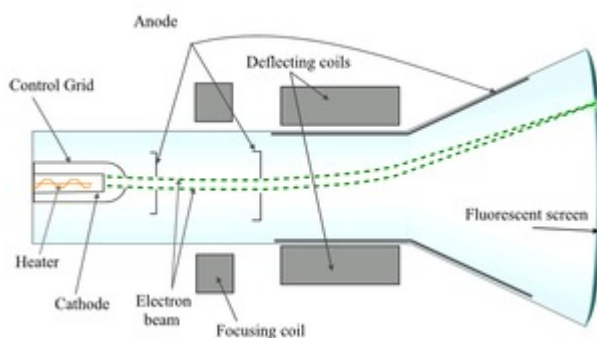


**Appunti dal corso di**  
**Sistemi di Telecomunicazione A.A. 2008/09**  
**Prof. Mario Fossi**

## 5 - TELEVISIONE ANALOGICA (PRIMA PARTE)

A motivo della scelta fatta al tempo dell'introduzione della televisione a colori, dettata da esigenze di politica commerciale, di prevedere la massima compatibilità tra lo standard preesistente di televisione in bianco e nero e standard a colori, è opportuno iniziare illustrando le caratteristiche principali della televisione monocromatica (in bianco e nero). Per giustificare il tipo di struttura del segnale video, bisogna fare riferimento al tipo di trasduttore video di uscita utilizzato quando è nata la televisione (Stati Uniti, anni '30 del '900) e valido fino a ieri, ovvero quel particolare **tubo a raggi catodici (CRT)**, detto **cinescopio**. Vediamone la struttura, di cui la figura ne rappresenta una sezione verticale.

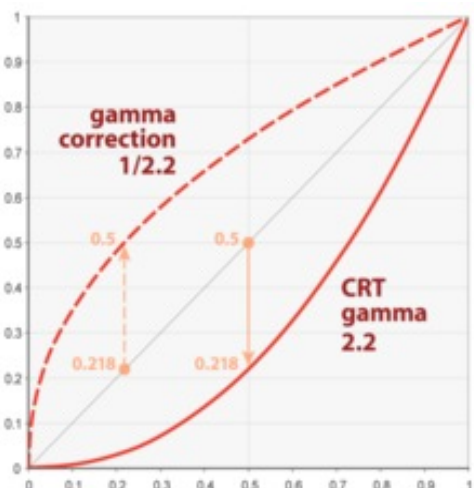


Si tratta di un involucro di vetro al cui interno è praticato il vuoto, costituito da uno schermo frontale e da un "collo" posteriore, come illustrato nella figura (nella realtà le dimensioni dello schermo rispetto al collo sono molto più grandi). Nel collo del tubo è posizionato il cosiddetto "cannone elettronico", che emette elettroni per via termica. Il fascio di elettroni emesso dal catodo presente nel cannone elettronico del tubo viene accelerato mediante

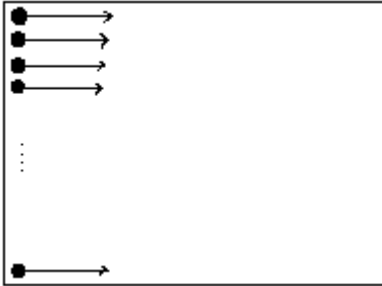
una tensione e focalizzato in modo da andare a colpire una porzione puntiforme dello schermo. Sulla superficie interna di esso è stata depositata una sostanza chimica - i cosiddetti "fosfori" - che, se colpita da elettroni, emette luce bianca, (accanto alla luce peraltro il cinescopio emette in parte anche dannosi raggi X). Il fascio di elettroni prende il nome di pennello elettronico.

La luce emessa decade rapidamente quando il fosforo non è più colpito dal pennello elettronico. La quantità di luce emessa è circa proporzionale alla corrente elettronica che colpisce il fosforo. L'intensità della corrente elettronica è controllata dal valore della tensione tra griglia e catodo, che rappresenta il segnale in ingresso al trasduttore. Tuttavia non si può dire che il trasduttore nel suo complesso sia di tipo lineare, perché la legge tra intensità della corrente elettronica e tensione che la controlla è del tipo:  $i = v^\gamma$ , con  $\gamma$  variabile tra 2 e 3.

Per rendere complessivamente lineare il sistema, in trasmissione si fa la cosiddetta **correzione del  $\gamma$** , ovvero si eleva la tensione, che come vedremo rappresenta il segnale video, ad una potenza pari a  $1/\gamma$ , ottenendo così complessivamente una relazione lineare tra ingresso e uscita del sistema televisivo, come mostrato in figura.



Tornando al cinescopio, il pennello elettronico deve poter essere opportunamente deflesso, altrimenti il flusso di elettroni verrebbe concentrato solo su un punto: il centro dello schermo. Bisogna dunque poter pilotare il fascio su tutti i punti dello schermo, ed a ciò provvedono opportuni **segnali di deflessione: orizzontale e verticale**. La deflessione avviene



per via magnetica, attraverso una opportuna (vedi oltre) corrente elettrica che circola entro opportune **bobine di deflessione**. L'insieme delle bobine è detto **giogo di deflessione**. E' opportuno anche considerare la profondità del cinescopio, che risulta significativa: più grande è lo schermo e più lungo è il cinescopio, diversamente dai più moderni trasduttori video basati sui cristalli liquidi o al plasma. Si diceva che per comprendere la struttura del segnale video

bisogna tener conto del CRT: vediamo quindi la tecnica che è impiegata per prelevare il segnale video in ingresso e riprodurlo in uscita. Si usa una tecnica detta **scansione per linee** dell'immagine: il trasduttore di ingresso può essere visto come una finestra elementare che scandisce per linee l'immagine da riprendere, muovendosi velocemente da sinistra verso destra e lentamente dall'alto verso il basso del quadro, fornendo in uscita un segnale che è proporzionale alla **luminosità media** risultante dall'**insieme dei dettagli** dell'immagine che di volta in volta ricadono entro la finestra elementare (si ha un effetto di integrazione spaziale). Questa tecnica di scansione peraltro è simile a quella impiegata dall'occhio umano per leggere una pagina scritta, ma è profondamente diversa dalla tecnica di acquisizione e riproduzione utilizzata in fotografia e in cinematografia.

Lo stesso movimento dovrà anche operare il pennello elettronico del trasduttore di uscita, che dovrà essere opportunamente **sincronizzato** con quello di ingresso, per non dar luogo ad un'immagine ricostruita deformata.

Si comprende subito come le dimensioni della finestra elementare rispetto a quelle dell'immagine da riprendere, e quindi il numero di linee per quadro, concorrono e determinare il grado di risoluzione del sistema. Attualmente è in uso la **SDTV** (*Standard-Definition TeleVision*), che prevede, nello standard adottato in Italia e prevalentemente in Europa, un numero di 625 linee per quadro. E' peraltro in atto la tendenza a passare a sistemi ad alta definizione (**HDTV**, *High Definition TV*), dato che attualmente si possono trasmettere più dati grazie alla trasmissione numerica, e anche grazie all'avvento di schermi grandi, consentiti dai trasduttori a cristalli liquidi (LCD) o al plasma.

