



Università degli Studi di Palermo
Dipartimento di Ingegneria Informatica



Elaborazione di Immagini e Suoni / Riconoscimento e Visioni Artificiali 12 c.f.u.

Anno Accademico 2008/2009

Docente: ing. Salvatore Sorce

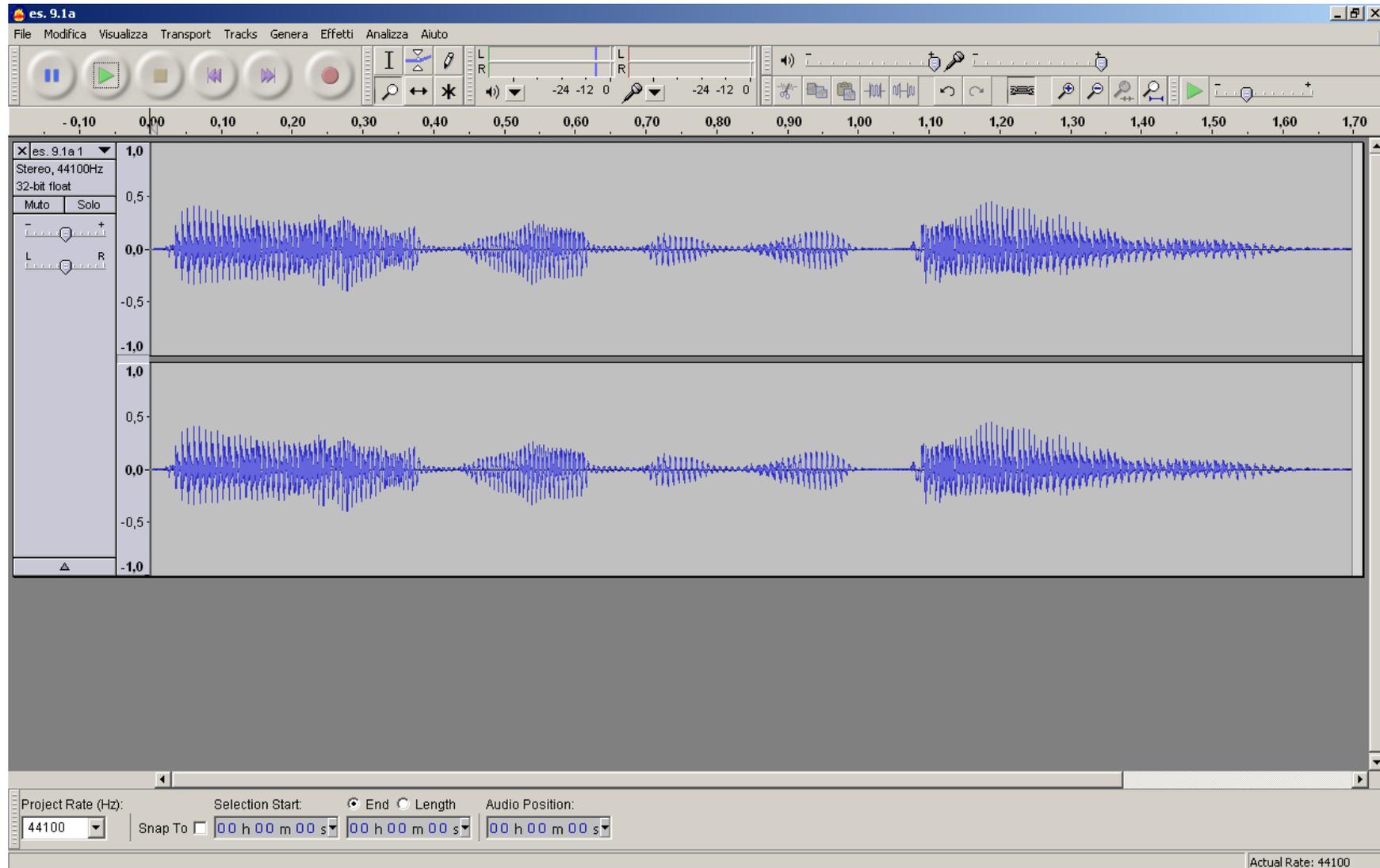
Elaborazione digitale dell'audio

Facoltà di Lettere e Filosofia

Editing digitale

- Editor audio digitale: programma che consente di modificare un segnale audio digitale
 - Sound Forge
 - Amadeus
 - Felt Tip Sound Studio
 - Cool Edit
 - **Audacity**
 - ...
- Caratteristiche comuni:
 - Editing non distruttivo
 - Operazioni di base di DSP (Digital Signal Processing)
 - Possibilità di usare moduli aggiuntivi (*plug-in*) per operazioni particolari
 - GUI (Graphical User Interface)

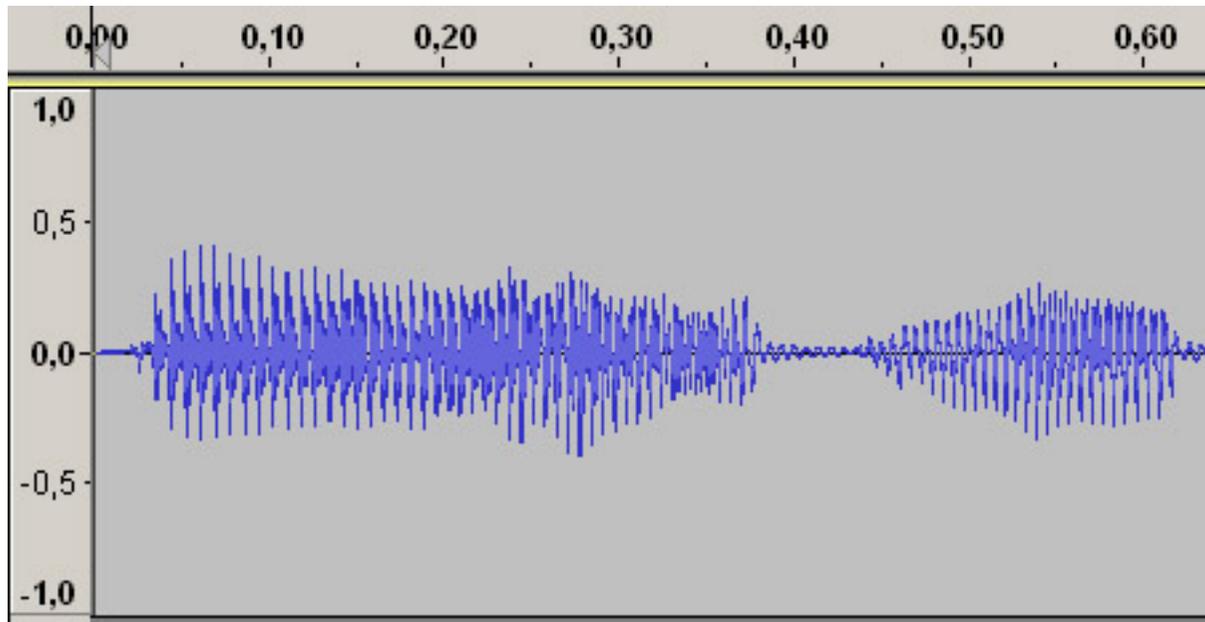
Editing digitale





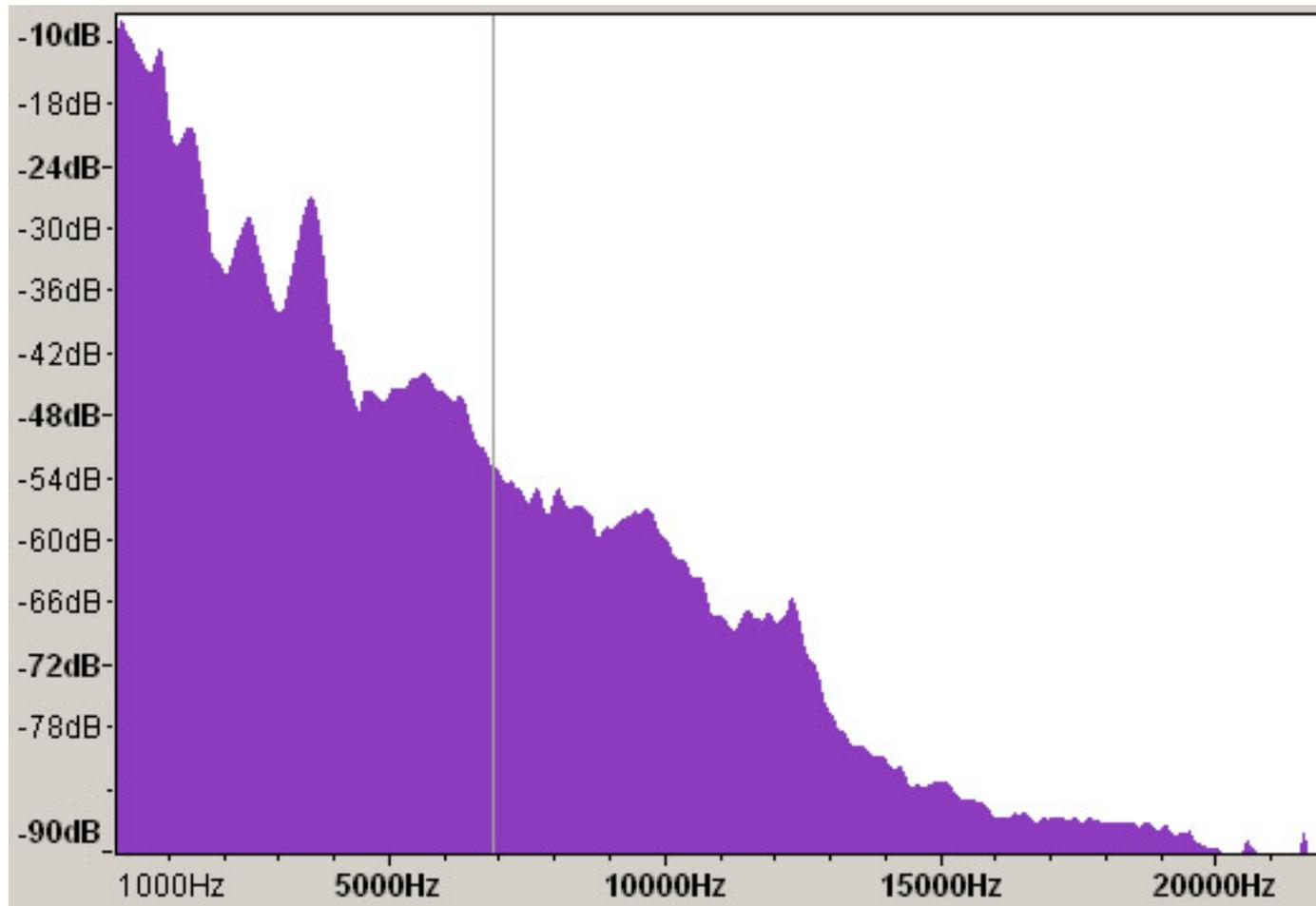
Editing digitale - visualizzazioni

- Nel dominio del tempo (*time-domain*):



Editing digitale - visualizzazioni

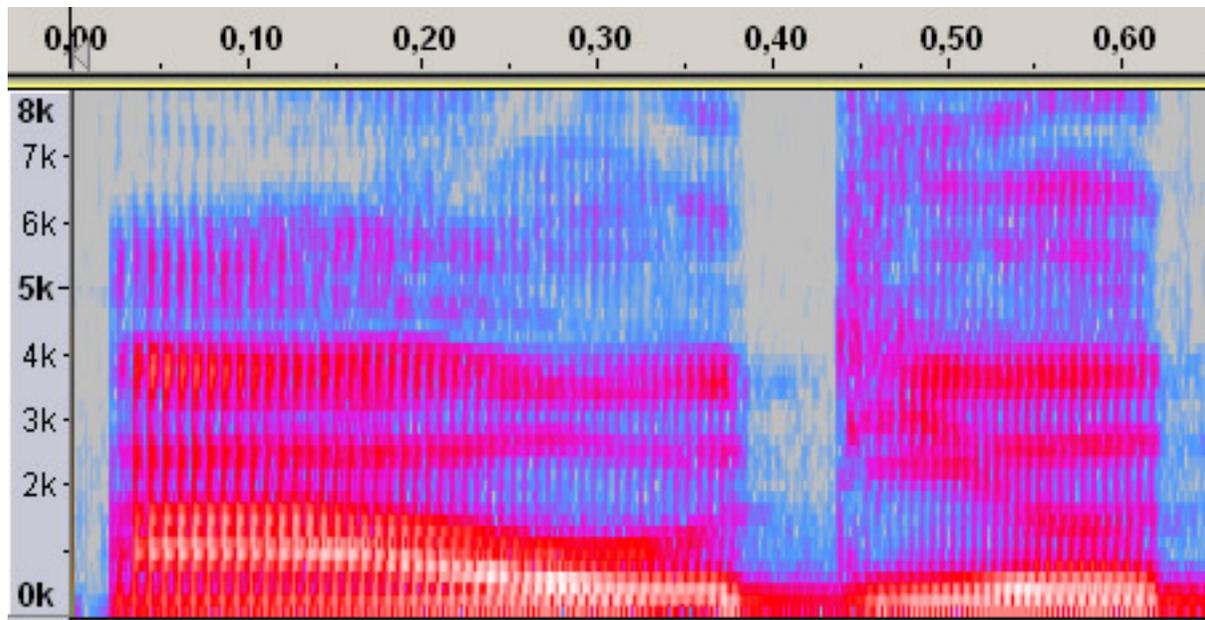
- Nel dominio della frequenza 2D (*frequency-domain*):





