

Che cosa è, come funziona: display a cristalli liquidi autostereoscopici

Marzio Barbero e
Natasha Shpuza

1. Premessa

La prima delle "schede" della serie "Che cosa è, come funziona", nel numero di agosto 2002 di Elettronica e Telecomunicazioni, era intitolata "display a cristalli liquidi (LCD, DSTN, TFT)". A distanza di due anni ci si occupa ancora di display piatti, a cristalli liquidi, ma specificatamente di quelli destinati alla visualizzazione autostereoscopica.

Le informazioni qui raccolte sono a complemento degli articoli sulla televisione stereoscopica che compaiono in questo numero della rivista.

Noi percepiamo il mondo che ci circonda come tridimensionale grazie a più indizi contemporanei: la prospettiva (le dimensioni apparenti degli oggetti dipendono dalla loro distanza), l'occlusione (gli oggetti più vicini impediscono di vedere quelli dietro loro), effetti atmosferici (gli oggetti più distanti appaiono meno distinti). Molti di questi elementi sono presenti anche in immagini bi-dimensionali e concorrono a farci interpretare la scena come tridimensionale. Ma un ulteriore fattore importante

per la percezione tridimensionale consiste nella visione stereoscopica, cioè nel fatto che l'informazione percepita attraverso i nostri due occhi è leggermente diversa, il nostro cervello è in grado di elaborare queste differenze per valutare la distanza relativa degli oggetti.

Un display autostereoscopico consente all'osservatore, privo di occhiali o altri dispositivi dedicati in prossimità del suo corpo, di percepire un'immagine tridimensionale, fornendo due immagini differenti ai suoi occhi.

2. Cenni storici

2.1 Metodi a barriera

Nel 1692 il pittore francese Gaspard Antoine de Bois Clair dipinse due immagini differenti sulla stessa superficie piana a cui sovrappose una griglia di assicelle verticali, perpendicolari al dipinto. A seconda che si osservi il dipinto da sinistra, o da destra, appare una o l'altra delle due immagini, osservandolo ponendosi di fronte, appare una combinazione delle due immagini. Questo è il primo metodo di visualizza-

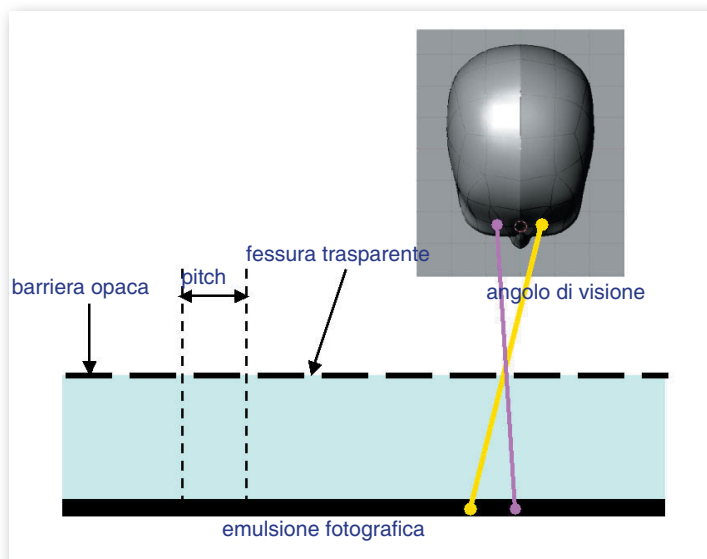
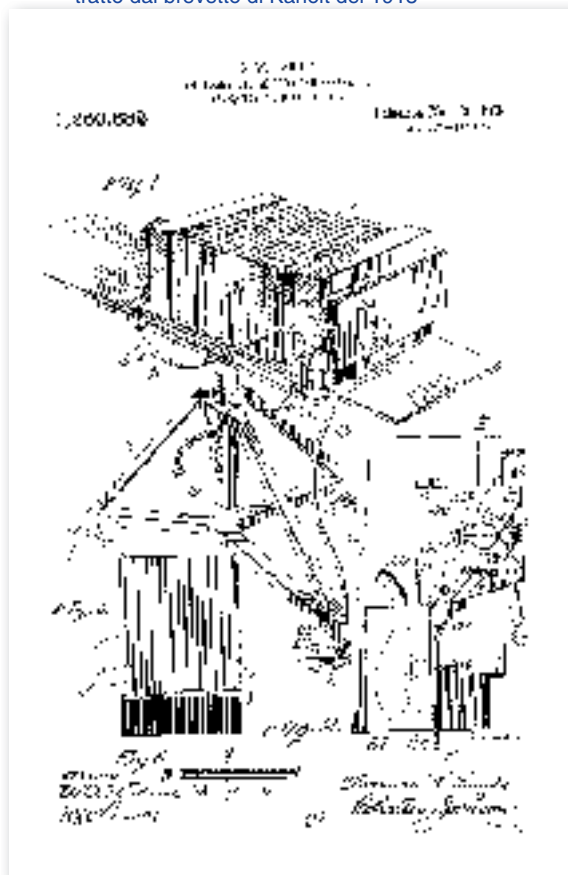


