

Rappresentazione e codifica dei dati

Prof.ssa Lucia Migliorelli

lmigliorelli@unite.it

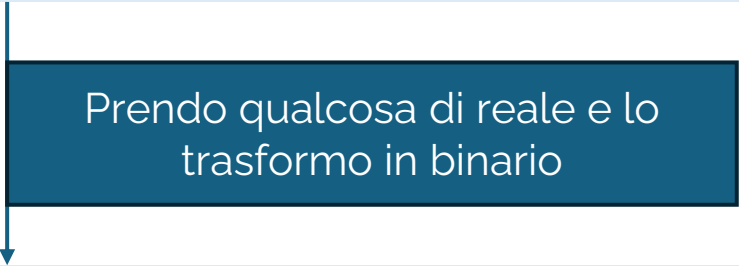
Corso di Sistemi multimediali e web per il turismo

Dipartimento di Scienze Politiche, Università di Teramo



Codifica dei numeri)

- I numeri si rappresentano con bit (0 e 1).
- Esempi: interi, numeri con la virgola (IEEE 754), numeri negativi, ecc.
- L'idea della codifica dei numeri è: come trasformare quantità matematiche in sequenze di 0 e 1.



Prendo qualcosa di reale e lo trasformo in binario

Codifica dell'informazione)

- Un suono (ad esempio, ma il discorso è analogo per le immagini) non è un numero: è un segnale analogico continuo (un'onda).
- Per trattarlo al computer dobbiamo trasformarlo in numeri → cioè campionare e quantizzare.
- Esempio: ogni istante di tempo misuro l'ampiezza dell'onda sonora → ottengo una serie di numeri → salvo quei numeri in binario.

Agenda

- La codifica dei suoni
- Rappresentazione analogica
- Rappresentazione digitale
- Conversione analogica/digitale
- Campionamento
- Quantizzazione
- Errore di quantizzazione
- Pulse Code Modulation (PCM)
- Digitalizzazione di immagini
- Digitalizzazione di video

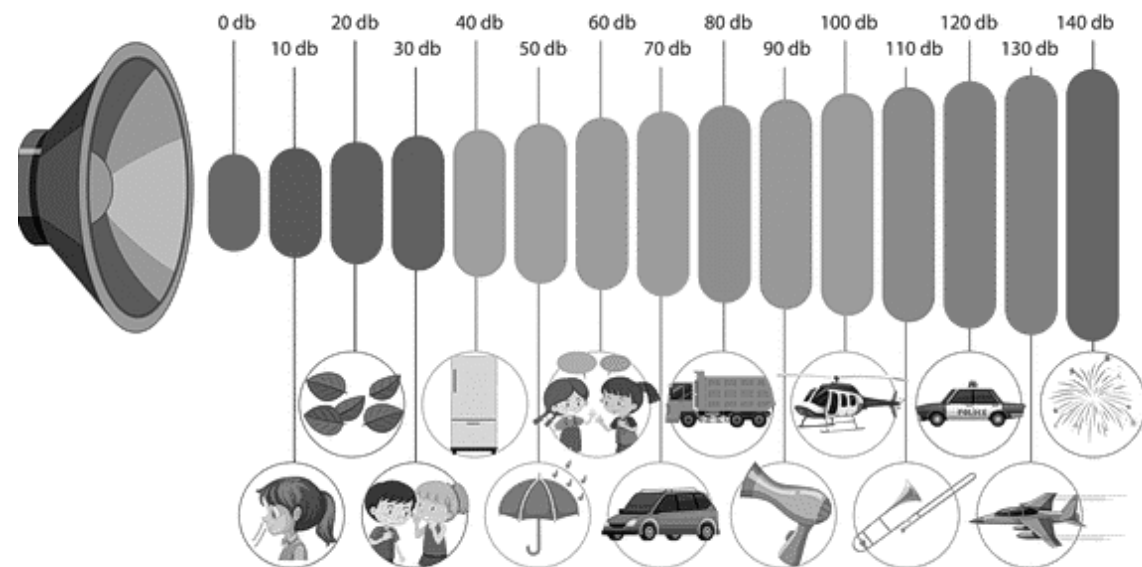
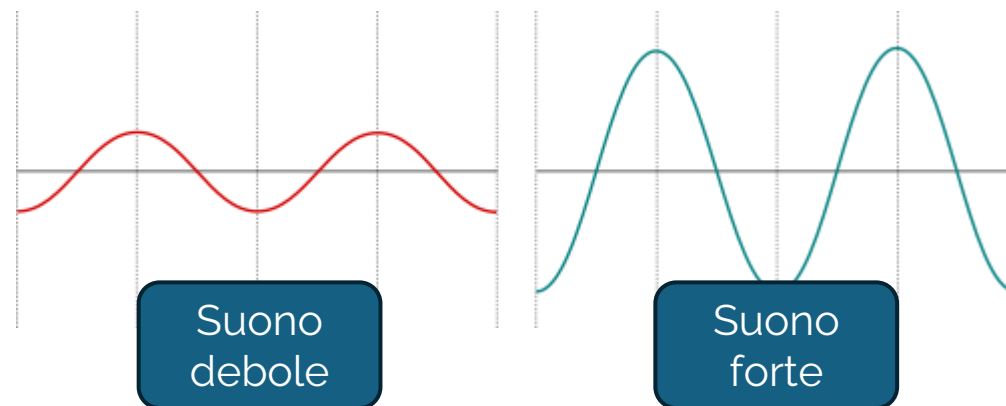
Codifica dei suoni

- I suoni costituiscono un tipo di informazione con cui siamo costantemente a contatto (linguaggio parlato, musica, rumori)
- I suoni possono essere rappresentati in forma digitale
- La durata, l'intensità e la frequenza della variazione nel tempo della pressione dell'aria sono le quantità fisiche che rendono un suono diverso da ogni altro

Codifica dei suoni

Intensità del suono

- L'intensità di un suono descrive l'ampiezza delle variazioni dell'onda sonora e fornisce una misura dell'energia trasportata dall'onda sonora (**ovvero quanto è forte o debole un suono**)
- L'intensità del suono dipende dall'ampiezza dell'onda sonora: onde grandi → suono forte, onde piccole → suono debole
 - Si misura in decibel (dB)



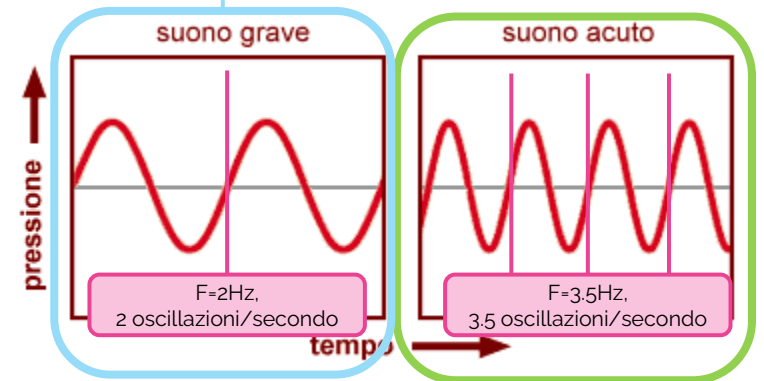
Codifica dei suoni

Altezza (e frequenza) del suono

- L'altezza indica se un suono è acuto (squillante) o grave (profondo). Dipende dalla **frequenza dell'onda** (che si misura in Hz). La frequenza è il numero di onde sonore al secondo.

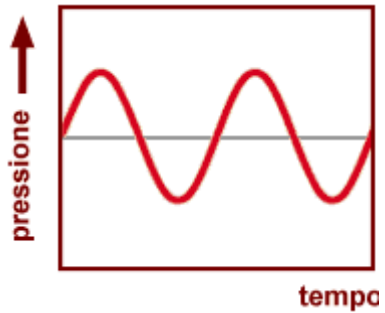
- Frequenza bassa → suono grave (es. tamburo).
- Frequenza alta → suono acuto (es. fischietto).

Meno onde al secondo → bassa frequenza → suono grave



Più onde al secondo → alta frequenza → suono acuto

Codifica dei suoni

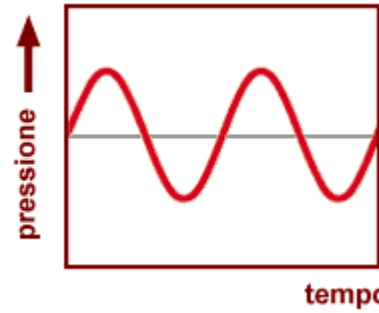
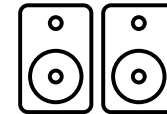


Campionamento e
quantizzazione

Il suono diventa una stringa di
numeri binari che il computer
può salvare, inviare o
elaborare.

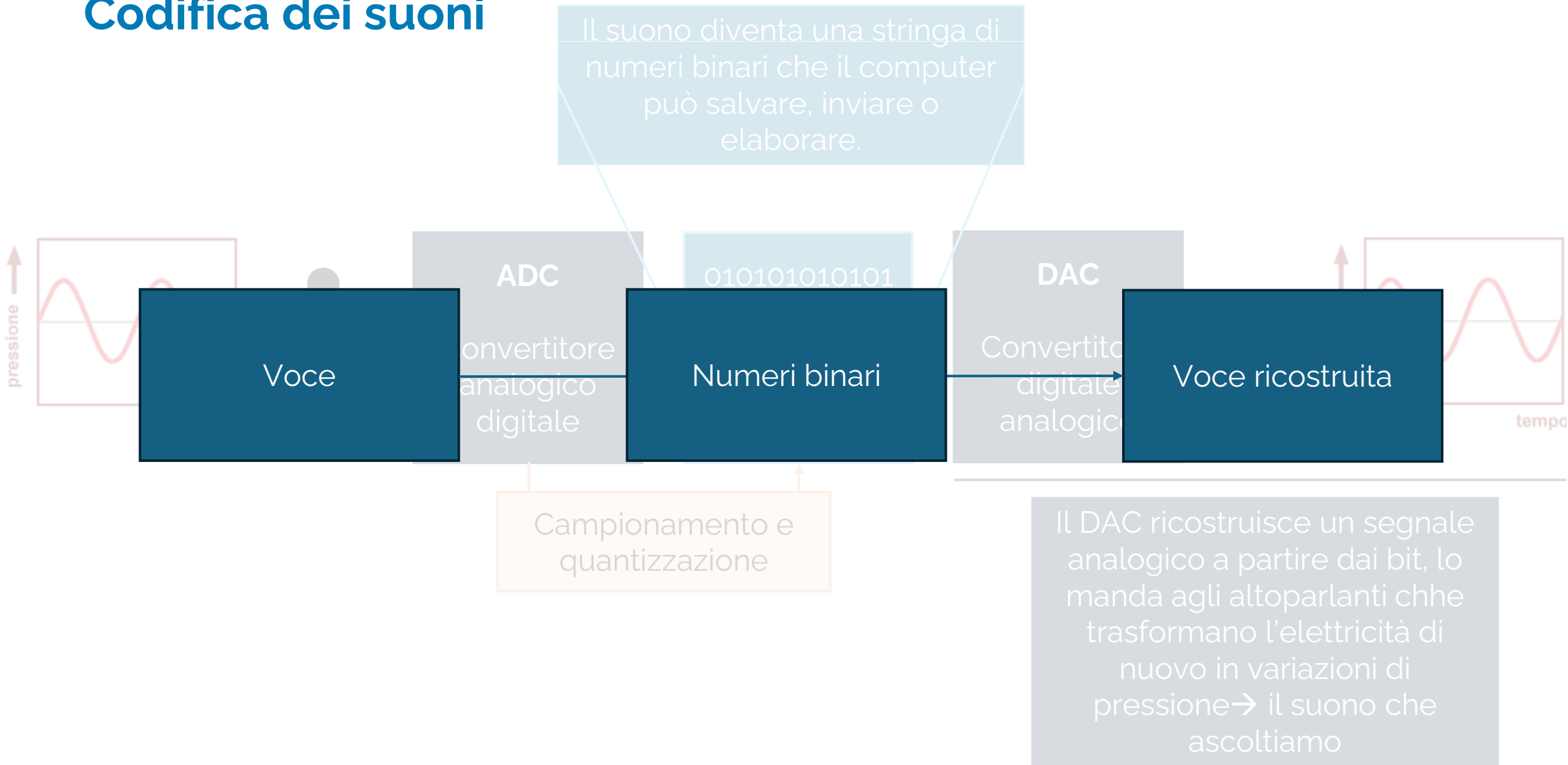
010101010101
000001010101
010100010101
00100001000

