



IL LABORATORIO DEL SUONO



Riproduzione del suono degli strumenti musicali col metodo della sintesi armonica

A cura di Sadak Ikram, Ceppi Giulio, Sech Edoardo, Lucchetta Jessica, Spadetto Luca, Criscuolo Lucia, Muffato Francesca, Zaffalon Francesca, Possamai Sebastiano, Dalla Rosa Josephine

Realizzato nell'ambito del *Progetto Archimede*
con la supervisione dei Proff. V.Fabbro e F.Zampieri
I.S.I.S.S. M.Casagrande, Pieve di Soligo, Aprile 2014

Sommario

Nel presente lavoro, dopo aver operato una decomposizione spettrale del suono di alcuni strumenti musicali identificando le frequenze ed i pesi di un certo numero di armoniche componenti, si è tentata una riproduzione artificiale del suono stesso utilizzando il metodo della sintesi armonica, ossia sommando le armoniche determinate secondo i rispettivi pesi. Ciò è stato fatto sia per via algebrica, graficando la funzione d'onda risultante, sia dal punto di vista qualitativo, generando un campione audio artificiale. Infine, è stato operato un confronto grafico tra la forma d'onda registrata e quella riprodotta artificialmente e un raffronto qualitativo, ascoltando il suono originario e quello artificiale.

1 Cenni teorici

Usualmente, il timbro di uno strumento musicale viene definito come quella proprietà del suono che distingue una sorgente sonora dall'altra: sappiamo infatti che un violino ed un flauto producono due suoni che, malgrado possano avere la stessa altezza e la stessa intensità, sono per il nostro orecchio fondamentalmente differenti. La differenza risiede ovviamente nel diverso meccanismo di produzione del suono, o meglio, nella sorgente sonora utilizzata: una corda vincolata tra due estremi nel caso del violino e una colonna d'aria avente due estremità aperte nel caso del flauto.

Tuttavia, esistono moltissimi altri parametri che influiscono sul timbro, la proprietà del suono forse più difficile da definire dal punto di vista fisico, non da ultimi il meccanismo e la modalità di eccitazione della sorgente e l'azione della cassa di risonanza dello strumento. Si possono infatti notare delle fondamentali differenze anche fra due suoni aventi le stesse caratteristiche di intensità ed altezza ed emesse dallo stesso strumento. Una certa nota emessa da un violino può essere caratterizzata da una molteplicità di sfumature timbriche, che rendono il suono più o meno caldo, vibrante o viceversa freddo, secco.

Per poter dare una spiegazione più precisa al fenomeno della formazione del timbro di uno strumento musicale, così come giunge all'orecchio di un ascoltatore, può essere utile lo studio dei *sonogrammi*, ossia dei grafici cartesiani che riportano in ascissa la variabile temporale t ed in ordinata l'ampiezza dell'oscillazione della sorgente sonora.

Per ottenere un sonogramma si utilizza un dispositivo detto *trasduttore*, che trasforma l'ampiezza dell'oscillazione meccanica in una grandezza ad essa proporzionale: di solito questo compito viene svolto dagli apparati di registrazione analogica e digitale, consistenti fondamentalmente in un microfono, che nel caso più moderno viene collegato ad una scheda audio di un PC. In tal modo, la vibrazione meccanica del suono viene convertita in un segnale elettrico avente le stesse modalità di variazione temporale dell'ampiezza di vibrazione della membrana del microfono.

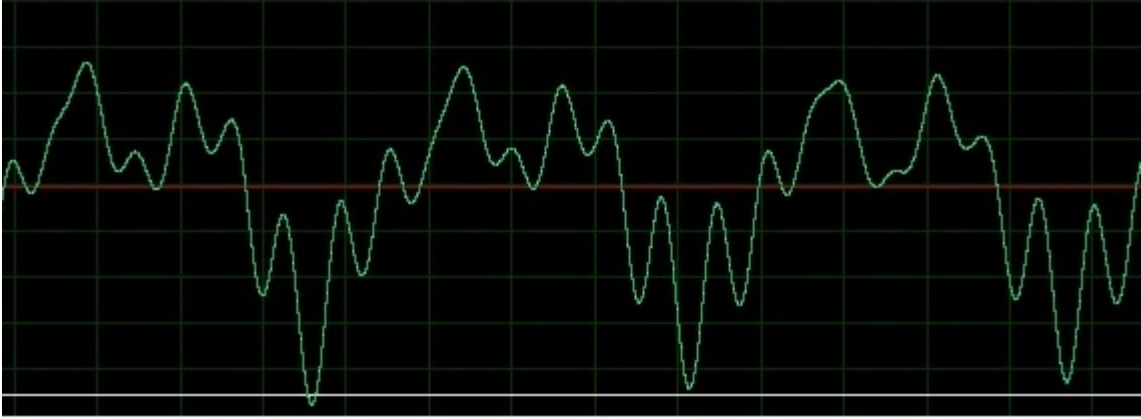


Figura 1: Sonogramma tempo-intensità di corrente elettrica inerente la nota La_4 emessa da un violino. Si noti la forma d'onda che ripete per un certo numero di volte uno schema (*pattern*) grafico, caratterizzato da un certo insieme di picchi. La linea rossa centrale denota la posizione di equilibrio, in questo caso della corda.