La riproduzione delle immagini mediante la tecnica di scansione per linee è possibile grazie anche alla caratteristica dell'occhio umano nota come **persistenza dell'immagine sulla retina**: quando lo stimolo luminoso che colpisce l'occhio cessa, la **percezione** di luce non cessa immediatamente, cioè l'occhio continua a percepire luce per una frazione di tempo. Ci sono però due questioni da affrontare: quella di garantire all'osservatore la percezione di **continuità dei movimenti** e quella di ridurre l'effetto di “**sfarfallio**” dell'immagine.

Infatti come in cinematografia, anche in televisione vengono trasmesse un certo numero di immagini (quadri) distinte, prelevate in rapida successione temporale dalla scena. In essa ci possono essere delle parti in movimento, per cui si pone il problema di garantire all'osservatore un effetto di continuità temporale (fluidità) dei movimenti. Si è osservato che per avere la percezione della continuità è sufficiente trasmettere 10~12 quadri al secondo (per scene con movimenti non troppo rapidi), ma questo numero è insufficiente a contenere il fastidioso fenomeno di “sfarfallio” dell'immagine (effetto *flicker*).

Questo fastidioso effetto è presente anche nella tecnica cinematografica, dove è dovuto al fatto che l'obiettivo del proiettore presenta un singolo fotogramma per volta e nel tempo di passaggio da un fotogramma al successivo si chiude l'otturatore dell'obiettivo, per riaprirlo quando il nuovo fotogramma è correttamente posizionato su di esso. Sullo schermo c'è quindi una serie continua di passaggi da condizioni di **luce** (quando è proiettato il fotogramma) a **assenza di luce** (nel tempo di spostamento tra due fotogrammi contigui), e la vista ne risulta disturbata, in quanto la persistenza dell'immagine sulla retina ha una durata limitata. Per assicurare un fastidio accettabile, agli inizi fu necessario aumentare il numero di fotogrammi al secondo da 12 ad almeno 16. L'effetto di sfarfallio però cresce all'aumentare della luminosità del quadro, e a pari luminosità cresce all'aumentare delle sue dimensioni. Al progredire della tecnica cinematografica (proiettori più luminosi e schermi più grandi) un numero di 16 quadri al secondo non fu più sufficiente, e si arrivò a dover proiettare 24 quadri al secondo. Quando infine, per la comparsa degli schermi “panoramici”, neanche 24 quadri al secondo furono più sufficienti, si pensò di lasciare invariato il numero di fotogrammi della pellicola (e quindi la lunghezza e di conseguenza il costo della pellicola) ma di proiettare 2 volte lo stesso fotogramma, raddoppiando così la frequenza di interruzione della luce e riducendo conseguentemente lo sfarfallio dell'immagine. Con questo artificio si arriva ad un numero (virtuale) di 48 fotogrammi al secondo.

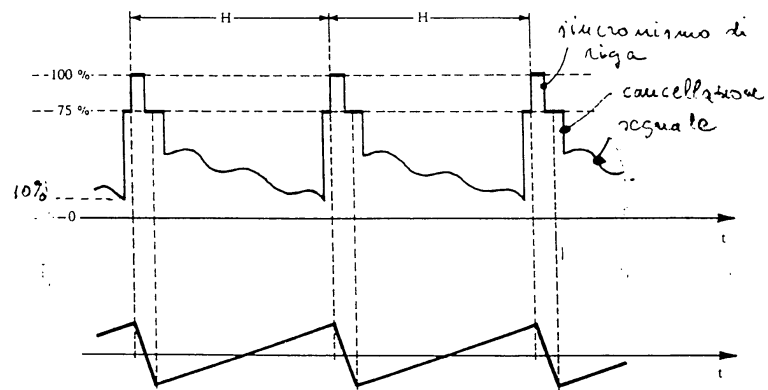
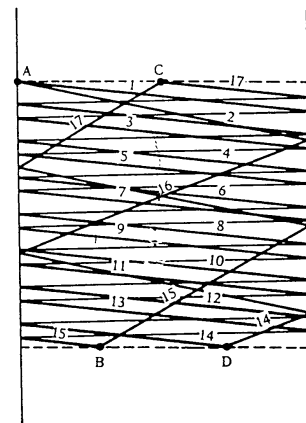
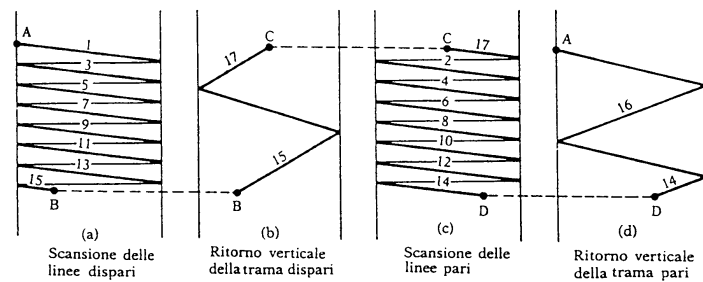
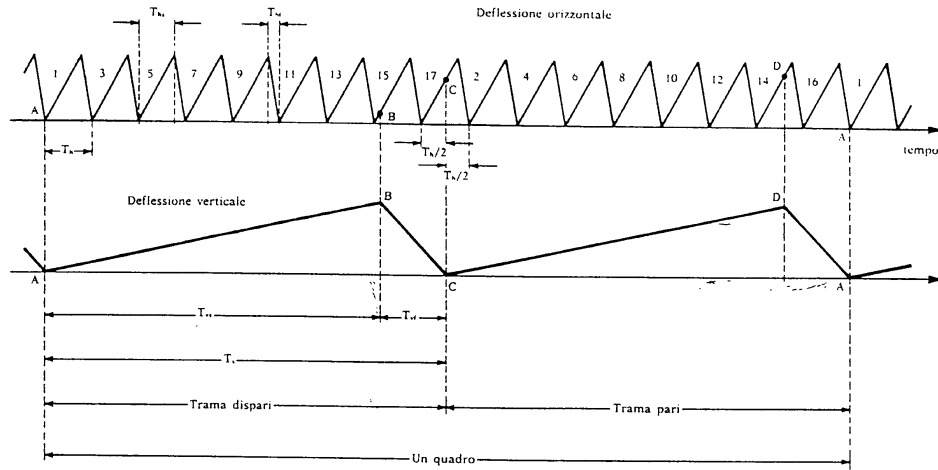
Passando dalla cinematografia alla televisione abbiamo anche qui l'effetto di sfarfallio, poiché quando il pennello elettronico percorre le righe della parte alta del quadro, si spengono quelle nella parte bassa, fino a quando non vengono nuovamente percorse dal pennello elettronico. Per ridurre l'effetto di sfarfallio si potrebbe aumentare la velocità di scansione delle righe stesse, ma ciò non è opportuno in quanto come vedremo questo aumento della velocità di scansione dà luogo ad un aumento di banda occupata dal segnale video, già di per sé elevata. Per ovviare allo sfarfallio senza avere aumento di banda si usa un artificio simile, ma non uguale, a quello impiegato in cinematografia: la scansione **interlacciata** con interlacciamento 2:1. Consiste nel suddividere l'immagine in due parti, **semiquadro dispari**, costituito da tutte e sole le righe dispari e **semiquadro pari**, costituito da tutte le righe pari. Il semiquadro dispari è scandito per primo e poi il semiquadro pari.

La velocità di scansione di linea è la stessa del caso di scansione progressiva (e quindi anche la banda necessaria), ma grazie all'interlacciamento si devono scandire la metà delle linee per volta e quindi la frequenza di “rinfresco” di ogni **gruppo** di linee contigue del quadro risulta raddoppiata, riducendo l'effetto di sfarfallio. Il numero di semiquadri al secondo è collegato, per motivi tecnici, con la frequenza di rete dell'energia elettrica: in Europa è 50 Hz (quindi 50 semiquadri/s o 25 quadri/s), in America è 60 Hz (quindi 60 semiquadri/s o 30 quadri/s).

