

Informatica Grafica

Corso di Laurea in Ingegneria Edile – Architettura

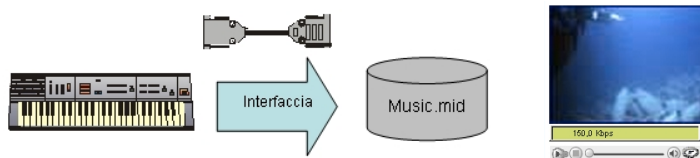
Fondamenti di elaborazione multimediale

Paolo Torroni

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

Anno Accademico 2009/2010

Fondamenti di elaborazione multimediale



► Fondamenti di elaborazione multimediale

- Concetti di base: analogico e digitale, acquisizione, riproduzione, segnali, digitalizzazione, compressione
- Audio, (immagini), video, streaming.

Parte I

Concetti di base

Multimedia

Definizione (Sistema multimediale)

*Un **sistema multimediale** è un sistema che si avvale di diversi tipi di 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

Analogico e digitale

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.***

▶ Esempio

- ▶ un orologio analogico utilizza il movimento circolare delle lancette per rappresentare il cambiamento del tempo.



Analogico e digitale

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.***

Definizione (Digitale)

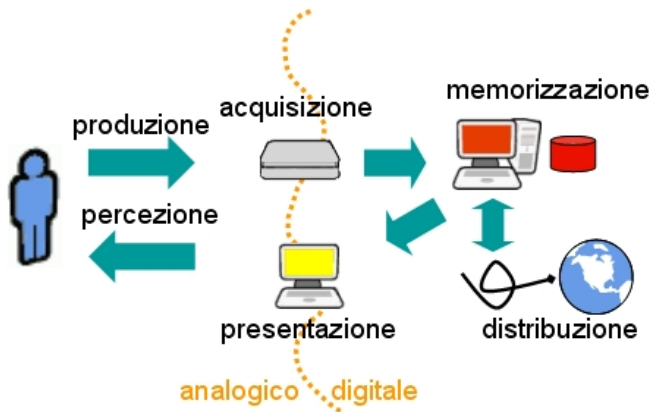
*“Digitale” [...] tratta grandezze rappresentandole **sotto forma numerica**, usando i simboli di un certo sistema di numerazione.*

► 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.



Ciclo di acquisizione e riproduzione



Memorizzazione dei media digitali

- ▶ Ogni media è **fisicamente esprimibile come un segnale**, o un insieme di segnali.
 - ▶ Quali sono le meccaniche fisiche di generazione, propagazione e rappresentazione di un segnale?
 - ▶ Come deve essere rappresentato un segnale per poter essere ricostruito in modo fedele?
- ▶ Ogni media è **destinato all'uomo**, che ha un **sistema sensoriale specifico**.
 - ▶ Di solito sono coinvolti due sensi: vista e udito.
 - ▶ Quali sono i limiti specifici del sistema sensoriale umano?
 - ▶ Come possono essere sfruttati per estrarre dal segnale solo le componenti di informazioni fruibili dall'uomo?

Memorizzazione dei media digitali

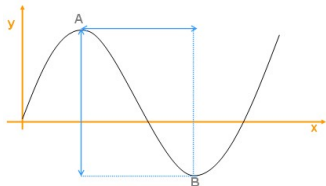
- ▶ Ogni media è **fisicamente esprimibile come un segnale**, o un insieme di segnali.
- ▶ Ogni media è **destinato all'uomo**, che ha un **sistema sensoriale specifico**.
- ▶ Esempio: **suono**
 - ⇒ onde che si propagano nell'aria
 - ⇒ quale rappresentazione matematico/fisica si presta a cattura e rappresentazione fedele?
 - ⇒ quali aspetti del segnale rappresentato sono irrilevanti (dal punto di vista della fruizione umana) e possono essere esclusi?

