

# Vedere i suoni

Esperimenti di acustica a basso costo ed alto impatto

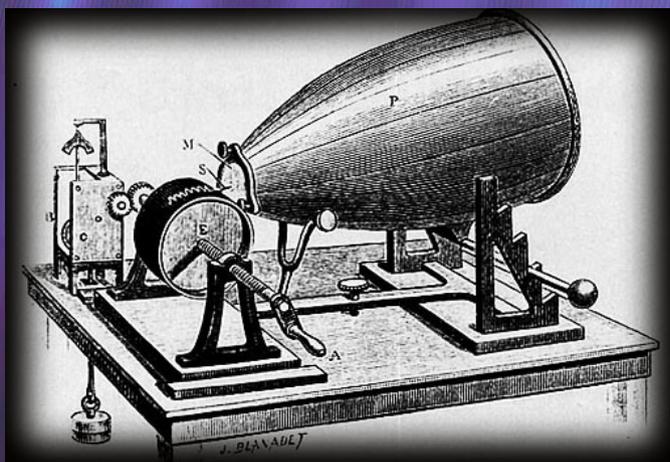
Isidoro Ferrante

100° congresso della Società Italiana di Fisica

Pisa, 23 Settembre 2014

# Il fonografo

- Il primo strumento per “vedere” le caratteristiche del suono è il fonografo, inventato nel 1857 dal francese Édouard-Léon Scott de Martinville.
- Consentiva di incidere la forma dell'onda sonora su un cilindro di nerofumo. L'immagine ottenuta poteva essere studiata ed esaminata, ma non riprodotta: solamente di recente un fonogramma è stato “suonato” al computer,



## Arriva l'elettronica.....

- Per avere ulteriori importanti sviluppi nella visualizzazione del suono, bisogna aspettare l'invenzione dell'oscillografo (agli inizi del '900) prima e dell'analizzatore di spettro poi (anni '60).
- E' solamente a partire dagli anni '70 con la scoperta dell'FFT e la diffusione dei computer che l'analisi visiva dei suoni diventa routine.



## Perchè vedere?

- La possibilità di vedere rappresentato sullo schermo un fenomeno sonoro offre diversi vantaggi:
  - Consente una migliore comprensione di quello che si ascolta, permettendo anche di cogliere aspetti che ad un primo ascolto possono essere sfuggiti, permettendo anche ad un orecchio poco educato di comprendere dettagli e particolari
  - Consente di osservare fenomeni troppo brevi per essere registrati tramite il semplice ascolto, e di analizzarli in dettaglio
  - Consente infine uno studio quantitativo del fenomeno sonoro, spesso impossibile al semplice ascolto

# Hardware

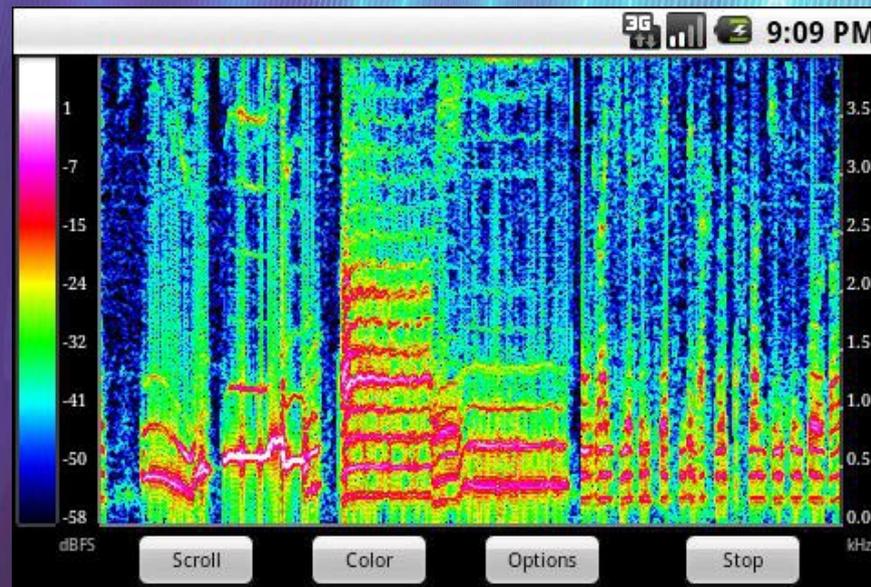
- L'hardware necessario è semplicissimo (nella misura in cui è semplice un computer): basta un computer dotato di scheda audio con presa microfonica, ed un microfono.
  - Non serve un microfono costoso, basta uno di quelli comunemente adoperati per telefonare.
  - Può essere invece utile investire qualche soldo in una scheda audio USB esterna o una interna di qualità.
  - Per ottenere risultati migliori, sarebbe meglio adoperare un portatile alimentato a batteria.

# Software

- Esistono diversi programmi gratuiti il grado di registrare il suono e di produrre spettri e spettrogrammi.
  - Audacity
  - Soundcard Oszilloscope
  - Wavesurfer
  - Sonic analyzer
- Nel seguito utilizzeremo WaveSurfer, il più professionale e completo, anche se non sempre di facile utilizzo.
  - Si tratta di un programma open source per la visualizzazione ed analisi dei suoni realizzato dal dipartimento di linguistica e musicologia del Reale Istituto per la Tecnologia svedese.

## Un'alternativa "portatile"

- Oggi che tutti noi portiamo un piccolo calcolatore superattrezzato in tasca, la visione dei suoni è particolarmente immediata: basta scaricare l'app adatta.
- Ne esistono molte, quella che adopero è SpectralView Analyzer per Android, nella versione gratuita.
- E' comunque preferibile il PC, se non per applicazioni particolari.

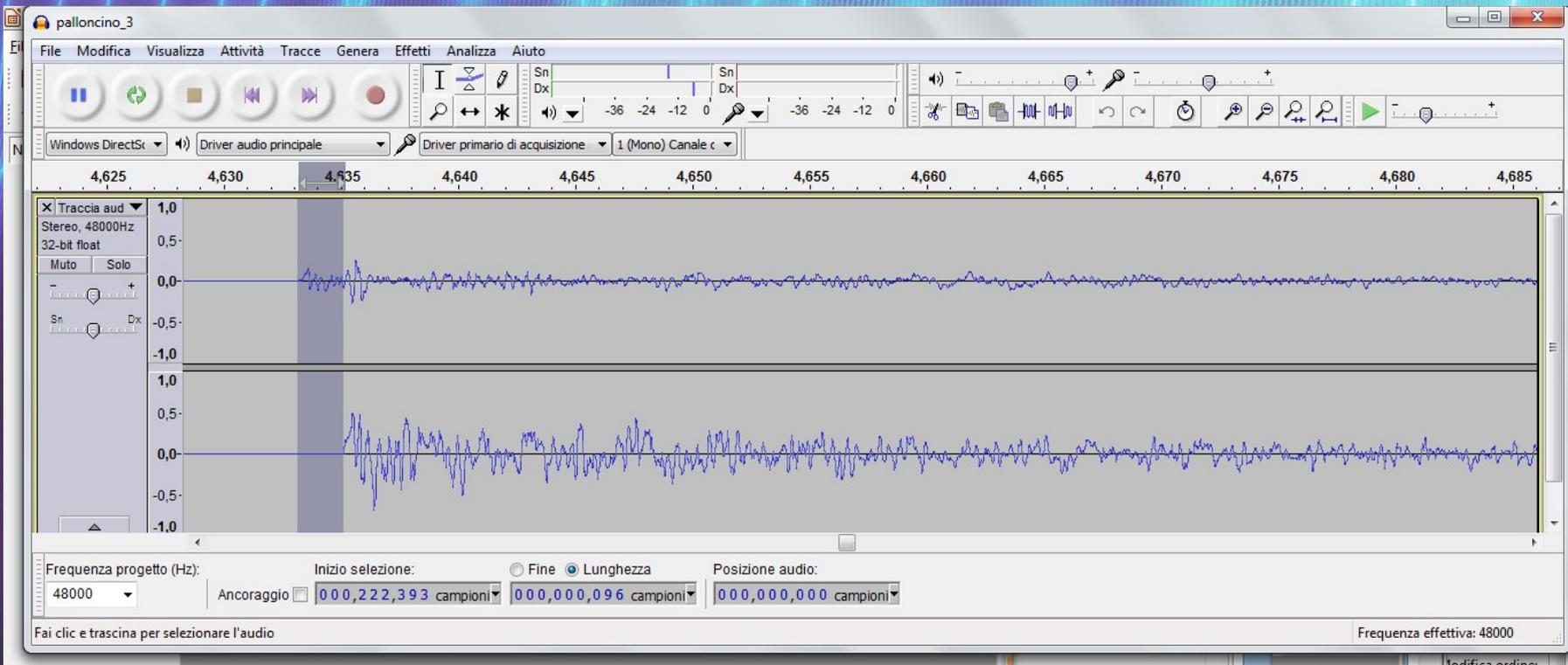


# Cosa vedere

- Dominio del tempo: forma d'onda.
  - dà informazioni sull'andamento temporale del suono
- Spettro
  - dà informazioni sul contenuto in frequenza
- Spettrogramma
  - Dà una informazione mista: utilissima per segnali con caratteristiche variabili, come i segnali musicali
  - Attenzione: la risoluzione in tempo è inversamente proporzionale a quella in frequenza. Bisogna trovare un ragionevole compromesso.

