

Appunti di Comunicazioni Elettriche

Capitolo 4 - Segnale televisivo

Introduzione alla “Televisione”	1
Considerazioni generali	2
Sistemi di ripresa e riproduzione dell’immagine	3
Numero di righe necessario e larghezza di banda.....	4
Segnali di sincronismo.....	8
Televisione a colori	12
Complementi vari	17
<i>Radiodiffusione televisiva</i>	18
<i>Televisore</i>	20
Requisiti di qualità per il segnale televisivo.....	20

INTRODUZIONE ALLA “TELEVISIONE”

L’immagine che vediamo sullo schermo del televisore non è continua, come per esempio quella di un dipinto ad olio, ma è una *immagine a punti*, nel senso che è formata da una grande quantità di elementi di immagine, ciascuno chiamato **pixel**¹, di un colore ben definito. In realtà, nella trasmissione televisiva a colori, ciascun pixel è a sua volta formato da una terna di punti colorati, uno rosso, uno verde ed uno blu: questa scelta (*sistema tricromatico RGB*, da Red, Green, Blu) permette di colorare un pixel, in ogni colore percepibile, dosando opportunamente l’intensità di ciascuno dei 3 colori fondamentali.

Questi 3 colori sono generati da 3 tipi diversi di sostanze (una per ciascun colore), dette **fosfori**, che rivestono la parte interna dello *schermo televisivo*: queste sostanze inviano luce quando sono colpite da un sottile fascio di elettroni, detto **pennello elettronico**. Il pennello elettronico relativo a ciascun colore è generato dal **tubo catodico** del televisore: il pennello elettronico costituito dai 3 colori che costituiscono un pixel viene deflesso da un dispositivo magnetico e percorre tutto lo schermo operando una *scansione per righe* (si muove cioè in orizzontale da sinistra a destra e poi scende di una riga, posizionandosi così all’inizio della successiva). *A seconda dell’immagine da riprodurre nei diversi punti dello schermo, variano il colore e la luminosità del pixel formato dal pennello.*

Ciò che noi vediamo sullo schermo è semplicemente una successione di 50 immagini complete (o quadri) ogni secondo: grazie al fatto che l’immagine persiste sulla retina un certo tempo, non percepiamo lo *stacco* tra una immagine e l’altra, ma questo stacco è sempre presente.

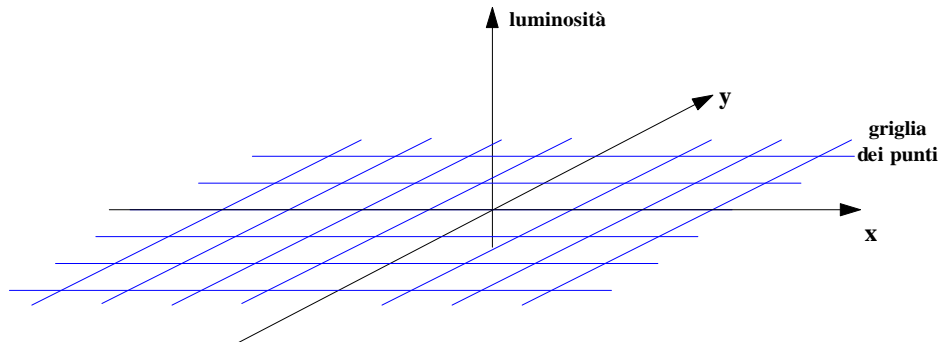
L’informazione sull’intensità luminosa ed il colore in ogni punto dello schermo è contenuta nel segnale che arriva al televisore: tale segnale comprende sia le informazioni video, sia anche quelle audio.

¹ Lo stesso accade nella trasmissione di immagini permanenti di oggetti fissi (la cosiddetta **fortelegrafia**): l’immagine da trasmettere viene sottoposta ad un procedimento, detto di *analisi*, mediante il quale essa viene scomposta in un numero molto grande di elementi (appunto i *pixel*); questi elementi vengono prima convertiti in segnali elettrici e poi trasmessi all’apparato ricevente, il quale ricompone, mediante il procedimento di *sintesi* (è l’inverso della analisi), l’immagine iniziale.

CONSIDERAZIONI GENERALI

In questo capitolo ci occupiamo innanzitutto della **trasmissione di immagini in bianco e nero**, rimandando al termine dell'esposizione le considerazioni sulle immagini a colori.

In primo luogo, dobbiamo capire in cosa consiste l'informazione contenuta nel **segnale televisivo**. Per quanto riguarda le immagini in bianco e nero, l'informazione trasmessa è la cosiddetta **luminanza** delle varie parti dell'immagine stessa: dato un generico punto dell'immagine, la sua luminanza indica il grado di luminosità (compreso evidentemente tra il nero, valore minimo, ed il bianco, valore massimo) del punto stesso, ossia in definitiva l'intensità della luce emessa dal fosforo corrispondente al punto.



La caratteristica fondamentale di una immagine è il suo **dettaglio**: questo dettaglio è rappresentato, in pratica, dalle variazioni della luminanza nello spazio bidimensionale costituito dal piano in cui giace l'immagine. Queste variazioni possono essere rappresentate mediante la somma di **variazioni sinusoidali**, per analizzare le quali sarebbe necessario, a rigore, l'uso della trasformata bidimensionale di Fourier.

Noi invece semplifichiamo il discorso dicendo che le variazioni di luminanza vanno considerate rispetto alla coordinata orizzontale e rispetto alla coordinata verticale: ciò significa che il segnale televisivo deve comprendere 2 distinte informazioni relative alle variazioni di luminanza: le **variazioni orizzontali** (lungo cioè le cosiddette **righe** dell'immagine) e le **variazioni verticali** (lungo cioè linee verticali). Si tratta perciò di un *segnale bidimensionale* (o *spaziale*).

Consideriamo allora una generica retta dell'immagine, sia essa una retta orizzontale o una verticale: una *variazione di luminanza* lungo tale retta è scomponibile nella somma di cosiddette **sinusoide spaziale**, i cui parametri caratteristici sono una ampiezza, una **frequenza spaziale** (cioè il numero di cicli per unità di lunghezza) ed una fase.

In modo analogo ad un segnale monodimensionale, nel quale la larghezza di banda corrisponde alla massima frequenza contenuta nello spettro del segnale, per un **segnale spaziale** si definisce una **larghezza di banda spaziale**: si tratta della massima frequenza spaziale contenuta nell'immagine. E' intuitivo capire che tale massima frequenza spaziale rappresenta, in pratica, una misura del dettaglio dell'immagine stessa: quanto maggiore è la larghezza di banda (spaziale), tanto maggiore è il dettaglio. La larghezza di banda può anche essere espressa dal numero massimo di cicli riscontrabili lungo la dimensione (larghezza o altezza dell'immagine) considerata.

Essendo finita (in base alle considerazioni precedenti) la larghezza di banda di una immagine (il che significa, in altre parole, che le frequenze spaziali contenute dall'immagine sono tutte inferiori ad un certo valore), possiamo effettuare un *campionamento*, ossia possiamo trasmetterla per campioni, o meglio per **punti**; nel fare questo, dobbiamo ovviamente rispettare il teorema del campionamento (se vogliamo conservare l'integrità delle informazioni): nel caso dei segnali monodimensionali, tale teorema afferma che la frequenza di campionamento deve essere pari almeno al doppio della larghezza di banda; nel caso, invece, del segnale televisivo (cioè un segnale

bidimensionale), esso afferma che il numero di punti da considerare per ogni linea (orizzontale o verticale che sia) deve essere pari almeno al doppio della larghezza di banda (ossia al doppio del numero di cicli della massima frequenza spaziale). Naturalmente, avendo a disposizione, in sede di ricostruzione, di un filtro ideale, avente cioè una transizione netta tra banda passante e banda soppressa, basterebbe campionare al doppio della larghezza di banda. Nella realtà, invece, tale transizione è meno ripida, per cui bisogna necessariamente sovracampionare per prevenire i fenomeni di aliasing. *Nel caso dei segnali visivi, l'immagine viene presentata per punti direttamente all'occhio umano, per cui è proprio l'occhio umano a comportarsi da filtro di ricostruzione.*

Dobbiamo allora esaminare le caratteristiche dell'occhio umano usato come filtro operante nel campo delle frequenze spaziali: tali caratteristiche sono essenzialmente una attenuazione delle frequenze basse e, soprattutto, un taglio progressivo delle frequenze elevate (che è proprio l'effetto passa-basso cui noi siamo interessati): tale taglio delle alte frequenze, nell'occhio umano, è dovuto alla cosiddetta **acuità visiva**, ossia è legato all'angolo sotto cui viene vista l'immagine: si è in particolare verificato che la larghezza di banda del filtro considerato (detto **filtro videometrico**) varia in modo inversamente proporzionale alla distanza dell'occhio dall'immagine.

