

Fisica & Musica

Natura e cultura nella poetica musicale

Sergio Giudici
Università di Pisa
dip. di Fisica "Enrico Fermi"
email: sergio.giudici@df.unipi.it



Una precisazione sul sottotitolo...

Alcune cose sono naturali , altre sono culturali.
Esempio: nutrirsi (naturale) , cucinare (culturale)



L'opposizione bianco e nero è naturale o culturale ?

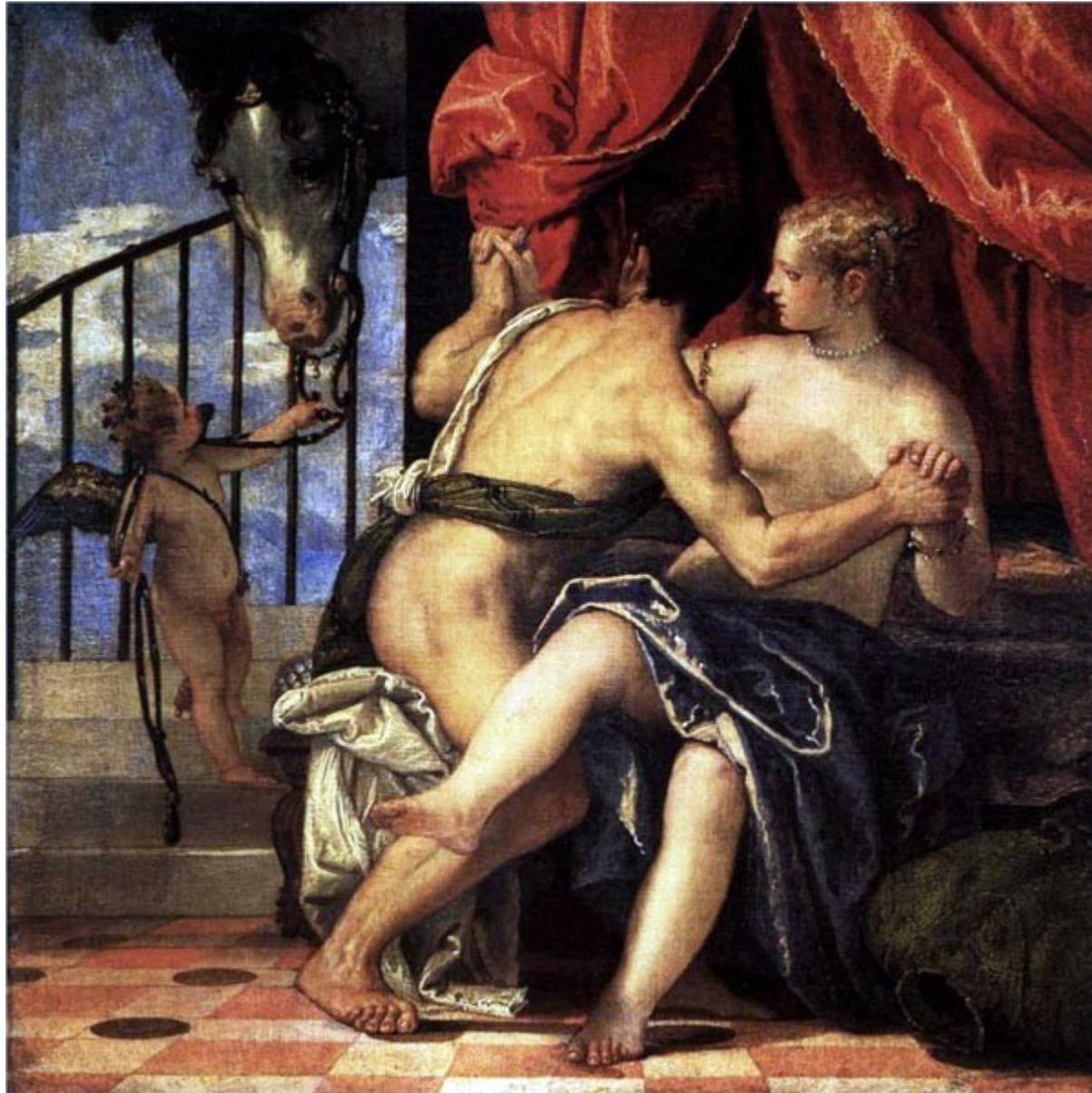
Le regole musicali sono “convenzioni culturali” o riflettono strutture naturali ?

L'estetica musicale ha un fondamento naturale ?

Perché parlare di musica è difficile ?

