



Fisica e musica

Chiara Mariotti, INFN Torino

10 settembre 2018

Fisica e Musica

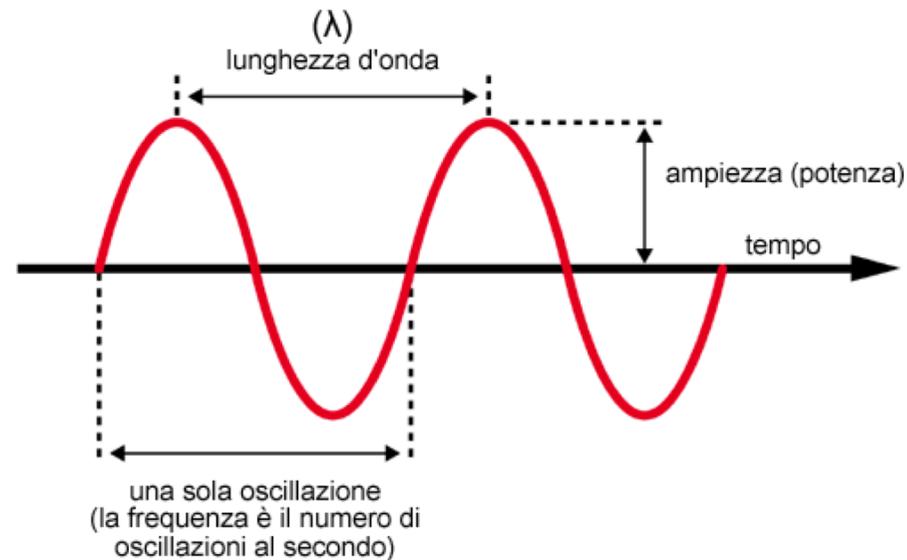


- Non è una lezione di fisica, non é una lezione di musica
 - Ho raccolto alcuni esempi su come il legame tra fisica e musica sia molto profondo
- e del perche' sono appassionanti entrambe

Grazie

- Pierluigi Paolucci
 - &
 - Domenico Vicinanza
 - Genevieve Williams
- 

Il suono



- Il **suono** (dal latino *sonus*) è la sensazione data dalla vibrazione di un corpo in oscillazione. Tale vibrazione, che si propaga nell'aria o in un altro mezzo elastico, raggiunge l'apparato uditivo dell'orecchio che, tramite un complesso meccanismo interno, crea una sensazione "uditiva" correlata alla natura della vibrazione; in particolar modo la membrana timpanica subendo variazioni di pressione entra in vibrazione.

Note e frequenze

Il nostro sistema uditivo è in grado di produrre delle sensazioni sonore solamente per un intervallo di frequenze compreso da 20 Hz fino a 20.000 Hz. Al di sotto dei 20 Hz si parla di *infrasuoni*, mentre al di sopra dei 20 kHz abbiamo gli *ultrasuoni*, l'intervallo 20 – 20 kHz determina la **banda udibile**.

I musicisti individuano le varie altezze dei suoni non con valori delle frequenze bensì con le note musicali. La frequenza usata come standard internazionale di riferimento, corrispondente al La del corista indicato con la dizione anglosassone A4, è fissata a 440 Hz. In base a questa convenzione, per calcolare la frequenza (fondamentale) delle altre note si utilizza la seguente formula:

$$f = 2^{\frac{N}{12}} \cdot f_{rif}$$

$f_{rif} = 440$ Hz

N = n° di semitoni di distanza dalla nota di riferimento

Note e frequenze

Note	ottave									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Do	16,35	32,70	65,41	130,8	261,6	523,3	1047	2093	4186	8372
Do#-Reb	17,32	34,65	69,30	138,6	277,2	554,4	1109	2217	4435	8870
Re	18,35	36,71	73,42	146,8	293,7	587,3	1175	2349	4699	9397
Re#-Mib	19,45	38,89	77,78	155,6	311,1	622,3	1245	2489	4978	9956
Mi	20,60	41,20	82,41	164,8	329,6	659,3	1319	2637	5274	10548
Fa	21,83	43,65	87,31	174,6	349,2	698,5	1397	2794	5588	11175
Fa#-Solb	23,12	46,25	92,50	185,0	370,0	740,0	1480	2960	5920	11840
Sol	24,50	49,00	98,00	196,0	392,0	784,0	1568	3136	6272	12544
Sol#-Lab	25,96	51,91	103,8	207,7	415,3	830,6	1661	3322	6645	13290
La	27,50	55,00	110,0	220,0	440,0	880,0	1760	3520	7040	14080
La#-Sib	29,14	58,27	116,5	233,1	466,2	932,3	1865	3729	7459	14917
Si	30,87	61,74	123,5	246,9	493,9	987,8	1976	3951	7902	15804