Appurato questo, nello stabilire le norme sui segnali televisivi², si è ritenuto che, al fine di venire incontro alle caratteristiche del filtro rappresentato dall'occhio umano, è necessaria una frequenza di campionamento f_C pari a 1,4 volte il doppio della frequenza massima f_{MAX} :

$$f_C = 1.4 \cdot 2f_{MAX} = 2.8f_{MAX}$$

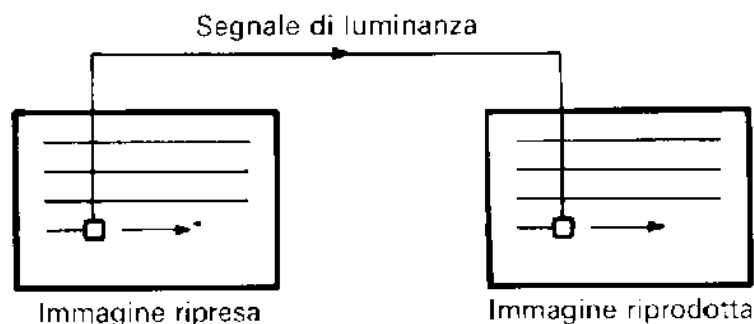
Ci si può allora esprimere dicendo che si attribuisce al sistema una **efficienza di campionamento** $\eta_C=0.7$ rispetto al caso in cui il filtro di ricostruzione fosse ideale:

$$f_C = \frac{2}{\eta_C} f_{MAX}$$

SISTEMI DI RIPRESA E RIPRODUZIONE DELL'IMMAGINE

Passiamo adesso a considerare, con maggiore dettaglio, le modalità secondo cui una immagine può essere trasmessa per via elettrica.

Come già detto in precedenza, sia i sistemi di *ripresa televisiva* sia quelli di *riproduzione televisiva* forniscono la luminanza di successive righe dell'immagine, trasmesse sequenzialmente una dopo l'altra. Il sistema è, in linea di principio, quello illustrato nella figura seguente:

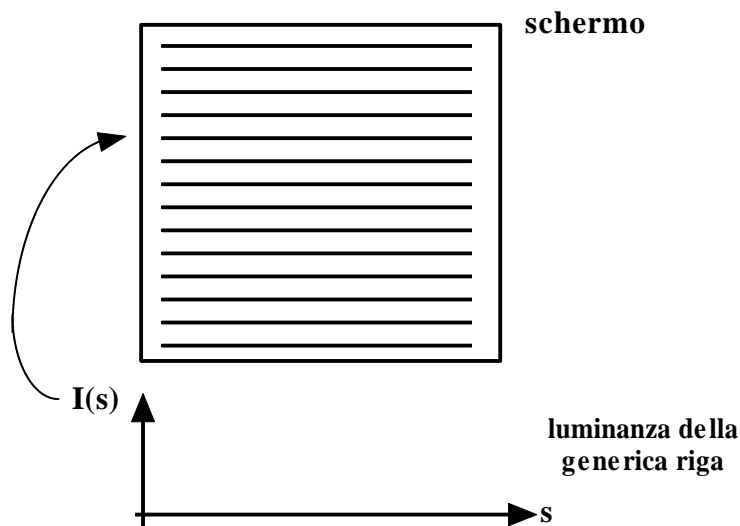


² Se ne parlerà in seguito

C'è un **organo esploratore** che descrive (da sinistra verso destra) le righe successive dell'immagine da riprendere e produce, istante per istante, una corrente proporzionale alla luminanza del punto cui è affacciato; questa corrente, trasmessa al terminale riproduttore, produce, in un organo che si muove in perfetto sincronismo con quello esploratore, una luminosità proporzionale alla corrente stessa. Nei normali televisori, l'**organo riproduttore** è in pratica *il pennello elettronico che, opportunamente deviato, effettua la scansione dello schermo, andando a colpire i vari fosfori*. Chiaramente, quando l'informazione di luminanza è al minimo (corrispondente quindi al nero), il fascio elettronico è interdetto, mentre, in corrispondenza del bianco, esso ha la massima intensità. Dato che il materiale di cui è costituito lo schermo emette luce proporzionalmente all'intensità del fascio incidente, la ricostruzione dell'immagine è assicurata.

NUMERO DI RIGHE NECESSARIO E LARGHEZZA DI BANDA

Consideriamo dunque un sistema che trasmette la luminanza, lungo ciascuna riga, in modo continuo: questo significa che la luminanza lungo la riga è una funzione continua dello spazio, che possiamo indicare con $I(s)$, dove s è ovviamente la coordinata orizzontale:



Questa funzione $I(s)$, per essere trasmessa, viene convertita in un segnale elettrico attraverso il processo di scansione: infatti, se la scansione viene effettuata con velocità v_0 , è ovvio che risulta $s = v_0 t$, per cui si può passare dalla funzione $I(s)$ al segnale $I(v_0 t)$ funzione del tempo³. Con questo procedimento, le frequenze spaziali vengono trasformate in frequenze temporali del tipo usuale, per cui la frequenza spaziale massima diventa la massima frequenza da trasmettere: vedremo in seguito che tale frequenza massima è di 5 MHz.

Questo riguarda, dunque, le linee orizzontali, mentre è diverso il discorso per la coordinata verticale: infatti, *mentre il pennello elettronico può muoversi con continuità lungo una linea orizzontale, deve invece spostarsi, in maniera discreta, da una riga a quella più in basso*. In altre parole, il numero di linee orizzontali è discreto (oltre che finito). Questo comporta, come fondamentale

³ Dato che siamo interessati ad un segnale con banda limitata, è opportuno mettere in evidenza che, nella pratica, quando si passa dalla luminanza $I(s)$ al corrispondente segnale elettrico $I(v_0 t)$, viene effettuato un preventivo filtraggio del segnale.

conseguenza, che le linee verticali non vengano trasmesse con continuità, ma per campioni, che sono in numero pari al numero di linee orizzontali (cioè al numero di linee di scansione).

Fatte queste premesse, il passo successivo è quello di determinare il numero di righe necessario (e la corrispondente larghezza di banda) per trasmettere una immagine completa in un certo tempo.

Intanto, indichiamo con H l'altezza dello schermo (e quindi dell'immagine) e con L la larghezza. Il rapporto $R_a=L/H$ prende il nome di **rapporto d'aspetto**: per il segnale televisivo, lo standard attuale è **4/3**, anche se ci sono alcune emittenti via satellite che trasmettono anche ad un rapporto d'aspetto di 16/9.

Supponiamo, come del resto avviene nella realtà, che il dettaglio dell'immagine sia identico sulla coordinata orizzontale e su quella verticale. Sotto questa ipotesi, possiamo fare il seguente ragionamento: abbiamo detto, in precedenza, che la larghezza di banda (cioè il numero di cicli contenuti in una linea alla frequenza spaziale massima) è una misura del dettaglio; di conseguenza, se m_2 è il numero di cicli contenuti in una linea orizzontale alla frequenza spaziale massima, il numero di cicli che dovrà essere contenuto in un riga verticale sarà $m_2 \frac{H}{L}$ (⁴). Questa quantità è dunque la larghezza di banda relativa ad una generica linea verticale: applicando il *teorema del campionamento*, il numero di campioni in senso verticale (ossia il numero di linee orizzontali), dovrà essere pari almeno al doppio, ossia dovrà essere

$$n \geq 2m_2 \frac{H}{L}$$

Il valore esatto di n si ricava dal concetto, già citato, della cosiddetta *efficienza di campionamento*: la frequenza di campionamento deve essere legata alla frequenza massima dalla relazione $f_c = \frac{2}{\eta_c} f_{MAX}$, dove l'efficienza di campionamento η_c dipende dalle caratteristiche del filtro di ricostruzione: quindi

$$n = \frac{2}{\eta_c} m_2 \frac{H}{L}$$

Come già detto, nel caso del segnale televisivo si pone $\eta_c=0.7$, per cui possiamo concludere che il numero di linee orizzontali è

$$n = 2.8m_2 \frac{H}{L}$$

Nota questa relazione, dobbiamo capire quale larghezza di banda ci serve per rispettare questi requisiti. A questo proposito, dobbiamo partire da un dato preciso e cioè dal tempo T_q che intendiamo impiegare per effettuare la scansione completa dell'immagine (detto **tempo totale di scansione verticale**). Non solo, ma dobbiamo considerare che non tutto questo tempo T_q è dedicato alla scansione vera e propria, in quanto è necessario un certo tempo perché il pennello torni nella posizione iniziale (in alto a sinistra dello schermo). Indicando allora con η_v l'efficienza di scansione, sarà $\eta_v T_q$ la frazione di tempo riservata alla scansione effettiva, mentre sarà $(1-\eta_v)T_q$ quella necessaria per riportare il pennello nelle condizioni iniziali.

⁴ Se il rapporto d'aspetto fosse 1, avremmo m_2 cicli anche su una linea verticale; se, invece, $R_a>1$, ossia se le linee orizzontali sono più lunghe di quelle verticali, il numero di cicli sulla linea verticale deve evidentemente essere minore di 1.

Allora, avendo n righe da scandire (effettivamente) in un tempo $\eta_v T_q$, il tempo di scansione della singola riga sarà

$$T_R = \frac{\eta_v}{n} T_q$$

Anche qui, però, è necessario un certo tempo perché il pennello, una volta arrivato alla fine di una riga, possa spostarsi all'inizio della successiva: indichiamo allora con

$$\eta_H T_R = \eta_H \frac{\eta_v}{n} T_q$$

il tempo necessario a scandire realmente ogni singola riga.

