
La fisica della musica

Giampaolo Co'

Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi" - Università del Salento

La musica è composta da sequenze di suoni le cui frequenze hanno rapporti semplici e ben definiti. Storicamente, nella musica occidentale è stata selezionata una sequenza particolare di frequenze che definiscono le note della scala musicale temperata.

Introduzione

Fruire di un'opera d'arte significa provare sensazioni che esulano da quelle solite, ordinarie. Questa affermazione, che spero possa essere largamente condivisa, non vuole essere una definizione di arte, ma è utile per identificare suoni che definisco musicali. In questa visione, ascoltare musica non significa semplicemente udire dei suoni, ma implica che i suoni uditi abbiano un ordine preciso, straordinario, ed, eventualmente, che producano anche piacere all'ascoltatore.

I suoni musicali si evolvono nel tempo con regolarità e gradevolezza. Ritmo, melodia ed armonia differenziano i suoni musicali da quelli comuni, ordinari. In questo articolo intendo legare queste tre caratteristiche dei suoni musicali alle grandezze fisiche che caratterizzano un generico suono e che, normalmente, sono identificate in durata, intensità e frequenza. Cercherò di illustrare come i suoni diventino musicali solo quando queste grandezze fisiche si mescolano in quantità ben definite.

Nel corso dei secoli la musica occidentale ha selezionato una determinata scala sonora composta da dodici suoni. Si è trattato di un processo puramente culturale, a cui sono associati l'evoluzione e lo sviluppo dei ritmi, delle melo-

die e delle armonie che caratterizzano l'ampia varietà di stili musicali prodotti dalla musica occidentale. Tuttavia, l'analisi fisica di questa scala musicale, e quindi delle armonie e melodie che si generano utilizzandola, mostra come esistano delle relazioni relativamente semplici tra le quantità fisiche che caratterizzano i suoni della scala dodecafonica occidentale.

Il suono

Dal punto di vista sensoriale, la musica è una forma d'arte selettiva, nel senso che attiva soltanto uno dei nostri cinque sensi, l'udito. Dal punto di vista scientifico questo semplifica molto lo studio della musica, perché si tratta di conoscere, e comprendere, l'unico fenomeno fisico percepito dall'orecchio, il suono.

Il suono è generato dalla vibrazione di un corpo. Questa vibrazione produce una perturbazione della pressione e della densità del mezzo nel quale il corpo vibrante si trova. La perturbazione si propaga attraverso questo mezzo per collisione delle sue molecole, e trasferisce energia ed impulso senza che ci sia un effettivo spostamento della materia. Questo significa che le molecole che compongono il mezzo oscillano attorno ad un punto di equilibrio, ma il loro spostamento, mediato su tempi molto più lunghi rispetto a quelli in cui si attiva la perturbazione, è nullo. Il trasferimento di energia e impulso senza trasferimento di materia è quello che caratterizza il fenomeno fisico delle onde, ecco perché si parla di onda sonora.

I fenomeni sonori di interesse per la musica sono prodotti da variazioni di densità e pressio-

ne i cui valori sono molto più piccoli dei valori che queste due quantità hanno quando non sono perturbate, ovvero quando sono in equilibrio. In questo caso le onde sonore sono in un regime lineare, e vale il principio di sovrapposizione, ovvero l'onda sonora risultante dall'incontro tra due, o più onde, è data dalla loro somma algebrica, che può essere sia costruttiva che distruttiva.

In questo regime di linearità la velocità del suono è data da

$$v = \sqrt{\left(-\frac{\Delta P}{\Delta V/V}\right) \frac{1}{\rho_0}} \quad (1)$$

Il termine tra parentesi tonde indica il rapporto tra la variazione di pressione ΔP e la variazione relativa del volume, V , del mezzo. Si tratta, per definizione, di quello che in inglese viene chiamato *bulk modulus*, che, per definizione, corrisponde all'inverso della compressibilità del materiale. Il termine ρ_0 rappresenta la densità d'equilibrio. Nell'equazione (1) non ci sono termini legati alla sorgente sonora, quindi la velocità del suono è una caratteristica del mezzo nel quale si propaga.