Come già accennato, l'operazione di scansione interlacciata del quadro viene compiuta pilotando i trasduttori di ingresso e uscita con opportuni **segnali di deflessione**, che producono il desiderato movimento della finestra mobile in ingresso e uscita. Un esempio di tali segnali, del tipo a rampa o dente di sega, è riportato nella figura della pagina seguente, con riferimento per semplicità grafica ad un numero limitato di linee per quadro ( $N=17$ ).

Relativamente al segnale di deflessione orizzontale,  $T_{hs}$  e  $T_{hf}$  indicano rispettivamente il tempo di scansione o traccia (*sweep*) e di ritorno (*flyback*) o ritraccia, essendo  $T_h = T_{hs} + T_{hf}$  il **periodo di deflessione orizzontale**.

Compatibilmente con altre esigenze, è opportuno che sia  $T_{hf} \ll T_{hs}$ , essendo il tempo di ritorno non utile ai fini della trasmissione dell'immagine.



Relativamente al segnale di deflessione verticale,  $T_{vs}$  e  $T_{vf}$  indicano rispettivamente i tempi di traccia e di ritraccia verticale, con  $T_v = T_{vs} + T_{vf}$  **periodo di deflessione verticale**. Nel nostro standard, un quadro completo viene esplorato in un tempo  $2 T_v = 1/25$  s, da cui  $T_v = 1/50 = 20$  ms (1 quadro in 40 ms).

Se  $N$  indica il numero complessivo di righe per quadro, si deve avere, in generale, la seguente relazione tra  $T_v$  e  $T_h$ :  $2 T_v = N T_h$  (condizione per la scansione interlacciata 2:1). La figura a pagina 4 mostra il formarsi della scansione interlacciata per un quadro di  $N=17$  righe. In generale, la condizione di interlacciamento è verificata solo se risulta dispari il numero complessivo  $N$  di righe per quadro: in tale ipotesi infatti il pennello elettronico inizia a descrivere la parte alta del quadro partendo da circa metà della sua larghezza (punto C della figura precedente), quando traccia il semiquadro pari. In caso opposto ( $N$  pari), ripartirebbe sempre dall'estremo sinistro, qualunque sia il semiquadro.

Come già accennato, lo standard italiano ("B" oppure "G") prevede 625 linee per quadro, con una frequenza di 25 quadri completi al secondo, per cui la frequenza di linea o di riga risulta  $f_o \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{T_h} = 625 \cdot 25 = 15625$ , da cui una durata  $T_h \approx 64 \mu s$ .

E' opportuno che durante i tempi di ritorno orizzontale e verticale non venga trasmessa informazione relativa all'immagine (tra l'altro durante i ritorni l'immagine se trasmessa avrebbe una risoluzione minore, come sarà chiarito successivamente). A tal fine il trasduttore di uscita durante tali intervalli di tempo viene interdetto mediante la trasmissione di opportuni **segnali di "cancellazione"**.

Un problema importante è infine come abbiamo già accennato quello di **sincronizzare** il trasduttore di uscita con quello di ingresso: per questo è necessario trasmettere opportuni **impulsi di sincronismo**, sia orizzontale che verticale. Infatti dei segnali di deflessione, essendo nota al ricevitore la loro forma, è sufficiente trasmettere solo la loro temporizzazione. Gli impulsi di sincronismo vengono trasmessi utilizzando parte dell'intervallo di cancellazione (almeno per quelli di sincronismo orizzontale).

Tutta questa informazione costituisce il cosiddetto **segnale video composito**, che quindi è composto dai tre segnali:

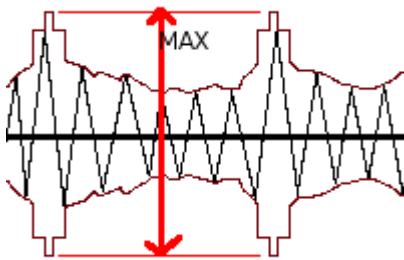
- **cancellazione orizzontale**, la cui durata è leggermente maggiore della durata del tempo di ritorno; è un segnale trasmesso durante il tempo di ritorno, di ampiezza corrispondente almeno al livello del nero (vedi oltre). In alcuni standard è ancora più alto;
- **impulso di sincronismo orizzontale**: idealmente rettangolare, della durata di circa  $4,7 \mu s$ , allocato all'interno del segnale di cancellazione orizzontale in posizione decentrata, venendo a creare su di esso un pedistallo anteriore e uno posteriore (rispettivamente di durata  $1,5 \mu s$  e  $5,8 \mu s$ ); complessivamente quindi il segnale di cancellazione orizzontale ha una durata di circa  $12 \mu s$ . Si può quindi affermare che dei circa  $64 \mu s$  del periodo di deflessione orizzontale, circa 52 sono occupati dal segnale utile di immagine, e circa 12 dai segnali ausiliari.
- **segnale video**.

La figura della pagina precedente illustra la forma tipica del segnale video composito, con indicati anche i valori percentuali delle ampiezze, relativamente al caso che la **modulazione di ampiezza** (AM) con cui viene trasmesso il segnale televisivo da rete terrestre, corrisponda alla cosiddetta modulazione negativa.

Si osserva come il segnale video di immagine sia compreso tra i livelli del 10% (di quello

massimo del video composito), corrispondente al bianco e il 75%, corrispondente al nero. Questa scelta fa riferimento alla cosiddetta **modulazione negativa**, nel senso che ad una scena bianca si associa un livello basso di segnale modulato, mentre ad una scena nera un livello alto. Tale scelta, operata da quasi tutti gli standard, ha due motivazioni: la prima è collegata con la presenza (possibile) di disturbi di tipo impulsivo (provenienti ad es. dal rumore “*man made*”) che si manifestano come dei puntini sullo schermo. In presenza di una scena chiara il disturbo si manifesta come puntini scuri. Se si utilizzasse una modulazione positiva, in presenza di un forte disturbo impulsivo la visione sarebbe disturbata in corrispondenza di una scena scura. Si è osservato che l'occhio umano nota maggiormente dei puntini chiari in campo scuro piuttosto che puntini scuri in campo chiaro; per questo è più conveniente la modulazione negativa.

Oltre a questo motivo, c'è un'altra convenienza: con la modulazione negativa la potenza media trasmessa necessaria è minore rispetto al caso di modulazione positiva. Con la modulazione negativa infatti l'ampiezza massima del segnale si trova in corrispondenza del segnale di sincronismo (vedi figura), quindi per una durata molto piccola rispetto alla durata del segnale video completo. Con una modulazione positiva l'ampiezza sarebbe minima solo in corrispondenza del sincronismo, mentre in presenza di scene chiare (che rappresentano la norma in una trasmissione TV) la potenza media richiesta al trasmettitore sarebbe elevata.



Finora abbiamo parlato del segnale di sincronismo orizzontale. Oltre a questo dobbiamo considerare anche il segnale di **sincronismo verticale**. Questo ha una durata di circa 2,5 volte il periodo di deflessione orizzontale (vedi fig. 1 parte (a) della pagina seguente), in modo che il ricevitore possa facilmente distinguerlo dall'altro. Anche questo segnale di sincronismo è allocato sopra il segnale di cancellazione, che però deve in

questo caso avere una lunga durata, come vedremo. In ricezione i due tipi di segnali di sincronismo vengono estratti dal video composito mediante un opportuno circuito “cimatore” (*clipper*), per essere poi inviati a circuiti di **derivazione** e di **integrazione**.