La frequenza massima contenuta nel segnale sarà allora il rapporto tra il numero di cicli m_2 alla frequenza massima e questo tempo $\eta_H T_R$:

$$f_{MAX} = \frac{m_2}{\eta_H T_R} = \frac{m_2}{\eta_H \frac{\eta_v}{n} T_q} = \frac{m_2 n}{\eta_H \eta_v T_q}$$

Ricordando adesso che il numero n di righe è $n = \frac{2}{\eta_c} m_2 \frac{H}{L}$, possiamo porre $m_2 = n \frac{\eta_c}{2} \frac{L}{H}$, in modo quindi da ottenere

$$f_{MAX} = \frac{\left(n \frac{\eta_c}{2} \frac{L}{H} \right) n}{\eta_H \eta_v T_q} = \frac{1}{2} \frac{\eta_c}{\eta_H \eta_v} \frac{L}{H} \frac{n^2}{T_q}$$

Possiamo ancora perfezionare questa formula se, al posto di evidenziare il numero n di righe utili, evidenziamo il numero n_t di righe complessive descritte dal pennello: dobbiamo cioè comprendere sia le righe descritte con la scansione orizzontale sia quelle descritte con il ritorno verticale. In base alle definizioni date prima, sarà $n = \eta_v n_t$: sostituendo nell'espressione di f_{MAX} , risulta

$$f_{MAX} = \frac{1}{2} \frac{\eta_c \eta_v}{\eta_H} \frac{L}{H} \frac{1}{T_q} n_t^2$$

Possiamo ora fare un ultimo perfezionamento: abbiamo detto che il tempo di scansione complessivo di una immagine è T_q ; se, come accade nella realtà, non c'è un intervallo di tempo tra una immagine e l'altra, è ovvio che le immagini vengono trasmesse, una dopo l'altra, con frequenza $f_q = 1/T_q$ ⁵, per cui possiamo concludere che

$$f_{MAX} = \frac{1}{2} \frac{\eta_c \eta_v}{\eta_H} \frac{L}{H} n_t^2 f_q$$

⁵ La frequenza f_q rappresenta cioè il numero di immagini trasmesse (e quindi visualizzate) in un secondo

Abbiamo in tal modo legato la frequenza massima del segnale televisivo ad una serie di parametri, tra cui la frequenza f_q con cui trasmettiamo le immagini (detta **frequenza di quadro**). Nei sistemi di trasmissione di immagini fisse, la frequenza f_q può essere scelta a proprio arbitrio, per cui la si fissa in modo tale da adeguare il valore di f_{MAX} alla larghezza di banda del mezzo trasmissivo che si intende utilizzare. Nel caso, invece, delle immagini in movimento, c'è un vincolo preciso sul valore di f_q : *il valore deve essere almeno tale da produrre l'impressione di un movimento continuo*. In questo contesto subentrano nuovamente le caratteristiche dell'occhio umano: infatti, quando l'occhio visualizza una immagine, questa permane sulla retina per un certo tempo; allora, per evitare di rendere visibile lo scatto tra una immagine e l'altra, per cui bisogna fare in modo che questo tempo di permanenza sia superiore al tempo T_q con cui si susseguono le immagini.

Per rispettare questa esigenza, si è studiata la risposta, da parte dell'occhio umano, alle frequenze temporali. Si è così trovato che è sufficiente una frequenza di quadro f_q di **50Hz**: in corrispondenza di tale frequenza, si è anche trovato che le variazioni temporali della luminanza in ciascun punto possono avere frequenza massima intorno a 15÷20Hz. Dato, allora, che nella realtà la frequenza massima è quasi sempre molto inferiore al valore predetto, basterebbe anche, sotto questo aspetto, una frequenza di quadro più piccola di 50Hz, ad esempio 25Hz (corrispondente ad una immagine ogni 40µsec). Tuttavia, una scelta di questo tipo, pur comportando un risparmio di banda (visto che, dimezzando f_q , si dimezza anche f_{MAX}), ha una controindicazione: studiando sempre la risposta dell'occhio umano alle frequenze temporali, si trova infatti che l'occhio ha una discreta sensibilità alla frequenza di 25Hz (mentre invece ha sensibilità praticamente nulla alla frequenza di 50Hz), per cui risente fastidiosamente della presenza della componente a 25Hz.

Per ovviare a questo problema, la scelta fatta (nella normativa europea) è la seguente: si adotta una frequenza di quadro $f_q=25\text{Hz}$ (con conseguente risparmio di banda), ma, anziché effettuare la scansione sequenziale di tutte le righe del quadro, si effettua prima la scansione delle righe dispari e poi quella delle righe pari. In altre parole, si trasmettono prima il semiquadro composto dalle righe dispari e poi quello delle righe pari. Si ottiene così una frequenza di quadro solo "apparentemente" di 50Hz, di cui l'occhio non risente⁶.

Questa tecnica prende il nome di **scansione interlacciata** (o anche *intercalata*)⁷.

Tornando adesso alla normativa europea, forniamo qualche valore numerico: adottando la scansione intercalata, i valori sono

- frequenza di quadro **$f_q=25\text{Hz}$** ;
- il numero di righe complessive **$n_t=625$** ;
- rapporto d'aspetto **$R_a=4/3$** ;
- efficienza di campionamento **$\eta_c=0.7$** ;
- efficienza di quadro **$\eta_v=0.9$** ;
- efficienza di riga **$\eta_H=0.83$** .

Con questi valori, si ottiene quanto segue:

- **numero di righe utili** (cioè il numero di righe in cui è scomposta l'immagine):
 $n = \eta_v n_t \cong 562$
- numero di periodi della frequenza massima in una riga: $m_2 = n \frac{\eta_c}{2} \frac{L}{H} \cong 262$

⁶ Al cinema, la situazione è molto più semplice e quindi di più facile soluzione: in quel caso, infatti, si hanno a disposizione i singoli fotogrammi, per cui, per raddoppiare (apparentemente) la frequenza di quadro, ogni fotogramma viene proiettato due volte

⁷ Si veda, in proposito, quanto scritto a pag. 86 del testo del *Carassa*

- tempo totale di riga: $T_R = \frac{\eta_v}{n} T_q = \frac{\eta_v}{n} \frac{1}{f_q} = 64 \mu\text{sec} \rightarrow$ frequenza di riga: $f_R = \frac{1}{T_R} = 15.625\text{kHz}$
- **larghezza di banda:** $f_{\text{MAX}} = \frac{1}{2} \frac{\eta_C \eta_V}{\eta_H} \frac{L}{H} n^2 f_q \cong 5\text{MHz}$

E' opportuno osservare che esiste un altro importante motivo che spinge a considerare una frequenza di quadro di 50Hz: al fine di minimizzare i disturbi dovuti ai dispositivi di alimentazione, risulta conveniente, nella pratica, che la frequenza di quadro sia in relazione semplice con la frequenza della rete di alimentazione a corrente alternata. In Europa, la frequenza della rete di alimentazione (a corrente alternata) è notoriamente di 50 Hz, di cui 25 Hz è la metà. *Negli Stati Uniti, invece, dove la frequenza delle reti di alimentazione è di 60 Hz, si preferisce adottare una frequenza di quadro 30 Hz.*

Osserviamo inoltre che, come si deduce dai dati prima riportati, la larghezza di banda del segnale televisivo da trasmettere risulta piuttosto elevata, il che richiede l'utilizzo di particolari mezzi di trasmissione: se il collegamento tra trasmettitore e ricevitore è effettuato mediante una linea (*trasmissione via cavo*), occorre che questa sia costituito da cavo coassiale o da fibre ottiche di adatte caratteristiche; se, invece, il collegamento è effettuato vie radio, per mezzo di radioonde (*radiotelevisione*), occorre che la frequenza di tali onde sia sufficientemente alta da poter sopportare una frequenza modulante di qualche MHz, per cui occorre usare onde ultracorte oppure microonde.

Riguardo gli standard per la trasmissione televisiva, includono anche altre informazioni oltre quelle prima elencate: citiamo la forma e la posizione dei cosiddetti impulsi di sincronismo, di cui si parlerà in seguito, il tipo di modulazione e, nel caso particolare della radiotelevisione, anche la larghezza del radiocanale riservato al segnale video, la differenza tra la frequenza della portante del segnale video e quella della portante del segnale audio, il tipo di modulazione usato per i due segnali.

SEGNALI DI SINCRONISMO

Daremo adesso alcune veloci informazioni sulle modalità seguite per sincronizzare la scansione di ricezione in modo tale da renderla uguale a quella di trasmissione.

Il problema da considerare si pone nei seguenti termini:

- in primo luogo, quando il pennello elettronico comincia la scansione di una riga, deve sapere quando completare la riga e riportarsi in posizione iniziale (in modo da scandire la riga successiva): questa informazione non può essere fornita dal televisore, in quanto dipende dal tipo di segnale televisivo che è stato trasmesso, per cui deve essere necessariamente contenuta in tale segnale, sul quale si basa appunto il movimento del pennello elettronico;
- in modo analogo, il pennello elettronico deve sapere quando concludere la scansione dell'intero quadro (o semiquadro) e tornare in posizione iniziale per la scansione del nuovo quadro; anche questa informazione deve provenire dal segnale televisivo.

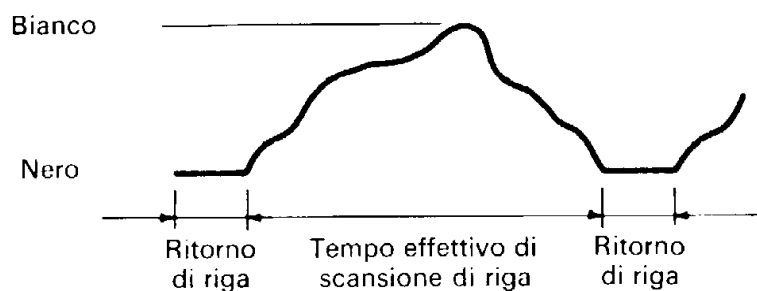
*Le informazioni che servono a comandare il movimento del pennello elettronico prendono il nome di **segnali di sincronismo**.* Dobbiamo allora capire come vengono inserite tali informazioni nel segnale televisivo.

