

11

Dal Video Analogico al Video Digitale¹

¹ Questa lezione raccoglie il contenuto di alcuni articoli divulgativi apparsi su **Digital Video** in collaborazione con il Dott. Thomas Cocco

La storia della televisione ad Alta Definizione

Per raccontare come siamo arrivati alle moderne tecniche di visione digitali ad alta definizione bisogna riavvolgere il nastro della storia e fare qualche passo indietro.

Il Bianco e Nero

Le prime trasmissioni televisive sperimentali avvennero ad opera di **John Logie Baird** nel **1924**. Il formato TV B/N in quanto tale, fin dalla prima versione “A” con 377 linee del 1935, era rappresentabile come un unico pennello di luce che percorreva uno schermo illuminandolo con un'intensità variabile e tale da rendere intelligibili delle immagini. Tutte le successive versioni di TV in bianco e nero hanno mantenuto la medesima caratteristica di rappresentazione delle immagini utilizzando un unico segnale, denominato **luminanza**.

Le limitate possibilità delle apparecchiature imponevano di usare l'**interlacciamento** (ovvero la trasmissione dell'immagine in due semiquadri che coprono alternativamente le righe pari e le dispari). Con l'interlacciamento si dimezza la larghezza di banda (bene sempre prezioso) a spese della qualità dell'immagine (con la persistenza dei fosfori dei tubi catodici del *Neolitico* questo fenomeno non era certamente avvertibile).

Un ulteriore problema che ha caratterizzato lo sviluppo di tutti gli standard di trasmissione televisiva analogica sia a colori che in bianco e nero era la dipendenza dalla frequenza di rete per una generazione senza interferenze e slittamenti dei segnali di sincronismo. Questo ha fatto sì che i sistemi adottati nei paesi con la frequenza di rete a **60 Hz** (per esempio gli Stati Uniti) siano sempre stati diversi e poco compatibili con quelli europei a **50 Hz**. Sono stati

catalogati una decina di formati TV in bianco e nero caratterizzati da lettere dell'alfabeto; i non obsoleti si distinguono per un numero di **linee** di **625** per i paesi con rete a **50 Hz** e **525** per quelli con rete a **60 Hz**. Per un elenco dettagliato si veda per esempio:

http://en.wikipedia.org/wiki/Broadcast_television_systems

Gli inizi dell'Alta definizione

Si comincia a parlare di alta definizione (pur sempre analogica) solo nel 1958 quando, nell'allora URSS, fu creato presso **l'Istituto delle ricerche sulla televisione di Mosca (МНИТИ)** un sistema per usi militari il cui allora nome in codice era “**Трансформатор**” (letteralmente: **trasformatore**). Si trattava di un sistema a **1125 linee** destinato a supportare il collegamento TV tra gli alti comandi dei generali sovietici. In seguito le stesse attrezzature furono utilizzate per la realizzazione del **Telecentro Ostankino**, noto anche come **Torre di Ostankino**. In ogni modo tale sistema ad alta definizione non fu mai commercializzato, né utilizzato per fini civili.

Più corretto appare allora considerare come anno di nascita della TV ad alta definizione il 1968. In quell'anno, in pieno periodo di rivoluzioni culturali e sociali, la rete televisiva nazionale giapponese **NHK** faceva partire un rilevante progetto per lo sviluppo di un nuovo standard TV, la **NHK-HDTV**. Si trattava di uno standard analogico a **1125** linee, con schermo di proporzioni **5:3** e tecniche digitali di compressione, che avrebbe effettivamente visto la luce nel **1980** e limitatamente a trasmissioni via satellite (cosa motivata dalla geografia del territorio del Giappone, per la quale uno o due satelliti di trasmissione sono sufficienti a coprire l'intera superficie nazionale). Nel 1986 un accordo tra NHK e i network TV degli Stati Uniti portò all'evoluzione del progetto iniziale giapponese in una direzione tale da garantire una sua semplice conversione verso lo standard americano.

L'Europa (sia per la difficoltà di conversione ai propri standard televisivi sia per le royalties commerciali imposte a carico degli utilizzatori del sistema) rimase fuori da tale progetto dando vita a un progetto autonomo denominato **Eureka EU95**. Con tale progetto nel 1988 fu raggiunto l'obiettivo di definire uno standard di TV ad alta definizione compatibile con i sistemi **PAL** e **SECAM**, già in uso nel continente. Successivamente lo sviluppo e la ricerca di nuove tecnologie per la televisione ad alta definizione affrontarono un periodo di rallentamento; si assistette piuttosto alla diffusione delle TV digitali a bassa definizione, con l'utilizzo di tecniche di compressione del segnale prevalentemente mediante lo standard di codifica **MPEG-2**. A dare impulso a tale diffusione fu il progetto **European Launching Group**, poi denominato **DVB (Digital Video Broadcasting)**, nato con l'intenzione di definire degli standard tecnici per il sistema della TV digitale.

L'evoluzione dei progetti di TV ad alta definizione riprese nel 1994 quando i responsabili del progetto **Eureka EU95** decisero di intraprendere le ricerche necessarie alla conversione delle tecniche di **HDTV analogica** in **HDTV digitale**. Nacque così il progetto **Eureka Advanced Digital Television Technologies (ADTT)** il cui gruppo di lavoro da quel momento opererà in collaborazione con i responsabili del progetto **DVB**: fu questo il primo passo verso la TV digitale ad alta definizione. Contemporaneamente negli Stati Uniti nasceva un consorzio di produttori denominato (certo poco sobriamente) **Grand Alliance**, con lo scopo di determinare uno standard unico per l'alta definizione. Nel 1997 la televisione digitale divenne realtà in Europa grazie a **Sky Digital** che iniziò le proprie trasmissioni in Inghilterra. Per tutta risposta l'anno successivo i fondatori della **Grand Alliance** lanciarono il sistema **ATSC (Advanced Television Systems Committee)** il cui uso era raccomandato, ma non d'obbligo, per trasmissioni ad alta definizione che comunque cominciano a essere irradiate secondo dei calendari decisi dall'**ATSC** e dall'**FCC** americano.

È quindi il 1998 l'anno di nascita delle prime televisioni digitali ad alta definizione che cominciarono ad affermarsi anche grazie alla diminuzione del prezzo degli schermi di grandi dimensioni.