Segnali e flussi

- ▶ **Media discreti:** indipendenti dal tempo.
 - ▶ Possono essere scomponibili in sequenze di sottoelementi che non sono temporizzabili.
 - ▶ Esempi: **testo** e **immagini fisse**
 - ▶ Immagine: esprimibile mediante un **segnale** $f(x, y)$
 - ▶ Il numero di byte necessari a memorizzare un media discreto non ha relazioni con la sua durata.
- ▶ **Media continui:** dipendenti dal tempo.
 - ▶ I loro valori cambiano in istanti successivi.
 - ▶ Esempi: **audio**, **video** e **animazioni**
 - ▶ Suono: esprimibile mediante un segnale $f(t)$
 - ▶ Video: esprimibile mediante $f(x, y, t)$
 - ▶ Quantità di informazioni aumenta in funzione del tempo.
 - ▶ Naturale considerare i media continui come **flussi** di dati.
 - ▶ Flusso di informazioni misurato in **bit al secondo (bps)**

Frequenza e ampiezza

- ▶ Segnali analogici continui: **onde** (onde sonore, luce)
- ▶ Rappresentazione: (x =tempo, y =energia) dell'onda



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

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:
 - ▶ suoni: **sound card**,
 - ▶ immagini: **charge-coupled device (CCD)** di scanner e fotocamere digitali
- ▶ **Quantizzazione**: approssimazione di un insieme (infinito) di valori di un segnale in un insieme finito di valori discreti.

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.
- ▶ **Quantizzazione**: approssimazione di un insieme (infinito) di valori di un segnale in un insieme finito di valori discreti.
 - ▶ I **livelli di quantizzazione** devono essere fissati in modo da non alterare in modo sensibile il segnale originale
 - ▶ Valori tipici per le immagini:
 - ▶ 2 colori (1 bit), 64 colori (6 bit), 256 colori (8 bit)
 - ▶ Valori tipici per il suono:
 - ▶ 256 colori (8 bit), 65536 valori (16 bit, qualità CD)

Valore di Nyquist

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

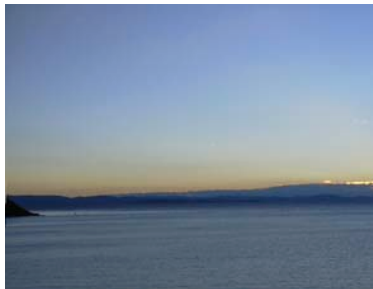
Teorema (del campionamento)

*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*

- ▶ 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.

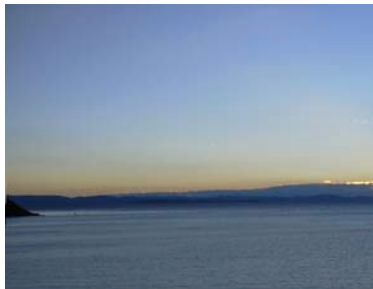
Sottocampionamento

- ▶ **Sottocampionare** significa campionare a frequenza minore del valore di Nyquist
- ▶ Perdita di informazioni \Rightarrow ricostruzione imprecisa del segnale:
 - ▶ sonoro: distorsione
 - ▶ immagini: bordi confusi
 - ▶ video: movimenti a strappi



Sottoquantizzazione

- ▶ **Sottoquantizzare** significa usare un numero insufficiente di livelli di quantizzazione
- ▶ Perdita di informazioni \Rightarrow ricostruzione imprecisa del segnale:
 - ▶ sonoro: rumore di fondo
 - ▶ immagini: scarso rendering dei colori

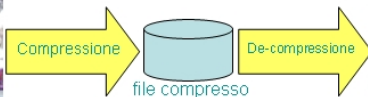


Compressione

- ▶ La **compressione** è una tecnica che ha l'obiettivo di generare un file compresso di dimensione minore del file originale.
 - ▶ **lossless**: senza perdita di informazione
 - ▶ **lossy**: con perdita di informazione



file originale



file ricostruito

Parte II

Audio

Suono e sua percezione

- ▶ **Suono:** vibrazioni che si propagano nell'aria sotto forma di **onde**.
 - ▶ suoni: onde regolari e uniformi
 - ▶ rumori: onde irregolari
- ▶ **Frequenza del suono:** numero di vibrazioni che si propagano al secondo (unità di misura: Hz).
 - ▶ acuti: alta frequenza
 - ▶ gravi: bassa frequenza
- ▶ 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

Input e output di audio digitale

▶ **Input:**

⇒ Suono digitale di sintesi

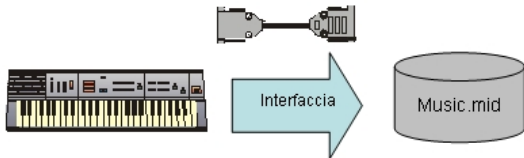
- ▶ A partire da una sorgente analogica: digitalizzazione dell'audio attraverso scheda sonora