Fig. 1 - Lo schema (vista dall'alto) del sistema a barriera per realizzare il Parallax Stereogram

Fig. 2 - Disegno della Parallax Panoramagram Camera tratto dal brevetto di Kanolt del 1918



zione autostereoscopica, denominato "a barriera", che fu successivamente proposto, usando metodi fotografici, contemporaneamente, ma indipendentemente da Jacobson e da Berthier nel 1896.

Friederic E. Ives nel 1906 brevettò il *Parallax Stereogram* (figura 1). Uno schermo (elementi opachi intercalati con elementi trasparenti di larghezza inferiore) costituisce una barriera che, separata dalla lastra fotografica da un vetro trasparente di opportuno spessore, consente a ciascun occhio di vedere le strisce corrispondenti ad una delle due immagini con cui è impressionata la lastra. Il processo per impressionare la lastra avviene in modo analogo, utilizzando la stessa barriera per realizzare le due immagini interlacciate verticalmente.

La visione di questi tipi di stereogrammi è fortemente limitata dal fatto che la corretta percezione è possibile solo se l'osservatore si pone in una zona ben delimitata, caratterizzata da un piccolo angolo di visione.

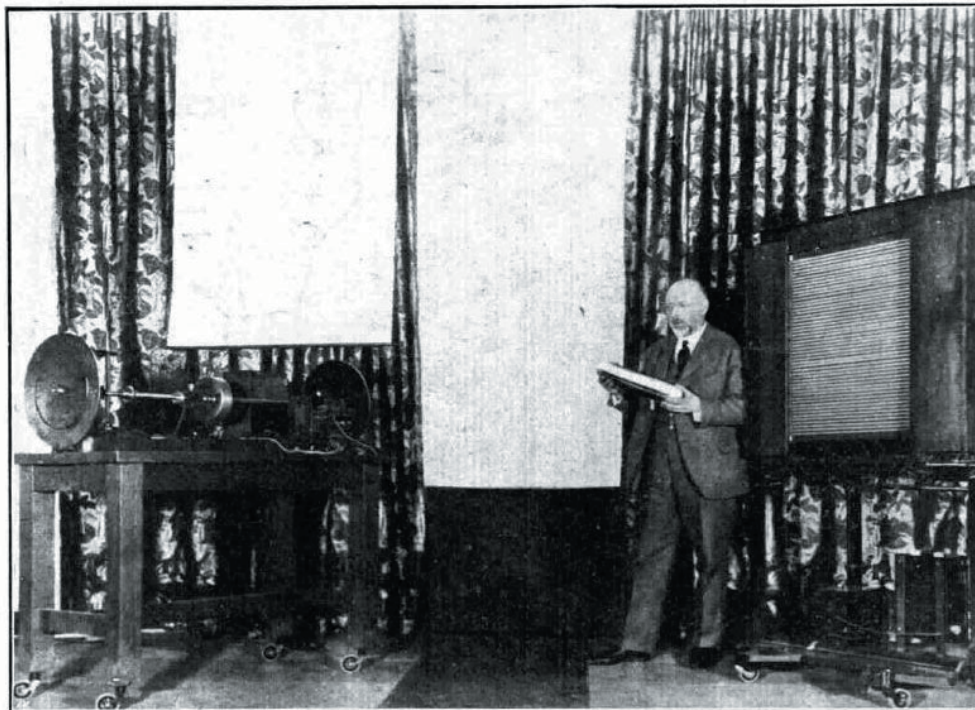
Per superare questa limitazione vennero aggiunte viste multiple oltre alle due principali, in modo da consentire un più ampio angolo di visione. Nel brevetto del 1918 di Clarence W. Kanolt (figura 2) è prevista una fotocamera di grande formato che muove lo schermo barriera tra un'esposizione e la successiva. L'inventore coniò il termine *Parallax Panoramagram* per indicare tali immagini con viste stereo multiple.

