

ONDE E SUONI



**Raccolta appunti dalle lezioni
del prof. Mario Maggi e del
prof. Giorgio Maggi**


www.collezionemaggi.altervista.org

Il suono : dalle onde acustiche alla musica

Cosa possiamo imparare dallo studio dei suoni?

***In che modo l'uomo ha trasformato il suono nello
straordinario linguaggio universale che è la musica ?***

***Rumore e suono sono fenomeni che ci permettono di
comprendere scientificamente una tra le più
sorprendenti manifestazioni fisiche con cui si manifesta
e si propaga l'energia .***



Domande teoriche di fisica acustica

- *Cosa è una onda ? Quali sono forma e caratteristiche? Come si genera ?*
- *Come interpretare i fenomeni di riflessione, risonanza, diffrazione e interferenza?*



Domande Operative di laboratorio di fisica

- **Acustica** *Quali caratteristiche ha il suono, e come definire : intensità, altezza e timbro?*



Domande Operative di fisica acustica applicata alla musica

- *Come è fatto uno strumento musicale e perché un suono piacevole si dice armonico ?*
- *Come si scrive la musica e quale significato ha la misura del tempo e nella notazione musicale ?*

Concetti di fisica acustica : suono come vibrazione

- Il suono è sempre prodotto da una vibrazione e cioè da una forma di energia che si propaga per onde in un moto detto ondulatorio. Nell'aria il fenomeno avviene per successive compressioni e rarefazioni senza che vi sia trasporto di materia.

pressione

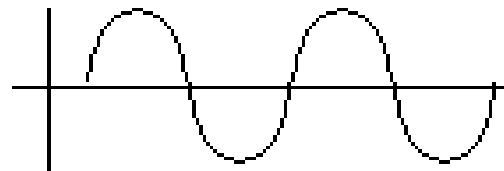
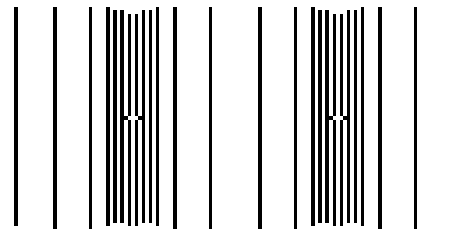


diagramma di pressione



compressioni e
rarefazioni nell'aria



Concetti di fisica acustica: proprietà delle onde sonore

Proprietà delle onde sonore è quella di

- **rimbalzare contro un ostacolo (riflessione),**
- **di trasmettere energia ad un altro corpo vibrante (risonanza),**
- **di aggirare gli ostacoli (diffrazione),**
- **di sovrapporsi ad altre onde (interferenza)**



Concetti di fisica acustica: caratteristiche delle onde sonore

- **Una onda sonora**
- **può essere udita ad un volume più o meno alto (intensità),**
- **può essere acuta o grave a seconda della sua frequenza di emissione (altezza),**
- **può distinguersi da altre come dal rumore (timbro).**



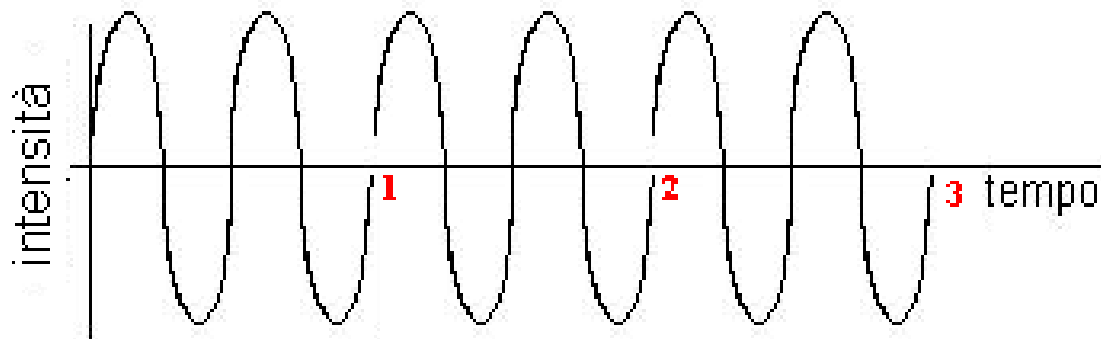
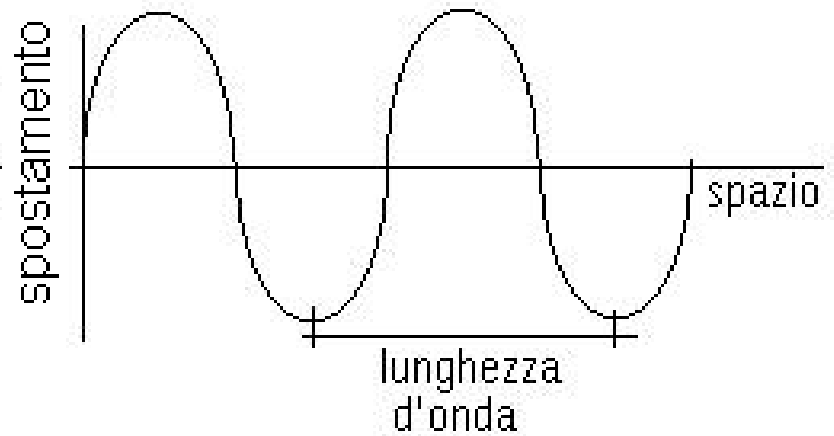
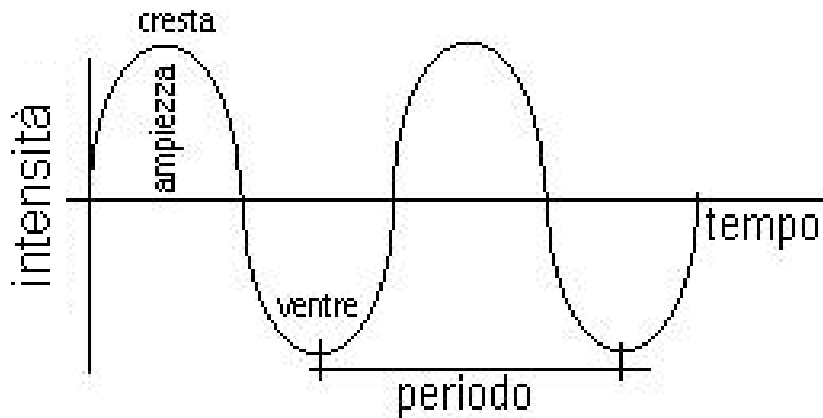
ONDE

- ***ONDA è una perturbazione o vibrazione che si propaga attraverso un mezzo materiale***

Come?

- ***Usando energia e***
- ***Senza trasportare materia***

Onde



Frequenza = n° di vibrazioni nell'unità di tempo



Classificazione delle onde

- **Tipologie di onde sonore** Esistono tre diverse tipologie di onde sonore e ognuna è identificabile da un particolare andamento grafico
 - Le **onde semplici**: onde dal tracciato regolare: i picchi sono speculari alle valli e assume la caratteristica forma di **sinusoide**. Le principali caratteristiche sono appunto il *grafico sinusoidale* e la *periodicità*.
 - Le **onde complesse**: sono sempre onde dal tracciato regolare, in quanto i picchi sono speculari alle valli, ma la loro forma risulta più complessa della precedente, perché presenta diverse anomalie nelle curve. Le caratteristiche sono: la **periodicità** e il *grafico non sinusoidale*.
 - Le **onde aperiodiche**: sono onde non regolari: il tracciato ha forma caotica e zizzagante. Sono caratterizzate dall'assoluta *irregolarità del grafico* e **dall'aperiodicità**; sono tracciati caratteristici dei **rumori**.

ONDE : forma

- Il moto di un'onda è detto **ondulatorio**. Nell'aria il fenomeno avviene per successive compressioni e rarefazioni

pressione

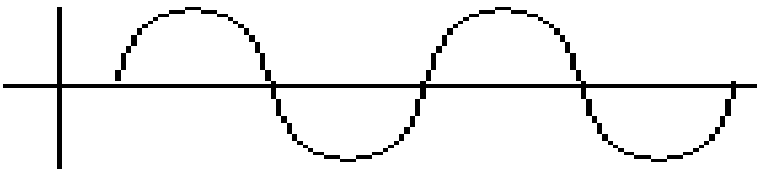
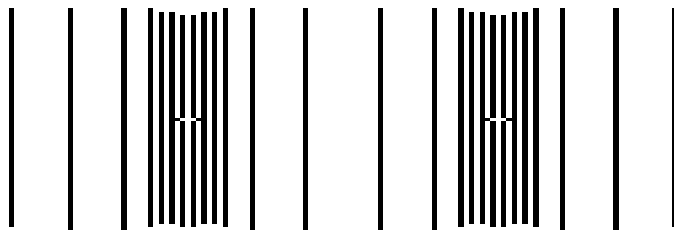
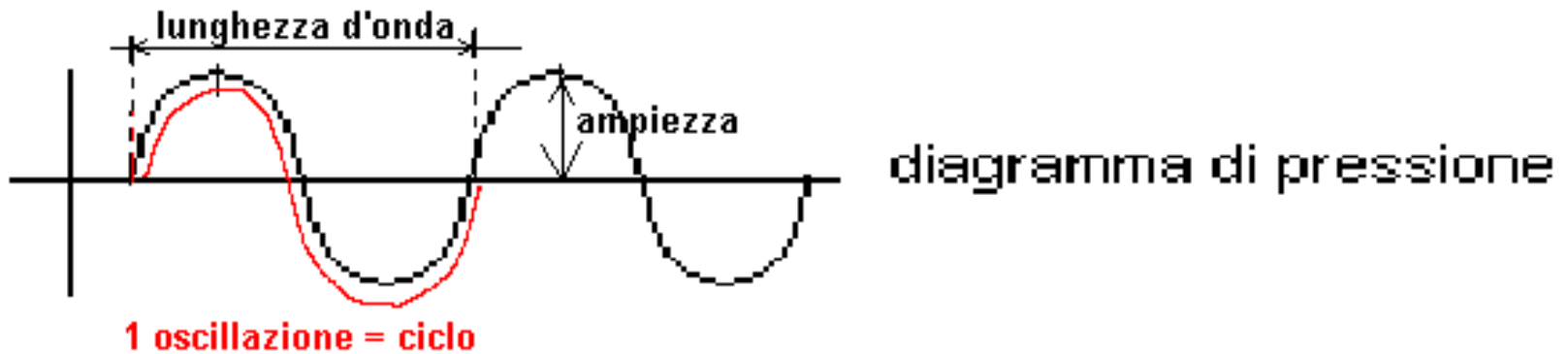


diagramma di pressione



compressioni e
rarefazioni nell'aria

ONDE : grandezze



- **Lunghezza d'onda l = lunghezza di una oscillazione in metri**
- **Ampiezza = altezza dell'onda che corrisponde al valore di pressione**
- **Frequenza f = numero di oscillazioni al secondo (1osc/sec. = 1 hertz)**
- **Velocità di propagazione = $l \times f$**



ONDE : proprietà

Proprietà delle onde sonore è quella di

- **rimbalzare contro un ostacolo (riflessione),**
- **di trasmettere energia ad un altro corpo vibrante (risonanza),**
- **di aggirare gli ostacoli (diffrazione),**
- **di sovrapporsi ad altre onde (interferenza)**

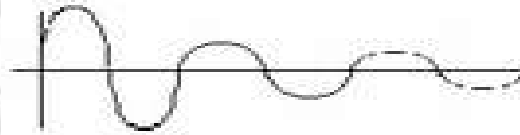


ONDE : caratteristiche

Una onda sonora

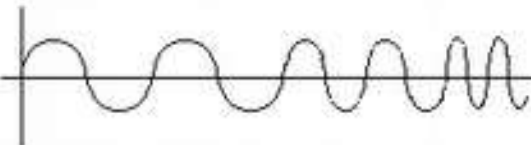
- può essere udita ad un volume più o meno alto

(**intensità**),



- può essere acuta o grave a seconda della sua frequenza di emissione

(**altezza**),



- può distinguersi da altre come dal rumore

(**timbro**).



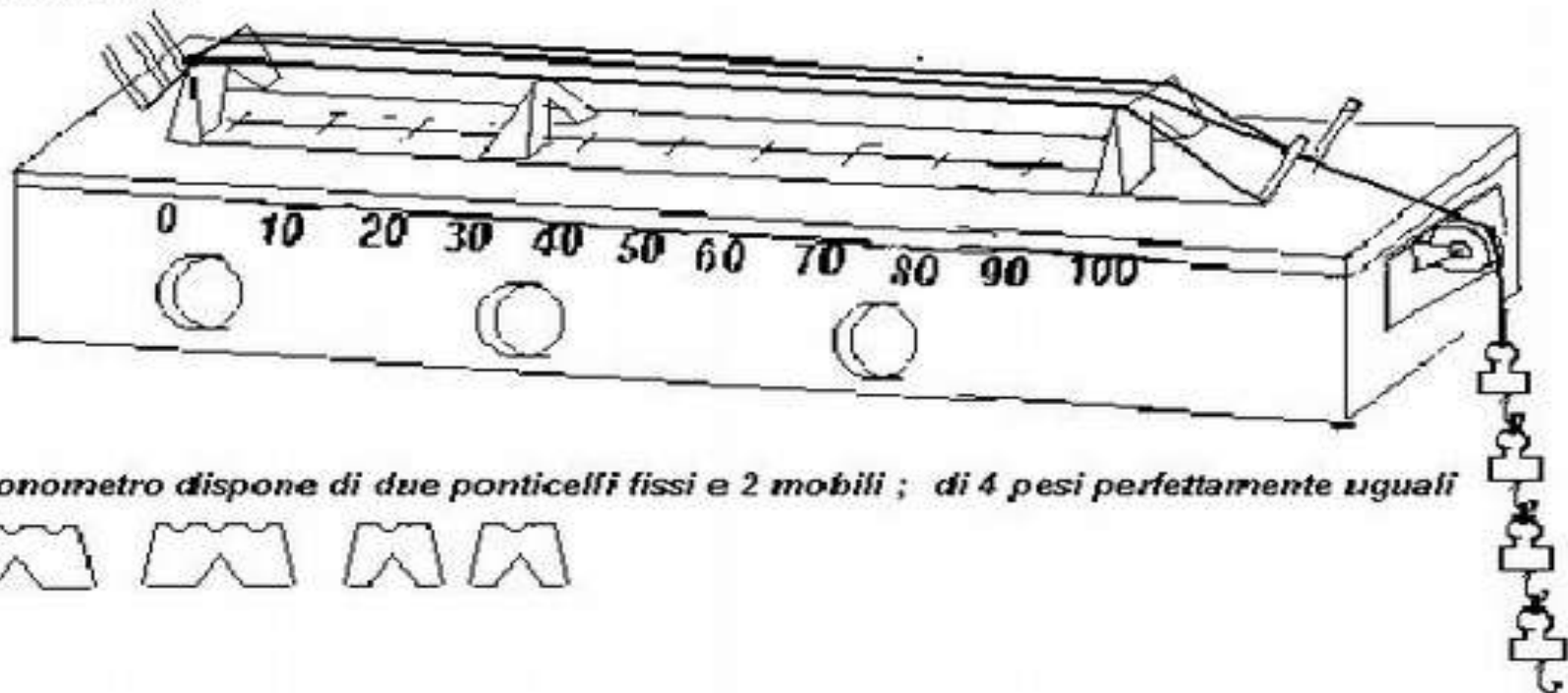
LABORATORIO DI FISICA ACUSTICA

- 1) Uno strumento musicale semplice come il salterio di Pitagora o il sonometro di Mersenne proposto in alcune stampe ci sarà utile per osservare che lunghezza, spessore e tensione di una corda sono tra loro in relazione e , variando opportunamente i loro valori è possibile variarne la frequenza e quindi l'altezza della nota emessa.**
- 2) Abbiamo costruito alcune canne d'organo ed abbiamo verificato le loro dimensioni matematiche**
- 3) Abbiamo studiato matematicamente una barra vibrante e sua cassa acustica di risonanza.**

sonometro

SONOMETRO

cassa rettangolare in legno di abete montato con 2 corde appoggiate su due ponticelli a 1 metro di distanza e tese da 2 piroli ; una terza corda centrale è tesa da un peso intercambiabile.