In generale, diciamo che il movimento del pennello elettronico avviene sia in direzione orizzontale sia in direzione verticale:

- il movimento orizzontale avviene da sinistra verso destra per la scansione e in senso opposto per il ritorno alla posizione iniziale (cioè ad inizio riga);
- in modo analogo, il movimento verticale avviene dall'alto verso il basso per la scansione e in senso opposto per il ritorno alla posizione iniziale (cioè ad inizio quadro);

Sia il movimento orizzontale sia quello verticale sono indipendenti dal segnale di luminanza e avvengono con un tempo standard: il tempo di riga, ossia il tempo necessario affinché il pennello descriva una riga e ritorni in posizione iniziale, è T_R , mentre il tempo di quadro, ossia il tempo necessario affinché il pennello descriva un intero quadro e ritorni in posizione iniziale, è T_q .

Consideriamo adesso il segnale di luminanza: esso è un segnale elettrico (una tensione o una corrente) proporzionale, ad ogni istante, alla luminosità del punto che in quell'istante il pennello elettronico deve colpire. Ciò significa che *il segnale di luminanza varia da un valore massimo (corrispondente alla massima luminanza, cioè al bianco) ad un valore minimo (corrispondente a luminanza nulla, ossia al nero)*. Quando il segnale di luminanza raggiunge questo valore minimo, il pennello elettronico è dunque interdetto. Non solo, ma c'è un'altra situazione in cui il pennello elettronico deve essere necessariamente interdetto: si tratta del **tempo di ritorno di riga**, ossia del tempo che il pennello impiega, una volta terminata la scansione di una riga, per portarsi nuovamente nella posizione iniziale, pronto per la successiva riga da scandire. Ciò significa che il segnale di luminanza avrà un andamento temporale del tipo seguente:



Durante il tempo effettivo di scansione della riga (indicato a suo tempo con $\eta_H T_R$), il segnale di luminanza varia tra il valore minimo ed il massimo, mentre si trova costantemente sul valore minimo (corrispondente al pennello elettronico interdetto) durante i ritorni di riga, ciascuno dei quali ha durata $(1-\eta_H)T_R$. *Questi ritorni di riga sono in effetti dei tempi morti, nel senso che non contengono alcuna informazione di luminanza. E' intuitivo allora pensare di inserire i segnali di sincronismo durante tali tempi morti.*

Cominciamo allora dal caso più semplice dell'**impulso di riga**, che deve indicare al pennello elettronico di riportarsi in posizione iniziale per la scansione della riga successiva: si fa in modo che il segnale di luminanza, durante ciascun tempo di riga, presenti un impulso che lo fa scendere di un certo *ripple* al di sotto del valore minimo (il che garantisce ancora che il pennello elettronico sia interdetto); questo impulso viene interpretato dal pennello come un comando di ritorno in posizione iniziale, per cui il sincronismo viene realizzato.

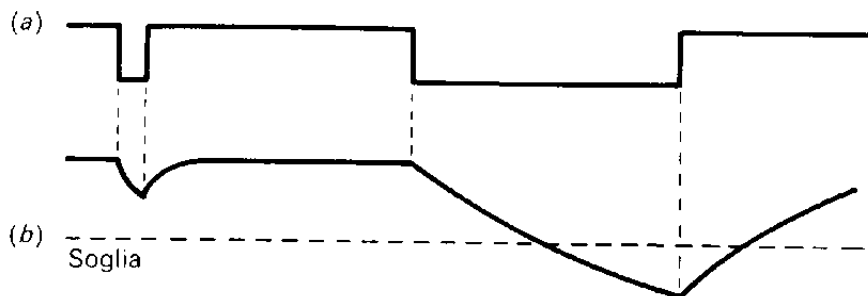
Il segnale di luminanza assume dunque, con riferimento alla figura di prima, il seguente andamento temporale:



Come indicato in figura, esiste una precisa relazione tra la dinamica riservata alle informazioni vere e proprie di luminanza e quella riservata agli impulsi di sincronismo: indicata con $(V_{PP})_{B/N}$ l'escursione piccolo del segnale di luminanza, il **70%** di tale escursione è dedicata alle informazioni di luminanza, mentre il **30%** è riservata agli impulsi di sincronismo.

Oltre agli impulsi di riga, che si succedono appunto tra una riga e l'altra, ci sono poi gli **impulsi di quadro** (o di semiquadro nel caso della scansione interlacciata): tali impulsi vengono ovviamente inseriti durante i **tempi di ritorno di quadro**, ossia i tempi necessari affinché il pennello elettronico (preventivamente interdetto) possa tornare nella posizione iniziale necessaria per scandire il quadro successivo.

E' chiaro che è necessario distinguere gli impulsi di riga da quelli di quadro: questo lo si ottiene facilmente conferendo agli impulsi di quadro una durata maggiore rispetto a quelli di riga, il che è reso possibile dal fatto che il tempo $(1-\eta_v)T_q$ di ritorno verticale è maggiore rispetto a quello $(1-\eta_H)T_R$ di ritorno orizzontale. Il modo con cui la durata maggiore consente di distinguere gli impulsi di quadro da quelli di riga consiste nell'utilizzare un apposito **circuito integratore**. Per capirne il funzionamento, facciamo riferimento alla figura seguente:



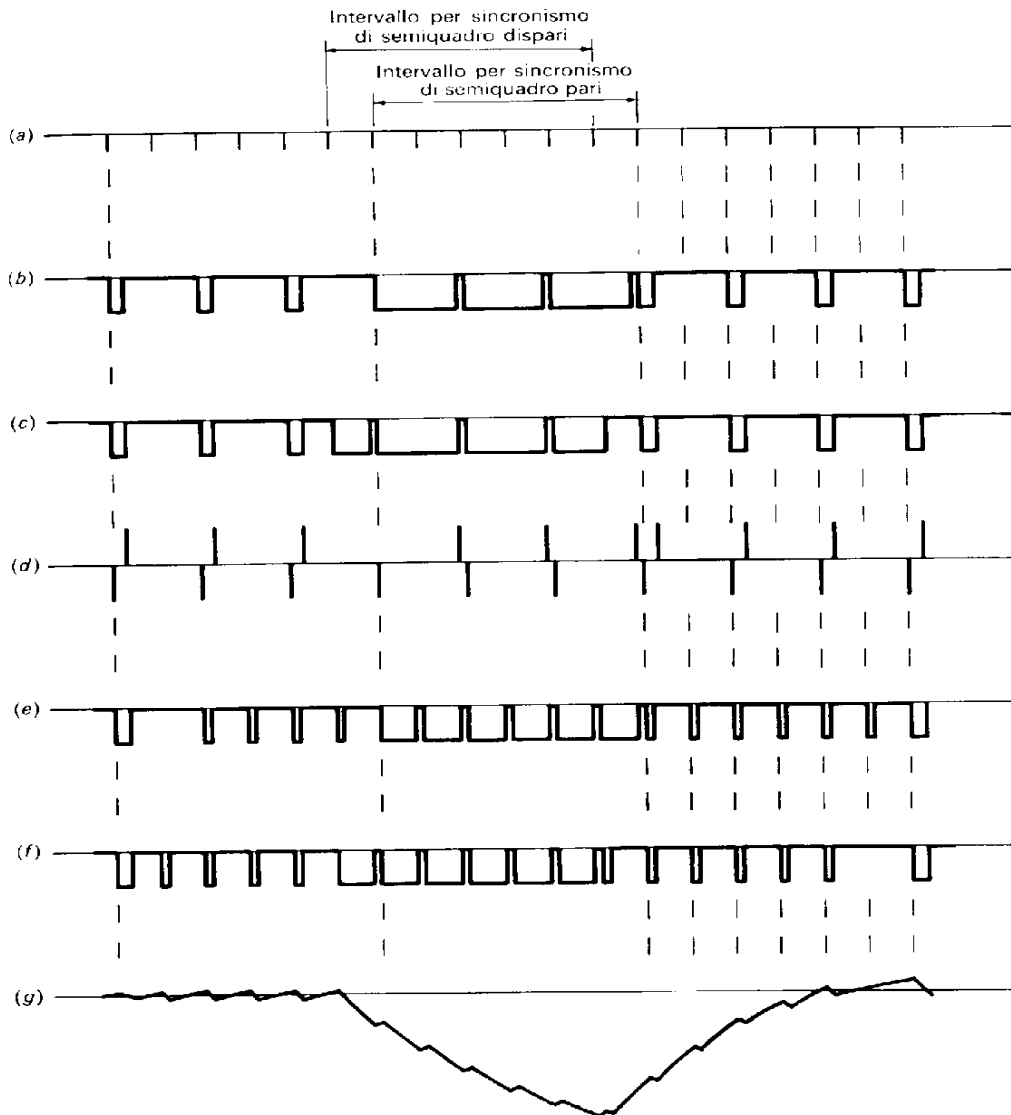
Il segnale superiore (figura (a)) è ovviamente il **segnale di sincronismo**, comprendente cioè sia gli impulsi di riga sia quelli di quadro, già separato dal segnale televisivo (in questo caso la separazione è immediata: basta prelevare il segnale così com'è tutte le volte che esso scende al di sotto del livello del nero e portarlo invece direttamente al livello del nero in tutti gli altri casi). Mandando tale segnale in ingresso ad un integratore, l'uscita è il segnale disegnato sotto (figura (b)): la maggiore durata degli impulsi di sincronismo si tramuta in una discesa del segnale al di sotto di una opportuna soglia, che quindi consente di separare il segnale di sincronismo di quadro.

