



tradizione e rivoluzione nell'insegnamento delle scienze

Suoni nell'orecchio

dal progetto Reinventore per la diffusione della cultura scientifica

Suggerimenti didattici per la Scuola Secondaria di 2° grado

* * *

- *Musica e Storia della scienza*
- *Matematica e coinvolgimento degli studenti*
- *Applet e simulazioni*

Musica e Storia della scienza

Il testo di Galileo riportato in antologia (“*far sonare il bicchiere*”) dà un’idea del legame profondo tra musica e storia della scienza. Questo legame al tempo di Galileo è stato esplorato da diversi autori (come lo storico della scienza Stillman Drake in *Reinassance music and experimental science*) e in specifici convegni (come *Music and science in the age of Galileo*).

Si tratta di un legame che non è specifico del rinascimento. La musica nel medioevo era associata nel “quadrivio” delle arti con l’aritmetica, la geometria e l’astronomia. E nell’età classica gli esperimenti pitagorici con il monocordo avevano insegnato che ci sono relazioni tra i fenomeni naturali che possono essere svelate ed espresse in linguaggio matematico, e non in altro modo. Un’ottima introduzione a questi argomenti è Olaf Pedersen, nel suo bellissimo libro di testo *Early Physics and Astronomy* (cfr. pag. 120-122) da cui sono tratte le considerazioni che seguono.

Secondo una tradizione unanime la parte matematica dell’antica acustica fu derivata dai Pitagorici che furono i primi a effettuare esperimenti sistematici al monocordo che rivelarono che gli intervalli musicali potevano essere caratterizzati da rapporti numerici. Teone di Smirna (circa 130 d.C.) diceva che

se la corda singola del monocordo è divisa in 4 parti uguali, il suono prodotto dall’intera lunghezza della corda forma con il suono prodotto da $\frac{3}{4}$ di corda (il rapporto è 4:3) la consonanza di una quarta.

Allo stesso modo, il rapporto 2:1 corrisponde all’ottava, e il rapporto 3:2 alla quinta. In questo modo il gran numero di scale usato nella musica greca poteva essere studiato e caratterizzato da rapporti trovati con metodi empirici. La tabella mostra, come esempio, i rapporti della scala diatonica Lidia che è molto simile alla nostra moderna scala maggiore.

Scale diatoniche			
	Lidia	Pitagorica	Moderna
1 do	1:1	1:1	1
2 re	9:8	9:8	$12\sqrt{2}^2 = 1,1225$
3 mi	5:4	81:64	$12\sqrt{2}^4 = 1,2599$
4 fa	4:3	4:3	$12\sqrt{2}^5 = 1,3348$
5 sol	3:2	3:2	$12\sqrt{2}^7 = 1,4983$
6 la	5:3	27:16	$12\sqrt{2}^9 = 1,6818$
7 si	15:8	243:128	$12\sqrt{2}^{11} = 1,8877$
8 do	2:1	2:1	$12\sqrt{2}^{12} = 2$

Tra questi intervalli la quinta (la diapente di Galileo) è una consonanza caratterizzata da un rapporto 3:2 composto da piccoli interi, mentre la settima è una dissonanza con un rapporto 15:8 composto da numeri più grandi. Ciò significa che il rapporto numerico definiva non solo la grandezza di un intervallo, ma anche la sua qualità armonica.

Queste ricerche mostrarono la legge importante che due intervalli possono essere sommati se i rapporti corrispondenti vengono moltiplicati. Per esempio, la relazione “quarta + quinta = ottava” corrisponde a $4/3 \times 3/2 = 2/1$. E similmente, due intervalli possono essere sottratti quando i rapporti corrispondenti vengono divisi.

Tali osservazioni portarono a un tentativo di costruire scale musicali da puri principi matematici. Ma poiché i Pitagorici erano riluttanti ad accettare un rapporto non basato sugli interi 1 2 3 e 4 che per loro avevano particolare importanza filosofica, essi non riuscirono ad arrivare ai valori empirici per la terza, sesta e settima riportati in tabella. La loro proposta alternativa erano i rapporti leggermente differenti della cosiddetta scala Pitagorica.

