

REGIONE
TOSCANA



**Prodotto realizzato con il contributo della Regione
Toscana nell'ambito dell'azione regionale di sistema**

Laboratori del Sapere Scientifico

Onde sonore e strumenti musicali



a.s. 2019/20

Docenti: Cecilia Magni, Francesco Degl'Innocenti

Liceo "B. Varchi" Montevarchi (AR)

AMBITO DISCIPLINARE: FISICA

Livello scolastico di riferimento:

Scuola secondaria di secondo grado – classe quarta

Breve riassunto del percorso

In questo percorso gli studenti, attraverso una semplice applicazione dello smartphone, hanno analizzato la forma d'onda e le frequenze presenti in un suono.

E' stato osservato come un suono (voce umana o prodotto da uno strumento) contenga oltre alla frequenza fondamentale (la frequenza minima) anche alcune frequenze multiple (le cosiddette “armoniche” superiori) : la particolare composizione armonica (cioè quali frequenze multiple della fondamentale siano più o intense) dà luogo alla diversa forma dell'onda periodica (quello che è chiamato il timbro del suono).

Sono inoltre state prese in considerazione le onde stazionarie in una corda fissata ai due estremi o in un tubo con aria aperto a una o due estremità e gli studenti hanno approfondito con lavori di gruppo lo studio della chitarra ,del flauto e di altri strumenti musicali.

Collocazione del percorso nel curriculum verticale

Il percorso didattico descritto è stato effettuato in due classi quarte del nostro liceo scientifico (sia in classi di ordinamento che di liceo sportivo).

Il percorso è stato sviluppato dopo lo studio del moto armonico (effettuato all'inizio della classe quarta in modo da poterlo descrivere matematicamente con le funzioni sinusoidali), delle onde meccaniche (studio dell'onda armonica, distinzione tra onda trasversale e longitudinale, fenomeni di propagazione delle onde) e delle caratteristiche delle onde sonore.

Obiettivi essenziali di apprendimento

- Individuare la frequenza fondamentale e analizzare la forma d'onda e la composizione armonica di un suono.
- Analizzare i suoni prodotti mettendo in vibrazione una corda fissata alle estremità al variare della sua lunghezza, tensione e densità lineare partendo dalla chitarra.
- Analizzare i suoni prodotti mettendo in vibrazione l'aria all'interno di un tubo aperto ad entrambe le estremità o solo da una parte attraverso.
- Studiare le caratteristiche della scala temperata e i suoni emessi da alcuni strumenti musicali.

Elementi salienti dell'approccio metodologico

Nel percorso sono state sviluppate:

- **attività in classe** : per insegnare l'uso dell'applicazione Oscope (per rilevare forma e frequenze componenti di un suono);
- **attività nel laboratorio di fisica** a classe completa per permettere subito una discussione collettiva e l'acquisizione di alcune conoscenze iniziali sulle onde stazionarie;
- **attività di gruppo nel laboratorio di informatica** per studiare la somma di sinusoidi di frequenza multipla e per realizzare una simulazione con Geogebra di un'onda stazionaria;
- **lavoro di gruppo sia nel laboratorio di fisica che a casa** per studiare i suoni emessi da alcuni strumenti musicali;
- **presentazioni di ciascun gruppo del proprio lavoro** al resto della classe.

Materiali e strumenti impiegati

Materiali: asta millimetrata, tubi di plastica.

Apparecchi: smartphone, computer.

Strumenti: strumenti musicali (chitarra, pianoforte, flauto di Pan, flauto dolce, sassofono)

Ambiente in cui è stato sviluppato il percorso

Il percorso è stato sviluppato in classe, nel laboratorio di fisica , nel laboratorio di informatica e a casa.

Tempo impiegato

2 ore per la messa a punto preliminare nel gruppo LSS;

2 ore per la progettazione specifica e dettagliata nella classe

10 ore circa di tempo-scuola per lo sviluppo del percorso

10 ore per la documentazione

Descrizione del percorso didattico

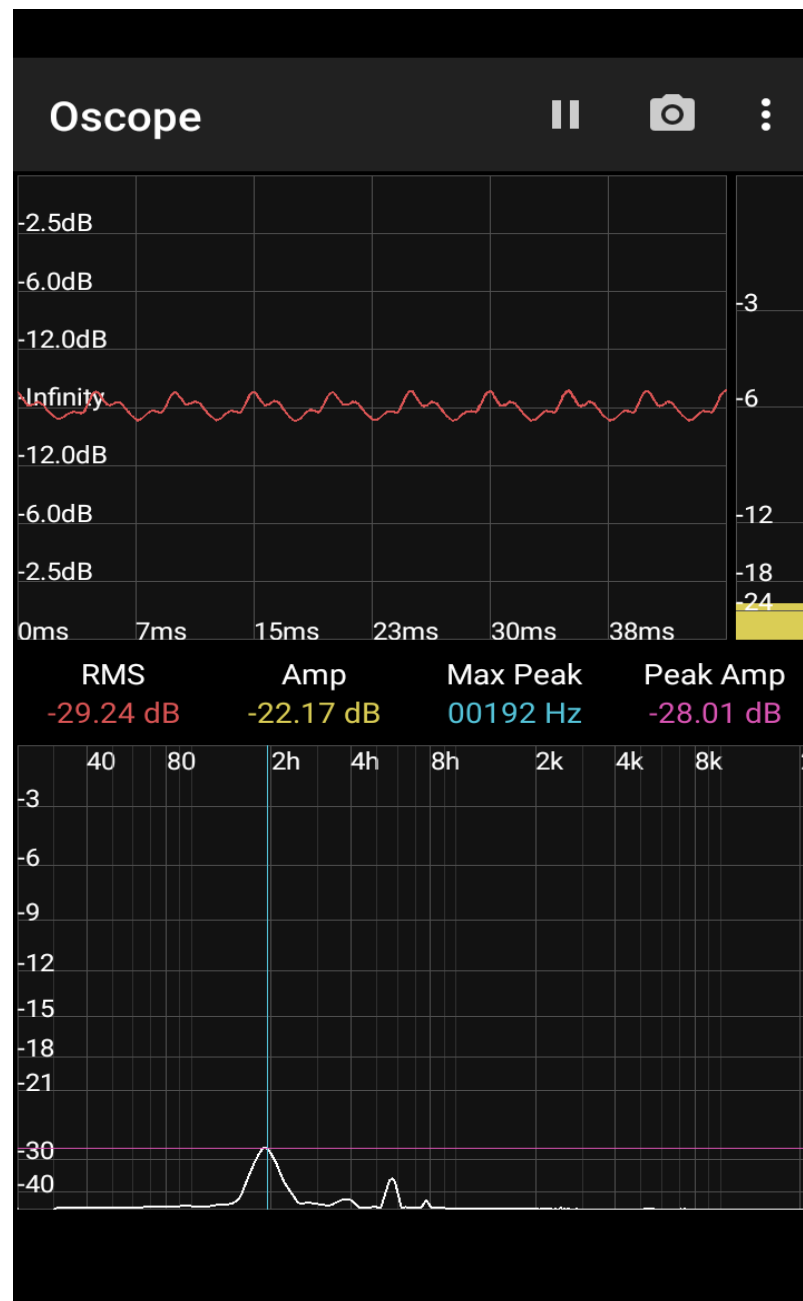
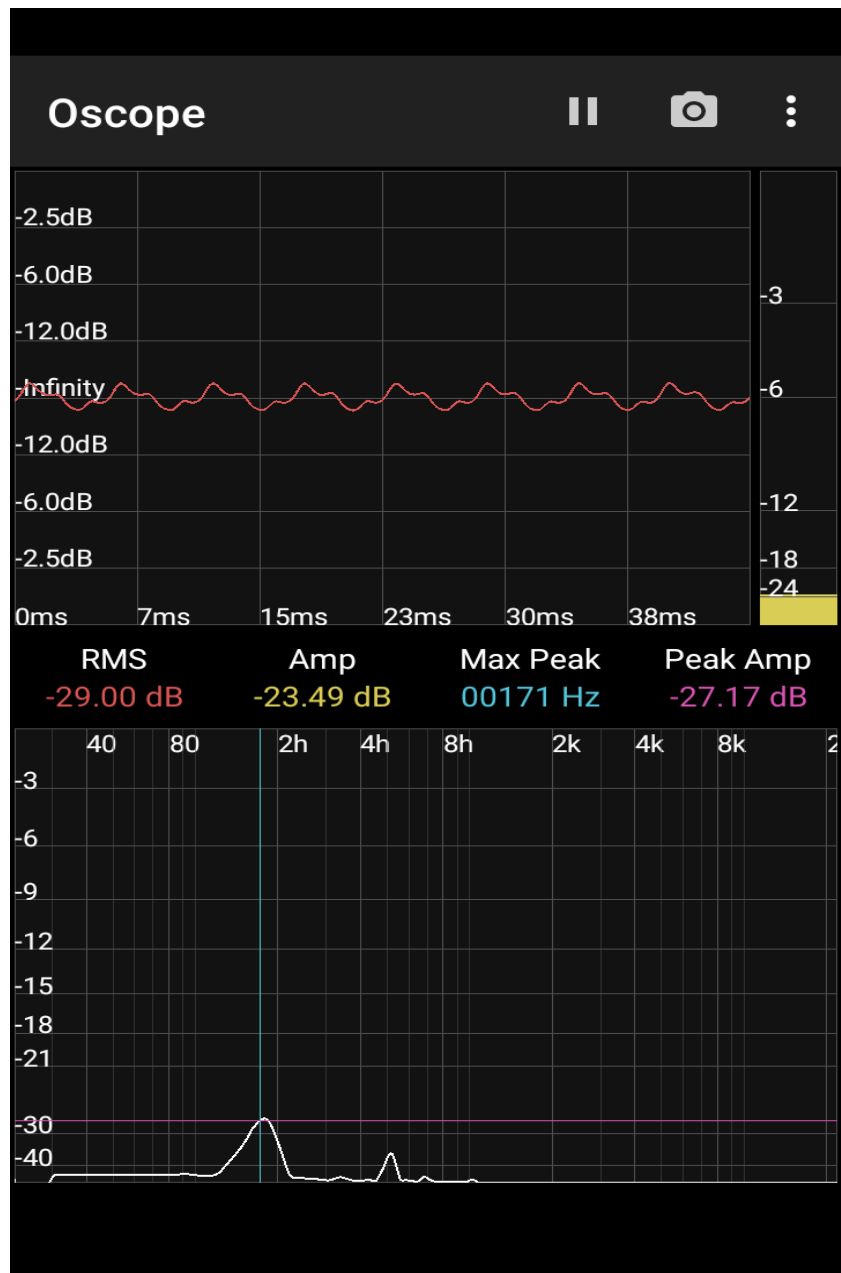
Analisi di un suono

