

Qualità percepita sugli schermi piatti in ambiente domestico



dr. Mario **Stroppiana**

Rai
Centro Ricerche e
Innovazione Tecnologica
Torino

Il miracolo della televisione (da il Radiorario - 1927, Teche Rai)

1. Introduzione

Su questa rivista sono già stati pubblicati parecchi articoli e schede tecniche relative ai display a schermo piatto, plasma (PDP), cristalli liquidi (LCD), proiettori e retro-proiettori [1,2]. Si è descritta la tecnologia alla base di tali display e la loro influenza sulla qualità dell'immagine rappresentata. Si è inoltre indicato che questi schermi, multi-formato e nativamente progressivi, visualizzano ottimamente immagini di buona qualità, ma rendono più visibili, amplificano, gli eventuali difetti già presenti sulle immagini, difetti causati da codifica PAL e/o da compressioni digitali a basso bit-rate [3, 4]. La loro risoluzione è normalmente superiore a quella dei tradizionali display SDTV a raggi catodici (CRT) consentendo così la visualizzazione di immagini ad Alta

Sommario

La televisione ad Alta Definizione (HDTV) è potenzialmente in grado di fornire a casa dell'utente immagini di qualità e risoluzione molto più elevate di quelle disponibili con la televisione a definizione standard (SDTV). La percezione di tali miglioramenti da parte dell'utente dipende però molto dalle condizioni di visione domestiche e dalle caratteristiche del display. In particolare, la percezione dell'aumento di risoluzione delle immagini è possibile solo se l'utente dispone di schermi sufficientemente grandi e li guarda da una distanza opportuna. Il significato di schermi sufficientemente grandi ed opportuna distanza di visione è analizzato ed indicato nell'articolo.

Qualità percepita sugli schermi

Definizione, purchè dotati di adeguate interfacce (HDMI) ed elettronica interna capace di gestire immagini HDTV. Per garantire il consumatore, sono apparsi sul mercato apparati etichettati con il logo "HD Ready" o "Full HD"^{Nota 1}, ad indicare la loro idoneità a gestire e visualizzare segnali HDTV.

Il marchio "HD-Ready" indica che lo schermo è provvisto di interfacce video digitali (HDMI/DVI) di collegamento al ricevitore digitale ed ha una risoluzione minima, nella modalità "wide aspect ratio", di 720 righe. Sono quindi etichettati "HD-Ready" schermi con risoluzioni 1024x720, 1280x768, 1366x768, ecc., inferiori alla risoluzione 1920x1080 del segnali HDTV 1080i/p.

Quando sono apparsi sul mercato schermi di risoluzione 1920x1080, questi sono stati etichettati anche "Full HD" per indicare che la loro risoluzione era uguale a quella supportata dal segnale HDTV 1080i/p.

2. Standard HDTV

L'ITU è l'organismo internazionale che ha il compito di definire gli standard mondiali per le telecomunicazioni (ITU-T) e per la trasmissione dei segnali e dei servizi televisivi (ITU-R). Con la Raccomandazione ITU-R BT. 601 tale organismo aveva definito, già negli anni '80 lo standard internazionale del segnale televisivo digitale a definizione standard. Tale standard prevede una diversa frequenza di quadro ed un diverso numero di righe d'immagine tra le aree americana e giapponese a 60 Hz e quella europea a 50 Hz [6].

Acronimi e sigle	
CIF	Common Image Format, 1920 pixel e 1080 righe
cph	cycles per picture height
cpw	cycles per picture width
CRT	Cathode Ray Tube
DVD	Digital Versatile Disc (www.dvdforum.org)
DVI	Digital Visual Interface (www.ddwg.org)
EICTA	European Information & Communications Technology Industry Association (www.eicta.org)
HDMI	High-Definition Multimedia Interface (www.hdmi.org)
HD-SDI	High Definition - Serial Digital Interface
HDTV	High Definition TeleVision
ITU	International Telecommunication Union (www.itu.org)
-T	- Standardisation Sector
-R	- Radiocommunication Sector
BT.	Broadcasting service Television
LCD	Liquid Crystal Display
MTF	Modulation Transfer Function
NHK	Nippon Hōsō Kyōkai (www.nhk.or.jp/english/top)
PAL	Phase Alternate Line
PDP	Plasma Display Panel
SDTV	Standard Definition TeleVision
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers (www.smpete.org)

Nota 1 - Mentre HD Ready è un "logo" ufficiale dell'"EICTA", associazione fondata nel 1999 che raggruppa piccole e grandi aziende europee del settore "Information and Communication technology" e "Consumer Electronics", l'etichetta Full HD non è un logo ufficiale e non distingue tra sistemi a scansione progressiva ed interlacciata. L'EICTA ha quindi definito altri due "logo" ufficiali [5] per indicare che gli apparati così etichettati sono adatti per le immagini ad alta definizione secondo lo standard 1080p.

Qualità percepita sugli schermi

La Rac. ITU-R BT.709^{Nota 2} definisce invece lo standard per l'HDTV [7]. E' divisa in 2 parti; la prima parte, definita anch'essa negli anni '80, specifica lo standard HDTV che, per l'area europea, consiste in un raddoppio delle risoluzioni, orizzontale e verticale, delle immagini rispetto a quelle definite dalla Rac. BT.601 per la televisione a definizione standard. In questo modo si mantengono, anche per l'HDTV due diversi formati d'immagine tra l'area americana-giapponese ed europea e, come nel caso della Rac. BT.601, l'elemento di immagine (*pel*) ha una forma rettangolare, diversa risoluzione nelle direzioni orizzontale e verticale dell'immagine.

Negli anni '90 si è estesa la Rac. BT.709 con una parte 2 in cui si definisce un unico formato d'immagine valido sia per l'area americana-giapponese a 60Hz che per l'area europea a 50 Hz^{Nota 3}. Tale formato d'immagine è costituito da 1920 pixel e 1080 righe per la parte attiva dell'immagine e corrisponde ad un'uguale risolu-

Nota 2 - Per l'area europea si definiscono 1920 pixel attivi per riga e 1152 righe attive (1250 righe totali). I 1920 pixel equivalgono ad un raddoppio di risoluzione orizzontale rispetto all'SDTV (BT. 601) tenendo conto che si ha un cambiamento del rapporto di forma dell'immagine da 4:3 dell'SDTV a 16:9 dell'HDTV.

Nota 3 - Con l'indicazione 30/60 Hz sono inclusi anche i sistemi 29,97/59,94 Hz.

Tab. 1 - Formati HDTV previsti dalla Rac.ITU-R BT.709 Part 2.

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

zione dell'immagine lungo le direzioni orizzontali e verticali, formato CIF caratterizzato dal pixel quadrato. Infatti, le 1080 righe risultano date dal rapporto 9:16 (inverso del rapporto di forma) per 1920, numero di pixel per riga. Oggigiorno vengono utilizzati solo gli standard relativi alla parte 2 della raccomandazione.

La Rac. BT.709 parte 2 definisce quindi vari formati HDTV, vedere tabella 1, che hanno però tutti in comune il formato d'immagine costituito da 1920x1080 pixel attivi. La differenziazione tra i formati della raccomandazione è solo data dalla frequenza temporale delle immagini (*frame rate*) e dal tipo di scansione che può essere interlacciato o progressivo. Come si può vedere dalla tabella 1, la raccomandazione prevede anche i formati progressivi a 25-30 Hz che hanno un flusso binario (bit-rate) uguale a quello interlacciato a 50 Hz ed i formati progressivi a 50-60Hz che costituiranno l'Alta Definizione futura. Il trasferimento seriale dei segnali 1080i a 50, 60Hz e 1080p a 24, 25, 30Hz non compressi è definito dalla Rac. ITU-R BT.1120 mediante l'interfaccia, denominata HD-SDI, che prevede una velocità di trasferimento di 1.485Gbps. Per il trasferimento seriale dei segnali 1080p 50, 60 Hz è invece necessaria un'interfaccia a 2.97 Gbps)definita anch'essa dalla Rac. ITU-R BT.1120 nella forma dual-link (2 interfacce HD-SDI a 1.485 Gbps con splitting dei bit seriali del 1080p) o single-link (1 sola interfaccia).