1



Il DAC ricostruisce un segnale
analogico a partire dai bit, lo
manda agli altoparlanti che
trasformano l'elettricità di
nuovo in variazioni di
pressione → il suono che
ascoltiamo

Codifica dei suoni



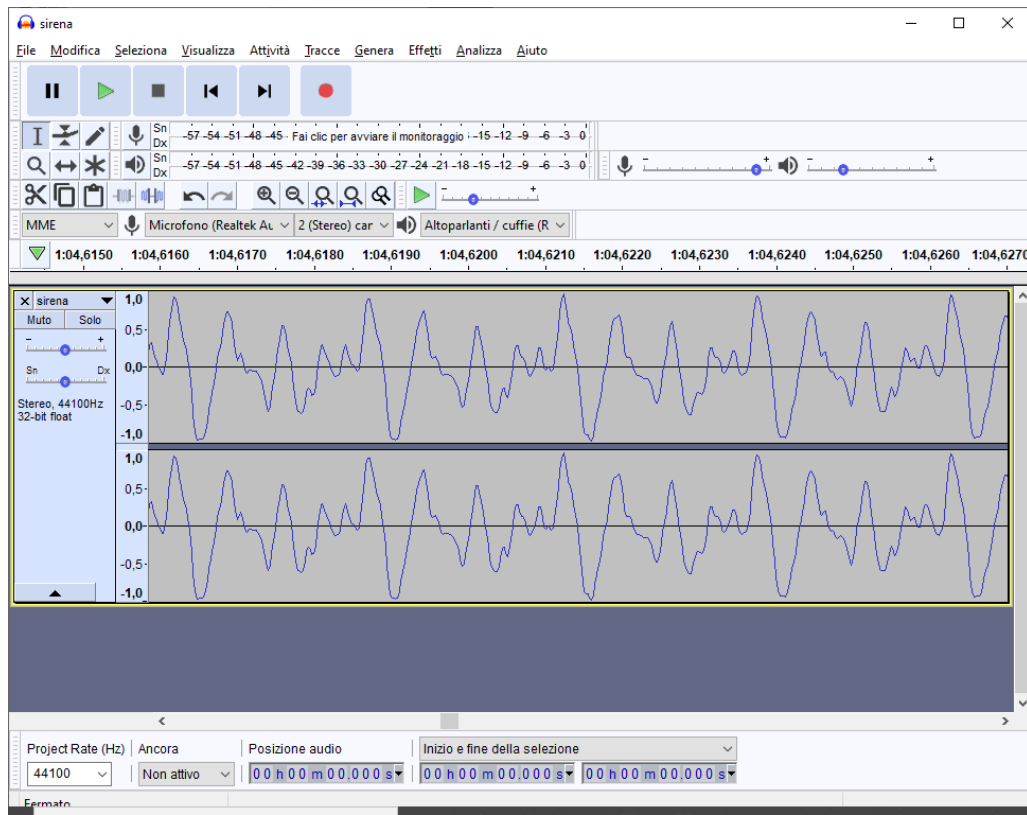
Rappresentazione analogica

- La rappresentazione analogica descrive esattamente l'analogo della quantità fisica in esame e fornisce una descrizione continua dell'onda sonora
- Le rappresentazioni di tipo analogico non sono adatte al mondo dell'informatica, poiché in informatica (come visto nella codifica dei numeri) non si possono trattare informazioni di tipo continuo
- È necessario trovare un modo di rappresentare in forma digitale (numerica) un'onda sonora

Rappresentazione digitale

- La rappresentazione digitale assegna dei numeri che rappresentano di volta in volta il valore dell'ampiezza in istanti successivi di tempo.
- La successione di numeri rappresenta l'andamento della curva di ampiezza.
- fornisce una descrizione discreta dell'onda sonora
- La rappresentazione in formato digitale del suono deve
 - garantire una riproduzione fedele del suono originale
 - consentire un'elaborazione ulteriore del suono

Digitalizzazione dei suoni



Tradurre il segnale in una sequenza di numeri rappresentanti la sua ampiezza ad istanti successivi.

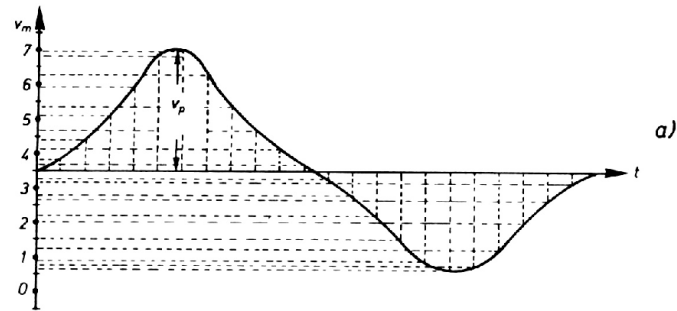


```
10001101 10001101
11111101 10001101
11010001 10001101
...
10001101 10001101
```

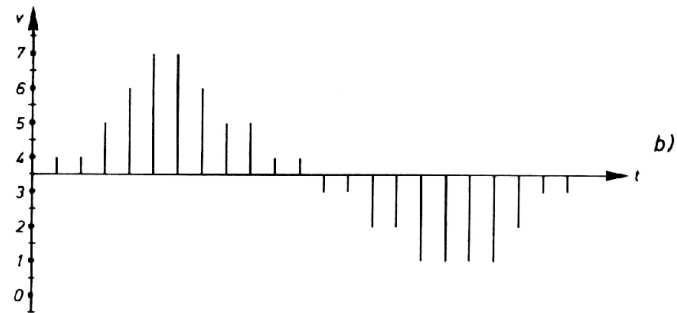
Conversione analogico-digitale

- Il processo di digitalizzazione di un suono avviene attraverso tre fasi fondamentali:
 - Campionamento
 - Quantizzazione
 - Codifica

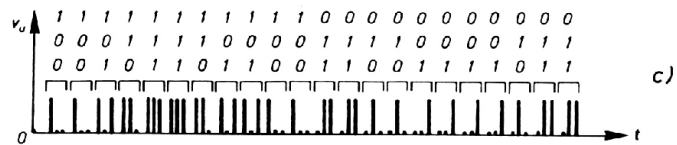
Digitalizzazione dei suoni



Campionamento

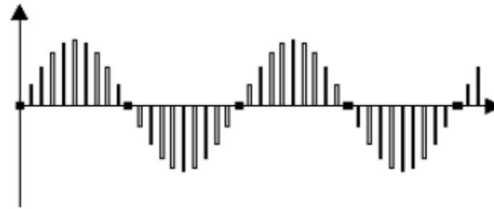
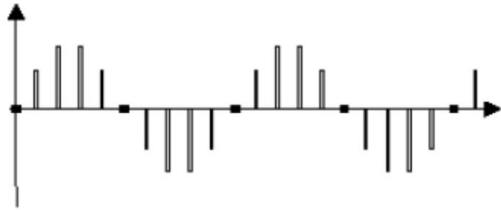
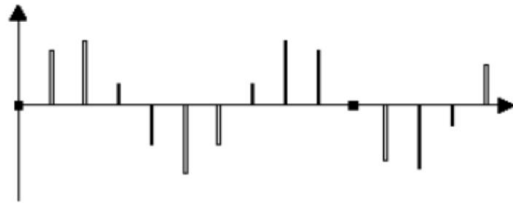
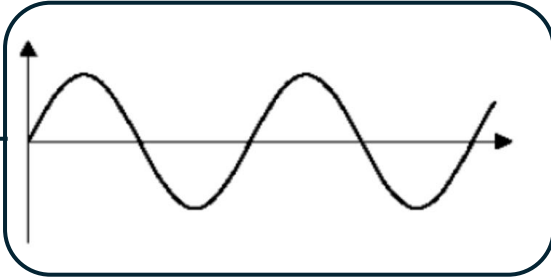


Quantizzazione



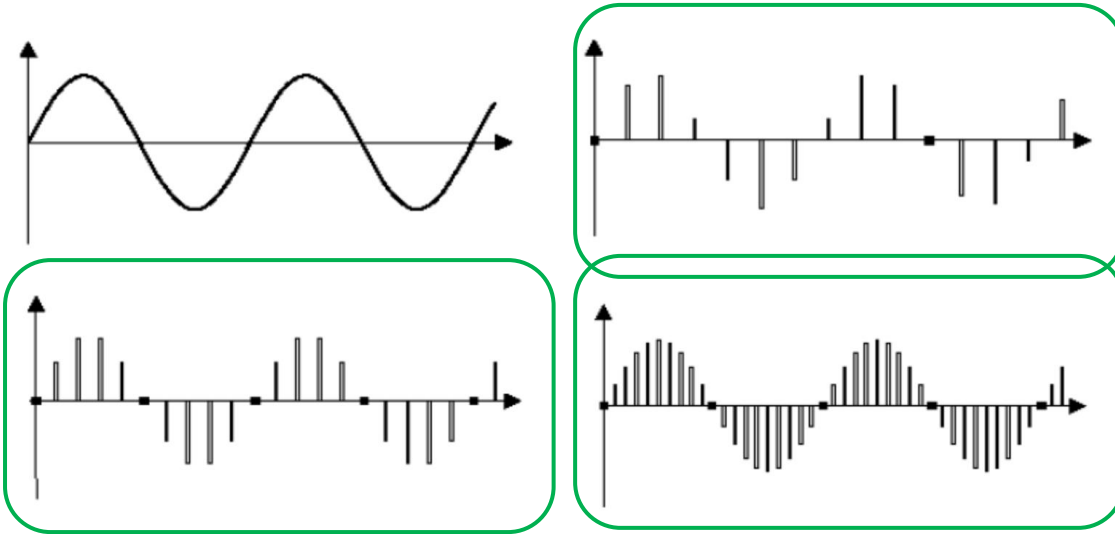
Codifica Binaria

Campionamento (1)



Il suono è come una
linea fluida che
scorre senza
interruzioni. Il PC
non può
memorizzare
infinito: deve ridurre
la linea a dei numeri

Campionamento (2)

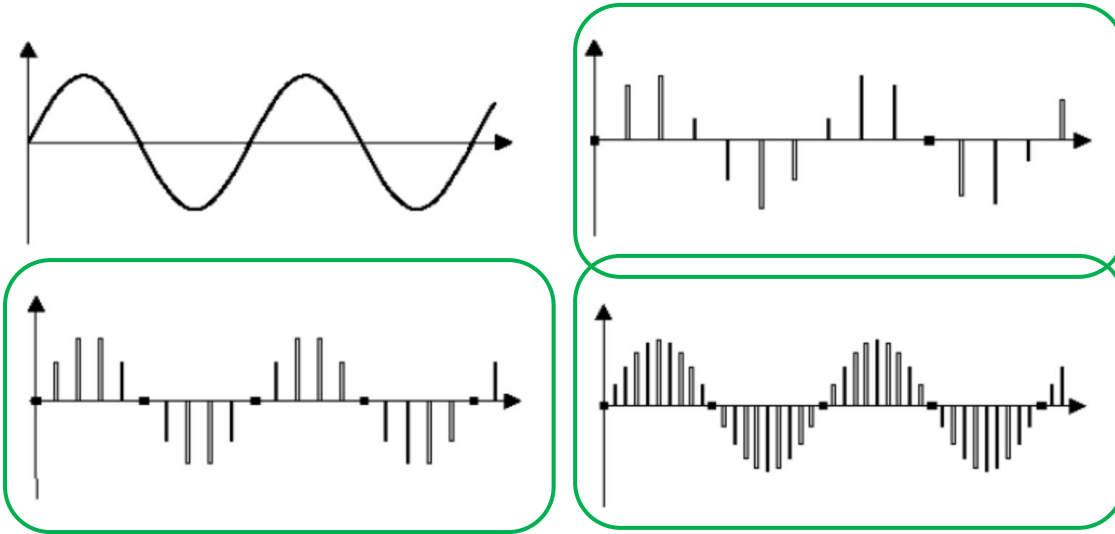


Il computer prende delle “fotografie” dell'onda sonora a intervalli regolari di tempo.