il sonometro dispone di due ponticelli fissi e 2 mobili ; di 4 pesi perfettamente uguali



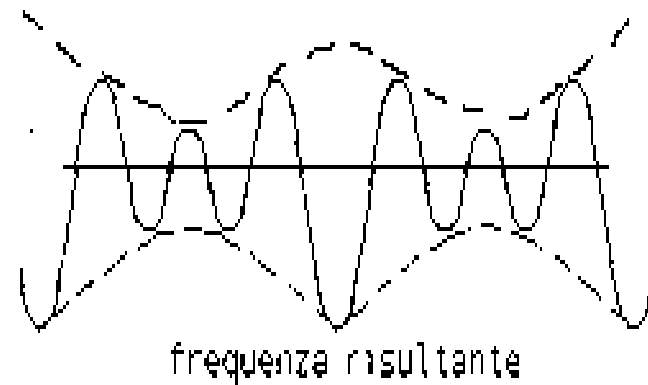
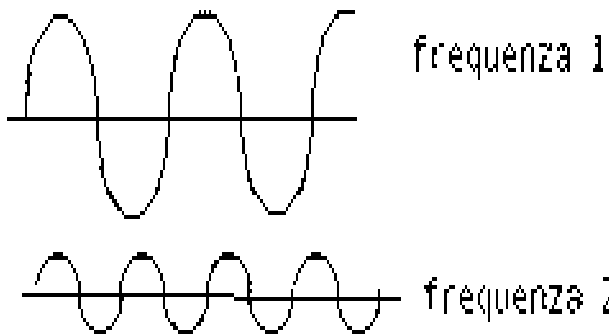


Osservazioni pratiche in laboratorio con il monocordo

- Abbiamo costruito il monocordo di Pitagora utilizzando una scatola di legno con un coperchio costituito da abete di spessore 3 mm e di lunghezza congruente ad una chitarra.
- Su di essa abbiamo teso una corda di chitarra a cui è stato applicato un peso
-
- Esperimenti eseguiti :
 - 1) pizzicando la corda essa produce un certo tono (es. DO) che potrà essere accordato con un flauto e con una tastiera
 - 2) Interponendo un piccolo ponticello di legno a metà della corda (1/2), abbiamo ottenuto lo stesso suono, ma più acuto di un'ottava. (infatti le vibrazioni della corda aumentano con il diminuire della lunghezza)
 - 3) Interponendo il ponticello di legno a 2/3 della corda e pizzicandola abbiamo ottenuto il sol
 - 4) Interponendo il ponticello di legno a 4/3 della corda e pizzicandola abbiamo ottenuto il fa
 - 5) Aumentando di 4 volte il peso tensore si può ottenere l'ottava superiore (verificare che il quadrato della frequenza f per il suo peso tensore x è uguale al quadrato della frequenza ottava f_1 per il suo nuovo peso tensore x_1 , semplificando se $f^2 \cdot x = f_1^2 \cdot x_1$ e se $f_1 = 2f$ allora $x = 4x_1$

Osservazioni pratiche in laboratorio 1

- Esperimenti eseguiti :
- pizzicando la prima corda essa produce un certo tono che potrà essere accordato con un flauto e con una tastiera pizzicando la seconda corda è possibile accordarla con la stessa nota (una differenza di accordatura evidenzia i battimenti e cioè

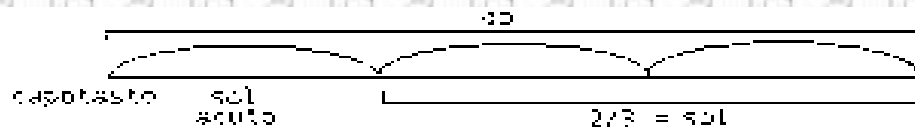


Osservazioni pratiche in laboratorio 2

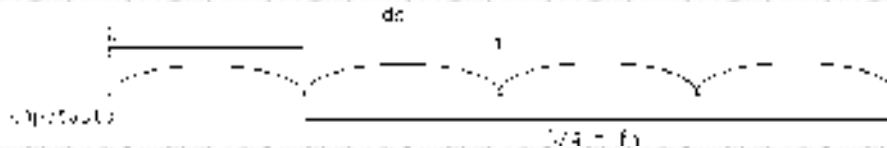
Interponendo un piccolo ponticello di legno a metà della corda ($1/2$), abbiamo ottenuto lo stesso suono, ma più acuto di un'ottava. (infatti le vibrazioni della corda aumentano con il diminuire della lunghezza)



Interponendo il ponticello di legno a $2/3$ della corda e pizzicandola abbiamo ottenuto il sol



Interponendo il ponticello di legno a $3/4$ della corda e pizzicandola abbiamo ottenuto il fa



Interponendo il ponticello di legno a $4/5$ della corda e pizzicandola abbiamo ottenuto il mi





Ulteriori calcoli

Dopo aver calcolato le tastature teoriche con Excel si può verificare il calcolo con un ponticello mobile (il calcolo è stato realizzato con la formula $B1 = 100$; $B2 = B1 - B1/17,81715$ in excel) se sostituisco in B1 la misura del diapason della chitarra ottengo la misura delle tastature)

Il temperamento equabile inventato presumibilmente da Bach è diverso dal sistema di temperamento pitagorico che si basa sugli armonici

Misura temperamento equabile (equabile perché il rapporto tra il successivo e il precedente è sempre uguale e cioè = 1,05946

$B2 = B1 - B1/17,81715$

Sistema pitagorico

C 100

94,3874

D 89,0899

84,0896

E 79,3700

diverso da $E = 100 \cdot 4/5 = 80$

F 74,9153

diverso da $F = 100 \cdot 3/4 = 75$

70,7107

G 66,7420

diverso da $G = 100 \cdot 2/3 = 66,66$

62,9960

A 59,4603

56,1231

B 52,9731

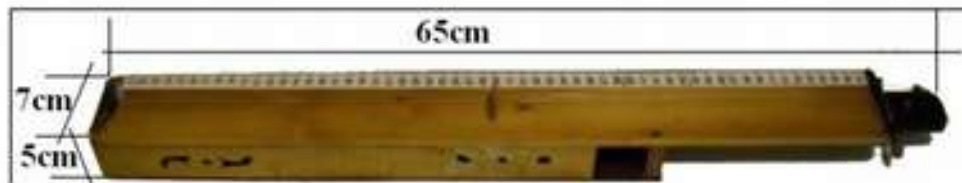
C 50,0000

uguale a $C = 100 \cdot 1/2 = 50$

(riducendo la misura del diapason di una chitarra interponendo un ponticello mobile è possibile calcolare le nuove tastature utilizzando la formula)

LABORATORIO DI ACUSTICA

(da appunti del prof. Mario Maggi)



Descrizione: Il MONOCORDO è costituito da una cassa armonica che sostiene due corde. Un metro indica la misura delle corde e permette di misurare le frazioni. Le misure approssimative sono: lunghezza 65cm; larghezza 7cm; profondità 5cm;

Funzione: lo strumento previsto da Pitagora è utilizzato per la didattica del temperamento e del valore tonale delle note. Suddividendo la corda a 1/2, 2/3, 3/4, 4/5 è possibile valutare acusticamente rapporti tonali di ottava, quinta, quarta, terza... inoltre con la seconda corda è possibile confrontare rapporti tonali assoluti ed equabili stimandone le differenze attraverso i battimenti. Il monocordo di Pitagora nasce per la lezione di acustica: esso è costituito da una cassa armonica di legno con un coperchio costituito da abete di spessore 3 mm. Secondo Giuseppe Zarlino (*Istitutioni Harmoniche* -1558), i rapporti tra le lunghezze delle corde si possono ottenere attraverso i primi sei numeri naturali: il senario zarlinoiano prende così il posto della tetraotes pitagorica; l'accordo è preso da Ganassi (1543)

L'innovazione indica che il violino dovrà essere progettato tenendo conto della distanza tra gli archetti, aumentando la lunghezza diminuisce la frequenza ma, nell'arco, l'ampiezza dei fori aumenta la frequenza ma dell'arco, l'aspetto del legno è determinante la spessore della tavola al centro diminuisce la frequenza ovvero diminuendo lo spessore agli estremi aumenta la frequenza. Diminuiscono tra la vicinanza della vibrazione longitudinale e trasversale della tavola e del fondo collegato attraverso l'anima.


➔ Negli strumenti a corde, con buona approssimazione si intende il diametro o il perimetro del foro di risonanza e non l'area

● medioevo
 C rinascimento
 S barocco

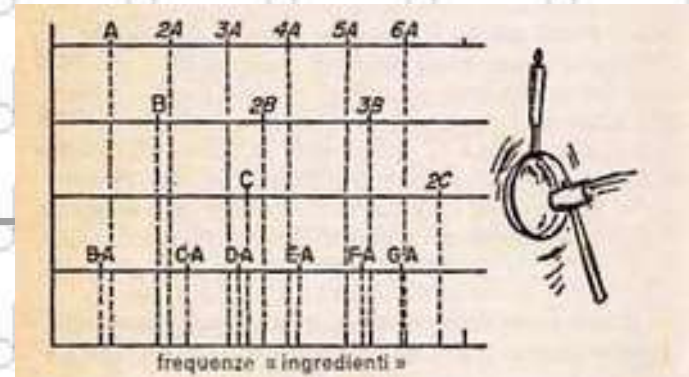
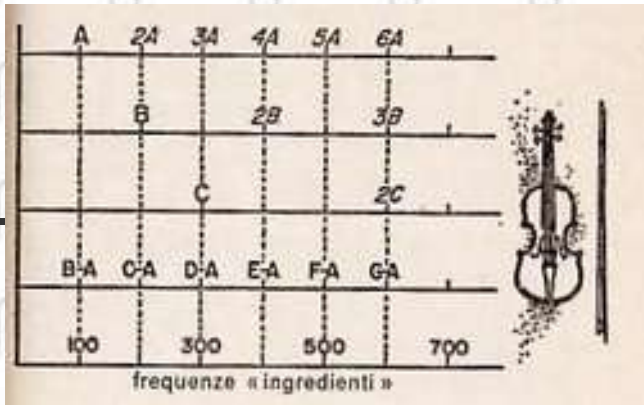
C = velocità del suono = 34400 cm/sec
 F = frequenza
 l = lato canna
 L = lunghezza canna canna tappata

$$L = \frac{C}{4F} = 2,35 \cdot l$$

ARMONICHE


- 
- Armoniche Serie di vibrazioni sussidiarie che accompagnano la vibrazione fondamentale 1:1 (2:1, 3:1, 4:1 ecc.).
 - dunque: uno strumento suona ad esempio il do 523hz e contemporaneamente si producono frequenze d'onda in rapporto semplice con la frequenza fondamentale. Calcolo:
 - $523 \rightarrow$ do
 - $523 \times 2 \rightarrow$ do acuto
 - $523 \times 3 \rightarrow$ sol
 - $523 \times 4 \rightarrow$ do
 - $523 \times 5 \rightarrow$ mi
 - $523 \times 6 \rightarrow$ sol

Suono o rumore, che differenza c'è?



- Il violino produce **suono** perché i suoni A, B,C si sommano o si sottraggono dando sempre e solo valori sovrapponibili alla serie armonica di A,2A, 3A, 4A....
- Il tegame colpito dal martello produce **rumore** perché i suoni A, B,C si sommano o si sottraggono dando sempre e solo valori non sovrapponibili alla serie armonica di A,2A, 3A, 4A....

Le armoniche definiscono il timbro



Le armoniche contribuiscono alla percezione uditiva della qualità, o timbro, di un suono: nel violino sono preminenti determinate armoniche, nel clarinetto altre. Nel trombone aumentando la lunghezza del tubo sonoro, e quindi una nuova lunghezza d'onda fondamentale si può ottenere una nuova serie di armoniche producendo un maggior numero di note.