Un sonogramma è associabile univocamente ad una funzione continua e di solito periodica, che lega l'ampiezza di oscillazione y (o l'intensità di corrente elettrica) al tempo t , del tipo:

$$y = F(t)$$

La funzione $F(t)$, che corrisponde fondamentalmente alla funzione d'onda del suono, nell'ipotesi che abbia un periodo T e quindi una frequenza f , può essere pensata come somma di un certo numero di componenti sinusoidali pure, in accordo a quanto enunciato dal teorema di Fourier.

Le componenti sinusoidali si riferiscono ovviamente alle componenti armoniche del suono stesso, che, come è stato visto nell'articolo I SUONI ARMONICI (Progetto Archimede, 2014), corrispondono ai modi normali di vibrazione della sorgente sonora.

In altre parole, la corda nel caso del violino o la colonna d'aria nel caso del flauto, possono vibrare in infiniti modi, le cui frequenze sono multiple intere della frequenza fondamentale (alla quale corrisponde la vibrazione della corda o della colonna d'aria nella sua massima lunghezza).

A seguito di una sollecitazione, quindi, la sorgente vibra secondo più modalità che si vengono a sovrapporre, dipendentemente dall'energia e dalla metodologia di eccitazione, con le vibrazioni aggiunte dagli apparati di risonanza.

Ne deriva che più componenti sinusoidali pure si sommano con diversa intensità ed alla fine concorrono in maniera differente alla sintesi del suono che poi giunge agli apparati di ricezione.

Facendo riferimento al teorema di Fourier, per funzioni d'onda periodiche (suoni determinati), vale la seguente relazione:

$$F(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin(n\omega t) \quad (1)$$

nella quale n designa la n -esima componente armonica ed $\omega = 2\pi f$, ove f è la frequenza del suono a cui corrisponde la funzione $F(t)$.

Gli A_n sono coefficienti collegati all'intensità posseduta dalla n -esima componente armonica tali che:

$$\sum_{n=1}^{\infty} A_n = 1 \quad (2)$$

Questo coefficiente è detto peso relativo: si può altresì dimostrare che esso è proporzionale alla radice quadrata dell'intensità I_n della n -esima componente armonica.

In linea di principio, quindi, se fossero note tutte le (infinte!) A_n e si conoscesse la frequenza di tutte le armoniche componenti il suono, si potrebbe ricostruire con la relazione 1 la funzione d'onda e, disponendo di tali informazioni, riprodurre esattamente il suono per via artificiale, prescindendo dalla sorgente che lo ha emesso.

Ovviamente non è possibile disporre delle infinite armoniche, ed è inevitabile utilizzarne solamente un numero finito¹.

Questo fondamentalmente è il metodo adottato nel nostro lavoro di creazione di un campione audio artificiale.

2 Il metodo

Abbiamo inizialmente proceduto alla registrazione dei campioni audio degli strumenti: violino, flauto, chitarra e pianoforte. Sono state utilizzate le utility di registrazione del software COOL EDIT PRO 2.1 della *Syntrillium Software*, che hanno permesso di ottenere un campione digitale ed il corrispondente sonogramma. Ad ogni campione è stata associata la rispettiva frequenza, facendo uso di una opportuna utility del programma.

strumento	NOTA registrata
VIOLINO	LA_4
FLAUTO	LA_4
CHITARRA	LA_2
PIANOFORTE	LA_4

Tabella 1: Riassunto dei campioni audio registrati e dei sonogrammi disponibili, associati alle rispettive frequenze.

Abbiamo riscontrato una certa difficoltà nella fase della registrazione dei campioni, soprattutto per quanto riguarda il flauto ed il violino. Gli esecutori hanno dovuto prestare grande attenzione a mantenere, durante l'emissione del suono, la stessa intensità sonora, affinché potesse essere attribuita la giusta frequenza da parte del software: abbiamo notato che un suono fluttuante per quanto riguarda l'intensità causava delle ambiguità nella determinazione della frequenza corretta da parte dell'algoritmo usato dal software.

2.1 L'analisi armonica

Dati i campioni audio, abbiamo identificato un numero n di armoniche ed i rispettivi pesi A_n .

Per questo scopo abbiamo utilizzato l'utility *analyze-show frequency analysis* del nostro software. Queste *subroutines* eseguono una interpolazione della funzione d'onda con un polinomio trigonometrico, utilizzando il metodo della FFT (Fast Fourier Transformate, vedi ad esempio FFT).

