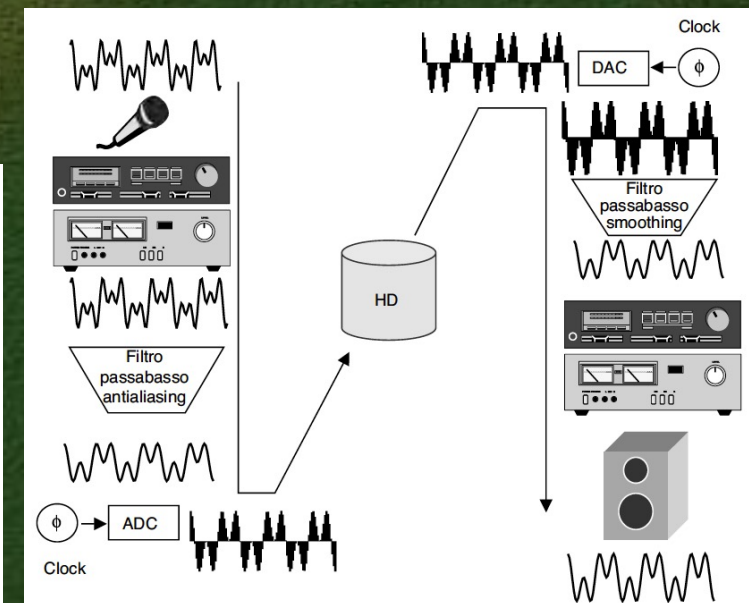
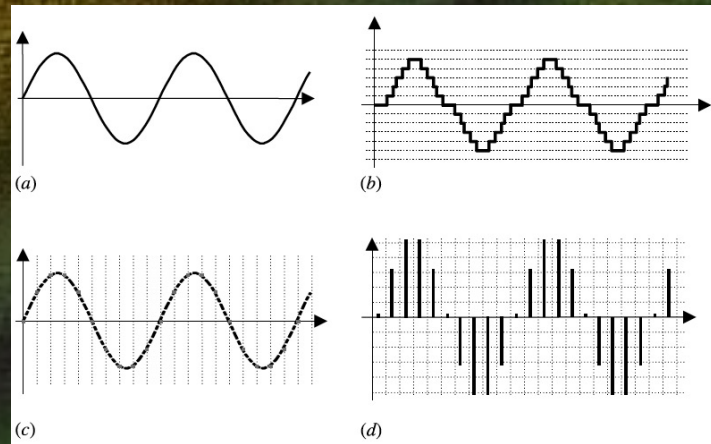
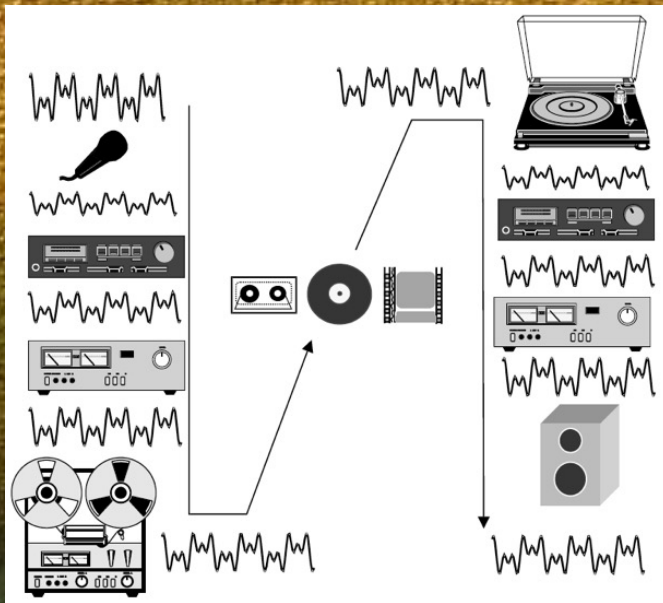


Tecnologie digitali per il suono e l'immagine 2021/22

Vincenzo Lombardo
Corso di Laurea in DAMS
Università di Torino

Mutuato in parte da Elaborazione audio e musica
(Laurea Magistrale di Informatica)

Rappresentazione digitale del suono



Rappresentazione del suono

- Trasmettere a distanza, tempo e spazio
- Registrazione, riproduzione, elaborazione segnale
- Consumer e professional

... flessibilità, velocità ... costi



Analogico VS. Digitale

Indipendenza

Segnale / Supporto

Vantaggi del digitale

- copia del segnale identica all'originale
- non degradazione del segnale
- manipolazioni del segnale = operazioni aritmetiche “pulite”
- maggiori garanzie dai supporti standard (rilevamento/correzione errori)

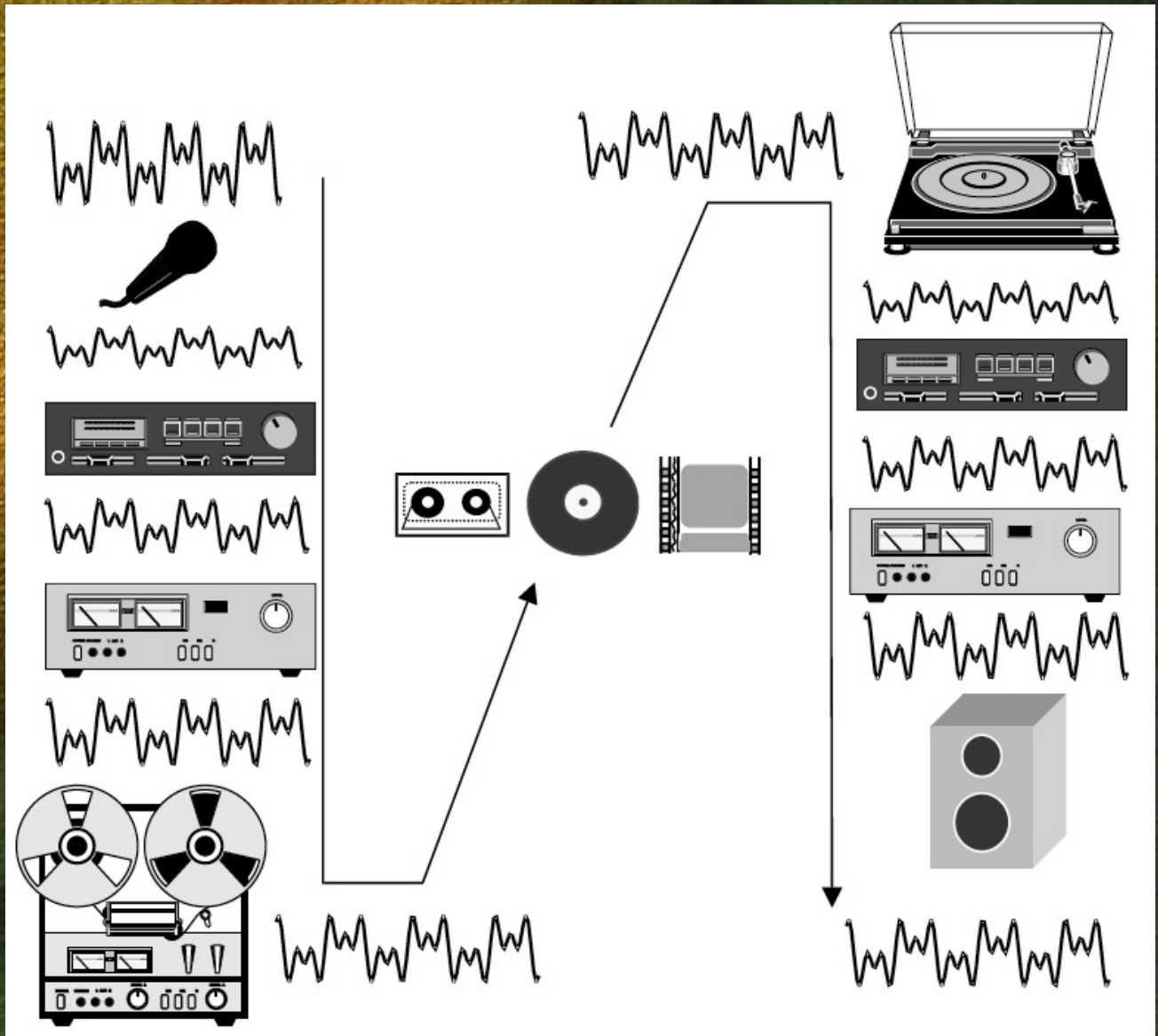
Svantaggi del digitale

- Problemi dello scambio di dati con l'esterno dell'elaboratore
- Grandi capacità e ampiezza di banda per memorizzazione e trasmissione



Sistemi di rappresentazione

Il suono analogico



Rapporto segnale/rumore

Signal-to-noise ratio (SNR)

$$SNR = \frac{\text{ampiezza_segnale_utile}}{\text{ampiezza_rumore}}$$

$$SNR_{dB} = 20 \log \left(\frac{\text{ampiezza_segnale_utile}}{\text{ampiezza_rumore}} \right)$$

$$SNR_{dB} = 20 [\log (\text{amp. segnale utile}) - \log (\text{amp. rumore})]$$

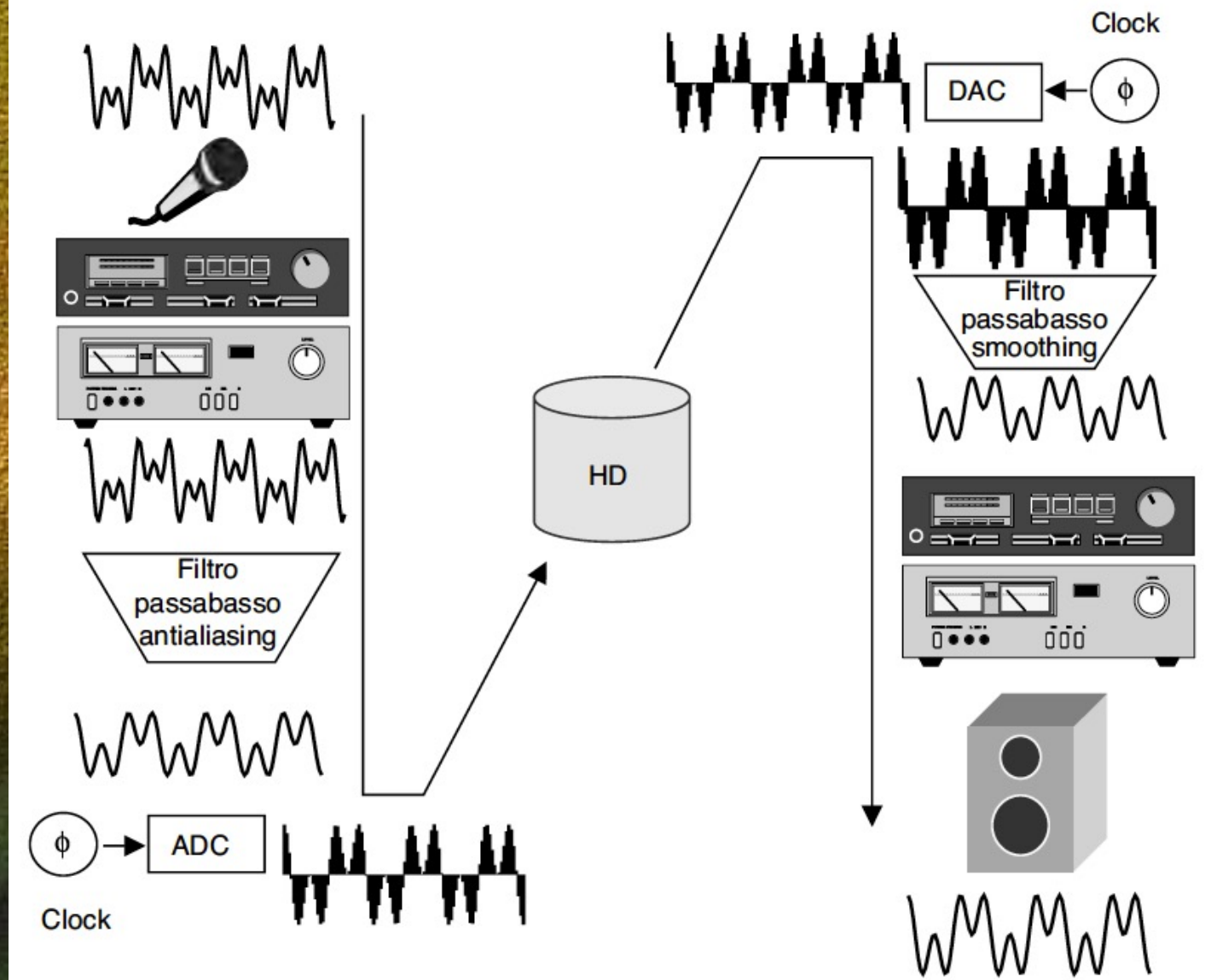
$$SNR_{dB} = \text{intensità segnale utile}_{dB} - \text{intensità rumore}_{dB}$$

Gamma dinamica - Dynamic Range (DR)

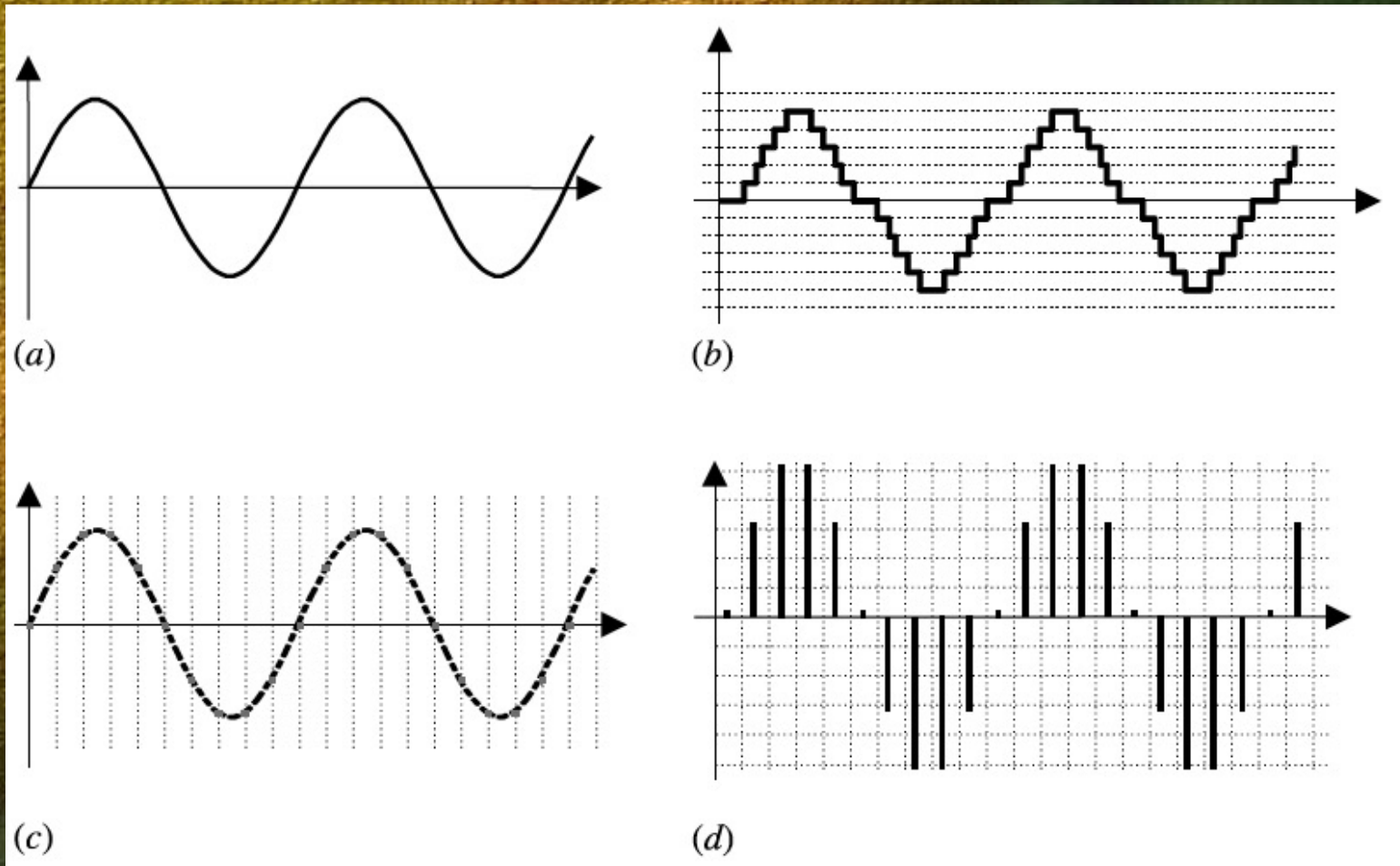
- Differenza in dB tra le ampiezze massima e minima del segnale utile
- ... dato un sistema, intervallo tra picco che causa clip e rumore di fondo

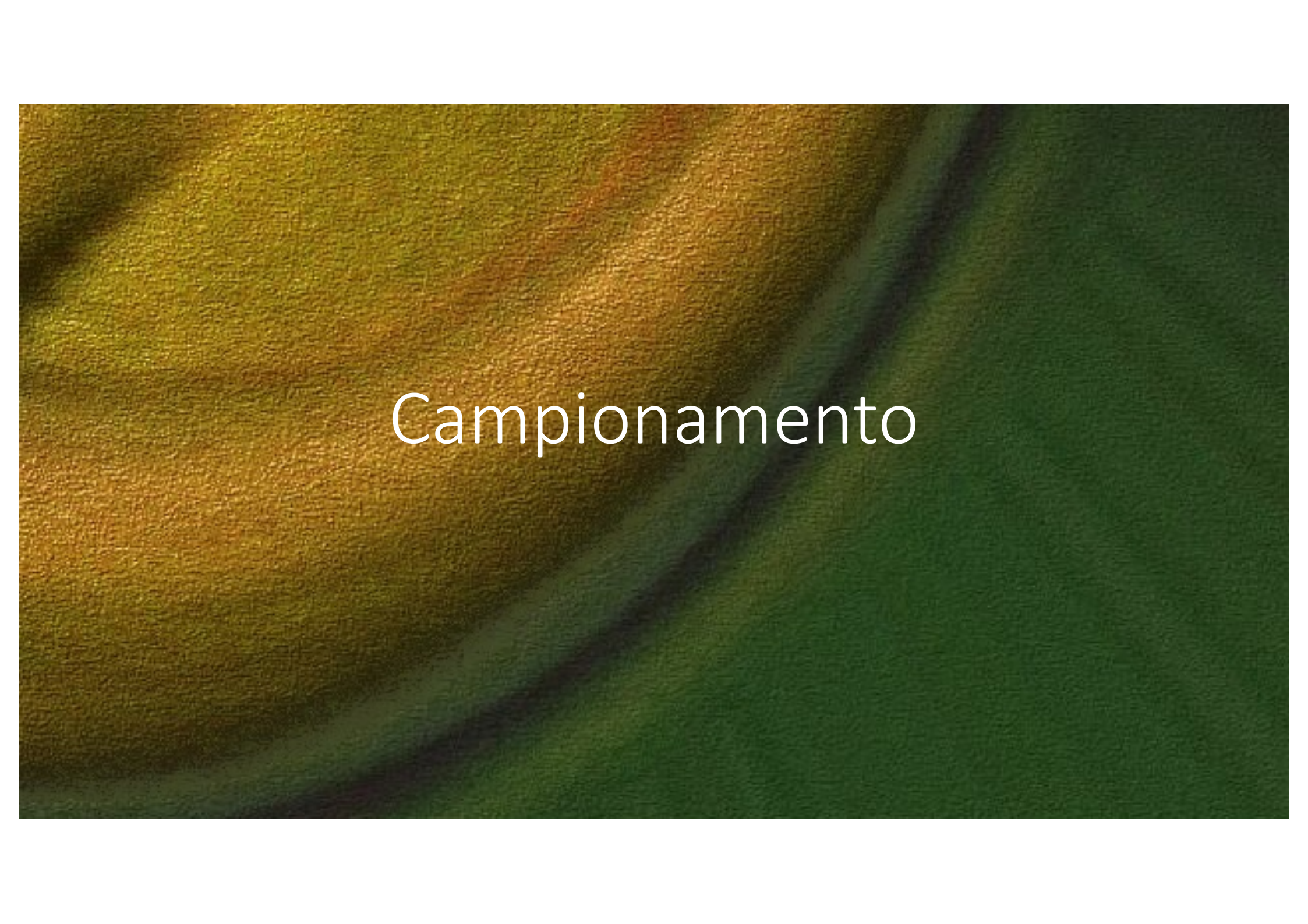
$$\text{Ampiezza_max}_{\text{dB}} - \text{Ampiezza_min}_{\text{dB}}$$