Nella realtà, le cose non sono poi così semplici, fondamentalmente per due motivi:

- in primo luogo, per questioni di maggiore precisione e sicurezza (legate al funzionamento degli oscillatori del ricevitore), si preferisce continuare a fornire gli impulsi di riga anche durante gli impulsi di quadro, anche se questo non sarebbe necessario;

- in secondo luogo, con riferimento alla scansione interlacciata (per cui dobbiamo parlare di impulsi di semiquadro e non di quadro), *si vuole che il segnale di sincronismo di semiquadro dia sempre luogo, dopo l'integrazione, alla stessa forma d'onda, sia nei semiquadri pari sia in quelli dispari*, in modo da produrre effettivamente un quadro periodico.

Per comprendere meglio il significato di questi requisiti, facciamo riferimento alla figura seguente:



Nella figura (a) sono indicati sia gli istanti in cui si deve fornire il sincronismo di riga e sia gli istanti intermedi. Si è inoltre ipotizzato che l'intervallo di tempo considerato contenga anche l'intervallo in cui è necessario inviare il sincronismo di semiquadro. Come evidenziato dalla figura, questo intervallo può avere due distinte posizioni, sfasate tra loro di mezza riga, allo scopo di ottenere la scansione intercalata.

Gli istanti in cui va inviato il sincronismo di riga corrispondono evidentemente ai *fronti discendenti* della forma d'onda di sincronizzazione, come indicato nelle figura (b) per il semiquadro pari e nella figura (c) per quello dispari. *Il comportamento del pennello è dunque quello di tornare ad inizio riga in corrispondenza di ciascun fronte discendente.*

Allora, per generare gli impulsi di riga anche durante l'impulso di quadro, dobbiamo necessariamente produrre, durante l'impulso di riga, dei fronti discendenti in istanti opportuni: per fare questo, non possiamo far altro che produrre, durante l'impulso di riga (cioè quando il livello del segnale è già sceso al minimo valore), degli impulsi di senso contrario, in modo tale che i fronti di discesa di tali impulsi siano appunto interpretati come impulsi di riga.

Accertato questo, si osserva (figura d) che *il comando di sincronismo di riga può essere ottenuto semplicemente mediante derivazione della forma d'onda considerata.*

Il secondo requisito da soddisfare era invece quello di ottenere, dall'integrazione del segnale di sincronismo, sempre la stessa forma d'onda, in modo da avere una perfetta spaziatura tra gli impulsi di semiquadro; tuttavia, si osserva, dalle figure (b) e (c), che il segnale di semiquadro è diverso per il semiquadro dispari e per quello pari, il che comporta una diversa forma d'onda dopo l'integrazione e quindi, in generale, che l'istante di comando di sincronismo di semiquadro (ottenuto appunto con la procedura di integrazione) non sia sempre esatto. Per ovviare a questo inconveniente, si procede nel modo seguente: in un *sufficiente intorno del segnale di sincronismo di semiquadro* si inseriscono, insieme agli impulsi di riga, degli **impulsi fittizi** (come nelle figure (e) ed (f)), tali da non produrre alcun effetto sull'oscillatore di riga, ma, contemporaneamente, da rendere uguale la forma d'onda in uscita dall'integratore e quindi da rendere uguale il segnale di sincronismo di semiquadro.

TELEVISIONE A COLORI

Diamo adesso dei cenni relativi alla trasmissione di immagini a colori.

La maniera più semplice di riprodurre i colori si basa sul **principio della tricromia**, secondo il quale tutti i colori possono essere generati, ai fini della percezione soggettiva, mediante la combinazione di emissioni, opportunamente dosate, dei cosiddetti **colori primari**⁸, che sono rosso, verde e blu (**RGB**). Allora, *la ripresa può essere ottenuta con tre tubi separati, preceduti da uno schermo rispettivamente rosso, verde e blu.* Le tre immagini così ottenute potrebbero essere trasmesse separatamente e, una volta giunte al ricevitore, basterebbe ricombinarle per ottenere l'immagine completa originaria.

E' chiaro che un sistema del genere è poco conveniente per la trasmissione a distanza, in quanto richiederebbe una banda tripla rispetto a quella richiesta dalla televisione in bianco e nero: se ogni segnale ha una larghezza di banda di 5 MHz, servirebbe una banda complessiva di 15 MHz, il che non è pensabile.

Un altro problema, non indifferente, sarebbe la **compatibilità** con i ricevitori in bianco e nero: bisogna fare in modo, da un lato, che una trasmissione a colori possa essere ricevuta normalmente in bianco e nero da un apparecchio in bianco e nero e, viceversa, che una trasmissione in bianco e nero possa essere a sua volta ricevuta da un ricevitore a colori.

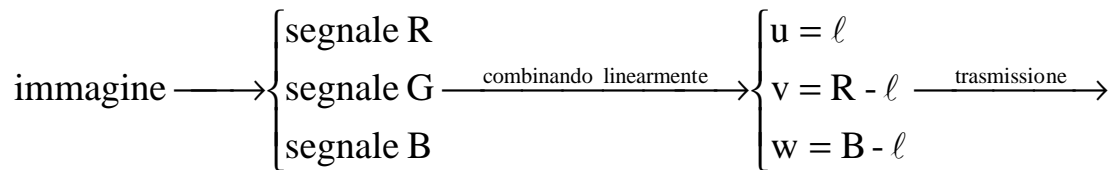
Per risolvere il problema della compatibilità, si è adottata la seguente procedura: una volta ottenuti i segnali relativi ai 3 colori primari, si trasmettono, anziché i 3 segnali così come sono, 3 loro combinazioni lineari (operazione che, sia dal punto di vista fisico sia dal punto di vista matematico, è perfettamente equivalente). In particolare, per mantenere la compatibilità con i ricevitori in bianco e nero, uno dei tre segnali trasmessi deve essere proprio l'immagine in bianco e nero, ossia il **segnale di luminanza**⁹: questo lo si ottiene scegliendo i coefficienti della combinazione lineare in modo che la dosatura dei 3 colori dia appunto l'immagine in bianco e nero.

⁸ Si parla di *colori primari* o anche *colori fondamentali* per intendere il fatto che ognuno di essi non è ottenibile come combinazione degli altri due.

⁹ Il segnale di luminanza è più che sufficiente, in base alle considerazioni dei paragrafi precedenti, alla completa trasmissione in bianco e nero.

Ovviamente, fissata la prima combinazione lineare, bisogna poi fissare le altre due: nel sistema **PAL**, si tratta dei segnali rosso e blu cui viene sottratto il segnale di luminanza.

Possiamo dunque sintetizzare il procedimento nel modo seguente:



(dove abbiamo ovviamente indicato con ℓ il segnale di luminanza, mentre v e w sono i cosiddetti **segnali di crominanza**, proprio perché contengono l'informazione di colore).¹⁰

Per ottenere il segnale di luminanza, è necessario adottare una particolare combinazione dei colori rosso, verde e blu: si verifica in particolare che la combinazione è

$$\ell = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

La trasmissione dei 3 segnali viene chiaramente effettuata in modo che i ricevitori in bianco e nero possano limitarsi a ricevere solo il segnale relativo all'informazione di luminanza; i ricevitori a colori ricevono invece le 3 combinazioni lineari, da cui, con procedura inversa, ottengono i segnali relativi ai 3 colori binari.

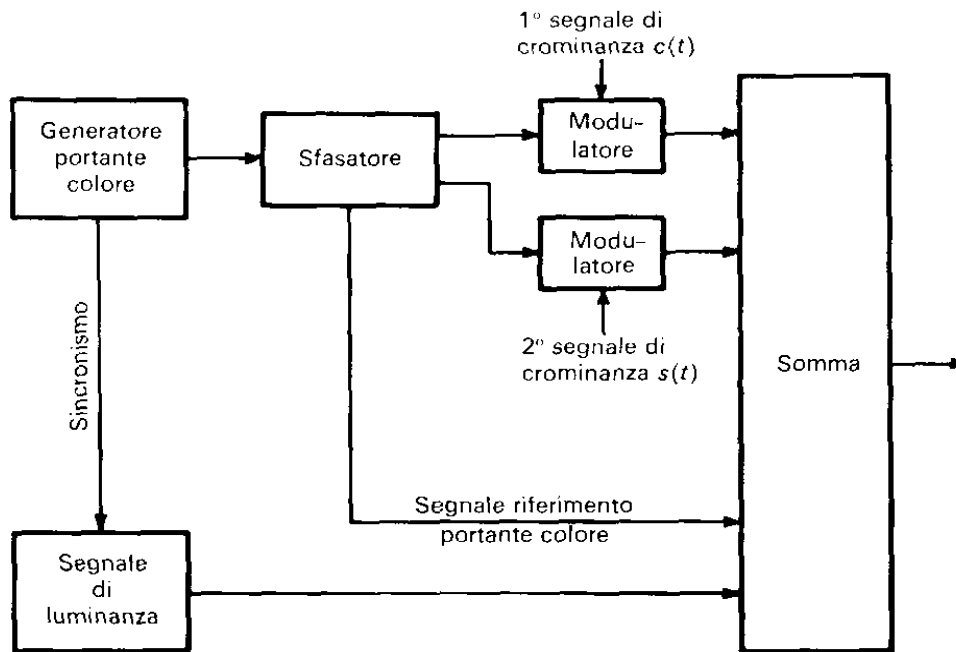
A questo punto, resta però da capire come viene risolto il problema della banda, ossia come fare affinché l'informazione di colore (ossia i due segnali di crominanza) possa essere trasmessa senza occupare una banda eccessiva, ossia senza ampliare eccessivamente i 5 MHz necessari alla informazione di luminanza. Oltre a questo, un altro problema da affrontare, come si vedrà, è quello per cui i segnali di crominanza né devono disturbare la normale ricezione del segnale di luminanza né devono influenzarsi a vicenda (fenomeni di interferenza).

