

Che cosa è, come funziona: I formati HDTV

(Le raccomandazioni ITU-R BT.709 e BT.1543)

ing. Marzio Barbero e
ing. Natasha Shpuza

1. Premessa

Questa scheda è analoga a quella pubblicata nell'aprile 2003 [1] per offrire alcune informazioni di base sul formato video: in quel caso si trattava dei parametri di codifica in studio del segnale video a definizione convenzionale (SDTV), in questo caso si tratta di quella ad alta definizione (HDTV).

Sono brevemente illustrate due Raccomandazioni ITU-R: la BT.709 [2] e la BT.1543 [3].

2. Cenni storici

Il primo sistema televisivo in alta definizione (1125 righe, 60 Hz, interlacciato) fu sviluppato dalla NHK, la televisione pubblica giapponese, negli anni '70 e negli anni '80 fu realizzato il primo sistema di compressione e di trasmissione in alta definizione: il MUSE.

In quegli anni si assistette ad un momento di rapido progresso tecnologico che portò alla realizzazione di gran parte degli apparati della catena di produzione HDTV e sembrava possibile in tempi brevi portare agli utenti, mediante i sistemi di diffusione

Acronimi e sigle

ATSC	Advanced Television Systems Committee (www.atsc.org)
AVC	Advanced Video Coding
CIF	Common Image Format, 1920 pixel e 1080 righe
CRT	Cathode Ray Tube
DVB	Digital Video Broadcasting (www.dvb.org)
FCC	Federal Communications Commission (www.fcc.gov)
HDTV	High Definition TeleVision
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
ITU-R BT.	International Telecommunication Union (www.itu.org) - Radiocommunication Sector Broadcasting service (Television)
LDTV	Low Definition TeleVision
MAC	Multiplexed Analogue Components
MPEG	Motion Picture Expert Group: gruppo di lavoro congiunto ISO/IEC
MUSE	MUltiple Sub-nyquist sampling Encoding
NHK	Nippon Hōsō Kyōkai (www.nhk.or.jp/englishtop)
NTSC	National Television System Committee
PAL	Phase Alternate Line
SDTV	Standard Definition TeleVision
SECAM	Système Electronique Couleur Avec Memoire
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers (www.smpte.org)

Fig. 1 - La copertina del numero di settembre-ottobre 1986 di Elettronica e Telecomunicazioni. La didascalia della foto è "Dimostrazioni nel Centro Ricerche Rai di Televisione ad Alta Definizione (HDTV). Studio di ripresa." Il numero comprendeva gli articoli "La televisione ad alta definizione" di R. Salvadorini e P. D'Amato e "La produzione di programmi televisivi ad alta definizione" di P. D'Amato e "Dimostrazioni Rai-NHK di televisione ad Alta Definizione (HDTV)"



diretta via satellite, la qualità del nuovo formato.

Questi sviluppi furono seguiti con attenzione dalla Rai: nell'articolo del 1986 "La televisione ad alta definizione" (figura 1) si legge: "In Europa si riteneva fino a poco tempo fa che, per i costi delle memorie di quadro e il tempo necessario allo sviluppo degli schemi più grandi, l'alta definizione fosse assai lontana, collocata verso la fine del secolo..."

In realtà le cose non procedettero così speditamente, né dal punto di vista della standardizzazione, né dal punto di vista dei progressi nello sviluppo degli schermi più grandi (che in effetti deve essere collocato a partire dalla fine del secolo).

Il sistema MUSE utilizzava tecniche digitali per filtrare il segnale e ridurre fortemente la banda occupata, ma il segnale diffuso da satellite era di tipo analogico.

L'Europa sviluppò uno standard analogico



Fig. 2 - La copertina del numero speciale del novembre 1990 di Elettronica e Telecomunicazioni e una vista di una delle postazioni di ripresa video (in primo piano la telecamera HDTV) allo stadio Olimpico di Roma.

per la diffusione del segnale ad alta definizione (1250 righe, 50 Hz, interlacciato) denominato HD-MAC e la direttiva del Consiglio della Comunità Europea del maggio 1992 indicava tale sistema come l'unico utilizzabile per servizi televisivi in alta definizione, ad esclusione di formati completamente digitali.