Il circuito derivatore, in corrispondenza di ciascun impulso di sincronismo, genera una coppia di impulsi di opposta polarità (vedi fig. 1 parte (b), relativa al passaggio da trama pari a trama dispari, dove – per semplicità – sono indicati solo quelli positivi). Mediante questi impulsi è possibile sincronizzare la partenza della rampa di deflessione orizzontale, come mostrato nella figura in basso a pagina 4. Gli stessi impulsi di sincronismo, inviati al circuito integratore, danno luogo ad un segnale di uscita (fig. 1 parte (c)) che solo in corrispondenza del lungo impulso di sincronismo verticale è in grado di raggiungere il valore sufficiente a comandare la partenza di un circuito comparatore, che emette in uscita un impulso che serve a sincronizzare il generatore della rampa di deflessione verticale.

La soluzione indicata soffre però del problema dell'assenza di impulsi di sincronismo di riga, durante il tempo impegnato dal segnale di sincronismo verticale. Ciò comportava, al tempo in cui è stato sviluppato lo standard, una certa difficoltà a riottenere subito un perfetto sincronismo orizzontale all'inizio di ciascun semiquadro. Tale difficoltà può essere superata sagomando opportunamente, nel modo indicato in fig. 2, il lungo impulso di sincronismo verticale: con tale configurazione si mantiene la presenza dell'impulso di sincronismo per il generatore della rampa di deflessione orizzontale, anche durante la trasmissione dell'impulso di sincronismo verticale (fig. 2 parte (b)).

Fig. 1

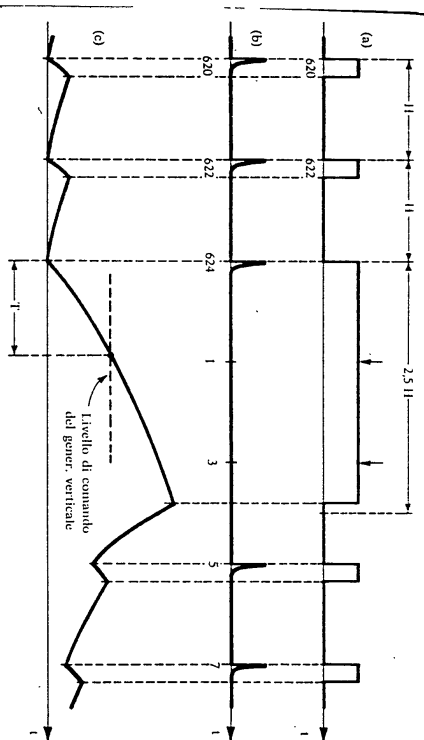


Fig. 2

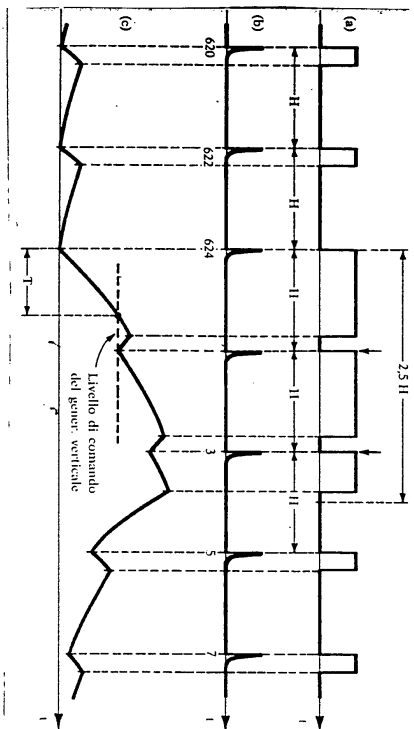


Fig. 3

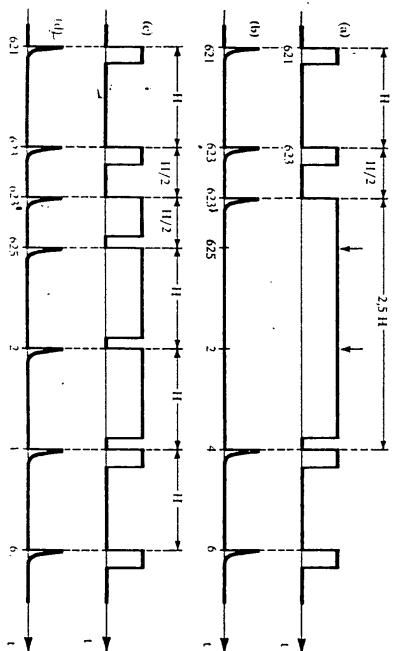


Fig. 4 - Segnale video alla fine della trama pari, segnale differenziato e segnale integrato.

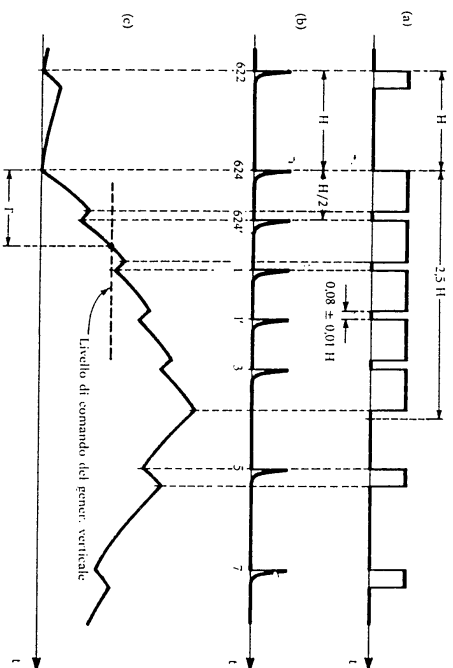
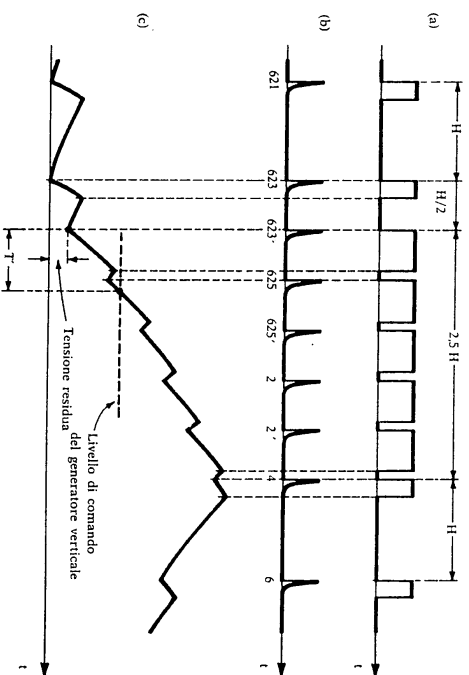


Fig. 5 - Segnale video alla fine della trama dispari, segnale differenziato e segnale integrato.



Analizziamo ora la procedura di sincronizzazione verticale nel passaggio da trama dispari a trama pari. Dati i parametri dello standard italiano ( $N=625$ ) si osserva che l'inizio dell'impulso di sincronismo verticale della trama pari deve trovarsi a distanza  $T_h/2$  dall'impulso orizzontale della riga 623. Infatti esso deve distare  $625/2 = 312,5 T_h$  dall'inizio di quello della trama dispari.

