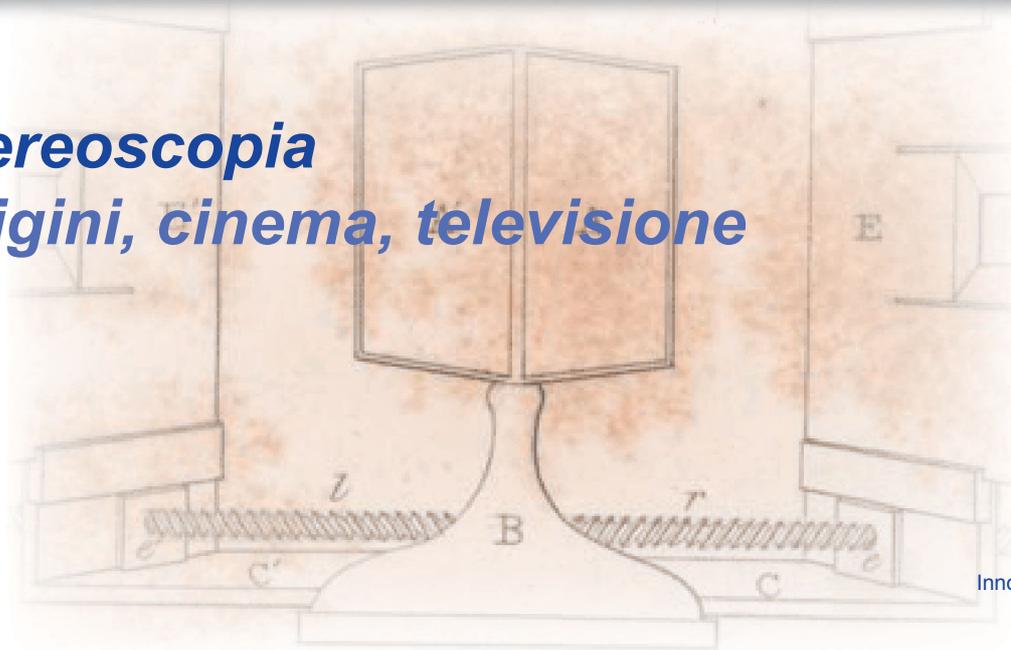


# Stereoscopia

## Origini, cinema, televisione



ing. Marzio **Barbero**  
ing. Mario **Muratori**

**Rai**  
Centro Ricerche e  
Innovazione Tecnologica  
Torino

### 1. Le origini della stereoscopia

L'idea di stereoscopia è molto antica. Fu Euclide nel 208 a.c. a comprendere i principi della visione tridimensionale: ciascuno dei nostri occhi percepisce un'immagine leggermente differente dall'altro ed è la combinazione delle due immagini a fornirci della percezione della terza dimensione. Nel 1584 Leonardo da Vinci studiò la percezione della profondità. Giovanni Battista della Porta (1538-1615) produsse il primo disegno artificiale tridimensionale e Jacopo Chimenti da Empoli (1554-1640) realizzò disegni affiancati (figura 1) che chiaramente dimostrano la comprensione della visione binoculare.

Nel 1613 il gesuita Francois d'Aguillion (1567-1617) conì in un suo trattato il termine "stéréoscopique".

Nel 1833 il Professor Sir Charles Wheatstone (figura 2) dimostrò che, ponendo due disegni leggermente diversi l'uno accanto all'altro e osservandoli attraverso un sistema di specchi e prismi è possibile produrre artificialmente l'effetto della visione tridimensionale e nel giugno 1838,

#### Sommario

Un breve excursus storico sull'evoluzione delle tecniche stereoscopiche e sulle applicazioni in campo cinematografico e televisivo.



