

Capitolo 2

Sorgenti

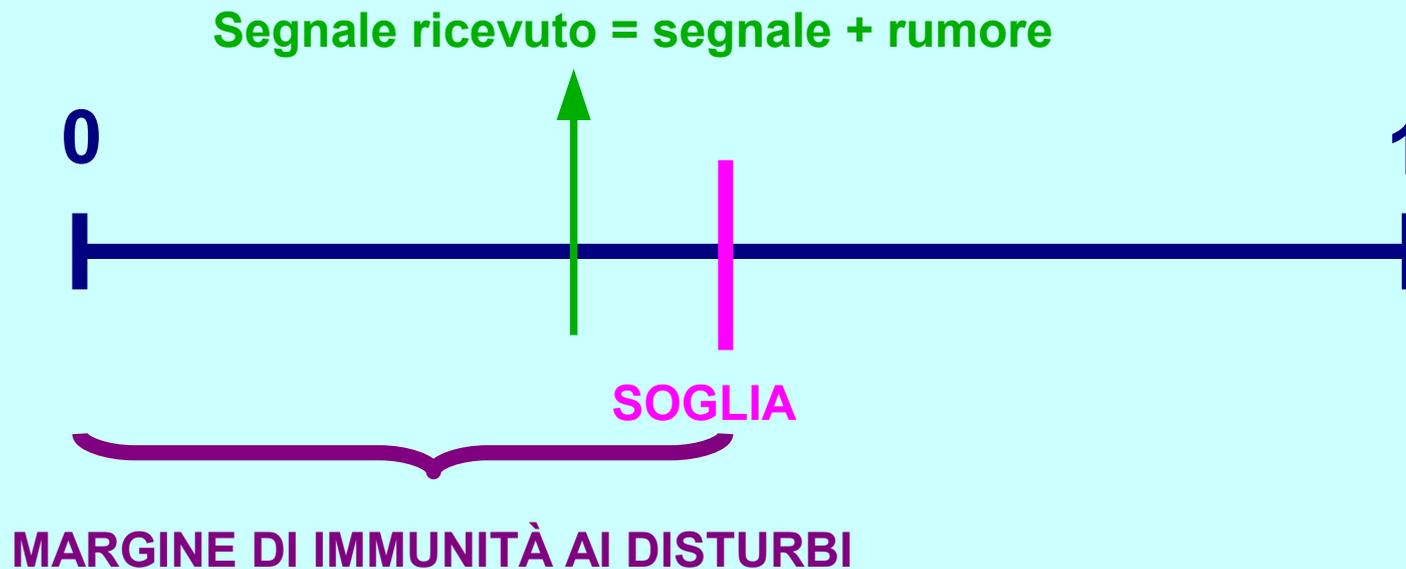
- Rappresentazione digitale di
 - Testo
 - Immagini
 - **Audio**
 - **Video**

Audio

- **Conversione Analogico / Digitale**
 - Analogico vs digitale
 - Campionamento
 - Quantizzazione
- **Formati raw**
 - Pulse Code Modulation (PCM)
 - Preenfasi
- **Compact Disc (CD)**
- **MIDI**

Conversione A/D

- **Segnale analogico:** CT, CV
- **Segnale digitale:** DT, DV
- **Analogico vs Digitale**
 - IMMUNITA' AI RUMORI



Campionamento

- Passaggio da CT \rightarrow DT
- f_M = massima frequenza alla quale il segnale mostra componenti non vanescenti
- **Teorema del campionamento:** *la frequenza minima alla quale campionare un segnale per non inserire distorsione, detta frequenza di Nyquist (f_N) è il doppio della frequenza massima dello spettro del segnale (f_M) $\rightarrow f_N = 2 f_M$*

Dimostrazione

Pettine δ di DIRAC (periodo T)

$$y(t) = \left[\sum_n \delta(t - nT) \right] \stackrel{\text{ESPRESSO COME SUIVANTE}}{=} \text{SERIE DI FOURIER} = \left[\frac{1}{T} \sum_n e^{j2\pi n t / T} \right]$$

$$\rightarrow \text{trasformata di Fourier} \quad \left[\sum_n e^{j2\pi n t / T} \right] = \left[T \sum_n \delta(t - nT) \right]$$

$$x(t) \longrightarrow X(f)$$

$$x_n = x(nT) \longrightarrow X_s(f)$$

$$X_s(f) = \sum_n x(nT) e^{-j2\pi n f T}$$
$$= \sum_n \int x(\phi) e^{j2\pi n \phi T} e^{-j2\pi n f T} d\phi$$

$$= \int x(\phi) \sum_n e^{-j2\pi n (f - \phi) T} d\phi$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\substack{\uparrow \\ T}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\substack{\uparrow \\ 1/T}}$

$$= \int x(\phi) \frac{1}{T} \sum_n \underbrace{\delta\left(f - \phi - \frac{n}{T}\right)}_{\text{PARI}} d\phi$$

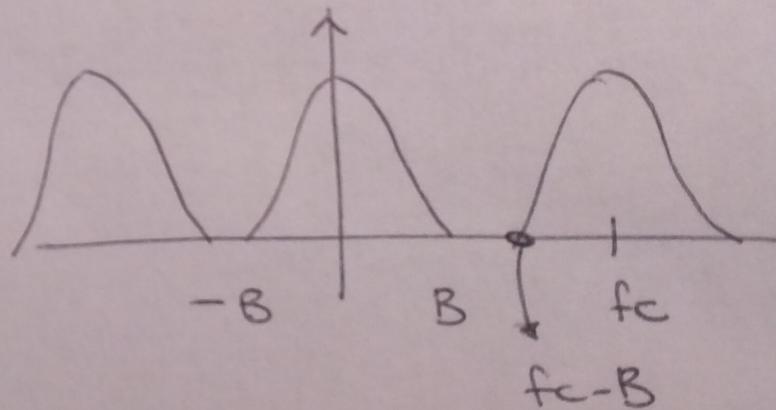
$$= \int x(\phi) \frac{1}{T} \sum_n \delta\left(\phi - \left(f - \frac{n}{T}\right)\right) d\phi$$

$$= \frac{1}{T} \sum_n \int x(\phi) \delta\left(\phi - \left(f - \frac{n}{T}\right)\right) d\phi$$

$$= \frac{1}{T} \sum_n x\left(f - \frac{n}{T}\right)$$

$$f_c = \frac{1}{T}$$

f_c campionamento



$f_c - B \geq B$	$f_c \geq 2f_m$
------------------	-----------------

Quantizzazione

- Passaggio da CV → DV
- Processo **NON invertibile**
- Funzione di quantizzazione **Q(.)** che opera su valori continui e restituisce valori discreti
- **b** numero di bit per rappresentare il valore del livello
- Numero di livelli di quantizzazione **L=2^b**
- Uscita del quantizzatore → stringa di b bit con cadenza pari alla frequenza di campionamento f_c
- $\Delta = 2^{1-b}$ → ampiezza di ogni livello in cui divido il segnale di ingresso
- **Distorsione del segnale (D)** → misura del rumore di quantizzazione

$$D = E[f(x - Q(x))] = \int_{-\infty}^{\infty} f(Q(x) - x)p(x)dx$$

Equazione di Lloyd-Max

sorgente con densità di probabilità p(x), f(x) funzione che definisce il criterio di errore