In conclusione dobbiamo sempre ricordare che i vari suonatori raschiano le loro ancie e regolano la pressione delle labbra per ottenere qualunque tipo di ricetta sonora desiderino, entro i limiti abbastanza vasti imposti dalle forme fisse dei loro strumenti. L'influenza esercitata dal musicista sul modo in cui l'ancia apre e chiude la comunicazione tra i polmoni e l'interno dello strumento è talmente grande che un suonatore esperto può ottenere quasi gli stessi suoni (secondo il giudizio dell'ascoltatore) da un vecchio rottame e dal suo prezioso strumento personale. Come gli amici violinisti, egli può essere effettivamente in grado di farlo, ma tutto gli

laboratorio 3

Costruzione di canne d'organo

L = lunghezza canna

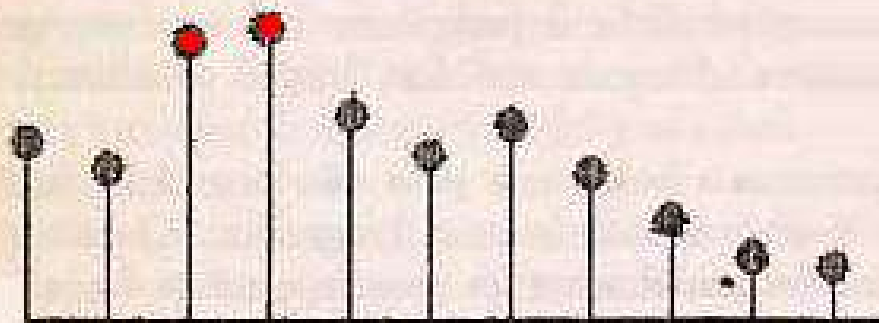
V = velocità del suono (340m/s)

ν = frequenza (440 Hz per il La)

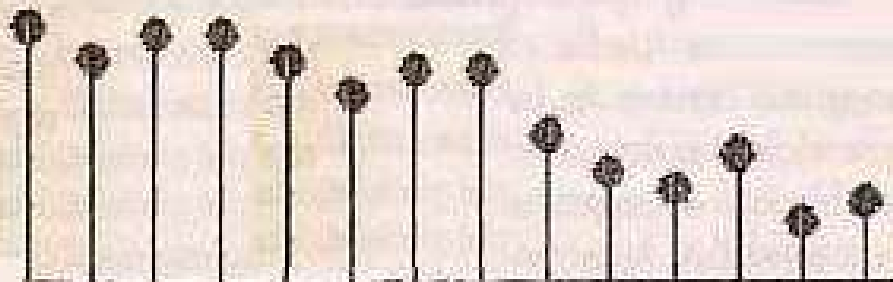
X = diametro canna o lato canna a sezione quadrata

$$L = \frac{V}{2\nu} - 2x$$

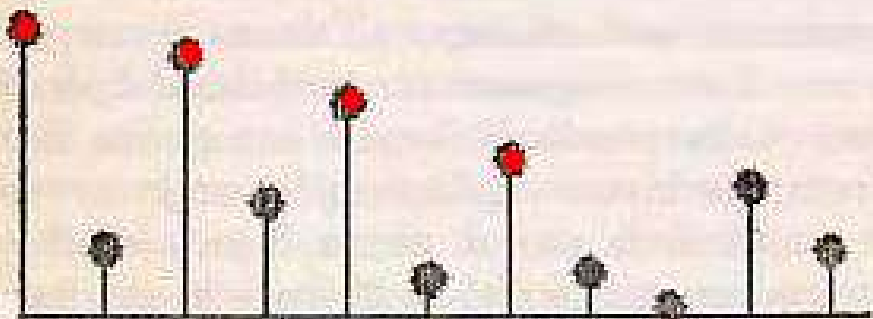
Le differenze di timbro ..in grafico



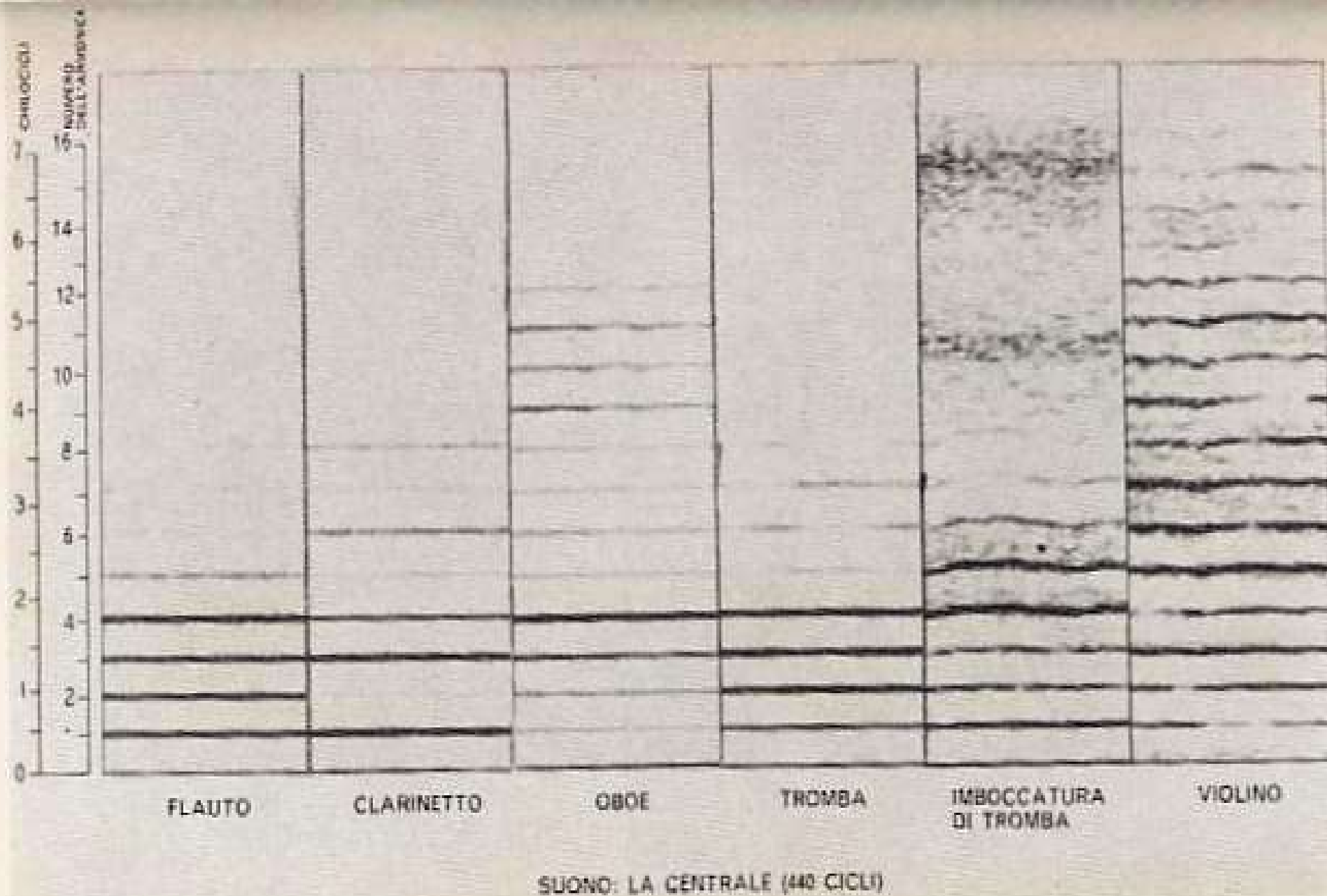
Oboe : alcune armoniche sono più forti della fondamentale



Violino: sequenza completa di armoniche



Clarinetto: sono evidenti le armoniche dispari soprattutto nei bassi

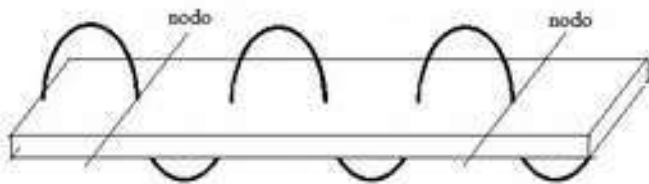


SUONO: LA CENTRALE (440 CICLI)

Tav. I. Spettrogramma del suono di alcuni strumenti musicali: secondo la loro forma, gli strumenti mettono in rilievo certe armoniche.

laboratorio 4

Costruzione di piastra vibrante di vibrafono e relativa cassa armonica



BARRA VIBRANTE

$$f = \frac{0,05596}{L^2} \sqrt{\frac{Qk^2}{d}}$$

f = frequenza
L = lunghezza della barra (cm)
Q = modulo di young's in dine per cm²
k₁ = spessore in cm
k₂ = spessore in cm
d = densità per cm³

per una lamina dallo stesso spessore, densità, elasticità la formula si riduce a $f = \frac{cost}{L^2}$

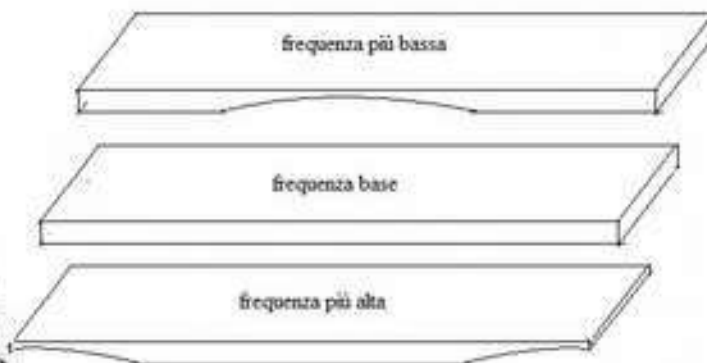
la lunghezza della piastra per cost = 1 sarà

$$L = \sqrt{\frac{1}{f}}$$

se L = 1 per una ipotetica frequenza f = 1 allora la lunghezza della barra per l'ottava 2f sarà $L = \sqrt{1/2} = 0,7$
deduco che L acuto (2f) = L * 0,969 circa per 12 volte es $30 * (0,969)^{12} = 20,5$

3 larghezza,
2cm spessore,
lunghezza:

- C=18 ◦
- B=18,5 ◦
- A=19,5 ◦
- G=20,5 ◦
- F=21,5 ◦
- E=22,5 ◦
- D=24 ◦
- C=25,5 ◦
- B=27 ◦
- A=28,5 ◦
- G=30 ◦



Franchino Gaffurio nel trattato *Theorica musicae* del 1492 racconta che Pitagora passando vicino ad una officina, dopo aver sentito i martelli di dimensioni diverse, percuotere metalli abbia avuto l'intuizione dei rapporti armonici musicali.

PIASTRA CON DIAPASON ACCORDATO IN LA 440Hz



QUESTO NUOVO
ARMONIO A CASSA DI
RISONANZA, ORE A
DARE UNA VOCE RO-
TUNTE E ARMONICA
ERGA VINCIBILI DI
TUTTI I SOGGETTI AL DO-
CIMO. IMMAGINARE
ESAGA CONTRA OPE-
RACIONE DI MONTA-
GIO. LA CARATTERISTICA
COSTRUZIONE ORE A
GARANTIRE LA SOSTA



IL NUMERO DI AN-
SCHE E MONTAGGIE
IN UN SOLO MINUTO

LO STRUMENTO È DI
FACILE TRASPORTABILITÀ
GRAZIE ALLA FACILISSI-
MA ERAZIONALE SOSTE-
MAZIONE DI VILACCIO-
CINI. AL SUO INTERNO, SI
TROVANO DIVERSE SOSTE-
DATE ENTRO UNITI
MISURE.

In vendita presso: **NAZZARI & MAGGI**
VIBRAFONI
Via Filippi, 2 - Via S. Maria Nuova, 12
CREMONA

- **Descrizione:** Lo strumento è costituito da una cassa armonica che sostiene una piastra vibrante. La piastra è accordata a 440Hz
- Le misure approssimative sono; lunghezza:35cm;
- **Funzione:** lo strumento serve come standard d'accordatura per gli strumenti musicali
- **Effettuazione Della Misura**
- Un semplice tocco indica al musicista il La necessario all'accordatura dello strumento
- **Approfondimento:**
- Previsto da Pitagora, utilizzato nella didattica del temperamento e del valore tonale delle note, lo strumento testimonia l'attività a Cremona di produzione e accordatura di piastre musicali per vibrafoni (Ditta Resonanz di Nazzari e Maggi)

Una piastra risonante è costituita da una barra metallica con i due lati liberi di vibrare (i necessari supporti sono individuati in un nodo vibrazionale) con ricetta:

$$f_1 = \frac{1,133 \pi}{l^2} \sqrt{\frac{Q K^2}{\rho}}$$

f_1 frequenza
 l lunghezza barra(cm)
 Q modulo di Young
 K spessore della lamina/ $\sqrt{12}$
 ρ densità

per accordature a " domicilio" semplici confronti tonali sono realizzati con il diapason... da viaggio





Discussione in classe

- ***Abbiamo discusso:***
- **1) *le modalità di costruzione di un monocordo***
- **2) *calcolo della giusta accordatura***
- **3) *calcolo del temperamento equabile***
- **4) *calcolo degli armonici***
- **5) *Evidenze in Excel delle differenze tra le frequenze calcolate col metodo pitagorico e quelle ricavate con il metodo del temperamento equabile***
- **6) *calcolo delle lunghezze di canne e piastre vibranti***

onde e suoni

ONDA : perturbazione o vibrazione che si propaga senza spostare materia

come?