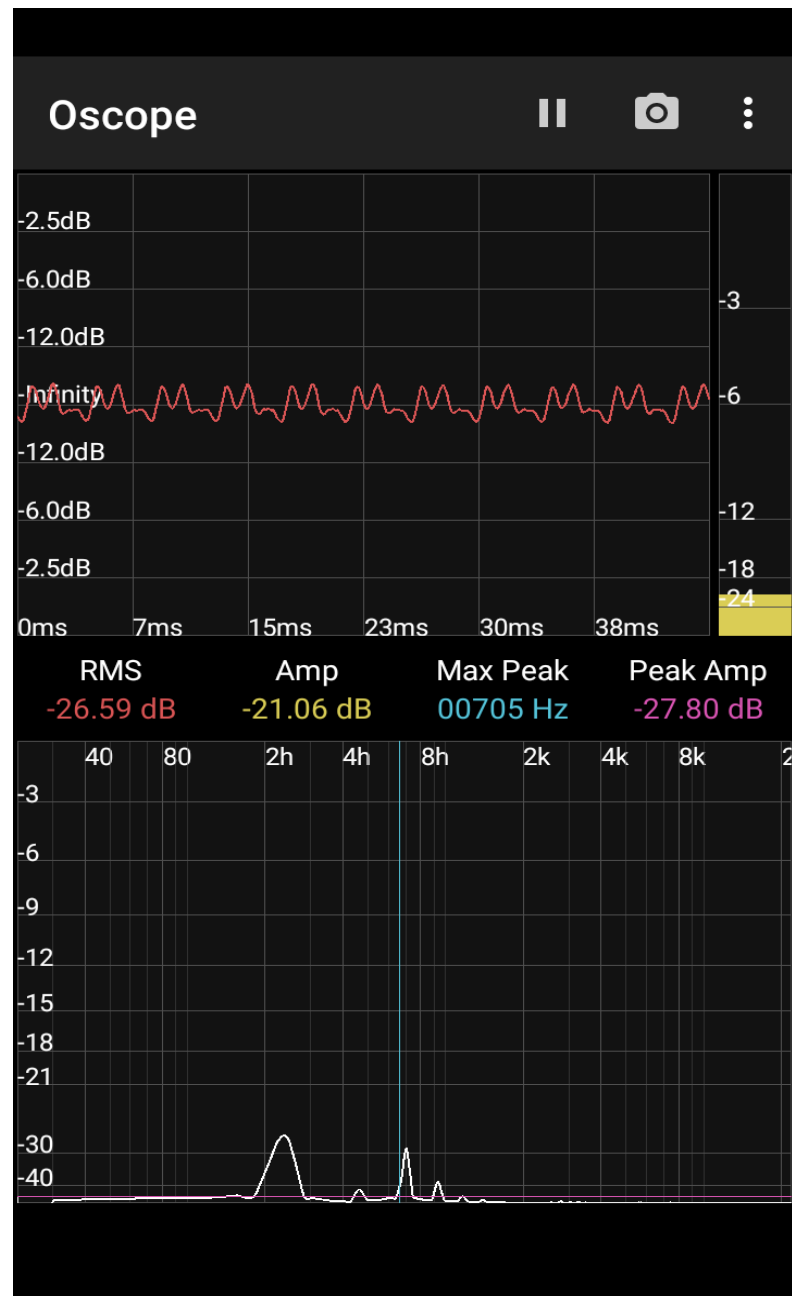
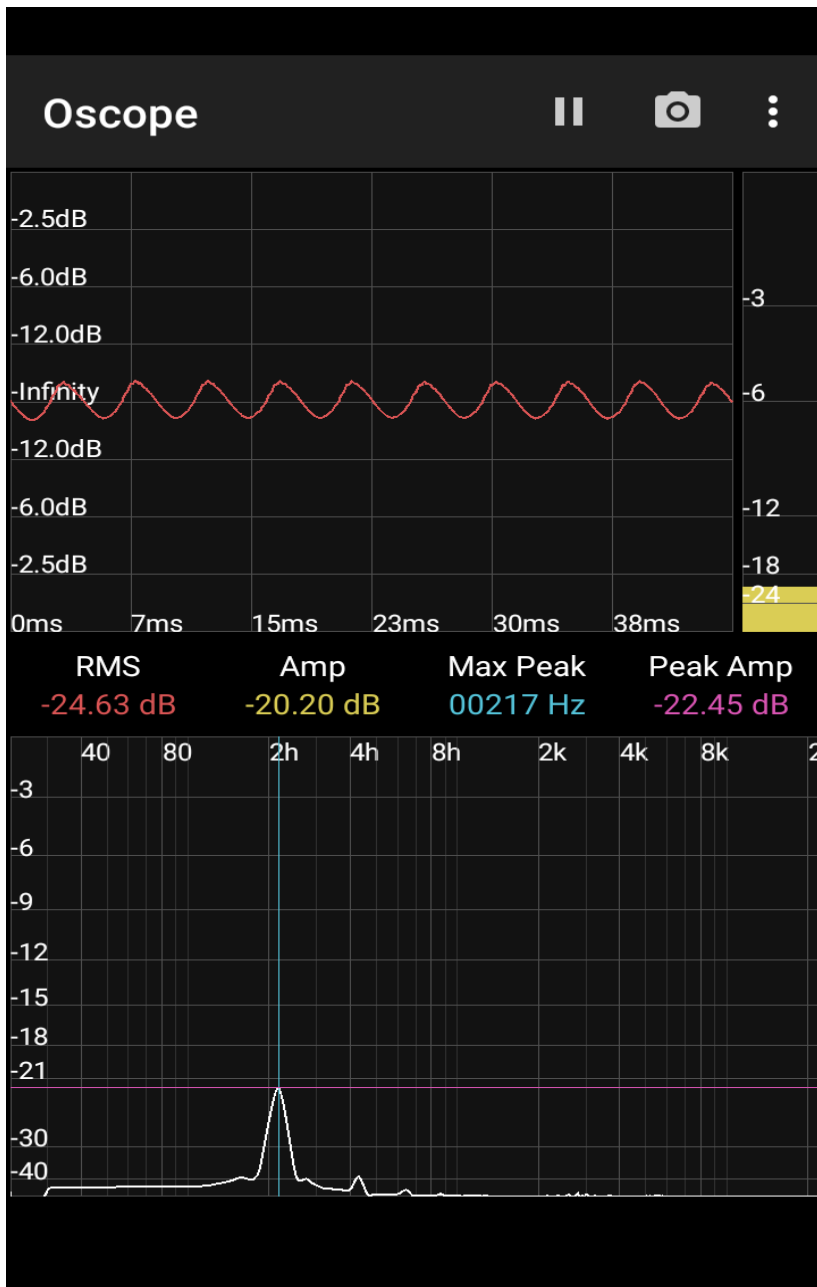
Tra le tante applicazioni per smartphone per l'analisi di un suono abbiamo scelto l'applicazione Oscopio perché consente sia di visualizzare la forma dell'onda sonora che le frequenze che compongono il suono e le corrispondenti intensità.

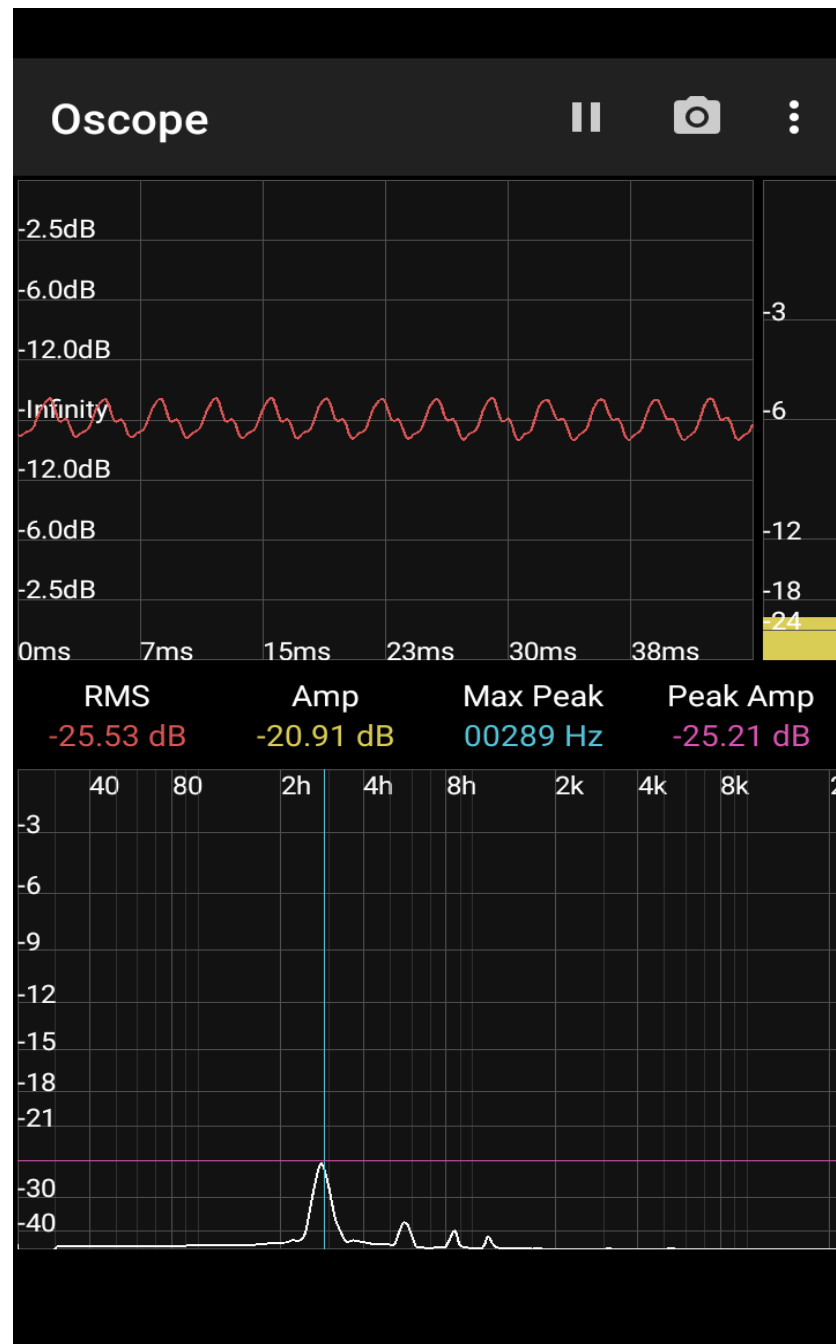
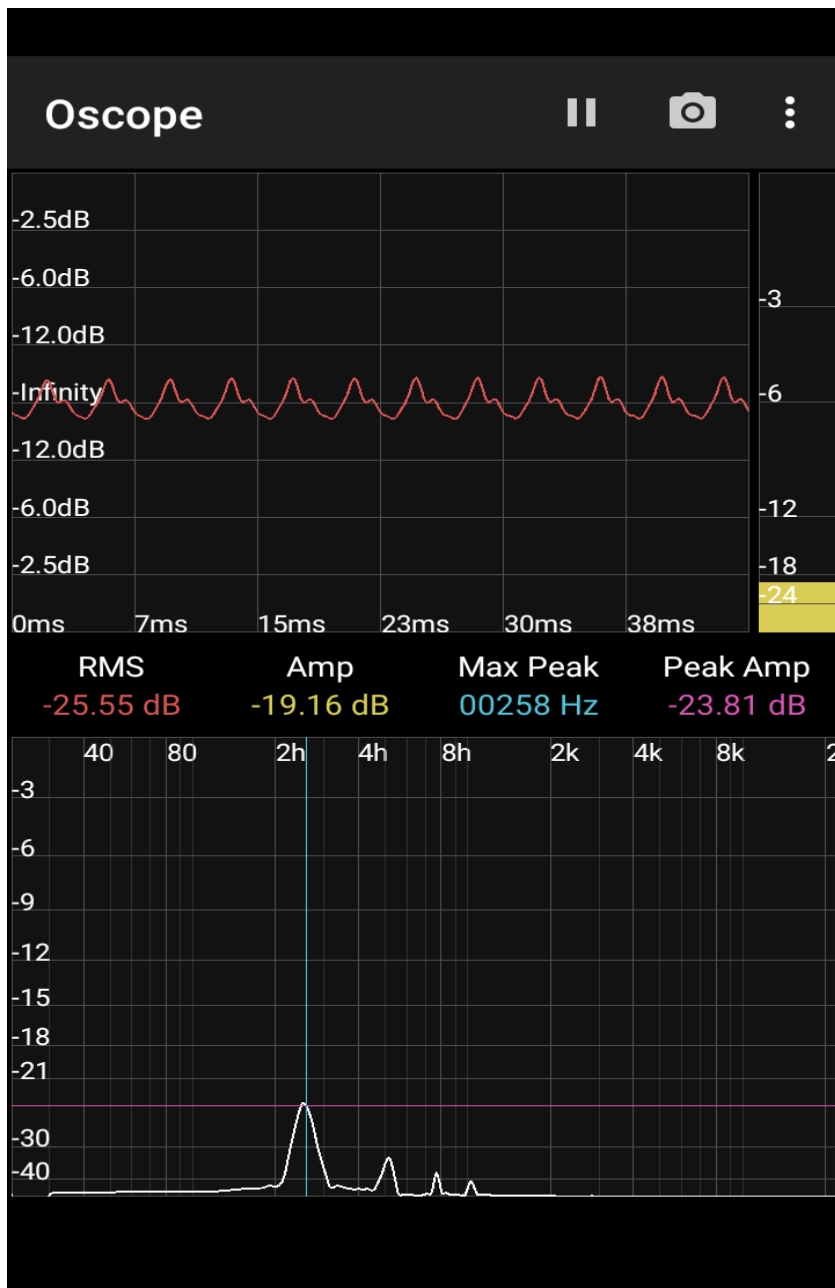
Abbiamo chiesto agli studenti di installare l'applicazione sul proprio smartphone e di provarla analizzando la **propria voce** prima in modo libero poi proponendo delle domande per facilitare l'osservazione.

