



Video



Parte IV – Video

Sommario

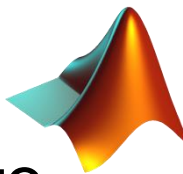
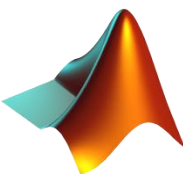
- Parte 1:
 - Introduzione
 - Aspect Ratio e Risoluzione
 - Formati di trasmissione e registrazione
 - Interlacciamento
 - Conversione Analogico-Digitale
- Parte 2:
 - Errori di registrazione
 - Drop e Artefatti



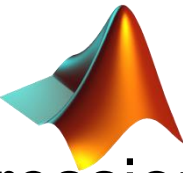
Parte IV – Video

Sommario

■ Parte 3:

- Spazi di riferimento 3D-2D e Proiezioni + 
- Vettori di movimento e Modelli di movimento
- Stima del movimento
 - Algoritmi di Block e Feature Matching + 

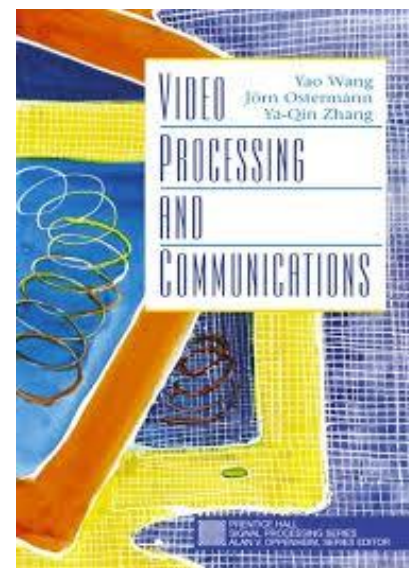
■ Parte 4:

- (a) Stabilizzazione + 
- (b) Codifiche e Compressione
 - MPEG1, MPEG2, MPEG4
 - H.264



Libro di testo consigliato

- Wang, Y., Ostermann, J., & Zhang, Y. Q. (2002). ***Video processing and communications*** (Vol. 5). Upper Saddle River: Prentice Hall. ISO 690
 - Chapter 5 - Video Modeling
 - Camera Model
 - Two-Dimensional Motion Models
 - Chapter 6 - Two-Dimensional Motion Estimation
 - Chapter 8 - Foundations of Video Coding
 - Chapter 13 - Video Compression Standards





Video – Parte 1

Introduzione

Aspect Ratio e Risoluzione

Formati di trasmissione e registrazione

Interlacciamento

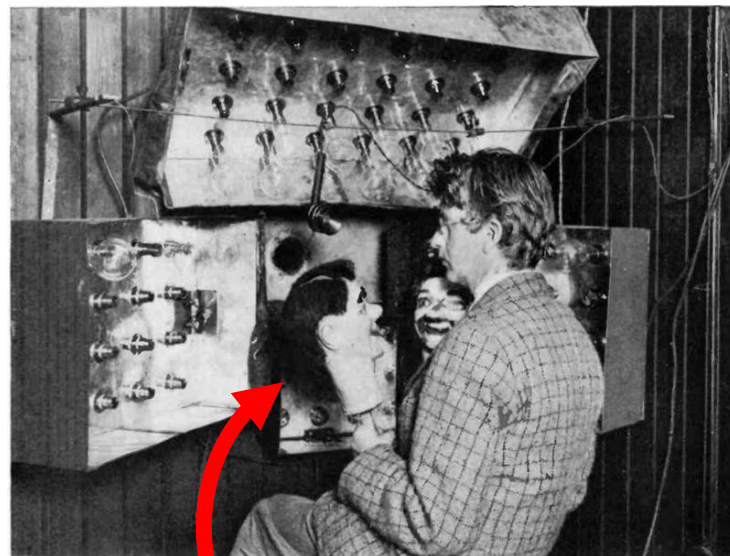
Conversione Analogico-Digitale



Introduzione

Storia della televisione (1)

- 25 Marzo 1925, John L. Baird trasmise per la prima volta un'immagine in bianco e nero

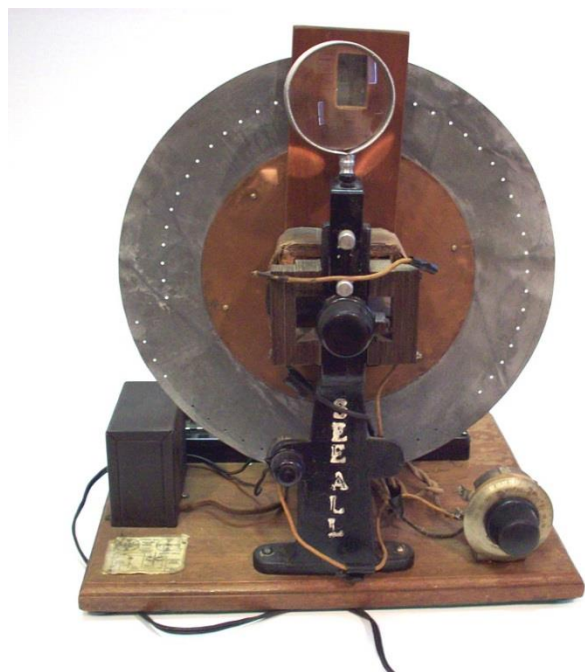




Introduzione

Storia della televisione (2)

- La prima televisione elettro-meccanica si basava sul disco di Nipkow

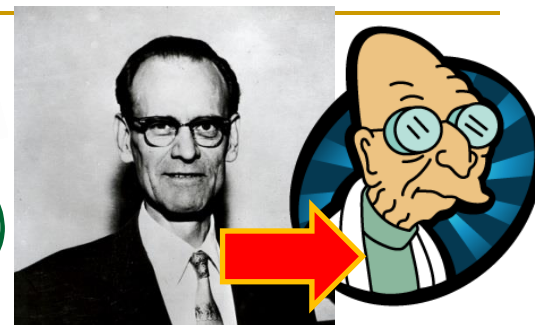


Oliver Hutchinson

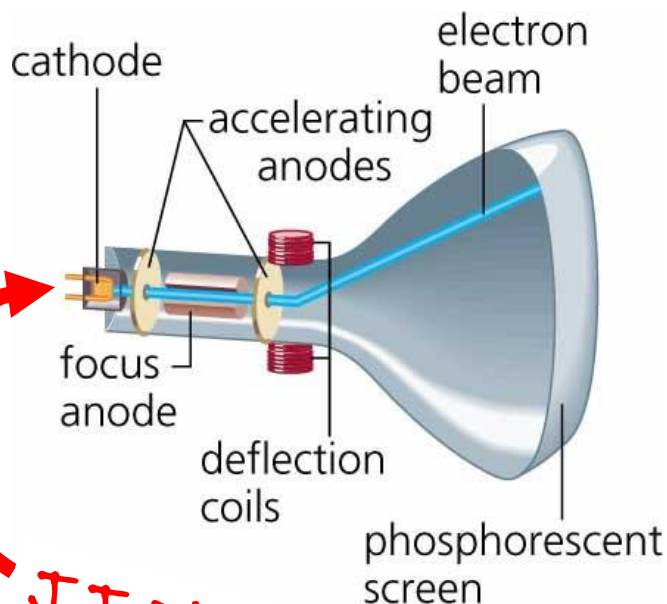


Introduzione

Storia della televisione (3)



- 7 Settembre 1927, Philo Farnsworth inventa la televisione elettronica
 - Trasmissioni basate su **CRT** (*Cathode Ray-Tube*)



J.J. Thomson

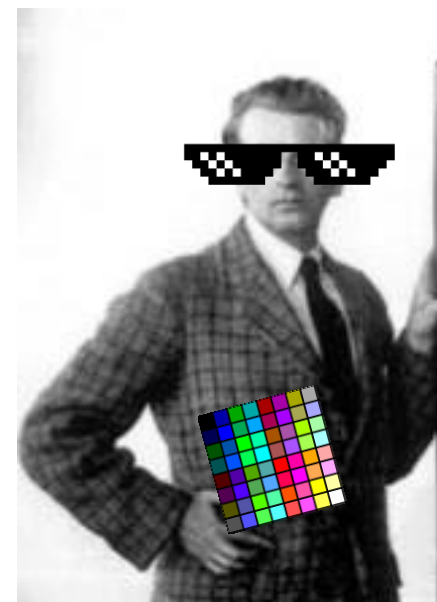
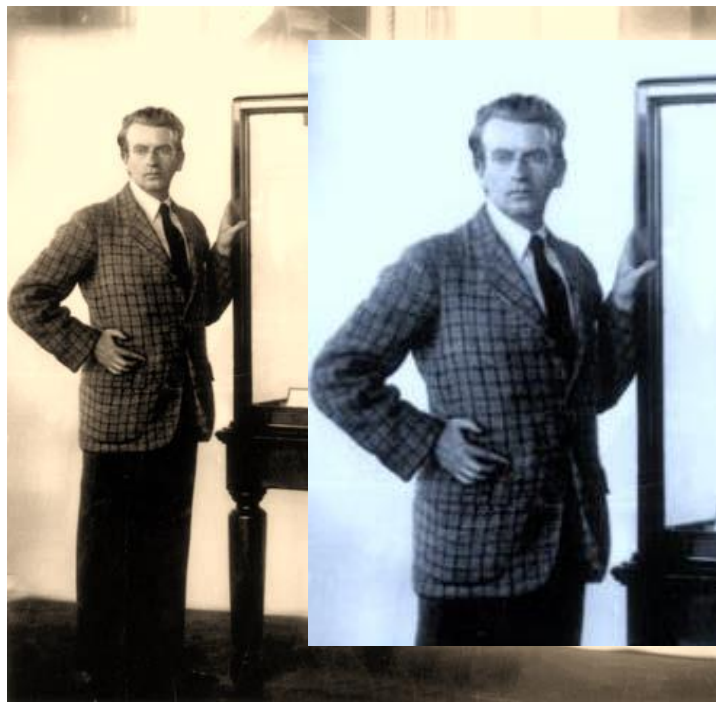




