

Audio Digitale

Università degli Studi di Napoli l'Orientale

Corso di Laurea Specialistica in "Produzione
multimediale, arte, teatro e cinema"

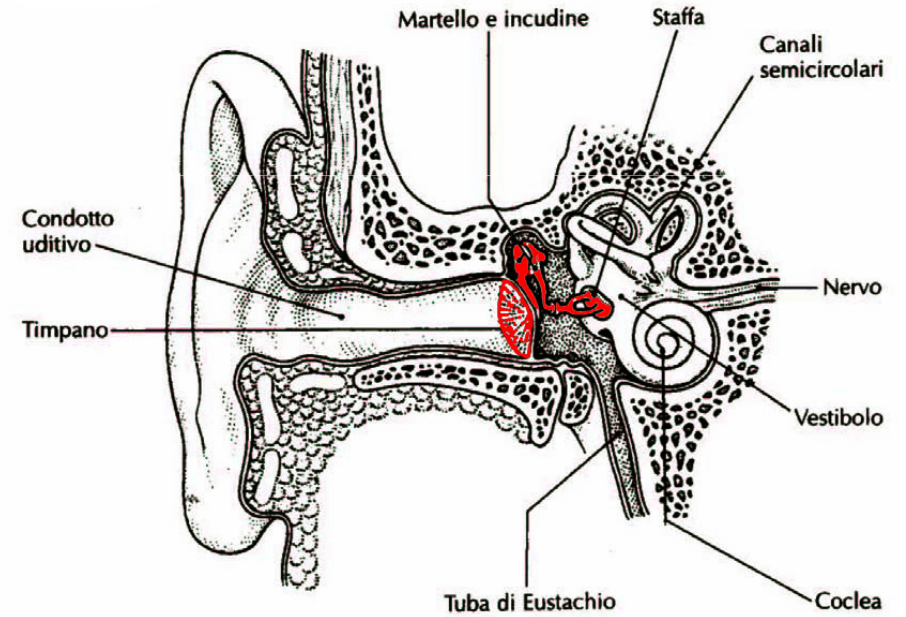
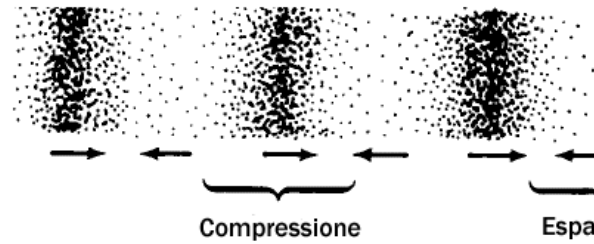
Corso di Informatica

Alberto Dainotti
(alberto@unina.it)

Argomenti

- **Suono**
 - **Audio Digitale**
 - **Computer Audio**
 - **Formati di file audio**
 - **Hands on: Record, Edit, Mix, Loop, ...**
-

Cosa è il Suono ?



Onda Sonora

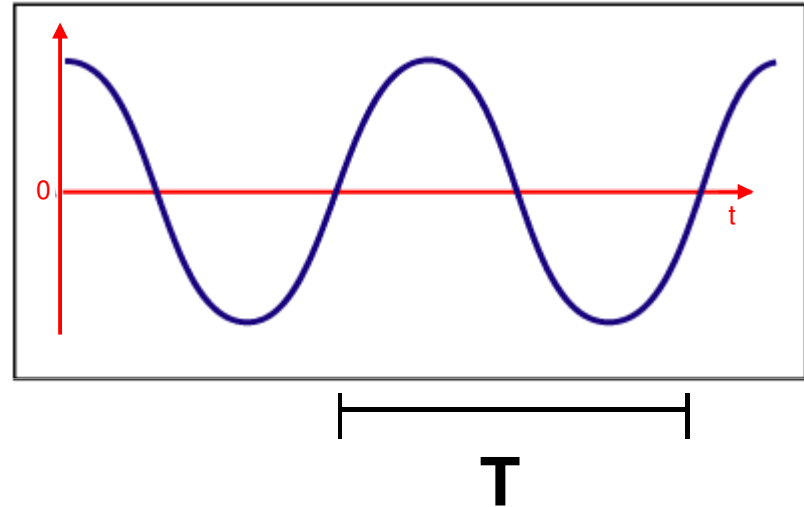
- Onda elastica longitudinale – trasmette energia meccanica
 - Ha origine da una *sorgente*
 - Si propaga attraverso un *mezzo* che viene perturbato
 - Viene percepita da un soggetto *ricevente* (20 Hz < f < 20000 Hz)
-

Forma d'Onda (Waveform)

- Indica la variazione di pressione nel tempo.
- La forma d'onda più semplice: la *sinusoide*.

Alcuni parametri sintetici di una forma d'onda sinusoidale:

- *Ampiezza (A)*
- *Periodo (T)*
- *Frequenza (f)*



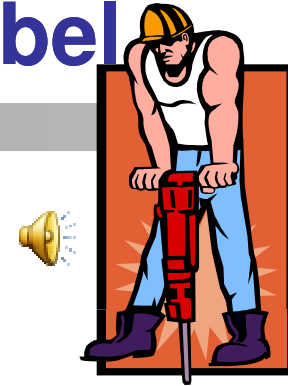
Esempio: se questa forma d'onda avesse la frequenza di 1000 Hz allora il periodo T sarebbe di 1 ms !