Questa tecnica fu perfezionata dal figlio di Fredrick E. Ives, il fisico Herbert Ives (1882-1953) (figura 3): fu il primo a creare immagini usando una fotocamera con lenti di grande apertura (12 pollici). Successivamente, per eliminare il problema dei raggi luminosi indesiderati, Ives sostituì

RADIORARIO

3

I recenti progressi della televisione



Il Dott. Ives mentre dà una spiegazione teorico-pratica del nuovo sistema. A destra si può vedere lo schermo speciale costituito da tubi al neon; a sinistra un complesso dimostrativo della trasmissione e ricezione dell'immagine. Il Dott. Ives tiene in mano una delle grosse celle fotoelettriche speciali da lui elaborate.

Fig. 3 - Una foto del dott. H. Ives tratta da un articolo di A. Banfi pubblicato su Radiorario nel 1927. Ives è raffigurato mentre illustra un dispositivo per visualizzare immagini televisive costituito da un tubo di vetro contenente neon rarefatto, ripiegato 50 volte e contenente 2500 elettrodi, in modo da costituire uno schermo da 60x60 cm.

la lente di grande diametro con una lente di diametro più piccolo (analoga a quelle di una normale macchina fotografica) che, posta ad una distanza dalla barriera uguale o superiore al diametro della lente grande, scandiva l'immagine da sinistra a destra.

Questa tecnica è alla base di sistemi a scansione ancora in uso oggi.

2.2 Metodi a integrazione

Nel 1908 il fisico Gabriel M. Lippmann, premio Nobel noto per l'invenzione della riproduzione fotografica a colori, propose l'uso di una serie di lenti (*fly-eye lens array*, a occhio di mosca, figura 4) poste sulla immagine, anziché una barriera di linee opache.

Fig. 4 - Ingrandimento di una schiera di lenti a occhio di mosca (*fly's eye*)

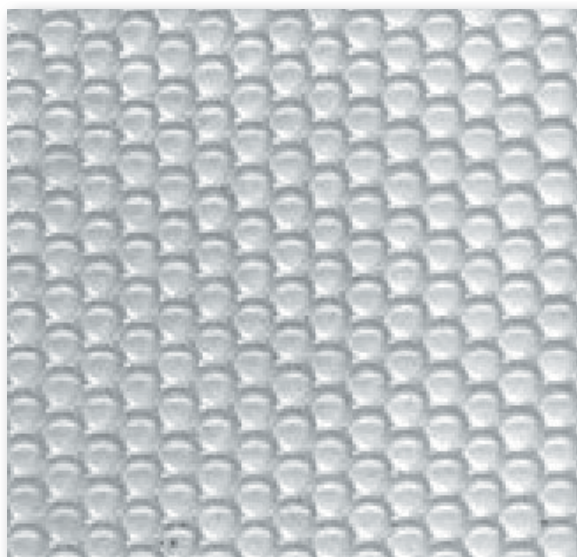
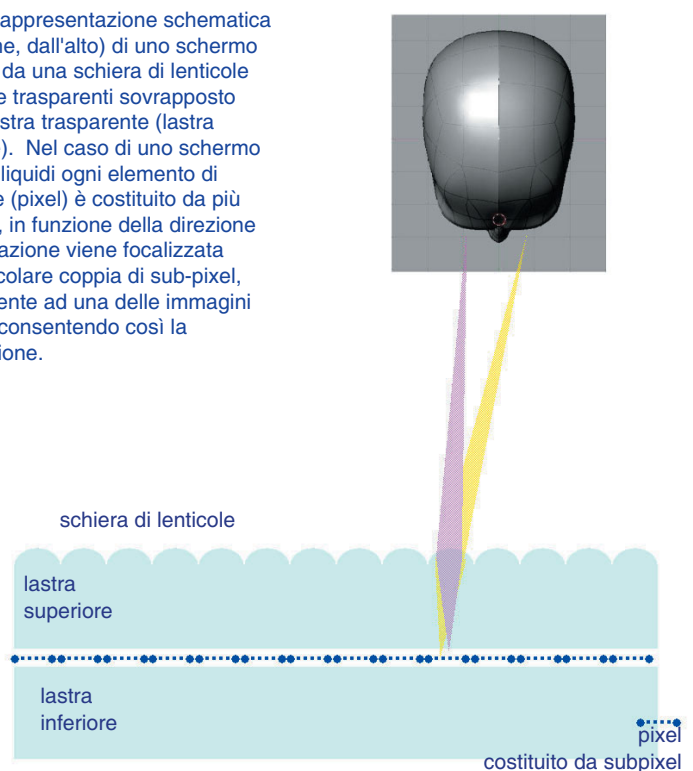


Fig. 5 - Rappresentazione schematica (in sezione, dall'alto) di uno schermo costituito da una schiera di lenticole cilindriche trasparenti sovrapposto ad una lastra trasparente (lastra superiore). Nel caso di uno schermo a cristalli liquidi ogni elemento di immagine (pixel) è costituito da più sub-pixel, in funzione della direzione di osservazione viene focalizzata una particolare coppia di sub-pixel, appartenente ad una delle immagini multiple, consentendo così la stereovisione.