Editing digitale - visualizzazioni

- Nel dominio della frequenza 3D (*sonogram*):

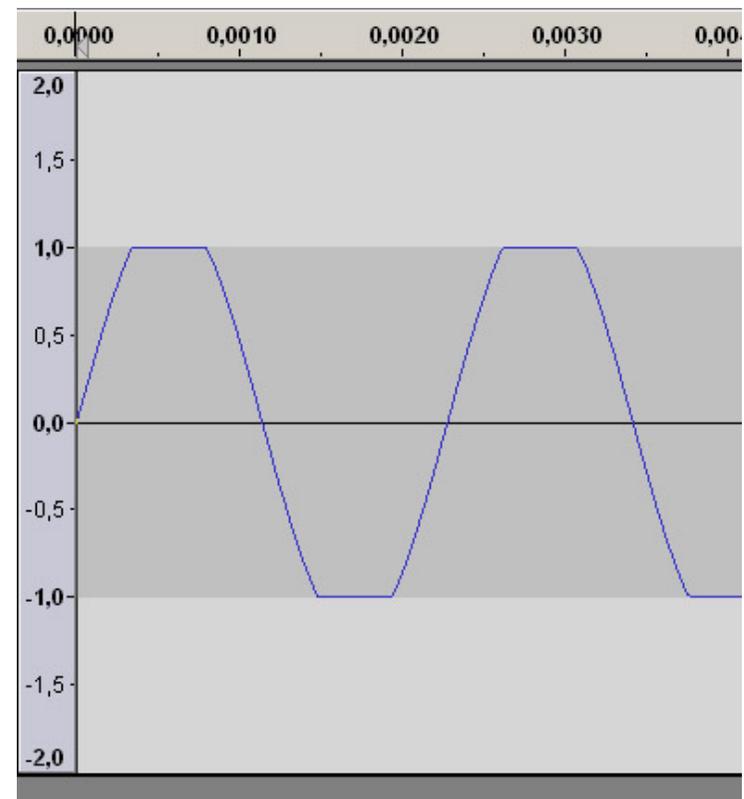
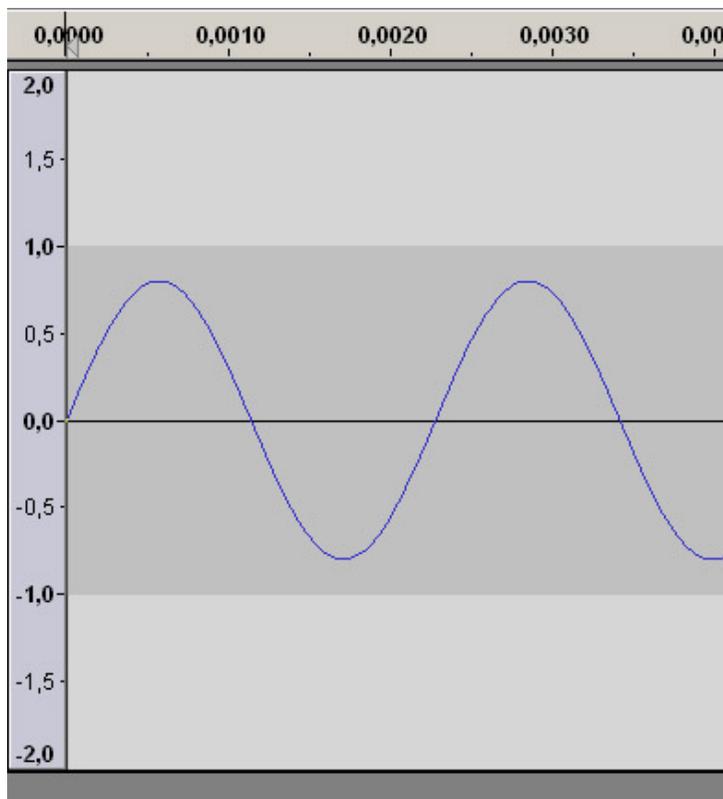




Editing digitale - visualizzazioni

➤ Clipping:

- Se l'ampiezza del segnale supera il valore massimo consentito dalla codifica, la forma d'onda risulta distorta



Esempi 9.2a e 9.2b



Editing di base

- Taglia, copia e incolla
 - Funzionamento simile a quello usuale
 - Incolla: *sostituzione* della porzione o *missaggio* (*mixing*)

- Marcatori e regioni: consentono il controllo su una parte specifica del file
 - Cue list: Lista delle posizioni temporali di marcatori e regioni
 - Play list: Ordine di ascolto impostato dall'utente
 - Riff list info: informazioni aggiuntive presenti nell'intestazione di alcuni tipi di file (es.: .wav di Microsoft)
 - Modifica a livello di singolo campione



Editing di base - Resampling

- Modifica della frequenza di campionamento del segnale (11.025, 22.050, 32.000, 44.100, 48.000, 96.000 Hz)
- Modifica della risoluzione del file (il numero di bit utilizzati per memorizzare un campione)
 - Valori comuni: 8 bit/sample, 16 bit/sample
 - 24 o 32 bit/sample usati durante le elaborazioni in studio per ridurre gli errori
- Modifica del segnale stereo -> mono (e viceversa)

Esempi 9.1a e 9.1b



Editing di base – Inversione

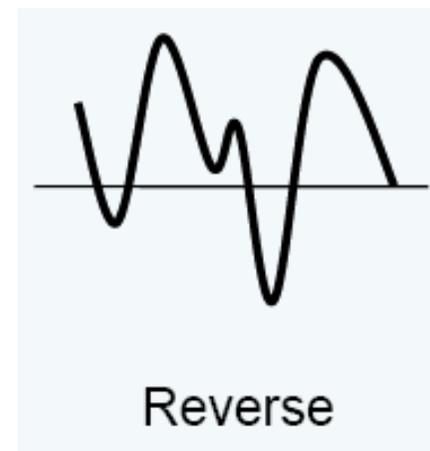
- Inversione (*Invert*): il segnale viene invertito rispetto all'asse delle ordinate (i picchi diventano gole e viceversa)
- Risultato: non percepibile se applicato ad una sola forma d'onda; variabile se associato ad altre forme d'onda
- Parametri: nessuno





Editing di base – Reverse

- *Reverse*: il segnale viene invertito rispetto all'asse delle ascisse (lettura del segnale dalla fine all'inizio)
- Risultato: inversione dell'ordine del transitorio (release, sustain, decay, attack)
- Parametri: nessuno



Esempi 9.3a e 9.3b

Editing digitale – Filtri

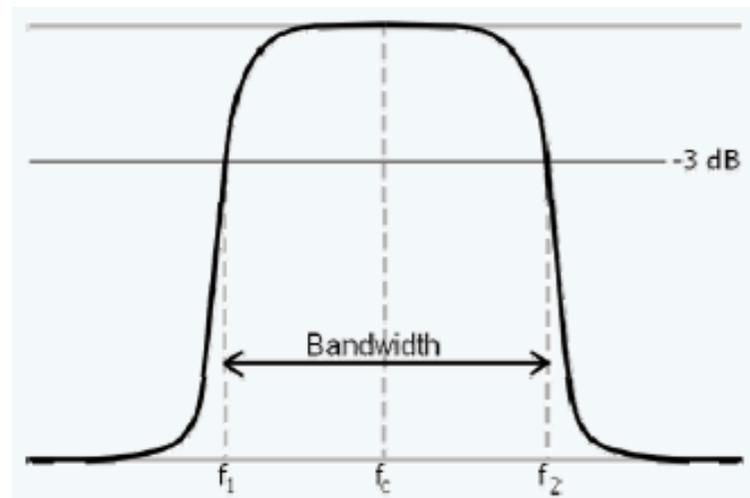
- Filtraggio: operazione di modifica dell'energia contenuta nello spettro del segnale (o in porzioni di esso)
- Operazioni svolte in diversi domini:
 - Filtri nel dominio del tempo e dello spazio
 - Filtri nel dominio della frequenza
 - Altri domini (autocorrelazione, wavelet)





Editing digitale – Equalizzazione

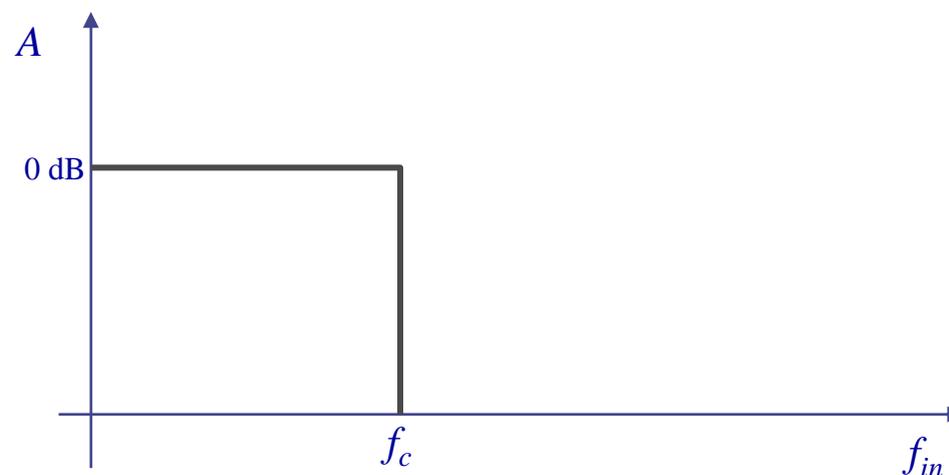
- Equalizzatore: banco di filtri passabanda.
- Il segnale viene suddiviso in aree spettrali distinte, per le quali l'energia viene aumentata o diminuita variando il guadagno (*gain*)



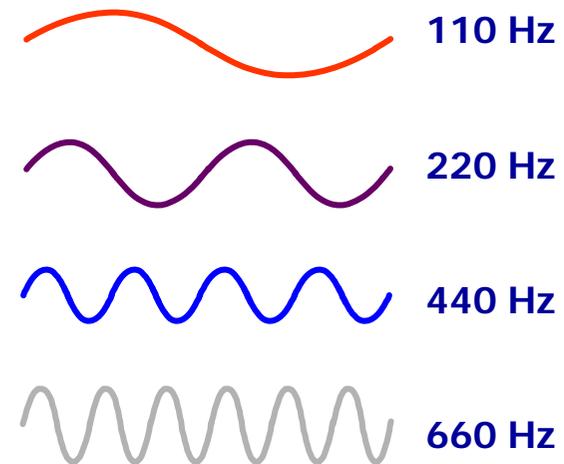
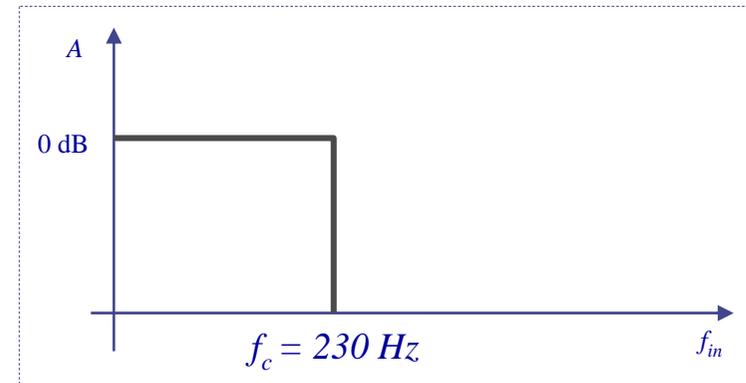
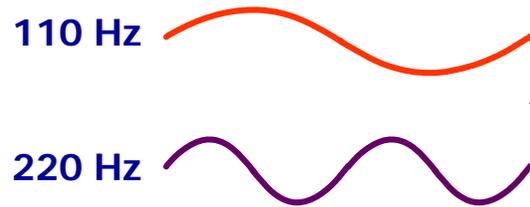


Filtri: il passa-basso ideale

- Fa passare tutte le frequenze **più basse** della frequenza di taglio (*cut-off frequency*, f_c)
- Funzione di trasferimento:



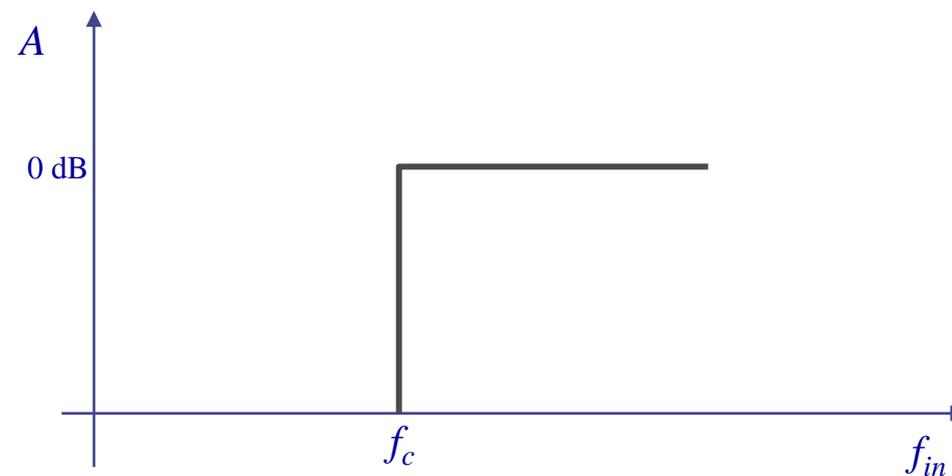
Filtri: il passa-basso ideale





Filtri: il passa-alto ideale

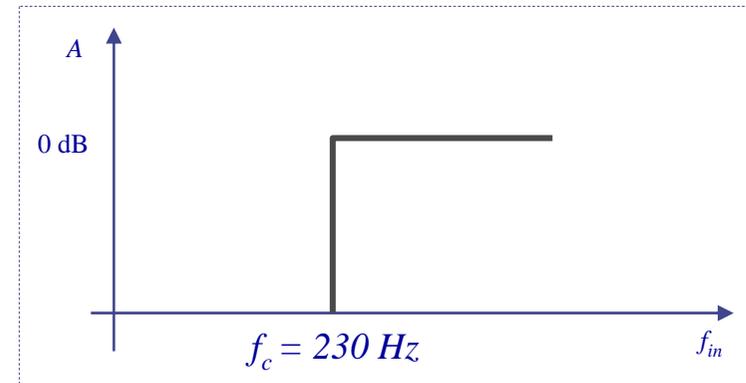
- Fa passare tutte le frequenze **più alte** della frequenza di taglio (*cut-off frequency*, f_c)
- Funzione di trasferimento:



Filtri: il passa-alto ideale

440 Hz 

660 Hz 



 110 Hz

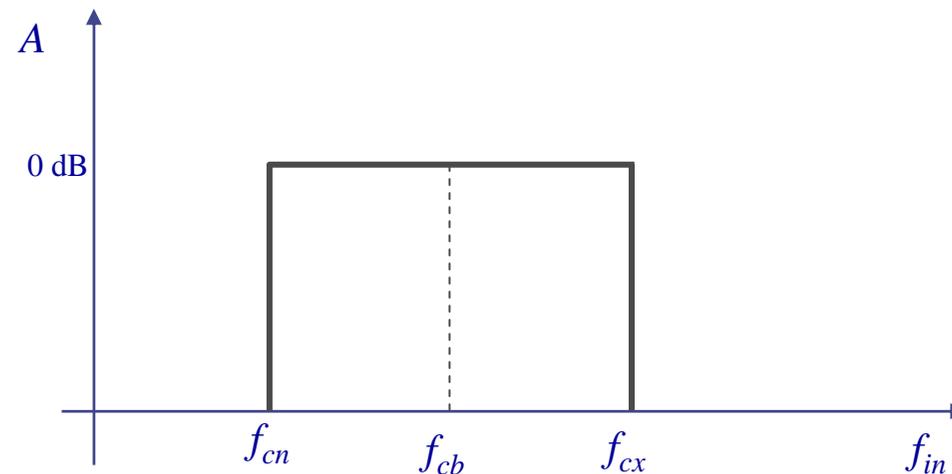
 220 Hz

 440 Hz

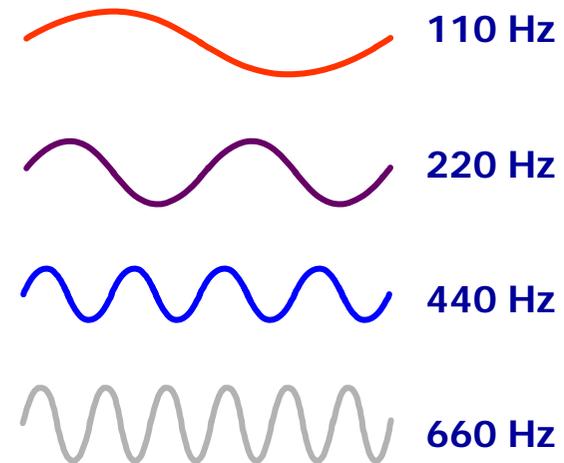
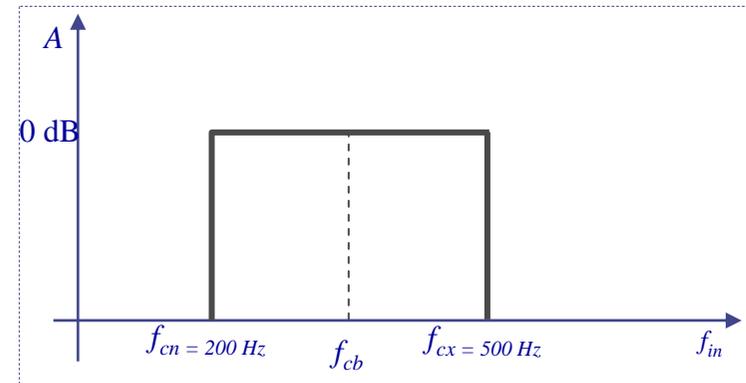
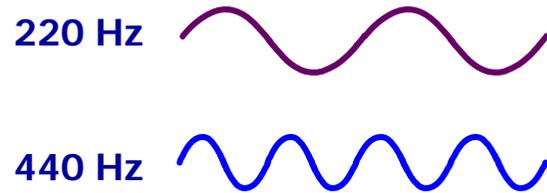
 660 Hz

Filtri: il passa-banda ideale

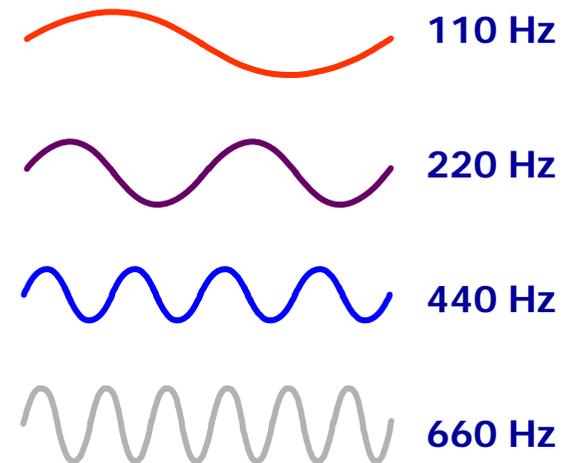
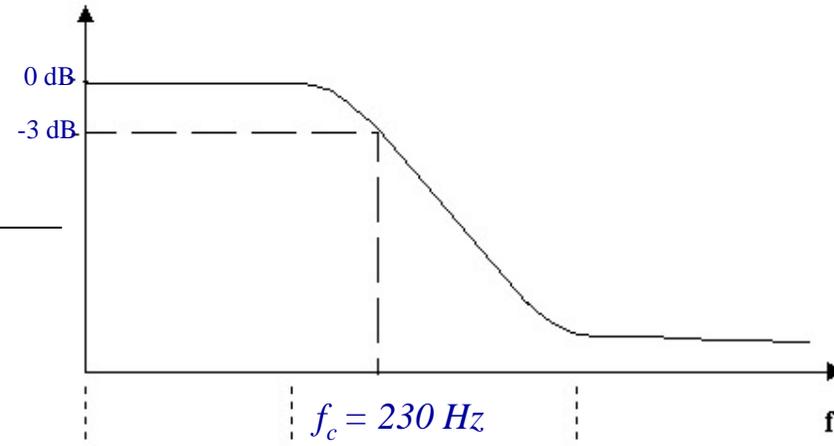
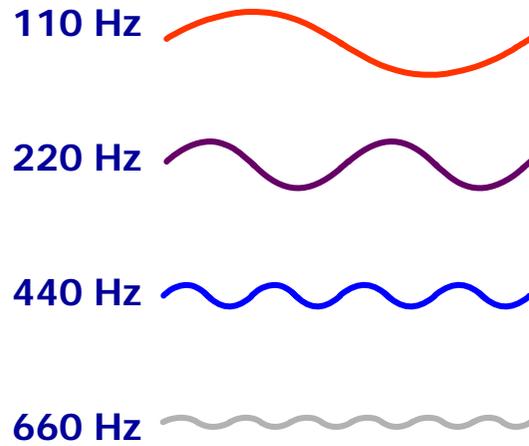
- Fa passare tutte le frequenze **comprese tra** una frequenza di taglio minima (f_{cn}) e una massima (f_{cx})
- Si indica anche la frequenza di centro-banda (f_{cb}), serve nei filtri reali (vedremo)
- Funzione di trasferimento:



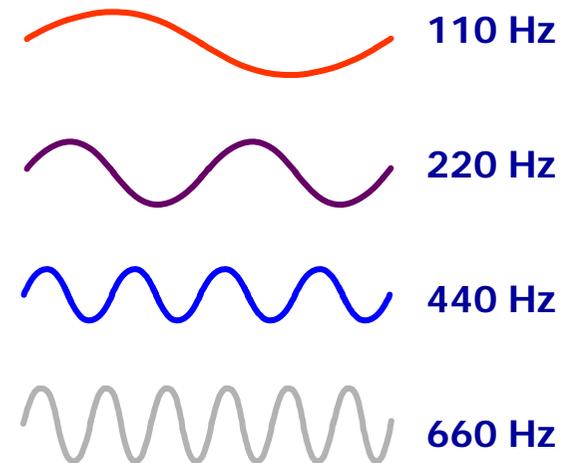
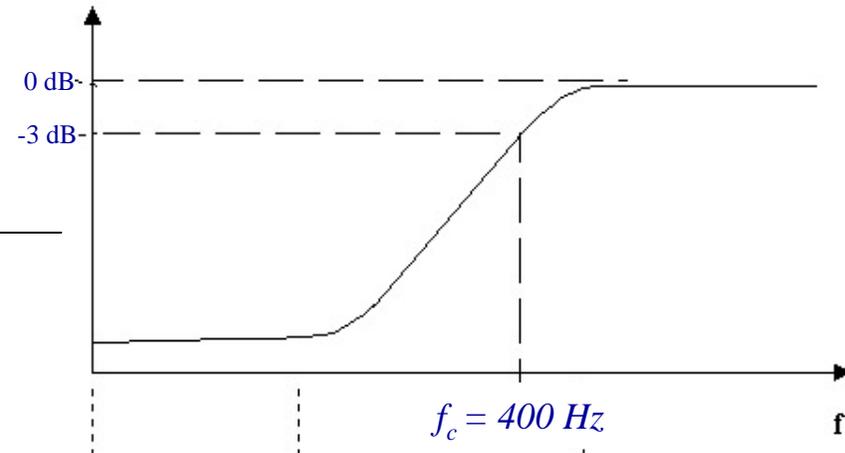
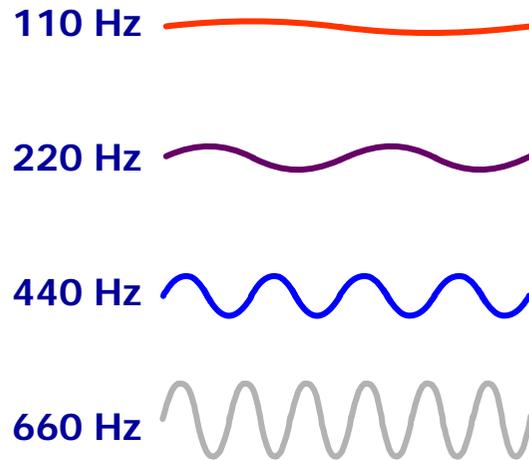
Filtri: il passa-banda ideale