Verso la fine degli anni '90 nasce inoltre lo standard 720p secondo cui l'immagine è costituita da 1280 pixel attivi per riga, 720 righe attive e scansione progressiva. La raccomandazione SMPTE 296/M prevede, a partire dal 2001, il 720p a 60/30 Hz, sistema americano, e 50/25 Hz, sistema europeo, mentre la raccomandazione ITU-R BT. 1543 prevede solo il 720p a 60/30 Hz.

Il trasferimento seriale del segnale 720p non compresso avviene con la stessa interfaccia HD-SDI a 1.485 Gbps definita dalla BT.1120.

3. Pre-elaborazione nei display a schermo piatto

I display a schermo piatto rappresentano le immagini in forma campionata su uno schermo a scansione progressiva e sono multi-standard nel senso che le immagini al loro ingresso vengono elaborate da circuiti di pre-elaborazione (*pre-processing*) in modo da adattarle al formato dello schermo (numero di pixel) di quel particolare display.

Il sistema di pre-processing effettua sulle immagini un'operazione di ridimensionamento (*resizing*) e di de-interlacciamento se le immagini sono con scansione interlacciata. Per rappresentare l'immagine con un numero di campioni uguale al numero di pixel dello schermo viene eseguita un'interpolazione spaziale che equivale ad un ricampionamento dell'immagine. Se la frequenza di ricampionamento del display è superiore a quella dell'immagine, lo spettro in banda base dell'immagine non viene modificato e si distanziano tra loro gli spettri di ripetizione. Si aumenta così il margine di guardia, intervallo di frequenza senza contributi di segnale, tra lo spettro utile in banda base ed i suoi spettri di modulazione. Invece, nel caso opposto in cui la frequenza di ricampionamento del display è inferiore a quella originale dell'immagine, lo spettro utile dell'immagine deve essere ridotto mediante un'operazione di filtraggio passa-basso, riduzione della risoluzione del segnale, ed il margine di guardia tra spettro in banda base e spettri di ripetizione dell'immagine visualizzata sullo schermo dipende esclusivamente dalla caratteristica dei filtri interpolatori utilizzati nel display.

L'operazione di de-interlacciamento è invece necessaria per generare le righe mancanti sui semiquadri (*field*) delle immagini interlacciate. Per non dimezzare la risoluzione verticale delle immagini è necessario effettuare tale operazione mediante interpolatori vertico-temporali che utilizzano non solo i campioni immagine del semiquadro da ricostruire, ma anche quelli dei

semiquadri precedente e/o successivo che sono relativi ad immagini generate in istanti temporali differenti. In questo modo si generano interferenze spazio-temporali che si cerca di mantenere a valori più piccoli possibile.

Le operazioni di *resizing* e di de-interlacciamento delle immagini sono la causa principale dell'amplificazione del rumore di codifica e di eventuali artefatti di codifica.

4. Qualità visiva percepita

La qualità d'immagine percepita a casa dell'utente dipende da molti fattori quali l'illuminazione dell'ambiente, la qualità tecnica e le caratteristiche del display, la risoluzione delle immagini, i degradamenti provocati dai sistemi di compressione usati nella catena trasmissiva o per la registrazione su DVD, le regolazioni cromatiche e di luminosità/contrasto del display, l'angolazione con cui si guarda lo schermo, le dimensioni dello schermo, la distanza dell'utente dallo schermo e, naturalmente, l'acuità visiva dell'utente stesso.

Volendo però considerare non gli aspetti generali della qualità, ma solo quelli della risoluzione percepita considerando un utente con acuità visiva media, i fattori principali da esaminare risultano la dimensione, risoluzione e modalità di visualizzazione dello schermo e la distanza di visione.

4.1 Rappresentazione delle immagini su schermi piatti

4.1.1 Visualizzazione delle immagini

Il segnale televisivo analogico è costituito da immagini rappresentate su un certo numero di righe, 625, di cui 576 considerate attive, nello standard SDTV europeo e 525, di cui 480 attive, nello standard SDTV americano. Le righe sono inoltre scandite in modo interlacciato nel senso che le singole immagini, denominate quadri (*frame*) che si ripetono con una frequenza tem-

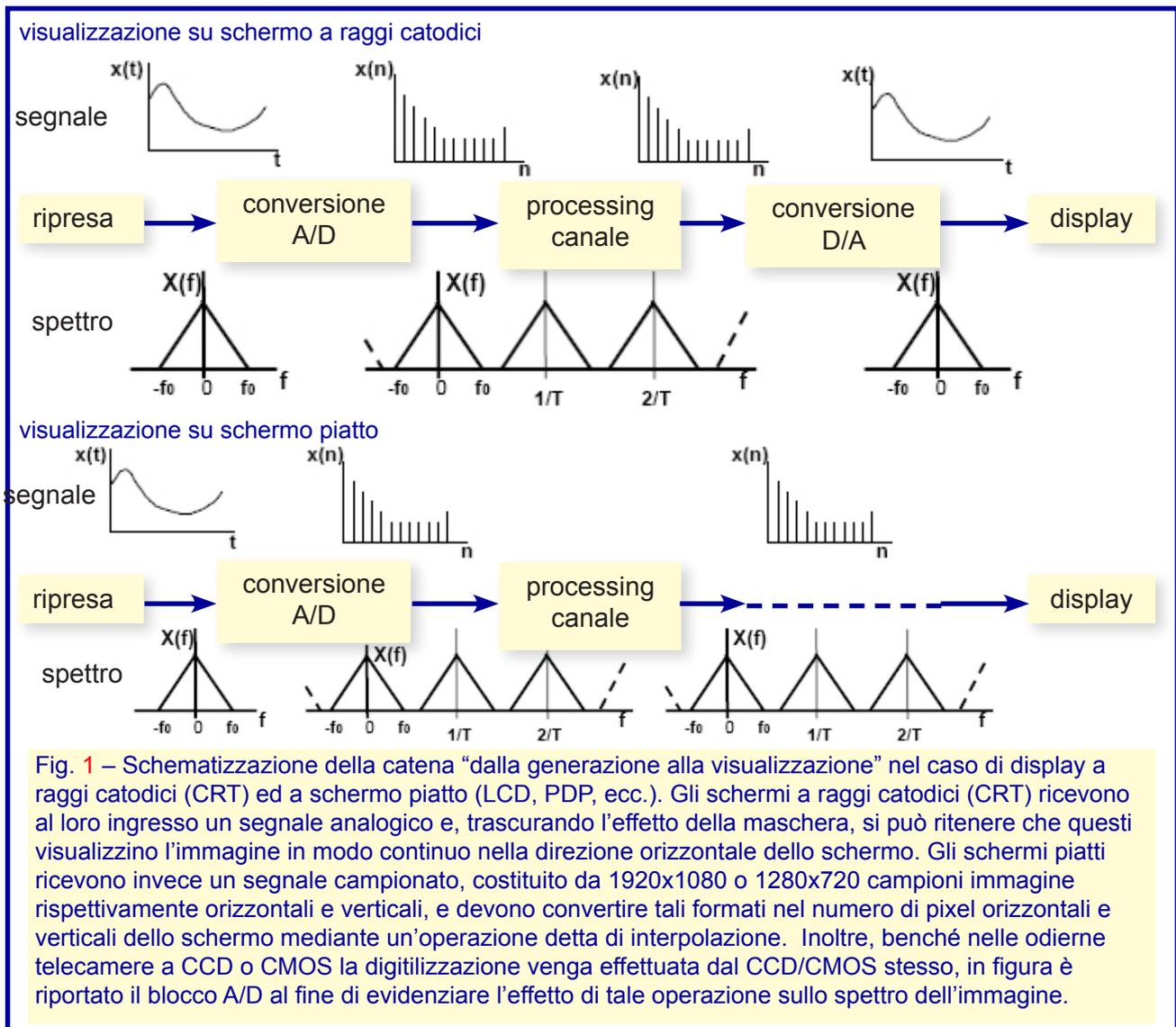
Qualità percepita sugli schermi

porale di 25 Hz nello standard europeo e di 30 Hz in quello americano, sono suddivise in due semiquadri. Il termine analogico si riferisce al fatto che nella direzione orizzontale l'immagine è rappresentata in modo continuo e non a punti o campioni.