Introduzione

Storia della televisione (4)

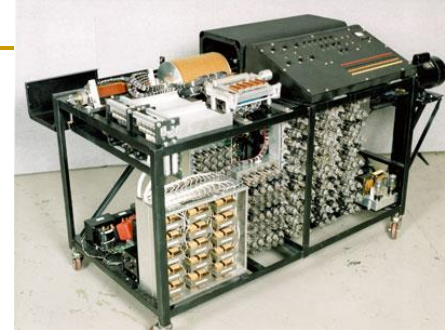
- 28 Luglio 1928, John L. Baird riesce a trasmettere per la prima volta a colori





Introduzione

Storia della televisione (5)



- Per quanto riguarda la televisione digitale, bisogna aspettare la nascita del primo computer elettronico digitale l'**Atanasoff-Berry Computer** nel 1942
- Tuttavia, la potenza di calcolo necessaria per una televisione digitale diventa alla portata del consumatore medio solo negli anni '90 del XX secolo
- Nel 1994, negli Stati Uniti, la Hughes Electronics diede avvio al primo servizio di TV digitale via satellite con la Direc TV mentre in Italia circa un anno dopo seguirono i servizi digitali satellitari di Telepiù



Introduzione

Storia del cinema (1)

- La prima ripresa cinematografica è ritenuta essere **Roundhay Garden Scene**, cortometraggio di 2 secondi, realizzato il 14 ottobre 1888 da Louis Le Prince

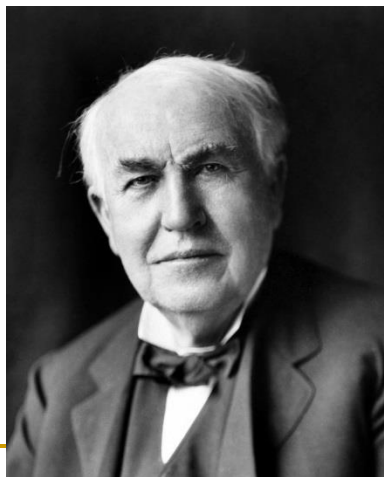




Introduzione

Storia del cinema (2)

- Thomas Edison nel 1889 realizzò
 - una cinepresa (detta **Kinetograph**) destinata a scattare in rapida successione una serie di fotografie su una pellicola 35mm
 - una macchina da visione (**Kinetoscopio**) consentiva ad un solo spettatore per volta di osservare, tramite un visore, l'alternanza delle immagini impresse sulla pellicola





Introduzione

Storia del cinema (3)

- La cinematografia intesa come la proiezione in sala di una pellicola stampata è nata invece il 28 dicembre 1895, grazie ad un'invenzione dei fratelli Louis e Auguste Lumière con un apparecchio da loro brevettato, chiamato **cinématographe**



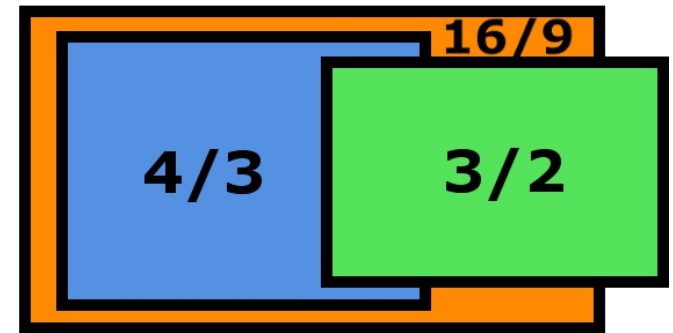
Multimedia





Aspect Ratio

- **Rapporto larghezza/altezza** dell'immagine
- Indicato in diversi modi:
 - Frazione “x:y” o “x/y”
 - Risultato “1,3”
 - In proporzione all'unità “1,3:1”
- Rapporti differenti in base al campo di utilizzo: **cinema, televisione, fotografia...**





4:3

- Utilizzato fin dalle origini della televisione
- È quello che si avvicina alla visione umana
155°h per 120°v (rapporto 4:3,075)





Widescreen

16:9

- Usato nel cinema e nella televisione
- Proporzioni panoramiche





Tecniche di adattamento degli Aspect Ratio

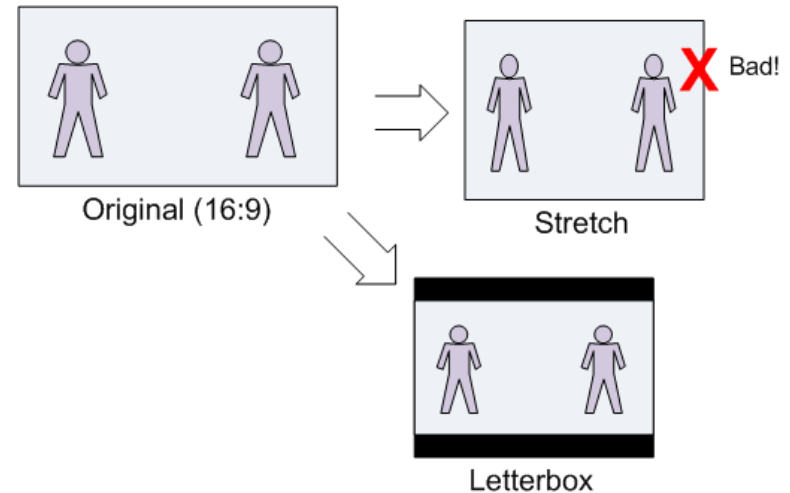
- Stretch (deforma l'immagine → Aliasing)
- Letterbox (16:9 → 4:3)
- Pillarbox (4:3 → 16:9)
- Windowbox (a:b → c:d)
- Pan&Scan (16:9 → 4:3)
- Tilt&Scan (4:3 → 16:9)



LetterBox

16:9

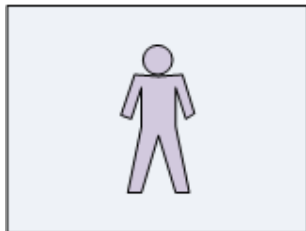
- Permette di vedere il 16:9 su schermi 4:3
- Immagine scalata con aggiunta di 2 bande nere



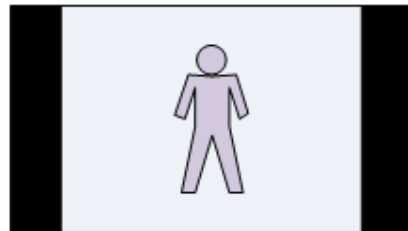


PillarBox and WindowBox

- PillarBox: Permette di vedere il 4:3 su schermi 16:9
- Immagine scalata con aggiunta di 2 bande nere
- WindowBox: aggiunta di 4 bande nere



Original (4:3)



Pillarbox





Pan&Scan e Tilt&Scan

■ Pan&Scan

- Permette di vedere il 16:9 su schermi 4:3
- Immagine ritagliata a sinistra e a destra



■ Tilt&Scan

- Permette di vedere il 4:3 su 16:9
- Immagini ritagliata in alto e in basso



Risoluzione – MP

“MegaPixel”



