

# *La Fisica del Suono*

*Roberto Passante*

Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche  
Università di Palermo

Liceo Scientifico S. Cannizzaro

22 Marzo 2007

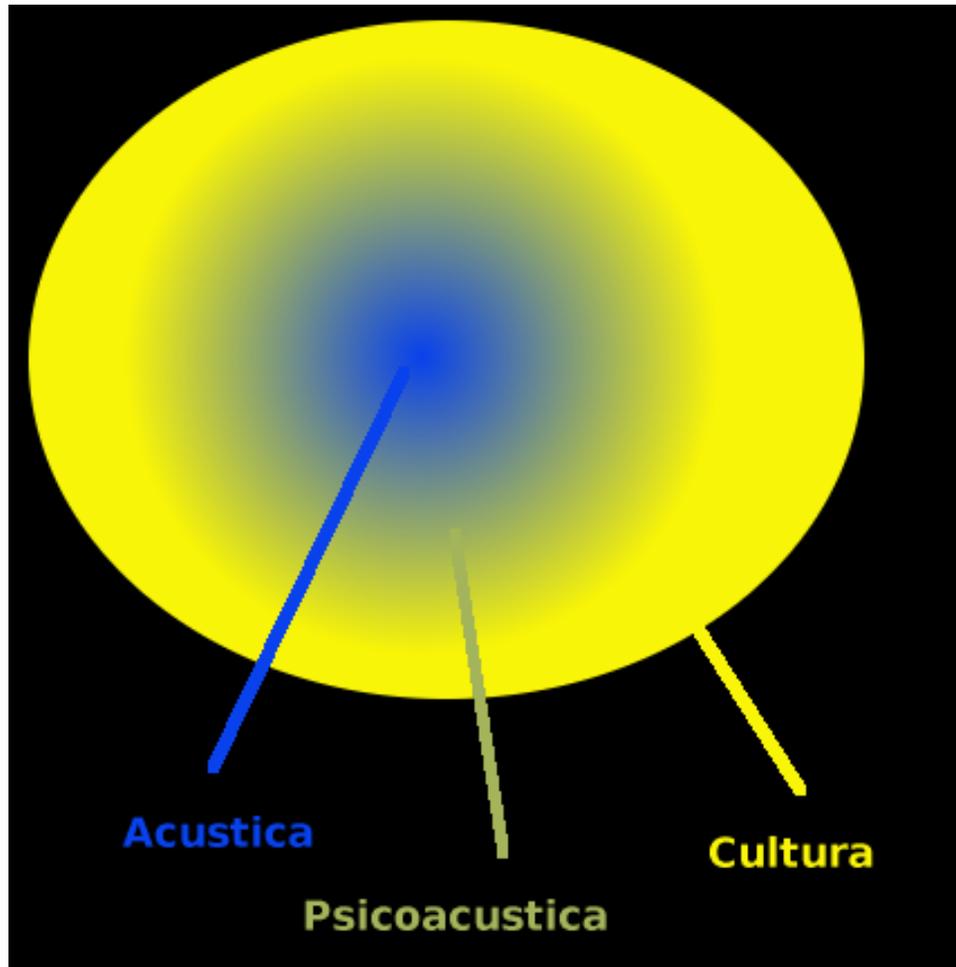


## *Il “percorso” del suono:*

**Generazione del suono (strumento musicale, voce, altoparlante, etc)**

**Propagazione del suono nell'aria ed effetto dell'ambiente circostante**

**Percezione del suono da parte dell'ascoltatore (psicoacustica)**



**L'acustica musicale è una scienza interdisciplinare:  
Fisica, Fisiologia, Psicofisiologia**

Che cosa è il suono dal punto di vista della fisica?

A quali parametri fisici corrispondono le usuali caratteristiche di un suono (intensità, altezza, timbro, etc.)? Cosa distingue un suono da un rumore?

In che modo le caratteristiche costruttive di uno strumento musicale influenzano il suono prodotto?

Che influenza ha l'ambiente, ad esempio una sala da concerto, sul suono che raggiunge l'ascoltatore?

In che modo il cervello umano percepisce ed elabora il suono?

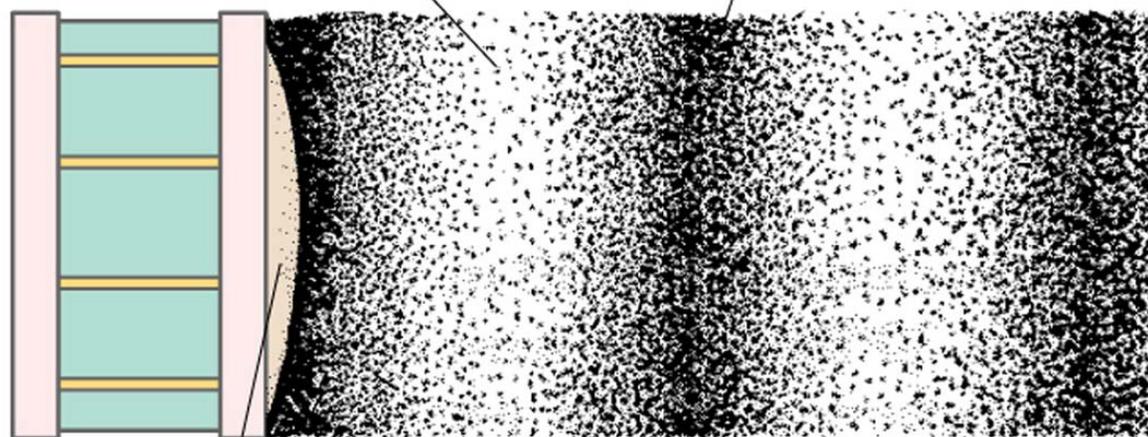
Per quale motivo alcuni accordi musicali vengono percepiti consonanti e altri dissonanti?

## *Cosa è il suono?*

Il suono è una perturbazione di tipo meccanico (variazione di densità e di pressione) del mezzo nel quale esso si propaga, solitamente l'aria.

L'onda sonora è generata da un oggetto vibrante (corda, colonna d'aria, membrana, etc), che mette in oscillazione le molecole dell'aria.

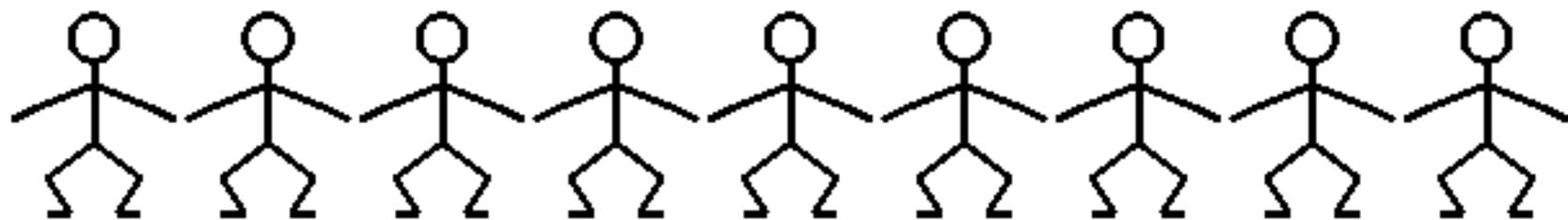
Espansione  
(pressione più bassa)      Compressione  
(pressione più alta)