Sugli schermi a raggi catodici tali immagini sono visualizzate mantenendo la loro struttura di scansione, ossia sono visualizzate a righe mantenendo la suddivisione in quadri e semiquadri. Nella direzione orizzontale l'immagine è visualizzata in modo continuo, se si trascura, l'effetto della maschera introdotta negli schermi CRT a colori per selezionare il tipo di fosforo (Rosso, Verde, Blu) da eccitare.

La suddivisione e visualizzazione a righe ed ancor più la struttura interlacciata di scansione riducono il dettaglio percepibile lungo la direzione verticale dell'immagine (risoluzione verticale) e generano dei difetti (interferenze od artefatti).

Relativamente alla riduzione di risoluzione è stato quindi definito ed introdotto, già nei primi anni della televisione, un parametro denominato fattore di Kell il cui valore vale circa 0,65 sulle immagini a scansione interlacciata e circa 0,9 su immagini a scansione progressiva. Il fattore di Kell fornisce il valore di riduzione della risoluzione verticale rispetto a quella attesa in base al numero di righe dell'immagine.



Qualità percepita sugli schermi

Il segnale televisivo digitale [6] mantiene la struttura a righe e quadri del segnale televisivo analogico, ma è inoltre campionato. Questo comporta che le relative immagini non sono più rappresentate in modo continuo nella direzione orizzontale, ma sono invece rappresentate da campioni (o punti) intervallati tra loro ad una distanza inversamente proporzionale alla frequenza di campionamento. La visualizzazione di tali immagini su schermi a raggi catodici che sono di tipo analogico avviene dopo aver convertito il segnale in analogico, mentre sugli schermi piatti, tipicamente digitali, sono visualizzati i campioni del segnale, vedere figura 1. Così facendo, con schermi a raggi catodici le operazioni di conversione digitale-analogico e relativo filtraggio sono effettuate elettronicamente a monte dello schermo mentre utilizzando schermi piatti per la visualizzazione delle immagini tali operazioni vengono effettuate dal trasduttore elettro-ottico dello schermo e dall'occhio. Quindi, con riferimento alla direzione orizzontale delle immagini, lo spettro del segnale visualizzato su schermi a raggi catodici consiste della sola componente in banda base mentre quello visualizzato su schermi piatti include anche tutti gli spettri di ripetizione (o modulazione) come indicato in figura 1. Tali spettri di ripetizione possono causare disturbi, aliasing, su immagini contenenti dettagli ad elevata risoluzione e quindi con componenti spettrali di alta frequenza.

4.1.2 Spettro delle immagini visualizzate

Innanzitutto definiamo cosa si intende per spettro d'immagine e come si rappresenta. Un'immagine, foto o quadro di un segnale televisivo, si estende su due dimensioni, larghezza ed altezza e viene visualizzata occupando tutto lo schermo. Dalla bidimensionalità dell'immagine ne discende che anche il suo spettro è definito in due dimensioni, larghezza ed altezza ed inoltre le unità di misura dello spettro devono essere scelte in modo da risultare invarianti rispetto alle dimensioni dello schermo.

Risulta quindi naturale rappresentare la frequenza orizzontale delle immagini in "cicli per larghezza di schermo (cpw)", che indica il numero di cicli o periodi di una sinusoide sulla larghezza dell'intero schermo, figura 2. Considerando la componente di luminanza la sinusoide indica la variazione periodica del livello di luminanza.

La frequenza verticale viene invece misurata in "cicli per altezza di schermo (cph)", e rappresenta il numero di cicli o periodi di una sinusoide sull'altezza dell'intero schermo.

In tale modo, rapportando il periodo della sinusoide alla lunghezza e larghezza dello schermo, si rende invariante il valore della frequenza rispetto alla dimensione dello schermo. Quanto indicato è illustrato in figura 2 nel caso di un'immagine costituita da righe verticali di luminanza, con

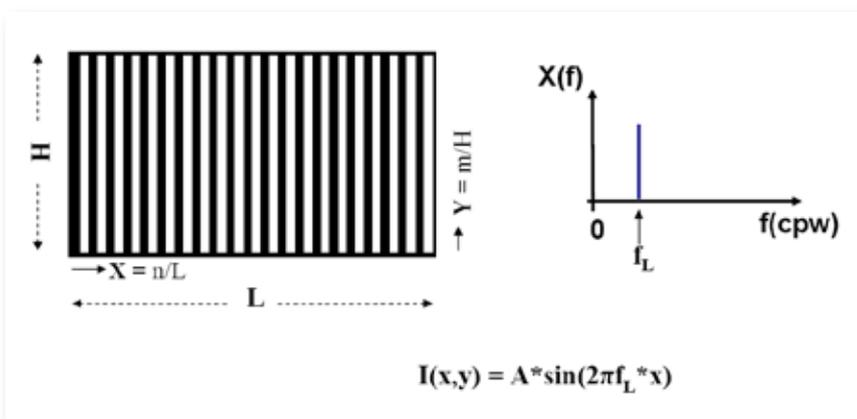


Figura 2 – Rappresentazione di un'immagine costituita da righe verticali di luminanza con andamento sinusoidale e rappresentazione del suo spettro costituito da una riga spettrale nella direzione orizzontale delle frequenze. In figura n indica il numero progressivo di pixel in orizzontale (da 1 ad L) ed m il numero progressivo di riga (da 1 ad H); x ed y indicano la posizione orizzontale e verticale del pixel rapportata al numero totale di pixel per riga (L) e di righe (H).

Qualità percepita sugli schermi

variazione sinusoidale del livello di luminanza lungo la direzione orizzontale.

Le frequenze massime rappresentabili sullo schermo dipendono dalla sua risoluzione e quindi dalla sua banda, nel caso di schermi analogici (schermi a raggi catodici), o dal suo numero di pixel nel caso di schermi digitali, ossia schermi piatti. La massima frequenza orizzontale/verticale teoricamente rappresentabile sullo schermo è uguale alla metà del numero di "pixel per riga"/"righe per quadro" (alternativamente un pixel/riga nero ed uno bianco; periodo della sinusoide uguale a 2 pixel/righe).

Consideriamo ora uno schermo piatto full HD con risoluzione 1920x1080, 1920 pixel per riga e 1080 righe. Tale schermo visualizza la forma campionata delle immagini e rende visibile lo spettro in banda-base e le sue ripetizioni attorno ai multipli della frequenza di ricampionamento che risulta pari a 1920 cpw lungo la direzione orizzontale e 1080 cph lungo quella verticale. In figura 3 sono indicati con pallino verde i centri dello spettro di banda base (0 cpw, 0 cph) e del primo spettro di ripetizione nella direzione orizzontale (1920cpw, 0cph), verticale (0cpw, 1080cph) e diagonale (1920cpw; 1080cph).