Ogni foto misura quanto è alta o bassa l'onda in quel punto.

Questo crea una serie di puntini (a destra): il segnale non è più continuo, ma fatto di valori discreti → **segnale discreto.**

Campionamento (3)



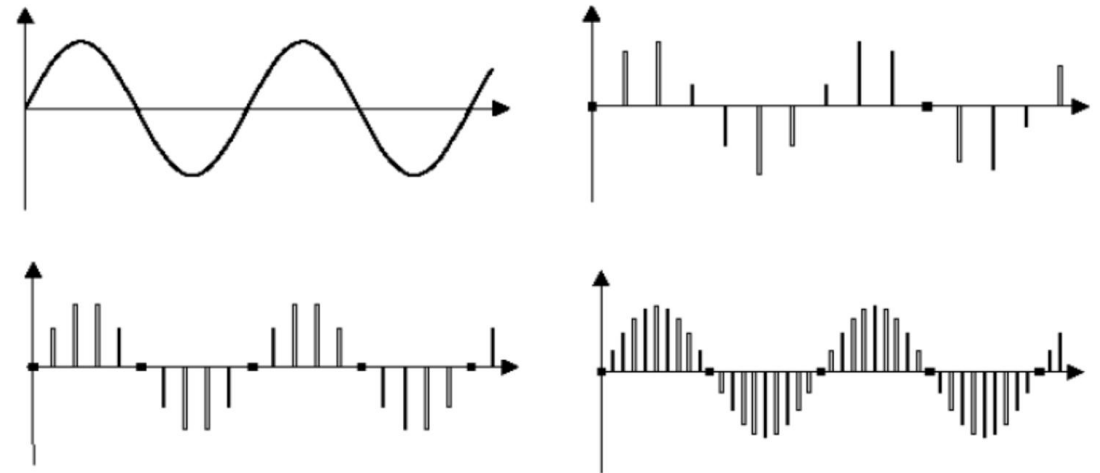
Più campioni = più fedeltà

- Se faccio poche foto (pochi campioni al secondo), il disegno ricostruito sarà grossolano.
- Se faccio tante foto (molti campioni al secondo), posso ricostruire il suono quasi identico a quello originale.

Campionamento (4)

La fase di campionamento consiste nell'effettuare dei campionamenti sull'onda sonora (si misura il valore dell'ampiezza dell'onda a intervalli costanti di tempo) e si codificano in forma digitale le informazioni estratte da tali campionamenti.

Conversione di un segnale continuo in un segnale discreto valutandone l'ampiezza a intervalli regolari



Campionamento (5)

Teorema di Shannon-Nyquist.

Per ricostruire un segnale senza perdere informazione, bisogna campionarlo ad una frequenza almeno doppia rispetto alla frequenza più alta contenuta nel segnale.

L'orecchio umano sente fino a circa 20.000 Hz → per non perdere informazione, serve:

$$f_{\text{campionamento}} \geq 40.000 \text{ Hz}$$

Ecco perché il CD audio usa 44.100* Hz

(*leggermente più alto per sicurezza)

Campionamento (6)

Teorema di Shannon-Nyquist.

Per ricostruire un segnale senza perdere informazione, bisogna campionarlo ad una frequenza almeno doppia rispetto alla frequenza più alta contenuta nel segnale.

L'orecchio umano sente fino a circa 20.000 Hz → per non perdere informazione, serve:

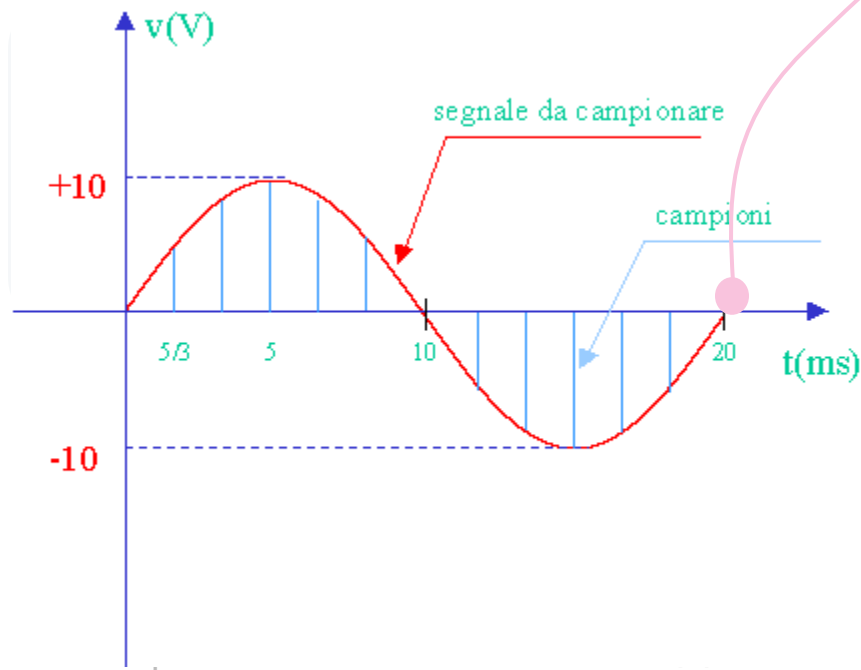
$$f_{\text{campionamento}} \geq 40.000 \text{ Hz}$$

Ecco perché il CD audio usa 44.100* Hz

(*leggermente più alto per sicurezza)

Se non rispetto la regola, le frequenze alte vengono “scambiate” per frequenze più basse.
Questo fenomeno si chiama aliasing: è come un'illusione ottica/uditiva.

Campionamento (7)



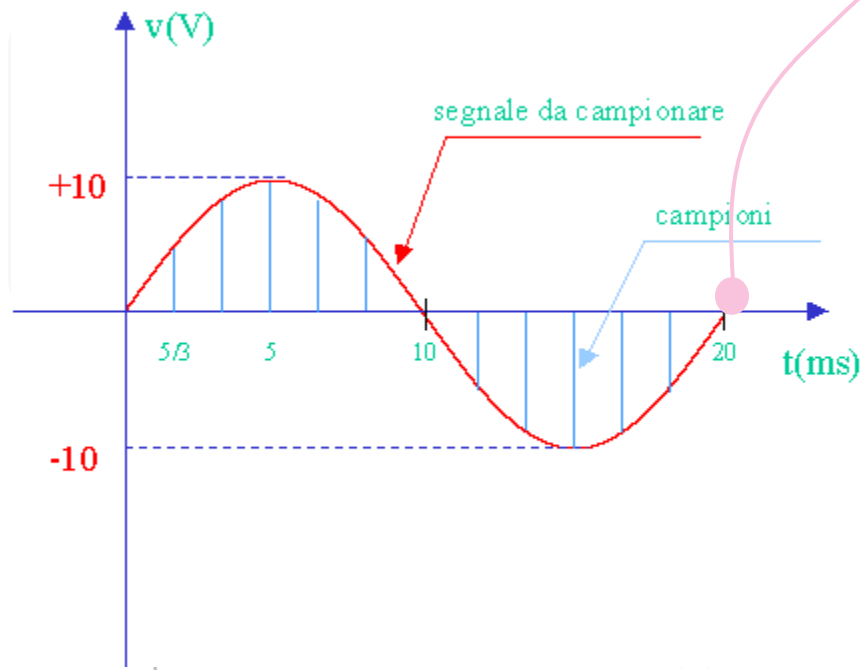
Ciclo completato in 20 ms

Un periodo è completato in $20\text{ ms} = 0.02\text{ s}$
Perciò la frequenza del segnale sinusoidale è di $1/0.02\text{ s} = 50\text{ Hz}$

(*leggermente più alto per sicurezza)

Se non rispetto la regola, le frequenze alte vengono “scambiate” per frequenze più basse.
Questo fenomeno si chiama aliasing: è come un'illusione ottica/uditiva.

Campionamento (8)



Ciclo completato in 20 ms

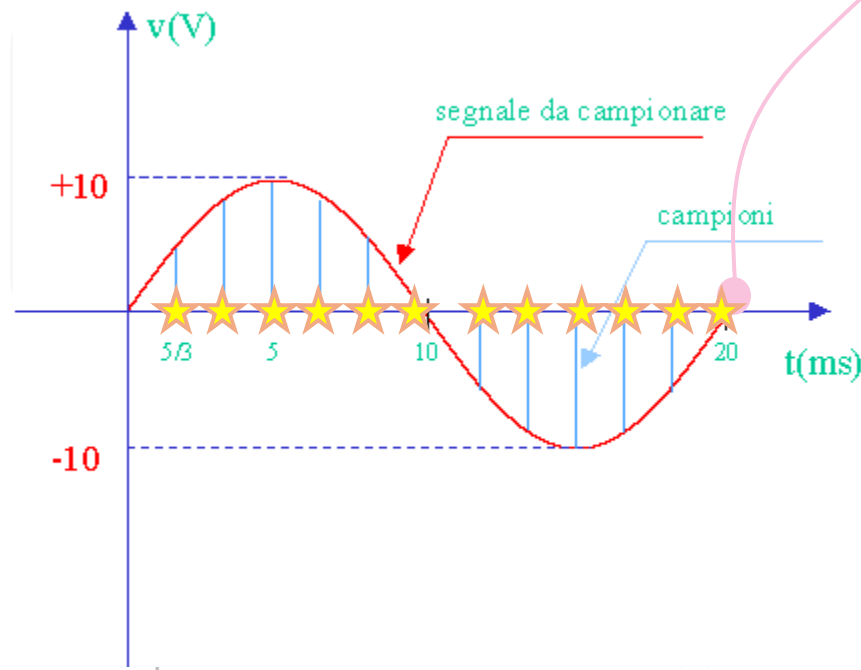
Un periodo è completato in $20\text{ ms} = 0.02\text{ s}$
Perciò la frequenza del segnale sinusoidale è di $1/0.02\text{ s} = 50\text{ Hz}$

Se campioniamo a 600 Hz campioniamo a 12 volte la sua
frequenza di campionamento $50\text{ Hz} \times 12 = 600\text{ Hz}$

(*leggermente più alto per sicurezza)

Se non rispetto la regola, le frequenze alte vengono “scambiate” per frequenze più basse.
Questo fenomeno si chiama aliasing: è come un'illusione ottica/uditiva.