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

▶ **Output:**

- ▶ Riproduzione dell'audio digitale attraverso scheda sonora

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



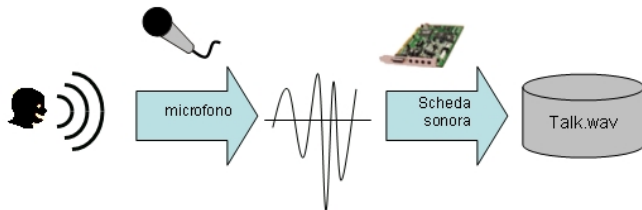
Input e output di audio digitale

▶ Input:

- ▶ Suono digitale di sintesi
- ⇒ 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)**



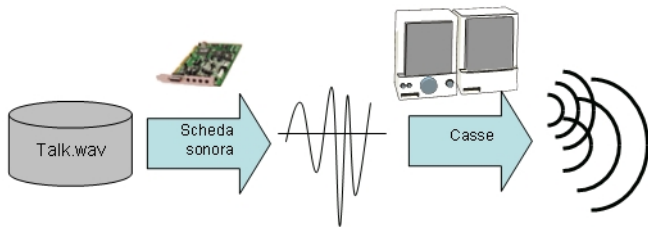
Input e output di audio digitale

▶ Input:

- ▶ Suono digitale di sintesi
- ▶ 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)**



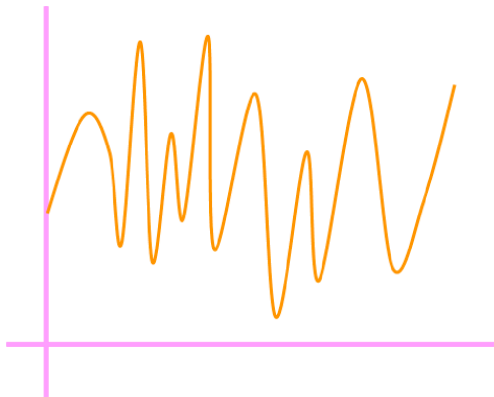
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

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



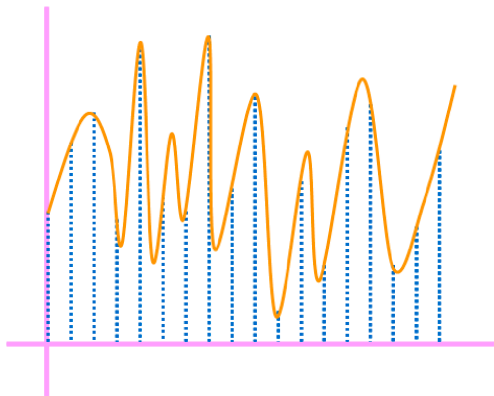
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ Rappresentazione di un suono come onda



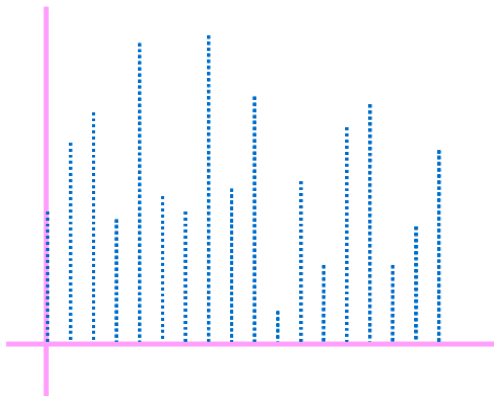
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Campionamento:** l'onda viene misurata a istanti a distanza regolare l'uno dall'altro



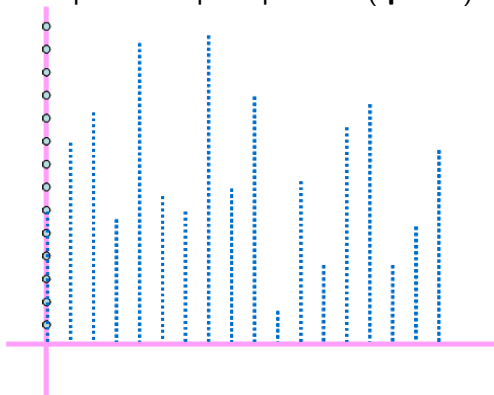
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- ▶ **Campionamento:** l'onda viene misurata a istanti a distanza regolare l'uno dall'altro



