

Informatica Grafica

Corso di Laurea in Ingegneria Edile – Architettura

Fondamenti di elaborazione multimediale

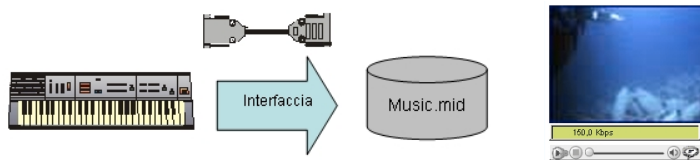
Michele Lombardi

su materiale originario di Paolo Torroni

Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica (DEIS)
Università degli Studi di Bologna

Anno Accademico 2010/2011

Fondamenti di elaborazione multimediale



► Fondamenti di elaborazione multimediale

- Concetti di base
- Media audio:
 - segnali ed analisi armonica
 - sistemi analogici e digitali, digitalizzazione
 - flussi di dati audio, compressione
- Media video:
 - campionamento nello spazio e nel tempo
 - flussi video e compressione
 - video streaming

Parte I

Concetti di base

Multimedia

Definizione (Sistema multimediale)

*Un **sistema multimediale** è un sistema per la generazione, manipolazione, memorizzazione o presentazione di informazioni attraverso diversi **mezzi (media)**.*

Di solito i media che vengono composti in un multimedia sono testi, suoni, immagini ferme e immagini in movimento, in particolare animazioni e video.

- ▶ Esempi:
 - ▶ libro illustrato
 - ▶ film
 - ▶ televisione

Media discreti e continui

Definizione (Media discreti)

*Si dicono media **discreti** o **statici** quelli che non sono dipendenti dal tempo.*

Esempi:

- ▶ testo, immagini fisse

Definizione (Media continui)

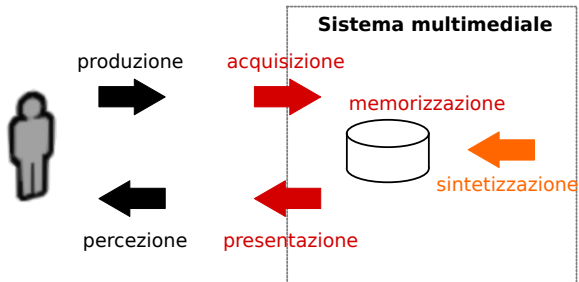
*Si dicono media **continui** o **statici** quelli che dipendono dal tempo.*

Esempi:

- ▶ suono, video

In questa lezione ci focalizziamo su **media continui**.

Sistemi multimediali: schema generale



Ci focalizziamo su due tipi di media: **audio** e **video**

- ▶ ne analizziamo le **caratteristiche** (produzione e percezione)
- ▶ come ne avvengono **l'acquisizione** e la **memorizzazione**
- ▶ qualche accenno su presentazione e sintetizzazione

Molti concetti che introdurremo sono **generalizzabili a vari tipi di media**.

Parte II

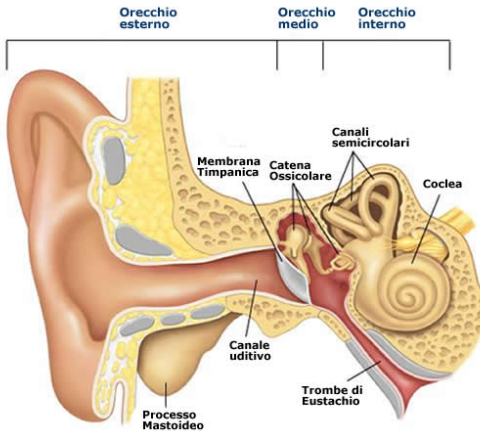
Audio

Cos'è il suono?

Ogni media è **destinato all'uomo**, che ha un **sistema sensoriale specifico** ⇒ punto di partenza: **percezione**

Cos'è il suono?

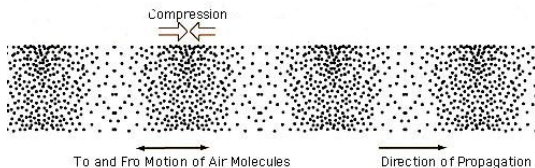
Percezione del suono: il timpano e la catena ossicolare sono in grado di trasmettere **oscillazioni longitudinali**.



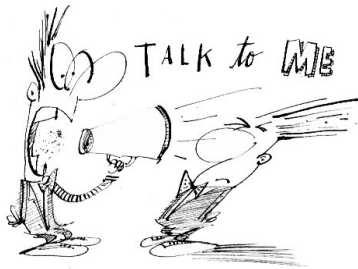
Cos'è il suono?

Suono: vibrazioni che si propagano nell'aria sotto forma di **onde**.

- ▶ in particolare nell'aria, *onde di compressione*

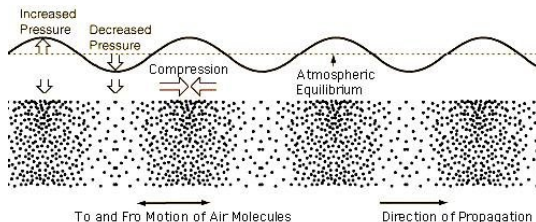


Produzione: qualunque meccanismo atto a produrre onde di compressione



Segnali

- Possiamo rappresentare il fattore di compressione su un grafico x,y (x = tempo, y = compressione)



Definizione (Segnale)

Un **segnale** è una grandezza fisica variabile nel tempo e nello spazio che trasporta informazione

Segnali

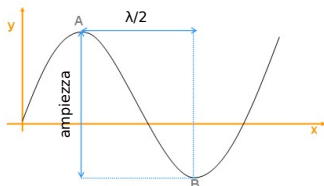
Ogni media è **fisicamente esprimibile come un segnale**, o un insieme di segnali.

