



Università degli Studi di Palermo  
*Dipartimento di Ingegneria Informatica*



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

Anno Accademico 2009/2010

Docente: ing. Salvatore Sorce

## **Elaborazione digitale dell'audio**

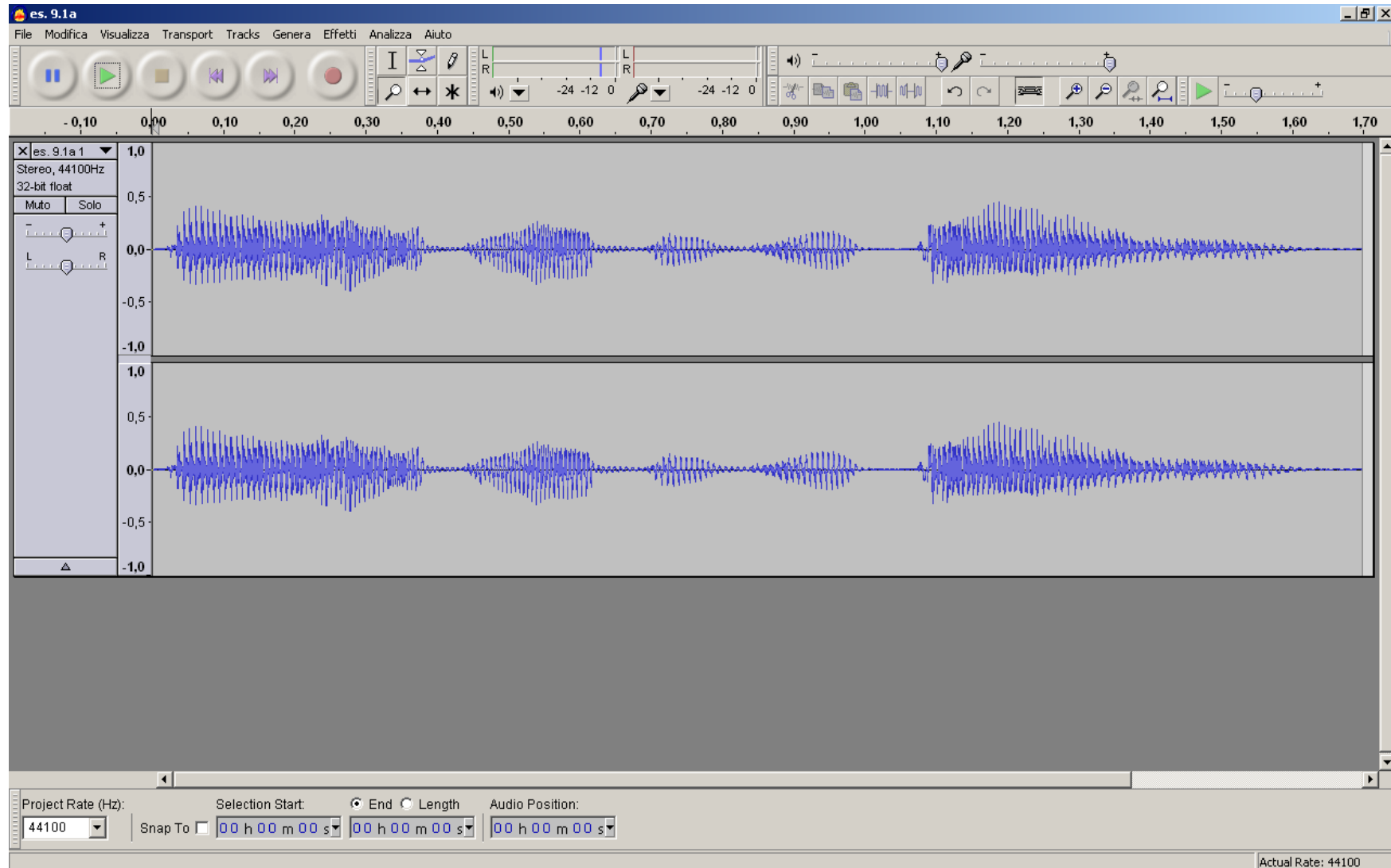
Facoltà di Lettere e Filosofia



## 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)

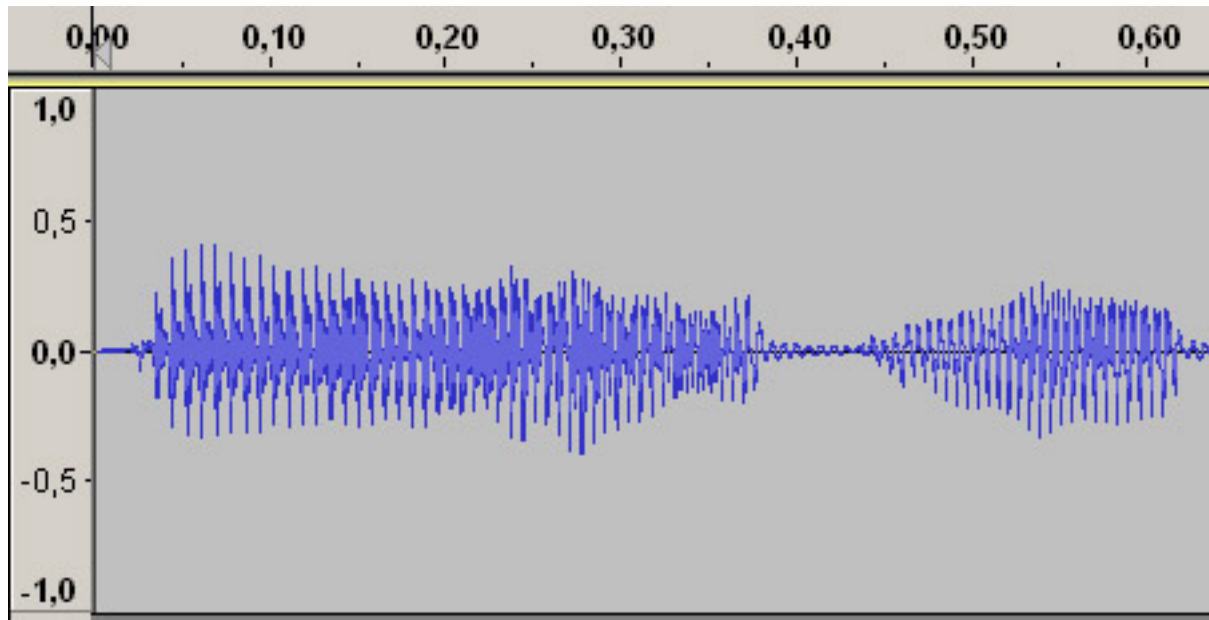
# Editing digitale





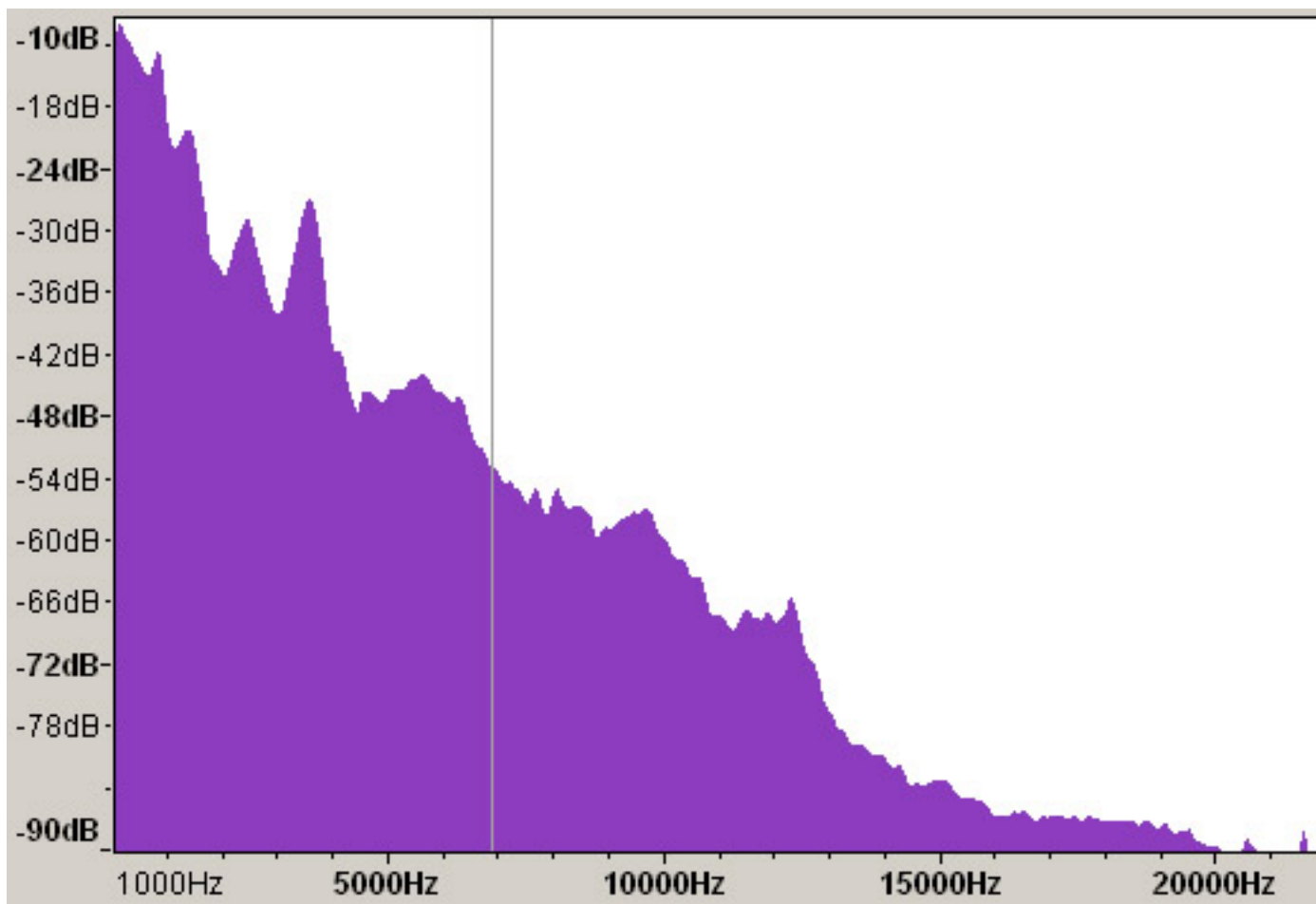
## Editing digitale - visualizzazioni

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



## Editing digitale - visualizzazioni

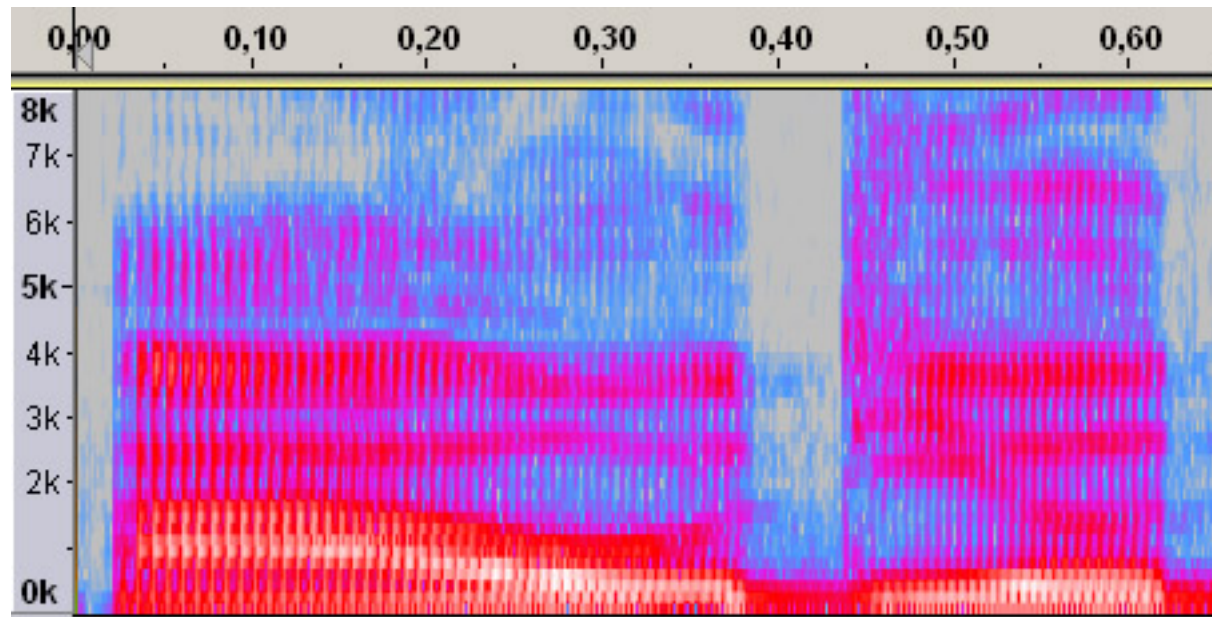
- Nel dominio della frequenza 2D (*frequency-domain*):