2.3 Metodi lenticolari

A partire dalla fine degli anni '20 molti ricercatori, tra cui H. Ives proposero di semplificare la schiera a occhio di mosca di Lippmann con una schiera di lenticole (*lenticular lens array*). Questo dispositivo è costituito da una schiera di lenticole cilindriche piano-convesse, trasparenti (figura 5). La schiera ha una superficie piana, piano focale delle lenticole, su cui può essere depositato un film costituito da una emulsione fotosensibile. Quando il film è esposto ai raggi luminosi provenienti da una particolare direzione, una volta sviluppato, i raggi da esso provenienti verranno diretti dalla schiera di lenticole nella stessa direzione.

Negli anni '60 le tecniche lenticolari ebbero un rapido sviluppo che portò alla realizzazione e diffusione di figurine, cartoline

postali, copertine di libri e riviste.

Nel 1968 un brevetto di D. F. Winnek descrive l'approccio di inclinare le lenticole per eliminare l'effetto ottico di *moiré* e rendere uguali la risoluzione orizzontale e verticale.

2.4 Autostereogrammi

Un risultato ottenuto nel 1959 da Bela Julesz studiando al Bell Labs i problemi psicologici della visione e percezione fu la dimostrazione che il cervello umano può ricostruire l'informazione tridimensionale a partire da immagini che apparentemente non contengono forme relative ad oggetti solidi, tali da fornire gli indizi tipici nella visione del mondo reale.

La dimostrazione avvenne mediante uno stereoscopio ed una coppia di stereogrammi costituiti da punti casuali (RDS, *Random Dot Stereogram*).

Il passo successivo fu la dimostrazione che non sono necessarie due distinte immagini per causare la percezione della profondità, nel 1979 Tyler e Clarke realizzarono il primo RDS costituito da una sola immagine (SIRDS, *Single Image RDS*).

In seguito si diffusero programmi per elaborare autostereogrammi ad una sola immagine, utilizzati per realizzare cartoline, poster e, a scopo ludico, anche immagini televisive (figura 6).

3. Schermi LCD autostereoscopici

Lo sviluppo dei pannelli piatti LCD a matrice attiva ha reso possibile, a partire dagli anni '90, la realizzazione di schermi con una risoluzione sufficientemente elevata per realizzare schermi autostereoscopici

che utilizzano schiere di lenticole cilindriche inclinate. Particolarmente attiva la ricerca in questo campo nei centri dell'istituto Heinrich Hertz di Berlino, British Telecom, Philips e Sharp in Gran Bretagna.

3.1 Schermi a schiera di lenticole

La figura 5 rappresenta schematicamente il principio di funzionamento di un pannello 3D-LCD a schiera di lenticole. La schiera è depositata sopra uno schermo LCD in modo che il piano di immagine corrisponda a quello focale delle lenti. Un osservatore che si trova perpendicolare allo schermo vede la porzione di LCD che si trova al centro di ciascuna lente. Un osservatore non in asse rispetto allo schermo vede una porzione dello schermo leggermente a destra o sinistra rispetto al centro della lente. Se ad ogni lente non corrisponde un singolo pixel, ma un certo numero di sub-pixel, allora i due occhi dell'osservatore percepiscono, per ciascuna lente, due sub-pixel differenti, e si ottiene così l'effetto stereoscopico.

In figura 7 è illustrato come, avendo un numero sufficientemente alto di sub-pixel (ad esempio 7 o 9) è possibile consentire una visione autostereoscopica anche se l'osservatore non si trova in asse con lo schermo: muovendo la testa, gli occhi osservano, per ciascun pixel, differenti paia di sub-pixel, mantenendo una visione stereoscopica continua per ampi angoli di visione (circa 150°).

La disposizione della schiera di lenticole rispetto alla matrice di subpixel ha un ruolo importante nel migliorare la percezione visiva tridimensionale (figura 8).

L'uso della tecnica *multiview* qui descritta implica una riduzione della risoluzione dell'immagine percepita dall'osservatore, infatti, in base alla sua posizione, perce-



Fig. 6 - La prima e quarta pagina di copertina del numero 2/3 del 1995 di Elettronica e Telecomunicazioni, Esempi di stereogrammi utilizzati come immagini televisive.