Attorno a tali centri sono riportati i limiti teorici degli spettri degli spettri bidimensionali di immagini HDTV^{Nota 4} 1080i/p^{Nota 5} e 720p. Come si può vedere dalla figura, nel caso di immagini 1080i/p il limite teorico dello spettro in banda base confina con quello dei primi spettri di ripetizione. In tale modo non è possibile percepirlo senza alterazioni e completamente separato dagli spettri di modulazione, in quanto

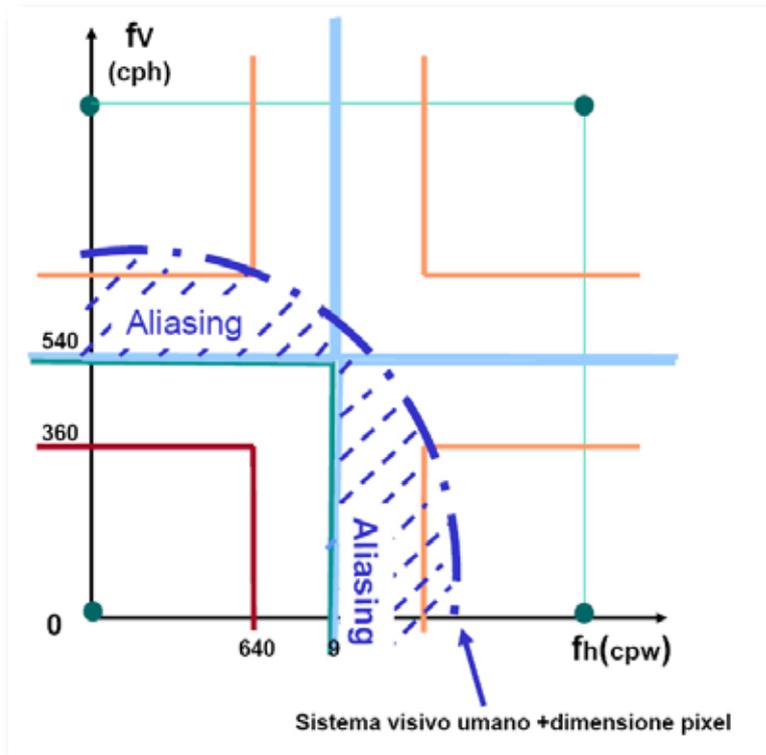


Fig. 3 – Visualizzazione su uno schermo piatto "Full HD", 1920x1080, di immagini HDTV di formato 1080i/p (linee verdi) e 720p (linee rosse). La figura riporta lo spettro in banda base dell'immagine ed il primo spettro di ripetizione nelle varie direzioni, ossia orizzontale, verticale e diagonale. In figura è anche schematizzata (curva blu) la caratteristica di filtraggio legata sia alle dimensioni non nulle dei pixel dello schermo che al sistema visivo umano in un'ipotetica condizione di visione.

Nota 4 - I limiti degli spettri indicati in figura possono essere approssimati nel caso di immagini di grafica elettronica, generate definendo il valore dei singoli pixel. Le immagini generate mediante ripresa elettronica sono filtrate, prima del loro campionamento, con filtri a livello fino a $0,4 \cdot f_c$ dove f_c indica la frequenza di campionamento del segnale HDTV ed ha valore pari a 74,25 MHz corrispondente a 768cpw per il 1080i/p e 512cpw per il 720p. Le Raccomandazioni ITU-R BT.709 e BT.1543 indicano inoltre che il filtro deve avere almeno 12 dB di attenuazione a metà della frequenza di campionamento, ossia a 37,125 MHz. Frequenze di valore tra 0,4 e 0,5 la frequenza di campionamento possono comunque essere presenti seppur attenuate.

Nota 5 - Sono considerate congiuntamente le immagini HDTV 1080i e 1080p in quanto l'articolo si focalizza sugli aspetti della percezione della risoluzione e quindi su immagini fisse, non si hanno differenze tra i due tipi di standard. Le differenze sono presenti solo quando si considerano immagini in movimento la cui analisi è però al di fuori dello scopo di questo articolo.

il filtraggio spettrale provocato dalla dimensione non nulla del pixel dello schermo e dalla caratteristica spettrale del sistema visivo umano (MTF) può essere grossolanamente schematizzato, per una determinata distanza di visione, con la curva di colore blu di figura 3; vedere Appendice per maggiori dettagli.

Una diversa condizione si ottiene visualizzando su uno schermo full HD immagini HDTV 720p. Infatti, come si può vedere in figura 3, in questo caso il limite teorico dello spettro in banda base del segnale è distanziato dagli spettri di ripetizione facilitando una sua pressoché corretta percezione da parte del sistema visivo.

4.1.3 Trasparenza nella percezione delle immagini

Riassumendo quanto indicato precedentemente, la percezione di un'immagine su display a schermo piatto avviene nel seguente modo:

1. sullo schermo sono visualizzati i campioni dell'immagine e quindi sono resi visibili gli spettri ripetuti (o spettri di modulazione) centrati sui multipli delle frequenze di ricampionamento del display,
2. la dimensione dei pixel rappresentanti i singoli campioni è non nulla, il che equivale ad un'operazione di filtraggio spaziale passa-basso delle immagini^{Nota 6},
3. un'ulteriore operazione di filtraggio passa-basso, è effettuata dal sistema visivo umano la cui caratteristica dipende dal rapporto tra la distanza di visione e la dimensione dello schermo, vedere Appendice.

Il filtraggio delle immagini effettuato dal sistema visivo umano, indicato al punto 3, non è fisso ma dipende dalla distanza dallo schermo alla quale si posiziona l'utente per la visione delle immagini. Lo spettro percepibile dall'utente su schermi Full HD, ossia con risoluzione 1920x1080 può essere simile a quello indicato in figura 3, ossia si è in

grado di percepire tutta l'area destinata allo spettro di banda base e parte dell'area relativa agli spettri di ripetizione. Immagini altamente dettagliate di segnali HDTV 1080i/p hanno uno spettro che ricopre pressoché tutta l'area destinata allo spettro di banda-base e di conseguenza quasi tutta quella relativa agli spettri di ripetizione. Le immagini percepite in queste condizioni risultano quindi affette da "aliasing", ossia interferite da porzioni degli spettri di ripetizione.

L'utente può però allontanarsi dallo schermo aumentando così l'operazione di filtraggio effettuata dal suo sistema visivo, vedere figura 4. In questo caso la percezione dell'immagine non è più affetta da "aliasing", ma l'immagine risulta meno definita in quanto parte del suo spettro utile risulta filtrato (attenuato) dalla caratteristica del sistema visivo posto in quelle condizioni di visione.

Risulta quindi che immagini HDTV 1080i/p non possono essere percepite in modo trasparente su schermi di risoluzione 1920x1080 in quanto, in dipendenza della distanza di visione, l'azione del sistema visivo umano è tale da far percepire interferenze di "aliasing" oppure limitare la risoluzione/definizione dell'immagine. Chiaramente, con schermi di risoluzione inferiore l'immagine viene digitalmente ricampionata (interpolata) a frequenza inferiore con conseguente limitazione del suo spettro e maggiore alterazione della qualità percepita.

Le immagini HDTV 720p hanno invece un'estensione dello spettro minore dell'area di banda base dello schermo. Di conseguenza, anche i suoi spettri ripetuti hanno un'estensione inferio-

Nota 6 - Poiché l'immagine visualizzata è data dalla convoluzione tra l'immagine ricampionata dal display e la caratteristica spaziale del pixel, lo spettro dell'immagine visualizzata risulta uguale al prodotto tra gli spettri dell'immagine campionata e della forma spaziale del pixel. Lo spettro 2D del pixel risulta del tipo $[\sin(x)/x][\sin(y)/y]$, con x proporzionale alla frequenza nella direzione orizzontale ed y a quella nella direzione verticale, e con gli zeri spettrali sui centri di ripetizione dell'immagine ricampionata.