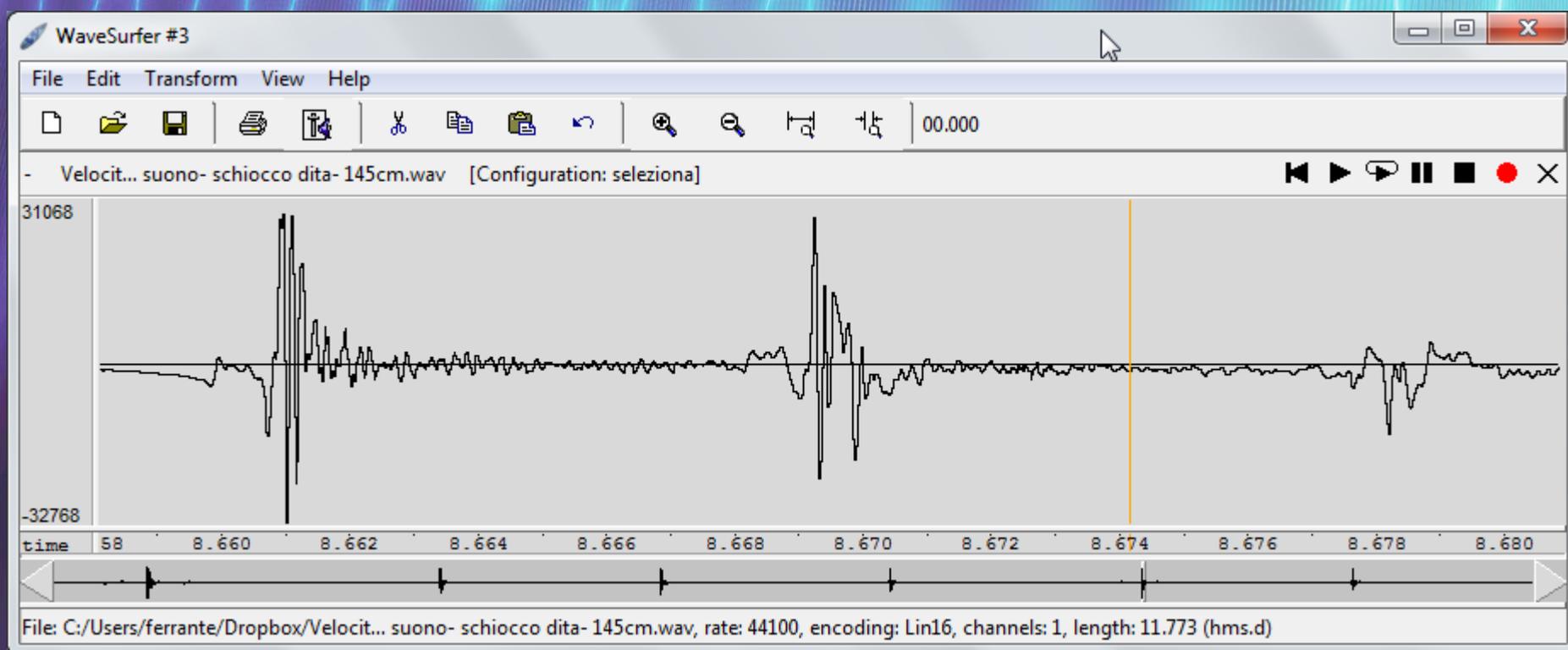
# Propagazione del suono

- N.B: le schede audio hanno normalmente un solo ingresso microfonico. Per poter effettuare questo esperimento servono due microfoni da collegare all'ingresso di linea. I due microfoni vanno preamplificati.
- In questo caso viene registrato lo scoppio di un palloncino da due microfoni posti a qualche metro di distanza.



## Riflessione del suono

- In questo caso, un microfono è inserito dentro un tubo (scarico in PVC). Si registra uno schiocco di dita che si propaga lungo il tubo

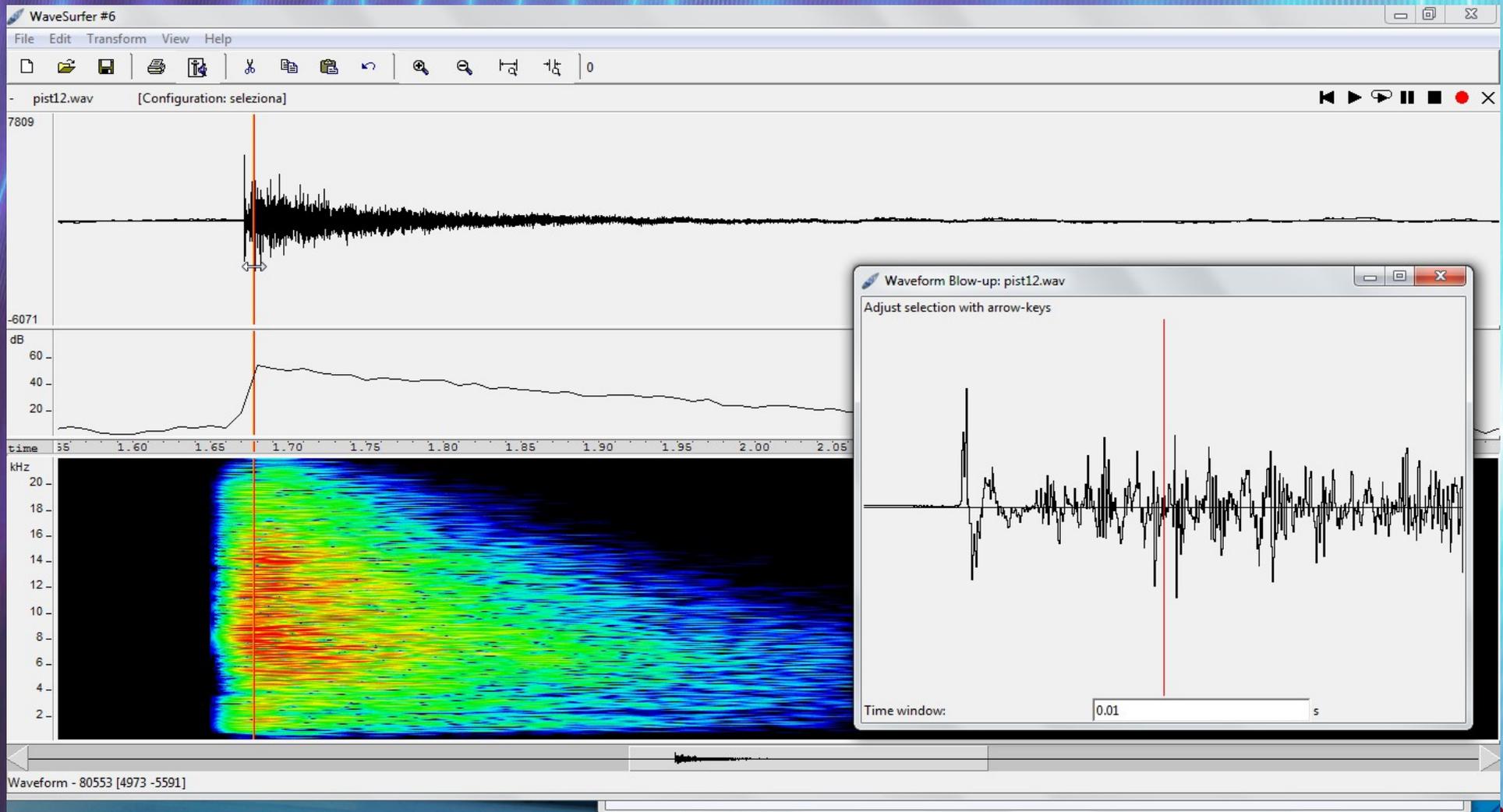


# Riverbero

- Osservare, ed eventualmente misurare, il riverbero di un ambiente, è estremamente facile: basta produrre un suono secco (battito di mani, scoppi di palloncino, sparo di pistola) e registrare il suono prodotto.
- Tipicamente, l'ampiezza della forma d'onda (involuppo) ha un andamento esponenziale decrescente: il tempo impiegato a diminuire di 60 dB è detto tempo di riverbero nell'ambiente ( e dipende, usualmente debolmente, dai punti in cui il suono è prodotto e registrato)
- Osservando i primi secondi della coda di riverbero è spesso possibile il suono prodotto dalle prime riflessioni.