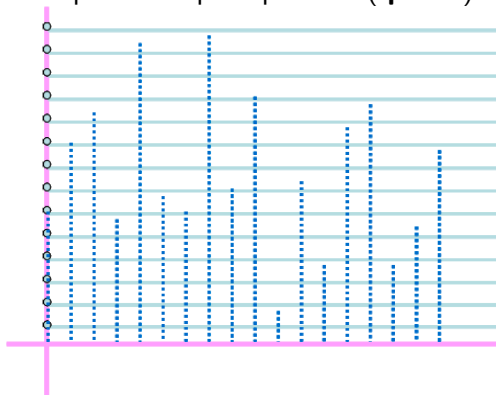
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

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



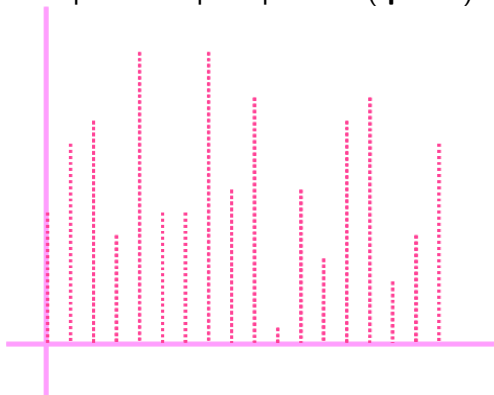
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

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



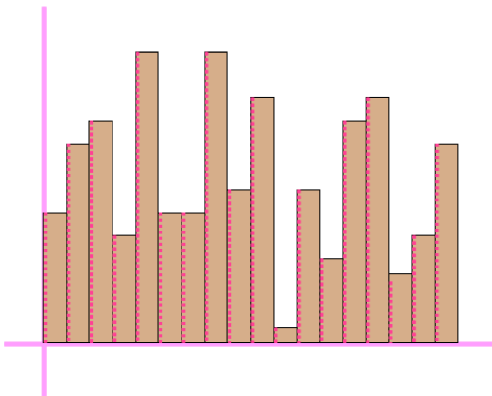
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

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



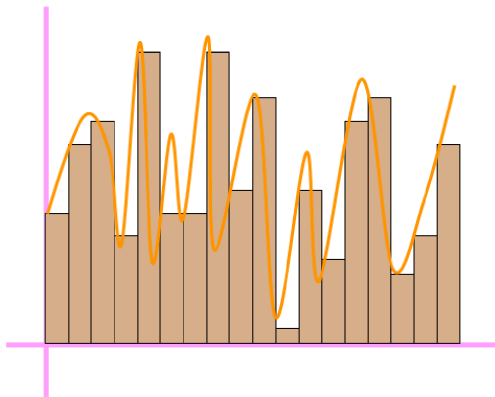
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

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



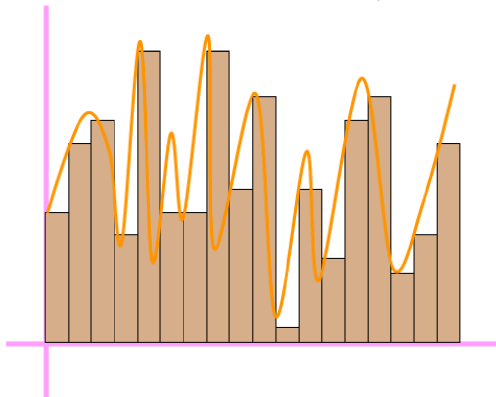
Digitalizzazione e ricostruzione del segnale audio

- 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



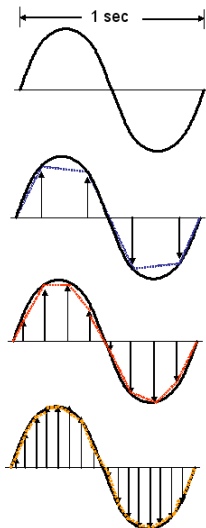
Campionamento

► **Campionamento:**

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

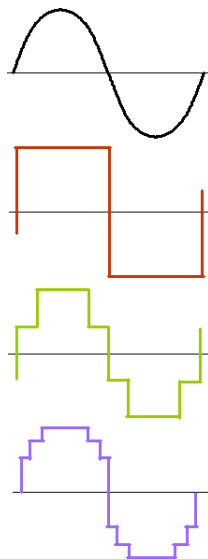
► **Sampling rate:** numero dei campioni in un intervallo di tempo.

