

Meeting Arte & Scienza, Firenze – 22 novembre 2007

A photograph of seven small kittens of various breeds (tabby, black and white, orange, grey) sitting in a row on the white keys of a piano keyboard. The kittens are looking in different directions, some towards the camera. The piano is a light-colored upright model.

**L'espressività musicale:
problematiche percettive e
nuove proposte d'indagine**

ERICA BISESI

Università degli Studi di Udine - CIRD

L'ascolto musicale

**Che cosa accade
nel cervello
quando ascoltiamo
la musica?**

Il suono

- Da un punto di vista **fisico** il suono è una **vibrazione** che si propaga in un mezzo elastico. Perchè si produca un suono è necessaria l'esistenza di un **corpo vibrante** e di un **mezzo elastico** che trasmetta queste vibrazioni, che si propagano attraverso di esso costituendo appunto l'**onda sonora**.
- Dal punto di vista **musicale**, il suono è la **sensazione uditiva determinata da vibrazioni acustiche** (*Vocabolario Internazionale di Elettroacustica*).

Suoni:

- sensazioni gradevoli
- significato
- onde periodiche

Rumori:

- sgradevolezza o fastidio
- assenza di periodicità

Il suono

Il **fenomeno sonoro** è costituito dall'interazione di molti fenomeni diversi che avvengono su molti piani distinti

(http://fisicaondemusica.unimore.it/Percezione_del_suono.html)

- il **piano fisico** della vibrazione del mezzo e della propagazione dell'onda sonora
- il **piano fisico-fisiologico** dell'interazione tra l'onda sonora e l'orecchio
- il **piano fisiologico** della trasformazione del segnale ad opera dell'apparato sensoriale e del sistema nervoso
- il **piano fisiologico-psicologico** del riconoscimento, della cognizione del segnale, e dei suoi correlati emotivi

e, proseguendo verso la **musica**:

- il **piano cognitivo-linguistico** dell'interpretazione e attribuzione di un significato ai suoni
- il **piano linguistico-formale** del riconoscimento della struttura musicale dei suoni
- il **piano antropologico-culturale** riguardante lo sviluppo di particolari forme e linguaggi musicali da parte delle diverse società umane

Le proprietà del suono:

Parametri fisici di un'onda sonora:

♪ **ampiezza**

lo spostamento massimo delle molecole rispetto alla loro condizione di riposo, legata alla variazione di **pressione** nel mezzo

♪ **frequenza**

il numero di volte in cui avviene l'oscillazione di una molecola, nell'unità di tempo

♪ **spettro**

tutti i suoni possono ottenersi per addizione di parziali; in un grafico di questo tipo si rappresentano le ampiezze relative a ciascuna componente sonora in funzione della frequenza
la curva che si ottiene a partire dalla rappresentazione dell'onda, unendo cresta con cresta e seno con seno e che determina il profilo di una forma d'onda

♪ **inviluppo**

♪ **durata**

l'intervallo di tempo tra l'inizio e la fine fisici di un suono

Le proprietà del suono:

Parametri fisici di un'onda sonora:

♪ ampiezza

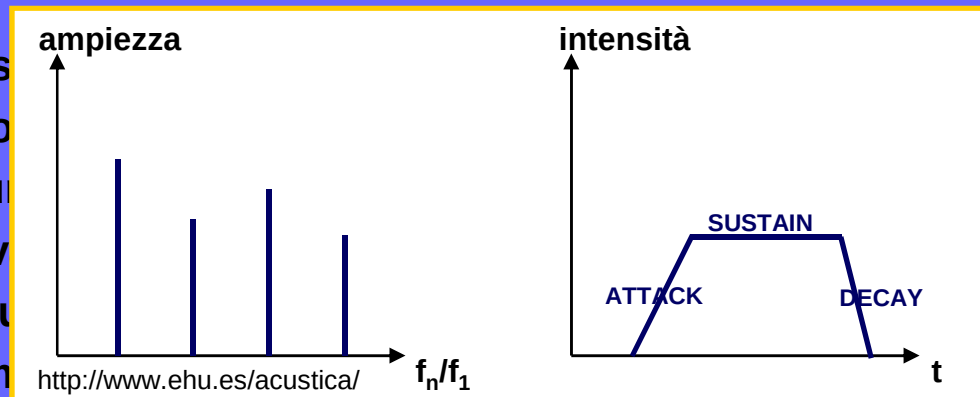
lo spostamento massimo delle molecole rispetto alla loro condizione di riposo, legata alla variazione di **pressione** nel mezzo

♪ frequenza

il numero di volte in cui avviene l'oscillazione di una molecola, nell'unità di tempo

♪ spettro

tutti i s
grafico
ciascu
la curv
onda, u
determ



in un
tive a
za
dell'

♪ inviluppo

♪ durata

l'intervallo di tempo tra l'inizio e la fine fisici di un suono

Le proprietà del suono:

Parametri fisiologici del suono:

♪ pressione → intensità

♪ frequenza → altezza

♪ spettro
 ↘
 → timbro

♪ inviluppo ↗

♪ durata → durata

suoni deboli e forti

suoni acuti e gravi

suoni di uguale frequenza e intensità, emessi da due sorgenti distinte

l'intervallo temporale in cui il suono persiste senza discontinuità

Corrispondenza tra i parametri fisici e i parametri musicali

L'**intensità** dipende principalmente dalla pressione sonora, ma anche dallo spettro delle parziali e dalla durata.

Per un suono puro, l'**altezza** è determinata principalmente dalla frequenza, ma può cambiare anche con la pressione e l'inviluppo.

Il **timbro** è originato dal fatto che, generalmente, un suono non è puro ed è caratterizzato da una sua composizione spettrale. Al tempo stesso, però, esso dipende in larga misura dall'inviluppo e dalla frequenza.

La **durata** fisica di un suono e quella percepita sono strettamente collegate tra loro, anche se non sono esattamente la stessa cosa.

Parametri musicali	Parametri fisici				Durata
	Pressione	Frequenza	Spettro	Inviluppo	
Intesità	ddd	d	d	d	d
Altezza	d	ddd	d	d	d
Timbro	d	dd	ddd	dd	d
Durata	d	d	d	d	ddd
		ddd	Fortemente dipendente		
		dd	Dipendente		
		d	Debolmente dipendente		