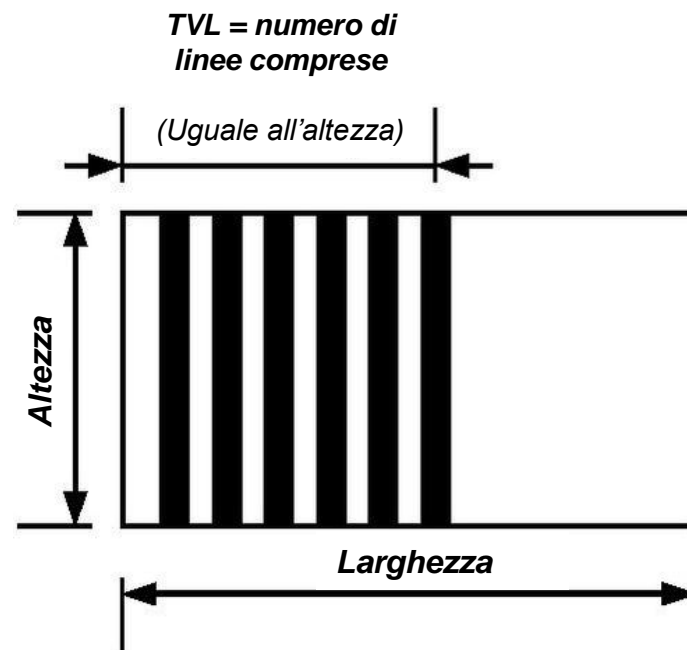
- Unità di misura che equivale a **1 milione di pixel**
- Come calcolare i *MP* di un dispositivo:
 - $(\text{MaxRisoluzioneOrizzontale} * \text{MaxRisoluzioneVerticale}) / 1.000.000$
 - Il valore pubblicizzato è spesso un arrotondamento
- Il numero di *MP* non è un diretto indice di qualità delle macchine fotografiche
 - Influisce anche il potere risolutivo del sistema ottico



Risoluzione – TVL

“TeleVision Lines”

- Una delle misure sulla risoluzione video più importanti
- Il valore TVL corrisponde al massimo numero di linee alternate bianche e nere rappresentabili verticalmente in maniera **distinguibile** in un'area avente lato uguale all'altezza dell'immagine (frame)

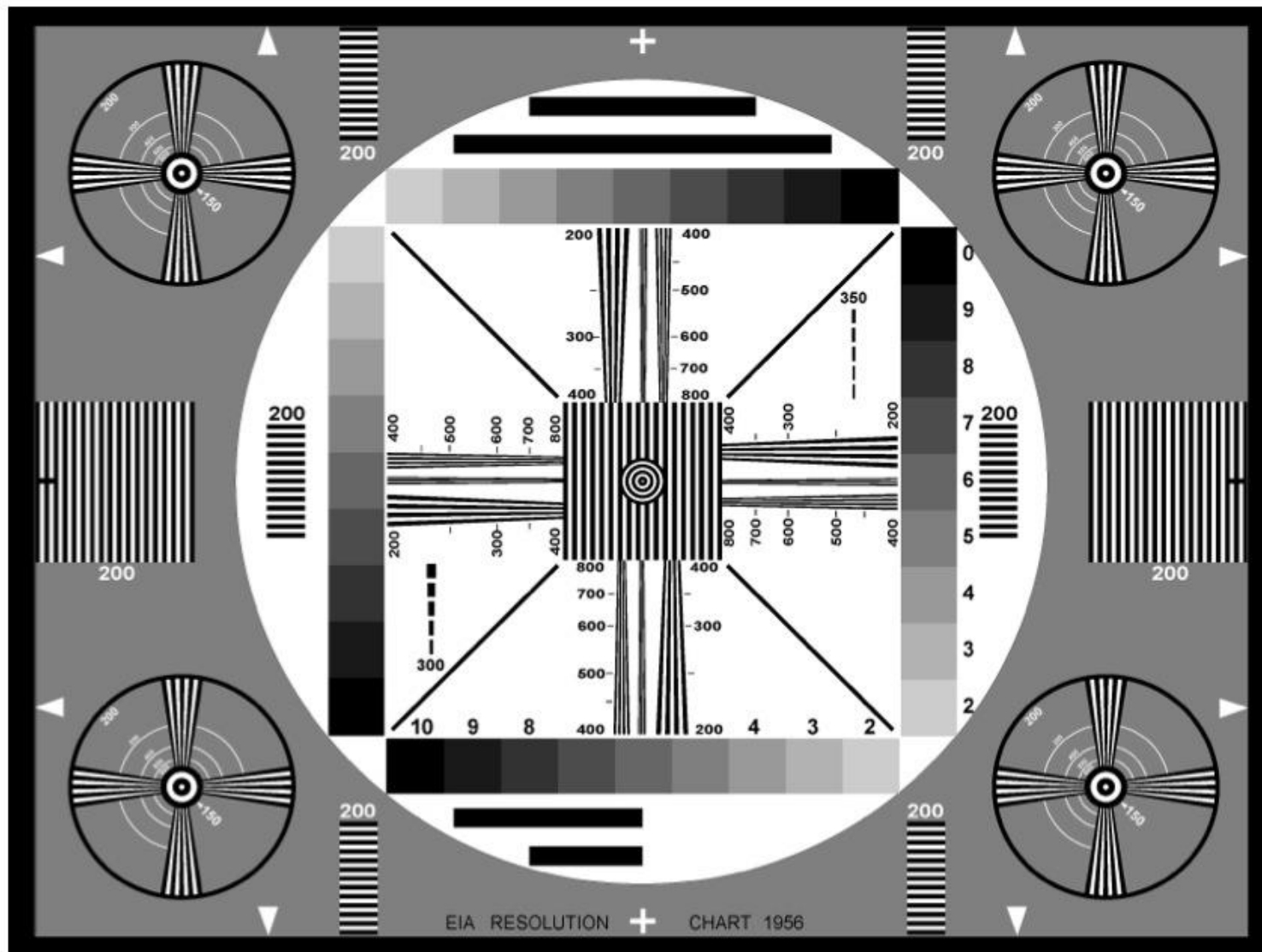


- Le TVL non vanno confuse con le righe di scansione!



Misurazione rapida delle TVL

“TVL Charts”

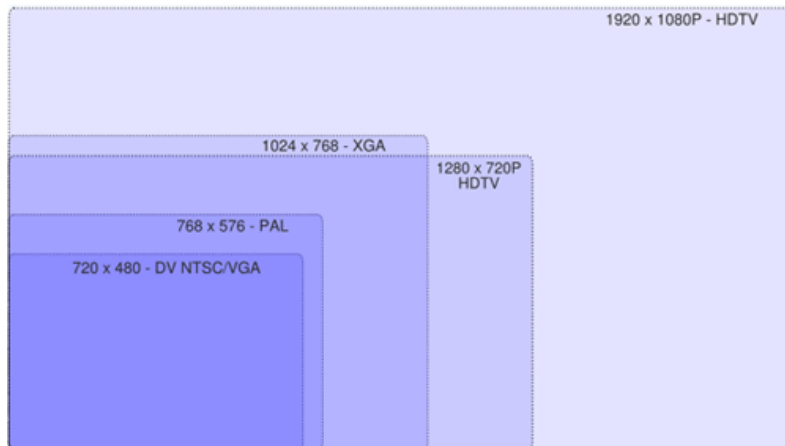




High Definition TeleVision



- Aspect Ratio 16:9
- 4 Formati:
 - Half resolution (540p): 960x540 pixel
 - HD ready (720p): 1280x720 pixel
 - 1080i: 1920x1080 pixel (interlacciato)
 - Full HD (1080p): 1920x1080 pixel



PAL
768x576

HALF HD (HD READY)
1280x720

FULL HD
1920x1080

Multimedia



Futuro

- **Super High Definition (SHD), detto 4K**
 - Risoluzione 3840x2160 pixel (4 volte un FullHD)
 - Nel mercato nei prossimi anni
 - Presente qualche video su YouTube
- **Ultra High Definition TeleVision (UHDTV)**
 - Risoluzione 7680x4320 pixel (16x un FullHD)
 - Nel 2018 circa





