

MUSICA E NEUROPSICOLOGIA: PUNTI DI INCONTRO

Marco D. Poli e Danilo Spada
Istituto di Psicologia,
Facoltà di Medicina e Chirurgia
Università di Milano

Estratto da:

Lucignani, G., Pinotti, A. Immagini della Mente. Raffaello Cortina, Milano. 2007. Saggi n° 48.
ISBN: 9788860301086

“It was magnificent”, he said as he took his seat, "Do you remember what Darwin says about music ? He claims that the power of producing and appreciating it existed among the human race long before the power of speech was arrived at. Perhaps that is why we are so subtly influenced by it. There are vague memories in our souls of those misty centuries when the world was in his childhood."

“That’s a rather broad idea”, I remarked.

“One’s ideas must be as broad as Nature if they are to interpret Nature”, he answered.

A. Conan Doyle: “*A Study in Scarlet*”

Introduzione

La musica, definibile molto genericamente come "l'arte o la scienza di combinare suoni vocali e/o strumentali per produrre belle forme e armonie e per esprimere le emozioni", è il risultato di un percorso creativo e comunicativo al quale prendono parte, con gradi molto variabili di competenza, tre distinte figure: il compositore, l'esecutore e l'ascoltatore. A livelli e con modalità differenti, ciascuno di questi partecipa e contribuisce allo scambio di significati e di emozioni. Nel corso di questo capitolo, quando non diversamente specificato, utilizzeremo per semplicità il termine “musica” in riferimento a questa definizione.

La musica è secondo molti la più pura e potente di tutte le arti, sebbene sia la più difficilmente comprensibile in rapporto alla vita quotidiana. A prima vista essa potrebbe sembrare così astratta da non poter trasmettere alcun significato: tuttavia, l'espressione più intensa dei sentimenti e delle emozioni viene trasmessa proprio dalla musica, per quanto non possediamo alcun "dizionario" dei significati musicali che ci possa essere di aiuto nell'interpretazione di un pezzo. In che modo essa può insinuarsi così profondamente nei nostri sentimenti pur aggirando la semantica convenzionale? Per secoli la musica ha stimolato le riflessioni di filosofi, che ne hanno sottolineato in particolare il potere evocativo di stati emotivi, e di psicologi, fisiologi e psicofisiologi, che ne hanno indagato sia le basi fisiche che alcune caratteristiche fondamentali, per lo più nell'ambito della percezione; solo negli ultimi anni essa ha richiamato l'attenzione dei ricercatori del mondo delle moderne neuroscienze, sebbene ancor oggi alcuni neurologi la

considerino come un semplice epifenomeno di fenomeni reputati più importanti, come il linguaggio. Come vedremo, sono sempre più numerosi gli studi sulle basi neurologiche della percezione musicale che indagano i meccanismi attraverso i quali il cervello elabora lo stimolo musicale (Andrade e Bhattacharya, 2003). E' tuttavia evidente che in tutte queste ricerche non ci si occupa, in realtà, della "musica" in sé – è questo campo di studio di altre discipline -, ma delle caratteristiche anatomiche e funzionali che ne sono alla base.

Come il linguaggio, la musica è presente in tutte le società umane sia antiche che moderne: come la capacità di comprendere il linguaggio parlato compare senza sforzo apparente nelle prime fasi dello sviluppo infantile, così la capacità di apprezzare la musica non sembra richiedere un addestramento specifico. Una diffusione così capillare di una capacità tanto complessa induce a pensare che essa sia stata selezionata a favore nel corso dell'evoluzione umana e che il suo possesso debba quindi aver apportato un vantaggio adattativo; non è tuttavia affatto chiaro in cosa consista tale vantaggio. La presenza universale della musica in tutte le società umane note, moderne, antiche e anche estinte (in Cina sono stati rinvenuti flauti databili a circa 6.000 anni a.C. e recentemente è stato molto discusso il ritrovamento in Slovenia di un presunto flauto forse attribuibile all'Uomo di Neanderthal), pone dunque dei quesiti di grande rilevanza, tra cui quello delle sue origini filogenetiche, di come cioè le capacità musicali siano evolute e di quali vantaggi adattativi esse abbiano comportato, la cui soluzione preliminare sarebbe fondamentale per la comprensione di questa diffusione e delle caratteristiche anatomiche e funzionali che entrano in gioco nel possesso della capacità di produrla, ascoltarla ed apprezzarla.

Quali possono dunque essere le funzioni adattative della musica? E' possibile che un insieme così complesso e organico di capacità, che presuppongono l'esistenza di strutture e processi altamente sofisticati non sia che un sottoprodotto casuale di adattamenti sorti per altre, più rilevanti, funzioni? E' veramente difficile ammetterlo, come sarebbe difficile ammetterlo per il linguaggio. D'altro canto, è evidente che, a differenza dal linguaggio, che permette di comunicare un numero infinito di significati agli altri individui, la musica non sembra produrre alcuna specifica conseguenza significativa immediatamente identificabile. Nonostante le varie ipotesi avanzate negli anni, le sue origini e il suo significato adattativo restano dunque ancor oggi misteriosi.

Già Darwin aveva intuito l'importanza di questo problema, a cui fece più volte riferimento nelle sue opere, proponendo ipotesi ancor oggi stimolanti. Nella "*Descent of Man*" scrisse infatti: "La capacità e l'amore per il canto e la musica, anche se non costituiscono nell'uomo un carattere sessuale, non devono essere trascurati. Sappiamo che i suoni emessi da animali di ogni genere servono a molti scopi; dobbiamo però fare attenzione a un fatto notevole, e cioè che gli organi vocali furono dapprima usati e perfezionati in relazione alla propagazione della specie". Cap. XIX, pag. 426). E ancora: "... come ... l'orecchio dell'uomo (e degli altri animali) ... possa essere stato adattato dalla selezione in modo da poter distinguere le note musicali; (*può essere spiegato in termini dell'adattamento a distinguere rumori diversi*). ... un rumore è la sensazione risultante dalla coesistenza di molte 'semplici vibrazioni' dell'aria di vario periodo, che si susseguono così frequentemente che la loro esistenza separata non può essere percepita. E' solo nella mancanza di continuità di tali vibrazioni e nella mancanza di armonia *inter se* che un rumore differisce da una nota musicale. Perciò un orecchio capace di discernere rumori ... deve essere sensibile alle note musicali" (cap. XIX, pag. 427). Nella "*Expression of Emotions*", Darwin affermò inoltre: "... (*è sostenibile*) sia che ... le diverse qualità della voce abbiano avuto origine dal parlare in uno stato di eccitazione dovuto a forti sentimenti e che queste qualità siano state trasferite nella musica vocale in un secondo tempo; sia ... -

come io sostengo – che l’abitudine di emettere suoni musicali si sia sviluppata per prima, come mezzo di corteggiamento, nei remoti progenitori dell’uomo e che in tal modo si sia stabilito un rapporto fra questa abitudine e le emozioni più forti di cui essi erano capaci Questo fatto, e l’analogia con altri animali, mi hanno indotto a supporre che i progenitori dell’uomo probabilmente emettessero suoni musicali già prima di aver acquisito la capacità di articolare la parola; e che di conseguenza, quando la voce viene usata sotto la spinta di una qualche forte emozione, essa tenda ad assumere – per il principio dell’associazione – un carattere musicale. (Cap. IV, pag. 127)