Campionamento (9)



Ciclo completato in 20 ms

Un periodo è completato in 20 ms = 0.02 s
Perciò la frequenza del segnale sinusoidale è di $1/0.02 \text{ s} = 50 \text{ Hz}$

Se campioniamo a 600 Hz campioniamo a 12 volte la sua
frequenza di campionamento $50 \text{ Hz} \times 12 = 600 \text{ Hz}$

Calcolo il periodo di campionamento $(1/600\text{Hz}) \approx 0.0016\text{s} \approx 1.6 \text{ ms}$

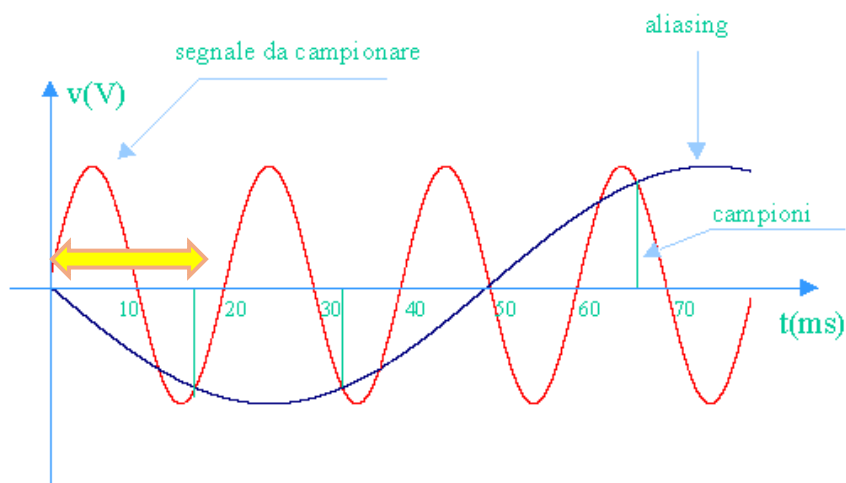
$20/1.6 \approx 12$ (vengono presi 12 campioni in un ciclo di senoide) ★

(*leggermente più alto per sicurezza)

Se non rispetto la regola, le frequenze alte vengono “scambiate” per frequenze più basse.
Questo fenomeno si chiama aliasing: è come un'illusione ottica/uditiva.

Campionamento (10)

Teorema di Shannon-Nyquist.



Ecco perché il CD audio usa 44.100^* Hz

(*leggermente più alto per sicurezza)

Un periodo è completato in $20 \text{ ms} = 0.02 \text{ s}$
Perciò la frequenza del segnale sinusoidale è di $1/0.02 \text{ s} = 50 \text{ Hz}$

Se campioniamo a 60 Hz campioniamo a 1.2 volte la sua
frequenza di campionamento $50 \text{ Hz} \times 1.2 = 60 \text{ Hz}$

Calcolo il periodo di campionamento $(1/60\text{Hz}) \approx 0.016\text{s} \approx 16 \text{ ms}$

Se non rispetto la regola, le frequenze alte vengono “scambiate” per frequenze più basse.
Questo fenomeno si chiama aliasing: è come un'illusione ottica/uditiva.

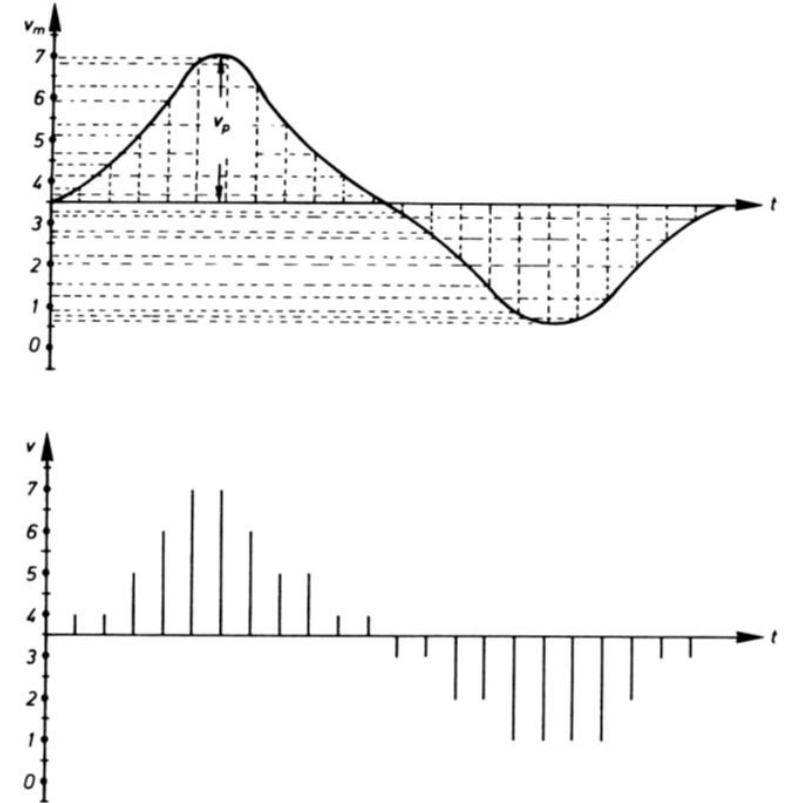
Recap sul campionamento

- Riducendo l'intervallo di tempo tra due campionamenti aumenta l'accuratezza della descrizione del segnale
- Una migliore qualità della descrizione del segnale corrisponde a un **maggior numero di campioni nell'unità di tempo** e quindi a una maggiore quantità di informazione
- un maggior numero di campioni richiede un maggiore spazio in memoria e una superiore velocità di trasferimento dati.

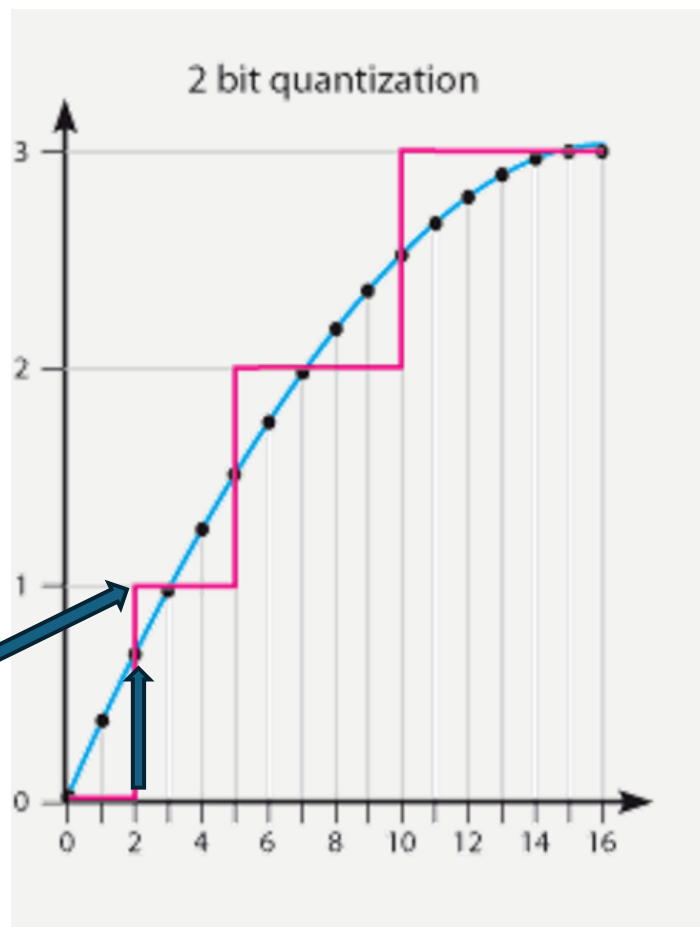
Quantizzazione (1)

- Assegna una sequenza di valori discreti per la descrizione di un segnale continuo
- Il processo di mappare valori di input
- Tanti più bit vengono usati, tanto più è accurata la descrizione
- Più sono i gradini, minore sarà l'errore di quantizzazione (o rumore)

- Errore di quantizzazione = differenza tra valore di input e il valore quantizzato
- CD Audio usano 16 bit (65536 possibili livelli)



Quantizzazione (2)



Il secondo campione è più vicino all'1

Dopo il **campionamento**, abbiamo una serie di punti sull'onda sonora.

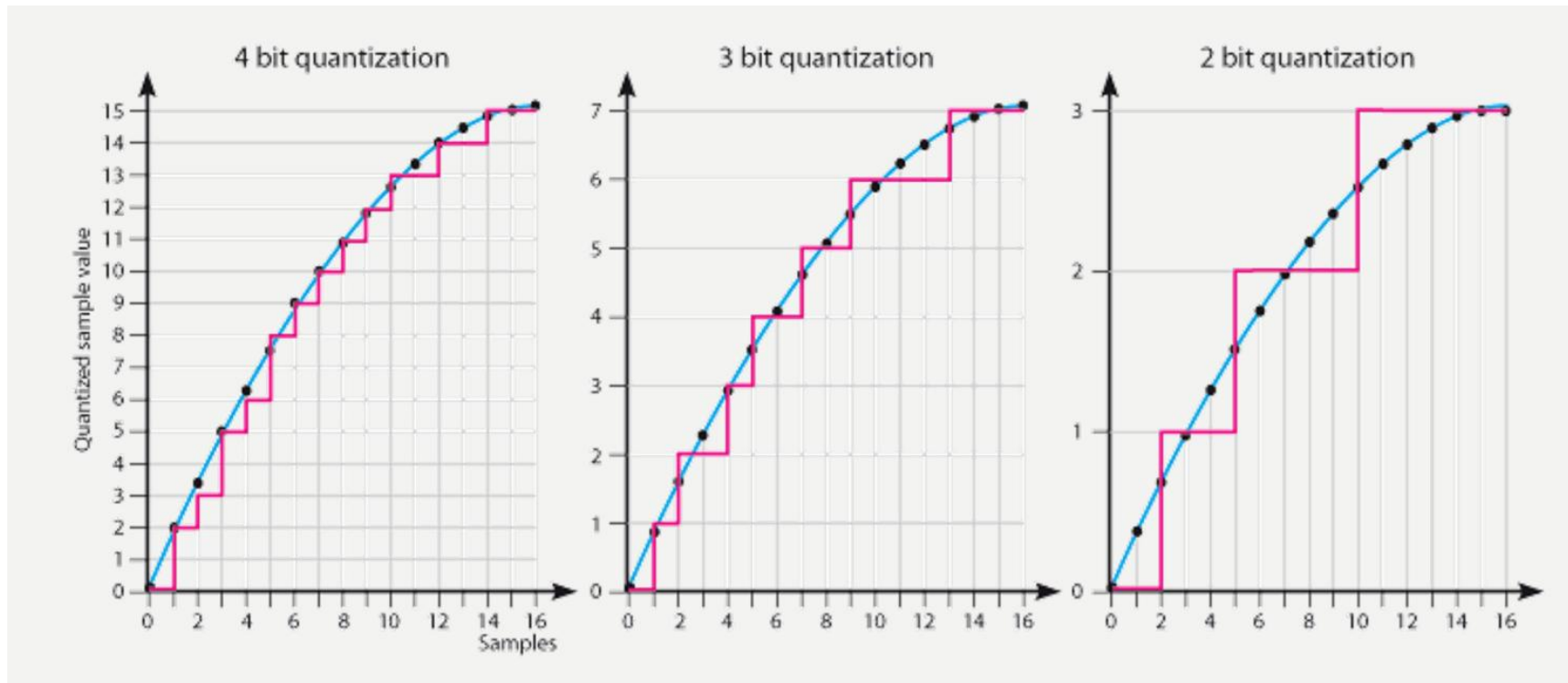
Questi punti possono avere qualunque valore (es. 4,37... oppure 6,82...), quindi infiniti numeri

Il computer però non può gestire infiniti valori: deve scegliere tra un certo numero di livelli possibili.