Corrispondenza tra i parametri fisici e i parametri musicali

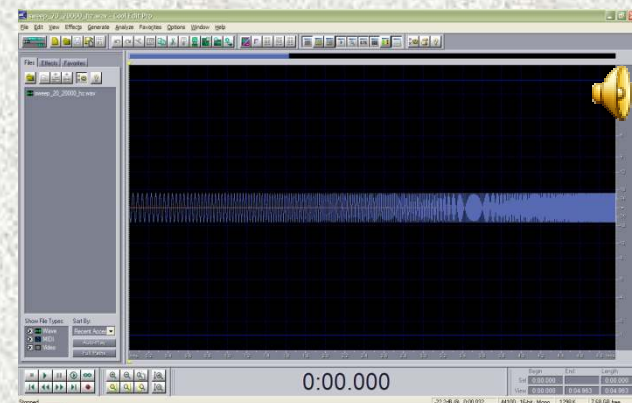
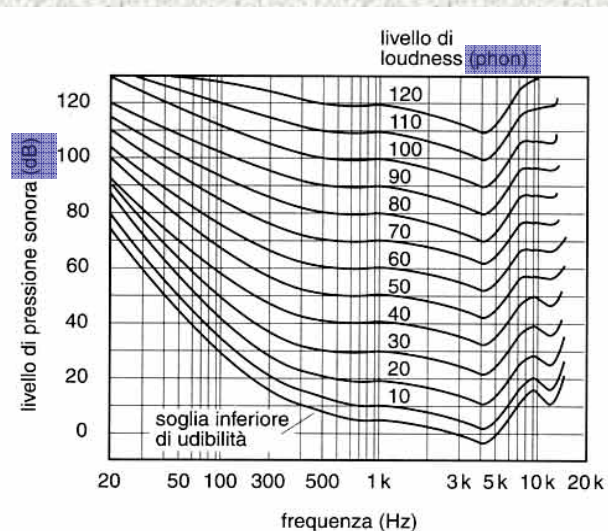
L'**intensità** dipende principalmente dalla pressione sonora, ma anche dalla frequenza e, in misura minore, dallo spettro delle parziali e dalla durata. (*)

Per un suono puro, l'**altezza** è determinata principalmente dalla frequenza, ma può cambiare anche con la pressione e l'inviluppo.

Il **timbro** è originato dal fatto che, generalmente, un suono non è puro ed è caratterizzato da una sua composizione spettrale. Al tempo stesso, però, esso dipende in larga misura dall'inviluppo e dalla frequenza.

La **durata** fisica di un suono e quella percepita sono strettamente collegate tra loro, anche se non sono esattamente la stessa cosa.

(*)



P. COOK, *Music, Cognition and Computerized Sound. An Introduction to Psychoacoustics*, MIT Press, 1999.

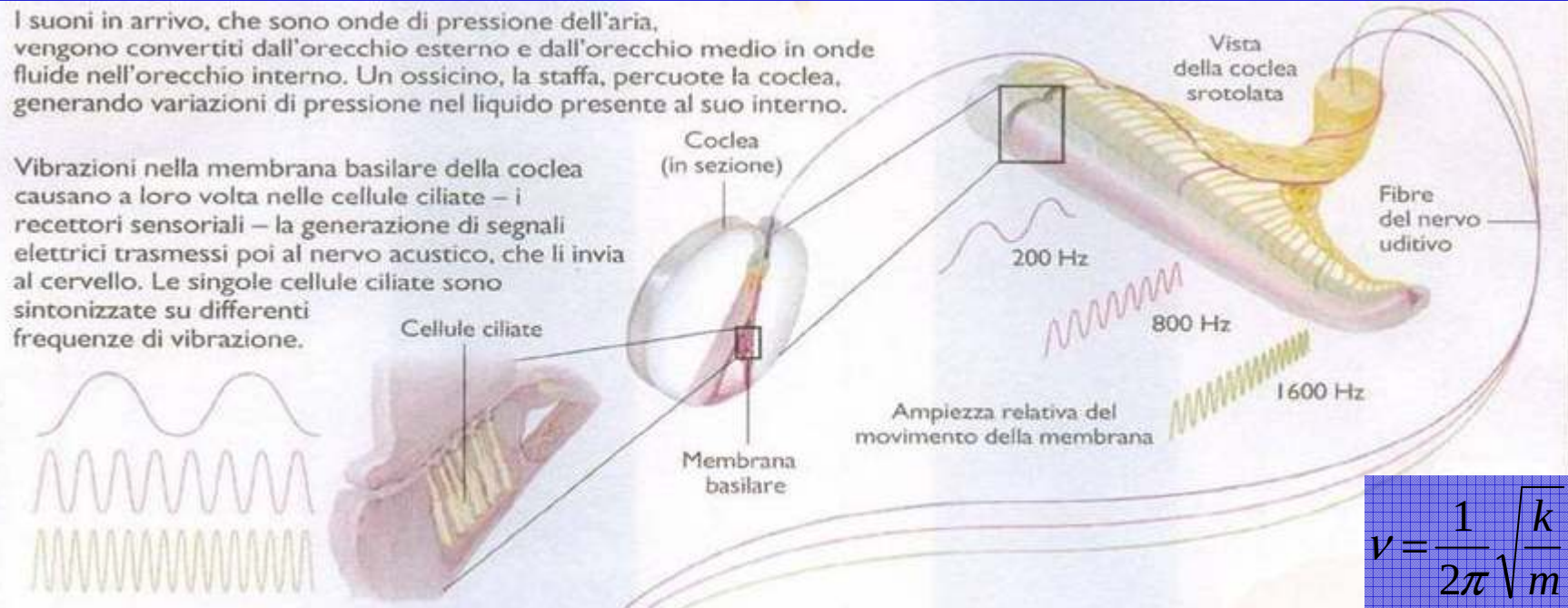
I meccanismi dell'udito:

(figure tratte da
“Mente e Cervello”, n° 14, anno III,
“La musica in testa”,
di Eckart Altenmüller)



I suoni in arrivo, che sono onde di pressione dell'aria, vengono convertiti dall'orecchio esterno e dall'orecchio medio in onde fluide nell'orecchio interno. Un ossicino, la staffa, percuote la coclea, generando variazioni di pressione nel liquido presente al suo interno.