»

Alla luce di queste affermazioni e delle conoscenze più recenti, sembra chiaro che due sono i problemi fondamentali che devono essere affrontati in questo contesto. In primo luogo ci si deve chiedere se nelle varie componenti che sono alla base dell’apprezzamento della musica possano essere identificate delle caratteristiche innate e, in caso di risposta affermativa, quali esse siano; questo quesito è fondamentale, poiché è ovvio che solo le eventuali caratteristiche innate, più o meno adattative, hanno potuto essere sottoposte alla selezione naturale. Le risposte a questo interrogativo sono state svariate: da Galton (1869) in poi, è stato evidente che la presenza di elevate capacità musicali ha spesso un’elevata familiarità – anche se questo naturalmente non significa necessariamente che vi sia un’altrettanto elevata ereditarietà; per quanto riguarda il quesito di quali precisamente siano queste caratteristiche, le candidate più probabili sono l’uso di scale basate sull’intervallo di ottava, che sembrano essere pressoché universali anche tra culture che hanno stili musicali fundamentalmente differenti e il possesso del cosiddetto "orecchio assoluto".

Il secondo problema, strettamente legato al precedente, ha anch’esso a che fare con l’adattamento e la filogenesi. Se vi sono significativi limiti e predisposizioni innati riguardo alla musica, da dove derivano? La musica può cioè essere considerata frutto di un adattamento particolare e, in caso affermativo, per la soluzione di quali problemi ha avuto origine e si è sviluppata, e in quali specie? Abbiamo ricordato che molte delle idee in questo ambito traggono le mosse dai suggerimenti di Darwin, secondo cui le origini della musica possono essere state correlate ai sistemi di selezione sessuale (per attirare il partner), oppure a funzioni di coordinamento del gruppo. E’ bene tener presente che le ipotetiche caratteristiche innate a cui abbiamo fatto cenno non devono necessariamente essere esclusive della musica in senso stretto, ma potrebbero riflettere differenze a livello di caratteri anatomici o funzionali, legati ad esempio alla percezione uditiva o alla memoria, che si riflettono sia sulla musica che su altri fattori essenziali per la sopravvivenza, come l’analisi e la decodificazione di rumori naturali importanti per la riproduzione o l’evitamento di pericoli. Alcuni – pochi – autori ritengono invece che la musica non abbia nessuna ricaduta adattativa, ma sia semplicemente un effetto collaterale e secondario dell’evoluzione di caratteri specifici di altre funzioni, esse sì fondamentali per la sopravvivenza; questa ipotesi non tiene tuttavia conto né dell’ubiquità storica e culturale della musica, né della sua costante importanza nella vita normale e del suo impatto sulle emozioni sia degli ascoltatori che degli esecutori.

Sebbene possa sembrare evidente che per un argomento così specificamente umano come la musica le ricerche non possano essere condotte altro che sull’uomo, non si deve dimenticare che anche una capacità così specifica della nostra specie potrebbe essersi sviluppata a partire da caratteristiche anatomiche e funzionali preesistenti, comparse inizialmente per fini del tutto diversi. In questa ottica, possono essere significative ricerche comparative sugli animali, nel tentativo di individuare eventuali caratteristiche comportamentali, funzionali o anatomiche che possano

essere considerate degli antecedenti delle capacità musicali. Dato che gli animali non hanno ovviamente esperienze musicali spontanee né attive né passive, qualsiasi di queste caratteristiche fosse presente in essi non potrebbe essere considerata come un adattamento alla musica, ma dovrebbe invece riflettere una capacità evolutasi a vantaggio di altri aspetti della produzione e dell'analisi dei suoni rilevanti per la sopravvivenza nell'ambiente naturale. E' stato dimostrato che le capacità di discriminare tra stimoli musicali complessi sono diffuse in numerose specie, presumibilmente come corollario degli adattamenti alla discriminazione di stimoli naturali di corteggiamento, di allarme ecc. Ad esempio, Poli e Prato Previde (1995) hanno addestrato dei ratti a discriminare tra due melodie identiche nel numero di note costituenti, nella frequenza media, nella durata e nel ritmo, ma sensibilmente diverse sotto l'aspetto melodico e quello timbrico; la discriminazione si è dimostrata fondata non tanto sulla struttura melodica, quanto sulle caratteristiche timbriche dello stimolo utilizzato; un analogo risultato – successo nella discriminazione, ma basato essenzialmente su componenti timbriche – era stato ottenuto in un precedente esperimento in cui ai soggetti veniva richiesto di discriminare tra un brano di Bach ed uno di Musorgskij (Poli e Prato Previde, 1988). In una recente ricerca, Wright e coll. (2000) hanno notato che in certe situazioni i macachi reso sono in grado di discriminare tra melodie trasposte, dimostrando di riconoscere le trasposizioni di melodie infantili, ma solo se diatoniche, e di riconoscere inoltre trasposizioni di 1 o 2 ottave, ma non di 0.5 o 1.5. Un ulteriore recentissimo studio, interessante perché esemplifica i contributi che possono essere portati dalle ricerche comparative su altri animali, è stato effettuato da Bendor e Wang (2005), che hanno studiato la corteccia uditiva nelle *marmoset monkeys* (callitricidi), dimostrando la presenza di neuroni che rispondono in modo uniforme a una varietà di suoni che hanno la medesima fondamentale ma non condividono altre frequenze: tutti questi suoni corrispondono infatti alla medesima fondamentale. Il neurone risponde anche quando la fondamentale è assente, ma le frequenze presenti sono correlate a quella mancante dal punto di vista armonico (un esempio quotidiano di questo fenomeno è costituito dal telefono: la maggior parte delle linee telefoniche tradizionali taglia drasticamente le basse frequenze, ma noi percepiamo normalmente – non come distorte - le voci maschili). Lo studio di Bendor e Wang suscita la domanda di perché il cervello delle scimmie abbia questa capacità; una possibile risposta è che, poiché in natura i rumori periodici sono prodotti quasi esclusivamente da altri animali (la maggior parte dei rumori ambientali non sono periodici), l'altezza del suono è un indizio utile per distinguere i suoni significativi dal rumore di fondo. Questi risultati non possono non richiamare alla mente le affermazioni degli psicologi della Scuola della Gestalt, che dovranno essere rivalutate in rapporto alle ricerche più recenti. Un esempio significativo è costituito dalla costanza percettiva, che ha sempre destato grande attenzione nella percezione visiva: come possiamo percepire l'ambiente come stabile nonostante l'enorme variabilità degli stimoli fisici che raggiungono i nostri organi di senso? Nel caso degli stimoli uditivi, è noto da tempo un fenomeno analogo: l'altezza soggettiva di un suono corrisponde tipicamente alla sua frequenza di vibrazione fondamentale, anche quando essa è fisicamente assente nel suono che raggiunge il nostro orecchio - se una corda viene pizzicata, essa vibra non solo con la sua frequenza di vibrazione più bassa (la fondamentale), ma anche con frequenze più elevate di un mezzo, un terzo ecc., tuttavia di norma percepiamo solo la fondamentale. Ricerche come quella di Bendor e Wang possono costituire un significativo passo avanti verso la comprensione dei meccanismi neurali di questi fenomeni percettivi.