Nella musica, la produzione dei suoni avviene nel regime lineare sopra descritto, e, inoltre, la maggior parte delle sorgenti sonore produce suoni in maniera armonica. La vibrazione di una corda pizzicata, percossa o strofinata da un archetto, è descrivibile in termini di vibrazioni armoniche. Nello stesso modo i suoni prodotti dagli strumenti a fiato, e in generale da tutti i tubi sonori, e anche le vibrazioni di membrane, sono vibrazioni armoniche. Questi suoni possono essere descritti come sovrapposizione di onde armoniche.

Se consideriamo, ad esempio, il moto di una molecola d'aria che si trova nella posizione x al tempo zero, possiamo identificare la sua posizione al tempo t come

$$s(x, t) = A \sin k(x - vt) \quad (2)$$

dove A è l'ampiezza di oscillazione, k è detto numero d'onda e ha le dimensioni dell'inverso di una lunghezza, v è la velocità di propagazione dell'onda. La lunghezza d'onda è la distanza tra i due massimi, o più in generale tra due punti con lo stesso valore, $\lambda = 2\pi/k$. Il periodo T è il tempo necessario alla molecola per ritornare

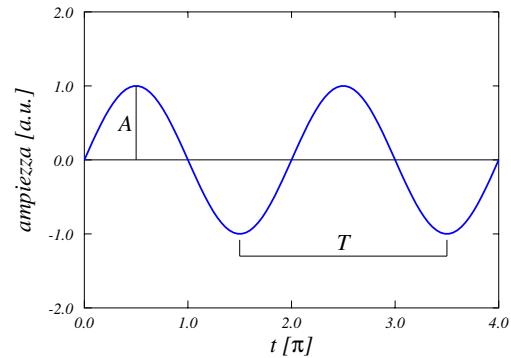


Figura 1: *Onda sinusoidale in funzione del tempo t , in unità di π . L'ampiezza dell'onda è indicata con A . Il periodo, T , è il tempo necessario per compiere un ciclo. Se avessimo disegnato l'onda in funzione dello spazio, al posto di T , ci sarebbe la lunghezza d'onda λ , che è la distanza percorsa in un periodo T . La frequenza ν è il numero di cicli effettuati nell'unità di tempo, quindi l'inverso del periodo.*

alla posizione iniziale. La frequenza ν , definita come inverso del periodo $\nu = 1/T$ è legata alla lunghezza d'onda secondo la relazione $\nu = v/\lambda$. Fissato il valore della velocità di propagazione, più piccola è la lunghezza d'onda, maggiore è la frequenza. L'unità di misura della frequenza, che corrisponde all'inverso di un tempo è chiamata Hertz (Hz).

Il trasporto di energia da parte di un'onda è normalmente descritto in termini dell'intensità dell'onda, definita come l'energia media trasferita nell'unità di tempo nell'unità di area, quindi, dato che energia per unità di tempo è potenza, come potenza media per unità di area $I = P/A$.

Se una sorgente puntiforme emette un suono in tutte le direzioni, l'intensità diminuirà con il quadrato della distanza dalla sorgente, poiché la potenza verrà distribuita su una superficie sferica, quindi $I = P/4\pi r^2$. Se si fa l'ipotesi che il suono non venga assorbito dal suolo si ha che la superficie è un'emisfera. Nella progettazione di teatri, si considerano le geometrie ed i materiali adatti per ottenere della buona acustica, ovvero per correggere al meglio la perdita di intensità legata al quadrato della distanza dalla sorgente.