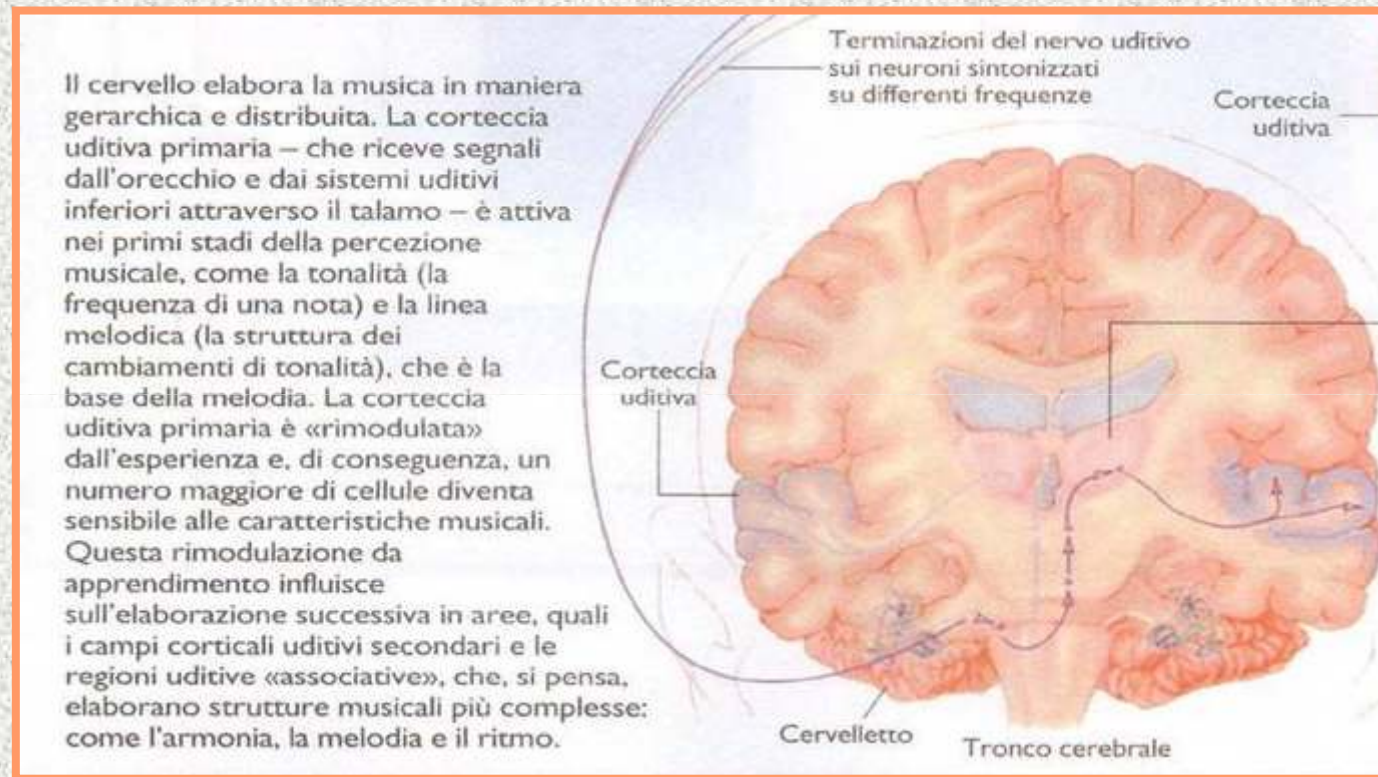
Vibrazioni nella membrana basilare della coclea causano a loro volta nelle cellule ciliate – i recettori sensoriali – la generazione di segnali elettrici trasmessi poi al nervo acustico, che li invia al cervello. Le singole cellule ciliate sono sintonizzate su differenti frequenze di vibrazione.



$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Il cervello musicale:

(figure tratte da “Mente e Cervello”, n° 14, anno III – “La musica in testa”, di Eckart Altenmüller)



Presupposti neurofisiologici dell'ascolto musicale

(tratto da “Mente e Cervello”, n° 14, anno III – “La musica in testa”, di Eckart Altenmüller)

Dopo la ricezione del suono nell'**orecchio**, il **nervo acustico** trasmette lo stimolo al **tronco cerebrale**, dove transita attraverso almeno **quattro stazioni di smistamento** che:

- 👂 **filtrano i segnali,**
- 👂 **ne riconoscono gli schemi,**
- 👂 **calcolano la differenza del tempo di arrivo del suono ai due orecchi,**
- 👂 **permettendoci di localizzarne la provenienza.**

Poi, il **talamo** trasferisce le informazioni in maniera mirata alla **corteccia cerebrale**, oppure le reprime. Questa serie di passaggi consente, tra l'altro un controllo selettivo dell'attenzione, grazie al quale riusciamo, per esempio, a distinguere un determinato strumento all'interno dell'esecuzione di tutta l'orchestra.

Dal talamo, i segnali giungono **alla corteccia uditiva del lobo temporale.**

Lungo questo **“binario uditivo”**, che sale dall'orecchio interno alla corteccia uditiva, le informazioni vengono **analizzate** una alla volta, secondo schemi sempre più complessi. Ma nello stesso tempo vengono anche **elaborate in parallelo.**

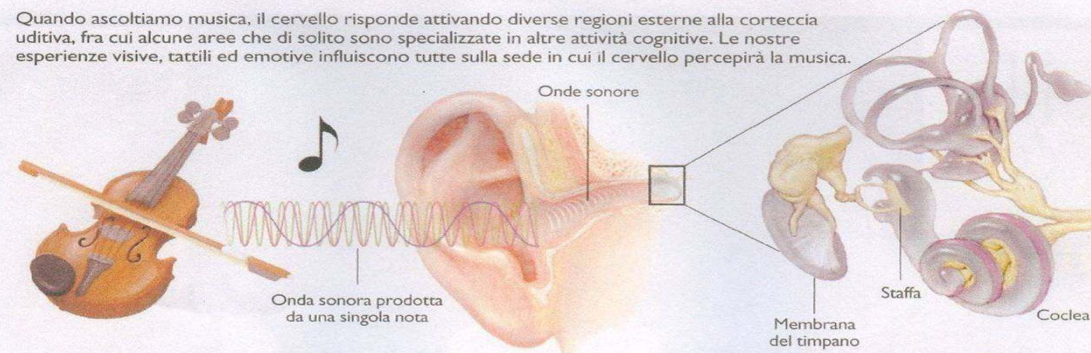
Il **nucleo cocleare** rappresenta la prima stazione di commutazione. Esso svolge diversi compiti: mentre la maggior parte delle cellule nervose della sua **parte anteriore** reagisce solo a **singoli suoni** e ritrasmette i segnali che le arrivano quasi inalterati, la **parte posteriore** è già impegnata a elaborare gli **schemi acustici**, come l'inizio e la fine di uno stimolo oppure le variazioni di frequenza.

Aree diverse del cervello si occupano in modi diversi della stessa informazione.

Il capolinea del binario uditivo è la **corteccia uditiva primaria**, che si trova sulla prima circonvoluzione del lobo temporale, la **circonvoluzione trasversale o giro di Heschl**. Lì, molte cellule nervose reagiscono non solo a **suoni sinusoidali**, ma anche a stimoli acustici complessi, come i **suoni multipli** e il **timbro.**

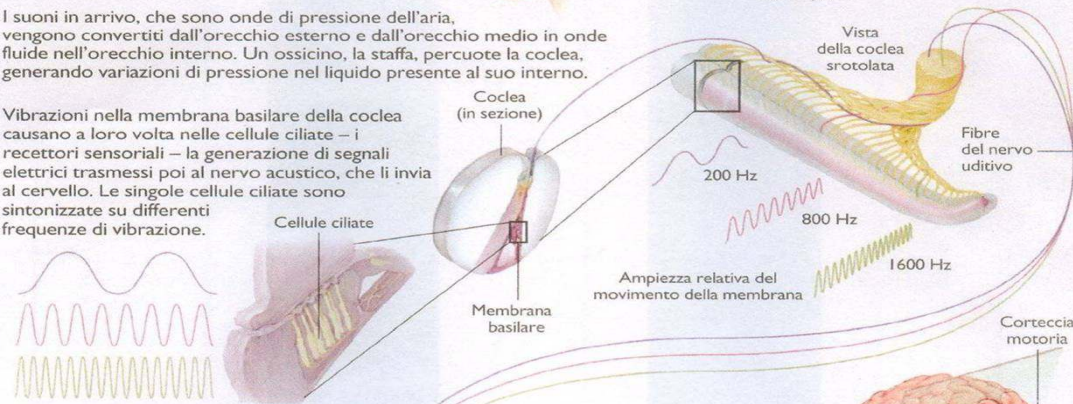
IL CERVELLO E LA MUSICA

Quando ascoltiamo musica, il cervello risponde attivando diverse regioni esterne alla corteccia uditiva, fra cui alcune aree che di solito sono specializzate in altre attività cognitive. Le nostre esperienze visive, tattili ed emotive influiscono tutte sulla sede in cui il cervello percepirà la musica.