- La musica è asemantica : non c'è denotazione. La musica non indica oggetti, al più evoca sentimenti.
- La musica sembra un linguaggio ma non lo è !
- Imparare a leggere la musica costa tempo e fatica
- Molti non possiedono il lessico adeguato per descrivere una esperienza musicale.

Esperimento: Descrivete questo quadro



Paolo Veronese (1570 ca.), Galleria Sabauda, Torino

Ora descriviamo questo...

Fuga in Sol minore "Piccola" (BWV 578)

J.S. Bach (1685-1750)

The image displays a musical score for the Fuga in Sol minore "Piccola" (BWV 578) by J.S. Bach. The score is written for a single melodic line, likely for a harpsichord or organ. It features a complex, rhythmic melody with many sixteenth and thirty-second notes. The key signature is one flat (F major or D minor), and the time signature is 4/4. The score is presented in a single system with a treble clef and a key signature of one flat. A small musical note icon is positioned below the score.



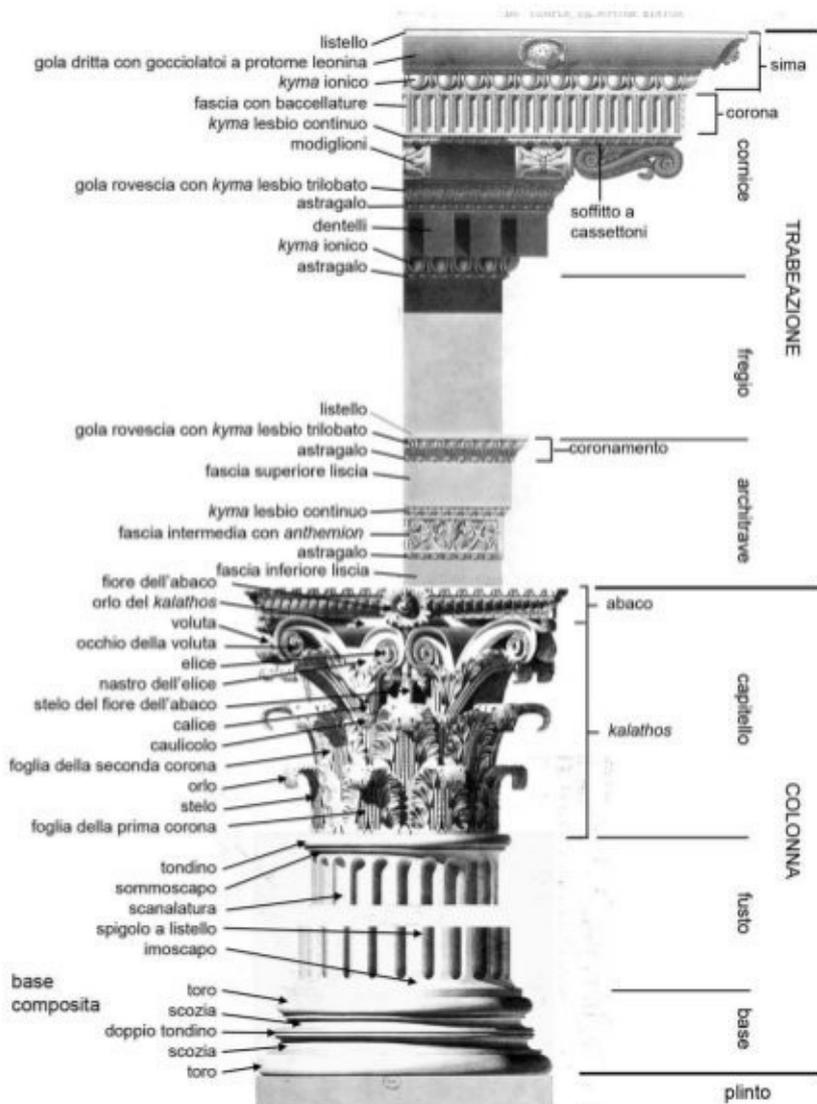
Fuga in Sol minore "Piccola" (BWV 578)

J.S. Bach (1685-1750)

- A = soggetto, soprano, (sol minore. Note lunghe all'inizio poi velocizzate)
- B = risposta, contralto, (re minore una quarta sotto)
- C = soggetto, tenore (sol minore = una quinta sotto)
- D = risposta, basso, (re minore = una quarta sotto)