Accordi e dissonanze

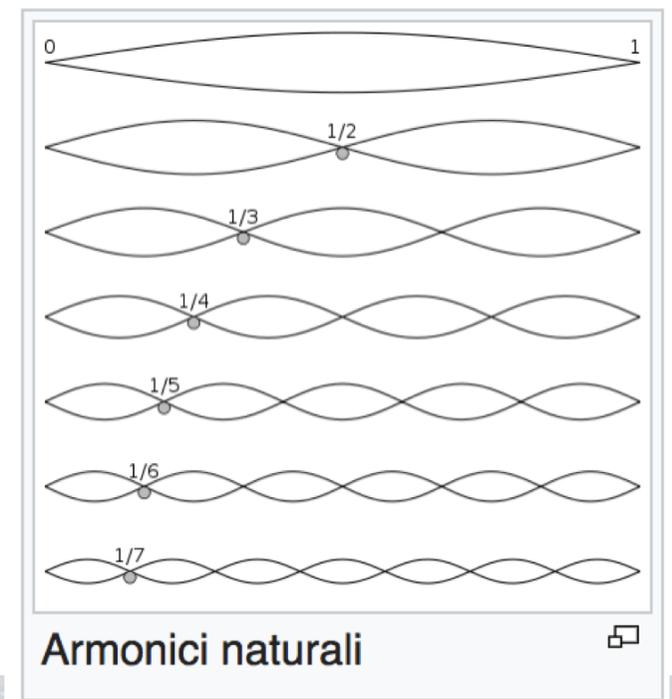
- <https://www.youtube.com/watch?v=zAxTomRGuoY>

Le armoniche

Gli **armonici naturali** sono una successione di suoni le cui frequenze sono multipli di una nota di base, chiamata fondamentale.

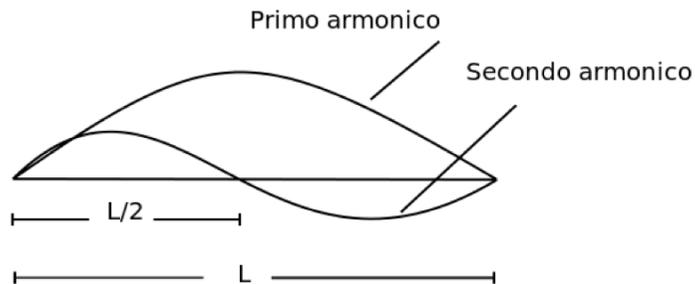
Un suono prodotto da un corpo vibrante non è mai puro, ma è costituito da un amalgama in cui al suono fondamentale se ne aggiungono altri più acuti e meno intensi: questi sono gli armonici, che hanno una importanza fondamentale nella determinazione del TIMBRO di uno strumento e nella determinazione degli intervalli musicali.

I suoni armonici corrispondono ai possibili modi normali di oscillazione di un corpo sonoro (secondo un moto armonico).



Armoniche

Ad esempio, se una corda di lunghezza L emette un Mi (primo armonico), la stessa corda vibra con meno intensità anche a frequenza doppia (pari alla lunghezza $L/2$, secondo armonico), emettendo un Mi all'ottava superiore, e così via, suddividendo la lunghezza d'onda in multipli interi $L/3$, $L/4$, eccetera.



La serie armonica naturale è la seguente:

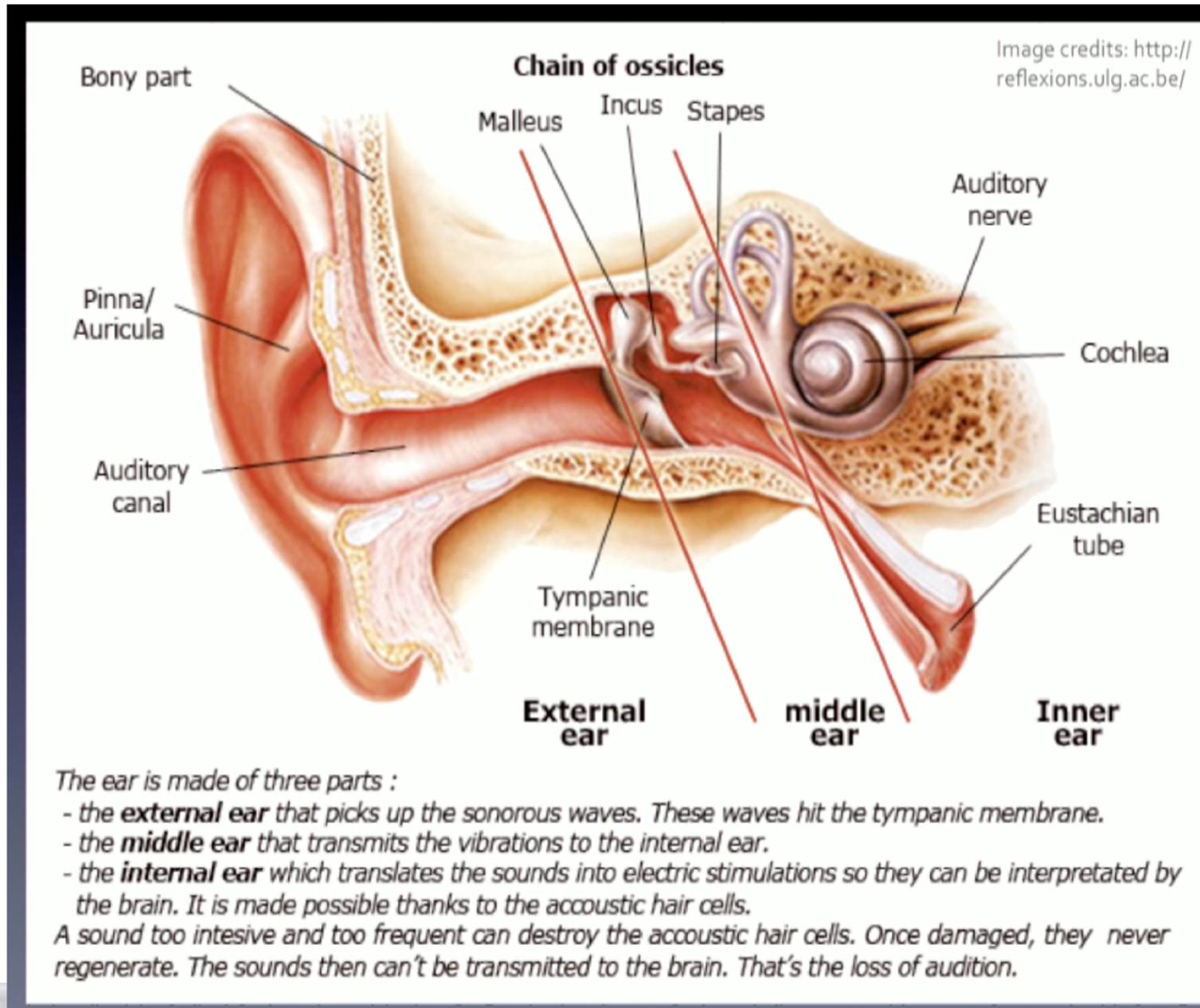
i suoni armonici

Il diagramma musicale mostra la serie armonica naturale in una staffa di basso. Le note sono numerate da 1 a 16. Le deviazioni in cents rispetto alla scala temperata sono indicate sopra le note: +2*, -14, +2, -31, +4, -14, -49, +2, +40, -31, -12.

Numero	Intervallo (cents)
1	0
2	0
3	+2*
4	-14
5	0
6	+2
7	-31
8	0
9	+4
10	-14
11	-49
12	+2
13	+40
14	-31
15	-12
16	0

* in cents, confrontati con la scala temperata

Come funziona l'orecchio....