Varie ricerche indicano dunque che un problema centrale è quello dell'esistenza negli animali dei meccanismi che nell'uomo entrano in gioco nella percezione musicale. Si è affermato che una funzione adattativa della musica

consiste nel regolare le emozioni – o almeno influire su di esse - e sicuramente gli aspetti emotivi della musica costituiscono una parte importante del piacere derivato da essa. Si ritiene comunemente che le vocalizzazioni degli animali siano state plasmate dalla selezione naturale in modo tale da permettere loro di convogliare informazioni specifiche riguardo allo stato emotivo dell'individuo che le emette: ad esempio, molti richiami affiliativi o di sottomissione tendono ad essere strutturati dal punto di vista armonico, i segnali che hanno lo scopo di attirare l'attenzione hanno spesso frequenza crescente (in campo umano, si pensi alla forma interrogativa nel linguaggio), mentre i richiami aggressivi hanno per lo più forma di intense vocalizzazioni brevi e staccate. Sia l'uomo che gli animali codificano in questo modo nelle proprie vocalizzazioni (riso, pianto, *motherese*) informazioni sul proprio stato emotivo e posseggono sistemi percettivi specifici per la decodifica di vocalizzazioni di questo tipo; sono oggi disponibili anche dati indicanti significative analogie nell'interpretazione del significato emotivo di musiche appartenenti a culture diverse. Una possibilità, già intuita da Darwin, è che i più rilevanti aspetti adattativi della musica siano costituiti da fattori legati all'interazione sociale: l'uomo è un animale fortemente sociale e la musica è un'attività fundamentalmente sociale. Sino all'introduzione dei mezzi di riproduzione, la musica è stata essenzialmente un'esperienza sociale ed è stata collegata a cerimonie, rituali, lavori di gruppo e vita quotidiana. In una breve rassegna, Benson (2003) sostiene che l'unicità della musica è fondata sull'attivazione di estese reti di neuroni e sulla coordinazione del flusso temporale dell'attività neuronale sia in ciascuno dei partecipanti attivi alla sua esecuzione, sia per quanto riguarda i rapporti tra essi; egli fa riferimento a strutture filogeneticamente antiche, come la formazione reticolare con le sue estese connessioni afferenti ed efferenti e il sistema limbico, coinvolto nelle emozioni e nelle interazioni sociali, affermando che, insieme a comportamenti musicali coordinati come il suonare, il canto e il movimento, le attività neurali coordinate che si verificano durante la partecipazione a un'esperienza musicale generano esperienze di *flow* (vedi Massimini e Delle Fave, 1995), di accresciuto benessere o stati alterati di coscienza. Un ruolo importante potrebbe essere svolto anche dalle interazioni con la madre, che in tutte le culture fornisce una varietà di stimoli musicali sia prima che dopo il parto; il tipo di canto utilizzato dalle madri ha forti punti di contatto in tutte le culture: strutture melodiche e armoniche semplici, con numerose ripetizioni (si pensi alle ninne nanne), repertorio limitato, ripetitivo e ritualizzato. Neonati e lattanti mostrano di preferire l'ascolto delle ninne nanne cantate in "stile materno" piuttosto che, sempre cantate dalla madre, in altro stile; preferiscono inoltre ascoltare il canto vedendo chi canta (questa osservazione potrebbe essere spiegata in termini di facilitazione dell'attenzione selettiva). E' significativo che queste preferenze siano presenti anche nei figli normoudenti di coppie di genitori entrambi sordomuti, che non hanno quindi avuto esperienze di questo tipo. I dati disponibili non sono privi di incertezze, ma in alcuni casi, ad esempio per quanto riguarda la capacità di discriminare tra suoni di altezza diversa, vi sono indizi convincenti che si tratti di un carattere ereditario, dato che vi è una correlazione tra i gemelli MZ più elevata che tra i DZ; non si hanno tuttavia dati altrettanto convincenti riguardo ad altri aspetti delle capacità musicali.

Molte ricerche sulla percezione della musica nei neonati sembrano inoltre indicare che alcune capacità, che compaiono molto precocemente e in assenza di esperienze specifiche, siano presumibilmente innate; tuttavia, tutti questi studi hanno il limite che non è in alcun modo possibile controllare le esperienze musicali precoci, inevitabili poiché nell'ultimo trimestre di gravidanza il feto è in grado di ascoltare, sebbene modificati in quanto filtrati dall'addome materno, i suoni presenti nel mondo esterno; inoltre, le ricerche sono state svolte pressoché

esclusivamente nell'ambito delle culture occidentali, mentre sarebbe fondamentale studiare anche neonati appartenenti ad altre culture. In assenza di questi dati, non è possibile verificare l'ipotesi che l'esposizione a stimoli differenti possa influenzare le discriminazioni e le preferenze musicali e non è quindi possibile escludere l'eventualità che le caratteristiche osservate nei neonati e ritenute innate siano in realtà frutto dell'esposizione precoce a stimoli musicali. Ricerche sugli animali potrebbero contribuire a controllare questi limiti: se animali allevati in assenza di stimoli musicali, o in presenza di stimoli rigorosamente controllati, sviluppassero alcune caratteristiche presenti anche nella percezione musicale umana, ciò costituirebbe una buona prova del fatto che esse sono legate a caratteristiche innate del sistema nervoso. Lo studio delle capacità e delle attività musicali durante l'infanzia ha la potenzialità di mettere in luce quali predisposizioni e tendenze abbiano base genetica e quali siano legate all'ambiente e ai suoi stimoli. Vi sono molte indicazioni che i neonati sono sensibili a svariate caratteristiche dei suoni fondamentali nella produzione musicale di culture molto diverse. La discriminazione da parte loro delle differenze di altezza e temporali e la loro percezione delle classi di equivalenza è sotto molti aspetti analoga a quella di ascoltatori con molti anni di esperienza. Anche significativa è l'osservazione che nei neonati la discriminazione è migliore per le melodie tonali che per quelle atonali.

Musica e Neuroscienze

Al di là di queste questioni di estremo interesse nell'ambito della conoscenza dell'evoluzione delle capacità cognitive umane, la musica pone anche una serie infinita di interrogativi riguardo alle caratteristiche anatomiche e funzionali a livello del sistema nervoso centrale che ne permettono l'esistenza (non si tratta in realtà che di una diversa prospettiva da cui affrontare l'argomento: anche in questo caso torna infatti il problema della filogenesi di queste strutture e funzioni).

Lo studio di questi aspetti può essere affrontato da due punti di vista differenti.

Da un lato, ci si può chiedere se la musica possa contribuire alla comprensione dell'organizzazione cerebrale e se l'esercizio musicale abbia influenze sulla struttura e sulla funzionalità cerebrali: anche senza tener conto dell'interesse intrinseco della conoscenza delle strutture neurali che elaborano la musica, le ricerche in questo campo potrebbero favorire una miglior comprensione dell'organizzazione funzionale della corteccia uditiva e della sua integrazione con altri centri corticali e non solo: poiché l'elaborazione centrale della musica coinvolge una complessa serie di operazioni percettive e cognitive legate anche alla memoria e alle emozioni, essa offre la possibilità di approfondire la comprensione dell'integrazione delle funzioni cerebrali superiori. Infine, il cervello dei musicisti può fornire un utile modello per la neuroplasticità, permettendo lo studio della riorganizzazione anatomica e funzionale con il procedere dell'addestramento. D'altro lato, attraverso lo studio dettagliato degli effetti di lesioni cerebrali di varia natura e localizzazione e dell'attività elettrica e metabolica del cervello, è possibile raccogliere fondamentali indicazioni, utili per la conoscenza delle localizzazioni anatomo-funzionali che sono alla base delle capacità musicali.