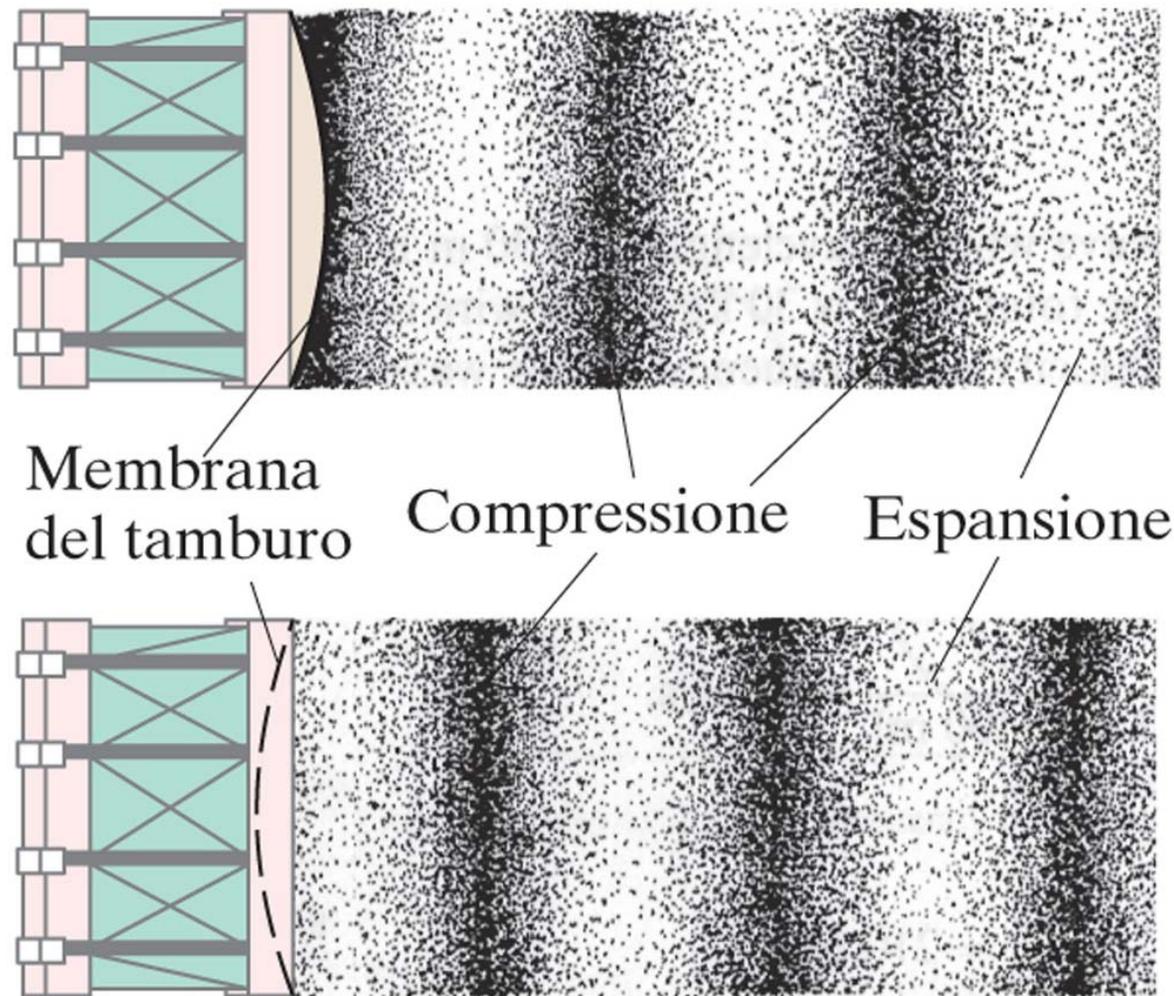
Membrana  
del tamburo



Moto di una molecola



© 2002, Dan Russell



**Produzione e propagazione di un'onda sonora (onda longitudinale: l'oscillazione è nella stessa direzione della direzione di propagazione).**

**Le due figure mostrano l'onda a due differenti istanti di tempo.**

Alcune caratteristiche fisiche di un'onda sonora:

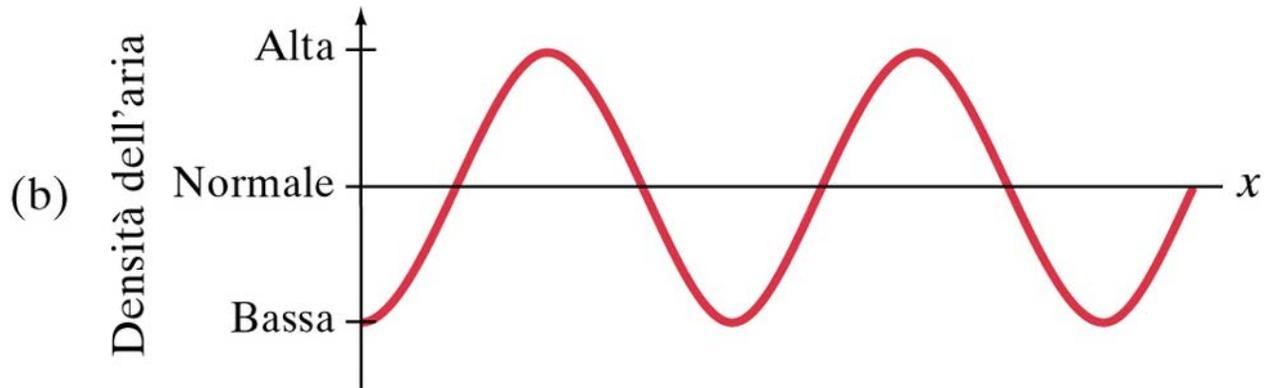
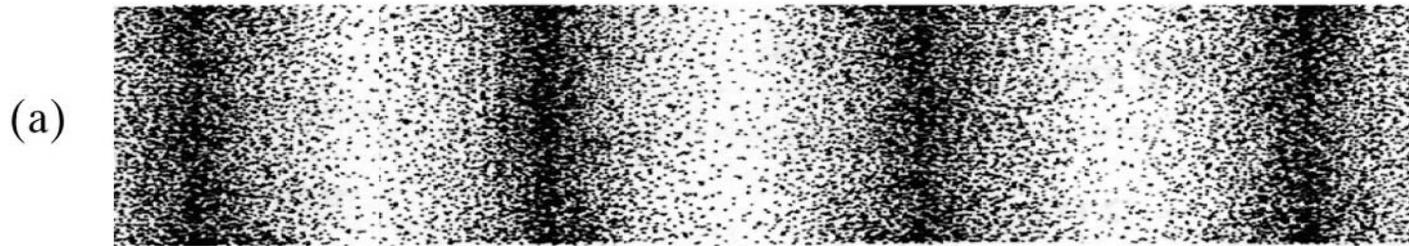
**Ampiezza**