con energia di movimento

rappresentazione delle onde sonore

forma

creste

ventri

grandezze

ampiezza

frequenza
 $= f$

lunghezza
d'onda $= l$

$$l = \frac{\text{velocità di propagazione}}{f}$$

proprietà

riflessione

risonanza

diffrazione

interferenza

caratteristiche

intensità

altezza

timbro





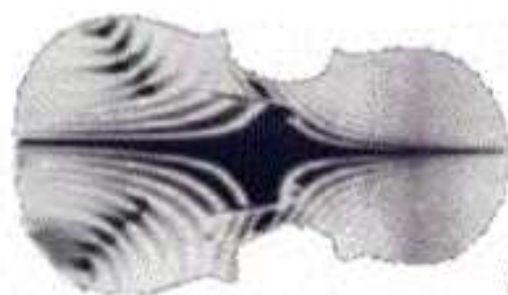
Acustica applicata in Liuteria



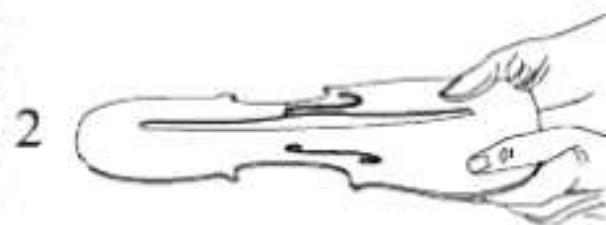
Dalla semplice piastra alla tavola del violino con tecniche di accordo attraverso l'esperienza tattile confermata da figure di Chladni e interferogrammi olografici (da Hutchins)

modi di vibrazione

verifica empirica



80 - 100 Hz



150 - 170 hz



350 -360 Hz

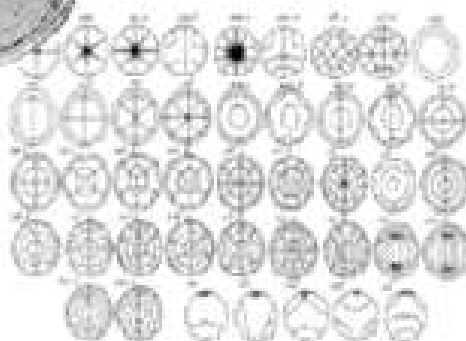
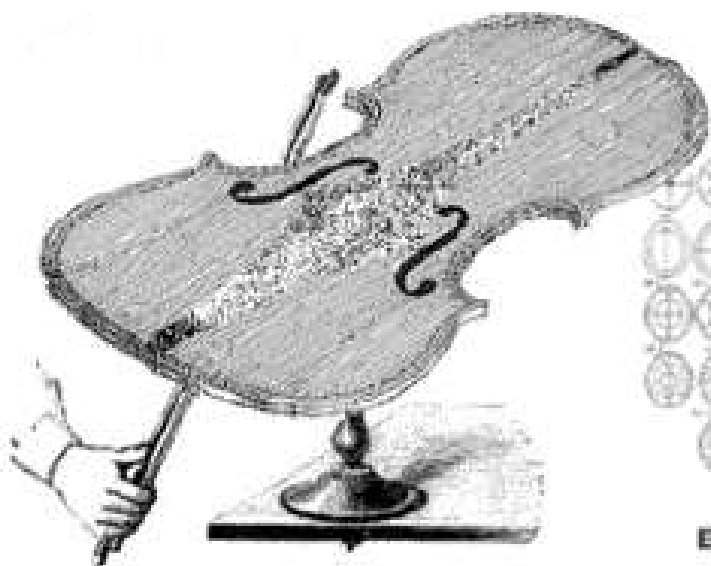
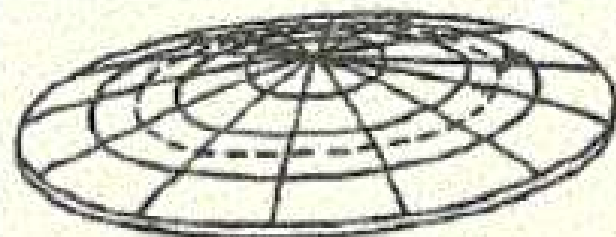
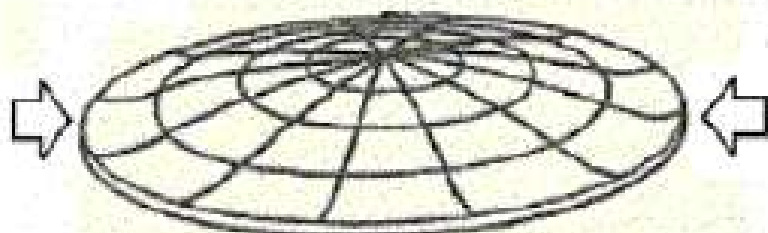
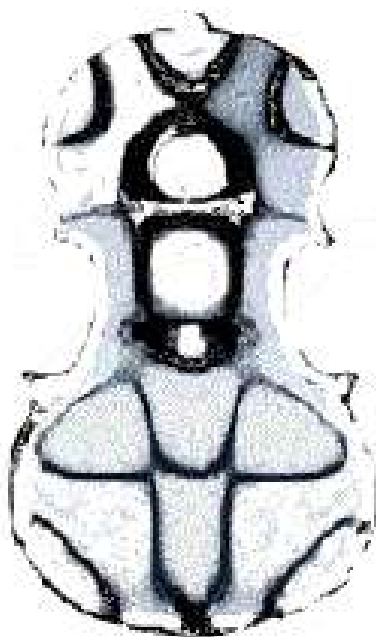
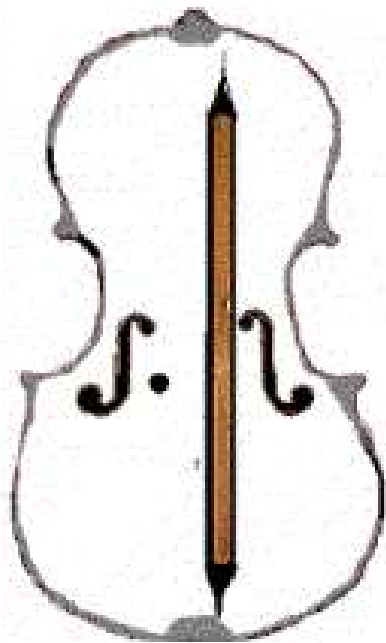
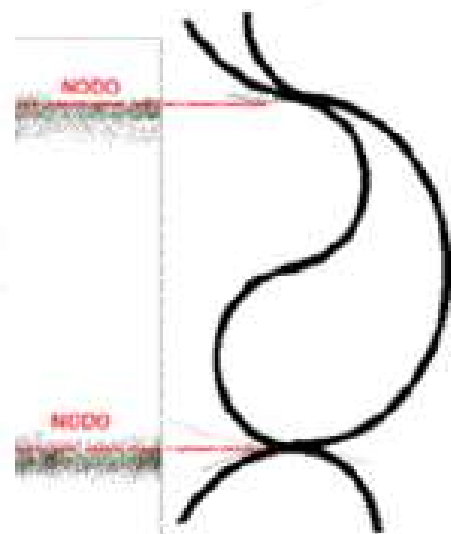


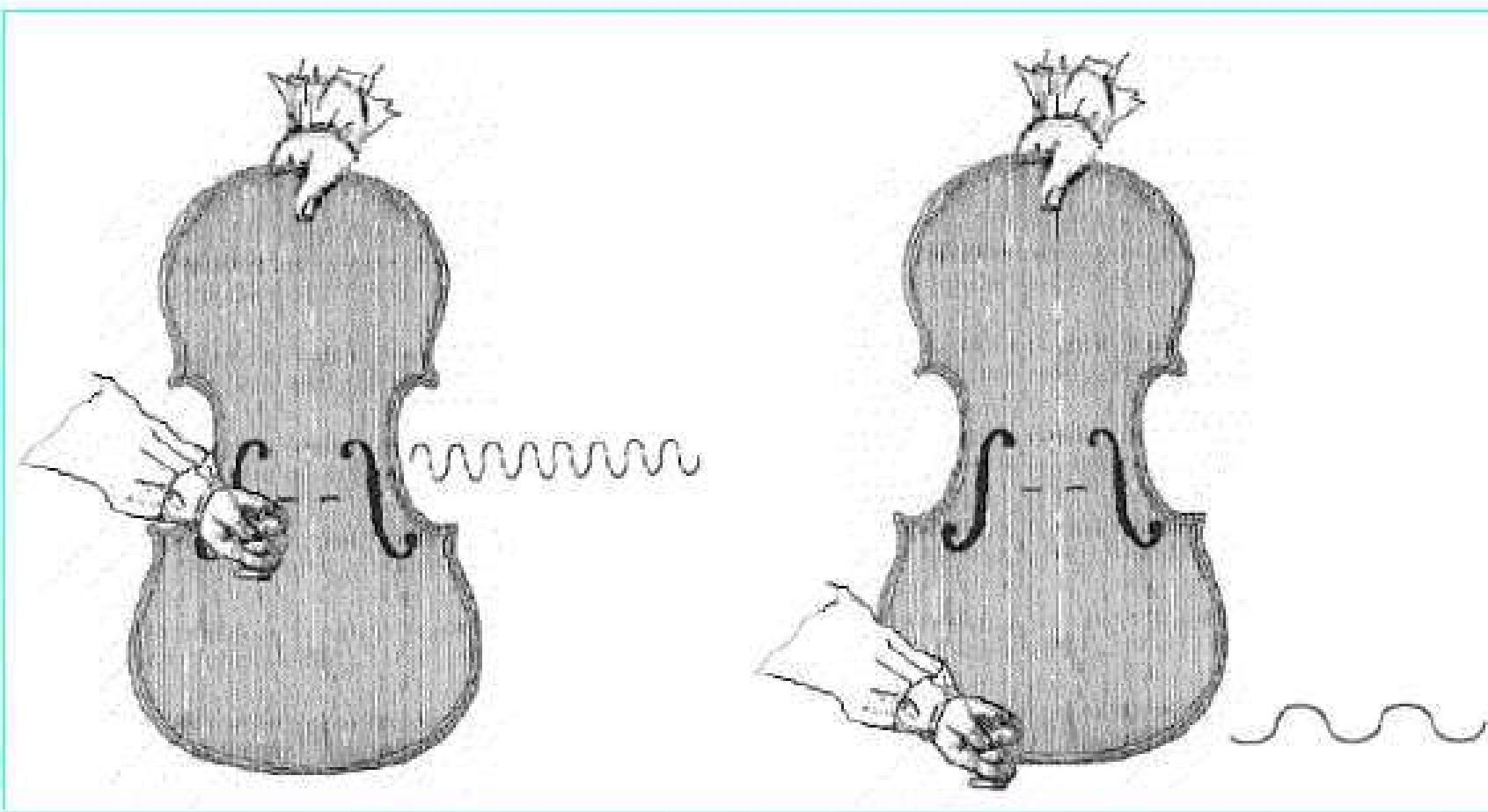
Figure di
Ernst Florenz Friedrich Chladni
1756





Tap Tone

centrale acuto (M2) e periferico basso (M5)



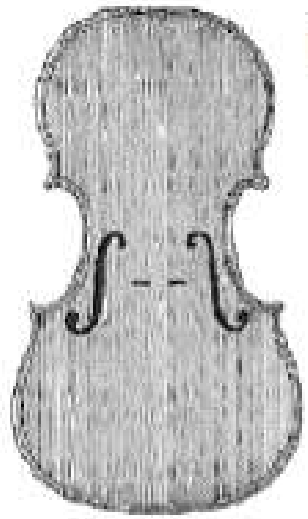
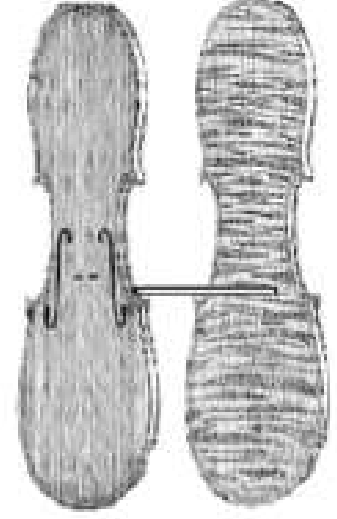
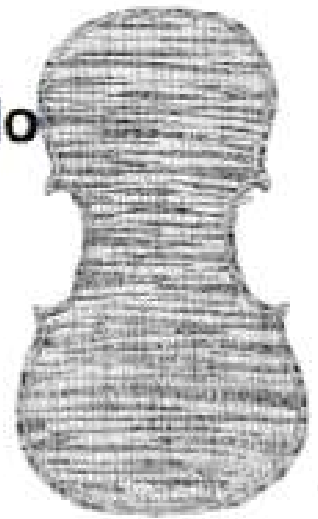


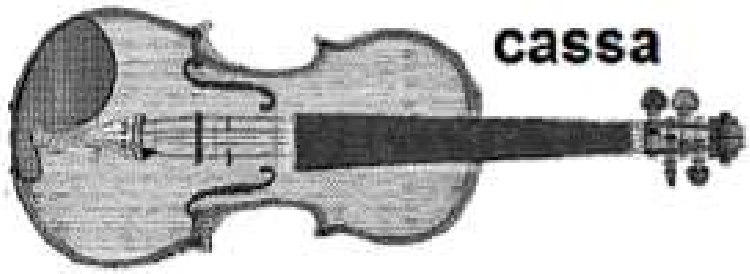
tavola
fondo



frequenza tavola
modo 1 = 80 Hz
modo 2 = 160 Hz
modo 5 = 350 Hz

frequenza fondo
modo 1 = 80 Hz
modo 2 = 160 Hz
modo 5 = 350 Hz

frequenze di coppia
tavola 260 Hz
fondo 290 Hz



cassa

A1 frequenza risultante

- A0, frequenza aria (varia con apertura ff)**
- B1-, frequenza fondo assemblato (varia con spessore)**
- B1+, frequenza tavola assemblata (varia con spessore)**
- B0, frequenza accessori (cordiera, manico...)**

TABLE 1: TAP-TONES AND WEIGHTSMaker **JOSEPH CURTIN**

INSTRUMENT	WITHOUT BASS-BAR			WITH BASS-BAR			
	M2	M5	Weight	M2	M5	Weight	Bar
'Booth' Stradivari, 1716	127	305	54	150	345	58	4
'Kreutzer' Stradivari, 1727	117	276	55.5	139	324	60	4.5
'Petri' Stradivari, 1700	126	332	65.5				
'Alard' Stradivari, 1728	127	304	61.7	146	351	66	4.3
'Stretton' 'del Gesù', 1726	143	308	64.1	155	362	68.4	4.3
Carlo Landolfi, 1762	150	321	59.2	172	371	63.5	4.3
Carlo Tononi, c.1730	127	332	62.9	146	384	67.2	4.3
Carlo Testore	143	322	60.5	164	366	65	4.5
Francesco Rugeri, 1685	150	324	61.2	171	375	65.5	
Average (no estimates)	131	309	59.9	155	360	64.2	4.3
Average (with estimates)	134	314	60.4	155	360	64.2	