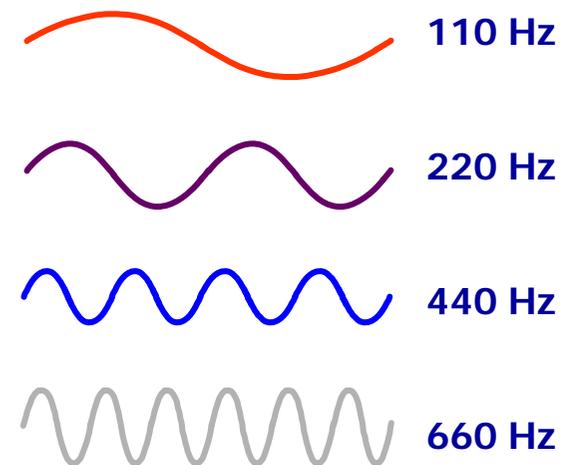
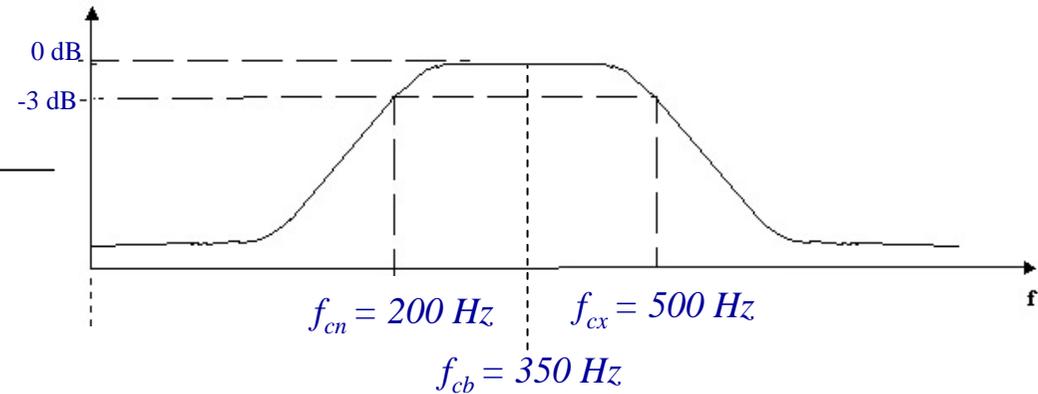
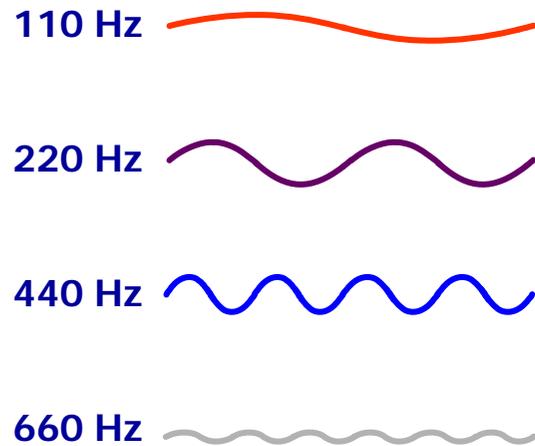
Filtri: il passa-basso reale



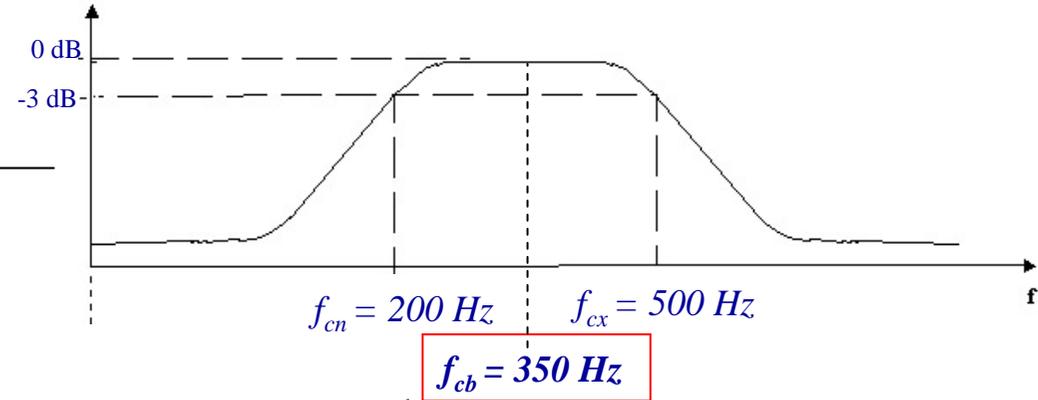
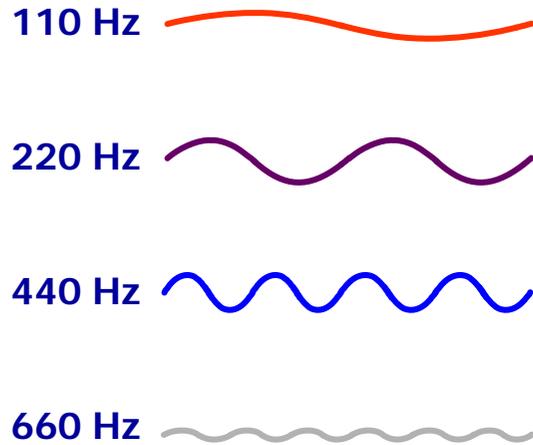
Filtri: il passa-alto reale



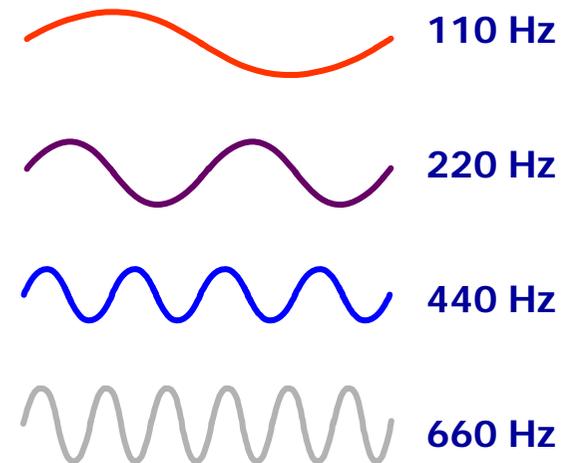
Filtri: il passa-banda reale



Filtri: il passa-banda reale



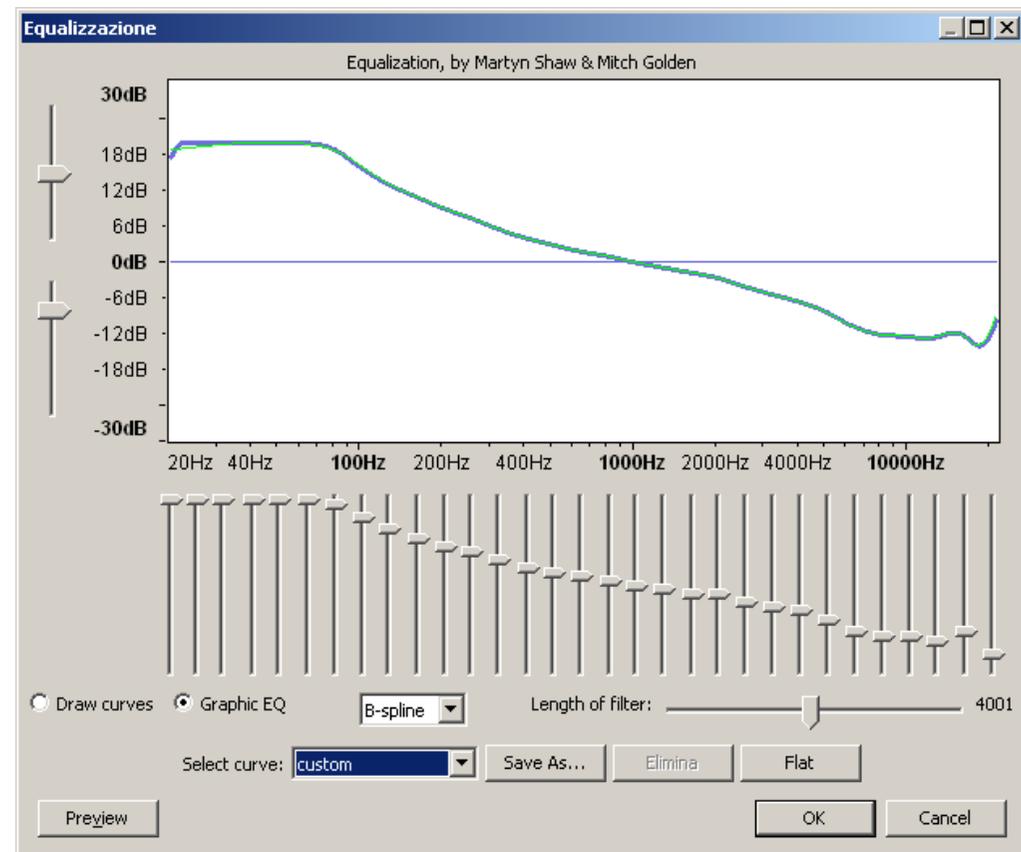
La frequenza di centro-banda indica il punto di massima efficienza del filtro



Editing digitale – Equalizzatore grafico

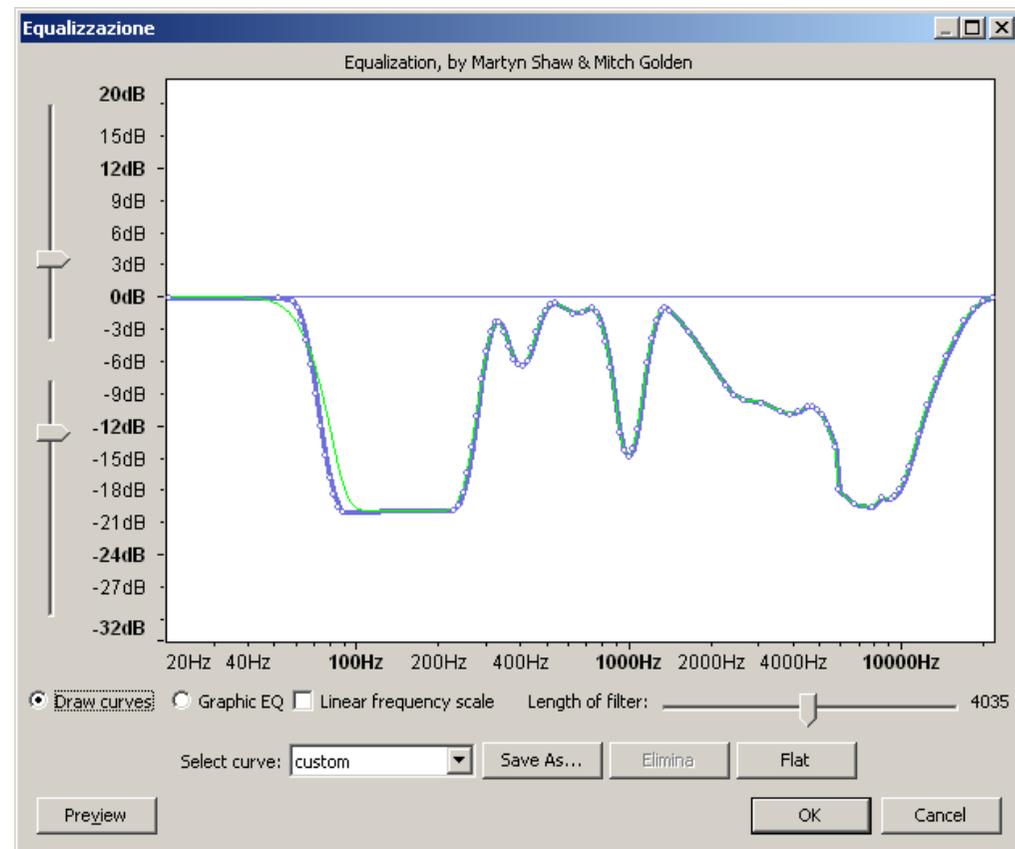
- L'intero spettro del segnale è suddiviso in bande di frequenze generalmente multiple o sottomultiple di ottave
- Risultato: migliorare la resa del suono ottenuto in fase di registrazione
- Parametri:
 - Numero di bande in cui scomporre il segnale
 - Fattore di guadagno per ogni banda

Esempi 9.4 a, b, c



Editing digitale – Equalizzatore parametrico

- Larghezza di banda non predefinita, è possibile controllare la forma del filtro
- Risultato: permette di controllare in modo più mirato le frequenze da modificare
- Parametri:
 - Frequenza centrale del filtro
 - Larghezza della banda
 - Guadagno della risposta





Editing digitale – Ritardi (delay)