Disponendo del polinomio interpolante è possibile conoscere quali armoniche componenti sono state rilevate nel campione audio, quale ne è la frequenza e quale l'intensità. A tale scopo, la routine usata visualizza un grafico cartesiano detto *spettro di potenza* che riporta in ascissa le frequenze ed in ordinata l'intensità in decibel delle componenti del suono (vedi fig.2).

Abbiamo quindi proceduto all'identificazione delle armoniche f_n e delle intensità corrispondenti per ciascun campione audio. Ciascuna intensità I_n è stata poi convertita nel corrispondente peso A_n .

E' noto che la relazione fra l'intensità in decibel J e l'intensità sonora I (espressa in W/m^2) è data da:

$$J = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

¹Il risultato artificiale si avvicinerà qualitativamente al suono reale tanto più alto sarà il numero delle armoniche sommate

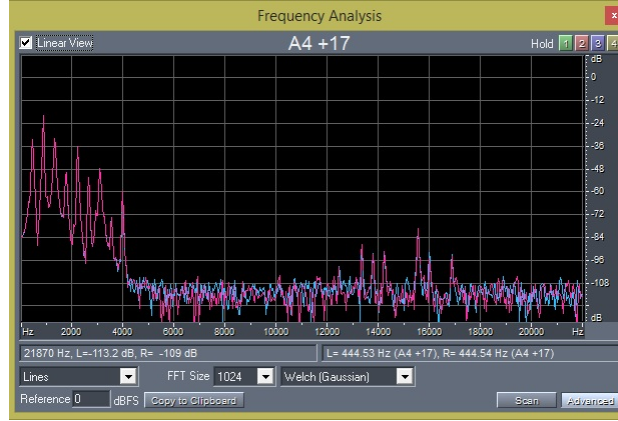


Figura 2: Spettro di potenza per la nota LA_4 emessa dal flauto. Si notino i picchi di intensità, corrispondenti alle frequenze armoniche rilevate dal software: posizionando il cursore con il mouse sopra ogni picco si può leggere in corrispondenza la frequenza f_n e l'intensità I_n in decibel

ove I_0 è la cosiddetta soglia di minima udibilità, convenzionalmente fissata per la scala Decibel in $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$. Quindi, per passare dal valore J di lettura in decibel (dato dal software) al valore I si userà la relazione inversa:

$$I = I_0 \cdot 10^{J/10}$$

A questo punto per passare all'ampiezza A_n , si ricorda la relazione fra ampiezza ed intensità che sarà del tipo:

$$A = k \cdot \sqrt{I}$$

con k , costante di proporzionalità che non è necessario conoscere. Difatti, facendo uso della 2, possiamo dire che:

$$A_n = \frac{k \cdot \sqrt{I_n}}{\sum_{n=1}^N k \cdot \sqrt{I_n}} = \frac{\sqrt{I_n}}{\sum_{n=1}^N \sqrt{I_n}} \quad (3)$$

ove N designa il numero totale di componenti armoniche determinato.

I valori, per ciascun campione audio, di f_n ed A_n sono stati quindi raccolti ed ordinati in quattro tabelle, una per ciascuno strumento.

2.2 La sintesi armonica

Il procedimento che consiste nella riproduzione artificiale del suono emesso da una sorgente sonora si chiama sintesi armonica ed è la tecnica su cui si basa il funzionamento dei sintetizzatori audio. Questi sono dei dispositivi che, simulando le diverse oscillazioni armoniche identificabili in un suono analogico mediante oscillazioni elettriche (in dispositivi hardware) e sovrapponendone un certo numero, possono riprodurre artificialmente qualsiasi suono, da quello degli strumenti musicali alla voce umana.

Nel nostro caso, abbiamo fatto uso di un applet Java disponibile on line QUI. Questo applicativo consente di riprodurre un suono scegliendone le componenti armoniche ed i rispettivi pesi, mediante una serie di barre di controllo (fig.3). Sono stati ottenuti quindi i campioni audio artificiali che sono stati riprodotti, eseguendo poi un raffronto con il timbro originario.

Allo scopo di avere un altro sistema di rappresentazione del sonogramma, è stato fatto uso del software GEOGEBRA 4.4, che permette la creazione del grafico di una funzione, scrivendone la sua espressione analitica. Usando la 1, è stata costruita per ciascun campione audio disponibile, la corrispondente funzione