In effetti questa ultima precisazione è essenziale. Due anni prima vi era stata la possibilità di mettere a confronto i due formati di produzione HDTV (a 60 e a 50

Hz) in occasione dei Campionati Mondiali di calcio Italia '90 (figura 2). In quella occasione il progetto europeo Eureka 256, di cui era partner la Rai, mise a punto gli apparati per la trasmissione di alcune partite, riprese con entrambi i formati, con un sistema completamente digitale (figura 3): questo evento dimostrò che era possibile sviluppare uno standard HDTV digitale.

Negli Stati Uniti la FCC chiese alle industrie di unire le forze per realizzare un sistema digitale a definizione migliorata e

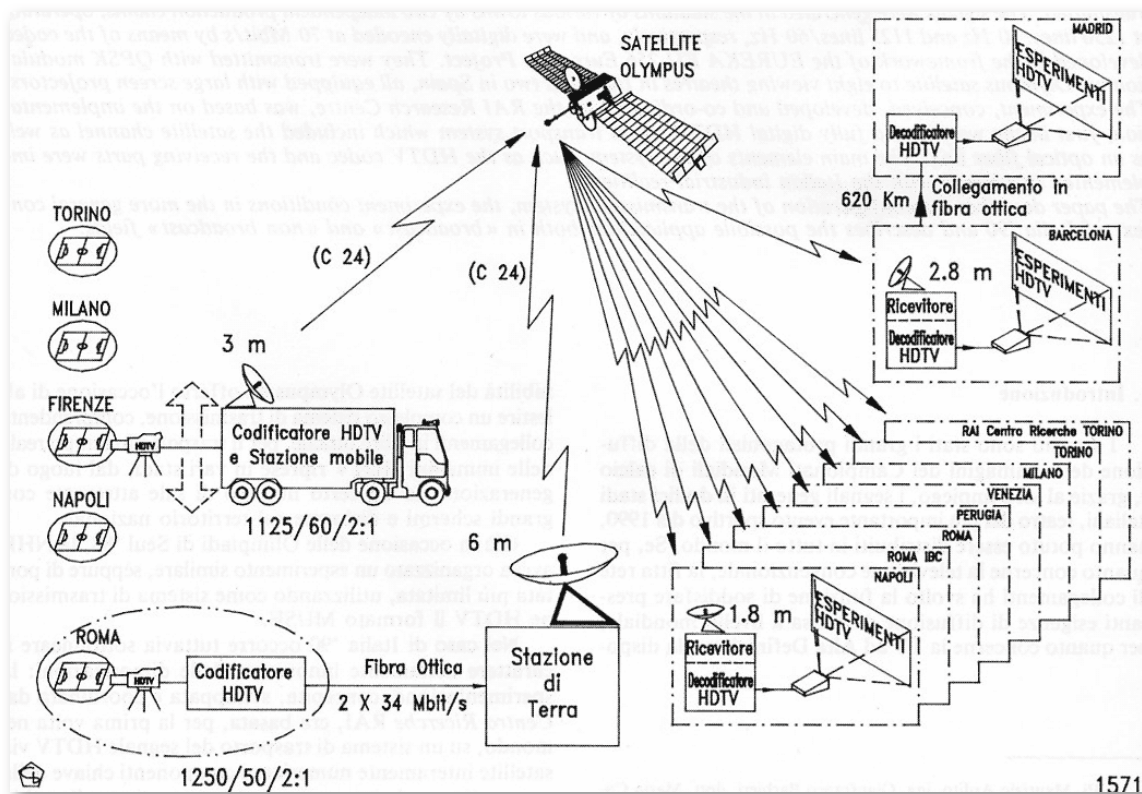


Fig. 3 - Schema riassuntivo degli impianti utilizzati per il collegamento punto-multipunto in HDTV numerica via satellite Olympus per Italia '90. Furono effettuate riprese secondo i due formati HDTV a 1250 righe/50 Hz e 1125 righe/60 Hz. Una prima catena era gestita dalla Rai nel quadro della sua partecipazione al progetto Eureka 95 (formato 1250 righe/50 Hz), operava in permanenza allo stadio Olimpico: furono trasmesse sei partite, compresa la finale. L'altra linea di produzione, installata su due unità mobili della NHK (formato 1125 righe/60 Hz) operava negli stadi di Milano (3 partite), Napoli (4), Torino (2), Firenze (1) e Bari (1). Le riprese erano in co-produzione Rai-NHK. I segnali HDTV venivano convertiti in digitale, compressi a 70 Mbit/s e trasmessi, attraverso il satellite Olimpus, e ricevuti da 8 postazioni in 6 città in Italia e da 2 postazioni in Spagna (Barcellona e, mediante collegamento in fibra ottica, a Madrid).

nel 1993 fu creata la Grande Alliance. Nel novembre 1998 iniziarono le trasmissioni secondo lo standard ATSC.