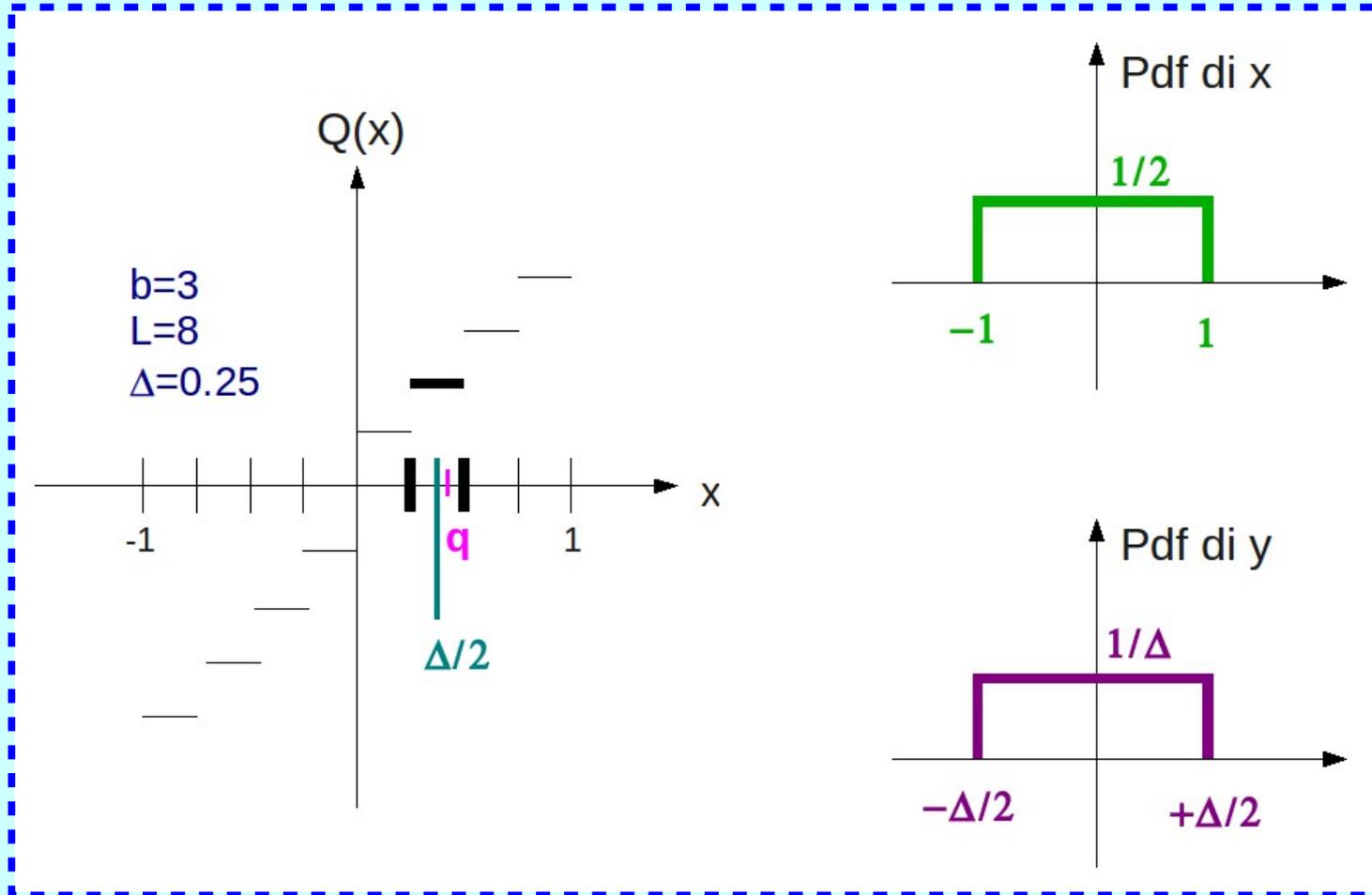
- **Quantizzatore scalare ottimo** → quello che minimizza D

Quantizzazione: esempio

- **IPOSTESI:**

- Quantizzatore uniforme \longrightarrow
- Segnale in ingresso (x) uniforme nell'intervallo $[-1,1]$
- Per ogni livello di quantizzazione q l'errore $y(x)=|x-Q(x)|$ risulta lineare in $[q-\Delta/2, q+\Delta/2]$
- Funzione di misura dell'errore: errore quadratico medio $\rightarrow f(x)=x^2$

$$Q(x) = \left\lfloor \frac{x}{\Delta} \right\rfloor \Delta + \frac{\Delta}{2}$$



Quantizzazione: esempio

$$D = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 [x - Q(x)]^2 dx = \frac{1}{\Delta} \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} y^2 dy = \frac{\Delta^2}{12}$$

$$\rho[dB] = 10 \log \frac{4}{2^{2-2b}/12} = 6b + 10.8$$

- Il rapporto segnale rumore migliora di **6 dB** per ogni bit aggiunto nella quantizzazione
- **Con 7 bit** → $\rho[dB] = 52.8dB$
- **Con 8 bit** → $\rho[dB] = 58.8dB$

Formati raw - PCM

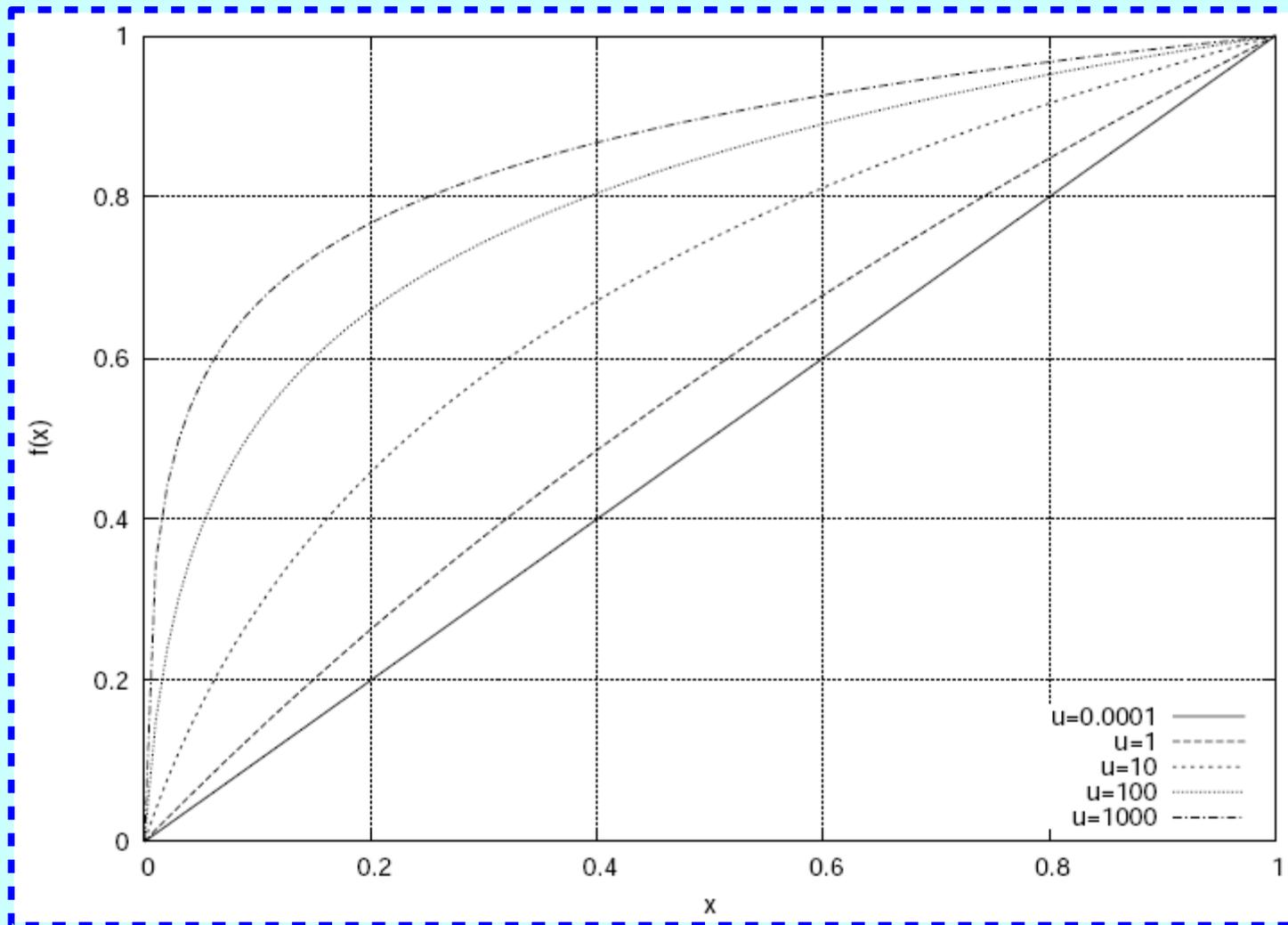
- Il sistema **Pulse Code Modulation (PCM)** è stato creato per la trasmissione della VOCE in digitale
- **VOCE** → **[200, 3400] Hz** → **banda lorda di 4KHz**
 - *Per evitare aliasing e semplificare il meccanismo di filtraggio*
- Campionamento → frequenza di Nyquist **8Ksps** (sample per seconds)
- Quantizzazione:
 - Stati Uniti e Giappone → **7 bit**
 - Europa → **8 bit**
- Flusso PCM
 - Stati Uniti e Giappone → **56 Kbps**
 - Europa → **64 Kbps**
- Prestazioni in termini di rumore di quantizzazione
 - 7bit → **52.8 dB**
 - 8 bit → **58.8 dB**