Fig. 1 - Coppia di disegni di Jacopo Chimenti da Empoli

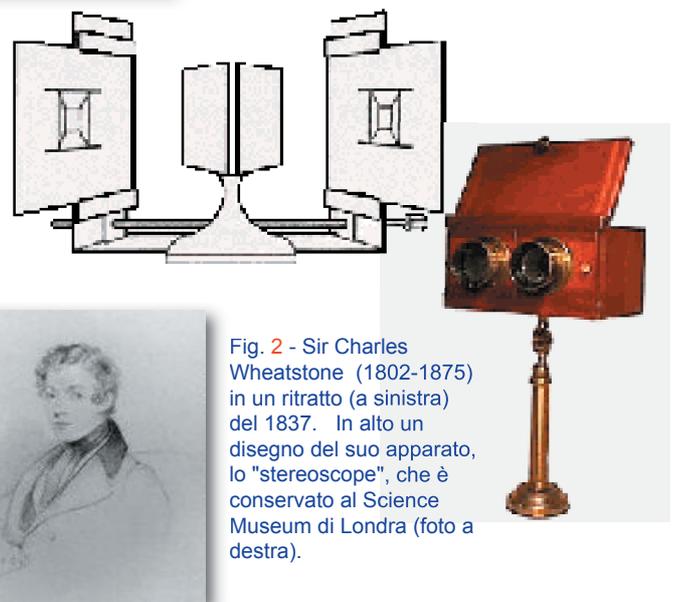


Fig. 2 - Sir Charles Wheatstone (1802-1875) in un ritratto (a sinistra) del 1837. In alto un disegno del suo apparato, lo "stereoscope", che è conservato al Science Museum di Londra (foto a destra).

Fig. 3 - Uno degli stereoscopi progettati da Brewster (del 1860 circa)



illustrando la visione binoculare alla *Royal Scottish Society of Arts*, propose di denominare l'apparato "stereoscope, al fine di indicare le sue proprietà di rappresentare figure solide" (la parola è composta dai due termini greci *stereos*, solido, e *scopos*, che guarda).

Nel 1844, Sir David Brewster (che nel 1816 aveva brevettato il caleidoscopio, dal greco *kalos*, bello, *eidōs*, forma, e *scopos*, che guarda) apportò miglioramenti allo stereoscopio.

Fu l'interesse della Regina Vittoria, dimostrato a partire dalla Grande Esposizione del 1851 a Londra, che rese molto popolare la stereoscopia: nel 1856, secondo Brewster, erano stati venduti già mezzo milione dei suoi stereoscopi (figura 3), malgrado il costo fosse molto elevato.

Un americano, Oliver Wendell Holmes, realizzò una versione meno cara dell'apparato, in alluminio, consentendo la diffusione di grandi quantità di immagini stereo, montate su cartoncino.

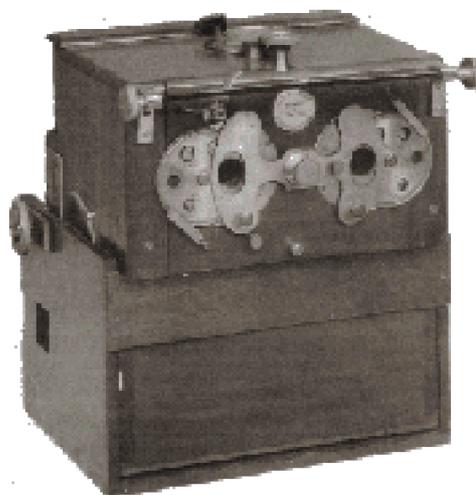


Fig. 5 - Il visualizzatore View Master usa 7 paia di fotografie montate sulla circonferenza di un disco di 90 mm di diametro. Può essere molto semplice ed utilizzare la luce naturale per l'illuminazione delle foto.

La moda di raccogliere immagini stereo continuò fino alla prima guerra mondiale, che infatti fu documentata da diversi gruppi di fotografi dotati di apparati fotografici stereo. Furono molti i produttori di macchine fotografiche stereo a partire dalla seconda metà del '800 (figura 4).

Un certo numero di società si specializzò nella produzione di immagini stereo e di visualizzatori, la più nota di queste fu l'americana View-Master, fondata alla fine degli anni '30 (figura 5).

Fig. 4 - 1856: il primo apparecchio fotografico dotato di due obiettivi fu realizzata da J.B Dancer, un ottico di Manchester. E' costituito da una camera a cassette dotato di un magazzino di dodici lastre al collodio.



## 2. Le tecniche

### 2.1 Anaglifia

Un anaglifo (dal greco *anályphos*, composta da *aná*, sopra, e *glýphein*, incidere, cesellare) è un'immagine ottenuta sovrapponendo i due fotogrammi di uno stereogramma colorati con due differenti colori, ad esempio il rosso per l'immagine destra e il verde per l'immagine sinistra. In questo modo osservando l'immagine tramite lenti di colori analoghi (rosso per l'occhio destro e verde per l'occhio sinistro), si ottiene che l'occhio destro veda la sola immagine destra e l'occhio sinistro la sola immagine sinistra.