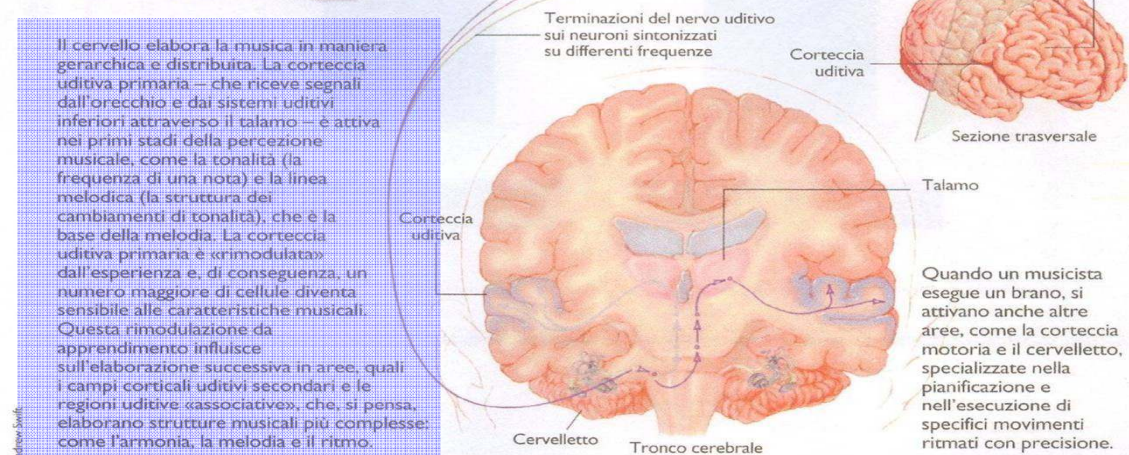


I suoni in arrivo, che sono onde di pressione dell'aria, vengono convertiti dall'orecchio esterno e dall'orecchio medio in onde fluide nell'orecchio interno. Un ossicino, la staffa, percuote la coclea, generando variazioni di pressione nel liquido presente al suo interno.

Vibrazioni nella membrana basilare della coclea causano a loro volta nelle cellule ciliate – i recettori sensoriali – la generazione di segnali elettrici trasmessi poi al nervo acustico, che li invia al cervello. Le singole cellule ciliate sono sintonizzate su differenti frequenze di vibrazione.



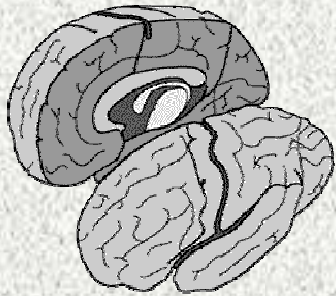
Il cervello elabora la musica in maniera gerarchica e distribuita. La corteccia uditiva primaria – che riceve segnali dall'orecchio e dai sistemi uditivi inferiori attraverso il talamo – è attiva nei primi stadi della percezione musicale, come la tonalità (la frequenza di una nota) e la linea melodica (la struttura dei cambiamenti di tonalità), che è la base della melodia. La corteccia uditiva primaria è «rimodulata» dall'esperienza e, di conseguenza, un numero maggiore di cellule diventa sensibile alle caratteristiche musicali. Questa rimodulazione da apprendimento influisce sull'elaborazione successiva in aree, quali i campi corticali uditivi secondari e le regioni uditive «associative», che, si pensa, elaborano strutture musicali più complesse: come l'armonia, la melodia e il ritmo.



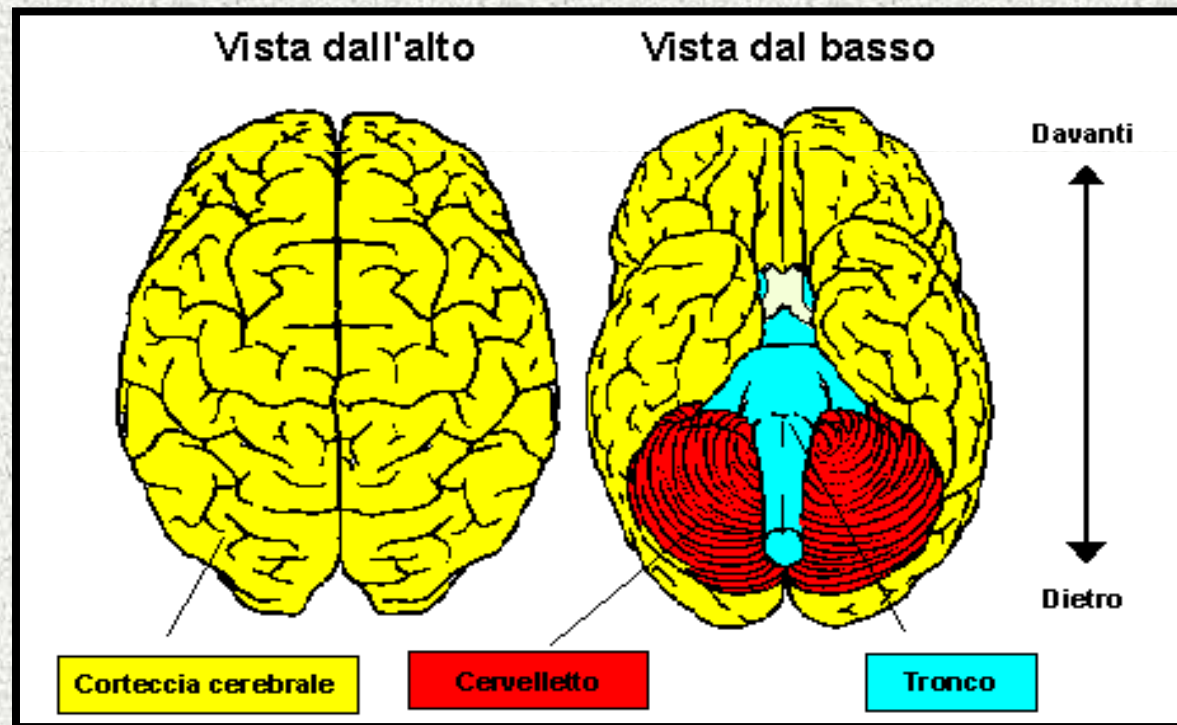
Quando un musicista esegue un brano, si attivano anche altre aree, come la corteccia motoria e il cervelletto, specializzate nella pianificazione e nell'esecuzione di specifici movimenti ritmati con precisione.