In Europa nel 1993 vennero abbandonati MAC e HD-MAC e nel settembre fu fondato il DVB con l'obiettivo di sviluppare una famiglia di standard che spazia dalla HDTV alla ricezione portatile.

In Giappone la diffusione digitale iniziò nell'ottobre 1996 con il sistema DVB-S, ma poiché tale sistema non soddisfaceva i requisiti di NHK e delle stazioni commerciali fu sviluppato lo standard ISDB-S che permette la diffusione di due programmi in alta definizione codificati MPEG-2 più dati e audio indipendenti utilizzando un solo transponder da satellite (modulazione TC8PSK, 51 Mbit/s con 34,5 MHz di banda). Dal dicembre 2003 lo standard ISDB-T consente la diffusione di un multiplex sul canale terrestre da 6 MHz (modulazione OFDM), il multiplex può essere costituito da 3 programmi SDTV o da uno HDTV più uno LDTV, codificato AVC per telefono mobile.

Sono quindi essenzialmente tre gli standard per la diffusione (terrestre o da satellite) di segnali HDTV: ATSC, DVB e ISDB, tutti basati sulla codifica video MPEG-2, differiscono invece per il tipo di modulazione impiegato.

L'evoluzione degli standard di produzione HDTV ha proceduto parallelamente con quella degli standard di diffusione.

Sono state definite due famiglie HDTV.

La famiglia caratterizzata da un formato d'immagine 1920 x 1080 è descritta dallo standard SMPTE 274M che definisce 11 diverse varianti di scansione (otto progressive e tre interlacciate) e dalla Rac. ITU-R BT.709 (10 varianti, otto progressive e due interlacciate).

La famiglia con formato 1280 x 720 è descritta dallo standard SMPTE 296M e dalla Rac. ITU-R BT.1543.

3. Rac. ITU-R BT.709

La Rac. 709 [2] venne pubblicata per la prima volta nel 1990 con riferimento a due formati di scansione (*scanning standard*) 1125/60/2:1 e 1250/50/2:1, il primo formato era stato originariamente sviluppato in Giappone ed il secondo era la risposta europea e pertanto è derivato dai formati a 625 righe (infatti ne ha esattamente il doppio, 1250) a frequenza di semiquadro 50 Hz e interlacciato (2:1).

Attualmente la norma è composta di due parti: la prima parte si riferisce ai formati definiti a partire dal 1990, analogici. La seconda parte è relativa al sistema HDTV con formato d'immagine comune e pixel quadrato.

Tab. 1 - Combinazione dei valori di frequenza di ripetizione di immagine previsti per Ripresa e Trasporto dalla Rac. ITU-R BT.709.

Sistema	Ripresa	Trasporto
60/P	60 progressiva	Progressivo
30/P	30 progressiva	Progressivo
30/PsF	30 progressiva	Quadro segmentato
60/I	30 interlacciata	Interlacciato
50/P	50 progressiva	Progressivo
25/P	25 progressiva	Progressivo
25/PsF	25 progressiva	Quadro segmentato
50/I	25 interlacciata	Interlacciato
24/P	24 progressiva	Progressivo
24/PsF	24 progressiva	Quadro segmentato

Il formato comune d'immagine CIF è stato definito a partire dalla penultima versione della Raccomandazione, la BT.709-4.

Sono previste tutte le combinazioni dei parametri di ripresa, o acquisizione, indicati in tabella 1: le frequenze di ripetizione d'immagine (*picture rate*) di 60, 30, 50, 25 e 24 Hz e quelle caratterizzate da tali valori divisi per 1,001 (al fine di considerare anche i sistemi derivati dal sistema analogico composito NTSC, che ha una frequenza di quadro pari a 29,97 Hz). I formati di ripresa possono essere progressivi (P) o Interlacciati (I) e quelli progressivi possono essere trasportati sia in formato progressivo (P) che progressivo con quadro segmentato (PsF). Quest'ultima modalità consente, in ambiente di produzione, di operare con la medesima catena sia con immagini progressive che interlacciate; in particolare le monitorie realizzate con schermi CRT sono in grado di visualizzare uno dei due segmenti del segnale PsF.