Dal punto di vista formale, **un segnale si può rappresentare con una funzione dello spazio e del tempo: $f(x, y, t)$**

- ▶ Nel caso del suono, l'informazione spaziale è irrilevante (ci interessa solo il fattore di compressione) $\Rightarrow f(x, y, t) = f(t)$
- ▶ **Ora che abbiamo una rappresentazione formale del suono, possiamo pensare di manipolarlo** mediante un dispositivo (elettronico o non)
- ▶ *NOTA: nel caso dei media discreti, l'informazione temporale è irrilevante $\Rightarrow f(x, y, t) = f(x, y)$*

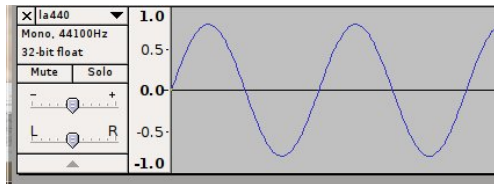
Segnali sinusoidali

- ▶ Nel caso del suono, se l'onda è "regolare", la funzione $f(t)$ è una **sinusoide**
- ▶ rappresentazione x,y: x=tempo, y=energia dell'onda

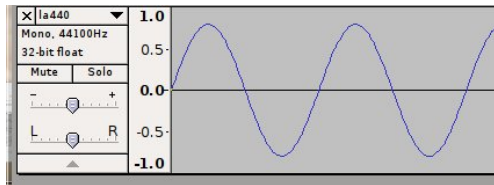


- ▶ Segnali sinusoidali descritti da **ampiezza** e **frequenza**.
 - ▶ **Ampiezza**: distanza tra un picco massimo e il picco minimo
 - ▶ **Frequenza** (ν , Hz): numero di cicli al secondo
 - ▶ **Lunghezza** (λ): distanza tra punti equivalenti
 - ▶ Relazione tra ν , λ e velocità dell'onda (c): $\lambda = \frac{c}{\nu}$
 - ▶ Velocità di propagazione del suono nell'aria a 0° : 331.3 m/s

Suoni ed onde sinusoidali



Suoni ed onde sinusoidali

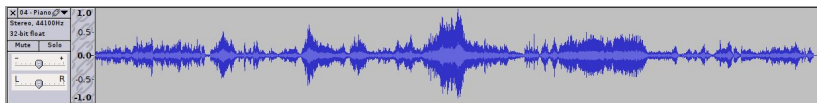


- ▶ le **note musicali** sono (in linea di principio) sinusoidi pure!
- ▶ Ruolo delle frequenza:
alta frequenza ↔ acuto, bassa frequenza ↔ grave
- ▶ Classificazione dei suoni in base alla **frequenza**:
 - ▶ **infrasuoni**: 1 – 20 Hz
 - ▶ **udibile**: 16 Hz – 20 KHz
 - ▶ **parlato**: 600 Hz – 5 KHz, La3: 440 Hz, pianoforte: 20 Hz – 4 KHz
 - ▶ ultrasuoni: 20 KHz – 1 GHz
 - ▶ percepibili da alcuni animali suoni fino a 100 KHz
 - ▶ usati in medicina (ecografia) e controllo (saldatura) ~MHz

Segnali non sinusoidali

Qualcosa di un po' più complesso:

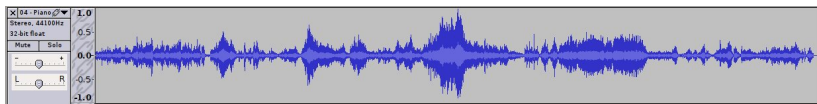
- ▶ *Serghei Rachmaninoff,*
“concerto per pianoforte ed orchestra n.3”



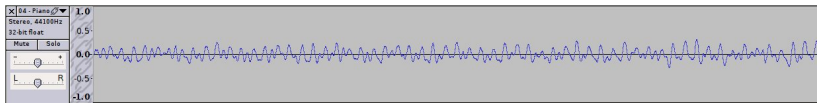
Segnali non sinusoidali

Qualcosa di un po' più complesso:

- ▶ *Serghei Rachmaninoff,*
“concerto per pianoforte ed orchestra n.3”



Ad uno sguardo più ravvicinato, il segnale è sempre una funzione del tempo $f(t)$:



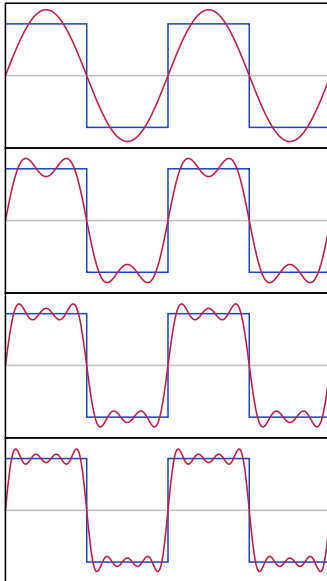
Ma non è una senoide pura.

Analisi armonica

Teorema (di Fourier – alla spicciolata)

*un qualsiasi segnale $f(t)$, può essere ottenuto mediante la somma di un termine costante e di **infinite funzioni sinusoidali**.*

Analisi armonica



Analisi armonica

Teorema (di Fourier – alla spicciolata)

*un qualsiasi segnale $f(t)$, può essere ottenuto mediante la somma di un termine costante e di **infinite funzioni sinusoidali**.*

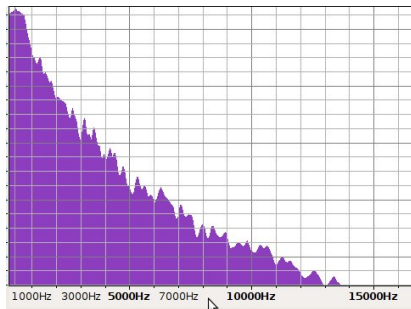
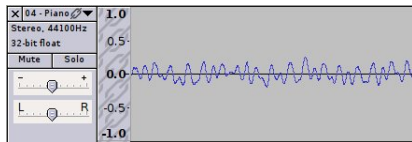
- ▶ Ognuna delle funzioni sinusoidali avrà una certa **ampiezza** (A) ed una certa **frequenza** (ν)
- ▶ Possiamo così definire per un dato segnale $f(t)$ una funzione **equivalente** $F_f(\nu)$
- ▶ La funzione $F_f(\nu)$ si chiama **trasformata di Fourier** ed indica l'ampiezza della sinusoide di frequenza ν
- ▶ la trasformata di Fourier ci permette di analizzare un segnale (un media) in termini delle sue componenti sinusoidali (**analisi armonica**)

Spettro di frequenza

Definizione (Spettro di frequenza)

Chiamiamo **spettro di frequenza** o semplicemente **spettro** di un segnale $f(t)$ la rappresentazione grafica su un piano A, ν della sua trasformata.

