

Scienza e musica

Riassunto

Al fine di comprendere le ragioni per cui talune musiche del Novecento - segnatamente la musica seriale, quella dodecafonica e le loro diramazioni - non hanno saputo raccogliere attorno a sé che un pubblico esiguo, vengono esaminati i vari aspetti che hanno caratterizzato il rapporto tra musica e scienza attraverso i secoli. Dalla numerologia pitagorica si va alle ipotesi meccanicistiche del Cinque-Seicento e, passando attraverso le prime analisi psicoacustiche dell'Ottocento, si perviene agli ultimi ritrovati delle neuroscienze, indicativi di una evidente corrispondenza tra la teoria classica dell'armonia e le caratteristiche fisiologiche del sistema orecchio-cervello. Il discorso vale per gli ascoltatori "spontanei", ossia gli appassionati di musica sprovvisti di un bagaglio professionale specifico.

I. Introduzione

Fatto nuovo nella storia della musica, nel Novecento si è aperta una grande spaccatura tra taluni compositori d'avanguardia - segnatamente del genere dodecafonico - e il pubblico degli appassionati di musica "colta". Dice il Maestro Roman Vlad: "La musica si trova in una situazione drammatica, che rischia di diventare tragica... L'unità del mondo musicale è spezzata". È un dato di fatto che, a cent'anni di distanza dalle scelte dodecafoniche di Schoenberg e dei suoi allievi della scuola di Vienna, larga parte del pubblico tende a schivare l'esecuzione di quel genere di musica e delle sue varie diramazioni. Fin dal tempo degli antichi Greci, la scienza ha cercato di individuare i criteri che rendono un brano musicale più o meno ben accetto all'ascoltatore. Qui si tratta di rovesciare la questione e chiedersi: ci sono delle ragioni oggettive che giustificano la resistenza del pubblico a certi generi musicali? Una risposta penso possa venire dall'esame del rapporto tra scienza e musica attraverso i secoli, a partire dalla matematica di Pitagora per giungere, passando attraverso il meccanicismo dei fisici del Seicento e la psicoacustica di Helmholtz, fino alle odierne

neuroscienze sperimentali.

Per sgombrare il campo dagli equivoci, è opportuno chiarire che nel Novecento non sono mancati i grandi talenti che, pur uscendo in modo più o meno marcato dalle linee della tradizione, hanno prodotto opere di livello artistico pari a quelle dei massimi compositori del passato. Per togliere dubbi su chi appartiene a questa categoria, ricorderò alcuni nomi: Bartók, Debussy, De Falla, Janáček, Hindemith, Prokofieff, Ravel, Shostakovich, Stravinskij; elenco al quale si possono aggiungere Britten, Chavez, Copland, Gershwin, Honegger, Kaciaturian, Kodály, Ibert, Ives, Martinu, Messiaen, Milhaud, Orff, Ponce, Poulenc, Respighi, Rimskij-Korsakov, Rodrigo, Skrjabin, Sibelius, Tansman, Villa-Lobos, e diversi ancora. Al contrario, i serialisti, i dodecafonicisti, gli aleatori e altri compositori – tra cui Pierre Boulez, Karlheinz Stockhausen, Luigi Nono, Bruno Maderna, per citare i più conosciuti in Italia - che hanno “anteposto il nuovo al vero”, per dirla ancora con Roman Vlad, non hanno incontrato da parte del pubblico non professionale - anche quello di miglior qualità e competenza - un'accoglienza altrettanto favorevole. Quasi come se la loro musica fosse afflitta da un certo “adiabatismo”, per usare un termine della termodinamica, ossia stentasse a trasmettere messaggi ed emozioni all'ascoltatore, in certo senso smentendo l'affermazione di Stravinskij che “la musica deve piacere in sé e per sé”, senza richiedere all'ascoltatore speciali competenze. O quella del francese Roland-Manuel (al secolo Roland Alexis Manuel Levy, 1891-1966) che la musica “commuove in quanto muove”. I quali obiettivi - reazione emotiva e risposta motoria - con l'abrogazione di armonia, melodia, ritmo e metro che per lo più caratterizza le composizioni che ho chiamato “adiabatiche”, sono ardui da raggiungere.