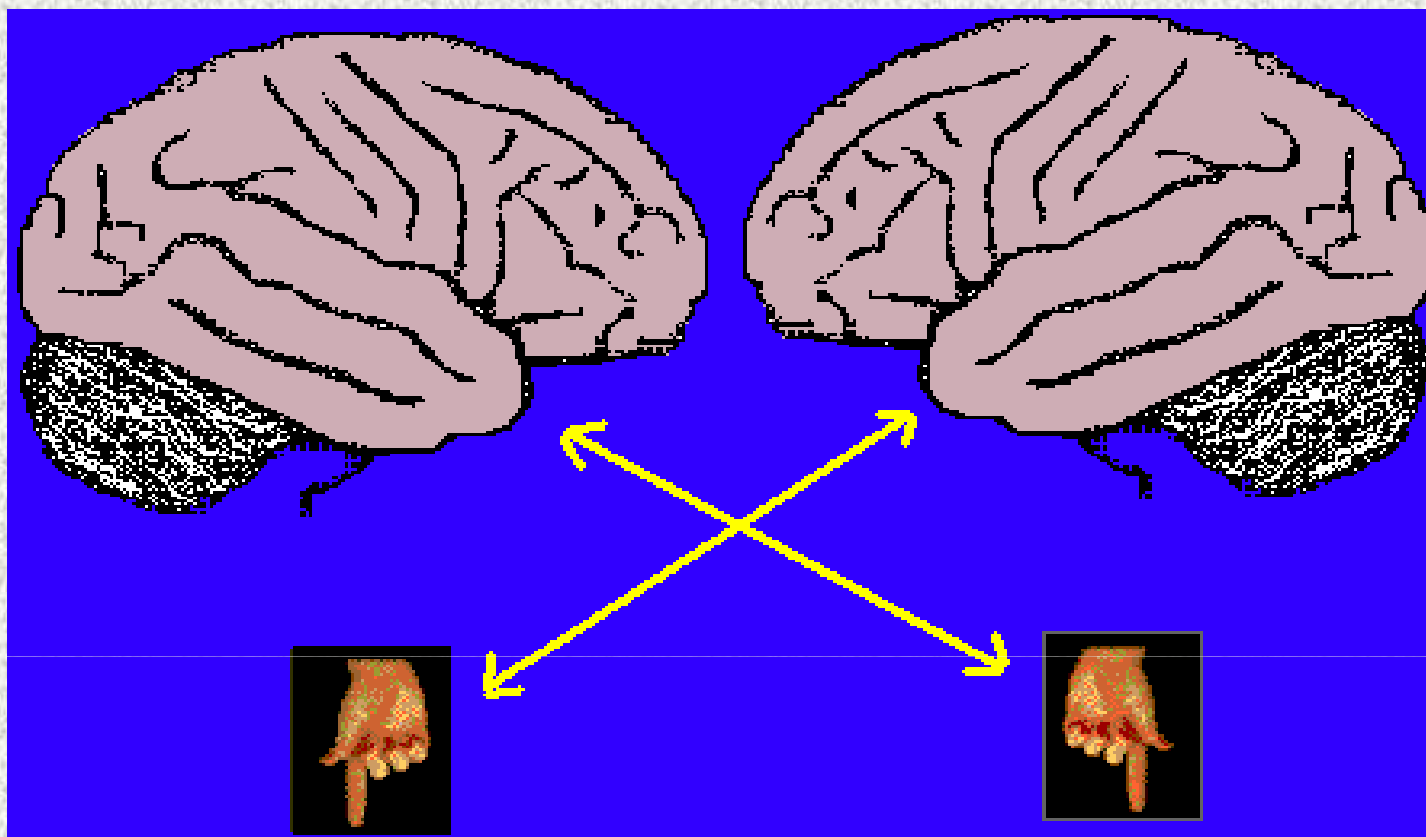
22/11/2007

Gli emisferi cerebrali



Guardandolo dall'alto, si nota come il cervello sia suddiviso in due metà, chiamate **emisferi**. Ogni emisfero comunica con l'altro attraverso il **corpo calloso**, un grosso fascio di fibre nervose.





E' ben noto che la parte destra del cervello controlla la muscolatura della parte sinistra del corpo e viceversa. Inoltre, le informazioni sensoriali provenienti da sinistra e da destra vengono processate dalla parte opposta del cervello, incrociandosi.

Emisfero sinistro

Parola

Analisi

Matematica

Ragionamento in serie

Procedimento sequenziale

Pensiero scientifico

Pensiero convergente

Deduttivo

Razionale

Realistico

Obiettivo

Dettagliato

Esplicito

Percorso lineare

Tattica

Ragionamento per algoritmi

Linguaggio digitale

Emisfero destro

Immagine

Sintesi

Geometria

Ragionamento in parallelo

Visione d'insieme

Capacità artistiche e musicali

Pensiero divergente

Metaforico

Intuitivo

Impulsivo

Soggettivo

Globale, olistico

Tacito, implicito

Panorama, spazio

Strategia

Ragionamento euristico

Linguaggio analogico

Quattro cervelli in uno ?

(tratto da “Ragionare a tutto cervello”, di A. Lombardini, 2005, I.S.A. – Roma)

Il discorso sulle specializzazioni cerebrali fa riferimento a due basi teoriche (Mac Lean, 1949):

- ☞ la teoria della stratificazione cerebrale;
- ☞ la teoria della specializzazione degli emisferi cerebrali.

◇ APPROCCIO ORIZZONTALE: CERVELLO SINISTRO,
CERVELLO DESTRO

◇ APPROCCIO VERICALE: LE TRE CALOTTE CEREBRALI

- Cervello rettiliano
- Sistema limbico
- Corteccia cerebrale

CORTICALE
Ragionamento

CORTICALE SINISTRO

Analisi

Pensiero logico
Ragionamento sequenziale
Parola e linguaggio
Ragionamento quantitativo
Ragionamento per algoritmi
Messa a punto di tecniche
Addestramento ripetitivo

SINISTRO
Verbalità
strutturata

CORTICALE DESTRO

Sintesi

Visione d'insieme
Ragionamento in parallelo
Ideazione artistica e musicale
Pensiero divergente, creativo
Pensiero euristico, strategico
Idee innovative
Rischio del cambiamento

DESTRO
Non verbale
immaginifico
esistenziale

LIMBICO SINISTRO

Organizzazione

Procedure e metodi omologati
Catalogazioni, conservazione
Fissazione del conosciuto
Leggi e regole religiose
Ordine e giustizia
Rituali
Forse memoria a lungo termine

