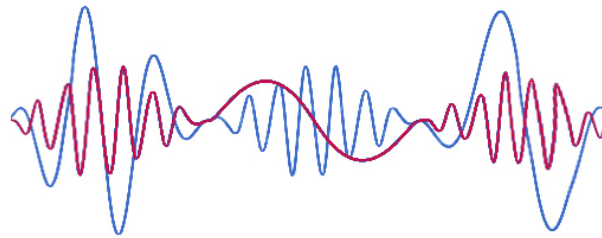


Onde sonore

Giuseppe Sottile

29 marzo 2021



1 Abstract

Di seguito si descrive l'analisi di un suono nel dominio del tempo attraverso delle semplici misure in ambiente chiuso. Si caratterizzano alcuni dei parametri principali delle onde acustiche: (frequenza, periodo ampiezza etc). Infine di ogni suono campionato ne viene mostrato un relativo grafico caratteristico ed alcune peculiarità delle forme d'onda in esame.

2 Keywords

Audio, Frequenza, Oscilloscopio, Onde, Acustica, Suono, Fourier

◇

3 Materiale

- Smartphone Mate 10 Pro BLA-L09 con Sistema operativo Android 10 - 6Gb RAM, Processore HiSilicon Kirin 970.
- Generatore di funzioni
- Diapason
- Cilindro in plastica
- Oscilloscopio
- Strumenti musicali vari: (tromba, flauto, pianoforte ecc)

4 Procedimento

4.1 Misura della forma d'onda di un suono complesso

Ciascuna delle sorgenti sonore (strumento musicale, voce, diapason) è stata misurata attraverso la funzione **audioscopio** messa a disposizione dalla suite **Phybox** sullo smartphone. La misura è stata effettuata in una stanza con un rumore di fondo intrinseco prossimo a $50db_{SPL}$ ¹, ad una temperatura di circa $19^{\circ}C$ ².

Per effettuare ciascuna misura si è utilizzato il microfono integrato allo smartphone con una frequenza di campionamento pari a $48KHz$ tipica delle sale di registrazione³.

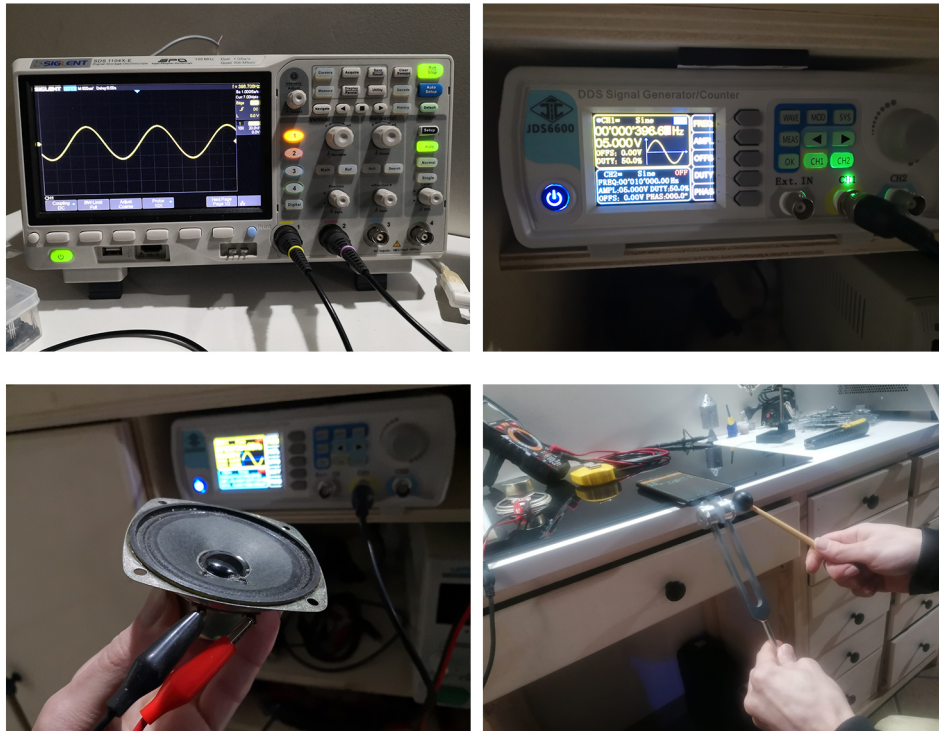


Figura 1: Misurazioni

Per individuare la frequenza del segnale, in Excel si è determinato il periodo in secondi (come stima della distanza tra due punti in cui il segnale assume lo stesso valore) e se ne è calcolato l'inverso

$$f = \frac{1}{T}$$

Ad esempio, per il suono del violino si è individuato un periodo di $0.023s$ e quindi una frequenza pari a $1/0.023 \approx 434.78Hz$. Per mostrare la sovrapposizione tra il suono complesso e la sua armonica fondamentale, si è impiegato un generatore di funzioni per generare la frequenza determinata numericamente, la quale ricampionata dallo smartphone è stata sovrapposta al grafico⁴

¹Il livello di fondo è stato misurato attraverso la funzione **Ampiezza audio** in Phybox

²il valore utilizzato per la velocità del suono, in base ai dati sperimentali è $343 \frac{m}{s}$.