Intensità di un suono: la scala dei decibel

- Il nostro orecchio, in condizioni ottimali, a 1000 Hz, è in grado di coprire ben dodici ordini di grandezza di livelli sonori.
- E' opportuno in questi casi esprimere l'intensità in una scala logaritmica (non lineare), a partire da un livello di riferimento convenzionale.
- La scelta più naturale è di riferire le intensità alla soglia di udibilità.
- Per cui la generica intensità viene espressa nella cosiddetta scala dei decibel. Tale scala non fornisce una misura assoluta dell'intensità, ma solo relativa.

Nota: i dB di due sorgenti non si sommano semplicemente !

$$dB_x = 10 \log\left(\frac{X}{X_0}\right)$$



Sorgente	Livello (dB)
• <i>Limite di udibilità</i>	0
• Respiro	10
• Bisbiglio	20
• Rumore di fondo notturno in città	30
• Ufficio silenzioso	50
• Conversazione tra 2 persone a 1 m	55
• Ristorante affollato	65
• Traffico cittadino diurno	70-80
• Martello pneumatico	90
• Metropolitana	100
• Complesso rock in locale chiuso	110
• <i>Soglia del dolore</i>	120
• Jet al decollo (a 50 m)	130
• Galleria del vento	150
• Decollo del missile Saturno (a 50 m)	190
• Massimo rumore prodotto in laboratorio	210

Frequenza e intonazione

- La frequenza di riferimento è quella della nota LA3, fissata per convenzione a 440 Hz.
- Da questa frequenza si ottengono quelle degli altri semitoni secondo la formula: $440 \times 2^{(n/12)}$



f = 440Hz



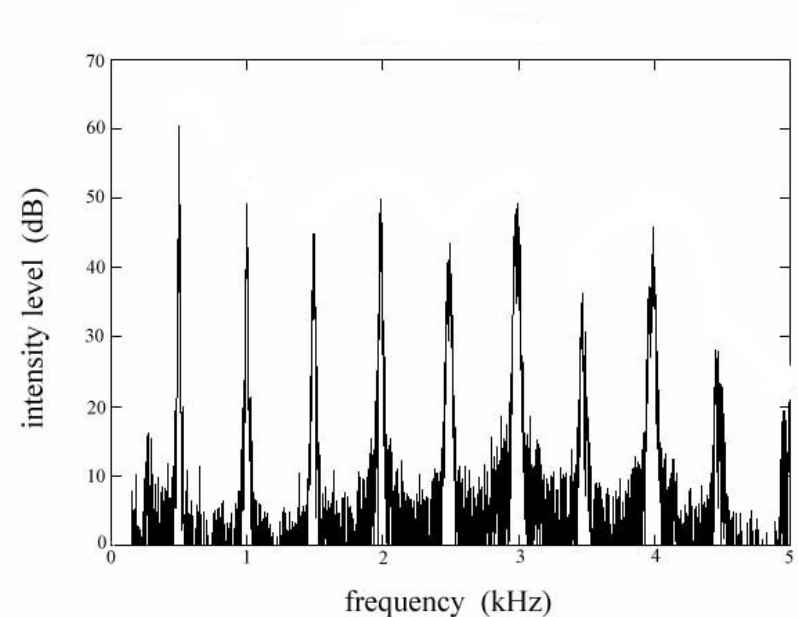
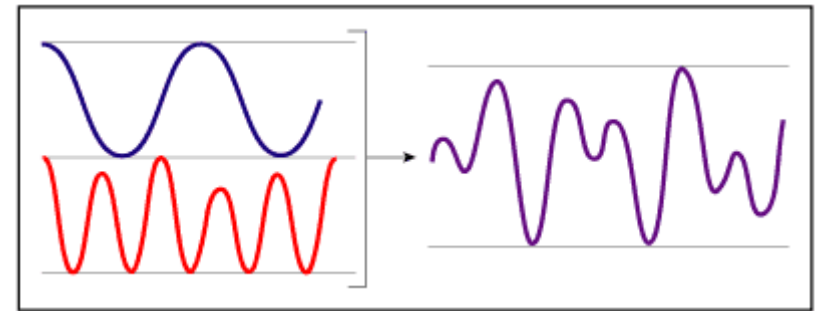
f = 494Hz



f = 880Hz

Analisi frequenziale

- Una forma d'onda complessa può essere scomposta in tante forme d'onda sinusoidali con diverse caratteristiche di frequenza ed ampiezza (*legge di Fourier*).
- Spettro di Frequenza