Per un'onda armonica, è possibile legare l'intensità dell'onda all'ampiezza di oscillazione A dell'equazione (2). Per un'onda sonora alla pressione e alla densità di equilibrio P_0 e ρ_0

rispettivamente si ottiene [1]

$$I = \frac{1}{2} \frac{P_0^2}{\rho_0 v} \quad (3)$$

L'intensità del suono è legata al quadrato della pressione. Vedremo come la sensibilità dell'orecchio umano sia legata sia alle frequenze che alle intensità dei suoni percepiti.

Le sorgenti sonore

Normalmente, i suoni musicali sono sovrapposizione di onde armoniche di varie frequenze. Consideriamo, ad esempio, il caso di una corda vibrante con le due estremità bloccate, come indicato nella Figura 2. Questo è il caso delle corde

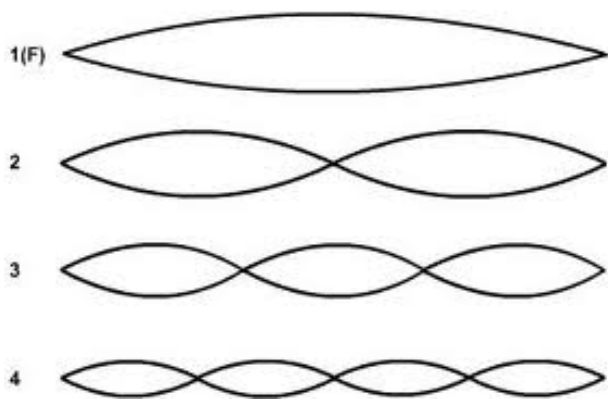


Figura 2: Vibrazioni di una corda vincolata ad entrambi gli estremi. In alto si mostra la frequenza principale, prima armonica, poi le armoniche successive.

del pianoforte, di quelle della chitarra e di tutti gli strumenti ad arco. La vibrazione principale della corda è indicata nella parte in alto della Figura 2. Questa vibrazione, detta principale, anche perché normalmente è quella che ha l'ampiezza maggiore, sfrutta tutta la lunghezza della corda. Quando si fa vibrare una corda, questo non è il solo modo di vibrazione. In aggiunta alla vibrazione principale, ci sono altri modi di vibrazione nei quali alcuni punti rimangono fissi. Questi punti sono detti nodi. Nel secondo modo di vibrazione indicato dalla Figura 2, la corda vibra sfruttando solo la metà della sua lunghezza, e ha un nodo. Come abbiamo visto, la frequenza è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda, quindi dimezzando la lunghezza d'onda si hanno moti oscillatori di frequenza doppia. C'è anche un moto nel quale appaiono due nodi.

In questo caso si hanno vibrazioni che sfruttano un terzo della lunghezza della corda, quindi, per questi modi di vibrazione la frequenza è tripla. Una sorgente armonica sonora genera una

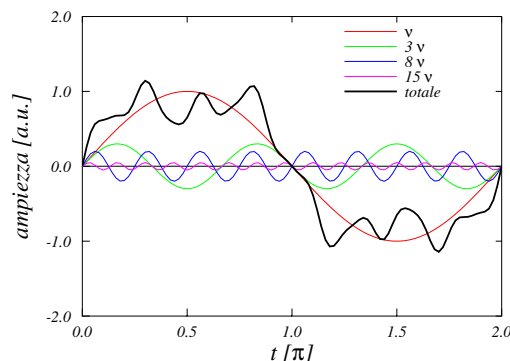


Figura 3: Sovrapposizione di onde sinusoidali con diverse frequenze multiple della frequenza principale ν .

sequenza di vibrazioni che hanno frequenze con semplici rapporti numerici che le contraddistinguono. Il suono finale è dato dalla somma di tutte queste semplici vibrazioni armoniche. In questa somma, le diverse armoniche sono pesate in maniera differente. L'armonica con la frequenza principale è quantitativamente la più importante, seguita poi dalle armoniche con frequenze più alte il cui contributo diminuisce con l'aumentare della frequenza. Questo è vero per i suoni prodotti da strumenti musicali, quindi per vibrazioni armoniche.

