

Che cosa è, come funziona:

Interfacce video

(SDI, SDTI, ASI, HD-SDI, DVI, HDMI)

Marzio Barbero & Natasha Shpuza

1. Premessa

Due schede precedentemente pubblicate trattano dei formati per i segnali video digitali a definizione standard [1] e ad alta definizione [2]. Le raccomandazioni ITU oggetto delle schede definiscono i parametri fondamentali per rappresentare le immagini, quali la struttura e la frequenza di campionamento, il numero di quadri al secondo e il numero di righe che costituiscono ciascuna immagine. Non si occupano, invece, di definire le modalità e le caratteristiche elettriche necessarie per interfacciare i vari apparati che, grazie alla catena di produzione, e attraverso la catena di trasmissione, consentono la visione delle immagini a casa dell'utente.

Inizialmente, dopo la pubblicazione nel 1982 della Raccomandazione ITU-R BT.601 [3], il problema dell'interfacciamento di tipo digitale si poneva esclusivamente nell'ambiente di produzione, poiché, a quel tempo, il segnale video diffuso era ancora esclusivamente analogico e l'interfacciamento fra gli apparati video domestici era assicurato dalla SCART (§ 5.1).

Le interfacce per la produzione furono definite dagli standard 125M della SMPTE per i sistemi televisivi a 525 righe e dalle specifiche tecniche

EBU Tech 3267 per i sistemi a 625 righe. Entrambe le specifiche confluirono nella Raccomandazione ITU-R BT.656 pubblicata nel 1986: l'attuale versione, 656-4, è del 1998 [4].

Successivamente sono state definite interfacce adatte per l'interconnessione di apparati anche in alta definizione, sia in ambito professionale (HD-SDI) che domestico (DVI, HDMI).

2. Raccomandazione 656

2.1 Interfaccia parallela

A causa delle limitazioni della velocità dei circuiti integrati utilizzati all'epoca, le prime interfacce erano di tipo parallelo, richiedevano cavi costituiti da 11 doppini (*twisted pair*), 10 per ciascuno dei bit relativi all'informazione video più uno per il clock. Il connettore specificato è a 25 contatti (figura 1) e la lunghezza del cavo può raggiungere 50 m senza equalizzazione e 200 m con appropriata equalizzazione. I dati video adottano il semplice codice di linea NRZ (figura 6) dove i simboli 0 e 1 sono associati ai due livelli del segnale.

Interfacce video

I campioni di luminanza e cromaticità sono multiplati (C_B, Y, C_R, Y) e quindi il clock sincrono è a 27 MHz (figura 2). La tecnologia da utilizzare per *driver* e *receiver* non è specificata dalla norma, ma deve essere compatibile con la famiglia logica ECL, pertanto l'impedenza di uscita del driver della linea bilanciata e la terminazione della linea, all'ingresso del receiver, sono da 110 Ω .

Quando furono per la prima volta interconnessi apparati dotati di queste interfacce, ci si rese conto che la scelta di 13,5 MHz come frequenza di campionamento aveva un inconveniente: la 9^a e la 18^a armonica coincidono esattamente con 121,5 MHz e 243 MHz, canali di emergenza per l'aeronautica. La scelta di questa frequenza era stata il risultato di un compromesso fra diverse proposte, e quindi non era pensabile riconsiderare il valore scelto: per limitare le possibili conseguenze di emissioni spurie a tali frequenze ci si affida a indicazioni rigorose nella progettazione degli apparati e nella cura dei collegamenti.



Fig. 1 - Connettori 25-pin D-subminiature

Successivamente, SMPTE definì la norma 267M (*Bit-parallel Digital Interface - Component Video Signal 4:2:2 16x9 Aspect Ratio*) per consentire il trasferimento di immagini costituite da 960×480 elementi e con formato 16:9 e la norma 244M (*System M/NTSC Composite Video Signal - Bit/Parallel Digital Interface*) per il trasferimento di segnali digitali derivati direttamente dal segnale composito NTSC, con frequenza di campionamento pari a quattro volte la sottoportante di colore.

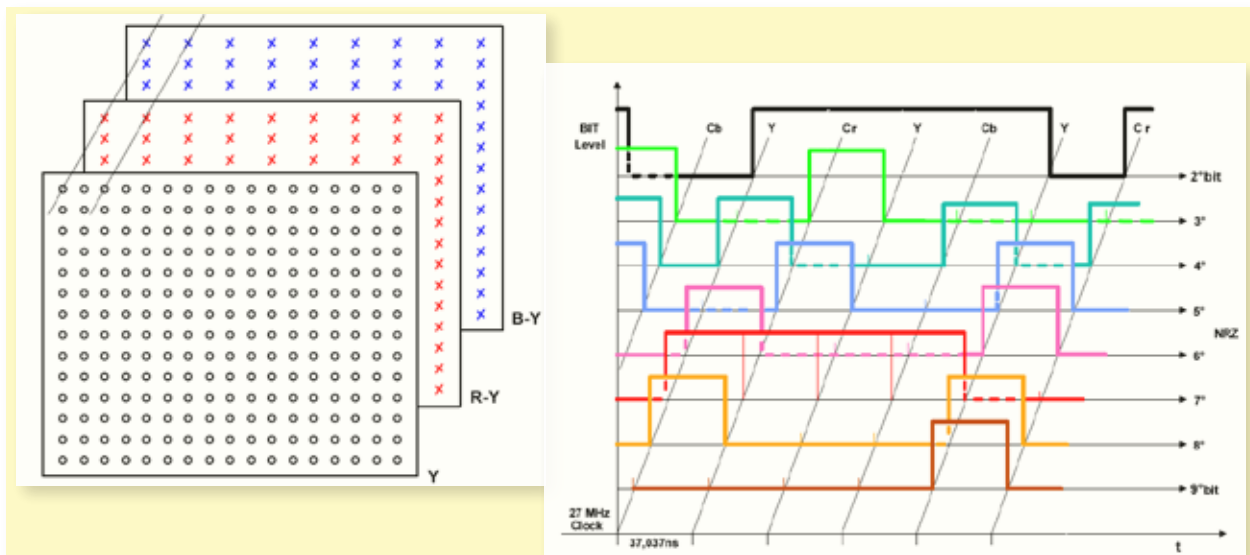


Fig. 2 - In base alla BT.601 il video è campionato secondo la struttura rappresentata a sinistra: ai campioni di luminanza corrisponde una frequenza di 13,5 MHz, a ciascuna delle due componenti di cromaticità una frequenza di 6,75 MHz. I due campioni di cromaticità sono coposizionati con i campioni di ordine dispari della luminanza.

La BT.656 prevede per l'interfaccia parallela che i dati (8 o 10 bit per campione ed il segnale di clock) relativi ai campioni video siano multiplati, come rappresentato nella figura di destra, nel seguente ordine: $C_B, Y, C_R, Y, C_B, Y, C_R, Y, \dots$

Il clock sincrono è a 27 MHz, corrispondente ad un periodo di 37,037 ns.