Con questa tecnica le due immagini possono essere sullo stesso fotogramma, ovvero, nel caso televisivo, è sufficiente un solo canale per inviare le informazioni.

Nel tempo sono state utilizzate diverse coppie di colori. La coppia rosso-verde funziona abbastanza bene con le immagini stampate, anche se l'immagine percepita attraverso gli occhiali tende ad apparire gialla.

In campo cinematografico, i primi esperimenti furono fatti con la coppia giallo-blu, ma in questo caso, oltre ad una variazione del colore, risulta difficile avere immagini prive di effetto *ghost* (fantasma).

La coppia rosso-ciano combina tutti e tre i primari: l'immagine destinata all'occhio sinistro viene filtrata in modo da contenere solo i contributi verde e blu (cioè ciano), mentre quella destinata all'occhio destro viene filtrata per contenere i soli contributi relativi al rosso. La combinazione dell'immagine destra e sinistra viene visualizzata sullo schermo e le lenti colorate degli occhiali operano come filtri, consentendo a ciascun occhio di percepire solo l'immagine ad essa destinata e impedendo la percezione dell'immagine destinata all'altro occhio. La coppia rosso-ciano consente di avere una discreta rappresentazione del colore e una visione neutra delle immagini bianco-nero.

### 2.2 Effetto Pulfrich

Prende nome dal fisico tedesco Carl Pulfrich che illustra il fenomeno in un articolo del 1922. È un'illusione ottica che si manifesta solo se la luce che raggiunge un occhio è attenuata rispetto all'altro. Una stimolazione contemporanea dei punti retinici corrispondenti origina una eccitazione, ma dopo un lieve ritardo, periodo di latenza, che è inversamente proporzionale all'intensità dello stimolo. Variando la differenza in intensità luminosa, ponendo ad esempio una lente scura di fronte ad uno degli occhi, si ottiene una differente laten-



Fig. 6 - Occhiali di diverso tipo e costo, che sfruttano le diverse tecniche. Da sinistra a destra:  
- da sovrapporre a occhiali normali per vedere anaglifi  
- economici, per effetto Pulfrich  
- con lenti polarizzate  
- elettroniche, con otturatore comandato da raggi infrarossi



Fig. 7 - Sullo sfondo "L'arrivée du train", in primo piano alcune immagini relative a film tridimensionali: "Bwana Devil" del 1952. "Dial M for Murder" di Hitchcock (1954), "Hondo" con John Wayne (1953) e "Jaws 3D" (1983).

za nella percezione dello stimolo, dando origine all'illusione stereoscopica. Un oggetto che si muove su un piano parallelo alla fronte dell'osservatore sembra quindi allontanarsi dal piano, tanto più quanto è alta la velocità, avvicinandosi o allontanandosi dall'osservatore, in funzione della direzione del movimento.

Ad esempio, se un pendolo viene fatto oscillare, in condizioni normali si muove avanti e indietro su un piano, ma se davanti ad uno degli occhi viene posta una lente scura, il pendolo improvvisamente sembra descrivere un'orbita ellittica parallela al pavimento.

## 2.2 Luce polarizzata

In questo caso due proiettori inviano sullo schermo le due immagini destinate agli occhi degli spettatori: ciascun proiettore è dotato di un filtro che polarizza la luce in modo che i due segnali luminosi riflessi dallo schermo siano polarizzati in modo ortogonale fra loro. Gli spettatori sono dotati di occhiali con lenti polarizzate (figura 6), in modo da filtrare uno dei due fasci luminosi: ciascun occhio vede uno solo dei due segnali.

## 2.3 Occhiali LCD

Gli spettatori, in questo caso, indossano degli occhiali con filtri a cristalli liquidi (LCD) alimentati mediante pile e capaci di lavorare in sincronia con il proiettore. Questi occhiali, più complessi e pesanti della versione precedente, attrezzati appunto con due lenti/filtri LCD, uno per occhio, sono sincronizzati con un segnale infrarosso generato dal sistema di proiezione che alternativamente oscura un LCD che agisce come otturatore (*shutter*).