**Periodo**

**Frequenza**

**Velocità di propagazione**

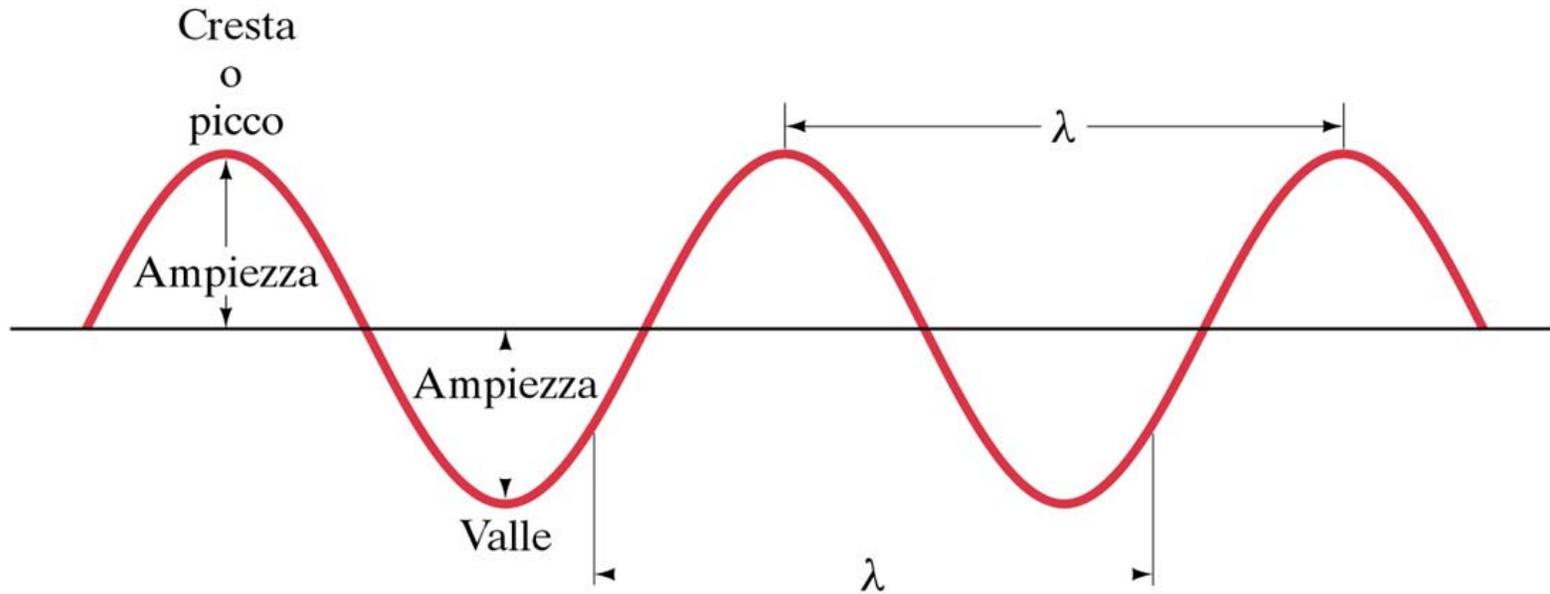
**Lunghezza d'onda**



Onda sonora nell'aria:

(a) variazione della densità dell'aria ad un determinato istante di tempo

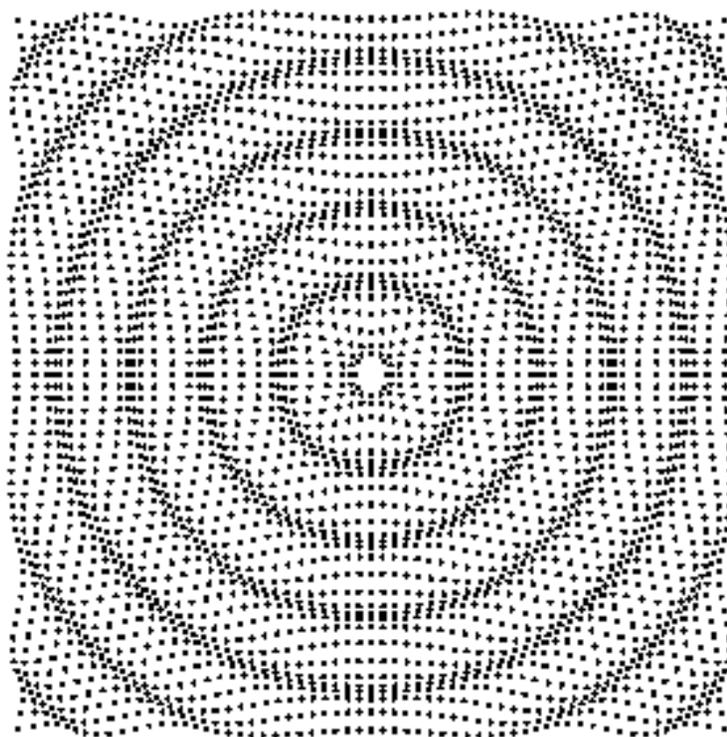
(b) rappresentazione grafica.



Rappresentazione di un'onda sinusoidale in funzione della posizione, ad un istante di tempo fissato.

$\lambda$  è la lunghezza d'onda.

## Propagazione di un'onda (sferica)



## ***Alcune grandezze usate per descrivere un'onda periodica sinusoidale***

- Ampiezza (A):*** massima altezza di una cresta (punto più alto dell'onda), o massima profondità di una valle (punto più basso dell'onda).
- Lunghezza d'onda ( $\lambda$ ):*** distanza tra due creste successive (uguale alla distanza tra due qualunque punti identici successivi dell'onda).
- Frequenza (f):*** numero di creste che in un secondo passano per un determinato punto dello spazio (numero di oscillazioni complete al secondo).
- Periodo (T):*** Tempo che intercorre tra i passaggi di due creste successive nello stesso punto dello spazio.
- Velocità dell'onda (v):*** velocità con cui si muovono le creste dell'onda, o qualunque altro punto del profilo dell'onda (*differente dalla velocità con cui si muovono le particelle del mezzo nel loro moto oscillatorio*).

## Relazioni tra alcuni parametri dell'onda

$$f = 1/T$$

$$T = 1/f$$

$$v = \lambda f$$

$$f = v/\lambda$$

$$\lambda = v/f$$

## *Grandezza fisica dell'onda*

## *Parametro sonoro*

**Ampiezza dell'onda** →

**Intensità sonora**

**Frequenza** →

**Altezza del suono  
(grave, acuto)**

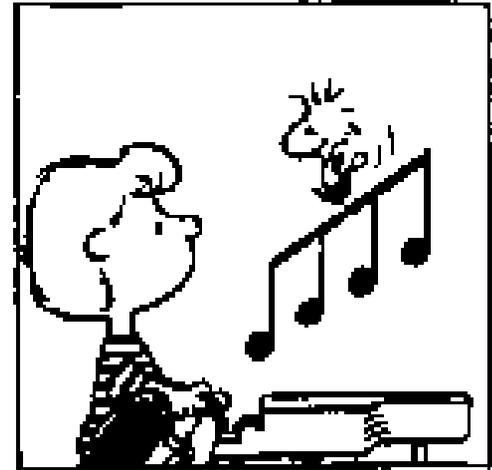
**Intervallo di udibilità nell'uomo: da circa 20 Hz a circa 16000 Hz**



**Tono:** indica se il suono è alto (acuto) oppure basso (grave).  
Il tono è determinato dalla frequenza: minore è la frequenza, più basso è il tono; maggiore è la frequenza, più alto è il tono.