Esaminando la parte (b) della figura 3, si osserva che al solito, se utilizzassimo un unico impulso lungo (a), verrebbe a mancare il sincronismo orizzontale durante il ritorno verticale, con conseguente difficoltà per il ricevitore a riguadagnare un perfetto sincronismo orizzontale all'inizio del nuovo semiquadro. Analogamente a quanto visto nel caso precedente, si può ovviare a questo suddividendo opportunamente (c) l'impulso lungo, garantendo così la presenza degli impulsi di sincronismo orizzontale ove attesi (d).

Tuttavia le soluzioni prospettate danno luogo alla necessità di prevedere **due** differenti tipi di impulsi di sincronismo verticale, con le relative implementazioni circuitali. E' possibile e più vantaggioso ricorrere ad un'unica tipologia di impulso di sincronismo verticale, strutturando questo nella forma di 5 **impulsi "serrati"** (fig. 4 parte (a)), ciascun inizio dei quali è distanziato di  $T_h/2$  da quello precedente; con tale configurazione si soddisfa la necessità di mantenere il sincronismo orizzontale all'inizio di ciascuna trama. Si noti anche che esistono degli impulsi in posizioni intermedie rispetto a quelle dovute, ma questi non sono in grado di modificare la cadenza del generatore di rampa orizzontale.

Si pone però un ulteriore problema: dal confronto delle figure 4 e 5 si osserva come i due segnali in uscita dall'integratore, uno al termine della trama pari e l'altro della trama dispari, raggiungano il livello di comando del comparatore con ritardi temporali diversi  $T' < T$ , a motivo della tensione residua esistente sul condensatore dell'integratore al termine della trama dispari. Ora, per ottenere un perfetto interlacciamento delle trame è necessario che i due ritardi  $T$  e  $T'$  siano identici. Si ottiene questo risultato anteponendo agli impulsi serrati 5 brevi impulsi a distanza  $T_h$  l'uno dall'altro, detti **equalizzatori** in quanto hanno lo scopo di rendere uguali le cariche residue sul condensatore del circuito integratore nei due casi, come si osserva dalla figura 18 della pagina seguente. A seconda del metodo usato per la sincronizzazione verticale, può essere necessario che la tensione integrata sia uguale nei due casi anche al termine del segnale di sincronismo, per cui si inserisce la stessa sequenza di impulsi equalizzatori anche in coda agli impulsi serrati. La durata complessiva del segnale di sincronismo verticale è quindi pari a circa  $7,5 T_h$ .

Tale dovrà quindi risultare anche la durata minima del segnale di cancellazione verticale, tuttavia l'effettiva durata è pari, per lo standard italiano, a  $25 T_h$ . Delle 25 linee perse, 3,5 vengono cancellate nella parte inferiore del quadro, da 3 a 5 occupano il ritorno verticale, mentre le restanti 17 – 19 sono cancellate nella parte alta del quadro: queste ultime costituiscono un margine di sicurezza, anche per utilizzare il segnale di deflessione verticale scartandone la prima parte, considerato che al tempo dello sviluppo dello standard questa poteva essere non perfettamente lineare. Quanto appena detto è illustrato nelle figure 19 e 20 a pagina 10.



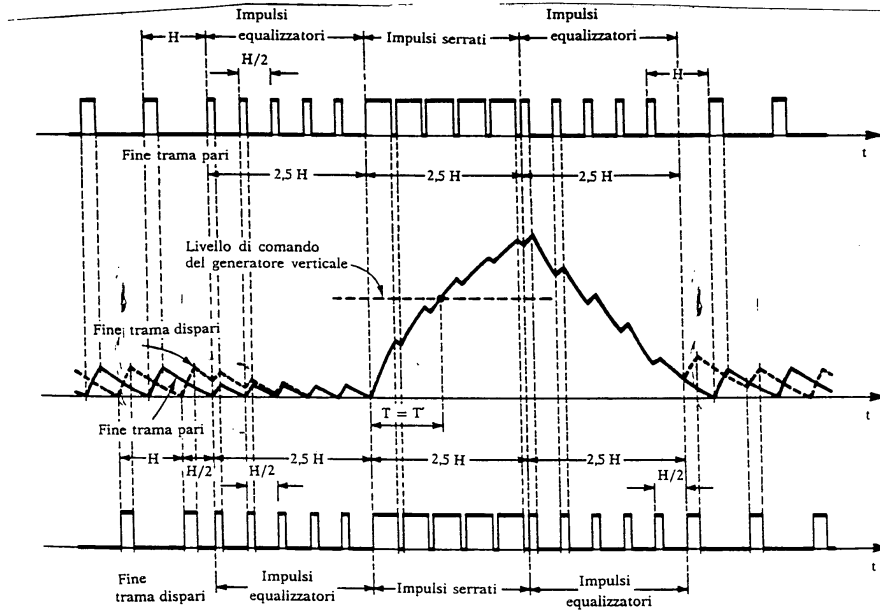


Fig. 18. - Segnale video alla fine delle trame completato con gli impulsi di equalizzazione e corrispondente segnale integrato.

TABLE 20-1 Television Systems by Country (Revised to 1987)

Country	VHF bands		UHF bands		Country	VHF bands		UHF bands	
	Mono	Color	Mono	Color		Mono	Color	Mono	Color
Algeria	B	PAL	N		Japan	M	NTSC	M	NTSC
Argentina	B	PAL			Jordan	B	PAL		
Australia	B	PAL	G	PAL	Kenya	B	PAL	M	NTSC
Austria	B	PAL			Kuwait	B	PAL		
Bangladesh	B	PAL	H	PAL	Libya	B	SECAM		
Belgium	B	PAL			Malaysia	B	PAL	M	NTSC
Bermuda	N	NTSC			Mexico	B	SECAM		
Bolivia	N	NTSC	M	PAL	Morocco	B	PAL		
Brazil	M	SECAM			New Zealand	B	PAL		
Bulgaria	D	SECAM	M	NTSC	Norway	B	PAL		
Canada	M	NTSC	M	NTSC	Pakistan	B	PAL		
Chile	D	PAL			Panama	M	NTSC		
China, P.R.	D	PAL			Paraguay	N	PAL		
Colombia	M	NTSC			Peru	M	NTSC		
Cuba	D	SECAM	K	SECAM	Philippines	M	NTSC		
Czechoslovakia	D	SECAM			Poland	D	SECAM	K	SECAM
Denmark	B	PAL			Portugal	B	PAL	G	PAL
Ecuador	M	SECAM			Puerto Rico	M	NTSC	M	NTSC
Egypt	B	PAL			Romania	D	SECAM		
Finland	B	SECAM	G	PAL	Saudi Arabia	B	SECAM		
France	L	SECAM	L	SECAM	Singapore	I	PAL	I	PAL
Germany, East	B	SECAM	G	SECAM	South Africa	B	PAL	G	PAL
Germany, West	B	PAL	G	PAL	Spain	B	PAL		
Ghana	B	PAL			Sri Lanka	B	PAL	G	PAL
Great Britain	A		I	PAL	Sweden	B	PAL		
Greece	B	NTSC	G		Switzerland	B	PAL		
Guatemala	M	PAL	G	PAL	Taiwan	M	NTSC		
Holland	B	PAL			Tunisia	B	SECAM		
Honduras	M	NTSC			Turkey	B	PAL		
Hong Kong	D	SECAM	I	PAL	Uruguay	M	NTSC	M	NTSC
Hungary	B	PAL	K	SECAM	USA	D	SECAM	K	SECAM
India	B	SECAM			Venezuela	M	NTSC		
Iran	B	SECAM			Yugoslavia	B	PAL		
Iraq	B	SECAM	I	PAL	Zaire	K	SECAM		
Ireland	A, I	PAL	G		Zambia	B	PAL		
Israel	B	PAL							
Italy	B	PAL	G	PAL					

