



Autore: Francesco Marino
<http://www.francescomarino.net>
info@francescomarino.net

Esercitazione n. 11

Generazione e analisi spettrale del suono

Classe:

Gruppo:

Data	Alumni assenti

Questa esercitazione, che si propone di verificare alcuni risultati dell'analisi spettrale e della codifica numerica dei segnali, è basata su *Cool Edit Pro 2.0*; la cui versione di valutazione è integralmente funzionante per 21 giorni e dopo tale periodo mantiene le sue funzionalità tranne quella di salvataggio dei suoni elaborati. Cool Edit Pro dispone di moduli per la generazione delle forme d'onda più comuni (sinusoide, onda quadra, ecc.), per l'analisi spettrale e per il filtraggio dei segnali. Durante l'esercitazione saranno poste agli alunni alcune domande le cui risposte sono presenti al termine del documento; la validità delle soluzioni proposte sarà immediatamente verificata mediante il software.

Svolgimento

1) Aprire Cool Edit Pro, espandere la relativa finestra a schermo pieno e commutare se necessario la modalità di lavoro in editor di singolo file (*View/Edit Waveform view* o *F12*). Generare con il comando *Generate/Tones...* un segnale sinusoidale a 1000 Hz della durata di 1 s, campionato a 22050 Hz su 16 bit (le relative finestre di dialogo sono rappresentate in fig. 1).

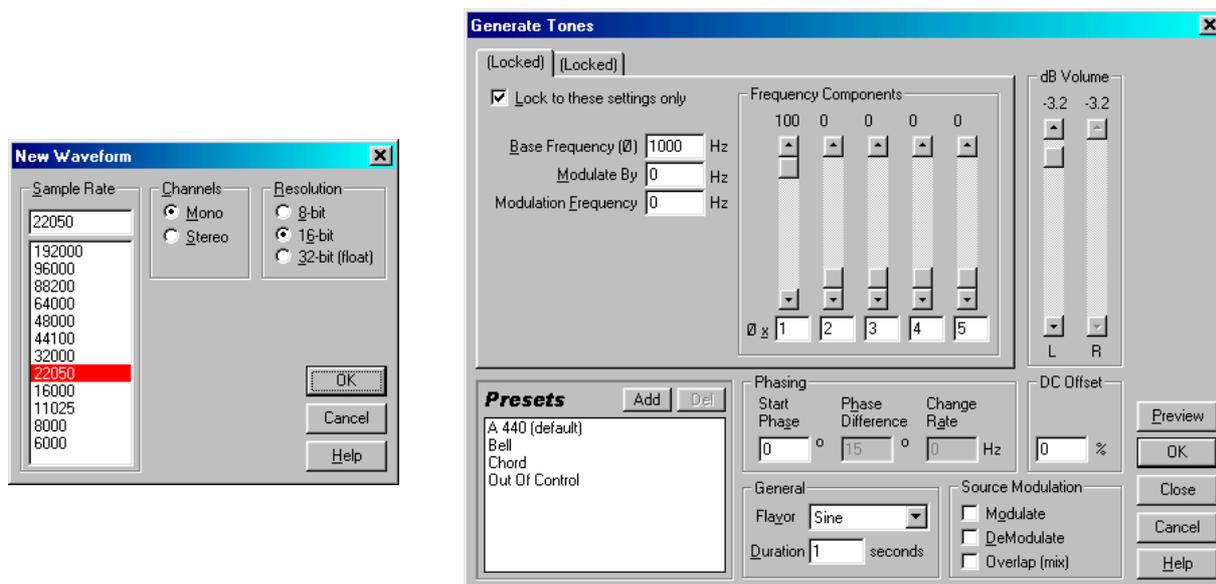


Fig. 1

Espandere orizzontalmente fino al massimo grado la forma d'onda cliccando ripetutamente sul pulsante  presente nella zona in basso a sinistra della finestra. Nel grafico rappresentato è possibile evidenziare dei piccoli quadrati che rappresentano gli effettivi campioni della forma d'onda, mentre la curva che unisce tali punti rappresenta l'output analogico. Si può notare inoltre che il valore dei campioni è indicato in una scala i cui estremi sono pari, almeno per quanto riguarda i valori effettivamente riportati (alla risoluzione di 1024×768), a -32000 e 32000 ; questo si accorda con il fatto che una codifica PCM a 16 bit dispone di 65536 valori differenti. Misurare approssimativamente il periodo di campionamento e verificare la corrispondenza del suo valore con la frequenza di campionamento di 22050 Hz. Convertire il segnale a 8 bit mediante il comando *Edit/Convert Sample Type...*; si può notare che ora il valore dei campioni è indicato in una scala a 256 valori. Ripristinare la forma d'onda a 16 bit mediante il pulsante *Undo* (o con *Edit/Undo*).