Qualità percepita sugli schermi

re dell'area relativa agli spettri di modulazione. Questi risultano quindi separati tra loro da intervalli spettrali di guardia, liberi di contenuto spettrale. L'utente può quindi, entro certi limiti che saranno definiti successivamente, avvicinarsi allo schermo, figura 3, od allontanarsi, figura 4, percependo pressoché interamente lo spettro utile dell'immagine ma non gli spettri di ripetizione. Se ne conclude quindi che uno schermo full HD, risoluzione 1920x1080, è in grado di visualizzare le immagini 720p in modo molto più trasparente di quelle 1080i/p.

4.2 Distanza di Visione

4.2.1 Descrizione

Come accennato precedentemente, la caratteristica del sistema visivo umano dipende dal rapporto tra distanza del punto di visione dallo schermo e la dimensione dello stesso, oltreché

naturalmente dall'acutezza visiva della singola persona. Nel seguito, al fine di limitare il numero di parametri da considerare, supporremo l'utenza costituita da persone con un'acutezza visiva media ossia in grado di percepire, al massimo, un dettaglio che si presenta sotto un angolo di visione di 1 primo, ossia 1/60 di grado.

La distanza del punto di visione dallo schermo è indicata in nH , dove H indica l'altezza dello schermo. La dimensione dello schermo è rappresentata dalla lunghezza della diagonale misurata in pollici. A parità di dimensioni (valore della diagonale) l'altezza dello schermo dipende dal suo fattore di forma, 4:3 oppure 16:9, come indicato in figura 5.

Le immagini HDTV hanno un fattore di forma 16.9, quindi faremo riferimento solo a schermi con fattore di forma 16:9. Inoltre, i pixel sono di forma quadrata, per cui le valutazioni potranno essere limitate alla sola direzione verticale, altezza dello schermo.

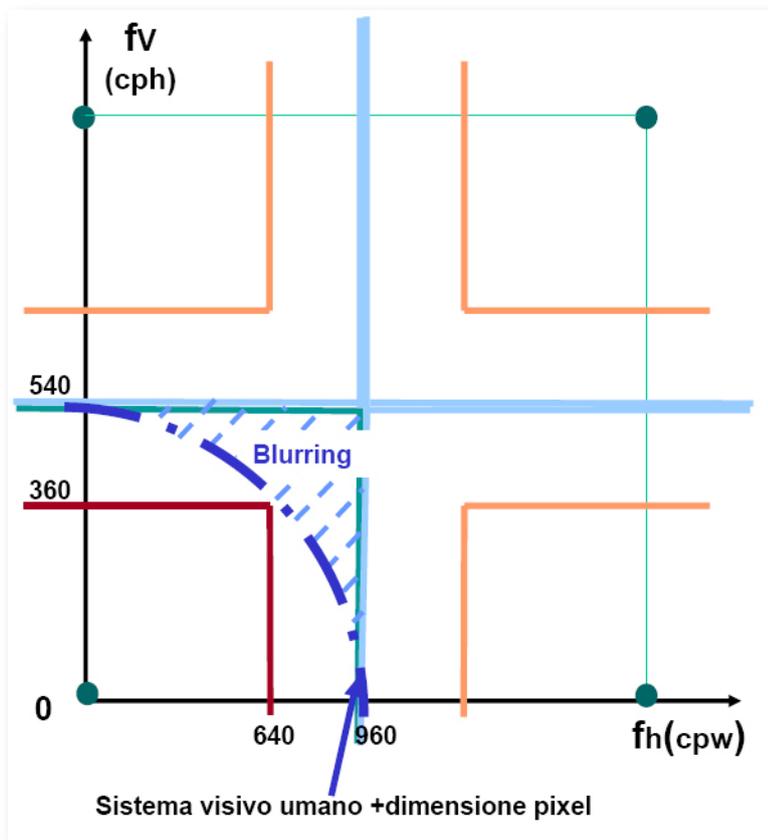


Fig. 4 – Visualizzazione su uno schermo piatto full HD, risoluzione 1920x1080, di immagini HDTV di formato 1080i/p (linee verdi) e 720p (linee rosse). La figura riporta i limiti dello spettro in banda base dell'immagine e del primo spettro di ripetizione nelle varie direzioni, ossia orizzontale, verticale e diagonale. La caratteristica di filtraggio del sistema visivo umano schematizzata in figura è relativa ad una distanza di visione, rapportata alla dimensione dello schermo, maggiore di quella indicata in figura 3.

Qualità percepita sugli schermi

Ad una distanza d da uno schermo di altezza H , si vedrà tutta l'altezza dell'immagine sotto un angolo dato da due volte l'arcotangente del rapporto tra l'altezza dello schermo e 2 volte la distanza di visione, come indicato in figura 6. Dividendo poi il valore dell'angolo α per il valore di acuità visiva, ossia 1 primo di grado (ricordando che i gradi sono divisi in 60 primi) si ottiene il valore della risoluzione verticale percepita indicata in numero di righe dell'immagine.

Nota 7 - Il grafico di figura 7 è riportato in una relazione presentata da Yukihiro Nishida (NHK, televisione pubblica giapponese) al gruppo tecnico B/TQE dell'UER.

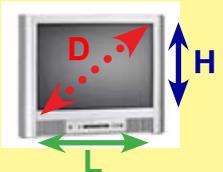
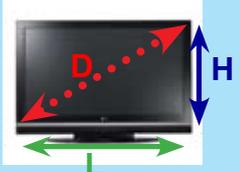
Schermo 4:3				Schermo 16:9			
							
D	H	L		D	H	L	
in	cm	cm		in	cm	cm	
40	102	61	82	40	102	50	89
50	127	76	102	50	127	62	111
60	152	91	122	60	152	75	133

Fig. 5 – Dimensioni in cm degli schermi in formato 4:3 e 16:9 in funzione della diagonale espressa in pollici (*inch*).

Si ottengono in tal modo le curve riportate in figura 7 che indicano il valore di numero di righe percepite ad una determinata distanza e su schermi di una data dimensione^{Nota 7}. Le rette rappresentano il luogo dei punti con una determinata risoluzione massima percepita. La risoluzione percepita nella direzione orizzontale si determina facilmente moltiplicando la risoluzione verticale percepita per 16/9, il fattore di forma, per esempio a 700 righe percepite in verticale corrispondono $700 \cdot (16/9) = 1244$ punti percepiti in orizzontale.

Come si può vedere dalla figura 7, la risoluzione percepibile dall'occhio diminuisce all'aumentare della distanza di visione, mentre aumenta proporzionalmente con le dimensioni dello schermo.

Per maggiore comodità si riporta in Tabella 2 il valore della risoluzione verticale percepita, ricavabile dal grafico di figura 7, per schermi di 40", 50", 60" e per distanze da 2 a 3,5 metri. Nella tabella è inoltre indicato, tra parentesi, anche il valore della risoluzione percepita orizzontalmente.

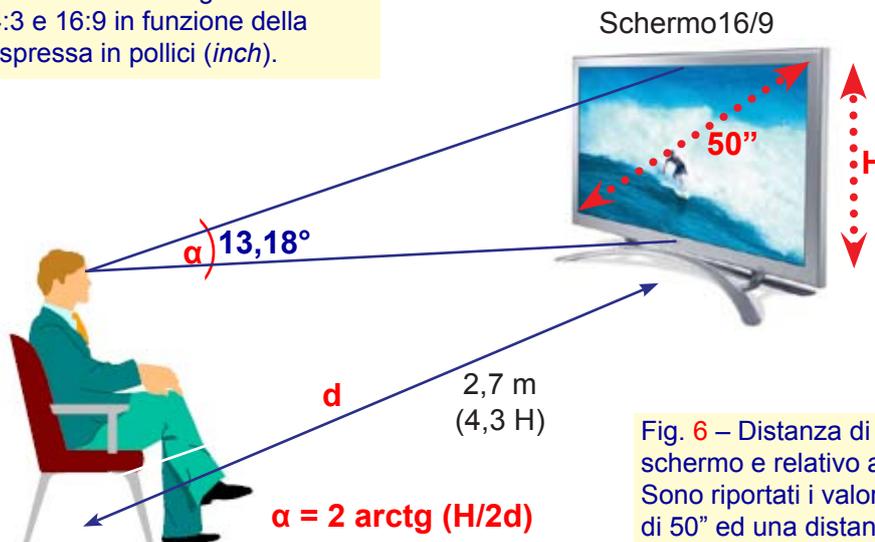


Fig. 6 – Distanza di visione dallo schermo e relativo angolo di visione. Sono riportati i valori per uno schermo di 50" ed una distanza di 2.7 m.