LIMBICO
Tradizione,
emozioni

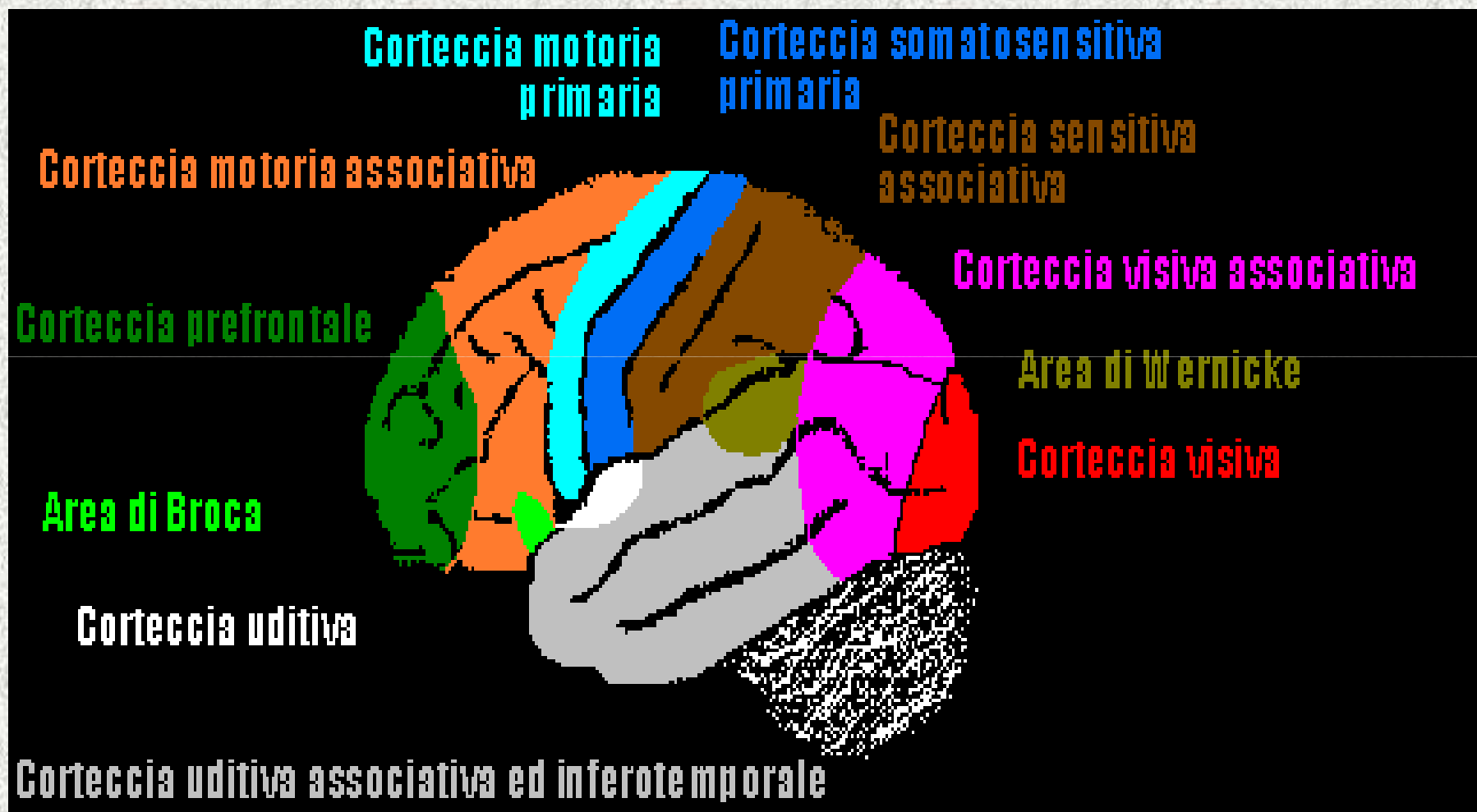
LIMBICO DESTRO

Emozioni

Sensazioni

Relazioni umane
Sentimenti, passioni
Intuizioni "viscerali"
Mondo del magico
Estasi e paranormale
Sentimento musicale

La corteccia cerebrale



Regione corticale	Funzioni
Corteccia Prefrontale	Risoluzione di problemi, emozioni
Corteccia motoria associativa	Coordinazione di movimenti complessi
Corteccia motoria primaria	Avvio del movimento volontario
Corteccia somatosensitiva primaria	Riconoscimento delle informazioni sensitive provenienti dal corpo
Corteccia sensitiva associativa	Elaborazione polimodale delle informazioni sensitive
Corteccia visiva associativa	Elaborazione delle informazioni visive
Corteccia visiva	Riconoscimento di stimoli visivi semplici
Area di Wernicke	Comprensione del linguaggio
Corteccia uditiva associativa	Elaborazione delle informazioni uditive
Corteccia uditiva	Riconoscimento delle qualità dei suoni (volume, tono)
Corteccia inferotemporale	Alcuni aspetti della memoria
Area di Broca	Produzione ed articolazione del linguaggio

La **corteccia uditiva primaria** di **sinistra** elabora **informazioni piuttosto rapide**, mentre quella di **destra** si occupa in prevalenza degli **spettri di frequenza** e dei **timbri**.

Le **aree uditive secondarie** si trovano lungo una linea a semicerchio circostante la corteccia uditiva primaria ed **elaborano schemi più complessi**.

Ancora più in là, dietro e di lato, si trovano le **aree dedicate all'associazione uditiva**. Tra esse, all'**area di Wernicke** dell'emisfero sinistro spetta una funzione determinante nella **percezione del linguaggio**.

La **percezione della musica** sembra organizzata in maniera gerarchica:

possiamo supporre che l'**emisfero destro** sia quello che, in un primo momento, afferra una **struttura approssimativa della musica**, sulla quale in seguito l'**emisfero sinistro** esegue un'**analisi più precisa**.

Musica ed emozioni

(tratto da “Mente e Cervello”, n° 14, anno III – “Emozioni musicali”, di Sandrine Viellard)

- ☺ Le emozioni derivano dalle aspettative generate dai momenti di tensione e distensione che si susseguono nei brani di musica classica occidentale.
- ☺ La musica suscita emozioni modulate da **parametri diversi**, come il **tempo** o il **modo maggiore o minore**. Studiando questi parametri, si possono scoprire gli effetti psicologici dell'ascolto musicale.