La frequenza 24 Hz è compatibile con il numero di fotogrammi al secondo (24) utilizzato dai sistemi cinematografici.

3.1 HD-CIF

Poiché si prevede una pluralità di valori per quanto riguarda la frequenza di ripetizione d'immagine, è evidente che altri sono i parametri comuni: infatti sono quelli relativi al formato d'immagine, indicati in tabella 2, validi per tutte le combinazioni di tabella 1.

La scelta di questi parametri comuni consente di operare in ambienti differenti (televisione, grafica e cinema) riducendo al minimo la necessità di conversioni.

Il numero di pixel (1920 x 1080, cioè 2,07 milioni) è circa 5 volte superiore rispetto

<i>Parametro</i>	<i>Valori di sistema</i>
Rapporto d'immagine (aspect ratio)	16:9
Numero di campioni per riga attiva (samples per active line)	1920
Struttura di campionamento (sampling lattice)	ortogonale
Numero di righe attive per immagine (active lines per picture)	1080
Rapporto di pixel (pixel aspect ratio)	1:1 pixel quadrato (square pixels)

Tab. 2 - Caratteristiche dell'immagine per la Rac. ITU-R BT.709. Questi parametri sono comuni, valgono cioè per tutte le combinazioni.

a quello dell'immagine televisiva a definizione standard.

3.2 Widescreen (16:9)

Una caratteristica introdotta fin dall'inizio per differenziare la televisione ad alta definizione da quella tradizionale è il formato panoramico dell'immagine. Tutti gli standard HDTV prevedono un unico rapporto dimensionale d'immagine: 16:9.

3.3 Pixel quadrati

Quando fu definita la norma per la televisione digitale, cioè la Rac. ITU-R BT.601, i parametri furono scelti in modo tale da rendere uguale il bit-rate relativo alla parte attiva del video sia in ambiente 50 Hz che 60 Hz. In questo modo era possibile limitare le differenze realizzative degli apparati destinati ad operare nei paesi che utilizzavano normalmente PAL o SECAM per la diffusione e quelli che utilizzavano NTSC.

Parametri	Valori di sistema
Segnali codificati	R,G,B o Y, C _R , C _B
Struttura di campionamento - R, G, B, Y - C _R , C _B	Ortagonale, ripetitiva a livello di riga e immagine Ortagonale, i campioni C _R , C _B sono coposizionati tra loro e con i campioni di ordine dispari attivi della luminanza Y
Numero di campioni per riga attiva - R, G, B, Y - C _R , C _B	1920 960
Formato di codifica	Lineare, 8 bit o 10 bit per campione
Livelli di quantizzazione	codifica a 8 bit (10 bit)
- Livello del nero R, G, B, Y C _R , C _B acromatici Picco nominale - R, G, B, Y - C _R , C _B	16 (64) 128 (512) 235 (940) 16 e 240 (64 e 960)
Assegnazione dei livelli di quantizzazione - dati video - riferimenti temporali	da 1 a 254 (da 4 a 1019) 0 e 255 (0-3 e 1020-1023)

Tab. 3 - Rappresentazione digitale del segnale HDTV secondo la Rac. ITU-R BT.709.

Ciò portò alla scelta di un rapporto fra il numero di campioni attivi per riga (720) ed il numero di righe attive per quadro (576) che non è 4/3 (cioè il rapporto d'immagine) e conseguentemente al fatto che il campione non ha la forma quadrata, bensì rettangolare.

Nel mondo della grafica e dell'informatica i pixel sono, ed erano già allora, "quadrati" e quindi è richiesto un adattamento dell'immagine ogni qual volta si utilizza, ad esempio, un'immagine grafica realizzata con un computer all'interno di una

sequenza video, onde evitare di vedere sullo schermo televisivo i cerchi apparire ellissi e i quadrati apparire rettangoli.

Per tutti gli standard HDTV i pixel sono quadrati (infatti il rapporto 1920:1080 corrisponde a quello 16:9). Si privilegia quindi la compatibilità tra computer e televisione. Come conseguenza occorre tener conto del diverso aspetto fra elemento di immagine e pixel quando si effettuano conversioni fra HDTV e SDTV.