Il Rach3:

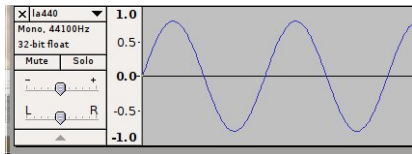


Spettro di frequenza

Definizione (Spettro di frequenza)

Chiamiamo **spettro di frequenza** o semplicemente **spettro** di un segnale $f(t)$ la rappresentazione grafica su un piano A, ν della sua trasformata.

Il La3:

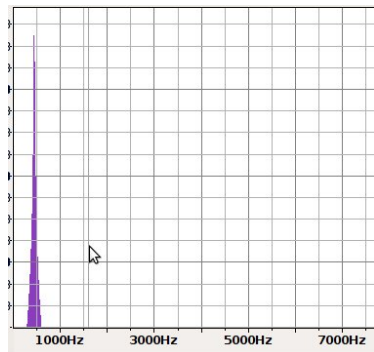
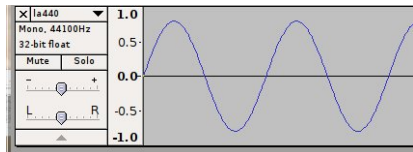


Spettro di frequenza

Definizione (Spettro di frequenza)

Chiamiamo **spettro di frequenza** o semplicemente **spettro** di un segnale $f(t)$ la rappresentazione grafica su un piano A, ν della sua trasformata.

Il La3:



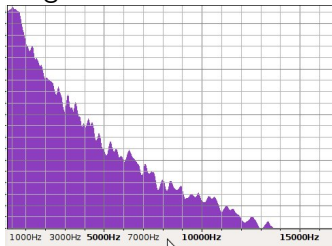
Una parentesi: equalizzazione

Possiamo ora capire il funzionamento di un **equalizzatore**

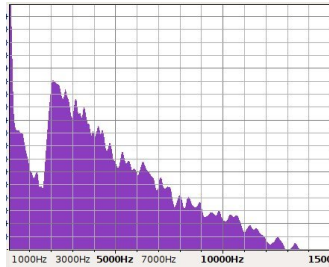
- ▶ un equalizzatore è un componente che modifica lo spettro di un segnale audio
- ▶ in particolare permette di smorzare o amplificare le sinusoidi a determinati intervalli di frequenze

Esempio: Lo spettro del Rach3, dopo aver vigorosamente smorzato l'intervallo da 200 Hz - 1550 Hz:

Originale:



Modificato:



Come memorizzare un segnale audio?

Il fonografo (Edison, 1877): dispositivo con una “tromba” ed una “testina”, in contatto con un “cilindro”

▶ **registrazione:**

- ▶ le onde di compressione vengono catturate dalla tromba
- ▶ mettono in vibrazione la testina, che incide il materiale di cui è fatto il cilindro (mantenuto in rotazione)

▶ **riproduzione:**

- ▶ viene fatto ruotare il cilindro
- ▶ le variazioni di altezza della sua superficie mettono in vibrazione la testina
- ▶ la vibrazioni vengono amplificate dalla tromba



Memorizzazione analogica

Definizione (Analogico)

*“Analogico” è un aggettivo che descrive un apparecchio, strumento o dispositivo che tratta grandezze rappresentandole con **altre grandezze legate alle prime da una relazione di analogia.***

- ▶ Nel caso del **fonografo**, un segnale audio viene codificato mediante le variazioni di altezza della superficie del cilindro
- ▶ Nei **dischi di vinile** (anche moderni) succede esattamente la stessa cosa
- ▶ Le vecchie **audiocassette** memorizzavano un segnale audio codificandolo con le variazioni del campo magnetico del nastro

Memorizzazione digitale

Definizione (Digitale)

*“Digitale” è un aggettivo che descrive un apparecchio, strumento o dispositivo che tratta grandezze rappresentandole **sotto forma numerica**, usando i simboli di un certo sistema di numerazione.*

Le definizioni di “digitale” ed “analogico” hanno validità generale e non sono limitate ai segnali audio.

► Esempio

- un orologio analogico utilizza il movimento circolare delle lancette per rappresentare il cambiamento del tempo.
- un orologio digitale rappresenta lo scorrere del tempo attraverso il cambiamento del valore delle cifre.



Analogico vs digitale

Analogico:

- ▶ potenzialmente, maggiore fedeltà
- ▶ soggetto a disturbi di trasmissione e deterioramento del mezzo di memorizzazione
- ▶ la riproduzione ad alta fedeltà richiede strumenti di qualità elevata
- ▶ manipolazione mediante strumenti meccanici o elettronici

Digitale:

- ▶ maggiore fedeltà \Rightarrow maggiore quantità di dati da memorizzare
- ▶ robusto rispetto a disturbi di trasmissione e deterioramento del mezzo di memorizzazione
- ▶ una riproduzione a buona fedeltà può essere effettuata anche con strumentazione di costo contenuto
- ▶ manipolazione numerica

Digitalizzazione

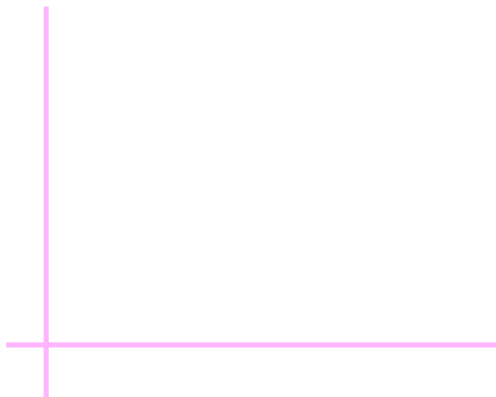
Definizione (Digitalizzazione)

La **digitalizzazione** è il processo che trasforma un segnale analogico in segnale digitale, mediante **campionamento** e **quantizzazione**.

