendo il segnale acustico già caratterizzato, quale prodotto finale di un processo di ritualizzazione, da unità ripetute con schemi stereotipati. L'emergere della forma è, in termini adattativi, strettamente legata alla necessità di rendere decodificabile il segnale, vale a dire di far pervenire l'appropriato contenuto d'informazione al destinatario del segnale stesso. Questo conferma dunque l'interpretazione di Martinelli (2011), secondo la quale la musica è in origine un fenomeno zoosemiotico e comunicativo, con un elevato valore per la fitness individuale e l'adattamento.

L'apprendimento canoro

Il canto degli uccelli ha rappresentato un materiale d'elezione, nel corso della storia dell'etologia, per lo studio delle interazioni fra le determinanti innate e apprese dell'ontogenesi comportamentale. Gli studi pionieristici dell'etologo americano Peter Marler misero in evidenza l'esistenza, all'interno di alcune specie di uccelli canori, di varianti geografiche del canto (Alcock, 1992). Tali varianti potevano essere attribuite o a differenze genetiche fra le popolazioni oppure a meccanismi di apprendimento sociale e trasmissione culturale. Gli esperimenti di Marler, basati su "adozioni incrociate" fra animali provenienti da diverse popolazioni, in modo cioè che i nidiacei di determinate popolazioni fossero allevati dai genitori di altre, dimostrarono che la seconda ipotesi era la più corretta. Tali varianti erano il frutto di processi di apprendimento sociale, dunque veri e propri dialetti e cioè, secondo la definizione di Wickler (1988), «variazioni culturalmente trasmesse di un determinato canto o vocalizzazione». Al processo di apprendimento vocale concorrono vari fenomeni di apprendimento sociale, ovvero fenomeni che implicano il passaggio di informazione da un dimostratore a un osservatore: quest'ultimo, con tempi e meccanismi che possono variare a seconda della specie, della fase ontogenetica e della situazione, riesce a replicare ciò che il dimostratore sa già fare. Fra questi meccanismi di apprendimento sociale,

due hanno un notevole peso nell'apprendimento vocale: l'imprinting acustico e l'imitazione vocale. L'imprinting coincide con una fase precoce durante la quale un giovane animale memorizza le caratteristiche delle vocalizzazioni che ascolta, spesso da un genitore, per poi maturare il canto tipico della propria specie mediante ulteriori fasi di allenamento e autoascolto. Con l'imitazione, anche un animale adulto è capace di arricchire continuamente le sue vocalizzazioni mediante l'ascolto di altri animali o di altri suoni che ode dall'ambiente circostante. Tretzel (1965) riporta di una allodola cappellaccia (*Galerida cristata*) che imitava il fischio emesso da un pastore quando richiamava i suoi cani, modificandolo e rendendolo più aggraziato. Era come se il fischio fosse al contempo imitato, ma anche filtrato dalle modalità di canto tipiche dell'uccello.

All'altro estremo di variabilità, c'è la modalità puramente ereditaria e genetica di trasmissione delle vocalizzazioni, tipica di molti anfibi, pesci e rettili. Per gli uccelli, è stato dimostrato che molte specie possono sviluppare un canto maturo, tipico della specie, anche in assenza di qualunque processo di apprendimento e in seguito a totale isolamento acustico e sociale, e che solo in tre ordini (pappagalli, colibrì e passeriformi) si è sviluppata la modalità di apprendimento vocale, che oggi si sa essere sottesa da complessi meccanismi neurobiologici che implicano l'attivazione di specifici geni in specifiche aree cerebrali (Alcock, 1992). Dunque, per riprendere le considerazioni di Fitch (2005) cui già si accennava in precedenza, solo in alcuni rami dell'albero filogenetico dei vertebrati appare, in base alle conoscenze al momento disponibili, essersi sviluppata la capacità di arricchire e perfezionare il canto mediante apprendimento canoro. In accordo con Alcock (1992), il valore adattativo di questa abilità potrebbe essere quello di aggiustare e rifinire il canto sulle specifiche esigenze non solo della specie, ma anche della popolazione, della coppia, dell'individuo e del contesto ecologico. Tale valore adattativo dell'apprendimento canoro è dunque da considerarsi una potente forza evolutiva capace di plasmare vocalizzazioni complesse, plastiche e molto variabili, senza le quali un'attività propriamente musicale è difficilmente immaginabile.