Filtrare il segnale mediante l'equalizzatore grafico a 10 bande raggiungibile mediante *Effects/Filters/Graphic Equalizer...*, abbassando al minimo il cursore relativo alla banda intorno a 4000 Hz (fig. 2). **Domanda a)** Come si trasforma la forma d'onda?

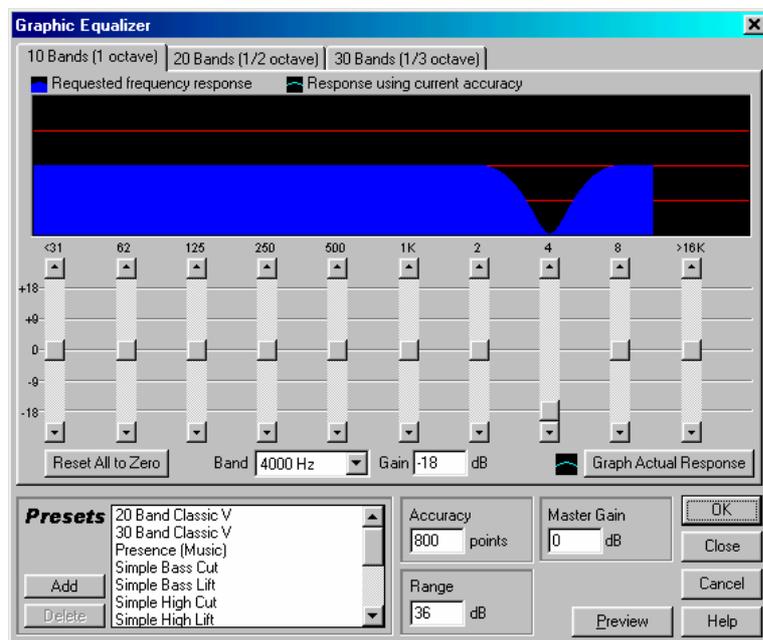


Fig. 2

Filtrare nuovamente il segnale mediante l'equalizzatore grafico a 10 bande abbassando al minimo il cursore relativo alla banda intorno a 1000 Hz (resettare prima con *Reset All to Zero*). **Domanda b)** Come si trasforma la forma d'onda?

Annullare l'ultima azione (*Undo*) e eseguire l'analisi spettrale della forma d'onda mediante il comando *Analyze/Frequency Analysis*. **Domanda c)** Quanti picchi sono presenti nello spettro delle ampiezze?

2) Generare con il comando *Generate/Tones...* un segnale ad onda quadra a 1000 Hz della durata di 1 s, campionato a 44100 Hz su 16 bit (il campo *Flavor* deve indicare *Square*). Espandere orizzontalmente la forma d'onda. Si può notare che la curva analogica non rappresenta un'onda quadra perfetta in quanto lo spettro del segnale è limitato superiormente a 22 kHz (la metà della frequenza di campionamento).

Eseguire l'analisi spettrale della forma d'onda. **Domanda d)** Considerato che lo spettro dell'onda quadra comprende solo le componenti dispari e che lo spettro del segnale in esame è limitato a 22 kHz, quanti picchi sono presenti nello spettro delle ampiezze?

Filtrare il segnale mediante il filtro FFT (*Effects/Filters/FFT Filter...*) in modo tale da eliminare tutte le componenti al di sopra di 5000 Hz (selezionare *Low Pass 4000 Hz* nel campo *Presets* e spostare il grafico con il mouse fino a ottenere la curva di fig. 3. **Domanda e)** Come cambia la forma d'onda? Eseguire nuovamente l'analisi spettrale. **Domanda f)** Quanti picchi sono ora presenti nello spettro delle ampiezze?