La situazione divise i greci teorici della musica in due fazioni ostili. I *canonisti* seguivano Pitagora che, secondo Boezio,

abbandonò il senso dell'udito come criterio di giudizio e fece ricorso alle divisioni del righello. Non aveva fede nell'orecchio umano, che subisce cambiamenti non solo naturalmente, ma anche in ragione di incidenti esterni e cambia con l'età... cercò invece a lungo e ardentemente un metodo con cui imparare le misure delle consonanze fisse e inalterabili.

Data la sua generale sfiducia verso l'esperienza dei sensi non fa meraviglia che Platone aderisse a questa scuola nella sua discussione della musica nella *Repubblica*. Il punto di vista opposto era degli *armonisti* che rifiutavano di cedere alle speculazioni matematiche e volevano mantenere una base empirica per lo studio della musica, senza scartare le nuove osservazioni matematiche. Il loro primo importante portavoce fu Aristossene di Tarento (320 a.C. Circa) che disse che

la voce segue una legge naturale nel suo moto, e non mette gli intervalli a caso. E con le nostre risposte noi ci adoperiamo per fornire dimostrazioni che siano in accordo coi fenomeni – in ciò diversamente dai nostri predecessori... Il nostro metodo poggia in ultima analisi sull'appello alle due facoltà di udito e intelletto. Con questo giudichiamo le ampiezze degli intervalli, con quello contempliamo le funzioni delle note.

Gli *Elementi di armonica* di Aristossene fu seguito dall'*Enchiridion harmonices* di Nicomaco di Gerusa (100 d.C.) che nella versione latina di Boezio divenne la fonte principale per la scienza medievale della musica.

Questa “diatriba” di cui sono accennate le coordinate generali si protrasse per secoli, e anche il padre di Galileo, Vincenzo Galilei, ne fu coinvolto. Galileo presenta una discussione approfondita di questi problemi, alla luce del conteggio delle vibrazioni, nei suoi *Discorsi*.

Nella notazione moderna, ben temperata, l'intervallo di un'ottava è diviso in dodici parti con le potenze della radice dodicesima di 2.

Matematica e coinvolgimento degli studenti

Le considerazioni precedenti forniscono molti stimoli matematici. Frazioni, costruzione di scale, uso del foglio elettronico, rapporti, potenze...

Ma poi sinusoidi, onde, moto armonico, armonici, battimenti, trasformate di Fourier... molti argomenti interessanti si possono introdurre e presentare, nei quali il legame con la musica è molto forte.

Si tratta di un legame, quello con la musica, sentito molto fortemente dagli studenti. In molti casi, si possono trovare studenti che presentano aspetti particolari, usando strumenti e anche interfacciandosi col computer, e quindi coinvolgere e delegare al tempo stesso.

Applet e simulazioni

Molto utili per la didattica sono le “applet”, ossia delle animazioni interattive. Inizialmente erano appannaggio quasi esclusivo di programmatori indipendenti che le mettevano in rete, a poco a poco si sono diffuse e oggi ci sono grandi progetti didattici di editori e università (uno è PhET capitanato dal premio Nobel Wieman) basati sulle applet.

Numerose applet su onde e acustica, suoni e vibrazioni, datate ma insuperate e free, si trovano su www.Falstad.com, sviluppate da Paul Falstad:

Tra esse, ci sembrano particolarmente raccomandabili e interessanti (si trovano cliccando su “Math and Physics Applet, e poi nella sezione “Acoustics”):

- la corda vibrante (Loaded String Applet)
- le onde in una membrana circolare (Circular Membrane Waves Applet)
- l’acustica delle vocali (Vowels Applet)
- la serie di Fourier (Fourier Series Applet, nella sezione “Signal Processing”)