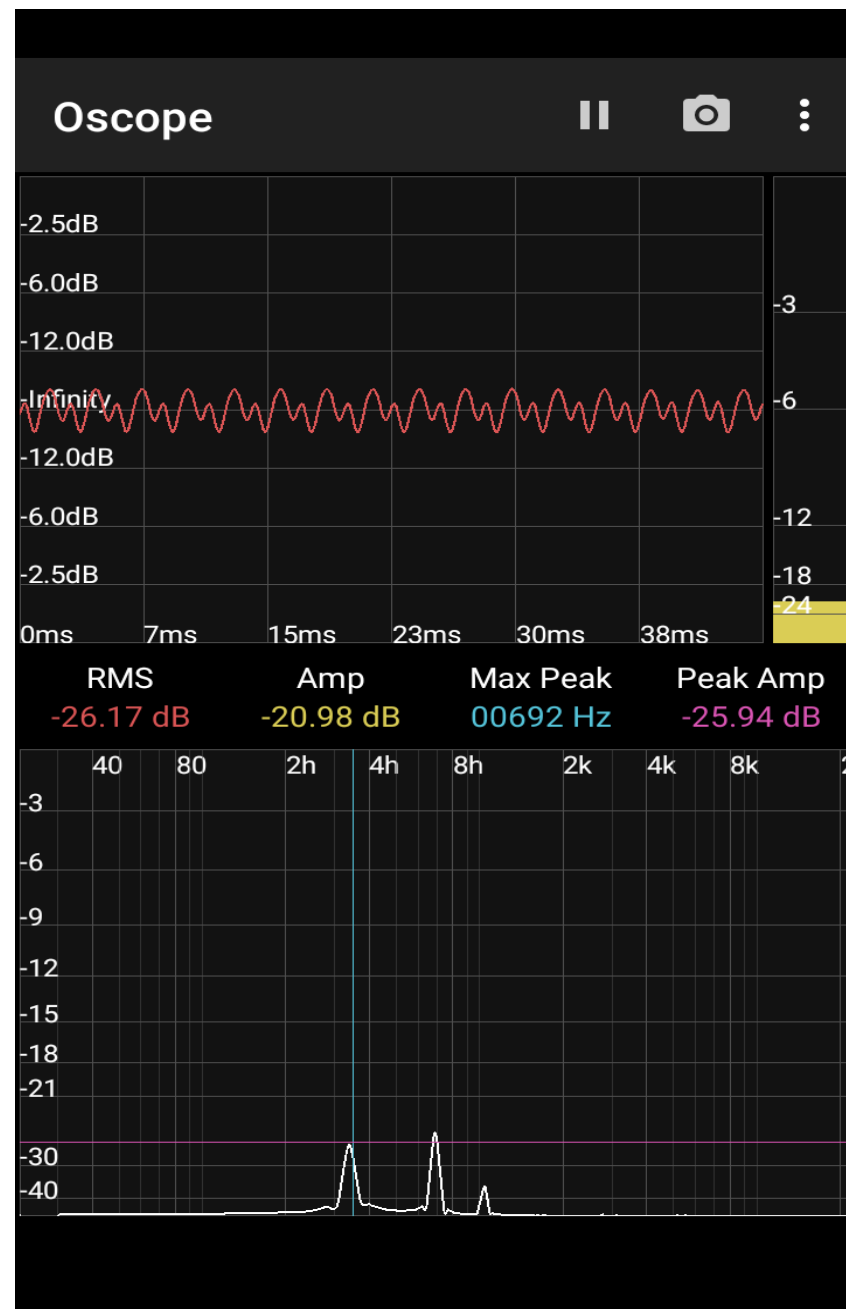
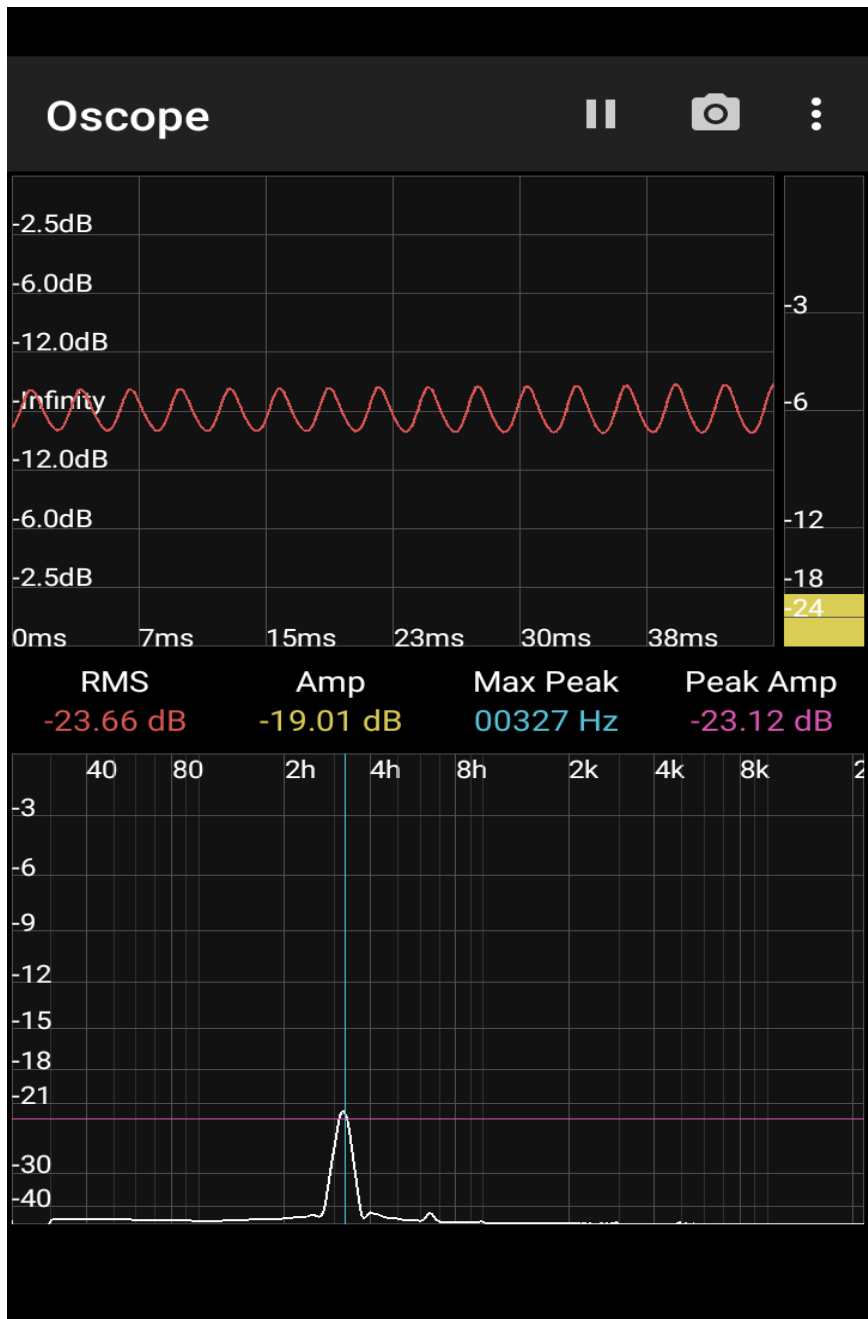
- Provate a emettere un suono continuo per esempio pronunciando una vocale. Se con la stessa nota cambio vocale cosa cambia?
- Provate a registrare una “scala musicale” (do, re, mi, fa sol, la, si, do): cosa cambia?
- Registrate gli screenshot di una “scala musicale” (do, re mi fa sol, la si do) eseguita con la propria voce.

Nelle diapositive seguenti riportiamo la scala registrata da uno studente.







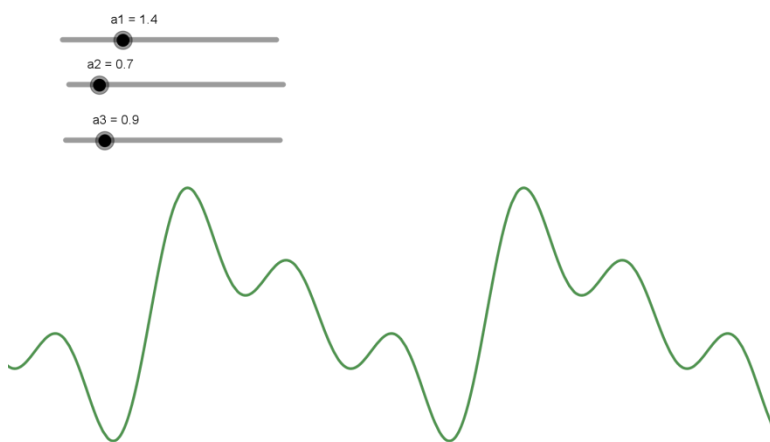


Osservazioni

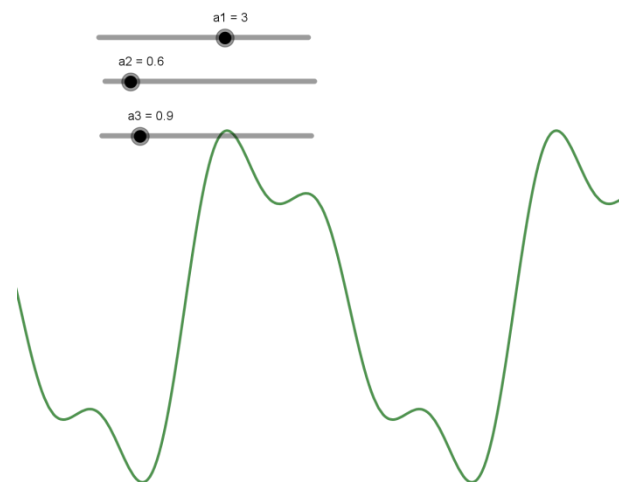
Viene osservato che in ogni nota sono presenti più frequenze multiple di una frequenza “fondamentale” (la frequenza più bassa).

Con Geogebra gli studenti hanno “costruito” varie forme dell’onda sonora creando tre slider(parametri che possono essere variati) a_1 , a_2 , a_3 per l’ampiezza di $y=\sin x$, $y=\sin 2x$; $y=\sin 3x$ (che rappresentano le prime tre armoniche).

Riportiamo due esempi in cui si vede come cambia la forma dell’onda a seconda dei diversi valori di a_1 a_2 e a_3 in accordo con quanto osservato con Oscopo.



$$y = a_1 * \sin x + a_2 * \sin(2x) + a_3 * \sin(3x)$$



$$y = a_1 * \sin x + a_2 * \sin(2x) + a_3 * \sin(3x)$$

La scala musicale temperata

Abbiamo approfondito lo studio della scala musicale cosiddetta “temperata”

do ,do#,re, re#,mi,fa,fa#,sol,sol#,la,la#,si,do

in cui la frequenza di una nota si ottiene moltiplicando per uno stesso fattore r la frequenza della precedente.

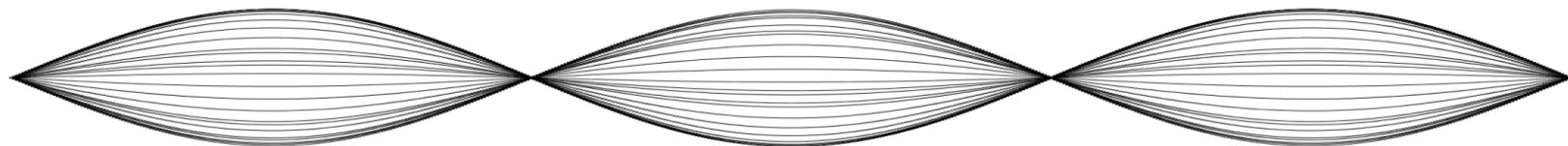
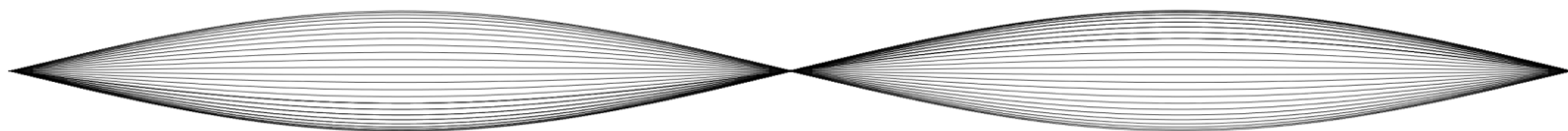
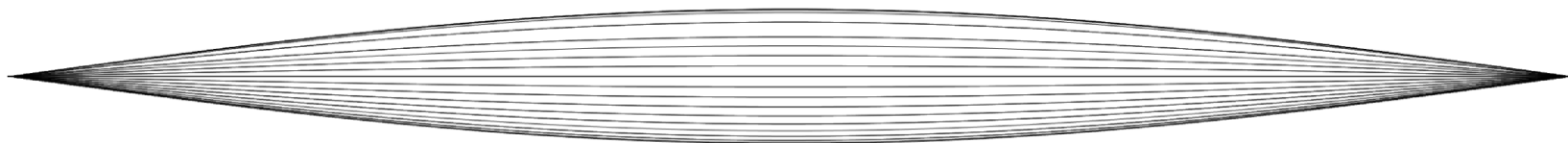
Quindi dal momento che la frequenza del do dell’ottava superiore è doppia rispetto alla frequenza del do precedente abbiamo che

$$(r)^{12} = 2 \rightarrow r = \sqrt[12]{2} \cong 1,06$$

- Abbiamo verificato che il rapporto tra le frequenze di suoni consecutivi di una scala registrata con Oscopio ed il rapporto è risultato all’incirca quello previsto (naturalmente tra due note successive può esserci un tono quindi $r*r$, come per esempio tra do e re, o un semitono, quindi r , per esempio tra mi e fa, si e do).

Onde stazionarie in una corda fissata alle estremità

- Per studiare le onde sonore prodotte da una corda fissata alle estremità abbiamo cominciato utilizzando una lunga molla appoggiata a terra: due studenti bloccano le estremità della molla e uno di essi imprime un moto oscillatorio alla propria estremità.
- A seconda della frequenza di oscillazione impressa compaiono alcune configurazioni “stabili” della molla dovute all’interferenza costruttiva tra l’onda incidente e l’onda che si riflette negli estremi bloccati.
- E’ stato chiesto di osservare cosa accade all’onda incidente quando arriva ad un estremo e molti studenti hanno subito notato che si rifletteva “capovolgendosi”.
- In tutte le “configurazioni” stabili non è stato difficile far notare agli studenti che la lunghezza della corda corrisponde ad un multiplo di mezze lunghezze d’onda (della configurazione).



Nel laboratorio di informatica abbiamo utilizzato Geogebra per simulare il moto di una corda di lunghezza L (ottenuto sommando onda incidente e riflessa sfasata di metà periodo).

Considerando che

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2L}{n} \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \rightarrow \omega = 2\pi f \rightarrow \omega = n \cdot \frac{\pi \cdot v}{L}$$

- equazione dell'onda incidente :

$$s_1 = \text{sen}(\omega \cdot (t - x))$$

- equazione dell'onda riflessa:

$$s_2 = \text{sen}(\omega \cdot (t - 2 \cdot L + x) + \pi)$$

con $\omega = \frac{n\pi v}{l}$

abbiamo inserito l'equazione

$$s(x) = \sin(\omega \cdot (t - x)) + \sin(\omega \cdot (t - 2 \cdot L + x) + \pi)$$

Ecco l'animazione per $n=1$ (fissato $L=10$):



Onde stazionarie in un tubo

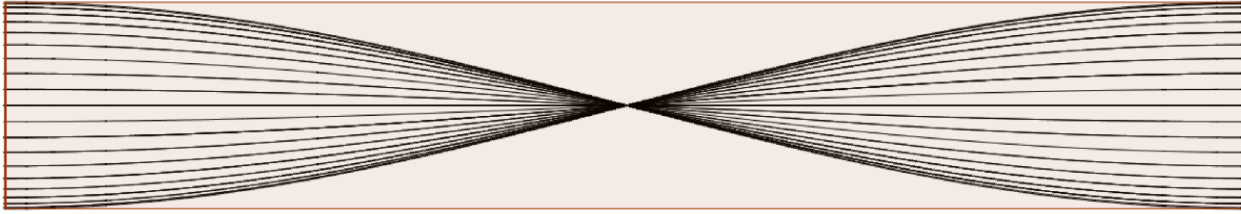
Abbiamo chiesto agli studenti di considerare quello che poteva accadere, per analogia con la corda, in un tubo pieno d'aria quando, qualche modo, venga prodotta una vibrazione dell'aria in esso contenuta.

Tubo aperto ad entrambe le estremità

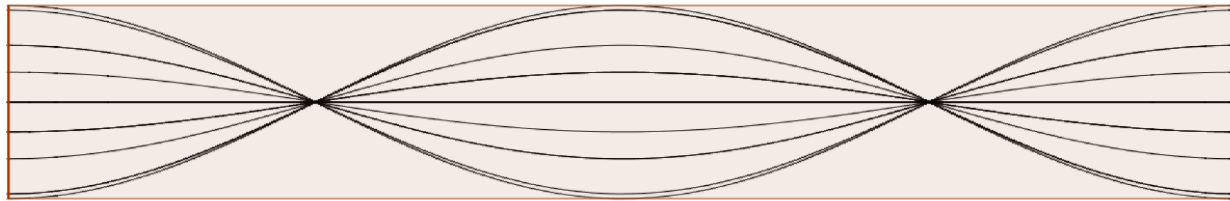
Gli studenti non hanno avuto difficoltà nel riconoscere che se il tubo viene lasciato aperto ad entrambe le estremità e percosso in modo da mettere in vibrazione l'aria in esso contenuta, la massima oscillazione delle molecole dell'aria si avrà alle estremità del tubo e la situazione sarà simile a quella delle onde stazionarie in una corda fissata ai due estremi solo con “ventri” e “nodi” scambiati .