La Figura 3 mostra il risultato della somma di onde che all'armonica principale ν aggiungono, con ampiezze decrescenti, le armoniche con frequenze 3, 8, e 15 volte maggiori. La curva finale, indicata dalla linea nera, è piuttosto sconnessa nell'aspetto se confrontata con l'andamento dell'onda sinusoidale, ma è dominata dalla regolarità e periodicità della frequenza principale.

In ogni strumento musicale la frequenza principale è quella che definisce la nota, e accordare gli strumenti, significa fare in modo che le frequenze principali di tutti gli strumenti siano identiche. Le armoniche superiori, che si aggiungono a quella principale, caratterizzano il suono di ogni strumento. Per questo motivo la stessa nota suonata da strumenti diversi ha un suono differente. Ogni strumento, e qui mi riferisco al singolo oggetto, ha un suo timbro, una sua voce,

che lo distingue.

Alcuni strumenti musicali sono costruiti per produrre solo un suono, come ad esempio tamburi, campane. La maggior parte degli strumenti può produrre note differenti. Questo può avvenire perché lo strumento ha in dotazione un grande numero di elementi vibranti, come succede per il pianoforte, il clavicembalo, l'arpa e l'organo a canne. Molto più spesso la produzione di diverse armoniche dominanti avviene cambiando le dimensioni dell'entità vibrante. Negli strumenti a corda, questo avviene premendo la corda, quindi riducendo la lunghezza della parte vibrante. Negli strumenti a fiato si cambia nota aprendo le chiavi, permettendo all'aria di uscire da fori laterali e quindi modificando, riducendola, la lunghezza del tubo vibrante.

Qualsiasi suono può essere decomposto in termini di suoni armonici sinusoidali. Da questo punto di vista, ci sono due caratteristiche che distinguono i suoni ordinari dai suoni gradevoli prodotti dagli strumenti musicali. Una prima differenza è che non esiste una frequenza dominante rispetto alla quale le armoniche di frequenza superiore hanno ampiezze decrescenti. La seconda differenza consiste nel fatto che le varie armoniche non sono coerenti. Nei suoni musicali le vibrazioni sono nulle agli estremi del corpo vibrante, nei suoni non musicali questo non avviene, e le varie armoniche che si sommano sono fuori fase. La produzione di un suono da parte di uno strumento musicale genera una sequenza di onde armoniche che si sommano in fase e che hanno ampiezze decrescenti aumentando il valore delle frequenze. Queste due caratteristiche sono quelle che ci fanno percepire come gradevole il suono prodotto da uno strumento musicale.

La percezione del suono

Mentre le sorgenti sonore sono varie e multiformi, il rivelatore di suono è unico, ed è un sistema composto da una parte che converte il segnale meccanico in segnale elettrico, l'orecchio, e da un sistema che analizza quest'ultimo segnale, il cervello.

Nella Figura 4 è schematizzata l'anatomia dell'orecchio. Le variazioni di pressione, generate dall'onda sonora, penetrano nel condotto uditivo,

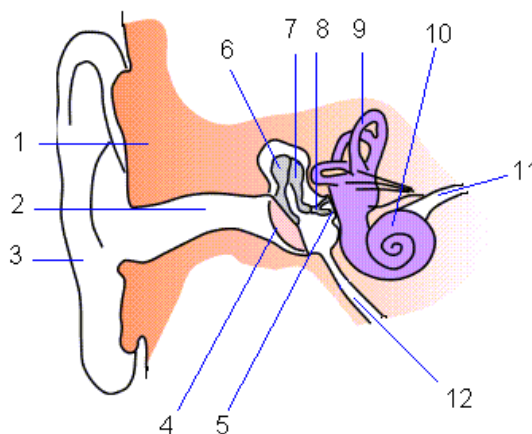


Figura 4: *Orecchio esterno: 1 pericondrio, 2 condotto uditivo, 3 padiglione auricolare. Orecchio medio: 4 timpano, 5 finestra ovale, 6 martello, 7 incudine, 8 staffa. Orecchio interno: 9 canali semicircolari, 10 coclea, 11 nervo acustico, 12 tromba di Eustachio.*