Prima di affrontare le ricerche in questa prospettiva, è necessario precisare due punti preliminari, il primo relativo alle caratteristiche degli stimoli "musicali" utilizzati, il secondo riguardante la preparazione musicale dei soggetti. Sotto il primo aspetto, è importante sottolineare che, diversamente da quanto avviene nella ricerca sulla percezione

visiva, nel caso delle ricerche sulla percezione musicale (o, più genericamente, uditiva) il livello di standardizzazione degli stimoli utilizzati è molto limitato: non solo siamo ancora lontani dal poter individuare validazioni di tipologie di stimolo, ma risulta molto delicato l'utilizzo della Musica nel senso proprio del termine. Può avvenire che in alcune ricerche lo stimolo "musicale" consista in una brevissima sequenza di note, mentre in altre - ancora troppo poche - si tratti invece di melodie con un minimo di struttura. Le peculiari caratteristiche della musica vengono oggi sempre più ampiamente riconosciute e la scelta delle situazioni sperimentali, anche grazie all'impegno e determinazione di ricercatori come Michel Imberty (1986), peraltro particolarmente vicino alla semiologia della musica, tiene maggior conto della specificità del contesto musicale. Il secondo aspetto riguarda il livello di preparazione musicale dei soggetti. Si tratta di un problema tutt'altro che banale: chi conosce la musica? Il musicista, si potrebbe dire; ma quali sono i caratteri che distinguono un conoscitore da un non-conoscitore? In letteratura ci si trova sovente di fronte a questo tipo di interrogativi e, purtroppo, le risposte sono a dir poco eterogenee, ciò che rende difficile il confronto tra le diverse ricerche. C'è chi ritiene che "esperto" o "musicista" sia il soggetto che suona da più di x anni (e x ha un'ampia variabilità) e chi invece seleziona il campione di musicisti in base all'età di inizio degli studi (i 7 anni sembrano essere una soglia importante); ancor più variabili sono le scelte dei non-musicisti: si va da "chi ha avuto solamente un'educazione musicale scolastica" a "chi non sa leggere il pentagramma".

Lo studio di pazienti cerebrolesi

Storicamente, la maggior parte dei dati relativi all'elaborazione cerebrale della musica è derivata, come nello studio del linguaggio, dall'esame delle modificazioni delle diverse capacità musicali indotte da lesioni cerebrali localizzate.

Sebbene lo studio dei pazienti cerebrolesi sia soggetto ad alcune critiche, esso si è rivelato di fondamentale importanza ed ha spesso costituito l'unica via agibile per affrontare con rigore problemi di questo tipo; i primi resoconti sulla localizzazione corticale dell'elaborazione musicale sono stati dunque basati quasi esclusivamente sullo studio di pazienti che, in seguito a lesioni focali di varia origine, avevano perduto la capacità di elaborare gli stimoli musicali nella loro globalità o limitatamente ad alcuni aspetti specifici. Questo deficit caratterizzato dalla perdita o assenza della capacità di elaborare stimoli musicali complessi, o almeno alcune parti di essi, viene definito *amusia* e può essere congenito, dovuto quindi a fattori ereditari o prenatali, oppure acquisito in seguito a traumi o patologie di varia origine. Un disturbo correlato ma più raro, in cui probabilmente i fattori genetici o congeniti svolgono un ruolo di particolare importanza, è costituito dalle patologie in cui crisi convulsive possono essere scatenate dall'ascolto o anche dall'esecuzione di una qualsiasi musica o, a volte, di specifici brani con caratteristiche particolari. A conferma della possibile origine genetica di questi disturbi sta la dimostrazione che nei topi è stato possibile isolare ceppi geneticamente predisposti alle cosiddette "convulsioni audiogeniche", che hanno suscitato notevole interesse; in questo caso, la base genetica è certa, dato che i membri di alcuni ceppi puri sono molto più sensibili di altri a queste convulsioni (Collins e Fuller, 1968)

L'amusia congenita, cioè l'assenza congenita delle normali capacità musicali elementari (ad esempio quella di discriminare tra note differenti, oppure di riconoscere semplici melodie), è piuttosto rara e quindi poco studiata, ma è chiaro che i deficit osservati non possono essere spiegati semplicemente in termini di carenze uditive o cognitive o di mancata esposizione a stimoli musicali. Sono stati descritti casi di amusia congenita in cui sono assenti il riconoscimento delle modificazioni dell'altezza dei suoni e delle melodie, mentre sono conservate le capacità linguistiche e cognitive. Peretz (2002) e Peretz e Zatorre (2005) hanno descritto alcuni casi di amusia congenita in cui, sebbene le capacità intellettive e cognitive fossero intatte, erano assenti persino le più elementari capacità musicali, come il riconoscimento dei cambiamenti di altezza dei suoni e la discriminazione di melodie differenti.

Più frequente è invece la perdita di capacità precedentemente presenti (il cui livello può essere assai variabile, dalle capacità di base a cui abbiamo fatto cenno sino a capacità estremamente sofisticate nel caso si tratti di musicisti professionisti) in seguito a un danno cerebrale focale; spesso le amusie si accompagnano ad afasia – le lesioni a livello dei centri di elaborazione delle informazioni uditive colpiscono infatti sia le capacità linguistiche che quelle musicali -, ma in alcuni casi particolarmente interessanti le due patologie sono invece indipendenti. Quando vi è amusia ma non afasia, la lesione interessa in genere l'emisfero destro e comporta difficoltà a riconoscere i suoni come musicali, perdita del senso ritmico, incapacità di distinguere l'altezza dei suoni, che appaiono “stonati”, la musica e la voce vengono percepite come “monotoniche”. D'altra parte, alcuni pazienti amusici possono parlare normalmente ma essere incapaci di cantare (Ayotte e coll., 2002), altri possono conservare la capacità di cantare le note e perdere quella di osservare le relazioni temporali tra di esse, o, viceversa, le capacità melodiche possono essere danneggiate e quelle ritmiche intatte.