***A cosa corrisponde il timbro di un suono?***

## *Generazione del suono*



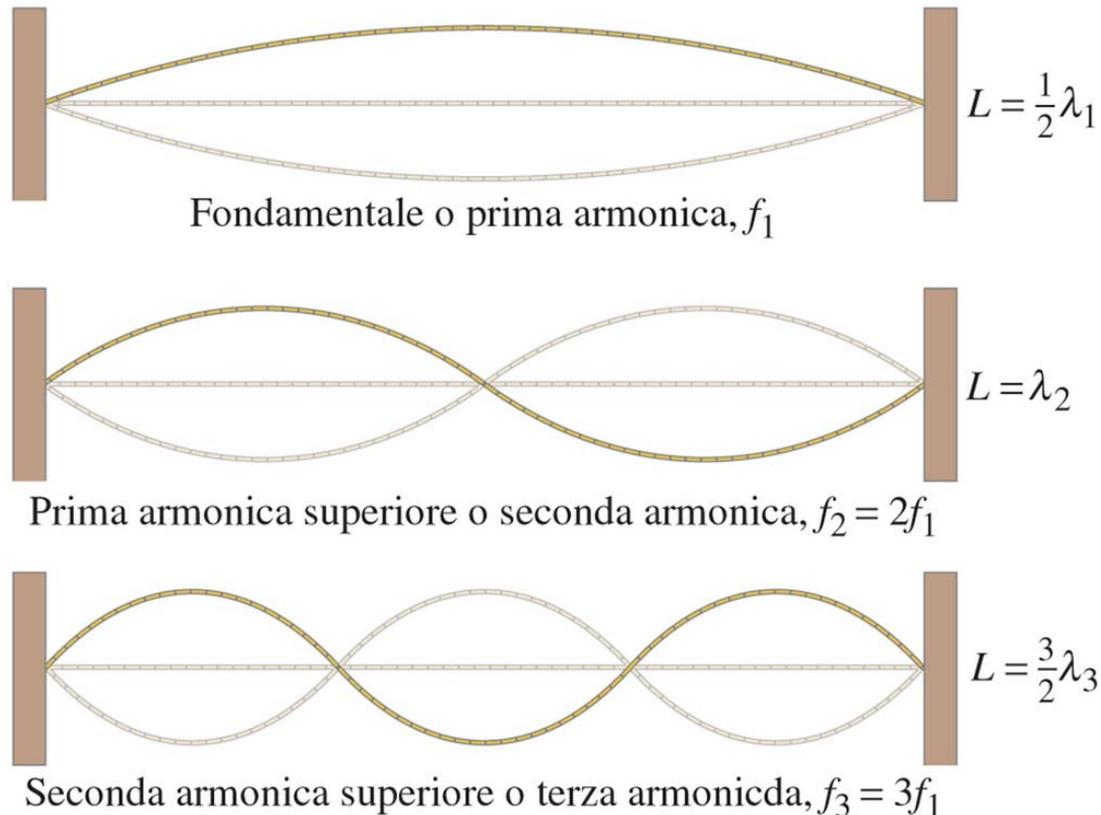
Strumenti a corda (pianoforte, chitarra, violino, contrabbasso, .....)

Strumenti a fiato o a canne (organo, sax, tromba, clarinetto, cornamusa, .....)

In uno strumento a corde il suono è generato da una corda vibrante (con gli estremi fissati)

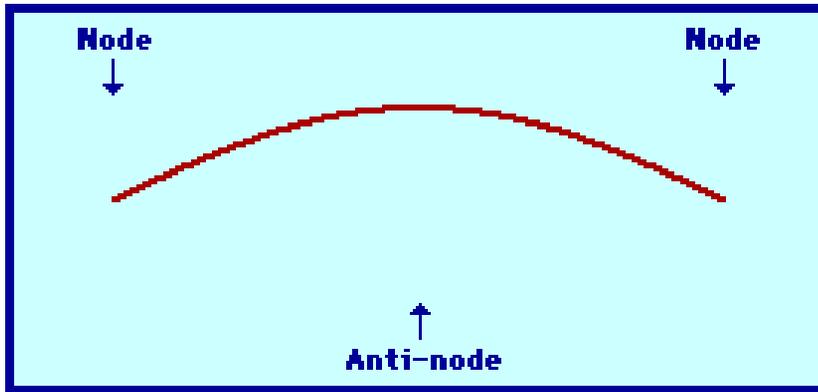


## Onde stazionarie in una corda vibrante



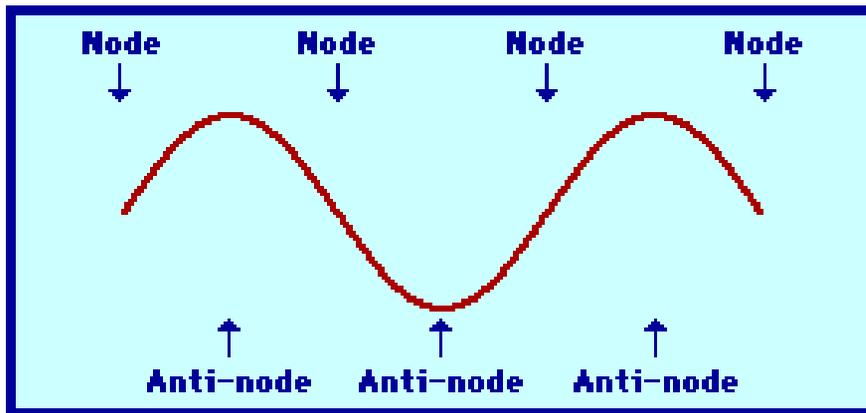
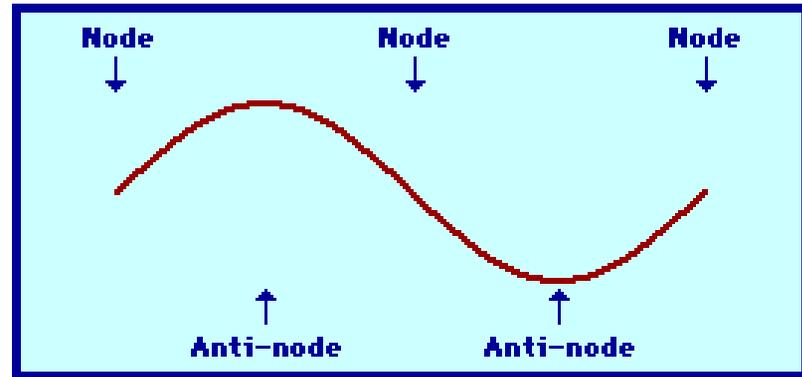
**Agli estremi della corda vi è sempre un nodo. La fondamentale possiede un solo ventre al centro, la prima armonica ha due ventri separati da un nodo, etc**

**Le armoniche hanno frequenza multipla della frequenza fondamentale.**



Frequenza fondamentale ( $f_1$ )

Seconda armonica ( $2f_1$ )



Terza armonica ( $3f_1$ )

Negli strumenti a corda il suono è generato dalle onde stazionarie in una corda.

Il tono è determinato dalla frequenza risonante più bassa, la fondamentale.