Catena dell'audio digitale



Campionamento e quantizzazione





Campionamento

Problema del campionamento

- Discretizzare il tempo (periodo di campionamento)
- Segnali audio variano rapidamente

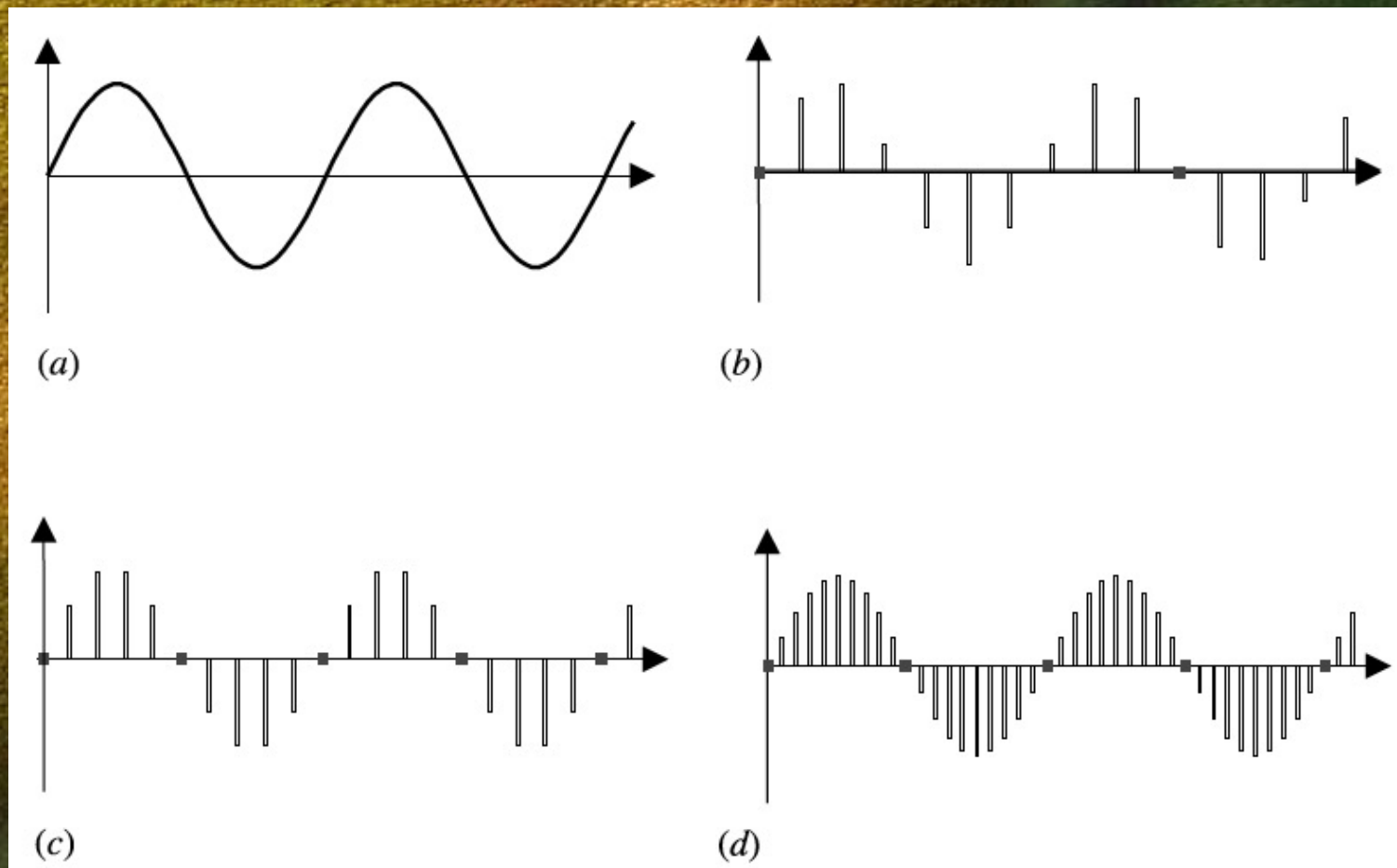
Problema

- Con che velocità si prelevano i campioni?

Intuitivamente

- Prelevamento campioni deve seguire ogni variazione segnale
- Velocità di variazione dipende da componente armonica più alta
- Frequenza max determina periodo di campionamento
- Al limite segnali analogico e digitale coincidono

Tasso di campionamento



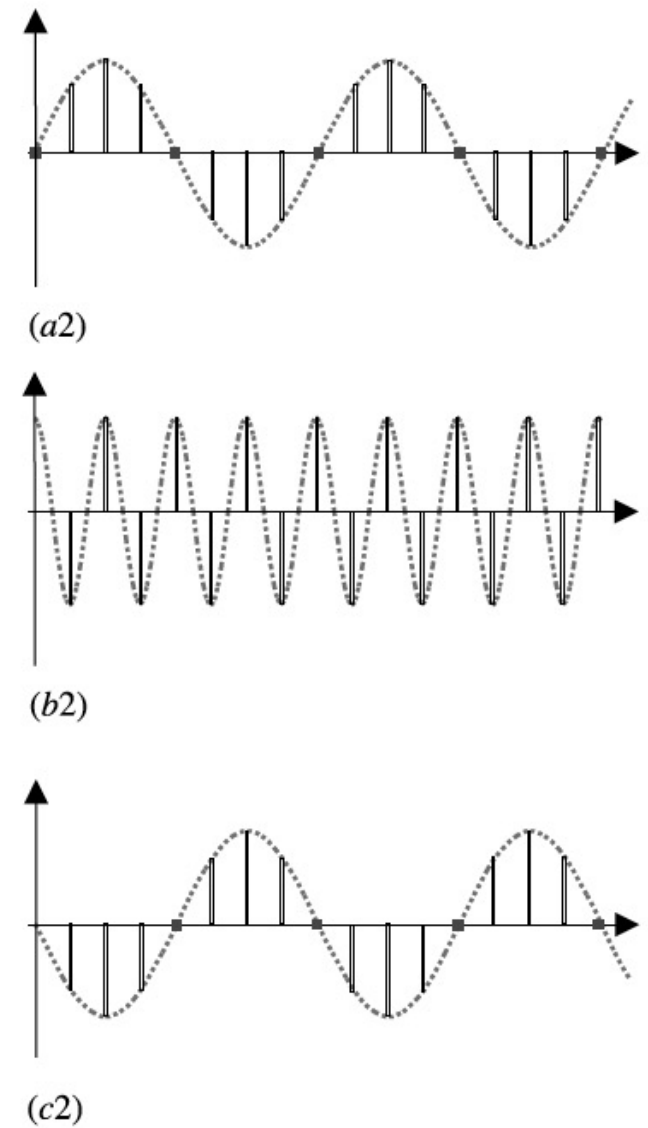
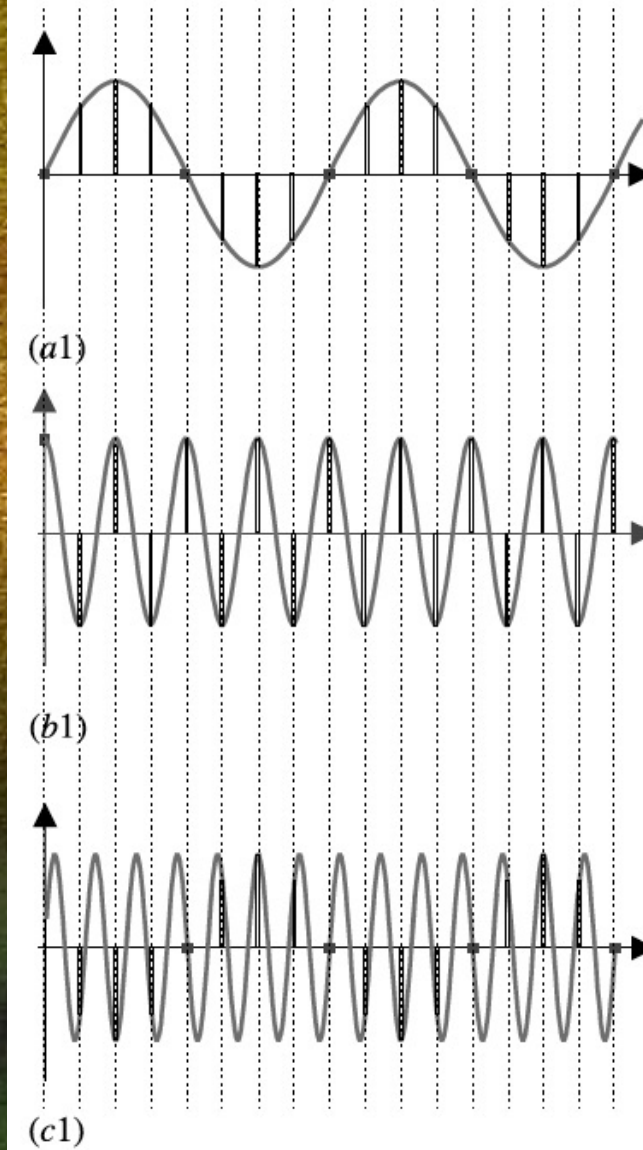
Dimensione degli intervalli

- Maggiore frequenza di campionamento, più accurata descrizione del segnale
- Come si fa a non avere perdita di informazione ?
- Qual è il minimo valore della frequenza di campionamento ?

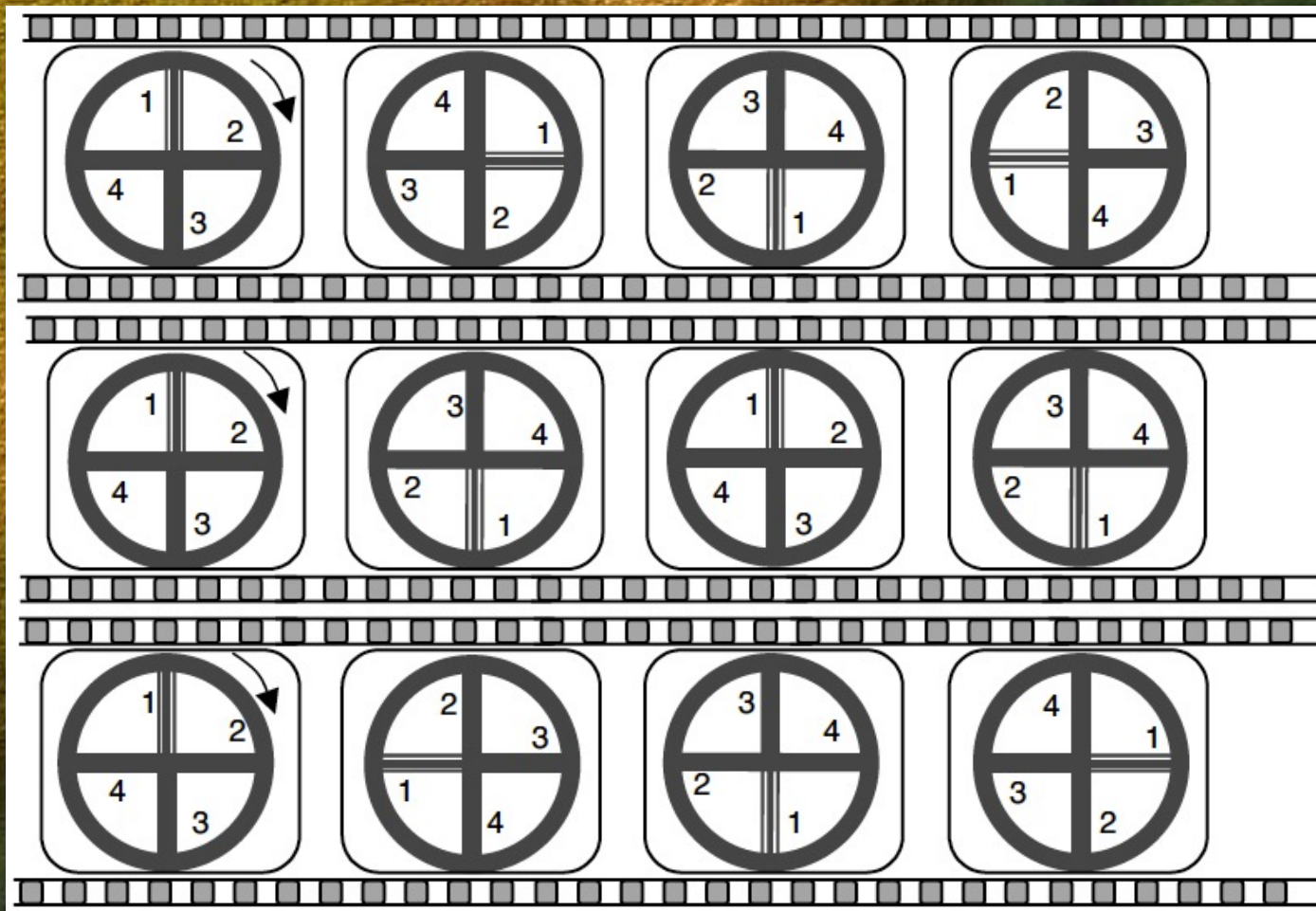
Sovracampionamento

Campionamento
critico

Sottocampionamento



Campionamento al cinema



Il foldover o aliasing

- Sia f_c la frequenza di campionamento
- Sia f una frequenza presente nel segnale in ingresso tale che $f > f_c / 2$
- Si “inventa” una frequenza nuova (alias)

La frequenza di alias

- frequenza ricostruita $f_r = f + kf_c$
- k intero, tale che $-f_c/2 < f + kf_c < f_c/2$

due casi:

- f nell'intervallo: $-f_c/2 < f < f_c/2$, $k=0$ $f_r=f$
- f fuori intervallo: $f < -f_c/2$, $f > f_c/2$, $k=?$

Esempi $f_r = f + kf_c, \quad -f_c/2 < f + kf_c < f_c/2$

- $f_c=10000$ Hz, $f=4000$ Hz, $k=0$, $f_r = 4000$ Hz
– $5000 < 4000 < 5000$
- $f_c=10000$ Hz, $f=6000$ Hz, $k=-1$, $f_r = -4000$ Hz
– $5000 < -4000 < 5000$
- $f_c=955$ Hz, $f=1000$ Hz, $k=-1$, $f_r = 45$ Hz
– $472,5 < 45 < 472,5$

Esempio di aliasing: risultanza nei battimenti

- $k = -[2f / f_c], \quad f_r = f - [2f / f_c] f_c$
- Frequenza di campionamento 8000 Hz
- Segnale sinusoidale 2000 Hz
- Segnale sinusoidale 5998 Hz ...
- Per $k=-1, f_r = f_c - f = 8000 - 5998 = 2002$

Esempio di aliasing: spurio trattamento del glissando

- Da 20 Hz a 30.000 Hz
- Durata 30 secondi
- Frequenza di campionamento 44.100 Hz

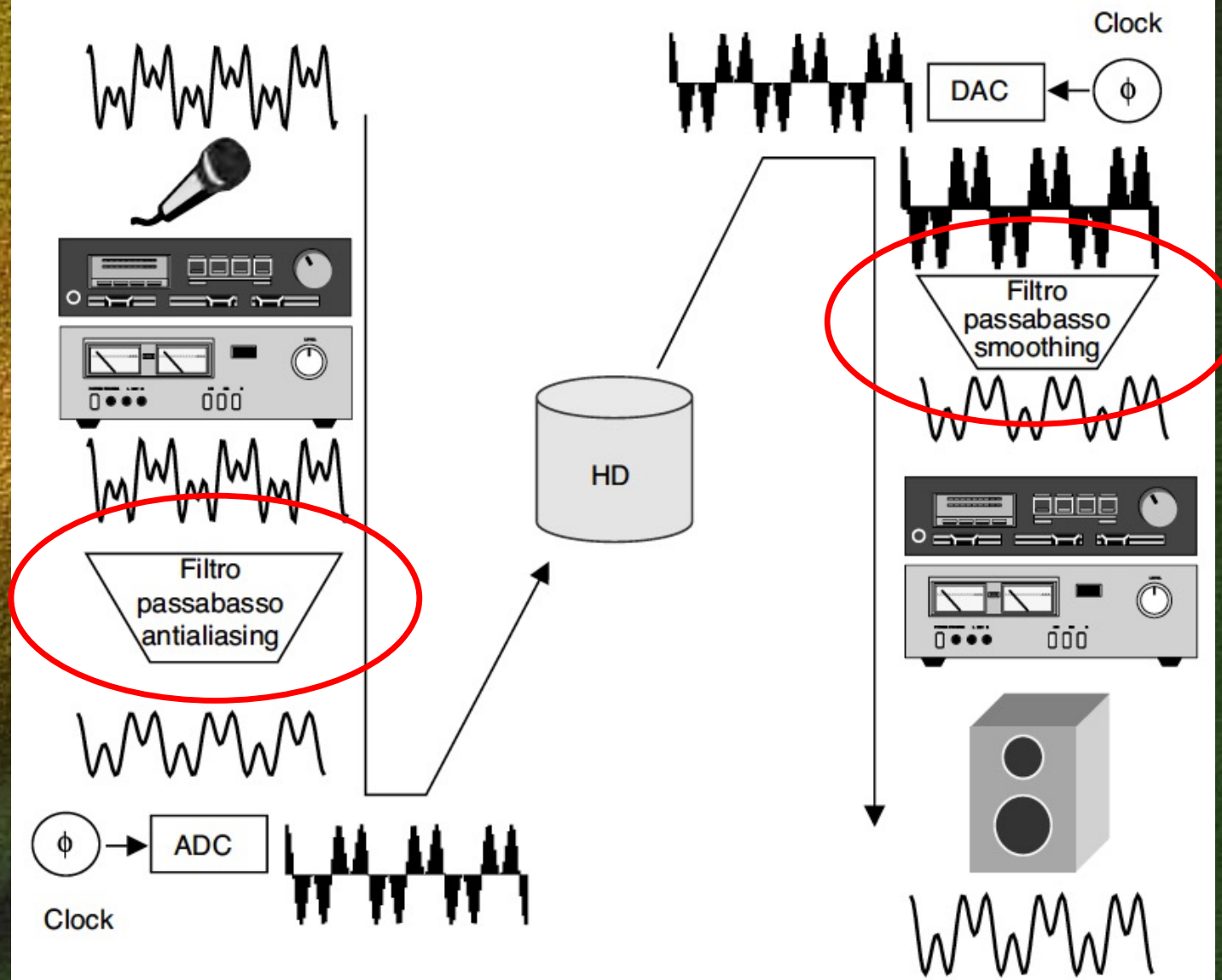


Glissando lineare



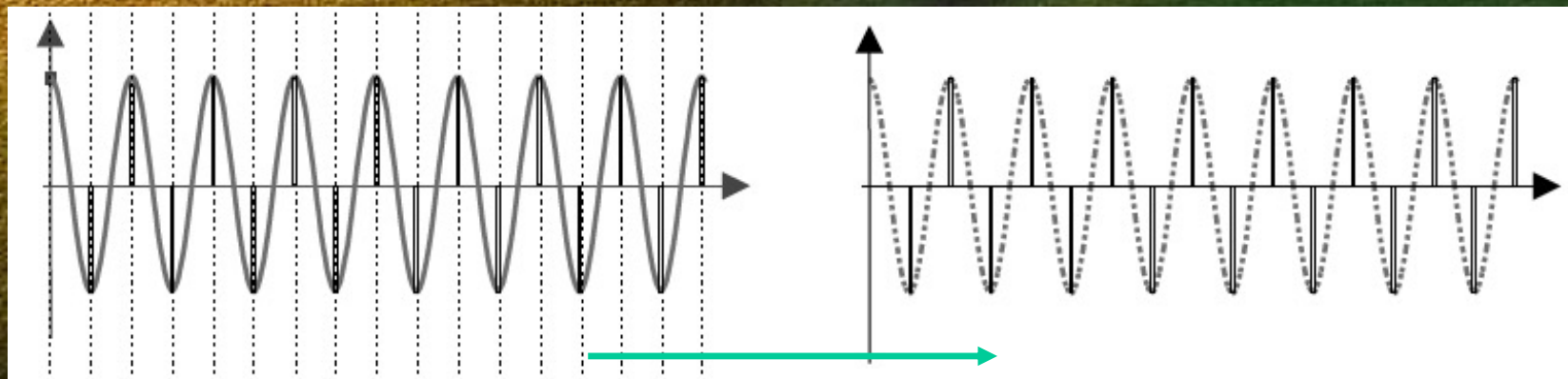
Glissando log

Catena dell'audio digitale



La frequenza di Nyquist

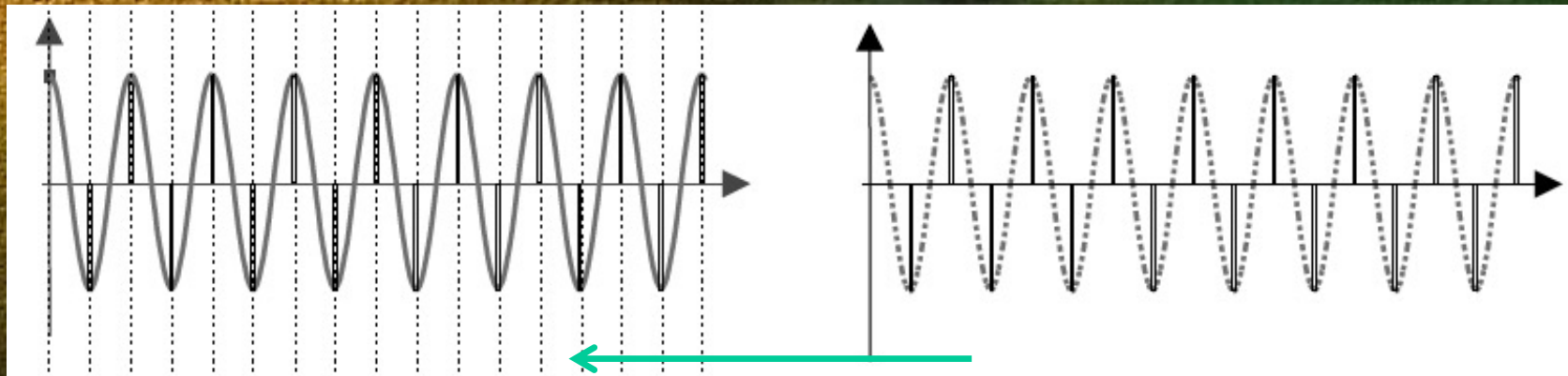
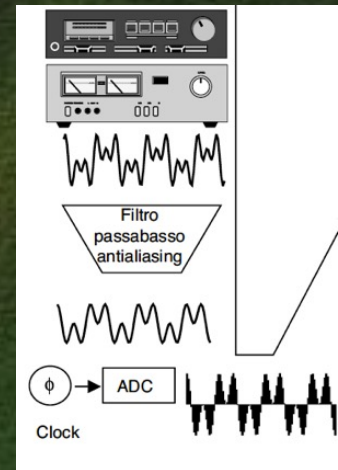
- In un periodo, il segnale cambia direzione due volte: occorrono almeno due campioni per periodo
- Frequenza di campionamento almeno il doppio della frequenza max presente