Un primo concetto di base è che l'informazione di colore non va trasmessa con lo stesso dettaglio dell'informazione di luminanza, per il semplice fatto che, ad alta frequenza, le variazioni di colore non sono percepibili dall'occhio umano. Questo è già un primo passo per la riduzione della banda dei segnali di crominanza. Vediamo allora quali altri accorgimenti possono essere presi.

Il problema è dunque il seguente: vogliamo trasmettere il segnale di luminanza esattamente come nella televisione in bianco e nero e, contemporaneamente, vogliamo associare ad esso, nel modo più conveniente dal punto di vista della banda e della assenza di interferenze reciproche, i due segnali di crominanza. Indichiamo tali segnali con $s(t)$ e $c(t)$: affinché la banda occupata dal segnale complessivo non sia superiore a quella del segnale di luminanza, non possiamo far altro che sovrapporre gli spettri di $s(t)$ e $c(t)$ con quello del segnale di luminanza. Naturalmente, la cosa deve presupporre la possibilità di poter poi separare, in ricezione, i tre segnali uno dall'altro. Si può ottenere questo sfruttando i concetti della modulazione.

Consideriamo, ad esempio, lo schema seguente:

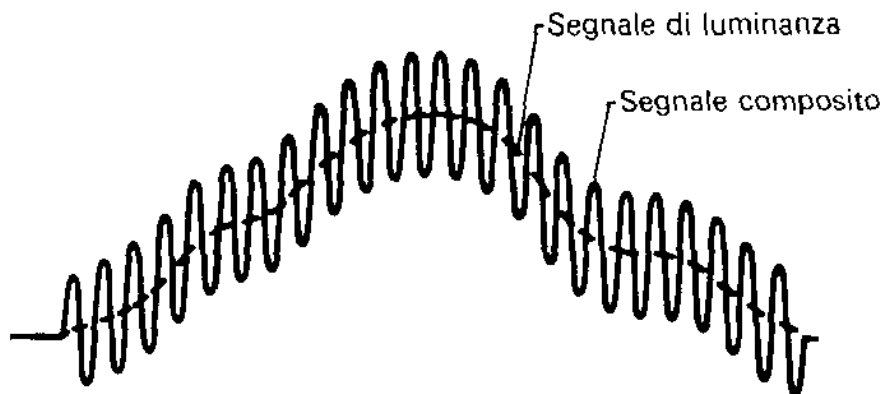
¹⁰ Il segnale televisivo, inteso come combinazione del segnale di luminanza, dei due segnali di crominanza ed ovviamente anche del segnale audio, è ciò che si definisce un **segnale multiplo**.



In base a questo schema, c'è un oscillatore che genera una portante (detta **portante colore**), la quale, per mezzo di uno sfasatore, "viene sdoppiata" in una portante coseno ed in una portante seno (schema classico delle portate in quadratura). I segnali di crominanza $c(t)$ e $s(t)$ vanno dunque a modulare, in ampiezza, queste due portanti in quadratura (dette **sottoportanti di crominanza**). I due segnali così modulati vengono sommati al segnale di luminanza e viene inoltre sommato un quarto segnale, a frequenza opportuna, che servirà, come vedremo, da riferimento per ottenere, in ricezione, una demodulazione coerente.

La frequenza f_{PC} della portante colore determina il corretto funzionamento del sistema: si può infatti dimostrare che, per poter separare i 3 segnali in ricezione, la frequenza f_{PC} deve trovarsi nella banda del segnale di luminanza (detta **banda televisiva**) e, in particolare, deve essere un multiplo dispari della frequenza di riga f_R (pari all'inverso del tempo T_R necessario alla scansione di una riga). Cerchiamo di capire perché accade questo.

Consideriamo quello che succede quando il segnale generato dallo schema prima riportato arriva ad un ricevitore in bianco e nero e, in particolare, supponiamo che il segnale sia quello riportato nella figura seguente:



Nel descrivere la riga cui corrisponde questo segnale, il ricevitore fa variare la luminanza dello schermo non solo secondo il segnale di luminanza vero e proprio, ma anche secondo l'oscillazione che riporta l'informazione cromatica. Tuttavia, nella descrizione della riga successiva, se i suoi punti hanno lo stesso colore della riga precedente, l'oscillazione cromatica sarà in perfetta opposizione di fase: il motivo è che, in un periodo di riga, è contenuto un numero intero di oscillazioni più mezza

oscillazione della sottoportante cromatica. Ne consegue che l'effetto del segnale di cromaticità sul segnale di luminanza viene del tutto annullato se le due righe successive sono identiche, oppure viene notevolmente ridotto se, come accade nella pratica, le due righe sono abbastanza simili tra loro.

Diamo una ulteriore spiegazione dei concetti appena esposti in termini di frequenze: abbiamo capito che la luminanza di un settore limitato di una immagine in generale non cambia rapidamente passando da una riga all'altra oppure da un semiquadro all'altro: ciò significa che *le frequenze corrispondenti al segnale di luminanza sono normalmente distribuite attorno alle armoniche della frequenza di riga*, che abbiamo visto essere pari a **15625 Hz** nello standard europeo (mentre è 15750 Hz in quello americano). Questo comporta che, nello spettro del segnale trasmesso, rimangano liberi dei larghi intervalli di frequenza, compresi tra ciascuna armonica della frequenza di riga e la successiva. Si approfitta allora di tali intervalli proprio per inviare le informazioni di cromaticità.

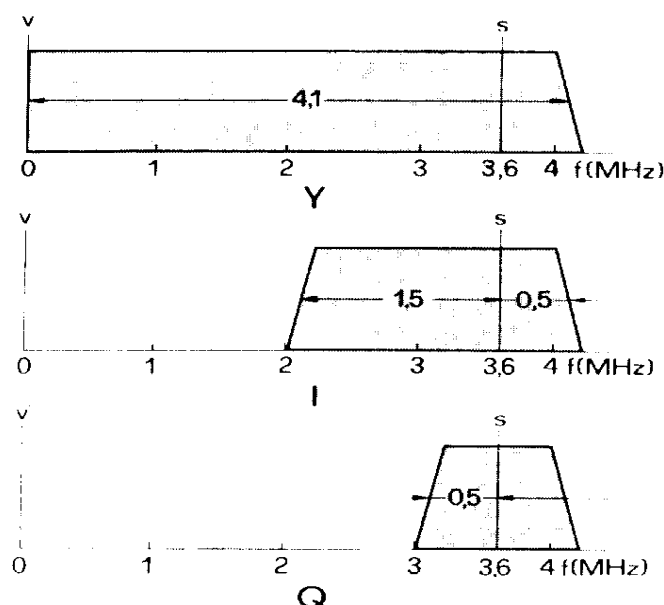
Con tali presupposti, il segnale di luminanza risulta separabile dai segnali di cromaticità. Bisogna adesso garantire che anche i due segnali di cromaticità sia separabili tra loro e questo è garantito da quanto sappiamo a proposito della modulazione di ampiezza con due portanti in quadratura.

Si verifica anche un'altra cosa: abbiamo detto prima che è possibile ridurre le bande dei due segnali di cromaticità in conseguenza del fatto che l'occhio umano non percepisce le variazioni molto rapide di colore; a questo, si aggiunge la necessità di ridurre ulteriormente tali bande, in misura tanto maggiore quanto più grande si vuol tenere la frequenza della sottoportante colore, allo scopo di ridurre al minimo gli effetti di disturbo sul canale di luminanza.

Il sistema americano (**NTSC**, che sta per *National Television System Committee*) si basa su tutti i concetti appena esposti. I due segnali di cromaticità modulano in ampiezza (in DSB-SC, quindi con portante soppressa) due portanti isofrequenziali tra loro ma in quadratura. Queste sottoportanti vengono inserite, in trasmissione, tra una armonica e l'altra della frequenza di riga, sfruttando quegli intervalli di frequenza liberi di cui si diceva: il valore esatto della frequenza di tali sottoportanti è un multiplo dispari della metà della frequenza di riga. Nel sistema europeo derivato dal NTSC, tale frequenza è di circa **4.43 MHz**, mentre nel sistema americano essa è di circa 3.58 MHz.

Si è inoltre verificato che, dei due segnali di cromaticità, uno solo ha particolare importanza ai fini della fedeltà cromatica della riproduzione: questo è il motivo per cui, nel sistema NTSC, ad esso viene associata una larghezza di banda più ampia (1.5 MHz per la banda inferiore e 0.5 MHz per quella superiore) di quella associata all'altro segnale di cromaticità (0.5 MHz per entrambe le bande).