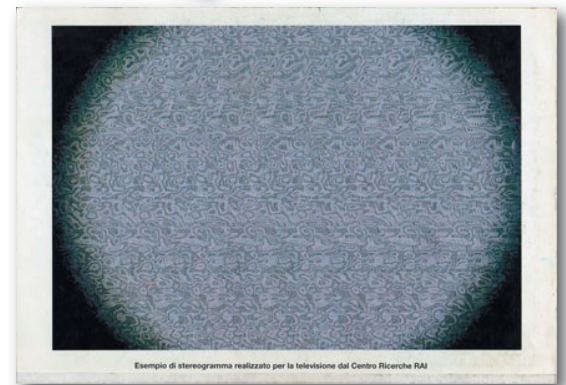
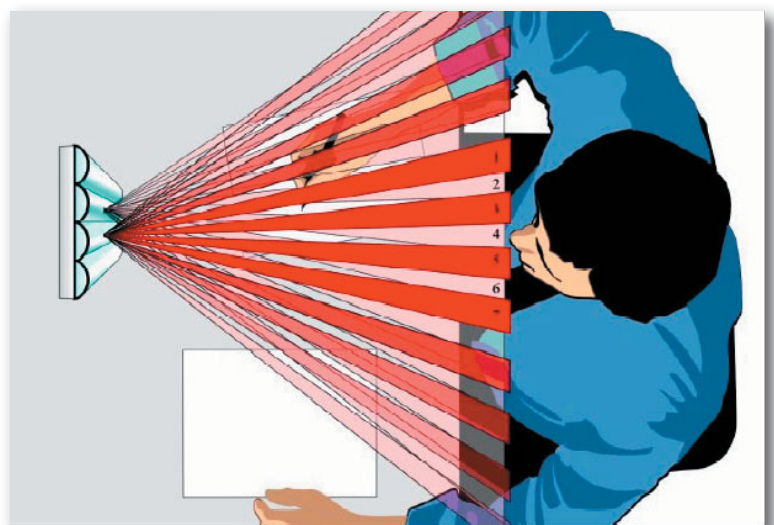


Fig. 7 - Suddividendo l'area corrispondente ad ogni pixel in sub-pixel è possibile avere l'illusione tridimensionale anche nel caso di movimenti ampi della testa oppure nel caso di più osservatori contemporaneamente (Multiview 3D-LCD).



Tab. 1 - Parametri relativi ad un prototipo di display dalla Philips e dimostrato nel 2004 al CeBIT in Hannover

LCD	risoluzione (numero di pixel)	1600 (x3) x 1200
	dimensione (diagonale)	20,1 pollici
	sub-pixel pitch (µm)	85 x 255
3D-LCD	numero di viste	9
	risoluzione (per ciascuna vista)	533 x 400 x RGB
	distanza di lavoro (mm)	300 - 1500

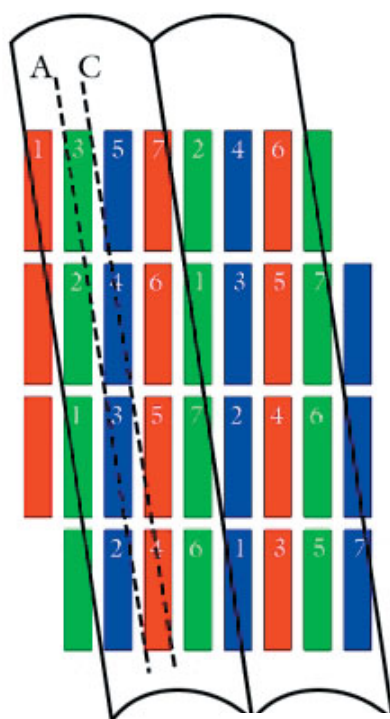


Fig. 8 - Un'opportuna scelta della disposizione della schiera di lenticole cilindriche rispetto alla matrice di subpixel consente di minimizzare l'effetto *moiré* fornendo, quando l'osservatore muove la testa, la sensazione di una transizione progressiva da una vista a quella successiva, piuttosto di percepire una successione brusca tra una sequenza di viste. In figura è rappresentata la struttura proposta dalla Philips per display a 7 viste.



Fig. 9 - L'immagine con cui viene pubblicizzato uno dei quattro schermi (da 18 a 22,2 pollici) prodotti dalla californiana StereoGraphics Corporation. Lo schermo LCD a più alta risoluzione (3840 x 2200) è 22,2", angolo di visione orizzontale in 3D pari a 110°, 170° in 2D.

pisce solo coppie di sub-pixel. In tabella 1 sono riportati alcuni parametri di un prototipo di display LCD-3D.

Schermi come quello in figura 9, basati sulla struttura a lenticole, con 9 viste, sono disponibili sul mercato e sono proposti soprattutto come insegne elettroniche in esposizione o per chioschi elettronici.