2. Dai Greci al Seicento

Nell'antica Grecia, Pitagora aveva stabilito, tramite il suo monocordo, che si ha consonanza tra due suoni se il rapporto delle loro frequenze fondamentali era esprimibile in termini di rapporti semplici, ovvero di rapporti di due numeri interi piccoli. Così per l'intervallo di quinta perfetta *do-sol* (in scala di *do maggiore*) si aveva $3/2$, per la quarta *do-fa* $4/3$, per la terza maggiore *do-mi* $5/4$, e via dicendo. Per Pitagora ciò si giustifica con la potenza della matematica: “il segreto dell'armonia sta nel magico potere dei numeri” affermava. Se il rapporto non è semplice,

tipo $15/8$ (*do-si*), o $25/18$ (*do-fa diesis*), il bicordo risulta dissonante.

La scala naturale, detta di giusta intonazione, fu costruita tenendo conto di questi rapporti, oltre a quello ovvio di ottava $2/1$, che compare in tutte le culture musicali del mondo. A ben guardare, però, note che hanno tali rapporti di frequenza sono riconducibili ad *armoniche* (o *armonici* come preferiscono dire i musicisti) di una stessa nota, la tonica o primo grado della scala - il *do* negli esempi fatti. Il *sol*, ad esempio, è la terza armonica del *do*, il *mi* la quinta, il *re* la nona, e possono confluire a formare la scala di *do* maggiore per semplici trasposizioni di ottava. Fatto non banale, come si vedrà tra breve, visto che i suoni emessi dalla maggioranza degli strumenti musicali – ad esempio a corde o a canne - sono sempre complessi, ossia costituiti, oltre che dalla frequenza f o tono fondamentale, anche da un certo numero di armonici, o suoni di frequenza multipla della fondamentale, $2f$, $3f$, $4f$ e così via. Fatto non banale giacché la tonalità in musica è una diretta conseguenza di questa scelta privilegiata di una particolare nota come elemento di nucleazione per le altre della scala, e quindi centro di attrazione.

I primi ad avere la percezione che i numeri di Pitagora fossero soltanto una descrizione di fenomeni fisici furono i meccanicisti del XVI secolo, da Giovanni Battista Benedetti a Vincenzo Galilei, ripresi con maggiore approfondimento da Galileo Galilei. Nei *Discorsi*, Galileo attribuisce la consonanza al fatto in tale circostanza il timpano è colpito da due suoni che non lo costringono a “flettersi” in versi sempre discordi. A intervalli regolari il timpano riceve dai due suoni una spinta cumulativa. Spiegazione che, pur non tenendo conto del ruolo della psiche, rappresenta un primo passo concreto verso l’oggettivazione della consonanza in termini di prerogative del percettore. Oggi è facile verificare con il calcolo che il modello di Galileo corrisponde alla situazione in cui le onde acustiche corrispondenti ai due suoni presentano, agli effetti della stimolazione cerebrale, dei massimi simultanei a intervalli di tempo regolari e frequenti, circostanza che non si verifica per coppie di suoni dissonanti (nella quinta *do-sol*, ogni 2 oscillazioni del *sol*).

Altri scienziati - Marin Mersenne, René Descartes, Christiaan Huygens, Jean d’Alembert - di lì a poco rilevarono che, se il rapporto delle frequenze di intervallo è costituito da numeri piccoli, le due note si trovano ad avere armonici in comune: se suonate assieme formano un accordo caratterizzato da marcata fusione armonica e forte carattere di consonanza. In caso contrario, essi sono armonicamente poco correlati, rimangono in parte individualmente distinguibili e vengono

giudicati meno consonanti, quando non dissonanti. Per esemplificare, un *do* e un *sol* hanno una forte affinità "parentela cromatica" giacché non pochi tra i loro armonici coincidono in frequenza. Non così quelli delle coppie dissonanti, come *do* e *si*. Nacque quindi la *teoria delle coincidenze*, enunciata in modo quantitativo da Pierre Estève nel 1742: la consonanza si può avere solo tra note con vari armonici condivisi. È facilmente intuibile che questo criterio è equivalente a quello di Galileo, giacché la sincronia tra i picchi di due onde sonore avviene tanto più di frequente quanto più intensi e numerosi sono gli armonici condivisi.

Anticipo qui, per non essere malinteso, che l'evoluzione della musica nei secoli è stata dall'uso quasi esclusivo della consonanza a una dialettica in cui la dissonanza, contrapponendosi al carattere risolutivo della consonanza, gioca un ruolo portante, arricchendo la trama musicale allo stesso modo in cui, nel Rinascimento, prospettiva e chiaroscuro hanno reso la pittura più espressiva e aderente al reale.