L'interazione fra storia e adattamento nell'evoluzione del segnale acustico

Come ben sottolineato da Ryan (1986) e da Autumn *et al.* (2002), i sistemi di comunicazione sono soggetti all'interazione fra diverse forze evolutive, quali le pressioni selettive che plasmano il segnale acustico in senso adattativo, ottimizzando il trasferimento del suo contenuto d'informazione, e i vincoli legati alla morfologia e alla storia naturale degli apparati specializzati a produrre o a decodificare il segnale. Si parla di vincoli in quanto gli apparati

di produzione o ricezione del segnale possono fissare degli intervalli ben precisi, entro i quali le proprietà del segnale possono essere modificate in risposta alle pressioni selettive dell'ambiente fisico o sociale. Questi vincoli possono essere visti tuttavia, in molti casi, anche come delle opportunità evolutive, fornendo al segnale delle caratteristiche che emettitori e riceventi possono utilizzare per trasmettere meglio un certo contenuto d'informazione.

Questo intreccio di forze può essere inteso dunque come un'integrazione fra i meccanismi che, da un lato, agiscono sul segnale, e la dimensione storica che, dall'altro, utilizza e rimangono strutture pre-esistenti, per produrre e decodificare i segnali stessi (Autumn *et al.*, 2002). La dimensione storica appare dunque una sorta di medaglia a due facce: fornisce continuamente nuove opportunità, ponendo al contempo alcuni vincoli. Ad esempio, se il maschio di una specie di anuro produce suoni con componenti a bassa frequenza, e la cui frequenza dominante è negativamente correlata alla sua taglia, e la femmina di quella stessa specie ha sistemi di ricezione del suono ben calibrati sulle basse frequenze, un segnale a bassa frequenza sarà particolarmente indicato a fornire informazioni sulla qualità del maschio alla femmina, e a essere dunque utilizzato nel contesto della selezione sessuale (Ryan, 1986). È un chiaro esempio di un sistema di produzione e ricezione che una specie eredita dai suoi progenitori e che, pur fissando vincoli (in termini di frequenze, in questo caso), offre un'opportunità di utilizzo ai fini della comunicazione acustica massimizzando, in ultima analisi, la fitness individuale.

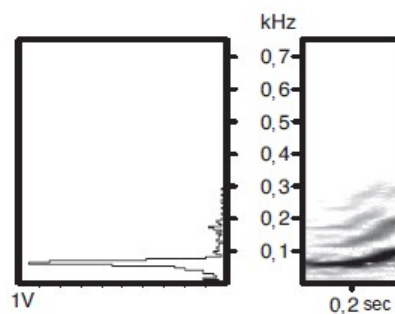
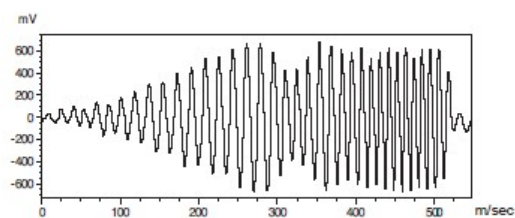
L'evoluzione dei sistemi sociali dei vertebrati ha prodotto una notevole varietà di strutture specializzate per la comunicazione sonora, anche in ragione del fatto che, in una data fase del tempo geologico, si è verificata la famosa e tanto dibattuta "transizione acqua-terra", la quale ha implicato, con l'evolversi dei primi tetrapodi terrestri, una notevole rivoluzione strutturale. Nonostante questa diversità di strutture, scoperte recenti condotte su pesci Teleostei che producono suoni in contesti comunicativi (pesci così detti "soniferi", oltre ottanta specie conosciute – *Scheda 1*) suggeriscono una sostanziale omologia nelle basi neurobiologiche delle vocalizzazioni dei vertebrati (Bass *et al.*, 2008; Margoliash & Hale, 2008). I circuiti neurali sottostanti alla capacità di vocalizzare, localizzati nel compartimento spinale del romboencefalo, e le componenti embrionali da cui derivano i muscoli utilizzati per vocalizzare, ossia i somiti occipitali (foglietto embrionale mesodermico, metamerizzato), costituirebbero dunque tratti ancestrali da far risalire a una fase antecedente alla separazione fra Actinopterygi e Sarcopterygi, circa 400 milioni di anni fa (Bass *et al.*, 2008). Per usare una metafora, se i diversi gruppi di vertebrati usano strumenti "musicali" molto differenti che si sono trasformati nel corso della loro evoluzione – una varietà di meccanismi nei pesci, il laringe in rettili, anfibi e mammiferi, il siringe negli uccelli –, ciò che aziona tali strumenti ha un'organizzazione e origine embrionale del tutto