Come funziona l'orecchio

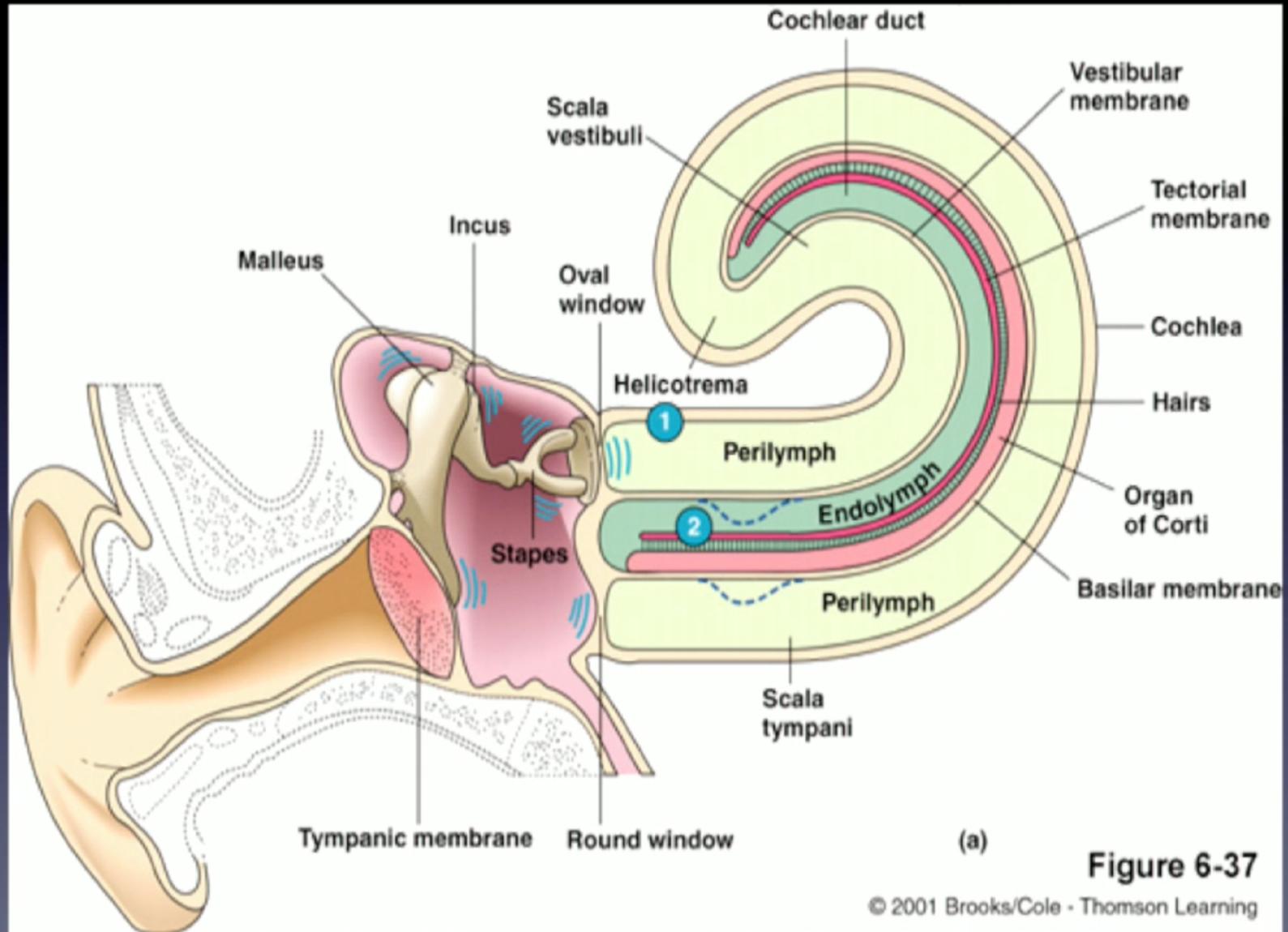