Quantizzazione) ogni valore viene "arrotondato" al livello più vicino.

- Più livelli ho → errore piccolo (suono fedele).
- Meno livelli ho → errore grande (suono "sporco").

Quantizzazione (3)



Quantizzazione – esempio (1)

- Parametri standard di un CD Audio)
- Frequenza di campionamento: 44.100 campioni al secondo
- Profondità (quanti bit vengono usati per rappresentare ciascun campione): 16 bit ($2^8=65536$) per campione {16 bit=2x8bit=2x(1 byte)=2 byte}
- Canali: 2 (stereo, due tracce → un canale per l'orecchio sinistro e uno per il destro → effetto spaziale)

1 ora di musica stereo su un CD Audio occupa???

Quantizzazione – esempio (2)

- Parametri standard di un CD Audio)
- Frequenza di campionamento: 44.100 campioni al secondo
- Profondità (quanti bit vengono usati per rappresentare ciascun campione): 16 bit ($2^8=65536$) per campione
{16 bit=2x8bit=2x(1 byte)=2 byte}
- Canali: 2 (stereo, due tracce → un canale per l'orecchio sinistro e uno per il destro → effetto spaziale)

1 ora di musica stereo su un CD Audio occupa???

- Byte per campione stereo= 2 byte x 2 canali=4 byte
- Byte al secondo=44.100 campioni/secondo x 4 byte= 176.400 byte/sec
- Byte in un minuto 176.400x60=10.584.000 byte≈11 MB/min
- Byte in un'ora→ 11MB : 1 min = x : 60 min→ 11MB x 60=660 MB

Errore di quantizzazione (1)

- **Differenza tra l'ampiezza del campione reale e l'ampiezza quantizzata**

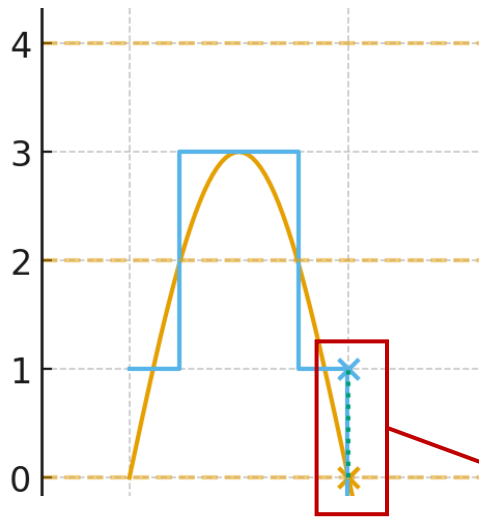
Quando si quantizza si arrotonda ogni campione al livello più vicino.

La differenza tra il valore vero e quello arrotondato è l'errore di quantizzazione.

- Esempio: Valore reale = 3,7
- Livelli possibili: 3 o 4
- Quantizzato = 4
- Errore = $3,7 - 4 = -0,3$

Errore di quantizzazione (2)

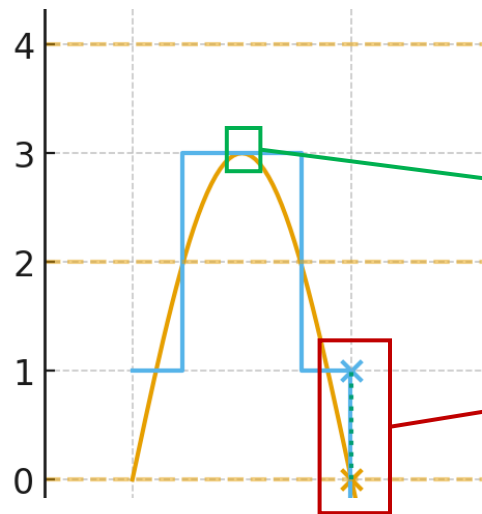
- Differenza tra l'ampiezza del campione reale e l'ampiezza quantizzata
- L'ampiezza quantizzata è la metà della regione



- Il segnale reale può avere infiniti valori (curva arancio)
- Le linee tratteggiate dividono l'asse in «scatole» si tratta di regioni di quantizzazione
- Il segnale azzurro mostra cosa fa il PC: per ogni campione sceglie il valore al centro della scatola più vicina
- Errore di quantizzazione causato dall'approssimazione alla metà della regione

Errore di quantizzazione (3)

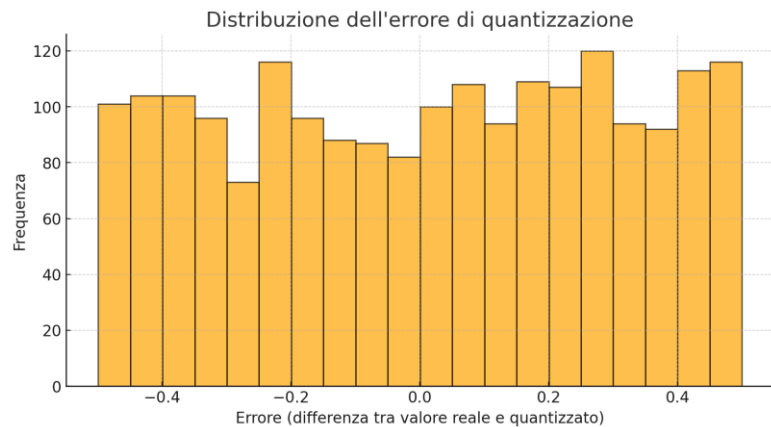
- Differenza tra l'ampiezza del campione reale e l'ampiezza quantizzata
- L'ampiezza quantizzata è la metà della regione
- L'errore di quantizzazione è al più la metà della regione di quantizzazione



- Ammesso che l'errore di quantizzazione avviene quando si «sbaglia l'arrotondamento»
- Se il valore reale è al centro della scatola → l'errore è 0
- Se il valore reale si trova al bordo → errore massimo di «al massimo» mezzo scalino

Errore di quantizzazione (4)

- Differenza tra l'ampiezza del campione reale e l'ampiezza quantizzata
- L'ampiezza quantizzata è la metà della regione
- L'errore di quantizzazione è al più la metà della regione di quantizzazione
- L'errore di quantizzazione è distribuito casualmente



- I valori reali possono cadere in qualsiasi punto delle regioni di quantizzazione.
- A volte l'errore sarà piccolo, a volte più grande.
- A volte positivo (se il numero è sotto al centro), a volte negativo (se sopra).
- L'errore segue una distribuzione casuale

Errore di quantizzazione (5)

Recap

L'errore di quantizzazione sembra essere un segnale che si aggiunge al segnale utile

- Quando il computer arrotonda i valori reali al centro della scatola più vicina, fa sempre un piccolo errore.
- Questi errori non hanno uno schema preciso: a volte positivi, a volte negativi, a volte piccoli, a volte più grandi.

Visti tutti insieme, gli errori si comportano come un rumore casuale, un po' come un fruscio di fondo.

Il fruscio dipende da **quanto sono grandi le scatole (aree) di quantizzazione**:

- **Pochi bit** = poche scatole = scatole larghe → errore grande → fruscio forte.
- **Tanti bit** = tante scatole = scatole strette → errore piccolo → fruscio quasi impercettibile.

Per esempio:

- Con 8 bit (256 livelli) il rumore di quantizzazione è percepibile.
- Con 16 bit (65.536 livelli, come nei CD) il rumore è talmente basso che l'orecchio umano non lo sente.

Pulse code modulation (1)

La PCM [Pulse Code Modulation, nei CD audio (si usa PCM puro), .wav (contengono dati PCM), .mp3 (partono da PCM)] è proprio il metodo standard con cui si mettono insieme campionamento + quantizzazione + codifica in bit.

- Pulse = i campioni sono sequenze di impulsi discreti.
- Code = ogni campione è codificato come un numero.
- Modulation = l'ampiezza del segnale viene modulata sotto forma di numeri binari.
 - **Campionamento** Si prendono misure regolari dell'onda sonora (fotografie nel tempo).
 - **Quantizzazione** Ogni misura viene arrotondata al livello più vicino (scatole).
 - **Codifica binaria** Il valore quantizzato viene scritto come una sequenza di 0 e 1.
 - Esempio: se ho 16 bit → ogni campione diventa un numero tra 0 e 65.535, scritto in binario.

Pulse code modulation (2)

- La codifica PCM provvede a salvare i dati audio senza alcun tipo di compressione dati
- Conseguenze:
 - i file risultanti sono di elevate dimensioni, ma non richiedono elevata potenza di calcolo per essere riprodotti (i «numeri» vengono letti e mandati all'altoparlante)
 - la codifica è lossless, quindi viene spesso utilizzata dagli utenti professionali per memorizzare l'audio
 - Non c'è perdita di informazione: il suono registrato è identico a quello riprodotto. Per questo è usato in ambito professionale (studi di registrazione, editing audio).
 - è un formato universale, leggibile su quasi tutti i sistemi operativi e software audio (es. WAV).

Codifica (Encoding) (1)

- **Campionamento (asse x)**

Si scelgono intervalli di tempo regolari e si prelevano i **campioni** del segnale analogico.

Il segnale continuo nel tempo diventa una **sequenza di valori reali** $x[n]$.

- **Quantizzazione (asse y)**

Ogni campione reale (che può avere infiniti valori) viene approssimato al livello più vicino (scalino) tra un numero finito di valori possibili.



Questo introduce il quantization error.

Risultato: una sequenza di livelli discreti, ma ancora espressi in valori numerici reali

- **Codifica**

Ogni livello di quantizzazione viene poi rappresentato con un codice binario (una sequenza di bit).

Livello quantizzato	Codice binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Codifica (Encoding) (2)

- **Campionamento (asse x)**

Si scelgono intervalli di tempo regolari e si prelevano i **campioni** del segnale analogico.

Il segnale continuo nel tempo diventa una **sequenza di valori reali** $x[n]$.

- **Quantizzazione (asse y)**

Ogni campione reale (che può avere infiniti valori) viene approssimato al livello più vicino (scalino) tra un numero finito di valori possibili.



Questo introduce il quantization error.

Risultato: una sequenza di livelli discreti, ma ancora espressi in valori numerici reali

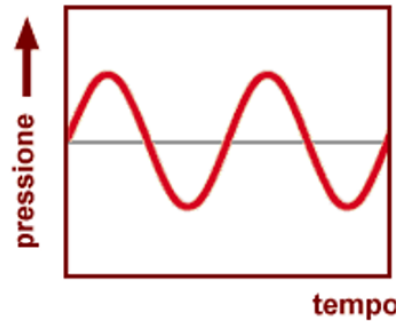
- **Codifica**

Ogni livello di quantizzazione viene poi rappresentato con un codice binario (una sequenza di bit).

La sequenza di bit è pronta per la memorizzazione e/o la trasmissione

Livello quantizzato	Codice binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Dal suono al numero: campionamento, quantizzazione, codifica



ADC
Convertitore
analogico
digitale

010101010101
000001010101
010100010101
00100001000
1

Il suono è una variazione continua della pressione dell'aria nel tempo.

Quando parliamo o suoniamo uno strumento, la pressione dell'aria oscilla creando un'onda acustica continua — che non può essere memorizzata direttamente da un computer.

Il microfono trasforma queste variazioni di pressione in variazioni di tensione elettrica.

Ora il segnale è un'onda continua di **Volt nel tempo** → **un segnale analogico**.

Questo segnale entra in un dispositivo chiamato ADC (Analog to Digital Converter).

