

Il suono (audio)

Stefano Lodi

Insegnamento di Informatica

Alma Mater Studiorum Università di Bologna

stefano.lodi@unibo.it

Onde

Onde

Onde sinusoidali

Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche
del suono

Digitalizzazione del
suono

Campionamento e
quantizzazione del
suono

Ricostruzione

Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?

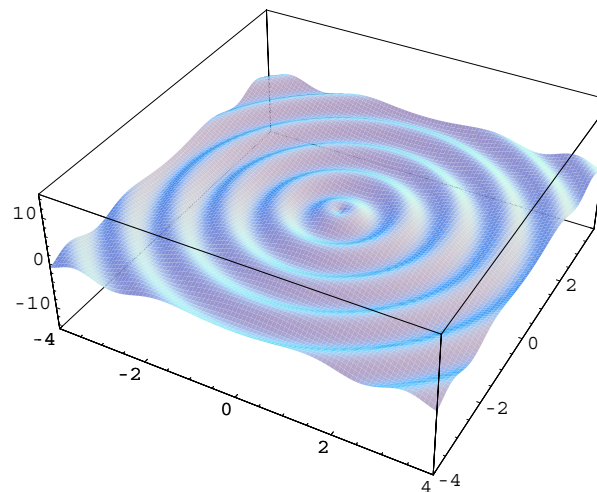
Campionamento
della musica

Formati audio per file

MPEG Audio

MP3

- Le onde sono **oscillazioni periodiche** di una grandezza fisica (livello di un liquido, pressione dell'aria, campo elettromagnetico) che si propagano nello spazio
 - ◆ Onde nei liquidi (oscillazioni del livello)
 - ◆ Onde di pressione nell'aria
 - esempio: suoni
 - ◆ Onde elettromagnetiche
 - esempio: luce



Onde sinusoidali

Onde

Onde sinusoidali

Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche
del suono

Digitalizzazione del
suono

Campionamento e
quantizzazione del
suono

Ricostruzione

Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?

Campionamento
della musica

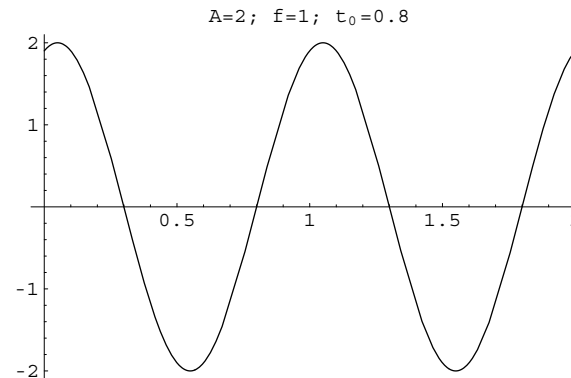
Formati audio per file

MPEG Audio

MP3

- Le onde piú semplici sono le onde **sinusoidali**

- ◆ Per le onde sinusoidali, l'oscillazione della grandezza fisica nello spazio o nel tempo può essere rappresentata con una funzione $A \sin(2\pi f(t - t_0))$



- Caratteristiche fisiche importanti delle onde sinusoidali per l'informatica multimediale sono l'**ampiezza** A e la **frequenza** f

Ampiezza È la distanza tra la cresta dell'onda e il valore della grandezza in quiete

Frequenza È il numero di creste al secondo che attraversano un punto fissato dello spazio in cui l'onda si propaga

Onde non sinusoidali

Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche
del suono
Digitalizzazione del
suono
Campionamento e
quantizzazione del
suono
Ricostruzione
Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?
Campionamento
della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

- Le onde che si manifestano nei fenomeni reali sono spesso una somma di molte onde sinusoidali, con ampiezza, frequenza e composizione variabili nel tempo
- Talora mantengono un carattere **periodico**, cioè sono rappresentabili con funzioni periodiche
- In tal caso l'ampiezza è il massimo valore della grandezza in un periodo e la frequenza è il numero di periodi al secondo