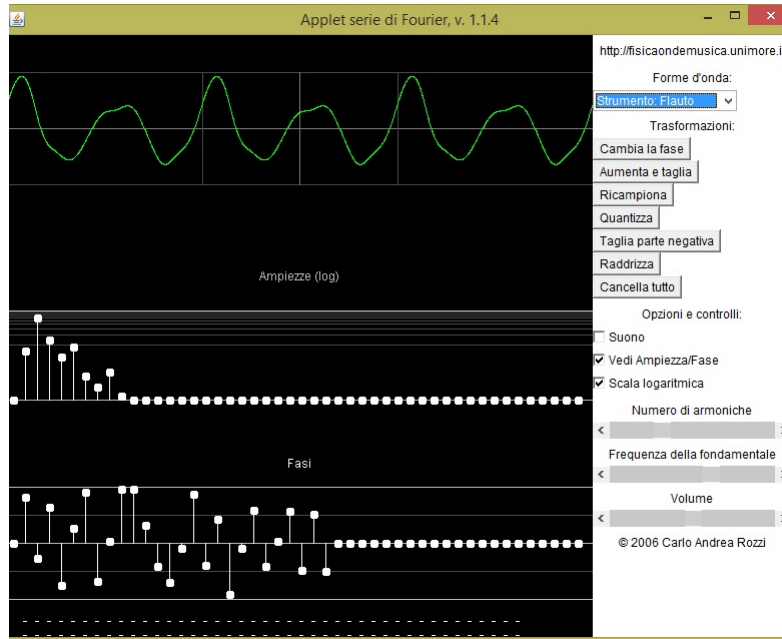


Figura 3: Finestra dell'Applet Java da cui si può evincerne il funzionamento. Una serie di barre di controllo consentono di settare il numero delle armoniche da inserire, e le ampiezze relative, nonché la frequenza del suono risultante ed il suo livello di intensità globale. Nella parte superiore si può osservare il profilo dell'onda sonora che è stata sintetizzata, ossia il sonogramma corrispondente. Il programma permette anche di ascoltare il suono così prodotto!

d'onda e quindi graficata, per poter poi effettuare un confronto qualitativo del sonogramma con quello ottenuto mediante il software di registrazione.

3 Risultati ottenuti

Nei successivi paragrafi vengono riportati i dati ottenuti per i quattro strumenti musicali considerati

3.1 Violino

E' stato inizialmente registrato un campione audio consistente nella nota LA_4 di frequenza $f = 440 \text{ Hz}$ (corrispondente alla frequenza fondamentale della seconda corda vuota, fatta vibrare, cioè, senza l'azione delle dita della mano sinistra). Il campione audio, da un esame visivo del sonogramma corrispondente, presentava delle fluttuazioni in intensità, malgrado l'esecutore abbia cercato di mantenere sempre un peso costante dell'arco sulla corda.

E' stato quindi deciso di selezionare solamente una piccola parte del campione, in cui l'ampiezza fosse pressochè costante.

Successivamente, tramite l'utility di analisi spettrale, si è proceduto alla estrazione delle frequenze armoniche, misurando la loro frequenza e la loro intensità J in dB .

Nella tabella 2 sono riportati i risultati di queste misurazioni e la loro elaborazione: dal valore di lettura strumentale si è passati all'intensità I in W/m^2 , secondo la relazione:

$$I = 10^{-12} \cdot 10^{J/10}$$

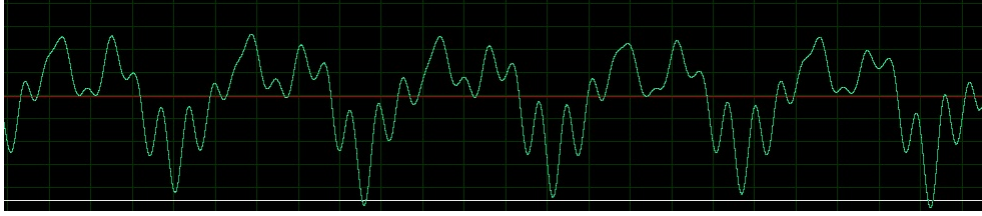


Figura 4: Parte del sonogramma del LA_4 a $f = 440\text{ Hz}$ per il violino, utilizzato per l'analisi spettrale. Si osservi tutto sommato la buona regolarità del segnale: è evidente il *pattern* che si ripete, in questo grafico per più di 5 volte, con dei picchi di intensità massima positiva e negativa più o meno tutti allo stesso livello.