3.1 Schermi a barriera

L'evoluzione degli schermi autostereoscopici, come abbiamo visto, ha avuto inizio con gli schermi a barriera.

Ma anche schermi ben più recenti, a LCD, utilizzano il *Parallax barrier* per ottenere l'effetto autostereoscopico.

Al posto delle assicelle di legno utilizzate alla fine del '600 la barriera viene oggi realizzata da un moderno cristallo liquido in grado di commutare (*switching liquid crystal*) e controllare la direzione con cui la luce viene emessa dal pannello, in modo da fornire immagini diverse agli occhi destro e sinistro (figura 10).

Utilizzando questa tecnica è stato realizzato, nel novembre del 2002, un telefono cellulare distribuito in Giappone dalla NTT DoCoMo (figura 11).

Nel dicembre 2003 è stato lanciato il primo notebook dotato di schermo autostereoscopico (figura 12) e dal settembre di quest'anno è disponibile un monitor XGA LCD-3D (figura 13). Un limite del sistema *parallax barrier* è l'angolo di visione ottimale, molto stretto; la testa dell'osservatore deve trovarsi in prossimità del punto denominato *sweet spot*: per facilitare il posizionamento un indicatore è posto sullo schermo, in basso.

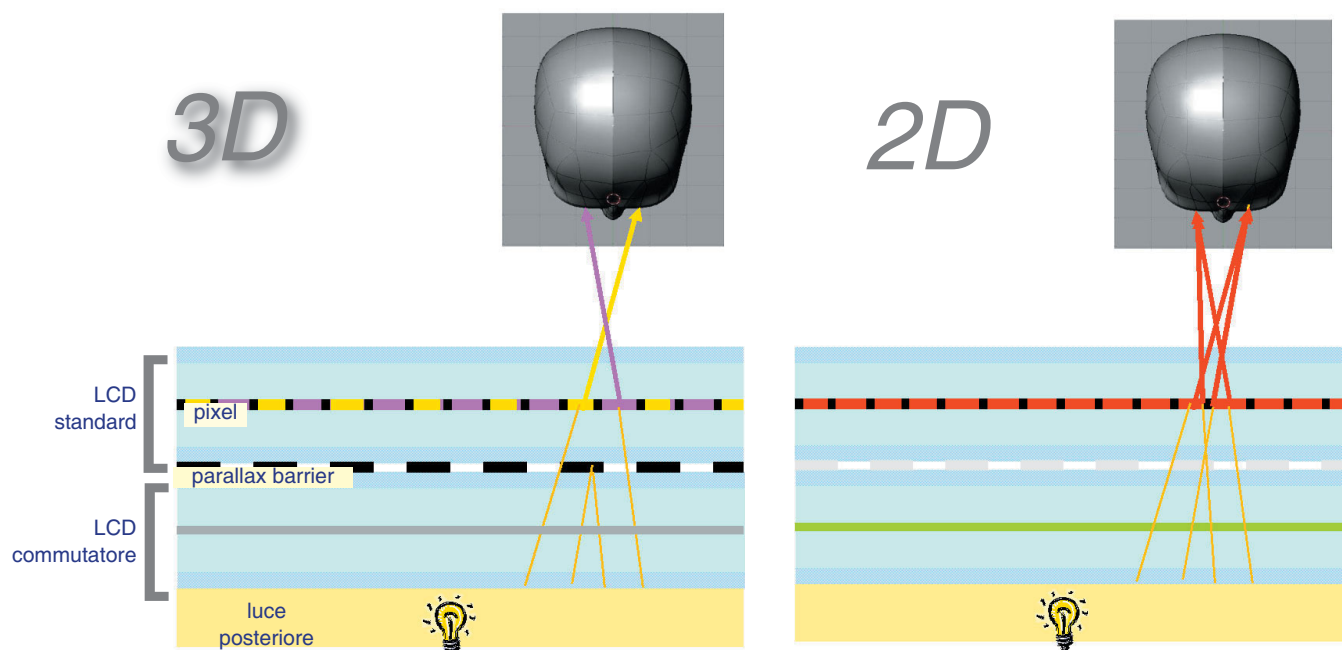


Fig. 10 - Nel sistema a parallax barrier sviluppato dalla Sharp lo schermo è composto da due pannelli LCD. Quello più vicino all'osservatore è un LCD standard, mentre l'altro, prossimo alla lampada che fornisce la luce, include un cristallo liquido in grado di commutare dallo stato trasparente a quello opaco. Nella modalità 2D questo strato è trasparente e il pannello si comporta come un normale LCD a matrice attiva. Nella modalità 3D lo strato del pannello LCD commutatore viene attivato creando una barriera che fa sì che solo metà dei pixel sia visibile all'occhio destro e l'altra metà all'occhio sinistro. Si ottiene così l'effetto stereoscopico, a spese di un dimezzamento della risoluzione orizzontale e della luminosità.