CANNA D'ORGANO E VIOLINO

NOTE.FOR MULE.SUGGERIMENTI

canna a sezione quadrata

canna aperta

$$L = \frac{C}{2F} - 2,35 \cdot A$$

canna tappata

$$L = \frac{C}{4F} - 2,35 \cdot A$$

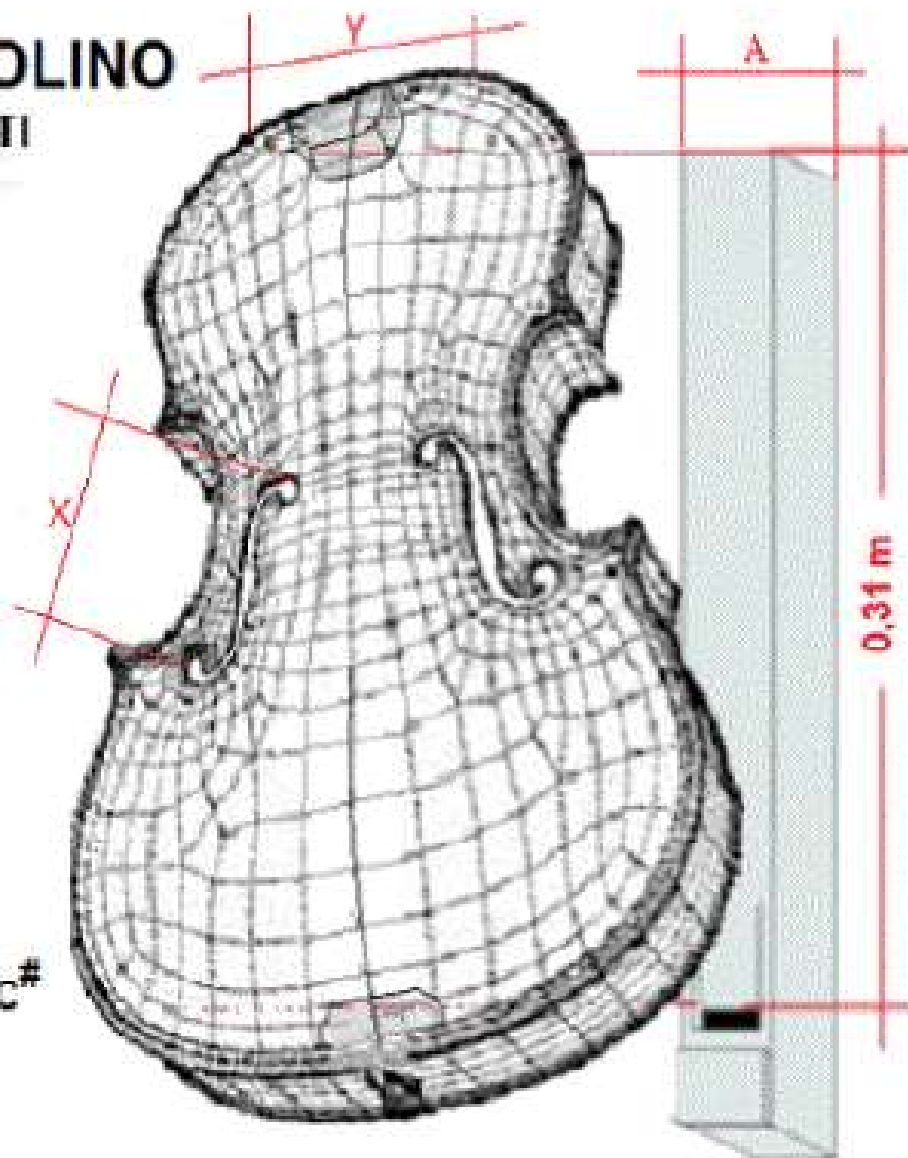
L=lunghezza canna
C= velocità del suono
=34400cm/sec
F= frequenza

d= diametro canna
L= lunghezza canna
l= lato canna

ESEMPIO

UNA CANNA D'ORGANO SEMI - TAPPATA

$$\text{frequenza} = \frac{8600 \text{ (circa)}}{\text{lunghezza} + (2 \times A) \text{ canna}} = 277 \text{ Hz } C^\# \text{ (circa)}$$

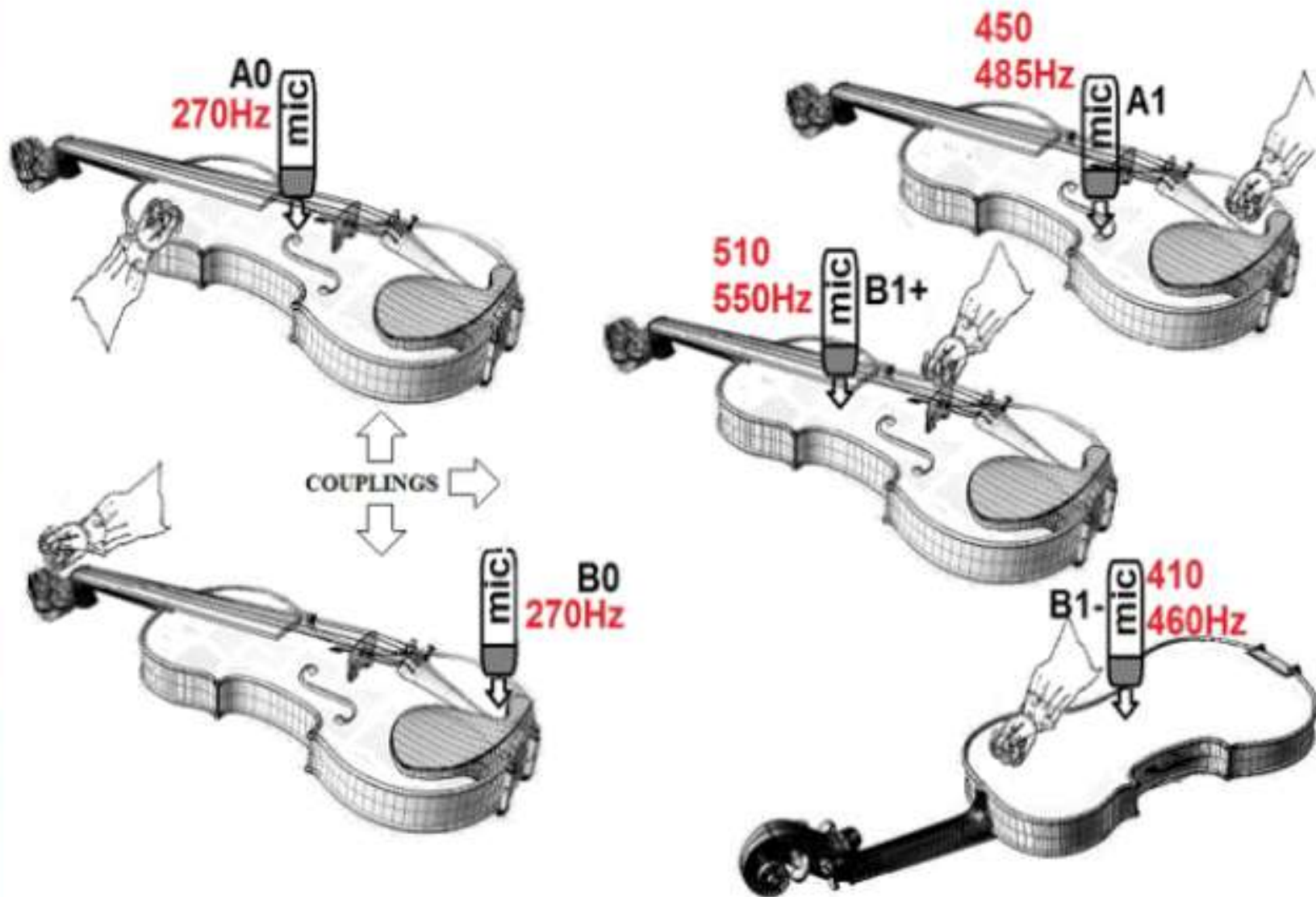


il valore di $A = f(X,Y)$ nel violino influenza la frequenza dell'aria nella cassa



Modi di vibrazione della tavola armonica

DAL LORO ACCOPPIAMENTO (COUPLING) NASCE LA QUALITA' ACUSTICA DEL VIOLINO





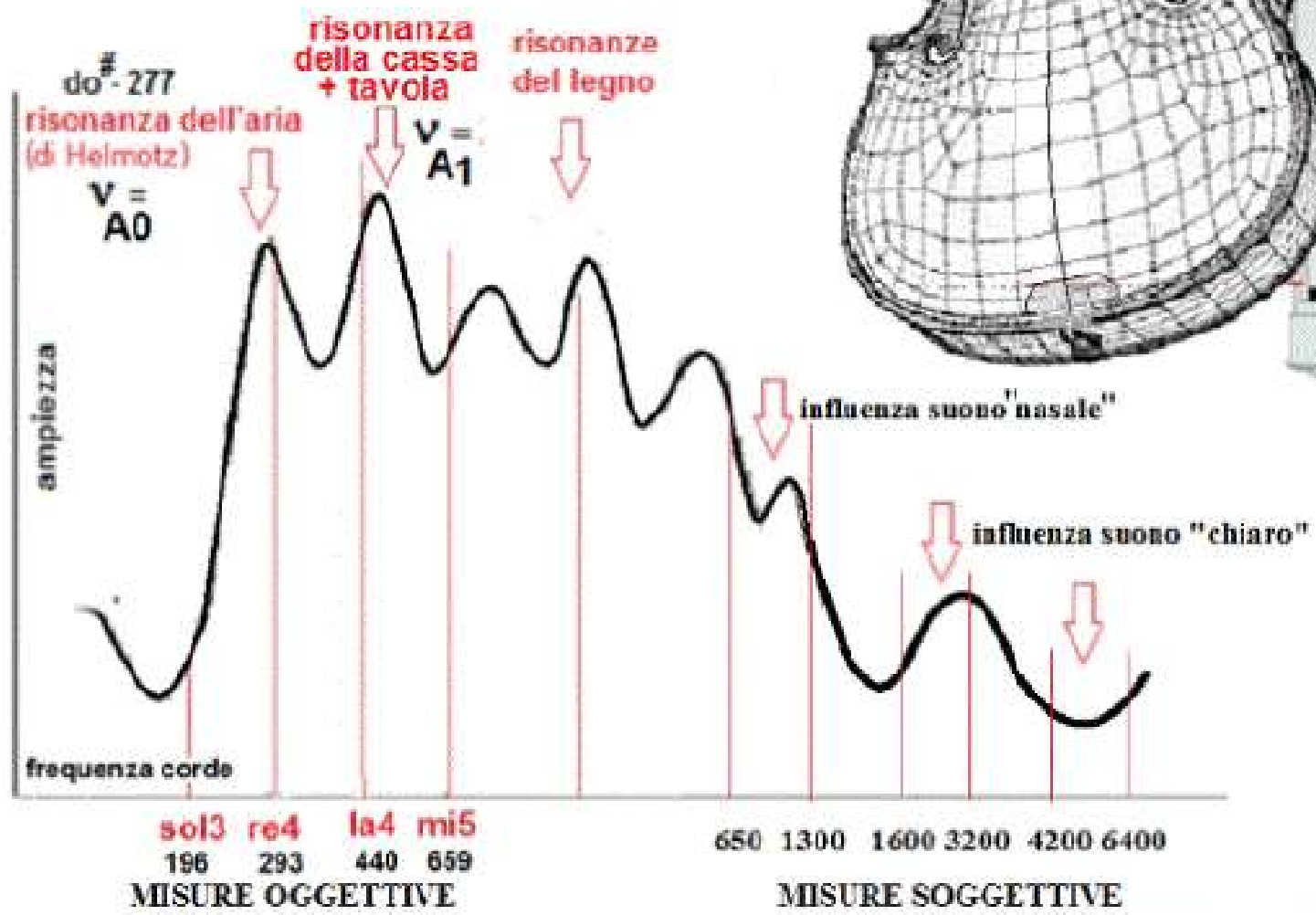
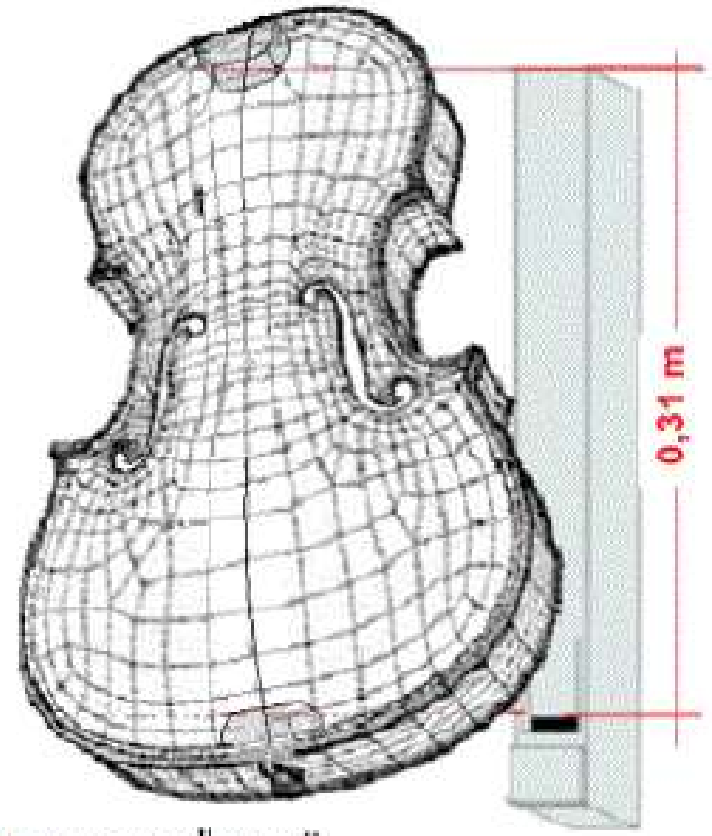
MUSEO DELLA CHIMICA E DEL VIOLINO
IIS "J. TORRIANI"

Giorgio Maggi

MODELLO SPETTRALE

$v = 340/4 \cdot 0,307 = 277$ frequenza del $do^{\#}$ dell'aria contenuta in una canna d'organo o cassa armonica di violino (variabile con le dimensioni delle ff e con la posizione dell'anima)