Preenfasi

- Prestazioni: già 7 bit rendono non udibile il rumore di quantizzazione
- **Aumentare al reiezione al rumore di quantizzazione senza aumentare il numero di bit e quindi la bitrate** → caratteristiche dell'orecchio umano, più sensibile a segnali di ampiezza bassa
 - usare un quantizzatore non uniforme
 - **Anteporre funzioni di preenfasi al quantizzatore uniforme (e conseguenti funzioni di deenfasi in decodifica)**
- Preenfasi → **enfaticizzare i segnali deboli fornendo un maggior numero di intervalli di quantizzazione rispetto a segnali forti, tramite una funzione di compressione, con andamento logaritmico**
- Deenfasi al decodificatore
- **μ -law**
- **A-law**

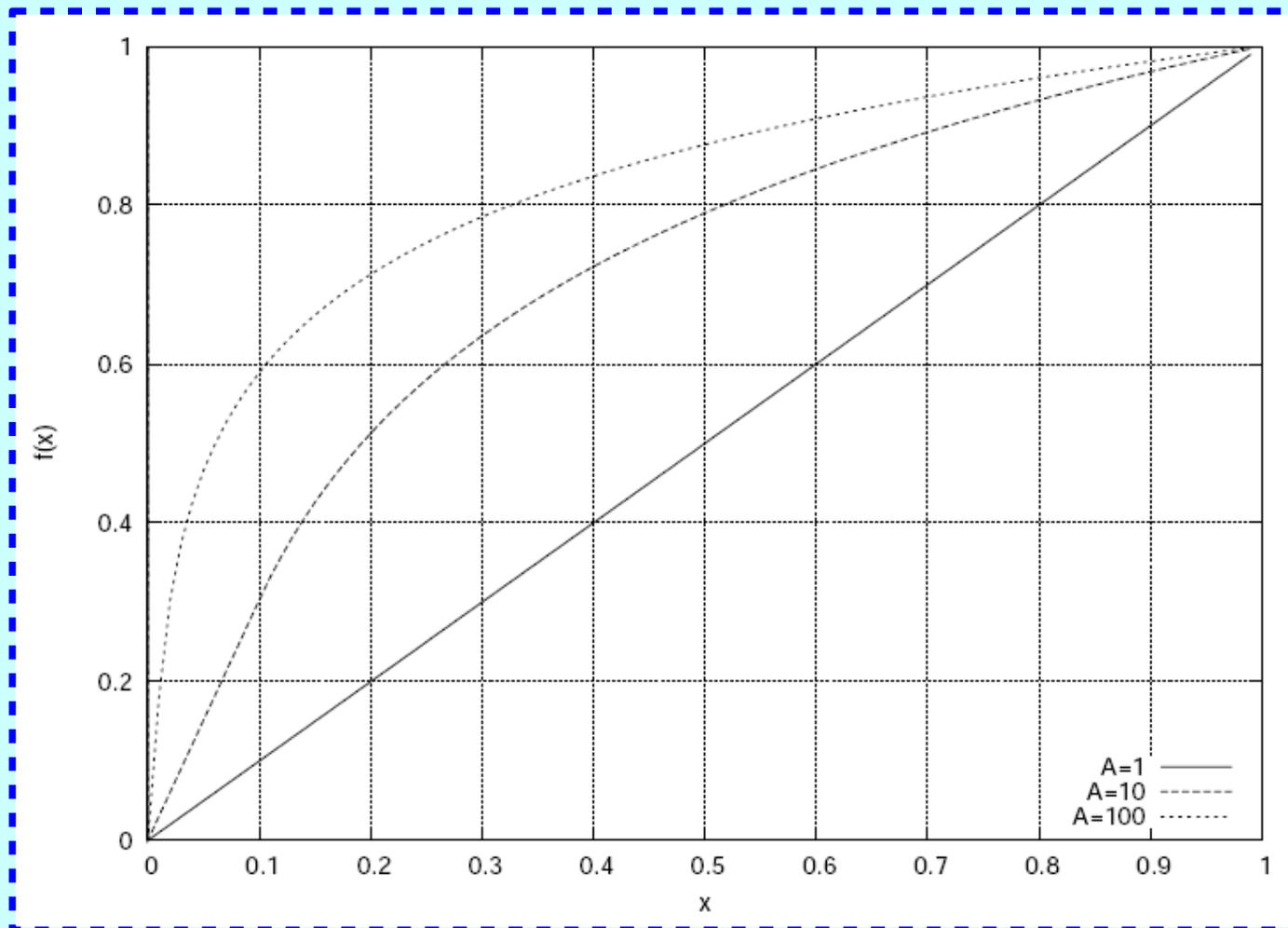
μ -law

$$f(x) = \operatorname{sgn}(x) \frac{\log(1 + \mu|x|)}{\log(1 + \mu)}$$



A-law

$$f(x) = \text{sgn}(x) \begin{cases} \frac{A|x|}{1 + \log(A)} & \text{se } |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \log(A|x|)}{1 + \log(A)} & \text{se } \frac{1}{A} \leq |x| \end{cases}$$



CD

- Segnale musicale → **[15, 20000] Hz**
- Frequenza di campionamento **44.1kHz**, per facilitare il filtraggio
- Formato PCM con **16** bit di quantizzazione
- Rapporto segnale rumore di **106.8 dB**
- Bit rate di ogni singolo canale → **705.6 Kbps**
- Bit rate complessiva del segnale stereofonico con qualità CD → **1.411Mbps**