## Editing digitale - visualizzazioni

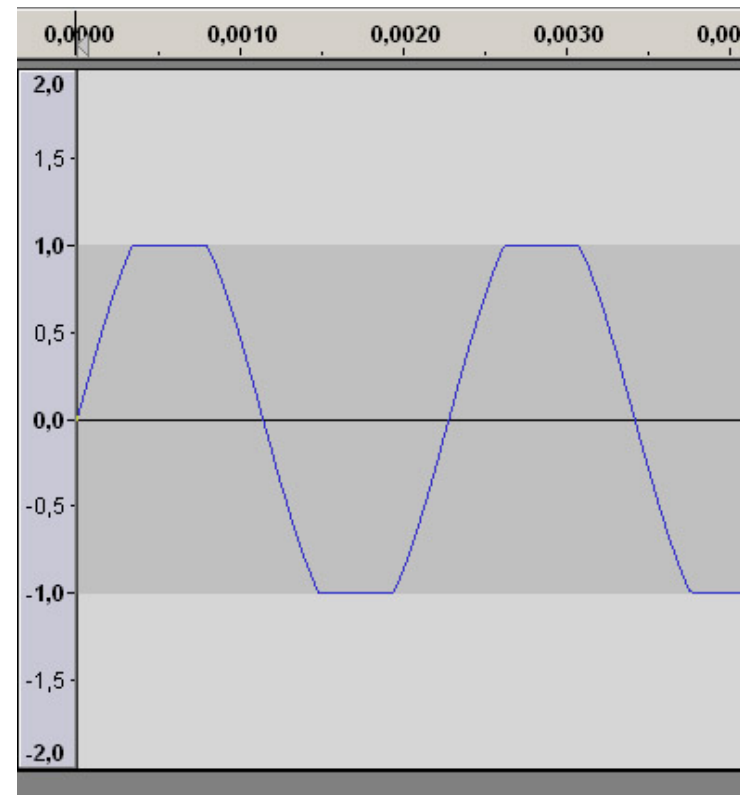
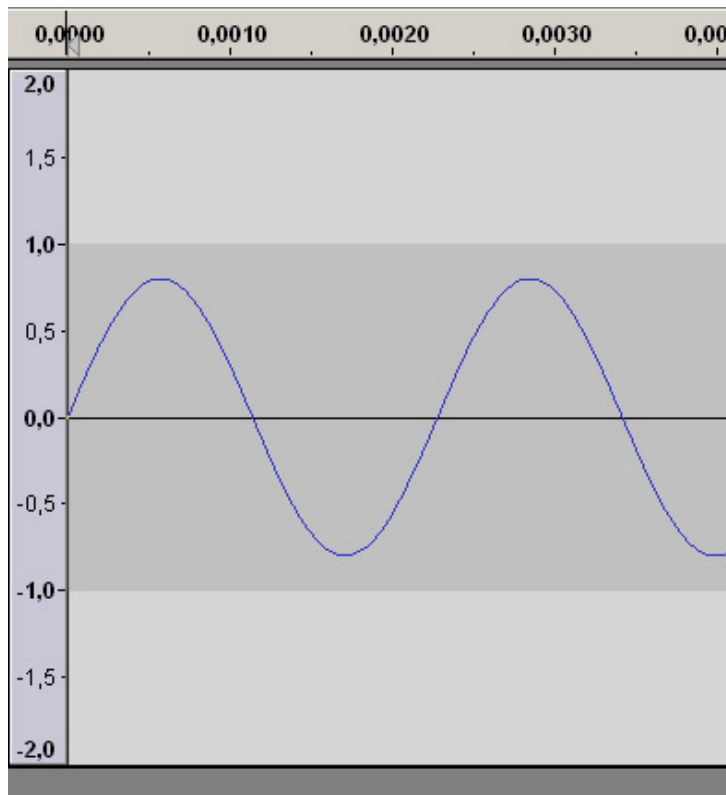
- Nel dominio della frequenza 3D (*sonogram*):



## 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

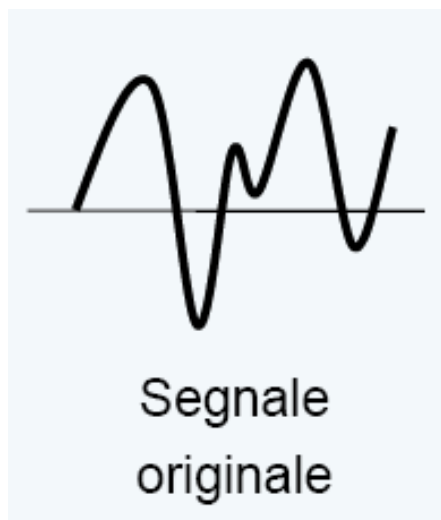
- Modifica della frequenza di campionamento del segnale (11.025, 22.050, 32.000, 44.100, 48.000, 96.000 Hz)
- Modifica della risoluzione del file (il numero di bit utilizzati per memorizzare un campione)
  - Valori comuni: 8 bit/sample, 16 bit/sample
  - 24 o 32 bit/sample usati durante le elaborazioni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

Esempi 9.1a e 9.1b



## Editing di base – Inversione

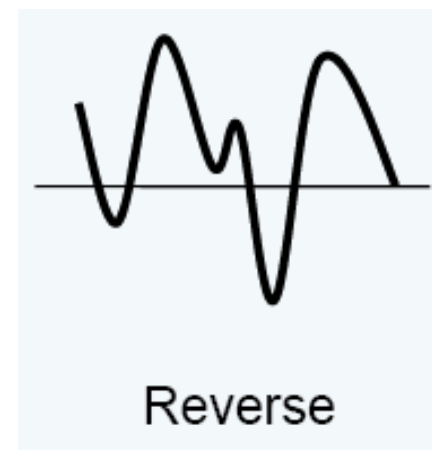
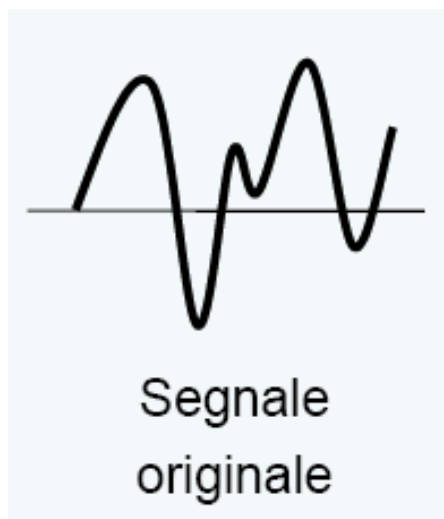
- Inversione (*Invert*): il segnale viene invertito rispetto all'asse delle ordinate (i picchi diventano gole e viceversa)
- Risultato: non percepibile se applicato ad una sola forma d'onda; variabile se associato ad altre forme d'onda
- Parametri: nessuno





## 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

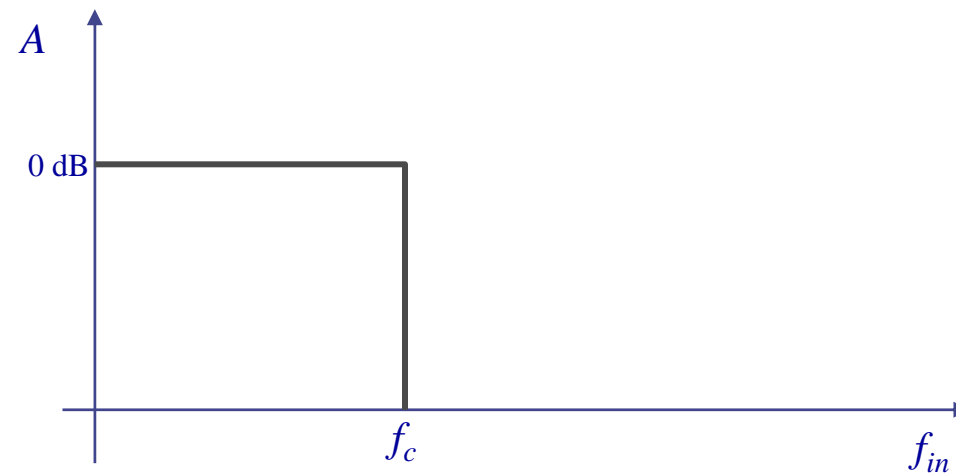
- Filtraggio: operazione di modifica dell'energia contenuta nello spettro del segnale (o in porzioni di esso)
- Operazioni svolte in diversi domini:
  - Filtri nel dominio del tempo e dello spazio
  - Filtri nel dominio della frequenza
  - Altri domini (autocorrelazione, wavelet)



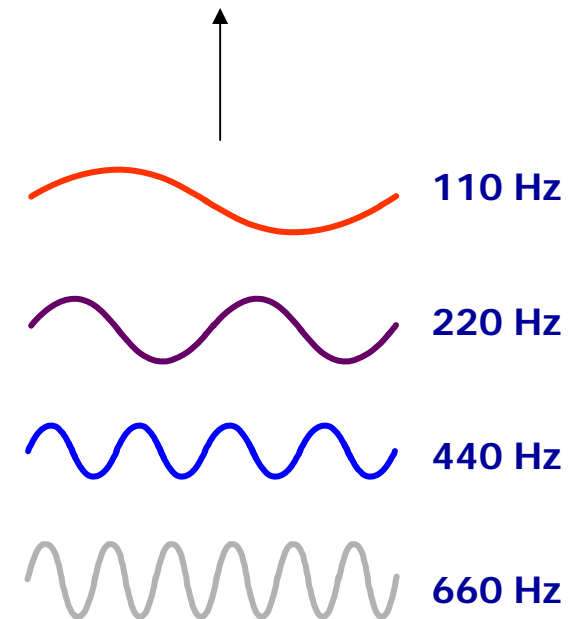
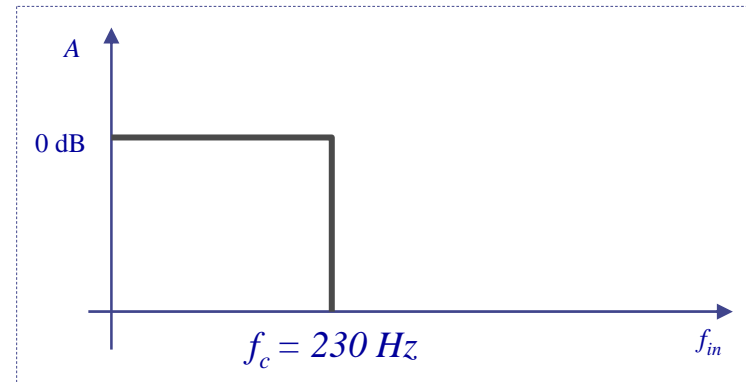
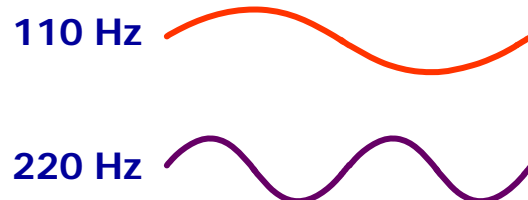