Qualità percepita sugli schermi

4.2.2 Risoluzione d'immagine percepibile in ambiente domestico

Come detto nel paragrafo precedente, si ricorda che il segnale 720p è costituito da immagini con risoluzione spaziale 1280x720 (1280 campioni per riga e 720 righe per quadro/immagine), mentre il segnale 1080i/p contiene immagini con risoluzione spaziale 1920x1080 (1920 campioni per riga e 1080 righe per quadro/immagine). Al fine di apprezzare completamente la risoluzione di queste immagini HDTV è allora necessario poter percepire un numero di punti spaziali almeno uguale a quello delle immagini di detti segnali HDTV.

La Tabella 2 riporta i valori della risoluzione spaziale percepita dal sistema visivo umano su schermi da 40", 50" e 60", che sono attualmente le dimensioni maggiori di schermi a Plasma ed LCD disponibili sul mercato consumer, e ad una distanza di visione dallo schermo tra i 2 ed i 3,5 metri. Sono state scelte nell'analisi queste distanze di visione poiché una distanza inferiore a 2 metri risulterebbe, da studi fatti dall'NHK (televisione pubblica giapponese), affaticante per lo spettatore, mentre una distanza superiore ai 3,5 metri richiede sale di visione più grandi di quelle normalmente disponibili a casa dell'utente^{Nota 8}.

Nota 8 - Uno studio è stato fatto dal Centro Ricerche RAI a metà degli anni 90 per individuare la distanza di visione preferita dall'utente [8].

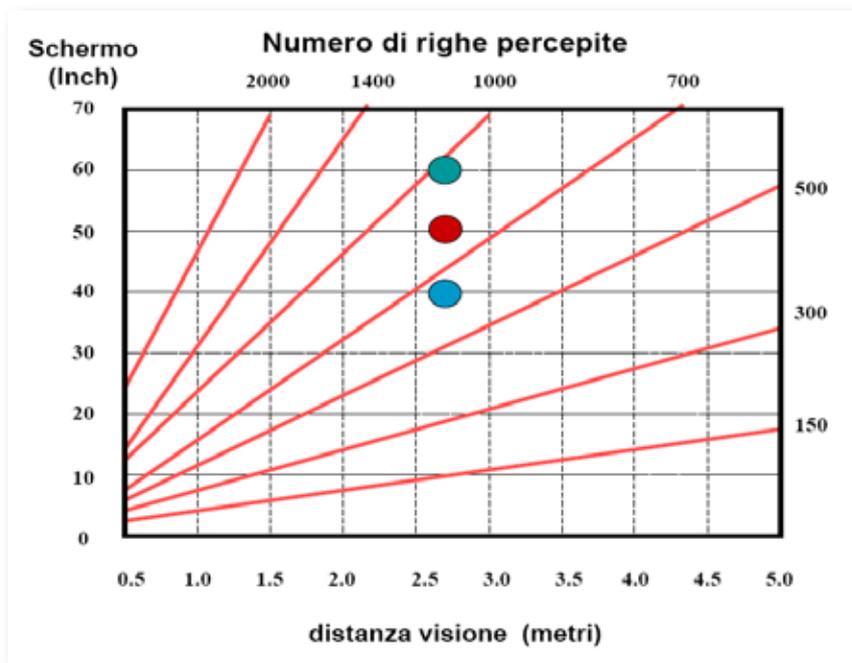


Fig. 8 – Curve di percezione della risoluzione di immagini 1080i/p e 720p in funzione della distanza di visione e della dimensione dello schermo.

Tab. 2 – Risoluzione espressa in numero di righe percepita su diverse dimensioni di schermo e varie distanze di visione. I valori tra parentesi si riferiscono al numero di pixel per riga percepiti.

Distanza di visione metri	Numero di righe (e pixel per riga) percepite su schermi da:		
	40"	50"	60"
2,0	855 (1520)	1061 (1886)	1270 (2258)
2,5	685 (1218)	851 (1513)	1020 (1813)
3,0	572 (1017)	711 (1264)	851 (1513)
3,5	490 (871)	610 (1084)	731 (1300)

Qualità percepita sugli schermi

Dai valori indicati in Tabella 2 e figura 8, risulta quindi che:

- ◇ su display da 40" non si è in grado di percepire la piena risoluzione disponibile con immagini 1080i/p, ad una distanza di almeno 2 metri,
- ◇ su schermi da 50" e con una distanza di visione di 2 metri si riesce a percepire completamente la risoluzione di immagini 1080i/p,
- ◇ la piena risoluzione di immagini 1080i/p può essere percepita con schermi da 60" ad una distanza di visione di quasi 2,5 metri,
- ◇ la risoluzione delle immagini HDTV 720p è pienamente percepita già con schermi da 40" ad una distanza di visione di poco inferiore a 2,5 metri, mentre con schermi da 50" ci si può posizionare ad una distanza di visione di circa 3 metri che diventa

leggermente superiore a 3,5 metri con schermi da 60".

Tali risultati indicano che un utente dotato di schermi da 40", o di dimensione inferiore, difficilmente riuscirà ad apprezzare un aumento di risoluzione delle immagini 1080i/p rispetto a quelle 720p, mentre l'utente dotato di schermi da 50" inizia a percepire tale l'aumento quando si pone a distanze inferiori a 3 metri dallo schermo, ma deve arrivare a 2 metri dallo schermo per apprezzare completamente il guadagno di risoluzione.

Il totale apprezzamento della risoluzione di immagini 1080i/p sembra quindi possibile solo con schermi di almeno 50", preferibilmente di 60".

Le precedenti considerazioni sono sintetizzate in figura 8 che riporta le curve limite di completa percezione della risoluzione dei segnali HDTV 720p e 1080i/p in funzione della dimensione dello schermo e della distanza di visione.