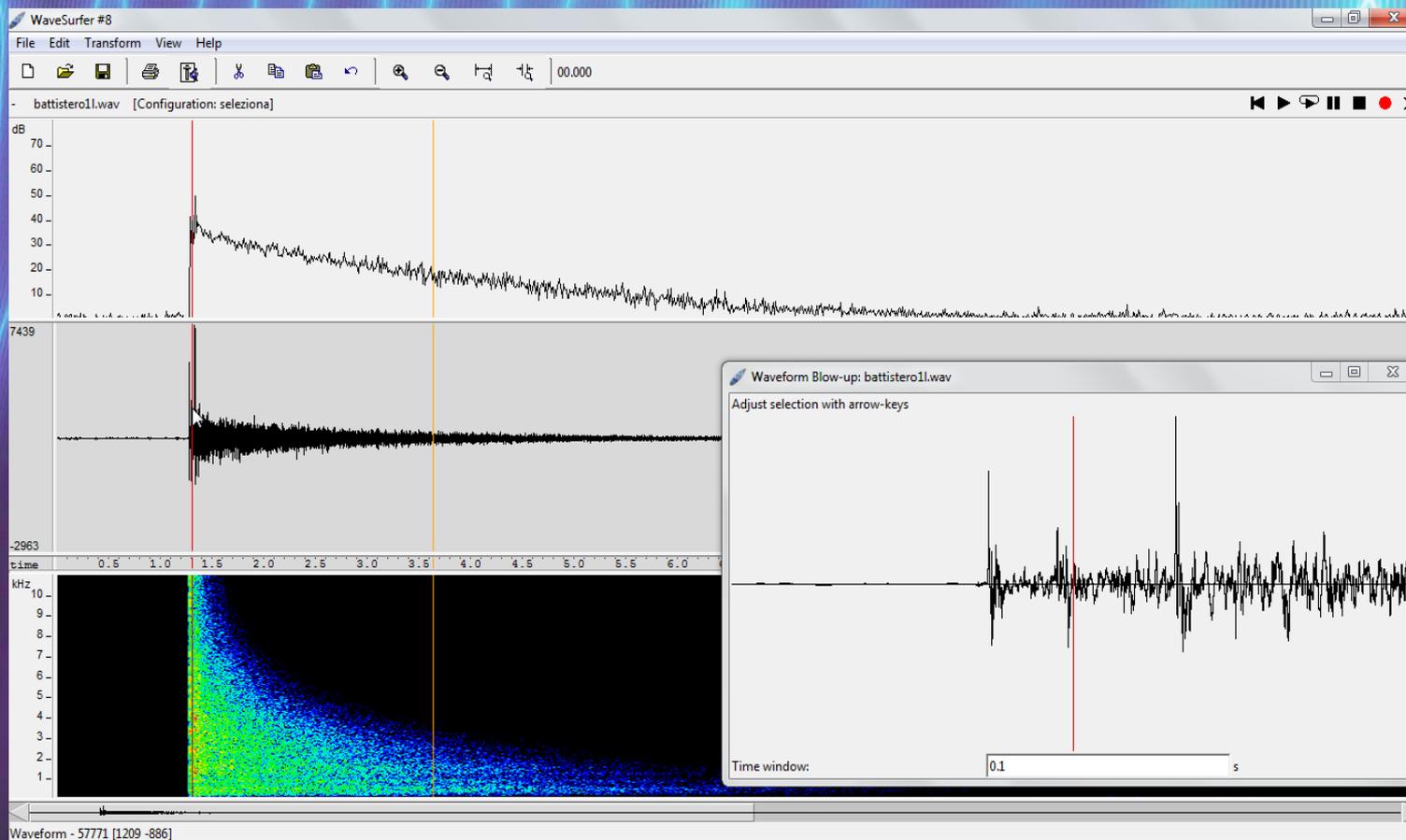
# Riverbero all'interno di un'aula

- Misure ottenute con un colpo di pistola giocattolo all'interno di un'aula universitaria.



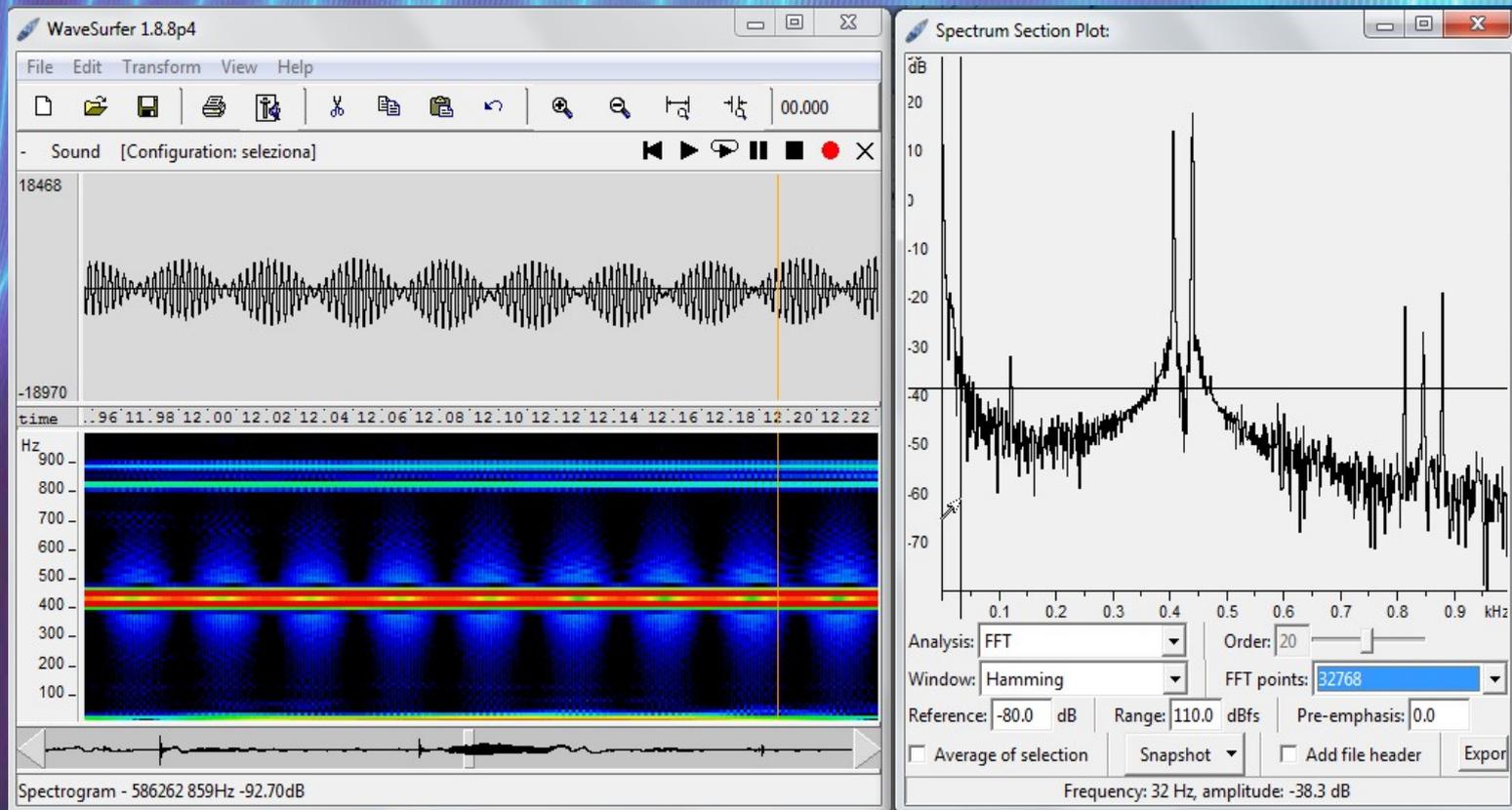
# Il Battistero di Pisa

- Misure ottenute con un palloncino all'interno del battistero di Pisa. Il tempo di riverbero ha l'incredibile valore di 15 secondi.



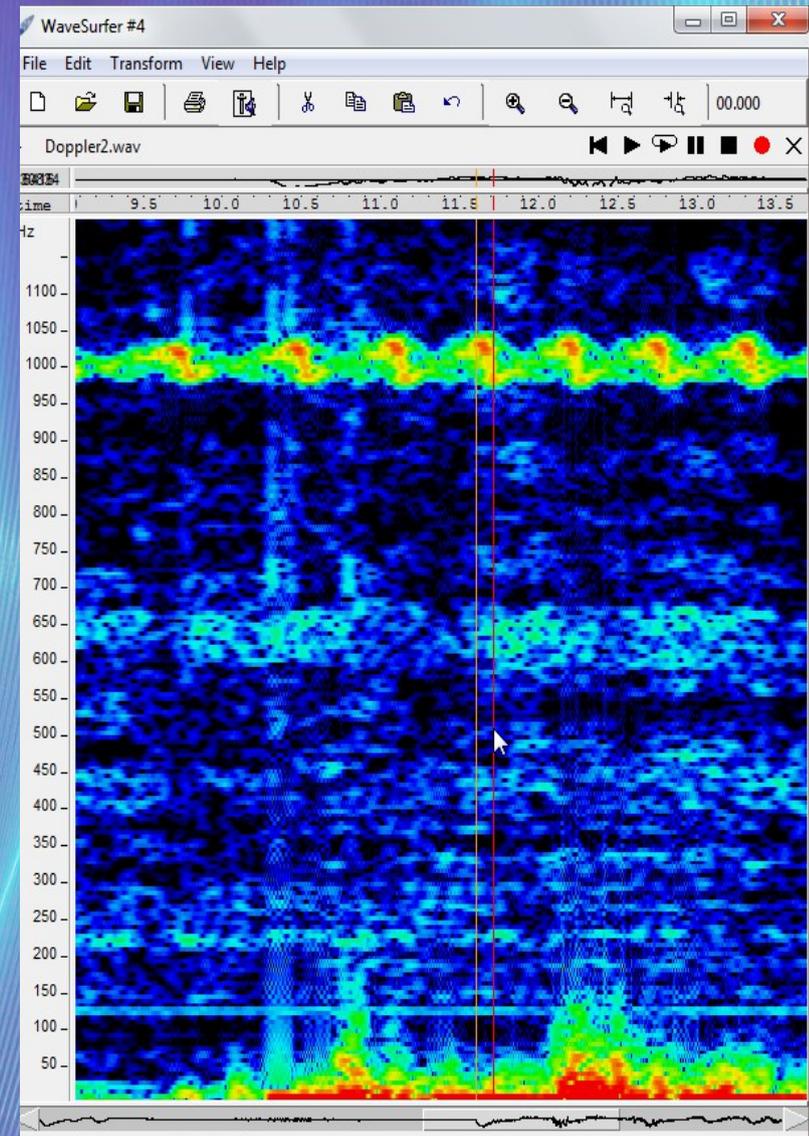
# Battimenti

- Per esaminare i battimenti, è possibile adoperare due diapason, uno dei quali viene leggermente "scordato" aggiungendo un piccolo peso ad uno dei due rebbi.



# Effetto Doppler

- Un modo semplice di visualizzare l'effetto Doppler è quello di ruotare velocemente un oggetto che produce un suono di frequenza fissa di fronte al microfono.
- Il periodo di rotazione è ricavabile immediatamente dallo spettrogramma; la velocità relativa è calcolabile dalla geometria.
- Un'alternativa consiste nel mantenere la sorgente fissa, e far ruotare uno smartphone predisposto per la registrazione del suono.