## Filtri: il passa-basso ideale

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



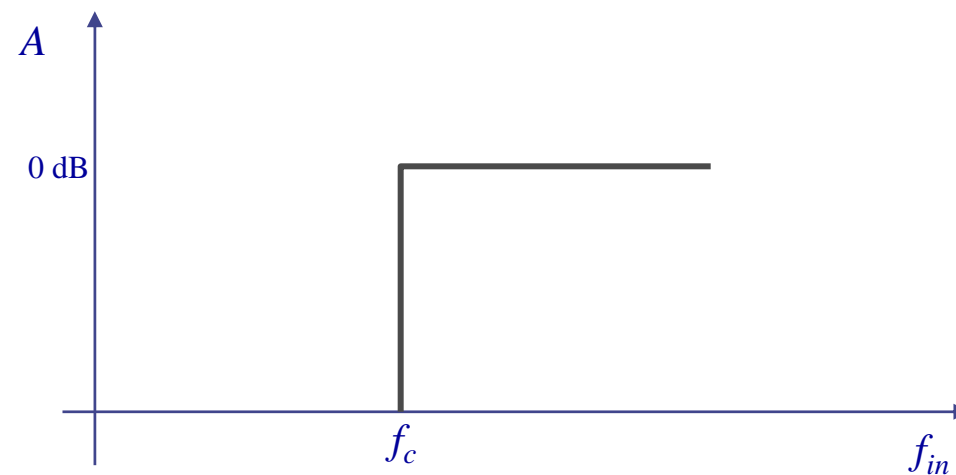
# Filtri: il passa-basso ideale



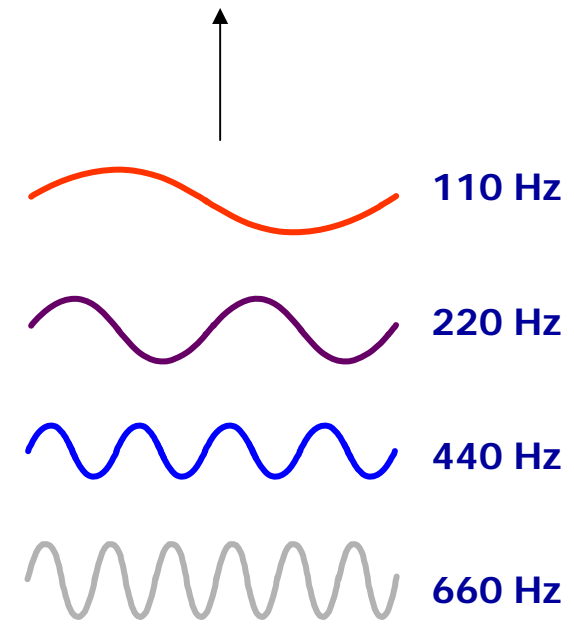
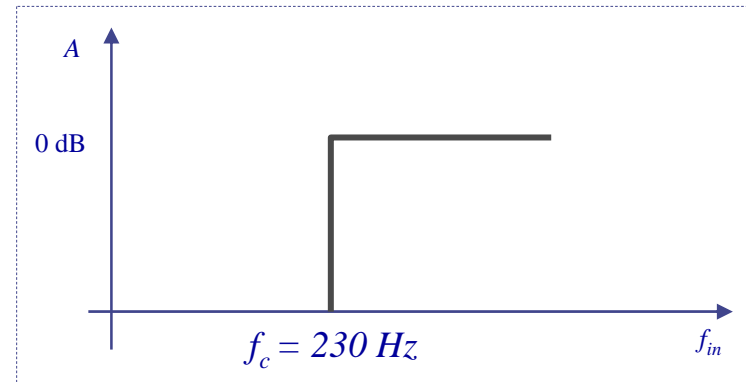
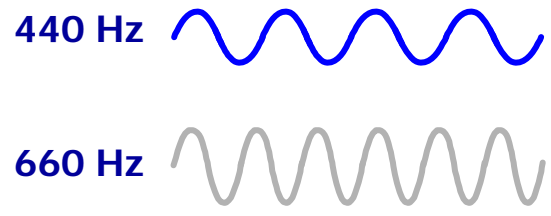


## Filtri: il passa-alto ideale

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



# Filtri: il passa-alto ideale

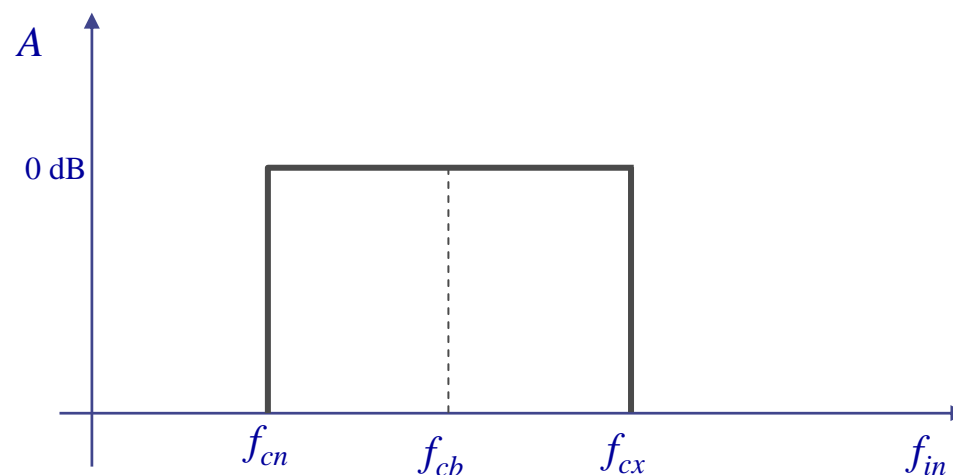




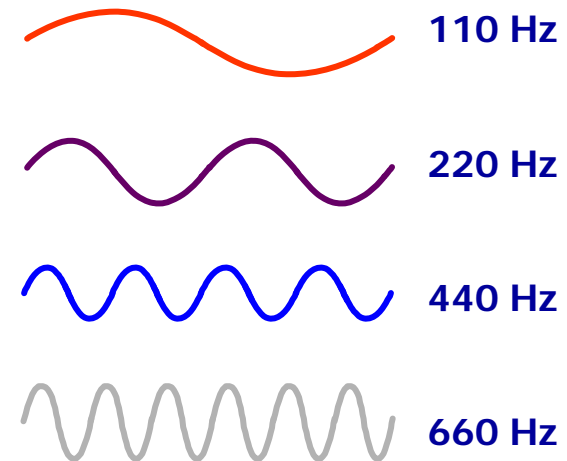
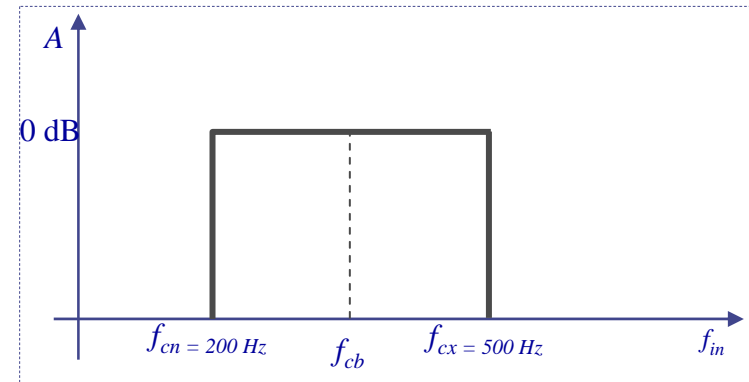
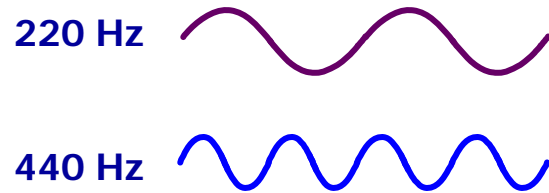


## Filtri: il passa-banda ideale

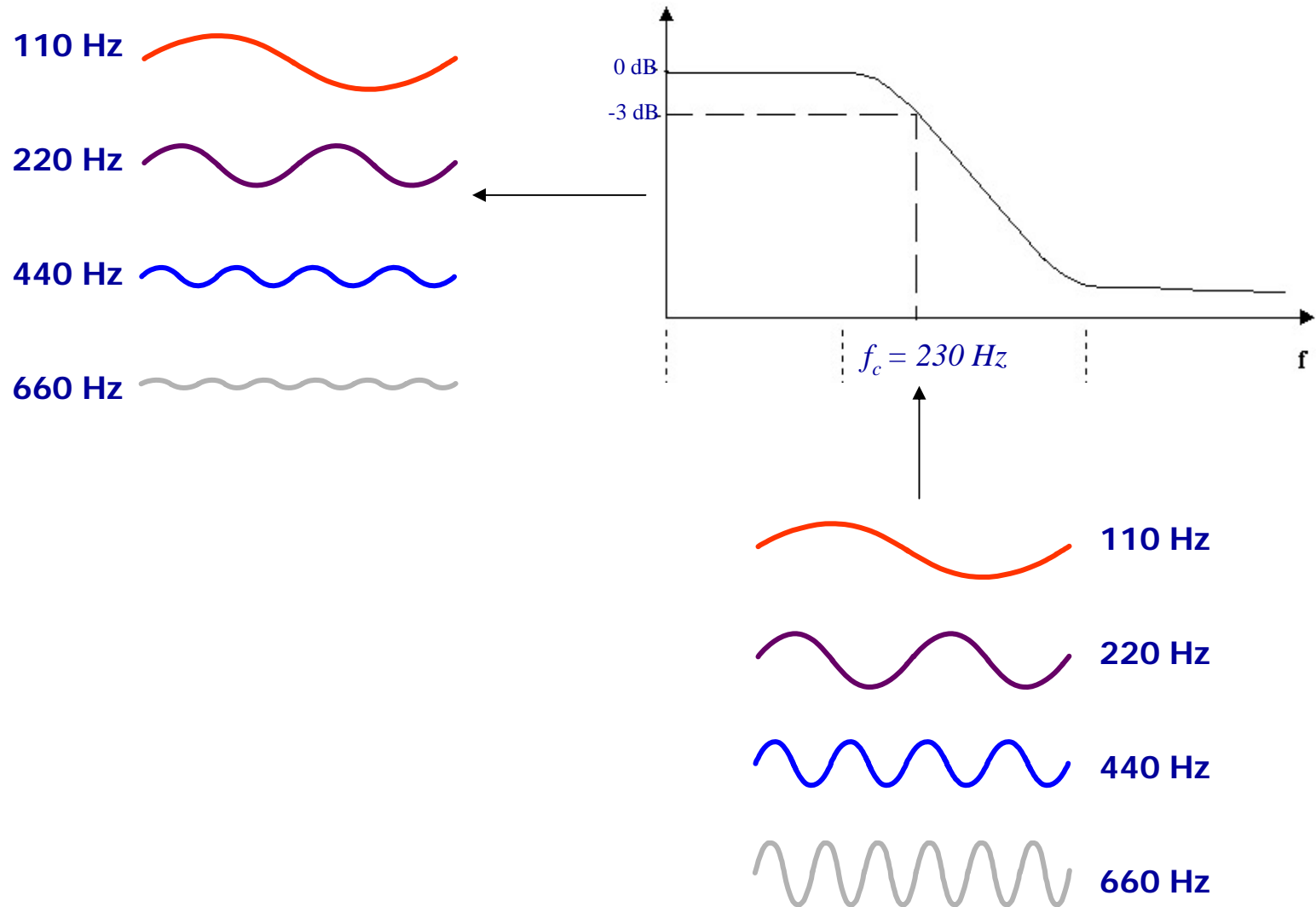
- Fa passare tutte le frequenze **comprese tra** una frequenza di taglio minima ( $f_{cn}$ ) e una massima ( $f_{cx}$ )
- Si indica anche la frequenza di centro-banda ( $f_{cb}$ ), serve nei filtri reali (vedremo)
- Funzione di trasferimento:



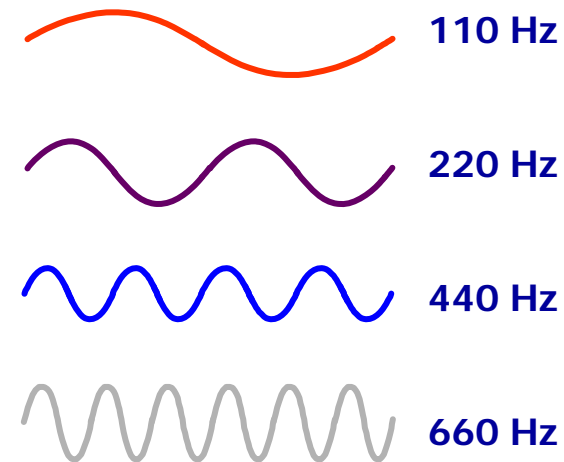
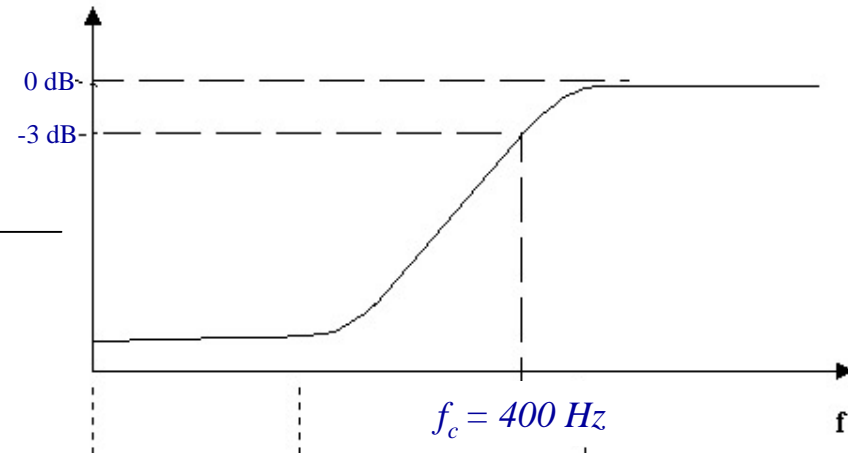
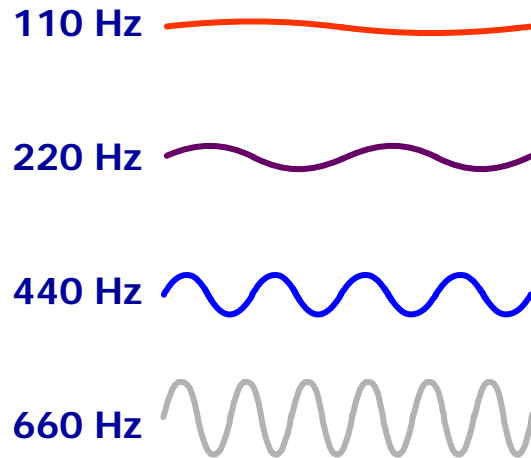
## Filtri: il passa-banda ideale



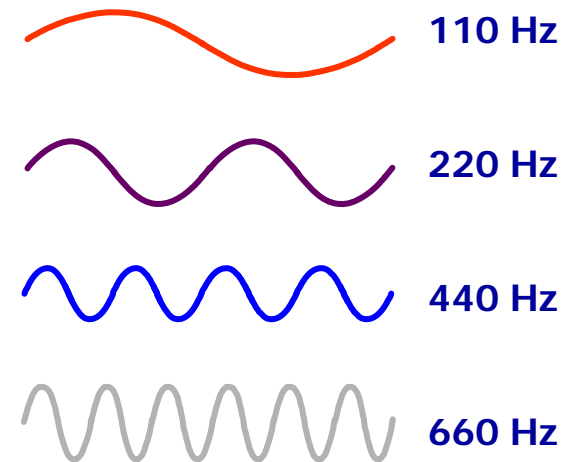
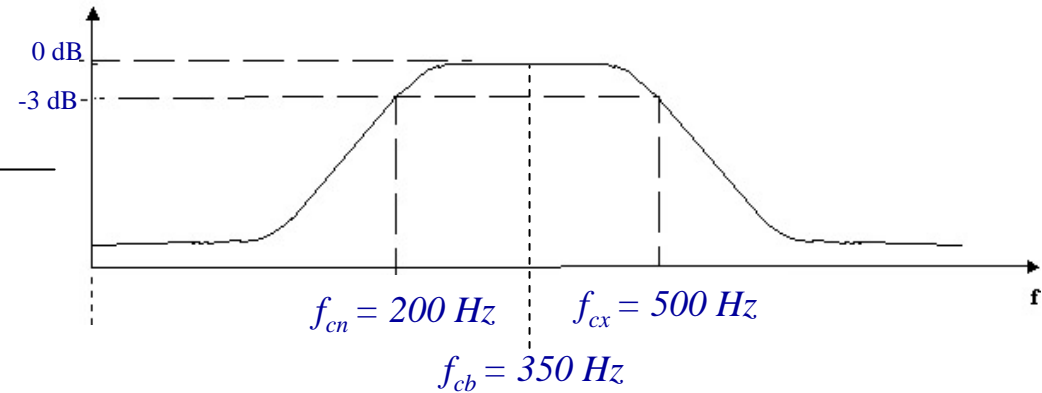
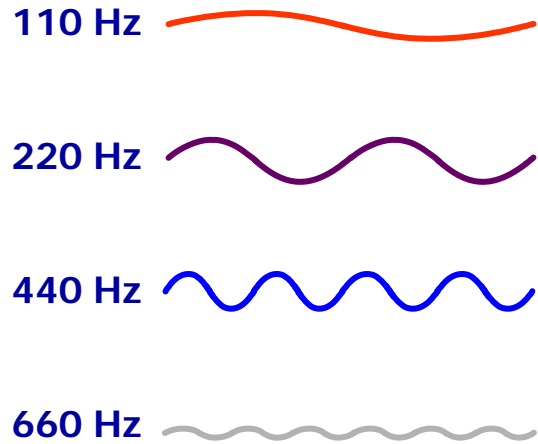
## Filtri: il passa-basso reale



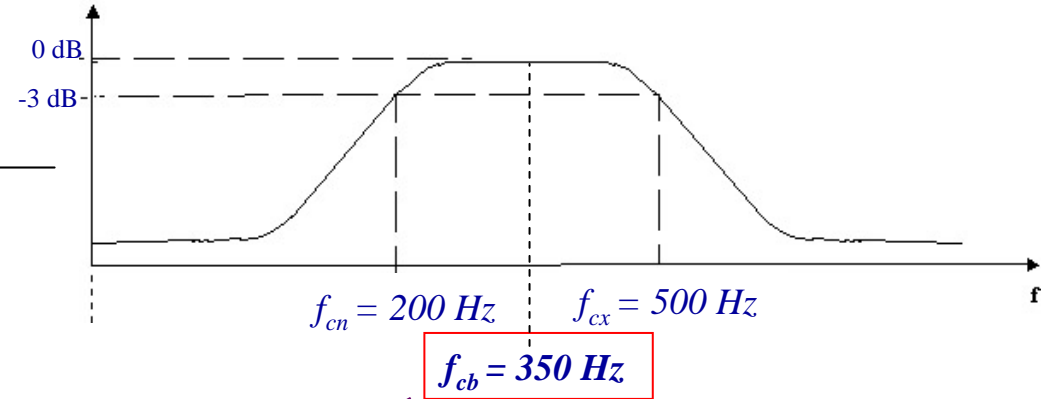
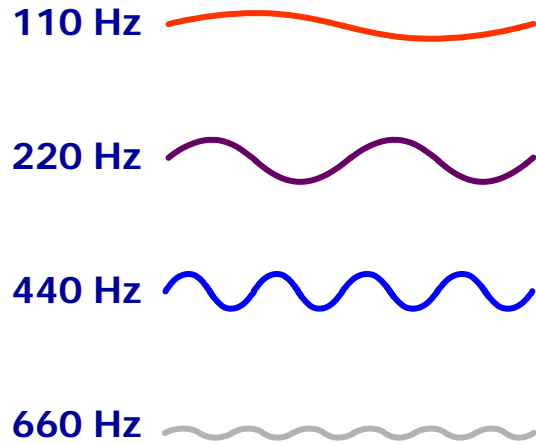
## Filtri: il passa-alto reale



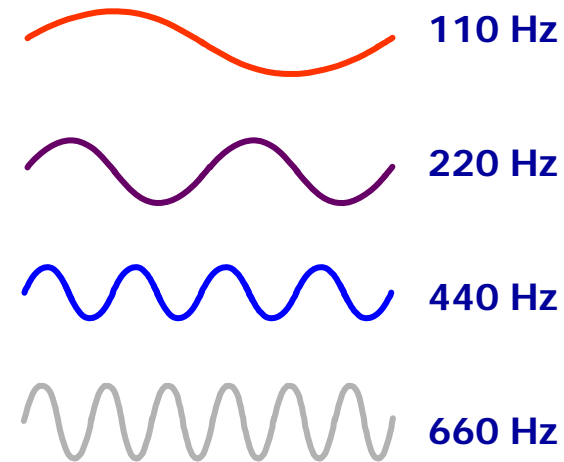
# Filtri: il passa-banda reale



## Filtri: il passa-banda reale



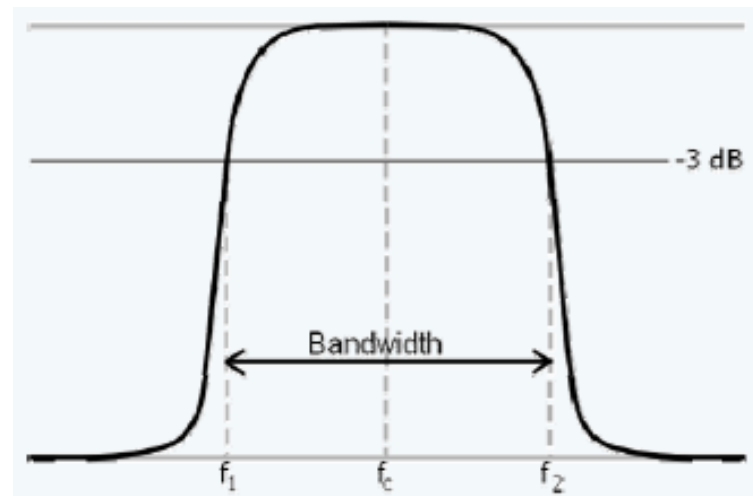
La frequenza di centro-banda indica il punto di massima efficienza del filtro





## Editing digitale – Equalizzazione

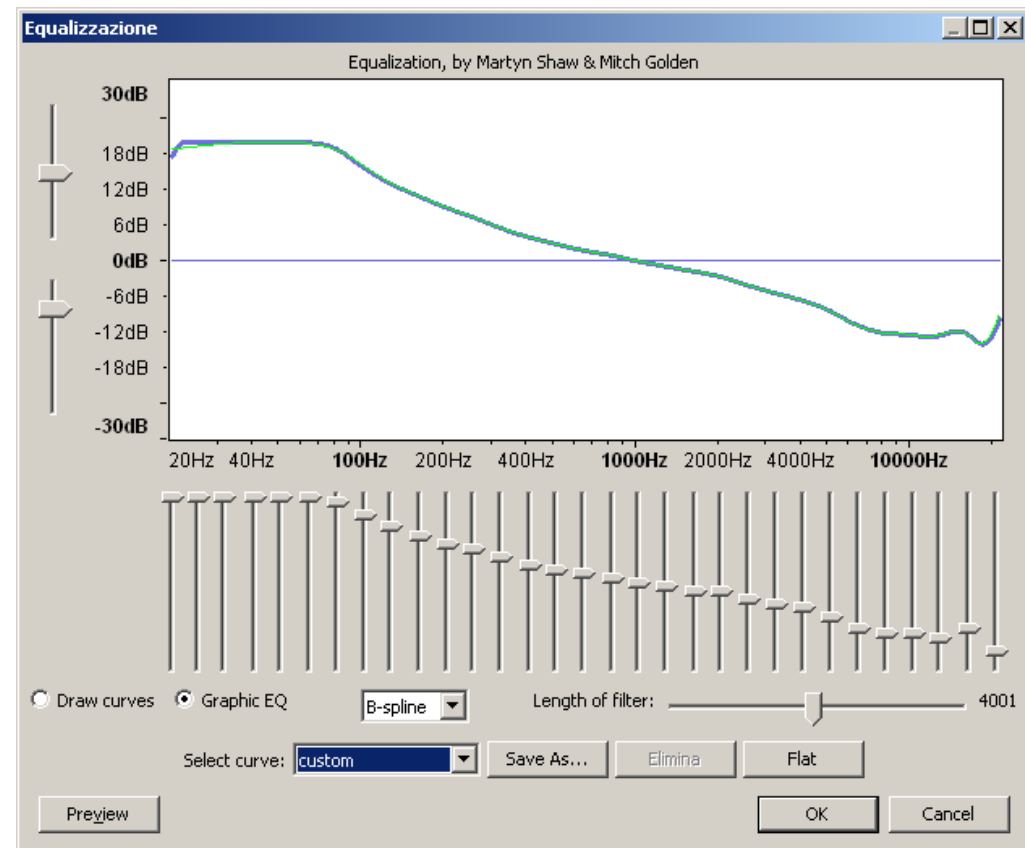
- Equalizzatore: banco di filtri passabanda.
- Il segnale viene suddiviso in aree spettrali distinte, per le quali l'energia viene aumentata o diminuita variando il guadagno (*gain*)