MIDI

- **Protocollo Musical Instrument Digital Interface**
- In grado di far comunicare, in formato digitale, strumenti digitali e computer
- Ricevere e inviare controlli e dati
- Trasmissione tramite collegamenti dedicati seriali a 31.25 Kbps

Video

- **Frame rate**
 - Sincronizzazione
- **Segnali video**
 - Segnale in bianco e nero CCIR
 - Segnale composito monocromatico CCIR
 - Trasmissione del segnale videotelevisivo
 - Segnale PAL a colori
 - Segnale NTSC
 - Segnale SECAM
- **Formati video digitali**

Frame Rate

- **Frame rate**
 - **Numero di immagini al secondo** (*video composto da una sequenza di immagini/fotogrammi riprodotti ad una velocità suff alta da poter apparire fluido*)
- Non confondere con il **numero di quadri al secondo** disponibili sui sistemi televisivi (24 PAL/SECAM e 30 NTSC)
 - Num immagini al sec: quante immagini potenzialm differenti vengono prodotte per generare movimento
 - Num quadri al sec: quante volte viene riprodotta un'immagine su un video CRT per generare persistenza suff rispetto al decadimento del singolo pixel
- **Sincronizzazione** tra Frame Rate e la riproduzione di film creati per lo schermi cinematografico (24 img/sec)
 - Riprodurre film a velocità superiore rispetto a quella originale: 24 img/sec su 25 quadri/sec non comporta problemi video ma aumenta in frequenza audio di un semitono
 - Riprodurre film a velocità originale e duplicare periodicamente un'immagine in modo da equalizzare le velocità

Frame Rate – sincronizzazione (PAL interlacciato)

- 11 immagini per 2 volte, per i primi 11 x 2 semiquadri
- 12esima immagine per 3 volte per 3 semiquadri

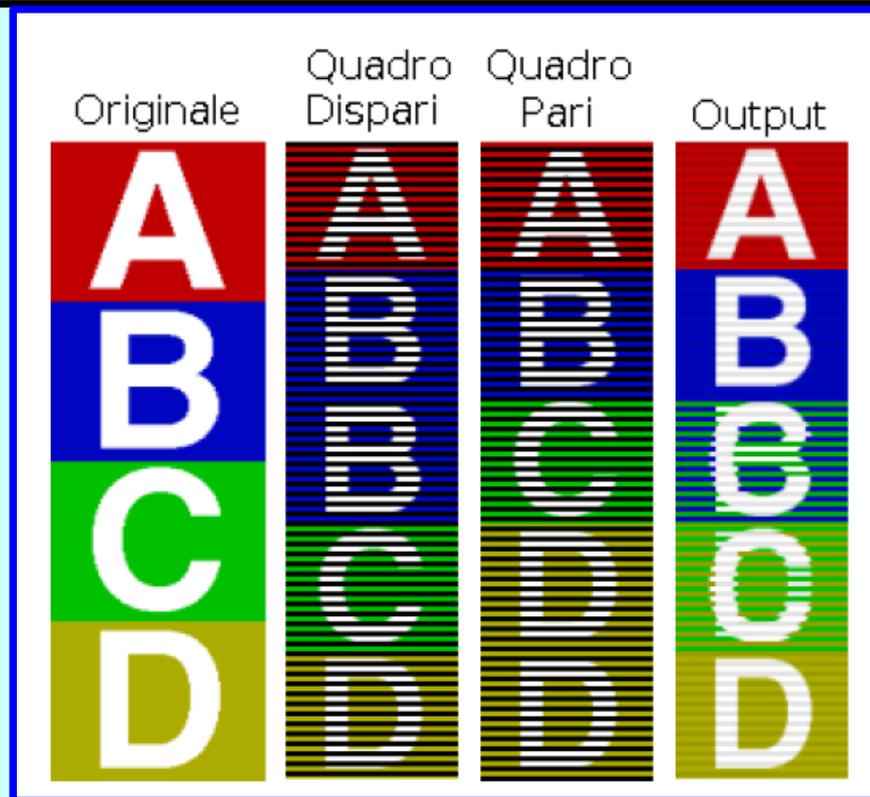
IMG	A	A	B	B	C	C	...	N	N	N
Semiq	1	2	3	4	5	6	...	23	24	25

11 img	11 x 2 semiq
1 img	3 semiq
11 img	11 x 2 semiq
1 img	3 semiq
-----	-----
24 img	50 semiq

Frame Rate – sincronizzazione (NTSC interlacciato)

- Per ogni 4 immagini occorre generare 5 quadri

IMG	A	A	B	B	B	C	C	D	D	D
Semiq	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