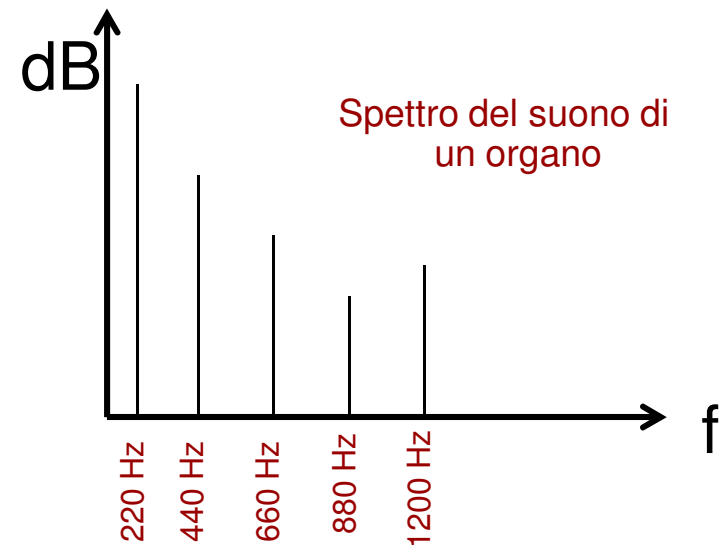


Il Timbro

- Perché un “LA” di una chitarra ha un suono diverso da una sinusoide a 440 Hz ?
- Perché ha uno spettro diverso ! Cioè un diverso *timbro*.
- Quando una nota viene suonata su uno strumento viene generata la sinusoide a frequenza corrispondente alla nota, che viene chiamata *armonica fondamentale*, e insieme ad essa le *armoniche*, cioè tutti i multipli interi di quella frequenza con ampiezza inferiore.
- La differenza di *timbro* che caratterizza i vari strumenti musicali è determinata dalla diversa ampiezza delle armoniche successive alla fondamentale ! Quindi strumenti diversi che producono le stesse note generano forme d'onda diverse.
- Anche i rumori sottostanno alla legge di Fourier, tuttavia non vi è alcuna regolarità tra le varie sinusoidi presenti.

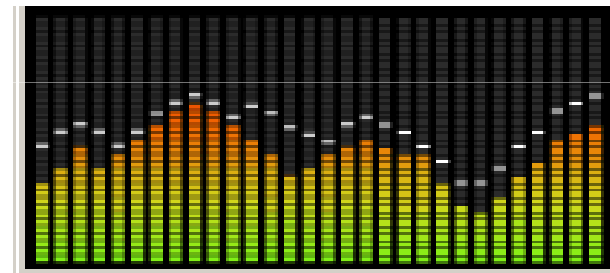
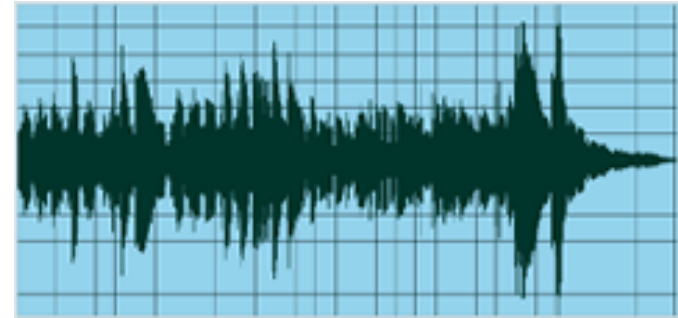


Sinusoide
a 440 Hz



Sovrapposizione di più suoni

- In generale, se il suono varia nel tempo (ad esempio una canzone) allora la sua forma d'onda varia..
- ..e varia anche lo spettro del suono. Questo spiega cosa fa un *analizzatore di spettro*.
- Un *equalizzatore grafico*, invece modifica i suoni amplificando o attenuando l'ampiezza delle sinusoidi che li compongono



Audio Analogico

- Il microfono converte la variazione di pressione nell'aria esercitata dalle onde sonore in una variazione di tensione elettrica. Questa a sua volta potrà essere convertita in un'altra grandezza per memorizzare il suono (es. su nastro o disco).
 - Un altoparlante lavora in maniera analoga al microfono ma all'inverso.
-

Audio Analogico

In pratica, in un sistema analogico l'informazione relativa all'onda sonora è codificata nelle variazioni di un parametro *continuo*, come il grado di magnetizzazione di un nastro o la tensione elettrica in un filo.

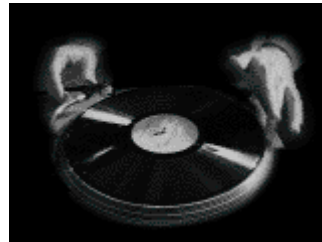
Inoltre, la distanza nel supporto (disco, nastro, etc.) rappresenta il tempo.

La grandezza fisica usata per la memorizzazione è “analogica” alla pressione dell'aria.

La lunghezza del supporto è “analogica” al tempo.