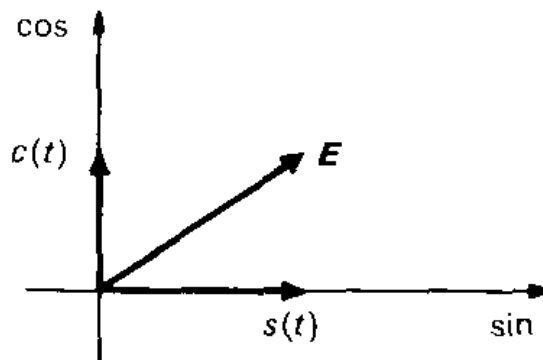
Possiamo dunque riepilogare quello che succede nel sistema NTSC mediante la figura seguente:



Lo spettro più in alto (Y) è quello del segnale di luminanza: vengono evidenziate la portante video (indicata con v e situata a $\cong 0\text{Hz}$) e la sottoportante colore (indicata con s e posta, come detto prima, a 3.58 MHz).

Gli altri due spettri sono quelli dei segnali di cromaticità: come si nota, entrambi hanno banda laterale superiore di 0.5MHz, mentre le bande laterali inferiori sono di 1.5 MHz per il segnale più importante e 0.5 MHz per l'altro.

Per quanto riguarda i requisiti della trasmissione dei segnali televisivi a colori, possiamo citare i tre fondamentali: in primo luogo, il rapporto S/N deve essere sufficientemente alto intorno alla frequenza della *portante colore*; in secondo luogo, l'ampiezza del **vettore di cromaticità E** (somma della sottoportante colore modulata da $c(t)$ e da quella, in quadratura, modulata da $s(t)$) deve essere in rapporto costante con quella del segnale di luminanza; in ultimo, la fase del vettore di cromaticità deve rimanere costante.



La variazione di fase del vettore di cromaticità E è particolarmente fastidiosa, in quanto corrisponde ad una interferenza tra i segnali di cromaticità e quindi ad una *variazione di tinta*. Meno problematica è invece la variazione di ampiezza di E, che corrisponde semplicemente ad una *variazione della saturazione dei colori*.

Per risolvere questi problemi legati, evidentemente, al rumore, sono state sviluppate in Europa delle evoluzioni del sistema NTSC. Il principio di fondo, da cui si è partiti, è ancora una volta il fatto per cui il segnale di colore richiede una banda spaziale più piccola di quella del segnale di luminanza: questo significa, in base a quanto abbiamo detto in precedenza, che si possono accettare sia meno righe per quanto riguarda la definizione verticale sia una banda di frequenze minore per quanto riguarda la definizione orizzontale;

La prima evoluzione nel sistema NTSC fu il sistema **SECAM** (*Sequentiel Couleur A Memoire*) adottato dalla Francia: partendo dal presupposto per cui le variazioni di cromaticità sono generalmente trascurabili passando da una riga alla successiva, si è deciso di trasmettere, per ciascuna riga, una sola delle due componenti cromatiche e, nella successiva, reciprocamente, l'altra. La componente di luminanza, invece, viene normalmente trasmessa per ogni riga. Con un opportuno sistema di memoria, si immagazzina, in ricezione, la prima componente cromatica trasmessa, per sommarla poi con la successiva e ristabilire l'equilibrio cromatico della trasmissione in ciascuna riga.

Nel sistema SECAM, la caratteristica è che i segnali di cromaticità, anziché modulare in ampiezza, modulano in frequenza le relative sottoportanti (le cui frequenze sono leggermente diverse tra loro e rispettivamente di valore poco superiore o inferiore al valore medio adottato per l'Europa, che abbiamo detto essere di circa 4.43 MHz).

Gli inconvenienti fondamentali della ricezione del sistema SECAM sono due: in primo luogo, c'è una sia pur limitata interferenza nella ricezione in bianco e nero da parte delle sottoportanti di colore modulante in frequenza; in secondo luogo, si verificano alcune anomalie nella ricezione a colori ai

marginii delle zone di servizio dei vari trasmettitori, dove il rapporto S/N risulta particolarmente debole. I vantaggi, invece, di questo sistema sono in una qualità e stabilità dei colori molto buona, specialmente nelle zone dove livello del segnale video è alto.

Un altro sistema, derivato anch'esso dal NTSC e che, rispetto a questo, presenta gli stessi vantaggi del SECAM, è il sistema **PAL** (*Phase Alternating Line*) adottato quasi in tutta Europa. In questo sistema, a differenza di quanto si fa nel SECAM ed in analogia con quanto si fa nel NTSC, i due segnali di crominanza vengono trasmessi comunque entrambi, per ogni riga, in modulazione di ampiezza, ma con un ulteriore accorgimento particolare, che è quello di cambiare segno, ogni due righe, ad uno di tali segnali di crominanza. In altre parole, supponiamo di trasmettere il segnale $c(t)$ relativo alla riga di ordine N e, successivamente, quello relativo alla riga di ordine $N+1$, con l'accorgimento di cambiargli segno rispetto alla riga precedente. Qual è il motivo di questo cambiamento? Vediamo che succede in ricezione: supponiamo di aver già ricevuto la riga N e la riga $N+1$ e supponiamo anche di sommare il segnale $c(t)$ relativo alla riga $N+1$ con quello relativo alla riga N ; è evidente che, se le due righe sono identiche, la somma dà un segnale $c(t)$ nullo proprio a causa dell'inversione di segno in corrispondenza della riga $N+1$; naturalmente, dato che la somma coinvolge anche l'altro segnale di crominanza $s(t)$, è ovvio che il risultato della somma è proprio $s(t)$. In modo analogo, per ottenere solo il segnale $c(t)$ dai due segnali anzidetti, basta farne la differenza.

In definitiva, quindi, date due righe identiche dal punto di vista del colore, se in ricezione facciamo la somma o la differenza dei segnali corrispondenti a tali due righe, otteniamo i segnali di crominanza (relativi alla coppia di righe considerata), eventualmente deformati a causa del rumore, ma ciascuno esente da interferenze con l'altro. In altre parole, le interferenze tra i due canali di crominanza vengono comunque evitate e questo a prescindere dal tipo di modulazione utilizzata.

I vantaggi, dunque, di questo sistema sono un notevole miglioramento nei riguardi della variazioni di tinta, ma anche la possibilità di estendere la banda dei due segnali (modulati con banda laterale parzialmente soppressa, VSB) fino a circa 1.3 MHz ⁽¹⁾.

Da un punto di vista realizzativo, è chiaro che un meccanismo di questo tipo necessita di un ricevitore che possa memorizzare la riga precedente. Questa non è una complicazione grossa, tanto che i ricevitori PAL sono quelli di più facile realizzazione pratica.

In generale, comunque, possiamo osservare che, con televisori ben costruiti, entrambi i sistemi PAL e SECAM assicurano, nella maggioranza dei casi, una ricezione a colori molto buona.

COMPLEMENTI VARI

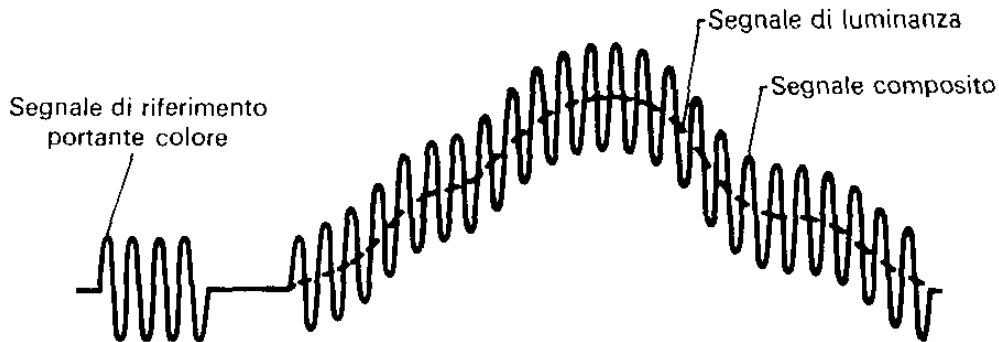
Consideriamo i sistemi PAL e NTSC dal punto di vista del modo con cui trasmettono i segnali di crominanza: abbiamo visto che, in entrambi i casi, i segnali di crominanza modulano in ampiezza due sottoportanti (le cosiddette **sottoportanti di crominanza**) isofrequenziali e in quadratura: indichiamo con f_{PC} la loro frequenza. In trasmissione, le sottoportanti vengono sopresse (per cui si tratta della tecnica di modulazione DSB con portante soppressa), il che significa che, per ottenere la demodulazione coerente in ricezione, bisogna generare una oscillazione locale a frequenza f_{PC} e in fase con la sottoportante coseno. Per ottenere questo, è necessario trasmettere comunque un riferimento di fase nel segnale televisivo. Come si ottiene questo? Il discorso da fare è analogo a quello fatto per i segnali di sincronismo: abbiamo infatti visto, in quel caso, che i segnali di sincronismo vengono inseriti in quegli intervalli di tempo, del segnale di luminanza, durante i quali

¹¹ C'è da osservare una cosa: il fatto di cambiare segno, ad ogni riga, ad uno dei segnali di crominanza complica il problema della eliminazione dell'interferenza del segnale di crominanza sul segnale di luminanza e viceversa; per risolvere questo problema, viene scelta una frequenza opportuna della porta colore.

non ci sono informazioni di luminanza, in quanto sono gli intervalli di tempo necessari al pennello elettronico per riportarsi nelle posizioni iniziali.