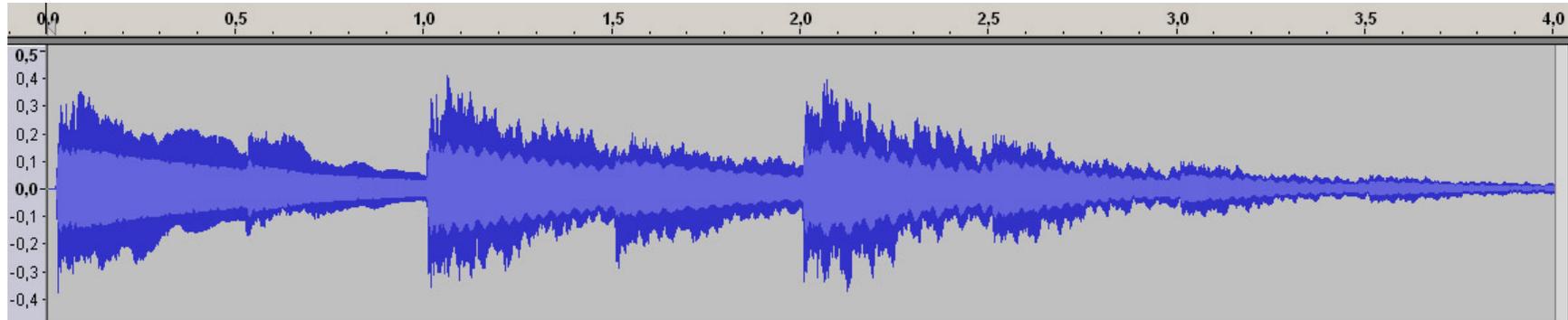
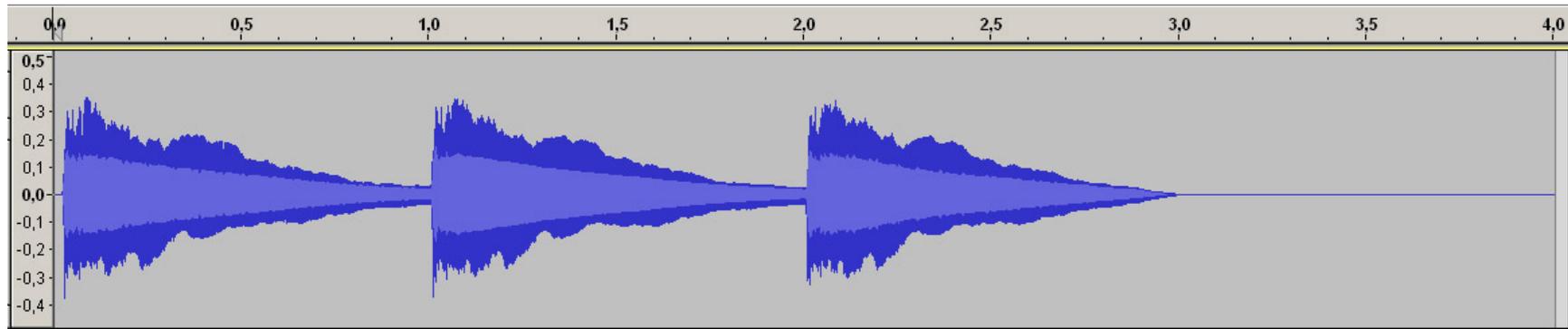
- Categoria di effetti che hanno alla base l'utilizzo di copie ritardate del segnale, miscelate con la versione originale secondo vari criteri
- Filtri a ritardo fisso:
 - Delay
 - Riverbero
- Filtri a ritardo variabile
 - Chorus
 - Flanger
 - Phaser



Editing digitale – Delay o Echo

- Aggiunge una o più versioni ritardate del segnale originale producendo una vasta gamma di effetti come l'eco
- Risultato: realizza effetti ambientali grazie ai quali è possibile “riempire” un suono di base di tipo “asciutto”
- Parametri:
 - Tempo di ritardo
 - Tempo di decadimento
 - Numero di copie ritardate del segnale

Editing digitale – Delay o Echo



Esempi 9.10a, b, c; 9.11; 9.12; 9.13a e b; 9.14

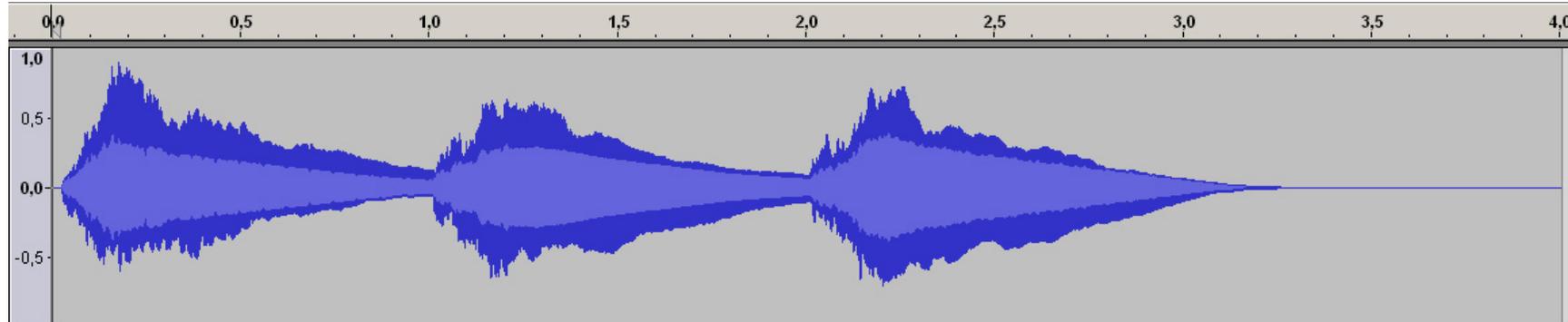
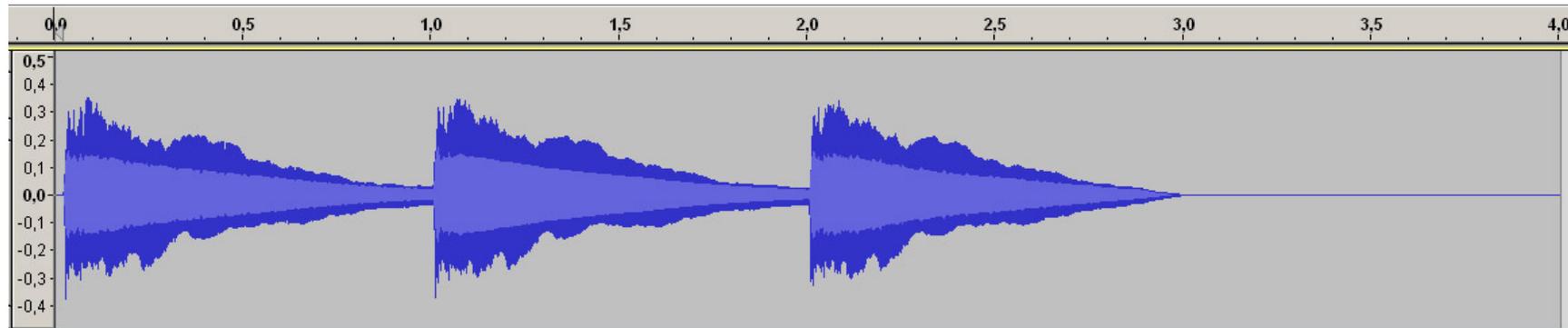


Editing digitale – Riverbero

- Simula l'effetto acustico ambientale, modellando l'effetto di assorbimento, le riflessioni e la riverberazione diffusa
- Risultato: migliora la qualità di suoni registrati con attrezzature scarse o a bassa definizione; rende più realistico il suono proveniente da strumenti sintetici
- Parametri:
 - Tempo di attacco (legato dimensione dell'ambiente)
 - Tempo totale di riverbero
 - Fattori di assorbimento
 - Guadagno delle prime riflessioni
 - Altri parametri (es. modello fisico dell'ambiente)



Editing digitale – Riverbero



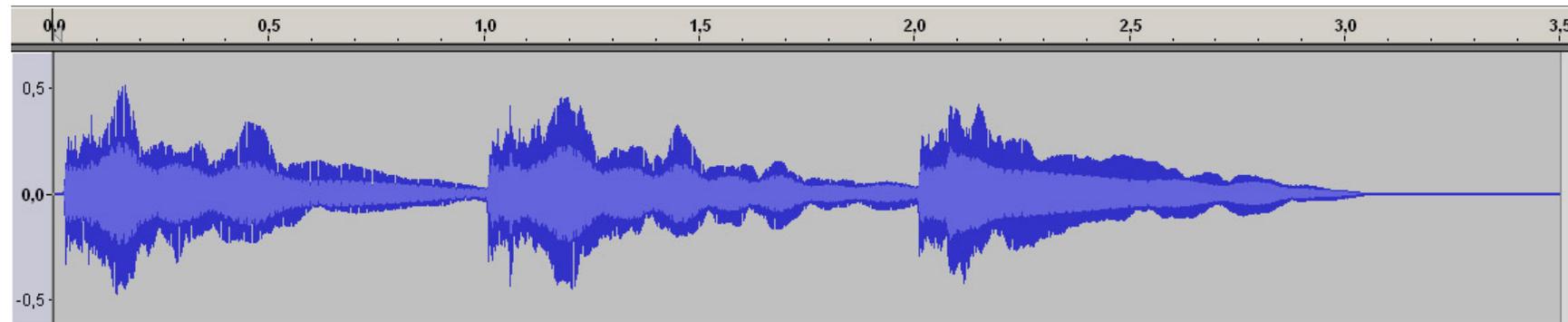
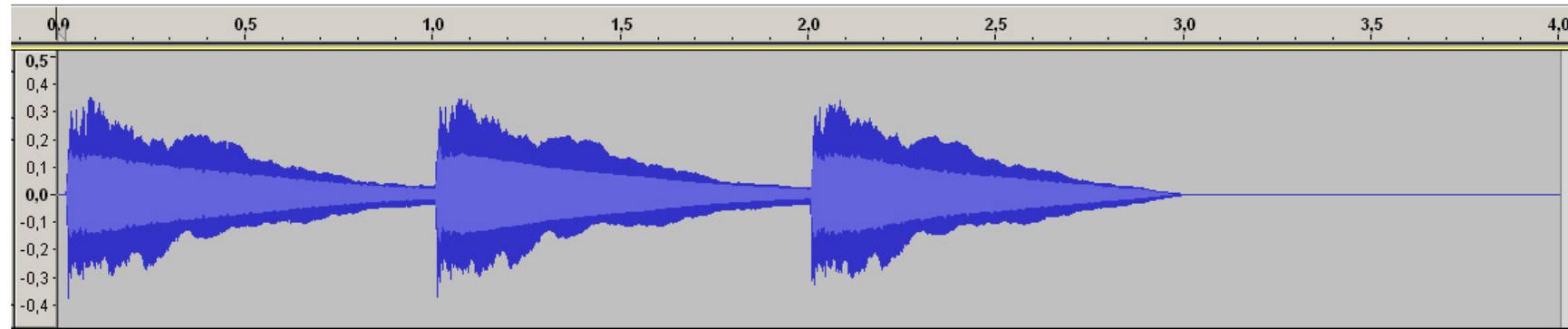
Esempi 9.15a, b, c, d



Editing digitale – Chorus

- Il chorus simula la presenza di più fonti sonore. Come in un coro, tutti gli elementi cantano la stessa melodia seppure con piccole variazioni nella tonalità (i.e. frequenze) e nello sviluppo temporale (i.e. ritardi)
- Risultato: rende il suono più ricco e corposo (specialmente nel caso di tracce mono), o in modo sperimentale per ottenere vibrati o altri effetti
- Parametri:
 - Numero di voci
 - Tempo massimo di ritardo
 - Controllo del vibrato
 - Dispersione delle altezze

Editing digitale – Chorus



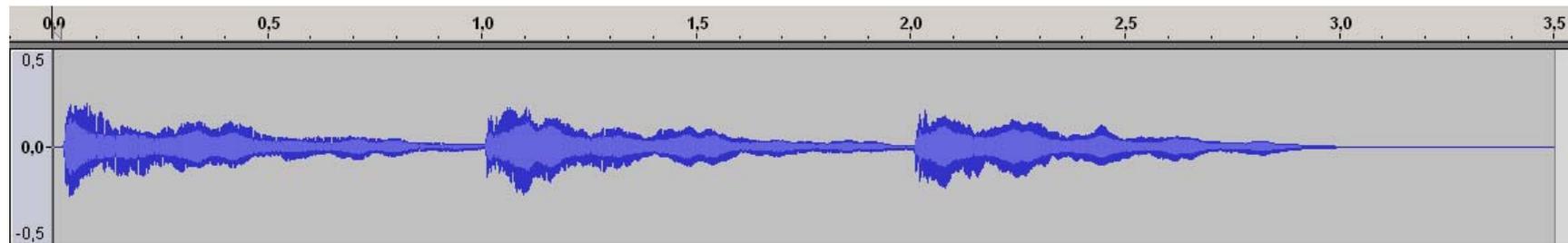
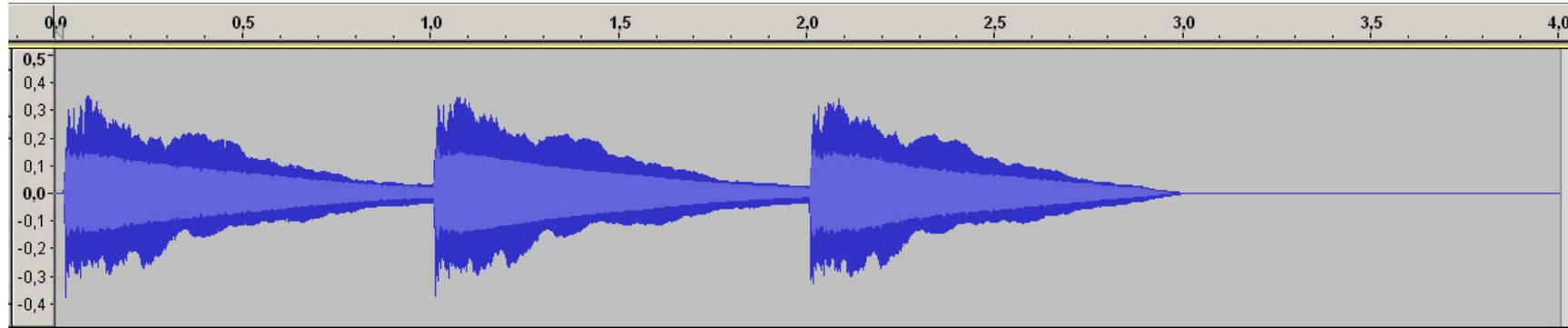
Esempi 9.6 e 9.7a