I casi di amusia acquisita hanno dimostrato che la percezione sia melodica che temporale richiede un'elaborazione delle informazioni al tempo stesso di tipo locale e di tipo globale (Peretz e Zatorre, 2005) ; l'elaborazione relativa alla melodia, agli intervalli e all'altezza viene considerata locale, quella per i contorni melodici è ritenuta globale. Analogamente, vi sono strategie globali per la percezione metrica (la varianza temporale degli impulsi acustici tramite cui riconosciamo come tali un valzer o una marcia). In linea generale, si ritiene che sia nella percezione che nella produzione di musica le strutture temporali, in particolare il ritmo, siano elaborate prevalentemente, ma non esclusivamente, nell'emisfero sinistro, mentre quelle legate all'analisi delle caratteristiche dei suoni (altezza, timbro) siano localizzate prevalentemente nell'emisfero destro. Le lesioni che comportano la perdita delle capacità relative alle caratteristiche più strettamente melodiche e timbriche sono infatti associate prevalentemente all'emisfero destro, quelle che danneggiano le capacità di elaborazione ritmica sono legate a lesioni dell'emisfero sinistro (la lobotomia temporale destra lede il riconoscimento del timbro, ma risparmia quello del ritmo). Di conseguenza, si può considerare acquisito che i due sottosistemi possono funzionare in modo relativamente indipendente l'uno dall'altro nell'elaborazione degli stimoli musicali e che entrambi sottendono sia alla percezione che alla produzione. E' tuttavia da tener sempre presente che molti studi hanno anche rilevato la presenza di consistenti differenze tra soggetti "ingenui" e soggetti con una storia prolungata di pratica musicale; non è tuttavia affatto chiaro se tali differenze abbiano una base genetica (siano cioè espressione di una predisposizione innata alla musica), o siano invece espressione dell'influenza dell'esercizio sulla plasticità cerebrale. Va comunque

ricordato che la grandissima maggioranza delle ricerche indica in modo molto convincente l'esistenza di una dissociazione tra le strutture che sovrintendono rispettivamente all'esecuzione verbale e a quella musicale.

Un famoso e molto citato esempio di amusia è rappresentato dal caso del compositore francese Maurice Ravel, in cui un disturbo cerebrale progressivo di natura imprecisata, ma sicuramente interessante l'emisfero sinistro, aggravato forse dagli esiti di un incidente automobilistico, determinò un'afasia accompagnata da alessia, agrafia e aprassia ideomotoria, a cui seguì una perdita progressiva della capacità di comporre musica, che sarebbe però stata colpita in modo selettivo. Vari studiosi ritengono che gli effetti della lesione siano evidenti in una delle sue ultime composizioni, il *Bolero* (scritto nel 1928, quando la progressione della malattia era già percepibile a livello cognitivo e comportamentale), in cui la struttura melodica è molto semplice e ripetitiva, mentre gli aspetti ritmici e, soprattutto, timbrici sono fortemente esaltati; la conservazione delle capacità timbriche (localizzate prevalentemente nell'emisfero destro) e la riduzione di quelle melodiche (la cui localizzazione principale è invece nell'emisfero sinistro) sarebbero in accordo con il reperto anatomico di una lesione all'emisfero sinistro, confermata dai disturbi del linguaggio. Tuttavia, questo riferimento all'opera di Ravel può essere riduttivo e semplicistico. Si ritiene infatti generalmente che anche le caratteristiche temporali della musica, in particolare il ritmo, vengano elaborate in prevalenza nell'emisfero sinistro (vedi ad esempio Schiavetto e coll. (1999) e Peretz e Zatorre (2003, 2005): questo dato è difficilmente conciliabile con l'ipotesi accennata, poiché uno degli elementi caratterizzanti del *Bolero* è proprio a livello del ritmo, il cui rispetto rigorosissimo è fondamentale nella struttura del brano (ne è testimonianza una straordinaria esecuzione, conservata su disco, registrata sotto la direzione del compositore stesso nel 1932). Del resto, dopo il *Bolero* Ravel scrisse altre opere, tra cui, negli anni tra il 1929 e il 1931, i due concerti per pianoforte, in cui non sembra di poter identificare le medesime peculiarità a livello timbrico, ritmico e melodico. Dal 1932 sino alla morte, nel 1937, Ravel ebbe un progressivo peggioramento di tutte le capacità mentali e perse in maniera pressoché completa la capacità di comporre.

In letteratura si trovano anche, e con maggiore frequenza, casi, come quello del compositore russo Shebalin (Luria e coll., 1965), in cui le capacità musicali sono conservate nonostante la presenza di afasia, o quello di un direttore d'orchestra che, nonostante un'afasia globale e una grave aprassia ideomotoria conservò le proprie capacità musicali, tra cui quella di dirigere l'orchestra (Basso e Capitani, 1985; Basso, 1992). La letteratura sul tema è comunque inevitabilmente limitata, poiché i musicisti professionisti colpiti da lesioni focali sottoposti ad approfondite analisi specialistiche costituiscono un campione - fortunatamente - poco numeroso. E' comunque relativamente più frequente l'osservazione di soggetti afasici che non riescono a pronunciare nulla di intelligibile, ma sono invece in grado di produrre canzoni riconoscibili; tutti questi casi portano un certo sostegno all'ipotesi di una generica dominanza dell'emisfero destro per quanto concerne le capacità musicali.

Un caso sotto molti aspetti particolare è rappresentato dalla capacità di leggere (ed eseguire) a prima vista un brano musicale che non si conosce; si tratta di una capacità a sé stante poiché è indipendente a livello sia neurale che funzionale dalla lettura di parole o di numeri arabi o di altri simboli (Cappelletti et al 2000); inoltre, il disturbo della capacità di lettura della musica può essere presente in assenza di disturbi delle capacità di suonare, cantare e della memoria musicale (e viceversa). Le lesioni responsabili dell'alessia musicale sono situate nell'emisfero sinistro (ma uno studio fMRI indica che la regione temporo-occipitale destra è implicata nella lettura della notazione su una

tastiera (Schon e coll., 2002). La discordanza può essere dovuta al fatto che questa capacità è stata considerata una funzione unitaria, mentre in realtà richiede l'elaborazione sia simultanea che sequenziale di un gran numero di informazioni, che vanno immediatamente tradotte in comandi motori: essa implica infatti, tra l'altro, l'interpretazione dell'altezza e della durata delle note nel contesto di un metro e di una chiave predeterminati, l'individuazione di strutture familiari, l'anticipazione dei suoni che verranno prodotti e la generazione di un progetto esecutivo adeguato ad essere tradotto in istruzioni motorie. Il numero di processi in gioco è dunque molto elevato, e di conseguenza altrettanto si può pensare del numero di possibili strutture interessate. Come nella percezione e nel canto, anche nella lettura a prima vista le capacità di elaborare l'altezza dei suoni e i loro rapporti temporali possono essere danneggiate in maniera indipendente da lesioni che possono colpire aree cerebrali differenti.

Tecniche non invasive

Straordinari progressi sono stati resi possibili, in particolare negli ultimi anni, dallo sviluppo di sempre più sofisticate tecniche non invasive di imaging, che permettono di studiare, oltre ai soggetti colpiti da lesioni cerebrali di vario genere, anche soggetti sani, consentendo così di esaminare campioni molto più numerosi.

Le tecniche oggi disponibili sono numerose, ma purtroppo nessuna di esse è totipotente: ognuna presenta vantaggi e svantaggi ed è quindi sempre necessario operare una scelta in funzione del prevalere dell'interesse per uno specifico aspetto, oppure integrare tra loro i risultati ottenuti con tecniche differenti. Le varie tecniche di *functional brain imaging* permettono di monitorare in modo non invasivo diversi aspetti dell'attività cerebrale.