L'Alta Definizione italiana

In Italia le prime trasmissioni televisive sperimentali in bianco e nero a 441 linee e 25 frame al secondo in formato 4:3 arrivano negli anni '30 del XX secolo con delle linee di trasmissione in **VHF** da **2 KW** tra Roma e Milano. Per vedere le prime trasmissioni regolari occorrerà attendere altri 20 anni quando, il **3 Gennaio 1954**, inizieranno le trasmissioni **RAI** su buona parte del territorio nazionale sia in diretta (mediante telecamere) che registrate (ottenute da cineprese montate in moviola e riprodotte da **telecinema**).

Dopo altri 4 lustri arriverà anche il colore: siamo nel 1977 e dopo anni di indecisione verrà scelto il più avanzato sistema **PAL** (nelle sue versioni **B/G**).

Nel 1987 la RAI realizza il film "Giulia e Giulia" per la regia di Peter Dal Monte: si tratta del primo lungometraggio in formato digitale ad alta definizione mediante il sistema Sony **HDVS 1125/60i/5:3** una risoluzione circa doppia di quella televisiva; il film fu poi trasferito su pellicola per la diffusione nelle sale cinematografiche.

Nel 1990, sempre la RAI, in occasione dei mondiali di calcio in Italia esplorerà in varie sale cinematografiche la diretta delle partite in alta definizione analogica negli standard **HDMAC 1250/50i** e **MUSE 1125/60i** corrispondenti a uno schermo di **2048x1152** punti con risoluzione verticale esattamente doppia rispetto al **PAL** e paragonabile al formato **Full HD**.

Sei anni dopo partiranno le prime trasmissioni in formato digitale, visibili soltanto via satellite e in bassa definizione. Nel 2004 il formato digitale a bassa definizione è disponibile anche

tramite i ripetitori terrestri. Nel 2006 in occasione delle Olimpiadi invernali di Torino vengono effettuate delle trasmissioni sperimentali in digitale terrestre **1080/50i/16:9**, con compressione **MPEG4** a **250 KBit/sec**.

Nel 2008, in occasione dei campionati europei di calcio e delle olimpiadi, la RAI dà inizio su parte del territorio nazionale le trasmissioni terrestri in formato digitale ad alta definizione in formato **1080/50i/16:9**. Per il futuro la RAI ha stretto accordi strategici con l'inglese **BBC** e la giapponese **NHK** per la trasmissione (a partire dal 2015) di contenuti in formato Ultra-HD a **7680x4320 pixel**, ovvero fotogrammi di area 16 volte più definiti dell'alta definizione in formato **MPEG4**.

I Formati video Televisivi a Colori

Già dagli anni '50 si iniziò a studiare formati per la TV a colori.

- **NTSC**

Nel 1950 negli USA fu riunito un comitato allo scopo di elaborare uno standard per la TV a colori: nel Dicembre del 1953 fu approvato un sistema abbastanza semplice, denominato **NTSC** (successivamente indicato anche come **RS-170a**). Tale standard costituiva un'innovazione totalmente retrocompatibile con le TV bianco e nero. L'informazione relativa al colore veniva integrata con l'immagine monocromatica aggiungendo al segnale video una sottoportante alla frequenza di $4,5 \times 455/572$ MHz (circa **3,58 MHz**). Allo scopo di ridurre l'interferenza tra il segnale del colore (**crominanza**) e la portante del segnale audio (trasmesso in modulazione di frequenza) venne decisa una riduzione dell'uno per mille del frame-rate

passando dagli originari **30 fotogrammi al secondo** del bianco e nero ai **30/1,001 fotogrammi al secondo** (circa **29,97 fotogrammi al secondo**: valore che anche oggi caratterizza le trasmissioni televisive e le produzioni cinematografiche nate sotto le regole video USA). Tale cambiamento riduceva conseguentemente la frequenza delle linee da **15750 Hz** a **15734,26 Hz**. Usualmente il sistema **NTSC** è denotato **480i60**: sistema a **480** linee, **interlacciato a 60 Hz**

- **PAL e SECAM**

Negli anni '50, i paesi dell'Europa occidentale che progettavano la creazione di propri sistemi televisivi a colori ebbero modo di rilevare che il sistema americano a colori **NTSC** non sarebbe stato idoneo a funzionare con i 50 Hz delle linee elettriche europee. Inoltre **l'NTSC** mostrava diversi punti deboli: subito particolarmente rilevante risultò essere la fluttuazione dei toni di colore, legata alla qualità della trasmissione del segnale. Queste problematiche furono il punto di partenza per lo sviluppo dei sistemi **SECAM** e **PAL**, nati con l'obiettivo di fornire immagini a una frequenza di **50** fotogrammi al secondo e in grado di offrire, rispetto all'**NTSC**, una superiore qualità nel colore delle immagini. Il **SECAM** è stato messo a punto nelle prime versioni nel 1956 e sviluppato successivamente: nelle prime fasi il sistema fu pensato a **819** linee, ma poi il numero delle linee fu fissato a **576**. Anche il sistema **SECAM** è stato pensato per essere retrocompatibile con le TV in bianco e nero e la trasmissione dei colori avviene in maniera separata per il blu e per il rosso, con le portanti in modulazione di frequenza dei segnali del colore parzialmente sovrapposte a quella della luminanza, esistendo per tale segnale dei periodi di discontinuità che possono essere utilizzati per il trasferimento di altre informazioni. Con tale metodo il **SECAM** supera una parte dei limiti che aveva sul colore **l'NTSC**.

Il sistema **PAL**, tuttora usato anche in Italia, fu sviluppato da **Walter Bruch** alla **Telefunken**, in Germania: annunciato nel 1963, il sistema vide la luce con le sue prime trasmissioni nel Regno

Unito e in Germania nel 1967. La sigla **PAL** significa **Phase Alternate Line**: è proprio l'alternanza della relazione di fase tra una linea e la successiva a renderlo robusto rispetto al deterioramento del segnale. Un disturbo che producesse un'erronea enfaticizzazione di un colore per una linea produrrebbe una riduzione dello stesso colore per la linea successiva: per il funzionamento della vista questo produce per l'occhio umano la visione di un segnale di colore di valore medio tra le due linee, per le quali gli errori (di segno uguale e contrario) risulteranno quasi annullati. Usualmente, per semplificare l'identificazione e il confronto tra i formati, i sistemi **PAL** e **SECAM** sono indicati anche come **576i50**: sigla che denota il formato a **576** linee interlacciate alla frequenza di **50 Hz**.