I PESCI "SONIFERI"

Nonostante le osservazioni sfatanti il vecchio adagio "muto come un pesce" fossero già presenti nei trattati naturalistici di studiosi del mondo antico, quali Plinio il Vecchio e Aristotele, i primi studi sperimentali e quantitativi sull'udito e la produzione di segnali acustici nei pesci risalgono ai primi decenni del '900. In particolare, si devono al grande etologo e fisiologo austriaco Karl von Frisch (1886-1982, Premio Nobel per la Medicina e la Fisiologia nel 1973, assieme a K. Lorenz e N. Tinbergen) le prime indagini sperimentali sulla sensibilità acustica di piccoli pesci d'acqua dolce. Dopo la seconda guerra mondiale, la tecnologia acustica subacquea, ben sviluppata in ambito bellico, venne fortunatamente convertita per scopi molto più pacifici e degni dell'uomo, quali appunto le indagini di bioacustica subacquea, tra cui anche la registrazione e l'analisi strutturale dei suoni prodotti da pesci. Oggi sappiamo che oltre cinquanta famiglie di pesci Teleostei (ovvero pesci anatomicamente moderni) annoverano specie che producono suoni per fini comunicativi. Gli individui appartenenti a tali specie emettono segnali acustici con precisi significati nell'ambito delle interazioni sociali, siano esse di natura aggressiva o riproduttiva. Esse vengono quindi definite "sonifere" (da *soniferous fishes*, nell'accezione anglosassone) e il loro numero va costantemente crescendo nella letteratura scientifica specializzata. Ciononostante, rispetto alle oltre 30 mila specie di pesci esistenti al mondo, soltanto una piccola frazione è stata "testata" in termini di produzione acustica, e ciò è anche in relazione al fatto che per tale documentazione non bastano le orecchie dello sperimentatore, ma serve mettere in acqua uno speciale "orecchio elettronico", detto idrofono, che converte le onde di pressione acustica trasmesse nel mezzo in segnale elettrico. I pesci producono suoni con un'ampia varietà di meccanismi, raggiungendo, in questo ambito, la maggiore diversificazione esistente fra i vertebrati: molti di questi meccanismi coinvolgono la vescica natatoria e muscoli specializzati, a essa variamente connessi, che permettono la produzione di vibrazioni a bassa frequenza (poche centinaia di Hz), e più o meno modulabili, mentre altri meccanismi implicano la messa in vibrazione di altre diverse strutture, quali ad esempio il cinto pettorale, o lo sfregamento di componenti della griglia dei denti faringei. In quest'ultimo caso i suoni vengono detti "stridulatori", e si spalmano su ampie bande di frequenze, fino ai 2-4 kHz. Tra le principali famiglie di pesci indagate a livello bioacustico, se ne rinviene una che ha molti rappresentanti nella fauna italiana ed è stata ampiamente studiata da ricercatori del nostro paese, quella dei gobidi (*Perciformes, Gobiidae*), detti comunemente ghiozzi. In *Figura 1a* è mostrato un esemplare di una di queste specie, *Gobius paganellus*, comune negli habitat costieri rocciosi, mentre in *Figura 1b* è riportato un sonogramma, spettro di potenza e forma d'onda del tipico suono di corteggiamento, che il maschio produce per attirare la femmina nel nido da lui difeso, in genere costituito da un ciottolo o da una pietra, nel quale sarà poi il maschio stesso a prendersi cura delle uova (cure parentali paterne). Il suono è particolarmente ben strutturato nell'ambito dello spettro di diversità dei suoni nel mondo dei pesci: si tratta di un suono così detto "armonico", modulato in frequenza e ampiezza, la cui forma d'onda appare sinusoidale, e la cui energia è quasi interamente concentrata su di un'unica frequenza fondamentale, di solito attorno agli 80-100 Hz.



a)



b)

Figura 1. a) *Esemplare maschio di Gobius paganellus* (foto Matteo Zucchetto, scattata nei laboratori del Dipartimento DAIS, Università Ca' Foscari Venezia); b) Sonogramma (in basso, a destra), spettro di potenza (in basso, a sinistra) e oscillogramma (in alto) di un tipico suono di corteggiamento (riadattato da Malavasi et al., 2008).