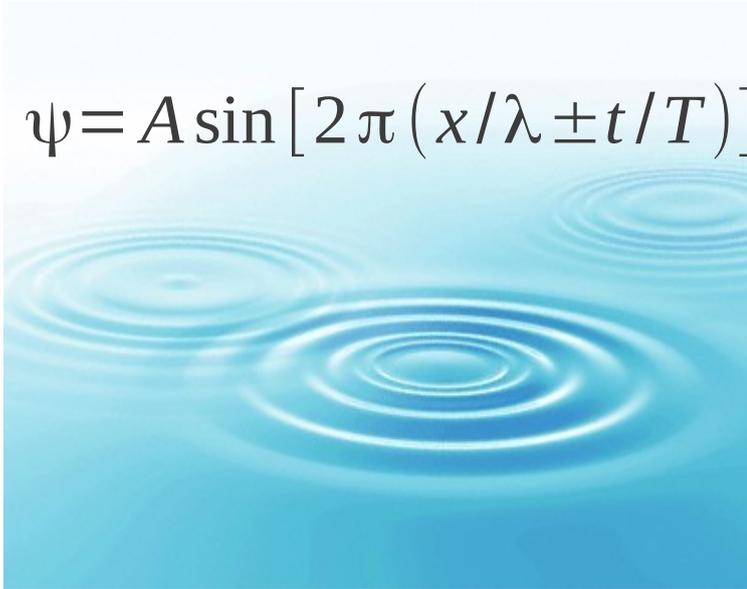


Notate il contro-soggetto (semi-crome a disposizione simmetrica)