3.4 Componenti di colore e colorimetria

La rappresentazione digitale dei formati HDTV, riassunta in tabella 3, è molto simile a quella delle famiglie normalizzate nella Rac. 601 per la SDTV [1].

Sono previste sia la rappresentazione RGB (i campioni delle tre componenti, rossa, verde e blu co-posizionati) che Y , C_R e C_B . In questo ultimo caso le componenti differenza di colore C_R e C_B possono essere sottocampionate e quindi vi sono 960 campioni per ciascuna componente, co-posizionati con i campioni di ordine dispari della luminanza Y .

I coefficienti della matrice per passare da RGB a $Y C_R C_B$ sono significativamente differenti nella Rac. 709 rispetto a quelli della Rac. 601. Ciò implica un ricalcolo delle componenti quando si effettua una conversione di formato SDTV - HDTV o viceversa.

Tutti gli standard HDTV usano la colorimetria definita dalla Rac. ITU-R BT.709.

3. Rac. ITU-R BT.1543

La Rac. 1543 [3] è stata pubblicata nel 2001 e definisce i parametri per la famiglia HDTV con formato d'immagine 1280 x 720.

Attualmente il testo si limita a raccomandare l'uso dei parametri descritti nell'Annex I per la produzione e lo scambio di

programmi nel caso di ambiente operante a 60 Hz (59,94 Hz, 30 Hz, 29,97 Hz), con formato d'immagine 1280 x 720 e limitatamente alla ripresa in modalità P (scansione progressiva).

L'Annex I contiene una descrizione analoga a quanto precedentemente riportato per il formato CIF 1920 x 1280 e quindi in pratica sono validi i parametri già indicati in tabella 2 e 3 se si eccettua il valore del numero di campioni per riga attiva che in questo caso è 1280 (640 per C_R e C_B) ed il numero di righe attive per immagine, in questo caso ridotto a 720.

La figura 4 mette a confronto le aree delle immagini definite dalle tre famiglie oggetto della Rac. 601, Rac. 709 e Rac. 1543.

4. I problemi delle famiglie numerose

La competizione nello sviluppo di sistemi e apparati adatti all'alta definizione ha avuto come risultato la normalizzazione di un numero eccessivo di varianti per la ripresa e la produzione HDTV.

Le motivazioni che hanno portato alla normalizzazione di tante varianti sono principalmente:

- l'esigenza di supportare tutte le frequenze di ripetizione di immagine per garantire la massima compatibilità con gli standard televisivi a definizione con-

- venzionale e con la ripresa cinematografica;
- introdurre la modalità di scansione progressiva per facilitare l'uso di tecniche numeriche nel campo della produzione ed elaborazione di immagini mediante computer, migliorare l'efficienza di compressione del segnale, semplificare la visualizzazione sugli schermi al plasma e LCD;
- il formato 1280 x 720 consente di limitare la banda del segnale e quindi facilita la realizzazione di apparati di ripresa in grado di operare con scansione progressiva.

L'accordo su un formato comune d'immagine CIF (1920 x 1080) ha lo scopo di semplificare questo problema, ma purtroppo l'emergere di un secondo formato d'immagine (1280 x 720) ha minato le fondamenta su cui si regge il CIF definito dalla Rac. 709.

A questo punto per favorire la scelta o il

successo di uno o più formati delle due famiglie diventano fondamentali le pressioni dovute ai produttori di apparati e sistemi: di ripresa, distribuzione e visualizzazione. Una scheda successiva fornisce una visione della situazione attuale, sia dal punto di vista della disponibilità in tecnologie e dispositivi, sia dei servizi HDTV già avviati o annunciati.

Bibliografia

1. M. Barbero, N. Shpuza: "Le origini del video digitale (la raccomandazione ITU-R BT.601)", Eletttronica e Telecomunicazioni, aprile 2003.
1. Recommendation ITU-R BT.709-5: "Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange" (1990, 1994, 1995, 1998, 2000, 2002).
2. Recommendation ITU-R BT.1543: "1280x720, 16x9 progressively captured image format for production and international programme exchange in 60 Hz environment" (2001).

Fig. 4 - Le aree d'immagine specificate (in numero di pixel) dalla Rac. 601 (SDTV) e dalle Rac. 709 e Rac. 1543 (HDTV) messe a confronto. In genere l'inquadratura adottata nel caso di riprese HD è differente da quella utilizzata per SD.