Standard di Trasmissione TV

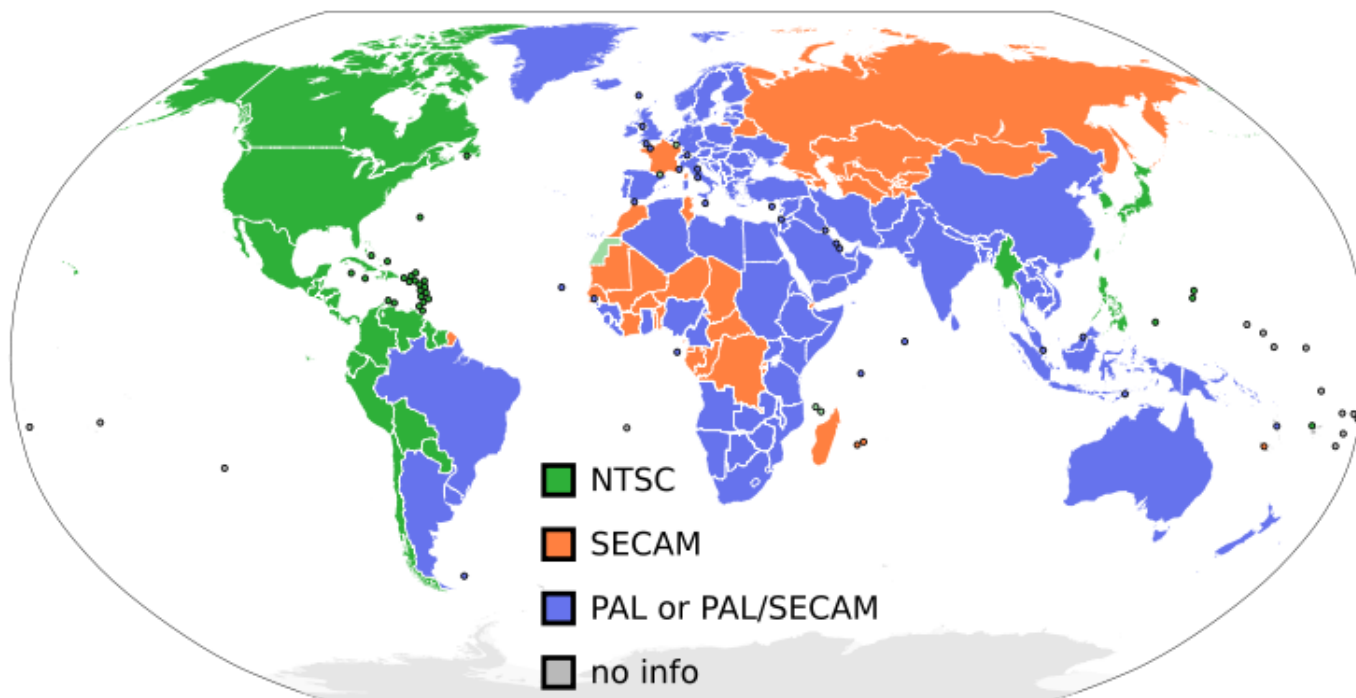
Formati video

- Con formati video ci si riferisce ai metodi standard di **codifica**, **memorizzazione** e **riproduzione** utilizzati nei dispositivi video
- Includono informazioni su:
 - **connettori fisici**: *numero di canali e il tipo di dati da essi trasmessi*
 - e sui **display**: *spazio dei colori utilizzato, risoluzione e frequenza di refresh*
- Distinguiamo fra formati **Analogici** e **Digitali**



Formati TV Analogici

- **NTSC** (*National Television Systems Committee*)
- **PAL** (*Phase Alternating Line*)
- **SECAM** (*SÉquentiel Couleur À Mémoire*)





Formati TV Analogici - Spazi di colore

- Per l'**acquisizione** e il **display** del segnale video tutti i sistemi usano **RGB** (o **XYZ**)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,365 & -0,515 & 0,005 \\ -0,897 & 1,426 & -0,014 \\ -0,468 & 0,089 & 1,009 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Per la **trasmissione** si utilizza uno spazio di coordinate luminanza/crominanza (**YUV**), perché richiede una larghezza di banda minore

$$Y = 0.3R + 0.6G + 0.1B$$

$$U = B - Y$$

$$V = R - Y$$



Formati TV Analogici – NTSC

(National Television Systems Committee)

- Sviluppato negli anni '50 negli USA

<i>Caratteristiche formato tv analogico NTSC</i>	
Righe di scansione	525 (~480 visibili) con interlacciamento 2:1
Frequenza di riga	15750 Hz
Frequenza di semiquadro	~60 Hz (~60 semiquadri al secondo) [29,97 fps (=Hz per quadro)]
Formato delle immagini	4:3 o 16:9
Spazio di Colore	YIQ
Scansione immagine	Orizzontale da in alto a sinistra a in basso a destra
Sincronismo colore	3,58 MHz (sottoportante di crominanza)
Modulazione	QAM (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>)



Formati TV Analogici – NTSC

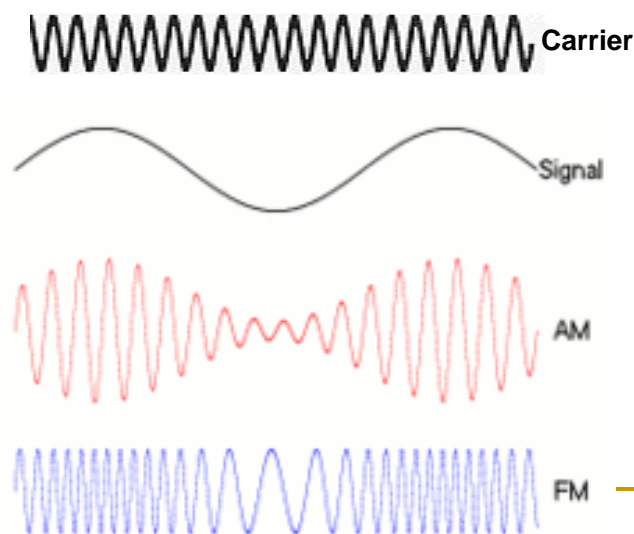
Rappresentazione del colore

- La crominanza è rappresentata tramite:

- I: in-phase.
- Q: quadrature phase.

$$I = 0.60 R - 0.32 G - 0.28 B$$
$$Q = 0.21 R + 0.31 B - 0.52 G$$

- I e Q hanno la stessa frequenza ma con una differenza di fase di 90°
- Si applica una modulazione in ampiezza di sotto-portante (**AMSC**)

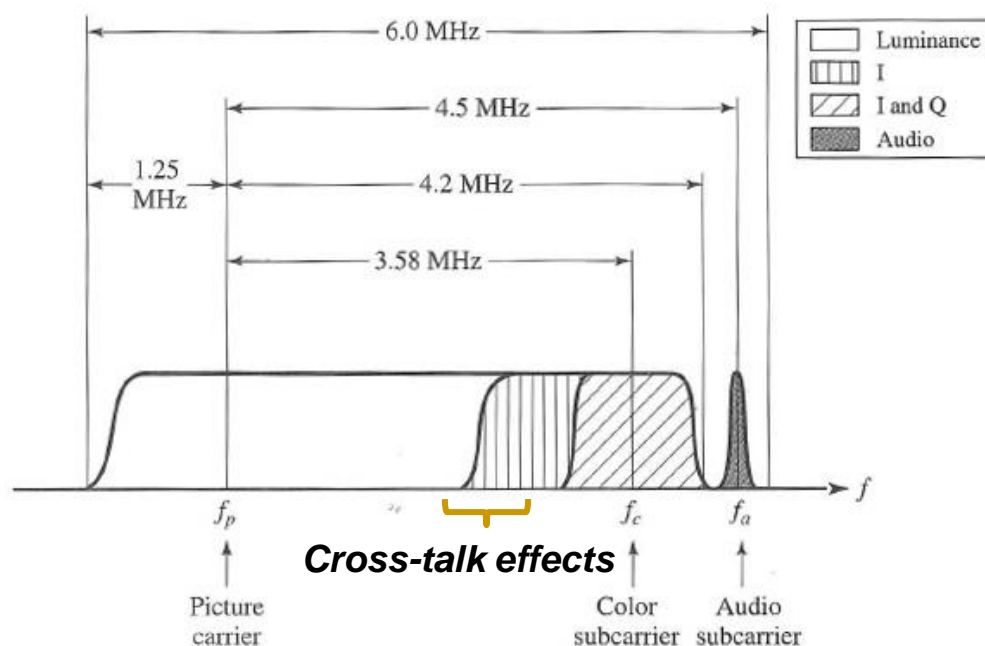




Formati TV Analogici – NTSC

Problemi di trasmissione

- Il segnale ricevuto dev'essere demodolato (cioè bisogna scomporre le componenti multiplexate insieme)
- Alcuni range di frequenze sono sovrapposti
 - Cross-color
 - Cross-luminance
- *Da qui l'acronimo NTSC: Never Twice Same Color*





Formati TV Analogici – NTSC

Pros & Cons

■ Vantaggi:

- Non è richiesto il cambiamento di fase (i segnali sono già sfasati di 90°) dunque i circuiti sono più semplici di PAL e SECAM;
- Fa un uso ottimale della larghezza di banda per la cromaticità, riservando la maggior parte di questa per i colori che l'occhio umano percepisce meglio;

■ Svantaggi:

- Nel caso di errori nei colori ed eventuale correzione, il processo di sincronizzazione tra le due sottoportanti diviene complesso;

- **L'instabilità cromatica** insieme a motivi tecnici e di **politica** internazionale ha contribuito alla nascita di standard alternativi: **PAL** e **SECAM**.