## 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

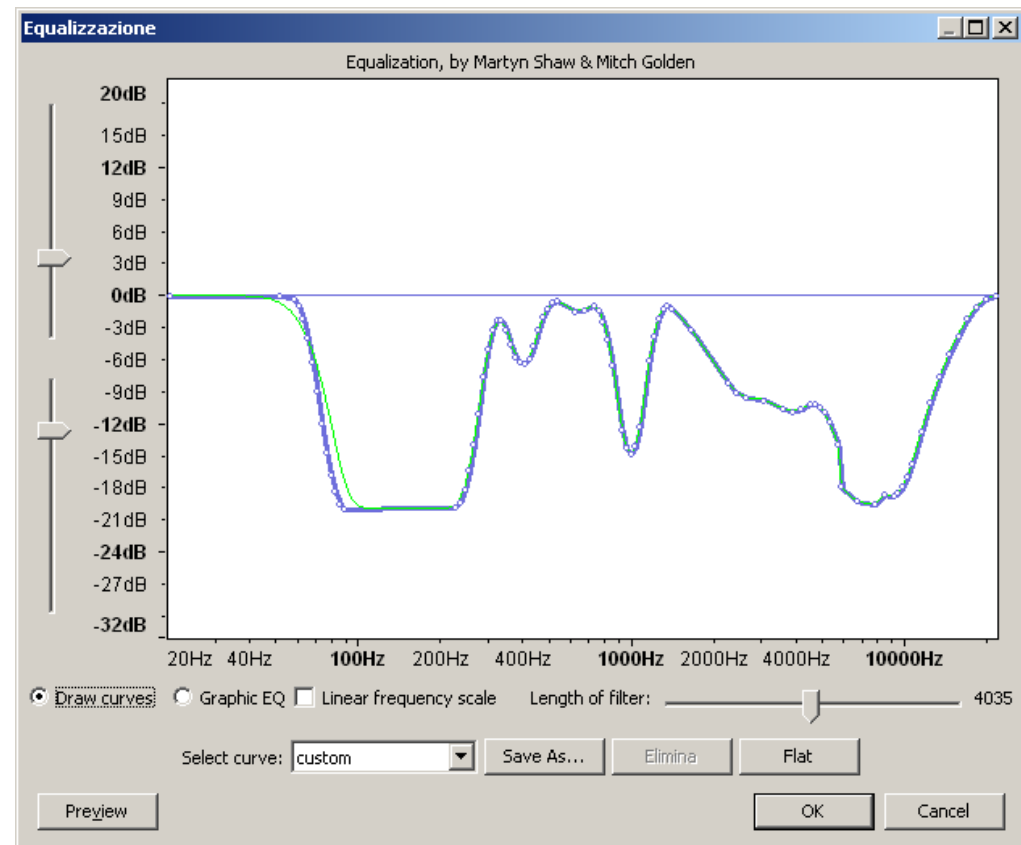
Esempi 9.4 a, b, c





## 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)

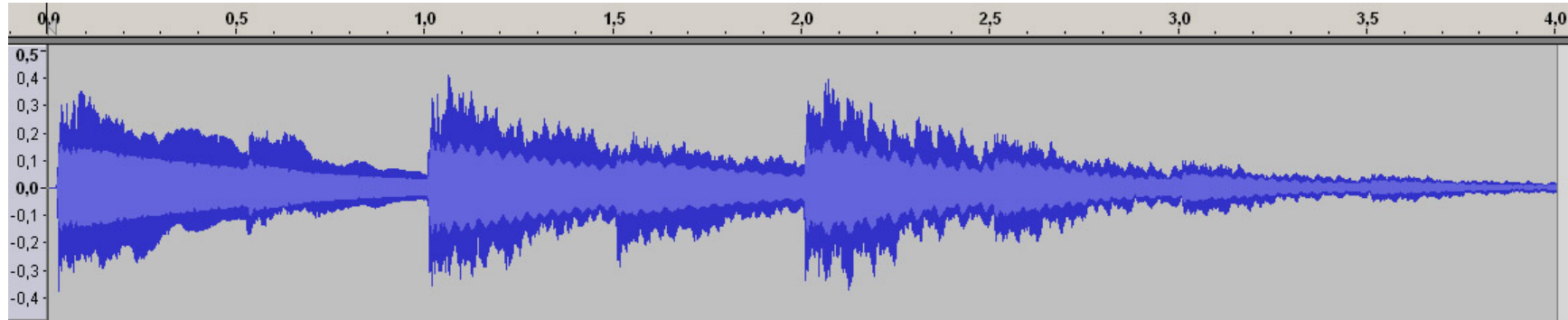
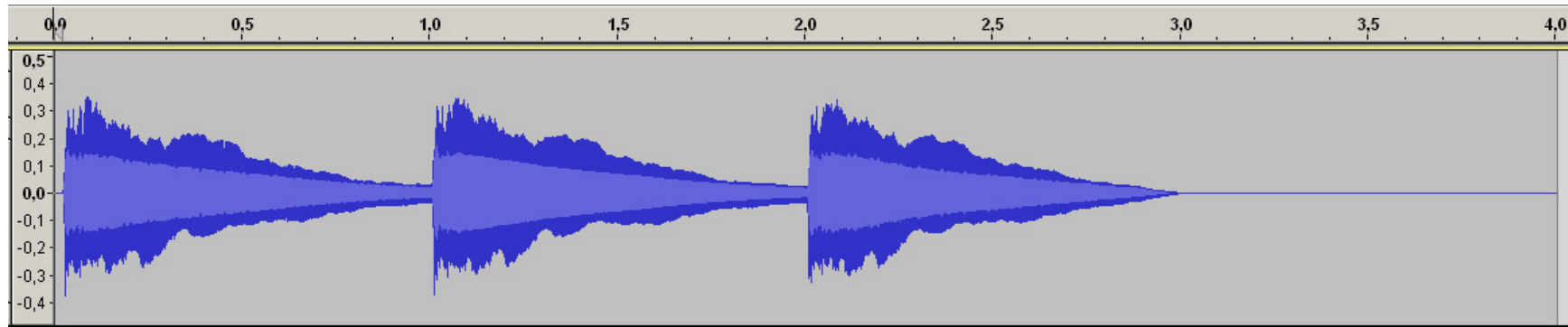
- Categoria di effetti che hanno alla base l'utilizzo di copie ritardate del segnale, miscelate con la versione originale secondo vari criteri
- Filtri a ritardo fisso:
  - Delay
  - Riverbero
- Filtri a ritardo variabile
  - Chorus
  - Flanger
  - Phaser



## 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

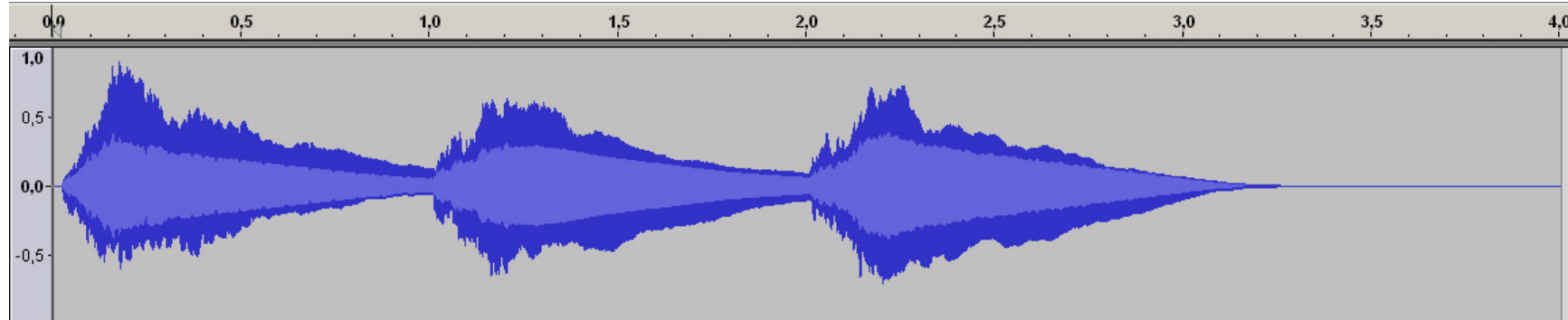
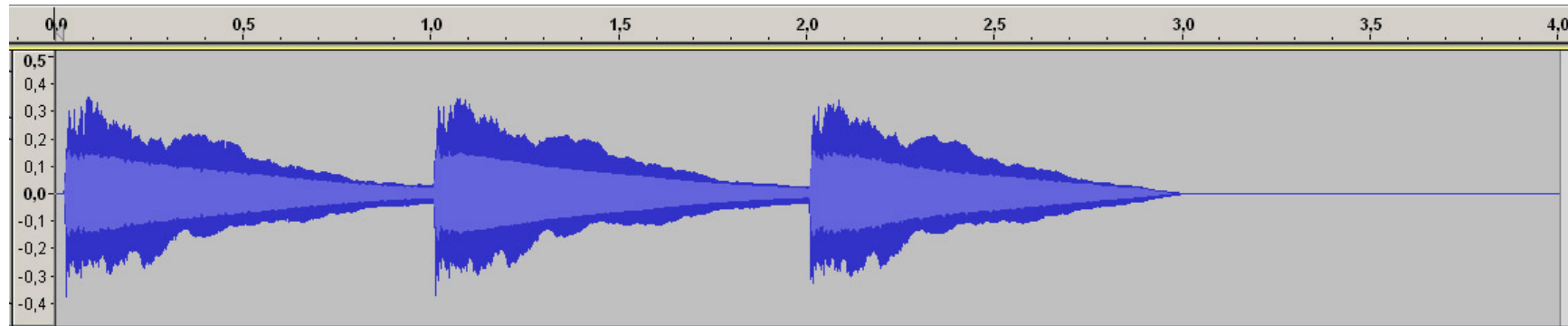


## Editing digitale – Riverbero

- 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



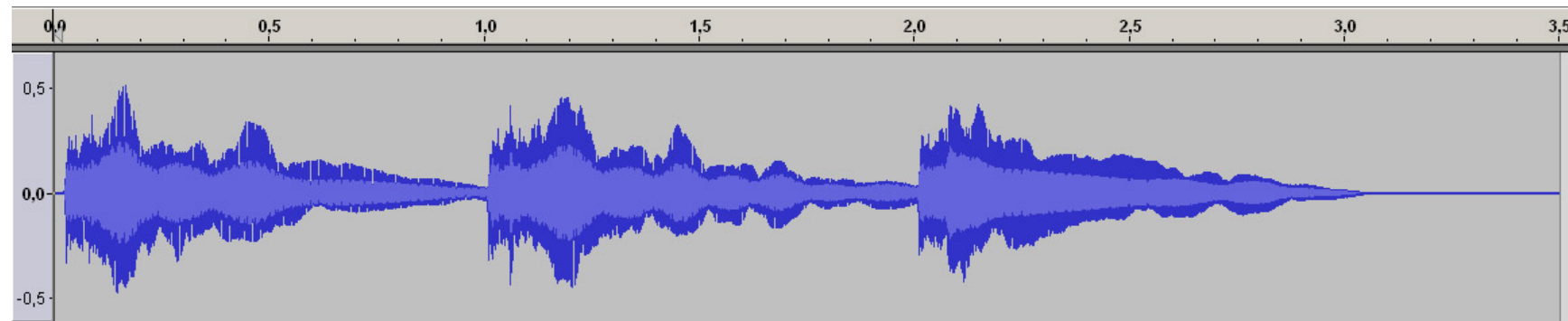
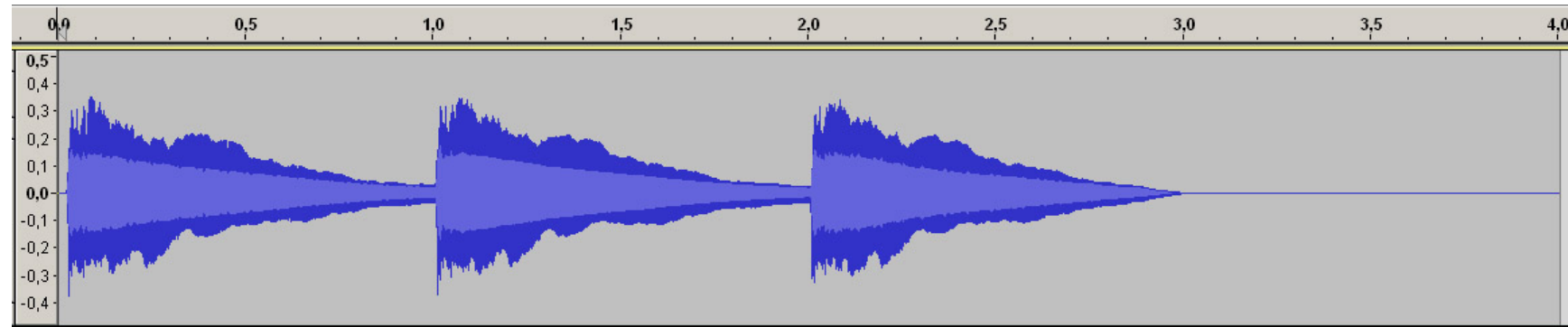
Esempi 9.15a, b, c, d