- **DV (FireWire)**

Il sistema **DV (Digital Video)** nasce nel 1996 e, come indica il nome, si tratta di un formato per il video digitale di risoluzione **480i60** per l'**NTSC** e **576i50** per il **PAL**. Anche l'audio secondo questo sistema è memorizzato e trasferito in formato digitale: con 2 canali a **48 kHz** o **44,1 kHz** a **16** bit, oppure 4 canali a **32 kHz** e **12** bit. Il **DV** è il formato che ha certamente contribuito a rendere accessibile la videoregistrazione digitale similmente a quanto fece il **VHS** per la videoregistrazione analogica. Va detto che l'accostamento tra tale sistema e le porte **Firewire** (e a volte la sostituzione di un termine per indicare l'altro) è frequente poiché, spesso, le telecamere di uso domestico nel formato **mini-DV** adottano la porta **Firewire** per il trasferimento delle videoregistrazioni da e per i PC allo scopo di rendere possibile la realizzazione a basso costo di veri e propri montaggi di film. Il problema di come connettere un dispositivo di tipo **DV** ad altri dispositivi è stato affrontato diversamente nei sistemi DV di tipo professionale, nei quali in luogo della Firewire è usata quasi esclusivamente la connessione di tipo **SDI (Serial Digital Interface)** tipicamente nella versione a **270 Mbit/s**. In

ogni caso il sistema **DV** avvicina i sistemi video “televisivi” a quelli pensati in maniera più esplicita per i PC.

Frequenza di immagine

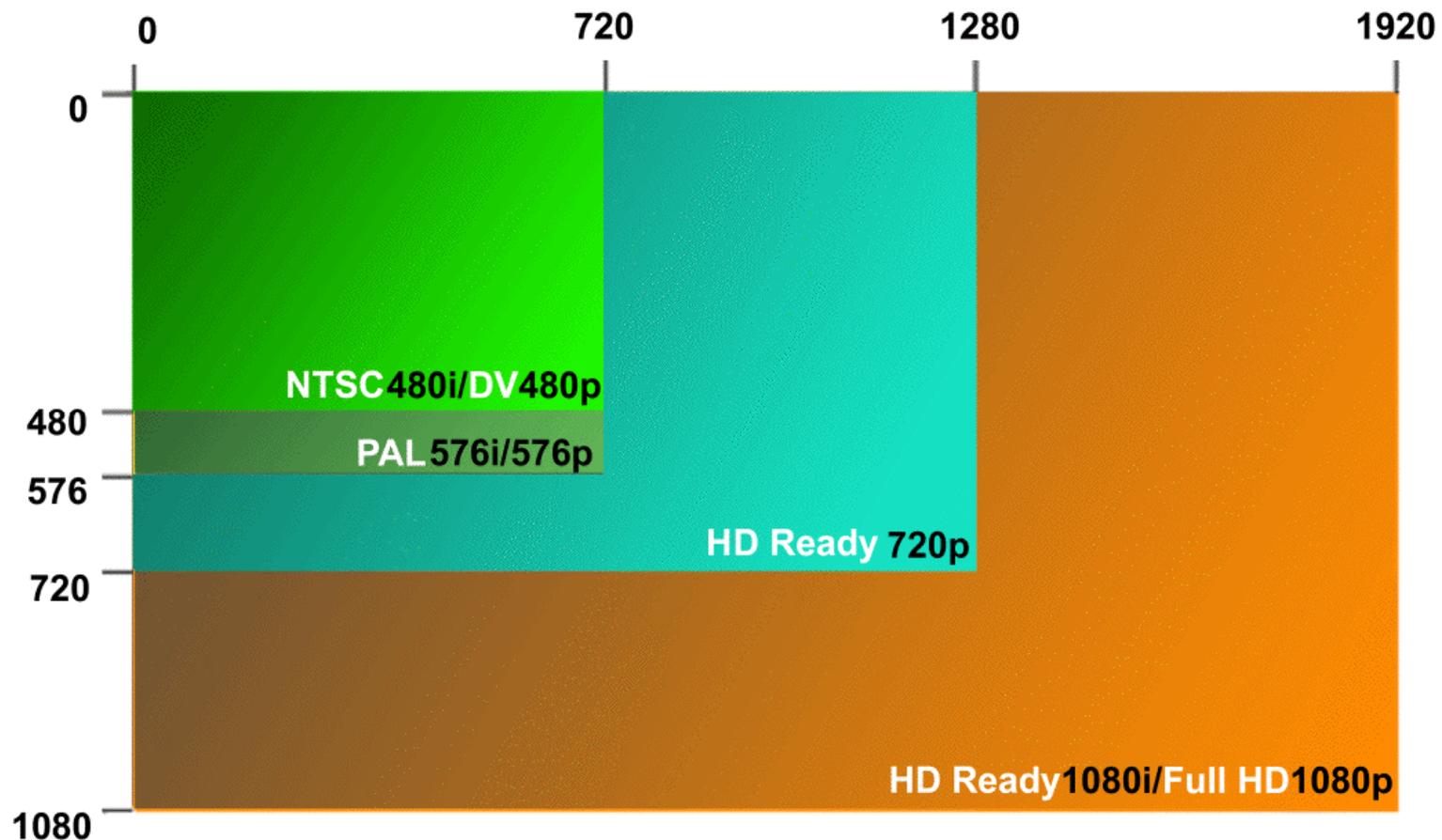
Legato al problema della frequenza di rete a del numero di linee per quadro vi è il problema del numero fotogrammi che vengono trasmessi in un secondo.

Combinando questi due fattori abbiamo attualmente i principali valori di frequenza di immagine (*frame rate*)

- **60i**: **60** (in realtà **59.94**) segmenti interlacciati che forniscono la frequenza standard di 29.97 fotogrammi al secondo del **NTSC**;
- **50i**: **50** segmenti interlacciati che forniscono la frequenza standard di **25** fotogrammi al secondo del **PAL**;
- **30p**: **30** fotogrammi al secondo progressivi (non interlacciati). Formato introdotto negli anni '80 per produrre video musicali.
- **24p**: **24** fotogrammi al secondo progressivi usati nelle produzioni cinematografiche. Quando portato in televisione questo formato viene rallentato a **23.976** per l'**NTSC** o accelerato a **25** per il **PAL/SECAM**.
- **25p**: **25** fotogrammi al secondo progressivi usati nelle produzioni cinematografiche basate su sistemi **PAL**;
- **50p** e **60p** sono formati progressivi adatti per l'alta risoluzione digitale e raccomandati per il **DVB** europeo come caratteristica minima dei futuri formati **HD**

Infine un ultimo importantissimo parametro sono le proporzioni dello schermo. Le vecchie TV avevano un rapporto di **4:3** mentre il cinematografo era passato da tempo a spettacolari formati Cinemascope **2.35:1**. Negli standard più moderni si è affermato il rapporto **16:9 = 1.77:1** che (avvicinandosi al **1.62:1** del rettangolo aureo) rappresenta un buon compromesso senza raggiungere il Cinemascope.