In ogni caso la lunghezza del tubo sarà multipla di $\frac{\lambda}{2}$

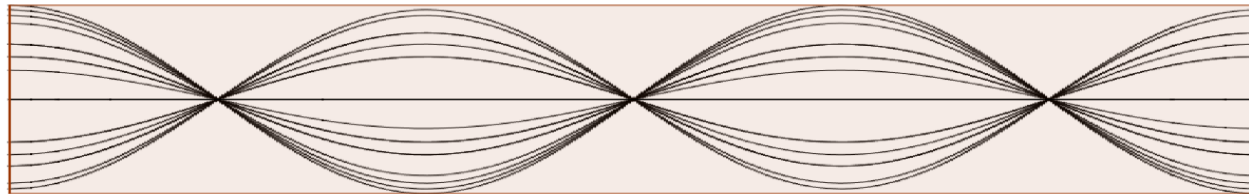
$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$



$$L = \frac{\lambda}{2}$$



$$L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$



$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Per una data lunghezza L del tubo l'onda di minima frequenza (armonica fondamentale) ha quindi una lunghezza d'onda

$$\lambda = 2 \cdot L$$

(in realtà dovremmo considerare anche il diametro del tubo ma visto che il diametro è piccolo possiamo trascurarlo).

Quindi la frequenza fondamentale si ottiene dalla relazione fondamentale

$$\lambda \cdot f = v \rightarrow f = \frac{v}{\lambda}$$

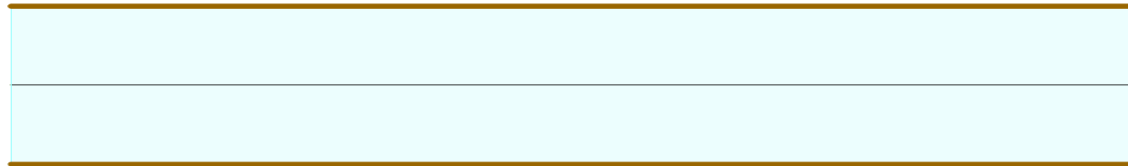
e risulta

$$f = v / 2L$$

dove con v si indica la velocità del suono nell'aria (circa 343 m/s).

Nel laboratorio di informatica è stata simulata con Geogebra l'oscillazione delle molecole di aria contenute nel tubo quando oscillano nel “modo” fondamentale cioè alla frequenza minima: alle estremità aperte del tubo l'ampiezza dell'oscillazione è massima.

Ecco l'animazione:



Tubo aperto ad una sola estremità

Non è stato difficile per gli studenti arrivare a capire che se chiudiamo un'estremità del tubo con un tappo, nell'estremo aperto si avrà sempre la massima oscillazione delle molecole mentre nell'estremo chiuso le molecole non oscilleranno e quindi in questo caso avremo che la lunghezza L del tubo sarà un multiplo (dispari!) di $\frac{\lambda}{4}$ cioè

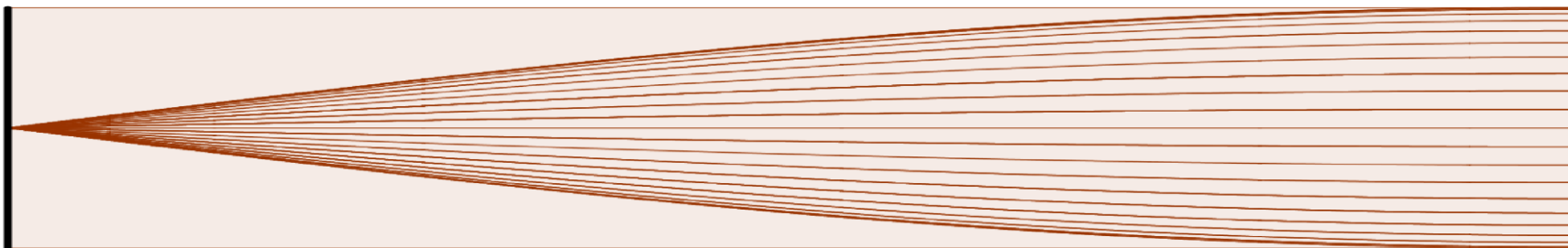
$$L = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

In questo caso se la lunghezza del tubo è L l'onda di minima frequenza (armonica fondamentale) ha lunghezza d'onda

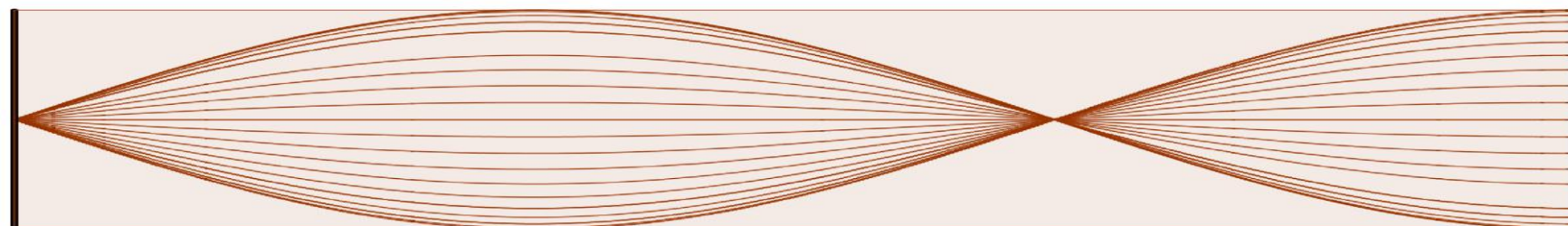
$$\lambda = 4 \cdot L$$

e quindi la frequenza fondamentale risulta $f = v/4L$

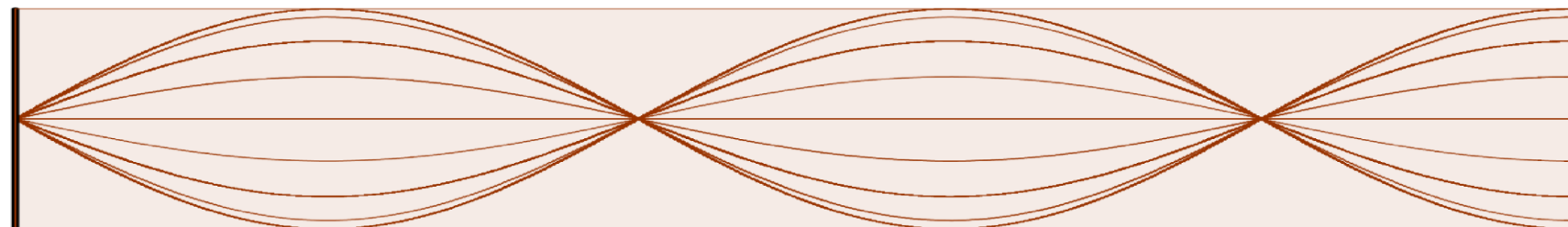
dove v indica la **velocità del suono nell'aria**.



$$L = \frac{\lambda}{4}$$



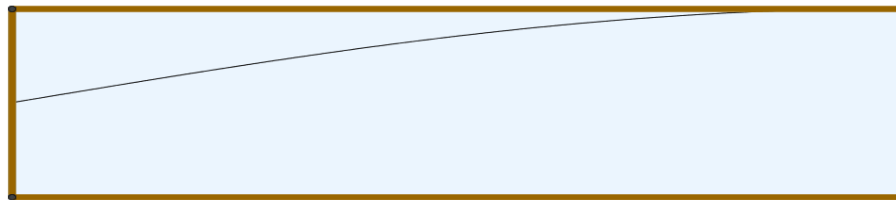
$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{4}$$



$$L = 5 \cdot \frac{\lambda}{4}$$

Nel laboratorio di informatica è stata simulata con Geogebra l'oscillazione delle molecole di aria contenute nel tubo quando oscillano nel “modo” fondamentale cioè alla frequenza minima: all'estremità aperta del tubo l'ampiezza dell'oscillazione è massima mentre è nulla dalla parte chiusa.

Ecco l'animazione:



Studio di strumenti musicali

Gli studenti, dopo lo studio delle onde stazionarie, si sono divisi in gruppi di lavoro ed hanno approfondito lo studio dei seguenti strumenti:

Strumenti a corda

La chitarra

Il pianoforte

Strumenti a fiato

I tubi sonori

Il flauto di Pan

Il flauto dolce

Il sassofono

Riportiamo le presentazioni che ogni gruppo ha fatto come conclusione del proprio lavoro.

La chitarra classica



La chitarra ha 6 corde di diverso spessore e la cui tensione può essere regolata agendo su apposite “chiavette”.

Sappiamo che $\lambda \cdot f = v$

dove v è la velocità di propagazione dell'onda nella corda e poiché

$$L = \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = 2 \cdot L \rightarrow f = \frac{v}{2L}$$

Ma la velocità v di propagazione dell'onda sulla corda dipende dalla densità lineare μ della corda e dalla sua tensione T secondo la relazione

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Dal momento che le **corde hanno diverso spessore e quindi diversa densità lineare** e la loro **tensione può essere regolata** con opportune “chiavette”, **si possono avere diverse frequenze anche se le sei corde hanno la stessa lunghezza.**

In una chitarra classica le corde sono numerate partendo da quella più sottile e suonate a vuoto, cioè senza premere sui tasti, se la chitarra è accordata, producono le seguenti frequenze:

Mi cantino=329.63 Hz

Si=246.94 Hz

Sol=196 Hz

Re=146.83 Hz

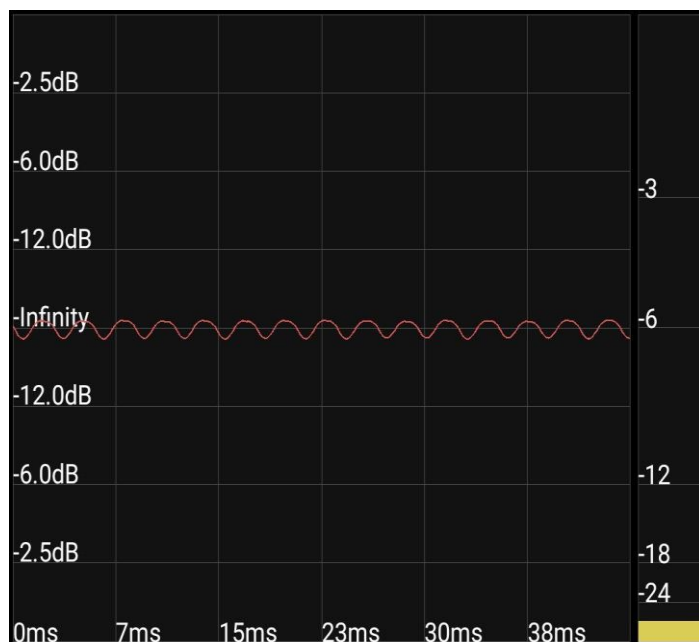
La=110 Hz

Mi basso=82.41 Hz

Mi cantino					1ª corda
Si					2ª corda
SOL					3ª corda
RE					4ª corda
LA					5ª corda
Mi basso					6ª corda

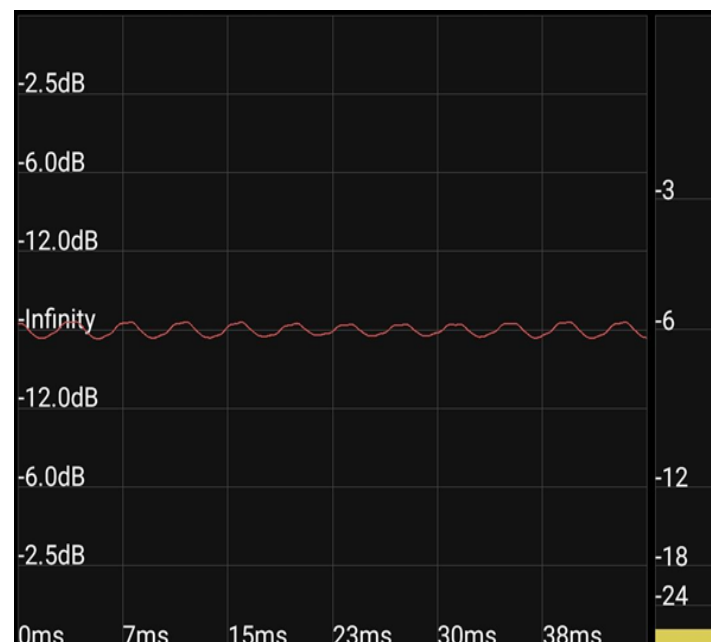
Abbiamo utilizzato l'applicazione **Oscope** dello smartphone per visualizzare le note emesse dalle varie corde di una chitarra (accordata).