## 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

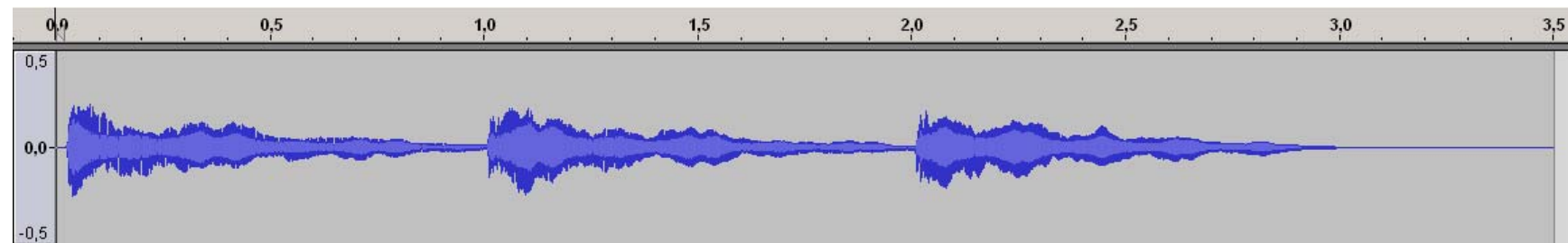
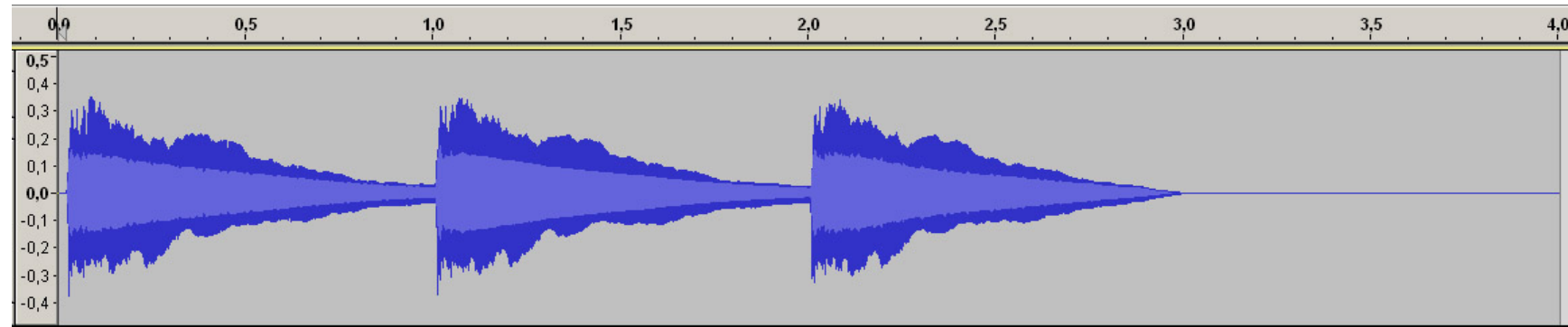




## Editing digitale – Flanger

- 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

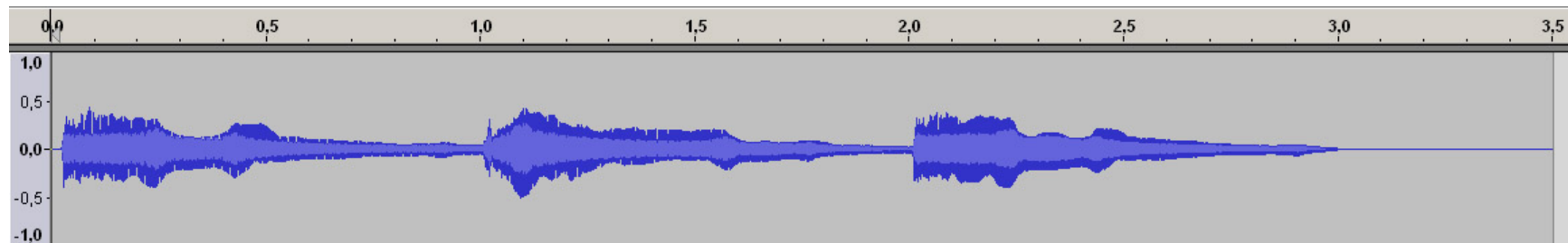
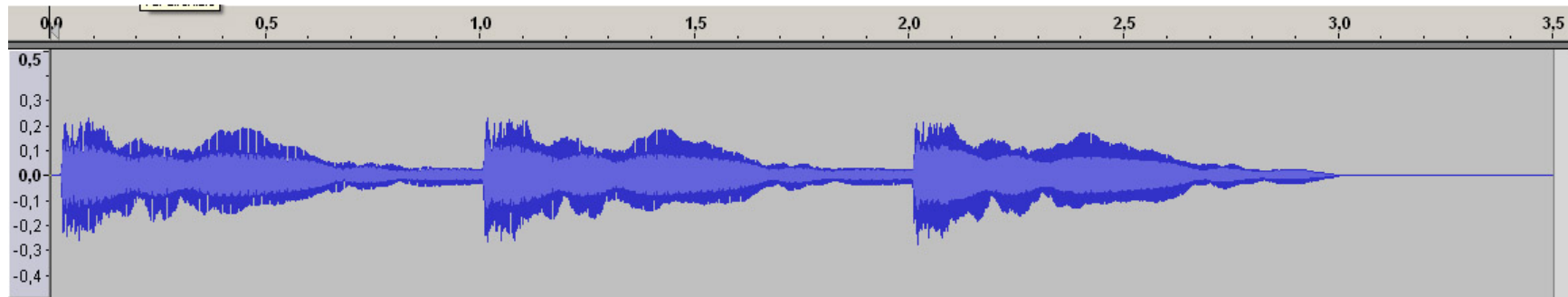
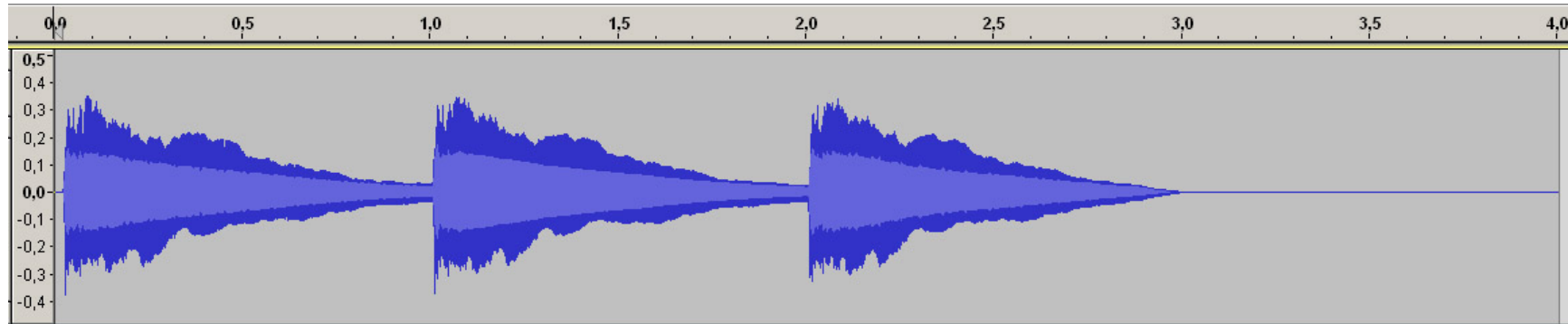


Esempi 9.8a, b, c, d

## 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



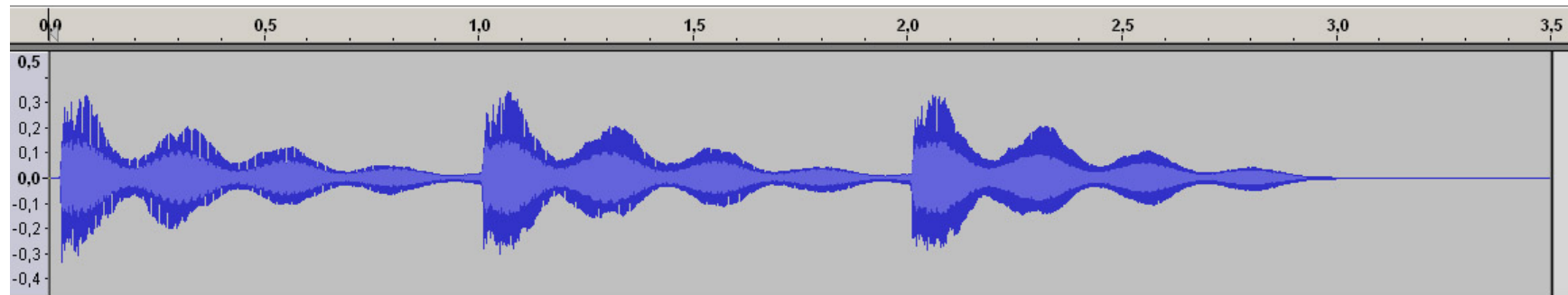
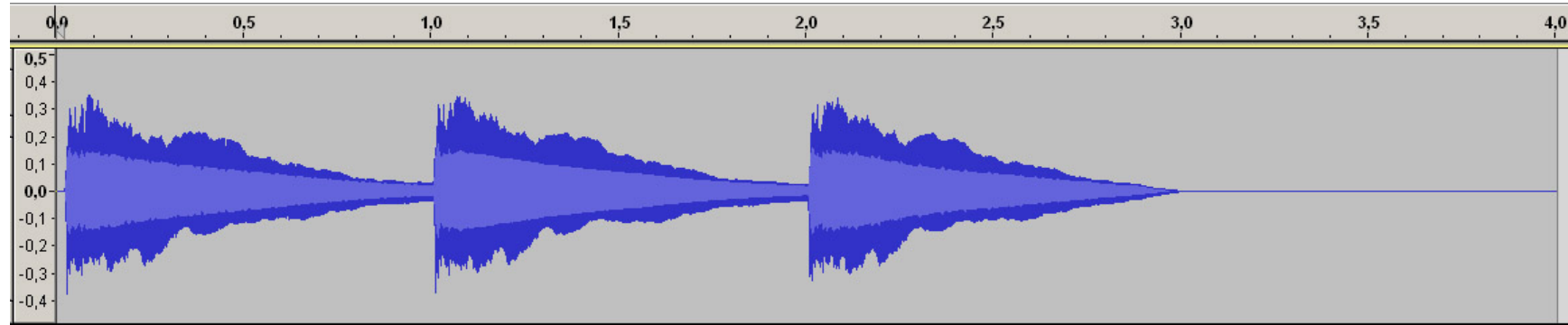
Esempi 9.9a, b, c