³In ogni secondo vengono estratti 48000 campioni del segnale.

⁴file chitarra.xls



Figura 2: Misura del suono del violino

4.2 Risonanza in un cilindro chiuso

Soffiando in un cilindro chiuso di altezza L , secondo il principio del cosiddetto **risuonatore di Helmholtz**, il cilindro va in risonanza alla frequenza espressa dalla semplice relazione

$$f_h = \frac{nv_s}{4L}.$$

Dove n è un numero naturale, L è l'altezza del cilindro mentre v_s è la velocità del suono in aria.

Utilizzando un cilindro di altezza $L = 0.0912m \pm 0.001$, e scegliendo $n = 1^5$, otteniamo un valore di frequenza pari a:

$$v_f = \frac{343}{4 \cdot 0.0912} = \frac{343}{0.346} = 952.77Hz$$

Con un'incertezza relativa:

$$\frac{\delta\left(\frac{nv_s}{4L}\right)}{\left|\frac{nv_s}{4L}\right|} = \frac{1}{4} \left(\frac{0.1}{343} + \frac{0.001}{0.091} \right) \approx 0.003$$

Ossia

$$v_f = (952.77 \pm 3)Hz$$

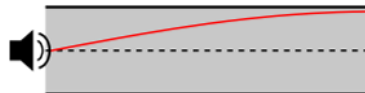


Figura 3: Risonanza in un tubo chiuso

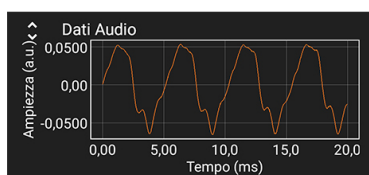
⁵Per valori maggiori di n , si ottengono frequenze di risonanza superiori.

5 Risultati

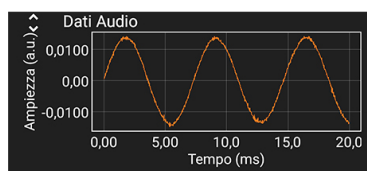
Di seguito i risultati relativi alle misurazioni. La tabella riassume i valori medi con le relative incertezze.

Misure sorgenti acustiche (1)

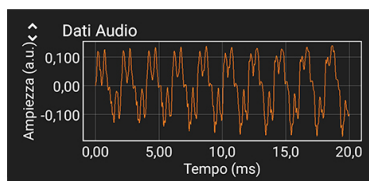
	Silenzio	Diapason	Voce
Durata registrazione [ms]	20 ± 1	20 ± 1	30 ± 1
Tasso di campionamento [Campioni/s]	$48K \pm 1$	$48K \pm 1$	$48K \pm 1$
Ampiezza [Un. Arb].	$\pm$	0.014 ± 0.001	0.015 ± 0.001
Periodo [ms]	$\pm$	7.3 ± 0.1	7.65 ± 0.01
Numero massimi relativi per periodo	$\pm$	1 ± 0	20 ± 7
<i>Frequenza [Hz]</i>	$\pm$	136.986 ± 0.001	130.718 ± 0.001
<i>Lunghezza d'onda [m]</i>	$\pm$	2.5 ± 0.1	2.62 ± 0.01



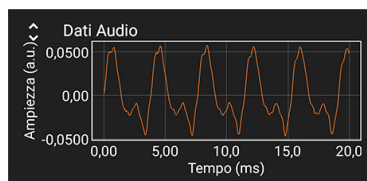
chitarra classica



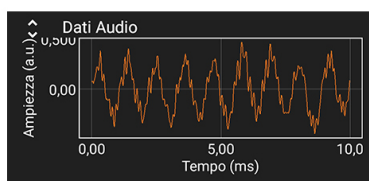
diapason



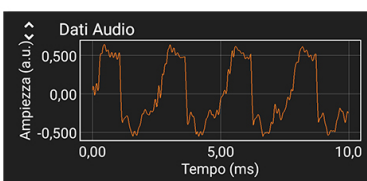
fisarmonica



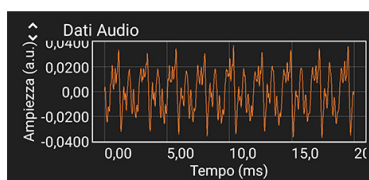
piano



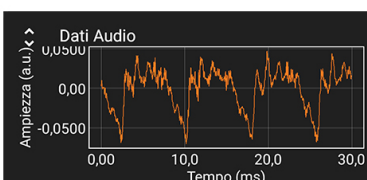
cilindro chiuso



tromba



violino



voce

Figura 4: Forme d'onda nel tempo

Misure sorgenti acustiche (2)