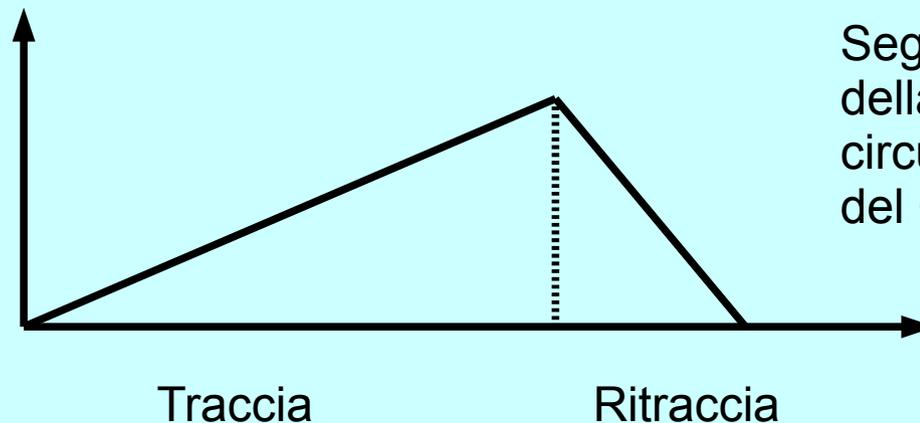


Segnali video

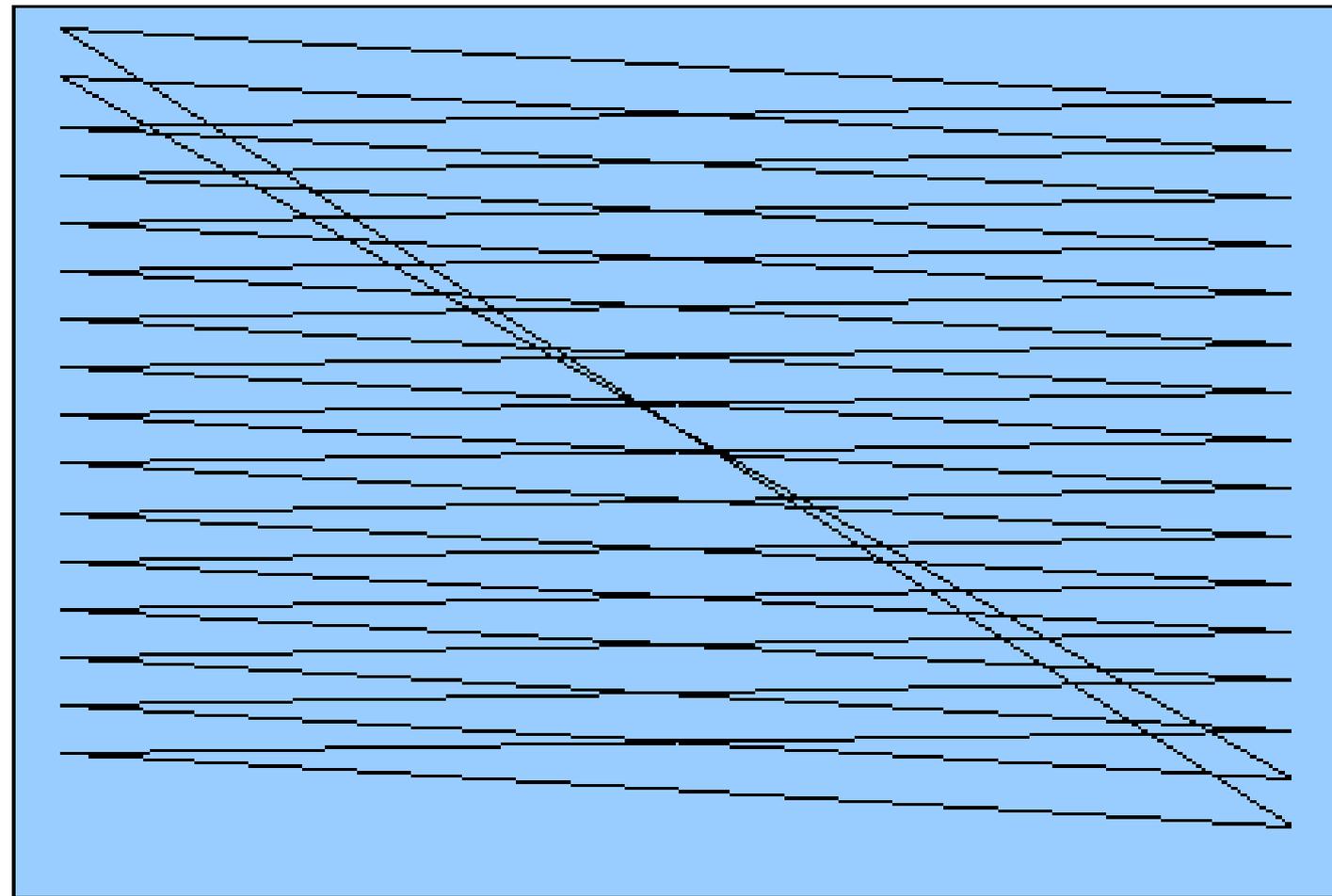
- Il problema da risolvere consiste nel trasmettere *sequenze di immagini* (funzione in 3 dimensioni: 2 spaziali e una temporale) *su un canale monodimensionale*
- **Si campiona in verticale ogni immagine**, ottenendo delle **righe** (funzione monodimensionale di luminosità) e queste inviate in sequenza temporale, generando un segnale composito
- **Segnale composito** contiene
 - **dati** (luminosità)
 - **segnali di sincronismo** (per ricostruire l'immagine)
- CCIR: Ente di standardizzazione

Segnale Bianco e Nero CCIR

- Creato per schermi CRT e per trasmissione segnale televisivo
- PAL interlacciato → 625 linee, due sottoquadri da 312.5 linee
- 50 sottoquadri/sec → frequenza movimento orizzontale pennello ottico $312.5 * 50\text{Hz} = 15625\text{Hz}$, frequenza verticale 50Hz
- Deflessione orizzontale: $64\mu\text{s}$ ($52\mu\text{s}$ pennello acceso, $12\mu\text{s}$ ritraccia, pennello off)
- Deflessione verticale: 20ms (18.72ms traccia, 1.28ms ritraccia)
- $1.28\text{ms} / 64\mu\text{s} = 20$ linee non visibili, gli oscillatori di movimento orizz e vert sono sempre attivi quindi 20 righe vengono tracciate mentre il raggio è spento (585 linee visibili)



Segnale di alimentazione della deflessione, per pilotare i circuiti di scansione oriz e vert del CRT



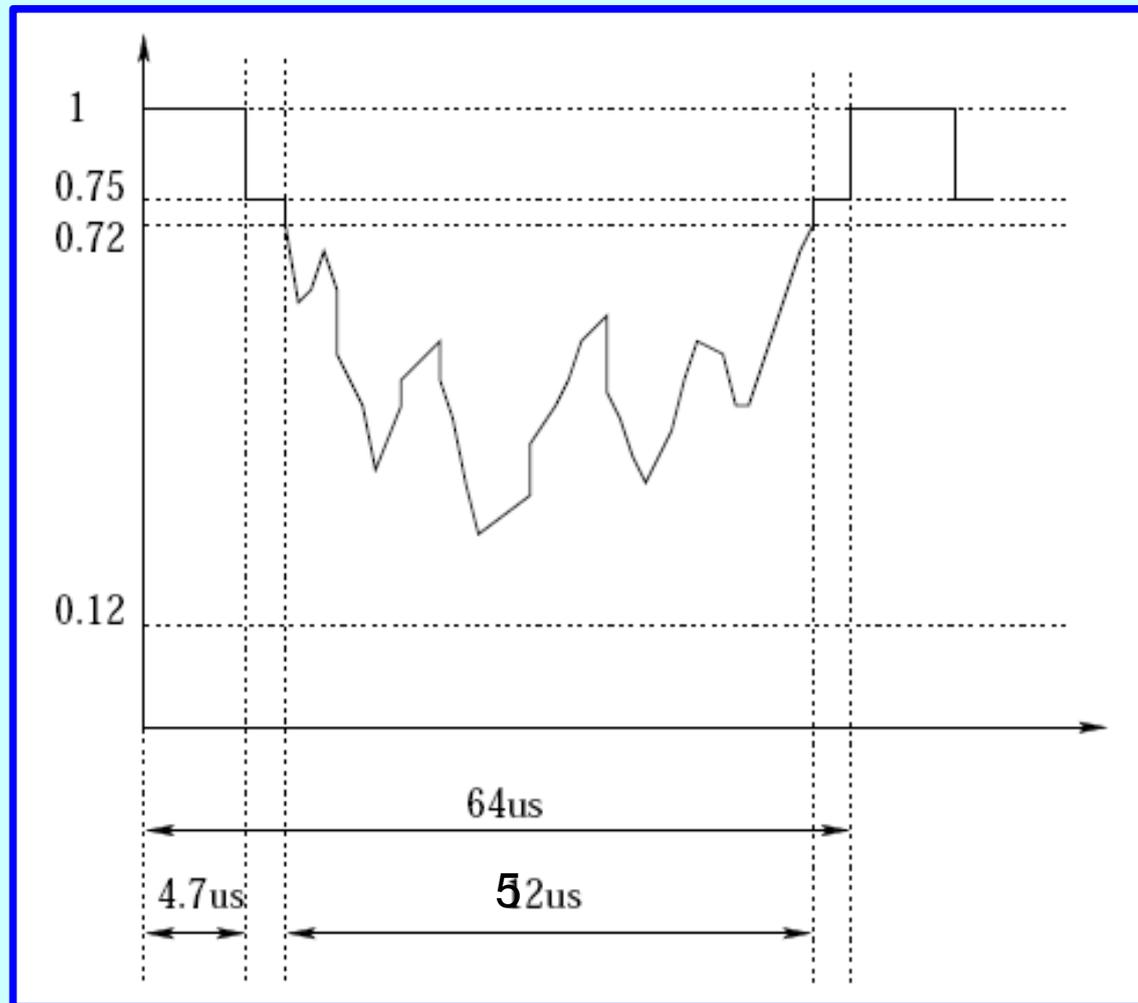
Segnale Bianco e Nero CCIR

valutazione banda

- **PAL**
- Processo di campionamento verticale → 585 campioni visibili per quadro.
- Secondo il teorema del campionamento, questi sono in grado di rappresentare una informazione con risoluzione dimezzata. In realtà il rapporto tra numero di linee e la risoluzione effettiva deve tenere conto anche di alcune peculiarità del sistema visivo, per cui il fattore non è 0.5 secondo il teorema di campionamento, ma 0.7 (fattore di Kell).
- L'effettiva risoluzione verticale → $585 \cdot 0.7 = 410$, per cui la risoluzione orizzontale risulta di 546 punti.
- Supponendo di avere una alternanza di punti accesi e spenti, si ottiene un'onda quadra con $546/2 = 273$ on e 273 off in $52\mu\text{s}$, quindi una frequenza della fondamentale pari a $273/52\mu\text{s} = \mathbf{5.25\text{MHz}}$.
- Dato che la condizione di alternanza di bianchi e neri è molto infrequente e non naturale, si considera questa frequenza fondamentale come frequenza massima di interesse per il segnale video.
- **NTSC**
- **4 Mhz**