# Periodicità

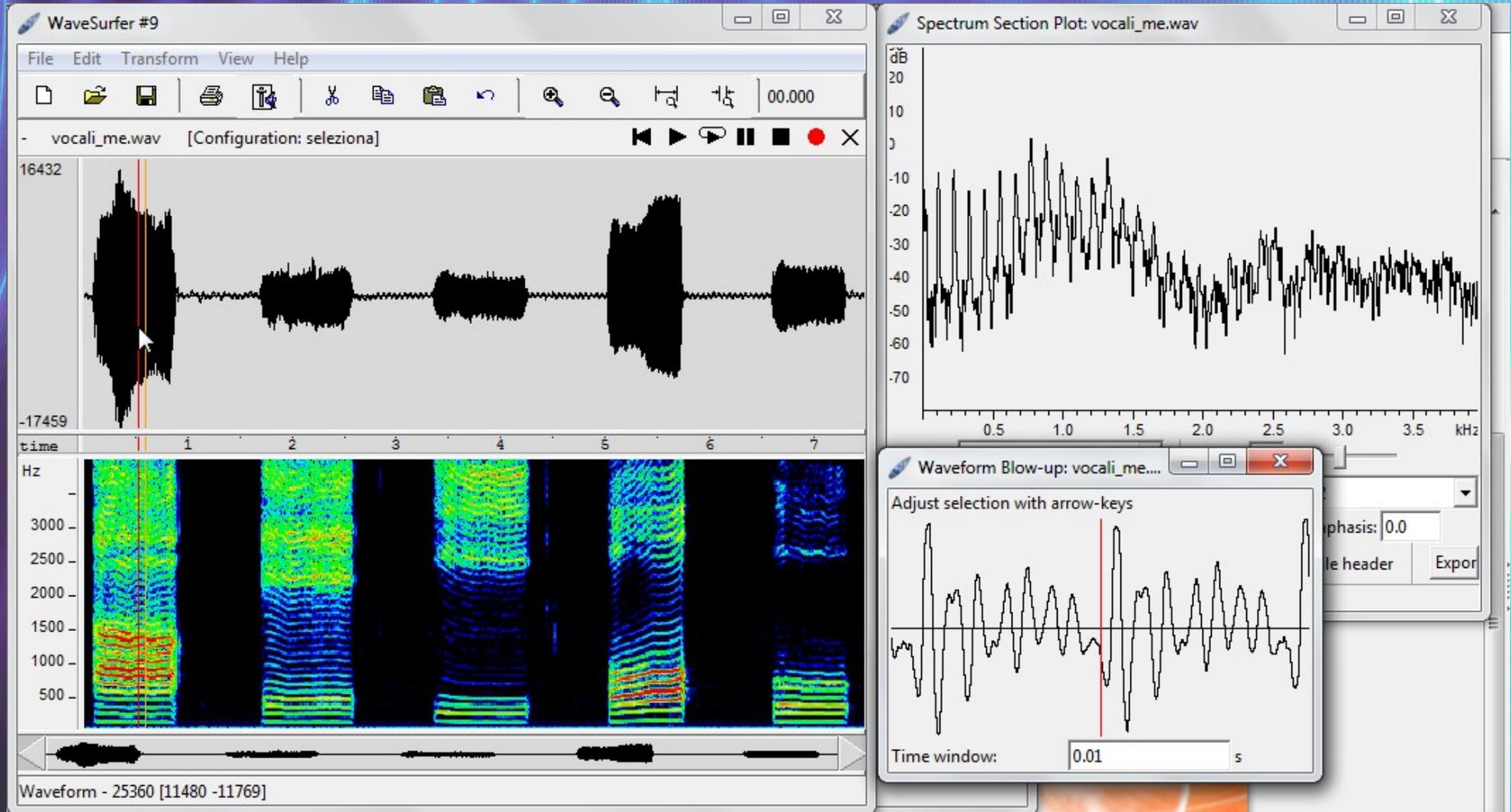
- Molti suoni sono quasi periodici, nel senso che la forma d'onda si ripete quasi identica tranne piccole variazioni.
  - Suoni prodotti da una corda vibrante: chitarra, violino, pianoforte, etc.
  - Suoni prodotti dalla vibrazione dell'aria all'interno di un tubo: Flauto, Clarinetto, oboe, etc.....
  - Suoni prodotti con un meccanismo di eccitazione ciclico (come ad esempio la voce umana)
- I suoni quasi periodici presentano uno spettro facilmente riconoscibile, in quanto formato da un pettine di linee uniformemente spaziate: nello spettrogramma si individuano diverse linee parallele equispaziate: le frequenze principalmente rappresentate sono multiple intere della frequenza fondamentale.

## Esempio: la voce umana

- I suoni vocalici sono prodotti dalla vibrazione delle corde vocali.
  - Le corde vocali costituiscono una valvola che ostruisce parzialmente il passaggio dell'aria nella trachea. Quando sono tese, sotto la spinta dell'aria contenuta nei polmoni, vibrano con moto periodico, generando una serie di impulsi d'aria con frequenza di qualche centinaio di Hertz.
  - Il suono prodotto dalle corde vocali è particolarmente ricco di armonici: la cavità orale, le fosse nasali e tutto il tratto vocale modellano il profilo dello spettro generando le diverse vocali.
- Le consonanti costituiscono un discorso a parte, più complesso.

# Le vocali italiane

- Le cinque vocali italiane.

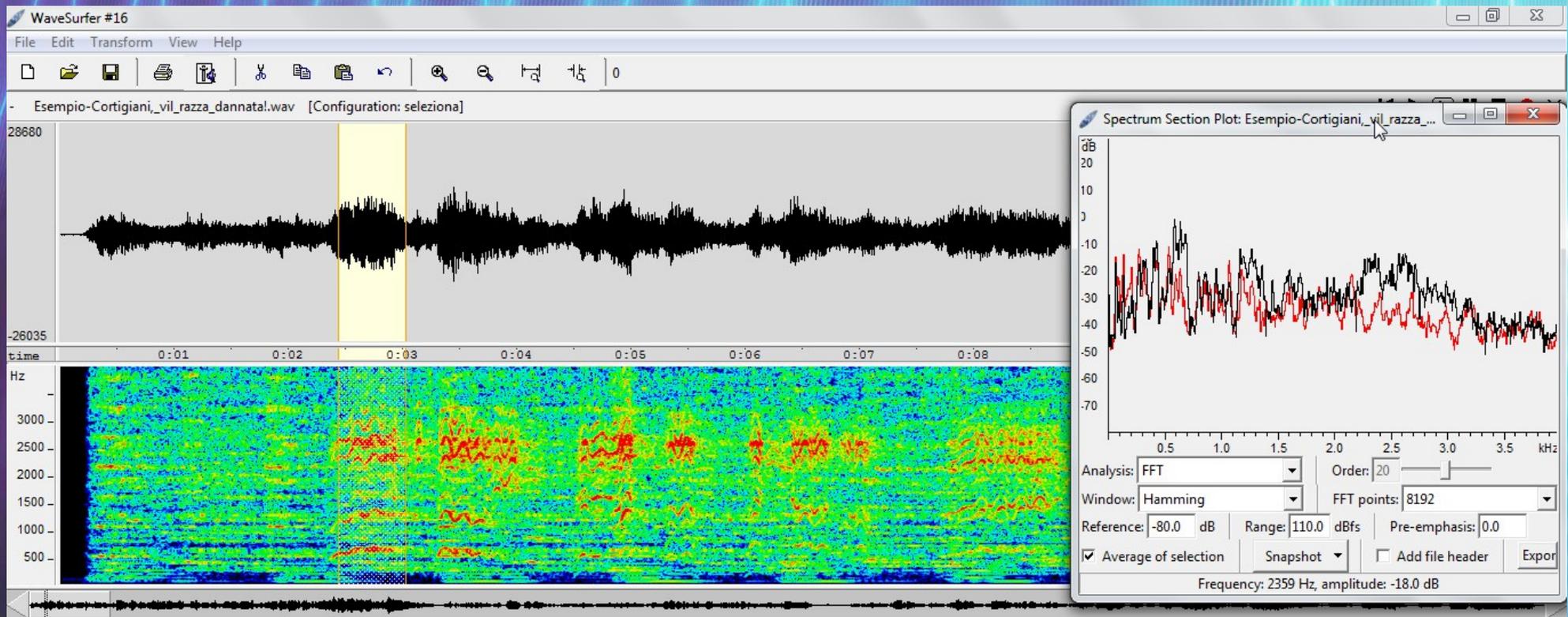


## Il canto classico

- I cantanti d'opera (maschi), per non farsi coprire dall'orchestra, adoperano l'apparato vocale in modo da produrre una risonanza (formante) intorno ai 3000 Hz che esalta le armoniche (le voci femminili acute adoperano un meccanismo diverso).
- Inoltre, la nota non viene quasi mai tenuta fissa, ma viene fatta variare di meno di un semitono con una frequenza di 7-9 Hz (vibrato).
- Questi due effetti rendono immediatamente riconoscibile la voce in uno spettrogramma.

# Cortigiani, vil razza dannata

- Si distingue chiaramente la voce umana dal suono dell'orchestra.