Nella figura sono confrontate le varie risoluzioni possibili dello schermo, i numeri rappresentano le linee per quadro e le lettere **i** e **p** il formato interlacciato o progressivo



Formati video per Computer

Le modalità grafiche fanno parte della storia dei PC dal 1981 in poi, quando la IBM mette a punto l'interfaccia grafica **CGA** (**Color Graphics Adapter**) per i calcolatori: un sistema video a **320x200 pixel** compatibile anche con i sistemi TV nello standard americano **NTSC**. Nelle sue versioni più evolute era possibile visualizzare immagini a **640x200 pixel** con una profondità di colore di **4 bit** (equivalente a **16** possibili tonalità di colore per ogni punto) e una frequenza di aggiornamento verticale (paragonabile al frame rate) di **60 Hz**. Di lì in poi diversi produttori si sono cimentati nella produzione di schede video con caratteristiche diverse: tra esse certamente quelle nello standard **VGA**, presentato dalla **IBM** nel 1987, vanno ricordate in quanto divenute protagoniste della diffusione sui PC a causa della massiccia clonazione operata da parte di altri produttori. La **VGA** aveva un formato a **640x480 pixel** a **16** colori per punto ma supportava anche la modalità a **320x200** punti con **256** colori. Il connettore della scheda video **VGA**, di tipo **sub-D**



sulla quasi totalità delle attuali schede video e schermi anche quando le risoluzioni sono quelle del formato **WUXGA**. In questi casi l'uso di uno stesso connettore non identifica tanto una

particolare risoluzione, quanto la scelta precisa (dal 1981 a oggi) di trasferire le informazioni video mediante segnali analogici.

Il cambiamento di stile col passaggio a trasferimenti di segnali digitali consisterà anche nel cambiamento di connettore. Nel 1999, con la pubblicazione delle specifiche in versione 1.0 dell'interfaccia **DVI**, si affacciò sul mercato uno standard idoneo alla visualizzazione di sorgenti video digitali con protezione dei contenuti mediante un protocollo denominato HDCP. L'interfaccia **DVI** fu adottata da molti produttori di dispositivi per la riproduzione video a uso domestico. Inoltre la porta **DVI**

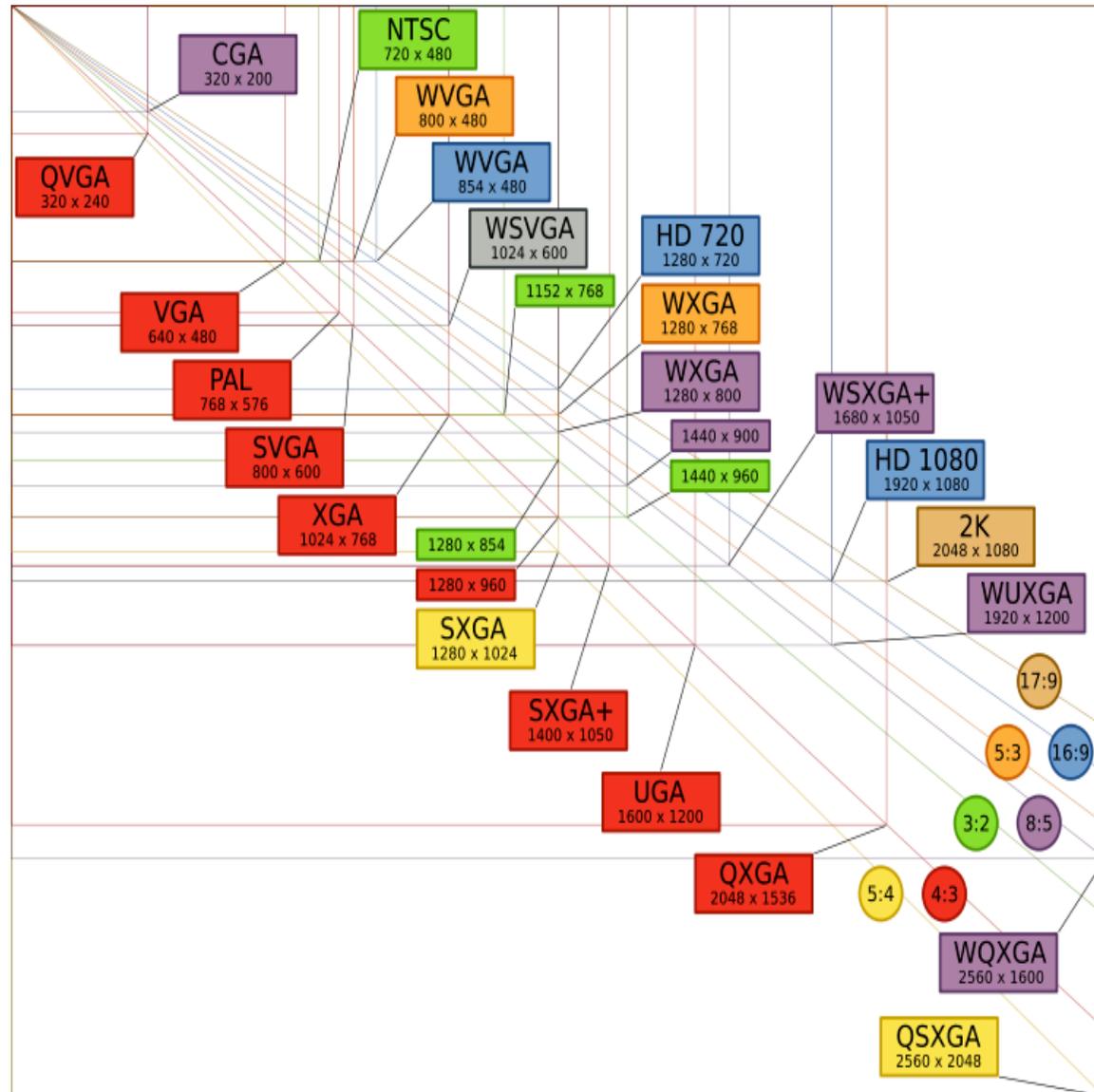


iniziò a essere considerata come porta d'uscita video alternativa alla **VGA** sulle schede video dei desktop PC e sui notebook. Il **DVI**, nato solo come interfaccia video, lasciava irrisolto il problema della fruizione dell'audio che accompagnava i contenuti video.