2.2 Sincronismi analogici e sincronismi digitali

Per consentire la conversione del segnale video da analogico a digitale e viceversa occorre stabilire univocamente la corrispondenza tra i

sincronismi analogici (di quadro, semiquadro e riga) e le informazioni digitali (figura 3).

I sincronismi di riga e di quadro sono sostituiti con due sequenze di 4 parole di 10 bit: SAV e EAV (figura 4).

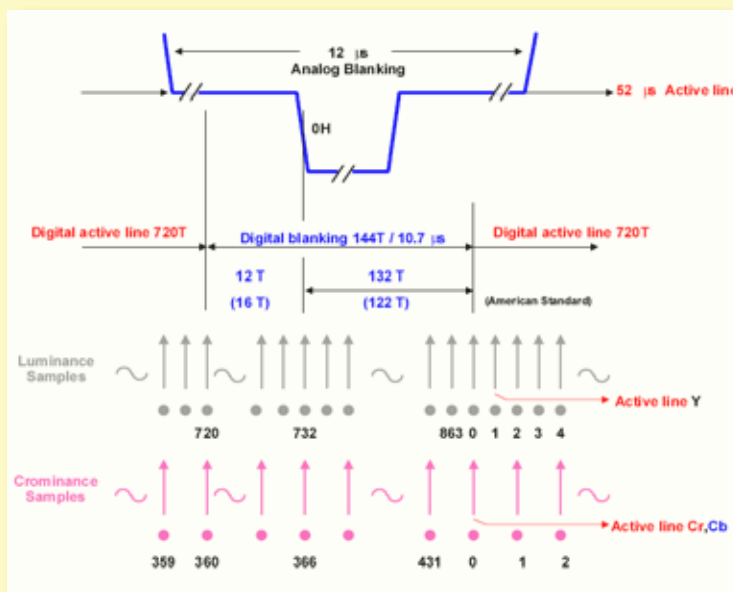
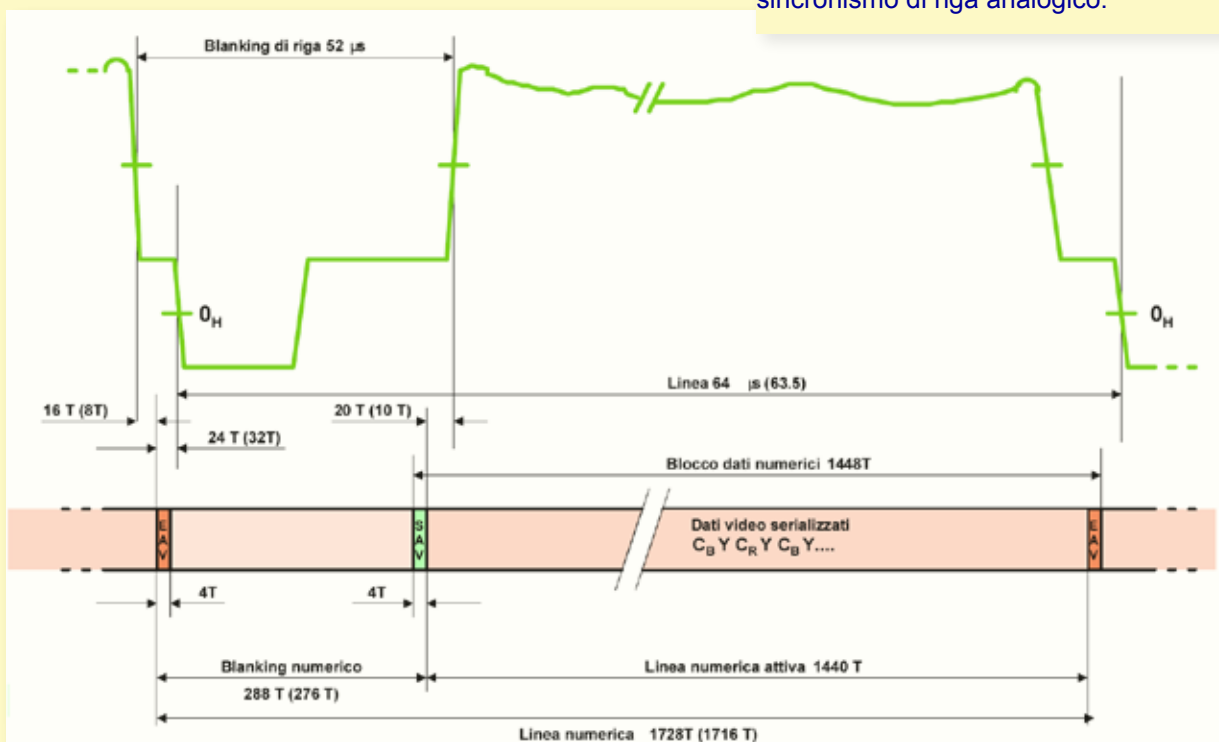


Fig. 3 - Corrispondenza fra i sincronismi digitali e quelli del segnale analogico. Il primo campione della riga attiva digitale è identificato come campione 0, l'ultimo campione è 863 nel caso del formato a 625 righe (857 nel caso di quello a 525 righe). L'intervallo di cancellazione di riga corrisponde a 288 periodi di campionamento (276 in quello a 525 righe). Come illustrato nel dettaglio nella figura in alto, il campione corrispondente all'istante O_H (il riferimento per il sincronismo di riga nel segnale analogico) è quello 732 (736) per la luminanza Y e il 366 (368) per le due componenti di cromaticanza C_B e C_R . Nella figura in basso è evidenziata la corrispondenza temporale fra i segnali di riferimento digitali SAV e EAV con il sincronismo di riga analogico.



Il tempo relativo ai restanti campioni della cancellazione di riga (cioè 282 parole nel caso del formato 625/50) è utilizzabile per dati aggiuntivi (*ancillary data*).

2.3 Interfaccia seriale (SDI)

L'interfaccia di tipo parallelo non era praticamente utilizzabile, per realizzare studi televisivi complessi, e quindi l'obiettivo era la definizione di una interfaccia di tipo seriale, che potesse sfruttare le infrastrutture già presenti, basate su cavi coassiali con impedenza a 75 Ω e connettori di tipo BNC (figura 5).

Inizialmente fu sperimentata un'interfaccia seriale in cui la codifica di canale era basata su un codice a gruppo 8/9 (supportava quindi solo

8 bit per campione video), successivamente fu proposto e adottato un sistema basato sull'uso del codice NRZI (figura 6) e di scrambler (figura 7). Lo scrambler opera sui dati codificati a 10 bit e fa sì che i dati assumano una statistica pseudocasuale, caratterizzata da un elevato numero di transizioni: in questo modo è possibile recuperare in ricezione il sincronismo di clock, senza aggiunta di ridondanza.

L'interfaccia di tipo seriale, sempre specificata in ITU-R BT.656, è nota comunemente come SDI (*Serial Digital Interface*) e supporta la codifica a 10 bit del formato 4:2:2 con formato d'immagine a 720 pixel attivi per riga (270 MHz) e con formato 16/9 a 960 pixel (360 MHz). Per trasferire un segnale progressivo sono necessari due connessioni BT.656.