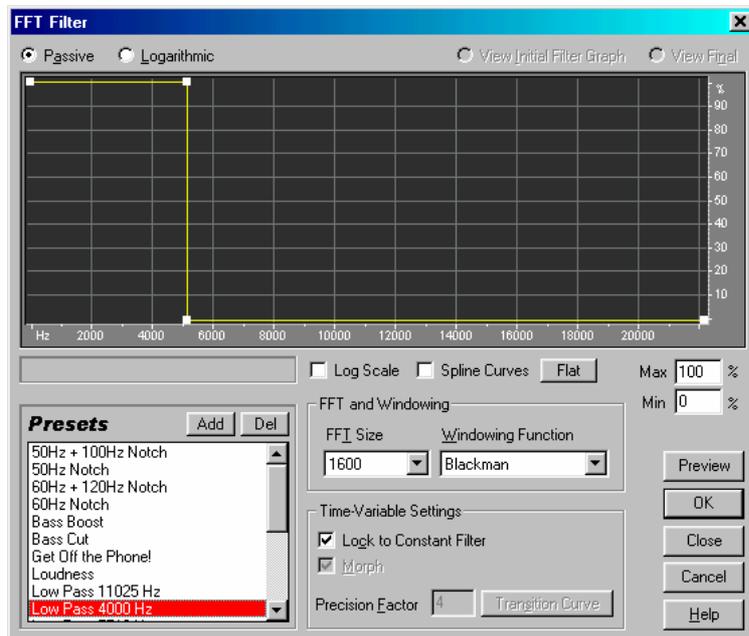


Fig. 3

Annullare l'ultima azione (Undo). Filtrare il segnale mediante il filtro FFT in modo tale da eliminare tutte le componenti al di sopra di 10000 Hz. Filtrare nuovamente il segnale mediante il filtro FFT configurato come in fig. 4 (Selezionare *50Hz + 100Hz Notch* nel campo *Presets*, spostare con il mouse le zone di filtraggio verso destra, deselegionare la scala logaritmica e aggiustare definitivamente il grafico). Con quest'ultima azione vengono eliminate tutte le componenti da 0 a 2 kHz e da 4 a 8 kHz.

Eseguire l'analisi spettrale. **Domanda g)** Quanti picchi sono presenti nello spettro delle ampiezze dopo i due filtraggi?

Espandendo orizzontalmente la forma d'onda del segnale è possibile misurare il suo periodo. **Domanda h)** Qual è il periodo del segnale ottenuto dopo i due filtraggi?

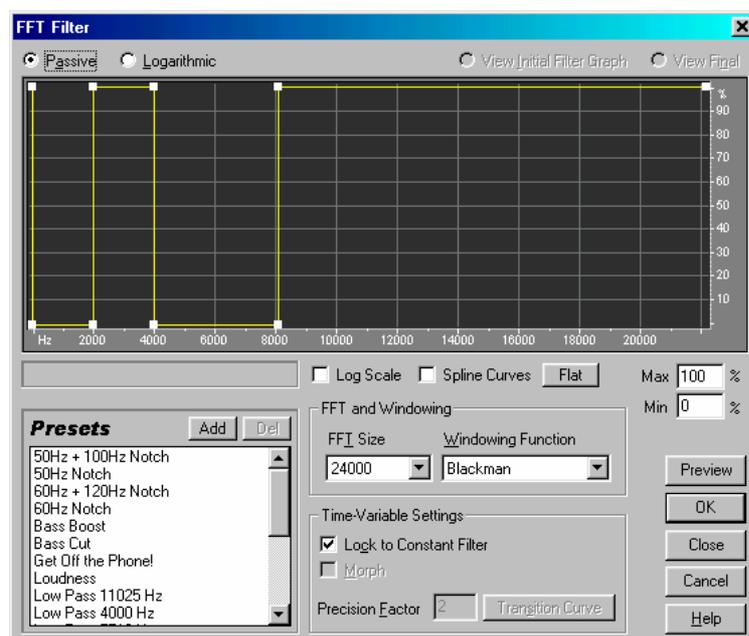


Fig. 4

3) Generare con il comando *Generate/Tones...* un segnale triangolare a 1000 Hz della durata di 1 s, campionato a 44100 Hz su 16 bit (il campo *Flavor* deve indicare *Triangle*). Lo sviluppo in serie di Fourier di tale segnale comprende le armoniche dispari con ampiezza decrescente con $\frac{1}{n^2}$, dove n è il numero d'ordine dell'armonica (*vedi* Esempio 3.6 del Vol. 1, par. 3.3.5). **Domanda i)** Posta a 1 l'ampiezza dell'armonica fondamentale, quanto vale l'ampiezza dell'undicesima armonica? Trasformando il valore delle ampiezze in dB ($20\log A_n$), qual è la differenza in dB tra le due ampiezze?