L'ADC misura il valore del segnale a intervalli di tempo regolari: questo processo si chiama **campionamento**.

Analogia: scattare una fotografia del suono molte volte al secondo.

Per esempio, un audio a 44.100 Hz significa che vengono presi 44.100 campioni al secondo.

Ogni campione viene approssimato (**quantizzato**) al livello più vicino tra un insieme finito di valori possibili.

Questo passaggio serve perché il computer non può rappresentare infiniti valori di ampiezza.

Si arrotonda il valore reale del suono al gradino più vicino

Ogni valore quantizzato viene rappresentato in binario — cioè in una sequenza di bit (0 e 1).

Questo è ciò che il computer può memorizzare o trasmettere.

Compressione

Ridurre i bit necessari per rappresentare un'informazione digitale

Compressione *Lossless*: Compressione senza perdita di informazione

Compressione *Lossy*: Compressione con perdita di informazione

Rapporto di compressione

- Si definisce rapporto di compressione :

file non compresso / file compresso

- La compressione riduce la dimensione di un blocco di informazioni e serve per memorizzare più informazioni nello stesso spazio.
- Un compressore è un programma che comprime i dati originali, mentre un decompressore li ricostruisce.

Importanza della compressione

- La quantità di dati con cui ci troviamo ad interagire sta aumentando vertiginosamente.
- Le capacità di comunicazione non hanno lo stesso sviluppo.
- I dati multimediali hanno dato ulteriore spinta a questa necessità:
 - La Bibbia in formato testo occupa 4,41 MB (4.627.239 byte)
 - Una foto a colori di dimensione 1280x1024 a 24 bit/pixel occupa 3,75 MB (3 932 160 byte)
 - Una canzone di 4 minuti in formato CD (44,1 KHz, 16 bit/sample, Stereo) occupa 40,38 MB (42.336.000 byte)

Compressione lossless

- La compressione è reversibile o lossless quando il procedimento usato permette il recupero completo dell'informazione originaria così come era prima che venisse applicato l'algoritmo di compressione.
- In tali sistemi il rapporto di compressione che si può ottenere è caratterizzato da una grande variabilità dipendente dal tipo di dati ed è in genere modesto

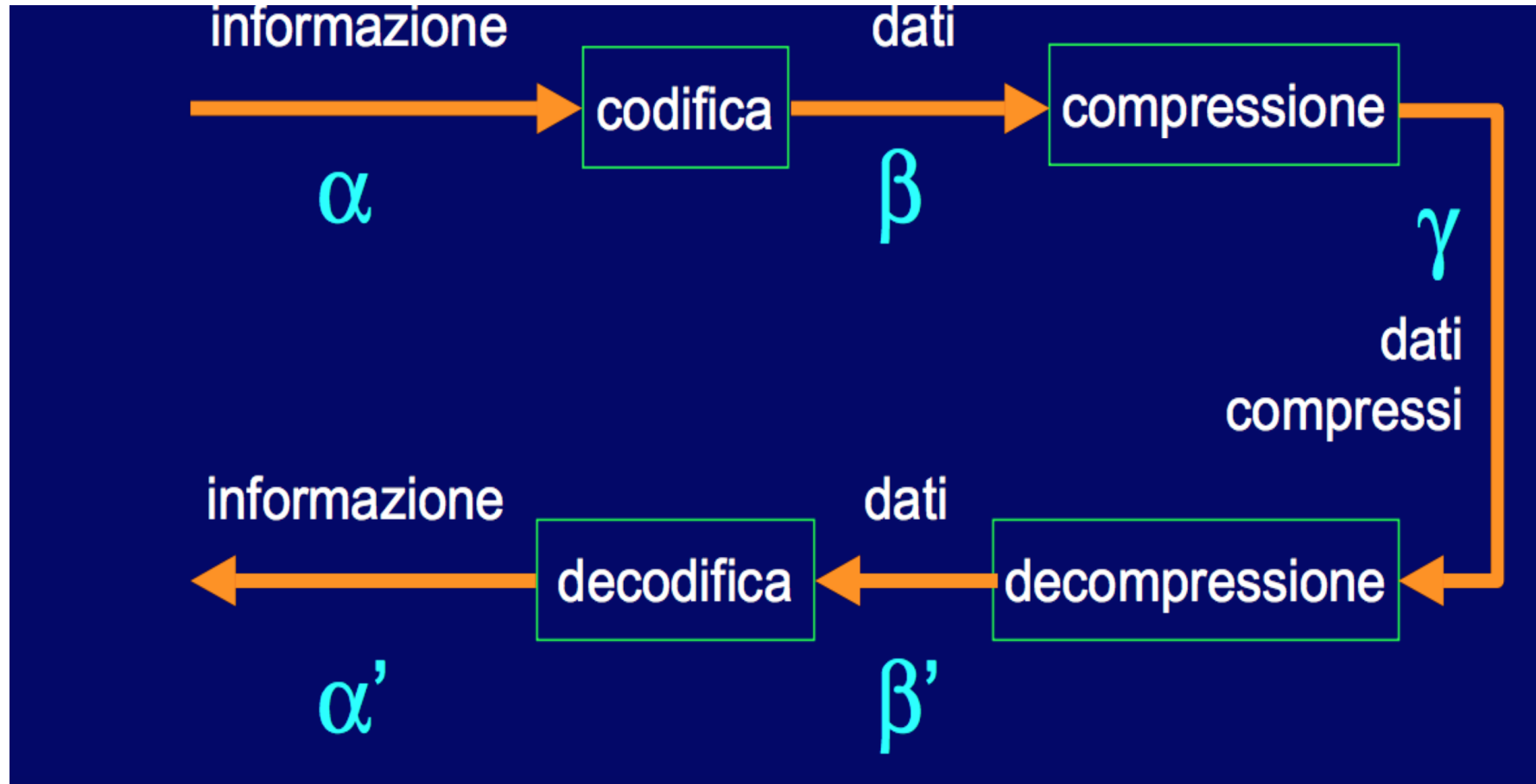
Compressione lossy

- Un procedimento di compressione si dice lossy o irreversibile quando parte dell'informazione viene deliberatamente scartata perché definita irrilevante, non percepibile, o tale da non compromettere in modo grave la sua percezione.
- In questo modo l'informazione originale verrà ricostruita con una certa approssimazione.

Compressione lossy

- Con questi sistemi si possono ottenere dei rapporti di compressione molto elevati.
- Sono tecniche molto usate nelle aree dell'audio e del video digitale, per massimizzare i benefici (elevato rapporto di compressione) al minor costo possibile (la perdita di qualità)
- Si parla, infatti, di codifica di tipo percettivo (perceptual coding system) e di modelli psico-visivi e psico-uditivi

A che punto si pone la compressione?



Digital rights managent

Insieme di sistemi, meccanismi e protocolli (in sigla DRM) che permettono ai detentori dei diritti di opere (multimediali, software, ecc.) il controllo sulle operazioni effettuabili da parte dei fruitori.

Da https://www.treccani.it/enciclopedia/digital-rights-management_Lessico-del-XXI-Secolo/

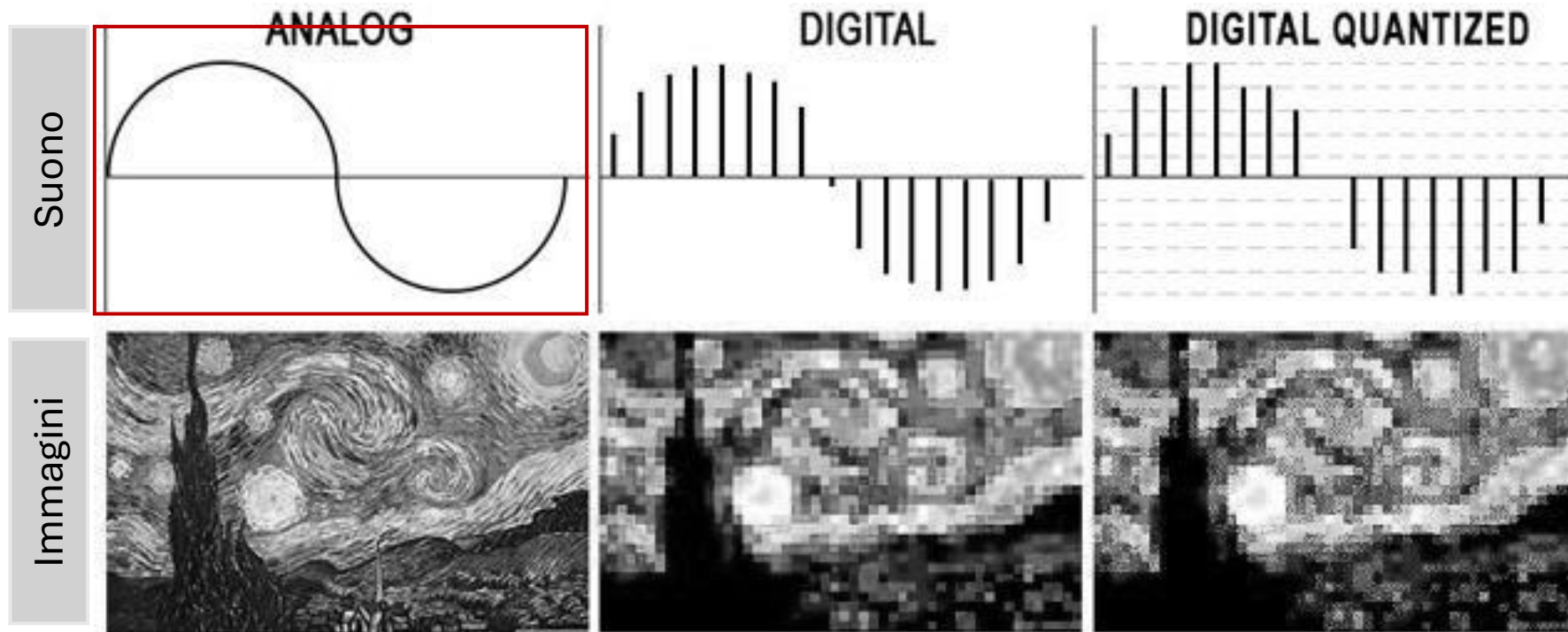
Esempio: FairPlay (<https://it.wikipedia.org/wiki/FairPlay>)

Tecnologia Apple per DRM: sfrutta la crittografia per cifrare i file audio e permettere la decodifica solo a utenti autorizzati.

Ad esempio, può essere usato per limitare il numero di dispositivi autorizzati.