Fisarmonica	Tromba	Chitarra	Violino
20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1
$48K \pm 1$	$48K \pm 1$	$48K \pm 1$	$48K \pm 1$
0.14 ± 0.01	0.64 ± 0.01	0.053 ± 0.001	0.037 ± 0.001
1.95 ± 0.01	2.5 ± 0.1	5.2 ± 0.1	2.3 ± 0.1
6 ± 2	11 ± 2	3 ± 1	9 ± 2
512.820 ± 0.01	396.668 ± 0.001	192.30 ± 0.01	434.782 ± 0.001
$0.66 \pm 0,01$	0.86 ± 0.01	1.78 ± 0.01	0.78 ± 0.01

◇

6 Discussione

Dall'analisi nel dominio del tempo delle sorgenti sonore viste sin'ora, possiamo dedurre alcune caratteristiche peculiari. Osservando ad esempio il grafico della forma d'onda generata da un diapason rispetto a quella generata da uno strumento musicale, si osserva come il suono generato dal diapason rispecchi perfettamente una sinusoide pura (tono), mentre quello generato da un violino, o dalla voce è un suono per così dire "complesso"; nel senso che presenta una forma d'onda non sinusoidale, ma pur sempre periodica. In effetti ciò che contraddistingue il suono di uno strumento o della voce è il suo timbro, ossia il suo contenuto armonico, o meglio l'insieme di tutte le armoniche superiori (spettro). Ricordando infatti dall'analisi di Fourier, sappiamo che un segnale periodico complesso, lo si può scomporre come somma di toni puri elementari a frequenze multiple. ⁶

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin(kt + \phi_k) + b_k \cos(kt + \phi_k)$$

Il suono di ogni strumento è caratterizzato, quindi da un contenuto armonico tipico di quel particolare strumento dovuto ai suoi costituenti fisici: (es: cassa armonica, massa delle corde, tipo di legno impiegato ecc), i quali arricchiscono il contenuto in frequenza attraverso fenomeni di risonanza.

Ciascun grafico mostra inoltre un'altra caratteristica delle forme d'onda misurate, ossia la presenza di una frequenza fondamentale che caratterizza la nota percepita. Nel caso del diapason la fondamentale, coincide con la frequenza di risonanza del diapason stesso, nel caso dei suoni complessi, è la frequenza corrispondente al periodo massimo, come espresso nei dati misurati. la figura mostra ad esempio la fondamentale pura sovrapposta al grafico della nota di una chitarra classica

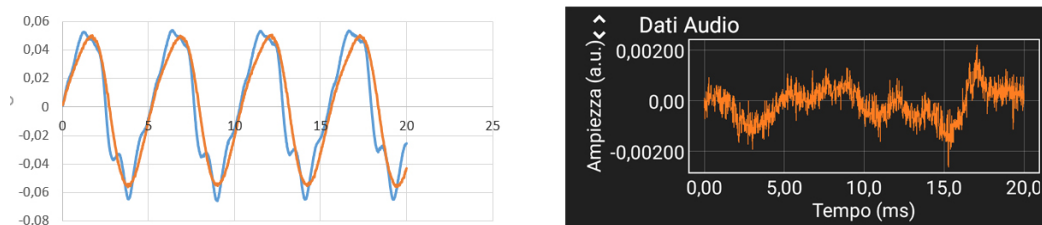


Figura 5: Frequenza fondamentale in arancio, segnale completo azzurro, a destra rumore di fondo

⁶Serie di Fourier

6.1 suoni e rumori

L'analisi del rumore di fondo (senza sorgenti acustiche), mostra come un suono emesso da uno strumento musicale (nota), è di tipo periodico (ha un contenuto armonico), mentre un rumore non ha contenuti armonici, si presenta, come un segnale casuale o "disordinato".

7 Conclusioni e note

L'esperimento ha evidenziato come un suono possa essere studiato nel dominio del tempo, e come sia anche possibile studiare il fenomeno ondulatorio nel dominio delle frequenza.

Sarebbe interessante risalire alla frequenza dell'onda discretizzata dal dispositivo digitale ⁷ a partire dai suoi campioni, il cosiddetto procedimento della FFT⁸ per verificare come sia possibile ricostruire il segnale analogico a partire dai campioni digitali.

8 Bibliografia

- Mencuccini Silvestrini / Fisica 2 (Elettromagnetismo Ottica), Liguori Ed
- Fourier Series and Boundary Value Problems - James Brown, Ruel Churchill - McGraw Hill
- Wikipedia

⁷Supponendo di aver soddisfatto il Teorema di Nyquist in base al quale la frequenza di campionamento deve essere almeno doppia rispetto alla massima frequenza contenuta nel segnale da campionare

⁸Fast Fourier Transform