- Aumentando il numero dei campioni si ottiene una migliore approssimazione della curva originale.
- Campionamento fedele: legge di **Nyquist**.



Quantizzazione

- ▶ **Quantizzazione:** rappresentazione di ogni campione con un valore prefissato
 - ▶ 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



Alcuni esempi

▶ **Voce** (qualità telefonica)

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

▶ **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: $\Rightarrow 16 \times 44.100 \times 2$ bps = 1.41 Mbps
 - ▶ Per 1 minuto di musica stereo in alta fedeltà:
 $2 \times 44.100 \times 2 \times 60$ Byte \sim 10 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

- ▶ Scopo della compressione: ridurre lo spazio occupato e la larghezza di banda necessaria a trasmettere l'audio in rete.
- ▶ **MPEG** (Moving Picture Experts Group): una famiglia di sistemi di compressione.
 - ▶ Audio. Compressione in tre livelli (Layer I, II, III). Layer III: algoritmi più complessi ed efficaci (**MP3**)
 - ▶ Video
- ▶ Compressione **lossy**
- ▶ Le informazioni perse sono quelle che l'utente difficilmente percepisce
 - ▶ Sistema di compressione **di tipo percettivo**
 - ▶ Idea: ottenere un segnale diverso dall'originale, più semplice da codificare, ma percepito allo stesso modo dall'utente.
 - ▶ Modello percettivo **psico-acustico**
 - ▶ Vari livelli di compressione (↑) e qualità (↓)
 - ▶ livello medio: 128 Kbps ⇒ 12 ore su CD

Musical Instrument Digital Interface (MIDI)

- ▶ Musica di sintesi
- ▶ MIDI è un **protocollo** che consente a dispositivi musicali elettronici di comunicare tra di loro e con il computer.
- ▶ Caratteristiche:
 - ▶ Contiene **riferimenti simbolici** alle note musicali e non una registrazione musicale dei suoni
 - ▶ Permette di **pilotare uno o più strumenti elettronici** per la riproduzione di brani musicali a partire da descrizione simbolica
- ▶ È come se fosse un “pentagramma attivo”
- ▶ Dispositivi di riproduzione: **sintetizzatori**

Parte III

Video

Digitalizzazione del 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
- ▶ Video digitale dipende da 2 fattori:
 - ▶ i **frame** (immagini **bitmap**: griglia $n \times m$)
 - ▶ il **tempo**: frequenza di riproduzione dei frame
- ▶ Di solito: affiancato da un **canale audio**

Input e output di video digitale

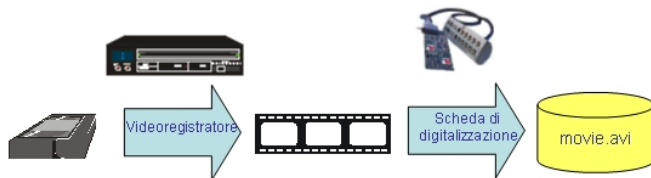
▶ **Input:**

⇒ Ripresa con videocamera digitale

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

▶ **Output:**

- ▶ Riproduzione dell'audio digitale attraverso scheda video



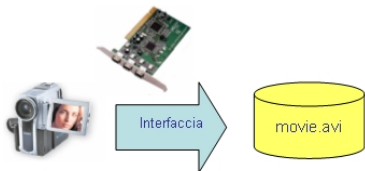
Input e output di video digitale

▶ **Input:**

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

▶ **Output:**

- ▶ Riproduzione dell'audio digitale attraverso scheda video



Input e output di video digitale

▶ **Input:**

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

▶ **Output:**

- ⇒ Riproduzione dell'audio digitale attraverso scheda video



Frequenza di framing

- ▶ **Frame rate** (frequenza delle immagini): 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.
- ▶ Scelta dipende da:
 - ▶ qualità del sistema di produzione e riproduzione
 - ▶ qualità del mezzo di trasmissione (teleconferenza)

Alcuni esempi

- ▶ **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**: $27 \text{ MBps} \times 60 \text{ s} = \mathbf{1.6 \text{ GB}}$
- ▶ **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**: $31.6 \text{ MBps} \times 60 \text{ s} = \mathbf{1.85 \text{ GB}}$

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 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.