Possibili frequenze delle onde stazionarie nella corda:

$$f_n = n \frac{v}{2L} = nf_1 \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$n = 1$  (fondamentale)

$n = 2, 3, 4, 5, \dots$  (armoniche)

Le varie armoniche hanno frequenza pari a un qualunque multiplo intero della frequenza fondamentale.

**Il tono del suono emesso dalla corda può essere variato in due modi:**

- 1) variando la lunghezza  $L$  della corda (ad esempio, diminuendo  $L$  si riduce la lunghezza d'onda; la frequenza quindi aumenta e il tono risulterà più alto)**
- 2) variando la velocità  $v$  dell'onda nella corda**

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m/L}}$$

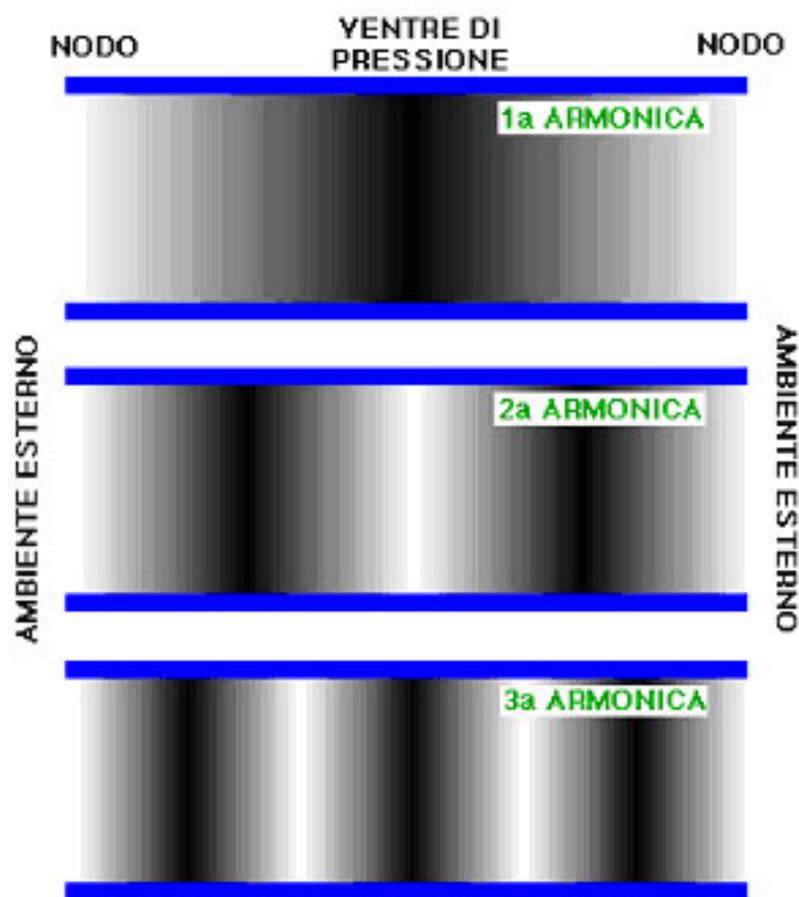
$F_T$  = tensione della corda  
 $m$  = massa della corda  
 $L$  = lunghezza della corda

**Esempi:**

**corda più pesante** → velocità  $v$  più bassa → frequenza più bassa  
→ **tono più grave** (a parità di lunghezza della corda)

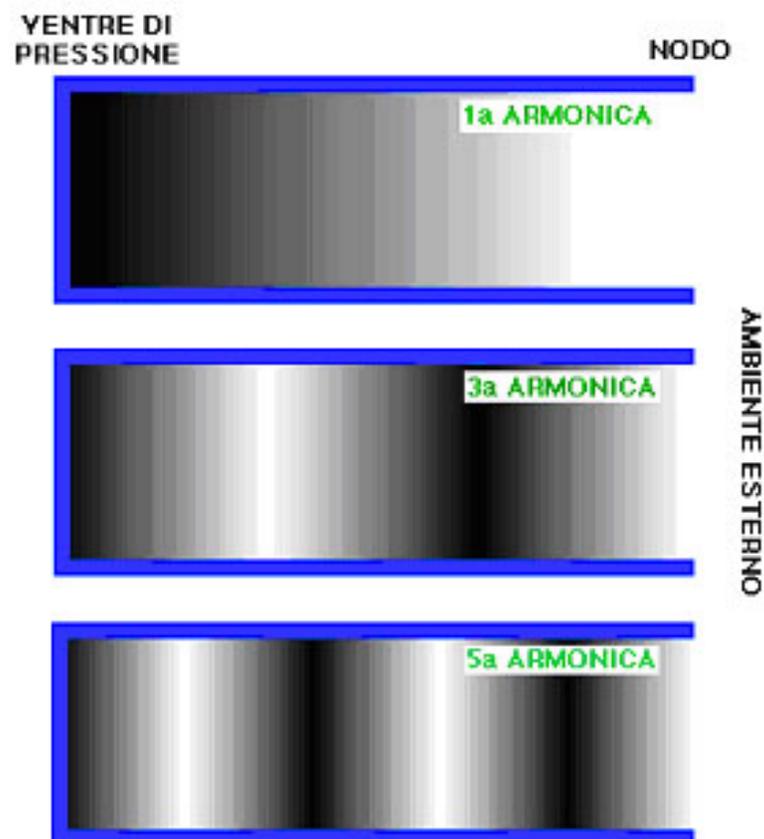
**corda maggiormente in tensione** → velocità  $v$  maggiore →  
→ frequenza più alta → **tono più alto** (a parità di lunghezza della corda)

## CANNE CILINDRICHE APERTE



- FLAUTI E ALTRI "A TAGLIO"
- CANNE D'ORGANO NON TAPPATE (REGISTRO PRINCIPALE)

## CANNE CILINDRICHE CHIUSE A UN ESTREMO



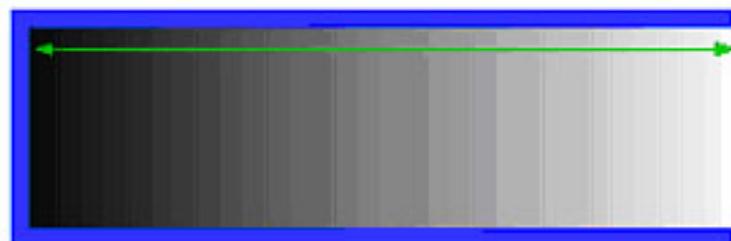
*SOLO ARMONICHE DIAPARI.  
SUONO "YUOTO"*