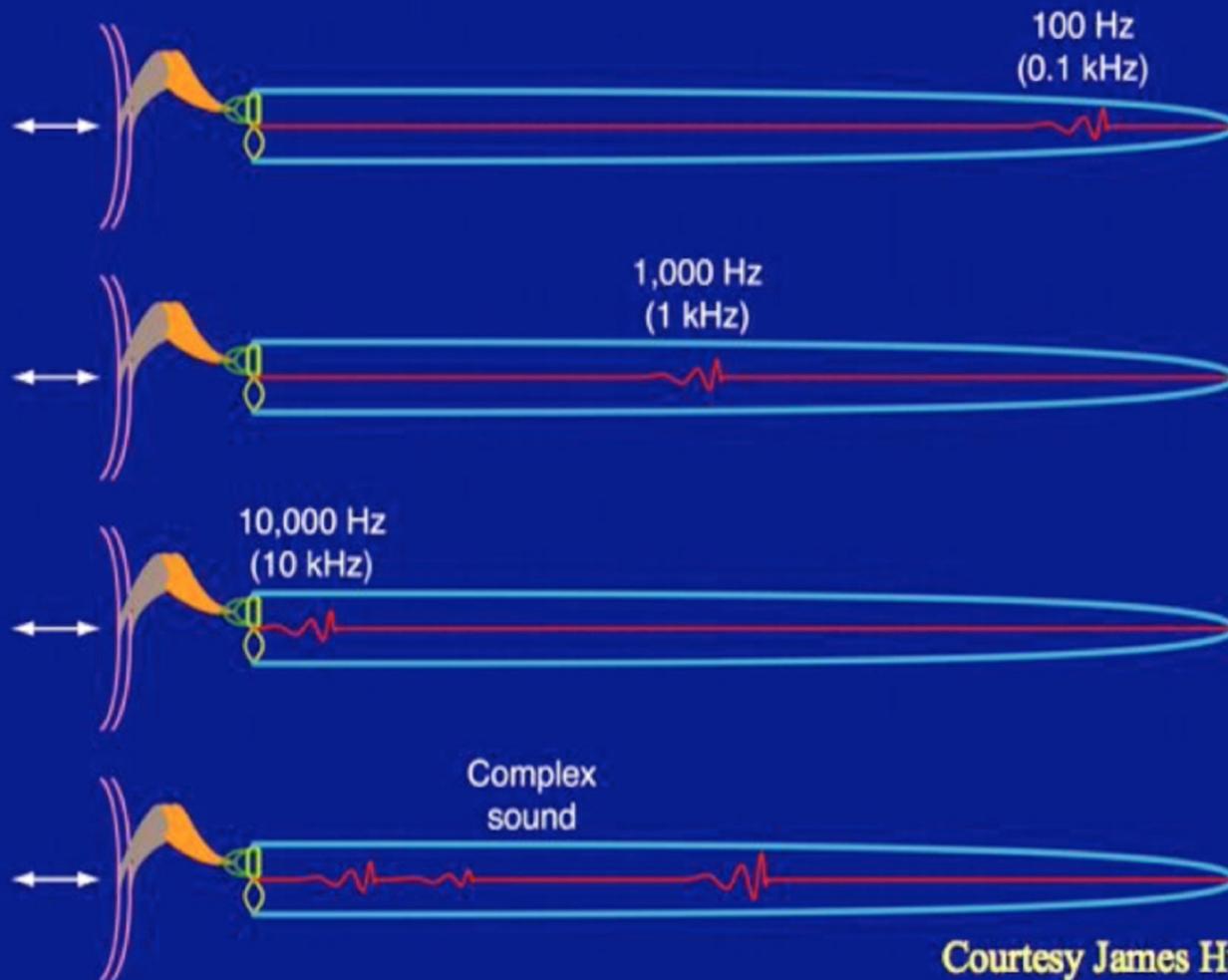