MI CANTINO



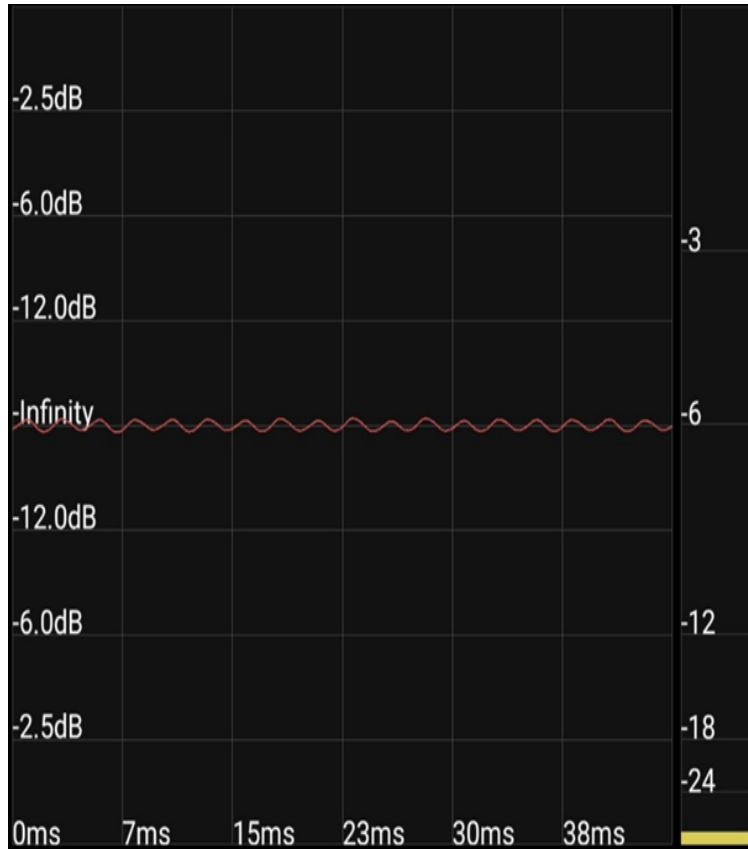
$$T=3 \text{ ms} \rightarrow f=333\text{Hz}$$

SI



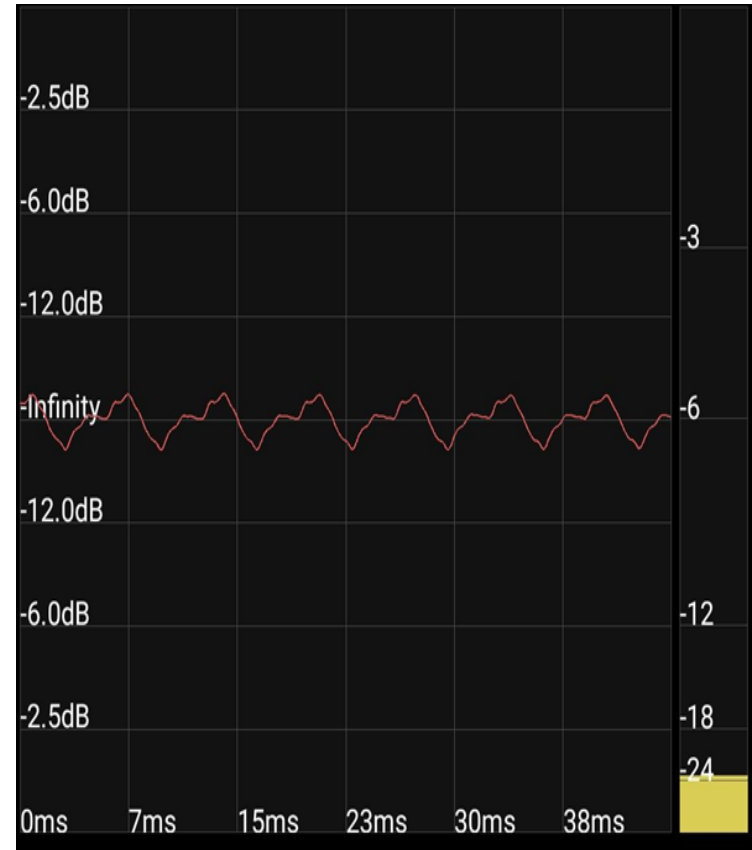
$$T=4,1\text{ms} \rightarrow f=244\text{Hz}$$

SOL



T= 5,1 ms ---> f=196 Hz

RE



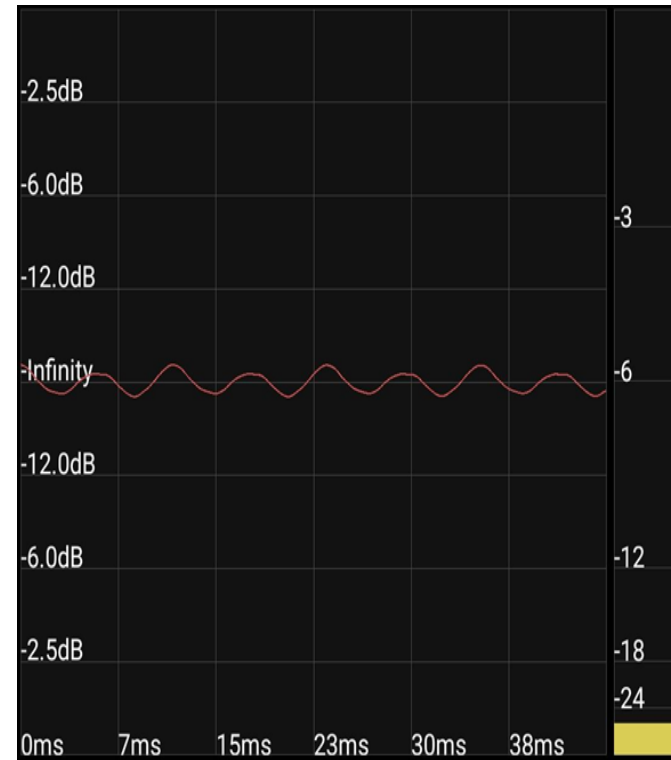
T=6,9 ms ---> f=145 Hz

LA



T= 8,3 ms ---> f= 120Hz

MI BASSO



T=12 ms ---> f= 83Hz



La tastiera della chitarra

Premendo una corda in corrispondenza di un determinato **tasto** **accorciamo la lunghezza della parte che può vibrare** e quindi otteniamo una frequenza più alta: i tasti sono distanziati in modo da ottenere (pizzicando la stessa corda) note che aumentano via via di un semitono.

Ricordando che nella scala temperata il rapporto tra due note successive è

$$r = \sqrt[12]{2} \cong 1,06$$

Il rapporto tra le “lunghezze” corrispondenti a due note successive corrisponde al reciproco di r poiché la lunghezza è inversamente proporzionale alla frequenza della nota emessa e **si osserva che la distanza tra i tasti va a diminuire.**

Corda suonata a vuoto	1° tasto	2° tasto	3° tasto	4° tasto	5° tasto
Mi cantino	Fa	Fa#	Sol	Sol#	la
Si	Do	Do#	Re	Re#	mi
Sol	Sol#	La	La#	Si	do
Re	Re#	Mi	Fa	Fa#	Sol
La	La#	Si	Do	Do#	re
Mi basso	Fa	Fa#	Sol	Sol#	la

Il pianoforte

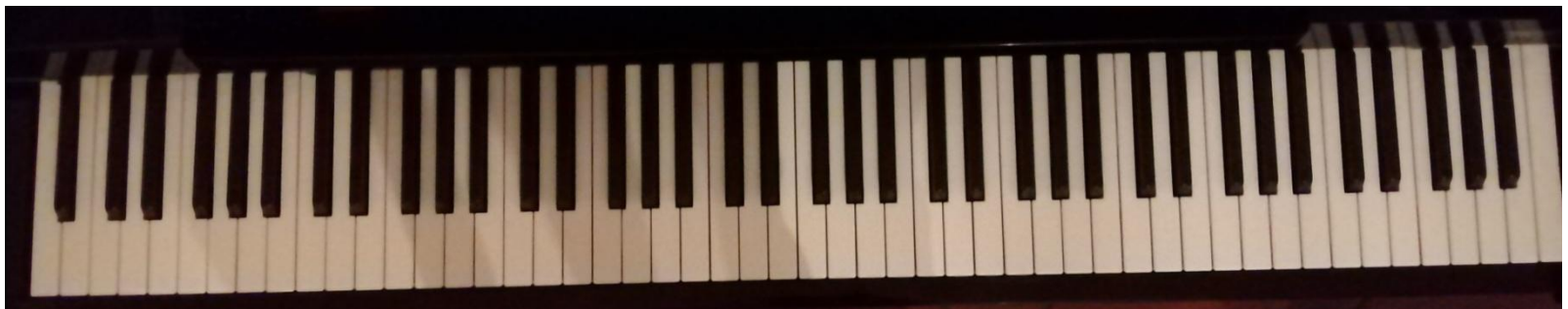


Il pianoforte è uno strumento a corde percosse da martelletti che vengono azionati da tasti.

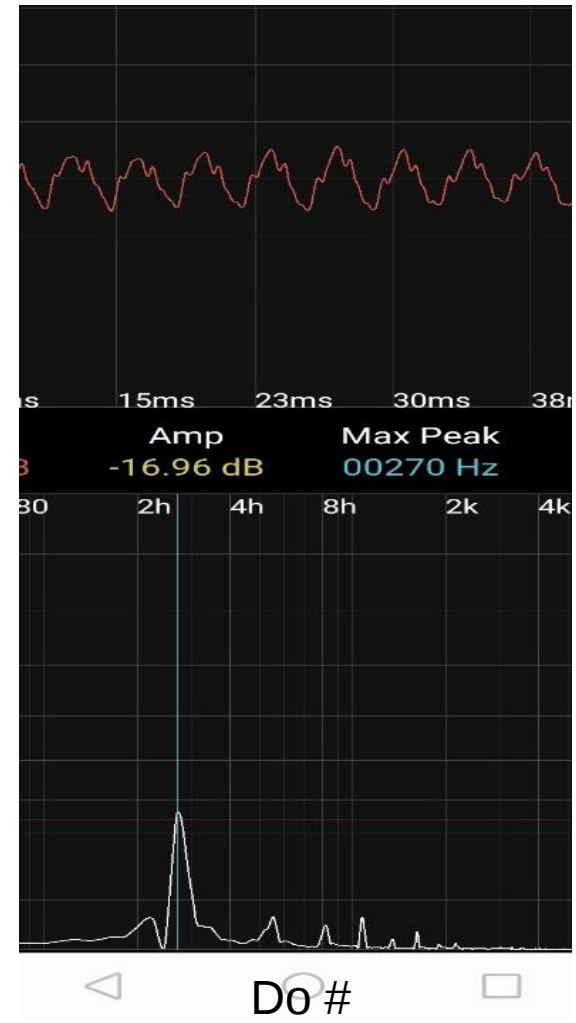
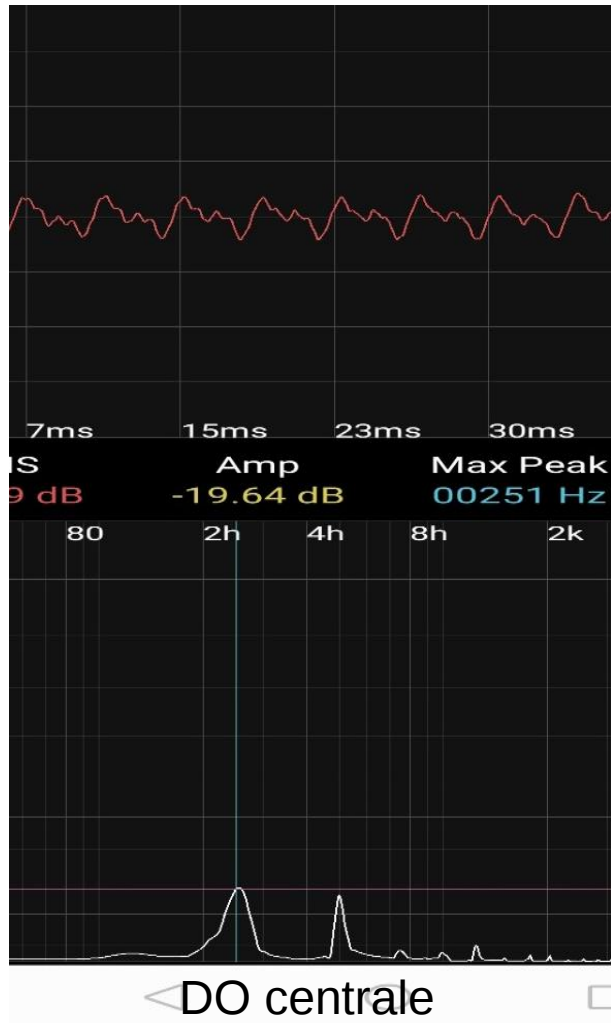
In un pianoforte vi sono tasti bianchi e tasti neri per un numero totale di ottantotto.

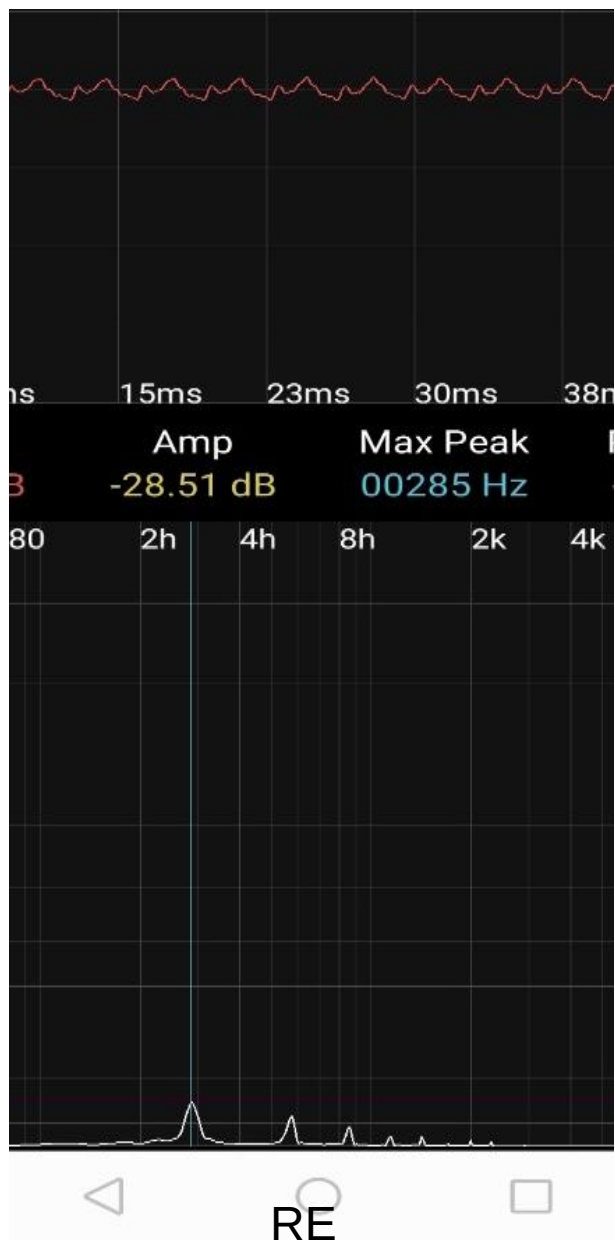
Le corde, tese su un telaio di metallo, sono collocate dentro una cassa di legno a forma d'arpa disposta orizzontalmente (il cosiddetto *pianoforte a coda*) oppure possono essere inserite in una cassa rettangolare (il cosiddetto *pianoforte verticale*).