Fig. 4 - SAV (*Start of Active Video*) e EAV (*End of Active Video*) sono i segnali di riferimento, il primo all'inizio di ogni blocco di dati video ed il secondo alla fine del blocco. Ciascun segnale è costituito da quattro parole nel formato come indicato nella prima tabella. Le prime tre parole sono un preambolo fisso costituito da una parola di bit 1 e due parole di bit 0 (queste parole non sono utilizzabili, così come specificato dalla BT.601, per rappresentare informazioni video). Poiché la prima realizzazione dell'interfaccia era a 8 bit, quando è stata estesa a 10 bit, la norma ha indicato come non definiti il valore dei due bit meno significativi, per compatibilità con gli apparati preesistenti, operanti a 8 bit.

Posizione del bit	Prima parola	Seconda parola	Terza parola	Quarta parola
9 (MSB)	1	0	0	1
8	1	0	0	F
7	1	0	0	V
6	1	0	0	H
5	1	0	0	P ₃
4	1	0	0	P ₂
3	1	0	0	P ₁
2	1	0	0	P ₀
1	1	0	0	0
0	1	0	0	0

Per la quarta parola il significato dei bit è quello schematizzato nella seconda tabella: F=0 durante il semiquadro 1 (dalla riga 1) e 1 durante il semiquadro 2 (dalla riga 313, si riportano i dati validi per il formato a 625 righe); V=1 durante l'intervallo di cancellazione di quadro (dalla riga 624 alla riga 23 e dalla riga 311 alla riga 336) mentre è 0 durante le righe video attive; H=0 identifica SAV e H=1 identifica EAV. P₀, P₁, P₂ e P₃ sono bit di protezione, calcolati in base al valore di F, V e H secondo la tabella in basso (il codice consente la correzione degli errori singoli e la rivelazione di quelli pari).

numero di riga video formato 625/50	F	V	H (SAV)	H (EAV)
1-22	0	1	1	0
23-310	0	0	1	0
311-312	0	1	1	0
313-335	1	1	1	0
336-623	1	0	1	0
624-625	1	1	1	0

F	V	H	P ₃	P ₂	P ₁	P ₀
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1

Il segnale video seriale, oltre che su cavo coassiale, può essere trasportato su fibra ottica [5].

La norma SMPTE 259M (*SDTI Digital Signal/Data - Serial Digital Interface*) prevede anche l'uso per il trasporto di NTSC composito campionato $4f_{sc}$ a 143 Mbit/s, mentre nel caso di PAL composito campionato a quattro volte la sottoportante di colore opera a 177 Mbit/s. La norma SMPTE 259M supporta fino ad otto canali audio digitali AES/EBU.

Fig. 5 - connettore BNC per cavo coassiale.

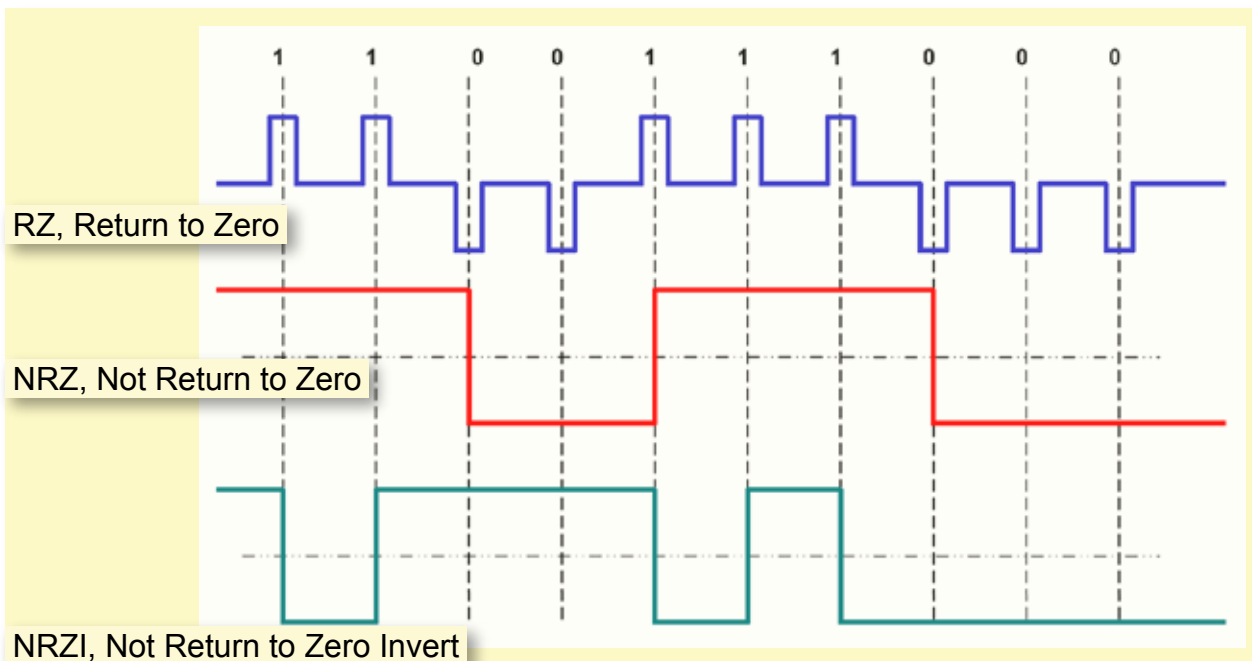


Fig. 6 - Uno dei primi codici di canale utilizzato, in particolare anche per la registrazione dei dati sui primi floppy disk in campo informatico, è stato il codice RZ (*Return to Zero*). In tale applicazione, la corrente di registrazione assume uno stato zero in assenza di bit di informazione, mentre fluisce in una direzione nel caso di bit 1 e nella direzione opposta nel caso di bit 0. Un segnale di questo tipo ha ottime caratteristiche dal punto di vista della rigenerazione del clock, ma non garantisce un buon sfruttamento della banda e ha scarse prestazioni dal punto del rapporto segnale/rumore (la soglia di decisione non è a metà tra i due valori estremi).

Per risolvere questi problemi si può utilizzare il codice NRZ (*Non-Return to Zero*), in questo caso la corrente fluisce in una direzione oppure nell'altra a seconda del valore del bit. I limiti di questo codice sono dovuti al ridotto numero di transizioni (difficile estrazione del clock) e al fatto che ogni qual volta il bit passa da 0 a 1 o da 1 a 0 viene cambiata la polarità del segnale: se si perde un impulso risultano sbagliati non solo il bit immediatamente successivo, ma tutti i bit da tal punto in avanti risultano invertiti (propagazione dell'errore).

Il codice NRZI (*Non-Return to Zero Invert*), risolve il problema della propagazione degli errori assegnando l'evento inversione di polarità alla presenza del simbolo 1, mentre al simbolo 0 corrisponde la mancanza di inversione di polarità. Anche in questo caso, però, il numero di transizioni può essere talmente basso (nel caso di lunghe sequenze di 0) da rendere difficile il recupero del clock.