2. Helmholtz e la psicoacustica

Nell'Ottocento, Helmholtz aprì la strada alla *psicoacustica* chiedendosi quale sia la ragione per cui, a livello psichico, una forte sovrapposizione degli armonici appartenenti alle due note garantisce la consonanza, laddove suoni che hanno armonici non coincidenti, ancor peggio se leggermente sfalsati (com'è ad esempio il caso della settima maggiore *do-si*), inducono la sensazione di dissonanza, da intendersi in qualche modo come un senso di insoddisfazione e di incompletezza, che crea l'aspettativa per un ritorno su accordi armonicamente più fusi. L'ipotesi centrale di Helmholtz fu che taluni bicordi riuscissero meno graditi perché nel nostro apparato uditivo esiste una sorta di banda critica: se due frequenze sono troppo ravvicinate, esse vanno a cadere in tale zona e non si sentono come un accordo formato da due suoni distinti, bensì come un suono intermedio accompagnato da un rumore ruvido e aspro che risulta percettivamente sgradito.

Analisi anatomiche confermano che tale banda effettivamente esiste ed è dovuta al comportamento della *membrana basilare*, il filamento posto all'interno della coclea. Messa in vibrazione da timpano e catena degli ossicini, essa trasmette segnali elettrici alla rete neurale grazie alle *celle ciliate*, le terminazioni nervose che poggiano su di essa. Le diverse frequenze del suono eccitano punti diversi lungo la membrana basilare (organizzazione *tonotopica*) e la corteccia uditiva le discrimina in base

alle particolari fibre nervose che vanno ad attivare i corrispondenti neuroni (cioè generano gli “spari neurali”, in gergo neuroscientifico). Le celle ciliate, però, sono relativamente poche, qualche migliaio, per cui due frequenze troppo vicine eccitano una medesima fibra nervosa, creando ambiguità percettiva a livello mentale e ostacolando la comprensione del messaggio sonoro.

Ancora una parola su Helmholtz. È interessante ricordare l’atteggiamento che assunsero i suoi contemporanei di fronte alla sua straordinaria capacità innovativa nell’analisi del rapporto musica/uomo. L’approccio di Helmholtz propone una base di innatismo e una legalità naturale sia all’armonia classica, sia ai temi melodici, indispensabili entrambi per elaborare l’insieme dei suoni e dar loro significato. La sua morale era “... le sensazioni di consonanza e dissonanza, determinate da un preciso meccanismo acustico e fisiologico, in vista di una più elevata e spirituale bellezza della musica, sono solo mezzi: ma mezzi essenziali e potenti”. Per lui, dunque, ineludibile rimaneva la sudditanza dell’estetica musicale all’acustica e alla fisiologia dell’apparato uditivo. Poiché le informazioni oggi disponibili dalle neuroscienze erano di là da venire, egli trovò forti opposizioni nell’ambito dei musicisti, opposizioni che, come ho già detto, sussistono a tutt’oggi nei confronti suoi e di chi ha continuato il suo lavoro. E naturalmente anche dei risultati delle neuroscienze, giudicate eccessivamente riduttive del complesso meccanismo di interazione tra l’uomo e la musica.

A onore di Helmholtz, tuttavia, va detto che egli ben si rendeva conto dell’importanza della componente di assuefazione e di acculturamento nell’apprezzamento della musica. Scriveva: “il sistema delle scale, delle tonalità e del loro ordito armonico non si fonda semplicemente su immutabili leggi della natura, ma, al contrario, è in parte anche conseguenza di principi estetici che nello sviluppo progressivo dell’umanità sono stati soggetti a mutamento e lo saranno ancora”. Il che oggi è quasi scontato, considerato che “la crescita” delle facoltà mentali – e ciò vale per l’apprezzamento della musica come per ogni altra umana attitudine – è un processo che si prolunga nel corso dell’intera esistenza. Il cervello, in effetti, è dotato di una straordinaria plasticità, di fatto si modifica nel tempo. Il discorso sulle coincidenze, quindi, va preso alla lettera per un cervello relativamente *naïf*, o comunque poco assuefatto all’ascolto di musiche complesse.