- ▶ **Campionamento**: misurazione del valore assunto dal segnale ad intervalli discreti, che produce ogni volta un campione.
 - ▶ numero di campioni in un intervallo di tempo: **frequenza di campionamento** o **sampling rate**
 - ▶ Dispositivi hardware di campionamento (per i suoni, una **sound card**)
- ▶ **Quantizzazione**: approssimazione di un insieme (infinito) di valori di un segnale in un insieme finito di valori discreti.

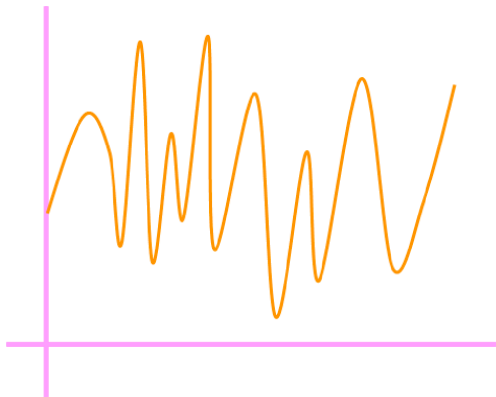
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ Asse x: tempo; asse y: grandezza fisica (segnale)



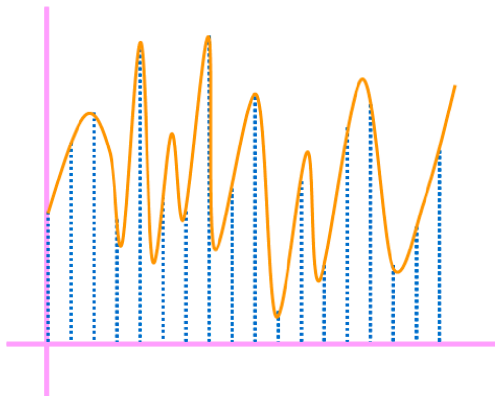
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ Rappresentazione di un suono come segnale $f(t)$



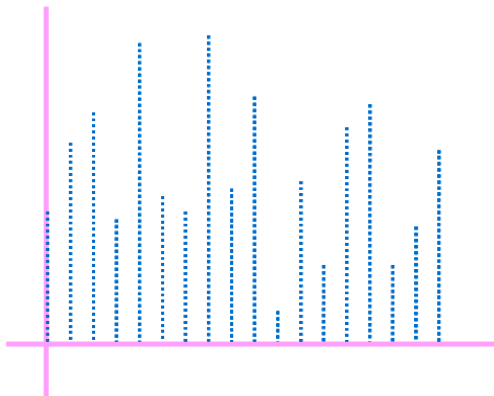
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Campionamento:** il segnale viene misurato a istanti a distanza regolare l'uno dall'altro



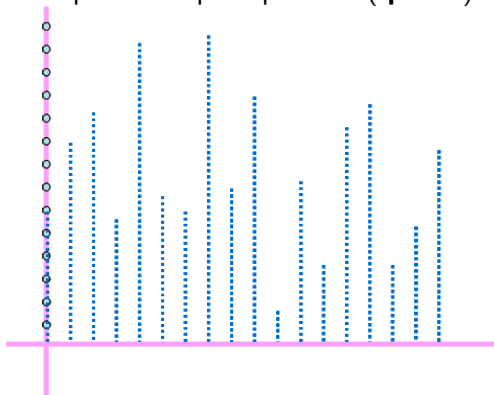
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Campionamento:** il segnale viene misurato a istanti a distanza regolare l'uno dall'altro



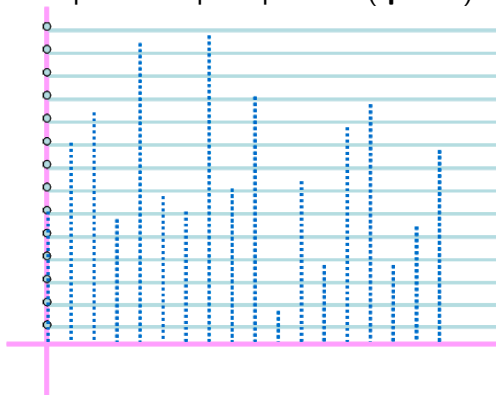
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Discretizzazione:** l'altezza misurata viene approssimata. Il valore del campione viene assimilato a uno dei possibili valori determinati a priori tra quelli possibili (**quanti**).



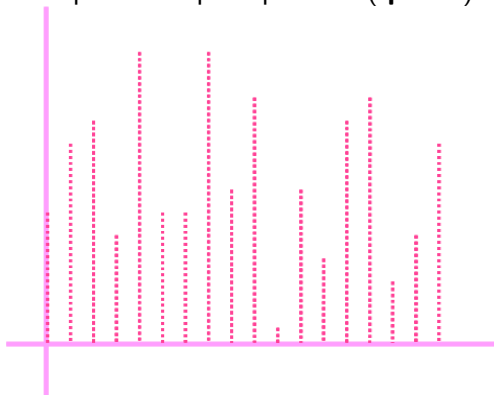
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Discretizzazione:** l'altezza misurata viene approssimata. Il valore del campione viene assimilato a uno dei possibili valori determinati a priori tra quelli possibili (**quanti**).



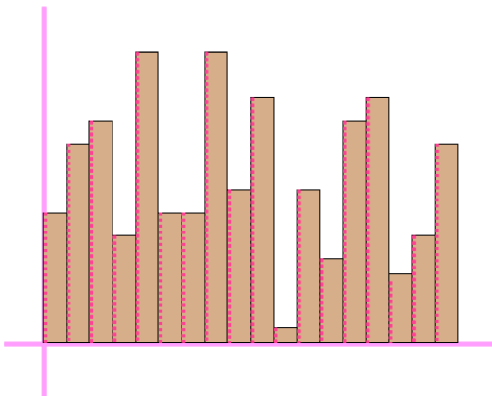
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Discretizzazione:** l'altezza misurata viene approssimata. Il valore del campione viene assimilato a uno dei possibili valori determinati a priori tra quelli possibili (**quanti**).