Categorie psicologiche (Bigand & al.):

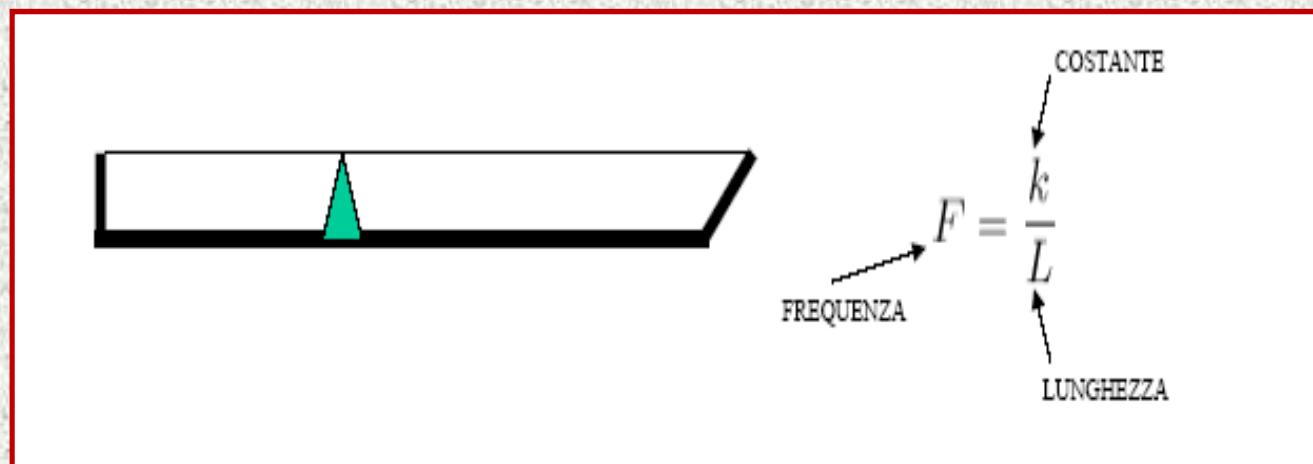
- ❖ **gioia**: modo maggiore, tempo veloce;
- ❖ **tristezza**: modo minore, tempo lento;
- ❖ **collera, paura**: modo minore, dinamica stimolante;
- ❖ **serenità**: modo maggiore, tempo lento.

Consonanza e dissonanza

- ♪ Una composizione musicale consiste di una serie di suoni espressivi o intelligibili di struttura definita e significato in accordo con le leggi della **melodia, armonia e ritmo**.
- ♪ Ridotta alla sua forma più semplice, una composizione musicale consiste di una melodia ed un accompagnamento.
Una **melodia** è una successione di suoni con organizzazione **tonale e ritmica**. La base di tutte le melodie è la **scala musicale**.
L'**accompagnamento** di una melodia musicale è una serie di **accordi**. Un accordo è dato dalla sovrapposizione di suoni di frequenza diversa, suonati simultaneamente. L'**armonia** è l'ambito di riferimento degli accordi.
Il suo fondamento è il concetto di **consonanza**: si parla di consonanza quando, suonando contemporaneamente più suoni, si ottiene un risultato piacevole; in caso contrario si ha **dissonanza**.

Un po' di storia...

Il **monocordo** è un piccolo, semplice strumento costruito dai Greci che permette di cogliere direttamente il nesso tra l'altezza di un suono e la sua lunghezza d'onda. Il monocordo è costituito da una corda a estremi fissi e da un ponticello mobile; ponendo in vibrazione l'intera corda o una parte della stessa si produrranno suoni diversi: maggiore è la lunghezza della parte di corda messa in vibrazione minore sarà l'altezza del suono prodotto. Dunque **l'altezza di un suono è inversamente proporzionale alla lunghezza della corda che produce tale suono.**



I primi a fissare dei rapporti numerici corrispondenti ai singoli intervalli furono
i pitagorici:

2/1	15/8	5/3	3/2	4/3	5/4	9/8	1	INTERVALLO
DO	SI	LA	SOL	FA	MI	RE	DO	NOTA

DO – DO = intervallo di **unisono (consonante)**

DO – RE = intervallo di **seconda (dissonante)**

DO – MI = intervallo di **terza (consonante)**

DO – FA = intervallo di **quarta (consonante)**

DO – SOL = intervallo di **quinta (consonante)**

DO – LA = intervallo di **sesta (consonante)**

DO – SI = intervallo di **settima (dissonante)**

DO – DO = intervallo di **ottava (consonante)**

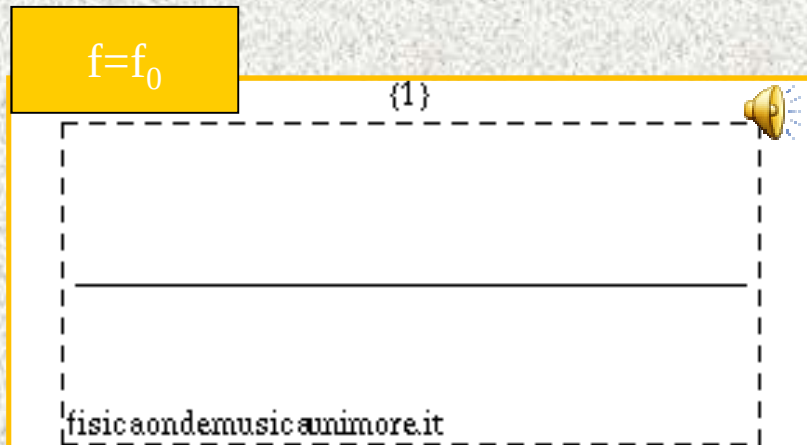
I **Greci** ottennero i **rapporti numerici corrispondenti agli intervalli** misurando sul monocordo la lunghezza dei tratti di corda vibranti e produttori i due suoni in questione, oppure misurando la lunghezza delle due canne sonore.

L'**ottava**, dal punto di vista acustico, è l'intervallo fra due suoni che hanno frequenza doppia.

Ritornando al monocordo dei Greci, l'ottava è l'intervallo tra il suono emesso dalla corda in assenza di ponticello e quello in cui il ponticello è posto nel **punto centrale** della corda. Il rapporto matematico delle vibrazioni è di $2/1$, cioè il numero di vibrazioni di un suono all'ottava è la metà di quelle del suono base. La parola “ottava” nasce dal fatto che, nella scala diatonica della musica occidentale, tra due DO consecutivi si hanno otto intervalli.