Segnale composito monocromatico CCIR

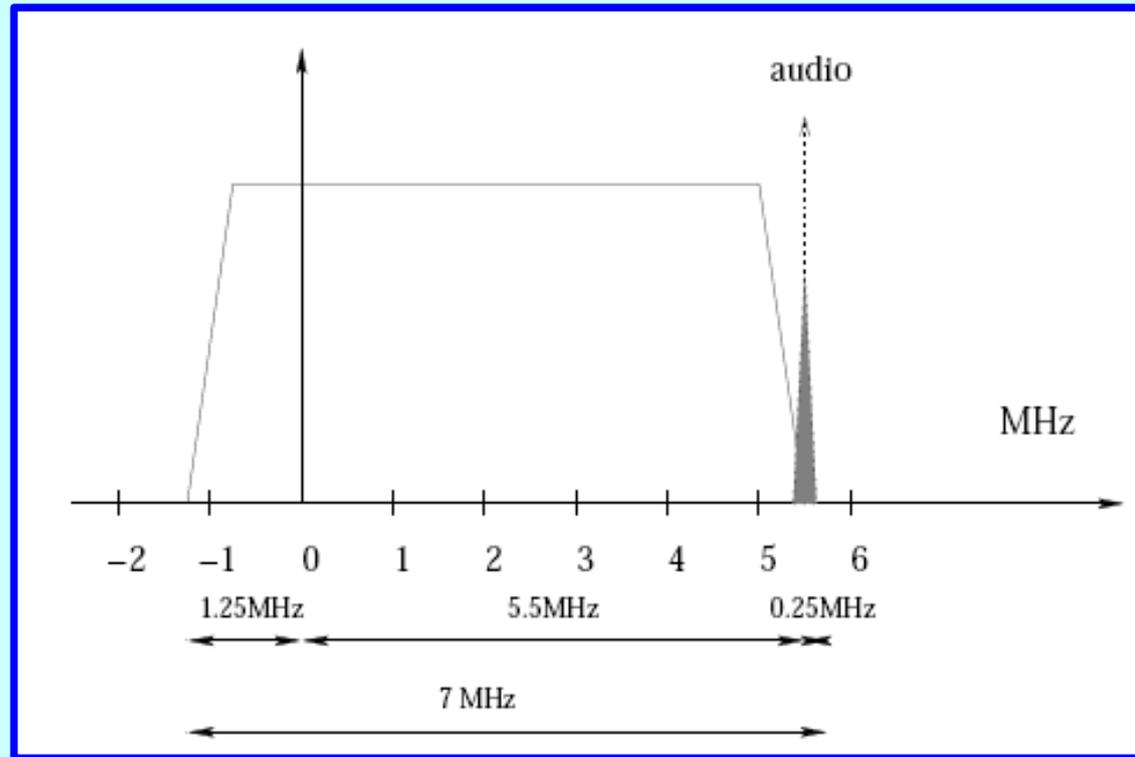
- Contiene informazioni di
 - Luminanza [0.12 – 0.72]
 - Sincronismi orizzontali e verticali [0.75 - 1]
 - Impulsi di cancellazione per spegnere pennello durante le ritracce [0.72]



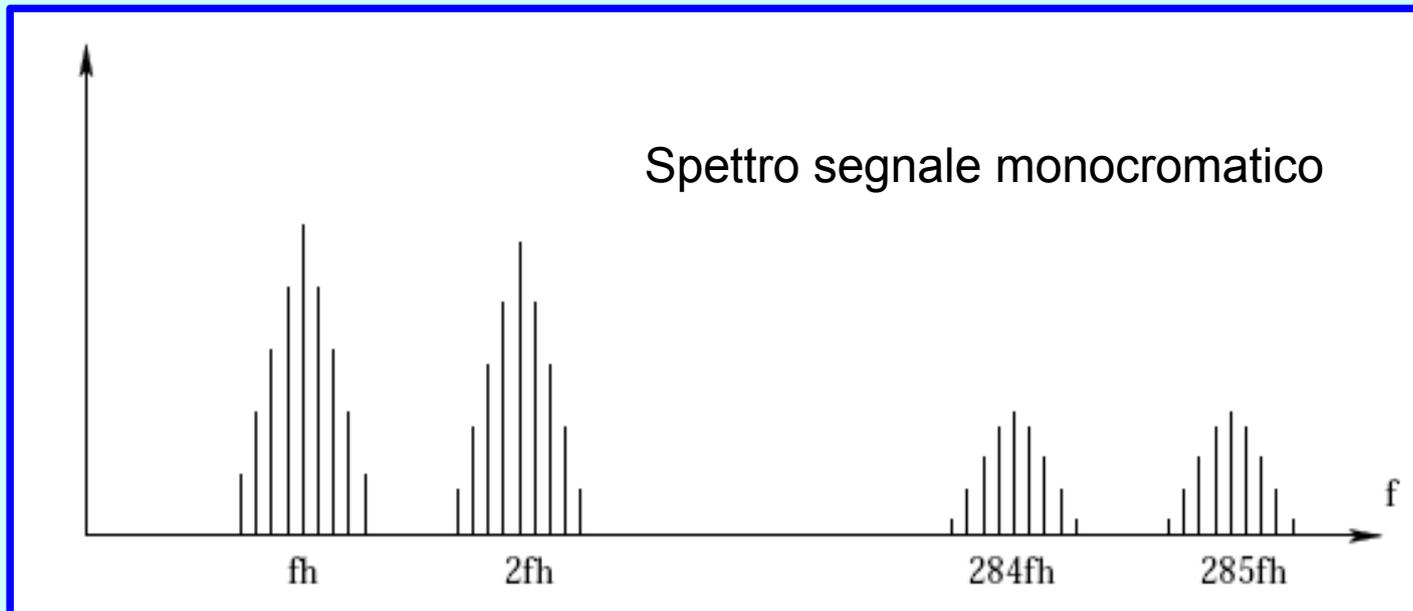
Trasmissione segnale videotelevisivo

- Segnale video composito → occupazione spettrale di oltre **5 MHz**
- Modulazione → **Vestigial Side Band** con intera banda superiore e parte della banda inferiore (**0.75 MHz**)
- Due bande di guardia di **0.5 Mhz** per facilitare filtraggio
- TOTALE **6.75 Mhz**
- Audio → modulazione FM con banda di **150 kHz** e portante a **5.5 Mhz**
- **0.25 MHz** banda di guardia
- TOTALE **7 MHz**