Editing digitale – Flanger

- Il flanger negli anni '50/'60 veniva realizzato rallentando una delle due bobine del nastro contenente la stessa traccia. In questo modo si aggiungeva al segnale originale una copia modulata nel tempo e nella frequenza
- Risultato: permette di realizzare il tipico effetto "*jet*" ed effetti ambientali comuni nella musica dance
- Parametri:
 - Frequenza della variazione (velocità dell'oscillazione di modulazione)
 - Intervallo di variazione del ritardo (ampiezza dell'oscillazione di modulazione)
 - Forma d'onda

Editing digitale – Flanger

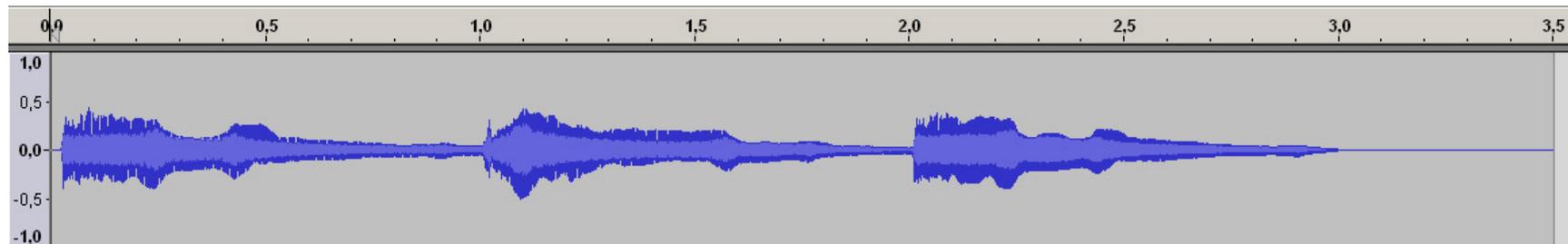
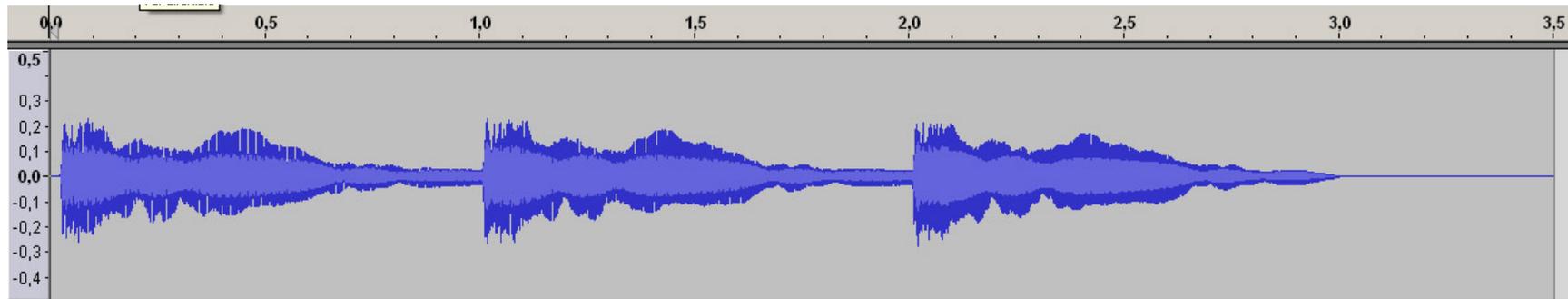
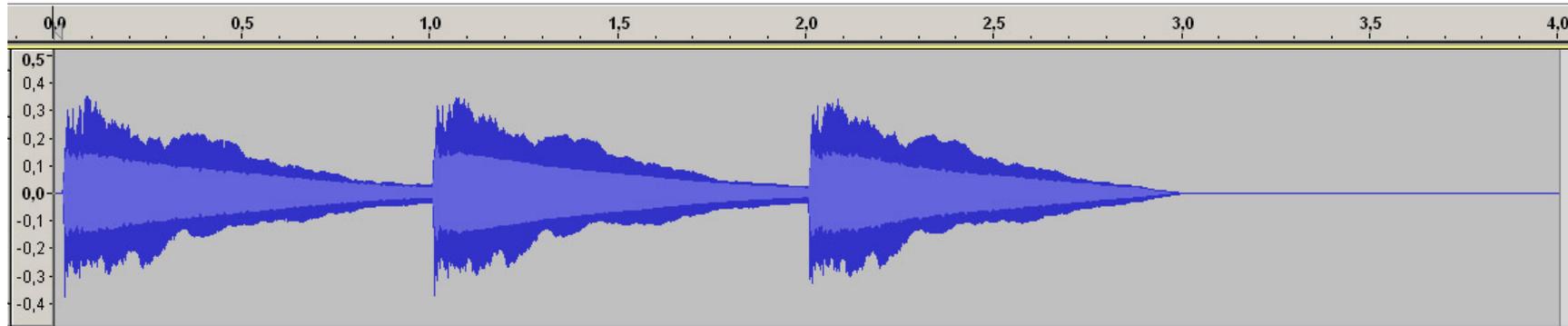


Esempi 9.8a, b, c, d

Editing digitale – Phaser

- Il segnale viene combinato con una sua copia modificata in fase
- Risultato: può fornire vari risultati, come effetti simili al flanger o di tipo *wah-wah*
- Parametri:
 - Frequenza centrale
 - Il tasso di variazione (periodo oscillazione della modulazione)
 - Profondità (ampiezza delle oscillazioni)
 - Risonanza (grado di variazione della fase)

Editing digitale – Phaser



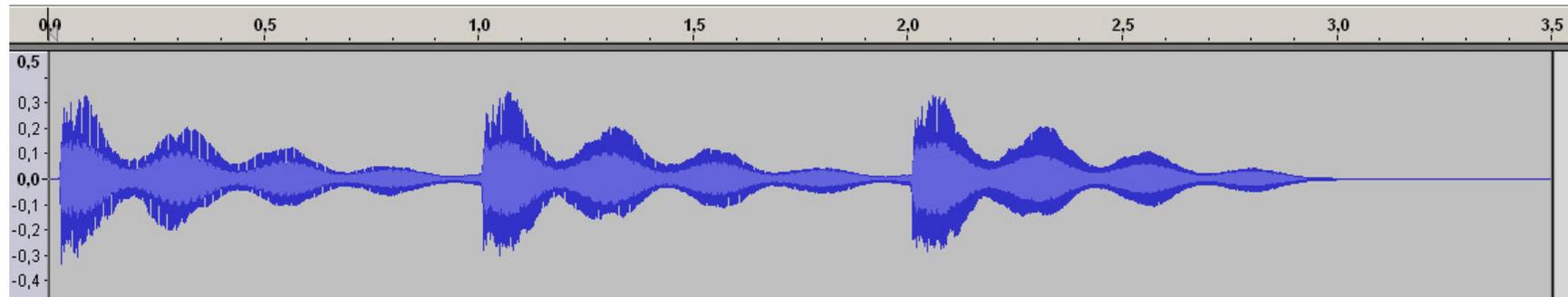
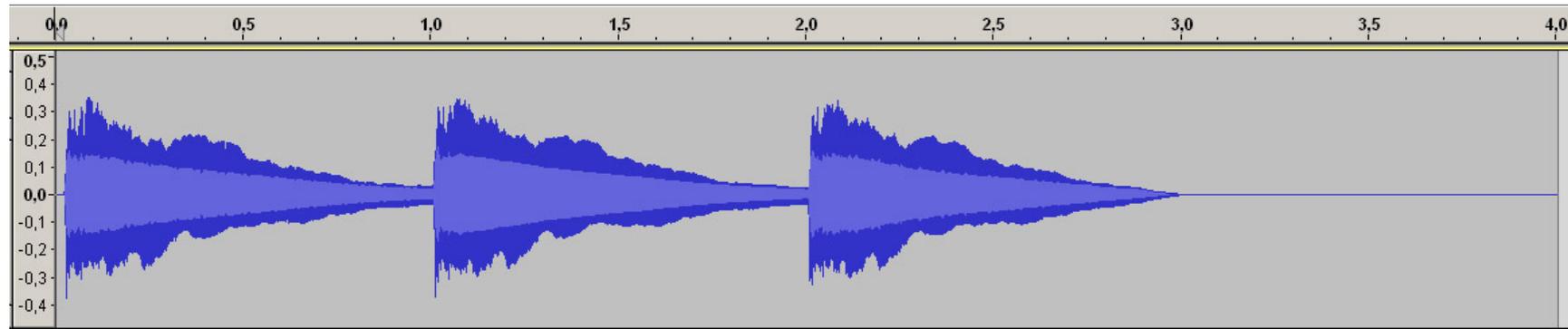
Esempi 9.9a, b, c



Editing digitale – Tremolo

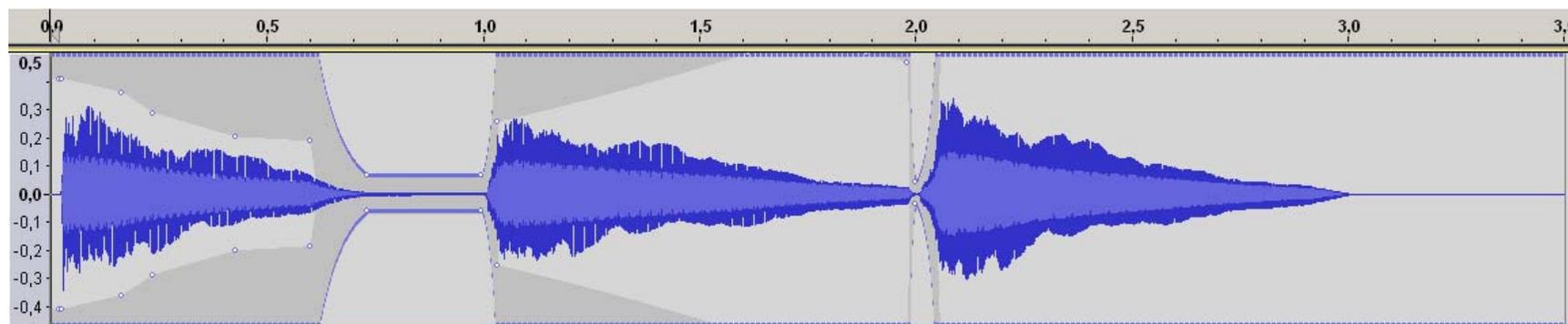
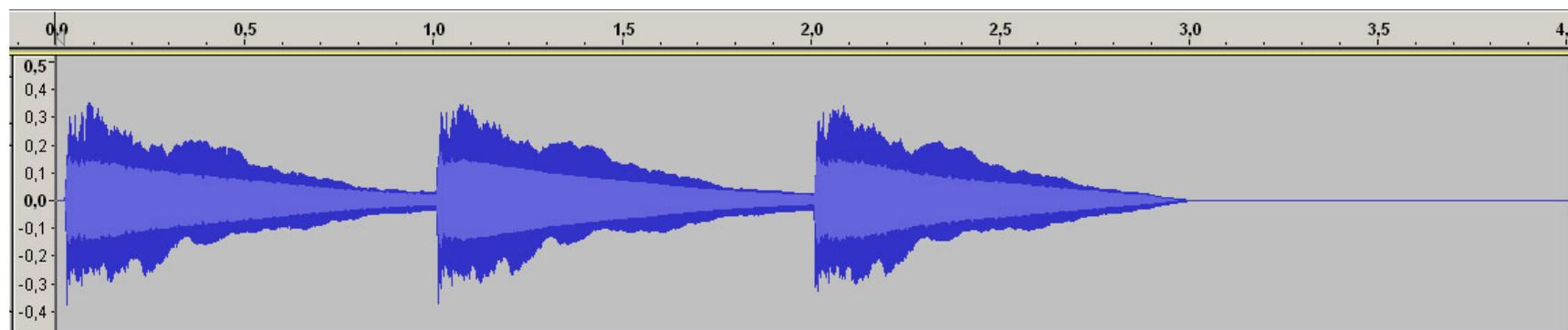
- Sostituisce il segnale originale con una versione con ritardo variabile producendo un effetto vibrato
- Risultato: vari effetti di vibrato
- Parametri:
 - Frequenza dell'onda di modulazione del segnale
 - Ampiezza dell'onda di modulazione del segnale