La natura Ondulatoria del Suono

$$\psi = A \sin [2 \pi (x/\lambda \pm t/T)]$$



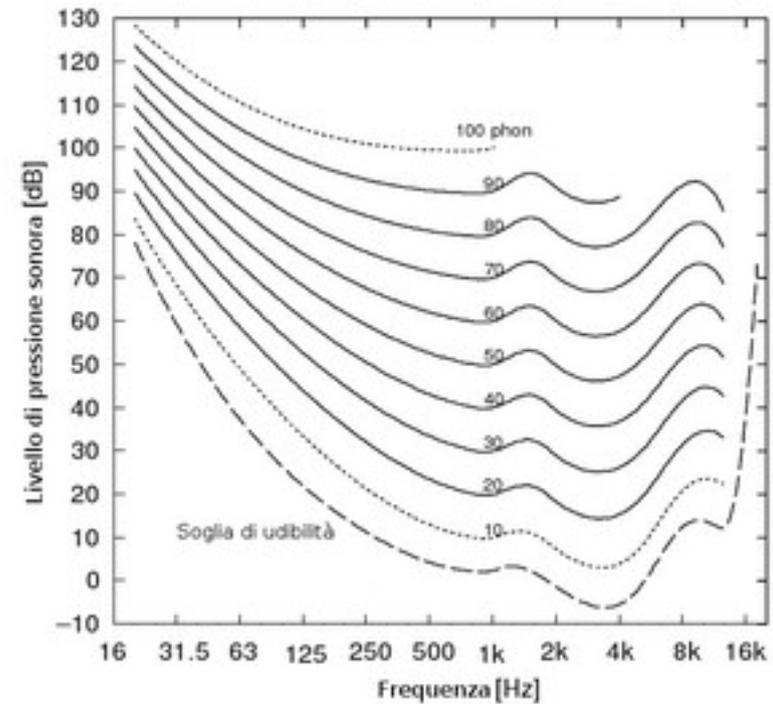
A = ampiezza

T = periodo

$\nu = 1/T$ frequenza

λ = lunghezza d'onda

$$\nu = \lambda \nu = 330 \text{ m/s}$$

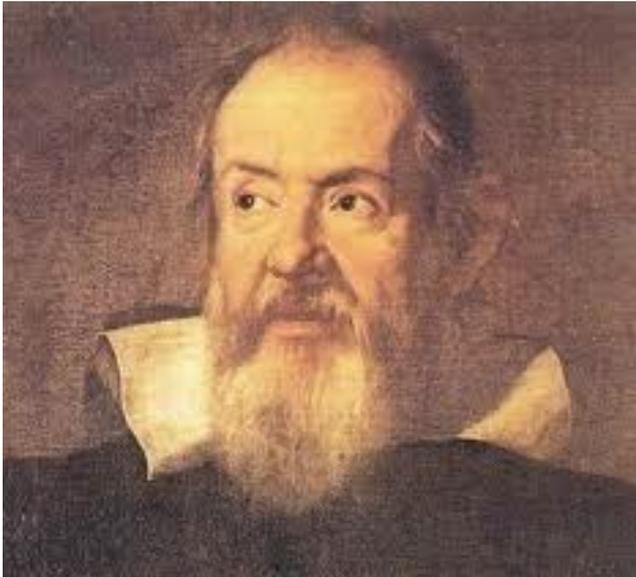


L'orecchio umano percepisce le frequenze
Tra 16 e 20000 Hz

Il suono è un'onda longitudinale di pressione

Origine del Suono

Musica & Rivoluzione Scientifica



<<Tre sono le maniere con le quali noi possiamo inacutire il tuono di una corda: l'uno è lo scorciarla; l'altra, il tenderla più, o vogliam dir tirarla; il terzo è assottigliarla. Ritenendo la medesima tiratezza e grossezza della corda, se vorremo sentir l'ottava, bisogna scorciarla la metà ... ma se ritenendo la medesima lunghezza e grossezza vorremo farla montare all'ottava non basta tirarla il doppio ma ci bisogna il quadruplo >>

(Galileo, Discorsi intorno a due nuove Scienze, 1638)

Legge di Pitagora-Galileo

ν = frequenza di vibrazione

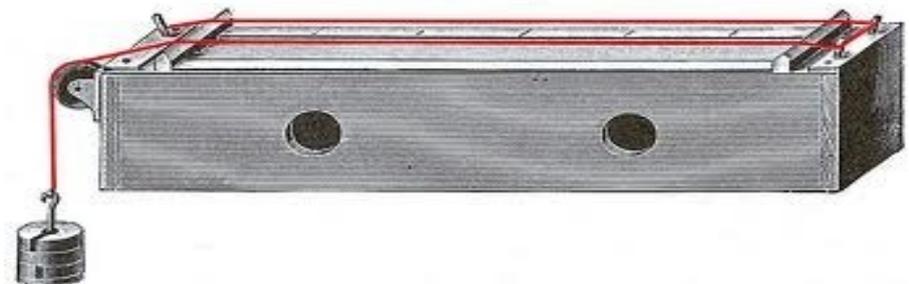
L = lunghezza della corda

Mg = Forza peso: tensione della corda

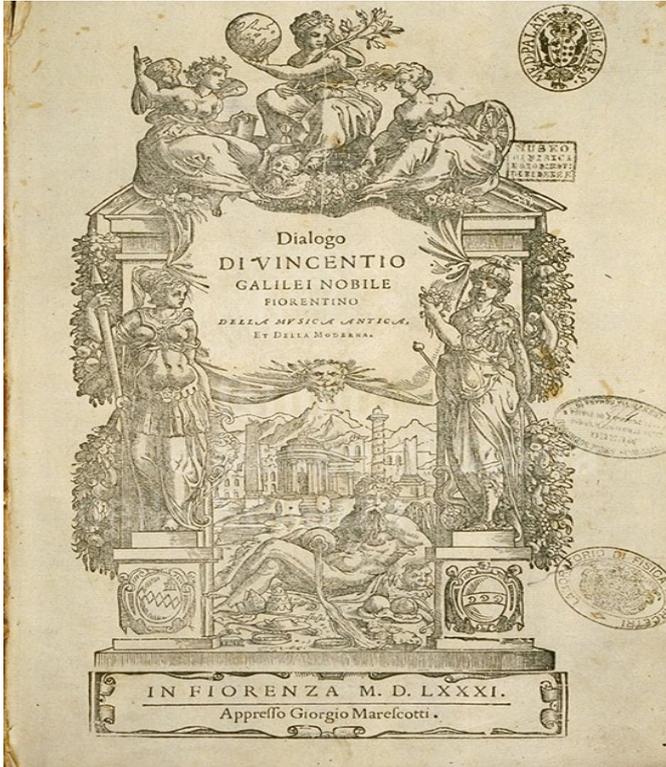
ρ = densità della corda

S = sezione della corda

$$\nu = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{mg}{\rho} S}$$



Vincenzo Galilei (1520 – 1591)



Compositore, Liutista e Teorico Musicale, figura importante nella vita musicale del **tardo Rinascimento** e contribuì in maniera significativa alla rivoluzione musicale che porterà alla nascita della musica Barocca.