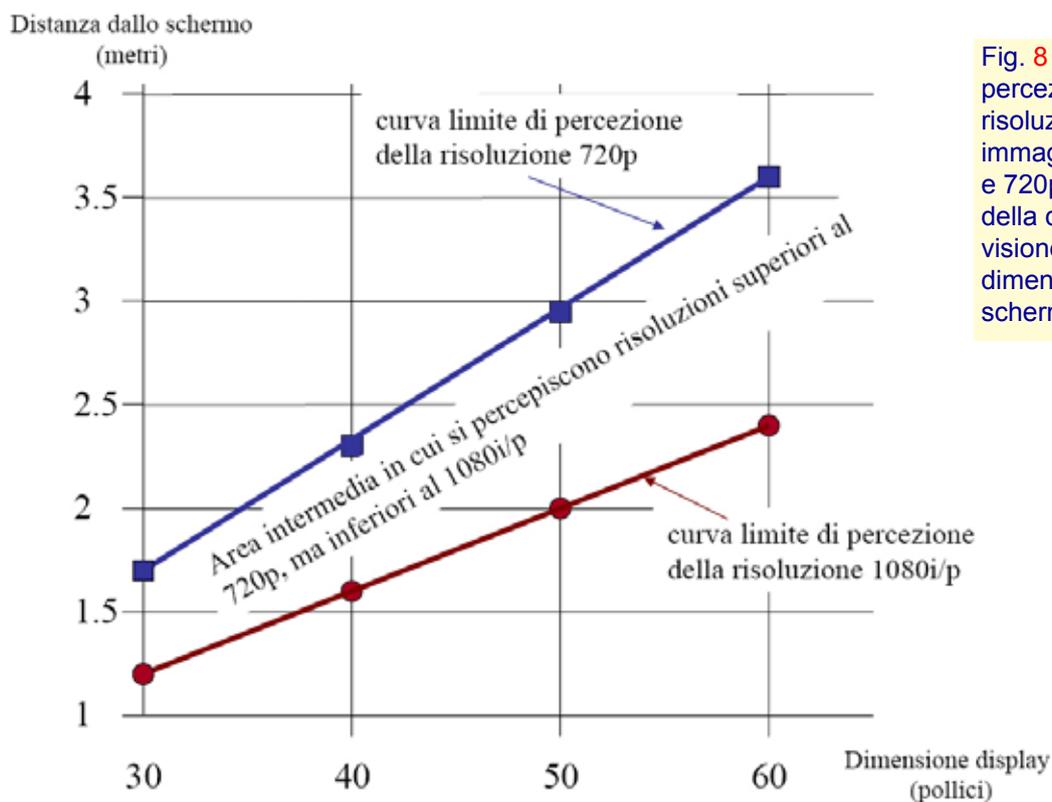


Fig. 8 – Curve di percezione della risoluzione di immagini 1080i/p e 720p in funzione della distanza di visione e della dimensione dello schermo.

5. Conclusioni

La qualità d'immagine percepibile a casa dell'utente dipende da molti fattori tipo: il formato del segnale, i degradamenti nella catena di trasmissione, la qualità e tecnologia del display utilizzato, l'ambiente e le condizioni di visione.

Di tutti questi si sono considerati solamente quelli che hanno impatto sulla risoluzione d'immagine percepibile a casa dell'utente e quindi: lo standard del segnale, la risoluzione e dimensione del display e la distanza di visione.

Non è stata fatta distinzione tra il segnale 1080i, scansione interlacciata, ed il 1080p, scansione progressiva, poiché il tipo di scansione non influenza la percezione della risoluzione sulle parti fisse dell'immagine, ma solo su quelle soggette a movimento, aspetto non considerato nell'articolo. E' comunque importante evidenziare che le immagini progressive sono visualizzate, in presenza di movimento, con una qualità maggiore di quelle interlacciate poiché le prime non necessitano di operazioni di de-interlacciamento che sono fonte di degradamenti, ed inoltre mantengono la stessa risoluzione spaziale sia sugli oggetti in movimento che su quelli fissi.

Per quanto riguarda quindi la percezione della risoluzione da parte dell'utente, con le ragionevoli ipotesi che la dimensione massima del display sia di 50" e che l'utente guardi la televisione a non meno di 2,5 metri dallo schermo si può concludere che tale utente è in grado di percepire appieno la risoluzione di immagini HDTV 720p, ma non completamente quella potenzialmente disponibile con immagini HDTV 1080i/p, come evidenziato in figura 8.

Inoltre, poiché la massima risoluzione dei display attualmente in commercio (display "Full HD") è di 1920x1080 pixel, lo schermo visualizza in modo pressoché trasparente le immagini HDTV 720p, ma non quelle 1080i/p con elevata risoluzione spaziale.

I display a schermo piatto etichettati "HD-ready" sono multiformato, ossia possono gestire e visualizzare segnali SDTV ed HDTV, sia 720p che 1080i/p. Questo consente al broadcaster di scegliere autonomamente il tipo di formato HDTV che considera più conveniente per la trasmissione dei suoi programmi. Il display a casa dell'utente automaticamente adatta, di volta in volta ed in modo trasparente per l'utente, il formato HDTV ricevuto alla risoluzione dello schermo, con la qualità percepibile d'immagine indicata precedentemente.

Da quanto esposto, emerge anche che la percezione di qualità e nitidezza delle immagini aumenta con le dimensioni dello schermo. Questo è senz'altro vero, almeno entro certi limiti, nel caso di visualizzazione di immagini HDTV di buona qualità, come supposto nell'articolo. Se ne dedurrebbe quindi che, compatibilmente con le considerazioni di costo, convenga acquistare display con dimensione dello schermo tale da garantire la completa percezione di risoluzione del formato HDTV a risoluzione maggiore, 1080i/p, e quindi orientarsi verso display prossimi ai 60" se non addirittura maggiori; nel caso di immagini 720p tali display potrebbero, al massimo, essere sovradimensionati.

Oggi giorno però la stragrande maggioranza dei programmi trasmessi in Italia sui canali analogici e digitali è in SDTV. I display a schermo molto grande che esaltano la qualità di immagini integre potrebbero amplificare eventuali degradamenti di codifica dell'attuale segnale SDTV ed evidenziarne la ridotta risoluzione, rispetto all'HDTV, delle immagini [3,4].

Un compromesso tra le esigenze attuali (SDTV) e quelle future (HDTV) potrebbe consistere in uno schermo di dimensioni non eccessive per i servizi attuali, ma in grado di far percepire, anche se non totalmente, il guadagno di risoluzione di futuri programmi HDTV trasmessi o riprodotti da HD-DVD o Blue-ray Disc.

Bibliografia

- [1] G. Barbieri: "Schermi piatti: sviluppi e applicazioni" - Elettronica e telecomunicazioni, pp.3-9, n.3, dicembre 2000
- [2] M. Barbero, N. Shpuza: "Display e proiettori, recenti progressi", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 2, agosto 2004
- [3] M. Stroppiana: "I display a schermo piatto cambieranno il mondo televisivo?", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 2, agosto 2002
- [4] M. Stroppiana, D. Wood: "L'avvento degli schermi a pannello piatto cambierà la trasmissione digitale (DVB)", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 2, agosto 2002
- [5] M. Barbero, N. Shpuza: "Alta definizione: display 1080p", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 2, agosto 2007
- [6] M. Barbero, N. Shpuza: "Le origini del video digitale (La raccomandazione ITU-R BT.601)", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 1, aprile 2003
- [7] M. Barbero, N. Shpuza: "I Formati HDTV (Le Raccomandazioni ITU-R BT.709 e BT.1543)" - Elettronica e telecomunicazioni, n.1, aprile 2005
- [8] M. Ardito, M. Gunetti, M.Visca: "Influence of Display Parameters on Perceived HDTV Quality" – IEEE Transactions on Consumer Electronics, pp. 145-155, Volume 42, Number 1, February 1996

Appendice

L'occhio umano percepisce più dettagliatamente oggetti vicini. Corrispondentemente, a parità di distanza dall'oggetto, percepisce meglio oggetti grandi rispetto ad oggetti piccoli.

Questo è conseguenza del fatto che l'occhio umano ha un grado di risoluzione, acutezza visiva, che dipende dall'ampiezza dell'angolo sotto cui vede un determinato particolare.

Un metodo di misura dell'acutezza visiva consiste nel determinare l'angolo sotto cui devono essere separati due tratti di un ottotipo per essere percepiti come distinti. Il valore minimo dell'angolo che corrisponde al limite di risoluzione del sistema visivo umano è pari a circa 1 primo di grado. In bibliografia [B1] sono riportati vari metodi di misura della acutezza visiva e la definizione di ottotipo.

Un'altra misura della risoluzione visiva, da cui è possibile determinare la risposta in frequenza del sistema visivo umano, consiste nella determinazione della soglia di percezione del contrasto che si misura facendo osservare, a varie distanze, reticoli sinusoidali con diversi livelli di contrasto.