- CLARINETTO (CHALUMEAU)
- ORGANO CANNE TAPPATE
- ONDA QUADRA SINTETICA

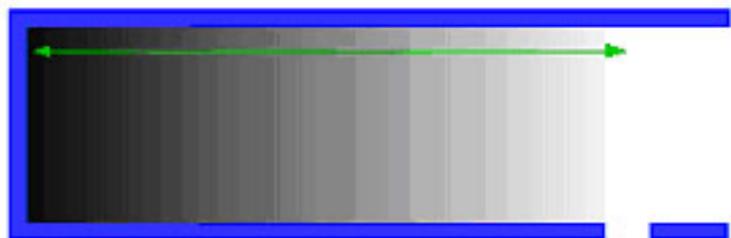
## CANNE CHIUSE A UN ESTREMO

VENTRE DI  
PRESSIONE

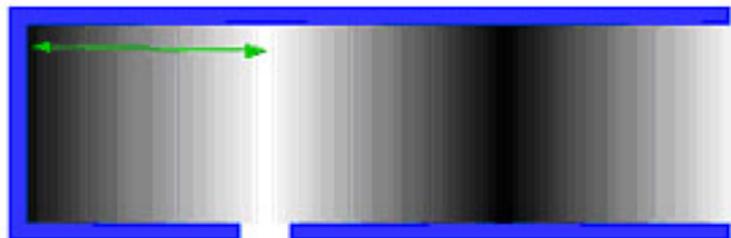
NODO DI  
PRESSIONE



FORI CHIUSI



FORO TONALE APERTO



FORO DI REGISTRO APERTO

AMBIENTE ESTERNO



*Quando la corda è messa in vibrazione, possono prodursi sia la fondamentale che tutte le armoniche (il suono emesso contiene le corrispondenti frequenze).*

La stessa cosa avviene in uno strumento a canne.

Frequenza della fondamentale → determina l'altezza del suono

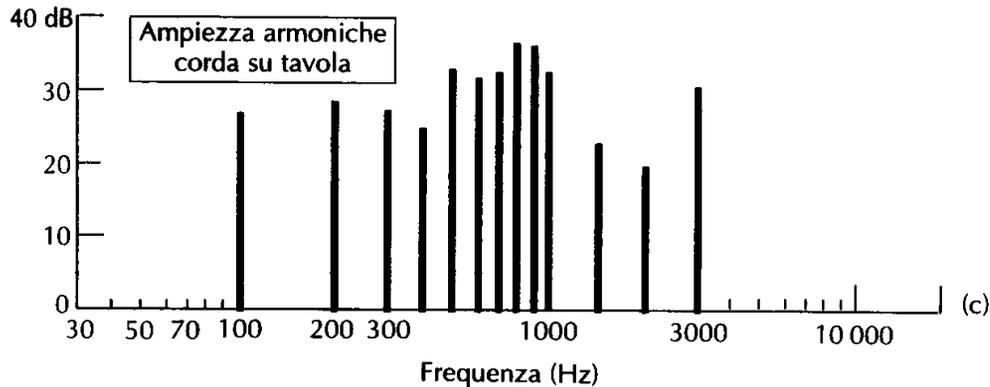
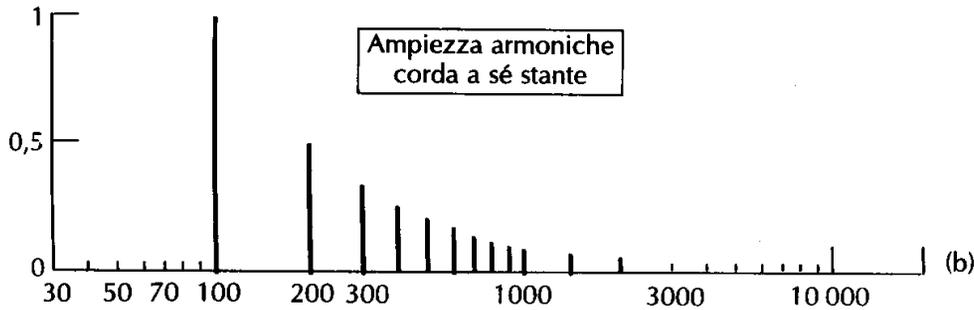
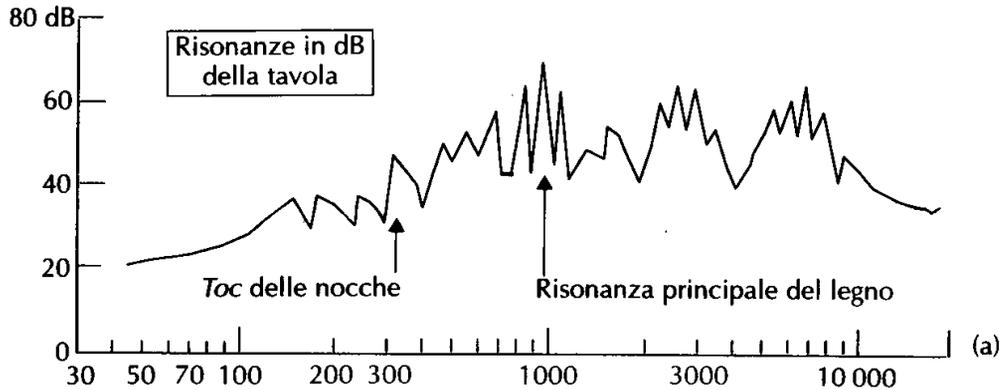
Contenuto di armoniche → determina il timbro del suono

*A parità di altezza, una maggiore brillantezza del suono è dovuta ad un maggiore contenuto di armoniche (parziali) superiori.*

Il timbro del suono emesso può cambiare drasticamente con la presenza di una cassa armonica, a causa di fenomeni di risonanza che possono amplificare alcune delle armoniche.

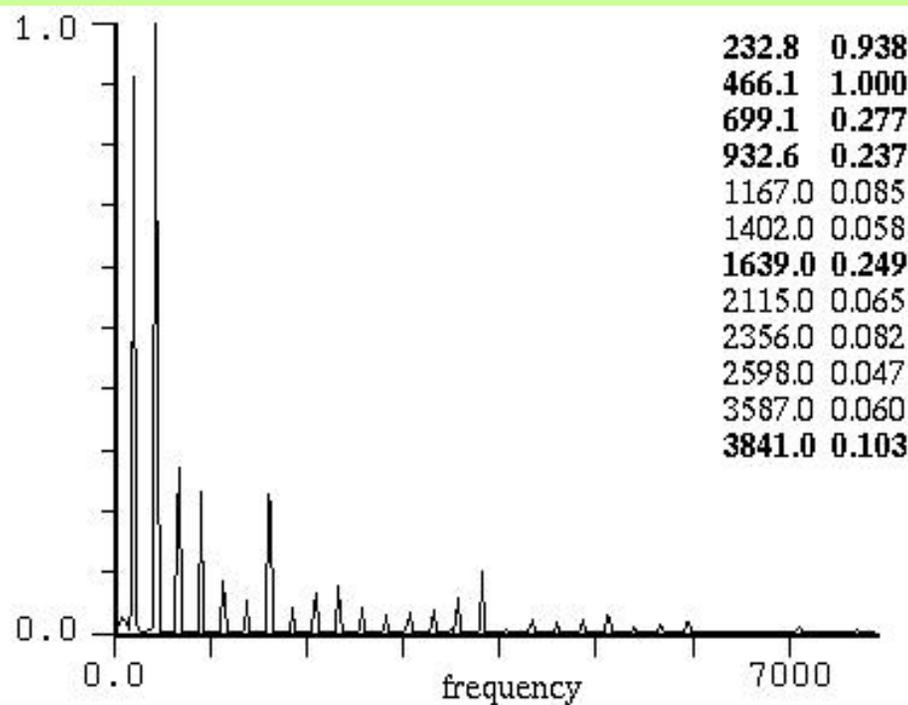
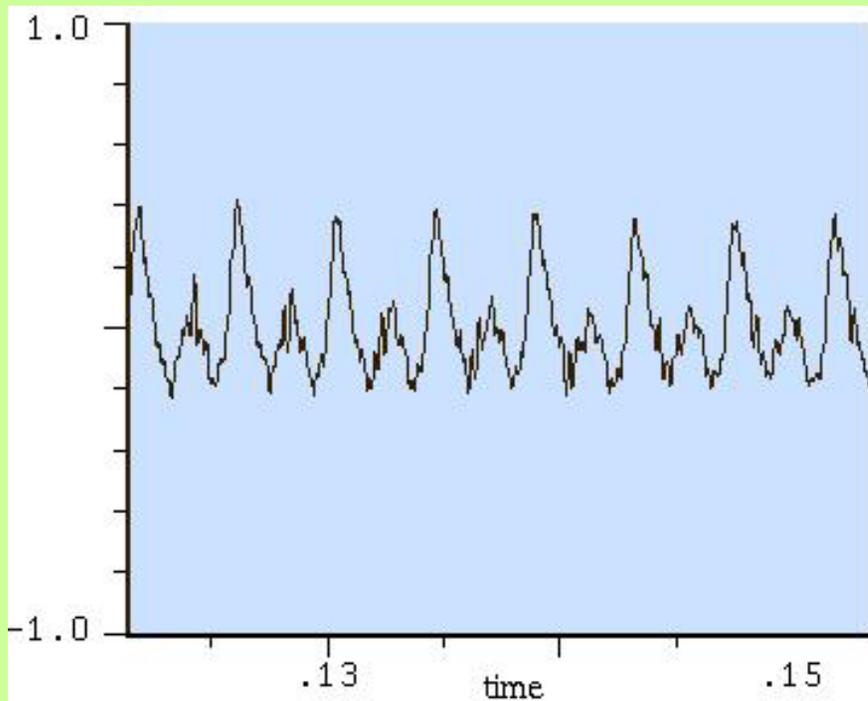