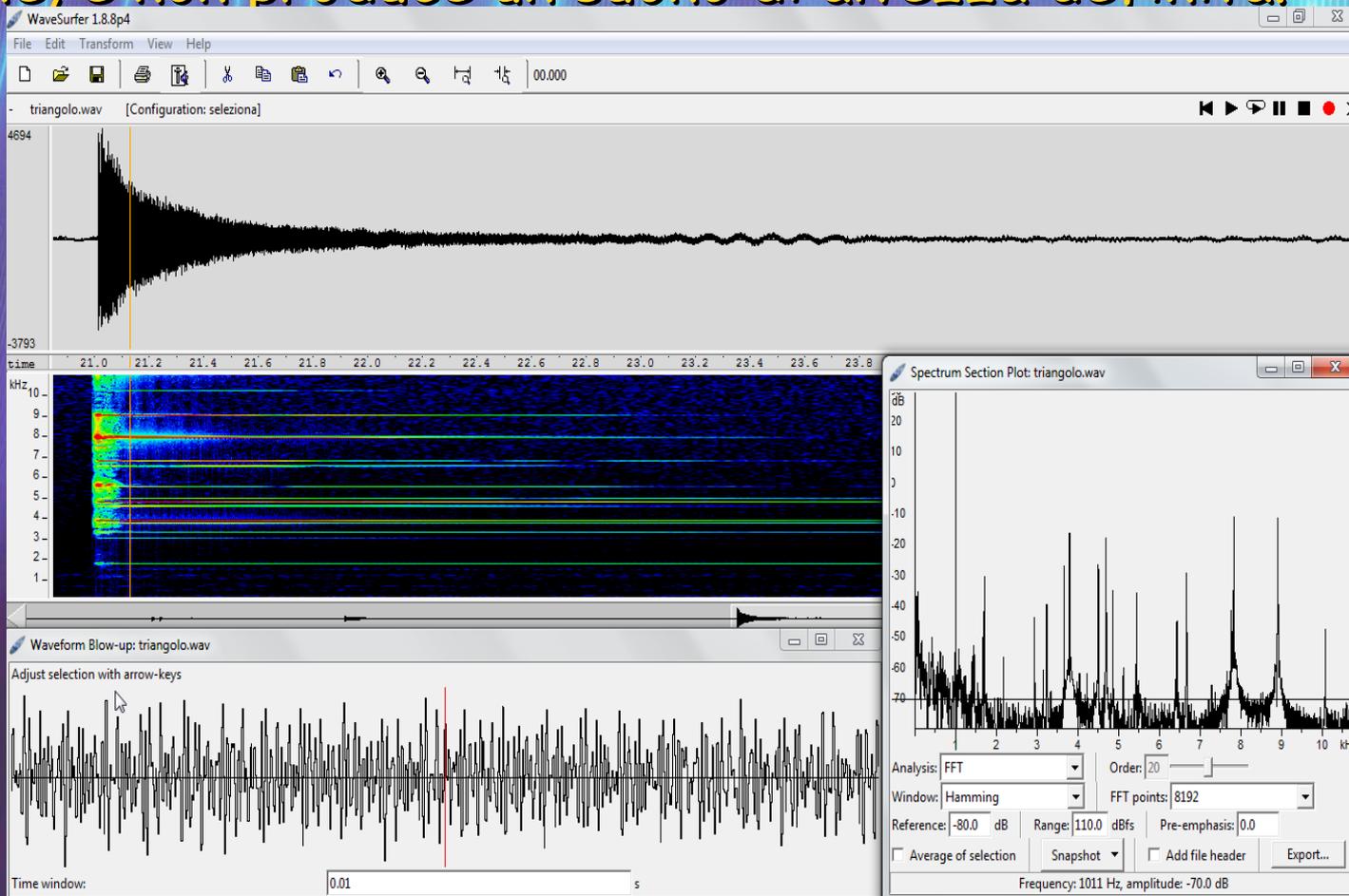


# Vibrazione di solidi

- I suoni prodotti dalla vibrazione di oggetti solidi solitamente presentano uno spettro complesso, formato da tante linee in relazione non armonica tra di loro: ogni frequenza corrisponde ad un modo di oscillazione distinto.
- Oggetti semplici, come sbarrette solide, presentano spettri semplici, ma NON armonici.
- In genere, il suono prodotto NON è periodico.

# Esempio: il triangolo

- Il triangolo è una asticciola di metallo piegata in forma triangolare. Presenta diverse frequenze di vibrazione non armoniche, e non produce un suono di altezza definita.

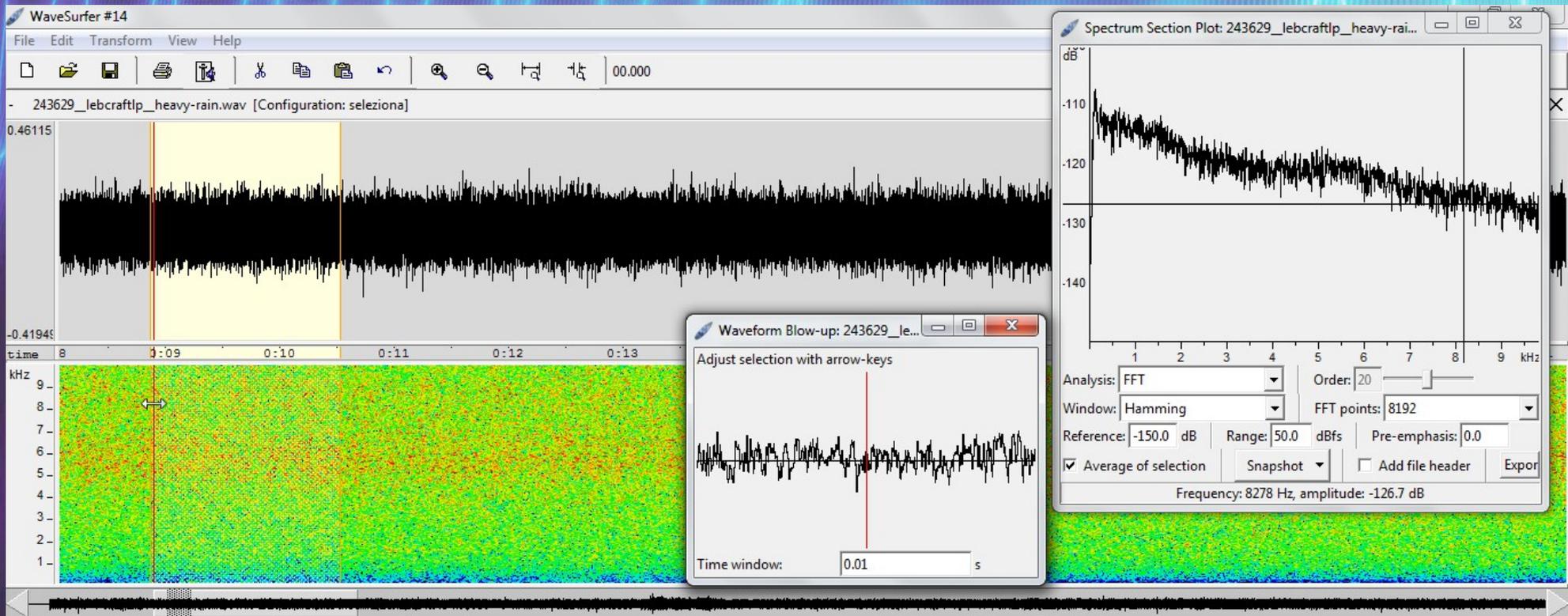


## Suoni prodotti da fenomeni casuali

- I suoni prodotti da fenomeni casuali (il soffio, la consonante "s", lo sfregamento di due oggetti, la pioggia, etc) hanno in genere uno spettro in cui tutte le frequenze sono rappresentate: il risultato è una linea frastagliata in cui non sono evidenti picchi isolati.
- La forma d'onda NON è periodica, ma ha un tipico andamento casuale.

# Esempio: la pioggia

- Rumore prodotto da una forte pioggia.