Audio Analogico – Svantaggi

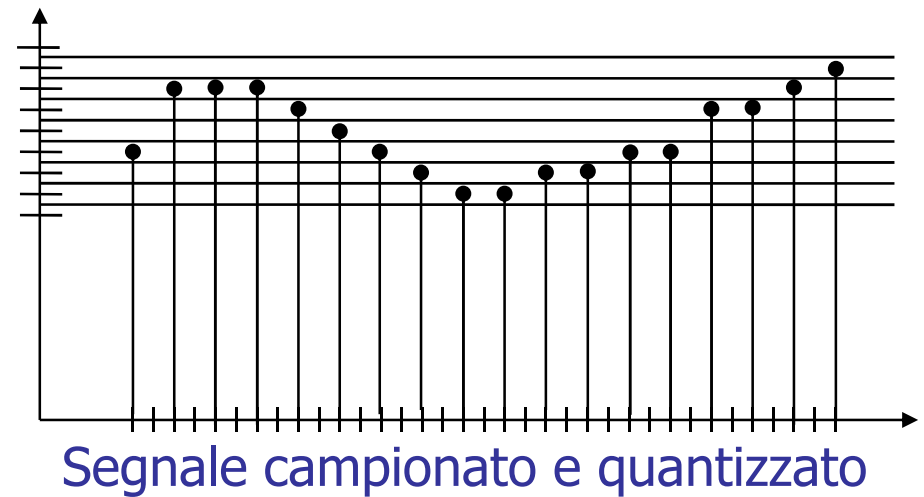
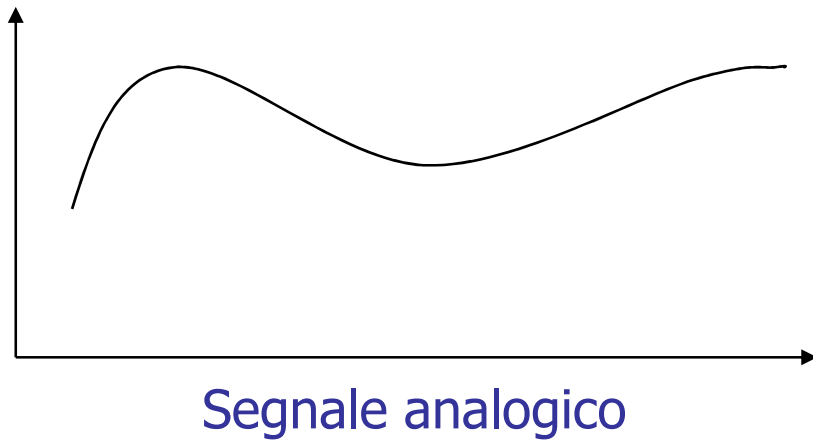
- Se viene alterata la velocità con cui viene percorso il supporto allora viene alterata la forma d'onda
- Se il nastro o il disco si degrada allora la forma d'onda cambia.
- Non ho nessun modo oggettivo per valutare e individuare l'alterazione. Le degradazioni non possono essere separate dal segnale originale.



Audio Digitale

Perché invece di convertire il segnale elettrico in un'altra grandezza analogica non lo convertiamo in numeri ?!

CIFRA → DIGIT



Audio Digitale – Vantaggi

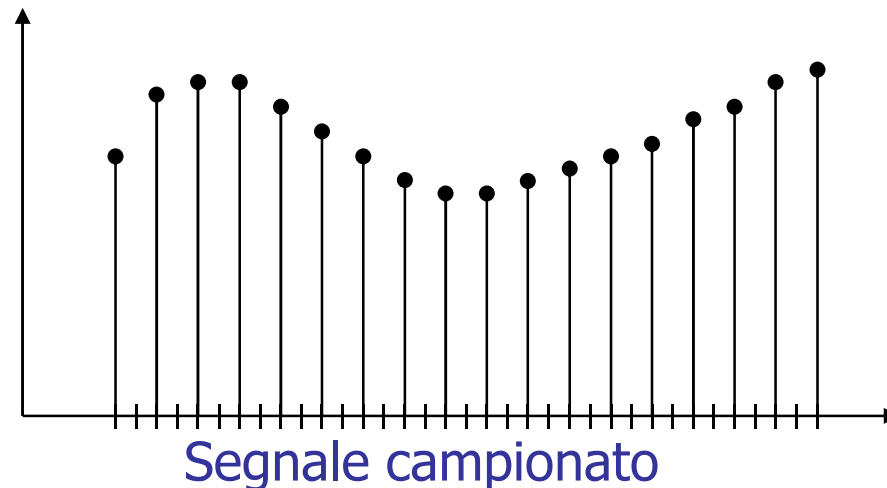
- Economico:
 - I circuiti digitali costano meno da fabbricare, occupano meno spazio e sono più resistenti
 - Spazio fisico necessario per la memorizzazione
 - I suoni diventano dati: sfrutto tecniche già usate per trattare gli altri tipi di dati
 - La qualità di riproduzione di un sistema digitale non dipende dal supporto ma solo dalla qualità di conversione !
 - Separo le degradazioni dal segnale originale: posso individuare e correggere gli errori !
-

Audio Digitale – Vantaggi

- Elevata qualità nella elaborazione del segnale, senza degrado. Le tecniche di codifica e trasmissione dei segnali digitali sono più efficienti.
 - Posso copiare l'originale senza perdita di qualità infinite volte
 - Compromesso qualità – spazio
 - Comodità: non devo riavvolgere il nastro ! 😊
-

Audio Digitale – Come funziona ? (1/2)

- Campionamento: la forma d'onda origiaria viene spezzata in un numero finito di *campioni (samples)*. Ad esempio nei CD audio vengono raccolti 44.100 campioni per ogni secondo della forma d'onda !
- Il numero di campioni raccolti al secondo viene detto *Frequenza di Campionamento (Sampling Rate o Frequency Resolution)*



Audio Digitale – Come funziona ? (2/2)

- Quantizzazione: ciascun valore di cui prendo nota (campione) viene tradotto in un numero che può assumere solo un numero finito di valori.