Eeguire l'analisi spettrale e verificare la validità della risposta al secondo quesito della domanda i).

Filtrare il segnale mediante un filtro Butterworth (*Effects/Filters/Scientific Filters...*) configurato come in fig. 5. **Domanda l)** Come cambia la forma d'onda? Qual è il suo periodo?

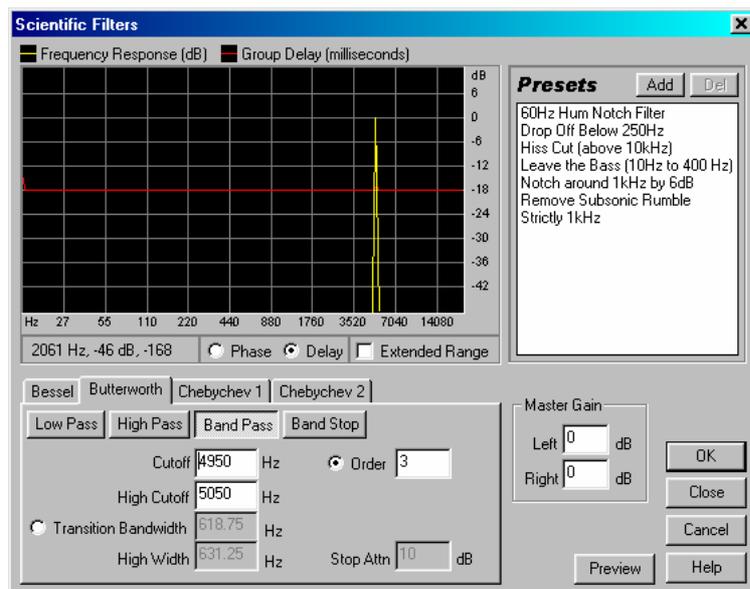


Fig. 5

4) Lo sviluppo in serie di Fourier del segnale a dente di sega comprende tutte le armoniche, con uguale fase e con ampiezza decrescente con $\frac{1}{n}$, dove n è il numero d'ordine dell'armonica (*vedi* Esercizio 3.9 del Vol. 1, par. 3.3.5). **Domanda m)** Posta a 100 l'ampiezza dell'armonica fondamentale, quanto valgono le ampiezze della seconda, terza, quarta e quinta armonica?

Generare un segnale a dente di sega regolando i cursori *Frequency Components* presenti nella parte centrale della finestra *Generate Tones*, assegnando a ciascun cursore un valore in accordo con la risposta data al quesito m).

Risposte

- a) Il segnale è un tono puro alla frequenza di 1000 Hz, pertanto il filtraggio elimina-banda a 4000 Hz non produce alcun effetto.
- b) In questo caso le frequenze attenuate dal filtro comprendono i 1000 Hz della sinusoide, e pertanto la forma d'onda viene fortemente attenuata.
- c) Il segnale è un tono puro e quindi il suo spettro delle ampiezze comprende un solo picco.
- d) Sono presenti picchi a 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 kHz per un totale di 11 picchi.
- e) La forma d'onda si arrotonda per l'assenza di ulteriori componenti ad altra frequenza. I fronti di salita e di discesa divengono meno ripidi e diminuisce il numero di oscillazioni nei tratti alto e basso. Si confronti la forma d'onda ottenuta con la fig. 3.20a riportata nel Vol. 1 al par. 3.3.4.
- f) Sono presenti picchi a 1, 3, 5 kHz.
- g) Dopo i due filtri rimangono solo i picchi a 3 e 9 kHz.
- h) La fondamentale è ora a 3 kHz, mentre la componente a 9 kHz rappresenta la terza armonica. Il periodo del segnale è pari quindi a $T = \frac{1}{3000} = 0,333$ ms.
- i) L'undicesima armonica ha un'ampiezza pari a $\frac{1}{11^2} = 0,00826$. La differenza in dB tra le ampiezze della prima e dell'undicesima armonica è pari a 42 dB.
- l) Il filtro passa-banda lascia passare solo l'armonica a 5 kHz, pertanto il segnale è sinusoidale con un periodo pari a 0,2 ms.
- m) Le ampiezze sono pari a 50, 33, 25, 20.