Forse proprio perché conscia di tale questione irrisolta dall'introduzione sul mercato dell'interfaccia **DVI**, la **Apple Computers** nel 2000 cominciò a dotare le proprie macchine destinate anche all'home entertainment (**Power Mac G4**, **G4 cube**, schermi **Apple Cinema Display** da 20", 23", 30") di una sua modifica proprietaria del **DVI**: l'**Apple Display Connector (ADC)**. Si trattava di un connettore che metteva assieme le funzionalità del **DVI**, della porta di comunicazione **USB** e una linea di alimentazione per i dispositivi connessi all'**ADC**, in modo da ridurre il numero dei cavi. Tale connettore avrebbe avuto comunque breve vita (scomparendo definitivamente dalle macchine Apple prodotte dopo il 2004) ma era

ormai chiaro come per garantire la fruizione di contenuti di qualità servisse un qualche standard per accorpare l'audio e il video: è proprio con questo intento che, nel 2002, nasceva il consorzio dei fondatori dello standard **HDMI**.

Nella figura, tratta da Wikipedia i formati per computer sono messi a confronto con gli standard televisivi.



Nella tabella che segue sono dati maggiori dettagli tecnici sui vari formati.

NOME FORMATO	RISOLUZIONE		LINEE/ FOTOGRAMMA	FREQUENZA VERTICALE (Hz)	FREQUENZA ORIZZONTALE (Hz)	SYSTEM CLOCK (MHz)
	PIXEL	LINEE				
FORMATI HDTV						
HDTV 1080i 16:9	1920	1080	1125	60	33,75	148,50
HDTV 720P 16:9	1280	720	750	60	45	74,25
FORMATI Standard TV						
SDTV 480P 16:9, 4:3	704	480	525	59,94	31.47	27.00
SDTV 480I 16:9, 4:3	704	480	525	59.94	15.73	27.00
FORMATI TV Analogica						
NTSC 525i 4:3	640	480	525	59.94	15.73	27.00
PAL 625i 4:3	768	576	625	50	15,63	30.00
FORMATI PC						
VGA 4:3	640	480	525	60	31.50	25.20
SVGA 4:3	800	600	632	60	37.92	40.04
XGA 4:3	1024	768	807	60	48.42	65.03
SXGA 5:4	1280	1024	1067	60	64.02	108.07
UXGA 4:3	1600	1200	1250	60	75	162.00

Il ruolo dell'HDMI nell'alta definizione

Così come era avvenuto con la presa **SCART** per l'audio video analogico a bassa definizione, la necessità di rendere facilmente disponibili contenuti audio e video digitali ad alta definizione è certamente il principale motivo che ha portato alla progettazione della connessione **HDMI**, sigla che identifica la **High-Definition Multi-media Interface**: uno standard commerciale di connessione digitale per segnali audio e video ad alta definizione. Del consorzio di fondatori (anno 2002) facevano parte i principali produttori di elettronica del tempo: **Hitachi**, **Matsushita (Panasonic)**, **Philips**, **Sony**, **Thomson (RCA)**, **Toshiba** e **Silicon Image** (proprietaria della **HDMI Licensing**, la quale è responsabile del rilascio delle specifiche sviluppate dalle industrie del gruppo oltre che della promozione, della diffusione e della conoscenza relativa all'**HDMI** stesso). Il fatto che l'**HDMI** sia commerciale significa che per il suo uso e per l'adozione è necessario che i costruttori di dispositivi paghino delle royalties alla società licenziataria della connessione e del suo marchio.

Come il suo predecessore (il **DVI**), anche l'**HDMI** è nato col supporto della gestione dei diritti digitali (**DRM**) grazie al protocollo **HDCP (High bandwidth Digital Copy Protection)**, ciò infatti ha fatto subito godere all' **HDMI** dell'appoggio dei principali produttori cinematografici. Conseguenza di tale appoggio è stata un'incentivazione per i produttori di lettori di supporti a confidare nella tecnologia e a inserire il connettore **HDMI** nei propri dispositivi. La connessione l'**HDMI** è riuscita quindi a distinguersi, con le sue caratteristiche di trasporto contemporaneo di audio e video, da tutti i sistemi di trasmissione audio video finora presenti sul mercato.



Come detto, tra i fondatori dell'**HDMI** sono inclusi produttori di elettronica di consumo e fornitori della tecnologia relativa ai protocolli di funzionamento e protezione, cui si sono aggiunte le maggiori case produttrici cinematografiche che hanno incentivato e sostenuto la diffusione dello standard. Fin da principio lo standard **HDMI** è nato con l'idea di poter essere modificato per tenere il passo delle continue evoluzioni tecnologiche dei dispositivi e delle richieste dei produttori di contenuti e degli utilizzatori. Tali modifiche sono decise dal consorzio mediante il rilascio e l'aggiornamento di nuove versioni e nuove specifiche alle quali i produttori devono attenersi per poter apporre il marchio **HDMI** sui propri dispositivi. Importante notare come tra le regole di compatibilità verso il basso vi sia sempre l'uso degli stessi cavi. La diffusione dello standard è tale che anche le macchine fotografiche digitali di ultima generazione (per esempio **Sony** e **Nikon**) permettono di mostrare le foto sugli schermi ad alta risoluzione via cavo **HDMI** riesumando le vecchie proiezioni familiari delle diapositive.

La protezione dei contenuti HD

Nella trasmissione, riproduzione e registrazione di contenuti audio e video analogici era inevitabile un deterioramento dei dati tale da rendere impossibile una copia di elevata qualità dei contenuti stessi, limitando tale possibilità solamente a un numero ristretto di operatori che avessero a disposizione strumentazioni di costo e qualità professionali. Il riversamento di una cassetta **VHS**, così come la videoregistrazione di una trasmissione TV attraverso la connessione **SCART**, produceva copie scadenti rispetto all'originale; inoltre, poiché il **VHS** registrava analogicamente su supporto magnetico, le copie erano comunque soggette a decadimento anche solo per il passare del tempo.