Es: esprimo l'ampiezza della forma d'onda con 256 possibili valori.

→ mi servono 8 bit

Il numero di possibili valori che utilizzo per esprimere l'ampiezza determina la *risoluzione in bit* (*bit depth*).



Da non confondere !

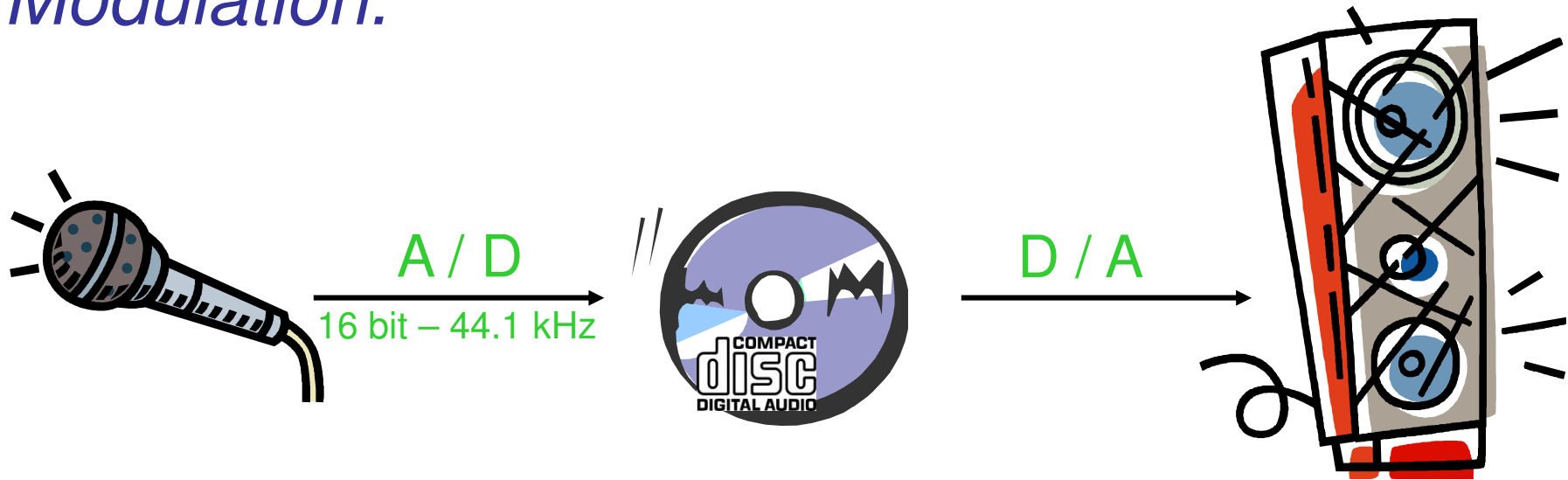
Il *campionamento* è l'operazione vista nelle slide precedenti. Ma con lo stesso termine si intendono genericamente anche due attività basate su questo procedimento:

- Il campionamento di brani musicali. Es. riutilizzo di linee di basso, riff, voci etc.
- Il campionamento è una tecnica di *sintesi del suono*. Si digitalizza la forma d'onda di uno strumento per catturarne il timbro e la si usa per produrre musica elettronicamente.

Nota: anche in questi due casi si parla rispettivamente di "*campionamenti*" (*samplings*) e di "*campioni*" (*samples*)