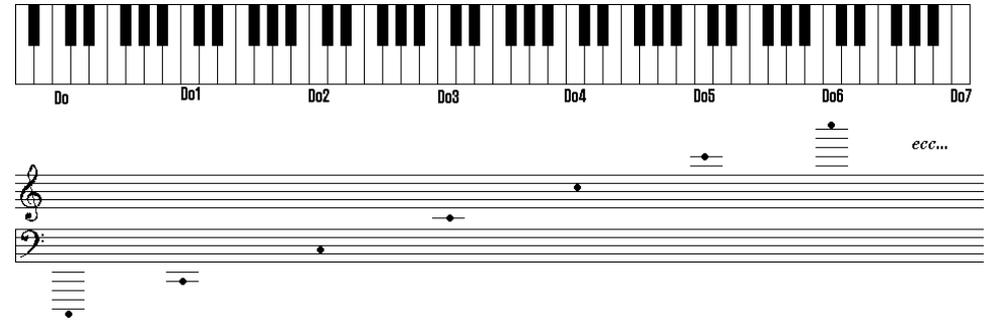
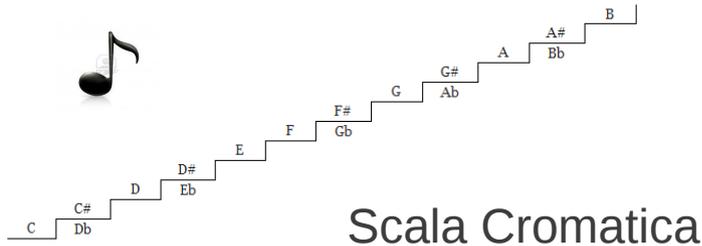
Membro della **Camerata de' Bardi** → recupero della musica antica e del teatro classico → nascita dell'Opera Lirica

Tra il 1570 e il 1580 si occupa di teoria musicale: **Intonazione** degli strumenti, trattamento delle **consonanze e dissonanze** → Basi fondamentali per la musica Barocca successiva

Fisica Acustica: intuì la presenza di **non linearità** nella relazione esistente tra tensione di una corda e frequenza della sua vibrazione

Vincenzo tratta i problemi d'intonazione (soprattutto di terze e seste) con metodo sperimentale, Eseguendo misure sul monocordo → Educazione Scientifica del figlio Galileo !

Discretizzazione dello spettro sonoro scala a 12 gradini (Musica occidentale)



Nonostante si percepisca una “PROGRESSIONE LINEARE”,
le frequenze non seguono una progressione aritmetica
Seguono una progressione geometrica

Gamma di suoni usati nella musica
Occidentale (Scala cromatica temperata
XVIII secolo)

$$x_{n+1} = \sqrt[12]{2} x_n$$

$$\log_2(x_{n+1}) = \frac{1}{12} + \log_2(x_n)$$



Ottava 2 : 1

Questioni:

1. La discretizzazione logaritmica è Naturale o Culturale ?
2. Perché Il solo rapporto intero è quello tra suoni all'ottava ?
3. Perché l'ottava è divisa in 12 note ?
4. Perché ci dicono che le note sono 7 ?

Alcune scale di area europea-mediterranea

modo ionico: scala maggiore



modo frigio: scala minore



scala napoletana maggiore



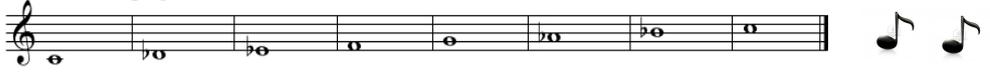
scala araba



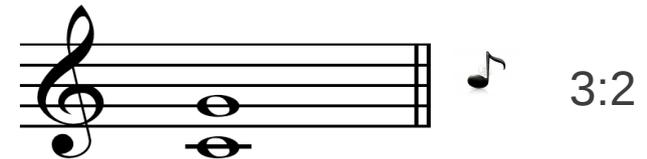
scala ungherese minore



scala spagnola



Le scale hanno in comune
Il quinto grado (intervallo di Quinta)
e l'ottavo grado (intervallo di Ottava)



Nel sistema di intonazione Pitagorico
i rapporti sono numeri razionali

Discretizzazione dello spettro sonoro a 18/24 gradini (Musica Araba)

Scala a terzi di tono (XIII sec.)



$$x_{n+1} = \sqrt[18]{2} x_n$$

Verso il XIV secolo diventa a 24 gradini

$$x_{n+1} = \sqrt[24]{2} x_n$$

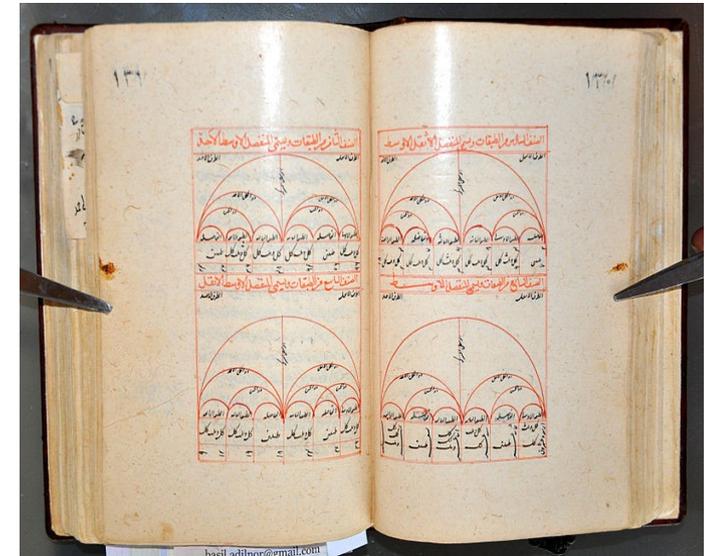
da cui si estraggono scale (maqam) di 8 note