Interfacce video

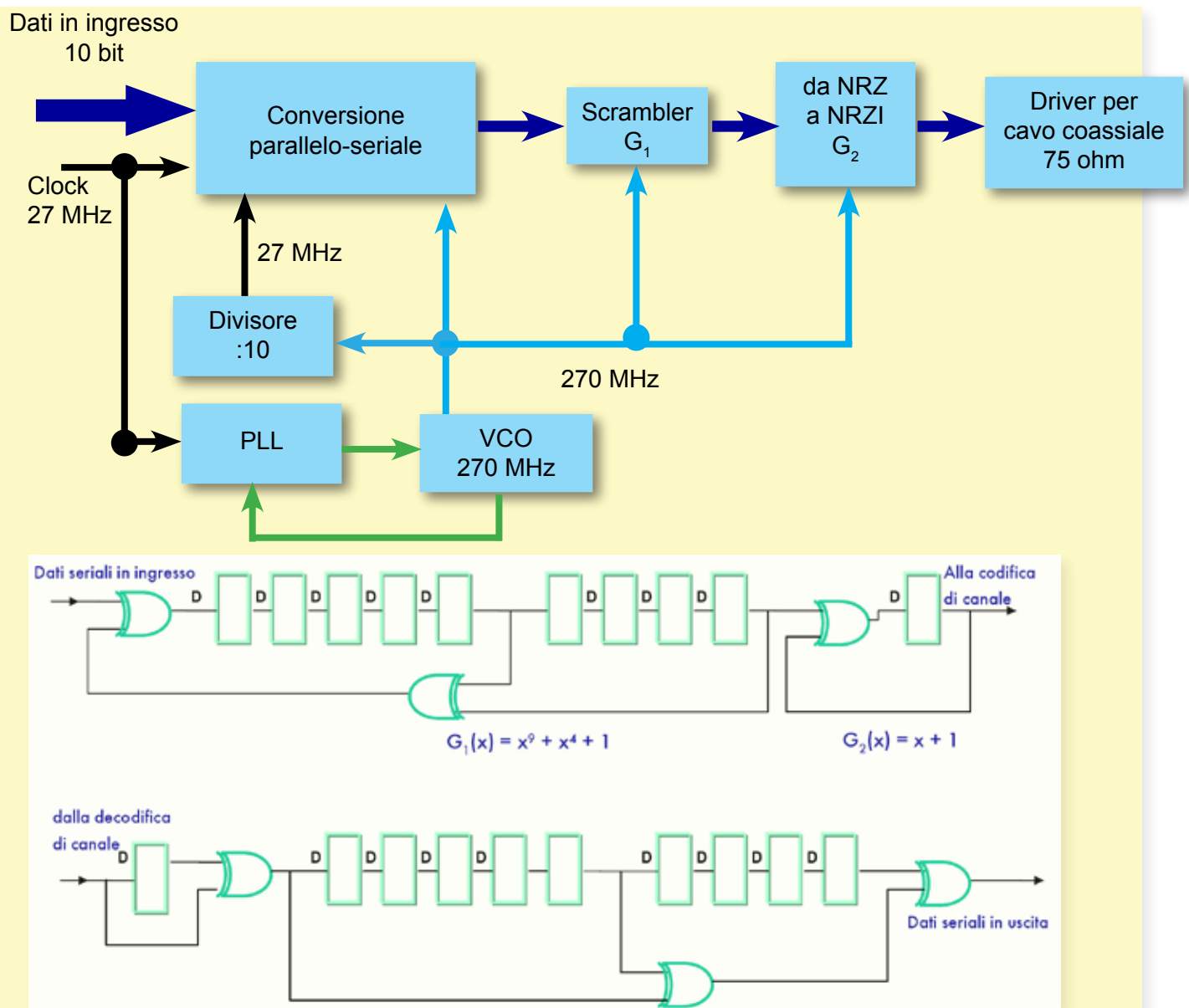


Fig. 7 - La codifica NRZI più scrambler è utilizzato nell'interfaccia seriale SDI.

La codifica NRZI ha dei vantaggi rispetto alle altre soluzioni, compresi i codici a gruppo, per quanto riguarda l'immunità al jitter. D'altro canto lo spettro è più ampio e non ha un'elevata componente spettrale in corrispondenza con la frequenza di clock. Lunghe sequenze di simboli 0 e 1 nel caso dello NRZ e di 0 nel caso di NRZI non presentano commutazioni: può pertanto risultare molto difficile il recupero della frequenza di clock. La soluzione è la somma logica (XOR) di una sequenza pseudocasuale ai dati prima della codifica di canale. Una sequenza pseudocasuale è tale se i simboli 0 e 1 sono equiprobabili e hanno statistica simile a quella ottenibile a partire da un generatore di rumore.

E' possibile ottenere una sequenza con statistica pseudocasuale utilizzando un circuito semplice basato su polinomi generatori, gli stessi utilizzati per i codici ciclici CRC. Una volta sommata la sequenza pseudocasuale i dati risultanti hanno una statistica anch'essa di tipo casuale, quindi il flusso è caratterizzato da un elevato numero di transizioni e può quindi essere utilizzata una codifica tipo NRZI. L'operazione di somma della sequenza pseudocasuale è spesso indicata come *scrambling* (il verbo inglese *to scramble* corrisponde all'italiano "strapazzare").

In ricezione viene sommata la stessa sequenza pseudocasuale (XOR) ottenendo il flusso di dati originali.

Lo scrambler basato su un polinomio di grado 9 è applicato ai dati NRZ nell'interfaccia seriale per il video digitale SDI, seguito da un secondo scrambler di grado 1 per ottenere la sequenza NRZI priva di polarità.

3. Interfacce seriali per il trasporto del video compresso

3.1 SDTI

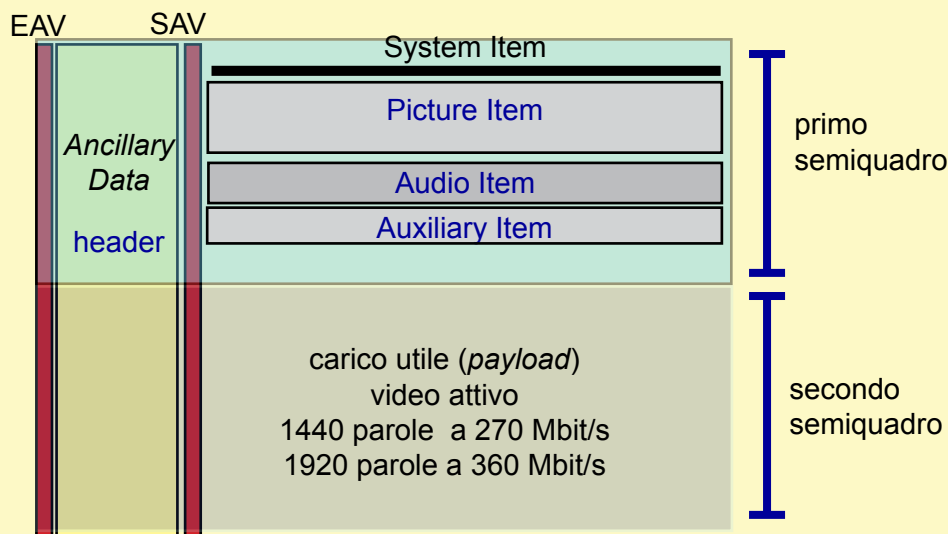
Successivamente furono sviluppati sistemi di compressione dell'informazione video, codec e videoregistratori, e ci si pose il problema di interfacciare apparati utilizzando lo stesso sistema di compressione e formato dati. Infatti l'uso di una interfaccia SDI presuppone che i dati video siano nel formato non compresso BT.601. Il suo utilizzo con informazioni video compresse implica quindi operazioni di co-decodifica in cascata, al solo scopo di interfacciare apparati, anche nel caso questi adottino lo stesso sistema di compressione e formato dati. Poiché i sistemi di compressione utilizzati generalmente non sono trasparenti, comportano una perdita di informazione e un degradamento della qualità video, non giustificato dalla sola esigenza di interfacciamento e di riversamento dei segnali.