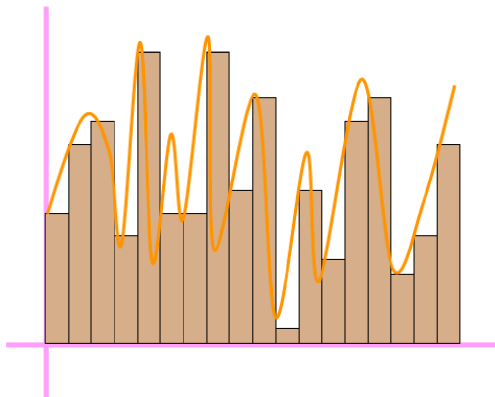
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Riproduzione con tecnica *sample and hold***: il segnale viene tenuto costante per tutto l'intervallo del suono



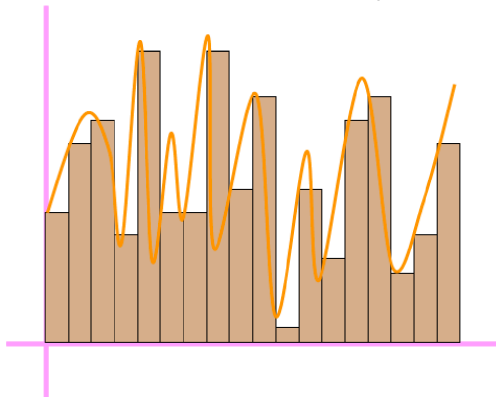
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ Confronto con il segnale iniziale



Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ⇒ L'approssimazione è tanto più fedele all'originale quanto più
- ▶ è ridotta la distanza tra un campione e l'altro
 - ▶ è ridotta la distanza tra un livello di quantizzazione e l'altro



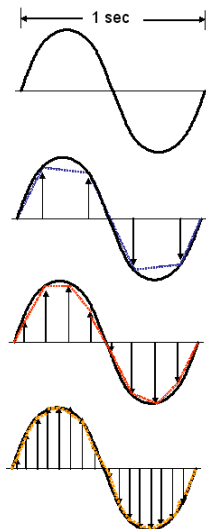
Campionamento

- ▶ **Campionamento:**

- ▶ scelta di un insieme di punti equidistanti sull'asse dei tempi,
- ▶ misura dell'altezza del segnale in corrispondenza di tali punti.

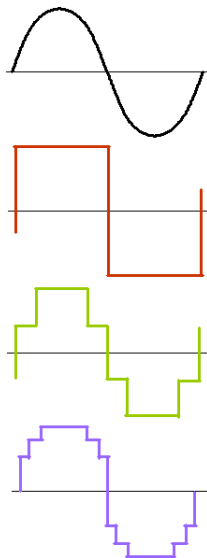
- ▶ **Sampling rate:** numero dei campioni in un intervallo di tempo.

- ▶ Aumentando il numero dei campioni si ottiene una migliore approssimazione della curva originale.



Quantizzazione

- ▶ **Quantizzazione:** rappresentazione di ogni campione con un valore prefissato
 - ▶ Più è grande il numero di livelli, maggiore è la fedeltà della ricostruzione.
 - ▶ Più è grande il numero di livelli, maggiore il numero di bit necessari per rappresentare un campione.
- ▶ **Qualità telefonica**
 - ▶ 8 bit \Rightarrow 256 valori (non eccellente)
- ▶ **Qualità CD:**
 - ▶ 16 bit \Rightarrow 65K valori



Input e output di audio digitale

- ▶ **Input:**

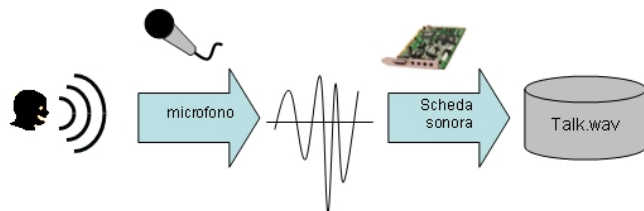
- ⇒ A partire da una sorgente analogica: digitalizzazione dell'audio attraverso scheda sonora

- ▶ **Analog to Digital Converter (ADC)**

- ▶ **Output:**

- ▶ Riproduzione dell'audio digitale attraverso scheda sonora

- ▶ **Digital to Analog Converter (DAC)**



Input e output di audio digitale

▶ **Input:**

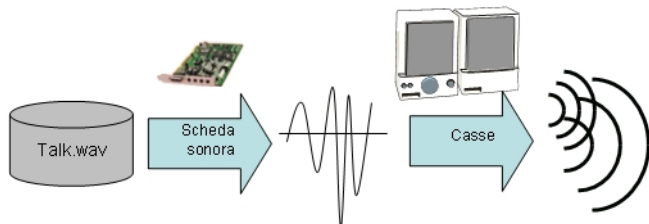
- ▶ A partire da una sorgente analogica: digitalizzazione dell'audio attraverso scheda sonora

- ▶ **Analog to Digital Converter (ADC)**

▶ **Output:**

- ⇒ Riproduzione dell'audio digitale attraverso scheda sonora

- ▶ **Digital to Analog Converter (DAC)**



Valore di Nyquist

- ▶ Quanto spesso bisogna misurare il segnale per effettuare un buon campionamento?
- ▶ Che relazione c'è con la qualità dell'informazione estratta?

Teorema (del campionamento – Nyquist-Shannon)

*Il segnale può essere ricostruito fedelmente solo se è stato campionato ad una frequenza **maggiore del doppio** della frequenza della componente del segnale di frequenza più alta.*

- ▶ Le **componenti** di un segnale sono le **sinusoidi con ampiezza non nulla** nella sua trasformata di Fourier
 - ▶ La frequenza di campionamento che garantisce la ricostruzione fedele del segnale si chiama **valore di Nyquist**.
- ⇒ Campionando al valore di Nyquist, non vengono trascurate variazioni rilevanti del segnale nel periodo in oggetto.

Valore di Nyquist

- ▶ Quanto spesso bisogna misurare il segnale per effettuare un buon campionamento?
- ▶ Che relazione c'è con la qualità dell'informazione estratta?