Esempio : **Maqam Sabah**



Assolo in **Sabah** 

Gli arabi percepiscono questa scala come meditativa, malinconica, introspettiva



Safi al-Din al-Urmawi (1216 - 1294)
Teorico Musicale Arabo Baghdad

Legge di Weber (1860)

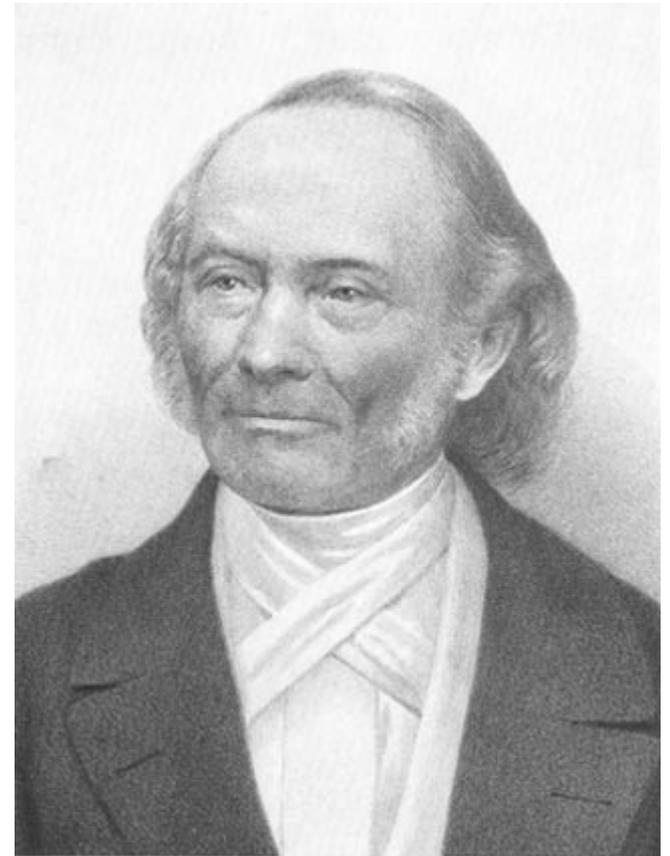
La percezione è proporzionale al logaritmo dello stimolo

$$P = k \log (S / S_0)$$

La percezione segue una crescita lineare (progressione aritmetica) se lo stimolo cresce secondo una progressione geometrica



Scala in progressione geometrica



E. H. Weber.

Ernst Heinrich Weber (1795 -1878)
fisiologo e anatomista tedesco, fondatore
della psicologia sperimentale.

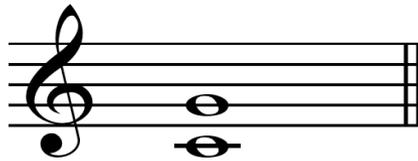
Consonanze e Dissonanze



2:1

$$\sqrt[12]{2^{12}} = 2$$

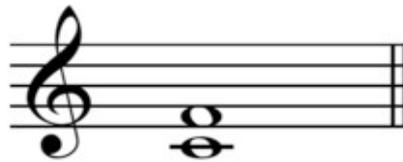
Consonanza perfetta



3:2

$$\sqrt[12]{2^7} = 1.4983$$

Consonanza perfetta



4:3

$$\sqrt[12]{2^5} = 1.3348$$

Consonanza perfetta per i teorici antichi, **debolmente dissonante** per i moderni



5:4

$$\sqrt[12]{2^5} = 1.2599$$

Dissonanza per gli antichi.
consonanza per i moderni



16:15

$$\sqrt[12]{2} = 1.0596$$

La più forte **dissonanza**
Tipico esempio di “**note dolenti**”