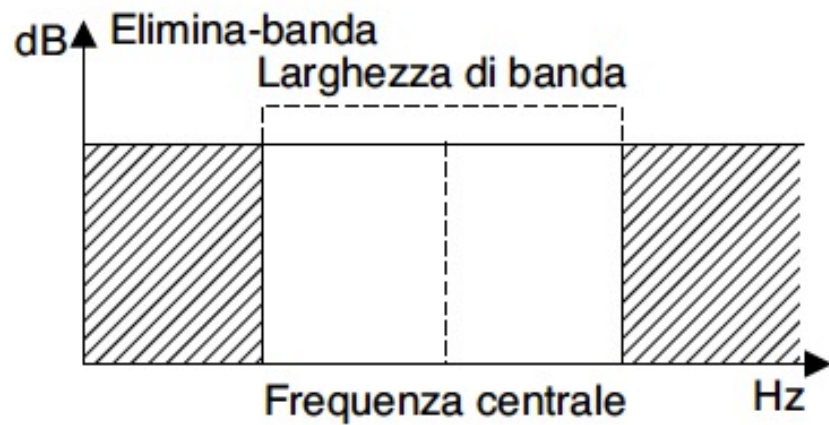
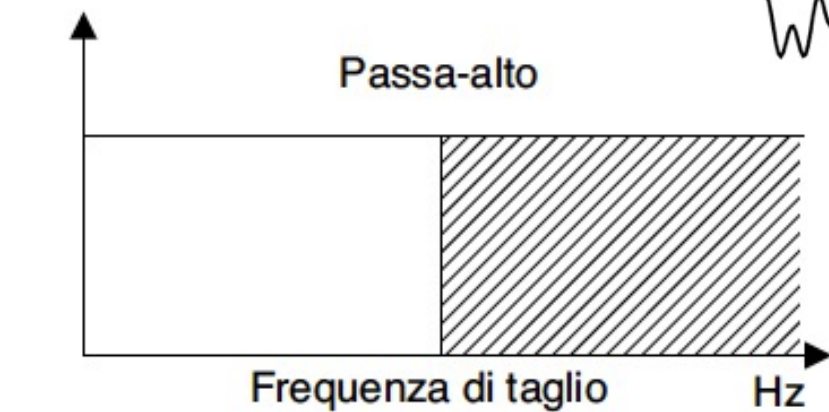
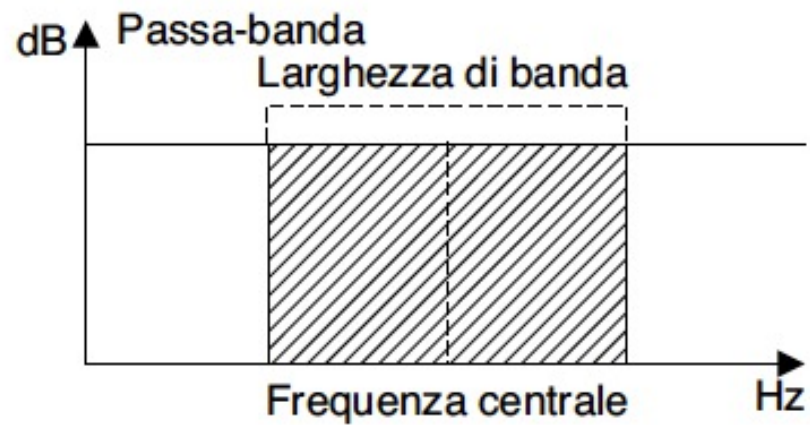
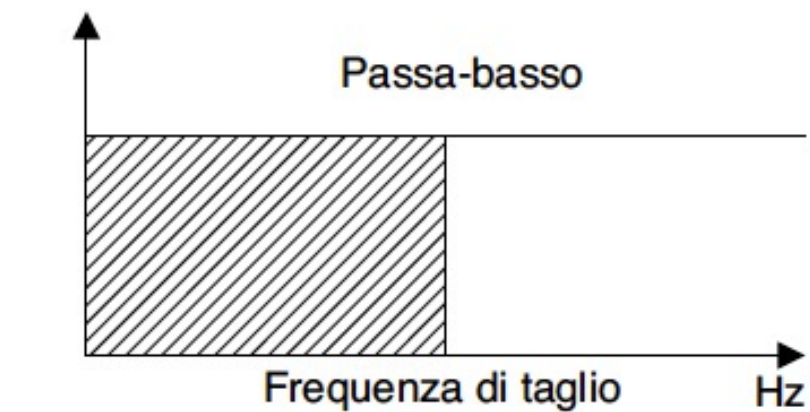
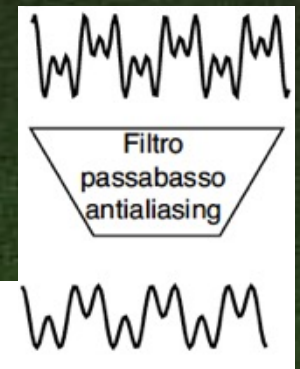
La frequenza di Nyquist

Operativamente:

- Si fissa la frequenza di Nyquist
- Si eliminano frequenze superiori alla metà della frequenza di Nyquist

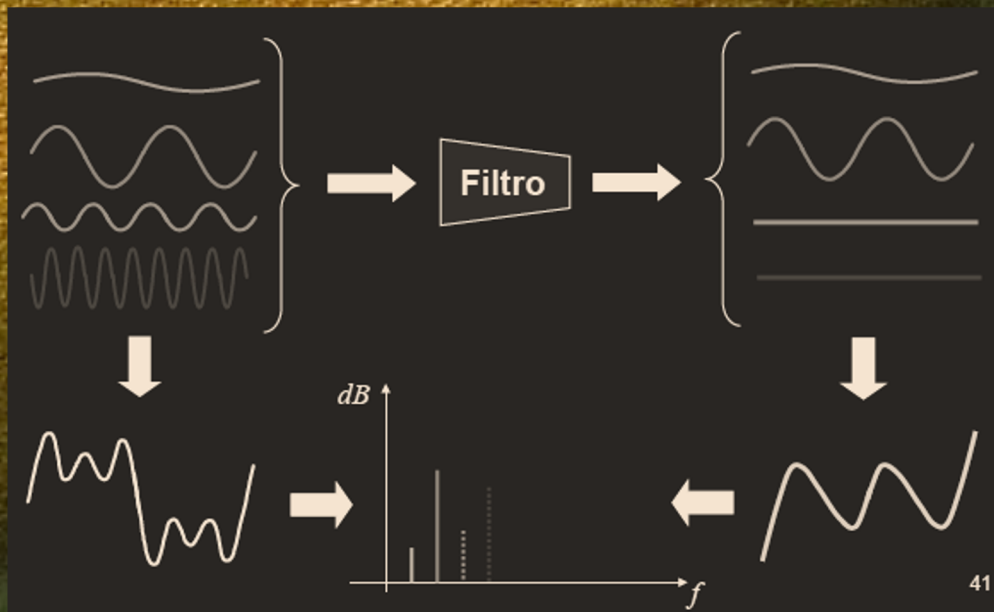


Filtro passabasso



Filtro passabasso

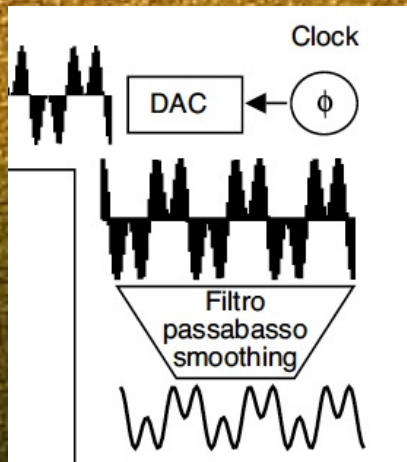
Elimina frequenze $>$ soglia (frequenza di cut-off, metà della frequenza di campionamento)



Interpolazione dei campioni



DAC



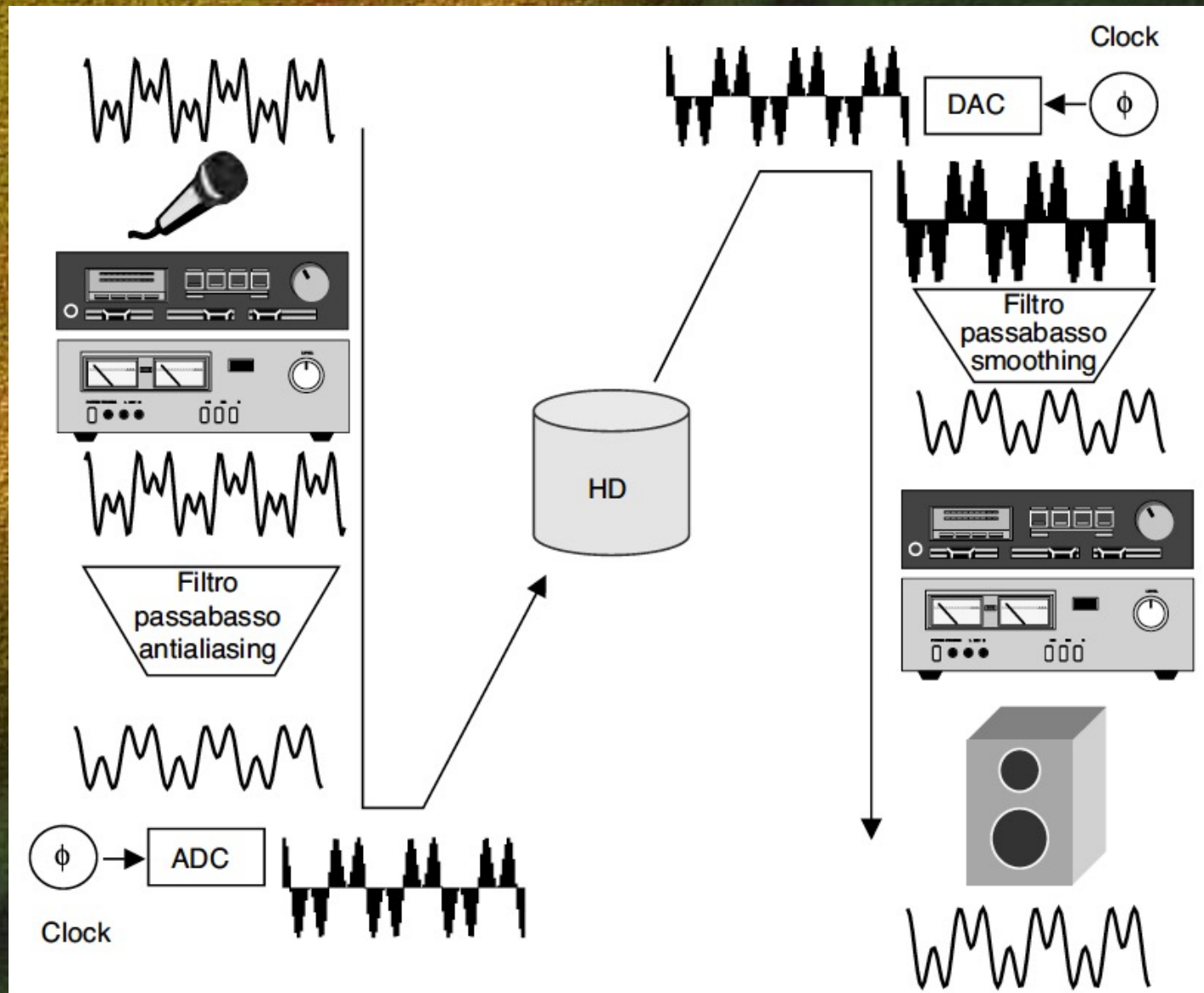
Filtro
passabasso

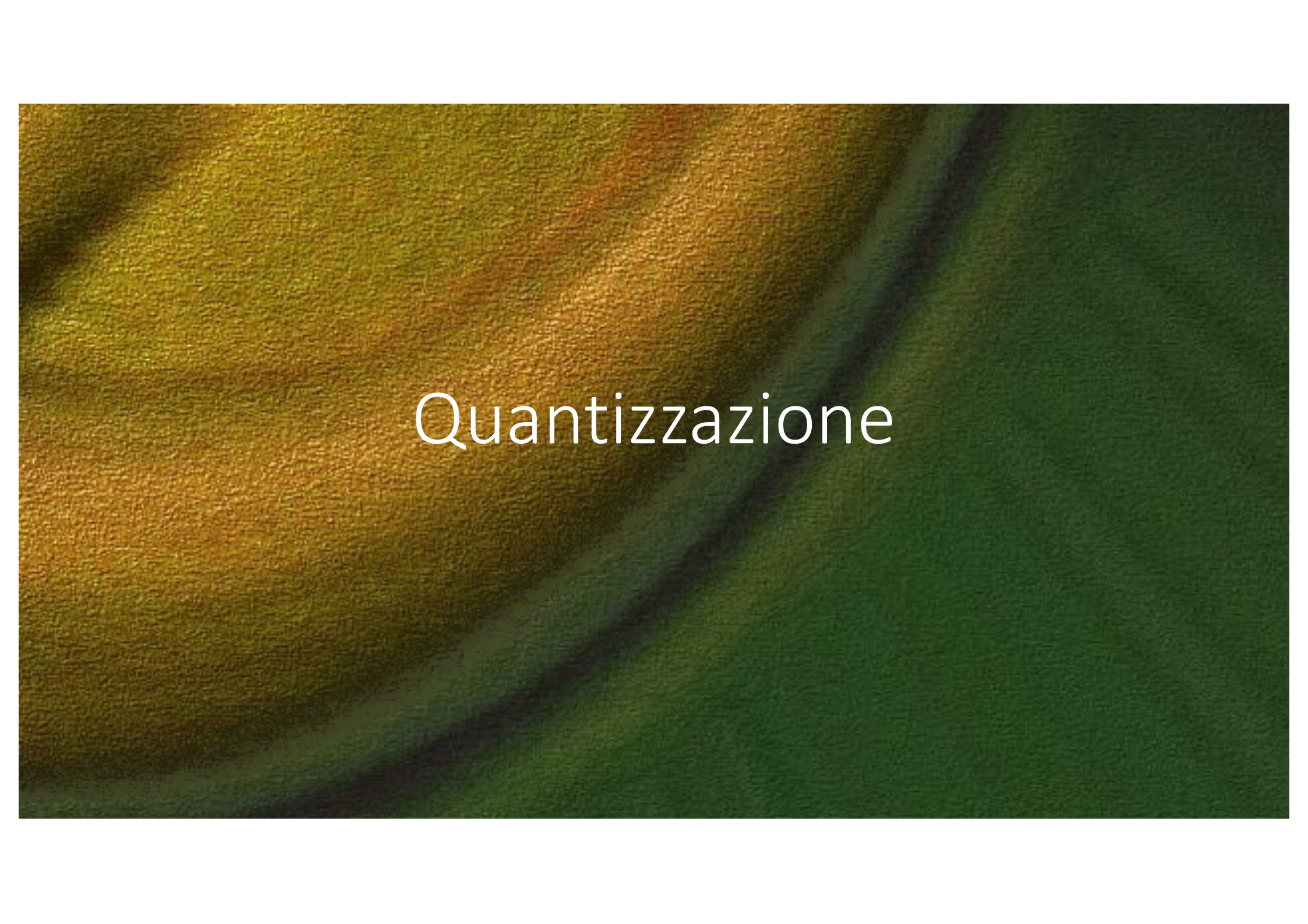


Dati pratici per il campionamento

- Max frequenza udibile 20 KHz
- campionamento oltre i 40 KHz
- 44,1 kHz è la frequenza usata per il CD

Catena dell'audio digitale





Quantizzazione

Problema della quantizzazione

- da segnale a successione di numeri
- ogni numero esprime il valore di ampiezza di un campione

Di quante cifre è composto il dato numerico?

Parole binarie

- Sequenze di bit (lunghezza n)
 - può assumere 2^n configurazioni diverse
 - cioè 2^n valori diversi

Esempi:

- $n=2$, $2^2=4$ valori (00, 01, 10, 11)
- $n=3$, $2^3=8$ (000, 001, 010, 011, 100, ...)
- ...