vo, fanno vibrare la membrana del timpano, che a sua volta mette in vibrazione i tre ossicini con i nomi di martello, incudine e staffa. La vibrazione si trasmette all'orecchio interno e mette in moto il liquido contenuto nella coclea dove delle cellule trasformano le oscillazioni del liquido in un segnale elettrico che attiva il nervo acustico. A questo punto il segnale viene portato al cervello che elabora l'informazione.

Questa sequenza di processi viene attivata se l'intensità dell'onda sonora supera un valore di soglia I_{\min} di circa 10^{-12} W/m^2 corrispondente ad una pressione di circa $3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$. Data la grande estensione di intensità sonore a cui è sensibile l'orecchio umano, si utilizza una scala logaritmica per descrivere le intensità sonore. In questa scala misurata in decibel (dB), il livello di intensità β è dato dall'espressione

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_{\min}} \quad (4)$$

In questa scala, la soglia di udibilità è data da $\beta = 0 \text{ dB}$. Normalmente si ha una sensazione di dolore per intensità sonore di circa 1 W/m^2 , corrispondenti a circa 120 dB.

L'altra caratteristica dell'onda sonora è la frequenza, e, anche in questo caso la sensibilità dell'orecchio è limitata ad una finestra di frequenze comprese tra 16 Hz a 20000 Hz (20 kHz). La pres-

sione dell'onda sonora si trasforma nella sensazione di quanto sia intenso il suono percepito. La frequenza invece ci produce la sensazione di quanto il suono sia acuto. I suoni di bassa frequenza sono quelli che classifichiamo gravi, mentre quelli di alta frequenza sono i suoni acuti.

La conformazione dell'orecchio è tale che un'onda sonora di media intensità mette in vibrazione varie parti che generano a loro volta onde sonore. Questo significa che, anche se il suono prodotto è composto da una sola frequenza, l'orecchio produce suoni con frequenze doppie, triple, quadruple eccetera della frequenza principale. Questi suoni di frequenza superiore a quella fondamentale hanno intensità inferiori con l'aumentare della frequenza.

Se il suono viene prodotto contemporaneamente da più sorgenti, con frequenze solo leggermente differenti, il cervello registra un solo suono con frequenza intermedia tra le due. Se la differenza tra le frequenze di emissione è abbastanza grande, il cervello distingue i suoni differenti. Se le differenze tra le frequenze sono frazioni semplici delle frequenze coinvolte si ha una sensazione di generica gradevolezza, altrimenti si ha una sensazione spiacevole, di stonatura.

Le note e la scala musicale

Sin dall'antichità ci si accorse che era possibile far suonare contemporaneamente più di uno strumento producendo comunque suoni globalmente gradevoli. La necessità di mettere d'accordo, da cui accordare, strumenti diversi perché suonando insieme non fossero dissonanti, spinse a formalizzare la scelta delle note da utilizzare. Da questa esigenza nacquero le varie scale musicali che si sono succedute nella storia della musica.

Quasi tutte le scale musicali sono basate su intervalli di ottava. Due note che hanno una frequenza doppia rispetto all'altra suonano particolarmente bene al nostro orecchio. Le percepiamo come fossero la stessa nota, una più alta rispetto all'altra. Molti ritengono che questa peculiarità abbia una base evolutiva. Nella produzione naturale dei suoni insieme ad una frequenza principale si producono altre frequenze con intensità decrescenti, tra le quali quella con frequenza doppia è quella più intensa. Il cervello permette di considerare uniche le note separate

da ottave evitando di cercare sorgenti differenti. Un altro intervallo particolarmente piacevole è quello di quinta, anche questo legato alla produzione naturale di ipertoni, prodotti da sorgenti naturali.