Formati TV Analogici – PAL (Phase Alternating Line)



- Sviluppato nel 1963 in Germania da *Telefunken* (fra i primi creatori della TV)

Caratteristiche formato tv analogico PAL

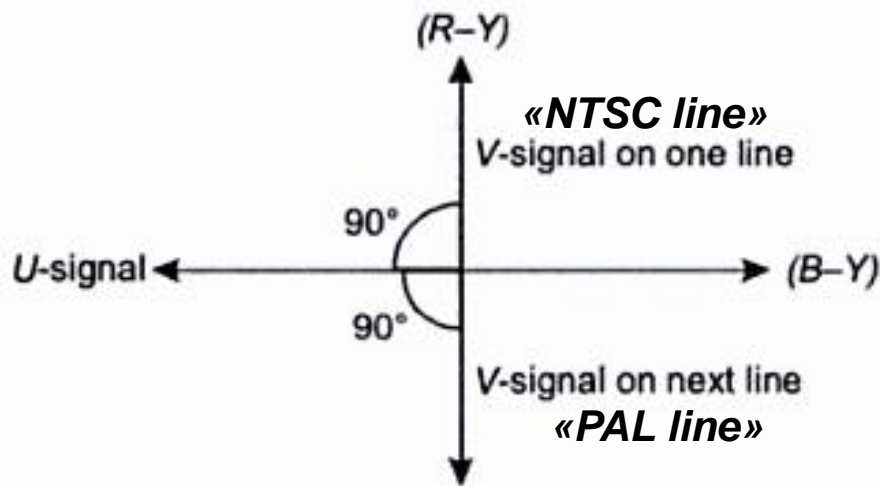
Righe di scansione	625 con interlacciamento 2:1
Frequenza di riga	15625 Hz
Frequenza di semiquadro	50 Hz (50 semiquadri al secondo) [25 fps (=Hz per quadro)]
Formato delle immagini	4:3 o 16:9
Spazio di Colore	YUV
Sincronismo colore	4,43 MHz (sottoportante di crominanza)
Modulazione	QAM (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>)



Formati TV Analogici – PAL

Rappresentazione del colore

- Sistema di modulazione simile a NTSC (a parte la diversa frequenza della sottoportante di crominanza), tuttavia **ad ogni riga (alternandosi)** il segnale V ha uno sfasamento di 180° → **Phase Alternation by Line (PAL)**
- Questo sistema risolve i problemi di instabilità cromatica di NTSC
- Richiede una sincronizzazione per distinguere la «PAL line» dall'«NTSC line»





Formati TV Analogici – PAL

Pros & Cons

■ **Vantaggi:**

- L'errore di fase che causa distorsioni cromatiche è automaticamente eliminato;

■ **Svantaggi:**

- Nel sistema PAL sono necessari la commutazione elettronica della fase e l'identificazione del segnale, ciò rende la progettazione dei circuiti più complessa e quindi i ricevitori PAL sono i più costosi



Formati TV Analogici – SECAM (SÉquentiel Couleur À Mémoire)

- Sviluppato nel 1958 in Francia

<i>Caratteristiche formato tv analogico SECAM</i>	
Righe di scansione	625 con interlacciamento 2:1
Frequenza di riga	15625 Hz
Frequenza di semiquadro	50 Hz (50 semiquadri al secondo) [25 fps (=Hz per quadro)]
Formato delle immagini	4:3 o 16:9
Spazio di Colore	YDbDr
Sincronismo colore	4,43 MHz (sottoportante di crominanza)
Modulazione	FM (<i>Frequency Modulation</i>)



Formati TV Analogici – SECAM

Versioni

- **SECAM I** divenuto disponibile nel 1961
- **SECAM II** e **SECAM III (A e B)**, versioni di migliore qualità e compatibilità del primo
- Infine furono sviluppati **SECAM IV** e **SECAM V**, quest'ultimo noto anche come **NIR-SECAM**, dal nome dell'omonimo istituto sovietico che rispose alla richiesta dell'Unione Sovietica di sviluppare un proprio standard
- Il risultato fu una **combinazione** di SECAM tradizionale e PAL



Formati TV Analogici – SECAM

Rappresentazione del colore e Trasmissione

- Si utilizza lo spazio di colore YD_bD_r

$$D_b = 3.059U$$

$$D_r = -2.169V$$

- Si applica una modulazione sulla **frequenza**
- La differenza principale fra SECAM e NTSC/PAL è la seguente:
 - Ogni linea contiene **solo uno** dei due segnali della cromaticità D_b e D_r , in maniera alternata



Formati TV Analogici – SECAM

Pros & Cons

■ Vantaggi:

- ❑ La modulazione in frequenza con segnali di crominanza alternati è più resistente ai rumori (no cross-color/luminance);
- ❑ L'informazione cromatica mancante dalla linea precedente è ripristinata con un buffer chiamato **linea di ritardo** (o “**delay line**”, da cui il nome “*sequenziale con memoria*”).

■ Svantaggi:

- ❑ E' necessaria l'identificazione del segnale per distinguere le linee che contengono il segnale D_b da quelle che contengono D_r ;
- ❑ Poiché c'è solo una sottoportante per ogni linea del segnale cromatico anziché due, si perde metà dell'informazione sul colore, quindi la risoluzione verticale originale del colore è dimezzata



Formati TV Analogici

Riassumendo...

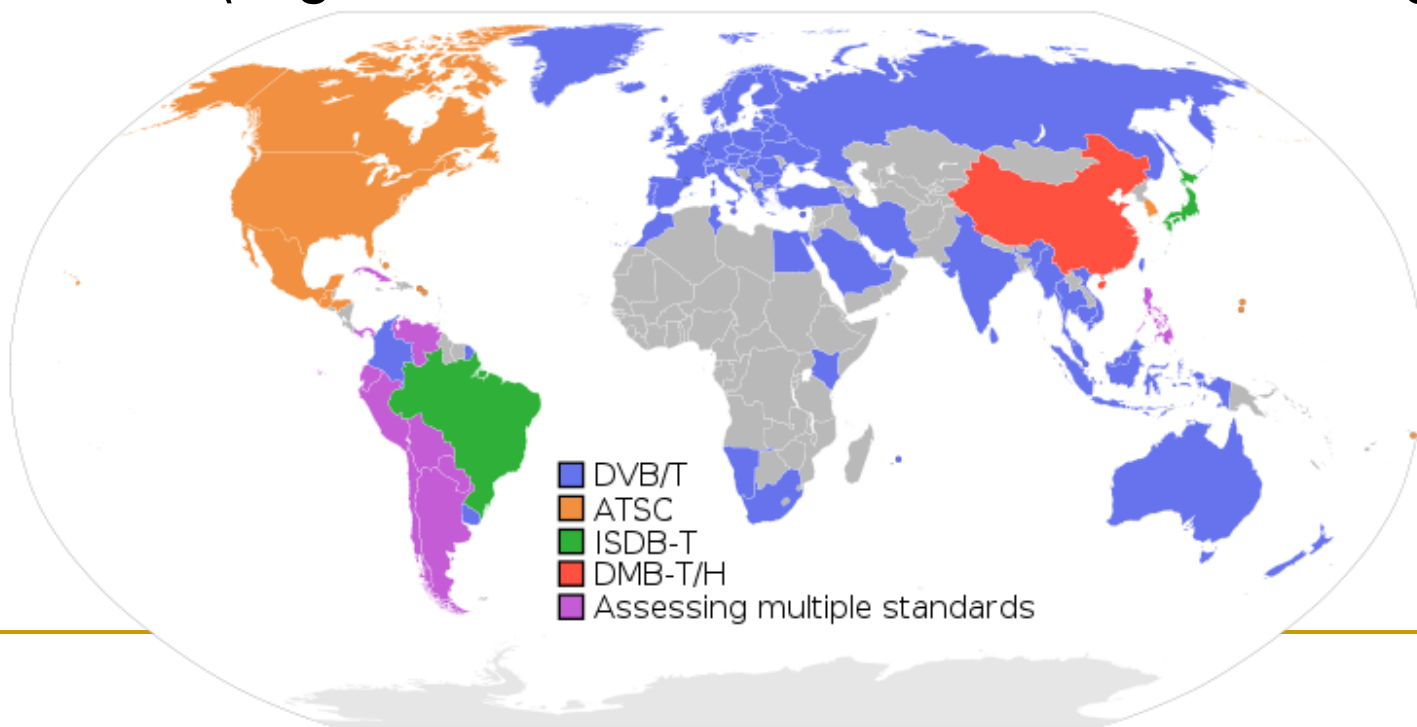
- NTSC, PAL e SECAM sono retrocompatibili
 - i televisori possono ricevere segnali codificati per le vecchie televisioni in bianco e nero

<i>Caratteristiche formati TV Analogici</i>			
	NTSC	PAL	SECAM
Righe di scansione	525 (~480 visibili)	625	625
Frequenza di riga	15750 Hz	15625 Hz	15625 Hz
Frequenza di quadro	29,97 fps	25 fps	25 fps
Formato delle immagini	4:3 o 16:9	4:3 o 16:9	4:3 o 16:9
Spazio di Colore	YIQ	YUV	YDbDr
Sincronismo colore	3,58 MHz	4,43 MHz	4,25(Db) 4,41(Dr) MHz
Modulazione	QAM	QAM	FM