## 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

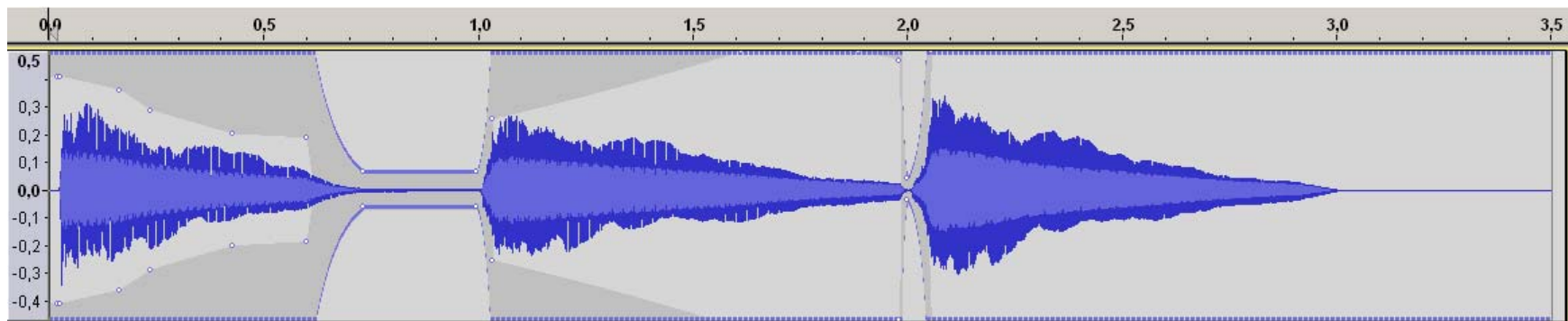
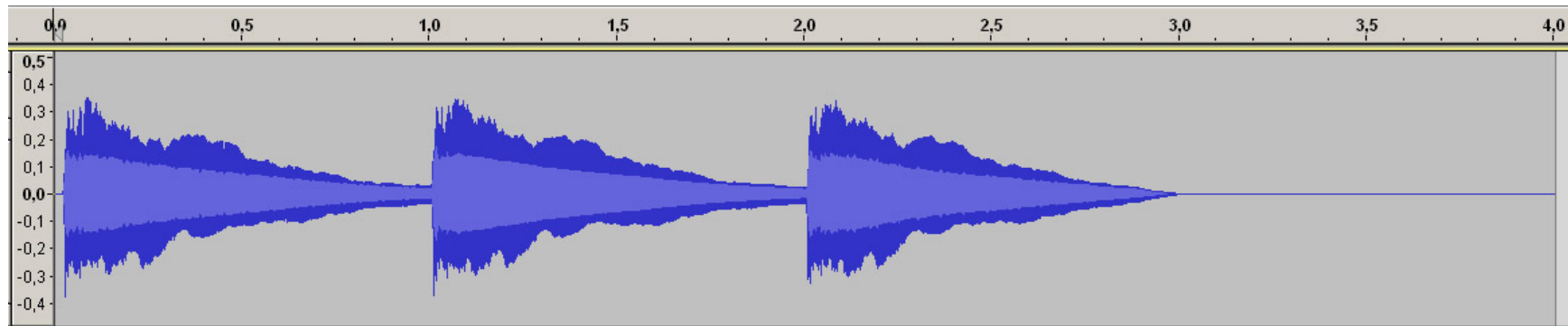
## Editing digitale – Tremolo





## Editing digitale – Operazioni sulla dinamica

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

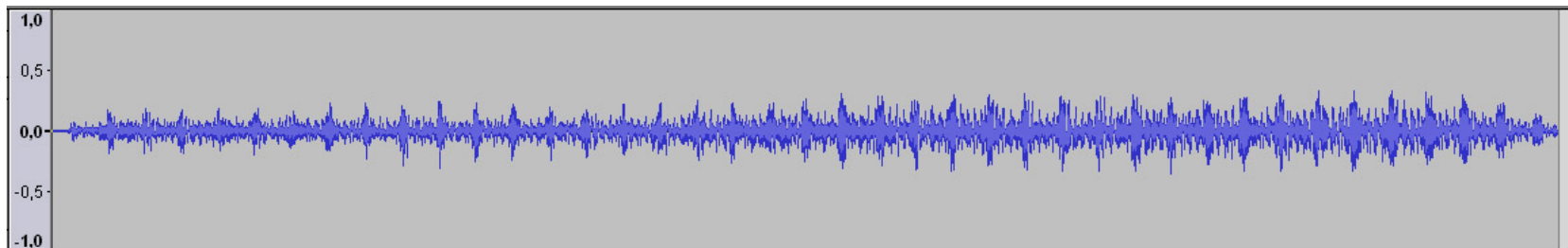
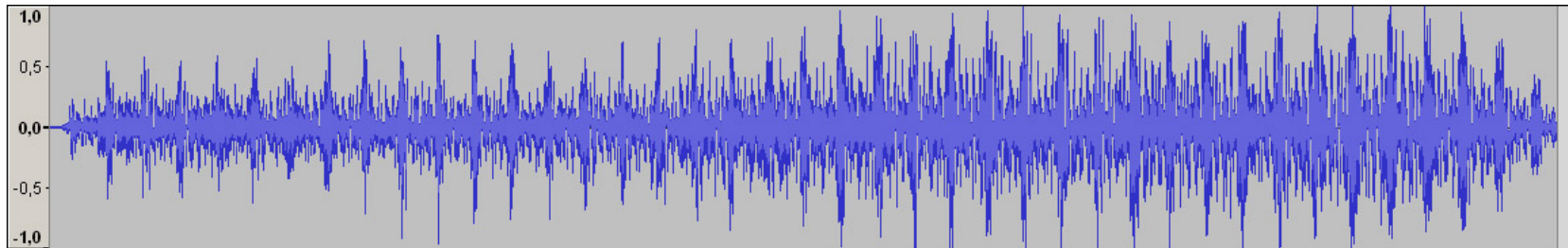
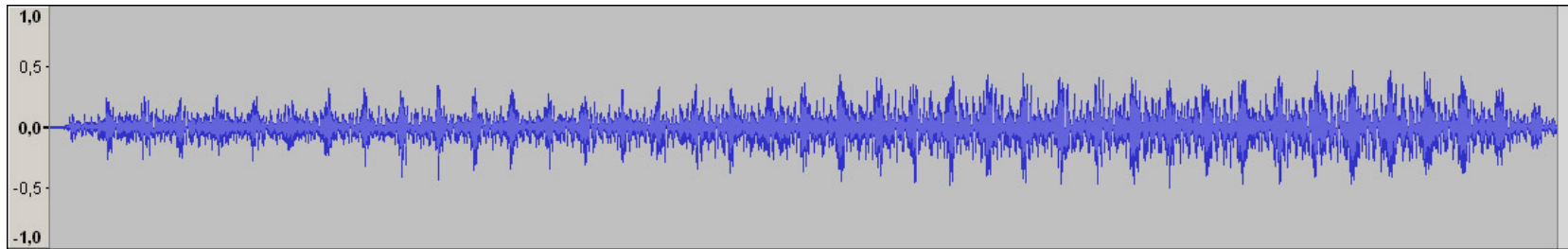


## Operazioni sulla dinamica – Amplificazione

- 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

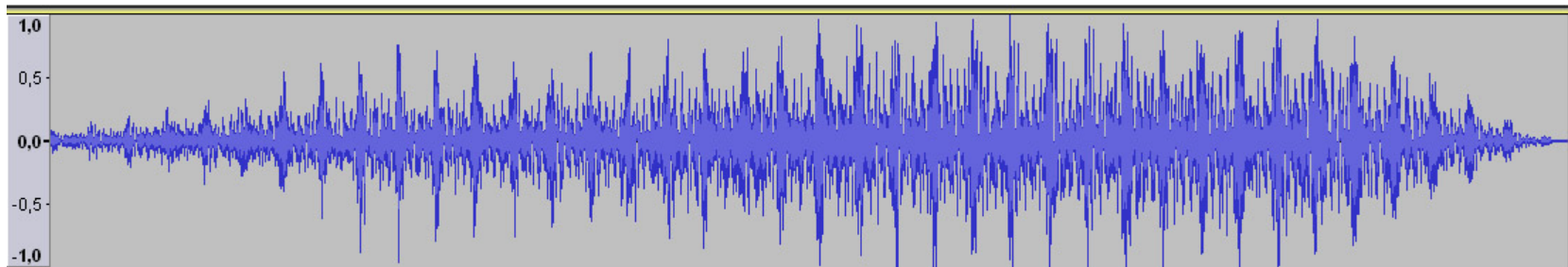
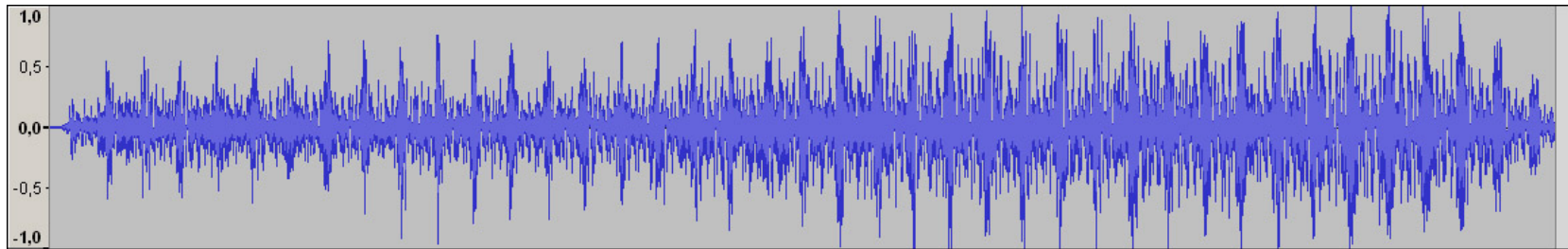


## Operazioni sulla dinamica – Amplificazione



## 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



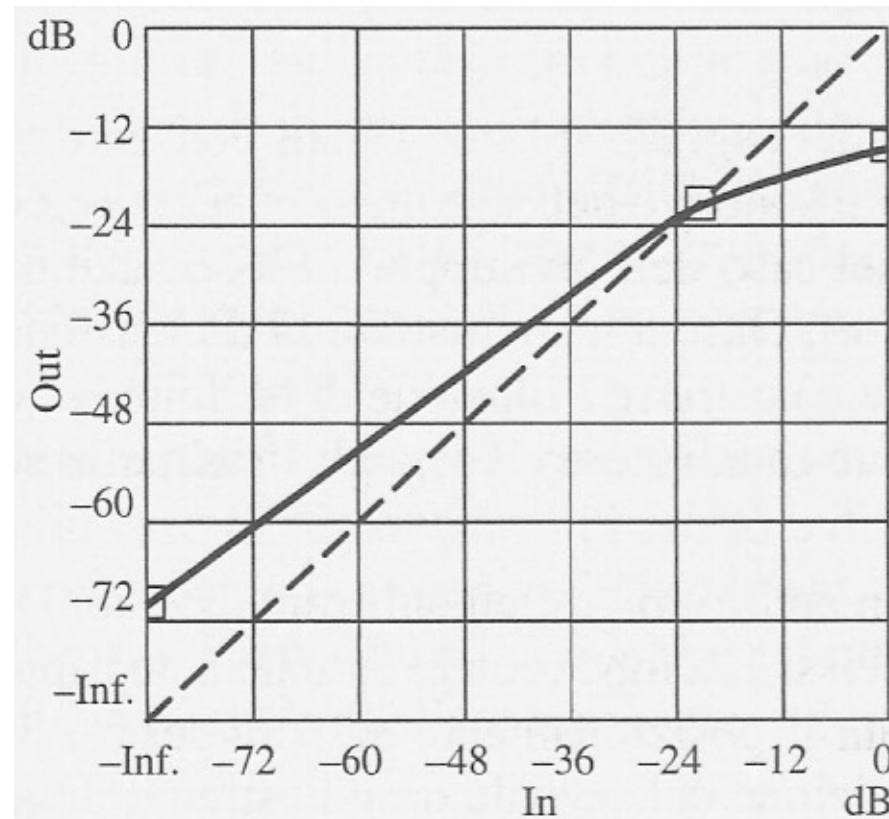
## Editing della gamma dinamica

- 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  $45^\circ$  = nessuna modifica)