3. "Spari" neurali

Grazie agli straordinari progressi delle scienze della mente, oggi siamo in grado di dare molte risposte alle domande sollevate dagli oppositori di Helmholtz. Si può calcolare a priori che, nel caso di armonici condivisi, l'energia acustica che nell'orecchio attiva i treni di impulsi nervosi diretti alla rete neurale - si veda la figura 1 - presenta particolari caratteri di riconoscibilità e ripetitività che, riflettendosi sul profilo temporale degli impulsi stessi, mettono il cervello in grado di appropriarsi del discorso musicale e dargli un significato.

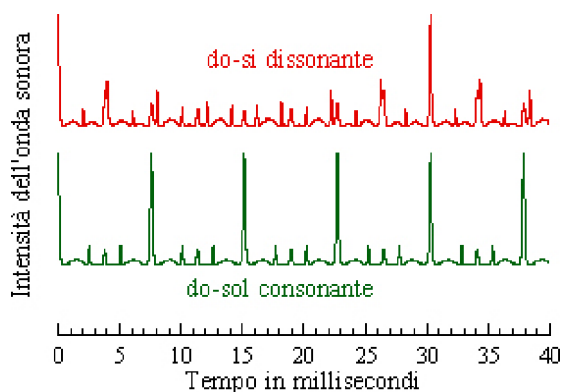


Figura 1. Confronto tra l'andamento temporale teorico dell'energia acustica che perviene nel tempo all'orecchio interno (con armonici rifsati), alla quale il treno di "spari" neurali è direttamente correlato, per il bicordo consonante do-sol e per il dissonante do-si.

Nella musica seriale, dodecafonia e sue varie diramazioni, i treni di impulsi neurali divengono del tutto casualizzati, senza elementi di spicco, né conteggiabilità temporale, tipo quelli prodotti dal rumore; il tempo perde il suo ruolo portante; la fruibilità della sequenza di note diviene limitata a un rango molto ristretto di cervelli specialmente dotati o spinti da motivazioni particolari.

Trovo particolarmente interessante che, per definire le caratteristiche precipue della musica seriale, sia un musicista come György Ligeti [1], a fare riferimento al concetto termodinamico di entropia, che egli le attribuisce in grado "irresistibilmente crescente", di fatto definendola - in ossequio al significato termodinamico di entropia - disordinata e casuale, quindi priva di costrutti e di significati.

4. Neuroscienze e base biologica dell'armonia

Le neuroscienze studiano i correlati neurali della musica con tecniche di neuroimmagine, quali tomografia a emissione di positroni (PET), ecografia, elettroencefalografia (EEG), magnetoencefalografia (MEG) in risoluzione spaziale, risonanza magnetica funzionale (fMRI), che permette una localizzazione spaziale dell'ordine del mm³, o anche con l'analisi circuitale del cervello in animali. I risultati sembrano indicare che la teoria classica dell'armonia affonda le sue radici nella biologia del nostro sistema fisico e neurale. È difficile ora negare che l'armonia tonale classica abbia una qualche legittimazione naturale, si adatti cioè alle esigenze percettive dell'essere umano allo stadio più elementare e spontaneo. Un'idea che è stata avversata dalle avanguardie durante tutto il Novecento. Qualcosa di simile si può dire per i ruoli della melodia, del ritmo e del metro, che concorrono alla codifica dei segnali neurali e che quando sono sacrificati tendono ad accentuare i connotati di rumore nella sequenza di impulsi diretti al cervello. La facilità di elaborazione degli accordi consonanti, soprattutto in presenza di un solido profilo ritmico, è ciò che li ha resi predominanti nella maggioranza dei sistemi musicali della terra.

Quello che oggi si sa è che la possibilità per il cervello di conteggiare temporalmente gli impulsi neurali stimolati nell'orecchio interno sta alla base della sensazione di consonanza e della percezione di una stoffa timbrica omogenea e compatta. Si potrebbe dire che i segnali classicamente consonanti sono preferiti perché, avendo una fisionomia strutturata, anzitutto destano l'attenzione del cervello, e poi risultano più facili da elaborare. Il sistema orecchio-cervello opera a tutti gli effetti come un convertitore analogico-digitale, dove le informazioni nascono da un "conteggio". Se, quanto a dipendenza da ritmo e metrica, questa proprietà era stata già intuita da Leibniz¹, oggi sappiamo che lo stesso vale per altri neuroni specializzati, per esempio quelli che rilevano l'intensità del suono o quelli preposti alla discriminazione dell'altezza. È dalla confluenza di queste operazioni che l'evento sonoro assume il suo senso. E a seconda di come esso influenza la chimica del cervello, agendo sul livello di dopamina - il neurotrasmettitore che dà la sensazione di benessere - il passo musicale viene diversamente accolto.