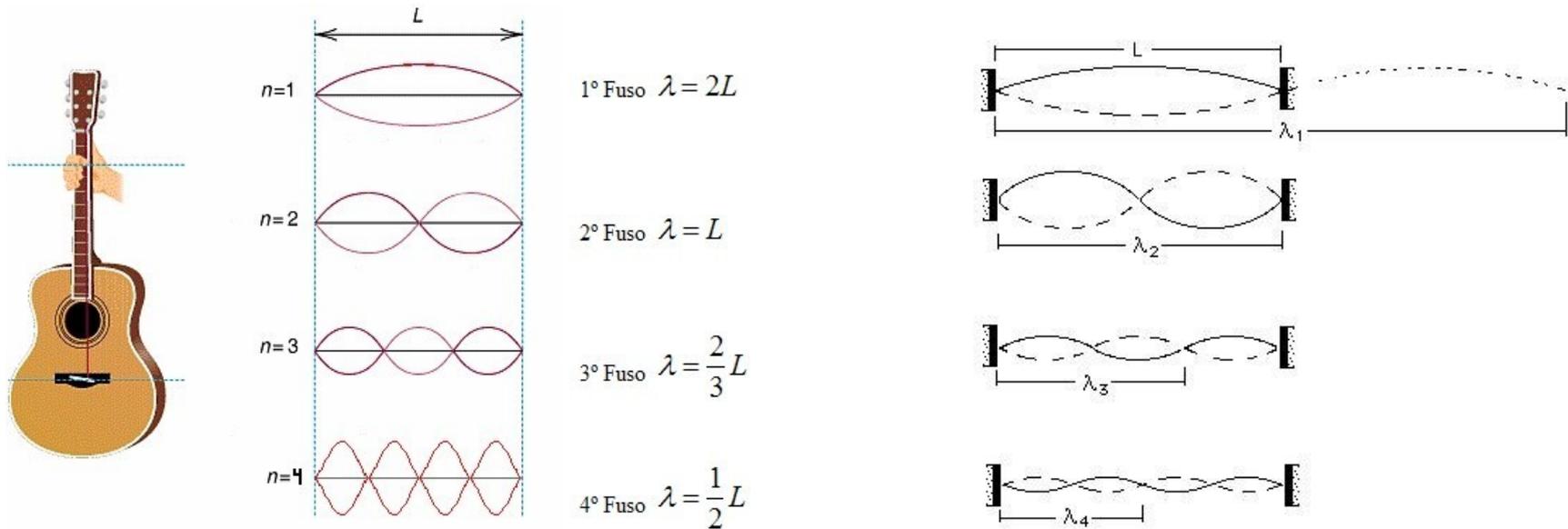
♪ Esempio: Claudio Monteverdi (1567 – 1643)
Lamento di Arianna (5 voci)

♪ Esempio: Lamento di Arianna (Voce sola)

Questioni:

1. Natura o Convenzione nella distinzione Consonanza/dissonanza ?
2. Esiste una Teoria della consonanza ?

Onde stazionarie – Suoni armonici

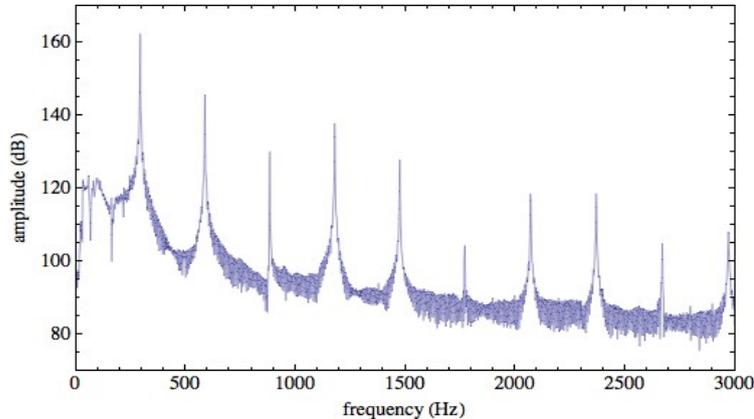


Le lunghezze d'onda permesse in una corda a estremi fissi sono tali che $L = n \lambda / 2$
 Quindi le frequenze possibili sono multipli interi della frequenza fondamentale

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \pm \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} + O(\psi^2, \text{etc...}) = 0 \quad \Rightarrow \quad \nu_n = n \nu_1$$

Le frequenze sono multipli interi **ammesso** che l'equazione sia trattabile come lineare