Qual è il numero di cifre corrette?

numero di bit

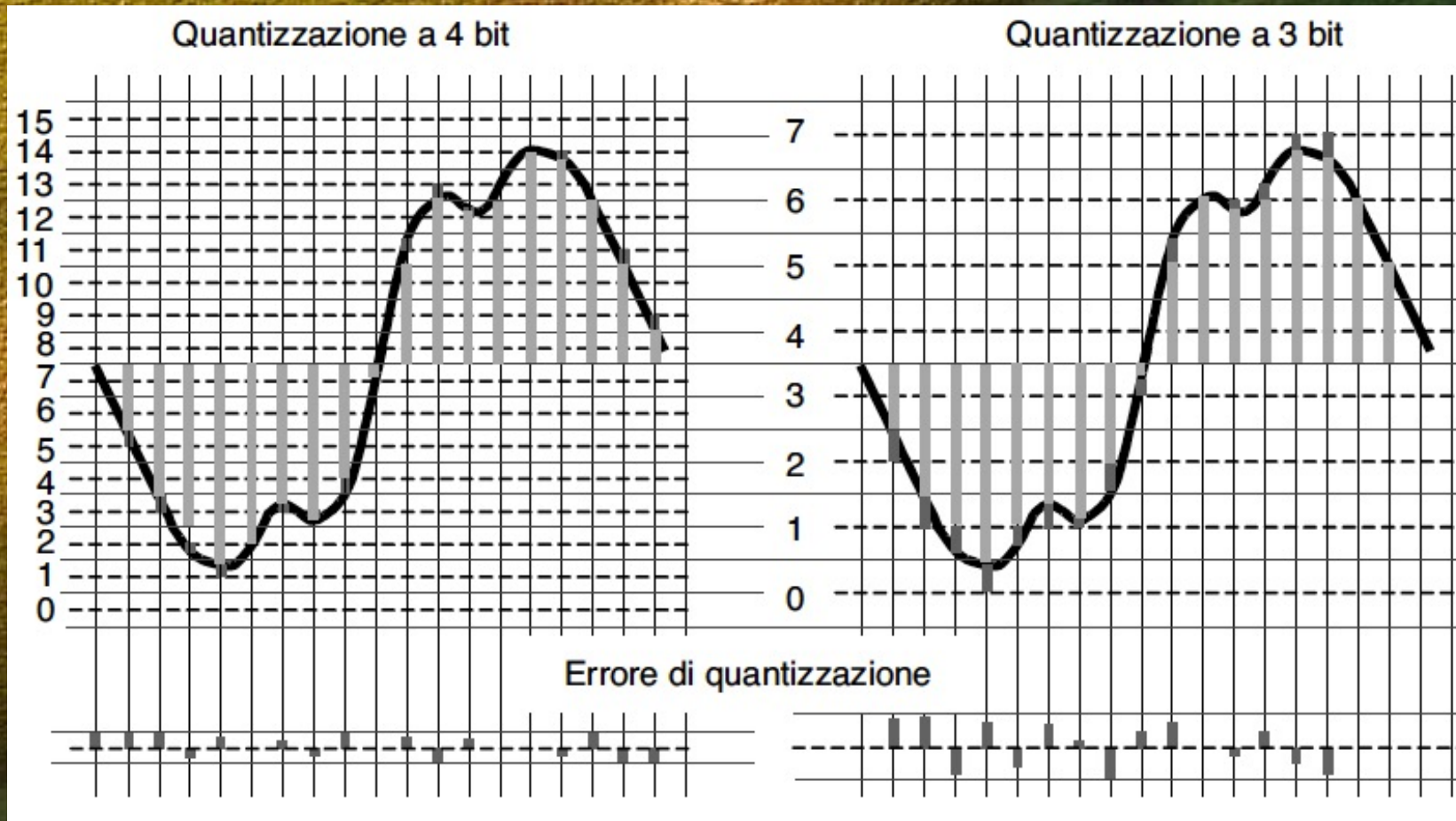
accuratezza

errore di quantizzazione

Livelli di quantizzazione

Valori di tensione	Parola binaria	
-5/ -4,961	0000	0000
-4,960/ -4,922	0000	0001
-4,921/ -4,883	0000	0010
-4,882/ -4,844	0000	0011
-4,843/ -4,805	0000	0100
...	...	
...	...	
4,805/4,844	1111	1011
4,845/4,883	1111	1100
4,884/4,922	1111	1101
4,923/4,961	1111	1110
4,962/5	1111	1111

Quantizzazione a 4 e 3 bit



Limite in precisione

- Segnale rappresentato = segnale effettivo + rumore
- Analogico: differenze con il segnale effettivo = “rumore” non limitato
- Digitale: “rumore” di quantizzazione “limitato”

Errore di quantizzazione

- Differenza tra ampiezza reale e ampiezza quantizzata
- Ampiezza quantizzata = metà della regione (si usa in riproduzione)
- L'errore di quantizzazione è al più la metà della regione di quantizzazione

Rumore di quantizzazione

- Errore di quantizzazione distribuito casualmente
- Segnale in aggiunta al segnale utile
- Si parla di “rumore di quantizzazione”

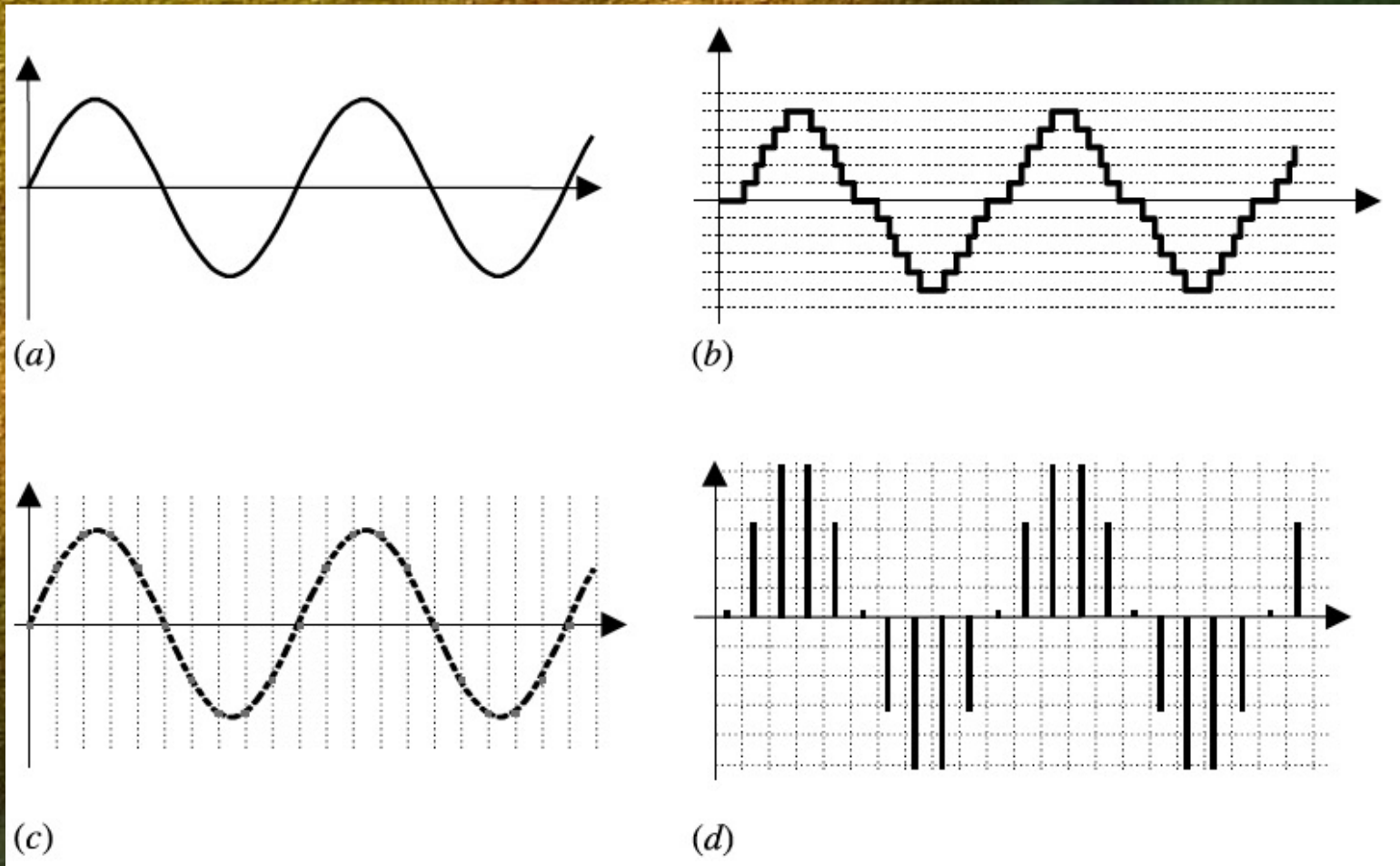


Quantizzazione con 16 bit



Quantizzazione con 8 bit

Campionamento e quantizzazione





Valutazione della rappresentazione digitale

Rapporto segnale-rumore

Gamma dinamica

Contributo di un bit a SQNR

- Se il numero di bit è almeno 6 o 7 ...

$$\text{SQNR} = 2^N$$

In decibel, ogni bit contribuisce con circa 6 dB

$$\text{SQNR} = 20 \log 2^N \text{ dB} = N * 20 \log 2 \text{ dB} = 6.02 * N \text{ dB}$$

- Qualità CD:
 - $N = 16 \text{ bit}$
 - $\text{SQNR} = 16 * 6 \text{ dB} = 96 \text{ dB}$

Contributo di un bit alla gamma dinamica

L'aggiunta di un bit

- raddoppia la gamma dinamica dei valori
- dimezza l'errore di quantizzazione



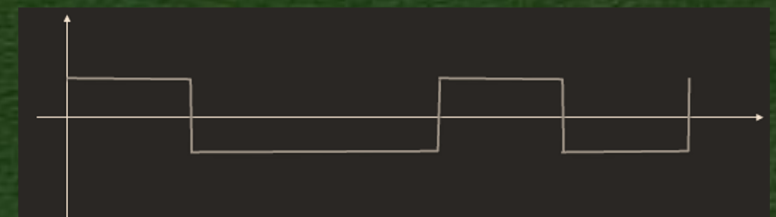
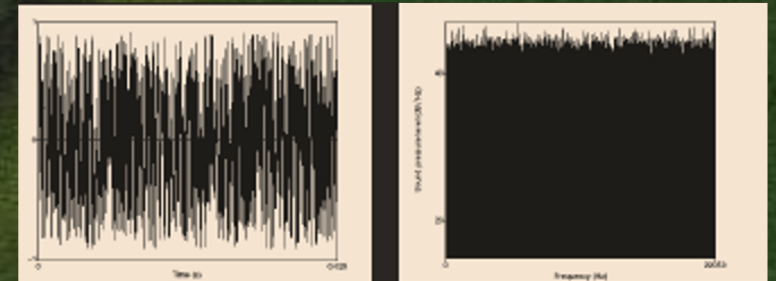
Dithering

- Problemi a livelli vicini allo 0 (non nulli)
- FLIP periodico dell'ultimo bit, onda quadra
- Due soluzioni
 - Forza bruta: Aumento del numero di bit
 - Uso di tecniche a basso costo (dithering)

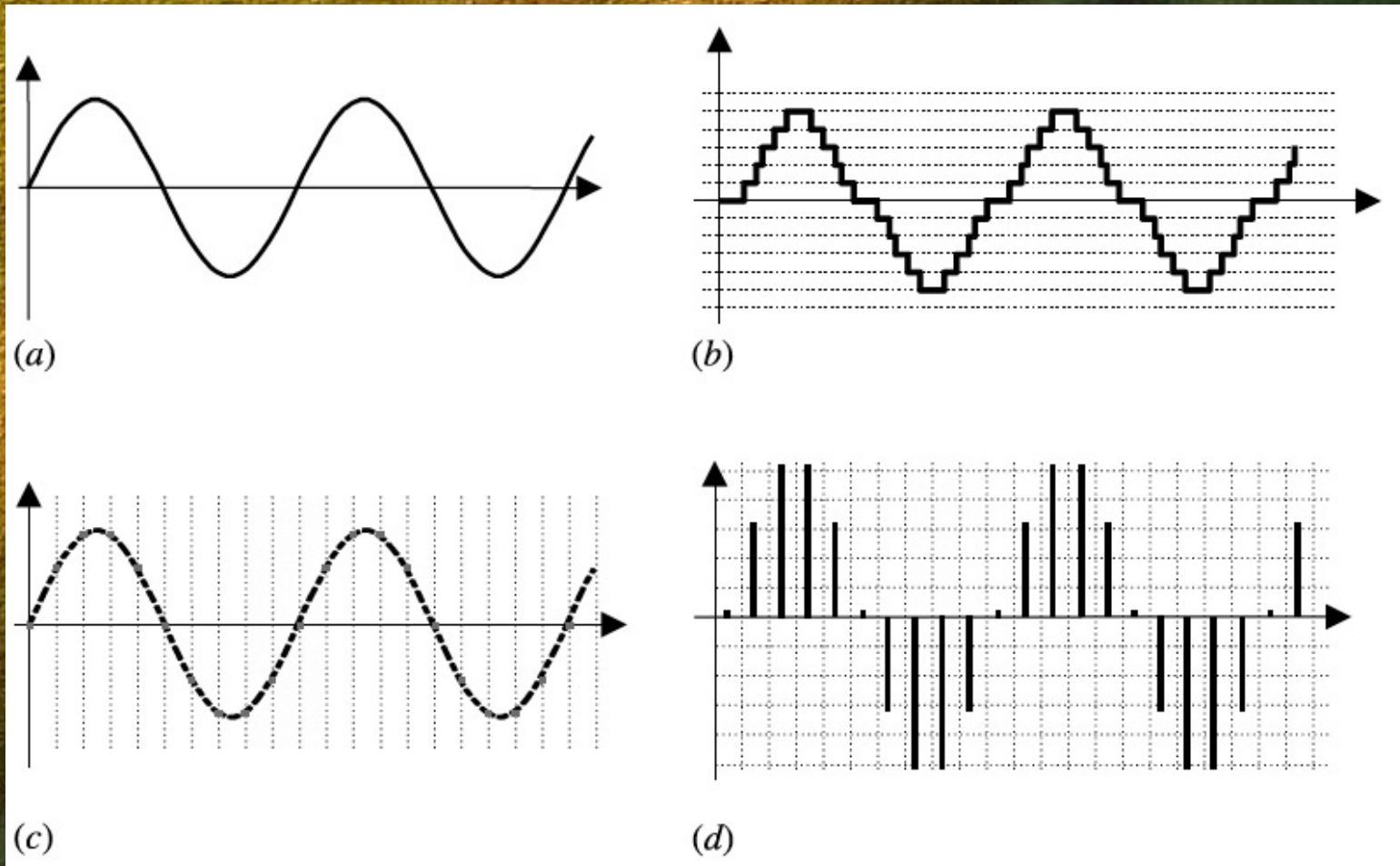


Dithering

- Prima della conversione AD, *rumore di eccitazione* – *dither noise*
- Livello minimo (es. 3 dB, circa l'errore)
- Rumore indipendente dal segnale
- Sistemi audio di buona qualità a basso costo