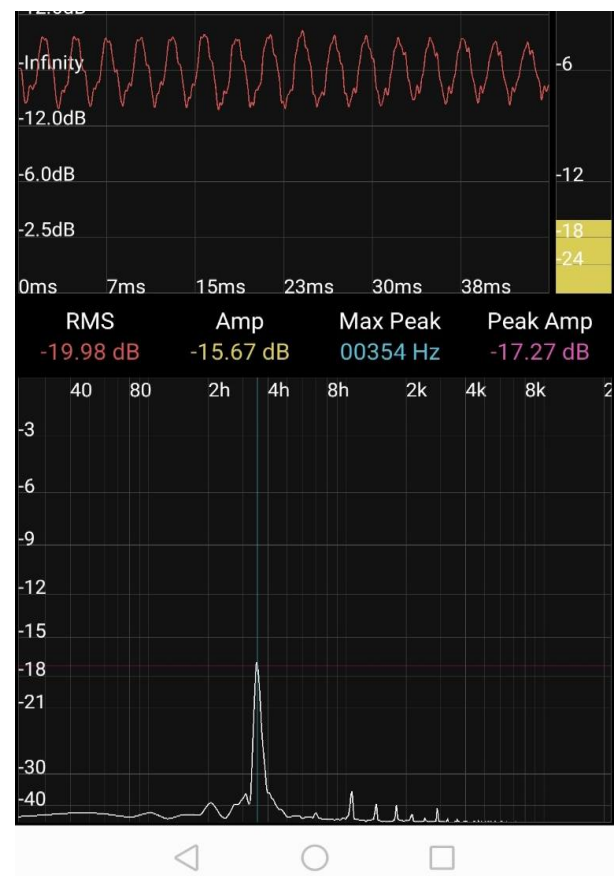
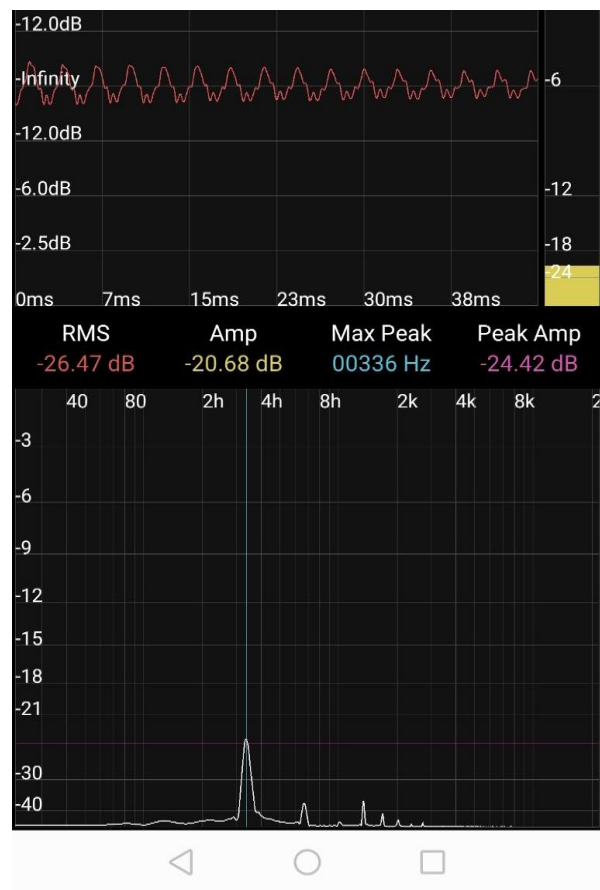
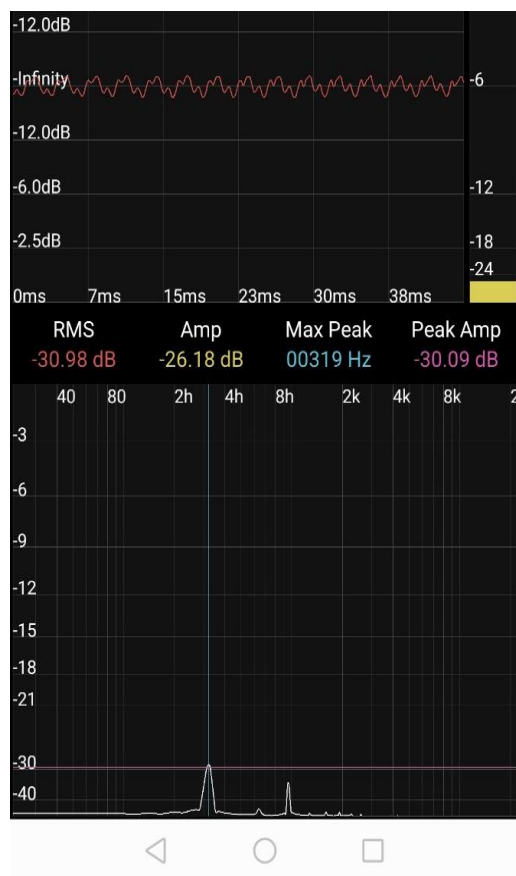
La tastiera del pianoforte è formata da tasti bianchi e neri. I tasti bianchi equivalgono alle note DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI mentre i tasti neri sono 5 per ogni ottava e corrispondono a DO#, RE#, FA#, SOL# , LA# (il simbolo # alza la nota di un semitono).

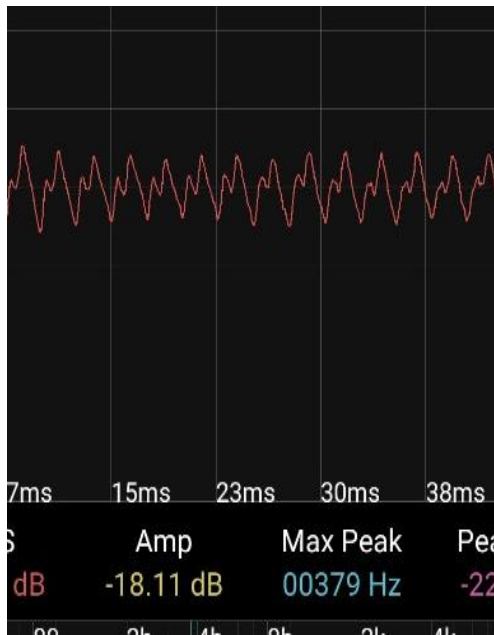


Utilizziamo Oscope per visualizzare le note dell'ottava centrale prodotte da un pianoforte (le frequenze calcolate da Oscope corrispondono quasi precisamente a quelle previste). Osserviamo che la forma dell'onda (timbro) è piuttosto caratteristica.

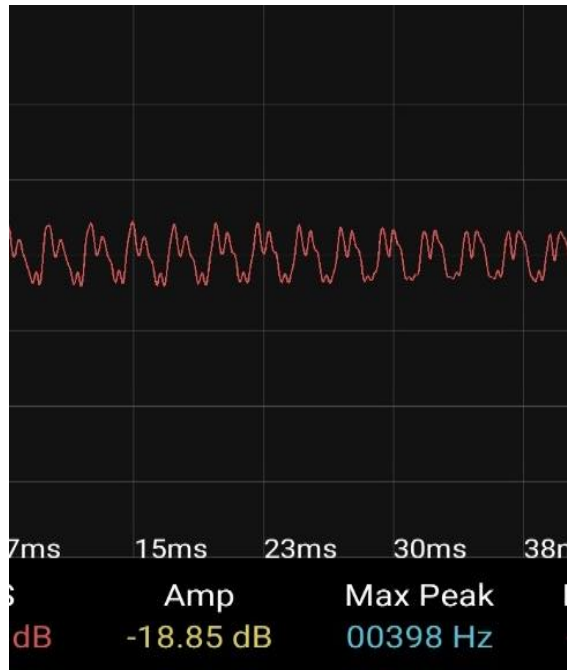




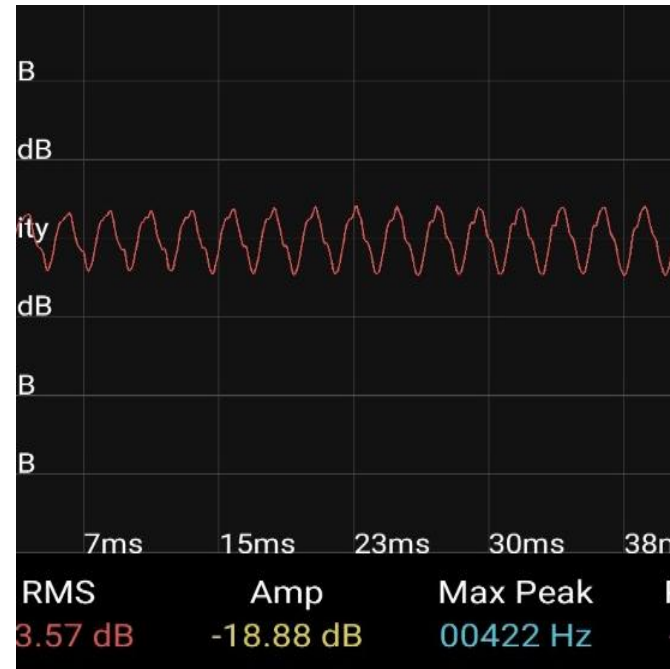




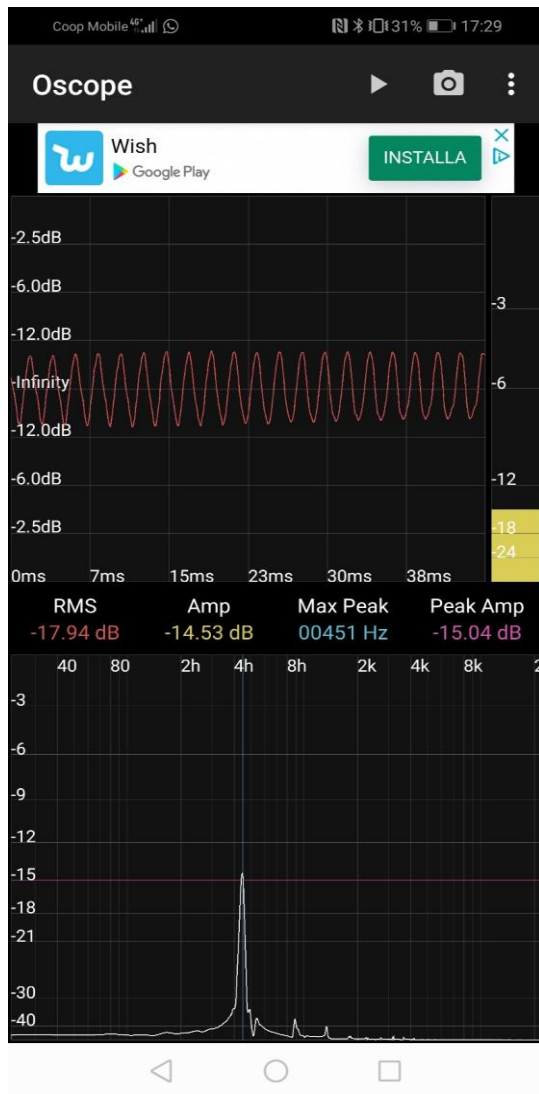
SOL



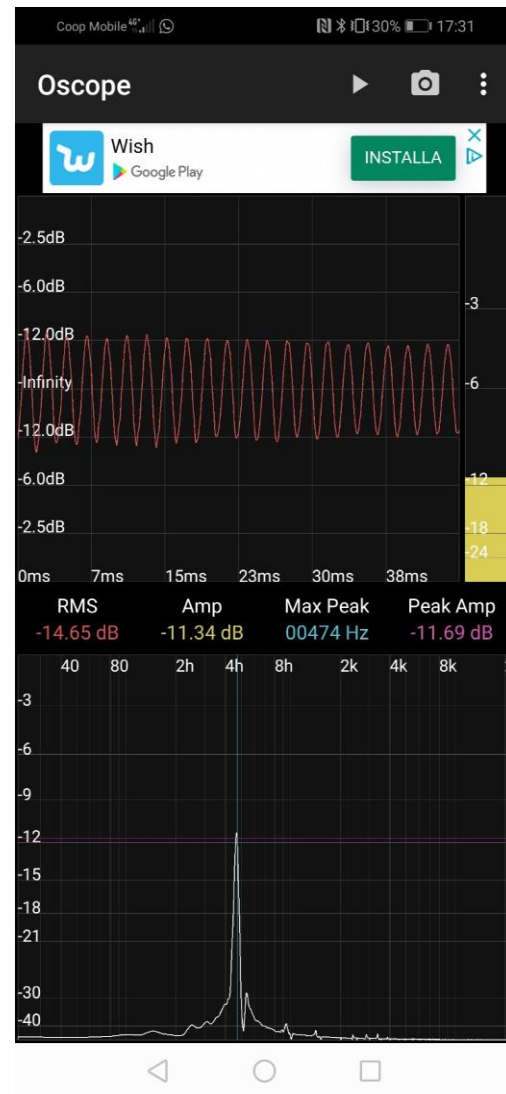
SOL #



LA



LA #



SI

I tubi

Si tagliano i tubi in modo che abbiano lunghezze tali da produrre, quando sono chiusi ad un'estremità, le frequenze delle 12 note dell'ottava centrale della scala temperata.
Se togliamo il tappo si hanno le frequenze doppie cioè dell'ottava superiore.

Nota	Frequenza f (Hz)	Lunghezza tubo = $v(\text{suono})/4f$ (cm)
DO	261,6	33
DO#	277,2	31
RE	293,7	29,2
RE#	311,1	27,6
MI	329,6	26
FA	349,2	24,6
FA#	370,0	23,2
SOL	392,0	22
SOL#	415,3	20,7
LA	440,0	19,5
LA#	466,2	18,4
SI	493,9	17,4



NOTA

E' stato divertente utilizzare i tubi per “suonare” alcune semplici melodie: ogni studente “suonava” il proprio tubo al momento opportuno...

Il flauto di Pan



Questo è uno strumento musicale aerofono costituito da un numero variabile di canne di diversa lunghezza, legate fra loro, **chiuse ad un'estremità**.