Digitalizzazione di immagini

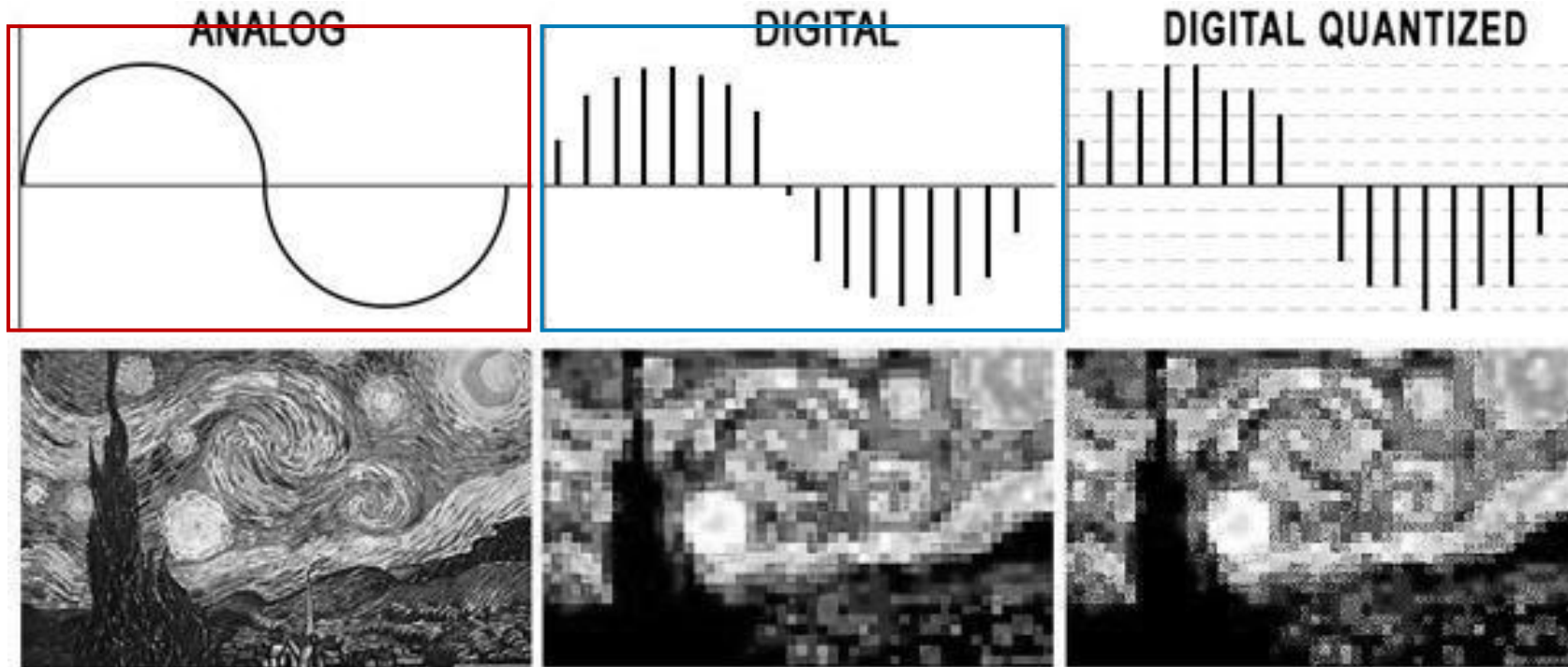
Segnale continuo,
infiniti valori assumibili



Digitalizzazione di immagini

Segnale continuo,
infiniti valori assumibili

Campionamento:
prendo punti ad
intervalli regolari

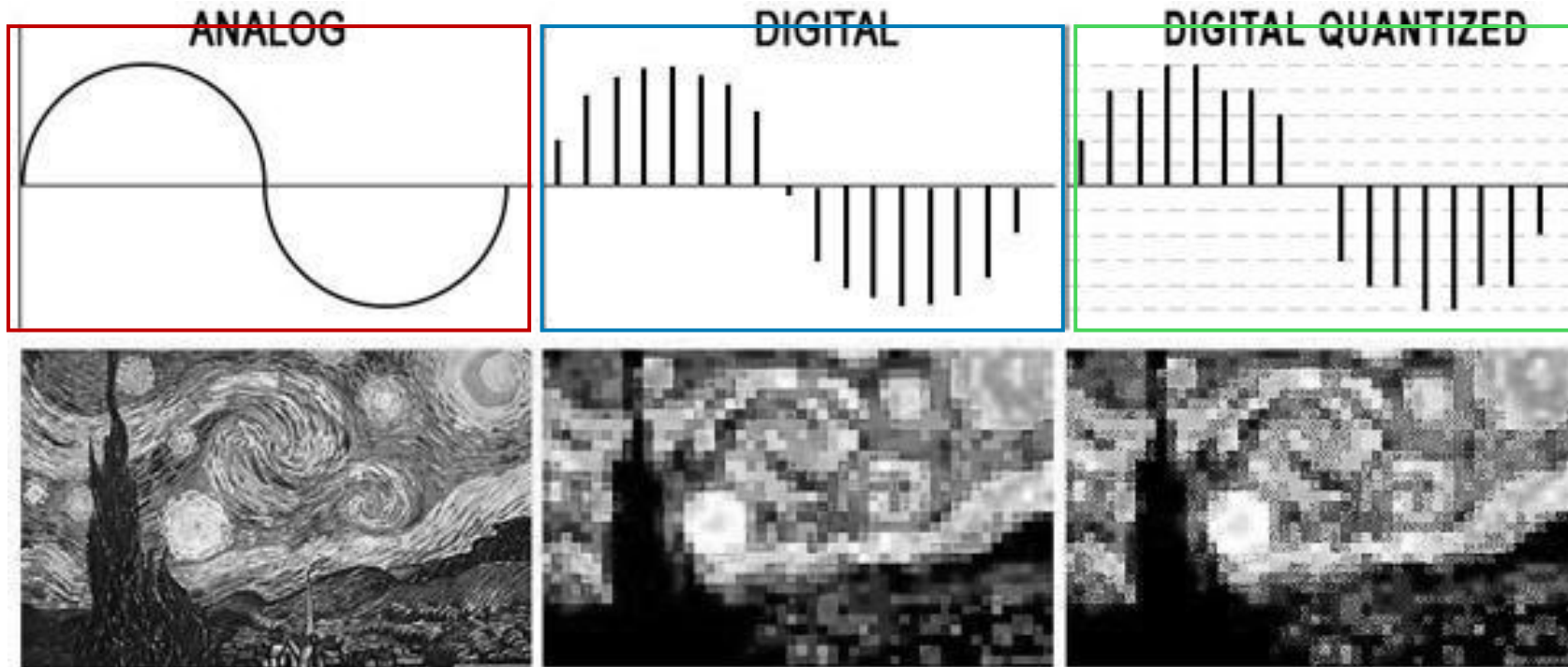


Digitalizzazione di immagini

Segnale continuo,
infiniti valori assumibili

Campionamento:
prendo punti ad
intervalli regolari

Quantizzazione: Ogni
punto è «arrotondato»
a livelli fissi (scatole)