Formati TV Digitali

- **ATSC** (*Advanced Television Systems Committee*)
- **DVB-T** (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*)
- **ISDB-T** (*Integrated Services Digital Broadcasting – T.*)
- **DTMB** (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*)





Formati TV Digitali – ATSC

(Advanced Television Systems Committee)

- Sviluppato nei primi anni '90 principalmente per l'**HDTV** (*High Definition TeleVision*)
- ATSC sta attualmente **rimpiazzando NTSC** negli Stati Uniti
 - Sono già state fissate le date di **switchover** per altri paesi americani

NTSC → **ATSC**
SWITCHOVER





Formati TV Digitali – ATSC

Standard di compressione compatibili

- In quanto formato digitale, prevede diverse modalità di funzionamento relative al *frame rate*, alla *risoluzione*, agli *standard di compressione compatibili (MPEG-2, H.264)* e *retrocompatibilità con i formati analogici*.
- Nonostante H.264 consenta formati di qualità visiva più elevata, la maggior parte delle TV in commercio contiene solamente i codec MPEG-2



Formati TV Digitali – DVB-T

(Digital Video Broadcasting – Terrestrial)

- **Standard europeo** per la TV digitale, pubblicato nel 1997.
 - La prima trasmissione in tale formato avvenne nel 1998 nel Regno Unito e ad oggi è adottato in più di 80 paesi in tutto il mondo.
- Permette la trasmissione di una grande quantità di dati garantendo alta definizione.
- I suoi predecessori sono PAL e SECAM.





Formati TV Digitali – DVB-T

Passaggio al digitale terrestre in Italia

- Switch-off in Italia
 - Inizio: 15 Ottobre 2008
 - Fine: 4 Luglio 2012
- Standard Definition (SD):
 - MPEG-2 video – MPEG-1 audio
- High Definition (HD):
 - H.264 video – MPEG1 audio
- Alcune frequenze liberate sono state utilizzate per canali pay-per-view

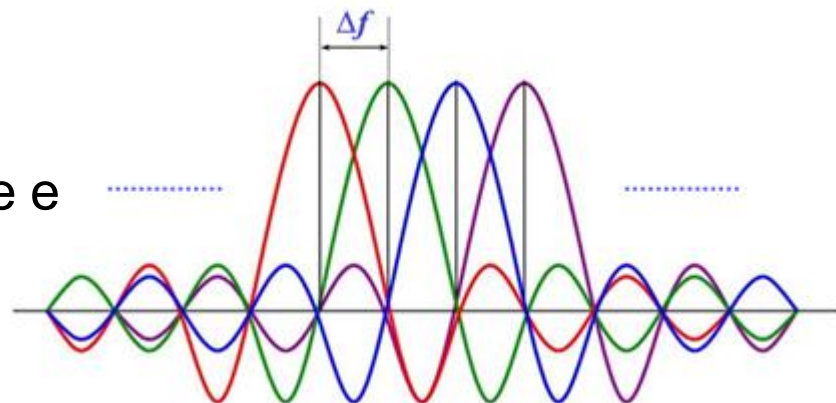




Formati TV Digitali – DVB-T

Caratteristiche principali

- Utilizzo dei codec MPEG-2 o H.264
- Sistema di trasmissione **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*):
 - sistema di multiplexing multi-portante, in cui le sottoportanti sono tra loro ortogonali.
 - Buona resa anche in condizioni non ottimali del canale
 - Garantisce un'attenuazione costante e dunque stimabile e correggibile.



OFDM: esempio con 4 sottoportanti



Formati TV Digitali

ISDB-T e DTMB

- Simili al DVB-T
 - Utilizzo di OFDM
 - Utilizzo dei codec MPEG-2 o H.264
- ISDB-T:
 - **Sviluppato e diffuso** in Giappone dal 2003 e parte del sud America dal 2007
- DTMB:
 - **Sviluppato e diffuso** in Cina dal 2002



Dispositivi Video

- Intorno agli anni '50 nascono i primi dispositivi di registrazione video
 - 1956: Ampex sviluppa i **VTR** (*Video Tape Recorder*)
(venduto a 50.000\$ a dispositivo...)





Dispositivi Video

- ❑ 1971: Sony realizza i **VCR** (*VideoCassette Recorder*)
- ❑ VCR rappresenta un'evoluzione del VTR, infatti il nastro magnetico anziché essere libero è collocato all'interno di una **cassetta di plastica**

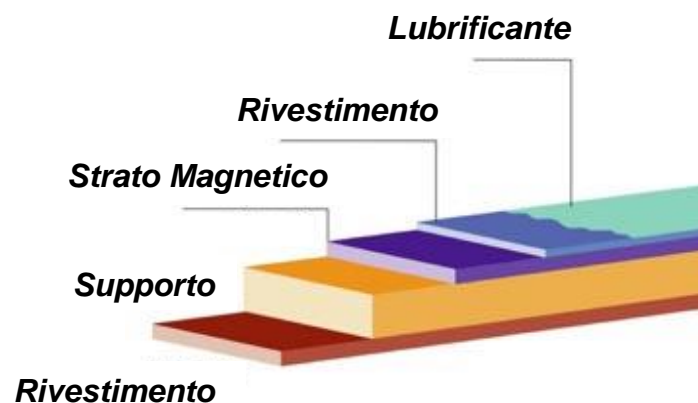
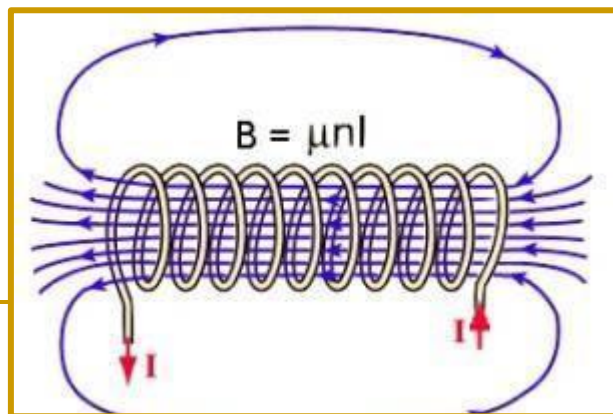




Nastri magnetici

Principi fisici di funzionamento

- Possiamo considerare le **testine** come dei **magneti (solenoidi)**
- Il **nastro magnetico** comprende uno strato di **materiale ferromagnetico**
- Le fasi di *lettura*, *scrittura* e *cancellazione* sono realizzate sfruttando il **principio di induzione elettromagnetica**





Nastri magnetici

Sistemi di Registrazione

- 3 metodi di registrazione:
- **Sistema Longitudinale:**
 - Tracce parallele ai bordi del nastro
 - Solo per registrazioni audio
- **Sistema Trasversale:**
 - Tracce perpendicolari ai bordi del nastro
 - Utilizza 4 testine su un tamburo con asse parallelo al bordo

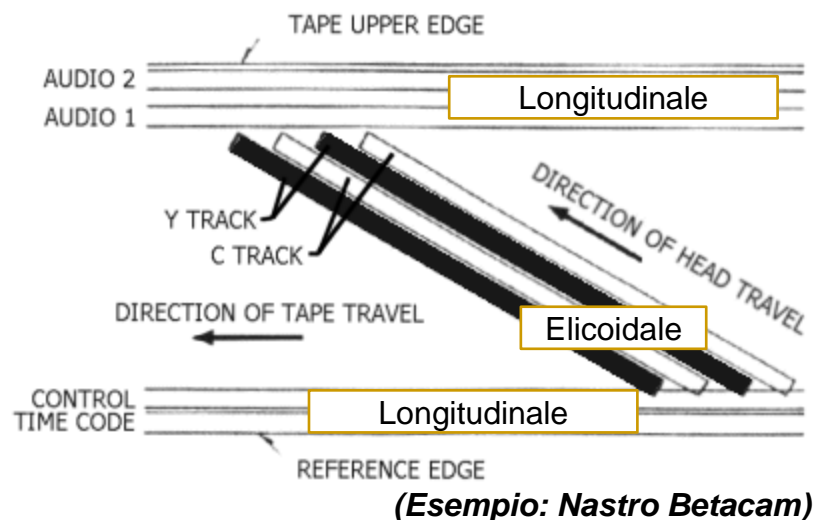
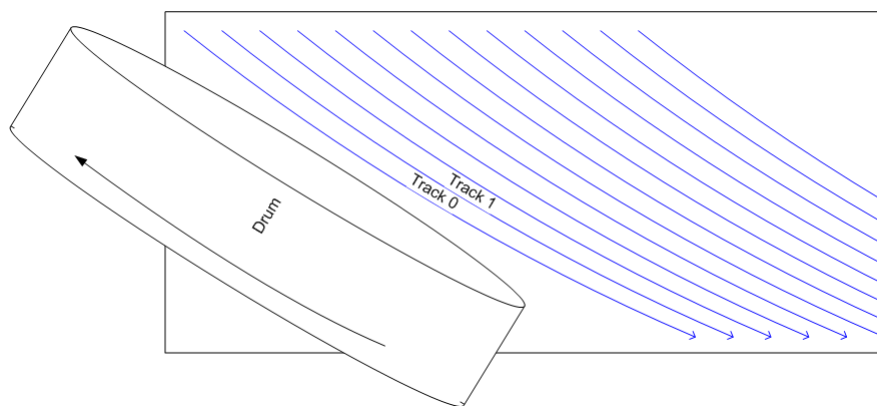