Streaming

- ▶ Tecnica utilizzata per i media continui (audio e video)
- ▶ Il media è considerato come **flusso** e non come file
- ▶ **Internet** e **video on demand**: fruizione durante la trasmissione dei pacchetti, non dopo il download
 - ▶ **playout**: fase in cui l'utente comincia a fruire del media
- ▶ Nessun controllo su integrità della trasmissione e ordine di arrivo dei pacchetti.
 - ▶ Maggiore velocità
 - ▶ Necessità di implementare meccanismi di correzione degli errori di trasmissione

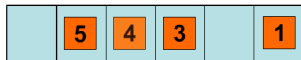
Streaming

- ▶ Utilizzo di un buffer
- ▶ Meccanismo (S=Sorgente, D=Destinazione):
 1. S: inizia la trasmissione (pacchetti)
 2. D: riceve pacchetti e attende di riempire il buffer prima di iniziare playout
 3. D: dopo il periodo d'attesa, inizio del playout dei pacchetti accumulati



Streaming

- ▶ Utilizzo di un buffer
- ▶ Meccanismo (S=Sorgente, D=Destinazione):
 1. S: inizia la trasmissione (pacchetti)
 2. D: riceve pacchetti e attende di riempire il buffer prima di iniziare playout
 3. D: dopo il periodo d'attesa, inizio del playout dei pacchetti accumulati



Streaming

- ▶ Utilizzo di un buffer
- ▶ Meccanismo (S=Sorgente, D=Destinazione):
 1. S: inizia la trasmissione (pacchetti)
 2. D: riceve pacchetti e attende di riempire il buffer prima di iniziare playout
 3. D: dopo il periodo d'attesa, inizio del playout dei pacchetti accumulati



Streaming

- ▶ Utilizzo di un buffer
- ▶ Meccanismo (S=Sorgente, D=Destinazione):
 1. S: inizia la trasmissione (pacchetti)
 2. D: riceve pacchetti e attende di riempire il buffer prima di iniziare playout
 3. D: dopo il periodo d'attesa, inizio del playout dei pacchetti accumulati



Streaming

- ▶ Utilizzo di un buffer
- ▶ Meccanismo (S=Sorgente, D=Destinazione):
 1. S: inizia la trasmissione (pacchetti)
 2. D: riceve pacchetti e attende di riempire il buffer prima di iniziare playout
 3. D: dopo il periodo d'attesa, inizio del playout dei pacchetti accumulati



Streaming

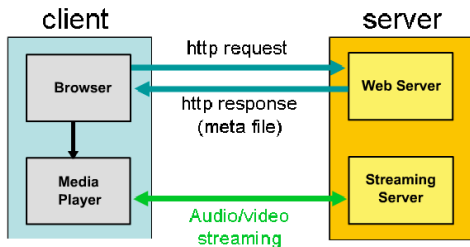
- ▶ Utilizzo di un buffer
- ▶ Meccanismo (S=Sorgente, D=Destinazione):
 1. S: inizia la trasmissione (pacchetti)
 2. D: riceve pacchetti e attende di riempire il buffer prima di iniziare playout
 3. D: dopo il periodo d'attesa, inizio del playout dei pacchetti accumulati



Streaming e Web

► Su Web: client/server

1. Browser: richiesta di una risorsa multimediale
2. Web Server: invio di un meta-file con indicazioni su quale player usare
3. Browser: lancia il Media Player e gli passa il meta-file
4. Media Player: contatta il server e inizia lo streaming (buffering e playout)



Percezione della qualità dello streaming

- ▶ Percezione della **perdita di pacchetti**
 - ▶ discontinuità del flusso
 - ▶ fastidioso se perdite multiple e consecutive
- ▶ Percezione del **ritardo**
 - ▶ due cause:
 - ▶ ritardo del primo pacchetto sulla rete (niente da fare)
 - ▶ ritardo di buffering (introdotto sistematicamente dal sistema)
- ▶ Percezione della **variabilità del ritardo (delay jitter)**
 - ▶ attenuato dall'utilizzo del buffer



Handouts and all other material for **Informatica Informatica Grafica per Ingegneria Edile-Architettura**, Università di Bologna - A.A. 2009/2010 by Paolo Torroni is licensed under a **Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 2.5 Italy License**.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/it/>

Based on a work at University of Bologna, Italy. <http://www.unibo.it/>

Paolo Torroni's Web site: <http://lia.deis.unibo.it/~pt/>

Composed using the \LaTeX Beamer Class, <http://latex-beamer.sourceforge.net/>