Va suonato avvicinando il mento alla fila di canne ed emettendo un soffio a labbra strette.

La sua **origine** è molto antica: gli uomini primitivi, sentendo la melodia prodotta dal vento sulle canne, utilizzando le canne costruirono questo strumento che divenne molto diffuso tra i pastori.

Perché si chiama così?

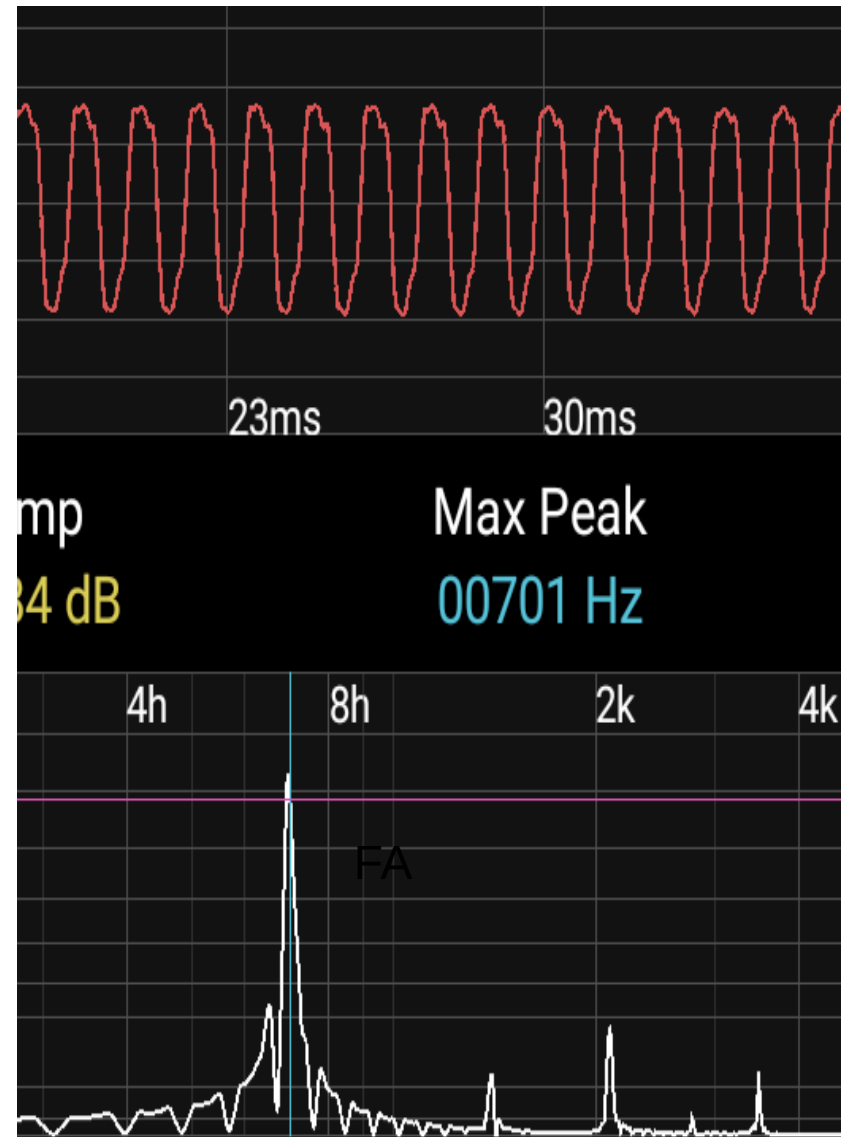
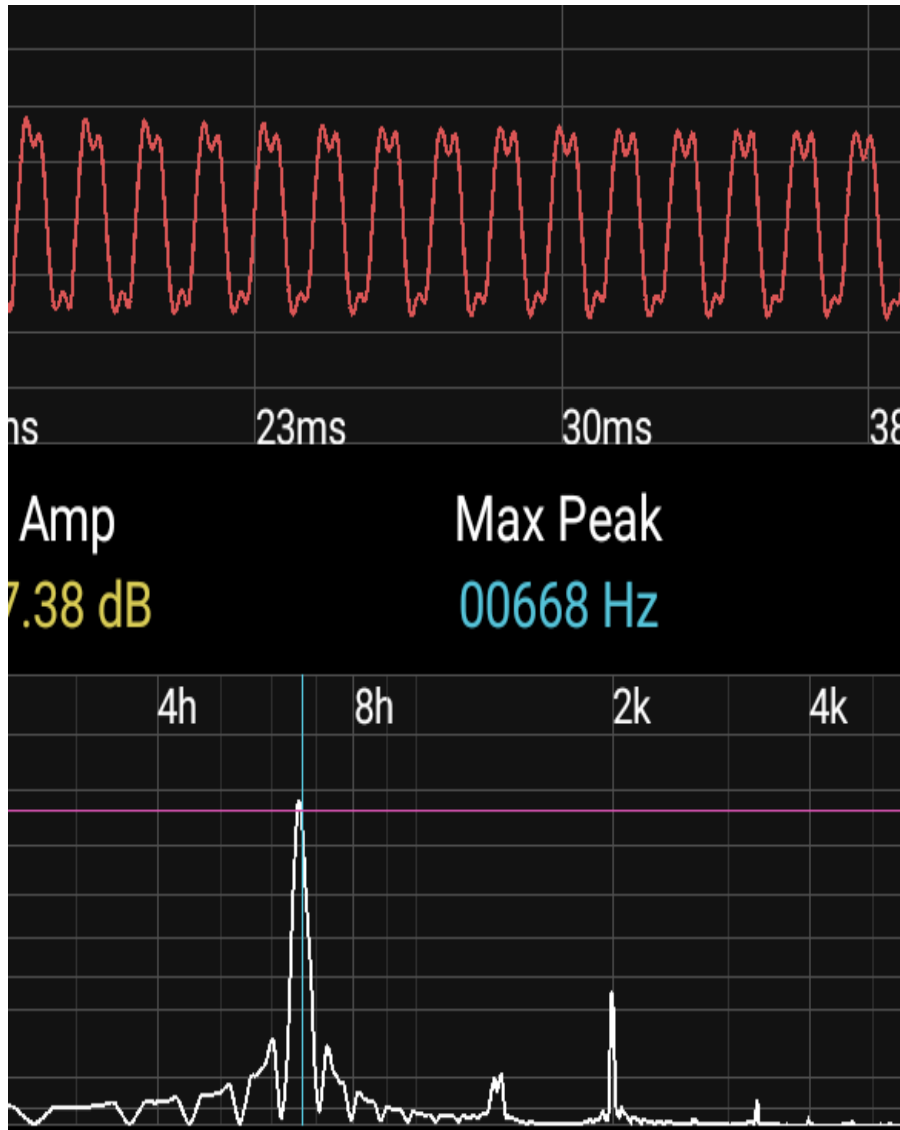
Pan è il figlio del dio Ermes e della ninfa Driope che lo abbandonò alla nascita perché aveva un aspetto animalesco.

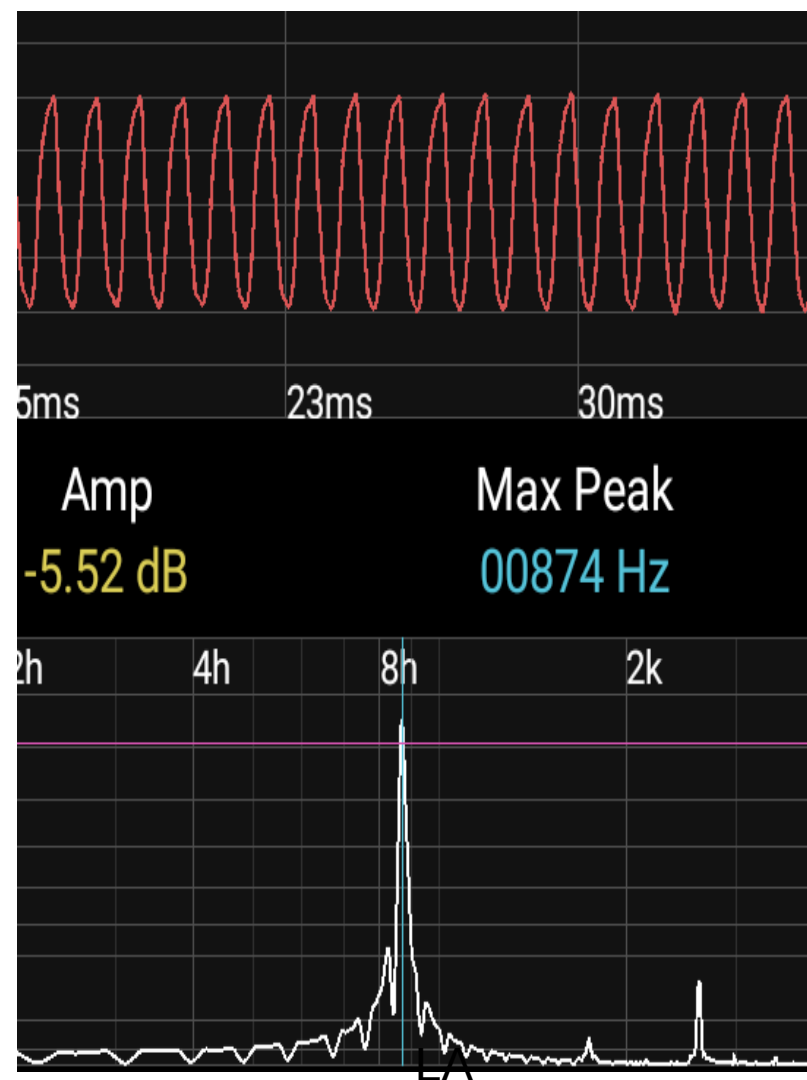
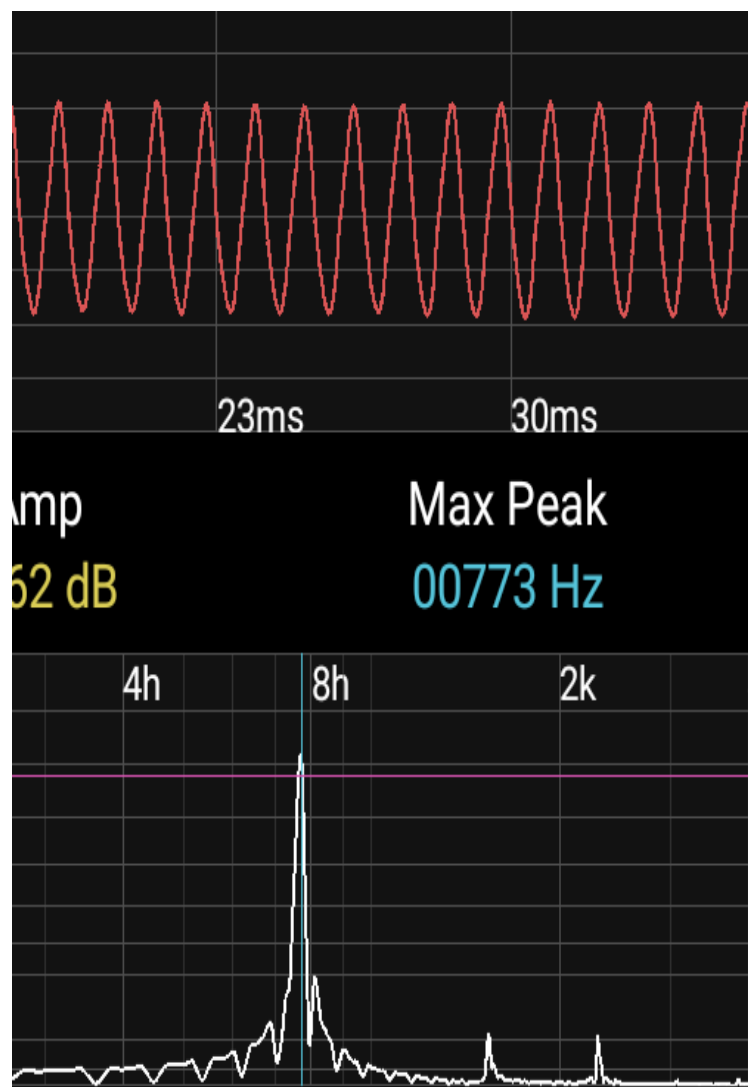
Ermes lo portò allora con sé nell'Olimpo: il gioviale e allegro dio di Pan un giorno si innamorò della figlia di una divinità fluviale, Siringa, ma essa, terrorizzata dal suo aspetto, si fece trasformare in una canna per non farsi riconoscere.