## 3. Il cinema stereoscopico

Quando il film "L'arrivée du train en gare de La Ciotat", realizzato dai fratelli Lumière nel 1903, fu proiettato, gli spettatori, presi dal panico, pensavano che il treno stesse per investirli. Si fa quindi riferimento a questo episodio, come inizio del cinema atto a creare la sensazione della terza dimensione. Da allora sono stati prodotti almeno 250 fra film e programmi televisivi stereoscopici.

Fino al 1946 la realizzazione di alcuni film, con *budget* limitati, contribuisce a raffinare le tecniche della produzione stereoscopica.

Il primo periodo di sviluppo dei film 3D è durante gli anni '50. "Bwana Devil", nel 1952, ebbe successo commerciale e attirò l'attenzione delle *major studios*, che girarono in quel periodo più di 60 film (figura 7). Difficoltà e costo di adattamento delle sale di visione fu la causa del declino dell'interesse per le produzioni 3D.

L'interesse da parte di diversi produttori crebbe nuovamente nel periodo 1973-1985. Tuttavia anche in questo caso le possibilità offerte dalla visione con occhiali di cartone non erano sufficienti a mantenere vivo il fenomeno.

La rivoluzione, dal punto di vista tecnologico e spettacolare, avvenne con l'introduzione del sistema IMAX-3D® che fu per la prima volta presentato al pubblico all'Expo '86 in Vancouver con "Transitions" (figura 8).

IMAX® adotta i diversi sistemi di proiezione: il sistema anaglifo, quello con luce polarizzata e quello con occhiali a cristalli liquidi.

Nel caso dell'IMAX 3D il proiettore, a doppie lenti, manda a turno l'immagine dell'occhio destro e di quello sinistro sullo schermo, con una frequenza di 96 volte al secondo in sincronia con la maschera. Questo metodo consente ottimo posizionamento e stabilità delle immagini.

L'IMAX Solido infine, usa un sistema stereoscopico a singolo proiettore da 48 fotogrammi al secondo (24 al secondo per ogni occhio) ed è compatibile con le sale Imax Dome-OmniMax.

#### 4. La televisione stereoscopica

In campo televisivo i primi esperimenti furono effettuati da Baird negli anni '20, utilizzando un sistema basato su disco di Nipkow con doppia spirale (figura 9). I segnali relativi ai due canali stereoscopici erano trasmessi

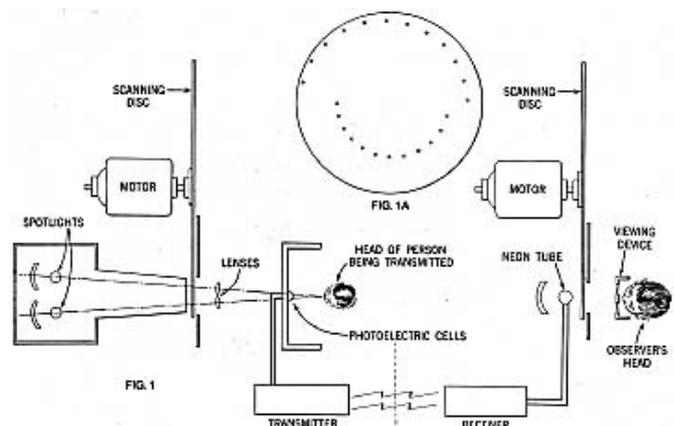
Fig. 8 - Il primo film IMAX-3D® è "Transitions" (durata 21') dove allo spettatore che, per esempio, visita una fabbrica di giocattoli, sembra di poter afferrare gli orsacchiotti di pezza.

Lo schema di un teatro IMAX-3D è tratto dal sito [www.imax.com](http://www.imax.com).

Il teatro IMAX più grande d'Europa è, dal 26 giugno 2004, in Italia, a Riccione. Lo schermo misura 638 m<sup>2</sup>, 22 x 29 m, e sono 497 le poltrone per gli spettatori.



Fig. 9 - La parte trasmittente dello "stereoscope" di Baird è rappresentato sulla sinistra, mentre la parte ricevente è sulla destra. Il disco scandisce due immagini distinte, uno per ciascun occhio.



alternativamente nel tempo grazie alla disposizione dei fori dello speciale disco di Nipkow utilizzato.