Image credits: <http://www1.appstate.edu/>

Multi suoni in parallelo

Frequency coding by place on the cochlea



Courtesy James Hudspeth

Sonificazione

La sonificazione è la rappresentazione di dati sotto forma di segnali acustici ai fini della trasmissione o della percezione delle informazioni.

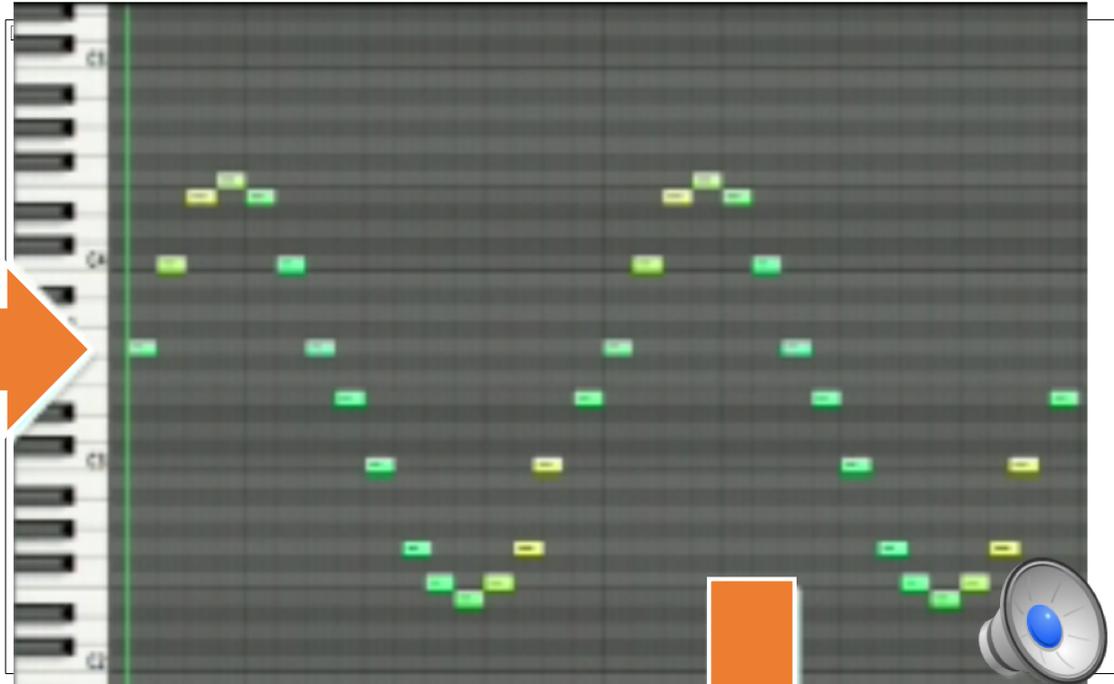
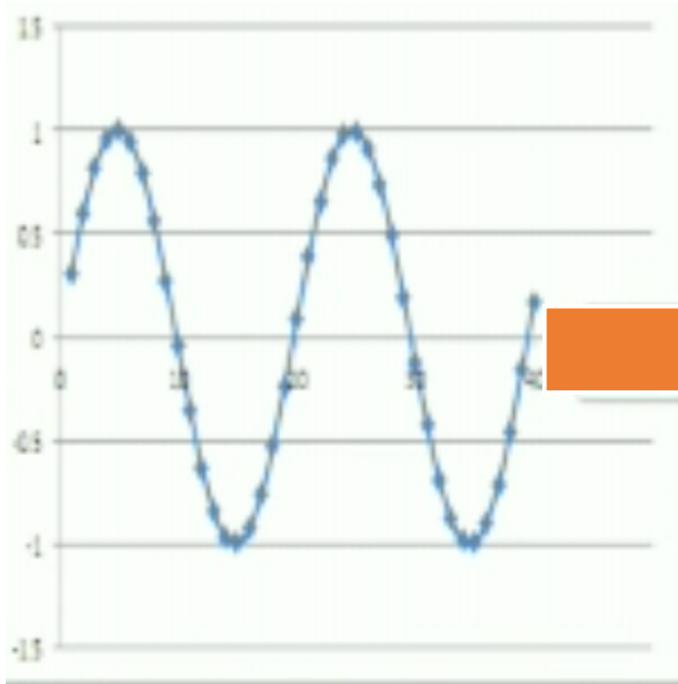
Permette a un individuo di percepire le strutture per via acustica, rappresentare relazioni o per identificare e seguire determinate regole.

La tecnica di sonificazione dei dati può essere considerata un mezzo sonoro per esaminare numeri, parole e dati, usando le orecchie per scoprire schemi e comportamenti.