SCHEDA 2

ACUSTICA NEL “TEATRO DELLA FISICA ANIMALE” NEL '700

L'origine della musica va rintracciata nella sua dimensione storico-naturale di ricerca che nel tempo ha coinvolto molti protagonisti del mondo culturale e del pensiero scientifico. Il percorso intrapreso è stato proficuo, non solo per l'approfondimento della nostra educazione musicale come ci insegna il recente bellissimo saggio di Barenboim (2007), ma per quanto è stato scoperto con lo studio naturalistico delle modalità con cui gli animali producono e percepiscono il suono, quindi i segnali vibratorii, nell'ambiente in cui vivono. L'abate filosofo naturalista Lazzaro Spallanzani (1728-1799) ha aperto un portale fondamentale con le sue osservazioni sul comportamento dei piccoli pipistrelli dimoranti nelle gallerie del castello di Scandiano, dopo averne provocata la cecità. La possibilità di procedere nel volo notturno evitando gli ostacoli e di catturare, anche senza vedere, gli insetti di cui si nutrono questi specialissimi “quadrupedi volanti” viene per la prima volta descritta da Spallanzani in una memoria indirizzata al filosofo Giovanni Senebier in data 28 settembre 1793 (lettera conservata presso la biblioteca civica di Reggio Emilia). In essa, pur confessando di non riuscire a comprendere quali fossero le ragioni che consentivano ai pipistrelli di volare e nutrirsi se pur privi di vista, prevedeva l'immenso valore della sua osservazione naturalistica dicendo:

«ecco dunque una scoperta che a principio giudicata avremmo qual semplice curiosità naturale divenire interessantissima per chi solleva sopra il soggetto che esamina e sa apprezzarlo convenevolmente aprendoci esso una nuova scena nel teatro della fisica animale la quale mette in fermento gli spiriti pensatori e facendoli oggetto di profonde meditazioni destanti inquieta voglia di penetrar questo oceano» (Figura 1).

Louis Jaurine, giovane naturalista di Ginevra, fu indotto dal Senebier a proseguire le ricerche di Spallanzani. Il ricercatore svizzero poté dimostrare che l'integrità dell'apparato uditivo dei pipistrelli accecati dallo Spallanzani vicariava la loro cecità. L'ostruzione del condotto uditivo esterno con cera e vischio, praticata negli animali accecati nella prima fase di sperimentazione, era risultata inadeguata barriera a una forma di segnale acustico presumibilmente emesso dall'animale e dallo stesso percepito quale eco di rimbalzo. Nei pipistrelli ciechi, dopo l'otturazione del condotto uditivo esterno con cemento, l'incapacità di riconoscere gli ostacoli in volo e di raggiungere le prede di cui nutrirsi ne comportava la morte. Il senso dell'udito, particolarmente sviluppato nei più piccoli chiroteri insettivori, trovava conferma nella dimensione anatomica del loro organo dell'udito (apparato uditivo esterno e interno) proporzionalmente molto più voluminosa di quanto lo sia quella del loro apparato visivo.

Oggi una notizia stupefacente rende attualissime le sovrariportate riflessioni filosofiche di Lazzaro Spallanzani: nel museo di Paleontologia dell'Università di Berkeley (USA)¹ esiste una serie di reperti fossili datati 55 milioni di anni or sono. Fra di essi l'intero cranio di chiroteri di quel periodo di piccole dimensioni scheletriche. Un apparato acustico caratterizzato dalle descritte

¹UC Berkeley Museum of Paleontology Website on bat fossils (<http://www.UCMP.Berkeley.edu/mammal/eutheria/chirofr.html>).

peculiarità è documento di assoluta evidenza delle correlabili potenzialità vitali dei progenitori dei chiropteri di Lazzaro Spallanzani, immutate da allora. Esse sono un solidificato contributo interpretativo di una realtà filogenetica in quello che Lazzaro Spallanzani definiva nelle sue previsioni «nuova scena nel teatro della fisica animale». Per quanto ancora da scoprire, quale monito che potremmo accogliere, l'abate Spallanzani riportava i versi del Petrarca:

*Tutte le cose di che' l'mondo è adorno
uscir buone di man del mastro eterno.*

a cura di Tito Longo e Stefano Malavasi

Sorprendente, quanto che finora non ne abbiamo idea nella immensità delle
 macchine animate, ^{e seganti} da poi gli altri. L'usi non fosse valevoli a servenire alla
 privazione degl'occhi, o saremmo tentati a opinare, che un lupo novello dagl'altre
 diverso ^{talvolta} ~~fosse~~ le vasi di quello dell'occhio, lo che se fosse per andarne noi privi, la
 sarebbe impossibile il formarne alcuna idea, o per lo meno ^{iloviamo} ~~avremmo~~ confessare che
 questo un inspiegabil mistero atto a mostrare la limitazione delle nostre cogni-
 zioni in quegli animali, eziandio che nel loro genere chiamiam perfetti, e che
 per una gran parte del loro organismo analogo al nostro, credevam di aver
 meglio conosciuti. Ecco adunque come una scoperta che a principio
 giudicata avremmo qual semplice curiosità naturale divenne
 interessantissima per chi si solleva sopra il soggetto che esor-
 mina e fa apprezzarlo convenevolmente apprendoci essa una nuova
 scena nel teatro della Fisica animale, la quale mette in fermento
 gli spiriti pensatori, e fa sì oggetto di profonda e di meditazione.
 Deftanti: L'inquietà ^{la voglia} ~~voglia~~ di penetrar questo arcano. Il
 pipistrello che malgrado le apparenze che deformata era ora agli occhi
 del Naturalista filosofo, considerandosi quell'essere nella catena animale
 che per infelici potterali e per tali annoda i quadrupedi cogli uccelli
 quasi al presente un oggetto di maraviglia per la scoperta proprietà
 che è tutta sua, non contandosi almeno finora che ci la divide con altre.
 Il Linneo tra europee ed esotiche numerò sei specie di pipistrelli.
 Sappiam però esservene assai di più, e il Daubenton nel solo clima fran-
 cese ^{notando in} ~~col volo~~
 che in un'ampia camera possa misurarla tutta ^{col volo} ~~col volo~~ e cercarsi dove a lui piacua
 tenuta l'altra estremità del filo con una mano, e a volta a volta secondando con
 gli movimenti in aria del pipistrello, vedremo che a misura d'un po' di len-
 tezza nel volare ~~seguita appunto~~, li eleguise appunto, come un altro
 che sia libero con tal diavolo, che il primo popiam ravvolto a nostre talento, e quindi infer-
 rir per nuove prove, lo che non si fa facile nel decendo.

Figura 1. Lazzaro Spallanzani, Memoria sopra alcune specie di pipistrelli inviata a Jean Senebier, Scandiano, 28 settembre 1793, copia sincrona di altra mano con correzioni e integrazioni autografe (Reggio Emilia, Biblioteca Panizzi, Mss. Regg. B 28, c. 14v).

simile, e dunque possiamo parlare di omologia, ossia somiglianza di origine. Altre componenti omologhe possono essere rintracciate nell'organizzazione delle aree neo-cerebrali deputate all'apprendimento canoro in uccelli e mammiferi (Margoliash & Hale, 2008). L'apprendimento canoro è dunque un fenomeno che, in accordo con Fitch (2006), si è ripetutamente evoluto nei vertebrati sotto la spinta di pressioni selettive simili, legate in una certa misura alla complessità dei sistemi riproduttivi e sociali, a partire da alcune componenti omologhe a livello di basi neurobiologiche. Le recenti scoperte suggeriscono dunque che una combinazione di analogia e omologia è alla base della complessità delle vocalizzazioni dei vertebrati.