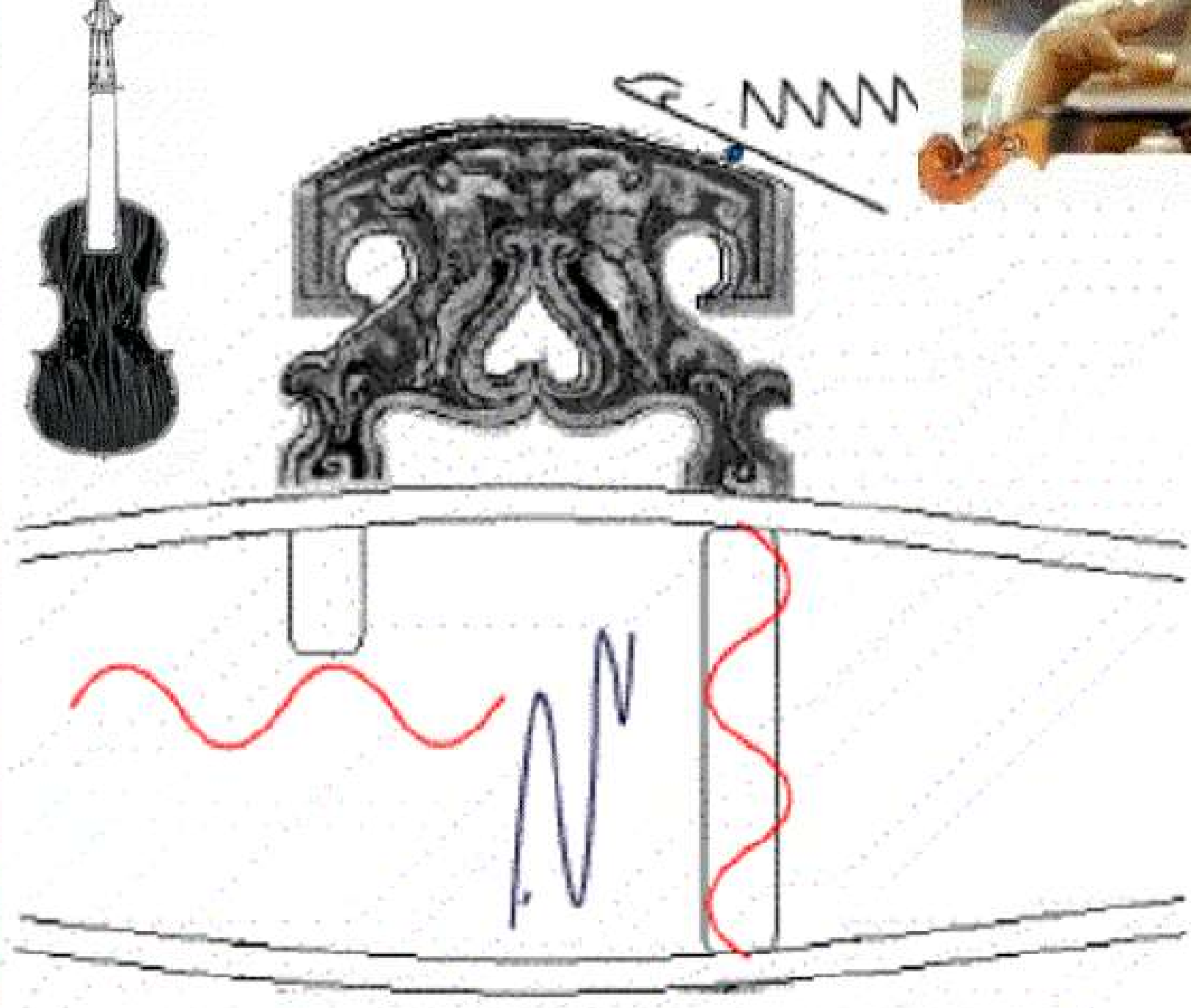
$v = 450-500$ Hz: frequenza della cassa armonica del violino in compliance con la frequenza della tavola



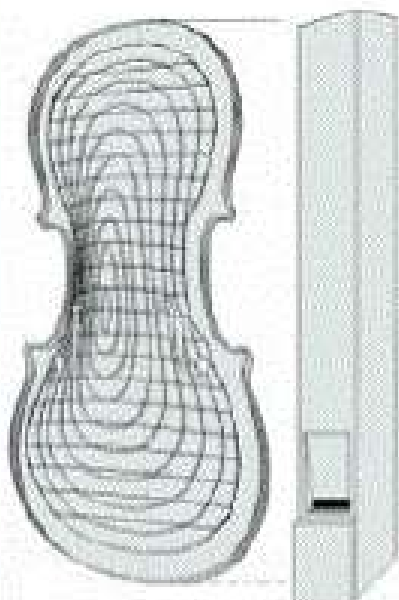


MUSEO DELLA CHIMICA E DEL VIOLINO
IIS "J. TORRIANI"

Giorgio Maggi



VIOLINO DIDATTICO SEZIONATO



Il violino ha massimi di intensità nella frequenza emessa relativa alla vibrazione del legno e dell'aria contenuta nella cassa armonica.

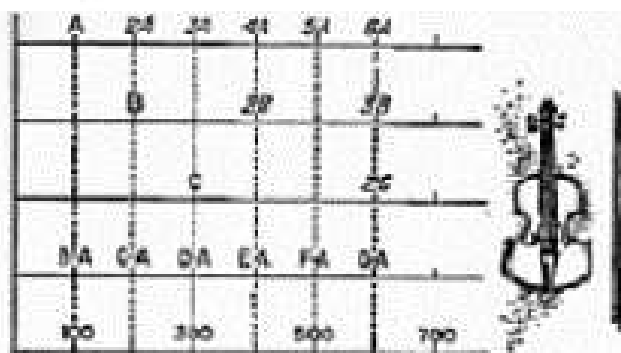
L'osservazione indica che il violino dovrà essere progettato tenendo conto

- della **distanza tra gli zocchetti** (aumentando la lunghezza diminuisce la frequenza max nell'aria);
- apertura dei fori** delle ff (aumentando il diametro dei fori aumenta la frequenza max dell'aria);
- spessore del legno** (diminuendo lo spessore della tavola al centro diminuisce la frequenza ovvero diminuendo lo spessore agli estremi aumenta la frequenza).
- interferenze tra la ricetta della vibrazione longitudinale e trasversale** della tavola e del fondo collegato attraverso l'anima.

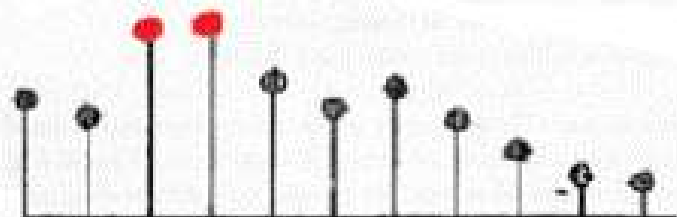


Suono timbro o rumore, che differenza c'è?

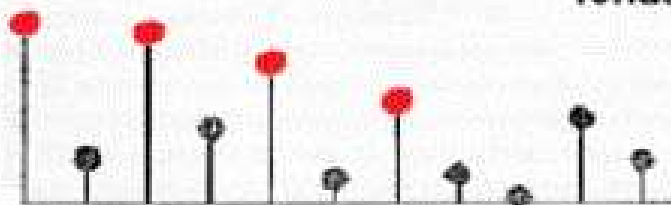
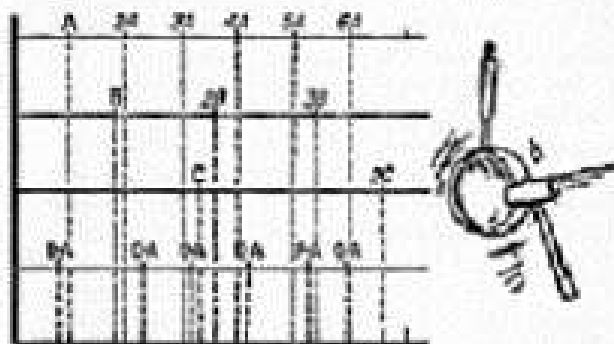
Il violino produce **suono** perché i suoni A, B, C si sommano o si sottraggono dando sempre e solo valori sovrapponibili alla serie armonica di A, 2A, 3A, 4A... Il tegame colpito dal martello produce **rumore** perché i suoni A, B, C si sommano o si sottraggono dando sempre e solo valori non sovrapponibili alla serie armonica di A, 2A, 3A, 4A... Le armoniche definiscono il **timbro** (nell'esempio le armoniche di Do)



Violino: sequenza completa di armoniche



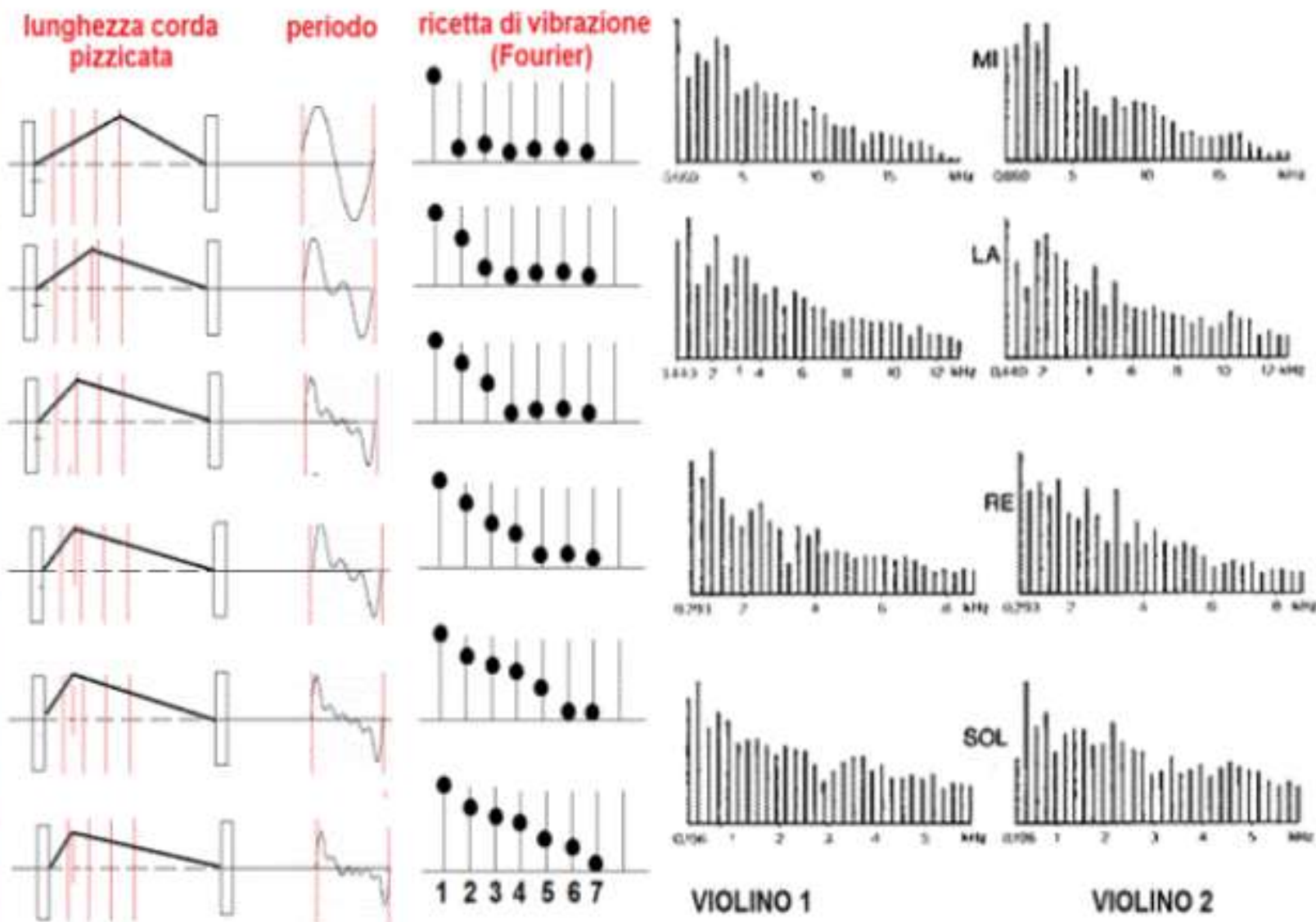
Oboe: alcune armoniche sono più forti della fondamentale



Clarinetto: sono evidenti armoniche dispari nei bassi

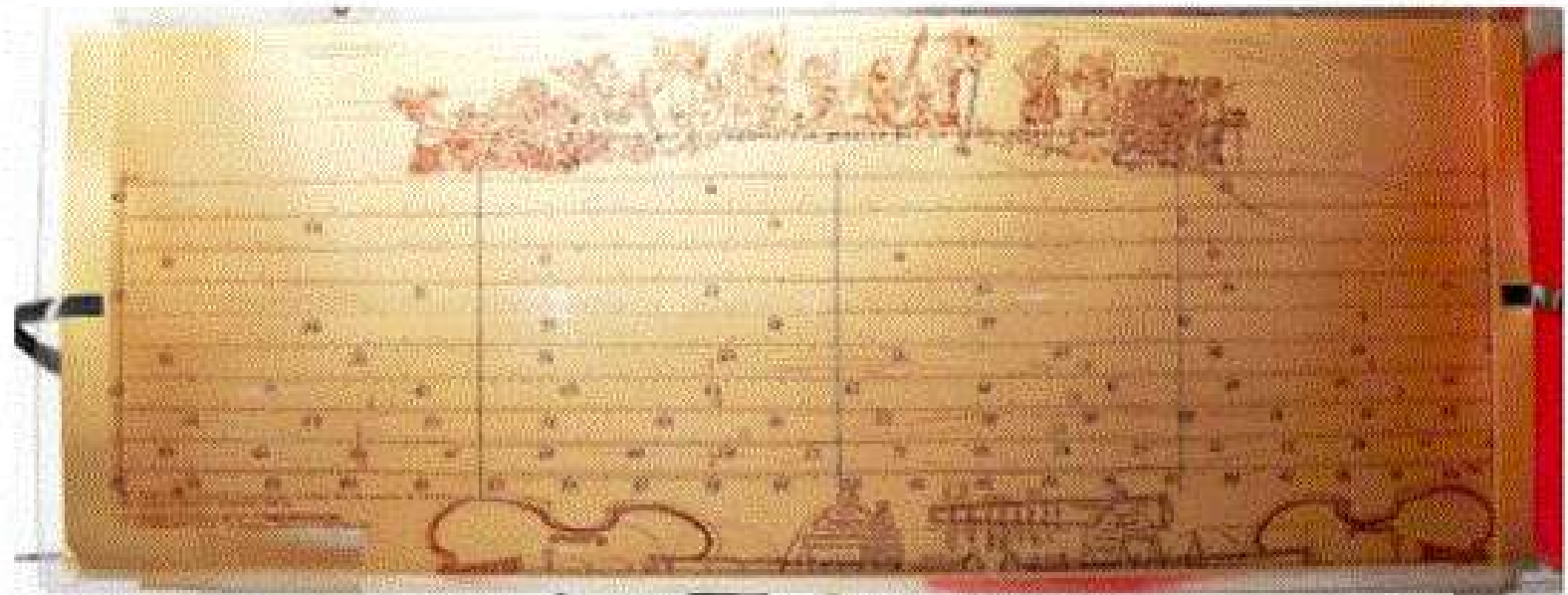


analisi degli armonici di un suono ottenuto da una corda pizzicata TEORIA E OSSERVAZIONE PRATICA