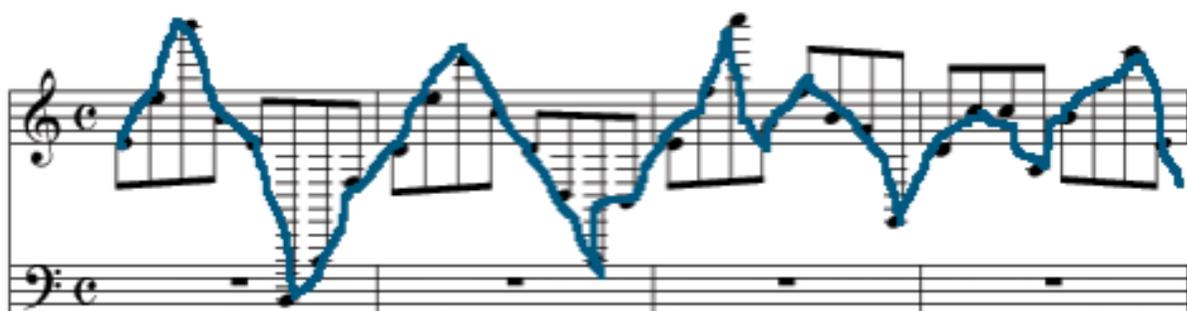
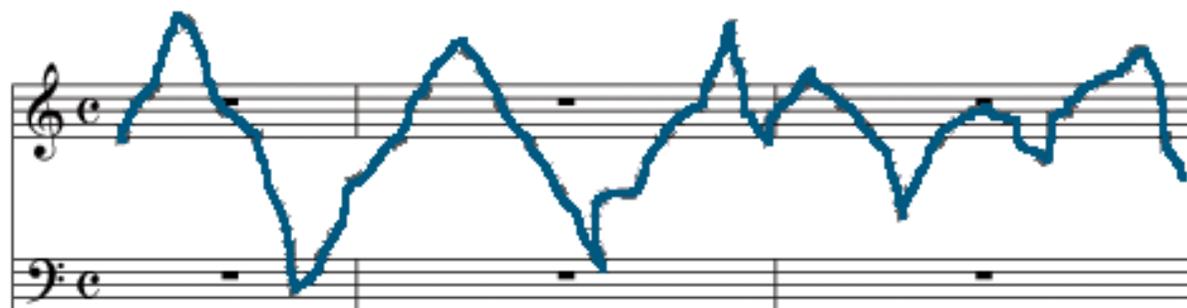
La sonificazione funziona associando una nota musicale a ogni dato. Di modo che, quando si ascolta la melodia risultante, si sentono effettivamente i dati. Gli intervalli tra i valori dei dati sono correlati all'intervallo tra le note della melodia. Lo stesso valore numerico è associato alla stessa nota. Quando i valori aumentano o diminuiscono, l'intonazione delle note aumenta o diminuisce di conseguenza. In questo modo, una certa regolarità nei dati scientifici può naturalmente produrre la melodia: se i dati sono periodici la sonificazione sarà una melodia che avrà la stessa periodicità e la regolarità.

→ analisi dei dati con l'udito

Dati regolari → melodia regolare



Dal sismogramma alla melodia...

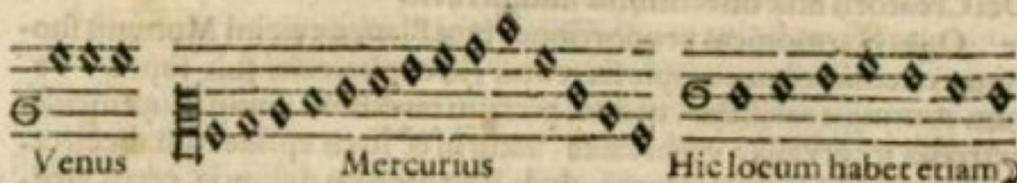
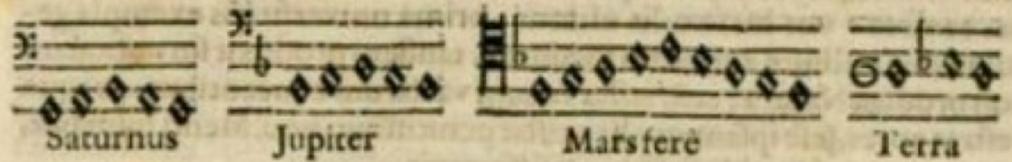


Keplero: il suono dei pianeti

- I pianeti non suonano ovviamente: affinché il suono si diffonda c'è bisogno di un mezzo dove propagarsi.
- Keplero trovò, sorprendentemente, che la differenza fra la massima e la minima velocità angolare dei pianeti nella loro orbita approssima una proporzione armonica:
- **la massima velocità angolare e la minima velocità angolare della Terra misurate dal Sole variano di un semitono (cioè sono in rapporto 16:15).**
- **In Marte il rapporto delle velocità angolari all'afelio e perielio è 2/3 cioè un rapporto di quinta come sol-do)**
- Viste queste variazioni, Keplero deduce che raramente vi sarà una consonza perfetta fra le musiche prodotte dalle sfere, tuttavia nota che per tutte le coppie di pianeti vicini eccetto una (la coppia Marte-Giove), i rapporti fra le rispettive velocità angolari approssimano intervalli musicali consonanti con un margine di errore minore di un semitono (un intervallo di 25:24).
- **Dopo una lunga digressione astrologica, Keplero, analizzando questi rapporti giunge a formulare la terza legge sul moto planetario nel capitolo V.**