Nastri magnetici

Sistemi di Registrazione

■ Sistema Elicoidale:

- E' il più utilizzato
- Maggiore larghezza di banda
- Tracce e tamburo sono obliqui rispetto ai bordi
- Inclinazione da 2° a 20°





Sistemi di Scansione

■ Scansione Progressiva:

- Le linee di ciascun frame sono memorizzate in sequenza

■ Scansione Interlacciata:

- Le linee di ciascun frame sono suddivise in due insiemi, pari e dispari
- Quadri o frame → **semiquadri** o **campi** (field)



Odd Lines: Field 1



Even Lines: Field 2



Field 1 + Field 2 = Frame (Complete Image)



Sistemi di Scansione

Interlacciamento – Pros & Cons

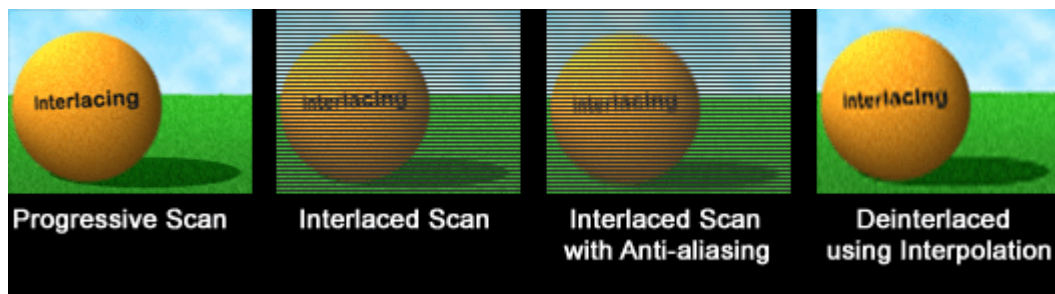
- A parità di larghezza di banda si può dimezzare la banda del segnale
 - Analogamente, si raddoppia la frequenza di visualizzazione
- Si riduce lo “sfarfallio” nei monitor CRT
 - Per quanto riguarda i monitor dei PC invece lo “sfarfallio” aumentava (**effetto flicker**); la direzione attuale è quella di prediligere il progressivo, a causa dell’alta qualità video richiesta



Sistemi di Scansione

Interlacciamento – Pros & Cons

- Rinunciando a metà dell'informazione:
 - Possibile comparsa di artefatti dovuti a interpolazione se sono presenti strutture orizzontali (**effetto twitter**)
 - Artefatti pesanti se sono presenti soggetti in rapido movimento





Formati di Registrazione

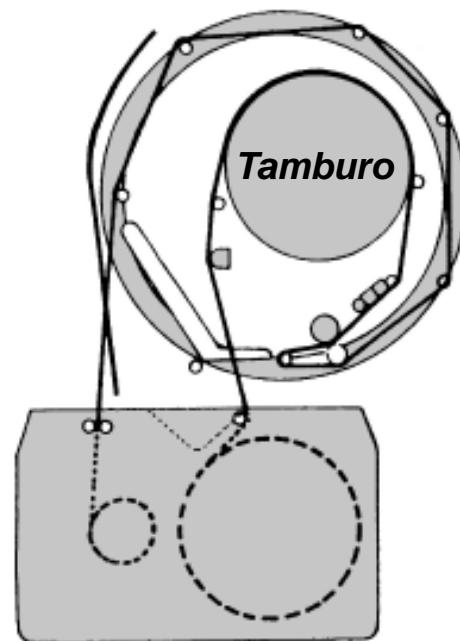
- Dopo la nascita dei VCR furono sviluppati un'enorme quantità di sistemi di registrazione e formati che fossero compatibili con gli standard televisivi
- Fra quelli che ebbero più successo:
 - **U-Matic**
 - **Betacam**





U-Matic

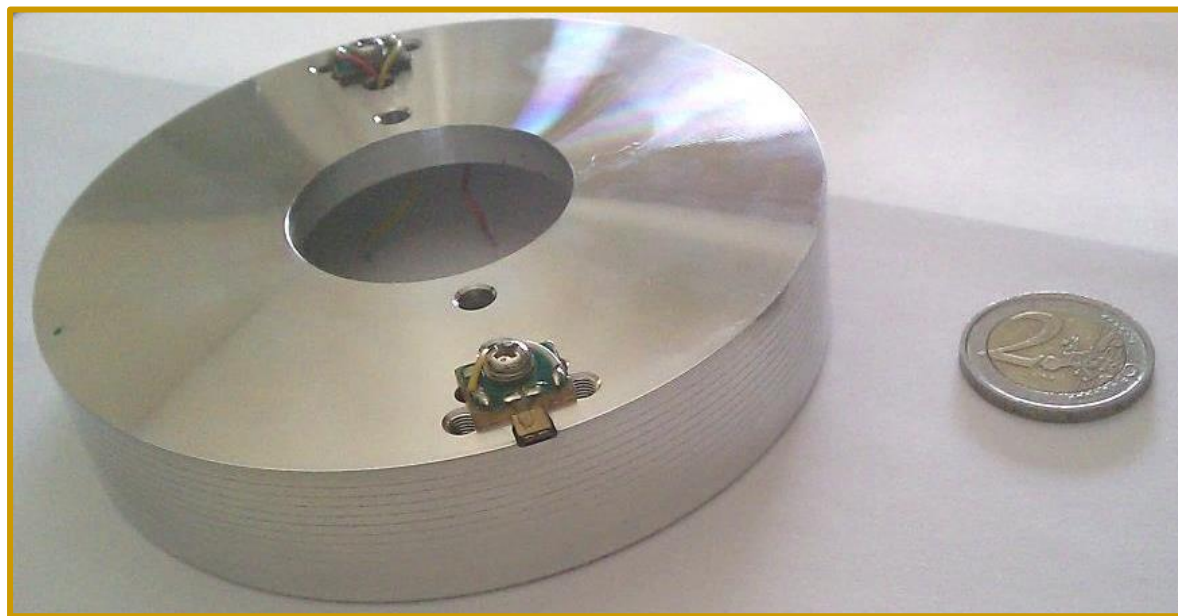
- Sviluppato nel 1970 da Sony
- Precursore dei principali sistemi video domestici
- Prese il suo nome dal sistema di scorrimento del nastro dalla forma ad 'U'
- Supporta PAL e NTSC
- Sistema di registrazione elicoidale





U-Matic Tamburo e Testine

- Sul **tamburo** sono presenti **2 testine** per la lettura/scrittura dei due semiquadri (video interlacciati)



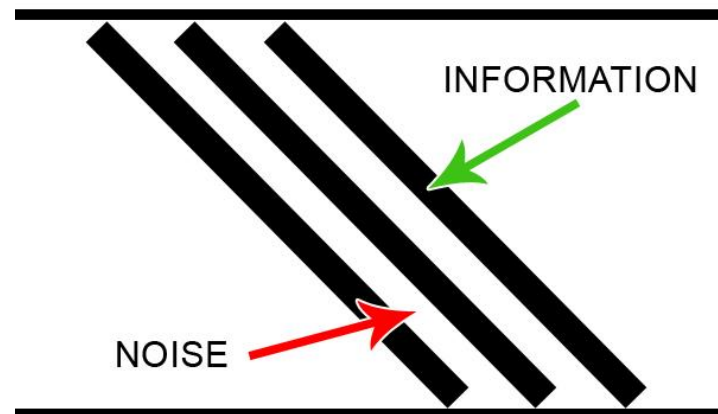


U-Matic

Problemi principali



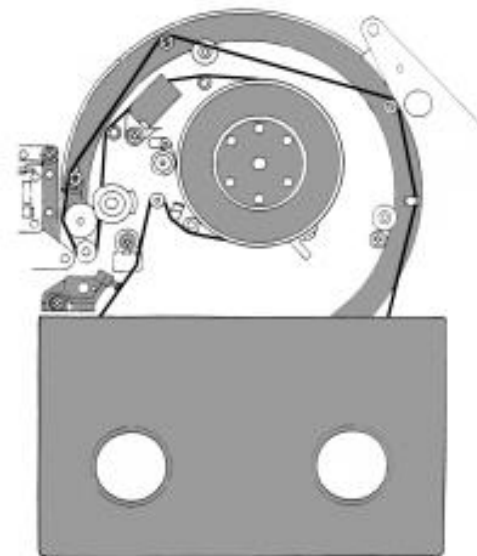
- Dopo una breve serie di copie:
 - La qualità degrada
 - Necessita utilizzo di correttore per la base dei tempi (TBC)
- In caso di fermo immagine:
 - Distacco di ossido dal nastro
 - Compare una striscia di rumore detta "sabbia"