Fig. 11 - Il primo telefono con display LCD autostereoscopico da 2,2 pollici. Lanciato nel novembre 2002 in Giappone dalla NTT DoCoMo: ne sono stati venduti più di 2 milioni di esemplari. Il modello successivo (giugno 2003) è dotato di display da 2,4 pollici (176 x 220 punti immagine) e include un gioco 3D.



Fig. 12 - Il primo notebook con uno schermo LCD da 15" che può commutare il modo operativo da 2D a 3D (Sharp Actius 3DRD). Schermo da 15 pollici, 1024 x 768 punti immagine.



Fig. 13 - Monitor con schermo da 15", utilizza la stessa tecnologia adottata per il notebook ed il costo è inferiore 1500 \$.

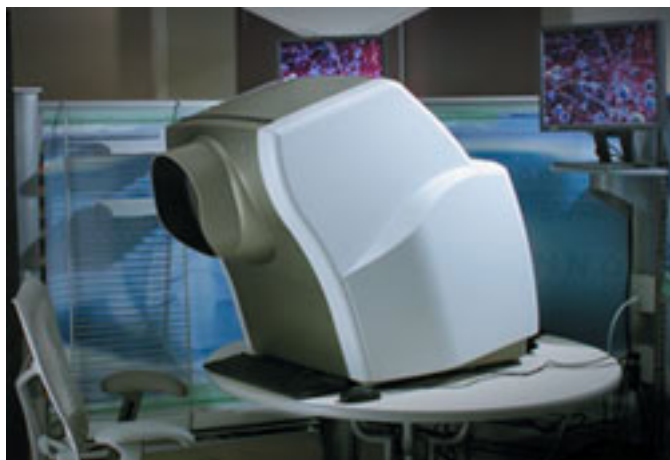


Fig. 14 - Sistema autostereoscopico sviluppato dalla Kodak, presentato a settembre di quest'anno. Le immagini virtuali sono create da due schermi LCD (SXGA, 1280 x 1024). Secondo i progettisti il sistema brevettato, basato su una lente sferica monocentrica (*monocentric ball lens*) supera i problemi che incontra, con i sistemi a barriera o lenticolari, l'utilizzatore a trovare la posizione ottima di osservazione, causa dei fenomeni di affaticamento.

4. Il mercato

Abbiamo visto che le tecniche adottate per realizzare schermi autostereoscopici hanno radici molto lontane nel tempo, ma solo nell'ultimo decennio lo sviluppo e l'ampia diffusione di schermi piatti e di elevata risoluzione ha reso possibile la produzione di dispositivi a costi accessibili.

I prodotti disponibili, anche quelli recentemente annunciati (figura 14) sono diretti verso innumerevoli applicazioni, spesso "di nicchia": visualizzazione di dati (modelli molecolari e chimici, previsioni del tempo), medicina, progettazione industriale (CAD, prototipizzazione virtuale, CAM, architettura), divertimento, commercio (e-showrooms, tour virtuali), educazione e musei.

Ci sono motivi per ritenere che in un prossimo futuro diventino dispositivi di uso comune, in campo informatico o televisivo?

Il web 3D Consortium (*web3D, Open Standards for Real-Time 3D Communications*) ha istaurato accordi cooperativi con w3c (responsabile dell'evoluzione del web), MPEG (alle origini degli standard di compressione audio-video) per promuovere la creazione di standard^{Nota 1} su cui basare i futuri sviluppi in ambito di applicazioni 3D. X3D è uno standard aperto XML per rendere possibile la distribuzione di dati 3D in tempo reale per tutte le applicazioni attraverso la rete. Fra le applicazioni, oltre quelle tecniche e scientifiche, sono previste quelle multimediali^{Nota 2}, connesse al divertimento (in particolare giochi).

La modalità di fruizione dei prodotti multimediali può venire catalogata sotto tre forme: disteso, seduto, in piedi (figura 15).

Negli ultimi anni si è assistito ad una rapida crescita delle possibilità offerte dalla modalità "in piedi": i telefoni cellulari stanno evolvendo in mezzi di distribuzione accessibili ai singoli, in ogni luogo, in grado di elaborare audio e video. Dal 2003 sono in grado di operare su immagini fisse, dal 2004 le capacità si sono estese al video, gli attuali utilizzatori di dispositivi wireless per giochi interattivi sono circa 5 milioni, ma si prevede che cresceranno a 130 milioni nel 2005. In pratica dispositivi in grado di elaborare informazioni audio-video arricchite saranno ampiamente diffusi a partire dal 2006.