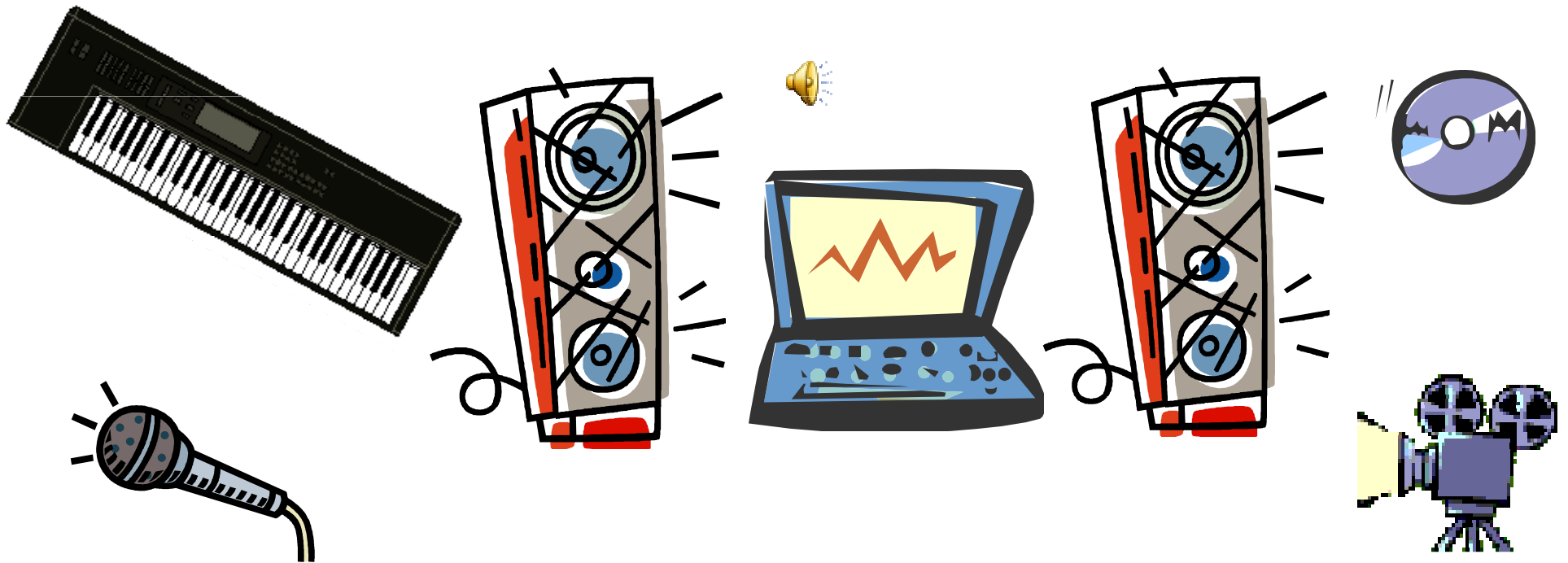
PCM – Pulse Code Modulation

- La tecnica di *conversione analogico – digitale* appena vista prende il nome di *Pulse Code Modulation*.



Ed il computer che c'entra ?

Con il computer e pochi strumenti HW/SW si può realizzare un vero e proprio studio di registrazione e produrre musica !



Cosa è possibile fare con un PC ?

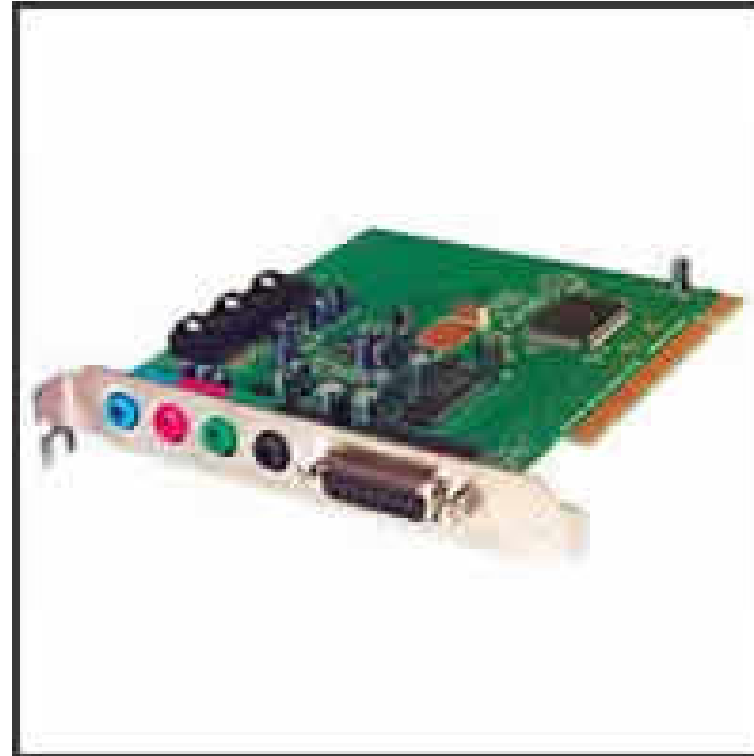
- A/D
 - Recording
 - Audio Processing (equalizzazione, effetti, DSP, ...)
 - Comporre musica
 - Mixare più tracce / Sincronizzarle / Loop
 - Codifica e conversione tra vari formati
 - Riproduzione (D/A)
 - Aggiungere il suono a Video / Presentazioni / prodotti multimediali..
 - Digital Radio
-

Quali sono le parti coinvolte ?