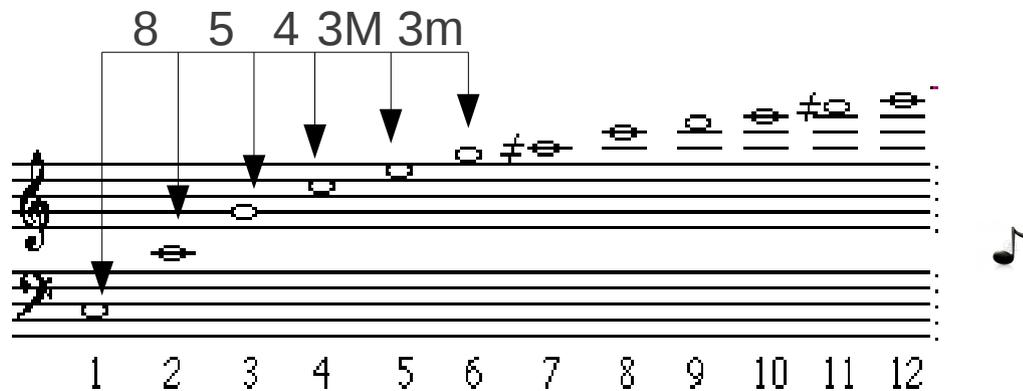
Onde stazionarie -Suoni Armonici



Esempio di spettro armonico:
I picchi in posizione equi-spaziata
Corrispondono ai suoni armonici

$$\psi = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(2\pi \nu_k t)$$

Ogni suono che udiamo è in realtà una molteplicità di frequenze che risuonano insieme
Il nome che diamo ad una nota è quello della prima nota della serie (frequenza fondamentale)



I primi tre armonici “spiegano” le consonanze perfette
Identificate da Pitagora nei rapporti **2:1** ; **3:2** ; **4:3**

Ad ogni numero primo compare una nuova nota !

L'armonia antica “sente” come consonanti gli intervalli formati dalle prime 4 note della serie

L'armonia moderna “promuove” la 5 nota della serie al rango di consonanza negli intervalli di terza maggiore e di terza minore.



La storia del linguaggio musicale (occidentale) appare come una progressiva “emancipazione della dissonanza” (A. Schoenberg)

Orchestratura di Armonici

Richard Strauss, Op. 30.
Klavier-Partitur von K. Schmalz.

Sehr breit. $\text{♩} = 69.$

pp tremolo

feierlich.

immer breiter.

ff tremolo

ff *dim.*

pp

Famoso incipit ottenuto usando i primi Quattro suoni armonici combinato con ambiguità modale (maggiore-minore)

Batt. 1-4 : Informe magma sonoro (pianissimo e tremolante)

Batt. 5-15: Il motivo **do-sol-do** viene ripetuto 3 volte... come per cercare di farne qualcosa Finalmente alla terza ripetizione qualcosa è stato trovato (la tonalità di Do maggiore !)

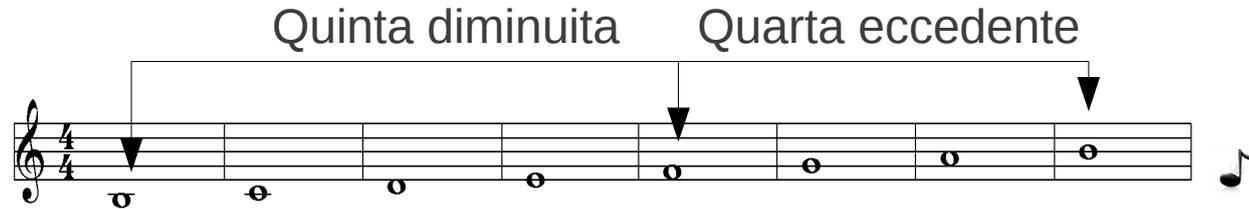
Batt. 16-17: Fanfara, si “celebra” la tonalità trovata. **Accordo di Re- 7/5 dim.** (Marchio di fabbrica del romanticismo tedesco !!!)

Batt. 18-22: cadenza perfetta (soddisfazione, fine)

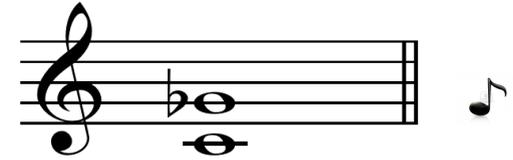
Gli intervalli di ottava, quarta e quinta esprimono il “naturale”, il “primigenio”, alludono sempre alle “origini”



Se la Quinta manca ? ... una scala innaturale



Modo Locrio



“ Diabolus in musica ”
difficile da cantare

Il rapporto tra le frequenze del quinto e del primo grado della scala vale 1.41, inferiore rispetto ai 3:2 della quinta perfetta..(quinta diminuita)

Il simbolismo “infernale” è usato spesso
Franz . Listz “Dopo una lettura di Dante” 

La scala piace anche a certa musica Heavy Metal 