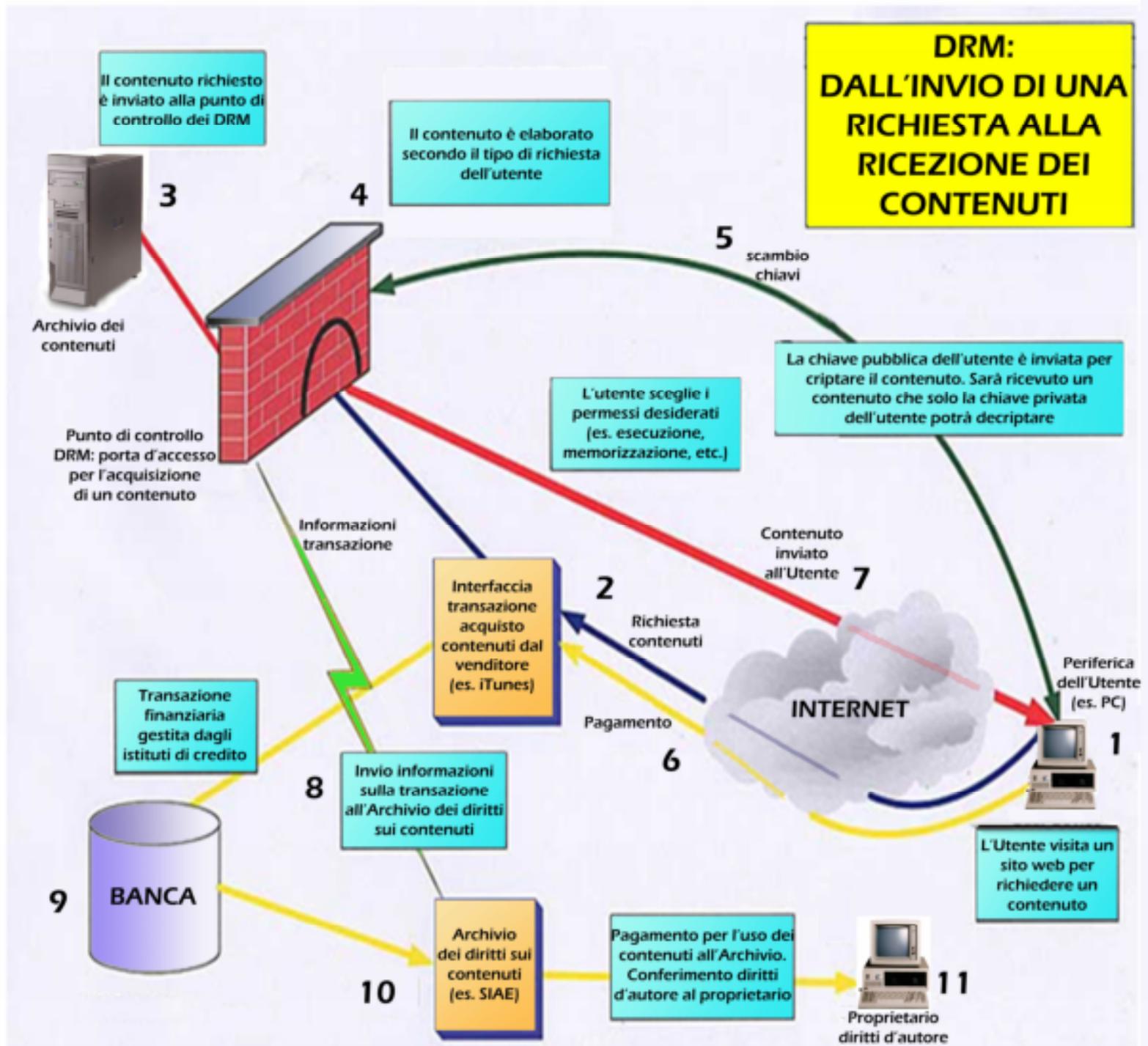
Agli albori della tecnologia digitale il supporto CD (sia audio che dati) era considerato virtualmente “non copiabile”: quando un masterizzatore costava 10 Milioni e un CD vergine 100.000 lire era quasi sempre più conveniente l'acquisto di un originale. Si noti, per inciso che i masterizzatori devono il loro nome al fatto che erano usati solo in ambito professionale per creare i *master* da cui produrre le copie commerciali.

Successivamente lo sviluppo tecnologico e l'enorme diffusione dei supporti audio e video con contenuti digitali ha posto in essere problemi di protezione dei contenuti molto maggiori che in passato. Infatti oggi è sempre teoricamente possibile produrre con attrezzature a basso costo una copia perfettamente identica di un qualsiasi contenuto digitale. Per questo motivo i supporti audio e video sono stati dotati di sistemi di protezione dalla copia più o meno efficaci e si è instaurata una interminabile gara tra “guardie” e “ladri” .

I detentori dei diritti d'autore o i distributori di supporti digitali hanno cercato di tutelarsi mediante la costituzione di enti e si è creata una sorta di “filiera” nella produzione dei contenuti. L'autore deve rivolgersi a propria tutela a un ente apposito, il quale a sua volta cerca di dare un senso alle tariffe che chiede per tale tutela investendo o incentivando l'uso di tecnologie ritenute idonee a garantire la protezione del contenuto. Questo al di là dell'efficacia o meno del metodo di protezione si traduce a priori in un costo a carico dell'utente che acquisti un contenuto in maniera legale. La spesa che nel quinquennio che va dal 2007 al 2012 i produttori sosterranno per le protezioni è stimata in 9 miliardi di dollari: certamente un affare rilevante di per sé oltre le finalità dei sistemi di protezione.

Quando si parla di **TPM (Technical Protection Measures)** e **DRM (Digital Right Management)** si intende parlare della babele di sistemi tecnologici e dei diritti digitali posti in essere a tutela di un contenuto artistico (un film, un componimento musicale) o letterario (uno scritto o un dizionario) fino a una ricerca scientifica o a un'opera dell'ingegno (un software) a favore dei titolari dei rispettivi diritti d'autore.

La figura seguente (rielaborata da **Rightscom 2000**) mostra i passaggi necessari per acquistare un contenuto protetto



Paradossalmente a fare da contraltare alle velleità di protezione dei contenuti da parte dei produttori di supporti e degli autori delle opere vendute in formato digitale vi è l'alzata di scudi da parte dell'associazione di rivenditori di prodotti per l'intrattenimento. In Inghilterra essi hanno chiesto che siano eliminati i **DRM**, in quanto responsabili di creare un prodotto scarsamente appetibile da parte di un consumatore che non si troverebbe in grado di disporre pienamente dello stesso, magari non potendo nemmeno utilizzare sul lettore della propria auto un cd legalmente acquistato, in quanto la peculiarità di taluni sistemi di protezione dei supporti rende di fatto illeggibili i supporti originali su alcuni lettori. Sono peraltro diversi i movimenti che si battono per l'eliminazione tout-court dei **DRM**, in considerazione delle non certo inconsistenti ragioni della libera diffusione delle idee e della cultura.