REGOLO CALCOLATORE PER FREQUENZE



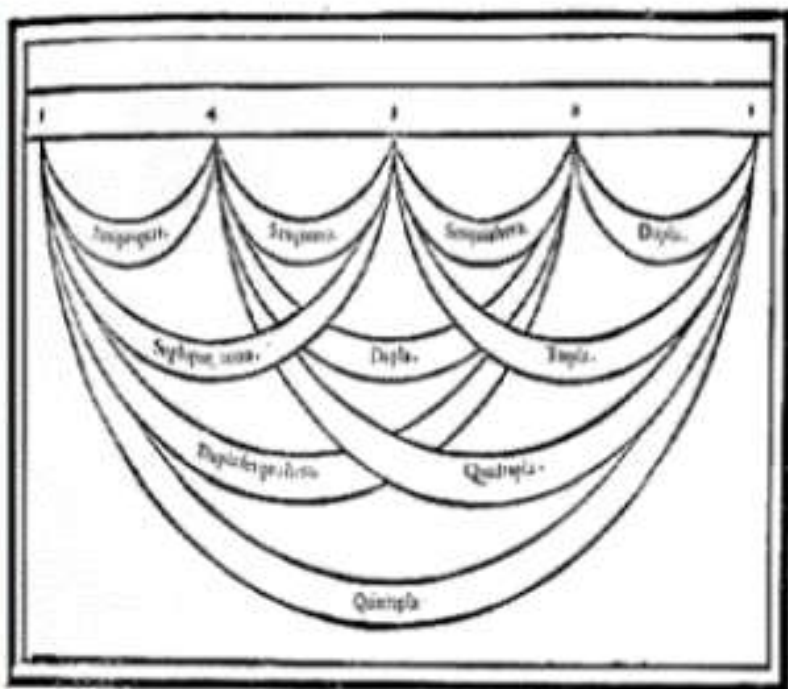
- Lo strumento elaborato attraverso misure logaritmiche individua i rapporti tonali in Hz ma anche in lunghezza di vibrazione in unità cents

Il problema della accordatura dello strumento: metodo e sensibilità musicale





Zarlino mette in dubbio la perfezione matematica proposta da Pitagora. Mario lo spiegava così ai suoi studenti:



presa per comodità
l'ottava di una tastiera:



ricordiamo che secondo Pitagora i rapporti relativi tra note sono
quinta C/G = 2/3 quarta D/G = 3/4 sesta C/A = 3/5
dunque: fissato C,
A sarà 1/3 di C; D sarà 1/2 di A; G 1/3 di D; e C è 1/2 di G...

dunque se parto da C accordando l'ottava secondo Pitagora ottengo un C... diverso, infatti:

$$5/3 * 2/3 * 4/3 * 2/3 = 80/81 > 1$$

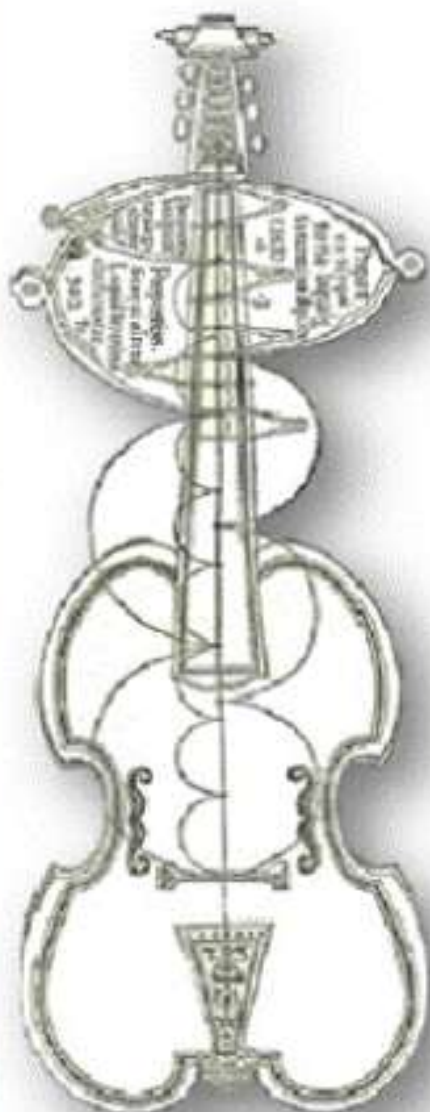
allo stesso modo se accordo una tastiera del piano per quinte perfette non c'è più accordo tra ottave



*ORA sopra la detta invention
de Pitagora nasce vn dubbio,*

Gioseffo Zarlino - Le istituzioni armoniche - Venezia 1554

Il dubbio di Zarlino sulla consonanza è interpretato da studiosi come Benedetti come "concordanze matematiche di vibrazioni" e da Cartesio come caratteristica dell'orecchio che si adatta al contesto musicale



Viola in Silvestro Ganassi
Lezione seconda 1543

ACCORDO DEI TASTI DEL VIOLINO SECONDO GANASSI – RASONE ET PRATTICA

TASTI	TESTO IN GANASSI	X= rapporto di suddivisione della corda vibrante	Intervallo in cents	Scala di Zarlineo
1°	...el qual fa l'effetto del semitono minor	$x = 15/16 = 0,93$	111,73	re \flat
2°	...proporzione sesquottava	$x = 8/9 = 0,88$	203,91	re
3° per RASONE	...loro quella medema distantia che è dal primo al secondo	$x = 8/9 - (15/16 - 8/9) = 121/144 = 0,84$	301,27	
3° per PRATTICA	...semitono o voglia dire terza minor	$x = 5/6$	315,64	mi \flat
4° per RASONE	...al vero mezzo tra il terzo ed il quinto tasto	$x = 121/144 \left[(121/144 - 3/4) 1/2 \right] = 229/288 = 0,79$	396,87	
4° per PRATTICA	...consonantia di tono over terza maior	$x = 4/5$	386,31	mi
5°	...proporzione sesquitercia	$x = 3/4 = 0,75$	498,05	fa
6°	...da poi, il sesto tasto sera terminato a mezzo dello spacio tra il quinto e settimo ma scato cioè tienilo de dentro il compasso la grossezza del tasto	$x = [(3/4 \cdot 2/3) 1/2] - 1/4 = 17/24 = 0,71$	596,7	
7°	...proporzione sesquialtera	$x = 2/3 = 0,6$	701,95	sol
8°	...et l'ottavo tasto per il suo terminerà quella medesima portino che è dal quinto al sesto	$x = 2/3 - (3/4 - 0,71) = 0,63$	806,07	

MODALITA DI ACCORDATURA del pianoforte

L'accordatura può seguire scansione logaritmica con media delle quinte a 700 cents ovvero con distribuzione di quinte perfette e temperate secondo Werkmeister e Vallotti.

Fissata la quinta perfetta $3/2$ a 701,955 cents, la quinta temperata di Werkmeister segue la formula = quinta perfetta meno $1/4$ del comma pitagorico (23,46) = 701,95 - $1/4 \cdot (23,46) = 696,09$. La quinta temperata di Vallotti segue la formula = quinta perfetta meno $1/6$ del comma pitagorico (23,46) = 701,95 - $1/6 \cdot (23,46) = 698,04$.

Quinta temperata = T ; quinta perfetta pitagorica = P

	C-G	G-D	D-A	B-F#	A-E	E-B	F#-C#	C#-G#	G#-Eb	Eb-Bb	Bb-F	F-C
logaritm	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Werkm.	T	T	T	T	P	P	P	P	P	P	P	P
Vallotti	T	T	T	P	T	T	P	P	P	P	P	T

**IL PROBLEMA DELL'ACCORDATURA E DEL CALCOLO DELLE TASTATURE
AFFRONTATO CON ... SEMPLIFICAZIONI NON SEMPRE APPREZZATE DAL MUSICISTA
IL PROBLEMA DELL'"ACCORDO" SI RISOLVE CON COMPROMESSI COME**

**ALGORITMO LOGARITMICO
DEGLI ACCORDATORI ELETTRONICI**
in cui ogni tasto va collocato ad un valore

proporzionale a: $\sqrt[12]{2} = 1,05946$

REGOLA GALILEIANA DEL 18
Vincenzo Galilei propone la regola detta dai liutai "regola del 18" in cui ogni tasto va collocato a 1/18 della corda libera lasciata dal tasto precedente

Microsoft Excel - Microsoft Excel -accordatura

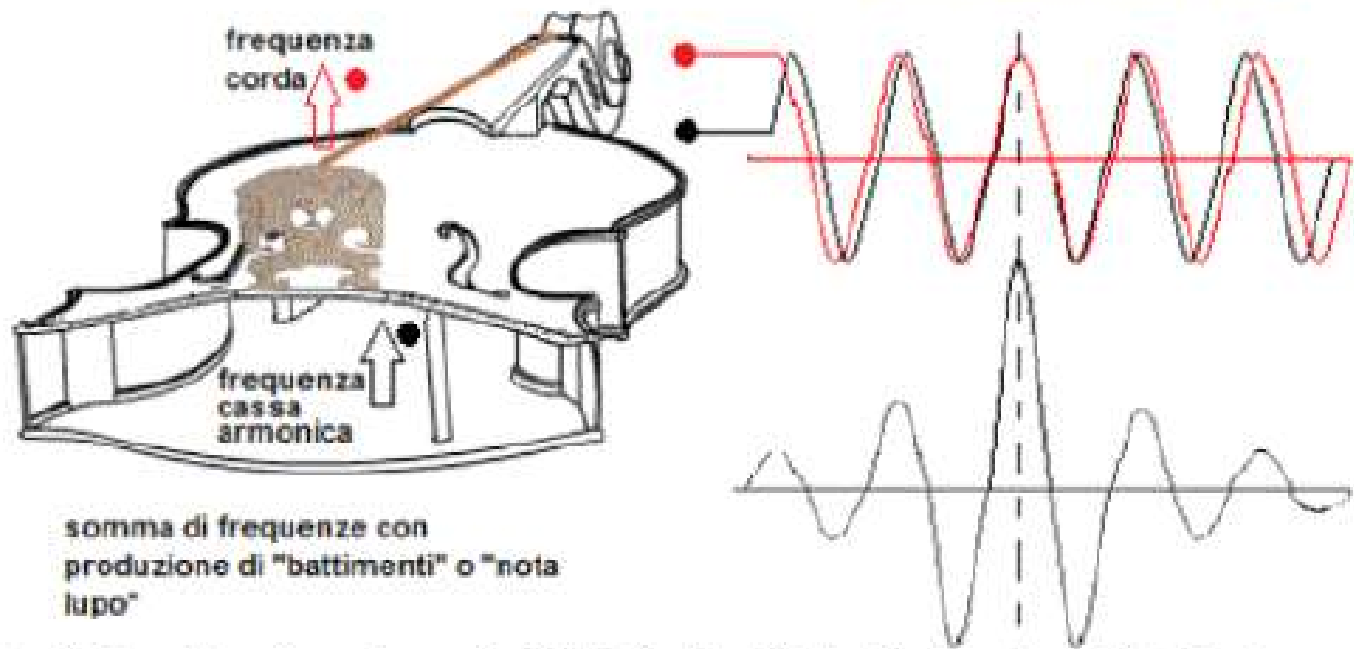
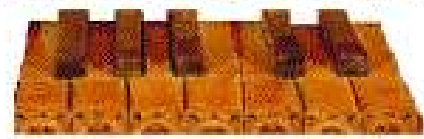
File Modifica Visualizza Inserisci Formato Strumenti D

	A	B	C	D
1		scala	scale temperate	
2	tonica di do	pitagorica	logaritmica	"del18"
3	do	1	1	1
4	re	9/8=1,1250	1,1225	1,1292
5	mi	5/4= 1,2500	1,2599	1,266
6	fa	4/3=1,3333	1,3348	1,3405
7	sol	3/2=1,5	1,4983	1,5028
8	la	5/3=1,6666	1,6818	1,6848
9	si	15/8=1,8750	1,8877	1,8889
10	do	2	2	2



BATTIMENTI

FENOMENO DETERIORE NEGLI STRUMENTI AD ARCO MA
INDISPENSABILE NELLA ACCORDATURA DEL PIANOFORTE
PER OTTENERE L'UNISONO



Le tecniche di accordatura si basano dunque sui cosiddetti battimenti per individuare l'aggiustamento acustico delle note
Si può procedere con

- 1) l'Accordatura a tono medio caratterizzata dalla purezza delle triadi con le terze maggiori pure;
- 2) l'Accordatura a temperamento ordinario secondo i criteri di Kirnberger che prevedono di trovare un sostanziale equilibrio tra terze pure e quinte pure, Werkmeister che opera sulle quinte pure inducendo un successivo temperamento e Vallotti che distribuisce con uguale peso le quinte pure e temperate.
- 3) l'Accordatura con temperamento equabile in cui tutti gli intervalli dello stesso tipo sono temperati (stonati) allo stesso modo.

Indagare il fenomeno acustico significa anche operare sul ...