Editing digitale – Tremolo



Editing digitale – Operazioni sulla dinamica

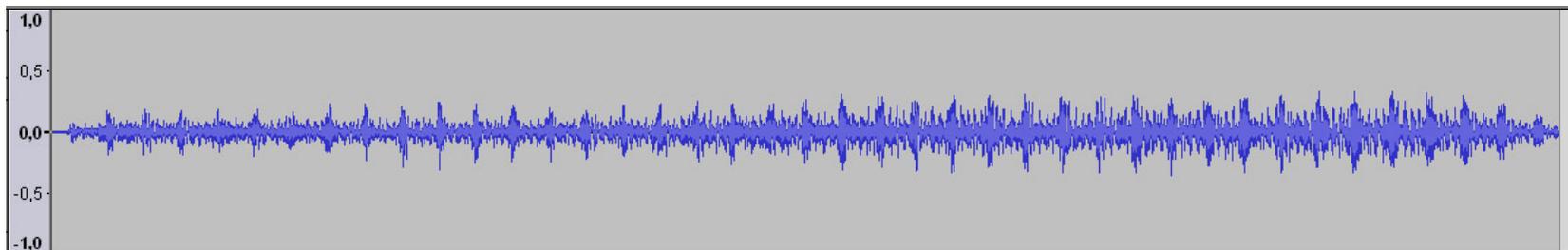
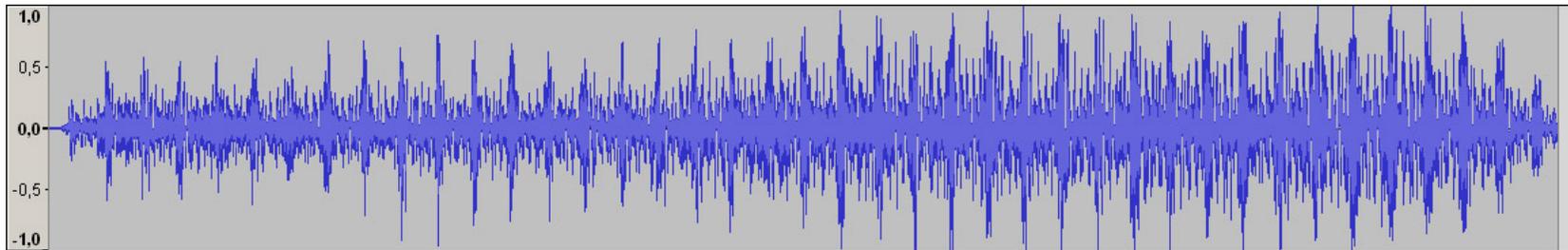
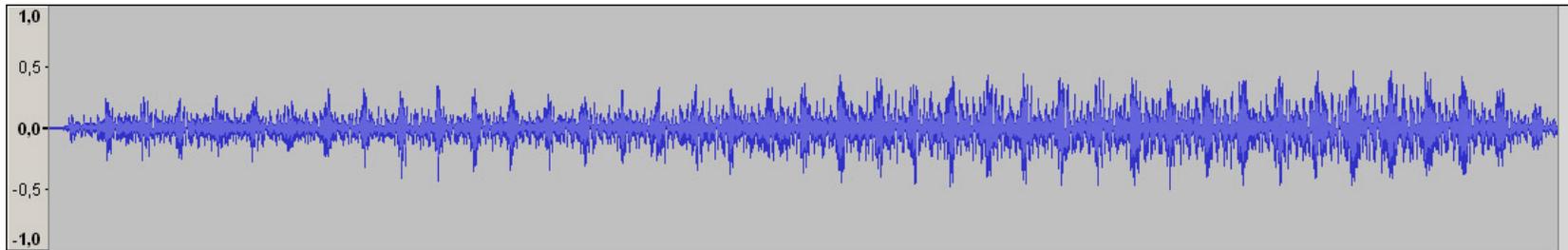
- Agiscono sull'involuppo del segnale, ottenendo un risultato percettivamente diverso in termini di volume (e anche di timbro)



Operazioni sulla dinamica – Amplificazione

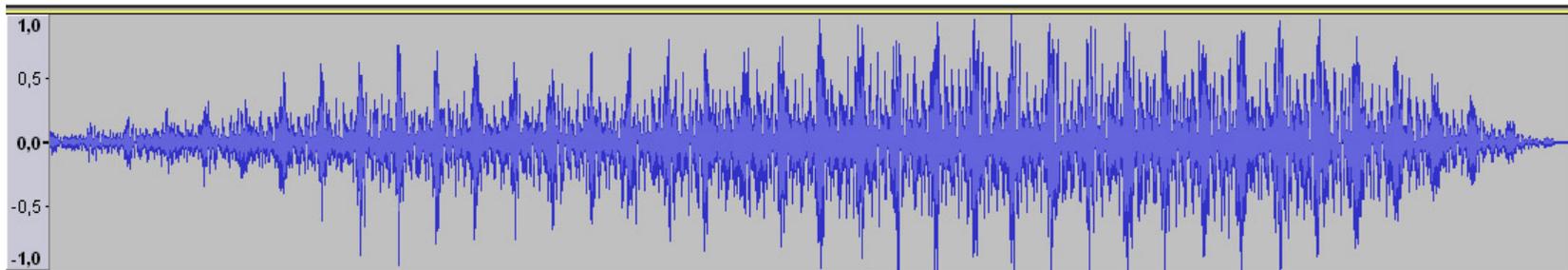
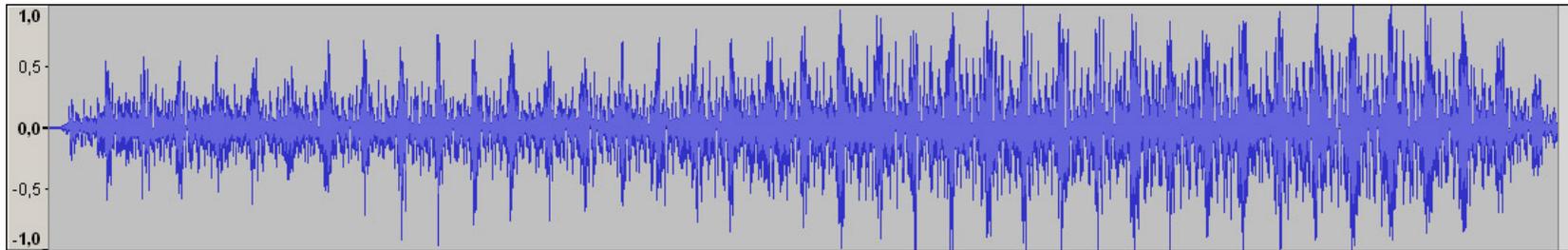
- Aumento/attenuazione dell'ampiezza del segnale (moltiplicazione/divisione di tutti i campioni per una costante)
- Amplificazione uniforme (su tutto l'involuppo) o dinamicamente variabile nel tempo
 - Fade in, fade out
- Risultato: costruzione dell'immagine sonora, miglioramento del segnale di sintesi
- Parametri:
 - Incremento/decremento dell'ampiezza (dB)
 - Tempi di fade in/out (punto di inizio e fine)
 - Disegno dell'involuppo

Operazioni sulla dinamica – Amplificazione



Operazioni sulla dinamica – Amplificazione

- Fade in, Fade out



Operazioni sulla dinamica – Normalizzazione

- Massima amplificazione possibile senza produrre distorsione (clipping)
- Risultato: uniforma diverse porzioni di segnali diversi alla stessa altezza; operazione di pre-processo prima della diminuzione del numero di bit/campione
- Parametri:
 - Percentuale rispetto alla massima altezza possibile (100% = 0 dB)



Operazioni sulla dinamica – Panning

- Posizionamento (o movimento) del suono su due o più canali – bilanciamento (anche variabile nel tempo) del segnale tra i canali
- Risultato: si ottiene uno spazio sonoro virtuale; illusione di stereofonia da segnali mono
- Parametri:
 - Posizionamento dx/sx del suono
 - Andamento temporale della posizione

Esempi 9.17a-e



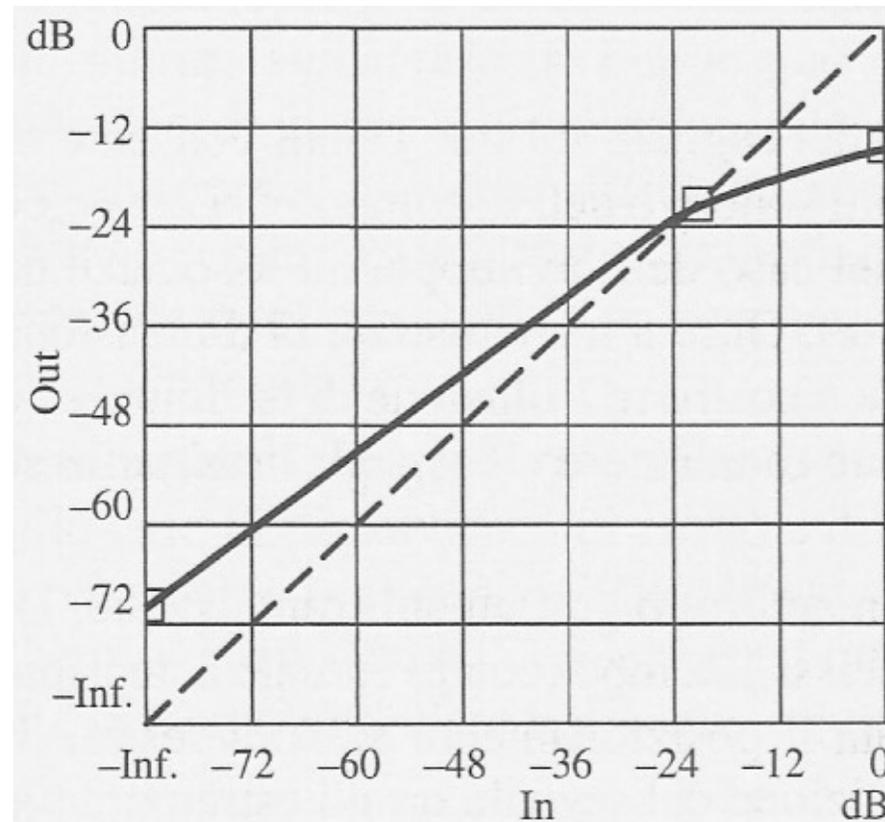
Editing della gamma dinamica

- Variare il livello di uscita di un segnale in funzione di quello di entrata
- I tipi standard di filtri in dinamica sono:
 - Compressore
 - Limitatore
 - Espansore
 - NoiseGate
- Generalmente vengono rappresentati in un grafico in cui le ascisse rappresentano il livello del segnale in ingresso e le ordinate quello in uscita (retta a 45° = nessuna modifica)



Editing della gamma dinamica

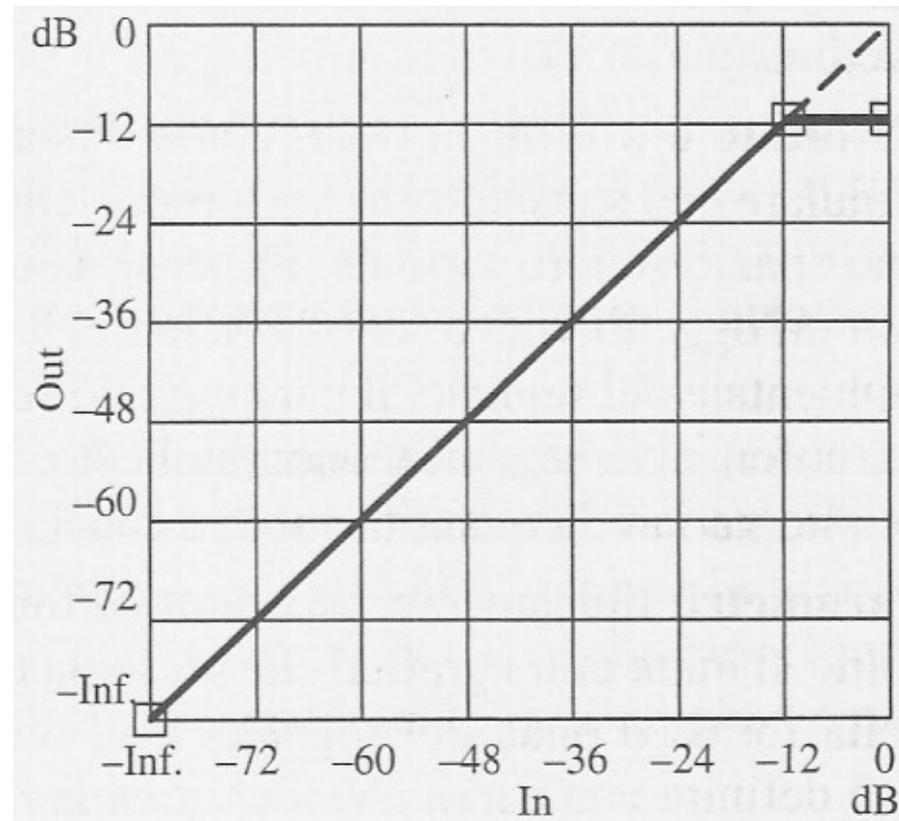
- Compressore (*compressor*)