Digitalizzazione di immagini

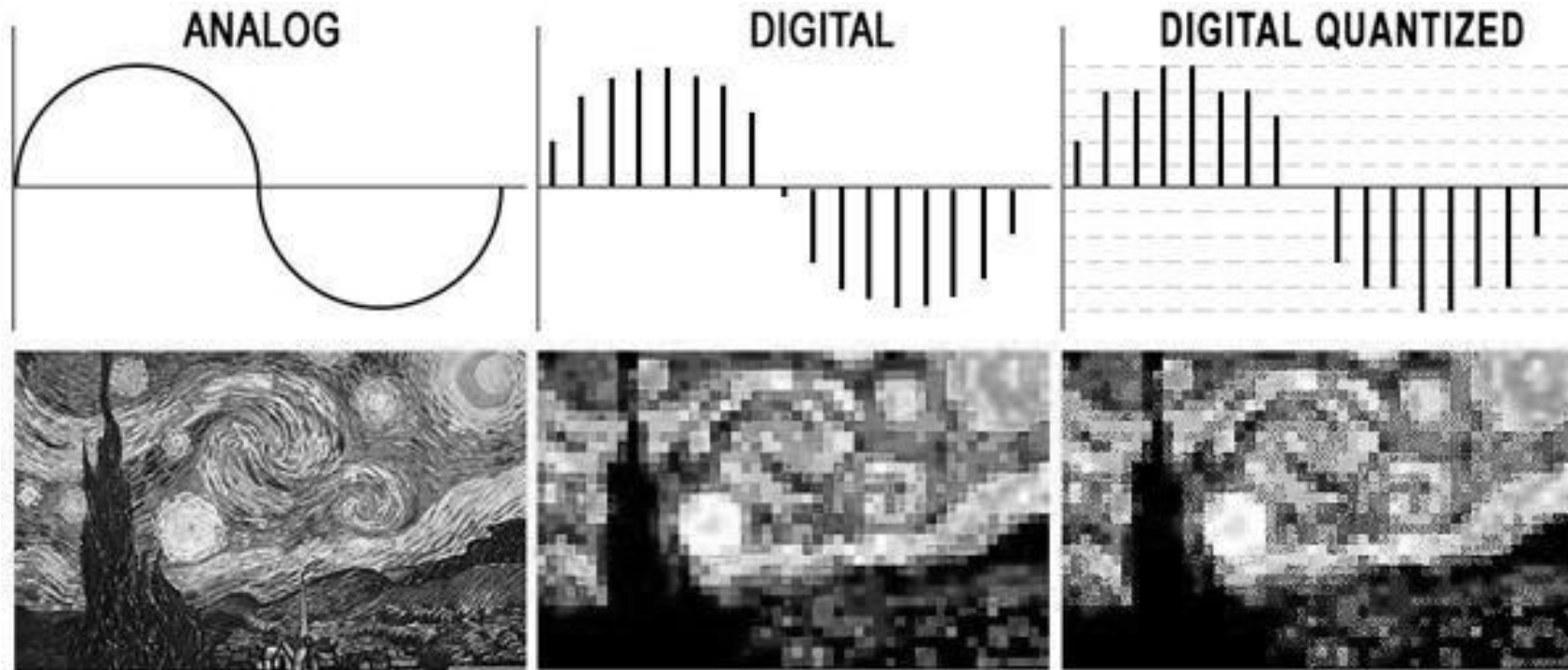


Immagine «continua»
senza limiti di
dettaglio e sfumature

Digitalizzazione di immagini

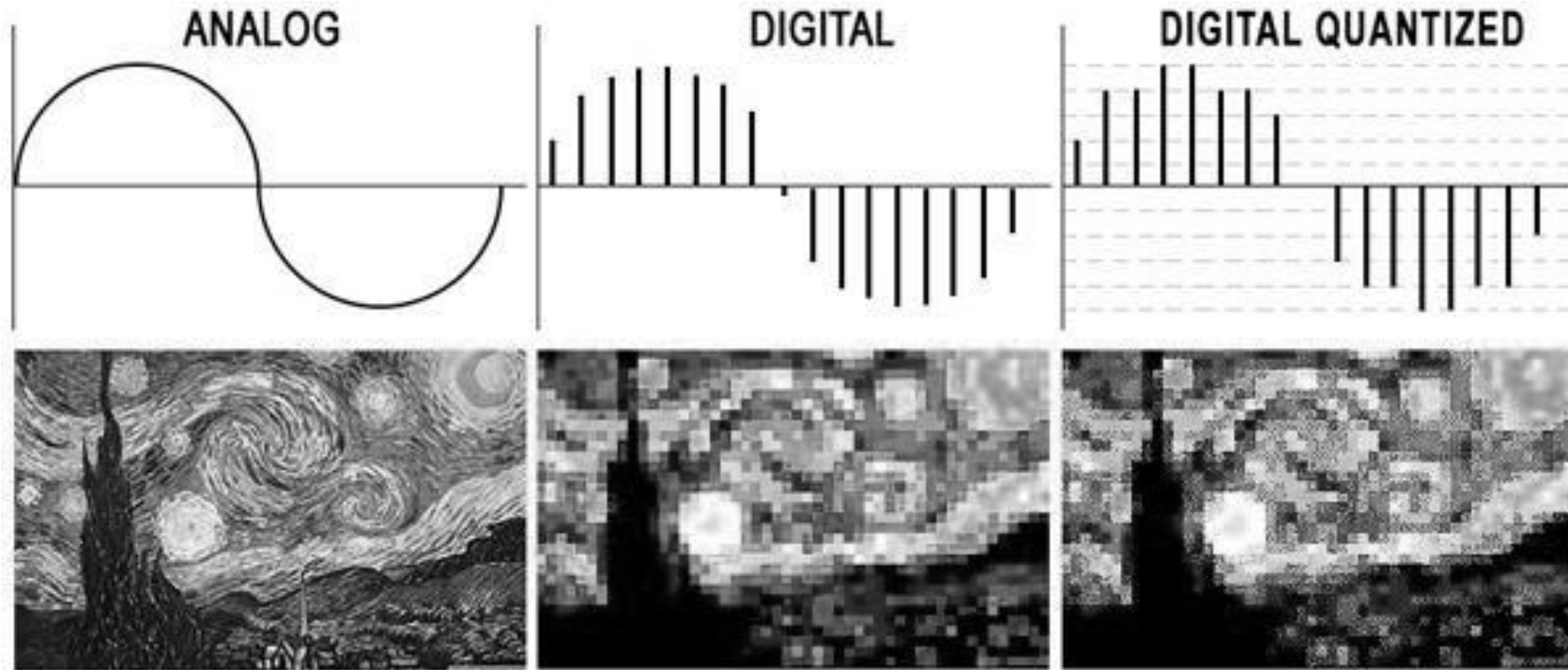
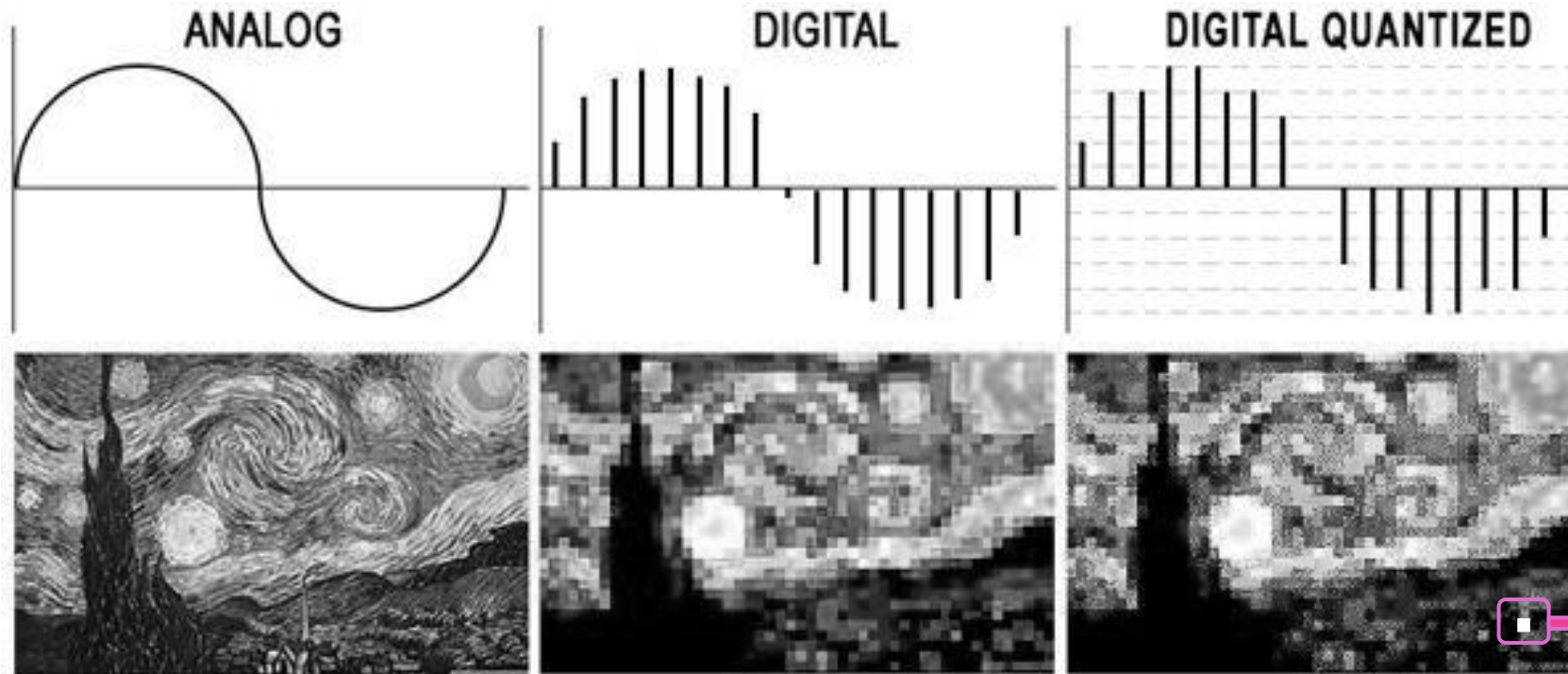


Immagine «continua»
senza limiti di
dettaglio e sfumature

Campionamento
spaziale: prendo punti
ad intervalli regolari

Digitalizzazione di immagini



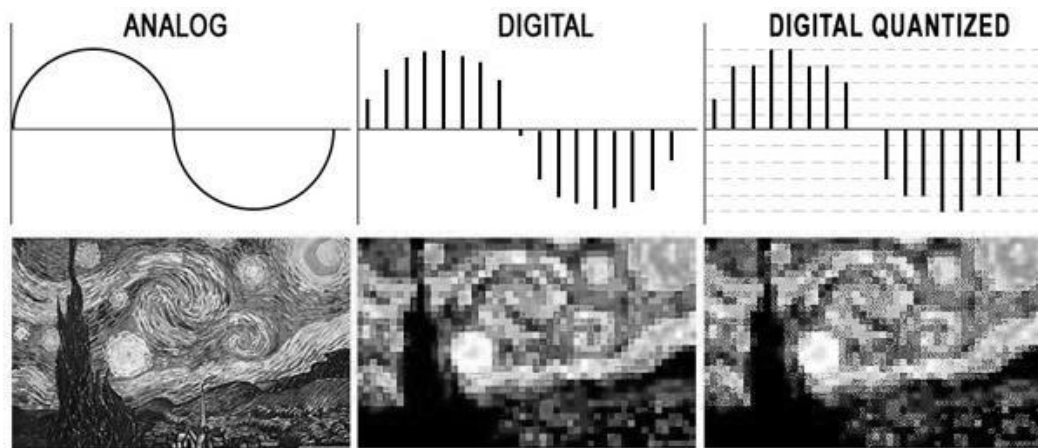
Es. Questo pixel
ha valore 255

Immagine «continua»
senza limiti di
dettaglio e sfumature

Campionamento
spaziale: prendo punti
ad intervalli regolari

Quantizzazione dei
colori: ogni pixel
assume solo alcuni
valori

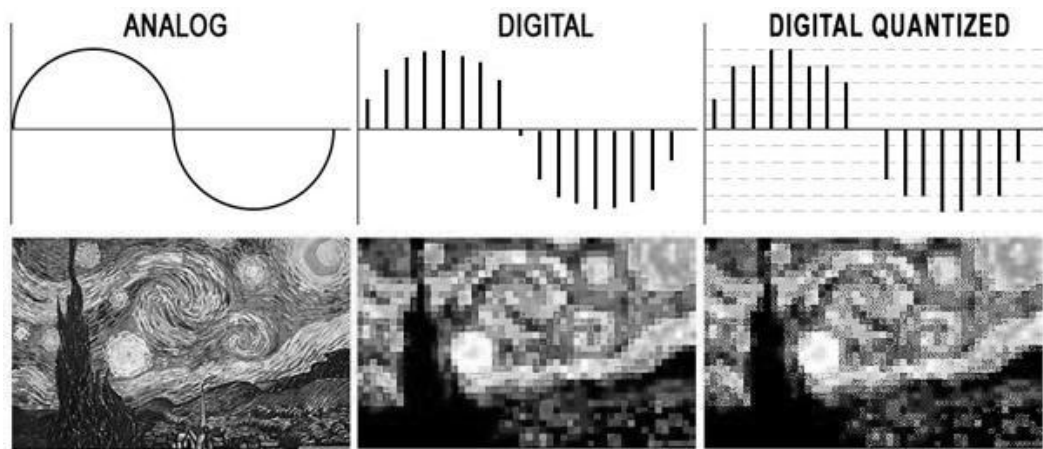
Digitalizzazione di immagini



Analogie digitalizzazione di audio e digitalizzazione di immagini

- Campionamento = trasformare il continuo (tempo per l'audio, spazio per l'immagine) in punti discreti (campioni o pixel).
- Quantizzazione = ridurre la precisione, scegliendo tra un numero limitato di valori (ampiezza per l'audio, sfumature di colore per le immagini).
- Più campioni/pixel e più livelli di quantizzazione → migliore qualità e meno errori.

Digitalizzazione di immagini



Digitalizzazione di audio vs digitalizzazione di immagini

- Nell'audio campioniamo lungo l'asse del tempo.
- Nelle immagini campioniamo lungo due assi spaziali (x, y). Il risultato è una matrice di campioni (pixel).
- Nelle immagini ogni pixel ha un certo valore di luminosità o colore. Questo valore viene arrotondato → cioè quantizzato in un numero finito di livelli (ad esempio 256 grigi o 16 milioni di colori RGB).

Campionamento – recap

Teorema di Shannon-Nyquist.

Per ricostruire un segnale senza perdere informazione, bisogna campionarlo ad una frequenza almeno doppia rispetto alla frequenza più alta contenuta nel segnale.

Nelle immagini non abbiamo il tempo, ma lo spazio.

Quindi invece di parlare di "frequenza temporale", si parla di frequenza spaziale.

La frequenza spaziale misura quanto velocemente variano i dettagli di un'immagine nello spazio.

Esempio:

- Una superficie uniforme ha frequenza spaziale bassa.
- Una trama con linee sottili e ravvicinate ha frequenza spaziale alta.
- Per catturare correttamente questi dettagli, la griglia di pixel (campionamento spaziale) deve avere una risoluzione almeno doppia rispetto alla frequenza spaziale massima presente nell'immagine.



Digitalizzazione di video

Per i video il ragionamento è lo stesso che per il suono e per le immagini: parliamo di frequenza del segnale (es: movimento della persona che viene ripresa) e di frequenza di campionamento (frame rate)

Supponiamo che una mano faccia un movimento avanti-indietro 50 volte al secondo. (Frequenza del movimento: 50 Hz (come la sinusoide da 50 Hz dell'audio))

Quando dovrebbe essere il frame rate (frequenza di campionamento) della videocamera che registra questo movimento?

Digitalizzazione di video

Per i video il ragionamento è lo stesso che per il suono e per le immagini: parliamo di frequenza del segnale (es: movimento della persona che viene ripresa) e di frequenza di campionamento (frame rate)

Supponiamo che una mano faccia un movimento avanti-indietro 50 volte al secondo. (Frequenza del movimento: 50 Hz (come la sinusoide da 50 Hz dell'audio))

Quando dovrebbe essere il frame rate (frequenza di campionamento) della videocamera che registra questo movimento?

Per registrare questo movimento con una videocamera, serve un frame rate (frequenza di campionamento nel tempo) che rispetti il teorema di Shannon $f_s \geq 2 \cdot f = 100\text{fps}^*$

*Servono almeno 100 fotogrammi al secondo per ricostruire il movimento senza aliasing.

Digitalizzazione di video

Video: sequenza di immagini (*frame*), tipicamente tra 25 e 30 frame per secondo (fps), sincronizzata con un audio

Un'ora di video digitale, con immagini 1920 x 1080 non compresse

- 1920 x 1080 x 3B (sono 3 canali: il canale del rosso il canale del verde e il canale del blu)= 6.220.800. Byte ≈6MB
- 6MB x 25 fps = 155 MB/s
- In un'ora= 155 MB/s x 3600 s= 558.000MB
- (a cui vanno aggiunti i 600 MB per l'audio, se non compresso)