¹ Egli scrisse: "Musica è un esercizio aritmetico della mente che conta senza sapere di contare".

Tale reazione emotiva esula dal compito dei neuroscienziati, il cui studio si limita all'*hardware* cerebrale. La sua conoscenza, d'altra parte, è indispensabile, in quanto accresce, ad esempio nel compositore, la consapevolezza delle esigenze del suono musicale.

Nel caso dell'altezza, il conteggio è tanto più agevole quanto più il suono presenta una strutturazione armonica, sia quando si tratta di suono costituito da una nota isolata, che può dirsi *autoconsonante*, sia quando risulta da un insieme di note. La strutturazione armonica è tipica dei suoni naturali, in primissimo luogo la voce umana, e quindi suscita configurazioni di eccitazione familiari al cervello. È particolarmente significativo come i neonati recepiscano in modo automatico e veloce con gli stimoli sonori ambientali a cui sono più esposti, a cominciare dal canto materno [2].

Va ribadito che la differenza qualitativa nell'andamento temporale degli impulsi neurali che si ha tra accordi tradizionalmente consonanti oppure dissonanti è talmente marcata che l'avvicinarsi di consonanze, quasi-consonanze, quasi-dissonanze e dissonanze non può non assumere un poderoso potenziale espressivo. Nella musica di genere seriale, di tale potenziale si fa inevitabilmente un uso limitato. Dunque, per non rigettare la "nuova musica", non basta "farci l'abitudine" - impegno che pure rimane indispensabile - ma occorre anche chiedere al cervello di avvalersi di chiavi di lettura meno immediate, in quanto i messaggi che riceve sono assai poco "parlanti". Per le menti non particolarmente "imparate", nell'elaborazione dei complessi segnali che corrono nei circuiti neurali, effetti semplificatori si rendono indispensabili.

Le conclusioni cui giungono oggi i neurologi impegnati nelle scienze cognitive della musica sono in parte basate sui dati sperimentali relativi ai segnali "sparati" dalle fibre nervose uditive alla volta del cervello (che, come mostra la figura 2, sono in eccellente correlazione con il modello teorico basato su

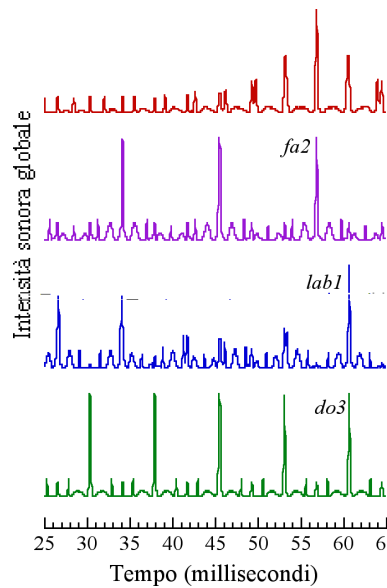


Figura 2. A sinistra: dati relativi all'andamento temporale degli i spari neurali di 50 fibre nervose di gatto per quattro bicordi [13]. A destra: per gli stessi bicordi, andamento teorico dell'energia acustica che perviene nel tempo all'orecchio interno, alla quale il treno di impulsi neurali è direttamente correlato.

considerazioni energetiche, già anticipato nella figura 1). Appare relativamente fuori questione che il profilo temporale degli impulsi neurali generati da note o insiemi di note consonanti semplifica i meccanismi di elaborazione a livello cerebrale, secondo i neurologi favorendo l'attenzione, l'immediatezza del responso e, non ultima, la memorizzabilità. Quello che possiamo dire sicuramente è che la musica è soggetta a un certo numero di leggi universali della percezione che ne condizionano fortemente la struttura [4]. *In sostanza si può avanzare la tesi che la teoria classica dell'armonia riflette proprietà fisiologiche e anatomiche del sistema nervoso uditivo e dei sistemi cognitivi associati, valendo in modo identico per tutte le popolazioni del mondo, anche nella primissima infanzia, e persino per le specie animali.*