La prima trasmissione televisiva non sperimentale è del 1953, a Los Angeles. Adottava l'anaglifa, utilizzando film 3D convertiti in bianco-nero; successivamente, a partire dal 1981, furono elaborati opportunamente e trasmessi anche film a colori.

L'uso dell'anaglifa per la diffusione televisiva non è esente da problemi.

Non è possibile riprodurre correttamente tutta la gamma dei colori a causa delle operazioni di filtraggio effettuate per separare le componenti di colore rosso di una delle due immagini e le componenti verde-blu (ciano) dell'altra immagine.

Le due immagini così filtrate sono trasportate da un unico canale (l'immagine trasmessa è la loro somma) e sono infine separate e destinate ai relativi occhi grazie ai filtri costituiti dalle lenti degli occhiali. Per ridurre quindi la presenza di diaframma (ovvero la mutua interferenza che causa l'effetto *ghost*) è opportuno che i filtri (le lenti) corrispondano il più possibile ai filtri usati in fase di codifica e alle caratteristiche di emissione dei fosfori televisivi.

I problemi maggiori però, dal punto di vista della qualità finale percepita, sono legati al sistema di codifica utilizzato per la diffusione.

Nel caso di diffusione analogica si utilizzano i sistemi di codifica compositi NTSC (in USA o Giappone) o PAL (in Europa). Entrambi i due sistemi ricavano dalle tre informazioni di colore (RGB, rosso, verde

e blu) altri tre segnali: uno di luminanza (che consente la compatibilità con i televisori bianco/nero) e due segnali differenza di colore.

Queste due componenti vengono fortemente limitati in banda prima di venir moltiplicati (mediante modulazione della sottoportante di colore) con la luminanza. La minor fedeltà di riproduzione del colore rispetto alla luminanza è in genere accettabile perché il sistema psicovisivo umano è sensibile soprattutto alla informazione di luminanza (a livello fisiologico vi sono due tipi di recettori retinici separati, bastoncelli e coni).

In anaglifa, però, i segnali di crominanza assumono un ruolo importante: ad essi è affidato non solo l'informazione di colore, ma anche quella relativa alla differenza (anche in luminanza) fra le due immagini, diretta ai due occhi. Pertanto un segnale composito (NTSC o PAL), poiché degrada le componenti di crominanza, è poco adatto a contenere immagini anaglifa.

Nel caso di distribuzione digitale si utilizzano sistemi basati sulla codifica MPEG-2. Il DVB, *Digital Video Broadcasting*, cioè gli standard alla base della tv digitale da satellite e terrestre, e il DVD, *Digital Versatile Disc*, prevedono che le informazioni di crominanza vengano filtrate e compresse maggiormente rispetto a quelle di luminanza per le stesse motivazioni psicovisive indicate precedentemente, per i sistemi compositi analogici. Opportune scelte dei parametri di codifica e l'uso di fattori di compressione non troppo elevati permettono di limitare la perdita di qualità del segnale anaglifo dovuta alla codifica.

L'effetto Pulfrich è stato applicato per la produzione di programmi televisivi, tra cui *clip* pubblicitarie. Ad esempio la Rai diffuse una serie di cartoni animati prodotti in Giappone nel 1978 (vedere riquadro a lato). La storia, in 51 puntate da 30 minuti ciascuna, è appropriata, poiché il viaggio del protagonista e dei suoi compagni è ricco di movimenti. In genere, comunque, solo circa un terzo di ciascun episodio mostra l'effetto tridimensionale, poiché non tutte le scene possono basarsi su movimenti con velocità e direzione adatte ad ottenere l'effetto.

Infatti, l'uso di questa tecnica è limitata dal fatto che il soggetto o la telecamera, o entrambi, devono muoversi: non vi è percezione stereoscopica nel caso di immagini stazionarie. Tra i vantaggi di questa tecnica: la possibilità di essere distribuibile con i canali televisivi convenzionali, visualizzabile su tutti i tipi di schermo (compresi quelli a proiezione) e la compatibilità per gli utenti non interessati alla stereovisione o privi di occhiali, utenti che possono comunque seguire il programma in modalità bidimensionale.

L'anaglifia, invece, consente l'effetto tridimensionale anche nel caso di scene prive di movimento, ma impone di indossare gli occhiali, indispensabili per la fruizione del programma.