Per ovviare a tale limitazione della SDI, la SMPTE 305 (*Serial Data Transport Interface*) specifica la SDTI che utilizza l'infrastruttura SDI in modo compatibile sia dal punto di vista elettrico che della temporizzazione e organizza i dati video compressi tra i sincronismi di riferimento SAV ed EAV (figura 8).

I formati video compressi richiedono una velocità di trasferimento inferiore a quella necessaria per il video non compresso, cioè quella supportata dalla SDI e di conseguenza dalla SDTI. E' quindi possibile sfruttare tale eccesso di capacità per consentire trasferimenti a velocità superiori al tempo reale. Ad esempio i videoregistratori che adottano il formato D10 comprimono il segnale video a 50 Mbit/s ed è possibile effettuare riversamenti, fra due videoregistratori, a velocità doppia rispetto al tempo reale: ad esempio un contributo di un'ora può essere riversato in mezz'ora.

Alcuni standard SMPTE definiscono la mappatura di un'ampia gamma di formati di videore-

Fig. 8 - La struttura dati SDI prevede per il video (carico utile) 1440 parole da 10 bit fino ad una capacità massima di 200 Mbit/s nel caso di bit-rate complessivo di 270 Mbit/s e 1920 parole, consentendo fino a 270 Mbit/s per il payload, nel caso di bit-rate complessivo di 360 Mbit/s. Nel caso di utilizzazione per la SDTI, una intestazione (*header*) di 53 parole contiene gli indirizzi di sorgente e destinazione e la formattazione del carico utile, mentre il carico utile è organizzato in pacchetti dati denominati *item* (ne sono previsti quattro tipi: sistema, immagine, audio e ausiliari) ognuno dei quali può contenere fino a 255 elementi. Sono previsti diversi modi di trasferimento, non tutti necessariamente supportati dagli apparati: isocrono (i pacchetti sono agganciati alla struttura di trama SDTI), asincrono, a bassa latenza (struttura organizzata in sottopacchetti per consentire ritardi molto ridotti).



gistrazione nel formato SDTI. Esistono inoltre ulteriori specifiche, non SMPTE, per consentire la mappatura di altri formati. Di fatto SDTI può essere utilizzata fra coppie di apparati operanti secondo i formati: DVcam, DVCpro25, DVCpro50, D9 (Digital-S) e *Transport Stream* MPEG-2, Betacam SX, e HDcam, D10 (IMX), DVCPRO HD, HD-D5.

3.2 Interfaccia asincrona DVB-ASI

E' l'interfaccia definita dal DVB [6] per consentire il trasferimento del *Transport Stream* MPEG-2 (figura 9) in modo elettricamente compatibile con la SDI (collegamenti unidirezionali, a 800 mV p-p, 270 Mbit/s, lunghezza del cavo, di qualità opportuna ed equalizzato, fino a 300 m).

ASI è l'acronimo di *Asynchronous Serial Interface*, esistono anche una interfaccia sincrona parallela (DVB-SPI) e una seriale (DVB-SSI).

Si è visto che nell'interfaccia SDI esiste una relazione fissa tra la temporizzazione dei campioni video (27 MHz) ed il clock (270 MHz), quindi SDI è intrinsecamente una interfaccia sincrona.

Nel caso di SDTI e ASI, però, si trasporta un segnale compresso ed in questo caso può esserci ancora una relazione di sincronismo tra l'informazione video e il clock, ma spesso i sincronismi video sono indipendenti dal clock ricavabile dal flusso binario e sono invece ricavabili da opportune informazioni (*program clock reference*) contenute nel flusso di dati.

Tab. 1 - Bit-rate tipici per interfacce seriali HD

Formato	Scansione	Numero di righe attive per quadro	Numero di pixel per riga	Bit-rate [Gbit/s]
1080p60	progressivo	1080	1920	2,97
1080p59,94				2,97/1,001
1080p50				2,97
1080p25				1,485
1080i60	interlacciato	1080	1920	1,485
1080i59,94				1,485/1,001
1080i50				1,485
720p60	progressivo	720	1280	1,485
720p59,94				1,485/ 1,001

4. Interfaccia seriale per video ad alta definizione (HD-SDI)

Per l'alta definizione attualmente sono utilizzati soprattutto due formati d'immagine: HD-CIF previsto dalla Rac. BT.709 (1080 righe per quadro e 1920 pixel per riga) e quello previsto dalla Rac. BT.1543 (720 righe per quadro e 1280 pixel per riga) [2]. Il primo formato è oggi usato principalmente, in ambito televisivo, per la ripresa con scansione interlacciata, mentre la ripresa in formato progressivo trova applicazione soprattutto nell'ambito del cinema elettronico. Il secondo formato è previsto solo nella modalità di ripresa con scansione progressiva e per frequenze di immagine a 59,94 Hz, 30 Hz e 60 Hz, anche se sono stati sviluppati apparati operanti anche a 50 Hz.

In tabella 1 sono riassunti i bit-rate richiesti per le principali combinazioni di formato d'immagine e frequenza di ripetizione d'immagine.

Nel caso dei formati 1080i e 720p è sufficiente un bit-rate inferiore a 1,5 Gbit/s ed una apposita interfaccia seriale specificata dalla norma SMPTE 292M (*Bit-Serial Digital Interface for High Definition Television*) definisce infatti una interfaccia seriale operante a 1,485 Mbit/s (per i formati a 60 Hz, 50 Hz, 30 Hz, 25 Hz e 24 Hz) e a 1,485/1,001 Mbit/s (per i formati a 59,94 Hz, 29,97 Hz e 23,98 Hz, frequenze di ripetizione d'immagine compatibili con il sistema NTSC).

Nei casi in cui la capacità di 1,5 Gbit/s non sia sufficiente, per supportare i formati che richiedono bit-rate più elevati (1080p, 4:2:2, 10 bit a 60 Hz, 59,94 Hz e 50 Hz oppure RGB, 4:4:4, a 12 bit), la norma SMPTE 372M (*Dual Link 292M Interface for 1920 x 1080 Picture Raster*) specifica un'interfaccia con una coppia di connessioni (*dual link*) consistente in due interfacce 292M in parallelo.