- Rendering: analisi oggettiva condotta sull'espressività musicale, relazione tra strumento e strumentista
- Terzo suono del Tartini, battimenti
- Check-up e messa a punto dello strumento per ridurre gli effetti della cosiddetta "nota lupo", di vibrazioni indesiderate e del settimo armonico operando su ponte, cordiera, anima, catena...



Acustica applicata in teatro



Acustica applicata

- Dal punto di vista applicativo, l'acustica può essere suddivisa in numerosi settori: l'**acustica architettonica**, che si occupa della qualità acustica degli edifici e delle sale dei teatri, l'**acustica degli strumenti musicali**, che si occupa delle loro proprietà e delle caratteristiche, l'**acustica ambientale**, che si occupa dei problemi collegati al **rumore**, l'**acustica subacquea**, che tratta della propagazione delle onde e della loro percezione negli ambienti marini, l'acustica medica che si occupa di sviluppare in ambito terapeutico e diagnostico metodi e strumenti basati sulla propagazione di onde acustiche all'interno del corpo umano.
- Gli aspetti percettivi e biologici dell'acustica sono poi oggetto di settori di studio specifici come la **psicoacustica**, che studia la psicologia della percezione del suono negli esseri umani, e l'**audiometria**, che si occupa della valutazione delle caratteristiche fisiologiche dell'orecchio e della misurazione delle capacità uditive.



In teatro

- Utilizzando i programmi specifici (CAD tridimensionale) si possono ottenere tutti i parametri oggettivi di qualità acustica
- (tempo di riverbero, indice di chiarezza, ITDG, indice di intelligibilità del parlato...) necessari per la messa a punto dell'acustica di un teatro.



Teatro antico

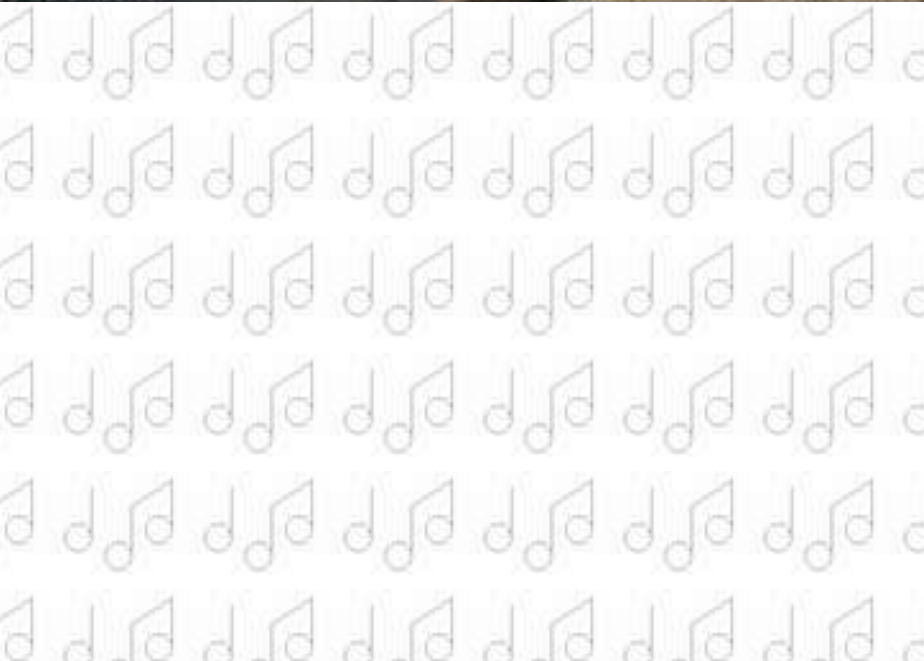
L'architetto romano

Vitruvio attribuiva la **buona acustica del teatro** alla notevole pendenza delle gradinate, che avrebbe avuto l'effetto di rinforzare la voce

■ Nei teatri moderni (chiusi) non si pensa che la pendenza sia favorevole: anzi, ben noto è il clamoroso fiasco del grande esperto di acustica teatrale Leo Beranek, il quale nel 1962 progettò la grande sala di Lincoln Center di New York senza aver prima sperimentato con un modellino: per l'eccessiva pendenza della platea, il suono faticava a raggiungere la meta posteriore della sala a causa della **diffrazione delle onde sonore causata dai corpi e dalle teste degli spettatori**. Ora, due studiosi del Georgia Institute of Technology, Nico Declercq e Cindy Dekeiser, applicando concetti basilari dell'acustica e forse ispirati proprio dall'errore Beranek, hanno avanzato un'interessante tesi. Essi hanno posto l'accento sul comportamento diffrattivo (la diffrazione di un'onda è il cambio di direzione nell'avanzamento) **delle singole gradinate semicircolari**. Agli spettatori, oltre al suono diretto proveniente dal proscenio e a quello riflesso dalla parete che lo delimita posteriormente, giunge anche la diffrazione multipla di tutte le gradinate che si trovano alle loro spalle, le quali agiscono in pratica da **retro-riflettori**. Tale fenomeno assume molta importanza per i suoni alti (per il teatro di Epidauro la soglia sta proprio a 500 Hz)



© Ed O'Keeffe

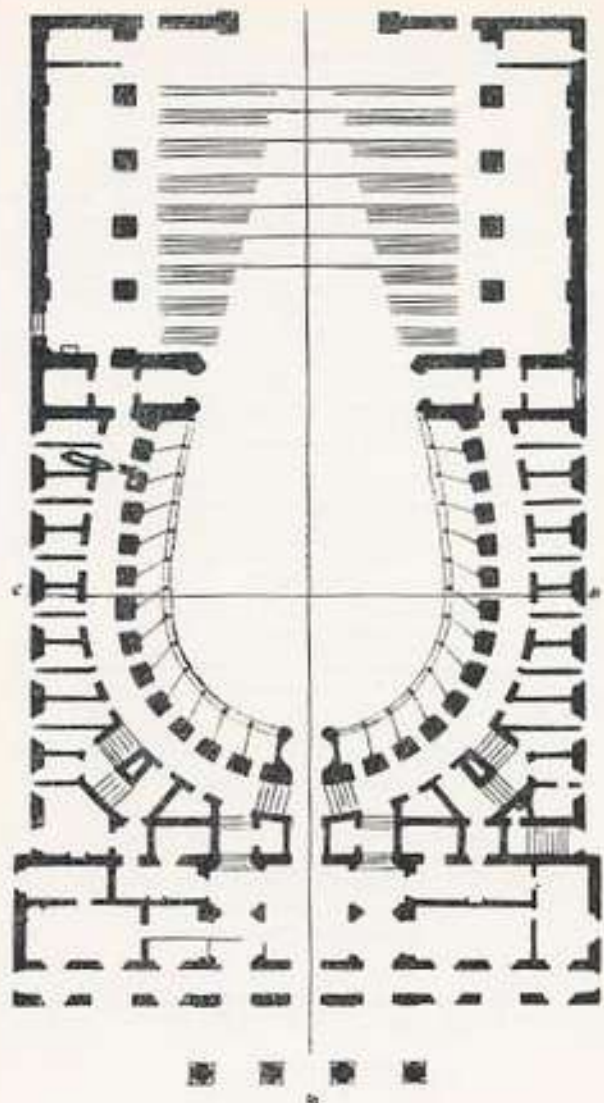




TAV. XXX - Il teatro del gran teatro Alessandria con i suoi ornamenti. Si possono notare differenze di stile prospettive di Carlo Farini, Genova



TAV. V - Prospetto generale del Teatro della Città di Alessandria, progetto originale dell'Arch. Felici Casanova del 1808 (Ottavo Civico di Genova)

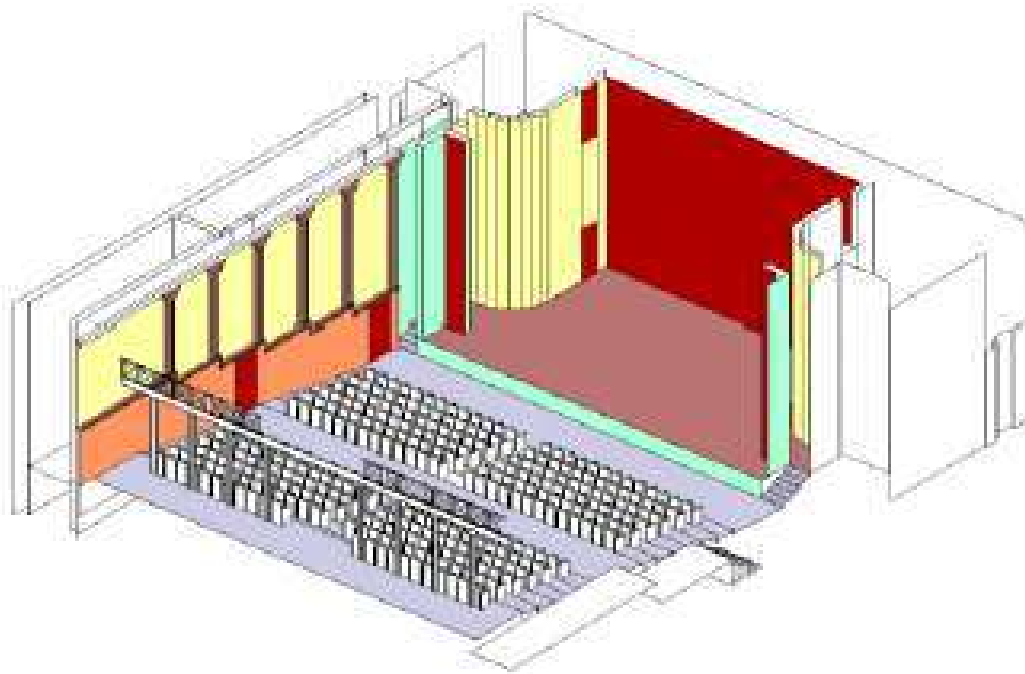


TAV. IV - Pianta generale del «Teatro della Concordia», progetto originale dell'Arch. Luigi Casanova del 1808 (Ottavo Civico di Genova)



Modello acustico del teatro moderno

- Il modello consiste quindi nella geometria della sala, con l'attribuzione ad ogni superficie del particolare materiale scelto. Con il modello matematico si sono poi ottenute le nuove risposte
- In linea di massima si è privilegiato l'ascolto tramite l'impianto di l'utilizzo delle quinte acustiche permetterà una certa variabilità del tempo di riverbero consentendo un suono più ricco.



■ soundbox A	■ tende di velluto
■ granito	■ legno di mogano massello
■ Ercelit + lana di roccia	■ pannelli diffusori
■ Ercelit + lana di soppia + intercapedine	



*Il teatro dell'opera di Sydney (la Sydney Opera House), costituisce una delle più significative **architetture** realizzate nel **XX secolo** e tale da rappresentare quasi un'**icona** non solo per la città di **Sydney**, in cui sorge, quanto per l'**Australia** stessa.*

*È stato progettato dall'**architetto danese Jørn Utzon**, per conto di **Arup**.*

*Situato nella baia di Sydney, dotato di un parco di divertimenti a sud e di un grande parcheggio per le autovetture. Secondo alcuni critici, i gusci a sezione **sferica** possono ricordare la flottiglia di barche a vela che si reca in crociera nei mari australiani.*

L'**acustica** dell'intera struttura, particolarmente quella del **teatro dell'opera**, non sempre ha avuto apprezzamento e anzi ha ricevuto critiche fino a essere giudicata insoddisfacente rispetto alla funzione per cui è stata creata



La musica a Cremona

Lo studente ricerca associazioni musicali, conservatori, università, corali, orchestre, musicisti, concorsi di musica e liuteria a Cremona e accenna ad una classificazione

COLLEZIONE STRUMENTI MUSICALI (vedi)

Prof. Mario Maggi Cremona

- La collezione (157 strumenti catalogati nel 2002) vanta un violino Hieronimus Amati, un Capicchioni, un'arpa Ceruti, un'arpa Grossjean, un rarissimo Melophon, fortepiani, zither, organi portativi, positivi, **regale**, un mandolino Testore, virginale una collezione di violini cremonesi degli inizi del '900, boit a musique tra cui alcune **Serinette** del '700 (illustrate nell'Enciclopedia), organetti di barberia sia a canne che a corde, alcune curiose **concertine**. Un'ampia sezione è dedicata alla ricostruzione d'antichi cordofoni: spiccano ribeche, vielle, **ghironde**, una tromba marina, viola d'amore, **violette** e viole rinascimentali frutto dell'abilità di artigiani cremonesi. La sezione degli strumenti a fiato vanta strumenti storici come un sassofono Cohn d'argento ed altri curiosi fiati in ebano. Non è trascurata la sezione di strumenti etnici che hanno permesso una proficua collaborazione con studenti del Liceo Artistico nella individuazione di elementi di **catalogazione** secondo Hornbostel Sachs. La collezione si completa con **antichi dispositivi** per fabbricare **corde** per strumenti musicali (la cui **acustica** è stata particolarmente indagata soprattutto nella produzione di corde di budello) e per accordare **canne** d'organo, ance per armonium, **regale** e fisarmonica. Mario Maggi ha trasmesso ad abili allievi competenze sia legate alla accordatura di strumenti come pianoforti, **clavicembali** ed organi, ma anche, novello Tolbeque, ha stimolato specifiche ricerche di teoria e tecnologia organologica ad esempio nella produzione con l'amico Nazzari di **idiofoni** con marchio **Resonanz**, di **basi fonotattiche** per organi meccanici ed automatici, nella costruzione di **viole da gamba** attraverso le notevoli differenziazioni tra lo strumento rinascimentale e barocco rielaborate dal figlio Sergio (lo studio dei modelli costruttivi, a partire dalla evoluzione nel tempo di lire e lironi "nostrani" sino alla complessità delle viole **Praetorius**, **Zenatto** e **Stradivari**, è stato fondamentale per qualificare le finalità organologiche della collezione); Sergio, violoncellista, continua il percorso di conoscenza tracciato dal padre approfondendo, con musicisti interessati, ricerche sulla riproduzione di strumenti poco studiati quali chitarra-lira, organo positivo, portativo, regale, ghironda, arpa ed arpetta. La collaborazione tra Mario e Sergio è evidenziata sul Dictionnaire Universel des Luthiers Rene Vannes ed Les Amis de la Musiques, Claude Lebet Tome troisième e in **WRONA'S HOUSE OF VIOLINS**-New York