Specifications of systems by letter code (see also Tables 20-2 and 20-3)						
System code	Lines per frame	Fields per second	Video bandwidth, MHz	Channel bandwidth, MHz	Intercarrier separation, MHz	Modulation polarity
B	625	50	5	7	5.5	Negative
D, K	625	50	6	8	6.5	Negative
G, H	625	50	5	8	5.5	Negative
I	625	50	5.5	8	6	Negative
L	625	50	6	8	6.5	Positive
M	525	60	4.2	6	4.5	Negative
N	625	50	4.2	6	4.5	Negative

Designation of compatible color systems. NTSC = National Television System Committee standards (see Table 20-4). PAL = phase alternating line standards (see Table 20-3). SECAM = sequential color with memory standards (see Table 20-3).

fig. 19. - Relazione fra i segnali di deflessione a dente di sega e il segnale video alla fine trama pari - inizio trama dispari.

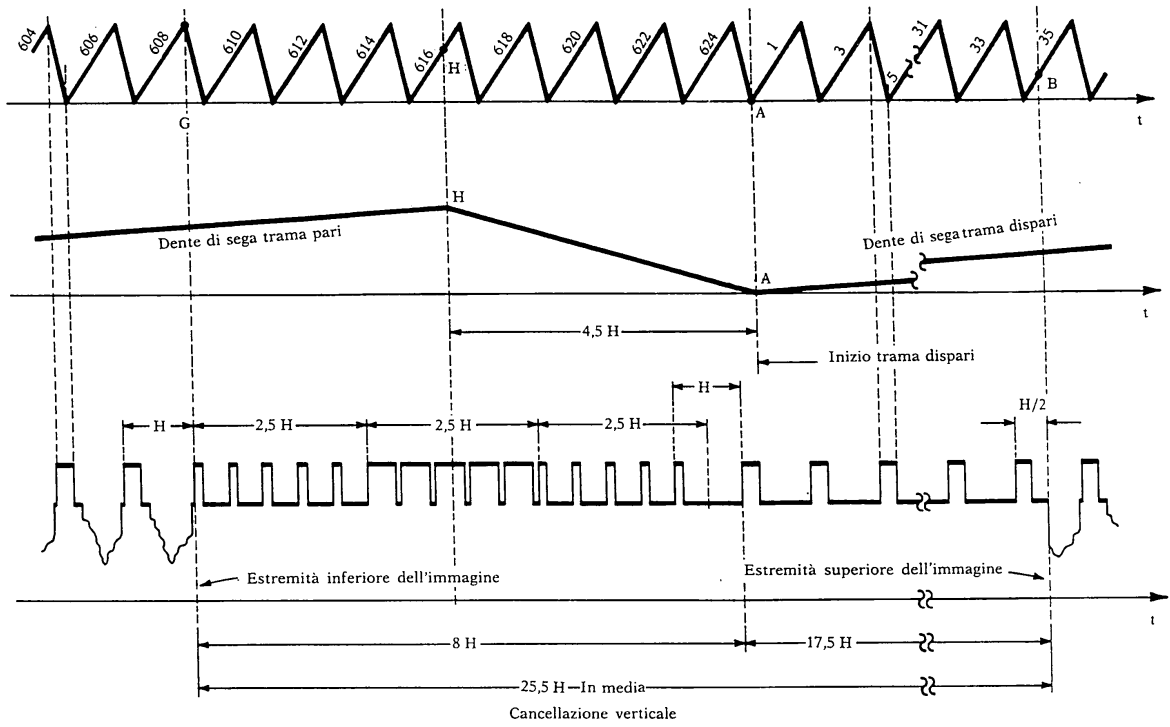
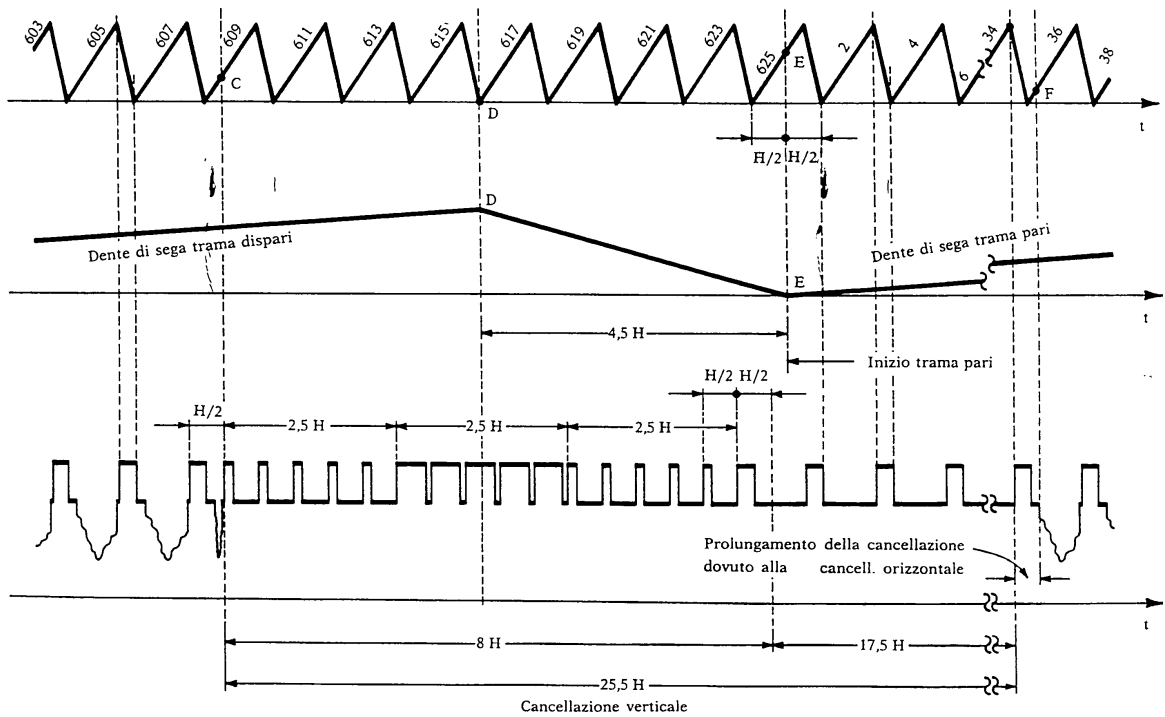
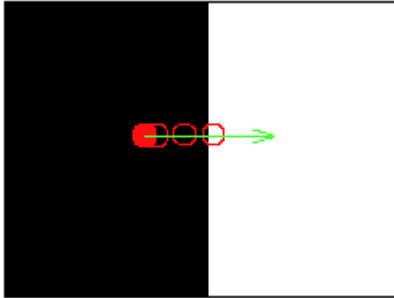


Fig. 20. - Relazione fra i segnali di deflessione a dente di sega e il segnale video alla fine trama dispari - inizi trama pari.