Spettro segnale televisivo

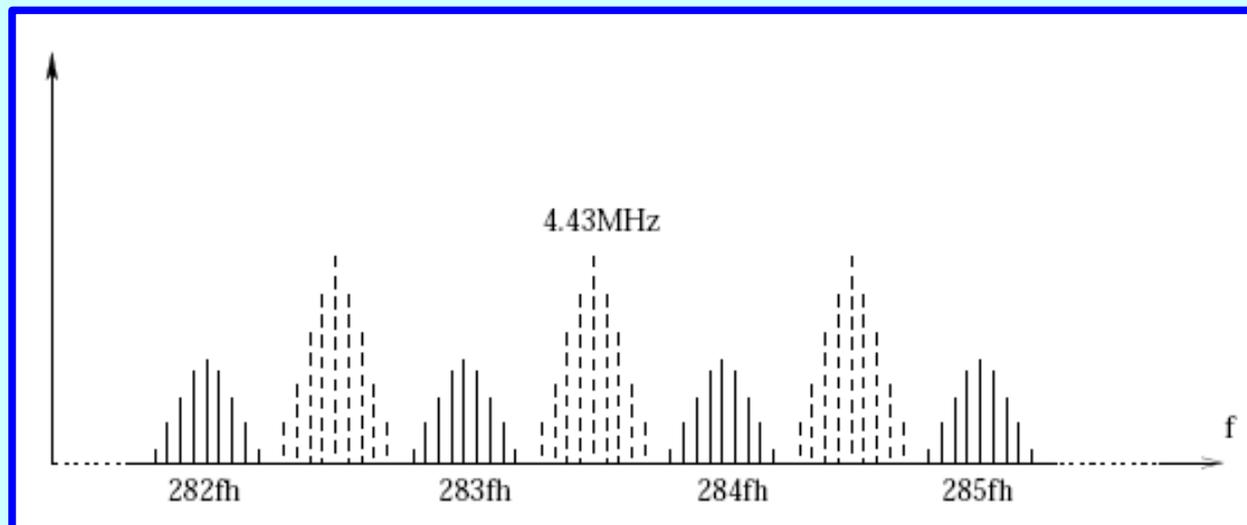


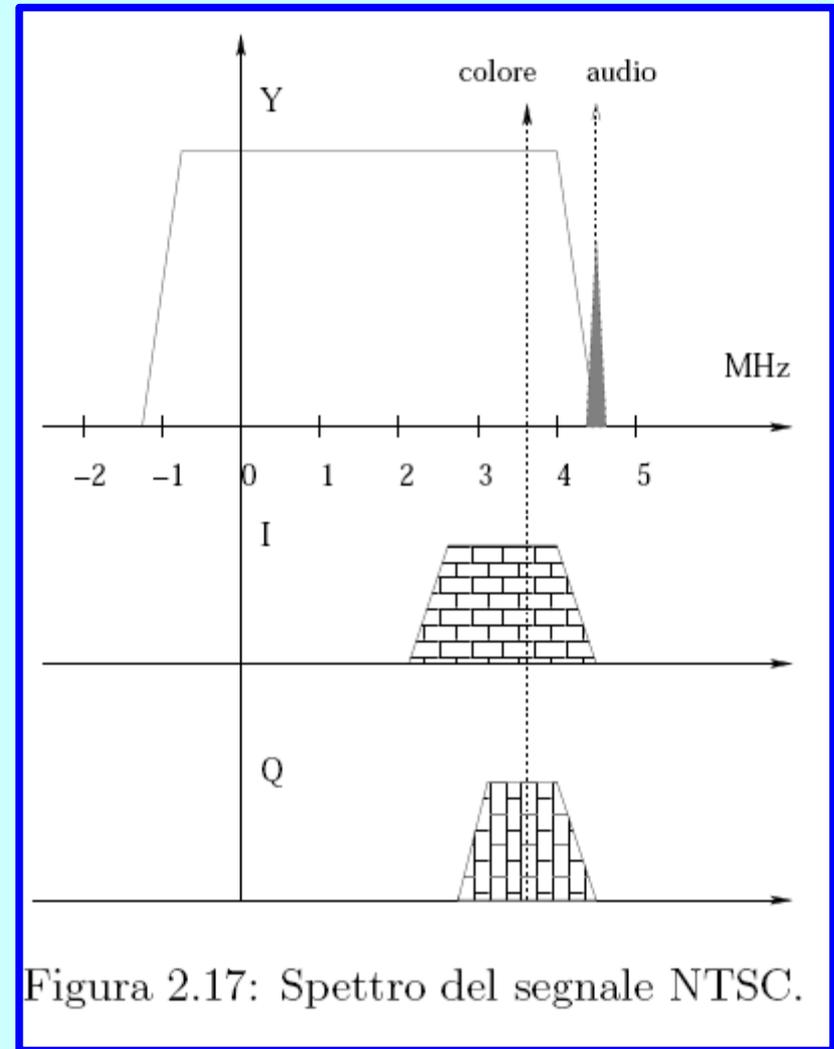
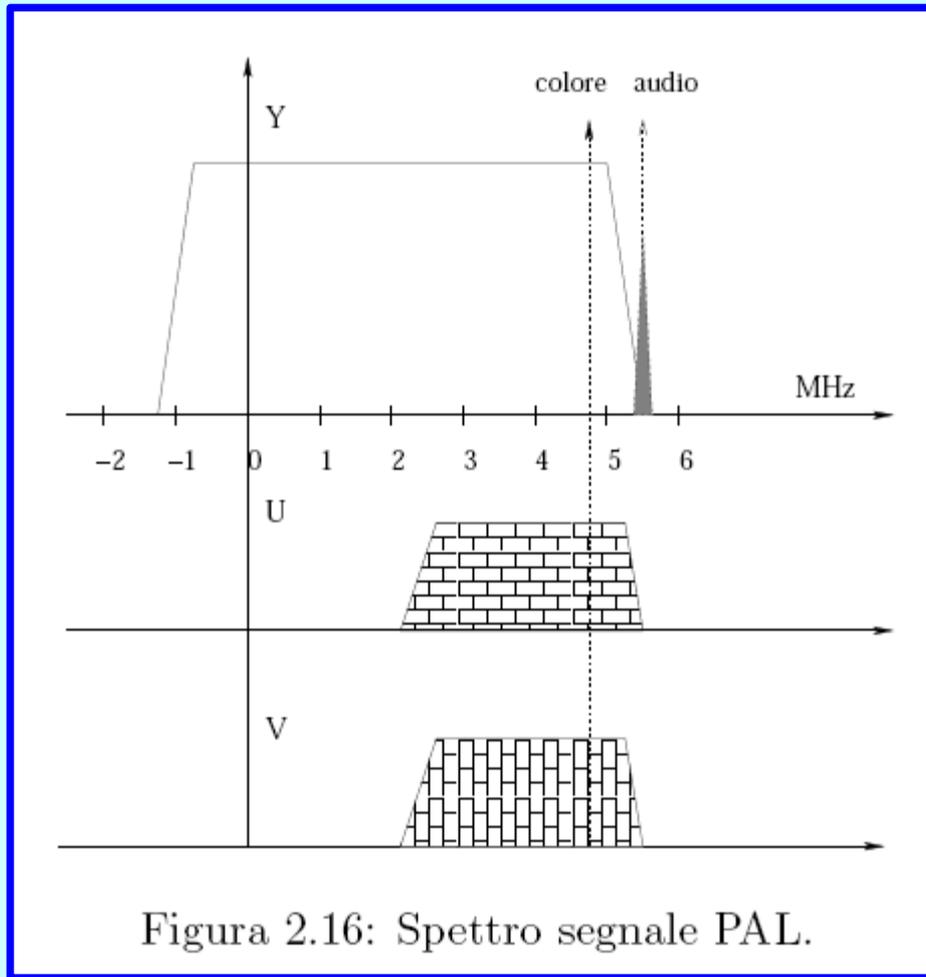
Spettro segnale monocromatico