Teorema (del campionamento – Nyquist-Shannon)

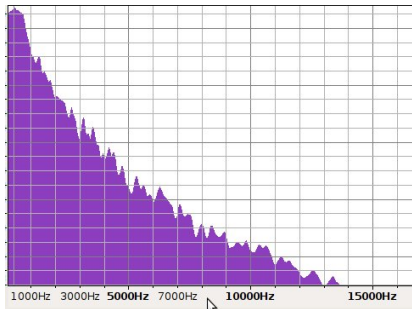
*Il segnale può essere ricostruito fedelmente solo se è stato campionato ad una frequenza **maggiore del doppio** della frequenza della componente del segnale di frequenza più alta.*

- ▶ in pratica:
 - ▶ dato un segnale $f(t)$, se ne estrae lo spettro
 - ▶ sia ν_0 è la sinusoide di frequenza più elevata
 - ▶ campionando a $2 \times \nu_0$ Hz siamo sicuri di poter ricostruire fedelmente il segnale

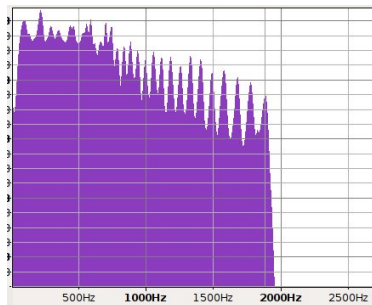
Sottocampionamento e sottoquantizzazione

- ▶ **Sottocampionare** significa campionare a frequenza minore del valore di Nyquist
- ▶ perdita di informazioni \Rightarrow ricostruzione imprecisa del segnale
- ▶ in particolare: le componenti a frequenza più elevata *non spariscono*, ma *non vengono ricostruite correttamente* ed introducono **distorsione**

Rach3, originale:



Rach3, sottocampionato a 2000Hz:



Sottocampionamento e sottoquantizzazione

È possibile determinare una frequenza di campionamento ideale senza conoscere lo spettro del segnale (audio) campionario?

Sottocampionamento e sottoquantizzazione

È possibile determinare una frequenza di campionamento ideale senza conoscere lo spettro del segnale (audio) campionario?

- ▶ Quasi!
- ▶ Perché l'orecchio umano non è in grado di percepire suoni a frequenza maggiori di 20KHz (circa)
- ▶ Frequenza di campionamento per i CD: 44100 KHz (non a caso...)

Sottocampionamento e sottoquantizzazione

È possibile determinare una frequenza di campionamento ideale senza conoscere lo spettro del segnale (audio) campionario?

- ▶ Quasi!
- ▶ Perché l'orecchio umano non è in grado di percepire suoni a frequenza maggiori di 20KHz (circa)
- ▶ Frequenza di campionamento per i CD: 44100 KHz (non a caso...)

Sottoquantizzazione:

- ▶ **Sottoquantizzare** significa usare un numero insufficiente di livelli di quantizzazione
- ▶ Perdita di informazioni \Rightarrow ricostruzione imprecisa del segnale
- ▶ effetto: **rumore di fondo**

Segnali e flussi

È naturale considerare i media digitali continui come **flussi di dati**; la quantità di dati che li costituisce:

- ▶ cresce all'aumentare della **durata** del segnale
- ▶ la frequenza di campionamento ed il numero di quanti determinano il numero di **bit necessari per codificare un secondo di un segnale (bps)**

Alcuni esempi:

- ▶ **Voce** (qualità telefonica)
 - ▶ Frequenze comprese in intervallo di 4KHz
 - ▶ Nyquist \Rightarrow campionare a 8KHz
 - ▶ Quantizzazione sufficiente: codifica a 1 byte.
 - ▶ Flusso: $\Rightarrow 8 \times 8 \times 10^3 \text{ bps} = 68 \text{ Kbps}$
 - ▶ Per 1 minuto di voce: $8 \times 10^3 \times 60 \text{ Byte} = 480 \text{ KB}$
- \Rightarrow **ISDN**: 64 Kbps (non a caso...)

Segnali e flussi

È naturale considerare i media digitali continui come **flussi di dati**; la quantità di dati che li costituisce:

- ▶ cresce all'aumentare della **durata** del segnale
- ▶ la frequenza di campionamento ed il numero di quanti determinano il numero di **bit necessari per codificare un secondo di un segnale (bps)**

Alcuni esempi:

- ▶ **Musica** stereo, alta fedeltà (qualità CD)
 - ▶ Frequenze comprese in intervallo di 20.050 Hz
 - ▶ Nyquist \Rightarrow campionare a 44.100 Hz
 - ▶ Stereo \Rightarrow 2 canali
 - ▶ Quantizzazione alta qualità: codifica a 2 byte.
 - ▶ Flusso: $\Rightarrow 16 \times 44.100 \times 2 \text{ bps} = 1.41 \text{ Mbps}$
 - ▶ Per 1 minuto di musica stereo in alta fedeltà:
 $2 \times 44.100 \times 2 \times 60 \text{ Byte} \sim 10 \text{ MByte}$
- \Rightarrow **CD**: 700 MByte / 10 MByte/min \Rightarrow 70 min

Formati audio

- ▶ Contenuto dei file audio: dati (audio) + metadati
- ▶ **WAV** (Microsoft+IBM's **Waveform**)
 - ▶ Metadati: sampling rate, quantizzazione, numero di canali.
 - ▶ Frequenze: 11, 22, 44 KHz
 - ▶ Quantizzazione: 8, 16 bit
 - ▶ Channels: 1 (mono), 2 (stereo)
- ▶ **AU** (Sun Microsystems's **Audio**)
 - ▶ Simile a WAV
 - ▶ Livelli di quantizzazione scelti con distribuzione di tipo logaritmico
 - ▶ Più livelli per le basse frequenze

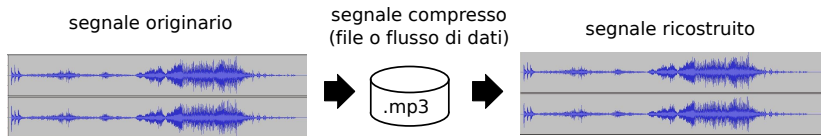
Compressione

- ▶ Un segnale audio di lunga durata può consistere di una grande quantità di dati
- ▶ soluzione: compressione

Definizione (Compressione)

La **compressione** è una tecnica che ha l'obiettivo di ridurre la quantità di dati necessaria per rappresentare un segnale.