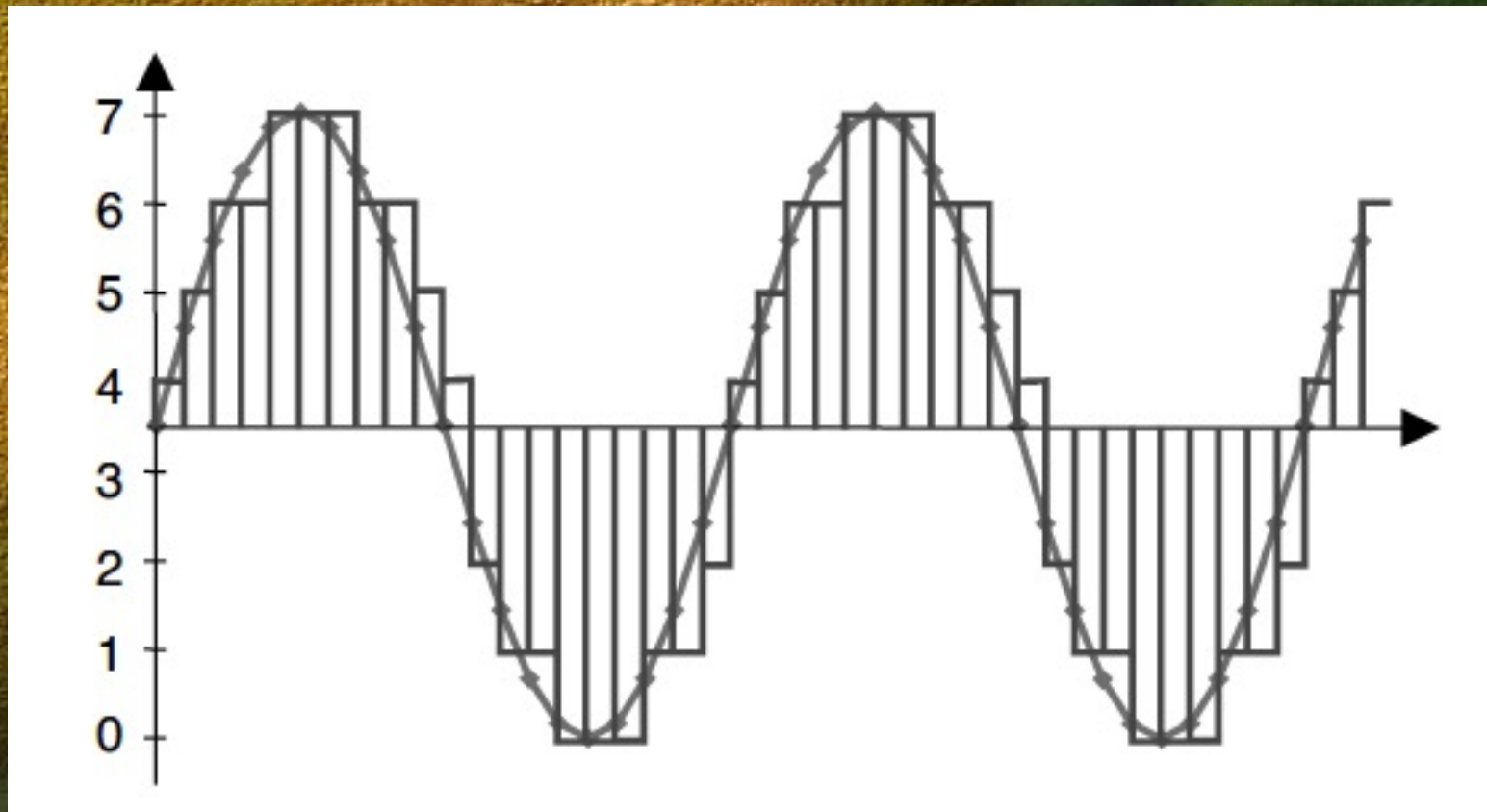
Campionamento e quantizzazione



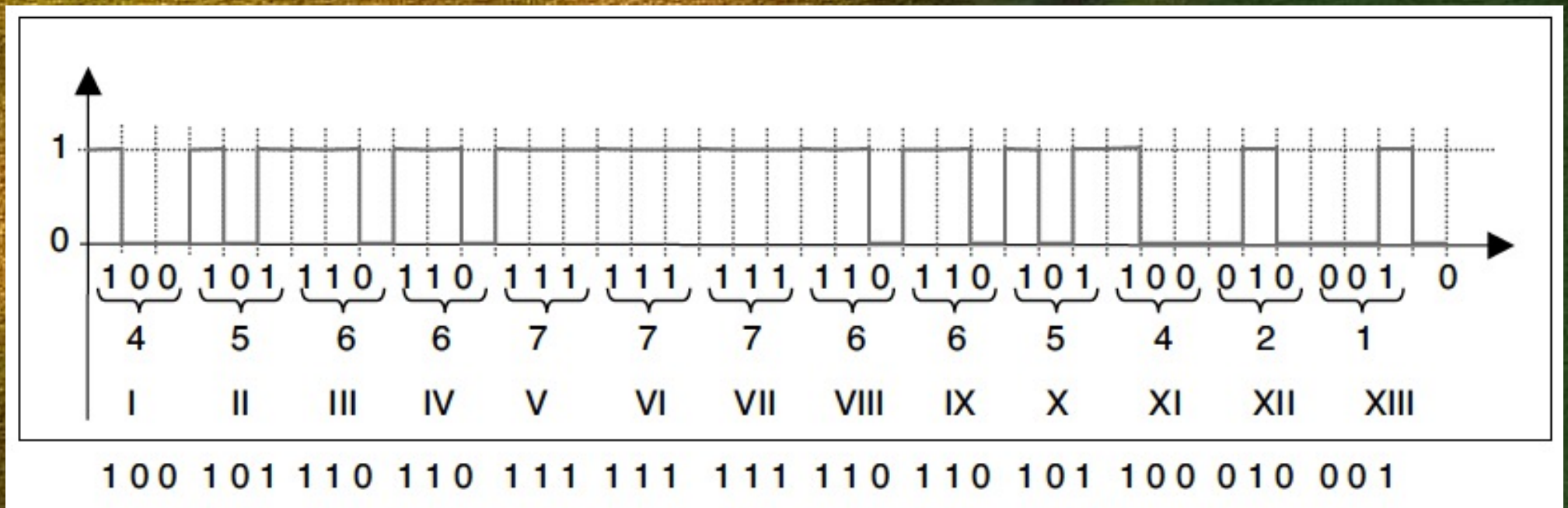


Codifica segnale audio

Pulse amplitude modulation



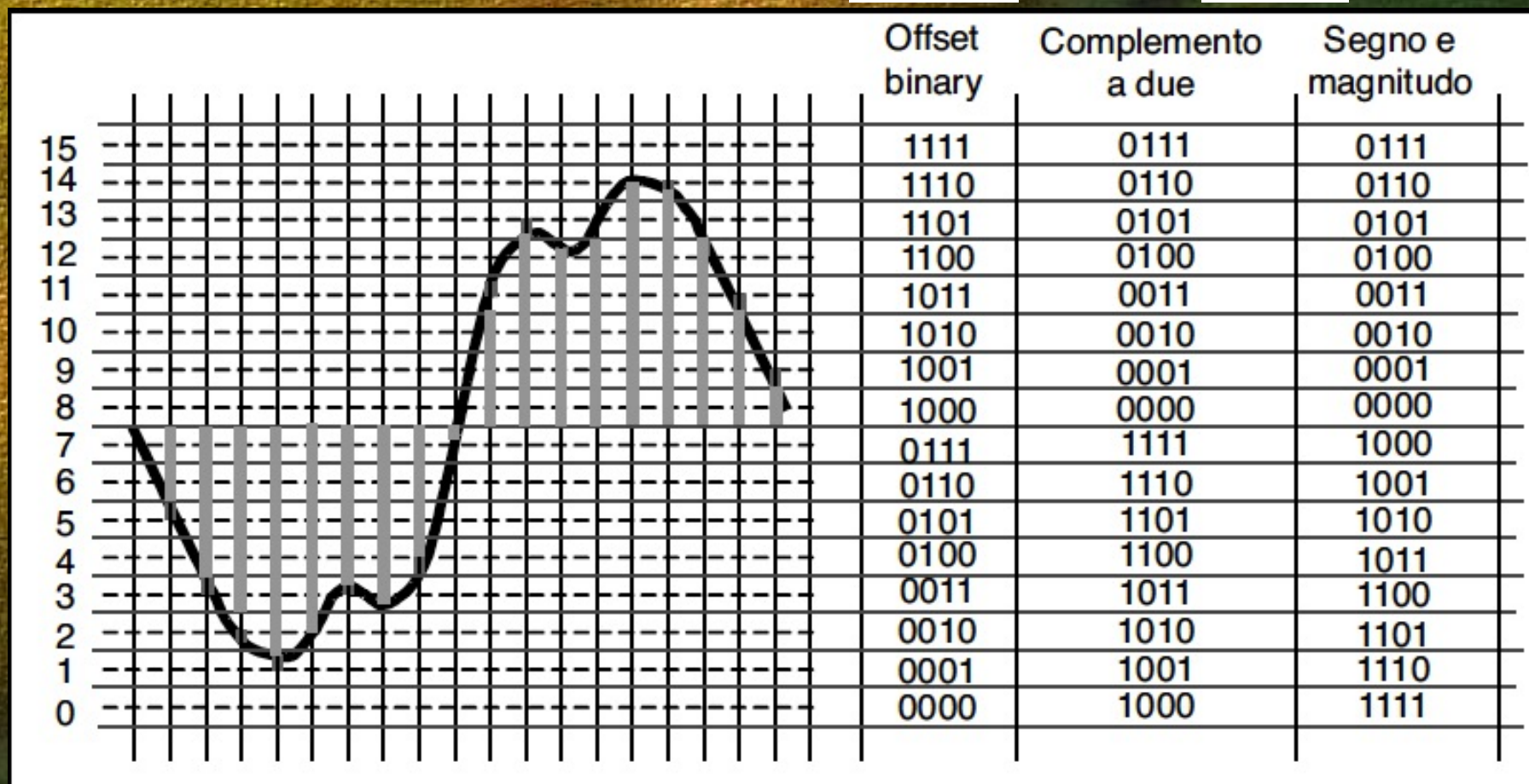
Pulse Code Modulation

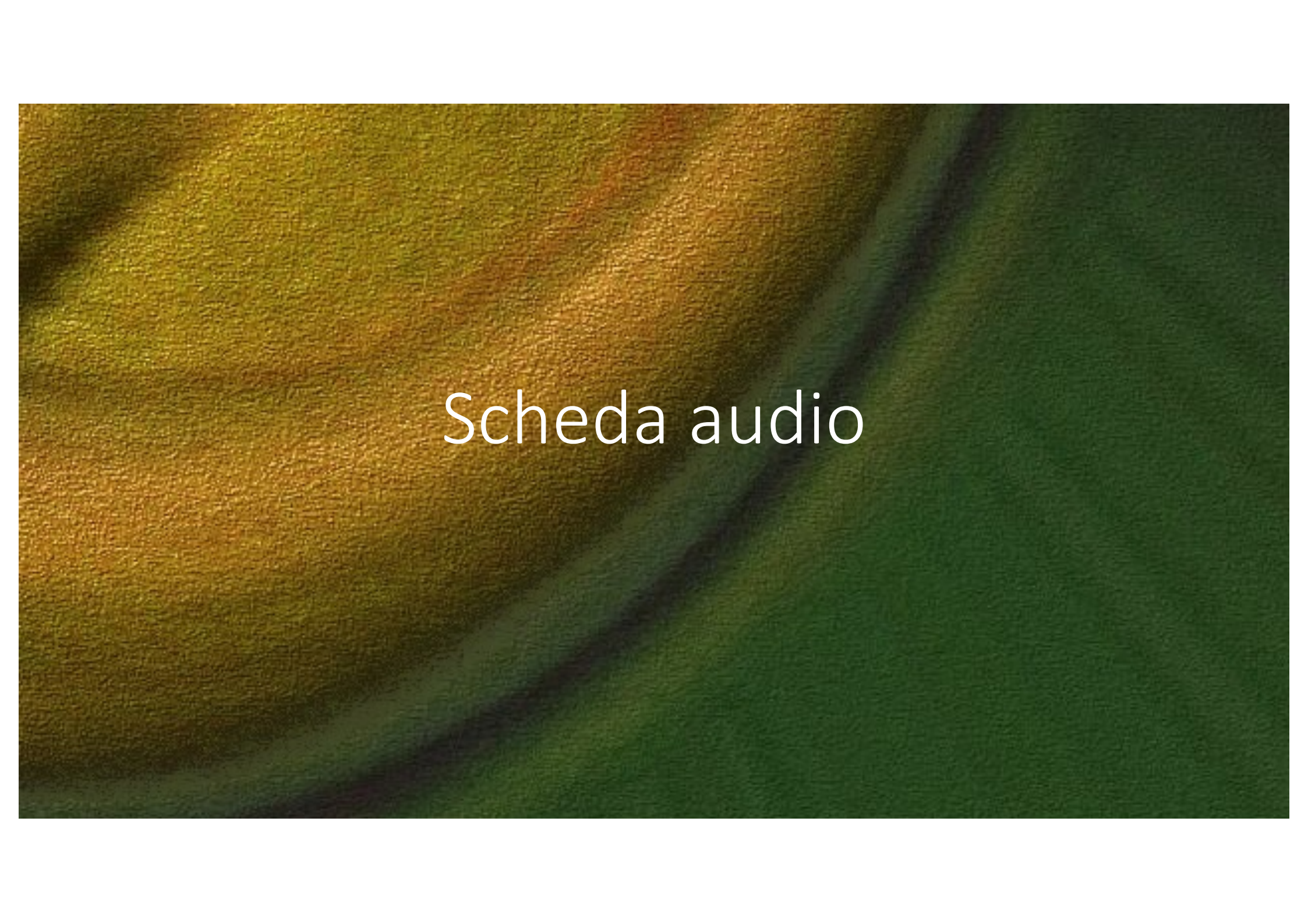


Codifiche binarie

Unipolare

Bipolare



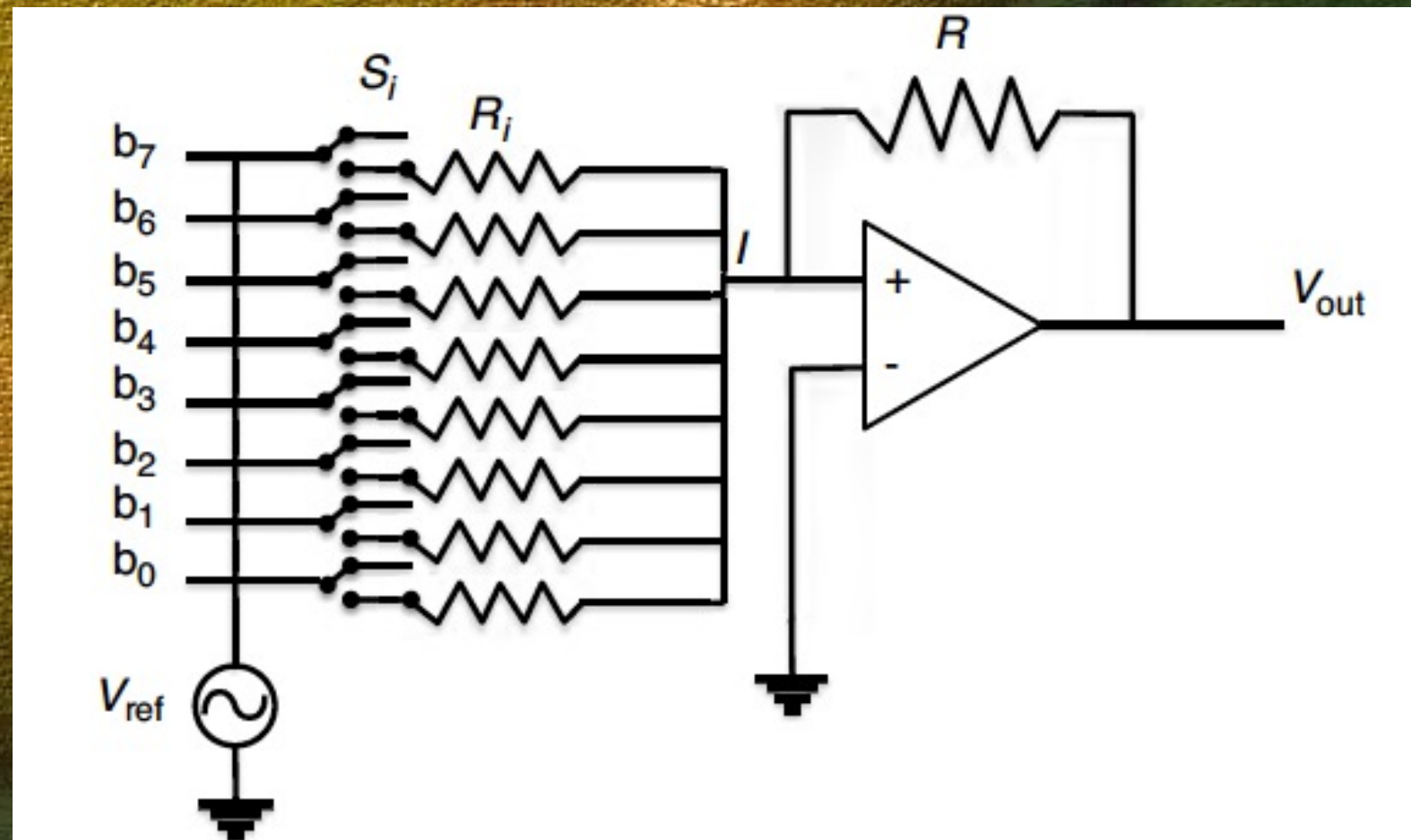


Scheda audio

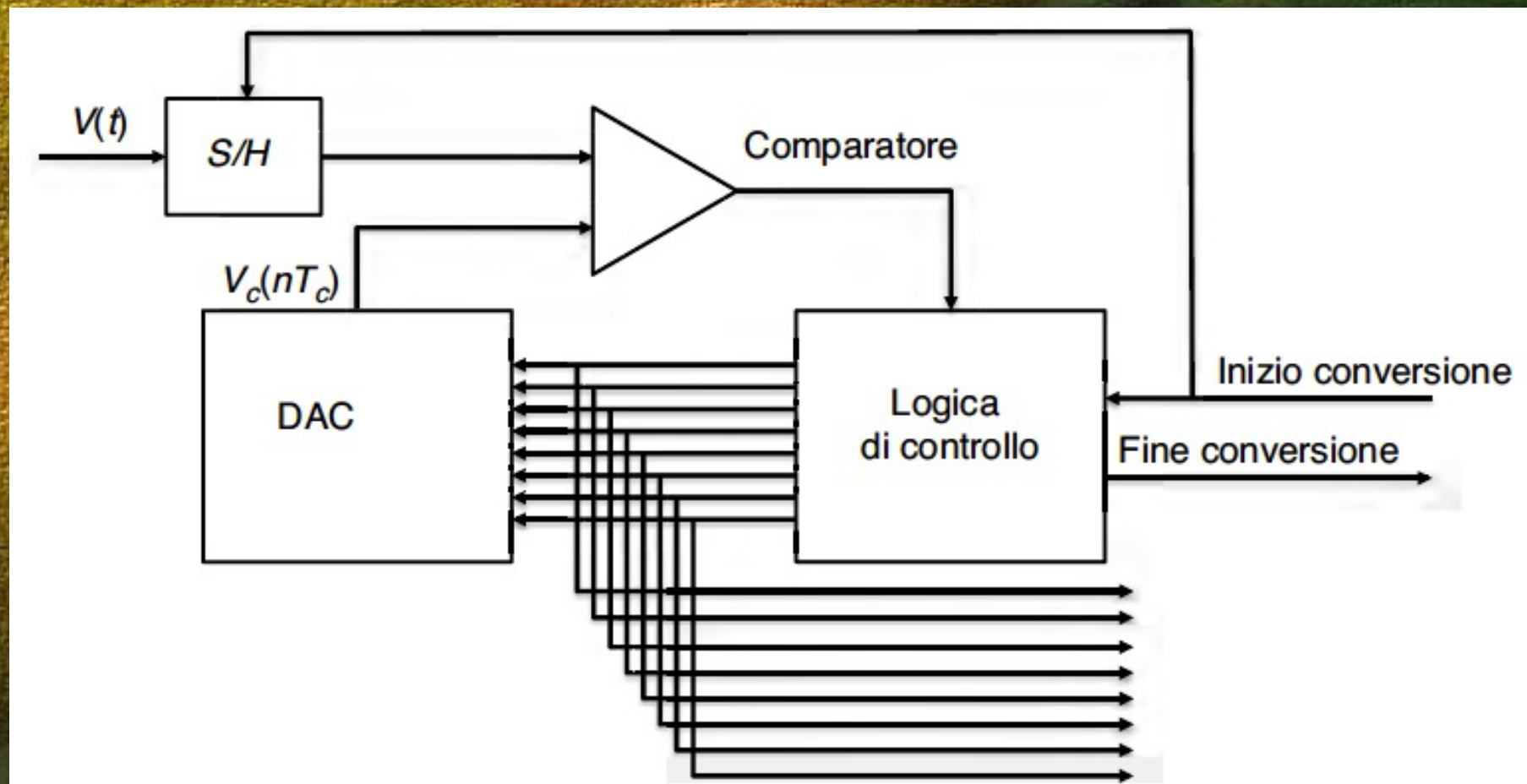
La scheda audio

- dispositivo hardware specificamente dedicato all'audio
- Tre funzioni:
 - input/output dei segnali
 - elaborazione (DSP)
 - sintesi

Scheda audio: DAC



Scheda audio: ADC



Parametri scheda audio

- tempo di conversione (o settling time)
- rumore di fondo, misurato in dB
- Ampiezza SNR, misurato in dB (> 80-85 dB)
- Ampiezza DR (correlata a SNR)
- Uniformità risposta in frequenza (intervallo frequenze in Hz e variazione d'ampiezza in dB)
- THD (*Total Harmonic Distortion*), $\leq 0.05 \%$
- IM (*InterModulation*) percentuale di nuove componenti spettrali non armoniche
- distorsione AM/FM, vibrato e jitter



Quantizzazione non
uniforme

Quantizzazione uniforme



Valori di tensione	Parola binaria
-5/ -4,961	0000 0000
-4,960/ -4,922	0000 0001
-4,921/ -4,883	0000 0010
-4,882/ -4,844	0000 0011
-4,843/ -4,805	0000 0100
...	
4,805/4,844	1111 1011
4,845/4,883	1111 1100
4,884/4,922	1111 1101
4,923/4,961	1111 1110
4,962/5	1111 1111

8 bit, 256 valori

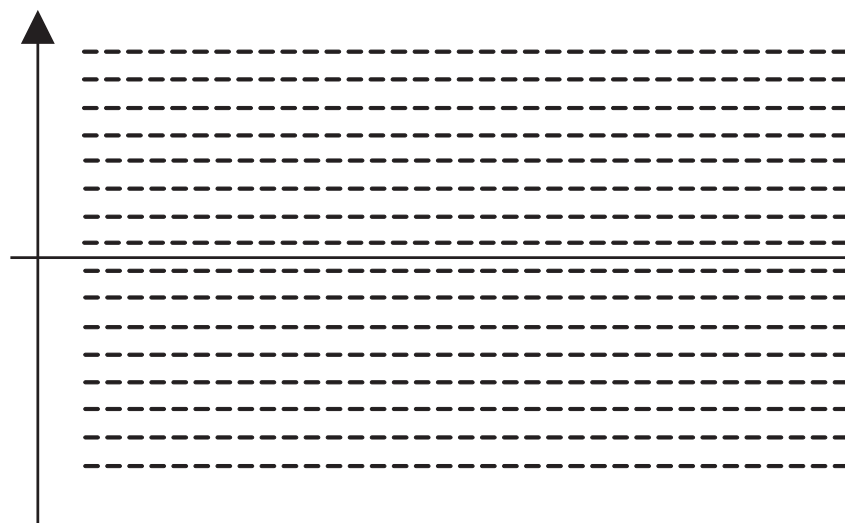
Rapporto segnale/rumore

- SQNR = rapporto tra
 - ampiezza max segnale
 - ampiezza media errore di quantizzazione
- Ampiezza media errore di quantizzazione
 - costante e indipendente dall'ampiezza
 - no correlazione segnale/digitalizzazione

PCM lineare

- SQNR diminuisce con l'ampiezza
- Segnali deboli degradati

Quantizzazione uniforme e non uniforme



(a)

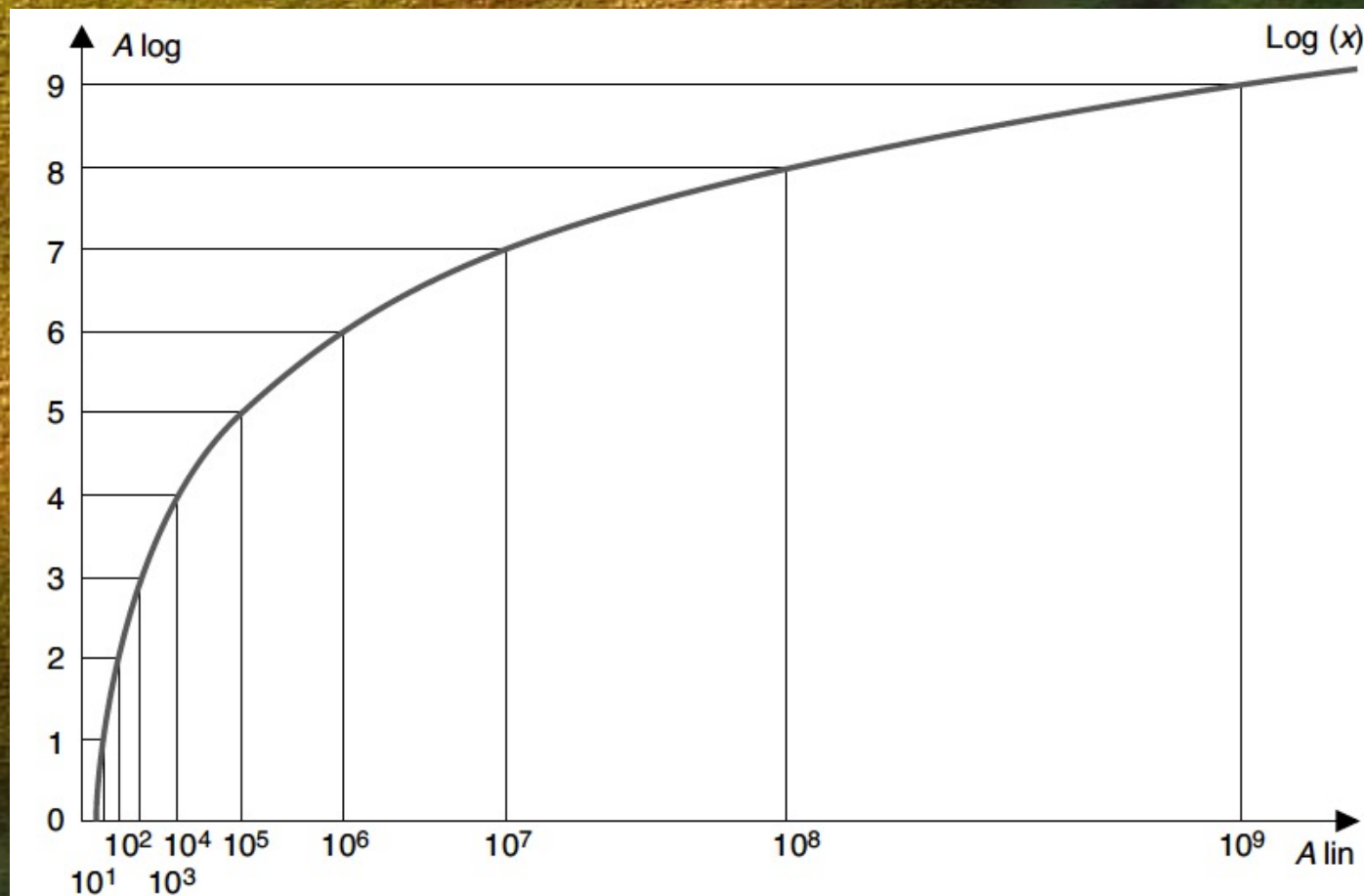


(b)