E' possibile distinguere queste tecniche in due grandi categorie. Da un lato quelle che permettono una misurazione diretta dell'attività elettrica dei neuroni della corteccia cerebrale: EEG (elettroencefalografia), MEG (magneto-encefalografia), dall'altro quelle che consentono una misurazione indiretta del metabolismo cerebrale attraverso la valutazione del flusso ematico nonché del consumo di ossigeno o glucosio da parte delle cellule nervose; si tratta in particolare della PET (*positron emission tomography*, misurazione dinamica della radioattività nei tessuti cerebrali dopo somministrazione di marcatori radioattivi) e della fMRI (*functional magnetic resonance imaging*). Le prime metodiche, EEG e MEG, offrono la possibilità di quantificare il comportamento neuronale con grande precisione nella risoluzione temporale (nell'ordine dei millesimi di secondo); a ciò va aggiunta la capacità di individuare le dinamiche – più o meno macroscopiche - di coerenza ed interrelazione fra aree corticali. PET e fMRI, invece, permettono di effettuare analisi con una risoluzione spaziale eccellente, molto superiore alle tecniche precedenti; per contro, perdono di precisione nell'ambito temporale (le finestre temporali sono normalmente comprese fra i 6 secondi e il minuto). Una considerazione marginale ma non secondaria è che, con l'eccezione dell'EEG, queste tecniche implicano tecnologie particolarmente complesse e, di conseguenza, sono assai dispendiose.

L'applicazione di questo ricco repertorio di tecniche ha portato all'accumularsi di una massa di dati, non sempre del tutto concordanti né di facile interpretazione, ma dai quali è comunque possibile estrarre alcune indicazioni generali. In primo luogo, bisogna sottolineare che i risultati delle ricerche fondate sulle nuove tecniche non invasive in linea generale confermano e precisano quelli ottenuti con lo studio delle lesioni, indicando il coinvolgimento dell'emisfero destro nella percezione e nella memoria di lavoro per l'altezza dei suoni - e quindi delle componenti

melodiche - e di quello sinistro per il ritmo e la decodifica delle informazioni semantiche (identificazione e riconoscimento della melodia).

Particolarmente significativa è stata la recente dimostrazione dell'attivazione della corteccia uditiva destra mentre il soggetto riproduceva mentalmente una melodia nota. Zatorre e Krumhausl (2002) hanno sottoposto a fMRI dei soggetti sani con diversi livelli di competenza musicale durante l'esecuzione di due compiti di percezione musicale, consistenti rispettivamente nell'individuare le variazioni timbriche, oppure nell'identificare le note che violavano l'impianto tonale. Venne evidenziata un'attivazione diffusa soprattutto del giro temporale superiore di entrambi gli emisferi, del lobo temporale, del sistema limbico, del talamo, del cervelletto; questo risultato conferma la già ricordata osservazione che le amusie sia congenite che acquisite possono essere dissociate dai disturbi afasici e conferma l'ipotesi che la decodificazione della musica coinvolga circuiti cerebrali differenti da quelli implicati nell'elaborazione linguistica.

Già dieci anni fa Elbert e coll. (1995) avevano studiato i campi magnetici evocati in suonatori di strumenti ad arco, dimostrando che la rappresentazione corticale delle dita della mano sinistra (che in questo tipo di strumenti viene utilizzata per movimenti fini, complessi e veloci) è più estesa nei musicisti che nei non musicisti; non vi sono invece differenze per quanto riguarda la mano destra, che, nel caso di questi strumentisti, non richiede una particolare indipendenza dei movimenti delle dita. Le modificazioni funzionali e morfologiche determinate dall'addestramento musicale non sono limitate al controllo motorio: numerose aree cerebrali differiscono tra musicisti e non musicisti. Pantev e coll. (1989) hanno dimostrato con tecniche Magnetoencefalografiche (MEG) che le risposte cerebrali all'ascolto di note suonate sul pianoforte erano sensibilmente più intense nei musicisti che nei non musicisti; inoltre, questo effetto è sempre più spiccato quando il soggetto ascolta lo strumento che sa suonare, ciò che sembra indicare un fenomeno di plasticità dipendente dall'esercizio. D'altra parte, Schneider e coll. (2002) hanno dimostrato che sia l'attività evocata da toni puri (che non esistono in natura) che il volume della materia grigia nella parte anteromediale del gyrus di Heschl hanno dimensioni pressoché doppie nei musicisti che nei non musicisti; l'entità della differenza fa pensare che si tratti di una predisposizione innata, su cui si sovrappongono gli effetti dell'esercizio. Sono anche state pubblicate alcune ricerche longitudinali sulle modificazioni neurofisiologiche che si verificano durante l'apprendimento di uno strumento; è stato costantemente osservato l'instaurarsi di modificazioni neurali quantitative associate all'esercizio musicale: i musicisti sembrano attivare una maggior quantità di tessuto nervoso, o almeno utilizzarlo in modo più efficiente dei non musicisti.

Anche indicativi sono i dati relativi allo studio dell'orecchio assoluto (la capacità di identificare le note in termini assoluti, non in rapporto ad altre note: chi la possiede è ad esempio in grado di identificare con esattezza una singola nota ascoltata come un mi bemolle): si pensa che questa capacità dipenda da una base neurale innata che interagisce con stimoli ambientali specifici durante lo sviluppo: è stata confermata l'esistenza di differenze neurofisiologiche tra chi in età adulta possiede e chi non possiede l'orecchio assoluto.

La percezione musicale richiede da parte dell'ascoltatore due distinte capacità: quella di analizzare le singole note e quella di estrarre da questo ascolto di primo livello degli schemi organizzativi più complessi e globali. A causa delle implicazioni della musica a livello emotivo e del fatto che il suo apprezzamento è basato sull'integrazione di stimoli uditivi, si ritiene generalmente che le capacità musicali siano prevalentemente localizzate nell'emisfero destro; tuttavia, vi sono molte indicazioni, derivate da ricerche comportamentali, di neuroimmagini e su pazienti con

lesioni cerebrali, che indicano che elementi differenti all'interno di una determinata sequenza musicale possono essere elaborati in modo parallelo in regioni cerebrali differenti (Schiavetto, 1999). Ad esempio, abbiamo ripetutamente osservato che il ritmo e le componenti temporali e sequenziali della musica vengono elaborati prevalentemente nell'emisfero sinistro, mentre la discriminazione della melodia, basata sul contorno tonale¹ e la valutazione della prosodia sono prevalentemente localizzate nell'emisfero destro. La percezione della musica non dipende quindi solo dall'emisfero destro, ma può essere suddivisa in componenti elaborati da reti neurali interattive ma differenti.

La distinzione, proposta inizialmente da Peretz (2002), dell'elaborazione delle sequenze musicali in almeno due componenti principali, una globale e una locale, si è rivelata particolarmente utile. Secondo questo modello, una violazione del contorno tonale (cioè della direzione del cambiamento di tono tra due note successive) altererebbe le proprietà globali della sequenza musicale, mentre una modificazione dell'altezza che non violi il contorno (ad esempio un cambiamento dell'altezza di due note successive che non cambi di direzione) costituirebbe una modificazione locale. Si è osservato che la discriminazione delle informazioni "locali" viene alterata sia nei pazienti che hanno lesioni a carico dell'emisfero destro che in quelli che hanno lesioni a sinistra, mentre la discriminazione delle sequenze con alterazioni "globali" viene colpita solo nei pazienti che hanno lesioni a carico dell'emisfero destro.