- Scheda Audio
 - PC
 - Strumenti e Microfoni (non indispensabili)
 - Supporti (CD – DVD – HD ...)
 - Monitor (Casse o Cuffie !)
 - Software (programmi, filtri, codec, sample, etc..)
-

La scheda audio

- Mixer
- A/D
- D/A
- Interfaccia MIDI



Codec: COdifica/DECodifica Audio

- La codifica PCM è detta *non compressa*
 - Problemi di trasmissione e memorizzazione:
 - Bitrate: 1 sec. di musica stereo codificata in PCM qualità CD: $2 \times 16 \text{ bit} \times 44100 = 1400000 \text{ bit !!}$ (circa 1.4Mbps)
 - 5 min = 300s x 1.4Mbps = 420 Mb = 52 MB
 - Nasce l'esigenza di codificare riducendo l'impiego di memoria utilizzando codifiche con compressione:
 - Codec compressi *lossless*
 - Codec compressi *lossy*
-

Codec e File Format

- Un “audio file format” è uno specifico formato di file in cui memorizzare dati audio.
 - Il file format è un *contenitore*, può supportare differenti codec oppure uno solo. Per questo spesso si confondono codec e file format..
 - Es. file di tipo WAV, AIFF, AU memorizzano dati non compressi (in PCM)
 - Es. file AVI memorizzano sia video che audio, entrambi codificabili con diversi tipi di codec
-

Codec compressi

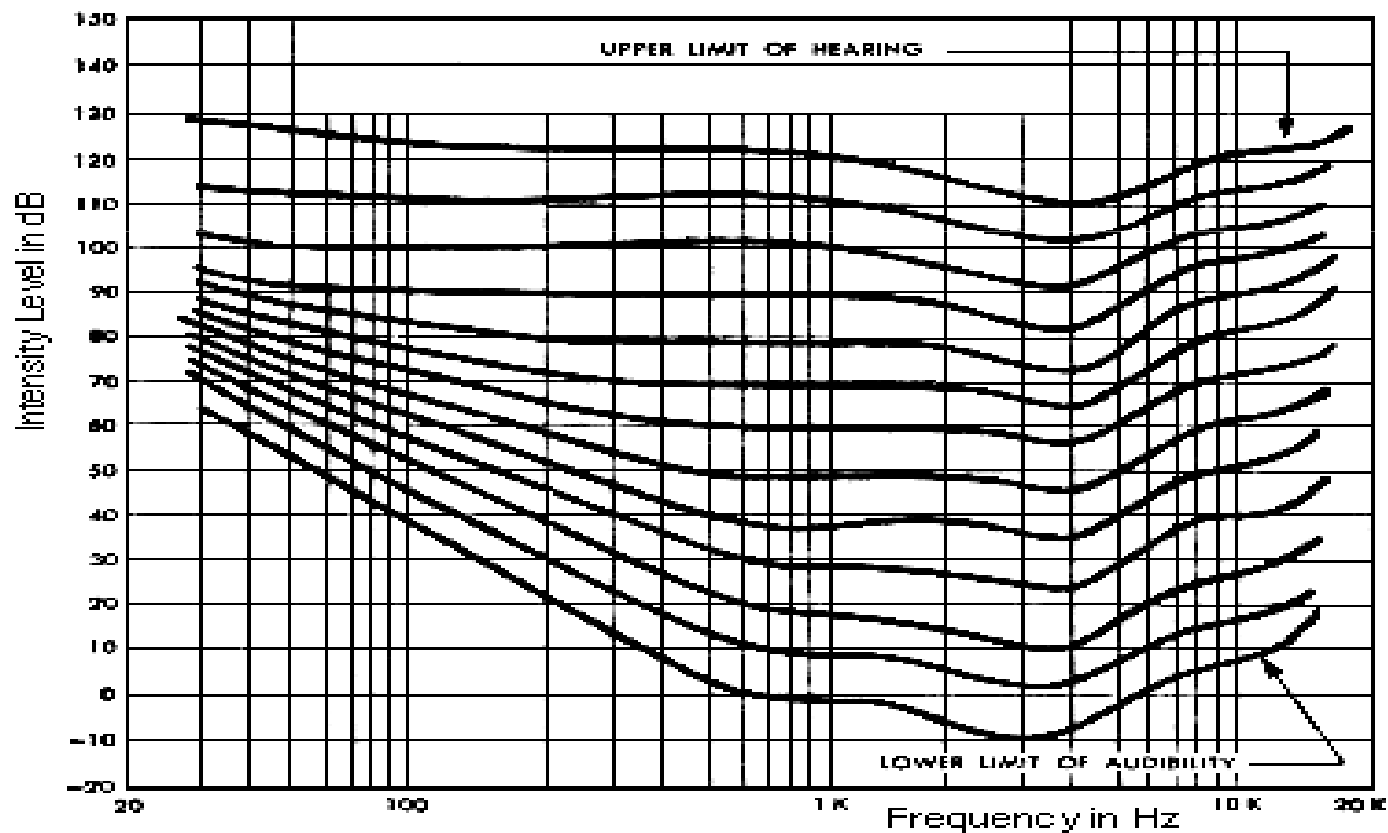
- **Lossless:**
 - Monkey's Audio (file .APE)
 - **FLAC Free Lossless Audio Codec**
 - **Lossy:**
 - MP2
 - MP3
 - **Ogg Vorbis** (open and free codec, alcuni trovano più piacevole la maniera in cui codifica l'audio quando la perdita di informazione è percepibile..)
 - **MPEG-4 AAC** (considerato il successore di mp3, supporta frequenze di campionamento più elevate, supporta fino a 48 canali, più efficiente, migliore qualità a parità di bitrate)
 - **MPC Musepack** (open and free, problemi di brevetti..)
 - Real Audio
 - **Windows Media Audio (.ASF .WMA)**
 - **AC-3 (Dolby Digital)** (supporta mono/stereo/5.1, utilizzato nei dvd, nella tv digitale e nel cinema con pellicole da 35mm, inferiore ad AAC, DD-Plus is coming..)
-