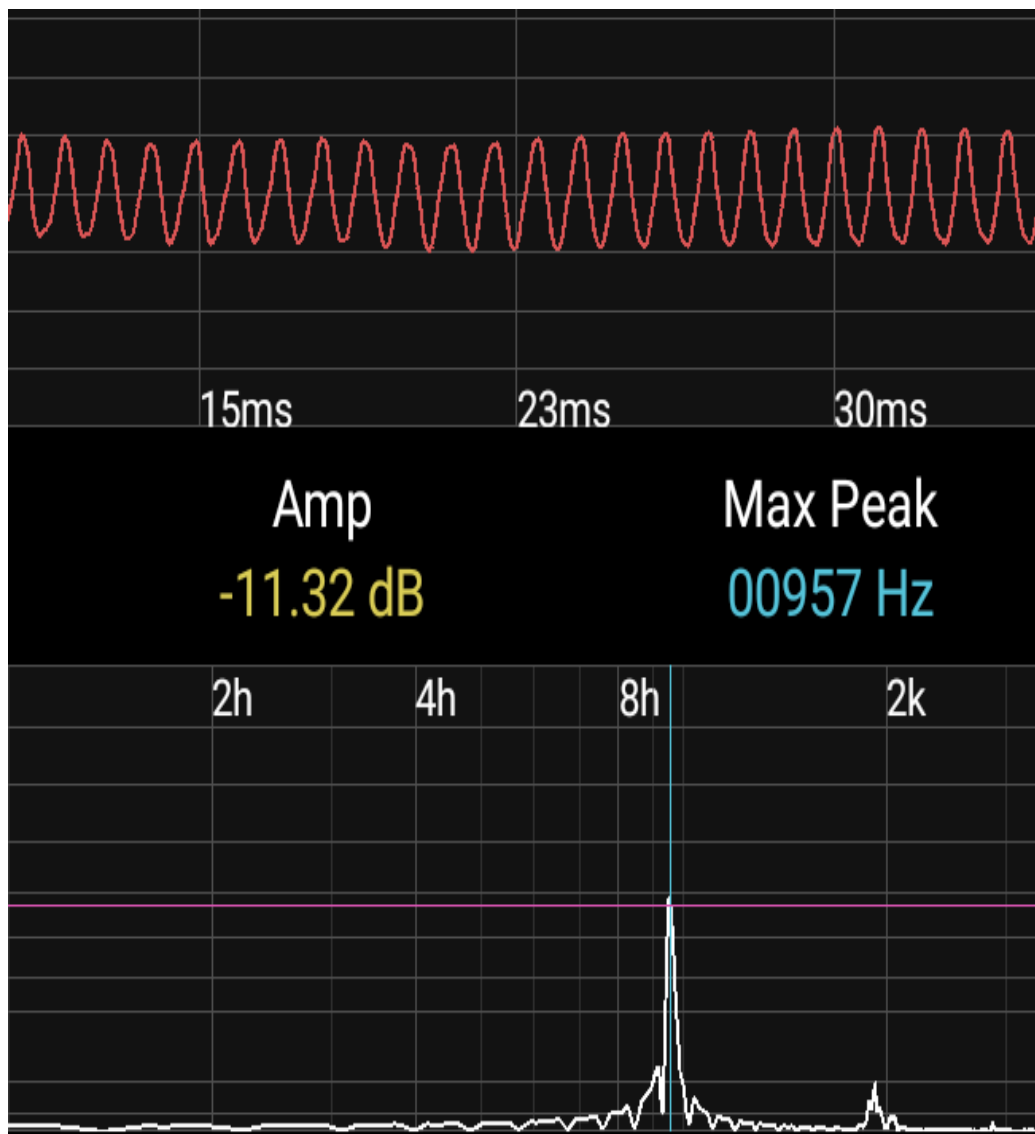
Pan cercò invano di distinguere la fanciulla tra le canne e allora proprio con le canne fabbricò lo strumento che prese il nome della fanciulla “siringa” e conosciuto come “flauto di Pan”.



Abbiamo determinato la frequenza emessa soffiando in una canna del flauto di Pan utilizzando l'applicazione Oscopio dello smartphone.







NOTA

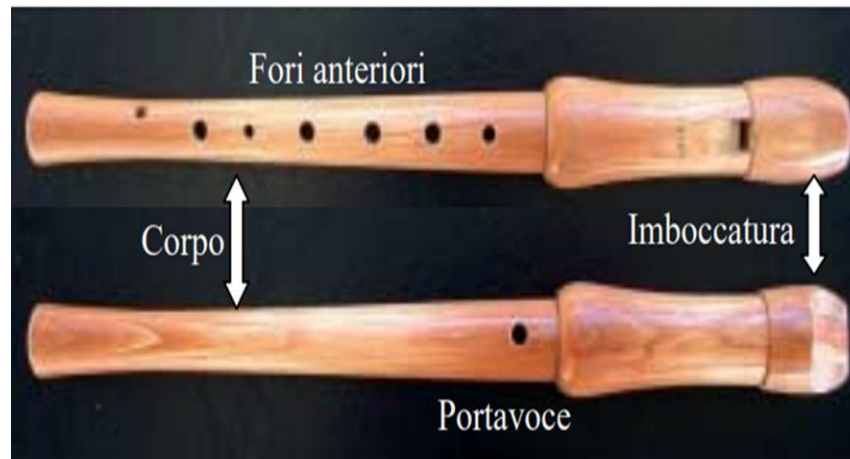
Misurando la lunghezza delle varie canne e confrontando le frequenze ricavate con Oscopio con quelle ricavate utilizzando la formula $f=v/4L$ (con v la velocità del suono nell'aria 343 m/s) abbiamo notato che per le canne più corte il valore calcolato si discosta maggiormente dalla frequenza realmente misurata perché la misura del diametro non è più trascurabile e avremmo dovuto usare una formula più complessa.

Il flauto dolce

Il flauto dolce è uno strumento musicale della famiglia degli aerofoni ed è uno strumento di origini antichissime.

È formato da due parti a incastro: la parte superiore e la parte inferiore.

Sette fori si trovano nella parte anteriore e uno (detto portavoce) nella parte posteriore dello strumento.

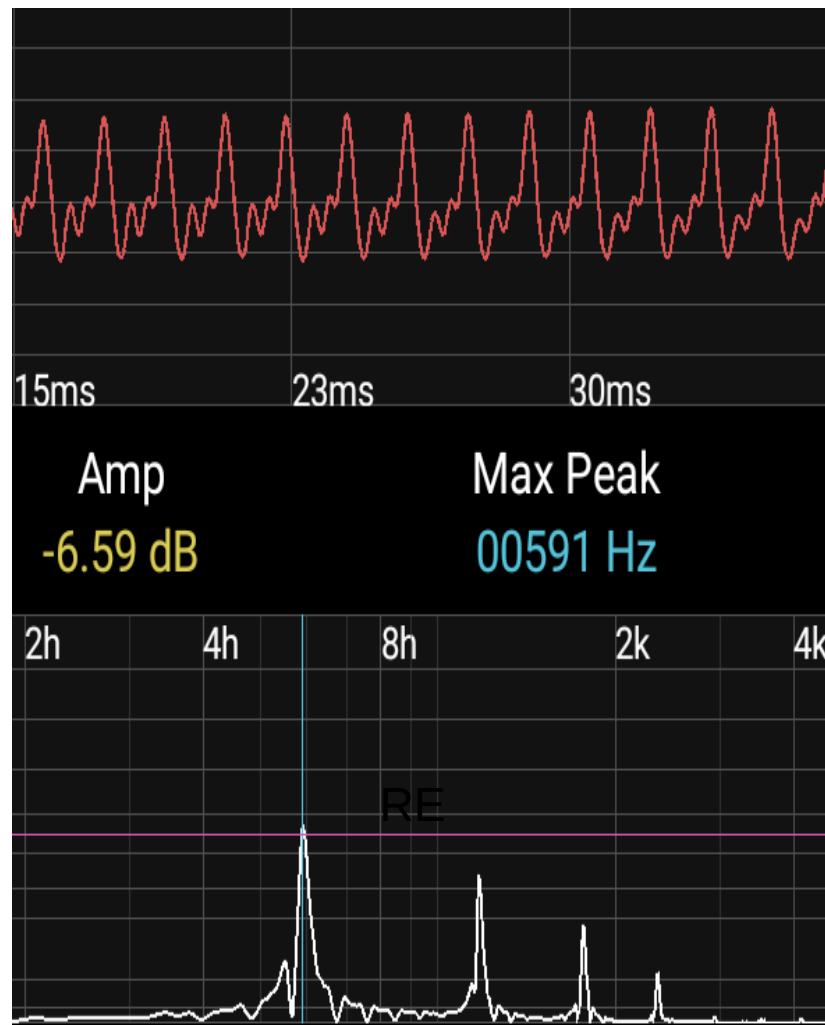


Il suono del flauto si crea grazie all'aria che passa attraverso l'imboccatura nella parte superiore dello strumento e produce delle vibrazioni: si ottengono le varie note della scala temperata **modificando la lunghezza efficace della canna risonante** cioè chiudendo i fori.

La nota più grave che è possibile eseguire è determinata dalla massima lunghezza della canna, che si ottiene chiudendo tutti i fori, e corrisponde al Do_5 (circa 523,2 Hz).

Aperto progressivamente i fori si "cortocircuita" l'aria all'interno della canna con quella all'esterno e si ottengono tutte le note della scala.

Visualizziamo le note emesse dal flauto dolce con l'applicazione **Oscope** dello smartphone



Il sassofono

Il sassofono è uno strumento ad aria e ancia semplice, che fa parte della famiglia dei legni in quanto deriva dal flauto dolce.

Il suono viene emesso da un'ancia di canna che viene fatta vibrare e il corpo dello strumento è fatto di ottone.

La lunghezza della colonna d'aria vibrante, e quindi l'altezza del suono prodotto, viene modificata attraverso dei fori, controllati da chiavi sul corpo dello strumento.

I vari tipi di sassofono sono caratterizzati da tonalità diverse: i più noti sono il sassofono “contralto” e il sassofono “soprano”.

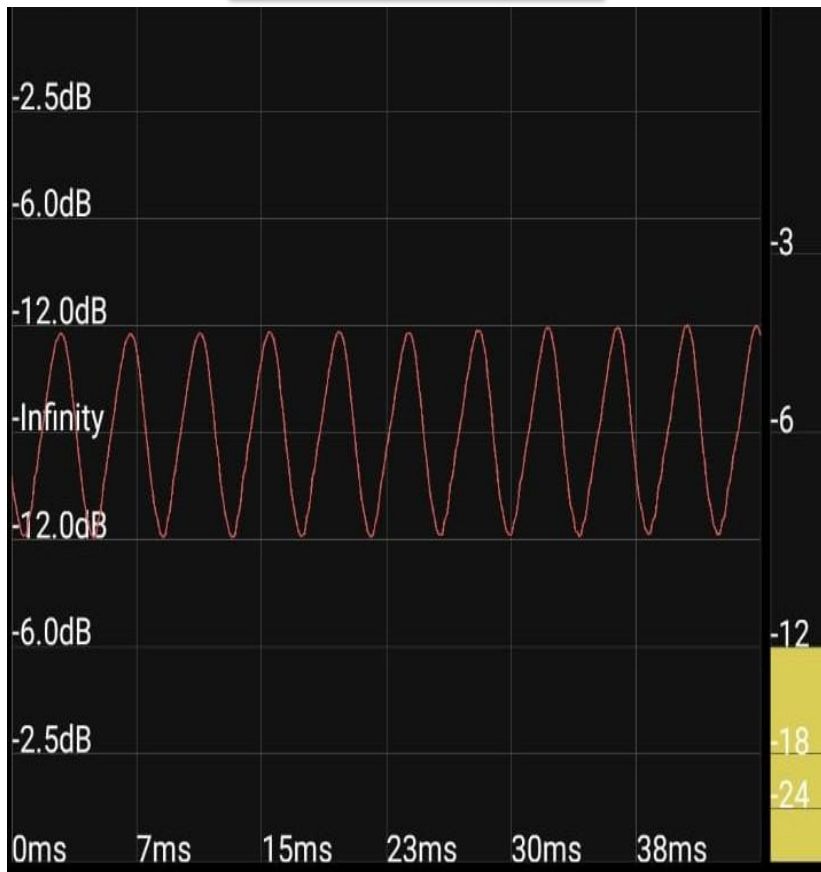


Sassofono
soprano



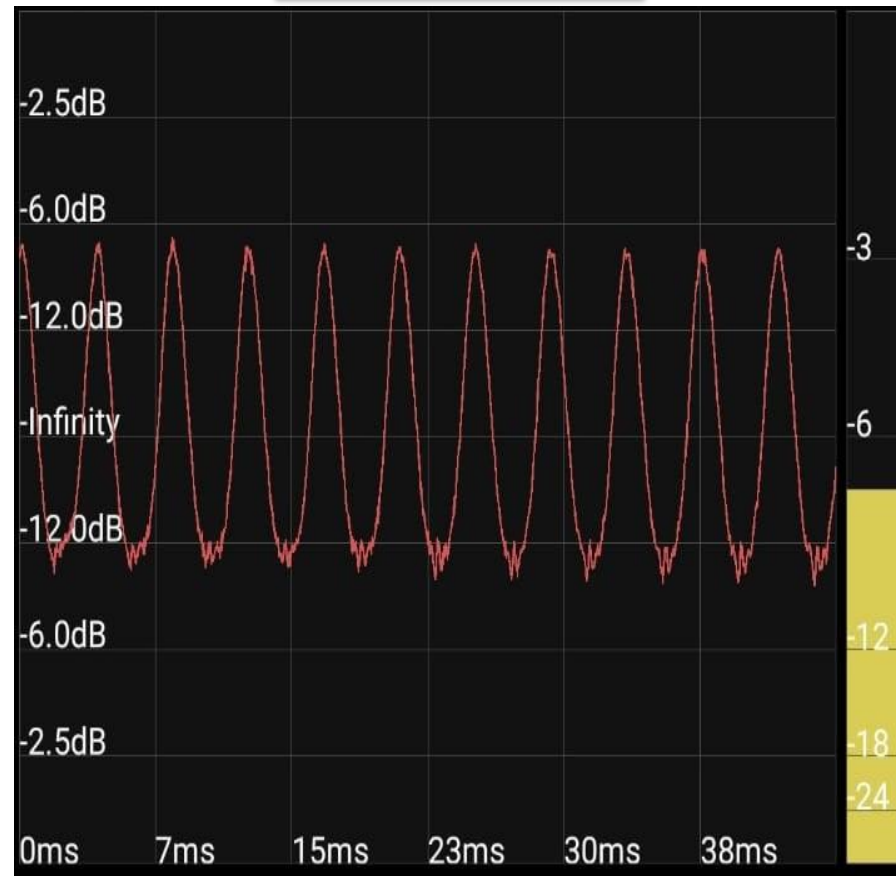
Sassofono contralto

Sol Sassofono
Contralto



Frequenza F1=
250 HZ

Sol Sassofono
Soprano



Frequenza F2=
243 HZ

Verifiche degli apprendimenti

Per la verifica degli obiettivi perseguiti in questo percorso è stata svolta una verifica di tipo “classico” con risoluzione di esercizi specifici inseriti in una verifica scritta sulle onde sonore in generale ma *si è considerato soprattutto il lavoro svolto in modo autonomo nei vari gruppi valutando la presentazione effettuata a tutta la classe (vedi diapositive precedenti).*

Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono stati soddisfacenti.

Efficacia del percorso

Gli studenti si sono mostrati particolarmente interessati e motivati ed il percorso è risultato efficace anche per la novità dell'utilizzo “scientifico” dello smartphone.

Inoltre è stato molto formativo che gli studenti che studiano musica abbiano potuto illustrare ai propri compagni le caratteristiche del proprio strumento.