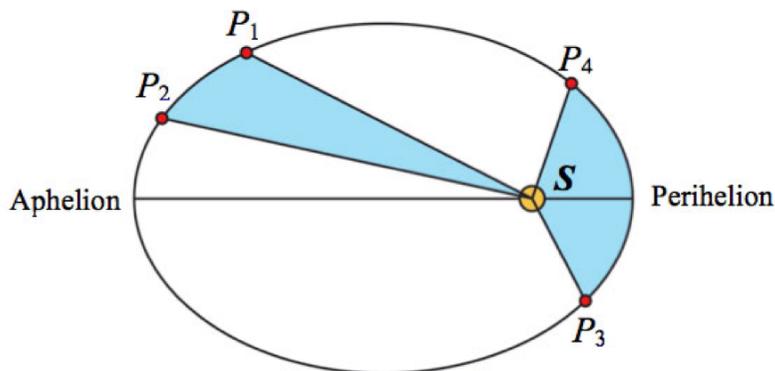
omnia (infinita in potentia) permeantes actu: id quod aliter à me non potuit exprimi, quam per continuam seriem Notarum intermedia-

CAP. VI



rum. Venus ferè manet in unisono non æquans tensionis amplitudine vel minimum ex concinnis intervallis.

Atqui signatura duarum in communi Systemate Clavium, & formatio sceleti Octavae, per comprehensionem certi intervalli concinni, est rudimentum quoddam distinctionis Tonorum seu Modorum: sunt ergo Modi Musici inter Planetas dispersiti. Scio enim, ad forma-



La terza legge di Keplero

« I quadrati dei tempi che i pianeti impiegano a percorrere le loro orbite sono proporzionali al cubo delle loro distanze medie dal sole. »

« Il senso della bellezza »

La componente estetica ha guidato la ricerca scientifica non solo di Keplero ma degli scienziati di tutte le epoche, inclusa quella contemporanea. L'estetica e l'eleganza formale di una formula matematica è difficilmente apprezzabile da un vasto pubblico. Tuttavia la musica ci permette di visualizzare acusticamente rapporti numerici. Per esempio $3/2$ (rapporto chiave nella terza legge di Keplero*) in musica si ascolta con estremo piacere essendo un rapporto di 5a (come l'intervallo do-sol).

Paul Dirac:

«La bellezza di un'equazione è più importante della sua esattezza, nel senso che se un'equazione è bella, prima o poi si dimostrerà esatta»

Storia di una scoperta



- <https://videos.cern.ch/record/2160885>



Movimenti e musica



- Applicazioni nella fisioterapia e nella medicina:
- Arduino



Pensieri



Fare fisica e fare musica: parallelismi.

La fisica usa il linguaggio della matematica, la musica quello del solfeggio che è rigoroso come quello della matematica.

Il fisico cerca di comprendere le leggi della natura attraverso un lavoro minuzioso, ma senza immaginazione o intuizione non fa progressi. Per suonare, il musicista deve avere una tecnica ben sviluppata, ma deve essere capace di interpretare ed esprimere i sentimenti,

Nelle due discipline, si cerca di andare al di là delle formule e degli spartiti, e di scoprire nuovi territori.

In fisica cerchiamo le simmetrie che ci sono in natura, ma niente è simmetrico!

La musica è bella se ci sorprende.

Gli artisti e gli scienziati hanno lo stesso fine: capire l'universo e l'uomo, ma utilizzano strumenti diversi. I nostri laboratori sono differenti:

Hanno anche gli stessi approcci: hanno un interrogativo, immaginano un metodo per arrivare alla risposta, affrontano un lavoro tecnico per sviluppare gli strumenti e infine presentano i risultati.





Primo Levi ha detto: «La distinzione tra arte, filosofia, scienza non la conoscevano Empedocle, Dante, Leonardo, Galileo, Cartesio, Goethe, Einstein, né gli anonimi costruttori delle cattedrali gotiche, né Michelangelo; né la conoscono i buoni artigiani di oggi, né i fisici esitanti sull'orlo del conoscibile»

Werner Heisenberg : «Si crede chissà perché che la scienza voglia dire applicazione automatica della logica e di leggi prefissate. Invece, l'immaginazione ha un posto decisivo nella scienza, e soprattutto nelle scienze della natura. Infatti, è vero che i fenomeni si studiano solo con esperimenti attenti e sistematici, ma la comprensione dell'organizzazione dei fenomeni è cosa che richiede più immaginazione che pensiero logico.»

Gli sforzi per andare al di là di quello che conosciamo, del modello matematico o fisico, dello spartito musicale, e' il motore che ci fa progredire.



Un link affascinante:

- <http://www.openculture.com/2016/07/the-secret-link-between-jazz-and-physics-how-einstein-coltrane-shared-improvisation-and-intuition-in-common.html>