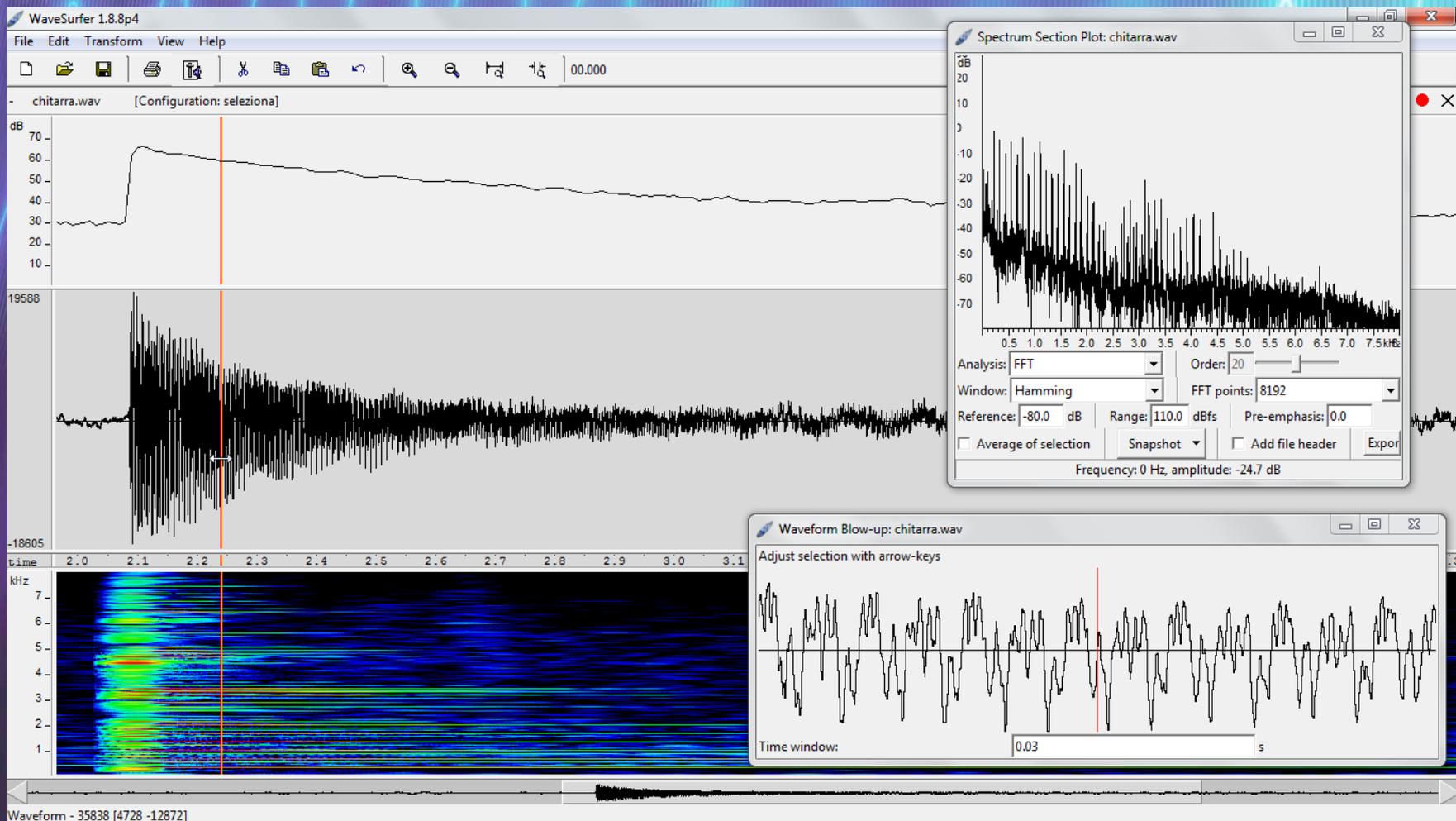


## Strumenti musicali a corda

- Il moto di una corda vibrante ideale è periodico: lo spettro è formato in prima approssimazione da tante linee equispaziate.
- Effetti dovuti allo spessore della corda e alla sua propria elasticità rendono leggermente non armonico il suono prodotto: le linee non sono esattamente equispaziate (effetto misurabile nelle corde basse della chitarra o del pianoforte).
- Cambiamenti in ampiezza dovuti allo smorzamento del suono o a variazioni di ampiezza allargano le singole linee.

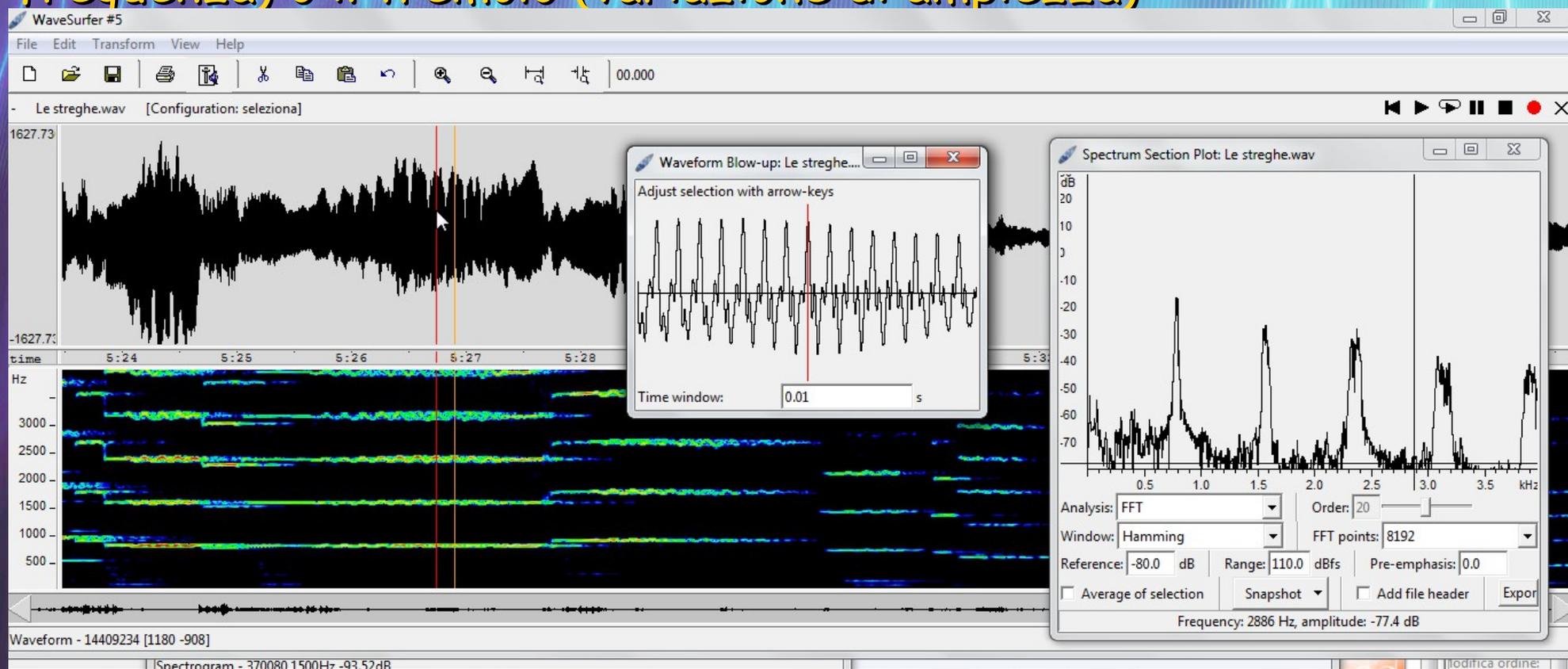
# La chitarra

- Il moto delle corde della chitarra è smorzato.
- L'altezza relativa delle singole armoniche dipende dal punto in cui viene pizzicata la chitarra.



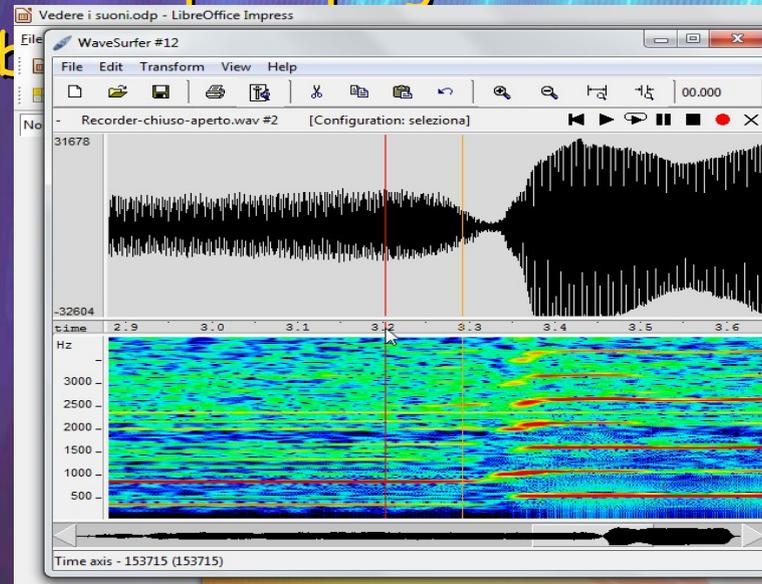
# Il violino

- L'archetto consente di regolare l'ampiezza del suono, rinforzandolo o smorzandolo.
- Vengono adoperati abbellimenti come il vibrato (variazione di frequenza) o il tremolo (variazione di ampiezza)