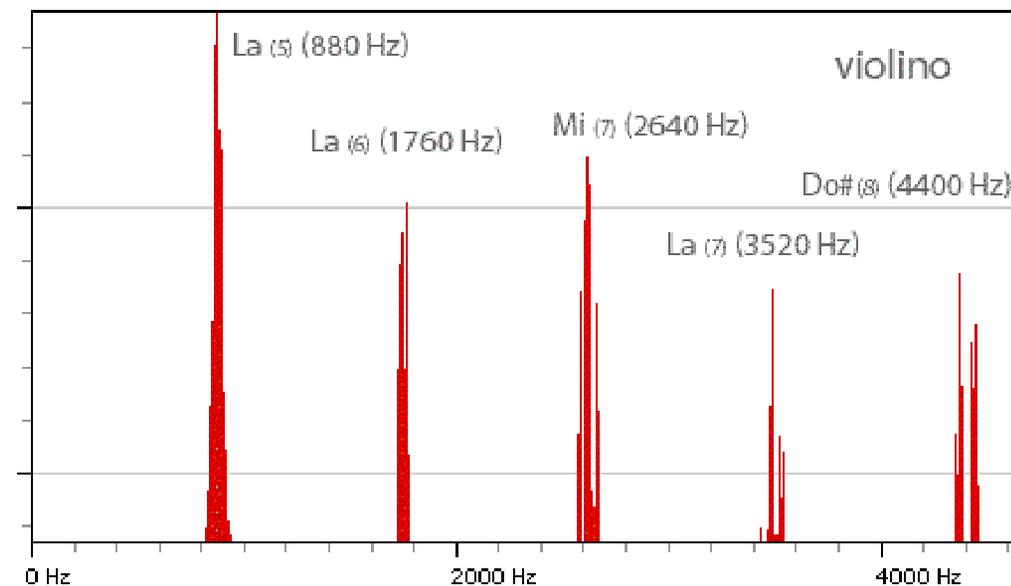
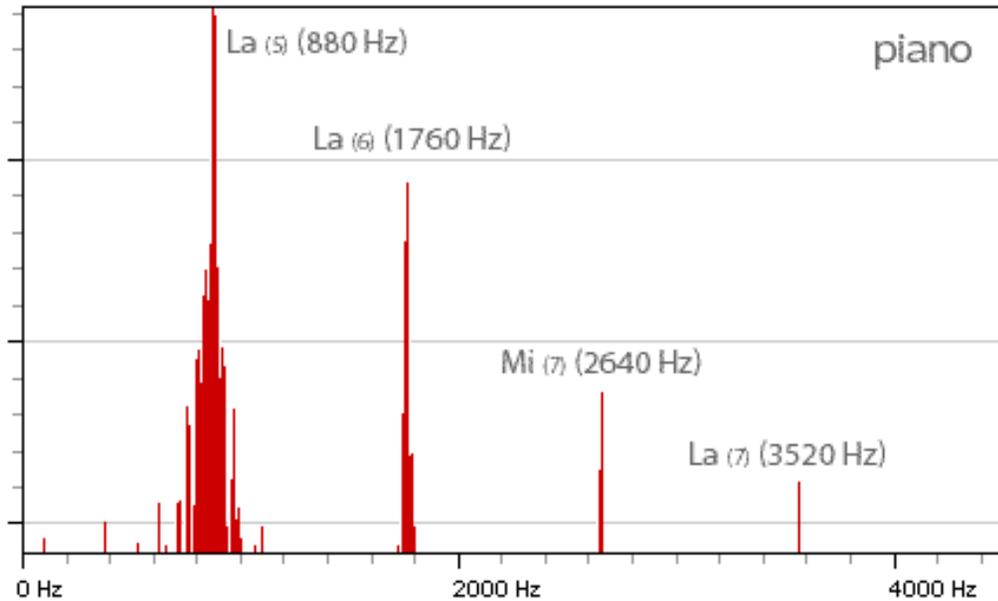
## Tavola armonica del violino



- Curva di risonanza di una tavola armonica libera di un violino
- Ampiezza delle armoniche emesse dalla corda
- Ampiezza delle armoniche effettivamente prodotte quando la corda è montata sulla tavola armonica (a violino non ancora assemblato).