- ▶ L'obiettivo è ridurre lo spazio occupato, o la larghezza di banda necessaria a trasmettere l'audio in rete.



Compressione

Due grandi **classi di tecniche di compressione**:

- ▶ **lossless**: senza perdita di informazione
- ▶ **lossy**: con perdita di informazione

Algoritmi di compressione lossless:

- ▶ inizialmente il file (segnale) da comprimere è una sequenza di simboli (i valori dei quanti) codificati tutti con lo stesso numero di bit (e.g. 16 per i CD)
- ▶ tipicamente operano in **due fasi**:
 1. l'algoritmo costruisce un **modello statistico** del file (e.g. numero di occorrenze per ogni simbolo)
 2. la codifica diventa a **lunghezza variabile**: si usano pochi bit per i simboli più frequenti, più bit per i simboli meno frequenti.
- ▶ Esempi: FLAC, Monkey audio (formato .ape)
- ▶ tipicamente: 50-60% della dimensione originale
- ▶ una parentesi: ZIP funziona con la stessa logica

Compressione

Due grandi **classi di tecniche di compressione**:

- ▶ **lossless**: senza perdita di informazione
- ▶ **lossy**: con perdita di informazione

Algoritmi di compressione lossless:

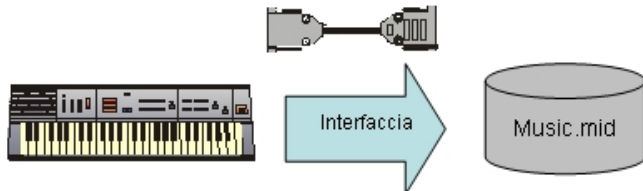
- ▶ **MPEG** (Moving Picture Experts Group): una famiglia di sistemi di compressione audio/video
 - ▶ Audio. Compressione in tre livelli (Layer I, II, III). Layer III: algoritmi più complessi ed efficaci (**MP3**)
- ▶ Sistema di compressione **lossy**, di tipo **percettivo**: si scartano le informazioni che l'utente difficilmente percepisce
- ▶ Vari livelli di compressione (↑) e qualità (↓)
 - ▶ livello medio: 128 Kbps ⇒ 12 ore su CD (contro 70 min non compressi)
 - ▶ tipicamente meno del 20% della dimensione originale

Audio digitale di sintesi

- ▶ Non sempre si ottiene un file audio mediante campionamento di un audio analogico
- ▶ È possibile produrre artificialmente il contenuto audio (e.g. comporre musica dal PC)

In particolare: **Musical Instrument Digital Interface (MIDI)**

- ▶ MIDI è un **protocollo** che consente a dispositivi musicali elettronici (es. una tastiera, una batteria elettronica) di comunicare tra di loro e con il computer.



Audio digitale di sintesi

- ▶ Non sempre si ottiene un file audio mediante campionamento di un audio analogico
- ▶ È possibile produrre artificialmente il contenuto audio (e.g. comporre musica dal PC)

In particolare: **Musical Instrument Digital Interface (MIDI)**

- ▶ MIDI è un **protocollo** che consente a dispositivi musicali elettronici (es. una tastiera, una batteria elettronica) di comunicare tra di loro e con il computer.
- ▶ Specifica **riferimenti simbolici** alle note musicali e non una registrazione musicale dei suoni
- ▶ Un file o lo stream MIDI è una **descrizione simbolica** di un contenuto audio (es. la note da suonare e lo strumento virtuale da utilizzare per suonarle)
- ▶ Un dispositivo di riproduzione (detto **sintetizzatore**) produce un suono in corrispondenza di ogni simbolo MIDI

Parte III

Video

Video

Video: sistema di riproduzione di **immagini in movimento**.

- ▶ Idea alla base: sfruttare la **Persistence of Vision** (POV)
- ▶ L'**occhio umano** percepisce
 - ▶ una sequenza **sufficientemente veloce**
 - ▶ di immagini statiche (**fotogrammi, frame**)
 - ▶ **come se** fosse un **movimento continuo**
- ▶ Movimento: illusione ottica.
- ▶ Sufficientemente veloce: ≥ 20 frame/secondo

Un segnale video varia **nel tempo** e **nello spazio** (cioè sul fotogramma): $f(x, y, t)$

- ▶ Un segnale video digitale deve essere campionato e quantizzato sia nel tempo che nello spazio
- ▶ Di solito: affiancato da un **canale audio**

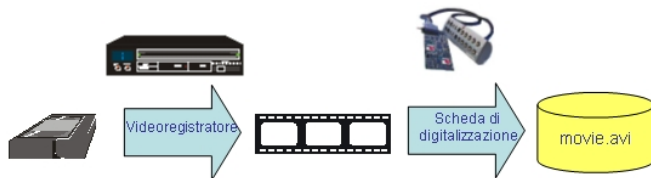
Input e output di video digitale

▶ **Input:**

- ⇒ A partire da una sorgente analogica: digitalizzazione del video attraverso scheda di digitalizzazione video
 - ▶ Ripresa con videocamera digitale

▶ **Output:**

- ▶ Riproduzione dell'video digitale attraverso scheda video



Input e output di video digitale

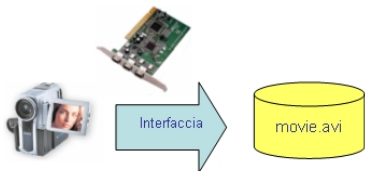
- ▶ **Input:**

- ▶ A partire da una sorgente analogica: digitalizzazione del video attraverso scheda di digitalizzazione video

⇒ Ripresa con videocamera digitale

- ▶ **Output:**

- ▶ Riproduzione dell'video digitale attraverso scheda video



Input e output di video digitale

▶ **Input:**

- ▶ A partire da una sorgente analogica: digitalizzazione del video attraverso scheda di digitalizzazione video
- ▶ Ripresa con videocamera digitale