n	$f [\text{Hz}]$	$J [\text{dB}]$	$I [\text{W}/\text{m}^2]$	$\sqrt{I_n}$	A_n
1	431	-21.78	$6.64 \cdot 10^{-15}$	$8.15 \cdot 10^{-8}$	0.3060
2	883	-27.15	$1.93 \cdot 10^{-15}$	$4.39 \cdot 10^{-8}$	0.1649
3	1313	-32.13	$6.12 \cdot 10^{-16}$	$2.47 \cdot 10^{-8}$	0.0930
4	1765	-35.85	$2.60 \cdot 10^{-16}$	$1.61 \cdot 10^{-8}$	0.0606
5	2088	-57.46	$1.79 \cdot 10^{-18}$	$1.34 \cdot 10^{-9}$	0.0050
6	2627	-36.03	$2.49 \cdot 10^{-16}$	$1.58 \cdot 10^{-8}$	0.0593
7	3079	-28.28	$1.49 \cdot 10^{-15}$	$3.85 \cdot 10^{-8}$	0.1448
8	3509	-30.27	$9.40 \cdot 10^{-16}$	$3.07 \cdot 10^{-8}$	0.1152
9	3962	-43.4	$4.57 \cdot 10^{-17}$	$6.76 \cdot 10^{-9}$	0.0254
10	4392	-52.39	$5.77 \cdot 10^{-18}$	$2.40 \cdot 10^{-9}$	0.0090
11	4823	-54.17	$3.83 \cdot 10^{-18}$	$1.96 \cdot 10^{-9}$	0.0073
12	5275	-59.03	$1.25 \cdot 10^{-18}$	$1.12 \cdot 10^{-9}$	0.0042
13	5706	-59.11	$1.23 \cdot 10^{-18}$	$1.11 \cdot 10^{-9}$	0.0042
14	6115	-97.94	$1.61 \cdot 10^{-22}$	$1.27 \cdot 10^{-11}$	0.0000
15	6589	-76.51	$2.23 \cdot 10^{-20}$	$1.49 \cdot 10^{-10}$	0.0006
25	10740	-93.19	$4.80 \cdot 10^{-22}$	$2.19 \cdot 10^{-11}$	0.0001
26	11190	-91.95	$6.38 \cdot 10^{-22}$	$2.53 \cdot 10^{-11}$	0.0001
27	11620	-91.39	$7.26 \cdot 10^{-22}$	$2.69 \cdot 10^{-11}$	0.0001
28	12050	-87.068	$1.71 \cdot 10^{-21}$	$4.13 \cdot 10^{-11}$	0.00002

Tabella 2: Dati ottenuti dall'analisi spettrale del campione audio per il violino

Ricordando la relazione (3), sono stati determinate le ampiezze A_n relative a ciascuna armonica. In totale le frequenze rilevate ed utilizzate poi nella sintesi armonica sono state 28.

Si è proceduto quindi alla costruzione dell'onda sintetizzata sia con la citata applet Java che tramite Geogebra. Infine sono stati riportati i grafici dell'onda reale, di quella costruita con Geogebra e di quella ottenuta dall'applet Java, che si possono osservare nelle figure seguenti.

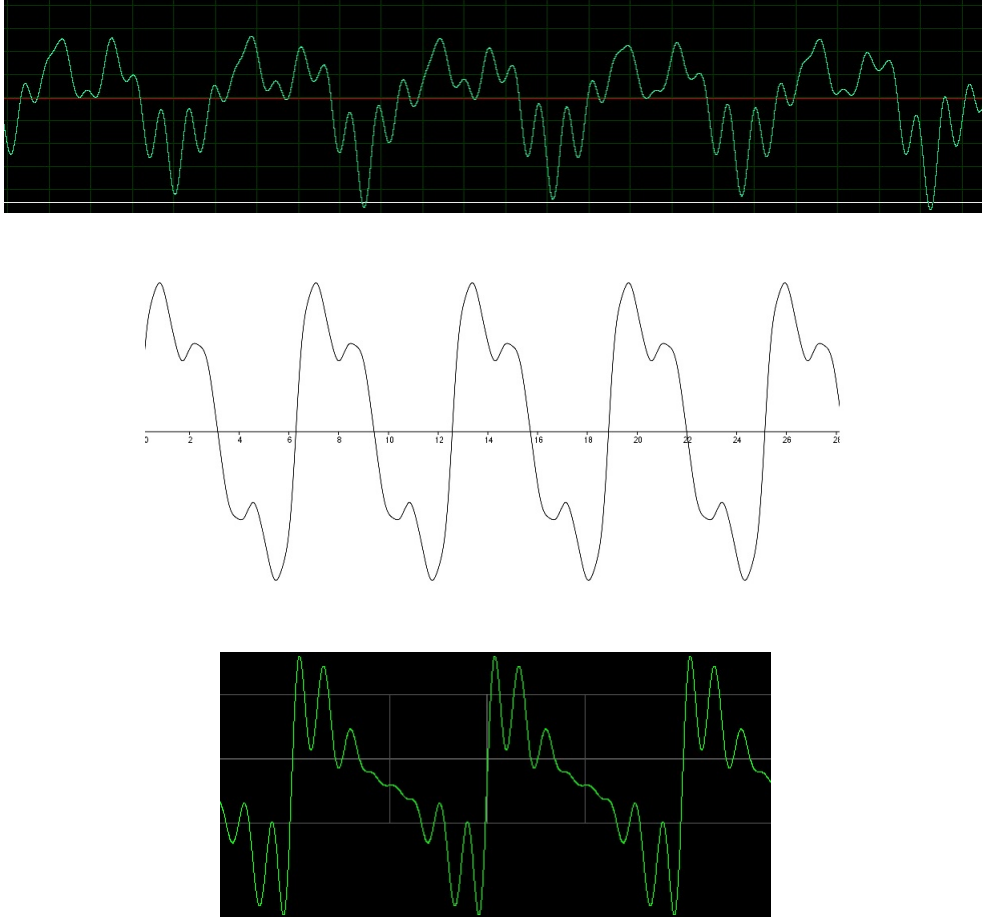


Figura 5: Violino: confronto fra onda sonora reale, onda costruita con Geogebra e onda costruita con Applet Java

Si è potuto anche procedere all'ascolto del campione audio proposto dall'applet Java, che è stato confrontato con il suono reale, notando comunque una discreta somiglianza, resa più evidente dal confronto grafico.