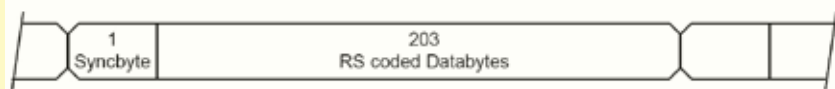
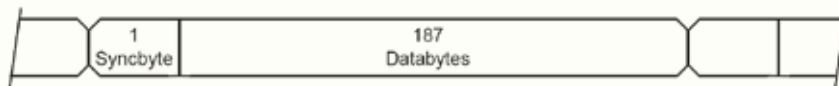
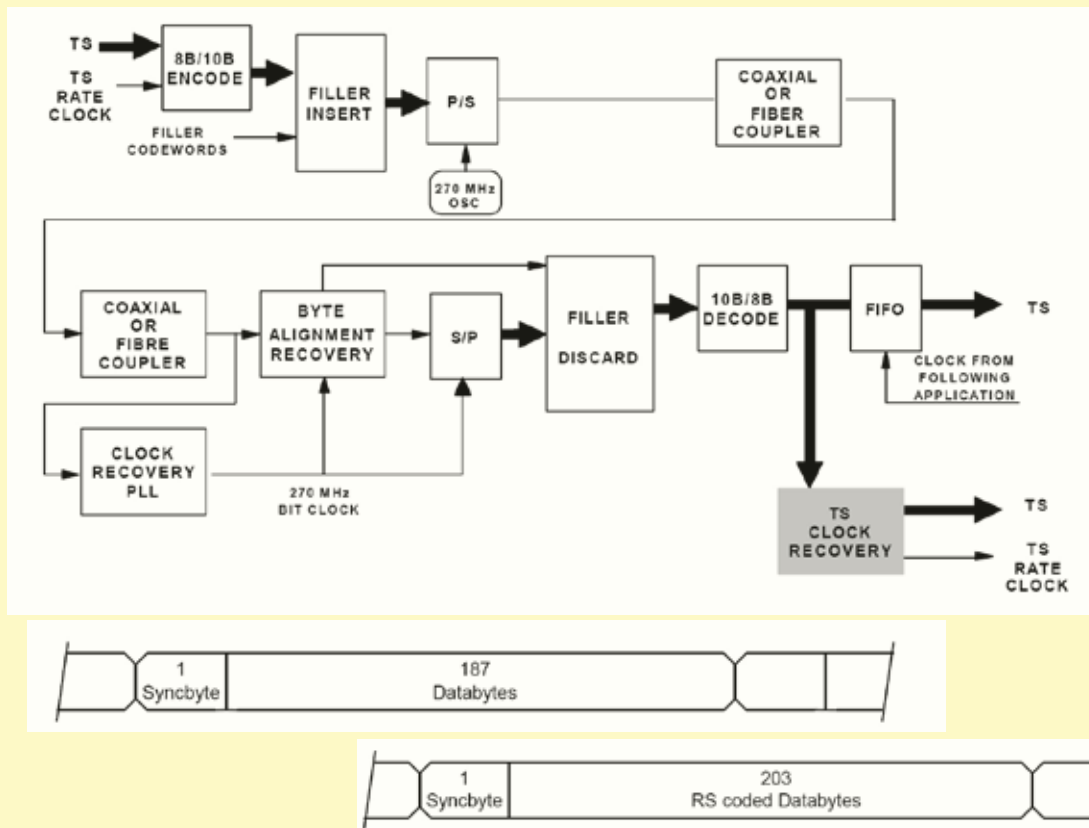
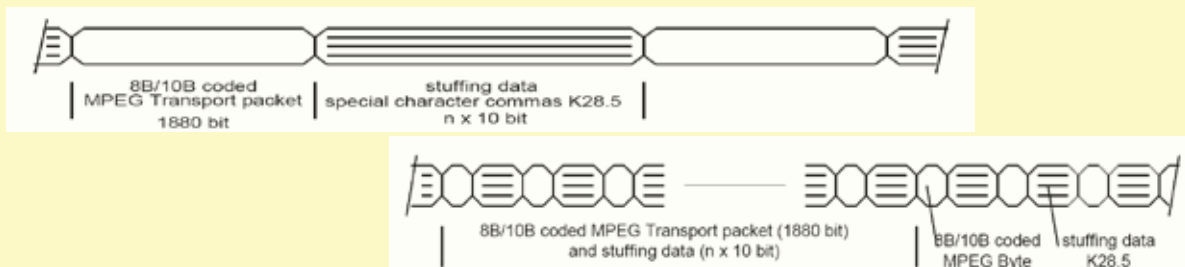


Fig. 9 - Esempio di applicazione dell'interfaccia DVB-ASI.

I pacchetti a lunghezza fissa che costituiscono il *transport stream* MPEG-2 comprendono 188 byte o 204 byte, nel caso siano protetti con il codice Reed Salomon. Il Pacchetto di Trasporto è costituito da una Header di 4 byte, il primo di sincronismo, e da un carico utile di 184 byte, per un totale di 188 byte: tale lunghezza fu scelta per ottenere una compatibilità con la struttura ATM (ciascuna cella ATM è costituita da 5 byte per la header, 1 byte di servizio e 47 byte di carico utile, l'equivalente in carico utile di 4 celle ATM, 4 x 47 byte, corrisponde quindi esattamente ai 184 byte di carico utile di un pacchetto del *Transport Stream*).



8B information Character	0	1	0	0	0	1	1	1		
10B transmission Character RD.	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1
10B transmission Character RD.	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1

I byte sono codificati mediante un codice a gruppo che associa 10 bit ogni byte (8B/10B), in modo da consentire la rigenerazione del clock la rilevazione della presenza di errori; il sincronismo è ottenuto mediante una parola da 10 bit non compresa fra quelle generate dal codice.

I pacchetti di dati video possono essere forniti sia come burst continui di byte, oppure come byte isolati, a ciascun byte (nell'esempio 0100 0111) viene associato una di due possibili parole da 10 bit a seconda del valore del parametro RD (*Running Disparity*) che determina il rapporto tra il numero di zeri e uni durante la trasmissione. RD viene determinato in base al rapporto calcolato nel sub-block precedente.

Poiché la soluzione con due connessioni pone problemi pratici rilevanti, recentemente è stata definita (SMPTE 424M, 3 Gb/s *Signal/Data Serial Interface*) una interfaccia a 2,97 Gbit/s che consente l'uso di un solo cavo (figura 10).

In tabella 2 sono indicate, a titolo d'esempio, le distanze raggiungibili, con cavo coassiale, mediante SDI e HD-SDI. Queste interfacce trovano applicazione nell'ambiente di produzione, per la televisione o per il cinema.

Altre norme, generalmente specificate da consorzi di produttori di apparati, si applicano agli apparati consumer: decoder, riproduttori, schermi e proiettori.

Tab. 2 - Distanza di trasmissione calcolata per cavi coassiali del tipo 1694F della Belden, il costruttore specifica che i valori reali sono in genere migliori.