Se si considera la dimensione puramente storica, la trasformazione degli apparati di produzione specializzati per le vocalizzazioni sembra essere andata incontro a un fenomeno, concettualizzato di recente da alcuni biologi evoluzionisti, che prende il nome di "esattamento" (*exaptation* – Gould & Vrba, 2008). L'esattamento è la cooptazione, da parte dei meccanismi evolutivi, di strutture pre-esistenti, evolutesi per determinati usi o per nessuna funzione, che vengono poi in parte riadattate ad assolvere nuove funzioni, vale a dire quelle funzioni che osserviamo per l'utilizzo attuale nella specie in esame. Ad esempio, durante la transizione acqua-terra, e cioè durante il passaggio dai vertebrati non tetrapodi o dai proto-tetrapodi del Devoniano ai primi tetrapodi terrestri, le arcate branchiali, liberate dalla loro originaria funzione respiratoria non più utile in ambiente terrestre, poterono essere trasformate per andare a fornire delle strutture utili a far passare aria e a far vibrare membrane nei sistemi di produzione acustica tipici dei vertebrati terrestri. L'evoluzione dunque rimaneggia quello che già c'è, per porlo successivamente al servizio di nuove funzioni.

Per concludere, passando dalla dimensione della storia a quella dei meccanismi adattativi, due tipi di pressioni selettive hanno agito sul segnale acustico: quelle legate al rumore ambientale (*ambient noise*) e quelle legate alle funzioni sociali della comunicazione. Per quel che riguarda il primo tipo di fattori selettivi, il rumore è un prodotto del contesto ambientale, in termini sia fisici sia biologici, in cui la specie si evolve ed è da considerare una sorta di ostacolo che il segnale acustico deve superare, affinché le informazioni contenute nelle proprietà acustiche del segnale non vengano mascherate. Ormai sono molte le evidenze in letteratura che, dai pesci agli uccelli, sottolineano l'importanza del rumore ambientale quale fattore selettivo che modella alcune proprietà del suono prodotto a fini comunicativi, o che induce, nel caso del rumore di origine antropica, ampie capacità di adattamento e modulazione del suono stesso da parte degli animali (Lugli *et al.*, 2003; Slabbekoorn & Ripmeester, 2008; Hanna *et al.*, 2011). Dal punto di vista delle pressioni legate alle funzioni sociali, Wilson (1979) elenca quasi una ventina di funzioni sociali della comunicazione, che vanno dal comportamento sessuale all'invito al gioco, dal

contatto al riconoscimento dell'individuo e della classe, dalla segnalazione dello status all'allarme.

Se si correla la capacità di apprendimento canoro, di cui si è discusso in precedenza, con i sistemi sociali, si può concludere che in quei gruppi, dove è documentata questa capacità (Fitch, 2005; 2006), si sono evoluti sistemi sociali complessi, nei quali cure parentali, altruismo reciproco, cooperazione, difesa collettiva, vincoli d'amicizia e gerarchie sociali si combinano variamente creando le pressioni più potenti per l'evolversi di una grande varietà di segnali acustici complessi.

Conclusioni

Il presente lavoro ha individuato e analizzato alcuni processi comportamentali ed evolutivi che sono alla base dell'emergere di un agire musicale nei vertebrati, con particolare riferimento ai loro effetti sulla struttura del segnale acustico. La ritualizzazione, come processo evolutivo universale affidato alle vie ereditarie da un lato, e l'apprendimento canoro, come abilità che si evolve ripetutamente nel gruppo a partire da alcune basi neurobiologiche comuni dall'altro, sono i processi comportamentali che maggiormente permettono l'evolversi della complessità e variabilità delle forme sonore, fornendo quindi una materia prima d'elezione per la musica. L'interazione fra la dimensione storica, che rimaneggia e riutilizza gli apparati di produzione e ricezione delle vocalizzazioni, e i meccanismi selettivi, che ottimizzano il segnale in risposta alle pressioni ambientali e sociali, ha permesso poi ai vertebrati di diversificare i loro sistemi di comunicazione acustica a partire da basi comuni molto ancestrali, e di adattarli nel corso della loro storia naturale a una varietà di ambienti in costante mutamento. Una combinazione di componenti omologhe e di convergenza adattativa ha quindi permesso in alcuni rami evolutivi particolarmente fecondi da questo punto di vista di raggiungere vette importanti, sotto il profilo qualitativo e quantitativo, nell'attività canora.

Bibliografia

- Alcock J. (1992), *Etologia, un approccio evolutivo*, Bologna, Zanichelli.
Autumn K., Ryan M.J., Wake D.B. (2002), "Integrating historical and mechanistic biology enhances the study of adaptation", *Q Rev Biol* 77 (4), 383-408.
Barenboim D. (2007), *La musica sveglia il tempo*, Milano, Feltrinelli.
Bass A.H., Gilland E.H., Baker R. (2008), "Evolutionary origins for social vocalization in a vertebrate hindbrain-spinal compartment", *Science* 321, 417-421.
Bradbury J.W., Vehrencamp S.L. (1998), *Principles of animal communication*, Sunderland (MA), Sinauer Associates.