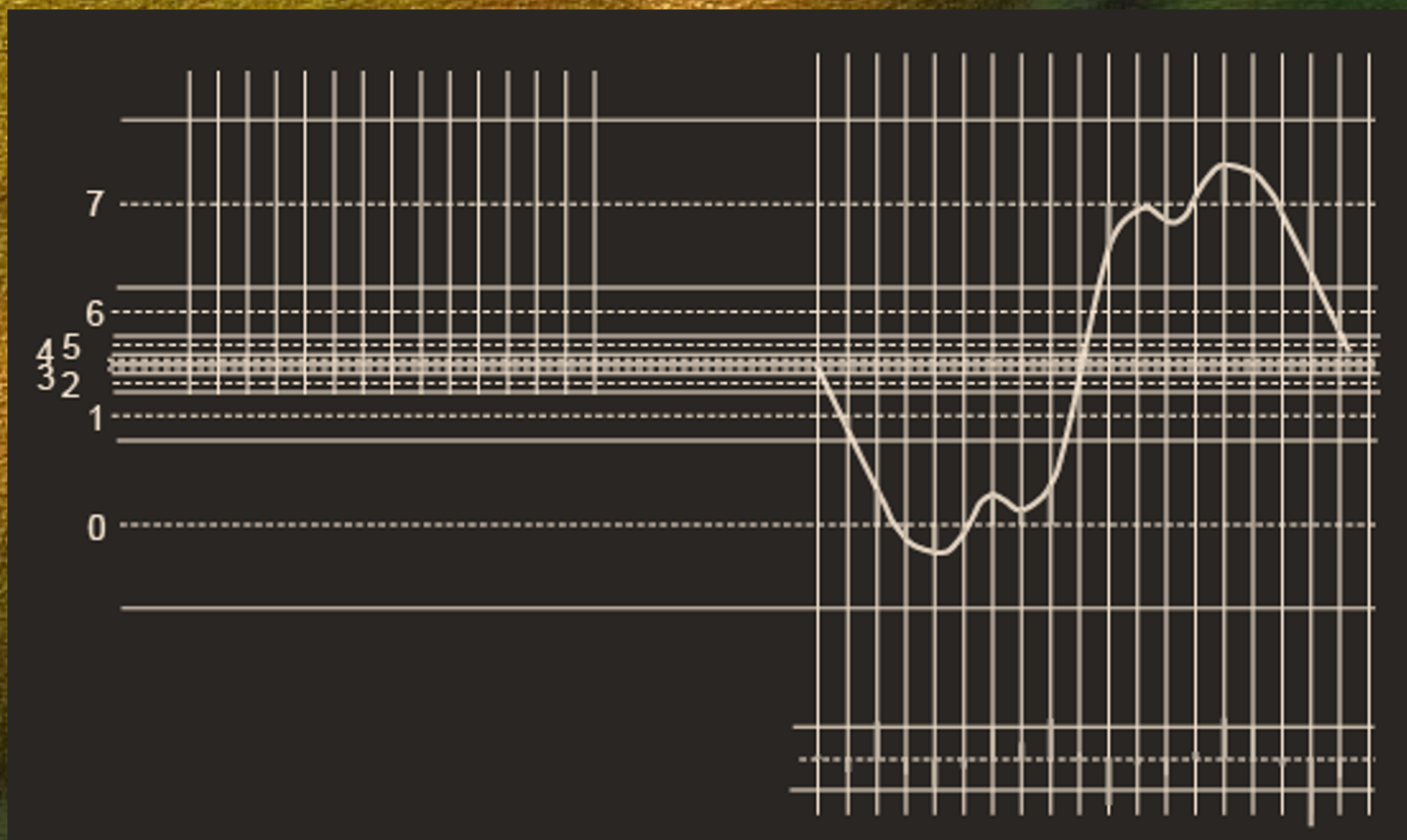
Quantizzazione non uniforme e ampiezze ridotte

- regioni di quantizzazione ...
 - spaziate meno per ampiezze deboli
 - spaziate di più per ampiezze elevate (maggiore errore di quantizzazione)
- la quantizzazione non uniforme slega SNR e gamma dinamica

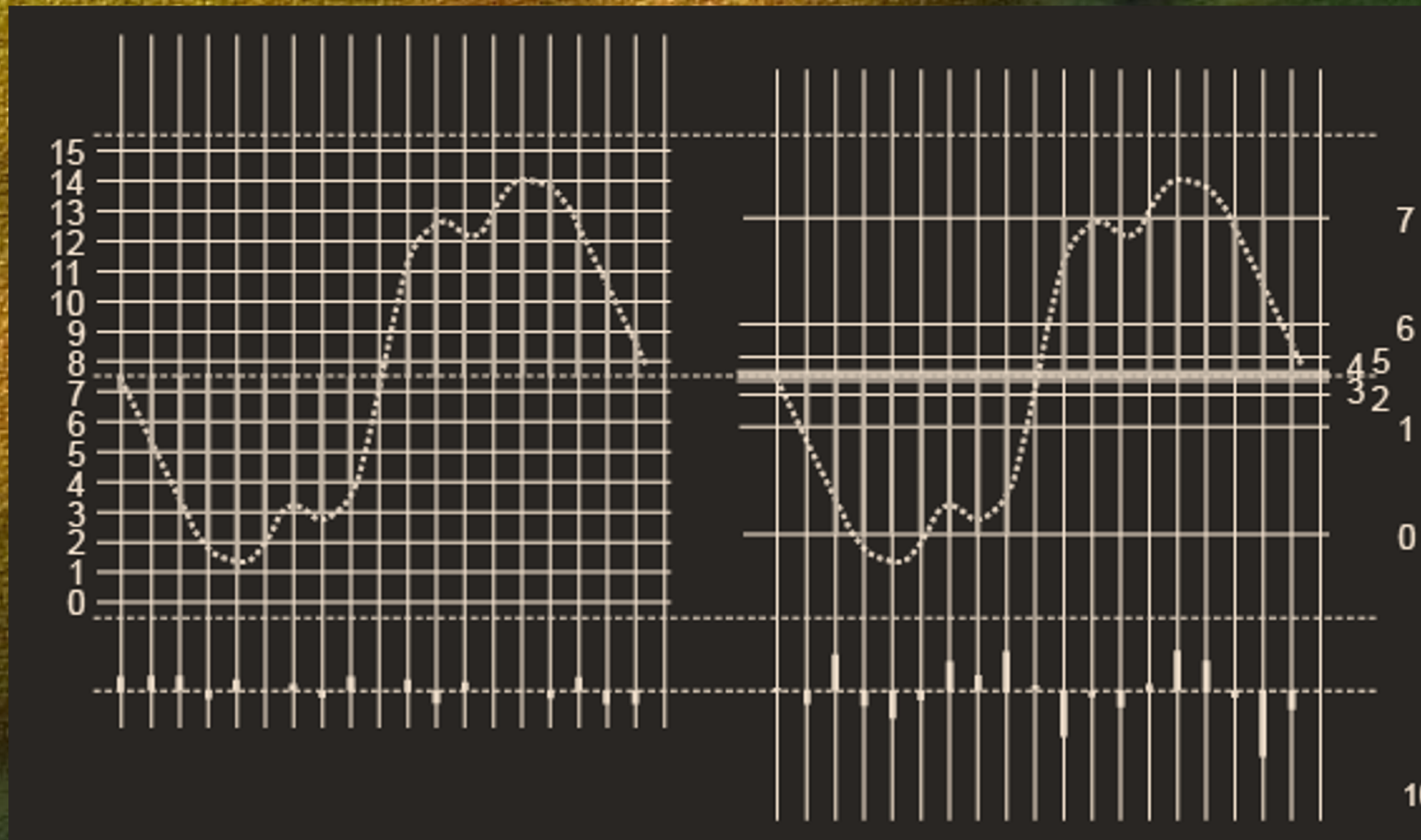
Quantizzazione logaritmica



Nuovo errore di quantizzazione



4 bit lineari VS. 3 bit log



Qualità quantizzazione logaritmica

- Gamma dinamica: 8 bit log = 13-14 bit lin
- SNR: convertitore 8-bit log ...
 - ... meglio di convertitore 8-bit lin per ampiezze deboli
 - ... peggio di convertitore 8-bit lin per ampiezze forti



Quantizzazione con 16 bit lin



Quantizzazione con 8 bit log



Quantizzazione con 8 bit lin

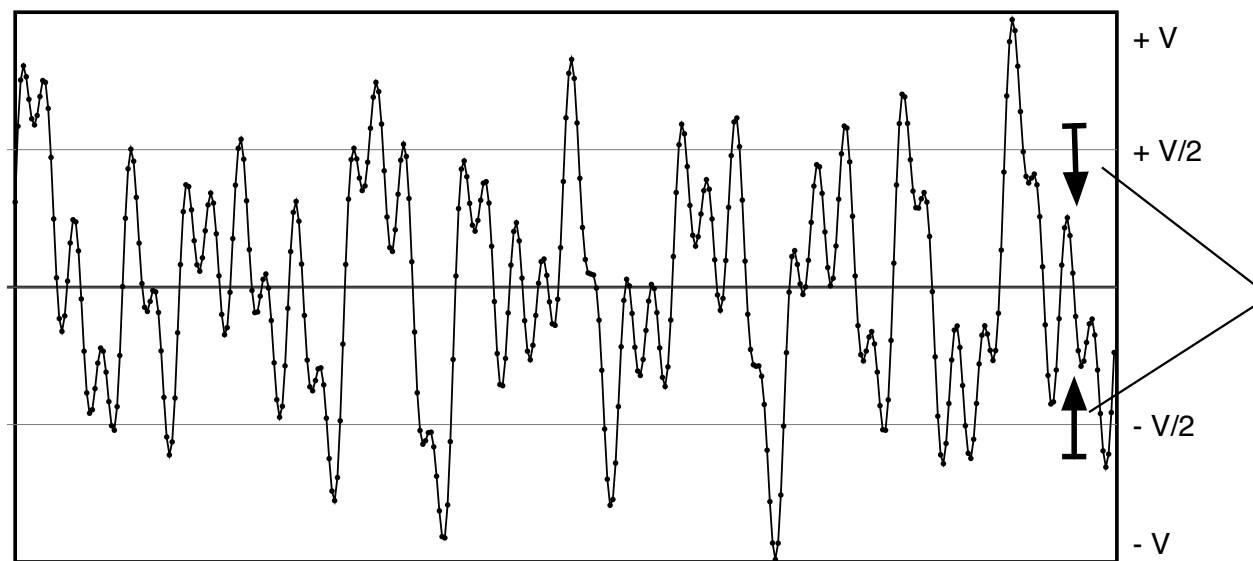
Quantizzazione con virgola mobile (floating point)

- Bit extra ai bit di quantizzazione lineare
- Si aggiunge un bit extra al sistema lineare (9 bit)
 - bit extra = 0, 0 (MSb) + 8 bit (meno significativi)
 - bit extra = 1, 8 bit (più significativi) + 0 (LSb)
- bit extra è un traslatore dei bit lineari (0/1 shift)

Esempio

00001101 (bit lineari) + 0 (bit extra) – 000001101 (9 bit)
(traslazione di 0 posti)

00001101 (bit lineari) + 1 (bit extra) – 000011010 (9 bit)
(traslazione di 1 posto)



Considerazioni

- Campioni a 8 bit sono diventati a 9 bit
 - campioni dentro intervallo (ampiezze deboli): stessa codifica (+0 iniziale)
 - campioni fuori intervallo (ampiezze forti): nuova codifica traslando i bit di un posto a sx (+ 0 finale)
- Sistema a 9 bit, mai codifiche che iniziano e finiscono con 1
 - Spaziatura regioni elevate doppia rispetto alle deboli
 - Rapporto SQNR invariato, ma DR estesa a 54 dB

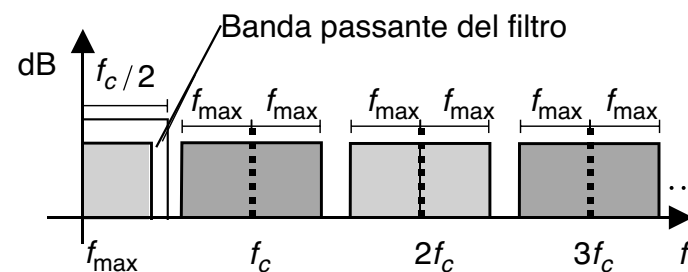
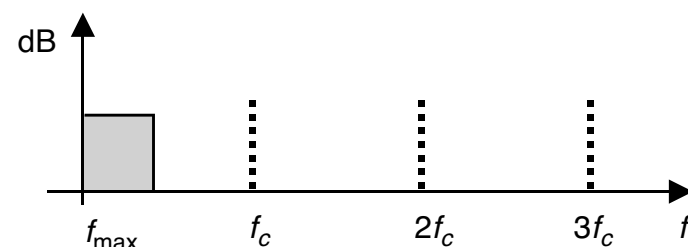
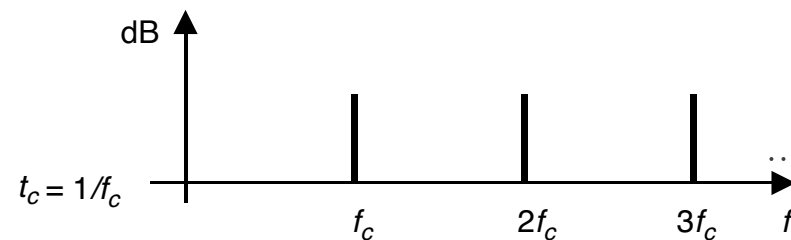
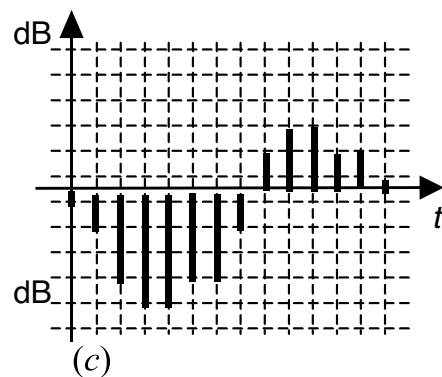
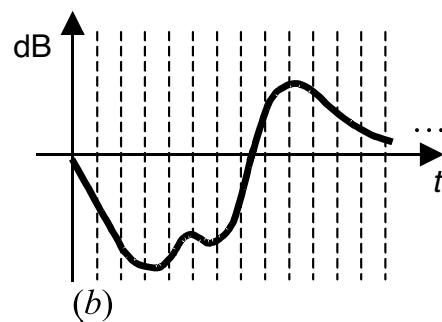
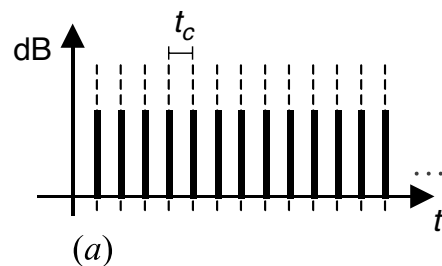
In generale

- Si possono incrementare i bit extra (o esponente)
 - 2 bit extra 4 possibili shift, con 3 8 shift, ...
- N bit quantizzazione e P bit traslazione
 - $DR = 6N + 6P$ dB invece di $6N$ dB del sistema lineare
- In riproduzione
 - amplificare i valori attenuati durante conversione A/D
 - amplificazione proporzionale alla attenuazione
 - *compansion* con prospettiva invertita

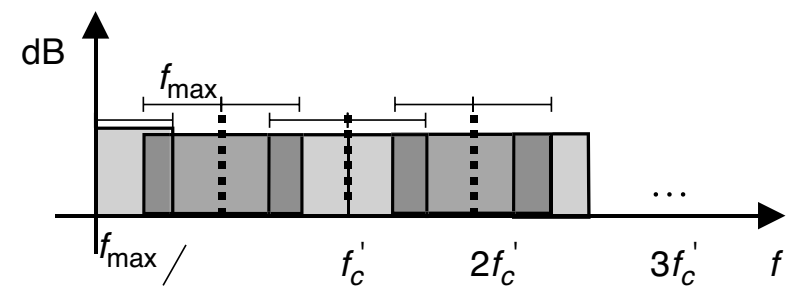
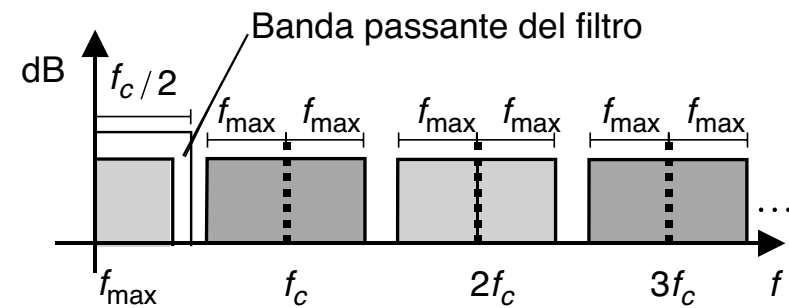
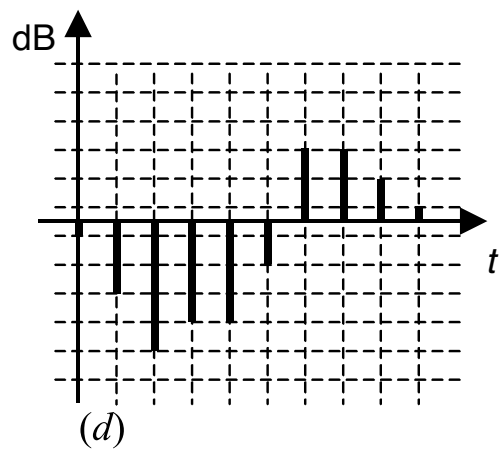
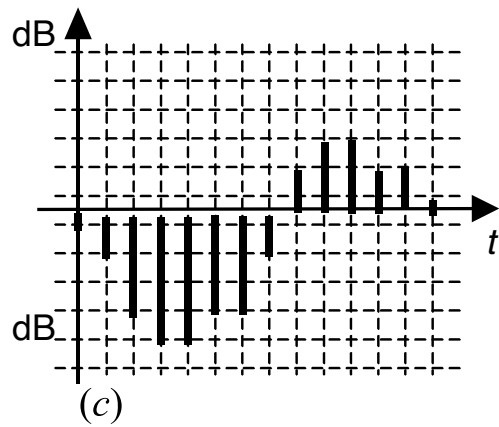


Campionamento e sovracampionamento

Campionamento: modulazione di forma d'onda su treno di impulsi



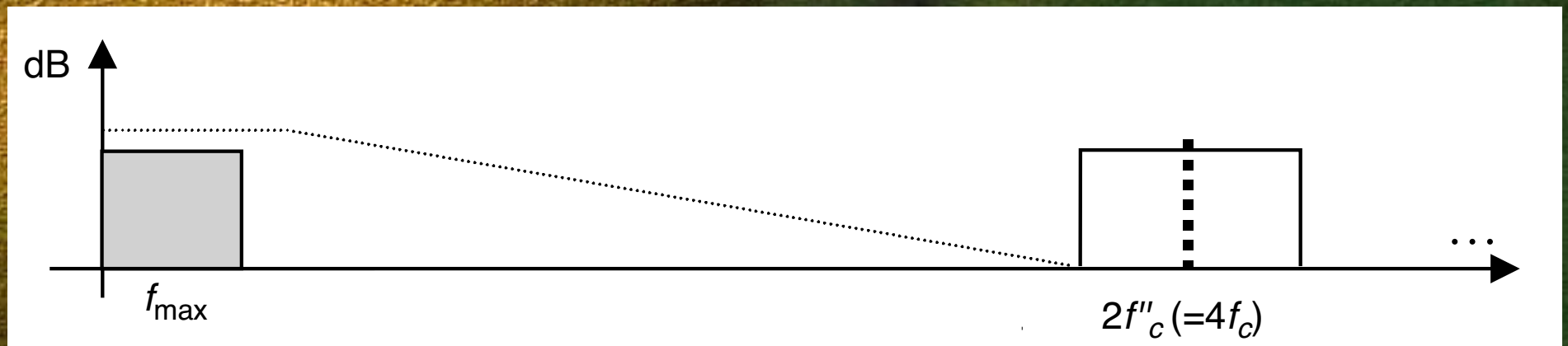
Sottocampionamento



Sovracampionamento



Campionamento 4×



La teoria dell'informazione

Per comunicare una certa quantità di informazione

- larghezza di banda del segnale (aumentare campionamento)
- rapporto segnale/rumore (aumentare quantizzazione)