3.2 Flauto

Con lo stesso procedimento è stato analizzato il campione audio registrato per il flauto. Anche in questo caso l'esecutore ha cercato di mantenere sempre un costante flusso di aria che ha permesso di ottenere un campione buono, caratterizzato da una certa regolarità.

E' stata notata la maggior somiglianza del profilo dell'onda ad una sinusoide pura e comunque una vistosa differenza della forma del pattern d'onda rispetto a quella del violino, nonostante la frequenza del suono fosse identica, a riprova di quanto detto nei cenni teorici.

Per il campione in esame sono state identificate le 5 componenti armoniche di cui alla tabella 3, in cui è riportata la frequenza di ogni armonica, in maniera del tutto analoga a quanto fatto per il violino.

La forma dell'onda non è esattamente sinusoidale e assieme al picco di maggiore intensità ne compare un altro vicino di intensità leggermente inferiore. Il picco predominante corrisponde all'armonica fondamentale predominante mentre le altre armoniche hanno intensità decisamente inferiore e quindi non influenzano significativamente la forma dell'onda. E' questo il motivo per cui con il flauto siamo riusciti a campionare solo cinque armoniche: l'intensità delle armoniche successive alla quinta è troppo bassa per

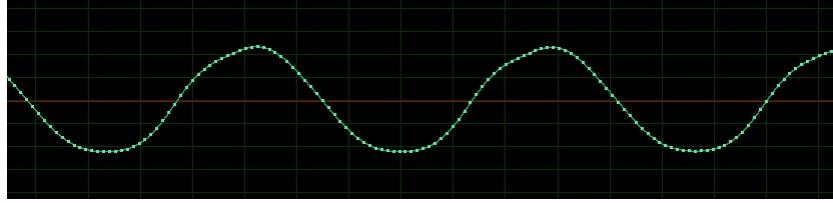


Figura 6: Parte del sonogramma del LA_4 a $f = 440\text{ Hz}$ per il flauto, utilizzato per l'analisi spettrale. Si osservi tutto sommato la buona regolarità del segnale: è evidente il *pattern* che si ripete, in questo grafico per più di due volte, con dei picchi di intensità massima positiva e negativa più o meno tutti allo stesso livello. Notare anche la forte somiglianza del profilo dell'onda ad una sinusoidale.

la sensibilità del campionamento utilizzato e comunque trascurabile rispetto all'intensità dell'armonica fondamentale

n	$f\text{ [Hz]}$	$J\text{ [dB]}$	$I\text{ [W/m}^2\text{]}$	$\sqrt{I_n}$	A_n
1	884	-5.9	$2,57 \cdot 10^{-13}$	$5,07 \cdot 10^{-7}$	0.8889
2	1756	-31.8	$6,61 \cdot 10^{-16}$	$2,57 \cdot 10^{-8}$	0.0451
3	2665	-28.9	$1,29 \cdot 10^{-15}$	$3,59 \cdot 10^{-8}$	0.0629
4	3543	-62.9	$5,13 \cdot 10^{-19}$	$7,16 \cdot 10^{-10}$	0.0013
5	4422	-59.8	$1,05 \cdot 10^{-18}$	$1,02 \cdot 10^{-9}$	0.0018

Tabella 3: Dati ottenuti dall'analisi spettrale del campione audio per il flauto

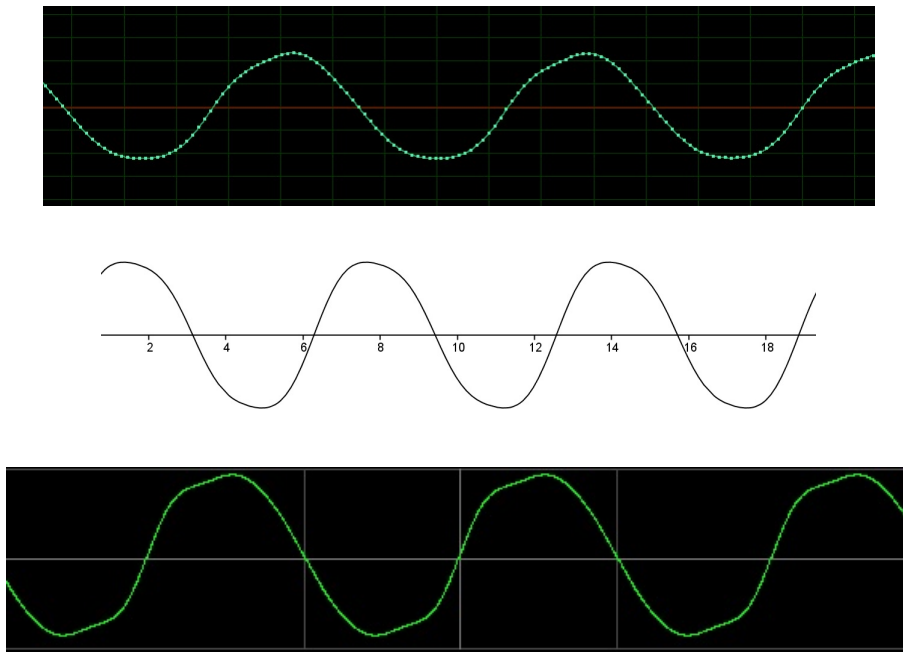


Figura 7: Flauto: confronto fra onda sonora reale, onda costruita con Geogebra e onda costruita con Applet Java