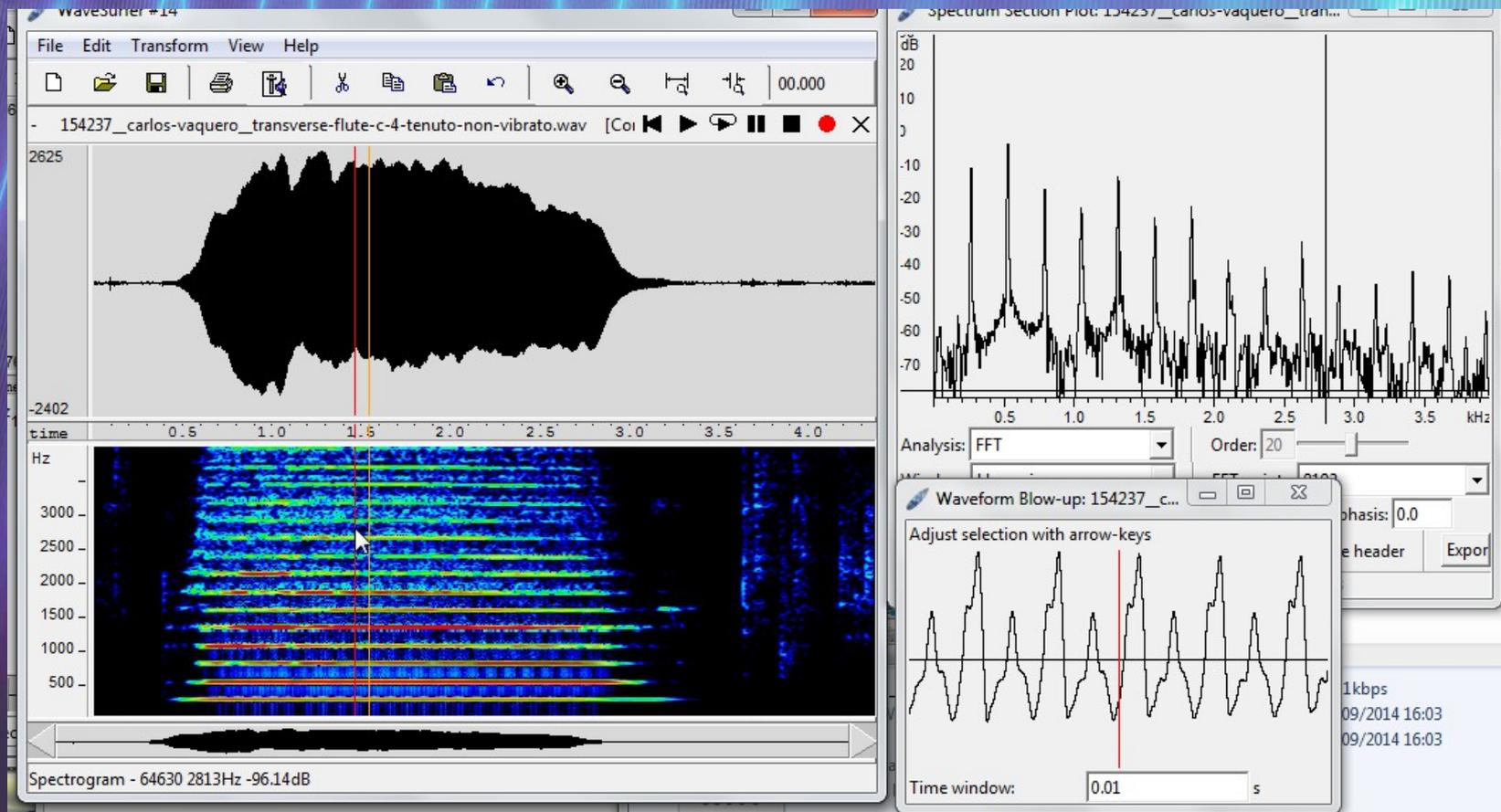
# Tubi sonori

- La colonna d'aria in un tubo vibra a frequenze diverse a seconda di come sono chiuse le estremità:
  - Se le estremità sono entrambe chiuse o entrambe aperte, il periodo di vibrazione è pari al tempo impiegato dal suono a percorrere due volte la lunghezza del tubo.
  - Se una estremità è aperta ed una è chiusa:  
Il periodo è pari al tempo impiegato dal suono a percorrere 4 volte la lunghezza del tubo e dispari.



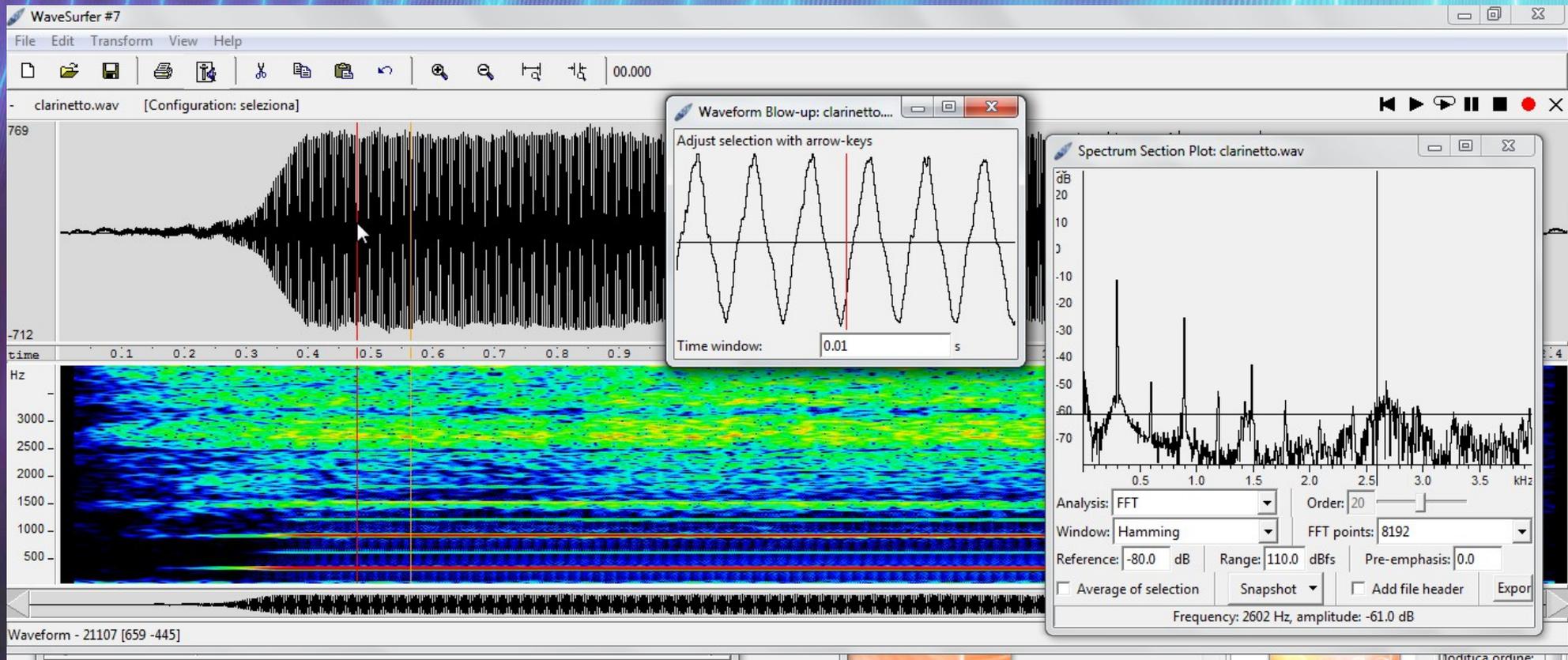
# Flauto

- Il flauto si comporta come un tubo aperto ad entrambe le estremità.



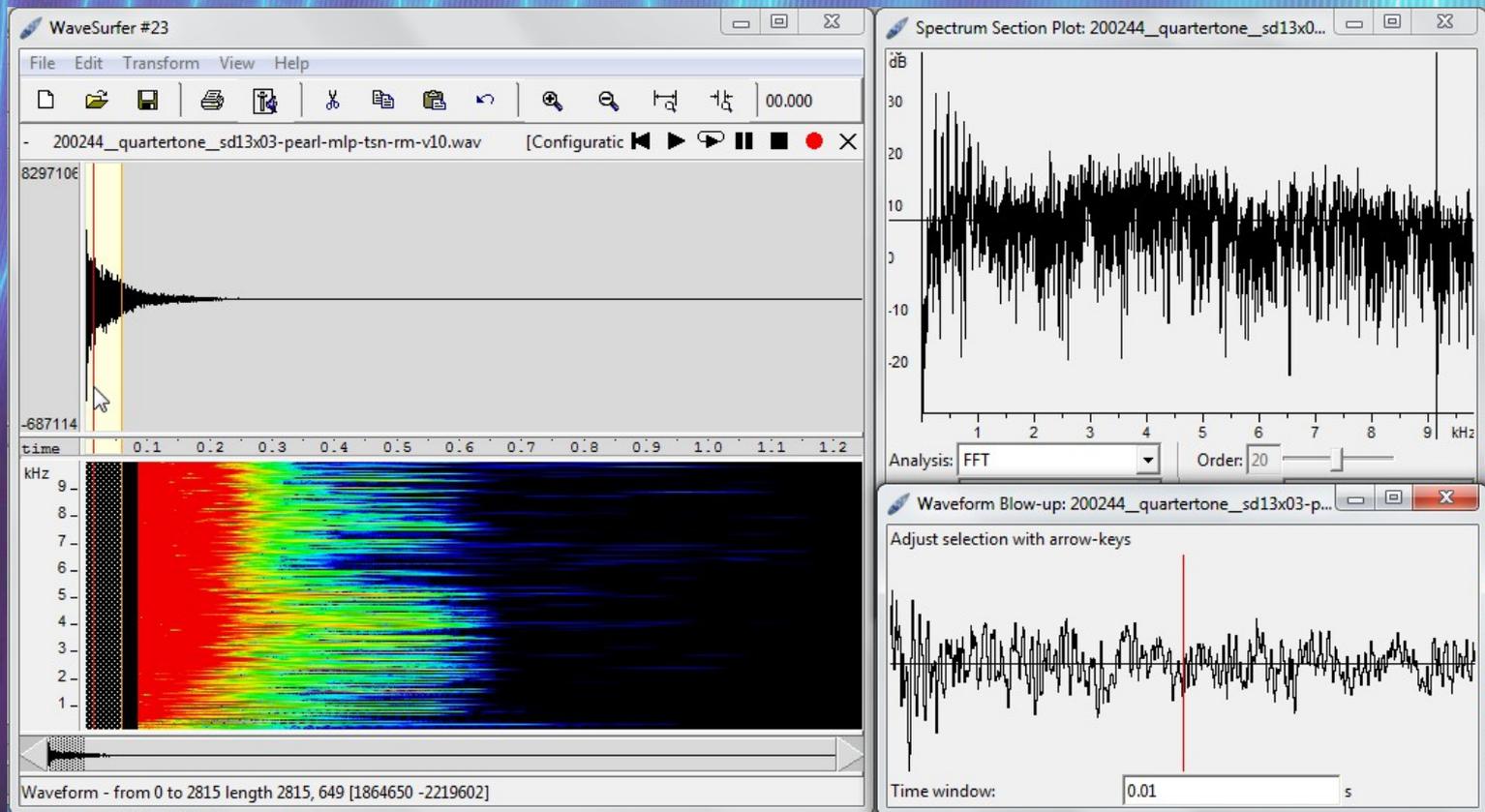
# Clarinetto

- Nel clarinetto, l'ancia agisce come una chiusura per l'aria.
- La nota emessa è acuta, gli armonici pari sono quasi assenti.