## Risoluzione orizzontale

Esistono svariati modi per definire la risoluzione dell'immagine televisiva: in questo Corso ne vedremo in particolare uno. Un primo limite alla risoluzione è connesso con le **dimensioni** piccole ma finite, delle finestre elementari che operano la scansione del quadro. Esse causano anche il cosiddetto “effetto apertura”: analizziamo cosa avviene in presenza di una brusca variazione della luminosità della scena durante la scansione di una linea (ad es. passaggio netto da nero a bianco, come illustrato in figura).



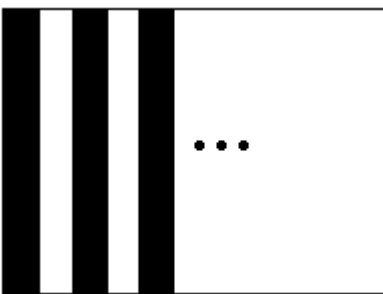
Fino a che la finestra elementare interessa soltanto la parte con luminosità bassa, il segnale video mantiene il livello alto (nell'ipotesi di utilizzo di modulazione negativa) come deve essere. Quando la finestra si trova a cavallo tra le due regioni, la quantità di luce misurata tende progressivamente a crescere, e quindi il segnale video decresce **gradualmente** fino a che la finestra non è completamente nella regione bianca.

Il problema è rappresentato proprio dalla gradualità del passaggio. Idealmente, infatti, il segnale dovrebbe passare bruscamente dal valore più alto (nero) al valore più basso (bianco).

In realtà prima di passare dal nero al bianco passa in modo graduale per tutti i livelli di grigio (vedi figura). Questo effetto è detto effetto apertura. L'effetto apertura non è però il solo né il principale limite alla risoluzione orizzontale.

Un altro limite alla risoluzione orizzontale è dovuto alla **banda** assegnata dagli standard al segnale video composito: essa è compresa tra 4,2 MHz e 6 MHz (vedi Tabella sugli Standard, pag. 9); gli standard adottati in Italia (B e G)

assegnano una banda base di 5 MHz. Vediamo ora la connessione tra larghezza di banda e risoluzione orizzontale. A tal fine supponiamo di avere un'immagine costituita da una successione di barre verticali alternativamente bianche e nere, come evidenziato in figura.

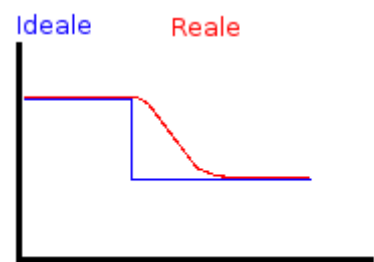


Indichiamo con  $n_o$  il numero complessivo di bande verticali presenti nel quadro. Il segnale in uscita dal trasduttore di ingresso dovrebbe essere (idealmente) un'onda quadra con valore alto in corrispondenza del nero e valore basso in corrispondenza del bianco. Come abbiamo già visto, per via dell'effetto apertura non avremo dei rettangoli perfetti perché i passaggi di livello sono addolciti. Comunque esso rappresenta un segnale **periodico** (almeno limitatamente al tempo di traccia

$T_{hs}$ ). Nel tempo di traccia, il numero di periodi di tale segnale è  $n_o/2$ , dato che un periodo è formato in corrispondenza della scansione di una banda nera ed una bianca. In virtù della sua periodicità tale segnale è sviluppabile in serie di Fourier. Il valore della sua frequenza

fondamentale risulta essere:  $f = \frac{n_o/2}{T_{hs}} = \frac{n_o}{2 \cdot k_{co} \cdot T_h} = \frac{n_o f_0}{2 k_{co}}$ , dove abbiamo indicato con  $k_{co}$  il

**fattore di cancellazione** orizzontale che è così definito:  $k_{co} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{T_{hs}}{T_h} \simeq \frac{42}{64} \Rightarrow T_{hs} = k_{co} T_h$ .



Ricordiamo che il tempo di riga risulta essere  $T_h = 1/f_0$  e che dunque esso dipende dallo standard, dato che la frequenza di riga è il prodotto tra il numero di quadri al secondo  $N_q$  per il numero di righe per quadro  $N$ . Sostituendo nell'espressione della frequenza fondamentale si ottiene:

$$f = \frac{n_o \cdot N \cdot N_q}{2 k_{co}} .$$

**Supponendo** di trasmettere la sola fondamentale del segnale video sopra descritto, ovvero accettando una riproduzione delle barre come una successione continua di passaggi dal bianco al nero attraverso tutte le tonalità di grigio, (cosa in parte inevitabile a causa dell'effetto apertura), allora il massimo numero di elementi orizzontali distinguibili, è quello dato da un segnale la cui frequenza fondamentale eguaglia la massima estensione di banda consentita dallo standard in uso. Sempre riferendoci alla banda base di  $B=5\text{ MHz}$ , si ottiene

$$(\text{ricordando che } f_0 = 625 \cdot 25 = 15625) : n_{o_{MAX}} = \frac{2 k_{co} B}{f_0} \approx 525 .$$

Se quindi ammettiamo questa definizione di risoluzione orizzontale, possiamo affermare che la risoluzione massima orizzontale è di 525 elementi per riga.

Dalla espressione sopra scritta della frequenza fondamentale del segnale periodico, si deduce anche che se raddoppiamo il numero di quadri  $N_q$  trasmessi nell'unità di tempo, ad esempio allo scopo di ridurre l'effetto *flicker* senza ricorrere alla scansione interlacciata, dobbiamo raddoppiare la banda base necessaria, almeno se vogliamo mantenere invariata la risoluzione orizzontale.

Lo stesso avviene se vogliamo aumentare il numero  $N$  di righe per quadro, ad esempio per aumentare la risoluzione verticale dell'immagine.

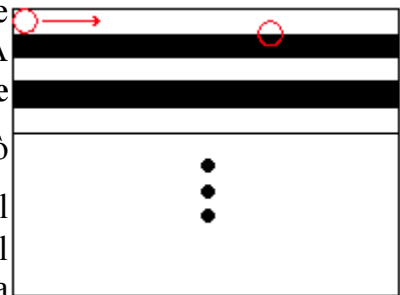
### Risoluzione verticale

Infatti, in senso verticale la risoluzione è anzitutto relazionata al numero nominale  $N$  di righe del sistema. Abbiamo visto però che alcune righe (25) vengono perse durante la trasmissione del segnale di cancellazione verticale, presente al termine di ogni semiquadro, dunque 50 righe per quadro. A tal fine, è opportuno definire un **fattore di cancellazione**

**verticale:**  $k_{cv} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{575}{625} = 0,92$  . Il numero di righe utili può

dunque essere scritto come  $k_{cv} \cdot N$  . Consideriamo ora il

quadro in figura, dove la dimensione delle righe è uguale al diametro della finestra elementare. Supponiamo che la



finestra elementare sia a cavallo tra le righe: in uscita sarebbe riprodotta un'unica tonalità di grigio anziché una serie di bande; avremmo cioè risoluzione nulla. Se invece la finestra corrisponde precisamente alle righe, allora abbiamo la risoluzione massima. Sono stati fatti degli studi statistici per valutare il **fattore di risoluzione verticale**  $k_{rv}$  definito come il rapporto tra numero medio di linee utili per la risoluzione e righe nominali, ottenendo  $k_{rv} \in [0,6; 0,9]$  . Il numero massimo (medio) di elementi distinguibili in senso verticale risulta quindi:  $n_{v_{MAX}} = k_{rv} \cdot k_{cv} \cdot N$  . Assumendo  $k_{rv} = 0,75$  , ovvero il valore medio, si ottiene:

$n_{v_{MAX}} = 0,75 \cdot 0,92 \cdot 625 \approx 431$  . A questo punto possiamo calcolare il **numero massimo di**

**elementi per quadro:**  $n_{MAX} = n_{o_{MAX}} \cdot n_{v_{MAX}} = 525 \cdot 431 = 226275 \approx 225000 \text{ pixel}$  , per le specifiche

dello standard italiano. Se confrontiamo questo valore con quello della cinematografia, possiamo affermare che il valore della risoluzione televisiva standard (SDTV) è pari a circa la metà di quello della risoluzione cinematografica.