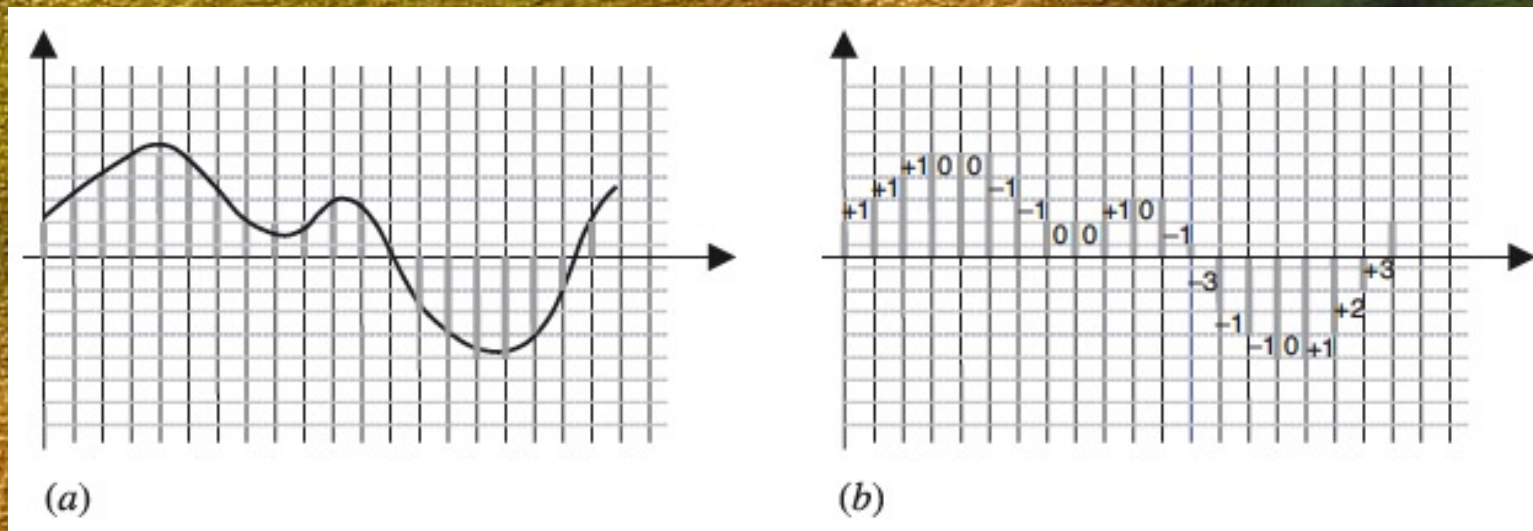
Meglio dei due mondi

a parità di rapporto segnale/rumore, conviene

- sovracampionare con altissimi tassi di campionamento
- codificare con parole binarie standard mediante un processo successivo di ri-quantizzazione

Modulazione $\Sigma-\Delta$

Codifica della differenza (DPCM)

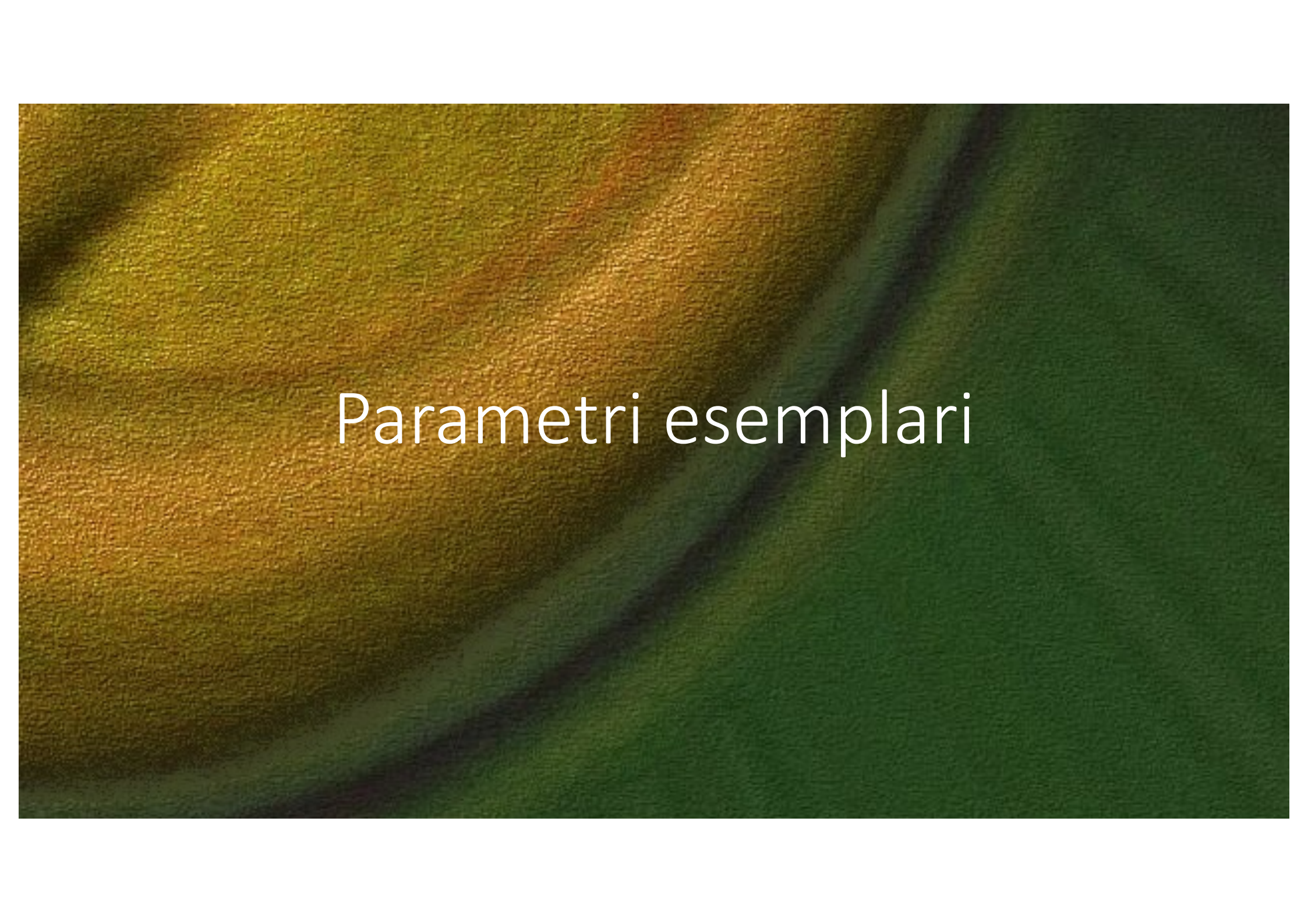


```
... 100 101 102 103 103 103 102 101 100 100 101 101 100 97 ...  
... +1 +1 +1 0 0 -1 -1 -1 0 +1 0 -1 -3 ...
```

- Ridondanze temporali tra i campioni
- Differenza tra due campioni a x-bit con meno di x bit
- Si memorizza la differenza (non il campione)

Modulazione Σ - Δ

- Δ MOD = metodo differenze con 1 bit di quantizzazione
- Σ (somma) integrazione delle differenze per formare campioni completi
- implementa noise shaping e oversampling
- Bitstream (Philips) o Pulse Density Modulation (PDM nella comunità scientifica)



Parametri esemplari

Tassi di campionamento

- 8 kHz (8000 campioni/sec), mu-law
- 11 kHz (in realtà 11:025 campioni/sec): ¼ CD
- 16 kHz: G:722 (VoIP di Skype)
- 22 kHz: ½ CD
- 32 kHz: video, long play DAT, NICAM; pre-DAB
- 44 kHz: CD
- 48 kHz: video, DAT-audio, DAB, DV, DVD, film
- 88 kHz: 2 x CD
- 96 kHz: DVD-Audio, audio Blu-ray, HD DVD, 48 kHz
- 176 kHz: attrezzatura professionale per CD (x4)
- 192 kHz: DVD-Audio, Blu-ray, HD DVD (4x 48)
- 352 kHz: Digital eXtreme Definition (SACD), 8 x CD
- 2.8 MHz: oversampling SACD, DSD 1-bit, Modulazione $\Delta-\Sigma$
- 5.6 MHz: oversampling SACD, 2 x DSD, registratori DSD prof

Transfer rate

- Parametri CD

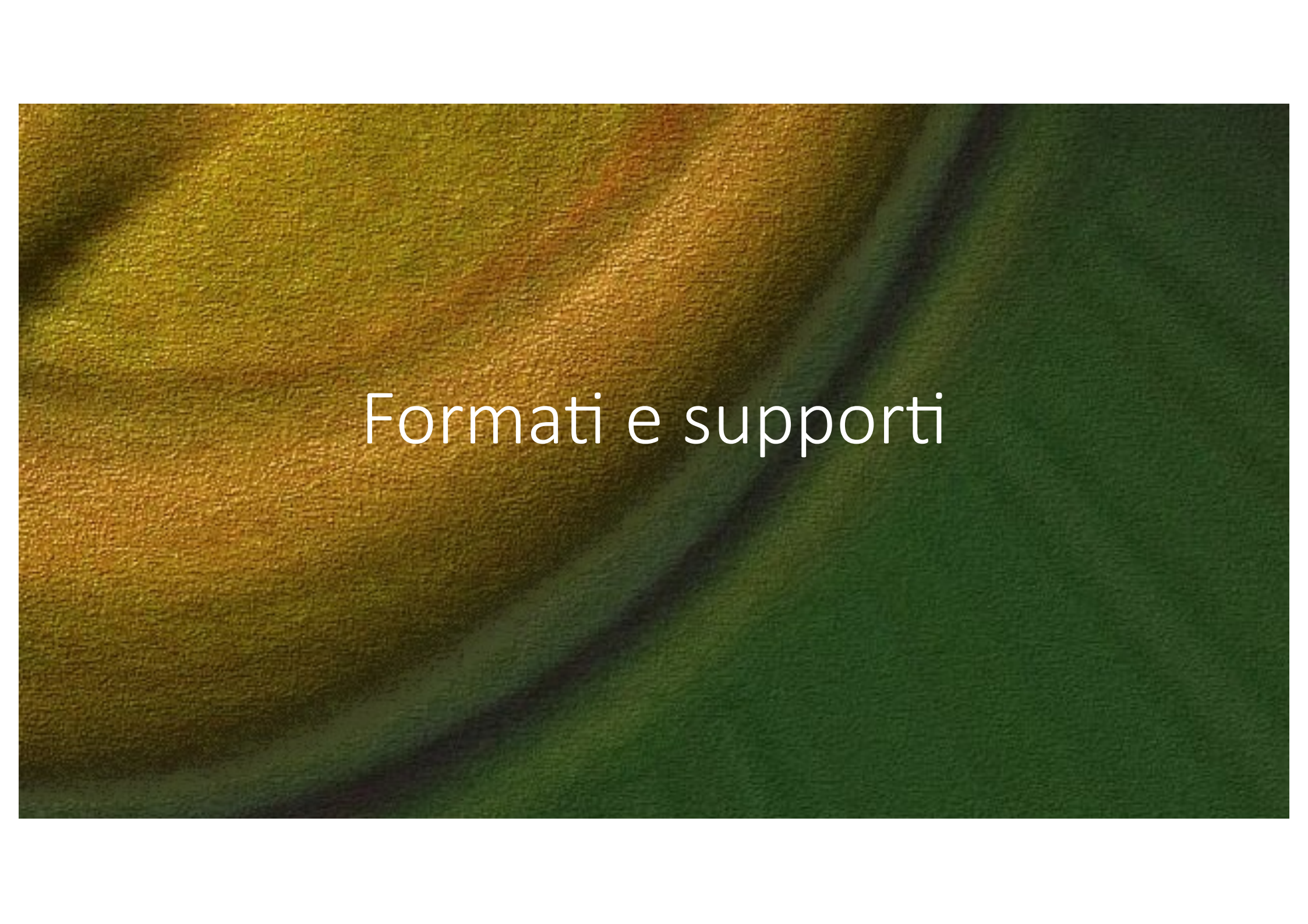
- campionamento = 44,100 c/s
- quantizzazione = 16 bit
- canali = 2

- $TR = 2 \text{ can} * 44.100 \text{ c/s} * 16 \text{ bit/c} =$
 $1.411.200 \text{ bit/s}$

Con codici correzione errore (CD): 4.321.800 bit/s

Combinazioni standard di parametri

- 8 kHz, 8-bit, μ -law, quant. logaritmica, mono;
- 22 kHz, 8-bit lineari senza segno, mono e stereo;
- 44,1 kHz, 16-bit lineari con segno, mono e stereo



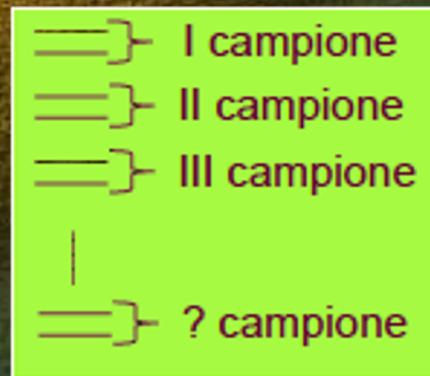
Formati e supporti

Archiviazione dei dati audio

- Fondamentali parametri di
 - campionamento
 - quantizzazione
 - codifica
- Ulteriori convenzioni utili nella descrizione
 - modalità di memorizzazione dei canali multipli
 - struttura interna dei campioni

Interleaving dei campioni multicanale

- frame di campioni da tutti i canali
- N canali: frame di N campioni



Es. stereo: canale sx precede canale dx

Frame multicanale

- Vantaggi
 - facile sincronizzazione dei canali
 - memorizzazione e trasmissione efficiente
- Svantaggi
 - spreco di spazio (N canali necessari?)
 - operazioni sui singoli canali

Struttura interna dei campioni

Big Endian
(Motorola)

Little Endian
(Intel)

Big Endian

00000000
00001000



Little Endian

00001000
00000000

Esempio: 00000000 00001000

File format design per specifico chip

Es. AIFF per Motorola 680x0 (Apple Macintosh): Most Significant Byte (MSB) first , Big Endian

Es. Microsoft WAVE format per Intel 80x86: LSB first (Little Endian) (decimale '21' come '12')

Formati

- Storicamente, ogni tipo di macchina usava un suo formato per i dati audio
- Alcuni formati applicabili in modo più generale
- Conversioni tra quasi tutti i formati (talvolta si perde informazione)

Due tipi di formati

- autodescriventi: parametri e forma di codifica espliciti in una intestazione (*header*)
- senza intestazione (*headerless* - anche detti “*raw*”): parametri e codifica fissati a priori

Formati con intestazione

- Definiscono una famiglia di codifiche di dati
 - <parametro, valore> definisce la variante usata
 - Es.: parametri del device per il campionamento
 - Es.: descrizione leggibile dall'utente (+ copyright)
- Header = “parola chiave” + dati di codifica
 - Es.: signed / unsigned
 - Es.: bytes / short integers

Formati di file audio

Estensione	Origine	Parametri
.au, .snd	NeXT, Sun	tasso di campionamento, #canali, codifica, stringa di informazioni
.aif(f), AIFF	Apple, SGI	tasso di campionamento, #canali, quantizz., molte informazioni
.aif(f), AIFC	Apple, SGI	(AIFF con compressione)
.wav, WAVE	Microsoft	tasso di campionamento, #canali, quantizz., molte informazioni
.voc	Creative	tasso di campionamento (8 bits/1 ch; silence deletion)
.iff, IFF/8SVX	Amiga	tasso di campionamento, #canali, informazioni strumenti (8 bit)
.mp3, .mp4	MPEG	tasso di campionamento, #canali, qualità dei campioni
.sf	IRCAM	tasso di campionamento, #canali, codifica, informazioni
.ra	Real Networks	tasso di campionamento, #canali, qualità dei campioni

Formati senza intestazione

Definiscono una singola codifica dei dati

- non ammettono variazioni dei parametri
- a volte più sr, ma può essere un problema tirarla fuori

Estensione (o nome) / Origine / Parametri

- .snd, .fssd / Mac, PC / var. sr, 1 canale, 8 bit unsigned
- .ul / telefonia US / 8 k, 1 canale, 8 bit "u-law"
- .snd / Amiga / var. sr, 1 canale, 8 bits signed



Formato Wave di Microsoft

Formato WAVE (.wav)

- molto versatile: supporta più livelli di quantizzazione, tassi di campionamento, canali
- standard in programmi professionali di elaborazione audio
- caratteristiche discendono direttamente dal processore Intel (LITTLE ENDIAN)
- basato sul formato RIFF
- memorizzazione dei dati in sezioni logiche all'interno del file, dette *chunk*.

Struttura globale di WAV

Identificatore "RIFF"
Tipo "WAVE"

Format chunk
Identificatore "fmt "

Data chunk
Identificatore "data"

Formato RIFF

Byte offset	Nome	Lunghezza (in byte)	Descrizione
00	rID	4	contiene i caratteri “RIFF”
04	rLEN	4	lunghezza rimanente del file
08	rDATA	RLEN	i dati

```

RI FF$@@NUL WAVEfmt 0LE NUL NUL NUL SOH NUL STX NUL D" NUL NUL 0LE--STX NUL EOT NUL 0LE NUL data NUL @NUL NUL NUL NUL NUL NUL N
NUL " VT NUL " VT NUL " FF NUL NUL NUL FF NUL NUL NUL
NUL NUL NUL
NUL NUL NUL SO NUL NUL NUL SO NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL " ST NUL " ST NUL " ST NUL " ST NUL

```

Formato WAV: definizione del chunk rDATA

rDATA Byte offset	Nome	Lunghezza (in byte)	Descrizione
00	wID	4	contiene i caratteri “WAVE”
04	Format chunk	24	chunk del formato dei dati nel data chunk
28	Data chunk	?	chunk dei dati

```

RIFFS@@NULNAVEfmt 0LE NUL NUL NUL SOH NUL STX NUL 0" NUL NUL 0LE=STX NUL EOT NUL 0LE NUL data NUL @@NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL
NUL " VT NUL " VT NUL " FF NUL NUL NUL FF NUL NUL NUL
NUL NUL NUL
NUL NUL NUL SO NUL NUL NUL SO NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL " ST NUL " ST NUL " ST NUL " ST NUL

```

Formato WAVE: format chunk

WAVE Byte offset	Nome	Lunghezza (in byte)	Descrizione
00	fID	4	Contiene i caratteri «fmt »
04	fLEN	4	Lunghezza di questo chunk
08	wFormatTag	2	Codifica del segnale (1 = PCM)
10	#Canali	2	1 = Mono, 2 = Stereo
12	#Campioni/sec	4	Tasso di riproduzione
16	#AvgByte/sec	4	Media dei byte al secondo
20	#Block Align	2	Numero di allineamento
22	wBitsPerSample	2	Numero di bt per campione (8, 16, ...)
24	FormatSpecific	?	Campi aggiuntivi (non esistono per wFormatTAG = 1)

```
RT FF @@ NUL WAVE fnt DLE NUL NUL NUL SOH NUL STX NUL D- NUL NUL DLE STX NUL EOT NUL DLE NUL data NUL @@ NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL  
NUL * VT NUL * VT NUL * FF NUL NUL NUL FF NUL NUL NUL  
NUL NUL NUL  
NUL NUL NUL SOH NUL NUL NUL SOH NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL * ST NUL * ST NUL * ST NUL * ST NUL
```



Formato WAVE: data chunk

rDATA Byte offset	Nome	Lunghezza (in byte)	Descrizione
00	dID	4	Contiene i caratteri “data”
04	dLEN	4	Lunghezza del campo dDATA
08	dDATA	dLEN	Dati audio

```

RIFF$@@NUL NAVEfmt DLE NUL NUL NUL SOH NUL STX NUL D- NUL NUL DLE--STX NUL EOT NUL DLE NUL data NUL @8 NUL NUL NUL NUL NUL NUL N
NUL ^ VT NUL ^ VT NUL ^ FF NUL NUL NUL FF NUL NUL NUL
NUL NUL NUL
NUL NUL NUL SO NUL NUL NUL SO NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL NUL NUL ST NUL ^ ST NUL ^ ST NUL ^ ST NUL ^ ST NUL