Tervaniemi e coll. (2005) hanno registrato i potenziali evento-specifici collegati alla capacità dei soggetti di strutturare temporalmente l'informazione uditiva: ai partecipanti venne chiesto di leggere un testo ignorando i suoni che venivano contemporaneamente somministrati. Analizzandone la componente MMN (*mismatch negativity*), che consente di indicizzare le risposte corticali pre-attentive, si è notato che la sua ampiezza era maggiore nei soggetti definibili "musicali" rispetto ai non. Ciò suggerisce che la musicalità intesa come processo cognitivo, tradizionalmente associato ai processi cerebrali legati all'attenzione, in realtà si fonda su meccanismi neurali di livello più basso ovvero, per l'appunto, pre-attentivi, consentendo di distinguere comportamenti più o meno "musicali".

Approfondendo questo tipo di problematica, Münte e coll. (1992) hanno riscontrato non solo una maggiore ampiezza nel segnale MMN, ma anche una maggiore sensibilità da parte dei musicisti professionisti in quanto alla componente temporale. Stimolati con frequenze omoritmiche, i musicisti hanno consegnato tracciati in cui l'onda negativa compare allorché il suono viene presentato con un "errore" ritmico nell'ordine dei 20 millisecondi. I non musicisti, dal canto loro, rispondono positivamente all'errore ritmico solo oltre la soglia dei 50 ms (caso in cui i primi evidenziano un'ampiezza significativamente maggiore). I musicisti dimostrano altrettanta sensibilità nella risposta MMN con accordi maggiori perfetti leggermente impuri, cosa che non vale per i non musicisti. Koelsch e coll. (2000), in uno studio sulle sequenze armoniche corrette e non, ha evidenziato come i non musicisti producano onde negative anteriori e posteriori al potenziale evocato da accordi estranei alla tonalità. Un tale risultato suggerisce l'ipotesi che il cervello umano abbia implicite abilità musicali, indipendentemente dalla preparazione culturale.

I risultati delle ricerche di Peretz (2002; Peretz e Zatorre, 2005) e di Schiavetto e coll. (1999) indicano che gli errori di valutazione fatti dai soggetti comportano un confronto tra i suoni percepiti e una loro rappresentazione

¹ In molte ricerche viene fatto riferimento al concetto di contorno tonale (*melodic pitch contour*): si tratta di un

basata sulle transizioni di frequenza tra note successive, anziché su una rappresentazione esatta delle singole note; queste conclusioni sono compatibili con quelle degli studi neurometabolici e su pazienti cerebrolesi e confermano una dominanza dell'emisfero destro nell'elaborazione complessa degli stimoli musicali. Anche Patel (2003) ha identificato una componente specifica per la musica lateralizzata a destra, situata in particolare nella regione antero-temporale, mentre Auzou e coll. (1995) hanno affermato che l'elaborazione delle informazioni relative all'altezza tonale è basata su una rete costituita dal Gyrus di Heschl destro, importante per estrarre la frequenza fondamentale da un suono in cui essa è assente (vedi sopra), e dal lobo frontale destro, che avrebbe a che vedere con la memoria tonale e la memoria di lavoro uditiva. E' quindi lecito affermare che numerose ricerche concordano nell'indicare che l'elaborazione degli elementi locali e globali costitutivi di una sequenza musicale è mediata da più reti neurali complementari.

L'osservazione di una prevalenza dell'emisfero destro è comunque più frequente nei soggetti privi di educazione musicale: le strategie di elaborazione degli stimoli musicali possono differire tra musicisti e non, in relazione all'educazione (o alle predisposizioni) musicali. Schlaug (2001) ha osservato con tecniche PET che nei musicisti il Planum Temporale (PT) è maggiormente lateralizzato a sinistra e che, all'interno del gruppo di musicisti, la lateralizzazione è più spiccata in quelli in possesso di orecchio assoluto. Una significativa conferma dell'esistenza di differenze di lateralizzazione tra musicisti e non musicisti viene anche da uno studio di Bever & Chiarello (1974). E' stato da tempo ipotizzato che la percezione delle melodie sia un fenomeno gestaltico: il fatto che una melodia sia costituita da una serie di note distinte non è percepito da un ascoltatore ingenuo, che presta invece attenzione al contorno melodico globale, mentre gli ascoltatori esperti percepiscono la melodia non come un tutto unico, ma come una serie articolata di rapporti tra gli elementi costituenti. Il riconoscimento di una musica è funzione non solo delle forme melodiche globali, ma anche della contemporanea valutazione del modo in cui le componenti analizzabili della forma globale sono combinate. Se la melodia viene normalmente trattata come una gestalt dagli ascoltatori ingenui, in questi soggetti le melodie dovrebbero essere elaborate prevalentemente nell'emisfero destro, ma ciò non dovrebbe valere per gli esperti. Questa ipotesi è stata confermata da Bever e Chiarello (1974), che hanno dimostrato che i soggetti esperti riconoscevano correttamente dei frammenti isolati di una sequenza di note, mentre gli ingenui non erano in grado di farlo. Tuttavia, i soggetti ingenui riconoscevano le sequenze complete, e con maggior successo se gli stimoli venivano presentati all'orecchio sinistro; gli esperti riconoscevano invece la sequenza completa meglio con l'orecchio destro. E' quindi plausibile che i soggetti esperti, che hanno avuto un'educazione musicale approfondita, utilizzino per la comprensione della musica una strategia differente e più complessa, che richiede l'intervento delle funzioni dell'emisfero sinistro.

Il fatto che l'EEG consenta, al prezzo di una modesta risoluzione spaziale, un'elevata risoluzione temporale e che, dal momento che vengono rilevati esclusivamente i potenziali elettrici sulla superficie dello scalpo, permetta di evidenziare solo l'attività a livello corticale, permette l'uso di questa tecnica per focalizzare l'attenzione sulle interdipendenze tra e nelle aree corticali, ciò che facilita lo studio delle modalità di elaborazione neuronale dell'informazione, di cui la sincronizzazione costituirebbe un indice importante. In questa prospettiva, Bhattacharya e coll. (2001) e Bhattacharya e Petsche (2001) hanno studiato per mezzo dell'EEG le interdipendenze tra differenti regioni corticali durante l'esecuzione di compiti musicali di elevato livello cognitivo, chiedendo ai soggetti di

ascoltare composizioni musicali complesse. Questi ricercatori hanno focalizzato l'attenzione sulla banda γ (30-50 Hz) e hanno elaborato una particolare tecnica di analisi dei dati, fondata sulla non-linearità, per valutare le modalità di distribuzione dell'informazione spaziale e temporale nelle differenti aree, anche lontane, necessaria al cervello per ottenere una percezione coerente. In questo studio sono stati registrati gli EEG spontanei di due gruppi di soggetti, musicisti e non musicisti, durante differenti compiti (a riposo con occhi aperti e chiusi, durante l'ascolto di un testo e di una composizione di Bach). Le risposte di sincronizzazione nella banda γ fra aree corticali distribuite nel gruppo di musicisti si sono rivelate essere significativamente maggiori.

Problemi particolarmente complessi sono posti dall'esecuzione musicale che, quando sia a livello professionale, è uno dei compiti maggiormente impegnativi per quanto concerne l'elaborazione centrale: si pensi ai compiti motori necessari all'esecutore per riprodurre una composizione, risultato di un lungo esercizio rivolto allo studio di attività bi-manuali (e non solo) a volte estremamente complesse. L'esecuzione musicale implica la conoscenza approfondita del testo, un'anticipazione delle sonorità desiderate e dei mezzi per ottenerle, la precisa esecuzione di veloci movimenti fisici (a volte particolarmente complessi) e un continuo feedback uditivo; a ciò va aggiunto, non va dimenticato, il coinvolgimento di esperienze emotive. Tutte queste attività coinvolgono contemporaneamente aree cerebrali differenti, che devono essere sincronizzate con estrema precisione.