Caratteristiche fisiche del suono

Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche del suono
Digitalizzazione del suono
Campionamento e quantizzazione del suono
Ricostruzione
Cosa influenza la fedeltà dell'audio digitale?
Campionamento della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

- Il suono è un fenomeno percettivo causato da **onde di pressione sferiche** che si propagano nell'aria
- L'onda trasmette energia al timpano e ne causa l'oscillazione
- L'ampiezza delle oscillazioni è responsabile della percezione dell'intensità del suono
- La frequenza delle oscillazioni è legata alla percezione dell'altezza del suono: suoni causati da oscillazioni a bassa frequenza sono suoni **gravi**, suoni causati da oscillazioni ad alta frequenza sono suoni **acuti**
- L'intervallo delle frequenze delle oscillazioni udibili dall'orecchio umano è **20 ÷ 20000 Hz**
- L'intervallo delle frequenze delle oscillazioni provocate dalla ricezione della voce umana è **600 ÷ 5000 Hz**

Digitalizzazione del suono

Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche del suono
Digitalizzazione del suono
Campionamento e quantizzazione del suono
Ricostruzione
Cosa influenza la fedeltà dell'audio digitale?
Campionamento della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

- Per potere essere elaborato, trasmesso o riprodotto, il suono deve essere trasformato in *audio digitale*, cioè trasformato in una sequenza di numeri rappresentati nel sistema binario
- In un moderno elaboratore è sempre presente un dispositivo, la *scheda sonora*, o *scheda audio*, o *audio card*, con le seguenti funzionalità:
 - ◆ Acquisisce attraverso un microfono le oscillazioni causate dalle onde sonore e le trasforma, attraverso un processo di campionamento, in una successione di numeri rappresentati nel sistema binario
 - La scheda opera come *convertitore analogico-digitale*, o *ADC*, *analog to digital converter*
 - ◆ Riproduce attraverso casse amplificate o cuffie il suono originario, provocando l'oscillazione delle membrane degli altoparlanti delle casse o della cuffia, conformemente al contenuto informativo dell'audio digitale
 - La scheda opera come *convertitore digitale-analogico*, o *DAC*, *digital to analog converter*

Campionamento e quantizzazione del suono

Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche del suono
Digitalizzazione del suono
Campionamento e quantizzazione del suono
Ricostruzione
Cosa influenza la fedeltà dell'audio digitale?
Campionamento della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

- La digitalizzazione del suono si basa sul *campionamento* e *quantizzazione*
- La riproduzione si basa sul processo di *ricostruzione* del suono dai suoi campioni quantizzati

campionamento

- ◆ Il microfono trasforma le oscillazioni della propria membrana in oscillazioni elettriche
- ◆ La scheda audio riceve le oscillazioni elettriche e ne misura, ad intervalli equidistanti nel tempo, l'altezza

quantizzazione

- ◆ Le altezze misurate sono approssimate, cioè aumentate o ridotte, fino a raggiungere il più prossimo valore tra quelli determinati a priori
- ◆ Le altezze quantizzate sono trasformate in numeri binari e questi sono memorizzati elettronicamente

Ricostruzione

Onde

Onde sinusoidali

Onde non sinusoidali

Caratteristiche fisiche
del suono

Digitalizzazione del
suono

Campionamento e
quantizzazione del
suono

Ricostruzione

Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?