## *Sib di un pianoforte*





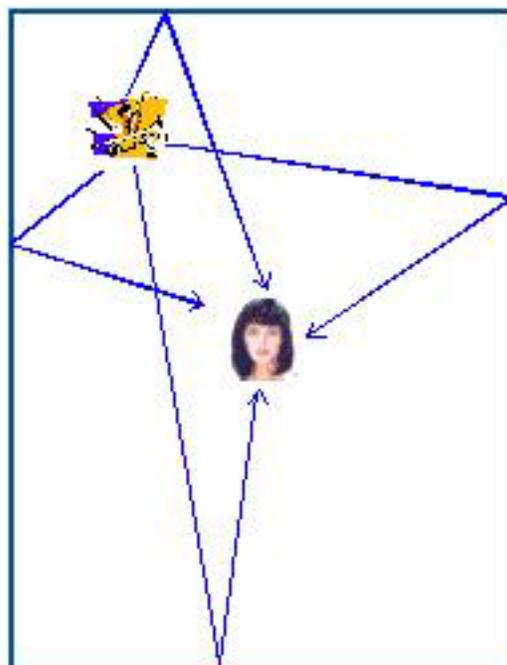
**Spettri in frequenza di una stessa nota, La<sub>5</sub>, per un pianoforte e per un violino.**

**La frequenza fondamentale è la stessa, 880 Hz, ma il contenuto di armoniche è molto differente. La nota del violino ha un contenuto di armoniche superiori molto maggiore, mentre quelle del pianoforte decrescono rapidamente. Notare anche la differente “larghezza” delle varie righe.**

# Il suono nello spazio



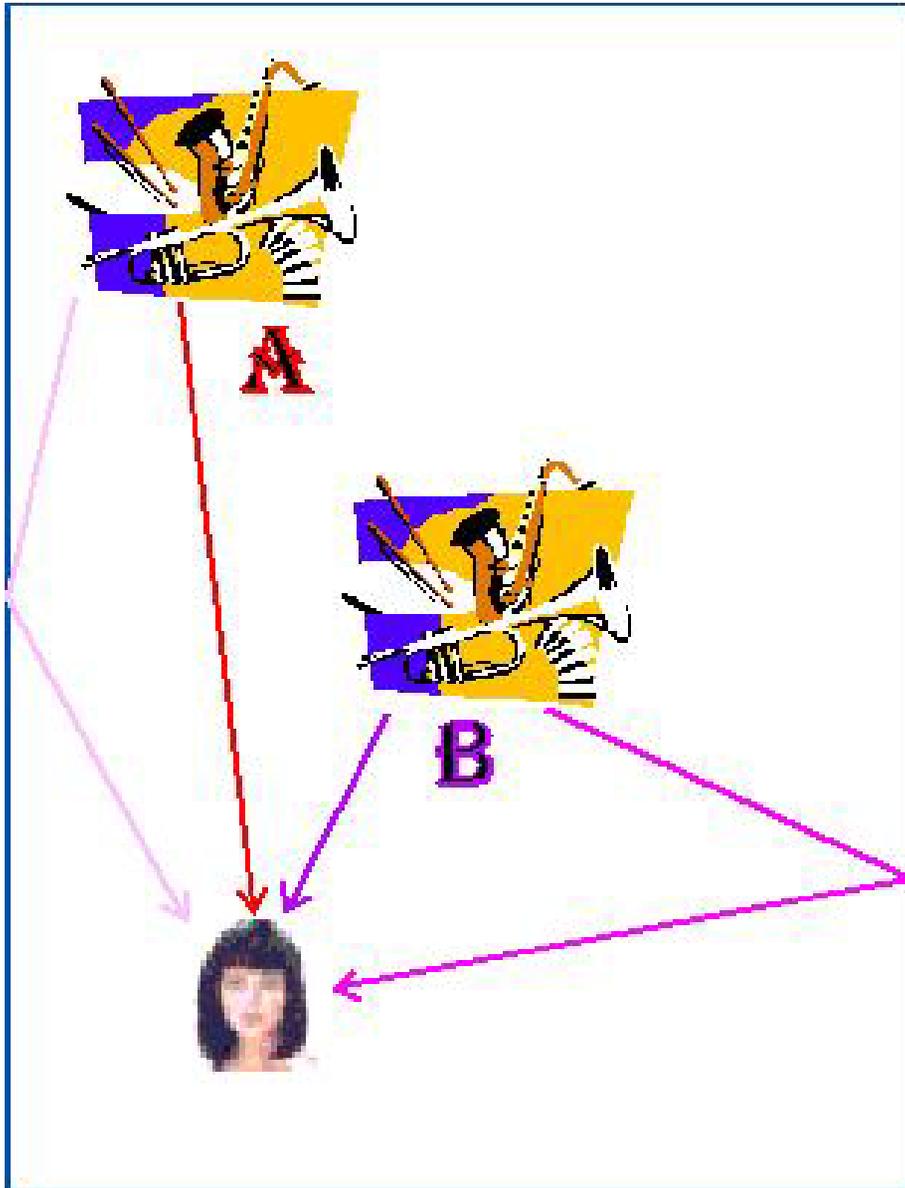
SUONO  
DIRETTO



PRIMI  
ECHI



RIVERBERO  
DIFFUSO



**Due sorgenti sonore A e B:**

**Il suono riverberato  
percepito dall'ascoltatore è lo  
stesso.**

**Il suono diretto proveniente  
da B percepito  
dall'ascoltatore è più intenso  
del suono diretto proveniente  
da A (che è più distante)**

**→ percezione della  
distanza delle sorgenti  
sonore**

Le riflessioni dovute all'ambiente generano l'effetto di **riverbero**, che amalgama e arricchisce i suoni (il suono diretto è solo una frazione di quello che arriva all'ascoltatore).

**A causa del riverbero, il suono permane nell'ambiente anche dopo che la sorgente ha cessato l'emissione.**

**Il tempo di riverberazione più appropriato dipende dal tipo di uso dell'ambiente:**

<b>Parlato:</b>	<b>&lt; 1 secondo</b>
<b>Musica:</b>	<b>~ 2 secondi</b>
<b>Opera:</b>	<b>~ 1 secondo</b>
<b>Chiesa:</b>	<b>2 – 4 secondi</b>

**Un eco (fastidioso) può essere provocato da una riflessione forte e netta da una parete.**

**Si cerca quindi di evitare questo tipo di riflessioni , cioè le riflessioni forti, isolate e distanti.**

**Si cerca invece di far sì che arrivino molti suoni riflessi da più direzioni, che creano un buon effetto di riverbero.**

**Questi suoni riflessi arrivano in ritardo rispetto al suono diretto, per cui la fonte sonora appare lo stesso localizzata sul palcoscenico.**

## *Effetto Haas (o effetto di precedenza)*

Quando un suono proviene da più direzioni (ad esempio quello emesso direttamente dalla sorgente più quello riflesso dalle pareti), se i vari segnali giungono con un piccolo ritardo l'uno rispetto all'altro, la nostra percezione è quella di un unico suono proveniente dalla sorgente più vicina.

**Origine dell'effetto Haas: il suono diretto arriva prima dei suoni riflessi (il cervello assume come direzione del suono quella del suono che arriva prima).**

L'effetto Haas avviene solo se il ritardo tra i due suoni è sufficientemente piccolo, all'interno della zona di Haas:

**0 – 40 ms circa (zona di Haas)**

Il suono sembra quindi provenire dalla direzione dalla quale ci giunge prima.

**Il suono riflesso che proviene da più direzioni aumenta il volume del suono (spesso è la parte più considerevole) e anche il suo timbro, ma questo non impedisce al nostro cervello di identificare la direzione della sorgente sonora (il cui suono raggiunge per primo l'ascoltatore).**

**Se il ritardo tra due suoni esce dalla zona di Haas (maggiore di circa 40 ms), allora percepiamo due suoni distinti (eco).**

## *Riferimenti*

J.R. Pierce, *La Scienza del Suono*, Zanichelli

A.Frova, *Fisica nella Musica*, Zanichelli

D. Giancoli, *Fisica*, Casa Editrice Ambrosiana

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fondamenti di Fisica*, Casa Editrice Ambrosiana