## Editing della gamma dinamica

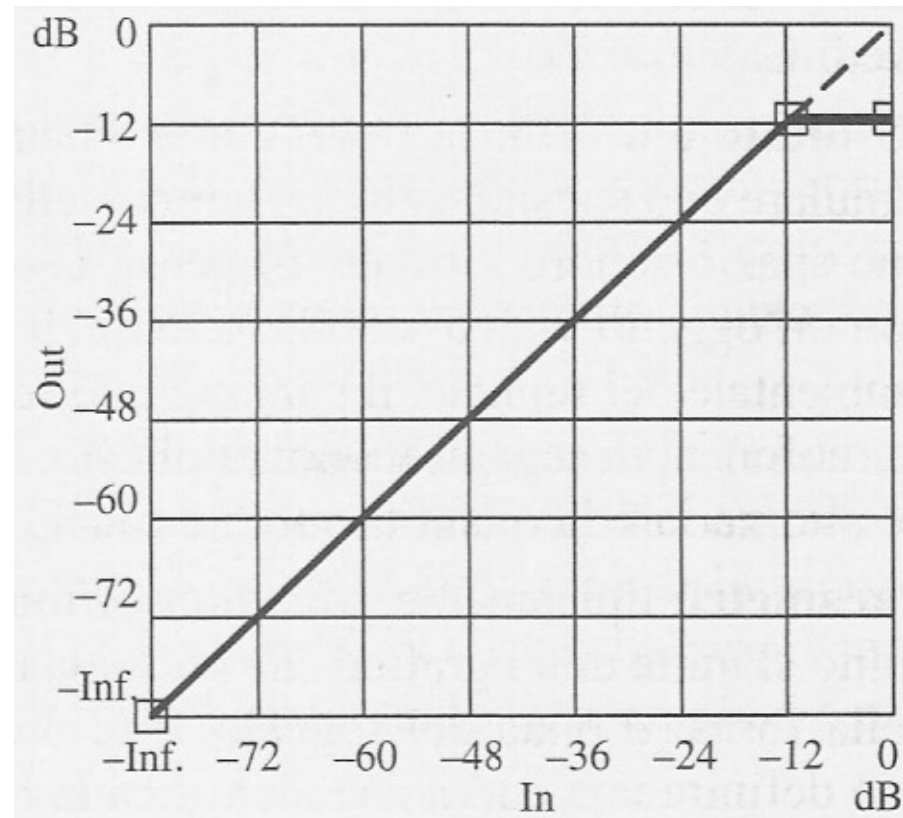
- Compressore (*compressor*)





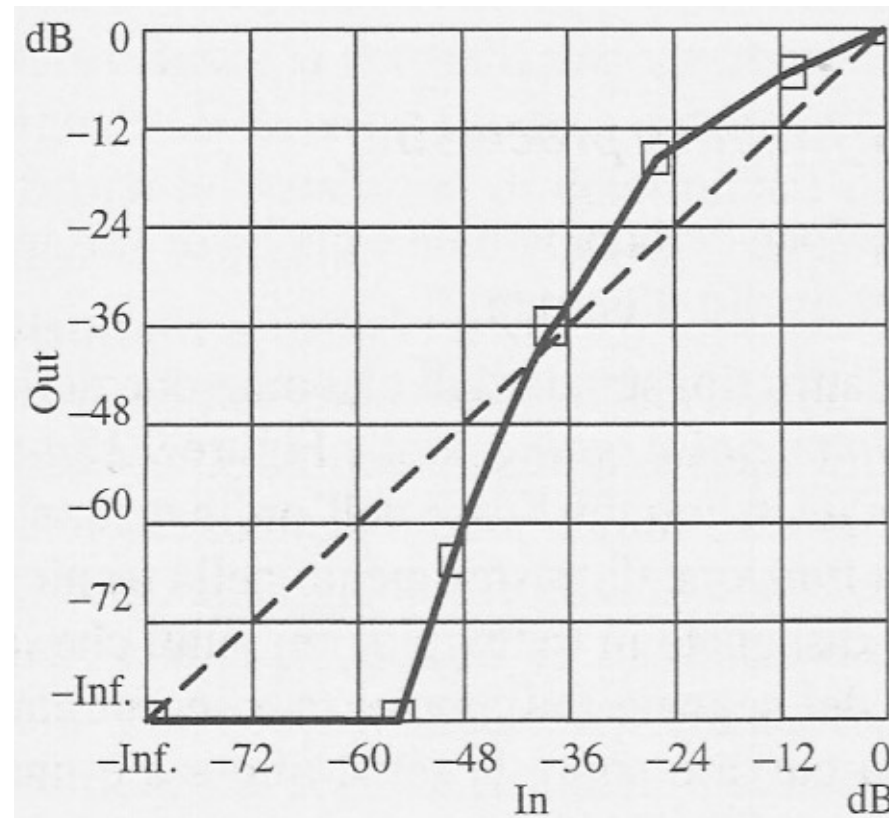
## Editing della gamma dinamica

- Limitatore (*limiter*)



## Editing della gamma dinamica

- Espansore (*expander*)

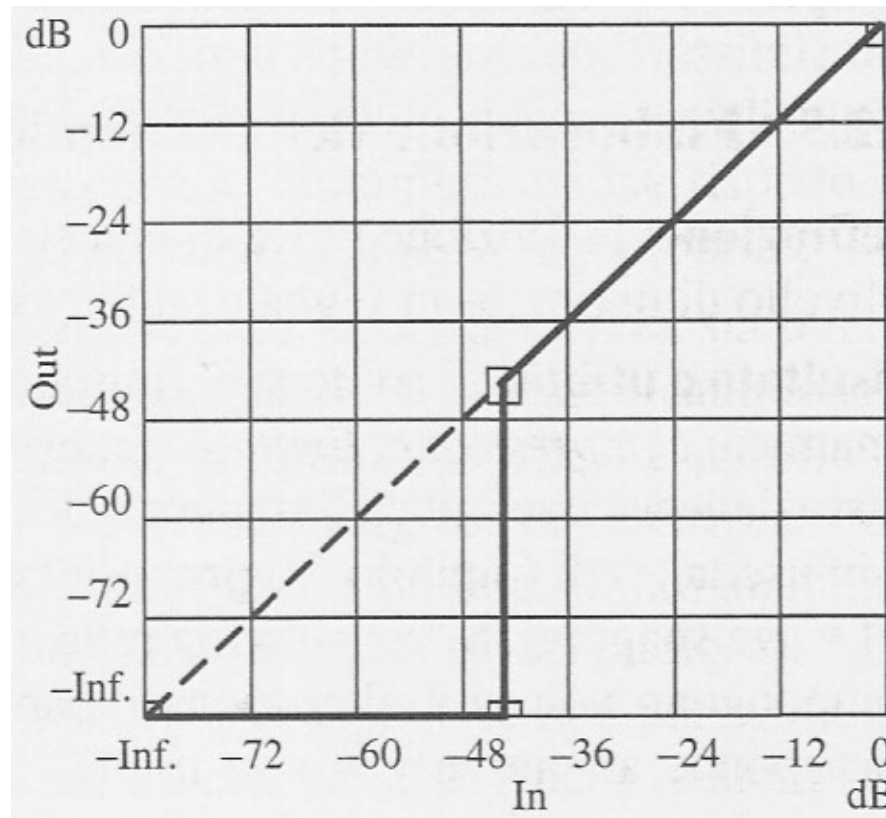






## Editing della gamma dinamica

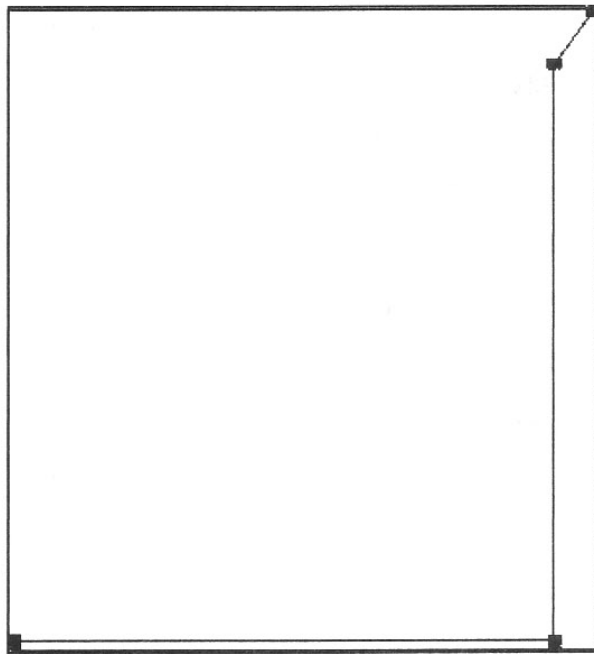
### ➤ Noise-gate



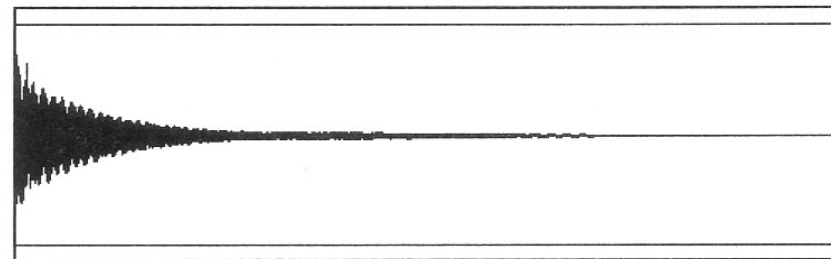
Esempi 9.18

## Editing della gamma dinamica

➤ Esempio



(a)

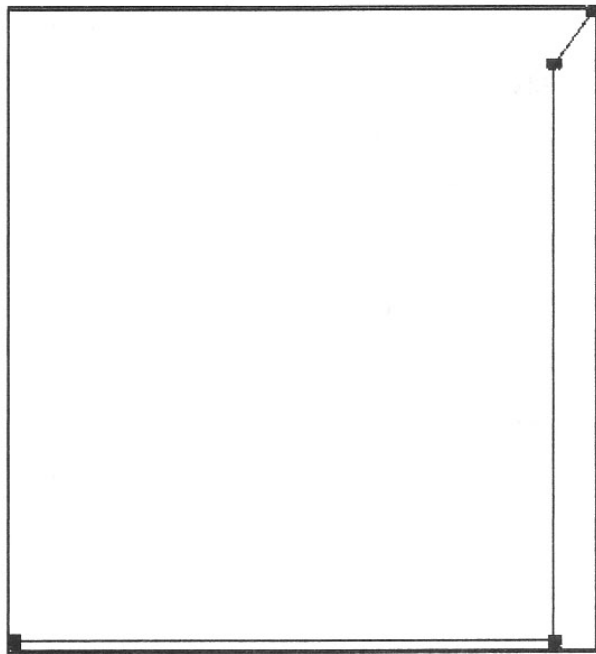


(b)

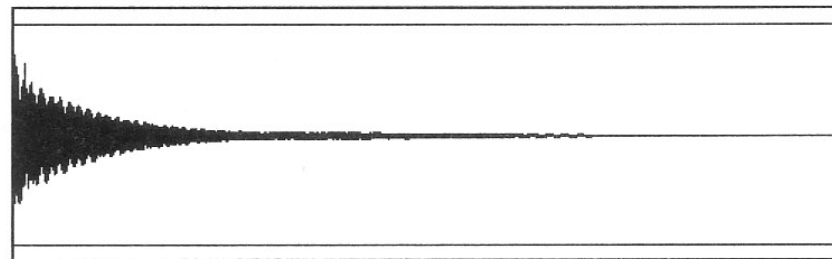


## Editing della gamma dinamica

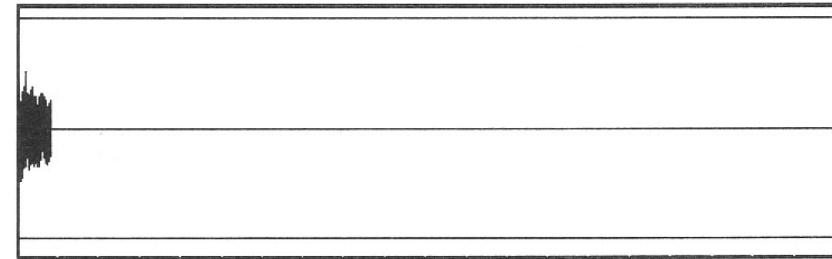
### ➤ Esempio



(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