Già i filosofi greci di scuola pitagorica si accorsero dell'esistenza di relazioni semplici tra le frequenze di suoni gradevoli [2]. Sulla base di queste semplici relazioni si definirono nei secoli varie sequenze di suoni scelti per produrre musica. L'insieme di questi suoni, detti note musicali, viene definita come scala musicale. La musica di diversi contesti sociali si differenzia anche per l'uso di diverse scale musicali.

Non è mia intenzione descrivere l'evoluzione storica delle scale musicali che ha portato alla selezione della scala utilizzata oggi nella musica occidentale. Vorrei, invece, presentare i motivi che hanno portato al fallimento di tutti i tentativi fatti per costruire scale musicali su una base matematica o su una base fisica. A questo scopo, partendo dagli intervalli di quinta e ottava costruirò prima una scala musicale, che chiamerò Pitagorica, basata su rapporti semplici, razionali, tra i valori delle frequenze. Metterò in evidenza una difficoltà intrinseca nella scala Pitagorica, e indicherò la soluzione adottata che ha portato alla scala tonale moderna utilizzata nella musica occidentale. Questa scala musicale è dovuta ad una convenzione che definirei sociale, anche se si discosta di poco dalla scala Pitagorica.

La scala Pitagorica

La scala Pitagorica che descriverò non è la scala musicale utilizzata dagli antichi greci [2], ma si tratta di un esempio di scala musicale ideale costruita su base matematica.

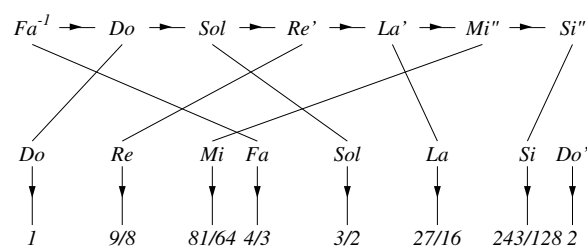


Figura 5: Schema della costruzione della scala pitagorica

Affrontiamo il problema della costruzione di una scala musicale utilizzando le informazioni

fisiche date finora. Sappiamo che due note le cui frequenze sono una il doppio dell'altra risultano produrre un suono gradevole se suonate contemporaneamente. Questo succede anche quando le due frequenze hanno un rapporto di $3/2$ come avviene, per esempio, tra la frequenza di Sol e quella del Do precedente.

La Figura 5 indica lo schema della costruzione della scala Pitagorica. Partiamo dal Do e, raddoppiando la frequenza, abbiamo un altro Do, che chiamiamo Do'. Moltiplicando per $3/2$ la frequenza del Do di partenza, alla quale assegnamo valore 1 nelle unità fisiche preferite dal lettore, otteniamo un Sol. Moltiplicando per $3/2$ la frequenza di Sol otteniamo la frequenza di $9/4=(3/2)^2$ che corrisponde ad un Re'. Il valore di questa frequenza è maggiore di 2, quindi questo Re è più alto del Do'. Dividendo per 2 la frequenza del Re' otteniamo $9/8 = 3^2/2^3 < 2$ che corrisponde alla frequenza del Re. Proseguendo in questo modo, moltiplicando Re' per $3/2$ otteniamo un La', quindi un Mi'' e un Si''. Dividendo per 2, o per 4, riportiamo tutte le frequenze tra 1 e 2. Otteniamo il Fa dividendo la frequenza di Do per $3/2$, e poi moltiplicando per due. In questo modo abbiamo costruito una scala di sette note i cui rapporti di frequenza sono indicati nella Figura 5. Queste sette note sono suonate dai tasti bianchi della tastiera del pianoforte. Bisogna notare come tutte le frequenze prodotte siano identificate da rapporti tra potenze dei numeri 3 e 2.