I personal computer, terminali multimediali per fruizione da "seduti" hanno sempre più elevate capacità elaborative e sono dotati di display ad alta risoluzione, la banda disponibile per l'accesso di prodotti multimediali in rete aumenta e il suo costo diminuisce.

La fruizione di un ambiente tridimensionale in rete (cellulare o fissa) non necessariamente richiede un display 3D, ma senz'altro molte delle applicazioni 3D che

Nota 1 - standard approvato, pubblicazione prevista per ottobre 2004, ISO/IEC 19775 (X3D architecture and base components), bozze FDIS 19776 (X3D encodings, XML e VRML) e FCD 19777 (X3D language bindings).

Nota 2 - Uno fra i profili previsti da XD3 vi è MPEG-4 Interactive progettato per il broadcasting, i dispositivi palmari e i telefoni mobili.



- Disteso (la tv in casa, in salotto)
- grande schermo
 - più spettatori contemporaneamente
 - scarsa interattività



- Seduto (in casa o in ufficio)
- piccolo schermo
 - singolo utente
 - interattività elevata
 - capacità di canale elevata



- In piedi (sistemi mobile, UMTS):
- piccolo schermo
 - singolo utente
 - interattività limitata
 - capacità di canale limitata e costosa

saranno sviluppate trarranno beneficio da un tale tipo di visualizzazione.

Le limitazioni dell'angolo di visualizzazione ottimale, tipiche degli schermi autostereoscopici, sono accettabili quando le modalità di fruizione sono "in piedi" e "seduto", finalizzate all'uso dell'utente singolo.

Gli operatori del settore vedono quindi la possibilità di sfruttare queste tendenze e, nel marzo 2003, cinque aziende giapponesi hanno avviato il 3D Consortium con lo scopo di "creare" il mercato dei display stereoscopici 3D. A testimoniare l'interesse per lo sviluppo di tale mercato da parte dell'industria e degli operatori nelle telecomunicazioni, un anno dopo, febbraio 2004, il numero dei membri del consorzio era salito a 112.

E' quindi prevedibile che in breve tempo saranno disponibili servizi che traggono beneficio dall'uso di display autostereoscopici, dispositivi che, d'altro canto, avranno costi alla portata economica degli utenti, probabilmente di poco superiore a quello dei display LCD esclusivamente 2D.

I costi di realizzazione di prodotti multimediali fruibili anche in visione stereoscopica potrebbero non rappresentare una barriera, in particolare nel caso di spot pubbli-

citari e cartoni animati (già oggi spesso realizzati con tecniche di modellazione tridimensionale).

La diffusione televisiva di programmi in stereovisione probabilmente dovrà attendere tempi più lunghi, dovuti alla definizione degli standard di trasmissione e al fatto che, come abbiamo visto, la fruizione "da disteso", ancora predominante in campo televisivo mal si adatta alle limitazioni degli attuali schermi autostereoscopici in termini di angolo ottimo di visione (orizzontale e verticale).

Alcune aziende si pongono come missione lo sviluppo di display, contenuti e software per giungere alla diffusione televisiva stereoscopica; nell'ipotesi che

Fig. 15 - Le tre modalità di fruizione dei prodotti multimediali: *lean-back* (ovvero disteso sulla poltrona del salotto), *sitting* (seduto di fronte al monitor del computer), *standing* (in piedi, utilizzando un telefono cellulare o un palmare).



dapprima trovi impiego per la diffusione di pubblicità e successivamente di una completa programmazione.

Riferimenti bibliografici

Sulla storia dello sviluppo dei display autostereoscopici:

D. E. Roberts, "History of Lenticular and related Autostereoscopic Methods", www.microlens.com/HistoryofLenticular.pdf.

Informazioni su tecnologie e dispositivi citati nel testo sono reperibili in:

www.research.philips.com/InformationCenter (nella sezione technologies 3-D displays)

www.sle.sharp.co.uk/research (nella sezione optical imaging technology)

www.stereographics.com

www.kodak.com/US/en/corp/researchDevelopment/whatWeDo/

ventures/index.shtml

La X3D ha una divisione specifica per il Broadcast. Realizza filtri da applicare su schermi piatti (plasma 50" da 1280x768 elementi di immagine e LCD-TFT da 19", 1280x1024) e dichiara di operare per rendere il loro software compatibile con gli attuali standard digitali televisivi, al fine di fornire licenze a produttori di set-top-box e televisori.

www.x3d.com

I siti dei consorzi citati, web 3D Consortium e 3D Consortium, sono rispettivamente alle URL:

www.web3d.org/

www.3dc.gr.jp/english/index.html