Un metodo alternativo può essere quello di osservare dalla stessa distanza reticoli sinusoidali di diversa frequenza, ognuno dei quali con diversi valori di contrasto. Al variare della distanza di visione, o alternativamente della frequenza del reticolo, varia l'angolo sotto cui si vede un singolo periodo del reticolo sinusoidale. Si ottiene in tal modo la curva media di sensibilità al contrasto del sistema visivo umano, CSF - Contrast Sensitivity Function, riportata in figura A1, [B2, B3].

Come risulta evidente dalla figura A1, il sistema visivo umano si comporta come un filtro passa-basso, e quindi il sistema visivo può percepire l'immagine con una risoluzione inferiore di quella visualizzata sul display. L'entità di filtraggio e quindi della riduzione di risoluzione delle immagini percepite dipende naturalmente dalla distanza di visione dallo schermo.

In figura A2 sono riportate le curve di sensibilità dell'occhio in funzione della frequenza, normalizzata sulla dimensione dello schermo (cpw e cph), per alcune distanze di visione.

Come si vede dalla figura A2, l'entità di filtraggio del sistema visivo umano varia al variare della distanza di visione dallo schermo.

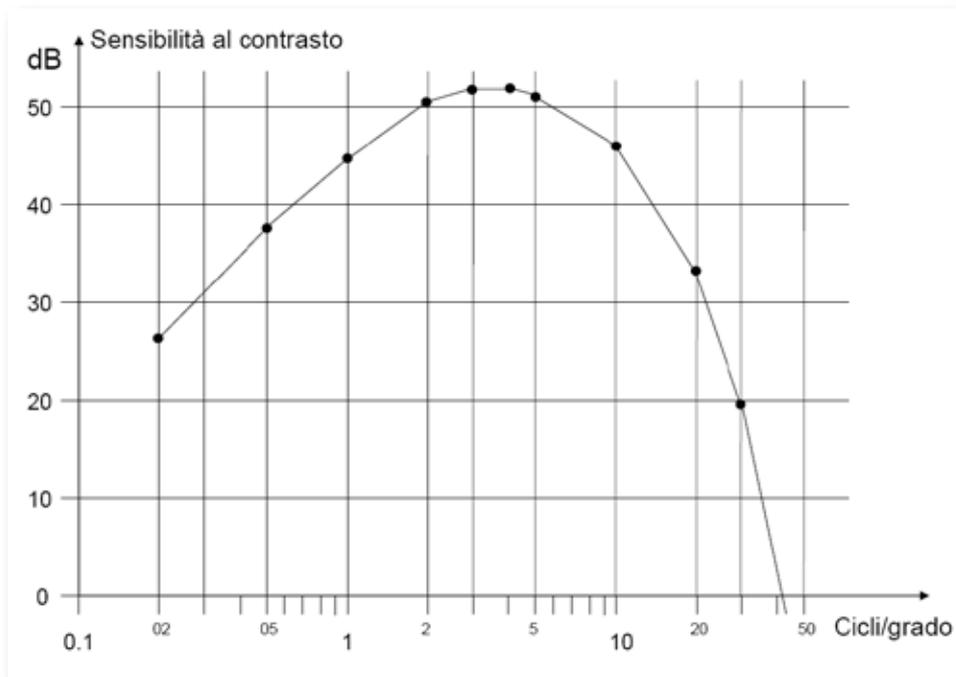


Fig. A1 – Curva di sensibilità al contrasto del sistema visivo umano (CSF - Contrast Sensitivity Function) in funzione del numero di cicli o periodi, sottostanti un angolo di visione di un grado.

Qualità percepita sugli schermi

Nel caso di immagini HDTV 1080p/i, la massima frequenza verticale rappresentabile sullo schermo full HD (1920x1080) è di 540 cph. Tale frequenza risulta attenuata dalla caratteristica del sistema visivo umano di circa 32 dB quando si guarda lo schermo a distanza 3,2 H, ma la sua attenuazione diventa superiore a 50 dB se ci si pone a 5H di distanza.

Con immagini HDTV 720p, la massima frequenza verticale è pari a 360 cph e risulta percepita con un'attenuazione di circa 32 dB quando ci si pone a 4,7H dallo schermo, distanza ben superiore a quella richiesta nel caso di immagini 1080i/p, per lo stesso valore di attenuazione.

Bibliografia

- [B1] http://it.wikipedia.org/wiki/Acutezza_visiva
- [B2] Claude Pons: "La risoluzione globale del cinescopio nella televisione ad Alta Definizione", *Elettronica e Telecomunicazioni*, n. 2, 1992
- [B3] Fergus W. Campbell: "The Human Eye as an Optical Filter", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 56, No. 6, June 1968

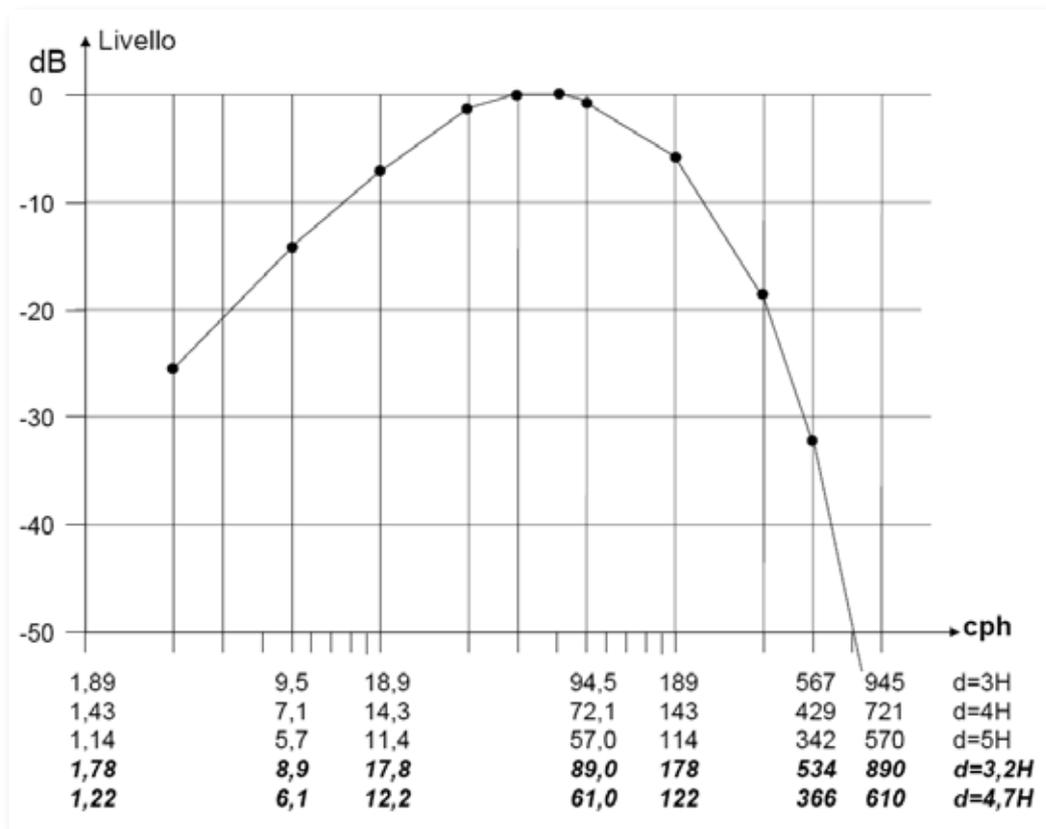


Fig. A2 – Funzione di trasferimento del sistema visivo umano a distanze di visione di 3H; 4H; 5H; 3,2H e 4,7H, dove H indica l'altezza dello schermo. Gli ultimi due valori di distanza di visione corrispondono alle distanze limite che consentono una percezione di tutta la risoluzione disponibile con immagini HDTV 1080i/p e 720p. Le frequenze sono indicate in cicli per altezza di schermo (cph); moltiplicando il valore per 16/9 si ottengono le frequenze orizzontali misurate in cpw.