La scala temperata

La difficoltà d'uso della scala Pitagorica emerge quando si cerca di traslare uno scritto musicale da un tono all'altro. Abbiamo messo in evidenza come la gradevolezza di un brano musicale sia legata al rapporto tra le note che lo compongono, e non al valore assoluto delle loro frequenze, purché queste rimangano nei limiti dell'udibilità. È capitato a tutti di cantare una canzone partendo da una nota ed incontrando difficoltà a riprodurre la melodia, perché l'estensione della voce non riusciva a raggiungere certe note, di ricominciare a cantare la melodia partendo da una nota più bassa o più alta. Questo significa che lo stesso brano musicale risulta egualmente gradevole se suonato spostando tutte le note che lo

compongono dello stesso fattore moltiplicativo. Si può, ad esempio pensare di trasformare una

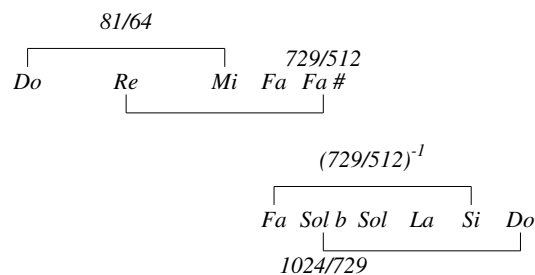


Figura 6: Rapporti di frequenze tra Do e Mi e tra Si e Fa

melodia che parte in Do facendola partire dal Re. Supponiamo che le prime note della melodia siano Do e Mi. Il rapporto tra queste frequenze è di $81/64$, come indicato nella Figura 6. Moltiplicando la frequenza di Re di $9/8$ per $81/64$ si ottiene $729/512$, che è la frequenza di una nota che non si trova nella scala definita precedentemente. Chiameremo Fa# questa nuova nota la cui frequenza si trova tra il Fa e il Sol. Queste note, sulla tastiera del pianoforte vengono suonate premendo i tasti neri.

Supponiamo che la melodia che stiamo trasportando di un tono abbia un passaggio tra Si e Fa che dà $(729/512)^{-1}$ in termini di rapporto di frequenza. Questo passaggio fatto partendo dal Do', di frequenza 2, porta ad una nota con frequenza $1024/729$, che chiameremo Solb. Anche questa nota si trova tra Fa e Sol **ma ha frequenza differente da quella del Fa#**! D'altra parte sul pianoforte c'è un solo tasto nero tra i tasti bianchi del Fa e del Sol.

Questo esempio mette in evidenza la difficoltà intrinseca nell'uso della scala pitagorica. Ogni cambiamento di tono produce nuove note le cui frequenze non sono presenti nelle scale precedentemente definite. Se si usasse la scala Pitagorica per uno strumento a tastiera, tra due tasti bianchi ci sarebbero numerosi tasti neri, ognuno costruito per rappresentare una nota ottenuta partendo da una tonalità differente.

Il problema è stato ampiamente discusso nei secoli scorsi fino ad arrivare ad un accordo nel quale si è fatta la scelta più semplice. Si è deciso di suddividere l'ottava in dodici parti uguali, quindi il rapporto di frequenza tra due note successive è $2^{1/12}$. Il risultato di questa operazione è presentato nella Tabella 1 dove confronto i

Nota	Pitagorica	Temperata
Do	1.00000	1.00000
Re	1.12500	1.12246
Mi	1.26563	1.25992
Fa	1.33333	1.33484
Sol	1.50000	1.49831
La	1.68750	1.68179
Si	1.89844	1.88775
Do'	2.00000	2.00000

Tabella 1: Frequenze delle sette note principali nella scala Pitagorica e in quella Temperata.

rapporti tra le frequenze della scala Pitagorica, mostrati anche nella Figura 5, con quelli della scala Temperata. Come si vede, le differenze tra le frequenze delle due scale è dell'ordine di qualche percento. In questo modo si è raggiunto un ragionevole compromesso tra l'armonia pitagorica dei numeri razionali e la necessità pratica di avere note che permettono di trasportare la musica in tonalità differenti.