Editing della gamma dinamica

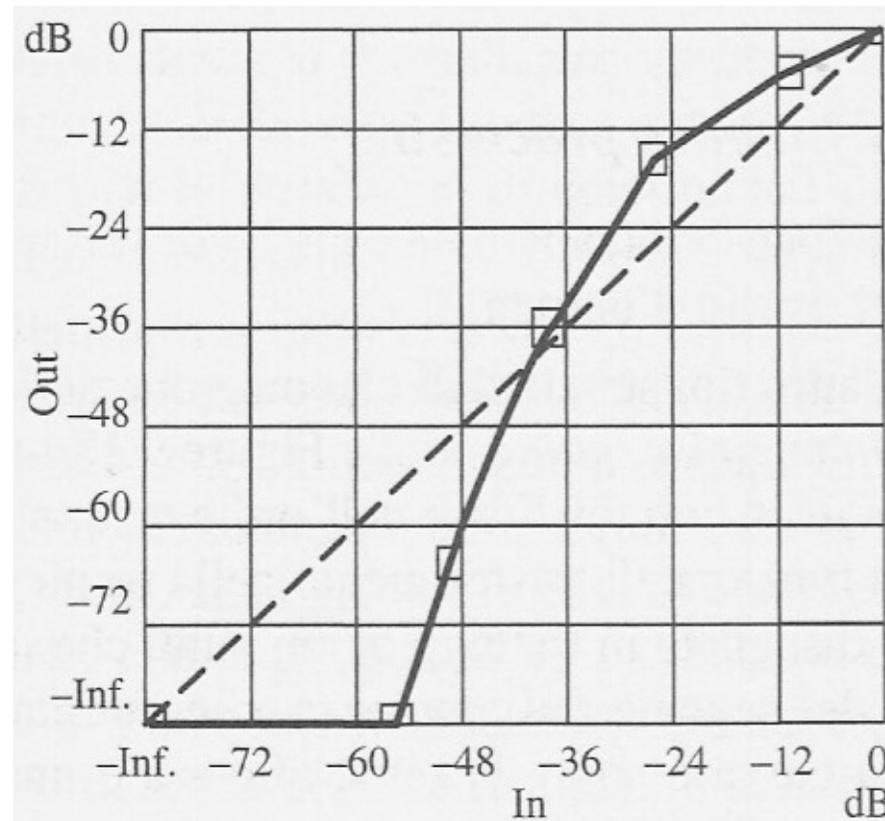
- Limitatore (*limiter*)





Editing della gamma dinamica

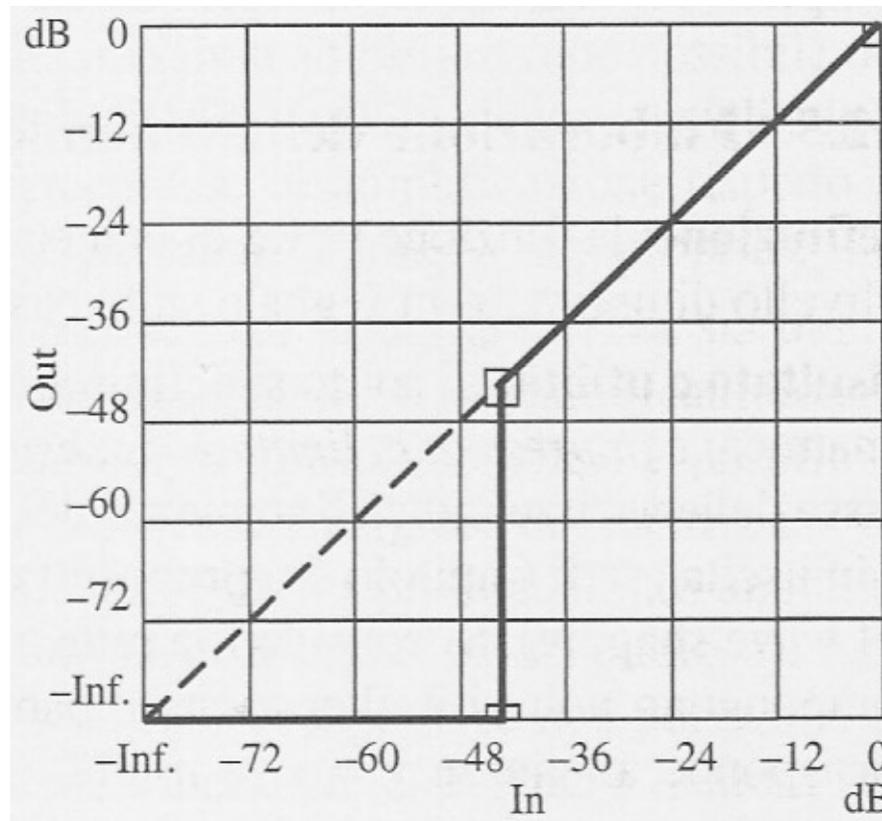
- Espansore (*expander*)





Editing della gamma dinamica

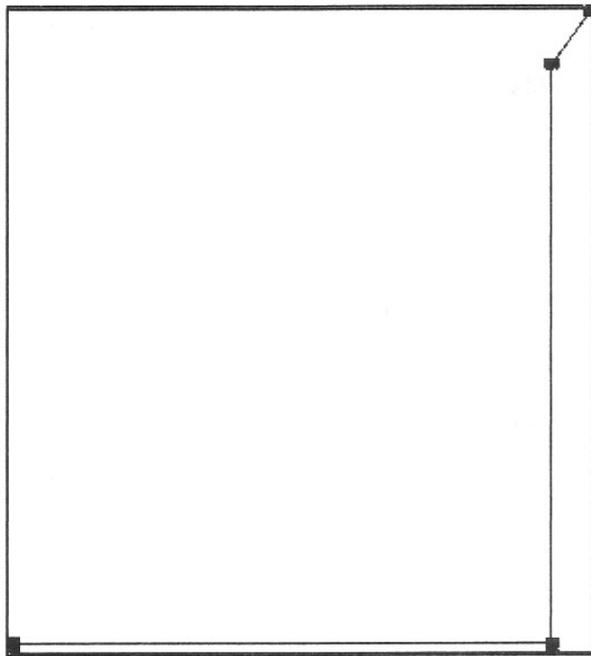
➤ Noise-gate



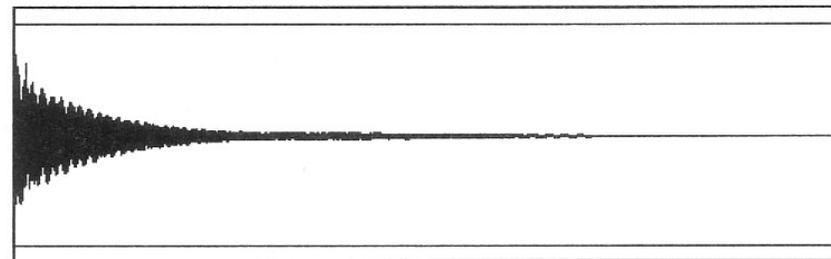
Esempi 9.18

Editing della gamma dinamica

➤ Esempio



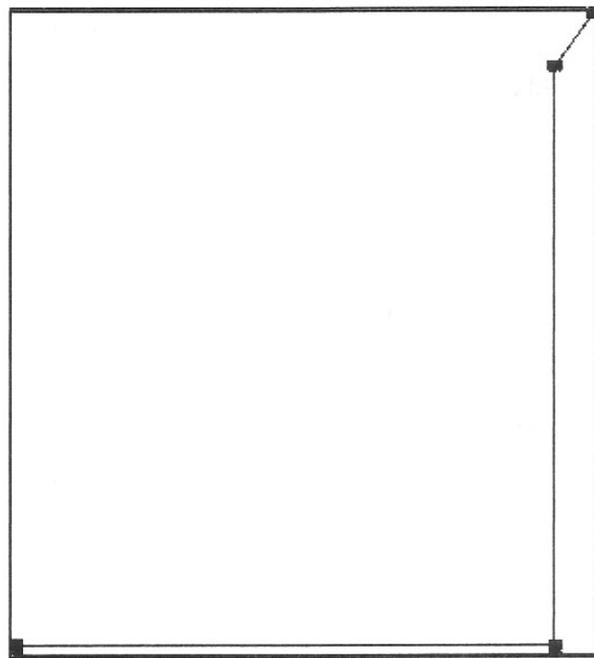
(a)



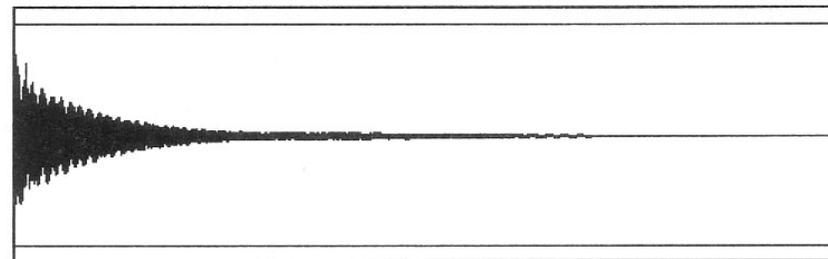
(b)

Editing della gamma dinamica

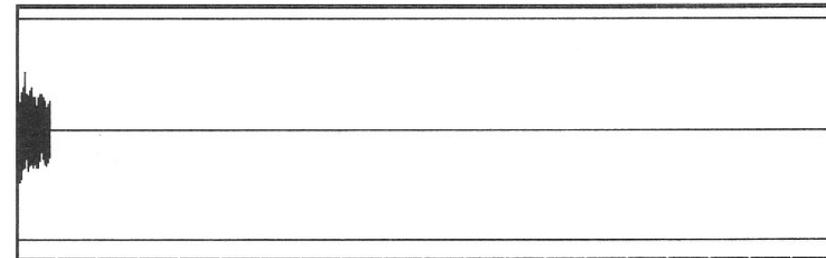
➤ Esempio



(a)



(b)



(c)

Distorsione

- Alterazione (voluta) della forma d'onda originaria del segnale per produrre timbri diversi
- Risultato: riprodurre il tipico effetto chitarristico (ottenuto originariamente sovraccaricando gli amplificatori)
- Parametri:
 - Soglia di distorsione (globale o locale)



Operazioni basate sull'analisi di Fourier

- Modificando i valori del segnale in un dominio (es.: il tempo) non vengono intaccati i valori nell'altro dominio (es.: la frequenza)
- Risultato: modificare l'intonazione senza conseguenze sulla velocità di riproduzione e viceversa
- Parametri:
 - Nel dominio della frequenza: toni (ottave) di differenza, sia in termini assoluti che in percentuale
 - Nel dominio del tempo: durata del segnale modificato, sia in termini assoluti che in percentuale
- Limiti empirici da osservare se si vuole preservare la natura del suono

Esempi 9.22, 9.23, 9.24

Registrazione digitale

- Interfaccia visuale simile a quella dei registratori analogici:
 - Volume di ingresso (Volume IN, REC Volume, ...)
 - VU Meter (visualizzazione analogica o “a barre”, peak indicator)
 - Scelta del dispositivo di input (mic, line, CD, ...)
- ...con le caratteristiche digitali:
 - Sample rate (tasso di campionamento)
 - Bit rate (tasso di quantizzazione)
- Possibilità di punch-in
- La scheda audio gioca il ruolo fondamentale (si occupa della conversione A/D)

Restauro audio

- Una delle applicazioni più sfruttate dell'elaborazione digitale dei suoni
- Riduzione dei rumori, con tecniche mirate in base alla loro origine
- Disturbi continui
 - Sibili (*hiss*), rumore bianco/rosa (*noise*), crepitii (*crackle*), disturbi armonici (*hum*)
 - La loro eliminazione si basa sulla campionatura del rumore
- Disturbi pulsivi
 - "Click" della puntina del disco
 - Si possono eliminare con procedure automatiche, ma meglio manualmente