Campionamento
della musica

Formati audio per file

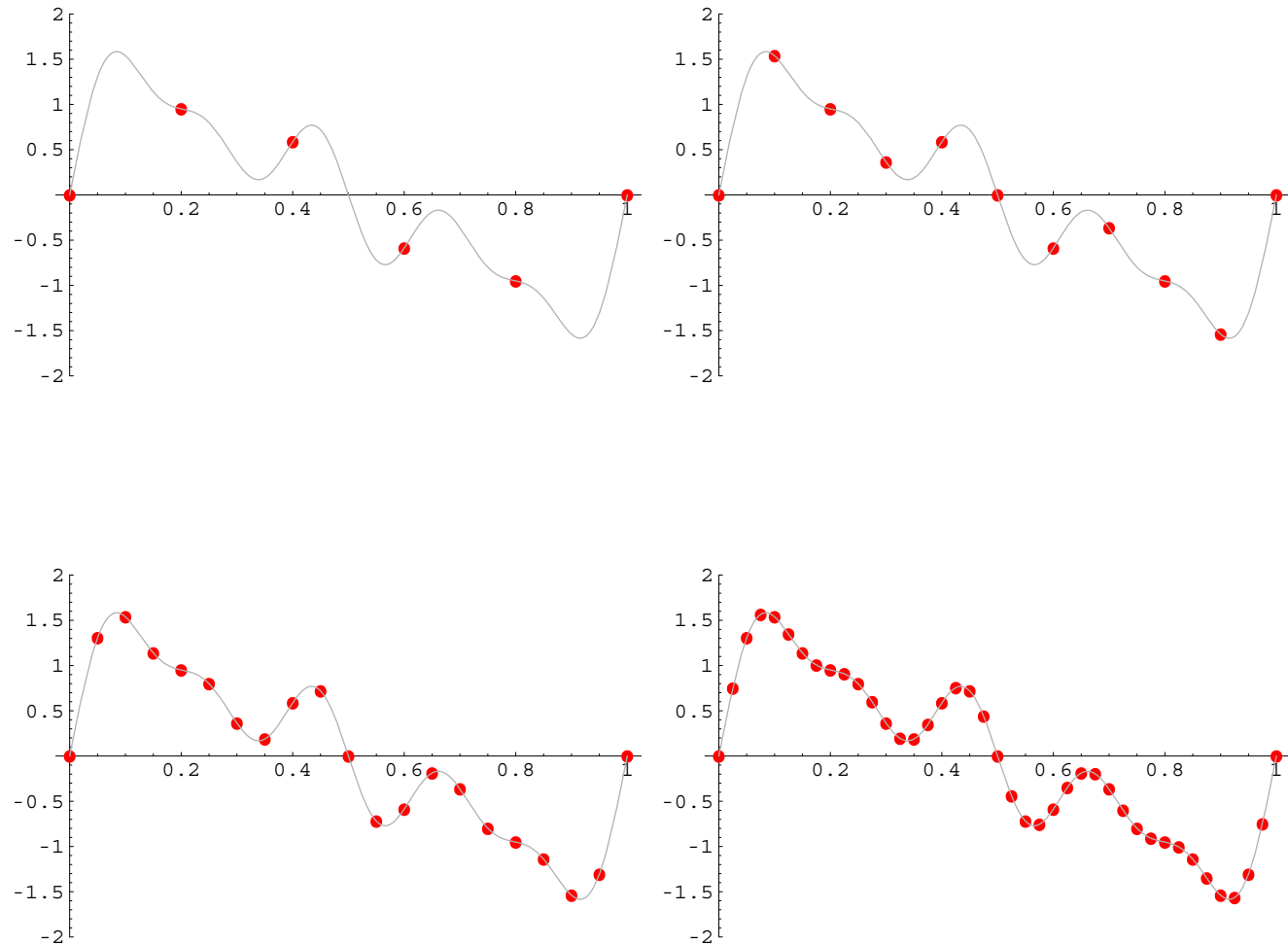
MPEG Audio

MP3

- La successione dei numeri memorizzati viene visitata nell'ordine in cui sono stati generati
- Tra la visita di un numero e il successivo intercorre un tempo costante, pari all'intervallo tra i campioni
- Ogni numero viene trasformato di nuovo in un segnale elettrico che viene mantenuto costante fino alla visita (e trasformazione) del numero successivo

Cosa influenza la fedeltà dell'audio digitale?