Una nobile testimonianza della polemica legata a questo problema è la raccolta BWV 846-893, divisa in due libri, di preludi e fughe in tutte le 12 tonalità, in modo maggiore e minore, composta da Johann Sebastian Bach (1685-1750) e da lui nominata *Das wohltemperierte Clavier*, tradotta in *Il Clavicembalo ben temperato*, anche se *Clavier* ai tempi di Bach indicava genericamente la tastiera.

Ritmo, melodia ed armonia

Dal punto di vista fisico possiamo definire la musica come una sequenza temporale di suoni selezionati tra quelli che formano la scala musicale. Se si produce soltanto un suono per ogni istante di tempo si ha una monofonia, e l'evoluzione temporale di questi suoni produce la melodia. La produzione contemporanea di vari suoni viene normalmente chiamata polifonia, e l'effetto dei vari suoni suonati contemporaneamente genera l'armonia. Il terzo elemento che forma la musica è il ritmo ed è legato a come melodia ed armonia si ripetono nel tempo. La definizione della scala musicale, quindi, sta alla musica come l'alfabeto alla poesia. Bisogna comporre le

note per produrre parole, e parole per formare frasi.

A questo punto la fisica ha assolto il suo compito. Per capire perché una sequenza di suoni risulti essere musicalmente attraente, è necessario considerare l'intreccio tra la fisica dell'onda sonora e la fisiologia della ricezione del suono, la psicologia dell'interpretazione del segnale sonoro, e, ultima ma non per questo meno importante, la sociologia, ovvero il contesto sociale e culturale dell'ascoltatore [3].

I tentativi compositivi di andare oltre i limiti della scala tonale hanno prodotto della musica difficilmente ascoltabile. Questa evoluzione della musica occidentale era basata più su posizioni ideologiche dei compositori che sulla sensibilità musicale.

Conclusioni

Il piacere all'ascolto della musica è legato al fatto che le note sono definite da una scala nella quale le loro frequenze hanno relazioni semplici. Abitudini all'ascolto e culture differenti possono portare a godere di combinazioni leggermente differenti di questi suoni, ma rimane il forte vincolo di una base fisiologica e psicologica che non fa discostare di molto le varie scale musicali da quella usata nella musica tonale occidentale.

Da quanto detto, sembrerebbe che le atonalità, le note fuori scala, siano da eliminare in una composizione musicale sulla base di considerazioni di tipo fisico, neurologico e psicologico. In realtà la situazione è molto più sfumata. Per utilizzare una metafora culinaria, l'uso delle note fuori scala è un po' come quello delle spezie in cucina. Sono molto utili per accendere l'interesse su qualche cosa che altrimenti sarebbe banale, ovvia, prevedibile. Ogni forma musicale può essere più o meno speziata secondo le abitudini e la cultura di chi la produce e di chi ne fruisce, ma così come è difficile cucinare piatti gustosi utilizzando soltanto spezie, è difficile costruire brani musicali gradevoli utilizzando esclusivamente suoni non inseriti in alcuna scala musicale.



- [1] P. A. TIPLER: *Physics*, Worth, New York (1976).
- [2] S. SAMBURY. *Il mondo fisico dei greci*, Feltrinelli, Milano (1973).
- [3] P. BALL: *L'istinto musicale*, Dedalo, Bari (2010).

Giampaolo Co': Professore associato di Fisica Nucleare presso l'Università del Salento si occupa di teorie a molti corpi applicate allo studio della struttura dei nuclei atomici.