Applicazione	bit rate [Mbit/s]	Norme	m
NTSC composito	143	SMPTE 259M Annex A	482
PAL composito	177,3	SMPTE 259M Annex B	433
4:2:2 componenti a 4:3	270	ITU-R BT.656 SMPTE 259M	335
4:2:2 componenti a 16:9	360	ITU-R BT.656 SMPTE 259M	293
4:4:4 componenti a 16:9	540	SMPTE 344M	229
HDTV	1485	SMPTE 292M	88
HDTV scansione progressiva	2970	SMPTE 424M	58

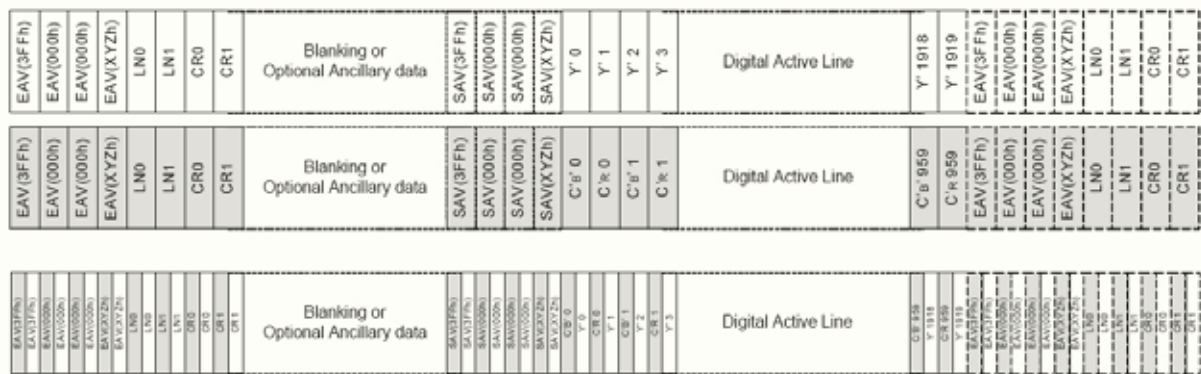


Fig. 10 - L'interfaccia a 3 Gbit/s (SMPTE 424M) prevede che il flusso seriale sia ottenuto a partire da due flussi, costituenti una interfaccia virtuale, di parole da 10 bit. Ciascuno dei due flussi è costituito da quattro aree: EAV e riferimento temporale, intervallo di cancellazione di riga, SAV e riferimento temporale, riga attiva (video o ancillary data). EAV e SAV sono costituite da quattro parole come indicato in figura 4, sono entrambe seguite da due parole che indicano il numero di riga e da due parole per rivelare eventuali errori (CRC).

Le parole di 10 bit costituenti i due flussi dell'interfaccia virtuale (in alto in figura) sono intercalate per formare il multiplex relativo all'interfaccia parallela riprodotto in basso in figura. I dati sono successivamente serializzati, con il bit meno significativo (LSB) di ciascuna parola trasmesso per primo. Il flusso complessivo ha un bit-rate pari a 2,97 Gbit/s (o 1,97/1,001 Gbit/s se la frequenza di quadro è quella NTSC). Lo schema di codifica di canale è NRZI con *scrambler* ed i polinomi generatori utilizzati sono gli stessi adottati per la SDI (figura 7). Nel caso di collegamento mediante cavo coassiale a 75 ohm e connettore BNC, il segnale ha un'ampiezza di 800 mV $\pm 10\%$, dc offset 0,0 V $\pm 0,5$ V.

5. Dalla SCART alla HDMI

5.1 SCART

Nel 1977 fece la sua apparizione il connettore SCART (*Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs*) [5], noto anche come *Peritel* e normalizzato per consentire l'interconnessione fra gli apparati audiovisivi (TV, VCR e, successivamente, DVD e console per i giochi) permettendo di trasferire i segnali video analogici RGB e compositi (dal 1980 anche S Video) e audio stereo.

5.2 DVI

La DVI (*Digital Visual Interface*) è un'interfaccia sviluppata nel 1999 [6] per consentire la connessione anche in formato digitale di monitor a pannelli piatti e proiettori ai PC. Una connessione singola DVI consiste di quattro doppi (twisted pair) per il rosso, verde, blu e il clock e consente la trasmissione di 24 bit per ciascun pixel. Con una sola connessione a 60 Hz si può avere una risoluzione massima di 2,6 Mpixel; nel caso non sia sufficiente si può utilizzare una seconda connessione (sempre supportata dallo stesso connettore) per aumentare la banda oppure il numero di bit. Il connettore può ospitare anche i piedini per trasferire il video analogico, secondo lo standard VGA (figura 11).

La versione video è stata sviluppata per consentire anche l'interconnessione di apparati HDTV ai display.

5.3 HDMI

L'interfaccia HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) ha, per quanto riguarda la connessione digitali, caratteristiche simili alla DVI, infatti sono reperibili cavi dotati di entrambi i connettori (figura 12), ma è stata sviluppata da un consorzio di produttori (www.hdmi.org) specificatamente per il mercato consumer HDTV (figura 13). La massima velocità di trasferimento video

Fig. 11 - I connettori DVI possono essere di tipo DVI-I (supportano sia il segnale digitale che quello analogico) per singola connessione (*single-link*) o doppia connessione (*dual-link*). I DVI-D sono solamente per collegamenti digitali e i DVI-A solamente per collegamenti analogici.

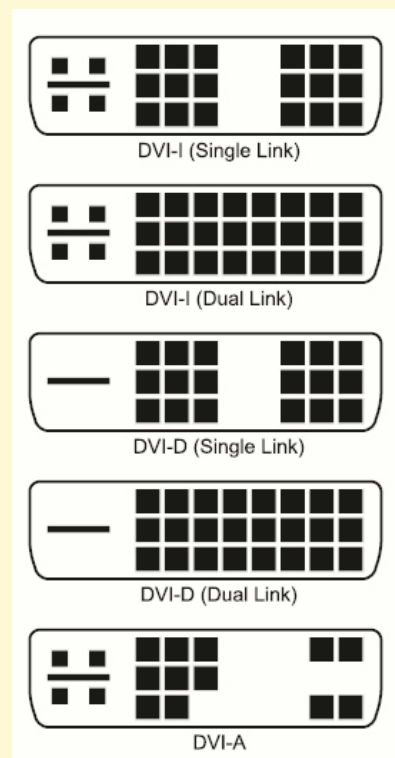
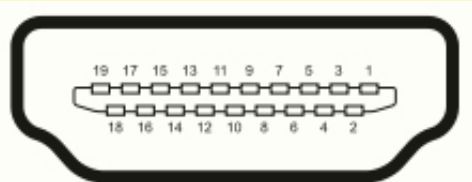


Fig. 12 - Cavo di interconnessione DVI (maschio) a sinistra e HDMI (maschio) a destra.