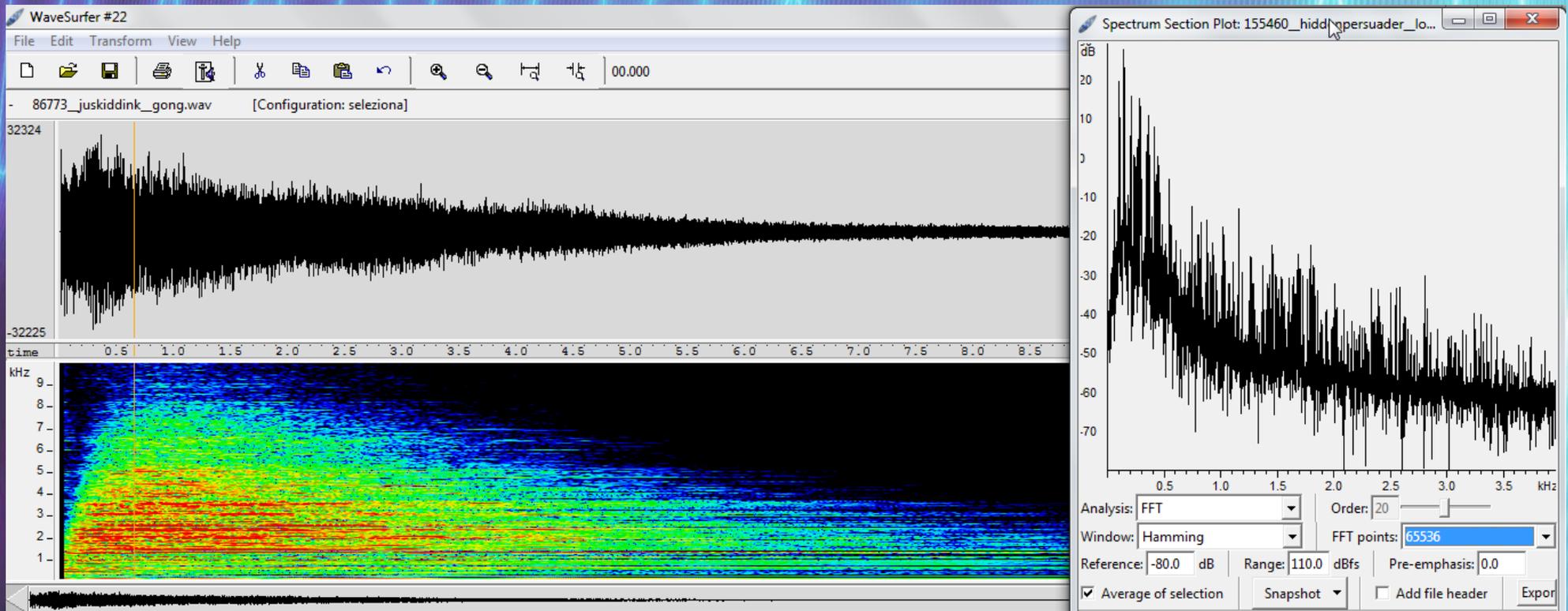
# Membrane

- Il suono di una mebmbrana è particolarmente complicato, ricco di armonici e non periodico: per questo, i membranofoni (tamburi, bongos, etc) non hanno spesso una nota associata.



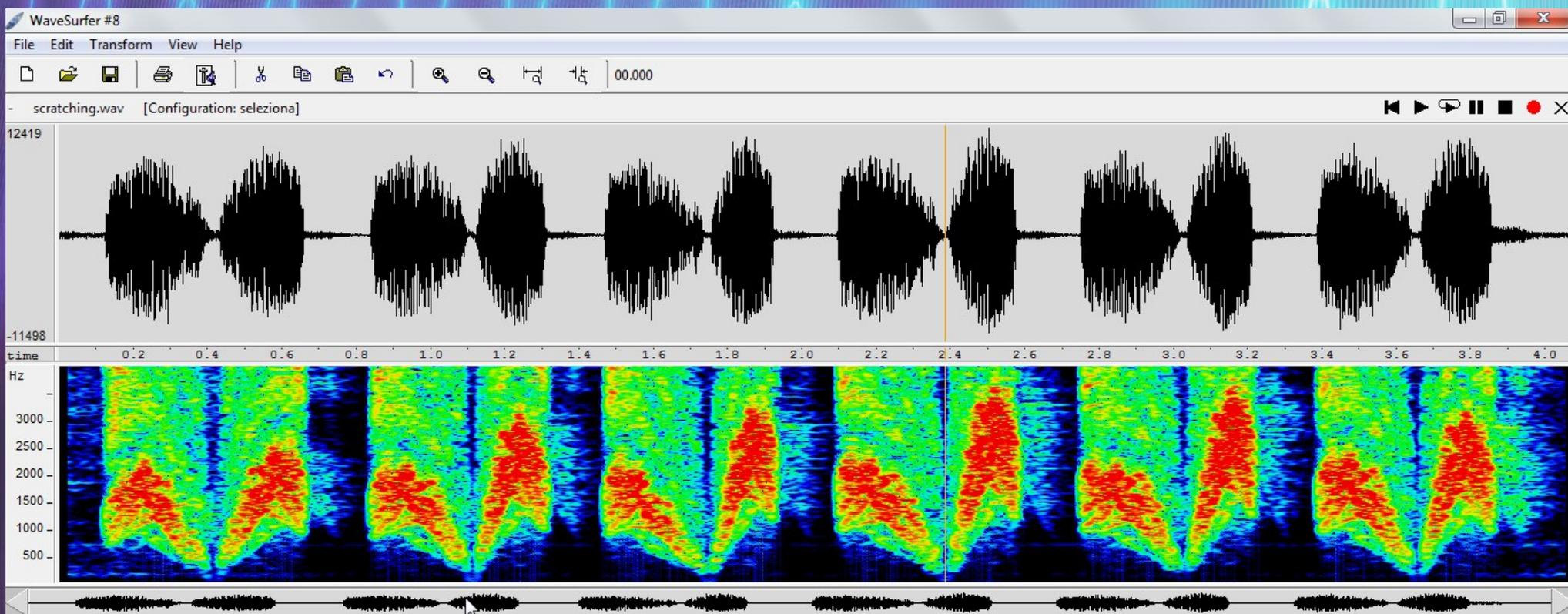
# Il Gong

- Anche il suono del gong è particolarmente ricco di parziali: si nota che le alte frequenze vengono eccitate dopo le basse frequenze.



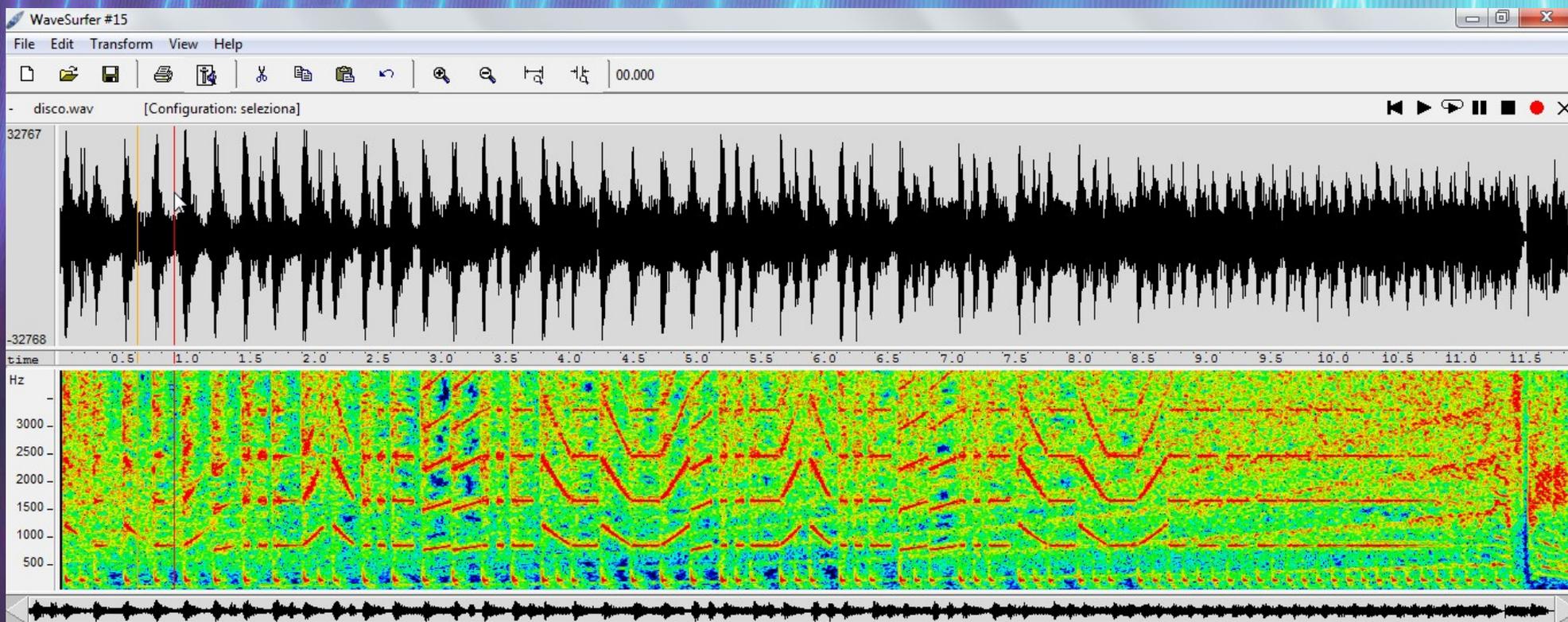
# Rap ed Hip Hop

- **Scratching:** è la pratica, usata nel Rap ed Hip Hop di forzare il movimento del disco avanti ed indietro.



## Un esempio di musica da discoteca

- In questo esempio di musica elettronica la frequenza delle note varia linearmente in alto o in basso. L'effetto è più ritmico che melodico.



# Suoni della natura

- Un ambito che personalmente ho poco esplorato è quello dei versi degli animali. Qui ad esempio sono mostrati gli spettrogrammi del canto dell'usignolo e del merlo.