▶ **Output:**

⇒ Riproduzione dell'video digitale attraverso scheda video



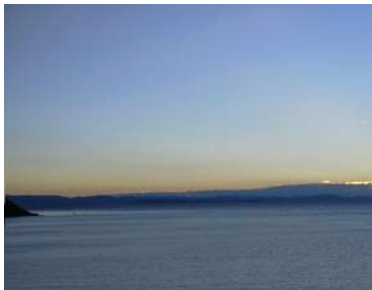
Campionamento nello spazio

I fotogrammi sono sempre **immagini raster** $n \times m$:

- ▶ frequenza di campionamento \leftrightarrow risoluzione
- ▶ quantizzazione \leftrightarrow numero di bit per la codifica del colore

Sottocampionare = utilizzare una risoluzione troppa bassa

- ▶ “frequenza” di una immagine statica = livello di dettaglio
- ▶ in caso di campionamento sotto la soglia di Nyquist:
 \Rightarrow bordi confusi, perdita di dettagli, effetti inattesi (es. Moiré patterns)



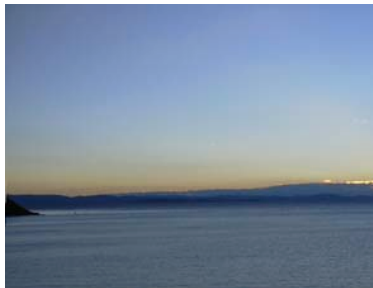
Campionamento nello spazio

I fotogrammi sono sempre **immagini raster** $n \times m$:

- ▶ frequenza di campionamento \leftrightarrow risoluzione
- ▶ quantizzazione \leftrightarrow numero di bit per la codifica del colore

Sottoquantizzare = troppo pochi colori codificabili

\Rightarrow scarsa resa di colori e sfumature



Campionamento nel tempo

- ▶ **Frame rate:** velocità con cui i fotogrammi si susseguono
- ▶ Misurata in **frame al secondo (frame per second, fps, Hz)**.
- ▶ Frame rate < 20 Hz \Rightarrow immagini a scatti

Valori tipici:

- ▶ **Teleconferenza:** 10 Hz. Video lento, movimenti a scatti.
- ▶ **Film muto:** 16 Hz. Il movimento non fluido, scarsa continuità.
- ▶ **Televisione:** 25-30 Hz. Movimento fluido.
- ▶ **Televisione HD:** 50-60 Hz. Movimento fluido, alta definizione.

Campionamento nel tempo

- ▶ **Frame rate**: velocità con cui i fotogrammi si susseguono
- ▶ Misurata in **frame al secondo (frame per second, fps, Hz)**.
- ▶ Frame rate < 20 Hz \Rightarrow immagini a scatti

Una analogia:

- ▶ soglia dei 20Hz per il video \leftrightarrow soglia dei 20 KHz per l'audio
- ▶ campionando sopra i 20Hz siamo sicuri di non perdere informazioni **percepibili** dal fruitore
- ▶ campionando sotto i 20Hz possiamo perdere informazioni, a **seconda dalla velocità del movimento che vogliamo catturare**
 - ▶ qual è una frequenza adeguata per campionare il movimento della lancetta delle ore di un orologio?
 - ▶ per quella dei minuti?
 - ▶ cosa succede se campioniamo ogni 55 minuti?

Frame rate

La scelta del frame rate dipende anche da:

- ▶ qualità del sistema di produzione e riproduzione
- ▶ qualità del mezzo di trasmissione (teleconferenza)

NTSC (National Tv Systems Committee: US, JP, Americas)

- ▶ Fotogramma 640×480 pixel
- ▶ True colors \Rightarrow 3 byte / pixel
 - \Rightarrow Dimensione del frame: $640 \times 480 \times 3 = 921.600$ Byte
- ▶ Frame rate: 30 Hz
 - \Rightarrow Flusso: $921.600 \times 30 \times 8 \times 10^{-6}$ bps = 221 Mbps = 27 MBps
 - \Rightarrow Video di **1 minuto**: $27 \text{ MBps} \times 60 \text{ s} = \mathbf{1.6 \text{ GB}}$

Frame rate

La scelta del frame rate dipende anche da:

- ▶ qualità del sistema di produzione e riproduzione
- ▶ qualità del mezzo di trasmissione (teleconferenza)

PAL (Phase Alternating Line: EU, AU, India)

- ▶ Fotogramma 768×576 pixel
- ▶ True colors \Rightarrow 3 byte / pixel
 - \Rightarrow Dimensione del frame: $768 \times 576 \times 3$ Byte = 1.3 MByte
- ▶ Frame rate: 25 Hz
 - \Rightarrow Flusso: $1.3 \times 25 \times 8 \times 10^{-6}$ bps = 265 Mbps = 31.6 MBps
 - \Rightarrow Video di **1 minuto**: 31.6 MBps \times 60 s = **1.85 GB**

Compressione

- ▶ **MPEG** (Moving Picture Experts Group)
 - ▶ Audio: visto MP3
 - ▶ Video: diverse versioni, da MPEG-1 (1988) a MPEG-7 (2000)
- ▶ Sistema di compressione **lossy, di tipo percettivo**
 - ▶ **Spazio colorimetrico**: l'occhio umano è più sensibile alle variazioni di luce piuttosto che a quelle di colore
 - ▶ **Ridondanza temporale**: fotogrammi consecutivi sono abitualmente molto simili tra loro
 - ▶ Alcuni fotogrammi ("keyframes") sono interamente codificati
 - ▶ Fotogrammi intermedi: codificate solo le differenze

Codec

- ▶ **Codec** = **C**oder-**d**ecoder
- ▶ Programma in grado di codificare e/o decodificare uno stream o segnale digitale
- ▶ **DivX**: codificatore per MPEG-4
 - ▶ compressione 3 volte superiore rispetto a MPEG-2
- ▶ Possibilità di usare un CD per memorizzare 2 ore di filmato.