Pin	Signal Assignment	Pin	Signal Assignment
1	TMDS Data2+	2	TMDS Data2 Shield
3	TMDS Data2-	4	TMDS Data1+
5	TMDS Data1 Shield	6	TMDS Data1-
7	TMDS Data0+	8	TMDS Data0 Shield
9	TMDS Data0-	10	TMDS Clock+
11	TMDS Clock Shield	12	TMDS Clock-
13	CEC	14	Reserved (N.C. on device)
15	SCL	16	SDA
17	DDC/CEC Ground	18	+5 V Power
19	Hot Plug Detect		

Fig. 13 - connettore HDMI tipo A, da 19 contatti (quello di tipo B ha 29 contatti). Il canale TMDS consente, per il video: velocità da 25 a 340 Mpixel/s, 4:4:4, RGB e $YCbCr$ (da 8 a 16 bit per componente) e 4:2:2 (fino a 12 bit per componente). HDMI supporta 1080p fino a 120 Hz. Per l'audio: fino ad 8 canali, frequenza di campionamento: 32 kHz, 44,1 kHz, 48 kHz, 88,2 kHz, 96 kHz, 176,4 kHz, 192 kHz. Il canale DDC permette alla sorgente di interrogare il dispositivo di destinazione sulle proprie caratteristiche. Il canale CEC (*Consumer Electronics Control*), opzionale, è utilizzabile per funzioni di controllo remoto.

era di 165 Mpixel/s, sufficiente per il formato HDTV 1080p o per UXGA (1600x1200), ma l'attuale versione 1.3 ha portato tale velocità fino al massimo di 340 Mpixel/s (per il tipo A, il doppio per il tipo B).

5.4 HDCP

Il termine HDCP (vedere riquadro) non ci si riferisce ad una interfaccia, bensì a un sistema di protezione dei contenuti che transitano sulle connessioni DVI e HDMI per evitare usi impropri.

HDCP e protezione dei contenuti

HDCP (*High-Bandwidth Digital Content Protection*) indica un sistema di gestione dei diritti DRM (*Digital Rights Management*) sviluppato da Intel Corporation e che applica la cifratura del segnale che transita sulle connessioni DVI e HDVI per evitare usi impropri. Le specifiche HDCP sono proprietarie e i produttori di apparati devono richiedere una licenza per realizzare dispositivi che ne facciano uso. Ad ogni modello di dispositivo è assegnato un insieme di 40 chiavi, ciascuna di 56 bit, che grazie ad un processo di autenticazione permette alla coppia di apparati interconnessi di utilizzare un sistema di criptaggio nello scambio dei dati. I sistemi HD-DVD e Blu-Ray Disc prevedono che i produttori di dischi ottici possano impostare un *flag* per consentire l'uscita in alta definizione solo in forma criptata secondo HDCP. Solo un display connesso in grado di gestire il protocollo HDCP, e quindi di garantire che i dati non siano piratati, visualizza la massima definizione, altrimenti l'uscita video è fornita in modo non criptato, ma la definizione viene ridotta a 960x540p. In questo modo i produttori di contenuti possono impedire la realizzazione di copie illegali, ma identiche, dei film in alta definizione. HDCP è una delle caratteristiche richieste dalla EICTA (*European Industry Association for Information Systems*) a partire dal gennaio 2005, per poter identificare e commercializzare i display come *HD ready*. Per molte ragioni viene messa in dubbio l'efficacia della protezione attuabile mediante HDCP. I produttori sembrano orientati, almeno nei primi tempi, a non impostare il flag previsto per i supporti ottici, poiché la maggior parte dei display già in uso non sono abilitati all'uso di HDCP e quindi non potrebbero visualizzare al meglio i prodotti HD, anche quelli distribuiti legalmente. Occorre inoltre notare che, nel caso di diffusione, per esempio via canale satellitare o terrestre, del programma HDTV, la tratta meno sicura non è quella relativa alla connessione fra il STB e lo schermo, attuata mediante interfaccia DVI e HDMI, bensì il *Transport Stream*, che, avendo un bit-rate inferiore ai 20 Mbit/s, è più facilmente registrabile, per poi essere riprodotto senza ulteriori vincoli e senza ulteriore perdita in qualità e definizione. Infine, già nel 2001, ancora prima dell'adozione commerciale del prodotto, fu messo in evidenza il fatto che il sistema di protezione non era sicuro e poteva essere aggirato: dal 2005 vi sono aziende che hanno sviluppato dispositivi che operano come filtri posti nel percorso fra i due apparati interconnessi ed eliminano la protezione (ulteriori informazioni su <http://en.wikipedia.org/wiki/HDCP>).

6. Interfacce per computer

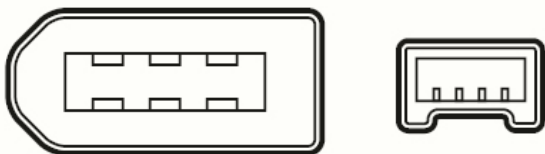
Esistono numerose interfacce usate in ambito professionale per trasferire il video in ambito informatico. La più diffusa è denominata FireWire (da Apple), i.Link (da Sony) e IEEE 1394.

E' un'interfaccia bidirezionale utilizzata a partire dal 1995 e costituita da due doppiini (*twisted pair*) ed un doppiino opzionale per l'alimentazione. Il connettore è a 4 o 6 piedini (figura 14).

Nell'applicazione più semplice supporta la comunicazione fra dispositivi a 100, 200 o 400 Mbit/s. Possono essere interconnessi fino a 63 periferiche utilizzando una struttura di rete a hub. La specifica 1394b supporta fino a 900 Mbit/s con un connettore a 9 piedini e collegamenti in fibra ottica fino a 100 m e 3,2 Gbit/s.

SMPTE 396M ha definito il metodo per trasportare il video in formato DV, ma non è comunque garantita la compatibilità completa fra dispositivi che supportano lo standard IEEE 1394 perché esistono vari protocolli proprietari per trasportare audio, video e segnali di controllo.

Fig. 14 - Cavo IEEE 1394 con un connettore a 6 piedini e l'altro a 4 piedini.



Bibliografia

1. M. Barbero, N. Shpuza: "Le origini del video digitale (la raccomandazione ITU-R BT.601)", Elettronica e Telecomunicazioni, aprile 2003.
2. M. Barbero, N. Shpuza: "I formati HDTV (le raccomandazioni ITU-R BT.709 e BT.1543)", Elettronica e Telecomunicazioni, aprile 2005.
3. Rec. ITU-R BT.601-5: "Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-Screen 16:9 Aspect Ratios" (1982-1986-1990-1992-1994-1995)
4. Rec. ITU-R BT.656-4: "Interfaces for Digital Component Video Signals in 525-line and 625-line Television Systems operating at the 4:2:2 Level of Recommendation ITU-R BT.601-5 (Part A)", (1986-1992-1994-1995-1998)
5. Rec. ITU-R BT.1367 - Serial Digital Fiber Transmission Systems for Signals Conforming to Recommendations ITU-R BT.656, BT.799 e BT.1120).
6. ETSI TR 101 891 - Digital Video Broadcasting (DVB); Professional Interfaces: Guidelines for the implementation and usage of the DVB Asynchronous Serial Interface (ASI), v1.1.1 (2001-02)
7. CENELEC EN 50083-9 - Cabled distribution systems for television, sound and interactive multimedia signals. Part 9: Interfaces for CATV/SMATV headends and similar professional equipment for DVB/MPEG-2 transport streams.
8. Digital Visual Interface, rev. 1.0, 2 aprile 1999, www.ddwg.org