La protezione del video digitale

Per proteggere i **DVD** video nel 1996 fu introdotto il **Content Scramble System (CSS)**. Il metodo è basato sostanzialmente sulla scrittura di chiavi di protezione nei settori iniziali del disco normalmente non sottoposti a lettura da parte dei player. Tali accorgimenti si dimostrarono del tutto inutili sia per il fatto che, per sottostare alle leggi americane, le chiavi erano state definite ad appena 40 bit, sia perché la sicurezza si basava sulla necessità di tenere segreti gli aspetti dell'algoritmo (violando la prima regola della crittografia sicura). Al giorno d'oggi (con l'opportuno software) qualsiasi computer in grado di leggere un **DVD** è di fatto anche in grado di copiarlo *illegalmente*.

Nel 1999, furono pubblicate le specifiche in versione 1.0 dell'interfaccia **DVI**, che fu presto adottata da alcuni produttori di dispositivi per la riproduzione video a uso domestico e divenne rapidamente una porta d'uscita video alternativa alla **VGA** sulle schede video dei computer. Il

DVI era uno standard che prevedeva l'introduzione di una protezione dei contenuti digitali, mediante un protocollo denominato **HDCP (High bandwidth Digital Copy Protection)**.

Nel 2002 fu creato l'**HDMI**, standard commerciale di connessione completamente digitale per segnali audio e video ad alta definizione. Lo standard prende molto dal suo precursore, il DVI. Come il **DVI**, anche l'**HDMI** nasce col supporto della gestione dei diritti digitali grazie al protocollo **HDCP** e molto del successo del **HDMI** è dovuto proprio a questo, avendo ottenuto subito l'appoggio dei principali produttori cinematografici, quali: **Fox**, **Universal**, **Warner Bros** e **Disney** e degli operatori televisivi **DirectTV** ed **EchoStar (Dish Network)**, di **CableLabs** e **Samsung**. Di conseguenza i produttori di lettori confidarono nella tecnologia e inserirono il connettore **HDMI** nei propri dispositivi.

Per i contenuti sui quali sia previsto l'uso dell'**HDCP**, ogni tentativo di prelievo dei segnali o di infrangere le protezioni del protocollo causerebbe automaticamente l'inibizione o il degrado della qualità del segnale fornito dalle sorgenti e l'adozione di un sistema di protezione come l'**HDCP** sembra andare esattamente nella temuta direzione della prevaricazione degli utenti finali giacché essi si troverebbero nelle condizioni "tecnicamente imposte" dallo standard di non poter usufruire in maniera completa neppure dei contenuti dei quali abbiano anche legalmente acquistato i diritti d'uso. Peraltro la delicatezza dell'argomento ha di per sé dei violenti riscontri legali. Anche il solo tentativo di discutere su un blog l'argomento delle chiavi di decrittazione di un qualche **DRM** è già stato identificato e punito come reato. In Europa l'**EICTA (European Information, Communications, and Consumer Electronics Technology Industry Associations)** ha dichiarato l'**HDCP** requisito necessario per sui dispositivi vogliono fregiarsi del marchio **HD Ready**.

Il consorzio **HDMI**, inoltre mediante la scelta di non prevedere nelle sue specifiche la possibilità di trasmissione wireless dei segnali delle proprie connessioni, ribadisce una volta di

più il suo intento di controllare in maniera certa l'origine e la destinazione dei contenuti ad alta definizione allo scopo di tutelare i detentori del diritto di cessione e di visione di una trasmissione TV o di un contenuto memorizzato su supporto audio video.

Esistono altre connessioni, ad esempio la **Firewire**, per la quale è prevista una versione dotata di trasferimento di dati protetti da protocolli di criptazione dei contenuti (**DTCP** e **DTLA**, il cui uso richiede particolari costi di licenza) il cui principio di funzionamento ricalca sostanzialmente quello dell'**HDCP**. Inoltre, un accordo firmato negli stati uniti nel 2004 tra gli operatori del settore **pay tv** e i produttori di schermi TV prevede che gli operatori di **pay tv** forniscano decoder muniti di porta d'uscita Firewire per il video in formato compresso (si ricordi ancora che l'**HDMI** trasferisce video in formati non compressi), al contempo i produttori s'impegnano a produrre i nuovi schermi TV (idonei all'interfacciamento con i decoder) con sole porte di ingresso **DVI** e **HDMI** e supporto del protocollo di protezione **HDCP**. La **FCC** (**Federal Communications Commission**) americana ha fatto proprio tale accordo, di fatto individuando nell'interfaccia Firewire la connessione su cui incanalare solo video compressi e registrabili, lasciando i formati di massima qualità la sola possibilità di riproduzione sulle connessioni **DVI** e **HDMI**.

I dischi **Blu Ray** sono protetti mediante l' **Advanced Access Content System** (**AACS**), un sistema di protezione che può comprendere multipli controlli. Tra essi **Image Constraint Token** (**ICT**), che, sulle connessioni analogiche, riduce la risoluzione a **960x540** pixel (un quarto del **Full HD**) e il **Digital Only Token**, che prevede l'oscuramento totale obbligando all'uso delle uscite digitali protette con protocollo **HDCP**. Inoltre è prevista la codifica dei contenuti video mediante delle chiavi di protezione a **128** bit: per esse sono state già individuate le chiavi di generazione, il che (aldilà del disappunto del consorzio **AACS** che

invano ha cercato di arginare la diffusione delle chiavi su internet) rende di fatto possibile creare copie di **Blu Ray** mediante dei semplici software di lettura.

Un ulteriore sistema di connessione audio/video denominato **Display Port** (progettato dal gruppo **VESA**) si propone come nuovo standard per sistemi ad alta definizione. **Display Port** dovrebbe coprirà le connessioni interne ai dispositivi, come in un laptop, e quelle tra dispositivi esterni come un lettore **DVD** e una **HDTV**. La Apple ha deciso, a partire dal 2008, un progressivo inserimento nei propri dispositivi della connessione **Display Port**. L'obiettivo dichiarato dalla **VESA** è la sostituzione definitiva delle porte **DVI** con la **Display Port** entro il 2011. Dal punto di vista tecnico, anche nel caso della **Display Port** sono previsti protocolli di comunicazione per la protezione dei contenuti: è previsto sia il protocollo proprietario **DPCP** (**Display Port Content Protection**) che la compatibilità con il **HDCP**. La prima versione del sistema **Display Port**, che si proponeva senza pagamento di licenze e senza royalties per il suo utilizzo, è del maggio 2006. Difficile in generale determinare se la diffusione di questa connessione supererà quella dell'**HDMI** (col quale peraltro è prevista la compatibilità).