Betacam

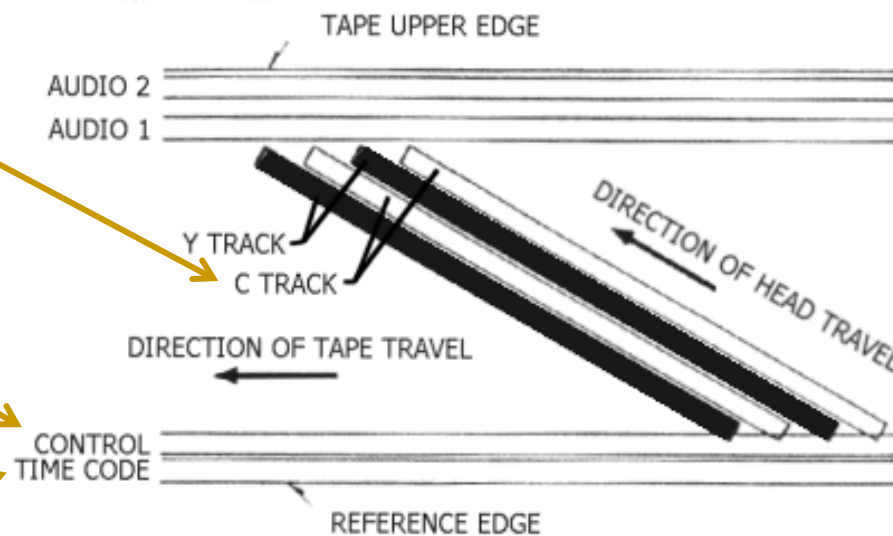
- Sviluppato nel 1982 da Sony
- Meccanica simile a U-Matic
- 6 tipi di tracce:



R-Y e B-Y (C) sono registrate insieme in Chroma Time Division Multiplexing (CTDM)

CTL (Control Tracking Longitudinal): scandisce inizio e fine di ogni traccia

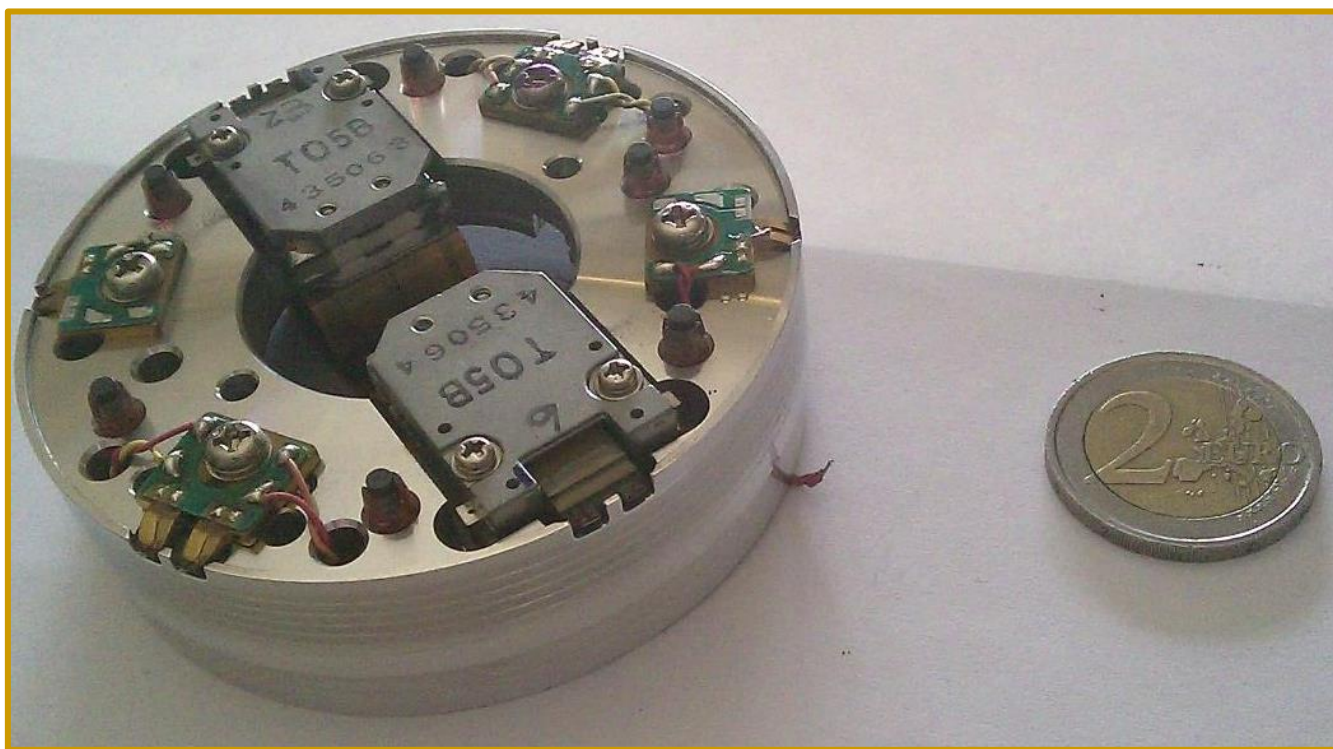
Time Code (Codifica Temporale): etichetta i frame





Betacam Tamburo e Testine

- Sul **tamburo** sono presenti **6 testine**



- Il costo rispetto a U-Matic è ovviamente maggiore...



Betacam

Il problema del fermo immagine

- Betacam SP (Superior Performance), 1986, presenta un ***sistema di controllo a retroazione della testina di lettura***:
 - Ampex: **Automatic Scan Tracking (AST)**
 - Sony: **Dynamic Tracking (DT)**
- Senza tale sistema compare una **striscia grigia** (*sabbia* in U-Matic) sull'immagine



Conversione Analogico-Digitale

Motivazioni

- I nastri magnetici sono facilmente deteriorabili:
 - Umidità (degradazione e muffa)
 - Polvere
 - Impurità
 - Deformazioni meccaniche
 - Sbalzi di temperatura
 - Cattiva conservazione
 - ...





Conversione Analogico-Digitale

Motivazioni

- I supporti digitali permettono:
 - Distribuzione più semplice in termini di spazio e di utenti
 - Deteriorabilità trascurabile a fronte di un numero potenzialmente illimitato di copie
 - Necessita comunque di eventuali back-up
- Fattore critico di compatibilità dei dispositivi



Multimedia





Conversione Analogico-Digitale: “Digitalizzazione”

- La differenza fra “**segnale analogico**” e “**segnale digitale**” corrisponde alla differenza fra una **rappresentazione continua** e una **rappresentazione discreta** di determinate grandezze





Digitalizzazione

Campionamento e Quantizzazione

- Discretizzare implica poter assumere un **numero limitato di valori**
- Se la strumentazione è buona sarà possibile effettuare misurazioni sempre più precise e dettagliate
 - nel campo delle registrazioni audio/video di poter trattare filmati con una qualità migliore
- La digitalizzazione è strettamente legata ai problemi di **campionamento e quantizzazione**



Digitalizzazione

Campionamento e Quantizzazione

- Per passare ad un segnale digitale discreto ci sono due fasi principali da eseguire:
 1. **Campionamento** per passare da un numero infinito di valori reali ad uno finito
 - *Quale tasso di campionamento scegliere?*
Teorema di Shannon e Frequenza di Nyquist
 2. **Quantizzazione** per associare i valori reali dei campioni ai corrispondenti valori discreti.
 - *Come impostare i livelli di quantizzazione?*
Quantizzazione uniforme e non uniforme



Digitalizzazione

Codifica e Dispositivi ADC

- Infine, il segnale digitale discreto va codificato: ad ogni intervallo di quantizzazione è associata una combinazione di cifre binarie
- I **dispositivi di conversione analogico/digitale (ADC)** contengono al loro interno tre componenti fondamentali per ciascuno dei passi che abbiamo trattato precedentemente
 - un campionatore
 - un quantizzatore
 - e un codificatore





Digitalizzazione Dispositivi DAQ

- I dispositivi di **Data AcQuisition (DAQ)** contengono al proprio interno tre componenti principali:
 - Sensori che convertano i parametri fisici del segnale analogico da acquisire in segnali elettrici;
 - Dispositivi elettronici che convertano tali segnali elettrici in un formato convertibile in digitale;
 - Dispositivi ADC che completino la conversione verso il digitale.
- A questi tre si possono aggiungere ad esempio RAM o timer.