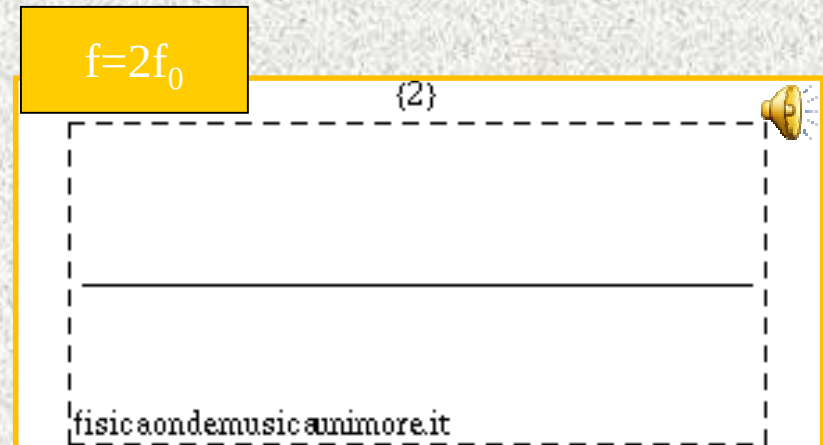
La corda vibrante

$f=f_0$ {1}



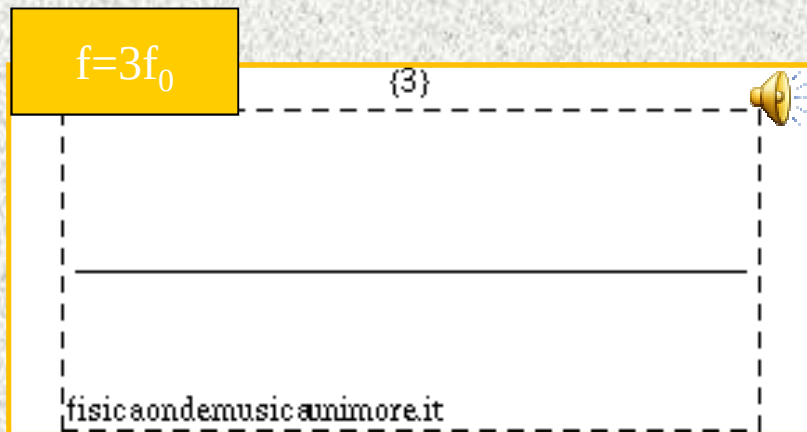
fisicaondemusicanimore.it

$f=2f_0$ {2}



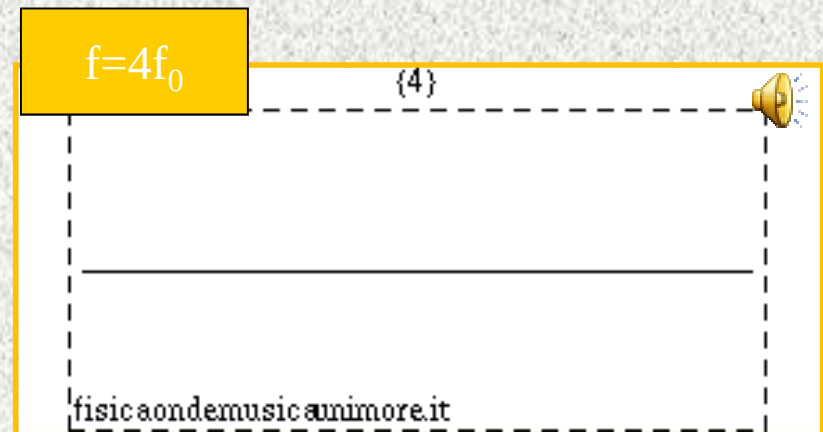
fisicaondemusicanimore.it

$f=3f_0$ {3}



fisicaondemusicanimore.it

$f=4f_0$ {4}



fisicaondemusicanimore.it

Relazioni tra lunghezze vibranti e frequenze

Supponiamo che una corda di lunghezza L , vibrando su tutta la sua estensione, emetta una frequenza f .

Lunghezza vibrante	Frequenza	Intervallo
L	f	—
$5L / 6$	$6f / 5$	Terza minore
$4L / 5$	$5f / 4$	Terza maggiore
$3L / 4$	$4f / 3$	Quarta giusta
$2L / 3$	$3f / 2$	Quinta maggiore
$L / 2$	$2f$	Ottava giusta

Consonanza e dissonanza sono due termini che indicano quando l'emissione simultanea di due suoni separati da un certo intervallo di frequenza produce in noi un effetto gratificante o non gradevole.

Il concetto di suoni consonanti risale ai Greci, a **Pitagora** in particolare. Per mezzo del monocordo, fu stabilito che le sovrapposizioni di **suoni più armoniosamente consonanti** sono quelle che corrispondono ai suoni emessi da corde le cui lunghezze stanno fra loro nei **rapporti 2:1, 3:2 e 4:3**.

Nel XII secolo, lo sviluppo della polifonia richiese l'introduzione di **nuovi intervalli consonanti**: un nuovo sistema d'intonazione è stato così codificato da **Zarlino**: nelle *Istitutioni Harmoniche* (1558) egli introdusse il *senario*, cioè la definizione della consonanza nei numeri da 1 a 6, ampliando la *tetractys* pitagorica.

Così anche **3^a maggiore (5:4)**, **3^a minore (6:5)**, **6^a maggiore (5:3)** e **6^o minore (8:5)** erano consonanze a tutti gli effetti.

E la nuova **scala zarliniana** contiene il massimo numero di consonanze perfette

G. Galilei – *Discorsi intorno a due nuove scienze* (1638): le consonanze di due suoni si hanno allorchè essi colpiscono l'orecchio con opportuna regolarità (commensurabilità delle rispettive periodicità).

H. von Helmholtz fu il primo a proporre dei criteri generali per le condizioni di consonanza di un intervallo musicale che facessero capo alla fisiologia umana. Egli prese le mosse dalla cosiddetta **legge di Ohm acustica**: l'orecchio effettua, su un suono complesso, un'analisi spettrale alla Fourier, cogliendone separatamente le componenti armoniche. Tra di esse, allorché le frequenze sono molto prossime, possono aver luogo dei battimenti. Helmholtz attribuì in massima parte **l'origine delle dissonanze tra note suonate contemporaneamente** all'eventuale insorgenza di **battimenti tra le parziali**.

Contrappunto e armonia

Contrappunto:

J.S.Bach: Quattro Duetti BWV 802-805



Armonia:

E.Grieg: Sonata in Mi minore op. 7, secondo movimento

Jean Philippe Rameau – *Traité de l'harmonie* (1722)

- Le note costituenti l'accordo devono avere in comune un elevato numero di parziali superiori.
- Esse devono produrre nell'orecchio, per effetto di combinazione, altre parziali dell'accordo non emesse dalla sorgente e devono dar vita al basso fondamentale, la chiave di concatenazione del discorso musicale.



Dall'armonia alle leggi di gravitazione: la concatenazione degli accordi

Struttura dei modelli musicali: (Altenmüller, 2005)

- struttura melodica;
- struttura temporale;
- struttura armonica e verticale;
- struttura dinamica.

struttura orizzontale:

melodia nel suo insieme

suddivisione nelle sue componenti → **intervallo** musicale

↓
linea melodica → **periodo** musicale
(regole di **simmetria**)

un **ritmo** nasce dal decorso temporale di almeno tre eventi che si susseguono

struttura verticale:

timbro ed armonia delle singole note e dei loro multipli

- La **dinamica orizzontale** descrive invece l'**andamento del volume all'interno di un gruppo di suoni che si susseguono**, toccando fortemente la **sensibilità dell'ascoltatore** con un effetto immediato sulle sue emozioni.
- La **dinamica verticale** indica i **rapporti di volume all'interno di un suono**. Distribuisce le singole **voci**, facendole passare in primo o in secondo piano nello spazio sonoro, a seconda di quanto emergano.

FINE