A mo' di conclusione

In questo capitolo è stato possibile accennare solo alcuni dei principali filoni di ricerca che oggi attraversano trasversalmente il campo della musica, delle neuroscienze, della psicologia, della biologia evoluzionistica: il quadro che abbiamo presentato è sicuramente molto parziale (ad esempio, non abbiamo approfondito il tema, fondamentale, dei rapporti tra musica ed emozioni). Sia per questo motivo che per l'estremo dinamismo che in questo momento caratterizza la ricerca su questi temi, non è possibile trarre conclusioni in qualche misura definitive; quello che si può realisticamente affermare è che il continuo accumularsi di dati, raccolti in situazioni e con tecniche anche molto differenti, fa sperare che ci si stia avvicinando a una comprensione più soddisfacente del significato adattativo della musica, dei fattori che ne hanno favorito la diffusione nel corso della filogenesi, delle strutture e dei meccanismi neurali che ne sono alla base. Il che, *ça va sans dire*, non significa affatto comprendere *che cosa è* l'esperienza musicale.

BIBLIOGRAFIA

- Altenmuller E, (2003). Focal dystonia: advances in brain imaging and understanding of fine motor control in musicians, *Hand clinics* 19, 1-16
- Andrade PE, Bhattacharya J, 2003. Brain tuned to music. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 96(6), 284-287
- Auzou P, Eustache F, Etenevan P et al, 1995. Topographic EEG activations during timbre and pitch discrimination tasks using musical sounds. *Neuropsychologia*, 33, 25-37
- Ayotte J, Peretz, I, Hyde K, 2002. Congenital amusia. A group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, 125,238-251
- Basso A, Capitani E, 1985. Spared musical abilities in a conductor with global aphasia and ideomotor apraxia. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, Vol 48, 407-412
- Basso A, 1993. Amusia. in Boller F, Grafman J, eds, *Handbook of Neuropsychology*. Amsterdam, Elsevier. (, 391-410.
- Bendor D, Wang X, 2005. The neuronal representation of pitch in primate auditory cortex. *Nature*, 436, 1161-1165
- Benson E, 2003. Making sense of chords and conversations. *Monitor on Psychology*, July/August, 32-35
- Bever T, Chiarello LR, 1974. Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, 185: 537-539
- Bhattacharya J, Petsche H, 2001. Musicians and the gamma band: a secret affair? *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, 12/2, 371-374
- Bhattacharya J, Petsche H, Feldmann U, Rescher B, 2001. EEG gamma-band phase synchronization between posterior and frontal cortex during mental rotation in humans. *Neuroscience Letters*, 311, 29-32
- Bhattacharya J., Petsche H, Pereda E, 2001. Interdependencies in the spontaneous EEG while listening to music, *International Journal of Psychophysiology* 42, 287-301
- Bhattacharya J., H. Petsche, E. Pereda, 2001. Long-Range Synchrony in the gamma Band: Role in Music Perception, *The Journal of Neuroscience*, 21(16): 6329–6337
- Blood AJ, Zatorre RJ, Bermudez P, Evans AC, 1999. Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions *Nature*, 2/4, 382-387
- Cappelletti M, Waley-Cohen H, Butterworth B, Kopelman M, 2000. A selective loss of the ability to read and write music. *Neurocase* 6:321-332
- Collins RL, Fuller JL, 1968. Audiogenic seizure prone (ASP): A gene affecting behavior in linkage group VIII of the mouse. *Science*, 162, 1137-1139
- Darwin C. R., 1871. *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. London, J. Murray. Ed ital.: *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*. Edizione integrale a cura di G. Montalenti. Roma, Newton Compton, 2003
- Darwin C, 1872. *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. London, John Murray. Ed. italiana: *L'espressione delle emozioni*, Boringhieri, Torino, 1999
- Elbert T, Pantev C, Wienbruch C, Rockstroh B, Taub E, 1995. Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270: 305-307

- Galton F, 1869. *Hereditary Genius: An Inquiry into Its Laws and Consequences*. London: Macmillan
- Imberty M, 1986. Suoni, emozioni, significati. Per una semantica psicologica della musica. Bologna, CLUEB
- Koelsch S., Gunter T, Friederici AD, 2000. *Brain indices of music processing: non-musicians are musical*, *Journal of cognitive neuroscience*, 12:3, 520-541
- Luria AR, Tsvetkova LS, Futer DS, 1965. Aphasia in a composer (V. G. Shebalin). *Journal of Neurological Sciences*, 2(3):288-92.
- Massimini F, Delle Fave A, 1995. Qualità dell'esperienza e coltivazione delle attitudini musicali. *Comunicazioni Scientifiche in Psicologia Generale*, 14, 157-181
- Münste TF, Altenmüller E, Jäncke L, 2002. The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Neuroscience*, 3, 473-478
- Pantev C, Hoke M, Lutkenhoner B, Lehnertz K, 1989. Tonotopic organization of the auditory cortex: pitch versus frequency representation. *Science*, 246: 486-488
- Patel AD, 2003. Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6/7, 673-681
- Patel AD, Peretz I, Tramo M, Labreque R, 1998. Processing prosodic and musical patterns: A neuropsychological investigation. *Brain and Language*, 61, 123-144
- Peretz I, 2002. Brain specialization for music. *The Neuroscientist*, 8:4, 372-380
- Peretz I, Zatorre R, 2003. *The Cognitive Neuroscience Of Music*. Oxford: Oxford University Press.
- Peretz I, Zatorre R, 2005. Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, 56, 89-114
- Poli M, Prato Previde E, 1991. Discrimination of musical stimuli by rats. *International Journal of Comparative Psychology*, 5 (1), 7-18
- Poli M., Prato Previde E., 1995. Discriminazione di stimoli musicali negli animali. *Comunicazioni Scientifiche di Psicologia Generale*, 14, pp. 49 - 76
- Schiavetto A, Cortese F, Alain C, 1999. Global and local processing of musical sequences: an event-related brain potential study. *Neuroreport* 10, 2467-2472
- Schlaug G, 2001 The brain of musicians. A model for functional and structural adaptation. *Annals of the NY Academy of Sciences*, 930, 281-299
- Schneider P, Scherg M, Dosch HG, Specht HJ, Gutschalk A, Rupp A, 2002. Morphology of Hesch's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5:7, 688-694
- Schön D, Antogn J-L, Roth M, Besson M, 2002. Processing pitch and duration in music reading: a RT-ERP study. *Neuropsychologia* 40:868-878)
- Tervaniemi M, Just V, Koelsch S, Widmann A, Schröger E, 2004. Pitch discrimination accuracy in musicians vs nonmusicians: an event-related potential and behavioral study. *Experimental Brain Research*, 161, 1-10
- Wright e coll., 2000. Music perception and octave generalization in rhesus monkeys. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 291-307
- Zatorre RJ, Krumhansl CL, 2002. Mental models and musical minds. *Science*, 298: AA 5601, 2138-2139
- Zatorre RJ, Peretz I (eds.), 2001. *The biological foundations of music*. New York, NY Academy of Sciences