Segnale PAL a colori

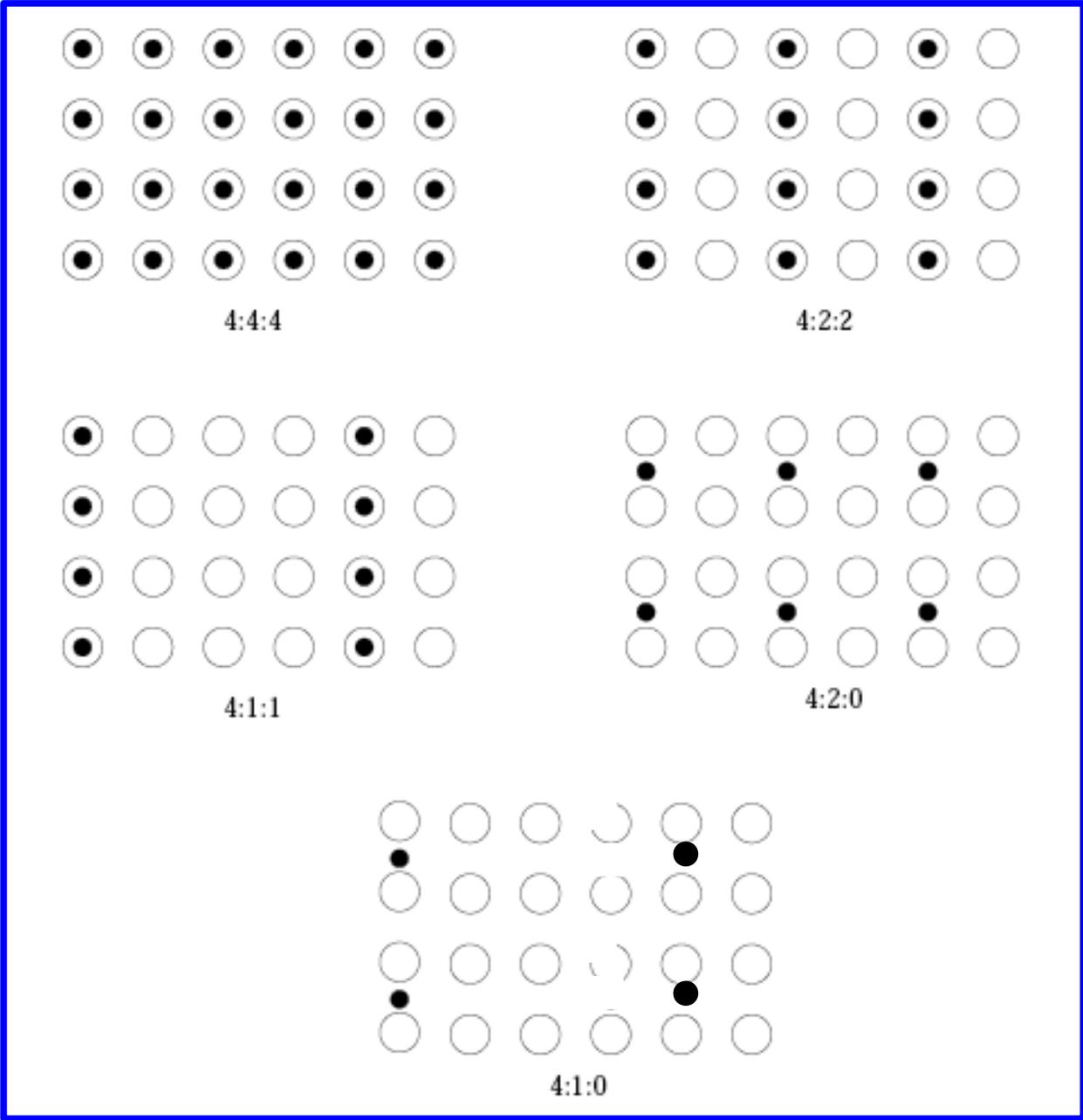
- **Compatibilità** con i ricevitori in bianco e nero già diffusi sul territorio → sviluppo di un sistema in grado di:
 - **funzionare sulla stessa banda del segnale monocromatico**
 - **contenere le informazioni ed i sincronismi presenti nel segnale monocromatico**
 - **essere rilevabile da un televisione in bianco e nero come un segnale monocromatico.**
- Rappresentare colore con standard **YCbCr** (Y coincidente con seg monocromatico)
 - Crominanza inserita negli spazi dello spettro lasciati liberi dalla luminanza
 - Segnali Cb e Cr in quadratura QAM (modulato DSB) attorno a portante centrata in zona in cui luminanza è meno presente ($f_c = 4.43\text{MHz}$)





Formati Video Digitali

- Occhio umano più sensibile alla **luminanza** piuttosto che alla crominanza
- Il segnale viene creato offrendo più risorse alla luminanza e sottocampionando i segnali di crominanza
- Standard **BT.601**
 - Notazione a tre cifre separate dal simbolo :
 - Prima cifra → **freq orizz campionamento della Y** (riferimento epr le cifre successive)
 - Seconda cifra → **fattore campionamento di Cb e Cr rispetto a prima cifra**
 - Terza cifra → **uguale a seconda o pari a 0** (se 0 le crominanze sottocampionate di fattore 2 verticalmente)
- **CALCOLO RICOLUZIONI:** ipotesi
 - $BANDA = 6MHz \rightarrow fN = 12MHz, fc = 13.5MHz$
 - Quantizzazione a 8 bit



Eliminando il campionamento durante
 i periodi di ritraccia si risparmia il 18.75% di bit rate
 ↑ (ritraccia occupa 12microsecondi su 64microsecondi)

Formato	BitRate	BitRate (no ritraccia)	525 linee Y	525 linee Cb, Cr	625 linee Y	625 linee Cb, Cr
4:4:4	$3*fc*8$ 324 Mbps	263 Mbps	720x480	720x480	720x576	720x576
4:2:2	$(fc+2 fc/2)*8$ 216 Mbps	175 Mbps	720x480	360x480	720x576	360x576
4:1:1	$(fc+2 fc/4)*8$ 162 Mbps	132 Mbps	720x480	180x480	720x576	180x576
4:2:0	$(fc+2 fc/(2*2))*8$ 162 Mbps	132 Mbps	720x480	360x240	720x576	360x288
4:1:0	$(fc+2 fc/(2*4))*8$ 135 Mbps	110 Mbps	720x480	180x240	720x576	180x288

Altri formati: HDTV, SIF, CIF, QCIF

Atri Formati Video Digitali

- HDTV
 - 1440x1152 (4/3), 1920x1152 (16/9)
 - 4:2:2, 50 o 60 quadri/sec, applicazioni studio
 - 4:2:0, 25 o 30 quadri/sec, applicazioni broadcast
- SIF
 - $f_c=6.75\text{MHz}$, 4:2:0
 - 360x240, 360x288
- CIF (videoconferenze)
 - 360x288
 - 4:2:0
- QCIF (videotelefonìa)
 - $f_c=3.3\text{t}5\text{MHz}$
 - 180x144