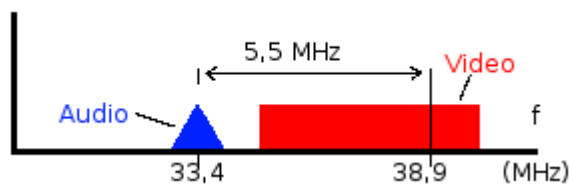
### Segnale TV a radiofrequenza

È costituito a partire dal **segnale video composito** (composito perché, come si è visto, è formato da immagine, cancellazione e sincronismo) e dal **segnale audio**. Questi segnali vanno a modulare due portanti a radiofrequenza, opportunamente separate tra loro per non generare interferenza; la distanza (detta “frequenza *intercarrier*”) varia secondo lo standard utilizzato ed è ovviamente in relazione anche alla banda base del video composito. Per tale motivo si oscilla da una distanza minima di 4,5 MHz ad una massima di 6,5 MHz. Nel sistema italiano la distanza è di 5,5 MHz (vedi Tabella degli Standard).

Osservata la notevole estensione della banda base del segnale video, è opportuno che la modulazione da utilizzare per la componente video sia efficiente in termini di banda. È quindi stata scartata la modulazione di frequenza, a vantaggio di quella di ampiezza. In questo gruppo, la modulazione più efficiente sarebbe la SSB, in quanto avremmo a radiofrequenza la stessa banda del segnale in banda base (5 MHz). La SSB non può però essere utilizzata perché l'operazione di modulazione e demodulazione di segnali SSB è onerosa in fase di filtraggio, poiché le due bande sono molto vicine tra loro ed è difficile eliminarne esattamente una. Non potendo dunque optare per la SSB, si usa una modulazione che è una via di mezzo tra SSB e DSB, precisamente una DSB con la banda laterale inferiore parzialmente tagliata, in modo da far rientrare il segnale nella banda assegnata al canale ( $B_c = 7$  o  $8$  MHz). Il filtraggio utilizzato per ottenere questa modulazione **non** è di tipo **vestigiale**, anche se impropriamente si dice che la televisione usa la modulazione vestigiale in trasmissione. In realtà questo è vero, come vedremo, ma solo dopo il filtro a media frequenza del ricevitore televisivo.

Analizziamo ora lo schema a blocchi di principio di un **trasmettitore televisivo**, riportato nelle figure delle pagine 15 e 16. È costituito da due catene, una per il segnale audio ed una per il segnale video. Per la componente audio si utilizza la FM in quasi tutti gli standard (vedi Tabella). Il segnale audio ha una banda base tra 40 Hz e 15000 Hz e si utilizza come sempre con l'FM la tecnica di pre-enfasi in trasmissione e di de-enfasi in ricezione, con costanti di tempo  $\tau = 50 \mu s$ . La deviazione massima di frequenza è pari a 50 KHz, quindi la banda occupata è dell'ordine di:  $B_{audio} = 2(\Delta f + f_{MAX}) = 2(50 + 15) = 130$  kHz (regola di Carson). L'operazione di modulazione di frequenza viene fatta utilizzando una portante alla frequenza intercarrier (5,5 MHz nel nostro standard), generata da un opportuno OL (vedi fig. a pagina 15). Il segnale in uscita dal modulatore FM viene quindi convertito ad una media frequenza di 33,4 MHz mediante un mixer pilotato da un OL alla frequenza di 38,9 MHz, che corrisponde alla frequenza intermedia della portante video  $f_{iv}$ , sia in trasmissione che in ricezione. All'uscita del *mixer* viene selezionato il termine a frequenza differenza. Infine si opera la conversione a RF, mediante un terzo Oscillatore Locale a frequenza pari a quella del canale radio  $f_{ov}$  su cui viene trasmesso il segnale TV, incrementata del valore della frequenza intermedia video  $f_{iv}$ . All'uscita del mixer viene selezionata la frequenza differenza mediante un opportuno filtro passabanda, per cui la portante audio a RF è trasmessa alla frequenza  $f_{ov} + f_{ic}$ . Il segnale viene quindi amplificato mediante un amplificatore di potenza ed applicato all'antenna trasmittente.

Per la componente video, come già detto si utilizza una modulazione di ampiezza con portante e con la banda laterale inferiore parzialmente soppressa. Tale segnale viene ottenuto (vedi fig. a pag. 16) mediante un modulatore bilanciato (*mixer*) pilotato dallo stesso OL che converte a IF il segnale audio, allo scopo di mantenere l'esatta separazione di  $5,5\text{ MHz}$  tra le 2 portanti audio e video anche nelle sezioni a IF. In uscita dal mixer c'è il filtro passabanda che opera la richiesta riduzione di una delle bande laterali, secondo quanto qualitativamente indicato nella parte inferiore della figura. Per le stesse motivazioni indicate per la conversione a IF, anche l'OL che porta a RF il segnale video è lo stesso di quello del segnale audio. In uscita dal mixer che opera la conversione a RF viene selezionato il termine a frequenza differenza (inversione di banda), in modo da avere il segnale sulla  $f_{0v}$  desiderata. Infine, dopo essere stato amplificato di potenza, il segnale video viene applicato all'antenna trasmittente, distinta da quella del segnale audio.



Riassumendo, in uscita dalla sezione a FI del trasmettitore abbiamo un segnale video DSB a  $f_{iv} = 38,9\text{ MHz}$ , **con** banda laterale superiore limitata a  $0,75\text{ MHz}$  per effetto del filtraggio asimmetrico del filtro a IF, come schematicamente indicato nella figura a lato. La

componente audio è come detto centrata sulla frequenza (differenza) di  $33,4\text{ MHz}$ . La banda complessiva occupata (a  $-20\text{ dB}$ ) risulta  $B = 0,065 + 5,5 + 1,25 = 6,8\text{ MHz}$ .

Ambedue i segnali vengono successivamente convertiti alla radiofrequenza del particolare canale televisivo utilizzato:



La frequenza della portante video ( $f_{0v}$ ) dipende dal canale di trasmissione utilizzato. All'interno delle bande VHF ed UHF ci sono quattro bande dedicate alla trasmissione televisiva:

Banda	Sottobanda	Estensione (MHz)	Note
VHF	I	52,5~68	2 canali da $7\text{ MHz}$ cad. (A, B)
	III	174~230	8 canali da $7\text{ MHz}$ (5~12) - EU 7 canali da $7\text{ MHz}$ (D, E, F, G, H, H1, H2) - IT
UHF	IV	470~582	14 canali da $8\text{ MHz}$ (21~34)
	V	582~862	35 canali da $8\text{ MHz}$ (35~69)