Come si nota dalla figura, esistono, tra gli impulsi di riga e i tratti di segnale contenenti le informazioni di luminanza, degli intervalli di tempo nei quali il segnale di luminanza è ancora al valore corrispondente al nero: questi intervalli sono detti **intervalli di linea**. La durata di questi intervalli di tempo è tale da permettere l'inserzione di un certo numero di periodi della sottoportante di crominanza, come evidenziato nella figura seguente:



Questi cosiddetti **burst** inviati negli intervalli di linea sono sufficienti per la generazione, nel ricevitore, di una oscillazione locale in fase con la sottoportante coseno necessaria alla demodulazione coerente.

Nel sistema SECAM, invece, abbiamo già detto che le componenti di crominanza modulano in frequenza le sottoportanti, per cui è ovvio che il meccanismo di trasmissione e ricezione sia diverso.

I televisori attuali sono detti **televisori multistandard** in quanto sono predisposti per la ricezione dei diversi sistemi: ci sono degli appositi circuiti elettronici che provvedono automaticamente ad adattare il televisore alla ricezione delle immagini secondo lo standard con cui sono state trasmesse.

Radiodiffusione televisiva

I programmi televisivi, originati o raccolti nei cosiddetti **centri di produzione**, vengono inoltrati da questi alle stazioni trasmettenti, per *cavo coassiale* o, più frequentemente, per *ponte radio*. Come già detto, il segnale da trasmettere comprende sia il segnale video sia gli impulsi di sincronizzazione. Nella stazione trasmittente, il segnale video, completato dai segnali di sincronismo, modula d'ampiezza una **radioonda portante**, la cui frequenza identifica il *canale di trasmissione adottato*.

Prima di essere irradiata dall'antenna trasmittente, la radioonda video modulata viene parzialmente modificata, riducendo il più possibile (a seconda dei sistemi, da un quarto ad un ottavo del valore completo) l'estensione di una delle bande laterali di modulazione (in Italia e in molti altri

paesi la banda laterale inferiore). Questa operazione è effettuata al fine di limitare l'ampiezza del *radiocanale* occorrente e quindi per consentire l'impiego di un maggiore numero di canali televisivi.

Il segnale video è accompagnato ovviamente anche da un segnale audio (mono o stereo), per la trasmissione del quale si procede come per una normale trasmissione radiofonica: l'uscita del trasmettitore audio (la cui frequenza differenziale di un valore determinato da quella del trasmettitore video) viene generalmente accoppiata a quella del trasmettitore video mediante un dispositivo a filtri (detto **diplexer**), in modo da alimentare un'unica antenna.

Alla televisione sono stati riservati, con accordi internazionali, alcune **bande di radiofrequenza**:

- in **VHF** (onde metriche), ci sono la *banda I* (45÷68 MHz) e la *banda III* (174÷223 MHz); in più, in Italia si utilizza anche un canale (81÷88 MHz) della *banda III*, altrimenti riservata alle trasmissioni radiofoniche in MF;
- in **UHF** (onde decimetriche), ci sono la *banda IV* (470÷582 MHz) e la *banda V* (582÷960 MHz).

Ogni canale impiega **7 MHz**: come detto in precedenza, 0.75 MHz sono riservati alla banda laterale inferiore parzialmente soppressa, mentre 5 MHz sono riservati alla banda laterale superiore. La portante audio dista, nel sistema adottato in Italia e in molti altri paesi europei, 5.5 MHz da quella video ed ad essa superiore in frequenza.

La distanza tra i canali adiacenti è di almeno 7MHz per le trasmissioni in VHF e di 8MHz per quelle in UHF. L'assegnazione, in ogni paese, dei diversi canali alle varie stazioni è effettuata cercando di evitare possibili interferenze tra emittenti che servono zone limitrofe. In Italia si usa prevalentemente la cosiddetta **polarizzazione orizzontale**¹²: gli elementi a dipolo delle antenne riceventi devono giacere in un piano orizzontale ed essere perpendicolari alla congiungente l'antenna trasmittente con la ricevente. In alcuni casi, però, per diminuire la possibilità di interferenza tra due emittenti operanti nello stesso canale e relativamente vicine, si ricorre per una di queste alla **polarizzazione verticale**¹³, nel qual caso gli elementi delle antenne riceventi devono essere montati verticalmente.

Le radioonde utilizzate per la televisione, a causa della loro frequenza elevata, si propagano praticamente in linea retta e non sono perciò ricevibili, salvo eccezionali condizioni atmosferiche, molto al di là dell'orizzonte dell'antenna. Per aumentare al massimo la **portata**, le stazioni trasmittenti sono di norma sistemate in località elevate (generalmente sulle cime dei monti). Per lo stesso motivo, a meno di non trovarsi in condizioni particolarmente favorevoli, i ricevitori devono avere delle apposite antenne poste, possibilmente, sui tetti degli edifici.

Inoltre, la limitazione della zona di servizio alla portata ottica rende necessario installare, per la copertura di una intera nazione, un elevato numero di impianti trasmittenti collegati tra loro via cavo o via ponti radio o con il cosiddetto **sistema a rimbalzo**: in quest'ultimo caso, il segnale televisivo, ricevuto in una certa località da un altro impianto, non viene demodulato, ma viene direttamente ritrasmesso, previa conversione in un diverso canale di diffusione, in modo che, anziché avere un vero e proprio trasmettitore, si ha un semplice **ripetitore**. Dato che il segnale subisce delle inevitabili degradazioni nel passaggio da un ripetitore all'altro, si cerca di estendere il più possibile le reti di ponti radio.

Un problema non indifferente è rappresentato dalla pluralità degli standard televisivi adottati nelle diverse nazioni, la quale rende difficile lo scambio di programmi tra di esse. Questo si verifica, in particolare, nella ricezione (tramite ripetitori posti sui satelliti) dei programmi provenienti dagli USA (dove, come si è detto, il numero delle immagini complete trasmesse in ogni secondo è 30 anziché 25

¹² indicata spesso, nelle tabelle delle stazioni, con una H dopo la denominazione del canale

¹³ indicata con una V

come in Europa) o di quelli provenienti da paesi che hanno adottato un diverso numero di linee per la scansione di un intero quadro. Si utilizzano, allora, nei punti di passaggio da una rete televisiva all'altra, dei particolari apparecchi di **conversione di standard**.

Televisore

Un televisore è notoriamente l'apparecchiatura ricevente di un sistema televisivo. I componenti fondamentali sono i seguenti:

- uno speciale tubo a raggi catodici, detto **cinescopio**, al quale sono applicati opportuni segnali per la corretta deflessione del pennello elettronico e, insieme ad essi, il segnale (**segnale video**) che modula l'intensità del pennello in modo da dar luogo, sullo schermo fluorescente, alla formazione delle immagini ricevute;
- i dispositivi per la captazione del segnale video completo (contenente cioè anche i segnali per sincronizzare la deflessione del pennello elettronico: nel caso di **sistemi televisivi via cavo**, si tratta di un amplificatore a larga banda da connettere al cavo coassiale di trasmissione, mentre, nel caso di sistemi radiotelevisivi (si parla propriamente di **radiotelevisione**), si tratta di una antenna e di un radoricevitore di opportune caratteristiche.

Mettiamoci nel caso semplice della trasmissione in bianco e nero. In generale, il compito del ricevitore radiotelevisivo è quello di ricevere le due portanti modulate contenente il segnale video ed il segnale audio e di estrarre da esse questi segnali.

L'amplificatore a radiofrequenza, l'oscillatore locale ed il mescolatore sono associati in un unico dispositivo, detto **sintonizzatore**, provvisto di un comando di sintonia a grande variazione di frequenza per sintonizzarsi sul prescelto canale televisivo e di un comando di sintonia a variazione fine per aggiustare la sintonia nell'ambito del singolo canale.

La demodulazione avviene, ovviamente, in conformità al tipo di modulazione dello standard televisivo ricevuto: per esempio, *nel sistema adottato in Italia il **demodulatore video** è un demodulatore di ampiezza, mentre il **demodulatore audio** è un demodulatore di frequenza.*

Il segnale video è amplificato da un amplificatore a larga banda (amplificatore video) dal quale si ricavano sia il segnale per modulare il cinescopio sia i segnali di sincronismo per il pennello elettronico. Il segnale audio viene anch'esso amplificato e pilota uno o più altoparlanti.

Per la connessione dell'antenna al televisore sono usati generalmente cavetti schermati, adattati, mediante appositi trasformatori, da un lato all'impedenza di ogni antenna e, dall'altro, all'impedenza di ingresso del televisore. Mediante speciali trasformatori accordati (detti *miscelatori* e *demiscelatori*) è possibile usare un solo cavo tra antenna e televisore. Generalmente, si impiega un cavo coassiale con impedenza di 75Ω , ma sono anche usate linee bipolari (*piattine*) con impedenza di 300Ω .

REQUISITI DI QUALITÀ PER IL SEGNALE TELEVISIVO

... vedere pag. 90 del *Carassa*

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**

e-mail: sandry@iol.it

sito personale: <http://users.iol.it/sandry>

succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>