```

Formato WAVE

Struttura complessiva

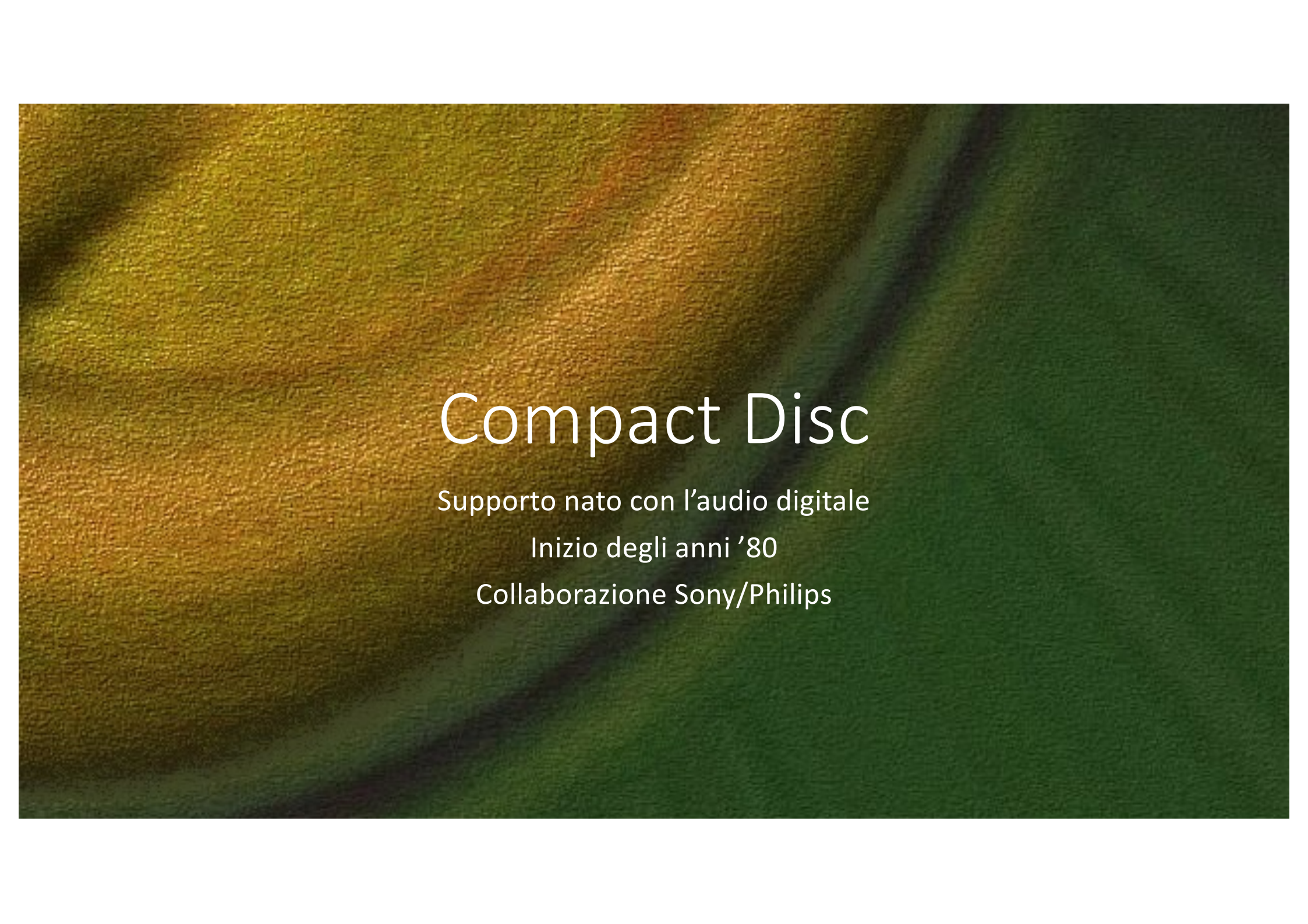
Byte offset	Nome/Descrizione
00	RIFF
04	lunghezza di rDATA
08	inizio chunk rDATA “WAVE”
12	inizio chunk formato “fmt ”
16	Lunghezza chunk formato
20	wFormatTAG (1 = PCM)
22	#Canali (1 = Mono, 2 = Stereo)
24	#Campioni/sec (Tasso di riproduzione)
28	#AvgByte/sec (Media dei byte al secondo)
32	#Block Align (Numero di allineamento)
34	wBitsPerSample (Numero di bt per campione)
36	inizio chunk dati “data”
40	Lunghezza dei dati
44	Dati audio



Supporti per l'audio digitale

Supporti

- Caratteristiche fisiche (magnetici, ottici, elettronici) e logiche (struttura dei dati)
- caratteristiche rilevanti per l'audio digitale:
 - capacità di contenere i dati
 - velocità di scrittura/lettura per registrazione/riproduzione
- Richieste per 1 minuto, qualità CD
 - Capacità: oltre 10 MB
 - Velocità di trasferimento dati: 176 KB/sec
- Futuro di distribuzione audio via rete

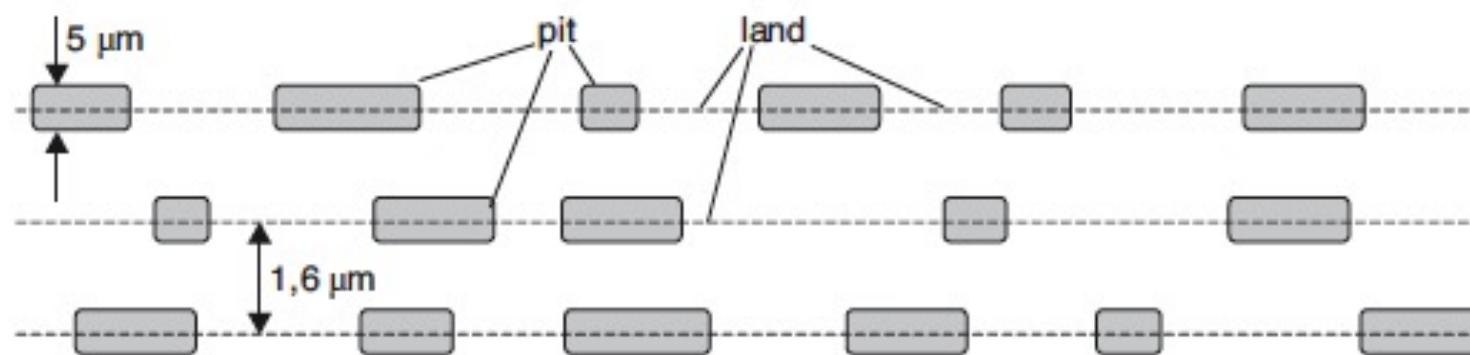
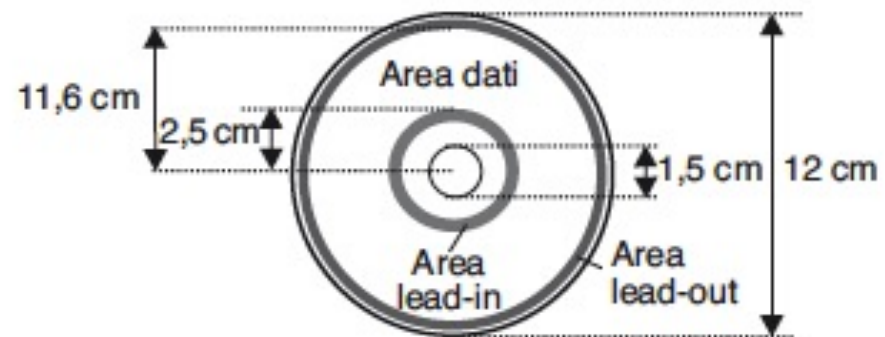


Compact Disc

Supporto nato con l'audio digitale

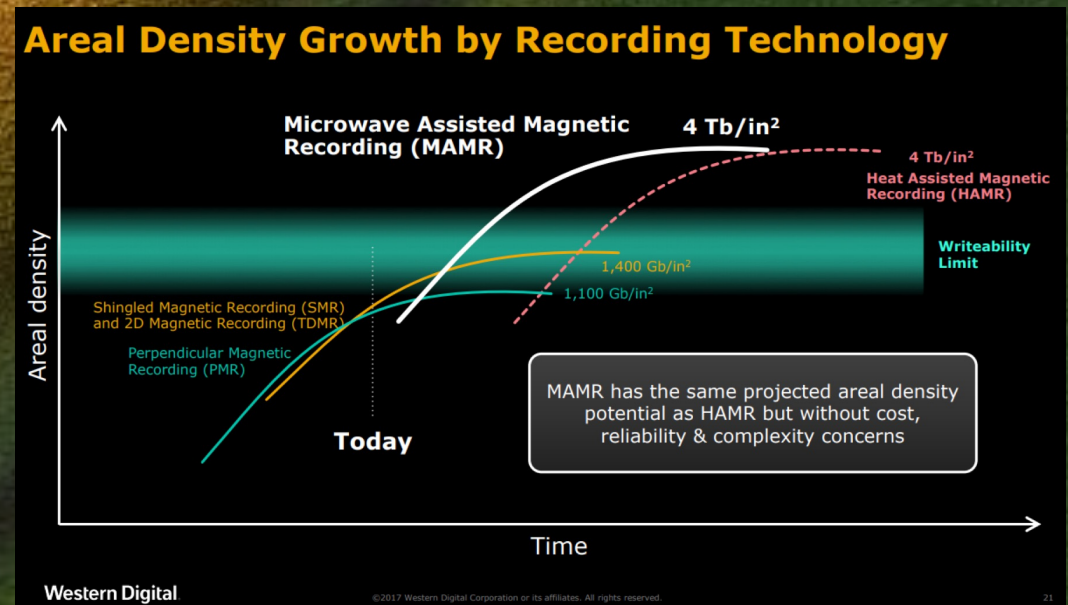
Inizio degli anni '80

Collaborazione Sony/Philips



Densità delle informazioni *tpi* e *Gbit/in²*

- CD: 16000 tpi (vinile: 200-250 e HD 400 tpi)
- CD: 0,90 *Gbit/in²*
- DVD: 2,2 *Gbit/in²*
- HD DVD: 7,5 *Gbit/in²*
- Blu-ray: 12,5 *Gbit/in²* (a strato singolo)
- HD Store perpendicolare: centinaia di *Gbit/in²*, limite teorico 1 Terabit
- ...



Courtesy of HEPiX TechWatch WG

Rimescolamento dei dati

A U D I O N E L M U L T I M E D I A L E

E L M U L T I M E D I A L E

E M T L D L L I U M E D I U A O I E N A

L I U M E D I U A O I E N A

A U D I O N E # # U L # I M E # I A # #

Codifica EFM

Eight-to-Fourteen Modulation

- Minimizzare transizioni 0-1 e 1-0 in lettura
 - Transizione bordi dei pit = 1; riflessione costante = 0
 - Evitare pit di piccole dimensioni (transizioni veloci)
- Permesse solo sequenze di bit che presentano un numero di 0 consecutivi (da 2 a 10)
- Codici di 8 bit diventano di 14 bit
- Esempio
 - 8 bit 11011111 in 14 bit 00100000010001
 - Tabelle per 256 codici EFM
 - pit che coprono da 3 a 11 bit (2-10 0 consecutivi)

Cross Interleave Reed-Solomon Code

2 campioni

$L1 = 0111 \ 0000 \ 1010 \ 1000$
 $R1 = 1100 \ 0111 \ 1010 \ 1000$

Frame di 12 campioni

$L_1 \ R_1 \ L_2 \ R_2 \ L_3 \ R_3 \ L_4 \ R_4 \ L_5 \ R_5 \ L_6 \ R_6$

24 byte
 192 bit

$L_{1a} \ L_{1b} \ R_{1a} \ R_{1b} \ L_{2a} \ L_{2b} \ R_{2a} \ R_{2b} \ L_{3a} \ L_{3b} \ R_{3a} \ R_{3b}$
 $L_{4a} \ L_{4b} \ R_{4a} \ R_{4b} \ L_{5a} \ L_{5b} \ R_{5a} \ R_{5b} \ L_{6a} \ L_{6b} \ R_{6a} \ R_{6b}$

Byte pari ritardati di 2 frame +
 Rimescolamento

$R_{6b} \ L_{5a} \ L_{4a} \ L_{3a} \ L_{5b} \ R_{5a} \ R_{1b} \ L_{4b} \ R_{2a} \ R_{6a} \ L_{6b} \ R_{4a}$
 $R_{1a} \ R_{2b} \ R_{3b} \ R_{5b} \ L_{1b} \ L_{2a} \ L_{2b} \ R_{4b} \ L_{6a} \ R_{3a} \ L_{3b} \ L_{1a}$

+ 4 byte di parità ... 28 byte
 224 bit

$R_{6b} \ L_{5a} \ L_{4a} \ L_{3a} \ L_{5b} \ R_{5a} \ R_{1b} \ L_{4b} \ R_{2a} \ R_{6a} \ L_{6b} \ R_{4a}$
 $R_{1a} \ R_{2b} \ R_{3b} \ R_{5b} \ L_{1b} \ L_{2a} \ L_{2b} \ R_{4b} \ L_{6a} \ R_{3a} \ L_{3b} \ L_{1a}$
 $Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ Q_4$

CIRC (2)



Nuova codifica di parità, totale 32 byte
256 bit

$R_{6b} \ L_{5a} \ L_{4a} \ L_{3a} \ L_{5b} \ R_{5a} \ R_{1b} \ L_{4b} \ R_{2a} \ R_{6a} \ L_{6b} \ R_{4a}$
 $R_{1a} \ R_{2b} \ R_{3b} \ R_{5b} \ L_{1b} \ L_{2a} \ L_{2b} \ R_{4b} \ L_{6a} \ R_{3a} \ L_{3b} \ L_{1a}$
 $Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ Q_4$
 $P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4$

Ulteriore spostamento dei byte
dispari di un singolo blocco
+ 8 bit (1 byte) di info ...
... totale 33 byte / 264 bit per frame!!!

$I \ R_{6b} \ L_{5a} \ L_{4a} \ L_{3a} \ L_{5b} \ R_{5a} \ R_{1b} \ L_{4b} \ R_{2a} \ R_{6a} \ L_{6b} \ R_{4a}$
 $R_{1a} \ R_{2b} \ R_{3b} \ R_{5b} \ L_{1b} \ L_{2a} \ L_{2b} \ R_{4b} \ L_{6a} \ R_{3a} \ L_{3b} \ L_{1a}$
 $Q_1 \ Q_2 \ Q_3 \ Q_4$
 $P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4$

Informazioni e totale

33 byte x 8 = 264 bit



33 byte x 14 = 462 bit

*I R_{6b} L_{5a} L_{4a} L_{3a} L_{5b} R_{5a} R_{1b} L_{4b} R_{2a} R_{6a} L_{6b} R_{4a}
R_{1a} R_{2b} R_{3b} R_{5b} L_{1b} L_{2a} L_{2b} R_{4b} L_{6a} R_{3a} L_{3b} L_{1a}
Q₁ Q₂ Q₃ Q₄
*P₁ P₂ P₃ P₄**

I(14)

*R_{6b}(14) L_{5a}(14) L_{4a}(14) L_{3a}(14) L_{5b}(14) R_{5a}(14) R_{1b}(14) L_{4b}(14)
R_{2a}(14) R_{6a}(14) L_{6b}(14) R_{4a}(14)*

*R_{1a}(14) R_{2b}(14) R_{3b}(14) R_{5b}(14) L_{1b}(14) L_{2a}(14) L_{2b}(14) R_{4b}(14) L_{6a}(14)
R_{3a}(14) L_{3b}(14) L_{1a}(14)*

Q₁(14) Q₂(14) Q₃(14) Q₄(14)

P₁(14) P₂(14) P₃(14) P₄(14)

Bit di synch

*L_{1a} L_{1b} R_{1a} R_{1b} L_{2a} L_{2b} R_{2a} R_{2b} L_{3a} L_{3b} R_{3a} R_{3b}
L_{4a} L_{4b} R_{4a} R_{4b} L_{5a} L_{5b} R_{5a} R_{5b} L_{6a} L_{6b} R_{6a} R_{6b}*

462 +
24 bit

... + 24 bit di synch = 486 bit x frame

10000000000010000000000010

I(14)

*R_{6b}(14) L_{5a}(14) L_{4a}(14) L_{3a}(14) L_{5b}(14) R_{5a}(14) R_{1b}(14) L_{4b}(14) R_{2a}(14)
R_{6a}(14) L_{6b}(14) R_{4a}(14)*

*R_{1a}(14) R_{2b}(14) R_{3b}(14) R_{5b}(14) L_{1b}(14) L_{2a}(14) L_{2b}(14) R_{4b}(14) L_{6a}(14)
R_{3a}(14) L_{3b}(14) L_{1a}(14)*

Q₁(14) Q₂(14) Q₃(14) Q₄(14)

P₁(14) P₂(14) P₃(14) P₄(14)

3 bit di intercapedine per codici EFM

192 bit in partenza

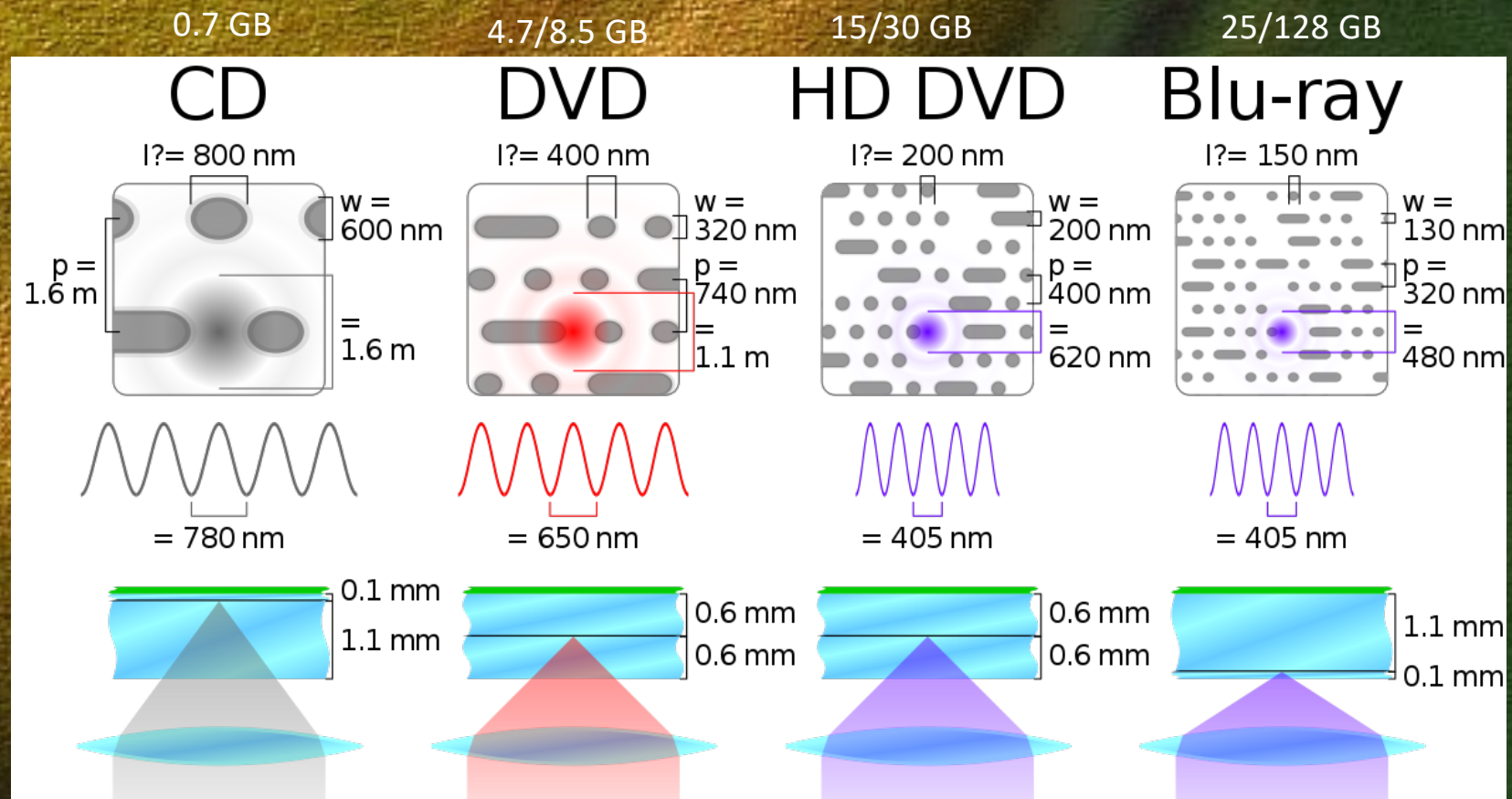
33 byte ... 32 intercapedini + 2 agli estremi ... totale 34

34 intercapedini x 3 bit = 102 bit Totale 486 + 102 = 588 bit per frame

più del triplo!!!

Tipo di informazione	Bit × unità	Numero di unità	Totale in bit
Campioni audio	28 (14 × 2)	12	336
Sotto-codice di info agg.	14	1	14
Byte di parità	14	8	112
Bit di intercapedine	3	34	102
Bit di sincronizzazione	24	1	24
Totale generale			588

Confronto su optical storage



[fonte: Wikipedia]



Grazie dell'attenzione