La scelta compiuta da parte dei fondatori dell'**HDMI** di proteggere i dati video ad alta risoluzione mediante strategie **DRM**, delle quali l'**HDCP** è un esempio, ha spinto l'**USB Implementers Forum** ad annunciare una variante dell'**USB** per la trasmissione di dati video ad alta definizione compressi (differenziandosi quindi dall'**HDMI** che trasferisce solo dati incompressi) che adotterà la medesima strategia di protezione dei dati **HDCP**. Forte critica è stata mossa da più parti per questa scelta da parte degli implementatori **USB**, tant'è che già qualche pubblicazione sembra irridere tale decisione quando propone di rinominare **l'Universal Serial Bus** in Universal Studio Bus paventando un prossimo futuro nel quale i diffusori audio saranno venduti con accesso alla rete internet per la immediata verifica dei diritti alla riproduzione della sorgente sonora. Una valutazione oggettiva è che al momento

attuale la porta **USB** è estremamente diffusa, pertanto è lecito attendersi che il consorzio relativo voglia continuare ad essere presente sui dispositivi anche con un proprio connettore per l'alta definizione.

Si noti che queste protezioni non spaventano minimamente gli hacker professionisti e le associazioni a delinquere che praticano il furto di contenuti su larga scala, mentre possono impedire alla “casalinga di Voghera” di visionare su apparecchiature non aggiornate il **Blu Ray** appena comprato per il nipotino.

La struttura dell HDCP

La tecnologia **HDCP** (**High-bandwidth Digital Content Protection**) è stata sviluppata inizialmente dalla Intel, ed è fornita da una società controllata dal produttore stesso, la **Digital Content Protection LLC**. Essa stata è implementata in tutti i prodotti **HD DVD** e **Blu Ray** (e in seguito da altri) e si tratta di un meccanismo di codifica che può essere decrittato solo da particolari dispositivi hardware, dovrebbe in teoria essere difficile da aggirare da parte dei pirati.

Esaminiamone ora il funzionamento: esso prevede che ogni dispositivo **HD** posseda delle informazioni univoche d'identificazione e di criptaggio memorizzate nel suo chip **EDID** (**Extended Display Identification Data**). Il dispositivo sorgente (ad esempio un riproduttore Blu-ray) controllerà la chiave di autenticazione del dispositivo sorgente e di quello ricevente.

Per l'uso dell'**HDCP**, i produttori dei dispositivi acquistano dai centri autorizzati le licenze **HDCP**. Ogni licenza include una chiave pubblica v a **40** bit, la **KSV** (**Key Selection Vector**) e una chiave privata u (una sequenza di **40** valori a **56** bit), ognuna consistente in un vettore di numeri. Quando due dispositivi A e B desiderano comunicare, si scambiano le due rispettive

chiavi pubbliche v_A e v_B . Fatto questo, il dispositivo A calcola il prodotto scalare $u_A \times v_B$ e il dispositivo B calcola il prodotto scalare $u_B \times v_A$. Il risultato di tali prodotti è utilizzato come chiave condivisa (**Shared Secret**) per tutto il tempo della comunicazione e delle interazioni tra A e B . Perché la comunicazione funzioni e sia possibile il reciproco riconoscimento tra i due dispositivi, le chiavi **HDCP** date in licenza sono fornite in modo tale che i prodotti scalari calcolati dai due dispositivi producano lo stesso risultato. Tale scelta progettuale, senza scendere nei dettagli matematici, rende possibile il calcolo di una chiave principale (*Master Secret*) con la quale generare ogni altra chiave. Si può dimostrare che per generare la chiave principale sono sufficienti solo **40** chiavi di codifica. In pratica esistono molti modi per ottenerle, si potrebbe applicare la reverse engineering su **40** differenti software per la lettura di video codificati con **HDCP** e accedere così a **40** coppie di chiavi, oppure sarebbe possibile leggere le coppie di chiavi u e v dall'hardware di **40** dispositivi che usano l'**HDCP**; infine si potrebbero acquistare **40** coppie di chiavi di codifica pubblica/privata da un centro autorizzato (è per evitare questo che il taglio minimo di acquisto è formato da **10000** licenze). Ottenute le **40** coppie, la chiave principale può essere calcolata facilmente, ogni comunicazione tra dispositivi può essere captata in tempo reale e ogni dispositivo può essere sostituito o clonato senza che la controparte se ne accorga. Questa possibilità rende inutili anche eventuali tentativi (da parte delle autorità) di catalogare sotto forma di black-list le chiavi copiate o ritenute non valide. In definitiva nella progettazione dell'**HDCP** è stato scelto di dotare il protocollo di un sistema di cifratura proprietario: una decisione che probabilmente è valso una qualche economia iniziale, ma che non ha tenuto conto dell'efficienza e della sicurezza di altri algoritmi esistenti.

Il problema della registrazione

Dal punto di vista della riproduzione di contenuti ad alta definizione, lo standard **HDMI** risulta uno dei migliori. Altrettanto non si può dire per le possibilità di registrazione dei contenuti audio video riprodotti. Vi sono più cause che impediscono la registrazione di un contenuto che passa attraverso l'**HDMI**. I dati video, possono essere codificati tramite l'**HDCP**, la cui funzione primaria è proprio quella di proteggere i dati non compressi dalla possibilità di copie, ma il problema più grande da affrontare per procedere alla registrazione riguarda il fatto che i dati siano non compressi. Tale fatto richiede dispositivi di registrazione aventi a disposizione enormi capacità di memoria di massa e una velocità di recepimento dei dati stessi paragonabile a quella con cui vengono riprodotti dalle sorgenti del segnale. Senza sfruttare l'**HDMI** al pieno delle sue capacità, ovvero con un trasferimento di **4.9 Gigabit/s** memorizzare un film di 2 ore richiede quasi **5 TeraByte** di memoria. Se poi si volesse usare la massima qualità possibile allora i dati trasferiti sarebbero **10.2 Gigabit/s** e per lo stesso film occorrerebbero quasi **10 TeraByte!**

Resta comunque discutibile la difficoltà di accesso alle funzionalità di registrazione di un contenuto soprattutto in considerazione del fatto che ciò nega la possibilità di archiviazione di trasmissioni televisive in alta definizione non vincolate a proprietà intellettuale, sembra una limitazione dei diritti all'informazione e pone problemi politici ed etici la cui portata e i cui effetti non sono a priori prevedibili.