- Darwin C. (1871), *The descent of man, and selection in relation to sex*, London, John Murray.
- Fitch W.T. (2005), "The evolution of music in comparative perspective", *Ann N Y Acad Sci* 1060, 24-49.
- Fitch W.T. (2006), "The biology and evolution of music: a comparative perspective", *Cognition* 100, 173-215.
- Gould S.J., Vrba E.S. (2008), *Exaptation. Il bricolage dell'evoluzione*, Torino, Bollati-Boringhieri.
- Hanna D., Blouin-Demers G., Wilson D.R., Menill D.J. (2011), "Anthropogenic noise affects song structure in red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus*)", *J Exp Biol* 214, 3549-3556.
- Lugli M., Yan H.Y., Fine M.L. (2003), "Acoustic communication in two freshwater gobies: the relationships between ambient noise, hearing thresholds and sound spectrum", *J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol* 189 (4), 309-320.
- Malavasi S., Collatuzzo S., Torricelli P. (2008), "Interspecific variation of acoustic signals in Mediterranean gobies (*Perciformes, Gobiidae*): comparative analysis and evolutionary outlook", *Biol J Linn Soc* 93, 763-778.
- Margoliash D., Hale M.E. (2008), "Neuroscience. Vertebrate vocalizations", *Science* 321, 347-348.
- Martinelli D. (2011), *Quando la musica è bestiale per davvero. Studiare e capire la zoomusicologia*, Roma, Aracne.
- Ryan M.J. (1986), "Factors influencing the evolution of acoustic communication: biological constraints", *Brain Behav Evol* 28, 70-82.
- Slabbekoorn H., Ripmeester E.A. (2008), "Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation", *Mol Ecol* 17, 72-83.
- Spencer H. (1890), "The origin of music", *Mind* 60, 449-468.
- Tretzel E. (1965), "Imitation und Variation von Schäferpfeifen durch Haubenlerchen (*Galerida c. cristata* L.) Ein Beispiel für spezielle Spottmotiv-Prädisposition", *Z Tierpsychol* 22 (7) 784-809.
- Wickler W. (1988), *I dialetti negli animali*, Torino, Bollati-Boringhieri.
- Wiley R.H. (1983), "The evolution of communication: information and manipulation" in: R. Halliday, P.J.B. Slater (eds.), *Animal Behaviour*, vol. 2, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 156-189.
- Wilson E.O. (1979), *Sociobiologia, la nuova sintesi*, Bologna, Zanichelli.

Nell'avvincente panorama degli studi sul rapporto tra scienze e musica, questa raccolta si presenta come confronto innovativo tra gli aspetti complementari della filogenesi – l'evoluzione biologica delle specie – e l'ontogenesi come processo di maturazione individuale.

Dapprima, la Zoomusicologia analizza vari aspetti della musica nel comportamento animale, compreso l'approccio etologico alla musica come sistema di comunicazione che tocca gli strati profondi della sfera emotiva, illuminando anche il suo significato nelle culture umane. La sezione dedicata all'ontogenesi discute poi la maturazione delle competenze musicali dal neonato all'adulto: lo studio delle tappe maturative del "cervello musicale" contribuisce alla comprensione di come il cervello umano percepisce e analizza lo stimolo musicale. Particolare attenzione è dedicata all'interazione tra sviluppo cerebrale ed educazione musicale con riferimento alle funzioni cognitive e motorie anche in rapporto all'integrazione sociale: la pratica attiva della musica può influire sullo sviluppo del bambino anche in presenza di patologie neurologiche. Il quadro si completa con i metodi di analisi computerizzata del suono e una godibile digressione sull'uccellino della RAI; nel suo insieme, questo dialogo tra naturalisti, musicologi, neurofisiologi ed esperti della fisica del suono offre una solida base divulgativa e una promettente apertura di orizzonti per indagini future.

 **FrancoAngeli**
La passione per le conoscenze

€ 17,00 (U)

ISBN 978-88-204-1130-5

9 " 788820 " 411305 "