- La fedeltà migliora al crescere del numero di campioni per unità di tempo e del numero di livelli di quantizzazione



Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche del suono
Digitalizzazione del suono
Campionamento e quantizzazione del suono
Ricostruzione
Cosa influenza la fedeltà dell'audio digitale?
Campionamento della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

Campionamento della musica

Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche
del suono
Digitalizzazione del
suono
Campionamento e
quantizzazione del
suono
Ricostruzione
Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?
Campionamento
della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

- Frequenze udibili dall'orecchio umano: $20 \div 20000$ Hz
- Teorema sul campionamento \Rightarrow occorre campionare a frequenza $f_c > 2 \times 20000 = 40kHz$
- Numero di livelli di quantizzazione $\gg 256$
 - ◆ Numero di bit per campione > 8 ; spesso si utilizzano 16 bit
- Due canali audio (*stereofonia*) invece di uno solo
- Esempio: il campionamento del CD Audio
 - ◆ Campionamento a 44.1 kHz
 - ◆ $16 \text{ bit} \times \text{campione} \Rightarrow 65536$ livelli quantizzati
 - ◆ 2 canali
 - ◆ Bit rate:

$$\begin{aligned} 44100 \text{ campioni/s} \times 16 \text{ bit} \times 2 &= 1441200 \text{ bit/s} \\ &= 176400 \text{ Byte/s} \end{aligned}$$

- ◆ 1 m di musica in CD

$$\begin{aligned} 1441200 \text{ bit/s} \times 60 &= 84672000 \text{ bit} \\ &= 10584000 \text{ Byte} \end{aligned}$$

Formati audio per file

Onde

Onde sinusoidali

Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche
del suono

Digitalizzazione del
suono

Campionamento e
quantizzazione del
suono

Ricostruzione

Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?

Campionamento
della musica

Formati audio per file

MPEG Audio

MP3

- WAV (o WAVE) (file *.wav)
 - ◆ IBM/Microsoft
 - ◆ campioni + informazioni
 - numero di bit \times campione (8 o 16)
 - frequenza di campionamento (11 o 22 o 44 kHz)
 - numero canali audio (1 o 2)

MPEG Audio

Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche
del suono
Digitalizzazione del
suono
Campionamento e
quantizzazione del
suono
Ricostruzione
Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?
Campionamento
della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

- Gruppo di lavoro MPEG (Moving Picture Expert Group) dell'ISO/IEC (International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission)
 - ◆ Sviluppa formati compressi per audio e video
- Standard prodotti
 - ◆ MPEG-1
 - Compressione audio e video
 - Usata come standard per il VCD (Video CD)
 - ◆ MPEG-2
 - Compressione audio e video per televisione digitale
 - ◆ MPEG-3: abbandonato; **non** confondere con MP3!
 - ◆ MPEG-4
 - Estende MPEG-1
 - 3D
 - DRM (Digital Rights Management)

MP3

Onde
Onde sinusoidali
Onde non sinusoidali
Caratteristiche fisiche
del suono
Digitalizzazione del
suono
Campionamento e
quantizzazione del
suono
Ricostruzione
Cosa influenza la
fedeltà dell'audio
digitale?
Campionamento
della musica
Formati audio per file
MPEG Audio
MP3

- MPEG-1 Layer 3
- Con perdita (lossy)
- Basato sulla eliminazione di informazione sonora che l'ascoltatore difficilmente può percepire
- Maggiore è la quantità di informazione eliminata, minori sono dimensioni e qualità
 - ◆ $192 \div 300$ kbit/s
 - ◆ 128 kbit/s
 - ◆ 16 kbit/s
- Modello psicoacustico con analisi della soglia di udibilità
 - ◆ Curva frequenza - udibilità
 - ◆ Mascheramento
- Altri formati
 - ◆ Real audio (Real Player)
 - ◆ WMA