3.3 Chitarra

Per quanto riguarda la chitarra, si è proceduto alla registrazione di un campione audio facente riferimento alla nota LA_2 corrispondente alla quinta corda vuota e quindi situata ben due ottave al di sotto delle note registrate per il violino e il flauto.

Sono state identificate 9 armoniche, la cui frequenza è stata riportata nella tabella 4.

n	$f [Hz]$	$J [dB]$	$I [W/m^2]$	$\sqrt{I_n}$	A_n
1	129	-17.95	$1.60 \cdot 10^{-14}$	$1.27 \cdot 10^{-7}$	0.4580
2	215	-23.71	$4.26 \cdot 10^{-15}$	$6.52 \cdot 10^{-8}$	0.2360
3	431	-28.58	$1.39 \cdot 10^{-15}$	$3.72 \cdot 10^{-8}$	0.1347
4	560	-38.28	$1.49 \cdot 10^{-16}$	$1.22 \cdot 10^{-8}$	0.0441
5	646	-38.97	$1.27 \cdot 10^{-16}$	$1.13 \cdot 10^{-8}$	0.0407
6	775	-41.30	$7.41 \cdot 10^{-17}$	$8.61 \cdot 10^{-9}$	0.0311
7	904	-43.30	$4.68 \cdot 10^{-17}$	$6.84 \cdot 10^{-9}$	0.0247
8	991	-46.54	$2.22 \cdot 10^{-17}$	$4.71 \cdot 10^{-9}$	0.0170
9	1119	-48.51	$1.41 \cdot 10^{-17}$	$3.75 \cdot 10^{-9}$	0.0136

Tabella 4: Dati ottenuti dall'analisi spettrale del campione audio per la chitarra

In maniera del tutto analoga a quanto effettuato per i precedenti due strumenti musicali, sono stati costruiti i sonogrammi sia con Geogebra che con l'Applet Java, confrontando poi i file grafici col profilo dell'onda reale (vedi fig.8).

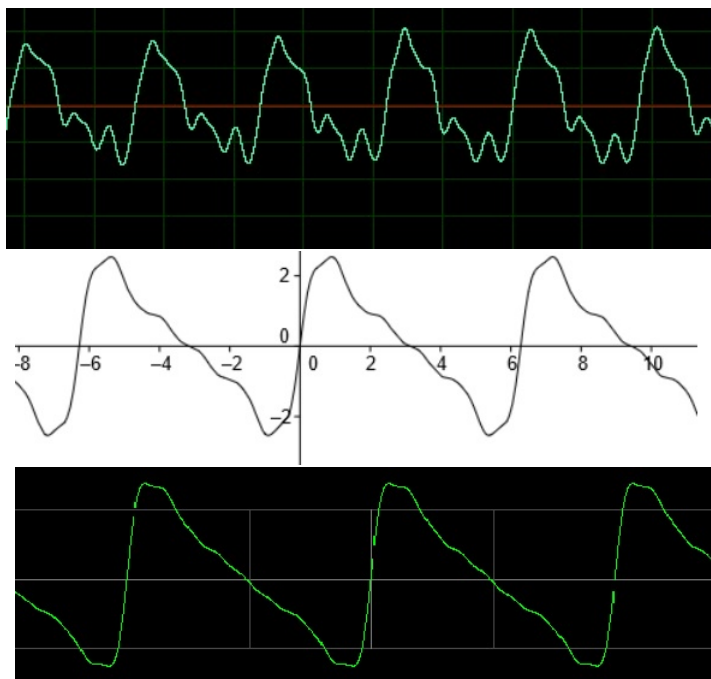


Figura 8: Chitarra: confronto fra onda sonora reale, onda costruita con Geogebra e onda costruita con Applet Java

Esaminando dal punto di vista grafico, si nota una buona somiglianza dei tre profili. Questa somiglianza si riscontra anche confrontando i campioni audio corrispondenti.

3.4 Pianoforte

Infine, si è proceduto alla registrazione del campione audio per il pianoforte, utilizzando lo strumento presente nell'Aula Magna dell'Istituto. La registrazione è stata alquanto difficoltosa a causa del grande riverbero presente nell'ambiente e del basso volume che caratterizzava il campione sonoro, visto che non si disponeva di un microfono diretto: per tale motivo il campione audio è stato sottoposto ad editing per permettere ai plug-in l'analisi armonica.