Psicoacustica

- Descrive quanto la nostra capacità di udire sia limitata in termini temporali, frequenziali e spaziali
 - Le caratteristiche del segnale originale non percepibili dall'utente medio si dicono *mascherate*
 - La qualità è completamente soggettiva e può essere testata solo attraverso prove di ascolto
-

Psicoacustica (2) - Curve isofoniche

La risposta in frequenza dell'apparato uditivo umano è non uniforme e cambia con il livello di pressione del suono



Psicoacustica (3)

- In presenza di un segnale con uno spettro molto complesso, l'orecchio subisce un effetto di mascheramento di alcune bande rispetto ad altre
 - L'orecchio umano ha una risoluzione frequenziale finita, cioè non è in grado di distinguere tra due toni troppo prossimi in frequenza
 - Come conseguenza (diseguaglianza di Heisenberg) l'orecchio umano ha una risoluzione temporale finita
-

Psicoacustica (4)

- Come ulteriore esempio: brevi interruzioni di un tono continuo sono difficili da individuare
 - Come conseguenza della finita risoluzione temporale si ha che il mascheramento può anche avvenire per un tono mascherante che inizia dopo e cessa prima di quello mascherato
 - Questo effetto viene detto forward e backward masking
-

Psicoacustica (5) - La codifica percettiva

- E' basata sul mascheramento uditivo
 - Il mascheramento causa una minore sensibilità dell'apparato uditivo (orecchio/cervello) nei confronti del suono ad una frequenza in presenza di un suono ad una frequenza prossima
 - Se un tono è presente in ingresso all'apparato uditivo, maschererà i segnali di potenza inferiore e localizzati, in frequenza, in sua prossimità
-

Psicoacustica (6) - La codifica percettiva

- La proprietà di mascheramento può essere utilizzata per quantizzare in modo più grossolano i toni mascherati
 - Quantizzazione più grossolana →
 - Minor numero di bit necessari per codificare la stessa informazione →
 - **Guadagno di codifica**
 - Si ha un aumento della distorsione di quantizzazione permesso dalla presenza del tono mascherante
-

Codec: attenzione al Bit rate

- Non è in assoluto indicativo della qualità!
 - Dipende dal codec
 - Dipende dall'implementazione del codec
 - Dipende dal segnale audio
 - CBR / VBR / ABR
-

TAG ID3

- Formato per inserire metadati in un file mp3:
 - Titolo, artista, album, numero del brano, data, genere, commenti, etc. (espandibile in ID3v2)
 - Utile per catalogazione, streaming, info, etc..
 - Esistono standard simili per alcuni file format
-

MIDI - Musical Instrument Digital Interface

- Standard di comunicazione digitale
- Max 16 dispositivi
- Comandi (nota, velocity, after-touch, vibrato, volume, ...)
- Indipendente dal produttore
- Suona in maniera differente di volta in volta
- File piccoli (anche 10KB/min)



MIDI

- Interfaccia MIDI
- Sequencer (diverse viste)
- Generatore di Suoni (sound table, SW-synth, synth, sampler, drum-machine)
- MIDI Controller



Software

- Wave editor
 - Loop
 - Sequencer (MIDI e non)
 - CoDec
 - SW-Synth / Sample
 - DSP/Effects
 - Digital Audio Workstation
 - Logic (Apple)
 - Mac
 - + MIDI
 - Pro Tools (Digidesign)
 - Win
 - HW DSP
 - - MIDI
 - + audio editing
 - Cubase (Steinberg)
 - Mac / Win
 - - audio editing
-

Loop

- “Spezzoni” di musica
 - Modo facile per creare musica
 - Linee di basso, batteria, etc..
 - Possibilità di alterarne il tempo, l’intonazione
 - Midi / Audio
 - Intere librerie disponibili
-

DSP – Digital Signal Processing

- Tutte le modifiche al suono eccetto il volume
 - Equalizzazione (eq. grafici o parametrici):
 - Esaltare uno strumento
 - Esaltare in maniera selettiva gli strumenti
 - Eliminare delle frequenze
 - Dinamica
 - Effetti (riverbero, delay, chorus, pitch, etc..)
-

SW-Synth

- Sono dei plugin per la sintesi del suono che possono essere prodotti in diversi formati.
 - Il formato più diffuso è il VST *Virtual Studio Technology* (Cubase – Win/Mac)
 - VST plug-ins
 - VST hosts
-

Links

- AUDACITY: <http://audacity.sourceforge.net/>
 - MIDILLUSTRATOR:
<http://www.midiillustrator.com>
 - ACID:
<http://www.sonycreativesoftware.com/download/trials/acidpro>
-