I risultati migliori si ottengono utilizzando due canali separati, uno per ciascun occhio, e con sistemi di riproduzione quali polarizzatori, *shutter* o schermi autostereoscopici.

La separazione dei due canali può essere ottenuta mediante una moltiplicazione a divisione di tempo (tecnica AI, *Alternate Image*) o creando due flussi sincronizzati trasportati in un multiplex DVD o DVB.

Dal Radiocorriere del 22 ottobre 1979:

17:00 - Remi - Le sue avventure

1° Ben tornato papà

Un programma a cartoni animati 3D dal Romanzo Senza Famiglia di Ettore Malot - Animazioni di Akio Sugino - Regia di Yutaka Fujioka - Distr. Tokyo Movie Shinsha Co. Ltd.

Comincia un lungo racconto (51 puntate quotidiane, esclusi il sabato e la domenica) a cartoni animati di produzione giapponese, tratto dal romanzo "Senza famiglia", dello scrittore francese Ettore Malot (1839-1907). Il libro pubblicato nel 1878, venne premiato dall'Accademia di Francia ed ebbe un gran numero di edizioni, venendo ben presto annoverato fra i classici della letteratura infantile. E' la storia di un trovatello che, in compagnia di un vecchio violinista, tre cani addestrati e una scimmietta, gira per i paesi della Francia dando spettacoli. Il racconto è pieno di emozioni, avventure e colpi di scena.

Grazie allo sviluppo di schede video e software queste possibilità sono da tempo disponibili per l'uso mediante PC. Più recentemente è stata proposta anche per uso domestico, utilizzando lettori DVD (figura 10).



Fig. 10 - Il processore SENSIO™ 3D è stato messo in vendita in USA e Canada (formati video a 29,97 Hz interlacciato) nel settembre 2003 al prezzo di 2995 \$ comprensivo di due paia di occhiali LCD controllati per mezzo di raggi infrarossi (paia di occhiali addizionali a 57,50 \$), è compatibile con i lettori DVD in grado di interfacciarsi con un proiettore. Adotta la tecnica AI (Alternate Image), le immagini destinate ai due occhi (sinistro, destro) corrispondono ai due semiquadri del segnale televisivo ([www.sensio.tv](http://www.sensio.tv)).

Nel caso di uso di due flussi separati è assicurata la compatibilità con la normale visione mono (basta visualizzare uno solo dei canali). Nel caso della diffusione televisiva, occorre però definire la modalità di codifica e trasmissione dei due flussi, utilizzare decodificatori in grado di operare contemporaneamente sui due flussi e sistemi di visualizzazione adatti.

I recenti sviluppi tecnologici nel campo dei sistemi televisivi digitali (DVD e DVB), dei display (oggetto della scheda "display a cristalli liquidi autostereoscopici" pubblicata in questo stesso numero di Elettronica e Telecomunicazioni) e delle tecniche di produzione (sistemi di modellizzazione e grafica tridimensionale) rendono possibile in un prossimo futuro il superamento di molti dei limiti che finora hanno impedito lo sviluppo della televisione stereoscopica.

## **Bibliografia**

Il web è ricchissimo di siti dedicati stereoscopia, è sufficiente effettuare la ricerca del termine *stereoscopic* su un motore di ricerca per individuare alcuni centinaia di migliaia di *link*.

Sulla storia della stereoscopia, ad esempio, in italiano:

Gabriele Chiesa, "Stereofotografi italiani, Collezioni di stereofotografia", [www.gri.it/storia/stereoita.htm](http://www.gri.it/storia/stereoita.htm)

e in inglese:

Macleay Museum's Historic Photograph Collection, Australia, "Virtual Empire", [www.usyd.edu.au/su/macleay/01VE/vEa1/VEa1b.html](http://www.usyd.edu.au/su/macleay/01VE/vEa1/VEa1b.html)

sulle varie tecniche utilizzate per il cinema e la tv:

Dimension 3d, [www.d3.com](http://www.d3.com)

per l'effetto Pulfrich:

"Pulfrich Effect", [www.siu.edu/~pulfrich/](http://www.siu.edu/~pulfrich/)

per l'anaglifa e l'effetto *ghost*:

[info.curtin.edu.au/~iwoods/](http://info.curtin.edu.au/~iwoods/)