Il non utilizzo da parte dei compositori del linguaggio biologicamente favorito comporta la generazione di profili temporali nella successione di impulsi convogliati al cervello - riguardino essi l'altezza, l'intensità, il ritmo, la durata, la timbrica - che si avvicinano a quelli prodotti dal rumore casuale. Ciò implica un inevitabile mascheramento dei significati e delle intenzioni contenuti nel messaggio sonoro, e l'insorgere di meccanismi elaborativi dell'informazione via via più complessi e remoti dal naturale modo di operare del nostro sistema nervoso. La musica è una capacità cognitiva complessa: un'ampia rete

di aree cerebrali è coinvolta nella sua elaborazione, in quanto operazioni mentali diverse sono implicate negli aspetti acustici, ritmici, melodici e armonici (operazioni che oltretutto si intrecciano variamente)². Come detto sopra, è dalla congiunzione di queste svariate funzioni che l'evento sonoro prende significato. Se tale rete non è messa in condizione di svolgere agevolmente i propri compiti, il carico di lavoro del cervello diventa eccessivo, la memoria non viene attivata, e il risultato è che gli stimoli sonori ricevuti lasciano l'ascoltatore estraniato.

5. L'aspetto motorio

Daniel Levitin, professore di psicologia e musica alla McGill University di Montreal, ha riportato i risultati di una ricerca effettuata su cervelli sottoposti ad ascolti musicali [5]. La tecnica usata era la fMRI (*functional Magnetic Resonance Imaging*), capace di individuare le zone attivate del cervello su scala del millimetro cubo (l'attivazione si riconosce per un incremento del flusso sanguigno). Sono state esaminate 13 persone durante l'ascolto di brani musicali e, come controprova, di loro versioni strutturalmente scompagnate. Si è trovato che, anche in condizioni di immobilità, l'ascolto di musica eccita zone che coordinano le attività motorie. Se il corpo non può danzare, lo fa il cervello, confermando l'indissolubilità del legame tra musica e movimento. Significative le parole di Roland-Manuel, già citate, e quelle di Hausegger: "Le espressioni sonore non sono altro che movimenti muscolari fattisi udibili, gesti che si sentono". L'attribuire scarso peso al metro e al ritmo, come si è fatto in varie forme musicali dell'ultimo secolo, quali serialità, dodecafonia e loro varianti, ha un effetto negativo giacché tali elementi, appellandosi all'aspetto motorio del discorso musicale, sono essenziali nel conferirgli forma e vitalità. Per Stravinskij "il ritmo e il movimento, e non l'espressione delle emozioni, costituiscono i fondamenti dell'arte musicale".

² Non a caso si tende oggi a preferire, come strumento di indagine dei correlati neurali, la musica agli stimoli visivi o al parlato, in quanto essa richiede la messa in atto di quasi tutte le funzioni cognitive (attenzione, memoria, motricità, percezione, ecc.). Si veda ad esempio D. Schön, L. Akiva-Kabiri e T. Vecchi, op. cit., Carocci, Roma 2007, p. 106.

Bibliografia

- [1] G. Ligeti, *Metamorfosi della forma musicale*, in *Ligeti*, di autori vari, a cura di E. Rostagno, Torino 1985, p. 229.
- [2] D. Schön, L. Akiva-Kabiri e T. Vecchi, *Psicologia della musica*, Carocci, Roma 2007, pp. 20 e 24.
- [3] M.J. Tramo, P.A. Carians, B. Delgutte e L.D. Braidà, "Neurobiology of Harmony Perception", in *The cognitive neuroscience of music*, a cura di I. Peretz e R.J. Zatorre, Oxford University Press, Oxford 2003, p. 127. Il lavoro di Tramo e coll., come altri nello stesso volume, contiene una vastissima bibliografia, che non è possibile elencare in questa sede. I risultati sono anche reperibili in un precedente scritto degli stessi autori: "Neurobiological Foundations for the Theory of Harmony in Western Music", *Annals of New York Acad. of Sciences*, 2001, p. 92.
- [4] D. Schön, L. Akiva-Kabiri e T. Vecchi, *op. cit.*, Carocci, Roma 2007, p. 70.
- [5] D. Levitin, *Dancing in the Seats*, editoriale sul *New York Times* del 26/10/2007.

Andrea Frova
Università di Roma "La Sapienza"