Le componenti armoniche identificate sono state 11: le loro frequenze sono riportate nella tabella 5.

n	f [Hz]	J [dB]	I [W/m^2]	$\sqrt{I_n}$	A_n
1	431	-19.46	$1.13 \cdot 10^{-14}$	$1.06 \cdot 10^{-7}$	0.3997
2	862	-32.09	$6.18 \cdot 10^{-16}$	$2.49 \cdot 10^{-8}$	0.0934
3	1335	-31.30	$7.41 \cdot 10^{-16}$	$2.72 \cdot 10^{-8}$	0.1023
4	1765	-50.15	$9.66 \cdot 10^{-18}$	$3.11 \cdot 10^{-9}$	0.0117
5	2196	-60.53	$8.85 \cdot 10^{-19}$	$9.41 \cdot 10^{-10}$	0.0035
6	2670	-53.16	$4.83 \cdot 10^{-18}$	$2.20 \cdot 10^{-9}$	0.0083
7	3143	-50.39	$9.14 \cdot 10^{-18}$	$3.02 \cdot 10^{-9}$	0.0114
8	3574	-59.27	$1.18 \cdot 10^{-18}$	$1.09 \cdot 10^{-9}$	0.0041
9	4048	-67.06	$1.97 \cdot 10^{-19}$	$4.44 \cdot 10^{-10}$	0.0017
10	4521	-70.58	$8.75 \cdot 10^{-20}$	$2.96 \cdot 10^{-10}$	0.0011
11	4995	-92.14	$6.11 \cdot 10^{-22}$	$2.47 \cdot 10^{-11}$	0.0001

Tabella 5: Dati ottenuti dall'analisi spettrale del campione audio per il pianoforte

Anche nel caso del pianoforte, come fatto per gli altri strumenti, si è proceduto alla realizzazione dei sonogrammi con Geogebra e con l'Applet Java. In fig.9 è riportato il confronto fra i sonogrammi da noi costruiti e quello del campione audio originale.

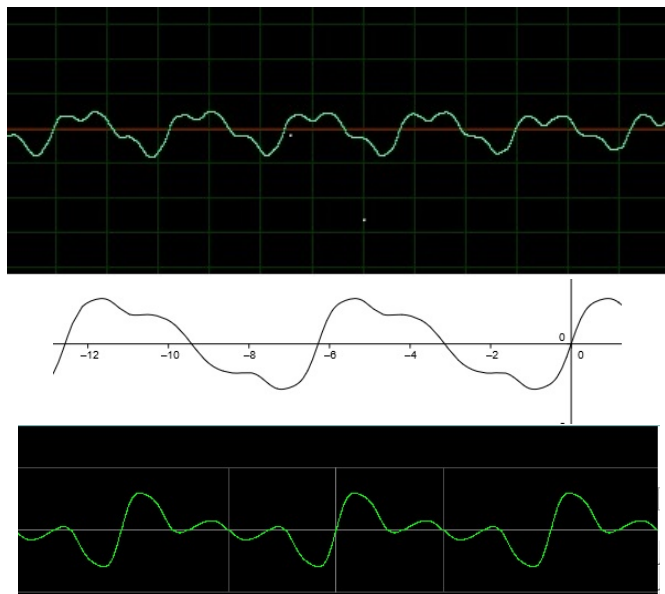


Figura 9: Pianoforte: confronto fra onda sonora reale, onda costruita con Geogebra e onda costruita con Applet Java

Anche in questo caso l'andamento dei tre grafici risulta sovrapponibile, come simili risultano i campioni audio.

4 Conclusioni

Il lavoro da noi realizzato aveva come obiettivo finale quello di ricostruire artificialmente (o meglio potremo dire per via digitale) i campioni audio analogici di quattro strumenti musicali, componendo l'onda sonora mediante la somma di un certo numero di armoniche sinusoidali, ciascuna delle quali con una particolare intensità. Questo metodo in sostanza è quello adottato dai sintetizzatori audio, apparecchi digitali che consentono la riproduzione di qualsiasi suono, inclusi quelli degli strumenti musicali. Per fare un esempio più specifico, esistono alcuni software (che permettono anche di scrivere con le usuali notazioni la musica) che simulano l'esecuzione di un brano associando a ciascuna parte un diverso strumento musicale, il cui suono è riprodotto da un sistema che fa riferimento a dei campioni audio ottenuti sostanzialmente attraverso il metodo della sintesi armonica da noi adottato.

Analizzando qualitativamente i risultati possiamo dire da una parte che i campioni audio da noi ottenuti hanno un certo grado di somiglianza con i campioni audio originali; dall'altra, ovviamente, che una perfetta sovrapponibilità è pressochè impossibile, visto che sarebbe necessario sommare un numero infinito di armoniche: la qualità del campione audio sintetizzato è tanto migliore quanto più elevato è il numero di componenti armoniche usate.